平成30年度

低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業
地下空洞型処分施設機能確認試験

報　告　書

平成31年3月

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

本報告書は、以下の構成でとりまとめています。

第 1 章～第 4 章

なお、以下の資料を合わせて添付します。

添付資料－1～添付資料－6

本報告書は、経済産業省からの委託研究として、公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センターが実施した平成 30 年度低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業地下空洞型処分施設機能確認試験の成果を取りまとめたものです。

はじめに

地下 70m 以深の大断面の地下空洞に構築されたコンクリートの処分ピットと、その周囲を覆うベントナイトの緩衝材等から構成される地下空洞型処分施設は、低レベル放射性廃棄物に区分される発電所廃棄物や TRU 廃棄物（地層処分相当の廃棄物を除く）の処分施設として、各種の検討がなされている。地下空洞型処分施設は、低レベル放射性廃棄物のうち、比較的放射能レベルの高い廃棄物を対象としていることや、地下 70m 以深の地下空洞に建設する処分施設であるため、これまでに実績のある浅地中処分施設とは異なる計画・設計・施工技術が必要とされている。また、地下空洞型処分施設は、地層処分の人工バリアの構成と比較して部材が多く、また、長期性能を満たす高い要求性能が建設時に求められる。このため、今後の地下空洞型処分施設の計画・設計・建設に当たっては、より現実に即した試験条件下での検討や実証試験等の積み重ねが必要とされてきている。

平成 19 年度から平成 26 年度まで経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業として、地下空洞型処分施設を模擬した実規模施設において施工試験を実施し、その施工技術を実証的に整備してきた。一方、地下空洞型処分においては、処分施設閉鎖後に長期の管理が求められており、長期の管理の考え方やそのためのモニタリングが必要となっている。

本事業である「地下空洞型処分施設機能確認試験」は、こうした処分施設の長期管理の必要性に鑑み、地下空洞型処分施設を対象とし、ベントナイト系材料やセメント系材料により構成される人工バリアについて、長期性能を確認するための考え方、モニタリング計画、性能確認の実現性等の検討を実施するものである。

本事業の成果は、同様の処分施設形態が検討されている TRU 廃棄物の地層処分についても、共通の基盤技術として幅広く反映可能であり、また、将来の処分施設の機能確認に対して極めて重要な情報を提供するものである。

平成 30 年度は、上記の状況を十分踏まえた上で、本事業の中心となる機能確認の実現性確認に関する検討等を実施するものである。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施するものである。

平成30年度　低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業
地下空洞型処分施設機能確認試験　報告書目次

はじめに

第 1 章 全体概要 1-7
1.1 本事業の背景と目的 1-7
1.1.1 試験の背景 1-7
1.1.2 試験の目的 1-7
1.2 本事業の概要 1-9
1.2.1 試験の概要 1-9
1.3 平成 30 年度の実施概要 1-9
1.3.1 検討委員会 1-9
1.3.2 平成 30 年度の成果の概要 1-10
(1) 機能確認の実現性確認 1-11
(2) 既設の実規模施設における地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察 1-94

第 2 章 機能確認の実現性確認 2-1
2.1 施設挙動解析 2-1
2.1.1 施設挙動の定量化方法 2-1
2.1.2 熱・水・力学に着目した検討 2-5
(1) 目的及び検討概要 2-5
(2) 廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖後）以降の再冠水プロセスにおける施設内温度変化の把握 2-6
(3) 建設～廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖前）における施設挙動の想定 2-39
2.1.3 化学に着目した検討 2-77
(1) はじめに 2-77
(2) 過去の研究成果と本検討における着目点 2-78
(3) 解析方針 2-81
(4) 解析コードの説明（LIFE D.N.A.） 2-85
(5) 解析概要 2-105
(6) 解析結果 2-117
(7) まとめ 2-160
2.1.4 文献調査等による施設挙動の定量化 2-161
(1) 廃棄体容器の腐食膨張 2-161

(2) 区画内充てん材のひび割れ発生 2-164
(3) 放射線分解ガスの発生 2-170
(4) コンクリートピットの鉄筋の腐食膨張 2-175
(5) 建設段階・廃棄物の埋設段階における低透水層の変状 2-177
(6) 閉鎖措置段階以降における低透水層の流出 2-178
(7) 空洞内充てん材（土質系）の沈下による天端部の空隙発生 2-180
(8) 閉鎖措置段階以降における空洞内充てん材（土質系）の流出 2-182
(9) 空洞内充てん材（セメント系）のひび割れ発生 2-183
(10) 空洞内充てん材（セメント系）の鉄筋の腐食膨張 2-185
(11) 処分空洞の岩盤クリープによる変形 2-185
2.1 節 参考文献 2-188
2.2 実現性確認のためのラボ試験 2-194
2.2.1 試験空洞吹付コンクリートの分析 2-194
(1) 背景・目的 2-194
(2) コアの採取及び分析計画 2-195
(3) コアの分析結果 2-213
(4) まとめと吹付けコンクリートの変質範囲 2-254
2.2.2 光ファイバセンサーの敷設試験 2-255
(1) 試験方法 2-255
(2) 試験結果 2-258
(3) まとめ 2-260
2.2.3 光ファイバセンサーの圧力計測試験 2-261
(1) 試験方法 2-261
(2) 試験結果 2-269
(3) まとめ 2-274
2.2 節　参考文献 2-275
2.3 光ファイバセンサーによるひずみ等の計測 2-276
2.3.1 実規模施設を活用した連続的な計測 2-276
(1) 概要 2-276
(2) 上部低拡散層表面（ひずみ計測） 2-281
(3) 側部低拡散層表面（ひずみ計測） 2-287
(4) 手前コンクリートピット表面（ひずみ計測） 2-294
(5) アクセス坑道沿い表面（温度計測） 2-298
(6) まとめ 2-309
2.3.2 試験体を用いた事前試験 2-310
(1) はじめに 2-310

(2) 試験方法 2-314
(3) 試験結果（ひび割れ発生状況） 2-325
(4) 試験結果（光ファイバセンサーによる計測） 2-334
(5) まとめ 2-356
2.3.3 実規模施設を活用したひび割れ計測試験 2-357
(1) はじめに 2-357
(2) 試験方法 2-357
(3) 試験結果 2-368
(4) まとめ 2-442
2.3 節　参考文献 2-443
2.4 放射線計測に関する技術の調査 2-444
2.4.1 調査条件 2-444
(1) 計測対象となる放射性核種と放射線種 2-444
(2) 放射線量率の範囲 2-446
2.4.2 従来技術の概観 2-447
(1) 電離現象による検出 2-447
(2) 発光現象による検出 2-448
(3) 化学変化による検出 2-449
(4) その他の原理による検出 2-449
2.4 節 参考文献 2-451
2.5 モニタリング計画の具体化に資する検討 2-452
2.5.1 モニタリング計画の具体化検討における考え方 2-452
2.5.2 既存計測技術を活用したモニタリング計画の具体化検討 2-454
(1) 処分施設の変形 2-455
(2) 低拡散層のひび割れ観察 2-466
(3) 裏面排水分析 2-469
(4) 近傍ボーリング孔による地下水分析 2-477
2.5.3 光ファイバセンサーの適用を考慮したモニタリング計画の具体化検討 2-485
(1) セメント系材料（低拡散層）のひび割れ 2-485
(2) 施設内の圧力分布 2-491
(3) 施設内の温度 2-492
2.5.4 モニタリング計画の具体化検討のまとめ（平成 30 年度） 2-494
2.5.5 残された課題と今後の展望 2-495
2.5 節 参考文献 2-496

第 3 章 既設の実規模施設における地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察 3-1
3.1 既存施設の計測調査データ取得 3-1
3.1.1 計測データ回収 3-1
(1) 既設計器の計測データ回収 3-1
(2) 地震計メンテナンス・計測データの回収 3-2
(3) 間隙水圧計計測 3-5
(4) ひび割れ調査 3-15
(5) 地中無線データ回収 3-88
3.1.2 計測データの整理 3-93
3.1.3 計測システムの保守・点検 3-102
(1) 既設静的設備の保守・点検 3-102
(2) 間隙水圧計他点検 3-103
(3) 計測システム保守・点検 3-123
3.1.4 まとめ 3-124
3.2 既存施設の計測調査データの評価 3-125
3.2.1 施設・岩盤挙動計測データの分析・評価 3-125
(1) 坑内環境計測結果の分析評価 3-125
(2) 上部埋戻し材の計測結果の分析評価 3-127
(3) 底部低透水層の計測結果の分析評価 3-130
(4) セメント系材料の計測結果の分析評価 3-143
(5) ひび割れ調査の分析評価 3-151
(6) 周辺岩盤挙動計測結果の分析評価 3-169
3.2.2 地震計の観測データの整理と挙動分析 3-175
(1) 検討フロー 3-175
(2) 観測データの分析・評価 3-176
(3) 解析による地震時の挙動の評価 3-228
3.3 まとめ 3-304
3.3.1 今年度の成果 3-304
(1) 既存施設の計測調査データの評価 3-304
(2) 地震計の観測データの整理と挙動分析 3-304
3.3.2 今後の課題 3-305
(1) 地震観測の拡充 3-305
(2) 当該サイトの地質構造及び地盤物性値の設定 3-305
第 3 章　参考文献 3-306

第 4 章 まとめ 4-1
4.1 本事業のまとめ 4-1
4.1.1 機能確認の実現性確認 4-1
4.1.2 既設の実規模施設における地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察 4-2

おわりに

添付資料 1 現地写真 1-1
添付資料 2 既設計測設備点検 2-1
添付資料 3 計測器資料 3-1
添付資料 4 施設・周辺岩盤挙動計測データ集 4-1
添付資料 5 地震動観測データ 5-1
添付資料 6 間隙水圧計点検記録 6-1

図目次

【第 1 章】

図 1.1-1　地下空洞型処分施設の概念図 1-8
図 1.3-1　解析モデル 1-15
図 1.3-2　廃棄体からの発生発熱量 1-15
図 1.3-3　解析コンター凡例 1-16
図 1.3-4　解析結果_ケース①（基本） 1-17
図 1.3-5　解析データ出力点 1-18
図 1.3-6　主な各部材代表点における水飽和率、温度の経時変化 1-19
図 1.3-7　解析モデル 1-20
図 1.3-8　CODE_BRIGHT 解析ステップ 1-21
図 1.3-9　解析結果_コンター図 1-22
図 1.3-10　施設施工ステップと挙動推移 1-23
図 1.3-11　人工バリア構築前の処分空洞の状態 1-25
図 1.3-12　埋設完了後の処分空洞の状態 1-25
図 1.3-13　人工バリア構築前の解析領域 1-26
図 1.3-14　埋設完了後の解析領域 1-26
図 1.3-15　100 年後における pH 分布（ケース 1） 1-28
図 1.3-16　400 年後における pH 分布（ケース 1） 1-28
図 1.3-17　100 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1） 1-29
図 1.3-18　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1） 1-29
図 1.3-19　100 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 1） 1-30
図 1.3-20　400 年後における Ca イオン分布（ケース 1） 1-30
図 1.3-21　吹付けコンクリートのコアの採取箇所（全体） 1-33
図 1.3-22　吹付けコンクリートのコアの採取箇所（平成 30 年度） 1-34
図 1.3-23　敷設試験イメージ 1-36
図 1.3-24　センサーケーブルの設置 1-36
図 1.3-25　敷設試験状況 1-37
図 1.3-26　敷設試験結果例（ひずみ分布） 1-37
図 1.3-27　接着されたセンサーケーブルのひずみ変化 1-38
図 1.3-28　接着されていないセンサーケーブルのひずみ変化 1-38
図 1.3-29　側圧計測イメージ 1-39
図 1.3-30　通水試験装置 1-40
図 1.3-31　太径光ファイバのひずみ分布計測結果 1-41
図 1.3-32　細径光ファイバのひずみ分布計測結果 1-41

図 1.3-33　ロードセルと光ファイバ（二種類の差）の経時変化 1-42
図 1.3-34　ロードセルと光ファイバ（二種類の差）の関係..... 1-42
図 1.3-35　計測システムの構成 1-43
図 1.3-36　計測システム設置状況..... 1-44
図 1.3-37　PPP-BOTDA 方式の構成 1-44
図 1.3-38　TW-COTDR 方式の構成 1-45
図 1.3-39　ひずみ計測用光ファイバセンサー 1-46
図 1.3-40　温度計測用光ファイバセンサーケーブル 1-46
図 1.3-41　上部低拡散層平面図 1-47
図 1.3-42　ブリルアン周波数シフトの結果例（上部低拡散層：長辺方向１） 1-47
図 1.3-43　側部低拡散層側面図 1-48
図 1.3-44　ブリルアン周波数シフトの結果例（側部低拡散層１） 1-49
図 1.3-45　手前コンクリートピット正面図 1-50
図 1.3-46　ブリルアン周波数シフトの結果例（コンクリートピット：水平方向） 1-50
図 1.3-47　温度センサーケーブルの配置..... 1-51
図 1.3-48　温度センサーケーブル架設イメージ..... 1-51
図 1.3-49　計測結果例（アクセス坑道沿い） 1-52
図 1.3-50　解析方法..... 1-55
図 1.3-51　計測結果 1（無筋試験体 No.1） 1-56
図 1.3-52　手前部コンクリートピット（正面図） 1-57
図 1.3-53　ひび割れ誘発位置（手前コンクリートピット） 1-58
図 1.3-54　上部低拡散層（平面図） 1-59
図 1.3-55　ひび割れ誘発位置（上部低拡散層） 1-59
図 1.3-56　標準パッカーの設置状況..... 1-60
図 1.3-57　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（手前コンクリートピット、
STEP0～4） 1-61
図 1.3-58　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（手前コンクリートピット、
STEP5） 1-62
図 1.3-59　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（上部低拡散層、STEP0~2） 1-63
図 1.3-60　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（上部低拡散層、STEP3） 1-63
図 1.3-61　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（上部低拡散層、STEP4） 1-64
図 1.3-62　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（上部低拡散層、STEP5） 1-64
図 1.3-63　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（上部低拡散層、STEP6） 1-65
図 1.3-64　PPP-BOTDA 方式結果 1（上部低拡散層、STEP1） 1-66
図 1.3-65　TW-COTDR 方式結果 1（上部低拡散層、STEP1） 1-67
図 1.3-66　PPP-BOTDA 方式結果 3（上部低拡散層、STEP3） 1-68

図 1.3-67　TW-COTDR 方式結果 3（上部低拡散層、STEP3）..... 1-69
図 1.3-68　ひずみ分布計測結果（上部低拡散層、STEP1）..... 1-70
図 1.3-69　処分施設における底部低透水層の位置..... 1-75
図 1.3-70　施設変形モニタリングによる安全機能への影響確認フロー..... 1-75
図 1.3-71　実施設における 3D レーザースキャナーの計測イメージ（ケース 1）..... 1-79
図 1.3-72　実施設における 3D レーザースキャナーの計測イメージ（ケース 2）..... 1-79
図 1.3-73　処分施設の裏面排水分析（変化量対象）モニタリングによる安全機能、
　安全性への影響確認フロー..... 1-82
図 1.3-74　排水量の経年変化..... 1-83
図 1.3-75　Na イオン濃度の経年変化..... 1-84
図 1.3-76　K イオン濃度の経年変化..... 1-84
図 1.3-77　Ca イオン濃度の経年変化..... 1-84
図 1.3-78　裏面排水の採取位置の例..... 1-85
図 1.3-79　近傍ボーリング孔の地下水分析による安全機能への影響確認フロー..... 1-85
図 1.3-80　解析結果の出力位置..... 1-86
図 1.3-81　pH と施設からの距離の関係..... 1-87
図 1.3-82　Na イオン濃度と施設からの距離の関係..... 1-88
図 1.3-83　低拡散層のひび割れモニタリングのための光ファイバセンサーの
　設置概念図..... 1-91
図 1.3-84　施設内の圧力分布計測のための光ファイバセンサーの設置概念図..... 1-92
図 1.3-85　地震応答解析モデル（全体）..... 1-98
図 1.3-86　地震応答解析モデル（試験施設）..... 1-98
図 1.3-87　今年度選定した地震動の加速度の増幅処理（地震計①、y 方向）..... 1-99
図 1.3-88　水平方向の相対変位最大時刻の変形図（変形倍率を 10000 倍で描画）..... 1-100
図 1.3-89　試験施設の引張応力の地震時増分（y 方向、引張正、履歴最大）..... 1-101
図 1.3-90　試験施設の圧縮応力の地震時増分（y 方向、圧縮負、履歴最小）..... 1-101

【第２章】

図 2.1-1　試験空洞及び人工バリア断面図..... 2-6
図 2.1-2　試験空洞及び人工バリア断面図..... 2-10
図 2.1-3　解析モデル..... 2-11
図 2.1-4　水分状態による熱伝導率変化の模式図..... 2-14
図 2.1-5　水分状態による比熱変化の模式図..... 2-15
図 2.1-6　熱伝導率の飽和率依存性（低透水層）..... 2-17
図 2.1-7　熱伝導率の飽和率依存性..... 2-18
図 2.1-8　比熱の飽和率依存性..... 2-19

図 2.1-9　現状考えられている L1 中深度処分の断面概念[13] 2-20
図 2.1-10　六ヶ所模擬施設の断面を基本とした廃棄体エリア内 2-21
図 2.1-11　廃棄体からの発生発熱量 2-22
図 2.1-12　廃棄体エリア内における熱特性の飽和率依存性 2-23
図 2.1-13　解析コンター凡例 2-27
図 2.1-14　解析結果_ケース①（基本） 2-28
図 2.1-15　解析結果_ケース②（浸潤抑制） 2-29
図 2.1-16　解析結果_ケース③（浸潤促進） 2-30
図 2.1-17　解析データ出力点 2-31
図 2.1-18　主な各部材代表点における水飽和率、温度の経時変化 2-32
図 2.1-19　廃棄体からの発熱条件比較 2-33
図 2.1-20　低透水層周囲における温度と水飽和率の関係 2-36
図 2.1-21　低拡散層外周における温度と水飽和率の関係 2-37
図 2.1-22　熱、力学（応力変形）、二相流の相互影響 2-40
図 2.1-23　不飽和多孔質体の概念 2-41
図 2.1-24　間隙比と平均有効応力の関係 2-47
図 2.1-25　サクションと間隙比の関係 2-48
図 2.1-26　（p,　q）面,（p,　s）面及び（p,　q,　s）面での降伏曲面 2-50
図 2.1-27　有効応力及びサクションの変化による体積ひずみ挙動と降伏曲線 2-50
図 2.1-28　解析モデル 2-51
図 2.1-29　クニゲル GX の乾燥密度と膨潤圧の関係 2-55
図 2.1-30　小峯らの膨潤評価式に基づく飽和膨潤ひずみと有効拘束応力の関係 2-56
図 2.1-31　CODE_BRIGHT 解析ステップ 2-62
図 2.1-32　解析ステップ断面と出力点 2-63
図 2.1-33　解析結果_コンター図 2-66
図 2.1-34　主な部材出力点における解析結果 2-67
図 2.1-35　解析出力結果_RCPIT（中央） 2-68
図 2.1-36　解析出力結果_RCPIT（左端） 2-69
図 2.1-37　解析出力結果_RCPIT（左側上） 2-70
図 2.1-38　解析出力結果_低拡散層（左側上） 2-71
図 2.1-39　施設施工ステップと挙動推移 2-72
図 2.1-40　水飽和率と膨潤圧力の関係検討のための出力点 2-73
図 2.1-41　低透水層周囲における水飽和率と膨潤圧力（平均有効応力）の関係 2-74
図 2.1-42　低拡散層周囲における水飽和率と膨潤圧力（平均有効応力）の関係 2-75
図 2.1-43　人工バリアの機能確認においてモニタリングが必要と思われる項目 2-77
図 2.1-44　吹付けコンクリート内面に浸出する総水量の経時変化 2-78

図 2.1-45　吹付けコンクリート内面に浸出する Na^+、K^+、Ca^{2+}の経時変化 2-79
図 2.1-46　吹付けコンクリート内面に浸出する Cl^-、Mg^{2+}、SO_4^{2-}の経時変化 2-79
図 2.1-47　地下水組成の出力位置 2-80
図 2.1-48　地下水組成の出力位置が pH、Ca イオン濃度の経時変化に及ぼす影響 2-80
図 2.1-49　人工バリア構築前の処分空洞の状態 2-82
図 2.1-50　埋設完了後の処分空洞の状態 2-82
図 2.1-51　人工バリア構築前の解析領域 2-83
図 2.1-52　埋設完了後の解析領域 2-83
図 2.1-53　LIFE D.N.A.における計算の流れ 2-86
図 2.1-54　複数のセメント種類による固液平衡関係に関する実験データ[37] 2-87
図 2.1-55　Ca 溶解平衡関係のモデル化図 2-87
図 2.1-56　平成 29 年度試験にて得られた吹付けコンクリートの Ca 溶解平衡関係 2-88
図 2.1-57　C_{pCa}/C_{p0Ca} と Na^+濃度の関係[37] 2-89
図 2.1-58　C_{pCa}/C_{p0Ca} と K^+濃度の関係[37] 2-90
図 2.1-59　吹付けコンクリートにおける C_{pCa}/C_{p0Ca} と Na^+濃度の関係 2-91
図 2.1-60　吹付けコンクリートにおける C_{pCa}/C_{p0Ca} と K^+濃度の関係 2-91
図 2.1-61　W/C と空隙率の関係[39] 2-96
図 2.1-62　間隙比と透水係数の関係[42] 2-99
図 2.1-63　空隙率と透水係数の関係[39] 2-103
図 2.1-64　透水係数算定のためのモデル 2-103
図 2.1-65　有効拡散係数と有効間隙率との関係[46] 2-106
図 2.1-66　岩盤の有効間隙率に関するデータ[47] 2-107
図 2.1-67　軽石凝灰岩を対象とした原位置透水試験から得られた透水係数[44] 2-107
図 2.1-68　低拡散層における透水係数の測定結果[49] 2-111
図 2.1-69　水セメント比 W/C と空隙率の関係[39] 2-112
図 2.1-70　空隙率と拡散係数の関係[39] 2-112
図 2.1-71　空隙率と透水係数の関係[39] 2-113
図 2.1-72　ベントナイトの有効粘土密度と透水係数の関係[49] 2-115
図 2.1-73　100 年後における pH 分布（ケース 1） 2-117
図 2.1-74　200 年後における pH 分布（ケース 1） 2-118
図 2.1-75　400 年後における pH 分布（ケース 1） 2-118
図 2.1-76　100 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1） 2-119
図 2.1-77　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1） 2-120
図 2.1-78　100 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 1） 2-121
図 2.1-79　400 年後における Ca イオン分布（ケース 1） 2-122
図 2.1-80　400 年後における pH 分布（ケース 1：i=0.07） 2-123

図 2.1-81　400 年後における pH 分布（ケース 2：i=0）..... 2-123
図 2.1-82　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1：i=0.07）..... 2-124
図 2.1-83　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 2：i=0）..... 2-124
図 2.1-84　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 1：i=0.07）..... 2-125
図 2.1-85　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 2：i=0）..... 2-125
図 2.1-86　ケース 3 におけるひび割れ、隙間の配置箇所..... 2-126
図 2.1-87　400 年後における pH 分布（ケース 1：ひび割れ、隙間無し）..... 2-127
図 2.1-88　400 年後における pH 分布（ケース 3：ひび割れ、隙間有り）..... 2-127
図 2.1-89　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1：ひび割れ、隙間無し）. 2-128
図 2.1-90　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 3：ひび割れ、隙間有り）. 2-128
図 2.1-91　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 1：ひび割れ、隙間無し）.. 2-129
図 2.1-92　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 3：ひび割れ、隙間有り）.. 2-129
図 2.1-93　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 1：ひび割れ、隙間無し）
..... 2-130
図 2.1-94　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 3：ひび割れ、隙間有り）
..... 2-130
図 2.1-95　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 1：ひび割れ、隙間無し）
..... 2-131
図 2.1-96　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 3：ひび割れ、隙間有り）
..... 2-131
図 2.1-97　本検討における EDZ 領域（オレンジの領域）..... 2-132
図 2.1-98　模擬処分空洞掘削時の EDZ 確認結果[44]..... 2-133
図 2.1-99　模擬処分空洞における EDZ 部の原位置透水試験結果[44]..... 2-133
図 2.1-100　400 年後における pH 分布（ケース 3：EDZ 無し）..... 2-134
図 2.1-101　400 年後における pH 分布（ケース 4：EDZ 有り）..... 2-134
図 2.1-102　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 3：EDZ 無し）..... 2-135
図 2.1-103　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 4：EDZ 有り）..... 2-135
図 2.1-104　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 3：EDZ 無し）..... 2-136
図 2.1-105　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 4：EDZ 有り）..... 2-136
図 2.1-106　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 3：EDZ 無し）.. 2-137
図 2.1-107　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 4：EDZ 有り）.. 2-137
図 2.1-108　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 3：EDZ 無し）.. 2-138
図 2.1-109　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 4：EDZ 有り）.. 2-138
図 2.1-110　本検討におけるグラウトの範囲..... 2-139
図 2.1-111　400 年後における pH 分布（ケース 3：岩盤グラウト未考慮）..... 2-142
図 2.1-112　400 年後における pH 分布（ケース 5：岩盤グラウト考慮）..... 2-142

図 2.1-113　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 3：岩盤グラウト未考慮）
..... 2-143
図 2.1-114　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 5：岩盤グラウト考慮） ... 2-143
図 2.1-115　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 3：岩盤グラウト未考慮）
..... 2-144
図 2.1-116　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 5：岩盤グラウト考慮） ... 2-144
図 2.1-117　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 3：岩盤グラウト未考慮）
..... 2-145
図 2.1-118　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 5：岩盤グラウト考慮）
..... 2-145
図 2.1-119　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 3：岩盤グラウト未考慮）
..... 2-146
図 2.1-120　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 5：岩盤グラウト考慮）
..... 2-146
図 2.1-121　400 年後における pH 分布（ケース 3：降水系地下水） 2-148
図 2.1-122　400 年後における pH 分布（ケース 6：海水系地下水） 2-148
図 2.1-123　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 3：降水系地下水） 2-149
図 2.1-124　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 6：海水系地下水） 2-149
図 2.1-125　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 3：降水系地下水） 2-150
図 2.1-126　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 6：海水系地下水） 2-150
図 2.1-127　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 3：降水系地下水）
..... 2-151
図 2.1-128　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 6：海水系地下水）
..... 2-151
図 2.1-129　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 3：降水系地下水）
..... 2-152
図 2.1-130　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 6：海水系地下水）
..... 2-152
図 2.1-131　既往の研究における $Ca(OH)_2$ 変質深さ評価結果（[37]に一部追記） 2-153
図 2.1-132　空隙率と透水係数の関係[39] 2-154
図 2.1-133　400 年後における pH 分布（ケース 3：吹付けコン初期変質無し） 2-155
図 2.1-134　400 年後における pH 分布（ケース 7：吹付けコン初期変質有り） 2-155
図 2.1-135　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 3：吹付けコン初期変質無し）
..... 2-156
図 2.1-136　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 7：吹付けコン初期変質有り）
..... 2-156

図 2.1-137　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 3：吹付けコン初期変質無し） 2-157
図 2.1-138　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 7：吹付けコン初期変質有り） 2-157
図 2.1-139　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 3：吹付けコン初期変質無し） 2-158
図 2.1-140　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 7：吹付けコン初期変質有り） 2-158
図 2.1-141　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 3：吹付けコン初期変質無し） 2-159
図 2.1-142　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 7：吹付けコン初期変質有り） 2-159
図 2.1-143　余裕深度処分廃棄体の一例（溶接容器のイメージ） 2-161
図 2.1-144　廃棄体間充てん材のひび割れスケッチ図[62] 2-166
図 2.1-145　上部充てん材のひび割れスケッチ図[62] 2-170
図 2.1-146　年間ガス発生速度の経時変化（廃棄体グループ 2(キャニスタ)、結晶質系岩盤） 2-172
図 2.1-147　処分施設の状態変遷 2-173
図 2.1-148　腐食量の算定モデルと算定式[] 2-176
図 2.1-149　試験空洞内の結露状況（平成 29 年 6 月 27 日撮影） 2-177
図 2.1-150　高レベル放射性廃棄物処分場の人工バリア[] 2-178
図 2.1-151　TRU 等廃棄物処分場の人工バリア構成（深成岩類及び先新第三紀堆積岩類、グループ 2 の例）[79] 2-179
図 2.1-152　空洞内充てん材の沈下計測位置[76] 2-180
図 2.1-153　空洞内充てん材の沈下量経時変化[84] 2-181
図 2.1-154　空洞内充てん材の温度経時変化[84] 2-181
図 2.1-155　空洞内充てん材の沈下量経時変化（施工期間のみ）[85] 2-181
図 2.1-156　解析対象とした施設の諸元（解析メッシュ） 2-186
図 2.1-157　壁面変位の経時変化（左）及び弾性係数の低減傾向（右） 2-186
図 2.1-158　EBS 部材の応力変化（EBS 設置後 1,000 年経過時） 2-187
図 2.2 1　試験空洞 2-195
図 2.2 2　試験空洞の支保パターン[3] 2-196
図 2.2 3　吹付けコンクリートのコアの採取箇所（全体） 2-197
図 2.2 4　吹付けコンクリートのコアの採取箇所（平成 30 年度） 2-197
図 2.2 5　吹付けコンクリートの外観 2-198
図 2.2 6　No.3 の採取位置の表面状態 2-198

図 2.2 7　採取したコアの形状 2-200
図 2.2 8　コアの採取状況（No.2） 2-200
図 2.2 9　コアの採取状況（No.3） 2-201
図 2.2 10　コアの復旧状況（No.2） 2-201
図 2.2 11　吹付けコンクリートと岩盤の界面付近（No.1-2） 2-203
図 2.2 12　吹付けコンクリートと岩盤の界面付近（No.2-5） 2-204
図 2.2 13　吹付けコンクリートと岩盤の界面付近（No.3-2） 2-205
図 2.2 14　強度試験用のコアの整形 2-206
図 2.2 15　EPMA、XRD のコアの採取位置（No.1-2） 2-206
図 2.2 16　EPMA、XRD のコアの採取位置（No.2-5） 2-207
図 2.2 17　EPMA、XRD のコアの採取位置（No.3-2） 2-207
図 2.2 18　XRD 分析状況 2-208
図 2.2 19　EPMA による面分析状況 2-209
図 2.2 20　空隙率、ビッカース硬度の測定位置（No.1-2） 2-210
図 2.2 21　空隙率、ビッカース硬度の測定位置（No.2-5） 2-210
図 2.2 22　空隙率、ビッカース硬度の測定位置（No.3-2） 2-210
図 2.2 23　測定容器 2-211
図 2.2 24　水銀圧入式ポロシメータとチャンバー 2-211
図 2.2 25　ビッカース硬度の測定状況 2-212
図 2.2 26　圧縮強度試験 2-213
図 2.2 27　圧縮強度と静弾性係数の相関関係 2-214
図 2.2 28　吹付けコンクリートの中性化深さ（No.1-2） 2-215
図 2.2 29　吹付けコンクリートの中性化深さ（No.2-5） 2-215
図 2.2 30　吹付けコンクリートの中性化深さ（No.3-2） 2-216
図 2.2 31　XRD の測定結果（No.1-2 吹付けコンクリート） 2-218
図 2.2 32　XRD の測定結果（No.1-2 岩盤） 2-218
図 2.2 33　XRD の測定結果（No.2-5 吹付けコンクリート） 2-219
図 2.2 34　XRD の測定結果（No.2-5 岩盤） 2-219
図 2.2 35　XRD の測定結果（No.3-2 吹付けコンクリート） 2-220
図 2.2 36　XRD の測定結果（No.3-2 岩盤） 2-220
図 2.2 37　平成 28 年度に採取したコアの XRD の分析結果 2-221
図 2.2 38　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.1-2 XRD② 2-222
図 2.2 39　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.1-2 XRD① 2-223
図 2.2 40　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.1-2 XRD 岩盤① 2-224
図 2.2 41　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.1-2 XRD 岩盤② 2-225
図 2.2 42　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.2-5 XRD② 2-226

図 2.2 43　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.2-5 XRD①..... 2-227
図 2.2 44　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.2-5 XRD 岩盤① 2-228
図 2.2 45　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.2-5 XRD 岩盤② 2-229
図 2.2 46　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.3-2 XRD②..... 2-230
図 2.2 47　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.3-2 XRD①..... 2-231
図 2.2 48　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.3-2 XRD 岩盤① 2-232
図 2.2 49　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.3-2 XRD 岩盤② 2-233
図 2.2 50　EPMA、XRD 分析の採取位置（No.1-2）..... 2-234
図 2.2 51　EPMA、XRD 分析の位置（No.2-5）..... 2-234
図 2.2 52　EPMA、XRD 分析の位置（No.3-2）..... 2-235
図 2.2 53　イオン濃度分布グラフの作成位置　コア No.1-2..... 2-242
図 2.2 54　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No. 1-2（Fe2O3，Al2O3，CaO，SiO2，SO3）..... 2-243
図 2.2 55　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No. 1-2（Cl，MgO，Na2O，K2O）..... 2-243
図 2.2 56　イオン濃度分布グラフの作成位置　コア No.2-5..... 2-244
図 2.2 57　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No. 2-5（Fe2O3，Al2O3，CaO，SiO2，SO3）..... 2-244
図 2.2 58　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No. 2-5（Cl，　MgO，　Na2O，K2O）..... 2-245
図 2.2 59　イオン濃度分布グラフの作成位置　コア No.3-2..... 2-245
図 2.2 60　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No.3（Fe2O3，Al2O3，CaO，SiO2，SO3）..... 2-246
図 2.2 61　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No.3（Cl，MgO，Na2O，K2O）.. 2-246
図 2.2 62　吹付けコンクリートにおける Ca の溶脱範囲 2-247
図 2.2 63　界面からの距離と空隙率の関係（コア No.1）..... 2-248
図 2.2 64　界面からの距離と空隙率の関係（コア No.2）..... 2-248
図 2.2 65　界面からの距離と空隙率の関係（コア No.3）..... 2-249
図 2.2 66　吹付けコンクリートの細孔径分布（コア No.1-2）..... 2-250
図 2.2 67　吹付けコンクリートの細孔径分布（コア No.2-5）..... 2-250
図 2.2 68　吹付けコンクリートの細孔径分布（コア No.3-2）..... 2-251
図 2.2 69　岩盤の細孔径分布（コア No.1-2）..... 2-251
図 2.2 70　岩盤の細孔径分布（コア No.2-5）..... 2-252
図 2.2 71　岩盤の細孔径分布（コア No.3-2）..... 2-252
図 2.2 72　ビッカース硬度の測定結果（コア No.1-2）..... 2-253
図 2.2 73　ビッカース硬度の測定結果（コア No.2-5）..... 2-253

図 2.2 74　ビッカース硬度の測定結果（コア No.3-2） 2-254
図 2.2 75　敷設試験イメージ 2-255
図 2.2 76　光ファイバセンサー断面図 2-256
図 2.2 77　光ファイバセンサー 2-256
図 2.2 78　センサーケーブルの設置 2-257
図 2.2 79　敷設試験状況 2-257
図 2.2 80　敷設試験結果例（ひずみ分布） 2-258
図 2.2 81　接着されたセンサーケーブルのひずみ変化 2-259
図 2.2 82　接着されていないセンサーケーブルのひずみ変化 2-259
図 2.2 83　側圧計測イメージ 2-261
図 2.2 84　通水試験装置 2-262
図 2.2 85　データロガー 2-263
図 2.2 86　通水試験装置（通水経路とセンサー配置） 2-263
図 2.2 87　ポイント型光ファイバ圧力センサー（冶具取付け後） 2-264
図 2.2 88　データアナライザー（ポイント型光ファイバ圧力センサー） 2-264
図 2.2 89　太径光ファイバ 2-265
図 2.2 90　細径光ファイバ 2-265
図 2.2 91　ポーラスストーン上への光ファイバセンサーの配置 2-266
図 2.2 92　光ファイバセンサーの取り出し部状況 2-266
図 2.2 93　光ファイバセンサーの取り出し部 2-266
図 2.2 94　ベントナイト敷き詰め 2-267
図 2.2 95　ベントナイト締固め 2-267
図 2.2 96　加圧後のベントナイト 2-268
図 2.2 97　通水実験状況 2-269
図 2.2 98　ロードセルの計測結果 2-269
図 2.2 99　ポイント型光ファイバ圧力センサーの計測結果 2-270
図 2.2 100　太径光ファイバのひずみ分布計測結果 2-271
図 2.2 101　細径光ファイバのひずみ分布計測結果 2-271
図 2.2 102　太径光ファイバによるひずみの経時変化 2-272
図 2.2 103　細径光ファイバによるひずみの経時変化 2-272
図 2.2 104　ロードセルと光ファイバ（二種類の差）の経時変化 2-273
図 2.2 105　ロードセルと光ファイバ（二種類の差）の関係 2-273
図 2.3 1　計測システムの構成 2-276
図 2.3 2　計測システム設置状況 2-276
図 2.3 3　PPP-BOTDA 方式の構成 2-277
図 2.3 4　TW-COTDR 方式の構成 2-278

図 2.3 5　ひずみ計測用光ファイバセンサー 2-279
図 2.3 6　ひずみ計測用光ファイバセンサー 2-279
図 2.3 7　温度計測用光ファイバセンサーケーブル 2-280
図 2.3 8　温度計測用光ファイバセンサーケーブル 2-280
図 2.3 9　上部低拡散層平面図 2-281
図 2.3 10　上部低拡散層の様子（2018 年 6 月） 2-282
図 2.3 11　上部低拡散層の様子（2018 年 8 月） 2-282
図 2.3 12　ブリルアン周波数の計測結果例（上部低拡散層） 2-283
図 2.3 13　ブリルアン周波数シフトの結果例（上部低拡散層：長辺方向１） 2-284
図 2.3 14　ブリルアン周波数シフトの結果例（上部低拡散層：長辺方向２） 2-284
図 2.3 15　ブリルアン周波数シフトの結果例（上部低拡散層：短辺方向） 2-285
図 2.3 16　既設ひび割れの開口変位量の推移１ 2-285
図 2.3 17　既設ひび割れの開口変位量の推移２ 2-286
図 2.3 18　既設ひび割れの位置関係 2-286
図 2.3 19　側部低拡散層側面図 2-287
図 2.3 20　光ファイバセンサー設置状況（側部低拡散層） 2-288
図 2.3 21　データ回収作業 2-288
図 2.3 22　クリップゲージの状況（2018 年 6 月） 2-289
図 2.3 23　クリップゲージの状況（2018 年 8 月） 2-289
図 2.3 24　クリップゲージの計測結果 2-290
図 2.3 25　ブリルアン周波数の計測結果例（側部低拡散層） 2-291
図 2.3 26　ブリルアン周波数シフトの結果例（側部低拡散層１） 2-292
図 2.3 27　ブリルアン周波数シフトの結果例（側部低拡散層２） 2-292
図 2.3 28　既設ひび割れ２の開口変位量の推移 2-293
図 2.3 29　既設ひび割れ３の開口変位量の推移 2-293
図 2.3 30　既設ひび割れ４の開口変位量の推移 2-293
図 2.3 31　手前コンクリートピット正面図 2-294
図 2.3 32　光ファイバセンサー設置状況（手前コンクリートピット） 2-295
図 2.3 33　計測結果例（手前コンクリートピット） 2-296
図 2.3 34　ブリルアン周波数シフトの結果例（コンクリートピット：水平方向） 2-297
図 2.3 35　ブリルアン周波数シフトの結果例（コンクリートピット：垂直方向） 2-297
図 2.3 36　温度センサーケーブルの配置 2-298
図 2.3 37　温度センサーケーブル架設イメージ 2-298
図 2.3 38　温度計の配置 2-299
図 2.3 39　データ回収作業 2-299
図 2.3 40　温度センサーケーブル架設状況 2-300

図 2.3 41　計測結果例（アクセス坑道沿い）..... 2-301
図 2.3 42　温度計などの設置状況（坑口）..... 2-302
図 2.3 43　温度計測結果（坑口）..... 2-302
図 2.3 44　温度計などの設置状況（TD200）..... 2-303
図 2.3 45　温度計測結果（TD200）..... 2-303
図 2.3 46　温度計などの設置状況（TD400）..... 2-304
図 2.3 47　温度計測結果（TD400）..... 2-304
図 2.3 48　温度計などの設置状況（TD600）..... 2-305
図 2.3 49　温度計測結果（TD600）..... 2-305
図 2.3 50　温度計などの設置状況（TD800）..... 2-306
図 2.3 51　温度計測結果（TD800）..... 2-306
図 2.3 52　温度計などの設置状況（TD1000）..... 2-307
図 2.3 53　温度計測結果（TD1000）..... 2-307
図 2.3 54　温度計などの設置状況（ピット部）..... 2-308
図 2.3 55　温度計測結果（ピット部）..... 2-308
図 2.3 56　標準パッカーの施工状況（平成 29 年度要素実験）..... 2-311
図 2.3 57　事前試験用供試体..... 2-312
図 2.3 58　無筋コンクリートのひび割れ発生状況（要素試験）..... 2-313
図 2.3 59　鉄筋コンクリートのひび割れ発生状況（要素試験）..... 2-313
図 2.3 60　事前試験用供試体の寸法..... 2-314
図 2.3 61　鉄筋コンクリート供試体の配筋図（平面図）..... 2-316
図 2.3 62　鉄筋コンクリート試験体の配筋図（断面図と鉄筋詳細図）..... 2-317
図 2.3 63　標準パッカーで使用する機材[6]..... 2-318
図 2.3 64　標準パッカーの側面図[]..... 2-318
図 2.3 65　標準パッカーの破壊原理[6]..... 2-318
図 2.3 66　標準パッカーの断面..... 2-319
図 2.3 67　標準パッカーによるひび割れ誘発イメージ[6]..... 2-319
図 2.3 68　標準パッカー制御用リモコン..... 2-320
図 2.3 69　光ファイバセンサーの貼付け作業状況..... 2-321
図 2.3 70　光ファイバセンサーが貼られた試験体..... 2-321
図 2.3 71　鉄筋探査状況..... 2-322
図 2.3 72　削岩機による削孔状況..... 2-322
図 2.3 73　削孔完了状況..... 2-323
図 2.3 74　防音シートによる囲い..... 2-323
図 2.3 75　標準パッカーによるひび割れ誘発状況..... 2-324
図 2.3 76　上部低拡散層を模擬した試験体に発生させるひび割れ..... 2-325

図 2.3 77　試験体 No.1　直交方向のひび割れの拡大状況 2-326
図 2.3 78　貫通ひび割れ発生時の状況 2-326
図 2.3 79　試験体 No.1　斜め方向のひび割れの発生状況 2-327
図 2.3 80　斜め方向のひび割れ発生時の標準パッカー加圧状況 2-327
図 2.3 81　斜め方向のひび割れ発生の発生状況 2-328
図 2.3 82　手前コンクリートピットを模擬した試験体に発生させるひび割れ 2-329
図 2.3 83　試験体 No.2　直交方向のひび割れの幅（STEP1、STEP2） 2-330
図 2.3 84　試験体 No.2　直交方向のひび割れの幅（STEP3） 2-330
図 2.3 85　試験体 No.2　直交方向の試験実施状況 2-331
図 2.3 86　試験体 No.2　直交方向のひび割れ発生状況 2-331
図 2.3 87　試験体 No.4　斜め方向のひび割れの幅 2-332
図 2.3 88　解析方法 2-334
図 2.3 89　計測結果 1（無筋試験体 No.1） 2-335
図 2.3 90　計測結果 2（無筋試験体 No.1） 2-336
図 2.3 91　計測結果 3（無筋試験体 No.1） 2-337
図 2.3 92　計測結果 4（無筋試験体 No.1） 2-338
図 2.3 93　計測結果 5（無筋試験体 No.1） 2-339
図 2.3 94　計測結果 6（無筋試験体 No.1） 2-340
図 2.3 95　計測結果 7（無筋試験体 No.1） 2-341
図 2.3 96　計測結果 1（鉄筋試験体 No.2） 2-342
図 2.3 97　計測結果 2（鉄筋試験体 No.2） 2-343
図 2.3 98　計測結果 3（鉄筋試験体 No.2） 2-344
図 2.3 99　計測結果 4（鉄筋試験体 No.2） 2-345
図 2.3 100　計測結果 5（鉄筋試験体 No.2） 2-346
図 2.3 101　計測結果 6（鉄筋試験体 No.2） 2-347
図 2.3 102　計測結果 7（鉄筋試験体 No.2） 2-348
図 2.3 103　計測結果 8（鉄筋試験体 No.2） 2-349
図 2.3 104　計測結果 9（鉄筋試験体 No.2） 2-350
図 2.3 105　計測結果 10（鉄筋試験体 No.2） 2-351
図 2.3 106　計測結果 11（鉄筋試験体 No.2） 2-352
図 2.3 107　計測結果 12（鉄筋試験体 No.2） 2-353
図 2.3 108　計測結果 1（鉄筋試験体 No.4） 2-354
図 2.3 109　計測結果 2（鉄筋試験体 No.4） 2-355
図 2.3 110　手前部コンクリートピット（正面図） 2-358
図 2.3 111　手前部コンクリートピット（2017 年 8 月撮影） 2-358
図 2.3 112　KK シートの凹凸形状[8]とコンクリートピット表面の状況 2-359

図 2.3 113　ひび割れ誘発位置（手前コンクリートピット）..... 2-359
図 2.3 114　上部低拡散層（平面図）..... 2-360
図 2.3 115　上部低拡散層（2017 年 8 月撮影）..... 2-360
図 2.3 116　ひび割れ誘発位置（上部低拡散層）..... 2-361
図 2.3 117　削孔状況（手前コンクリートピット）..... 2-362
図 2.3 118　削孔状況（上部低拡散層）..... 2-362
図 2.3 119　削孔完了（手前コンクリートピット）..... 2-363
図 2.3 120　削孔完了（上部低拡散層）..... 2-363
図 2.3 121　パイ型ゲージとひずみゲージ取付位置..... 2-364
図 2.3 122　パイ型ゲージとひずみゲージの取り付け状況（手前コンクリートピット）
..... 2-364
図 2.3 123　パイ型ゲージとひずみゲージの取り付け状況（上部低拡散層）..... 2-365
図 2.3 124　標準パッカーの設置状況..... 2-365
図 2.3 125　ひずみゲージ、パイ型ゲージによる計測と標準パッカーの制御状況..... 2-366
図 2.3 126　油圧ポンプの指示計..... 2-366
図 2.3 127　光ファイバセンサーによる計測状況..... 2-367
図 2.3 128　クラックゲージによるひび割れ幅の計測..... 2-367
図 2.3 129　標準パッカー設置状況　手前コンクリートピット　直交方向..... 2-368
図 2.3 130　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP0～4）..... 2-369
図 2.3 131　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP5）..... 2-369
図 2.3 132　縦方向のひび割れの発生状況..... 2-370
図 2.3 133　KK シートの浮きの発生状況..... 2-370
図 2.3 134　標準パッカー設置状況　手前コンクリートピット　斜め方向..... 2-371
図 2.3 135　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP0~1）..... 2-372
図 2.3 136　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP2）..... 2-372
図 2.3 137　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP3）..... 2-373
図 2.3 138　標準パッカー設置状況　上部低拡散層　直交方向..... 2-374
図 2.3 139　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP0~2）..... 2-374
図 2.3 140　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP3）..... 2-375
図 2.3 141　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP4）..... 2-375
図 2.3 142　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP5）..... 2-376
図 2.3 143　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP6）..... 2-376
図 2.3 144　上部低拡散層に発生させたひび割れ..... 2-377
図 2.3 145　標準パッカーの設置位置　上部低拡散層　斜め方向..... 2-378
図 2.3 146　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP0～1）..... 2-379
図 2.3 147　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP2）..... 2-379

図 2.3 148　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP3）..... 2-380
図 2.3 149　ひび割れ誘発位置（手前コンクリートピット）..... 2-380
図 2.3 150　PPP-BOTDA 方式結果 1（手前コンクリートピット STEP1）..... 2-382
図 2.3 151　TW-COTDR 方式結果 1（手前コンクリートピット STEP1）..... 2-383
図 2.3 152　PPP-BOTDA 方式結果 2（手前コンクリートピット STEP2）..... 2-384
図 2.3 153　TW-COTDR 方式結果 2（手前コンクリートピット STEP2）..... 2-385
図 2.3 154　PPP-BOTDA 方式結果 3（手前コンクリートピット STEP3）..... 2-386
図 2.3 155　TW-COTDR 方式結果 3（手前コンクリートピット STEP3）..... 2-387
図 2.3 156　PPP-BOTDA 方式結果 4（手前コンクリートピット STEP4）..... 2-388
図 2.3 157　TW-COTDR 方式結果 4（手前コンクリートピット STEP4）..... 2-389
図 2.3 158　PPP-BOTDA 方式結果 5（手前コンクリートピット STEP5）..... 2-390
図 2.3 159　TW-COTDR 方式結果 5（手前コンクリートピット STEP5）..... 2-391
図 2.3 160　PPP-BOTDA 方式結果 6（手前コンクリートピット、除荷）..... 2-392
図 2.3 161　TW-COTDR 方式結果 6（手前コンクリートピット、除荷）..... 2-393
図 2.3 162　PPP-BOTDA 方式結果 7（手前コンクリートピット、斜め STEP1）..... 2-394
図 2.3 163　TW-COTDR 方式結果 7（手前コンクリートピット、斜め STEP1）..... 2-395
図 2.3 164　PPP-BOTDA 方式結果 8（手前コンクリートピット、斜め STEP2）..... 2-396
図 2.3 165　TW-COTDR 方式結果 8（手前コンクリートピット、斜め STEP2）..... 2-397
図 2.3 166　PPP-BOTDA 方式結果 9（手前コンクリートピット、斜め STEP3）..... 2-398
図 2.3 167　TW-COTDR 方式結果 9（手前コンクリートピット、斜め STEP3）..... 2-399
図 2.3 168　ひずみ分布計測結果（STEP1）..... 2-400
図 2.3 169　ひずみ分布計測結果（STEP2）..... 2-401
図 2.3 170　ひずみ分布計測結果（STEP3）..... 2-402
図 2.3 171　ひずみ分布計測結果（STEP4）..... 2-403
図 2.3 172　ひずみ分布計測結果（STEP5）..... 2-404
図 2.3 173　ひずみ分布計測結果（斜め STEP1）..... 2-405
図 2.3 174　ひずみ分布計測結果（斜め STEP2）..... 2-406
図 2.3 175　ひずみ分布計測結果（斜め STEP3）..... 2-407
図 2.3 176　ひずみ分布計測結果（斜め STEP4）..... 2-408
図 2.3 177　ひび割れ幅算出結果（PI-U）..... 2-409
図 2.3 178　ひび割れ幅算出結果（PI-M,L）..... 2-409
図 2.3 179　ひび割れ誘発位置（上部低拡散層）..... 2-411
図 2.3 180　PPP-BOTDA 方式結果 1（上部低拡散層 STEP1）..... 2-413
図 2.3 181　TW-COTDR 方式結果 1（上部低拡散層 STEP1）..... 2-414
図 2.3 182　PPP-BOTDA 方式結果 2（上部低拡散層 STEP2）..... 2-415
図 2.3 183　TW-COTDR 方式結果 2（上部低拡散層 STEP2）..... 2-416

図 2.3 184　PPP-BOTDA 方式結果 3（上部低拡散層 STEP3） 2-417
図 2.3 185　TW-COTDR 方式結果 3（上部低拡散層 STEP3） 2-418
図 2.3 186　PPP-BOTDA 方式結果 4（上部低拡散層 STEP4） 2-419
図 2.3 187　TW-COTDR 方式結果 4（上部低拡散層 STEP4） 2-420
図 2.3 188　PPP-BOTDA 方式結果 5（上部低拡散層 STEP5） 2-421
図 2.3 189　TW-COTDR 方式結果 5（上部低拡散層 STEP5） 2-422
図 2.3 190　PPP-BOTDA 方式結果 6（上部低拡散層 STEP6） 2-423
図 2.3 191　TW-COTDR 方式結果 6（上部低拡散層 STEP6） 2-424
図 2.3 192　PPP-BOTDA 方式結果 7（上部低拡散層、斜め STEP1） 2-425
図 2.3 193　TW-COTDR 方式結果 7（上部低拡散層、斜め STEP1） 2-426
図 2.3 194　PPP-BOTDA 方式結果 8（上部低拡散層、斜め STEP2） 2-427
図 2.3 195　TW-COTDR 方式結果 8（上部低拡散層、斜め STEP2） 2-428
図 2.3 196　PPP-BOTDA 方式結果 9（上部低拡散層、斜め STEP3） 2-429
図 2.3 197　TW-COTDR 方式結果 9（上部低拡散層、斜め STEP3） 2-430
図 2.3 198　ひずみ分布計測結果（STEP1） 2-431
図 2.3 199　ひずみ分布計測結果（STEP2） 2-432
図 2.3 200　ひずみ分布計測結果（STEP3） 2-433
図 2.3 201　ひずみ分布計測結果（STEP4） 2-434
図 2.3 202　ひずみ分布計測結果（STEP5） 2-435
図 2.3 203　ひずみ分布計測結果（STEP6） 2-436
図 2.3 204　ひずみ分布計測結果（斜め STEP1） 2-437
図 2.3 205　ひずみ分布計測結果（斜め STEP2） 2-438
図 2.3 206　ひずみ分布計測結果（斜め STEP3） 2-439
図 2.3 207　ひび割れ幅算出結果（PI-1） 2-440
図 2.3 208　ひび割れ幅算出結果（PI-2） 2-440
図 2.3 209　ひび割れ幅算出結果（PI-3） 2-440
図 2.4 1　炉内等廃棄物の放射能濃度と時間の関係[] 2-444
図 2.5 1　処分施設における底部低透水層の位置 2-455
図 2.5 2　施設変形モニタリングによる安全機能への影響確認フロー 2-455
図 2.5 3　解析の施工ステップ 2-456
図 2.5 4　底部コンクリートピット上面の出力位置及び計測可能期間 2-457
図 2.5 5　側部低拡散層上面の出力位置及び計測可能期間 2-457
図 2.5 6　鉛直方向変位の経年変化（出力位置①、底部コンクリートピット上面の中央） 2-459
図 2.5 7　鉛直方向変位の経年変化（出力位置②、底部コンクリートピット上面の端部） 2-459

図 2.5 8　鉛直方向変位の経年変化（出力位置③、側部コンクリートピット上面）..... 2-460
図 2.5 9　実施設における 3D レーザースキャナーの計測イメージ（ケース 1）..... 2-465
図 2.5 10　実施設における 3D レーザースキャナーの計測イメージ（ケース 2）..... 2-465
図 2.5 11　低拡散層のひび割れモニタリングによる安全機能への影響確認フロー 2-466
図 2.5 12　側部低拡散層の自動撮影のイメージ..... 2-467
図 2.5 13　処分施設の裏面排水分析（変化量対象）モニタリングによる安全機能、
安全性への影響確認フロー..... 2-470
図 2.5 14　排水量の経年変化..... 2-471
図 2.5 15　Na イオン濃度の経年変化..... 2-472
図 2.5 16　K イオン濃度の経年変化..... 2-472
図 2.5 17　Ca イオン濃度の経年変化..... 2-472
図 2.5 18　裏面排水の採取位置の例[]..... 2-476
図 2.5 19　近傍ボーリング孔の地下水分析による安全機能への影響確認フロー..... 2-477
図 2.5 20　解析結果の出力位置 2-478
図 2.5 21　pH と施設からの距離の関係 2-479
図 2.5 22　Na イオン濃度と施設からの距離の関係 2-480
図 2.5 23　K イオン濃度と施設からの距離の関係 2-481
図 2.5 24　Ca イオン濃度と施設からの距離の関係 2-482
図 2.5 25　低透水層の偏膨潤による曲げひび割れ発生の概念図 2-486
図 2.5 26　処分坑道軸方向の偏膨潤を想定した構造解析結果の一例[5]..... 2-486
図 2.5 27　側部低拡散層のひび割れ発生状況（平成 21 年度）[6] 2-487
図 2.5 28　側部低拡散層のひび割れ発生状況（平成 22 年度）[7] 2-487
図 2.5 29　側部低拡散層のひび割れ発生状況（平成 23 年度）[7] 2-488
図 2.5 30　上部低拡散層のひび割れ発生状況（平成 25 年度）[7] 2-488
図 2.5 31　想定される低拡散層の打ち継ぎ目の位置（[9]に一部加筆）..... 2-489
図 2.5 32　低拡散層のひび割れモニタリングのための光ファイバセンサーの設置概念図
..... 2-490
図 2.5 33　施設内の圧力分布計測のための光ファイバセンサーの設置概念図..... 2-491
図 2.5 34　廃棄体の発熱影響期間..... 2-492
図 2.5 35　既往検討における施設内の温度履歴[10] 2-493

【第 3 章】

図 3.1-1　B-①孔の配置（試験空洞沿い縦断面図） 3-6
図 3.1-2　計測坑 B の間隙水圧計の概要図 3-6
図 3.1-3　手ばかり水位計による水位測定状況..... 3-7
図 3.1-4　計測作業方法の概要 3-7

図 3.1-5　計測坑 A の間隙水圧経時変化（2017/10/1～2018/10/12）..... 3-9
図 3.1-6　計測坑 B の間隙水圧経時変化（2017/10/1～2018/10/12）..... 3-10
図 3.1-7　計測坑 C の間隙水圧経時変化（2017/10/1～2018/10/12）..... 3-11
図 3.1-8　試験空洞 D-1 孔の間隙水圧経時変化（2017/10/1～2018/10/12）..... 3-14
図 3.1-9　試験空洞 E-1 孔の間隙水圧経時変化（2017/10/1～2018/10/12）..... 3-14
図 3.1-10　調査対象範囲..... 3-15
図 3.1-11　上部低拡散層と人為的に発生させたひび割れの関係..... 3-20
図 3.1-12　上部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 1）..... 3-21
図 3.1-13　上部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 2）..... 3-22
図 3.1-14　上部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 3）..... 3-23
図 3.1-15　上部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 4）..... 3-24
図 3.1-16　上部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 5）..... 3-25
図 3.1-17　平成 30 年度第 1 回上部コンクリートピット及び上部低拡散層の調査結果... 3-26
図 3.1-18　平成 30 年度第 2 回上部コンクリートピット及び上部低拡散層の調査結果... 3-27
図 3.1-19　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 1）..... 3-29
図 3.1-20　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 2）..... 3-30
図 3.1-21　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 3）..... 3-31
図 3.1-22　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 4）..... 3-32
図 3.1-23　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 5）..... 3-33
図 3.1-24　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 6）..... 3-34
図 3.1-25　平成 30 年度第 1 回側部低拡散層の調査結果..... 3-35
図 3.1-26　平成 30 年度第 2 回側部低拡散層の調査結果..... 3-36
図 3.1-27　BTV 観察孔水平位置図..... 3-38
図 3.1-28　BTV 観察孔鉛直位置図..... 3-39
図 3.1-29　BTV 観察装置..... 3-39
図 3.1-30　BIP-6 システムの標準構成図（現場システム）..... 3-41
図 3.1-31　ボーリングマシンによる斜孔の計測図..... 3-42
図 3.1-32　押し込み装置概略図..... 3-42
図 3.1-33　 円周方向の分解能..... 3-43
図 3.1-34　画像取得のための円周ライン..... 3-43
図 3.1-35　 走向傾斜計算ルーチン..... 3-44
図 3.1-36　 ボーリング孔側壁観察レイアウト..... 3-45
図 3.1-37 ミニシースネイク装置..... 3-46
図 3.1-38　深度 5.772m 付近のひび割れ..... 3-50
図 3.1-39　深度 5.772m 付近のひび割れ（トレース）..... 3-50
図 3.1-40　深度 8.646m 付近のひび割れ..... 3-51

図 3.1-41　深度 8.646m 付近のひび割れ（トレース） 3-51
図 3.1-42　深度 11.295m 付近のひび割れ 3-52
図 3.1-43　深度 11.295m 付近のひび割れ（トレース） 3-52
図 3.1-44　ひび割れの発生位置及び方向性と水溜まりの確認区間..... 3-53
図 3.1-45　BTV 観察結果（0.000m-2.000m） 3-54
図 3.1-46　BTV 観察結果（2.000m-4.000m） 3-55
図 3.1-47　BTV 観察結果（4.000m-6.000m） 3-56
図 3.1-48　BTV 観察結果（6.000m-8.000m） 3-57
図 3.1-49　BTV 観察結果（8.000m-10.000m） 3-58
図 3.1-50　BTV 観察結果（10.000m-12.000m） 3-59
図 3.1-51　BTV 観察結果（12.000m-14.000m） 3-60
図 3.1-52　BTV 観察結果（14.000m-15.030m） 3-61
図 3.1-53　前回までの BTV 観察結果との対比（0.000m-1.000m） 3-62
図 3.1-54　前回までの BTV 観察結果との対比（1.000m-2.000m） 3-63
図 3.1-55　前回までの BTV 観察結果との対比（2.000m-3.000m） 3-64
図 3.1-56　前回までの BTV 観察結果との対比（3.000m-4.000m） 3-65
図 3.1-57　前回までの BTV 観察結果との対比（4.000m-5.000m） 3-66
図 3.1-58　前回までの BTV 観察結果との対比（5.000m-6.000m） 3-67
図 3.1-59　前回までの BTV 観察結果との対比（6.000m-7.000m） 3-68
図 3.1-60　前回までの BTV 観察結果との対比（7.000m-8.000m） 3-69
図 3.1-61　前回までの BTV 観察結果との対比（8.000m-9.000m） 3-70
図 3.1-62　前回までの BTV 観察結果との対比（9.000m-10.000m） 3-71
図 3.1-63　前回までの BTV 観察結果との対比（10.000m-11.000m） 3-72
図 3.1-64　前回までの BTV 観察結果との対比（11.000m-12.000m） 3-73
図 3.1-65　前回までの BTV 観察結果との対比（12.000m-13.000m） 3-74
図 3.1-66　前回までの BTV 観察結果との対比（13.000m-14.000m） 3-75
図 3.1-67　前回までの BTV 観察結果との対比（14.000m-15.000m） 3-76
図 3.1-68　前方視カメラで撮影したボーリング孔先端..... 3-77
図 2.4-43　前方視カメラで撮影したひび割れ（5.772m 付近） 3-77
図 3.1-70　空洞と計測坑 B の採水箇所..... 3-79
図 3.1-71　採水箇所①：試験空洞側溝集水桝 3-79
図 3.1-72　採水箇所③：計測坑 B 配水管..... 3-80
図 3.1-73　採水方法..... 3-81
図 3.1-74　採水状況..... 3-81
図 3.1-75　採水した水（左：採水後全景、右：水深計測） 3-81
図 3.1-76　水質ヘキサダイヤグラム 3-85

図 3.1-77　水質ヘキサダイヤグラム（平成 18 年水質調査） 3-85
図 3.1-78　地中無線全体システム 3-89
図 3.1-79　送信装置 3-89
図 3.1-80　無線通信装置で測定中の低透水層中の温度と間隙水圧 3-90
図 3.1-81　地中無線計器及び有線計器の設置位置 3-91
図 3.1-82　地中無線計器と有線計器の温度データ回収結果 3-92
図 3.1-83　地中無線計器と有線計器の間隙水圧データ回収結果 3-92
図 3.1-84　百葉箱温湿度計測結果 3-94
図 3.1-85　上部埋戻し材の沈下計測結果 3-95
図 3.1-86　上部埋戻し材の温度計測結果 3-95
図 3.1-87　岩盤変位計測結果 3-96
図 3.1-88　岩盤内間隙水圧計測結果（1／2） 3-97
図 3.1-89　岩盤内間隙水圧計測結果（2／2） 3-98
図 3.1-90　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1）） 3-99
図 3.1-91　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1）） 3-100
図 3.1-92　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1）） 3-101
図 3.1-93　絶縁抵抗検査の概要図 3-104
図 3.1-94　出力特性検査の概要図（計測坑 A、C 及び試験空洞 D、E の例） 3-104
図 3.1-95　出力特性検査結果の評価 3-106
図 3.1-96　間隙水圧計の基本特性（長期安定性の定義） 3-107
図 3.1-97　補正定格出力の算出 3-107
図 3.1-98　出力特性検査の結果（計測坑 A） 3-111
図 3.1-99　出力特性検査の結果（計測坑 C） 3-111
図 3.1-100　出力特性検査の結果（試験空洞（D-1 孔）） 3-112
図 3.1-101　出力特性検査の結果（試験空洞（E-1 孔）） 3-112
図 3.1-102　出力特性検査の結果（計測坑 B） 3-113
図 3.1-103　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 A〕 3-114
図 3.1-104　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 C〕 3-115
図 3.1-105　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔試験空洞 D-1 孔〕 3-115
図 3.1-106　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔試験空洞 E-1 孔〕 3-116
図 3.1-107　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 B〕 3-116
図 3.1-108　計測坑 A における間隙水圧継時変化 3-118
図 3.1-109　計測坑 B における間隙水圧継時変化 3-118
図 3.1-110　計測坑 C における間隙水圧継時変化 3-118
図 3.1-111　試験空洞（D-1 孔）における間隙水圧継時変化 3-119
図 3.1-112　試験空洞（E-1 孔）における間隙水圧継時変化 3-119

図 3.2-1　坑内気温・湿度の経時変化（百葉箱温湿度計 A-①） 3-126
図 3.2-2　沈下計計測結果..... 3-128
図 3.2-3　温度計計測結果..... 3-128
図 3.2-4　沈下量と温度の関係 3-129
図 3.2-5　底部低透水層の沈下計計測結果 3-129
図 3.2-6　土圧計・沈下計設置位置図（平面図） 3-131
図 3.2-7　土圧計・沈下計設置位置図（横断面図、縦断面図） 3-131
図 3.2-8　底部低透水層　土圧計計測結果（鉛直方向） 3-134
図 3.2-9　底部低透水層　土圧計計測結果（水平方向） 3-135
図 3.2-10　土圧計測値と温度計計測値の関係（平成 30 年 2 月 1 日～平成 30 年 12 月 3 日）
..... 3-136
図 3.2-11　土圧計経年変化（A断面左右、平成 20 年 2 月 15 日～平成 30 年 12 月 3 日）
..... 3-136
図 3.2-12　底部低透水層　沈下計計測結果 3-138
図 3.2-13　底部低透水層の沈下量分布（空洞軸方向） 3-139
図 3.2-14　沈下計計測値と温度計計測値の関係（平成 30 年 2 月 1 日～平成 30 年 12 月 3 日）
..... 3-139
図 3.2-15　沈下計経年変化（A断面中央） 3-140
図 3.2-16　底部低透水層沈下量の計測値と解析値の比較（A断面） 3-140
図 3.2-17　温度計設置位置..... 3-141
図 3.2-18　底部低透水層の温度経年変化..... 3-141
図 3.2-19　底部低透水層の温度経時変化..... 3-142
図 3.2-20　底部低透水層の間隙水圧経時変化 3-142
図 3.2-21　底部低拡散層の計測結果（部材中央） 3-144
図 3.2-22　側部低拡散層の計測結果（部材中央） 3-145
図 3.2-23　上部低拡散層の計測結果（部材中央） 3-146
図 3.2-24　底部コンクリートピットの計測結果（部材中央） 3-147
図 3.2-25　側部コンクリートピットの計測結果（部材中央） 3-148
図 3.2-26　手前部コンクリートピットの計測結果（部材中央） 3-149
図 3.2-27　上部コンクリートピットの計測結果（部材中央） 3-150
図 3.2-28　上部低拡散層及び上部コンクリートピットひび割れ調査結果（平面図、側面図）
..... 3-153
図 3.2-29　左側側部低拡散層ひび割れ調査結果（正面図） 3-154
図 3.2-30　BTV 観察孔水平位置図 3-155
図 3.2-31　BTV 観察孔鉛直位置図 3-156
図 3.2-32　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 5.772m 付近のひび割れ） 3-156

図 3.2-33　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 8.646m 付近のひび割れ） 3-157
図 3.2-34　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 11.295m 付近のひび割れ） 3-157
図 3.2-35　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 6m～14m） 3-158
図 3.2-36　上部低拡散層の温度計測結果 3-160
図 3.2-37　上部低拡散層のモルタル応力計測結果 3-161
図 3.2-38　上部コンクリートピットの温度計測結果 3-162
図 3.2-39　上部コンクリートピットの応力計測結果 3-163
図 3.2-40　側部低拡散層の温度計測結果 3-164
図 3.2-41　側部低拡散層の応力計測結果 3-165
図 3.2-42　底部低拡散層の温度計測結果（1／2） 3-166
図 3.2-43　底部低拡散層の温度計測結果（2／2） 3-167
図 3.2-44　底部低拡散層の応力計測結果 3-168
図 3.2-45　D 孔岩盤変位計位置図 3-169
図 3.2-46　間隙水圧計位置図 3-170
図 3.2-47　D孔岩盤変位計経時変化図 3-172
図 3.2-48　D 孔岩盤変位計経時分布 3-172
図 3.2-49　間隙水圧経時変化（A、B 孔） 3-173
図 3.2-50　間隙水圧経時変化（C、D、E 孔） 3-174
図 3.2-51　検討フロー 3-175
図 3.2-52　地震計設置位置 3-177
図 3.2-53　地震計設置状況 3-178
図 3.2-54　今年度観測された地震動の震源深さとプレート境界面推定等深線の関係 ... 3-181
図 3.2-55　x 方向の最大加速度比較 3-184
図 3.2-56　y 方向の最大加速度比較 3-184
図 3.2-57　z 方向の最大加速度比較 3-184
図 3.2-58　鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率（地震計①） 3-185
図 3.2-59　鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率と震源距離の関係（地震計①） ... 3-185
図 3.2-60　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 5 月 7 日）
..... 3-188
図 3.2-61　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 5 月 14 日）
..... 3-189
図 3.2-62　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 7 月 2 日（1））
..... 3-190
図 3.2-63　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 7 月 2 日（2））
..... 3-191
図 3.2-64　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 7 月 10 日）

.....3-192
図 3.2-65　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 8 月 5 日）
.....3-193
図 3.2-66　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 8 月 24 日）
.....3-194
図 3.2-67　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 9 月 6 日（1））
.....3-195
図 3.2-68　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 9 月 6 日（2））
.....3-196
図 3.2-69　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 9 月 11 日）
.....3-197
図 3.2-70　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 11 月 28 日）
.....3-198
図 3.2-71　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 12 月 3 日）
.....3-199
図 3.2-72　コンクリート重力ダムの固有周期と堤高の関係[11] 3-200
図 3.2-73　試験空洞と KiK-net 六ヶ所の位置関係 3-201
図 3.2-74　KiK-net 六ヶ所のボーリング柱状図[12] 3-202
図 3.2-75　KiK-net 六ヶ所と試験空洞の方位.....3-203
図 3.2-76　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 5 月 7 日）.....3-204
図 3.2-77　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 5 月 14 日）.....3-205
図 3.2-78　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 7 月 2 日（1））..3-206
図 3.2-79　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 7 月 2 日（2））..3-207
図 3.2-80　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 7 月 10 日）.....3-208
図 3.2-81　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 8 月 24 日）.....3-209
図 3.2-82　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 9 月 6 日（1））..3-210
図 3.2-83　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 9 月 6 日（2））..3-211
図 3.2-84　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 11 月 28 日）.....3-212
図 3.2-85　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 12 月 3 日）.....3-213
図 3.2-86　地震計①と KiK-net 六ヶ所の観測地震動の最大加速度（その 1）.....3-215
図 3.2-87　地震計①と KiK-net 六ヶ所の観測地震動の最大加速度（その 2）.....3-216
図 3.2-88　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 5 月 7 日）.....3-218
図 3.2-89　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 5 月 14 日）.....3-219
図 3.2-90　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 7 月 2 日（1））.....3-220
図 3.2-91　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 7 月 2 日（2））.....3-221
図 3.2-92　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 7 月 10 日）.....3-222

図 3.2-93　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 8 月 24 日）..... 3-223
図 3.2-94　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 9 月 6 日（1））..... 3-224
図 3.2-95　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 9 月 6 日（2））..... 3-225
図 3.2-96　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 11 月 28 日）..... 3-226
図 3.2-97　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 12 月 3 日）..... 3-227
図 3.2-98　地震計①の y 方向の卓越振動数及び最大加速度 3-230
図 3.2-99　地震諸元（上から震源距離、震源深さ、マグニチュード）..... 3-231
図 3.2-100　地震計①の y 方向のフーリエスペクトル 3-232
図 3.2-101　今年度選定した地震動の加速度の増幅処理（地震計①、y 方向）..... 3-234
図 3.2-102　今年度選定した地震動の加速度の増幅処理（地震計①、z 方向）..... 3-235
図 3.2-103　試験空洞及び人工バリアの断面図 3-236
図 3.2-104　地震応答解析モデル（全体）..... 3-237
図 3.2-105　地震応答解析モデル（試験施設）..... 3-237
図 3.2-106　試験空洞近傍の地質構造（試験空洞縦断面）..... 3-238
図 3.2-107　地層分割図..... 3-242
図 3.2-108　埋戻し材（セメント系）の静弾性係数と材齢の関係 3-244
図 3.2-109　$G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ の関係（埋戻し材（土質系））..... 3-245
図 3.2-110　$G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ の関係（低透水層）..... 3-246
図 3.2-111　低拡散層の静弾性係数と材齢の関係 3-247
図 3.2-112　コンクリートピットの静弾性係数と材齢の関係..... 3-248
図 3.2-113　充てん材の静弾性係数と材齢の関係 3-249
図 3.2-114　上部充てん材の静弾性係数と材齢の関係..... 3-250
図 3.2-115　引戻し解析モデル 3-251
図 3.2-116　フィルタ処理（水平方向）..... 3-253
図 3.2-117　フィルタ処理（鉛直方向）..... 3-254
図 3.2-118　引戻し解析結果（水平方向）..... 3-256
図 3.2-119　引戻し解析結果（鉛直方向）..... 3-257
図 3.2-120　レーリー減衰の減衰定数と振動数の関係 3-259
図 3.2-121　試験施設の応答加速度（水平方向）..... 3-262
図 3.2-122　試験施設の応答加速度（鉛直方向）..... 3-263
図 3.2-123　ロッキングの影響を除いた相対変位の算出..... 3-264
図 3.2-124　試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）..... 3-265
図 3.2-125　コンクリートピットの引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）
..... 3-266
図 3.2-126　コンクリートピットの圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）
..... 3-266

図 3.2-127　コンクリートピットの引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）
..... 3-267
図 3.2-128　コンクリートピットの圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小
）..... 3-267
図 3.2-129　コンクリートピットのせん断応力地震時増分（履歴最大）..... 3-268
図 3.2-130　コンクリートピットのせん断応力地震時増分（履歴最小）..... 3-268
図 3.2-131　コンクリートピットの引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）
..... 3-269
図 3.2-132　コンクリートピットの圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）
..... 3-269
図 3.2-133　コンクリートピットの引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）
..... 3-270
図 3.2-134　コンクリートピットの圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）
..... 3-270
図 3.2-135　コンクリートピットのせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 3-271
図 3.2-136　コンクリートピットのせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）..... 3-271
図 3.2-137　低拡散層の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）..... 3-272
図 3.2-138　低拡散層の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-272
図 3.2-139　低拡散層の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）..... 3-273
図 3.2-140　低拡散層の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-273
図 3.2-141　低拡散層のせん断応力地震時増分（履歴最大）..... 3-274
図 3.2-142　低拡散層のせん断応力地震時増分（履歴最小）..... 3-274
図 3.2-143　低拡散層の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）..... 3-275
図 3.2-144　低拡散層の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-275
図 3.2-145　低拡散層の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）..... 3-276
図 3.2-146　低拡散層の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-276
図 3.2-147　低拡散層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 3-277
図 3.2-148　低拡散層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）..... 3-277
図 3.2-149　低透水層の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）..... 3-278
図 3.2-150　低透水層の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-278
図 3.2-151　低透水層の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）..... 3-279
図 3.2-152　低透水層の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-279
図 3.2-153　低透水層のせん断応力地震時増分（履歴最大）..... 3-280
図 3.2-154　低透水層のせん断応力地震時増分（履歴最小）..... 3-280
図 3.2-155　低透水層の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）..... 3-281
図 3.2-156　低透水層の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-281

図 3.2-157　低透水層の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）..... 3-282
図 3.2-158　低透水層の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-282
図 3.2-159　低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 3-283
図 3.2-160　低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）..... 3-283
図 3.2-161　低透水層の最大せん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 3-284
図 3.2-162　低透水層の最大せん断ひずみレベル..... 3-284
図 3.2-163　埋戻し材の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）..... 3-285
図 3.2-164　埋戻し材の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-285
図 3.2-165　埋戻し材の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）..... 3-286
図 3.2-166　埋戻し材の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-286
図 3.2-167　埋戻し材のせん断応力地震時増分（履歴最大）..... 3-287
図 3.2-168　埋戻し材のせん断応力地震時増分（履歴最小）..... 3-287
図 3.2-169　埋戻し材の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）..... 3-288
図 3.2-170　埋戻し材の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-288
図 3.2-171　埋戻し材の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）..... 3-289
図 3.2-172　埋戻し材の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-289
図 3.2-173　埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 3-290
図 3.2-174　埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）..... 3-290
図 3.2-175　埋戻し材の最大せん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 3-291
図 3.2-176　埋戻し材の最大せん断ひずみレベル..... 3-291
図 3.2-177　試験施設の最大加速度分布の比較..... 3-293
図 3.2-178　フーリエスペクトル比較（水平方向）..... 3-294
図 3.2-179　フーリエスペクトル比較（鉛直方向）..... 3-295
図 3.2-180　試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）【再掲】..... 3-297
図 3.2-181　水平方向の相対変位最大時刻の変形図（変形倍率 10000 倍）..... 3-298
図 3.2-182　入力地震動のフーリエスペクトル..... 3-299
図 3.2-183　試験施設の引張応力の地震時増分（y 方向、引張正、履歴最大）..... 3-301
図 3.2-184　試験施設の圧縮応力の地震時増分（y 方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-301
図 3.2-185　試験施設の引張応力の地震時増分（z 方向、引張正、履歴最大）..... 3-302
図 3.2-186　試験施設の圧縮応力の地震時増分（z 方向、圧縮負、履歴最小）..... 3-302
図 3.2-187　試験施設のせん断応力地震時増分（履歴最大）..... 3-303
図 3.2-188　試験施設のせん断応力地震時増分（履歴最小）..... 3-303

表目次

【第１章】

表 1.3-1　平成 30 年度検討委員会実施経緯 1-10
表 1.3-2　平成 30 年度の実施工程表 1-11
表 1.3-3　定量化方法（1/2） 1-12
表 1.3-4　定量化方法（2/2） 1-13
表 1.3-5　TOUGH2 解析施工ステップ 1-14
表 1.3-6　TOUGH2 解析ケース 1-16
表 1.3-7　解析ケース 1-27
表 1.3-8　分析項目一覧 1-34
表 1.3-9　ひび割れ誘発手法の選定に向けた流れ 1-53
表 1.3-10　主な放射線計測器の検出原理 1-72
表 1.3-11　モニタリング計画の区分 1-74
表 1.3-12　処分施設の変形量計測の計測期間及び計測範囲（ケース 1） 1-77
表 1.3-13　処分施設の変形量計測の計測期間及び計測範囲（ケース 2） 1-78
表 1.3-14　現状の技術開発情報（画像解析） 1-81
表 1.3-15　解析ケース 1-86
表 1.3-16　光ファイバセンサーによるモニタリング項目 1-90
表 1.3-17　各モニタリング項目の計測時期と計測方法 1-93
表 1.3-18　既設計器一覧 1-96

【第２章】

表 2.1-1　シナリオ整理表 2-2
表 2.1-2　定量化方法（1/2） 2-3
表 2.1-3　定量化方法（2/2） 2-4
表 2.1-4　TOUGH2 解析施工ステップ 2-5
表 2.1-5　熱物性パラメータ一覧 2-16
表 2.1-6　飽和率に基づいた熱伝導率算出結果一覧 2-18
表 2.1-7　飽和率に基づいた比熱算出結果一覧 2-19
表 2.1-8　廃棄体エリアからの発熱条件設定 2-21
表 2.1-9　各部位熱物性値[13] 2-22
表 2.1-10　廃棄体エリア内における熱特性の飽和率依存性算出結果 2-23
表 2.1-11　換算に用いた各係数値（理科年表_平成 28 年度） 2-24
表 2.1-12　主な部材に関する絶対浸透率設定値 2-24
表 2.1-13　TOUGH2 解析ケース 2-25

表 2.1-14　TOUGH2 解析二相流パラメータ 2-26
表 2.1-15　各点における水飽和率と温度データ_低透水層周囲 2-34
表 2.1-16　各点における水飽和率と温度データ_低拡散層周囲 2-35
表 2.1-17　CODE_BRIGHT の主な適用プロジェクト 2-39
表 2.1-18　低透水層に用いる力学物性値 2-54
表 2.1-19　廃棄体間充てん材の諸元 2-57
表 2.1-20　廃棄体間充てん材に用いる力学物性値 2-57
表 2.1-21　上部充てん材に用いる力学物性値 2-58
表 2.1-22　コンクリートピットに用いる力学物性値 2-58
表 2.1-23　低拡散層に用いる力学物性値 2-59
表 2.1-24　埋め戻し材（土質系材料）に用いる力学物性値 2-59
表 2.1-25　埋め戻し材（セメント系材料）に用いる力学物性値 2-60
表 2.1-26　支保工の諸元及び物性値 2-60
表 2.1-27　均しコンクリートの力学物性値 2-60
表 2.1-28　力学物性値一覧（セメント系部材） 2-61
表 2.1-29　解析ケース 2-84
表 2.1-30　A_{cp1}、C_{1ca}、n の入力値 2-88
表 2.1-31　透水係数算定結果 2-99
表 2.1-32　間隙比・空隙率・透水係数算定結果 2-100
表 2.1-33　地下水組成 2-105
表 2.1-34　六ケ所村の試験空洞設置深度付近における水質分析結果一覧[45] 2-105
表 2.1-35　岩盤に関する物性値 2-106
表 2.1-36　セメント系人工バリアの概要一覧 2-108
表 2.1-37　セメント系人工バリアの構成材料 2-108
表 2.1-38　セメント及びフライアッシュの化学成分 2-108
表 2.1-39　コンクリートの配合（コンクリートピット、セメント系埋戻し材） 2-109
表 2.1-40　コンクリートの配合（吹付けコンクリート） 2-109
表 2.1-41　モルタルの配合（低拡散層） 2-109
表 2.1-42　セメント系材料の設定値 2-110
表 2.1-43　低拡散層及びコンクリートピットの拡散係数[49] 2-111
表 2.1-44　ベントナイト間隙水のイオン組成 2-114
表 2.1-45　ベントナイト系材料の設定値 2-115
表 2.1-46　ベントナイト定常拡散試験　実効拡散係数一覧【50】 2-115
表 2.1-47　ベントナイト混合土の透水試験結果[51] 2-116
表 2.1-48　アウトプット項目 2-116
表 2.1-49　解析ケース 2-117

表 2.1-50　解析ケース 2-123
表 2.1-51　解析ケース 2-126
表 2.1-52　解析ケース 2-132
表 2.1-53　解析ケース 2-139
表 2.1-54　グラウト技術に関する国内の調査結果一覧表[52] 2-140
表 2.1-55　超微粒子セメントの化学組成 2-140
表 2.1-56　青函トンネルにおける注入施工実績[53] 2-141
表 2.1-57　岩盤グラウト部における化学組成 2-141
表 2.1-58　解析ケース 2-147
表 2.1-59　地下水組成[54] 2-147
表 2.1-60　解析ケース 2-153
表 2.1-61　人工バリア内鋼材の腐食シナリオ 2-162
表 2.1-62　腐食速度パラメータ一覧 2-163
表 2.1-63　低拡散層の使用材料と配合[61] 2-164
表 2.1-64　廃棄体間充てん材の使用材料と配合[61] 2-165
表 2.1-65　廃棄体間充てん材のひずみ測定結果（20℃環境）[61] 2-165
表 2.1-66　コンクリートピットの使用材料と配合[61] 2-167
表 2.1-67　平成 21 年度に選定された上部充てん材の配合[61] 2-167
表 2.1-68　平成 22 年度に選定された上部充てん材の使用材料と配合[62] 2-168
表 2.1-69　上部充てん材のひずみ測定結果（20℃環境）[62] 2-169
表 2.1-70　各段階における代表的な腐食のメカニズムと腐食形態 2-175
表 2.1-71　空洞内充填材の配合条件 2-183
表 2.1-72　施工前実機試験で選定された配合（スランプ型、常温時） 2-183
表 2.1-73　施工前実機試験で選定された配合（スランプ型、低温時） 2-184
表 2.1-74　施工前実機試験で選定された配合（高流動型型） 2-184
表 2.2 1　吹付けコンクリートの材料一覧 2-195
表 2.2 2　吹付けコンクリートの配合 2-196
表 2.2 3　吹付けコンクリートの配合（鋼繊維入り） 2-196
表 2.2 4　吹付けコンクリートの採取完了状況 2-199
表 2.2 5　分析項目一覧 2-202
表 2.2 6　各コアの分析項目（No.1） 2-203
表 2.2 7　各コアの分析項目（No.2） 2-204
表 2.2 8　各コアの分析項目（No.3） 2-205
表 2.2 9　EPMA による面分析の測定条件 2-208
表 2.2 10　各コアの圧縮強度 2-213
表 2.2 11　各コアの静弾性係数 2-214

表 2.2 12　同定された鉱物の一覧 2-217
表 2.2 13　吹付けコンクリートを模擬したセメントペースト 2-217
表 2.2 14　EPMA 分析結果（No.1-2）　骨材表示 2-236
表 2.2 15　EPMA 分析結果（No.2-5）　骨材表示 2-238
表 2.2 16　EPMA 分析結果（No.3-2）　骨材表示 2-240
表 2.2 17　TW-COTDR 方式の計測パラメータ（敷設試験） 2-258
表 2.2 18　ポイント型光ファイバ圧力センサーの仕様 2-264
表 2.2 19　ベントナイト試験前密度 2-267
表 2.2 20　TW-COTDR 方式の計測パラメータ（膨潤圧試験） 2-268
表 2.3 1　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（上部低拡散層） 2-283
表 2.3 2　クリップゲージの主な仕様 2-287
表 2.3 3　データロガーの主な仕様 2-287
表 2.3 4　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（側部低拡散層） 2-291
表 2.3 5　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（手前コンクリートピット） 2-296
表 2.3 6　温度計の主な仕様 2-299
表 2.3 7　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（アクセス坑道） 2-301
表 2.3 8　ひび割れ誘発手法の選定に向けた流れ 2-311
表 2.3 9　試験体の配合 2-315
表 2.3 10　打設したコンクリートの圧縮強度 2-315
表 2.3 11　使用機材一覧 2-320
表 2.3 12　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（事前試験） 2-334
表 2.3 13　使用機材一覧 2-361
表 2.3 14　計測ステップと加圧停止の目安値（手前コンクリートピット　直交方向） 2-368
表 2.3 15　計測ステップと加圧停止の目安値（手前コンクリートピット　斜め方向） 2-371
表 2.3 16　計測ステップと加圧停止の目安値（上部低拡散層　直交方向） 2-373
表 2.3 17　計測ステップと加圧停止の目安値（上部低拡散層　斜め方向） 2-378
表 2.3 18　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（現地試験、手前コンクリートピット） 2-381
表 2.3 19　TW-COTDR 方式の計測パラメータ（現地試験、手前コンクリートピット） 2-381
表 2.3 20　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（現地試験、上部低拡散層） 2-412
表 2.3 21　TW-COTDR 方式の計測パラメータ（現地試験、手前コンクリートピット） 2-412
表 2.4 1　主要 12 核種からの放射線[] 2-445

表 2.4 2　天然放射性核種の例[] 2-445
表 2.4 3　主な放射線計測器の検出原理（文献[]を参考にして作成した） 2-447
表 2.5 1　モニタリング計画の区分 2-452
表 2.5 2　実処分施設で実施可能なモニタリング対象 2-454
表 2.5 3　底部コンクリートピット上面の計測可能期間における鉛直方向変位の変動量 2-459
表 2.5 4　側部コンクリートピット上面の計測可能期間における鉛直方向変位の変動 .. 2-460
表 2.5 5　現状の技術開発情報（3D レーザースキャナー）[3] 2-461
表 2.5 6　処分施設の変形量計測の計測期間及び計測範囲（ケース 1） 2-462
表 2.5 7　処分施設の変形量計測の計測期間及び計測範囲（ケース 2） 2-463
表 2.5 8　現状の技術開発情報（画像解析）[3] 2-468
表 2.5 9　液相部組成イオンの分析方法（その 1） 2-474
表 2.5 10　液相部組成イオンの分析方法（その 2） 2-475
表 2.5 11　解析ケース 2-477
表 2.5 12　光ファイバセンサーによるモニタリング項目 2-485
表 2.5 13　平成 21 年度に確認された側部低拡散層のひび割れ[6] 2-486
表 2.5 14　各モニタリング項目の計測時期と計測方法 2-494

【第３章】

表 3.1-1　既設計器一覧 3-2
表 3.1-2　回収データの仕様 3-4
表 3.1-3　使用機器一覧 3-8
表 3.1-4　計測坑 A の計測結果 3-8
表 3.1-5　計測坑 B の計測結果 3-9
表 3.1-6　計測坑 C の測定結果 3-11
表 3.1-7　試験空洞（D-1 孔、E-1 孔）の計測作業結果 3-13
表 3.1-8　調査方法の概要 3-16
表 3.1-9　対象部位における使用材料 3-17
表 3.1-10　上部低拡散層の配合 3-18
表 3.1-11　上部コンクリートピットの配合 3-18
表 3.1-12　側部低拡散層（左側）の配合 3-18
表 3.1-13　対象部位のひび割れ調査履歴 3-19
表 3.1-14　水質分析項目と測定方法 3-82
表 3.1-15　水質分析結果 3-84
表 3.1-16　浸出水の原因・侵入経路 3-86
表 3.1-17　セメント化学組成（太平洋セメント㈱HP から抜粋） 3-86

表 3.1-18　ベントナイト（Kunigel V1）の化学組成（核燃料サイクル開発機構、1999）
..... 3-87
表 3.1-19　センサーの仕様..... 3-89
表 3.1-20　回収したデータ..... 3-90
表 3.1-21　計測データ整理対象項目 3-93
表 3.1-22　静的計測計器点検判定基準一覧表 3-102
表 3.1-23　間隙水圧計の仕様（計測坑 A、C 及び試験空洞 D、E） 3-105
表 3.1-24　間隙水圧計の仕様（計測坑 B） 3-105
表 3.1-25　圧力校正器の仕様..... 3-105
表 3.1-26　現地点検作業の実施状況..... 3-108
表 3.1-27　間隙水圧計の点検結果まとめ..... 3-121
表 3.1-28　平成 30 年度の換算係数 3-122
表 3.1-29　データ模擬入力による点検結果..... 3-123
表 3.2-1　底部低透水層の上載荷重一覧..... 3-132
表 3.2-2　最大土圧一覧（平成 30 年 2 月 1 日～平成 30 年 12 月 3 日）..... 3-136
表 3.2-3　最大沈下量一覧（平成 30 年 2 月 1 日～平成 30 年 12 月 3 日） 3-139
表 3.2-4　間隙水圧計計測区間一覧..... 3-170
表 3.2-5　設置位置選定根拠..... 3-177
表 3.2-6　地震計の仕様 3-178
表 3.2-7　回収データの仕様..... 3-179
表 3.2-8　地震動一覧..... 3-180
表 3.2-9　観測地震動の最大加速度一覧..... 3-183
表 3.2-10　鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率と震源距離の関係（地震計①） ... 3-186
表 3.2-11　試験施設の 3 次元的構造の特徴..... 3-200
表 3.2-12　KiK-net 六ヶ所の詳細[12] 3-201
表 3.2-13　地震計①と KiK-net 六ヶ所の観測地震動の最大加速度一覧..... 3-214
表 3.2-14　地震諸元及び観測データ（地震計①の y 方向）の整理 3-229
表 3.2-15　部材ごとの材料モデル..... 3-236
表 3.2-16　解析物性値一覧..... 3-239
表 3.2-17　引戻し解析に用いる地盤物性値..... 3-240
表 3.2-18　地盤物性値（修正 R-O モデルのパラメータ） 3-241
表 3.2-19　地震応答解析に用いる地盤物性値 3-242
表 3.2-20　支保工の諸元及び物性値..... 3-243
表 3.2-21　解析に用いる支保工の物性値..... 3-243
表 3.2-22　埋戻し材（セメント系）の物性値 3-244
表 3.2-23　埋戻し材（土質系）の物性値..... 3-245

表 3.2-24　低透水層の物性値 3-246
表 3.2-25　低拡散層の物性値 3-247
表 3.2-26　コンクリートピットの物性値 3-248
表 3.2-27　充てん材の物性値 3-249
表 3.2-28　上部充てん材の物性値 3-250
表 3.2-29　均しコンクリートの物性値 3-250
表 3.2-30　固有値解析モデル 3-258
表 3.2-31　固有値解析結果 3-258
表 3.2-32　質量比例係数 α と剛性比例係数 β 3-259
表 3.2-33　図化項目一覧 3-260
表 3.2-34　解析結果一覧 3-261
表 3.2-35　最大加速度一覧 3-293

第１章　全体概要

第1章　全体概要

1.1　本事業の背景と目的

1.1.1　試験の背景

原子力発電所等の運転及び解体に伴って発生する低レベル放射性廃棄物の中には、埋設時点の放射能濃度がコンクリートピット処分対象廃棄物に比べ 2 オーダー程度高く、300 年経過後のコンクリートピット処分対象廃棄物の放射能濃度レベルになるまでに十万年程度を要する廃棄物が存在する。

このため、これら廃棄物については、廃棄物と公衆の離隔距離を確保し、かつ、長期にわたり放射性物質の移行抑制を図るための処分方法として、地下 70m 以深の地下空洞内に圧縮ベントナイト等の人工バリアを備えた処分施設（以下、「地下空洞型処分施設」という。）を設置し、そこに埋設する方法が検討されてきている。

また、これら廃棄物については、その潜在的な影響が長期にわたり残存する可能性があるため、廃棄物の埋設が完了し、地表に繋がる坑道を埋戻した後においても、処分施設の長期的な安定性の見通しを確認するため、規制が終了するまでの期間（300～400 年程度）、モニタリング等の能動的な管理を実施することが規制機関により求められている。

以上のように、地下空洞型処分施設の具体化には、少なくとも、状態変化を考慮しても長期にわたり放射性物質の移行抑制が期待できるだけの高い初期性能（施工時性能）を有する人工バリア等を地下の狭隘空間内で施工する技術、また、規制終了までの間、施工後の人工バリア等が設計を逸脱することなく性能を発揮しつつあること等をモニタリングする技術について、現実に即した環境条件下で確認することが必須となってきている。

1.1.2　試験の目的

我が国においては、これまでの原子力発電の利用に伴って既に放射性廃棄物が発生しており、その処理処分対策を着実に進める必要がある。発電所廃棄物や TRU 廃棄物（地層処分相当の廃棄物を除く）等の低レベル放射性廃棄物の中深度処分は、地下 70m 以深の大断面の地下空洞型処分施設における処分を概念とした検討が行われてきている。

処分施設は、図 1.1-1 に示すように、低透水層（ベントナイト系材料）、低拡散層（セメント系材料）、コンクリートピット等からなっており、これら人工バリアと周辺岩盤とを合わせた多重バリアシステムにより、事業終了後の長期の安全性を確保する概念となっている。このため、事業終了にあたっては、操業段階に人工バリアの長期挙動評価の妥当性をモニタリングによって確認し、処分施設の長期的な安定性の見通しを得るためのモニタリング技術やその方法論の確立が重要となっている。

本事業は、平成 27 年度から 5 年程度の期間で、平成 26 年度までに地下空洞内に構築した試験

施設等も活用し、処分施設の閉鎖後の長期的な管理に資するため、人工バリアや周辺岩盤の長期に亘る機能確認方法の確立を目的として実施する。

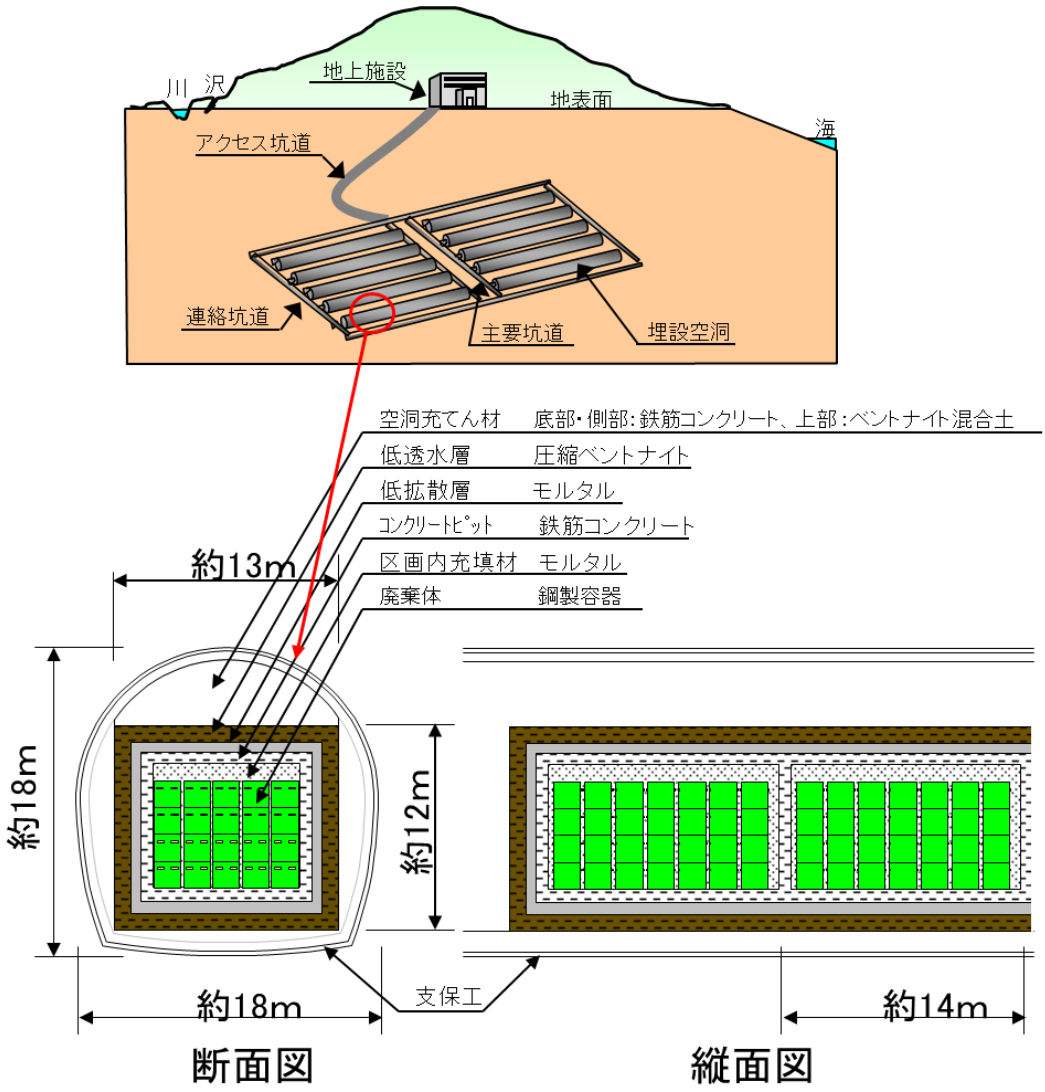


図 1.1-1　地下空洞型処分施設の概念図

1.2　本事業の概要

1.2.1　試験の概要

本事業は、地下空洞型処分施設の長期的な安定性の見通しを得るためのモニタリング技術やその方法論の確立に向けた試験を実施するものである。

本事業では、国内外の既往研究成果等の調査及び人工バリアの性能確認項目の調査の結果を反映して、低透水層等の部材の機能や周辺岩盤の状態変化を長期に亘って確認するための技術開発に関する全体計画を検討し策定する。また、全体計画に基づき、機能確認試験に係る個別の技術開発課題について、具体的な研究開発計画を策定し、各種の試験を実施する。更に、青森県六ヶ所村において日本原燃株式会社が掘削した試験空洞内に構築した既設の実規模施設における地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察としては、既設の複数の地震計を用いた地震波を観測・挙動解析を行うとともに、実規模施設で既に計測されている低拡散層やコンクリートピットのひび割れの状況変化の継続調査を実施する。

1.3　平成 30 年度の実施概要

1.3.1　検討委員会

試験の実施に当たっては、公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター内に学識経験者等からなる「地下空洞型処分施設機能確認試験検討委員会」を設け、専門的立場からの助言を伺いつつ検討を進めた。同委員会における平成 30 年度の検討の経緯を表 1.3-1 に示す。

表 1.3-1　平成 30 年度検討委員会実施経緯

開　催　日	場　　所	審　議　内　容
第 1 回 平成 30 年 8 月 9 日	（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター　第 1、2 会議室	● 平成 30 年度実施計画のレビュー ・施設挙動の定量化 ・光ファイバセンサーの適用性検討 ・モニタリング計画の具体化検討 ・既設の実規模施設における挙動計測と地震計測等
第 2 回 平成 30 年 11 月 26 日	（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター　第 1、2 会議室	● 平成 30 年度中間成果のレビュー ・施設挙動の定量化 ・光ファイバセンサーの適用性検討 ・モニタリング計画の具体化検討 ・既設の実規模施設における挙動計測と地震計測等
第 3 回 平成 31 年 3 月 8 日	（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター　第 1、2 会議室	● 平成 30 年度最終成果のレビュー ・施設挙動の定量化 ・光ファイバセンサーの適用性検討 ・モニタリング計画の具体化検討 ・既設の実規模施設における挙動計測と地震計測等

1.3.2　平成 30 年度の成果の概要

平成 30 年度の実施工程を表 1.3-2 に示す。平成 30 年度は、機能確認の実現性確認として、①人工バリア（周辺岩盤を含む）の安全機能の変遷についての定量化解析、②吹付けコンクリートや光ファイバセンサーを対象としたラボ試験、③既設の実規模施設に敷設した光ファイバセンサーによるひずみ計測及び温度計測試験、④放射線計測に関する技術の調査を行い、そこで得られた結果を参考に、⑤モニタリング計画の具体化に資する検討を実施した。また、過年度から継続して、既設の実規模施設における挙動計測・地震観測とその評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察を実施した。

以下に、平成 30 年度の成果の概要を紹介する。

表 1.3-2　平成 30 年度の実施工程表

試験項目等	平成 30 年度											
	第1四半期			第 2 四半期			第 3 四半期			第 4 四半期		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1) 機能確認の実現性確認	解析、ラボ試験、現地試験等											
(2) 既設の実規模施設における地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察	施設等の挙動計測			ひび割れ観察 ▼			ひび割れ観察/BTV 観察 ▼					
	地震観測、挙動解析											
(3) 情報収集及び委員会の設置･運営	情報収集			委員会 ▼			委員会 ▼			委員会 ▼		

(1) 機能確認の実現性確認

1) 施設挙動の定量化解析

a. 施設挙動の定量化方法

平成 29 年度には、中深度処分事業の各段階で処分施設に起こりうる事象を網羅的に抽出した「シナリオ整理表」を作成した。ただし、シナリオ整理表で抽出した起こりうる事象は、その発生可能性や発生した場合の変化の程度を定量的に評価するに至っていない。そのため、モニタリングの計測手法や計測位置、計測頻度等のモニタリング計画を具体的に検討するに当たり、モニタリング項目になりうる事象を定量的に評価する必要があると考えた。

定量化は、解析的検討及び文献調査等により行った。表 1.3-3、表 1.3-4 に事象ごとの定量化方法を示す。

表 1.3-3　定量化方法（1/2）

部位	事象	定量化方法
廃棄体	発熱	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：TOUGH2）により定量化する
	容器の腐食膨張	既往検討成果、過年度検討成果を調査・整理し、腐食開始時期、腐食量、膨張量を同定する（腐食開始時期は、熱・水・力学に着目した解析的検討の成果を反映）
	放射線分解ガスの発生	既往検討成果、原子力学会標準等を調査し、影響の程度を整理する
区画内 充てん材	ひび割れ発生	既往検討成果から収縮量を推定
	化学的変質(Ca 溶出)	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する
	放射線分解ガスの発生	既往検討成果、原子力学会標準等を調査し、影響の程度を整理する
コンクリート ピット	ひび割れ発生	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT）及び二次元骨組み解析により定量化
	化学的変質(Ca 溶出)	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する
	鉄筋の腐食膨張	既往検討成果、過年度検討成果を調査・整理し、腐食開始時期、腐食量、膨張量を同定する（腐食開始時期は、熱・水・力学に着目した解析的検討の成果を反映）
低拡散層	ひび割れ発生	二次元骨組み解析により定量化（実施済み）
	化学的変質(Ca 溶出等)	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する
低透水層	底部低透水層の沈下	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT）により定量化する（過年度検討成果を精査）
	建設・埋設段階の水接触による変状	実規模施設の実績から、建設・埋設段階における膨潤・流出の発生可能性を評価する
	地下水浸潤による膨潤	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT、TOUGH2）により定量化する（過年度検討成果を精査）
	流出	既往検討成果を調査・整理し、発生可能性や影響の程度を整理する
	Ca 型化	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する

表 1.3-4　定量化方法（2/2）

部位	事象	定量化方法
空洞内 充てん材 （土質系）	建設・埋設段階の水接触による変状	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT）により定量化する
	沈下による天端部の空隙発生	閉鎖技術確証試験で施工した埋戻し材の挙動計測データから空隙発生の可能性、発生する空隙の大きさを同定する
	地下水浸潤による膨潤	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT、TOUGH2）により定量化する
防水シート 裏面排水	防水シートの機能喪失	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT、TOUGH2）により定量化する
空洞内 充てん材 （ｾﾒﾝﾄ系）	ひび割れ発生	既往検討成果、過年度検討成果を調査・整理し、影響の程度を整理する
	化学的変質(Ca 溶出)	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する
	鉄筋の腐食膨張	既往検討成果、過年度検討成果を調査・整理し、腐食開始時期、腐食量、膨張量を同定する
処分空洞	岩盤クリープによる変形	試験空洞掘削実績等の既往文献を調査し、変位発生時期、変位量を同定する
周辺岩盤	地下水の高 pH 化	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する
	地下水中イオン濃度の変化	

b. 熱・水・力学に着目した検討

時間軸については、以下の 2 期間に区分した。

A：廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖後）以降

B：建設～廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖前）

その上で、次のとおり、期間 A では再冠水プロセスにおける施設内の温度変化を、期間 B では施設挙動の把握を着目点としてそれぞれの予察解析を実施し、機能確認のための計測計画の策定に資する施設挙動の想定値を取得することとした。

着目点１：廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖後）以降の再冠水プロセスにおける施設内温度変化の把握

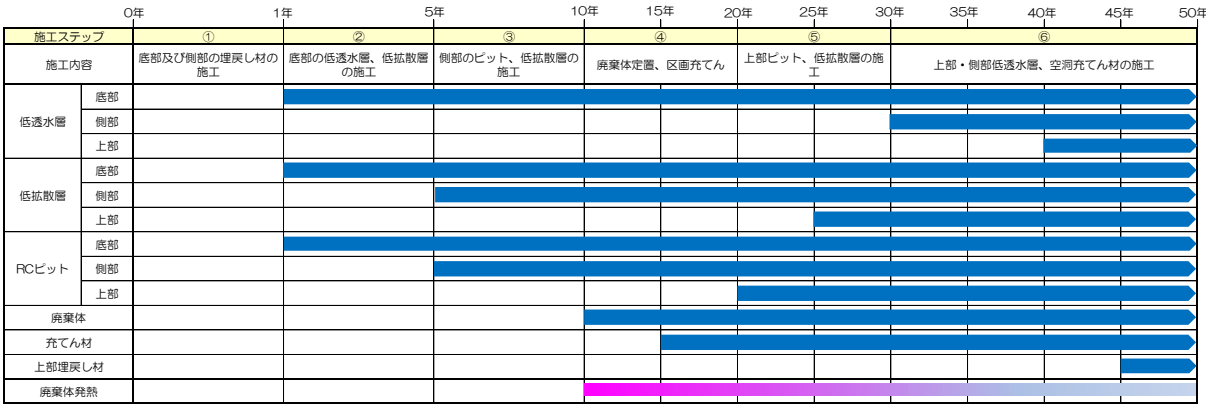
着目点２：建設～廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖前）における施設挙動の想定

(a) 廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖後）以降の再冠水プロセスにおける施設内温度変化の把握

前年度の検討では、低透水層などの施設内における温度分布を把握し、各部材の浸潤状態を推定した結果、以下に示す課題が抽出された。

- 熱物性条件
- 廃棄体発熱条件
- 施工ステップの詳細化（表 1.3-5 参照）

表 1.3-5　TOUGH2 解析施工ステップ



本年度はこれらを再検討したうえで詳細解析を実施し、モニタリング計画に資する計測値（温度、飽和率）の幅を検討する。

本解析作業では、熱－水連成解析コード TOUGH2 を採用した。

本解析に用いる解析モデルを図 1.3-1 に示す。坑道施設内のモデル化について、本検討では施設の再冠水に伴う温度変化を把握することを目的とするため、コンクリートピット内の模擬廃棄体と充てん材は地震時挙動評価と同様に、両者が合成された均質な構造体として取り扱うこととし、その物性は充てん材で代表させることとした。したがって、廃棄体部については簡略化したモデル化となっている。また、モデル全体領域は、坑道周囲から上下左右 50 m とし、模擬廃棄体からの発熱による温度変化が境界まで及ばない十分広い範囲をモデル化し、境界格子に定温境界（初期状態から境界の温度は変化しない）を与えることとした。なお、発熱事象は、廃棄体からの発生に限定した。総要素数は 11,816 である。

初期条件として、地温及び坑道内の初期の雰囲気温度を 15℃と設定し、地温勾配 3℃/100mより地表温度を 12℃と設定した。

廃棄体発熱については、廃棄体と容器に相当する領域に 10 W/m^3 の初期発熱量を与え、Co-60 半減算定式（半減期 5.27 年）に従って指数関数的に減少する条件とした（図 1.3-2 参照）。

地下水流動は、坑道底盤で GL-100m 相当の静水圧がかかるよう設定するとともに、バックグランドとしての地下水流動方向は左⇒右とし、動水勾配 0.07m/m とした。

解析用パラメータについては、基本的にこれまでの地下空洞型処分施設性能確証試験、地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験及び地下空洞型処分施設機能確認試験で得られた値を採用し、一部については文献値を用いた。

解析ケースは、表 1.3-6 に示す計 3 ケースとした。

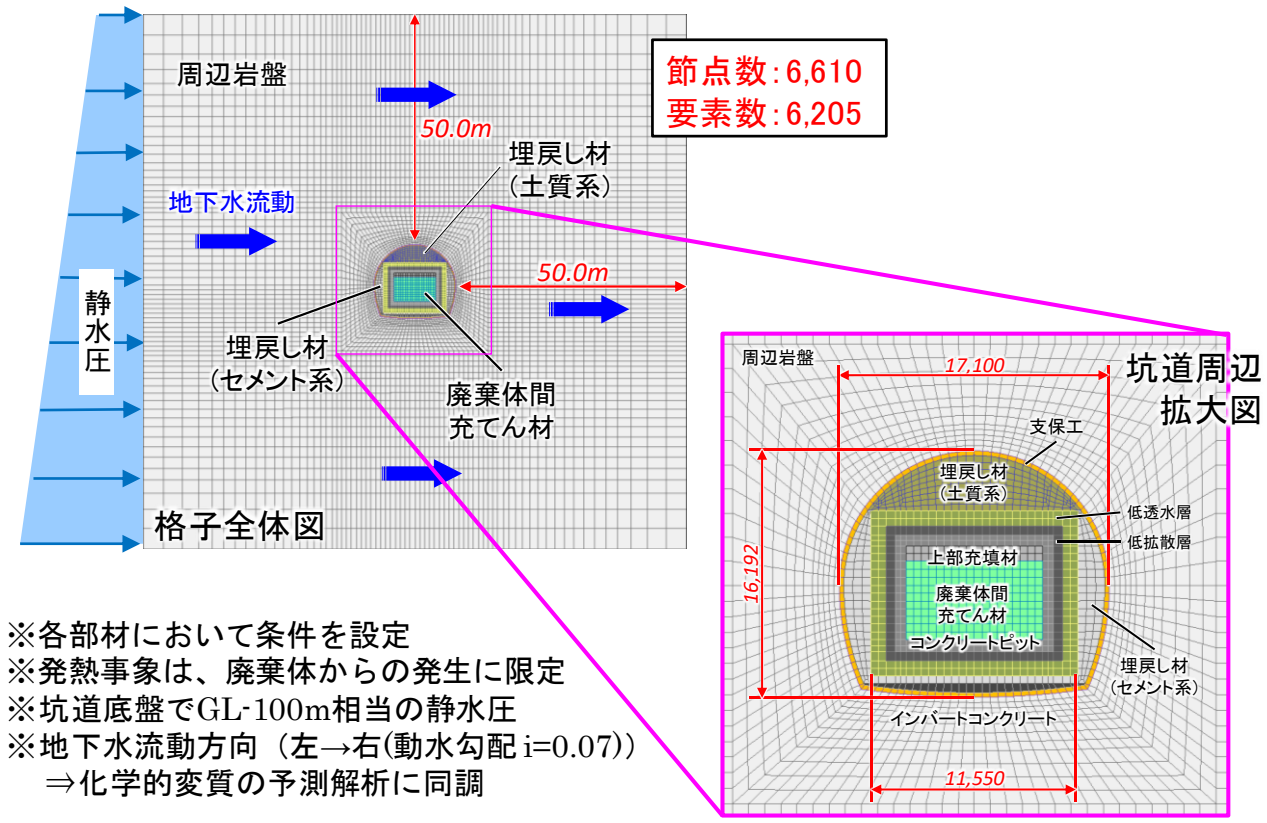


図 1.3-1　解析モデル

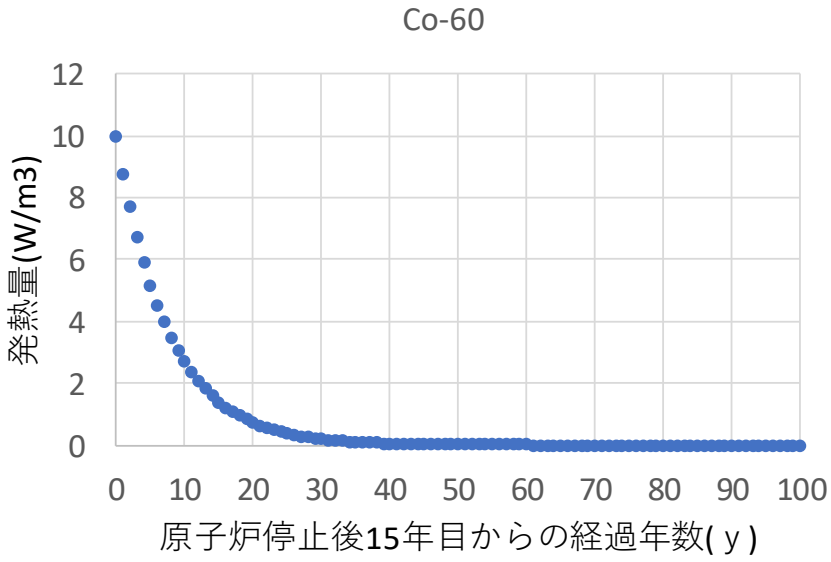


図 1.3-2　廃棄体からの発生発熱量

表 1.3-6　TOUGH2 解析ケース

	解析の状態	透水性条件	支保工透水性	
			透水係数(m/sec)	絶対浸透率(m^2)
ケース①	各部材が想定通りに機能すると考えた基本的なケース	一般的な坑道支保に与える条件（小割れ目が存在し、多少の湧水浸入がある）	1.00E-08	1.16E-15
ケース②	施設内への地下水の浸潤が大きく抑制されるケース	吹付けコンクリートが適切良好に施工され、地下水の施設内の浸水を完全に抑制している状況を設定	1.00E-12	1.16E-19
ケース③	施設内への地下水の浸潤が促進されるケース	防水シートが機能せず、かつ吹付けコンクリートも全周囲から通水し、吹付けコンクリートのセメント部は劣化し、ほとんど砂のみが残り、高透水部が生じる可能性がある状況を設定	1.00E-04	1.16E-11

解析結果の一例として、ケース①の水飽和率と温度のコンター図を図 1.3-4 に示す。

坑道内の飽和率の変化は、

・50 年未満は、水・空気の再配置

・50 年以降は、水・空気の再配置、圧力上昇による空気の圧縮、空気の水への溶解と拡散

が主な要因となって生じていると考えられる。特に、坑道埋戻しに伴う圧力上昇による空気の圧縮の影響が大きい。

一方、温度分布では廃棄体からの発熱を廃棄体設置施工が開始される 10 年からと設定しており、コンター図では 20 年目に温度上昇が見られ、その後低下傾向を示した。隣接する部材が設置されることで、既設の部材の温度は低下することが分かる。

また、図 1.3-5 には解析データの出力点を、図 1.3-6 には出力点のうち各部材を代表する 8 点を選んで水飽和率、温度の経時変化をグラフ化したものを示す。

隣り合う部材が配置されることによって、飽和率は一時的に低下するものの、一定期間が過ぎると全体として飽和率は上昇することが分かる。温度は 15 年でピークを迎え、その後は初期の温度に低下する。また、ケース別の比較によると、ケース①を基本として、ケース②とケース③の双方において地下水浸潤の程度に差異が生じている。これは、吹付けコンクリートの透水性が大きいケース③においては、地下水浸潤が相対的に早くなっているためと考えられる。

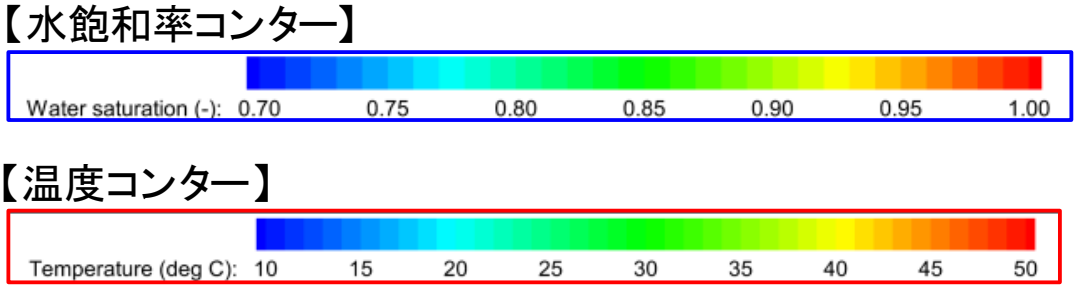


図 1.3-3　解析コンター凡例

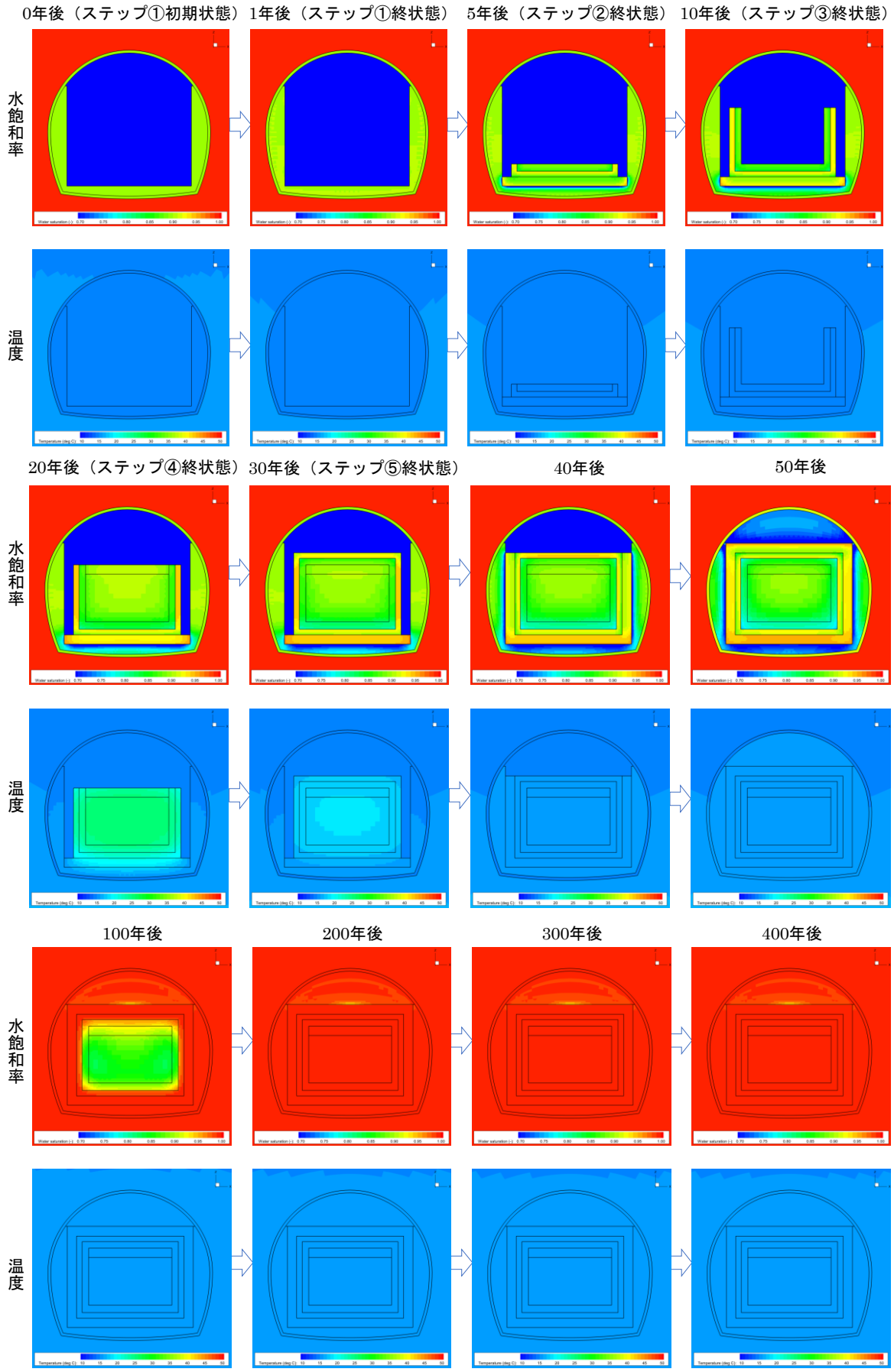


図 1.3-4　解析結果_ケース①（基本）

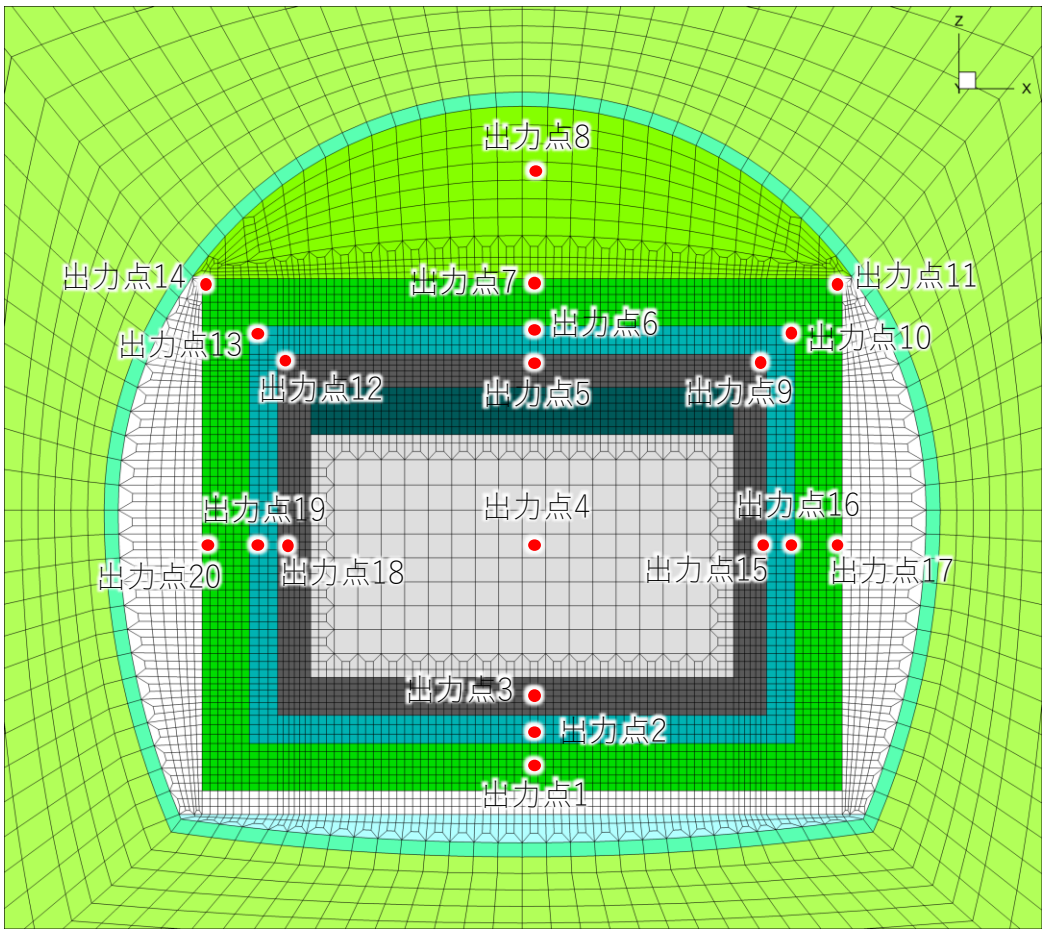
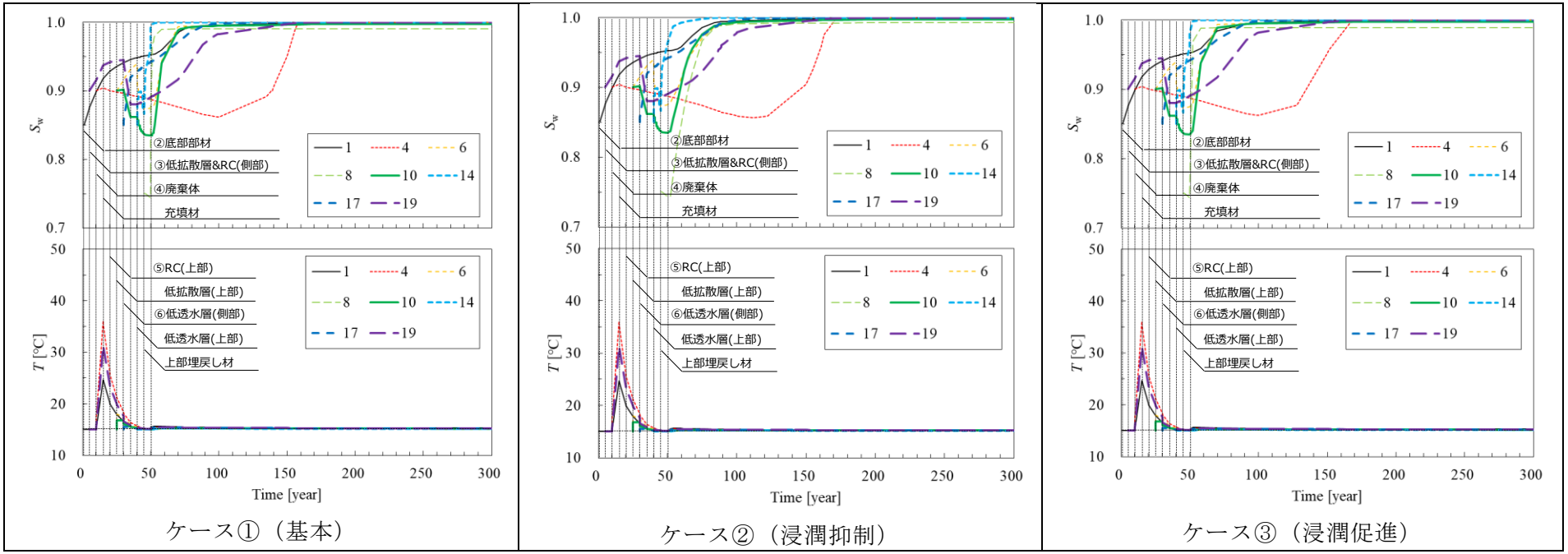


図 1.3-5　解析データ出力点



ケース①（基本）　ケース②（浸潤抑制）　ケース③（浸潤促進）

図 1.3-6　主な各部材代表点における水飽和率、温度の経時変化

解析コード TOUGH2 により、再冠水後の浸潤挙動と温度との関係を調べた。その結果、温度と水飽和率の明確な相関関係は認められなかった。仮に、温度と飽和率に相関が認められるとすれば、廃棄体定置後の温度の急激な上昇に起因する間隙水の状態変化といった現象が想定されるものの、本検討の範囲では、そのような現象の影響は非常に小さい。

坑道内の飽和率の変化は、水・空気の再配置と、圧力上昇に伴う空気の圧縮が主な要因として説明される。また、各部材の温度は、隣接する部材の設置に伴って大きく変化することが分かった。飽和率の変化による熱物性の変化が温度変化に及ぼす影響は相対的に小さい。予察解析をするにあたっては、各部材や岩盤の浸透率、相対浸透率、毛細管圧力といった流動に関わるパラメータの把握が非常に重要であるといえる。

(b) 建設～廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖前）における施設挙動の想定

本解析作業では、建設段階の施設挙動を確認し、空洞安定や廃棄体設置による低透水層底部の不同沈下などの施設挙動を計測する際の想定値を遠隔計測などによる機能確認計測計画へ提供する。

本解析では、応力－ひずみ解析コード CODE_BRIGHT を使用した。

本解析に用いる解析モデルを図 1.3-7 に示す。

人工バリアの構築解析ステップを図 1.3-8 に示す。

解析用パラメータについては、基本的にこれまでの地下空洞型処分施設性能確証試験、地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験及び地下空洞型処分施設機能確認試験で得られた値を採用し、一部については文献値を用いた。

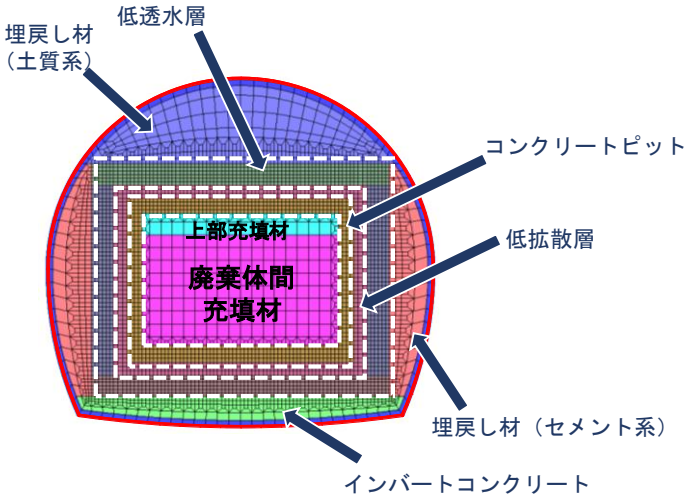


図 1.3-7　解析モデル

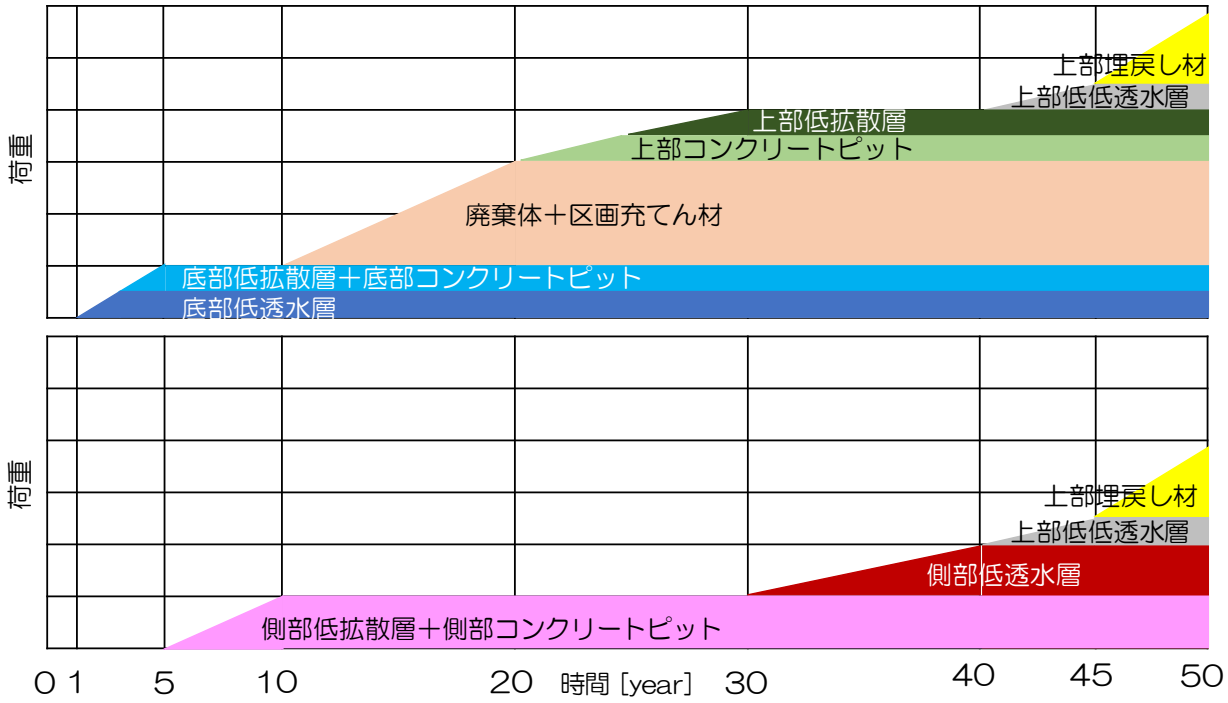


図 1.3-8　CODE_BRIGHT 解析ステップ

解析結果の一例として、図 1.3-9 にモデル断面における飽和率、平均有効応力に関する経時変化を示す。また、施工開始から 50 年までの期間における施設施工ステップとその変位挙動の関係を図 1.3-10 に示す。

コンクリートピット底版中央点における変形を基に施設内の挙動について概説する。

底部低透水層及びコンクリートピットが施工されると、底部低透水層はコンクリートピット部の重さに応じた沈下と、それに伴い、底部低透水層の側部では大気圧解放されているためこの部分は膨張が生じる。また、インバートコンクリート及びコンクリートピット底部のサクションは底部低透水層のサクションよりも小さいため、底部低透水層は周辺のコンクリートから水分を吸収することにより、飽和率が上昇しそれに伴い膨潤する。よって、5 年～10 年におけるコンクリートピット底部中央点における変形は上向き傾向を示す。その後、廃棄体がセットされると、10 年から 20 年までは廃棄体の重量が徐々に載荷され、20 年から 30 年はコンクリートピット上部等が施工されることから、その間、コンクリートピット底部は沈下する。

側部低透水層が施工されることにより、周辺とのサクションバランスによって、側部低透水層が水分を吸収することから、コンクリートピット底部中央点は若干上昇する。しかし、上部低透水層と土質系上部埋戻し材が 40 年～50 年の間に施工されると、上部低透水層のサクションが強く、上部埋戻し材のサクションは小さいく透過性も高いことから、上部低透水層が上部埋戻しの水分を吸収して膨潤する。上部低透水層の膨潤によってコンクリートピット底部中央点は沈下する。

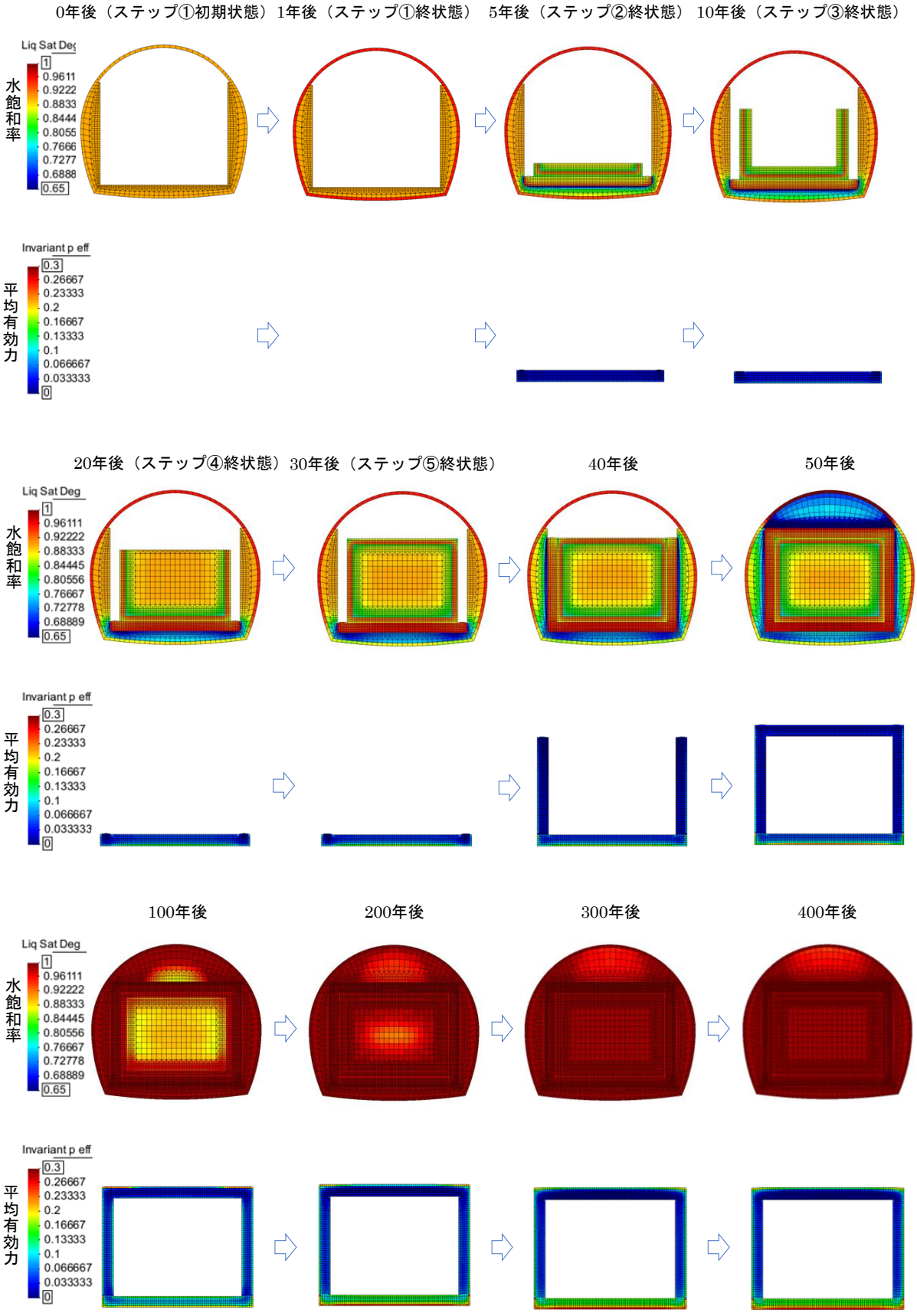


図 1.3-9　解析結果_コンター図

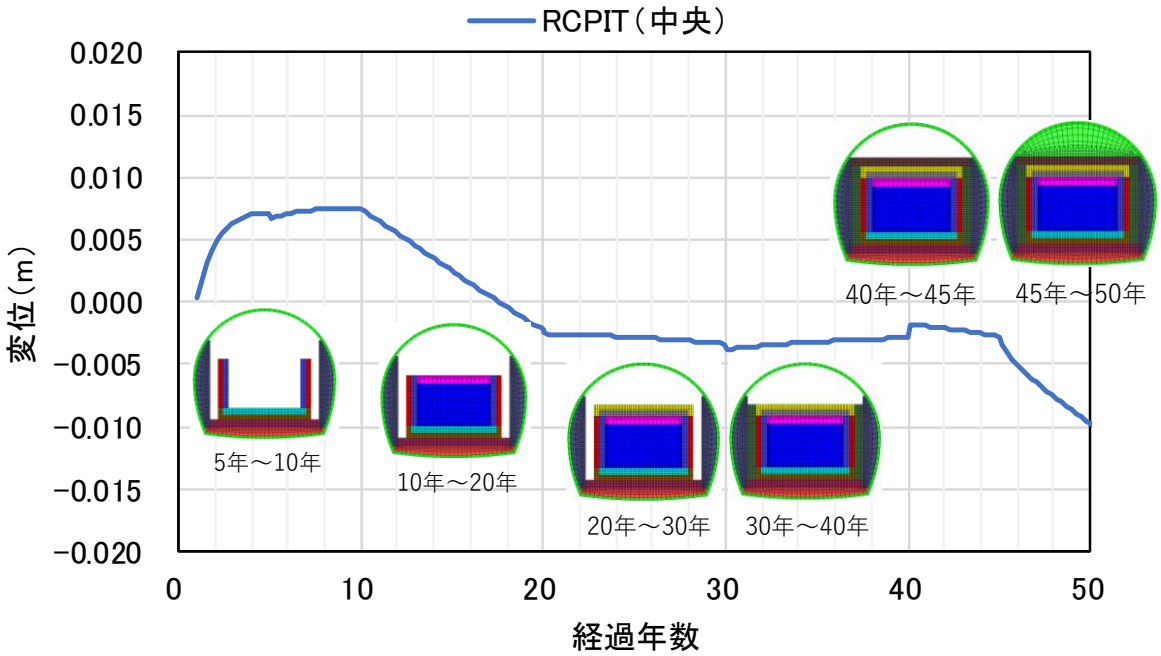


図 1.3-10　施設施工ステップと挙動推移

解析コード CODE_BRIGHT により、建設~操業段階における施設挙動及びその後の浸潤挙動の把握可能性について検討を行った。

建設段階においては、低透水層が周辺部材よりもサクションが高いため、周りから水分を吸収して膨潤する傾向が強い。特に、廃棄体重量を載荷されていない 10 年までの変形を見ると、底部低透水層の膨潤に伴いコンクリートピット底部中央点における変形は上向き傾向を示す。ただし、廃棄体定置後は、廃棄体の重量が重いため、沈下傾向を示す。

閉鎖後の操業段階における施設挙動はガス圧の影響を強く受ける。底部コンクリートピットが上昇したり下降したりするのはガス圧による間隙圧力の増減によるものである。すなわち、60 年から 70 年では底部低透水層のガス圧の上昇に伴い、コンクリートピット底部は上向き変位を示す。その後、底部低透水層のガス圧が低下し始めると沈下する。コンクリートピットの平均有効応力も周辺の低透水層の膨潤に伴い有効応力が上昇するが、ガスの侵入に伴い応力が低下する傾向を示した。

CODE_BRIGHT の解析ではガスの動きによって変位等に影響を与える結果となった。閉鎖された空間に水が浸潤してくることから、始めに存在した空気は圧縮される。また、注水によっても飽和溶解した水が侵入してくることから空気の絶対量は増える方向にある。しかしながら、閉鎖された空間であるため、空気は逃げ場を失い、溶解して施設内を拡散する動きを見せる。そのため、二相流パラメータの影響を非常に強く受ける結果となる。

以上から、本検討の結果に最も影響を与えるのは、空気でありその挙動が施設挙動

に影響を与える。よって、施設挙動の妥当性を問うためには、二相流パラメータの設定が重要であることが示唆された。

c．化学に着目した検討

人工バリア及び支保部材との化学的相互作用を踏まえた現実的な水質の変化・変遷を解析的に予測することで、防水シート裏面排水や周辺地下水の水質モニタリングにおいて、モニタリングすべきイオン種とその濃度の想定、ならびにモニタリングの時期や頻度の計画策定に資する情報を整理することを目的に、検討を実施することとした。

前年度実施した検討はある条件下で行った解析結果によるものであり、解析に用いた物性には様々な不確実性が含まれている。実際には、施設の建設から操業、埋設、閉鎖措置段階への変遷に応じて施設の状態や周辺地下水の流れも変化することから、実施時には詳細な検討が必要になると考えられるものの、想定される計測値がどの程度の幅を有するかを事前に把握しておくことは重要である。今年度の検討では、地下水の動水勾配や施設に生じるひび割れ、掘削影響領域（EDZ）、地下水組成等の不確実性を考慮したうえで、モニタリング値に大きく影響を与える条件・パラメータを明らかにするとともに、計測結果の想定範囲（幅）を示すことを目的として検討を行う。

本解析作業では、物質移行解析プログラム「LIFE D.N.A.」を使用した。

本検討では、処分空洞内に人工バリアが構築される前（図 1.3-11）と、閉鎖措置段階から再冠水後、数 100 年（図 1.3-12）という 2 つのフェーズで解析を実施することとした。なお、いずれの解析においても、動水勾配は図面の左側から右側へ 0.07m/m の勾配で作用することを基本とした。

解析領域について、前年度の検討における岩盤の領域（1 辺 68m）では、処分施設から溶出した各種イオンが早期に解析領域端部までイオンが到達し、その影響範囲を明確にすることができなかった。そのため、今年度の検討では、解析領域を大きく拡大させた。岩盤は下流側を施設中心から 500m とし、上流側やその他の面は 100m とした。解析領域のイメージを図 1.3-13 及び図 1.3-14 に示す。

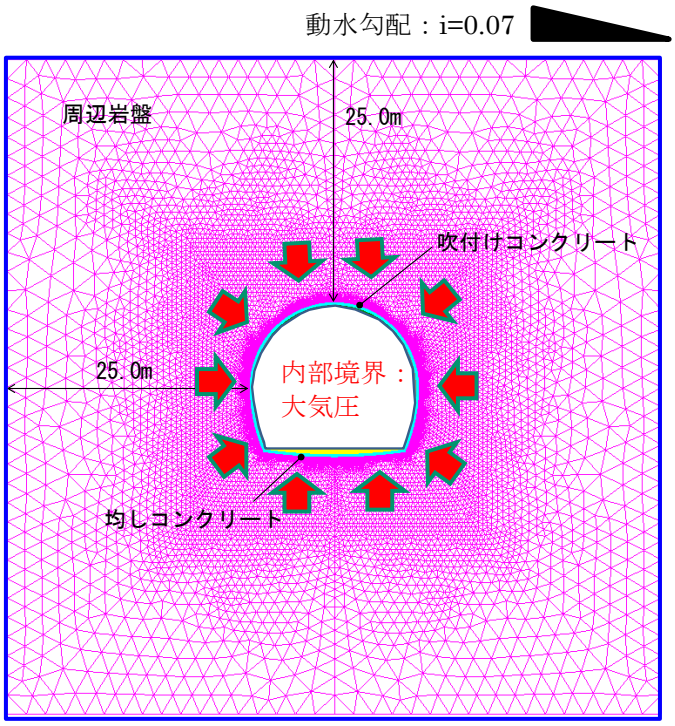


図 1.3-11　人工バリア構築前の処分空洞の状態

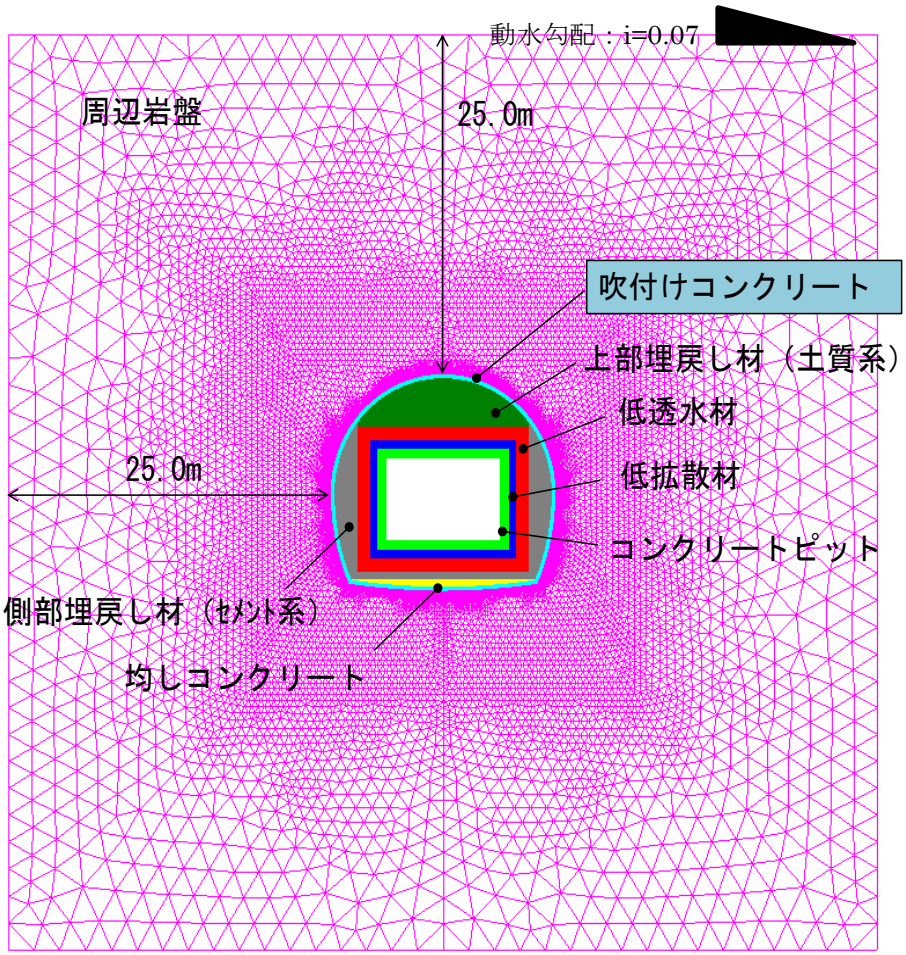


図 1.3-12　埋設完了後の処分空洞の状態

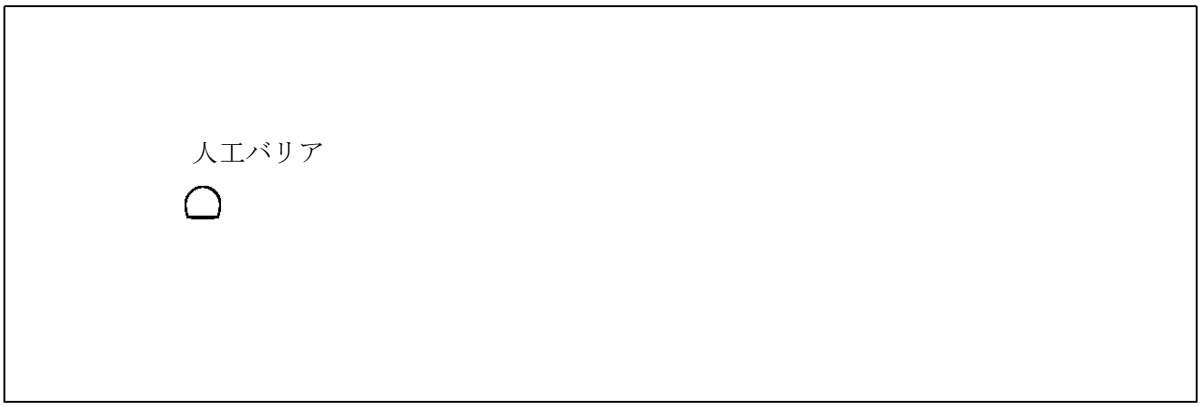


図 1.3-13　人工バリア構築前の解析領域

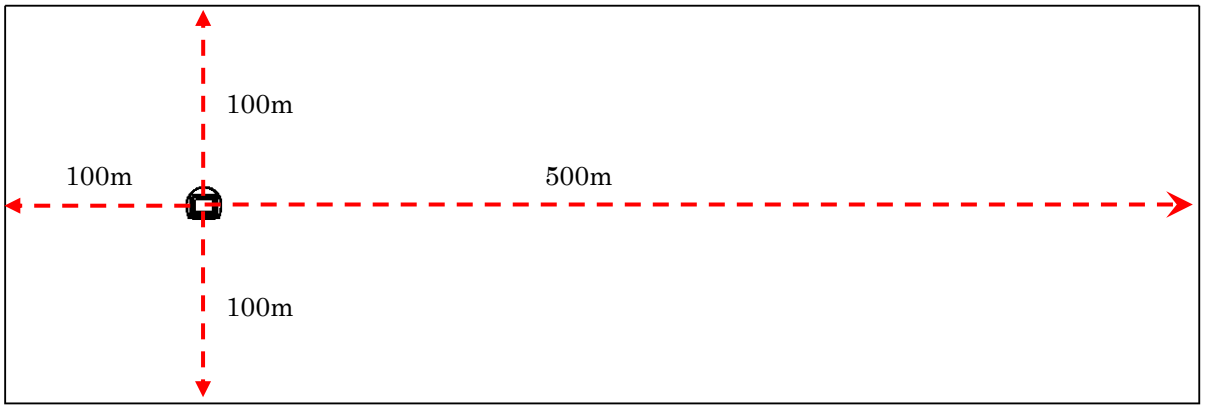


図 1.3-14　埋設完了後の解析領域

解析ケースを表 1.3-7 に示す。主に地下水流動に係る条件（動水勾配、ひび割れ・隙間、EDZ、吹付けコンクリートの初期変質）と化学環境に係る条件（岩盤グラウト、地下水組成）を考慮し、解析ケースを設定した。

解析用パラメータについては、基本的に実規模施設で使用されている材料に相当するものを設定した。

表 1.3-7　解析ケース

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け初期変質
1	7%	－	－	－	降水系	－
2	0%	－	－	－	降水系	－
3	7%	○	－	－	降水系	－
4	7%	○	○	－	降水系	－
5	7%	○	－	○	降水系	－
6	7%	○	－	－	海水系	－
7	7%	○	－	－	降水系	○

（－：考慮しない、○：考慮する）

解析結果の一例として、ケース 1 における 100 年後及び 400 年後の pH 分布を図 1.3-15～図 1.3-16 に示す。動水勾配の影響によって下流側に高 pH 領域が拡大しているものの、400 年後において地下水中の pH の影響を及ぼす範囲は 100m 程度という結果になった。

また、ケース 1 における 100 年後及び 400 年後の Na イオン分布を図 1.3-17、図 1.3-18 に示す。動水勾配の影響によって下流側に Na イオンが多く溶出しているものの、400 年後において地下水中の Na イオン濃度に影響を及ぼす範囲は 100m 程度という結果になった。

さらに、ケース 1 における 100 年後及び 400 年後の Ca イオン分布を図 1.3-19、図 1.3-20 に示す。動水勾配の影響によって下流側に Ca イオンが多く溶出しているものの、400 年後において地下水中の Ca イオン濃度に影響を及ぼす範囲は 100m 程度という結果になった。すなわち、リファレンスとして設定したケース 1 においては、400 年間で周辺岩盤の地下水組成に影響を及ぼす範囲は、施設周辺 100m 程度にとどまるという結果となった。

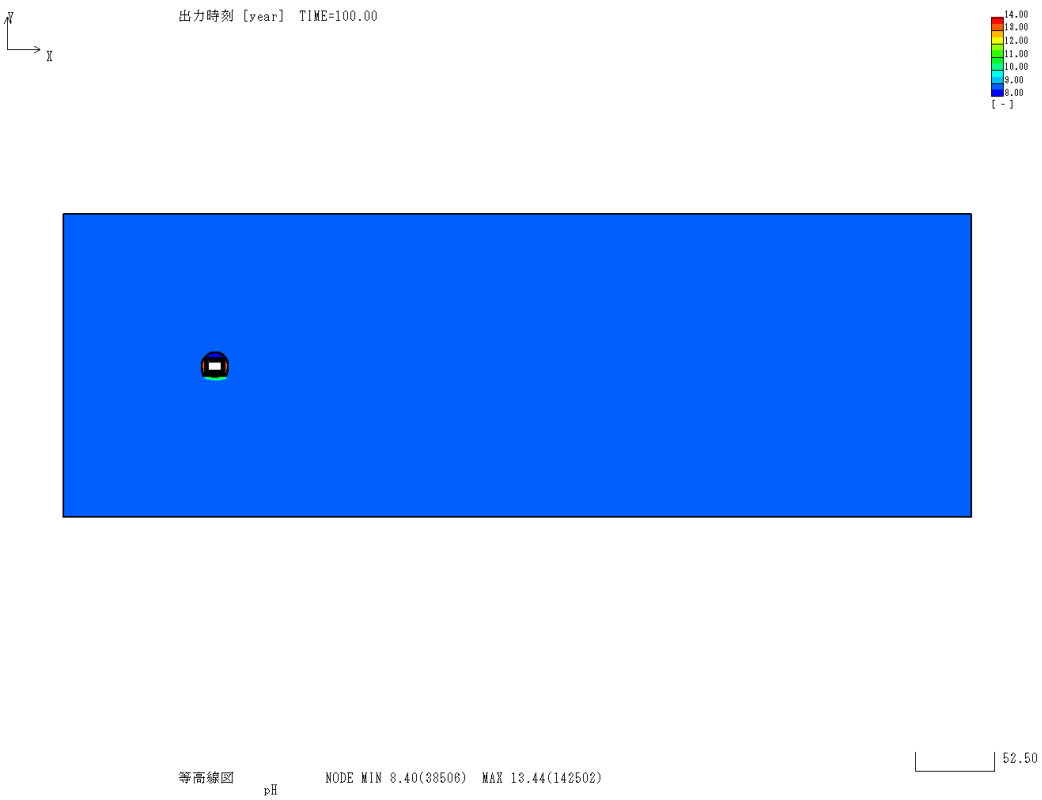


図 1.3-15　100 年後における pH 分布（ケース 1）

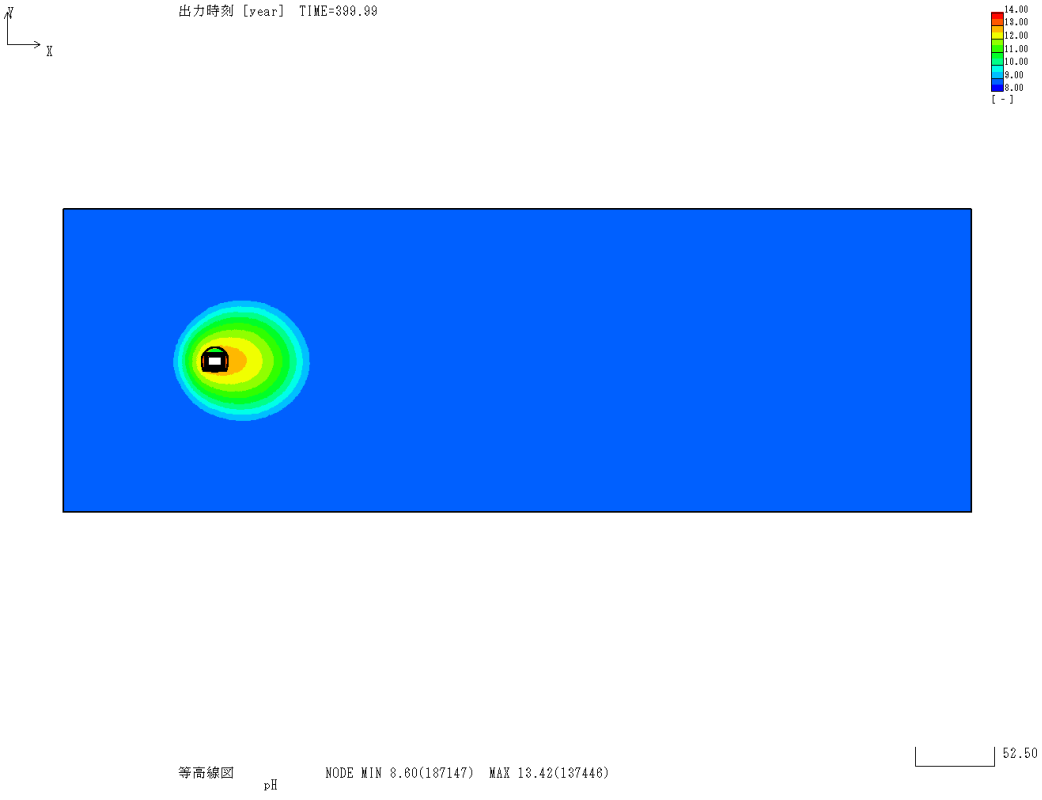


図 1.3-16　400 年後における pH 分布（ケース 1）

図 1.3-17　100 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1）

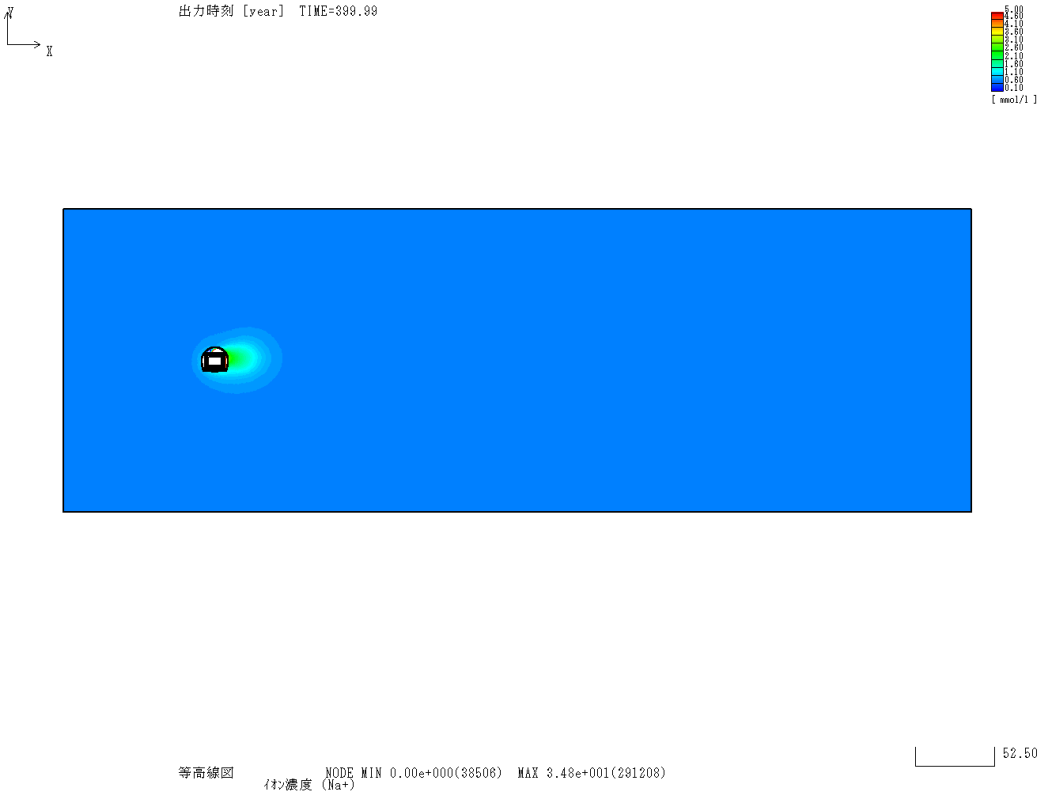


図 1.3-18　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1）

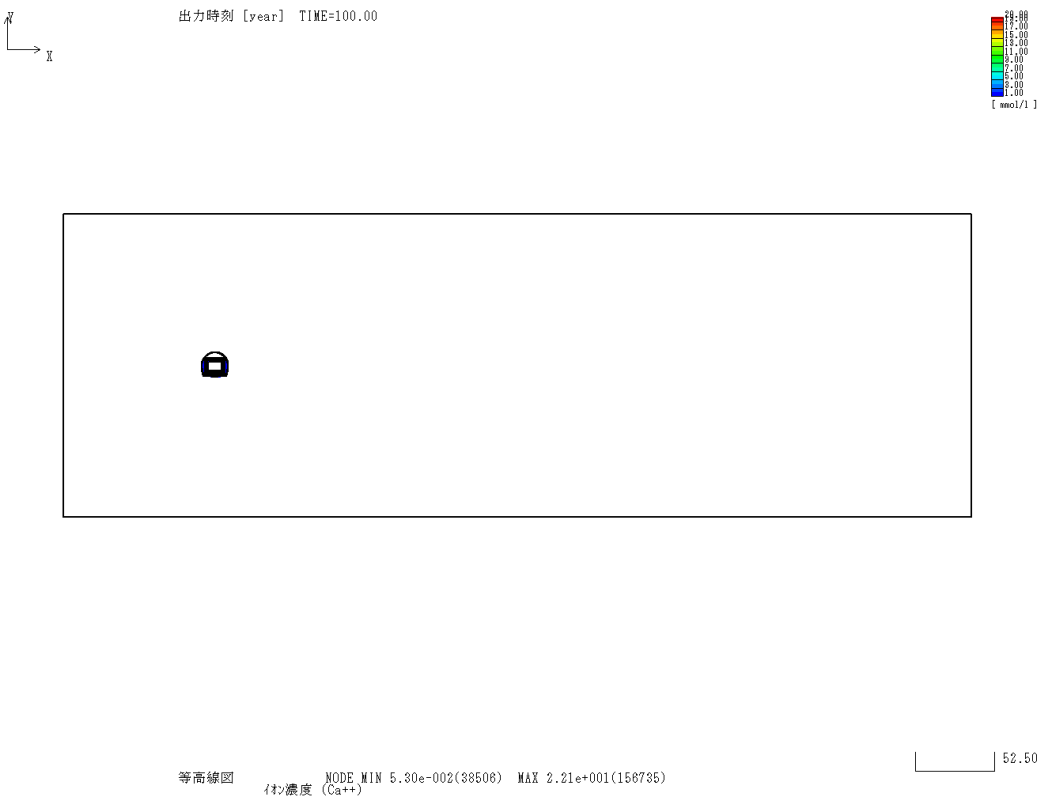


図 1.3-19　100 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 1）

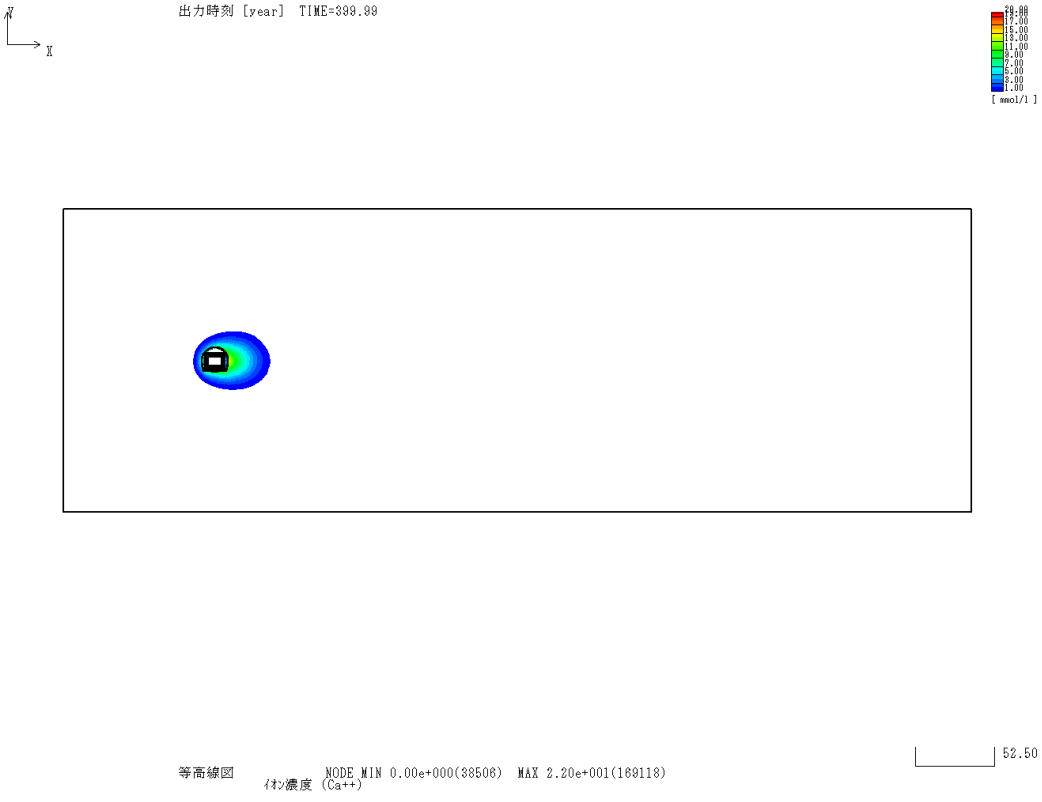


図 1.3-20　400 年後における Ca イオン分布（ケース 1）

ケース 2～ケース 7 についても、それぞれの条件に応じた現象に関する理解を深めることができた。本検討にて得られた結論を以下に示す。

・処分施設から溶出した OH^-、Na^+、Ca^{2+}の周辺地下水への影響範囲に及ぼす動水勾配の影響は大きく、動水勾配 0%と 7%で、pH の変化する範囲が 2 倍程度異なる。
・今回設定したひび割れ及び隙間が、施設から溶出するイオンの周辺地下水への影響範囲に及ぼす影響は小さい。
・透水係数が基礎岩盤に比べて 4 オーダー大きいと仮定した厚さ 2m の EDZ を考慮することによって、周辺地下水のイオン組成が変化する範囲は 10%程度大きくなる。
・今回の解析では、岩盤グラウト、地下水組成が周辺地下水に及ぼす影響は小さい結果となった。
・吹付けコンクリートの初期変質を考慮することで、イオンが移動しやすくなり、結果として岩盤中のイオン濃度上昇が抑制される。
・いずれの解析ケースにおいても、処分施設から溶出したイオンが、400 年間で周辺地下水のイオン組成の変化に影響を及ぼす範囲は 100m 程度である。

d. 文献調査等による施設挙動の定量化

ここでは、前述の解析的検討で取り扱っていない事象を対象に、起こりうる事象の計測実現性を確認することを目的として、既往の検討成果等を参照して定量化することを試みた。

(a) 廃棄体容器の腐食膨張

中深度処分施設における廃棄体容器の腐食膨張について検討した公表文献は極めて少ないものの、参考となり得る文献等を参照し、腐食メカニズムや腐食に影響を及ぼす環境条件等について整理を行った。

(b) 区画内充てん材のひび割れ発生

区画内充てん材（廃棄体間充てん材、上部充てん材）については、過去に実施された地下空洞型処分施設性能確証試験において、室内配合選定試験及び現場施工性試験が行われているため、その試験結果を参照し、廃棄体間充てん材及び上部充てん材のひび割れ発生についての知見を整理した。

(c) 放射線分解ガスの発生

処分施設におけるガスの発生起源は、①金属腐食、②有機物の微生物分解、及び③水の放射線分解、に大別される。関連する既往検討におけるガス発生影響評価の事例を参照し、ここでは主に、放射性分解ガスの発生に係る知見について整理した。

(d) コンクリートピットの鉄筋の腐食膨張

コンクリートピット中の鉄筋の腐食挙動について、

①建設・操業段階～再冠水　　（酸素消費型・不動態での腐食）

②再冠水後　（水素発生型・不動態での腐食）

③鉄筋位置まで溶脱後　　（水素発生型・全面腐食）

の 3 段階に区分し、それぞれの段階の代表的な腐食メカニズムと腐食形態が整理された文献が参考になる。これらを参考に、腐食膨張の程度とひび割れの可能性について評価を行った。

(e) 建設段階・廃棄物の埋設段階における低透水層の変状

地下空洞型処分施設性能確証試験及び閉鎖技術確証試験にて得られた知見に基づき、建設段階・廃棄物の埋設段階における低透水層の変状についての見解を整理した。

(f) 閉鎖措置段階以降における低透水層の流出

高レベル放射性廃棄物処分関連研究での知見を整理するとともに、条件の違いを念頭に置き、中深度処分における閉鎖措置段階以降における低透水層の流出について整理を行った。

(g) 空洞内充てん材（土質系）の沈下による天端部の空隙発生

地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験にて得られた知見に基づき、空洞内充てん材（土質系）の沈下による天端部の空隙発生について整理を行った。

(h) 閉鎖措置段階以降における空洞内充てん材（土質系）の流出

高レベル放射性廃棄物処分関連研究での知見を整理するとともに、条件の違いを念頭に置き、中深度処分における閉鎖措置段階以降における空洞内充てん材（土質系）の流出について整理を行った。

(i) 空洞内充てん材（セメント系）のひび割れ発生

空洞内充填材（セメント系）については、平成 19 年度の地下空洞型処分施設性能確証試験において室内試験及び現場施工試験が行われており、その試験結果を参照し、ひび割れの発生について整理した。

(j) 空洞内充てん材（セメント系）の鉄筋の腐食膨張

高レベル放射性廃棄物処分及び TRU 廃棄物処分関連研究での知見を参考に、整理を行った。

(k) 処分空洞の岩盤クリープによる変形

岩盤クリープに関する各種文献を参考に、その評価手法や予想される挙動について

整理した。

2) 実現性確認のためのラボ試験

a. 試験空洞吹付けコンクリートの分析

(a) 背景と目的

試験空洞内の吹付けコンクリートの変質に関するデータを拡充し、現地環境下での吹付けコンクリートの化学的変質状況を明らかにするために、3 ヵ所、15 本のコアを採取し、吹付けコンクリートと岩盤との界面付近に着目した分析を実施した。

(b) コアの採取

平成 28 年度には、図 1.3-21 に示す位置からコアを採取しており、このうち実規模施設に向かって右手側でより大きな化学的変質が生じていることが確認されている。そこで本検討は、試験空洞右側を対象とし、平成 28 年度に採取した位置の奥側から、前回と同程度の高さ（1.5m 程度）から 2 ヵ所（支保工 No.60-61 区間、支保工 No.75-76 区間）、スプリングライン程度の高さ（5.0m 程度）から 1 ヵ所（支保工 No.60-61 区間）、計 3 ヵ所でコアを採取した。コアの採取位置を図 1.3-21、図 1.3-22 に示す。なお、以下ではそれぞれの箇所のコアは、図 1.3-22 に示す No で示すこととする。

コア採取は、1 ヵ所からは 5 本（3 ヵ所で 15 本）とし、厚さ 300mm~400mm 程度の吹付けコンクリートに加えて、岩盤 200mm 程度のコアを採取した。

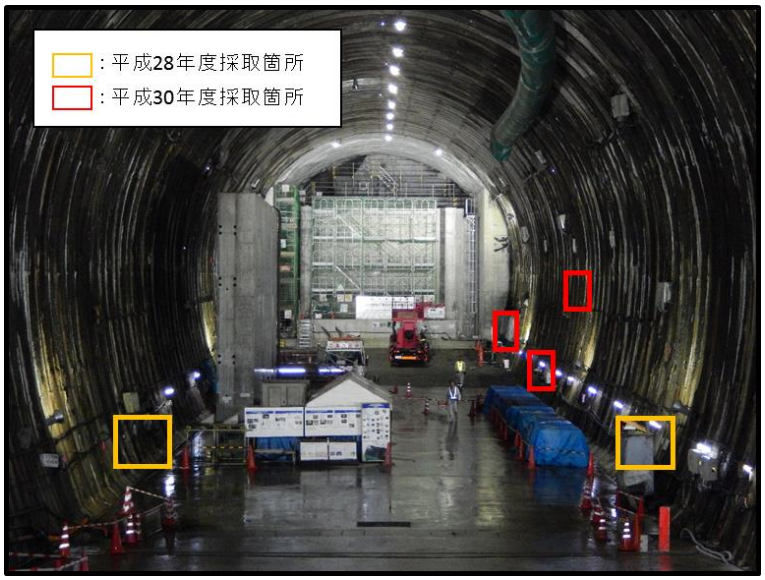


図 1.3-21　吹付けコンクリートのコアの採取箇所（全体）

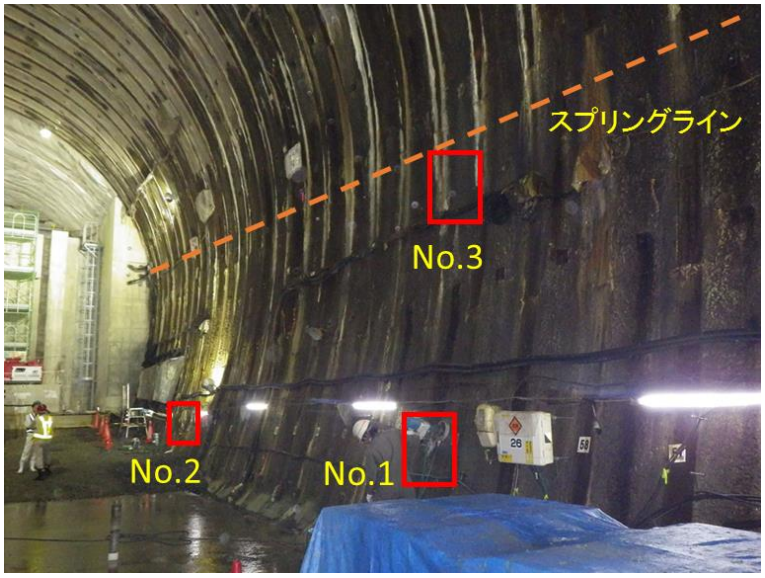


図 1.3-22　吹付けコンクリートのコアの採取箇所（平成 30 年度）

(c) 分析項目

分析項目を表 1.3-8 に示す。

本分析では物理特性の取得として、吹付けコンクリートの圧縮硬度、静弾性係数、空隙率ビッカース硬度、岩盤の空隙率とビッカース硬度を測定した。また吹付けコンクリートと岩盤の界面付近における化学変化を明らかにするために、吹付けコンクリートの中性化試験及び、吹付けコンクリートと岩盤について、電子線マイクロアナライザー（EPMA）による面分析と粉末 X 線回折分析（XRD）による鉱物の同定を行った。

表 1.3-8　分析項目一覧

試料	項目	数量	単位	備考
吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ	圧縮強度	3	本	JIS A 1107
	静弾性係数	3	本	JIS A 1149（ｺﾝﾌﾟﾚｯｿﾒｰﾀ法）
	空隙率	3	点	N=2（1 点あたり 2 回測定）　水銀圧入法，アルキメデス法
	中性化	1	回	JIS A 1152
	ﾋﾞｯｶｰｽ硬度	4	層	25 点/層
	EPMA	1	点	Ca，Si，Na，K，S，Cl，Mg，Al、Fe
	XRD	2	点	定性分析
岩盤	空隙率	2	点	N=2　水銀圧入法，アルキメデス法
	ﾋﾞｯｶｰｽ硬度	2	層	25 点/層
	EPMA	1	点	Ca，Si，Na，K，S，Cl，Mg，Al、Fe
	XRD	2	点	定性分析

(d) 分析結果

試験空洞内の 3 ケ所からコアを採取し、圧縮強度や空隙率などの物理特性、EPMA による面分析などの化学分析を実施した。EPMA による面分析の結果から、吹付けコンクリート中の CaO 濃度の低下範囲は、岩盤との界面から最大でも 20mm 程度までであり、H28

年度に比較して変質範囲が狭い傾向にあることが分かった。また、XRD の分析結果においても、岩盤と吹付けコンクリートの界面から、モノサルフェートは同定されず、エトリンガイトが同定されたことから、界面付近も比較的 Ca の溶脱が進まずに、pH が高い状態で保たれていると考えられる。

また、空隙率やビッカース硬度の分析結果から、CaO 濃度の低下範囲で空隙率が大きく、またビッカース硬度が小さいことから、この範囲は Ca の溶脱に伴って、吹付けコンクリートが物理的にも化学的にも変質していると考えることができる。

平成 28 年度に実施した吹付けコンクリートのコアの分析結果では、吹付けコンクリートの変質範囲は 20mm、60mm となっていたが、今回の検討結果と合せて考えると、吹付けコンクリートの変質深さは、最大でも 20mm 程度であると考えるのが妥当であると考えられる。

b. 光ファイバセンサーの敷設試験

(a) 背景と目的

光ファイバセンサーによって、ひずみ分布を計測するためには、対象構造物との一体性を確保して、対象構造物に生じた変形やひび割れなどに伴う変化を光ファイバセンサーに伝達する必要がある。これまで、低拡散層やコンクリートピットなどセメント系材料バリア表面のひび割れを検知することを目的に、光ファイバセンサーをセメント系材料バリア表面に接着剤を用いて固定することを想定してきた。しかし、接着剤によるセメント系バリア材料～光ファイバセンサーの付着が、長期的に維持されることは考えにくい。そこで、接着剤によるセメント系材料バリアへの付着に期待しない光ファイバセンサーの敷設方法を検討するための試験を実施した。

(b) 試験方法

敷設試験のイメージを図 1.3-23 に示す。低透水層（ベントナイト）とセメント系材料バリア（コンクリート）に挟まれるように、光ファイバセンサーを配置することを仮定する。低透水層の締固め時に応じた圧力、またその後の膨潤圧によって、光ファイバセンサーがセメント系材料バリアに押し付けられる。その圧力によって、光ファイバセンサー～セメント系材料バリアの間に摩擦力が発生するため、セメント系材料バリアの挙動をとらえられると考えられる。また、その圧力の大きさによって、摩擦力が異なり、ひずみ計測の感度に影響を及ぼすことが想定される。

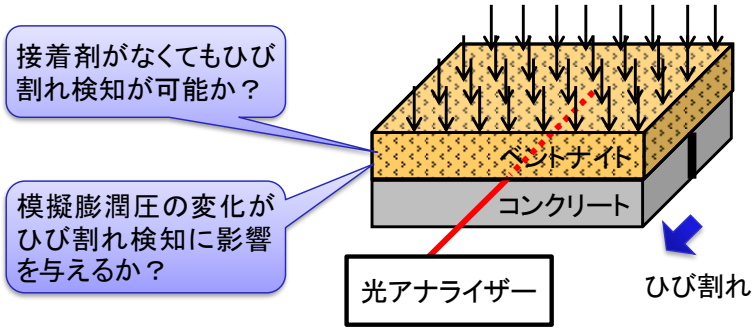


図 1.3-23　敷設試験イメージ

具体的には、コンクリートブロック（幅 10cm）を二つ並べた上にセンサーケーブルを 2 本設置する。図 1.3-24 に示すように、1 本は接着剤で全長固定され、1 本は接着せずに置いただけである。

図 1.3-24　センサーケーブルの設置

センサーケーブル上には、錘としてのコンクリートブロック（10×8×40cm^3）を置いた。その際、錘とケーブルのあいだにウレタンシートを挟んで、センサーケーブルに均一に圧力が加わるようにした。図 1.3-25 に示すように、センサーケーブルを固定したブロックは移動ステージ上に固定され、ブロック間の隙間を僅かずつ広げることができる機構になっている。段階的に隙間を広げながら、センサーケーブルのひずみ分布を計測した。ひずみ分布計測は TW-COTDR 方式で行った。

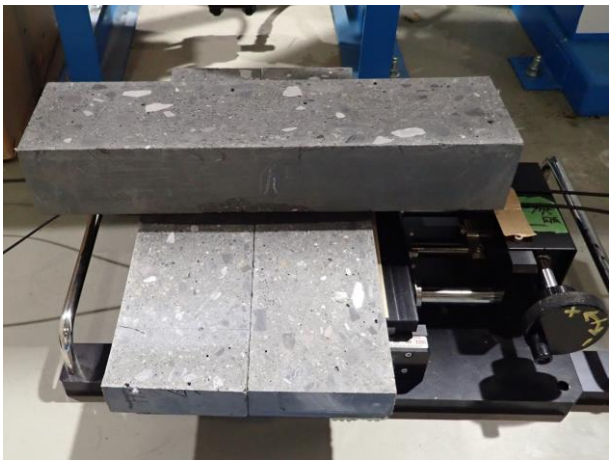


図 1.3-25　敷設試験状況

(c) 試験結果

試験で得られたひずみ分布計測結果例を図 1.3-26 に示す。接着されたセンサーケーブルと接着されていないセンサーケーブルともに隙間の変位量は同じである。得られるひずみ分布は大きく異なるが、たとえ接着剤が無い場合でも僅かな変化がみられた。

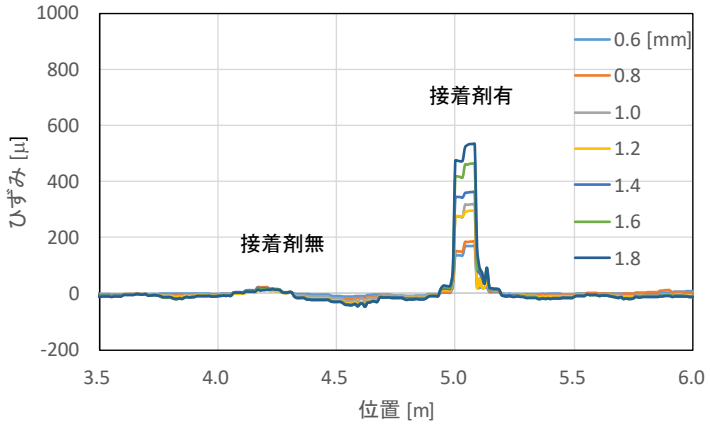


図 1.3-26　敷設試験結果例（ひずみ分布）

接着されたケーブルで得られたひずみ計測結果（隙間部）を図 1.3-27 に示す。隙間の変位量が増えるに従って、ひずみが上昇していることがわかる。

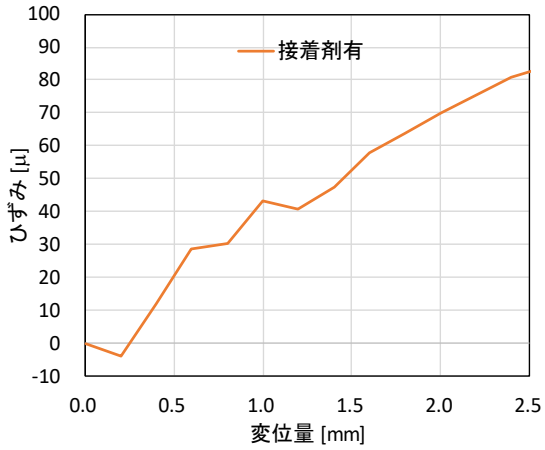


図 1.3-27　接着されたセンサーケーブルのひずみ変化

接着されていないケーブルで得られたひずみ計測結果（隙間部）を図 1.3-28 に示す。隙間が開き始めた直後にひずみ変化をとらえていることがわかる。変位量が 1.0mm 程度からは、その変化にも関わらずひずみ変化は確認できなかった。

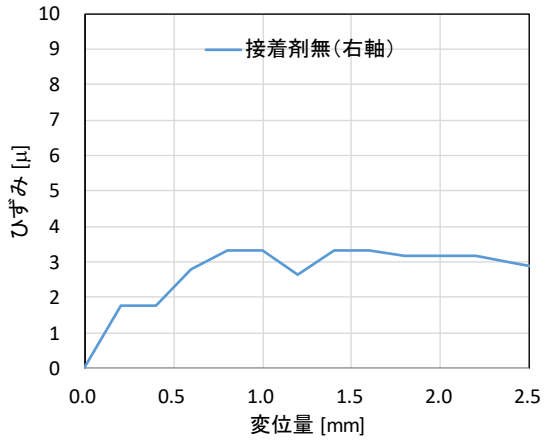


図 1.3-28　接着されていないセンサーケーブルのひずみ変化

(d) まとめ

セメント系材料バリアのひび割れを検知するために、これまでは光ファイバセンサーを表面に接着剤を用いた試験を行ってきた。その結果、光ファイバセンサーによるひずみ分布計測結果から、目視レベル以下のひび割れ幅についても検知できることを確認している。一方、センサー固定のための接着剤による付着力が、長期的に維持されることは考えにくい。

そこで、センサー固定のための接着剤がない場合に、ひび割れ検知が可能かどうかを実験的に確認した。その結果、光ファイバセンサーが計測対象に対して押し付けられるような圧力を受けることによって、接着剤を使わずともひび割れ検知ができる可能性を確認した。低透水層の締固め圧や膨潤圧が、センサーとセメント系材料バリア

の付着力に寄与することが示された。

接着剤が無い場合のひび割れ検知性能は、光ファイバセンサーと計測対象の摩擦に大きく依存すると考えられる。光ファイバセンサーの表面形状（摩擦力向上のための凹凸形状など）や圧力の大きさなどの影響について、さらなる検討が望まれる。また、実験の場合には、試験体のスケールによって光ファイバセンサーの摩擦力が大きく異なることに注意が必要である。

c．光ファイバセンサーの圧力計測試験

(a) 背景と目的

光ファイバセンサーによって、ひずみ・温度分布だけでなく圧力分布を計測できれば、低透水層の膨潤圧などのモニタリングに資することができる。既往研究によれば、加力装置を用いたベントナイト下の光ファイバセンサーに側圧を与える試験によって、段階的な荷重にともなうひずみ変化が得られ、圧力分布計測の可能性を示唆する結果が示されている。

そこで、実際の適用を想定し、ベントナイトの通水試験を通じて生じる膨潤圧を用いて光ファイバセンサーに側圧を与える試験を行い、圧力分布計測の可能性をさらに探ることとした。

(b) 試験方法

光ファイバセンサーによる側圧計測方法のイメージを図 1.3-29 に示す。低透水層（ベントナイト）とセメント系材料バリア（コンクリート）に挟まれるように、被覆（材料や厚さなど）が異なる二種類の光ファイバセンサーを平行に配置することを仮定する。被覆面で受けた側圧は、被覆を経て内部の光ファイバに伝達される。その伝達具合は被覆によって異なるため、両者の光ファイバセンサーの計測結果の差は、ひずみや温度ではなく、側圧によるものと言える。被覆状態の異なる二種類の光ファイバセンサーによって、側圧を検知しようとするものである。

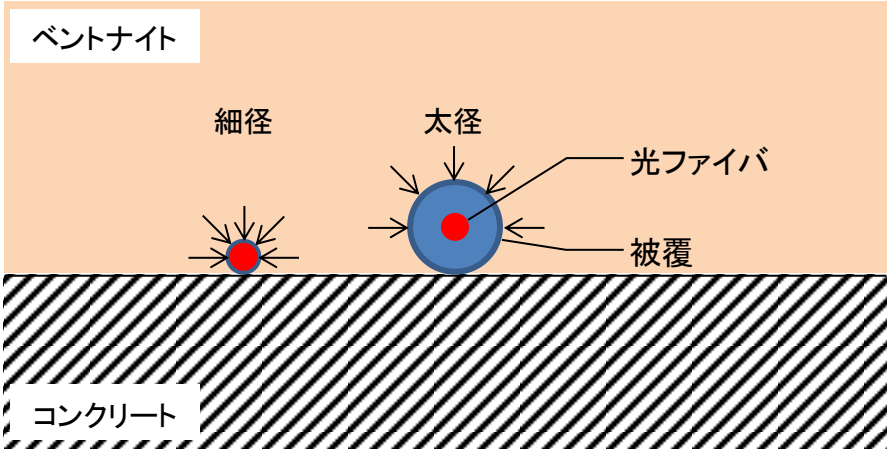


図 1.3-29　側圧計測イメージ

本試験は、被覆の異なる二種類の光ファイバセンサーを、ポーラスストーン（通水用）とベントナイト供試体のあいだに配置し、通水によるベントナイト膨潤が二種類（太径：PVC 被覆・外径 900 ミクロン、細径：UV 被覆・外径 500 ミクロン）の光ファイバセンサーに与える側圧の差をもとに、その領域の圧力状態をとらえようと試みるものである。ちなみに本試験環境下では、ひずみと温度は一定と言える環境下である。

通水試験装置を図 1.3-30 に示す。ベントナイト供試体部（φ300mm、高さ 60mm）の下部に位置するポーラスストーンを経由してベントナイト下面全体から通水される仕組みとなっている。試験装置は供試体製作のモールドも兼ねていて、供試体側面のリングにカラーを重ねた状態でベントナイトを敷き詰め、加圧板を手回しのスクリュージャッキで締め固めることができる。

ベントナイト供試体部の上部の加圧板と、反力をとる上板のあいだにはロードセル（200kN）を設置して、データロガーにて荷重を計測できるようになっている。

バルブからベントナイト供試体へ通水しながら、ロードセル、ポイント型光ファイバ圧力センサー、分布型光ファイバセンサーで定期的なひずみ分布の連続計測を行った。計測は TW-COTDR 方式で行った。

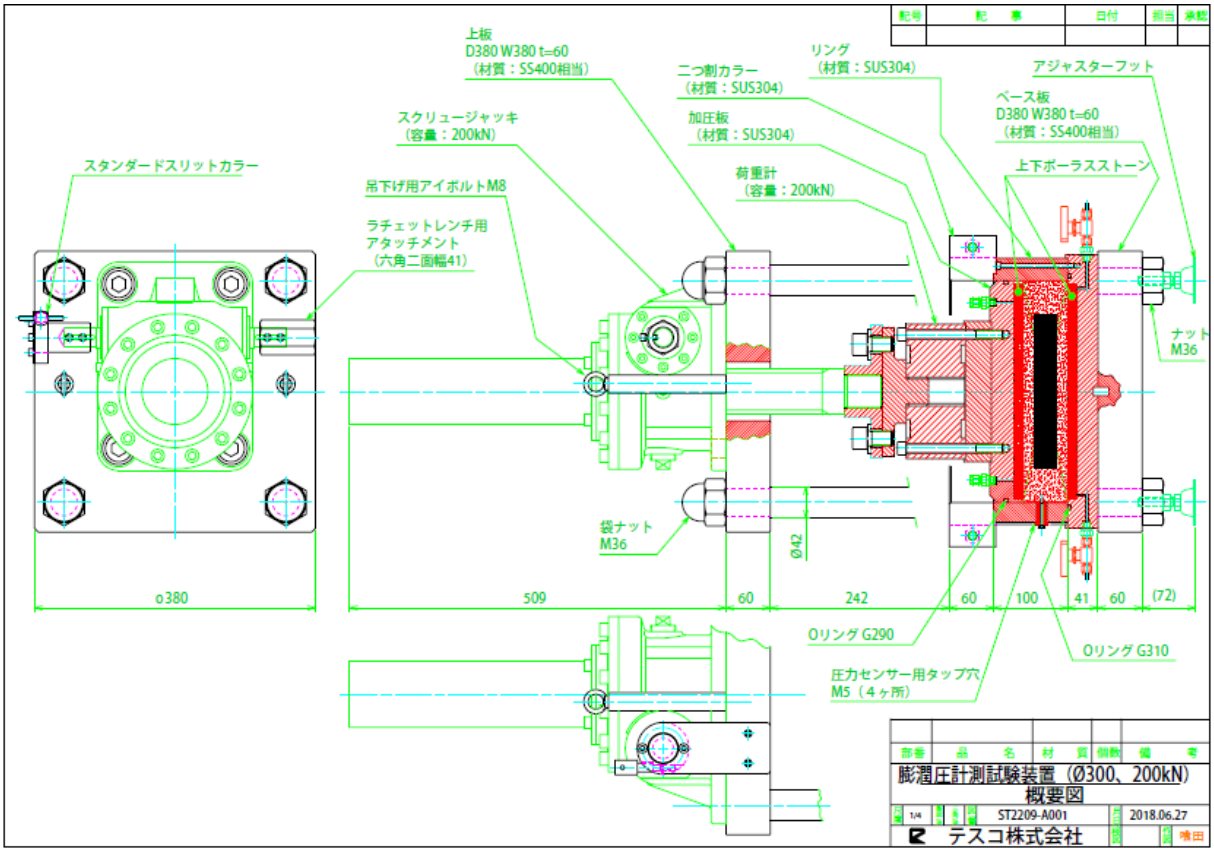


図 1.3-30　通水試験装置

(c) 試験結果

ポーラスストーンに固定した太径と細径の分布型光ファイバセンサーを用いてひずみ分布を計測した結果を図 1.3-31～図 1.3-32 にそれぞれ示す。ばらつきが多いものの、太径については 8.9m 付近で、細径については 12.6m 付近で、通水直後からひずみが変化している傾向を示している。

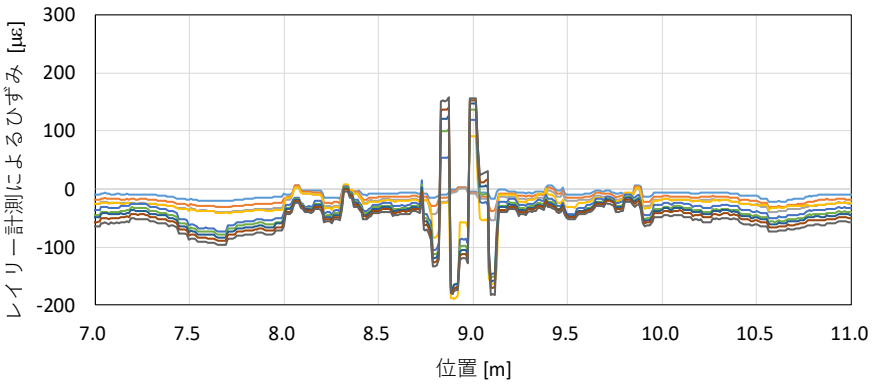


図 1.3-31　太径光ファイバのひずみ分布計測結果

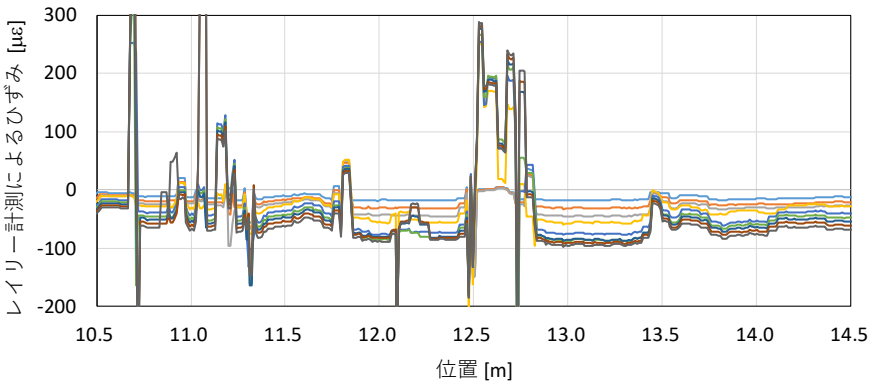


図 1.3-32　細径光ファイバのひずみ分布計測結果

被覆厚の異なる二種類の光ファイバの差を、ロードセルの結果とともに経時変化として図 1.3-33 に示す。傾向は異なるものの、両者ともに上昇傾向を示している。

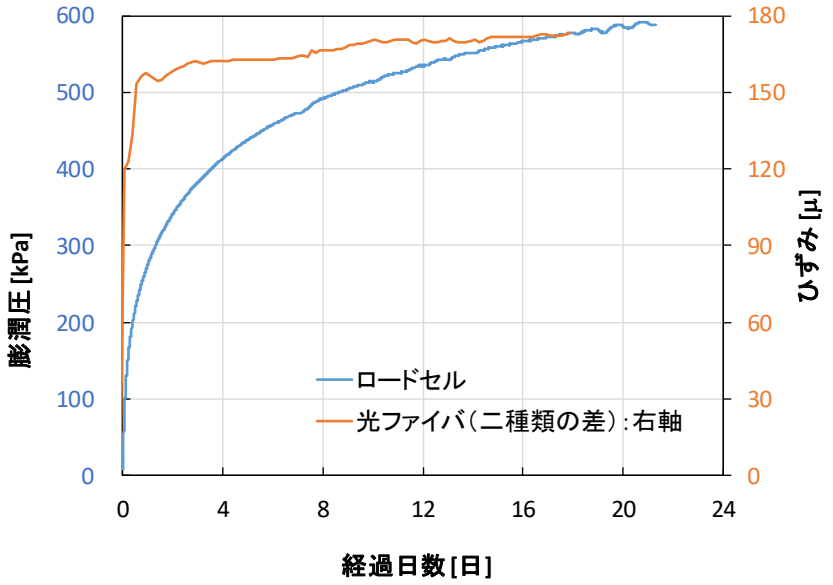


図 1.3-33　ロードセルと光ファイバ（二種類の差）の経時変化

ロードセルと光ファイバ（二種類の差）の関係を図 1.3-34 に示す。特に膨潤圧が小さい場合（通水初期）に変動がみられるものの、光ファイバによって一定の膨潤圧の上昇傾向を把握できることを確認した。

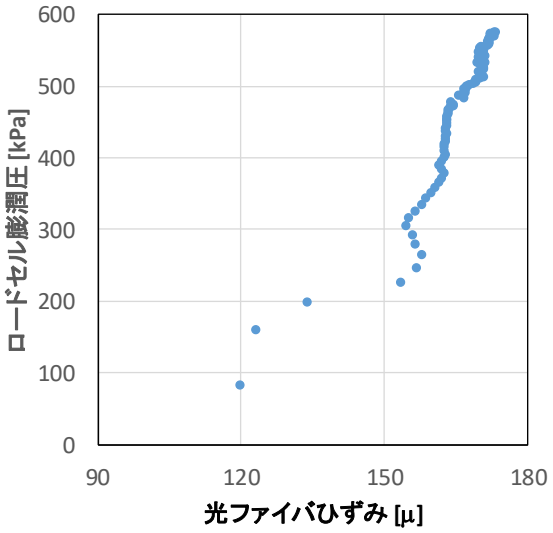


図 1.3-34　ロードセルと光ファイバ（二種類の差）の関係

(d) まとめ

光ファイバセンサーによって、温度分布やひずみ分布計測を実施、検証を進めてきた。併せて圧力分布を実現できれば、低透水層の偏膨潤を把握し、低拡散層の変状が発生する前の予兆について確認するなど、多面的なモニタリングが期待できる。

そこで、光ファイバ周囲の圧力の影響を、被覆状態（被覆厚、被覆材料）の異なる

光ファイバを用いて実験的に確認した。被覆状態の異なる二種類の光ファイバ上にベントナイトを敷き詰めて通水試験を行った結果、二種類のひずみ計測結果の差から、膨潤圧の上昇傾向を確認することができた。

ベントナイト通水による試験では、光ファイバへの均一な圧力付与が困難であることから、ひずみ計測結果はばらつきが目立った。圧力を付与する機構を再考のうえ、再現性のある実験方法で、また二種類以上の異なる被覆状態の光ファイバでのさらなる検討が望まれる。

3) 光ファイバセンサーによるひずみ等の計測

a. 実規模施設を活用した連続的な計測

(a) 試験の概要

光ファイバセンサーを用いた計測システムを用いて、実規模施設のセメント系材料のひずみ等を連続的に計測する。ここで、光ファイバセンサーの設置箇所は以下の通りとする。

- 上部低拡散層表面
- 側部低拡散層表面
- 手前コンクリートピット表面
- アクセス坑道沿い壁面。

(b) 計測システム

光ファイバセンサー、光計測器（Neubrex 社製 NBX-7020）、データ処理装置より構成される計測システムの構成を図 1.3-35 に、実際の現地設置状況を図 1.3-36 にそれぞれ示す。

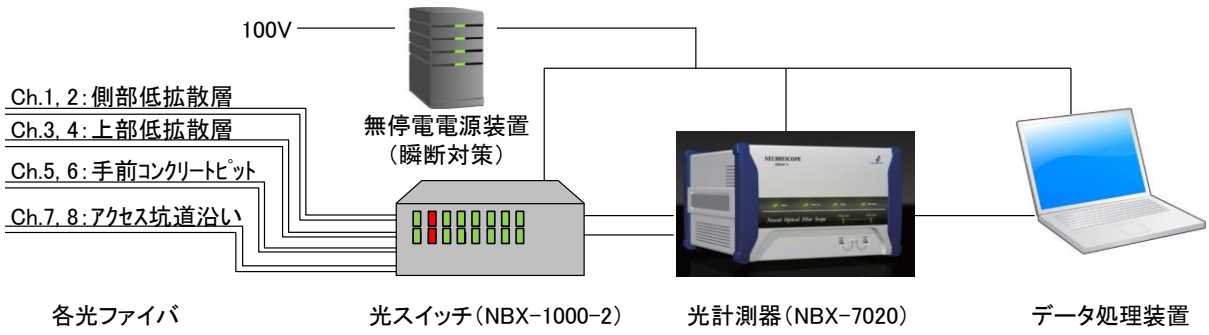


図 1.3-35　計測システムの構成

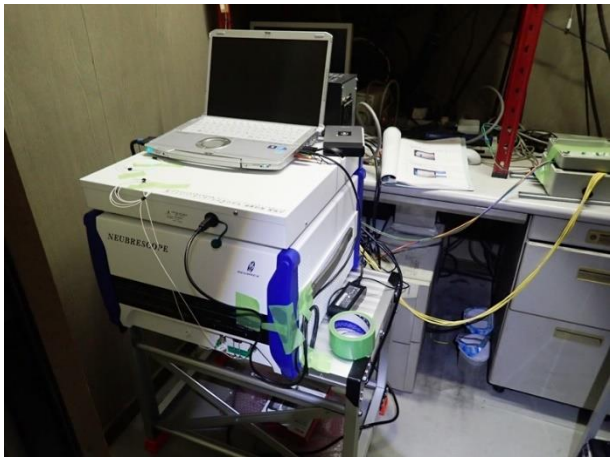


図 1.3-36　計測システム設置状況

本計測システムではブリルアン散乱光とともにレイリー散乱光を用いた計測方式も適用可能である。本研究においては、ブリルアン散乱光による計測方式のうち PPP-BOTDA（Pulse Pre-Pump Brillouin Optical Time Domain Anaysis）と、レイリー散乱光による計測方式のうち TW-COTDR（Tunable Wavelength Coherent Optical Time Domain Reflecmetry）でひずみ等を計測する。

PPP-BOTDA 方式の基本的な光ファイバの構成を図 1.3-37 に示す。光ファイバ内にふたつの光を対向させることによって、ブリルアン散乱光が誘導される。ふたつの光の周波数差がブリルアン周波数シフトに一致する場合に、誘導ブリルアン散乱によって両者の光のあいだでエネルギーの授受が最大化される。そのため、ふたつの光の周波数差を掃引しながら連続光を観測すれば、光量が最大となったときの周波数差からブリルアン周波数シフトを計測することができる。計測位置の情報は、パルス光の帰還時間と光速から算出する。本方式において、分布計測としての位置分解能は、入射するパルス光の幅に依存する。ブリルアン周波数シフト$\Delta\nu_B$は、ひずみ係数 C_{11} と温度係数 C_{12} を用いて下式のようにあらわされる。ここで、$\Delta\varepsilon$とΔTはそれぞれひずみ変化と温度変化である。

$$\Delta\nu_B = C_{11}\Delta\varepsilon + C_{12}\Delta T \qquad (1.3\text{-}1)$$

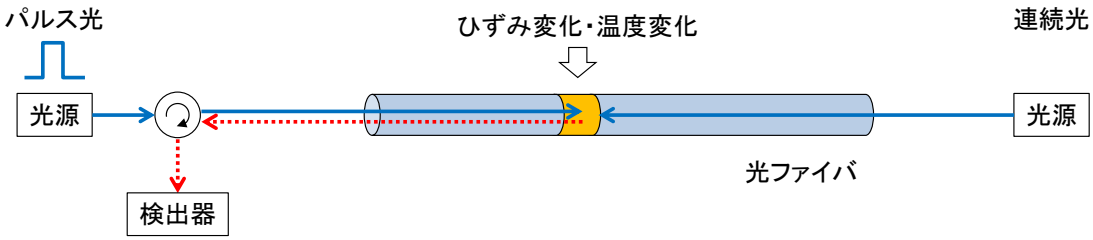


図 1.3-37　PPP-BOTDA 方式の構成

TW-COTDR 方式の基本的な光ファイバの構成を図 1.3-38 に示す。光ファイバ内に片端からパルス光を入射して、レイリー散乱光を観測する。この散乱光スペクトルは、光ファイバの僅かな密度の違いなどによって異なり、光ファイバの種類や位置によってそれぞれが固有のパターンを有する。レイリー散乱光のピーク波長の変化（レイリー周波数シフト）はわずかなもので、そのピークを抽出することは容易ではないが、比較するふたつのスペクトルのパターンの相互相関をもとにすることで、わずかなレイリー周波数シフトを精度よく計測することができる。計測位置の情報は、パルス光の帰還時間と光速から算出する。本方式において、分布計測としての位置分解能は、入射するパルス光の幅に依存する。レイリー周波数シフト$\Delta\nu_R$は、ひずみ係数 C_{21} と温度係数 C_{22} を用いて下式のようにあらわされる。ここで、$\Delta\varepsilon$とΔTはそれぞれひずみ変化と温度変化である。

$$\Delta\nu_R = C_{21}\Delta\varepsilon + C_{22}\Delta T \qquad (1.3\text{-}2)$$

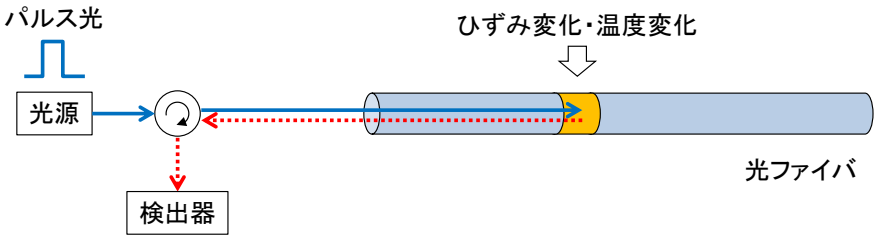


図 1.3-38　TW-COTDR 方式の構成

シングルモード光ファイバによってループが構成されていれば（両端から光を入射可能であれば）、上記の両方式（PPP-BOTDA ならびに TW-COTDR）を用いて、ブリルアン周波数シフト$\Delta\nu_B$とレイリー周波数シフト$\Delta\nu_R$をともに観測可能である。この二観測値とあらかじめ既知の係数 D_{11}～D_{22} によって、ひずみ変化$\Delta\varepsilon$と温度変化ΔTのふたつの未知数を算出することができる。前述の C_{11}～C_{22} はじめ、これら係数を出すためにはキャリブレーションが必要となる。

$$\begin{pmatrix}\Delta\varepsilon\\ \Delta T\end{pmatrix} = \begin{bmatrix}D_{11} & D_{21}\\ D_{12} & D_{22}\end{bmatrix}\begin{pmatrix}\Delta\nu_B\\ \Delta\nu_R\end{pmatrix} \qquad (1.3\text{-}3)$$

(c) 使用する光ファイバセンサー

ひずみ計測用光ファイバセンサー（OFS 社製 C80920、1.8×3.5mm）を図 1.3-39 に示す。貼り付け時にコンクリート表面との付着面積を確保できるように断面形状は偏平としている。また、太径の抗張力体を、ケーブル中央の光ファイバの左右に配置することで、施工時の引っ張りや衝撃などに対して光ファイバが損傷しにくいような構成としている。

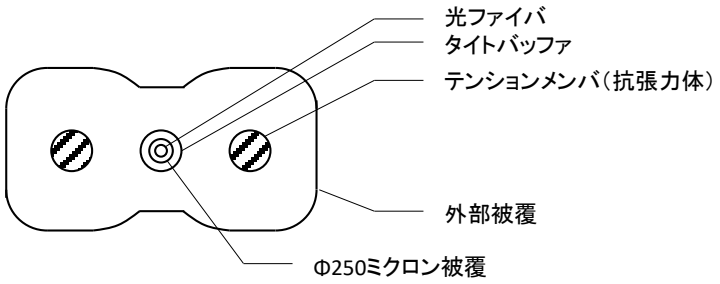


図 1.3-39　ひずみ計測用光ファイバセンサー

温度計測用光ファイバセンサーケーブル（OFS 社製 CX80766、外径 8.5mm）を図 1.3-40 に示す。内部の光ファイバと被覆部は縁切りされており、ケーブルに引張が加わったとしても、内部の光ファイバには引張が加わらないような構成となっている。

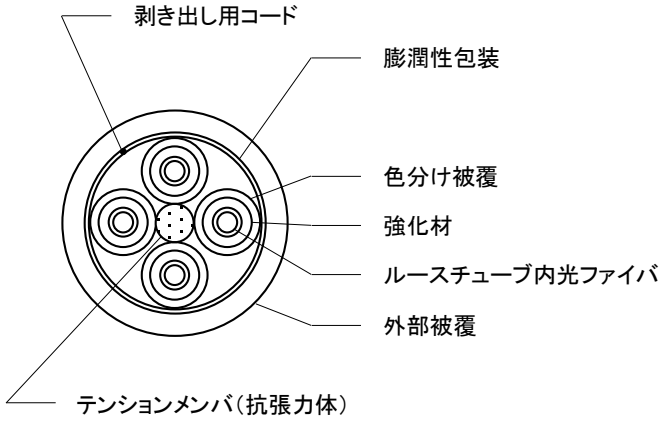


図 1.3-40　温度計測用光ファイバセンサーケーブル

なお、ひずみ計測用光ファイバセンサーは上部低拡散層表面、側部低拡散層表面及び手前コンクリートピット表面に、温度計測用光ファイバセンサーケーブルはアクセス坑道沿い壁面に、それぞれ 2017 年 10 月中旬に設置済みである。

(d) 上部低拡散層表面のひずみ計測

上部低拡散層には、300mm 間隔の格子状に光ファイバセンサーが設置されている。直線部は全長固定して、折り返しなどの曲線部はぐらつきを抑えるために間欠固定した。

上部低拡散層の光ファイバセンサー設置位置を図 1.3-41 に示す。

分布型光ファイバセンサーにより総延長約 540m にわたって 3 時間の間隔で連続計測した。

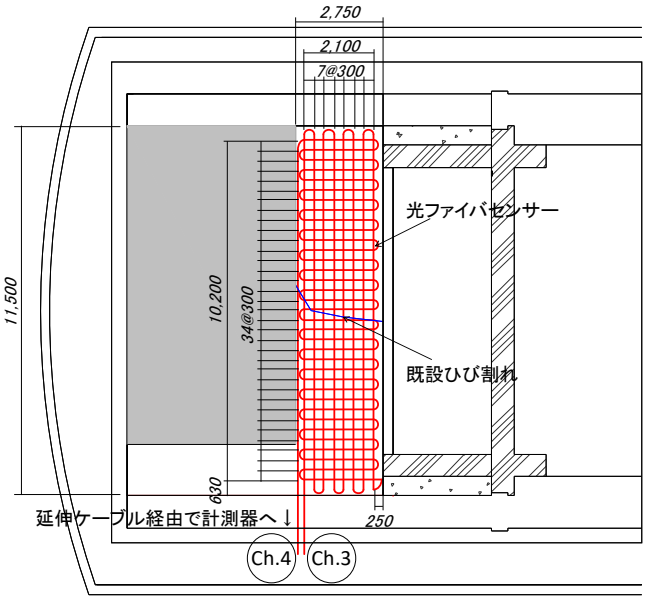


図 1.3-41　上部低拡散層平面図

結果の一例として、2018 年 1 月 23 日昼頃の結果を初期値として、ブリルアン周波数の差（シフト）を算出した結果を図 1.3-42 に示す。10MHz の周波数変化は 200μひずみ変化に相当する。ブリルアン周波数シフトの変化が約 11m 毎（設置長）に周期的にみられ、各箇所中央部に局所的な変化がみられるが、この位置は既設ひび割れ位置に相当している。

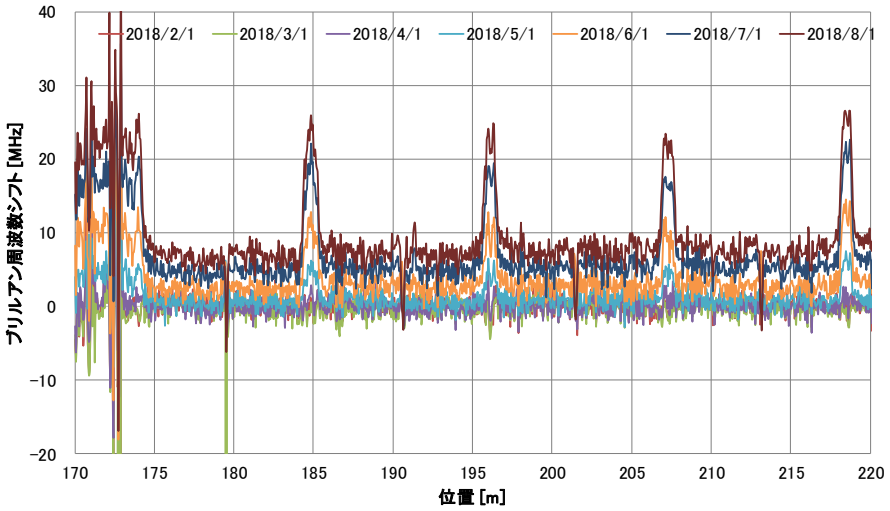


図 1.3-42　ブリルアン周波数シフトの結果例（上部低拡散層：長辺方向１）

ブリルアン散乱を利用したひずみ分布計測結果によれば、2 月から 8 月の温度上昇にかけて、全体に正方向（引張ひずみ方向）に変化した。しかし、既設ひび割れ位置では、温度上昇にかけて、負方向にひずみが変化した。近傍の温度計の計測結果と比較すると、既設ひび割れ位置でのひずみは逆相関があり、温度上昇によってひび割れ開口が閉じ、温度低下によってひび割れ開口が開く結果が光ファイバセンサーによって得られた。

(e) 側部低拡散層表面のひずみ計測

側部低拡散層には、既設ひび割れに直交するように水平方向に 8m 長の直線部 4 本から成る光ファイバセンサーが設置されている。直線部は全長固定して、折り返しなどの曲線部はぐらつきを抑えるために間欠固定した。

側部低拡散層の光ファイバセンサー設置位置を図 1.3-43 に示す。

また、既設ひび割れの開口変位量を計測するために、最上部の光ファイバセンサー付近にクリップゲージを計 3 個設置している。

分布型光ファイバセンサーにより総延長約 380m にわたって 3 時間の間隔で連続計測した。

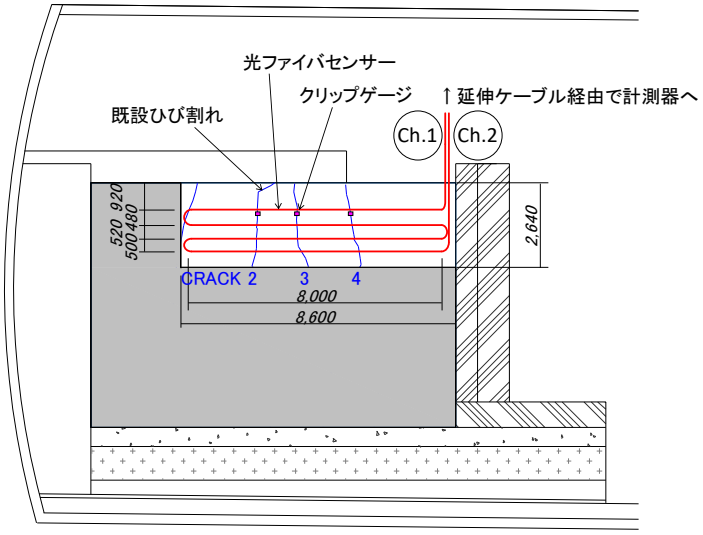


図 1.3-43　側部低拡散層側面図

結果の一例として、2018 年 1 月 23 日昼頃の結果を初期値として、ブリルアン周波数の差（シフト）を算出した結果を図 1.3-44 に示す。10MHz の周波数変化は 200 μ ひずみ変化に相当している。

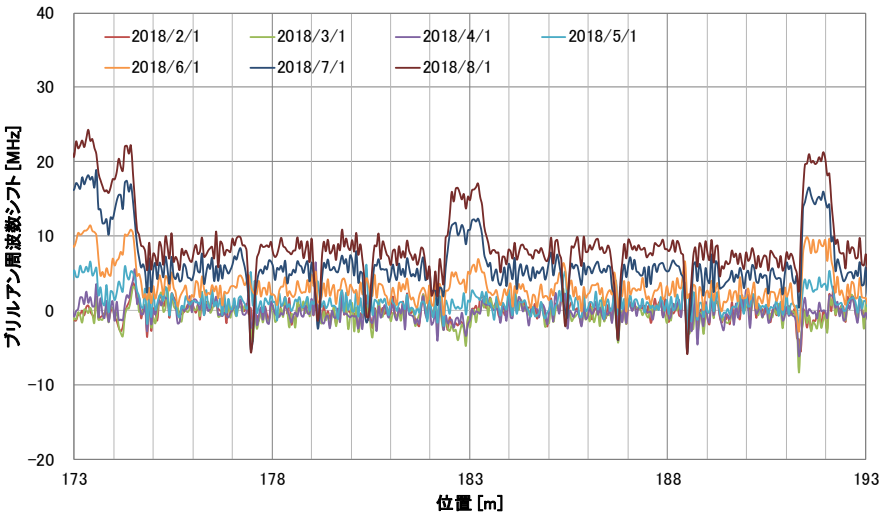


図 1.3-44　ブリルアン周波数シフトの結果例（側部低拡散層１）

ブリルアン散乱を利用したひずみ分布計測結果によれば、2 月から 8 月の温度上昇にかけて、全体に正方向（引張ひずみ方向）に変化した。しかし、既設ひび割れ位置では三カ所とも、温度上昇にかけて、負方向にひずみが変化した。これらは上部低拡散層の結果と同様であった。つまり、近傍の温度計の計測結果と比較すると、既設ひび割れ位置でのひずみは逆相関であった。既設ひび割れ部にはクリップゲージを取り付けて連続計測を行ったが、それによる開口変位量計測結果は近傍の温度計の計測結果と逆相関があり、おおよそ-10μm/℃の関係性があった。

(f) 手前コンクリートピット表面のひずみ計測

手前コンクリートピットには、前述の上部低拡散層と同様に 300mm 間隔の格子状に光ファイバセンサーが設置されている。直線部は全長固定して、折り返しなどの曲線部はぐらつきを抑えるために間欠固定した。

手前コンクリートピットの光ファイバセンサー設置位置を図 1.3-45 に示す。

分布型光ファイバセンサーにより総延長約 700m にわたって 3 時間の間隔で連続計測した。

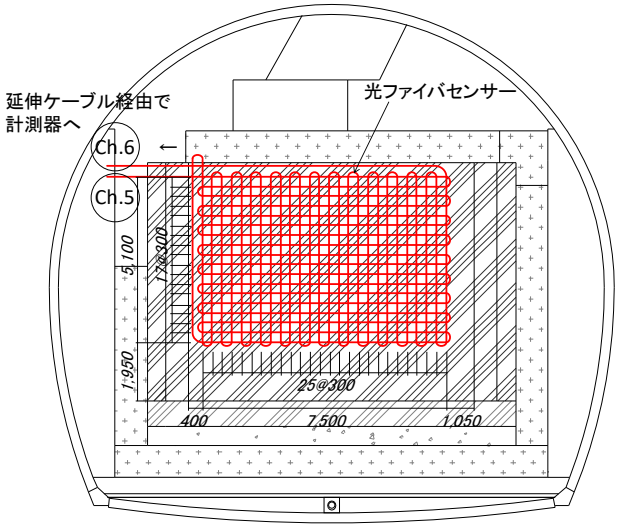


図 1.3-45　手前コンクリートピット正面図

結果の一例として、2018 年 1 月 23 日昼頃の結果を初期値として、ブリルアン周波数の差（シフト）を算出した結果を図 1.3-46 に示す。10MHz の周波数変化は 200μひずみ変化に相当している。

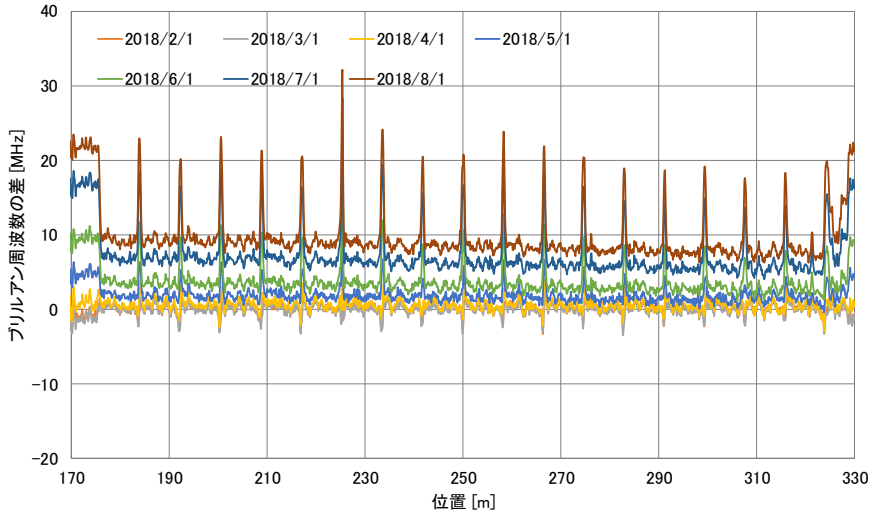


図 1.3-46　ブリルアン周波数シフトの結果例（コンクリートピット：水平方向）

ブリルアン散乱を利用したひずみ分布計測結果によれば、2 月から 8 月の温度上昇にかけて、全体に正方向（引張ひずみ方向）に変化した。上部低拡散層や側部低拡散層でみられたような、既設ひび割れによるひずみ分布の不連続点はみられなかった。

(g) アクセス坑道沿い表面の温度計測

温度計測用光ファイバセンサーケーブルは、計測小屋からコンクリートピット部で折り返して坑口まで、壁面に既設の吊りワイヤーを利用して架設されている。センサーケーブル内の二芯を用いて、坑口部のケーブル端部で当該二芯を接続することで、全長 2500m 長の光ファイバでループを構成している。ケーブルの配置を図 1.3-47 に、架設イメージ

を図 1.3-48 にそれぞれ示す。

温度分布計測用の参照計器として、坑道沿いに約 200m 間隔で温度計が設置されている。

分布型光ファイバセンサーにより総延長 2750m にわたって 3 時間の間隔で連続計測した。

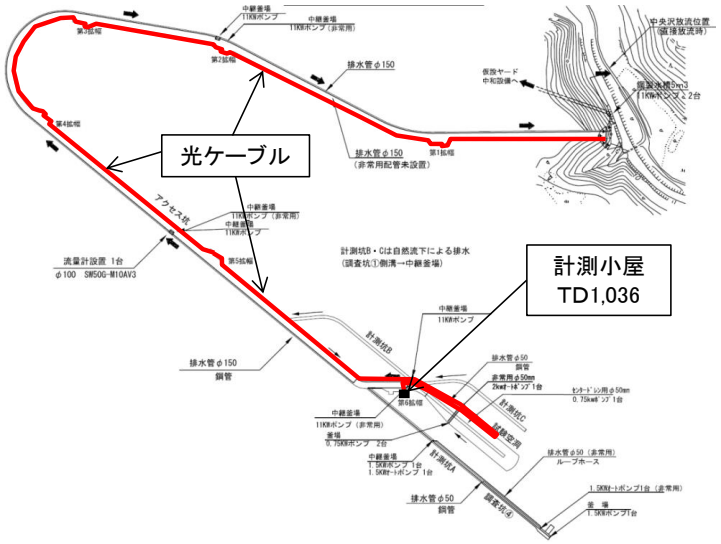


図 1.3-47　温度センサーケーブルの配置

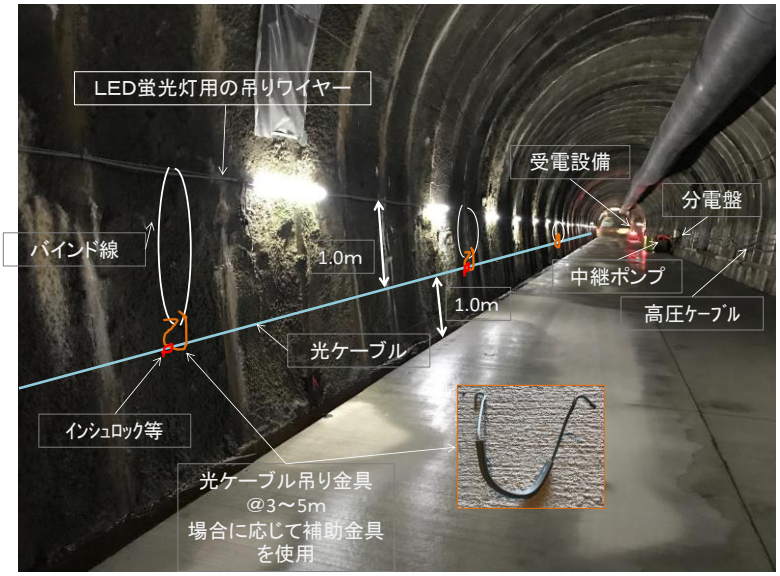


図 1.3-48　温度センサーケーブル架設イメージ

計測結果の一例を図 1.3-49 に示す。

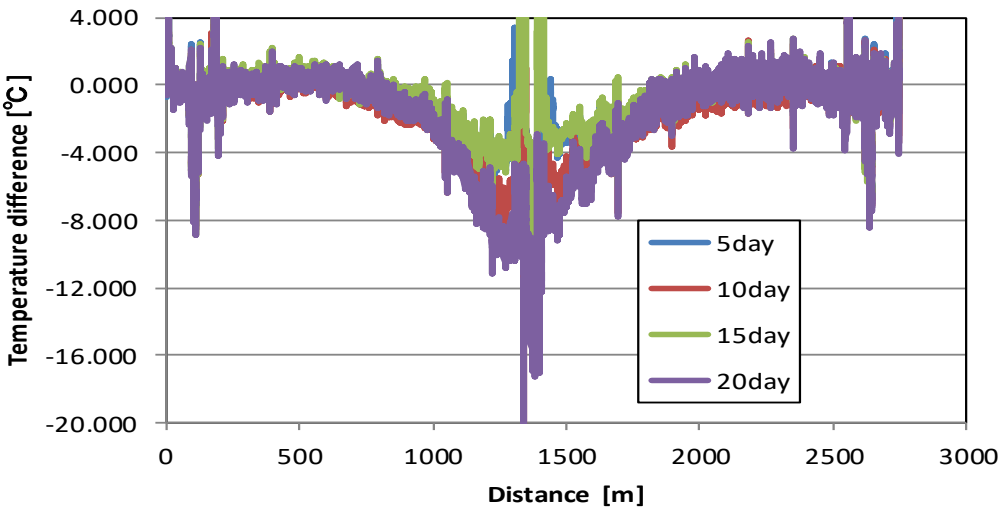


図 1.3-49　計測結果例（アクセス坑道沿い）

ブリルアン散乱を利用した温度分布計測結果によれば、併設した温度計の計測結果と比較して、概ね傾向は一致した。一部で結果に差がみられた箇所があったが、ケーブルに加わった変形などが内部の光ファイバに伝わったためと考えられる。

b. 試験体を用いた事前試験

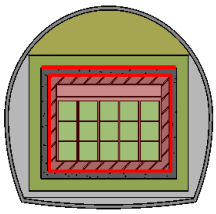
(a) 背景と目的

実規模施設を利用した、光ファイバセンサーによるひび割れ計測試験は、施設に人為的に発生させるひび割れを光ファイバセンサーで検知できることを確認する計画である。そのため、実規模施設のセメント系材料に過大な損傷を与えず、かつ、確実にひび割れを誘発できる手法が必要である。本事前試験では、平成 29 年度の地下空洞型処分施設機能確認試験[4]でひび割れ誘発手法の候補として選定した標準パッカー工法の、実規模施設を用いた試験への適用性を確認した。また、これに併せて、事前試験で発生させるひび割れを対象として、光ファイバセンサーによる計測を行った。

(b) 人為的なひび割れ誘発手法検討の流れ

ひび割れ誘発手法の選定の流れを表 1.3-9 示す。

表 1.3-9　ひび割れ誘発手法の選定に向けた流れ

項目	要素試験	事前試験	実規模施設を活用したひび割れ計測試験
時期	平成 29 年度	平成 30 年度 8 月	平成 30 年度 10 月
目的	実規模施設にひび割れを誘発する手法について、候補を選定する。	候補選定したひび割れ誘発手法が、実規模施設を用いたひび割れ計測試験に適用可能であることを確認する。	光ファイバセンサーを利用して、実規模施設に発生させるひび割れの形状や大きさを検知できることを確認する。
対象	供試体ブロック 50cm×50cm×50cm 1.2m × 1.2m × 60cm 程度 	実規模施設を想定した試験体 2m×3m×60cm（70cm） 	実規模施設 上部低拡散層と手前コンクリートピット 

(c) 試験の手順

試験は以下の手順により実施した。

① 光ファイバセンサーの貼付け

実規模施設を活用したひび割れ計測試験に合わせて、光ファイバセンサーを 30cm 間隔で格子状に貼付ける。

② 鉄筋の探査

手前コンクリートピット部を模擬した鉄筋コンクリートの試験体では、削岩機で削孔する穴が鉄筋と干渉して、削岩できない可能性がある。光ファイバセンサーの貼付け作業と並行して、電磁波レーダー式の鉄筋探査機を用いて鉄筋探査を行う。

③ 削岩機による削孔

光ファイバセンサーが貼付けられた試験体の上で、削岩機による削孔作業を行い、直径 42mm、深さ 60cm の穴を削孔する。

④ 標準パッカー工法によるひび割れ誘発

削孔した穴に標準パッカーを設置し、油圧ポンプにより加圧してひび割れを誘発させる。ひび割れが発生したら加圧を停止して、光ファイバセンサーによるひずみ計測、クラックゲージを用いたひび割れ幅の測定を行うこととする。また、光ファイバセンサーによる計測の終了後、再度加圧を行って、ひび割れ幅の拡大が目視で確認された段階で、加圧を停止し、再度、光ファイバセンサーによるひずみ計測、クラックゲージを用いたひび割れ幅の計測を行う。

(d) ひび割れ誘発に関する試験結果

a) 上部低拡散層を模擬した試験体

要素試験に比較して大きな部材寸法の試験体を用いて試験を実施したものの、0.1mm 以上のひび割れを制御することはできず、0.35~0.45mm の貫通ひび割れを瞬時に生じさせてしまう結果となった。実規模施設を活用したひび割れ計測試験でひび割れを発生させる上部低拡散層は、低透水層に覆われている箇所も含めて 11.5m×8.0m と、事前試験の試験体と比べるとはるかに大きな部材であるため、必ずしも幅の大きな貫通ひび割れが瞬時に生じるとは限らないが、目視によって段階的にひび割れ幅を拡大させることが困難なことが明らかになった。

一方で、本試験では、標準パッカーを用いることによって意図した方向にひび割れを誘発できることが確認できている。ひび割れが入ると想定される位置に、予め、ひずみゲージやパイ型ゲージを設置し、加圧中に、リアルタイムでひずみやひび割れ幅を計測することで、ひずみやひび割れ幅を制御しながら試験を実施できると考えられる。

また、無筋コンクリートに斜め方向にひび割れを発生させる際、既にひび割れを発生させるために使用した削孔穴を用いてひび割れを発生させようとすると、斜め方向に新たなひび割れは発生せずに、既に生じさせたひび割れ幅が拡大することが分かった。事前試験で実施したのと同様に、新規にひび割れを発生させる位置に削孔した穴のみを使用して、ひび割れを発生させることとする。

b) 手前コンクリートピットを模擬した試験体

手前コンクリートピットを模擬した試験体を用いてひび割れを誘発させた結果、光ファイバセンサーに直交する方向（標準パッカー設置間隔 30cm）では最大 0.35mm、斜めに交わる方向（標準パッカー設置間隔 45cm）では最大 0.20mm のひび割れを誘発できることが分かった。今回発生したひび割れは、部材を貫通したものでなく、標準パッカーの周りでのみ生じたものであったことを考えると、事前試験の試験体で寸法であっても、十分にひび割れの発生を抑制する効果があったものと考えられる。実規模施設はより部材寸法、周囲の拘束が大きい条件であるが、少なくとも 2 つの標準パッカーの間では、ひび割れを誘発することが可能であると考えられる。

(e) 光ファイバセンサーによる計測に関する試験結果

光ファイバセンサーによる計測には、ブリルアン散乱を利用した PPP-BOTDA 方式を用いた。段階的な加圧ステップごとに、光ファイバセンサーによる計測を繰り返した。

光ファイバで得られた結果は、位置ごとに得られるブリルアン周波数シフトの変化であり、それに光ファイバセンサーごとの定数を乗じることでひずみ分布（位置 vs.ひずみ）を算出することができる。その結果を、試験体全体で評価しようとすると、光ファイバセンサーを設置した場所以外を何らかの方法で補間する必要がある。ここでは、試験体全体を 10cm 間隔でデータをもたせるために、図 1.3-50 に示すようにバイキュービック補間法を用いた。これは、離散的な標高データからコンター図などを作成する場合などに汎用の

方法である。

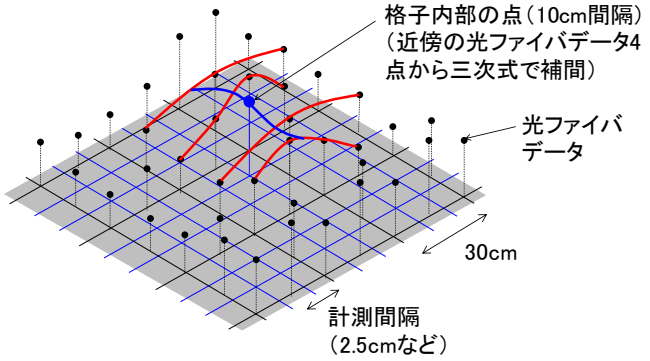
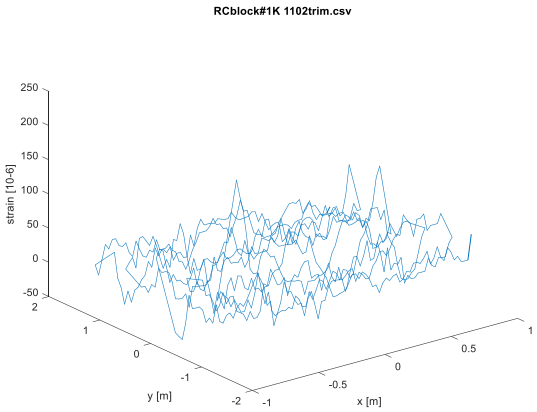
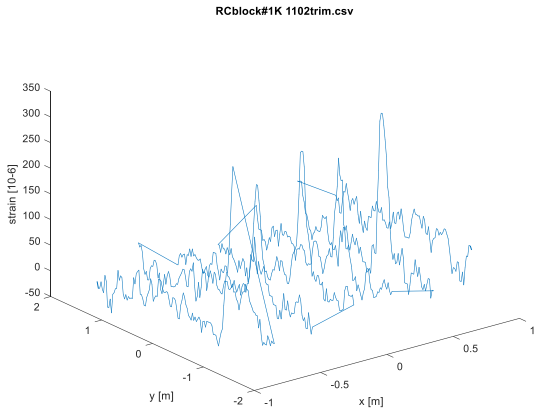


図 1.3-50　解析方法

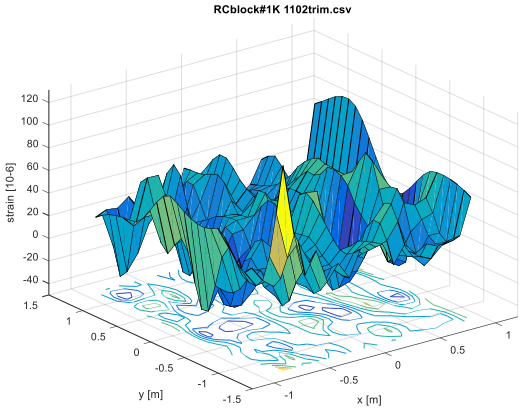
結果の一例として、上部低拡散層を模擬した試験体（無筋試験体 No.1）を対象に実施した試験結果を図 1.3-51 に示す。これは、標準パッカーが約 40MPa を示したときに得られた計測結果から求めたものであるが、実際に発生したひび割れ（幅 0.1mm 以下）を処理したひずみコンター（長辺方向）が再現できていることが分かる。



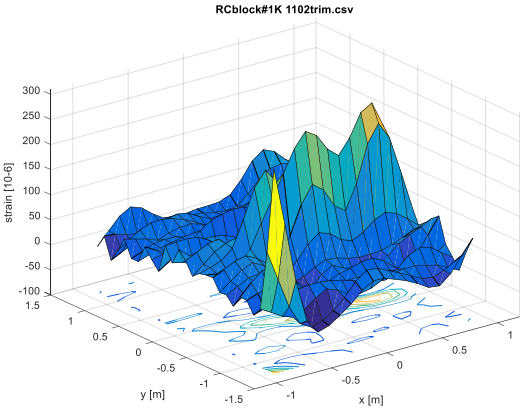
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



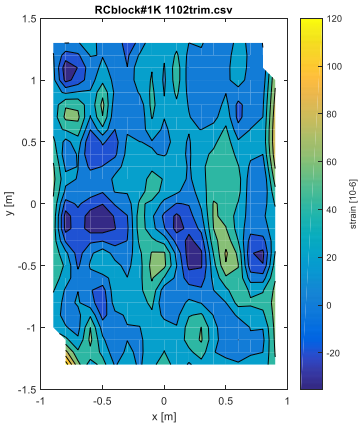
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



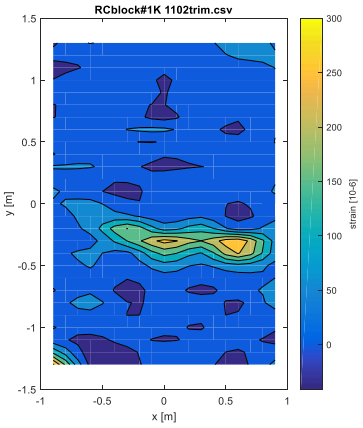
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 1.3-51　計測結果 1（無筋試験体 No.1）

c．実規模施設を活用したひび割れ計測試験

(a) 背景と目的

実規模施設を活用したひび割れ計測試験では、光ファイバセンサーが 30cm 間隔の格子状に設置された手前コンクリートピット（鉄筋コンクリート）と上部低拡散層（無筋モルタル）を対象に、施設にひび割れを発生させて、そのときに生じるひずみを光ファイバセ

ンサーで計測する。前述の事前試験の結果を受けて、人為的にひび割れを発生させる手法としては標準パッカーを採用し、さらに発生させるひずみやひび割れの幅を制御できるように、ひび割れを発生させる位置には、予め、ひずみゲージとパイ型ゲージを設置して、試験を実施した。光ファイバセンサーによる計測は、ひずみやひび割れを拡大させるごとに実施し、そのときのひずみゲージやパイ型ゲージの計測値や目視観察結果と比較することで、その計測性能を定量評価した。

(b) 試験対象部位

a) 手前コンクリートピット

図 1.3-52 に示す手前コンクリートピットは、幅 8.95m、高さ 7.44m、部材厚さ 70cm の鉄筋コンクリートの壁部材である。水平方向に D29、鉛直方向に D25 の鉄筋が、それぞれ 150mm ピッチで設置されている。せん断補強筋には、D16 のヘッドバーが使用されている。

本試験では手前コンクリートピットのうち、図 1.3-53 に示す位置に標準パッカーを設置して、直交方向と斜め方向の 2 方向にひび割れを誘発させる計画とした。

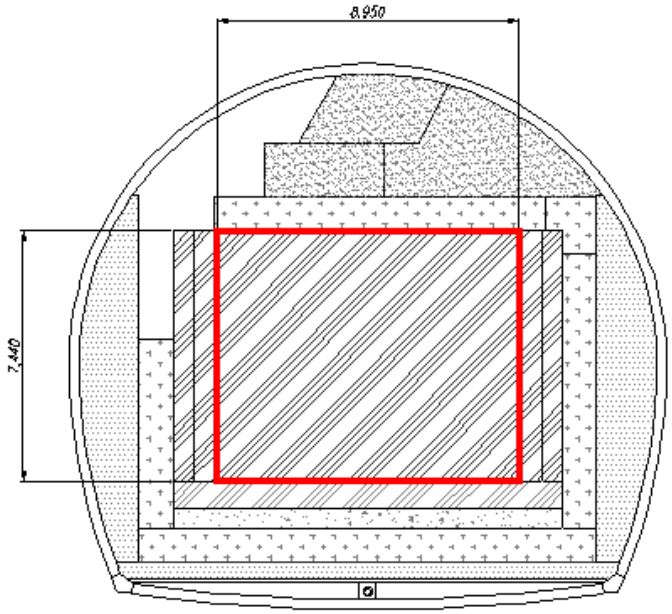


図 1.3-52　手前部コンクリートピット（正面図）

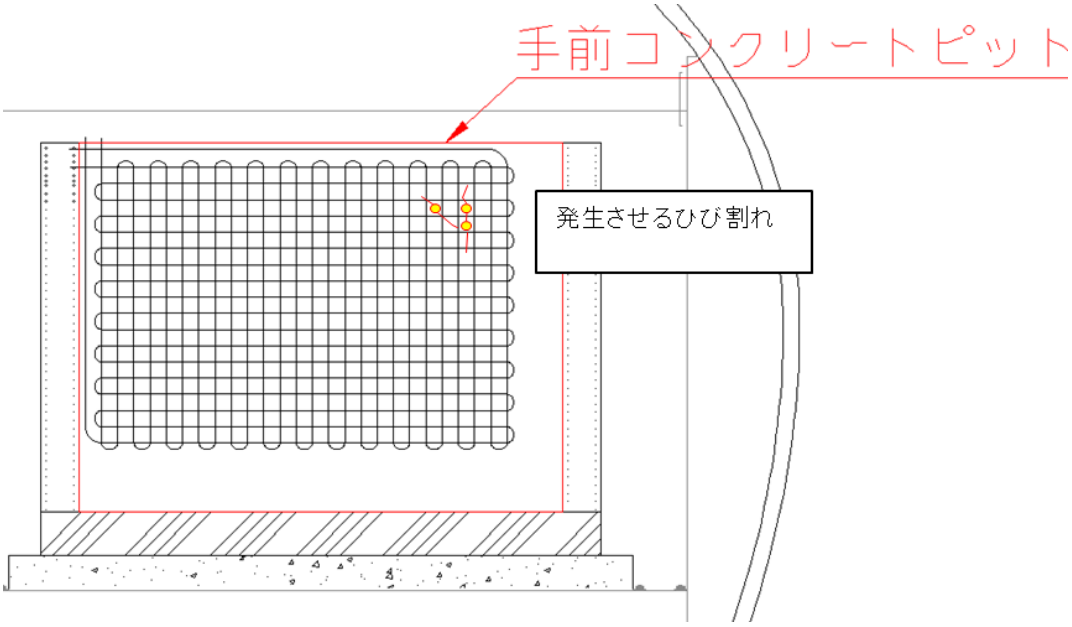


図 1.3-53　ひび割れ誘発位置（手前コンクリートピット）

b）上部低拡散層

図 1.3-54 に示す上部低拡散層は、幅 11.55m、奥行き 8.0m、部材厚さ 60cm の無筋モルタル層である。大部分は上部低透水層により埋没しており、手前から 2.75m の範囲が露出している。

本試験では上部低拡散層のうち図 1.3-55 に示す位置に標準パッカーを設置して、直交方向と斜め方向の 2 方向にひび割れを誘発させる計画とした。

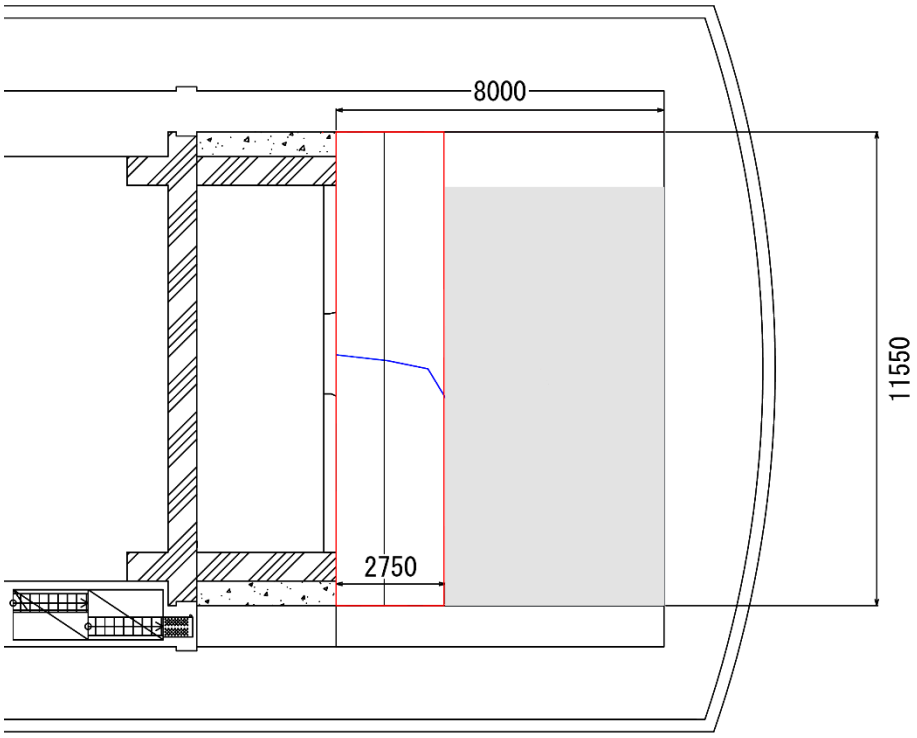


図 1.3-54　上部低拡散層（平面図）

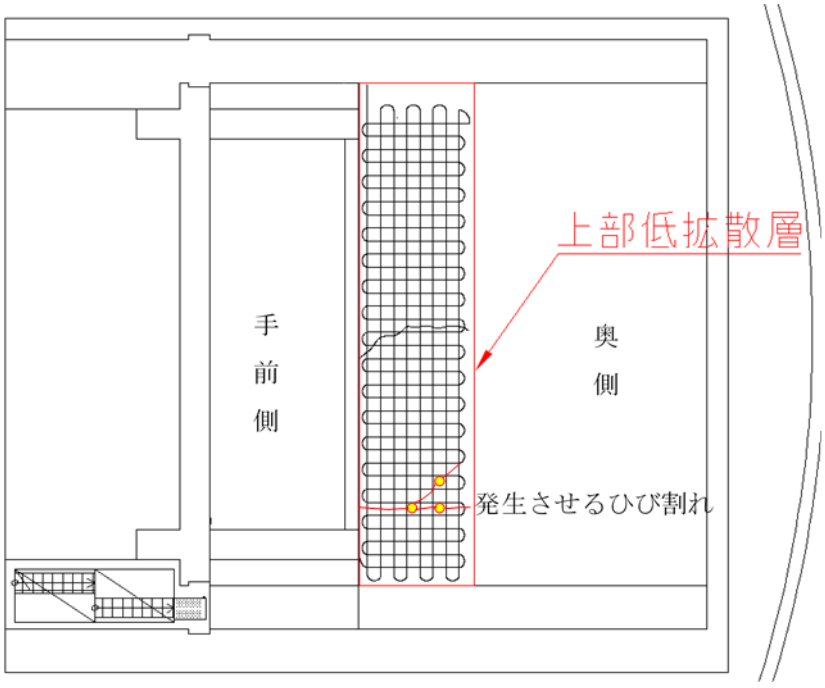


図 1.3-55　ひび割れ誘発位置（上部低拡散層）

(c) 試験の手順

試験は以下の手順により実施した。

① 光ファイバセンサーの貼付け（前年度実施済み）

② 鉄筋の探査（手前コンクリートピットのみ）

削岩機で削孔する穴が鉄筋と干渉して削岩できない恐れがあるため、事前に、電磁波レーダー式の鉄筋探査機を用いて鉄筋探査を行う。

③ 削岩機による削孔

光ファイバセンサーが貼付けられた試験体の上で、削岩機による削孔作業を行い、直径 42mm、深さ 60cm の穴を削孔する。

④ ひずみゲージ、パイゲージの取り付け

光ファイバセンサーの計測性能を定量的に確認するため、光ファイバセンサーでひずみを計測するとともに、ひび割れ発生前に生じる微小なひずみをひずみゲージで、ひび割れ発生後のひび割れ幅をパイ型ゲージで計測することとする。パイ型ゲージやひずみゲージは、ひび割れが発生すると予想される位置に取り付ける。

⑤ 標準パッカー工法によるひび割れ誘発

図 1.3-56 に示すように、ひび割れを発生させたい位置に合せて標準パッカーを設置し、油圧ポンプを用いて標準パッカーに加圧する。段階的にひずみやひび割れ幅を増大させられるように、ひずみゲージやパイ型ゲージの計測値をリアルタイムで確認して、油圧ポンプで作用させる圧力を制御する。

図 1.3-56　標準パッカーの設置状況

⑥ 光ファイバセンサーによるひずみ計測

標準パッカーによる加圧を停止したあと、光ファイバセンサーによる計測を実施する。

⑦ クラックゲージを用いたひび割れ幅の目視計測

光ファイバセンサーによる計測を実施している間に、クラックゲージを用いてひび割れ幅の計測を行う。クラックゲージを用いたひび割れ幅の目視計測、光ファイ

バセンサーを用いたひずみ計測を終了後、再度、標準パッカーに加圧してひび割れ幅を拡大させて、同様にひずみやひび割れ幅の計測を実施する。

(d) 試験結果

a) 目視観察や計測器による参照データの取得

手前コンクリートピットについて、光ファイバセンサーと直交方向に発生させるケースでは、2 ヶ所に標準パッカーを設置して、段階的に加圧した。計測ステップ毎の目視観察によるひび割れ幅と、ひずみゲージやパイ型ゲージによる計測値を図 1.3-57 と図 1.3-58 に示す。

STEP0 から 4 にかけては、ひずみゲージやパイ型ゲージでは段階的に計測値が上昇するものの、目視観察では、ひび割れを確認できなかった。STEP5 においてはじめてひび割れが目視確認できた。その幅は 0.10mm に満たなかった。

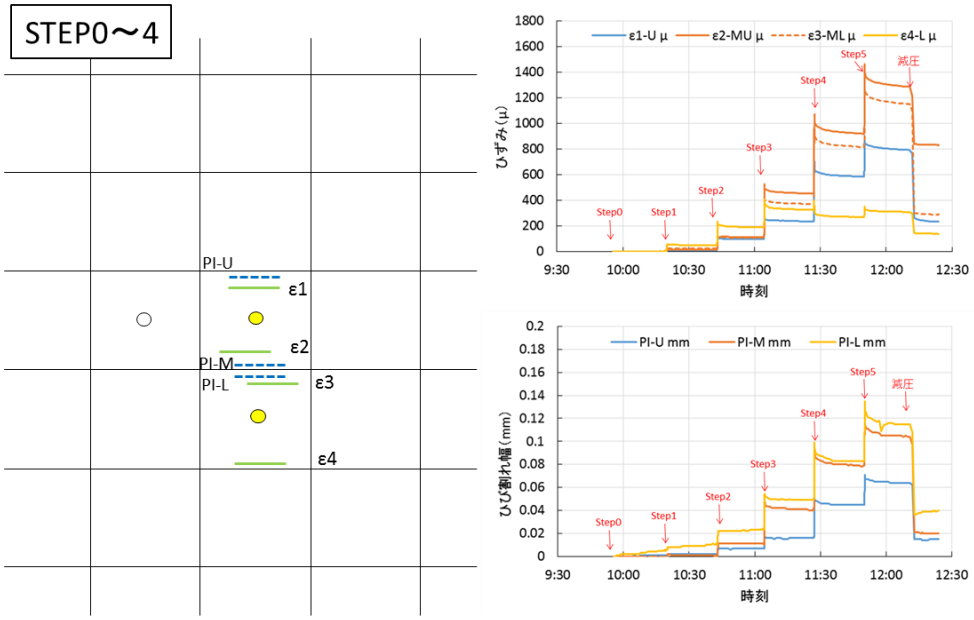


図 1.3-57　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（手前コンクリートピット、STEP0～4）

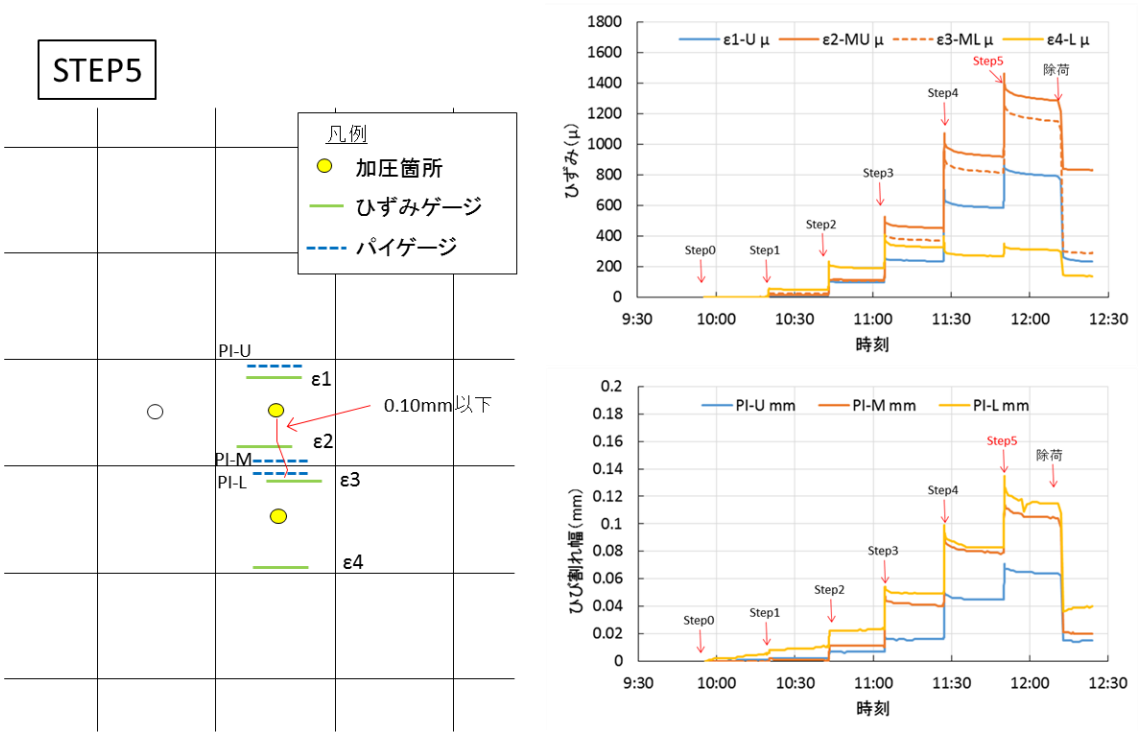


図 1.3-58　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（手前コンクリートピット、STEP5）

上部低拡散層について、光ファイバセンサーと直交方向に発生させるケースでは、2 ヶ所に標準パッカーを設置して、段階的に加圧した。計測ステップ毎の目視観察によるひび割れ幅と、ひずみゲージやパイ型ゲージによる計測値を図 1.3-59 から図 1.3-63 に示す。STEP1 から 2 ではひずみが段階的に上昇していく一方で、目視観察によるひび割れは確認できなかった。STEP3 でひび割れが発生して以降、段階的にひび割れは伸展、拡大しており、STEP6 でひび割れは側面まで貫通しており、その幅は最大で 0.45mm に達している。

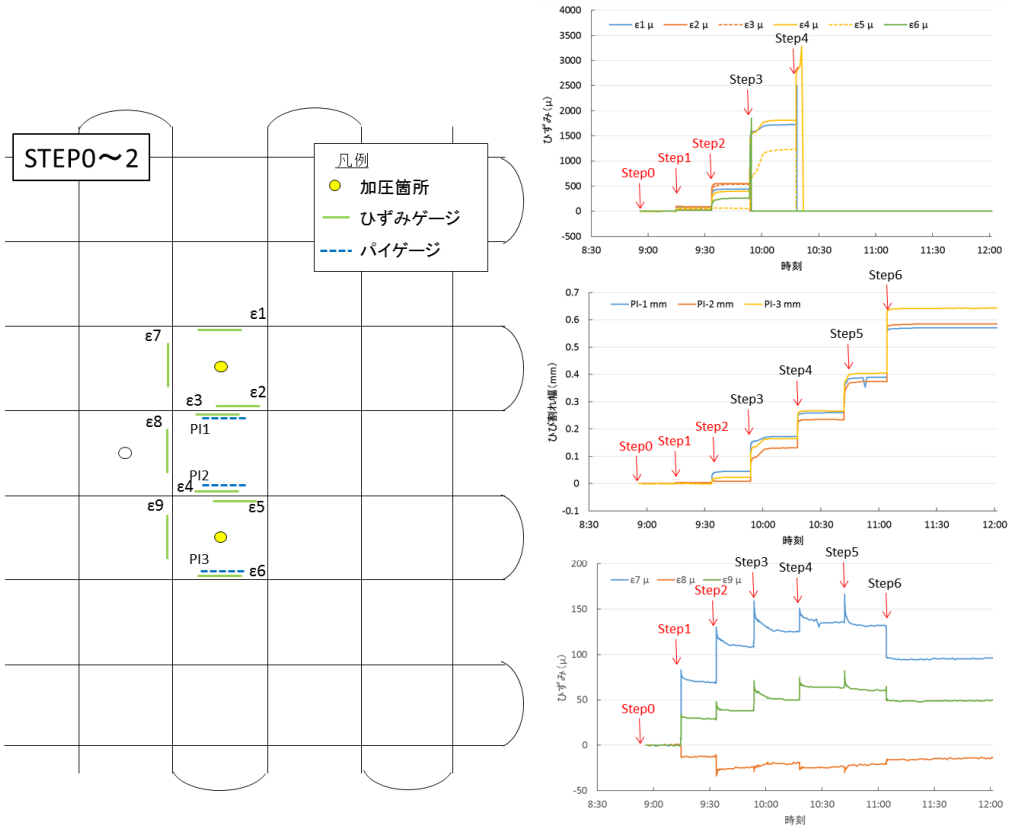


図 1.3-59　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（上部低拡散層、STEP0~2）

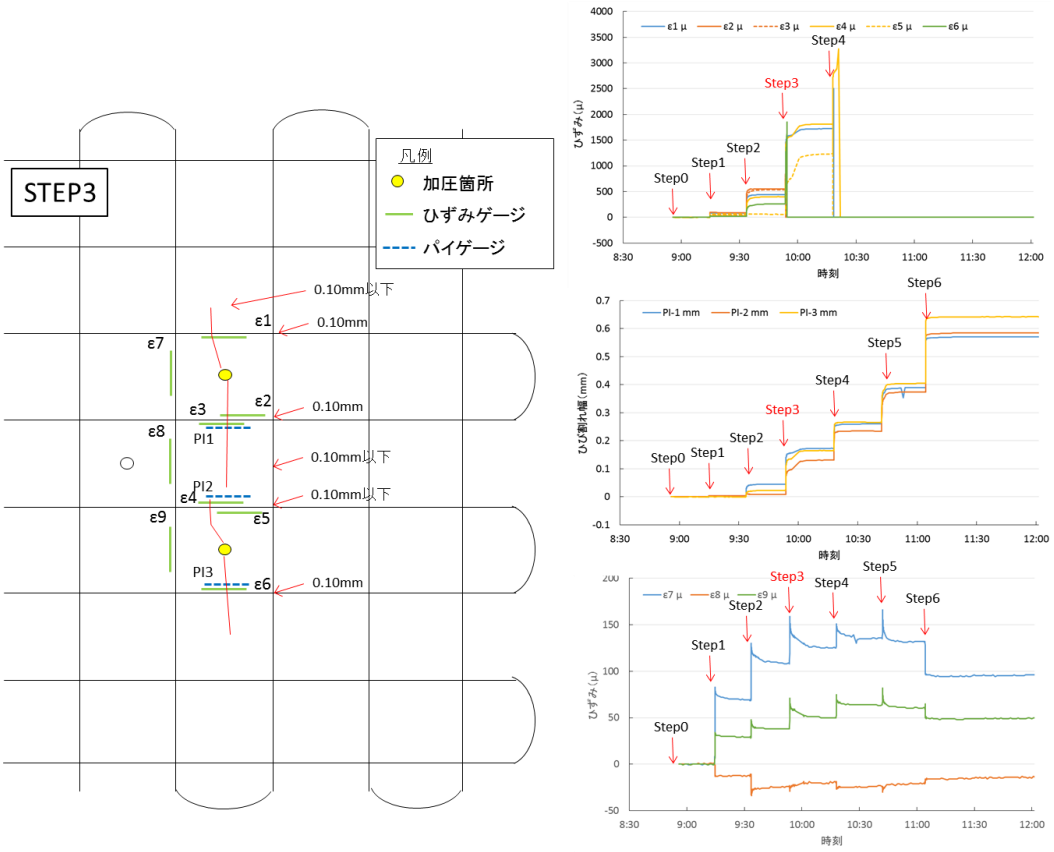


図 1.3-60　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（上部低拡散層、STEP3）

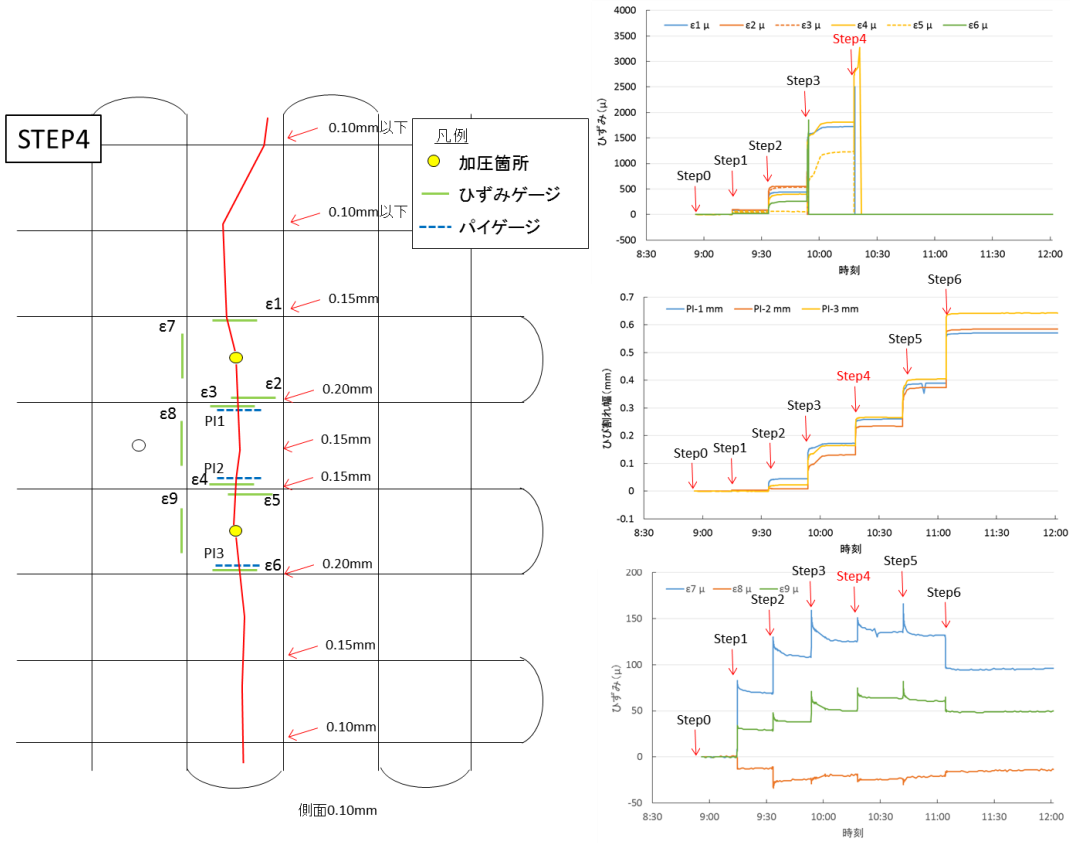


図 1.3-61　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（上部低拡散層、STEP4）

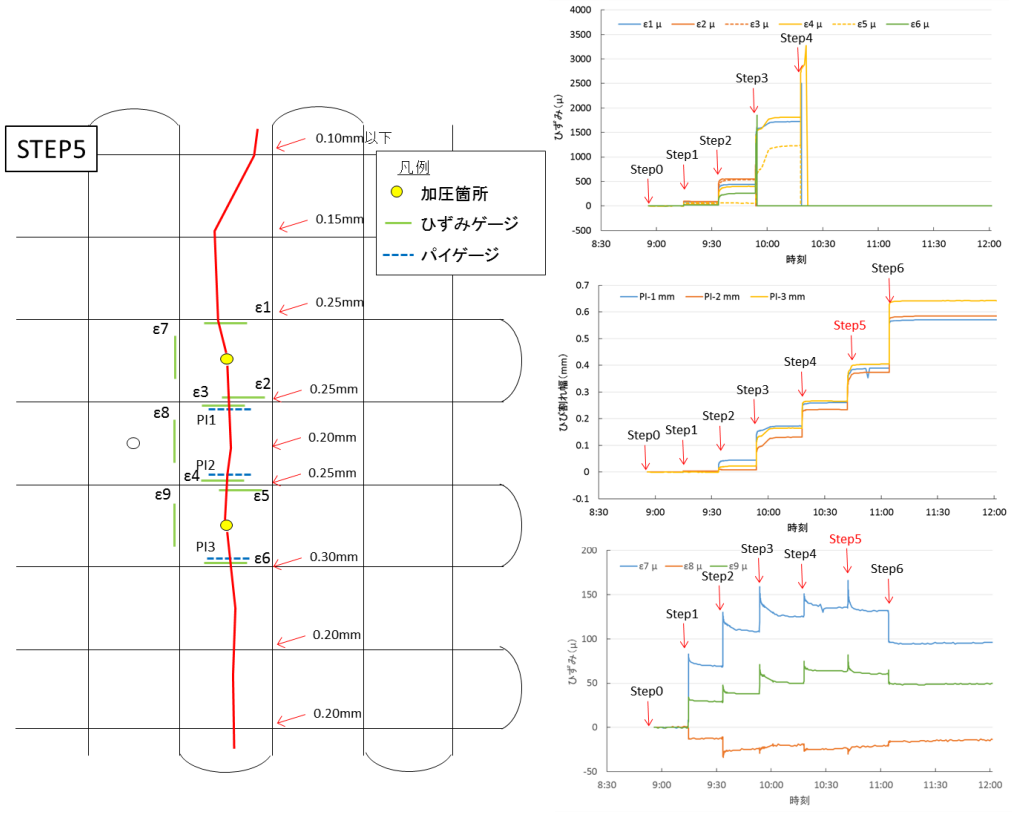


図 1.3-62　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（上部低拡散層、STEP5）

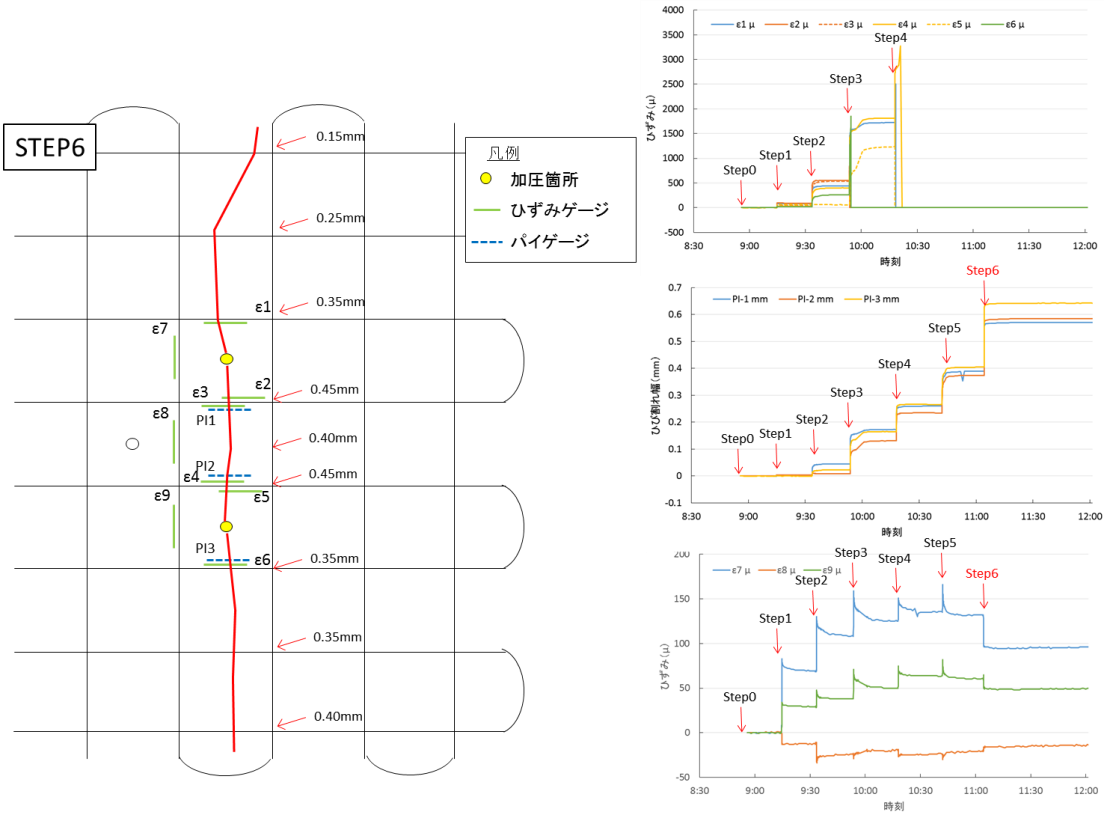


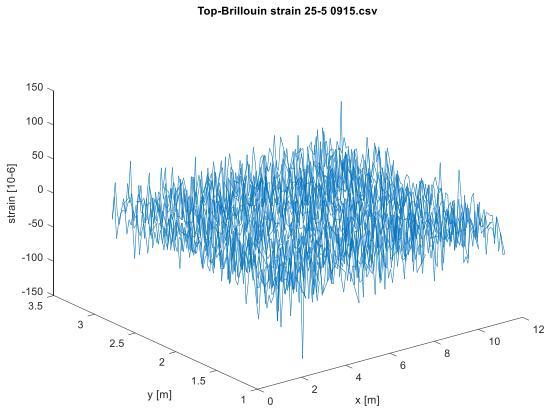
図 1.3-63　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（上部低拡散層、STEP6）

b）光ファイバセンサーを用いたひずみの計測

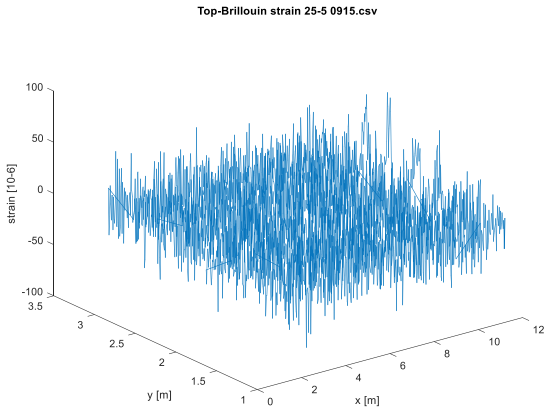
光ファイバセンサーを用いたひずみの計測には、ブリルアン散乱を利用した PPP-BOTDA 方式と、レイリー散乱を利用した TW-COTDR 方式を用いた。段階的な加圧ステップごとに、光ファイバセンサーによる計測を繰り返した。

結果の一例として、上部低拡散層を対象にした光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける代表的な STEP の計測結果を以下に示す。

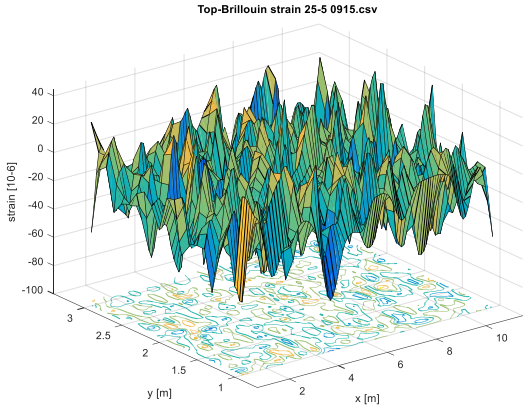
STEP1 の計測結果を図 1.3-64～図 1.3-65 に示す。PPP-BOTDA 方式では変化がみられないが、TW-COTDR 方式ではひずみの局所的な変化がみられた。



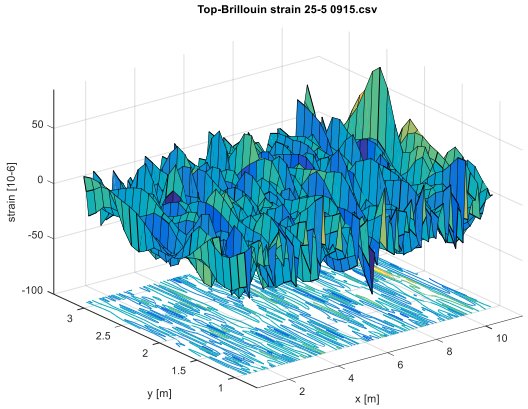
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



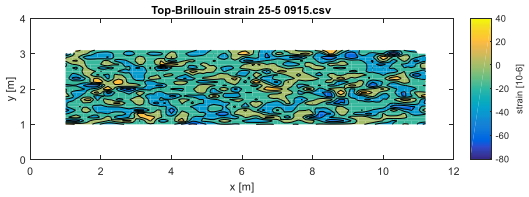
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



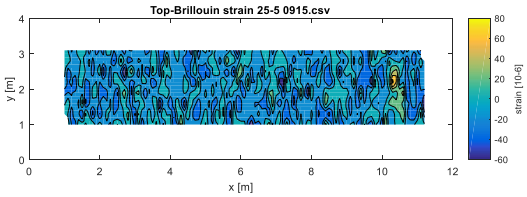
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

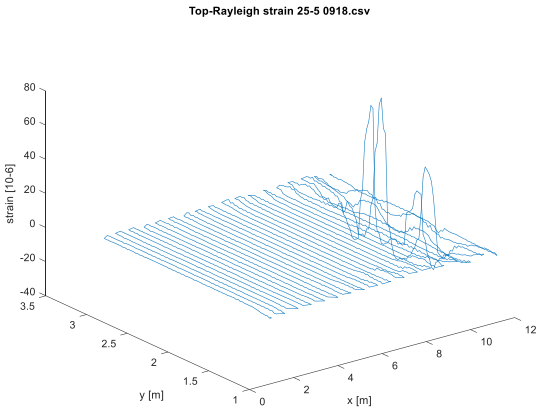


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

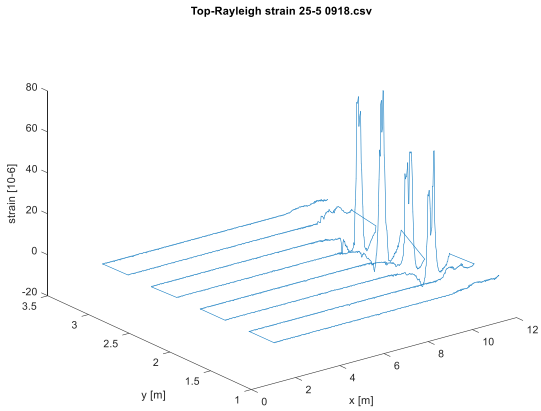


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

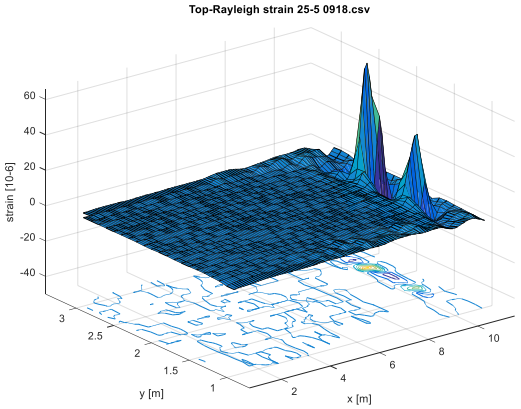
図 1.3-64　PPP-BOTDA 方式結果 1（上部低拡散層、STEP1）



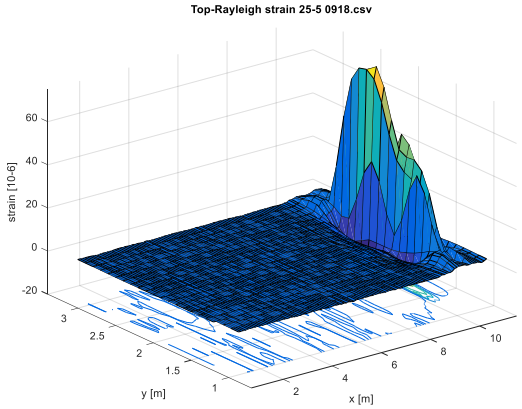
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



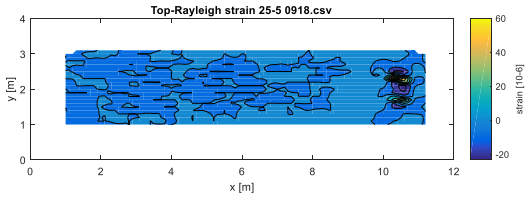
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



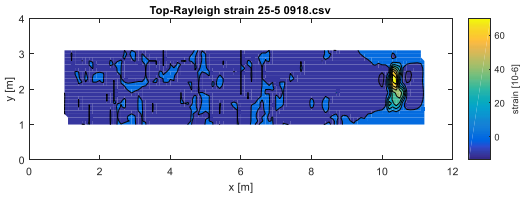
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



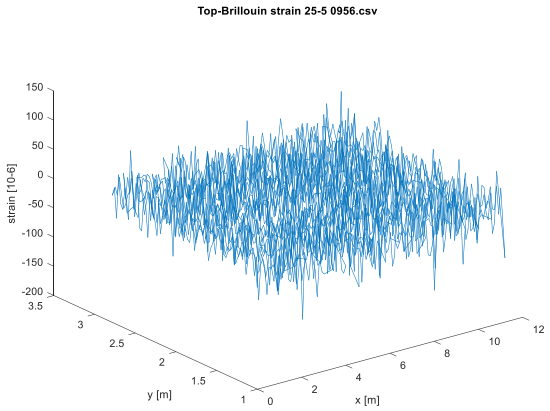
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



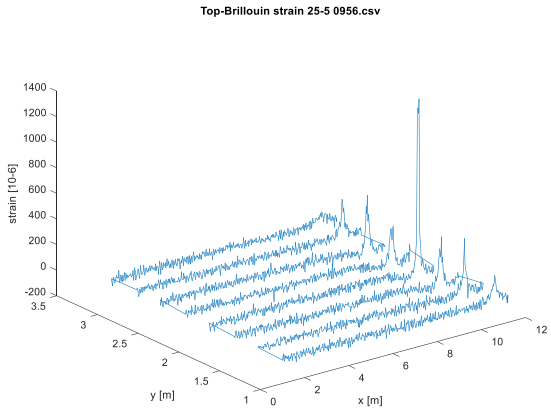
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 1.3-65　TW-COTDR 方式結果 1（上部低拡散層、STEP1）

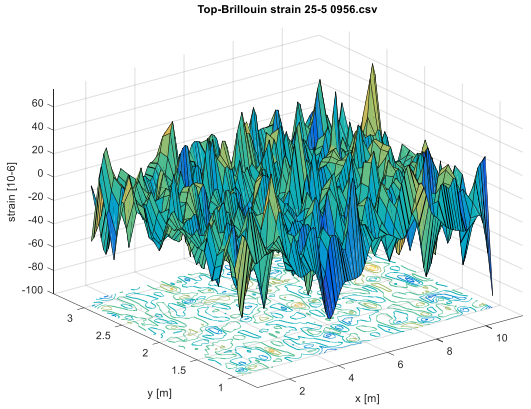
STEP3 の計測結果を図 1.3-66～図 1.3-67 に示す。PPP-BOTDA 方式（長辺方向）、TW-COTDR 方式ともに明確なひずみの局所的な変化がみられた。このときはじめて、目視で最大 0.1mm 幅のひび割れを確認した。



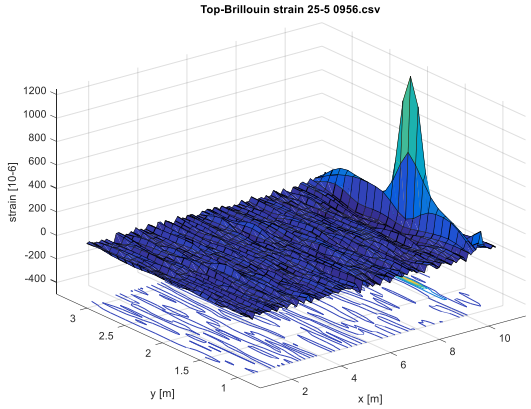
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



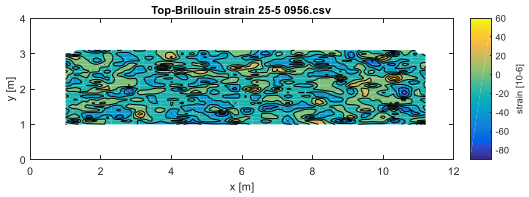
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



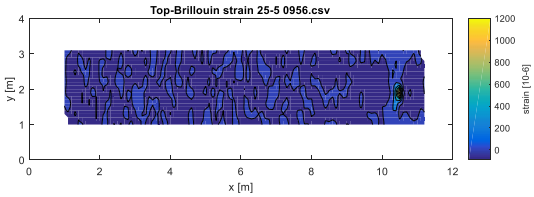
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

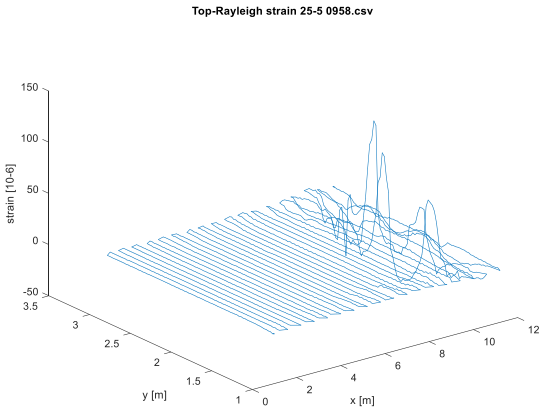


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

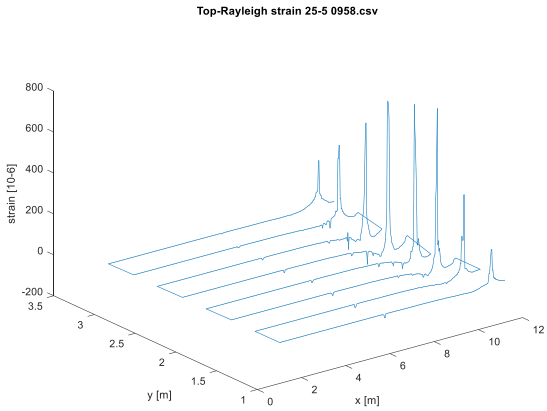


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

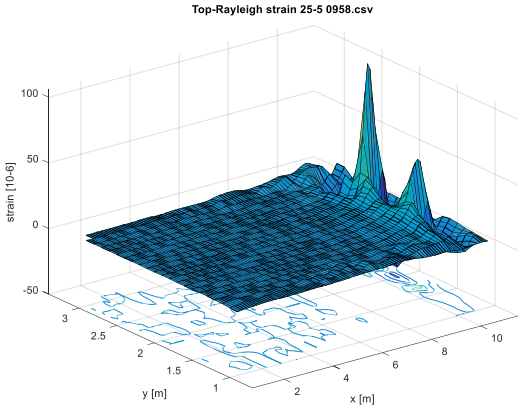
図 1.3-66　PPP-BOTDA 方式結果 3（上部低拡散層、STEP3）



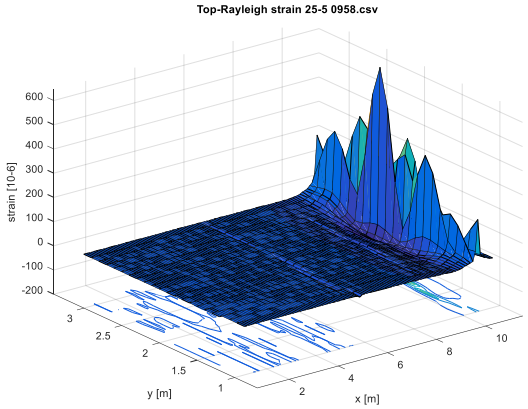
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



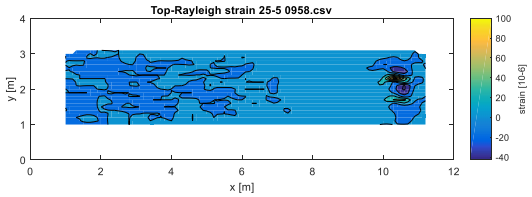
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



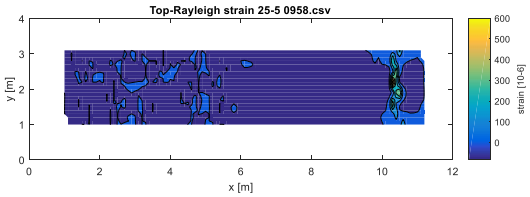
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



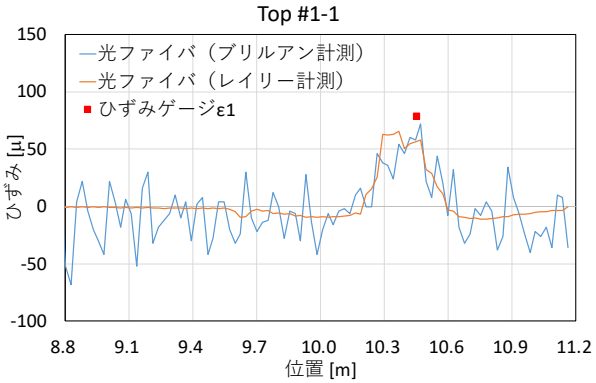
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



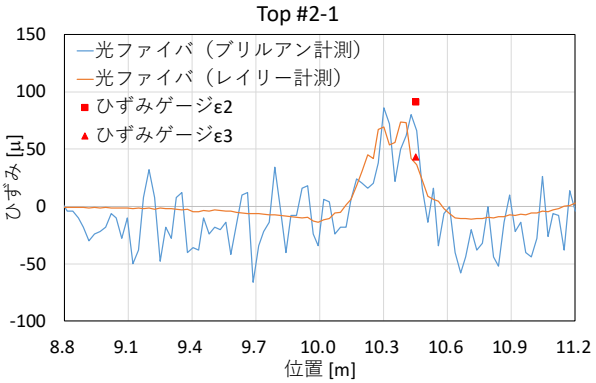
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 1.3-67　TW-COTDR 方式結果 3（上部低拡散層、STEP3）

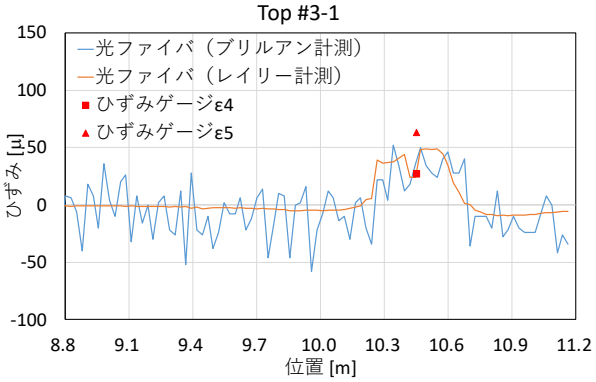
また、STEP1 における光ファイバセンサーによる計測結果と、近傍のひずみゲージの計測結果を併記したものを図 1.3-68 に示す。



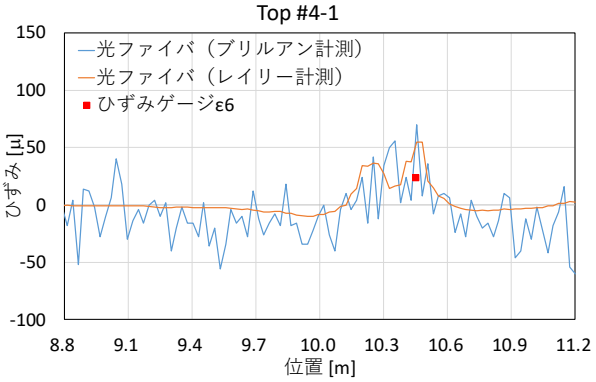
(a) ひずみゲージ ε 1 付近



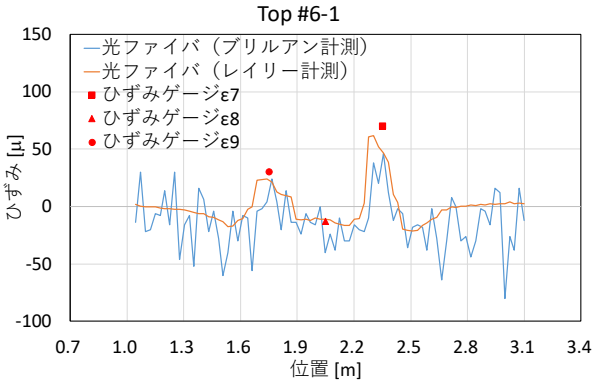
(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4,5 付近



(d) ひずみゲージ ε 6 付近



(e) ひずみゲージ ε 7,8,9 付近

図 1.3-68　ひずみ分布計測結果（上部低拡散層、STEP1）

(e) まとめ

実規模施設を活用し、光ファイバセンサーが 30cm 間隔の格子状に設置された手前コンクリートピット（鉄筋コンクリート）と上部低拡散層（無筋モルタル）を対象に、標準パッカーで施設にひび割れを発生させて、そのときに生じるひずみを光ファイバセンサーで計測した。光ファイバセンサーによる計測は、ひずみやひび割れを拡大させるごとに実施し、そのときのひずみゲージやパイ型ゲージの計測値や目視観察結果と比較して、その計測性能を定量評価した。

光ファイバセンサーと、ひずみゲージやパイ型ゲージの比較で得られた結果を以下に示す。これらは、手前コンクリートピットと上部低拡散層ともに同様であった。

- ✓ ブリルアン計測（PPP-BOTDA 方式）、レイリー計測（TW-COTDR 方式）ともに、目視でひび割れが確認されるより前に、ひずみの局所的な変化をとらえることができた。特に、レイリー計測は微小なひずみ変化をとらえるのに優れており、ひび割れの予兆をとらえられる可能性がある。
- ✓ 空間分解能の違い（ゲージ長 90mm、光ファイバ 50mm）や設置位置が異なることなどもあり、ひずみゲージと光ファイバに差があるところがあるものの、ひずみゲージと光ファイバは比較的良く一致していた。また、ひずみゲージが断線して以降も、光ファイバで計測することができた。光ファイバセンサーでは、標準パッカー工法によって圧縮～引張ひずみともにみられ、網羅的な評価のためにはひずみゲージを多数設置するなど稠密な参照データの必要がある。
- ✓ 光ファイバセンサーによるひずみ分布計測をもとに積分値からひび割れ幅を求め、パイゲージと比較した。光ファイバセンサーのなかでも、ブリルアン計測の結果はパイ型ゲージの結果と良く一致していた。

4）放射線計測に関する技術の調査

a．調査条件

中深度処分の対象となる廃棄物は、α核種をほとんど含まず、半減期が数百年を超える長半減期のβ・γ核種を多く含む。放射線計測の範囲によって計測手法が異なる場合があるため、中深度処分で対象となる廃棄体の表面線量率と施設の線量拘束値を参考にした上で、放射線計測の範囲を線量率 0.001μSv/h～1Sv/h、積算線量 1Sv/年～10,000Sv/年の桁と見積もり調査することとした。

b．従来技術の概観

放射線の検出原理は電離現象、発光現象、化学変化、その他に大別される（表 1.3-10）。ここでは、地下埋設施設への適用技術を絞り込む際の参考にするため、既存の主要な放射線検出原理を整理した。

表 1.3-10　主な放射線計測器の検出原理

検出原理（信号）		検　出　器
電離現象 （電荷→電流、電圧）	一時電離	電離箱（気体）、半導体検出器（固体）
	電子なだれ	比例計数管（気体）、GM 計数管（気体）
発光現象 （光子→電荷→電圧）	蛍光放出	シンチレーション検出器
	チェレンコフ放射	チェレンコフ検出器（液シン）
	蓄積誘導放射	イメージングプレート 熱ルミネッセンス線量計（TLD） 光刺激ルミネッセンス線量計（OSLD） 蛍光ガラス線量計
化学変化	写真作用	写真乳剤、X 線フィルム
	酸化・還元反応	鉄線量計、セリウム線量計
	ラジカル形成	アラニン線量計
	着色	高分子線量計、カラーインジケータ
電荷収集	電荷蓄積	ファラディカップ
発熱現象	熱発生	カロリーメータ
原子核反応	核反応、放射化	BF3 カウンタ、3He カウンタ、箔検出器
飛跡現象	放射線損傷	固体飛跡検出器
	液滴形成	霧箱
	気泡形成	泡箱

c．従来技術の動向

放射線計測対象の条件整理と、従来技術の検出原理を踏まえて、β線計測技術、γ線計測技術、βγ核種の同定と放射能濃度推定技術について、次の文献を中心に技術動向を調査した。

- ANDRA, Dossier 2005
- Sensor
- IEEE Transaction on Nuclear Science
- Nuclear Instruments and Method
- IPAC 2018（第 9 回国際粒子加速器会議）要項集
- 原子力安全技術センター「平成 26 年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業報告書」放射線計測
- 放射線防護用設備・機器ガイド 2016／2017 版（日本アイソトープ協会）

d．注目すべき技術

γ線計測技術のうち特に光ファイバを利用した技術に関する文献調査を行った。光ファイバを用いたγ線計測方法として、①γ線がシンチレータに照射されて生成されたシンチレーション光を光ファイバで伝送し輝度を計測してγ線量を求める方式、②

通信用に使用され低損失なシングルモード光ファイバの波長1550nmの光に対する損失量を計測してγ線照射量を求める方式、の2通りが考えられる。

点計測型光ファイバセンサー（シンチレータ＋光ファイバ）と分布計測型光ファイバセンサーに関して、注目すべき技術動向について整理した。

e．放射線計測に関する技術調査のまとめ

調査結果のまとめを以下に示す。

- 地下埋設施設の放射線モニタリング条件、従来からの技術を整理し、β線計測技術の動向、γ線計測技術の動向、β・γ核種同定・濃度推定技術の動向を中心に新しい技術の動向を調査した。
- 調査の中で、原理的に地下閉鎖空間内への通電を不要にできる光ファイバ放射線（γ線）計測技術の可能性に注目したが、地下埋設施設のモニタリング条件の実現には、放射線で近赤外線発光するシンチレータ材料や、紫外領域の光の損失が通信用並みに低い光ファイバ材料など、革新的な光学材料が必要なフェーズ（技術成熟度レベル（TRL）1～2）であった。
- 施設周辺に観測孔を開け、観測孔内に放射線計測器を都度設置回収できる状況に対しては、基本的に従来技術で対応できると考えられる。
- 従来技術を閉鎖空間内へ適用する場合は、計測器への電力供給やデータ回収法（長期供給可能な電池や、無線電力伝送技術、防爆性、耐候性等）が課題となる。

5）モニタリング計画の具体化に資する検討

a．モニタリング計画の具体化検討における考え方

平成27年度から平成29年度まで「モニタリングの行為がバリア機能を極力低下させないこと」をモニタリングの制約条件と設定して検討を進めてきた。また、この制約条件の下で、実処分施設で実施可能なモニタリングは以下に示すような項目であり、限定的とならざるを得ないことを示してきた。また、このうち、処分施設の変形計測、セメント系材料のひび割れ観測、裏面排水の分析は、廃棄物の埋設段階までは実施可能であるが、閉鎖措置段階以降には実施することが極めて困難となることを示してきた。

【モニタリングの制約条件の下で実処分施設において実施可能なモニタリング】

- 処分施設の変形計測
- セメント系材料のひび割れ観測
- 地震動計測
- 裏面排水の分析
- 近傍ボーリング孔の地下水分析

ここでは、実処分施設で実施するモニタリングを対象に、既存の計測技術を用いて実

施可能なモニタリング、光ファイバセンサー技術の適用が許容される場合のモニタリングについて、具体的なモニタリング計画を検討した。

ただし、中深度処分は、規制基準が検討中の段階であり、実施主体による具体的な安全確保方策が示されていない状況である。そこで、本事業では、今後、いずれ定まる実施主体によって提示される安全確保方策におけるモニタリングの目的や役割に応じて、実施主体が任意に選択可能なモニタリング計画を提示することを試行した。

モニタリング計画は、本事業で設定したモニタリングの制約条件への適合性に応じて、表 1.3-11 に示すように複数のレベルに区分した。

表 1.3-11　モニタリング計画の区分

区分	制約条件への適合	モニタリングの例
A	バリア機能を低下させないことを基本とする	・立地段階に設置された調査用ボーリング孔を活用した地下水分析 ・廃棄物の埋設段階までにおけるセメント系材料のひび割れ観測（可視領域に限定）
B	僅かなバリア機能の低下を許容するが、修復が可能	・モニタリング用に設置するボーリング孔を用いた地下水分析
C	僅かなバリア機能の低下を許容する	・光ファイバセンサー技術を用いたセメント系材料のひび割れ観測

区分 A は、制約条件を遵守して実施可能なモニタリングであり、立地段階に調査用に設置されるボーリング孔を活用した地下水分析等が該当する。区分 B は、例えば、調査用とは別にモニタリングのために設置されるボーリング孔を用いた地下水分析等が該当する。廃棄物埋設地近傍に設置される場合には、地下水流況等に影響を及ぼす可能性があるが、廃止措置段階開始前に適切に埋戻すことにより、長期安全性への影響は小さいと考えられる類のモニタリングである。区分 C は、従来から使用されている有線式のポイント型計測機器に比べ、各段にケーブル量を低減可能で、分布計測な可能な光ファイバセンサー技術を活用するモニタリングを念頭に置いたものである。

b. 既存計測技術を活用したモニタリング計画の具体化検討

(a) 検討概要

前年度の検討では、実処分施設で実施可能なモニタリング内容について、その計測期間、計測位置、計測頻度、計測方法及び計測結果の利用方法を、既往文献等を参考にして整理した。

今年度の検討では、「熱・水・力学に着目した検討」及び「化学に着目した検討」の解析結果を参照して、できるだけ定量的にモニタリング計画を再整理した。また、現状の技術開発情報等を調査し、計測精度や計測環境条件等を整理した上で、実施設でのモニタリング計画の具体化及びモニタリングにあたっての課題を抽出した。

(b) 処分施設の変形

底部低透水層の変形係数は周囲のセメント系材料と比較して小さいこと、また底部低透水層の上部には、低拡散層やコンクリートピット等の人工バリアの構築及び廃棄体の定置に伴い、それらの自重が底部低透水層に荷重として作用することにより、底部低透水層が圧縮沈下し、処分施設全体が変形する可能性がある（図 1.3-69）。

処分施設の変形をモニタリングすることにより、安全機能へ影響する低透水層の密度変化（低透水性）、低拡散層及びピットのひび割れ（低拡散性、透水性）の状態変化を確認する。施設変形モニタリングによる安全機能への影響確認フローを図 1.3-70 に示す。

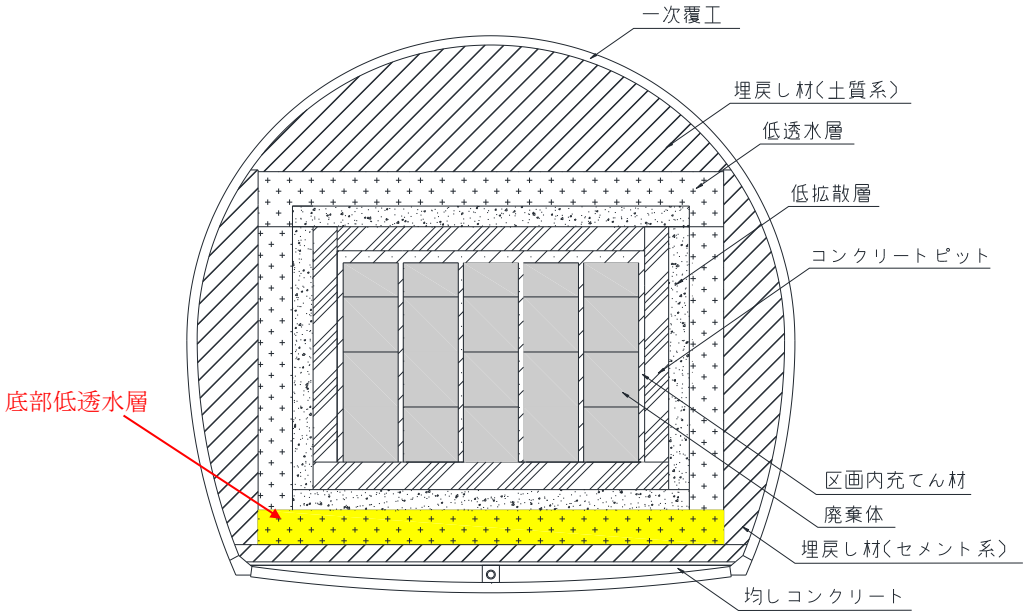


図 1.3-69　処分施設における底部低透水層の位置

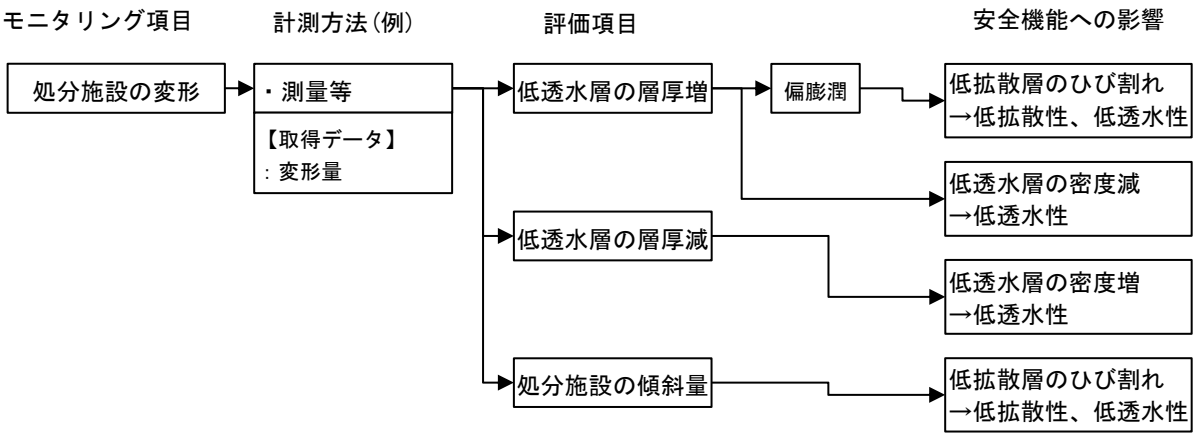


図 1.3-70　施設変形モニタリングによる安全機能への影響確認フロー

「熱・水・力学に着目した検討」で実施した建設時の構築解析結果を参照して、各バリアが順次構築されることにより実施設で計測可能な位置が変化することを考慮して計測候補位置の鉛直方向変位量を出力した上で、定量的な考察を含めたモニタリング計画について検討した。

計測対象となる変形量は 0～10mm 程度になること、廃棄体定置期間中は空洞内が放射線管理区域になり作業員の立ち入りは制限されることから、処分施設の変形の計測には 3D レーザースキャナーが有効であると評価した。

部材構築に伴う変形の変動量を把握するためには、計測期間中で同一位置を計測する必要があり、実施設で計測可能な範囲としては、底部コンクリートピット上面と側部部材（コンクリートピット、低拡散層）上面が代表として挙げられる。計測範囲を底部コンクリートピット上面とした場合（ケース 1）の計測期間及び計測範囲を表 1.3-12 に、計測範囲を側部部材（コンクリートピット、低拡散層）の上面とした場合（ケース 2）の計測期間及び計測範囲を表 1.3-13 にそれぞれ示す。

さらに、計測範囲を底部コンクリートピット上面とした場合（ケース 1）の計測イメージを図 1.3-71、計測範囲を側部部材（コンクリートピット、低拡散層）の上面とした場合（ケース 2）の計測イメージを図 1.3-72 に示す。

実施設では、空洞縦断方向に廃棄体を定置するピットが並ぶため、操業時期によっては、廃棄体が定置されるピットと定置されていないピットが混在する状態が考えられる。その場合、空洞縦断方向の沈下分布が人工バリアの安全機能（例えば底部低拡散層のひび割れなど）に影響を及ぼす可能性も考えられる。よって、空洞軸方向の検討や、施設の 3 次元挙動を考慮した検討が今後の課題として挙げられる。

表 1.3-12　処分施設の変形量計測の計測期間及び計測範囲（ケース 1）

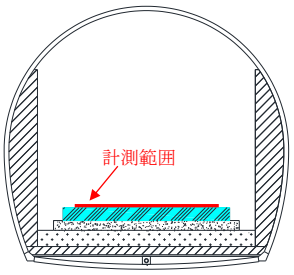
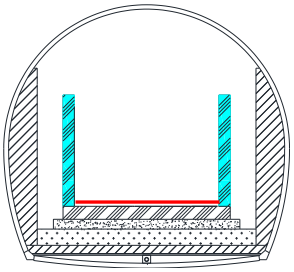
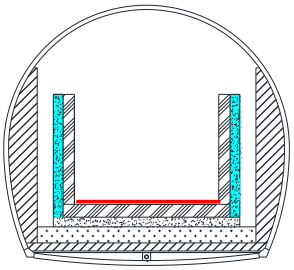
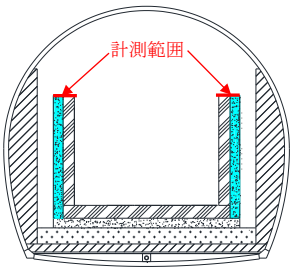
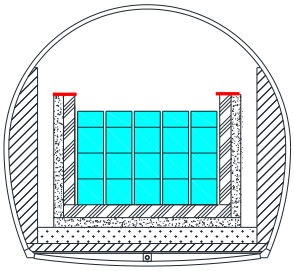
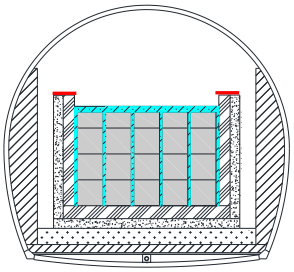
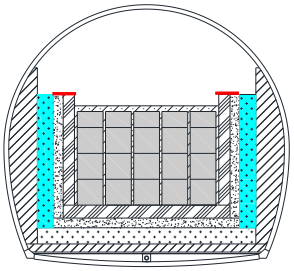
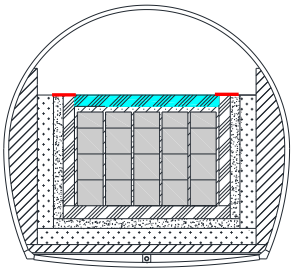
施工イベント （期間）	施工部材
①底部コンクリート ピット	
②側部コンクリート ピット	
③側部低拡散層	

表 1.3-13　処分施設の変形量計測の計測期間及び計測範囲（ケース 2）

施工イベント （期間）	施工部材
①側部低拡散層	
②廃棄体定置	
③区画内充てん材	
④側部低透水層	
⑤上部コンクリート ピット	

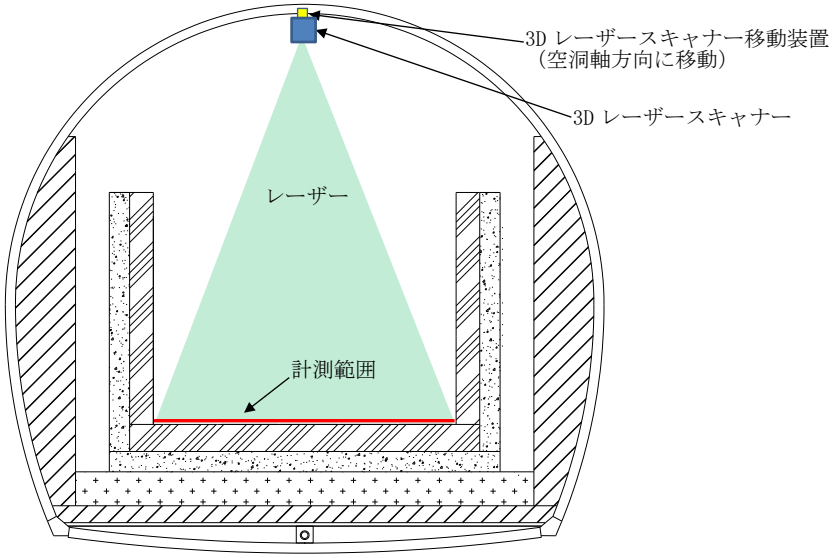


図 1.3-71　実施設における 3D レーザースキャナーの計測イメージ（ケース 1）

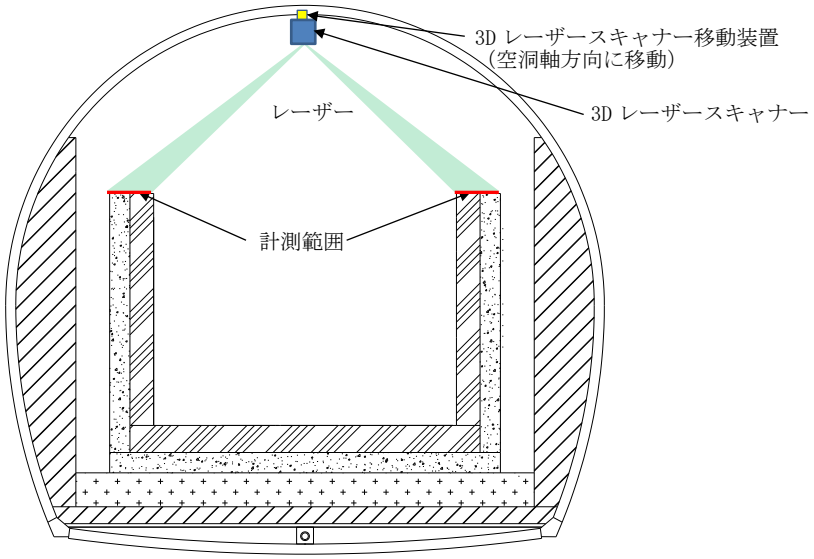


図 1.3-72　実施設における 3D レーザースキャナーの計測イメージ（ケース 2）

(c) 低拡散層のひび割れ観察

処分施設において低拡散層は、放射性核種の拡散による移行を抑制すること（低拡散性）を主たる安全機能とし、核種移行の遅延を図る部材である。低拡散層にひび割れが発生すると、低拡散層の拡散係数の増加や施設内通過流量の増加により、安全機能に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、低拡散性の変化を確認するために、ひび割れの観測を行うことが考えられる。ここでは、ひび割れ観察に関する現状の技術開発情報を調査し、計測精度や計測環境条件等を整理した上で、実施設でのモニタリング計画の具体化及びモニタリングにあたっての課題を抽出した。

廃棄体定置期間中は空洞内が放射線管理区域になり、作業員の立ち入りは制限されるため、このような場合には、デジタルカメラにより撮影した画像を解析して、ひび割れの分布状態や幅、長さ等を定量的に評価する方法が有効であると考えられる。そこで、新技術情報提供システム（NETIS）を参照して、ひび割れ画層解析の現状の技術開発情報（撮影条件、ひび割れ検出幅、適用条件・範囲）を調査した。調査結果を表 1.3-14 に示す。

いずれの解析方法も、コンクリート構造物の表面を撮影し、ひび割れの検出を行なう技術である。

課題として、表 1.3-14 の（1）の場合、ひび割れ検出幅は 0.2mm 以上ではあるが、カメラと対象物の距離（2～50m）や、両者の角度（横方向：±45°以内、縦方向：±30°以内）に条件があること、また、撮影時の条件として外気温（0～40℃）及び湿度（85%以下）などがあることが挙げられる。実施設の環境を考慮してモニタリングシステムを選定する必要がある。

表 1.3-14　現状の技術開発情報（画像解析）

		(1)	(2)	(3)
技術名称		構造物モニタリングシステム (AutoCima)	トンネル覆工点検システム(eQ ドクターT)	トンネル覆工表面レーザー計測システム
登録 No.		KK-150046-A	QS-170015-A	KT-140074-A
撮影条件 ひび割れ検出幅		①撮影距離 2～50m (0.2mm のひび割れが自動検出できる範囲) ②撮影範囲(橋軸方向) ±45° 以内(撮影範囲 90°) ③撮影範囲(橋軸直角方向) ±30° 以内(撮影範囲 60°)	最小ひび割れ認識幅は、0.2mm。 ※トンネル走行中の車両からの撮影	ひび割れ認識精度 0.5mm ※トンネル走行中の車両からの撮影
適用条件	①自然条件	・降雨や降雪がないこと ・外気温 0～40℃ ・湿度 85%以下(結露しないこと)	・天候は、晴天から小雨程度まで撮影可能 ・外気温は、5～40℃程度まで撮影可能	・雨天時(小雨程度は除く)及び外気温が 0℃以下の場合は、計測機器に支障が懸念されるため画像計測は避ける
	②現場条件	・作業スペースとして、2m×2m=4 ㎡程度必要 ・AC100V の電源またはバッテリー ・対象構造物が目視できること(足場や剥落防止ネットは不可) ・地盤上に三脚とカメラを設置できること	・4t トラック程度の車両が通行可能なトンネル	・道路トンネルであれば 4t トラック程度の車両が通行可能なトンネル ・舗装した平坦な場所を走行できること
適用範囲	①適用可能な範囲	・三脚ならびにカメラが設置できること ・カメラと対象部の間に視覚的障害物がないこと ・カメラと対象物の距離が 2～50m で、両者の角度が横方向(パン)±45° 、縦方向(チルト)±30° 以内であること ・あおり補正を行なうため、対象構造物は同一平面上にあること	・全国の道路トンネルの覆工表面 ・最小ひび割れ認識幅は 0.2mm ・遊離石灰、漏水、コールドジョイント、ジャンカ、モルタル補修跡などの損傷を把握可能	・トンネル覆工面へのレーザー走査角度は 120 度以内 ・ひび割れ認識幅は最小 0.5 ㎜以上 ・漏水、遊離石灰等の変状を把握することも可能
	②特に効果の高い適用範囲	・作業が危険な高所 ・諸条件により足場が設置できない箇所 ・損傷が多くスケッチや写真撮影に時間がかかる構造物 ・詳細なモニタリングが必要な構造物	・道路トンネルの近接目視点検支援として高い効果がある ・早急にトンネル覆工表面の損傷状況を把握しなければならないトンネルに高い効果がある ・交通規制が困難なトンネルに高い効果がある(長大トンネルや交通量の多いトンネル) ・ひび割れが著しく発生しているトンネル	・交通規制が困難なトンネルや長大トンネル ・自然災害(地震、地すべり等)の影響を受け、短時間で覆工全体の健全度を判定しなければならないトンネル
	③適用できない範囲	・三脚が設置できない箇所 ・障害物や遮蔽物により視認できない範囲 ・カメラと対象物が近すぎる(2m 以下)場合や遠すぎる(50m 以上)範囲	・著しい煤塵の付着により目視で覆工表面の状況が確認出来ない場合、ひび割れ等の損傷が撮影できない場合がある ・トンネル照明、配線ラック、集塵ダクト、ジェットファンなど付帯設備の裏面は撮影不可能である ・浮きには対応できない	・トンネル覆工面へのレーザー走査角度 120 度より外側の範囲 ・ひび割れ幅 0.5 ㎜未満は認識できない ・トンネル内照明、ジェットファン、天井板等の付帯設備の裏面 ・著しい煤塵が覆工面に付着しているために目視による覆工面の状況が分からない場合

(d) 裏面排水分析

前年度整理した、処分施設の裏面排水分析モニタリングによる「変化量」を対象とした場合の安全機能及び安全性への影響確認フローを図 1.3-73 に示す。

今年度は、「化学に着目した検討」の解析結果を参照して、できるだけ定量的にモニタリング計画を再整理するとともに、現状の液相部組成の分析方法を整理した。

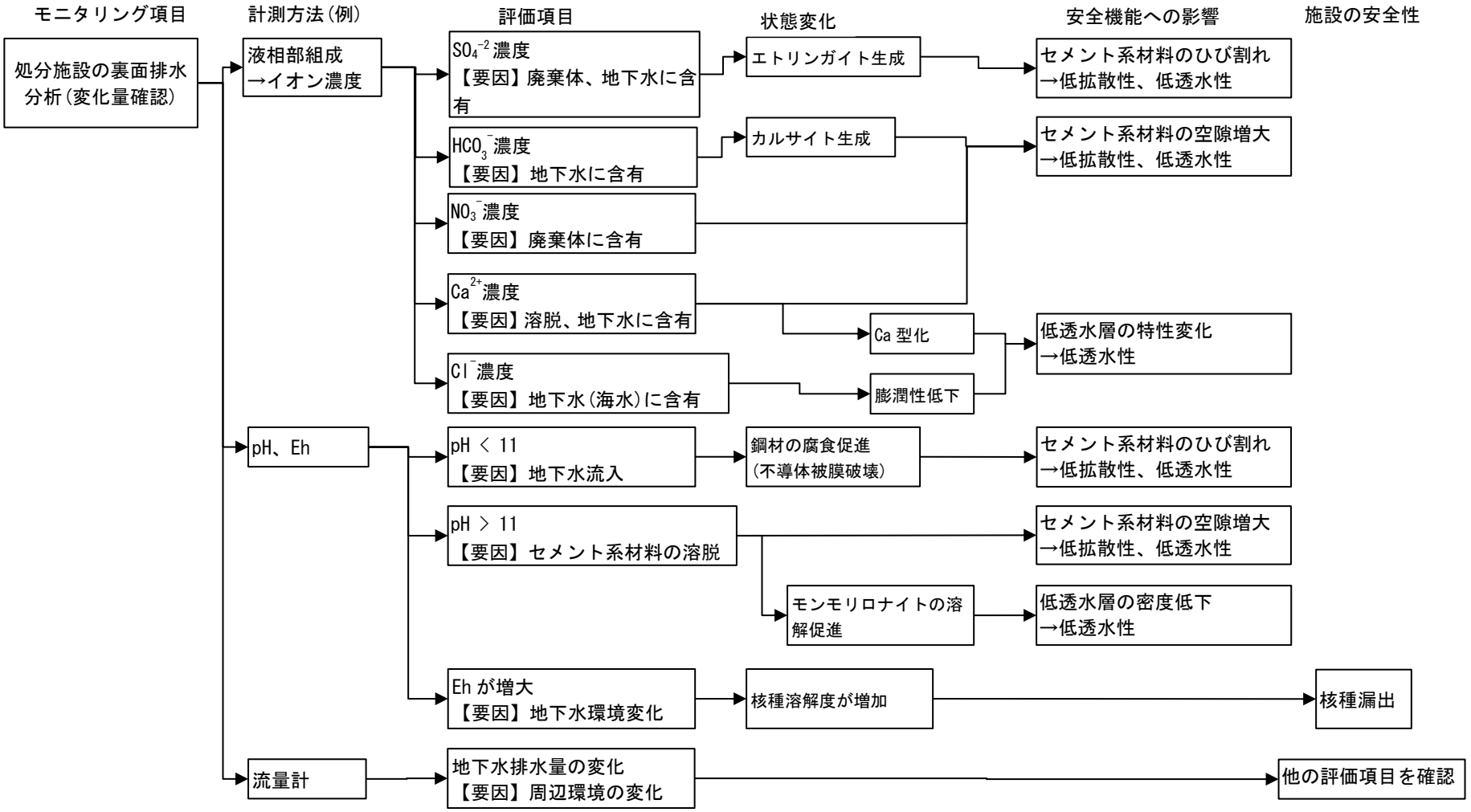


図 1.3-73　処分施設の裏面排水分析（変化量対象）モニタリングによる安全機能、安全性への影響確認フロー

裏面排水のモニタリング対象候補は、裏面排水量及び裏面排水に含まれる各種イオン濃度（Na^+、K^+、Ca^{2+}）となることから、「化学に着目した検討」の解析結果に基づきそれぞれの経年変化を整理した。排水量の経年変化を図 1.3-74 に、各種イオン濃度（Na^+、K^+、Ca^{2+}）の経年変化を図 1.3-75～図 1.3-77 にそれぞれ示す。

図 1.3-74 に示すように、排水量は時間と共にやや増加する。これは、吹付けコンクリートから徐々に成分が溶脱することが原因と考えられる。実際の排水モニタリング時には、同図を参考にして集水された水量の推移をチェックする方法が考えられる。モニタリング中に水量の大幅な変化が生じた場合には、施設もしくは周辺岩盤における異常有無の判断材料になると考えられる。

図 1.3-75～図 1.3-77 に示すように、吹付けコンクリート構築当初は、Na^+や K^+の変化が顕著となるものの、その影響は 50 年程度で落ち着き、その後の変化は小さくなる。Ca^{2+}も、50 年程度までイオン濃度が大きくなるが、その後の変化は小さくなる。図 1.3-75～図 1.3-77 には、各イオンのイオンクロマトグラフ法での定量下限を示しており、いずれのイオンにおいても全期間において定量が可能であると考えられる。

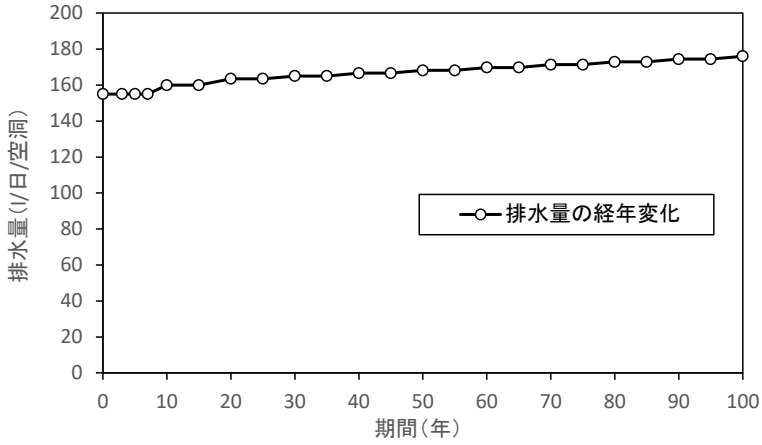


図 1.3-74　排水量の経年変化

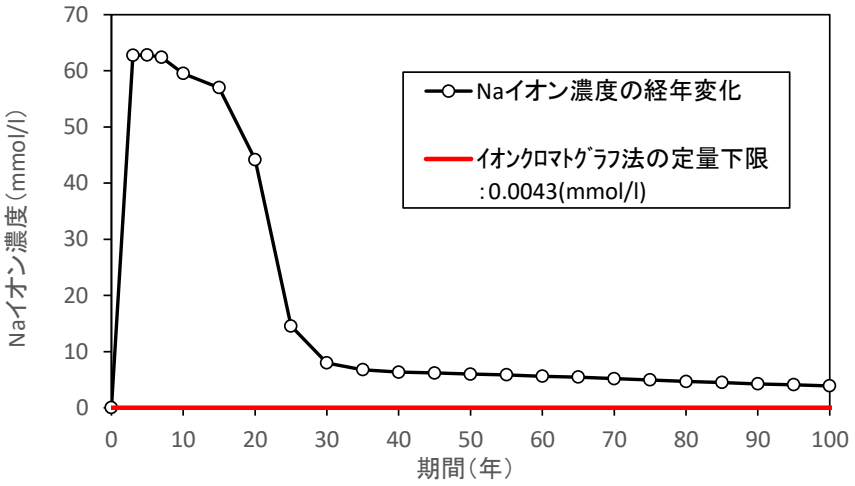


図 1.3-75　Na イオン濃度の経年変化

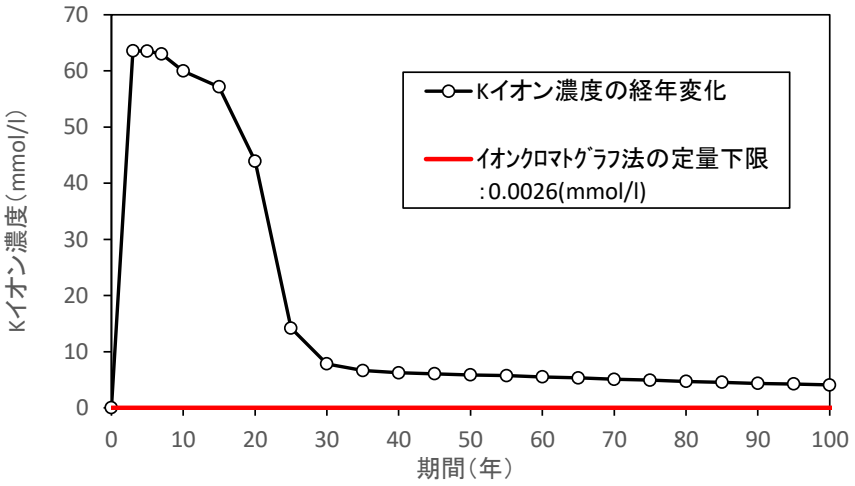


図 1.3-76　K イオン濃度の経年変化

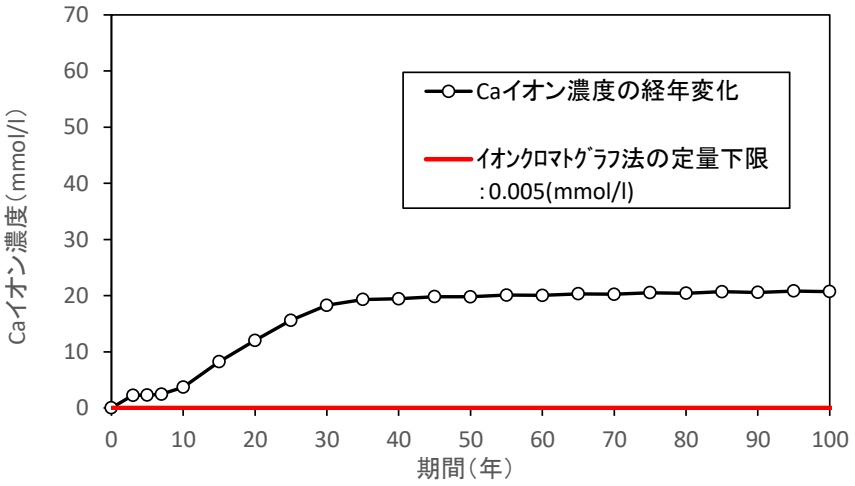


図 1.3-77　Ca イオン濃度の経年変化

計測期間は、建設段階～裏面排水の採取が可能である閉鎖措置段階（処分空洞の排水管が閉塞される段階）までとなる。

計測範囲（採取位置）は、例として図 1.3-78 に示すように、裏面排水が貯められる空洞外に設置されるピットで行う方法が考えられる。

排水量やイオン濃度の計測は、既存計測技術を用いて実施可能と考えられるが、採水した地下水の分析がどの程度の数量必要なのかなど、施設の安全機能及び安全性への影響を評価するための分析結果の代表性に関する検討が、今後の課題として挙げられる。

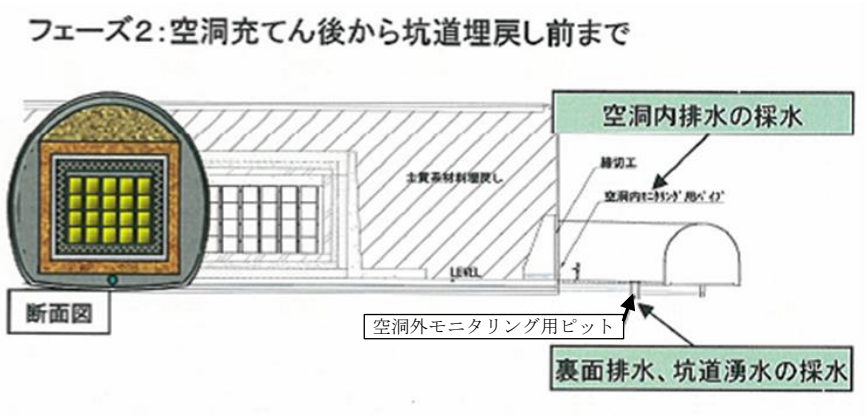


図 1.3-78　裏面排水の採取位置の例

(e) 近傍ボーリング孔による地下水分析

前年度整理した、近傍ボーリング孔による地下水分析モニタリングによる安全機能への影響確認フローを図 1.3-73 に示す。

今年度は、「化学に着目した検討」の解析結果を参照して、定量的にモニタリング計画を再整理するとともに、現状の液相部組成の分析方法を整理した。

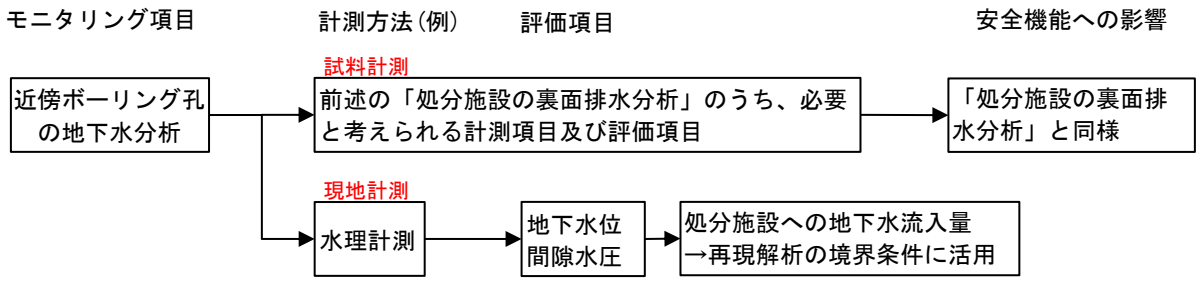


図 1.3-79　近傍ボーリング孔の地下水分析による安全機能への影響確認フロー

近傍ボーリング孔による地下水分析の対象候補は、周辺岩盤中の pH 及び各種イオン濃度（Na^+、K^+、Ca^{2+}）となることから、「化学に着目した検討」の解析結果に基づ

き、任意位置におけるそれらの経年変化を整理した。

解析ケースを表 1.3-15 に、解析結果の出力位置を図 1.3-80 に示す。解析結果の一例として、Case1～Case7 における、pH と施設からの距離の関係を図 1.3-81 に、Na イオン濃度と施設からの距離の関係を図 1.3-82 に示す。

表 1.3-15　解析ケース

（－：考慮しない、○：考慮する）

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け劣化
1	7%	－	－	－	降水系	－
2	0%	－	－	－	降水系	－
3	7%	○	－	－	降水系	－
4	7%	○	○	－	降水系	－
5	7%	○	－	○	降水系	－
6	7%	○	－	－	海水系	－
7	7%	○	－	－	降水系	○

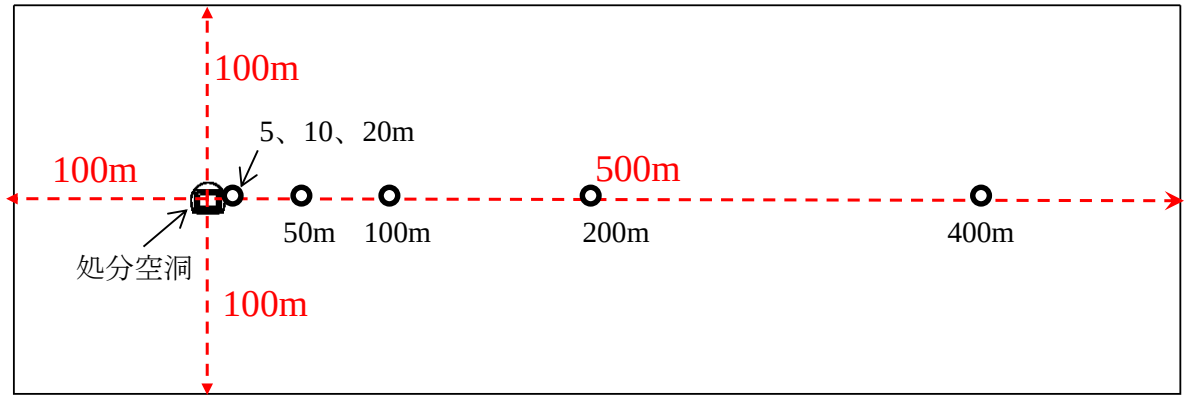


図 1.3-80　解析結果の出力位置

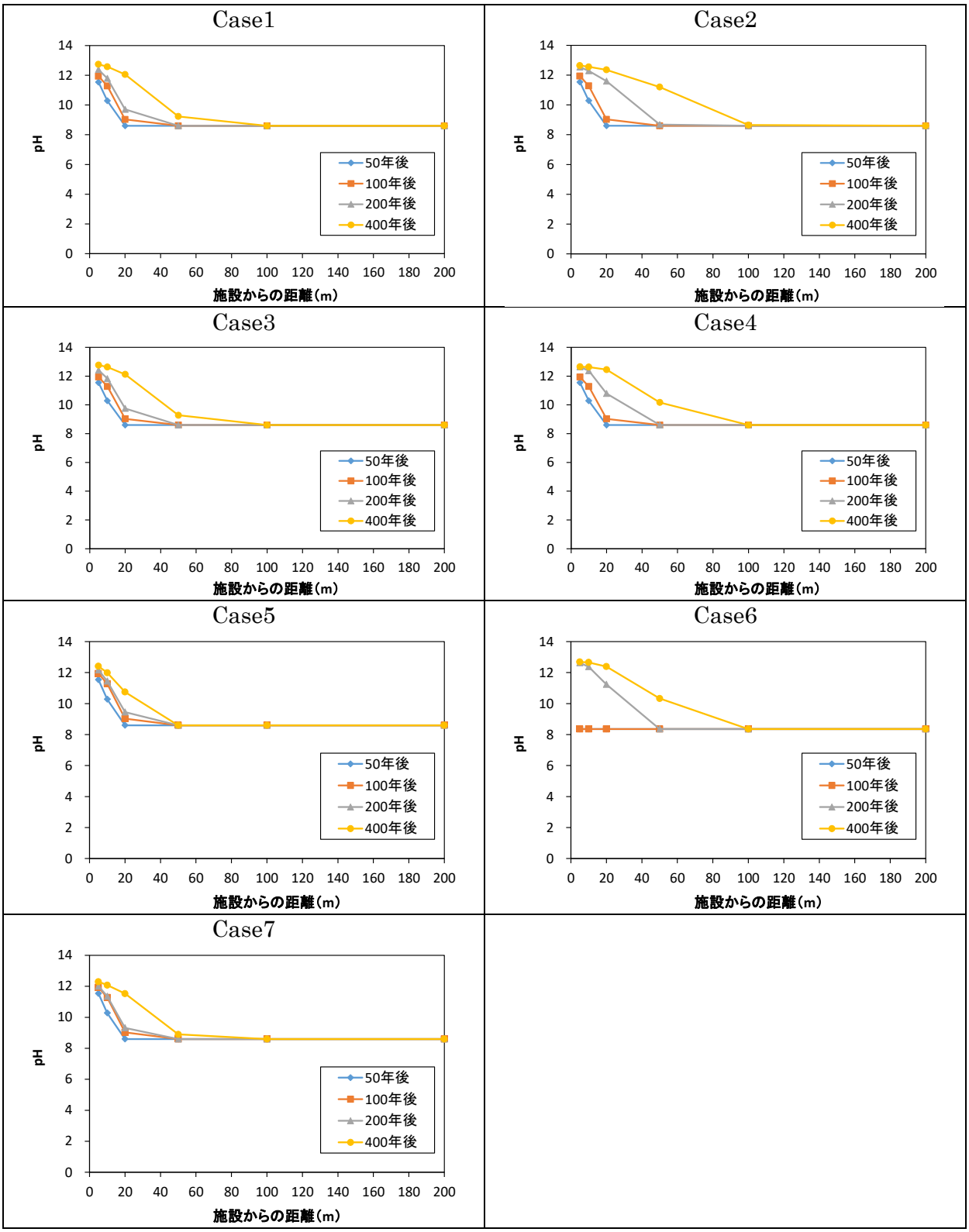
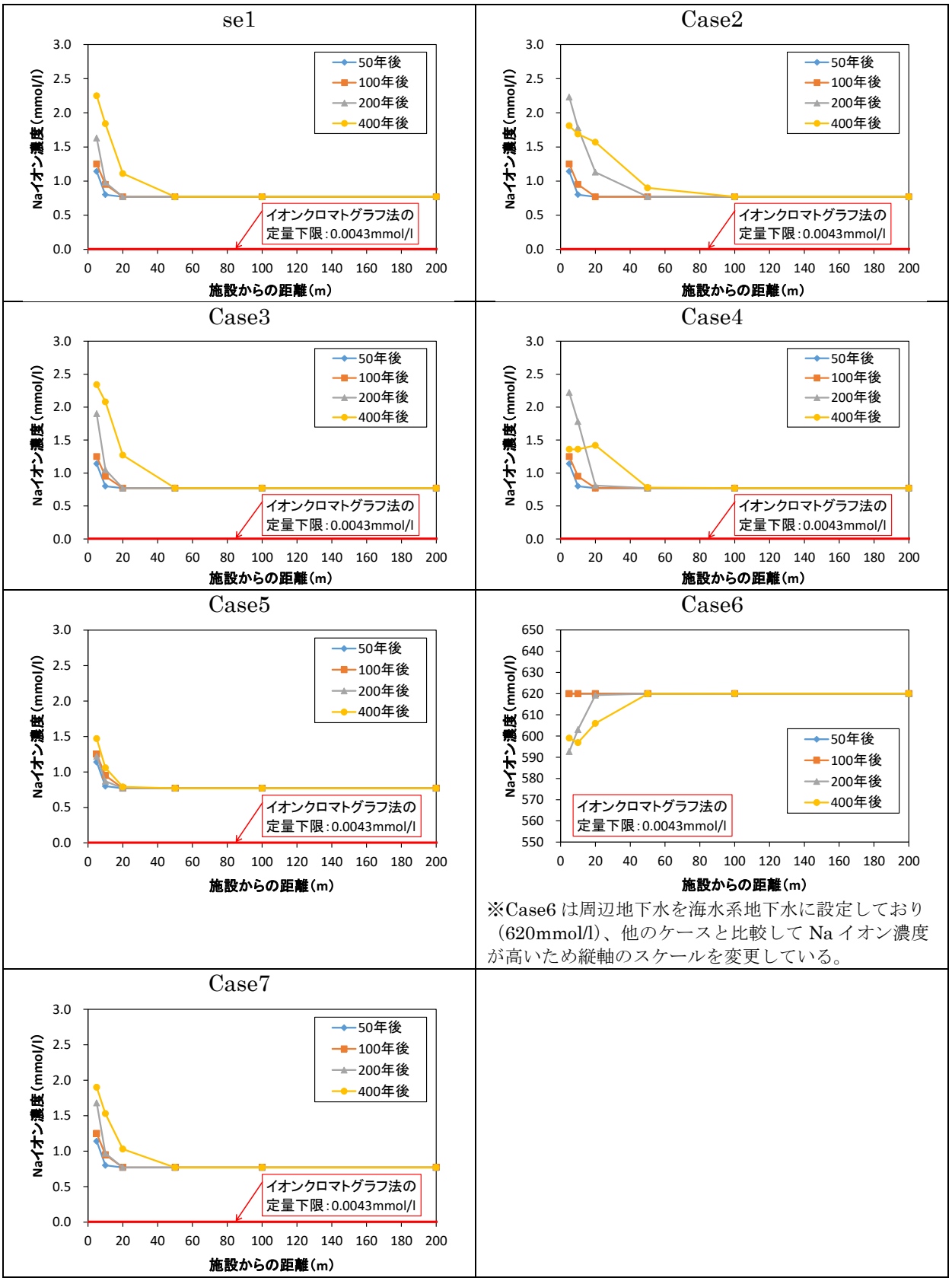


図 1.3-81　pH と施設からの距離の関係



※Case6 は周辺地下水を海水系地下水に設定しており（620mmol/l）、他のケースと比較して Na イオン濃度が高いため縦軸のスケールを変更している。

図 1.3-82　Na イオン濃度と施設からの距離の関係

処分施設から溶出したイオンにより、周辺岩盤内の地下水の pH 及び各種イオン濃度（Na^+、K^+、Ca^{2+}）が 400 年の間で変化し、その影響範囲は、施設から 100m 程度の範囲であることが予測された。モニタリングの計測期間及び計測範囲については、上述のような予測解析の結果を参考にして設定することが望まれる。

また、ボーリング孔の設置に当たっては、以下の点に留意する必要があると考えられる。

- ボーリング孔が施設の地下水流れに影響を及ぼさない位置とする。
- 処分施設の通過流量の推定及び流入水と流出水の成分を把握するために、施設の上下流にボーリング孔を設置する（解析の境界条件）。
- 放射性物質や他の有害物質が流出していないことを確認するために埋設地の敷地境界付近に設定する。

ただし、処分場のサイト調査・選定時には、ボーリングによる調査が実施されると考えられるため、同じボーリング孔を利用して、規制期間における地下水分析を実施すれば、処分場近傍の地盤の場の乱れを小さくでき、有効であると考えられる。また、モニタリングでの変化の有無を確認するためには、影響がないと想定されるボーリング孔からの採水により、リファレンスデータを取得することが有効であると考えられる。

今回は、空洞横断方向を対象とした 2 次元モデルの物質移行解析結果を参考にしてモニタリング計画を再整理したが、実施設を考慮した場合は、空洞縦断方向を含めた 3 次元での検討が必要になると考えられる。加えて、空洞の連設の影響検討も必要になると考えられる。前述の「裏面排水分析」と同様に、分析結果の代表性に関する検討が、今後の課題として挙げられる。また、今年度の解析では、極端に施設が損傷を受けたようなケースにおいても、施設から溶出するイオンが周辺地下水に及ぼす影響は小さいと推察されることから、近傍ボーリング孔において放射性核種が検出される可能性は低いと考えられるものの、ホット試験の必要性や地下水の採取方法について検討しておくことも今後の課題として挙げられる。

c．光ファイバセンサーの適用を考慮したモニタリング計画の具体化検討

(a) 検討概要

光ファイバセンサー技術は、従来から使用されている有線式ポイント型計測機器に比べ、下記の点において中深度処分施設のモニタリングへの適用性が高いと考えられる。

- 分布計測が可能
- ケーブル量を最小化可能
- 電源が不要
- 耐久性が高い

ここでは、表 1.3-16 に示すモニタリング項目を対象に、光ファイバセンサー技術を活用したモニタリング計画を具体的に検討する。

表 1.3-16　光ファイバセンサーによるモニタリング項目

モニタリング項目	段階	備考
セメント系材料のひび割れ	建設段階～保全段階	本節では、低拡散層のひび割れを主なモニタリング対象として検討
施設内の圧力分布	建設段階～保全段階	本節では、低透水層の膨潤圧が想定どおりに発生しているかの確認を主なモニタリング対象として検討
施設内の温度	建設段階～保全段階	

(b) セメント系材料（低拡散層）のひび割れ

光ファイバセンサーによるひび割れ等の計測を計画する場合、ひび割れや打ち継ぎ目の方向性を考慮することが非常に重要となる。実規模施設におけるこれまでの計測や観察等に基づき、予想されるひび割れ等について次のとおり整理した。

・ 低拡散層に発生するひび割れは、断面方向、軸方向いずれにも発生しうる
・ 低拡散層の施工上の打ち継ぎ目はひび割れと同様の取扱いをするべきである
・ 長期的には、金属部材の腐食膨張によりひび割れが進展すると想定されるが、低拡散層が無筋モルタル部材であることを考慮すると、既存のひび割れが成長する可能性が高いと想定される

このように考えた場合、図 1.3-83 に示すように、ひび割れと打ち継ぎ目の両者を計測するために、格子状に光ファイバセンサーを配置することが一案として考えられる。

なお、低拡散層とその内側に構築されるコンクリートピットは、打ち継ぎ面の一体性を確保するために、凹凸を形成する等の処理が行われることを想定し、低拡散層のひび割れを計測するための光ファイバセンサーは、平滑面である低拡散層外面に設置することを基本として考えた。

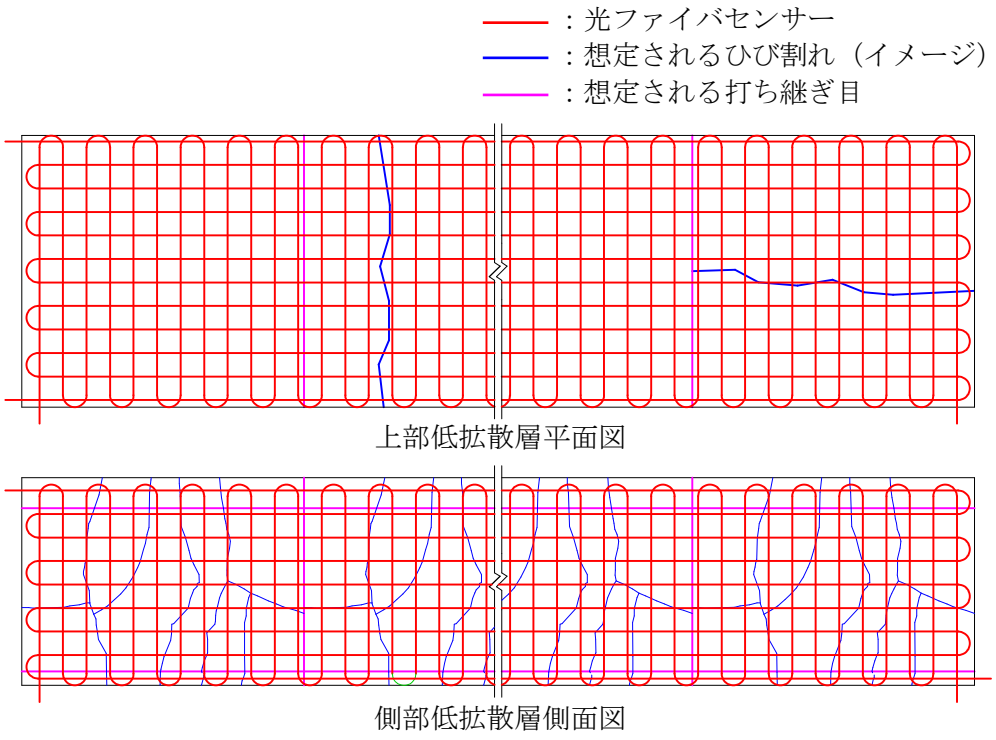


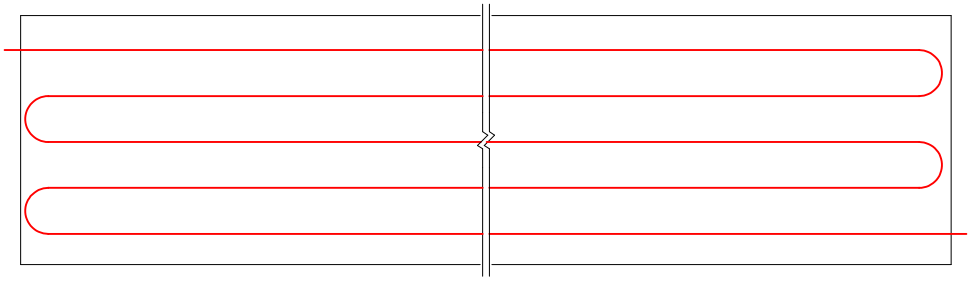
図 1.3-83　低拡散層のひび割れモニタリングのための光ファイバセンサーの設置概念図

(c) 施設内の圧力分布

施設内の圧力分布計測は、主に低透水層への地下水浸潤状況を把握するためのモニタリングである。閉鎖措置段階以降の再冠水過程では、地下水浸潤が不均質になる可能性があり、低透水層の膨潤圧が発生する時期にずれが生じることが想定される。また、処分坑道軸方向に低透水層の膨潤圧が偏った場合には、低拡散層のひび割れ発生につながる可能性もあることから、閉鎖措置段階以降の地下水浸潤状況を把握することは重要であると考えられる。

施設内の圧力分布を計測する場合、低透水層表面で計測することが有効であると考えられ、計測位置としては、低透水層内面と低透水層外面が候補となる。前述した低拡散層のひび割れ計測を実施する場合、低拡散層外面に光ファイバセンサーを設置するため、この光ファイバセンサーを圧力計測と併用することが可能と考えられる。すなわち、この場合は、低透水層内面で圧力分布を計測することになる。一方、低拡散層のひび割れ計測を実施しない場合には、主要な人工バリア部材を貫通する光ファイバセンサーを減らす観点から、低透水層外面で圧力分布を計測することが望ましいと考えられる。

光ファイバセンサーにより圧力分布を計測する場合、ひび割れ計測のように格子状に光ファイバセンサーを敷設する必要性は低く、図 1.3-84 に示すように、処分坑道軸方向にのみ光ファイバセンサーを敷設することで圧力分布が計測可能であると考えられる。



側部低透水層側面図（光ファイバセンサーを軸方向に配置）

図 1.3-84　施設内の圧力分布計測のための光ファイバセンサーの設置概念図

(d) 施設内の温度

施設内の温度分布は、前述した低拡散層のひび割れ観測、低透水層表面における圧力分布計測を実施する際には、それらの光ファイバセンサーで併用することが可能であると考えられる。

一方、低拡散層のひび割れ観測、低透水層内面における圧力分布計測を実施しない場合には、主要な人工バリア部材を貫通する光ファイバセンサーを減らす観点から、低透水層外面で圧力分布を計測することが望ましいと考えられる。

光ファイバセンサーにより温度分布を計測する場合も圧力分布計測と同様に、ひび割れ計測のように格子状に光ファイバセンサーを敷設する必要性は低く、図 1.3-84 に示すように、処分坑道軸方向にのみ光ファイバセンサーを敷設することで温度分布を計測可能であると考えられる。

d. モニタリング計画の具体化検討のまとめ（平成 30 年度）

ここでは、前述の既存計測技術を活用したモニタリング計画の具体化検討及び光ファイバセンサーの適用を考慮したモニタリング計画の具体化検討を統合したモニタリング計画を提示する。

対象とするモニタリング項目は、以下のとおりである。

- 処分施設の変形
- 低拡散層のひび割れ
- 地震動
- 裏面排水分析
- 近傍ボーリング孔の地下水分析
- 施設内の圧力分布
- 施設内の温度

上記のモニタリング項目に対する計測時期（段階）、計測方法について表 1.3-17 に整理した。なお、表 1.3-17 には、モニタリングの制約条件への適合性に応じて設定した表 1.3-11 の区分を併記した。

表 1.3-17　各モニタリング項目の計測時期と計測方法

<table>
<tr><th>モニタリング項目</th><th>建設段階</th><th>廃棄物の
埋設段階</th><th>閉鎖措置段階</th><th>保全段階</th></tr>
<tr><td>処分施設の変形</td><td colspan="2">3D レーザースキャナ</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">低拡散層のひび割れ</td><td>目視観察</td><td>画像解析</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">光ファイバセンサー</td></tr>
<tr><td>地震動</td><td colspan="4">加速度型地震計（地上用検出器、地中用検出器）
※　地表面、周辺岩盤内（ボーリング孔内）の地震動計測は保全段階まで実施可能であるが、処分空洞内、アクセス坑道内における地震動計測は閉鎖措置段階前に計測を終了する</td></tr>
<tr><td>裏面排水分析</td><td colspan="2">フレーム光度法、キレート滴定法、
イオンクロマトグラフ法 等</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>近傍ボーリング孔の
地下水分析</td><td colspan="4">フレーム光度法、キレート滴定法、イオンクロマトグラフ法 等
※　立地段階に調査用に設置されるボーリング孔を活用する場合は区分 A、廃棄物埋設地近傍等にモニタリング用に設置するボーリング孔を使用する場合は区分 B のモニタリングに相当する</td></tr>
<tr><td>施設内の圧力分布</td><td colspan="4">光ファイバセンサー</td></tr>
<tr><td>施設内の温度分布</td><td></td><td colspan="3">光ファイバセンサー</td></tr>
</table>

※　表中の太線は実施可能なモニタリング期間を表し、▬は区分 A、▬は区分 B、▬は区分 C のモニタリングを意味する

e．残された課題と今後の展望

残された課題及び次年度以降に検討すべき項目として以下が挙げられる。

- 整備が進められている規制基準への適合性を評価する必要がある。また、必要に応じて規制要求を満足するためのモニタリング（例えば、モニタリング用の模擬施設や室内試験を併用したモニタリング）を追加検討する必要がある。
- 既存計測技術を活用したモニタリングにおいては、一部の計測技術で計測精度に課題が残っており、今後の技術開発による計測精度向上や計測限界の向上、計測機器の動作環境の拡張に期待する必要がある。
- 近傍ボーリング孔の地下水分析を実施する際には、地下 100m～200m 程度の深度から地下水をサンプリングする必要があり、かつ、地下水に放射性物質が含まれる可能性もあるが、その技術的成立性については未検討の状態であるため、サンプリング技術に関する調査、検討を実施する必要がある。
- 光ファイバセンサーの耐用年数は、敷設延長をパラメータとする破断確率で評価される。光ファイバセンサーを活用したモニタリング計画では、光ファイバセンサーの耐久性評価の結果を反映し、耐用年数を満足する敷設方法を検討する必要がある。
- 光ファイバセンサーによる圧力分布計測は、計測技術を開発している段階であり、今後の技術開発動向を踏まえ、モニタリング計画に反映する必要がある。
- 実際の処分事業では、複数の処分坑道において建設・操業が並行する形で事業が進められ、廃棄物の埋設が完了した処分坑道、パネルから順次閉鎖措置段階に移行することが想定される。このような中で、処分施設全体でモニタリングを実施するのか、限られた処分坑道のみでモニタリングを実施するのか、あるいは、ある処分坑道の限られた範囲のみでモニタリングを実施するのかを検討する必要がある。このようなモニタリング範囲の代表性に係る課題は、地下水の水質分析におけるボーリング孔の配置や数及びサンプリング量においても同様である。

(2) 既設の実規模施設における地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察

過年度から継続して、実規模施設及び周辺岩盤に設置した計測器を用いた施設等の挙動計測、セメント系材料（低拡散層及びコンクリートピット）のひび割れ観察、並びに、空洞底盤とコンクリートピットに設置した地震計による地震観測等を実施した。概要を以下に示す。

1）本年度の既存施設の計測調査データ取得

a．計測データ回収

既設計器で計測されたデータを回収した。対象計器は、表 1.3-18 に示す各部材に設置されている 631 個から動作不良の間隙水圧計 19 箇所を除く 612 個とした。

地震計のメンテナンス及び計測データの回収を実施した。地震の発生状況については、地震速報などを活用して把握し、六ヶ所村での地震動の大きさについては、事前に KiK-net 六ヶ所のデータで概況を確認した。

間隙水圧計計測を行った結果、昨年度と今年度に測定された間隙水圧の経時変化から、計測孔においてはA-1孔周辺、B-1孔周辺、C-1孔周辺とも、概ね安定した水位を維持していることが確認された。試験空洞においても、一部で季節変動等の影響を受けて若干の変化が認められたが、D-1孔及びE-1孔周辺において間隙水圧は概ね安定していることが確認された。

ひび割れ調査として、上部低拡散層、上部コンクリートピット及び左側側部低拡散層について、ひび割れ観察を2回実施した（平成30年8月23日、12月3日）。その結果、上部低拡散層の上面では、これまで0.20~0.30mmで推移していたひび割れが0.10mmに閉じていたものの、それ以外については、昨年度の調査時以降、ひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生は確認されなかった。上部低拡散層上面で認められたひび割れ幅の減少については、平成30年10月9日から12日にかけて実施した光ファイバセンサーによるひび割れ計測試験による影響であると考えられる。また、底部低拡散層については、掘進したボーリング孔を用いて、BTVによりひび割れ観察を実施した（平成30年12月3日）。その結果、昨年度までのBTV観察で確認されている3箇所の割れ目以外は確認されず、割れ目の開口幅も、昨年度から変化ないことが確認された。なお、ボーリング孔内に溜り水が確認されており、その水質分析を実施したものの、水の浸入経路を特定するまでには至らなかった。

加えて、地中無線データ回収も実施した。平成20年に底部低透水層が施工された際に温度計、間隙水圧計を内蔵した地中無線送信装置が実規模施設内に設置されている。平成28年度からバッテリの消耗等により当初と同じ頻度でのデータ回収が困難となっており、今年度は更なるバッテリの消耗が考えられたため、データ通信時のバッテリの負担を減らす等の工夫をし、データ未回収期間の2か月ごとに連続した10日間の計測結果を回収した。

表 1.3-18　既設計器一覧

年度	部材名称	計器種別	数量	計
H19	坑内環境	温湿度（百葉箱）	1	1
	周辺岩盤挙動	間隙水圧計	31	37
		岩盤変位	6	
	埋戻し材	ひずみ計	106	215
		有効応力計	18	
		無応力計	4	
		鉄筋計	34	
		温度計	53	
H20	底部緩衝材	土圧計	8	31
		加速度計	1	
		沈下計	5	
		温度計	1	
		水分計	12	
		間隙水圧計	4	
	底部低拡散材	ひずみ計	30	62
		有効応力計	6	
		無応力計	1	
		温度計	15	
		継目計	5	
		せん断変位計	5	
	底部コンクリートピット	ひずみ計	30	57
		有効応力計	10	
		無応力計	1	
		傾斜計	1	
		温度計	15	
	側部コンクリートピット	ひずみ計	26	80
		有効応力計	6	
		無応力計	2	
		温度計	26	
		鉄筋計	20	
H21	手前部 コンクリートピット	ひずみ計	10	32
		無応力計	1	
		鉄筋計	10	
		温度計	11	
	側部低拡散材	ひずみ計	16	57
		有効応力計	6	
		低剛性型有効応力計	1	
		無応力計	2	
		温度計	16	
		継目計	4	
		せん断変位計	4	
		土圧計	6	
		加速度計	2	
	充填材	土圧計	1	1
H22	充填材	土圧計	2	3
		温度計	1	
	上部充填材	土圧計	1	2
		温度計	1	
	側部緩衝材	土圧計	2	3
		加速度計	1	
H24	上部コンクリートピット	ひずみ計	6	12
		無応力計	1	
		温度計	3	
		有効応力計	2	
	上部低拡散材	ひずみ計	18	34
		無応力計	1	
		温度計	9	
		有効応力計	6	
H25	上部緩衝材	土圧計	1	2
		加速度計	1	
H26	上部埋戻し材	沈下計	1	2
		温度計	1	
全計測器数量				631

b．計測データの整理

今年度回収した計測データ（既設静的計測データ、地震動観測データ）を整理し、経時変化図等に集約した。

c．計測システムの保守・点検

既設静的計測設備及び間隙水圧計他の点検を行うとともに、計測システム（計測ケーブル、現場計測室、スイッチボックス、パソコン、プログラム等含む）の保守・点検を実施した。

2）既存施設の計測調査データの評価

a．施設・岩盤挙動計測データの分析・評価

既設計器で計測・回収されたデータの分析・評価を行った。対象部位と分析・評価で着目した項目は次のとおりである。

- 坑内環境：気温、湿度
- 上部埋戻し材：沈下
- 底部低透水層：土圧、沈下、温度、水圧
- 低拡散層：ひび割れ
- コンクリートピット：ひび割れ
- 周辺岩盤：岩盤変位、間隙水圧

平成 30 年 10 月 9 日から 12 日にかけて実施された光ファイバセンサーによるひび割れ計測試験による影響が一部で確認されたものの、その他については計測・調査結果に特徴的な挙動は確認されず、いずれの部材においても、変動が認められたのは季節の温度変化によるものであった。

今年度期間中の試験施設周辺の岩盤変位や間隙水圧の変化量も僅かであり、既往の計測結果と同程度であった。

b．地震計の観測データの整理と挙動分析

今年度の観測では、計 12 回の地震動データを記録した。その中で、最大加速度は、平成 30 年 9 月 6 日(1)の地震計①（y 方向）の 8.9Gal であった。観測データのスペクトル分析から推察される試験施設の固有振動数は 15Hz 以上であり、これは既往の結果と同様であった。

また、今年度の解析では、周辺地盤の固有振動数（1Hz 程度）に近い卓越振動数を持つ地震動を入力した場合に施設の変形特性及び発生応力に与える影響が大きくなることを考慮して、卓越振動数が 0.7Hz であり最大加速度（8.9Gal）が過去に観測された地震動と比較しても大きい平成 30 年 9 月 6 日（1）の地震動を入力地震動として選定した。

この地震計①のデータに基づき、Schnabel et al.が開発した一次元重複反射理論に基づく等価線形解析プログラム（SHAKE）を用いて、地震計①の設置位置から二次元地盤-構造物地震応答解析モデルの下端(深度 250m)まで地震動を引戻し、これを二次元地盤-構造物地震応答解析モデルへの入力地震動とした。

二次元地盤-構造物地震応答解析モデルは、平面ひずみ問題として周辺地盤を含めて有限要素法を用いてモデル化（ソリッド要素）した。コンクリートピット内の模擬廃棄体と充てん材は、両者が合成された均質な構造体として取り扱うこととし、その物性は充てん材で代表させることとした。なお、本解析で用いる観測地震動の最大加速度は 11.7Gal（空洞横断面水平方向）と小さく、解析での地震時応答も小さいと考えられるため、低透水層と他の周辺部材との界面での剥離と滑りは考慮せず、また、低透水層の弾塑性挙動を考慮しない非線形弾性体（修正 R-O モデル）とした。二次元地盤-構造物地震応答解析モデル

を図 1.3-85 及び図 1.3-86 に示す。

平成 30 年度と平成 26 年度の地震計①位置での最大加速度を同等にして（図 1.3-87 参照）、振動数成分が異なる 2 つの入力地震動による地震応答解析結果を比較分析した。その結果、平成 30 年度と平成 26 年度に選定した地震動は、いずれも施設の振動特性に与える影響は小さいが、平成 30 年度の入力地震動の方が、施設の変形特性及び発生応力に与える影響は大きいことがわかった（図 1.3-88～図 1.3-90）。

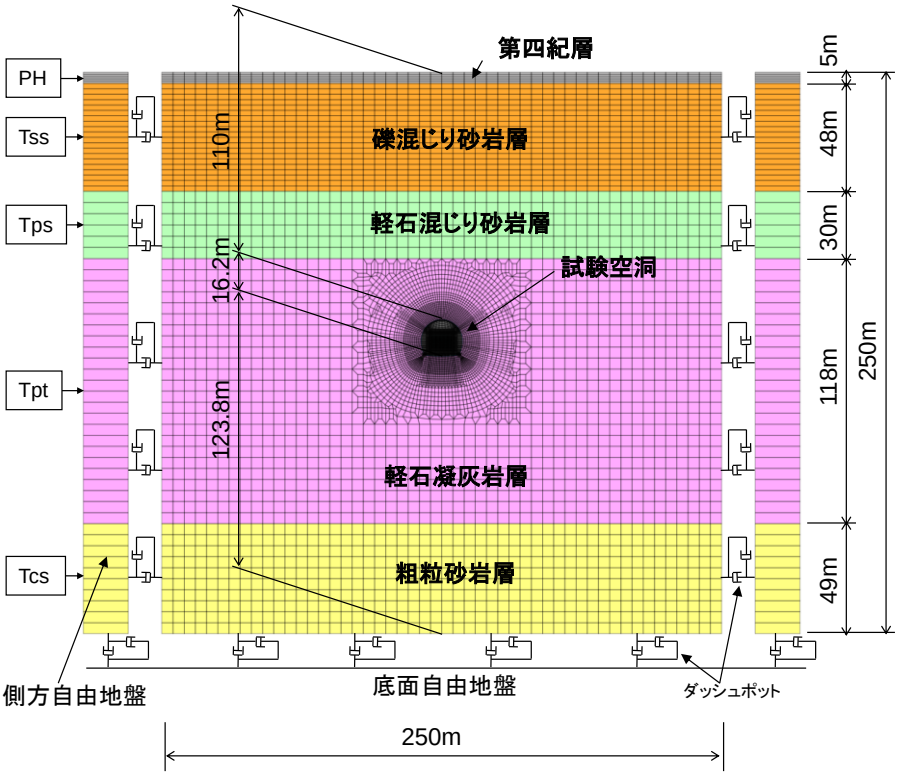


図 1.3-85　地震応答解析モデル（全体）

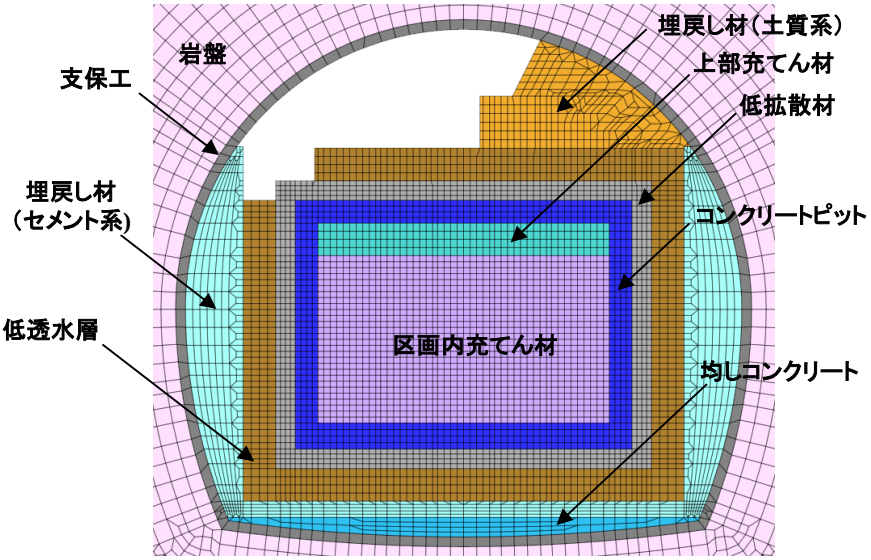
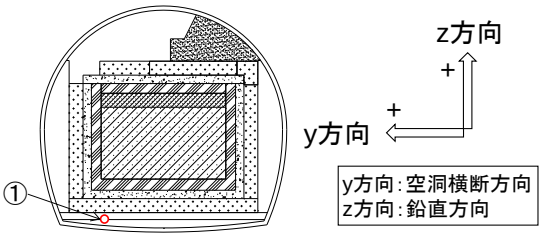


図 1.3-86　地震応答解析モデル（試験施設）



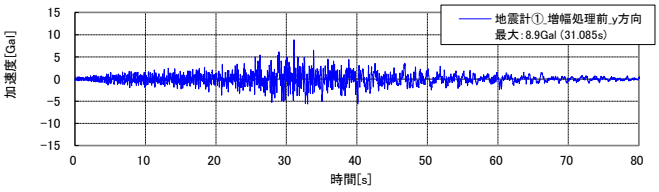
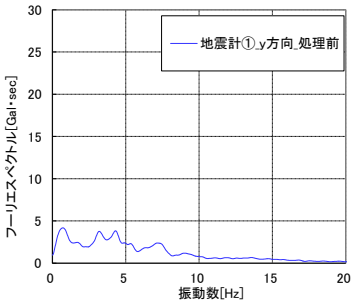
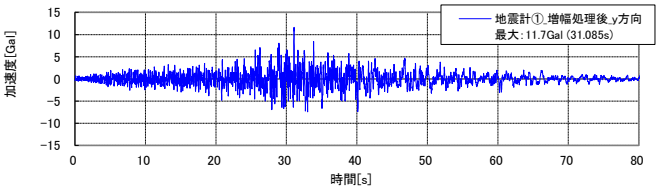
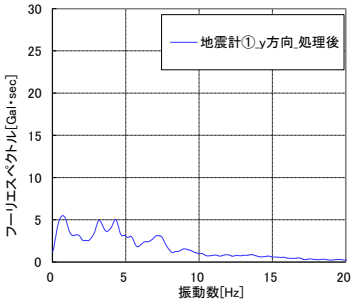
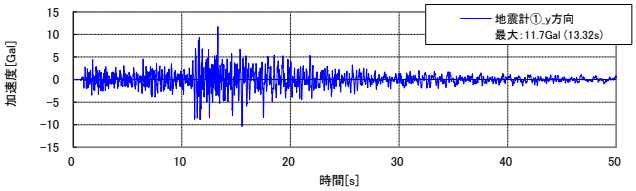
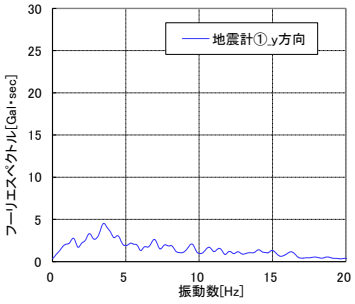
		加速度時刻歴	フーリエスペクトル
平成３０年度の選定地震動	増幅処理前		
	増幅処理後		
【参考】平成２６年度の選定地震動			

図 1.3-87　今年度選定した地震動の加速度の増幅処理（地震計①、y 方向）

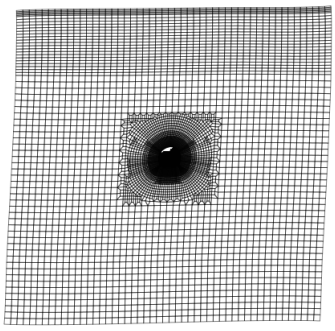
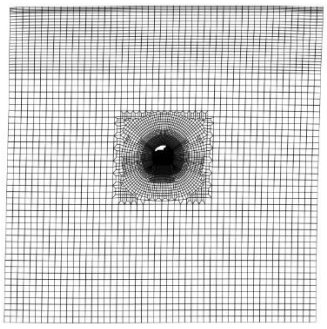
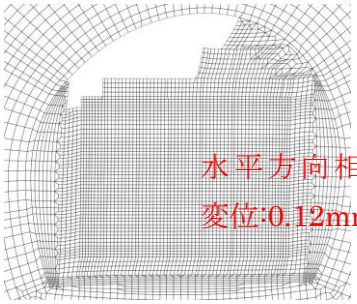
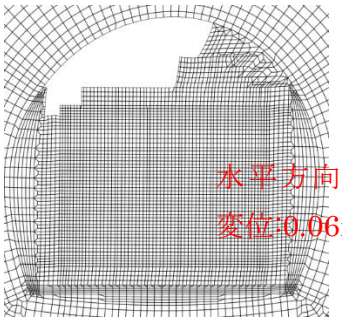
	平成 30 年度	平成 26 年度
全体図		
拡大図		

図 1.3-88　水平方向の相対変位最大時刻の変形図（変形倍率を 10000 倍で描画）

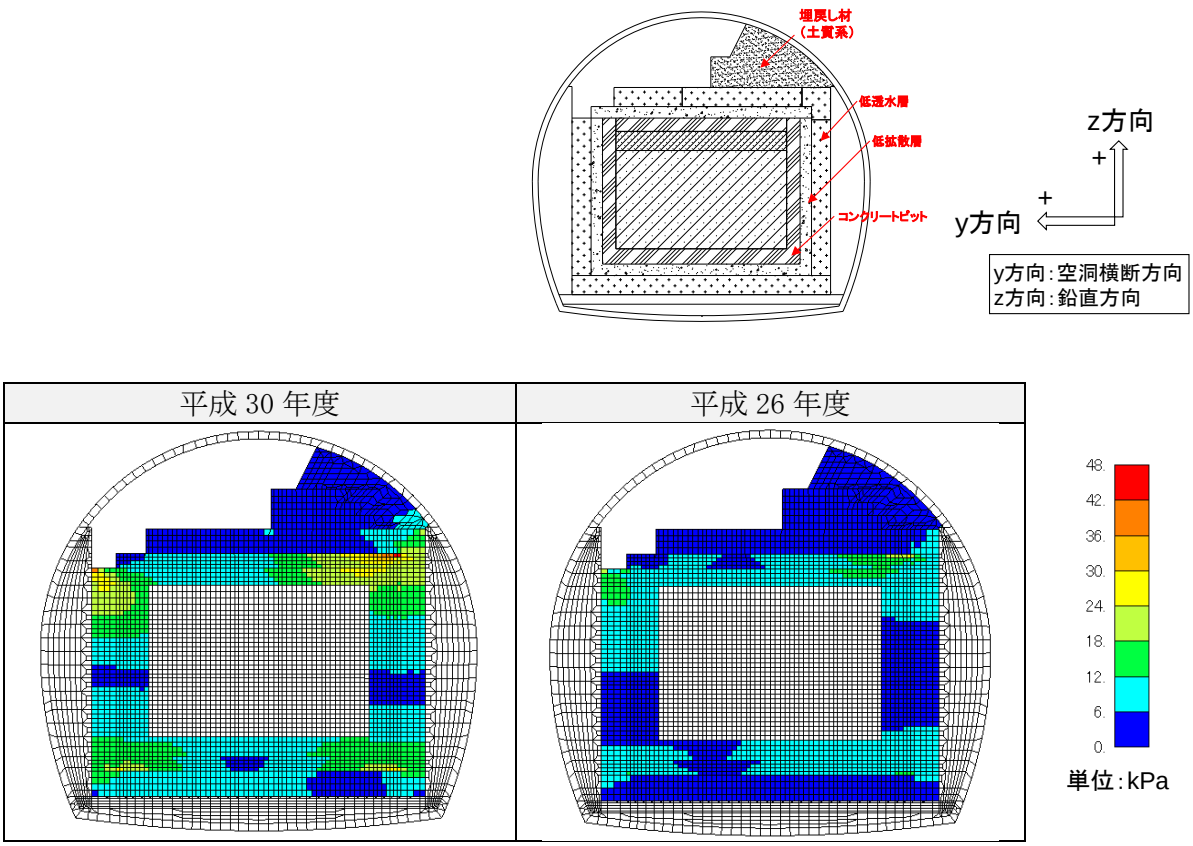


図 1.3-89　試験施設の引張応力の地震時増分（y 方向、引張正、履歴最大）

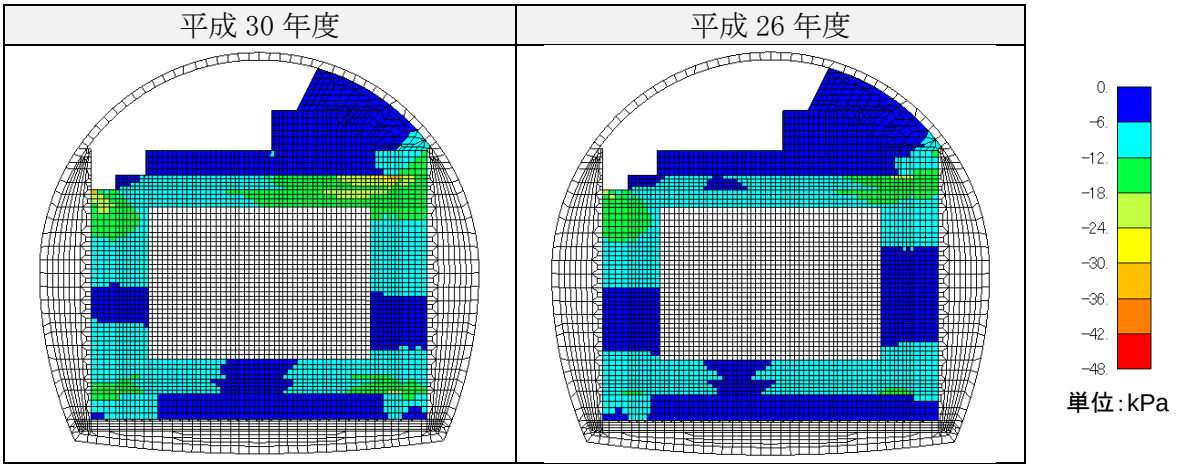


図 1.3-90　試験施設の圧縮応力の地震時増分（y 方向、圧縮負、履歴最小）

第 2 章　機能確認の実現性確認

第2章　機能確認の実現性確認

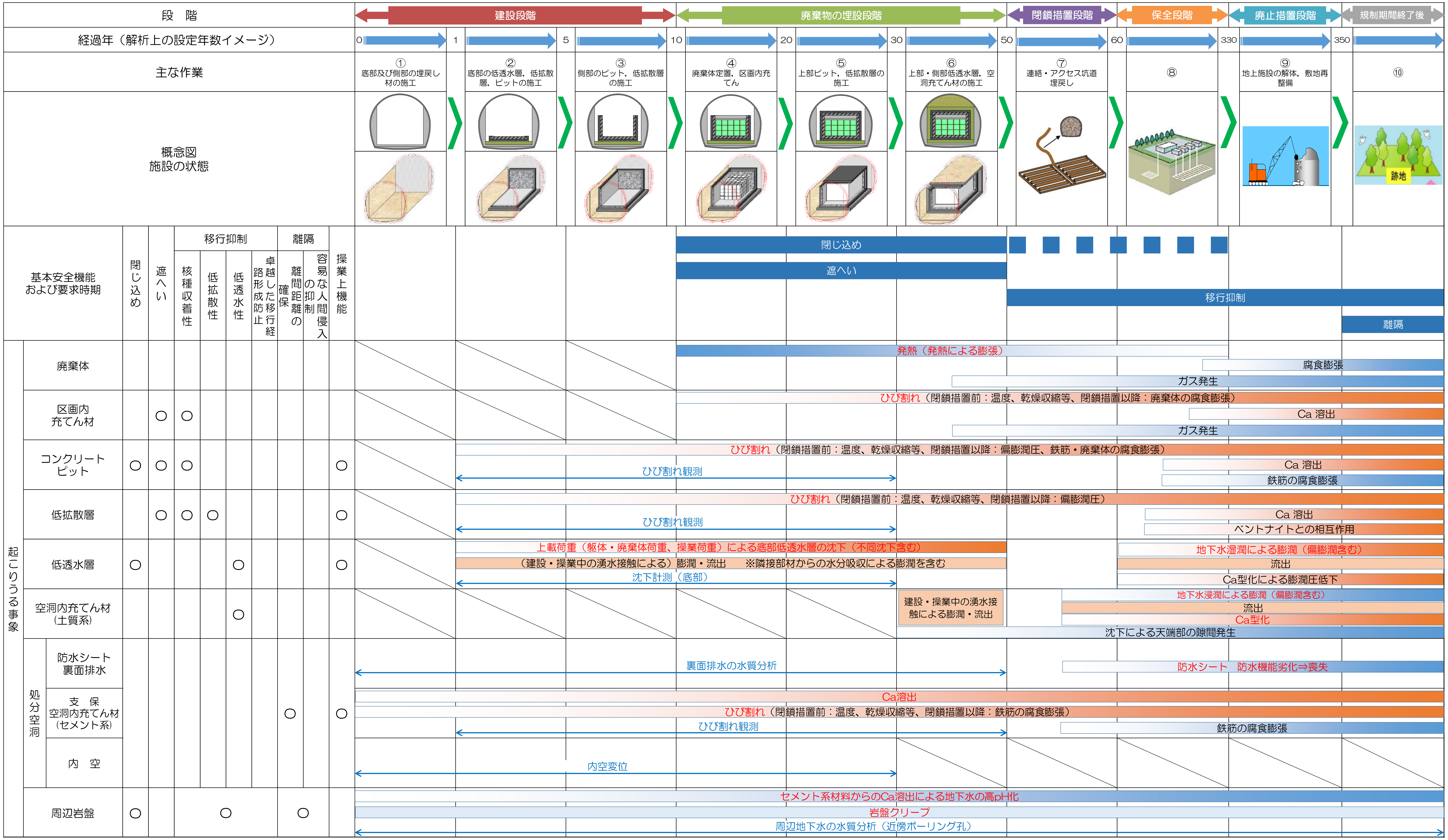
2.1　施設挙動解析

2.1.1　施設挙動の定量化方法

平成 29 年度には、中深度処分事業の各段階で処分施設に起こりうる事象を網羅的に抽出した「シナリオ整理表」（表 2.1-1）を作成した。ただし、シナリオ整理表で抽出した起こりうる事象は、その発生可能性や発生した場合の変化の程度を定量的に評価するに至っていない。そのため、モニタリングの計測手法や計測位置、計測頻度等のモニタリング計画を具体的に検討するに当たり、モニタリング項目になりうる事象を定量的に評価する必要があると考えた。

本章では、表 2.1-2、表 2.1-3 に示す手法により、シナリオ整理表で抽出した起こりうる事象を定量化することを試みた。次節以降で、熱・水・力学に着目した解析的検討、化学に着目した解析的検討、文献調査等による施設挙動の定量化について詳述する。

表 2.1-1　シナリオ整理表



・基本安全機能のマトリクス表では、要求されるものに○印を記載
・赤字：保全段階までに発生する確率が高いと考えられる事象　　青字：既存計測技術により実処分施設で実施可能なモニタリング　　下線：光ファイバーセンサによる計測を想定するモニタリング項目
・建設・埋設段階での安全確保の考え方は基本的に既存の原子力関連施設と共通であり、「閉じ込め」、「遮へい」の基本安全機能が求められる。
・施設埋戻し後の長期にわたる公衆に対する安全性が受動的に確保できる構造とする必要があり、「移行抑制」、「離隔」の基本安全機能が要求される。

表 2.1-2　定量化方法（1/2）

部位	事象	定量化方法
廃棄体	発熱	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：TOUGH2）により定量化する
	容器の腐食膨張	既往検討成果、過年度検討成果を調査・整理し、腐食開始時期、腐食量、膨張量を同定する（腐食開始時期は、熱・水・力学に着目した解析的検討の成果を反映）
	放射線分解ガスの発生	既往検討成果、原子力学会標準等を調査し、影響の程度を整理する
区画内 充てん材	ひび割れ発生	既往検討成果から収縮量を推定
	化学的変質(Ca 溶出)	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する
	放射線分解ガスの発生	既往検討成果、原子力学会標準等を調査し、影響の程度を整理する
コンクリート ピット	ひび割れ発生	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT）及び二次元骨組み解析により定量化
	化学的変質(Ca 溶出)	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する
	鉄筋の腐食膨張	既往検討成果、過年度検討成果を調査・整理し、腐食開始時期、腐食量、膨張量を同定する（腐食開始時期は、熱・水・力学に着目した解析的検討の成果を反映）
低拡散層	ひび割れ発生	二次元骨組み解析により定量化（実施済み）
	化学的変質(Ca 溶出等)	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する
低透水層	底部低透水層の沈下	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT）により定量化する（過年度検討成果を精査）
	建設・埋設段階の水接触による変状	実規模施設の実績から、建設・埋設段階における膨潤・流出の発生可能性を評価する
	地下水浸潤による膨潤	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT、TOUGH2）により定量化する（過年度検討成果を精査）
	流出	既往検討成果を調査・整理し、発生可能性や影響の程度を整理する
	Ca 型化	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する

表 2.1-3　定量化方法（2/2）

部位	事象	定量化方法
空洞内 充てん材 （土質系）	建設・埋設段階の水接触による変状	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT）により定量化する
	沈下による天端部の空隙発生	閉鎖技術確証試験で施工した埋戻し材の挙動計測データから空隙発生の可能性、発生する空隙の大きさを同定する
	地下水浸潤による膨潤	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT、TOUGH2）により定量化する
防水シート 裏面排水	防水シートの機能喪失	熱・水・力学に着目した解析的検討（解析コード：CODE_BRIGHT、TOUGH2）により定量化する
空洞内 充てん材 （ｾﾒﾝﾄ系）	ひび割れ発生	既往検討成果、過年度検討成果を調査・整理し、影響の程度を整理する
	化学的変質(Ca 溶出)	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する
	鉄筋の腐食膨張	既往検討成果、過年度検討成果を調査・整理し、腐食開始時期、腐食量、膨張量を同定する
処分空洞	岩盤クリープによる変形	試験空洞掘削実績等の既往文献を調査し、変位発生時期、変位量を同定する
周辺岩盤	地下水の高 pH 化	化学に着目した解析的検討（解析コード：LIFE D.N.A.）により定量化する
	地下水中イオン濃度の変化	

2.1.2　熱・水・力学に着目した検討

(1) 目的及び検討概要

1) 期間区分と目的

平成 29 年度より「起こりうる挙動（時間的連続性シナリオ）整理表」において示した経過時間軸を、以下の A と B の 2 期間に区分し、それぞれに対して以下に示す着目点を設けて予察解析を実施した[1]。

A：廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖後）以降

⇒着目点１：廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖後）以降の再冠水プロセスにおける施設内温度変化の把握

B：建設～廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖前）

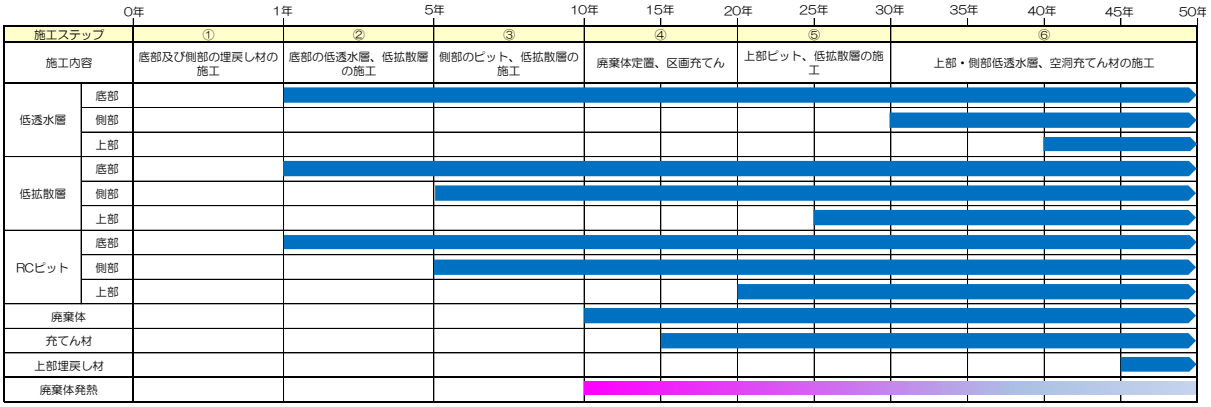
⇒着目点２：建設～廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖前）における施設挙動の想定

2) 本年度の実施概要

着目点１では、TH 連成解析コード TOUGH2 を用いて解析することによって、低透水層などの施設内における温度分布を把握し、各部材の浸潤状態を推定した結果、以下に示す課題が抽出された。本年度はこれらを再検討したうえで詳細解析を実施し、モニタリング計画に資する計測値（温度、飽和率）の幅を検討する。

- 熱物性条件
- 廃棄体発熱条件
- 施工ステップの詳細化（表 2.1-4 参照）

表 2.1-4　TOUGH2 解析施工ステップ



着目点２では、建設段階～操業段階における施工・定置作業による施設に対する力学的影響を、応力解析コード CODE_BRIGHT によって調べ、当該期間の施設変状状態を想定した。本年度は、シナリオ整理表への詳細な反映を行うため、想定される各計測箇所に対応する出力点のデータを抽出できるよう、予想される施工手順（図 2.1-1 参照）とそれぞれのバリアの施工時期を忠実に反映した施工ステップによる解析を行う。

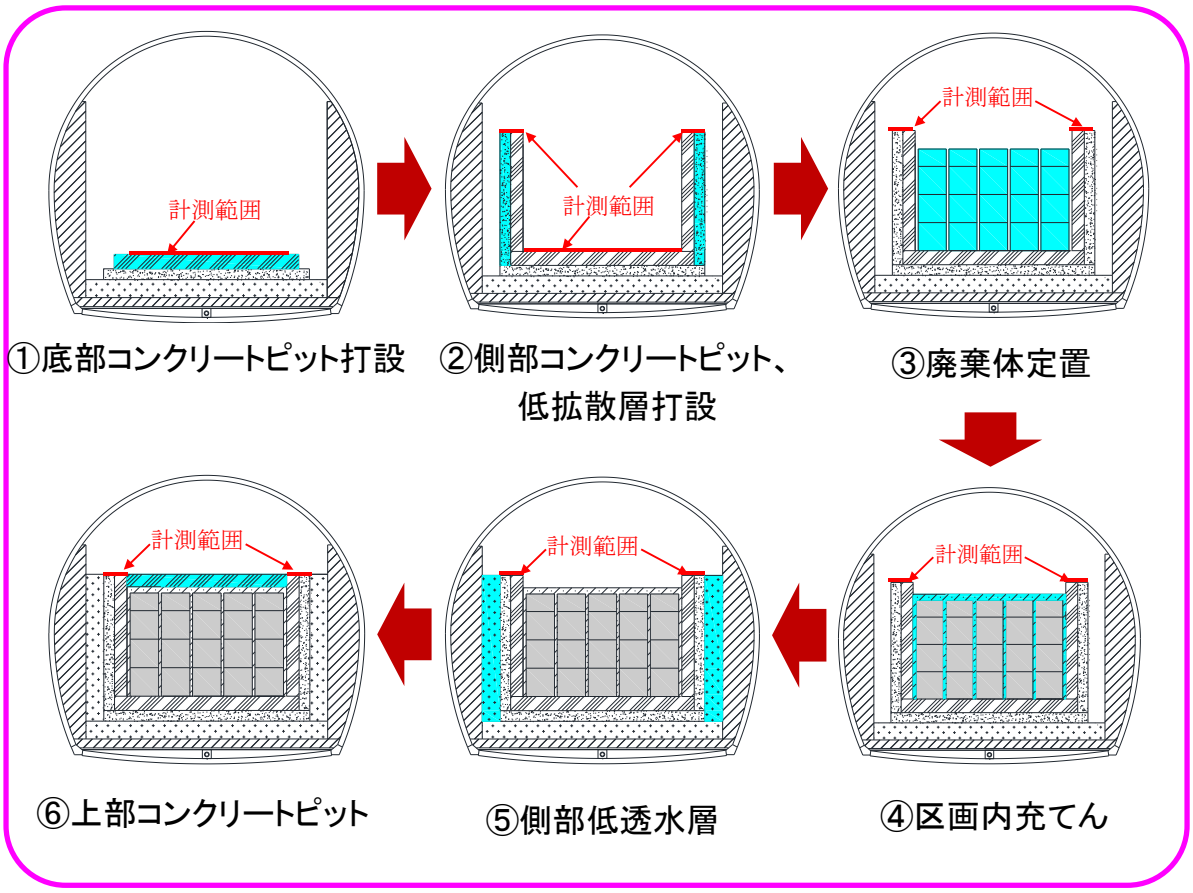


図 2.1-1　試験空洞及び人工バリア断面図

(2) 廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖後）以降の再冠水プロセスにおける施設内温度変化の把握

1) TOUGH2

a. コード概要[2]

TOUGH2 は、米国ローレンスバークレイ国立研究所（LBNL）の Pruess らが開発した TOUGH シミュレータの改良版であり、公開コードであることも手伝い、様々な多孔質媒体における流動のモデリングに国内外で適用されている[3] [4]。二相流挙動の他、拡散による移行も同時に解く機能を有しており、EOS（Equation of State）モジュールを交換することで、以下のような非常に多くの地下流動を取り扱うことが可能となる。

■水－空気
■水（700℃までの超臨界状態）－空気
■水－CO_2
■水－トレーサー
■水－油
■水－空気－揮発性溶媒（NAPL）
■水－無機化学成分（岩石・水反応）

共益勾配法により 3 次元での高速計算が可能であり、1 万グリッド以上のモデルを PC 上で計算することが可能となっている。いくつかの EOS モジュールについて、ソースコード（FORTRAN）が米国エネルギー省によって公開されており、非常に廉価に入手することが可能となっている。

本解析コードの適用としては、例えば飽和 JIS モルタルやセメントペーストの室内ガス移行試験に対する山本らの事例があり、ガス注入にともなう排水量及びガス排出速度が比較的良好に再現されている[5]。また、ベントナイト系材料への適用については、グリムゼル試験場におけるガス移行試験の 20%ベントナイト混合土の他、山本らの 70%ベントナイト混合土のガス移行試験に対する適用事例などがある[6] [7]。また、馬場らは既存の貯留層シミュレーションが適用されている地区をモデル化し、その貯留層の温度・圧力状態の精緻化を図った結果、温度に関して実測値と概ねマッチングさせることができた[8]。

以上のように、TOUGH2 については、国内外の豊富な利用実績を通じて数値解析コードとしての信頼性は確保されているものと考えられる。

b. 支配方程式

(a) 基本式

TOUGH2 では、下記の式で表される質量－エネルギー保存則を解く[6]。

$$\frac{d}{dt}\int_{V_n} M^\kappa dV_n = \int_{\Gamma_n} \boldsymbol{F}^\kappa \cdot \boldsymbol{n} d\Gamma + \int_{V_n} q^\kappa dV_n$$
$$\frac{d}{dt}\int_{V_n} Q dV_n = \int_{\Gamma_n} \boldsymbol{F}^h \cdot \boldsymbol{n} d\Gamma + \int_{V_n} q^h dV_n \qquad (2.1\text{-}1)$$

ここで、

M ：単位体積あたりの質量（kg/m^3）
Q ：単位体積あたりの熱量（J/m^3）
$\boldsymbol{F}$ ：単位面積あたりの質量フラックス（$kg/(m^2 \cdot s)$）、
もしくは熱量フラックス（$J/(m^2 \cdot s)$）
q ：湧き出し／吸い込み（質量の場合：kg/s 、熱の場合：J/s）
t ：時間（s）
V_n ：任意の体積要素（m^3）
Γ_n ：V_nを囲む閉曲面（m^2）
$\boldsymbol{n}$ ：閉曲面Γ_nに立てた法線ベクトル
κ ：$1 \le \kappa \le NK$: 化学種成分を示すインデックス（水、空気、CO_2、H_2、…）
$\kappa = NK + 1 = h$: 熱成分を表すインデックス

である。式(2.1-1)を積分型有限差分法により離散化し、残差が収束判定値以下となるまでニュートン法により繰り返し計算を行う。

(b) 構成則

以下に式(2.1-1)中の各項を概説する。

・Accumulation 項

基礎方程式の左辺にある質量もしくは熱量Mは、以下の式で表される。

＜質量＞

$$M^{\kappa} = \phi\left(S_{\mathrm{g}}\rho_{\mathrm{g}}X_{\mathrm{g}}^{\kappa} + S_{\mathrm{l}}\rho_{\mathrm{l}}X_{\mathrm{l}}^{\kappa}\right) \tag{2.1-2}$$

ϕ ：孔隙率（−）

S_{β} ：β相の飽和率（−）

ρ_{β} ：β相の密度（$\mathrm{kg/m^3}$）

X_{β}^{κ} ：成分κの質量分率（−）

β ：液相、気相、NAPL 相

＜熱＞

$$Q = (1-\phi)\rho_{\mathrm{s}}C_{\mathrm{s}}T + \phi\left(S_{\mathrm{g}}\rho_{\mathrm{g}}u_{\mathrm{g}} + S_{\mathrm{l}}\rho_{\mathrm{l}}u_{\mathrm{l}}\right) \tag{2.1-3}$$

ρ_{s} ：固相の密度（$\mathrm{kg/m^3}$）

C_{s} ：固相の比熱（$\mathrm{J/(kg\cdot K)}$）

T ：温度（K）

u_{β} ：β相の比内部エネルギー（J/kg）

・Flux 項

右辺第 1 項の質量フラックス$\boldsymbol{F}^{\kappa}$は、以下の式で表される。

＜質量（移流）＞

$$\boldsymbol{F}^{\kappa}|_{\mathrm{adv}} = \sum_{\beta} X_{\beta}^{\kappa}\boldsymbol{F}_{\beta} \tag{2.1-4}$$

ここでβ相のフラックス$\boldsymbol{F}_{\beta}$は、Darcy の法則において以下のように表される。

$$\boldsymbol{F}_{\beta} = -\boldsymbol{k}\frac{k_{\mathrm{r}\beta}\rho_{\beta}}{\mu_{\beta}}\left(\nabla P_{\beta} - \rho_{\beta}\boldsymbol{g}\right) \tag{2.1-5}$$

$\boldsymbol{k}$ ：絶対浸透率（$\mathrm{m^2}$）

$k_{\mathrm{r}\beta}$ ：β相の相対浸透率（−）

μ_{β} ：β相の粘性係数（Pa･s）

P_{β} ：β相の圧力（Pa）

$\boldsymbol{g}$ ：重力加速度（$\mathrm{m/s^2}$）

＜質量（拡散）＞

$$\boldsymbol{F}^{\kappa}|_{\mathrm{dif}} = -\phi\tau_0\tau_\beta\rho_\beta d_\beta^{\kappa}\nabla X_\beta^{\kappa} \tag{2.1-6}$$

$\tau_0\tau_\beta$　　：β相の屈曲度（-）
d_β^{κ}　　：β相におけるκ成分の分子拡散係数（$\mathrm{m^2/s}$）

同様に、熱フラックス$\boldsymbol{F}^{\mathrm{h}}$は、以下の式で表される。

＜熱＞

$$\boldsymbol{F}^{\mathrm{h}} = -\lambda\nabla T + \sum_{\beta} h_\beta \boldsymbol{F}_\beta \tag{2.1-7}$$

ここで、
λ　　：熱伝導率（$\mathrm{W/(m\cdot K)}$）
h_β　　：β相の比エンタルピー（$\mathrm{J/kg}$）
である。

＜相変換＞

気体の水への溶解量は、ヘンリーの法則にしたがうものとしており、その場合、瞬時平衡を仮定した。

$$p = K_H x \tag{2.1-8}$$

ここで、
p　　：気相内の溶質の分圧（Pa）
K_{H}　　：比例定数
x　　：モル分率
である。

2）解析モデル

検討断面は、図 2.1-2 に示すように平成 27 年度地下空洞型処分施設機能確認試験報告書[9]の地震挙動評価で用いられた検討断面と同様にした。

本解析に用いる解析モデルを図 2.1-3 に示す。坑道施設内のモデル化について、本検討では施設の再冠水に伴う温度変化を把握することを目的とするため、コンクリートピット内の模擬廃棄体と充てん材は地震時挙動評価と同様に、両者が合成された均質な構造体として取り扱うこととし、その物性は充てん材で代表させることとした。従って、廃棄体部については簡略化したモデル化となっている。また、モデル全体領域は、坑道周囲から上下左右 50 m とし、模擬廃棄体からの発熱による温度変化が境界まで及ばない十分広い範囲をモデル化し、境界格子に定温境界（初期状態から境界の温度は変化しない）を与えることとした。なお、発熱事象は、廃棄体からの発生に限定した。総要素数は 11,816 である。

各部材の基本設定条件は、平成 28 年度に実施した解析に用いた参照・比較ケースの条

件を参考としており、以下の 4）材料物性値にて詳細を記すものとする。

廃棄体（充てん材）、上部充てん材、コンクリートピット、低拡散層、低透水層（ベントナイト）、上部埋戻し材（土質系）、側部埋戻し材（セメント系）、支保工、均しコンクリートの 9 部材に対して二相流パラメータ及び力学パラメータを設定する。

解析で用いる材料物性値は基本的に機能確認試験で得られた値を採用する[10] [11]。ただし、二相流パラメータ等の機能確認試験で確認されていないものについては既往の検討で用いられた値を採用した[12] [13] [14]。

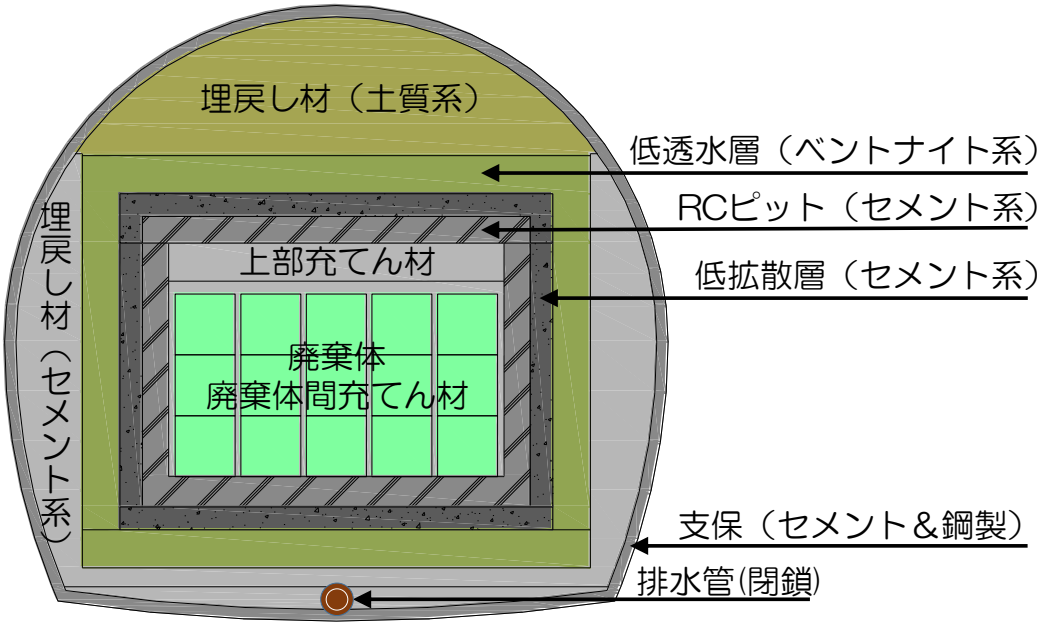


図 2.1-2　試験空洞及び人工バリア断面図

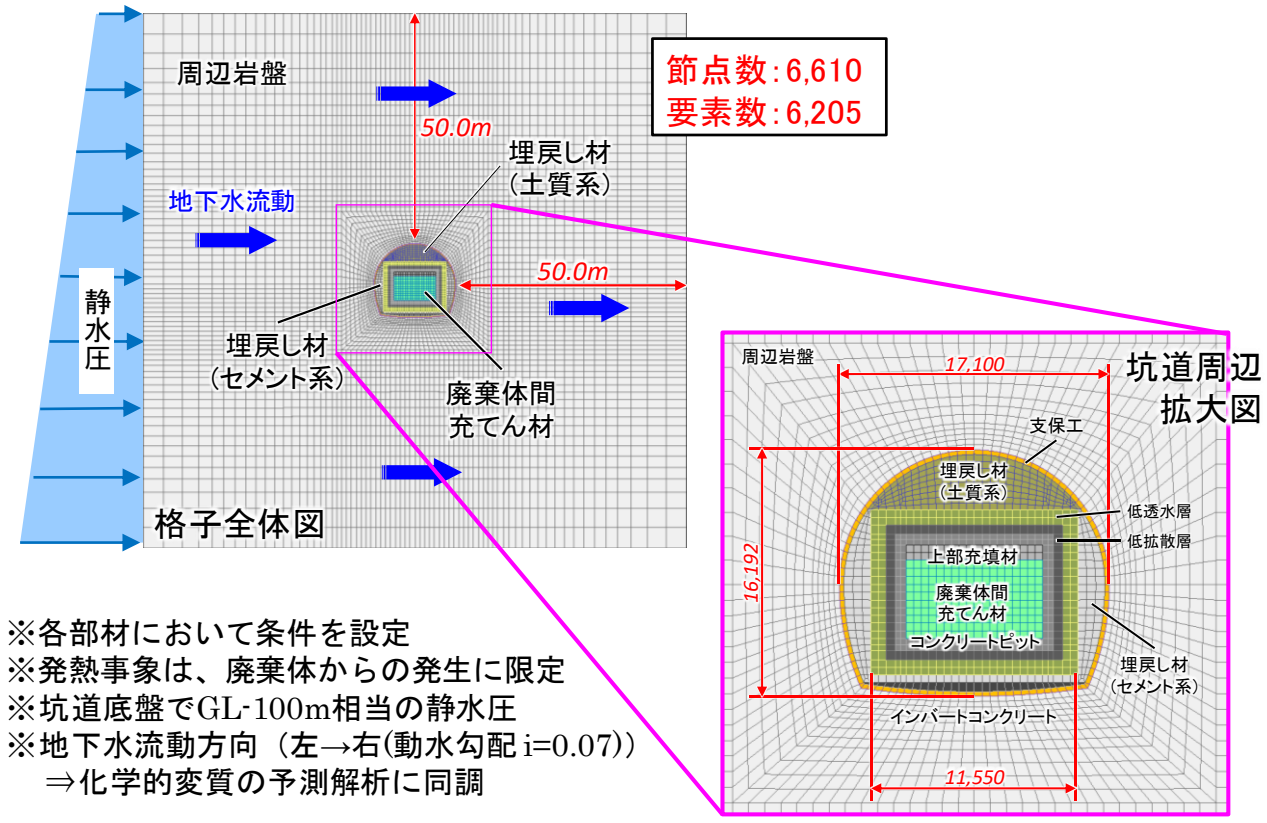


図 2.1-3　解析モデル

3）解析条件

a．二相流パラメータ

既往の文献を基に構成する部材に対して設定する。採用する物性値は再冠水過程の検討において用いられた物性を基本とする。

TOUGH2 では流体による透水性の違いを十分には表現できないため、浸透率$\boldsymbol{k}$を水と空気で異なる値k_βとすることで対処する。

$$\boldsymbol{F}_\beta = -\boldsymbol{k}_\beta \frac{k_{r\beta}\rho_\beta}{\mu_\beta}\left(\nabla P_\beta - \rho_\beta \boldsymbol{g}\right) \qquad (2.1\text{-}9)$$

(a) 低透水層（ベントナイト）

林らが低透水層に適用した乾燥密度ρ_d=1.6 Mg/m3 のクニゲル GX、100%を対象とした室内試験結果から設定したパラメータを用いる[15]。気相の相対浸透率については、Corey モデル[16]を近似して用いた。相対浸透率の気相のフィッティングについては、解析範囲と考えられる飽和率（80%～90%）付近の再現性を優先した。毛管圧は van Genuchten モデル[17]で近似した。

(b) 低拡散層（セメント系）

Kumagai et al.における低拡散層のパラメータを用いる[18]。ここで用いられているパラメータのうち、二相流パラメータは山本らの研究における JIS モルタルのガス移行試験から逆解析によって同定された二相流パラメータである。空隙率については田中らの文献を基に設定している。なお、相対浸透率は Corey モデル[16]、毛管圧は Narasimhan モデル[19]で近似した。フィッティングについては、解析対象と考えられる飽和率付近の再現性を優先した。

(c) コンクリートピット、廃棄体、上部充てん材、側部埋戻し材（セメント系）、支保工、均しコンクリート

Kumagai et al.におけるコンクリート材のパラメータを用いる[18]。ここで用いられている二相流パラメータ（毛管圧力、相対浸透率）は Mayer et al.[20]のパラメータである。空隙率については田中らの文献を基に設定している。なお、相対浸透率は Corey モデル[16]、毛管圧は Narasimhan モデル[19]で近似した。フィッティングについては、解析対象と考えられる飽和率付近の再現性を優先した。

(d) 上部埋戻し材（土質系）

Kumagai et al. における上部埋戻し材（土質系材料）のパラメータを用いる[18]。ここで用いられている二相流パラメータは RWMC 報告書の値を参照している[21] [22]。なお、相対浸透率は Corey モデル[16]、毛管圧は Narasimhan モデル[19]で近似した。

(e) 岩盤

相対浸透率は Corey モデル[16]、毛管圧は Narasimhan モデル[19]で近似した。

以降に本検討で用いた相対浸透率曲線と毛管圧曲線のそれぞれに関するモデル定義式を示す。

① Corey モデル（相対浸透率）[16]

$$k_{\mathrm{rg}} = (1 - S_{\mathrm{e}})^{\mathrm{n}}(1 - S_{\mathrm{e}}^{\mathrm{n}}) \tag{2.1-10}$$

$$k_{\mathrm{rl}} = S_{\mathrm{e}}^{\mathrm{m}} \tag{2.1-11}$$

$$S_{\mathrm{e}} = (S_{\mathrm{l}} - S_{\mathrm{lr}})/(1 - S_{\mathrm{lr}} - S_{\mathrm{gr}}) \tag{2.1-12}$$

ここで、k_{rg}がガスの相対浸透率、k_{rl}は液体の相対浸透率、S_{e}は有効間隙水飽和率、S_{l}は間隙水飽和率、S_{lr}は残留間隙水飽和率、S_{gr}は残留ガス飽和率を示す。

② van Genuchten モデル（相対浸透率）（水相のみ）[17]

$$k_{\mathrm{rl}} = \sqrt{S_{\mathrm{e}}}\left(1-\left(1-S_{\mathrm{e}}^{\frac{1}{\lambda}}\right)^{\lambda}\right) \tag{2.1-13}$$

$$k_{\mathrm{rg}} = \sqrt{1-S_{\mathrm{e}}}\left[1-\left\{1-(1-S_{\mathrm{e}})^{\frac{1}{\lambda}}\right\}^{\lambda}\right] \tag{2.1-14}$$

$$\mathrm{S_e} = (S_{\mathrm{l}}-S_{\mathrm{lr}})/(1-S_{\mathrm{lr}}-S_{\mathrm{rg}}) \tag{2.1-15}$$

ここで、λは$\lambda = 1-1/n$をみたす空隙率分布パラメータを示す。

③ Narasimhan モデル（毛管圧）[19]

$$P_{\mathrm{c}} = P_{\mathrm{e}} - P_{\mathrm{m}}[(1-S_{\mathrm{l}})/(S_{\mathrm{l}}-S_{\mathrm{lr}})]^{1-\mathrm{n}} \tag{2.1-16}$$

ここで、P_{c}は毛管圧、P_{e}は毛管排除圧（ガス侵入圧）、P_{m}は Narasimhan モデル係数を示す。

④ van Genuchten モデル（毛管圧）[17]

$$P_{\mathrm{c}} = P_0\left(S_{\mathrm{e}}^{-1/\lambda}-1\right)^{1-\lambda} \tag{2.1-17}$$

$$S_{\mathrm{e}} = (S_{\mathrm{l}}-S_{\mathrm{lr}})/(1-S_{\mathrm{lr}}-S_{\mathrm{gr}}) \tag{2.1-18}$$

ここで、P_{c}は毛管圧、P_0はガス侵入圧を示す。

b. 熱物性パラメータ（飽和率依存性）

TOUGH2 による熱解析において、必要なパラメータは熱伝導率、比熱及び線膨張係数となっている。

熱伝導率（有効熱伝導率）は、孔隙内の流体の飽和率によって変化する。TOUGH2 では、以下の 2 つのモデルにより有効熱伝導率$\tilde{\lambda}$を決定する。

$$\tilde{\lambda}(S_{\mathrm{l}}) = \lambda_{\mathrm{dry}} + \sqrt{S_{\mathrm{l}}}\left(\lambda_{\mathrm{wet}}-\lambda_{\mathrm{dry}}\right) \tag{2.1-19}$$

$$\tilde{\lambda}(S_{\mathrm{l}}) = \lambda_{\mathrm{dry}} + S_{\mathrm{l}}\left(\lambda_{\mathrm{wet}}-\lambda_{\mathrm{dry}}\right) \tag{2.1-20}$$

λ_{dry}とλ_{wet}はそれぞれ、絶乾状態と飽和状態における熱伝導率であり、TOUGH2 ではこの 2 値を入力パラメータとする。$\lambda_{\mathrm{dry}} = \lambda_{\mathrm{wet}}$とすれば、熱伝導率の飽和率依存性は考慮されない。

固相、液相、気相の熱伝導率をそれぞれλ_{s}，λ_{l}，λ_{g}とおけば、上式は間隙率ϕを用いた以下の形式に書き換えることができる。

$$\tilde{\lambda}(S_{\mathrm{l}}) = (1-\phi)\lambda_{\mathrm{s}} + \phi\{S_{\mathrm{l}}\lambda_{\mathrm{l}} + (1-S_{\mathrm{l}})\lambda_{\mathrm{g}}\} \tag{2.1-21}$$

上式を模式的に表すと以下の図 2.1-4 のようになる。

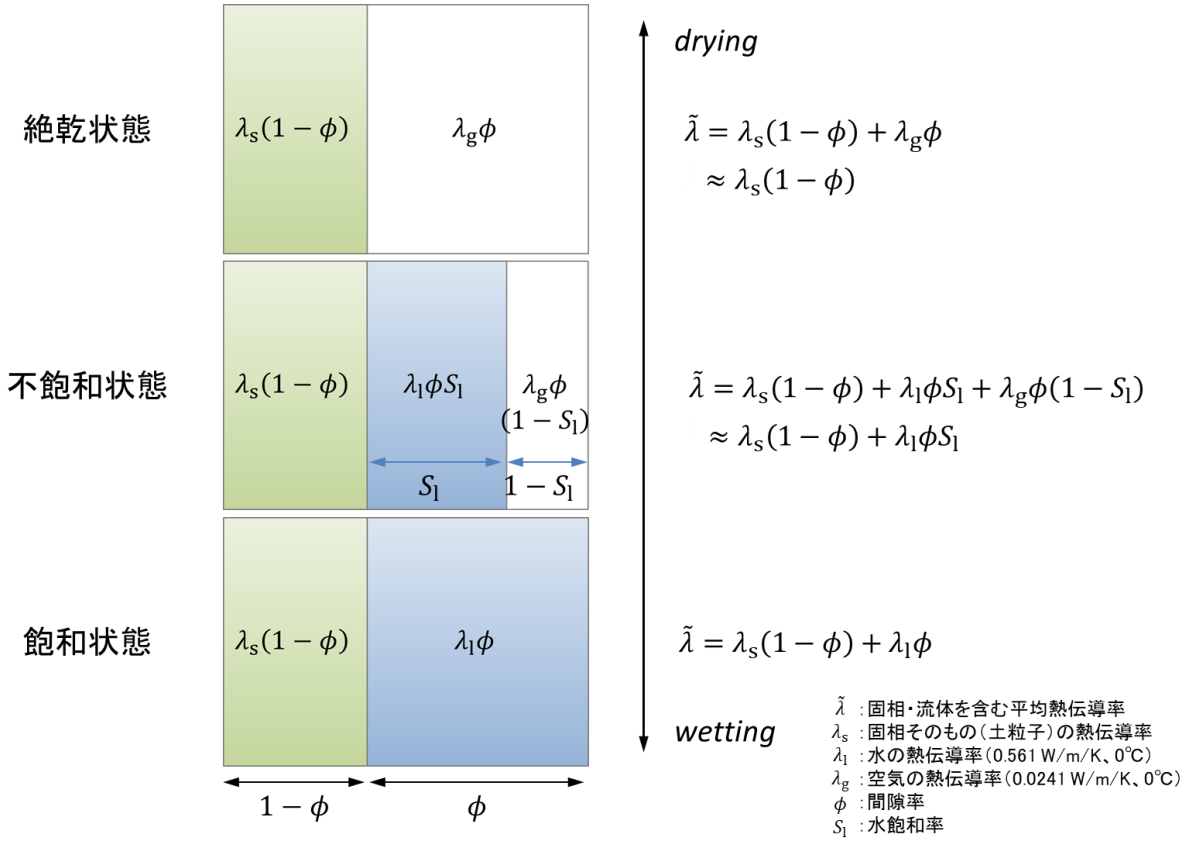


図 2.1-4　水分状態による熱伝導率変化の模式図

熱伝導率と同様に、比熱$\tilde{c}$も流体の飽和率に依存する。

$$\tilde{c}(S_l) = (1-\phi)c_s + \phi S_l c_l + \phi(1-S_l)c_g \qquad (2.1\text{-}22)$$

TOUGH2 では、固相の比熱c_sが入力パラメータであり、比熱の飽和率依存性が常に考慮される。模式図は図 2.1-5 に示す通りとなる。

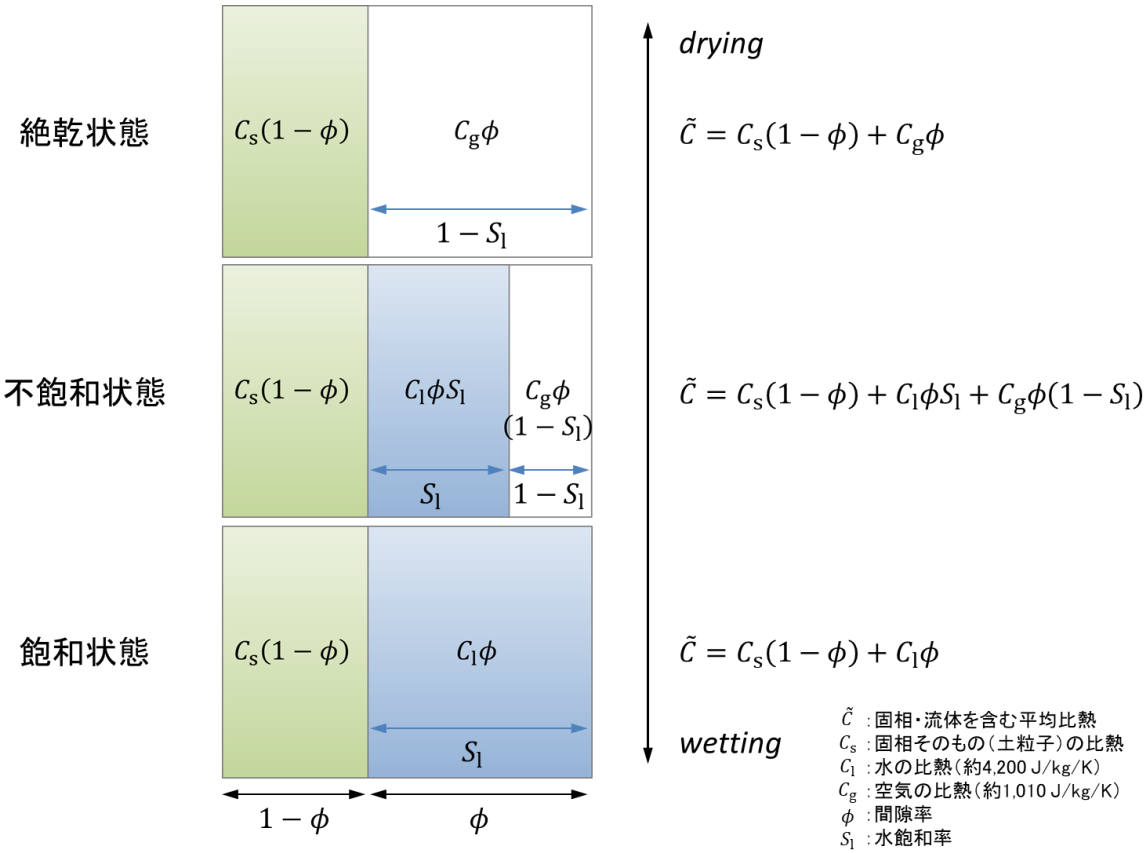


図 2.1-5　水分状態による比熱変化の模式図

また、TOUGH2 では、線膨張係数として固相と流体を含む平均線膨張係数を入力し、水飽和率依存性は考慮されない。

これらのパラメータについて、各年度の地下空洞型処分施設性能確証試験・閉鎖技術確証試験報告書において各々検討し、取得した値を優先して採用することとする[23] [24] [25]。一方、上記報告書に記述がない部位、パラメータについては、既往の検討で用いられた値を採用した[12][13][14]（表 2.1-5 参照）。

表 2.1-5　熱物性パラメータ一覧

部材	部材	熱伝導率 (W/m/K)	比熱 (J/kg/K)	空隙率
廃棄体エリア	廃棄体間充填材	1.813 (相当水飽和度0.90)	1,420 (相当水飽和度0.90)	0.12
		平成21年度報告書 (2010) RWMC	平成21年度報告書 (2010) RWMC	平成22年度報告書 (2011) RWMC
	廃棄体容器	41.500	0.570	0.00
		増田 (2008) 土木学会	増田 (2008) 土木学会	――――――
	廃棄体	10.348	0.954	0.00
		増田 (2008) 土木学会	増田 (2008) 土木学会	――――――
上部充填材		1.956 (相当水飽和度0.90)	1,232 (相当水飽和度0.90)	0.15
		コンクリートピット(セメント系)と同値と仮定	コンクリートピット(セメント系)と同値と仮定	平成22年度報告書 (2011) RWMC
コンクリートピット(セメント系)		1.956 (相当水飽和度0.90)	1,232 (相当水飽和度0.90)	0.13
		平成20年度報告書 (2009) RWMC	平成20年度報告書 (2009) RWMC	平成24年度報告書 (2013) RWMC
低拡散層(セメント系)		1.831 (相当水飽和度0.90)	1,332 (相当水飽和度0.90)	0.15
		平成20年度報告書 (2009) RWMC	平成20年度報告書 (2009) RWMC	平成26年度報告書 (2015) RWMC
低透水層(ベントナイト系)		1.400 (相当水飽和度0.85)	730 (相当水飽和度0.00)	0.41
		平成20年度報告書 (2009) RWMC：1.409 平成22年度報告書 (2011) RWMC：1.396	増田 (2008) 土木学会	Kumagai(2010)ICEM
上部埋戻し材(土質系)		1.690 (相当水飽和度0.00)	770 (相当水飽和度0.00)	0.30
		増田 (2008) 土木学会	増田 (2008) 土木学会	Kumagai(2010)ICEM
側部埋戻し材(セメント系)		1.990 (相当水飽和度0.90)	1,248 (相当水飽和度0.90)	0.17
		平成19年度報告書 (2010) RWMC	平成19年度報告書 (2010) RWMC	平成19年度報告書 (2008) RWMC
インバートコンクリート		1.990 (相当水飽和度0.90)	1,248 (相当水飽和度0.90)	0.17
		側部埋戻し材(セメント系)と同値と仮定	側部埋戻し材(セメント系)と同値と仮定	側部埋戻し材(セメント系)と同値と仮定
支保コンクリート		1.990(相当水飽和度0.90)	1,248 (相当水飽和度0.90)	0.17
		側部埋戻し材(セメント系)と同値と仮定	側部埋戻し材(セメント系)と同値と仮定	側部埋戻し材(セメント系)と同値と仮定
岩　盤		0.878 (相当水飽和度0.00)	800 (相当水飽和度0.00)	0.40
		増田 (2008) 土木学会	増田 (2008) 土木学会	2次取りまとめ中央値：0.20 平成28年年度報告書(2017)RWMC：0.40～0.45 鈴木(2010)岩盤力学：0.56 大谷石材協同組合資料：0.37

◆　熱伝導率の飽和率依存性（低透水層_ベントナイト）

低透水層（ベントナイト）については、文献 JNC TN8400 99-052 の検討[26]より熱伝導率の飽和率依存性は実験的にその関係が示されている。本年度実施する解析では、上記文献の試験結果プロットを線形に近似した直線の飽和率$S_w = 1.0$における熱伝導率を参考条件値とし、これを基本条件値と線形に結ぶことで、熱伝導率の飽和率依存条件を設定した。設定グラフを図 2.1-6 に示す。グラフ中、解析対象となる水飽和率範囲を実線で、対象外となる範囲を点線で示す。

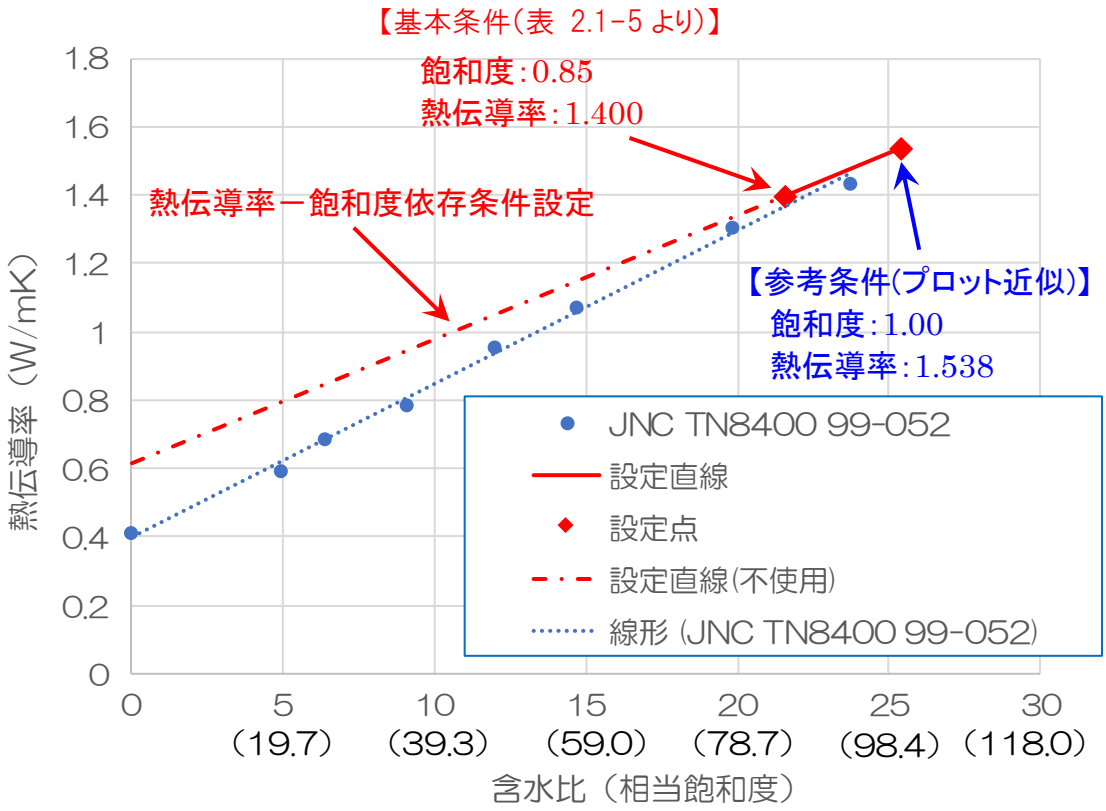


図 2.1-6　熱伝導率の飽和率依存性（低透水層）

◆　熱伝導率の飽和率依存性（その他の部材）

低透水層以外の部材に関して、各部材材料に関するデータ取得時の飽和条件やセメント、岩石などの一般値を参考に飽和率を設定し、熱伝導率の理論算定式により絶乾状態$S_w = 0.0$と飽和状態$S_w = 1.0$の熱伝導率（λ_{dry}、λ_{sat}）を算出し、2 点を線形で結び設定した（表 2.1-6、図 2.1-7 参照）。グラフ中、解析対象となる水飽和率範囲を実線で、対象外となる範囲を点線で示す。

表 2.1-6　飽和率に基づいた熱伝導率算出結果一覧

	側部 埋戻し材	低拡散層	コンクリート ピット	廃棄体間 充填材	上部充填材	上部埋戻し材	岩盤
ϕ	0.17	0.15	0.13	0.12	0.15	0.30	0.40
S_w	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.000	0.000
$\tilde{\lambda}$	1.99	1.831	1.956	1.813	1.956	1.690	0.878
λ_{dry}	1.893	1.746	1.882	1.745	1.871	1.690	0.878
λ_{sat}	2.001	1.840	1.964	1.821	1.965	1.879	1.130

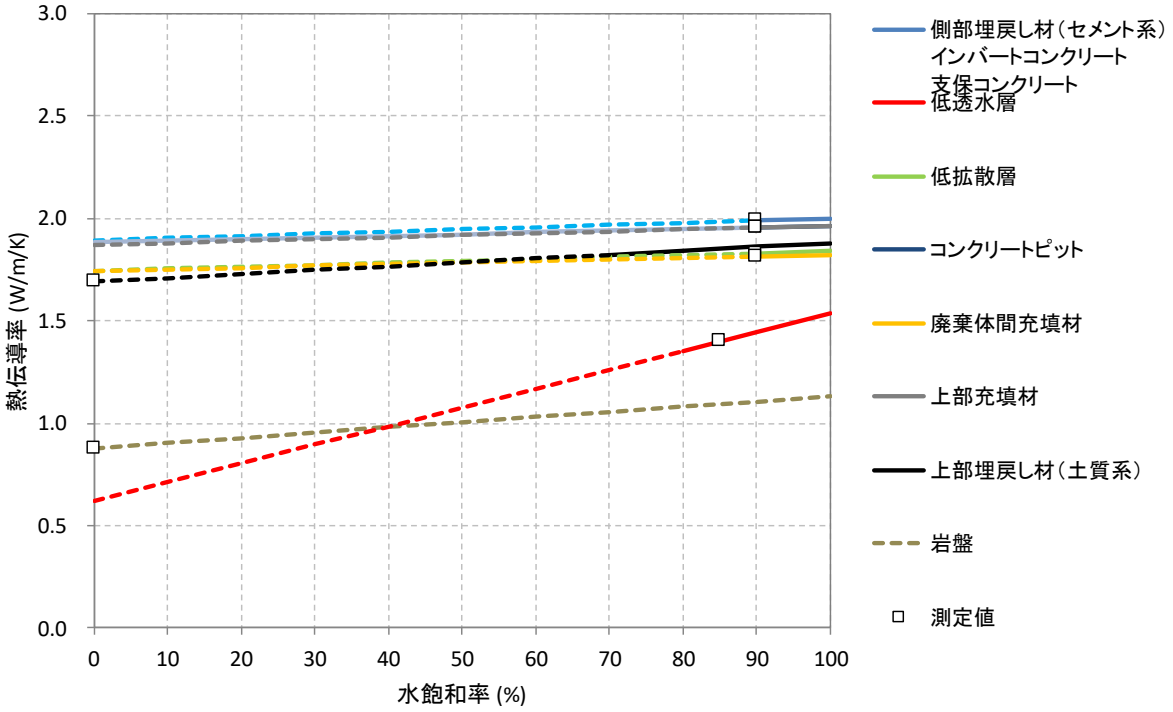


図 2.1-7　熱伝導率の飽和率依存性

◆　比熱の飽和率依存性

既往研究（前出 JNC 文献[26]ほか）から、一般的な比熱の飽和率依存性の関係が検討されているが、本年度解析対象となる各部材材料に関する比熱のデータ取得方法が明確でないこともあるため、ベントナイト（粘土）、セメント及び岩石などの材質における飽和率と比熱に一般値を参考に、飽和率をそれぞれ設定し、理論式により絶乾状態$S_w = 0.0$と飽和状態$S_w = 1.0$の熱伝導率（c_{dry}、c_{sat}）を算出し、2 点を線形で結び設定した（表 2.1-7、図 2.1-8 参照）。グラフ中、解析対象となる水飽和率範囲を実線で、対象外となる範囲を点線で示す。

表 2.1-7　飽和率に基づいた比熱算出結果一覧

	側部埋戻し材	低透水層	低拡散層	コンクリートピット	廃棄体間充填材	上部充填材	上部埋戻し材	岩盤
ϕ	0.17	0.41	0.15	0.13	0.12	0.15	0.30	0.40
S_w	0.900	0.000	0.900	0.900	0.900	0.900	0.000	0.000
$\tilde{c}$	1248	730	1332	1232	1420	1232	770	800
c_{dry}	763	730	904	861	1077	804	770	800
c_{wet}	1302	2030	1380	1273	1458	1280	1722	2069

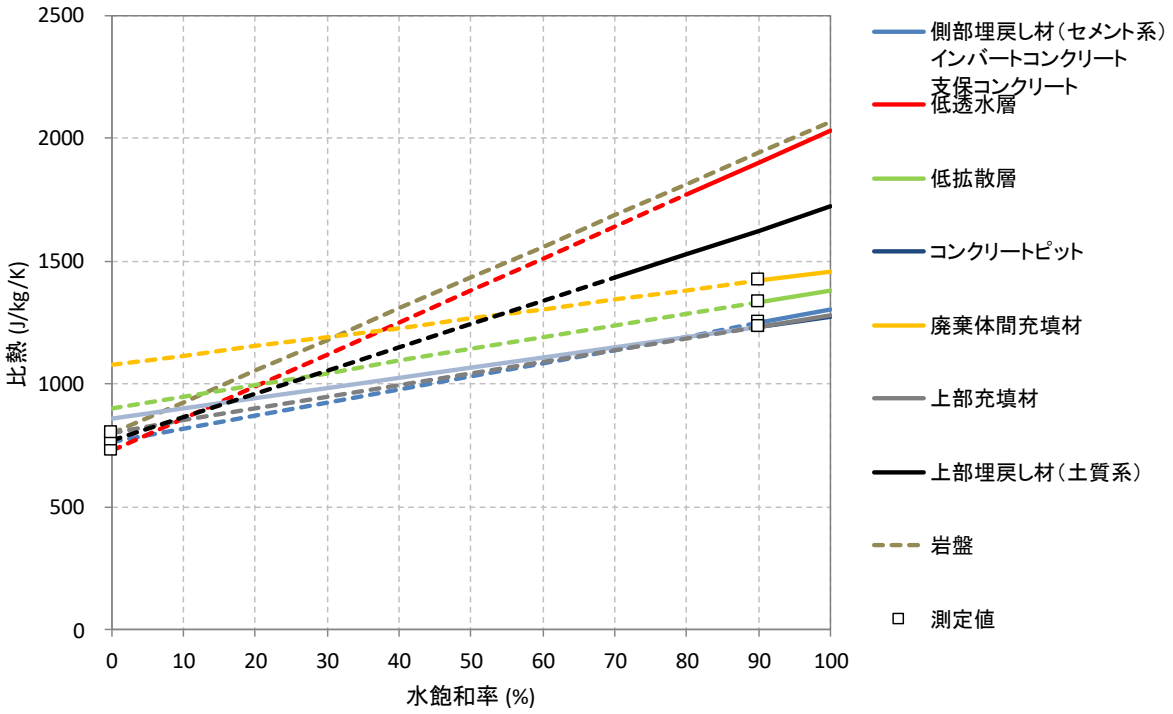


図 2.1-8　比熱の飽和率依存性

c．廃棄体からの発熱量発生パラメータ及び熱特性

L1 の熱解析に関する既往検討[13][14]では、コンクリートピット内の廃棄体定置エリアを廃棄体容器、廃棄体間充てん材をソリッド要素でモデル化している（図 2.1-9 参照）。本解析では、廃棄体・容器・廃棄体間充てん材をそれぞれの形状でメッシュ割していないことから廃棄体エリア全域に熱条件を与えてしまうことになるため、上記基本概念との繋がりも大切にするため、昨年度まで検討に用いた解析モデルにおいてメッシュは変更しないながらも、廃棄体からの発熱量や物性値（密度、比熱、熱伝導率他）は容器（鉄）、廃棄物（鉄）、充てん材の断面積のうち、発熱しない廃棄体間充てん材の面積分けを差し引いて（85%）、等価物性として与える。以下にその検討内容を示す。

既往検討より、廃棄体の定置に関する基本概念は 5 列×4 段であり、廃棄体列間に隙間充てん材が施工されている。この考え方に検討対象である図 2.1-10 に示す模擬施設における全廃棄体エリア（8.950 m×6.140 m=54.953 m²）において以下の施工寸法[27]を当てはめて発熱発生エリアの設定を行う（表 2.1-8 参照）。

【最上段廃棄体】

廃棄体容積　：1.500 m×0.990 m=1.485 m²

鉄製容器容積：1.600 m×1.090 m－1.485 m²=0.259 m²

【以外の廃棄体】

廃棄体容積　：1.500 m×1.500 m=2.250 m²

鉄製容器容積：1.600 m×1.600 m－2.250 m²=0.310 m²

以上より、

廃棄体容積　：1.485 m²×5 体＋2.250 m²×15 体=41.175 m²

鉄製容器容積：0.259 m²×5 体＋0.310 m²×15 体=5.945 m²

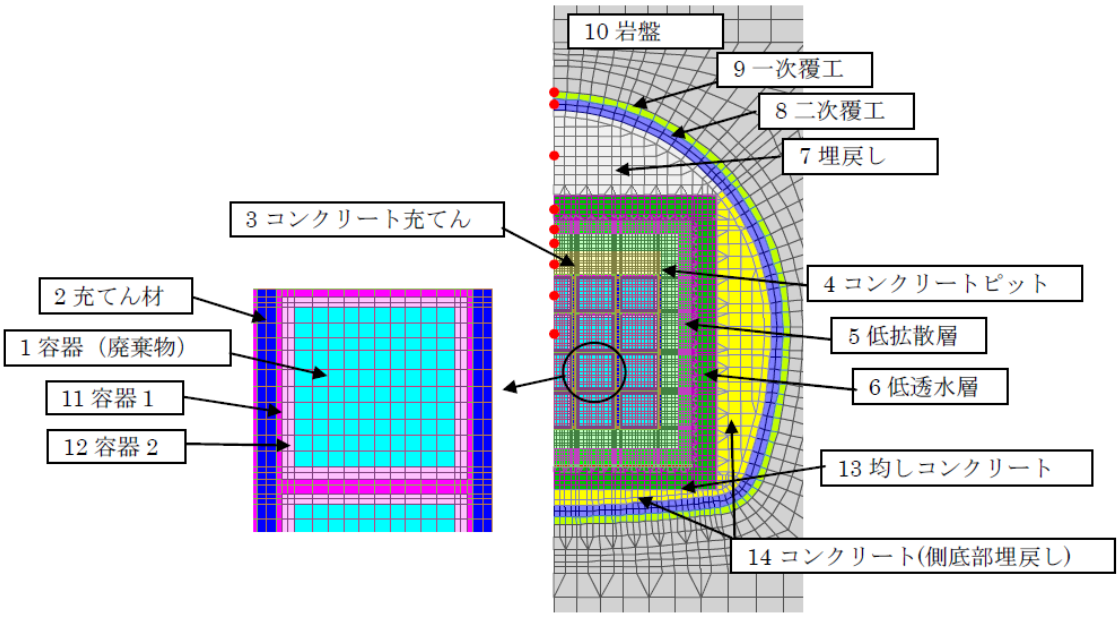


図 2.1-9　現状考えられている L1 中深度処分の断面概念[13]

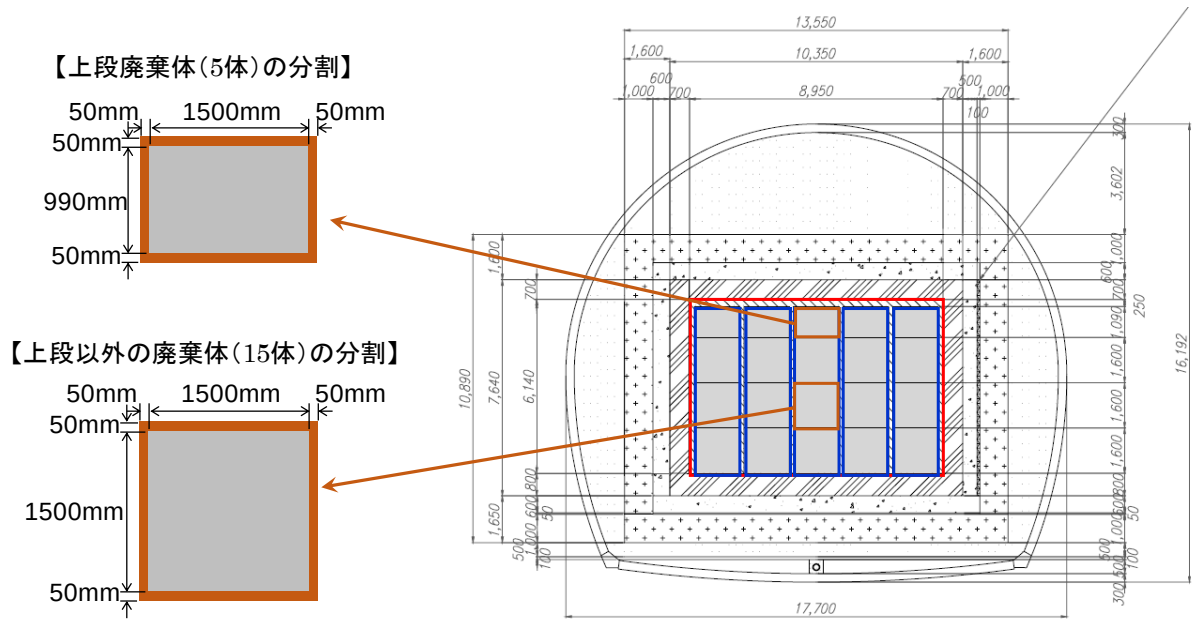


図 2.1-10　六ヶ所模擬施設の断面を基本とした廃棄体エリア内

表 2.1-8　廃棄体エリアからの発熱条件設定

部材	面積（m^2）		面積比		想定材質	発熱
廃棄体エリア全域	54.953		1.0			
廃棄体	41.175	47.120	0.75	0.85	鉄類	○
容器	5.945		0.10		鉄類	○
廃棄体間充填材	7.833		0.15		モルタル	×

なお、発熱量は原子炉停止後 6 年目で 30 W/m^3 である情報を基本に、各原子力発電所における設定安全貯蔵期間情報を基に原子炉停止後 15 年目の 10 W/m^3 を初期値とし、Co-60 半減算定式（半減期 5.27 年）にしたがって指数関数的に減少するモデルとして設定した（図 2.1-11 参照）。

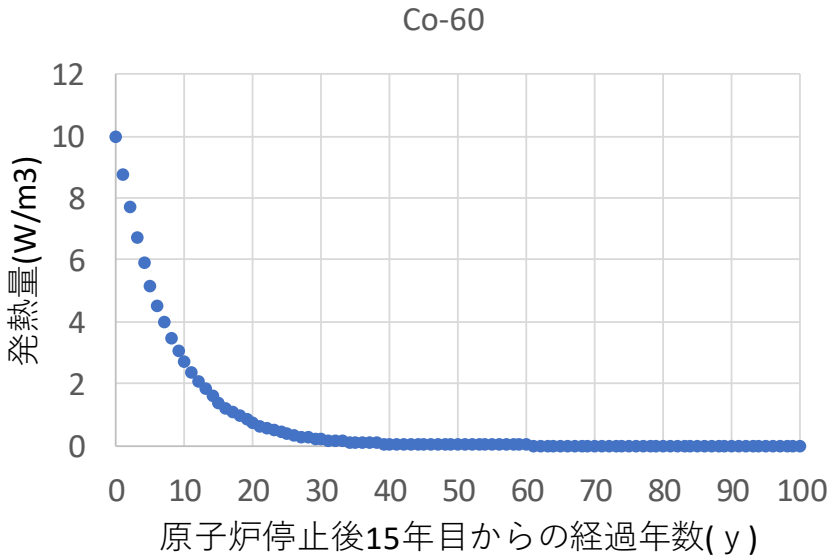


図 2.1-11　廃棄体からの発生発熱量

廃棄体エリアに与える熱特性（比熱、熱伝導率）は、既往検討[13]で各部位に設定された熱物性値（表 2.1-9 参照）を参考に設定した。廃棄体（表中、1_容器）、容器（表中、11_容器１）を用いて、廃棄体エリア内の各部位において前述にて算出した面積比率を考慮した上で、既設定した廃棄体間充てん材の熱物性（表 2.1-5 参照）を加えて、飽和率依存性を算出設定した。算出した飽和率依存性を考慮した廃棄体エリアの熱特性の結果を表 2.1-10 及び図 2.1-12 に示す。

表 2.1-9　各部位熱物性値[13]

	部位		熱伝導率 W/mK	比熱 kJ/kgK	密度 kg/m^3
廃棄体→	1 容器		10.348	0.954	3,282
	2 充てん材		1.507	1.050	2,140
	3 コンクリート充てん	充てん材上部	1.507	1.050	2,140
	4 コンクリートピット		1.915	1.050	2,500
	5 低拡散層		1.507	1.050	2,140
	6 低透水層		1.000	0.730	1,600
	7 埋戻し	埋戻し上部	1.690	0.770	1,600
	8 二次覆工		1.797	1.050	2,500
	9 一次覆工		0.878	0.800	2,200
	10 岩盤		0.878	0.800	2,200
容器→	11 容器1		41.500	0.570	7,850
	12 容器2		10.348	0.954	3,282
	13 コンクリート	均しコンクリート	1.797	1.050	2,500
	14 コンクリート	埋戻し側部底部	1.797	1.050	2,500

表 2.1-10　廃棄体エリア内における熱特性の飽和率依存性算出結果

部位	想定材料	発熱	面積	面積比	比熱		熱伝導率		孔隙率
					乾燥状態	飽和状態	乾燥状態	飽和状態	
			(m^2)	(---)	(J/kg/K)		(W/m/K)		(---)
廃棄体	鉄	○	41.175	0.75	954		10.348		0.000
容器	鉄	○	5.945	0.10	570		41.500		0.000
充てん材	モルタル	×	7.833	0.15	1,077	1,458	1.745	1.821	0.120
全体			54.950	1.00	930	984	12.492	12.503	0.002

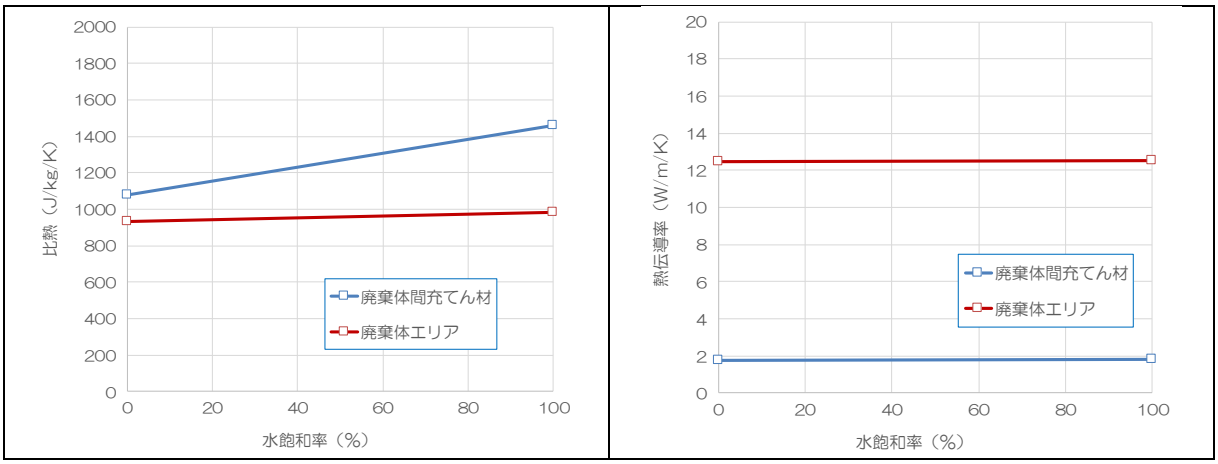


図 2.1-12　廃棄体エリア内における熱特性の飽和率依存性

d. 絶対浸透率パラメータ

TOUGH2 解析に使用する主な部材材料の透水性を示すパラメータとして、絶対浸透率を設定する。絶対浸透率は透水係数データを基本に式(2.1-23 による換算を行うことにより設定値を求めた。

$$\boldsymbol{k} = \frac{\mu}{\rho \boldsymbol{g}} \boldsymbol{K} \qquad (2.1\text{-}23)$$

ここで、

$\boldsymbol{k}$：絶対浸透率（m^2）

$\boldsymbol{K}$：透水係数（m/s）

ρ：水の密度（kg/m^3）

μ：水の粘性係数（$Pa \cdot s = kg/(m \cdot s)$）

$\boldsymbol{g}$：重力加速度（m/s^2）

換算するため必要なそれぞれの係数値については、理科年表（平成 28 年版）より表 2.1-11 の値を用いて計算した。各係数値は、TOUGH2 解析において設定した坑道内雰囲気温度 15℃を条件に採用した。その結果、表 2.1-12 に基本となる各部材の透水係数と換算した絶対浸透率の設定値を整理して示す。なお、各部材の透水係数の設定については、後述「1.3 節 化学に着目した検討」内、「1.3.5 解析概要(1)入力条件」にて詳細を記述し

ている。

以上より、整理した各種解析パラメータ一覧表を表 2.1-14 に示す[28][29]。

表 2.1-11　換算に用いた各係数値（理科年表_平成 28 年度）

	条件	値	単位
重力加速度	-	9.80665	m/s^2
水の密度	15℃	999.10	kg/m^3
粘性係数	15℃	0.0011378	Pa・s

表 2.1-12　主な部材に関する絶対浸透率設定値

部材	透水係数初期値 Ko（m/s）	絶対浸透率 K (m^2)	透水係数出典
コンクリートピット（セメント系）	5.0E-13	5.81E-20	平成19-24年度とりまとめ報告書、RWMC
低拡散層（セメント系）	1.0E-13	1.16E-20	平成19-24年度とりまとめ報告書、RWMC
低透水層（ベントナイト系）	5.0E-13	5.81E-20	平成19-24年度とりまとめ報告書、RWMC
上部埋戻し材（土質系）	5.0E-11	5.81E-18	平成26年度報告書、RWMC
側部埋戻し材（セメント系）	5.0E-13	5.81E-20	平成19-24年度とりまとめ報告書、RWMC
吹付けコンクリート	1.0E-08	1.16E-15	平成19-24年度とりまとめ報告書、RWMC
岩　盤	2.0E-08	2.32E-15	石田ほか、原子力バックエンド研究、Vol.13、No.1 (2006.10).

e．その他設定条件地下水流動パラメータ

その他、解析を実施するにあたって必要となる設定事項を以下に整理して示す。

①　地下水流動パラメータ

坑道底盤で、GL-100 m 相当の静水圧がかかるよう設定するとともに、バックグランドとしての地下水流動方向は左⇒右とし、後述の化学的変質に関する予測解析条件（動水勾配　0.07 m/m）と同調することとした（図 2.1-3 参照）。

②　施工ステップ①の初期状態

－モデル左端で地表面に水位があるとし、動水勾配 0.07 m/m として計算した際の地下水位の静水圧とした。

－岩盤内は水で完全に飽和した状態とし、坑道内部の部材については表 2.1-14 に示す初期飽和率を与え、その他の部材（空洞部分）は乾燥状態とした。

－地表面温度を 12℃とし、地温勾配 0.03℃/m によって設定した。

③　境界条件

－モデル上面、側面、底面は圧力・温度固定境界とした。

－施工ステップ①～⑥において、坑道内部で部材が無い空洞部については、圧力・温度固定境界（圧力 0.1 MPa、温度 15℃）とした。

－施工ステップ①～⑥までは、支保コンクリートに流入した地下水は完全に排水されるとして、圧力・温度固定境界（圧力：0.1 MPa、温度 15℃）とした。

④　境界条件

以上を考慮して TOUGH2 解析ケースを表 2.1-13 に示す。

表 2.1-13　TOUGH2 解析ケース

	解析の状態	透水性条件	支保工透水性	
			透水係数(m/sec)	絶対浸透率(m^2)
ケース①	各部材が想定通りに機能すると考えた基本的なケース	一般的な坑道支保に与える条件（小割れ目が存在し、多少の湧水浸入がある）	1.00E-08	1.16E-15
ケース②	施設内への地下水の浸潤が大きく抑制されるケース	吹付けコンクリートが適切良好に施工され、地下水の施設内の浸水を完全に抑制している状況を設定	1.00E-12	1.16E-19
ケース③	施設内への地下水の浸潤が促進されるケース	防水シートが機能せず、かつ吹付けコンクリートも全周囲から通水し、吹付けコンクリートのセメント部は劣化し、ほとんど砂のみが残り、高透水部が生じる可能性がある状況を設定	1.00E-04	1.16E-11

表 2.1-14　TOUGH2 解析二相流パラメータ

項目 / 部材	絶対浸透率 k (m^2)	真密度 ρ (Mg/m^3)	空隙率 Φ (-)	ヤング係数 E (MPa)	ポアソン比 ν (−)	固相圧縮率 β_P (1/Pa)	熱物性			相対浸透率 k_{rl} (-)					毛細管圧力 P_c (Pa)							初期水飽和率 (-)
							熱伝導率λ (W/m·K)	比熱c (J/kg·K)	線膨張係数 β_T (μ/℃)	モデル	残留水飽和率 S_{lr} (-)	残留ガス飽和率 S_{gr} (-)	形状係数 m (-)	形状係数 n (-)	モデル	残留水飽和率 S_{lr} (-)	残留ガス飽和率 S_{gr} (-)	ガス侵入圧 P_e (MPa)	係数 P_m, P_0 (MPa)	Naパラメータ η (-)	vGパラメータ n (-)	
廃棄体間充てん材	1.16E-20	2.56	0.12	32,190	0.20	5.59E-11	1.813 (相当水飽和度0.90)	1,420 (相当水飽和度0.90)	6.80	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	---	0.90
上部充てん材	5.81E-20	2.53	0.15	40,200	0.20	4.48E-11	1.956 (相当水飽和度0.90)	1,232 (相当水飽和度0.90)	6.80	*Corey*	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	---	0.90
コンクリートピット（セメント系）	5.81E-20	2.53	0.13	35,260	0.20	5.10E-11	1.956 (相当水飽和度0.90)	1,232 (相当水飽和度0.90)	6.80	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	---	0.90
低拡散層（セメント系）	1.16E-20	2.56	0.15	27,530	0.20	6.54E-11	1.831 (相当水飽和度0.90)	1,332 (相当水飽和度0.90)	6.80	Corey	0.15	0.075	25	2.3	Na	0.15	0	0.069	5.000	1.10	---	0.90
低透水層（ベントナイト系）	5.81E-20	2.65	0.41	46.4	0.42	1.03E-08	1.400 (相当水飽和度0.85)	730 (相当水飽和度0.00)	1.00	Corey	0	0	2	2.0	vG	0	0	-----	3.270	---	1.70	0.85
上部埋戻し材（土質系）	5.81E-18	2.71	0.30	4.90	0.43	8.57E-08	1.690 (相当水飽和度0.00)	770 (相当水飽和度0.00)	6.80	Corey	0.3	0.18	4	2.0	vG	0.58	0.01	0.040	---	---	2.50	0.75
側部埋戻し材（セメント系）	5.81E-20	2.53	0.17	36,000	0.20	5.00E-11	1.990 (相当水飽和度0.90)	1,248 (相当水飽和度0.90)	6.80	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	---	0.90
インバートコンクリート	5.81E-20	2.53	0.17	36,000	0.20	5.00E-11	1.990 (相当水飽和度0.90)	1,248 (相当水飽和度0.90)	10.00	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	---	0.90
支保コンクリート	1.16E-15	2.53	0.17	27,900	0.20	6.45E-11	1.990 (相当水飽和度0.90)	1248 (相当水飽和度0.90)	10.00	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	---	0.90
岩盤	2.32E-15	2.70	0.40	2,000	0.47	9.00E-11	0.878 (相当水飽和度0.00)	800 (相当水飽和度0.00)	10.00	vG	0	0	---	水：10.0 空気：4.42	vG	0	0	-----	0.015	---	1.56	1.00

4）解析結果

a．飽和率、温度の経時変化

表 2.1-4 に示す施工ステップに従い、解析コード TOUGH2 を用いた解析を実施した。その結果、得られた解析モデル断面における飽和率、温度に関する経時変化について図 2.1-13 にコンター凡例図、図 2.1-14～図 2.1-16 に解析ケースごとに整理したコンター図を示す。支保工の完全排水は施工ステップ⑥が終了するまでと設定しており、支保工部分の水飽和率は 50 年まで、設定した 90%程度のコンターを示しているものの、100 年後には高い飽和状態を呈している。

坑道内の飽和率の変化は、

・50 年未満は、水・空気の再配置

・50 年以降は、水・空気の再配置、圧力上昇による空気の圧縮、空気の水への溶解と拡散

が主な要因となって生じていると考えられる。特に、坑道埋戻しに伴う圧力上昇による空気の圧縮の影響が大きい。

一方、温度分布では廃棄体からの発熱を廃棄体設置施工が開始される 10 年からと設定しており、コンター図では 20 年目に温度上昇が見られ、その後低下傾向を示した。隣接する部材が設置されることで、既設の部材の温度は低下することが分かる。

次に、水飽和率、温度の経時変化をそれぞれグラフ化した。図 2.1-17 には、解析データの出力点を、図 2.1-18 には出力点のうち、各部材を代表する 8 点を選んで水飽和率、温度の経時変化グラフ化したものを示す。各グラフ中には、施工ステップとなる各種イベントを併記している。これより、隣り合う部材が配置されることによって、飽和率は一時的に低下するものの、一定期間が過ぎると全体として飽和率は上昇することが分かる。温度は 15 年でピークを迎え、その後は初期の温度に低下する。また、ケース別の比較によると、ケース①を基本として、ケース②とケース③の双方において地下水浸潤の程度に差異が生じている。これは、吹付けコンクリートの透水性が大きいケース③においては、地下水浸潤が相対的に早くなっているためと考えられる。

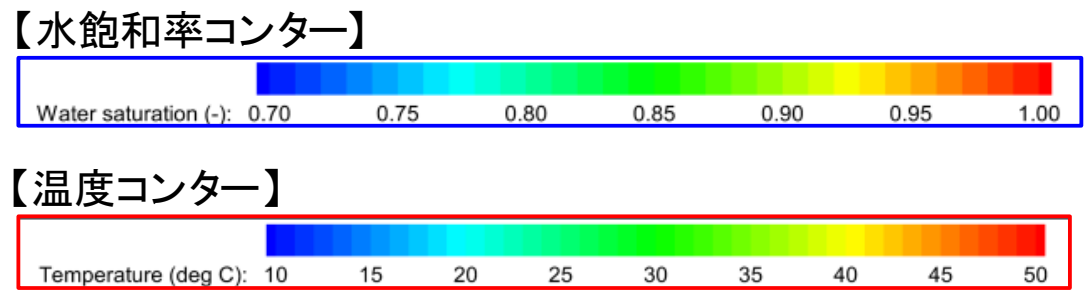


図 2.1-13　解析コンター凡例

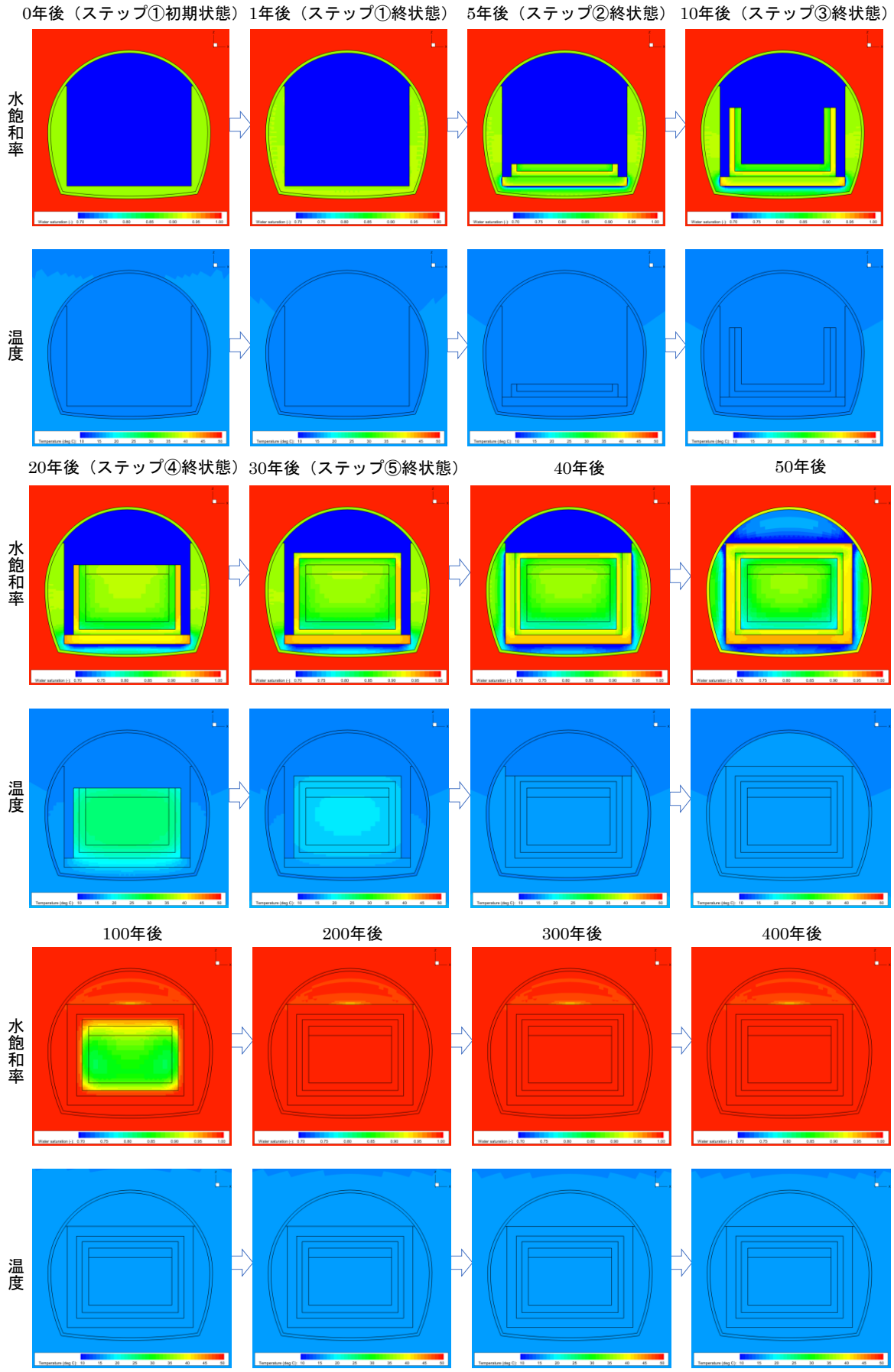


図 2.1-14　解析結果_ケース①（基本）

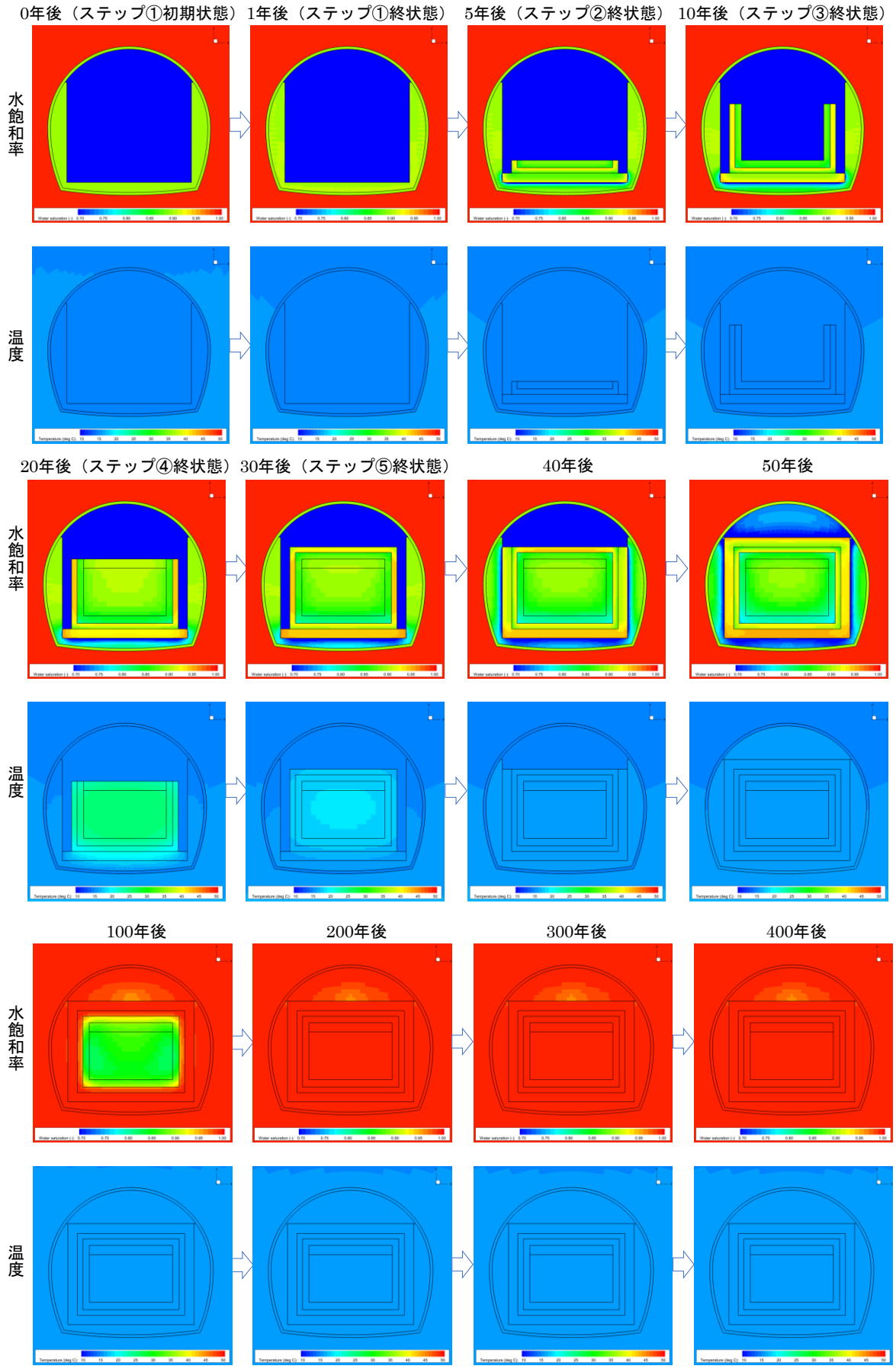


図 2.1-15　解析結果_ケース②（浸潤抑制）

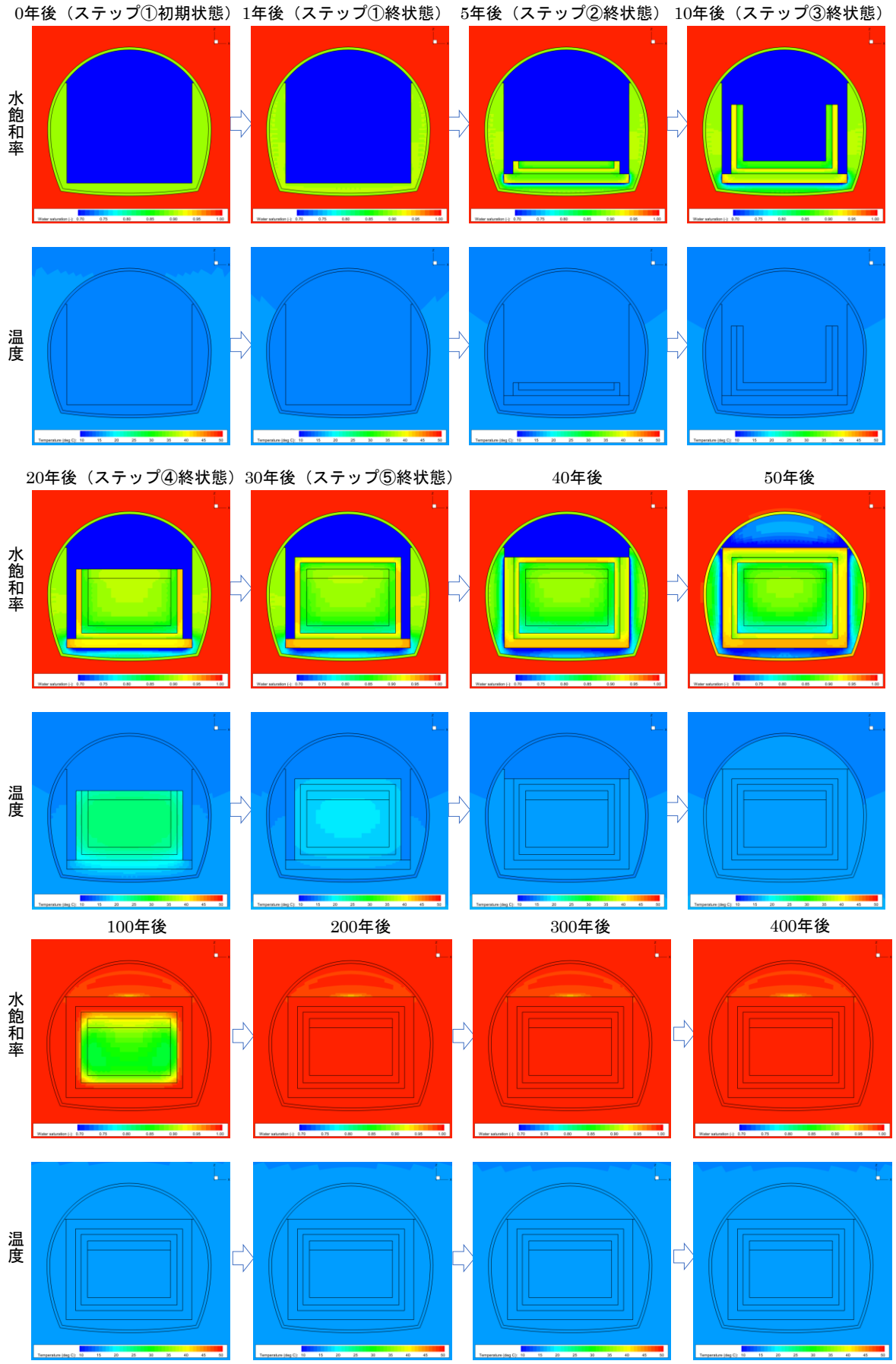


図 2.1-16　解析結果_ケース③（浸潤促進）

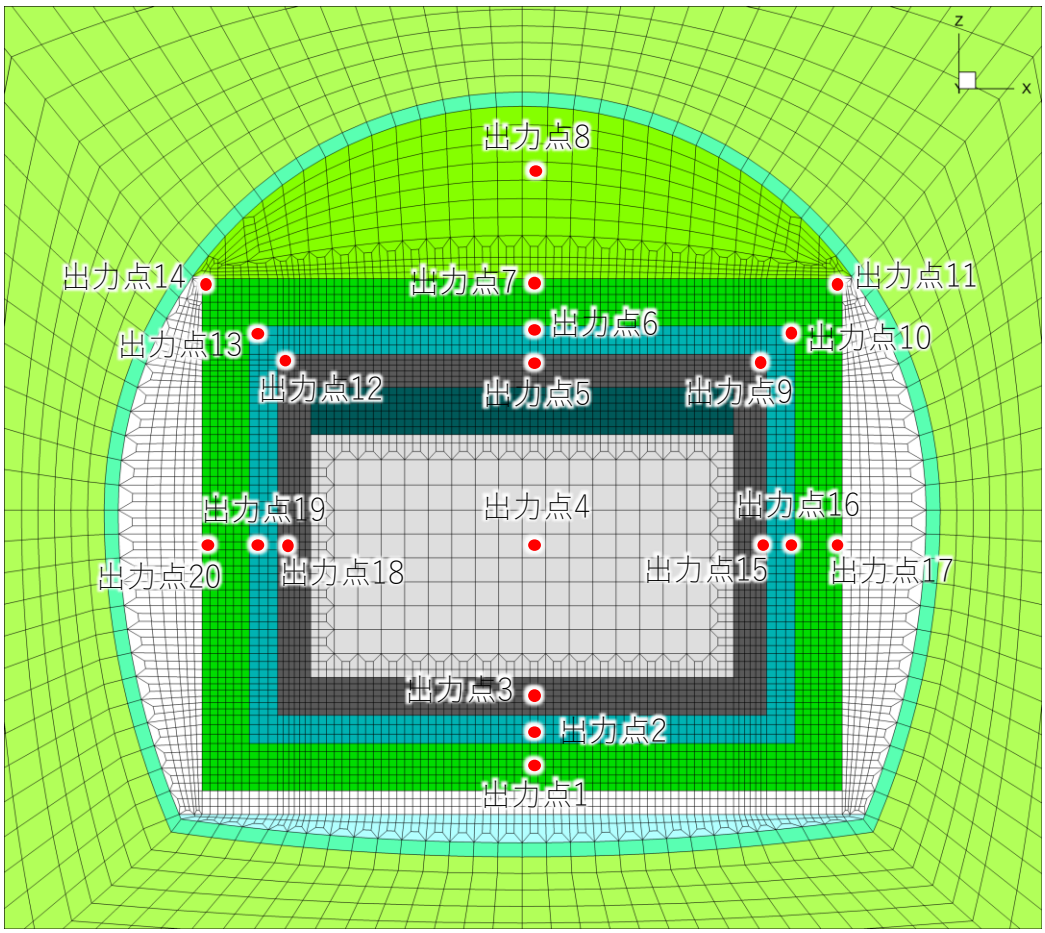
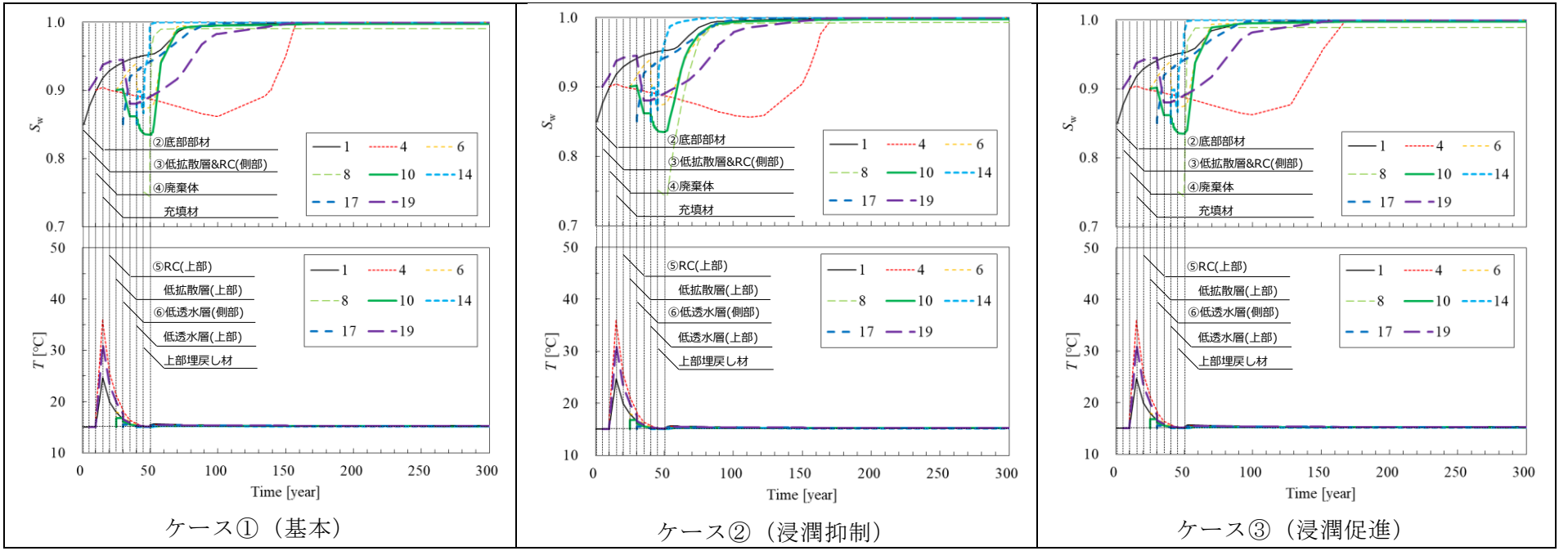


図 2.1-17　解析データ出力点



ケース①（基本）　ケース②（浸潤抑制）　ケース③（浸潤促進）

図 2.1-18　主な各部材代表点における水飽和率、温度の経時変化

b. 低透水層における飽和率と温度の関係

計測モニタリング策定において温度データの推移によって浸潤状況を把握し、地下水流入などの異常箇所の確認に資するデータを提供するために、解析ケース①～③について、各出力点における温度と水飽和率の関係を整理した。低透水層及び低拡散層の周囲に着目し、その周囲の各出力点における水飽和率と温度のデータに関する代表年データを表 2.1-15、表 2.1-16 にそれぞれ整理した。加えて、50 年以降の低透水層及び低拡散層周囲の各点における全データを用いてその関係をグラフ化したものを図 2.1-20、図 2.1-21 に示す。なお、低透水層、低拡散層の底版内にそれぞれ設けた出力点 1、出力点 2 についての水飽和率と温度の関係のみ、建設段階当初からの全データを用いてグラフ化した。

廃棄体からの発熱量に関して、解析結果により算出された最高温度の変化量は昨年度に同様の TOUGH2 解析による結果と比較して小さいものとなった。これは、廃棄体からの発熱条件を変更したことにより、発熱総量が約 1/3 に減少したことに起因すると考えられた（図 2.1-19 参照）。

一方、各部材周囲に設けた出力点における 50 年以降の水飽和率と温度の関係は、設けた箇所により、その傾向に多少の差異が確認された。特に、低透水層の上部角及び上部では、ケース②の浸潤抑制条件において、ケース①、ケース③とは異なる傾向を示した。しかしながら、どのケースにおいても、その変化程度はあまり大きなものではなかった。

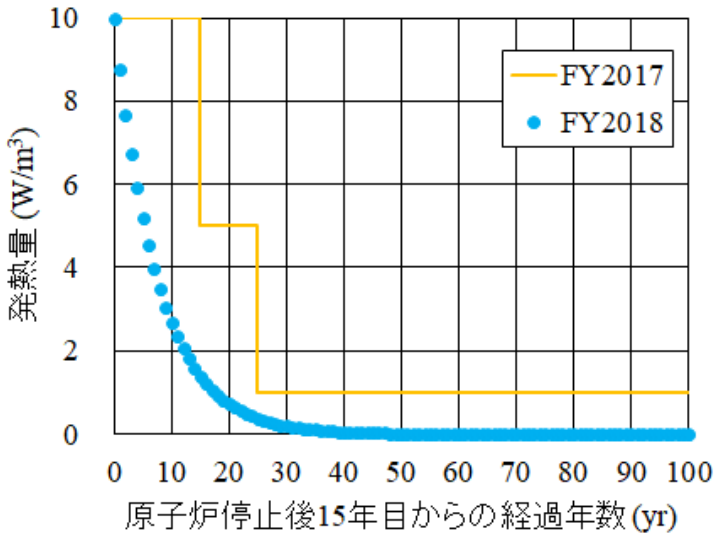


図 2.1-19　廃棄体からの発熱条件比較

表 2.1-15　各点における水飽和率と温度データ_低透水層周囲

		出力点1		出力点7		出力点11		出力点14		出力点17		出力点20	
	Time	Sl	T	Sl	T	Sl	T	Sl	T	Sl	T	Sl	T
	[year]	[-]	[oC]	[-]	[oC]	[-]	[oC]	[-]	[oC]	[-]	[oC]	[-]	[oC]
ケース① （基本）	0												
	10	0.899	15.161									0.916	15.603
	20	0.929	20.015									0.942	23.383
	30	0.941	16.428							0.857	15.509	0.940	16.624
	50	0.953	15.438	0.960	15.008	0.993	14.942	0.993	14.948	0.942	15.212	0.891	15.225
	100	0.996	15.416	1.000	15.225	1.000	15.205	1.000	15.207	0.998	15.332	0.983	15.333
	200	1.000	15.355	1.000	15.183	1.000	15.166	1.000	15.167	1.000	15.280	1.000	15.281
	300	1.000	15.348	1.000	15.176	1.000	15.158	1.000	15.160	1.000	15.272	1.000	15.273
	400	1.000	15.347	1.000	15.175	1.000	15.158	1.000	15.159	1.000	15.272	1.000	15.273
ケース② （浸潤抑制）	0												
	10	0.899	15.161									0.916	15.603
	20	0.929	20.015									0.942	23.383
	30	0.941	16.428							0.857	15.509	0.940	16.624
	50	0.953	15.110	0.958	15.076	0.962	14.990	0.962	14.991	0.942	15.069	0.891	15.107
	100	0.995	15.415	1.000	15.225	1.000	15.205	1.000	15.207	0.997	15.331	0.979	15.333
	200	1.000	15.355	1.000	15.183	1.000	15.166	1.000	15.167	1.000	15.279	1.000	15.281
	300	1.000	15.355	1.000	15.182	1.000	15.165	1.000	15.166	1.000	15.279	1.000	15.280
	400	1.000	15.355	1.000	15.182	1.000	15.165	1.000	15.166	1.000	15.279	1.000	15.280
ケース③ （浸潤促進）	0												
	10	0.899	15.161									0.916	15.603
	20	0.929	20.015									0.942	23.383
	30	0.941	16.428							0.857	15.509	0.940	16.624
	50	0.953	15.281	0.959	15.051	0.981	14.961	0.981	14.965	0.942	15.128	0.891	15.141
	100	0.996	15.417	1.000	15.225	1.000	15.207	1.000	15.206	0.998	15.333	0.982	15.334
	200	1.000	15.355	1.000	15.183	1.000	15.166	1.000	15.166	1.000	15.280	1.000	15.281
	300	1.000	15.348	1.000	15.175	1.000	15.159	1.000	15.159	1.000	15.272	1.000	15.273
	400	1.000	15.347	1.000	15.174	1.000	15.158	1.000	15.158	1.000	15.271	1.000	15.272

表 2.1-16　各点における水飽和率と温度データ_低拡散層周囲

		出力点2		出力点6		出力点10		出力点13		出力点16		出力点19	
	Time	Sl	T	Sl	T	Sl	T	Sl	T	Sl	T	Sl	T
	[year]	[-]	[oC]	[-]	[oC]	[-]	[oC]	[-]	[oC]	[-]	[oC]	[-]	[oC]
ケース①（基本）	0												
	10	0.911	15.476							0.916	15.603	0.916	15.603
	20	0.914	22.246							0.942	23.382	0.942	23.383
	30	0.917	17.061	0.917	17.287	0.900	16.079	0.900	16.079	0.940	16.624	0.940	16.624
	50	0.921	15.366	0.875	15.084	0.835	15.021	0.835	15.025	0.891	15.223	0.891	15.225
	100	0.984	15.388	0.995	15.260	0.995	15.240	0.995	15.240	0.982	15.334	0.983	15.333
	200	1.000	15.330	0.999	15.215	0.997	15.196	0.998	15.197	1.000	15.281	1.000	15.281
	300	1.000	15.323	0.999	15.207	0.997	15.189	0.998	15.190	1.000	15.273	1.000	15.273
	400	1.000	15.322	0.999	15.207	0.997	15.189	0.998	15.190	1.000	15.273	1.000	15.273
ケース②（浸潤抑制）	0												
	10	0.911	15.476							0.916	15.603	0.916	15.603
	20	0.914	22.246							0.942	23.382	0.942	23.383
	30	0.917	17.061	0.917	17.287	0.900	16.079	0.900	16.079	0.940	16.624	0.940	16.624
	50	0.921	15.123	0.875	15.107	0.835	15.047	0.835	15.047	0.891	15.107	0.891	15.107
	100	0.983	15.388	0.993	15.260	0.993	15.239	0.994	15.240	0.978	15.333	0.979	15.333
	200	1.000	15.330	0.999	15.215	0.997	15.196	0.998	15.197	1.000	15.281	1.000	15.281
	300	1.000	15.329	0.999	15.214	0.997	15.196	0.998	15.196	1.000	15.280	1.000	15.280
	400	1.000	15.329	0.999	15.214	0.997	15.196	0.998	15.196	1.000	15.280	1.000	15.280
ケース③（浸潤促進）	0												
	10	0.911	15.476							0.916	15.603	0.916	15.603
	20	0.914	22.246							0.942	23.382	0.942	23.383
	30	0.917	17.061	0.917	17.287	0.900	16.079	0.900	16.079	0.940	16.624	0.940	16.624
	50	0.921	15.229	0.875	15.096	0.835	15.029	0.835	15.031	0.891	15.140	0.891	15.141
	100	0.984	15.389	0.995	15.261	0.995	15.241	0.995	15.240	0.982	15.335	0.982	15.334
	200	1.000	15.330	0.999	15.215	0.998	15.197	0.998	15.196	1.000	15.281	1.000	15.281
	300	1.000	15.323	0.999	15.207	0.998	15.189	0.998	15.189	1.000	15.274	1.000	15.273
	400	1.000	15.321	0.999	15.206	0.998	15.188	0.998	15.188	1.000	15.272	1.000	15.272

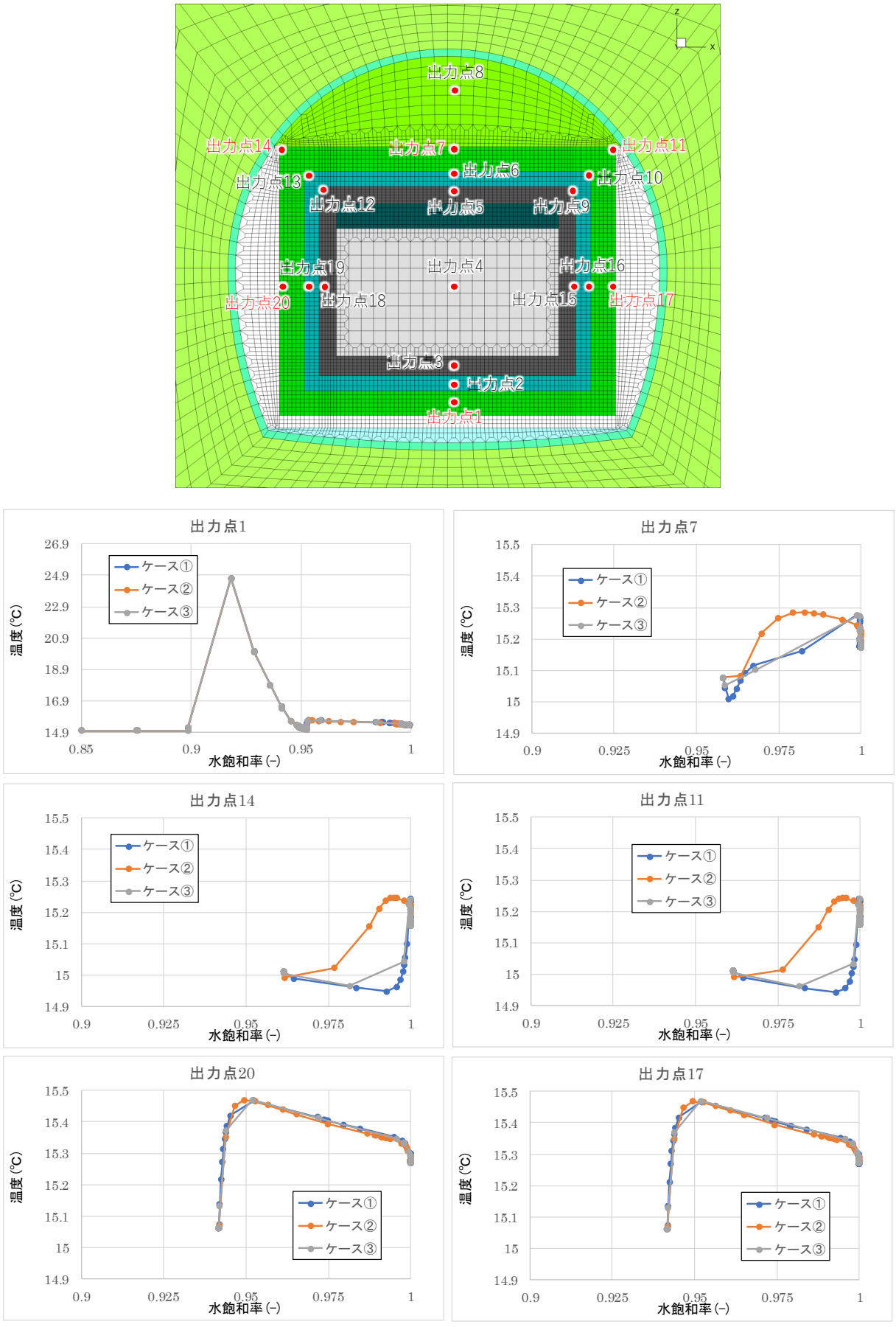
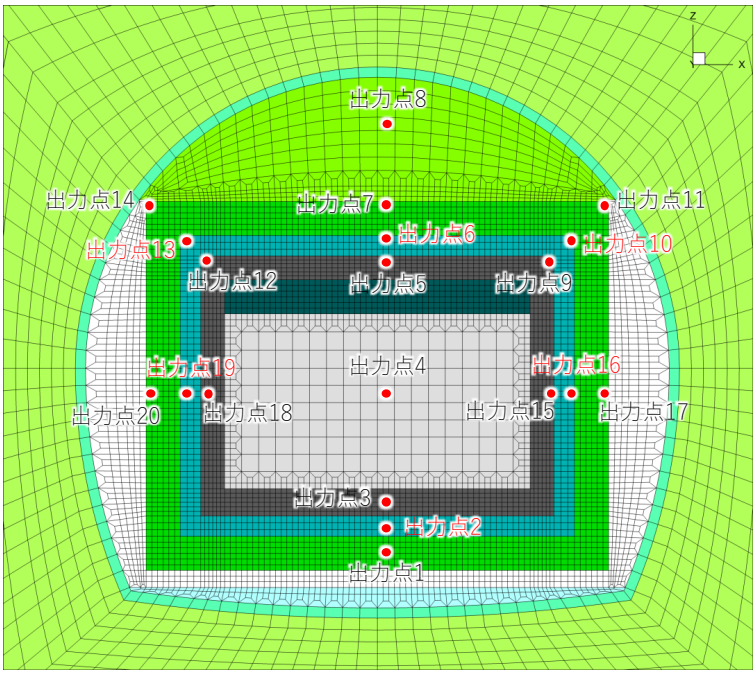


図 2.1-20　低透水層周囲における温度と水飽和率の関係



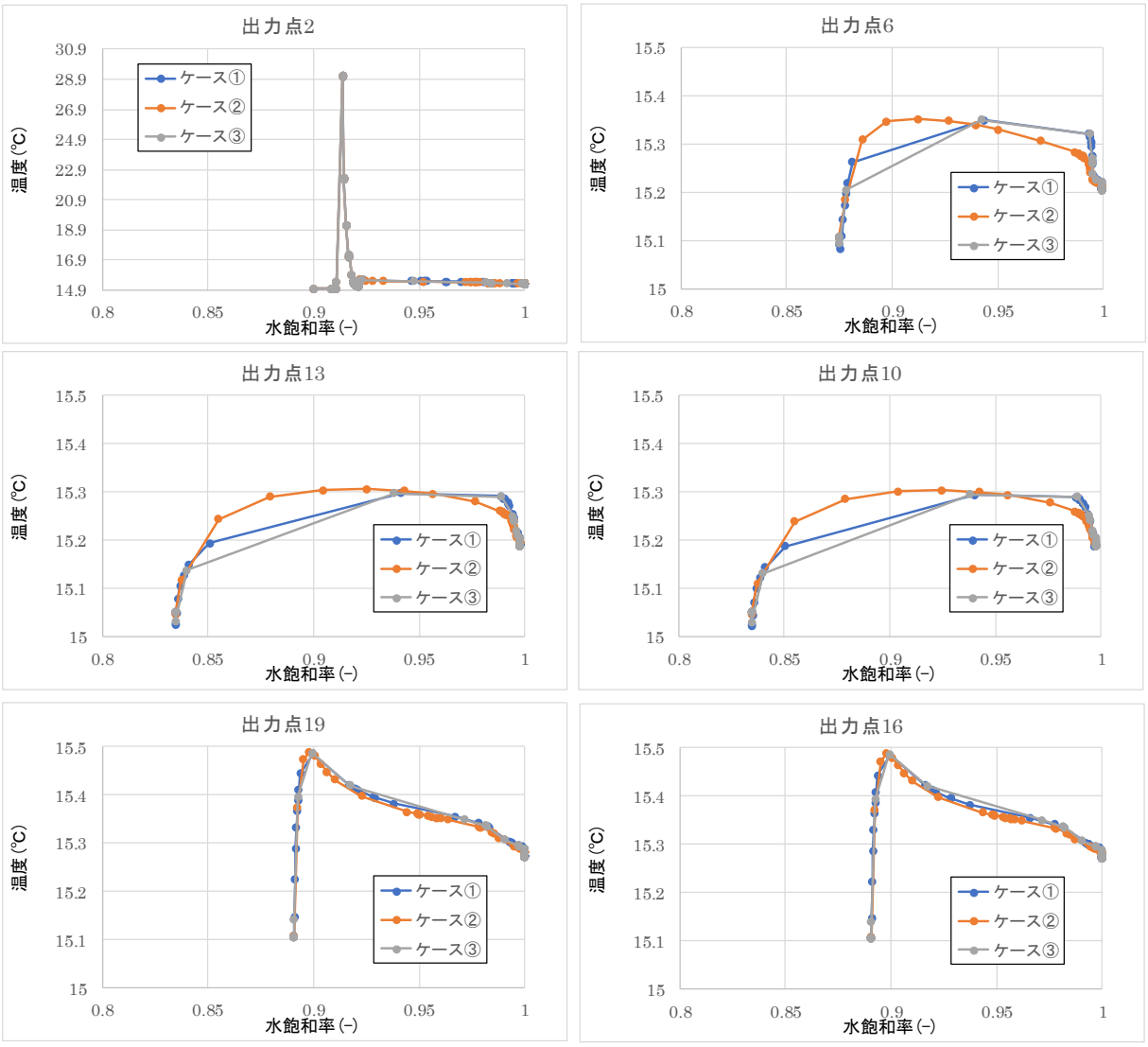


図 2.1-21　低拡散層外周における温度と水飽和率の関係

c．結果の整理

以上の検討より、解析コード TOUGH2 により、再冠水後の浸潤挙動と温度との関係を調べた。その結果、温度と水飽和率の明確な相関関係は認められなかった。仮に、温度と飽和率に相関が認められるとすれば、廃棄体定置後の温度の急激な上昇に起因する間隙水の状態変化といった現象が想定されるものの、本検討の範囲では、そのような現象の影響は非常に小さい。

坑道内の飽和率の変化は、水・空気の再配置と、圧力上昇に伴う空気の圧縮が主な要因として説明される。また、各部材の温度は、隣接する部材の設置に伴って大きく変化することが分かった。飽和率の変化による熱物性の変化が温度変化に及ぼす影響は相対的に小さい。予察解析をするにあたっては、各部材や岩盤の浸透率、相対浸透率、毛細管圧力といった流動に関わるパラメータの把握が非常に重要であるといえる。これは、例えば出力点 7、11 及び 14 のように異なる二相流パラメータ条件値を与えた施設部材に囲まれた箇所であれば、ケース～③における水飽和度と温度の関係にも有意な差が確認されたような箇所があることからも、これらをモニタリング策定の検討対象とすることも可能ではあると言える。

なお、解析結果より当初 300 年～400 年と想定していた再冠水による施設内部の完全飽和は 200 年ほどであった。当初想定と今回の検討における設定条件に相違があることを考慮した上で、今後施設内部の飽和が早期になった場合に、各部材の機能へ与える影響を検証する必要がある。

以上の結果を以って、モニタリング計画の策定可能性を次章での検証に用いることとする。

(3) 建設～廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖前）における施設挙動の想定

1) CODE_BRIGHT

a. コード概要[30]

(a) 概要

CODE_BRIGHT はカタルーニャ工科大学（スペイン）で開発された地盤・岩盤など多孔質体の熱・水・応力・ガス連成解析コード（FEM、2～3 次元）で、表 2.1-17 に示すように海外では放射性廃棄物地層処分における人工バリア、天然バリアの挙動評価に広く使われている。国内では、原子力安全基盤機構が余裕深度処分施設の再冠水やガス移行などの閉鎖後の挙動評価のための解析に適用している。また、原環センターが TRU 廃棄物処分におけるガス移行評価研究に用いている。

CODE_BRIGHT は他の同類のコードと比較して以下の 2 点に特徴があり、これが広く地層処分分野に適用されている理由でもある。

1) 膨潤性粘土を含む不飽和土の弾塑性構成モデルが導入されている

2) 液相のみならず気相（ガス移行）を扱う二相流と力学及び熱の連成解析コードである

1)により、再冠水時のベントナイトの吸水（不飽和から飽和）に伴う膨潤変形挙動が表現可能であり、1)、2)により閉鎖系施設の再冠水時に生じる残留する気相の影響を考慮することや、ガス移行時の力学連成挙動が表現可能である。このとき、熱対流や湿潤・乾燥による熱特性の変化も考慮される。図 2.1-22 に熱、力学（応力・変形)、二相流の相互影響関係を示す。

表 2.1-17　CODE_BRIGHT の主な適用プロジェクト

略称	実施場所／国	対象	概要
FEBEX (Full-scale Engineered Barriers Experiment)	Grimsel／スペイン	スペインのHLW処分概念の実物大EBSモデル（100%セラタ）	周辺岩盤を含むベントナイトのTHM連成挙動の評価
GMT (Gas Migration Test)	Grimsel／日本	サイロ型処分施設概念（20%クニゲルV1）	人工バリア、周辺岩盤の力学連成ガス移行挙動評価
TBT（Temperature Buffer Test）	Äspo／スウェーデン	スウェーデンHLW処分概念の実物大EBSモデル（100% MX80）	周辺岩盤を含むベントナイトのTHM連成挙動の評価
Backfill & Plug Test	Äspo／スウェーデン	処分坑道の埋戻し、プラグ（30% MX80）	ベントナイト混合埋戻し材の周辺岩盤を含むHM連成挙動の評価
PRACLAY	Mol／ベルギー	ベルギー処分概念の実物大モデル（100% FoCa clay）	周辺岩盤を含むベントナイトのTHM連成挙動の評価
EB (Engineered Barrier test)	Mt Terri／EU	スイスHLW処分概念の実物大EBSモデル（100%セラタ）	ベントナイト飽和過程の周辺岩盤を含むHM連成挙動評価
DST (Drift Scale Test)	Yucca Mountain／米国	処分坑道、岩盤	処分坑道と岩盤のTHM連成挙動評価

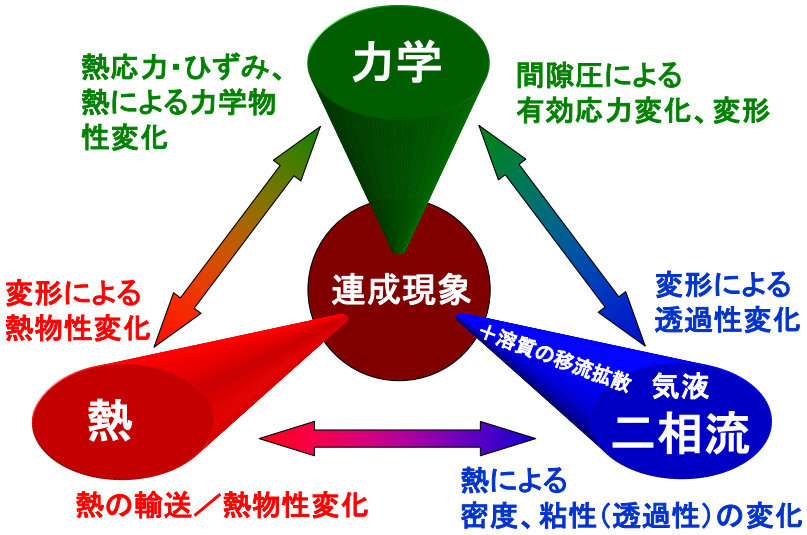


図 2.1-22　熱、力学（応力変形）、二相流の相互影響

CODE_BRIGHT で用いられている支配方程式は応力方程式、マスバランス方程式そして多孔質内部の内部エネルギー方程式からなる。

応力方程式は多孔質体の運動方程式に単純化され、液相、固相及び気相の質量平衡は以下のようになる。

マスバランスの平衡方程式は合成近似によって定式化されており、水相中の溶存空気や気相中の遊離物質等の質量は真密度と質量比の積によって定義され、以下の 3 つの項の合計として定義される。

・非移流流束（例えば、拡散、分散）

・移流による流束（例えば、ダルシー流束）

・固相の変形によって生じる流束

方程式の作成は次のように仮定され、任意の相（固相、液相、気相）中の各成分（溶解ガス、蒸気など）の質量は多孔質体を総じて平衡をとる。この方法で各成分の一つの方程式が得られる。方程式の仮定は、分配関数が各相でそれぞれの成分の割合を計算する必要があることを意味する。

(b) 不飽和多孔質体への適用方法

多孔質体は、図 2.1-23 に示すように固体粒子、水、ガスで構成されたものとし、以下の 3 つの相と 3 つの物質が考慮される。

＜相＞

・固相：鉱物

・液相：水+溶解したガス（例えば溶解空気）

・気相：乾燥ガス（例えば空気）+水蒸気

＜物質＞

・固体：鉱物

・水：液体として、あるいは気相内に蒸発した水蒸気として

・ガス（空気）：乾燥ガス、気体として、あるいは液相に溶解した状態として

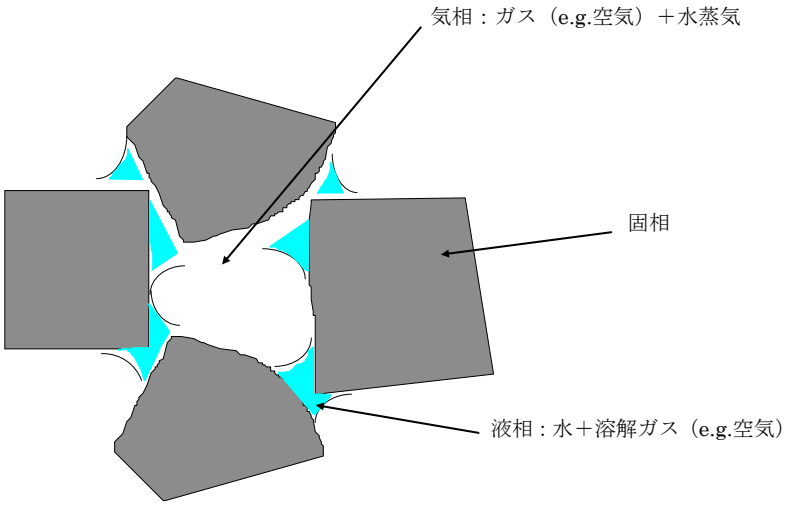


図 2.1-23　不飽和多孔質体の概念

上記の多相、多物質で構成される多孔質体のモデル化において、以下が仮定されている。

・乾燥ガスは単一の物質であり、気相の主成分である。また、溶解ガスは Henry の平衡則に従う。

・多相間では熱平衡状態を仮定しており、3 つの相は同一点において同じ温度である。

・水蒸気の濃度はサイクロメトリック則に従って液相と平衡する。

・状態変数（未知数）は固体変位、水圧、ガス圧、温度である。

・微小ひずみ、微小ひずみ速度が仮定されている。

・溶解ガス及び液相の運動量のつりあいはそれぞれ、Fick 則と Darcy 則で考慮される。

・構成則で用いる多くの物理パラメータは圧力と温度の関数である（例えば、水蒸気の濃度、表面張力、気体の粘性は温度に強く依存する）。

CODE_BRIGHT の支配方程式は以下に示すとおりであり、適用された構成則と平衡則を満たすように解かれる。

・固体の質量保存

・水の質量保存

・ガスの質量保存

・運動量保存

・内部エネルギー保存

なお、適用される構成則、平衡則は次のとおり。

・Darcy 則：水・ガスの移流

・Fick 則：水蒸気、ガスの拡散

・Fourier 則：熱伝導

・水分特性：飽和率～サクション

・線形弾性あるいは弾塑性構成モデル：応力～ひずみ

・Henry 則：ガス溶解度

・サイクロメトリック則：水蒸気量

b. 支配方程式[30]

(a) 基本式

それぞれの偏微分方程式は未知数に関連付けられている。これらの未知数は連成法を用いて解く、例えば、考慮できる全ての連成過程を実行することも可能であり、反対に任意の非連成問題の一つの未知数を解くことも可能である。

CODE_BRIGHT におけるバランス方程式を以下に示す。

➢ 運動量保存則：未知数は変位（$\mathbf{u}=(u_x,u_y,u_z)$）

$$\nabla\cdot\boldsymbol{\sigma}+\mathbf{b}=\mathbf{0} \tag{2.1-24}$$

➢ 水の質量保存則：未知数は水圧 P_l （MPa）

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\theta_l^w S_l\phi+\theta_g^w S_g\phi\right)+\nabla\cdot\left(\mathbf{j}_l^w+\mathbf{j}_g^w\right)=f^w \tag{2.1-25}$$

式(2.1-25)に物質微分を適用すると式(2.1-26)になる。

$$\phi\frac{D_s\left(\theta_l^w S_l+\theta_g^w S_g\right)}{Dt}+\left(\theta_l^w S_l+\theta_g^w S_g\right)\frac{D_s\phi}{Dt}+\left(\left(\theta_l^w S_l+\theta_g^w S_g\right)\phi\right)\nabla\cdot\frac{d\mathbf{u}}{dt}+\nabla\cdot\left(\mathbf{j}_l'^w+\mathbf{j}_g'^w\right)=f^w \tag{2.1-26}$$

➢ ガスの質量保存則：未知数はガス圧 P_g （MPa）

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\theta_l^a S_l\phi+\theta_g^a S_g\phi\right)+\nabla\cdot\left(\mathbf{j}_l^a+\mathbf{j}_g^a\right)=f^a \tag{2.1-27}$$

式(2.1-27)に物質微分を適用すると式(2.1-28)になる。

$$\phi\frac{D_s\left(\theta_l^a S_l+\theta_g^a S_g\right)}{Dt}+\left(\theta_l^a S_l+\theta_g^a S_g\right)\frac{D_s\phi}{Dt}+\left(\left(\theta_l^a S_l+\theta_g^a S_g\right)\phi\right)\nabla\cdot\frac{d\mathbf{u}}{dt}+\nabla\cdot\left(\mathbf{j}_l'^a+\mathbf{j}_g'^a\right)=f^a \tag{2.1-28}$$

➢ 熱エネルギー保存則：未知数は温度T （℃）

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(E_s\rho_s(1-\phi)+E_l\rho_l S_l\phi+E_g\rho_g S_g\phi\right)+\nabla\cdot\left(\mathbf{i}_c+\mathbf{j}_{Es}+\mathbf{j}_{El}+\mathbf{j}_{Eg}\right)=f^Q \tag{2.1-29}$$

➢ 固相の質量保存則：未知数は間隙率

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\theta_s(1-\phi)\right)+\nabla\cdot\left(\mathbf{j}_s\right)=0 \tag{2.1-30}$$

ここで、

$$\mathbf{j}_s=\rho_s(1-\phi)\dot{\mathbf{u}} \tag{2.1-31}$$

間隙率の変化式は式(2.1-32)のようになる。

$$\frac{D_s\phi}{Dt}=\frac{1}{\theta_s}\left[(1-\phi)\frac{D_s\theta_s}{Dt}\right]+(1-\phi)\nabla\cdot\frac{d\mathbf{u}}{dt} \tag{2.1-32}$$

式中の記号の説明は以下のとおりである。

$\boldsymbol{\sigma}$ ；全応力テンソル

$\mathbf{b}$; 物体力

θ ; 相の単位体積あたりの質量含有率

S_l ; 液相飽和率

ϕ ; 間隙率

S_g ; 気相飽和率

$\mathbf{j}$; 全質量流束

ρ ; 密度

E ; 内部エネルギー

$\mathbf{i}_c$; 熱伝導流束

$\mathbf{j}_E$; エネルギー流束

f^a， f^w ; 外部から供給される単位体積当たりの空気及び水

f^Q ; 外部から供給される単位体積当たりのエネルギー

$\dot{\mathbf{u}}$; 固相の速度ベクトル

上付きの w と a は水と空気をそれぞれ示し、下付きの s、l 及び g は固相、液相及び気相をそれぞれ示す。

(b) 構成則

- 概要

構成則は独立の変数とそれらに依存するものとの間に規定される。THM 問題の支配方程式はバランス方程式内の未知の項に構成則として置換される。THM 問題のための構成則の概略表現を以下に示す。なお、式中の記号は以下のとおりである。

λ ; 多孔質媒体の熱伝導率

$\mathbf{q}_\alpha$; ある相（水あるいは空気）のダルシー流速

$\mathbf{k}$; 絶対透過係数テンソル

μ_α， $k_{r\alpha}$; 動粘性係数、ある相（水あるいは空気）の相対浸透率

P_α ; ある相における圧力

$\mathbf{g}$; 重力加速度ベクトル

$\mathbf{D}_\alpha^\beta$; ある相における媒体の分散テンソル

D_m^β ;水相あるいは空気相中の水成分あるいは空気成分の質量拡散に一致する分散係数

$\mathbf{D}'_\alpha$; 機械的分散テンソル

τ ; 屈曲度

ω_α^β ; ある相中のある成分の質量分率

$\boldsymbol{\sigma}$， $\boldsymbol{\varepsilon}$; 応力及びひずみベクトル

$\mathbf{s}$; 水圧ベクトル

T ；温度ベクトル

D ；D マトリクス

f ；力学場の変化に伴う水圧テンソル

t ；力学場の変化に伴う温度テンソル

➢ フーリエ則

$$i_c = -\lambda \nabla T \tag{2.1-33}$$

式(2.1-33)は多孔質媒体中を通過する熱伝導流束を表す。熱伝導率λは通常、間隙率と飽和率に依存する。このパラメータの一般的な表現は三相（固相、流体、気体）の熱伝導率の相乗平均に基づく。この関係を式(2.1-34)に示す。

$$\lambda = \lambda_s^{(1-\phi)} \lambda_l^{\phi Sl} \lambda_g^{\phi(1-Sl)} \tag{2.1-34}$$

➢ 一般化ダルシー則

$$\mathbf{q}_\alpha = -\frac{\mathbf{k} k_{r\alpha}}{\mu_\alpha} (\nabla P_\alpha - \rho_\alpha \mathbf{g}) \tag{2.1-35}$$

式(2.1-35)は間隙中のある相の移流流束を表す。間隙中を通る液相の移流流束は古典的な表現によって式(2.1-36)で表される。

$$j_\alpha^\beta = \theta_\alpha^\beta \mathbf{q}_l \tag{2.1-36}$$

液相の相対浸透率は飽和率に依存し、その依存性は van Genuchten の式（式(2.1-37)）あるいはべき乗則（式(2.1-38)）によって表される。

$$k_{lr} = \sqrt{S_e} \left[1 - \left(1 - S_e{}^{1/\lambda} \right)^\lambda \right]^2 \tag{2.1-37}$$

$$k_{lr} = A \cdot S_e^{\lambda'} \tag{2.1-38}$$

ここで、A とλは

形状を表すためのパラメータであり、S_eは有効飽和率を示し、式(2.1-39)で表す。

$$S_e = \frac{S_l - S_{lr}}{S_{ls} - S_{lr}} \tag{2.1-39}$$

ここで、S_l：液相の飽和率

S_{lr}：液相の残留飽和率

S_{ls}：液相の最大飽和率

飽和率の定義は水分特性曲線（毛管圧曲線、毛細管圧力曲線）から定義され、場のサクションを算出して、縦軸のサクションに応じた横軸の飽和率が水分特性曲線から規定される。なお、サクションはガス圧P_gと水圧P_lとの差（$P_g - P_l$）から定義される。

一方、気相の移流流束についても同様であり、上付きのwがaに変わり、下付きのlがgに変化する。

➢ Fick の法則

$$\mathbf{i}_\alpha^\beta = -\mathbf{D}_\alpha^\beta \nabla \omega_\alpha^\beta = -\left(\phi \rho_\alpha S_\alpha \tau D_m^\beta \mathbf{I} + \rho_\alpha \mathbf{D}'_\alpha \right) \nabla \omega_\alpha^\beta \tag{2.1-40}$$

気相中の水成分の非移流流束は式(2.1-40)に示す Fick の法則で表現され、右辺の第一項が水蒸気の拡散に関する式で、第二項が機械的拡散の項と一致する。分散係数は気相中の

質量拡散に一致して、式(2.1-40)の β は w に置き換わり（$\beta = w$）、式(2.1-41)で表される。

$$D_m^w = D\frac{(273.15+T)^n}{P_g} \tag{2.1-41}$$

ここで、D 及び n は材料定数であり、P_g はガス圧、T は温度を示す。なお、解析では質量拡散が支配的であり、蒸気の機械的拡散は無視すると仮定されている。

なお、液相及び気相の全質量流束は移流項と拡散項の和から求められる。

$$j_\alpha^\beta = \left(i_\alpha^\beta\right)_{advection} + \left(i_\alpha^\beta\right)_{diffusion} \tag{2.1-42}$$

- 力学法則

$$\dot{\sigma} = \mathrm{D}\,\dot{\varepsilon} + f\,\dot{s} + t\,\dot{T} \tag{2.1-43}$$

式(2.1-43)は式(2.1-24)の左辺第一項に加わる応力速度を表す式であり、変形や外力が引き起こすひずみ場の変化のみならず、右辺第二項の間隙圧力変化（水圧、ガス圧）や右辺第三項の温度変化が及ぼす力学応答の変化も含めて表現している。なお、温度変化や間隙圧力の変化は、体積ひずみの項のみに考慮され、偏差成分には考慮されない。固相の力学変化については、弾性体あるいは弾塑性体として各々の構成モデルによって表現される。ベントナイト系材料については修正 Cam – Clay モデルを不飽和も考慮できるように拡張し、膨潤性粘土も扱えるようにした Barcelona Basic Model[31]を適用している。詳細については「3)Barcelona Basic Model」に記述する。

- 相変換

相変化が生じる際の平衡制約は局所平衡を使用する。これらの平衡則はガス相中の水蒸気の濃度（サイクロメトリック則）と液相中の溶解ガス濃度（ヘンリー則）に与えられる。サイクロメトリック則はサクションとガス相中（θ_g^w）の水分含有量に関連する式(2.1-44)によって表される。

$$\theta_g^w = \left(\theta_g^w\right)_0 \exp\left[\frac{-\left(P_g - P_l\right)M_w}{R(273.15+T)\rho_w}\right] \tag{2.1-44}$$

ここに、$\left(\theta_g^w\right)_0$ は飽和状態におけるガス相中の水蒸気濃度、M_w は水のモル質量そして R は気体定数を示す。相対湿度（RH）はガス相中の水蒸気濃度に関連して式(2.1-45)に示される。

$$RH = \frac{\theta_g^w}{\left(\theta_g^w\right)_0}\cdot 100 \tag{2.1-45}$$

ヘンリー則はガス分圧から液相中の溶解ガスの濃度に関係付けられ式(2.1-46)による。

$$\theta_l^a = \omega_a^l \rho_w = \frac{P_a}{H}\frac{M_a}{M_w}\rho_w \tag{2.1-46}$$

ここに、M_a はガス成分のモル質量そして H はヘンリー定数を示す。

c. Barcerona Bacic Model[31]

(a) 概要

CODE_BRIGHT に導入されている BB（Barcelona Basic）モデル[31]は、修正カム・クレイモデルを不飽和粘土に拡張した弾塑性構成モデルであり、ベントナイトのような膨潤性粘土に対しても適用できるよう拡張されている。なお、飽和時の挙動は修正カム・クレイモデルと一致する。

BB モデルで考慮される不飽和粘土の一般的な力学特性を以下に示す。

・サクションの増加（飽和率の低下）による降伏圧密応力の増加

・不飽和粘土も飽和すると、飽和までのサクション・応力経路とは関係なく、圧密に関しては同じ挙動をする（同じ間隙比～有効応力関係となる、同じ圧密ラインに乗る）。

・不飽和粘土は湿潤により、拘束応力が小さい場合は膨潤し、高い場合は圧縮する。

・不飽和粘土の体積変化は応力経路依存性がある（サクションの変化が同時にあると経路依存の体積変化挙動をする）。

・サクションの増加は有効粘着力を増大させるが、内部摩擦角に影響をほとんど与えない。

以下では特に不飽和状態での挙動や飽和率（サクション）が変化した場合の挙動に焦点を当てて、BB モデルについて記述する。

(b) 応力（外力）の変化による圧縮、膨潤挙動（圧密）

不飽和粘土においても飽和粘土と同様に、正規圧密状態の間隙比増分 de と平均有効応力増分 dp'は圧縮指数により式(2.1-47)で表される（図 2.1-24 参照）。

$$de = -\lambda(s)\frac{dp'}{p'} \tag{2.1-47}$$

ここに、

e ：間隙比

p' ：平均有効応力；平均応力 p、間隙ガス圧 p_g、間隙水圧 p_lにより次式で定義

$$p' = p - \max(p_g, p_l) \tag{2.1-48}$$

$\lambda(s)$ ：サクション s に依存する圧縮指数（ $s = p_g - p_l$ ， p_g：間隙ガス圧，p_l：間隙水圧）

式(2.1-47)を間隙比増分の代わりに体積ひずみ増分 $d\varepsilon_v$で書き直せば次式となる。

$$d\varepsilon_v = \frac{\lambda(s)}{1+e_0}\frac{dp'}{p'} \tag{2.1-49}$$

ここに、

e_0 ：初期間隙比

例えば、サクション s 一定（飽和率一定）条件下では$\lambda(s)$一定なので式(2.1-47)より次式が成り立つ。

$$e = e_0 - \lambda(s)\ln\frac{p'}{p_0} \tag{2.1-50}$$

ここに、p_0'は初期平均有効応力

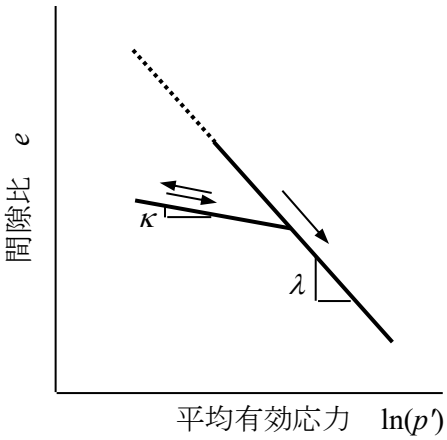


図 2.1-24　間隙比と平均有効応力の関係

同様に、過圧密状態あるいは除荷時の弾性的な間隙比増分 *de* と平均有効応力増分 *dp'*は膨潤指数により式(2.1-51)で表される。

$$de = -\kappa(s)\frac{dp'}{p'} \tag{2.1-51}$$

ここに、

$\kappa(s)$：サクション s に依存する膨潤指数

あるいは、このときの体積ひずみ増分 $d\varepsilon_v$ で書き直せば次式となる。

$$d\varepsilon_v = \frac{\kappa(s)}{1+e_0}\frac{dp'}{p'} \tag{2.1-52}$$

例えば、サクション s 一定（飽和率一定）条件下では次式が成り立つ。

$$e = e_0 - \kappa(s)\ln\frac{p'}{p_0} \tag{2.1-53}$$

なお、BB モデルでは圧縮指数、膨潤指数のサクション依存性は次式で定義される。

$$\lambda(s) = \lambda_0\left[(1-\gamma)\exp(\beta\cdot s)+\gamma\right] \tag{2.1-54}$$

$$\kappa(s) = \kappa_0(1+\alpha\cdot s) \tag{2.1-55}$$

ここに、

λ_0　　：飽和時の圧縮指数=$\lambda(0)$

κ_0　　：飽和時の膨潤指数= $\kappa(0)$

α, β, γ：モデルパラメータ

飽和、不飽和に係わらず間隙比と平均有効応力の関係は式(2.1-47)、(2.1-51)及び図 2.1-25 で示される関係に従うので、拘束圧（平均有効応力）が高くなれば間隙は小さくなって剛性は高くなる。例えば、過圧密状態での載荷時あるいは除荷時におけるヤング率 *E* と拘束圧（平均有効応力 *p'*）との関係は式(2.1-51)より次式のようになる。

$$E = 3(1-2\nu)\frac{dp'}{d\varepsilon_v} = 3(1-2\nu)\cdot(1+e_0)\cdot\frac{p'}{\kappa(s)} \tag{2.1-56}$$

ここに、νはポアソン比である。ヤング率 *E* は平均有効応力 *p'*に比例し、膨潤指数κ (*s*)に反比例することがわかる。

(c) 飽和率の変化による膨潤、圧縮挙動

一般に不飽和粘土は飽和率の変化により体積ひずみが発生する。BB モデルではこれを表現するために、前記の応力変化による圧縮、膨潤挙動（圧密）と類似した下記の関係を導入している。圧密における圧密降伏応力の概念と同様に、過去に受けた最大のサクション（以下、降伏サクションと呼ぶ）を超えてサクションが増加（乾燥）する場合には次式で示される塑性的な体積減少が起こるとしている（図 2.1-25 参照）。

$$de = -\lambda_s \frac{ds}{s + p_{atm}} \tag{2.1-57}$$

ここに、

s　　：サクション

p_{atm}　　：大気圧

λ_s　　：乾燥による圧縮指数（定数）

サクションが減少（湿潤）する場合、あるいは降伏サクション以内でサクションが増加（乾燥）する場合の体積変化は下記で定義される。

$$de = -\kappa_s \frac{ds}{s + p_{atm}} \tag{2.1-58}$$

ここに、

κ_s：湿潤による膨潤指数

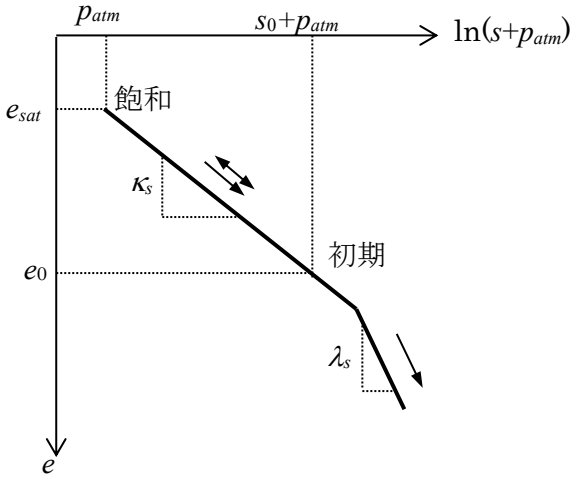


図 2.1-25　サクションと間隙比の関係

一般の粘土に対してはλ_s、κ_s は有効応力に依存しない定数と見なせるが、ベントナイトのような膨潤性粘土に対しては、湿潤による膨潤指数κ_s は平均有効応力 p'に依存する次式が提案されている。

$$\kappa_s(p') = \kappa_{s0}\left(1 + \alpha_{sp} \ln \frac{p'}{p'_{ref}}\right) \tag{2.1-59}$$

ここに、

κ_{s0}　　：p'_{ref}での湿潤膨潤指数

p'_{ref}　　：参照平均有効応力

α_{sp}　　：湿潤膨潤指数の有効応力依存性の度合いを表すモデルパラメータ

式(2.1-59)を用いれば、湿潤膨潤（サクションの減少）による体積ひずみ増分 $d\varepsilon_s$ は次式で表される。

$$d\varepsilon_s = \frac{\kappa_s(p')}{1+e_0}\frac{ds}{s+p_{atm}} = \frac{1}{1+e_0}\kappa_{s0}\left(1+\alpha_{sp}\ln\frac{p'}{p'_{ref}}\right)\frac{ds}{s+p_{atm}} \tag{2.1-60}$$

従って、平均有効応力 p'一定の場合の体積ひずみは、

$$\varepsilon_s = \frac{1}{1+e_0}\kappa_{s0}\left(1+\alpha_{sp}\ln\frac{p'}{p'_{ref}}\right)\cdot\ln\frac{s+p_{atm}}{s_0+p_{atm}} \tag{2.1-61}$$

ここで、式(2.1-61)で s=0（飽和）とすれば、一定有効応力下で湿潤飽和させた時の飽和時の膨潤ひずみ ε_{smax} が得られる（ε_{smax} は便宜上、膨張を正、他の体積ひずみ ε_v，ε_s は圧縮を正としていることに注意）

$$\varepsilon_{s\max} = \frac{1}{1+e_0}\kappa_{s0}\left(1+\alpha_{sp}\ln\frac{p'}{p'_{ref}}\right)\ln\frac{p_{atm}}{s_0+p_{atm}} \tag{2.1-62}$$

(d) 強度の飽和率依存性

Barcelona Basic Model の降伏曲面は式(2.1-63)で表すことができる。

$$q^2 - \mathrm{M}^2(p'+p_s)(p_0-p') = 0 \tag{2.1-63}$$

ここに、q はせん断応力（$q=\sqrt{\frac{3}{2}\boldsymbol{S}\cdot\boldsymbol{S}}$），Mは限界状態応力比、p'は平均有効応力を示す。

なお、p_s、p_0は以降の式によって表される。

不飽和の場合の圧密降伏応力 p_0 は飽和の場合より増大し、次式で定義される（図 2.1-26 参照）。

$$p_0 = p^c\left(\frac{p_0^*}{p^c}\right)^{\frac{\lambda(0)-\kappa(0)}{\lambda(s)-\kappa(0)}} \tag{2.1-64}$$

ここに、

p_0^*　　：サクション s=0（飽和時）の圧密降伏応力

p^c　　：モデルパラメータ（参照応力）

式(2.1-64)で定義される降伏面は LC (Loading Collapse) 降伏面と呼ばれている。一方、過去に受けた最大のサクション（降伏サクション）で規定される降伏面は SI（Suction Increase）降伏面と呼ばれている。

内部摩擦角 ϕはサクションの影響受けず、従って、限界状態応力比パラメータ M（$M=6\sin\phi/(3-\sin\phi)$）も一定値をとるが、粘着力はサクションに比例して増大する。従って、引張り強度 p_s も比例的に増加し、式(2.1-65)で定義されている。

$$p_s = \kappa\cdot s \tag{2.1-65}$$

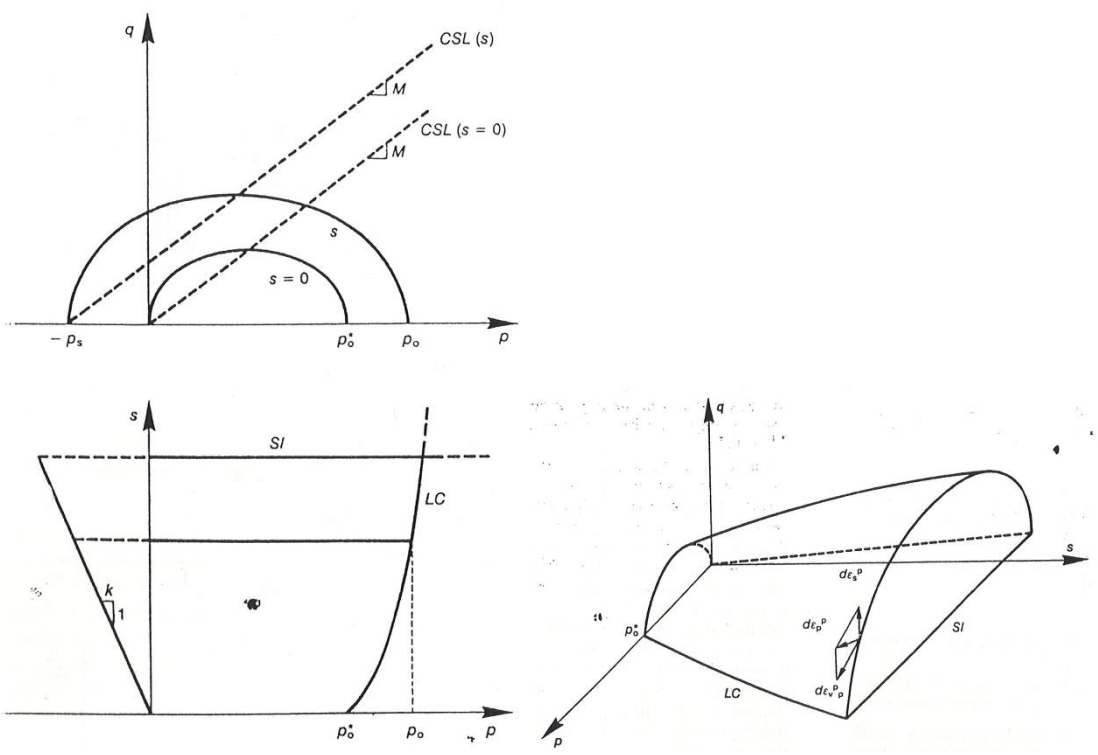


図 2.1-26　（p,　q）面，（p,　s）面及び（p,　q,　s）面での降伏曲面

有効応力及びサクションの変化による体積ひずみ挙動を規定する線（$\lambda(s)$, $\kappa(s)$, λ_s, κ_s）と降伏曲面を（e,　p’, s）空間で示すと図 2.1-27 のようになる。

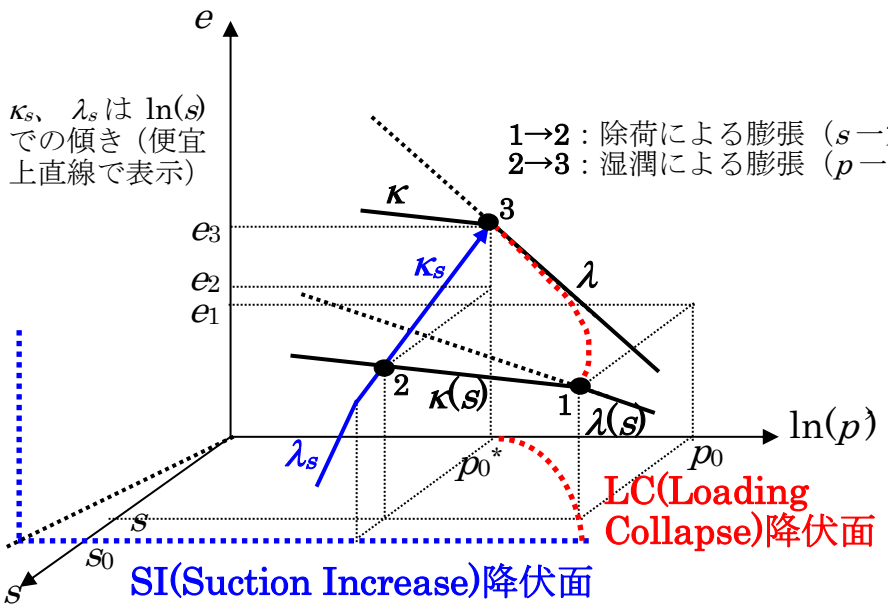


図 2.1-27　有効応力及びサクションの変化による体積ひずみ挙動と降伏曲線

以上から、飽和時（s=0）においては、$p_0 = p_0^*$, $p_s = 0$となり、この条件を式(2.1-63)に代入して、整理すると式(2.1-66)となり、修正 Cam – Clay モデルと等価になる。

$$p' \frac{M^2 + (q/p')^2}{M^2} - p_0^* = 0 \qquad (2.1\text{-}66)$$

(e) 透気・透水性の変形依存性

透気・透水性は変形（体積変化＝空隙率の変化）の影響を受ける。CODE_BRIGHT では、次式に示す Kozeny モデルにより絶対浸透率の空隙率（n）依存性を考慮することで、透気・透水性の変形依存性が表現される。

$$k = k_0 \frac{n^3}{(1-n)^2} \frac{(1-n_0)^2}{n_0^3} \qquad (2.1\text{-}67)$$

ここに、

k_0：空隙率が n_0（例えば初期空隙率）のときの絶対浸透率

n_0：参照空隙率（通常、初期空隙率）

2）解析モデル

その解析モデルは、図 2.1-28 に示すように平成 28 年度に実施した解析検討断面と同様とした。

解析では、建設段階から廃棄体定置までの期間（約 50 年）に時間軸を与えて実施した。なお、本検討では低透水層の再冠水に伴う膨潤変形挙動の模擬を目的とするため、コンクリートピット内の模擬廃棄体と充てん材は地震時挙動評価と同様に、両者が合成された均質な構造体として取り扱うこととし、その物性は充てん材で代表させることとした。従って、廃棄体部については簡略化したモデル化とした。要素数は 4,350、節点数は 4,401 である。

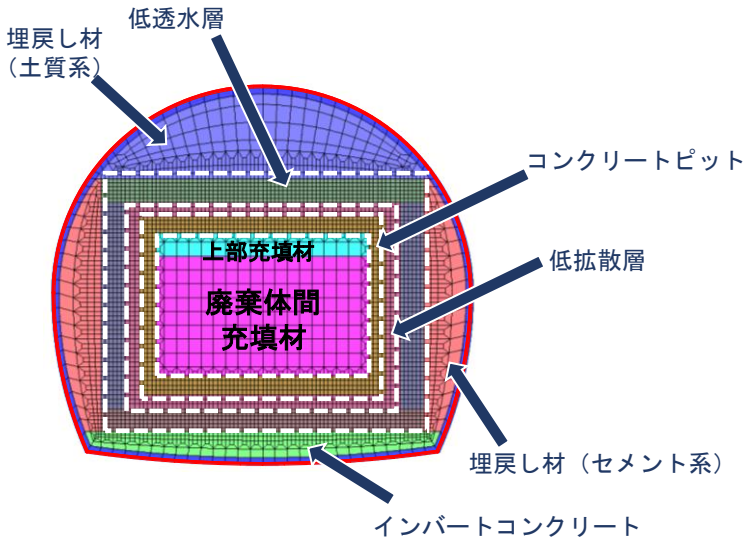


図 2.1-28　解析モデル

3）解析条件

廃棄体（充てん剤）、上部充てん材、コンクリートピット、低拡散層、低透水層（ベントナイト）、上部埋戻し材（土質系）、側部埋戻し材（セメント系）、支保工、均しコンクリートの 9 部材に対して二相流パラメータ及び力学パラメータを設定する。

解析で用いる材料物性値は基本的に機能確認試験で得られた値を採用する。ただし、二相流パラメータ等の機能確認試験で確認されていないものについては既往の検討で用いられた値を採用した。

a．二相流パラメータ

以下に示す既往の文献を基に構成する部材に対して設定する。採用する物性値は、前節再冠水過程の TOUGH2 解析検討において用いられた物性を基本とする。なお、用いる解析コード CODE_BRIGHT で考慮されていない物性曲線の定義については考慮可能な曲線にモデル近似して用いるものとした。

(a) 低透水層（ベントナイト）

林らが低透水層に適用した乾燥密度 ρ d=1.6Mg/m^3 のクニゲル GX、100%を対象とした室内試験結果から設定したパラメータを用いる[15]。気相の相対浸透率については、CODE_BRIGHT では Corey モデル[16]を考慮できないことから Power モデル[16]にて近似して用いた。相対浸透率の気相のフィッティングについては、解析範囲と考えられる飽和率（80%～90%）付近の再現性を優先した。毛管圧は van Genuchten モデル[17]で近似した。

(b) 低拡散層（セメント系）

Kumagai et. al.における低拡散層のパラメータを用いる[18]。ここで用いられているパラメータの内、二相流パラメータは山本らの研究における JIS モルタルのガス移行試験から逆解析によって同定された二相流パラメータである。空隙率については田中らの文献を基に設定している[3]。なお、CODE_BRIGHT では相対浸透率の Corey モデル[16]と毛管圧の Narasimhan モデル[19]は用いることができないことから、相対浸透率は Power モデル[16]、毛管圧は van Genuchten モデル[17]で近似した。フィッティングについては、解析対象と考えられる飽和率付近の再現性を優先した。

(c) コンクリートピット、廃棄体、上部充てん材、側部埋戻し材（セメント系）、支保工、均しコンクリート

Kumagai et. al.におけるコンクリート材のパラメータを用いる[18]。ここで用いられている二相流パラメータ（毛管圧力、相対浸透率）は Mayer, G et. al. [20]のパラメータである。空隙率については田中らの文献を基に設定している[3]。なお、CODE_BRIGHT では相対浸透率の Corey モデル[16]と毛管圧の Narasimhan モデル[19]は用いることができないことから、相対浸透率は Power モデル[18]、毛管圧は van Genuchten モデル[17]で近似

した。フィッティングについては、解析対象と考えられる飽和率付近の再現性を優先した。

(d) 上部埋戻し材（土質系）

Kumagai et. al.における上部埋戻し材（土質系材料）のパラメータを用いる[18]。ここで用いられている二相流パラメータは RWMC 報告書[32]の値を参照している。なお、CODE_BRIGHT では相対浸透率の Corey モデル[16]と毛管圧の Narasimhan モデル[19]は用いることができないことから、相対浸透率は Power モデル[16]、毛管圧は van Genuchten モデル[17]で近似した。

以降に本検討で用いた相対浸透率曲線と毛管圧曲線の定義式を示す[22]。

① Power モデル（相対浸透率）[16]

$$k_{lr} = S_e^{\,m} \tag{2.1-68}$$

$$k_{rg} = A(1 - S_e)^n \tag{2.1-69}$$

$$S_e = (S_l - S_{lr})/(1 - S_{lr} - S_{rg}) \tag{2.1-70}$$

ここで、k_{lr} が液体の相対透過係数、k_{rg} はガスの相対透過係数、S_e は有効間隙水飽和率、S_l は間隙水飽和率、S_{lr} は残留間隙水飽和率、S_{gr} は残留ガス飽和率、n 及び m は間隙径分布パラメータを示す。

② Grant モデル（相対浸透率）[33]

$$K_{rg} = 1 - K_{lr} \tag{2.1-71}$$

③ van Genuchten モデル（相対浸透率）（水相のみ）[17]

$$K_{rl} = \sqrt{S_e}\left(1 - \left(1 - S_e^{\,1/\lambda}\right)^{\lambda}\right)^2 \tag{2.1-72}$$

$$S_e = (S_l - S_{lr})/(1 - S_{lr} - S_{rg}) \tag{2.1-73}$$

ここで、λ は空隙率分布パラメータを示す。

④ van Genuchten モデル（毛管圧）[17]

$$P_c = P_0\left(S_e^{\,-1/\lambda} - 1\right)^{1-\lambda} \tag{2.1-74}$$

$$S_e = (S_l - S_{lr})/(1 - S_{lr} - S_{rg}) \tag{2.1-75}$$

ここで、P_c は毛管圧、P_0 はガス侵入圧を示す。

b. 力学パラメータ

力学パラメータについても二相流パラメータと同様に既往の文献から設定する。適応する構成則は低透水層には修正 Cam – Clay モデルを不飽和まで拡張した弾塑性構成モデルである BB モデル（Barcelona Basic Model）[31]を適用し、その他は線形弾性とした。

(a) 低透水層

低透水層には修正 Cam – Clay モデルを不飽和粘性土に拡張した弾塑性構成モデルで、ベントナイトのような膨潤性粘土に対しても適用できるように拡張されている。表 2.1-18 に低透水層に用いる力学パラメータを示す。

表 2.1-18　低透水層に用いる力学物性値

項　　目	記号	単位	設定値	出　　典
初期乾燥密度	ρ_d	Mg/m^3	1.645	平成26年度報告書、P.2-52、表2.2-3
真密度	ρ_d	Mg/m^3	2.65	平成26年度報告書、P.2-57、図2.2-15中表記
初期間隙比	e	-----	0.611	初期乾燥密度と真密度より算定
ポアソン比	v	-----	0.42	平成20年度報告書、P.7-11、表7.1-2
膨潤指数（飽和時）	κ_0	-----	0.087	山田、足立ら、土木学会第64回
圧縮指数（飽和時）	λ_0	-----	0.117	同上
サクション依存膨張指数パラメータ	α_i	-----	-0.165	山本、熊谷ら、土木学会第65回
参照有効応力時の湿潤膨潤指数（飽和時）	κ_{s0}	-----	0.2108	（山本、小峯ら、土木学会第63回）を基にFitting
有効応力依存湿潤膨潤指数パラメータ	α_{sp}	-----	-0.544	（山本、小峯ら、土木学会第63回）を基にFitting
限界応力比	M	-----	0.548	山田、足立ら、土木学会第64回
圧密先行応力（飽和時）	P_0	MPa	1.5	

膨潤圧については「平成 26 年度 地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験 平成 19 年度～平成 26 年度の取りまとめ報告書」[34]を基に設定した。報告書では施工直後の原位置から採取した試料を用いて室内膨潤圧試験を実施し、膨潤圧試験の結果に基づいて、膨潤圧と乾燥密度の関係を図 2.1-29 に示すように整理している。また、図に示す近似式は既往データより同定している。

$$\sigma_w = \exp(6.1893\rho_d^2 - 1.40472\rho_d + 6.1677) \qquad (2.1\text{-}76)$$

ここで、σ_w は膨潤圧、ρ_d は有効粘土密度を示す。よって、式(2.1-76)より膨潤圧は σ_w = 0.629MPa となる。

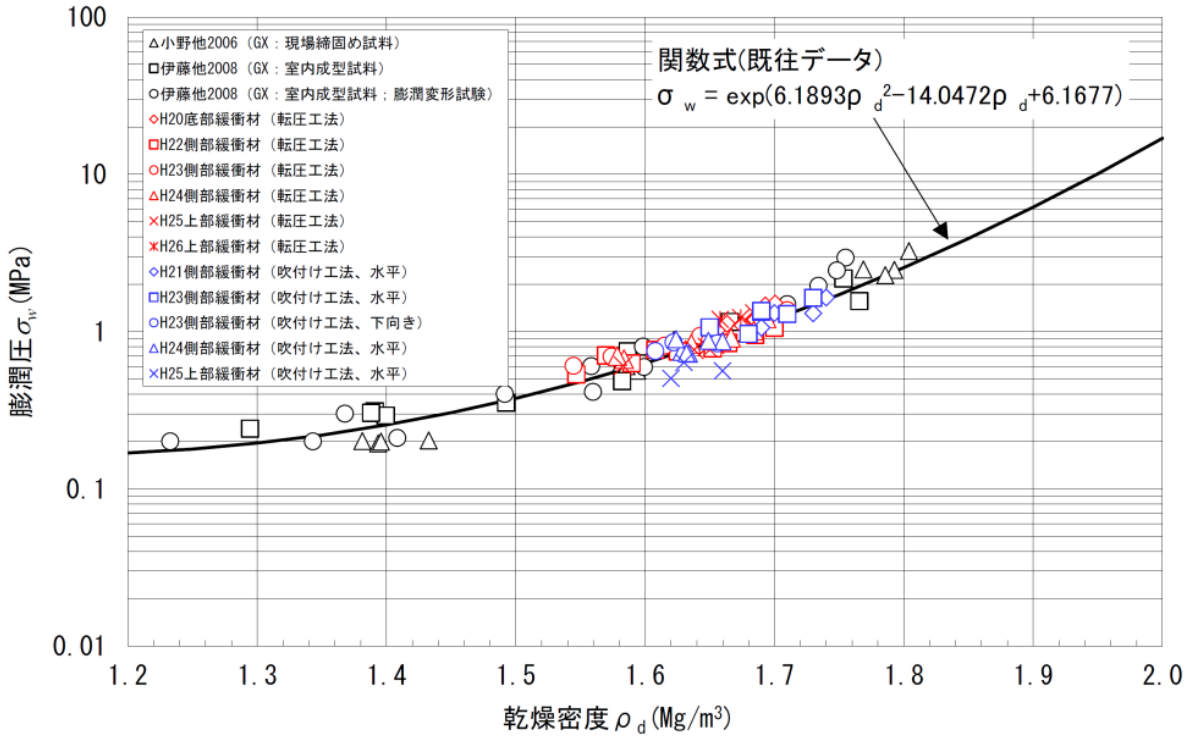


図 2.1-29 クニゲル GX の乾燥密度と膨潤圧の関係

膨潤特性に関するパラメータの設定については山本ら[35]の方法を基に設定する。BB モデルでは、湿潤に伴う膨潤や乾燥に伴う収縮量を規定する湿潤膨潤指数κ_sは式(2.1-77)で表わされる。

$$\kappa_s(p', s) = \kappa_{s0}\left(1 + \alpha_{sp} \ln \frac{p'}{p'_{ref}}\right) \exp(\alpha_{ss}, s) \qquad (2.1\text{-}77)$$

ここに、κ_{s0} は p'_{ref} での湿潤による膨潤指数、p'_{ref} は参照平均ネット応力、α_{sp} は湿潤による膨潤指数の応力依存性の度合いを表すモデルパラメータ、p' は平均ネット応力（$= p - p_g$、p は平均応力、p_g は間隙空気圧）、α_{ss} はサクション依存の湿潤膨潤指数を表わすモデルパラメータ、s はサクションを示す。山本らはサクション依存の湿潤膨潤指数が α_{ss} =0 と仮定し、小峯らの膨潤評価式に基づいて得られた拘束圧と飽和時の膨潤ひずみの関

係を式(2.1-78)でフィッティングすることで BB モデルのパラメータ（κ_{s0}、α_{sp}）を同定している。

$$d\varepsilon_s = \frac{\kappa_s(p')}{1+e_0}\frac{ds}{s_0+p_{atm}} = \frac{1}{1+e_0}\kappa_{s0}\left(1+\alpha_{sp}\ln\frac{p'}{p'_{ref}}\right)\frac{ds}{s_0+p_{atm}} \qquad (2.1\text{-}78)$$

ここに、$d\varepsilon_s$ が湿潤膨潤による体積ひずみ増分、p_{atm} が大気圧を示す。

図 2.1-30 に小峯らの膨潤評価式に基づく飽和時の最大膨潤ひずみと有効拘束応力の関係とそれを BB モデルでフィッティングした結果を示す。BB モデルと膨潤評価式がよく一致することがわかる。

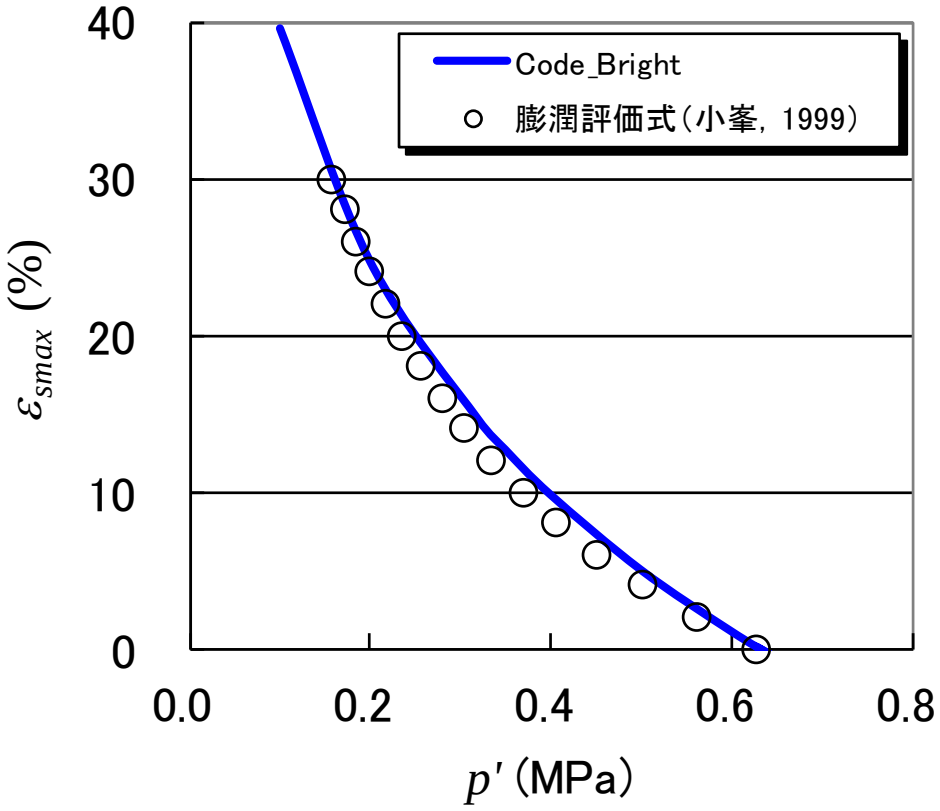


図 2.1-30　小峯らの膨潤評価式に基づく飽和膨潤ひずみと有効拘束応力の関係

Alonso, et. Al[31]では、塑性ひずみ増分方向は非関連流れ則を考慮できるよう式(2.1-79)に示す Ohmaki の提案するパラメータαを導入している。

$$\frac{d\varepsilon_s^p}{d\varepsilon_{vp}^p} = \frac{2q\alpha}{\mathrm{M}^2(2q+p_s-p_0)} \qquad (2.1\text{-}79)$$

ここに、$d\varepsilon_s^p$サクション増分における塑性ひずみ増分、$d\varepsilon_{vp}^p$は塑性体積ひずみ増分、q はミーゼス応力、P_sはサクション依存の引張強度、p_0は降伏圧密応力を示す。

非関連流れ則に関するパラメータαは横ひずみが 0 の条件から設定することができ、弾性せん断ひずみを無視し、横ひずみを 0 とすると式(2.1-80)となる。

$$\frac{d\varepsilon_s^p}{d\varepsilon_{vp}^p} = \frac{2}{3}\frac{1}{1-\kappa/\lambda(0)} \tag{2.1-80}$$

また、静水圧状態 K_0 では、式(2.1-81)が成り立つ。

$$p/q + p_s = 3(1-K_0)/1+2K_0 \tag{2.1-81}$$

式(2.1-79)、式(2.1-80)、及び式(2.1-81)より、非関連流れ則に関するパラメータαが式(2.1-82)により導かれる。

$$\alpha = \frac{M(M-9)(M-3)}{9(6-M)}\frac{1}{1-\kappa/\lambda(0)} \tag{2.1-82}$$

式((2.1-82)より、α＝0.727 となる。

(b) 廃棄体間充てん材

廃棄体間充てん材の諸元を表 2.1-19 に、力学物性値を表 2.1-20 に示す。前述したようにコンクリートピット内の廃棄体と充てん材は地震時挙動評価と同様に、両者が合成された均質な構造体として取り扱うこととし、その物性は充てん材で代表させることとした。

表 2.1-19　廃棄体間充てん材の諸元

項目	記号	単位	値	備考	出典
寸法	h×b×l	m	1.6×1.6×1.6		
廃棄体全重量	W	t	28.0		
単位体積重量	γ	kN/m³	67.0		

表 2.1-20　廃棄体間充てん材に用いる力学物性値

物　　性	単　位	物性値	出典
圧縮強度	N/mm²	85.25	平成25年度報告書、P.7-45、表7.4-12、材令91日平均値
静弾性係数	kN/mm²	32,190	平成25年度報告書、P.7-52、表7.4-16、材令91日平均値
単位体積重量	kN/m³	23.0	平成27年度報告書、P.5-124、表5.2-24
ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-124、表5.2-24
廃棄体込みの単位体積重量	----	52.4	―――

(c) 上部充てん材

上部充てん材の物性値を表 2.1-21 に示す。

表 2.1-21　上部充てん材に用いる力学物性値

物　　性	単　位	物性値	出典
圧縮強度	N/mm^2	71.56	平成25年度報告書、P.7-46、表7.4-13、材令91日平均値
静弾性係数	kN/mm^2	40,200	平成25年度報告書、P.7-53、表7.4-17、材令91日平均値
単位体積重量	kN/m^3	24.5	平成27年度報告書、P.5-125、表5.2-25
ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-125、表5.2-25

(d) コンクリートピット

コンクリートピットの物性値を表 2.1-22 に示す。

表 2.1-22　コンクリートピットに用いる力学物性値

物　　性	単　位	物性値	出典
圧縮強度	N/mm^2	56.87	平成26年度報告書、P.5-41、表5.4-10、材令91日平均値
静弾性係数	kN/mm^2	35,260	平成26年度報告書、P.5-46、表5.4-12、材令91日平均値
引張強度	N/mm^2	4.72	平成22年度報告書、P.5-17、表8.4-1
単位体積重量	kN/m^3	24.5	平成27年度報告書、P.5-123、表5.2-23
ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-123、表5.2-23

(e) 低拡散層

低拡散層の物性値を表 2.1-23 に示す。

表 2.1-23　低拡散層に用いる力学物性値

物　　性	単　位	物性値	出典
圧縮強度	N/mm^2	59.16	平成26年度報告書、P.5-41、表5.4-11、材令91日平均値
静弾性係数	kN/mm^2	27,530	平成26年度報告書、P.5-46、表5.4-13、材令91日平均値
引張強度	N/mm^2	4.40	平成19～24年度取りまとめ、P.2-115、図2.2-30の関係式より算定
単位体積重量	kN/m^3	23.0	平成27年度報告書、P.5-122、表5.2-22
ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-122、表5.2-22

(f) 埋め戻し材（土質系材料）

埋戻し材（土質系）の物性値を表 2.1-24 に示す。

表 2.1-24　埋め戻し材（土質系材料）に用いる力学物性値

物　　性	単　位	物性値	出典
初期乾燥密度	Mg/m^3	1.645	平成26年度報告書、P.3-76、表3.2-3
膨潤圧	MPa	0.033	平成26年度報告書、P.3-160、表3.4-5
変形係数	MN/m^2	4.90	平成26年度報告書、P.3-76、表3.2-3
空隙率	----	0.30	Kumagaiら
真密度	Mg/m^3	2.71	平成26年度報告書、P.3-134、図3.4-19中表記
単位体積重量	kN/m^3	19.1	平成27年度報告書、P.5-120、表5.2-20
ポアソン比	----	0.43	平成27年度報告書、P.5-120、表5.2-20

(g) 埋め戻し材（セメント系材料）

埋戻し材（セメント系）の物性値を表 2.1-25 に示す。

表 2.1-25　埋め戻し材（セメント系材料）に用いる力学物性値

物　　性	単　位	物性値	出典
圧縮強度	N/mm^2	60.31	平成19年度報告書、P.2-175、表2.2-7、材令91日平均値
静弾性係数	kN/mm^2	36,000	平成19年度報告書、P.2-178、表2.2-8、材令91日平均値
単位体積重量	kN/m^3	24.5	平成27年度報告書、P.5-119、表5.2-19
ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-119、表5.2-19

(h) 支保工

支保工の諸元と力学物性値を表 2.1-26 に示す。支保工は、吹付けコンクリートと鋼製支保工から構成される。

表 2.1-26　支保工の諸元及び物性値

物　　性	単　位	物性値	出典
圧縮強度	N/mm^2	31.4	平成19～24年度取りまとめ、P.2-154、図2.3-22の関係式より算定
静弾性係数	kN/mm^2	27,900	平成27年度報告書、P.5-118、表5.2-18
単位体積重量	kN/m^3	24.5	平成27年度報告書、P.5-119、表5.2-18
ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-119、表5.2-18

(i) 均しコンクリート

均しコンクリートの物性値を表 2.1-27 に示す。均しコンクリートの物性値に関しては埋め戻し材（セメント系材料）と同等とした。

表 2.1-27　均しコンクリートの力学物性値

物　　性	単　位	物性値	出典
圧縮強度	N/mm^2	18.1	平成19～24年度取りまとめ、P.2-154、図2.3-22の関係式より算定
静弾性係数	kN/mm^2	22,000	平成27年度報告書、P.5-125、表5.2-26
単位体積重量	kN/m^3	23.0	平成27年度報告書、P.5-125、表5.2-26
ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-125、表5.2-26

(j) 力学物性値の一覧（セメント系部材）

セメント系部材に対する、力学物性値の設定値の一覧を表 2.1-28 に示す。

表 2.1-28　力学物性値一覧（セメント系部材）

部　　材	物　　性	単　位	物性値	出典
廃棄体間充てん材	圧縮強度	N/mm^2	85.25	平成25年度報告書、P.7-45、表7.4-12、材令91日平均値
	静弾性係数	kN/mm^2	32,190	平成25年度報告書、P.7-52、表7.4-16、材令91日平均値
	単位体積重量	kN/m^3	23.0	平成27年度報告書、P.5-124、表5.2-24
	ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-124、表5.2-24
	廃棄体込みの単位体積重量	----	52.4	――――
上部充てん材	圧縮強度	N/mm^2	71.56	平成25年度報告書、P.7-46、表7.4-13、材令91日平均値
	静弾性係数	kN/mm^2	40,200	平成25年度報告書、P.7-53、表7.4-17、材令91日平均値
	単位体積重量	kN/m^3	24.5	平成27年度報告書、P.5-125、表5.2-25
	ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-125、表5.2-25
コンクリートピット	圧縮強度	N/mm^2	56.87	平成26年度報告書、P.5-41、表5.4-10、材令91日平均値
	静弾性係数	kN/mm^2	35,260	平成26年度報告書、P.5-46、表5.4-12、材令91日平均値
	引張強度	N/mm^2	4.72	平成22年度報告書、P.5-17、表8.4-1
	単位体積重量	kN/m^3	24.5	平成27年度報告書、P.5-123、表5.2-23
	ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-123、表5.2-23
低拡散層	圧縮強度	N/mm^2	59.16	平成26年度報告書、P.5-41、表5.4-11、材令91日平均値
	静弾性係数	kN/mm^2	27,530	平成26年度報告書、P.5-46、表5.4-13、材令91日平均値
	引張強度	N/mm^2	4.40	平成19～24年度取りまとめ、P.2-115、図2.2-30の関係式より算定
	単位体積重量	kN/m^3	23.0	平成27年度報告書、P.5-122、表5.2-22
	ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-122、表5.2-22
埋戻し材（セメント系）	圧縮強度	N/mm^2	60.31	平成19年度報告書、P.2-175、表2.2-7、材令91日平均値
	静弾性係数	kN/mm^2	36,000	平成19年度報告書、P.2-178、表2.2-8、材令91日平均値
	単位体積重量	kN/m^3	24.5	平成27年度報告書、P.5-119、表5.2-19
	ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-119、表5.2-19
支保コンクリート	圧縮強度	N/mm^2	31.4	平成19～24年度取りまとめ、P.2-154、図2.3-22の関係式より算定
	静弾性係数	kN/mm^2	27,900	平成27年度報告書、P.5-118、表5.2-18
	単位体積重量	kN/m^3	24.5	平成27年度報告書、P.5-119、表5.2-18
	ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-119、表5.2-18
均しコンクリート	圧縮強度	N/mm^2	18.1	平成19～24年度取りまとめ、P.2-154、図2.3-22の関係式より算定
	静弾性係数	kN/mm^2	22,000	平成27年度報告書、P.5-125、表5.2-26
	単位体積重量	kN/m^3	23.0	平成27年度報告書、P.5-125、表5.2-26
	ポアソン比	----	0.20	平成27年度報告書、P.5-125、表5.2-26

4）解析結果

a．建設段階までの施設挙動

予想される施工手順とそれぞれのバリアの施工時期を忠実に反映してステップ解析を行った。そのうち、建設操業段階終了までの 50 年間における施設挙動について、計測モニタリング策定において、適切な計測箇所とその測定変位量の推定を行った。図 2.1-31 に解析施工ステップを部材ごとで詳細に時系列化に整理して示す。また、各段階の施工におけるモデル断面と計測箇所候補となる 4 点の解析出力点を示したモデル図を図 2.1-32 に示す。

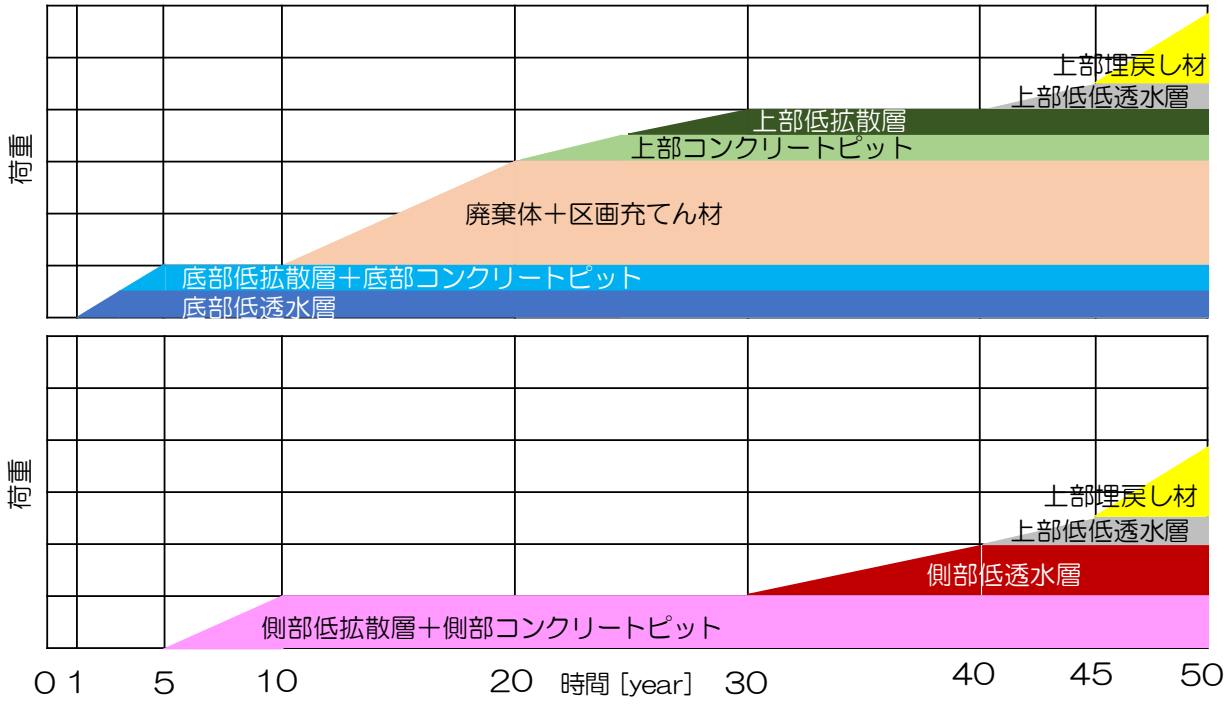


図 2.1-31　CODE_BRIGHT 解析ステップ

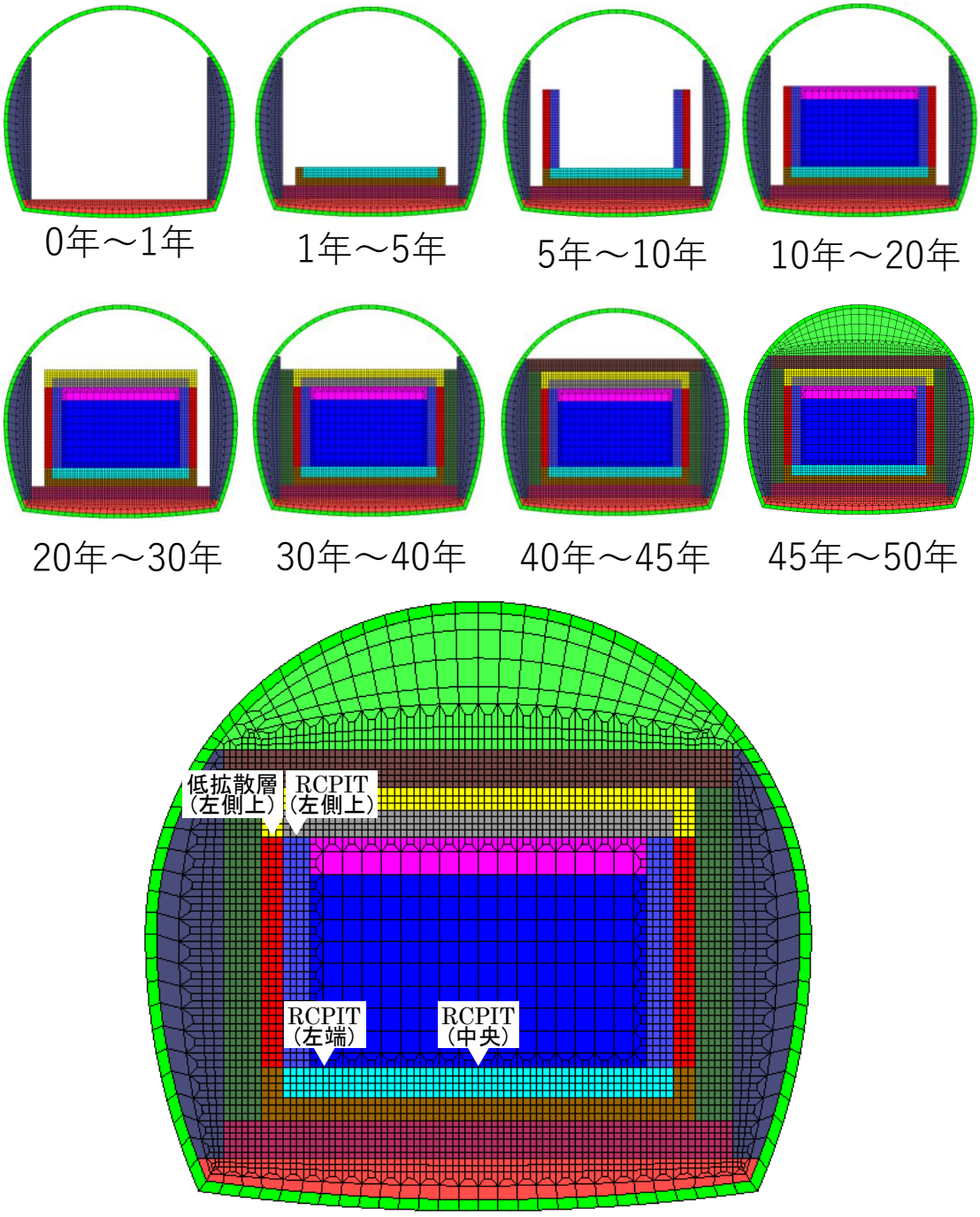


図 2.1-32　解析ステップ断面と出力点

ステップ解析時の境界は大気圧と同じ圧力を解放している面に載荷している。自重はコンストラクションステップとしているため、ステップの最終インクリメントで g＝9.8 となるように計算している。なお、施工完了は吹付け完了時点とする。

CODE_BRIGHT の解析では、水圧と空気圧（ガス圧）が生じており、不飽和状態では、水圧は負の値、ガス圧は正の値を有している。一方、解析上の有効応力の定義は σe＝σ－max(Pl, Pg) となっており、水圧と空気圧の大きい方を全応力から差し引き算出している。

モデル境界上では、有効応力ではなく、全応力が生じており、なにも拘束をしなければ間隙圧力によって膨張する。そのため、各部材の初期の有効応力は 0 と設定していることから、水圧と空気圧の大きい方でモデル境界を拘束する必要があることから、初期の段階では空気圧で応力固定する。

応力について解析上は、部材がセットされた t=0 の状態ではコンストラクションステップと指示をしているため、t=0 における有効応力は σe=0 となっています。コンストラクションステップでは、最終時刻で 100%の自重が載荷されるように（最終時刻で g=9.8 となるように）、重力加速度 g を線形増加させて自重による応力を計算している（σv=ρgh の g を変化）。このような計算を行っていることから、鉛直方向応力は自重相当、水平方向応力はポアソン比に応じた分布になる。

解析結果として、モデル断面における飽和率、平均有効応力に関する経時変化について図 2.1-33 に示す。また、主な部材代表点（低透水層底版中央、廃棄体中央、上部埋戻し材中央、及び低拡散層側部面）における水飽和率、平均有効応力及び施設変位の経時変化を図 2.1-34 に示す。各出力点における結果を図 2.1-35～図 2.1-38 に示す。また、施工開始から 50 年までの期間における施設施工ステップとその変位挙動の関係を図 2.1-39 に示す。

コンクリートピット底版中央点における変形を基に施設内の挙動について概説する。

底部低透水層及びコンクリートピットが施工されると、底部低透水層はコンクリートピット部の重さに応じた沈下と、それに伴い、底部低透水層の側部では大気圧解放されているためこの部分は膨張が生じる。また、インバートコンクリート及びコンクリートピット底部のサクションは底部低透水層のサクションよりも小さいため、底部低透水層は周辺のコンクリートから水分を吸収することにより、飽和率が上昇しそれに伴い膨潤する。よって、5 年～10 年におけるコンクリートピット底部中央点における変形は上向き傾向を示す。その後、廃棄体がセットされると、10 年から 20 年までは廃棄体の重量が徐々に載荷され、20 年から 30 年はコンクリートピット上部等が施工されることから、その間、コンクリートピット底部は沈下する。

側部低透水層が施工されることにより、周辺とのサクションバランスによって、側部低透水層が水分を吸収することから、コンクリートピット底部中央点は若干上昇する。しかし、上部低透水層と土質系上部埋戻し材が 40 年～50 年の間に施工されると、上部低透水層のサクションが強く、上部埋戻し材のサクションは小さいく透過性も高いことから、上部低透水層が上部埋戻しの水分を吸収して膨潤する。上部低透水層の膨潤によってコンクリートピット底部中央点は沈下する。

50 年以降になると、吹付コンクリート周辺から水が浸透してくる。解析では飽和条件の境界条件を与えていることから、水圧 Pl＝ガス圧 Pg=1.0MPa の境界条件を与えている。そのため、水とガスが施設に侵入してくることになる。ここで、外側境界から最も移行距離の短い底部低透水層にガスと水が浸透してくる。それにより、底部低透水層の飽和率はこの時点で飽和に近い状態にあることから、トラップされたガスは動けず圧縮され、さらに、水に溶解したガスが拡散によって侵入してくるため、底部低透水層のガ

ス圧が上昇する。間隙圧力の増加に伴い、体積膨張をおこすことから 60 年から 70 年ぐらいまではコンクリートピット底部中央点は沈下から膨張に転ずる。70 年以降は、ガスがさらに施設内部に拡散によって移行することから、底部低透水層のガス圧が低下してコンクリートピット底部中央点が沈下していく。

底部低透水層（出力点 1）の平均有効応力の変化も上記の挙動を示している。すなわち、10 年～50 年までは、膨潤圧の発現及び廃棄体等の施設の構築に伴い平均有効応力は増加する。しかし、60 年～70 年付近ではガス圧による間隙圧力の上昇に伴い、平均有効応力も低下する。その後は、ガス圧の消散とともに、施設の飽和、上部低透水層の間隙圧力の増加等により、底部低透水層（出力点 1）の平均有効応力は 1000 年まで増加する。なお、飽和しても設定した膨潤圧 σsw=0.63MPa に平均有効応力が達しないのは、ガス圧による間隙圧力が高いためである。

コンクリートピット部の有効応力の変化については、40 年くらいから平均有効応力が増大する。これは、周辺に設置してある低透水層の膨潤によって平均有効応力が増大する。その後、底部低透水層の有効応力の低下が増加に転ずると、コンクリートピット側のガス圧による間隙圧力が増大し始めるため、平均有効応力が低下し始めることになる。ただし、コンクリートピットよりも内側はそのままガスがトラップされる状態となるため、間隙圧力が高いままとなり、有効応力は下げ止まりする。

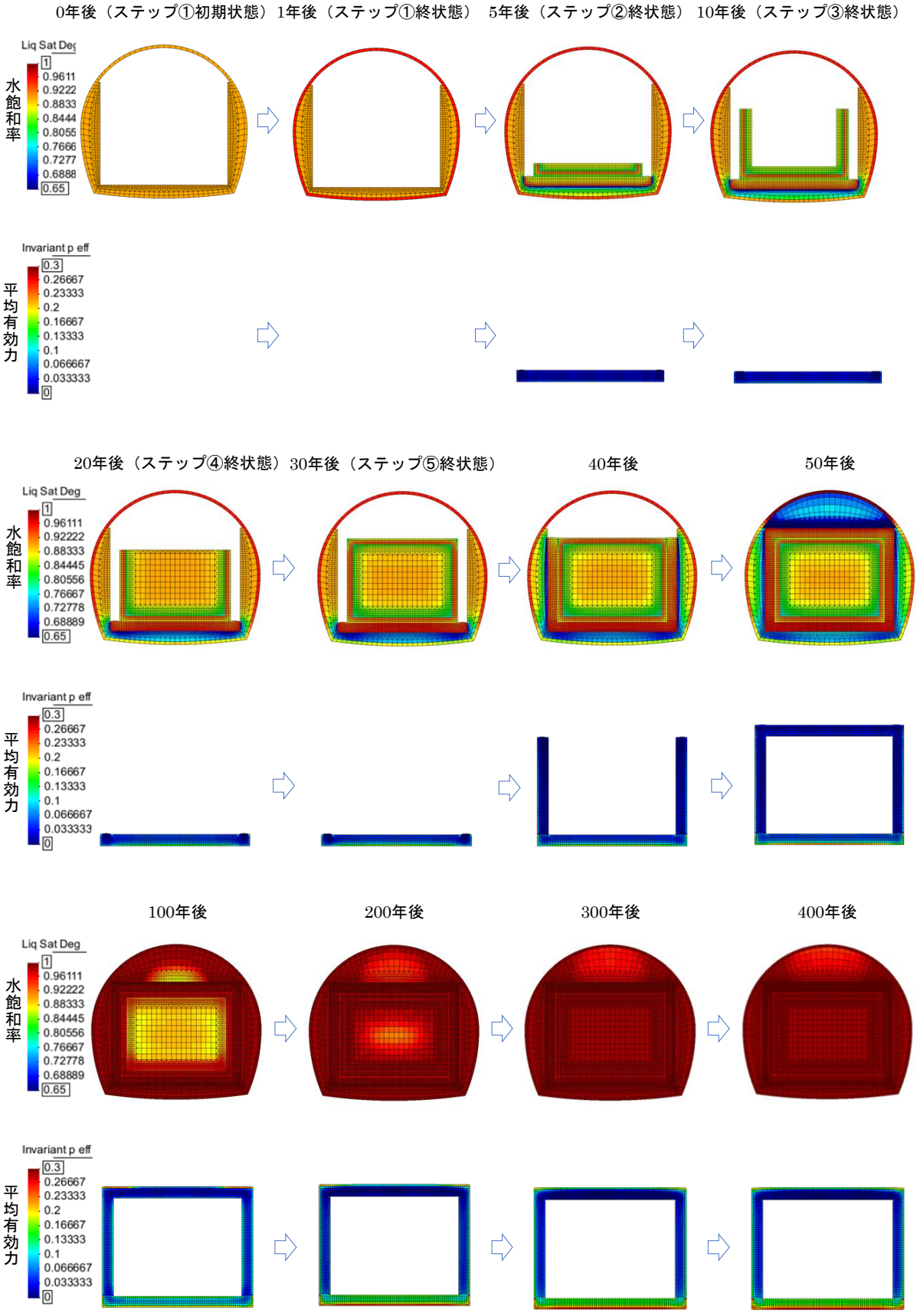


図 2.1-33　解析結果_コンター図

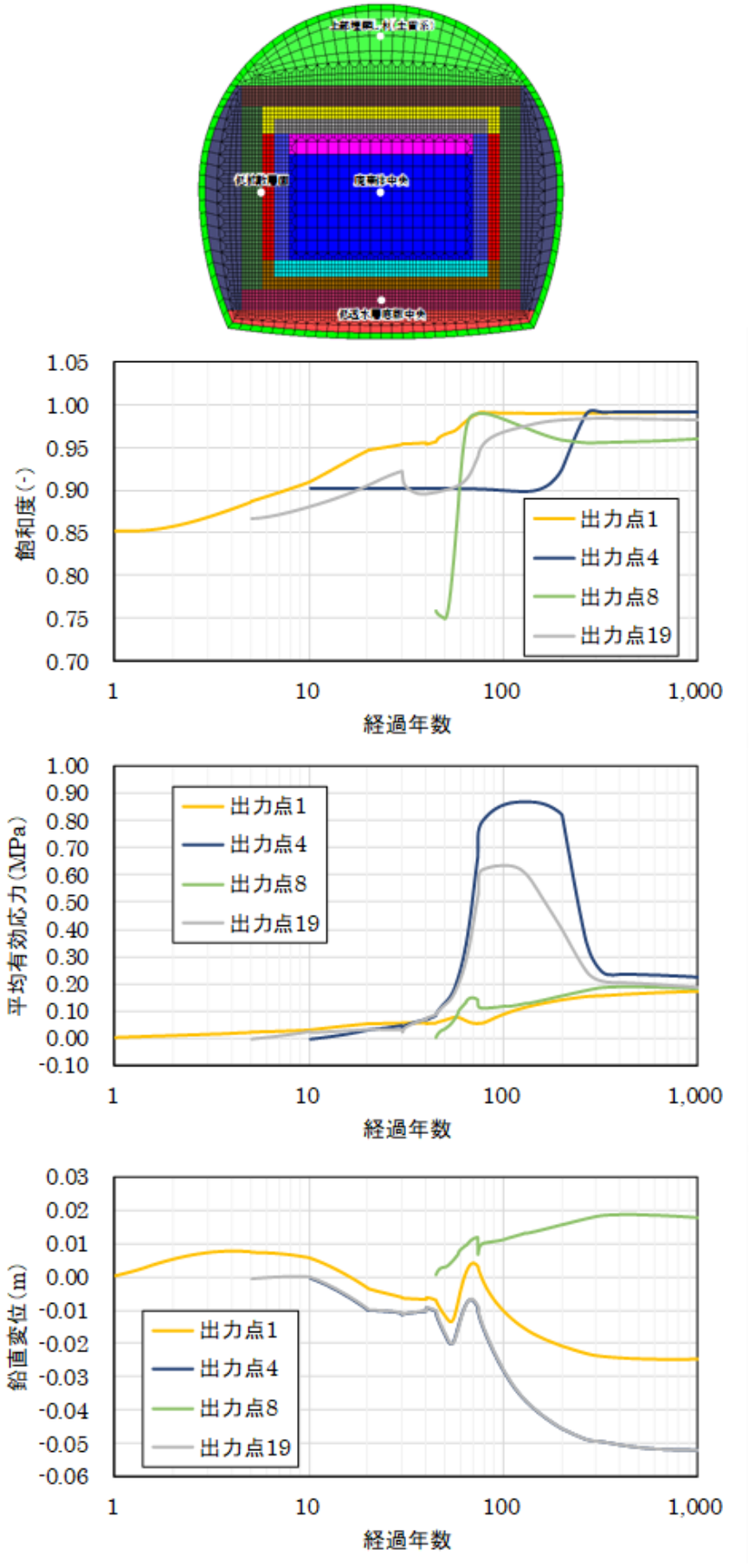
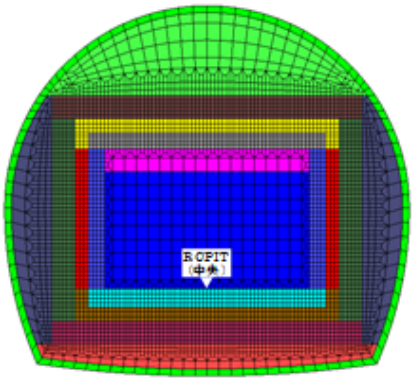
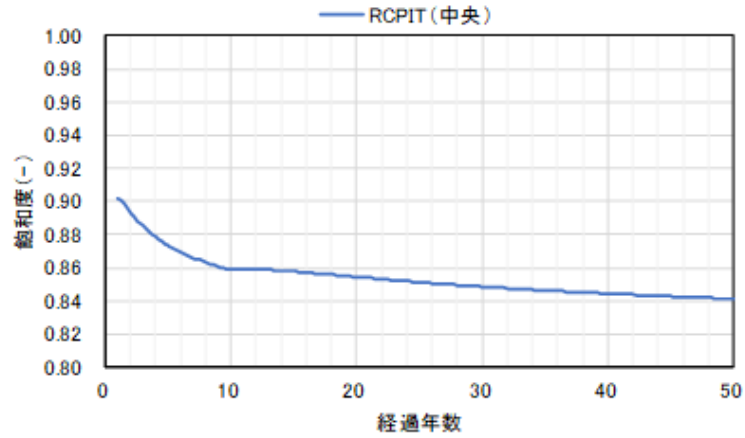
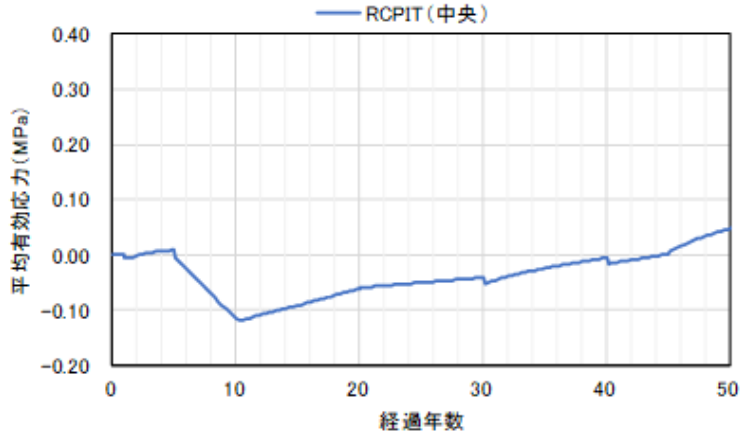


図 2.1-34　主な部材出力点における解析結果







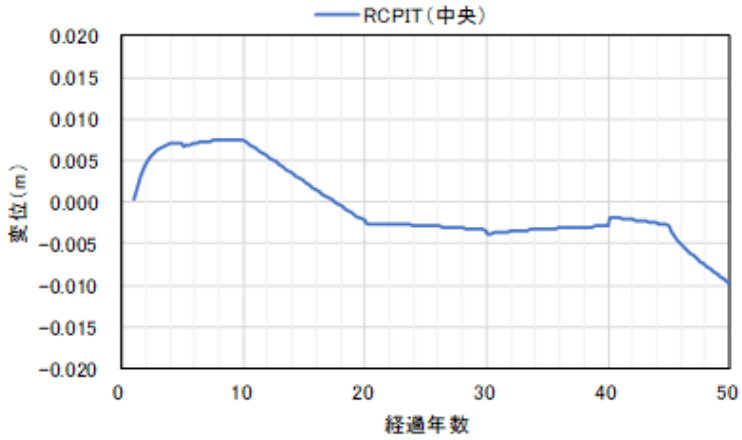
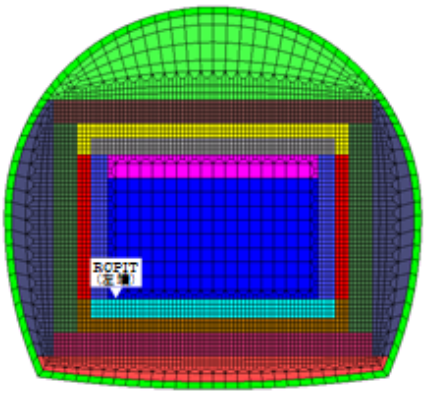
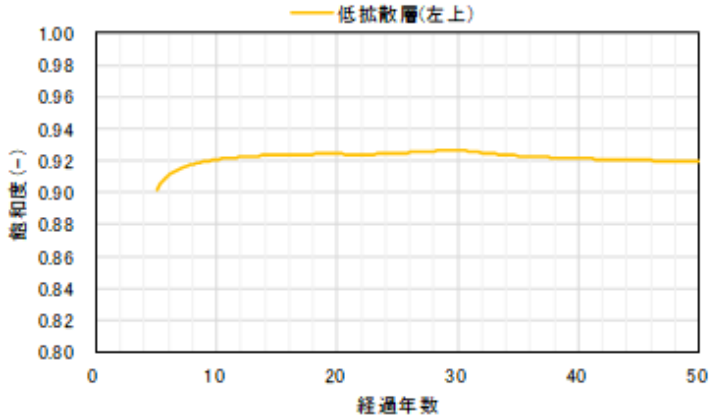
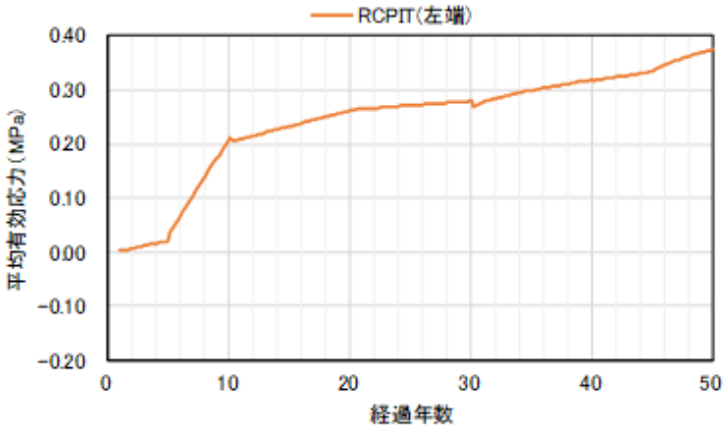


図 2.1-35　解析出力結果_RCPIT（中央）







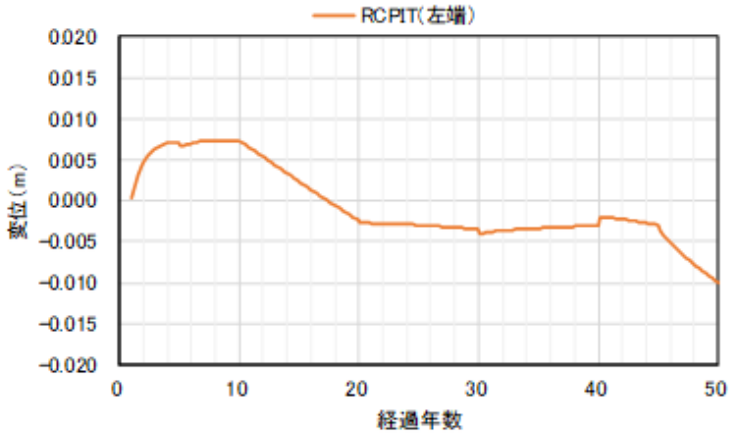
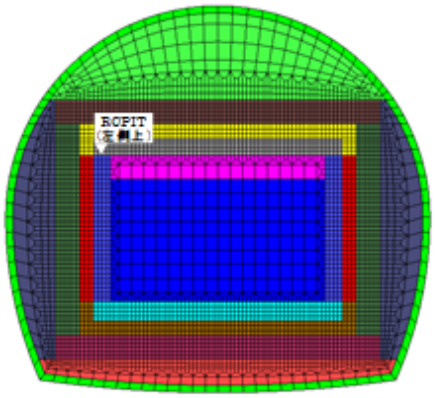
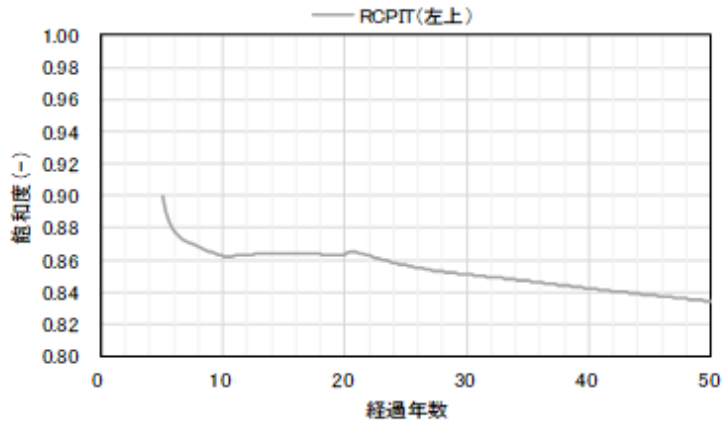
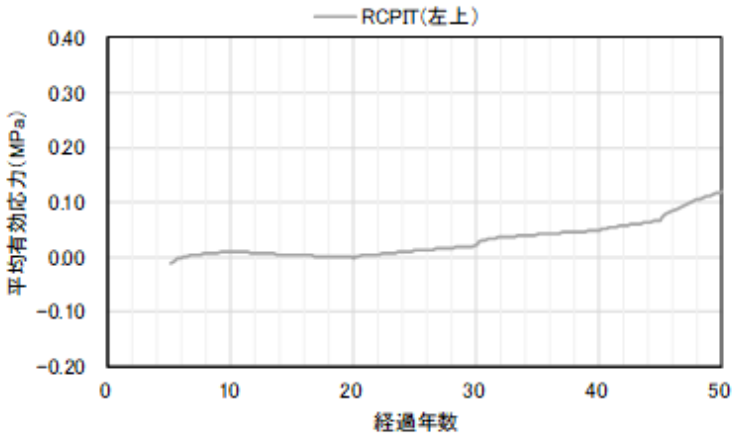


図 2.1-36　解析出力結果_RCPIT（左端）







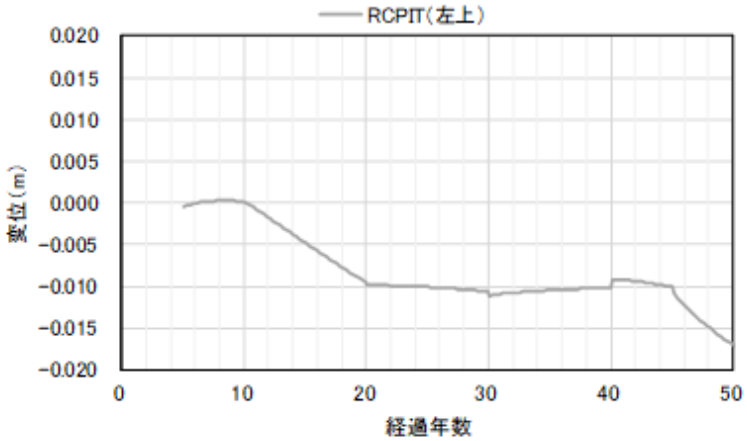
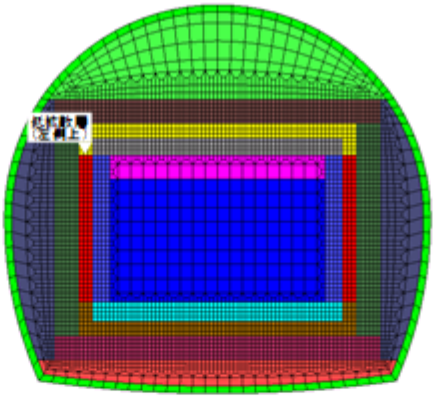
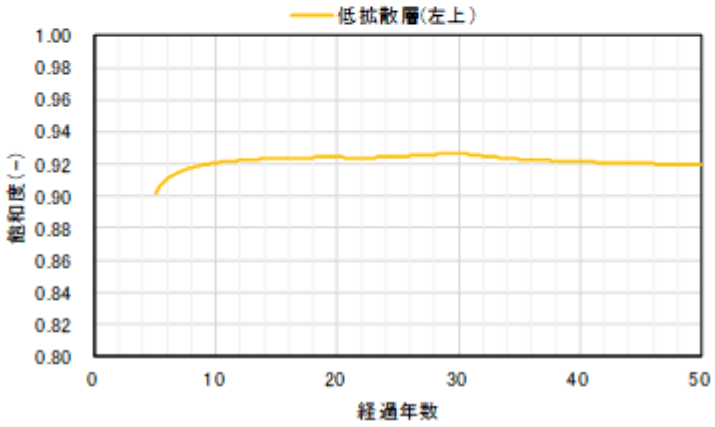
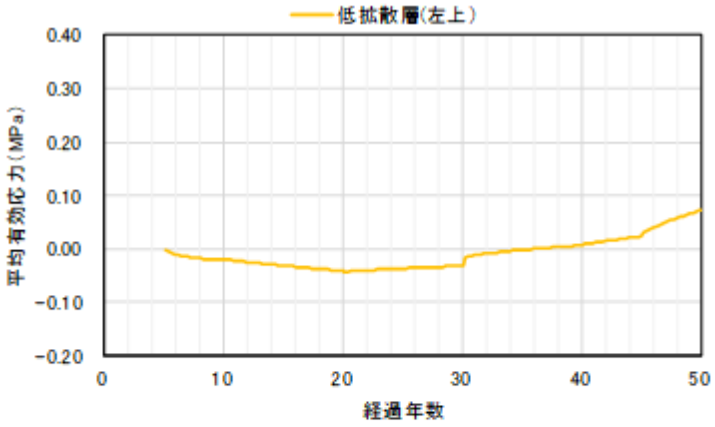


図 2.1-37　解析出力結果_RCPIT（左側上）







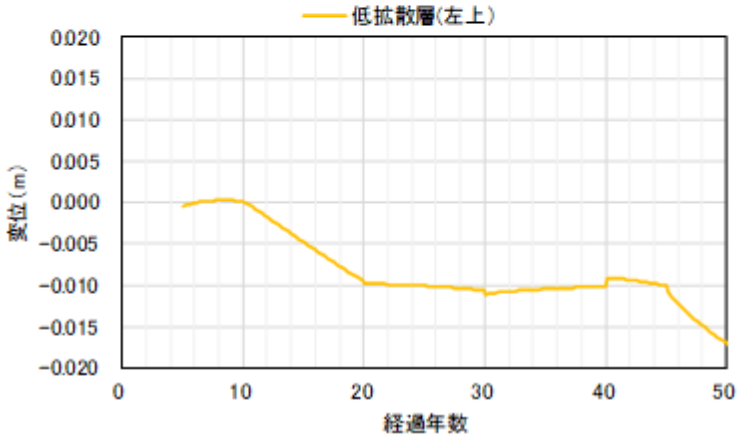


図 2.1-38　解析出力結果_低拡散層（左側上）

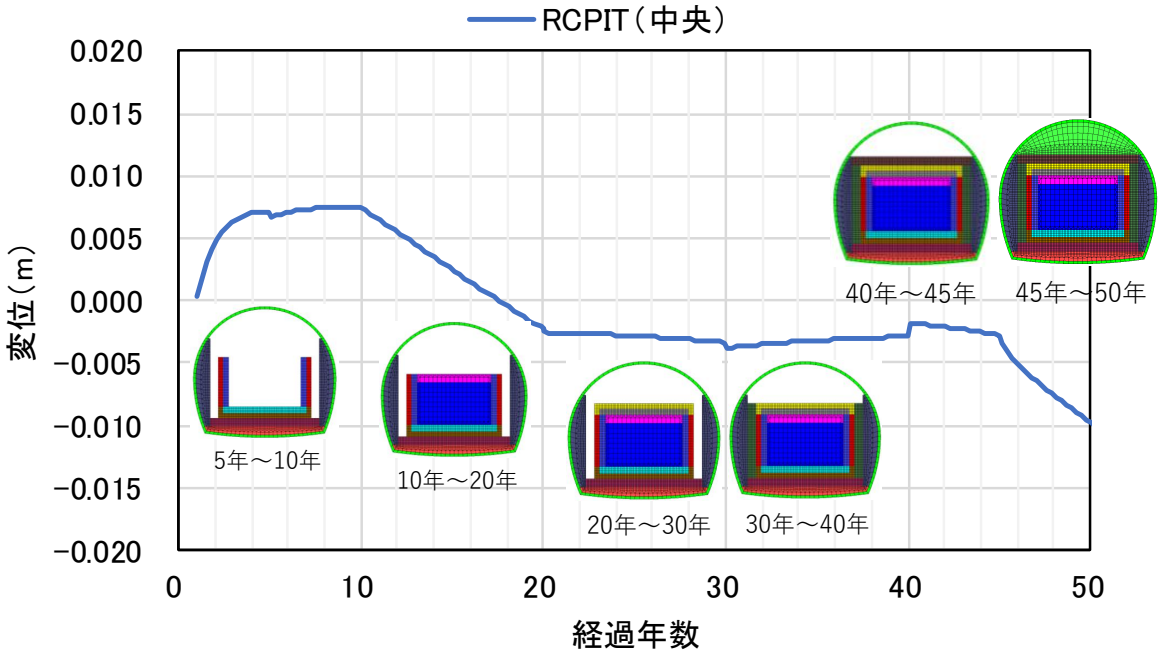


図 2.1-39　施設施工ステップと挙動推移

b. 浸潤状況の把握可能性検討

「(2) 4) b. 低透水層における飽和率と温度の関係」と同様の検討を、膨潤圧（平均有効応力）を対象に行う。

図 2.1-41 に示す TOUGH2 による解析結果と同箇所の出力点における 50 年以降の飽和率と膨潤圧（平均有効応力）の関係を、低透水層周囲と低拡散層周囲についてそれぞれグラフ化して図 2.1-41、図 2.1-42 に示す。

これによると、低透水層周囲に設けた出力点における平均有効応力（膨潤圧力）と水飽和率の関係は、設けた箇所によって様々な傾向を示していた。これは相対する部材とのサクションによる水のやり取りによって生じる圧力の増減が影響していると思われた。低拡散層周囲に設けた平均有効応力（膨潤圧力）と水飽和率の関係は、いずれの出力点にいても概ね線形増大の傾向を示した。ただし、設けた箇所によって増大傾向は異なるものとなった。

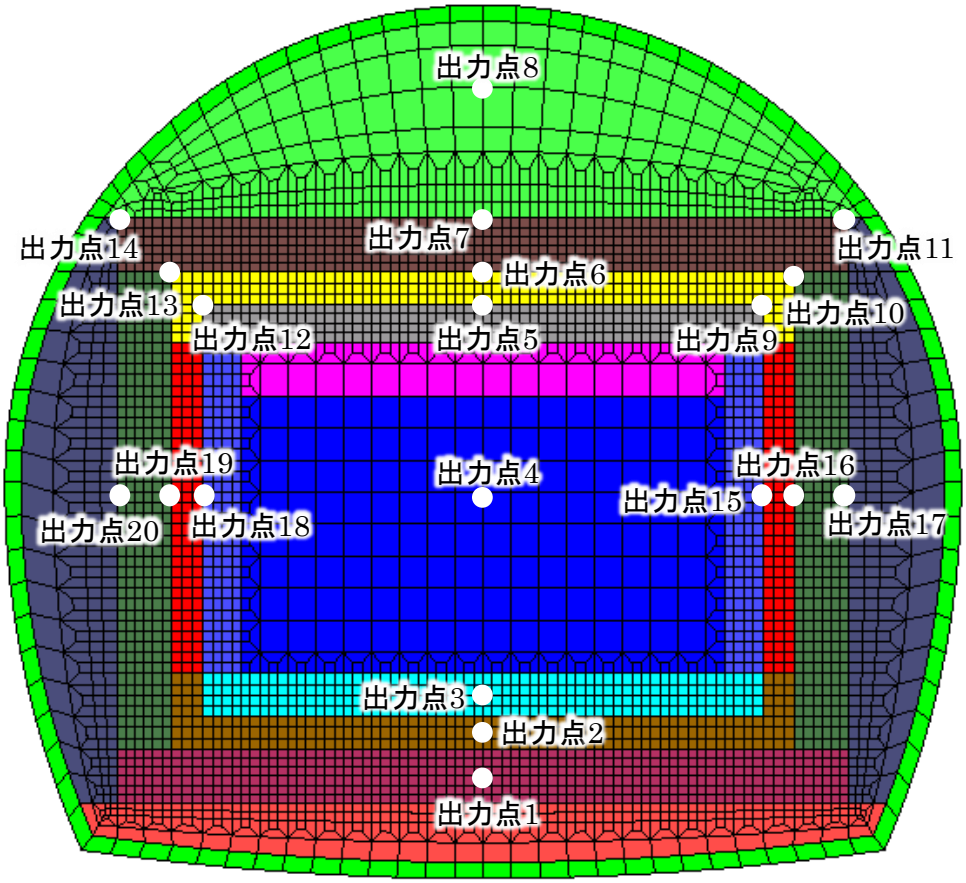
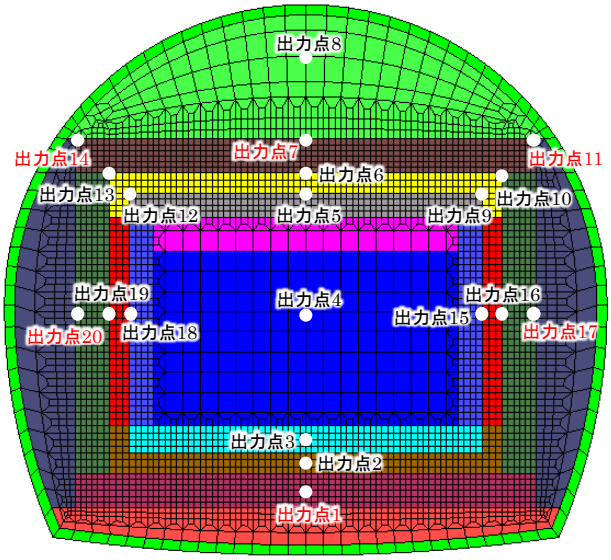


図 2.1-40　水飽和率と膨潤圧力の関係検討のための出力点



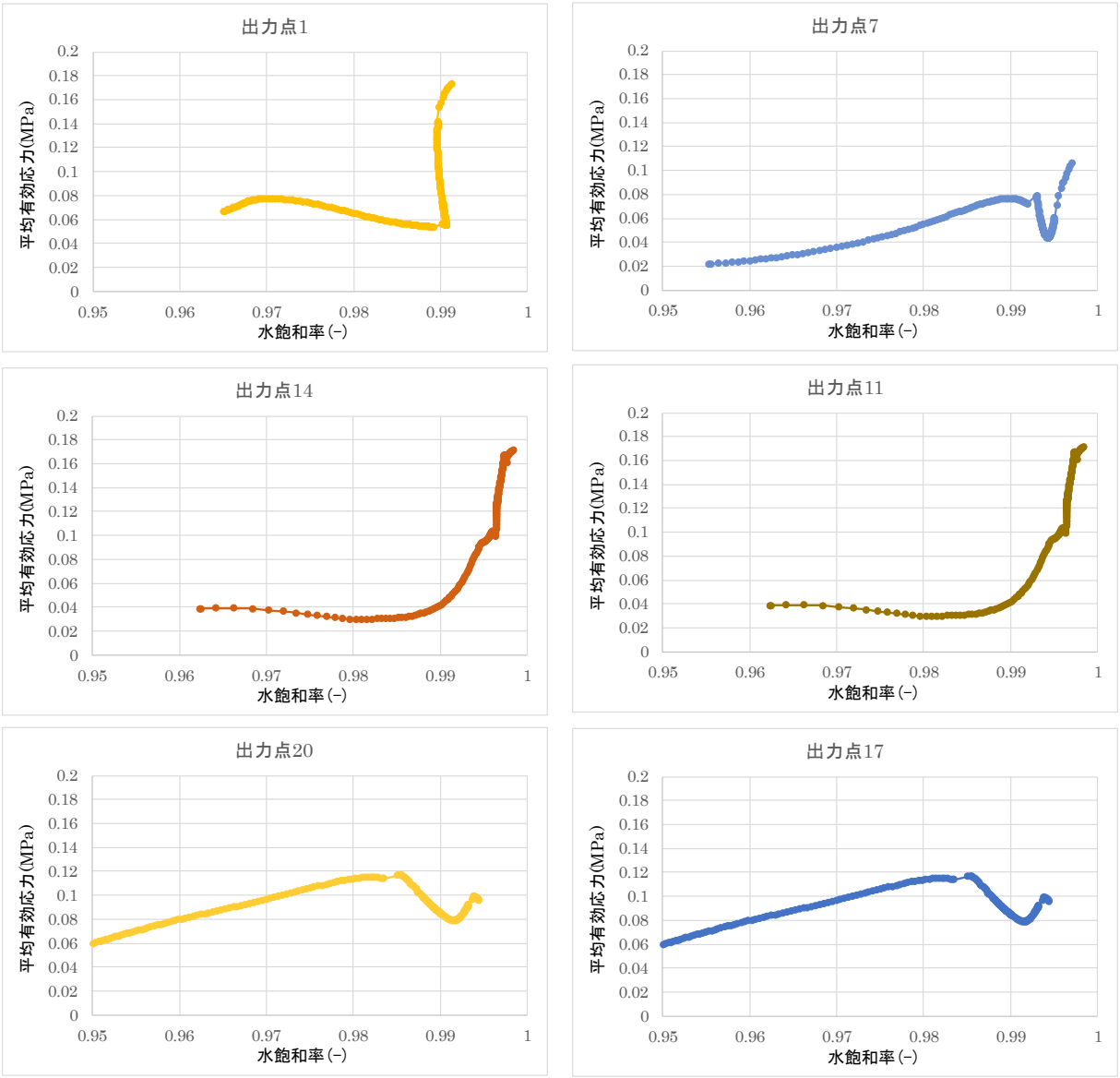


図 2.1-41　低透水層周囲における水飽和率と膨潤圧力（平均有効応力）の関係

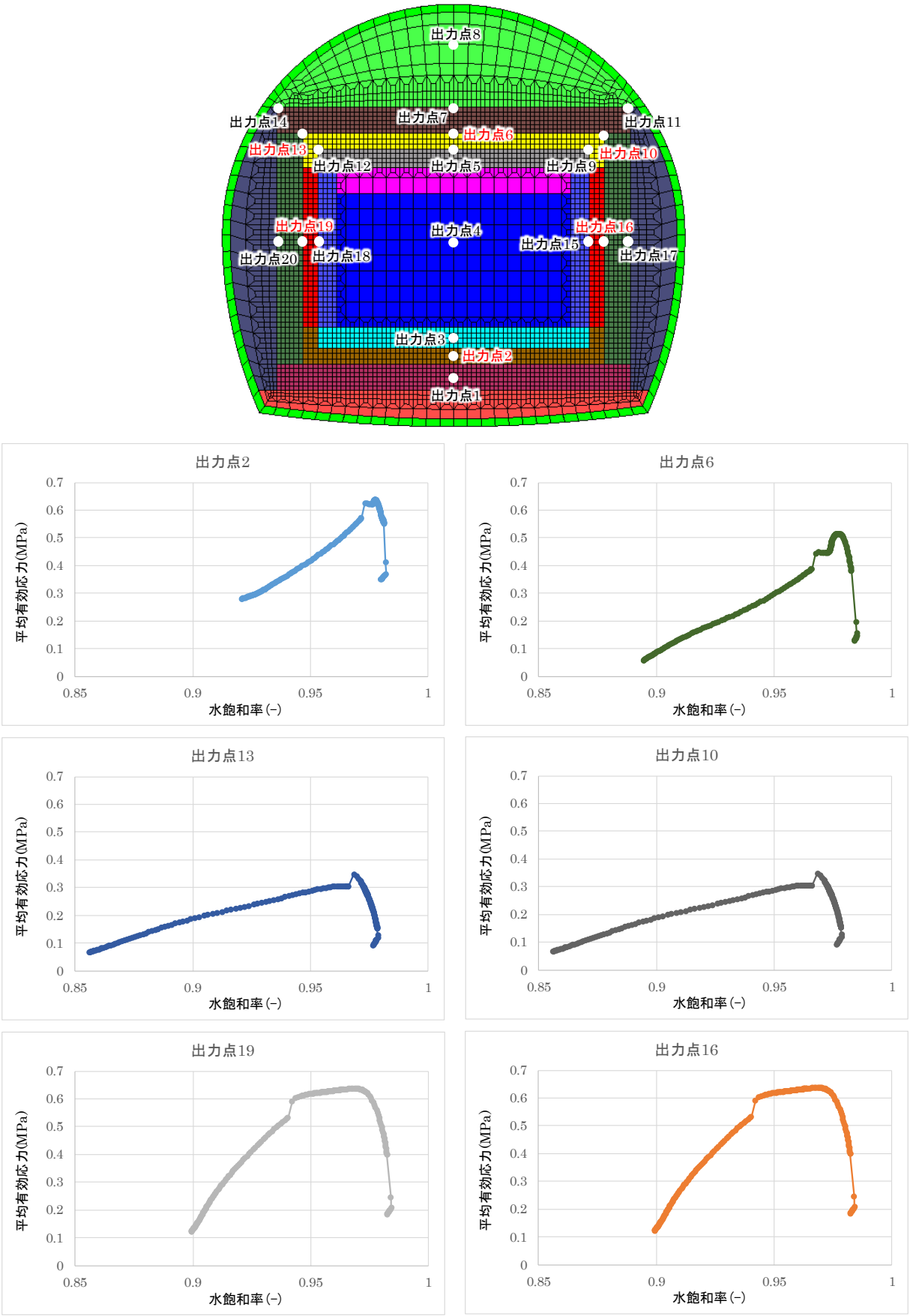


図 2.1-42　低拡散層周囲における水飽和率と膨潤圧力（平均有効応力）の関係

c．結果整理

以上の検討より、解析コード CODE_BRIGHT により、建設~操業段階における施設挙動及びその後の浸潤挙動の把握可能性について検討を行った。

建設段階においては、低透水層が周辺部材よりもサクションが高いため、周りから水分を吸収して膨潤する傾向が強い。特に、廃棄体重量を載荷されていない 10 年までの変形を見ると、底部低透水層の膨潤に伴いコンクリートピット底部中央点における変形は上向き傾向を示す。ただし、廃棄体定置後は、廃棄体の重量が重いため、沈下傾向を示す。

閉鎖後の操業段階における施設挙動はガス圧の影響を強く受ける。底部コンクリートピットが上昇したり下降したりするのはガス圧による間隙圧力の増減によるものである。すなわち、60 年から 70 年では底部低透水層のガス圧の上昇に伴い、コンクリートピット底部は上向き変位を示す。その後、底部低透水層のガス圧が低下し始めると沈下する。コンクリートピットの平均有効応力も周辺の低透水層の膨潤に伴い有効応力が上昇するが、ガスの侵入に伴い応力が低下する傾向を示した。

CODE_BRIGHT の解析ではガスの動きによって変位等に影響を与える結果となった。閉鎖された空間に水が浸潤してくることから、始めに存在した空気は圧縮される。また、注水によっても飽和溶解した水が侵入してくることから空気の絶対量は増える方向にある。しかしながら、閉鎖された空間であるため、空気は逃げ場を失い、溶解して施設内を拡散する動きを見せる。そのため、二相流パラメータの影響を非常に強く受ける結果となる。

以上から、本検討の結果に最も影響を与えるのは、空気でありその挙動が施設挙動に影響を与える。よって、施設挙動の妥当性を問うためには、二相流パラメータの設定が重要であることが示唆された。

2.1.3　化学に着目した検討

(1) はじめに

本業務では、人工バリアの機能確認として、建設の段階から処分空洞内の防水シート裏面排水の水量・水質をモニタリングすることを提案している。これは、裏面排水のモニタリングを行うことで、空洞周辺及び空洞内に異常が起きているかどうかを把握できると想定されるからである。また、閉鎖措置段階以降も実施可能なモニタリング項目として、近傍ボーリングによる地下水分析を提案している。

裏面排水について、処分空洞内で地下水と最初に接触するのは吹付けコンクリートであり、300～400 年という機能確認期間においても、吹付けコンクリートからの成分溶脱によって裏面排水の水質は徐々に変化するものと想定される。また、近傍ボーリング孔にて地下水組成を分析する場合にも同様に、人工バリア及び吹付けコンクリート等の支保部材の影響によって地下水組成は徐々に変化するものと想定される。

ここでは、人工バリア及び支保部材との化学的相互作用を踏まえた現実的な水質の変化・変遷を解析的に予測することで、防水シート裏面排水や周辺地下水の水質モニタリングにおいて、モニタリングすべきイオン種とその濃度の想定、ならびにモニタリングの時期や頻度の計画策定に資する情報を整理することを目的に、検討を実施することとした。

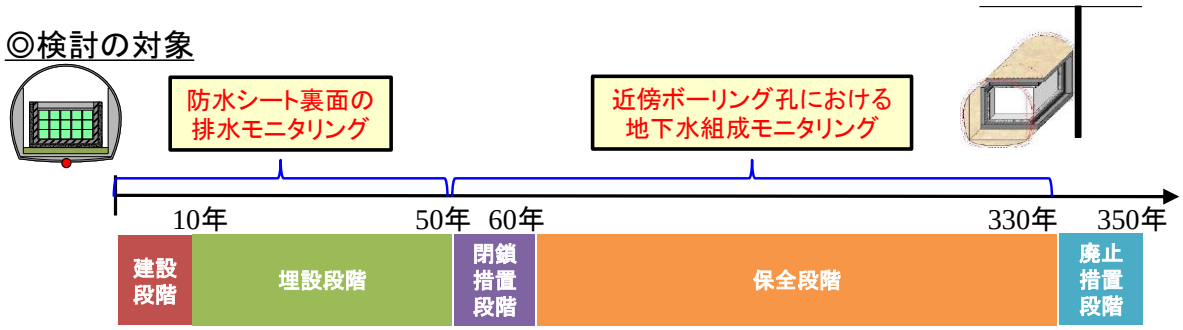


図 2.1-43　人工バリアの機能確認においてモニタリングが必要と思われる項目

(2) 過去の研究成果と本検討における着目点

平成 29 年度の検討においては、建設開始から 100 年までの期間における吹付けコンクリート内面（＝防水シート裏面排水）のモニタリングに資する情報、ならびに、400 年までの期間における地下水組成モニタリングに資する情報を整理した。その結果、以下のことを明らかにした。

1) 防水シート裏面排水のモニタリング

吹付けコンクリート内面に浸出する水の総水量を出力し、その経時変化をまとめた結果を図 2.1-44 に示す。吹付けコンクリートから徐々に成分が溶脱することで、時間とともに総水量はやや増加する。ただし、その変化量は大きくないことから、排水モニタリング時には、同図をもとに集水された水量の推移をチェックすることが望ましく、水量の大幅な変化が生じた場合には、施設もしくは周辺岩盤になんらかの異常が起こったことを示すと考えられる。

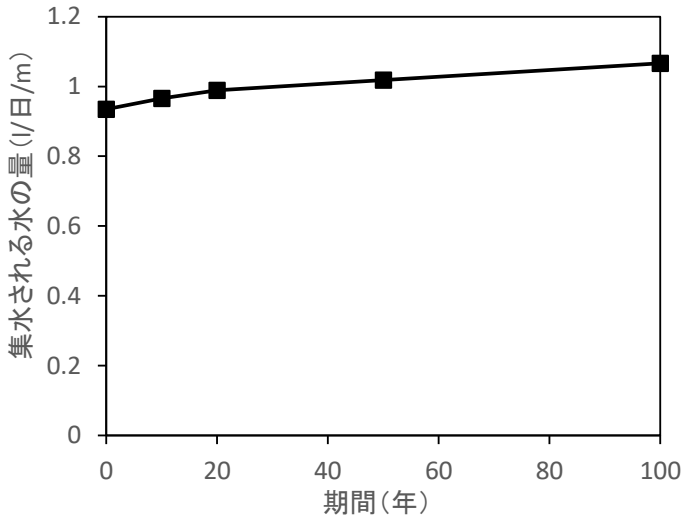


図 2.1-44　吹付けコンクリート内面に浸出する総水量の経時変化

吹付けコンクリート内面に浸出するイオンの総量を出力し、その経時変化をまとめた結果を図 2.1-45 及び図 2.1-46 に示す。施設構築当初は Na^+や K^+の変化が顕著となるものの、その影響は 50 年程度で無くなり、20 年後ぐらいから浸出水に含まれる Ca^{2+}濃度が高くなる。また、周辺岩盤に含まれるイオンの濃度は徐々に上昇するものの、その変化量自体が小さい。

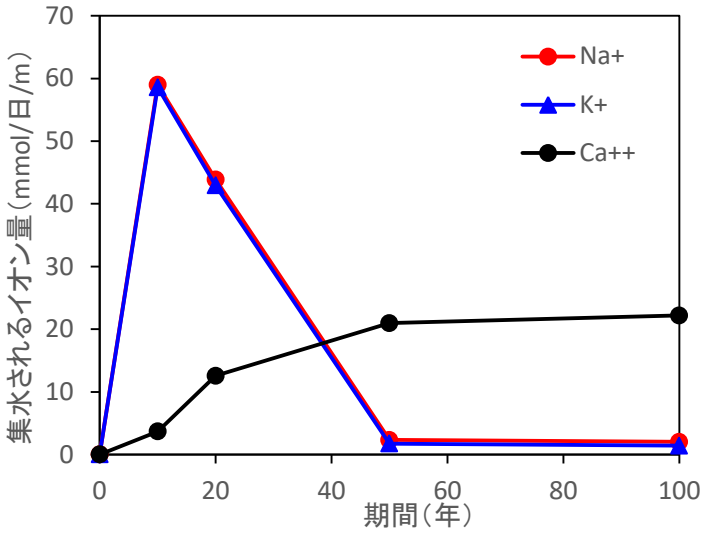


図 2.1-45　吹付けコンクリート内面に浸出する Na^{+}、K^{+}、Ca^{2+}の経時変化

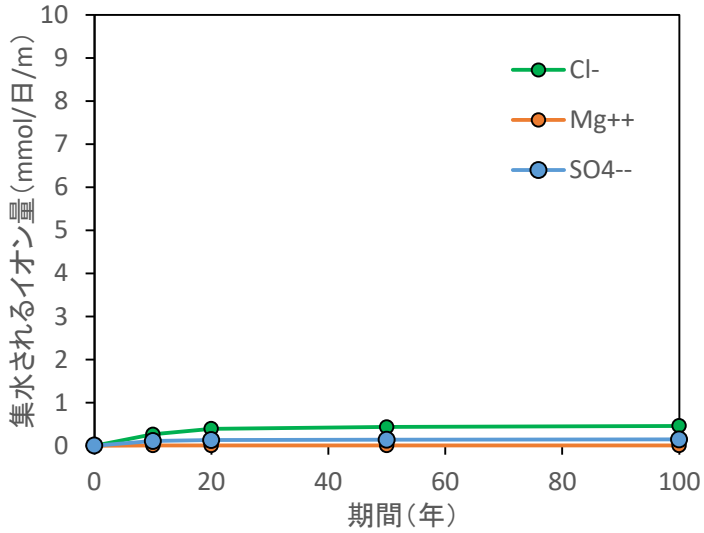


図 2.1-46　吹付けコンクリート内面に浸出する Cl^{-}、Mg^{2+}、SO_4^{2-}の経時変化

2）地下水組成モニタリング

近傍ボーリング孔による地下水組成モニタリングに資する情報を整理した。図 2.1-47 に示した出力位置（処分空洞下流側の近傍 2m、処分空洞下流側最右端から 5m、10m、20m）における pH 及び Ca^{2+}濃度の経時変化を図 2.1-48 に示す。処分空洞からの離隔に応じて想定されるイオンの濃度やその変化の仕方が異なることを、同図により明示した。

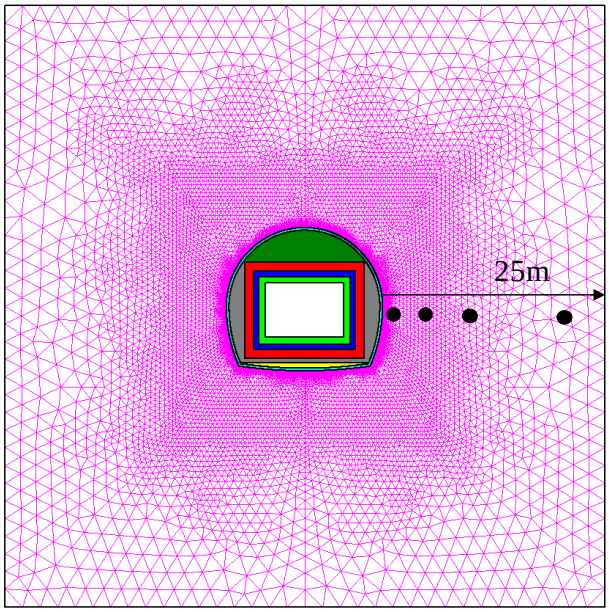


図 2.1-47　地下水組成の出力位置

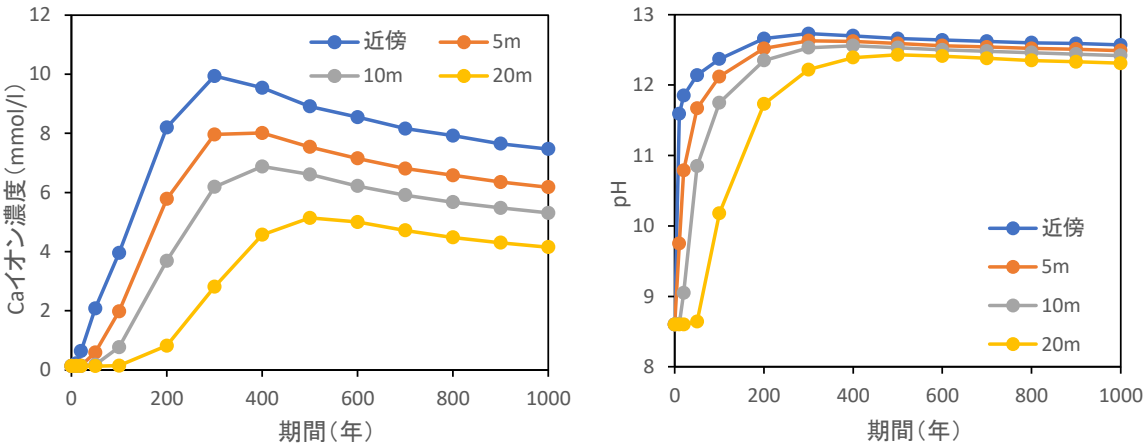


図 2.1-48　地下水組成の出力位置が pH、Ca イオン濃度の経時変化に及ぼす影響

3）本年度の検討概要

前述したように、昨年度の検討において、防水シート裏面排水ならびに周辺岩盤の地下水組成モニタリングに際し、いつ、どこで、どんな項目をモニタリングするべきか、その方向性を示すことができた。一方で、昨年度実施した検討はある条件下で行った解析結果によるものであり、解析に用いた物性には様々な不確実性が含まれている。実際には、施設の建設から操業、埋設、閉鎖措置段階への変遷に応じて施設の状態や周辺地下水の流れも変化することから、実施時には詳細な検討が必要になると考えられるものの、想定される計測値がどの程度の幅を有するかを事前に把握しておくことは重要である。

本検討では、地下水の動水勾配や施設に生じるひび割れ、掘削影響領域（EDZ）、地下水組成等の不確実性を考慮したうえで、モニタリング値に大きく影響を与える条件・パラメータを明らかにするとともに、計測結果の想定範囲（幅）を示すことを目的として検討を行う。

(3) 解析方針

検討対象は、埋設段階及び保全段階（建設～1,000 年程度まで）とした。埋設段階は図 2.1-49 に示す埋戻し前（再冠水前）の期間である[36]ため、人工バリアの化学的変質は限定的であると考えられる。一方で、空洞周辺に施工されている吹付けコンクリートは、施工当初から地下水と接しているため、埋設段階であっても化学的変質（溶脱）が生じる可能性がある。また、吹付けコンクリートは急結剤として硫酸塩を含有しているため、化学的変質が早い可能性があり、その影響を考慮した解析が必要となる。

本検討では、処分空洞内に人工バリアが構築される前（図 2.1-49）と、閉鎖措置段階から再冠水後、数 100 年（図 2.1-50）という 2 つのフェーズで解析を実施することとした。なお、いずれの解析においても、動水勾配は図面の左側から右側へ 0.07m/m の勾配で作用することを基本とした。

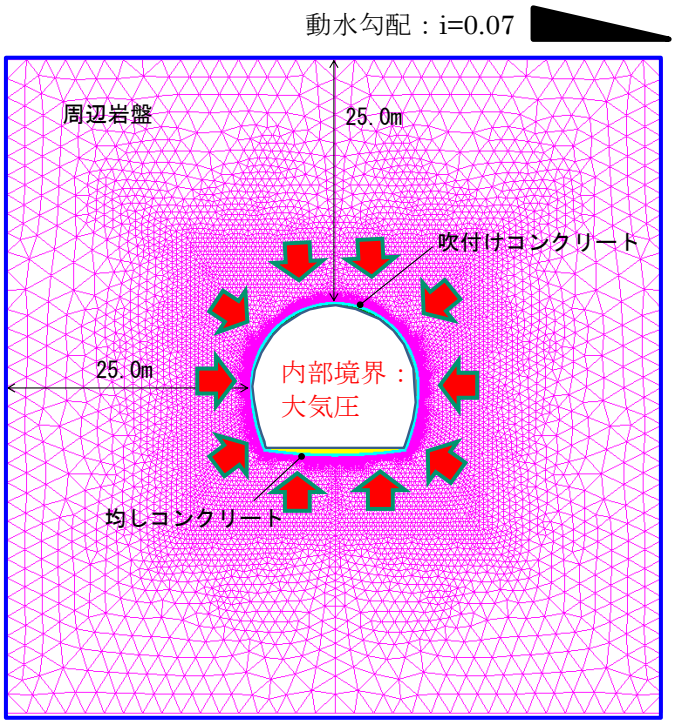


図 2.1-49　人工バリア構築前の処分空洞の状態

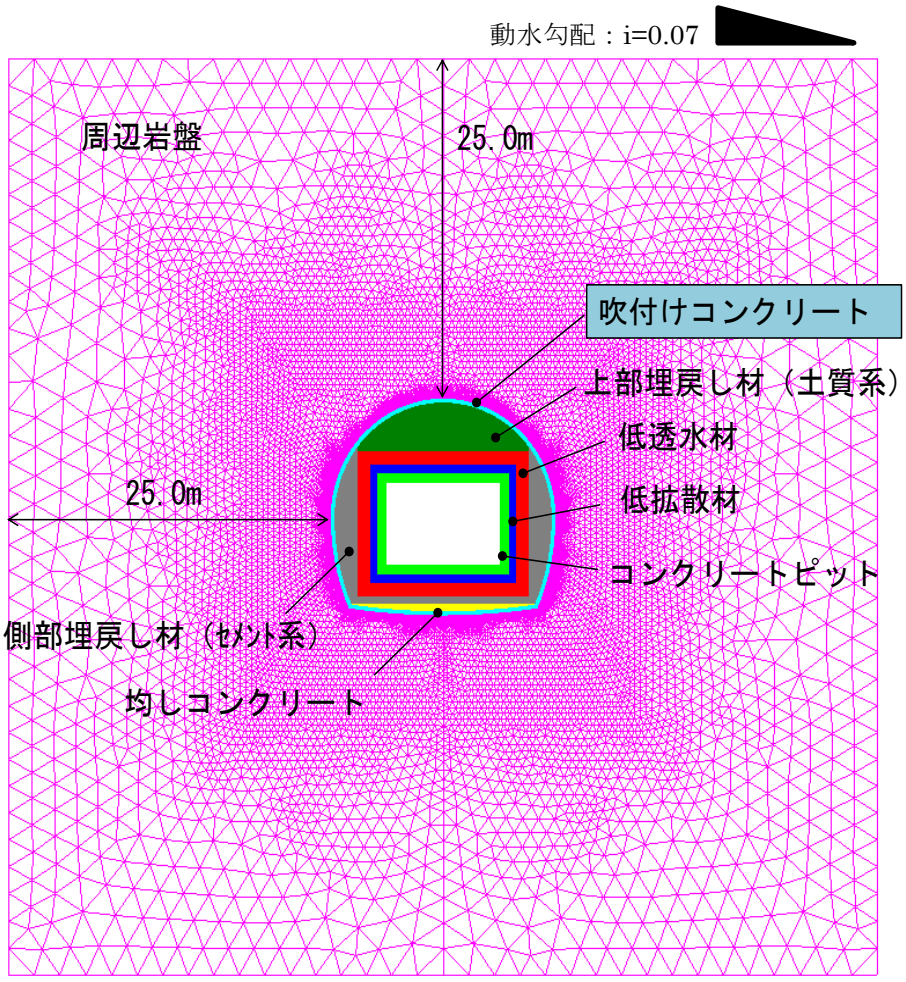


図 2.1-50　埋設完了後の処分空洞の状態

解析領域について、昨年度の検討における岩盤の大きさ（1 辺 68m）では、処分施設から溶出した各種イオンが早期に解析領域端部までイオンが到達し、その影響範囲を明確にすることができなかった。そのため、解析領域を大きく拡大させた。岩盤は下流側を施設中心から 500m とし、上流側やその他の面は 100m とした。解析領域のイメージを図 2.1-51 及び図 2.1-52 に示す。

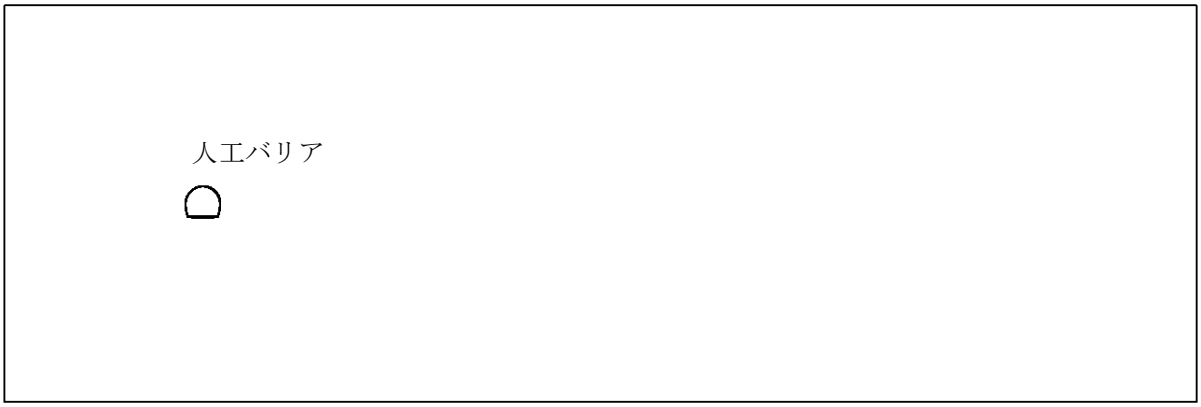


図 2.1-51　人工バリア構築前の解析領域

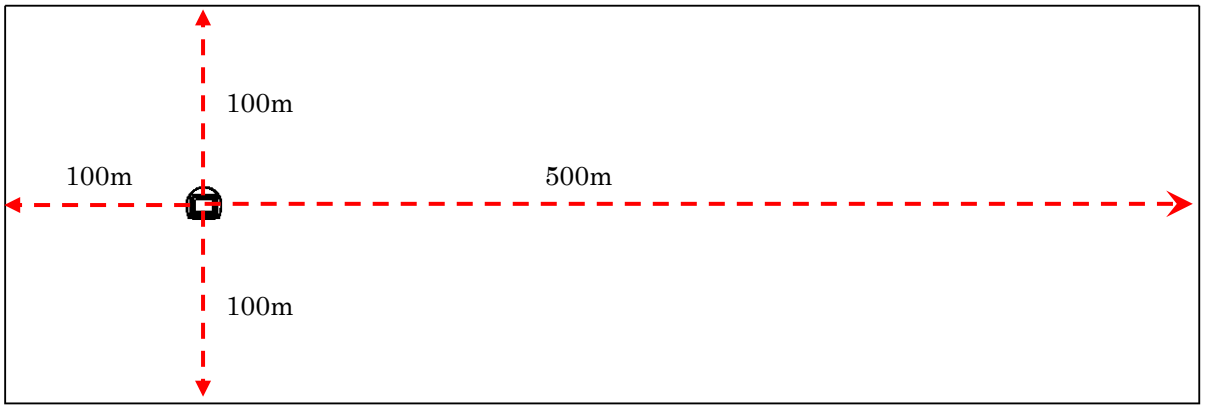


図 2.1-52　埋設完了後の解析領域

解析ケースを表 2.1-29 に示す。主に地下水流動に係る条件（動水勾配、ひび割れ・隙間、EDZ、吹付けコンクリートの初期変質）と化学環境に係る条件（岩盤グラウト、地下水組成）を考慮し、下表のとおり解析ケースを設定した。

表 2.1-29　解析ケース

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け初期変質
1	7%	－	－	－	降水系	－
2	0%	－	－	－	降水系	－
3	7%	○	－	－	降水系	－
4	7%	○	○	－	降水系	－
5	7%	○	－	○	降水系	－
6	7%	○	－	－	海水系	－
7	7%	○	－	－	降水系	○

（－：考慮しない、○：考慮する）

(4) 解析コードの説明（LIFE D.N.A.）

1) コードの概要

物質移行解析プログラム「LIFE D.N.A.」は、セメント系材料中のイオンの拡散、移流の影響、電気的中性条件及びセメント系材料からの Ca 溶脱に伴う物質移行特性の変化を考慮できる物質移行解析プログラムである。同プログラムは、セメント系材料の解析プログラムとして開発され、ベントナイトの化学的な変質とそれに伴う物質移行特性の変化、さらに岩盤における物質移行現象までを解析的に評価できるプログラムとして拡張されている。解析手法は有限体積法（finite volume method、FVM）である。

モデルの詳細を以下に示す。

2) 基礎方程式

LIFE D.N.A.は、以下の質量保存則を基礎方程式としている。セメント系材料からの Na^+、K^+、Ca^{2+}の溶脱や、周辺環境に存在する化学成分のうち Mg^{2+}、CO_3^{2-}、Cl^-との化学反応による鉱物の沈殿や消失を、セメント系材料中の空隙の変化としてモデル化し、空隙の増加や減少に伴う拡散係数や透水係数の変化を定式化している。さらに、上述した各イオンは次項以降に示す化学反応によって発生、消失するが、その際には電気泳動力によってイオンの移動が生じることを合わせてモデル化している。なお、本検討ではイオンごとに拡散係数を変化させていないため、電気泳動力による項は考慮しておらず、フィックの法則に基づく濃度拡散、ダルシー則に伴う移流、ならびに溶脱や沈殿による発生・消失現象を考慮しつつ、要素ごとの電気的中性条件と質量保存則が成り立つように計算している。

$$\frac{\partial(\varphi \cdot C_i)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D_{eff}^{i} \cdot \frac{\partial C_i}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial x}\left(u_d \cdot C_i\right) - Q_i \qquad (2.1\text{-}83)$$

C_i:細孔溶液中のイオン種 i の濃度（mol/l）、φ:空隙率、D_{eff}^{i}:イオン種 i の実効拡散係数(m^2/s)、u_d：ダルシー流速(m/s)、Q_i：イオン種 i の単位時間・単位体積あたりの発生・消失量(mol/l/s)

ベントナイト系材料については、Na 型ベントナイトの Ca 型化に伴う透水係数や拡散係数の変化、ならびに、セメント系材料との接触によってベントナイトに侵入する Ca イオンが、イオン交換反応にてベントナイトに吸着されることを化学的に考慮している。そのうえで、上述したように、要素ごとに電気的中性と質量保存則が成立するように計算している。

岩盤については、初期に与えた拡散係数や透水係数が変わらないと定義し、これらの係数に応じて拡散や移流によって各イオンが移動しつつ、各要素内に流入、流出するイオンの電気的中性と質量保存則が成立するように計算している。また、LIFE D.N.A.で取り扱うのは原則として流れの緩やかな場のみを想定しており、岩盤における分散現象は考慮しておらず、分子拡散と動水勾配のみに従ってイオンが移動するように計算している。

LIFE D.N.A.における計算の流れを図 2.1-53 に示す。以降の説明については、同図に示したA、B、Cの構成材料における①～⑤の計算の流れを示しながら取りまとめた。

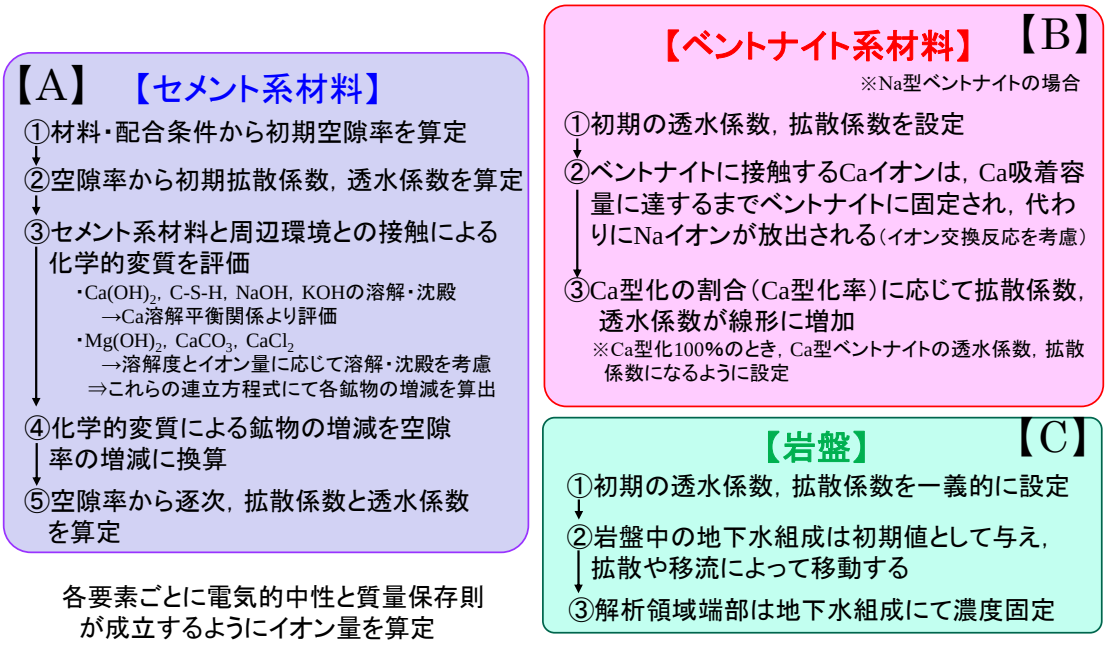


図 2.1-53　LIFE D.N.A.における計算の流れ

3）LIFE D.N.A.で考慮しているセメント系材料の化学的変質現象

a．Ca の溶解平衡関係【A-③】

LIFE D.N.A.におけるセメント系材料の化学的変質のモデル化は、Ca の溶解平衡関係を基本としている。図 2.1-54 は、種類の異なるセメントペーストを様々な液固比（浸漬する液体に対する浸漬対象物質の比）になるように浸漬させて、平衡状態に足したときの、液相中に溶解した Ca2+イオンと、固相に残存している Ca 濃度の初期濃度に対する比を示したものである。縦軸の値も横軸の値も大きい領域は液個比の小さい場合での試験結果を示している。また、横軸の値が小さい領域におけるプロットは、液個比が 1,000 や 2,000 程度の大きな領域での結果を示しており、固相中に残存する Ca 濃度も小さくなっている。同図より、セメント系材料から Ca が溶液に溶ける際には、固体と液体である一定の相関が得られることがわかる。これが、Ca の溶解平衡関係と呼ばれている。

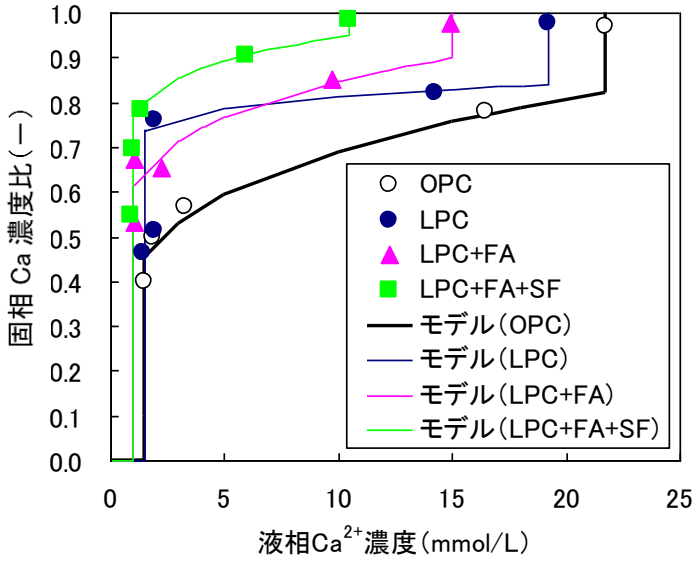


図 2.1-54　複数のセメント種類による固液平衡関係に関する実験データ[37]

LIFE D.N.A.では、図 2.1-54 に示した Ca の溶解平衡関係の実験データを、以下の 3 つの状態に分類してモデル化している。モデル化した Ca 溶解平衡関係の概念図を図 2.1-55 に示す。LIFE D.N.A.では、浸漬初期（固相 Ca 濃度及び液相 Ca2+濃度の高い状態）においては、先行して溶脱する Na イオン及び K イオンの影響によって、Ca イオンが溶脱しにくくなることを考慮しており（図 2.1-55 中の赤破線）、これが他の溶脱解析コードと異なる部分の一つである。同図中の数式の詳細については後述する。

① Na、K の影響を受けながら $Ca(OH)_2$ 中の Ca が溶解する状態
② $Ca(OH)_2$ の溶解が終了し、C-S-H が溶解する状態
③ C-S-H がシリカゲルになり、急激に Ca が溶解する状態

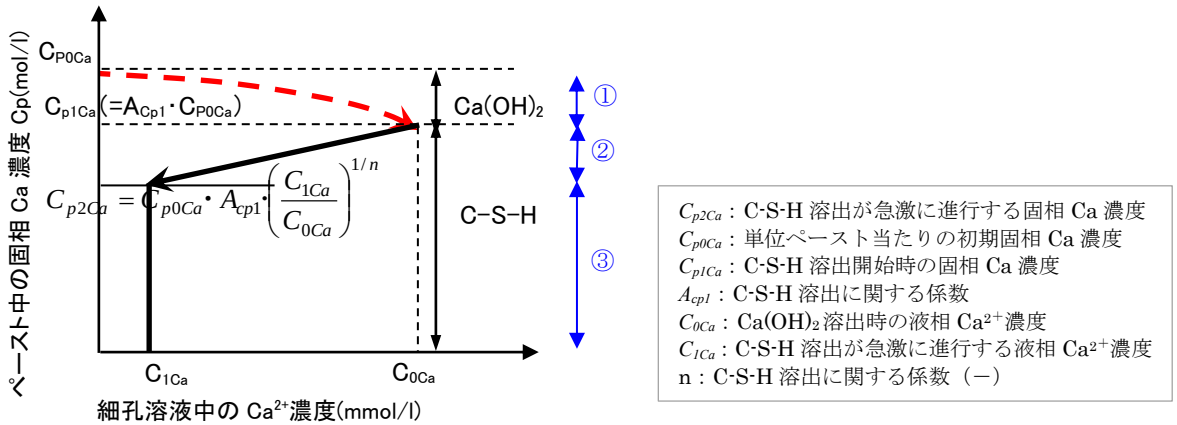


図 2.1-55　Ca 溶解平衡関係のモデル化図

LIFE D.N.A.における固液平衡モデルにおいては、実験にて得られた図 2.1-54 に示す固液平衡関係のデータをもとに、モデル化が必要である。LIFE D.N.A.では、Ca の固液平衡関係は 2 つの変曲点を有するグラフとしてモデル化する。同モデル化においては、図中の変曲点を示すパラメータとなる A_{cp1}（Ca を含む水和物の総量における Ca(OH)2 の割合を示す指標）、細孔溶液中の $Ca2^{+}$濃度が C1Ca～C0Ca の範囲において、モデルにおけるグラフの傾き・形状を与えるパラメータとなる n（C-S-H の溶解しやすさを定義する指標）、ならびに C_{1Ca}（液相中の Ca2+濃度が低下し、C-S-H が急激に分解を始めるときの液相中の $Ca2^{+}$濃度）を定義する必要がある。なお、C_{0Ca} は Na や K の影響によって解析要素ごとに異なるため計算にて求めるものであり、C_{p0Ca}（固相中に存在する Ca 濃度）は配合から一義的に求まる。

LIFE D.N.A.においては、A_{cp1} や n、C_{1Ca} がセメント種類ごとに異なることを考慮しているのが、固液平衡関係を用いたモデル化をしている類似コードと異なる点である[37]。OPC、LPC 及び LPC+FA を用いたときの解析入力値を表 2.1-30 に示す。

表 2.1-30　A_{cp1}、C_{1ca}、n の入力値

記号	OPC	LPC	LPC＋FA
A_{cp1}	0.82	0.82	0.90
C_{1ca}	1.5	1.5	1.0
n	4.5	20	7

なお、吹付けコンクリートについては、平成 29 年度の検討において、溶解試験結果を整理して、図 2.1-56 のような溶解平衡関係が取得できたため、これをもとに、A_{cp1}＝0.85、C_{1ca}=1.0、n=7 と設定した。同設定にてモデル化された溶解平衡関係が、図 2.1-56 中の赤い実線である。なお、平成 29 年度の検討において、液固比が非常に小さい領域では、液相中の Ca2+濃度が減少しておらず、LIFE D.N.A.における Na、K を考慮したモデル化の妥当性を裏付けるものと考えられる。

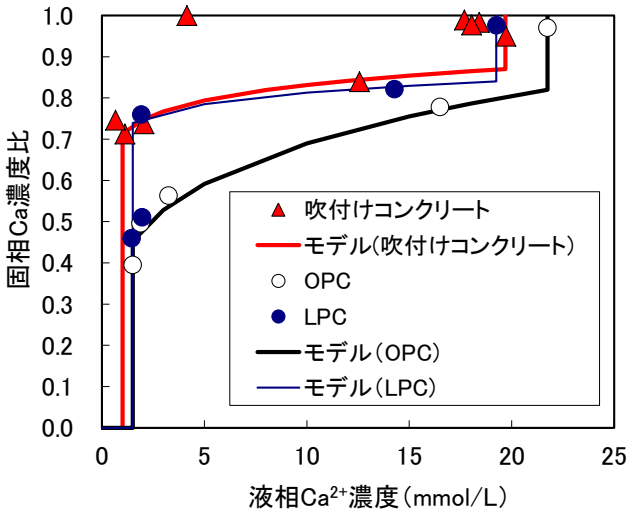


図 2.1-56　平成 29 年度試験にて得られた吹付けコンクリートの Ca 溶解平衡関係

b. 溶解平衡の各段階におけるモデル化

前述のとおり、LIFE D.N.A.では、図 2.1-54 に示した Ca の溶解平衡関係の実験図を、以下の 3 つの状態に分類してモデル化している。

①Na、K の影響を受けながら $Ca(OH)_2$ 中の Ca が溶解する状態
②$Ca(OH)_2$ の溶解が終了し、C-S-H が溶解する状態
③C-S-H がシリカゲルになり、急激に Ca が溶解する状態

①の段階については、図 2.1-57 及び図 2.1-58 に示すように、Na^+、K^+の平衡濃度が固相 Ca 濃度と高い相関があることを実験によって確認している[37]。このことから、Na^+及びK^+の平衡濃度を固相 Ca 濃度の関数として扱い、Na^+やK^+が存在する場合には、液相中にてこの関係が保たれるように液相中における Ca^{2+}存在量を設定する。

$0.97 < r \leqq 1$ のとき

$$[Na^+]^* = \frac{(C_{0Na} - 6.43 \cdot 10^{-4})r + (6.43 \cdot 10^{-4} - 0.97 \cdot C_{0Na})}{0.03}$$
$$[K^+]^* = \frac{(C_{0K} - 8.94 \cdot 10^{-4})r + (8.94 \cdot 10^{-4} - 0.97 \cdot C_{0K})}{0.03} \quad (2.1\text{-}84)$$

$r \leqq 0.97$ のとき

$$[Na^+]^* = 10^{-7} \cdot \exp(9.04r)$$
$$[K^+]^* = 10^{-7} \cdot \exp(9.38r) \quad (2.1\text{-}85)$$

$[Na^+]^*$：Na^+の平衡濃度(mol/L)、$[K^+]^*$：K^+の平衡濃度(mol/L)、r：固相 Ca 濃度(mol/L)／固相 Ca 濃度初期値(−)、C_{0Na}：初期 Na^+濃度(mol/L)、C_{0K}：初期 K^+濃度(mol/L)

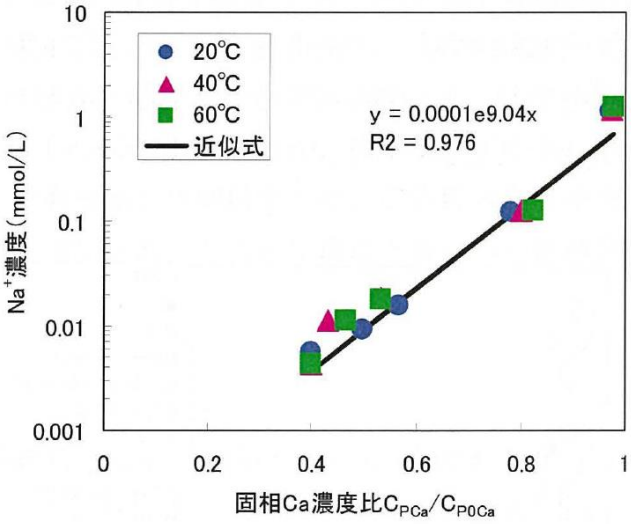


図 2.1-57　C_{pCa}/C_{p0Ca} と Na^+濃度の関係[37]

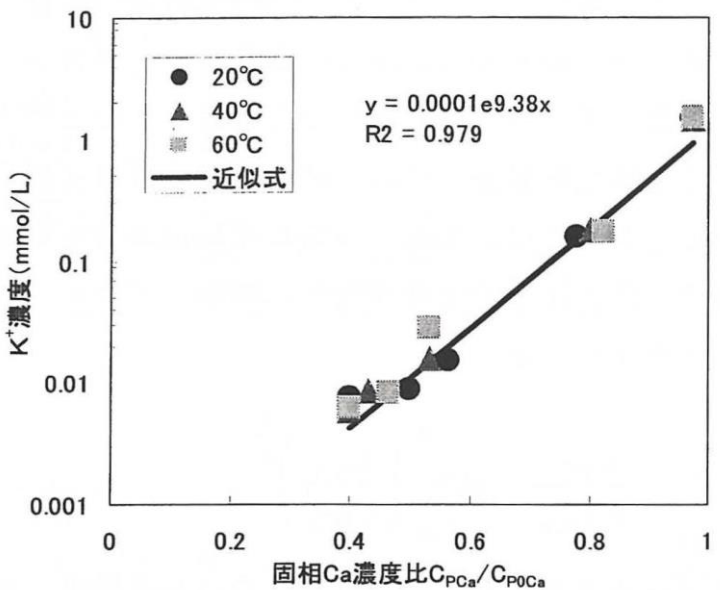


図 2.1-58　C_{pCa}/C_{p0Ca} と K^+濃度の関係[37]

なお、吹付けコンクリートについては、平成 29 年度の試験結果から、図 2.1-59 及び図 2.1-60 に示すように、一般的なコンクリートとは異なるものの、Na+、K+の平衡濃度が固相 Ca 濃度と高い相関があることが確認された。このことから、Na+及び K+の平衡濃度を固相 Ca 濃度の関数として扱っている。

0.97＜ r ≦1 のとき

$$[\mathrm{Na^+}]^* = \frac{(C_{0\mathrm{Na}} - 8.43\times10^{-3})r + (8.43\times10^{-3} - 0.97\cdot C_{0\mathrm{Na}})}{0.03}$$
$$[\mathrm{K^+}]^* = \frac{(C_{0\mathrm{K}} - 3.77\times10^{-3})r + (3.77\times10^{-3} - 0.97\cdot C_{0\mathrm{K}})}{0.03} \quad (2.1\text{-}86)$$

r ≦0.97 のとき

$$[\mathrm{Na^+}]^* = 2\times10^{-11}\cdot\exp(20.474)$$
$$[\mathrm{K^+}]^* = 2\times10^{-11}\cdot\exp(19.643) \quad (2.1\text{-}87)$$

$[Na^+]^*$：Na^+の平衡濃度(mol/L)、$[K^+]^*$：K^+の平衡濃度(mol/L)、r：固相 Ca 濃度(mol/L)／固相 Ca 濃度初期値(－)、C_{0Na}:初期 Na^+濃度(=0.0726mol/L)、C_{0K}:初期 K^+濃度(=0.0374mol/L)

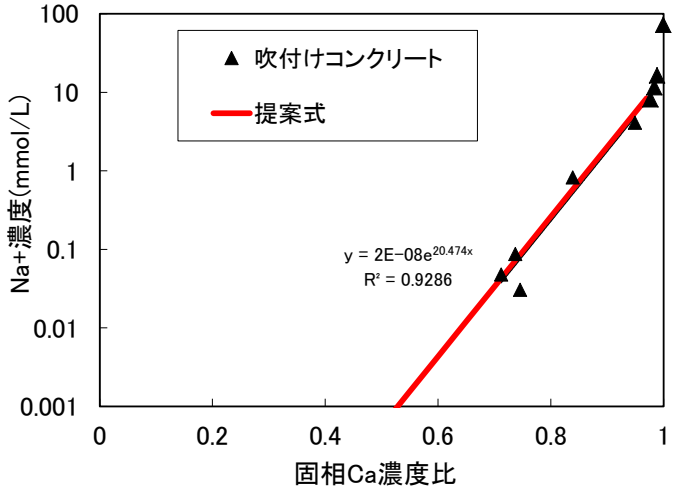


図 2.1-59　吹付けコンクリートにおける C_{pCa}/C_{p0Ca} と Na^+濃度の関係

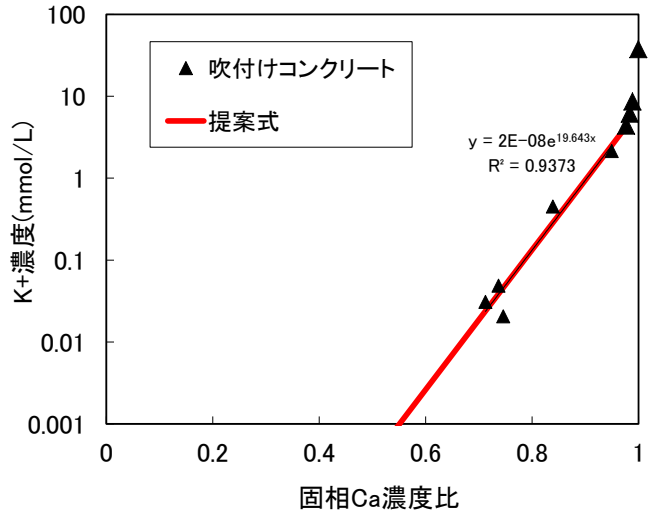


図 2.1-60　吹付けコンクリートにおける C_{pCa}/C_{p0Ca} と K^+濃度の関係

②の段階については、C-S-H の溶出が急激に進行する液相 Ca イオン濃度(C_{1Ca})が 1.5 もしくは 1.0 になる C_{p2Ca} を以下の式で求め、C_{0Ca} から C_{1Ca} へ同式に応じて溶解する固液平衡関係を設定している。

$$C_{\mathrm{p2Ca}} = C_{\mathrm{p0Ca}} \cdot A_{\mathrm{cp1}} \left(\frac{C_{1\mathrm{Ca}}}{C_{0\mathrm{Ca}}}\right)^{1/n} \tag{2.1-88}$$

C_{p2Ca}：C-S-H 溶出が急激に進行する固相カルシウム濃度、C_{p0Ca}：単位ペースト当たりの初期固相カルシウム濃度(mol/L-paste)、C_{p1Ca}:C-S-H 溶出開始時の固相 Ca 濃度(＝A_{cp1}・C_{p0Ca})、A_{cp1}：C-S-H 溶出に関する係数（－）、C_{0Ca}：$Ca(OH)_2$ 溶出時の液相 Ca^{2+}濃度（mmol/L)、C_{1Ca}：C-S-H 溶出が急激に進行する液相 Ca^{2+}濃度、n：C-S-H 溶出に関する係数（－）

③については、液相 Ca イオン濃度が表 2.1-30 における C_{1Ca} 以下になると、固相 Ca 濃度がただちに 0 になるように設定している。

c．化学平衡計算の手法

前掲した①～③の各段階においては、溶液中の Na^+、K^+、Ca^{2+}濃度が固相中に存在する Ca 濃度によって一義的に決まることをモデル化している。これらは、NaOH、KOH、$Ca(OH)_2$、C-S-H の溶解によるものである。LIFE D.N.A.は一般構造物、特に海洋環境下におけるコンクリートの耐久性評価ツールとして開発されたコードであり、上記以外に、海水成分に含まれる、Mg^{2+}、CO_3^{2-}、Cl^-の影響を考慮するために、$Mg(OH)_2$、$CaCO_3$、$CaCl_2$ の発生・消失を化学平衡計算の中に取り入れている。各鉱物の溶解度は標準的な値を用いており、①～③の各段階において、以下の連立方程式を解くことで各イオンの溶液中での存在量ならびに固体に残存する各鉱物量を計算している。

①段階における反応式

$$\mathrm{NAOH} \xrightarrow{X_1} \mathrm{Na^+ + OH^-}$$

$$\mathrm{KOH} \xrightarrow{X_2} \mathrm{K^+ + OH^-}$$

$$\mathrm{CaCl_2} \xleftrightarrow{X_8(\text{可逆})} \mathrm{Ca^{2+} + 2Cl^-}$$

$$\mathrm{Ca(OH)_2} \xrightarrow{X_3} \mathrm{Ca^{2+} + 2OH^-}$$

$$\mathrm{CaCO_3} \xleftrightarrow{X_6(\text{可逆})} \mathrm{Ca^{2+} + {CO_3}^{2-}}$$

$$\mathrm{Mg(OH)_2} \xleftrightarrow{X_7(\text{可逆})} \mathrm{Mg^{2+} + 2OH^-}$$

①段階における各イオン濃度（$[\ ]_0$は反応前の濃度を示す）

$$[\mathrm{Na^+}] = [\mathrm{Na^+}]_0 + X_1$$
$$[\mathrm{K^+}] = [\mathrm{K^+}]_0 + X_2$$
$$[\mathrm{Cl^-}] = [\mathrm{Cl^-}]_0 + 2X_8$$
$$[\mathrm{Ca^{2+}}] = [\mathrm{Ca^{2+}}]_0 + X_8 + X_3 + X_6$$
$$[\mathrm{Mg^{2+}}] = [\mathrm{Mg^{2+}}]_0 + X_7$$
$$[\mathrm{OH^-}] = [\mathrm{OH^-}]_0 + X_1 + X_2 + 2X_3 + 2X_7$$
$$[\mathrm{CO_3{}^{2-}}] = [\mathrm{CO_3{}^{2-}}]_0 + X_6$$

①段階における平衡条件式

$$[\mathrm{Na^+}] = [\mathrm{Na^+}]_0 + X_1$$
$$[\mathrm{K^+}] = [\mathrm{K^+}]_0 + X_2$$
$$[\mathrm{Cl^-}] = [\mathrm{Cl^-}]_0 + 2X_8$$
$$[\mathrm{Ca^{2+}}] \cdot [\mathrm{OH^-}]^2 = ([\mathrm{Ca^{2+}}]_0 + X_8 + X_3 + X_6) \cdot ([\mathrm{OH^-}]_0 + X_1 + X_2 + 2X_3 + 2X_7)^2 = K_{\mathrm{sp1}}$$
$$[\mathrm{Ca^{2+}}] \cdot [\mathrm{CO_3{}^{2-}}] = ([\mathrm{Ca^{2+}}]_0 + X_8 + X_3 + X_6) \cdot \left([\mathrm{CO_3{}^{2-}}]_0 + X_6\right) = K_{\mathrm{sp3}}$$
$$[\mathrm{Mg^{2+}}] \cdot [\mathrm{OH^-}]^2 = ([\mathrm{Mg^{2+}}]_0 + X_7) \cdot ([\mathrm{OH^-}]_0 + X_1 + X_2 + 2X_3 + 2X_7)^2 = K_{\mathrm{sp4}}$$

未知数６ヶ（X_1、 X_2、 X_8、 X_3、 X_6、 X_7）に対し、平衡条件式６ヶ→これを解く。

ここで、$Ca(OH)_2$ の溶解度積 K_{sp1}＝4.15e-5(mol/l)^3、$CaCO_3$ の溶解度積 K_{sp3}= 3.89e-9 (mol/l)^2、$Mg(OH)_2$ の溶解度積 K_{sp4}＝1.90e-11 (mol/l)^3。

②段階における反応式

$$\mathrm{NAOH} \xrightarrow{X_1} \mathrm{Na^+} + \mathrm{OH^-}$$
$$\mathrm{KOH} \xrightarrow{X_2} \mathrm{K^+} + \mathrm{OH^-}$$
$$\mathrm{CaCl_2} \xleftrightarrow{X_8(\text{可逆})} \mathrm{Ca^{2+}} + 2\mathrm{Cl^-}$$
$$m\mathrm{CaO} \cdot \mathrm{SiO_2} \cdot m\mathrm{H_2O} + \mathrm{H_2O} \xrightarrow{X_4} m\mathrm{Ca^{2+}} + 2m\mathrm{OH^-} + r \cdot \mathrm{SiO_{2(sol.)}} + (1-r) \cdot \mathrm{SiO_{2(aq.)}}$$

ここでr：固相 SiO_2残留率

$$\mathrm{CaCO_3} \xleftrightarrow{X_6(\text{可逆})} \mathrm{Ca^{2+}} + \mathrm{CO_3{}^{2-}}$$
$$\mathrm{Mg(OH)_2} \xleftrightarrow{X_7(\text{可逆})} \mathrm{Mg^{2+}} + 2\mathrm{OH^-}$$

②段階における各イオン濃度（$[\ ]_0$ は反応前の濃度を示す）

$[\mathrm{Na^+}] = [\mathrm{Na^+}]_0 + X_1$

$[\mathrm{K^+}] = [\mathrm{K^+}]_0 + X_2$

$[\mathrm{Cl^-}] = [\mathrm{Cl^-}]_0 + 2X_8$

$[\mathrm{Ca^{2+}}] = [\mathrm{Ca^{2+}}]_0 + X_8 + mX_4 + X_6$

$[\mathrm{Mg^{2+}}] = [\mathrm{Mg^{2+}}]_0 + X_7$

$[\mathrm{OH^-}] = [\mathrm{OH^-}]_0 + X_1 + X_2 + 2mX_4 + 2X_7$

$[\mathrm{CO_3}^{2-}] = [\mathrm{CO_3}^{2-}]_0 + X_6$

$[\mathrm{SiO_2}] = [\mathrm{SiO_2}]_0 + X_4$

②段階における平衡条件式

$[\mathrm{Na^+}] = [\mathrm{Na^+}]_0 + X_1 = [\mathrm{Na^+}]^*$

$[\mathrm{K^+}] = [\mathrm{K^+}]_0 + X_2 = [\mathrm{K^+}]^*$

$[\mathrm{Cl^-}] = [\mathrm{Cl^-}]_0 + 2X_8 = [\mathrm{Cl^-}]^*$

$[\mathrm{Ca^{2+}}] = [\mathrm{Ca^{2+}}]_0 + X_8 + mX_4 + X_6 = [\mathrm{Ca^{2+}}]^*$

$[\mathrm{Ca^{2+}}] \cdot [\mathrm{CO_3}^{2-}] = ([\mathrm{Ca^{2+}}]_0 + X_8 + mX_4 + X_6) \cdot \left([\mathrm{CO_3}^{2-}]_0 + X_6\right) = K_{\mathrm{sp3}}$

$[\mathrm{Mg^{2+}}] \cdot [\mathrm{OH^-}]^2 = ([\mathrm{Mg^{2+}}]_0 + X_7) \cdot ([\mathrm{OH^-}]_0 + X_1 + X_2 + 2mX_4 + 2X_7)^2 = K_{\mathrm{sp4}}$

未知数６ヶ（X_1、 X_2、 X_8、 X_4、 X_6、 X_7）に対し、平衡条件式６ヶ→これを解く。

③段階における反応式

$\mathrm{NAOH} \xrightarrow{X_1} \mathrm{Na^+} + \mathrm{OH^-}$

$\mathrm{KOH} \xrightarrow{X_2} \mathrm{K^+} + \mathrm{OH^-}$

$\mathrm{CaCl_2} \xleftrightarrow{X_8(\text{可逆})} \mathrm{Ca^{2+}} + 2\mathrm{Cl^-}$

$\mathrm{CaCO_3} \xleftrightarrow{X_6(\text{可逆})} \mathrm{Ca^{2+}} + \mathrm{CO_3}^{2-}$

$\mathrm{Mg(OH)_2} \xleftrightarrow{X_7(\text{可逆})} \mathrm{Mg^{2+}} + 2\mathrm{OH^-}$

③段階における各イオン濃度（[ ]$_0$は反応前の濃度を示す）

$$[\mathrm{Na^+}] = [\mathrm{Na^+}]_0 + X_1$$
$$[\mathrm{K^+}] = [\mathrm{K^+}]_0 + X_2$$
$$[\mathrm{Cl^-}] = [\mathrm{Cl^-}]_0 + 2X_8$$
$$[\mathrm{Ca^{2+}}] = [\mathrm{Ca^{2+}}]_0 + X_8 + X_6$$
$$[\mathrm{Mg^{2+}}] = [\mathrm{Mg^{2+}}]_0 + X_7$$
$$[\mathrm{OH^-}] = [\mathrm{OH^-}]_0 + X_1 + X_2 + 2X_7$$
$$[\mathrm{CO_3^{2-}}] = [\mathrm{CO_3^{2-}}]_0 + X_6$$

③段階における平衡条件式

$$[\mathrm{Na^+}] = [\mathrm{Na^+}]_0 + X_1 = [\mathrm{Na^+}]^*$$
$$[\mathrm{K^+}] = [\mathrm{K^+}]_0 + X_2 = [\mathrm{K^+}]^*$$
$$[\mathrm{Cl^-}] = [\mathrm{Cl^-}]_0 + 2X_8 = [\mathrm{Cl^-}]^*$$
$$[\mathrm{Ca^{2+}}] \cdot [\mathrm{CO_3^{2-}}] = ([\mathrm{Ca^{2+}}]_0 + X_8 + X_6) \cdot \left([\mathrm{CO_3^{2-}}]_0 + X_6\right) = K_{\mathrm{sp3}}$$
$$[\mathrm{Mg^{2+}}] \cdot [\mathrm{OH^-}]^2 = ([\mathrm{Mg^{2+}}]_0 + X_7) \cdot ([\mathrm{OH^-}]_0 + X_1 + X_2 + 2X_7)^2 = K_{\mathrm{sp4}}$$

未知数５ヶ（X_1、 X_2、 X_8、 X_6、 X_7）に対し、平衡条件式５ヶ→これを解く。

4）化学的変質に伴うセメント系材料の空隙変化のモデル化【A-④】

LIFE D.N.A.では、上述した平衡計算にて得られた結果のうち、固体における鉱物量の変化を、空隙率の変化として以下のようにモデル化している。

$$\theta_{total} = \theta_{gel} + \theta_{cap} + \theta_{leach} \quad (2.1\text{-}89)$$

ここに、θ_{total}：全空隙、θ_{gel}：ゲル空隙、θ_{cap}：キャピラリー空隙、θ_{leach}：溶脱や沈殿によって増減する空隙

θ_{gel}については、T.C.Powers の提唱したモデル[38]を参考に以下の式によって求めた。

$$\theta_{gel} = \frac{0.19 \cdot F}{W/C + 0.32} \quad (2.1\text{-}90)$$

ここに、F：水和度（通常の場合 1）、W/C：水セメント比

θ_{cap}は、既往の研究において得られているモルタル空隙率の実測データ[39]を、水セメント比とモルタル空隙率の関係に整理した式を用いて設定した。同研究では、 OPC+FA（置換率 20%）の配合について検討しており、LIFE D.N.A.では、この関係を LPC+FA と同等と考え、θ_{cap}を算出している。

θ_{cap}＝0.758･W/C-4.670 (2.1-91)

ここで、W/C：水セメント比（%）

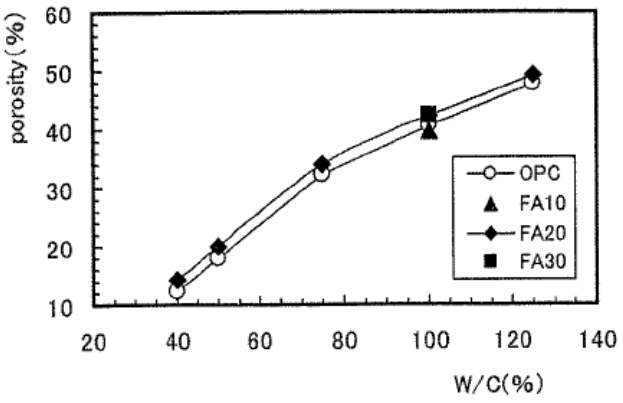


図 2.1-61　W/C と空隙率の関係[39]

θ_{leach} については、前掲した平衡計算によって増減した鉱物のモル体積をもとに以下の式にて算出した。

$$\theta_{leach} = \sum_{i=1}^{nsol} \alpha \cdot Vh_i \cdot (C_{p0i} - C_{pi}) \quad (2.1\text{-}92)$$

ここに、$nsol$: 水和物の総数（種類）、α: 補正係数（通常は 1）、Vh_i: 鉱物 i のモル体積(l/mol)、C_{p0i}：水和物 i のペースト中の濃度初期値(mol/l)、C_{pi}：水和物 i のペースト中の濃度(mol/l)

以上のように、キャピラリー空隙及びゲル空隙は配合から決まり、溶脱や沈殿によって変化する空隙のみが化学的変質に応じて変化するとモデル化している。

5）空隙の変化を伴うセメント系材料の拡散現象のモデル化【A-⑤】

LIFE D.N.A.においては、セメント系材料における拡散係数を、空隙の屈曲や骨材・遷移帯の影響、さらには、前掲した化学的変質に伴う空隙変化を考慮した実効拡散係数として算出している。

$$D_{eff}^{i} = \eta \cdot \beta \cdot f(\theta_{total}) \cdot D_0^i \qquad (2.1\text{-}93)$$

ここに、η：吸着などによる低減係数（通常は 1）、β：骨材の影響による低減係数、$f(\theta_{total})$：空隙の屈曲による低減係数、D_0^i：イオン種 i の水溶液中での拡散係数(m²/s)

上式中のβについては、久田らの既往の研究成果[40]をもとにモデル化し、$f(\theta_{total})$については、Garboczi と Bentz らの研究にて得られた式[41]を用いた。D_0^iは、明確にはイオン種ごとによって異なるが、本検討では、すべて 2×10^{-9}m²/s とした。

$$\beta = \frac{1 - c \cdot G_{vol}}{1 - d \cdot S_{vol}} \cdot P_{vol} \qquad (2.1\text{-}94)$$

ここに、G_{vol}：コンクリート中の粗骨材体積比(m³/m³)、S_{vol}：コンクリート中の細骨材体積比(m³/m³)、P_{vol}：コンクリート中のペースト体積比、c、d：骨材による係数(c=1.5、d=0.86：文献値)

$$f(\theta_{total}) = 0.001 + 0.07\,\theta_{total}^2 \quad (\theta_{total} \leq 0.18) \qquad (2.1\text{-}95)$$

$$f(\theta_{total}) = 0.001 + 0.07\,\theta_{total}^2 + 1.8(\theta_{total} - 0.18)^2 \quad (\theta_{total} > 0.18) \qquad (2.1\text{-}96)$$

なお、上述した拡散係数モデルは普通ポルトランドセメント（OPC）を対象としたモデルである。一方で、今回の解析対象であるセメント系材料には低熱ポルトランドセメント（LPC）とフライアッシュ（FA）の併用材料（LPC+FA）が適用されている部材もある。安田らの検討によって、OPC と FA 混入セメントでは空隙率と拡散係数の関係が異なることが確認されている。このことから、LIFE D.N.A.における拡散係数の初期値が、後述する与条件としての初期拡散係数（10-13m2/s オーダー）と整合するように、η を設定した。

6）ベントナイトの化学的変質ならびに拡散現象のモデル化

ベントナイトについては、Na 型ベントナイトの Ca 型化による空隙の増加、及び、高 pH 領域におけるモンモリロナイトのアナルサイム化をモデル化している。ベントナイトのモデル化について以下に述べる。

a．Na 型ベントナイトの Ca 型化に伴う空隙の変化のモデル化【B-②】

Na型ベントナイトのCa型化に伴う空隙率及び透水係数の変化のモデル化について述べる。土粒子密度試験から求めた Na 型ベントナイト及び Ca 型化ベントナイトの土粒子密度は、それぞれ 2.733t/m^3、2.666t/m^3 と示されている[42]。これにより、それぞれの間隙比は、以下の式で表すことができる。

$$e_0 = \frac{2.733}{\rho_d} - 1$$
$$e_{ap} = \frac{2.666}{\rho_d} - 1 \qquad (2.1\text{-}97)$$

ここで、ρ_d：初期乾燥密度、e_0：Na 型ベントナイトの間隙比

e_{ap}：Ca 型化ベントナイトの見かけの間隙比

これにより、ベントナイトの初期乾燥密度 ρ_d＝1.6t/m^3 とすると、Na 型、Ca 型化それぞれの間隙比は、e_0＝0.708、e_{ap}＝0.666 と算定される。既往の研究にて得られた間隙比と透水係数の関係[42]を図 2.1-62 に示す。同一の間隙比であれば、Na 型よりも Ca 型化したものの方が透水係数は大きくなることが分かる。同試験結果は、以下の式にて定式化されている。

$$k_{Na} = 4.9 \cdot 10^{-13} \cdot e^{2.57}$$
$$k_{Ca} = 1.09 \cdot 10^{-11} \cdot e^{4.70} \qquad (2.1\text{-}98)$$

ここで、k_{Na}：ナトリウムベントナイトの透水係数（m/s）

k_{Ca}：カルシウムベントナイトの透水係数（m/s）

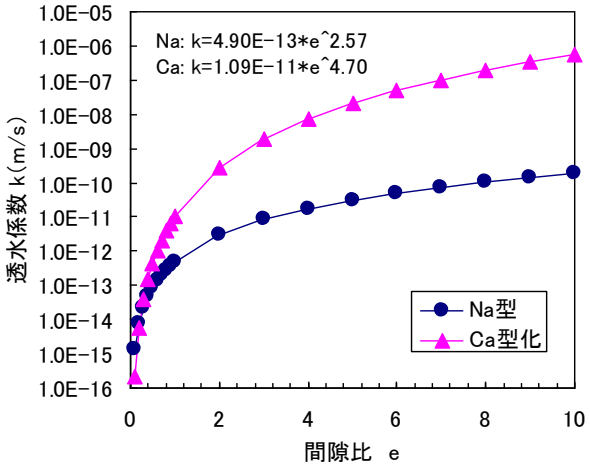


図 2.1-62　間隙比と透水係数の関係[42]

間隙比 e が Ca 型化ベントナイトの見かけの間隙比 e_{ap} であるときの Ca 型化ベントナイトの透水係数 k_{Ca}、及び、Na 型ベントナイトの透水係数 k_{Na} は以下の式で表すことができる。

$$k_{Ca} = 1.09 \cdot 10^{-11} \cdot e_{ap}{}^{4.70} \qquad (2.1\text{-}99)$$

$$k_{Na} = 4.9 \cdot 10^{-13} \cdot e_0{}^{2.57} \qquad (2.1\text{-}100)$$

前述のベントナイト乾燥密度 $\rho_d = 1.6 t/m^3$ とした場合、上述した k_{Ca} ならびに k_{Na} は表 2.1-31 に示すとおりとなる。Na 型ベントナイトは、Ca 型化することにより 10 倍程度透水係数が増加する結果となった。しかしながら、間隙比が小さくなって透水係数が増加するという現象は物理的に説明が困難であり、実質的には空隙が多くなっているとみるのが自然である。ベントナイトの空隙には、一般的にモンモリロナイトやスメクタイトの結晶の層間に層間水を持つとともに、粒子間のいわゆる空隙が存在すると言われている。間隙比は液相体積を固相体積で除したものであり、以下の式で表される。全体の体積が変わらないとすれば、間隙比が小さくなるには、液相部分が少なくなって固相部分が多くなる必要がある。

表 2.1-31　透水係数算定結果

	Na 型ベントナイト	Ca 型化ベントナイト
間隙比	$e_0 = 0.708$	$e_{ap} = 0.666$
透水係数（m/s）	2.02×10^{-13}	1.61×10^{-12}

$$e = \frac{V_v}{V_s} \tag{2.1-101}$$

ここで、V_v：液相（空隙）体積、V_s：固相体積

すなわち、あくまでも仮定であるが、Ca 型化によって層間空隙が小さくなり、見かけ上の間隙比は小さくなるが、実際には粒子間の空隙が多くなって全体としての間隙比は大きくなっていると考えられる。したがって、Na 型ベントナイトの透水係数が、Ca 型化ベントナイトの透水係数と同じ値となるときの間隙比が、Ca 型化ベントナイトの間隙比であると考えることとした。実際の Ca 型化ベントナイトの間隙比算定式を示す。

$$4.9 \cdot 10^{-13} \cdot {e_{100}}^{2.57} = 1.09 \cdot 10^{-11} \cdot {e_{ap}}^{4.70} \tag{2.1-102}$$

ここで、e_{100}：Ca 型化ベントナイトの実際の間隙比

この Ca 型化ベントナイトの実際の間隙比 e_{100} を用いて空隙率を以下の式により算出した。算定結果を表 2.1-32 に示す。これにより、Na 型ベントナイトは、空隙率 0.415 であったものが、Ca 型化することにより空隙率が 0.614 と大きくなることが推定された。

$$\theta_0 = \frac{e_0}{1+e_0}$$
$$\theta_{100} = \frac{e_{100}}{1+e_{100}} \tag{2.1-103}$$

ここで、θ_0：Na 型ベントナイトの空隙率

θ_{100}：Ca 型化ベントナイトの実際の空隙率

表 2.1-32　間隙比・空隙率・透水係数算定結果

	Na 型ベントナイト	Ca 型化ベントナイト	
間隙比	e_0＝0.708	e_{ap}＝0.666	e_{100}＝1.59
透水係数（m/s）	$2.0*10^{-13}$	$1.6*10^{-12}$	
間隙比と透水係数の関係式	Na 型式	Ca 型式	Na 型式
空隙率	0.415	0.400	0.614

以上を踏まえて、Na 型ベントナイトが Ca を吸着し、Ca 型化ベントナイトになることで空隙率が増加し、それに伴って透水係数が増加することを仮定した。ここで、Na 型ベントナイトの Ca 吸着による空隙率の増大には、「Ca 吸着容量」という概念を用いた。これは、Na 型ベントナイトがイオン交換、化学的吸着等によって Ca を吸着できる容量を示しており、以下のように設定した。

既往の実験[42]において、健全な Na 型ベントナイトに含まれる Ca イオン量は 45.9meq/100g であるのに対して、100%Ca 型化した Ca 型化ベントナイトに含まれる Ca イオン量は 97.4meq/100g と増加する。ここで、ベントナイトの乾燥密度を 1.6t/m^3 とし

た場合、Na 型及び Ca 型のベントナイト中に含まれる Ca 量はそれぞれ 734meq/l-bentonite、1,558meq/l-bentonite となり、両者の差、1,558 − 734 = 824meq/l-bentonite (412mmol/l-bentonite)の Ca がコンクリートから侵入するとベントナイトは Ca 吸着率 100%となると考えられる。したがって、セメント系材料などから溶出した Ca イオン量に応じて、ベントナイトの Ca 吸着率を以下の式のように表すこととする。

$$CC = \frac{C}{C'} \tag{2.1-104}$$

ここで、C：セメント系材料から移行する Ca 量（mmol/l-bentonite）
CC：ベントナイトの Ca 吸着率（≦1.0）、
C'：ベントナイトの Ca 吸着容量（mmol/l-bentonite）

Ca 吸着率 CC をパラメータにして空隙率を算定すると、以下の式が得られる。これにより、Ca 吸着率に応じた空隙率の算定が可能になる。

$$\theta_{ben} = \theta_0 + (\theta_{100} - \theta_0) \cdot CC \tag{2.1-105}$$

b. ベントナイトの変質のモデル化【B-②】

ベントナイトにおける固相中の Ca 濃度がモデル内で設定した Ca 吸着容量以下の時は、以下の 2 つの反応を考慮することとした。また、固相中の Ca 濃度が Ca 吸着容量を超えた時は、これらの反応はストップすることとした。なお、本検討におけるベントナイトの Ca 吸着容量は過去の研究成果[42]から 412mmol/L と設定した。

① Na^+、Ca^{2+}の交換反応

液相中の Ca2+が固相中に取り込まれ、代わりに固相中の 2Na+が液相中に溶出する。この反応はベントナイトの Ca イオン交換量が吸着容量に達するまで行われる。また、ベントナイトが Na 型から Ca 型へ変化すること（Ca 型化）に伴う空隙率の変化も考慮している。

② Na^+、OH^-の消費反応

pH がある値（ここでは 11）を超えた場合、モンモリロナイトがアナルサイムへと変質することによる液相中の Na+、OH－の消費反応が起きる[42]。なお、この反応によって液相中の Mg2+、Si(OH)5－は変化しないものとする。

$$Na_2Mg_2Al_{10}Si_{24}O_{60}(OH)_{12} + 8Na^+ + 8OH^- \rightarrow 10NaAlSiH_2O_7 + 2Mg^{2+} + 4Si(OH)_5{}^- - 10H_2O \tag{2.1-106}$$

c．ベントナイトの変質に伴う拡散係数の変化のモデル化【B-③】

ベントナイトの拡散係数は、既往の研究にて検討されているトリチウムの拡散係数として以下の式を用いている[43]。また、ベントナイトの Ca 吸着による拡散係数の変化は、以下の式中の θ に前掲した空隙率を代入することによって求めるものとする。

本検討では、初期拡散係数を定数で与えることから、初期拡散係数が同式に示される値と同一になるように、拡散係数の低減係数 η にて調整することとした。

$$D_e = (4\times10^{-9})\times\theta\times\theta^{\left(2.22\ \ fs^{0.13}\right)}\times\eta \qquad (2.1\text{-}107)$$

ここに、 fs：スメクタイト含有率（－）、 θ ：空隙率（－）、 η ：低減係数

7）LIFE D.N.A.で考慮している岩盤の拡散現象のモデル化【C】

岩盤に関しては、化学的変質は考慮しておらず、初期に与えた拡散係数がそのまま変化しないこととしている。また、前述のとおり、LIFE D.N.A.は流れの比較的緩やかな領域における解析を対象としているため、割れ目によって生じる分散現象は考慮していない。

8）LIFE D.N.A.における移流項の取り扱い

LIFE D.N.A.においては、移流成分は水の質量保存則を考慮しつつ、ダルシー則に従って計算している。各材料における透水係数は次項に示すように設定している。

$$V_d = k \cdot i \qquad (2.1\text{-}108)$$

V_d：ダルシー流速(m/s)

k：各材料の透水係数(m/s)

i ：動水勾配(－)

a．コンクリートの透水係数

コンクリートにおける透水係数は、安田らの式を用いて以下のように表現した。すなわち、溶脱等の影響による空隙率の変化に応じて、透水係数が変化するモデルとなっている。

$$k_{cem}=10^{(k1+k2\cdot\log\theta)} \qquad (2.1\text{-}109)$$

k_{cem}：ペースト基準の透水係数(m/s)

θ：ペースト基準の θ_{total}(%)

k1、k2：入力値（図 2.1-63 参照）

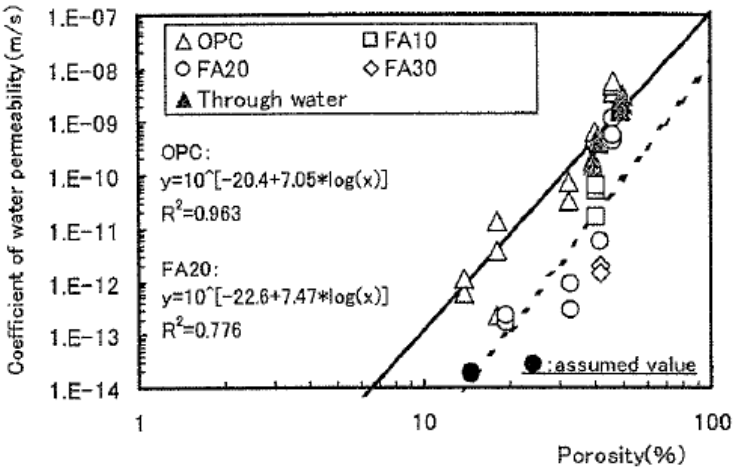


図 2.1-63　空隙率と透水係数の関係[39]

b．ベントナイトの透水係数

ベントナイトにおける透水係数は、前掲のとおり、以下の式を用いて表現した。すなわち、Na 型ベントナイトの Ca 型化の影響による空隙率の変化に応じて、透水係数が変化するモデルとなっている。

$$k_{ben}=4.9\cdot10^{-13}\cdot e^{2.57} \qquad (2.1\text{-}110)$$

k_{ben}：ベントナイトの透水係数(m/s)

e：間隙比　$e=\theta/(1-\theta)$

c．岩盤の透水係数

岩盤に関しては、化学的変質は考慮しておらず、初期に与えた透水係数がそのまま変化しないこととしている。

d．解析領域全体の透水係数及びダルシー流速の算出方法

図のように透水係数、長さがそれぞれ k_1,l_1 と k_2,l_2 の２つの領域が直列につながったモデルを考える。両端の水頭値は h_1,h_2 とする。

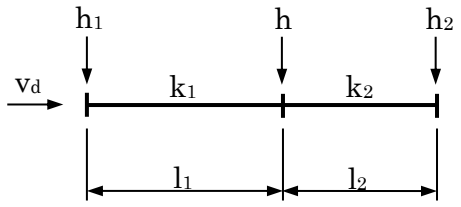


図 2.1-64　透水係数算定のためのモデル

ダルシー流速（定常流）を v_d とすると、質量保存則より v_d はどの位置でも同じとなることから、

$$v_d = k_1 \cdot \frac{h_1 - h}{l_1} = k_2 \cdot \frac{h - h_2}{l_2} \tag{2.1-111}$$

未知の水頭値 h を上式から求めると、h は以下のように求められる。

$$h = \frac{k_1 \cdot h_1 \cdot l_2 + k_2 \cdot h_2 \cdot l_1}{k_1 \cdot l_2 + k_2 \cdot l_1} \tag{2.1-112}$$

これを v_d の式に代入して

$$\begin{aligned} v_d &= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot (l_1 + l_2)}{k_1 \cdot l_2 + k_2 \cdot l_1} \cdot \frac{h_2 - h_1}{l_1 + l_2} \\ &= k \cdot \frac{h_2 - h_1}{l_1 + l_2} \end{aligned} \tag{2.1-113}$$

よって、この水路全体の透水係数 k は

$$k = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot (l_1 + l_2)}{k_1 \cdot l_2 + k_2 \cdot l_1} \tag{2.1-114}$$

となる。すなわち、以下のような関係が成り立つ。

$$\frac{l_1 + l_2}{k} = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} \tag{2.1-115}$$

同様にして n 個の領域から成り立つ水路では、以下の式のようになる。

$$\frac{l}{k} = \sum_{i=1}^{n} \frac{l_i}{k_i} \qquad (l : \text{水路全長}) \tag{2.1-116}$$

ダルシー流速は、以下の式で表される。

$$v_d = k \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

v_d : ダルシー流速 $(m/\sec)$

Δh : 水路両端の水頭差 (m) (2.1-117)

ただし、ひび割れ部の透水係数は３乗則により以下のように算出する。

$$k = \begin{cases} 8.84 \cdot 10^4 \cdot w^2 & (w \le 5 \cdot 10^{-4}) \\ 8.84 \cdot 10^4 \cdot (5 \cdot 10^{-4})^2 = 2.21 \cdot 10^{-2} & (w > 5 \cdot 10^{-4}) \end{cases}$$

k ： ひび割れ部の透水係数 $(m/\sec)$

w : ひび割れ幅 (m) (2.1-118)

(5) 解析概要

1) 入力条件

a. 地下水組成

各ケースにおける岩盤中の地下水組成を表 2.1-33 に示す。降水系地下水は、既往の文献[44]、[45]を参考に設定した。

表 2.1-33 地下水組成

区分	pH	Na^+	K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}
軽石 凝灰岩	8.5	0.77	0.03	0.125	0.14	0.155	0.44	0.62

イオン濃度の単位は mmol/l

表 2.1-34 六ケ所村の試験空洞設置深度付近における水質分析結果一覧[45]

区分	水素イオン濃度 pH	酸化還元電位 Eh (mV)	ナトリウムイオン Na^+ (mg/l)	カリウムイオン K^+ (mg/l)	カルシウムイオン Ca^{2+} (mg/l)	マグネシウムイオン Mg^{2+} (mg/l)	炭酸水素イオン HCO_3^- (mg/l)	炭酸イオン CO_3^{2-} (mg/l)	硫酸イオン SO_4^{2-} (mg/l)	塩化物イオン Cl^- (mg/l)
軽石混り砂岩層	8.9～9.5	−224～−24	28～31	1.4～1.6	0.1～0.5	0.1～0.2	30～37	3.6～11	7.8～13	13～16
軽石凝灰岩層	8.3～8.7	−106～−79	17～19	0.8～1.1	4.6～11	1.5～4.8	37～40	0～1.2	12～16	11～18

注）水質分析結果は試験空洞設置深度付近のデータ

b. 岩盤物性及び動水勾配

岩盤に関する物性値を表 2.1-35 に示す。拡散係数は、間隙率 10%以上の岩盤（間隙率 20%程度の伊豆の凝灰岩）を対象としたヨウ素イオンについての実測値 1.0×10^{-10} (m^2/s) が存在する（図 2.1-65）[46]。一方、既往の文献[47]では、図 2.1-66 に示すように凝灰岩の間隙率が 10～60%の範囲に幅広く分布していることを考慮して、本解析では、岩盤の拡散係数を自由水中のイオンの拡散係数である 2.0×10^{-9}（m^2/s）とした。

また、透水係数は、軽石凝灰岩を対象としたボーリング孔において実施された原位置透水試験にて得られた透水係数（図 2.1-67）をもとに、2×10^{-8}m/s と設定した。

基本ケースにおける動水勾配は既往の研究[48]を参考に、0.07m/m とした。

表 2.1-35　岩盤に関する物性値

項目	単位	岩盤
拡散係数	m^2/s	2×10^{-9}
透水係数	m/s	2×10^{-8}
動水勾配 （流れの向き）	m/m	0.07

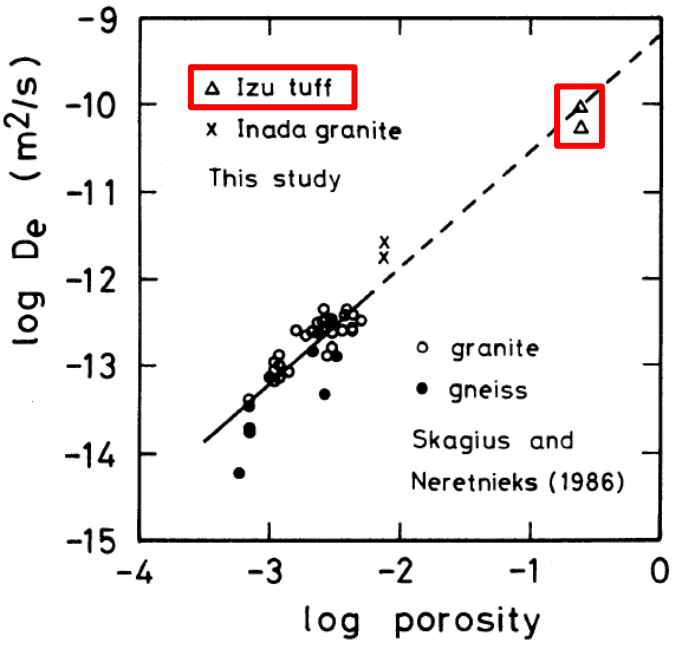


図 2.1-65　有効拡散係数と有効間隙率との関係[46]

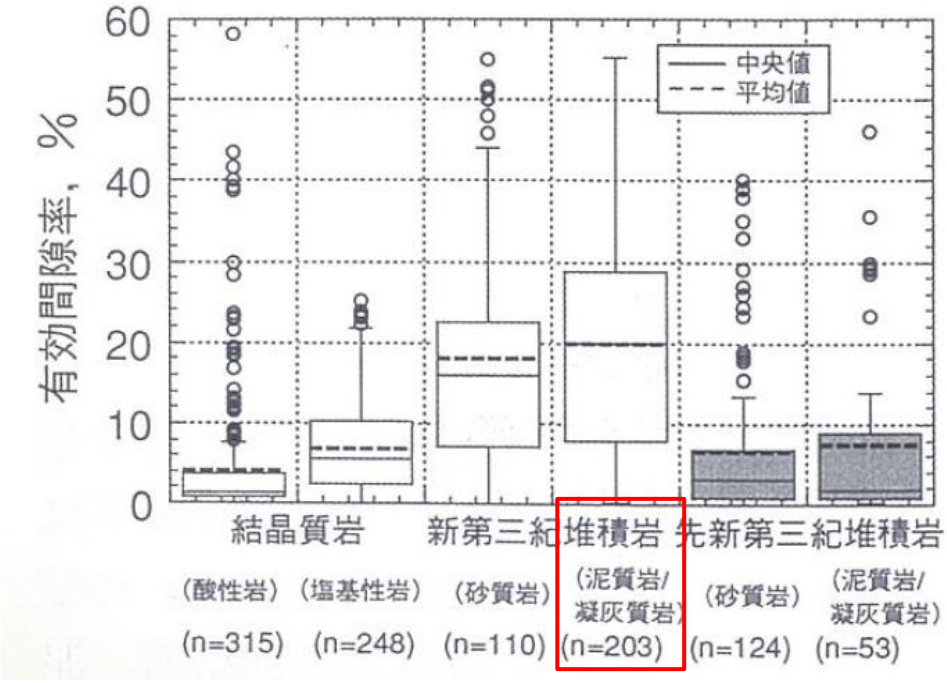


図 2.1-66　岩盤の有効間隙率に関するデータ[47]

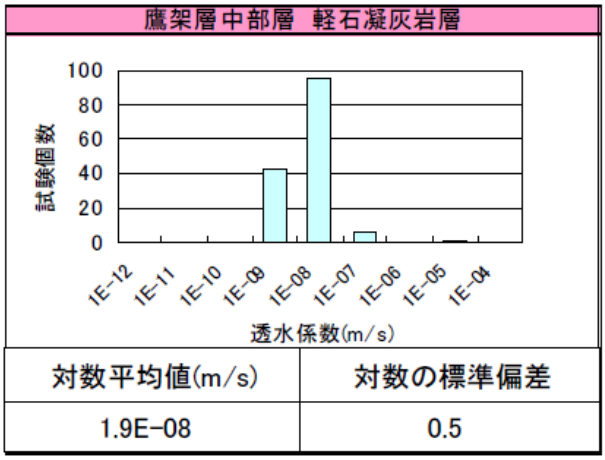


図 2.1-67　軽石凝灰岩を対象とした原位置透水試験から得られた透水係数[44]

2) セメント系人工バリア

a. 材料

セメント系人工バリアの各部材における概要を表 2.1-36 に、検討に用いた使用材料の条件を表 2.1-37 にそれぞれ示す。また、セメント及びフライアッシュの化学成分は表 2.1-38 に示すとおりとした。

表 2.1-36 セメント系人工バリアの概要一覧

部材名	吹付け コンクリート	セメント系 埋戻し材	低拡散層	コンクリート ピット
種類	コンクリート		モルタル	コンクリート
結合材種類	OPC	LPC+FA		
水セメント比	0.45			

表 2.1-37 セメント系人工バリアの構成材料

材料	記号	摘要
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント、密度=3.16g/cm^3
	LPC	低熱ポルトランドセメント、密度=3.22g/cm^3
細骨材	S	石灰細砂、密度=2.68g/cm^3
粗骨材	G	石灰砕石、密度=2.71g/cm^3
混和材	LEX	膨張材、密度=3.15g/cm^3
	LS	石灰石微粉末、密度=2.71g/cm^3
	FA	フライアッシュⅡ種、密度=2.25g/cm^3

表 2.1-38 セメント及びフライアッシュの化学成分

結合材種類		化学成分量（%）		
		CaO	Na_2O	K_2O
OPC	OPC	64.17	0.28	0.42
LPC+FA	LPC	63.54	0.13	0.35
	FA	3.72	0.83	1.64

b. 配合

コンクリートピット及びセメント系埋戻し材の配合を表 2.1-39 に、吹付けコンクリートの配合を表 2.1-40 に、低拡散層の配合を表 2.1-41 にそれぞれ示す。

表 2.1-39　コンクリートの配合（コンクリートピット、セメント系埋戻し材）

W/B (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量（kg/m³）						
			W	B			LS	S	G
				LPC	FA	LEX			
45.0	51.5	2.5	160	229	107	20	249	832	786

表 2.1-40　コンクリートの配合（吹付けコンクリート）

W/B (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量（kg/m³）			
			W	OPC	S	G
45.0	60.0	3.0	202	449	972	643

表 2.1-41　モルタルの配合（低拡散層）

W/B (%)	空気量 (%)	単位量（kg/m³）					
		W	B			LS	S
			LPC	FA	LEX		
45.0	2.5	230	338	153	20	307	1223

c．解析における設定値

セメント系材料における設定値を表 2.1-42 に示す。低拡散層、コンクリートピットについて、既往の検討[49]で取得されている拡散係数はいずれも $1\times10^{-13}m^2/s$ 程度であるが、コンクリートピットについては粗骨材を含むことから、ブリーディング等の影響で場所によっては拡散係数が大きくなる場合を鑑み、低拡散層よりもやや大きめの拡散係数として $5\times10^{-13}m^2/s$ を設定した。セメント系埋戻し材については、コンクリートピットと同じ配合としていることから、同じ拡散係数を用いることとした。

透水係数についても同様に、低拡散層を対象として 10^{-14}～$10^{-15}m/s$ が取得されているが、インプット法に基づく透水係数の不確実性を考慮して、$1\times10^{-13}m/s$ とし、コンクリートピットならびにセメント系埋戻し材はその 5 倍と設定した。

表 2.1-42　セメント系材料の設定値

部材名	吹付け コンクリート	セメント系 埋戻し材	低拡散層	コンクリート ピット
初期拡散係数 (m^2/s)	5×10^{-12}	5×10^{-13}	1×10^{-13}	5×10^{-13}
初期透水係数 (m/s)	1×10^{-8}	5×10^{-13}	1×10^{-13}	5×10^{-13}
初期 pH	13.5	13.3		

表 2.1-43　低拡散層及びコンクリートピットの拡散係数[49]

供試体種類		カラム厚さ (mm)	試験期間/最終材齢 (月)	空隙率 (%)	連続空隙率 (%)	実効拡散係数 De (m^2/s)
室内試験 基本配合 (空気量:2.5% W/B:45%)	1	5	12 / 15	14.0	6.0	3.3×10^{-13}
	2	5	12 / 15			3.4×10^{-13}
	3	5	12 / 15			3.4×10^{-13}
	4	5	12 / 15			3.2×10^{-13}
	1-2	10	22 / 25	16.6	7.8	1.9×10^{-13}
	1-3-1	5	14 / 24	14.1	5.1	2.3×10^{-13}
	1-3-2	5	14 / 24			2.6×10^{-13}
	1-4	10	27 / 37	13.9	5.2	1.7×10^{-13}
室内試験 変動配合	空気量 4%	5	12 / 15	15.0	5.8	3.6×10^{-13}
	空気量 6%	5	12 / 15	16.8	6.2	3.4×10^{-13}
	W/B:50%	5	12 / 15	15.1	6.5	3.9×10^{-13}
室内試験 高空隙率	W/B:60%	5	10 / 13	20.3	7.6	4.3×10^{-13}
	W/B:75%	5	10 / 13	21.3	9.3	5.1×10^{-13}
	W/B:90%	5	1 / 4	23.7	---	8.0×10^{-12}
底部 低拡散材	現場(前)	10	23 / 26	15.2	6.7	1.5×10^{-13}
	現場(中)	10	23 / 26	15.4	7.5	1.6×10^{-13}
	現場(奥)	10	23 / 26	15.1	7.0	1.6×10^{-13}
	室内製作	10	24 / 27	14.5	5.4	1.9×10^{-13}
側部 低拡散材	現場(上)	10	24 / 29	14.0	6.1	1.3×10^{-13}
	現場(中)	10	24 / 29	15.6	6.9	1.1×10^{-13}
	現場(下)	10	24 / 29	15.1	6.1	1.6×10^{-13}
手前部 コンクリートピット	現場(C1)	10	13.5 / 36	12.6	5.7	1.3×10^{-13}
	現場(C2)	10	13.5 / 36			1.8×10^{-13}
	現場(C3)	10	13.5/ 36			1.2×10^{-13}

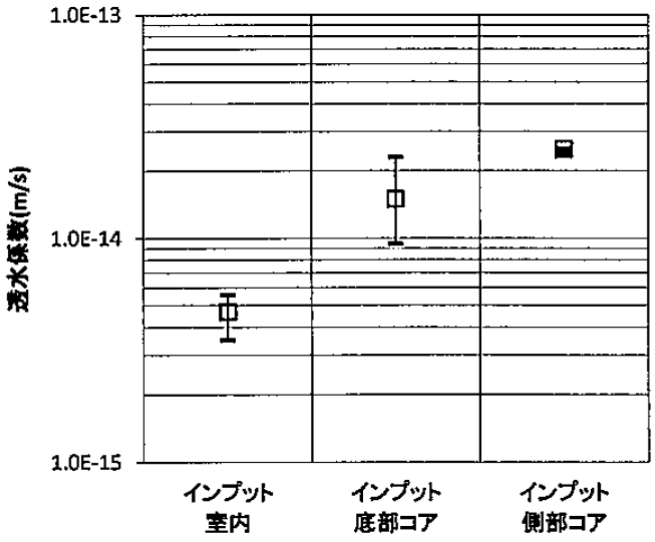


図 2.1-68　低拡散層における透水係数の測定結果[49]

吹付けコンクリートの拡散係数については、既往の研究[39]をもとに、普通ポルトランドセメント（OPC）を用いた水セメント比 W/C=45%のモルタルの空隙率が図 2.1-69 より 15%程度であることを鑑み、図 2.1-70 より $5\times10^{-12}m^2/s$ と設定した。

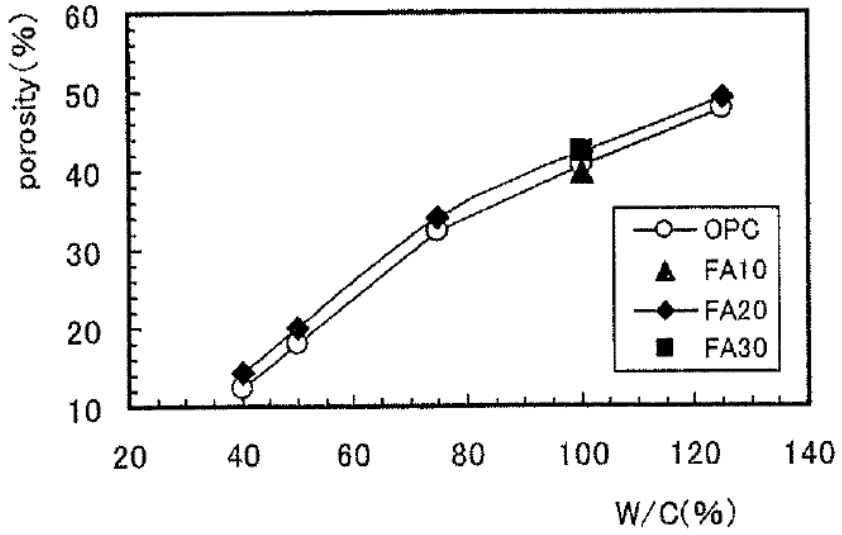


図 2.1-69　水セメント比 W/C と空隙率の関係[39]

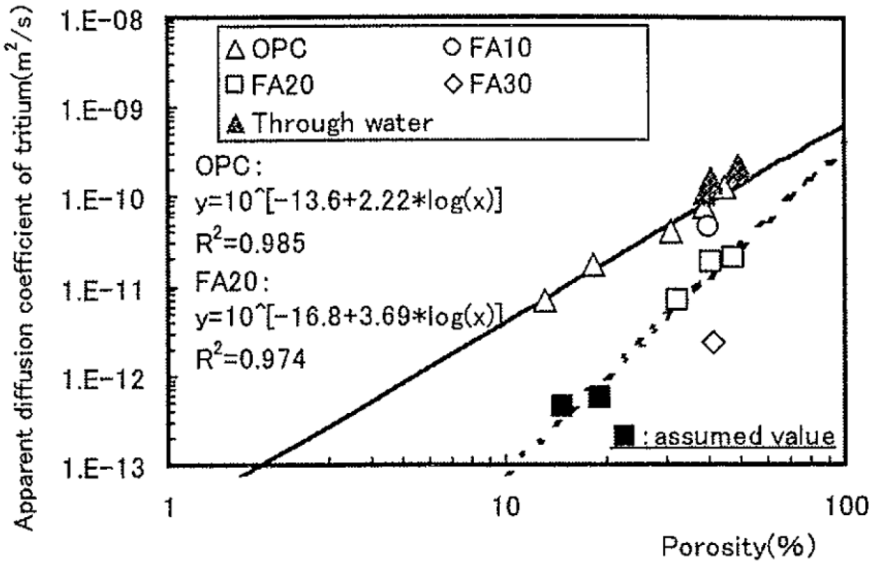


図 2.1-70　空隙率と拡散係数の関係[39]

吹付けコンクリートの透水係数については、既往の研究[39]をもとに、空隙率が 15%程度におけるモルタル自体の透水係数を、図 2.1-71 より 1×10^{-12}m²/s と設定した。なお、ここで算出できるのはモルタルが健全な状態における透水係数であるが、模擬処分空洞においては吹付けコンクリートにおいて鋼製支保工（1m 間隔）に沿ったひび割れからの漏水が多数確認されている。このことから、ひび割れを考慮した透水係数を設定することとした。

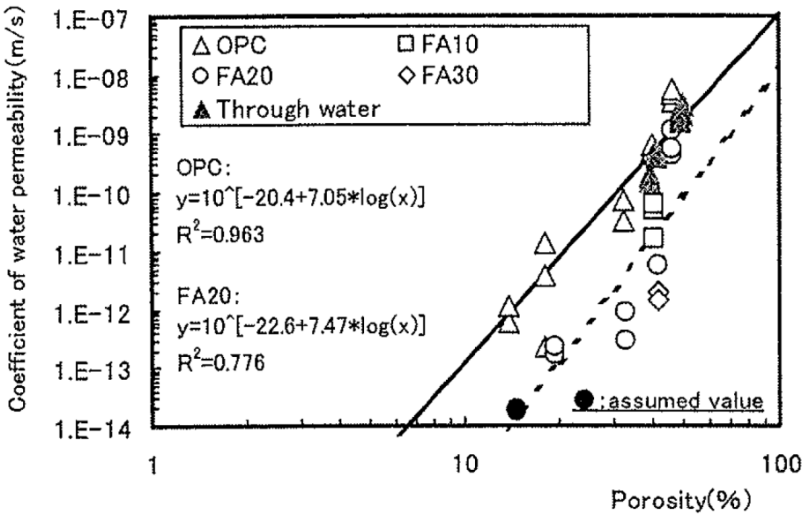


図 2.1-71　空隙率と透水係数の関係[39]

土木学会が刊行している『余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行パラメータ設定の考え方（2008)』では、透水量がひび割れ幅の 3 乗に比例して大きくなることを定式化している。

$$Q_{cjd}=\frac{\gamma_w}{12a\mu_w}bw^3\frac{h}{L} \qquad (2.1\text{-}119)$$

Q_{cjd}：透水量の設計値（m³/s）、w：ひび割れ幅（m）、b：照査対象部分のひび割れ長さ（m）、h：構造物内面と外面の水頭差（m）、L：設計断面厚さ（m）、γ_w：水の単位重量（=9180N/m³）、μ_w：水の粘性係数（=0.001002Ns/m²）、a：ひび割れの内部での曲がりやひび割れの表面の粗さの影響を考慮する係数（一般的に 25）

ここで、ダルシ―則より以下の式を展開する。

$$Q_{cjd}=k_w\cdot i\cdot A \qquad (2.1\text{-}120)$$

k_w：ひび割れ部の透水係数（m/s）、i：動水勾配（=h/L）、A：ひび割れ部の面積（＝bw）

上述した式より、ひび割れ部の透水係数 k_w は以下の式で表されることとなり、ひび割れ幅によって一義的に決定される。

$$k_w = \gamma_w / (12a\mu_w) \times w^2 \qquad (2.1\text{-}121)$$

ここで、現地の吹付けコンクリートのひび割れは、鋼製支保工の間隔である 1m ピッチで 0.1mm 程度のものが入っていることから、上式の w に 0.1mm を代入すると、ひび割れ部の透水係数 k_w は 3.26×10^{-4}m/s と算出される。なお、ひび割れ部の面積比率は 0.1mm／1000mm＝0.0001 となる。

以上のことを踏まえて、健全部の透水係数とひび割れ部の透水係数を面積平均した等価透水係数 k は以下の式にて導出した。本検討では、同計算結果を丸めて、吹付けコンクリートの透水係数を 1×10^{-8}m/s と設定した。

$$k = (3.26\times10^{-4}\times0.0001)+(1\times10^{-12}\times0.9999) \fallingdotseq 3.26\times10^{-8}\text{m/s} \qquad (2.1\text{-}122)$$

d. ベントナイト系人工バリア

ベントナイト間隙水中の化学成分は、既往の文献[47]に示されているデータを用い、表 2.1-44 のとおり設定した。

表 2.1-44　ベントナイト間隙水のイオン組成

水質（mmol/L）	Ca^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	CO_3^{2-}	pH
ベントナイト間隙水	0.053	28.0	0.12	0.0042	0.10	0.015	16.0	8.4

ベントナイト系材料の設定値を表 2.1-45 に示す。拡散係数については、既往の研究[50]にて表 2.1-46 が示されており、トリチウム HTO の拡散係数 1×10-10m2/s が得られていることから、同値を設定した。上部埋戻し材については、ベントナイト混合率 15%の覆土を想定した。岩盤の拡散係数を自由水相当の 2×10-9m2/s と設定していることから、岩盤と同値として、2×10-9m2/s と設定した。

低透水層の透水係数については、既往の検討におけるベントナイトの施工時初期性能[49]として与えられている 5×10-13m/s を設定した。上部埋戻し材の透水係数については、ベントナイト 15%混合土を対象とした既往の検討[51]において 10-11～10-12m/s のオーダーが得られており、これらの数値を鑑みて、5×10-11m/s と設定した。

表 2.1-45　ベントナイト系材料の設定値

部材名	低透水層	上部埋戻し材
初期拡散係数 (m^2/s)	1×10^{-10}	2×10^{-9}
初期透水係数 (m/s)	5×10^{-13}	5×10^{-11}

表 2.1-46　ベントナイト定常拡散試験　実効拡散係数一覧【50】

核種	液相	固相	供試体寸法	乾燥密度 (g/cm^3)	固相質量 (g)	実効拡散係数 (m^2/s)
H-3	トリチウム水（イオン交換水）	クニゲル GX	20mmΦ × 10mmL	1.5	5.052	1.18×10^{-10}
					5.049	1.21×10^{-10}
				1.6	5.390	1.22×10^{-10}
					5.393	1.22×10^{-10}

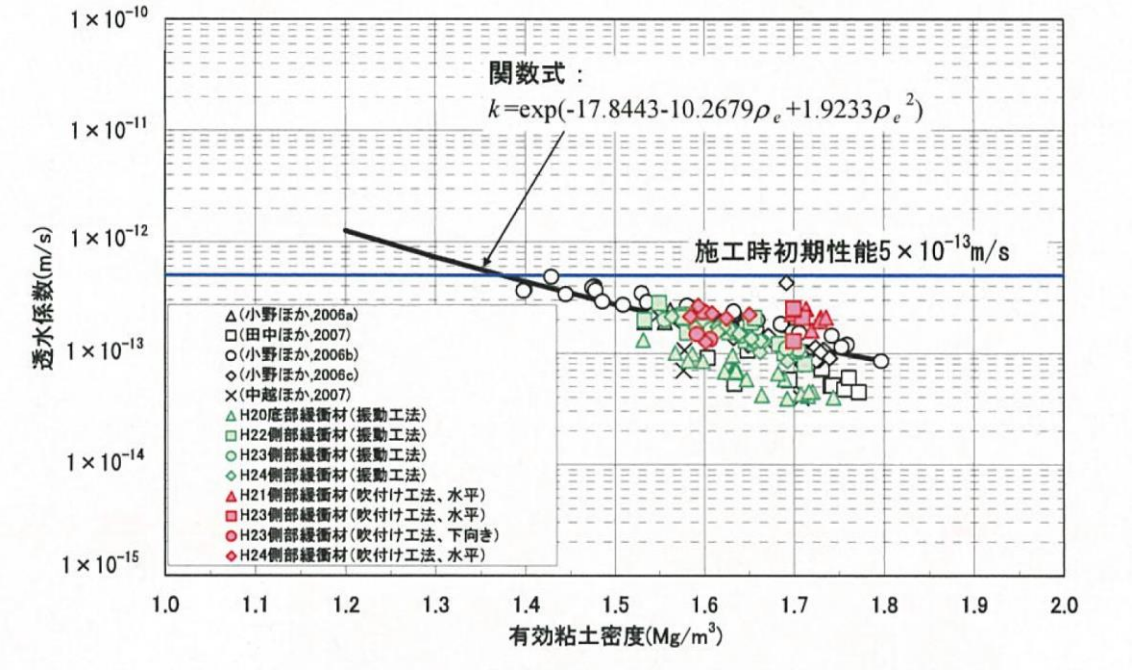


図 2.1-72　ベントナイトの有効粘土密度と透水係数の関係[49]

表 2.1-47　ベントナイト混合土の透水試験結果[51]

試験ケース		施工方法	初期含水比 (%)	初期乾燥密度 (Mg/m^3)	ベントナイト混合率 (%)	透水係数 (m/s)
室内成型	PE_10-1	－	14.8	1.715	10.3	4.43×10^{-10}
	PE_10-2	－	14.8	1.715	10.5	1.69×10^{-10}
	PE_10-3	－	14.8	1.715	10.1	1.53×10^{-10}
	PE_15-1	－	14.7	1.715	15.4	8.79×10^{-12}
	PE_15-2	－	14.7	1.715	15.5	8.10×10^{-12}
	PE_15-3	－	14.7	1.715	15.1	2.53×10^{-11}
	PE_20-1	－	14.6	1.715	20.3	5.00×10^{-12}
	PE_20-2	－	14.6	1.715	20.5	4.51×10^{-12}
	PE_20-3	－	14.6	1.715	20.1	6.10×10^{-12}
現場施工	PE_C1-1	転圧	12.8	1.626	15.1	7.43×10^{-11}
	PE_C1-2	転圧	12.8	1.669	15.0	1.81×10^{-11}
	PE_C1-3	転圧	12.3	1.635	15.0	7.43×10^{-11}
	PE_C2-1	吹付け	14.0	1.614	16.8	1.75×10^{-11}
	PE_C2-2	吹付け	13.5	1.561	16.5	2.00×10^{-11}
	PE_C2-3	吹付け	13.6	1.611	16.3	2.01×10^{-11}

3）アウトプット項目

アウトプットの項目を表 2.1-48 に示す。セメント系材料の固相水和物の化学的変質の変遷を評価しつつ、pH や各種イオンの濃度分布の変遷を出力することとした。

表 2.1-48　アウトプット項目

項目	時刻
固相水和物濃度	0 年、10 年、20 年、50 年、100 年、400 年
pH	
液相イオン濃度	

(6) 解析結果

1) ケース 1（リファレンス）

ケース 1 における 100 年後及び 400 年後の pH 分布を図 2.1-73～図 2.1-75 に示す。動水勾配の影響によって下流側に高 pH 領域が拡大しているものの、400 年後において地下水中の pH の影響を及ぼす範囲は 100m 程度という結果になった。

表 2.1-49 解析ケース

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け初期変質
1	7%	－	－	－	降水系	－

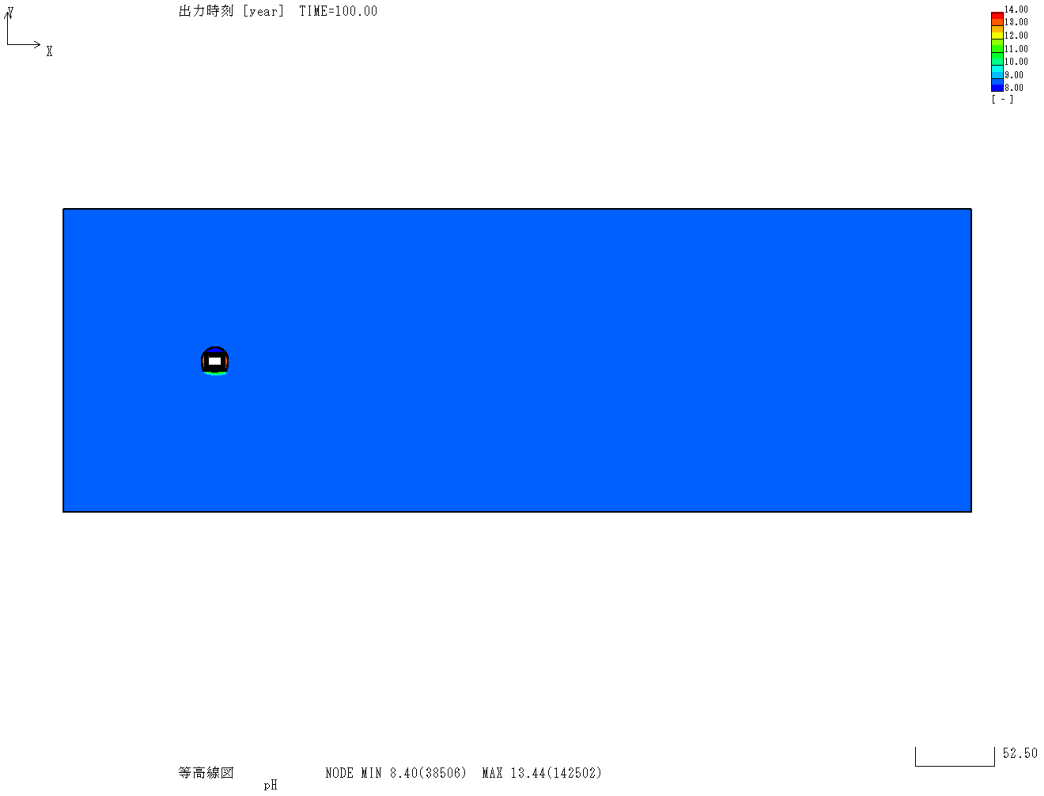


図 2.1-73 100 年後における pH 分布（ケース 1）

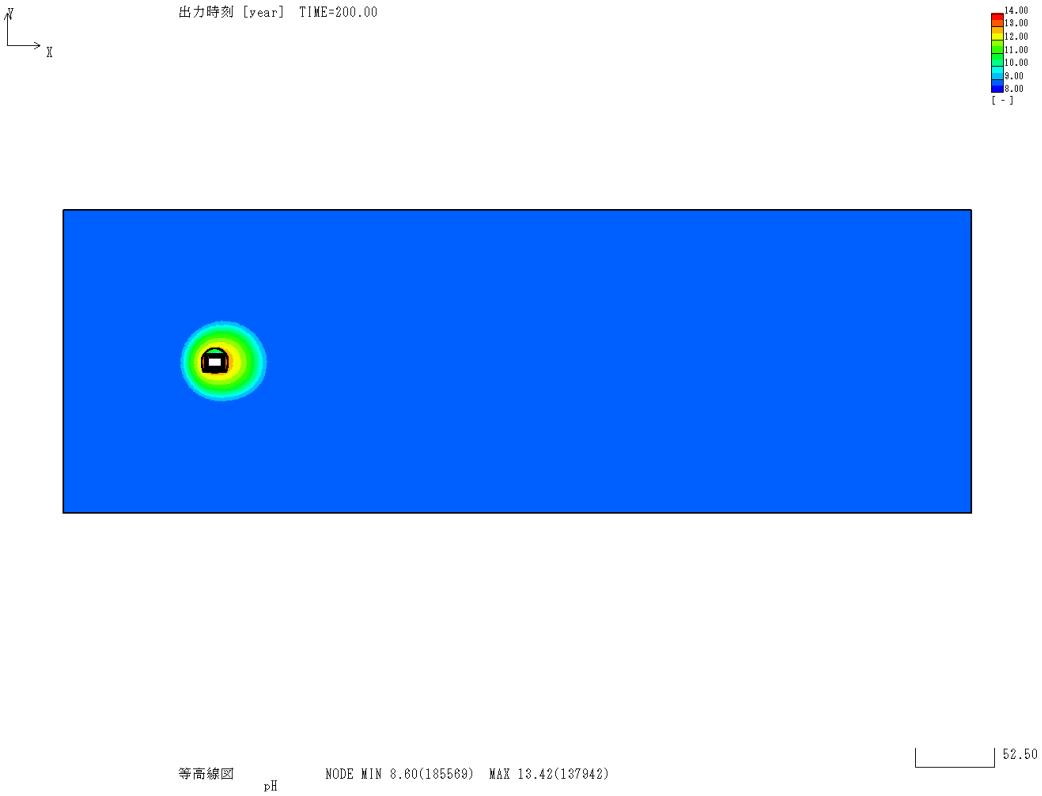


図 2.1-74　200 年後における pH 分布（ケース 1）

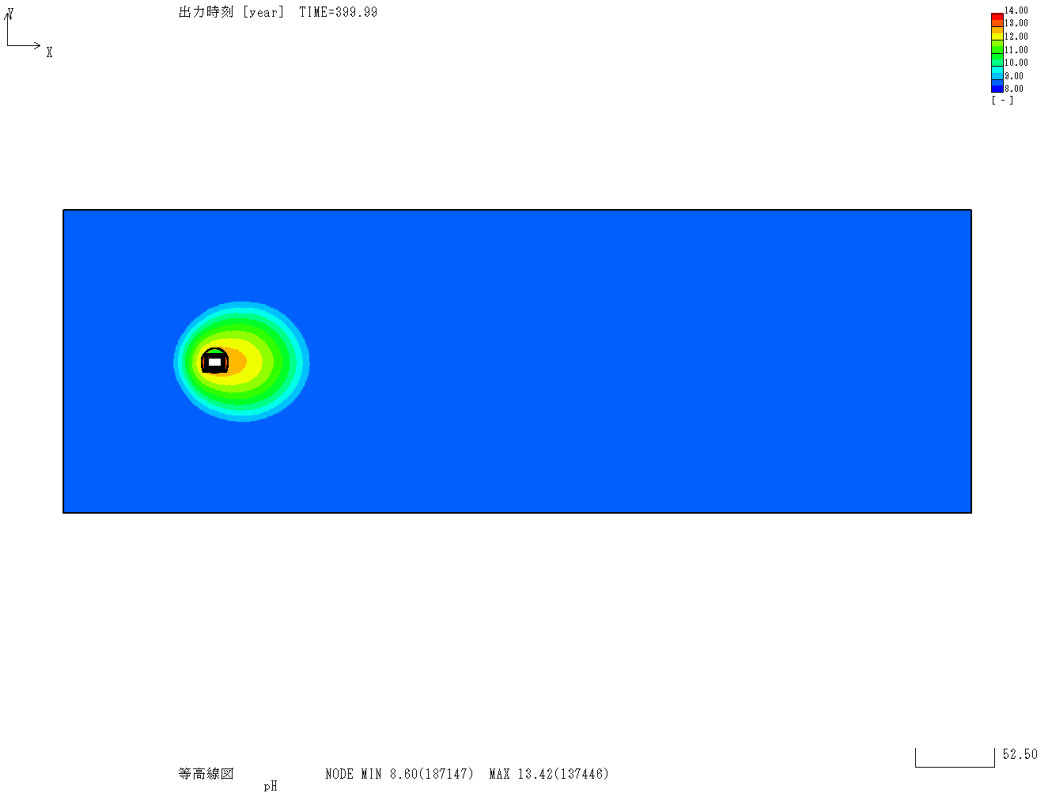


図 2.1-75　400 年後における pH 分布（ケース 1）

ケース 1 における 100 年後及び 400 年後の Na イオン分布を図 2.1-76、図 2.1-77 に示す。動水勾配の影響によって下流側に Na イオンが多く溶出しているものの、400 年後において地下水中の Na イオン濃度に影響を及ぼす範囲は 100m 程度という結果になった。

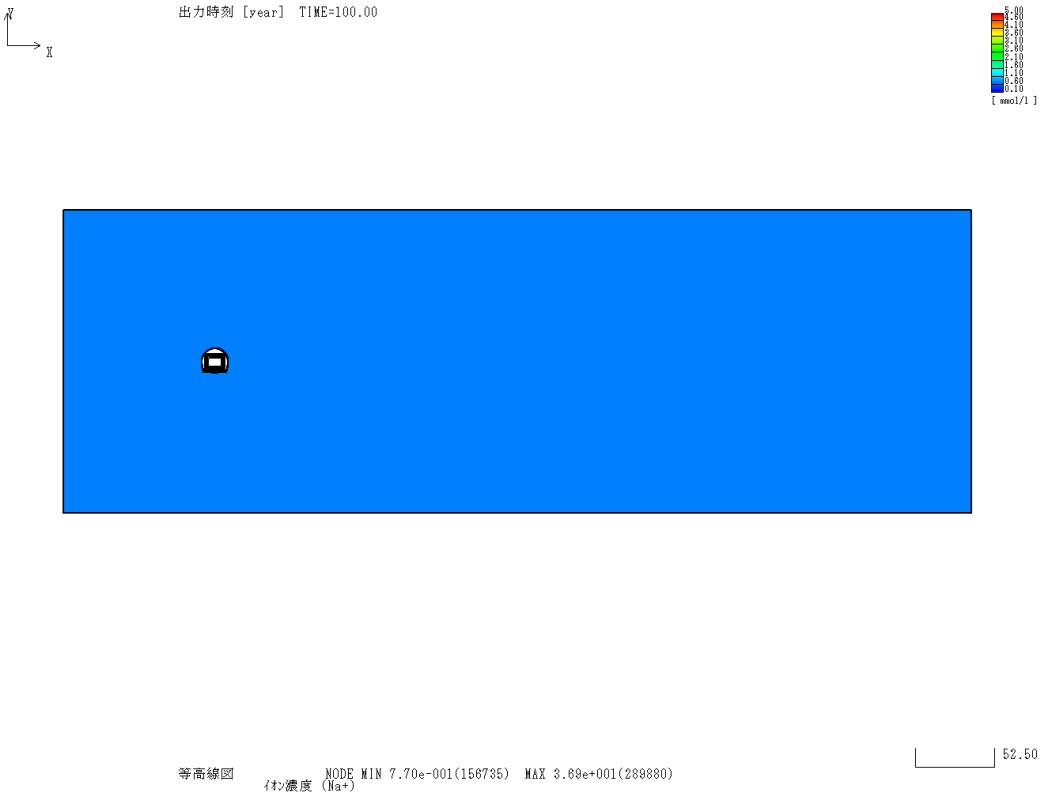


図 2.1-76　100 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1）

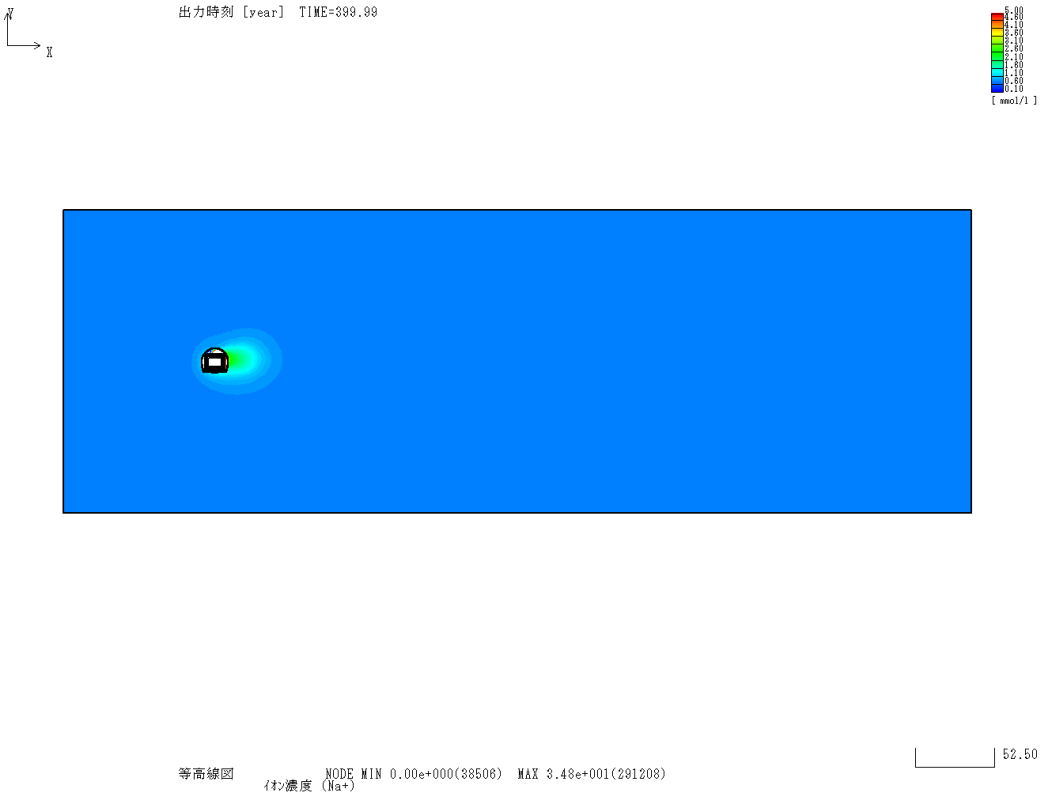


図 2.1-77　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1）

ケース 1 における 100 年後及び 400 年後の Ca イオン分布を図 2.1-78、図 2.1-79 に示す。動水勾配の影響によって下流側に Ca イオンが多く溶出しているものの、400 年後において地下水中の Ca イオン濃度に影響を及ぼす範囲は 100m 程度という結果になった。すなわち、リファレンスとして設定したケースにおいては、400 年間で周辺岩盤の地下水組成に影響を及ぼす範囲は、施設周辺 100m 程度にとどまるという結果となった。

図 2.1-78　100 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 1）

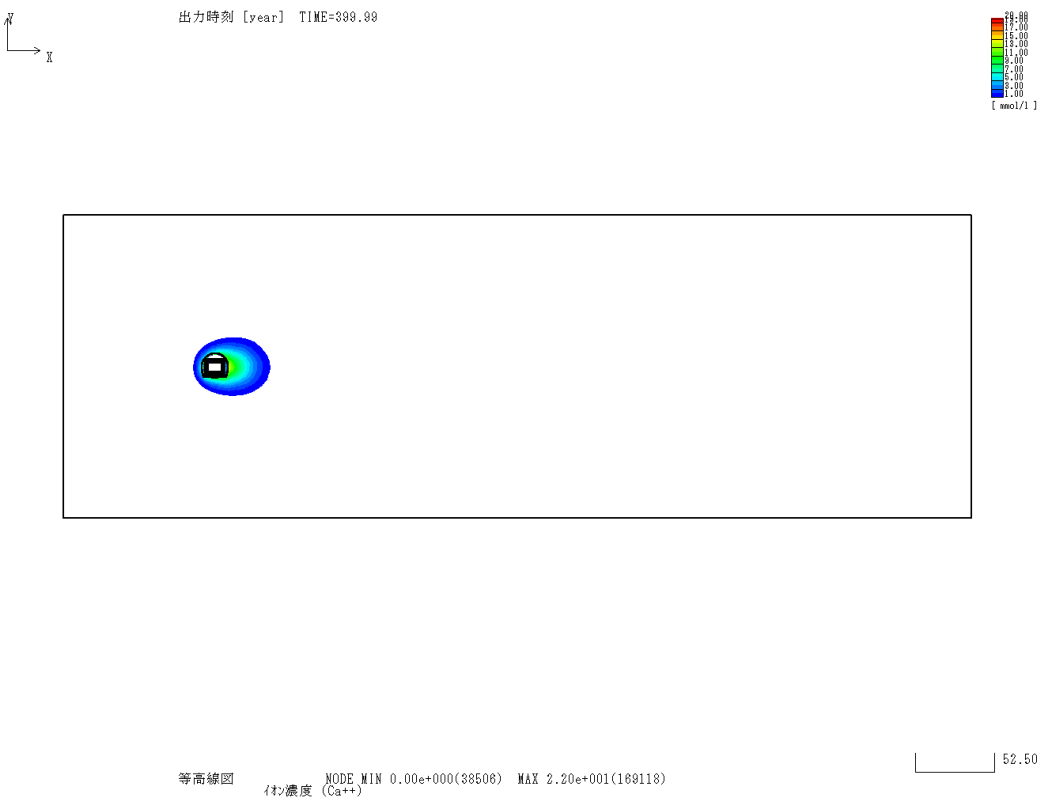


図 2.1-79　400 年後における Ca イオン分布（ケース 1）

2）ケース 2（動水勾配の影響）

ケース 1 及びケース 2 における、400 年後の pH 分布を図 2.1-80 及び図 2.1-81 に示す。動水勾配をゼロにすることによって、下流側の高 pH 領域が半分程度（約 50m）になる結果となった。また、上流側は高 pH 領域が 2 倍程度に拡大する結果となった。すなわち、動水勾配の考慮の仕方は解析結果に比較的大きな影響を及ぼすと考えられる。

表 2.1-50　解析ケース

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け初期変質
1	7%	－	－	－	降水系	－
2	0%	－	－	－	降水系	－

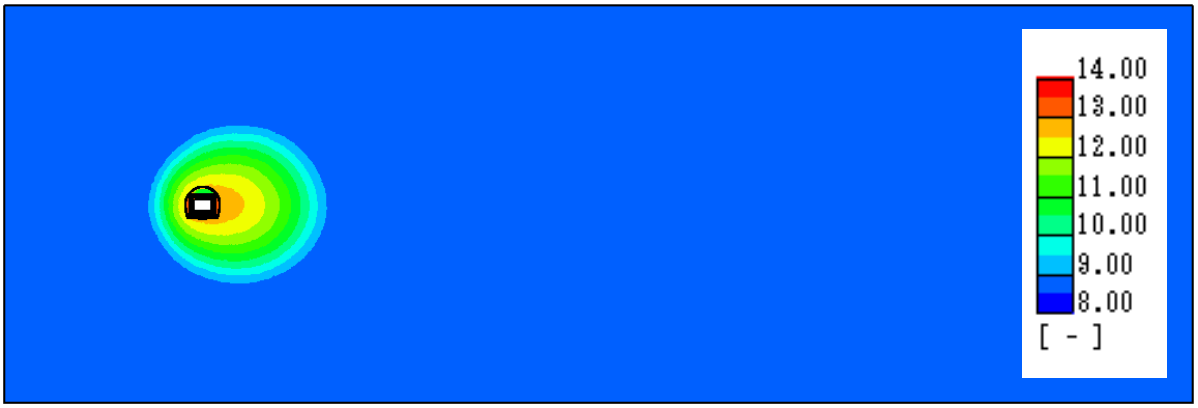


図 2.1-80　400 年後における pH 分布（ケース 1：i=0.07）

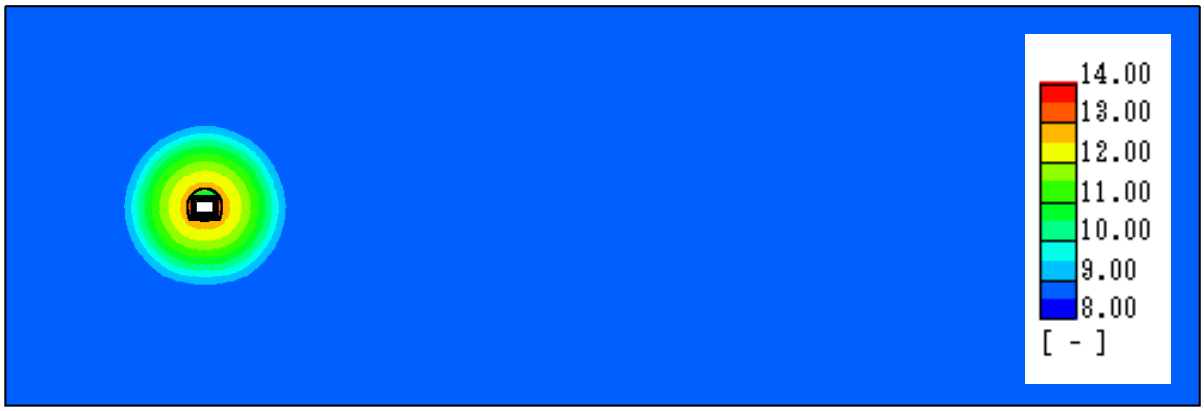


図 2.1-81　400 年後における pH 分布（ケース 2：i=0）

ケース 1 及びケース 2 における、400 年後の Na イオン分布を図 2.1-82 及び図 2.1-83 に示す。pH 分布と同様に、動水勾配をゼロにすることによって、下流側の Na イオン溶出領域が半減する結果となった。また、上流側は Na イオン溶出領域が 2 倍程度に拡大する結果となった。

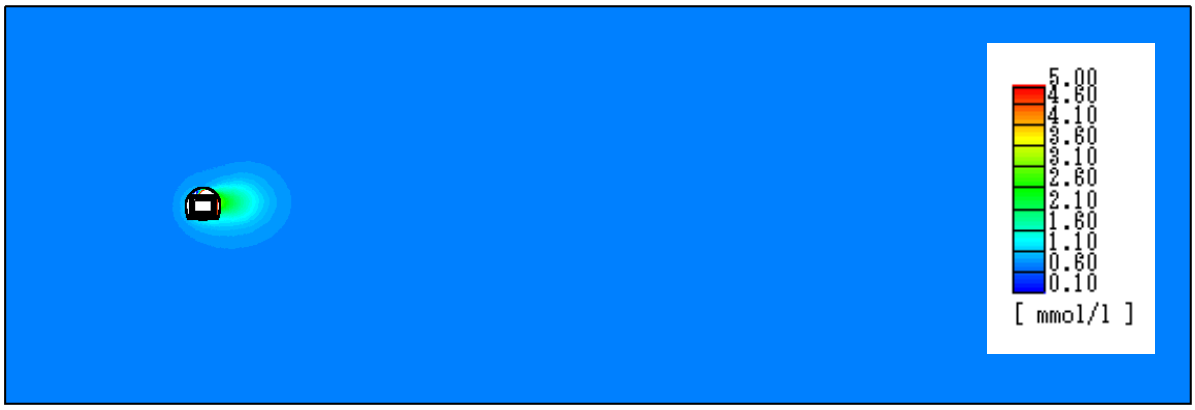


図 2.1-82　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1：i=0.07）

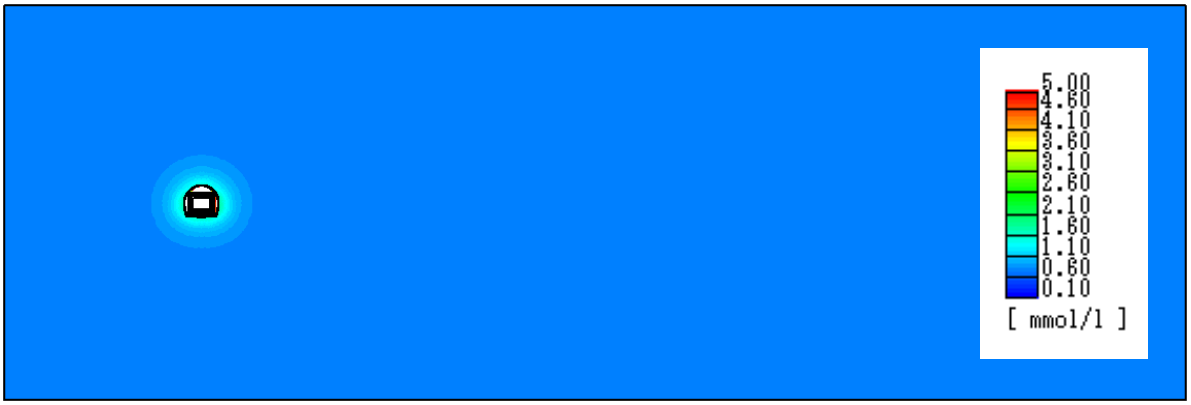


図 2.1-83　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 2：i=0）

ケース 1 及びケース 2 における、400 年後の Ca イオン分布を図 2.1-84 及び図 2.1-85 に示す。pH 分布と同様に、動水勾配をゼロにすることによって、下流側の Ca イオン溶出領域が半減する結果となった。また、上流側は Ca イオン溶出領域が 2 倍程度に拡大する結果となった。

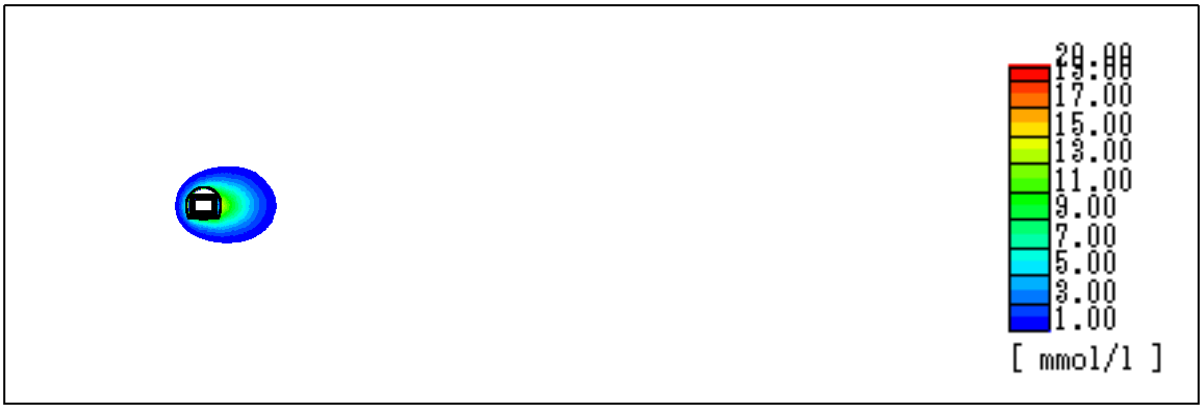


図 2.1-84　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 1：i=0.07）

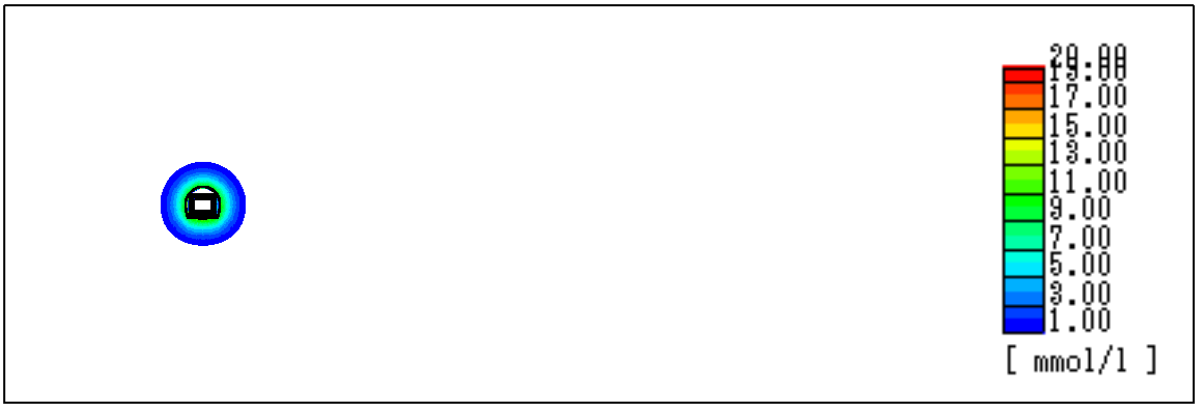


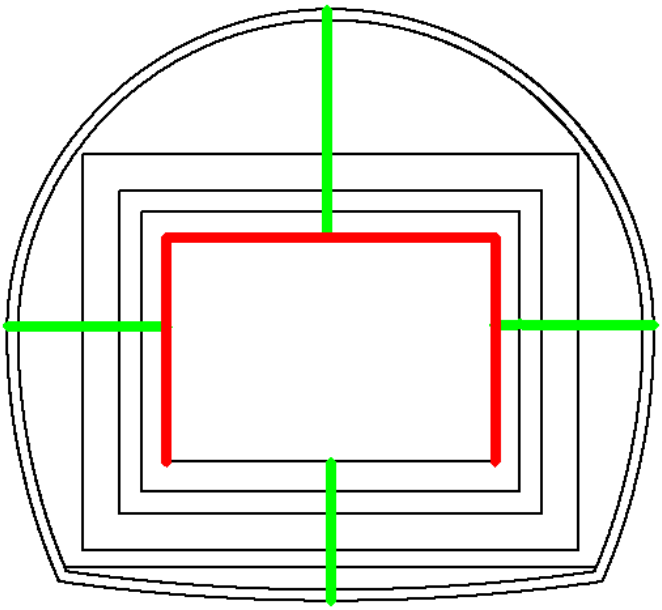
図 2.1-85　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 2：i=0）

3）ケース 3（ひび割れ・隙間の影響）

ケース 1 及びケース 3 における、400 年後の pH 分布を図 2.1-87 及び図 2.1-88 に示す。本検討では、図 2.1-86 に示すように、施設を縦横に切る形で 2mm のひび割れを考慮し、さらに、赤い線で示した領域では充填材とコンクリートピットとのあいだに 2mm の隙間が生じることをモデル化して解析を行った。これらのひび割れや隙間は、pH 分布に大きな影響を及ぼさない結果となった。施設が構築されたあと、全体としての流れが緩やかになるため、今回考慮したひび割れ程度であれば、周辺地下水の水質に大きな影響は生じないものと考える。

表 2.1-51　解析ケース

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け初期変質
1	7%	－	－	－	降水系	－
3	7%	○	－	－	降水系	－



【ひび割れの設定】
・周辺の埋め戻し材並びにベントナイトまで含めて、幅が 2mm のひび割れが上下左右に 1 本ずつ発生
（流れが卓越するよう、やや保守的な設定に）
【隙間の設定】
・コンクリートピットと充填材の界面のうち、側部、頂部に 2mm の隙間が発生

図 2.1-86　ケース 3 におけるひび割れ、隙間の配置箇所

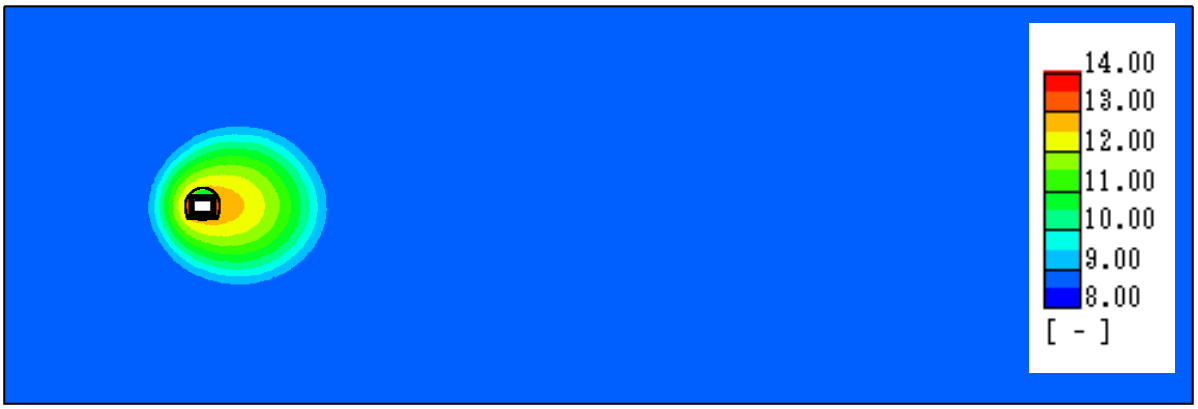


図 2.1-87　400 年後における pH 分布（ケース 1：ひび割れ、隙間無し）

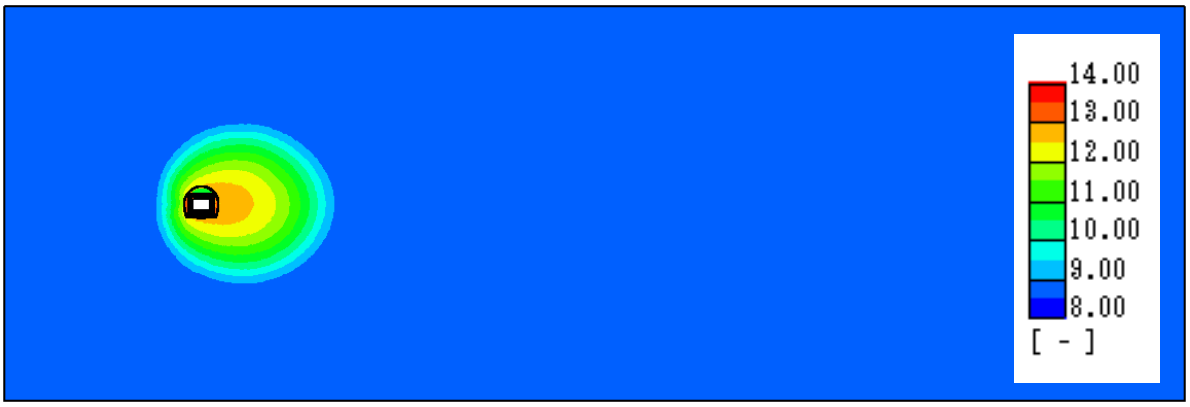


図 2.1-88　400 年後における pH 分布（ケース 3：ひび割れ、隙間有り）

ケース 1 及びケース 3 における、400 年後の Na イオン分布を図 2.1-89 及び図 2.1-90 に示す。本検討で考慮したひび割れや隙間は、Na イオン濃度分布に大きな影響を及ぼさない結果となった。

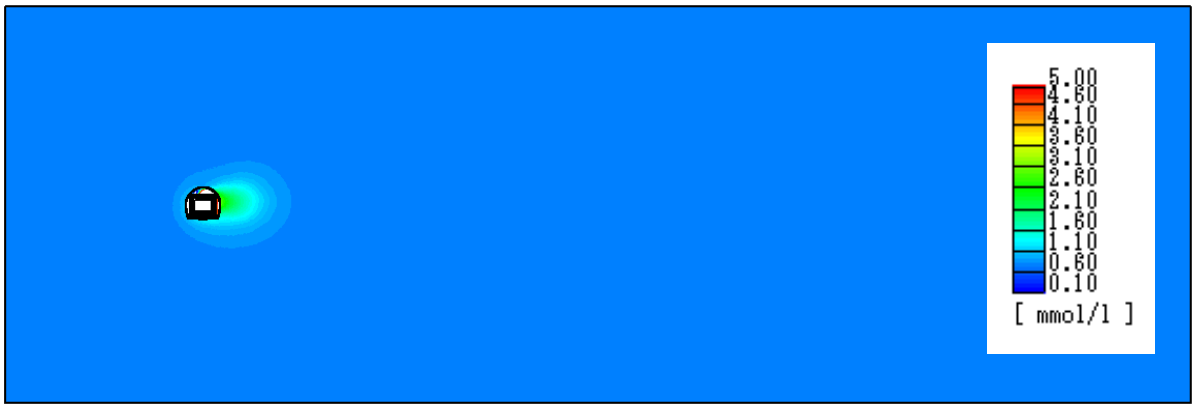


図 2.1-89　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 1：ひび割れ、隙間無し）

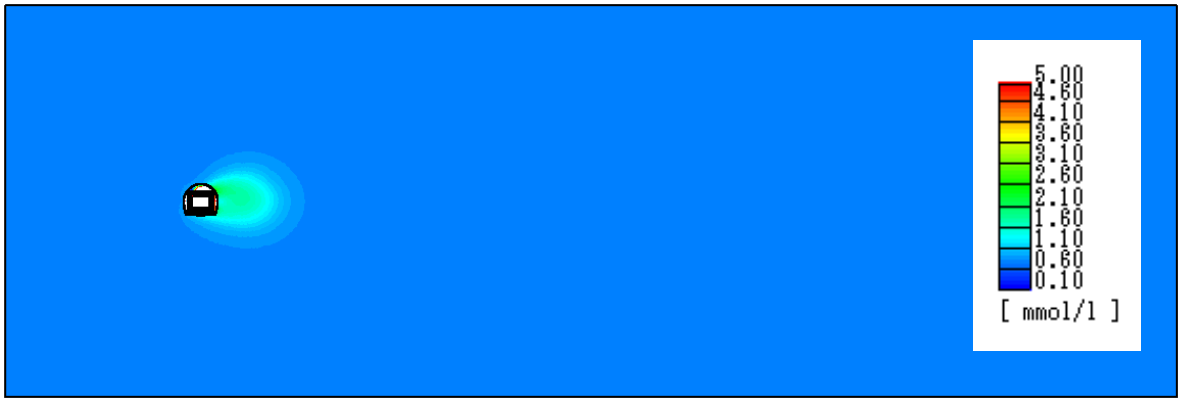


図 2.1-90　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 3：ひび割れ、隙間有り）

ケース 1 及びケース 3 における、400 年後の Ca イオン分布を図 2.1-91 及び図 2.1-92 に示す。本検討で考慮したひび割れや隙間は、Ca イオン濃度分布に大きな影響を及ぼさない結果となった。

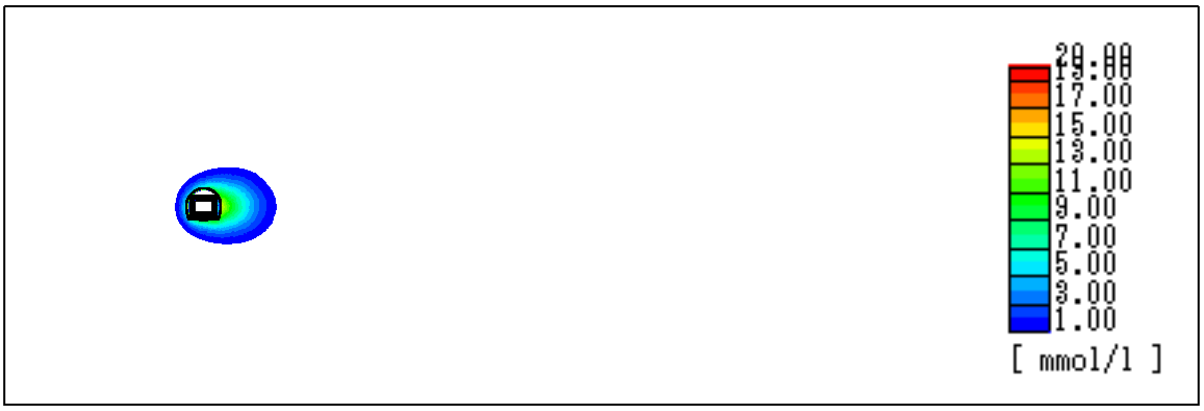


図 2.1-91　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 1：ひび割れ、隙間無し）

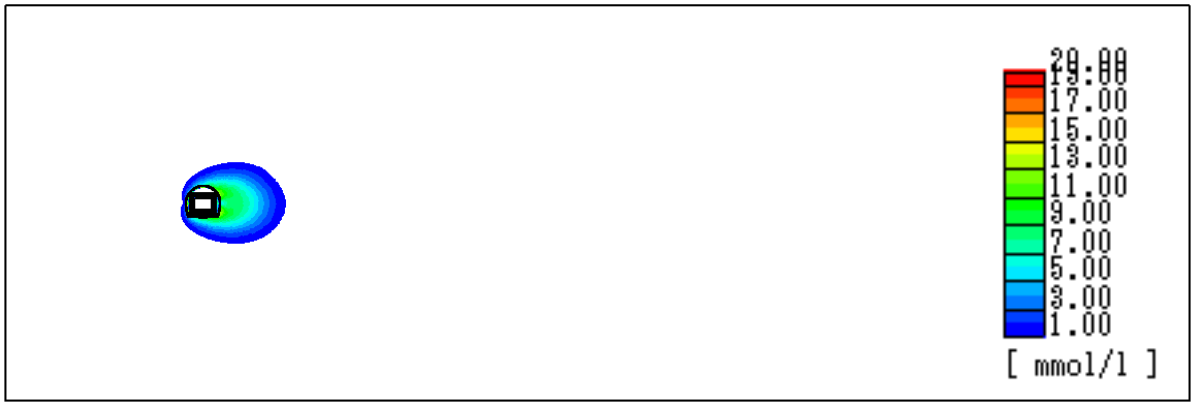


図 2.1-92　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 3：ひび割れ、隙間有り）

ケース 1 及びケース 3 における、400 年後の施設内における Na イオン分布を図 2.1-93 及び図 2.1-94 に示す。ひび割れ及び隙間の影響によって、上部埋め戻し材に含まれる Na イオンの流出が助長されていることが確認された。

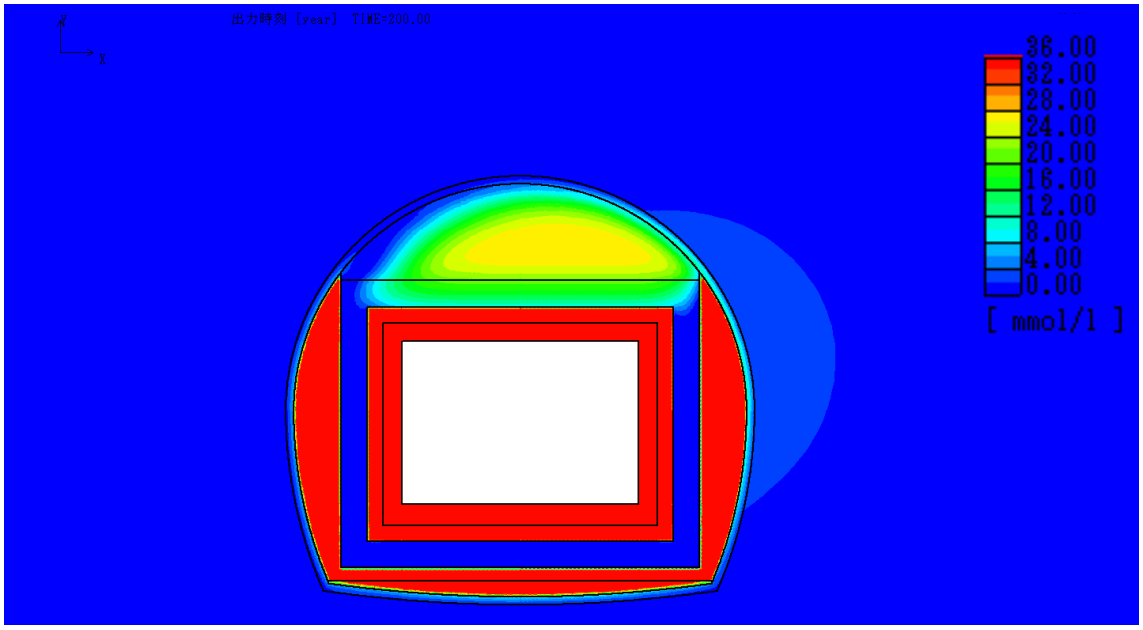


図 2.1-93　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 1：ひび割れ、隙間無し）

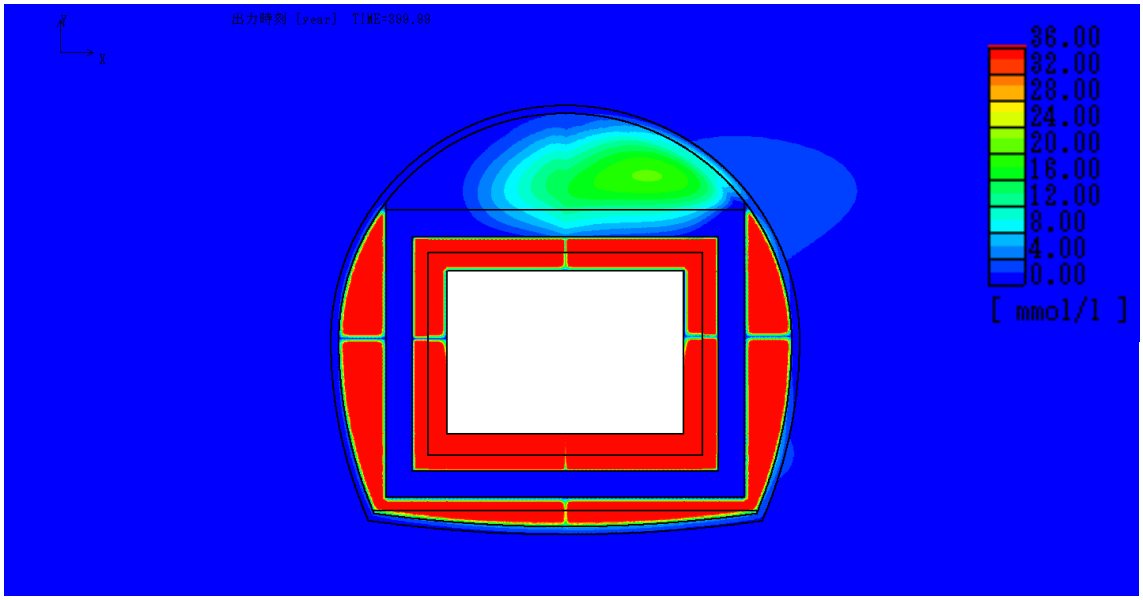


図 2.1-94　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 3：ひび割れ、隙間有り）

ケース 1 及びケース 3 における、400 年後の施設内における Ca イオン分布を図 2.1-95 及び図 2.1-96 に示す。上流側から溶出した Ca イオンがひび割れや隙間を通って下流側に流され、下流側の Ca イオンの濃度上昇が助長されていることを確認した。

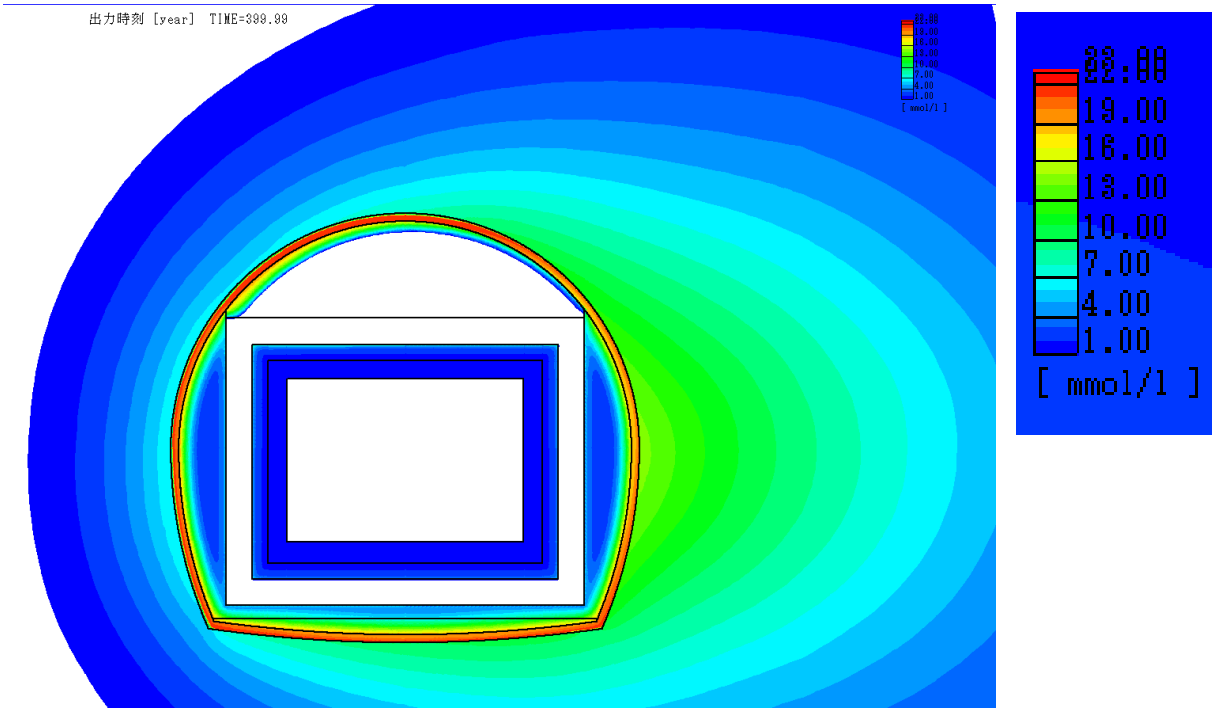


図 2.1-95　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 1：ひび割れ、隙間無し）

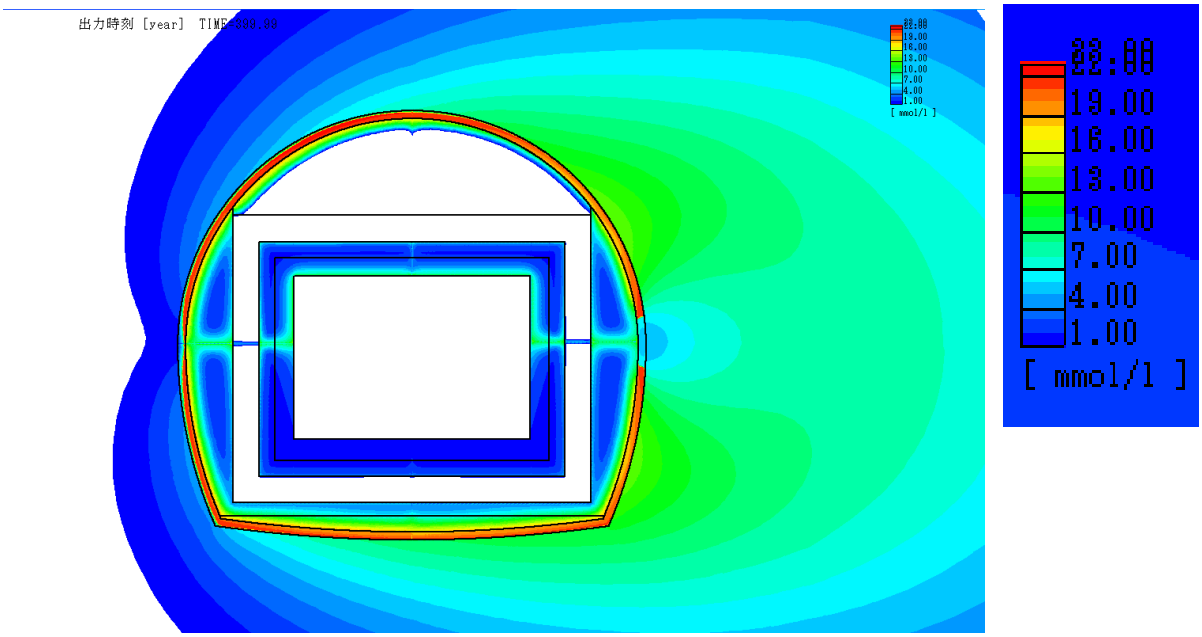


図 2.1-96　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 3：ひび割れ、隙間有り）

4）ケース 4（掘削影響領域 EDZ の影響）

ケース 3 及びケース 4 における、400 年後の pH 分布を図 2.1-100 及び図 2.1-101 に示す。本検討では、図 2.1-97 に示すように、施設周辺の約 2m 部分の領域を EDZ として設定した。これは、既往の研究における模擬処分空洞を対象とした原位置でのひび割れ観察結果ならびに原位置透水試験結果に基づくものである[44]。原位置透水試験の結果、EDZ 部における岩盤の透水係数は 1×10^{-4}m/s オーダーであることから、EDZ 部の透水係数を 1×10^{-4}m/s と設定した。本検討で考慮した EDZ 部によって、高 pH 領域が 10%ほど大きくなる結果となった。

表 2.1-52　解析ケース

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け初期変質
3	7%	○	－	－	降水系	－
4	7%	○	○	－	降水系	－

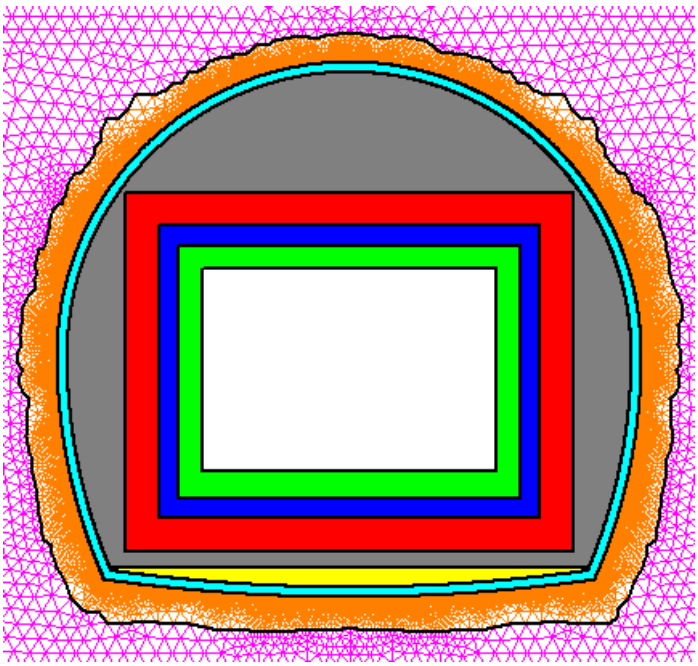


図 2.1-97　本検討における EDZ 領域（オレンジの領域）

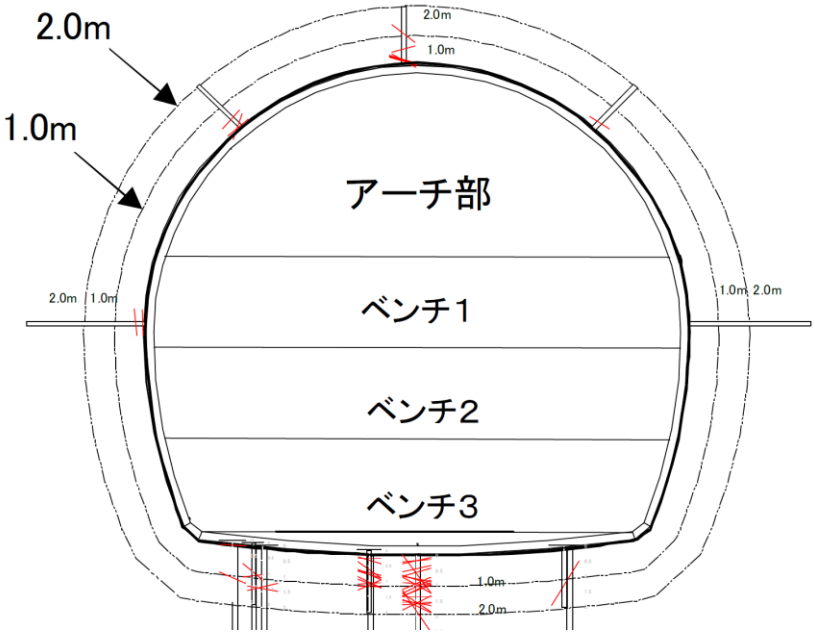


図 2.1-98　模擬処分空洞掘削時の EDZ 確認結果[44]

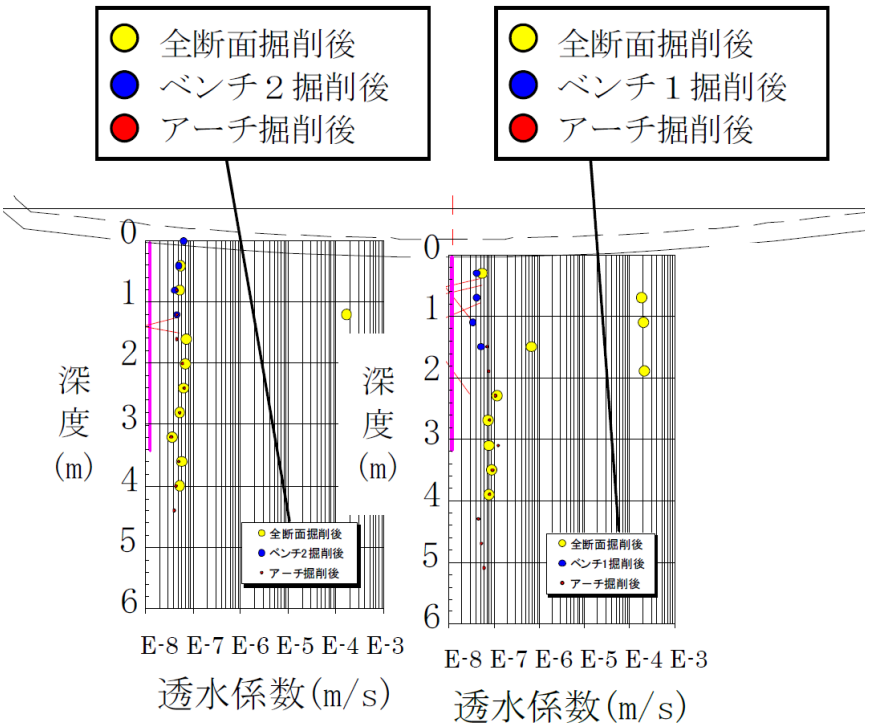


図 2.1-99　模擬処分空洞における EDZ 部の原位置透水試験結果[44]

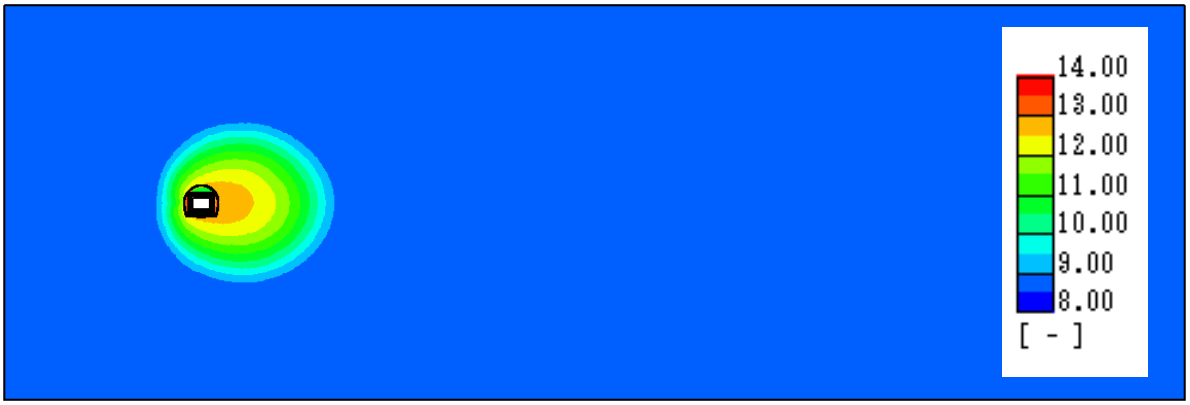


図 2.1-100　400 年後における pH 分布（ケース 3：EDZ 無し）

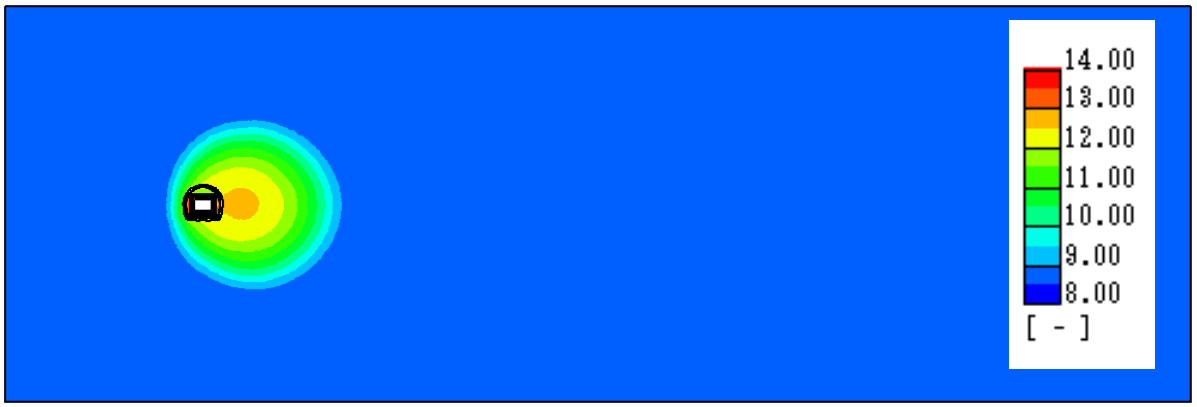


図 2.1-101　400 年後における pH 分布（ケース 4：EDZ 有り）

ケース 3 及びケース 4 における、400 年後の Na イオン濃度分布を図 2.1-102 及び図 2.1-103 に示す。本検討で考慮した EDZ 部によって、Na イオンが溶出する領域が 10%ほど大きくなる結果となった。また、全体的に施設近傍の岩盤における Na イオン濃度が低くなる結果となった。EDZ の考慮によって全体的に移流によって下流側に流れるイオンが多くなり、濃度が薄まったことが解析によって表れていると考えられる。

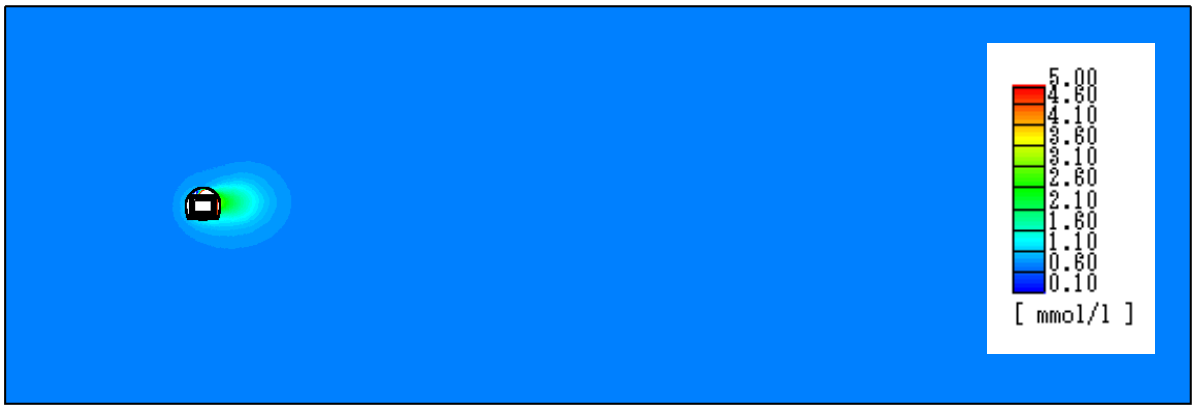


図 2.1-102　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 3：EDZ 無し）

図 2.1-103　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 4：EDZ 有り）

ケース 3 及びケース 4 における、400 年後の Ca イオン濃度分布を図 2.1-104 及び図 2.1-105 に示す。本検討で考慮した EDZ 部によって、Ca イオンが溶出する領域が 10%ほど大きくなる結果となった。また、全体的に施設近傍の岩盤における Ca イオン濃度が低くなる結果となった。

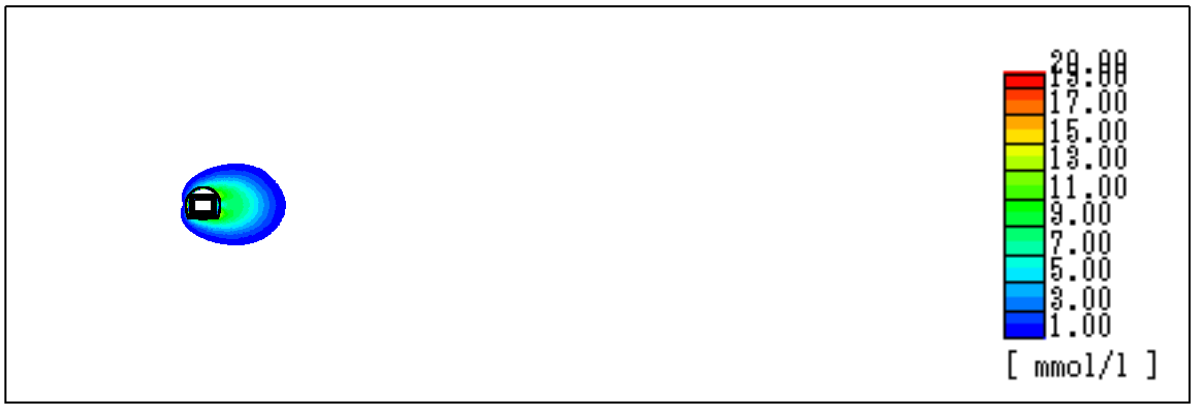


図 2.1-104　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 3：EDZ 無し）

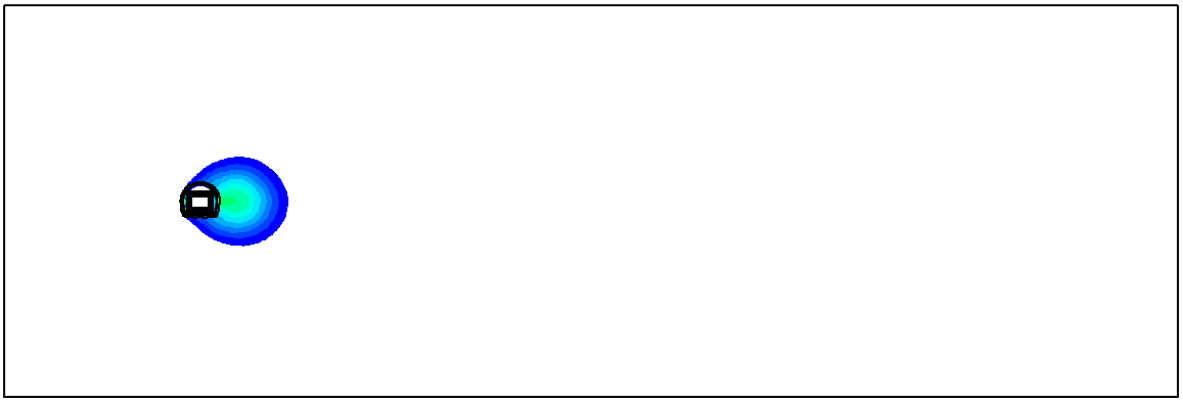


図 2.1-105　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 4：EDZ 有り）

ケース 3 及びケース 4 における、400 年後の施設内における Na イオン分布を図 2.1-106 及び図 2.1-107 に示す。EDZ の影響によって、上部埋め戻し材に含まれる Na イオンの流出が助長されており、400 年後には上部埋め戻し材に含まれる Na イオンはすべて流出する結果となった。

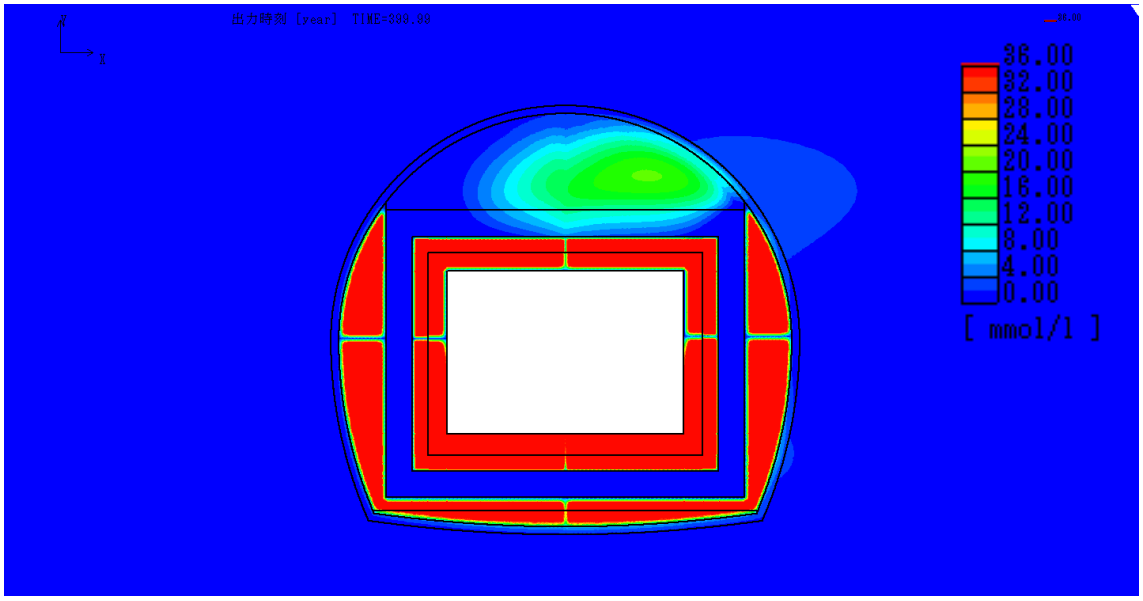


図 2.1-106　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 3：EDZ 無し）

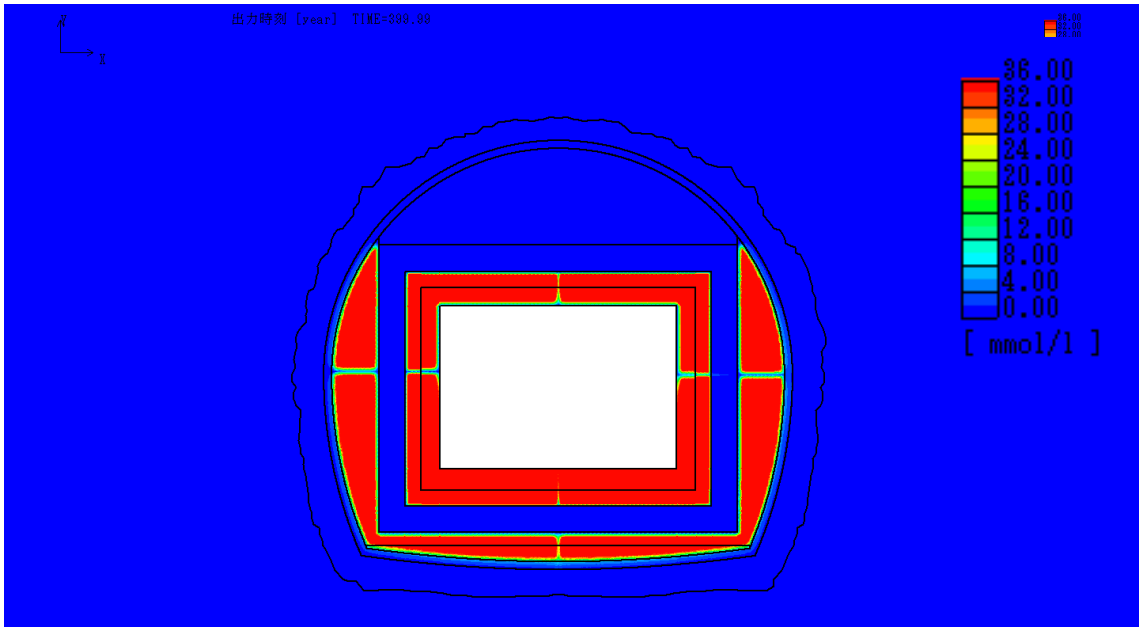


図 2.1-107　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 4：EDZ 有り）

ケース 3 及びケース 4 における、400 年後の施設内における Ca イオン分布を図 2.1-108 及び図 2.1-109 に示す。EDZ の影響で施設上流側から溶出する Ca イオンが移流によって下流側に大量に流され、変質が助長されていることが確認された。なお、いずれの解析結果においても、400 年後に吹付けコンクリートにて Ca イオンが多く残存していることから、400 年後の周辺地下水に流出する Ca イオンのほとんどは吹付けコンクリート起因と考えられる。

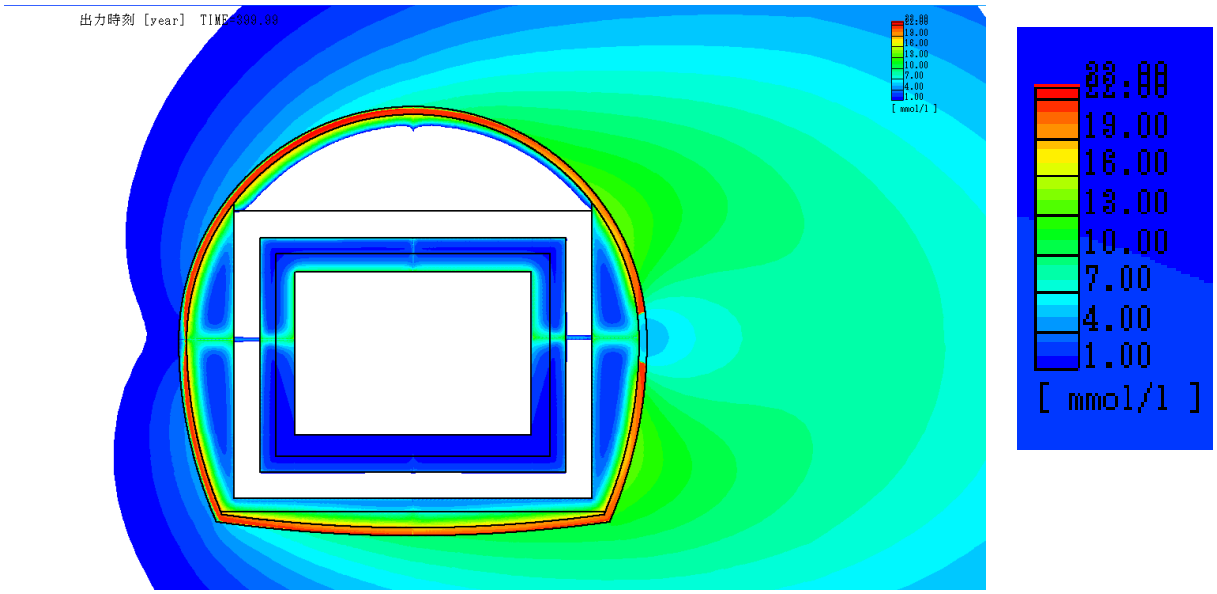


図 2.1-108　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 3：EDZ 無し）

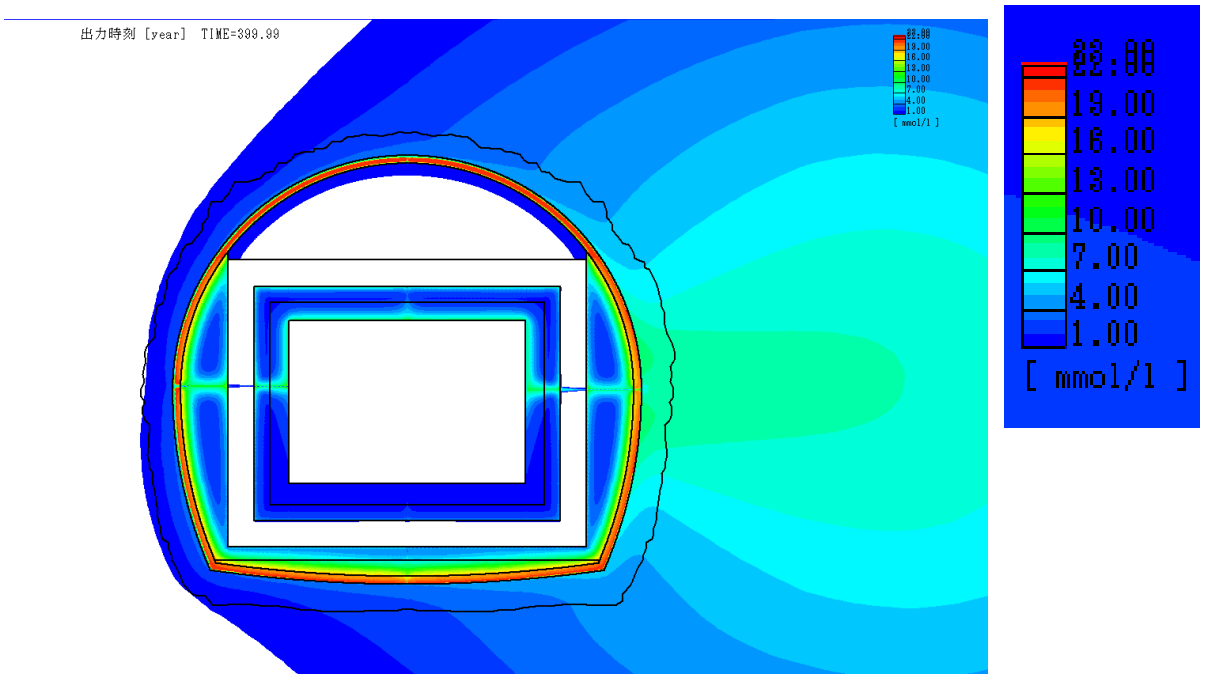


図 2.1-109　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 4：EDZ 有り）

5）ケース 5（岩盤グラウトの影響）

ケース 3 及びケース 5 における、400 年後の pH 分布を図 2.1-111 及び図 2.1-112 に示す。本検討では、図 2.1-110 に示すように、施設半径の約 3 倍の領域をグラウト範囲として設定した。範囲については、JAEA の先行検討事例[52]に記載されている表 2.1-54 をもとに設定した。また、注入材料については、W/C＝100%の超微粒子セメント（代表的な化学組成は表 2.1-55 のとおり）とし、岩盤への注入割合は既往の施工例[53]（表 2.1-56）を参考に 2%と設定した。すなわち、半径 25m の範囲の岩盤に、W/C=100%の超微粒子セメントに含まれるイオンが、面積×2%の量で一様に存在しているとして解析を行うこととした。同仮定のもとで算出した岩盤グラウト部の化学組成を表 2.1-57 に示す。

本検討の範囲では、岩盤グラウトが周辺地下水の pH に及ぼす影響は見られなかった。

表 2.1-53　解析ケース

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け初期変質
3	7%	○	－	－	降水系	－
5	7%	○	－	○	降水系	－

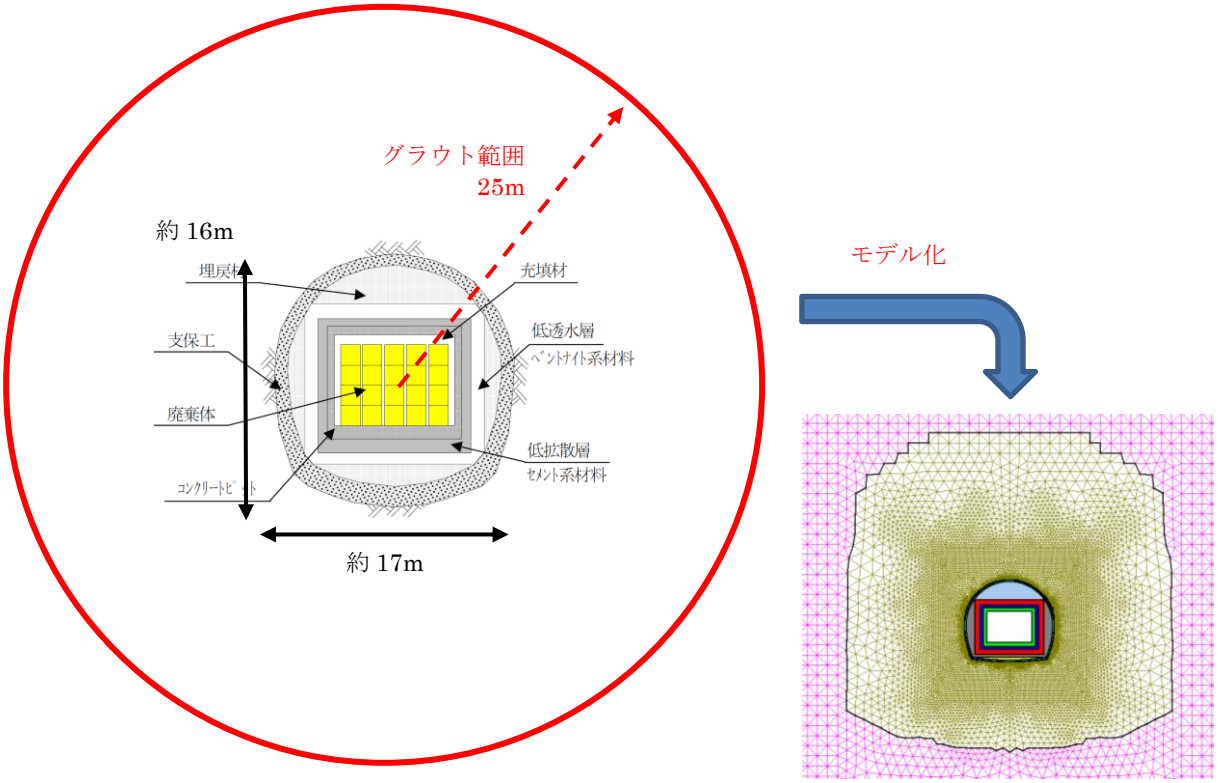


図 2.1-110　本検討におけるグラウトの範囲

表 2.1-54　グラウト技術に関する国内の調査結果一覧表[52]

調査個所	調査結果	地層処分への反映点
青函トンネル	材　　料：LW 注入 （高炉コロイドセメント＋1 号水ガラス 75%液） 注入圧力　：湧水圧×（3 倍）=7.5～8.0MPa 程度 注入範囲　：3R(堅岩部)，5～6R(破砕帯部) リング状の止水帯を数リング形成し湧水の流入を防止。	・ 高水圧下での注入工法の標準として考慮
倉敷国家石油ガス備蓄基地	材　　料：超微粒子セメント 注入圧力　：湧水圧+3MPa 注入次数　：6 次孔の注入まで計画 超微粒子セメント，動的注入などの採用により微細な亀裂への注入を可能とし，湧水量が低減。	・ 微細な亀裂に対する超微粒子セメントの利用 ・ 微細な亀裂に対する注入工法の検討（動的注入・連続注入など） ・ 孔配置の考え方
地芳トンネル	止水注入パターン　：　青函トンネルと同工法を採用 注入完了基準　　：　0.4Lu（0.8ℓ/min/m） 注入圧力　　：　湧水圧力の 3 倍 材料　　：　セメント系および水ガラス系 セメント系 ⇒急硬セメント他 水ガラス系 ⇒　微粒子セメント+水ガラス他 注入範囲　　：　地質不良区間・大湧水帯（4D） そのほか石灰岩部（3D） 孔・リング間隔　　：　3m（先端部）	・ 高水圧下での注入工法の考え方

表 2.1-55　超微粒子セメントの化学組成

種　類	Ig-loss	Insol	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	比重	粉末度(㎠/g)
コロイダルセメント	0.7	0.14	27.7	9.7	1.2	53.7	4.3	1.6	3.02	5,500～6,000
コロイダルスーパー	0.7	0.3	30.2	12.1	1.5	47.4	4.4	1.7	2.98	8,000～10,000
普通セメント	0.4	0.2	22.1	5.2	3.0	64.7	1.0	1.7	3.15	3,200

表 2.1-56　青函トンネルにおける注入施工実績[53]

名称	工区	注入坑道延長 (m)	施工期間	注入回数 (回)	所要日数 (日)	所要方数 (方)	削孔		注入		充填率平均 (%)
							孔数 (孔)	孔長 (m)	孔数 (孔)	注入量 (m^3)	
先進導坑	竜飛	10,313.8 (11,363.8)	1970.1.30 ～1982.12.15	216	2,141	5,842	7,681	379,590	7,553	100,952	2.38
	吉岡	8,988.2 (11,012.2)	1969.7.15 ～1982.12.10	159	1,673	4,738	4,546	346,064	4,375	78,831	2.44
作業坑	竜飛	8,821.3 (8,843.4)	1971.1.19 ～1979.9.9	164	1,040	2,711	3,783	229,533	3,693	27,755	0.76
	吉岡	6,910.5 (8,966.0)	1970.7.24 ～1980.1.30	124	899	2,422	3,723	235,485	3,720	38,662	1.11
本坑	竜飛	13,000.0 (13,000.0)	1972.10.16 ～1983.12.17	307	4,485	11,189	17,984	1,092,498	17,978	178,673	1.36
	吉岡	9,308.8 (14,700.0)	1976.2.12 ～1984.9.6	226	4,240	9,944	17,405	1,108,377	17,372	306,714	2.53

※（　）内は坑道総延長を示す.

表 2.1-57　岩盤グラウト部における化学組成

種類	pH	Na^+	K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}
降水系地下水	8.5	0.77	0.03	0.125	0.14	0.155	0.44	0.62
グラウト岩盤	13.5	2.42	0.96	143.9	3.00	16.03	0	0

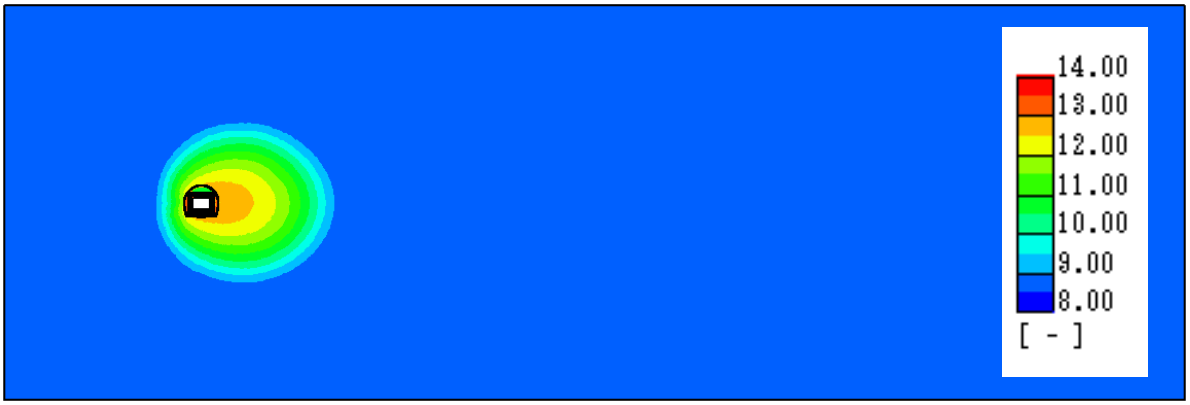


図 2.1-111　400 年後における pH 分布（ケース 3：岩盤グラウト未考慮）

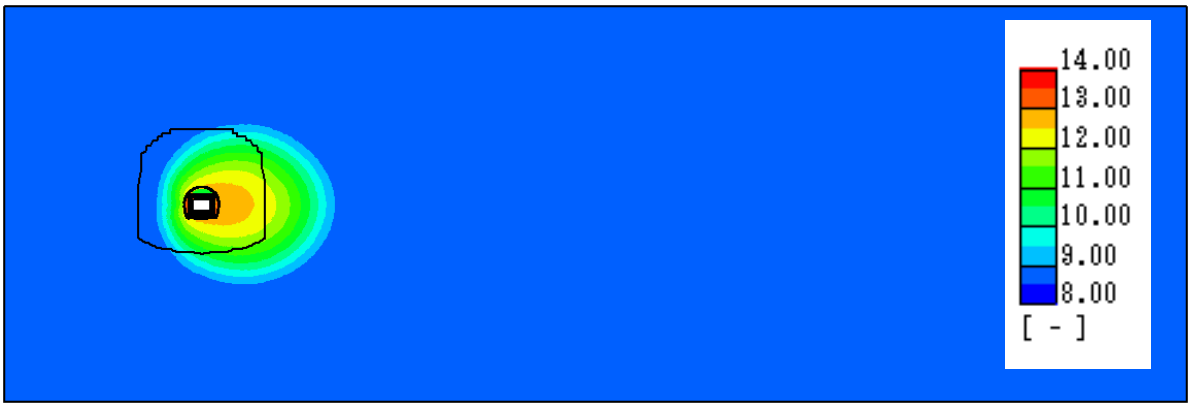


図 2.1-112　400 年後における pH 分布（ケース 5：岩盤グラウト考慮）

ケース 3 及びケース 5 における、400 年後の Na イオン濃度分布を図 2.1-113 及び図 2.1-114 に示す。本検討で考慮した岩盤グラウトの影響で、Na イオンが溶出する領域が 10%ほど大きくなる結果となった。

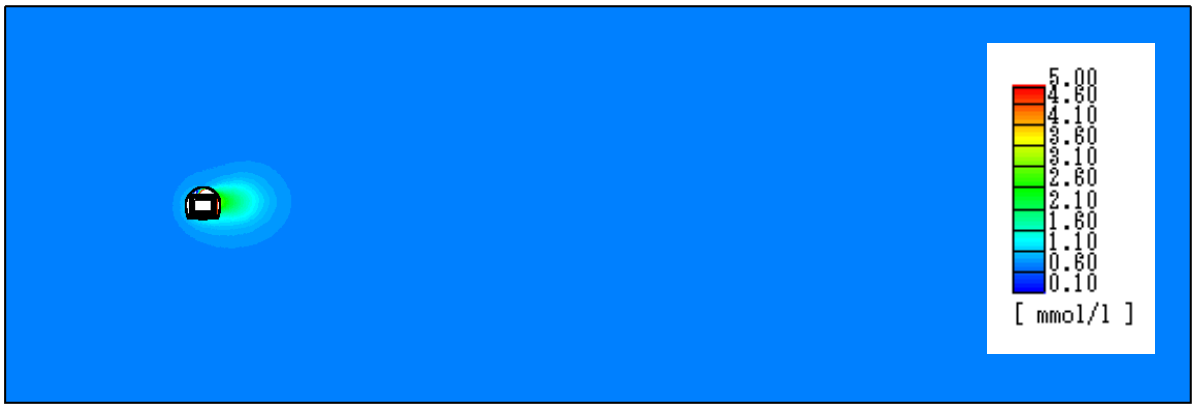


図 2.1-113　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 3：岩盤グラウト未考慮）

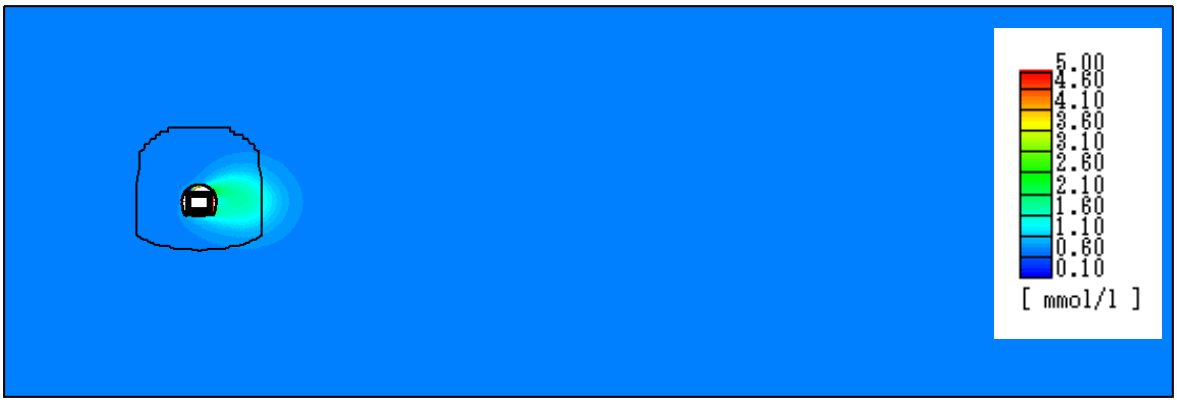


図 2.1-114　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 5：岩盤グラウト考慮）

ケース 3 及びケース 5 における、400 年後の Ca イオン濃度分布を図 2.1-115 及び図 2.1-116 に示す。本検討で考慮した岩盤グラウトが Ca イオンの溶出範囲に及ぼす影響は見られない結果となった。

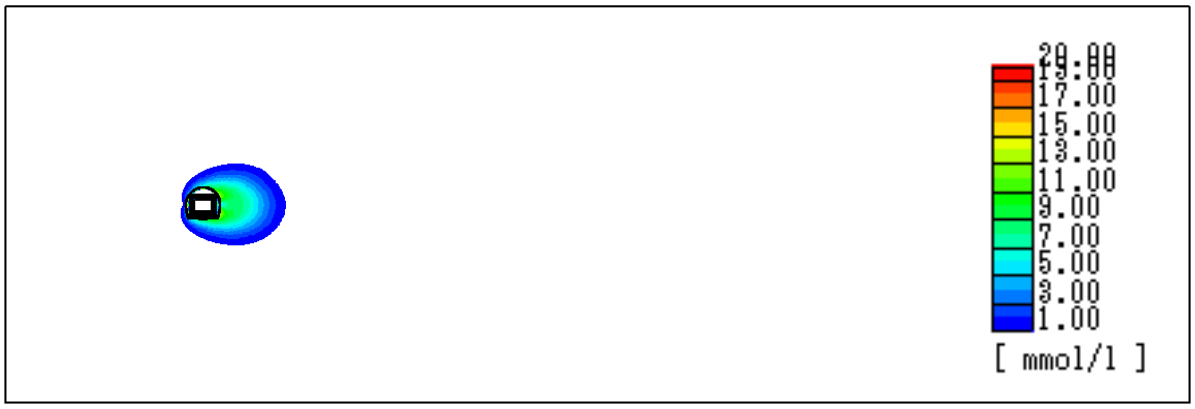


図 2.1-115　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 3：岩盤グラウト未考慮）

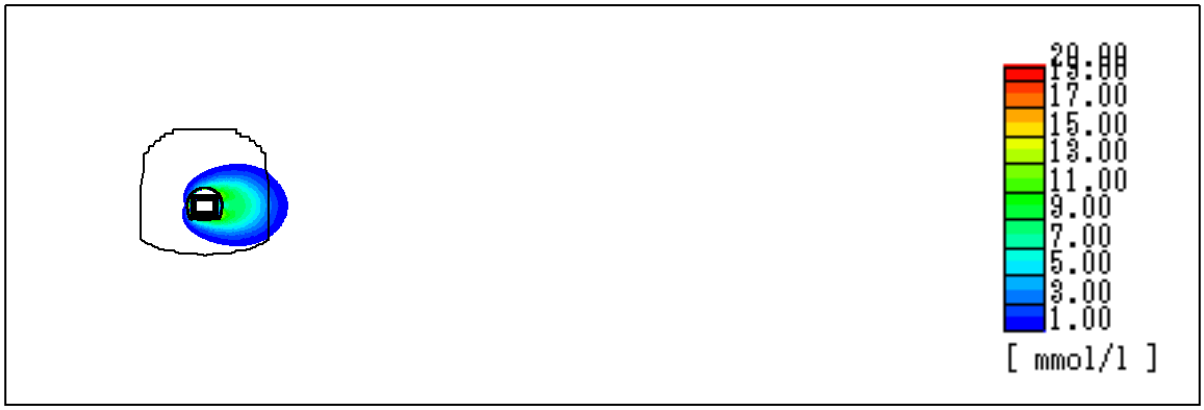


図 2.1-116　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 5：岩盤グラウト考慮）

ケース 3 及びケース 5 における、400 年後の施設内における Na イオン分布を図 2.1-117 及び図 2.1-118 に示す。岩盤グラウトの考慮の有無によって、施設内の Na イオン濃度分布に変化は見られなかった。

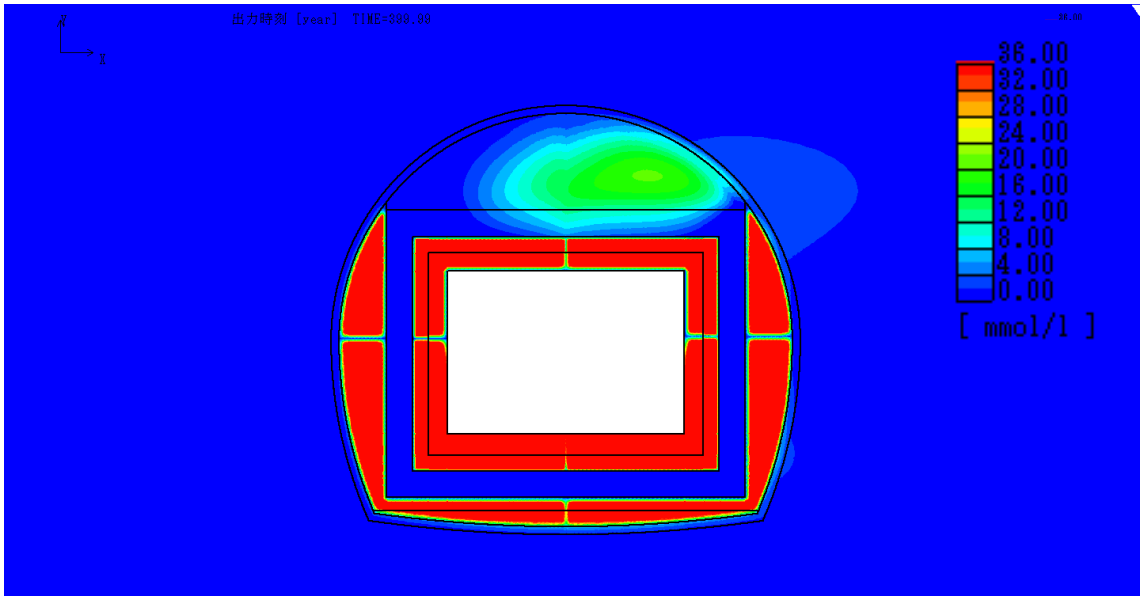


図 2.1-117　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 3：岩盤グラウト未考慮）

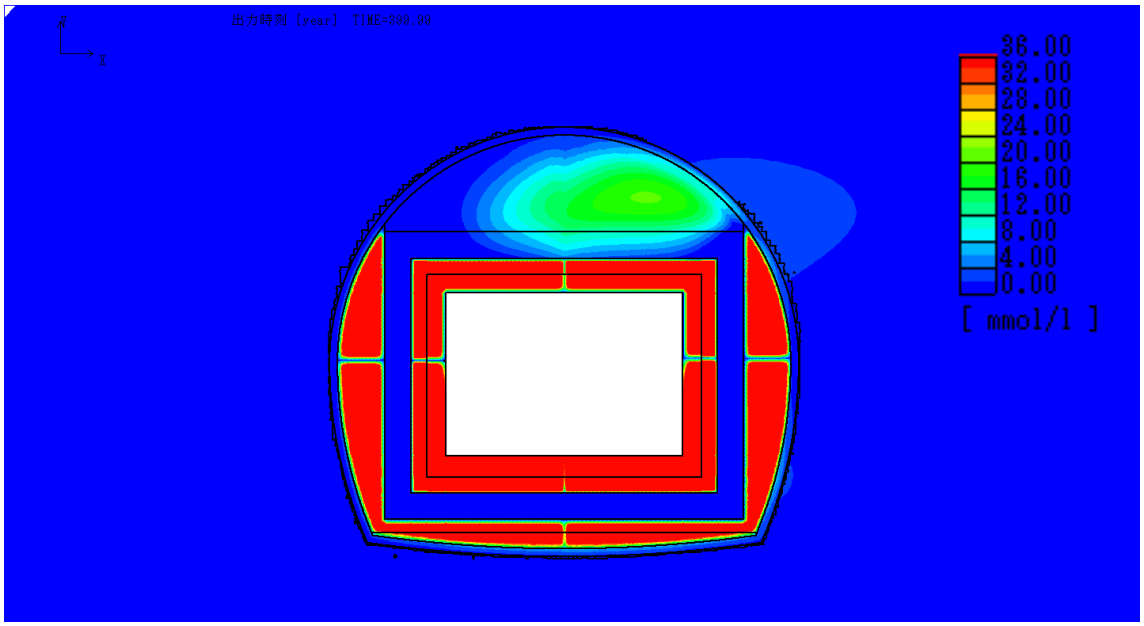


図 2.1-118　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 5：岩盤グラウト考慮）

ケース 3 及びケース 5 における、400 年後の施設内における Ca イオン分布を図 2.1-119 及び図 2.1-120 に示す。岩盤グラウトの考慮の有無によって、施設内の Ca イオン濃度分布に変化は見られなかった。

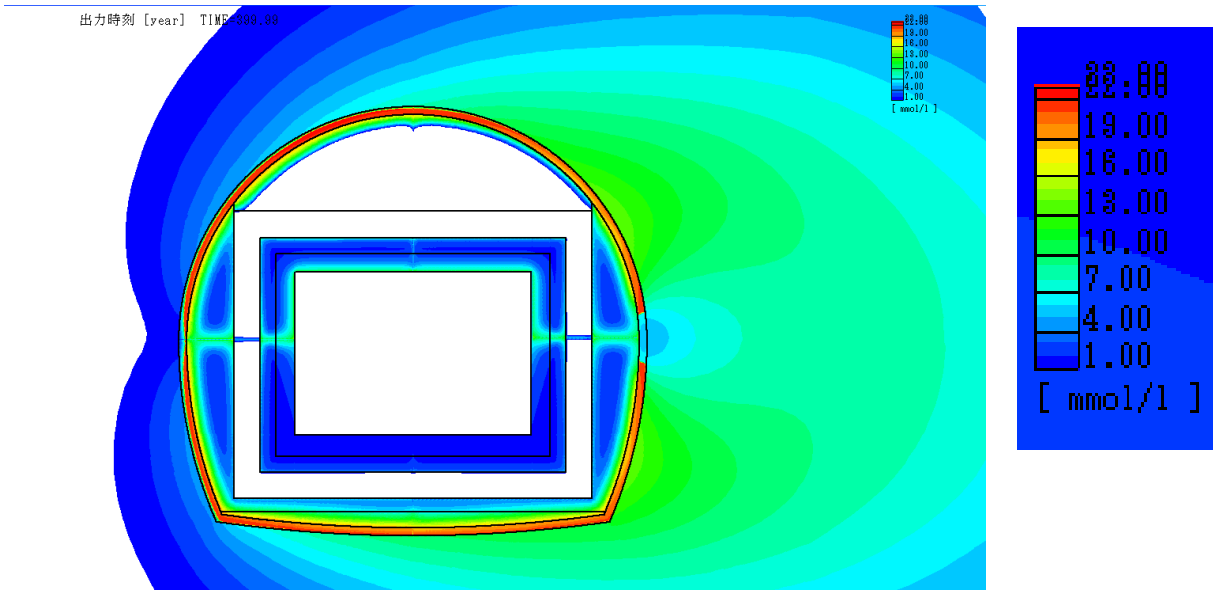


図 2.1-119　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 3：岩盤グラウト未考慮）

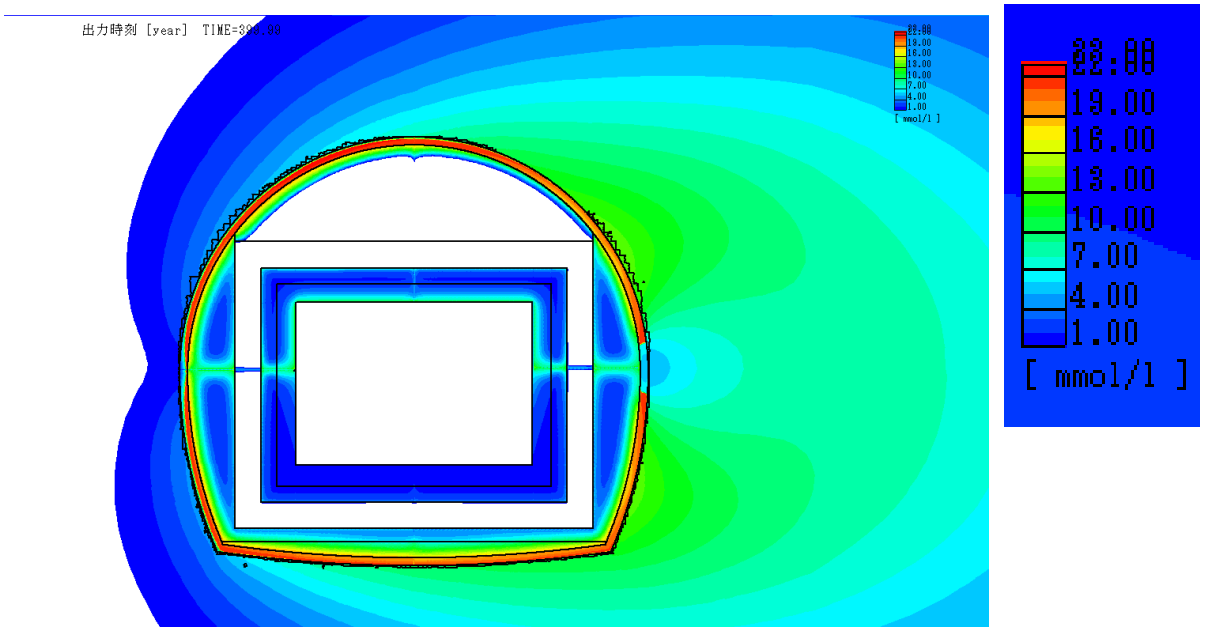


図 2.1-120　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 5：岩盤グラウト考慮）

6）ケース 6（地下水組成の影響）

ケース 3 及びケース 6 における、400 年後の pH 分布を図 2.1-121 及び図 2.1-122 に示す。本検討では、海水系地下水組成として既往の研究[54]にて示された表 2.1-59 に示す値を用いた。

本検討の範囲では、地下水組成が周辺岩盤の pH に及ぼす影響は小さい結果となった。

表 2.1-58　解析ケース

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け初期変質
3	7%	○	－	－	降水系	－
6	7%	○	－	－	海水系	－

表 2.1-59　地下水組成[54]

種類	pH	Na^+	K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}
降水系地下水	8.5	0.77	0.03	0.125	0.14	0.155	0.44	0.62
海水系地下水	8.0	620	11	0.33	0.032	0.25	590	0.13

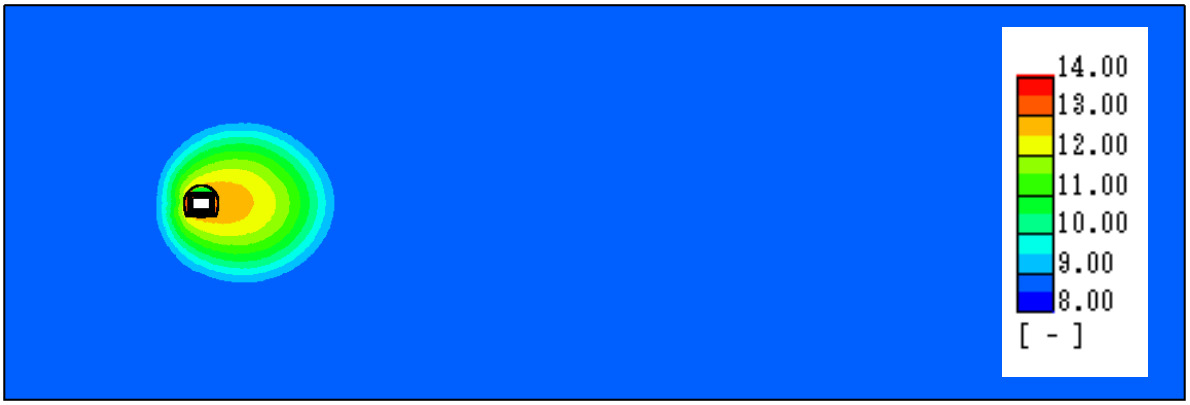


図 2.1-121　400 年後における pH 分布（ケース 3：降水系地下水）

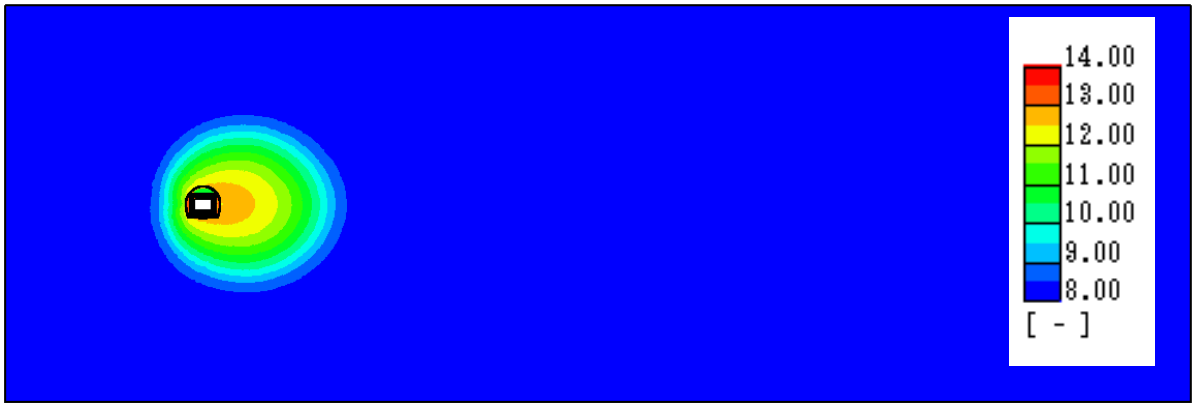


図 2.1-122　400 年後における pH 分布（ケース 6：海水系地下水）

ケース 3 及びケース 6 における、400 年後の Na イオン濃度分布を図 2.1-123 及び図 2.1-124 に示す。海水系地下水には大量の Na イオンが存在することから、セメント系材料からの Na イオン溶出による影響は確認されなかった。

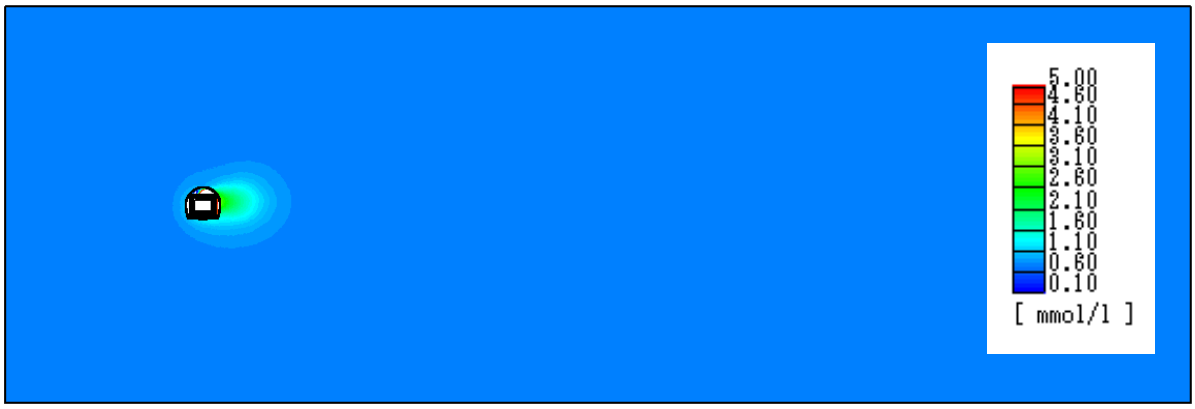


図 2.1-123　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 3：降水系地下水）

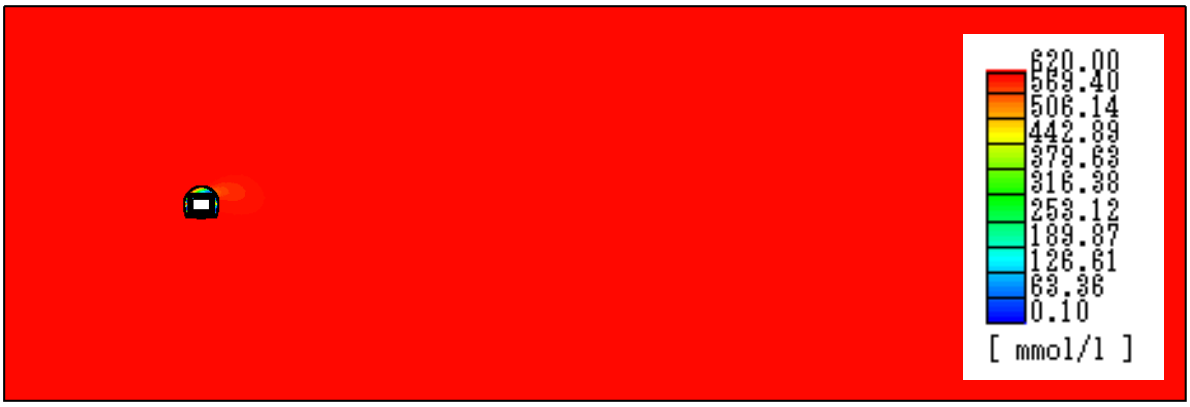


図 2.1-124　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 6：海水系地下水）

ケース 3 及びケース 6 における、400 年後の Ca イオン濃度分布を図 2.1-125 及び図 2.1-126 に示す。地下水組成が周辺岩盤の Ca イオンに及ぼす影響は小さい結果となった。

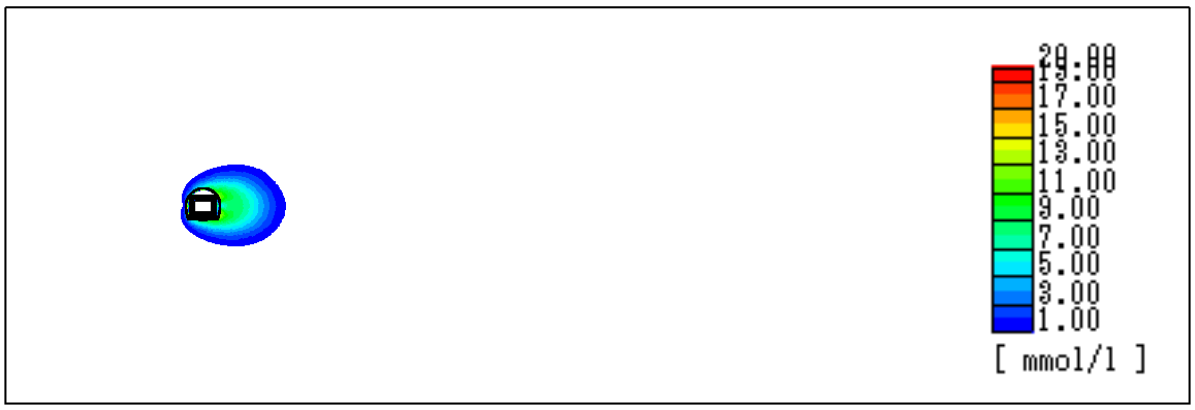


図 2.1-125　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 3：降水系地下水）

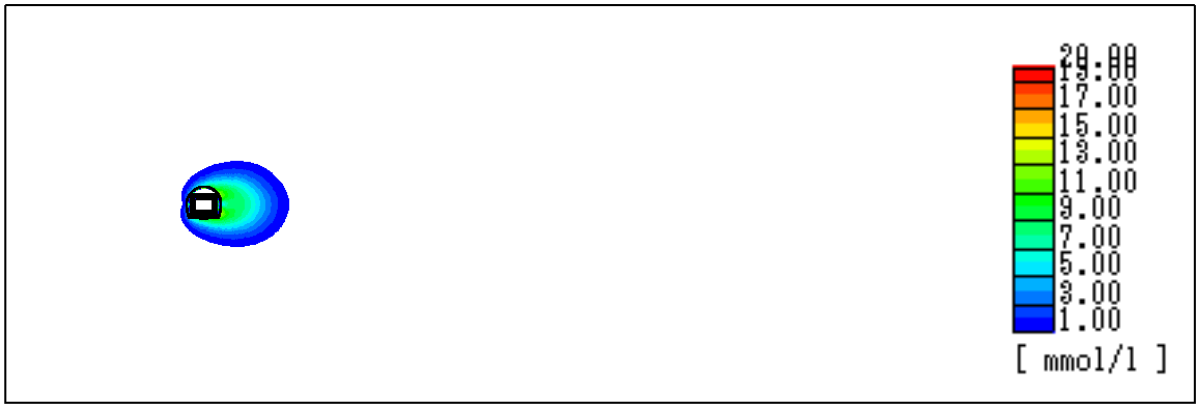


図 2.1-126　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 6：海水系地下水）

ケース 3 及びケース 6 における、400 年後の施設内における Na イオン分布を図 2.1-127 及び図 2.1-128 に示す。岩盤に存在する Na イオンが濃度拡散で施設内部に浸透している状況が確認された。また、ひび割れに沿って Na イオンが施設内に浸透している状況も確認された。

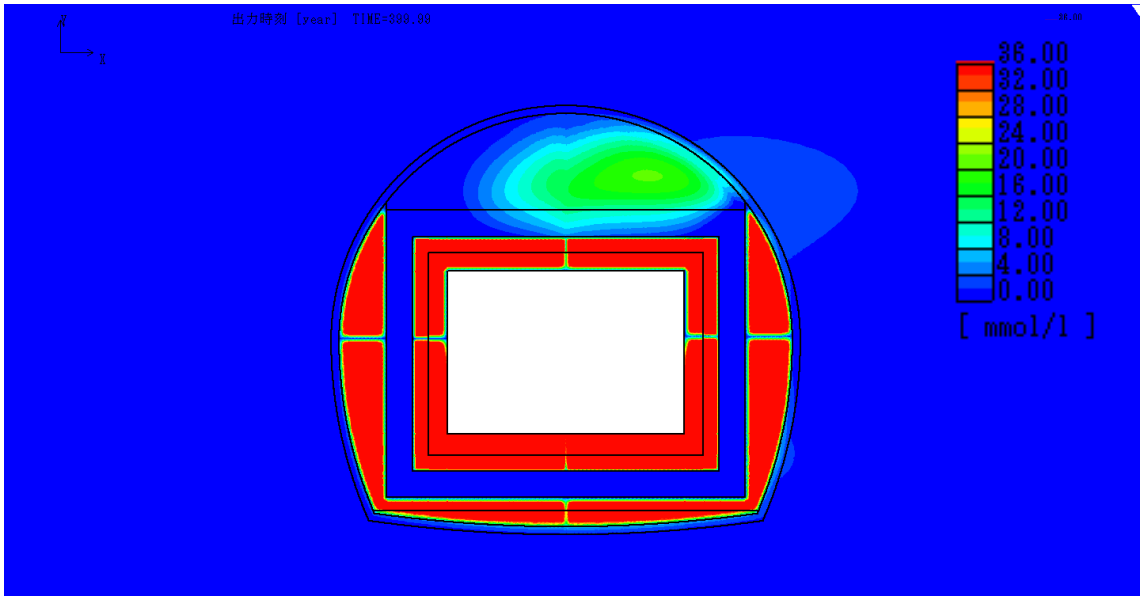


図 2.1-127　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 3：降水系地下水）

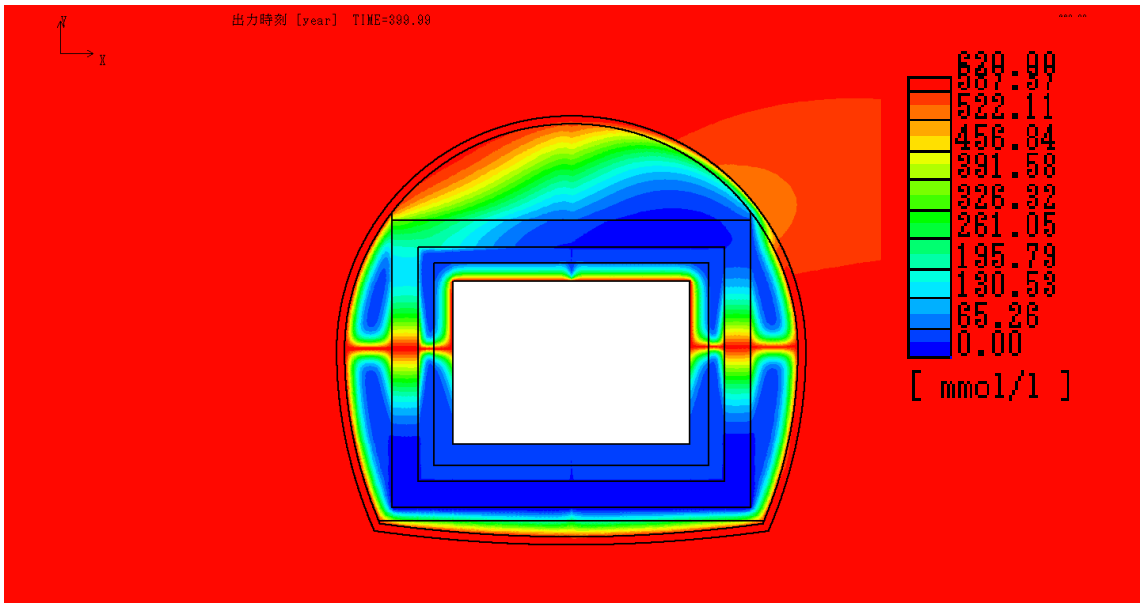


図 2.1-128　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 6：海水系地下水）

ケース 3 及びケース 6 における、400 年後の施設内における Ca イオン分布を図 2.1-129 及び図 2.1-130 に示す。海水中の Na イオンが施設内に浸透した影響で、吹付けコンクリートやひび割れ近傍において Ca の溶脱が若干抑制される結果となった。

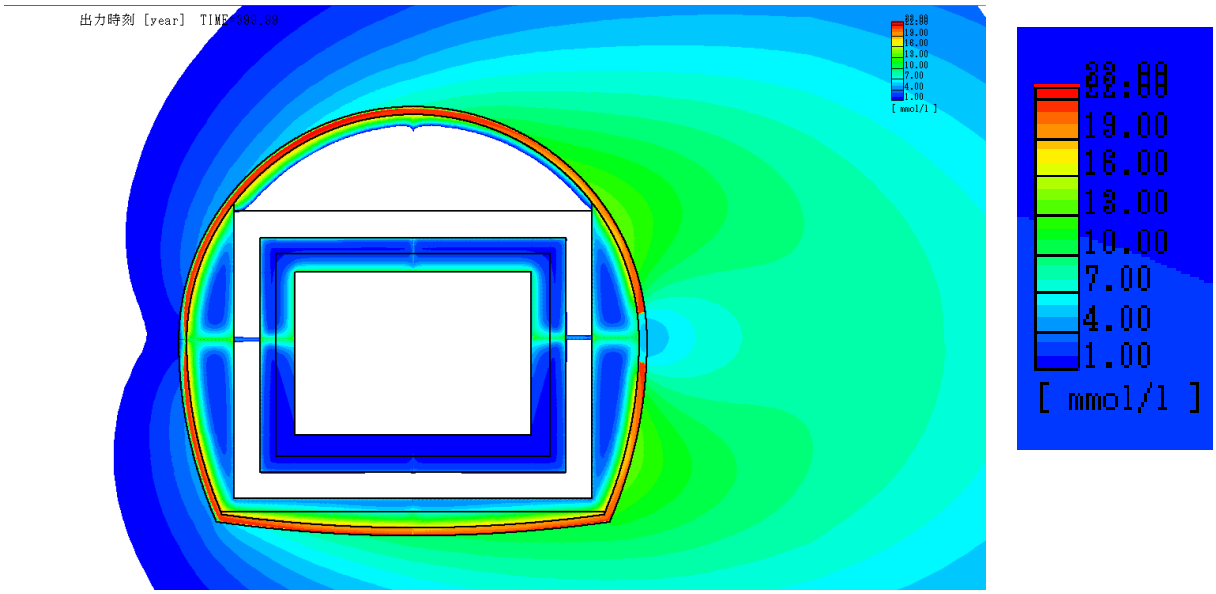


図 2.1-129　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 3：降水系地下水）

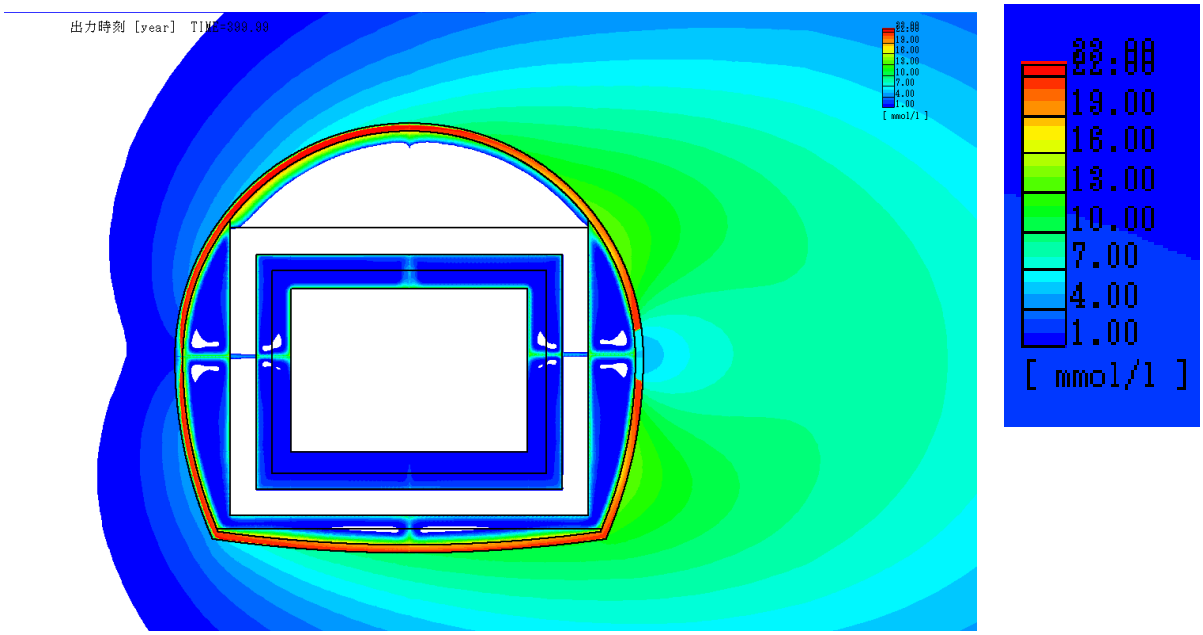


図 2.1-130　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 6：海水系地下水）

7）ケース 7（吹付けコンクリートの初期変質の影響）

ケース 3 及びケース 7 における、400 年後の pH 分布を図 2.1-133 及び図 2.1-134 に示す。本検討では、後述する吹付けコンクリートの $Ca(OH)_2$ 変質深さ評価結果より、施工時の湧水等の影響で吹付けコンクリートの岩盤との界面から 60mm 分が、初期から変質していたと仮定して解析を行うこととした。初期変質した範囲においては、空隙率が健全部の 15%から 25%まで増加していることが平成 28 年度の本業務で確認されている。図 2.1-132 によると、空隙率が 15%から 25%になることで、透水係数が 5 倍になる結果が得られている。このことから、吹付けコンクリートの初期変質部における透水係数は健全部の 5 倍である 5×10^{-8}m/s、拡散係数は 1×10^{-11}m²/s に設定した。

吹付けコンクリートの初期変質を考慮することで、周辺地下水の pH 上昇範囲が小さくなった。

表 2.1-60　解析ケース

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け初期変質
3	7%	○	－	－	降水系	－
7	7%	○	－	－	－	○

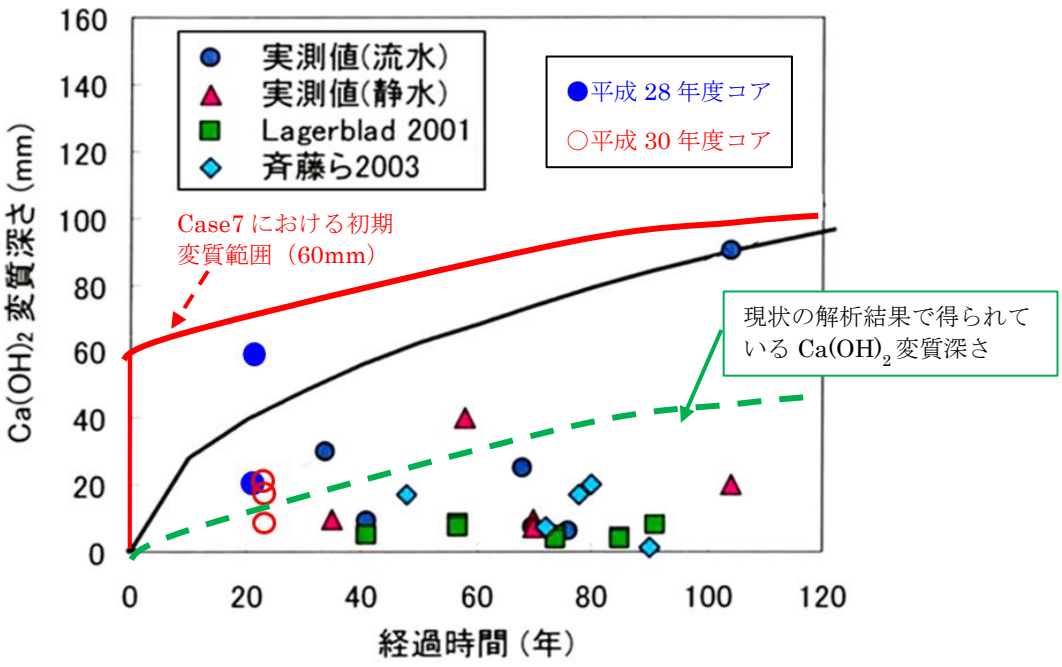


図 2.1-131　既往の研究における $Ca(OH)_2$ 変質深さ評価結果（[37]に一部追記）

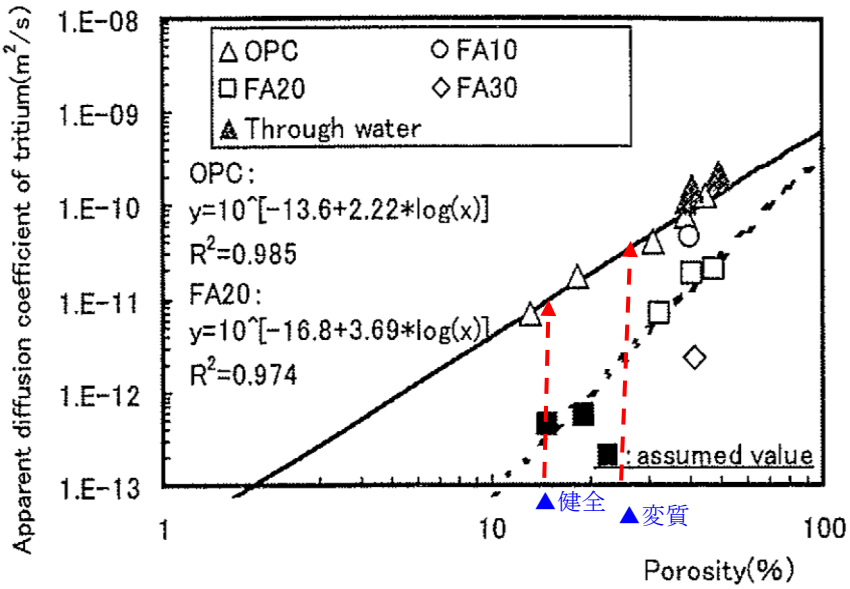


図 2.1-132　空隙率と透水係数の関係[39]

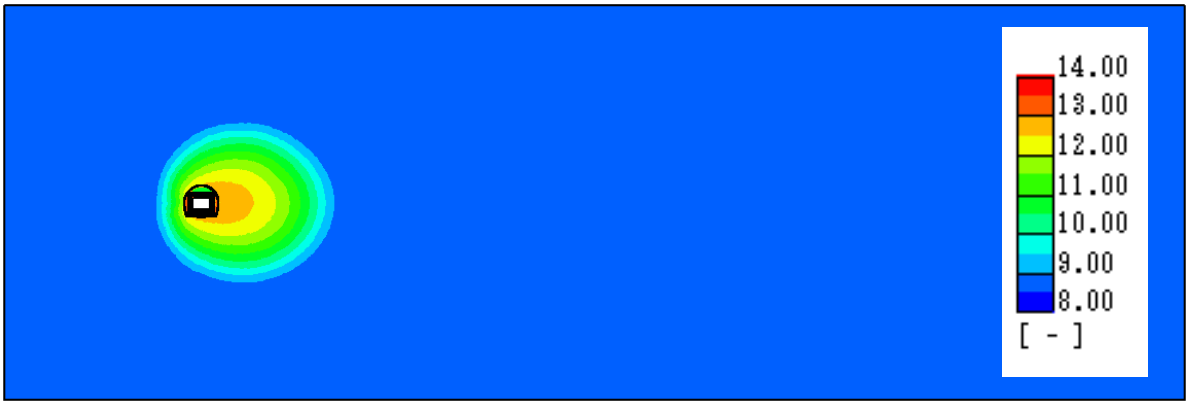


図 2.1-133　400 年後における pH 分布（ケース 3：吹付けコン初期変質無し）

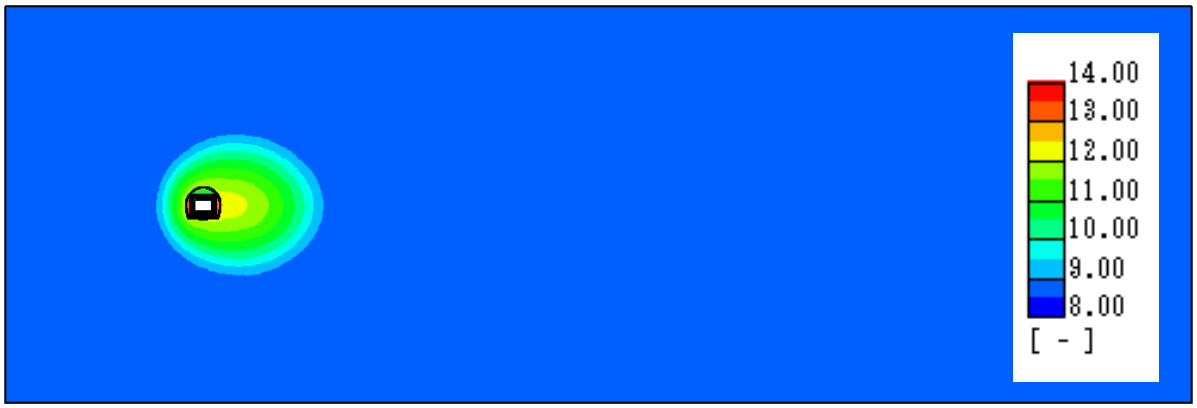


図 2.1-134　400 年後における pH 分布（ケース 7：吹付けコン初期変質有り）

ケース 3 及びケース 7 における、400 年後の Na イオン濃度分布を図 2.1-135 及び図 2.1-136 に示す。pH と同様に、吹付けコンクリートの初期変質を考慮することで、Na イオン濃度上昇範囲が小さくなった。

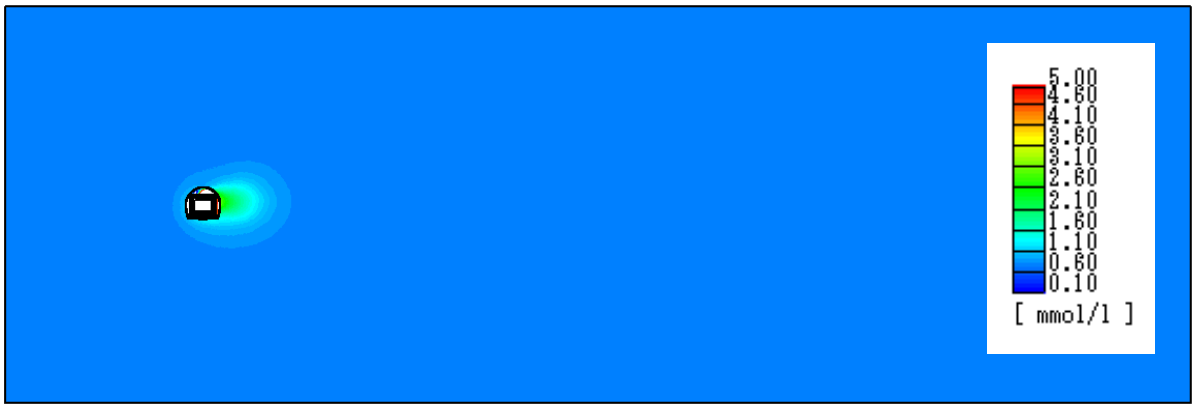


図 2.1-135　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 3：吹付けコン初期変質無し）

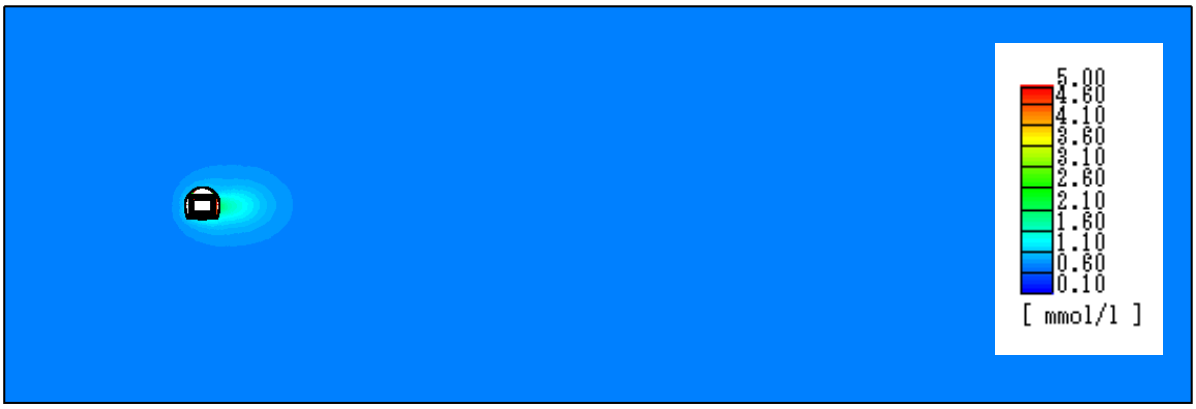


図 2.1-136　400 年後における Na イオン濃度分布（ケース 7：吹付けコン初期変質有り）

ケース 3 及びケース 7 における、400 年後の Ca イオン濃度分布を図 2.1-137 及び図 2.1-138 に示す。pH や Na イオンと同様に、吹付けコンクリートの初期変質を考慮することで、Ca イオン濃度上昇範囲が小さくなり、pH や Na イオンに比べてその影響が顕著に表れる結果となった。

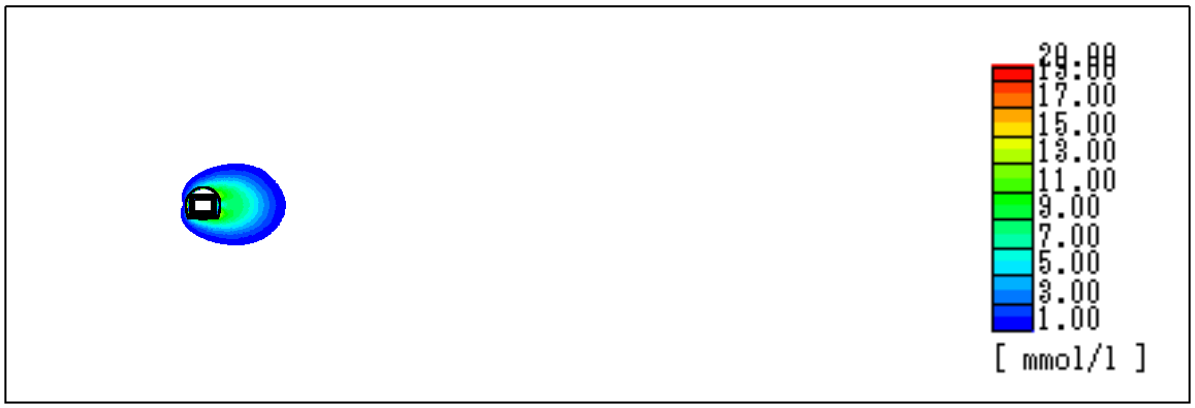


図 2.1-137　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 3：吹付けコン初期変質無し）

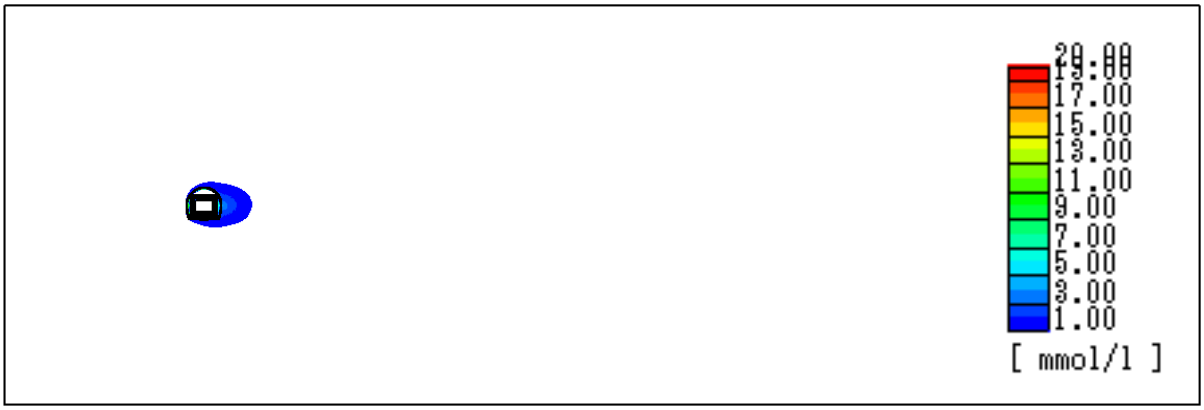


図 2.1-138　400 年後における Ca イオン濃度分布（ケース 7：吹付けコン初期変質有り）

ケース 3 及びケース 7 における、400 年後の施設内における Na イオン分布を図 2.1-139 及び図 2.1-140 に示す。上部埋め戻し材に含まれる Na イオンに着臆すると、動水勾配によって下流側に流されるケース 3 で見られた現象が、吹付けコンクリートの初期変質を考慮したケース 7 では見られない結果となった。また、上流側の吹付けコンクリート部に着目すると、ケース 3 では Na イオンが残存していないのに対し、ケース 7 では 400 年時点でまだ吹付けコンクリートに一部 Na イオンが残存している。すなわち、施設からの Na イオンの溶出や若干抑制される結果となっている。

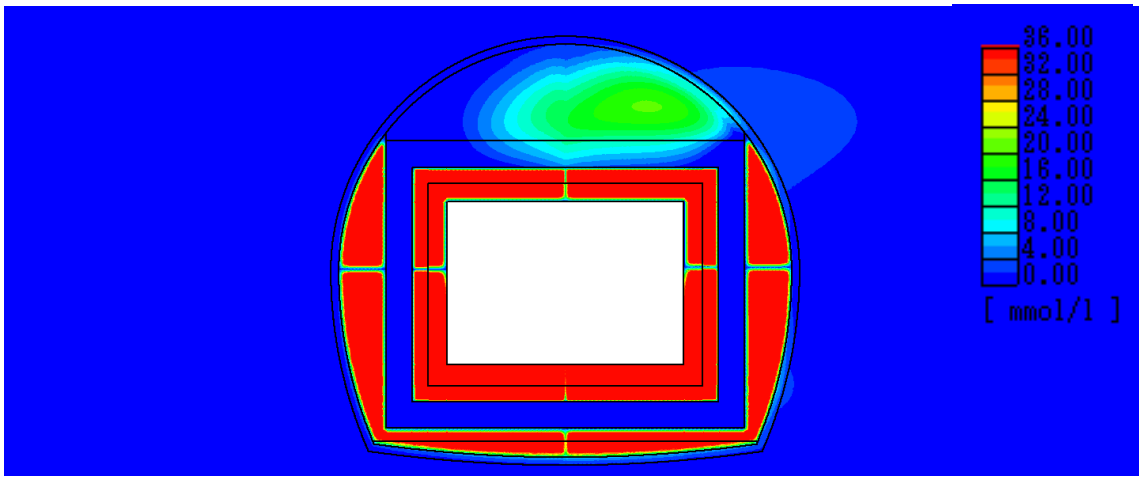


図 2.1-139　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 3:吹付けコン初期変質無し）

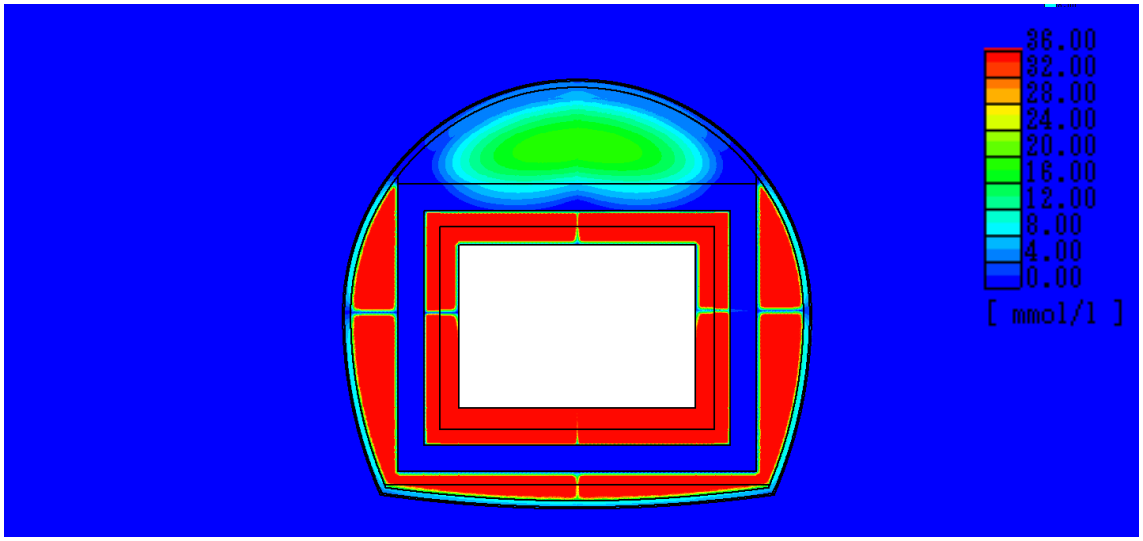


図 2.1-140　400 年後における施設内の Na イオン濃度分布（ケース 7:吹付けコン初期変質有り）

ケース 3 及びケース 7 における、400 年後の施設内における Ca イオン分布を図 2.1-141 及び図 2.1-142 に示す。吹付けコンクリート部分に着目すると、特に上流側と下流側において、ケース 3 に比べてケース 7 の方が、Ca イオン濃度が低い結果となっている。これは、前述のとおりまだ Na イオンが残存しているため、その影響で Ca イオンの溶出が抑制されて、濃度が上昇していないと考えられる。

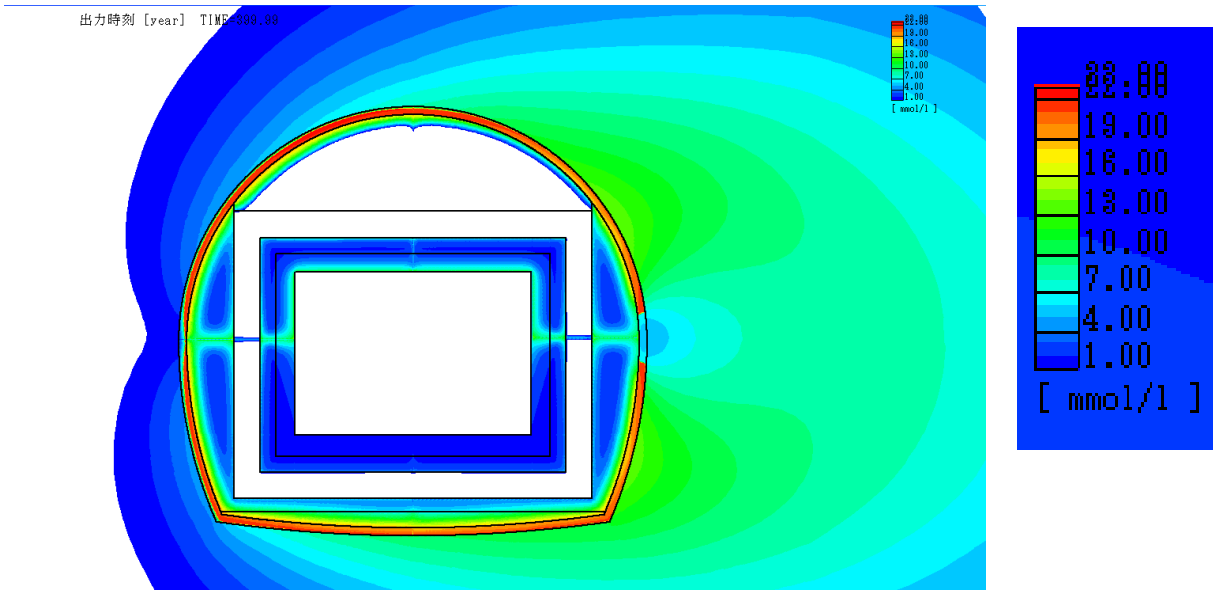


図 2.1-141　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 3:吹付けコン初期変質無し）

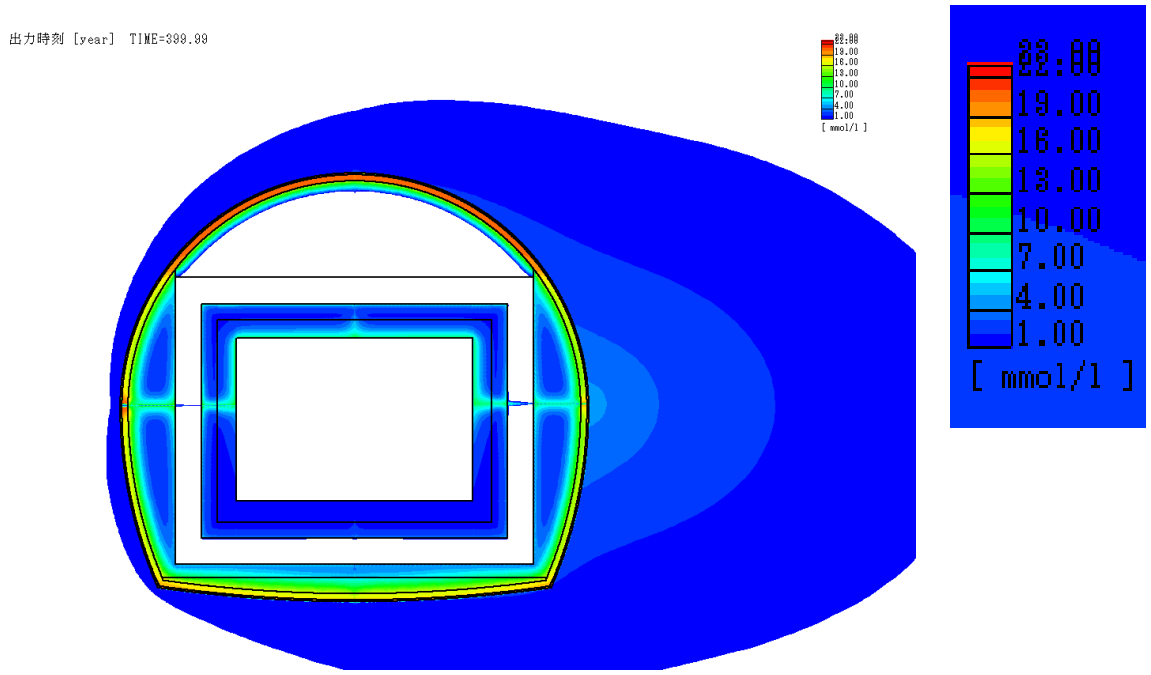


図 2.1-142　400 年後における施設内の Ca イオン濃度分布（ケース 7:吹付けコン初期変質有り）

(7) まとめ

本検討にて得られた結論を以下に示す。

・処分施設から溶出した OH^-、Na^+、Ca^{2+}の周辺地下水への影響範囲に及ぼす動水勾配の影響は大きく、動水勾配 0%と 7%で、pH の変化する範囲が 2 倍程度異なる。
・今回設定したひび割れ及び隙間が、施設から溶出するイオンの周辺地下水への影響範囲に及ぼす影響は小さい。
・透水係数が基礎岩盤に比べて 4 オーダー大きいと仮定した厚さ 2m の EDZ を考慮することによって、周辺地下水のイオン組成が変化する範囲は 10%程度大きくなる。
・今回の解析では、岩盤グラウト、地下水組成が周辺地下水に及ぼす影響は小さい結果となった。
・吹付けコンクリートの初期変質を考慮することで、イオンが移動しやすくなり、結果として岩盤中のイオン濃度上昇が抑制される。
・いずれの解析ケースにおいても、処分施設から溶出したイオンが、400 年間で周辺地下水のイオン組成の変化に影響を及ぼす範囲は 100m 程度である。

2.1.4　文献調査等による施設挙動の定量化

本項では、表 2.1-2、表 2.1-3 に示した項目のうち、2.1.2、2.1.3 の解析的検討で取り扱っていない事象について、起こりうる事象の計測実現性を確認することを目的として、既往の検討成果等を参照して定量化することを試みた。

(1) 廃棄体容器の腐食膨張

1) 廃棄体容器の概要

既往文献に基づく中深度処分を対象とした廃棄体の概念を図 2.1-143 に示す。廃棄体容器は厚さ t=50mm の炭素鋼（溶接構造用圧延鋼材; SM490）で製作され、重量は約 28t（廃棄物を含む）が見込まれている[55]。

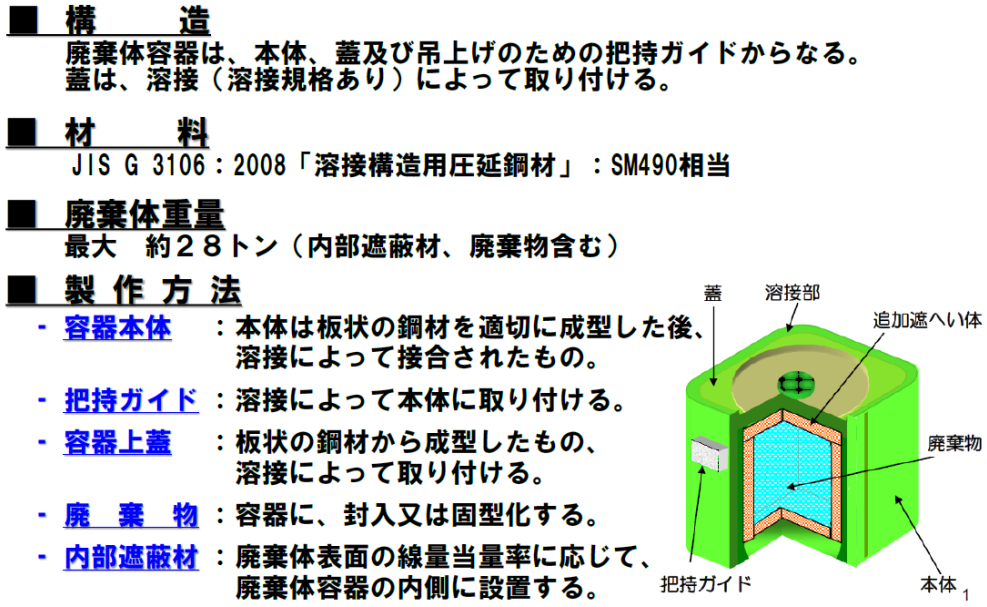


図 2.1-143　余裕深度処分廃棄体の一例（溶接容器のイメージ）

2) 腐食速度の検討事例

中深度（余裕深度）処分施設における廃棄体容器の腐食膨張について検討した公表文献は極めて少ない。腐食に関連する検討事例としては、土木学会による検討報告書[56]において、人工バリアのセメント系材料中の鉄筋の腐食について、「鉄筋コンクリート中の鉄筋が腐食膨張し、セメント系材料にひび割れが発生するなど、核種移行抑制機能に影響を及ぼす可能性がある」としたうえで、以下のように知見がまとめられている。

・建設・操業段階～再冠水：

腐食メカニズムは酸素消費型である。コンクリートピットの鉄筋はアルカリ環境下（pH=13 程度）にあるため不動態被膜に覆われて不動態化しており、腐食速度は極小である。腐食速度の検討事例[57]では、pH=12.5～13.5 程度の環境において平均腐食速度 0.1～0.05μm/y（323K）が報告されている。

・再冠水後以降：

腐食メカニズムは水素発生型となる。再冠水後の極初期は溶存酸素を消費する酸素消費型の腐食が進行し、鉄筋近傍の溶存酸素がある濃度以下になった後に水素発生型での腐食に移行する。この場合も腐食速度は極小である。その後、溶脱が鉄筋位置まで進行し、pH が 10 程度まで低下した以降は、鉄筋の腐食速度は大きくなる。既往の検討事例[58]では、低炭素及びアルカリ環境下における炭素鋼の腐食速度を腐食に伴う水素ガスの発生量より求めた結果として、pH=10 の環境下で 0.1μm/y のオーダー、pH=12.5 及び 13.5 において 0.01μm/y のオーダーが示されている。

一方、土木学会年次学術講演会における、余裕深度処分施設におけるセメント系人工バリア内の鋼材腐食についての検討事例（杉橋ほか[59]、及び松枝ほか[60]）では、廃棄体容器を含めた鋼材腐食に関する検討結果として、鋼材腐食に影響を及ぼす環境条件として、

・環境温度：
  ・温度範囲：10～60℃
  ・地下水組成：
  ・酸化還元電位：-200～0 mV
  ・pH：8.3～9.5
  ・塩化物イオン濃度：約 11～18 mg/L
・セメント系人工バリア内環境：
  ・建設・操業段階～再冠水～鋼材位置までセメント水和物溶脱時：pH=11.5～13 程度
  ・セメント水和物が鋼材位置まで溶脱後：pH=10～11.5 程度以下

を設定したうえで、腐食環境をステージⅠ～Ⅲの 3 つに区分し（表 2.1-61）、各ステージにおける腐食速度について、既往の文献調査結果に基づき「最も確からしいパラメータ」と「安全裕度を考慮したパラメータ」として設定するとともに、これ以上保守的に扱うことが科学的に否定できる値として棄却できる範囲を示している（表 2.1-62）。

表 2.1-61　人工バリア内鋼材の腐食シナリオ

腐食環境 ステージ	対象 鋼材	環境 温度	腐食 メカニズム	ｐＨ	腐食生成物 腐食形態	腐食速度
ステージⅠ 建設・操業段階～ 再冠水	炭素鋼	10～60℃	酸素 消費型	11.5～13 程度	Fe_3O_4 全面腐食	腐食速度 Ⅰ
ステージⅡ 再冠水後～ 鉄筋位置まで溶脱			水素 発生型			腐食速度 Ⅱ
ステージⅢ 鉄筋位置まで溶脱後				10～11.5 程度以下		腐食速度 Ⅲ

表 2.1-62　腐食速度パラメータ一覧

	最も確からしいパラメータ（μm/y）	安全裕度を考慮したパラメータ（μm/y）	既往の研究		棄却できる範囲
			μm/y	論文数	
腐食速度Ⅰ	1以下	1	1以下	3	10μm/y＜
			0.01～1	1	
			0.1以下	1	
			0.4～1	1	
腐食速度Ⅱ	0.01	0.02	0.01	3	1×10^{-4}μm/y＞，10μm/y＜
			0.002	2	
			0.004～0.01	1	
			0.02以下	1	
			0.02	1	
腐食速度Ⅲ	0.5	2.0	0.3	2	1×10^{-4}μm/y＞
			0.3～0.39	1	
			0.35	1	
			0.37～2.4	1	
			0.49	1	
			1.1	1	
			2.0	1	

3）腐食膨張の程度

鋼材の腐食に伴う体積膨張率に関しては、地層処分研究開発第 2 次取りまとめ（H12 レポート）では、オーバーパックの腐食膨張に関する検討において体積膨張率を 3 倍と設定している。この値と保守的な腐食速度として、表 2.1-62 の安全裕度を考慮した腐食速度を考えた場合、例えば廃棄体容器の腐食膨張は保全段階終了まで（約 330 年）の期間においては、廃棄体部では再冠水が完了していない（ステージⅠ、腐食速度 1μm/y）と想定され、腐食厚さは約 0.3mm、腐食による体積膨張（腐食膨張）は約 1mm が見込まれる。

(2) 区画内充てん材のひび割れ発生

区画内充てん材（廃棄体間充てん材、上部充てん材）は、地下空洞型処分施設性能確証試験[61][62]において、室内配合選定試験及び現場施工性試験が行われた。ここでは、確証試験における試験結果を参照し、廃棄体間充てん材及び上部充てん材のひび割れ発生状況を定量化する。

1) 廃棄体間充てん材

廃棄体間充てん材の配合は、表 2.1-63 に示す低拡散層のうち LP45 配合を基本配合として、

・高い流動性を有すること

・材料分離抵抗性を有すること

・高温環境下での施工においても上記性能を有すること（廃棄体の発熱に対する対応）

を要求性能として配合選定試験が行われた。

配合選定試験から得られた使用材料と配合を表 2.1-64 に示す。区画内充てん材の配合は、遠隔操作によって狭隘な廃棄体間のすき間を充填可能とするため、スランプフローを 82.5±7.5cm（75cm～90cm）に増大させている。一方、流動性を増大させたことにより材料分離抵抗性が低下しないよう粉体量を増大させている。また、発熱した廃棄体に接することを想定した高温環境下での試験により、高温環境下でも所定の性能が得られる混和材を選定している。膨張材の有無については、区画内充てん材の要求機能が遮へいと核種収着性であることから[63]、膨張材は不要と判断されている。

表 2.1-63　低拡散層の使用材料と配合[61]

表 3.1-9　使用材料

材料	記号	概要
セメント	LPC	低熱ポルトランドセメント（太平洋セメント社） 密度=3.22 g/cm³、比表面積=3,430cm²/g
細骨材	S	石灰砕砂（八戸松館産）：密度=2.66g/cm³、FM=2.75
石灰石微粉末	LS2	石灰石微粉末（宮城石灰工業株式会社製） 密度=2.72g/cm³、比表面積=5,420cm²/g
フライアッシュ	FA	フライアッシュ、Ⅱ種（東北電力㈱　能代火力発電所） 密度=2.25g/cm³、比表面積=3,740cm²/g
膨張材	LEX	改良型ハイパーエクスパン（太平洋マテリアル）、密度＝3.05 g/cm³
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤（花王）、マイティ 3000H：カルボキシル基含有ポリエーテル系化合物
	As	空気量調整剤（エムエムビー） マイクロエア 404：ポリアルキレングリコール誘導体

表 3.1-10　配合

配合名	W/B (%)	W/P (%)	LS/B (%)	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m³)								
						W	粉体 P					S	G	SP P×%
							結合材 B			LS1	LS2			
							LPC	FA	LEX					
LP45	45.0	31.0	45	65	2.5	230	338	153	20	－	230	1,279	－	0.68
LP60	45.0	28.1	60	65	2.5	230	338	153	20	－	307	1,204	－	0.68

表 2.1-64　廃棄体間充てん材の使用材料と配合[61]

表 4.1-23　使用材料

材料	記号	概要
セメント	LPC	低熱ポルトランドセメント（太平洋セメント社） 密度=3.22 g/cm³、比表面積=3,430cm²/g
細骨材	S	石灰砕砂（八戸松館産）：密度=2.66g/cm³、FM=2.75
石灰石微粉末	LS2	石灰石微粉末（宮城石灰工業株式会社製） 密度=2.72g/cm³、比表面積=5,420cm²/g
フライアッシュ	FA	フライアッシュ、Ⅱ種（東北電力㈱　能代火力発電所） 密度=2.25g/cm³、比表面積=3,800cm²/g
膨張材	LEX	改良型ハイパーエクスパン（太平洋マテリアル）、密度＝3.05 g/cm³
混和剤	SP3	高性能 AE 減水剤（BASF ポゾリス）、SP8LS：ポリカルボン酸エーテル系化合物と配合ポリマーの複合体
	Ad	減水剤 遅延型（Ⅰ種）（BASF ポゾリス）、ポゾリス No.89：変性リグニンスルホン酸化合物とオキシカルボン酸化合物の複合体
	As	空気量調整剤（エムエムビー） マイクロエア 404：ポリアルキレングリコール誘導体

表 4.1-24　配合

W/B (%)	W/P (%)	LS/B (%)	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m³)							
					W	粉体 P				S	SP3 P×%	Ad P×%
						結合材 B			LS2			
						LPC	FA	LEX				
45	28.1	60	82.5±7.5	2.5	230	358	153	0	307	1,205	0.85%	0.30%

区画内充てん材に対して実施された初期性能確認試験のうち、ひび割れに関する試験は、

・自己収縮試験

・拘束膨張試験

・長さ変化試験

・断熱温度上昇試験

・ひび割れ調査（現場打設後の目視調査）

である[61]。ここでは、自己収縮試験、拘束膨張試験、長さ変化試験の結果から収縮量を推定するとともに、実際に発生したひび割れとの比較を行う。

自己収縮試験、拘束膨張試験、長さ変化試験から得られたひずみを表 2.1-65 に示す。

表 2.1-65　廃棄体間充てん材のひずみ測定結果（20℃環境）[61]

試験名	ひずみ（μ）	材齢
自己収縮試験	250（収縮）	56 日
拘束膨張試験	330（収縮）	35 日
長さ変化試験	620（収縮）	6 ヶ月

拘束膨張試験は、材齢 7 日以降は相対湿度 60±5%の環境下で試験を実施しており、乾燥による収縮が含まれるため、総収縮ひずみは、自己収縮試験と長さ変化試験の結果から、

250＋620＝870 μ

程度と推定される。

平成 21 年度の施工確認試験において現場で打設された廃棄体間充てん材には、上部充てん材が直上に打設された材齢 10 日後までにひび割れは確認されていない[61]。平成 22 年度

は、図 2.1-144 に示すように、模擬廃棄体隅角部を起点とするひび割れ発生、模擬廃棄体との界面における間隙及びひび割れ発生、コンクリートピットとの界面付近におけるひび割れ発生が確認された[62]。平成 22 年度には、模擬廃棄体としてコンクリート製のブロックを使用したため、模擬廃棄体との界面における間隙の発生は、吸水によるものと推定されている[62]。ひび割れについては、上述の室内試験結果から、ひび割れ幅を推定すると、

模擬廃棄体廃棄体間隔：260mm×870×10^{-6}＝0.23mm

打設範囲短手方向：5,400mm×870×10^{-6}＝4.7mm

となる。模擬廃棄体の隅角部を起点とするひび割れの多くが、ひび割れ幅 0.2～0.4mm であり、収縮ひずみからの推定値と概ね整合する。また、打設範囲長手方向のひび割れ幅（短手方向の収縮量）を合計すると、図 2.1-144 に示す中心線では 3.0mm となり、概ね整合していると言える。

以上より、廃棄体間充てん材には、打設後比較的短期間で幅 1mm 程度のひび割れが複数発生することが想定され、主なひび割れ発生位置は、廃棄体との界面、廃棄体の隅角部、コンクリートピットとの界面と想定される。

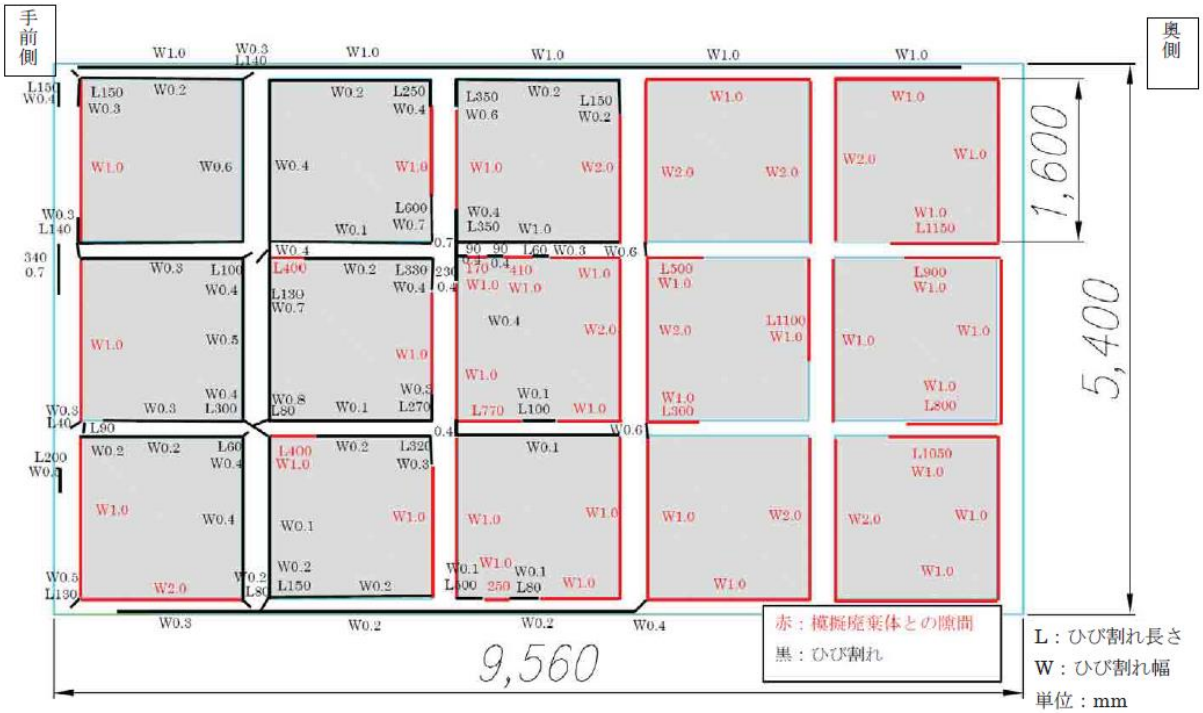


図 2.1-144　廃棄体間充てん材のひび割れスケッチ図[62]

2）上部充てん材

上部充てん材の配合は、表 2.1-66 に示すコンクリートピットの配合を基本配合として、

・高い流動性を有すること

・材料分離抵抗性を有すること

を要求性能として配合選定試験が行われた。

配合選定試験から得られた配合を表 2.1-67 に示す。使用材料は表 2.1-66 に示したコンク

リートピットと同様である。上部充てん材の配合は、遠隔操作によって広い範囲に打設され、必要な遮へい厚さを確保するためのセルフレベリング性を確保するため、スランプフローを70±5cm（65cm～75cm）に増大させている。石灰石微粉末量を 215kg/m³ 以上に増大させてもスランプスローを大きくできなかったため、過度に高粘性とならないように材料分離抵抗性と流動性のバランスを考慮した配合選定が行われている。膨張材の有無については、廃棄体間充てん材と同様に、区画内充てん材の要求機能が遮へいと核種収着性であることから[63]、膨張材は不要と判断された。

表 2.1-66　コンクリートピットの使用材料と配合[61]

表 2.1-3　使用材料

材料	記号	概要
セメント	LPC	低熱ポルトランドセメント（太平洋セメント社） 密度=3.22 g/cm³、比表面積=3,640cm²/g
細骨材	S	石灰砕砂（八戸松館産）：密度=2.66g/cm³、FM=2.79
粗骨材	G	石灰砕石（八戸松館産）：最大骨材寸法=20mm、 岩種：石灰岩、密度=2.69g/cm³、FM=6.63
石灰石微粉末	LS1	石灰石微粉末（太平洋セメント社、熊谷工場） 密度=2.70 g/cm³、比表面積=5,390cm²/g
	LS2	石灰石微粉末（宮城石灰工業株式会社製） 密度=2.71g/cm³、比表面積=5,510cm²/g
フライアッシュ	FA	フライアッシュ、Ⅱ種（東北電力㈱　能代火力発電所） 密度=2.18g/cm³、比表面積=3,810cm²/g
膨張材	LEX	改良型ハイパーエクスパン（太平洋マテリアル）、密度＝3.05 g/cm³
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤（花王）、マイティ 3000H：カルボキシル基含有ポリエーテル系化合物
	As	空気量調整剤（エムエムビー） マイクロエア 404：ポリアルキレングリコール誘導体

表 5.1-5　配合表（H20 コンクリートピット）

W/B (%)	W/P (%)	LS/B (%)	s/a (%)	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ (cm)	空気量 (%)	使用材料および単位量　(kg/m³)							
						水 W	粉体 P				S	G	SP P×%
							結合材 B			LS2			
							LPC	FA	LEX				
45	30.0	50	53.4	65±5	2.5	160	229	107	20	249	815	780	0.8%

表 2.1-67　平成 21 年度に選定された上部充てん材の配合[61]

表 5.1-7　配合

W/B (%)	W/P (%)	LS/B (%)	s/a (%)	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ (cm)	空気量 (%)	使用材料および単位量　(kg/m³)							
						水 W	粉体 P				S	G	SP P×%
							結合材 B			LS2			
							LPC	FA	LEX				
45	28.0	50	52.4	70±5	2.5	160	249	107	0	215	849	780	0.80%

しかし、平成 21 年度の施工確認試験において、現場で打設された上部充てん材とコンクリートピット内面との界面に 2～3mm 程度の間隙が発生した。このことから、平成 22 年度には、膨張材を添加する配合修正を行うとともに、廃棄体間充てん材と同様に、廃棄体の発

熱影響を考慮した配合選定試験が行われた[62]。平成 22 年度の配合選定試験から得られた使用材料と配合を表 2.1-68 に示す。平成 21 年度の配合からの修正点は、膨張材を 20k/m³ 添加すること、熱影響を考慮して混和材を変更することの 2 点である。

表 2.1-68　平成 22 年度に選定された上部充てん材の使用材料と配合[62]

表 3.1-7　使用材料

材料	記号	概要
セメント	LPC	低熱ポルトランドセメント（太平洋セメント） 密度=3.22 g/cm³、比表面積=3,540cm²/g
細骨材	S	石灰砕砂（八戸松館産）：密度=2.67g/cm³、FM=2.71
粗骨材	G	石灰砕石（八戸松館産）：最大骨材寸法=20mm、 密度=2.70g/cm³、FM=6.76
石灰石微粉末	LS	石灰石微粉末（宮城石灰工業） 密度=2.67g/cm³、比表面積=5,120cm²/g
フライアッシュ	FA	フライアッシュ、Ⅱ種（東北電力㈱　能代火力発電所） 密度=2.22g/cm³、比表面積=4,020cm²/g
膨張材	LEX	改良型ハイパーエクスパン（太平洋マテリアル） 密度＝3.05 g/cm³
混和剤	SP1	高性能 AE 減水剤（花王）、マイティ 3000H：カルボキシル基含有ポリエーテル系化合物
	SP2	高性能 AE 減水剤（BASF ポゾリス）、SP8RV 改良品：ポリカルボン酸エーテル系化合物
	SP3	高性能AE減水剤（BASFポゾリス）、SP8LS：ポリカルボン酸エーテル系化合物と配合ポリマーの複合体
	Ad	減水剤 遅延型（Ⅰ種）（BASF ポゾリス） ポゾリス No.89：変性リグニンスルホン酸化合物とオキシカルボン酸化合物の複合体
	As	空気量調整剤（エムエムビー） マイクロエア 404：ポリアルキレングリコール誘導体

表 3.1-14　配合

Gmax (mm)	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ (cm)	空気量 (%)	W/B (%)	W/P (%)	s/a (%)	使用材料および単位量 (kg/m³)							SP P×%	Ad P×%	As P×%
						W	粉体 P				S	G			
							結合材 B			LS					
							LPC	FA	LEX						
20	70±5	2.5±1.5	45	28.0	52.5	160	229	107	20	215	851	780	1.10	0.20	0.02

上部充てん材に対して実施された初期性能確認試験のうち、ひび割れに関する試験は、

・自己収縮試験

・拘束膨張試験

・長さ変化試験

・断熱温度上昇試験

・ひび割れ調査（現場打設後の目視調査）

である[62]。ここでは、自己収縮試験、拘束膨張試験、長さ変化試験の結果から収縮量を推定するとともに、実際に発生したひび割れとの比較を行う。

自己収縮試験、拘束膨張試験、長さ変化試験から得られたひずみを表 2.1-69 に示す。

表 2.1-69　上部充てん材のひずみ測定結果（20℃環境）[62]

試験名	ひずみ（μ）	材齢
自己収縮試験	23（膨張）	56 日
拘束膨張試験	139（膨張）	35 日
長さ変化試験	217（収縮）	182 日

拘束膨張試験は、材齢 7 日以降は相対湿度 60±5%の環境下で試験を実施しており、乾燥による収縮が含まれるたが、廃棄体間充てん材と異なり、膨張材を添加していることから得られたひずみは膨張側である。したがって、総収縮ひずみは、3 試験の結果から、

－23－139＋217＝55μ（＋：収縮）

程度と推定される。

平成 22 年度の施工確認試験において現場で打設された上部充てん材は、図 2.1-145 に示すように、打設翌日にひび割れ及びコンクリートピット内面との界面における間隙の発生が確認されている。施工確認試験では、打設後の養生の有無をパラメータとして試験を実施しているため、養生の有無でひび割れ及び間隙の発生状況が大きく異なる結果が得られている。ただし、ひび割れ発生箇所を鉛直方向にコア削孔し、ひび割れの深度を測定した結果、ひび割れ幅が最も大きい箇所においても、ひび割れの深度は 140mm 程度であり、ごく表層部分にのみひび割れが発生していることが確認された。

上述の室内試験結果から、ひび割れ幅を推定すると、

打設範囲長手方向：10,700mm×55×10^{-6}＝0.59mm

打設範囲短手方向： 7,050mm×55×10^{-6}＝0.39mm

となる。養生なし範囲においては、推定値よりも大きなひび割れが発生しているものの、養生あり範囲においては、概ね整合すると言える。

コンクリートピット内面との界面における間隙については、養生なし範囲で顕著に見られた。深さ方向に貫通していることが確認されている。一方、養生あり範囲では、間隙発生範囲が局所的であり、深さ方向に貫通していないことが確認されている[62]。

以上より、上部充てん材には、表面の乾燥を防止する養生ができない場合、打設直早期に最大で幅 1mm 程度のひび割れが複数発生するとともに、コンクリートピットとの界面に間隙が生じることが想定される。適切な湿潤養生が実施可能な場合には、微細なひび割れが発生する可能性がある。いずれの場合も、ひび割れ発生位置、方向を予め特定することは困難と考えられる。

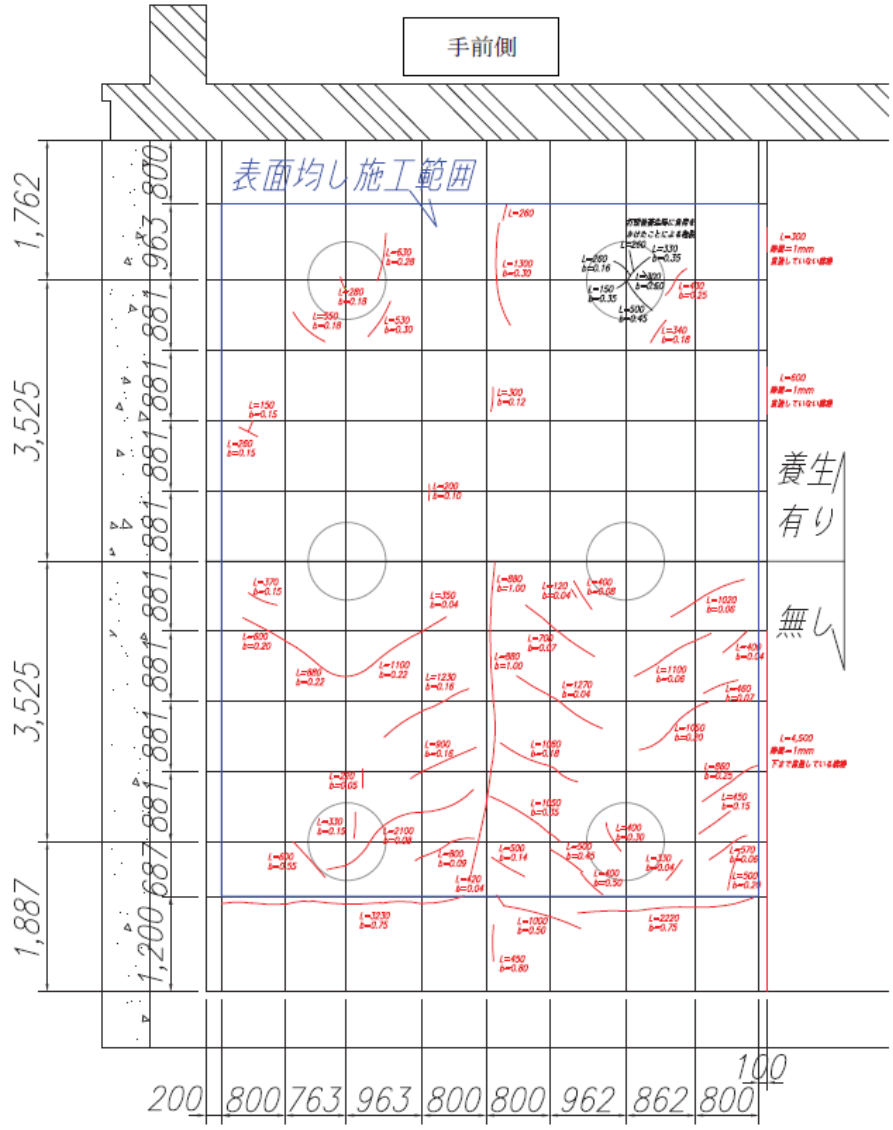


図 2.1-145　上部充てん材のひび割れスケッチ図[62]

(3) 放射線分解ガスの発生

処分施設におけるガスの発生起源は、①金属腐食、②有機物の微生物分解、及び③水の放射線分解、に大別される。

Rodwell らによる GASNET 報告書[64]では、処分場におけるガスによる潜在的な影響は一般的に以下の 4 点に集約されるとされており、旧サイクル機構（現 JAEA）の TRU 処分におけるガス影響評価[65]においても、これらの項目を参照して検討を実施している。

① バリアの力学的健全性に対する影響

気体の生成の後で発生する可能性のある圧力の上昇が原因となって、処分場と岩盤構造に発生する力学的な影響

② 汚染水の押し出しの影響

処分場周囲の地下水の流動と輸送に影響を与える気体の直接的な効果（汚染された水が

処分場から強制的に放出されることを含む)

③ 放射性ガス放出、可燃性ガス放出の影響

様々な気体の生物圏への放出

④ 形成された気体が処分場の化学的な環境に及ぼす影響

上記①～③に比較して一般的には重要性は低いと考えられる

本項では、関連する既往検討におけるガス発生影響評価の事例を参照し、放射線分解ガスの発生の関連からの知見について整理する。

1) TRU 処分施設における放射線分解ガスの発生評価

第 2 次 TRU レポート[89]では、以下のような事象によるガス発生を想定してガス影響の評価を実施しており、TRU の廃棄体グループ 2（キャニスタ）に対してガス発生速度の経時変化について図 2.1-146 のように見積もっている。結果として、比較的初期（～600 年程度）における最大ガス発生速度は廃棄体内間隙水の放射線分解によって決定され、以降はハスの腐食によるガス発生の寄与が大きくなり、全体として廃棄体外のセメント系充填材間隙水の放射線分解や有機物の微生物分解のガス発生への寄与は小さいことが示されている。

・金属腐食

処分施設内に存在する主な金属として、ドラム缶などの構成材料である炭素鋼やステンレス鋼、燃料集合体に用いられているジルカロイやインコネルなどがあり、これらの金属の還元性雰囲気下の腐食にともなう水素ガスの発生を想定する。

・有機物の微生物分解

処分施設内に存在する代表的な有機物にはアスファルト及びセルロースなどがあり、これらの有機物の微生物分解によるガス発生を想定する。処分環境において微生物活動によって発生する主要なガスは CO2（主な微生物）、N2（脱窒菌）及び CH4（メタン生成菌）である。検討では、セルロースは全量がガスまで分解されるものとし、アスファルトについては微生物分解対象となる成分をアスファルテン、レジン等を除いた脂肪族炭化水素及び芳香族炭化水素とし、アスファルトに占める脂肪族炭化水素及び芳香族炭化水素の含有率は、ブローンアスファルトで得られた値である 56%を用いて算定する。

・放射線分解

廃棄物中に含まれる放射性核種からの放射線の作用により、廃棄物あるいは充填材中の間隙水が分解され、水素などのガスが発生する。

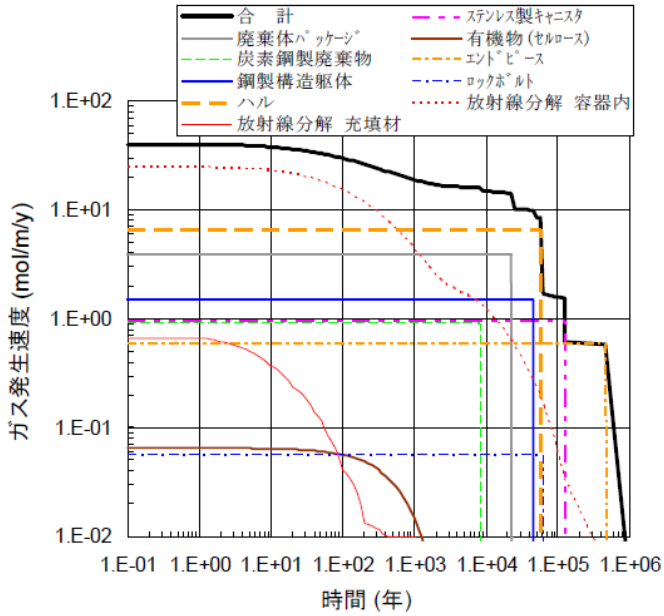


図 2.1-146　年間ガス発生速度の経時変化（廃棄体グループ 2(キャニスタ)、結晶質系岩盤）

2）余裕深度処分を対象とした既往検討におけるガス影響評価事例

余裕深度処分施設のガス移行影響を対象とした検討事例は非常に限定的であるが、例えば、熊谷らの論文[66]では、ガス影響評価解析において、図 2.1-147 に示すようなガス発生に伴う施設の処分システムの状態変化が設定されており、長期的な状態設定において着目されているパラメータとしては、K（絶対浸透率）、Sw（水飽和度）、Krw（水相相対浸透率）、Krg（ガス相相対浸透率）である。図によると、操業期間中に相当する期間（～103 年）の状態変化としては、低拡散層、低透水層ともに劣化はほとんどなく、絶対浸透率に関しても、バリアの劣化はなく低透水性を維持しているものとされている。また、当該期間に施設の再冠水は進行し、低透水層は高飽和度を維持、低拡散層は緩やかに飽和度が上昇する状態となり、飽和の進展にしたがって、相対浸透率は水相が上昇し、ガス相は減少するとされている。

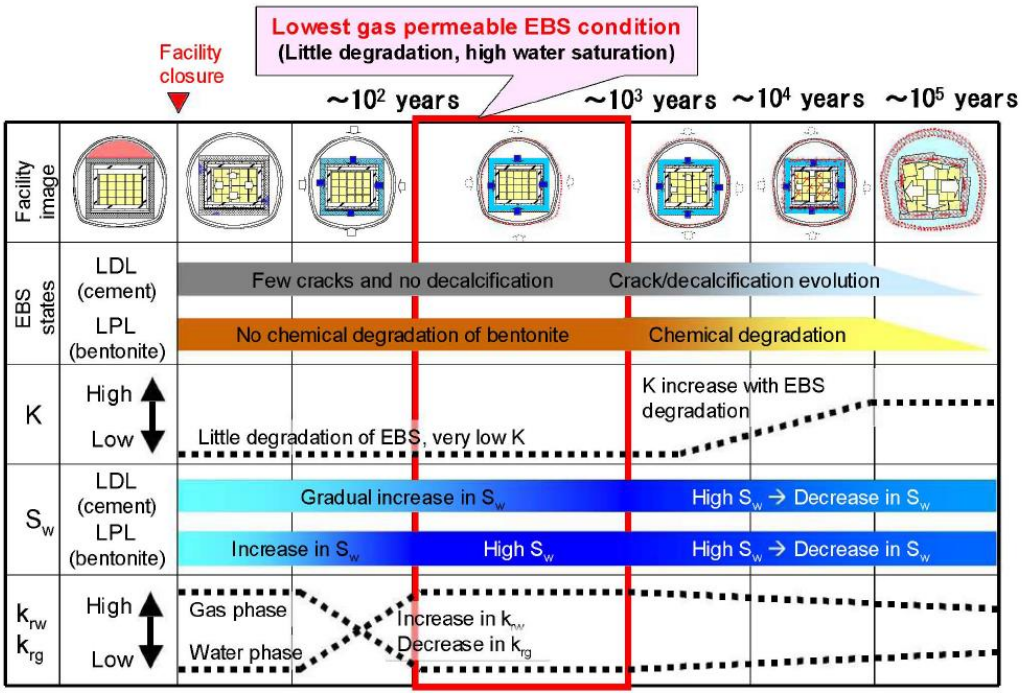


図 2.1-147　処分施設の状態変遷

施設からのガス発生量は、対象とする廃棄物とコンテナに対して、大きさ、数量、形状、及び腐食速度を設定し、嫌気性金属腐食及び水の放射線分解を考慮した評価の結果として、5Nm³/y/Lot 及び 20 Nm³/y/Lot の 2 ケースが設定されている。施設の再冠水後 1,000 年間のガス移行挙動に伴う施設の健全性を解析的に評価した結果、発生量 5Nm³/y/Lot のケースでは、発生したガスは主要なバリアに損傷を与えないと予想されること、その一方で、発生量 20Nm³/y/Lot のケースでは、個々のバリア材にガス圧の明確なピークが見られ、低拡散層（セメント系バリア材）においては局所的に発生応力が引張応力を超える、すなわち、クラックが発生する可能性があることが示されている。論文では、結論として、ガス発生量があるレベル以下であれば、発生ガス圧は、バリア材に力学的な損傷を与えるものではないとされている。

3）規制関係文書における放射線分解ガスへの対応の考え方

原子力安全委員会による「余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方」[67]では、基本ガス移行シナリオの設定におけるシナリオ設定の考え方のなかで、水の放射線分解及び金属の腐食による水素ガスの発生等に関して、『ガスの発生量及び発生速度等を評価し、埋設施設の設計、人工バリアの構成部位の透気特性（例えば、ベントナイトの透気特性）等を勘案した上で、ガスが人工バリアの劣化又は地下水の移行に及ぼす影響を評価する必要がある』としたうえで、『これらのガスが地下水に溶存して地下水とともに挙動する場合には、ガス移行シナリオを設定する必要はなく、地下水シナリオの評価において放射性ガス溶解の影響を考慮することが適当である』としている。

ガスの発生挙動については、多重バリアの状態設定に応じて変化することから、基本ガス

移行シナリオの評価は、基本地下水シナリオと同様に、時間的経過段階における状態設定の考え方に基づき、①過渡的な期間、②多重バリア機能に期待する期間、③主に天然バリア機能に期待する期間、及び④埋設施設が地表付近に近接することが想定される期間、の 4 つの時期に分けて実施することとしており、それぞれの期間の目的として以下が示されている。

・過渡的な期間

水の放射線分解による水素ガスの発生を抑制する対策が取られていることを確認するとともに、廃棄体からの水素ガスの放出に伴うガス状の放射性物質や揮発性の放射性物質の放出の影響が小さいことを確認する。

・多重バリア機能に期待する期間

対象廃棄物の性状を勘案し、長期にわたり残存又は生成されると想定される放射性ガスの影響あるいは金属腐食に伴って発生する非放射性ガスである水素ガス等が人工バリアの特性変化又は地下水移行に及ぼす影響について評価し、その影響が小さいことを確認する。

・主に天然バリア機能に期待する期間

人工バリアの劣化が進展し、ガス移行を抑制するような機能が喪失した段階において、発生するガスによる地下水の移行特性に及ぼす影響について評価し、その影響が小さいことを確認する。

・埋設施設が地表付近に近接することが想定される期間

埋設施設が地表付近に近接することが想定される場合には、廃棄物に含まれるウラン系列の放射性物質のラドンの影響について評価し、有意な影響を及ぼさないことを確認する。

水の放射線分解については、過渡的な期間、及び多重バリア機能に期待する期間において基本シナリオにおいて評価すべき事項とされ、特に過渡的な期間においては、『水の存在と放射線の強度に左右される。特に水の放射線分解に寄与する放射性物質は主にコバルト 60 であり、これは比較的短期間に減衰する。したがって、このような水素ガスについては、地下水が浸透する前の廃棄体内部に残存する水分を抑制する等の対策を取ることにより、その発生量を抑制することができることから、廃棄体内部の圧力上昇による損傷や人工バリアに対する影響を軽減するための十分な配慮がなされていることを確認する必要がある』としている。

現在、原子力規制委員会では、「廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム」により、中深度処分に係る規制基準等の改正に向けた検討が進められているが、制定に向けて事業者との意見交換が進められている「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（改訂案）[68]」の中で、放射線分解によって水素ガスが発生する廃棄物に対して、『浅地中処分の対象廃棄物に比べて高い放射能濃度の廃棄物を取り扱うことから、放射線分解によって水素ガスが発生する廃棄物については、ガス発生を考慮した対策を講じることを要求する。また、坑道の埋戻しが終了するまでの間は、湧水等によって廃棄物埋設地や坑道に蓄積する水を放射線障害防止の観点から適切に排除する措置を講ずることを要求する』としている。

(4) コンクリートピットの鉄筋の腐食膨張

1) 腐食のメカニズムと腐食形態、腐食速度の検討事例

コンクリートピットの鉄筋腐食の考え方については、前章で示した土木学会の報告書[56]が参考になる。報告書では、コンクリートピット中の鉄筋の腐食挙動を、

①建設・操業段階～再冠水　　(酸素消費型・不動態での腐食)
②再冠水後　　(水素発生型・不動態での腐食)
③鉄筋位置まで溶脱後　　(水素発生型・全面腐食)

の 3 段階に区分し、それぞれの段階の代表的な腐食メカニズムと腐食形態を表 2.1-70 のように整理している。建設・操業段階においては、コンクリートピットの鉄筋はアルカリ環境下にあるため不動態皮膜に覆われ不動態化しており、不動態皮膜を破壊する事象としては中性化や塩害が考えられる。中性化についてはコンクリートが大気中に暴露される時間に影響を受けるが、この時間を 50 年としても中性化深さは 20mm 程度であり、中性化を考慮した適切な被りの設定により影響が排除可能であるとされている。

表 2.1-70　各段階における代表的な腐食のメカニズムと腐食形態

	酸素	腐食メカニズム	pH	不動態皮膜	腐食形態	腐食速度
①建設・操業段階～再冠水	あり	酸素消費型	13 程度	あり	不動態での腐食	極小
			10 程度	中性化で破壊	全面腐食	大きい
			13 程度	塩害で局部破壊	局部腐食	極大
②再冠水後	なし	水素発生型	12.5 程度	あり	不動態での腐食	極小
③鉄筋位置まで溶脱後	なし	水素発生型	10 程度	なし	全面腐食	やや大きい

※ハッチング部は、中性化や塩害の影響がある場合

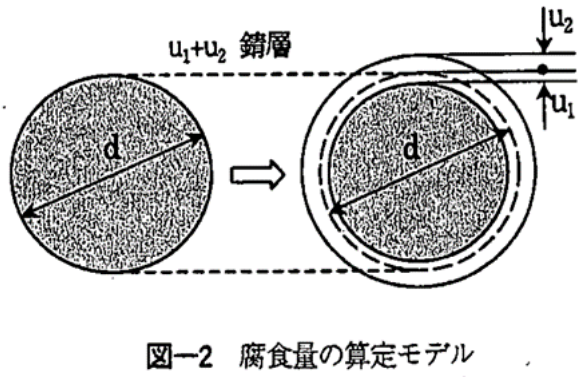
腐食速度については既往検討の結果として、①の段階で 0.1～0.05 μ m/y、②の段階（pH=12.5, 13.5）で 0.01 μ m/y オーダー、③の段階（pH=10）では 0.1 μ m/y オーダー、が示されており、鉄筋周辺のひび割れ発生時の腐食量については、コンクリート標準示方書［維持管理編］[69]による 10mg/cm^2 が一つの目安となるが、ひび割れの進展については実験値や力学的モデルを用いて設定するのがよいとしている。

2) 腐食膨張の程度とひび割れの可能性

コンクリートピットは低透水層及び低拡散層に覆われた構造となっており、保全期間の終了（約 330 年）までに再冠水は完了していないことが見込まれる。この期間の鉄筋の腐食速度を既往検討に基づき 0.1 μ m/y（0.1～0.05 μ m/y の最大値）とし、体積膨張率を 3 倍（高レベルのオーバーパック腐食検討での設定値）とした場合、腐食厚さは約 0.03 mm、腐食に

よる体積膨張（腐食膨張）は約 0.1 mm が見込まれる。

腐食膨張に伴う腐食量は図 2.1-148 に示す概念により算出した場合、前述の条件を考慮した場合の腐食量はひび割れ発生時の目安腐食量である 10 mg/cm² に比較して約 1/3 の 3 mg/cm² となり、鉄筋周辺にはひび割れが発生しないことが予想される。



図—2　腐食量の算定モデル

(4) 腐食量の算定式

鉄筋が腐食すると，腐食生成物は鉄に比べて体積が増加する．腐食生成物と鉄の関係を図—2 に示す．この図に示すように鉄筋の単位長さあたりの腐食を考えた場合，鉄筋腐食量の算定式は式(2.5)で表される[1]．

$$W_c = \frac{\gamma}{(\rho - 1)} u_2 \qquad (2.5)$$

ここに，W_c：鉄筋腐食量(mg/mm²)
u_1：鉄筋の半径方向の減少した厚さ(mm)
u_2：鉄筋の半径方向の増大した厚さ(mm)
γ：鉄の密度(7.85mg/mm³)
ρ：腐食生成物の体積膨張率

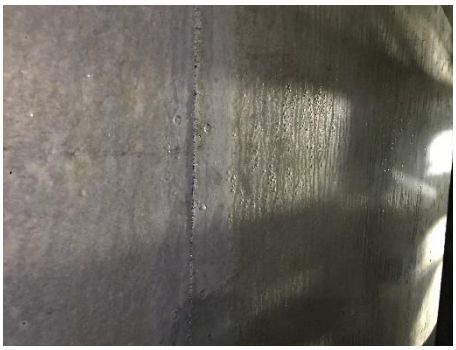
図 2.1-148　腐食量の算定モデルと算定式[70]

(5) 建設段階・廃棄物の埋設段階における低透水層の変状

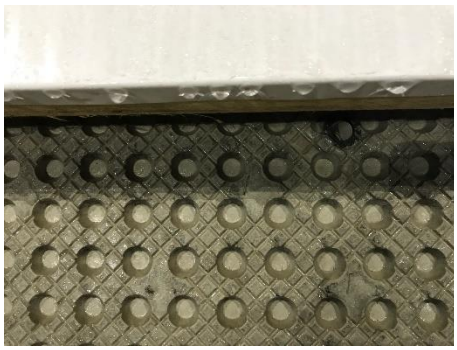
地下空洞型処分施設性能確証試験[61][62][71][72][73][74]及び閉鎖技術確証試験[75][76]では、平成 19 年度に試験空洞の実規模施設構築範囲に防水シートを施工している。その後、平成 19 年度及び平成 20 年度底部低透水層を施工し、平成 21 年度から平成 24 年度にかけて側部低透水層、平成 25 年度から平成 26 年度にかけて上部低透水層及び上部埋戻し材の施工試験を実施している。

防水シートの施工から現時点で 11 年が経過しており、その間に低透水層の流出に至るような地下水の浸入は確認されていない。また、試験空洞内は、夏期に非常に高湿度の状態となり、図 2.1-149 に示すように、セメント系材料の表面が結露する。この現象は、毎年繰り返されているが、この結露水により低透水層が膨潤する等の変状は確認されていない。

したがって、建設・操業中に低透水層の変状が生じる可能性は極めて低いと考えるのが妥当である。



側部低拡散層（左側）



手前コンクリートピット

上部低拡散層

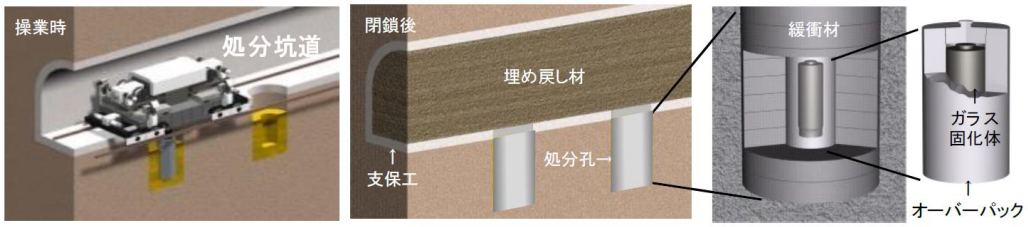
図 2.1-149　試験空洞内の結露状況（平成 29 年 6 月 27 日撮影）

(6) 閉鎖措置段階以降における低透水層の流出

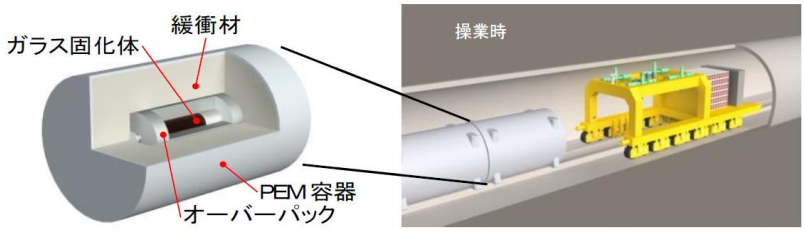
ベントナイト系材料の流出現象は、高レベル放射性廃棄物の地層処分分野で検討が実施されている。

NUMO は、高レベル放射性廃棄物処分場の竪置き処分方式において、パイピング現象による緩衝材の流出に関する検討を実施している[77][78]。高レベル放射性廃棄物処分場の竪置き処分方式は、図 2.1-150(a)に示すように、処分孔の岩盤面と緩衝材が接するため、緩衝材の設置後初期段階でベントナイトが十分に膨潤して止水機能を発揮する前に、岩盤から処分孔へ局所的に高い圧力で緩衝材内部への浸潤速度を超えて地下水が流入する場合に、局所的な緩衝材の膨潤により生成させるゲル状の緩衝材が地下水によって持ち去られ、緩衝材内にパイプ状の水みちが形成される。これをパイピング現象と呼んでいる[78]。パイピング現象に伴い、緩衝材の流出（エロージョン）が継続・進行すると、緩衝材の密度が低下し、安全機能が損なわれることが懸念されている。

これに対して NUMO は、緩衝材の安全機能が損なわれない流出量の限界値（許容流出量）に対応する湧水量（許容湧水量）を基準値として定め、処分孔内の湧水量が許容湧水量を上回る処分孔への廃棄体定置を回避することを考えている[78]。



(a) 竪置き・ブロック方式



(b) 横置き・PEM 方式

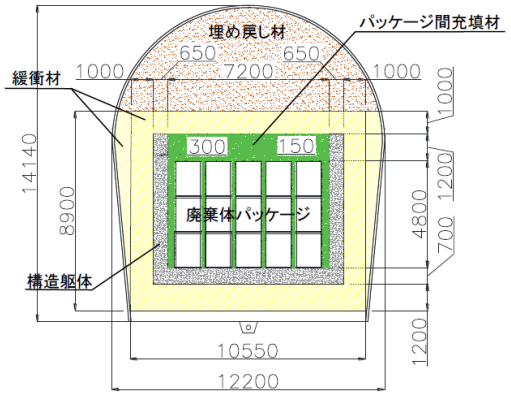
図 2.1-150 高レベル放射性廃棄物処分場の人工バリア[79]

中深度処分施設の低透水層は、底部・側部については内外面がセメント系材料に接しており、上部については内面がセメント系材料、外面がベントナイト系材料である上部埋戻し材に接している。また、低透水層と隣接部材との境界面が地下水の水みちとなる可能性は低いと考えられる。したがって、高レベル放射性廃棄物処分場の竪置き方式における緩衝材とは、設置される環境が異なり、局所的に高い圧力で地下水が流入する可能性は低く、低透水層表面でパイピング現象が生じるような地下水流は発生し難いと考えられる。

NUMO[79]では、高レベル放射性廃棄物処分場の横置き PEM 方式（図 2.1-150(b)）、図 2.1-151 に示す中深度処分と処分概念が類似する TRU 等廃棄物処分場の緩衝材に対する流出

現象の検討を実施していない。

このことからも、中深度処分施設の低透水層においては、流出現象が発生する可能性は低いと考えられる。



(a) 緩衝材を設置する場合（グループ 2）

図 2.1-151　TRU 等廃棄物処分場の人工バリア構成（深成岩類及び先新第三紀堆積岩類、グループ 2 の例）[79]

本事業では、低透水層の流出現象を主なモニタリング対象としないこととするが、高レベル放射性廃棄物処分場の竪置き方式を対象とした緩衝材のパイピング現象に関する既往検討[80][81]では、わずかな湧水量でも圧力勾配の状況によっては地下水流速が増大する等により、パイピング現象及び流出の発生が確認されている。また、低透水層は、施設内を通過する流量を低減し、拡散場を維持するための重要な低透水バリア部材であるため、その機能低下は中深度処分施設の長期安全性に大きく影響する可能性があるため、ベントナイト系材料の流出現象に対する検討状況等の動向を注視していく必要があると考えられる。

(7) 空洞内充てん材（土質系）の沈下による天端部の空隙発生

地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験[75][76]では、転圧工法と吹付工法による空洞内充てん材の施工試験を実施している。使用材料は、ベントナイト（クニゲル V1（クニミネ工業(株)製品））と砂（コンクリート用砕石）を乾燥質量比 15：85 で混合したベントナイト混合土である。空洞内充てん材は、施工後の沈下により空洞上部に間隙が発生する可能性があるため、沈下量の計測が行われている。計測位置を図 2.1-152 に示す。

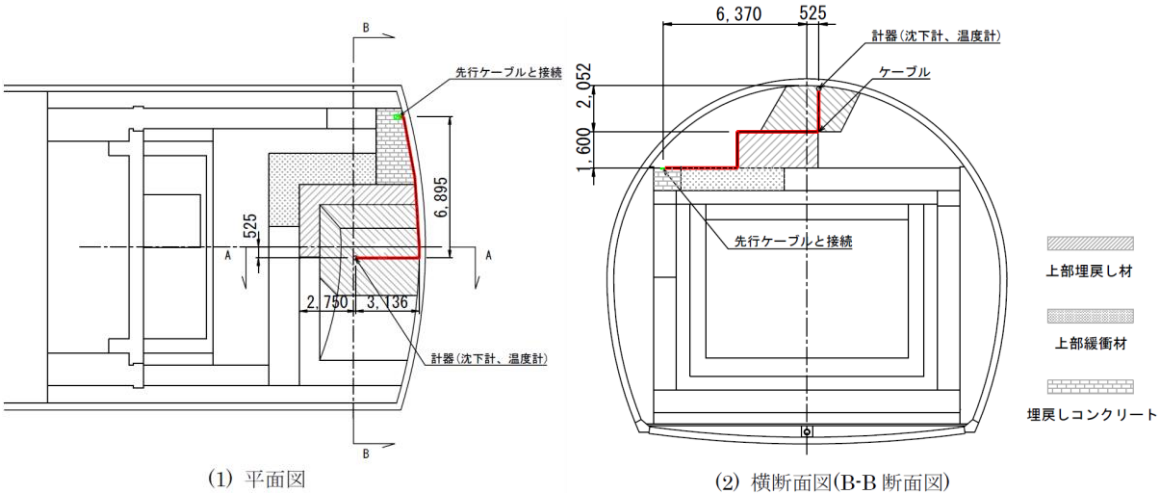


図 2.1-152　空洞内充てん材の沈下計測位置[76]

本計測は、地下空洞型処分施設機能確認試験[82][83][84]でも継続されており、施工時点からの沈下量及び温度の経時変化は図 2.1-153～図 2.1-155 に示すとおりである。図 2.1-155 に示すように、施工荷重が作用するたびに自重増加に伴う沈下が発生し、その後は作用荷重が増加していないにも関わらず沈下が漸増している。長期的には、図 2.1-153、図 2.1-154 に示すように、温度の季節変動に伴う周期的な変動のみが見られるようになり、沈下は収束していると評価されている[85]。沈下量の最大値は、平成 29 年 4 月の 5.8mm である。

施工手順を考慮した三次元弾性解析では、図 2.1-155 に示すように、施工ステップの進行にともなう沈下量増加が再現されているものの、弾性解析では施工完了後の粘性的な沈下挙動を再現することはできず、長期的には沈下量が小さく評価されている。ただし、最終沈下量の解析値は 4.4mm 程度であり、実測された最大値と大きな乖離はないと言える。

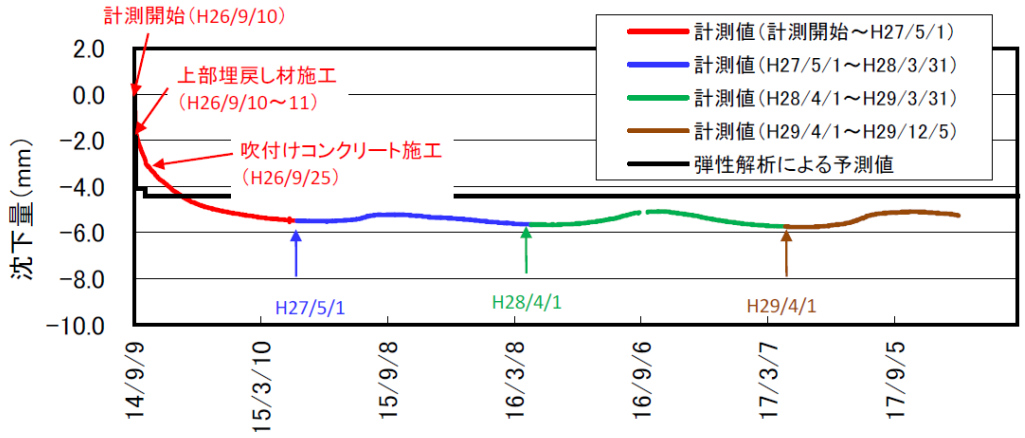


図 2.1-153　空洞内充てん材の沈下量経時変化[84]

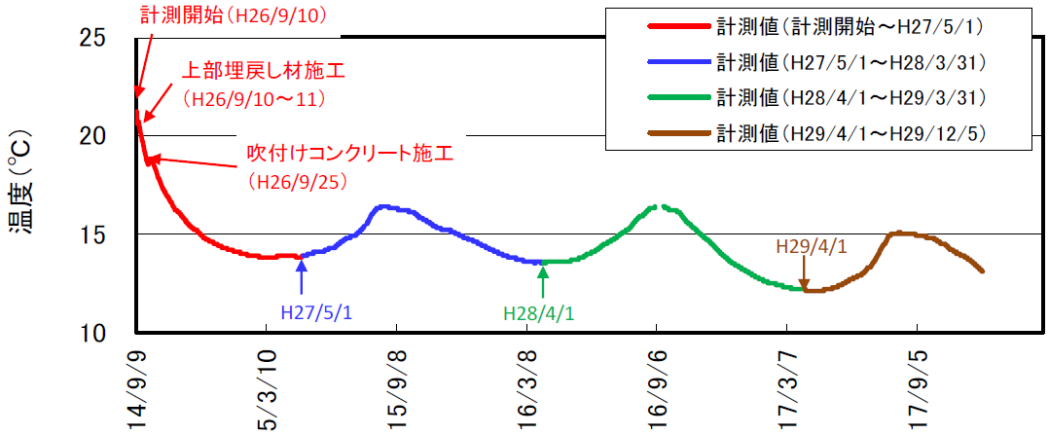


図 2.1-154　空洞内充てん材の温度経時変化[84]

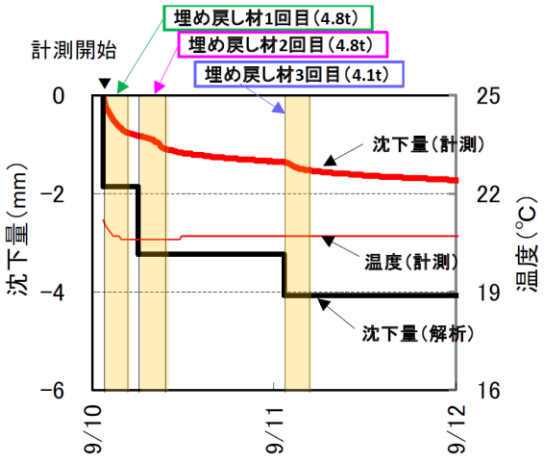


図 2.1-155　空洞内充てん材の沈下量経時変化（施工期間のみ）[85]

以上より、空洞内充てん材は、施工後数ヶ月間にわたって自重による沈下が生じる可能性があり、沈下量は数 mm オーダーと想定される。

ただし、沈下量計測が実施されている平成 26 年度に施工された空洞内充てん材の天端部は、吹付工法で施工されており、当該部位の一部では、締固め度の管理規定値（締固め度：

90%）を下回るものがあったことが確認されている[76]。規定の締固め度以上で施工された場合には、沈下量が抑制されると想定される。

また、仮に上部埋戻し材天端部に沈下による空隙が発生した場合でも、閉鎖措置段階以降には、地下水浸潤に伴いベントナイト系材料が膨潤するため、空隙が閉塞する可能性も考えられる。したがって、上部埋戻し材天端部の空隙が長期安全性に及ぼす影響は、ベントナイト系材料の膨潤挙動を考慮した評価を実施していくことが望まれる。

(8) 閉鎖措置段階以降における空洞内充てん材（土質系）の流出

「(6) 閉鎖措置段階以降における低透水層の流出」で前述したように、中深度処分施設のベントナイト系材料は、高レベル放射性廃棄物処分場の緩衝材と異なり、岩盤に接しておらず、空洞内充てん材（土質系）も上面は二次覆工コンクリートに、下面は上部低透水層に接している。また、隣接部材との境界面が地下水の水みちとなる可能性は低いと考えられる。そのため、高レベル放射性廃棄処分場の竪置き方式で懸念されるような流出現象が発生する可能性は低いと考えられる。

ただし、空洞内充てん材（土質系）に流出現象が発生した場合、施設の変形挙動に影響するほか、低透水層（特に上部低透水層）の体積拘束が弱まり、低透水層の密度低下を招く可能性があるため、ベントナイト系材料の流出現象に対する検討状況等の動向を注視していく必要があると考えられる。

(9) 空洞内充てん材（セメント系）のひび割れ発生

土木学会の報告書[2]では、人工バリアの設計・施工の項で、設計において構成部材単独として考慮する機能として、支保工については「操業空間の確保、自重・外力に対する安全性確保」、及び「空洞安定性の確保」が、空洞内充填材（報告書では埋戻し材としての扱い）については、「操業空間の確保、自重・外力に対する安全性確保」、及び「埋戻し後の地下水移動の抑制」が示されている。支保工については、要求される機能を満たすようにトンネル標準示方書[86]にしたがった設計が、また空洞内充填材は、セメント系材料の場合は適切な低透水性が確保されるようひび割れ抑制に配慮したうえで、隣接する低透水層への影響を勘案して配合設計が求められている。

支保工及び空洞内充填材は、埋戻し後を考えた場合、処分施設の空洞安定性の維持に寄与すると考えられる。ただし、これらの構成部材は低透水層の外側に位置するため、比較的早期に溶脱し透水性能が低下するため、その場合は水みちとなる可能性が考えられる。

空洞内充填材（セメント系）については、平成 19 年度の地下空洞型処分施設性能確証試験報告書[87]（以下、H19 報告書）において室内試験及び現場施工試験が行われており、ここでは、確証試験における試験結果を参照し、ひび割れの発生について整理する。

H19 報告書によると、空洞内充てん材（セメント系）には、スランプ型コンクリートと高流動型コンクリートの 2 種類の配合が用いられており、それぞれの施工部分と配合条件を表 2.1-71 に、配合条件に基づき実機試験で選定された具体的な配合を、表 2.1-72～表 2.1-74 に示す。

表 2.1-71　空洞内充填材の配合条件

部材・部位	使用するコンクリート
底部 側部 1～3 リフト 奥部 1～3 リフト	LPC＋FA、W/B＝45%、スランプ型
側部 4 リフト	LPC＋FA、W/B＝45%、高流動型

表 2.1-72　施工前実機試験で選定された配合（スランプ型、常温時）

ｽﾗﾝﾌﾟ（cm）	空気量（%）	W/B（%）	W/P（%）	s/a（%）	使用材料および単位量(kg/m³)						
					W	粉体 P		LS	S1	G1	Ad P×(%)
						結合材 B					
						LPC	FA				
18±2.5	2.5±1.5	45	32	50	175	272	117	150	812	819	0.75%

表 2.1-73　施工前実機試験で選定された配合（スランプ型、低温時）

ｽﾗﾝﾌﾟ（ｃｍ）	空気量（%）	W/B（%）	W/P（%）	s/a（%）	使用材料および単位量(kg/m³)						
					W	粉体P			S1	G1	Ad P×(%)
						結合材B		LS			
						LPC	FA				
18±2.5	2.5±1.5	45	32	50	175	272	117	150	812	819	0.95%

表 2.1-74　施工前実機試験で選定された配合（高流動型型）

ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ（cm）	空気量（%）	W/B（%）	W/P（%）	s/a（%）	使用材料および単位量　(kg/m³)							
					w	粉体P				S1	G1	SP2 P×(%)
						結合材B			LS1			
						LPC	FA	LEX				
65	2.5	45.0	26.4	51.6	160	229	107	20	249	824	780	0.80

上記材料による充填材の施工の結果、打設後に発見された沈降ひび割れと、21 本の出来形面でのひび割れ（20 本は乾燥ひび割れ、1 本は再振動時のバイブレータの掛け方に起因と推定）が確認されており、それぞれの成因について考察がなされている。

H19 報告書では、空洞内充填材（セメント系）の止水性能は建設・操業期間中の安全確保を見込んだ結果として期待される性能であり、実処分施設においては地山程度の透水性が求められ、止水性能が重要な評価対象となり得るとしている。また、止水性能を評価する上ではひび割れの予測・評価が重要であるとして、透水性評価のための透水試験に加えて、ひび割れ特性に関連する室内試験として、自己収縮試験、長さ変化試験、断熱温度上昇試験が実施されている。

さらに、これらの室内試験結果、ひび割れ調査結果、及び計測結果より得られる物性や環境条件に基づき、ひび割れの解析的評価が実施されており、それらの総合評価として以下の知見を得ている。

- 空洞内充填材は、力学特性に優れ、断熱温度上昇量や線膨張係数が小さく、また自己収縮量も少ないため、水和熱の発生やその後の温度低下、自己収縮に伴うひび割れが極めて発生しにくい材料である。
- 一方で、ひび割れ予測解析におけるコンクリート応力は実測値を超過し、安全側ではあるがひび割れが実際よりも生じやすい評価結果となっている。
- 今後の課題として、充填材の線膨張係数や若材令時の力学パラメータの取得による設定パラメータの信頼性向上が必要である。

以上の知見より判断すると空洞内充填材に関しては、適切な配合設計と施工計画の策定、及び施工の実施を通じて、ひび割れの発生を最小限に留めることが可能であると考えられる。

（10）空洞内充てん材（セメント系）の鉄筋の腐食膨張

支保工・空洞内充填材には鉄筋等の鋼製材料の使用されており、部材内部への水の浸潤による腐食膨張の発生が見込まれる。鉄筋等の鋼材の腐食については埋戻しが完了し、当該部材が再冠水に至るまでは酸素消費型の腐食形態を示す。支保工部は処分施設の最も外側に位置するため、比較的短時間で再冠水に至り水素発生型の腐食に移行する。また、空洞内充填材では比較的規模が大きく部材全体の再冠水には時間を要するため、比較的長期に渡り酸素消費型の腐食形態が継続すると考えられる。

2018 年 11 月に公開された原子力発電環境整備機構（NUMO）の包括的技術報告書（レビュー版、TR18-03）[88]では、ニアフィールドスケールの基本シナリオの記述において、支保工等の鉄筋の腐食に関して、再冠水が完了するまでの酸化雰囲気のもとでは「残存する酸素は、鉄を成分として含む地下施設の構成要素の腐食によって消費され、緩衝材間隙水がより速やかに還元性となることに寄与する。」と記されている。また、還元性雰囲気下では、「鉄の腐食によって水素が発生するが、緩衝材の外側にあるロックボルトや鋼製支保工からの発生量は限られており、また、発生した水素は地下水へ溶解するなどして速やかに母岩中に拡散する。」と記されている。

NUMO の報告書は、高レベル放射性廃棄物や TRU 廃棄物を対象としたシナリオであるが、中深度処分施設についても概ね同様の事象が想定できると考えられる。従って、前述の記述に加え、支保工・空洞内充填材が低透水層の外側に構成される部材であり鉄筋の腐食膨張の影響は施設の外側に波及するであろうと考えられることより、低透水層より内側の人工バリア構成に及ぼす影響は僅かであると考える。

（11）処分空洞の岩盤クリープによる変形

前出の土木学会の報告書[56]では、岩盤クリープの評価における現状の理解と今後の展開として、一般的な地下構造物について岩盤クリープを評価する剥足、計測データなどを用いて力学モデルのパラメータを同定したうえでの予測解析、あるいは計測データを外挿する形で予測が行われることが多く、計測データなどに基づいて予測手法（力学モデル）の妥当性を検証することによって一般的な地下構造物の供用年数程度の予測評価が可能であるとしたうえで、埋設施設における長期的な岩盤クリープに対しては、岩盤特性に応じて適切に選定した力学モデルを用いた数値解析的な外挿により予測する方法が考えられるとしている。また、長期的な岩盤クリープ予測においては、外挿による誤差、並びに岩盤と空洞内部の人工バリアの境界条件（空洞内部に存在する人工バリアの剛性低下等）を考慮した評価を求めている。報告書では、第 2 次 TRU レポート[89]での検討事例を参照したうえで、岩盤クリープの発生傾向は処分空洞内部に設置される人工バリアの剛性に強く依存しており、人工バリアとしてモルタルの 1/100 程度の剛性が空洞内部に期待できる場合、100 万年間の岩盤クリープは、処分空洞内に人工バリアがない場合の 1/10 程度にとどまる、すなわち処分空洞内部に一定の剛性を有する人工バリアが存在することにより、長期的な岩盤クリープは抑制されるとしている。したがって、岩盤クリープの長期的な状態評価の実施においては、地点の岩盤

特性に応じた適切な力学モデルの選定に加えて、岩盤クリープの抑制効果の観点から人工バリアの時間経過に対する剛性低下の適切な考慮が重要であると述べている。

具体的に中深度（余裕深度）処分を対象として、長期に渡る岩盤クリープの影響について評価した数少ない既往の事例として、鈴木ら[90]の検討では、余裕深度処分埋設施設本格調査における試験空洞の超長期岩盤クリープ挙動の予測を、線形粘弾性挙動及び強度破壊点以降の挙動が表現可能なモデルとして大久保モデルを適用した解析を実施している（図 2.1-156）。検討では、試験空洞の掘削完了時及び完了後 6 カ月の変位（変位増分）について解析値と実測値との比較により設定パラメータの妥当性を評価した上で、10 万年後までの超長期に及ぶ壁面変位を解析的に予測している。人工バリア材料の劣化を考慮して 1,000 年後のセメント系バリアの剛性を 1/10 に低下させた解析の結果、空洞天端における 10 万件間の変位増分量は 11.9mm 程度であり（図 2.1-157）、変位増分は 1,000 年後の支保の劣化に伴う物性変化の影響が大きいことが得られている。また、主要部材の応力増分も-0.1MPa（圧縮）程度と僅かであり、岩盤クリープが人工バリアに与える影響は比較的小さいと結論付けている（図 2.1-158）。

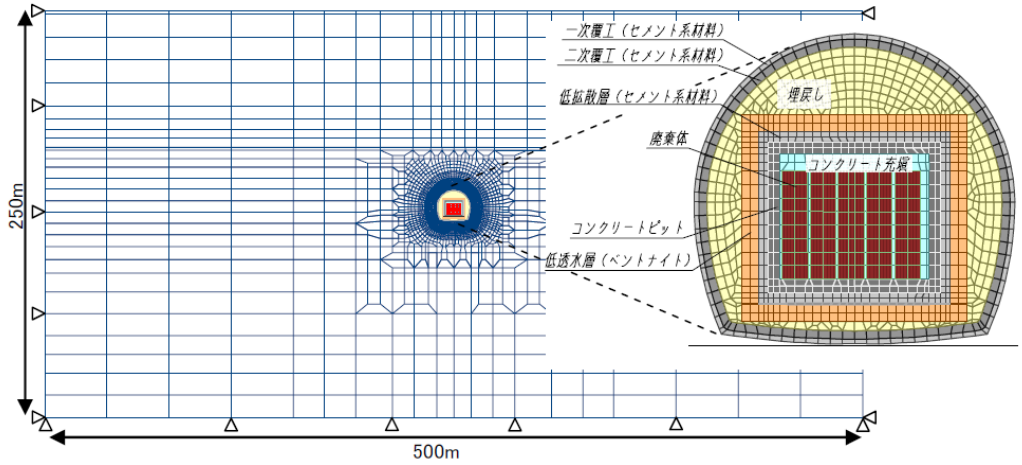


図 2.1-156　解析対象とした施設の諸元（解析メッシュ）

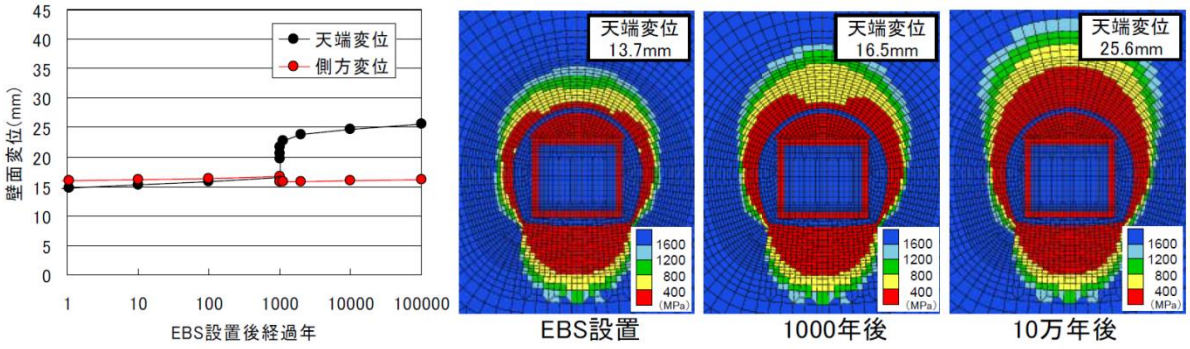


図 2.1-157　壁面変位の経時変化（左）及び弾性係数の低減傾向（右）

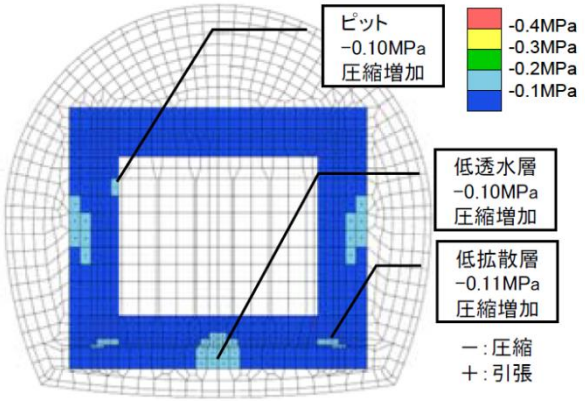


図 2.1-158　EBS 部材の応力変化（EBS 設置後 1,000 年経過時）

また、岩盤クリープによる空洞変形自体を評価した検討ではないが、山本ら[91]は、人工バリアの長期性能に影響を与える要因として、岩盤のクリープ及び自重、廃棄体容器の腐食膨張、ベントナイトの膨潤変形、セメント系材料の劣化、といった複合的な事象を考慮した非線形の連続体解析を実施し、3 万年にわたる人工バリアの状態変化について考察を実施している。解析には汎用有限要素法プログラム（ABAQUS）を用い、岩盤の変形・破壊・クリープは大久保モデルと Janach の破過条件によりモデル化し、廃棄体容器の腐食膨張を熱膨張として取り扱うとともに、コンクリート系材料の変質についても溶脱速度に応じて剛性と強度を 1/10 に逐次低減させることにより考慮している。解析の結果として、3 万年間に安全評価上問題となるような人工バリアシステムへの影響（低拡散層の性能低下、低透水層への塑性ひずみの発生等）は生じないことが示されている。

2.1節 参考文献

[1] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 29 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設機能確認試験 報告書 (2018).

[2] Prues, K., Oldenburg, C. M. and Moridis, G. J.：TOUGH2 user's guide version 2, (1999).

[3] 田中幸久、廣永道彦、森敦史：放射性廃棄物処分施設へのガス移行解析コードの適用に関する研究 －気液二相流解析コードの選定と適用－、財団法人 電力中央研究所報告、研究報告 N09003 (2009).

[4] 藤山哲雄、田中幸久、廣永道彦、森敦史：ベントナイト・セメント系材料のガス移行評価に関する文献調査、財団法人 電力中央研究所報告、研究報告 N07021 (2008).

[5] 田中幸久、廣永道彦、森敦史：放射性廃棄物処分施設へのガス移行解析コードの適用に関する研究 －気液二相流解析コードの選定と適用－、財団法人 電力中央研究所報告、研究報告 N09003 (2009).

[6] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 17 年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価 報告書 (2006).

[7] 山本幹彦、三原守弘、大井貴夫：地層処分におけるガス移行影響評価 －人工バリア内のガス移行解析手法とデータ取得－、原子力学会バックエンド研究 研究論文、Vol.10 No.1-2 (2004).

[8] 馬場浩太、久保大樹、小池克明：TOUGH2 を用いた安比地区地熱貯留層の温度・圧力状態のシミュレーション、情報地質 第 27 巻 第 2 号 (2016).

[9] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 27 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設機能確認試験 報告書 (2016).

[10] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験 平成 19 年～平成 26 年度の取りまとめ報告書 (2015).

[11] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 28 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設機能確認試験 報告書 (2017).

[12] 鈴木康正、新井慶将、小山俊博、窪田茂、石橋勝彦、寺田賢二、小林裕、武地真一、根本政広、杉橋直行：地下空洞型処分施設性能確証試験における底部・側部埋戻し材施工確認試験に関する検討（その４）－コンクリートのひび割れ予測評価に関する考察－、土木学会第 63 回年次学術講演会 (2008.9).

[13] 増田良一、佐々木規行、高村尚、奥津一夫：トンネル型処分施設の施設内温度上昇に対する影響因子、土木学会第 63 回年次学術講演会 (2008.9).

[14] 新保弘、戸梶慎一、武地真一、木ノ村幸士、根本政広、杉橋直行、秋山吉弘：発熱廃棄体の表面温度に関する検討－地下空洞型処分施設性能確証試験－、土木学会第 65 回年次学術講演会 (2010.9).

[15] 林秀郎、武内邦文、山本修一、伊藤裕紀、谷智之：余裕深度処分施設におけるベントナイト層の飽和期間に関する検討、土木学会第 62 回年次学術講演会 (2007.9).

[16] Corey, A. T.: The interrelation between gas and oil relative permeabilities, Producers Monthly, 19(1), 38-41 (1954).

[17] van Genuchten, M. Th.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Sci. Soc. AM. J., 44, 892-898 (1980).

[18]Kumagai,M., Yamamoto, S., Takeuchi, K., Tanaka, Y. and Hironaga, M.: Study on mechanical influence of gas generation and migration on engineered barrier system in radioactive waste disposal facility, Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM2010 (2010.10).

[19] Narasimhan, T. N., and Witherspoon, P. A.: Numerical model for saturated - unsaturated flow in deformable porous media: 3. Applications. Water Resources Research, 14(6), 1017-1034 (1978).

[20] Mayer, G., Jacobs, F., and Wittmann, F. H.: Experimental determination and numerical simulation of the permeability of cementitious materials, Nuclear Engineering and Design, 138(2), pp.171-177 (1992).

[21] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験 平成 19 年～平成 26 年度の取りまとめ報告書、(2015).

[22] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 28 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設機能確認試験 報告書 (2017).

[23] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 19 年度 管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書 (2008).

[24] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 20 年度 管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書 (2009).

[25] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度 管理型処分技術調査等事業　地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書 (2013).

[26] 谷口航、鈴木英明、杉野弘幸、松本一浩、千々松正和、柴田雅博：熱的特性の緩衝材仕様に対する影響（研究報告）、JNC TN8400 99-052 (1999).

[27] 公益財団法人　原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 22 年度 管理型処分技術調査等委託費　地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書 (2010).

[28] 加藤和之、脇寿一、斎藤典之、小野文彦、大間知行、尾崎充弘：余裕深度処分の技術的な信頼性構築に向けた検討状況について、原子力バックエンド研究、Vol.13 No.1 (2006).

[29] 鈴木健一郎、山本修一、熊谷守、川本健：軽石凝灰岩の飽和・不飽和領域のガス流動特性に関する実験的研究、第 39 回岩盤力学に関するシンポジウム、講演番号 12 (2010.1).

[30] Olivella, S., Gens, A., Carrera, J., and Alonso, E.E.: Numerical formulation for a simulator (CODE_BRIGHT) for the coupled analysis of saline media, Engineering Computations, 13(7), 87-112, (1996).

[31] Alonso, E. E., Gens, A. and Josa, A.: A constitutive model for partially saturated soils,

Géotechnique, 40(3) (1990).
[32] 財団法人 原子力環境整備促進･資金管理センター: 平成 17 年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価 報告書 (2006).
[33] Grant, M.A.: Permeability reduction factors at Wairakei, paper 77-HT-52, AICHE-ASEM Heat Transfer Conference, Salt Lake City, Uta (1977).
[34] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験 平成 19 年～平成 26 年度の取りまとめ報告書 (2015).
[35] 山本修一、小峯秀雄：THM 連成解析におけるベントナイトの膨潤特性の構成モデルに関する一考察、土木学会第 63 回年次講演会 (2008.9).
[36] 土木学会 エネルギー委員会：余裕深度処分における地下施設の設計、品質管理及び検査の考え方、p.25、2009 年
[37] 横関康祐：コンクリートからの成分溶出を対象とした千年レベルの長期耐久性設計に関する研究、東京工業大学学位論文 (2004).
[38] Powers.T.C.: Physical Properties of Cement Paste, Proceedings of the Fourth International Conference on the Chemistry of Cement, U.S. National Bureau of Standars Monograph 43, Vol.2, pp.577-613 (1962).
[39] 安田和弘、横関康祐、河田陽介、吉澤勇二：カルシウム溶出に伴うコンクリートの物理性能及び物質移行性能の変化に関する検討､セメント･コンクリート論文集､No.56､pp.492-498､2002
[40] 久田真、大即信明、Diola，N.B.、桐山和晃：コンクリート中の塩化物イオンの電気泳動に及ぼす骨材の影響、土木学会論文集、No.599、V-40、pp.71-80、1998
[41] Garboczi,E.J.， Bentz, D.P. : Computer simulation of the diffusivity of cement-based materials, Journal of Materials Science, 27，pp.2083-2092，1992
[42] 戸井田ほか：人工バリア材料の力学的物性取得試験，核燃料サイクル開発機構　契約業務報告書、2005.3
[43] 電気事業連合会、核燃料サイクル開発機構 : TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－、2005.7
[44] 石田裕樹、守友常雄、佐々木泰：余裕深度処分の成立性確認に向けた地質環境調査について（講演再録)、原子力バックエンド研究、Vol.13、No.1、pp.37-47、2006
[45] 日本原燃株式会社：低レベル放射性廃棄物の次期埋設に関する本格調査結果について、2006
[46] 喜多治之、岩井孝幸、中嶋悟：花崗岩及び凝灰岩間隙水中のイオンの拡散係数の測定、応用地質、Vol.30、No.2、1989
[47] 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－分冊 1　わが国の地質環境、1999
[48] 横関ほか：余裕深度処分施設におけるセメント系材料の溶脱に関する検討、土木学会第 62 回年次学術講演会、2007

[49] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度管理型処分技術調査等事業　地下空洞型処分施設性能確証試験　平成 19 年度～平成 24 年度の取りまとめ報告書、2012
[50] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 20 年度管理型処分技術調査等事業　地下空洞型処分施設性能確証試験　報告書、2008
[51] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度管理型処分技術調査等事業　地下空洞型処分施設性能確証試験　報告書、2014
[52] 日本原子力研究開発機構：グラウト技術のガイドライン（平成 24 年度版)、地層処分技術調査等事業高レベル放射性廃棄物処分関連地下坑道施工技術高度化開発、2013.3
[53] 秋田勝次、井浦智実、朝倉俊弘：海底トンネルで施工されたセメント水ガラス注入剤の長期材料特性と性能の評価、土木学会論文集 F1、Vol.67、No.2、pp.95-107、2011
[54] 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性分冊 3 地層処分システムの安全評価、JNC TN1400 99-023、1999
[55] 原子燃料サイクル専門部会ＬＬW廃棄体等製作・管理分科会：余裕深度処分対象廃棄体の 製作要件及び検査方法に関する標準―標準の概要について―，日本原子力学会 2015 年秋の大会，2015.9
[56] 土木学会エネルギー委員会：余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方，2008.6.
[57] 本田ほか：アルカリ性条件における炭素鋼の腐食に伴う硝酸イオンの化学的変遷挙動，材料と環境, vol.55, 2006.
[58] 三原ほか: 低酸素かつアルカリ条件下における炭素鋼，ステンレス鋼及びジルカロイからのガス発生率及び腐食速度の評価，サイクル機構技法, No.15, 2002.6.
[59] 杉橋ほか: 余裕深度処分施設におけるセメント系人工バリア内の鋼材腐食に関する一考察，土木学会第 63 回年次学術講演会, CS05-43, 2008.9.
[60] 松枝ほか: 余裕深度処分施設におけるセメント系人工バリア内の鋼材腐食速度について，土木学会第 64 回年次学術講演会, CS05-31, 2009.9.
[61] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 21 年度管理型処分技術調査等委託費　地下空洞型処分施設性能確証試験　報告書（第Ｉ分冊)、平成 22 年 3 月
[62] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 22 年度管理型処分技術調査等委託費　地下空洞型処分施設性能確証試験　報告書、平成 23 年 3 月
[63] 土木学会：余裕深度処分における地下施設の設計、品質管理および検査の考え方、2009 年
[64] Rodwell, W.R. and Nords, S.: “A Thematic Network on Gas Issues in Safety Assessment of Deep Repositories for Nuclear Waste (GASNET)”, EUR 20620 EN, 2003.
[65] 核燃料サイクル機構東海事業所: TRU 廃棄物処分におけるガス発生・移行解析（研究報告），JNC TN8400 2005-026, 2005.9.
[66] Kumagai, M., et.al: Study on mechanical influence of gas generation and migration on engineered barrier system in radioactive waste disposal facility., ICEM2010-40109, 2010.

[67] 原子力安全委員会: 余裕深度処分の管理期間終了以降における安全評価に関する考え方, 2010.4.1.
[68] 原子力規制委員会: 炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（改訂案）, 第 27 回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム, 参考資料 27-2-2, 2017.11.
[69] 土木学会: コンクリート標準示方書［維持管理編］, 2007.
[70] 元路寛ほか: 鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れ発生状況及びひび割れ幅に関する研究, 土木学会論文集, No.669/V-50, 2001.2.
[71] 財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 19 年度管理型処分技術調査等委託費　地下空洞型処分施設性能確証試験　報告書、平成 20 年 3 月
[72] 財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 20 年度管理型処分技術調査等委託費　地下空洞型処分施設性能確証試験　報告書、平成 21 年 3 月
[73] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 23 年度管理型処分技術調査等委託費　地下空洞型処分施設性能確証試験　報告書、平成 24 年 3 月
[74] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度管理型処分技術調査等委託費　地下空洞型処分施設性能確証試験　報告書、平成 25 年 3 月
[75] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 25 年度管理型処分技術調査等委託費　地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験　報告書、平成 26 年 3 月
[76] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度管理型処分技術調査等委託費　地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験　報告書、平成 27 年 3 月
[77] 原子力発電環境整備機構（NUMO）：包括的技術報告書：わが国における安全な地層処分の実現―適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築―　レビュー版、NUMO-TR-18-03、付属書 4-55 パイピング現象の評価期間の設定、平成 30 年 11 月
[78] 原子力発電環境整備機構（NUMO）：包括的技術報告書：わが国における安全な地層処分の実現―適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築―　レビュー版、NUMO-TR-18-03、付属書 4-56 パイピング現象による緩衝材の流出現象の評価、平成 30 年 11 月
[79] 原子力発電環境整備機構（NUMO）：包括的技術報告書：わが国における安全な地層処分の実現―適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築―レビュー版、NUMO-TR-18-03、2018 年 11 月
[80] K. Suzuki, H. Asano, R. Yahagi, I. Kobayashi, P. Sellin, C. Svemar and M. Holmqvist：Experimental investigations of piping phenomena in bentonite-based buffer materials for an HLW repository, Clay Materials, 2013
[81] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 27 年度　地層処分技術調査等事業　処分システム工学確証技術開発報告書（第 2 分冊）―人工バリア品質／健全性評価手法の構築―　緩衝材、平成 28 年 3 月
[82] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 27 年度管理型処分技術調査等委託費　地下空洞型処分施設機能確認試験　報告書、平成 28 年 3 月
[83] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 28 年度管理型処分技術調査等

委託費　地下空洞型処分施設機能確認試験　報告書、平成 29 年 3 月
[84] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 29 年度低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業　地下空洞型処分施設機能確認試験　報告書、平成 30 年 3 月
[85] 伊藤喜広、鈴木康正、田坂嘉章、押部甚一、千々松正和、山田淳夫、寺田賢二：ベントナイト混合土の沈下挙動に関する検討、土木学会第 72 回年次学術講演会、Ⅶ-034、平成 29 年 9 月
[86] 土木学会: 2016 年制定 トンネル標準示方書【共通編】・同解説／【山岳工法編】・同解説, 2016.
[87] 財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター: 平成 19 年度管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確認試験 報告書 平成 20 年 3 月, 2008.3.
[88] 原子力発電環境整備機構: 包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－（レビュー版）, NUMO-TR-18-03, 2018.11.
[89] 電気事業連合会，核燃料サイクル開発機構: TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－，FEPC TRU-TRU2-2005-02, JNC TY1400 2005-013, 2005.
[90] 鈴木ほか: 余裕深度処分における岩盤クリープ影響に関する検討, 土木学会第 62 回年次学術講演会, CS5-047, 2007.9.
[91] 山本ほか: トンネル型処分施設における人工バリアの長期力学挙動解析，土木学会第 63 回年次学術講演会, CS5-059, 2008.9.

2.2 実現性確認のためのラボ試験

2.2.1 試験空洞吹付コンクリートの分析

(1) 背景・目的

平成 20 年度から原子力資金管理・環境整備推進センターが機能確証試験を実施している試験空洞の支保材料である吹付けコンクリートは、エフロレッセンスが確認されるなど、化学的変質が生じている。平成 28 年度の管理型処分事業地下空洞型処分施設機能確認試験[1]では吹付けコンクリートのコアを試験空洞の左右から 1 ヵ所、5 本ずつ採取していて、このうち左右 1 本ずつ EPMA 分析などの化学分析を実施している。その結果、吹付けコンクリートと岩盤の境界付近で、$Ca(OH)_2$ の化学的変質が生じていることが確認されており、その変質深さは実規模施設に向かって、左側で約 20mm、右側で約 60mm であった。

一方、平成 29 年度の管理型処分事業地下空洞型処分施設機能確認試験[2]では、試験空洞に施工された吹付けコンクリートを模擬したセメントペーストを用いた溶解試験を実施して、化学的変質や溶解特性に関するデータを取得、さらに、そのデータを利用して施設の化学的変質の進行を解析的に検討している。その結果、吹付けコンクリートを模擬したセメントペーストは一般的な普通ポルトランドセメントのセメントペーストよりも Ca の溶脱が進みづらく、あまり変質が生じないことが分かった。

以上のように、試験空洞の吹付けコンクリートのコアの分析結果と吹付けコンクリートを模擬したセメントペーストの溶解試験の結果は相違している。その理由としては、岩盤からの湧水によって、施工後初期の段階に吹付けコンクリートが洗い流されていることなどが考えられるが、平成 28 年度に採取した左右 2 ヵ所のコアの結果のみで判断をすることは困難である。

そこで本検討においては、試験空洞内の吹付けコンクリートの変質に関するデータを拡充し、現地環境下での吹付けコンクリートの化学的変質状況を明らかにするために、3 ヵ所、15 本のコアを採取し、吹付けコンクリートと岩盤との界面付近に着目した分析を実施した。

(2) コアの採取及び分析計画

1) コアの採取

a. 試験空洞の概要

吹付けコンクリートのコアを採取する試験空洞は 2004 年 4 月に掘削作業が開始され、2005 年 6 月に掘削作業が完了したものである[3]。今回、コアの採取作業は 2018 年 10 月に実施しており、試験時における吹付けコンクリートの材齢は 13 年と 4 ヶ月～14 年 6 ヶ月の間である。試験空洞内の支保パターンを図 2.2-2 に示す。吹付けコンクリートは厚さ 300mm のうちベンチ部では内腔 100mm、アーチ部では全範囲で鋼繊維を加える仕様となっている。吹付けコンクリートの配合は表 2.2-2、表 2.2-3 に示すように水セメント比は 45%で細骨材率は 60%であり、一般的な普通コンクリートと比較して、細骨材率が大きい配合となっている。

図 2.2-1 試験空洞

表 2.2-1 吹付けコンクリートの材料一覧

使用材料	記号	摘要
セメント	C	普通ポルトランドセメント（宇部三菱セメント） 密度：3.16g/cm^3
細骨材	S	陸砂　密度：2.59g/cm^3、F.M.：2.70
粗骨材	G	砂利　粗骨材最大寸法 10mm、密度：2.57g/cm^3
混和剤	SP	高性能減水剤　FTN-30（グレースケミカルズ）
	－	急結剤　デンカナトミック TYPE10 カルシウムサルフォアルミネート系
繊維	－	鋼繊維　シンコーファイバー　φ0.6mm×30mm 神鋼建材株式会社

表 2.2-2　吹付けコンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					
		W	C	S	G	SP	急結剤
45	60	202	450	979	648	3.60	45

表 2.2-3　吹付けコンクリートの配合（鋼繊維入り）

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)						
		W	C	S	G	SP	急結剤	繊維
45	60	202	450	969	640	4.95	45	58.9

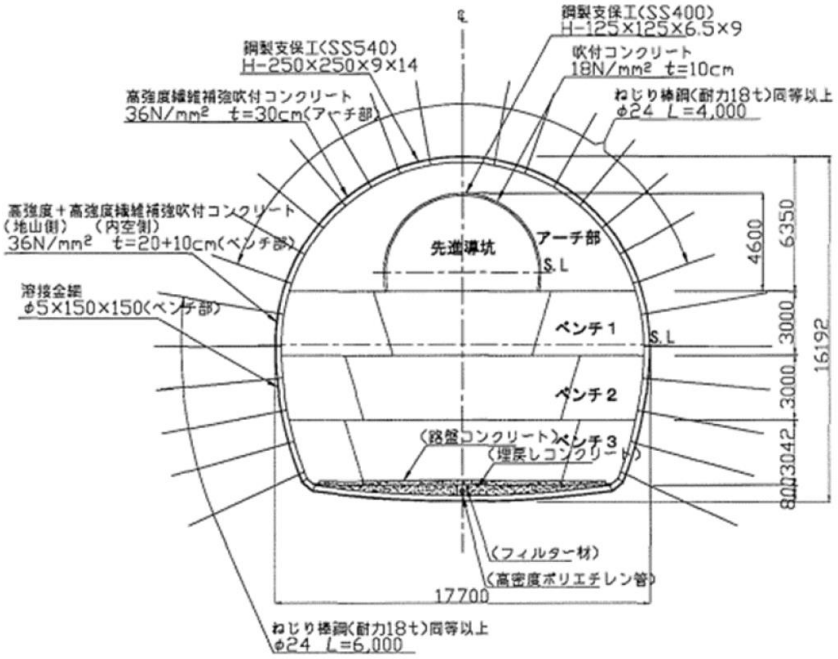


図 2.2-2　試験空洞の支保パターン[3]

b. 削孔位置の選定

平成 28 年度には、図 2.2-3 に示す位置からコアを採取しており、このうち実規模施設に向かって右手側でより大きな化学的変質が生じていることが確認されている。そこで本検討は、試験空洞右側を対象とし、平成 28 年度に採取した位置の奥側から、前回と同程度の高さ（1.5m 程度）から 2 ヵ所（支保工 No.60-61 区間、支保工 No.75-76 区間）、スプリングライン程度の高さ（5.0m 程度）から 1 ヵ所（支保工 No.60-61 区間）、計 3 ヵ所でコアを採取した。コアの採取位置を図 2.2-3、図 2.2-4 に示す。なお、以下ではそれぞれの箇所のコアは、図 2.2-4 に示す No で示すこととする。

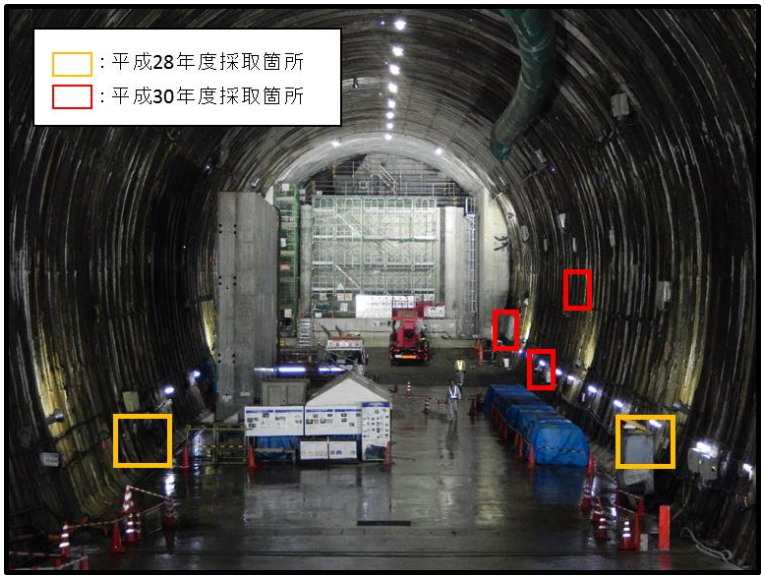


図 2.2-3　吹付けコンクリートのコアの採取箇所（全体）

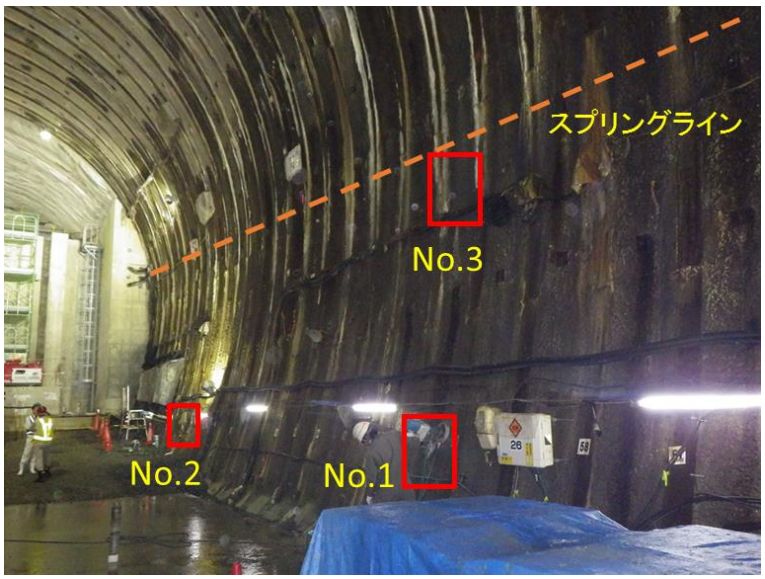


図 2.2-4　吹付けコンクリートのコアの採取箇所（平成 30 年度）

吹付けコンクリートの外観を図 2.2-5 に示す。吹付けコンクリートの表面は、主にロックボルトや支保材料である H 鋼を伝って浸透してきたと考えられる地下水によって濡れており、支保材料である H 鋼の周囲には、エフロレッセンスが確認される。また、地表付近は吹付けコンクリートの表面が濡れている一方で、スプリングラインより上部では、表面が乾いている箇所が多いことが分かる。試験空洞近傍の地下水位が、スプリングライン付近にあることが示唆される。

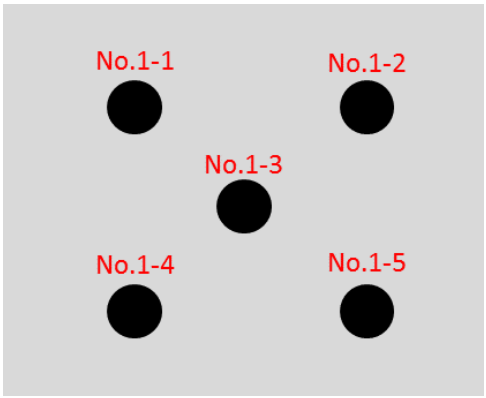
ここで、吹付けコンクリートの化学的変質について考えると、背面の地下水に吹付けコンクリートが接している方が、より化学的変質は進行しやすいと考えられる。そこで、スプリングライン付近からコアを採取する No.3 では、図 2.2-6 に示すように、表面が乾いた位置からコアを採取して、地表付近から採取したコアとの比較を行うこととした。

図 2.2-5　吹付けコンクリートの外観

図 2.2-6　No.3 の採取位置の表面状態

表 2.2-4 に示すように、1 箇所からは 5 本（3 箇所で 15 本）のコアを採取した。それぞれのコアの呼び方は凡例に示す通りとする。

表 2.2-4　吹付けコンクリートの採取完了状況

<table>
<tr><td>No.1
 </td><td>No.2
 </td></tr>
<tr><td>No.3
 </td><td>凡例（No.1 の場合）
 
</td></tr>
</table>

c．コアの採取方法

図 2.2-7 に示すように、厚さ 300mm~400mm 程度の吹付けコンクリートに加えて、岩盤 200mm 程度のコアを採取した。コアの採取状況を図 2.2-8 に示す。また、スプリングライン付近のコアは図 2.2-9 に示す通り、高所作業車を用いてコアの採取を行っている。いずれの箇所も突発湧水など作業に影響を与えるような現象は確認されず、採取後も削孔箇所に地下水が集積されるような現象は確認されなかった。

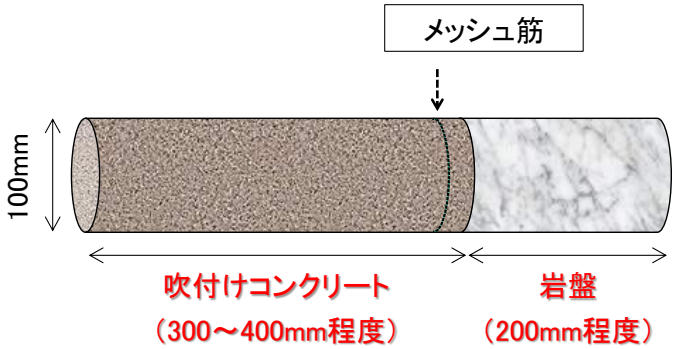


図 2.2-7　採取したコアの形状

図 2.2-8　コアの採取状況（No.2）

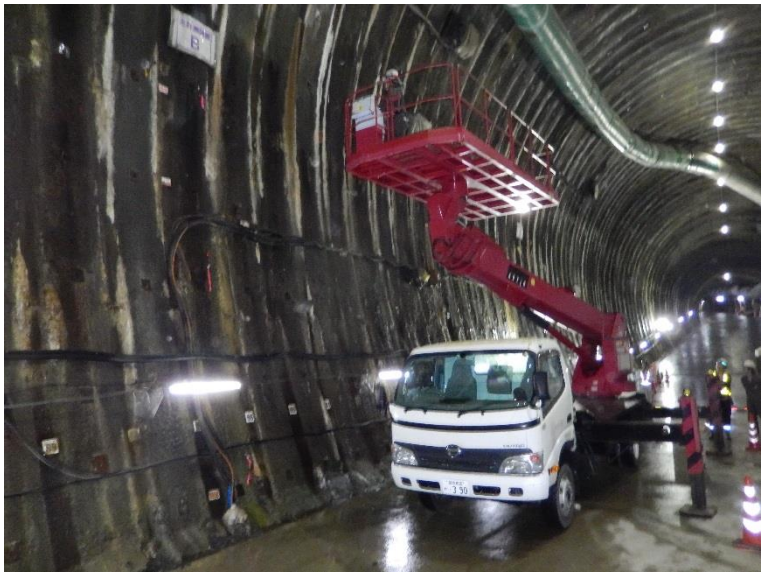


図 2.2-9　コアの採取状況（No.3）

なお、コアの削孔箇所は急硬性無収縮モルタルであるハイプレタスコン TYPEⅡ（デンカ）で充填した。コアの復旧状況を図 2.2-10 に示す。

図 2.2-10　コアの復旧状況（No.2）

2）コアの分析

a．分析項目

分析項目を表 2.2-5 に示す。

本分析では物理特性の取得として、吹付けコンクリートの圧縮強度、静弾性係数、空隙率、ビッカース硬度、岩盤の空隙率とビッカース硬度を測定した。また吹付けコンクリートと岩盤の界面付近における化学変化を明らかにするために、吹付けコンクリートの中性化試験及び、吹付けコンクリートと岩盤について、電子線マイクロアナライザー（EPMA）による面分析と粉末 X 線回折分析（XRD）による鉱物の同定を行った。

表 2.2-5　分析項目一覧

試料	項目	数量	単位	備考
吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ	圧縮強度	3	本	JIS A 1107
	静弾性係数	3	本	JIS A 1149（ｺﾝﾌﾟﾚｯｿﾒｰﾀ法）
	空隙率	3	点	N=2（1 点あたり 2 回測定）　水銀圧入法，アルキメデス法
	中性化	1	回	JIS A 1152
	ﾋﾞｯｶｰｽ硬度	4	層	25 点/層
	EPMA	1	点	Ca，Si，Na，K，S，Cl，Mg，Al、Fe
	XRD	2	点	定性分析
岩盤	空隙率	2	点	N=2　　水銀圧入法，アルキメデス法
	ﾋﾞｯｶｰｽ硬度	2	層	25 点/層
	EPMA	1	点	Ca，Si，Na，K，S，Cl，Mg，Al、Fe
	XRD	2	点	定性分析

各採取コアの分析項目を表 2.2-6 から表 2.2-8 に示す。吹付けコンクリートに比べて岩盤が脆いこともあり、多くのコアが採取の際に界面付近で折れてしまっている。本検討では界面付近の化学的な変化に着目したいため、吹付けコンクリートと岩盤が付着している No.1-2、2-5、3-5 を対象として EPMA などの化学分析を行った。EPMA 等の化学的な分析に供するコアの界面付近の状況を図 2.2-11 から図 2.2-13 に示す。

表 2.2-6　各コアの分析項目（No.1）

記号	試料	分析項目	
		吹付けコンクリート	岩盤
1-1		圧縮強度、静弾性係数	-
1-2		空隙率、ビッカース硬度、中性化、XRD、EPMA	空隙率、EPMA、XRD
1-3		圧縮強度、静弾性係数	-
1-4			
1-5		予備	

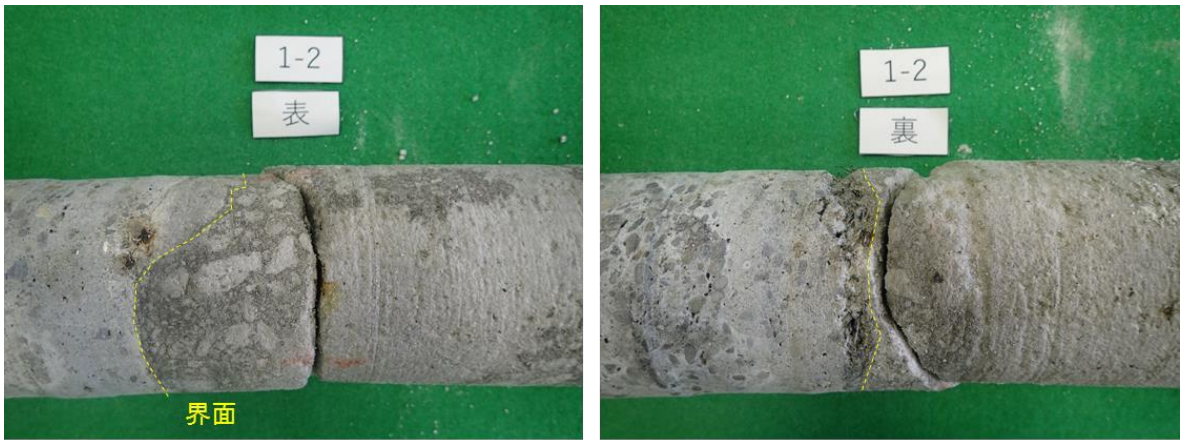
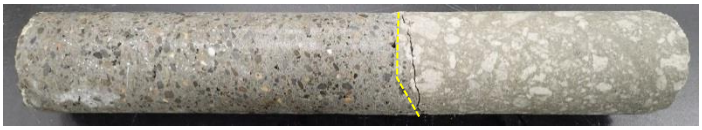


図 2.2-11　吹付けコンクリートと岩盤の界面付近（No.1-2）

表 2.2-7　各コアの分析項目（No.2）

記号	試料	分析項目	
		吹付けコンクリート	岩盤
2-1		予備	
2-2		圧縮強度、静弾性係数	-
2-3			
2-4			
2-5		空隙率、ビッカース硬度、中性化、XRD、EPMA	空隙率、EPMA、XRD

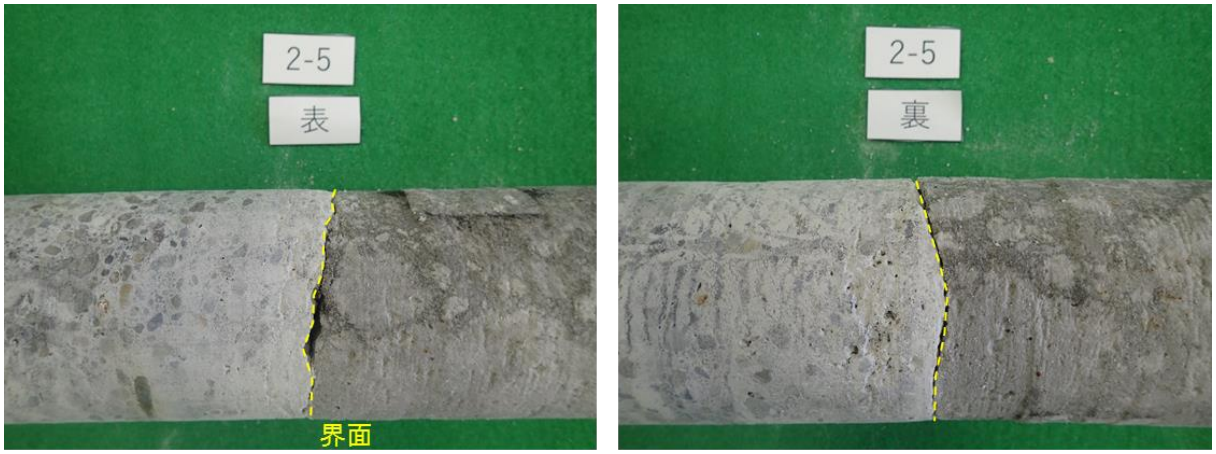


図 2.2-12　吹付けコンクリートと岩盤の界面付近（No.2-5）

表 2.2-8　各コアの分析項目（No.3）

記号	試料	分析項目	
		吹付けコンクリート	岩盤
3-1		圧縮強度、静弾性係数	-
3-2		空隙率、ビッカース硬度、中性化、XRD、EPMA	空隙率、EPMA、XRD
3-3		圧縮強度、静弾性係数	-
3-4		予備	
3-5		圧縮強度、静弾性係数	-

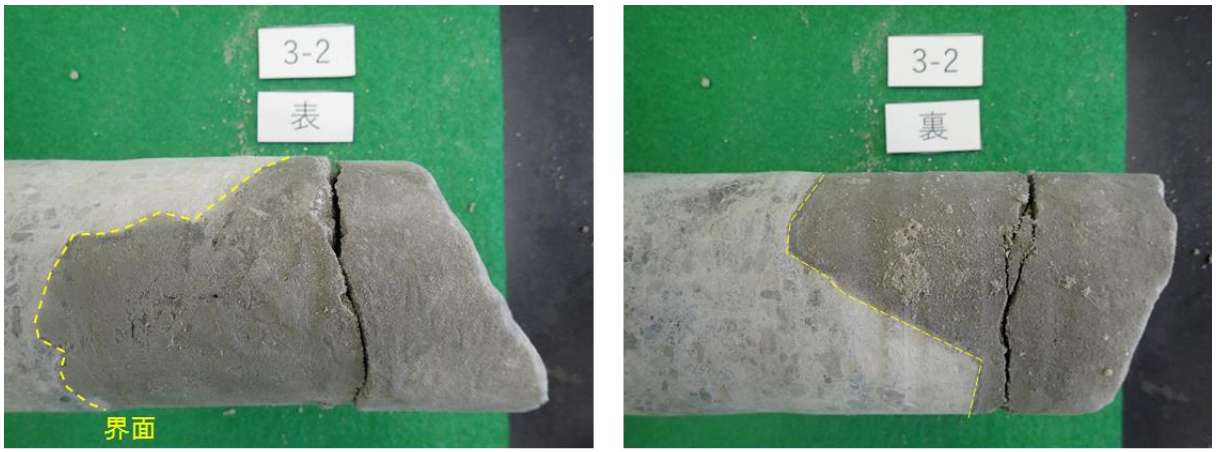


図 2.2-13　吹付けコンクリートと岩盤の界面付近（No.3-2）

b. 分析方法

(a) 圧縮強度試験、静弾性係数

強度試験を行うコアは、図 2.2-14 に示すように、メッシュ筋を避けるように延長 200mm に整形して圧縮強度試験を実施した。圧縮強度試験は JIS A 1107、静弾性係数は JIS A 1149（コンプレッソメータ法）に準拠して実施した。

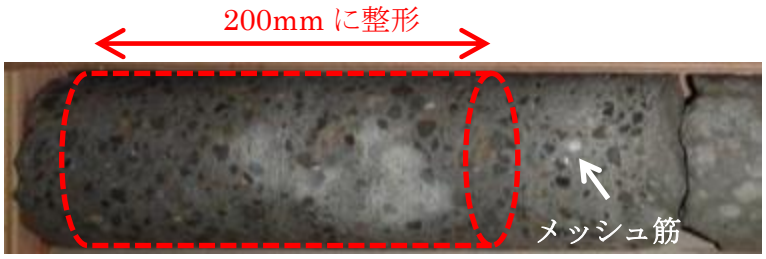


図 2.2-14　強度試験用のコアの整形

(b) 中性化深さ

中性化深さの測定は、JIS A 1152 に準拠して実施した。

(c) XRD、EPMA

XRD（粉末 X 線回折）や EPMA（電子線マイクロアナライザー）などの化学的な分析、空隙率測定などに供するコアは、半分に割裂して試料を採取した。なお、吹付けコンクリートと岩盤の界面付近は非常に脆い状態となっていたため、試料を切り出す際に適宜、樹脂を含浸している。

EPMA、XRD の試料の採取位置を図 2.2-15 から図 2.2-17 に示す。

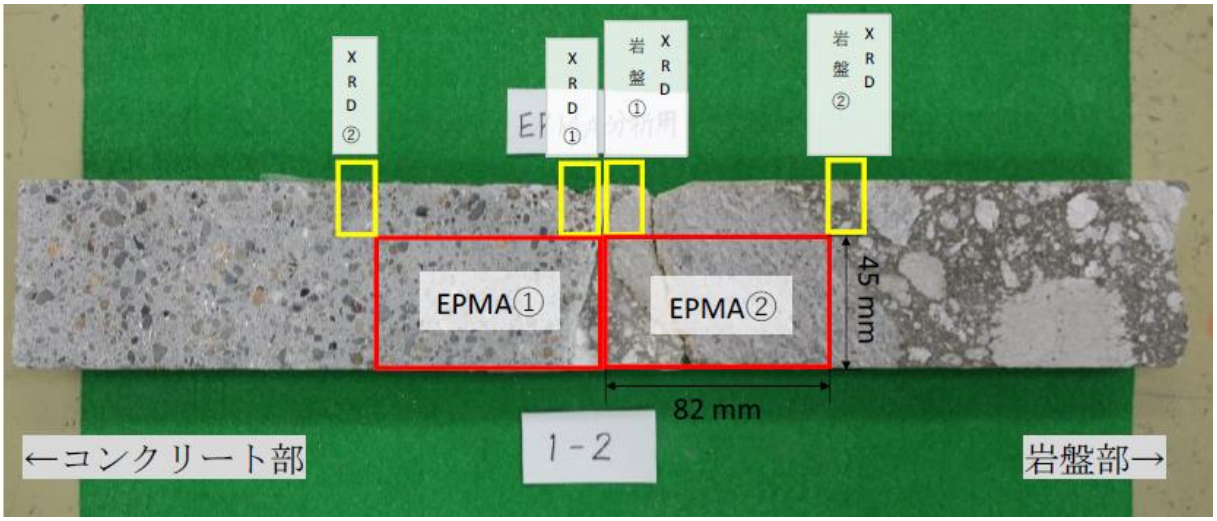


図 2.2-15　EPMA、XRD のコアの採取位置（No.1-2）

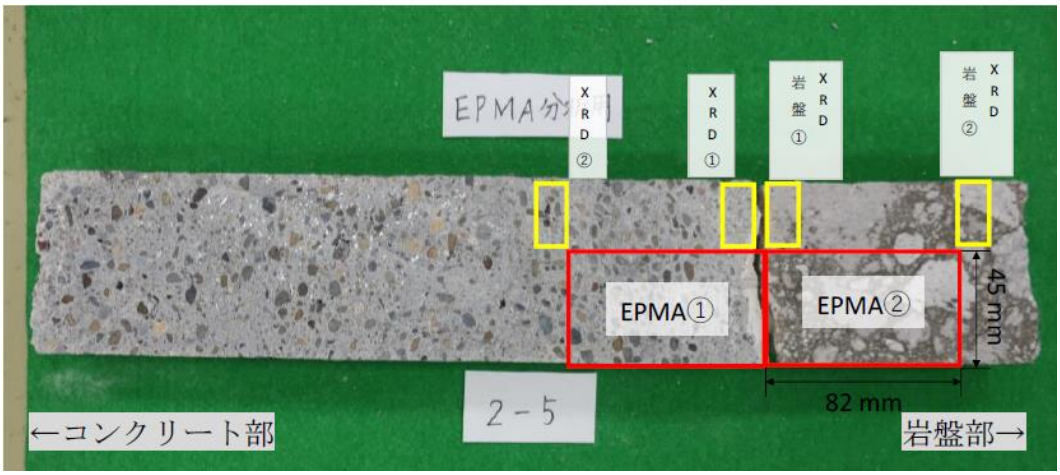


図 2.2-16　EPMA、XRD のコアの採取位置（No.2-5）

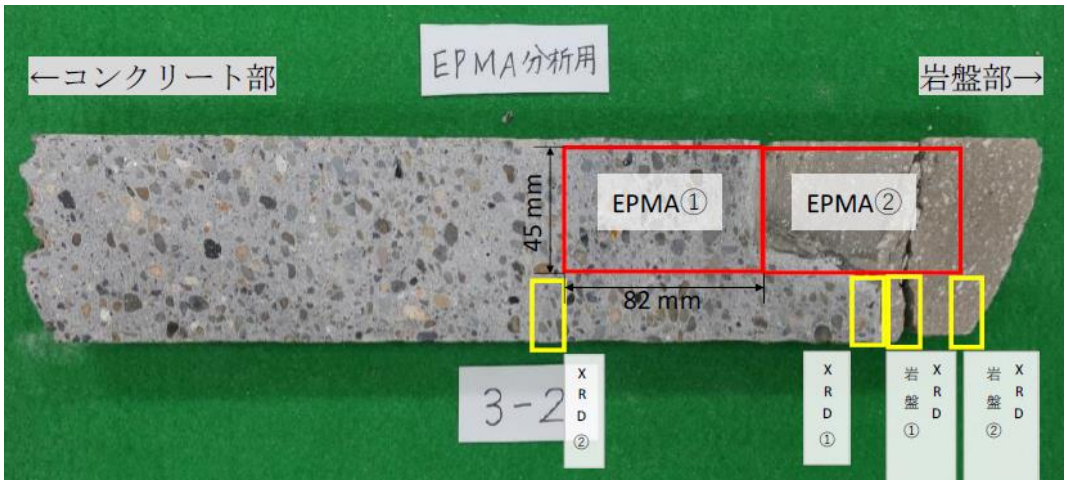


図 2.2-17　EPMA、XRD のコアの採取位置（No.3-2）

XRD 分析による鉱物の同定の分析方法を示す。ダイヤモンドカッターを用いて図 2.2-15 から図 2.2-17 中の XRD と記す黄色枠を、10mm 程度の厚さに切り出した。試料を乾燥させた後、コンクリート部については鋼鉢で粗粉砕し、目視で確認された骨材をピンセットで取り除いた。その後、目開き 90μm の網ふるい通過分を回収した。岩盤部については鋼鉢で全量を粗粉砕した。その後それぞれをメノウ乳鉢を用いて指頭に粒が感じられない程度にまで磨り潰して分析試料とした。分析装置には、PANalytical 社製 X 線回折装置 X'PertPROMPD を用いた。分析条件を以下に示す。

【分析条件】

ターゲット：CuKα
電圧・電流：45kV、40mA
スリット　：自動発散スリット
検出器　　：X'celeratore
走査速度　：5°/min
分析範囲　：2θ=5~60℃

XRD 分析状況を図 2.2-18 に示す。

図 2.2-18　XRD 分析状況

EPMA による面分析では、ダイヤモンドカッターを用いて図 2.2-15 から図 2.2-17 中の赤枠の位置から縦 45mm、横（深さ）82mm、厚さ 20mm 程度の板状片を採取した。これを樹脂包埋し、45×82mm の面を鏡面研磨して分析面とした。研磨後、分析面に導電性を与える目的で炭素を蒸着し、EPMA による面分析を実施した。

面分析条件及び面分析画像の作成条件を表 2.2-9 に示す。

表 2.2-9　EPMA による面分析の測定条件

試験方法	JSCE-G574-2013「EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析方法（案）」		
使用機器	日本電子社製 電子線マイクロアナライザー JXA-8200		
加速電圧	15 kV	試料電流	200 nA
プローブ径	50 μm	ピクセル※1)サイズ	100 μm
ピクセル数	縦400 × 横800 （分析領域：境界面を含む40 mm × 80 mm）		
計数時間	40 msec/ピクセル		
測定元素	カルシウム（Ca），ケイ素（Si），アルミニウム（Al），イオウ（S），塩素（Cl） マグネシウム（Mg），ナトリウム（Na），カリウム（K），鉄（Fe）		
標準試料	Cl (Halite, Cl=60.66%)　S (Anhydrite, SO_3=58.81%) Ca, Si (Wollastonite, CaO=48.00%, SiO_2=50.94%) Al, Na, K (K-Feldspar, Al_2O_3=20.44%, Na_2O=7.07%, K_2O=5.62%) Mg, Fe (Forsterite, MgO=50.83%, Fe_2O_3=9.75%)		
分光結晶	Cl , S , Ca, K (PET)　Si, Na , Mg Al (TAP)　Fe (LIF)		

スキャン方式	ステージスキャン
濃度換算方法	比例法※2)
測定結果の表示形式	濃度(単位:%(質量パーセント濃度)) Cl:元素としての%として表示 その他の元素:酸化物(SO_3,CaO, SiO_2, Na_2O, K_2O, MgO, Al_2O_3, Fe_2O_3)としての%として表示
面分析画像の表示方法	①空隙など実体のない部分を除く全ピクセルを表示 (コンクリートは骨材のピクセルを表示) ②コンクリートのみセメントペーストに相当するピクセルを表示 (骨材のピクセルは非表示) 10%≦SiO_2≦30%かつ15%≦CaOのピクセルを表示

※1)ピクセルとは、分析を行う一つの区画のことである。

※2)比例法は、種々の分析試料に対して適用可能で、迅速で簡易的な定量方法である。ただし、同一試料内で相対比較はできるが、絶対値は必ずしも保証されない。

EPMA 面分析の状況を図 2.2-19 に示す。

図 2.2-19　EPMA による面分析状況

(d) 空隙率とビッカース硬度

空隙率とビッカース硬度の測定位置を図 2.2-20 から図 2.2-22 に示す。詳細は後述するが、EPMA の面分析の結果、吹付けコンクリートと岩盤の界面から、20mm 程度の範囲で吹付けコンクリートの変質が確認されている。そこで、空隙率とビッカース硬度の測定位置は、健全部と変質部の物理特性の違いを明らかにできるように設定した。具体的には、吹付けコンクリートの空隙率は界面から 0~10mm、10~20mm、約 200mm の位置で試料を切り出して測定をしており、ビッカース硬度は、界面から 2mm、8mm、15mm、200mm の位置で測定した。一方で岩盤は、空隙率は岩盤との界面から 0~10mm と約 200mm の位置、ビッカース硬度は 5mm と 200mm の位置を対象として分析した。但し、岩盤部で界面から 200mm の離隔が取れない箇所については、できるだけ離れた位置で測定を実施することとしている。

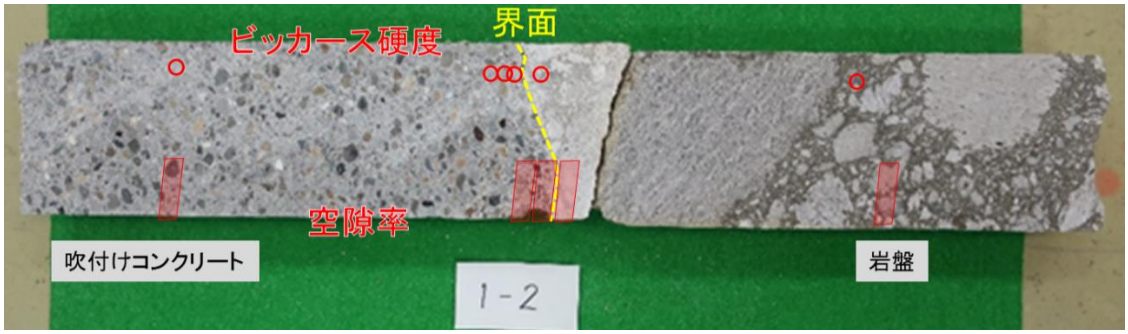


図 2.2-20　空隙率、ビッカース硬度の測定位置（No.1-2）

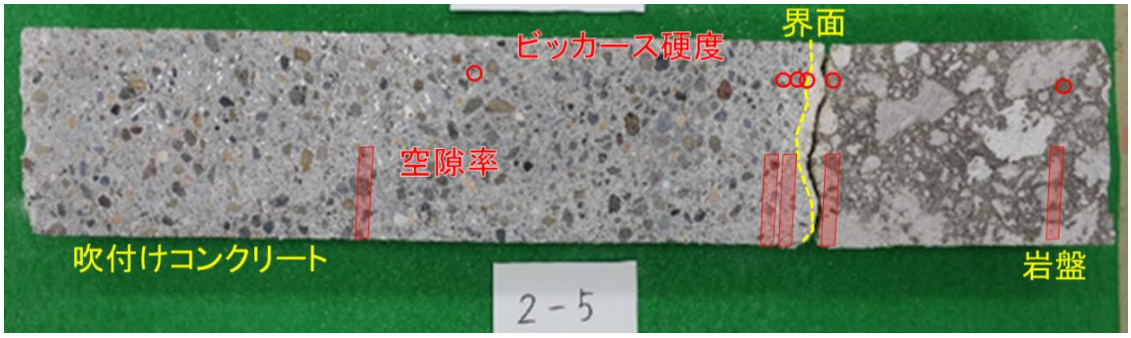


図 2.2-21　空隙率、ビッカース硬度の測定位置（No.2-5）

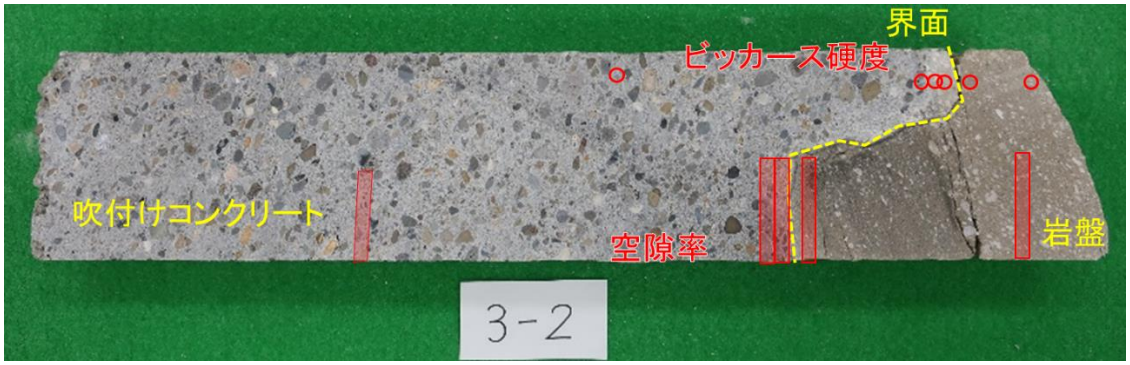


図 2.2-22　空隙率、ビッカース硬度の測定位置（No.3-2）

空隙率の測定は水銀圧入法、アルキメデス法の両方を用いて実施した。水銀圧入法による測定は、島津製作所製の自動ポロシメータオートポア 9520 を用いた。図 2.2-20 から図 2.2-22 に示す位置からコンクリートカッターで厚さ 5mm 程度の試料を切り出し、次にニッパーを用いて 5mm 角程度になるように調整したあと、吹付けコンクリートについては 5mm 以上の粗骨材を除去した。試料をアセトンに 24 時間以上浸漬した後、ドラフター内で乾燥させ、その後、真空凍結乾燥機（冷却性能-85℃）で凍結乾燥した。乾燥させた試料を 2.5mm ふるいにかけて、2.5mm 以下の粒を除去し、測定試料とした。試料を図 2.2-23 に示す測定容器に入れて、水銀圧入法による空隙率測定を実施した。測定機器を図 2.2-24 に示す。なお、アルキメデス法についても、同様の下処理を行っているが、岩盤では試料が脆く、2.5mm から 5mm の間の試料を十分に採取することが困難であったため、5mm より大きいサイズの試料も試験に用いている。

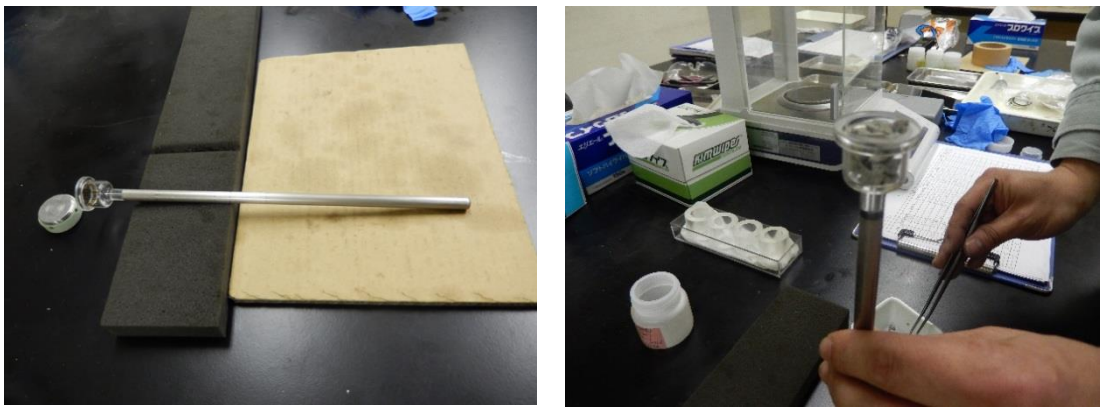


図 2.2-23　測定容器

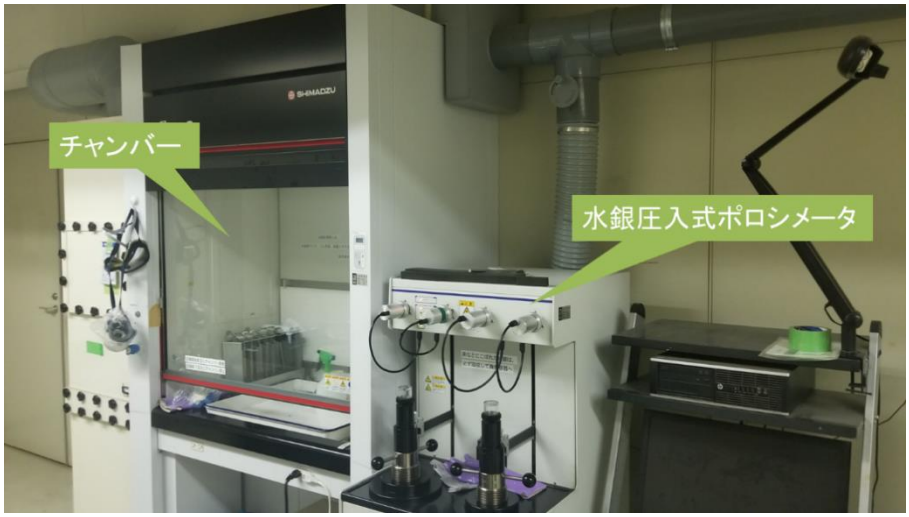


図 2.2-24　水銀圧入式ポロシメータとチャンバー

ビッカース硬度の測定に先立ち、図 2.2-20 から図 2.2-22 に示す位置を含むように厚さ 1cm 程度の試験片を切り出した。吹付けコンクリート部分については、#800 のアルミナ質研磨剤を用いて表面を研磨してから、ビッカース硬度を測定した。岩盤部は表面が脆いため、研磨することができず、そのまま測定に供している。ビッカース硬度の測定は島津製作所製のダイナミック超微小硬度計 DUH—211 を用いた。ビッカース硬度の測定状況を図 2.2-25 に示す。

図 2.2-25　ビッカース硬度の測定状況

(3) コアの分析結果

1) 圧縮強度

採取したコアの圧縮強度試験の結果を表 2.2-10 に示す。表 2.2-10 では、それぞれの位置の圧縮強度試験に供したコアのうち、通し番号が小さいものから順に、1 本目、2 本目、3 本目としている。圧縮強度の平均値は、No.1 と No.2 は約 56N/mm² で、平成 28 年度に実施した試験結果（H28-R、H28-L）と同程度の圧縮強度である一方で、No.3 は 47.9N/mm² と比較的圧縮強度が小さい。1 本目と 3 本目の圧縮強度は他のコアの圧縮強度と同程度であるが、2 本目である No.3-3 の圧縮強度は 33.5N/mm² であり、設計基準強度よりも小さい。ワイヤーメッシュの背面などに多少の空隙を有する箇所があることから、部分的に弱部が存在して、圧縮強度が小さくなっているものと考えられる。

表 2.2-10　各コアの圧縮強度

No.	圧縮強度（N/mm²）			
	1 本目	2 本目	3 本目	平均値
1	59.2	59.8	51.1	56.7
2	65.5	51.3	51.9	56.2
3	60.9	33.5	49.2	47.9
H28-R	57.9	54.7	62.5	58.4
H28-L	67.0	51.1	60.5	59.5

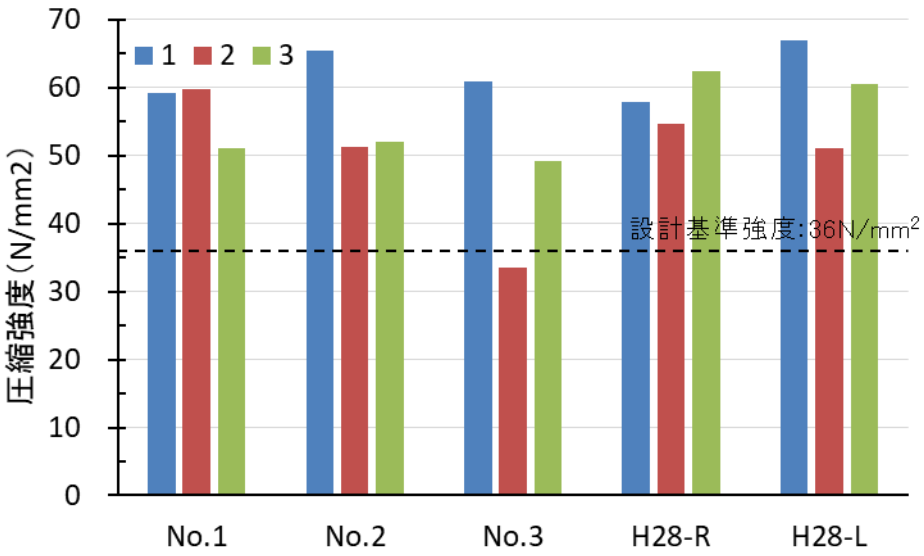


図 2.2-26　圧縮強度試験

2）静弾性係数

表 2.2-11 に静弾性係数の試験結果を示す。静弾性係数の平均値は 26kN/mm2 から 28kN/mm2 であり、平成 28 年度に実施した試験結果と同程度である。

鋼繊維を混入した吹付けコンクリートの圧縮強度と静弾性係数について検討された既往の研究[4]によると、吹付けコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係は、図 2.2-27 に示すように、コンクリート標準示方書で示されているコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係と比較すると静弾性係数が小さくなる傾向にあり、その理由について、吹付けコンクリートは普通コンクリートと比較して細骨材率が高く、モルタルに近い配合であることが影響していると考察している。試験空洞で施工された吹付けコンクリートの細骨材率も 60%と普通コンクリートに比べて高いことから、このような結果になったと考える。また、試験空洞に施工された吹付けコンクリートの粗骨材最大寸法は 10mm であり、一般的な吹付けコンクリートの粗骨材最大寸法 15mm よりも小さい。これも一般的な吹付けコンクリートよりも静弾性係数が若干小さくなった理由の一つであると考えられる。

表 2.2-11　各コアの静弾性係数

No.	静弾性係数（kN/mm²）			
	1 本目	2 本目	3 本目	平均値
1	29.9	28.2	25.5	27.9
2	31.3	28.0	25.3	28.2
3	25.1	23.3	30.8	26.4
H28-R	26.3	26	27.2	26.5
H28-L	30.8	25	27.9	27.9

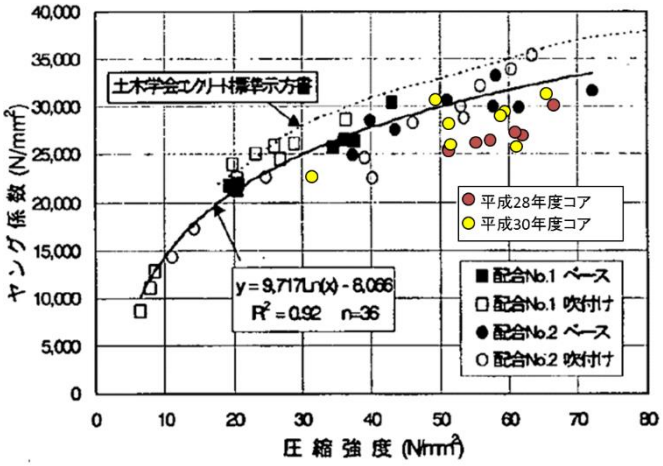


図 2.2-27　圧縮強度と静弾性係数の相関関係

3）中性化深さ

図 2.2-28 から図 2.2-30 にフェノールフタレイン溶液を吹付けコンクリートと岩盤の界面に噴射した後の状況を示す。いずれのコアも、中性化深さは 1mm 以下であり、ほとんど中性化していないことが分かる。

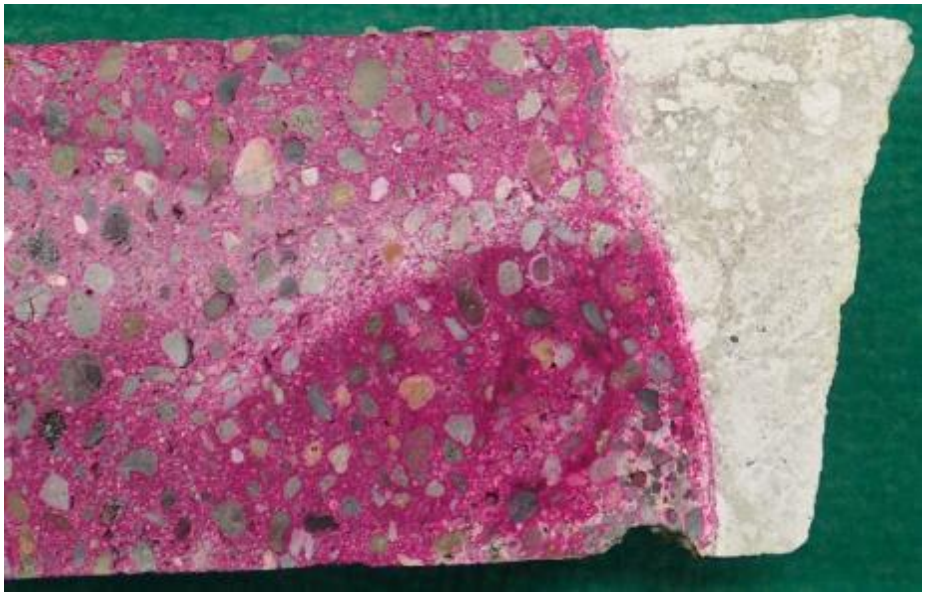


図 2.2-28　吹付けコンクリートの中性化深さ（No.1-2）

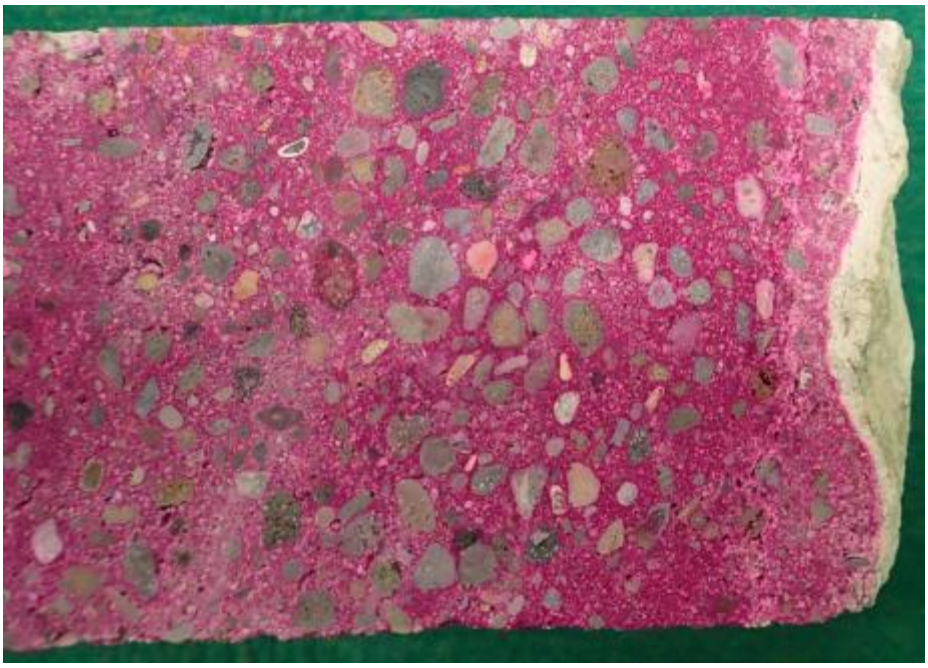


図 2.2-29　吹付けコンクリートの中性化深さ（No.2-5）

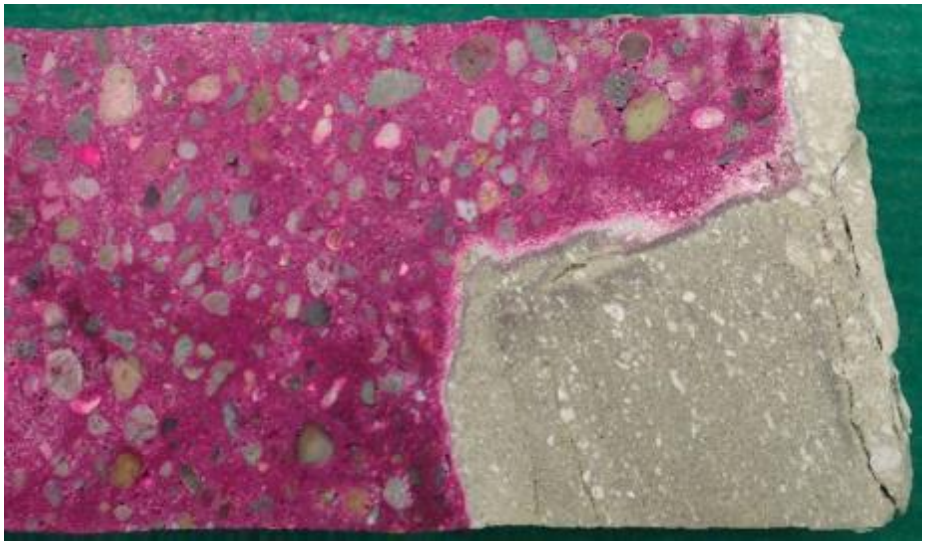


図 2.2-30　吹付けコンクリートの中性化深さ（No.3-2）

4）XRD

XRD によって同定された鉱物の一覧を表 2.2-12 に示す。

いずれの試料もコンクリート部では、ポルトランダイトやエトリンガイトが確認された。また、コア No1-2 と No.2-5 では岩盤との界面側である XRD①において、カルサイトとセッコウが確認されている。岩盤側では主に石英と長石類が確認されている。

ここで、平成 29 年度の管理型処分事業地下空洞型処分施設機能確認試験[2]で実施した吹付けコンクリートを模擬したセメントペーストについて、水に浸漬する前と 56 日間浸漬した後の鉱物組成割合を表 2.2-13 に示す。溶解試験の結果から、吹付けコンクリートは水に接する前後ともに、ポルトランダイトとエトリンガイトを含有しており、今回の XRD による鉱物組成分析結果と合致している。一方でカルサイトやセッコウについて考えると、カルサイトは、溶解試験を大気に触れない条件で実施したため生成されておらず、また、セッコウは非晶質の一部として分析されている可能性がある。コアの分析結果から、実環境下においては、吹付けコンクリートのカルシウム水和物と地下水が反応した結果として、界面付近にカルサイトやセッコウが生じているものと考えられる。図 2.2-31 から図 2.2-36 に、吹付けコンクリート及び岩盤の内外で XRD ピークリストを比較して示す。上述の説明に対応するようにピークリストが生じているが、図 2.2-31 では、境界部付近でポルトランダイトのピーク強度が小さくなっている。境界付近で $Ca(OH)_2$ の溶脱が生じた影響であると考えられる。

また、平成 28 年度の管理型処分事業地下空洞型処分施設機能確認試験[1]で実施した吹付けコンクリートの XRD による分析結果を図 2.2-37 に示す。H28 年度に採取したコアでは、岩盤との境界付近にエトリンガイトはほとんど同定されず、モノサルフェートが同定されている。一方で H30 年度に採取した吹付けコンクリートでは、モノサルフェートは同定されず、エトリンガイトが同定された。エトリンガイトは常温の高アルカリ環境下では、安定的に存在するが、pH が 10.7 以下になると分解する性質を持つ。H28 年度に採取した吹付けコンクリートでは、岩盤との界面付近で、Ca の溶脱がある程度進行し、

pH が低下した結果、吹付けコンクリート中のエトリンガイトが溶解して、モノサルフェートに転移したと考えられる。一方、H30 年度に採取した吹付けコンクリートでは、$Ca(OH)_2$ が多く残存していることから、pH が高い値に保たれ、エトリンガイトが分解されずに残っていると考えられる。

表 2.2-12　同定された鉱物の一覧

試料名	CC	CH	AFt	Gp	石英	長石類	白雲母	備考
1-2 XRD②	—	○	○	—	○	○	○	
1-2 XRD①	○	○	○	○	○	○	○	
1-2 XRD 岩盤①	—	—	—	—	○	○	—	非晶質有り
1-2 XRD 岩盤②	—	—	—	—	○	○	—	非晶質有り
2-5 XRD②	—	○	○	—	○	○	○	
2-5 XRD①	○	○	○	○	○	○	○	
2-5 XRD 岩盤①	—	—	—	—	—	○	—	非晶質有り
2-5 XRD 岩盤②	—	—	—	—	○	○	—	非晶質有り
3-2 XRD②	—	○	○	—	○	○	○	
3-2 XRD①	—	○	○	—	○	○	○	
3-2 XRD 岩盤①	—	—	—	—	○	○	—	非晶質有り
3-2 XRD 岩盤②	—	—	—	—	○	○	—	非晶質有り

○：同定された物質　　—：同定されなかった物質

CC：カルサイト（炭酸カルシウム）、CH：ポルトランダイト（水酸化カルシウム）、AFt：エトリンガイト、Gp：セッコウ

表 2.2-13　吹付けコンクリートを模擬したセメントペースト

	鉱物組成割合（mass%）								
試料	エーライト	ビーライト	アルミネート	フェライト	カルサイト	エトリンガイト	モノサルフェート	ポルトランダイト	非晶質
浸漬前	5.86	2.70	0.22	4.26	—	7.97	1.80	13.43	63.75
液固比 10 浸漬 56 日	3.62	2.30	0.00	2.26	-	16.34	0.48	10.97	64.03
液固比 100 浸漬 56 日	3.62	2.84	0.00	2.41	-	17.10	0.29	3.13	70.62

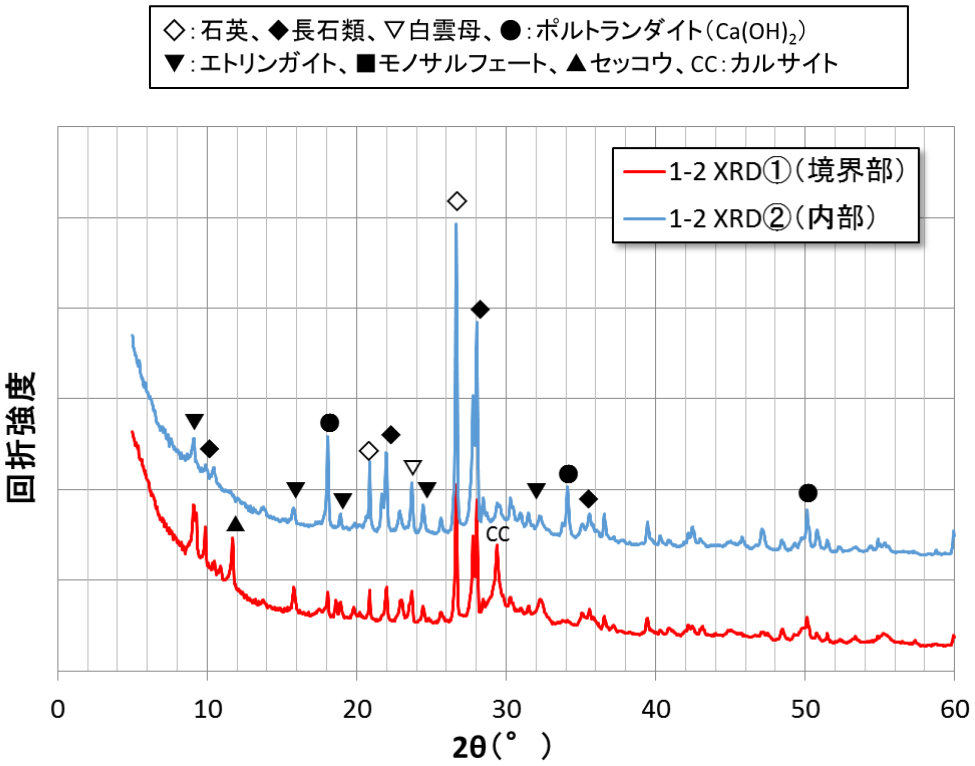


図 2.2-31　XRD の測定結果（No.1-2 吹付けコンクリート）

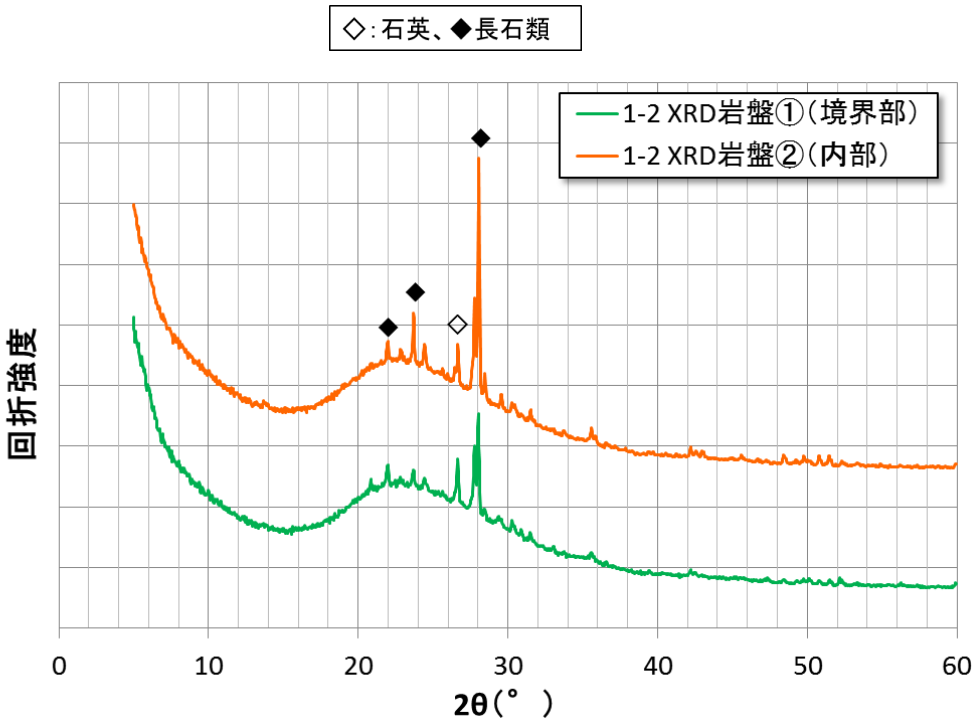


図 2.2-32　XRD の測定結果（No.1-2 岩盤）

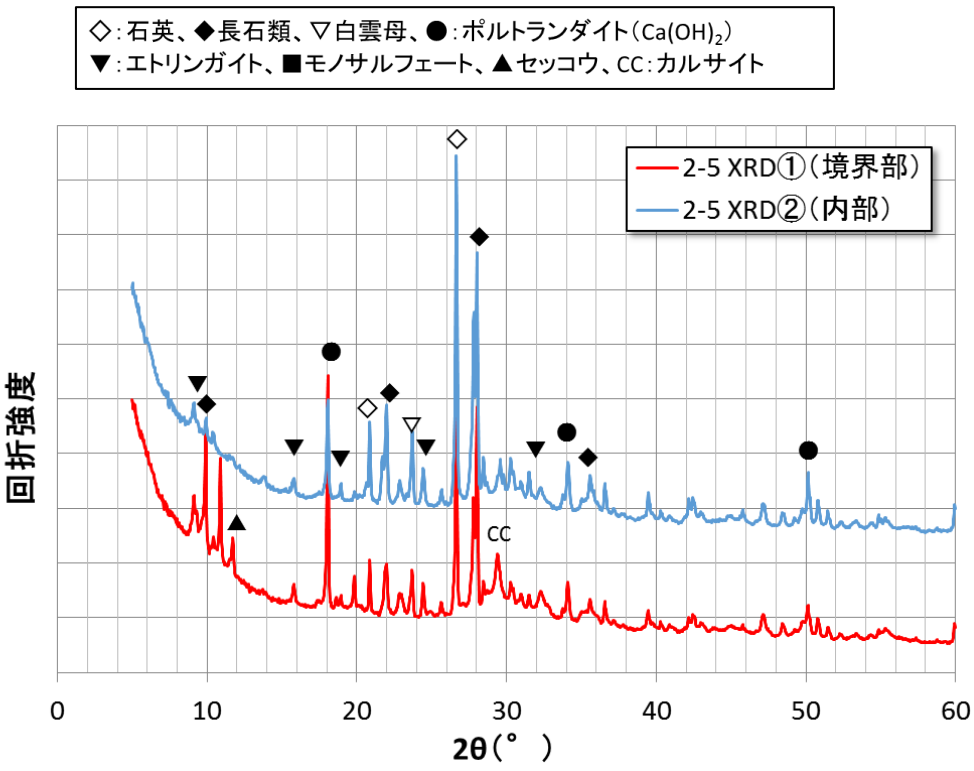


図 2.2-33　XRD の測定結果（No.2-5 吹付けコンクリート）

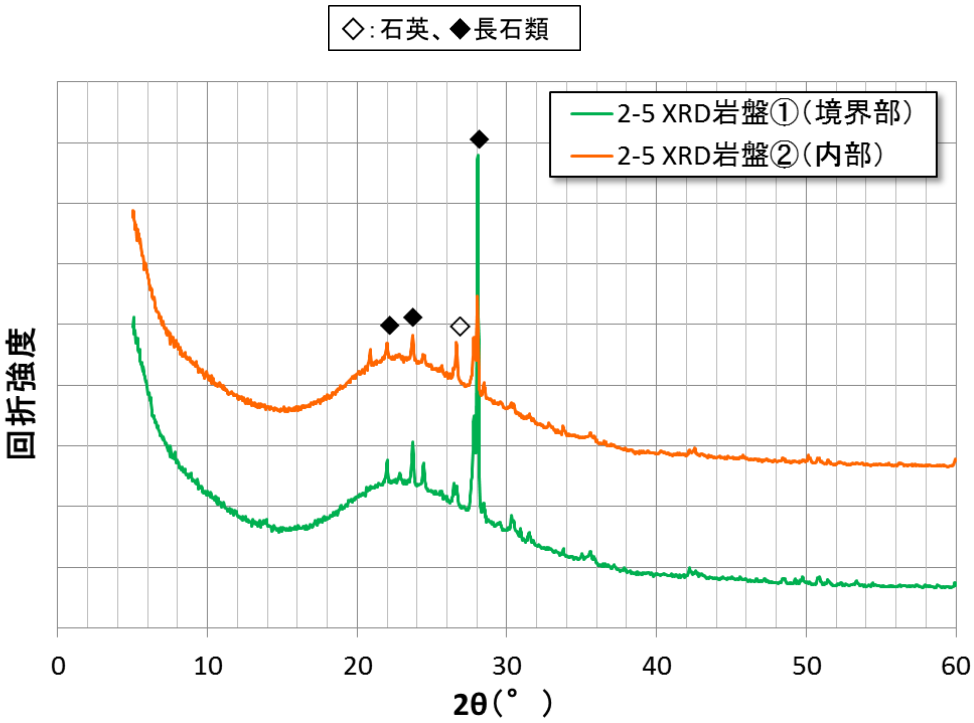


図 2.2-34　XRD の測定結果（No.2-5 岩盤）

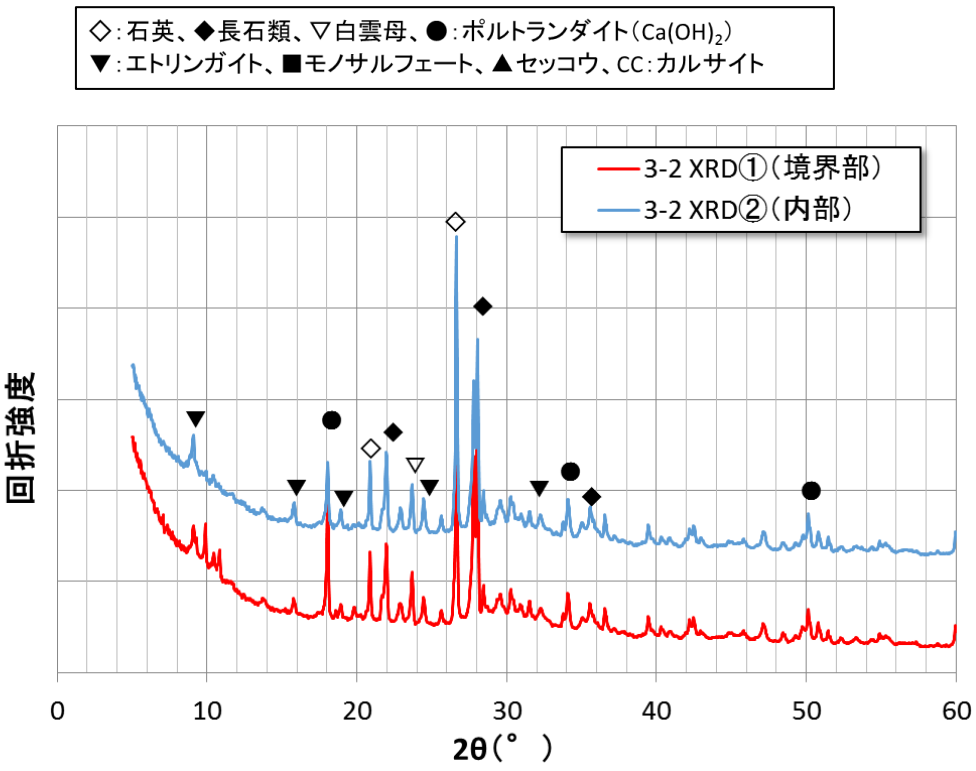


図 2.2-35　XRD の測定結果（No.3-2 吹付けコンクリート）

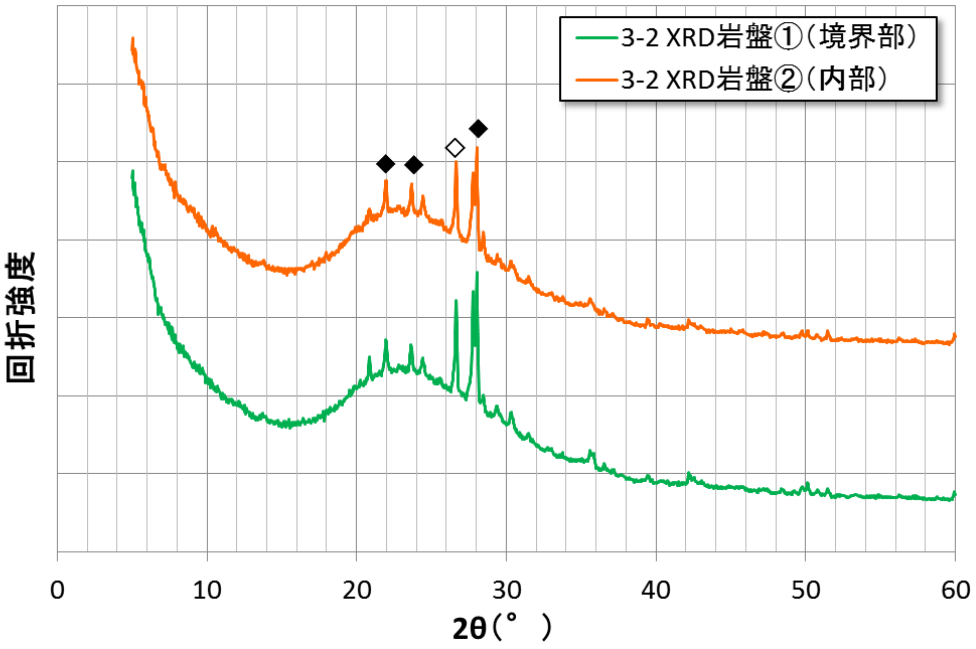


図 2.2-36　XRD の測定結果（No.3-2 岩盤）

【凡例】
◇：石英、◆：長石類、●：ポルトランダイト（$Ca(OH)_2$）
▼：エトリンガイト、■：モノサルフェート、
Mc：モノカーボネート、CC：カルサイト（$CaCO_3$）

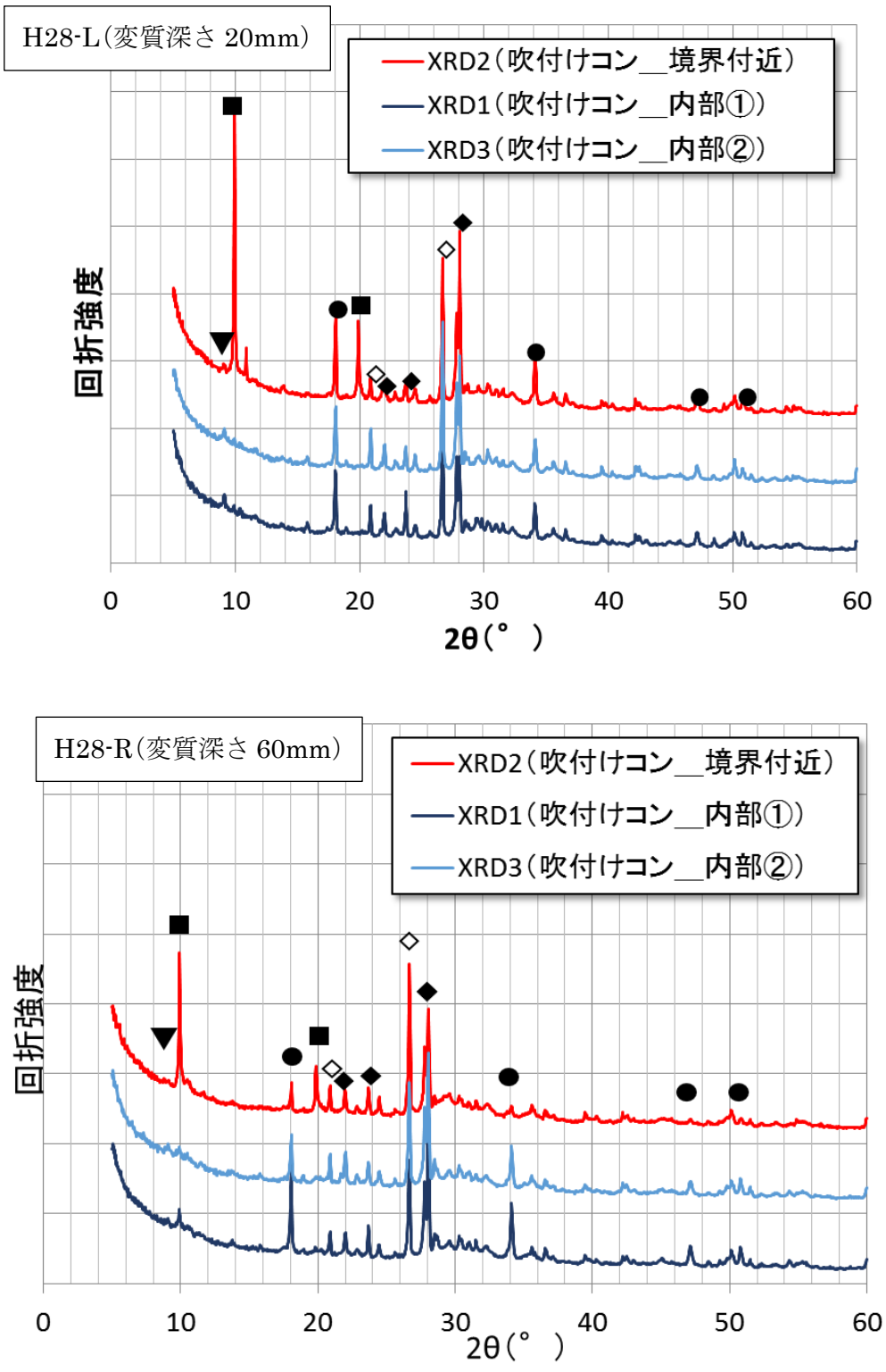


図 2.2-37　平成 28 年度に採取したコアの XRD の分析結果

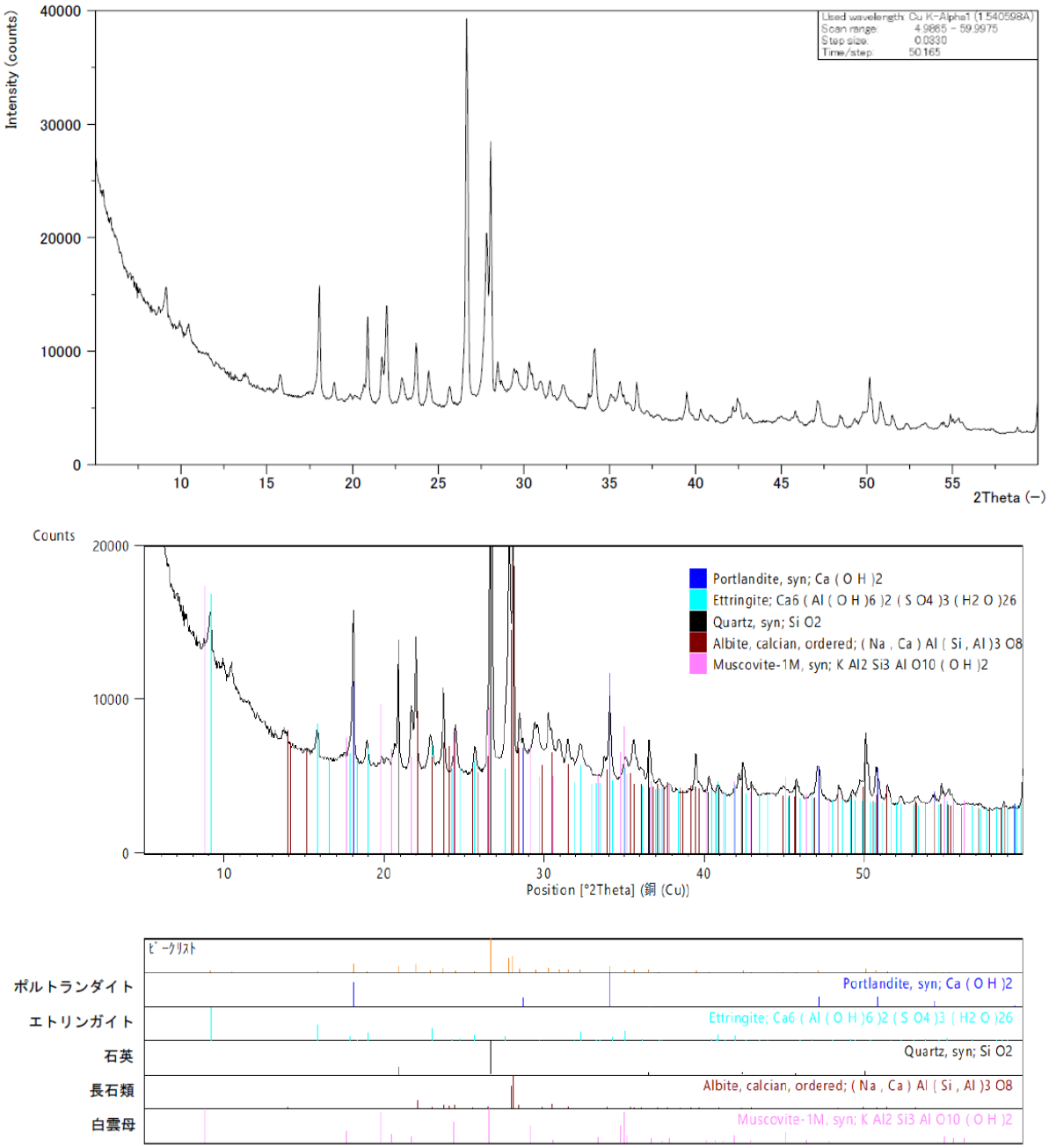


図 2.2-38　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.1-2 XRD②

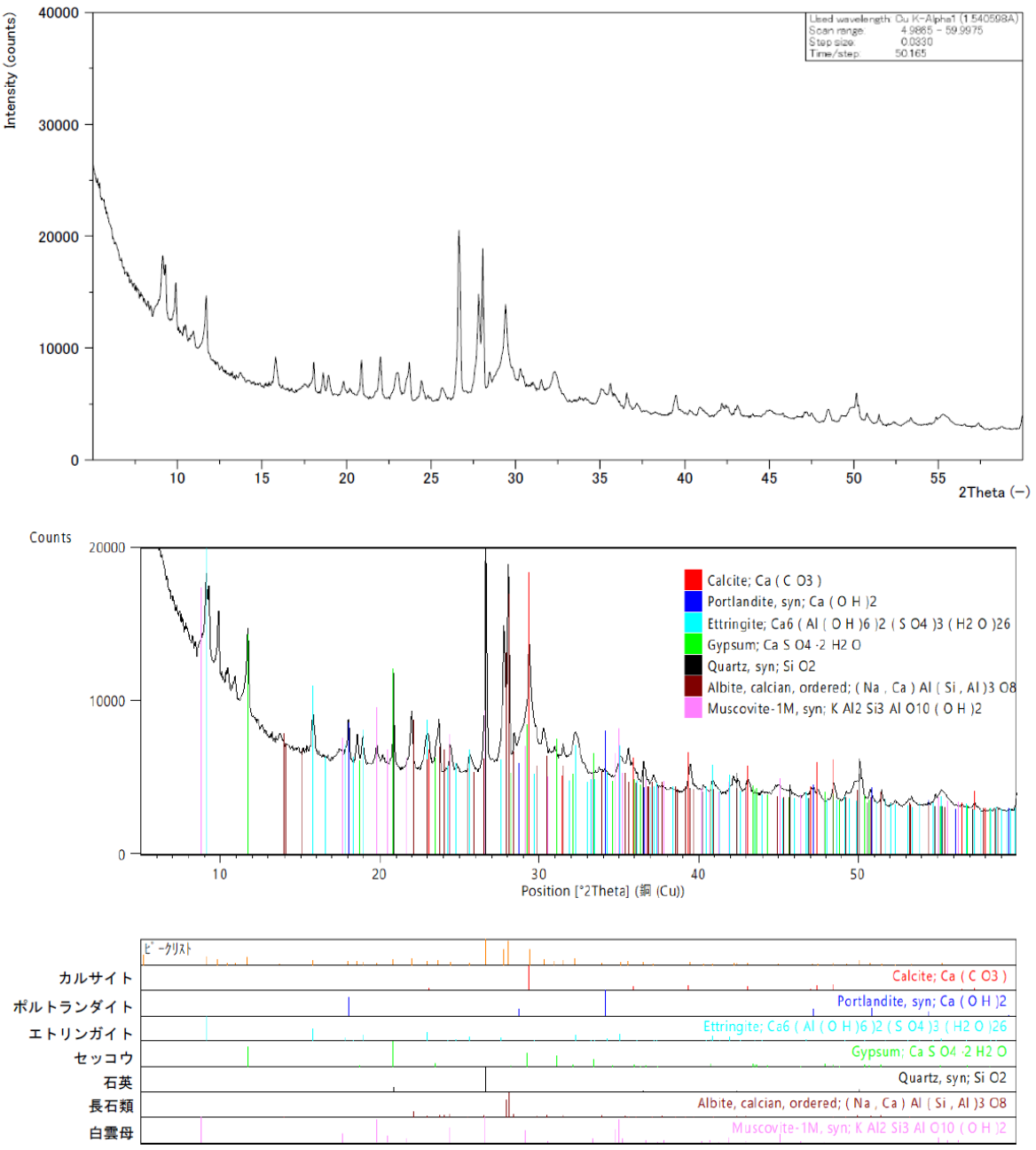


図 2.2-39　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.1-2 XRD①

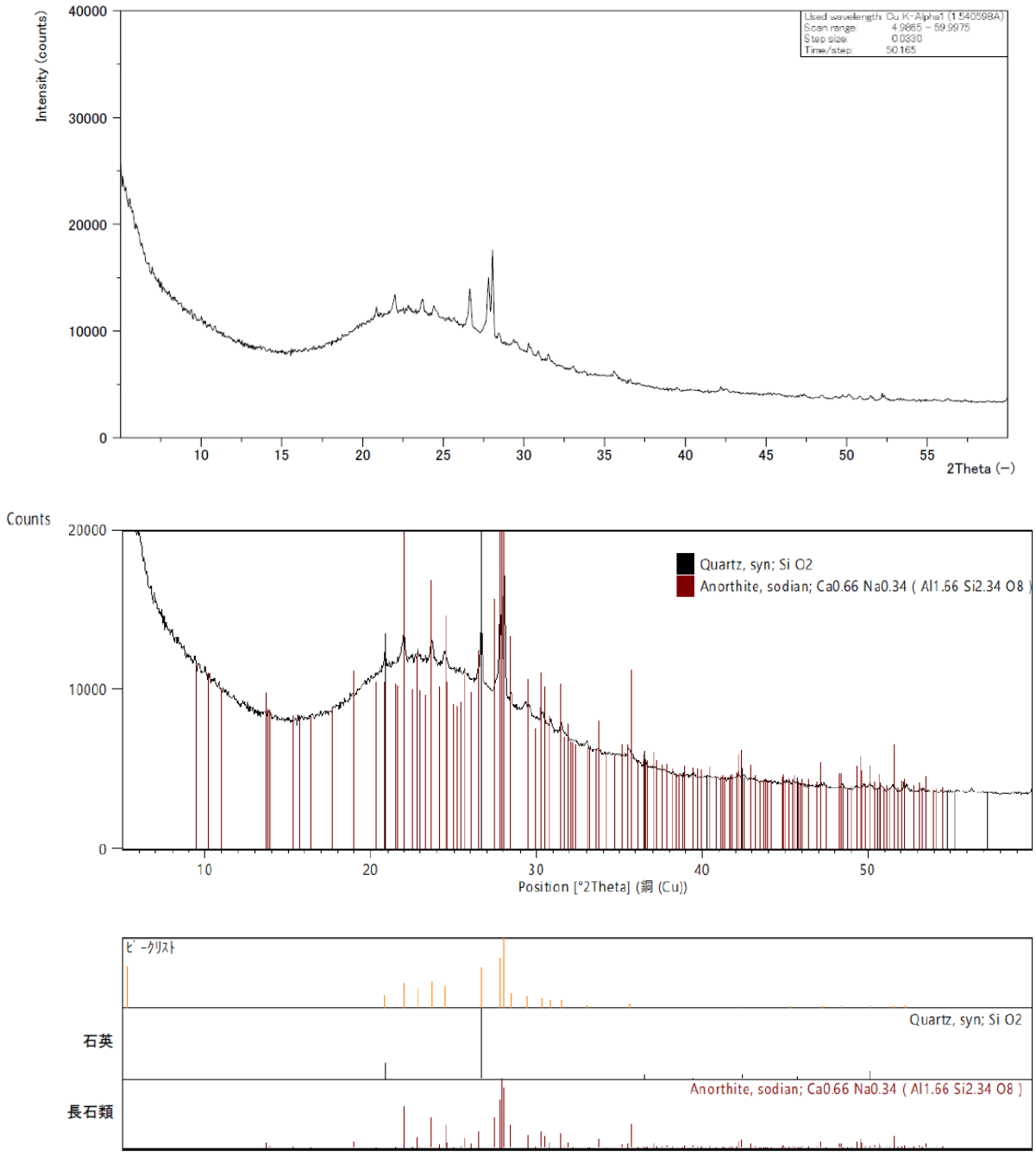


図 2.2-40　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.1-2 XRD 岩盤①

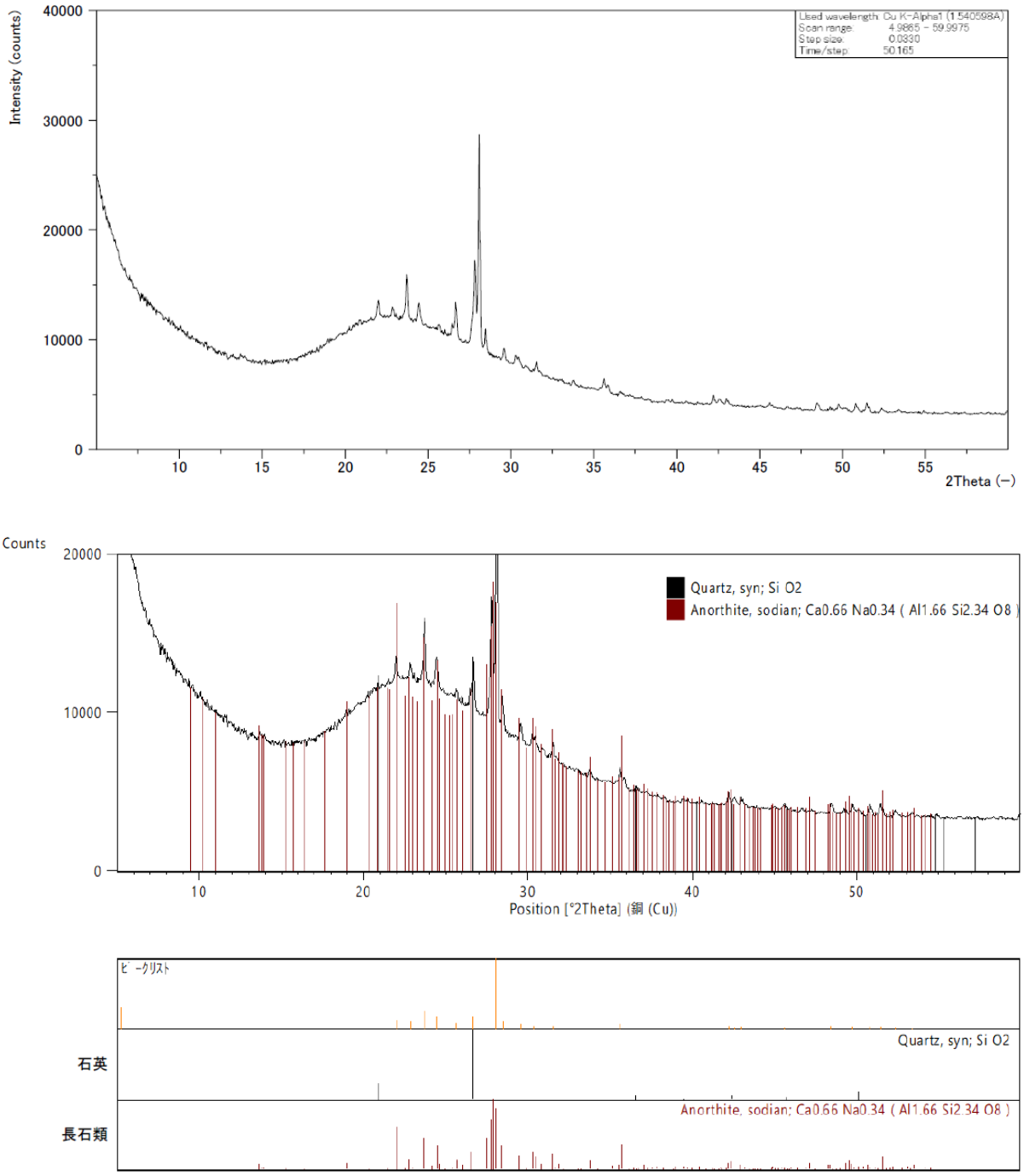


図 2.2-41　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.1-2 XRD 岩盤②

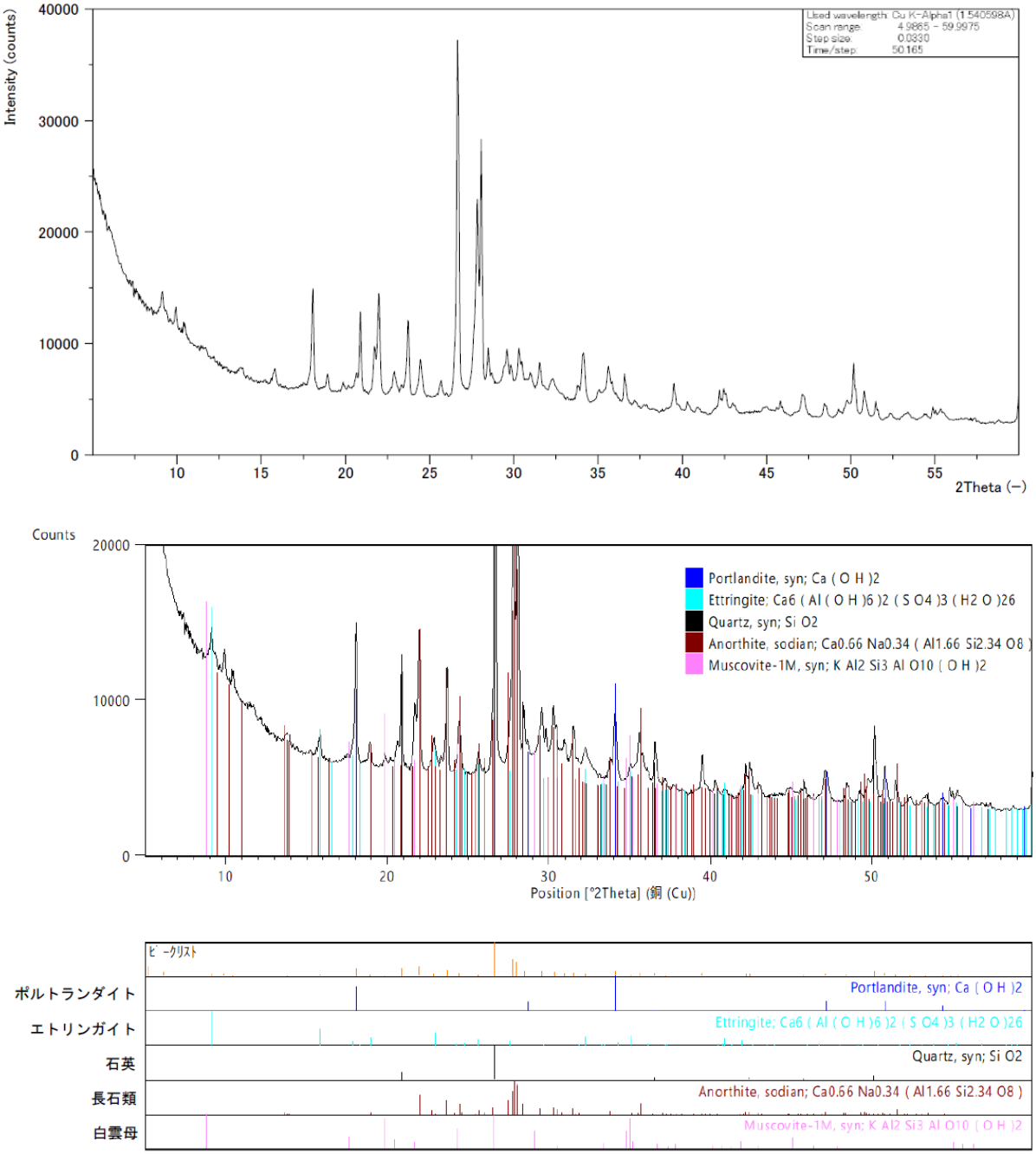


図 2.2-42　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.2-5 XRD②

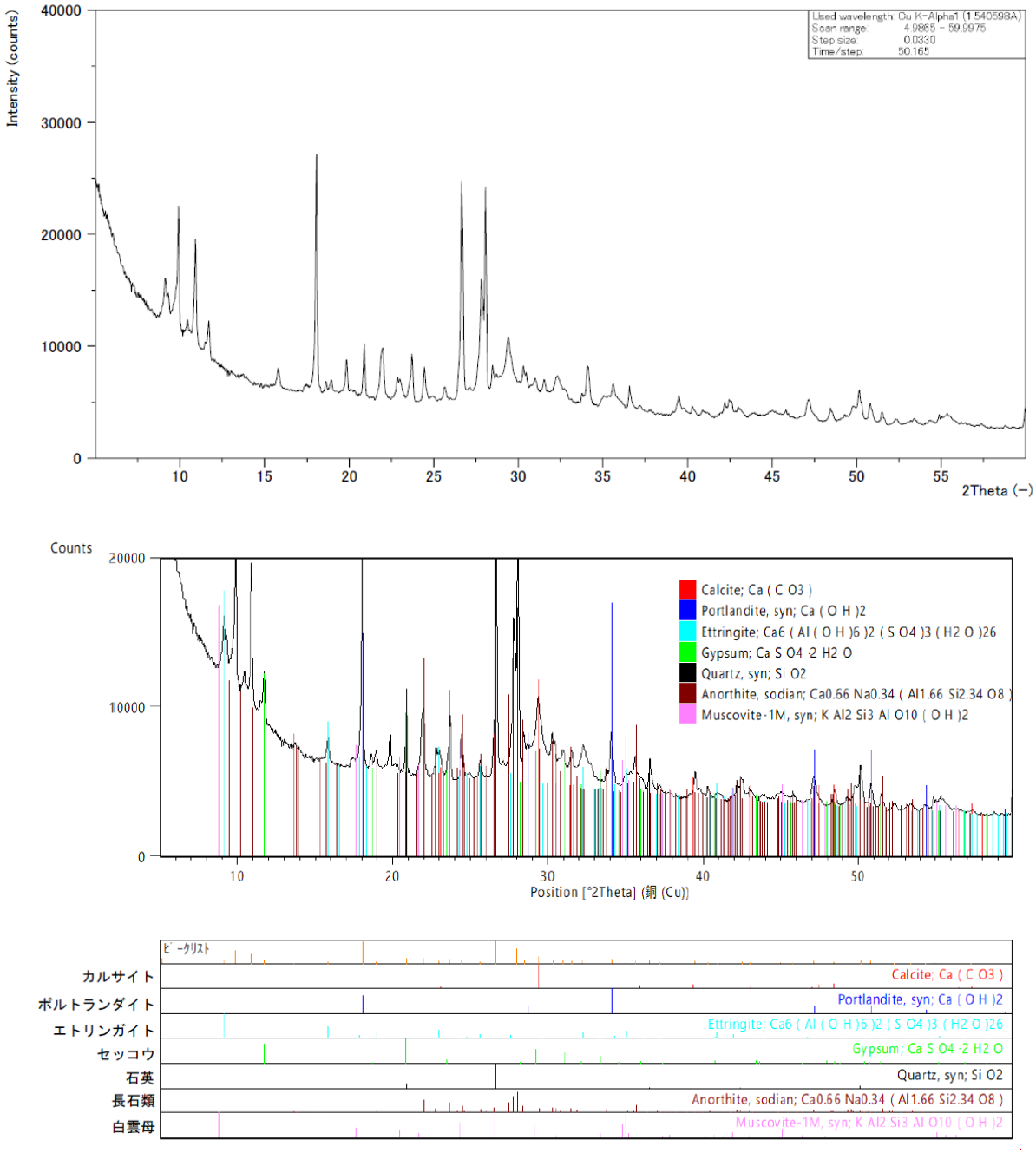


図 2.2-43　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.2-5 XRD①

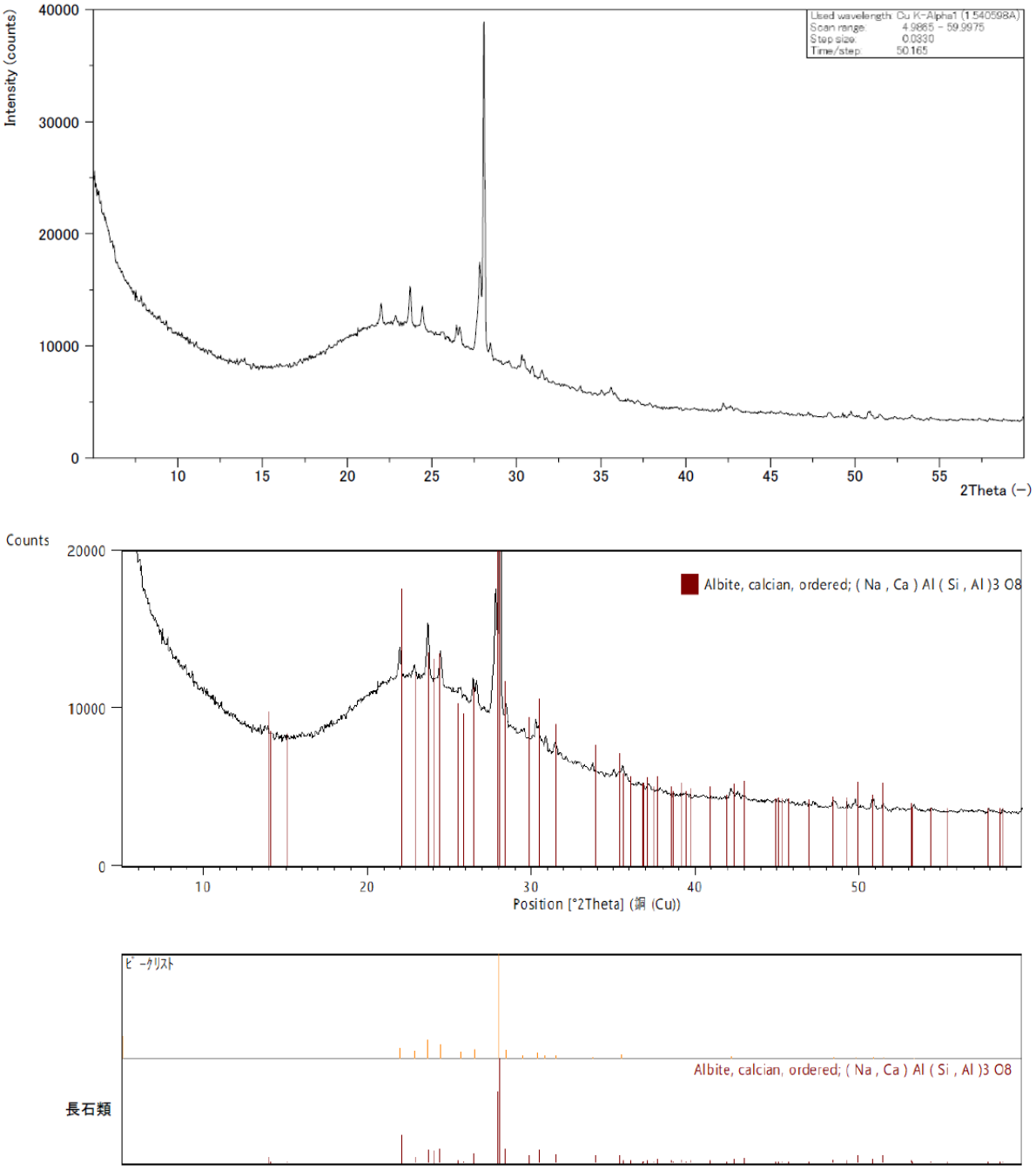


図 2.2-44　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.2-5 XRD 岩盤①

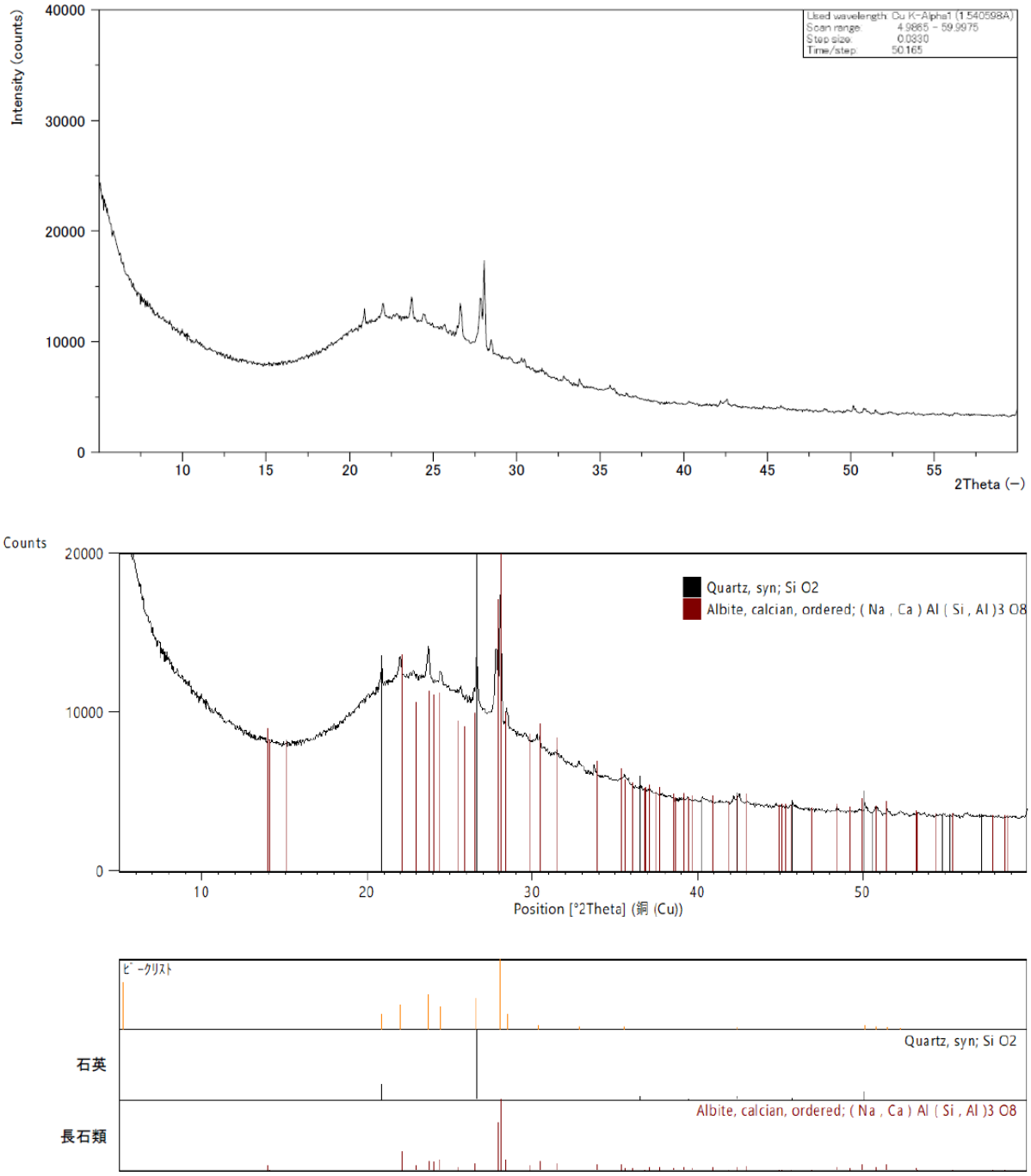


図 2.2-45　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.2-5 XRD 岩盤②

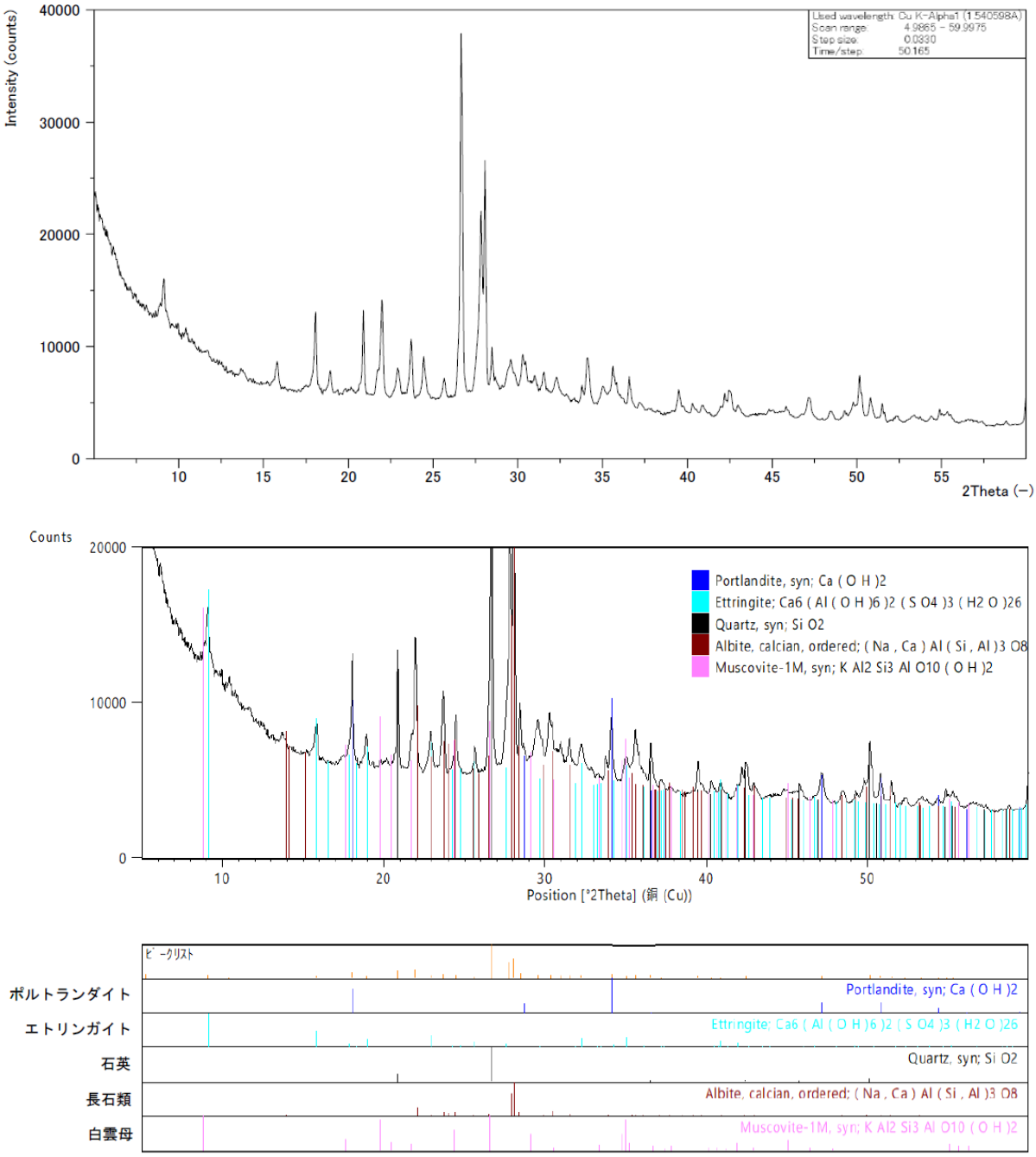


図 2.2-46　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.3-2 XRD②

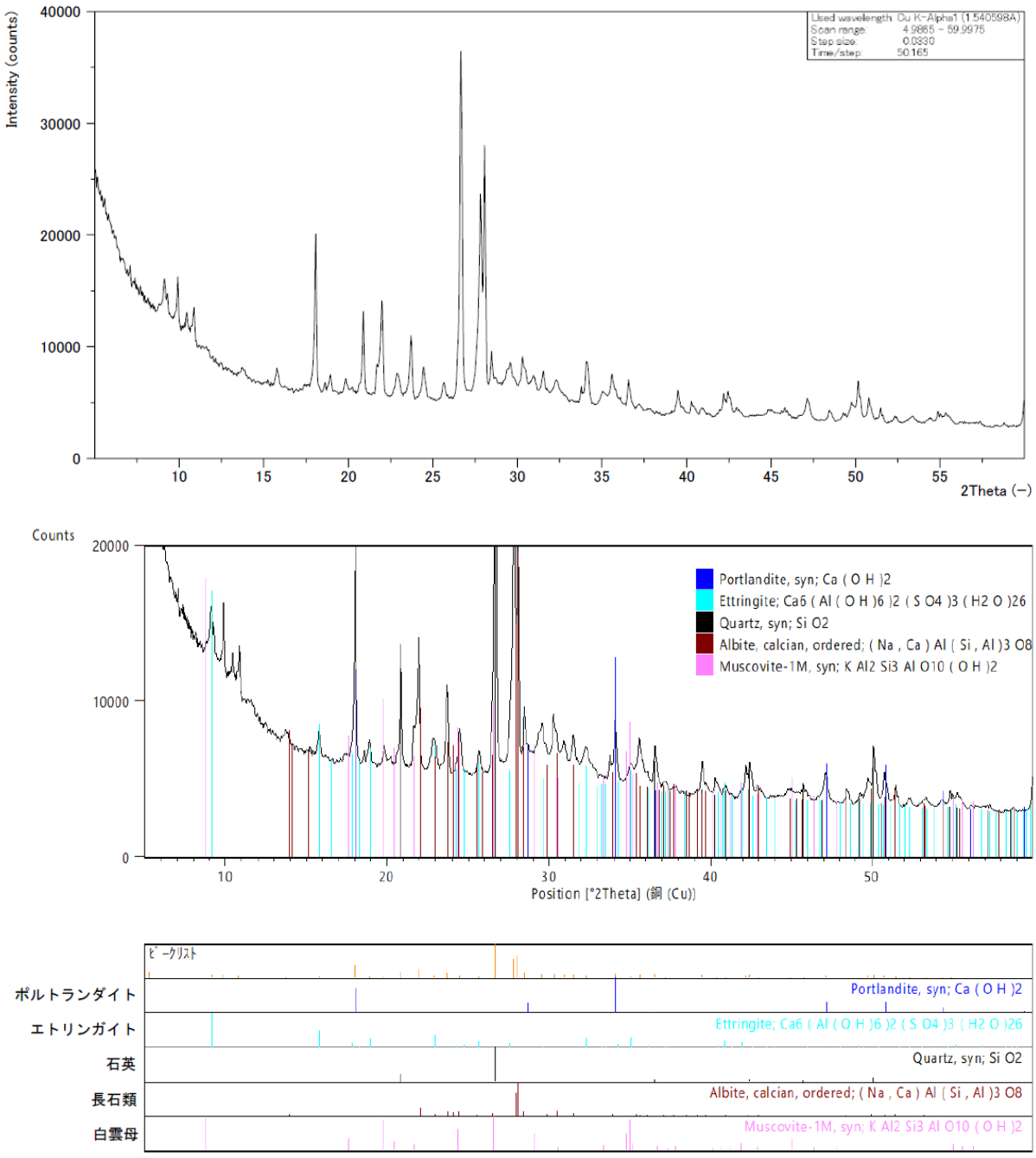


図 2.2-47　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.3-2 XRD①

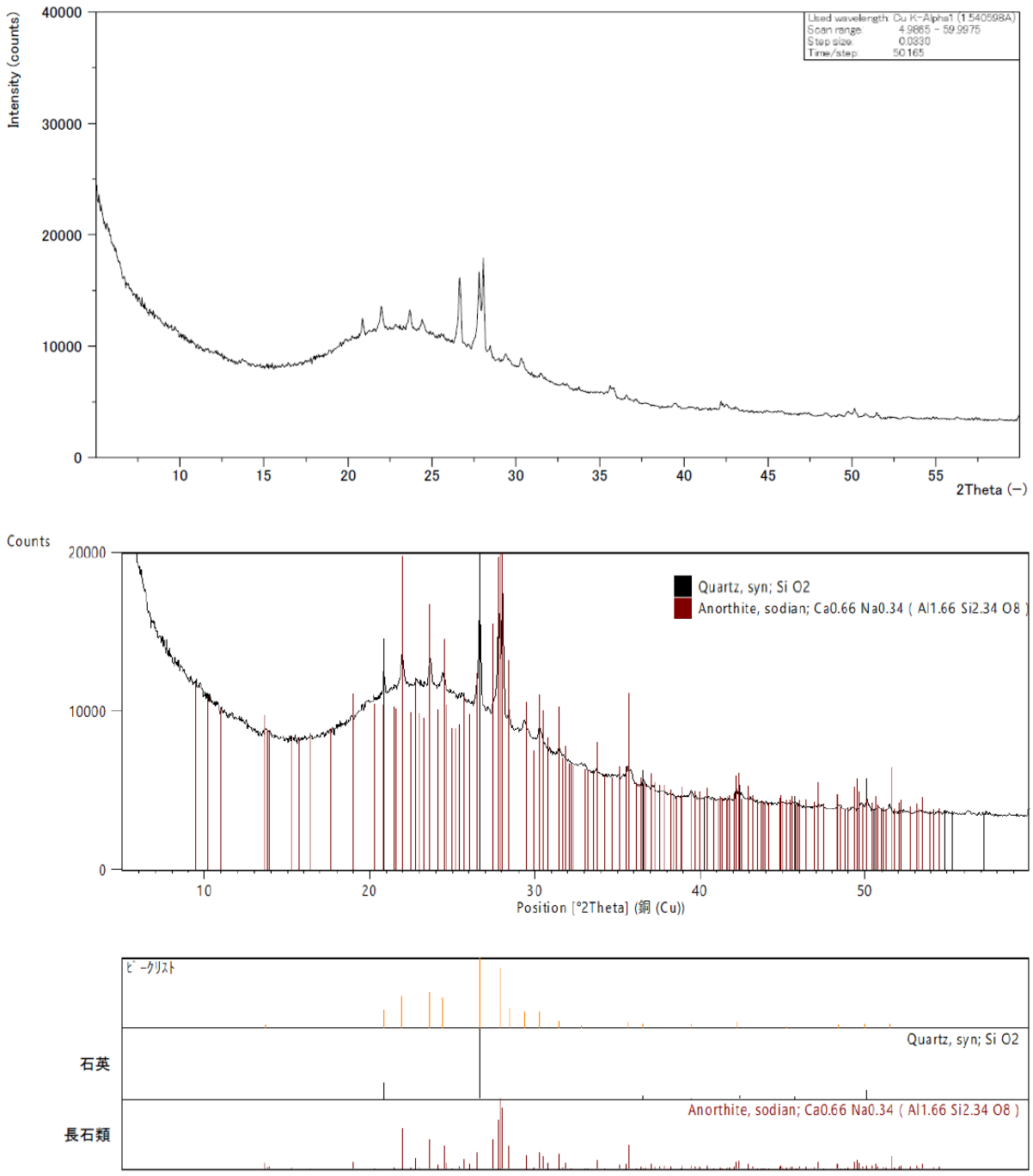


図 2.2-48　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.3-2 XRD 岩盤①

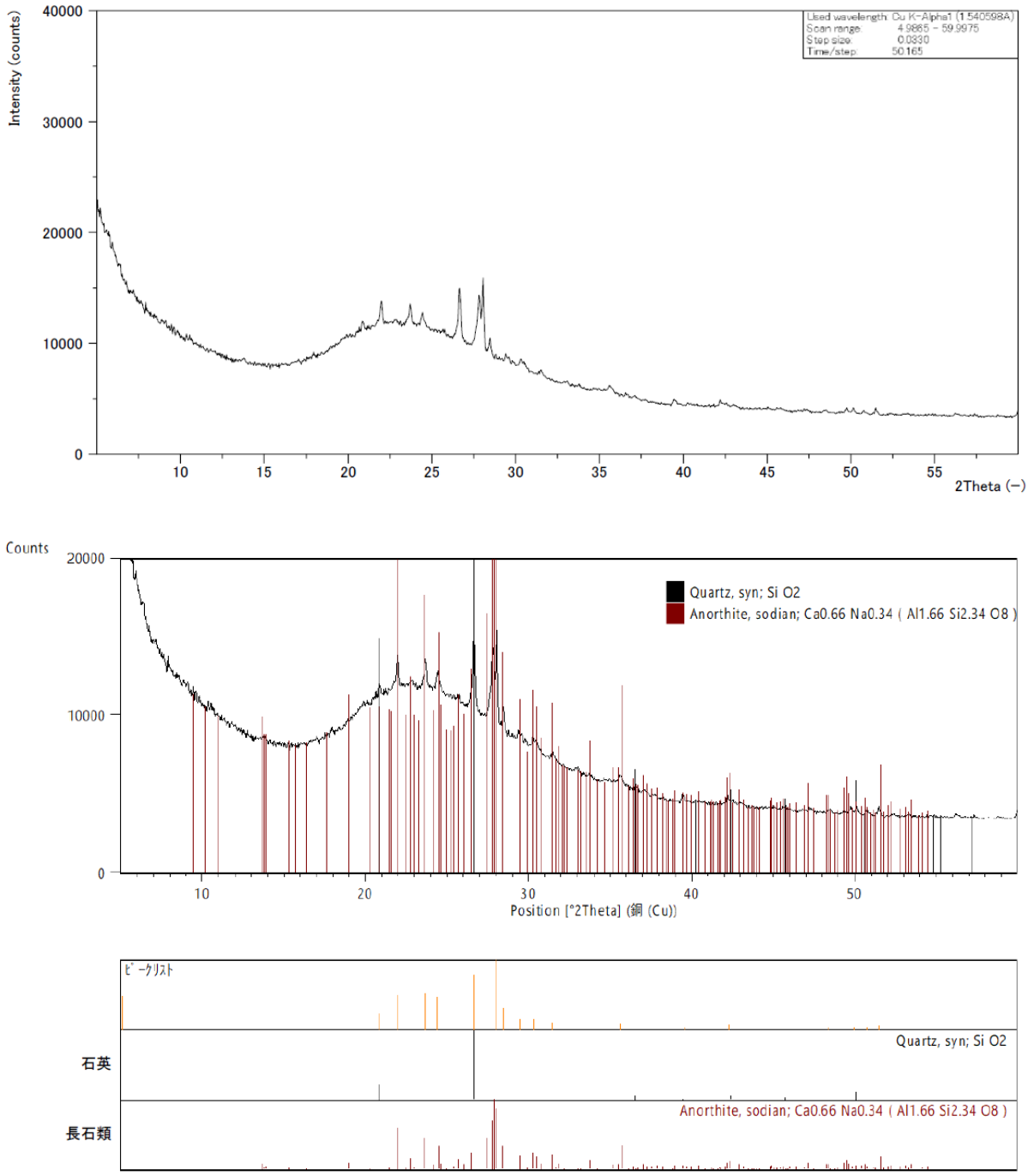


図 2.2-49　XRD 分析結果と同定された鉱物のピークリスト　No.3-2 XRD 岩盤②

5）EPMA

a．分析結果

No.1 から No.3 における EPMA 測定位置を図 2.2-50 から図 2.2-52 に、EPMA のマッピングによる分析結果を表 2.2-14 から表 2.2-16 に示す。

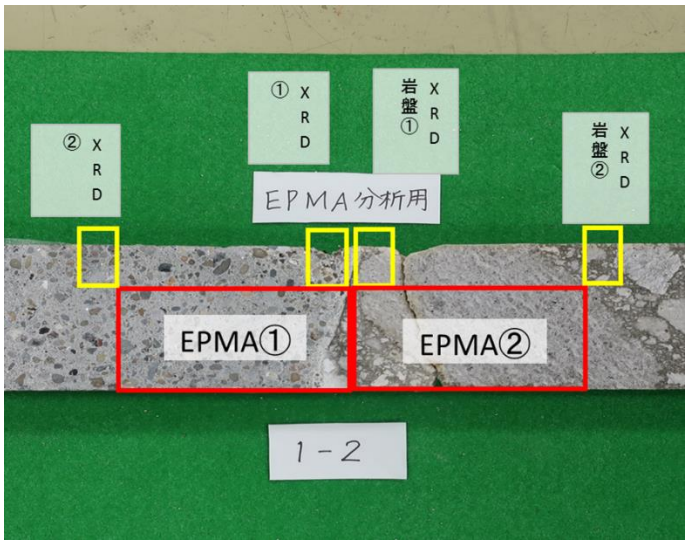


図 2.2-50　EPMA、XRD 分析の採取位置（No.1-2）

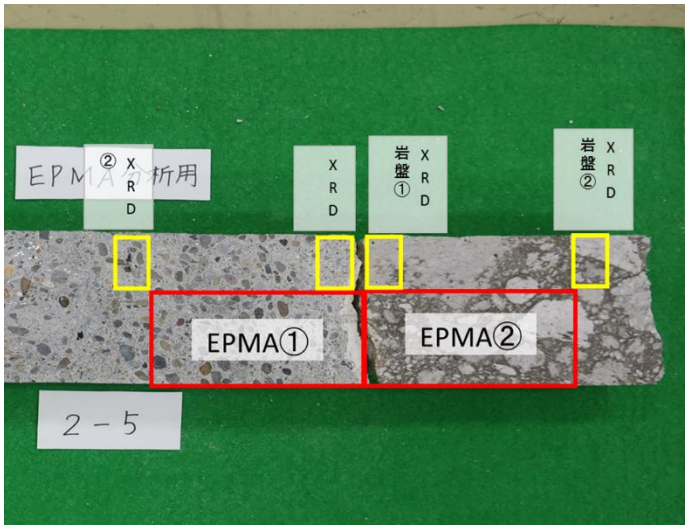


図 2.2-51　EPMA、XRD 分析の位置（No.2-5）

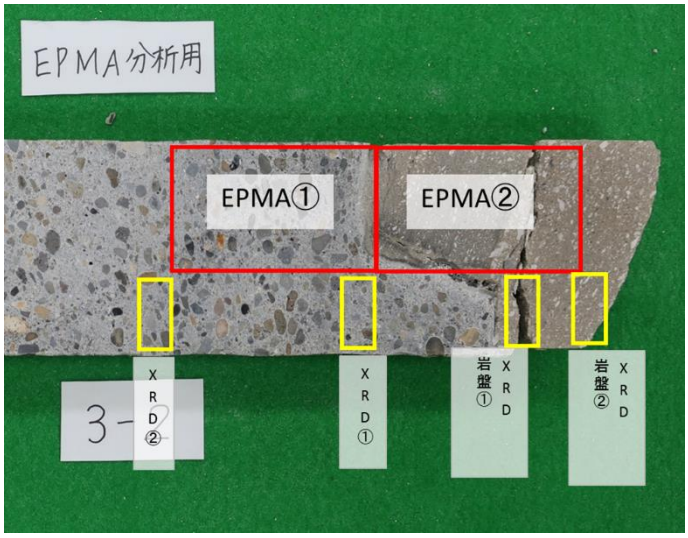
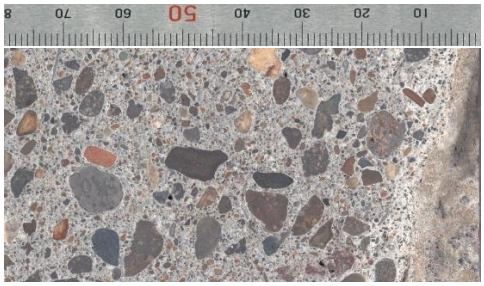
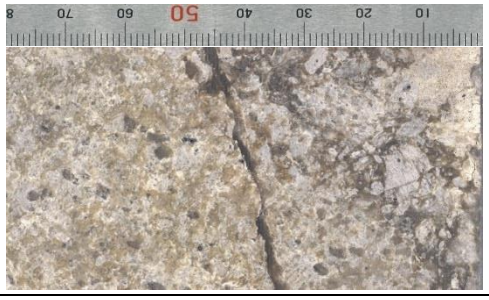
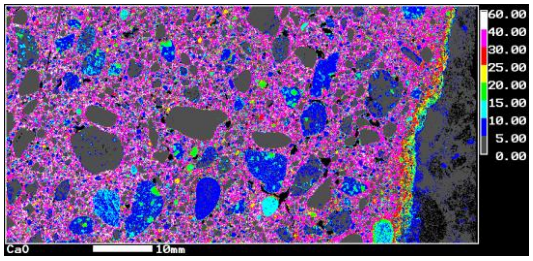
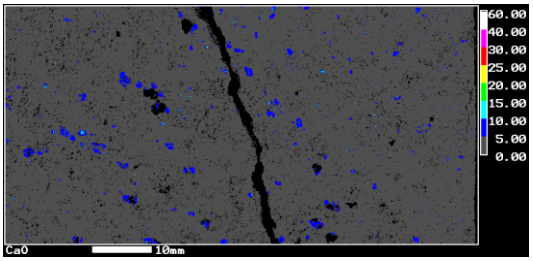
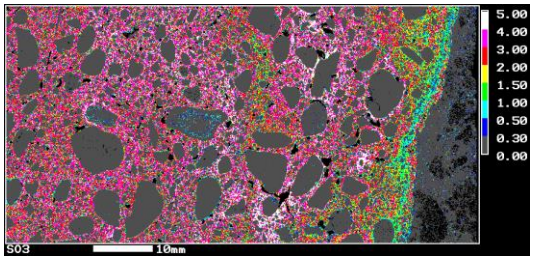
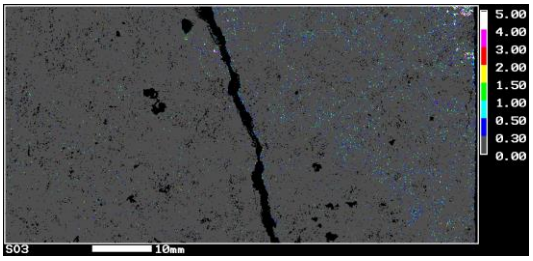
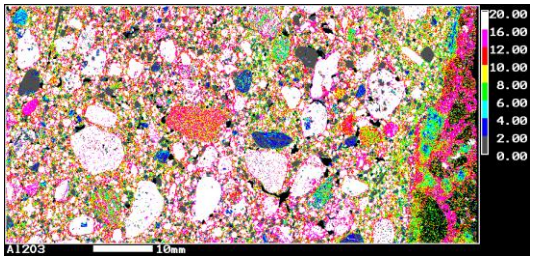
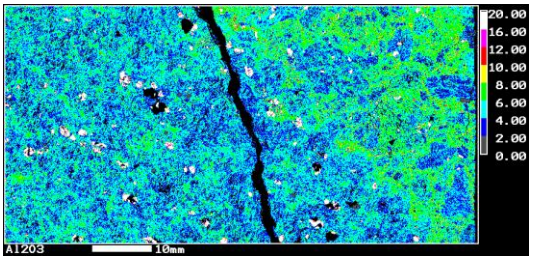
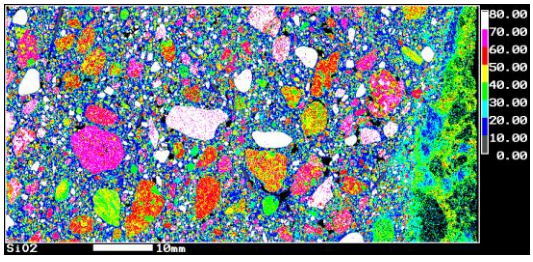
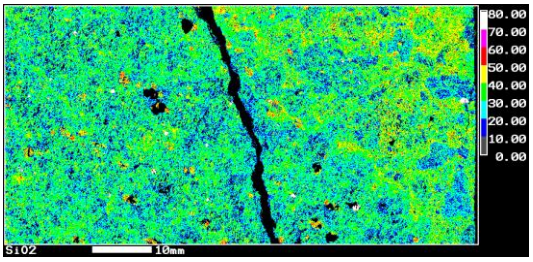
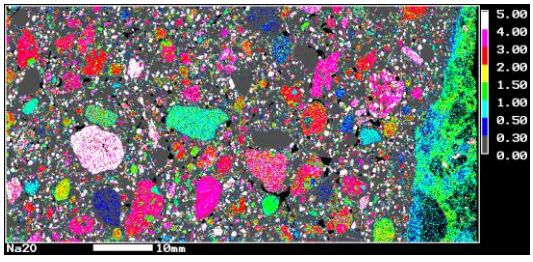
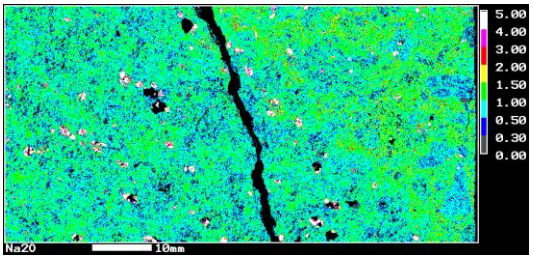


図 2.2-52　EPMA、XRD 分析の位置（No.3-2）

表 2.2-14　EPMA 分析結果（No.1-2）　骨材表示

	EPMA①	EPMA②
目視		
CaO		
SO_3		
Al_2O_3		
SiO_2		
Na_2O		

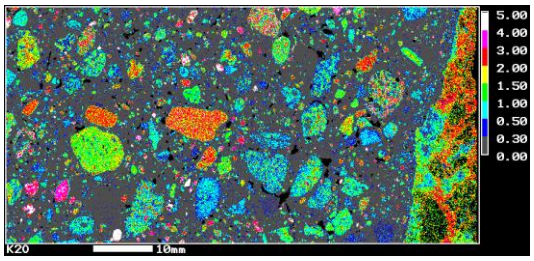
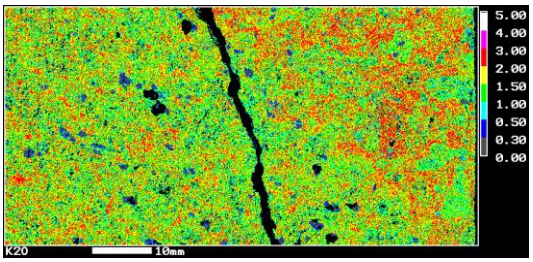
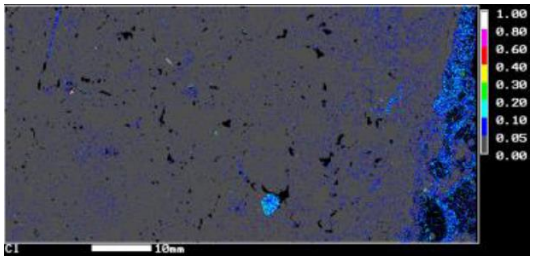
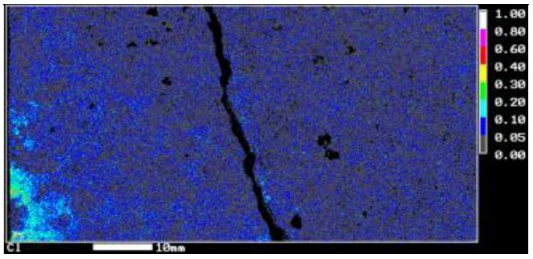
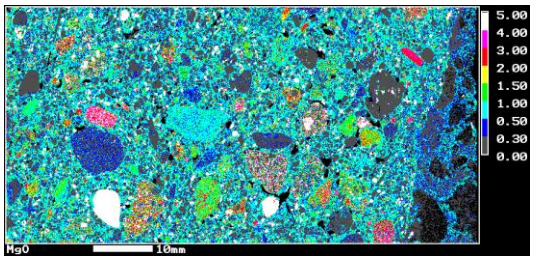
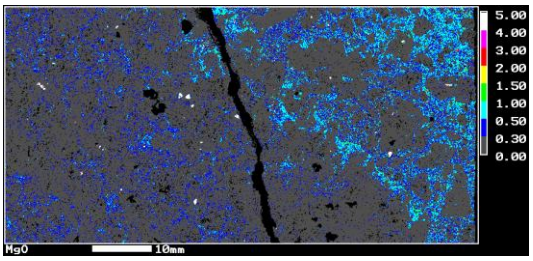
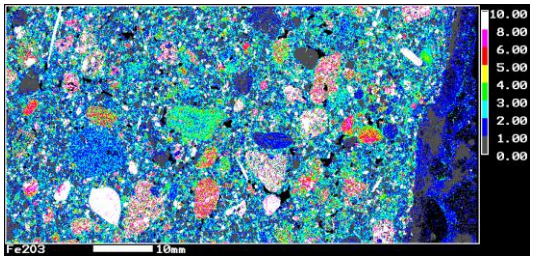
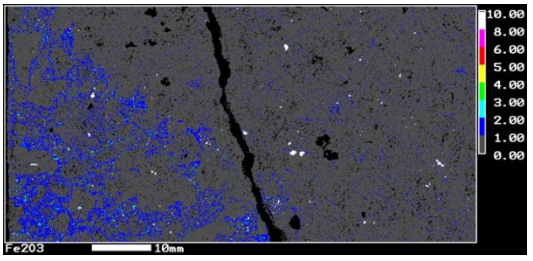
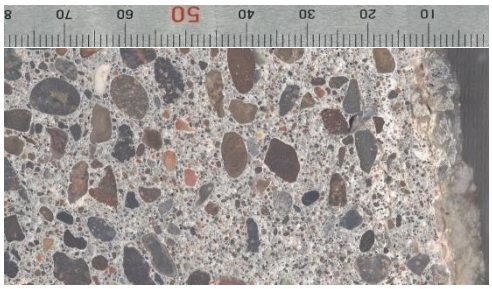
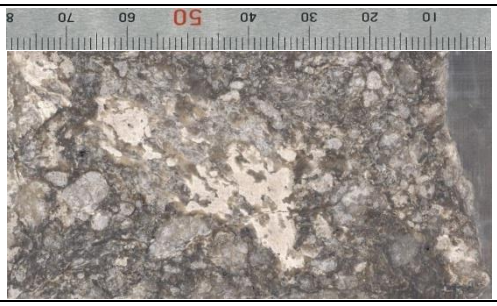
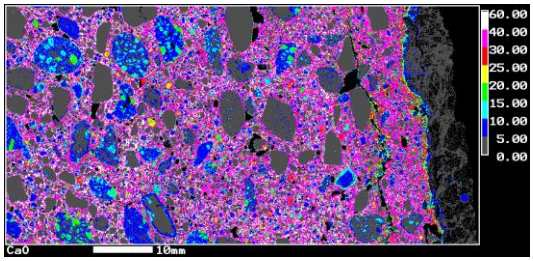
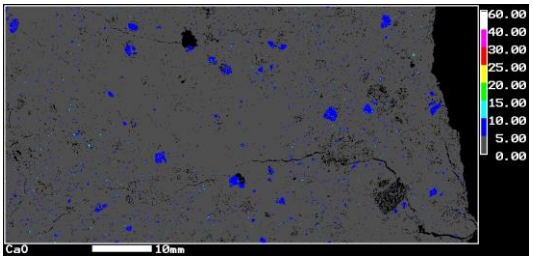
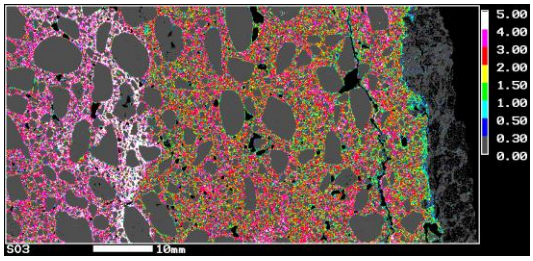
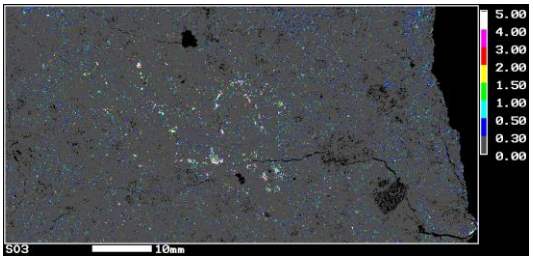
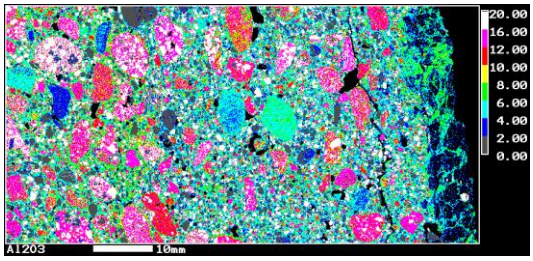
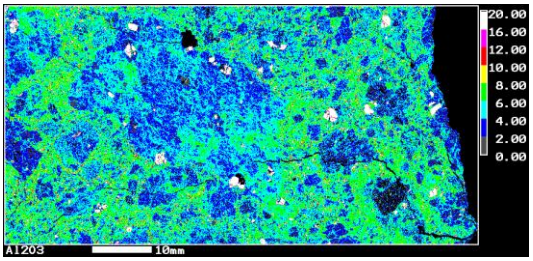
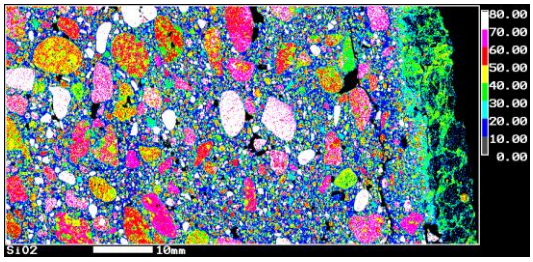
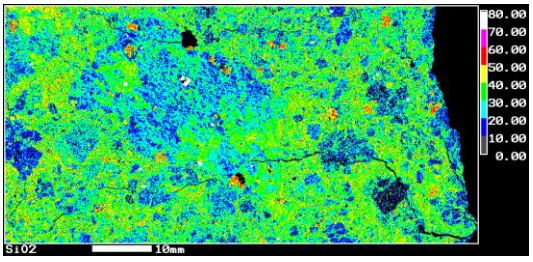
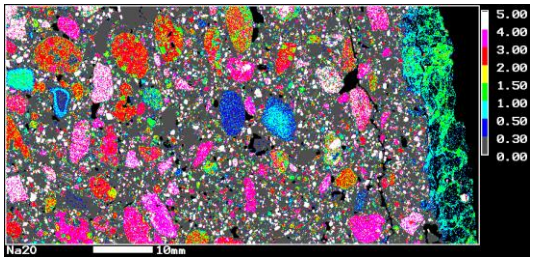
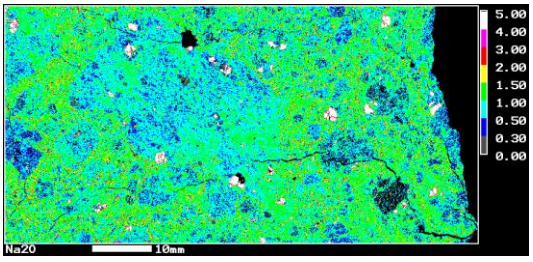
K_2O	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 K2O 10mm	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 K2O 10mm
Cl	 1.00 0.80 0.60 0.40 0.30 0.20 0.10 0.05 0.00 Cl 10mm	 1.00 0.80 0.60 0.40 0.30 0.20 0.10 0.05 0.00 Cl 10mm
Mg	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 MgO 10mm	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 MgO 10mm
Fe	 10.00 8.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 0.00 Fe2O3 10mm	 10.00 8.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 0.00 Fe2O3 10mm

表 2.2-15　EPMA 分析結果（No.2-5）　骨材表示

	EPMA①	EPMA②
目視		
CaO		
SO_3		
Al_2O_3		
SiO_2		
Na_2O		

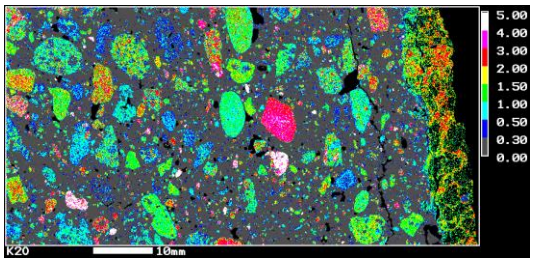
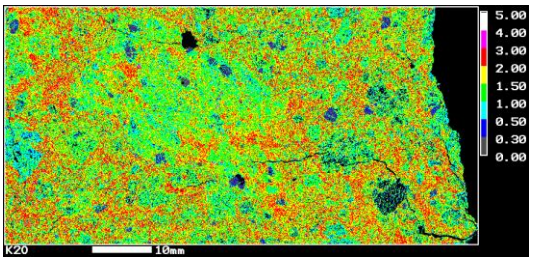
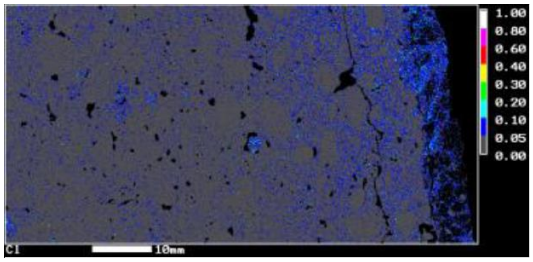
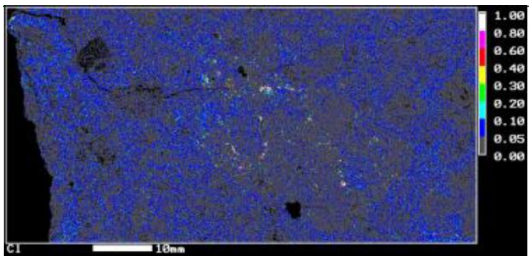
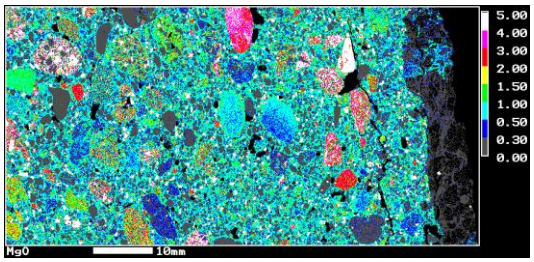
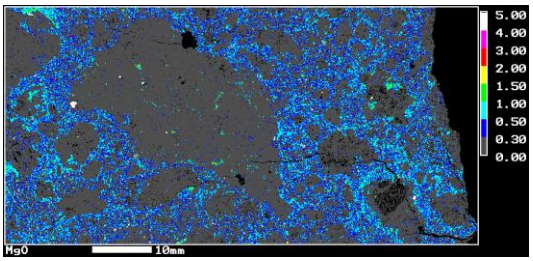
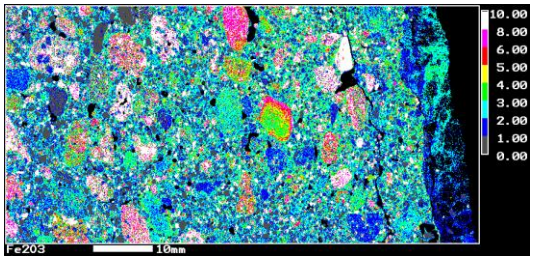
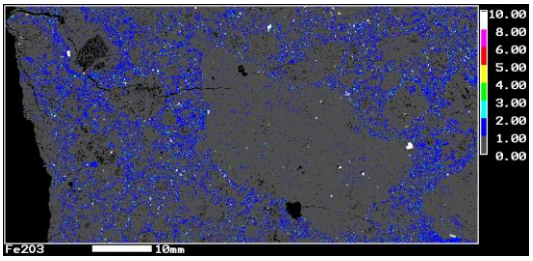
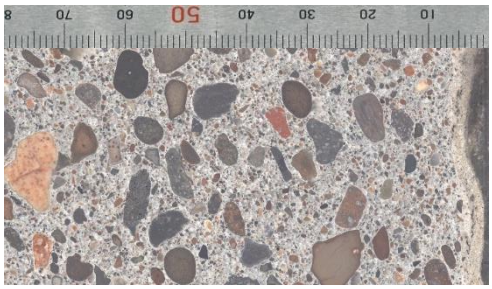
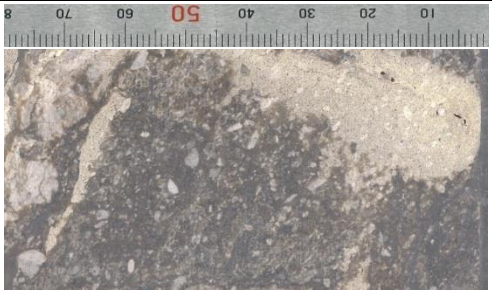
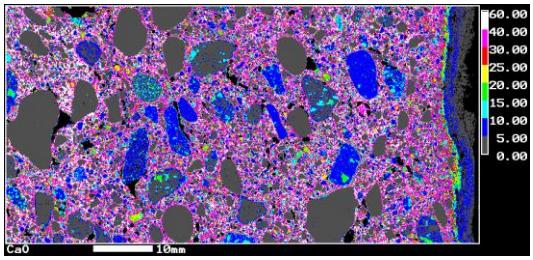
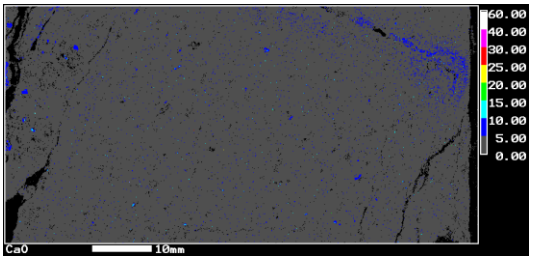
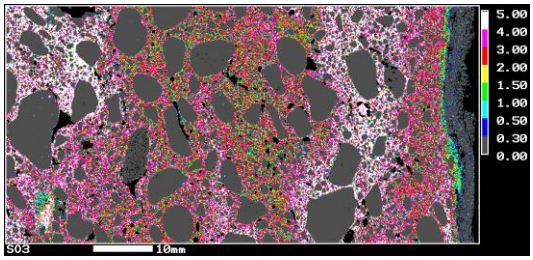
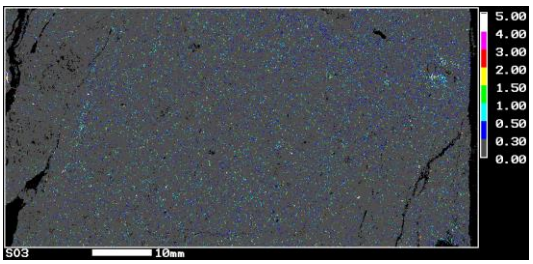
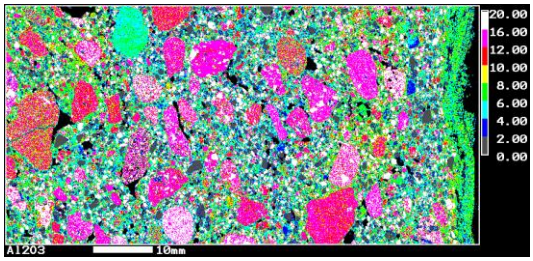
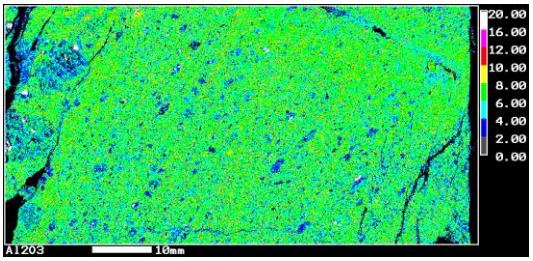
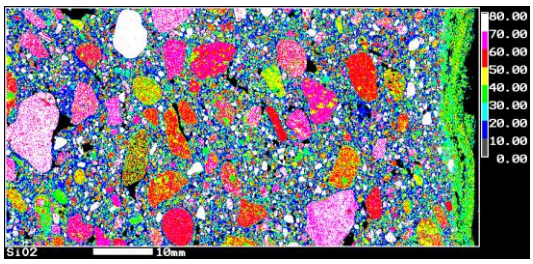
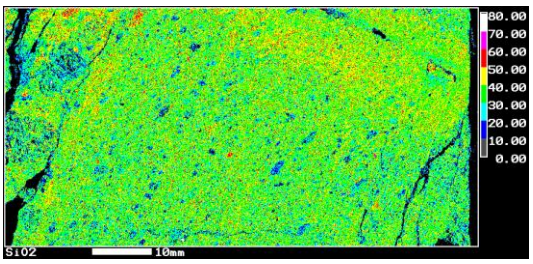
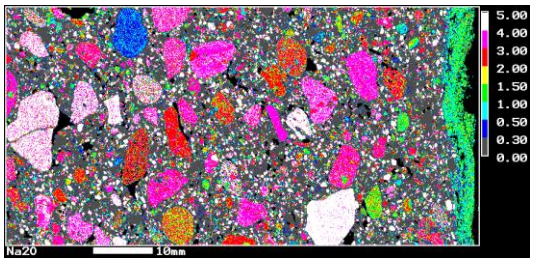
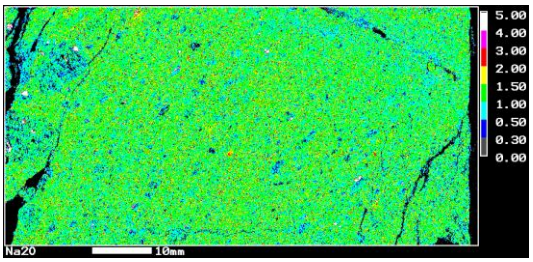
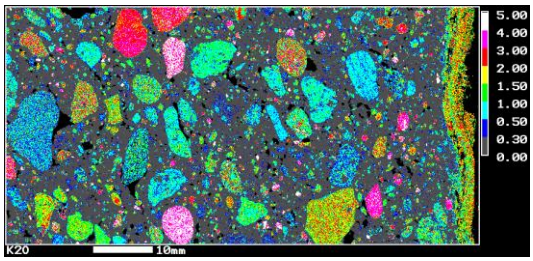
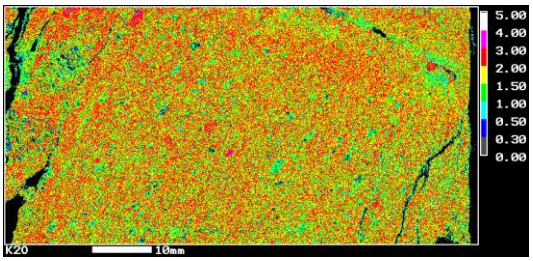
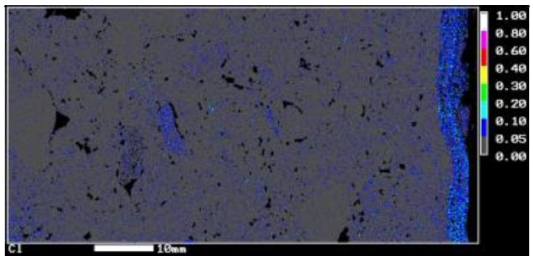
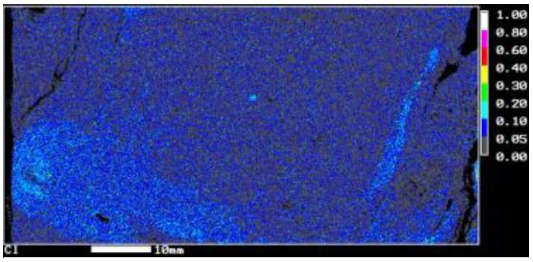
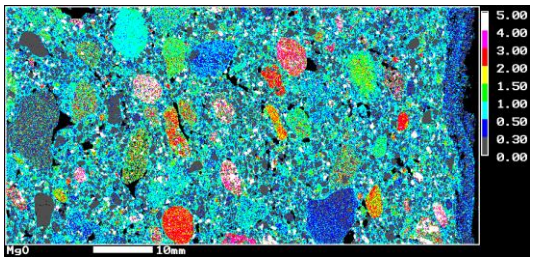
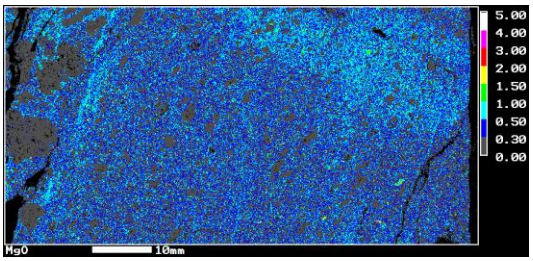
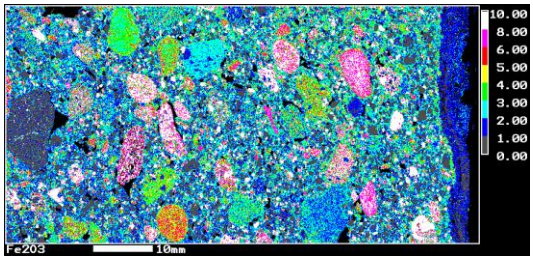
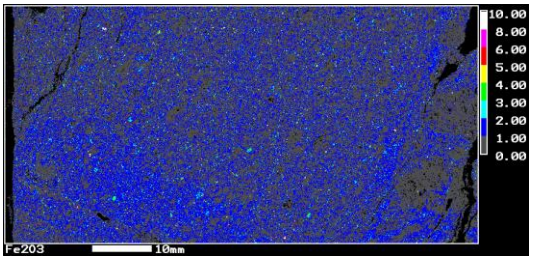
K_2O	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 K2O 10mm	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 K2O 10mm
Cl	 1.00 0.80 0.60 0.40 0.30 0.20 0.10 0.05 0.00 Cl 10mm	 1.00 0.80 0.60 0.40 0.30 0.20 0.10 0.05 0.00 Cl 10mm
Mg	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 MgO 10mm	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 MgO 10mm
Fe	 10.00 8.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 0.00 Fe2O3 10mm	 10.00 8.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 0.00 Fe2O3 10mm

表 2.2-16　EPMA 分析結果（No.3-2）　骨材表示

	EPMA①	EPMA②
目視		
CaO		
SO_3		
Al_2O_3		
SiO_2		
Na_2O		

K_2O	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 K2O 10mm	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 K2O 10mm
Cl	 1.00 0.80 0.60 0.40 0.30 0.20 0.10 0.05 0.00 Cl 10mm	 1.00 0.80 0.60 0.40 0.30 0.20 0.10 0.05 0.00 Cl 10mm
Mg	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 MgO 10mm	 5.00 4.00 3.00 2.00 1.50 1.00 0.50 0.30 0.00 MgO 10mm
Fe	 10.00 8.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 0.00 Fe2O3 10mm	 10.00 8.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 0.00 Fe2O3 10mm

b. 岩盤との界面付近のイオン濃度

(a) No.1-2

岩盤界面付近の吹付けコンクリートの変質に着目する。分析試料のうち、図 2.2-53 に示す黄色枠で囲った幅 5mm の範囲のイオン濃度を平均化した値を用いて作成した各種イオンの濃度分布を、図 2.2-54 から図 2.2-56 を示す。グラフの位置の起点は、EPMA 分析試料の岩盤側の端部としている。分析位置は、なるべく骨材の影響を受けづらい位置とするとともに、骨材が含まれる場合には、その位置の濃度を含めずに値を平均化している。

図 2.2-54 より、吹付けコンクリートの内部に対して岩盤との界面付近では、CaO や Al2O3、SO3 の濃度が低下しており、その範囲は岩盤との界面から 15mm 程度までである。Ca はポルトランダイト、Ca や Al、S は吹付けコンクリートに用いる急結剤から主に生成されるエトリンガイトやモノサルフェートの構成元素であり、吹付けコンクリートの化学的変質に伴って地下水に溶解し、そのまま移流や拡散によって、岩盤側に消失したものと考えられる。一方で、SiO2 の濃度は上昇しているが、これは岩盤の SiO2 が一部溶解して、吹付けコンクリート側に浸透してきたことが理由であると考えられる。またその範囲は、CaO の濃度が低下している範囲と同程度であり、Ca の溶脱に伴って空隙率が増えた範囲に、SiO2 が浸透していると思われる。同様に、MgO や K2O も、CaO の変質範囲に濃度変化が見られる。

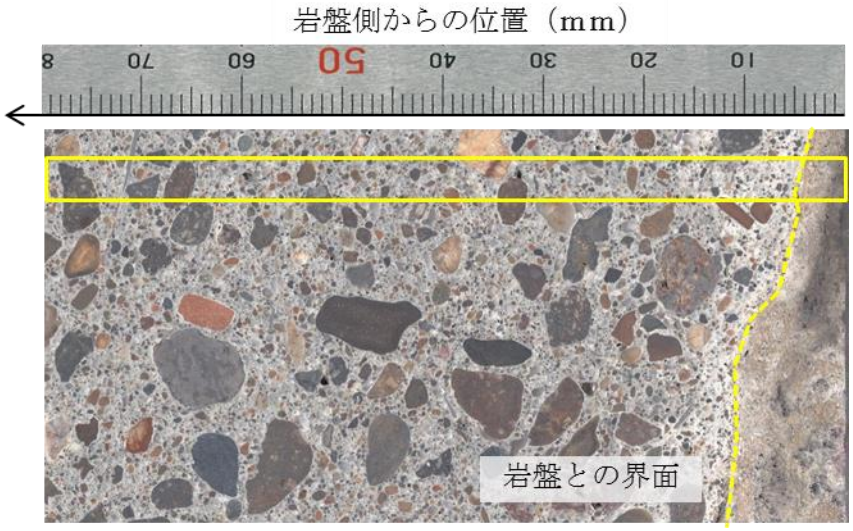


図 2.2-53　イオン濃度分布グラフの作成位置　コア No.1-2

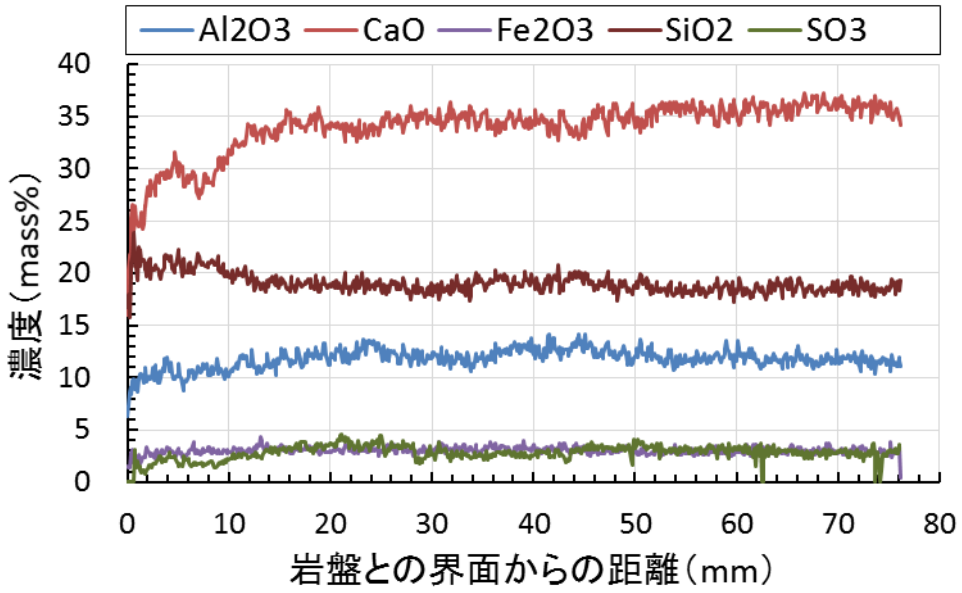


図 2.2-54　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No. 1-2（Fe_2O_3，Al_2O_3，CaO，SiO_2，SO_3）

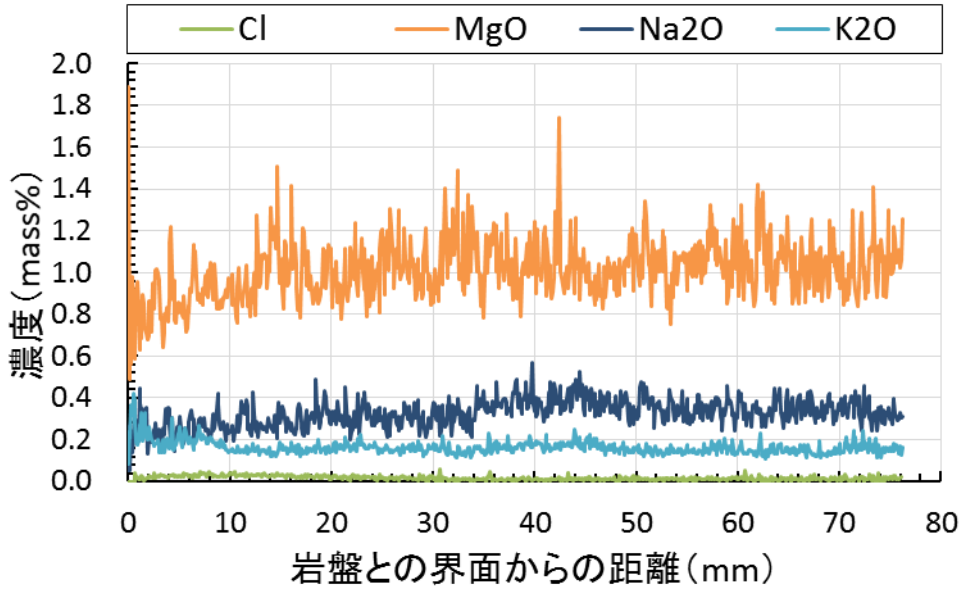


図 2.2-55　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No. 1-2（Cl，MgO，Na_2O，K_2O）

(b) No.2-5

コア No.2-5 では、図 2.2-56 に示す黄色枠で囲った範囲のイオン濃度分布に着目した。No1-2 と同様に、CaO のイオン濃度が界面付近で低下しており、その範囲は岩盤との界面から 20mm 程度である。また、No.1-2 ほど顕著ではないものの、界面付近で Al_2O_3 や SO_3 の濃度も低下している。

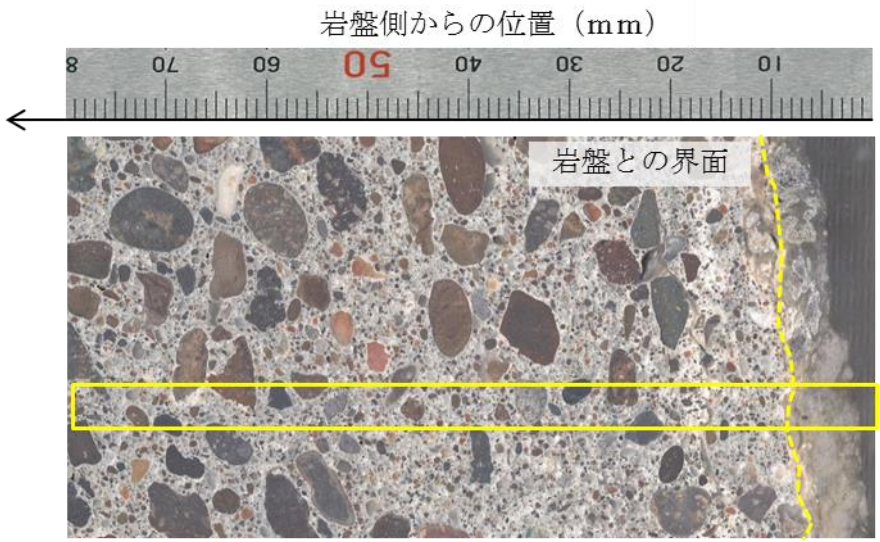


図 2.2-56　イオン濃度分布グラフの作成位置　コア No.2-5

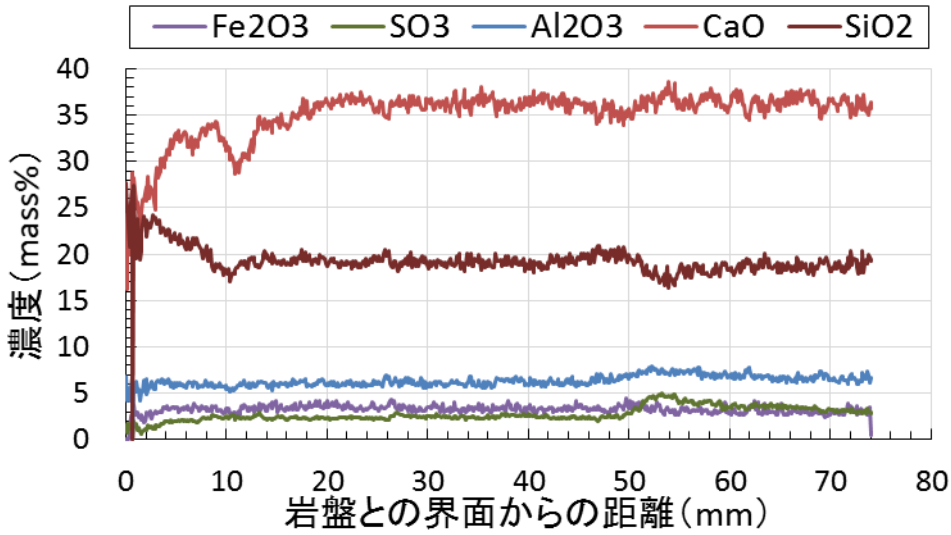


図 2.2-57　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No. 2-5（Fe_2O_3，Al_2O_3，CaO，SiO_2，SO_3）

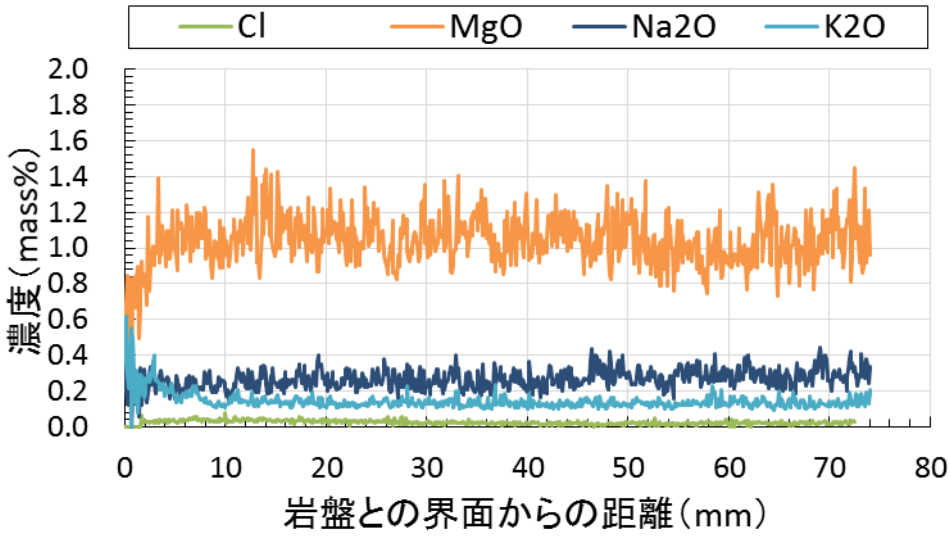


図 2.2-58　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No. 2-5（Cl，　MgO，　Na_2O，K_2O）

(c) No.3-2

コア No.3-2 では、図 2.2-59 に示す黄色枠で囲った範囲のイオン濃度分布に着目した。No1-2 と同様に、Ca イオンのイオン濃度が界面付近で低下しており、その範囲は岩盤との界面から 7mm 程度である。また、界面付近で Al2O3 や SO3 の濃度も低下していることが分かる。

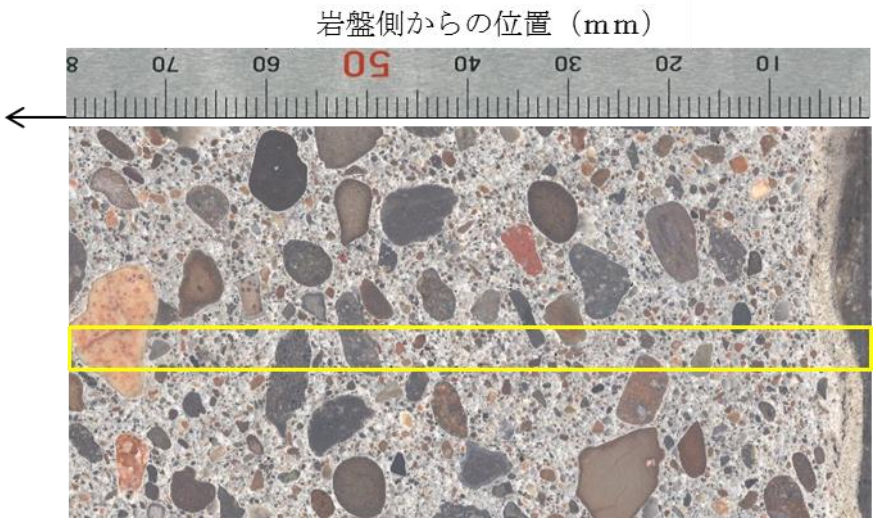


図 2.2-59　イオン濃度分布グラフの作成位置　コア No.3-2

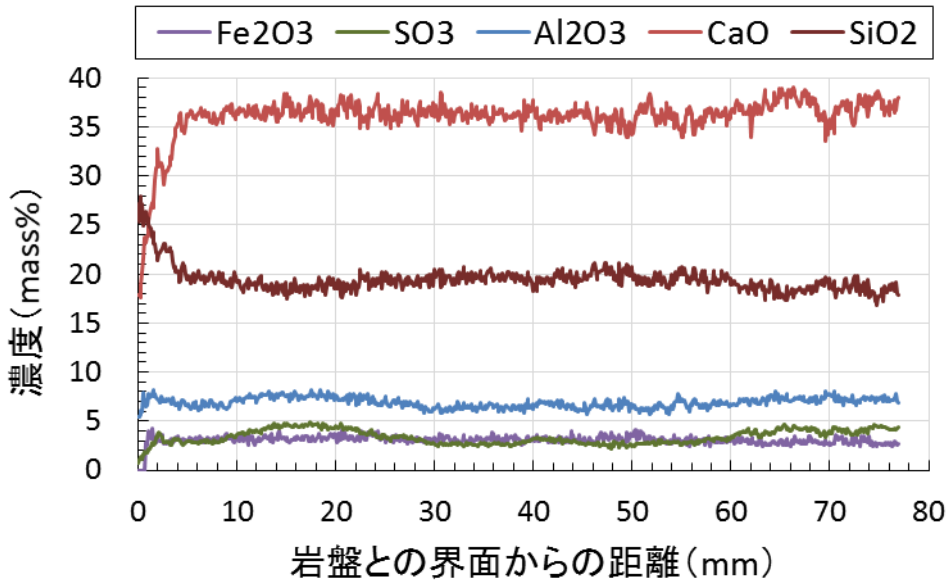


図 2.2-60　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No.3（Fe_2O_3，Al_2O_3，CaO，SiO_2，SO_3）

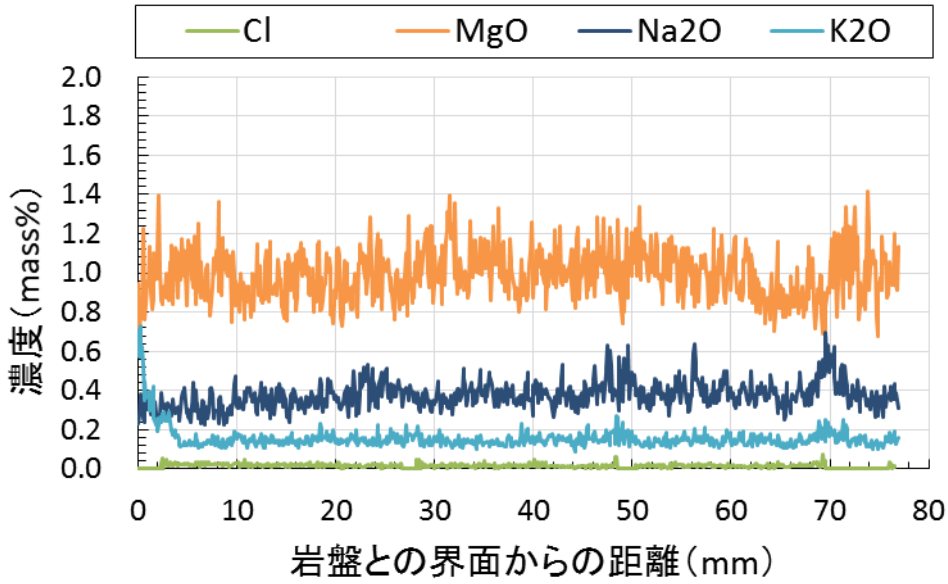


図 2.2-61　岩盤との界面付近のイオン濃度　コア No.3（Cl，MgO，Na_2O，K_2O）

c．吹付けコンクリートの変質範囲

吹付けコンクリートの主成分である Ca に着目して、変質範囲を考える。図 2.2-62 は図 2.2-54、図 2.2-57、図 2.2-60 中の CaO の濃度分布を合せて示したものである。CaO の溶脱範囲は 7mm、15mm、21mm 程度であり、平成 28 年度に採取したコアの 20mm と 60mm に比較すると、変質範囲は狭い傾向にある。XRD の分析において、モノサルフェートが同定されず、エトリンガイトが同定された理由として、Ca の溶脱が比較的小さく、pH が高い状態に保たれた可能性を挙げたが、EPMA の分析結果は、この考察を裏付けるものと言える。

また、内面側の吹付けコンクリートが乾いていた No.3 のコアが、最も変質範囲が小さいことから、地下水に触れる位置ほど、吹付けコンクリートの変質が大きいことが示唆される。

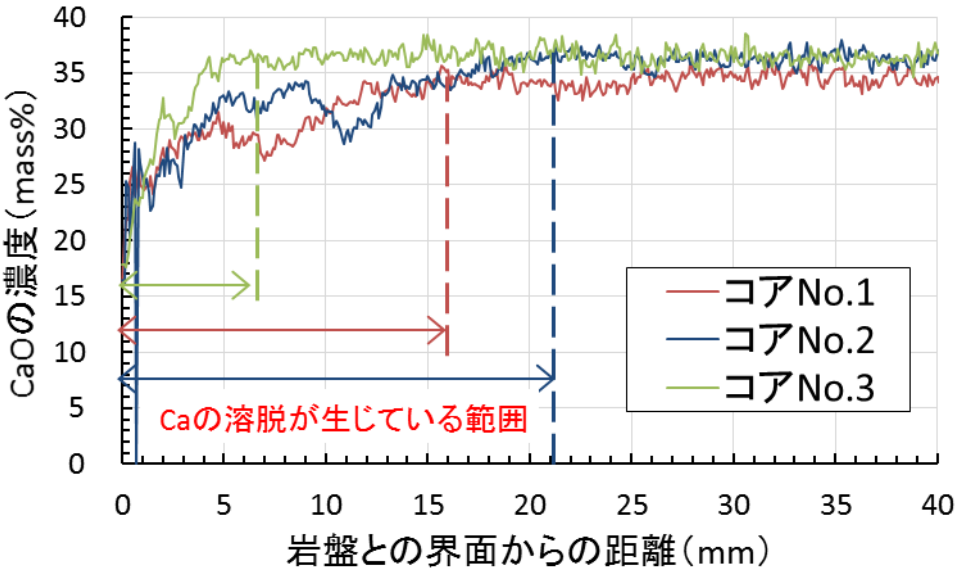


図 2.2-62　吹付けコンクリートにおける Ca の溶脱範囲

6）空隙率

吹付けコンクリートと岩盤の界面からの距離と、空隙率の関係を図 2.2-63 から図 2.2-65 に示す。アルキメデス法と水銀圧入法の空隙率測定結果は、吹付けコンクリートではアルキメデス法の方が大きい値になっているものの、概ね一致している。吹付けコンクリートでは健全部で空隙率がアルキメデス法で 10~15%、水銀圧入法で 15～20%であるが、岩盤との界面付近では空隙率は上昇しており、水銀圧入法で No.1 で 13%と大きな差は確認できなかったものの、No.2 と 3 で約 25%である。一方で岩盤側は、界面付近と内部で大きな差はなく、コア No.1 と No.2 では 50~60%程度、コア No.3 では 40~50%程度である。前項の図 2.2-20 から図 2.2-22 に示すように、No.1 や No.2 と No.3 では岩質が異なるため、空隙率も異なっていると考えられる。

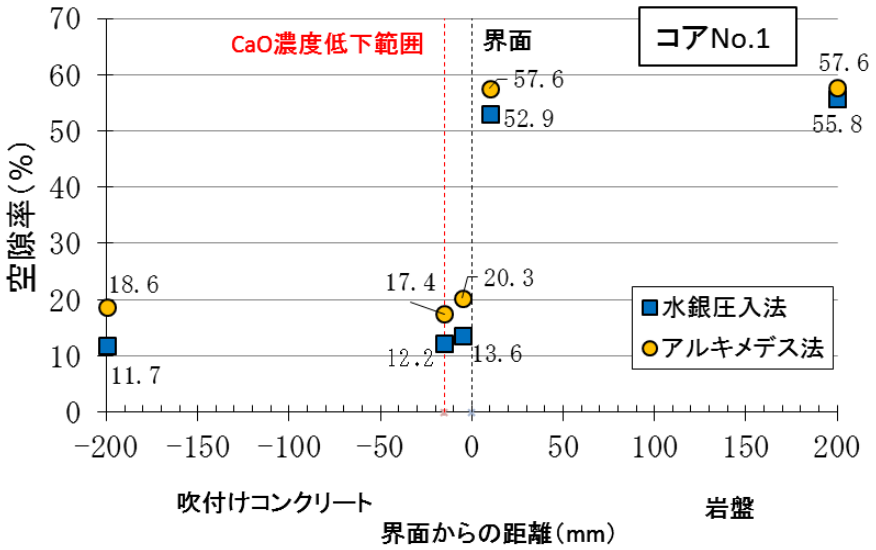


図 2.2-63　界面からの距離と空隙率の関係（コア No.1）

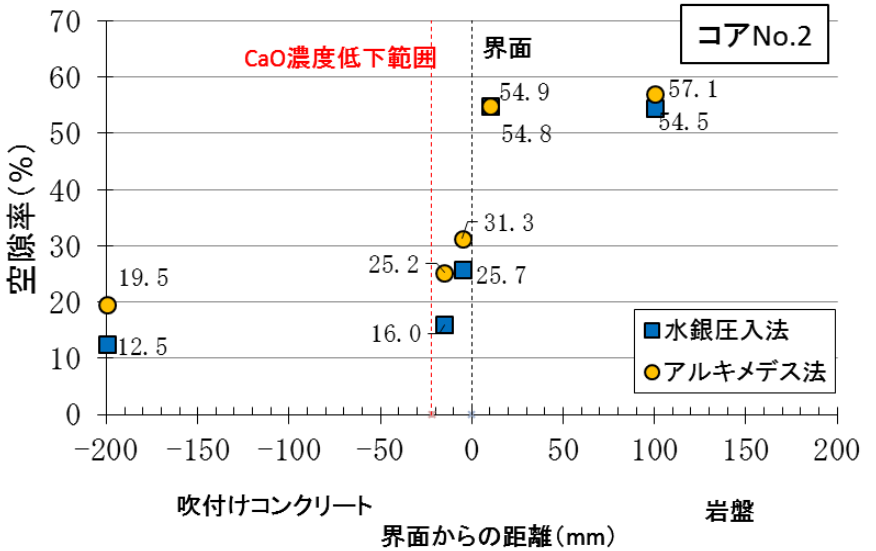


図 2.2-64　界面からの距離と空隙率の関係（コア No.2）

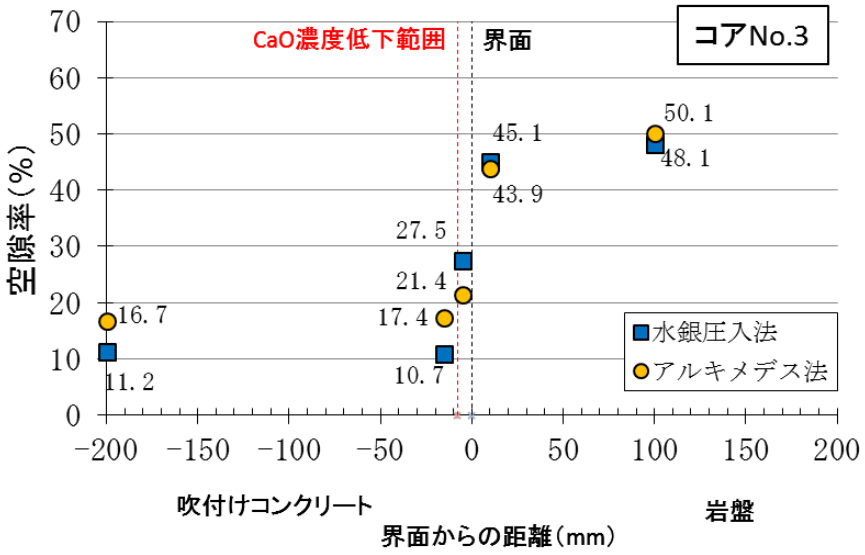


図 2.2-65　界面からの距離と空隙率の関係（コア No.3）

吹付けコンクリートの細孔径分布を図 2.2-66 から図 2.2-68 に示す。図 2.2-66 より、健全部と岩盤との界面付近で大きな空隙率の差が見られなかった No.1 では 0.1μ以下の領域の空隙が多くなっている。一方、健全部と界面付近で空隙率の差が大きかった No.2 と No.3 では、図 2.2-67 と図 2.2-68 に示されるように、0.1μ以上の領域の空隙も多くなっていることが分かる。

次に、岩盤の空隙径分布を図 2.2-69 から図 2.2-71 に示す。岩盤部では、測定位置による空隙径分布の違いは大きくないことが分かる。

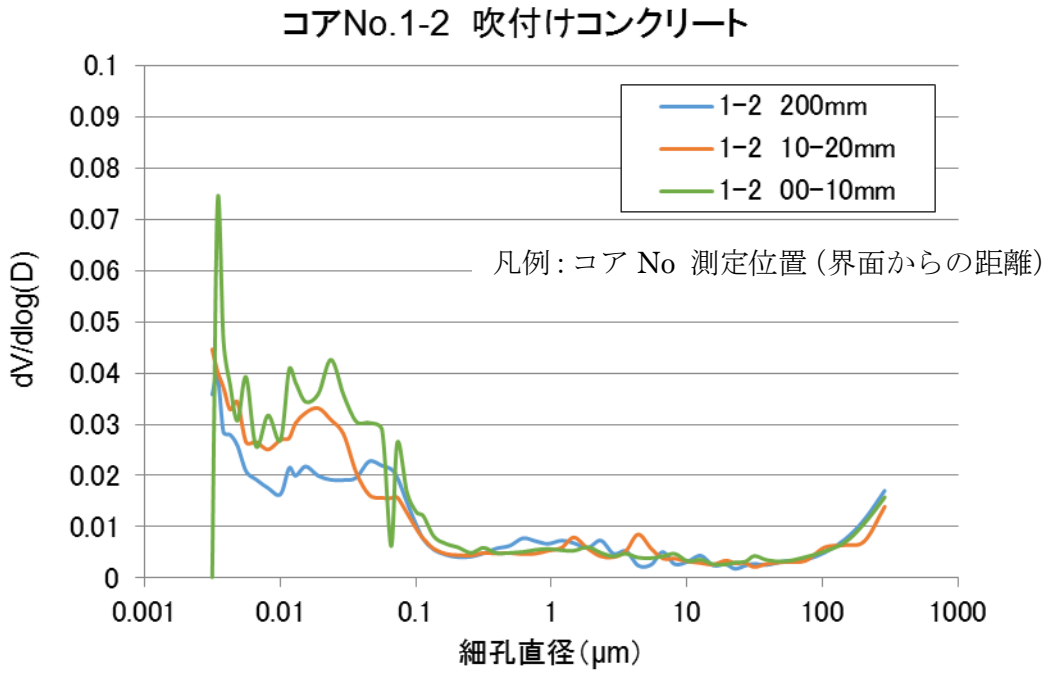


図 2.2-66 吹付けコンクリートの細孔径分布（コア No.1-2）

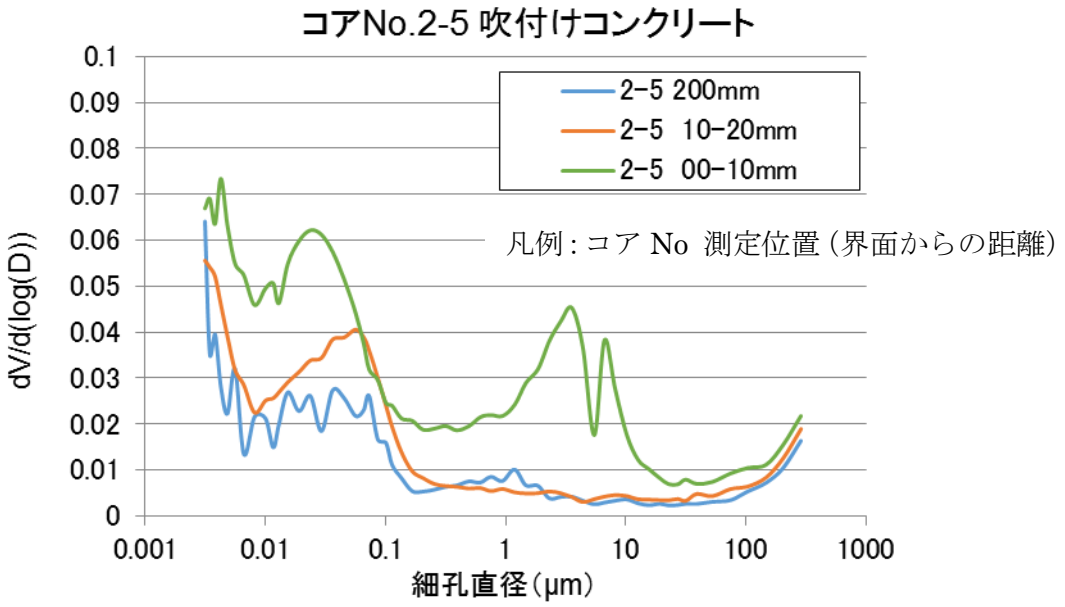


図 2.2-67 吹付けコンクリートの細孔径分布（コア No.2-5）

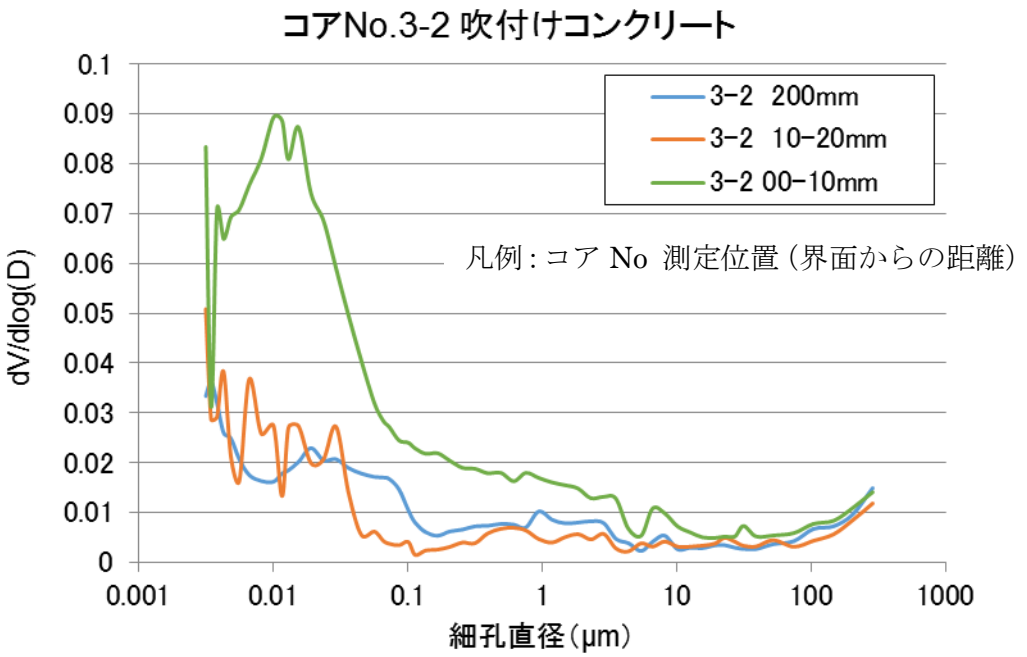


図 2.2-68　吹付けコンクリートの細孔径分布（コア No.3-2）

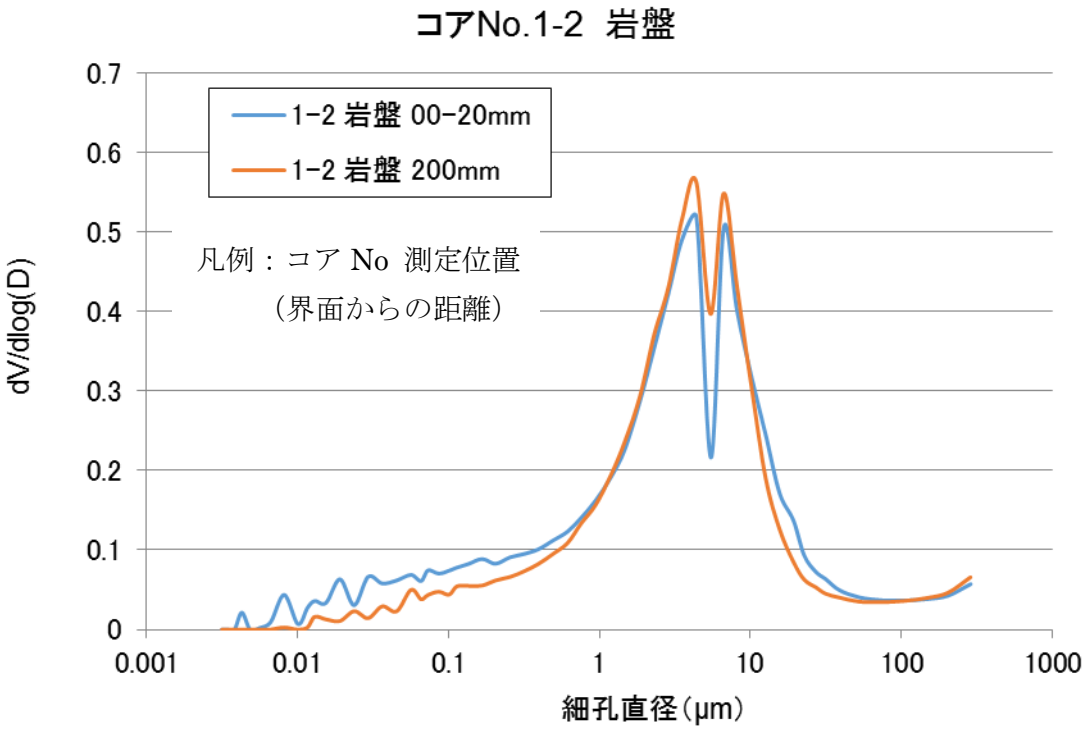


図 2.2-69　岩盤の細孔径分布（コア No.1-2）

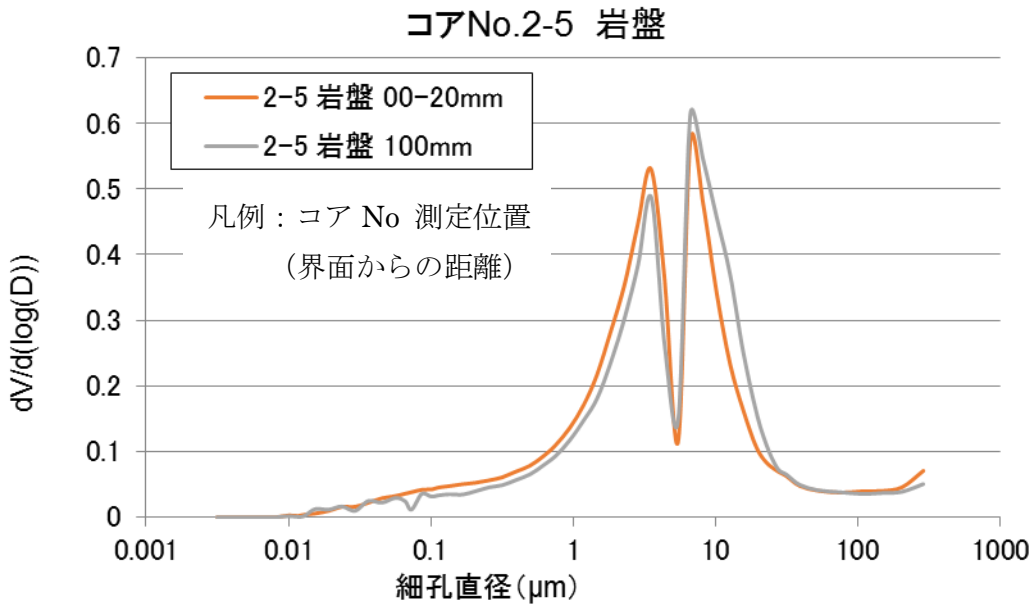


図 2.2-70　岩盤の細孔径分布（コア No.2-5）

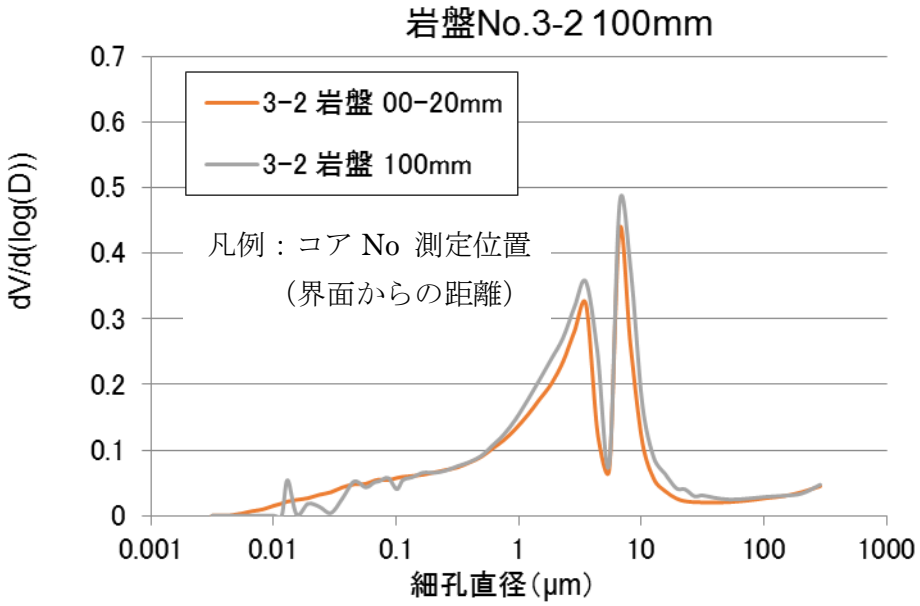


図 2.2-71　岩盤の細孔径分布（コア No.3-2）

7）ビッカース硬度

吹付けコンクリートの変質が生じている、岩盤との界面から 20mm 以内を中心に、岩盤との界面から、2mm、8mm、15mm、200mm の位置でビッカース硬度を測定した。また、岩盤側は、吹付けコンクリートとの界面から 5mm と 200mm 程度の位置を分析した。ビッカース硬度は、上記の位置のの前後 2.5mm の区間から採取しており、1 測点につき、25 点測定し、平均値からの乖離が大きい 5 点を除いた 20 点の値を示している。

各コアのビッカース硬度を図 2.2-72 から図 2.2-74 に示す。図中のエラーバーは、20 点のうちの最大値と最小値を示すものである。また赤線より岩盤側の範囲が、各コアの吹付けコンクリートの CaO 濃度が低下している範囲である。健全な吹付けコンクリートのビッカース硬さが 60kgf/mm² であるのに対して、岩盤との界面付近ではビッカース硬さが低下していることが分かる。

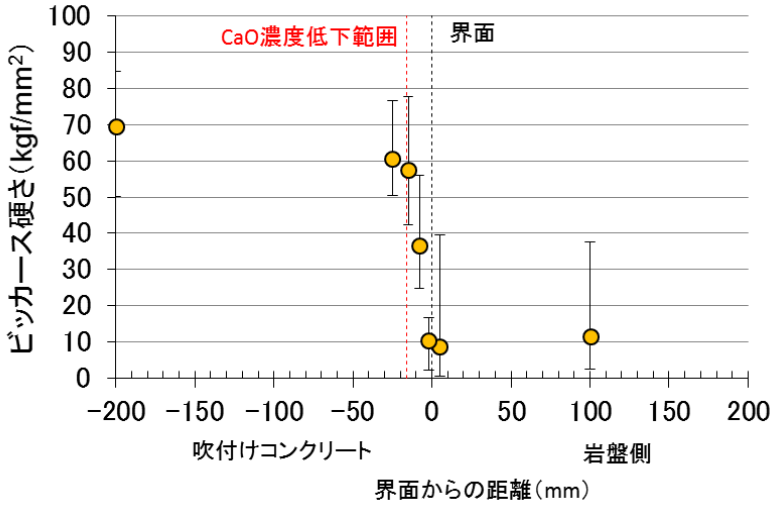


図 2.2-72　ビッカース硬度の測定結果（コア No.1-2）

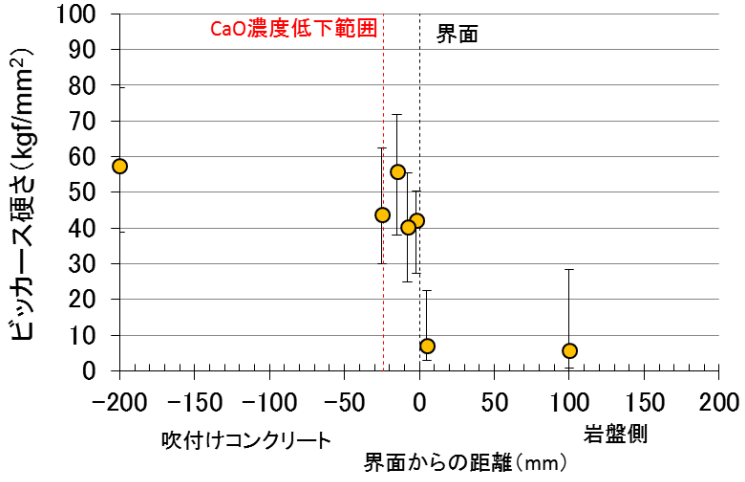


図 2.2-73　ビッカース硬度の測定結果（コア No.2-5）

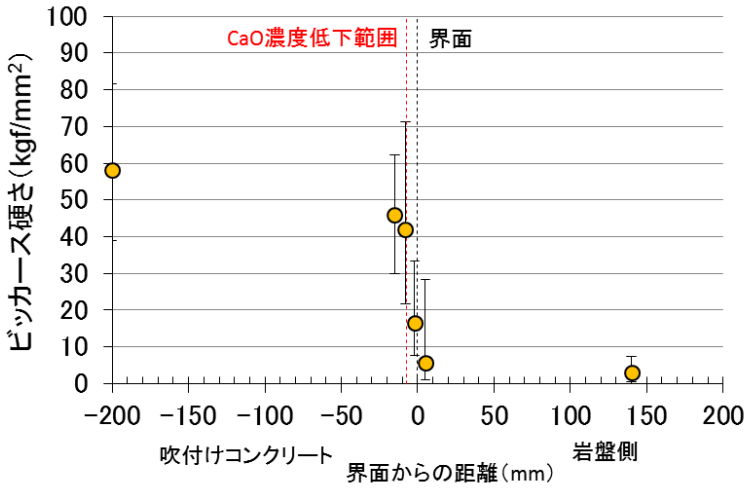


図 2.2-74　ビッカース硬度の測定結果（コア No.3-2）

(4) まとめと吹付けコンクリートの変質範囲

本検討では、試験空洞内の 3 ケ所からコアを採取し、圧縮強度や空隙率などの物理特性、EPMA による面分析などの化学分析を実施した。EPMA による面分析の結果から、吹付けコンクリート中の CaO 濃度の低下範囲は、岩盤との界面から最大でも 20mm 程度までであり、H28 年度に比較して変質範囲が狭い傾向にあることが分かった。また、XRD の分析結果においても、岩盤と吹付けコンクリートの界面から、モノサルフェートは同定されず、エトリンガイトが同定されたことから、界面付近も比較的 Ca の溶脱が進まずに、pH が高い状態で保たれていると考えられる。

また、空隙率やビッカース硬度の分析結果から、CaO 濃度の低下範囲で空隙率が大きく、またビッカース硬度が小さいことから、この範囲は Ca の溶脱に伴って、吹付けコンクリートが物理的にも化学的にも変質していると考えることができる。

平成 28 年度に実施した吹付けコンクリートのコアの分析結果では、吹付けコンクリートの変質範囲は 20mm、60mm となっていたが、今回の検討結果と合せて考えると、吹付けコンクリートの変質深さは、最大でも 20mm 程度であると考えるのが妥当であると考えられる。

2.2.2　光ファイバセンサーの敷設試験

光ファイバセンサーによって、ひずみ分布を計測するためには、対象構造物との一体性を確保して、対象構造物に生じた変形やひび割れなどに伴う変化を光ファイバセンサーに伝達する必要がある。これまで、セメント系材料バリア（コンクリート）表面のひび割れを検知することを目的に、光ファイバセンサーを低拡散層表面に接着剤を用いて固定することを想定してきた。しかし、接着剤による低拡散層～光ファイバセンサーの付着が、長期的に維持されることは考えにくい。そこで、接着剤による低拡散層への付着に期待しない光ファイバセンサーの敷設方法を検討するための試験を実施した。

（1）試験方法

1）概要

敷設試験のイメージを図 2.2-75 に示す。低透水層（ベントナイト）とセメント系材料バリア（コンクリート）に挟まれるように、光ファイバセンサーを配置することを仮定する。低透水層の締固め時に応じた圧力、またその後の膨潤圧によって、光ファイバセンサーが低拡散層に押し付けられる。その圧力によって、光ファイバセンサー～低拡散層のあいだに摩擦力が発生するため、低拡散層の挙動をとらえられると考えられる。また、その圧力の大きさによって、摩擦力が異なり、ひずみ計測の感度に影響を及ぼすことが想像される。

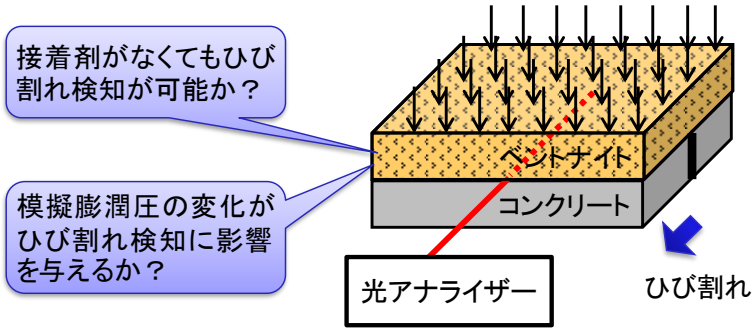


図 2.2-75　敷設試験イメージ

本試験では、上図を模擬した実験を行い、接着剤による付着がない場合にひび割れ検知が可能かどうかを実験的に確認する。

2）光ファイバセンサー

本試験では、二次被覆と光ファイバが一体化した一芯のセンサーケーブル（図 2.2-76～図 2.2-77；OFS 社製 C80920、1.8×3.5mm）を用いて実験を行う。

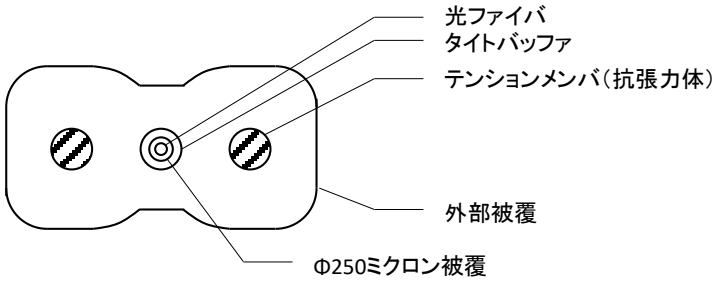


図 2.2-76　光ファイバセンサー断面図

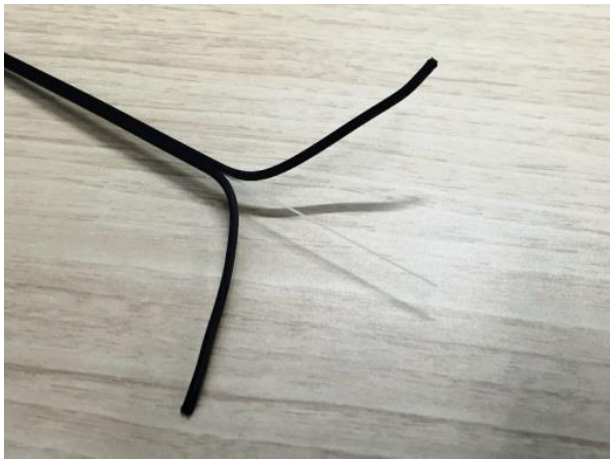


図 2.2-77　光ファイバセンサー

3）試験方法

本試験では、コンクリートブロック（幅 10cm）を二つ並べた上にセンサーケーブルを 2 本設置する。図 2.2-78 に示すように、1 本は接着剤で全長固定され、1 本は接着せずに置いただけである。

図 2.2-78　センサーケーブルの設置

センサーケーブル上には、錘としてのコンクリートブロック（10×8×40cm3）を置いた。その際、錘とケーブルのあいだにウレタンシートを挟んで、センサーケーブルに均一に圧力が加わるようにした。図 2.2-79 に示すように、センサーケーブルを固定したブロックは移動ステージ上に固定され、ブロック間の隙間を僅かずつ広げることができる機構になっている。段階的に隙間を広げながら、センサーケーブルのひずみ分布を計測した。

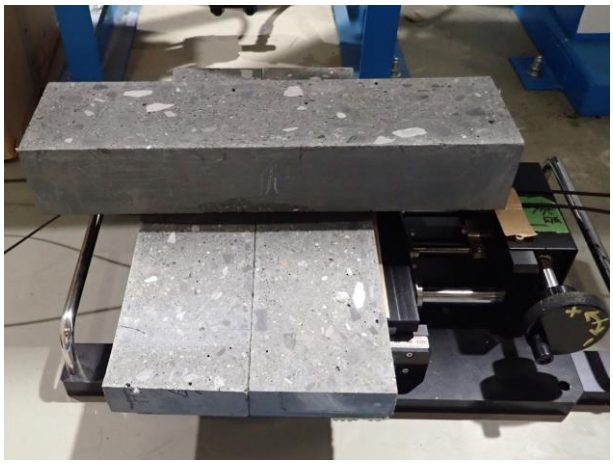


図 2.2-79　敷設試験状況

ひずみ分布計測は TW-COTDR 方式で行った。このときの計測パラメータを表 2.2-17 に示す。

表 2.2-17　TW-COTDR 方式の計測パラメータ（敷設試験）

距離レンジ	50 m	
位置分解能	5 cm	
サンプリング間隔	1 cm	
加算回数	2^{12}	
周波数掃引範囲	300 MHz	(194~194.3 GHz)
掃引周波数ステップ	0.25 MHz	
周波数掃引回数	1201	
計測時間（単発）	約 210 秒	

(2) 試験結果

試験で得られたひずみ分布計測結果例を図 2.2-80 に示す。接着されたセンサーケーブルと接着されていないセンサーケーブルともに隙間の変位量は同じである。得られるひずみ分布は大きく異なるが、たとえ接着剤が無い場合でも僅かな変化がみられた。

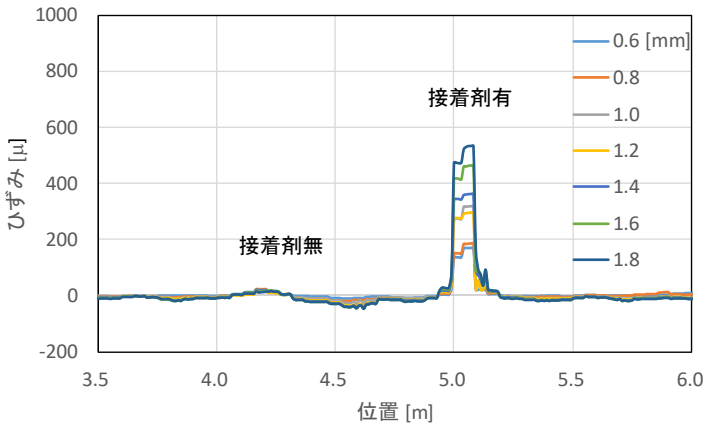


図 2.2-80　敷設試験結果例（ひずみ分布）

接着されたケーブルで得られたひずみ計測結果（隙間部）を図 2.2-81 に示す。隙間の変位量が増えるに従って、ひずみが上昇していることがわかる。

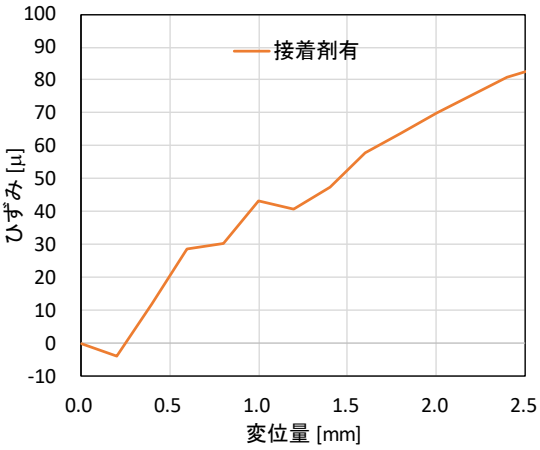


図 2.2-81　接着されたセンサーケーブルのひずみ変化

接着されていないケーブルで得られたひずみ計測結果（隙間部）を図 2.2-82 に示す。隙間が開き始めた直後にひずみ変化をとらえていることがわかる。変位量が 1.0mm 程度からは、その変化にも関わらずひずみ変化は確認できなかった。

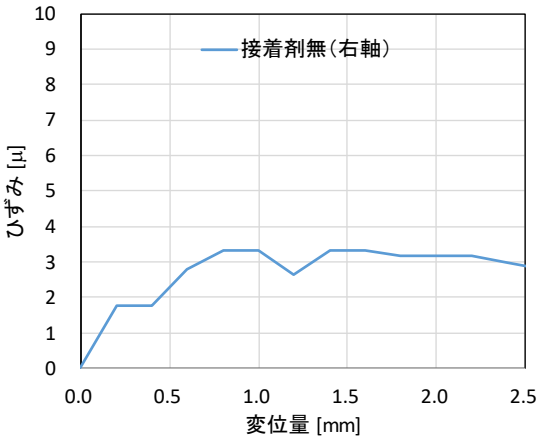


図 2.2-82　接着されていないセンサーケーブルのひずみ変化

(3) まとめ

セメント系材料バリアのひび割れを検知するために、これまでは光ファイバセンサーを表面に接着剤を用いた試験を行ってきた。その結果、光ファイバセンサーによるひずみ分布計測結果から、目視レベル以下のひび割れ幅についても検知できることを確認している。一方、センサー固定のための接着剤による付着力が、長期的に維持されることは考えにくい。

そこで、センサー固定のための接着剤がない場合に、ひび割れ検知が可能かどうかを実験的に確認した。その結果、光ファイバセンサーが計測対象に対して押し付けられるような圧力を受けることによって、接着剤を使わずともひび割れ検知ができる可能性を確認した。低透水層の締固め圧や膨潤圧が、センサーと低拡散層の付着力に寄与することが示された。

接着剤が無い場合のひび割れ検知性能は、光ファイバセンサーと計測対象の摩擦に大きく依存すると考えられる。光ファイバセンサーの表面形状（摩擦力向上のための凹凸形状など）や圧力の大きさなどの影響について、さらなる検討が望まれる。また、実験の場合には、試験体のスケールによって光ファイバセンサーの摩擦力が大きく異なることに注意が必要である。

2.2.3　光ファイバセンサーの圧力計測試験

光ファイバセンサーによって、ひずみ・温度分布だけでなく圧力分布を計測できれば、低透水層の膨潤圧などのモニタリングに資することができる。既往研究によれば、加力装置を用いたベントナイト下の光ファイバセンサーに側圧を与える試験によって、段階的な荷重にともなうひずみ変化が得られ、圧力分布計測の可能性を示唆する結果が示されている[5]。

そこで、実際の適用を想定し、ベントナイトの通水試験を通じて生じる膨潤圧を用いて光ファイバセンサーに側圧を与える試験を行い、圧力分布計測の可能性をさらに探ることとした。

(1) 試験方法

1) 概要

光ファイバセンサーによる側圧計測方法のイメージを図 2.2-83 に示す。低透水層（ベントナイト）とセメント系材料バリア（コンクリート）に挟まれるように、被覆（材料や厚さなど）が異なる二種類の光ファイバセンサーを平行に配置することを仮定する。被覆面で受けた側圧は、被覆を経て内部の光ファイバに伝達される。その伝達具合は被覆によって異なるため、両者の光ファイバセンサーの計測結果の差は、ひずみや温度ではなく、側圧によるものと言える。被覆状態の異なる二種類の光ファイバセンサーによって、側圧を検知しようとするものである。

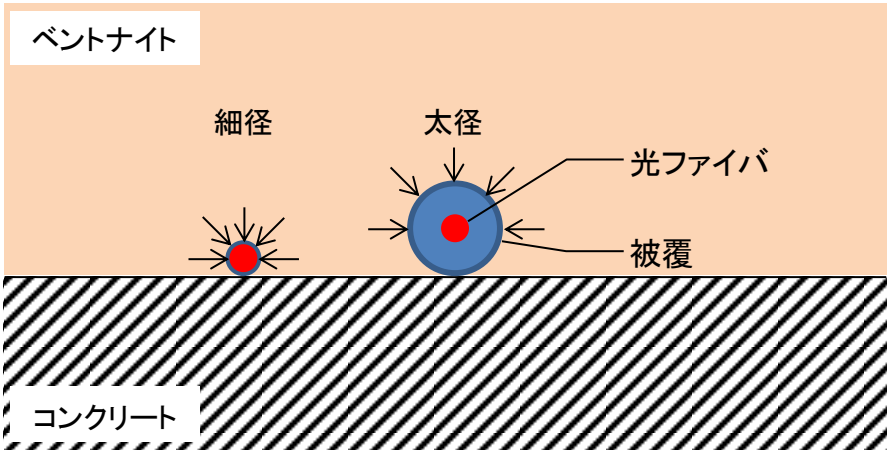


図 2.2-83　側圧計測イメージ

本試験は、被覆の異なる二種類の光ファイバセンサーを、ポーラスストーン（通水用）とベントナイト供試体のあいだに配置し、通水によるベントナイト膨潤が二種類の光ファイバセンサーに与える側圧の差をもとに、その領域の圧力状態をとらえようと試みるものである。ちなみに本試験環境下では、ひずみと温度は一定と言える環境下である。

2）試験装置

分布型光ファイバセンサーの計測によれば、空間分解能を任意に変更することが可能である。2cm あるいは 5cm などの高い空間分解能を実現することもできるため、供試体そのもののサイズを小さくすることも可能である。しかし、供試体端部の影響（温度、ひずみや曲げの状況など）を極力排除するためには、供試体をなるべく大きくして、実際に観測したい領域を十分に確保する必要がある。今回は、試験装置の組み立てやベントナイト供試体の作成に伴う作業性などを考慮し、直径 300mm の供試体用の試験装置とした。

通水試験装置を図 2.2-84 に示す。ベントナイト供試体部（φ300mm、高さ 60mm）の下部に位置するポーラスストーンを経由してベントナイト下面全体から通水される仕組みとなっている。試験装置は供試体製作のモールドも兼ねていて、供試体側面のリングにカラーを重ねた状態でベントナイトを敷き詰め、加圧板を手回しのスクリュージャッキで締め固めることができる。

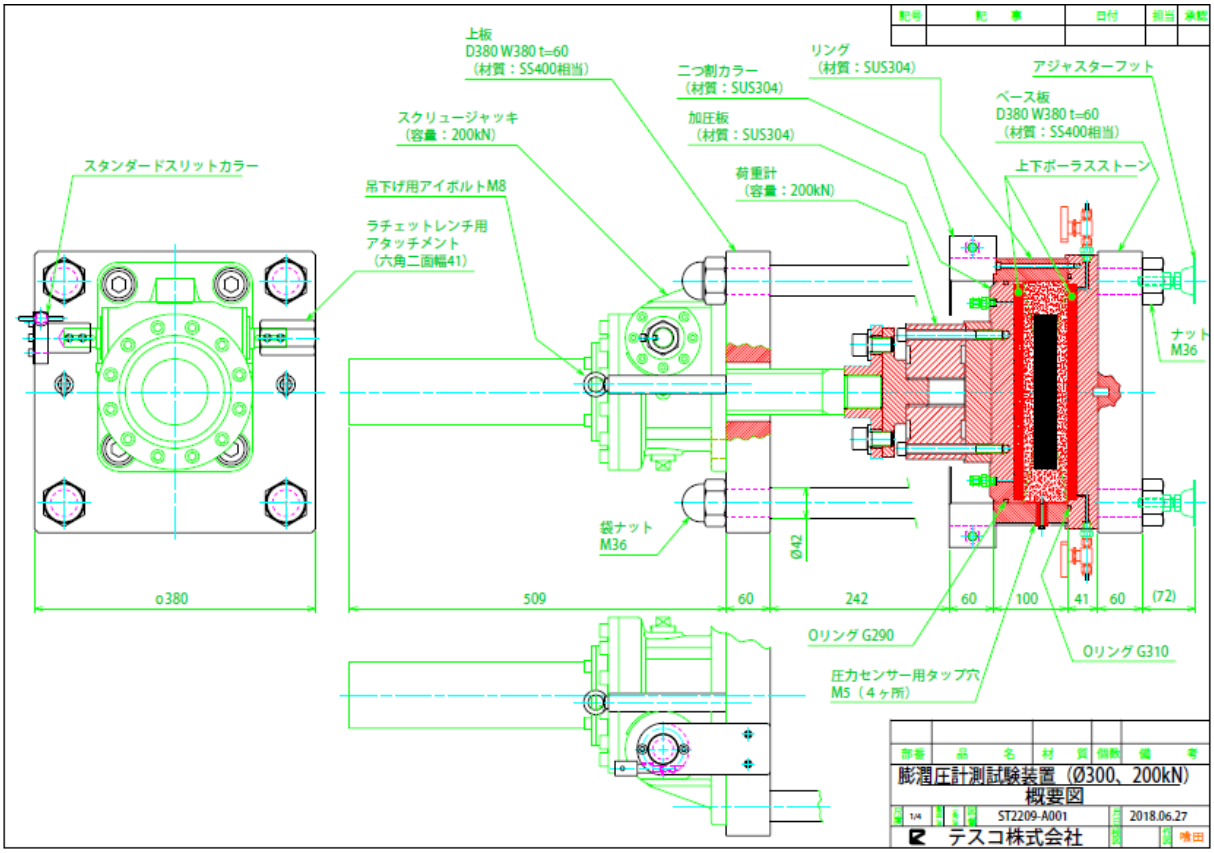


図 2.2-84　通水試験装置

ベントナイト供試体部の上部の加圧板と、反力をとる上板のあいだにはロードセル(200kN)を設置して、データロガー（図 2.2-85）にて荷重を計測できるようになっている。

図 2.2-85　データロガー

供試体部の下部に位置する通水バルブと通水パイプの配置を図 2.2-86 に示す。側面のリングには、供試体を横切るように配置する光ファイバセンサーが通る孔があいている。また、A～D に示す 4 箇所の位置には、90 度間隔で供試体深さ方向に異なる（下面から 15～45mm）位置に参照用のファブリーペロー方式のポイント型光ファイバ圧力センサー（図 2.2-87）を設置、アナライザー（図 2.2-88）につないで圧力を計測する。本センサーでは、ベントナイト膨潤圧を計測できることを事前に確認している。

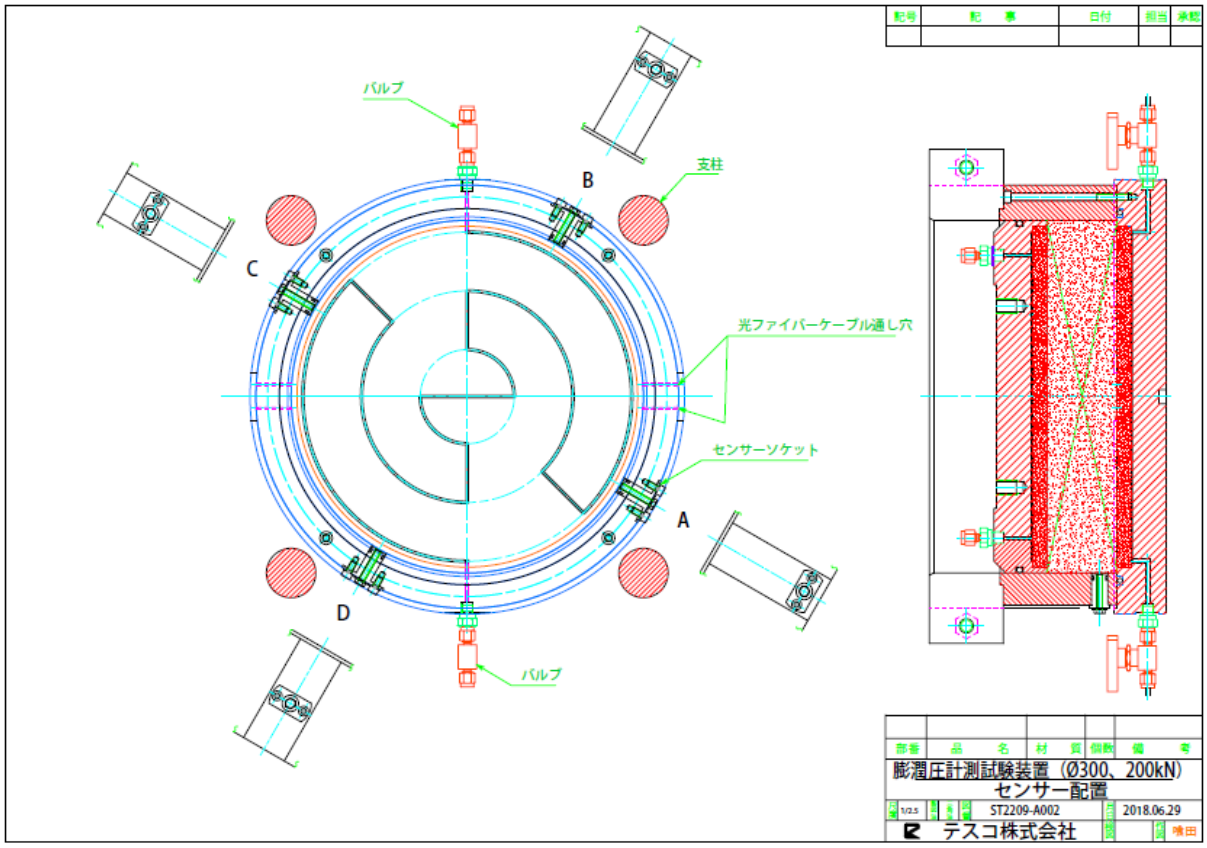


図 2.2-86　通水試験装置（通水経路とセンサー配置）

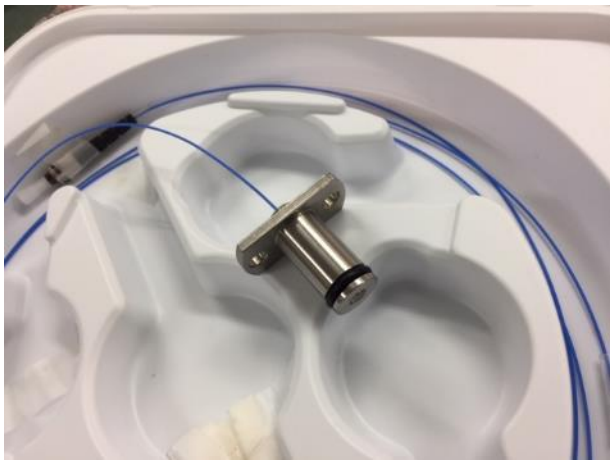


図 2.2-87　ポイント型光ファイバ圧力センサー（治具取付け後）

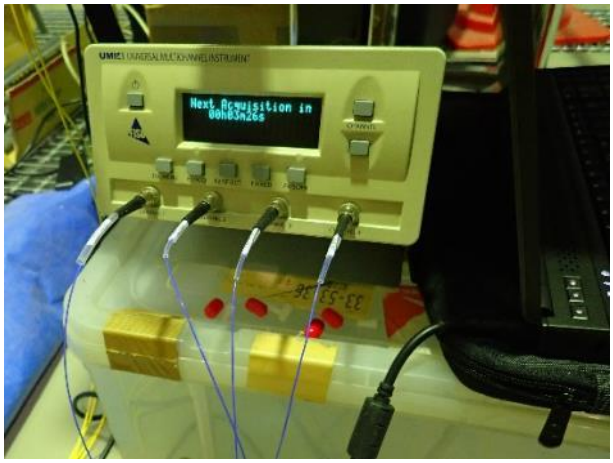


図 2.2-88　データアナライザー（ポイント型光ファイバ圧力センサー）

参照用のファブリーペロー方式のポイント型光ファイバ圧力センサーの仕様を表 2.2-18 に示す。

表 2.2-18　ポイント型光ファイバ圧力センサーの仕様

メーカ・型番	FISO・FOP-M-BA
計測レンジ	0～6.8MPa(0～1000psi)
分解能	フルスケールの 0.2%
精度	フルスケールの 1%以下
動作温度範囲	-20～+150℃
温度特性ゼロシフト	フルスケールの 0.01%/℃

3）光ファイバ

被覆種類の異なる光ファイバセンサーとして、以下に示す二種類の光ファイバ（どちらも汎用のシングルモードファイバ）を用意した。

太径：PVC 被覆、外径 900 ミクロン（図 2.2-89）

細径：UV 被覆、外径 500 ミクロン（図 2.2-90）

下部ポーラスストーンに設置した様子を図 2.2-91 に示す。

図 2.2-89　太径光ファイバ

図 2.2-90　細径光ファイバ

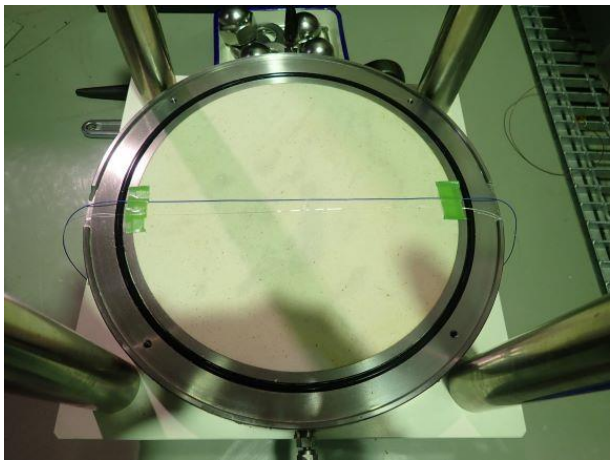


図 2.2-91　ポーラスストーン上への光ファイバセンサーの配置

供試体下面に設置した光ファイバセンサーは、供試体側面の試料容器（リング）と O リングのあいだを経て、外部に取り出し、計測器につなげる。取り出し部の光ファイバセンサーの様子を図 2.2-92～図 2.2-93 に示す。

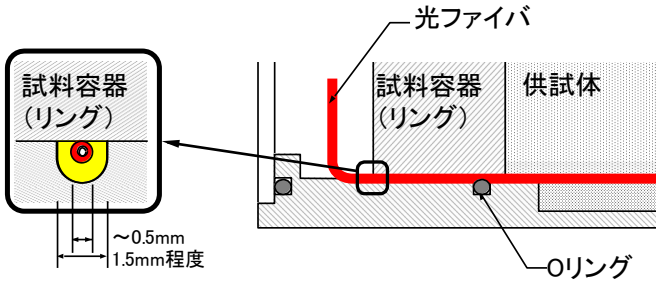


図 2.2-92　光ファイバセンサーの取り出し部状況

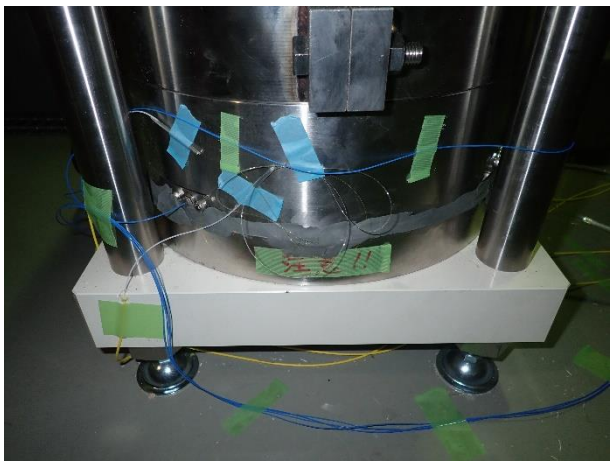


図 2.2-93　光ファイバセンサーの取り出し部

4）ベントナイト供試体

光ファイバセンサー設置後の下部ポーラスストーン上に、三層に分けて、ベントナイト敷き均し、締固めを繰り返し、最終的に 60mm 厚の供試体を製作した。ベントナイト Gv の乾燥密度 1.6g/cm3 となるよう締め固めた。試験前のベントナイト密度を表 2.2-19 に、供試体製作の様子を図 2.2-94～図 2.2-96 に示す。

表 2.2-19　ベントナイト試験前密度

総重量 (g)	高さ (cm)	体積 (cm3)	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm3)	乾燥密度 (g/cm3)
8250	5.92	4183.8	21.6	1.972	1.622

図 2.2-94　ベントナイト敷き詰め

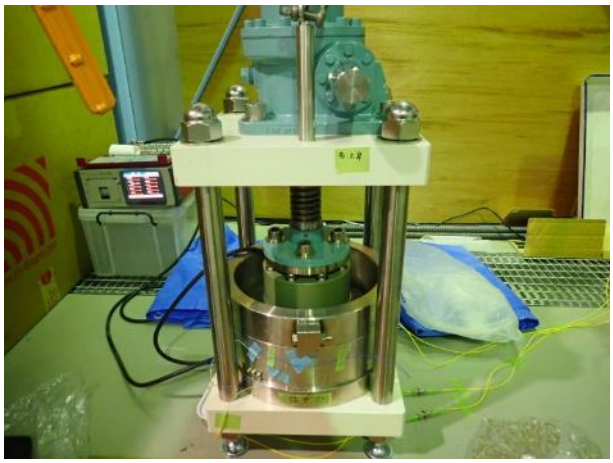


図 2.2-95　ベントナイト締固め

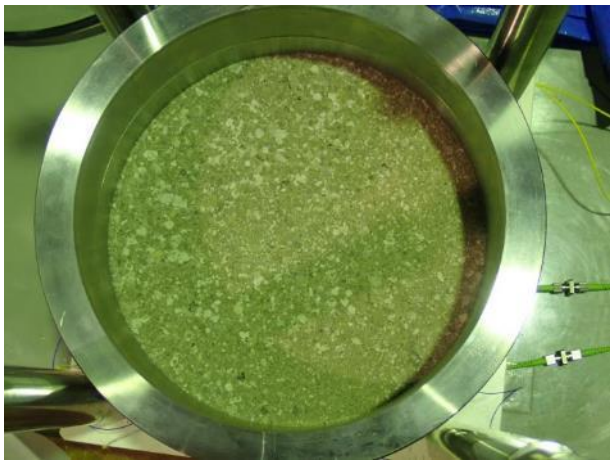


図 2.2-96　加圧後のベントナイト

ベントナイト供試体へ通水をしながら、光ファイバセンサーでひずみ分布を計測した。計測は TW-COTDR 方式で行った。その計測パラメータを表 2.2-20 に示す。

表 2.2-20　TW-COTDR 方式の計測パラメータ（膨潤圧試験）

距離レンジ	50 m	
位置分解能	2 cm	
サンプリング間隔	1 cm	
加算回数	2^{12}	
周波数掃引範囲	300 MHz	(194~194.3 GHz)
掃引周波数ステップ	0.25 MHz	
周波数掃引回数	1201	
計測時間（単発）	約 210 秒	

(2) 試験結果

バルブから通水（2018 年 12 月 28 日 9:00 頃に開始）しながら、ロードセル、ポイント型光ファイバ圧力センサー、分布型光ファイバセンサーで定期的な連続計測を行った。実験時の様子を図 2.2-97 に示す。

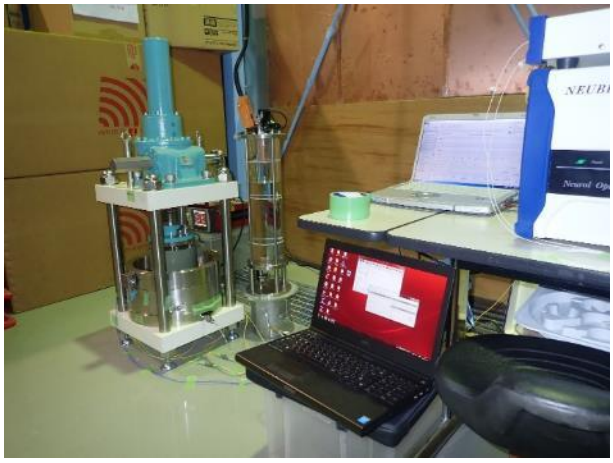


図 2.2-97　通水実験状況

1) ロードセル

試験装置に設置したロードセルによる膨潤圧の計測結果を図 2.2-98 に示す。通水開始 2~3 日間のあいだで膨潤圧が大きく上昇し、その後も徐々に上昇している様子がわかる。

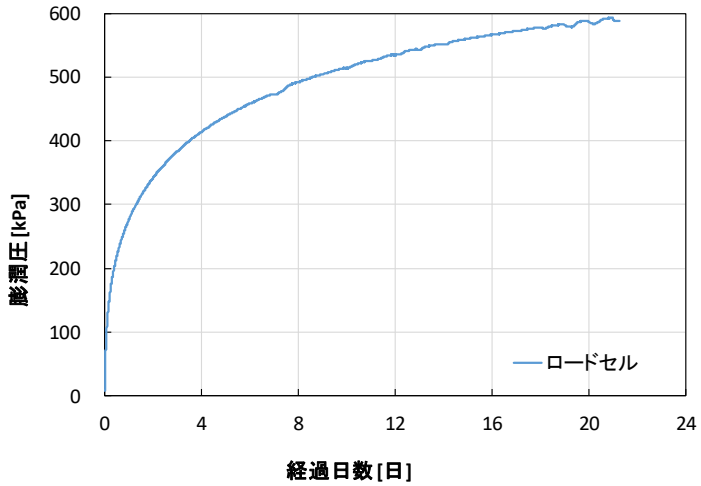


図 2.2-98　ロードセルの計測結果

2）ポイント型光ファイバ圧力センサー

ベントナイト供試体側面のリングに設置したポイント型光ファイバ圧力センサーの計測結果を図 2.2-99 に示す。センサーA、B、C、D は、それぞれ供試体（60mm 厚）下部からの位置（高さ）が、15、25、35、45mm である。通水直後からそれぞれの挙動が判然とせず、試験装置のリング内壁に沿って上昇した水などによる影響と思われ、浸潤深度を把握するには至らなかった。

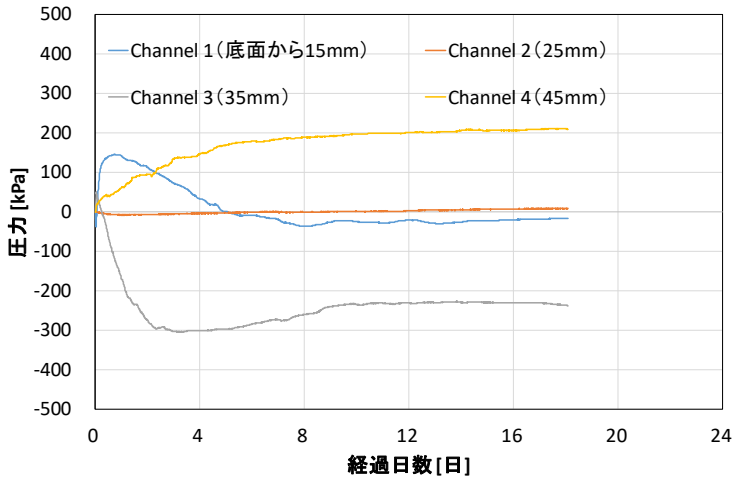


図 2.2-99　ポイント型光ファイバ圧力センサーの計測結果

3）分布型光ファイバセンサー

ポーラスストーンに固定した太径と細径の光ファイバセンサーを用いてひずみ分布を計測した結果を図 2.2-100～図 2.2-101 にそれぞれ示す。ばらつきが多いものの、太径については 8.9m 付近で、細径については 12.6m 付近で、通水直後からひずみが変化している傾向を示している。

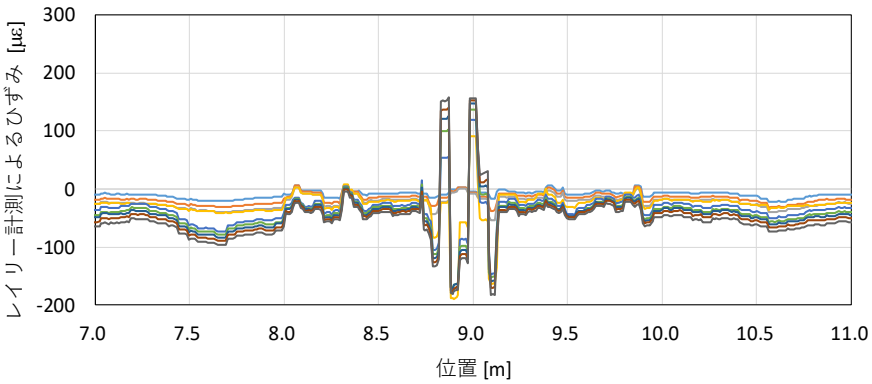


図 2.2-100　太径光ファイバのひずみ分布計測結果

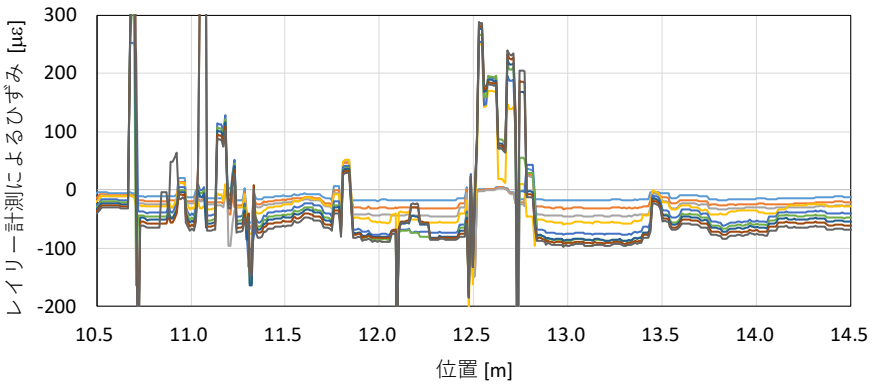


図 2.2-101　細径光ファイバのひずみ分布計測結果

得られたひずみ分布から、ベントナイト供試体中央部 200mm 範囲の平均ひずみを算出、その経時変化を図 2.2-102～図 2.2-103 に示す。通水直後の挙動が異なるものの、それ以降の挙動について両者ともに同様の傾向を示している。特に、細径の結果については、ロードセルによる膨潤圧の経時変化と似た結果であった。

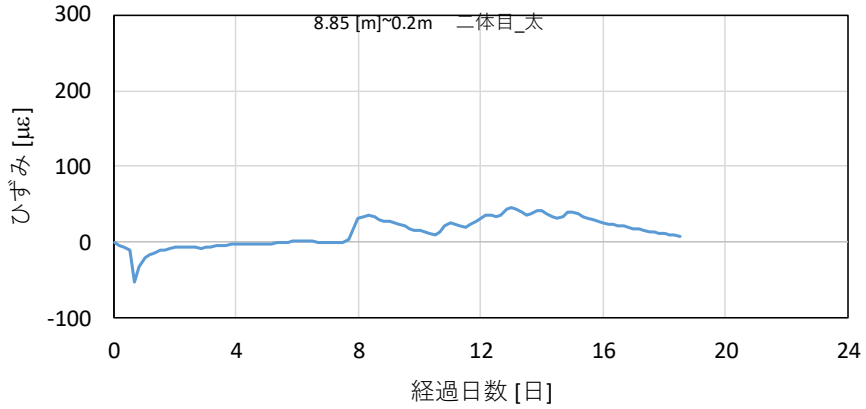


図 2.2-102　太径光ファイバによるひずみの経時変化

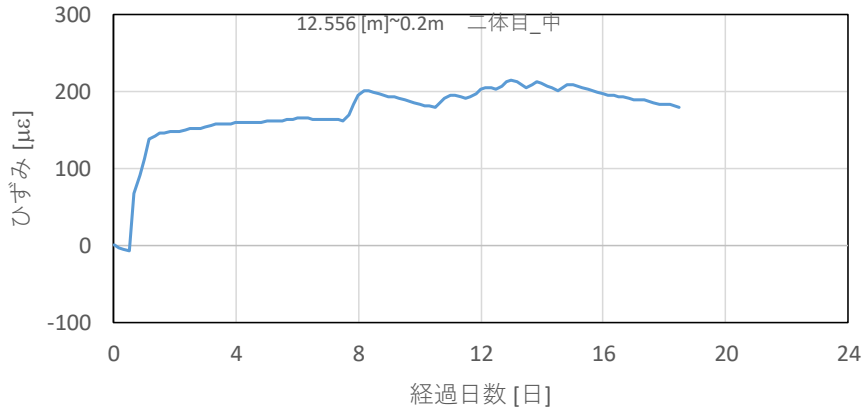


図 2.2-103　細径光ファイバによるひずみの経時変化

被覆厚の異なる二種類の光ファイバの差を、ロードセルの結果とともに経時変化として図 2.2-104 に示す。傾向は異なるものの、両者ともに上昇傾向を示している。

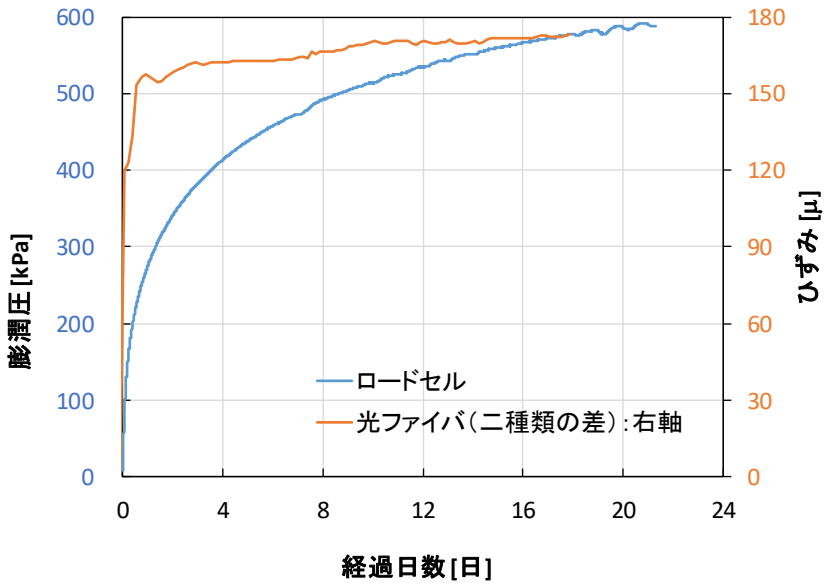


図 2.2-104　ロードセルと光ファイバ（二種類の差）の経時変化

ロードセルと光ファイバ（二種類の差）の関係を図 2.2-105 に示す。特に膨潤圧が小さい場合（通水初期）に変動がみられるものの、光ファイバによって一定の膨潤圧の上昇傾向を把握できることを確認した。

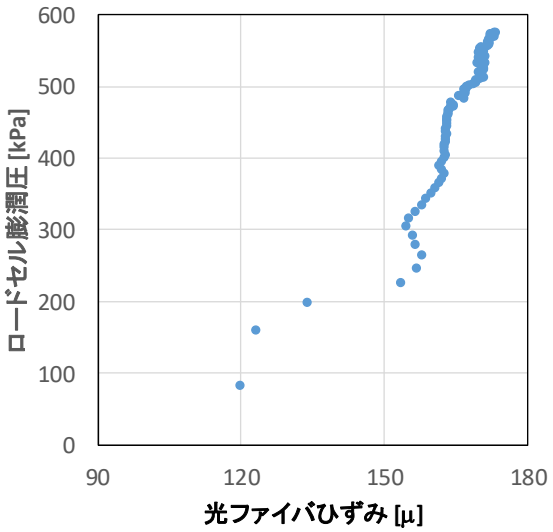


図 2.2-105　ロードセルと光ファイバ（二種類の差）の関係

(3) まとめ

光ファイバセンサーによって、温度分布やひずみ分布計測を実施、検証を進めてきた。合わせて圧力分布を実現できれば、低透水層の偏膨潤を把握し、低拡散層の変状が発生する前の予兆について確認するなど、多面的なモニタリングが期待できる。

そこで、光ファイバ周囲の圧力の影響を、被覆状態（被覆厚、被覆材料）の異なる光ファイバを用いて実験的に確認した。被覆状態の異なる二種類の光ファイバ上にベントナイトを敷き詰めて通水試験を行った結果、二種類のひずみ計測結果の差から、膨潤圧の上昇傾向を確認することができた。

ベントナイト通水による試験では、光ファイバへの均一な圧力付与が困難であることから、ひずみ計測結果はばらつきが目立った。圧力を付与する機構を再考のうえ、再現性のある実験方法で、また二種類以上の異なる被覆状態の光ファイバでのさらなる検討が望まれる。

2.2 節　参考文献

[1] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：管理型処分技術調査等事業地下空洞型処分施設機能確認試験　報告書、平成 29 年 3 月

[2] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業地下空洞型処分施設機能確認試験　報告書、平成 30 年 3 月

[3] 冨田敦紀、蛯名孝仁、福田勝美、戸井田克：地下深部約 100m の堆積軟岩中に大規模試験空洞を掘削―余裕深度処分埋設施設本格調査のうち試験空洞掘削工事―，トンネルと地下，第 37 巻 11 号，pp.39-47 (2006).

[4] 熊谷 他 : NATM における高強度吹付けコンクリートの適用とその支保効果について，トンネル工学研究論文，報告集，Vol.8, pp.181-186 (1998).

[5] （財）原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 29 年度管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設機能確認試験 報告書、平成 30 年 3 月

2.3　光ファイバセンサーによるひずみ等の計測

2.3.1　実規模施設を活用した連続的な計測

光ファイバセンサーを用いた計測システムを用いて、実規模施設のセメント系材料のひずみ等を連続的に計測する。ここで、光ファイバセンサーの設置箇所は以下の通りとする。

- 上部低拡散層表面
- 側部低拡散層表面
- 手前コンクリートピット表面
- アクセス坑道沿い壁面

(1) 概要

1) 計測システム

光ファイバセンサー、光計測器（Neubrex 社製 NBX-7020)、データ処理装置より構成される計測システムの構成を図 2.3-1 に、実際の現地設置状況を図 2.3-2 にそれぞれ示す。

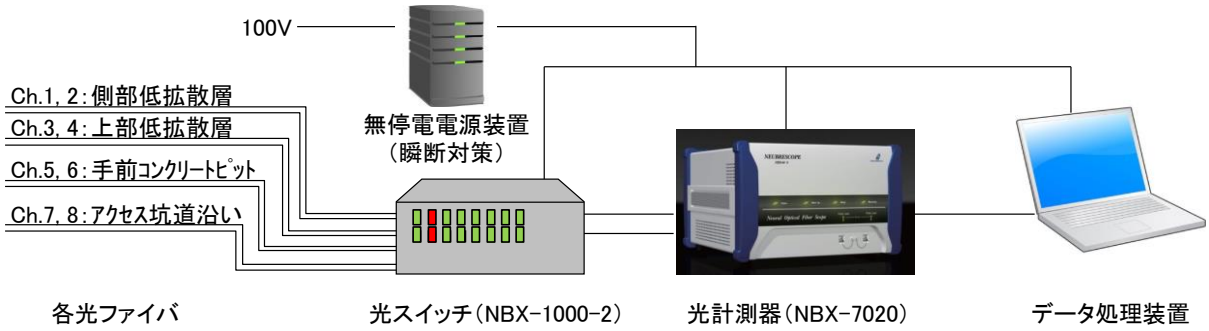


図 2.3-1　計測システムの構成

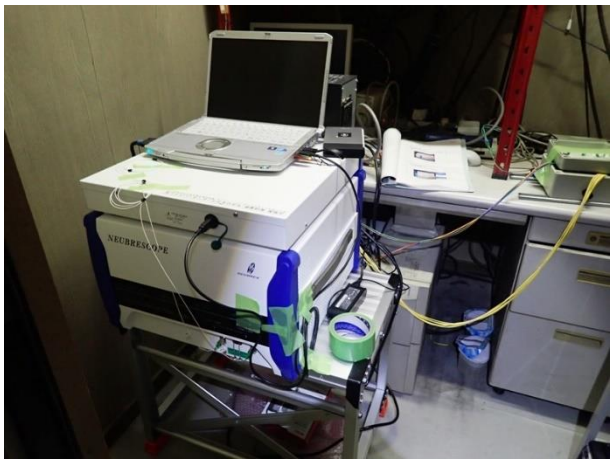


図 2.3-2　計測システム設置状況

本計測システムではブリルアン散乱光とともにレイリー散乱光を用いた計測方式も適用可能である。本研究においては、ブリルアン散乱光による計測方式のうち PPP-BOTDA（Pulse Pre-Pump Brillouin Optical Time Domain Anaysis）[1]と、レイリー散乱光による計測方式のうち TW-COTDR（Tunable Wavelength Coherent Optical Time Domain Reflecmetry）[2]でひずみ等を計測する。

PPP-BOTDA 方式の基本的な光ファイバの構成を図 2.3-3 に示す。光ファイバ内にふたつの光を対向させることによって、ブリルアン散乱光が誘導される。ふたつの光の周波数差がブリルアン周波数シフトに一致する場合に、誘導ブリルアン散乱によって両者の光のあいだでエネルギーの授受が最大化される。そのため、ふたつの光の周波数差を掃引しながら連続光を観測すれば、光量が最大となったときの周波数差からブリルアン周波数シフトを計測することができる。計測位置の情報は、パルス光の帰還時間と光速から算出する。本方式において、分布計測としての位置分解能は、入射するパルス光の幅に依存する。ブリルアン周波数シフト$\Delta\nu_B$は、ひずみ係数 C_{11} と温度係数 C_{12} を用いて下式のようにあらわされる。ここで、$\Delta\varepsilon$とΔTはそれぞれひずみ変化と温度変化である。

$$\Delta\nu_B = C_{11}\Delta\varepsilon + C_{12}\Delta T \qquad (2.3\text{-}1)$$

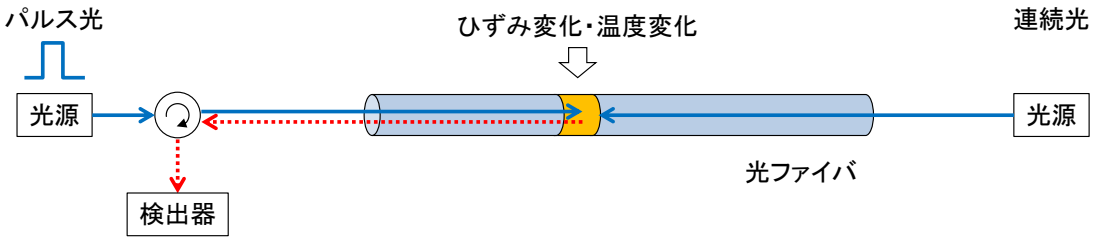


図 2.3-3　PPP-BOTDA 方式の構成

TW-COTDR 方式の基本的な光ファイバの構成を図 2.3-4 に示す。光ファイバ内に片端からパルス光を入射して、レイリー散乱光を観測する。この散乱光スペクトルは、光ファイバの僅かな密度の違いなどによって異なり、光ファイバの種類や位置によってそれぞれが固有のパターンを有する。レイリー散乱光のピーク波長の変化（レイリー周波数シフト）はわずかなもので、そのピークを抽出することは容易ではないが、比較するふたつのスペクトルのパターンの相互相関をもとにすることで、わずかなレイリー周波数シフトを精度よく計測することができる。計測位置の情報は、パルス光の帰還時間と光速から算出する。本方式において、分布計測としての位置分解能は、入射するパルス光の幅に依存する。レイリー周波数シフト$\Delta\nu_R$は、ひずみ係数 C_{21} と温度係数 C_{22} を用いて下式のようにあらわされる。ここで、$\Delta\varepsilon$とΔTはそれぞれひずみ変化と温度変化である。

$$\Delta\nu_R = C_{21}\Delta\varepsilon + C_{22}\Delta T \qquad (2.3\text{-}2)$$

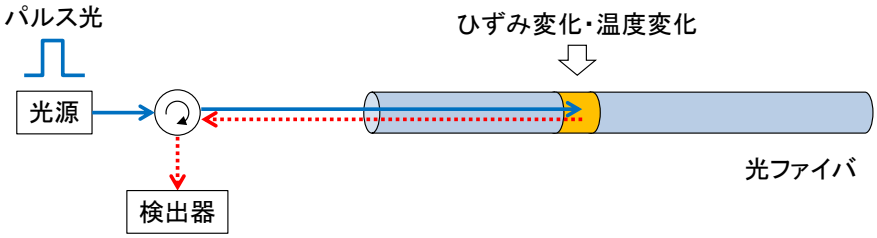


図 2.3-4　TW-COTDR 方式の構成

シングルモード光ファイバによってループが構成されていれば（両端から光を入射可能であれば)、上記の両方式（PPP-BOTDA ならびに TW-COTDR）を用いて、ブリルアン周波数シフト$\Delta\nu_B$ とレイリー周波数シフト$\Delta\nu_R$ をともに観測可能である。この二観測値とあらかじめ既知の係数 D_{11}～D_{22} によって、ひずみ変化$\Delta\varepsilon$と温度変化ΔTのふたつの未知数を算出することができる。前述の C_{11}～C_{22} はじめ、これら係数を出すためにはキャリブレーションが必要となる。

$$\begin{pmatrix}\Delta\varepsilon\\ \Delta T\end{pmatrix}=\begin{bmatrix}D_{11} & D_{21}\\ D_{12} & D_{22}\end{bmatrix}\begin{pmatrix}\Delta\nu_B\\ \Delta\nu_R\end{pmatrix} \qquad (2.3\text{-}3)$$

2）ひずみ計測用光ファイバセンサー

ひずみ計測用光ファイバセンサー（OFS 社製 C80920、1.8×3.5mm）を図 2.3-5 に示す。貼り付け時にコンクリート表面との付着面積を確保できるように断面形状は偏平としている。また、太径の抗張力体を、ケーブル中央の光ファイバの左右に配置することで、施工時の引っ張りや衝撃などに対して光ファイバが損傷しにくいような構成としている。左右の抗張力体を裂いて、内部の光ファイバを取り出した様子を図 2.3-6 に示す。

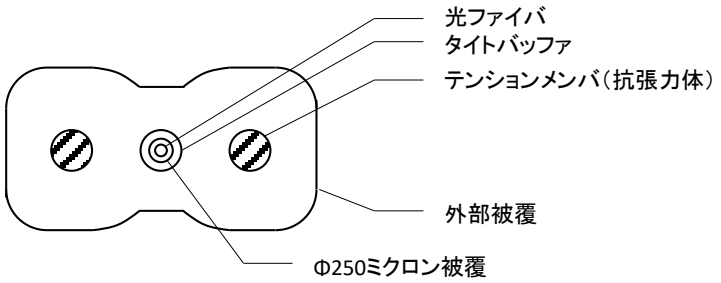


図 2.3-5　ひずみ計測用光ファイバセンサー

図 2.3-6　ひずみ計測用光ファイバセンサー

ひずみ計測用光ファイバセンサーは、2017 年 10 月中旬に以下の箇所に設置済みである[3]。

- 上部低拡散層表面
- 側部低拡散層表面
- 手前コンクリートピット表面

3）温度計測用光ファイバセンサーケーブル

温度計測用光ファイバセンサーケーブル（OFS 社製 CX80766、外径 8.5mm）を図 2.3-7 に示す。内部の光ファイバと被覆部は縁切りされており、ケーブルに引張が加わったとしても、内部の光ファイバには引張が加わらないような構成となっている。内部の光ファイバを取り出した様子を図 2.3-8 に示す。

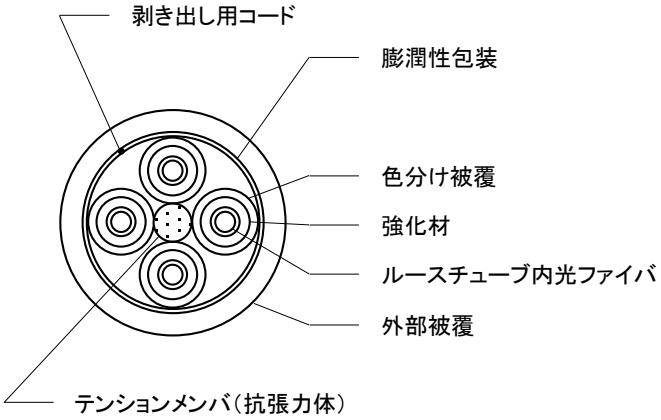


図 2.3-7　温度計測用光ファイバセンサーケーブル

図 2.3-8　温度計測用光ファイバセンサーケーブル

温度計測用光ファイバセンサーケーブルは、2017 年 10 月中旬に以下の箇所に敷設済みである。

- アクセス坑道沿い壁面

(2) 上部低拡散層表面（ひずみ計測）

上部低拡散層は約 10.2×2.1m² の範囲内において、ひずみ計測用光ファイバセンサーを全長固定して、連続的な計測を行った。同範囲の中央部には約 0.2mm 幅程度の既設ひび割れが存在する。

1) 光ファイバセンサーの設置位置

上部低拡散層には、300mm 間隔の格子状に光ファイバセンサーが設置されている。直線部は全長固定して、折り返しなどの曲線部はぐらつきを抑えるために間欠固定した。

上部低拡散層の光ファイバセンサー設置位置を図 2.3-9 に示す。対象表面には格子状に光ファイバセンサーが交差するため、既設ひび割れと直交する長辺方向の光ファイバセンサーを先に設置した後に、短辺方向のセンサーが設置されている。

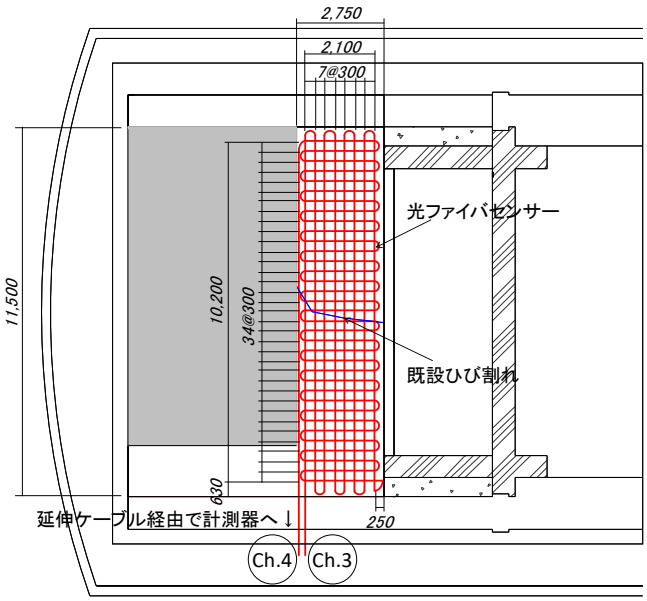


図 2.3-9　上部低拡散層平面図

上部低拡散層の光ファイバセンサー設置状況を図 2.3-10～図 2.3-11 に示す。夏季は、湿気を含んだ外気が周辺まで送り込まれているため、表面は結露していた。一部は水たまりのような状態であったが、一見したところ設置したセンサーが剥がれているような様子はみられなかった。

図 2.3-10　上部低拡散層の様子（2018 年 6 月）

図 2.3-11　上部低拡散層の様子（2018 年 8 月）

2）光ファイバセンサーの計測結果

分布型光ファイバセンサーにより総延長約 540m にわたって 3 時間の間隔で連続計測した。このときの計測パラメータを表 2.3-1 に、計測結果の一例を図 2.3-12 に、それぞれ示す。図内の前半部分（位置が近い側）が長辺方向に、後半部分（位置が遠い側）が短辺方向に設置したセンサーをそれぞれ示す。設置時にセンサーに導入された張力を含む結果である。

表 2.3-1　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（上部低拡散層）

	ひずみ （Ch.3, 4）
距離レンジ	600 m
位置分解能	10 cm
サンプリング間隔	5 cm
加算回数	2^{15}
周波数掃引範囲	400 MHz　　(10.60~11.00GHz)
掃引周波数ステップ	2.5MHz
周波数掃引回数	161
計測間隔	180 分
計測開始日時	2018/1/23 11:53

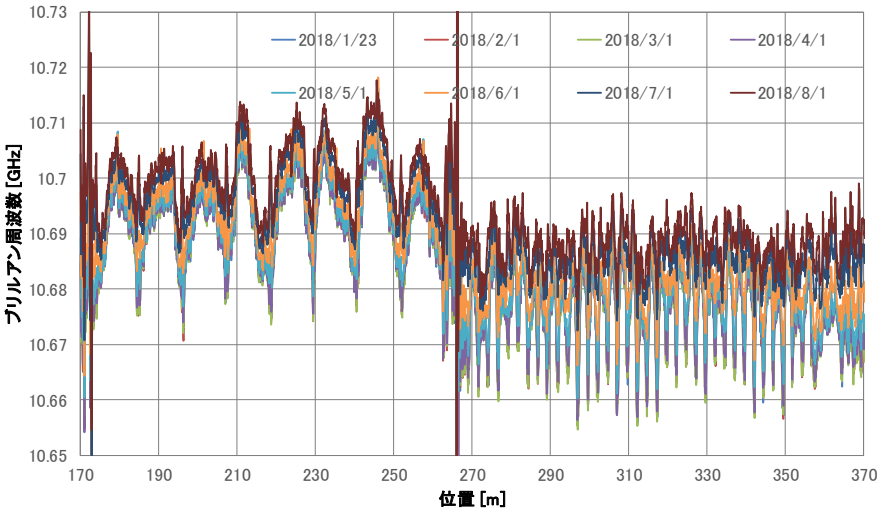


図 2.3-12　ブリルアン周波数の計測結果例（上部低拡散層）

2018 年 1 月 23 日昼頃の結果を初期値として、ブリルアン周波数の差（シフト）を算出した結果を図 2.3-13～図 2.3-15 に示す。10MHz の周波数変化は 200 μ ひずみ変化に相当する。

長辺方向については、ブリルアン周波数シフトの変化が約 11m 毎（設置長）に周期的にみられ、各箇所中央部に局所的な変化がみられる。この位置は既設ひび割れ位置に相当し、その局所的な変化は 2 月から 8 月の温度上昇にかけて、負方向（圧縮ひずみ相当）に変化している。これは、設置箇所以外（曲線部）が正方向に変化していることとは、逆の傾向である。

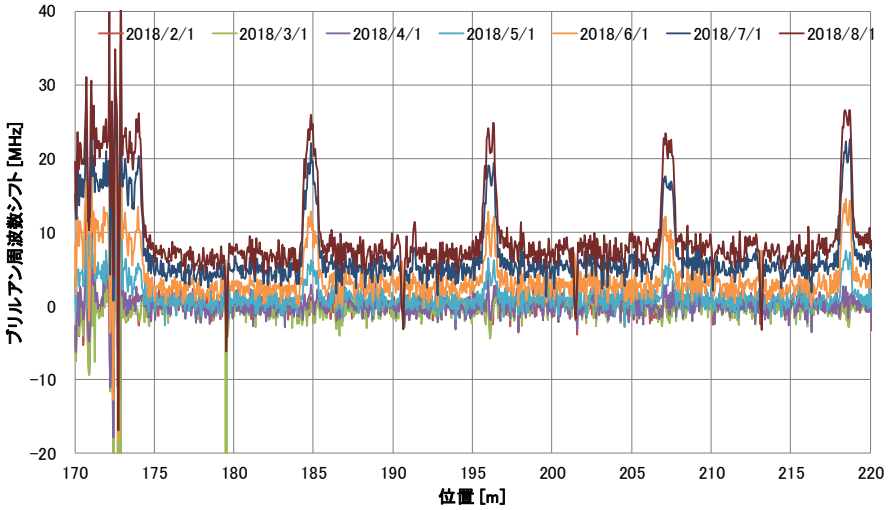


図 2.3-13　ブリルアン周波数シフトの結果例（上部低拡散層：長辺方向１）

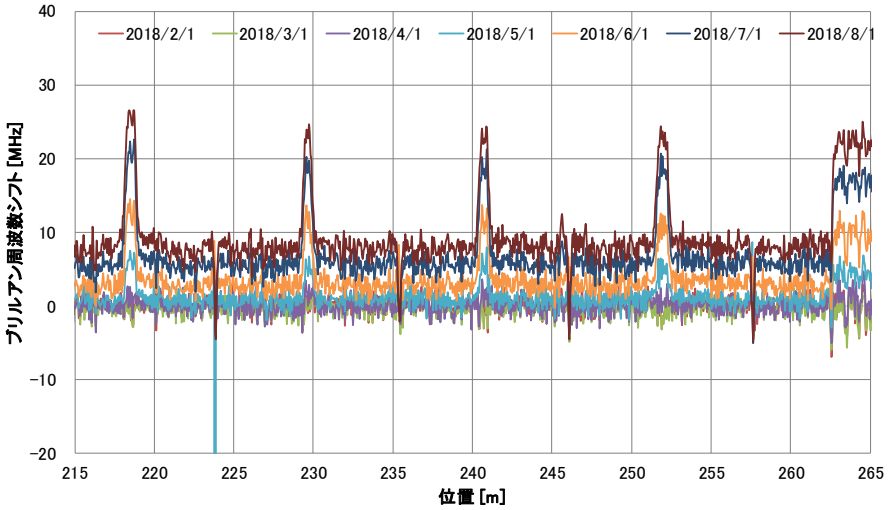


図 2.3-14　ブリルアン周波数シフトの結果例（上部低拡散層：長辺方向２）

短辺方向については、約 2.5m の設置箇所ごとのブリルアン周波数シフトの変化が周期的にみられ。すべての箇所で、2 月から 8 月の温度上昇にかけて、正方向（引張ひずみ方向）に変化している。

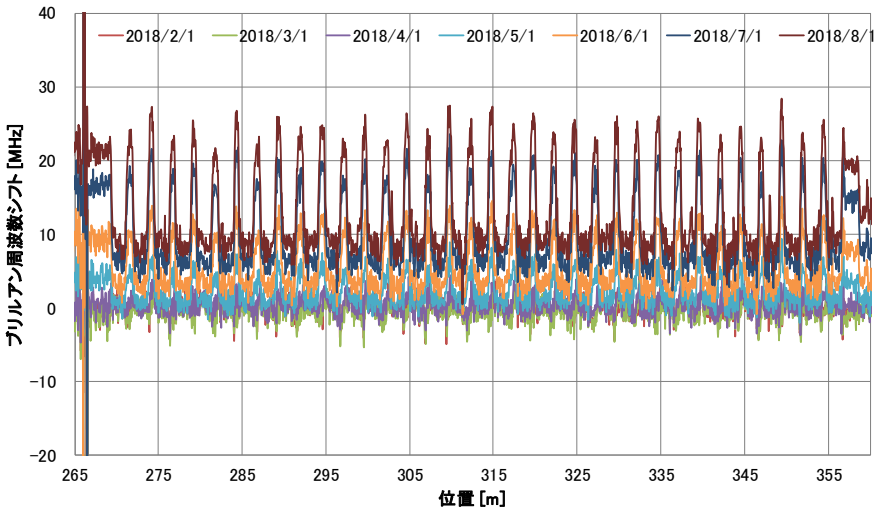


図 2.3-15　ブリルアン周波数シフトの結果例（上部低拡散層：短辺方向）

長辺方向でみられた既設ひび割れ部の挙動を確認するために、全 8 箇所でみられた既設ひび割れの開口変位の経時変化を図 2.3-16～図 2.3-17 に示す。各図には、アクセス坑道沿い表面の温度計測用に設置したコンクリートピット部の温度計の計測結果を併記する。5 月頃までは大きなブリルアン周波数シフトの変化はみられないが、6～7 月からの温度上昇に応じて温度と逆相関の開口変位を示している（温度上昇時に閉じる）。また、その変化量は光ファイバ位置で 200m 以遠ほど大きいようである。上部低拡散層の長辺方向については、図 2.3-18 に示すように位置が遠いものほど隅角部に近づくため、ひび割れの開口挙動が拘束されているためではないかと推察される。

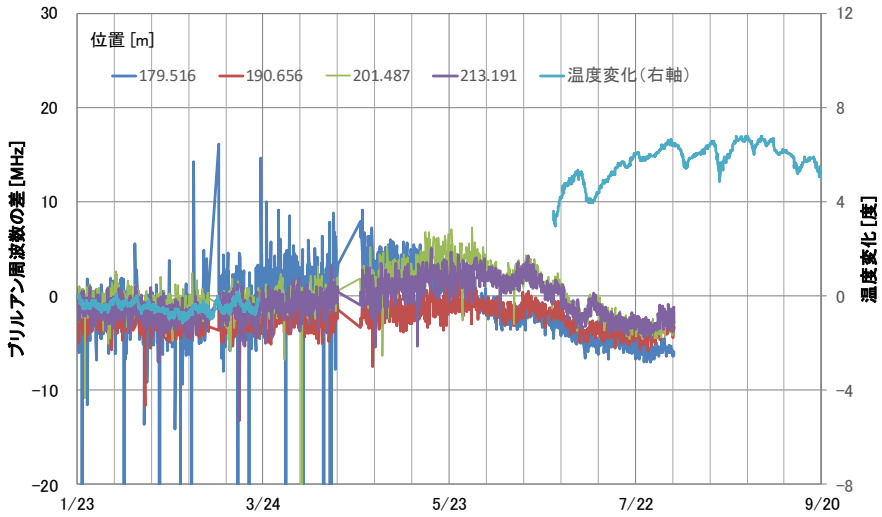


図 2.3-16　既設ひび割れの開口変位量の推移 1

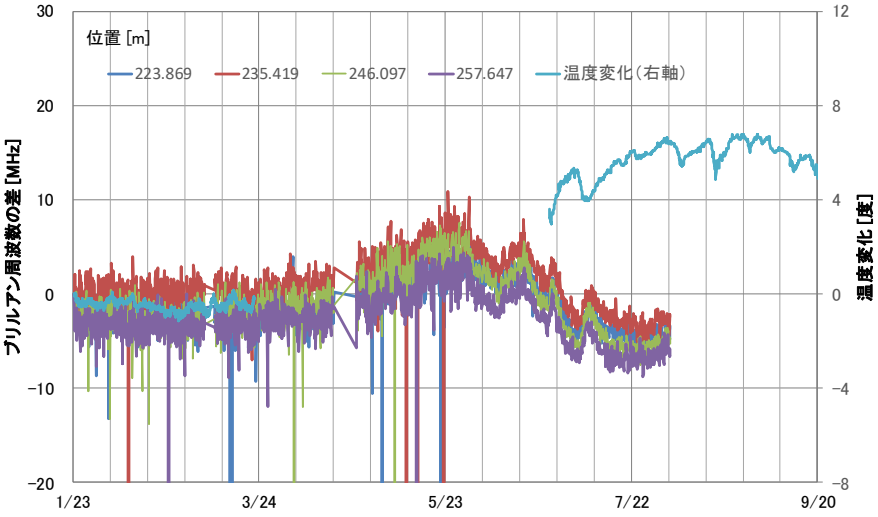


図 2.3-17　既設ひび割れの開口変位量の推移２

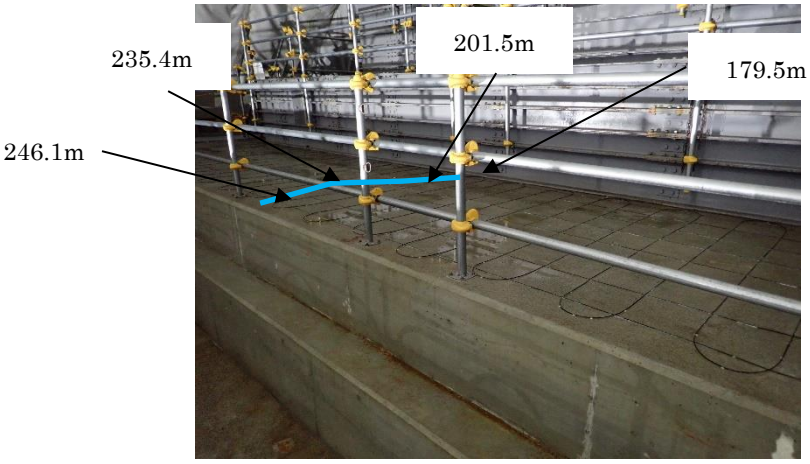


図 2.3-18　既設ひび割れの位置関係

(3) 側部低拡散層表面（ひずみ計測）

側部低拡散層の左側の約 2.6×8.0m² の範囲内において、ひずみ計測用光ファイバセンサーを全長固定して、連続的な計測を行った。同範囲の中央部付近には三本の 0.1～0.3mm 幅程度の既設ひび割れが存在する。

1) 光ファイバセンサーの設置位置

側部低拡散層には、既設ひび割れに直交するように水平方向に 8m 長の直線部 4 本から成る光ファイバセンサーが設置されている。直線部は全長固定して、折り返しなどの曲線部はぐらつきを抑えるために間欠固定した。

側部低拡散層の光ファイバセンサー設置位置を図 2.3-19 に示す。また、既設ひび割れの開口変位量を計測するために、最上部の光ファイバセンサー付近にクリップゲージを計 3 個設置している。クリップゲージとデータレコーダの仕様を表 2.3-2～表 2.3-3 にそれぞれ示す。

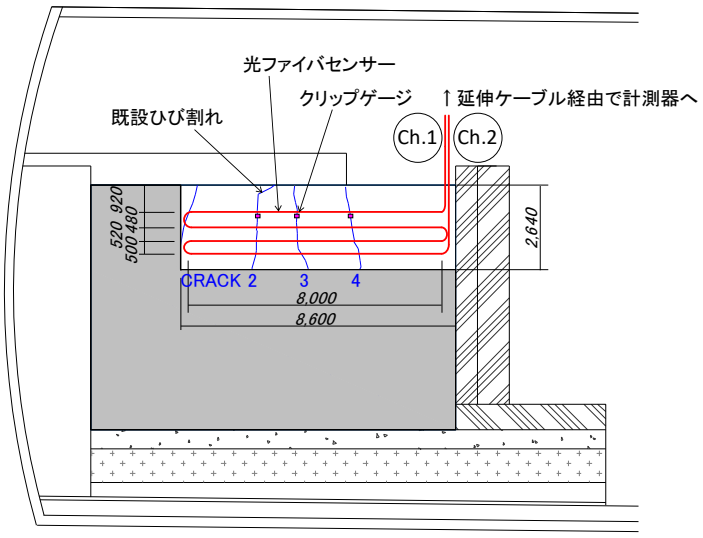


図 2.3-19　側部低拡散層側面図

表 2.3-2　クリップゲージの主な仕様

メーカ・型番	共和電業・DTC-A-2
定格容量	2mm
非直線性	±1%RO 以内
定格出力	2.5mV/V+20%~-10%

表 2.3-3　データロガーの主な仕様

メーカ・型番	共和電業・RMH-310A　　専用 9V バッテリ駆動
チャンネル数	10
ひずみ測定範囲	±20000×10^{-6} ひずみ
ひずみ分解能	1×10^{-6} ひずみ
ひずみ測定精度	±0.1%FS

側部低拡散層の光ファイバセンサー設置状況を図 2.3-20 に示す。特に湿気を帯びた部分でセンサー設置用接着剤の色味が変化（半透明から黄色）している箇所がみられたが、一見したところ設置したセンサーが剥がれているような様子はみられなかった。

図 2.3-20　光ファイバセンサー設置状況（側部低拡散層）

側部低拡散層に設置したクリップゲージのデータ回収状況を図 2.3-21 に示す。データロガーから USB メモリでデータ回収した。

図 2.3-21　データ回収作業

クリップゲージの設置状況を図 2.3-22～図 2.3-23 に示す。クリップゲージのコマをエポキシ接着剤で固定した後に、クリップゲージを設置したが、夏季になり低拡散層表面が湿気を帯びるとともにコマが外れた。湿気を帯びた表面を乾かしてコマを再設置するなどの復旧を試みたが、都度落下を繰り返した。夏季における連続的な開口変位量の計測方法は再考が必要である。

図 2.3-22　クリップゲージの状況（2018 年 6 月）

図 2.3-23　クリップゲージの状況（2018 年 8 月）

クリップゲージの計測結果を図 2.3-24 に示す。アクセス坑道沿い表面の温度計測用に設置したコンクリートピット部の温度計の計測結果も併記する。光ファイバと直交する三本の既設ひび割れの開口変位を示している。2018 年 1 月の設置以来、連続してひび割れ開口変位を取得できていたが、夏季に近づくにつれて 5～6 月にかけて前述のようにクリップゲージの落下が生じた。落下する度に再設置を繰り返しため、5～6 月以降の計測結果については、1 月設置時との連続性はない。設置直後のデータや、7～8 月の一部のデータ（Crack2）の挙動を温度変化と比較すると、ひび割れ開閉は温度と逆の相関（温度上昇時にひび割れ閉じる）があり、おおよそ-10μm/℃の関係性があった。

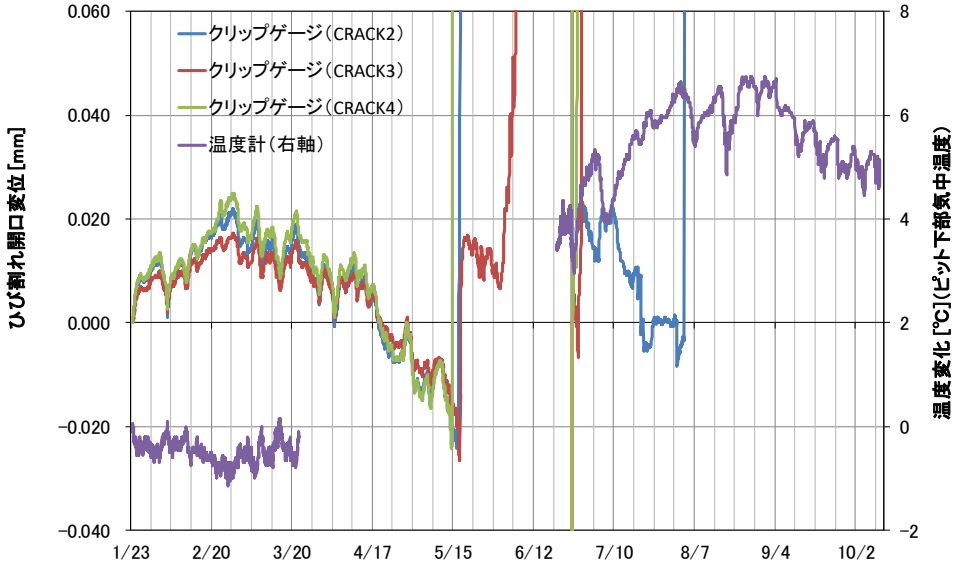


図 2.3-24　クリップゲージの計測結果

2）光ファイバセンサーの計測結果

分布型光ファイバセンサーにより総延長約 380m にわたって 3 時間の間隔で連続計測した。このときの計測パラメータを表 2.3-4 に、計測結果の一例を図 2.3-25 に、それぞれ示す。水方向に 8m 長で設置したセンサー四本分を示している。設置時にセンサーに導入された張力を含む結果である。

表 2.3-4　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（側部低拡散層）

	ひずみ （Ch.1, 2）
距離レンジ	600 m
位置分解能	10 cm
サンプリング間隔	5 cm
加算回数	2^{15}
周波数掃引範囲	400 MHz　　（10.60~11.00GHz）
掃引周波数ステップ	2.5MHz
周波数掃引回数	161
計測間隔	180 分
計測開始日時	2018/1/23 11:27

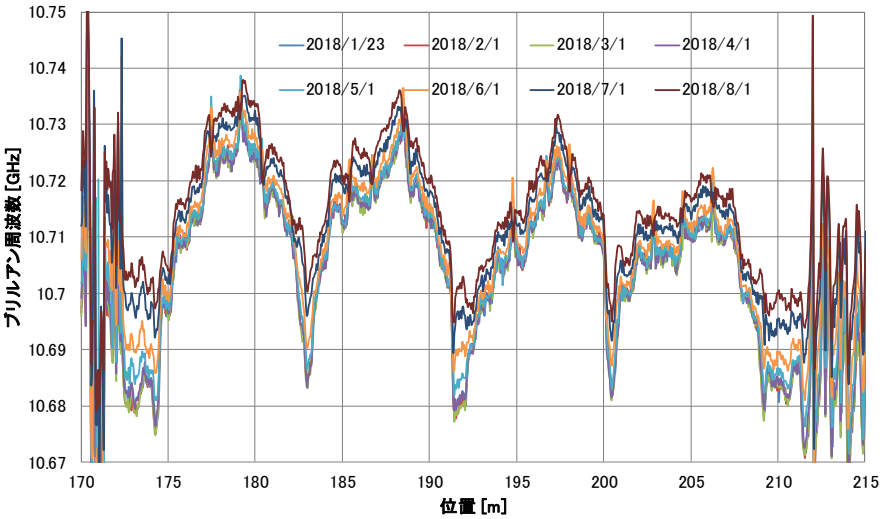


図 2.3-25　ブリルアン周波数の計測結果例（側部低拡散層）

2018 年 1 月 23 日昼頃の結果を初期値として、ブリルアン周波数の差（シフト）を算出した結果を図 2.3-26 と図 2.3-27 に示す。10MHz の周波数変化は 200 μ ひずみ変化に相当する。

174.5～182.5m 位置と 183.5～191.5m 位置、ならびに 192～200m 位置と 201～209m 位置が設置箇所にあたるが、それぞれに 3 箇所の局所的な変化がみられる。この局所的な変化は、2 月から 8 月の気温上昇にかけて、負方向に変化している。逆に、設置箇所部分以外（182.5～183.5m 位置や 200～201m 位置など）が正方向に変化している。

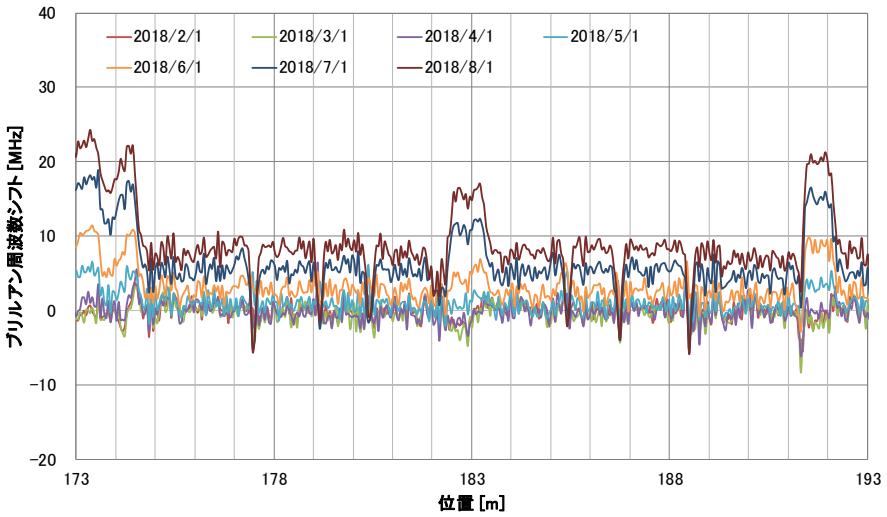


図 2.3-26　ブリルアン周波数シフトの結果例（側部低拡散層１）

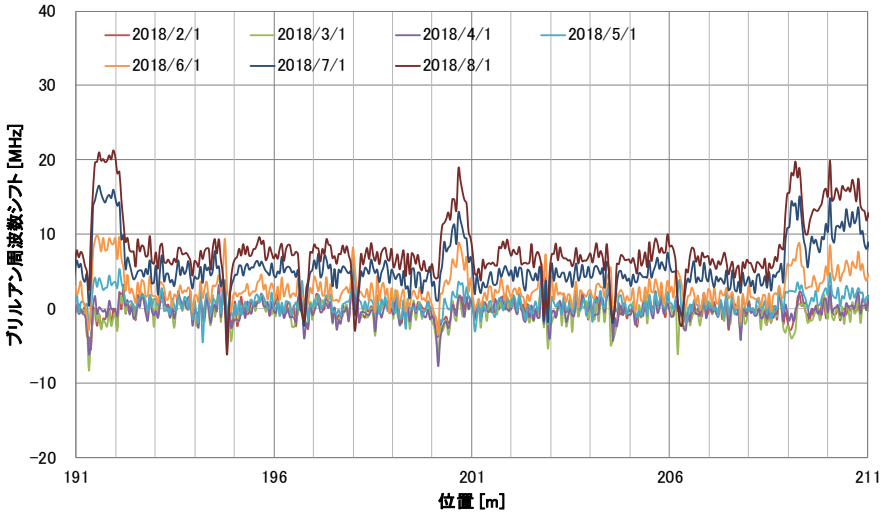


図 2.3-27　ブリルアン周波数シフトの結果例（側部低拡散層２）

既設ひび割れ部の挙動を確認するために、3 箇所の既設ひび割れ（Crack2～4）の開口変位の経時変化を図 2.3-28～図 2.3-30 に示す。それぞれの図には、既設ひび割れと直交する光ファイバ 4 本分のデータとともに、アクセス坑道沿い表面の温度計測用に設置したコンクリートピット部の温度計の計測結果も併記する。5 月頃までは大きなブリルアン周波数シフトの変化はみられないが、6～7 月からの温度上昇に応じて温度と逆相関の開口変位を示している（温度上昇時に閉じる）。また、その変化量は光ファイバ位置の違い（側部低拡散層の高さ位置の違い）によっては大きな変化はないようである。3 箇所の既設ひび割れのなかでは、中央部（Crack3）の変化が一番小さいようであった。

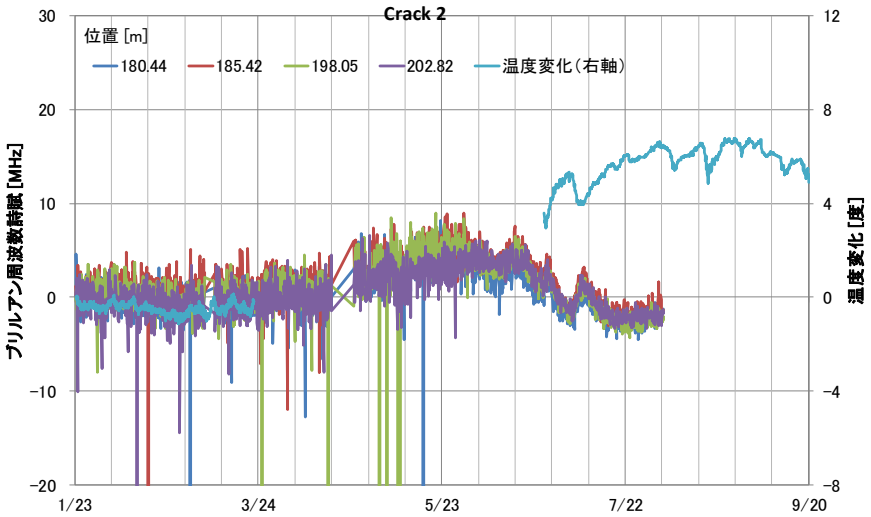


図 2.3-28　既設ひび割れ２の開口変位量の推移

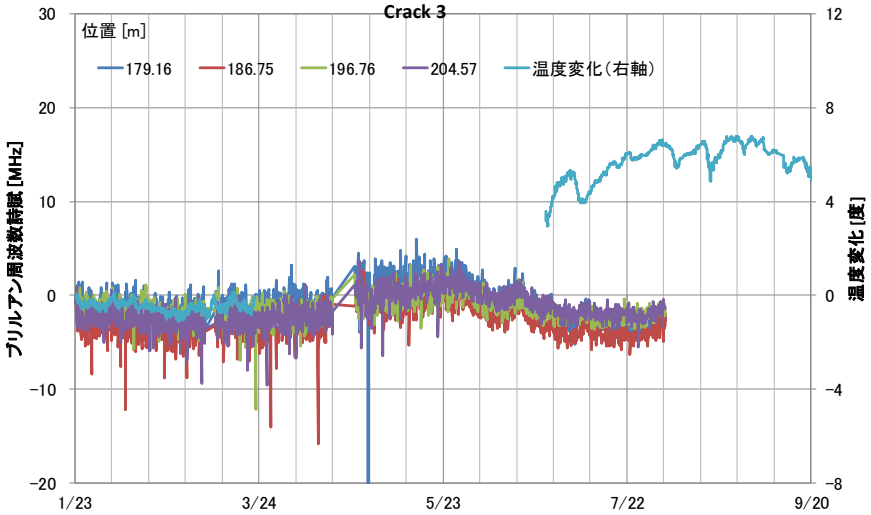


図 2.3-29　既設ひび割れ３の開口変位量の推移

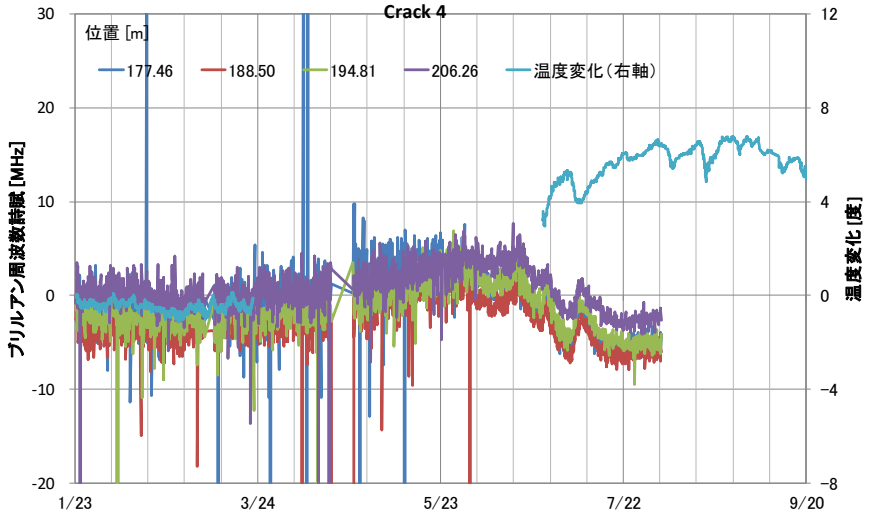


図 2.3-30　既設ひび割れ４の開口変位量の推移

(4) 手前コンクリートピット表面（ひずみ計測）

手前コンクリートピットは約 7.5×5.1m² の範囲内において、ひずみ計測用光ファイバセンサーを全長固定して、連続的な計測を行った。表面には KK シート（900×900mm/シート）工法による打継ぎ処理がなされているため凹凸が形成されているが、既設ひび割れは確認されていない。

1) 光ファイバセンサーの設置位置

手前コンクリートピットには、上述の上部低拡散層と同様に 300mm 間隔の格子状に光ファイバセンサーを設置されている。直線部は全長固定して、折り返しなどの曲線部はぐらつきを抑えるために間欠固定した。

手前コンクリートピットの光ファイバセンサー設置位置を図 2.3-31 に示す。対象表面には格子状に光ファイバセンサーが交差するため、水平方向の光ファイバセンサーを先に設置した後に、垂直方向のセンサーが設置されている。

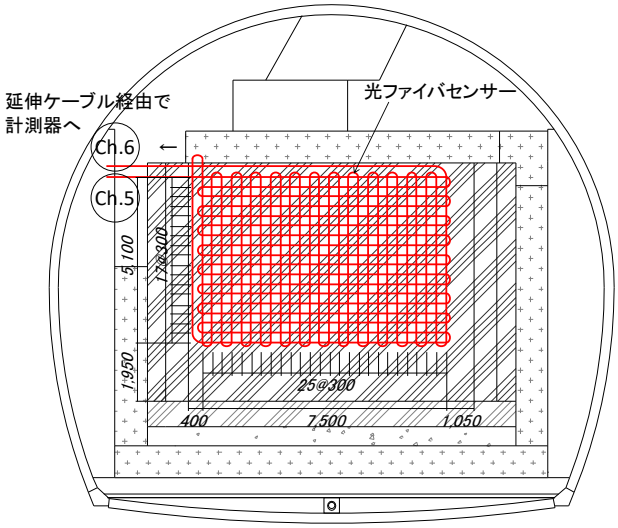


図 2.3-31　手前コンクリートピット正面図

手前コンクリートピットの光ファイバセンサー設置状況を図 2.3-32 に示す。一見したところ設置したセンサーが剥がれているような様子はみられなかった。

図 2.3-32　光ファイバセンサー設置状況（手前コンクリートピット）

2）光ファイバセンサーの計測結果

分布型光ファイバセンサーにより総延長約 700m にわたって 3 時間の間隔で連続計測した。このときの計測パラメータを表 2.3-7 に、計測結果の一例を図 2.3-33 に、それぞれ示す。図内の前半部分（位置が近い側）が水平方向に、後半部分（位置が遠い側）が垂直方向に設置したセンサーそれぞれ示す。設置時にセンサーに導入された張力を含む結果である。

表 2.3-5　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（手前コンクリートピット）

	ひずみ （Ch.5, 6）
距離レンジ	700 m
位置分解能	20 cm
サンプリング間隔	10 cm
加算回数	2^{15}
周波数掃引範囲	400 MHz　　（10.60~11.00GHz）
掃引周波数ステップ	5MHz
周波数掃引回数	81
計測間隔	180 分
計測開始日時	2018/1/23 9:49

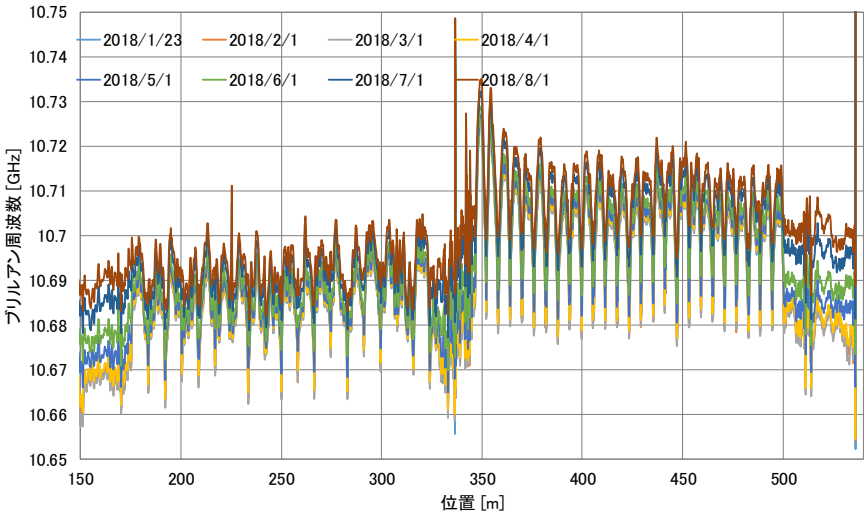


図 2.3-33　計測結果例（手前コンクリートピット）

2018 年 1 月 23 日昼頃の結果を初期値として、ブリルアン周波数の差（シフト）を算出した結果を図 2.3-34～図 2.3-35 に示す。10MHz の周波数変化は 200 μ ひずみ変化に相当する。

水平方向については、ブリルアン周波数シフトの変化が約 8m 毎（設置長）に周期的にみられ、垂直方向については、ブリルアン周波数シフトの変化が約 6m 毎（設置長）に周期的にみられる。設置箇所（直線部）、設置箇所以外（曲線部）ともに 2 月から 8 月の温度上昇にかけて、正方向（引張ひずみ相当）に変化している。

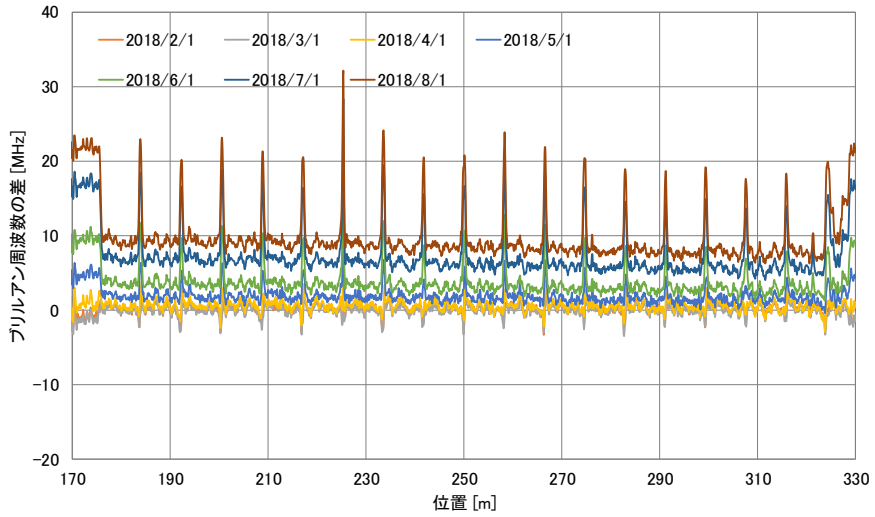


図 2.3-34　ブリルアン周波数シフトの結果例（コンクリートピット：水平方向）

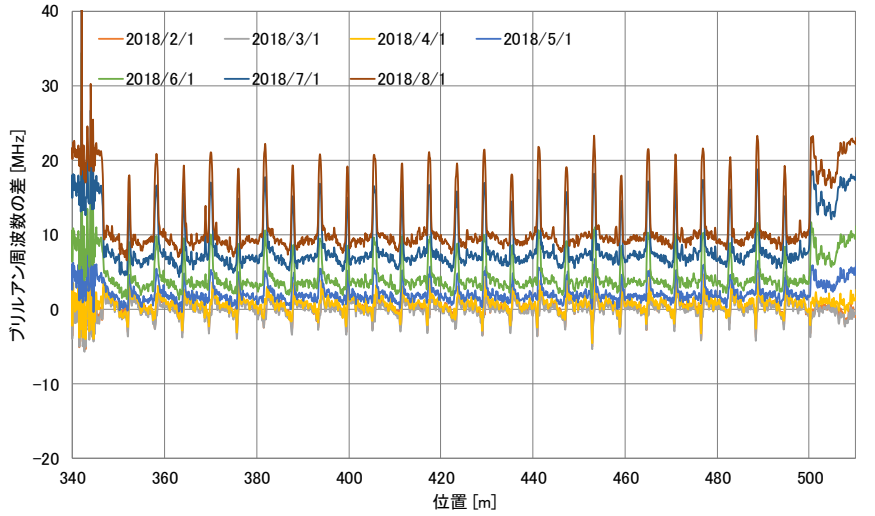


図 2.3-35　ブリルアン周波数シフトの結果例（コンクリートピット：垂直方向）

水平方向の温度変化は設置長にわたってほぼ一定であったのに対して、垂直方向の温度変化は設置長にわたって一定ではない。垂直方向の位置が低いものほど温度による変化が大きく、位置が高いものほど温度による変化が大きいようである。これは、高いものほどひずみが大きく生じているのか、あるいは温度そのものが高いのかは不明である。

(5) アクセス坑道沿い表面（温度計測）

アクセス坑道沿いの約 1100m 長にわたって、温度計測用光ファイバセンサーケーブルを架設して、連続的な計測を行った。

1) 光ファイバセンサーケーブルの設置位置

温度計測用光ファイバセンサーケーブルは、計測小屋からコンクリートピット部で折り返して坑口まで、壁面に既設の吊りワイヤーを利用して架設されている。センサーケーブル内の二芯を用いて、坑口部のケーブル端部で当該二芯を接続することで、全長 2500m 長の光ファイバでループを構成している。ケーブルの配置を図 2.3-36 に、架設イメージを図 2.3-37 にそれぞれ示す。

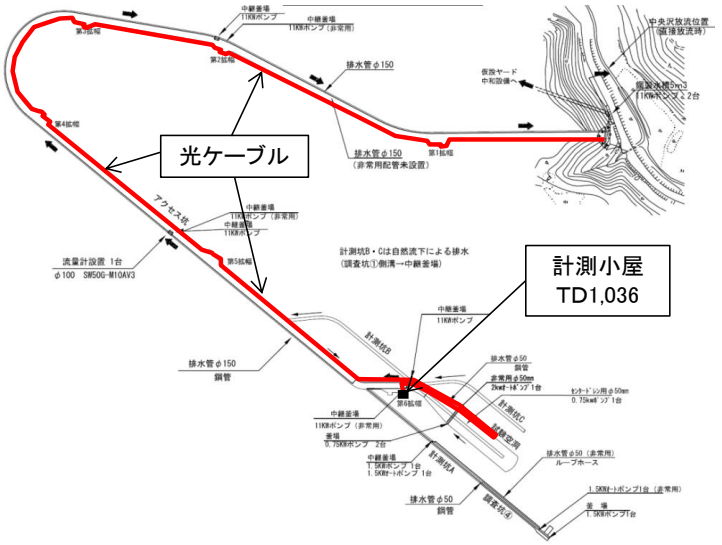


図 2.3-36　温度センサーケーブルの配置

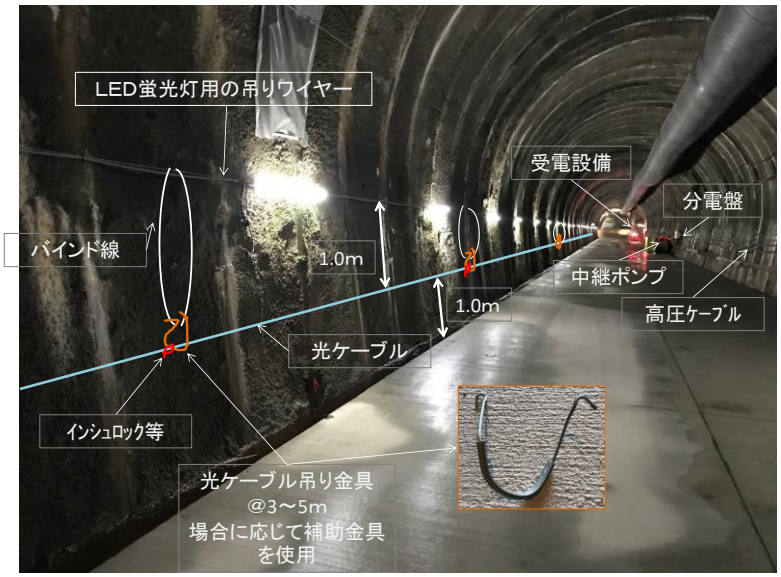


図 2.3-37　温度センサーケーブル架設イメージ

温度分布計測用の参照計器として、坑道沿いに約 200m 間隔で温度計が設置されている。温度計の測温部は、温度センサーケーブル部に固定されている。温度計の配置を図 2.3-38 に、温度計の仕様を表 2.3-6 にそれぞれ示す。

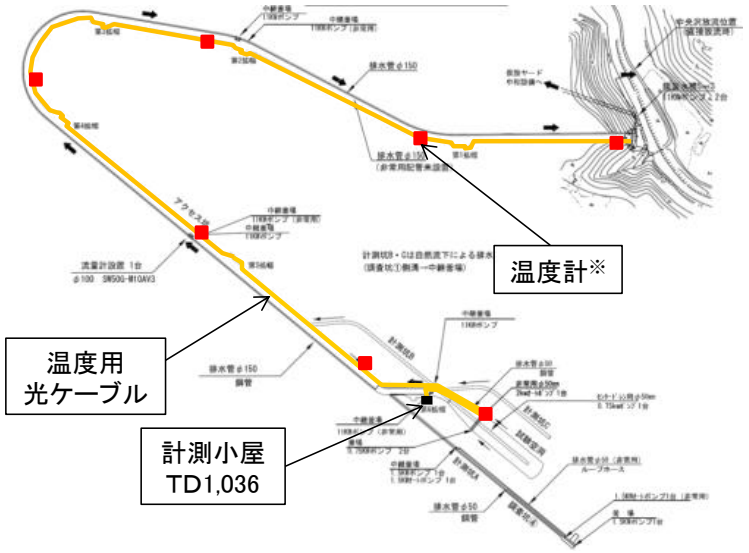


図 2.3-38　温度計の配置

表 2.3-6　温度計の主な仕様

メーカ・型番	T&D・おんどとり TR-71wf　　単三×2 本
測定対象	温度 2ch
測定範囲	-40~+110℃
精度	±0.3℃

温度計で連続計測を行ったが、機器設定を誤った（計測頻度の設定が短すぎたために容量が足りずに上書きしてしまった）ために 2018 年 3 月～6 月のあいだのデータが欠損してしまった。

図 2.3-39　データ回収作業

図 2.3-40　温度センサーケーブル架設状況

2）光ファイバセンサーケーブルの計測結果

分布型光ファイバセンサーにより総延長 2750m にわたって 3 時間の間隔で連続計測した。このときの計測パラメータを表 2.3-7 に、計測結果の一例を図 2.3-41 に、それぞれ示す。アクセス坑道のすべての位置において、光ファイバセンサーでは往路と復路で計測をしている。

表 2.3-7　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（アクセス坑道）

	温度 （Ch.7, 8）
距離レンジ	3,000 m
位置分解能	50 cm
サンプリング間隔	20 cm
加算回数	2^{15}
周波数掃引範囲	400 MHz　　(10.60~11.00GHz)
掃引周波数ステップ	5 MHz
周波数掃引回数	81
計測時間（単発）	約 170 秒
計測間隔	180 分
計測開始日時	2018/1/23 12:07

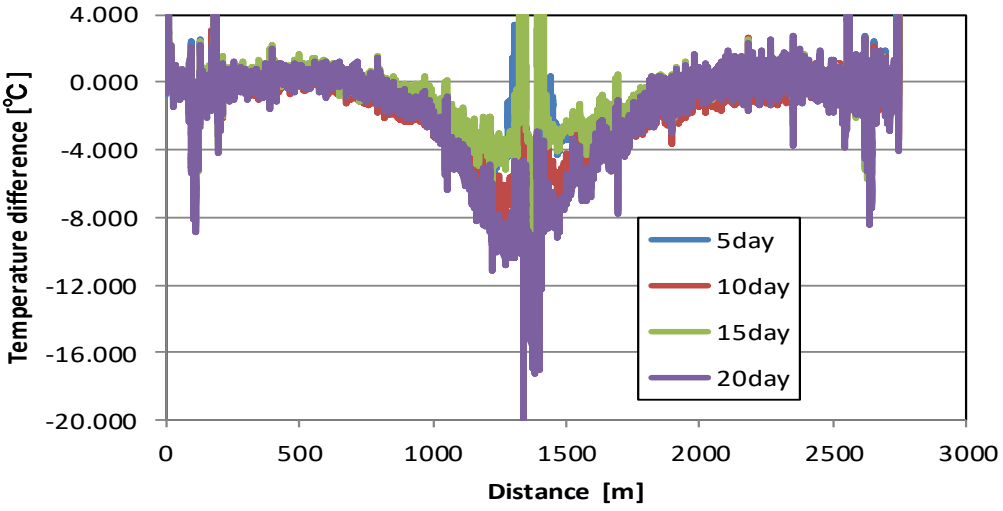


図 2.3-41　計測結果例（アクセス坑道沿い）

坑口部分における温度計や光ファイバセンサーケーブルの設置状況を図 2.3-42 に示す。ここは、光ファイバセンサーケーブル端部で当該二芯を融着接続しているために、保護用の中継箱を設けている。

往路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 1368.573m）と復路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 1373.912m）の計測結果を、同じ位置の温度計結果とともに図 2.3-43 に示す。坑口部のために、風雨の影響を受けやすいために短期的な温度変化が激しいが、光ファイバは概ね温度計による傾向と同様であった。しかし、往復路の光ファイバで徐々に差がみられるようになった。

図 2.3-42　温度計などの設置状況（坑口）

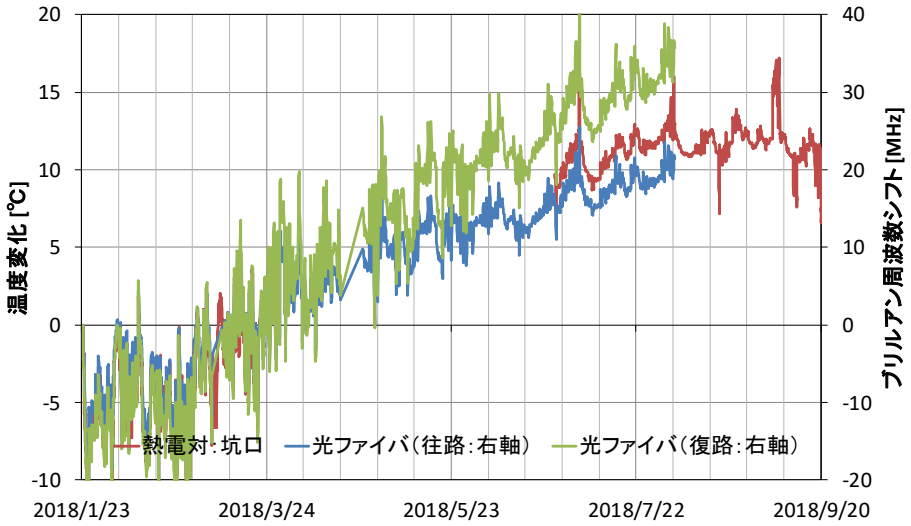


図 2.3-43　温度計測結果（坑口）

TD200 部分における温度計や光ファイバセンサーケーブルの設置状況を図 2.3-42 に示す。

往路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 1156.254m）と復路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 1586.436m）の計測結果を、同じ位置の温度計結果とともに図 2.3-43 に示す。坑口部よりも温度変化は緩やかになっており、光ファイバは概ね温度計による傾向と同様であった。しかし、坑口部ほどではないが、往復路の光ファイバでわずかながら差が生じた。

図 2.3-44　温度計などの設置状況（TD200）

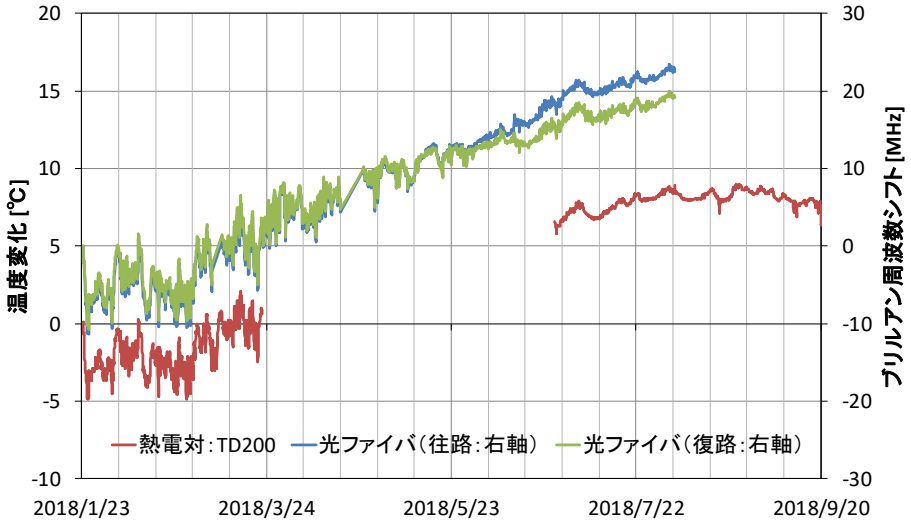


図 2.3-45　温度計測結果（TD200）

TD400 部分における温度計や光ファイバセンサーケーブルの設置状況を図 2.3-44 に示す。

往路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 944.141m）と復路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 1798.755m）の計測結果を、同じ位置の温度計結果とともに図 2.3-45 に示す。光ファイバは概ね温度計による傾向と同様であった。

図 2.3-46　温度計などの設置状況（TD400）

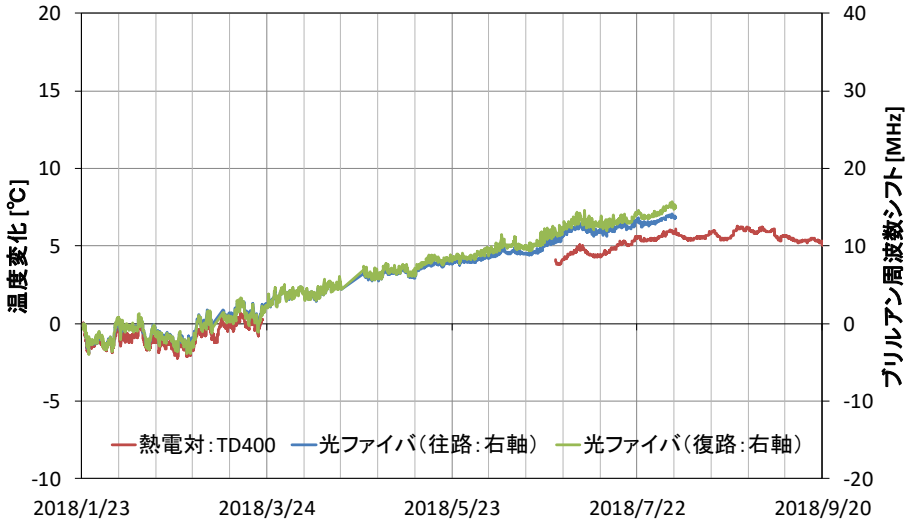


図 2.3-47　温度計測結果（TD400）

TD600 部分における温度計や光ファイバセンサーケーブルの設置状況を図 2.3-48 に示す。

往路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 740.241m）と復路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 2002.655m）の計測結果を、同じ位置の温度計結果とともに図 2.3-49 に示す。温度変動は少ないものの、光ファイバは概ね温度計による傾向と同様であった。

図 2.3-48　温度計などの設置状況（TD600）

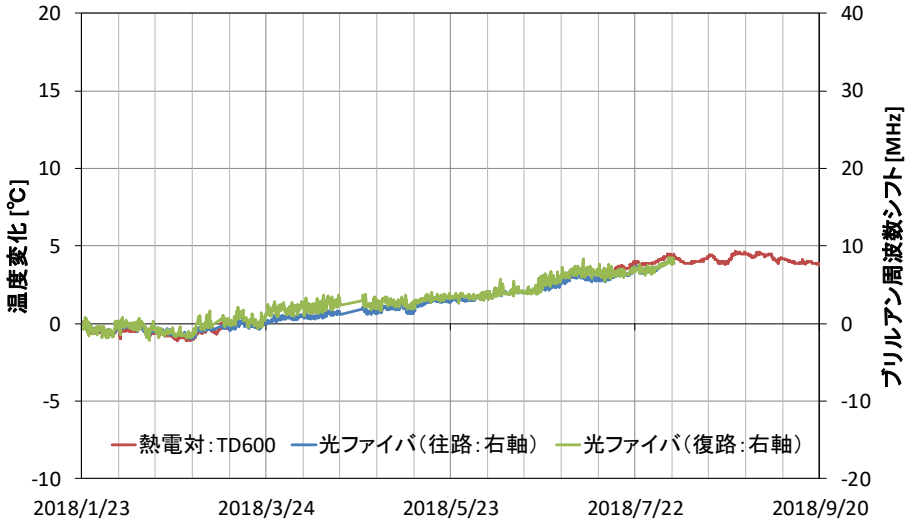


図 2.3-49　温度計測結果（TD600）

TD800 部分における温度計や光ファイバセンサーケーブルの設置状況を図 2.3-50 に示す。

往路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 530.797m）と復路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 2212.304m）の計測結果を、同じ位置の温度計結果とともに図 2.3-51 に示す。温度変動は少ないものの、光ファイバは概ね温度計による傾向と同様であった。

図 2.3-50　温度計などの設置状況（TD800）

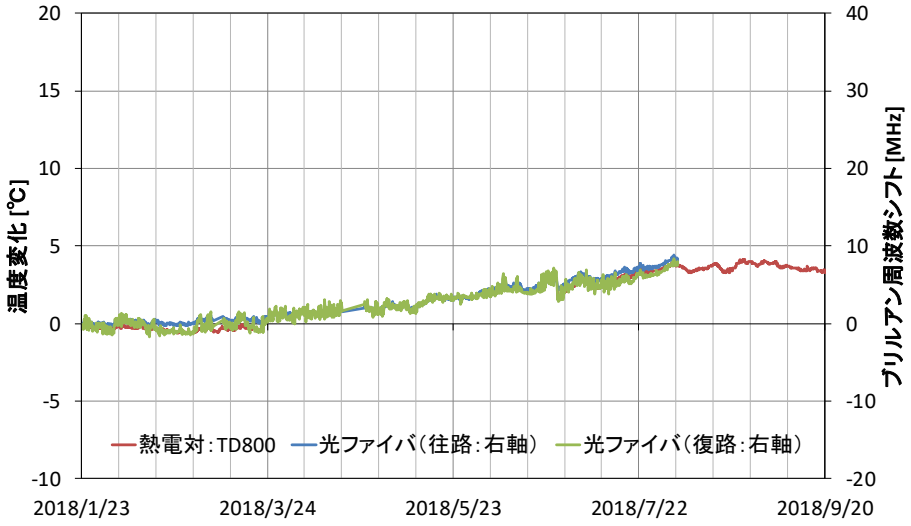


図 2.3-51　温度計測結果（TD800）

TD1000 部分における温度計や光ファイバセンサーケーブルの設置状況を図 2.3-52 に示す。

往路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 320.121m）と復路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 2422.159m）の計測結果を、同じ位置の温度計結果とともに図 2.3-53 に示す。温度変動は少ないものの、光ファイバは概ね温度計による傾向と同様であった。

図 2.3-52　温度計などの設置状況（TD1000）

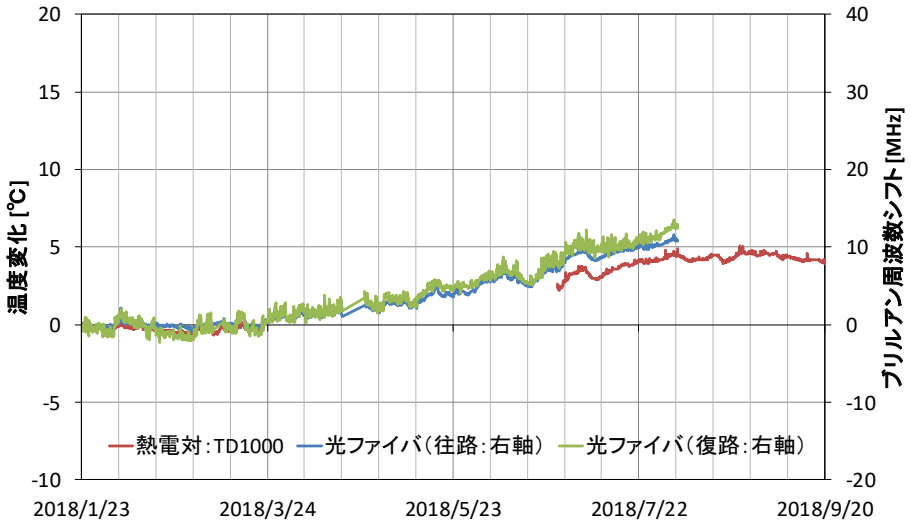


図 2.3-53　温度計測結果（TD1000）

ピット部分における温度計や光ファイバセンサーケーブルの設置状況を図 2.3-54 に示す。

往路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 149.075m）と復路の光ファイバ（図 2.3-41 内における 2594.231m）の計測結果を、同じ位置の温度計結果とともに図 2.3-55 に示す。光ファイバは概ね温度計による傾向と同様であった。ここでは、往路と復路の光ファイバ上の位置が大きく異なるため、復路側（約 2594m 位置）が往路側（約 149m 位置）よりもばらつきが目立った。

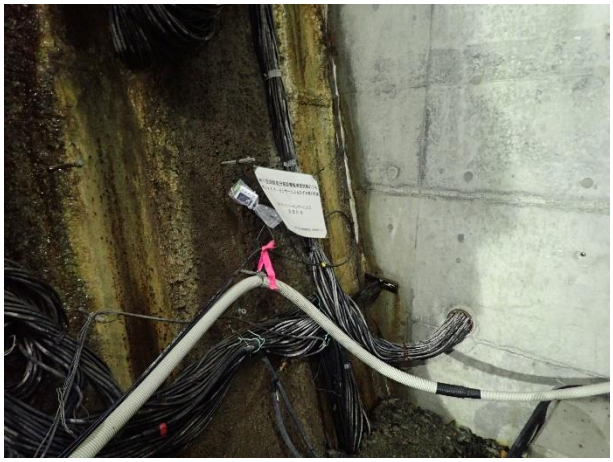


図 2.3-54　温度計などの設置状況（ピット部）

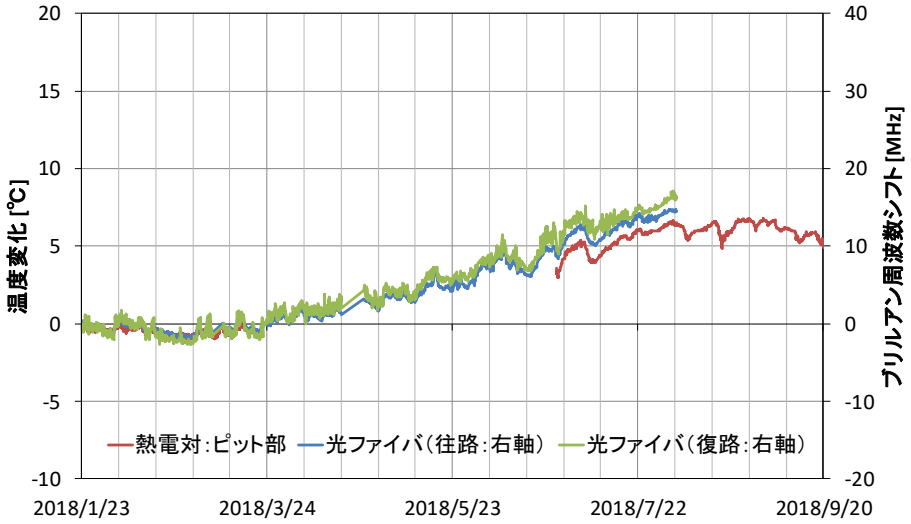


図 2.3-55　温度計測結果（ピット部）

(6) まとめ

実規模施設を活用し、光ファイバセンサーによる計測システムを用いて、ひずみ・温度の連続計測を実施した。

実規模施設の上部低拡散層（10.2×2.1m²）において、ひずみ計測用光ファイバセンサー（内部光ファイバと被覆が一体化されたセンサー）を 300mm 間隔に格子状に全長設置し、連続的な計測を実施した（全長約 540m）。同範囲の中央部には約 0.2mm 幅程度の既設ひび割れが存在している。ブリルアン散乱を利用したひずみ分布計測結果によれば、2 月から 8 月の温度上昇にかけて、全体に正方向（引張ひずみ方向）に変化した。しかし、既設ひび割れ位置では、温度上昇にかけて、負方向にひずみが変化した。近傍の温度計の計測結果と比較すると、既設ひび割れ位置でのひずみは逆相関があり、温度上昇によってひび割れ開口が閉じ、温度低下によってひび割れ開口が開く結果が光ファイバセンサーによって得られた。

実規模施設の側部低拡散層（2.6×8.0m²）において、ひずみ計測用光ファイバセンサーを約 500mm 間隔に水平方向に四条分で全長設置し、連続的な計測を実施した（全長約 380m）。同範囲の中央部には約 0.1～0.3mm 幅程度の既設ひび割れが、光ファイバセンサーに直交するように三カ所存在している。ブリルアン散乱を利用したひずみ分布計測結果によれば、2 月から 8 月の温度上昇にかけて、全体に正方向（引張ひずみ方向）に変化した。しかし、既設ひび割れ位置では三カ所とも、温度上昇にかけて、負方向にひずみが変化した。これらは上部低拡散層の結果と同様であった。つまり、近傍の温度計の計測結果と比較すると、既設ひび割れ位置でのひずみは逆相関であった。既設ひび割れ部にはクリップゲージを取り付けて連続計測を行ったが、それによる開口変位量計測結果は近傍の温度計の計測結果と逆相関があり、おおよそ-10μm/℃の関係性があった。ただし、クリップゲージのコマ（エポキシ接着剤によりコンクリートピット表面に接着）が夏季の高湿度下で落下が頻発した。

実規模施設の手前コンクリートピット（7.5×5.1m²）において、ひずみ計測用光ファイバセンサーを 300mm 間隔に格子状に全長設置し、連続的な計測を実施した（全長約 700m）。同範囲は全体的に、KK シート工法による打継処理がなされており、表面には凹凸がある。ブリルアン散乱を利用したひずみ分布計測結果によれば、2 月から 8 月の温度上昇にかけて、全体に正方向（引張ひずみ方向）に変化した。上部低拡散層や側部低拡散層でみられたような、既設ひび割れによるひずみ分布の不連続点はみられなかった。

実規模施設のアクセス坑道沿いにおいて、温度計測用光ファイバセンサーケーブル（内部光ファイバと被覆が縁切りされたケーブル）を敷設し、連続的な計測を実施した（全長約 2750m）。ブリルアン散乱を利用した温度分布計測結果によれば、併設した温度計の計測結果と比較して、概ね傾向は一致した。一部で結果に差がみられた箇所があったが、ケーブルに加わった変形などが内部の光ファイバに伝わったためと考えられる。

2.3.2 試験体を用いた事前試験

(1) はじめに

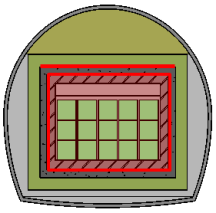
実規模施設を利用した、光ファイバセンサーによるひび割れ計測試験は、施設に人為的に発生させるひび割れを光ファイバセンサーで検知できることを確認する計画である。そのため、実規模施設のセメント系材料に過大な損傷を与えず、かつ、確実にひび割れを誘発できる手法が必要である。本事前試験では、平成 29 年度の地下空洞型処分施設機能確認試験[4]でひび割れ誘発手法の候補として選定した標準パッカー工法の、実規模施設を用いた試験への適用性を確認した。また、これに併せて、事前試験で発生させるひび割れを対象として、光ファイバセンサーによる計測を行った。

1) 人為的なひび割れ誘発手法検討の流れ

実規模施設を活用した試験では、セメント系材料の表面に人為的なひび割れを発生させて、そのときに生じるひずみを光ファイバセンサーで計測する。このとき、人為的にひび割れを発生させる手法が必要であるが、試験対象とする上部低拡散層と手前コンクリートピットのうち、手前コンクリートピットは部材寸法が大きい上、内部や隣接の部材から拘束されている鉄筋コンクリート構造物であるため、適切な大きさのひび割れを誘発できない可能性があり、一方で、上部低拡散層はモルタル層であるため、むしろ過大なひび割れを発生させてしまう恐れがある。

このように、試験を実施するにあたり、実規模施設に過大な損傷を与えず、かつ、確実にひび割れを誘発させる手法を検討する必要がある。表 2.3-8 にひび割れ誘発手法の選定の流れを示す。平成 29 年度の地下空洞型処分施設機能確認試験[4]では、1.2m×1.2m×60 ㎝の供試体ブロックを用いた要素試験を実施し、人為的なひび割れ誘発手法の候補として、標準パッカー工法を選定した。標準パッカー工法の作業状況を図 2.3-56 に示す。また、上部低拡散層や手前コンクリートピットを模擬した 2.0m×3.0m×60(70cm)のブロック供試体を、事前試験に供する試験体として、図 2.3-57 のとおり製作している。

表 2.3-8　ひび割れ誘発手法の選定に向けた流れ

項目	要素試験	事前試験	実規模施設を活用したひび割れ計測試験
時期	平成 29 年度	平成 30 年度 8 月	平成 30 年度 10 月
目的	実規模施設にひび割れを誘発する手法について、候補を選定する。	候補選定したひび割れ誘発手法が、実規模施設を用いたひび割れ計測試験に適用可能であることを確認する。	光ファイバセンサーを利用して、実規模施設に発生させるひび割れの形状や大きさを検知できることを確認する。
対象	供試体ブロック 50cm×50cm×50cm 1.2m × 1.2m × 60cm 程度 	実規模施設を想定した試験体 2m×3m×60cm（70cm） 	実規模施設 上部低拡散層と手前コンクリートピット 

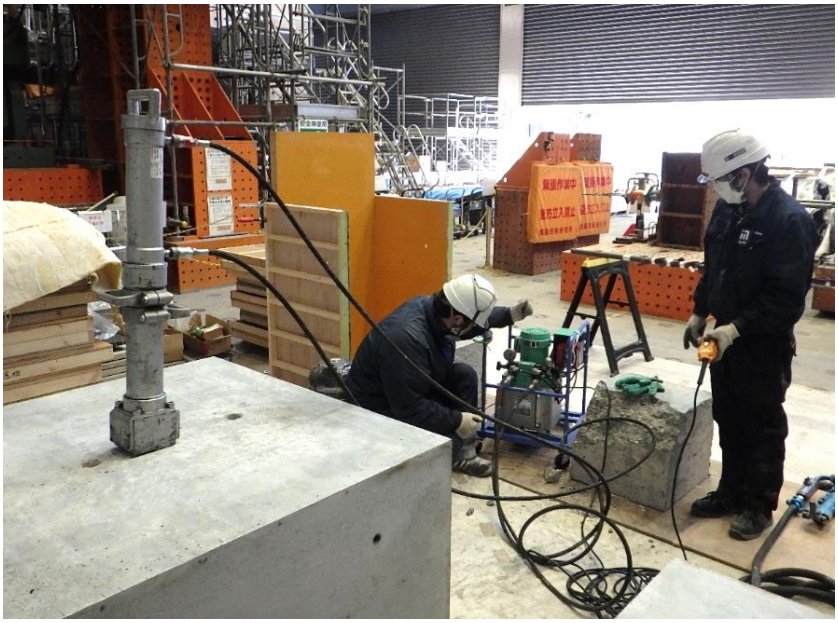


図 2.3-56　標準パッカーの施工状況（平成 29 年度要素実験）

図 2.3-57　事前試験用供試体

2）事前試験の目的

事前試験は、標準パッカー工法の実規模施設を活用したひび割れ計測試験への適用性を確認するために実施する。平成 29 年度に実施した要素試験では、無筋コンクリートの試験体は、0.1mm 程度のひび割れが発生したあと、さらに加圧を続けると、瞬時にひび割れ幅が拡大して、幅が 2mm 以上の貫通ひび割れが生じた。事前試験に用いる試験体の部材寸法は要素試験よりも大きく、また、均しコンクリート上に製作されているため、要素試験に比較するとひび割れ幅は拡大しにくいと考えられるが、どの程度、ひび割れ幅を制御しながら拡大することが可能であるか、確認する必要がある。

一方、鉄筋コンクリートの試験体は要素試験において、30cm ピッチで標準パッカーを配置したときに、標準パッカーの間で 0.35mm 程度のひび割れを誘発させられることを確認している。より部材寸法が大きくなる事前試験においても、同様にひび割れを誘発することが可能であるか確認する必要がある。

以上のように、上部低拡散層を模擬した無筋コンクリート試験体では標準パッカーのひび割れ制御性の確認を、手前コンクリートピットを模擬した鉄筋コンクリート試験体では寸法が大きな部材に対してもひび割れを発生させられることを確認することが、本試験の目的である。

なお、本試験では試験体に光ファイバセンサーを 30cm 間隔の格子状に貼りつけており、実規模施設を用いたひび割れ計測試験の施工条件を模擬している。この光ファイバセンサーを用いて、人為的に発生させるひび割れを対象としたひずみの計測も実施することとした。

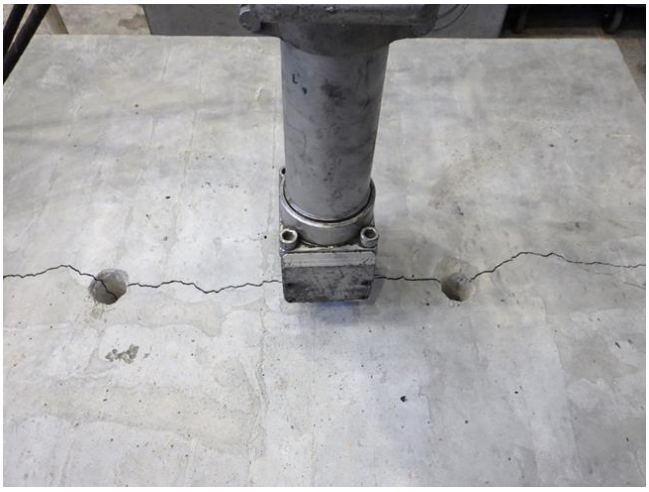


図 2.3-58　無筋コンクリートのひび割れ発生状況（要素試験）

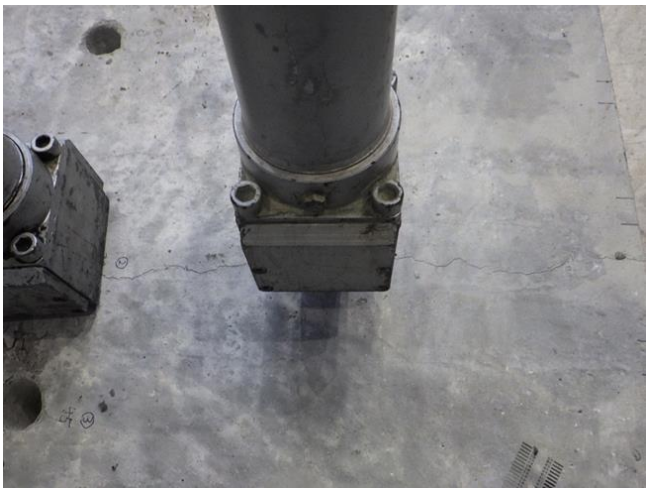


図 2.3-59　鉄筋コンクリートのひび割れ発生状況（要素試験）

(2) 試験方法

1) 対象部材

a. 供試体の寸法

平成 29 年度の地下空洞型処分施設機能確認試験[4]で製作した 4 体の試験体を対象とした。図 2.3-60 に示すように、4 つの試験体は部材厚さ 10cm の均しコンクリート上に製作されており、上部低拡散層を模擬した試験体 No.1 と No.3 は 2.0m×3.0m×60cm の無筋コンクリート、手前コンクリートピットを模擬した試験体 No.2 と No.4 は 2.0m×3.0m×70cm の鉄筋コンクリートである。

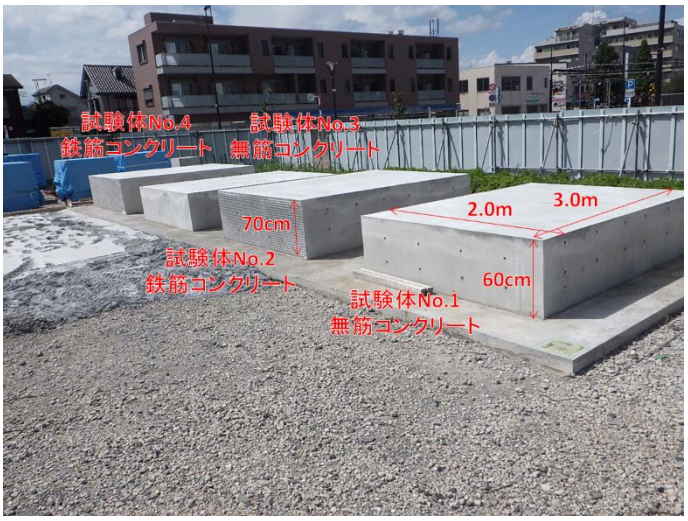


図 2.3-60　事前試験用供試体の寸法

b. 供試体の強度

平成 26 年度の地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験報告書[5]によると、実規模施設を活用したひび割れ計測試験でひび割れを誘発させる上部低拡散層及び手前コンクリートピットは、それぞれ 113.5N/mm²（現場水中養生、材齢 365 日）、91.4N/mm²（現場水中養生、1200 日）であり、強度レベルが大きい部材であることが分かる。

実規模施設が示すコンクリートやモルタルの強度をできる限り再現できるように、事前試験に用いる試験体には予備強度 61N/mm² の高強度コンクリートを打ち込んでいる。

試験体の配合を表 2.3-9 に、打設したコンクリートの現場封緘養生の供試体の圧縮強度試験結果を表 2.3-10 に示す。実規模施設には及ばないものの、試験時点で 86.7N/mm² の強度を有している。

表 2.3-9　試験体の配合

セメント種別	呼び強度（N/㎟）	水結合材比(%)	単位重量（kg/㎥）			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
普通	61	32.1	170	530	780	913

表 2.3-10　打設したコンクリートの圧縮強度

現場封緘養生	圧縮強度（N/mm²）			
	1	2	3	平均
7 日	63.2	61.5	61.6	62.1
28 日	76.7	75.5	76.8	76.3
91 日	85.8	84.6	85.1	85.1
171 日（試験時）	86.4	86.0	87.8	86.7

c．手前コンクリートピットを模擬した試験体の配筋

図 2.3-61、図 2.3-62 に、鉄筋コンクリート用試験体の配筋図を示す。実規模施設の配筋を模擬して、底面と上面は長軸方向に D29、短軸方向に D25 を配置し、せん断補強筋には D16 のヘッドバーを使用している。

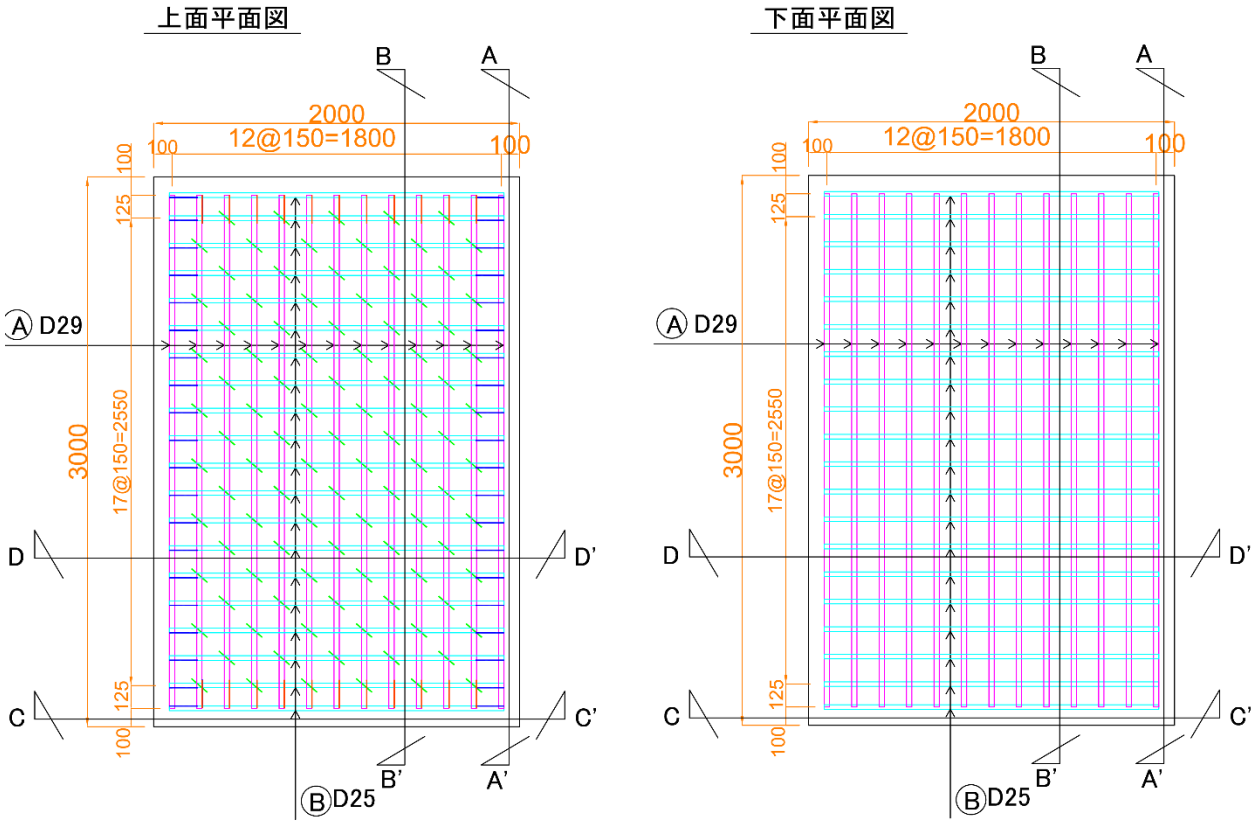


図 2.3-61　鉄筋コンクリート供試体の配筋図（平面図）

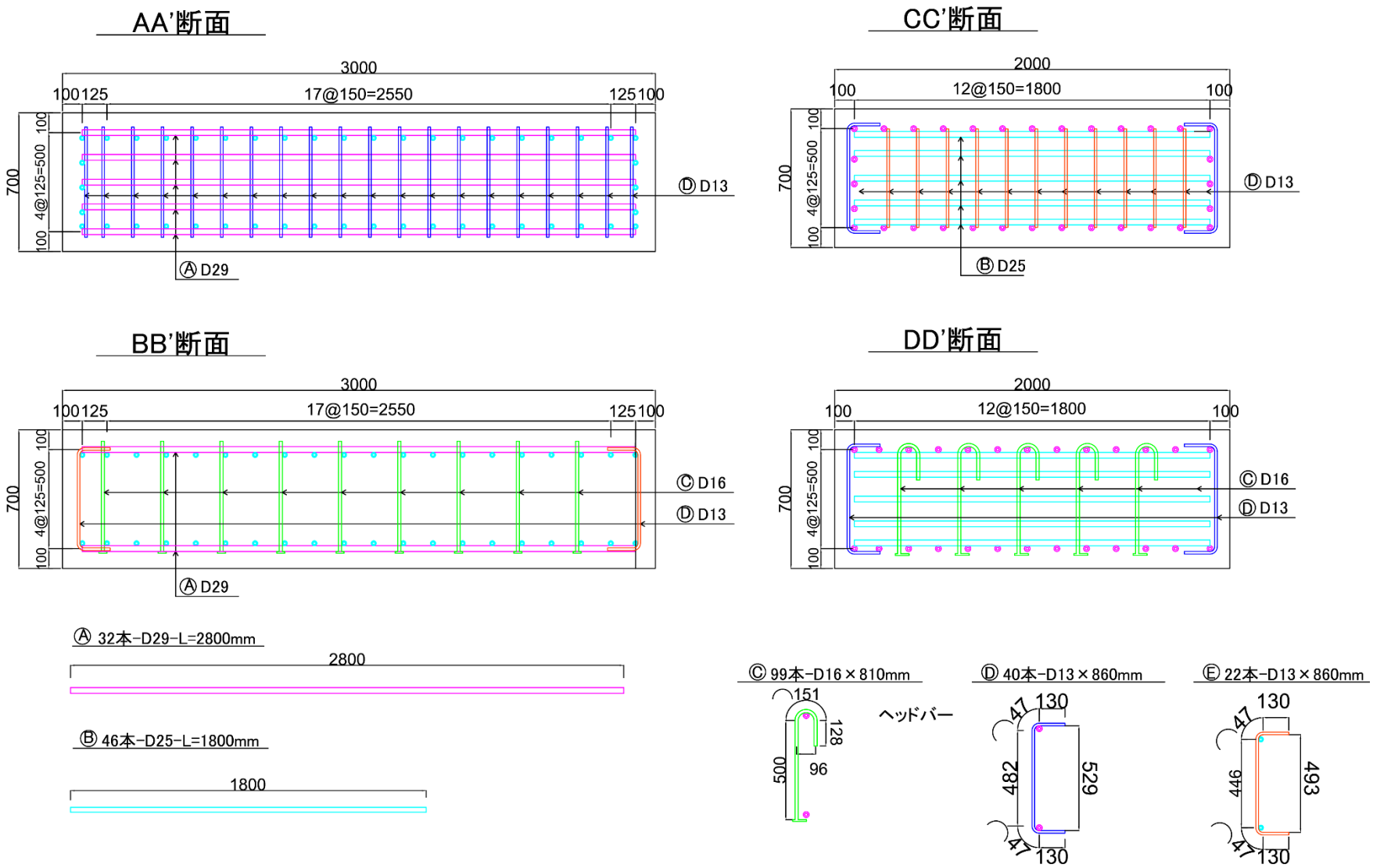


図 2.3-62　鉄筋コンクリート試験体の配筋図（断面図と鉄筋詳細図）

2）ひび割れ誘発手法

a．標準パッカー工法の概要

標準パッカー工法は、くさびの原理を用いてコンクリートを割る手法である。図 2.3-63 に示すように、ポンプユニットにより発生させる油圧力を利用して力を加える。

図 2.3-64 にパッカーの側面図を、図 2.3-65 に破壊原理を示す。油圧力を加えると、パッカー内部より、徐々に「矢」が伸びてくる。このとき矢の進展に合わせて、「羽根」が拡がり、岩やコンクリートを割ることができる。削岩力は最大 650t（85MPa）程度である。

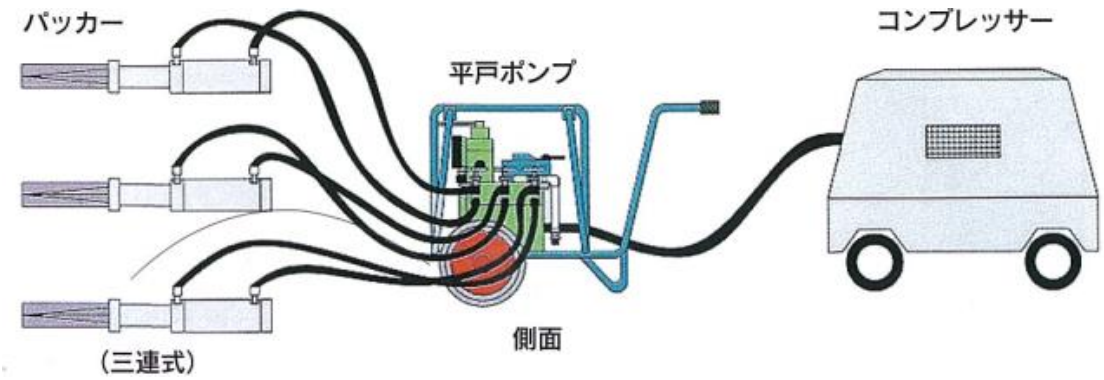


図 2.3-63　標準パッカーで使用する機材[6]

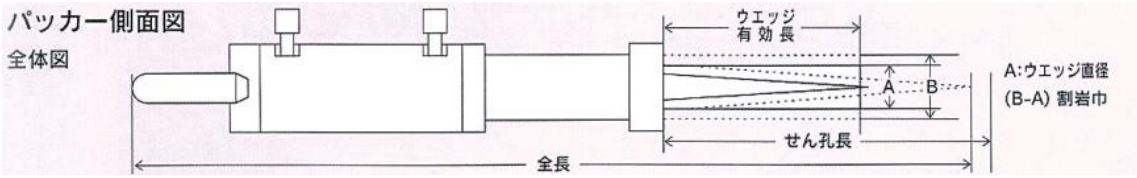


図 2.3-64　標準パッカーの側面図[6]

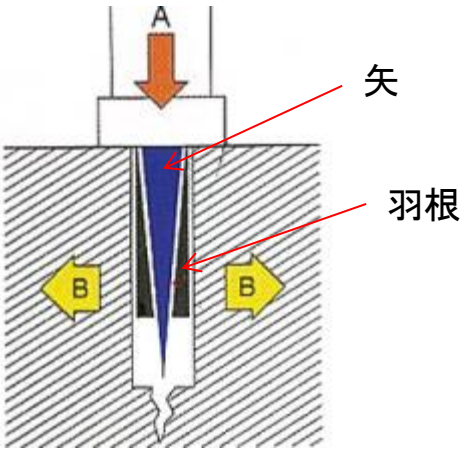


図 2.3-65　標準パッカーの破壊原理[6]

標準パッカーの羽根の断面形状は図 2.3-66 に示すようなかまぼこ状の形状をしていて、羽根の拡張する力は矢印の方向に発生する。標準パッカーを設置する向きによって、ひび割れを発生させる方向を制御できる点が特徴的である。

図 2.3-66　標準パッカーの断面

標準パッカーは長さ 1m、重量 30～35kg 程度であり、人が手に持って扱うことが可能である。打撃を加えずに、油圧でくさびを動かすので、破片が飛び散る危険性は極めて低く、目視でひび割れを確認しながら作業を行うことも可能である。また、矢の上下動を図 2.3-68 に示す制御用リモコンにより操作することができる。下ボタンを押している間、矢の伸展が進み、岩やコンクリートを割裂する力が加わるが、下ボタンを押すのをやめると、矢の伸展はとまり、ひび割れが拡がるのを抑制することができる。

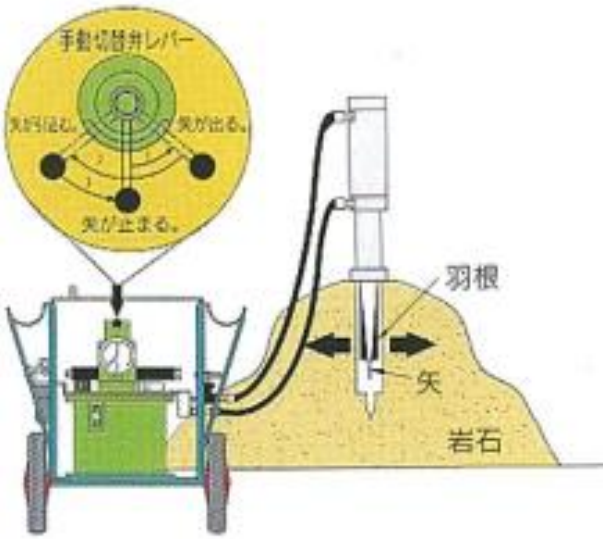


図 2.3-67　標準パッカーによるひび割れ誘発イメージ[6]

図 2.3-68　標準パッカー制御用リモコン

b. 事前試験に使用した機械

試験に使用した標準パッカー工法の機材の一覧を表 2.3-11 に示す。

表 2.3-11　使用機材一覧

作業内容	機械名称	型式
削岩機による削孔	削岩機（東洋空気製作所）	TJ-15
	ｺﾝﾌﾟﾚｯｻｰ（北越工業）	PDS-100
	集塵機（LIFELEX）	JFX-50-095
標準パッカーによるひび割れ誘発	標準パッカー	K25W40A400
	油圧ポンプ	HM-103,HM-103HY

3）試験の手順

a．光ファイバセンサーの貼付け

実規模施設を活用したひび割れ計測試験では、光ファイバセンサーが 30cm 間隔で格子状に貼りつけられた部材にひび割れを発生させる必要がある。足の踏み場が限られており、削岩機による削孔作業によって、光ファイバセンサーを破損することも懸念される。

そこで本試験では、光ファイバセンサーを 30cm 間隔で格子状に貼り付けた状態で、ひび割れを誘発させることとした。また、併せて、誘発させたひび割れを光ファイバセンサーで検知できることを確認するための計測を行うこととした。

図 2.3-69　光ファイバセンサーの貼付け作業状況

図 2.3-70　光ファイバセンサーが貼られた試験体

b．鉄筋の探査

手前コンクリートピット部を模擬した鉄筋コンクリートの試験体では、削岩機で削孔する穴が鉄筋と干渉して、削岩できない可能性がある。光ファイバセンサーの貼付け作業と並行して、電磁波レーダー式の鉄筋探査機を用いて鉄筋探査を行った。図 2.3-71 に鉄筋探査状況を示す。

図 2.3-71　鉄筋探査状況

c．削岩機による削孔

光ファイバセンサーが貼りつけられた試験体の上で、削岩機による削孔作業を行い、直径 42mm、深さ 60cm の穴を削孔した。削岩機による削孔状況を図 2.3-72 に、削孔後の穴の状況を図 2.3-73 に示す。計画通りに穴を削孔することができており、光ファイバセンサーを傷つけることなく削孔できること、事前に鉄筋探査を行うことで、鉄筋に干渉せずに、穴を削孔できることが確認された。

図 2.3-72　削岩機による削孔状況

図 2.3-73　削孔完了状況

なお、削岩機による削孔作業は大きな音が発生するため、作業場所を図 2.3-74 に示すように防音シートで覆った状態で作業を実施した。

図 2.3-74　防音シートによる囲い

d. 標準パッカー工法によるひび割れ誘発

削孔した穴に図 2.3-75 に示すように標準パッカーを設置し、油圧ポンプにより加圧してひび割れを誘発させた。ひび割れが発生したら加圧を停止して、光ファイバセンサーによるひずみ計測、クラックゲージを用いたひび割れ幅の測定を行うこととした。また、光ファイバセンサーによる計測の終了後、再度加圧を行って、ひび割れ幅の拡大が目視で確認された段階で、加圧を停止し、再度、光ファイバセンサーによるひずみ計測、クラックゲージを用いたひび割れ幅の計測を行った。

標準パッカーでは最大 85MPa まで加圧することが可能であるが、本来この機械は鉄筋コンクリートに対して使用することは想定されていない。最大圧力まで加圧すると、予期せぬトラブルが生じる可能性も考えられたことから、本試験では 70MPa を最大の加圧力とした。

図 2.3-75　標準パッカーによるひび割れ誘発状況

(3) 試験結果（ひび割れ発生状況）

1) 上部低拡散層を模擬した試験体

a. 標準パッカーの設置位置

試験体 No.1 を用いて、図 2.3-76 に示すように、まず光ファイバセンサーに直交する方向に、次に斜めに交わる方向にひび割れを発生させた。

光ファイバセンサーに直行する方向のひび割れでは、60cm 間隔、斜めに交わる方向にひび割れを発生させる際は、85cm 間隔で標準パッカーを設置した。

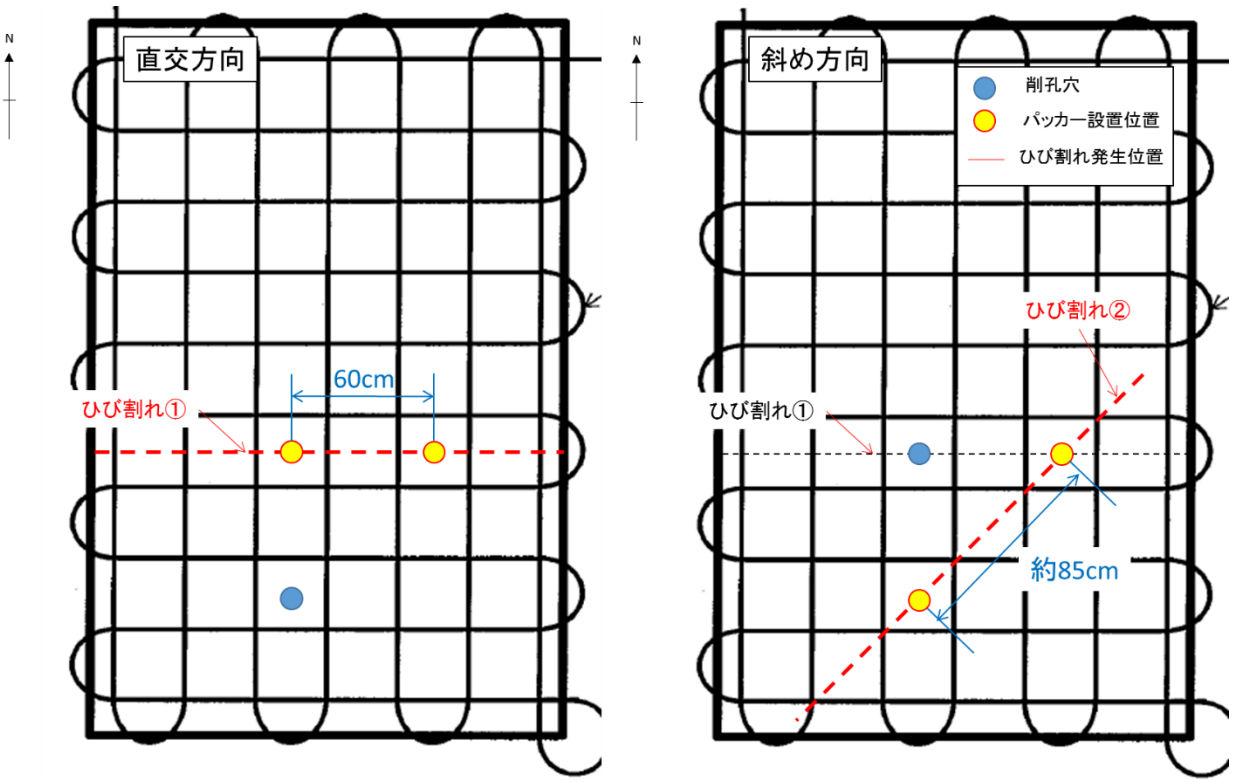


図 2.3-76　上部低拡散層を模擬した試験体に発生させるひび割れ

b. ひび割れの誘発

(a) 直交方向のひび割れ

光ファイバセンサーの直交方向に発生させたひび割れの拡大状況を図 2.3-77 に示す。無筋コンクリートである試験体 No.1 では、標準パッカーが約 40MPa を示したとき、予め想定していた方向に、0.1mm を下回るひび割れが発生した。一度標準パッカーの加圧を停止して、光ファイバセンサーによる計測を実施した後、再度標準パッカーによる加圧を行った。その結果、40MPa を超えたときに、瞬時に 0.35~0.45mm の貫通ひび割れが生じた。なお、図 2.3-77 右側の図には、ひび割れと光ファイバセンサーの交点で測定したひび割れ幅を記載している。

要素試験と同様に、無筋コンクリートでは、0.1mm 以上のひび割れ幅を制御することができなかった。

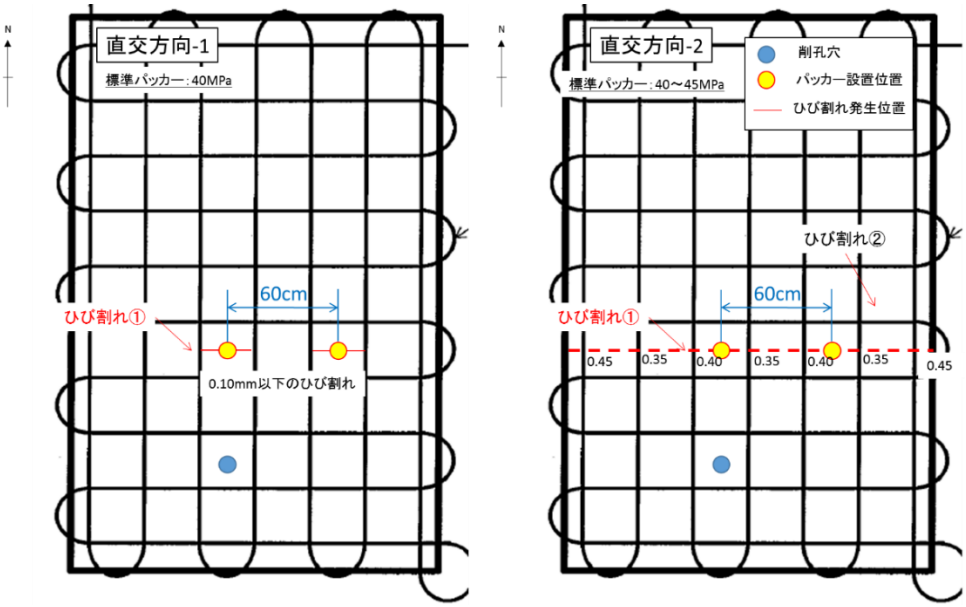


図 2.3-77　試験体 No.1　直交方向のひび割れの拡大状況

図 2.3-78　貫通ひび割れ発生時の状況

(b) 斜め方向のひび割れ

次に、光ファイバセンサーに斜めに交わる方向にひび割れを発生させた。まず、図 2.3-79 に示す位置に標準パッカーを設置して加圧したところ、ひび割れ①の幅だけが拡大し、ひび割れ②にはほとんどひび割れを生じなかった。本試験では、一台の油圧ポンプから、二つの標準パッカーに対して加圧しているため、既にひび割れ生じていて、矢が進展しやすい方の標準パッカーに、選択的に力がかかっていた可能性が高い。

そこで新規にひび割れを発生させる削孔穴にだけ標準パッカーを設置して加圧したところ、約 40MPa のときに、図 2.3-81 に示すように、斜め方向のひび割れを発生させることができた。しかし、このときもひび割れ幅は瞬時に拡大して貫通ひび割れを生じており、幅を制御することはできなかった。

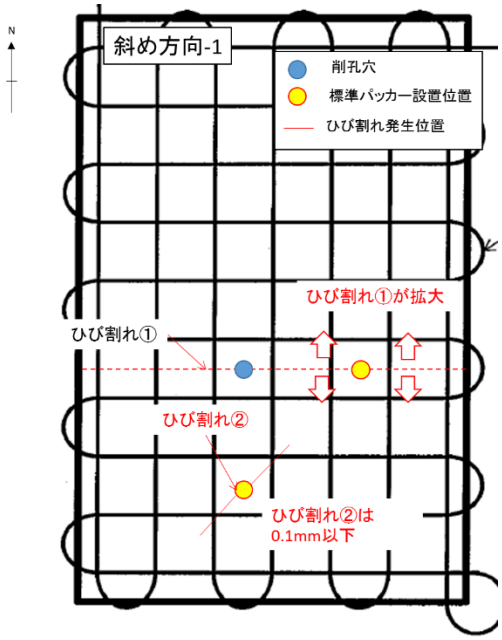


図 2.3-79　試験体 No.1　斜め方向のひび割れの発生状況

図 2.3-80　斜め方向のひび割れ発生時の標準パッカー加圧状況

図 2.3-81　斜め方向のひび割れ発生の発生状況

(c) まとめ

要素試験に比較して大きな部材寸法の試験体を用いて試験を実施したものの、0.1mm 以上のひび割れを制御することはできず、0.35~0.45mm の貫通ひび割れを瞬時に生じさせてしまう結果となった。実規模施設を活用したひび割れ計測試験でひび割れを発生させる上部低拡散層は、低透水層に覆われている箇所も含めて 11.5m×8.0m と、事前試験の試験体と比べるとはるかに大きな部材であるため、必ずしも幅の大きな貫通ひび割れが瞬時に生じるとは限らないが、目視によって段階的にひび割れ幅を拡大させることが困難なことが明らかになった。

一方で、本試験では、標準パッカーを用いることによって意図した方向にひび割れを誘発できることが確認できている。ひび割れが入ると想定される位置に、予め、ひずみゲージやパイ型ゲージを設置し、加圧中に、リアルタイムでひずみやひび割れ幅を計測することで、ひずみやひび割れ幅を制御しながら試験を実施できると考えられる。

また、無筋コンクリートに斜め方向にひび割れを発生させる際、既にひび割れを発生させるために使用した削孔穴を用いてひび割れを発生させようとすると、斜め方向に新たなひび割れは発生せずに、既に生じさせたひび割れ幅が拡大することが分かった。事前試験で実施したのと同様に、新規にひび割れを発生させる位置に削孔した穴のみを使用して、ひび割れを発生させることとする。

2）手前コンクリートピットを模擬した試験体

a．標準パッカーの設置位置

図 2.3-82 に示すように、試験体 No.2 を用いて光ファイバセンサーに直交方向のひび割れを、試験体 No.4 を用いて斜め方向に交わるひび割れを発生させた。

手前コンクリートピットを模擬した鉄筋コンクリート試験体では、標準パッカーで誘発できる最大のひび割れ幅を把握することを主たる目的とした。直交方向にひび割れを発生させるときは、30cm 間隔で、斜め方向にひび割れを発生させるときは約 45cm 間隔で標準パッカーを設置している。

なお、直交方向のひび割れを発生させるときは、光ファイバセンサーを用いた計測によってひび割れの進展挙動を追従できることを確認するために、図 2.3-82 に示すように、南側から徐々に標準パッカーの設置位置を北側に移動させて、ひび割れを進展させた。

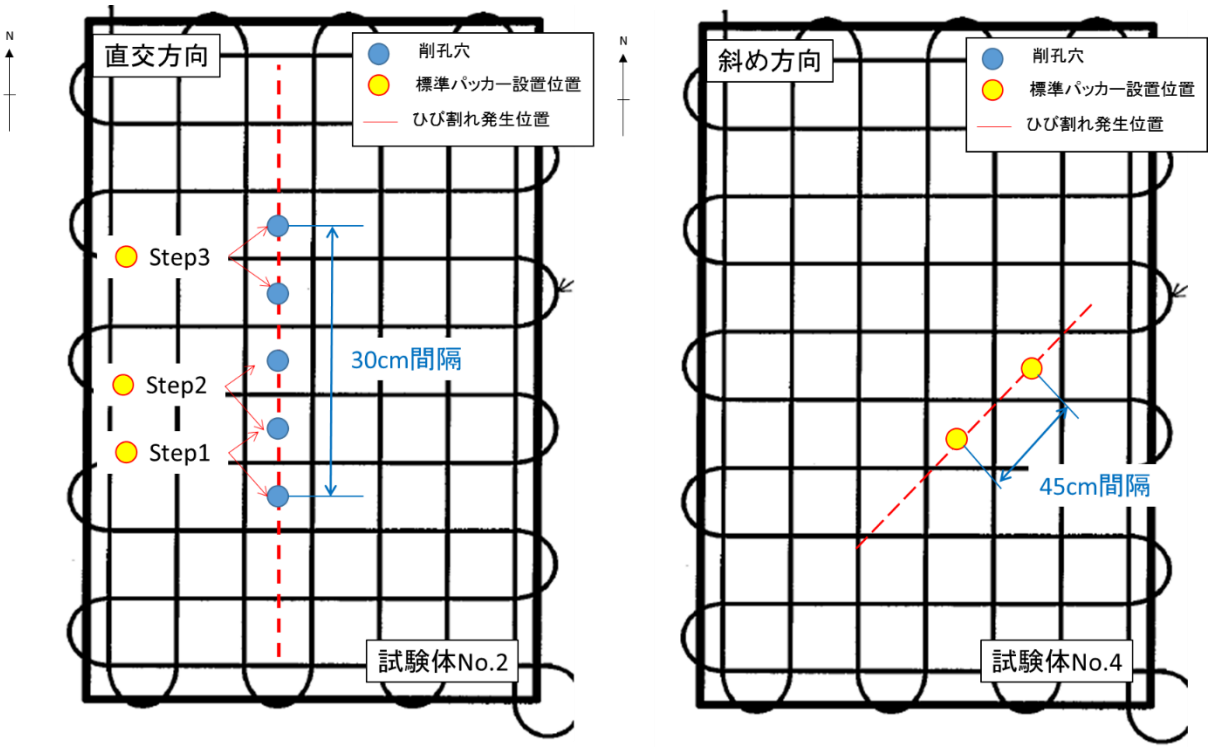


図 2.3-82　手前コンクリートピットを模擬した試験体に発生させるひび割れ

b. ひび割れの誘発

(a) 直交方向のひび割れ

直交方向にひび割れを発生させたときのひび割れ幅を図 2.3-83 と図 2.3-84 に示す。手前コンクリートピットを模擬した試験体では、標準パッカーで 60MPa 程度加圧したときに、0.1mm から 0.2mm 程度のひび割れが生じた。また、70MPa まで加圧することで、最大 0.35mm のひび割れを発生させることが可能であることが分かった。また、このとき貫通ひび割れは生じておらず、加圧位置に近い箇所ではひび割れ幅が大きく、加圧位置から離れるほど、ひび割れ幅は小さくなっている。

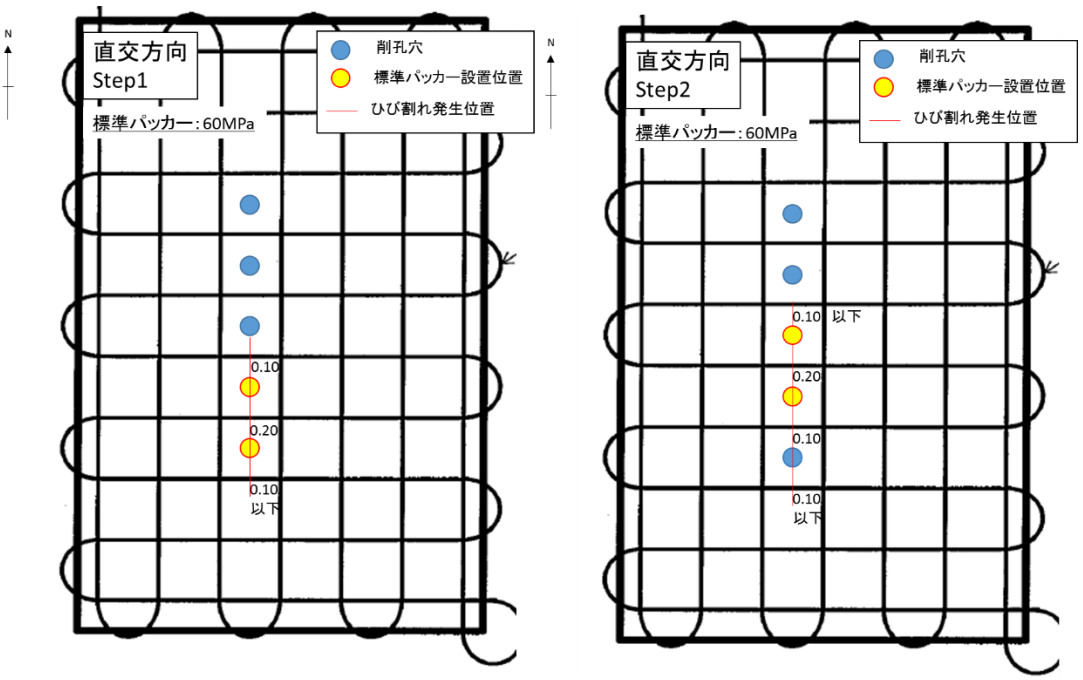


図 2.3-83　試験体 No.2　直交方向のひび割れの幅（STEP1、STEP2）

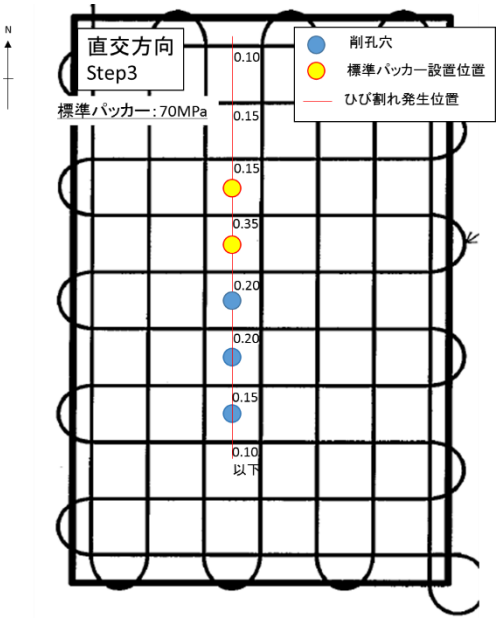


図 2.3-84　試験体 No.2　直交方向のひび割れの幅（STEP3）

図 2.3-85　試験体 No.2　直交方向の試験実施状況

図 2.3-86　試験体 No.2　直交方向のひび割れ発生状況

(b) 斜め方向のひび割れ

斜め方向にひび割れを誘発させたときのひび割れ幅を図 2.3-87 に示す。標準パッカーの設置間隔が約 45cm になる斜め方向であっても、70MPa 程度加圧したときに、0.20mm 程度のひび割れを誘発させられることが分かった。なお、このときも貫通ひび割れは生じていない。

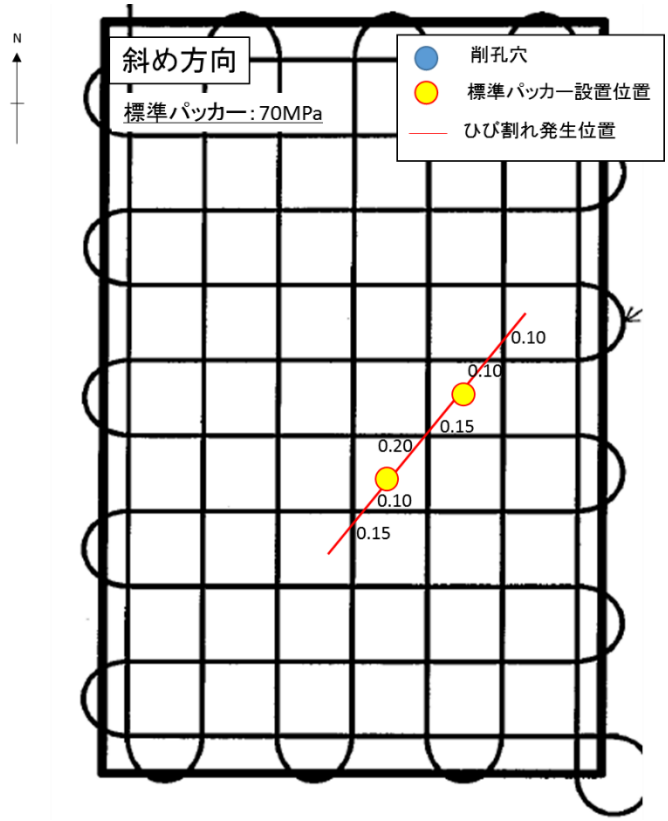


図 2.3-87　試験体 No.4　斜め方向のひび割れの幅

(c) まとめ

手前コンクリートピットを模擬した試験体を用いてひび割れを誘発させた結果、光ファイバセンサーに直交する方向（標準パッカー設置間隔 30cm）では最大 0.35mm、斜めに交わる方向（標準パッカー設置間隔 45cm）では最大 0.20mm のひび割れを誘発できることが分かった。今回発生したひび割れは、部材を貫通したものでなく、標準パッカーの周りでのみ生じたものであったことを考えると、事前試験の試験体で寸法であっても、十分にひび割れの発生を抑制する効果があったものと考えられる。実規模施設はより部材寸法、周囲の拘束が大きい条件であるが、少なくとも 2 つの標準パッカーの間では、ひび割れを誘発することが可能であると考えられる。

3）まとめ

実規模施設を活用したひび割れ計測試験に対する、標準パッカー工法の適用性を確認することを目的として、事前試験を実施した。

上部低拡散層を模擬した試験体では、ひび割れ幅を目視で確認しながら、段階的にひび割れ幅を拡大することを試みたが、要素試験と同様に、瞬時に貫通ひび割れを生じてしまい、ひび割れ幅を制御することはできなかった。一方、手前コンクリートピットを模擬した試験体では、光ファイバセンサーに直交する方向で最大 0.35mm、斜めに交わる方向で最大 0.20mm のひび割れを誘発することができた。実規模施設を用いた試験においても、少なくとも 2 つの標準パッカーの間ではひび割れを誘発できると考えられる。また、いずれの試験体を用いた試験においても、意図した方向にひび割れを発生させることができた。

実規模施設を活用したひび割れ計測試験では、標準パッカー工法によって段階的にひずみやひび割れ幅を増大させていき、加圧ステップ毎に光ファイバセンサーによってひずみを計測する。上述のとおり、目視確認によってひび割れ幅を制御することは困難だったこと、一方で意図した方向にひび割れを発生させることはできたことから、ひび割れが発生すると想定される位置に、予め、ひずみゲージやパイ型ゲージを設置し、リアルタイムで計測される値を参照することで、標準パッカーに作用させる油圧力を制御することが好ましいと考えられる。

(4) 試験結果（光ファイバセンサーによる計測）

目視によるひび割れ発生状況と比較することで、光ファイバセンサーによるひび割れ検知の適用性を検証した。

1) 光ファイバセンサーによる計測方法

光ファイバセンサーの計測パラメータを表 2.3-12 に示す。計測にはブリルアン散乱を利用した PPP-BOTDA 方式を用いた。段階的な加圧ステップごとに、光ファイバセンサーによる計測を繰り返した。

表 2.3-12　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（事前試験）

距離レンジ	100 m
位置分解能	5 cm
サンプリング間隔	2.5 cm
加算回数	2^{13}
周波数掃引範囲	300 MHz　　(10.70~11.00GHz)
掃引周波数ステップ	5 MHz
周波数掃引回数	61
計測時間（単発）	約 160 秒

2) データの評価方法

光ファイバで得られた結果は、位置ごとに得られるブリルアン周波数シフトの変化であり、それに光ファイバセンサーごとの定数を乗じることでひずみ分布（位置 vs.ひずみ）を算出することができる。その結果を、試験体全体で評価しようとすると、光ファイバセンサーを設置した場所以外を何らかの方法で補間する必要がある。ここでは、試験体全体を 10cm 間隔でデータをもたせるために、図 2.3-88 に示すようにバイキュービック補間法を用いた。これは、離散的な標高データからコンター図などを作成する場合などに汎用の方法である。

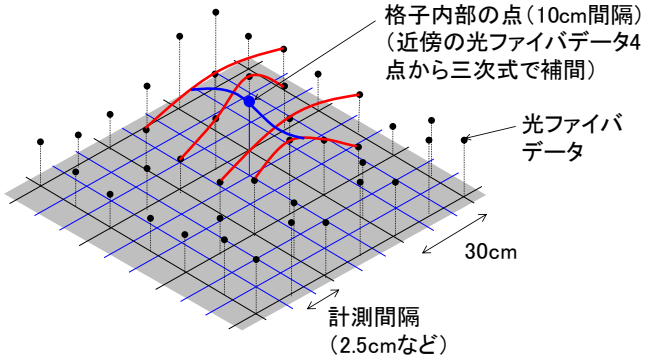


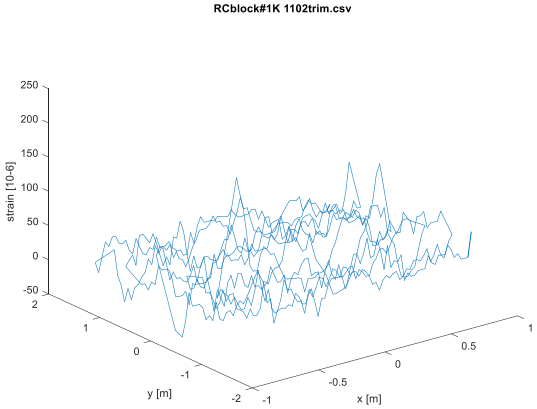
図 2.3-88　解析方法

3）光ファイバセンサーによる計測結果

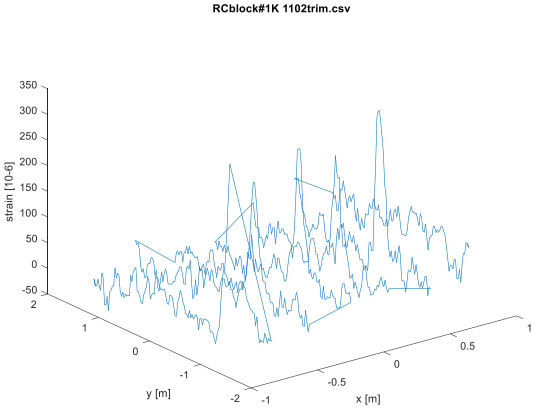
試験結果は、上部低拡散層を模擬した試験体（無筋試験体 No.1）、手前コンクリートピットを模擬した試験体（鉄筋試験体 No.2, No.4）ごとに後述する。

a. 上部低拡散層を模擬した試験体 No. 1

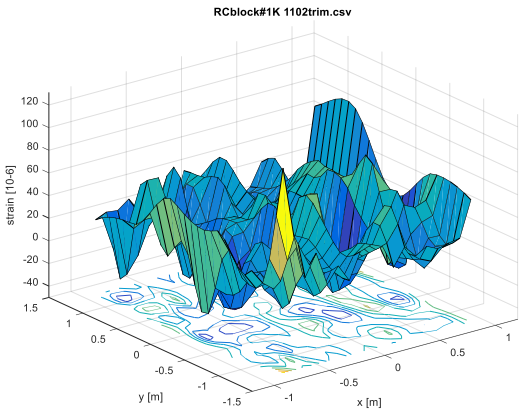
標準パッカーが約 40MPa を示したときに試験体表面に 0.1mm を下回るひび割れが発生した。そのときの計測結果を図 2.3-89 に示す。長辺方向でひび割れを検知している。



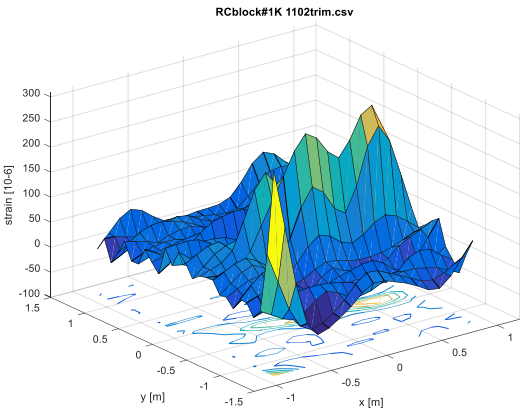
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



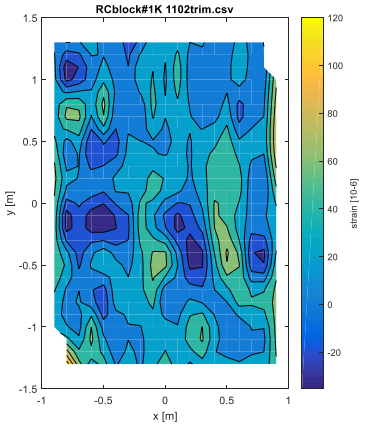
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



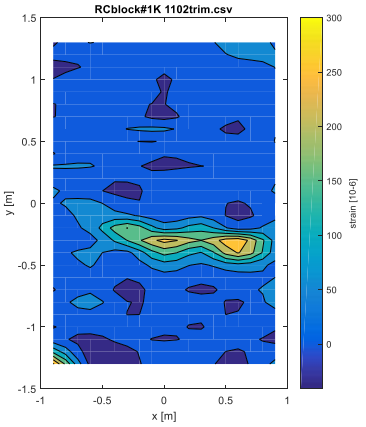
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



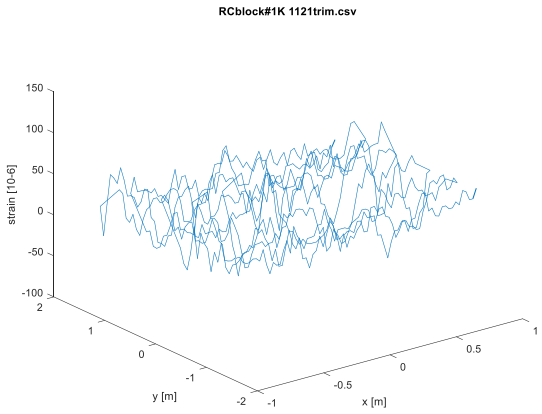
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



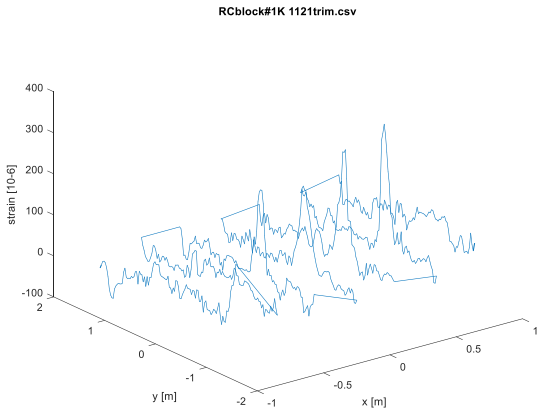
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-89　計測結果 1（無筋試験体 No.1）

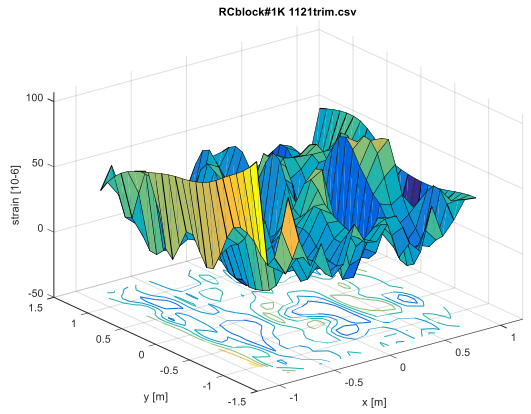
加圧を一旦停止後、さらにパッカーによる加圧を進めた結果、再度 40MPa を超えたあたりで、0.35～0.45mm 幅で部材を貫通するひび割れが生じた。そのときの計測結果を図 2.3-90～図 2.3-92 に示す。長辺方向で検知された局所ひずみ変化が、試験体中央部で最大を示していたもの（図 2.3-90）が、試験体端部に移動（図 2.3-91）し、長辺方向の計 7 本の光ファイバで大よそ一定となった（図 2.3-92）。



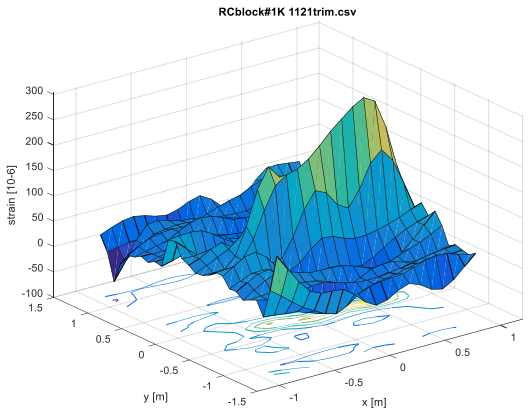
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



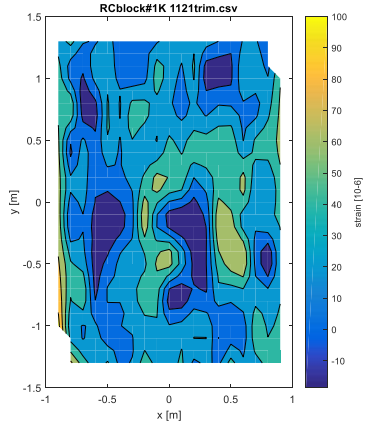
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



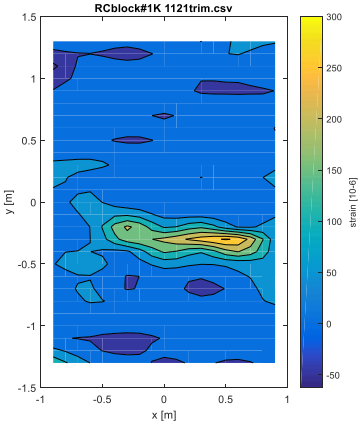
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

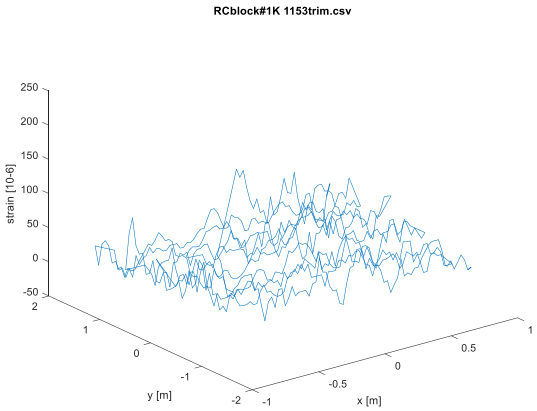


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

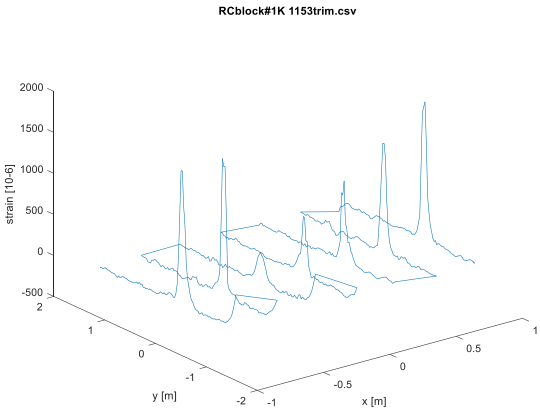


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

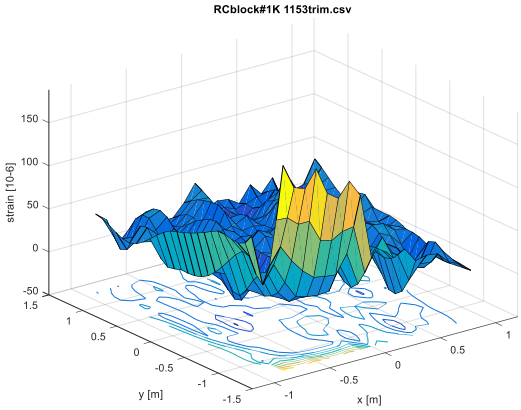
図 2.3-90　計測結果 2（無筋試験体 No.1）



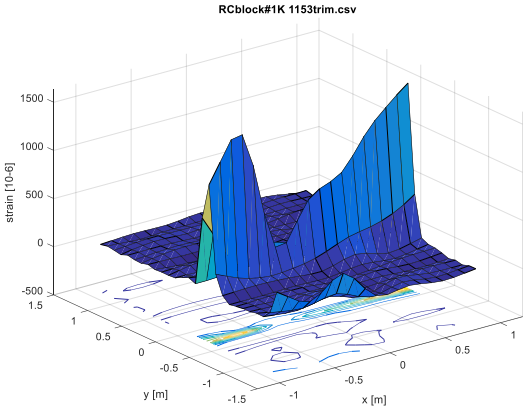
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



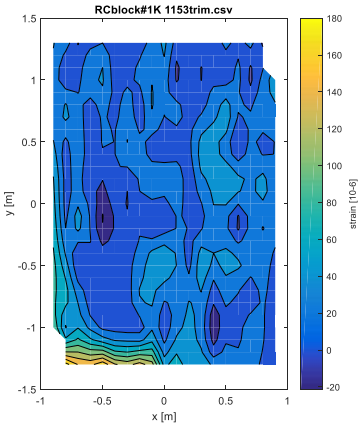
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



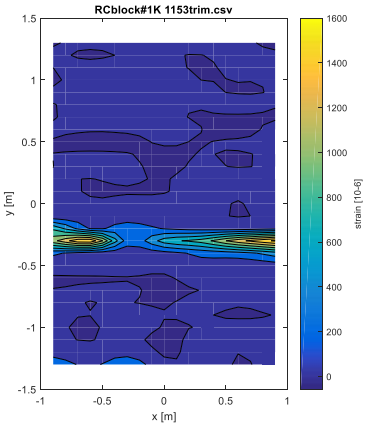
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

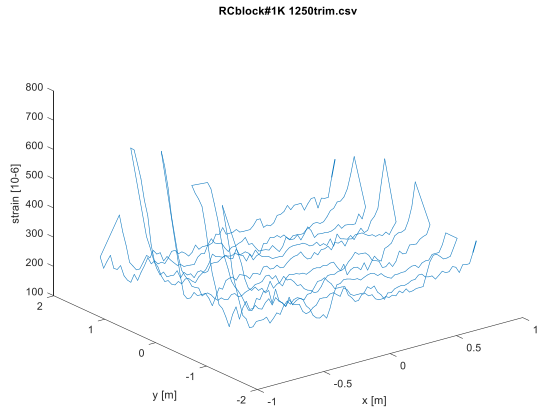


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

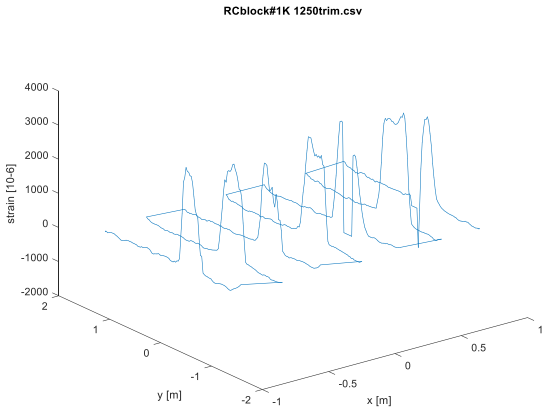


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

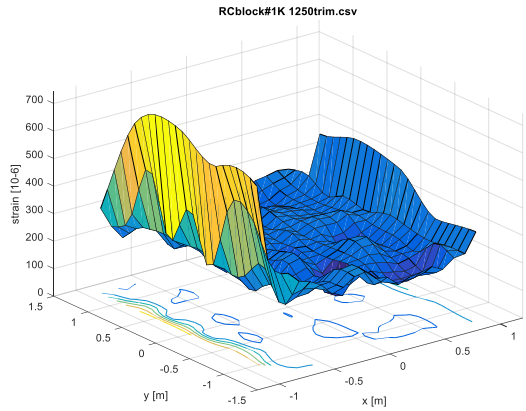
図 2.3-91　計測結果 3（無筋試験体 No.1）



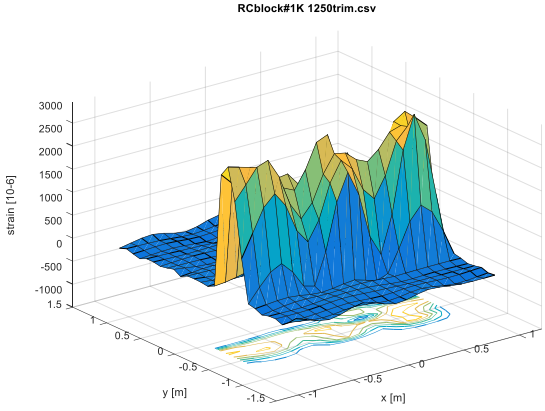
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



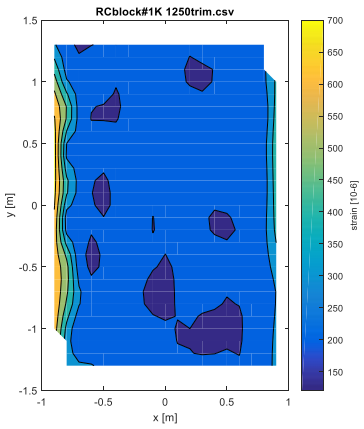
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



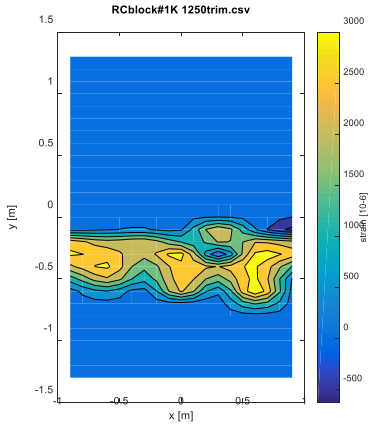
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



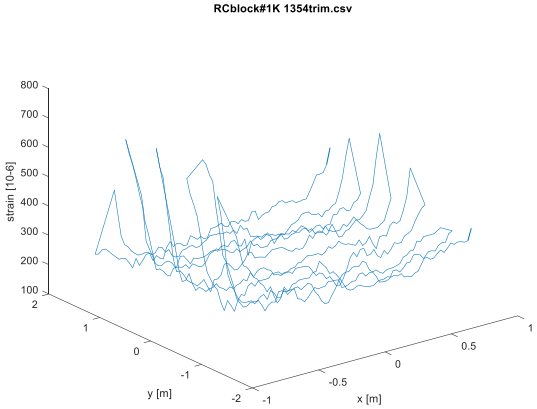
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



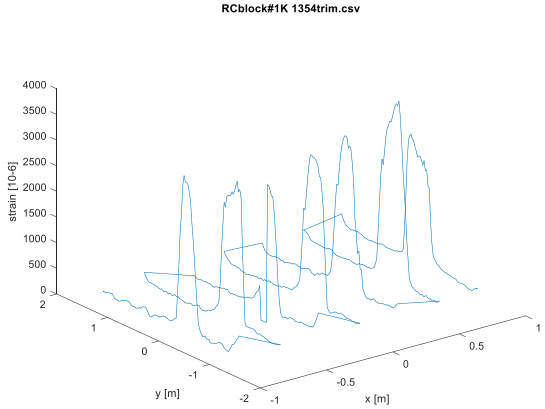
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-92　計測結果 4（無筋試験体 No.1）

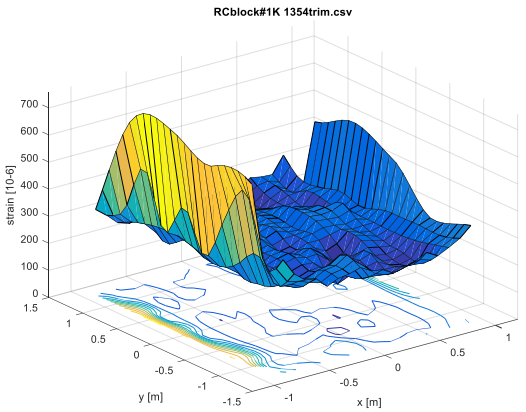
次に、光ファイバセンサーを斜めに交わる方向にひび割れを発生させた。徐々に斜めひび割れのための加圧を上げながら計測した結果を図 2.3-93～図 2.3-95 に示す。短辺方向で徐々に変化する斜めひび割れの様子をとらえることができた。長辺方向では、既に発生済みの直交方向のひび割れによる影響が大きいものの、斜めひび割れの影響がわずかに見える。特に短辺方向で顕著な試験体端部の引張ひずみは、格子状の光ファイバの折り返し部（全長固定していない部分）の影響が生じていると考えられる。



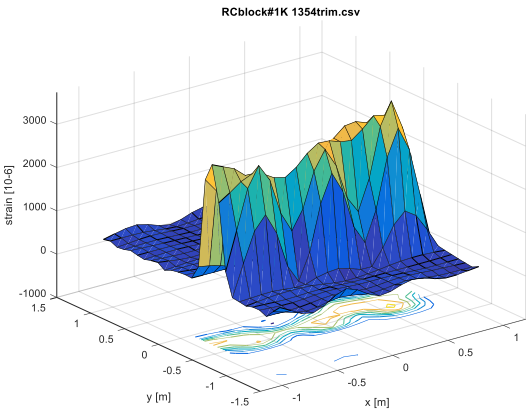
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



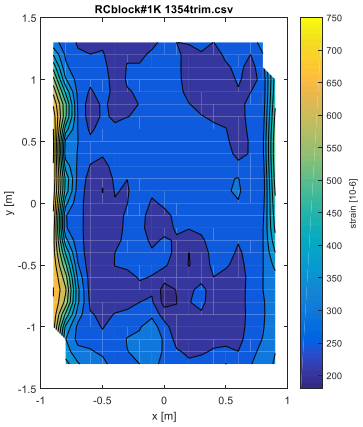
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



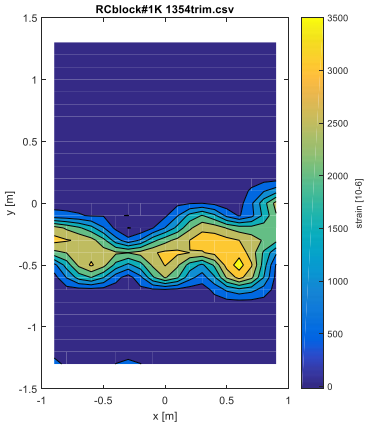
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

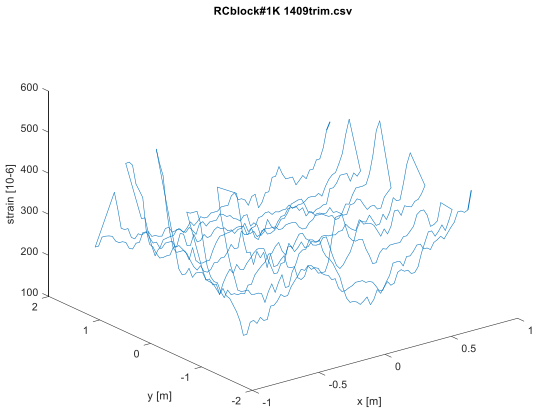


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

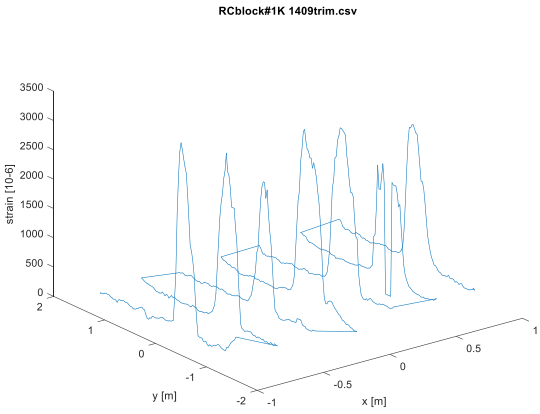


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

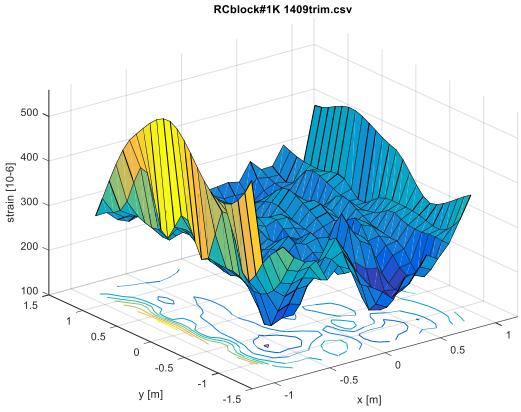
図 2.3-93　計測結果 5（無筋試験体 No.1）



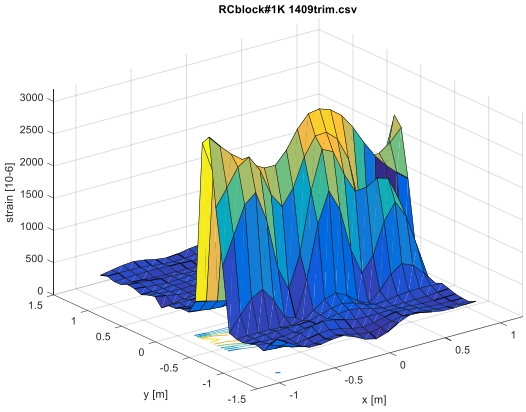
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



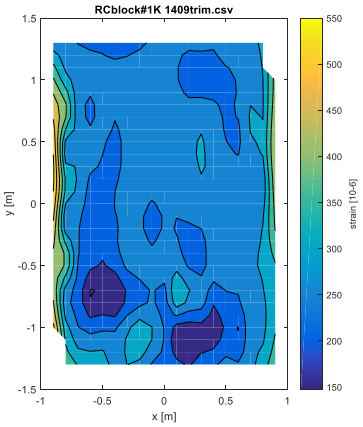
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



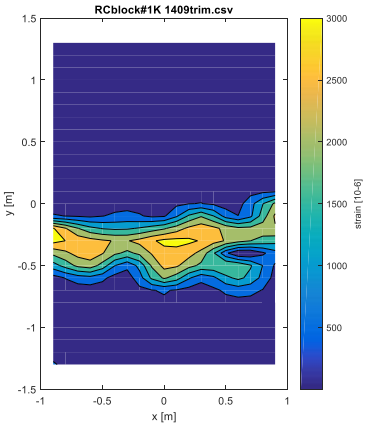
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

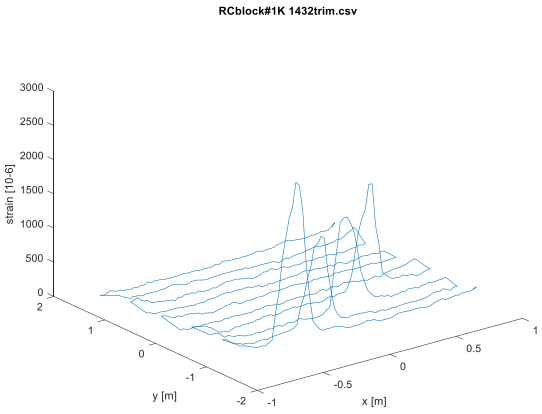


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

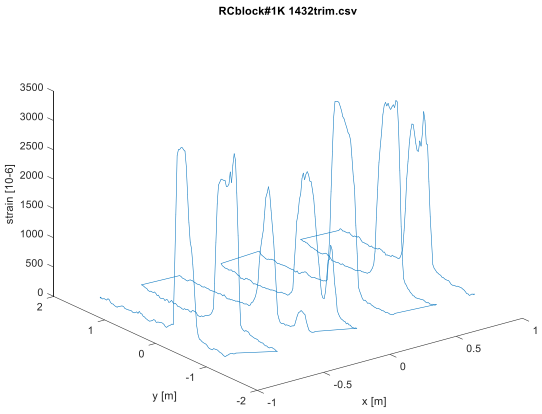


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

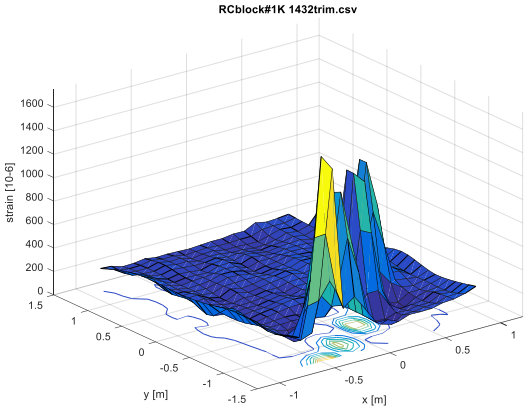
図 2.3-94　計測結果 6（無筋試験体 No.1）



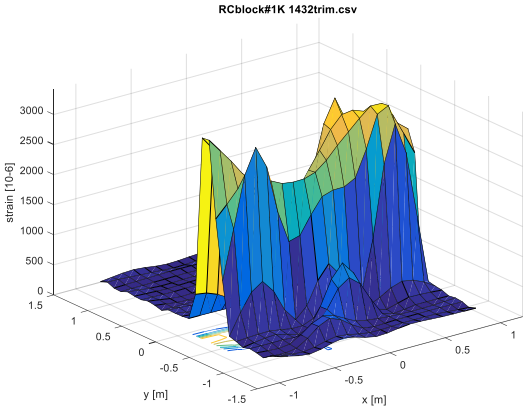
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



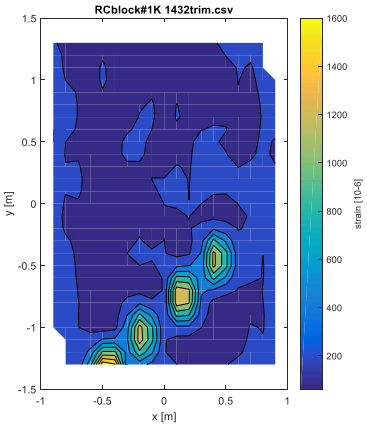
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



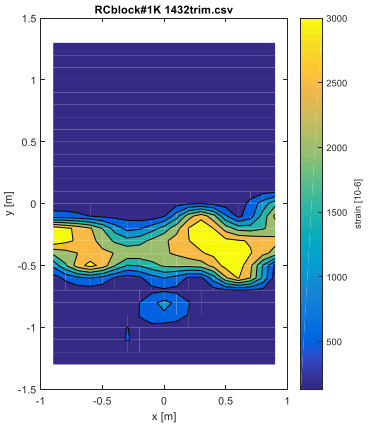
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

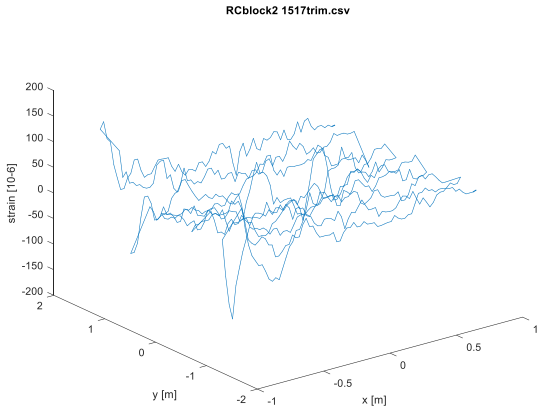


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

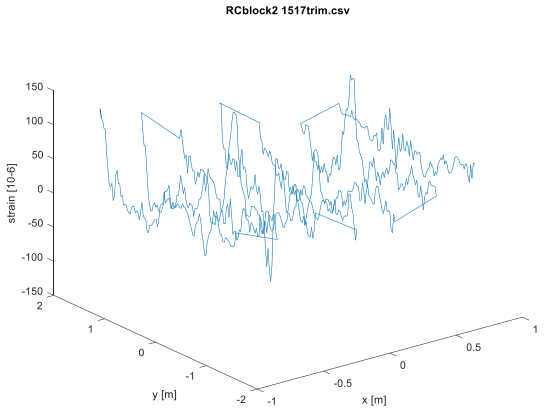
図 2.3-95　計測結果 7（無筋試験体 No.1）

b. 手前コンクリートピットを模擬した試験体 No. 2

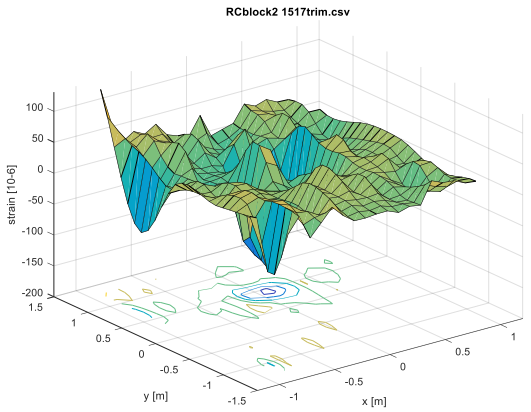
まず試験体短辺方向にひび割れを発生させながら、計測を行った。その結果を図 2.3-96～図 2.3-99 に示す。図 2.3-96 では 0.04mm 幅のひび割れが、図 2.3-97 では 0.1mm 幅程度のひび割れが、図 2.3-98 では最大 0.15mm 幅のひび割れが、図 2.3-99 では最大 0.25mm 幅のひび割れがそれぞれ目視で確認できている。長辺方向でひび割れによる局所的なひずみ変化を検知できているが、短辺方向にも影響があるようである。



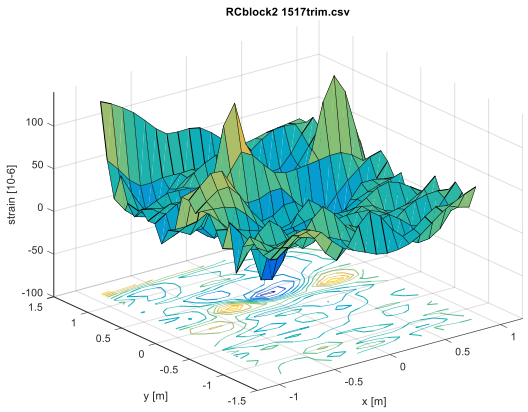
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



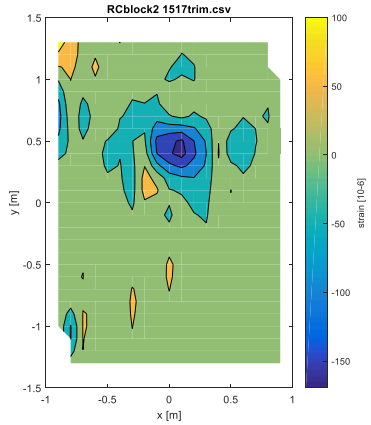
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



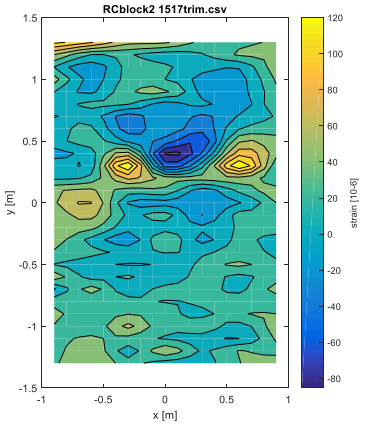
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

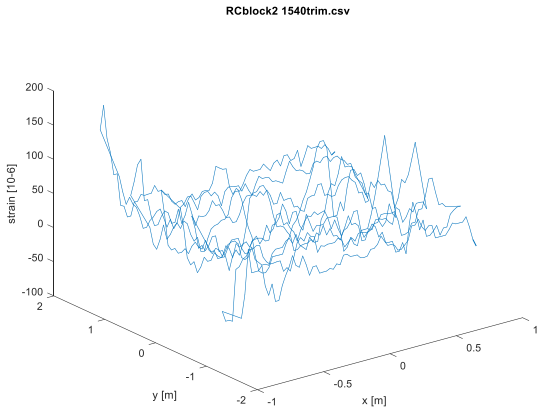


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

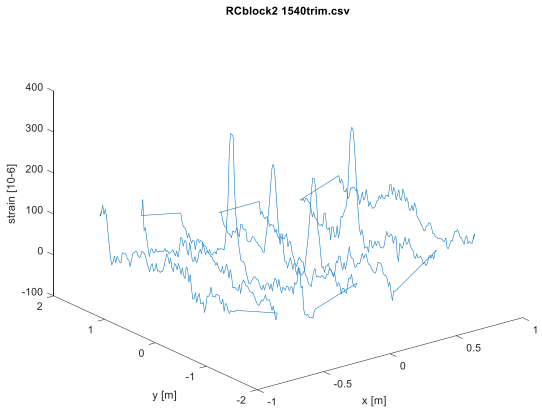


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

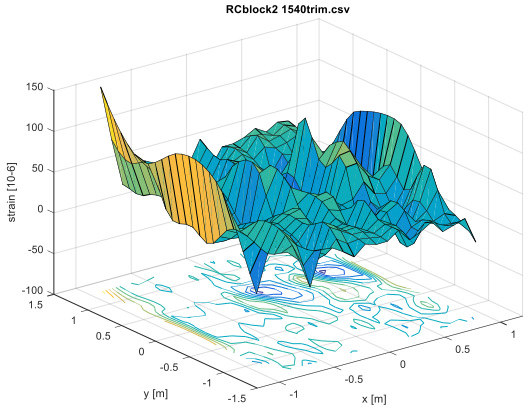
図 2.3-96　計測結果 1（鉄筋試験体 No.2）



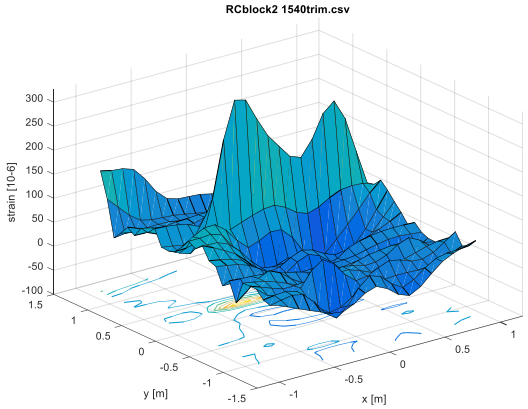
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



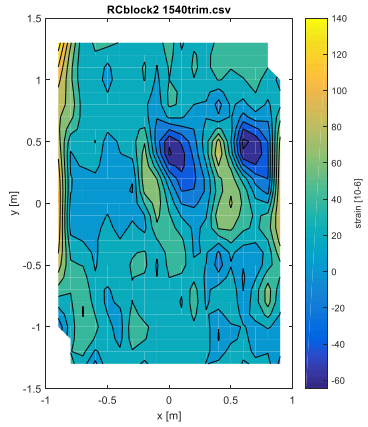
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



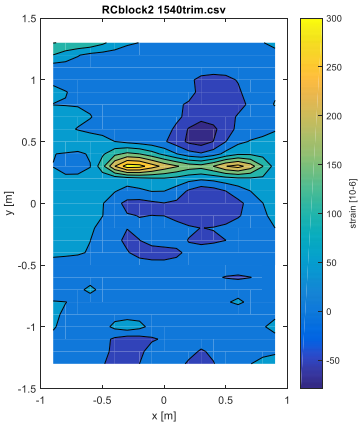
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

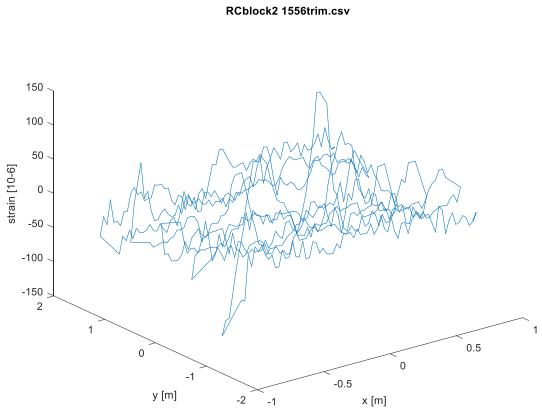


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

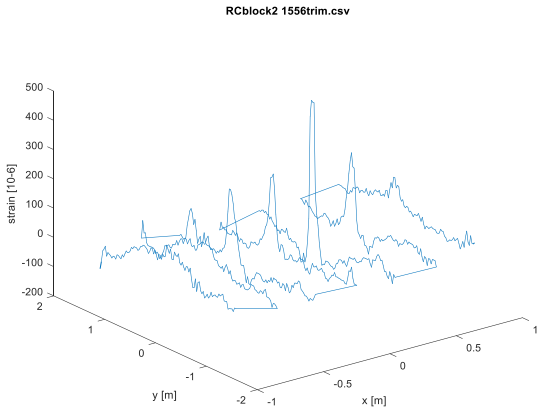


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

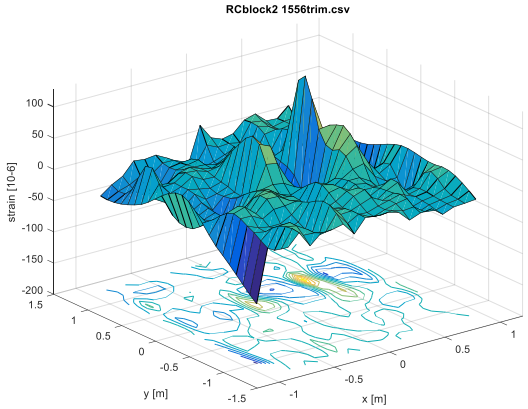
図 2.3-97　計測結果 2（鉄筋試験体 No.2）



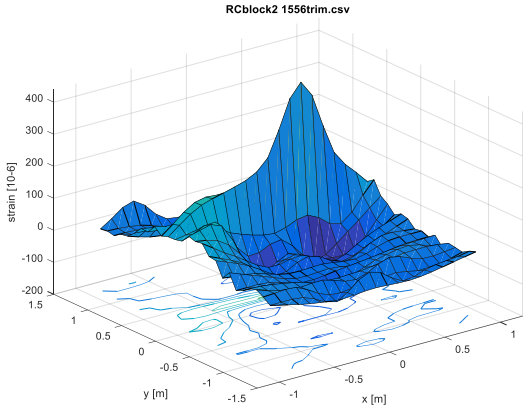
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



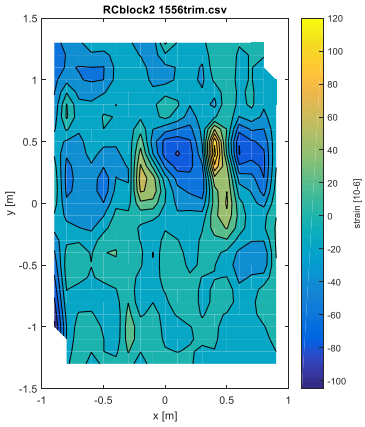
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



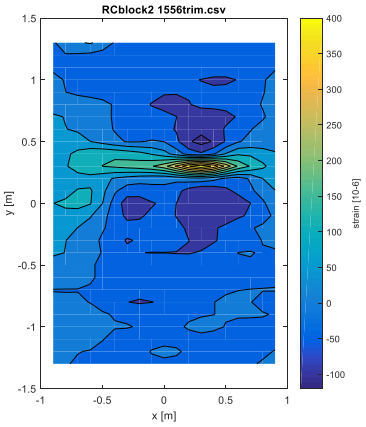
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

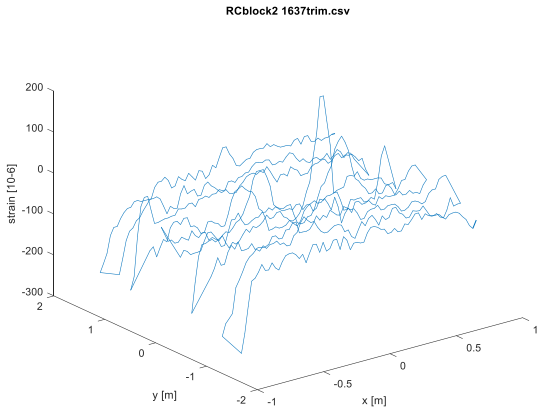


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

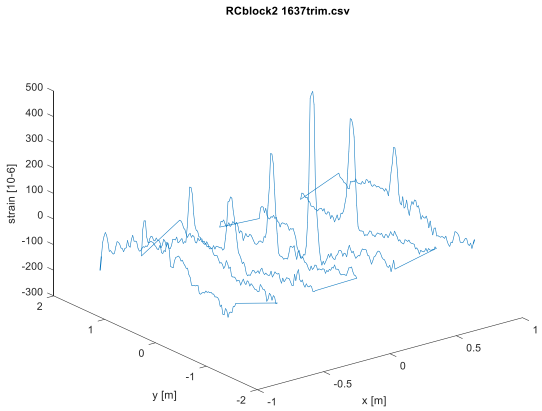


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

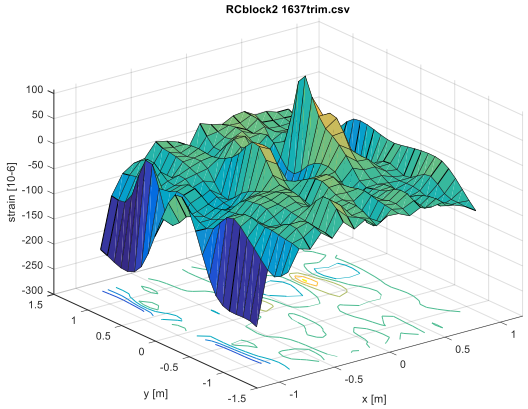
図 2.3-98　計測結果 3（鉄筋試験体 No.2）



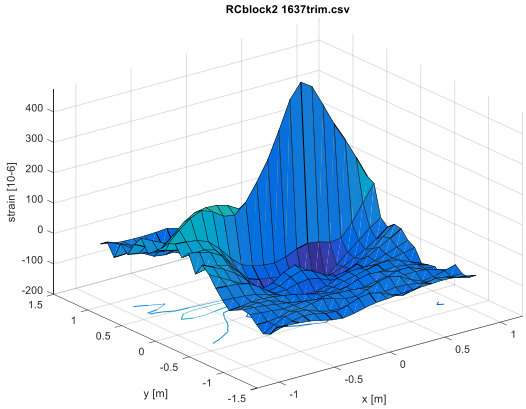
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



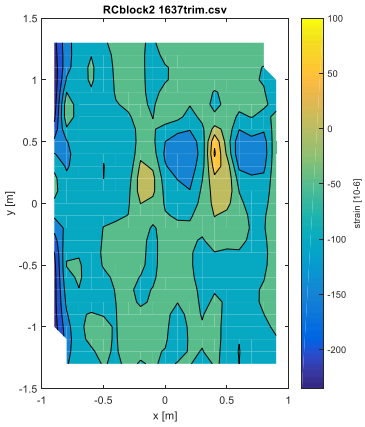
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



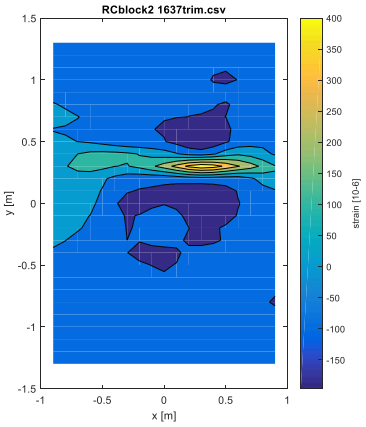
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



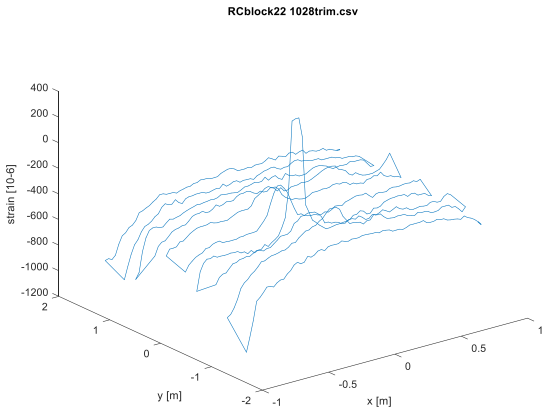
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



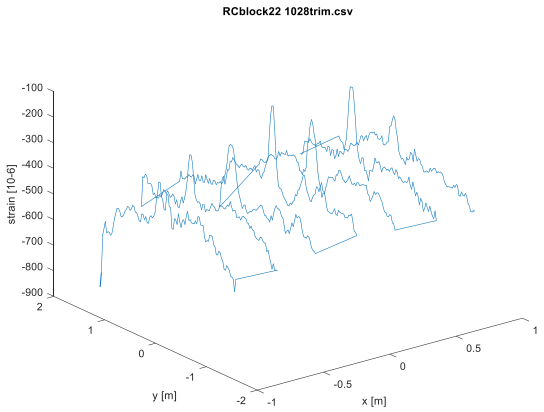
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-99　計測結果 4（鉄筋試験体 No.2）

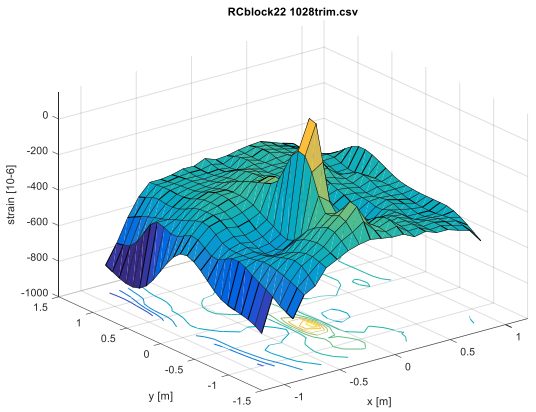
次に試験体長辺方向にひび割れを発生させながら、計測を行った。その結果を図 2.3-100～図 2.3-105 に示す。図 2.3-100 では最大 0.2mm 幅のひび割れが発生し、図 2.3-101 ではその長さが延び（最大 0.2mm 幅）、図 2.3-102 ではさらに延びた（パッカー圧 70MPa 時に最大 0.35mm 幅）。長辺方向は既に発生させたひび割れ影響がそのまま残っているが、短辺方向によって今回発生させたひび割れを検知できている。



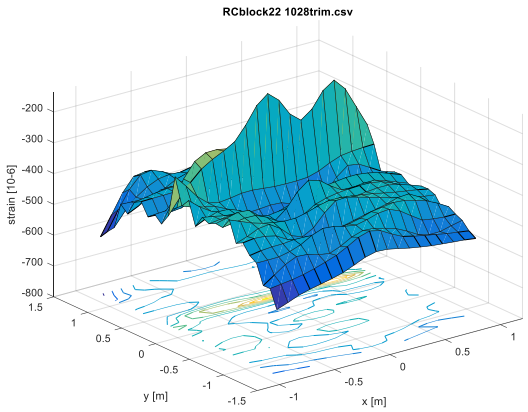
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



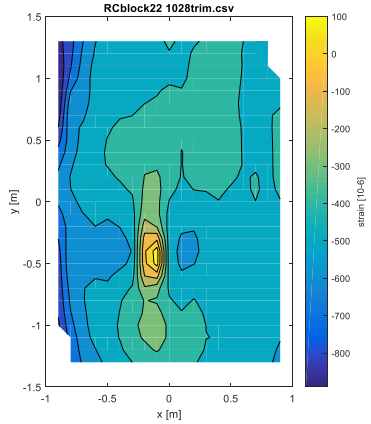
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



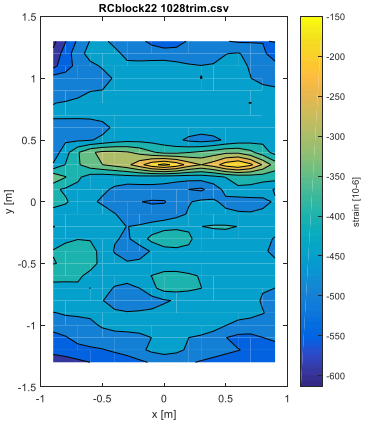
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

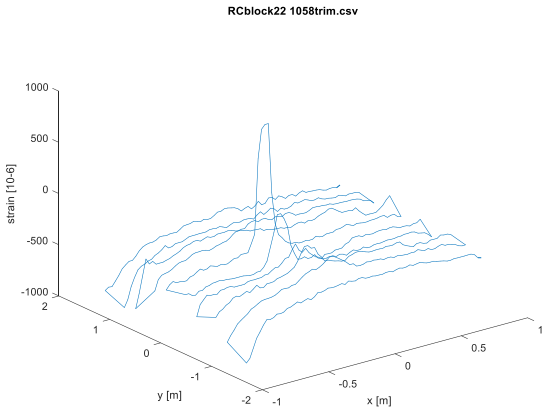


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

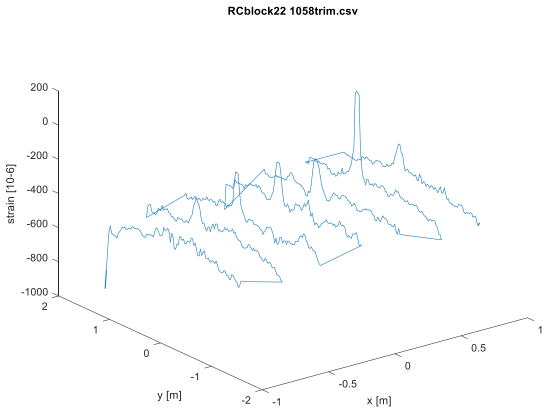


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

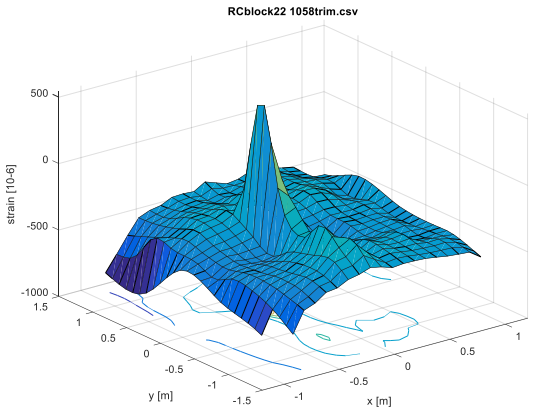
図 2.3-100　計測結果 5（鉄筋試験体 No.2）



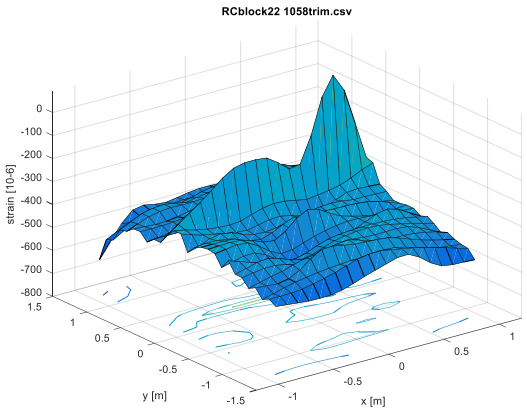
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



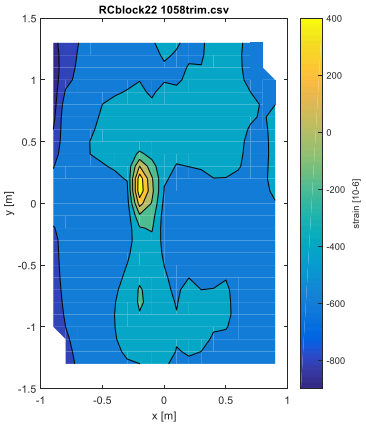
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



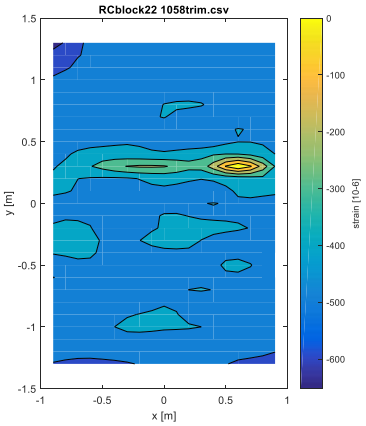
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

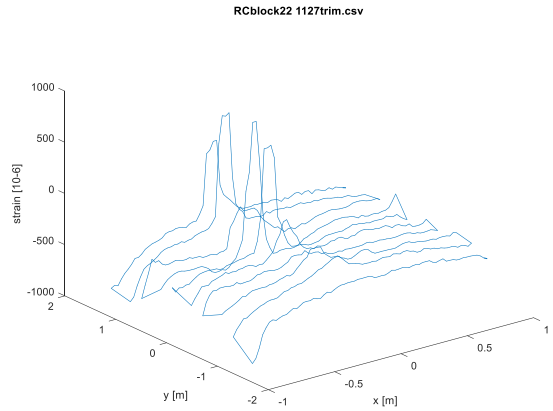


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

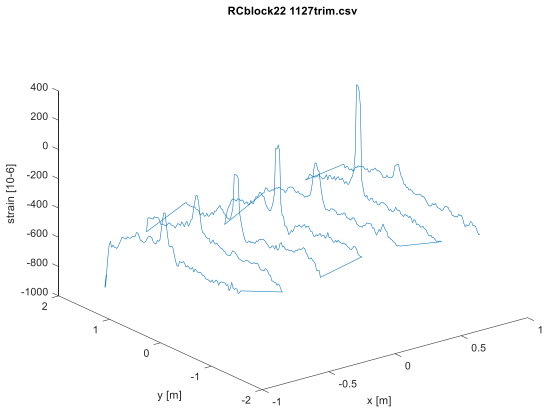


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

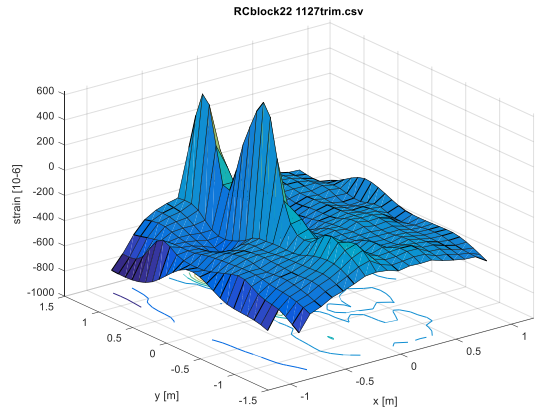
図 2.3-101　計測結果 6（鉄筋試験体 No.2）



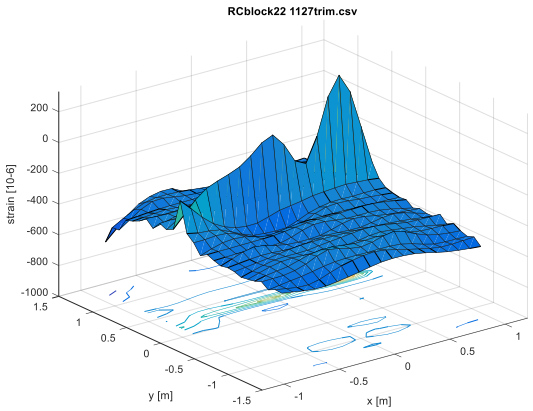
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



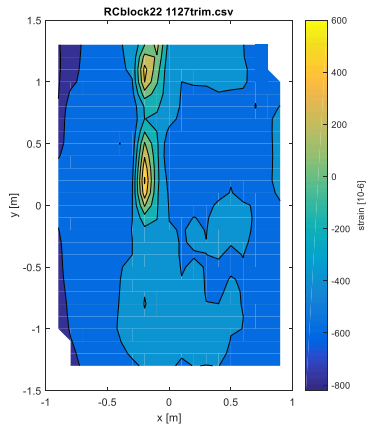
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



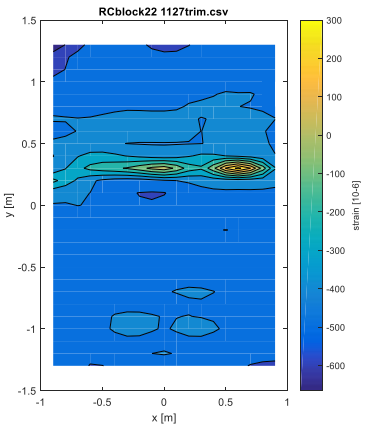
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

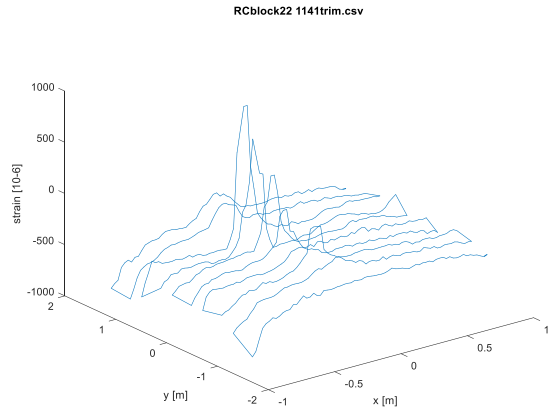


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

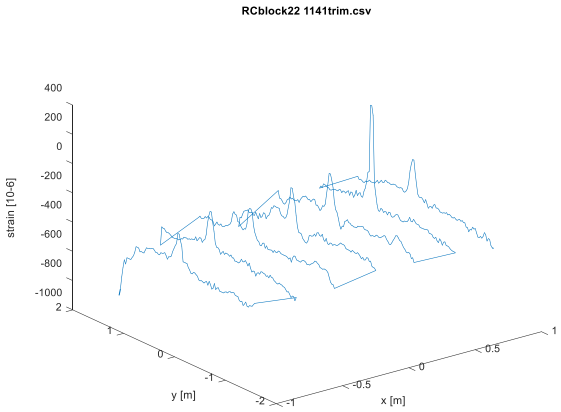


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

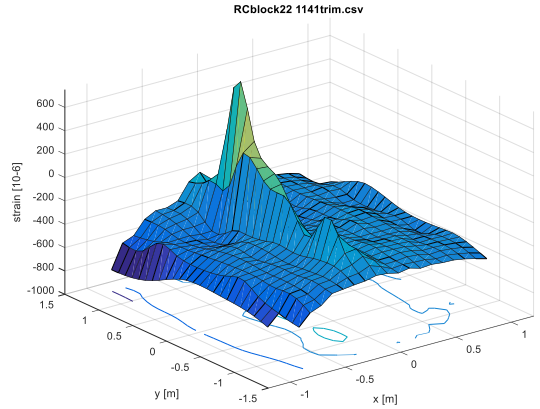
図 2.3-102　計測結果 7（鉄筋試験体 No.2）



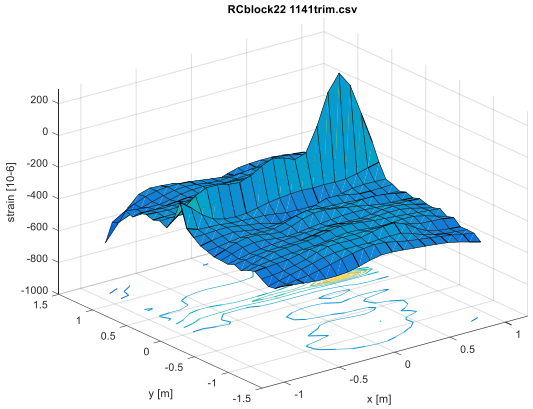
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



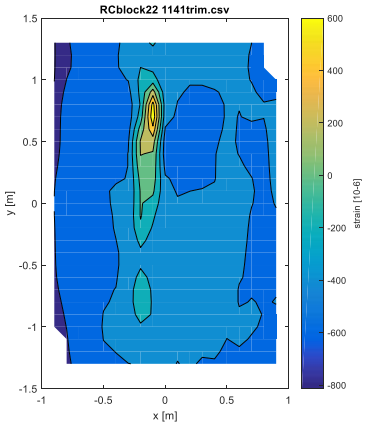
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



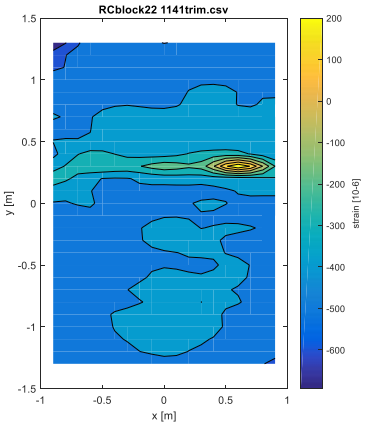
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

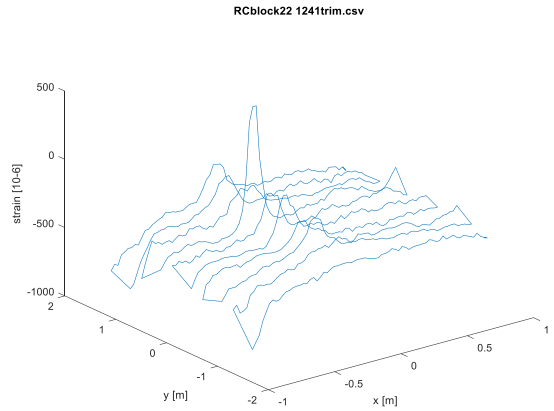


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

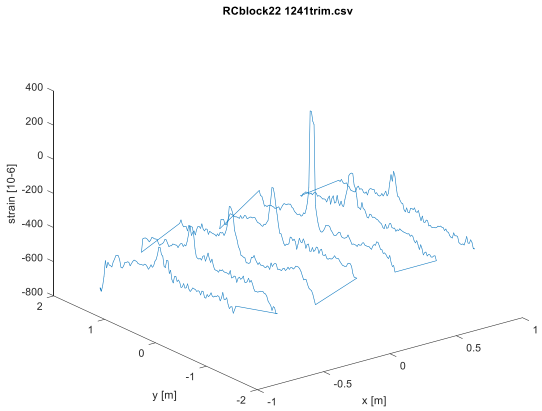


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

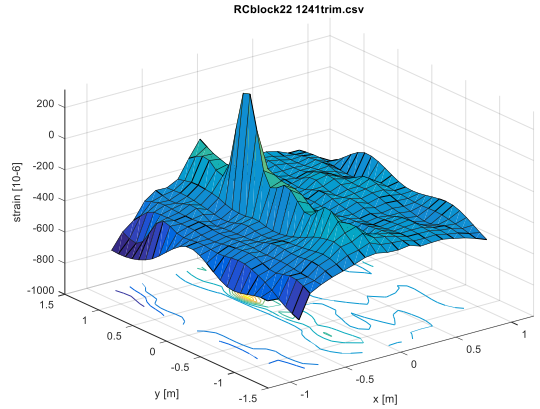
図 2.3-103　計測結果 8（鉄筋試験体 No.2）



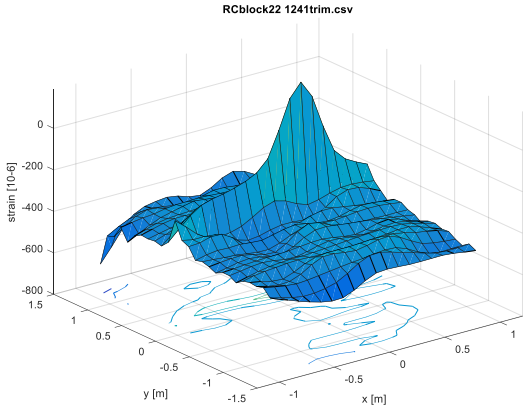
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



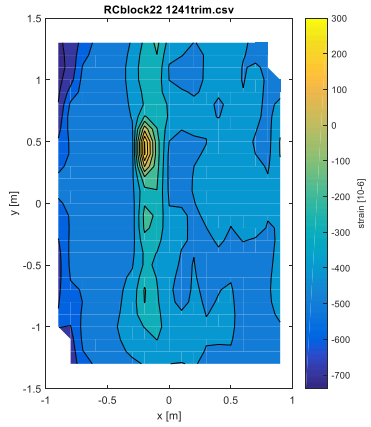
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



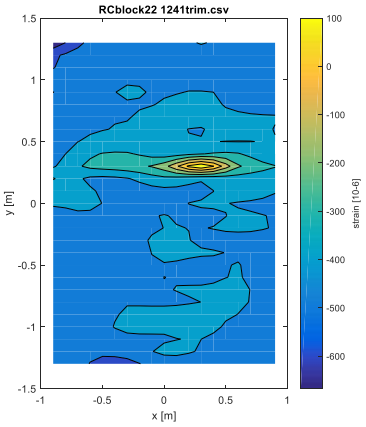
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

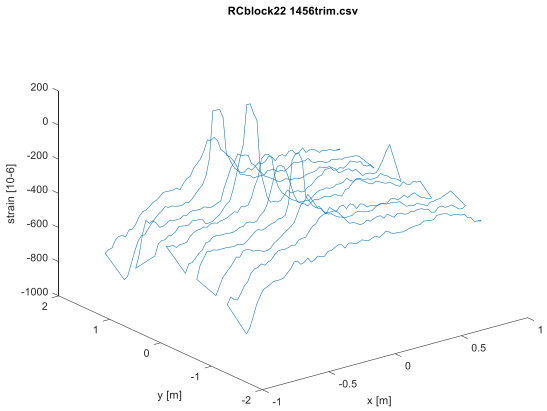


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

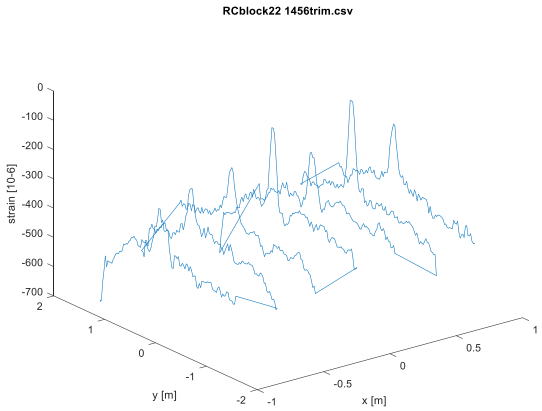


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

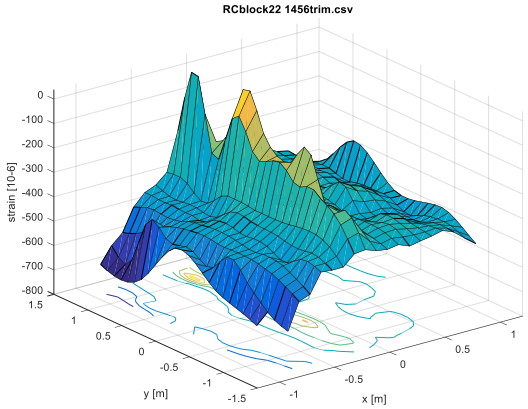
図 2.3-104　計測結果 9（鉄筋試験体 No.2）



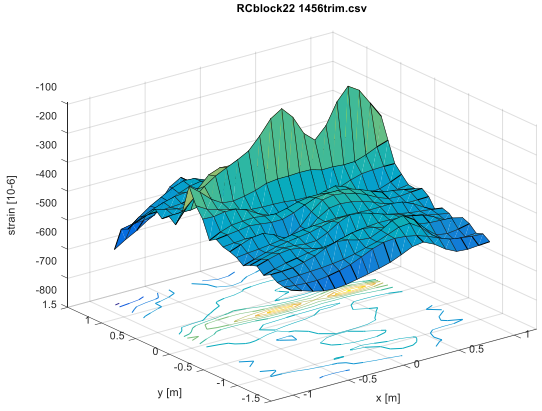
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



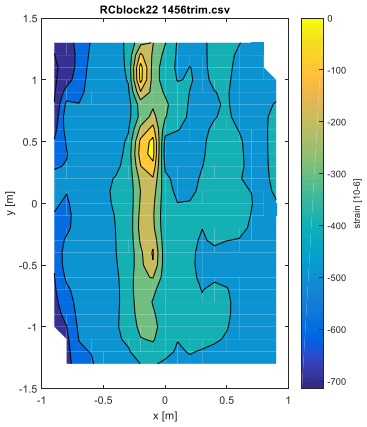
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



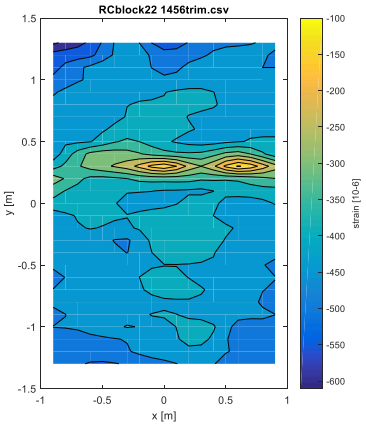
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



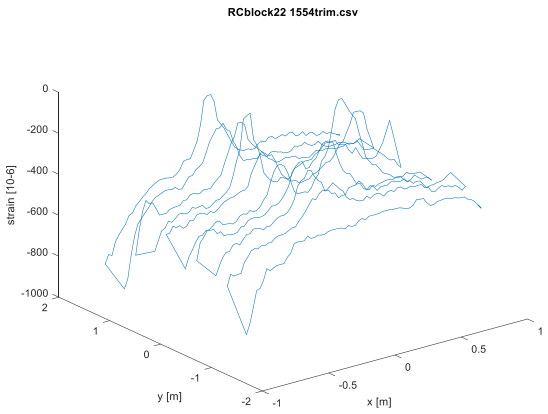
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



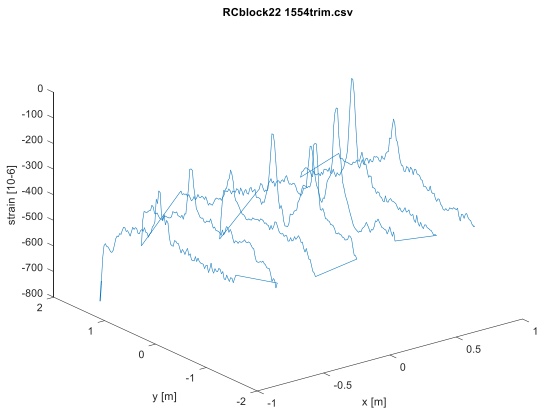
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-105　計測結果 10（鉄筋試験体 No.2）

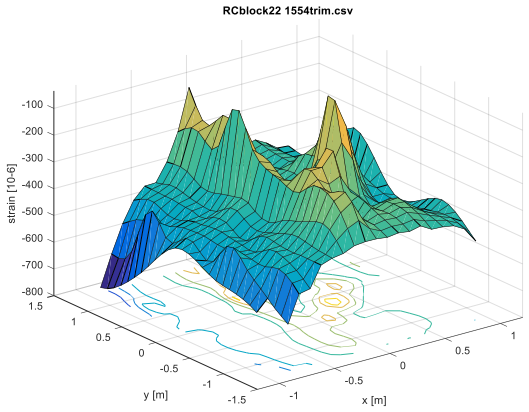
最後に試験体斜め方向にひび割れを発生させながら、計測を行った。その結果を図 2.3-106～図 2.3-107 に示す。斜め方向のひび割れは短辺方向、長辺方向ともに横切ることとなり、どちらの結果でもその局所的なひずみ変化をとらえることができた。



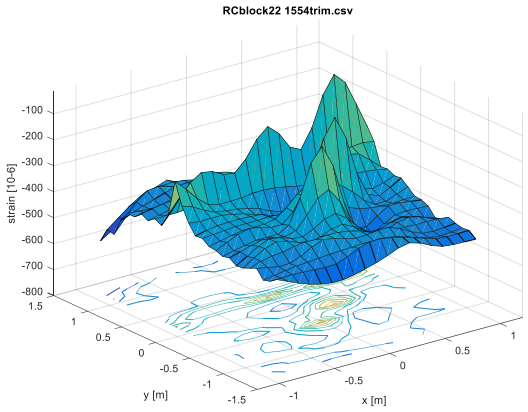
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



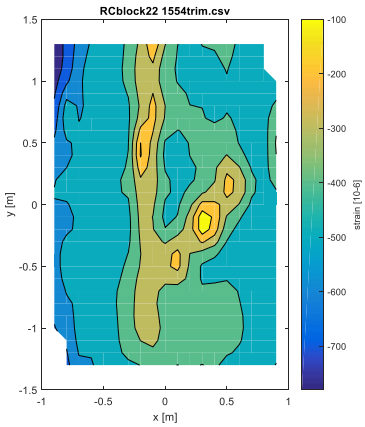
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



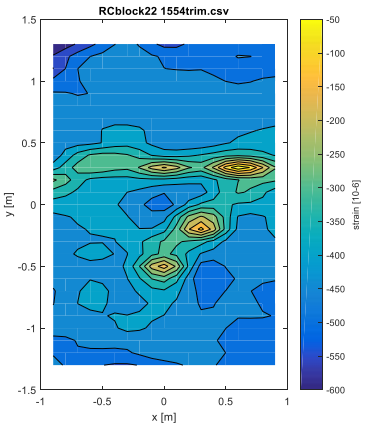
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

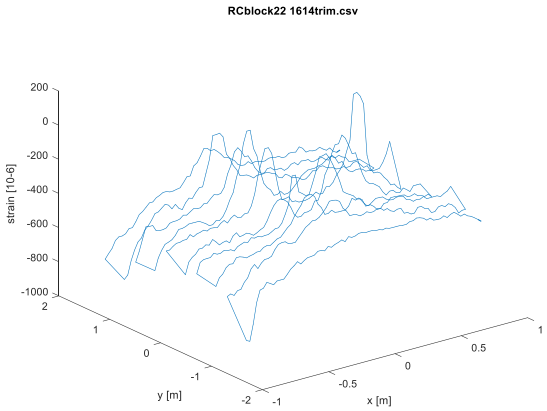


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

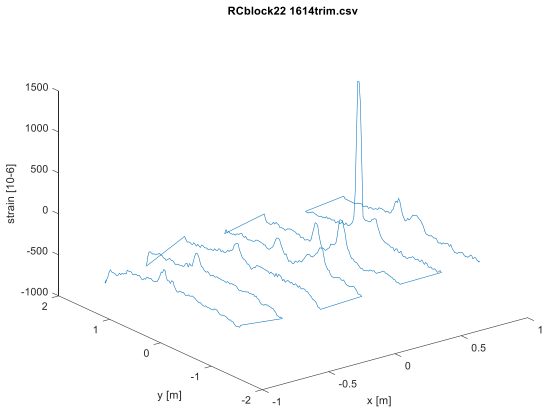


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

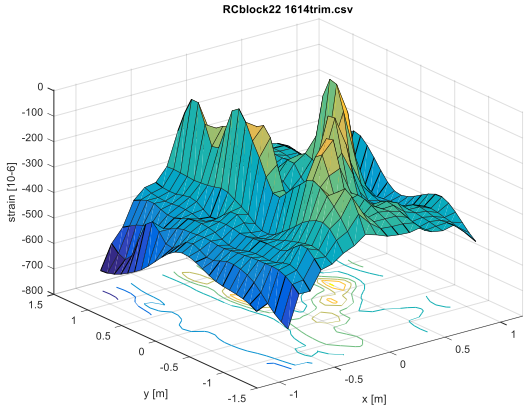
図 2.3-106　計測結果 11（鉄筋試験体 No.2）



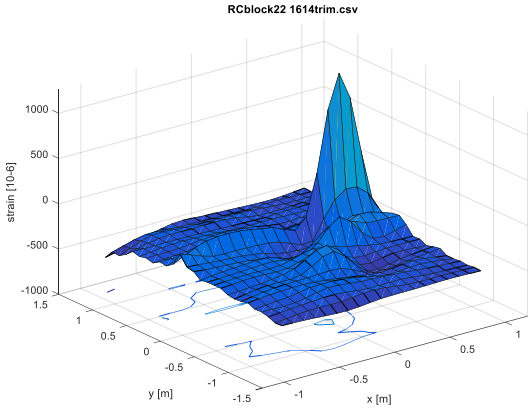
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



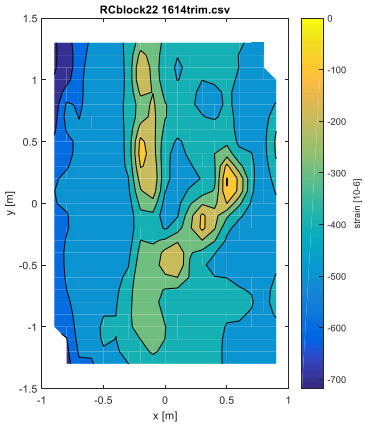
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



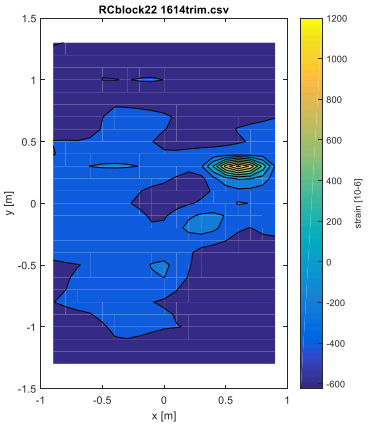
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

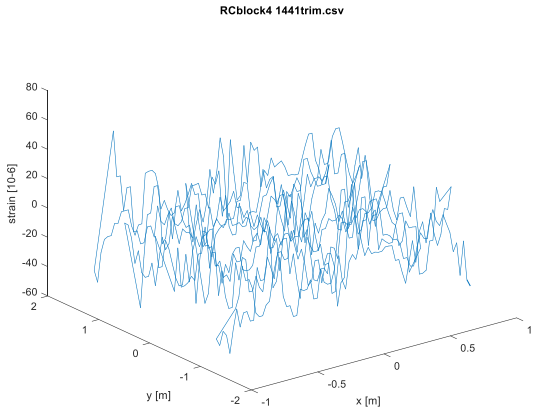


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

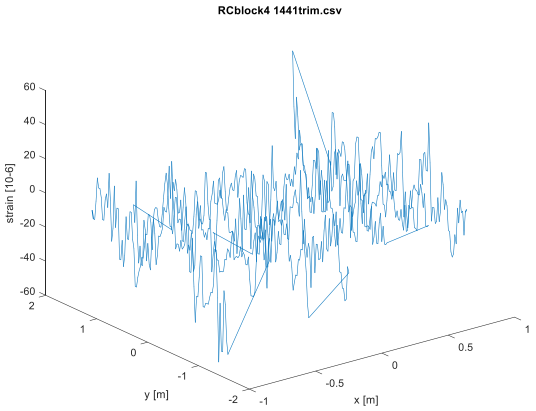
図 2.3-107　計測結果 12（鉄筋試験体 No.2）

c．手前コンクリートピットを模擬した試験体 No. 4

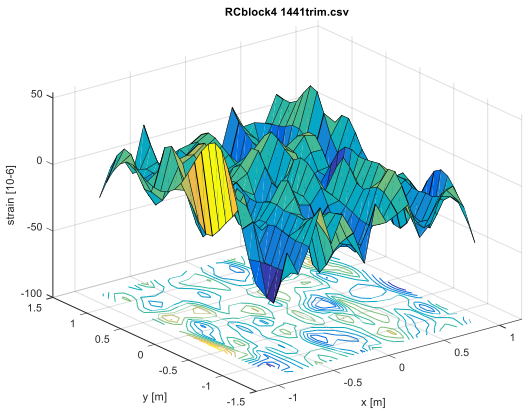
試験体斜め方向にひび割れを発生させながら、計測を行った。その結果を図 2.3-108～図 2.3-109 に示す。斜め方向のひび割れは最大で 0.2mm 幅程度で、短辺方向、長辺方向ともに横切ることとなり、どちらの結果でもその局所的なひずみ変化をとらえることができた。STEP3 時点での計測結果を光ファイバでもその様子をうまくとらえられている（図 2.3-109）。



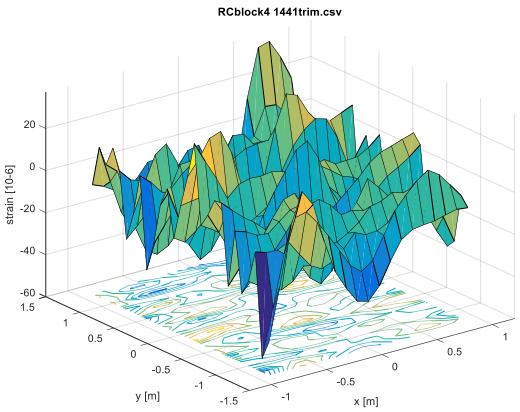
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



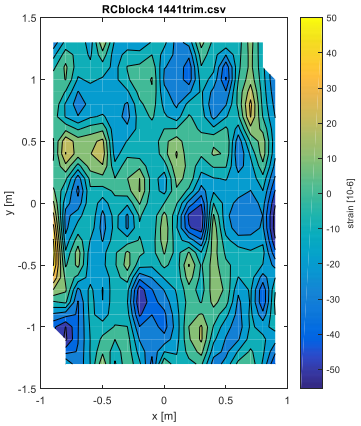
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



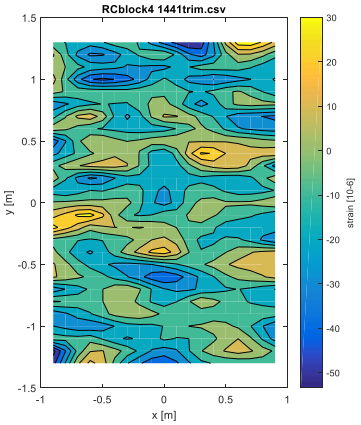
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

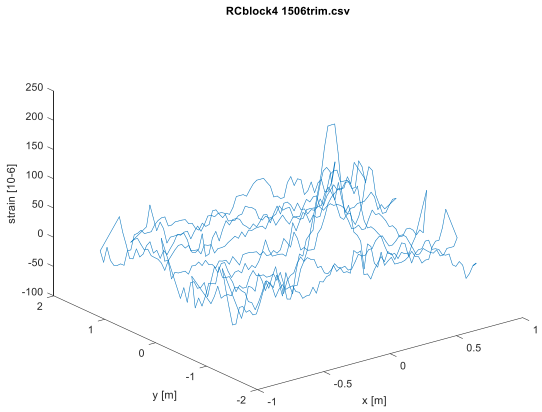


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

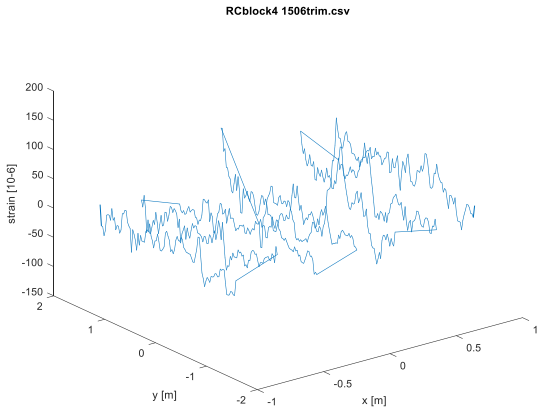


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

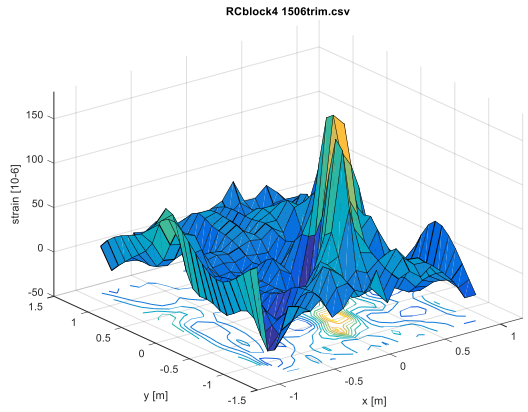
図 2.3-108　計測結果 1（鉄筋試験体 No.4）



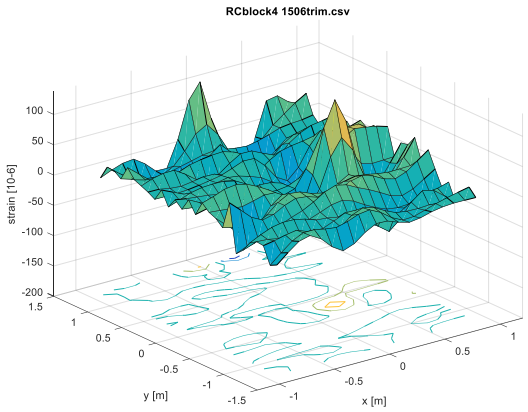
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



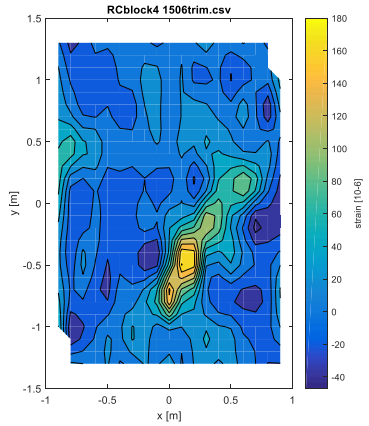
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



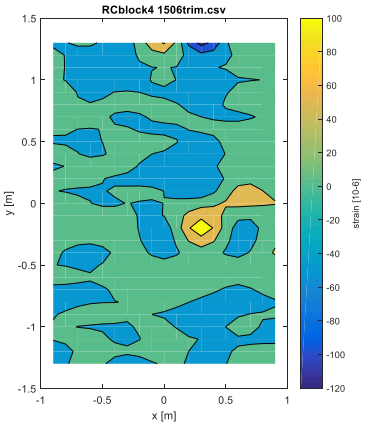
補間処理（短辺方向の光ファイバ）



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-109　計測結果 2（鉄筋試験体 No.4）

(5) まとめ

実規模施設を活用したひび割れ計測試験に対する、標準パッカー工法の適用性を確認することを目的として、事前試験を実施した。

上部低拡散層を模擬した試験体では、ひび割れ幅を目視で確認しながら、段階的にひび割れ幅を拡大することを試みたが、要素試験と同様に、瞬時に貫通ひび割れを生じてしまい、ひび割れ幅を制御することはできなかった。一方、手前コンクリートピットを模擬した試験体では、光ファイバセンサーに直交する方向で最大 0.35mm、斜めに交わる方向で最大 0.20mm のひび割れを誘発することができた。実規模施設を用いた試験においても、少なくとも 2 つの標準パッカーの間ではひび割れを誘発できると考えられる。また、いずれの試験体を用いた試験においても、意図した方向にひび割れを発生させることができた。

実規模施設を活用したひび割れ計測試験では、標準パッカー工法によって段階的にひずみやひび割れ幅を増大させていき、加圧ステップ毎に光ファイバセンサーによってひずみを計測する。上述のとおり、目視確認によってひび割れ幅を制御することは困難だったこと、一方で意図した方向にひび割れを発生させることはできたことから、ひび割れが発生すると想定される位置に、予め、ひずみゲージやパイ型ゲージを設置し、リアルタイムで計測される値を参照することで、標準パッカーに作用させる油圧力を制御することが好ましいと考えられた。また、ひずみゲージやパイ型ゲージを設置することで、光ファイバセンサーで計測されるひずみと、ひずみゲージやパイ型ゲージで計測される値を定量的に比較することも可能となる。

以上のとおり、実規模施設を活用したひび割れ計測試験では標準パッカー工法を用いてひび割れを誘発させること、その制御は、ひび割れが発生すると想定される位置にひずみゲージやパイ型ゲージを設置して、その計測値をリアルタイムで確認することで、実施することとした。

2.3.3 実規模施設を活用したひび割れ計測試験

(1) はじめに

実規模施設を活用したひび割れ計測試験では、光ファイバセンサーが 30cm 間隔の格子状に設置された手前コンクリートピット（鉄筋コンクリート）と上部低拡散層（無筋モルタル）を対象に、施設にひび割れを発生させて、そのときに生じるひずみを光ファイバセンサーで計測する。前項の事前試験の結果を受けて、人為的にひび割れを発生させる手法としては標準パッカーを採用し、さらに発生させるひずみやひび割れの幅を制御できるように、ひび割れを発生させる位置には、予め、ひずみゲージとパイ型ゲージを設置して、試験を実施した。光ファイバセンサーによる計測は、ひずみやひび割れを拡大させるごとに実施し、そのときのひずみゲージやパイ型ゲージの計測値や目視観察結果と比較することで、その計測性能を定量評価した。

(2) 試験方法

1) 対象部材

a. 手前コンクリートピット

手前コンクリートピットは、幅 8.95m、高さ 7.44m、部材厚さ 70cm の鉄筋コンクリートの壁部材である。水平方向に D29、鉛直方向に D25 の鉄筋が、それぞれ 150mm ピッチで設置されている。せん断補強筋には、D16 のヘッドバーが使用されている。平成 26 年度の地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験報告書[5]によると、材齢 1200 日時点における圧縮強度は 91.4N/mm^2 であることが確認されている。手前コンクリートピット前面は、KK シート工法[7][8] による打継ぎ処理がされているため、表面には図 2.3-112 に示すような凹凸が形成されている。内面を充填材に、底面を底部低拡散層に拘束された構造となっている。

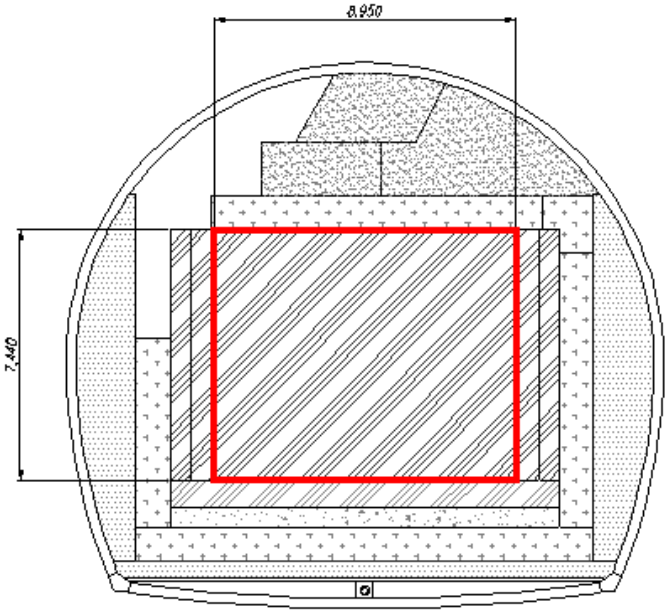


図 2.3-110　手前部コンクリートピット（正面図）

図 2.3-111　手前部コンクリートピット（2017 年 8 月撮影）

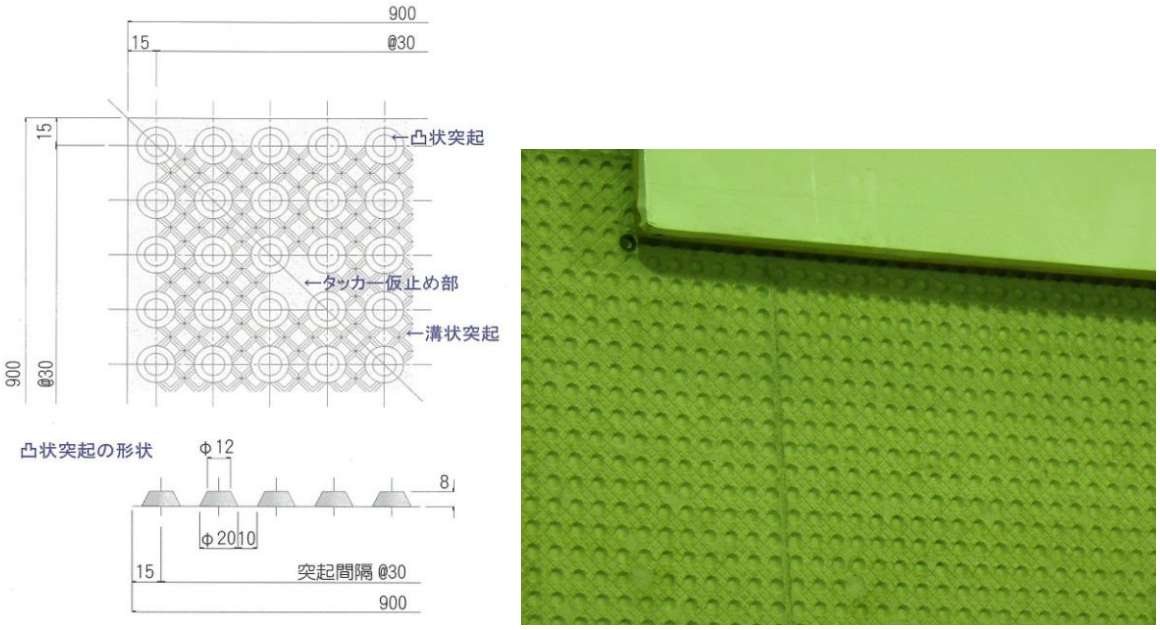


図 2.3-112　KK シートの凹凸形状[8]とコンクリートピット表面の状況

本試験では手前コンクリートピットのうち、図 2.3-113 に示す位置に標準パッカーを設置して、直交方向と斜め方向の 2 方向にひび割れを誘発させる計画とした。

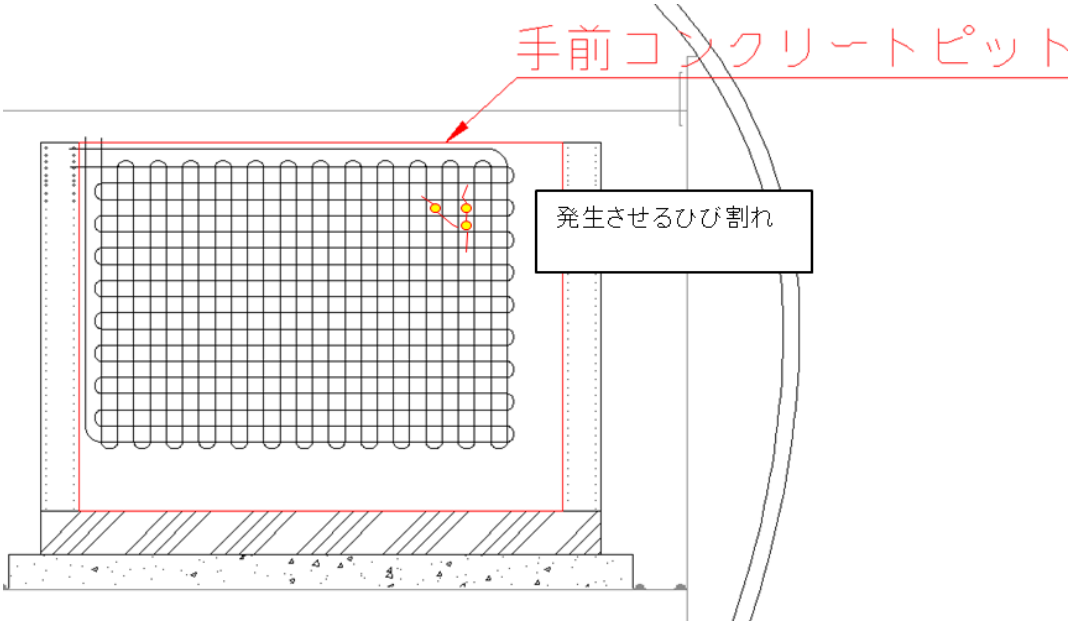


図 2.3-113　ひび割れ誘発位置（手前コンクリートピット）

b. 上部低拡散層

上部低拡散層は、幅 11.55m、奥行き 8.0m、部材厚さ 60cm の無筋モルタル層である。大部分は上部低透水層により埋没しており、手前から 2.75m の範囲が露出している。平成 26 年度管理型処分技術調査等事業地下空洞型処分施設性能確証試験の長期材齢物性試験[5]において、材齢 365 日時点における圧縮強度は 113.5N/mm² であることが確認されている。上部低拡散層は、底面を上部コンクリートピットに拘束されている。

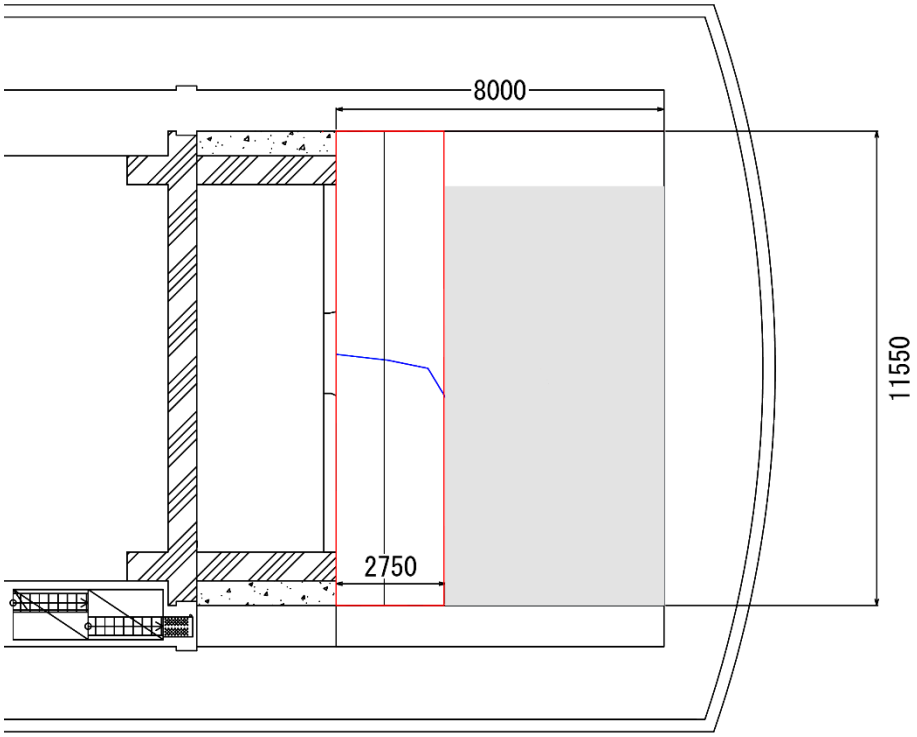


図 2.3-114　上部低拡散層（平面図）

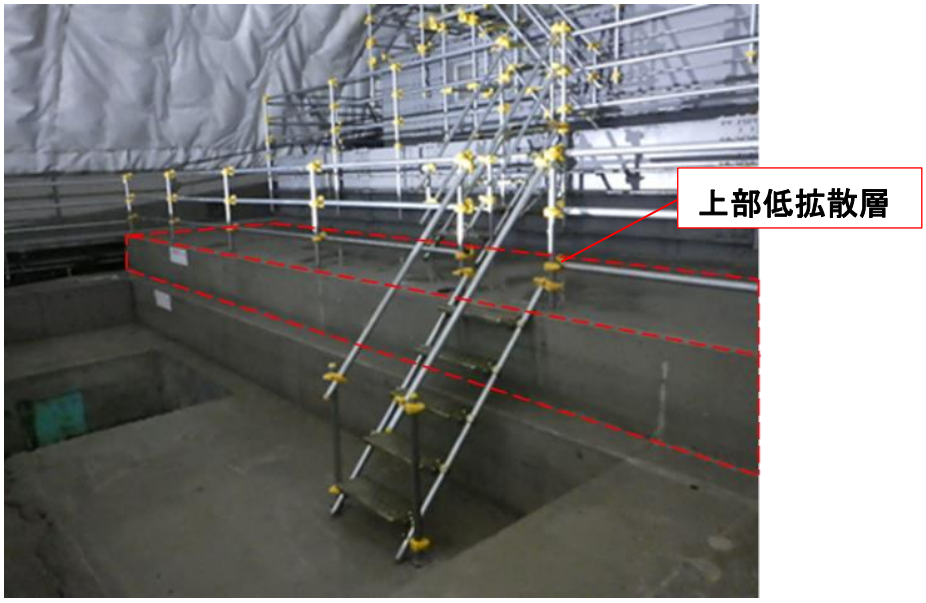


図 2.3-115　上部低拡散層（2017 年 8 月撮影）

本試験では上部低拡散層のうち図 2.3-116 に示す位置に標準パッカーを設置して、直交方向と斜め方向の 2 方向にひび割れを誘発させる計画とした。

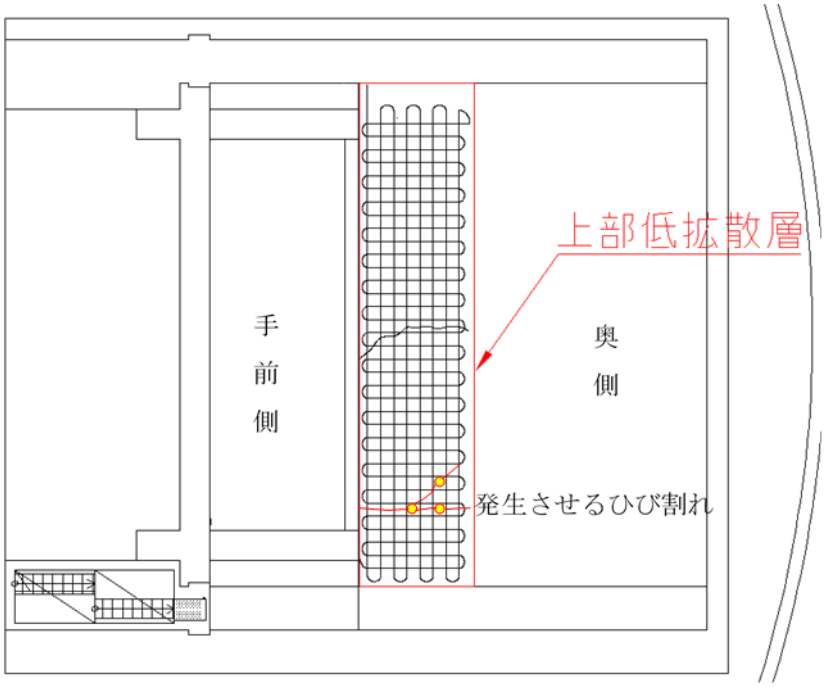


図 2.3-116　ひび割れ誘発位置（上部低拡散層）

2）ひび割れ誘発手法

事前試験の結果より標準パッカー工法の適用性が確認できたことから、事前試験と同一の機材を用いてひび割れ誘発作業を実施した。機材の一覧を以下に示す、

表 2.3-13　使用機材一覧

作業内容	機械名称	型式
削岩機による削孔	削岩機（東洋空気製作所）	TJ-15
	ｺﾝﾌﾟﾚｯｻｰ（北越工業）	PDS-100
	集塵機（LIFELEX）	JFX-50-095
標準パッカーによるひび割れ誘発	標準パッカー	K25W40A400
	油圧ポンプ	HM-103,HM-103HY

3）試験の手順

a．削岩機による削孔

図 2.3-113 と図 2.3-116 に示す位置を、削岩機を用いて削孔した。削孔状況を図 2.3-117 と図 2.3-118 に、削孔完了後の状況を図 2.3-119 と図 2.3-120 に示す。

図 2.3-117　削孔状況（手前コンクリートピット）

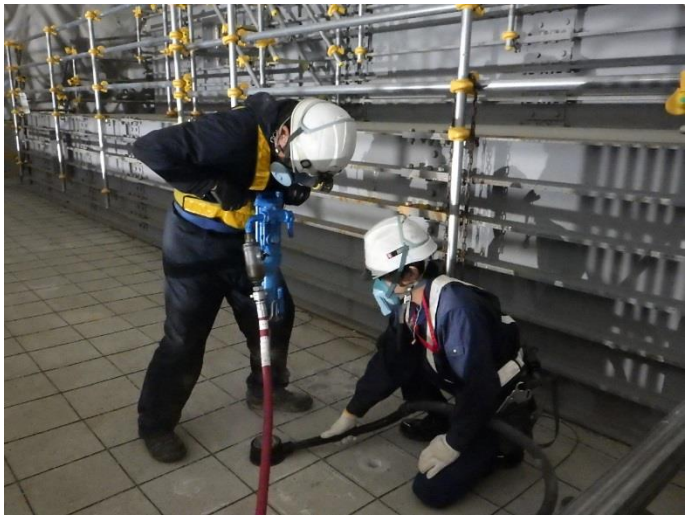


図 2.3-118　削孔状況（上部低拡散層）

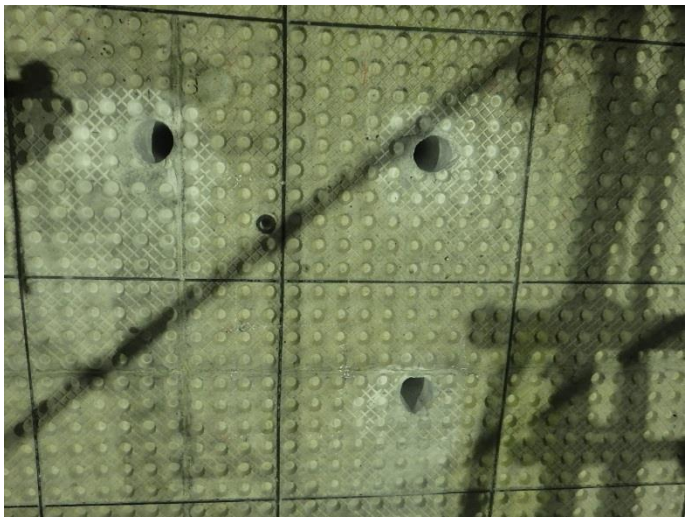


図 2.3-119　削孔完了（手前コンクリートピット）

図 2.3-120　削孔完了（上部低拡散層）

b. ひずみゲージ、パイゲージの取り付け

本試験では、光ファイバセンサーの計測性能を定量的に確認するため、光ファイバセンサーでひずみを計測するとともに、ひび割れ発生前に生じる微小なひずみをひずみゲージで、ひび割れ発生後のひび割れ幅をパイ型ゲージで計測することとした。パイ型ゲージやひずみゲージは、ひび割れが発生すると予想される位置に取り付けているが、上部低拡散層に設置する一部のひずみゲージ（ε7、ε8、ε9）は、ひび割れに平行する方向に取り付けていて、ひび割れ発生位置の周縁で生じるひずみの変化を計測した。

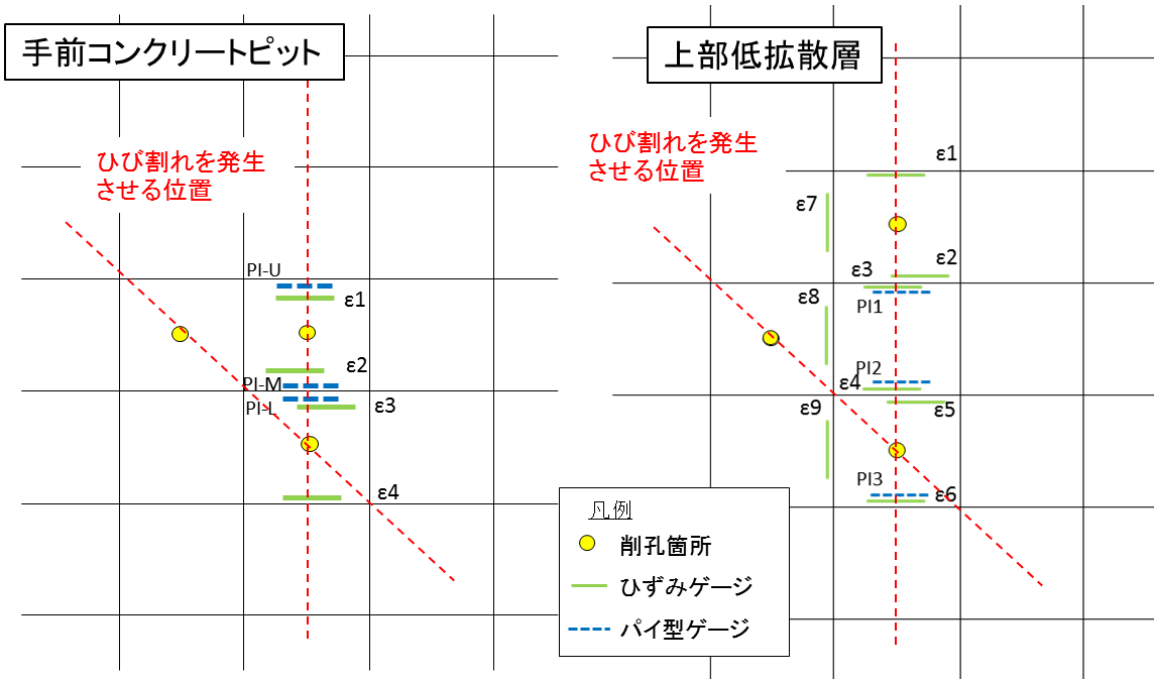


図 2.3-121　パイ型ゲージとひずみゲージ取付位置

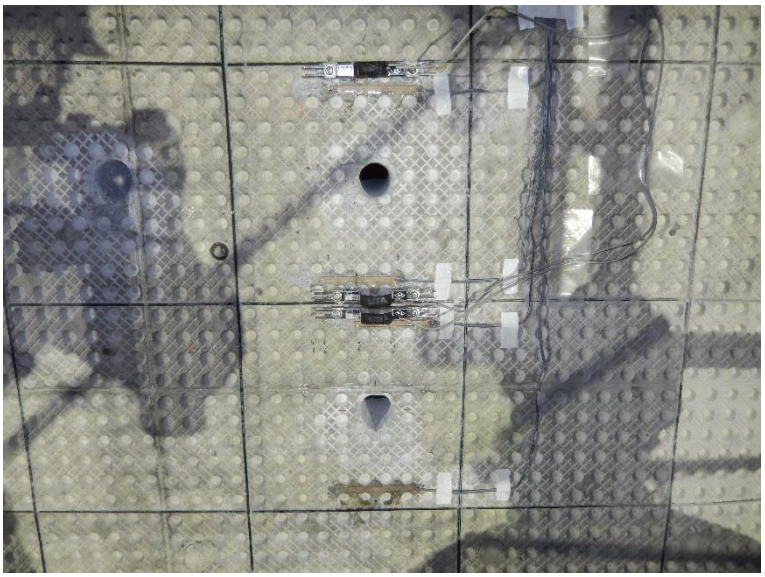


図 2.3-122　パイ型ゲージとひずみゲージの取り付け状況（手前コンクリートピット）

図 2.3-123　パイ型ゲージとひずみゲージの取り付け状況（上部低拡散層）

c．ひび割れの誘発

図 2.3-124 に示すように、ひび割れを発生させたい位置に合せて標準パッカーを設置し、油圧ポンプを用いて標準パッカーに加圧した。段階的にひずみやひび割れ幅を増大させられるように、ひずみゲージやパイ型ゲージの計測値をリアルタイムで確認して、油圧ポンプで作用させる圧力を制御した。ひずみゲージ、パイ型ゲージによる計測及び油圧ポンプを用いた標準パッカーの制御状況を図 2.3-125 に示す。なお、斜め方向にひび割れを発生させる際は、図 2.3-126 に示すように油圧ポンプの圧力指示計の値を参考にしている。

図 2.3-124　標準パッカーの設置状況

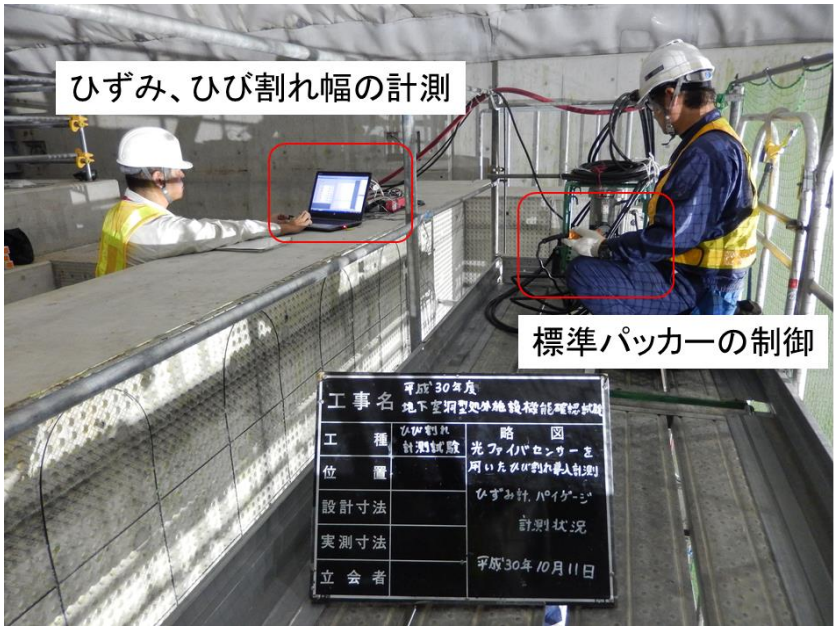


図 2.3-125　ひずみゲージ、パイ型ゲージによる計測と標準パッカーの制御状況

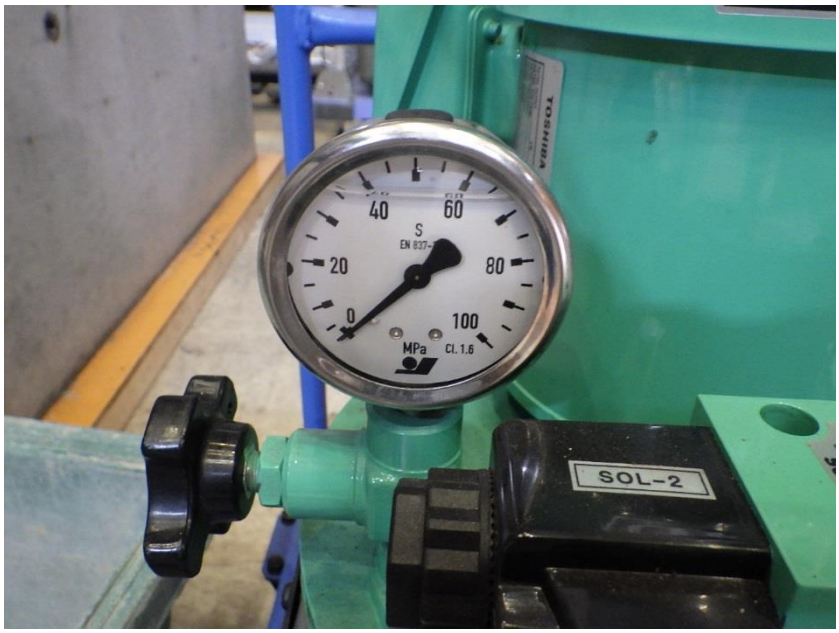


図 2.3-126　油圧ポンプの指示計

d. 光ファイバセンサーによるひずみ計測

標準パッカーによる加圧を停止したあと、光ファイバセンサーによる計測を実施した。光ファイバセンサーの計測状況を図 2.3-127 に示す。計測方法の詳細については、試験結果の説明に併せて示すこととする。

図 2.3-127　光ファイバセンサーによる計測状況

e. クラックゲージを用いたひび割れ幅の目視計測

光ファイバセンサーによる計測を実施している間に、クラックゲージを用いてひび割れ幅の計測を行った。計測状況を図 2.3-128 に示す。

クラックゲージを用いたひび割れ幅の目視計測、光ファイバセンサーを用いたひずみ計測を終了後、再度、標準パッカーに加圧してひび割れ幅を拡大させて、同様にひずみやひび割れ幅の計測を実施した。

図 2.3-128　クラックゲージによるひび割れ幅の計測

(3) 試験結果

1) 目視観察や計測器による参照データの取得

a. 手前コンクリートピット

(a) 直交方向ひび割れ

光ファイバセンサーと直交方向に発生させるケースでは、図 2.3-129 に示すような 2 ヶ所に標準パッカーを設置して、段階的に加圧した。加圧ステップのはじめの段階では、ひずみゲージやパイ型ゲージの計測値の最大値が計画の値に達したときに加圧を停止し、光ファイバセンサーの計測を実施した。計測ステップを表 2.3-14 に、計測ステップ毎の目視観察によるひび割れ幅と、ひずみゲージやパイ型ゲージによって実際に計測された値を図 2.3-130 と図 2.3-131 に示す。

STEP0 から 4 にかけては、ひずみゲージやパイ型ゲージでは段階的に計測値が上昇するものの、目視観察では、ひび割れを確認できなかった。70MPa 程度加圧した STEP5 において、はじめてひび割れが目視確認できた。その幅は 0.10mm に満たなかった。ひび割れの発生状況を図 2.3-132 に示す。なお、STEP2 以降、図 2.3-133 に示すように、標準パッカー近傍の KK シートの凹凸が箇所の浮きが確認されており、このような浮きによって生じるひずみが、各種計測機器で計測されている可能性がある。

表 2.3-14 計測ステップと加圧停止の目安値（手前コンクリートピット 直交方向）

STEP	各ステップの加圧停止の目安
0	初期値
1	ε1～ε4 の最大値が 50μ
2	ε1～ε4 の最大値が 200μ
3	PI-U～PI-L の最大値が 0.05mm
4	PI-U～PI-L の最大値が 0.10mm
5	標準パッカーで 70MPa

図 2.3-129 標準パッカー設置状況 手前コンクリートピット 直交方向

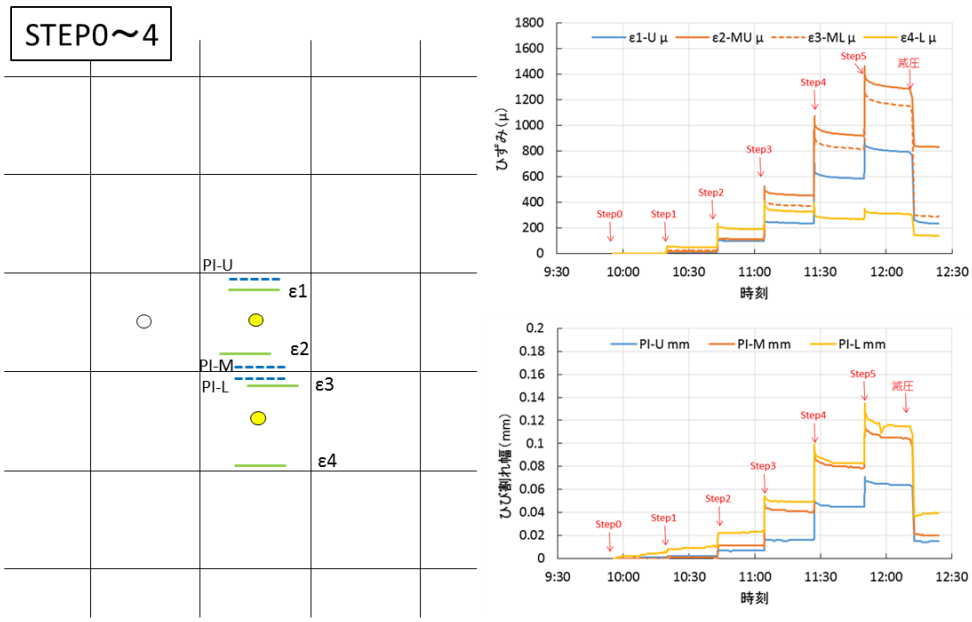


図 2.3-130　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP0～4）

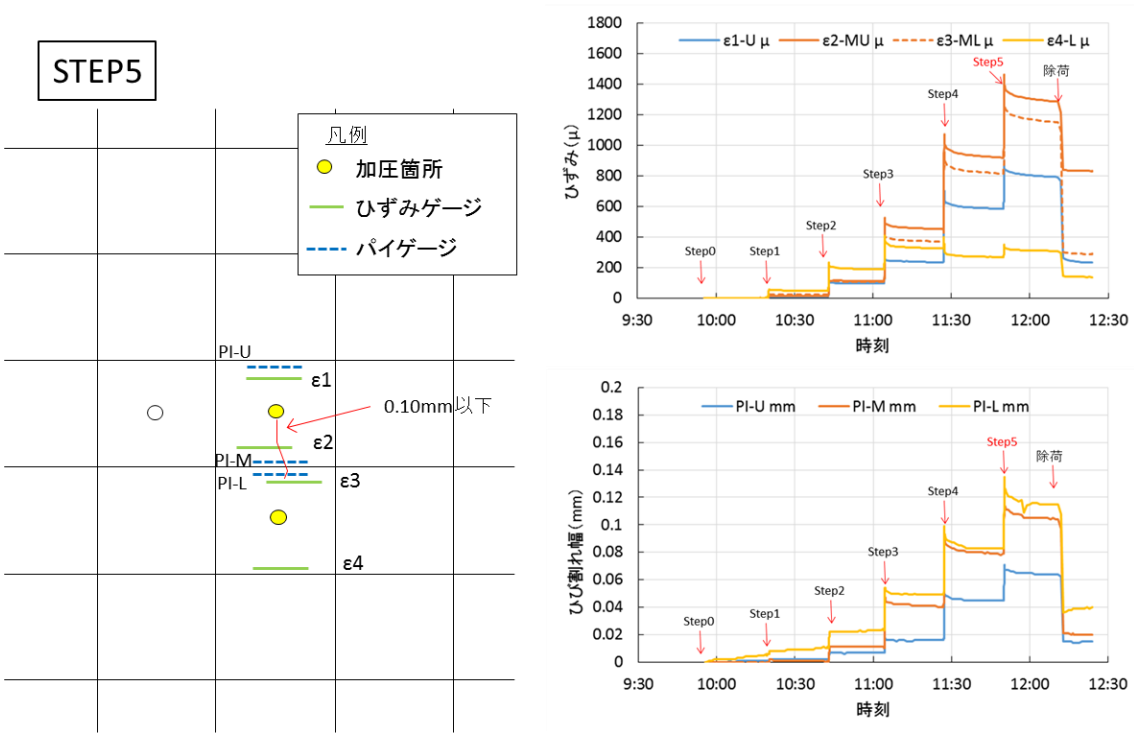


図 2.3-131　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP5）

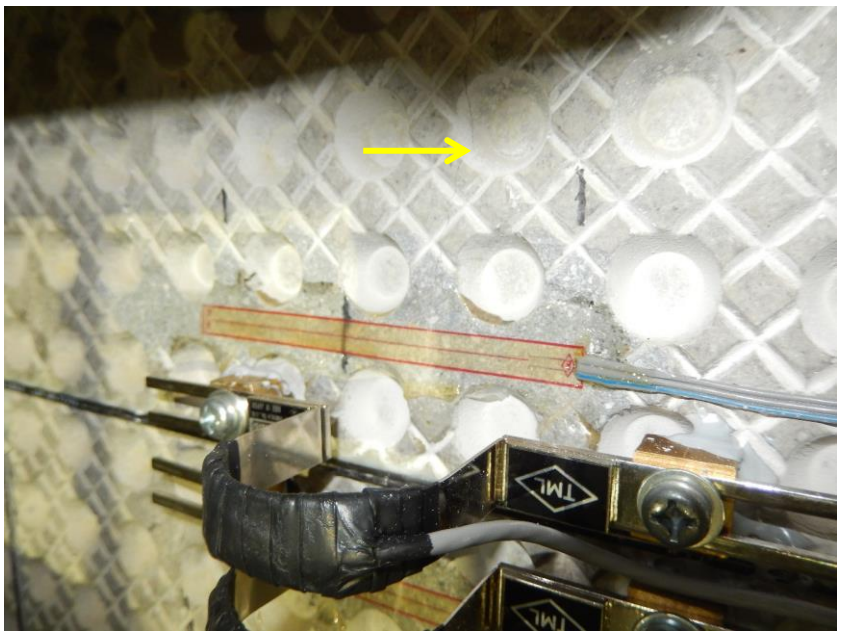


図 2.3-132　縦方向のひび割れの発生状況

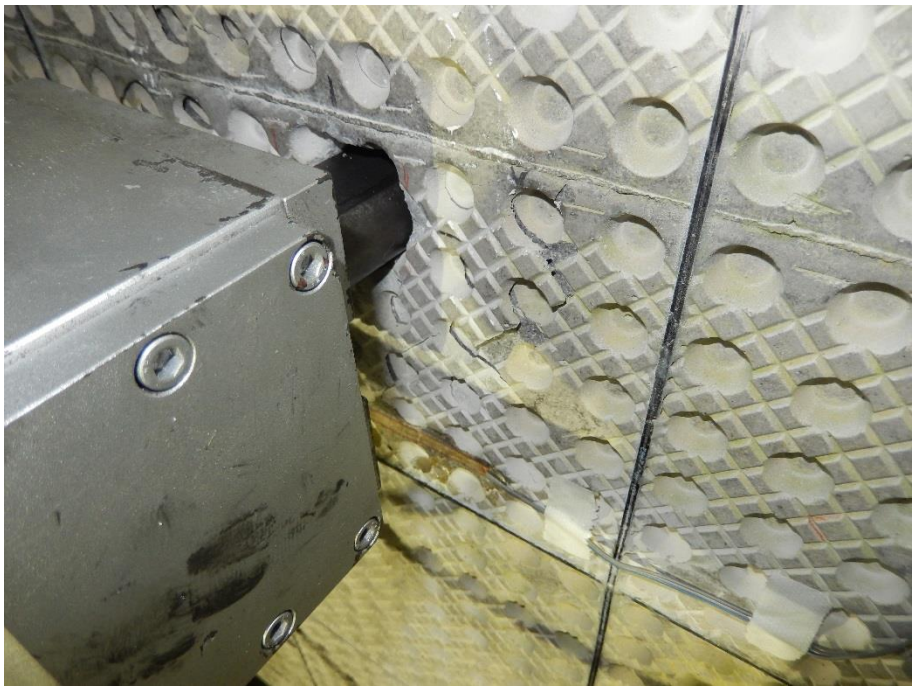


図 2.3-133　KK シートの浮きの発生状況

(b) 斜め方向ひび割れ

斜め方向のひび割れを発生させる際は、図 2.3-134 に示すように標準パッカーを設置した。計測ステップ毎の加圧停止の目安を表 2.3-15 に、計測ステップ毎の目視観察によるひび割れ幅と、ひずみゲージやパイ型ゲージによる計測値を図 2.3-135 から図 2.3-137 に示す。最大 70MPa まで加圧したものの、斜め方向においても、0.10mm に満たないひび割れしか発生しなかった。手前コンクリートピットは部材寸法が大きい上、鉄筋コンクリート部材のため、ひび割れ幅が拡大しにくかったことが理由であると考えられる。

表 2.3-15　計測ステップと加圧停止の目安値（手前コンクリートピット　斜め方向）

STEP	加圧停止の目安値
0	初期値
1	標準パッカー50MPa
2	標準パッカー60MPa
3	標準パッカー70MPa

図 2.3-134　標準パッカー設置状況　手前コンクリートピット　斜め方向

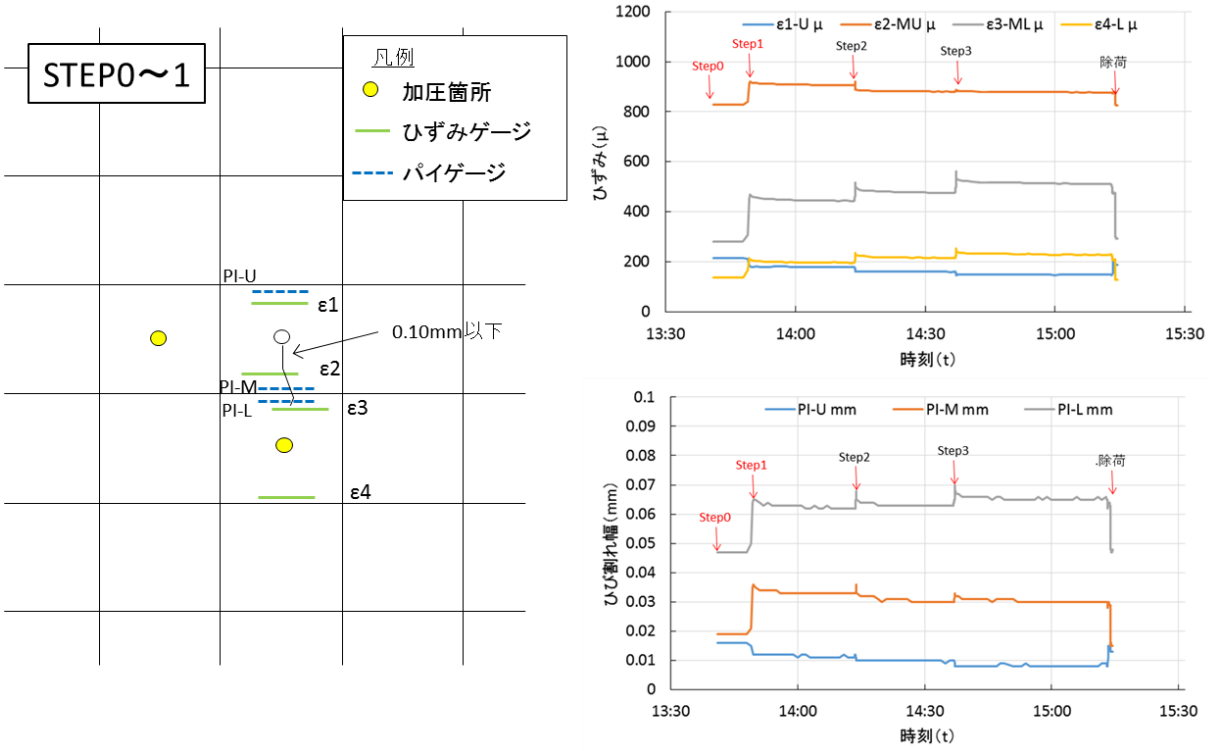


図 2.3-135　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP0~1）

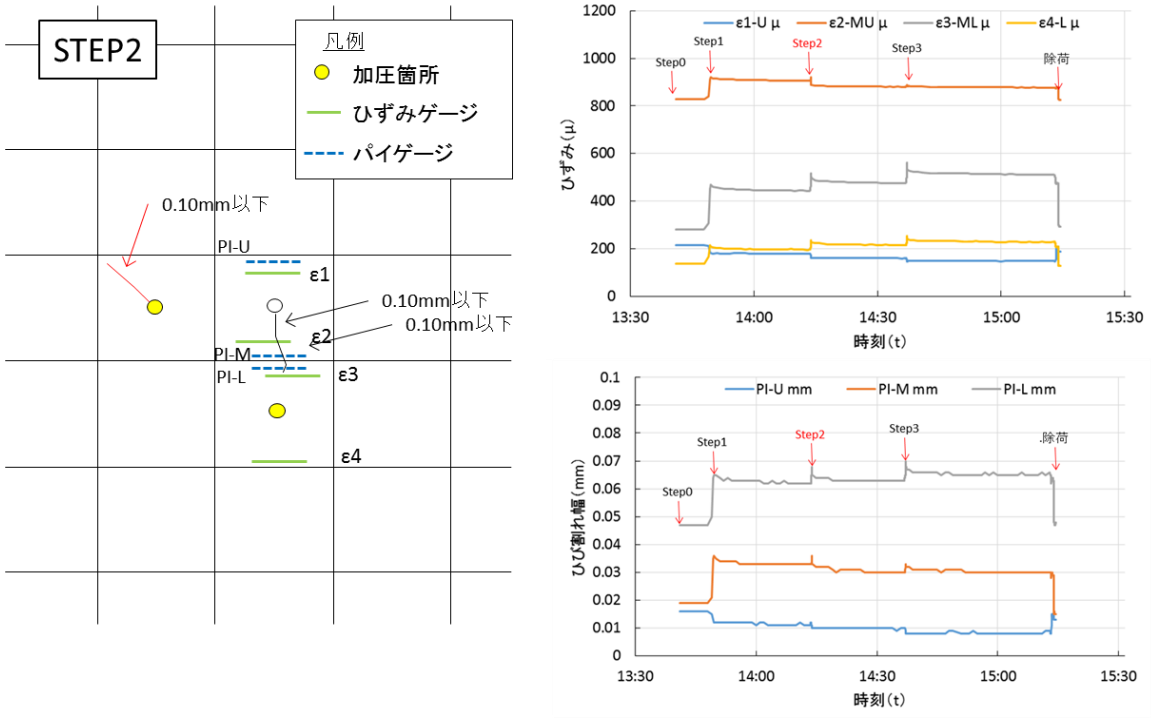


図 2.3-136　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP2）

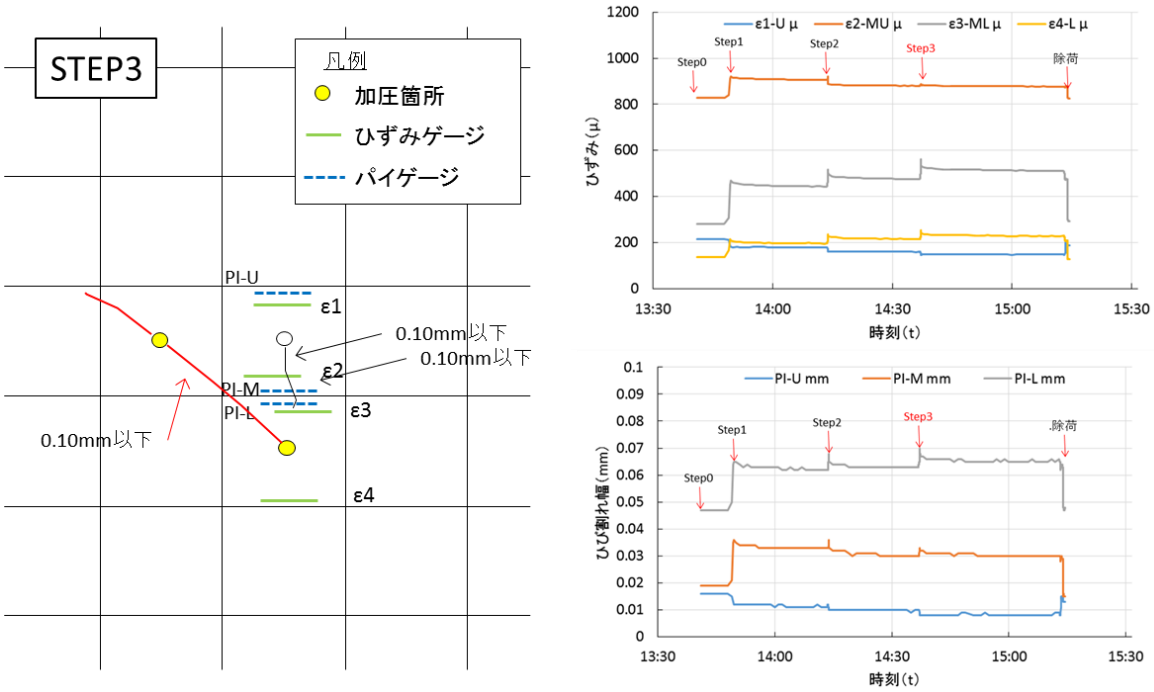


図 2.3-137　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP3）

b. 上部低拡散層

(a) 直交方向ひび割れ

標準パッカーの設置状況を図 2.3-138 に示す。計測ステップ毎の目視観察によるひび割れ幅と、ひずみゲージやパイ型ゲージによる計測値を図 2.3-139 から図 2.3-143 に示す。STEP1 から 2 ではひずみが段階的に上昇していく一方で、目視観察によるひび割れは確認できなかった。約 40MPa をかけた STEP3 でひび割れが発生して以降、段階的にひび割れは伸展、拡大しており、STEP6 でひび割れは側面まで貫通した。その幅は最大で 0.45mm に達している。上部低拡散層のひび割れ発生状況を図 2.3-144 に示す。ひび割れはひずみゲージやパイ型ゲージを通過しているため、これらの計測機器で計測されるひずみや変位は、発生させたひび割れによって生まれているものと考えられる。なお、ひずみゲージをひび割れが通過すると、ひずみゲージが切れるために、ひずみの計測が不能となる。このケースでは、STEP3 で ε2、ε3、ε6 が、STEP4 において ε1、ε4、ε5 が切断されて、計測不能となっている。

表 2.3-16　計測ステップと加圧停止の目安値（上部低拡散層　直交方向）

STEP	各ステップの加圧停止の目安
0	初期値
1	ε1～ε6 の最大値が 50 μ
2	ε1～ε6 の最大値が 200 μ
3	PI-1～PI-3 の最大値が 0.10mm
4	PI-U～PI-L の最大値が 0.20mm
5	PI-U～PI-L の最大値が 0.30mm
6	標準パッカーで 60MPa

図 2.3-138　標準パッカー設置状況　上部低拡散層　直交方向

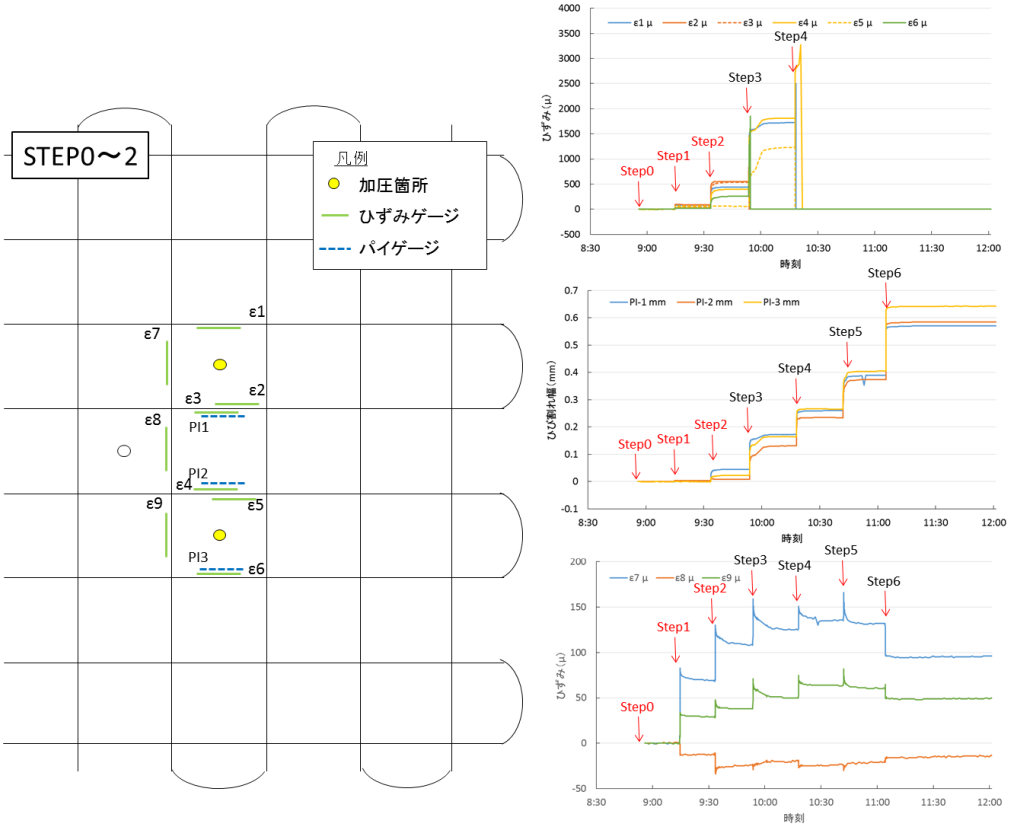


図 2.3-139　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP0~2）

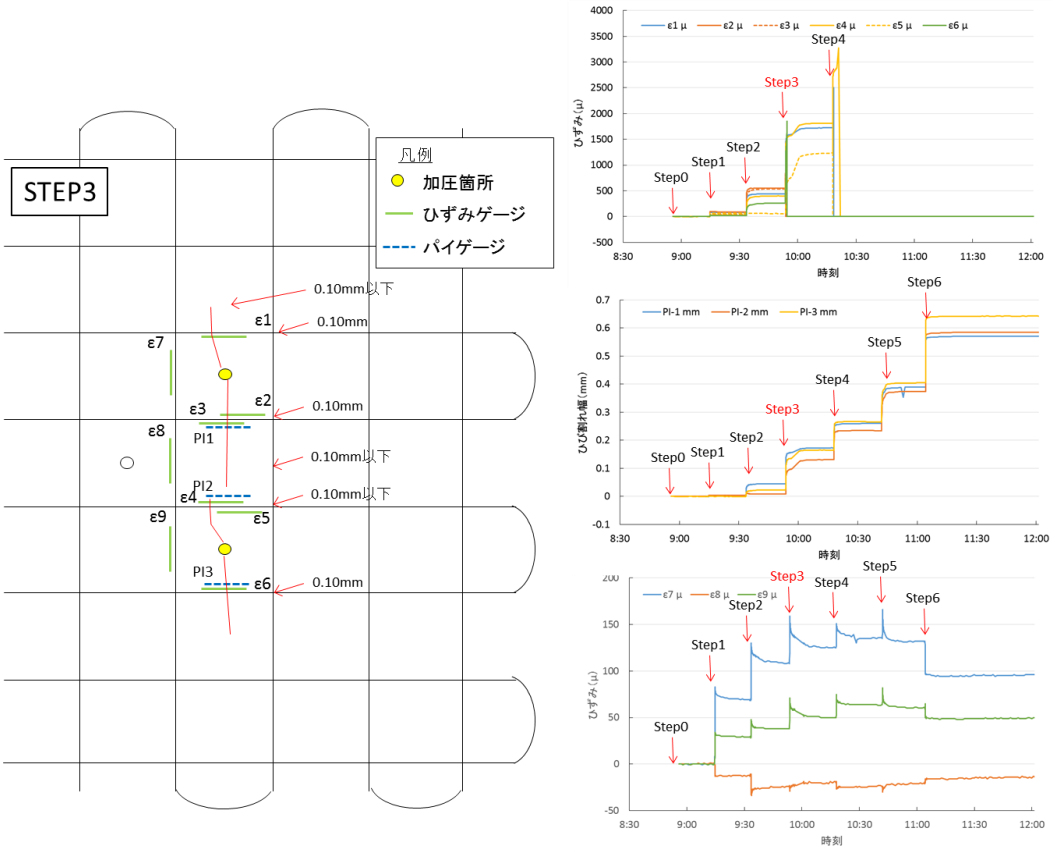


図 2.3-140　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP3）

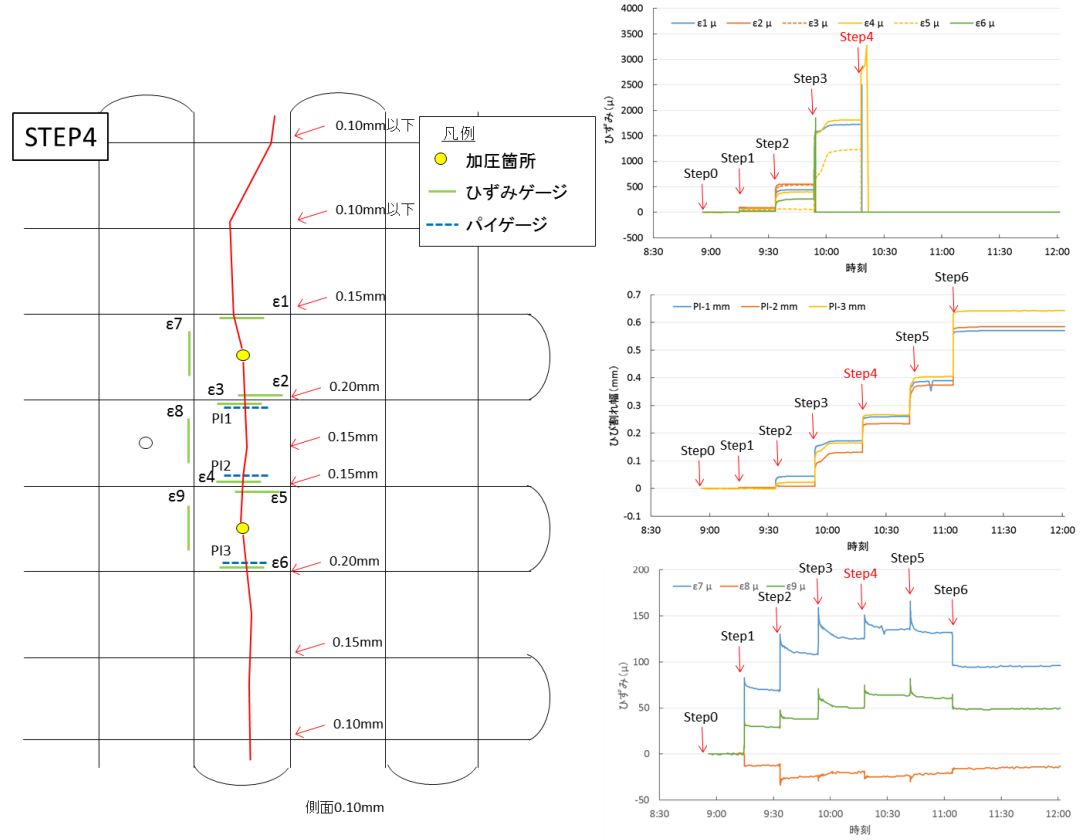


図 2.3-141　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP4）

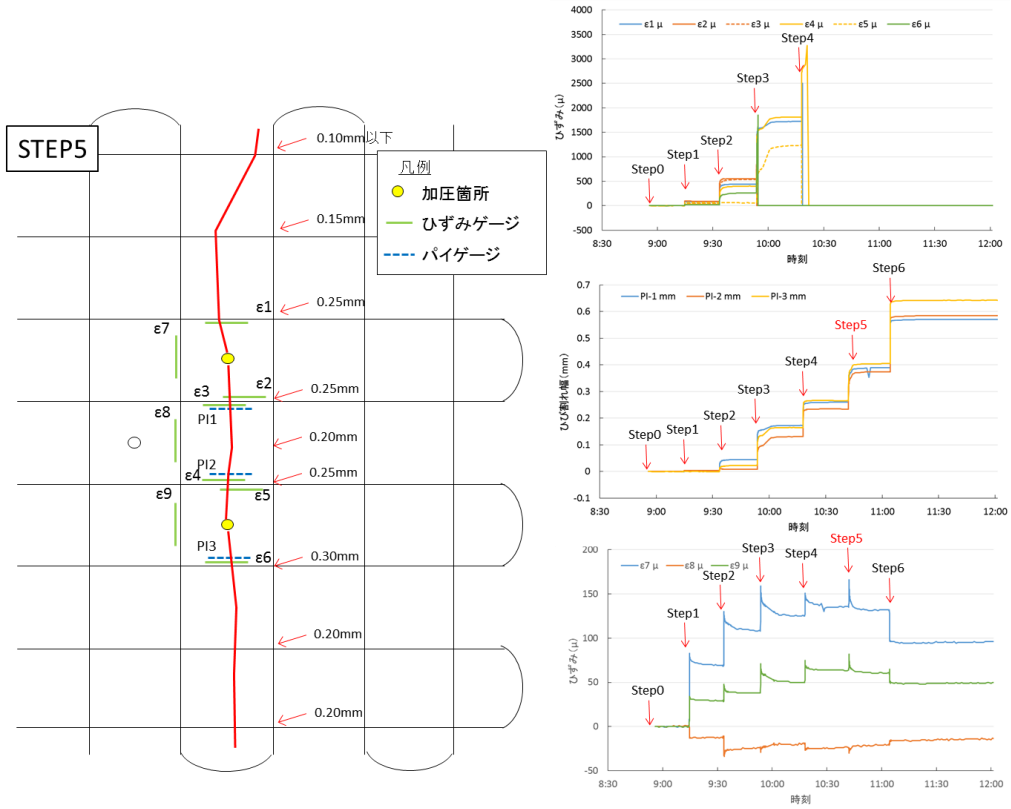


図 2.3-142　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP5）

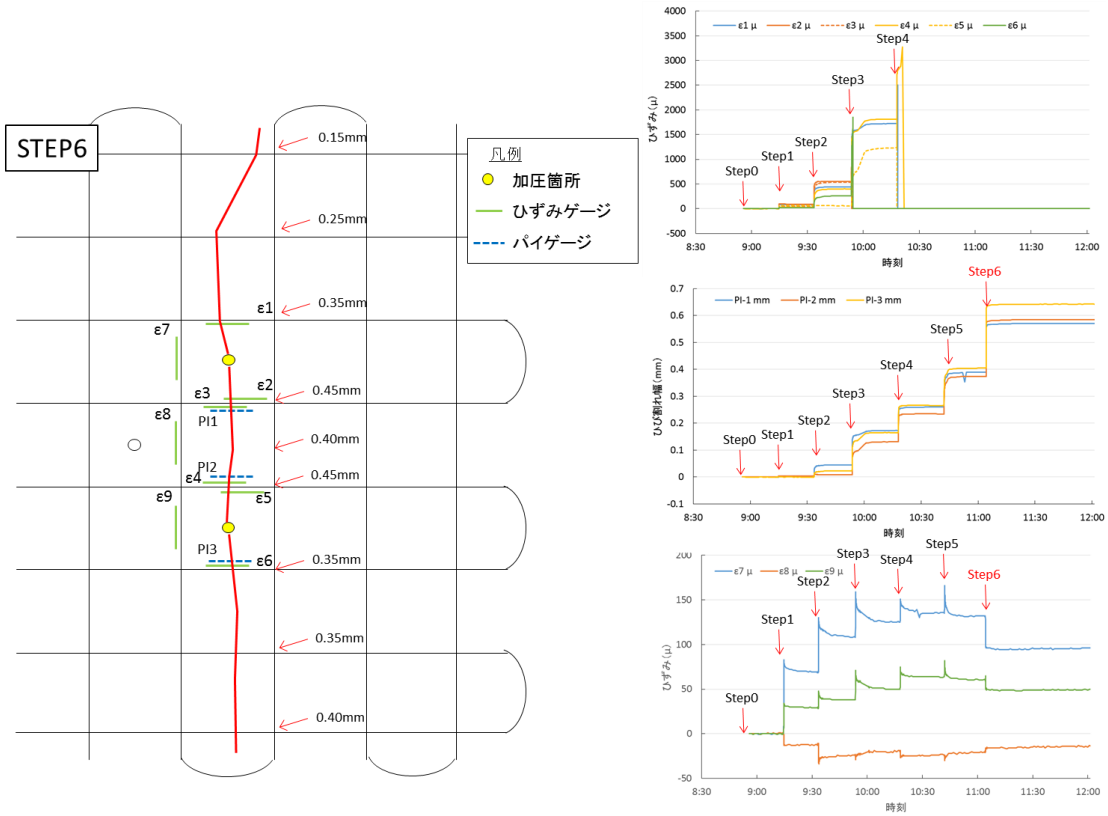


図 2.3-143　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP6）

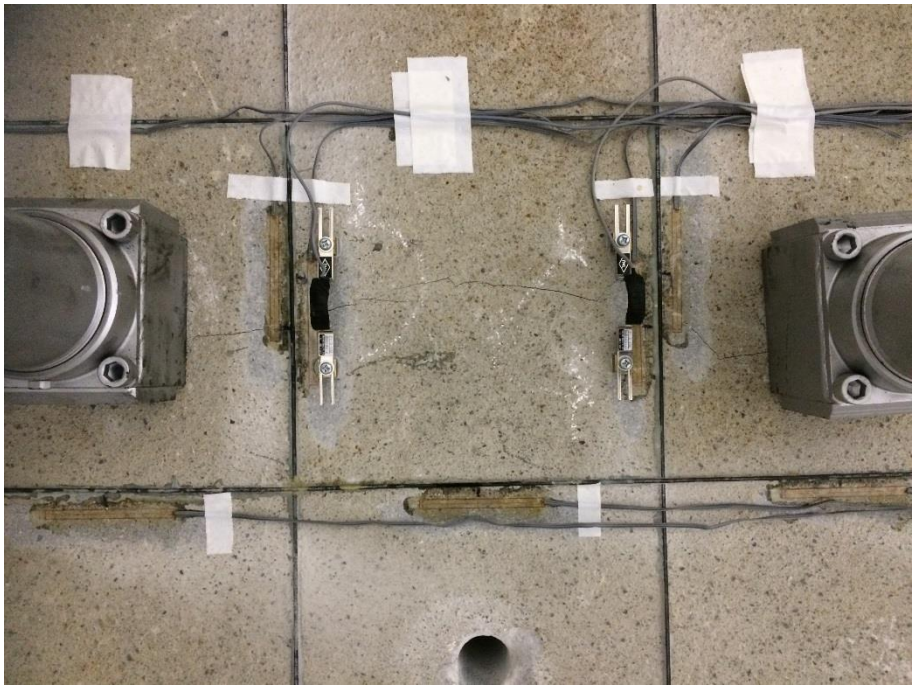


図 2.3-144　上部低拡散層に発生させたひび割れ

(b) 斜め方向ひび割れ

事前試験より、直交方向にひび割れを誘発する際に用いた削孔穴に標準パッカーを設置して加圧すると、既存の直交方向のひび割れが拡大することが想定されたことから、図 2.3-138 に示すように、1 ヶ所にのみ、標準パッカーを設置した。

計測ステップ毎の目視観察によるひび割れ幅と、ひずみゲージやパイ型ゲージによる計測値を図 2.3-146 から図 2.3-148 に示す。斜め方向のひび割れの発生、伸展、拡大に伴って、ひずみゲージやパイ型ゲージで計測される値に変化が生じていることが分かる。

表 2.3-17　計測ステップと加圧停止の目安値（上部低拡散層　斜め方向）

STEP	各ステップの加圧停止の目安
0	初期値
1	標準パッカーで 20MPa
2	標準パッカーで 40MPa
3	標準パッカーで 75MPa

図 2.3-145　標準パッカーの設置位置　上部低拡散層　斜め方向

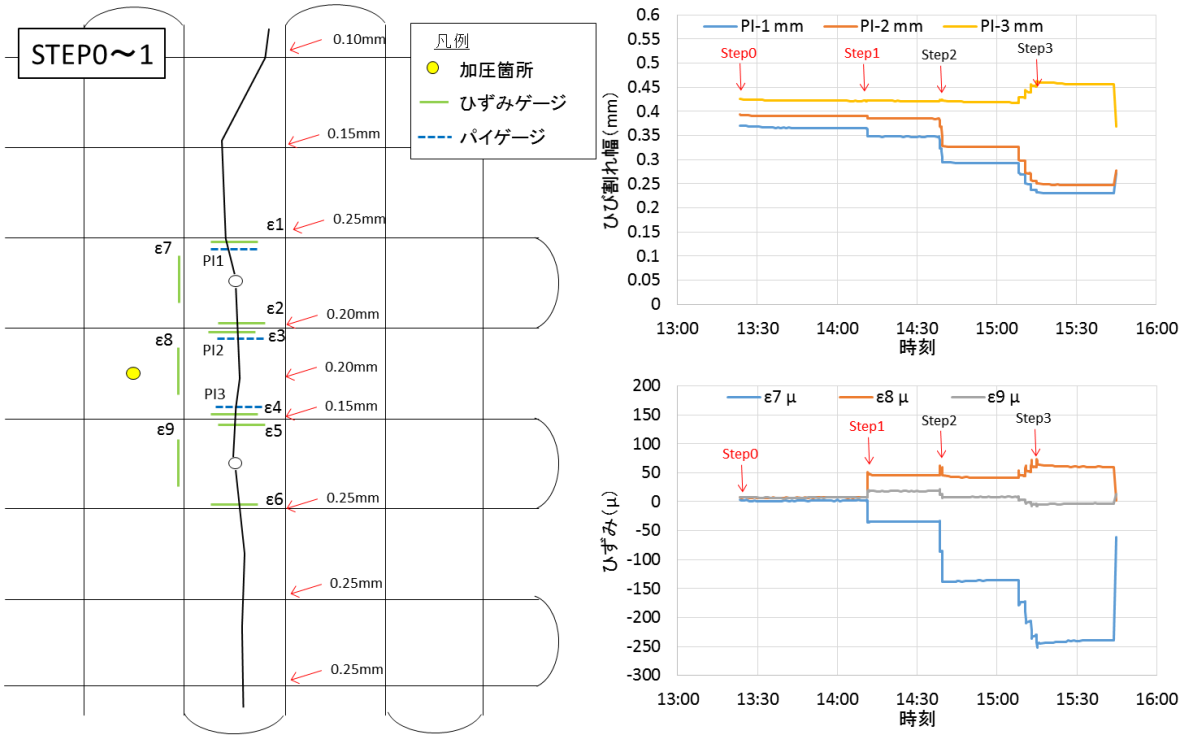


図 2.3-146　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP0～1）

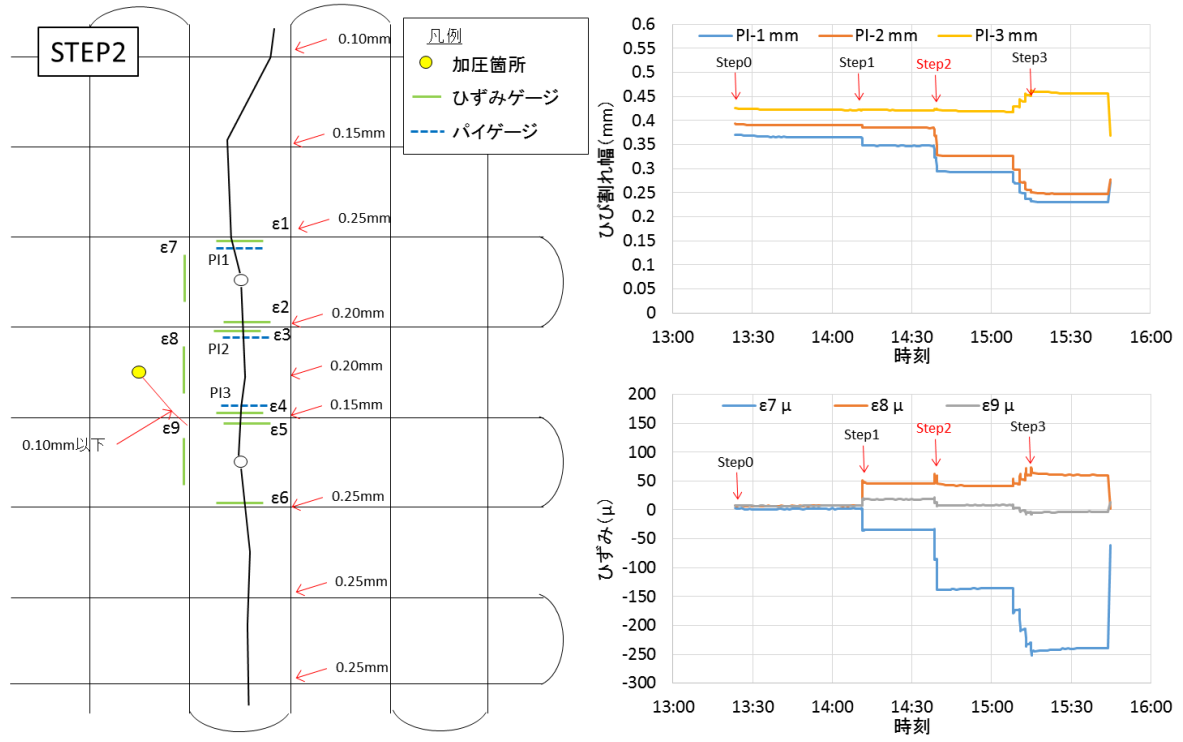


図 2.3-147　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP2）

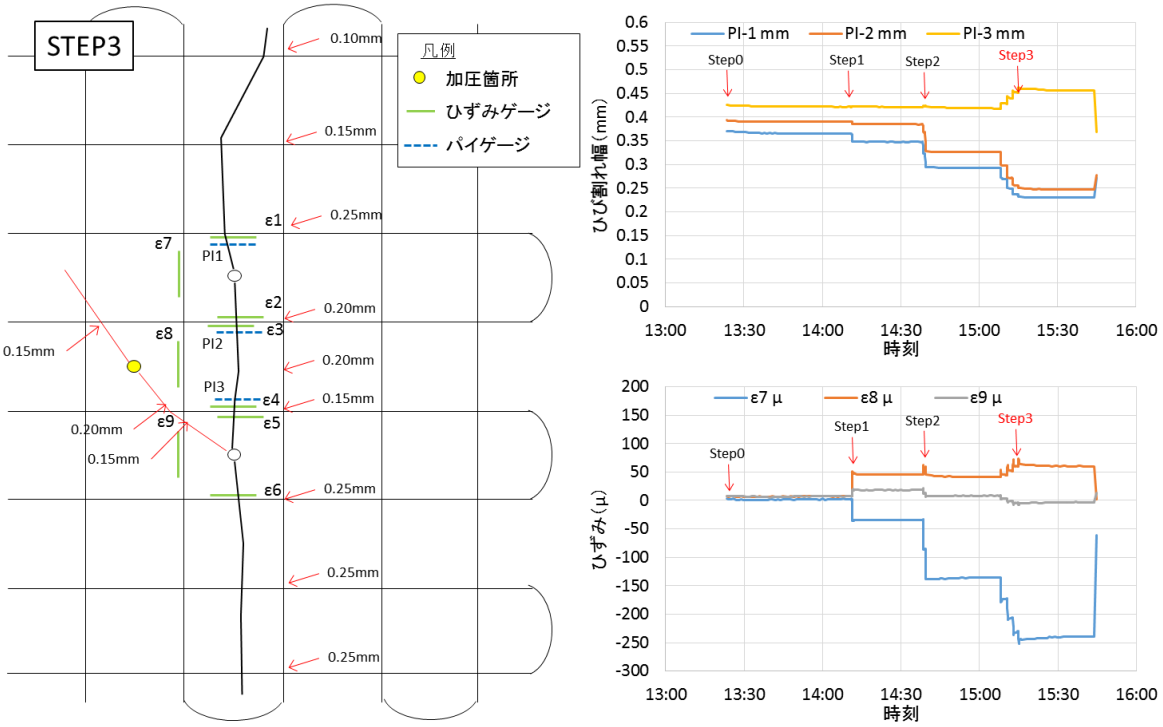


図 2.3-148　目視観察によるひび割れ幅と計器計測値（STEP3）

2）光ファイバセンサーを用いたひずみの計測

a．手前コンクリートピット

(a) 試験方法

手前コンクリートピット向かって右側に、格子状に設置してある光ファイバに対して、直交するひび割れ、斜めで交差するひび割れを誘発するように標準パッカー工法を適用した。パッカー設置位置を図 2.3-149 に示す。

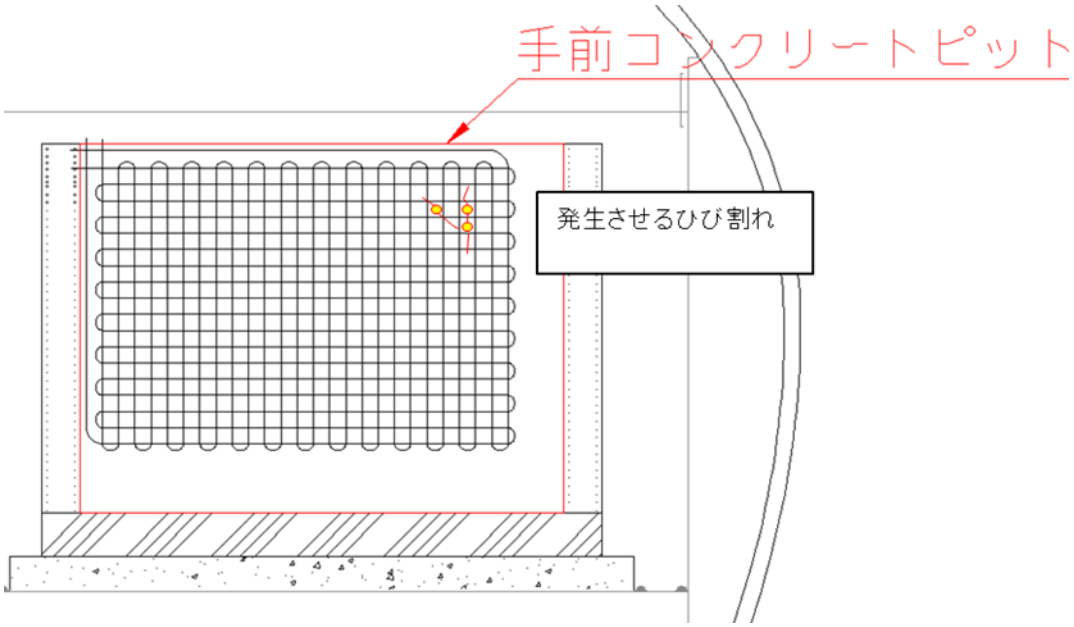


図 2.3-149　ひび割れ誘発位置（手前コンクリートピット）

光ファイバセンサーの計測パラメータを表 2. 3-18 に示す。計測にはブリルアン散乱を利用した PPP-BOTDA 方式と、レイリー散乱を利用した TW-COTDR 方式を用いた。段階的な加圧ステップごとに、光ファイバセンサーによる計測を繰り返した。

表 2.3-18　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（現地試験、手前コンクリートピット）

距離レンジ	700 m
位置分解能	5 cm
サンプリング間隔	2.5 cm
加算回数	2^{15}
周波数掃引範囲	350 MHz　　(10.60~10.95GHz)
掃引周波数ステップ	5 MHz
周波数掃引回数	71
計測時間（単発）	約 180 秒

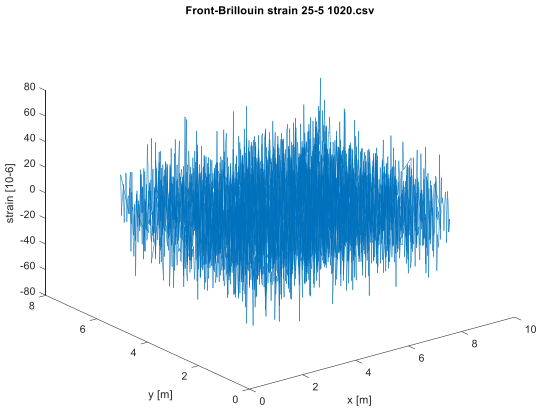
表 2.3-19　TW-COTDR 方式の計測パラメータ（現地試験、手前コンクリートピット）

距離レンジ	700 m
位置分解能	5 cm
サンプリング間隔	2.5 cm
加算回数	2^{13}
周波数掃引範囲	200 MHz　　(194.0~194.2GHz)
掃引周波数ステップ	0.2 MHz
周波数掃引回数	1001
計測時間（単発）	約 300 秒

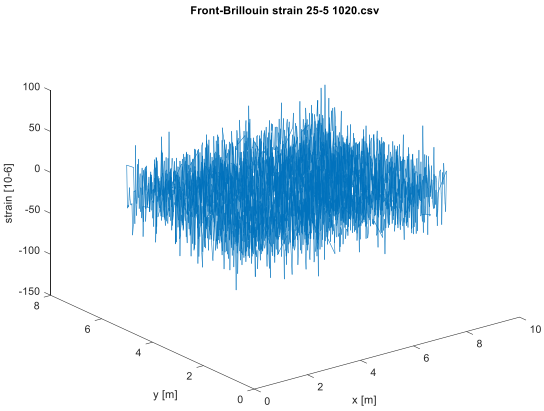
(b) 試験結果

a）ひずみ分布

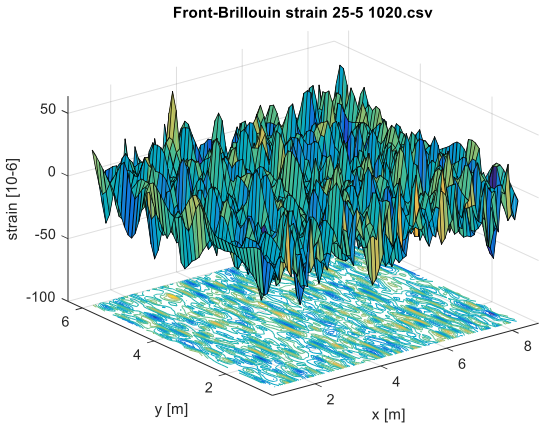
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP1 の計測結果を図 2.3-150～図 2.3-151 に示す。PPP-BOTDA 方式では変化がみられないが、TW-COTDR 方式ではひずみの局所的な変化がみられた。



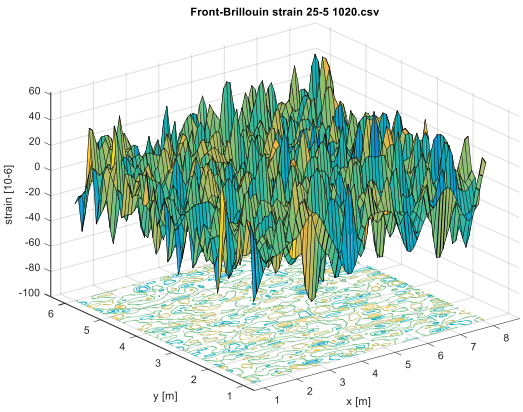
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



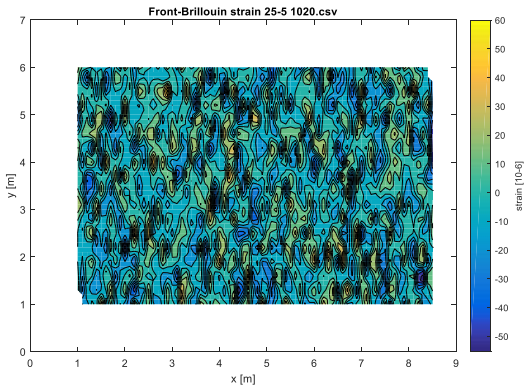
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



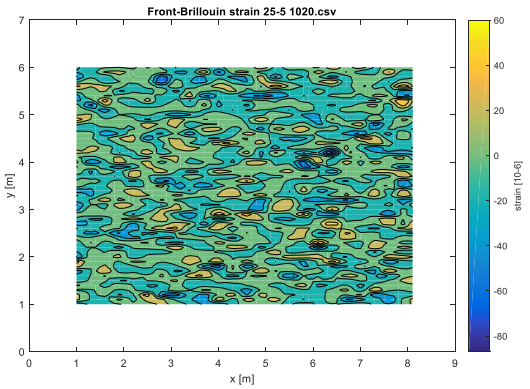
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）

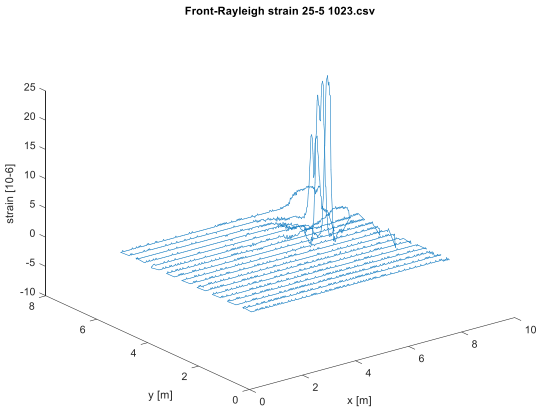


ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）

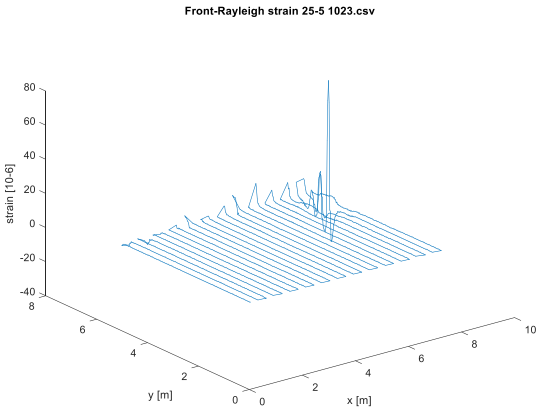


ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

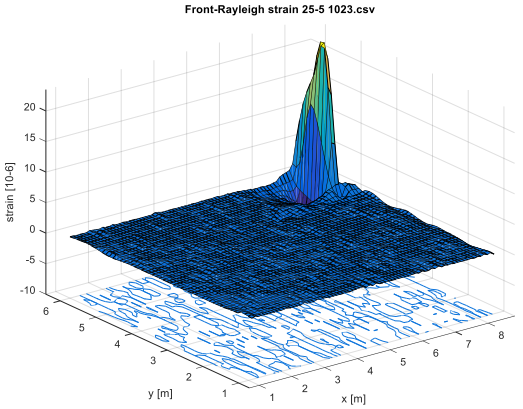
図 2.3-150　PPP-BOTDA 方式結果 1（手前コンクリートピット、STEP1）



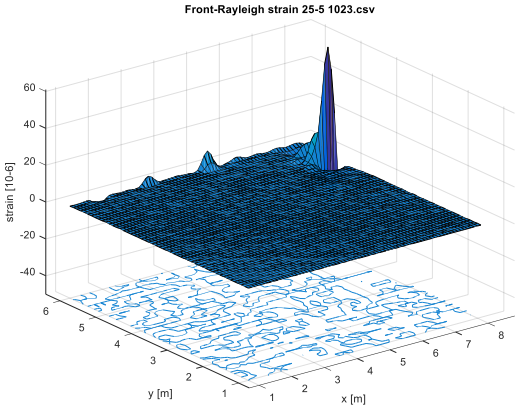
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



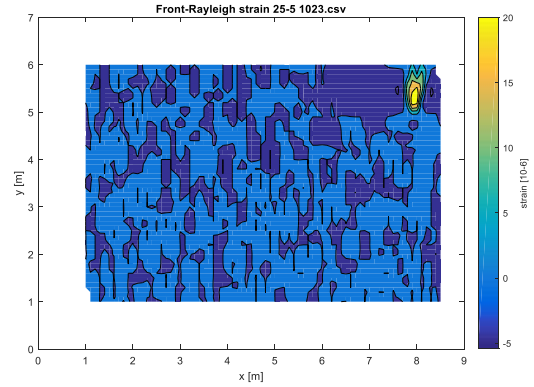
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



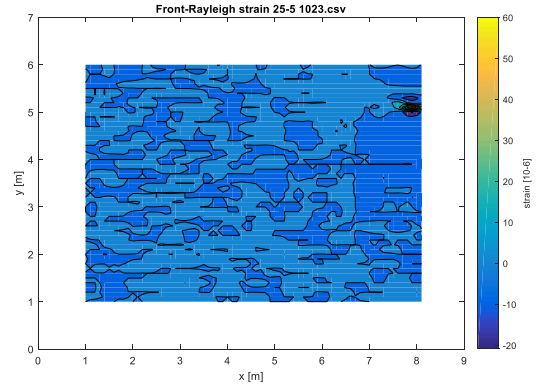
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）



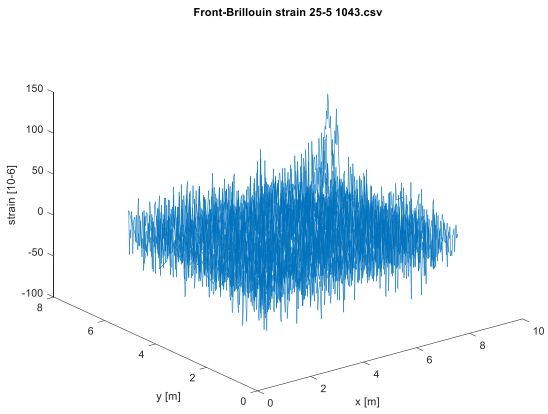
ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）



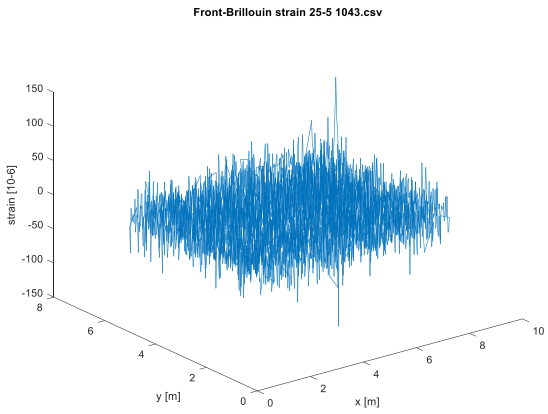
ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

図 2.3-151　TW-COTDR 方式結果 1（手前コンクリートピット、STEP1）

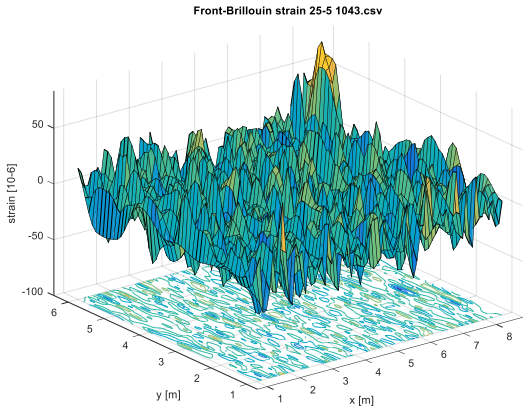
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP2 の計測結果を図 2.3-152～図 2.3-153 に示す。TW-COTDR 方式よりは顕著でないものの、PPP-BOTDA 方式でも僅かながらひずみの局所的な変化がみられた。



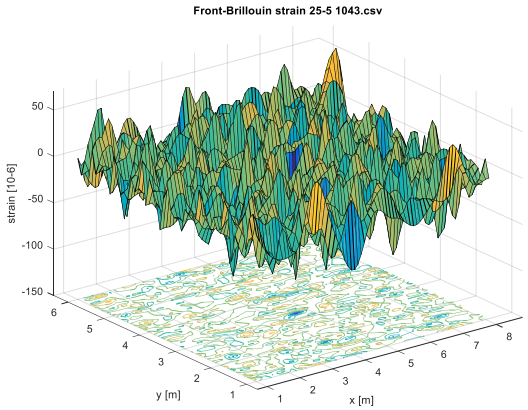
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



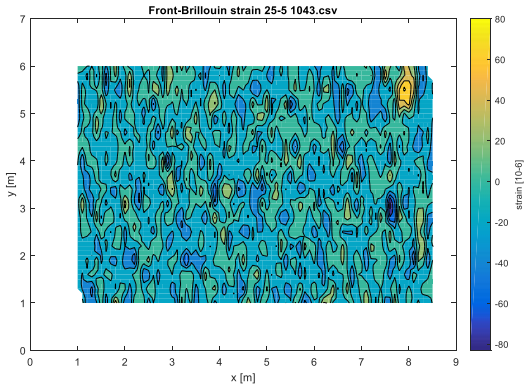
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



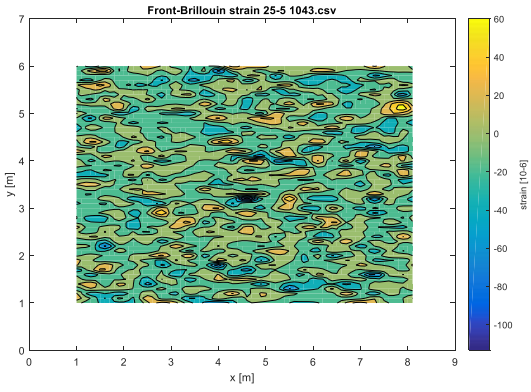
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）

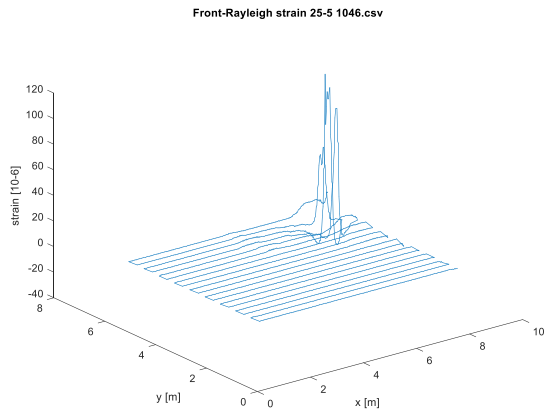


ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）

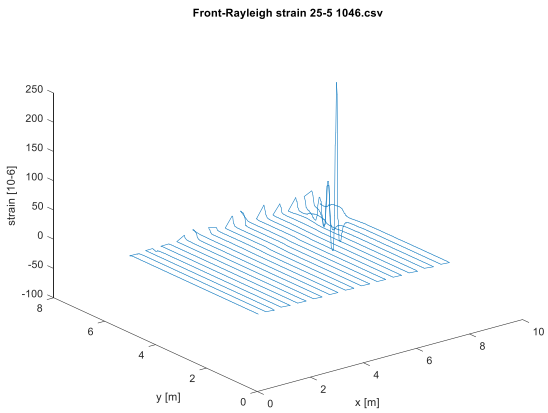


ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

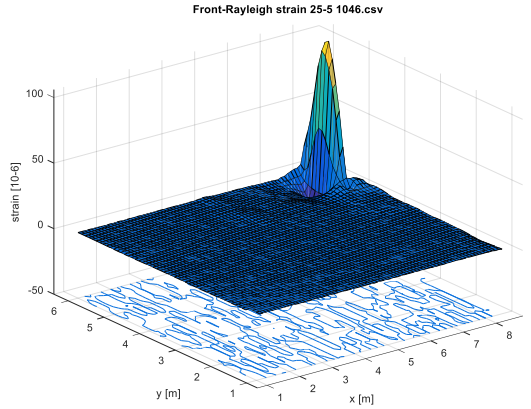
図 2.3-152　PPP-BOTDA 方式結果 2（手前コンクリートピット、STEP2）



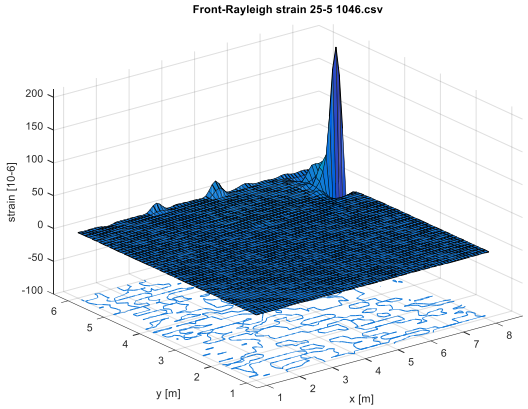
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



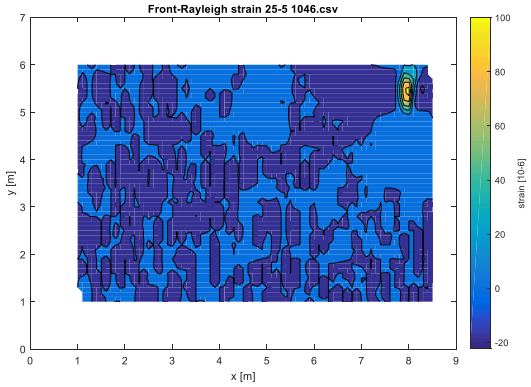
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



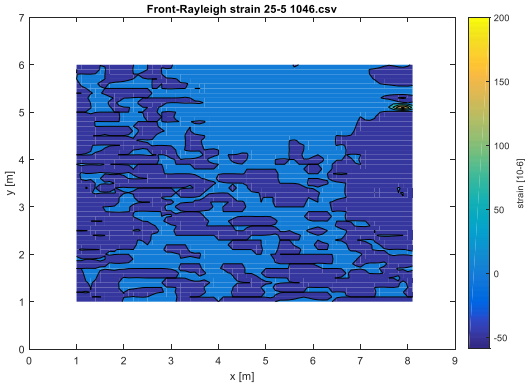
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）



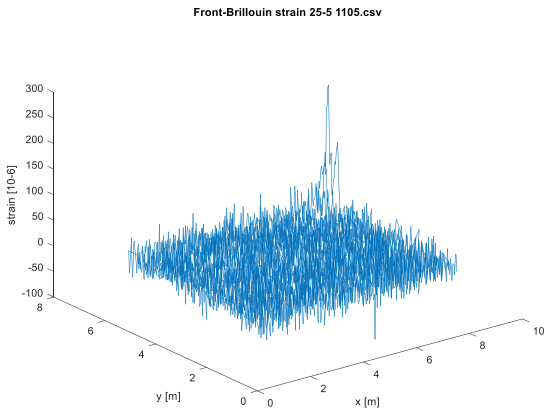
ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）



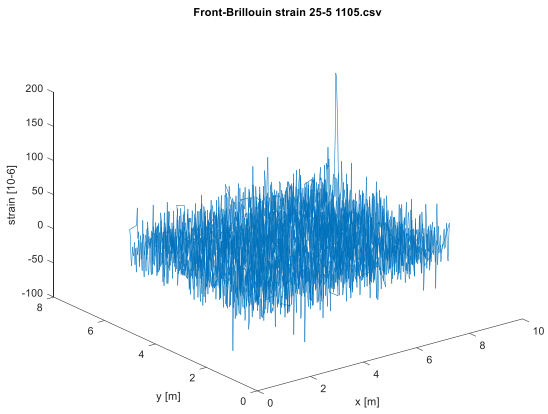
ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

図 2.3-153　TW-COTDR 方式結果 2（手前コンクリートピット、STEP2）

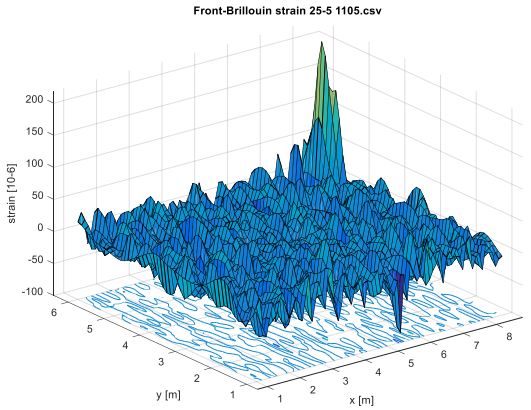
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP3 の計測結果を図 2.3-154～図 2.3-155 に示す。PPP-BOTDA 方式、TW-COTDR 方式ともに明確なひずみの局所的な変化がみられた。



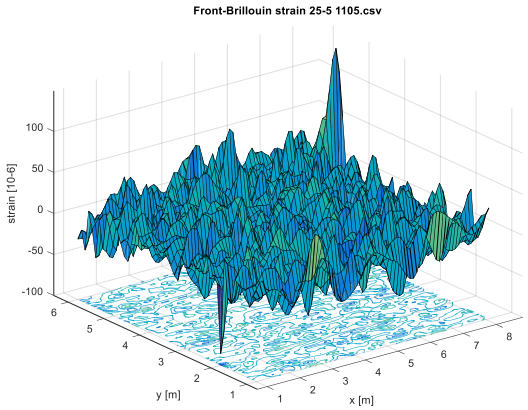
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



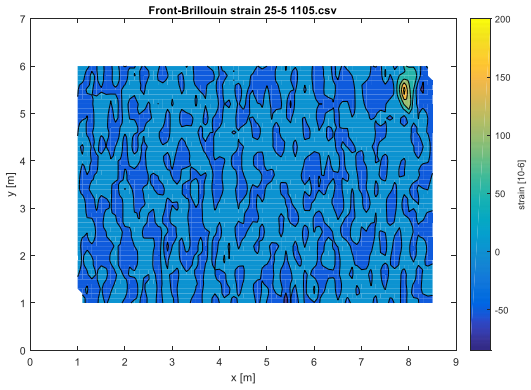
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



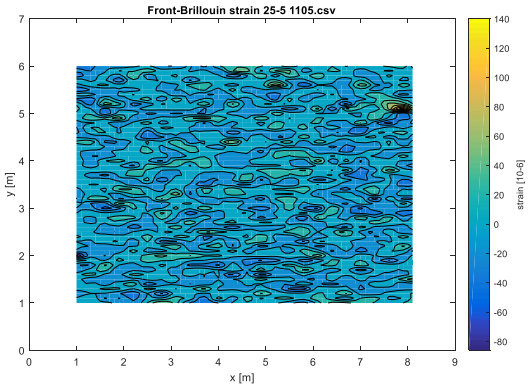
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）

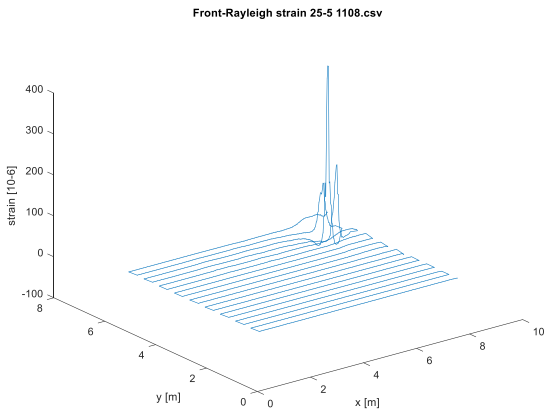


ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）

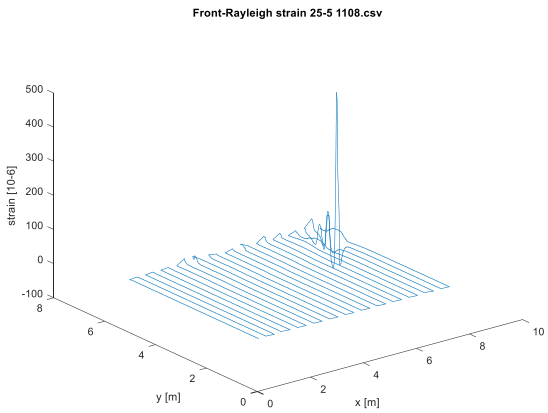


ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

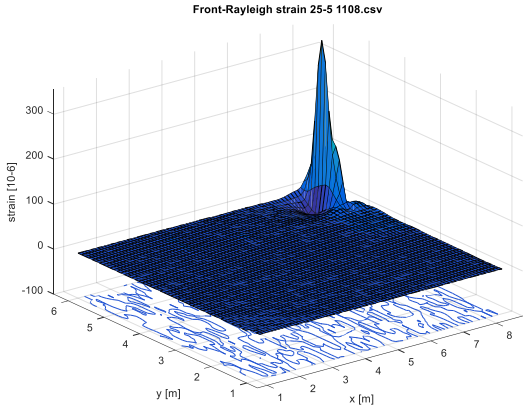
図 2.3-154　PPP-BOTDA 方式結果 3（手前コンクリートピット、STEP3）



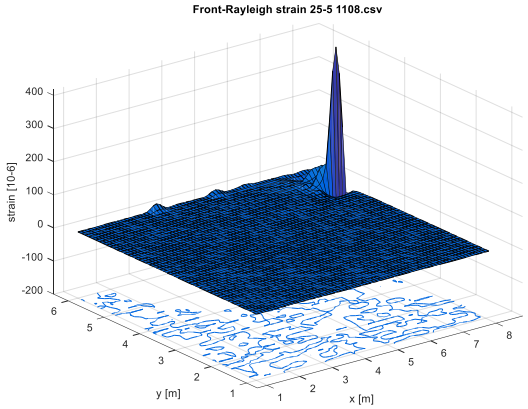
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



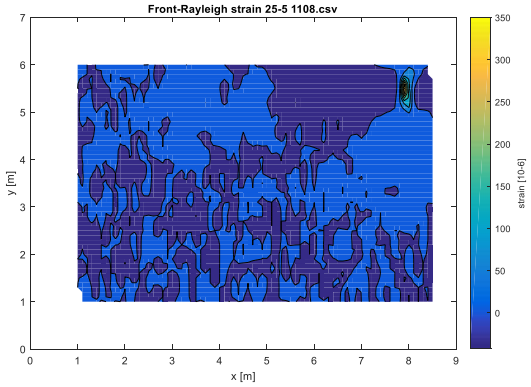
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



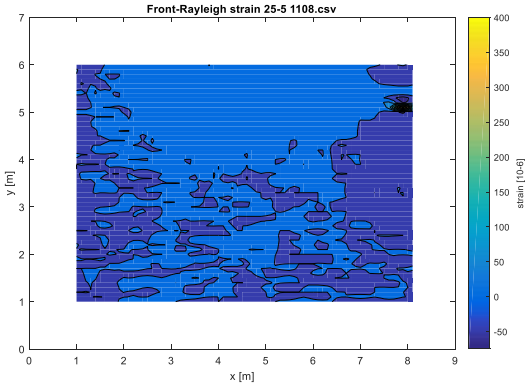
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）



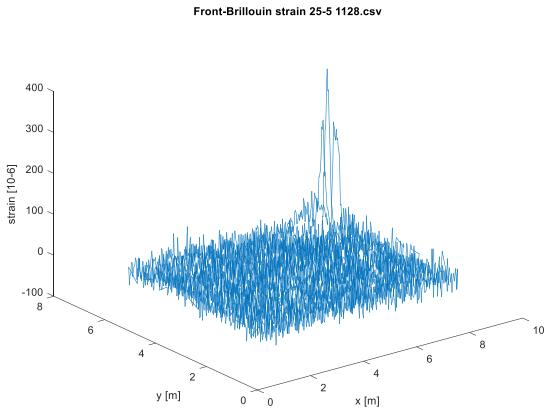
ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）



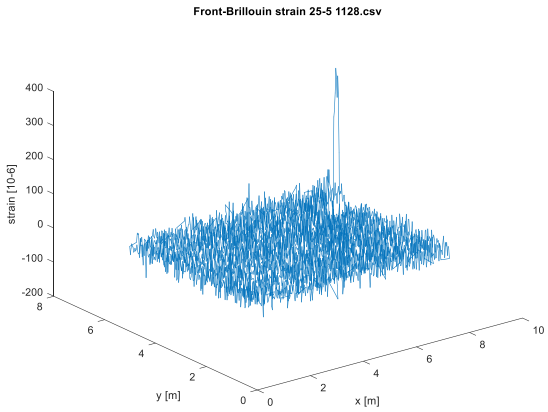
ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

図 2.3-155　TW-COTDR 方式結果 3（手前コンクリートピット、STEP3）

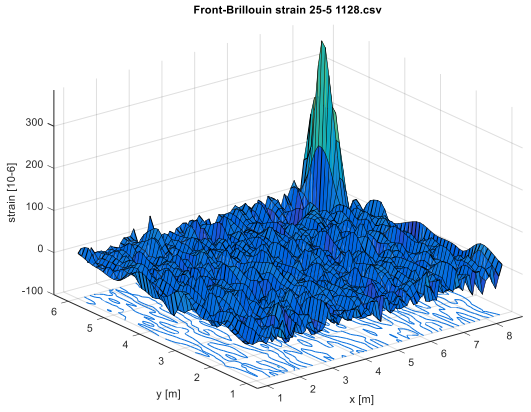
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP4 の計測結果を図 2.3-154～図 2.3-155 に示す。PPP-BOTDA 方式、TW-COTDR 方式ともに明確なひずみの局所的な変化がみられた。STEP0 から 4 にかけては、ひずみゲージやパイ型ゲージでは段階的に計測値が上昇するものの、目視観察では、ひび割れを確認できなかった。目視レベル以下のひび割れを光ファイバセンサーで確認することができた。



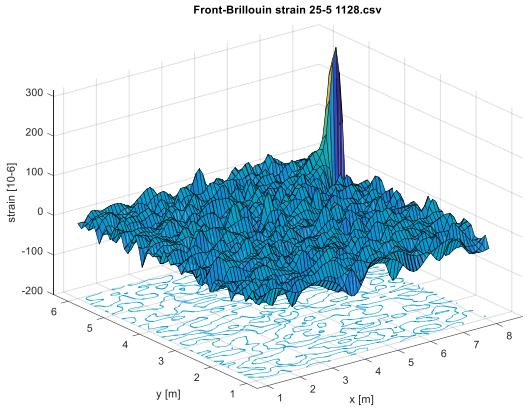
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



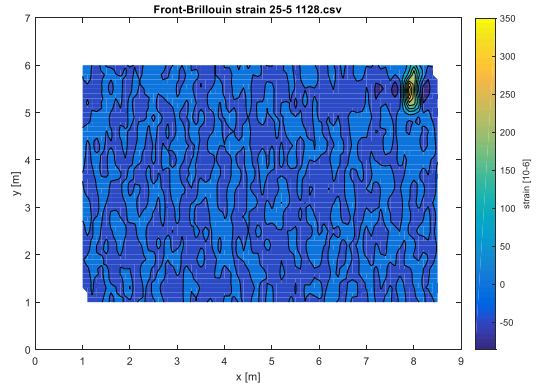
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



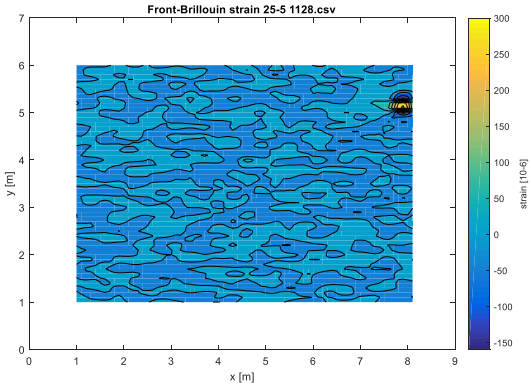
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）

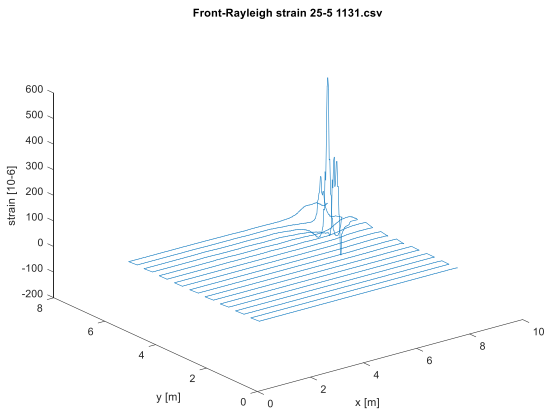


ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）

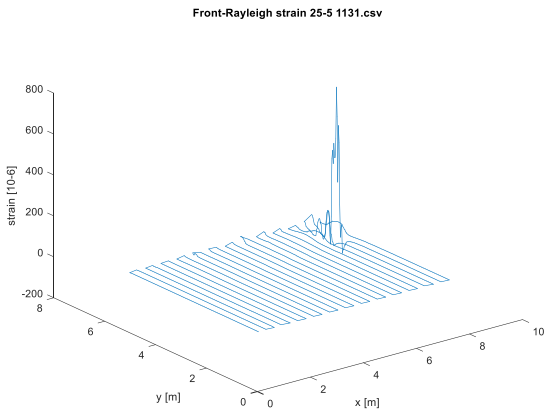


ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

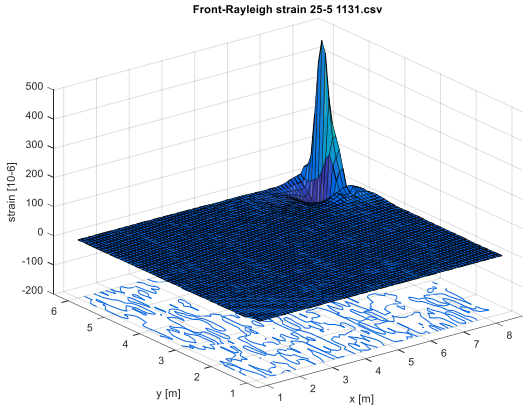
図 2.3-156　PPP-BOTDA 方式結果 4（手前コンクリートピット、STEP4）



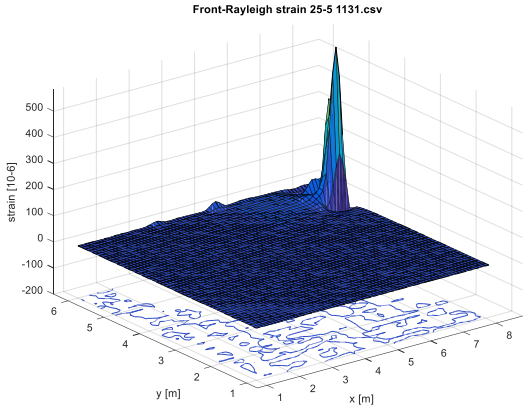
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



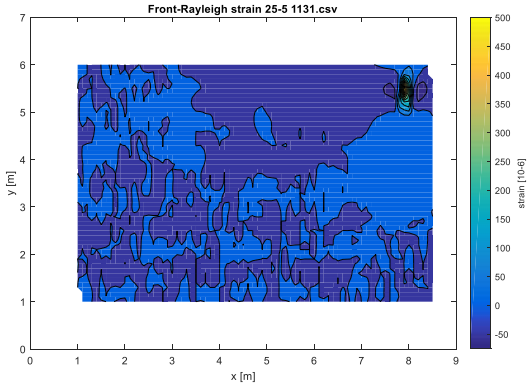
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



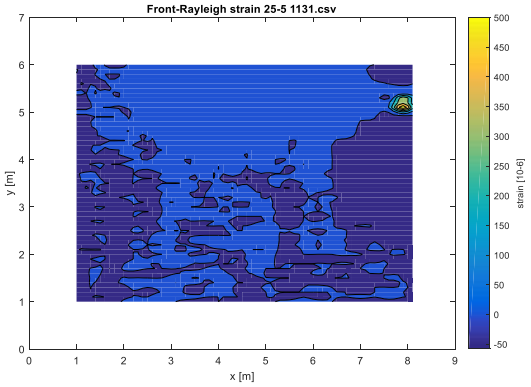
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）



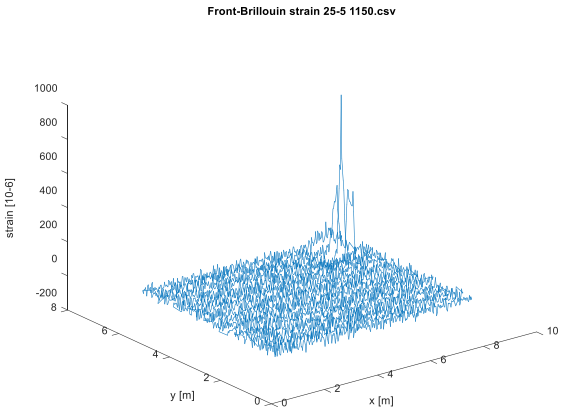
ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）



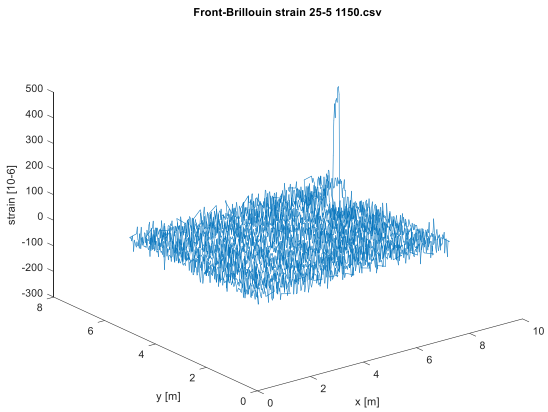
ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

図 2.3-157　TW-COTDR 方式結果 4（手前コンクリートピット、STEP4）

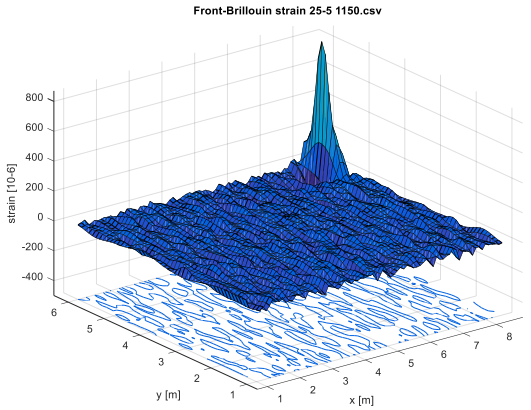
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP5 の計測結果を図 2.3-158～図 2.3-159 に示す。この時点ではじめてひび割れが目視確認できたものの、幅は 0.1mm に満たないものであった。



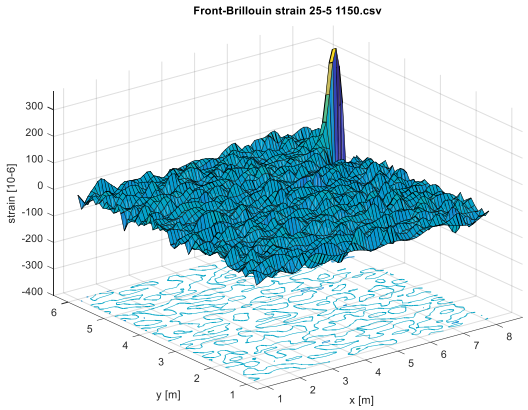
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



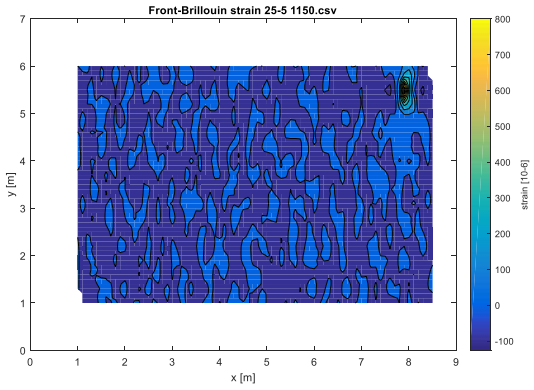
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



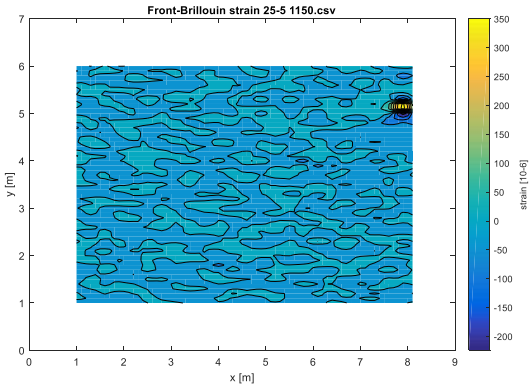
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）

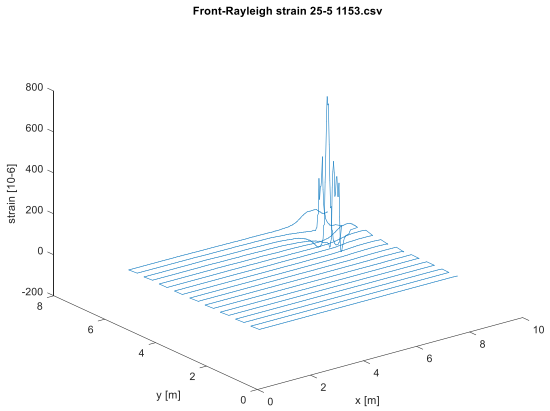


ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）

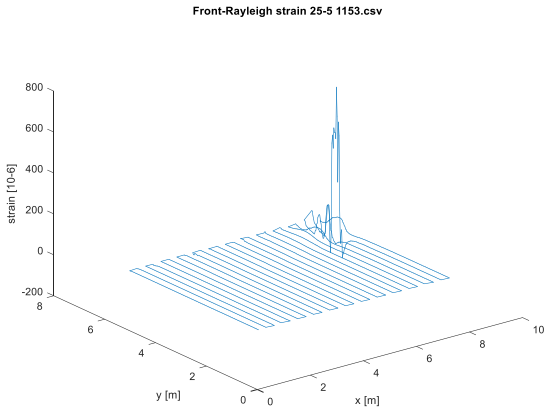


ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

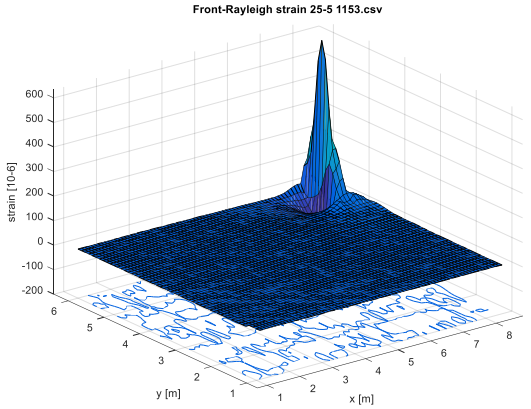
図 2.3-158　PPP-BOTDA 方式結果 5（手前コンクリートピット、STEP5）



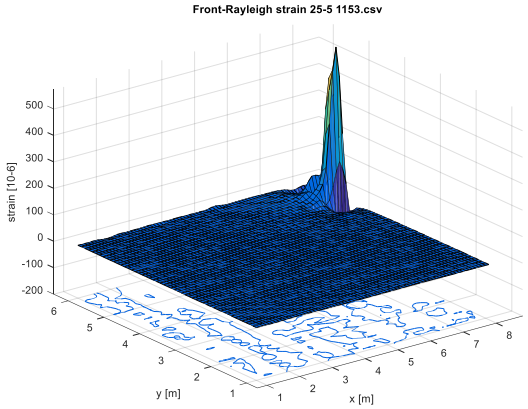
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



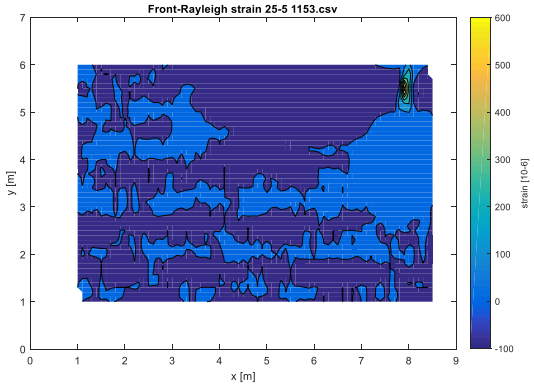
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



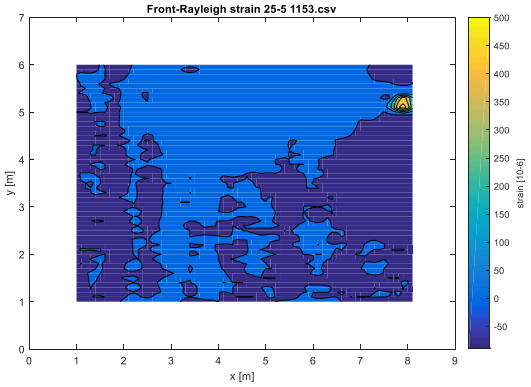
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）



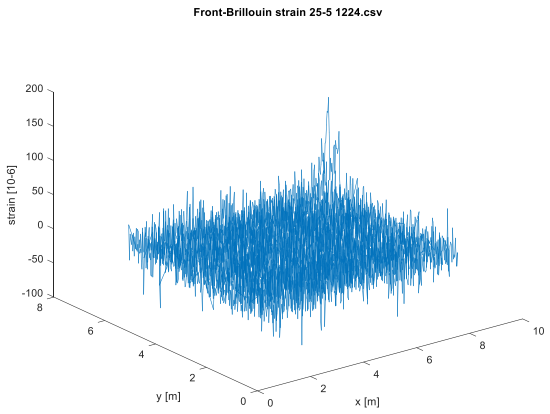
ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）



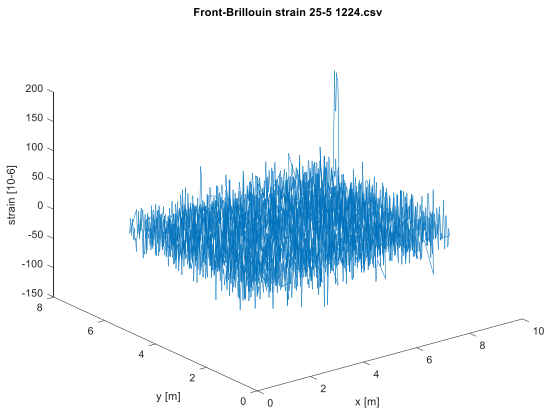
ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

図 2.3-159　TW-COTDR 方式結果 5（手前コンクリートピット、STEP5）

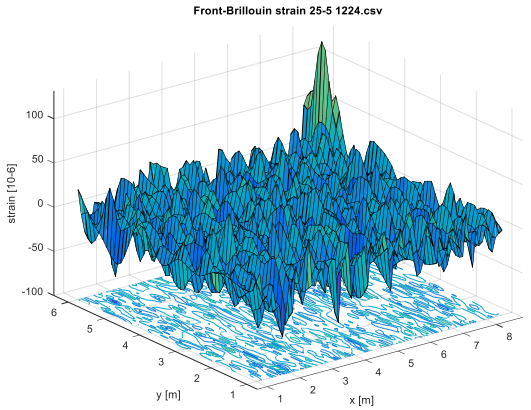
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP5 の後の除荷後の計測結果を図 2.3-160～図 2.3-161 に示す。STEP5 と比較して最大ひずみ値は小さくなるものの、ひずみが残留している。



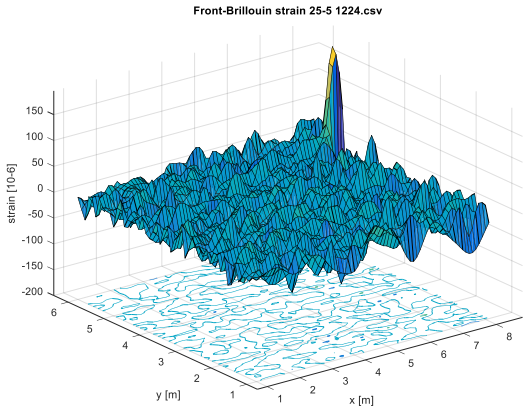
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



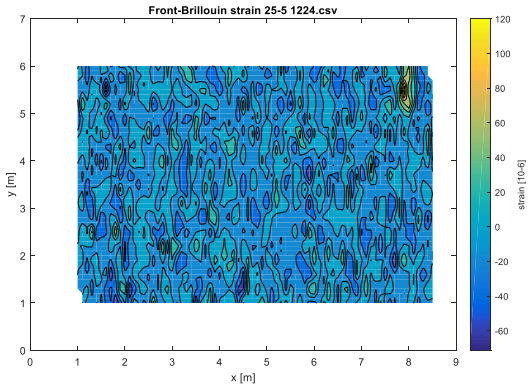
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



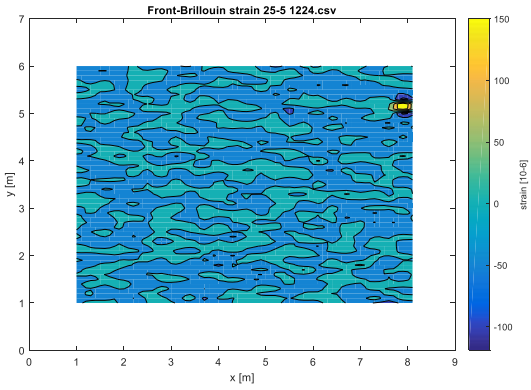
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）

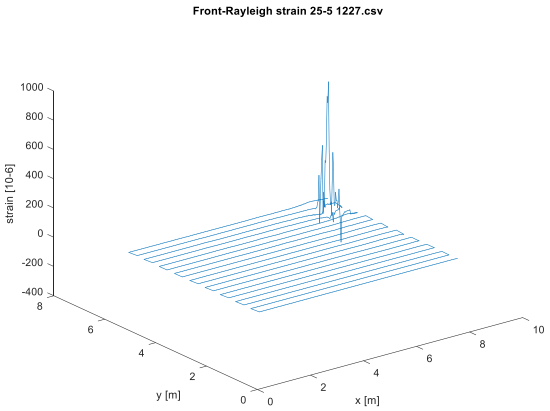


ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）

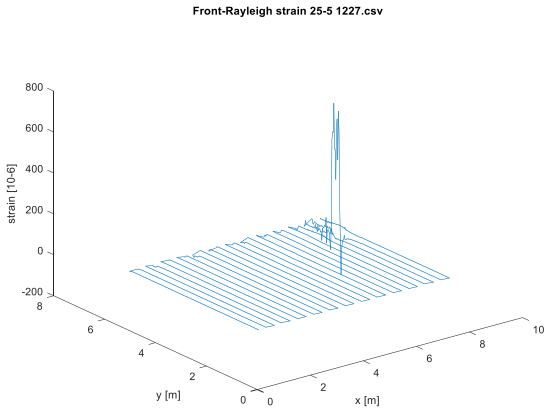


ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

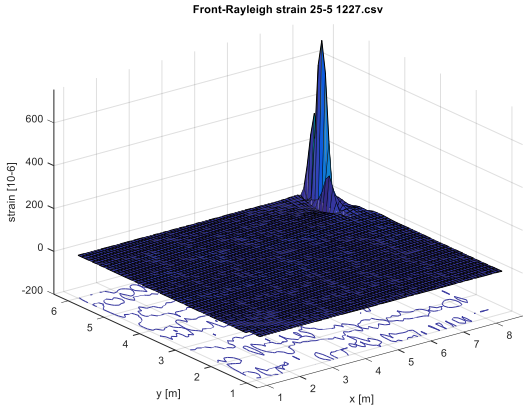
図 2.3-160　PPP-BOTDA 方式結果 6（手前コンクリートピット、除荷）



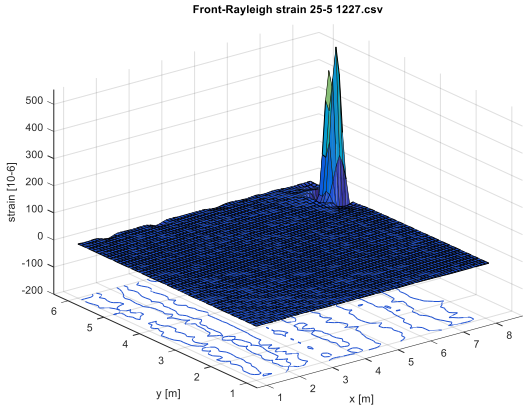
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



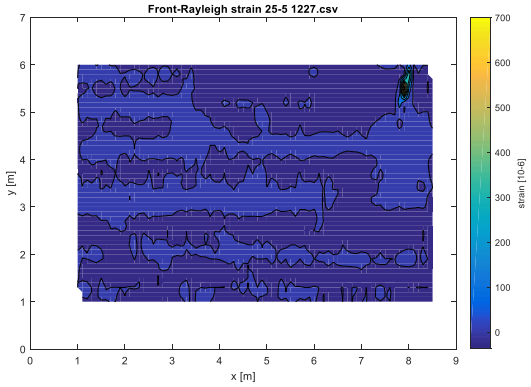
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



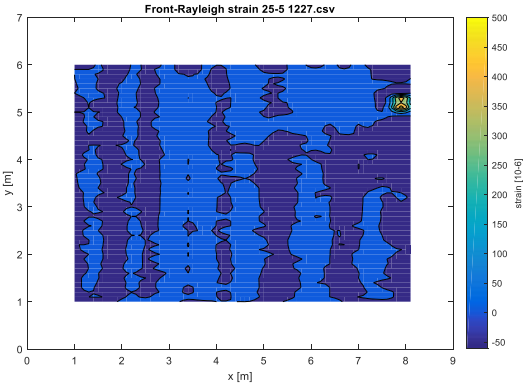
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）



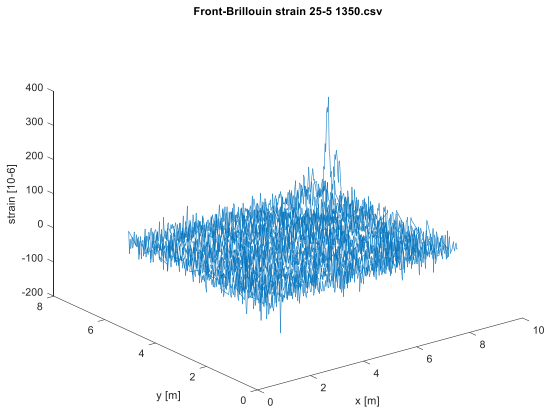
ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）



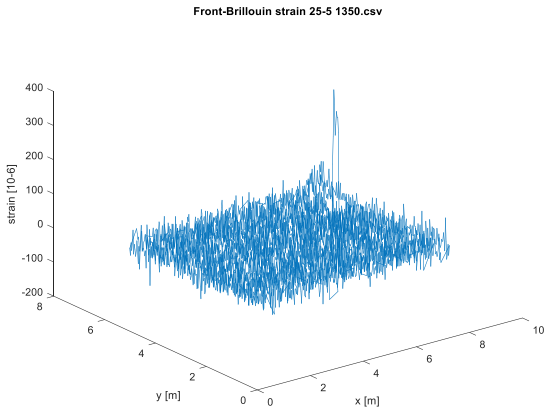
ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

図 2.3-161　TW-COTDR 方式結果 6（手前コンクリートピット、除荷）

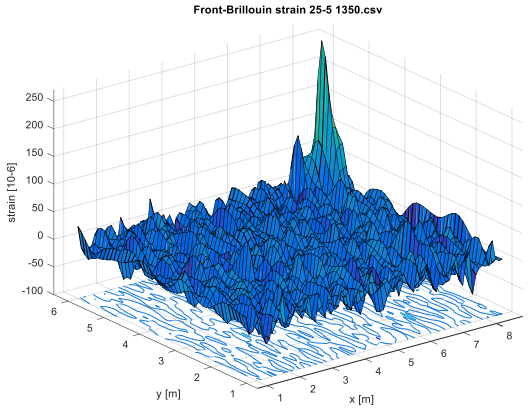
光ファイバセンサー斜め方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP1 の計測結果を図 2.3-162～図 2.3-163 に示す。既に発生させた直交ひび割れによる影響が大きいが、TW-COTDR 方式によれば僅かな変化が生じているようにみえる。このときに、目視で斜めひび割れは確認されていない。



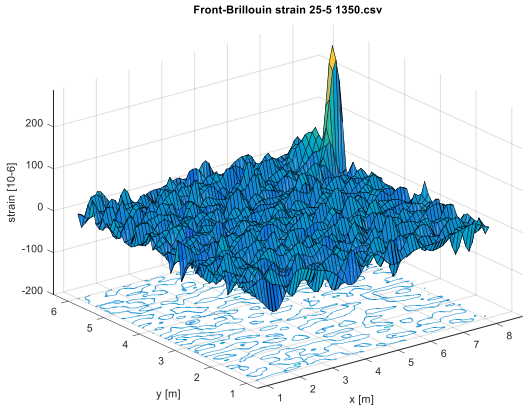
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



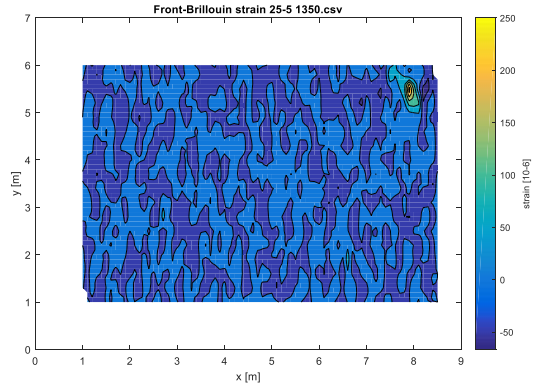
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



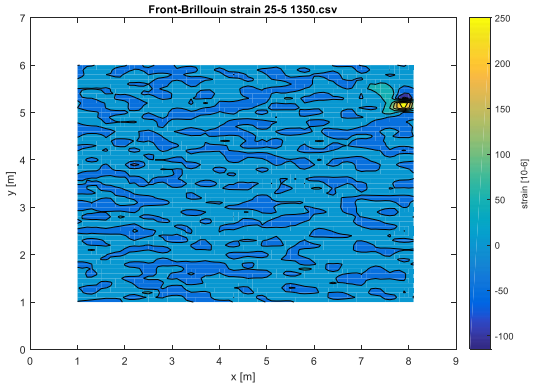
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）

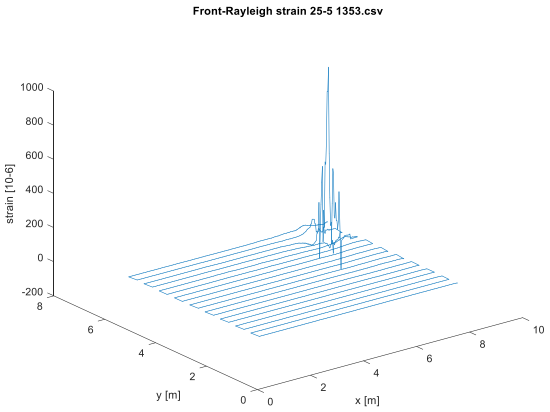


ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）

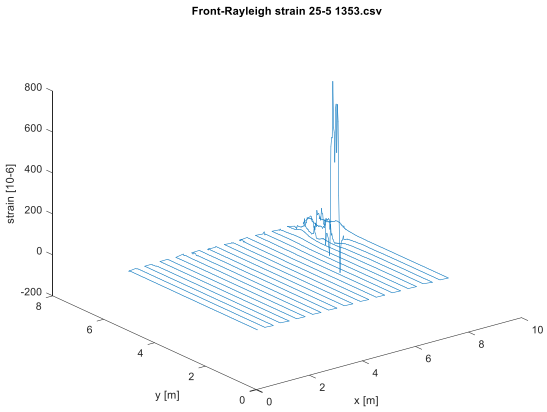


ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

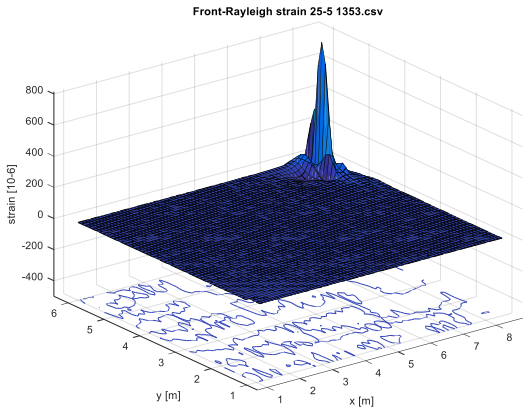
図 2.3-162　PPP-BOTDA 方式結果 7（手前コンクリートピット、斜め STEP1）



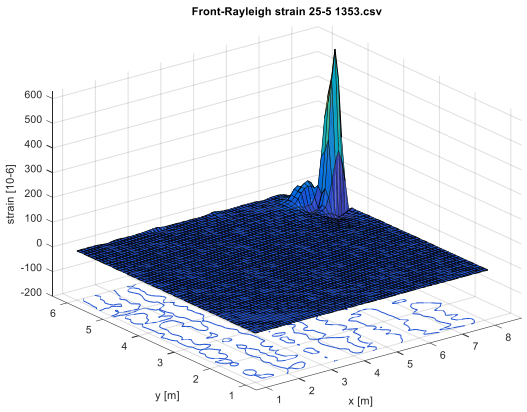
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



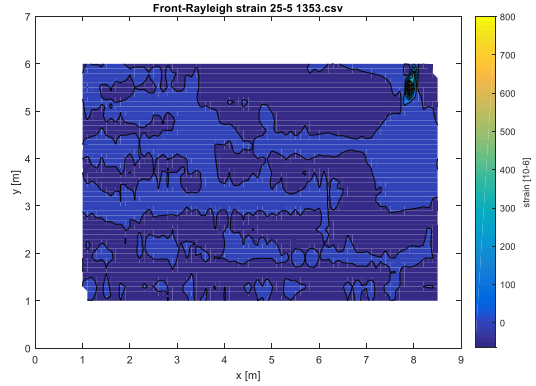
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



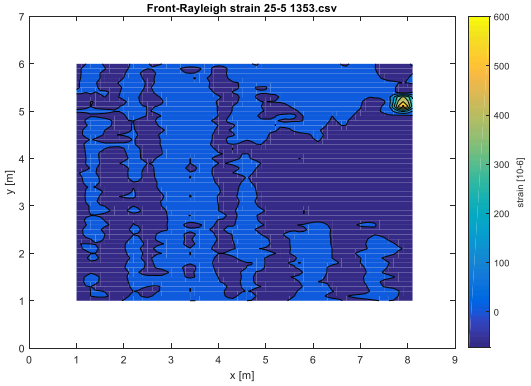
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）



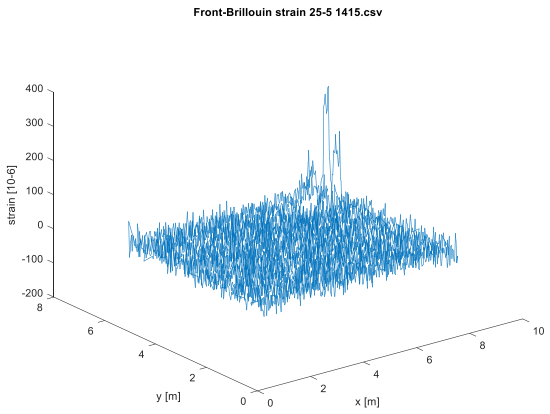
ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）



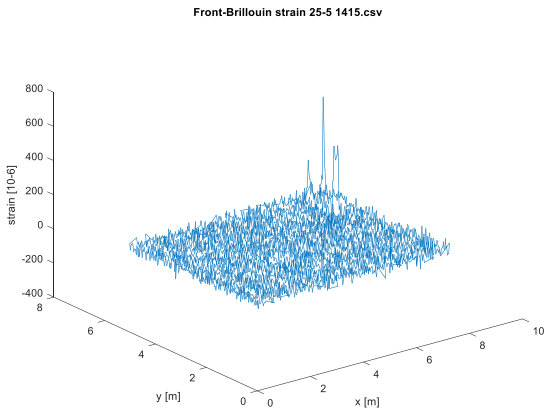
ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

図 2.3-163　TW-COTDR 方式結果 7（手前コンクリートピット、斜め STEP1）

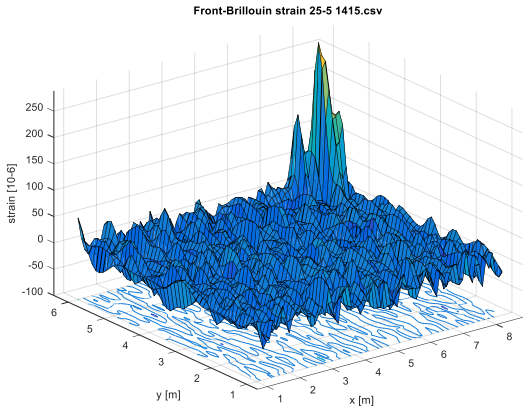
光ファイバセンサー斜め方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP2 の計測結果を図 2.3-164～図 2.3-165 に示す。ここでは、明瞭に斜めひび割れによる変化を確認することができた。この時点で、0.1mm 幅以下の斜めひび割れが目視で確認された。



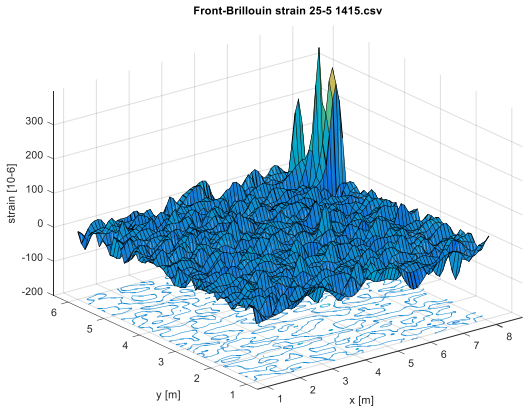
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



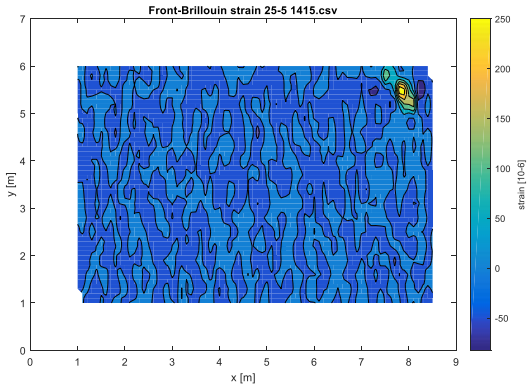
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



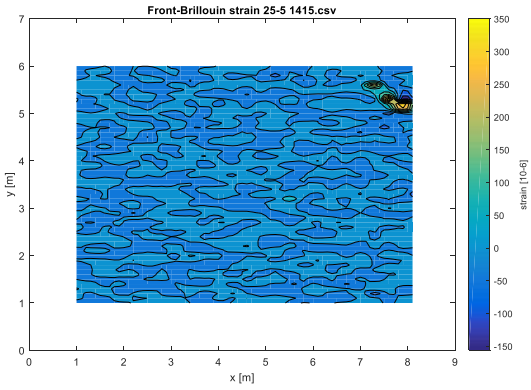
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）

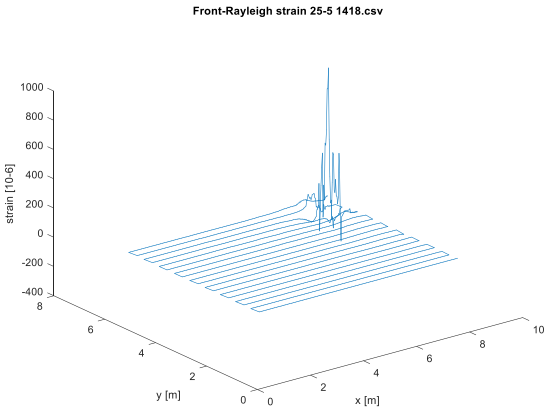


ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）

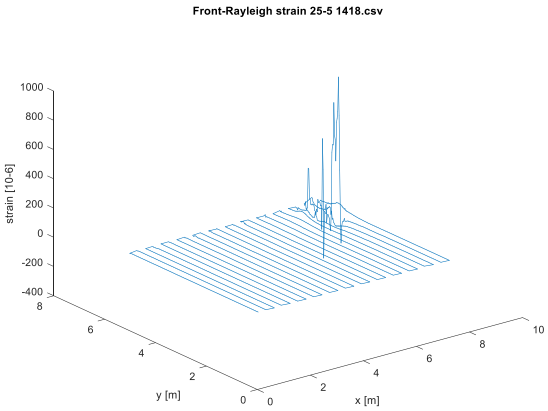


ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

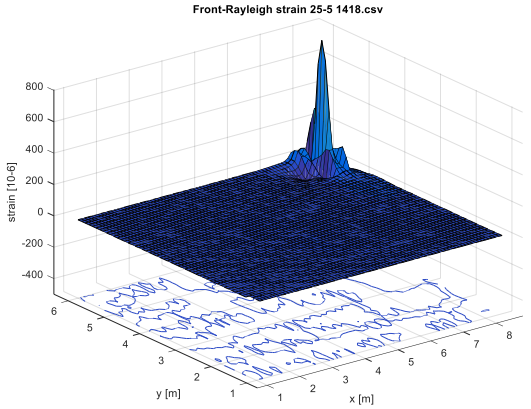
図 2.3-164　PPP-BOTDA 方式結果 8（手前コンクリートピット、斜め STEP2）



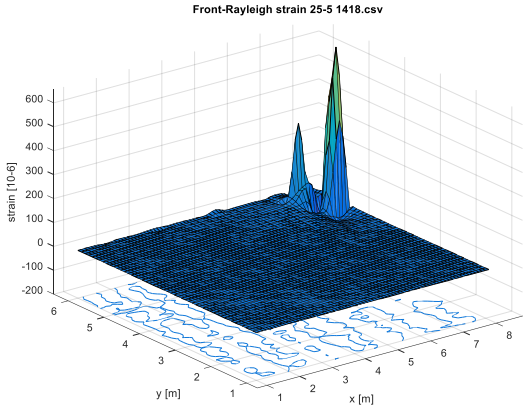
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



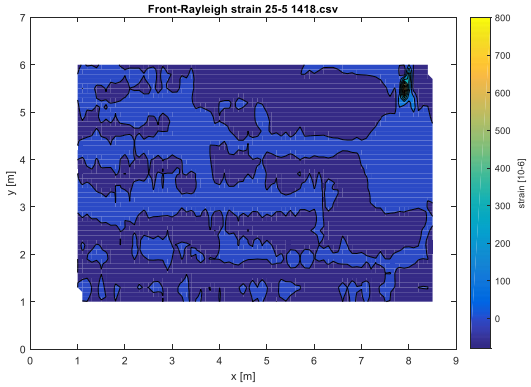
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



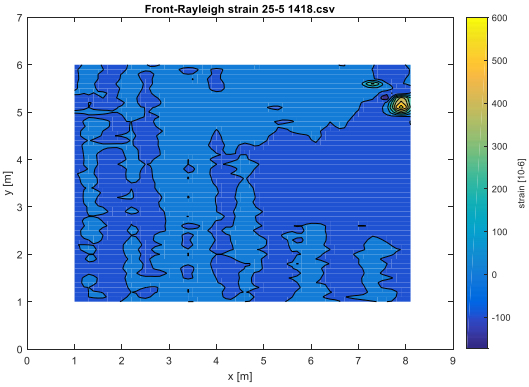
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）



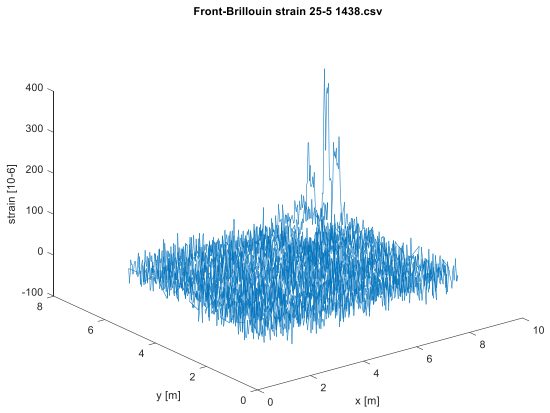
ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）



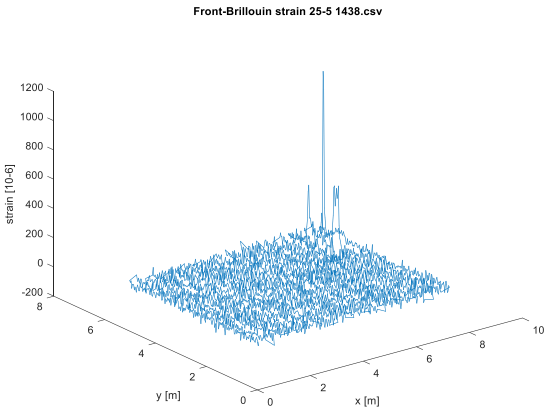
ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

図 2.3-165　TW-COTDR 方式結果 8（手前コンクリートピット、斜め STEP2）

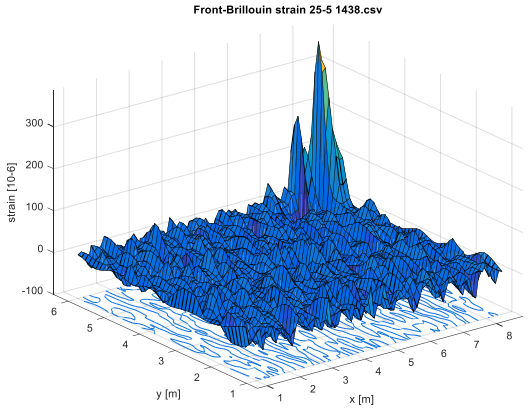
光ファイバセンサー斜め方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP3 の計測結果を図 2.3-166～図 2.3-167 に示す。ここでも、明瞭に斜めひび割れによる変化を確認することができた。この時点で、二箇所の加圧箇所を貫通するように 0.1mm 幅以下の斜めひび割れが進展することを目視で確認した。



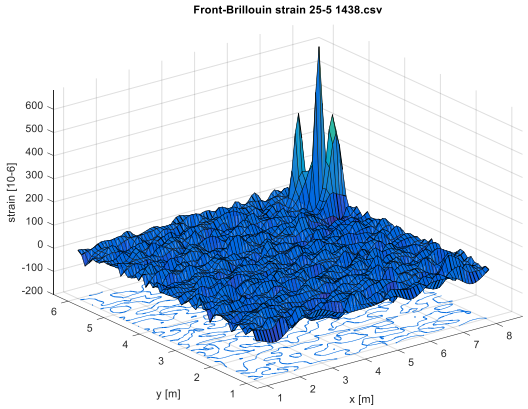
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



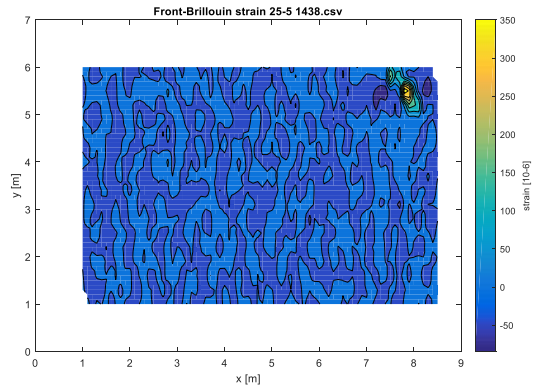
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



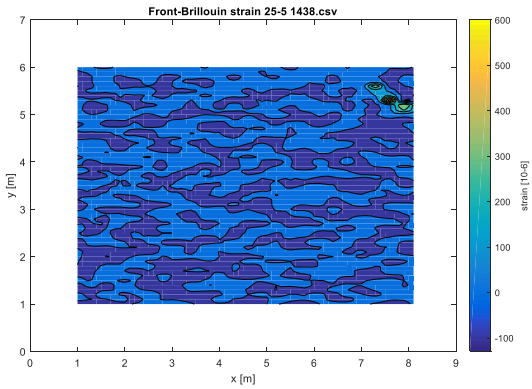
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）

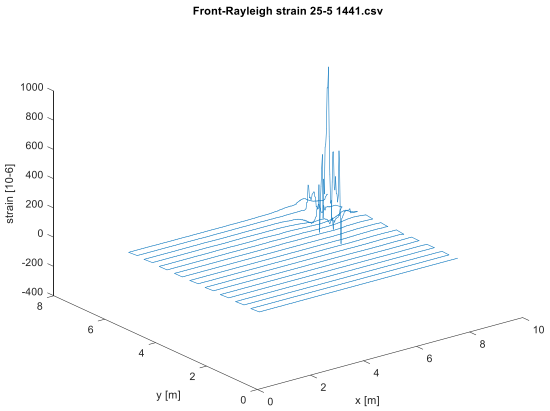


ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）

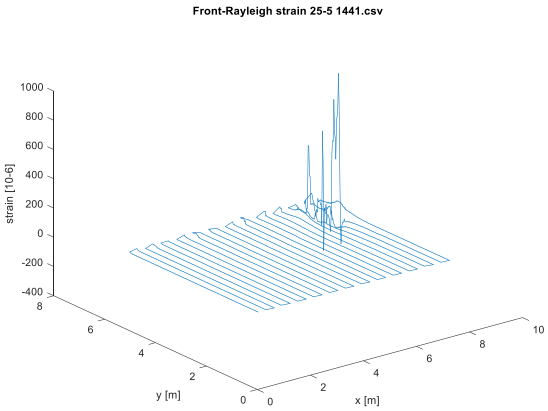


ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

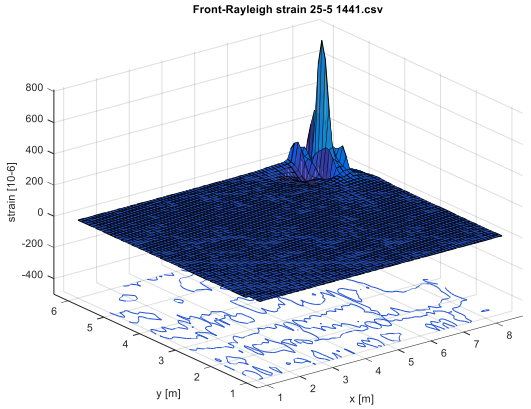
図 2.3-166　PPP-BOTDA 方式結果 9（手前コンクリートピット、斜め STEP3）



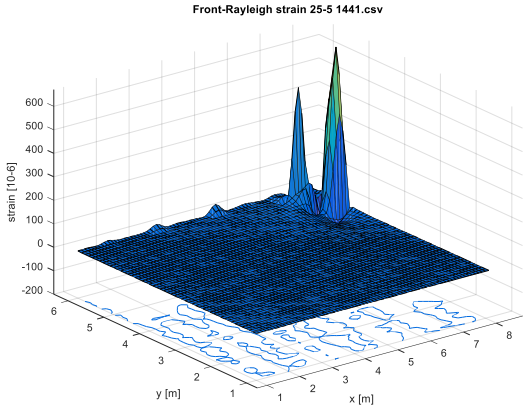
ひずみ分布（水平方向の光ファイバ）



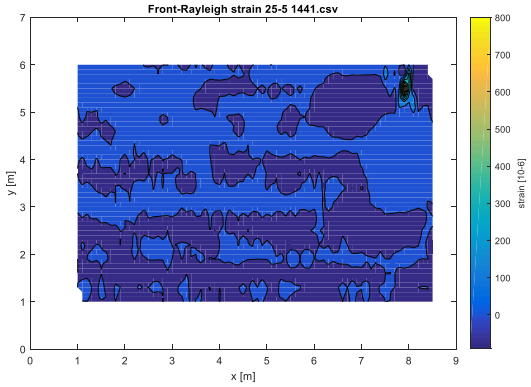
ひずみ分布（鉛直方向の光ファイバ）



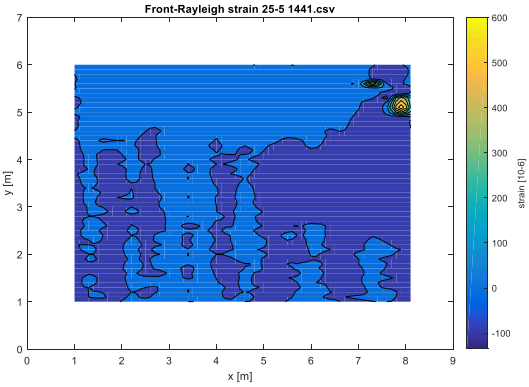
補間処理（水平方向の光ファイバ



補間処理（鉛直方向の光ファイバ）



ひずみコンター（水平方向の光ファイバ）

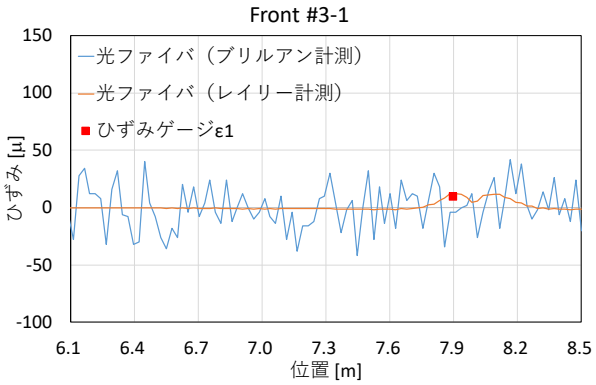


ひずみコンター（鉛直方向の光ファイバ）

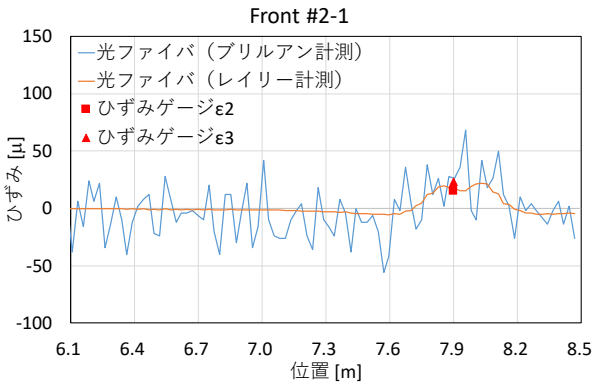
図 2.3-167　TW-COTDR 方式結果 9（手前コンクリートピット、斜め STEP3）

b）参照データとの比較

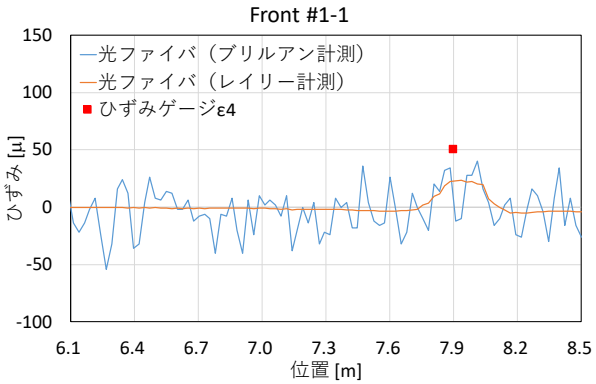
光ファイバセンサによる計測結果と、近傍のひずみゲージの計測結果を併記して、パッカーの加圧ステップごとに図 2.3-168～図 2.3-176 に示す。



(a) ひずみゲージ ε 1 付近

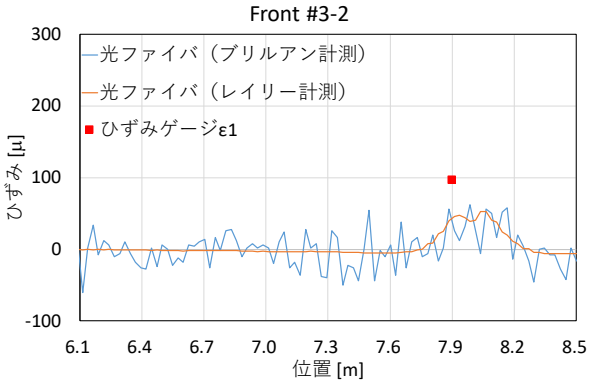


(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近

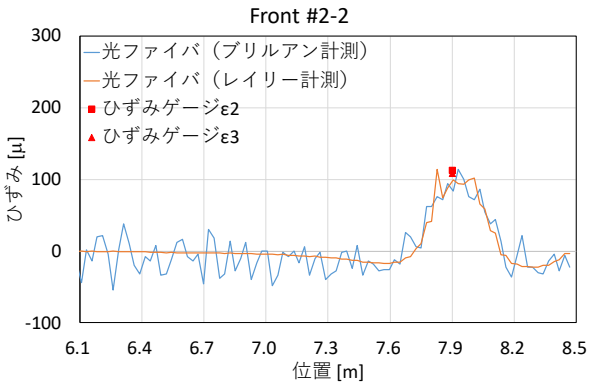


(c) ひずみゲージ ε 4 付近

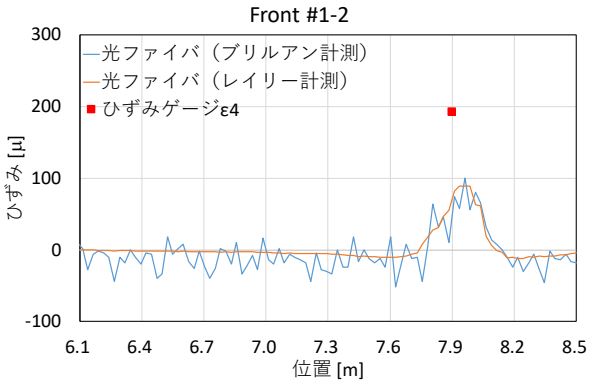
図 2.3-168　ひずみ分布計測結果（STEP1）



(a) ひずみゲージ ε 1 付近

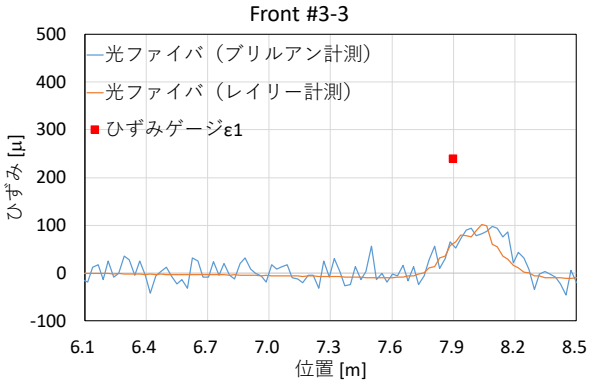


(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近

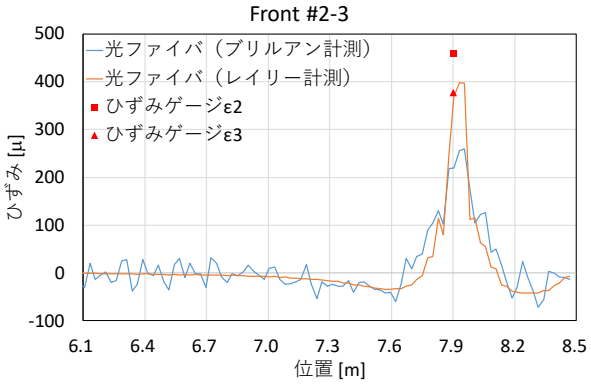


(c) ひずみゲージ ε 4 付近

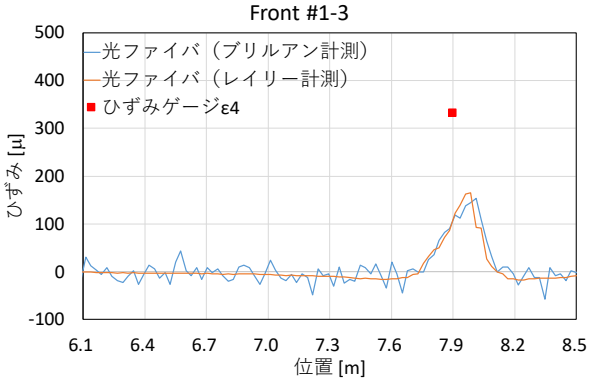
図 2.3-169　ひずみ分布計測結果（STEP2）



(a) ひずみゲージ ε 1 付近

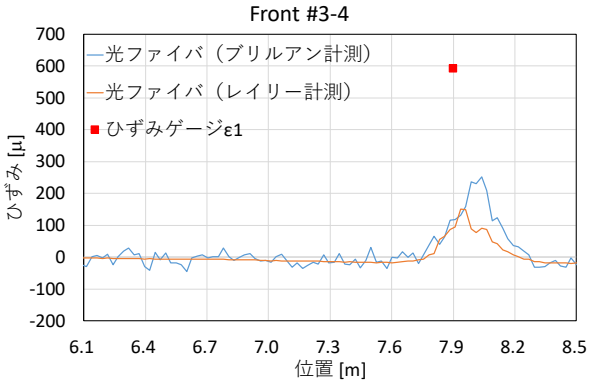


(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近

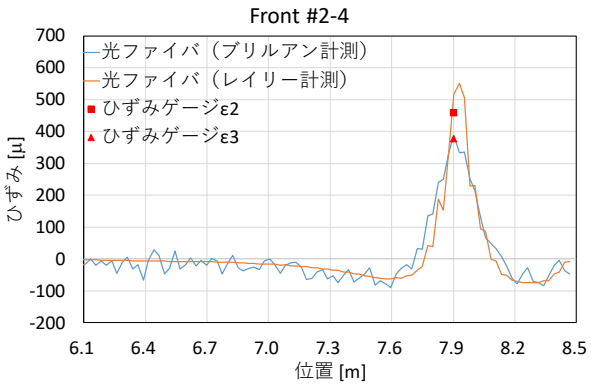


(c) ひずみゲージ ε 4 付近

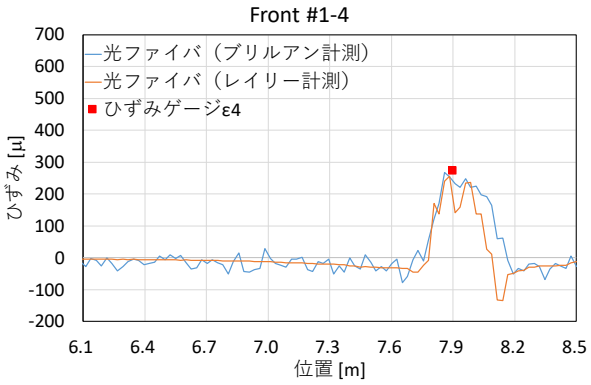
図 2.3-170　ひずみ分布計測結果（STEP3）



(a) ひずみゲージ ε 1 付近

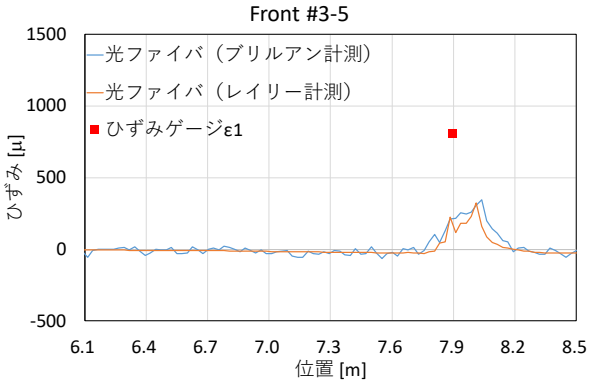


(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近

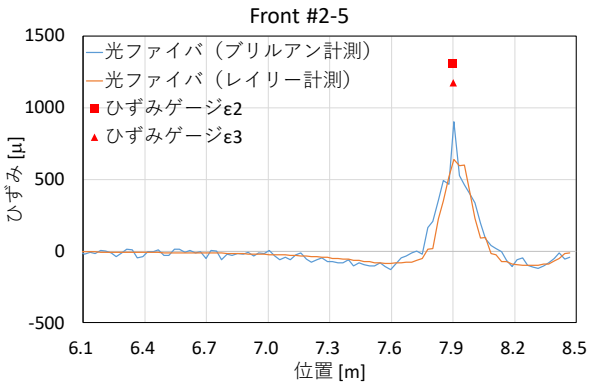


(c) ひずみゲージ ε 4 付近

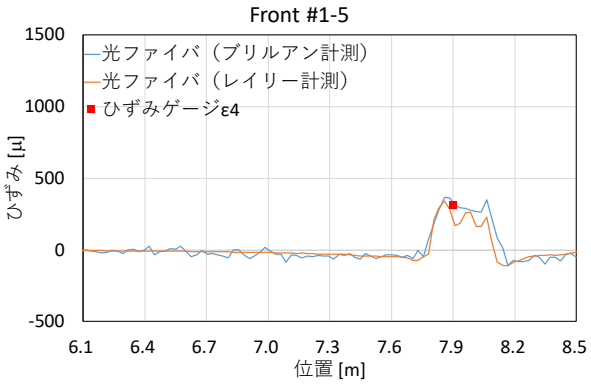
図 2.3-171　ひずみ分布計測結果（STEP4）



(a) ひずみゲージ ε 1 付近

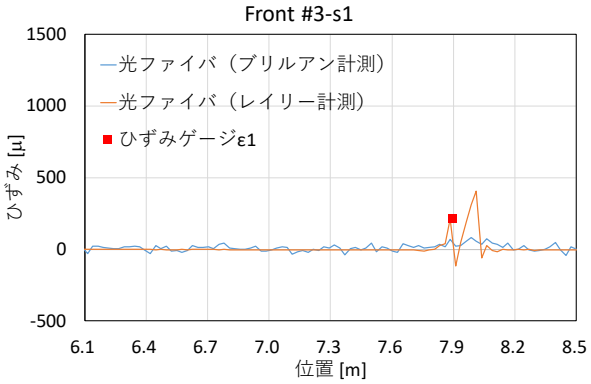


(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近

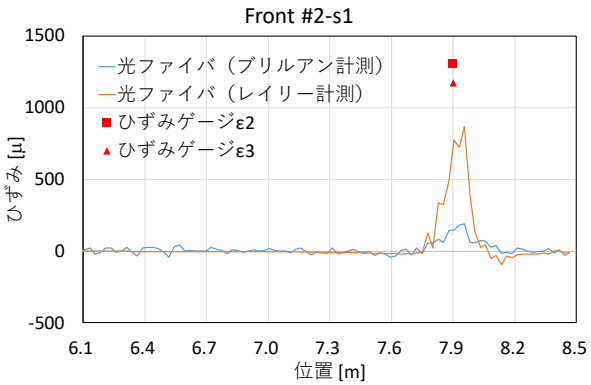


(c) ひずみゲージ ε 4 付近

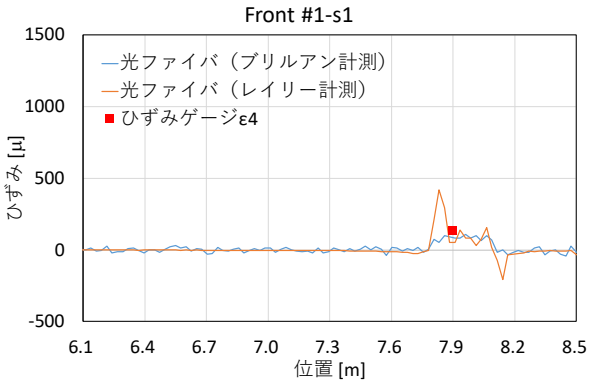
図 2.3-172　ひずみ分布計測結果（STEP5）



(a) ひずみゲージ ε 1 付近

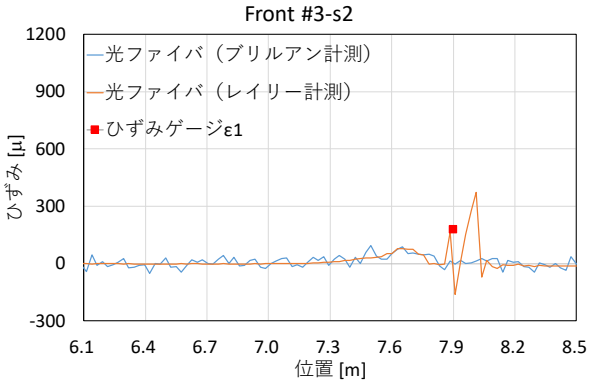


(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近

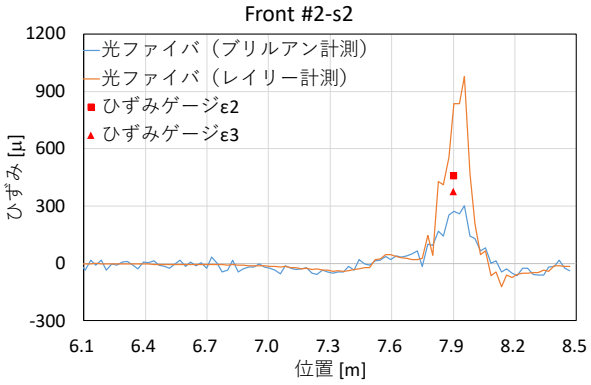


(c) ひずみゲージ ε 4 付近

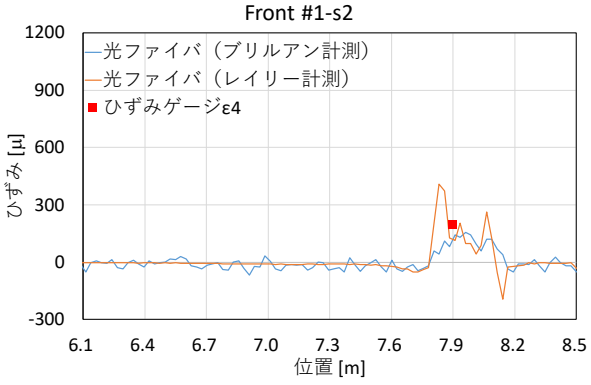
図 2.3-173　ひずみ分布計測結果（斜め STEP1）



(a) ひずみゲージ ε 1 付近

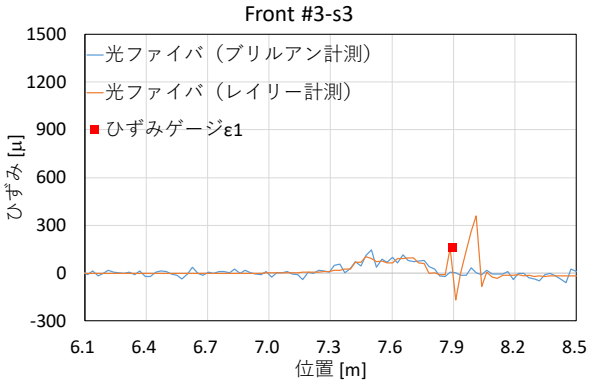


(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近

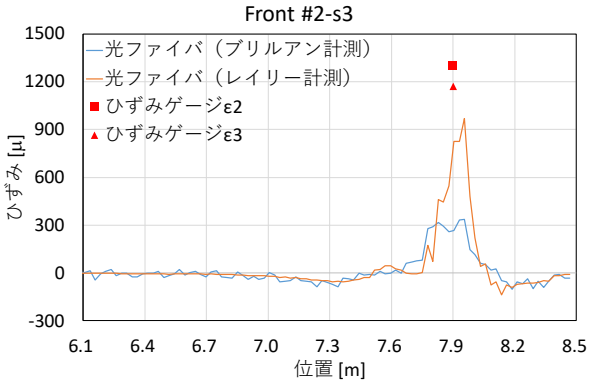


(c) ひずみゲージ ε 4 付近

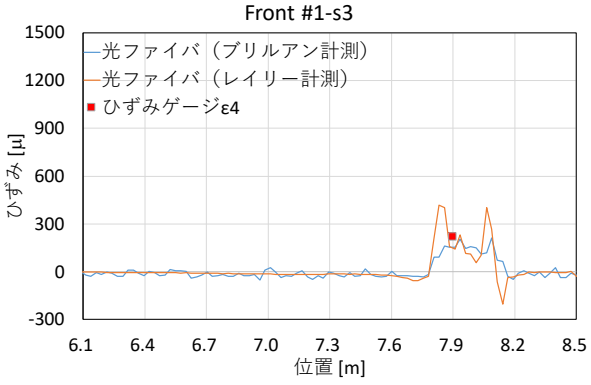
図 2.3-174　ひずみ分布計測結果（斜め STEP2）



(a) ひずみゲージ ε 1 付近

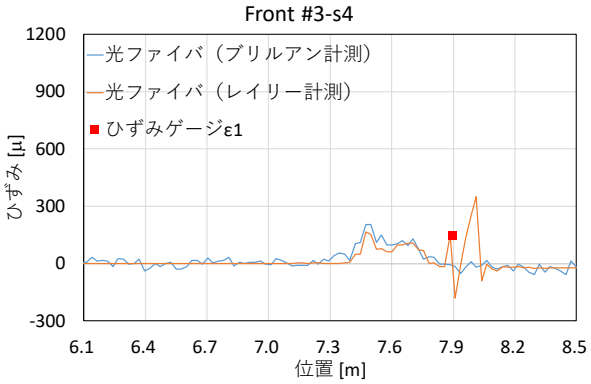


(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近

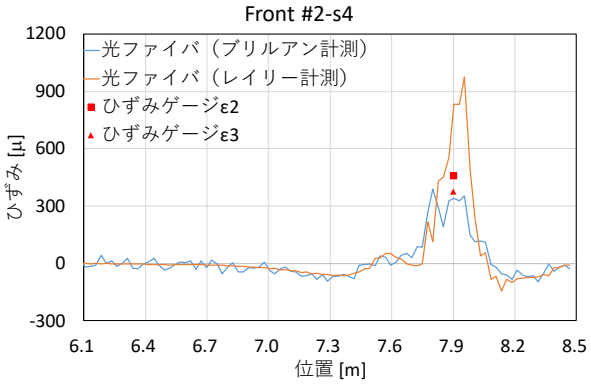


(c) ひずみゲージ ε 4 付近

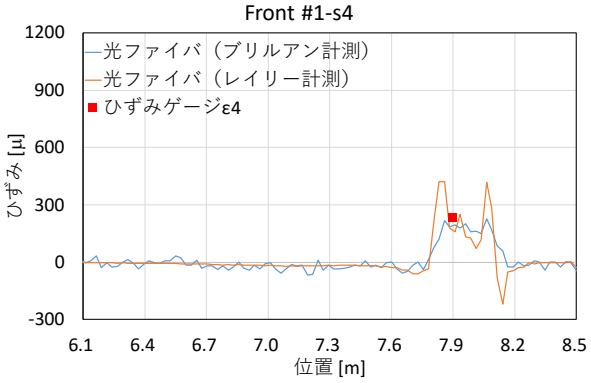
図 2.3-175　ひずみ分布計測結果（斜め STEP3）



(a) ひずみゲージ ε 1 付近



(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4 付近

図 2.3-176　ひずみ分布計測結果（斜め STEP4）

光ファイバセンサによるひずみ分布計測結果から、ひび割れ位置の近傍 20cm 分を積分して、各ステップでひび割れ幅を算出した。こうして得られたひび割れ幅結果を、近傍のパイゲージの計測結果を併記して、時系列で図 2.3-177～図 2.3-178 に示す。

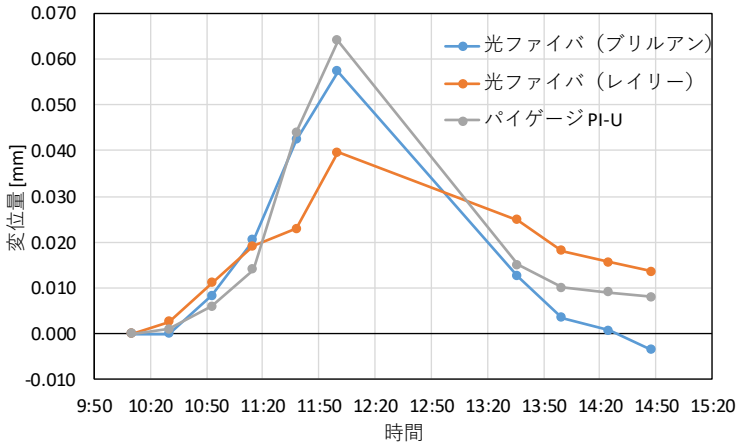


図 2.3-177　ひび割れ幅算出結果（PI-U）

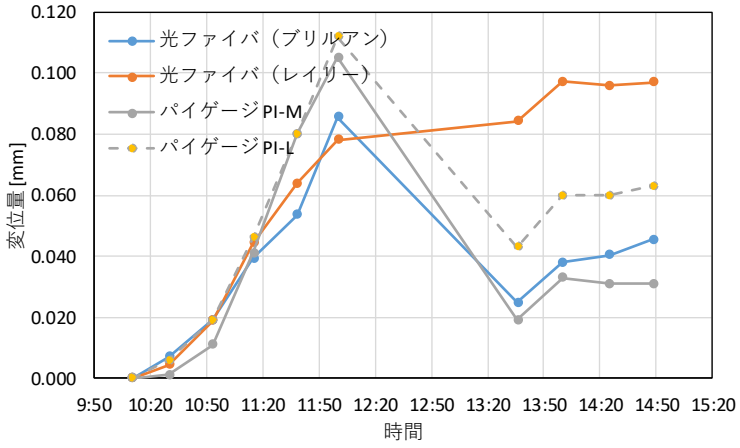


図 2.3-178　ひび割れ幅算出結果（PI-M,L）

(c) まとめ

現地環境下における光ファイバセンサーのひび割れ検知性能を確認するために、手前コンクリートピット（鉄筋有り）に標準パッカーでひび割れを発生させてひび割れ計測試験を実施した。段階的にひび割れを誘発しながら、光ファイバセンサーでひずみ計測するとともに、併設した参照計器（パイ型ゲージ、ひずみゲージ）による計測、目視によるひび割れ観察と比較した。

ブリルアン計測（PPP-BOTDA 方式）、レイリー計測（TW-COTDR 方式）ともに、目視でひび割れが確認されるより前に、ひずみの局所的な変化をとらえることができた。特に、レイリー計測は微小なひずみ変化をとらえるのに優れており、ひび割れの予兆をとらえられる可能性がある。

空間分解能の違い（ゲージ長 90mm、光ファイバ 50mm）や設置位置が異なることなどもあり、ひずみゲージと光ファイバに差があるところがあるものの、ひずみゲージと光ファイバは比較的良く一致していた。また、ひずみゲージが断線して以降も、光ファイバで計測することができた。光ファイバセンサーでは、標準パッカー工法によって圧縮～引張ひずみともにみられ、網羅的な評価のためにはひずみゲージを多数設置するなど稠密な参照データの必要がある。

光ファイバセンサーによるひずみ分布計測をもとに積分値からひび割れ幅を求め、パイゲージと比較した。光ファイバセンサーのなかでも、ブリルアン計測の結果はパイゲージの結果と良く一致していた。

b. 上部低拡散層

(a) 試験方法

上部低拡散層向かって右側に、格子状に設置してある光ファイバに対して、直交するひび割れ、斜めで交差するひび割れを誘発するように標準パッカー工法を適用した。パッカー設置位置を図 2.3-179 に示す。

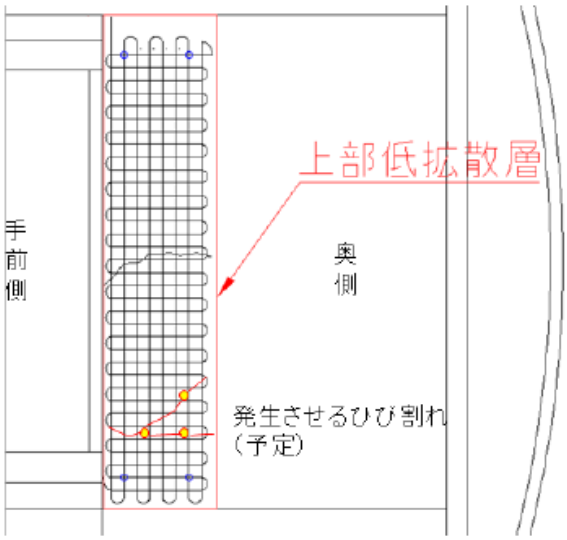


図 2.3-179　ひび割れ誘発位置（上部低拡散層）

光ファイバセンサーの計測パラメータを表 2.3-20 に示す。段階的な加圧ステップごとに、光ファイバセンサーによる計測を繰り返した。

表 2.3-20　PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ（現地試験、上部低拡散層）

距離レンジ	600 m
位置分解能	5 cm
サンプリング間隔	2.5 cm
加算回数	2^{15}
周波数掃引範囲	300 MHz　　(10.60~10.90GHz)
掃引周波数ステップ	5 MHz
周波数掃引回数	61
計測時間（単発）	約 150 秒

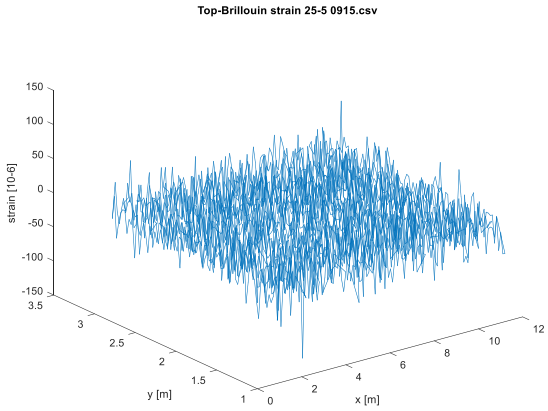
表 2.3-21　TW-COTDR 方式の計測パラメータ（現地試験、手前コンクリートピット）

距離レンジ	600 m
位置分解能	5 cm
サンプリング間隔	2.5 cm
加算回数	2^{13}
周波数掃引範囲	200 MHz　　(194.0~194.2GHz)
掃引周波数ステップ	0.2 MHz
周波数掃引回数	1001
計測時間（単発）	約 270 秒

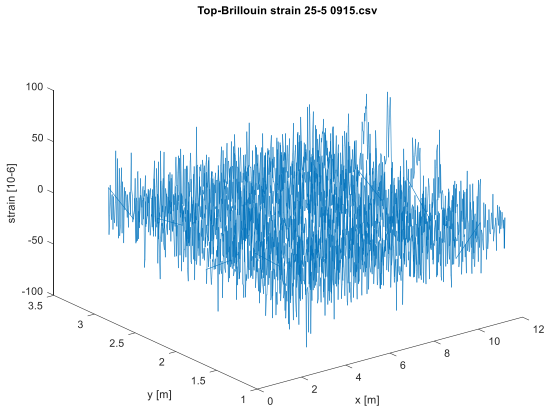
(b) 試験結果

a）ひずみ分布

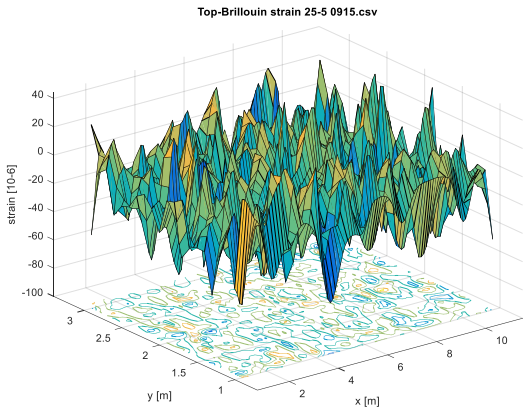
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP1 の計測結果を図 2.3-180～図 2.3-181 に示す。PPP-BOTDA 方式では変化がみられないが、TW-COTDR 方式ではひずみの局所的な変化がみられた。



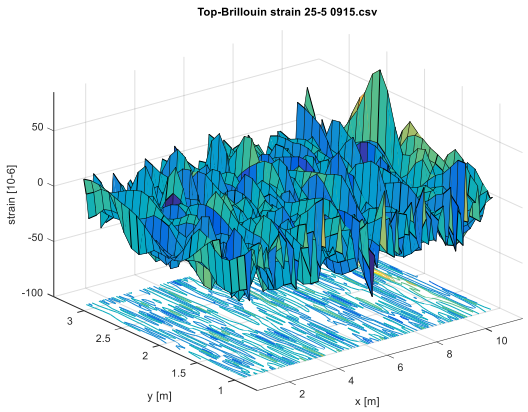
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



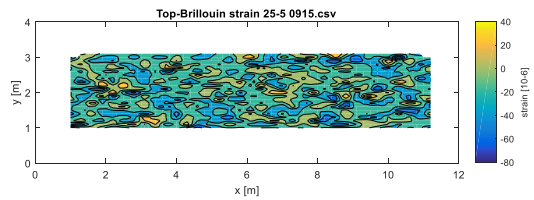
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



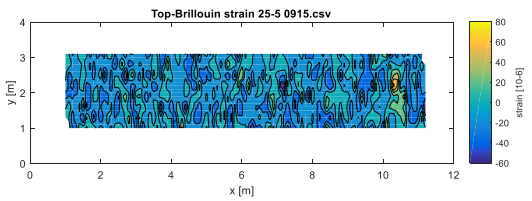
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

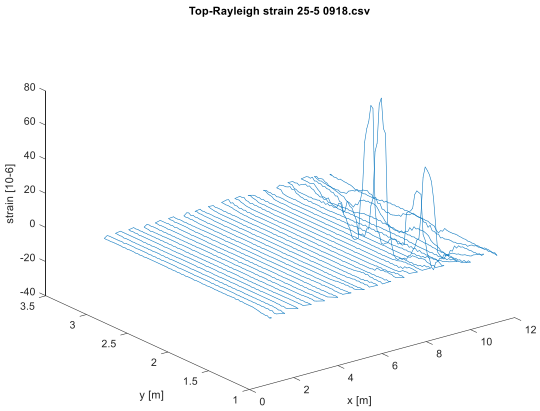


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

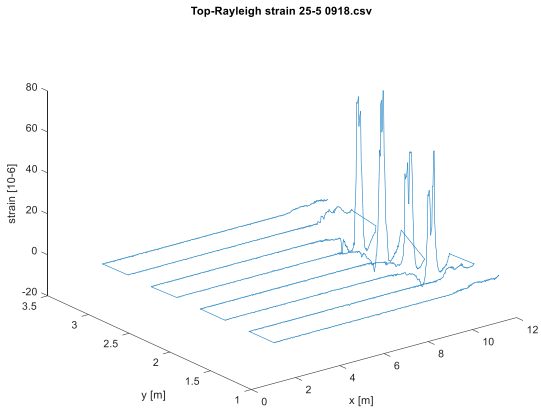


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

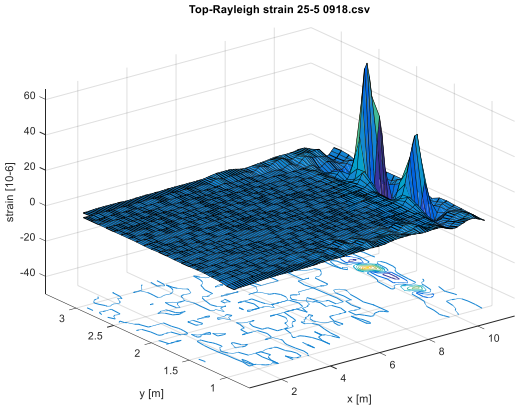
図 2.3-180　PPP-BOTDA 方式結果 1（上部低拡散層、STEP1）



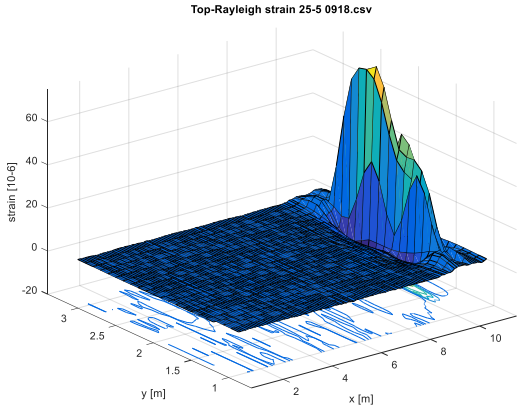
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



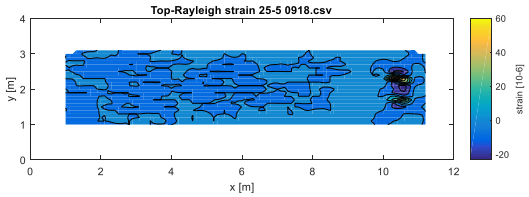
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



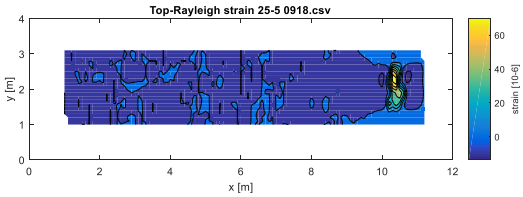
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



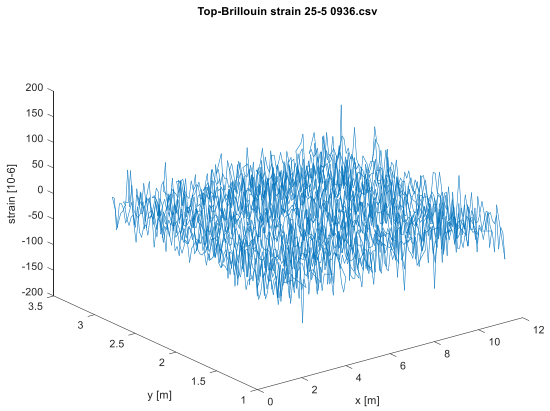
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



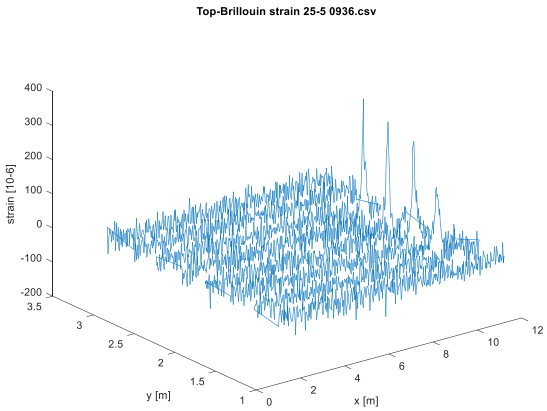
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-181　TW-COTDR 方式結果 1（上部低拡散層、STEP1）

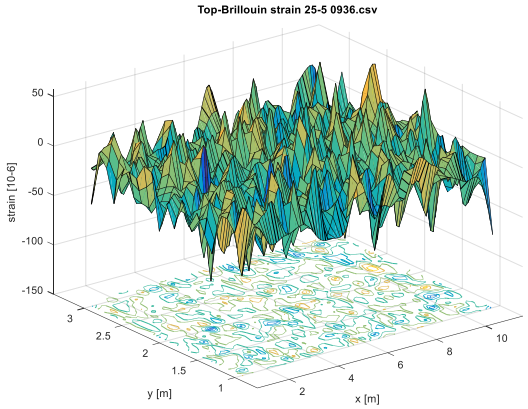
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP2 の計測結果を図 2.3-182～図 2.3-183 に示す。PPP-BOTDA 方式（長辺方向）、TW-COTDR 方式ともに明確なひずみの局所的な変化がみられた。このときまで、ひび割れ発生は目視では確認されなかった。



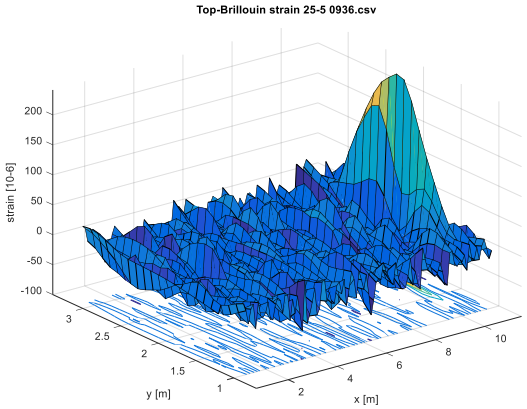
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



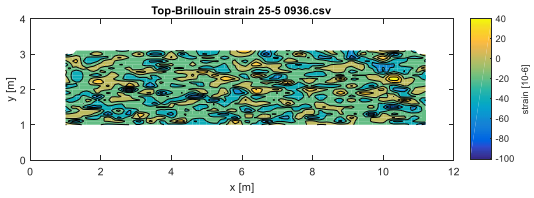
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



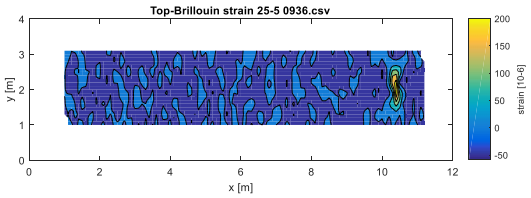
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

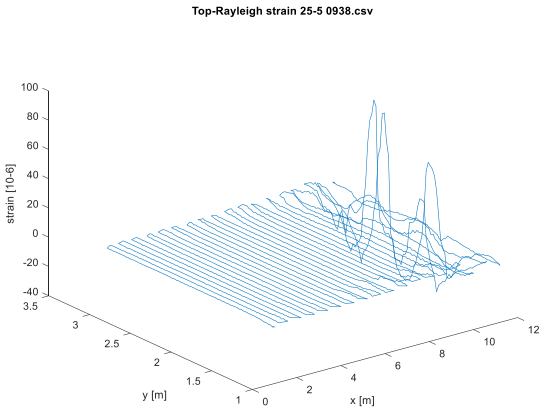


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

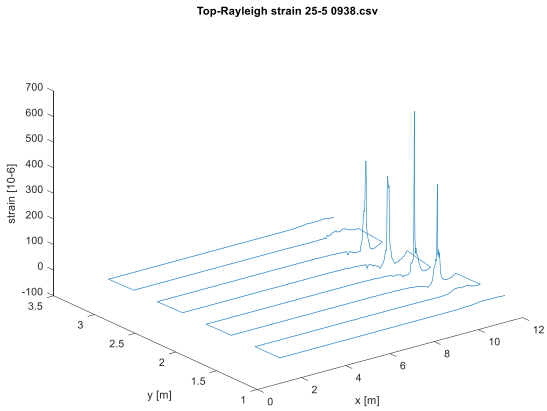


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

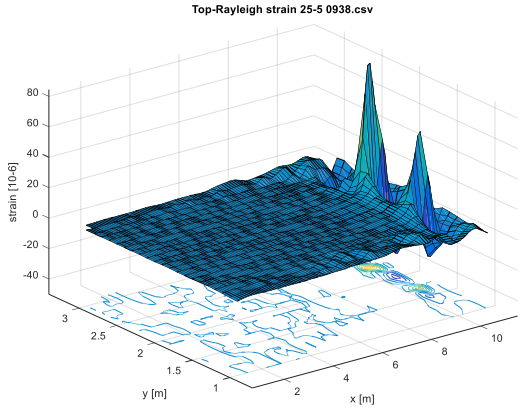
図 2.3-182　PPP-BOTDA 方式結果 2（上部低拡散層、STEP2）



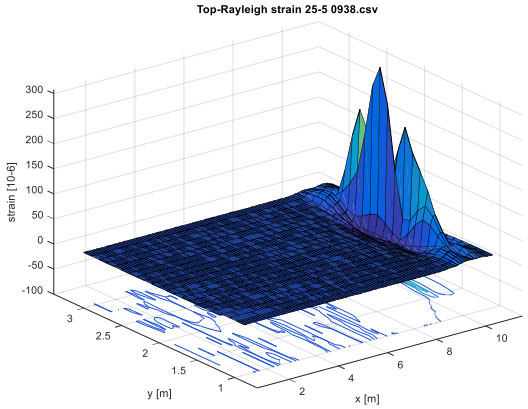
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



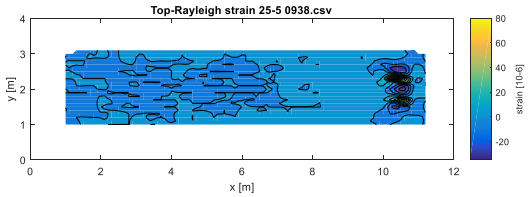
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



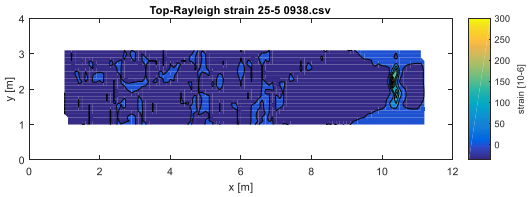
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



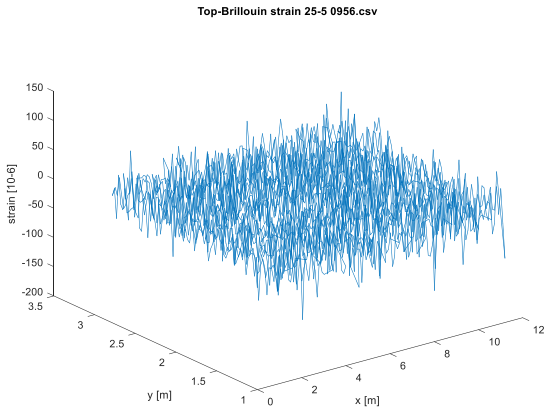
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



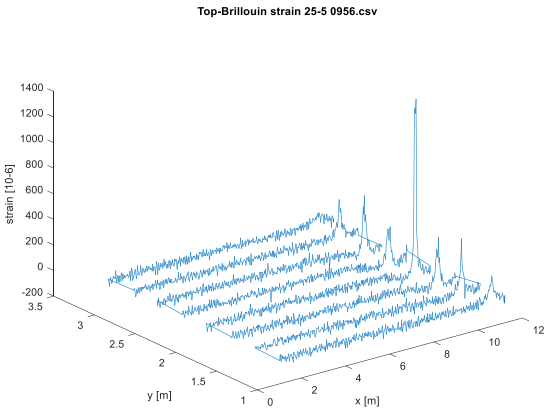
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-183　TW-COTDR 方式結果 2（上部低拡散層、STEP2）

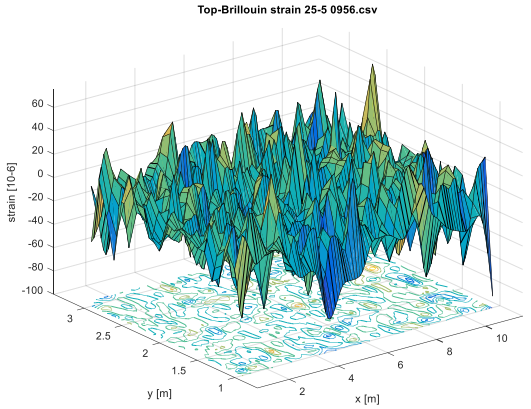
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP3 の計測結果を図 2.3-184～図 2.3-185 に示す。PPP-BOTDA 方式（長辺方向）、TW-COTDR 方式ともに明確なひずみの局所的な変化がみられた。このときはじめて、目視で最大 0.1mm 幅のひび割れを確認した。



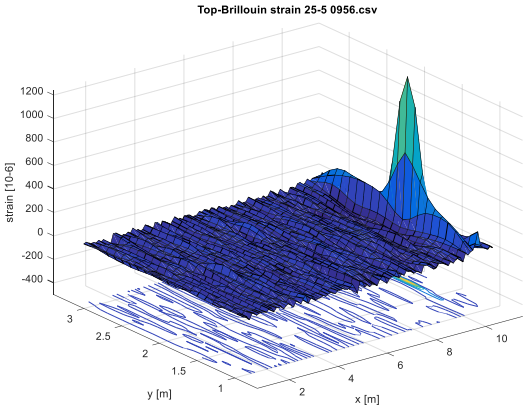
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



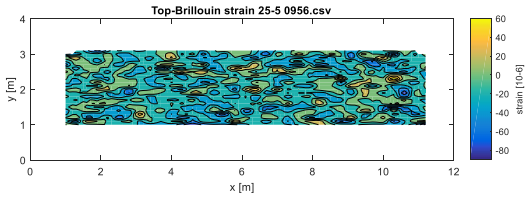
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



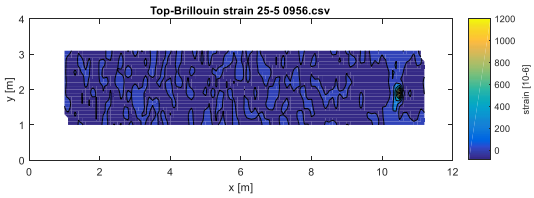
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

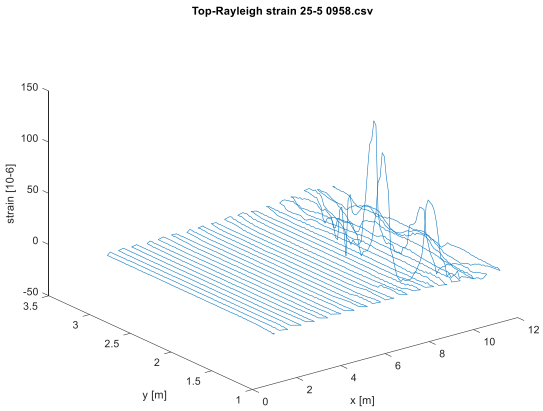


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

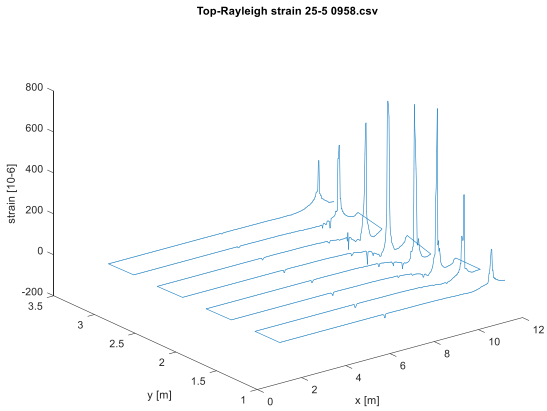


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

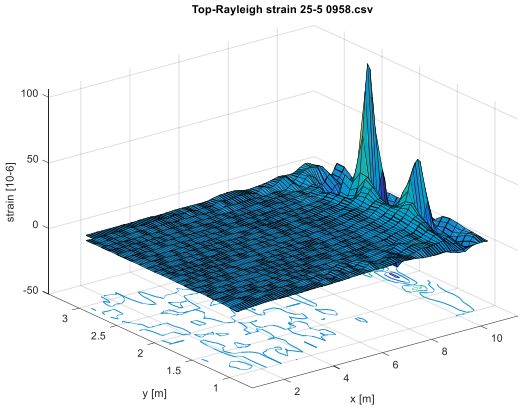
図 2.3-184　PPP-BOTDA 方式結果 3（上部低拡散層、STEP3）



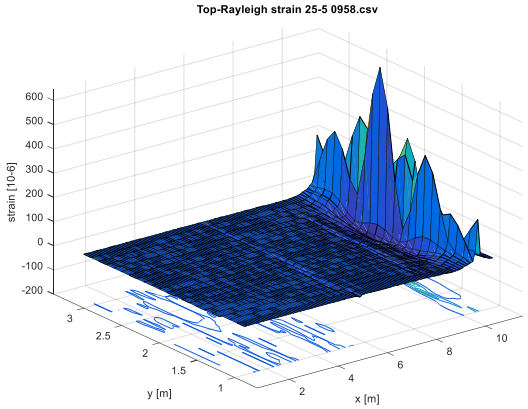
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



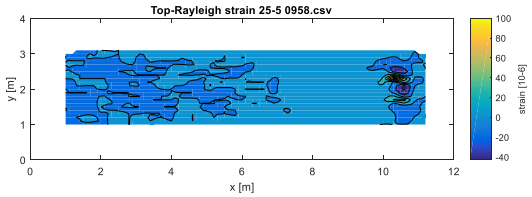
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



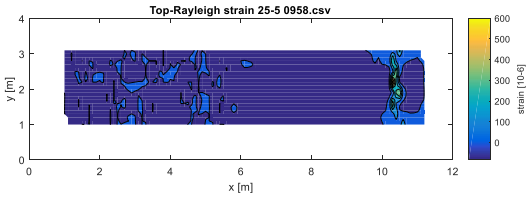
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



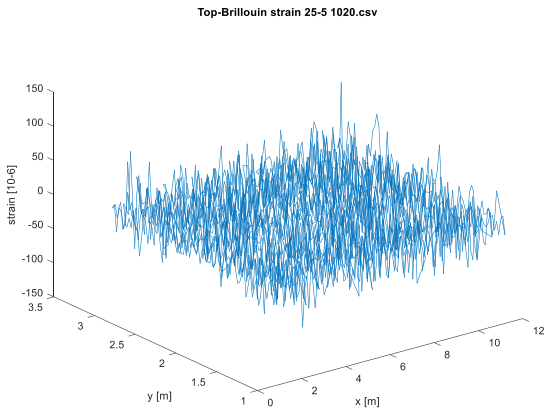
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



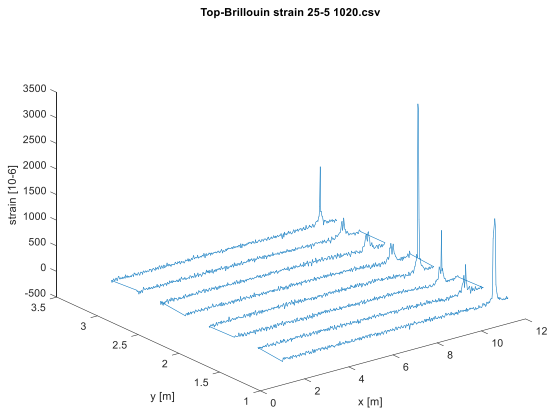
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-185　TW-COTDR 方式結果 3（上部低拡散層、STEP3）

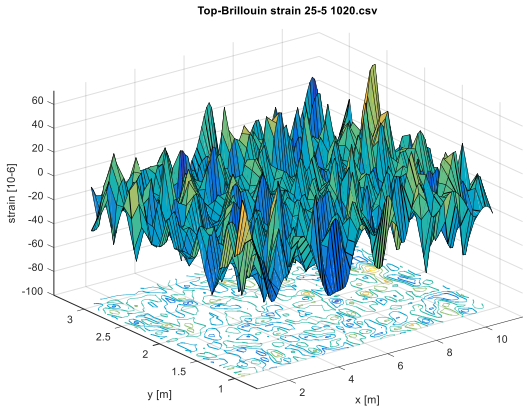
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP4 の計測結果を図 2.3-186～図 2.3-187 に示す。目視によればひび割れは進展、拡大し、最大ひび割れ幅は 0.2mm であった。



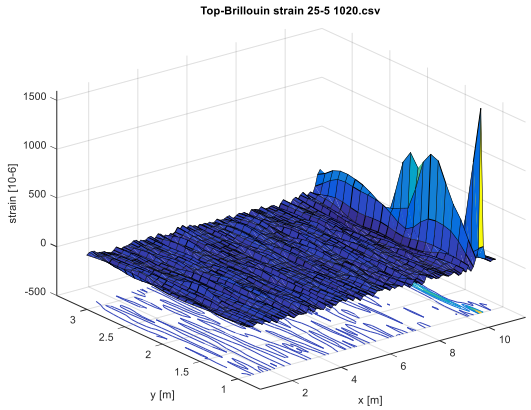
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



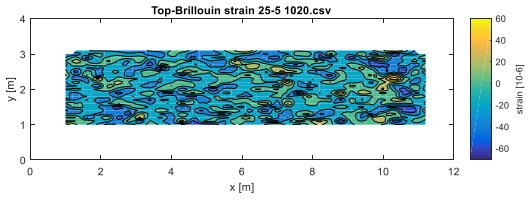
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



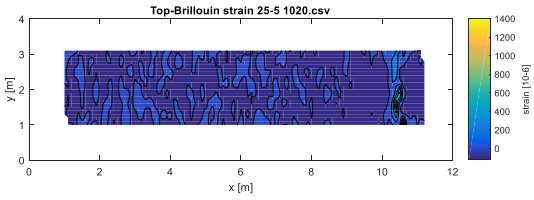
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

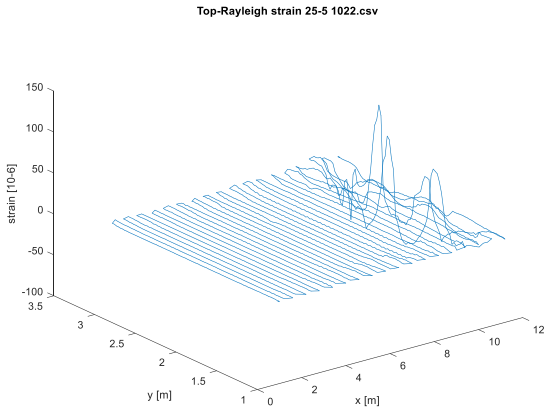


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

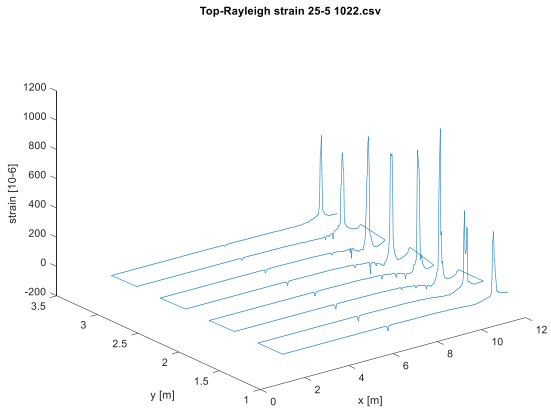


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

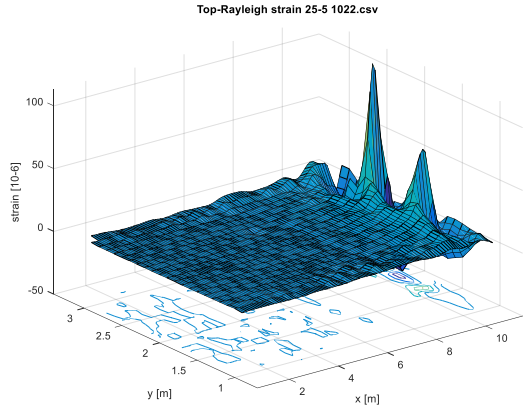
図 2.3-186　PPP-BOTDA 方式結果 4（上部低拡散層、STEP4）



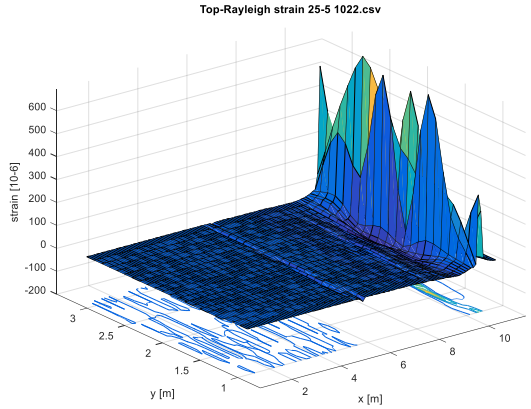
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



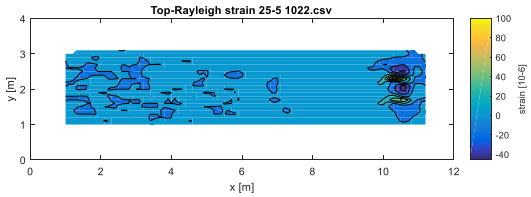
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



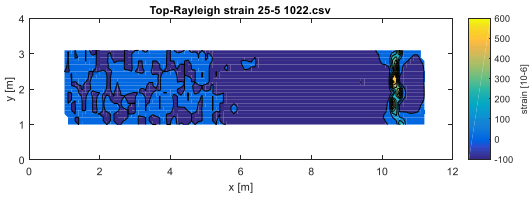
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



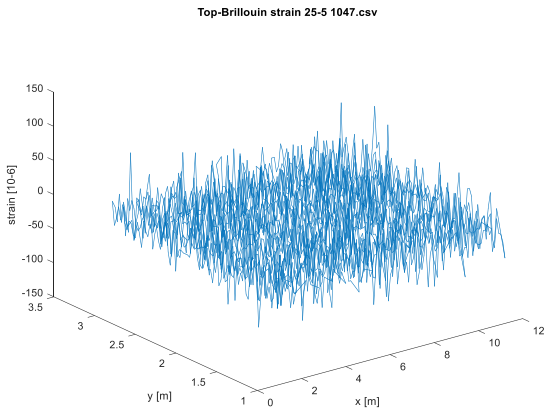
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



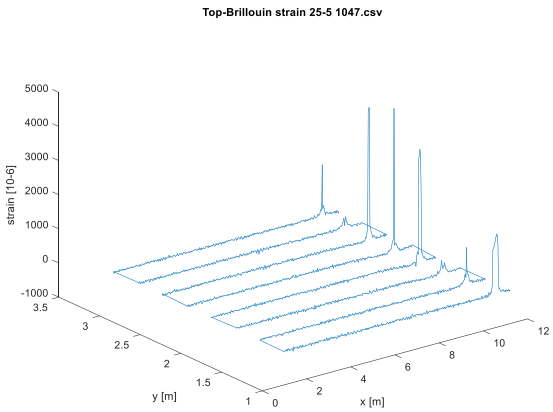
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-187　TW-COTDR 方式結果 4（上部低拡散層、STEP4）

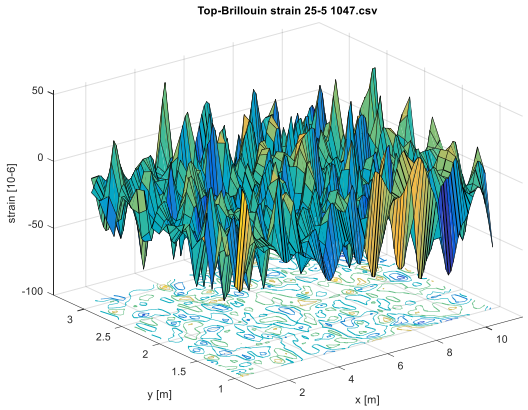
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP5 の計測結果を図 2.3-188～図 2.3-189 に示す。目視によればひび割れはさらに進展、拡大し、最大ひび割れ幅は 0.25mm であった。



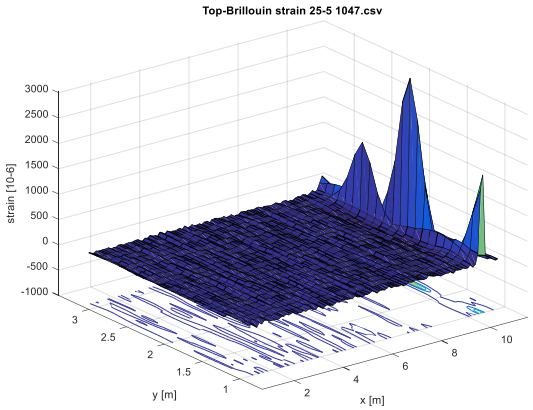
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



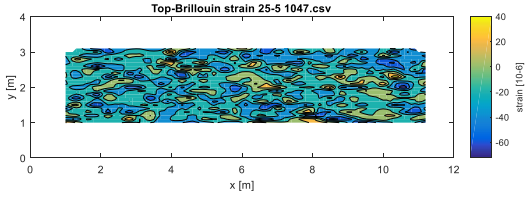
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



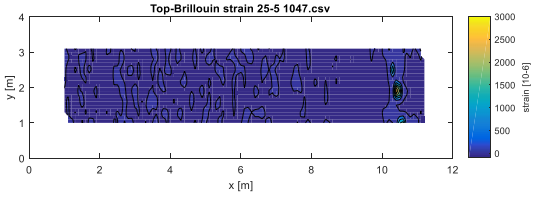
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

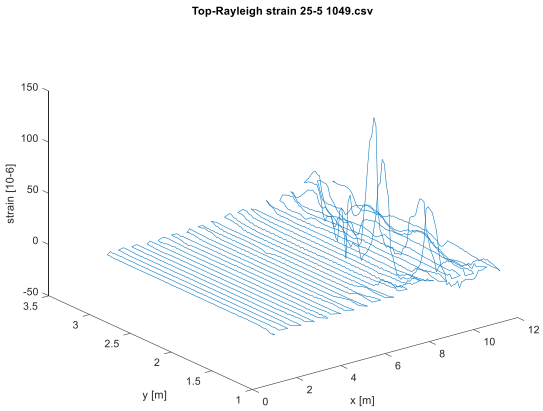


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

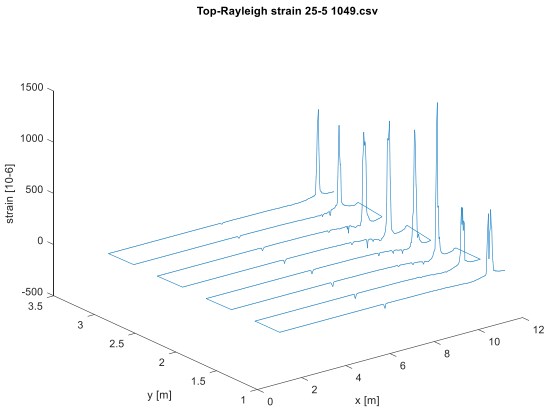


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

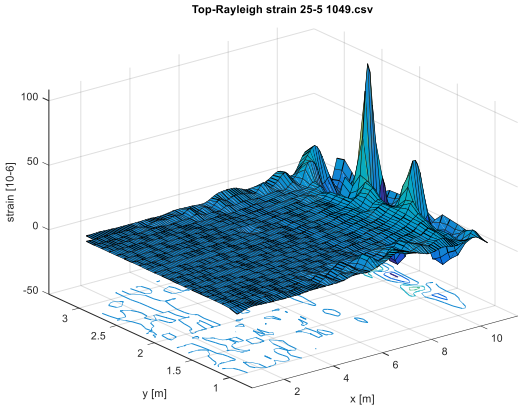
図 2.3-188　PPP-BOTDA 方式結果 5（上部低拡散層、STEP5）



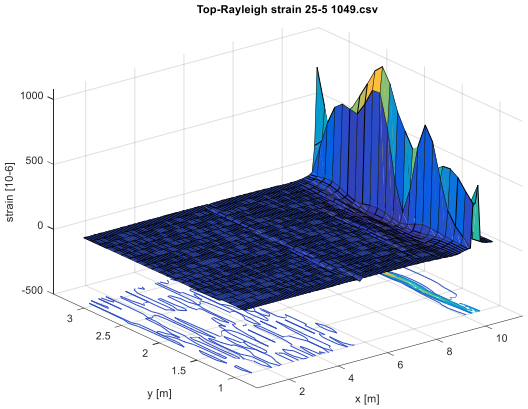
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



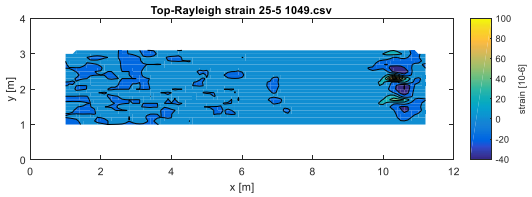
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



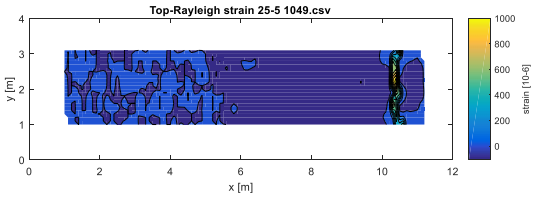
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



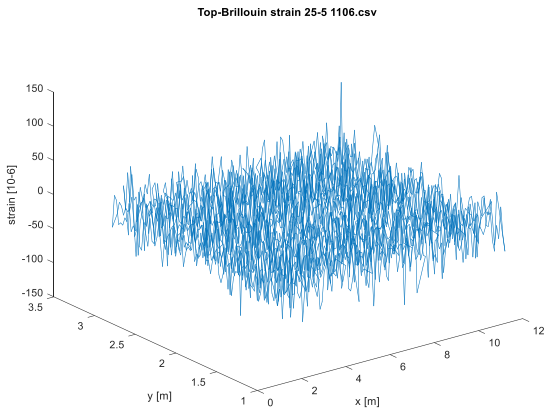
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



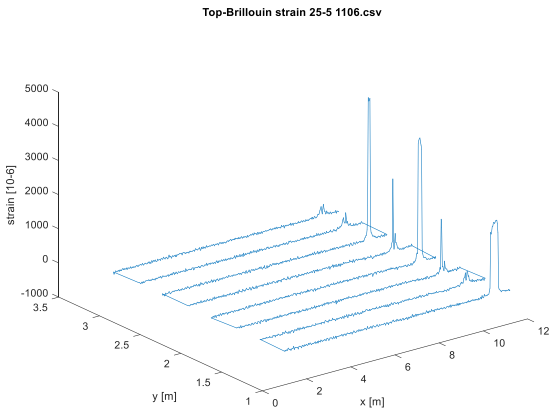
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-189　TW-COTDR 方式結果 5（上部低拡散層、STEP5）

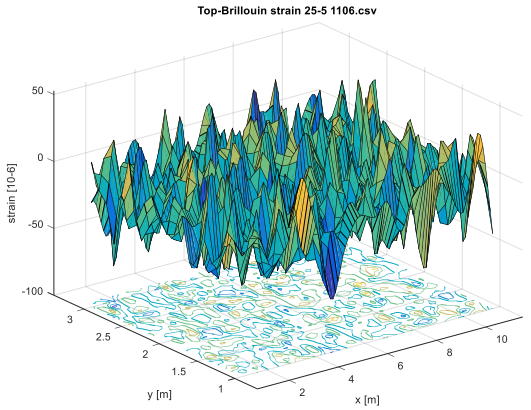
光ファイバセンサー直交方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP6 の計測結果を図 2.3-190～図 2.3-191 に示す。目視によればひび割れはさらに側面まで進展、拡大し、最大ひび割れ幅は 0.45mm であった。



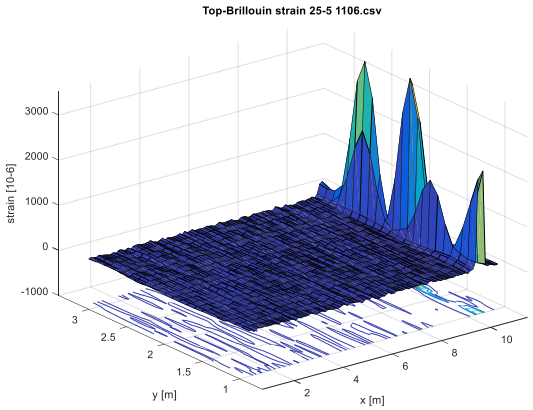
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



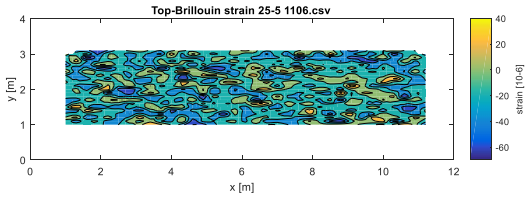
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



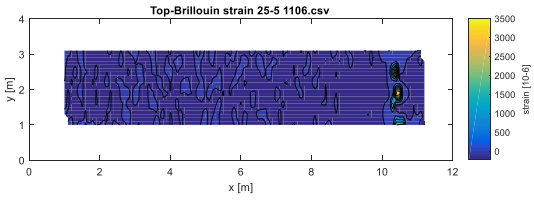
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

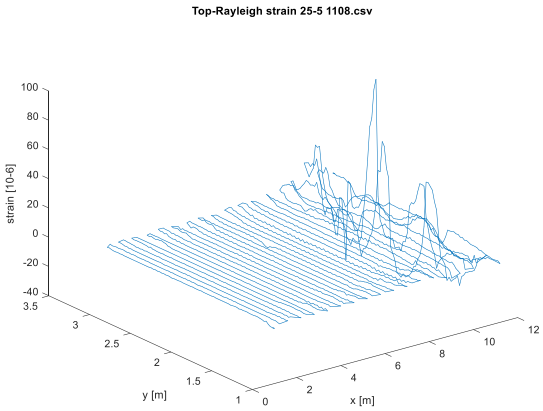


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

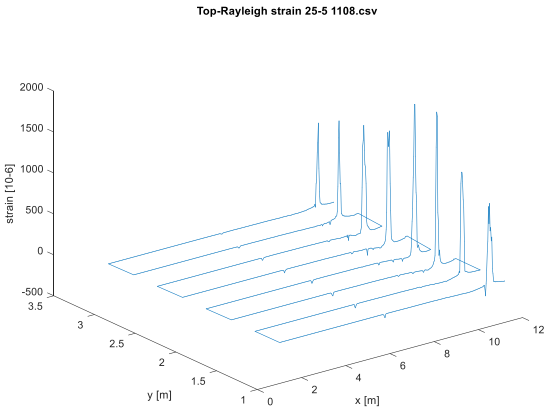


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

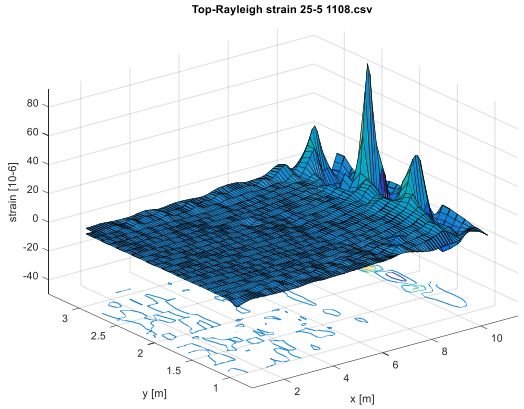
図 2.3-190　PPP-BOTDA 方式結果 6（上部低拡散層、STEP6）



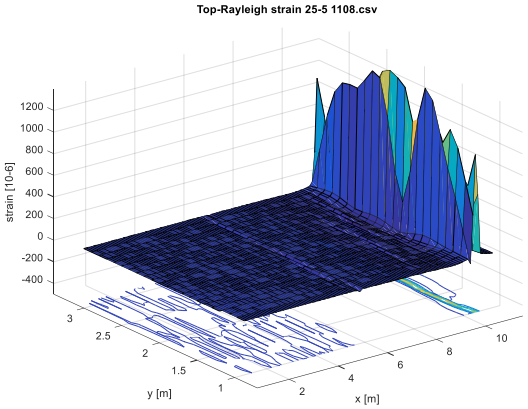
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



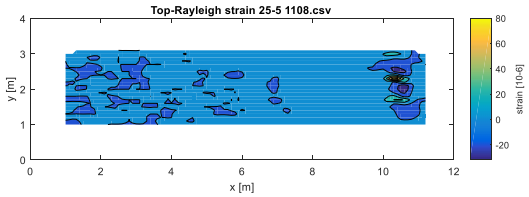
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



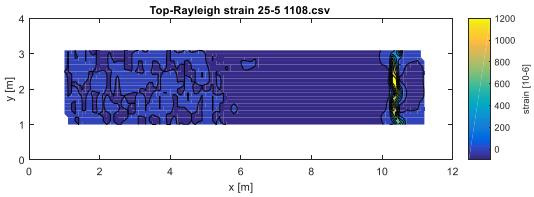
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



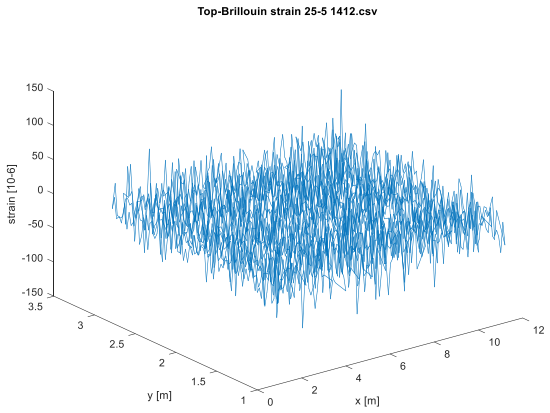
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



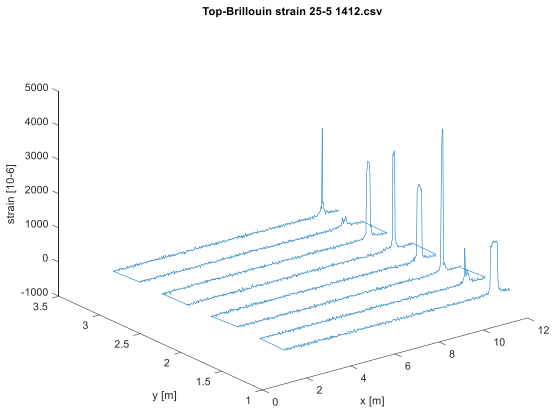
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-191　TW-COTDR 方式結果 6（上部低拡散層、STEP6）

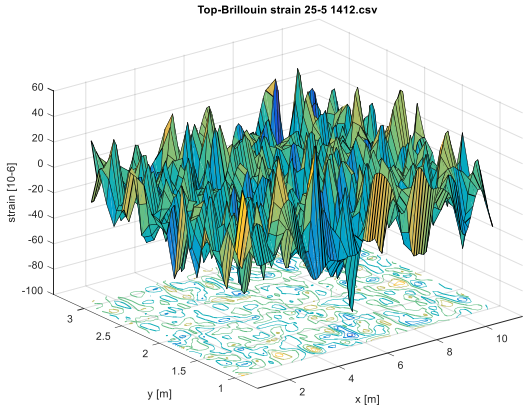
光ファイバセンサー斜め方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP1 の計測結果を図 2.3-192～図 2.3-193 に示す。既に発生した直交ひび割れによる影響が大きく、斜めひび割れ用加圧の影響は顕在化していない。このとき、目視でひび割れは確認されていない。



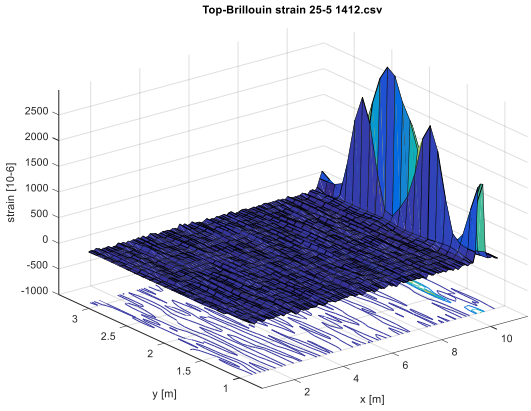
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



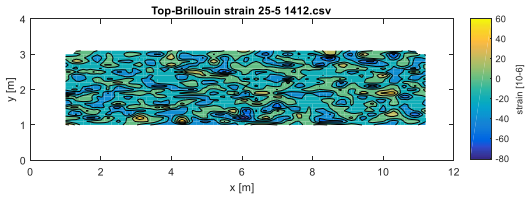
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



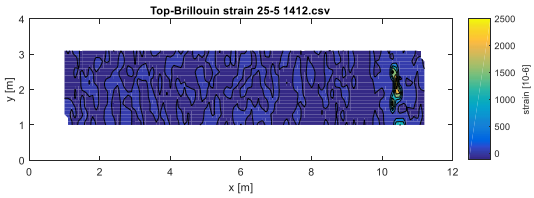
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

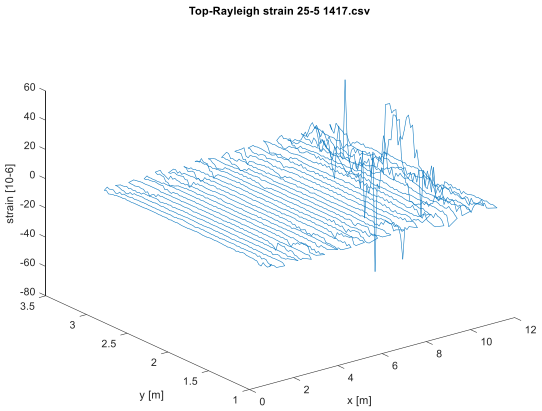


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

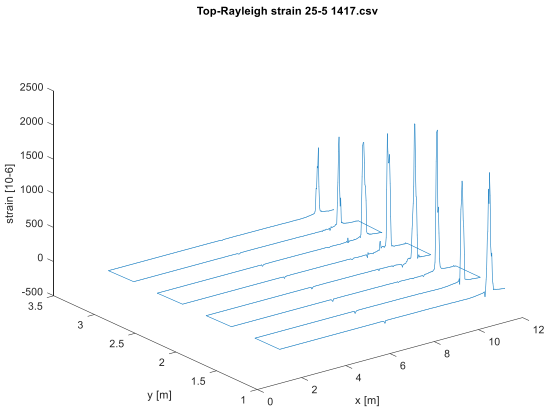


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

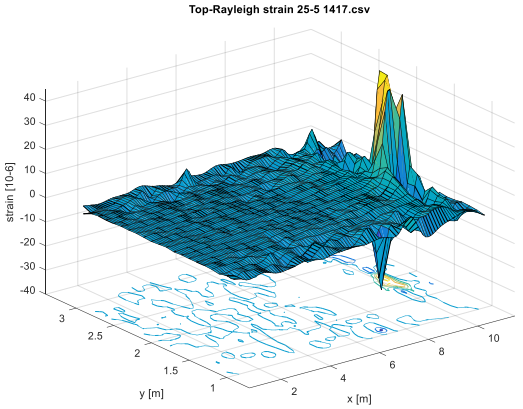
図 2.3-192　PPP-BOTDA 方式結果 7（上部低拡散層、斜め STEP1）



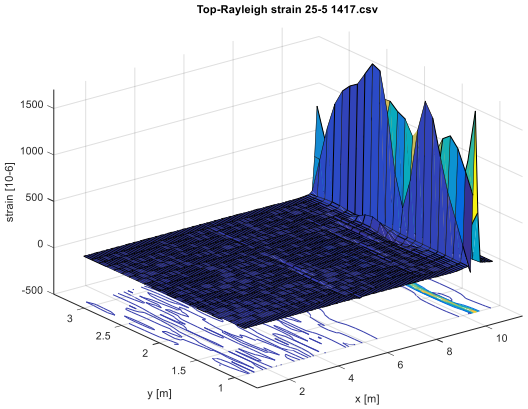
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



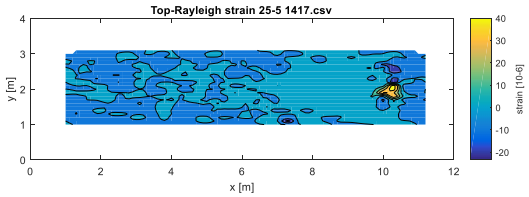
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



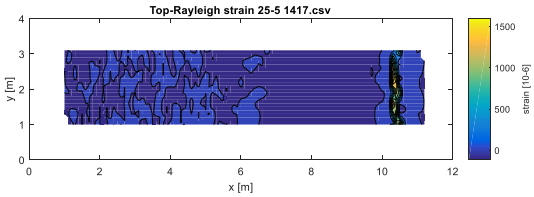
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



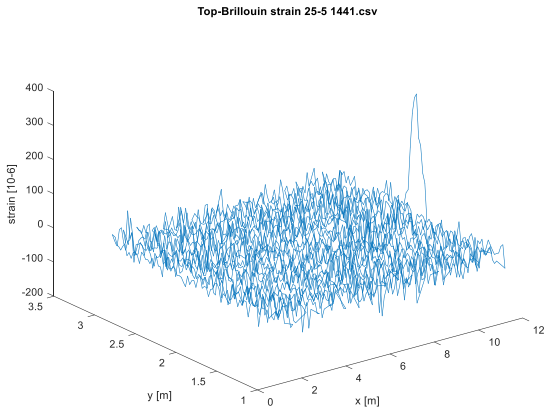
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



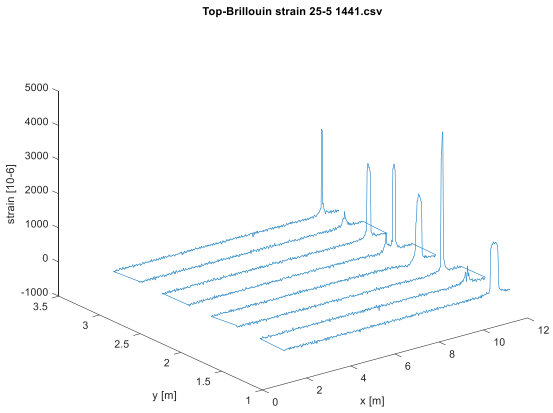
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-193　TW-COTDR 方式結果 7（上部低拡散層、斜め STEP1）

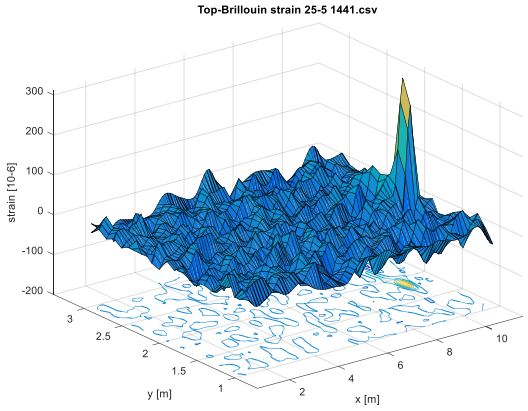
光ファイバセンサー斜め方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP2 の計測結果を図 2.3-194～図 2.3-195 に示す。これまで大きな変化がみられなかった PPP-BOTDA 方式（短辺方向）でひずみの局所変化がみられた。このとき、目視で 0.1mm 幅以下のひび割れが確認された。



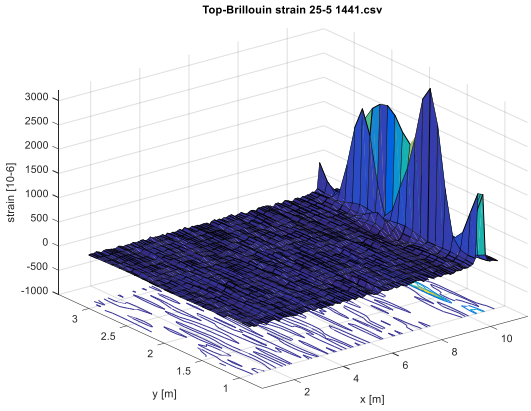
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



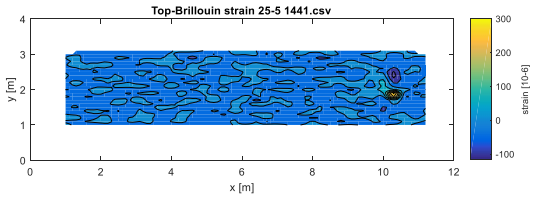
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



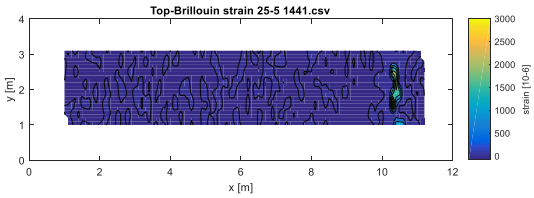
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

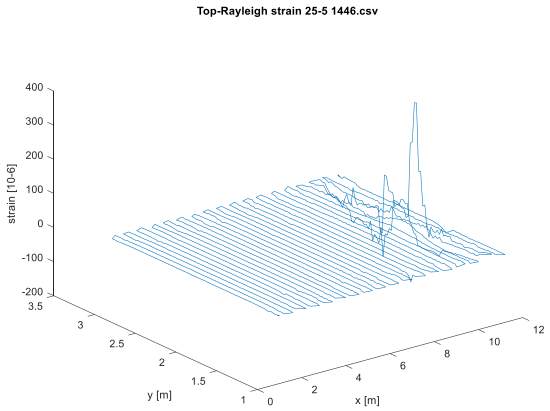


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

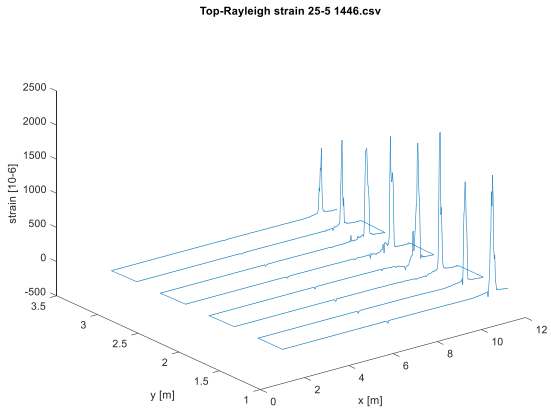


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

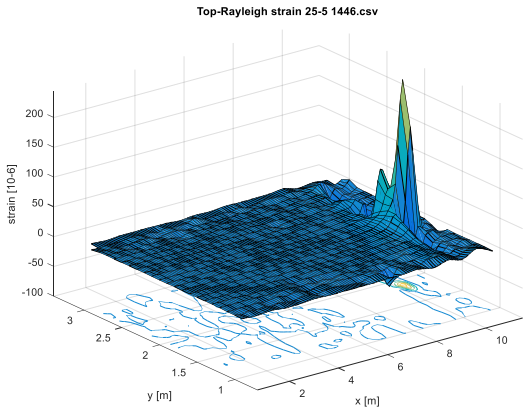
図 2.3-194　PPP-BOTDA 方式結果 8（上部低拡散層、斜め STEP2）



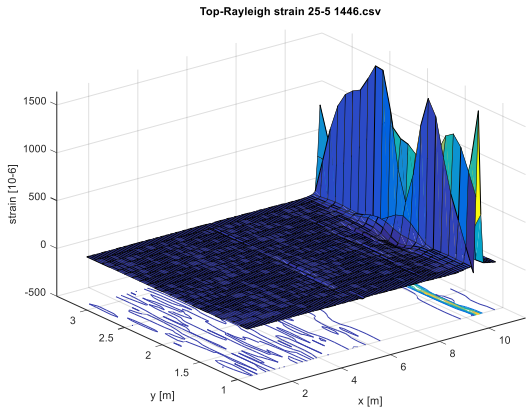
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



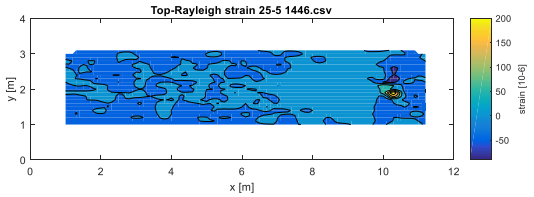
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



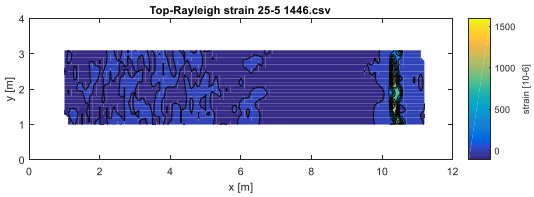
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



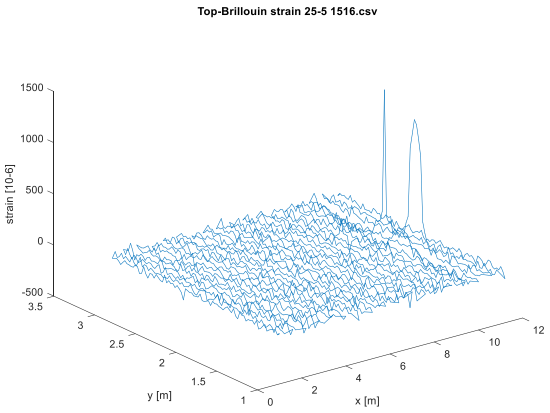
ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）



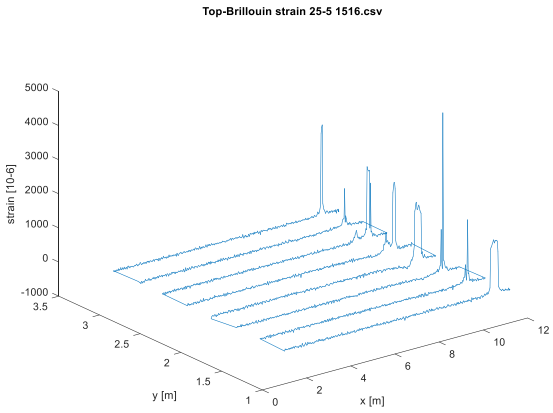
ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

図 2.3-195　TW-COTDR 方式結果 8（上部低拡散層、斜め STEP2）

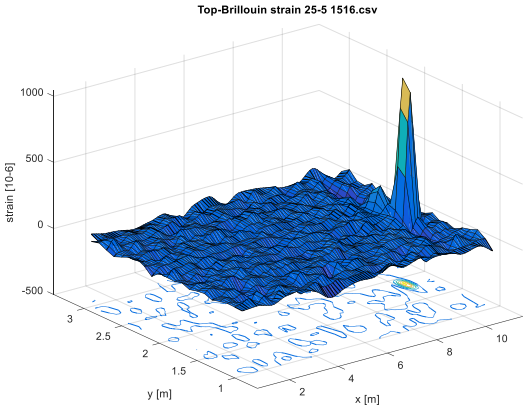
光ファイバセンサー斜め方向にひび割れを発生させるケースにおける STEP2 の計測結果を図 2.3-196～図 2.3-197 に示す。このとき、斜め方向のひび割れは進展、拡大し、目視で最大 0.2mm 幅のひび割れが確認された。



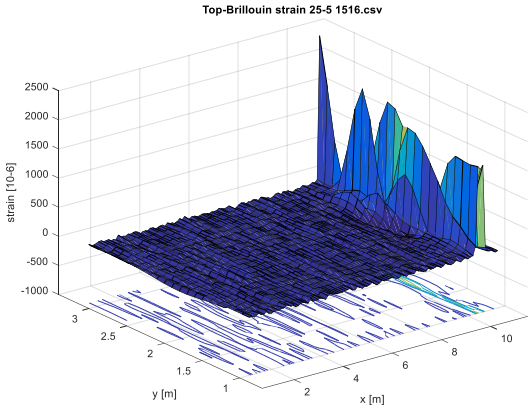
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



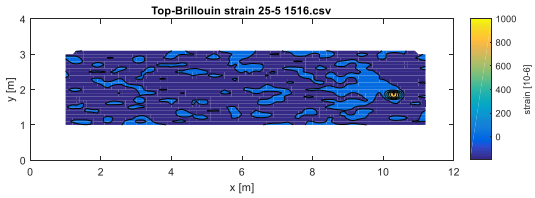
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



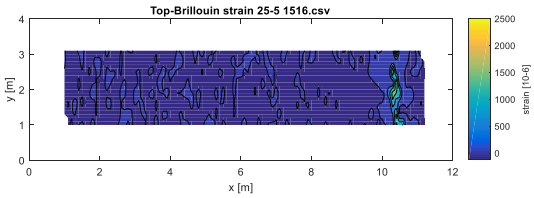
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）

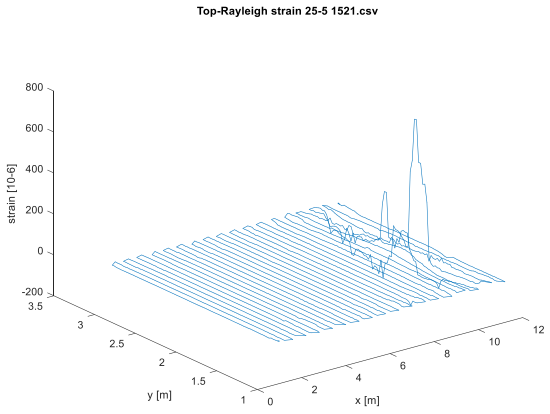


ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

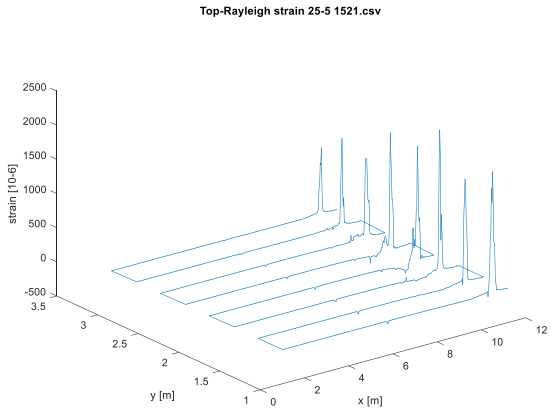


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

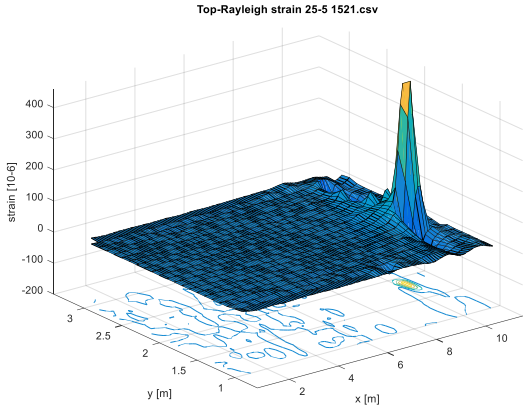
図 2.3-196　PPP-BOTDA 方式結果 9（上部低拡散層、斜め STEP3）



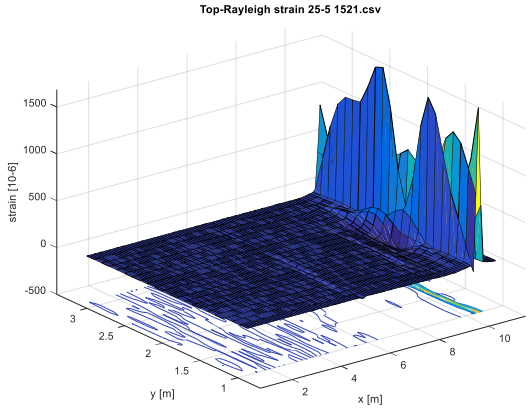
ひずみ分布（短辺方向の光ファイバ）



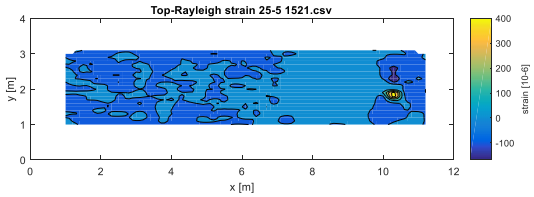
ひずみ分布（長辺方向の光ファイバ）



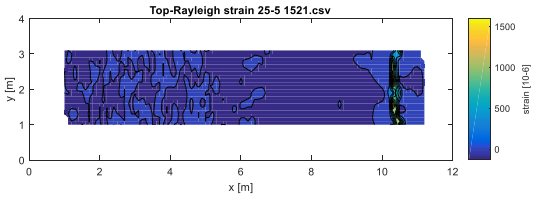
補間処理（短辺方向の光ファイバ



補間処理（長辺方向の光ファイバ）



ひずみコンター（短辺方向の光ファイバ）

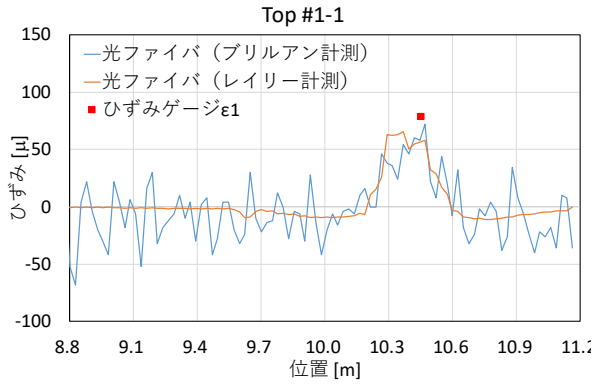


ひずみコンター（長辺方向の光ファイバ）

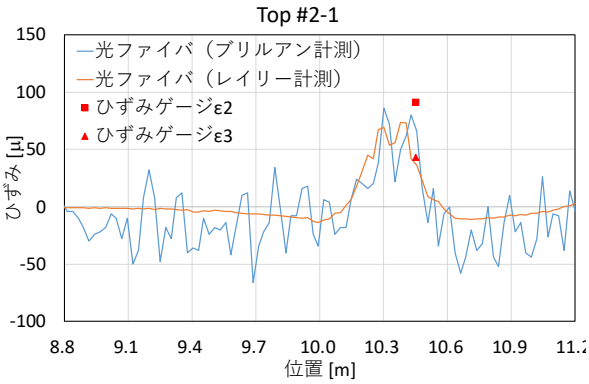
図 2.3-197　TW-COTDR 方式結果 9（上部低拡散層、斜め STEP3）

b）参照データとの比較

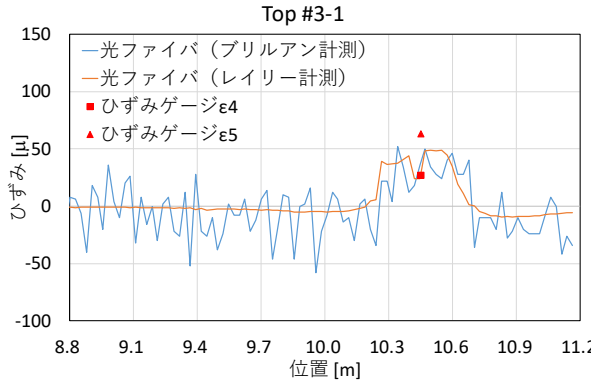
光ファイバセンサーによる計測結果と、近傍のひずみゲージの計測結果を併記して、パッカーの加圧ステップごとに図 2.3-198～図 2.3-206 に示す。



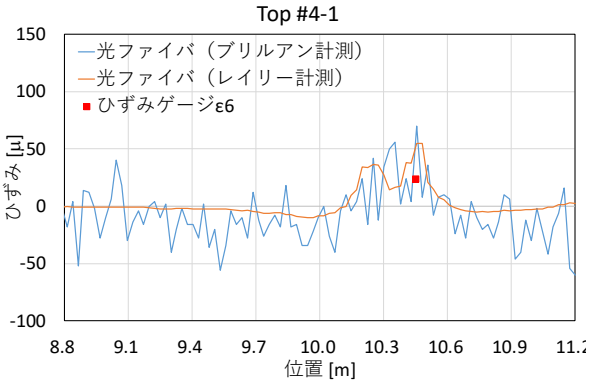
(a) ひずみゲージ ε 1 付近



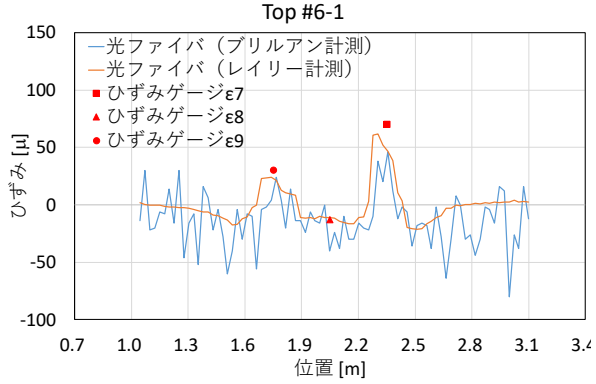
(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4,5 付近

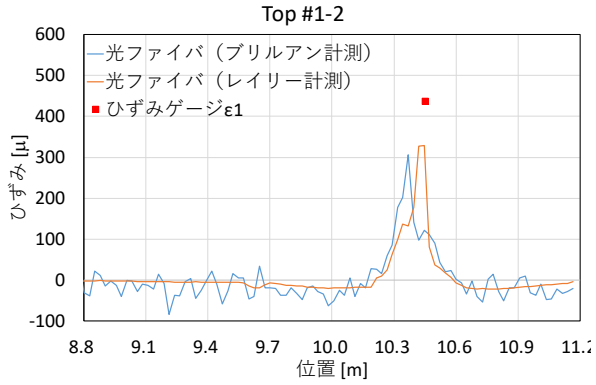


(d) ひずみゲージ ε 6 付近

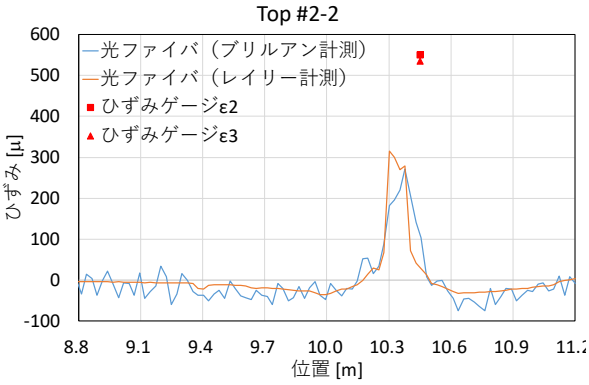


(e) ひずみゲージ ε 7,8,9 付近

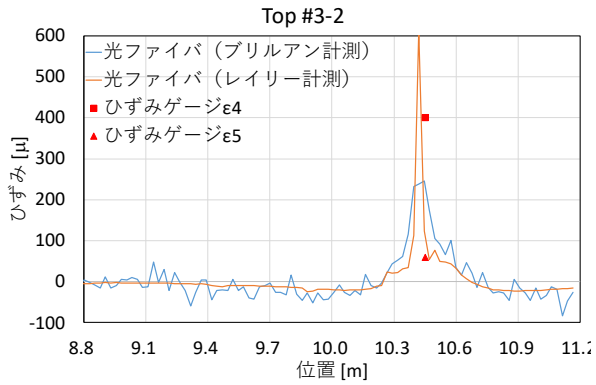
図 2.3-198　ひずみ分布計測結果（STEP1）



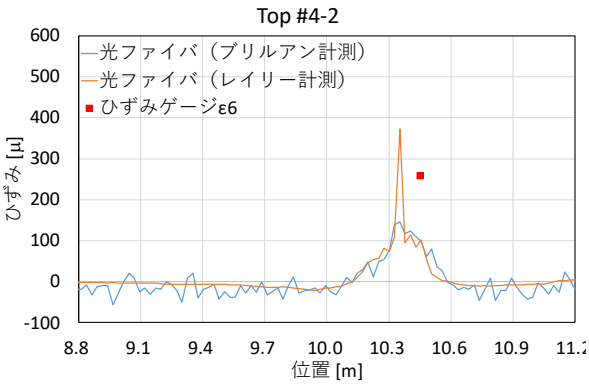
(a) ひずみゲージ ε 1 付近



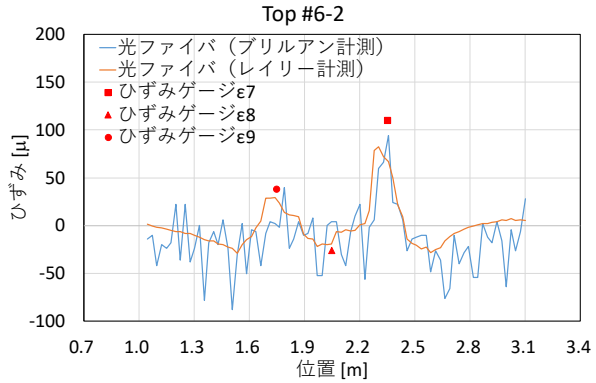
(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4,5 付近

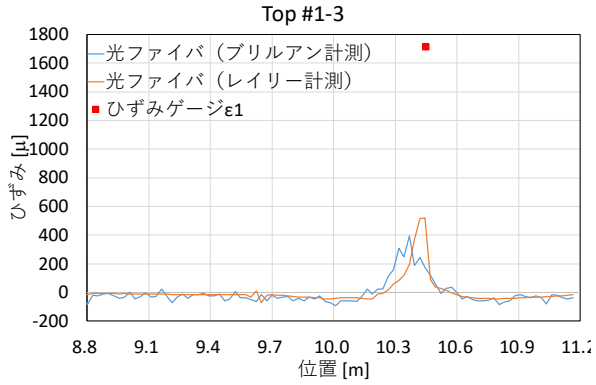


(d) ひずみゲージ ε 6 付近

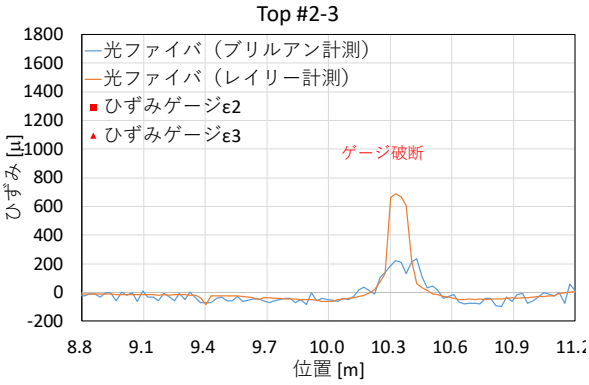


(e) ひずみゲージ ε 7,8,9 付近

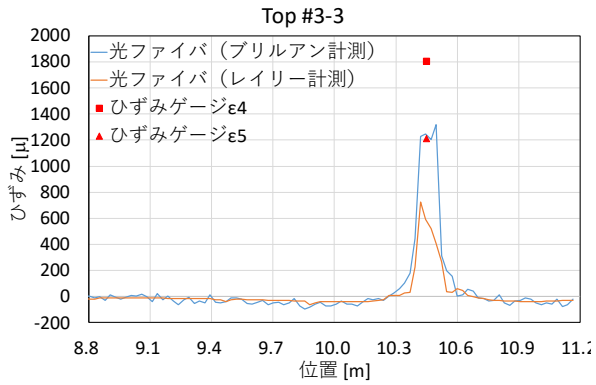
図 2.3-199　ひずみ分布計測結果（STEP2）



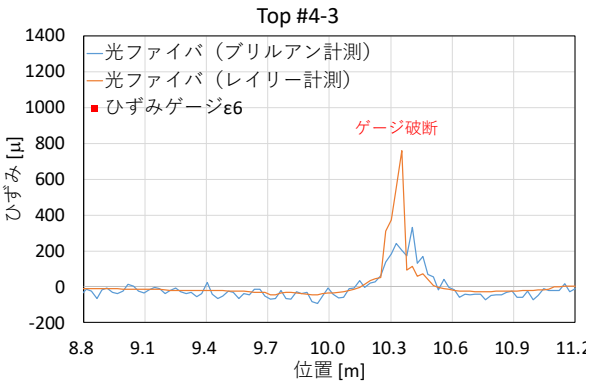
(a) ひずみゲージ ε 1 付近



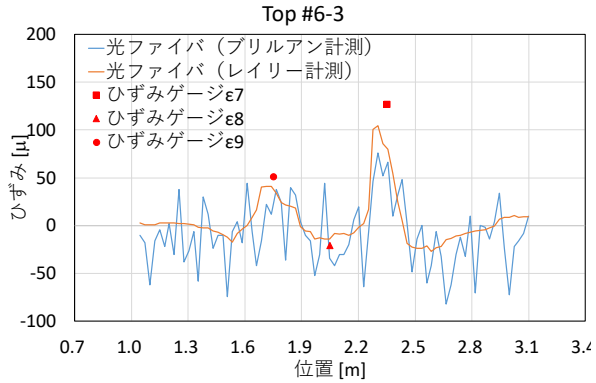
(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4,5 付近

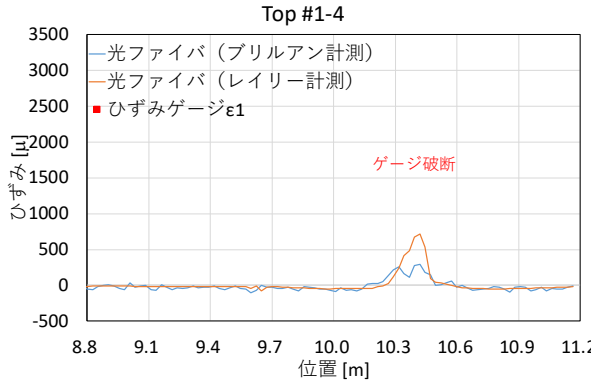


(d) ひずみゲージ ε 6 付近

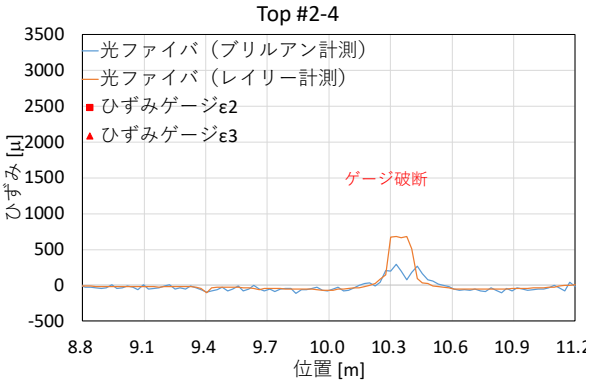


(e) ひずみゲージ ε 7,8,9 付近

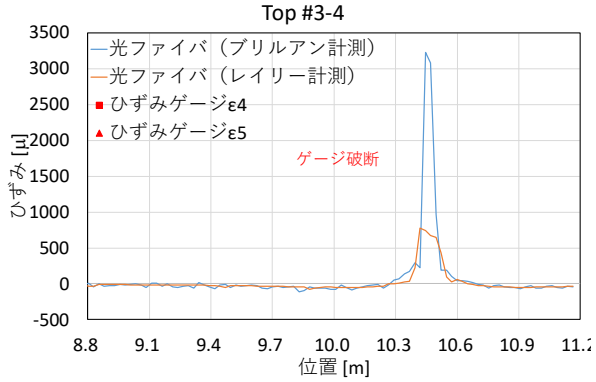
図 2.3-200　ひずみ分布計測結果（STEP3）



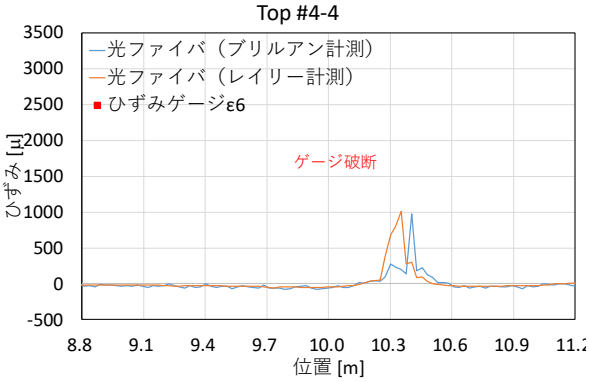
(a) ひずみゲージ ε 1 付近



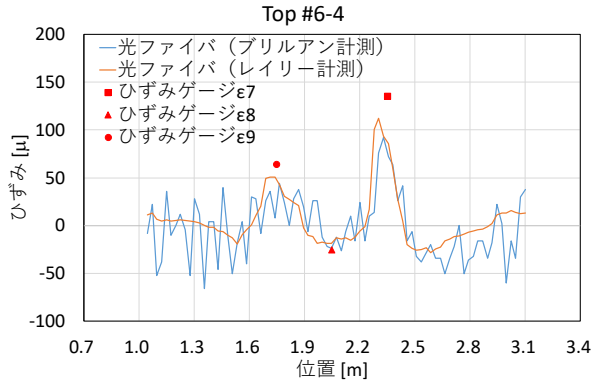
(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4,5 付近

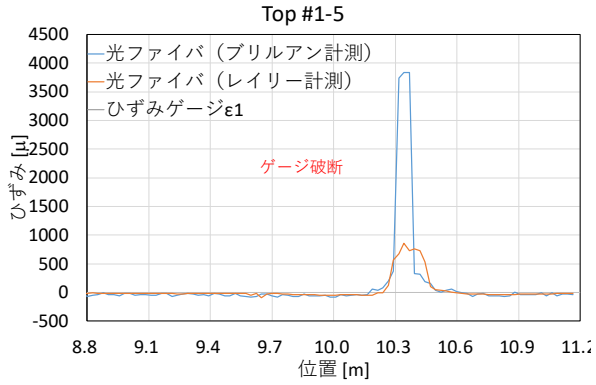


(d) ひずみゲージ ε 6 付近

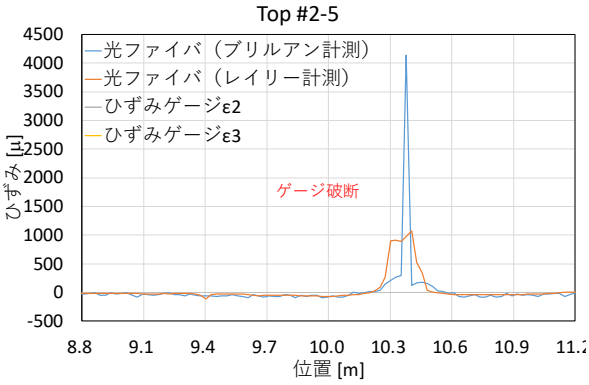


(e) ひずみゲージ ε 7,8,9 付近

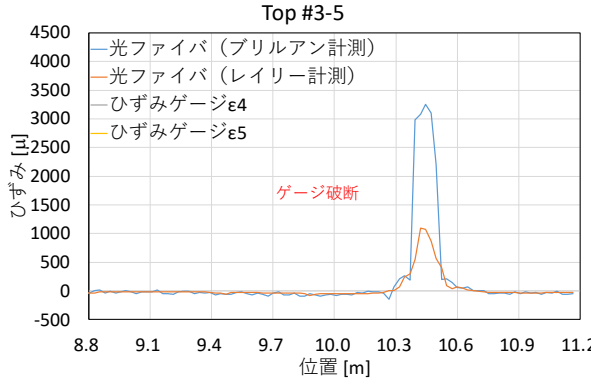
図 2.3-201　ひずみ分布計測結果（STEP4）



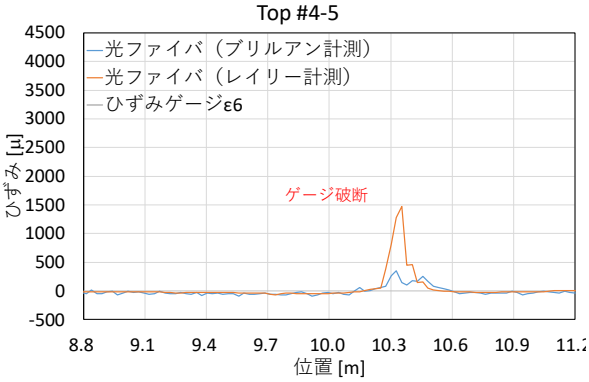
(a) ひずみゲージ ε 1 付近



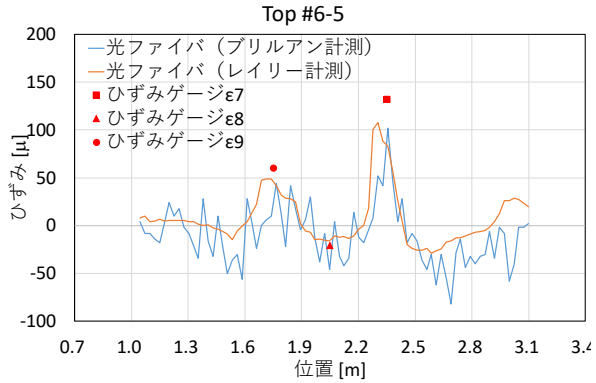
(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4,5 付近

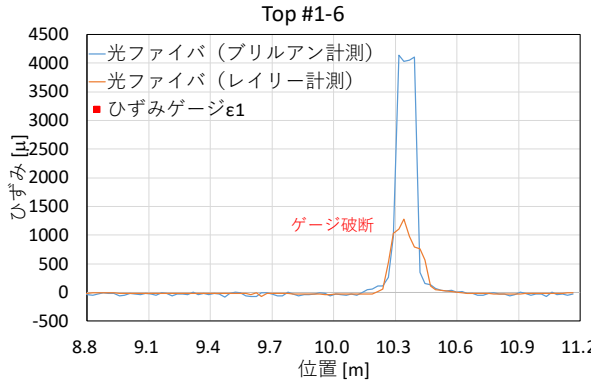


(d) ひずみゲージ ε 6 付近

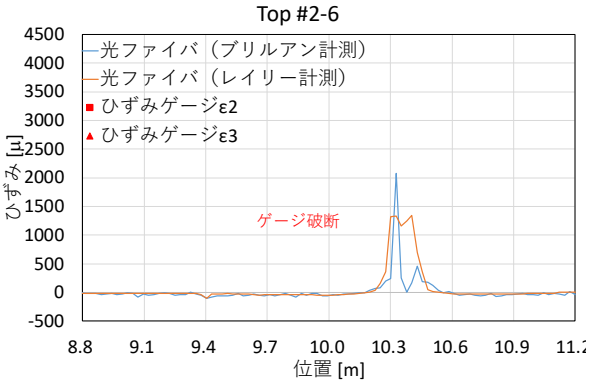


(e) ひずみゲージ ε 7,8,9 付近

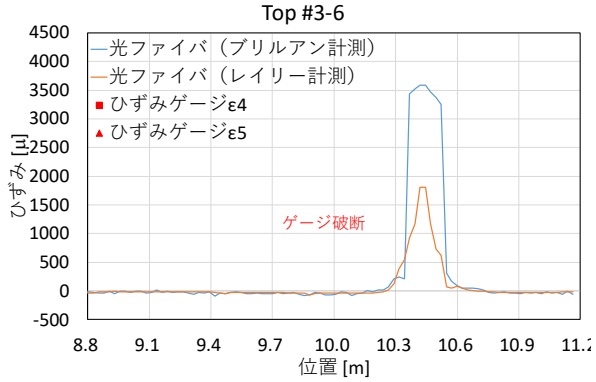
図 2.3-202　ひずみ分布計測結果（STEP5）



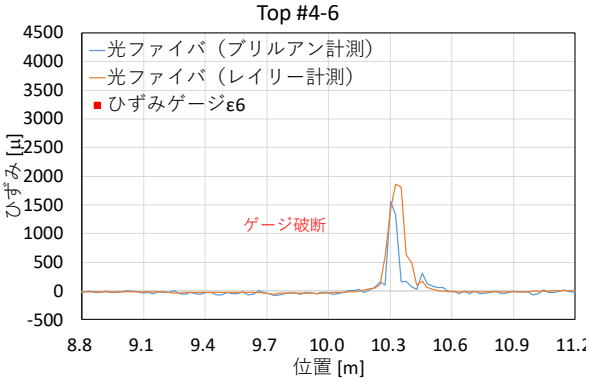
(a) ひずみゲージ ε 1 付近



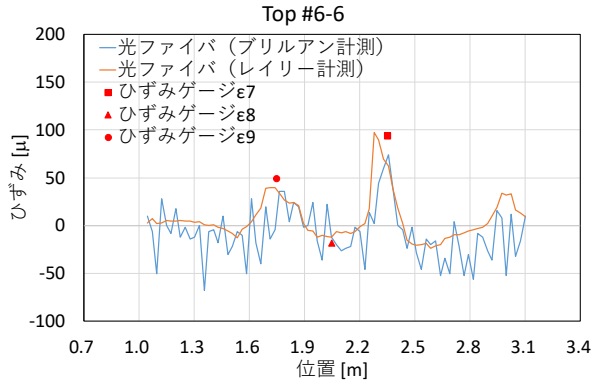
(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4,5 付近

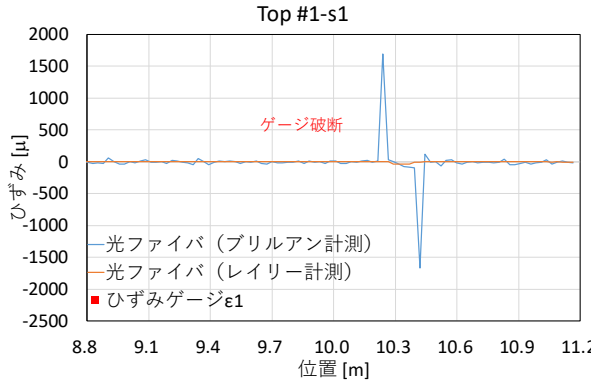


(d) ひずみゲージ ε 6 付近

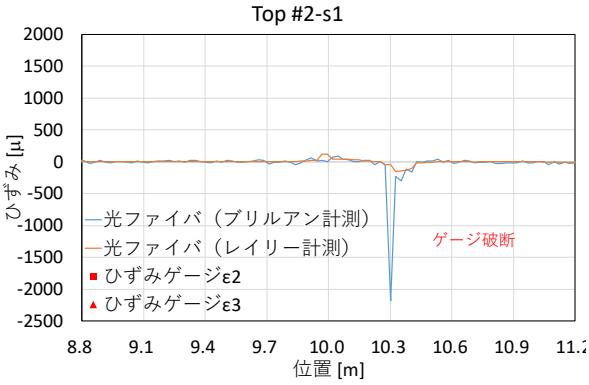


(e) ひずみゲージ ε 7,8,9 付近

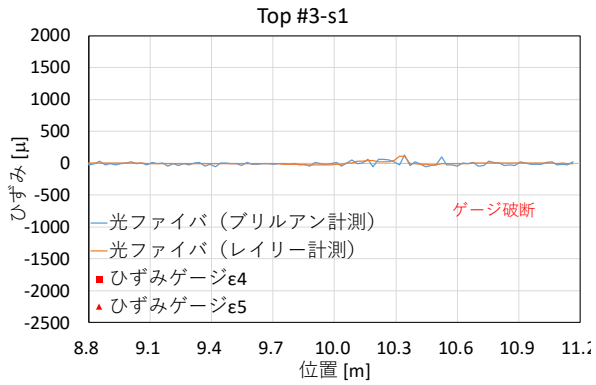
図 2.3-203　ひずみ分布計測結果（STEP6）



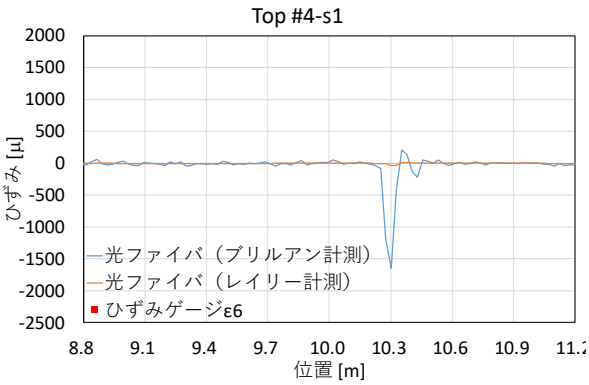
(a) ひずみゲージ ε 1 付近



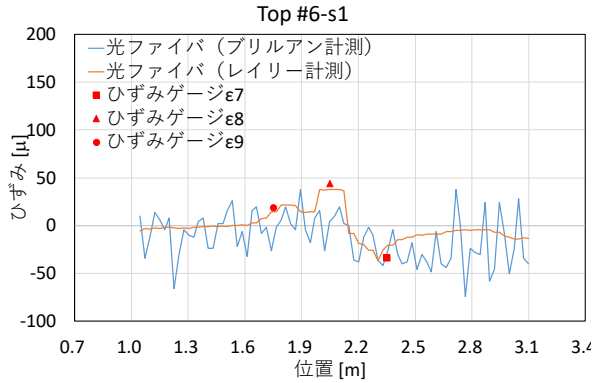
(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4,5 付近

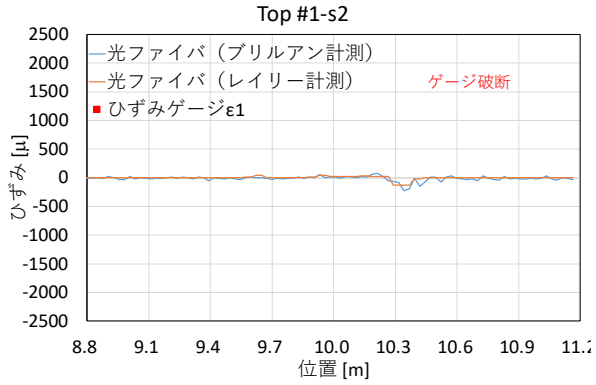


(d) ひずみゲージ ε 6 付近

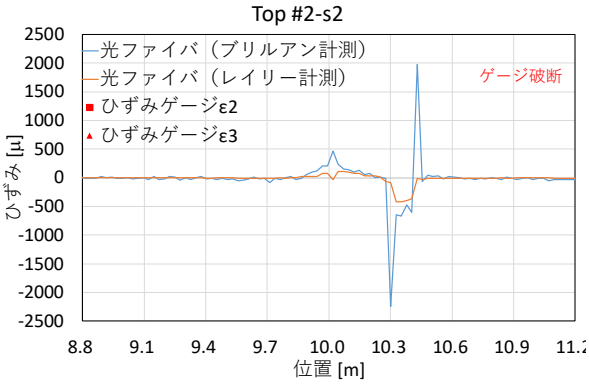


(e) ひずみゲージ ε 7,8,9 付近

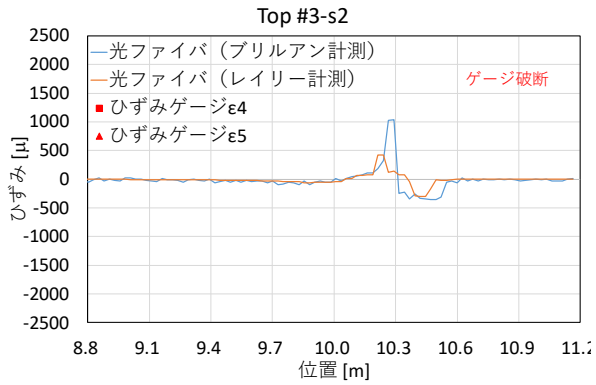
図 2.3-204　ひずみ分布計測結果（斜め STEP1）



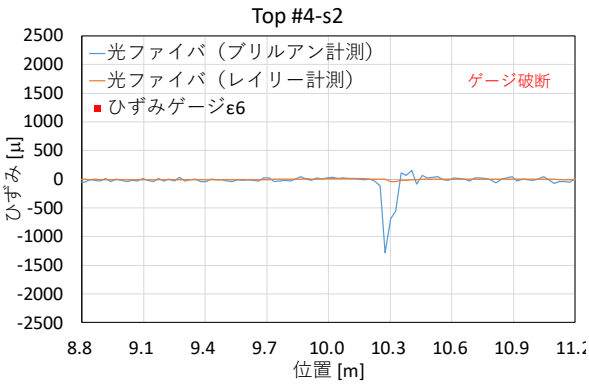
(a) ひずみゲージ ε 1 付近



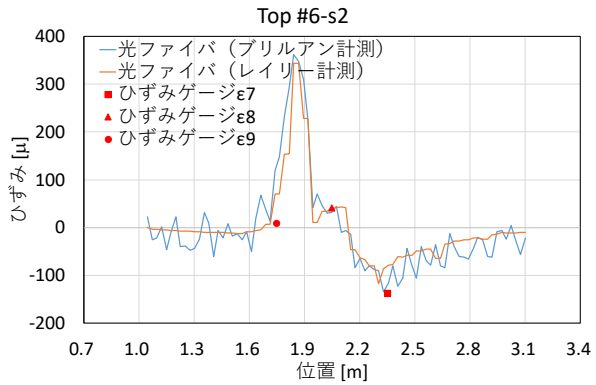
(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4,5 付近

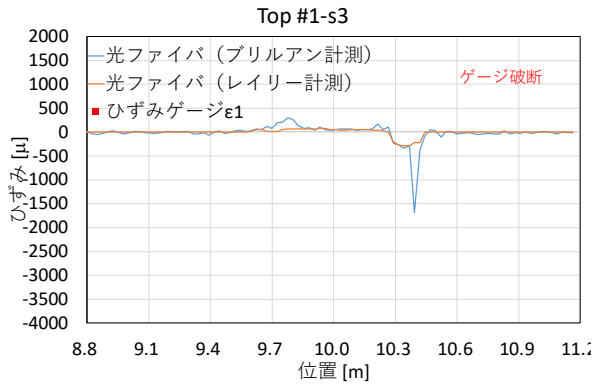


(d) ひずみゲージ ε 6 付近

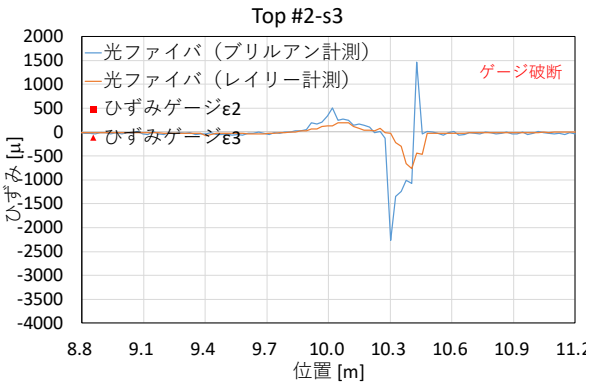


(e) ひずみゲージ ε 7,8,9 付近

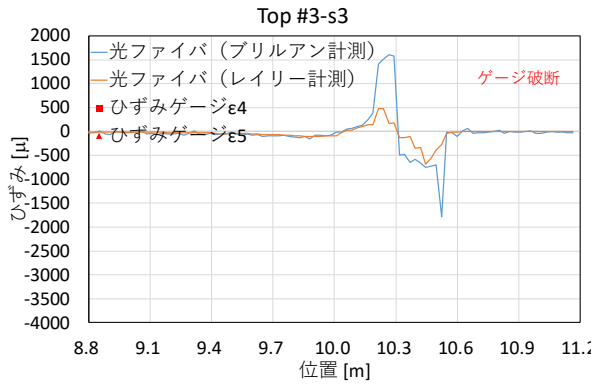
図 2.3-205　ひずみ分布計測結果（斜め STEP2）



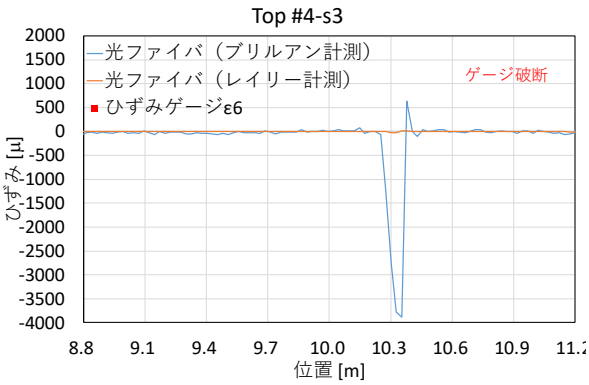
(a) ひずみゲージ ε 1 付近



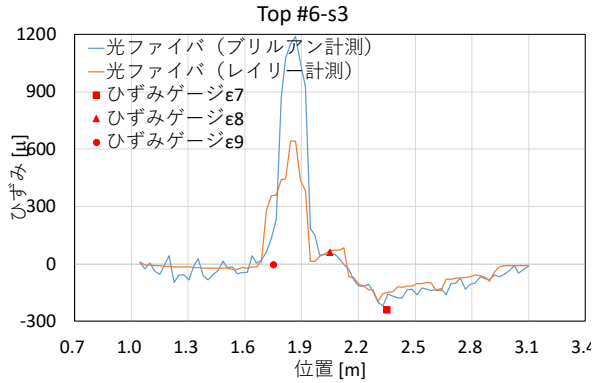
(b) ひずみゲージ ε 2,3 付近



(c) ひずみゲージ ε 4,5 付近



(d) ひずみゲージ ε 6 付近



(e) ひずみゲージ ε 7,8,9 付近

図 2.3-206　ひずみ分布計測結果（斜め STEP3）

光ファイバセンサーによるひずみ分布計測結果から、ひび割れ位置の近傍 20cm 分を積分して、各ステップでひび割れ幅を算出した。こうして得られたひび割れ幅結果を、近傍のパイゲージの計測結果を併記して、時系列で図 2.3-207～図 2.3-209 に示す。

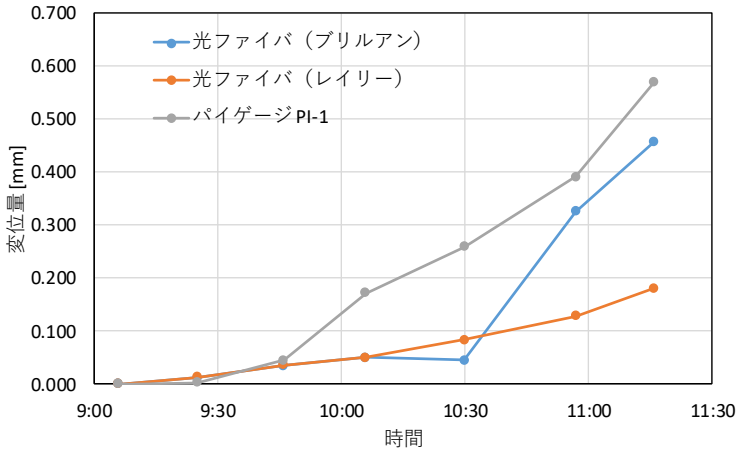


図 2.3-207　ひび割れ幅算出結果（PI-1）

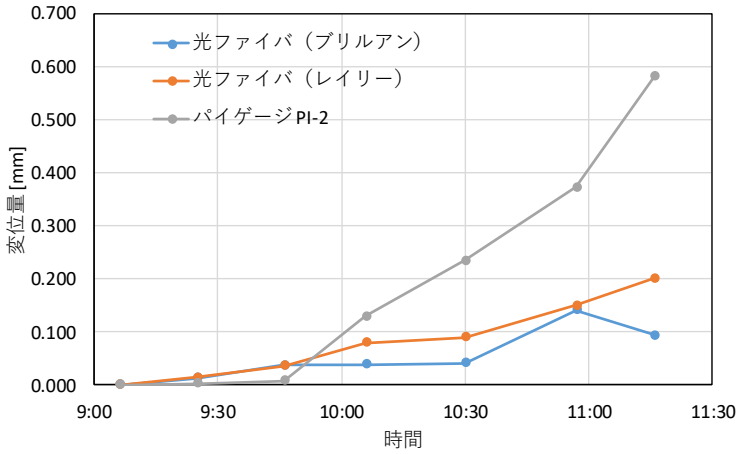


図 2.3-208　ひび割れ幅算出結果（PI-2）

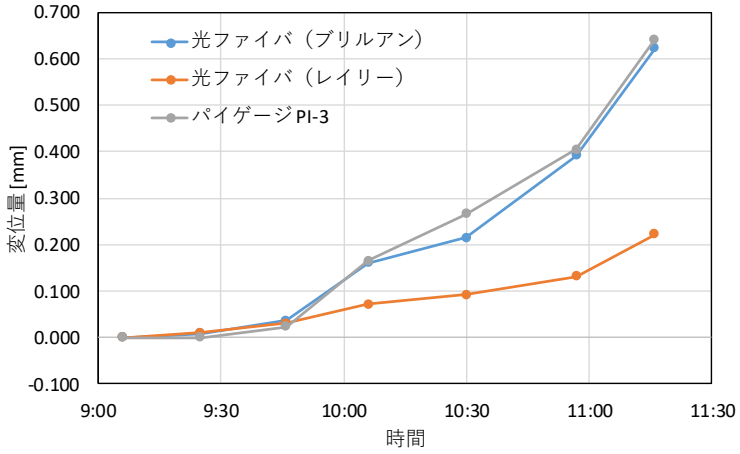


図 2.3-209　ひび割れ幅算出結果（PI-3）

(c) まとめ

現地環境下における光ファイバセンサーのひび割れ検知性能を確認するために、上部低拡散層（鉄筋無し）に標準パッカーでひび割れを発生させてひび割れ計測試験を実施した。段階的にひび割れを誘発しながら、光ファイバセンサーでひずみ計測するとともに、併設した参照計器（パイ型ゲージ、ひずみゲージ）による計測、目視によるひび割れ観察と比較した。

ブリルアン計測（PPP-BOTDA 方式)、レイリー計測（TW-COTDR 方式）ともに、目視でひび割れが確認されるより前に、ひずみの局所的な変化をとらえることができた。特に、レイリー計測は微小なひずみ変化をとらえるのに優れており、ひび割れの予兆をとらえられる可能性がある。

空間分解能の違い（ゲージ長 90mm、光ファイバ 50mm）や設置位置が異なることなどもあり、ひずみゲージと光ファイバに差があるところがあるものの、ひずみゲージと光ファイバは比較的良く一致していた。また、ひずみゲージが断線して以降も、光ファイバで計測することができた。光ファイバセンサーでは、標準パッカー工法によって圧縮～引張ひずみともにみられ、網羅的な評価のためにはひずみゲージを多数設置するなど稠密な参照データの必要がある。

光ファイバセンサーによるひずみ分布計測をもとに積分値からひび割れ幅を求め、パイゲージと比較した。両者には差がみられたが、光ファイバセンサーのなかではブリルアン計測の結果がパイゲージの結果に近かった。

(4) まとめ

実規模施設を活用し、光ファイバセンサーが 30cm 間隔の格子状に設置された手前コンクリートピット（鉄筋コンクリート）と上部低拡散層（無筋モルタル）を対象に、標準パッカーで施設にひび割れを発生させて、そのときに生じるひずみを光ファイバセンサーで計測した。光ファイバセンサーによる計測は、ひずみやひび割れを拡大させるごとに実施し、そのときのひずみゲージやパイ型ゲージの計測値や目視観察結果と比較して、その計測性能を定量評価した。

光ファイバセンサーと、ひずみゲージやパイ型ゲージの比較で得られた結果を以下に示す。これらは、手前コンクリートピットと上部低拡散層ともに同様であった。

- ✓ ブリルアン計測（PPP-BOTDA 方式）、レイリー計測（TW-COTDR 方式）ともに、目視でひび割れが確認されるより前に、ひずみの局所的な変化をとらえることができた。特に、レイリー計測は微小なひずみ変化をとらえるのに優れており、ひび割れの予兆をとらえられる可能性がある。
- ✓ 空間分解能の違い（ゲージ長 90mm、光ファイバ 50mm）や設置位置が異なることなどもあり、ひずみゲージと光ファイバに差があるところがあるものの、ひずみゲージと光ファイバは比較的良く一致していた。また、ひずみゲージが断線して以降も、光ファイバで計測することができた。光ファイバセンサーでは、標準パッカー工法によって圧縮～引張ひずみともにみられ、網羅的な評価のためにはひずみゲージを多数設置するなど稠密な参照データの必要がある。
- ✓ 光ファイバセンサーによるひずみ分布計測をもとに積分値からひび割れ幅を求め、パイゲージと比較した。光ファイバセンサーのなかでも、ブリルアン計測の結果はパイ型ゲージの結果と良く一致していた。

2.3 節　参考文献

[1] 李哲賢ほか：PPP-BOTDA 測定技術を用いた 2cm 分解能ブリルアン分布計測の実現、電子情報通信学会技術研究報告、光ファイバ応用技術、108(32)、pp.55-60、2008 年

[2] Delepine-Lesoille, S. et al.：Validation of TW-COTDR method for 25km distributed optical fiber sensing. In Fifth European Workshop on Optical Fibre Sensors, Vol. 8794, p. 879438 (2013).

[3] （財）原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 29 年度管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設機能確認試験 報告書、平成 30 年 3 月

[4] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業地下空洞型処分施設機能確認試験　報告書、平成 30 年 3 月

[5] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：管理型処分技術調査等事業地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験　報告書、平成 27 年 3 月

[6] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業地下空洞型処分施設機能確認試験　報告書、平成 30 年 3 月

[7] 新技術情報共有システム NETIS　新技術概要説明情報

[8] 協立エンジ株式会社：KK シート工法カタログ

2.4　放射線計測に関する技術の調査

2.4.1　調査条件

放射線計測に関する技術の調査範囲を明確にするため、中深度地下埋設施設でモニタリング対象となる放射性核種、放射線種、放射線量率の範囲を整理した。

(1) 計測対象となる放射性核種と放射線種

中深度処分施設に埋設される炉内等廃棄物は、α核種をほとんど含まず、半減期が数百年を超える長半減期のβ・γ核種を多く含む（図 2.4-1、図 2.4-1 及び表 2.4-1）。施設のモニタリングは主にβ・γ線の計測と、水や土壌に含まれるβ・γ核種の濃度の計測となる。表 2.4-1 に記載した核種から放射される放射線のエネルギー範囲はβ線が H-3 の 0.01860MeV～Cs-137 の 1.176MeV、γ線が Ni-59 の 0.0069MeV～Co-60 の 1.333MeV である。この他、低線量・低濃度の計測では地下水や土壌中に含まれる天然放射性核種（表 2.4-2）を計測し影響を除去することがある。

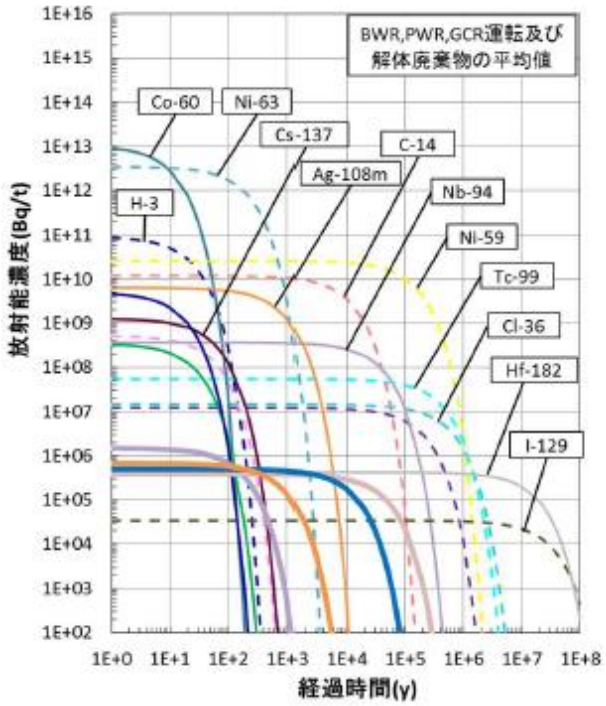


図 2.4-1　炉内等廃棄物の放射能濃度と時間の関係[1]

表 2.4-1　主要 12 核種からの放射線[2]

核種	半減期（年）	主なβ線のエネルギー（MeV）と放出割合	主な光子線エネルギー（MeV）と放出割合
H-3	12.33	β^- 0.01860－100%	
C-14	5.730×10^{3}	β^- 0.156－100%	
Cl-36	3.01×10^{5}	β^- 0.709－98.1% EC 1.9%	
Ni-59	7.6×10^{4}	EC 100% β^+ 0.0505－弱	0.0069－29.8% Co-Kα 0.0077－4.0%Co-Kβ
Co-60	5.271	β^-0.318－99.9% 1.491$^-$弱	1.173－100% 1.333－100%
Ni-63	100.1	β^-0.0669－100%	
Nb-94	2.03×10^{4}	β^-0.472－98.1%	0.703－97.9% 0.871－99.9%
Tc-99	2.111×10^{5}	β^-0.294－100%	
Ag-108m	4.18×10^{2}	β^-0.1094	
I-129	1.57×10^{7}	β^-0.154－100%	0.0396－7.5% 0.0298－57.0% Xe-Kα 0.0336－13.2% Xe-Kβ
Cs-137	30.04	β^-0.514－94.4% 1.176－5.6%	0.662－85.1% Ba-137m 0.0332－5.6% Ba-Kα 0.0364－1.3% Ba-Kβ
Hf-182	8.90×10^{6}y	β^-0.373	

表 2.4-2　天然放射性核種の例[3]

核種	半減期	主なβ線のエネルギー（MeV）と放出割合	主な光子線エネルギー（MeV）と放出割合
K-40	1.277×10^{9}	β^- 1.312－89.3% EC 10.7%	1.461- 10.7%
Ra-226	1600 年	α 4.602－5.6% α 4.784－ 94.4%	0.186－ 3.6% 他
Rn-222	3.824d	α 5.490－99.9% 他	0.510－ 0.076%
Rn-220	55.6s	α 5.748－ 0.11% α 6.288－ 99.9%	0.550－ 0.11%
Rb-87	4.75×10^{10}	α 0.283－100%	

(2) 放射線量率の範囲

放射線計測の範囲によって計測手法が異なる場合があるため、中深度施設へ埋設される廃棄体の表面線量率と、施設の線量拘束値（L1 については検討中の値）を参考にした。値は下記の通りである。なお、日本人が 1 年間に被ばくする大地からの放射線量は 0.33mSv と見積もられている[4]。この値は 1 年間を 8,766 時間として均等割りすると約 0.04μSv/h に相当する。

1) 廃棄体容器の最大表面線量率[5]

500mSv/h 以下

2) 施設の線量拘束値 [6][7]

a. 現行の第二種廃棄物の規則（L2 と L3）

基本シナリオ　10μSv/年

変動シナリオ　300μSv/年

b. 検討中の第二種廃棄物の規則（L1）

通常の保守的な状態 100μSv/年

厳しい状態　　300μSv/年

上記より放射線計測の範囲を線量率 0.001μSv/h～1Sv/h、積算線量 1Sv/年～10,000Sv/年の桁と見積もり調査する。

2.4.2 従来技術の概観

放射線の検出原理は電離現象、発光現象、化学変化、その他に大別される（表 2.4-3)。ここでは、地下埋設施設への適用技術を絞り込む際の参考にするため、既存の主要な放射線検出原理を整理した。

表 2.4-3 主な放射線計測器の検出原理（文献[8]を参考にして作成した）

検出原理（信号）		検 出 器
電離現象 （電荷→電流、電圧）	一時電離	電離箱（気体)、半導体検出器（固体）
	電子なだれ	比例計数管（気体)、GM 計数管（気体）
発光現象 （光子→電荷→電圧）	蛍光放出	シンチレーション検出器
	チェレンコフ放射	チェレンコフ検出器（液シン）
	蓄積誘導放射	イメージングプレート 熱ルミネッセンス線量計（TLD） 光刺激ルミネッセンス線量計（OSLD） 蛍光ガラス線量計
化学変化	写真作用	写真乳剤、X 線フィルム
	酸化・還元反応	鉄線量計、セリウム線量計
	ラジカル形成	アラニン線量計
	着色	高分子線量計、カラーインジケータ
電荷収集	電荷蓄積	ファラディカップ
発熱現象	熱発生	カロリーメータ
原子核反応	核反応、放射化	BF3 カウンタ、3He カウンタ、箔検出器
飛跡現象	放射線損傷	固体飛跡検出器
	液滴形成	霧箱
	気泡形成	泡箱

(1) 電離現象による検出

放射線がガスや固体中を通過するとエネルギーを与えて物質を電離させる。高電場を印加し電離で生じた電子とイオン（固体中では電子と正孔）を再結合させずに電極へ移動させ、放射線の入射を電気信号に換えて検出する。

地下空間で長期使用する場合には、ガスの封入（漏洩・可燃性)、高電場の印加（放電・劣化)、が課題になると考えられる。

(2) 発光現象による検出

1) 蛍光放出

放射線（主にβ・γ線）の通過により生じた励起状態がエネルギーを失う際に放射するシンチレーション光（蛍光や燐光）を検出する。光電子増倍管やフォトダイオードなどによって光信号を電気信号に変換・増幅し、放射線の入射数を計数（カウント）するほか、発光の輝度から放射線エネルギーの情報も得られる。

シンチレーション光を放射する透明な材料であるシンチレータは材質によって無機シンチレータと有機シンチレータに分類される。一般的に、無機シンチレータは、発光効率が高い、光出力との直線性が良い、割れ易く潮解性がある（潮解性のない材料もある）、等の特徴があり、有機シンチレータは、発光減衰時間が短い、プラスチックや有機液体中にシンチレータを溶解させて複雑形状や大型化に対応可能である、発光効率が無機シンチレータより低い、等の特徴がある。

地下空間で使用する場合、シンチレータの潮解性等の耐候性、光検出器への通電（ケーブルの耐候性や防爆性）が課題になると考えられる。密閉空間からシンチレーション光を減衰させずに外部へ伝送できれば、原位置への通電が不要なシステムとなるため原理的に注目される。ボアホールサイズのシンチレーション検出器が市販されており、地下埋設施設周辺の観測孔内の放射線環境を必要に応じて確認する手段として実用可能な技術である。

2) チェレンコフ放射

電荷を持った粒子が物質中を通過する速度 v が、屈折率 n の物質中の光の速度 c/n を上回ると粒子の飛跡に沿ってチェレンコフ光が発生する。液体試料中に含まれる ^{90}Sr などの核種（最大エネルギーが 263keV を超えるβ線放出核種）を定量するために、液体シンチレーション検出器で、液体シンチレータを試料に混合せず、チェレンコフ光を検出する場合がある。

観測孔から試料を採取して実験室で定量するための技術の一つとして注目する。

3) 蓄積誘導放射

放射線の照射により軌道捕獲された電子が、熱や光の照射により捕獲された量に比例した光を放射する特性を利用して放射線の積算線量を計測する。TLD（熱ルミネッセンス線量計）、OSLD（光刺激ルミネッセンス線量計）、蛍光ガラス線量計などの個人線量計の原理がこれに該当する。

低線量の計測で利用されているが、データを読み出すために線量計を回収・分析する必要があり、密閉空間内への適用技術としての注目度は低いと考えられる。地下埋設施設周辺の観測孔内の放射線の積算線量を確認する手段として実用可能な技術である。

(3) 化学変化による検出

1) 写真作用

放射線照射により写真乳剤中のハロゲン化銀が電離し、銀イオンを還元させて潜像を生じるので、現像・定着させて写真を得、フィルムの黒化度合いから積算線量を計測する。個人線量計として最も古くから利用されてきたが、他の原理の個人線量計が登場し利用は減っている。

フィルムを回収して現像するプロセスが必要なため、密閉空間への適用技術としての注目度は低いと考えられる。観測孔内の放射線環境を一定期間ごとに確認する手段として実用可能な技術である。

2) 酸化・還元反応

放射線照射による水溶液中の物質の酸化･還元等の化学反応を利用した検出器。鉄線量計、セリウム線量計などがこれに該当する。線量は通常 10Gy 以上を対象とする。

データを読み出すために線量計を回収・分析する必要があるため密閉空間内への適用技術としての注目度は低いと考えられる。

3) ラジカル形成

放射線照射により結晶中に生じる安定なラジカル量を測定して放射線量を定量する。アラニン線量計の検出原理がこれに該当する。アラニン線量計は計測範囲が広く（1～10^5Gy)、高い精度と安定性を持つ（＜±1%）が[9]、データを読み出すために線量計を回収・分析する必要があるため密閉空間内への適用技術としての注目度は低いと考えられる。

(4) その他の原理による検出

1) 電荷収集

金属（ファラディカップ）に電荷をもった放射線を照射すると電荷が蓄積される。金属に電流計を接続しておくと入射した放射線数に応じた電流を検出できる。電子やイオンビームのフルエンス（単位面積当たりに入射する粒子の個数）を計測するために用いられている。

計測対象の荷電粒子が空間中を飛行して検出器に到達することが前提となるため、地下埋設施設への適用技術として注目度は低いと考えられる。

2) 発熱作用

放射線照射により生じた熱量を計測して放射線量を求める原理の検出器。電荷を持たない放射線の計測にも有効である。放射線源の放射能の絶対値を求めるため、恒温状態にした検出器を 2 系統用意し、1 系統にだけ放射線を照射して、両者の温度差を精密計測するマイクロカロリメーターなどがこれに該当する。

α線源やβ線源に対し 10MBq 程度の放射能を計測できる。地下埋設施設の線量拘束値レベルの線量照射で生じる熱量は極めて低く、精密な温度計測や検出器自身の温度制御が課題になると考えられる。

3）原子核反応

電荷を持たない中性子の検出では、中性子と反応を起こし易い元素に照射し、電荷を持った粒子を放射させて検出する。BF_3 カウンタ、^3He カウンタ、箔検出器、等がこれに該当する。

地下埋設施設では主な検出対象はβ・γ線核種であるため注目度は低い技術と考えられる。

4）飛跡現象

プラスチックなどを陽子以上の重荷電粒子が通過すると通路に沿って放射線損傷が生じるためその損傷を化学処理して保存し光学顕微鏡で観察する固体飛跡検出器や、電荷を持った粒子の飛跡に沿って泡や液滴を生じさせ写真に記録する泡箱や霧箱が該当する。

地下埋設施設では主な検出対象はβ・γ線であるため注目度は低い技術と考えられる。

2.4 節 参考文献

[1] 原子力規制庁資料、2016 年 8 月 24 日.

[2] アイソトープ手帳第 10 版第 6 刷、平成 18 年.

[3] 国立研究開発法人 放射線医学総合研究所 HP 自然期限放射性物質データベース ほか.

[4] 環境省：「放射線による健康影響などに関する統一的な基礎資料（平成 29 年度版）」.

[5] 電気事業連合会：「余裕深度諸部における付属施設について」、2016 年 12 月 12 日, http://www.nsr.go.jp/data/000173197.pdf.

[6] 平成 25 年 11 月 27 日原管廃発第 1311277 号 原子力規制委員会決定：「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」

[7] 原子力規制庁：「中深度処分等に係る規制基準等の策定について－ALARA の適用における線量評価の位置付け－」、第 11 回原子力規制委員会 資料 4 修正版（平成 30 年 5 月 30 日）https://www.nsr.go.jp/data/000239231.pdf.

[8] T.Iimoto et al., Fundamentals of Radiation Measurement, Journal of Plasma and Fusion Research, Vol.89, No.9 (2013).

[9] 小嶋拓治、津田政行、アラニン線量計の放射線治療線量レベル（1-100Gy）への応用、RaDIOISOTOPES,44,603-607(1996).

2.5 モニタリング計画の具体化に資する検討

2.5.1 モニタリング計画の具体化検討における考え方

平成 27 年度から平成 29 年度まで「モニタリングの行為がバリア機能を極力低下させないこと」をモニタリングの制約条件と設定して検討を進めてきた。また、この制約条件の下で、実処分施設で実施可能なモニタリングは以下に示すような項目であり、限定的とならざるを得ないことを示してきた。また、このうち、処分施設の変形計測、セメント系材料のひび割れ観測、裏面排水の分析は、廃棄物の埋設段階までは実施可能であるが、閉鎖措置段階以降には実施することが極めて困難となることを示してきた。

【モニタリングの制約条件の下で実処分施設において実施可能なモニタリング】
- 処分施設の変形計測
- セメント系材料のひび割れ観測
- 地震動計測
- 裏面排水の分析
- 近傍ボーリング孔の地下水分析

本章では、実処分施設で実施するモニタリングを対象に、既存の計測技術を用いて実施可能なモニタリング、光ファイバセンサー技術の適用が許容される場合のモニタリングについて、具体的なモニタリング計画を検討した。

ただし、中深度処分は、規制基準が検討中の段階であり、実施主体による具体的な安全確保方策が示されていない状況である。そこで、本事業では、今後、いずれ定まる実施主体によって提示される安全確保方策におけるモニタリングの目的や役割に応じて、実施主体が任意に選択可能なモニタリング計画を提示することを試行した。

モニタリング計画は、本事業で設定したモニタリングの制約条件への適合性に応じて、表 2.5-1 に示すように複数のレベルに区分した。

表 2.5-1 モニタリング計画の区分

区分	制約条件への適合	モニタリングの例
A	バリア機能を低下させないことを基本とする	・立地段階に設置された調査用ボーリング孔を活用した地下水分析 ・廃棄物の埋設段階までにおけるセメント系材料のひび割れ観測（可視領域に限定）
B	僅かなバリア機能の低下を許容するが、修復が可能	・モニタリング用に設置するボーリング孔を用いた地下水分析
C	僅かなバリア機能の低下を許容する	・光ファイバセンサー技術を用いたセメント系材料のひび割れ観測

区分 A は、制約条件を遵守して実施可能なモニタリングであり、立地段階に調査用に設置されるボーリング孔を活用した地下水分析等が該当する。区分 B は、例えば、調査用とは別にモニタリングのために設置されるボーリング孔を用いた地下水分析等が該当する。廃棄物埋設地近傍に設置される場合には、地下水流況等に影響を及ぼす可能性があるが、廃止措置段階開始前に適切に埋戻すことにより、長期安全性への影響は小さいと考えられる類のモニタリングである。区分 C は、従来から使用されている有線式のポイント型計測機器に比べ、各段にケーブル量を低減可能で、分布計測な可能な光ファイバセンサー技術を活用するモニタリングを念頭に置いたものである。光ファイバセンサーを適用する場合でも、バリア材内部にケーブルを敷設する必要が生じる場合があるが、今後実施主体から提示される安全確保方策において、安全評価上の裕度が小さいバリア材がある場合等、廃棄物埋設地内の状態把握が優先される状況を想定したものである。

なお、本章で検討するモニタリング計画と検討中の規制基準において要求されているモニタリングの整合性を確認し、規制要求に対する不足がある場合には、課題として抽出・整理する。

2.5.2　既存計測技術を活用したモニタリング計画の具体化検討

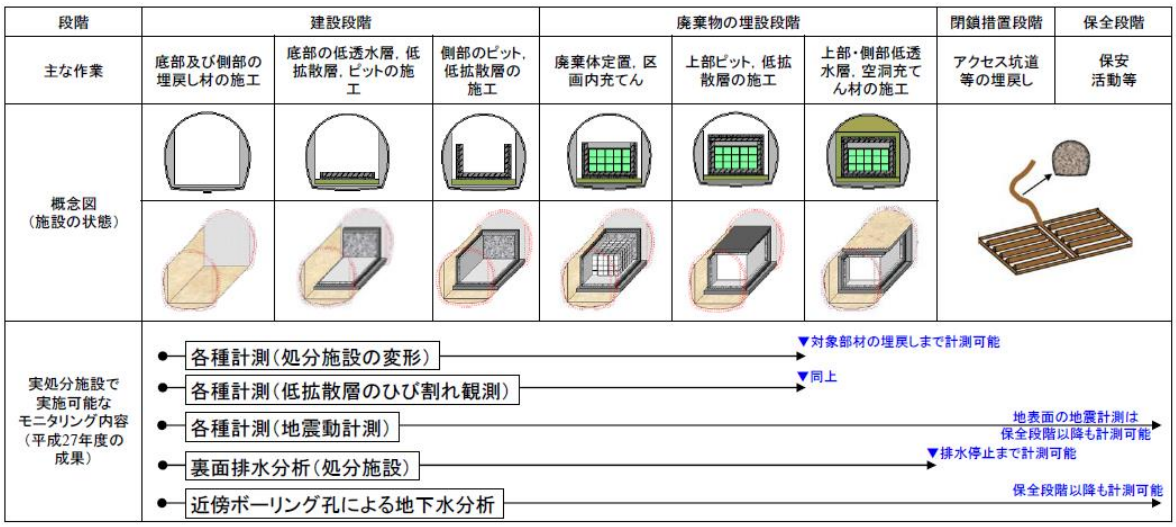
平成 29 年度の検討[1]では、表 2.5-2 に示す実処分施設で実施可能なモニタリング内容について、その計測期間、計測位置、計測頻度、計測方法及び計測結果の利用方法を、既往文献等を参考にして整理した。

今年度の検討では、「熱・水・力学に着目した検討」及び「化学に着目した検討」の解析結果を参照して、できるだけ定量的にモニタリング計画を再整理した。また、現状の技術開発情報等を調査し、計測精度や計測環境条件等を整理した上で、実施設でのモニタリング計画の具体化及びモニタリングにあたっての課題を抽出した。

各項目の実施概要を以下に示す。

- 「処分施設の変形」については、「熱・水・力学に着目した検討」の解析結果を参照して、定量的にモニタリング計画を再整理するとともに、現状の技術開発情報を調査した。
- 「低拡散層のひび割れ観察」については、対象とした解析を実施しておらず、現状の技術開発情報のみを調査した。
- 「地震動計測」については、対象とした解析を実施しておらず、また現状の技術開発情報調査は昨年度の検討で実施済みであるため、今年度の検討からは除外した。
- 「裏面排水分析」及び「近傍ボーリング孔による地下水分析」については、「化学に着目した検討」の解析結果を参照して、定量的にモニタリング計画を再整理するとともに、現状の液相部組成の分析方法を整理した。

表 2.5-2　実処分施設で実施可能なモニタリング対象



(1) 処分施設の変形

底部低透水層の変形係数は約 80.0N/mm² であり[2]、周囲のセメント系材料と比較して小さいこと、また底部低透水層の上部には、低拡散層やコンクリートピット等の人工バリアの構築及び廃棄体の定置に伴い、それらの自重が底部低透水層に荷重として作用することにより、底部低透水層が圧縮沈下し、処分施設全体が変形する可能性がある（図 2.5-1）。

処分施設の変形をモニタリングすることにより、安全機能へ影響する低透水層の密度変化（低透水性）、低拡散層及びピットのひび割れ（低拡散性、透水性）の状態変化を確認する。施設変形モニタリングによる安全機能への影響確認フローを図 2.5-2 に示す。

そこで、「熱・水・力学に着目した検討」で実施した建設時の構築解析結果を参照して、実施設で計測可能な位置の鉛直方向変位量を出力し、定量的な考察を含めたモニタリング計画について検討した。

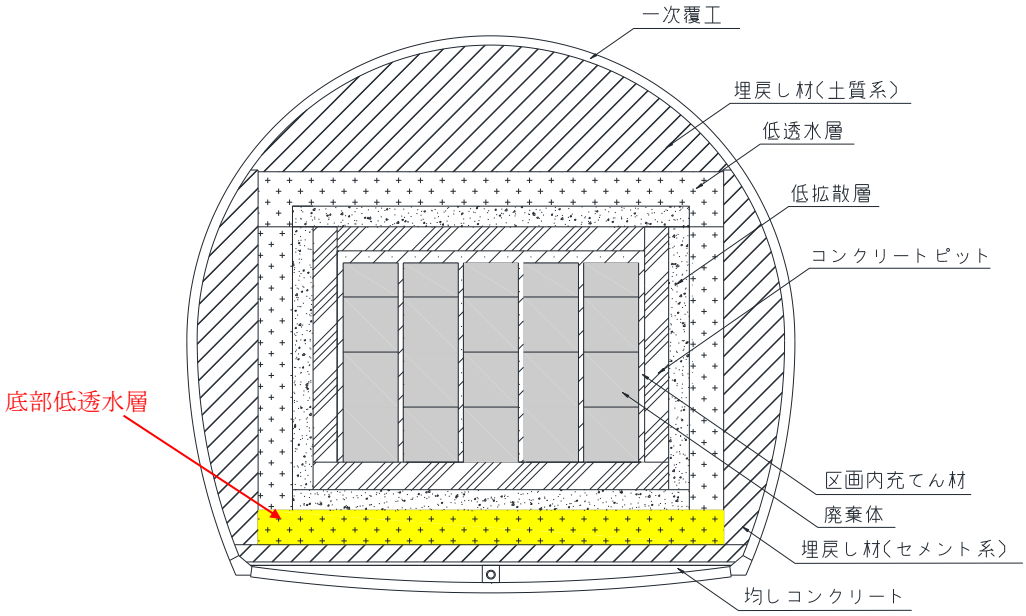


図 2.5-1　処分施設における底部低透水層の位置

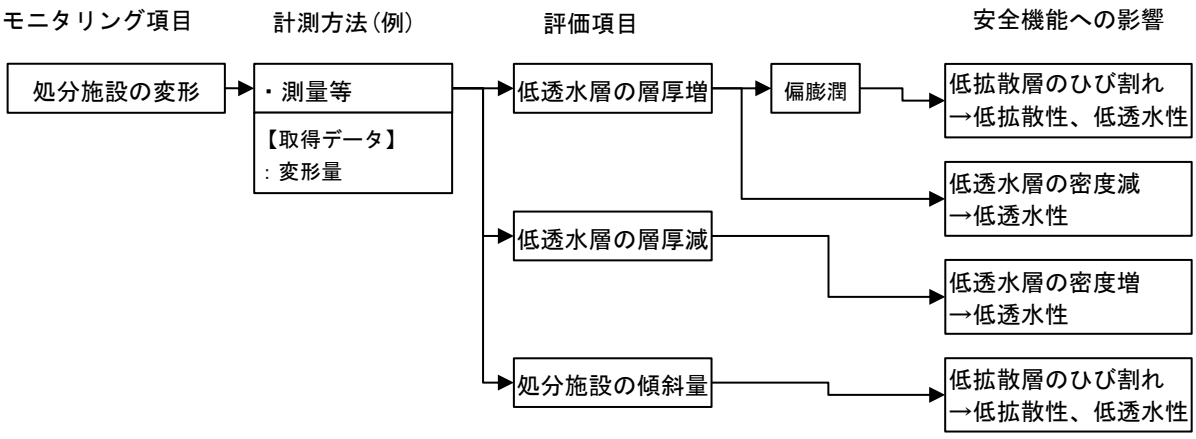


図 2.5-2　施設変形モニタリングによる安全機能への影響確認フロー

1）解析結果の整理

a．出力項目

出力項目は、指定した節点の鉛直方向変位とした。

b．出力位置

構築解析の施工ステップを図 2.5-3 に示す。部材構築に伴う変形の変動量を把握するためには、計測期間中で同一位置を計測する必要があり、実施設で計測可能な位置としては、底部コンクリートピット上面と側部部材（コンクリートピット、低拡散層）上面が代表として挙げられる。

底部コンクリートピット上面では、当該部材施工後の側部部材（コンクリートピット、低拡散層）の施工に伴う上載荷重の増加により、変形挙動が生じると考えられる。そこで、図 2.5-4 に示すように、出力位置は、底部コンクリートピット上面の中央（出力位置①）と端部（出力位置②）とした。なお、底部コンクリートピット上面での計測可能期間は、底部コンクリートピット施工後～側部部材施工後の 5 年～10 年とした。10 年目以降は、底部コンクリートピット上に廃棄体が定置される施工ステップになるため、計測はできなくなる。

側部部材（コンクリートピット、低拡散層）上面では、当該部材施工後の廃棄体定置及び充てん材の施工に伴う上載荷重の増加により、変形挙動が生じると考えられる。そこで、図 2.5-5 に示すように、出力位置は、側部コンクリートピット上面とした。なお、側部部材上面での計測期間は、側部部材施工後～廃棄体定置及び充てん材施工後の 10 年～20 年とした。20 年目以降は、側部部材上に上部部材（コンクリートピット、低拡散層）が施工されるため、計測はできなくなる。

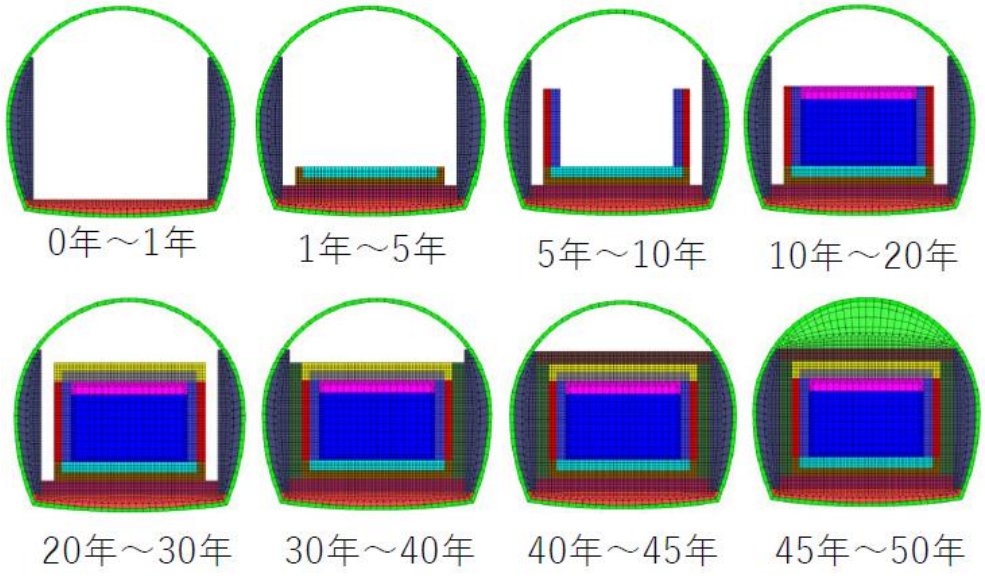
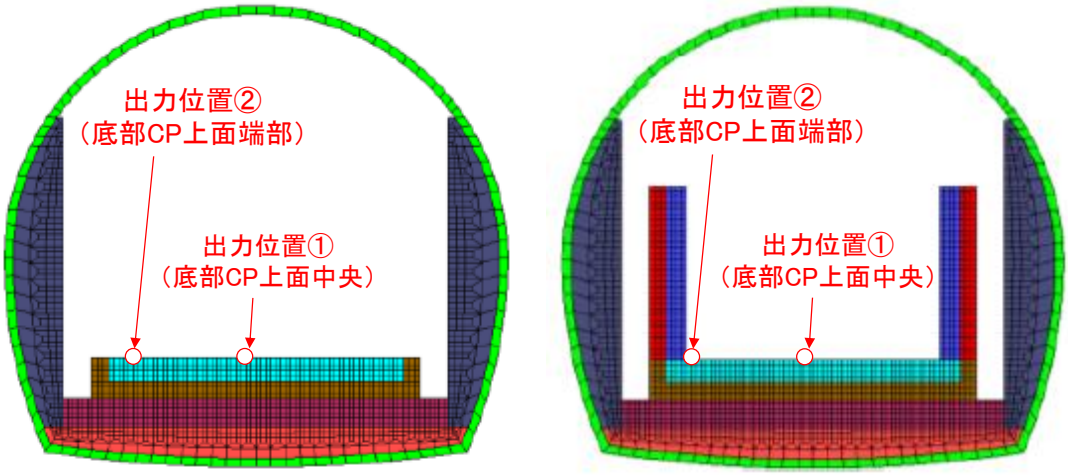


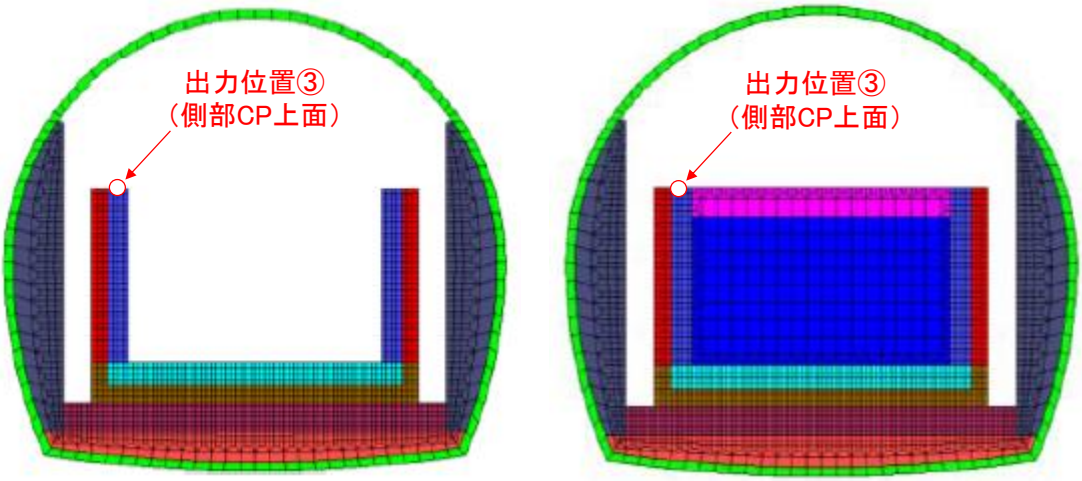
図 2.5-3　解析の施工ステップ



計測開始時（5 年）
（底部コンクリートピット施工後）

計測終了時（10 年）
（側部 CP・側部低拡散層施工後）

図 2.5-4　底部コンクリートピット上面の出力位置及び計測可能期間



計測開始時（10 年）
（側部 CP・側部低拡散層施工後）

計測終了時（20 年）
（廃棄体定置及び充てん材施工後）

図 2.5-5　側部低拡散層上面の出力位置及び計測可能期間

c．解析結果

底部コンクリートピット上面の中央（出力位置①）及び端部（出力位置②）における鉛直方向変位の経年変化を図 2.5-6～図 2.5-7 に示す。図 2.5-6～図 2.5-7 に示すように、出力位置①、②ともに、全出力期間（1 年～50 年）においてほぼ同様の変位挙動をしていることがわかる。各図中には、底部コンクリートピット上面での計測可能期間（5 年～10 年）を黄色で塗りつぶしており、その期間の変位挙動に着目すると、側部部材（コンクリートピット、低拡散層）を構築した直後（5 年）では上載荷重の増加により 0.4mm 程度の下降（沈下）が見られるが、その後 10 年までは 1mm 程度の上昇傾向が見られる。これは、底部低透水層と隣接するセメント系部材のサクションの差異により、底部低透水層の飽和度が増加し、それに伴い膨潤が生じたためであると考えられる。底部コンクリートピット上面の計測可能期間における鉛直方向変位の変動量を表 2.5-3 に示す。表 2.5-3 に示すように、計測可能期間の変動量（最大値と最小値の差分）は 0.7mm～0.8mm となった。

同様に、側部コンクリートピット上面（出力位置③）における鉛直方向変位の経年変化を図 2.5-8 に示す。図 2.5-8 に示すように、全出力期間（5 年～50 年）において全体的に沈下傾向が見られる。各図中には、側部コンクリートピット上面での計測可能期間（10 年～20 年）を黄色で塗りつぶしており、その期間の変位挙動に着目すると、当該期間中の廃棄体定置及び区画内充てん材施工に伴う上載荷重増加及び圧密により 10mm 程度の下降（沈下）傾向が見られる。側部コンクリートピット上面の計測可能期間における鉛直方向変位の変動量を表 2.5-4 に示す。表 2.5-4 に示すように、計測可能期間の変動量（最大値と最小値の差分）は 9.7mm となった。

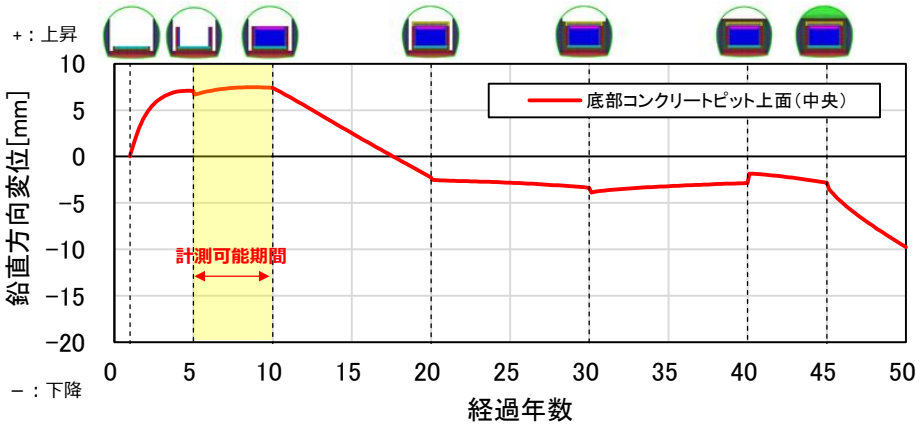


図 2.5-6　鉛直方向変位の経年変化（出力位置①、底部コンクリートピット上面の中央）

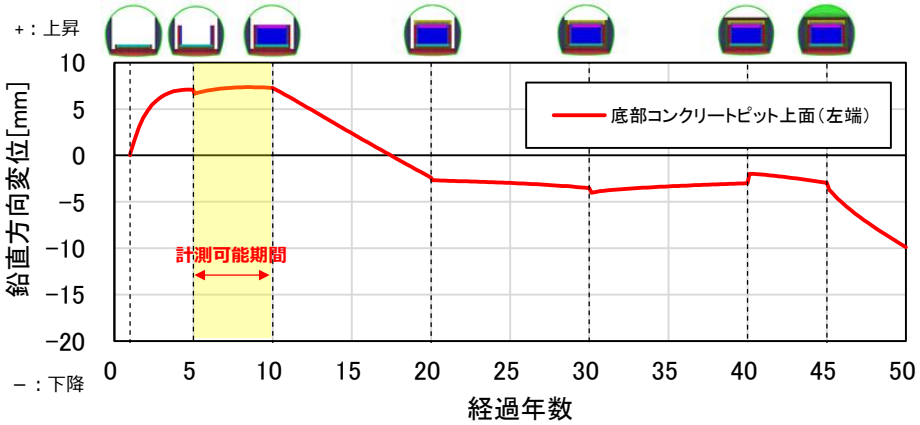


図 2.5-7　鉛直方向変位の経年変化（出力位置②、底部コンクリートピット上面の端部）

表 2.5-3　底部コンクリートピット上面の計測可能期間における鉛直方向変位の変動量

		底部コンクリートピット上面	
		出力位置①（中央）	出力位置②（左端）
変位［mm］	最大値	7.5	7.4
	最小値	6.7	6.6
	差分（最大値-最小値）	0.8	0.7

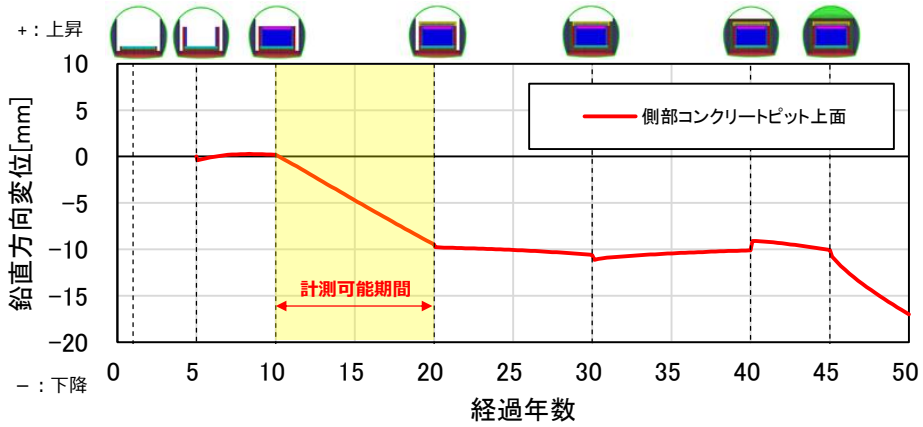


図 2.5-8　鉛直方向変位の経年変化（出力位置③、側部コンクリートピット上面）

表 2.5-4　側部コンクリートピット上面の計測可能期間における鉛直方向変位の変動

		側部コンクリートピット上面 出力位置③
変位 [mm]	最大値	0.2
	最小値	-9.5
	差分（最大値-最小値）	9.7

2）技術開発情報の調査

昨年度の検討において、廃棄体定置期間中は空洞内が放射線管理区域になり、作業員の立ち入りは制限されるため、このような場合には 3D レーザースキャナーによる計測が有効であると評価した。

そこで、新技術情報提供システム（NETIS）[3]を参照して、3D レーザースキャナーの現状の技術開発情報（測定精度、適用条件・範囲）を調査した。調査結果を表 2.5-5 に示す。

いずれの計測方法も、地形や各種構造物に対して、3D レーザースキャナー計測機を用いて 3 次元空間情報(X・Y・Z 値:点群データ)を取得し、3 次元データを情報化する技術である。

課題として、表 2.5-5 に示すように、現在使用されている 3D レーザースキャナーの測定精度はシステムによって異なるが概ね数 mm であり、一方、解析で推測される沈下量は最大でも 10mm 程度であることから、精度面での適用性の可否を考慮する必要がある。また、スキャナーの動作温度が 0～40℃であることや、濃霧等の場合計測が不可という条件があるため、実施設の環境を考慮してモニタリングシステムを選定する必要がある。以上のような課題への対策については、今後の技術開発により測定精度の向上や動作環境の拡張が期待できるため、今後の技術開発動向を調査していくことが望まれる。

表 2.5-5　現状の技術開発情報（3D レーザースキャナー）[3]

		(1)	(2)	(3)
技術名称		3D レーザースキャナーによる現況地形確認システム	3 次元レーザースキャナーによる出来形計測システム	地上型 3D レーザースキャナー計測機を用いた舗装等の現況計測技術
登録 No.		TH-100021-VE	CG-080025-VE	KK-140014-A
測定精度		測量作業規程に伴う精度が確保できている	座標：±6mm(距離 50m での値) 距離：±4mm(距離 50m での値) ※単発測定精度	①現地測量の測定精度：地図情報レベル(縮尺 1/500)の場合として、水平・標高で 6mm ②縦断測量の往復観測値の較差の許容範囲：6mm ③横断測量の較差の許容範囲（距離・標高）：6mm
適用条件	①自然条件	・気温 0℃～40℃内で天候は晴れが望ましい。 ・強風及び雨天(雪)時は作業できない。 ・レーザー光を吸収する素材(水中・ゴム等)の計測はできない。	・使用温度:0～40℃ ・雨や降雪時・濃霧等の場合は計測不可能	・動作温度:0℃から 40℃ ・降雨・強風・降雪・濃霧等の悪天候時の場合は計測ができない。
	②現場条件	・計測範囲内において、計測機器が設置可能である事。 ・仮設資材等、計測に障害物がある場合は計測困難。	・設置スペース 1m×1m が必要 ・計測対象物と計測機械の距離が 1.5m～300m	・計測機器設置スペース:1m×1m=1 ㎡が必要。 ・計測可能距離:0.5m から 100m(最長:300m) ・対象構造物は視認できる対象物に限る。
適用範囲	①適用可能な範囲	・測定距離は 1.5m～300m 程度、水平 360 度・鉛直 270 度での観測が可能。	・設置位置を基準に水平範囲 360°×垂直範囲 270°、計測対象物までの測定可能距離は 1.5m～300m。 ・計測対象物の詳細な一般図やデータが必要な場合は、100m 以内が望ましい。 ・計測密度は 1mm 以上。	・舗装(アスファルト、コンクリート)等の現況計測に適用可能
	②特に効果の高い適用範囲	・交通量の多い国道等の交差点などの路面計測。 ・急傾斜地や災害現場箇所での計測。 ・大規模造成工事等、広い区域の計測。 ・急用を要する場合の計測。	・立ち入り危険区域などの危険箇所の計測 ・決められた時間内での計測(例:潮の満干が関係する干潟計測)	・作業員の立ち入りが困難な箇所。危険性が少なく安全性が非常に高い。 ・交差点、幅員の広い道路、滑走路、コンテナ等のバース ・災害時等の立ち入り禁止区域 ・作業時間制約が短い計測条件(運転稼動している対象物、潮の干満に影響を受ける対象物等) ・設計変更が予測される箇所の事前測量。
	③適用できない範囲	・計測箇所から測定する距離は精度を保つため 300m 以上は不可。	・測定距離が 300m を超える対象物 ・計測機械のレーザーが反射しない現場(水中の対象物等)	・測定距離 300m 超える対象物(必要精度に応じて) ・定時間でも静態することがない対象物 ・反射率の極めて低い対象物(明暗が暗い、湿り気があるもの) ・計測範囲に障害物があり計測対象面が計測機から見えない場合(移動による合成は可能)。

3）モニタリング計画の具体化

a．計測期間及び計測範囲

部材構築に伴う変形の変動量を把握するためには、計測期間中で同一位置を計測する必要があり、実施設で計測可能な範囲としては、底部コンクリートピット上面と側部部材（コンクリートピット、低拡散層）上面が代表として挙げられる。

計測範囲を底部コンクリートピット上面とした場合（ケース 1）の計測期間は、表 2.5-6 に示すように、底部コンクリートピット施工後から側部低拡散層施工後（廃棄体定置前）までとなる。一方、計測範囲を側部部材（コンクリートピット、低拡散層）の上面とした場合（ケース 2）の計測期間は、表 2.5-7 に示すように、側部低拡散層施工後から上部コンクリートピット施工後までとなる。

表 2.5-6　処分施設の変形量計測の計測期間及び計測範囲（ケース 1）

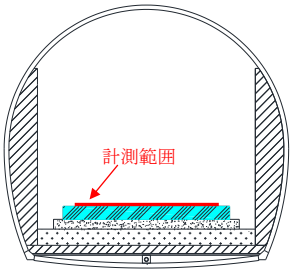
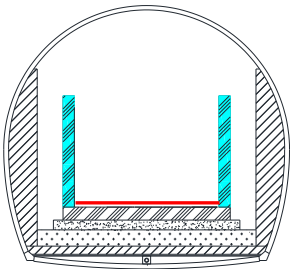
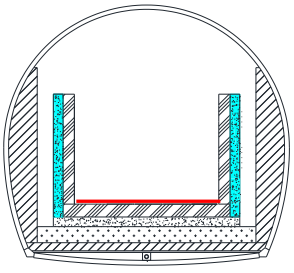
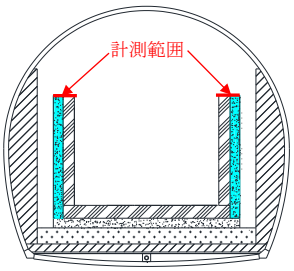
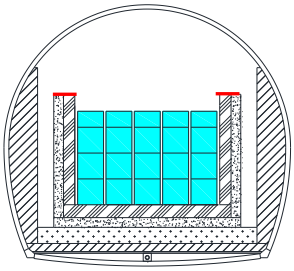
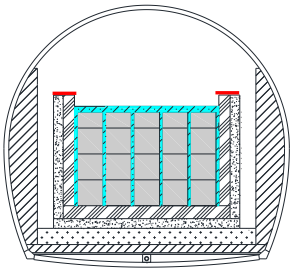
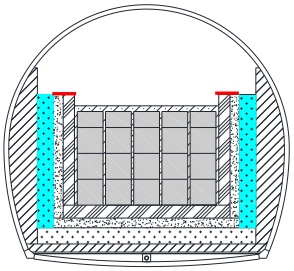
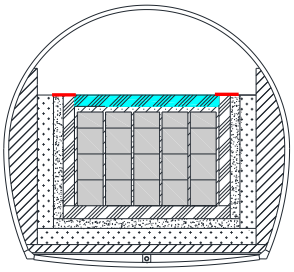
施工イベント （期間）	施工部材
①底部コンクリート ピット	
②側部コンクリート ピット	
③側部低拡散層	

表 2.5-7　処分施設の変形量計測の計測期間及び計測範囲（ケース 2）

施工イベント （期間）	施工部材
①側部低拡散層	
②廃棄体定置	
③区画内充てん材	
④側部低透水層	
⑤上部コンクリート ピット	

b．計測頻度

1）の解析結果より、処分施設が変形挙動を示す要因としては、部材構築による上載荷重の増加や低透水層の膨潤・圧密が挙げられることがわかった。また、計測可能な期間の中で、10 年～20 年の廃棄体が定置される期間は、底部低透水層の圧密により、特に施設の沈下挙動が顕著となることがわかった。

計測頻度は、施設が変形挙動を生じやすい部材構築後や、上記解析等から予測できる膨潤・圧密挙動が発生する時期を考慮して設定することが望まれる。

c．計測方法

昨年度の検討にて、一般的なレベル測量では、廃棄体定置期間中の作業員の立ち入り制限や、施工時期によっては計測範囲への作業員のアクセスが容易ではない場合が想定されるため、それらに対して 3D レーザースキャナーによる計測が有効であると評価した。計測範囲を底部コンクリートピット上面とした場合（ケース 1）の計測イメージを図 2.5-9、計測範囲を側部部材（コンクリートピット、低拡散層）の上面とした場合（ケース 2）の計測イメージを図 2.5-10 に示す。

1）の解析結果より、ケース 1 で計測される鉛直変位の変動量は 1mm 程度、ケース 2 で計測される鉛直変位の変動量は 10mm 程度と推察される。一方、2）の技術開発情報の調査結果より、現在使用されている 3D レーザースキャナーの測定精度は数 mm であることから、精度面での課題は残るものの、今後の技術開発による測定精度の向上が期待できるため、今後の技術開発動向を調査していくことが望まれる。

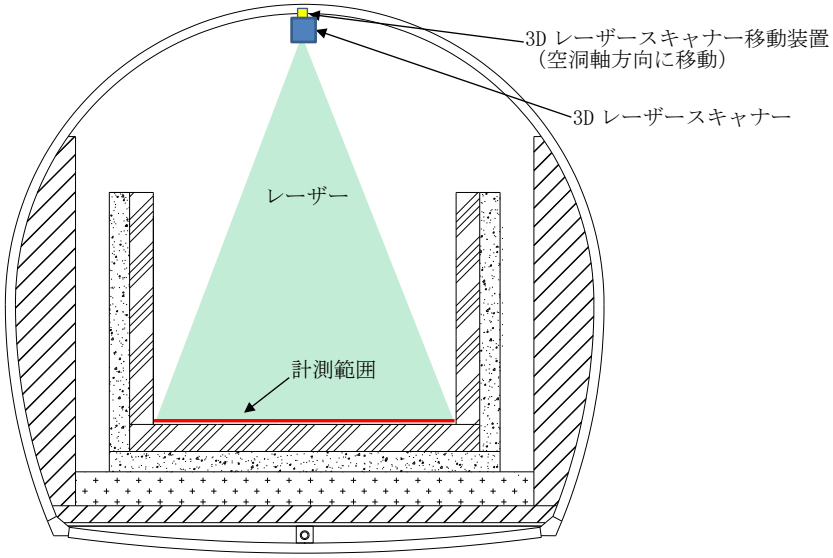


図 2.5-9　実施設における 3D レーザースキャナーの計測イメージ（ケース 1）

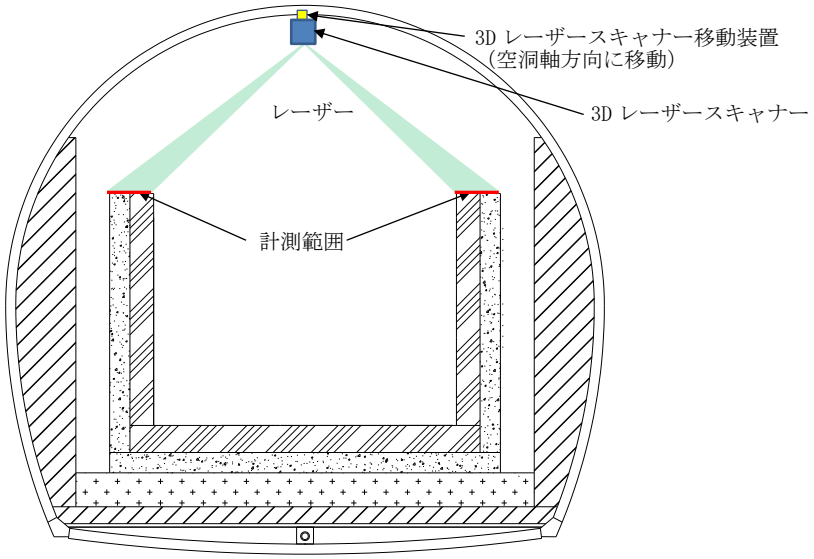


図 2.5-10　実施設における 3D レーザースキャナーの計測イメージ（ケース 2）

4）課題

空洞断面方向を対象とした 2 次元の構築解析結果より、廃棄体が定置される期間は、底部低透水層の圧密により施設の沈下挙動が顕著になることがわかった。実施設では、空洞縦断方向に廃棄体を定置するピットが並ぶため、操業時期によっては、廃棄体が定置されるピットと定置されていないピットが混在する状態が考えられる。その場合、空洞縦断方向の沈下分布が人工バリアの安全機能（例えば底部低拡散層のひび割れなど）に影響を及ぼす可能性も考えられる。よって、空洞軸方向の検討や、施設の 3 次元挙動を考慮した検討が今後の課題として挙げられる。

(2) 低拡散層のひび割れ観察

処分施設において低拡散層は、放射性核種の拡散による移行を抑制すること（低拡散性）を主たる安全機能とし、核種移行の遅延を図る部材である。低拡散層にひび割れが発生すると、低拡散層の拡散係数の増加や施設内通過流量の増加により、安全機能に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、低拡散性の変化を確認するために、ひび割れの観測を行うことが考えられる（図 2.5-11）。

ここでは、ひび割れ観察に関する現状の技術開発情報を調査し、計測精度や計測環境条件等を整理した上で、実施設でのモニタリング計画の具体化及びモニタリングにあたっての課題を抽出した。

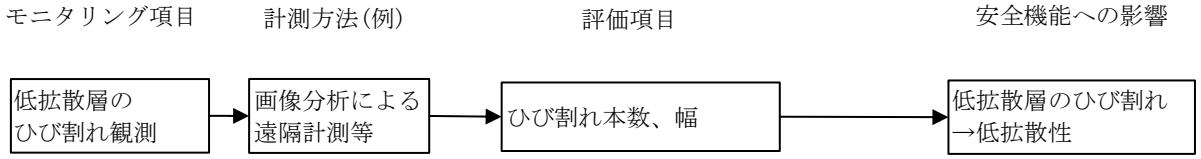


図 2.5-11　低拡散層のひび割れモニタリングによる安全機能への影響確認フロー

1) 技術開発情報の調査

昨年度の検討において、廃棄体定置期間中は空洞内が放射線管理区域になり、作業員の立ち入りは制限されるため、このような場合には、デジタルカメラにより撮影した画像を解析して、ひび割れの分布状態や幅、長さ等を定量的に評価する方法が有効であると考えた。

そこで、新技術情報提供システム（NETIS）[3]を参照して、ひび割れ画層解析の現状の技術開発情報（撮影条件、ひび割れ検出幅、適用条件・範囲）を調査した。調査結果を表 2.5-8 に示す。

いずれの解析方法も、コンクリート構造物の表面を撮影し、ひび割れの検出を行なう技術である。表 2.5-8 の（1）はカメラを据え置いて撮影するシステムであり、(2) 及び（3）は車載型の撮影機により、トンネル走行中にトンネル覆工表面を撮影し画像を取得するシステムである。

課題として、表 2.5-8 の（1）の場合、ひび割れ検出幅は 0.2mm 以上ではあるが、カメラと対象物の距離（2～50m）や、両者の角度（横方向：±45° 以内、縦方向：±30° 以内）に条件がある。例えば、図 2.5-12 に示すように、側部低拡散層のひび割れを撮影する場合、カメラと側部低拡散層の距離が 1m 未満となるため、モニタリングシステムの選定に当たってはカメラの仕様に注意する必要がある。また、撮影時の条件として、外気温（0～40℃）及び湿度（85%以下）などがあるため、実施設の環境を考慮してモニタリングシステムを選定する必要がある。以上のような課題への対策については、今後の技術開発により動作環境の拡張が期待できるため、今後の技術開発動向を調査していくことが望まれる。

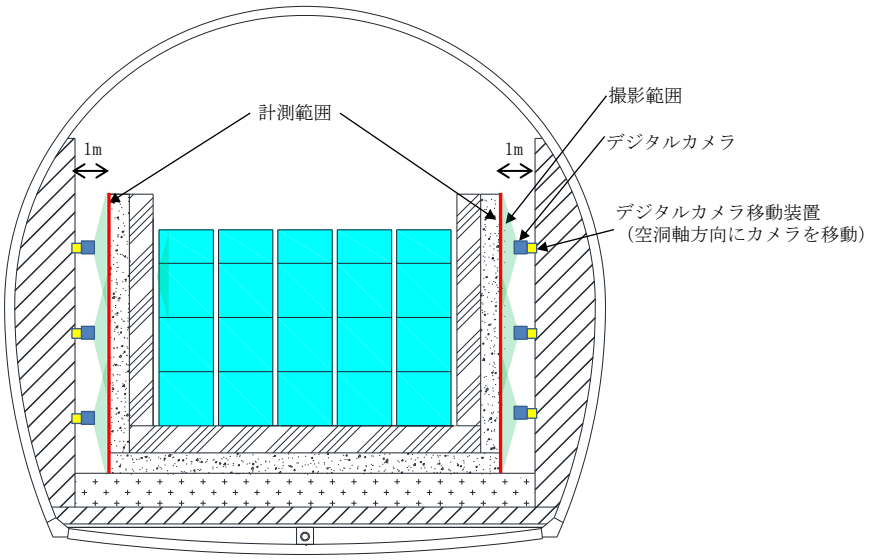


図 2.5-12　側部低拡散層の自動撮影のイメージ

表 2.5-8　現状の技術開発情報（画像解析）[3]

		(1)	(2)	(3)
技術名称		構造物モニタリングシステム (AutoCima)	トンネル覆工点検システム(eQ ドクターT)	トンネル覆工表面レーザー計測システム
登録 No.		KK-150046-A	QS-170015-A	KT-140074-A
撮影条件 ひび割れ検出幅		①撮影距離 2～50m (0.2mm のひび割れが自動検出できる範囲) ②撮影範囲(橋軸方向) ±45° 以内(撮影範囲 90°) ③撮影範囲(橋軸直角方向) ±30° 以内(撮影範囲 60°)	最小ひび割れ認識幅は、0.2mm。 ※トンネル走行中の車両からの撮影	ひび割れ認識精度 0.5mm ※トンネル走行中の車両からの撮影
適用条件	①自然条件	・降雨や降雪がないこと ・外気温 0～40℃ ・湿度 85%以下(結露しないこと)	・天候は、晴天から小雨程度まで撮影可能 ・外気温は、5～40℃程度まで撮影可能	・雨天時(小雨程度は除く)及び外気温が 0℃以下の場合は、計測機器に支障が懸念されるため画像計測は避ける
	②現場条件	・作業スペースとして、2m×2m=4 ㎡程度必要 ・AC100V の電源またはバッテリー ・対象構造物が目視できること(足場や剥落防止ネットは不可) ・地盤上に三脚とカメラを設置できること	・4t トラック程度の車両が通行可能なトンネル	・道路トンネルであれば 4t トラック程度の車両が通行可能なトンネル ・舗装した平坦な場所を走行できること
適用範囲	①適用可能な範囲	・三脚ならびにカメラが設置できること ・カメラと対象部の間に視覚的障害物がないこと ・カメラと対象物の距離が 2～50m で、両者の角度が横方向(パン)±45° 、縦方向(チルト)±30° 以内であること ・あおり補正を行なうため、対象構造物は同一平面上にあること	・全国の道路トンネルの覆工表面 ・最小ひび割れ認識幅は 0.2mm ・遊離石灰、漏水、コールドジョイント、ジャンカ、モルタル補修跡などの損傷を把握可能	・トンネル覆工面へのレーザー走査角度は 120 度以内 ・ひび割れ認識幅は最小 0.5 ㎜以上 ・漏水、遊離石灰等の変状を把握することも可能
	②特に効果の高い適用範囲	・作業が危険な高所 ・諸条件により足場が設置できない箇所 ・損傷が多くスケッチや写真撮影に時間がかかる構造物 ・詳細なモニタリングが必要な構造物	・道路トンネルの近接目視点検支援として高い効果がある ・早急にトンネル覆工表面の損傷状況を把握しなければならないトンネルに高い効果がある ・交通規制が困難なトンネルに高い効果がある(長大トンネルや交通量の多いトンネル) ・ひび割れが著しく発生しているトンネル	・交通規制が困難なトンネルや長大トンネル ・自然災害(地震、地すべり等)の影響を受け、短時間で覆工全体の健全度を判定しなければならないトンネル
	③適用できない範囲	・三脚が設置できない箇所 ・障害物や遮蔽物により視認できない範囲 ・カメラと対象物が近すぎる(2m 以下)場合や遠すぎる(50m 以上)範囲	・著しい煤塵の付着により目視で覆工表面の状況が確認出来ない場合、ひび割れ等の損傷が撮影できない場合がある ・トンネル照明、配線ラック、集塵ダクト、ジェットファンなど付帯設備の裏面は撮影不可能である ・浮きには対応できない	・トンネル覆工面へのレーザー走査角度 120 度より外側の範囲 ・ひび割れ幅 0.5 ㎜未満は認識できない ・トンネル内照明、ジェットファン、天井板等の付帯設備の裏面 ・著しい煤塵が覆工面に付着しているために目視による覆工面の状況が分からない場合

(3) 裏面排水分析

昨年度整理した、処分施設の裏面排水分析モニタリングによる「変化量」を対象とした場合の安全機能及び安全性への影響確認フローを図 2.5-13 に示す。

今年度は、「化学に着目した検討」の解析結果を参照して、できるだけ定量的にモニタリング計画を再整理するとともに、現状の液相部組成の分析方法を整理した。

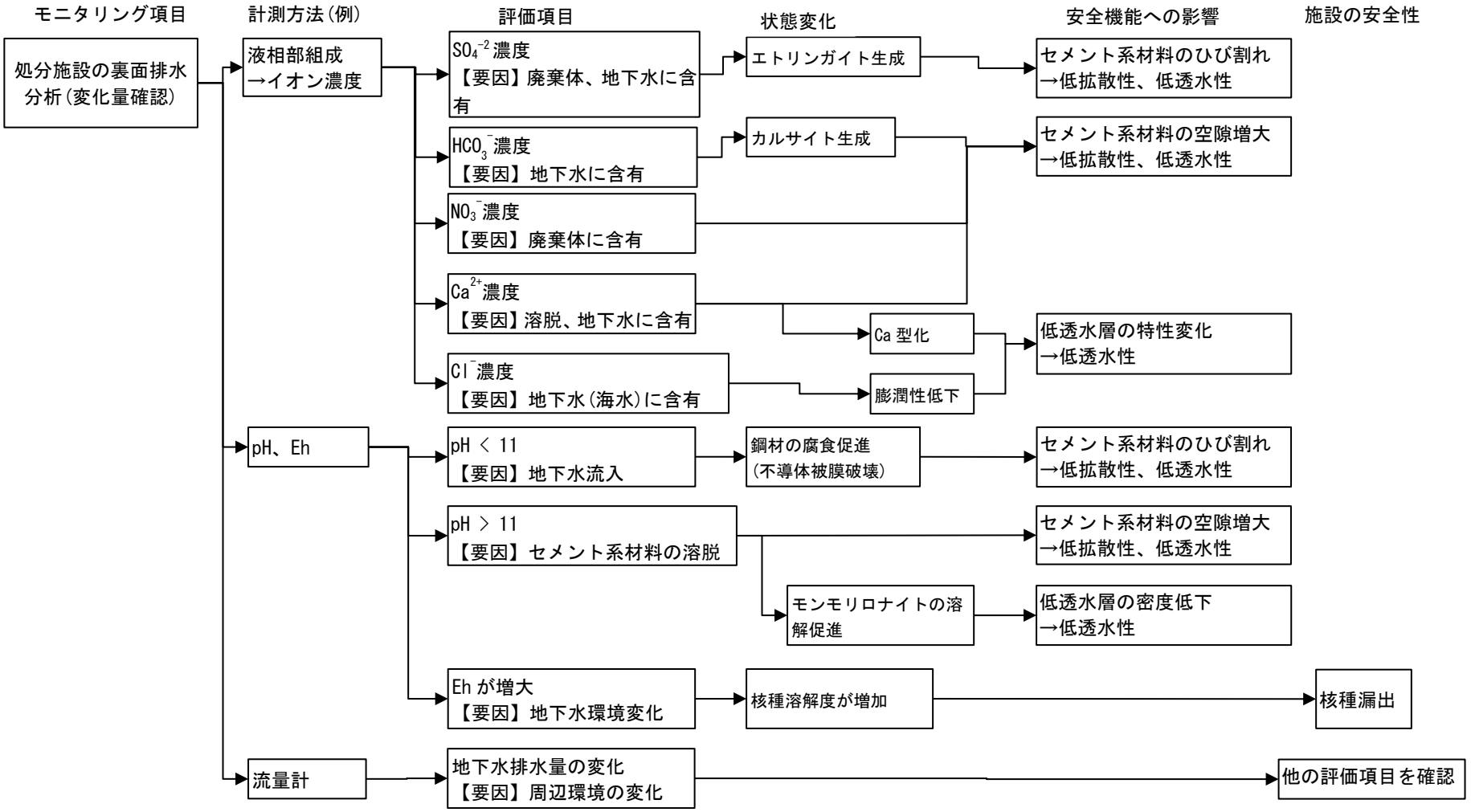


図 2.5-13　処分施設の裏面排水分析（変化量対象）モニタリングによる安全機能、安全性への影響確認フロー

1）解析結果の整理

a．出力項目

出力項目は、裏面排水量及び裏面排水に含まれる各種イオン濃度（Na^+、K^+、Ca^{2+}）とした。

b．出力期間及び出力位置

出力期間は、空洞内が吹き付けコンクリートのみの状態の 0～100 年とした。

出力位置は、吹付けコンクリート内面として、その累計により単位奥行き（1m）あたりの各種イオン濃度を算定した。また、実施設において、裏面排水は 1 空洞毎に集水されると考えられるため、単位奥行きあたりの排水量に空洞長（150m と仮定）を乗ずることにより、1 空洞あたりの排水量を算定した。

c．解析結果

排水量の経年変化を図 2.5-14、各種イオン濃度（Na^+、K^+、Ca^{2+}）の経年変化を図 2.5-15～図 2.5-17 に示す。

図 2.5-14 に示すように、排水量は時間と共にやや増加する。これは、吹付けコンクリートから徐々に成分が溶脱することが原因と考えられる。実際の排水モニタリング時には、同図を参考にして集水された水量の推移をチェックする方法が考えられる。モニタリング中に水量の大幅な変化が生じた場合には、施設もしくは周辺岩盤における異常有無の判断材料になると考えられる。

図 2.5-15～図 2.5-17 に示すように、吹付けコンクリート構築当初は、Na^+や K^+の変化が顕著となるものの、その影響は 50 年程度で落ち着き、その後の変化は小さくなる。Ca^{2+}も、50 年程度までイオン濃度が大きくなるが、その後の変化は小さくなる。図 2.5-15～図 2.5-17 には、各イオンのイオンクロマトグラフ法での定量下限を示しており、いずれのイオンにおいても全期間において定量が可能であると考えられる。

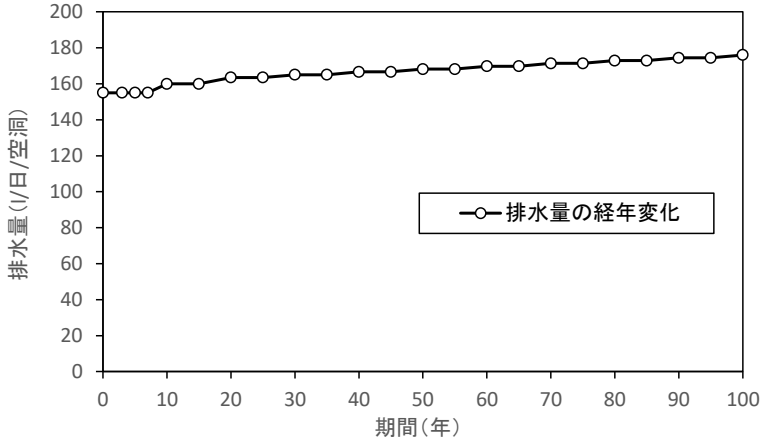


図 2.5-14　排水量の経年変化

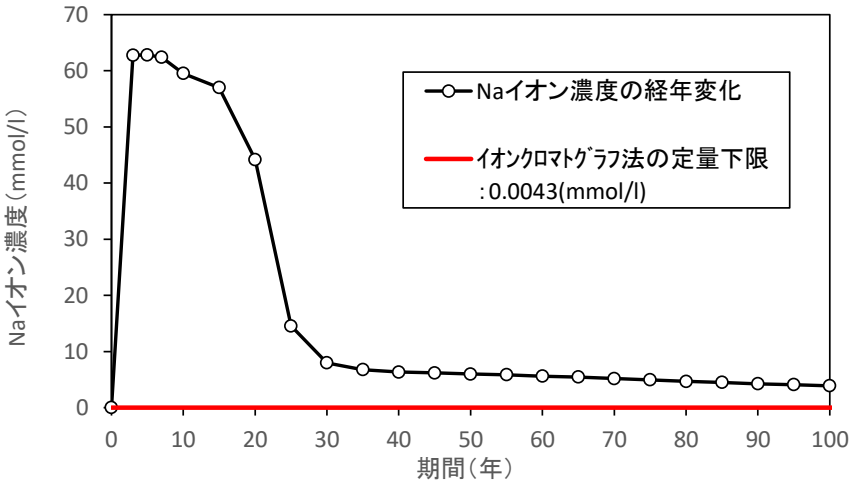


図 2.5-15　Na イオン濃度の経年変化

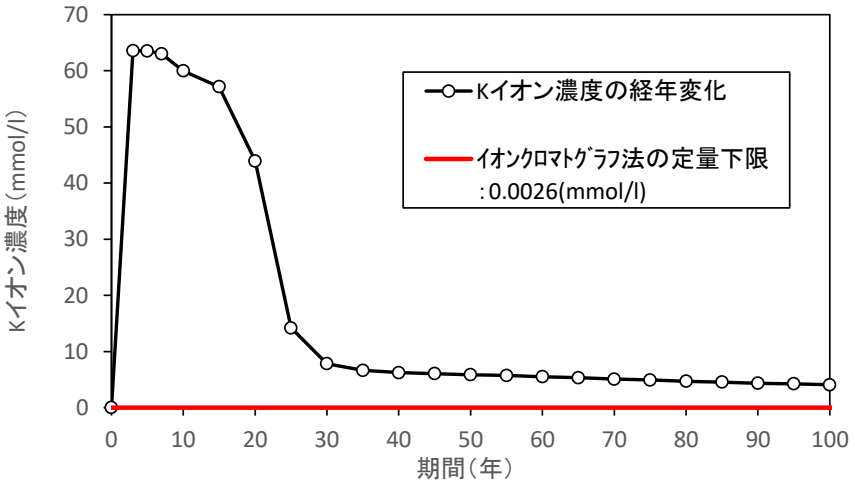


図 2.5-16　K イオン濃度の経年変化

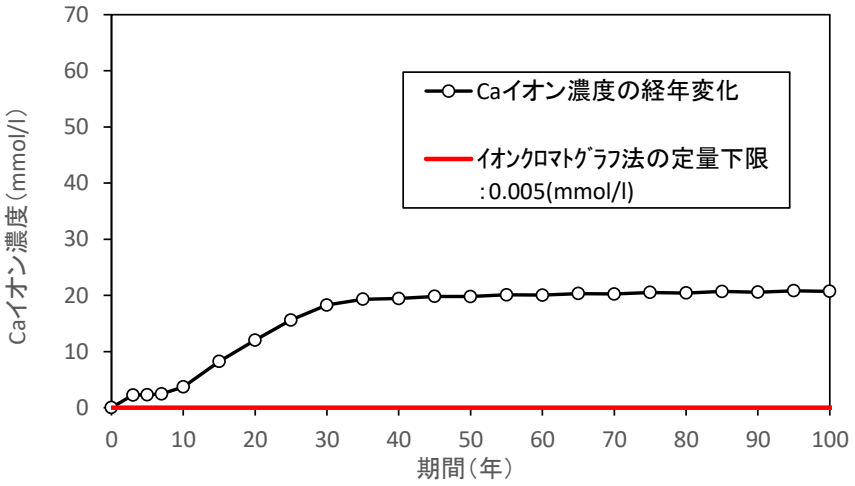


図 2.5-17　Ca イオン濃度の経年変化

2）液相部組成の分析方法

解析で予測される各種イオン量が検出可能なレベルであるか（定量範囲内であるか)、また、どの程度の試料（分析量）が必要であるかを確認するために、JIS 規格を表 2.5-9～表 2.5-10 に整理した。

なお、表 2.5-9～表 2.5-10 には、定量範囲の単位を解析結果に併せて mol 表示に換算した値も記載した。

表 2.5-9　液相部組成イオンの分析方法（その 1）

対象イオン	分析方法	規格	定量範囲	定量範囲（mmol 換算）	試料（分析量）	備考
Na^+	フレーム光度法	JIS K0101 JIS K0102	30μg/l～30mg/l	0.0013～0.013mmol	0.2ml	
	フレーム原子吸光法	JIS K0101 JIS K0102	0.05～4mg/l	0.0022～0.17mmol/l	50～300ml	
	イオン電極法	JIS K0101	1～100mg/l	0.043～4.3mmol/l	100ml	
	イオンクロマトグラフ法	JIS K0101 JIS K0102	0.1～30mg/l	0.0043～1.3mmol/l	10～200μl	
K^+	フレーム光度法	JIS K0101 JIS K0102	40μg/l～40mg/l	0.001～0.01mmol/l	0.2ml	
	フレーム原子吸光法	JIS K0101 JIS K0102	0.05～5mg/l	0.0013～0.128mmol/l	50～300ml	
	イオンクロマトグラフ法	JIS K0101 JIS K0102	0.1～30mg/l	0.0026～0.77mmol/l	10～200μl	
Ca^{2+}	キレート滴定法	JIS K0101 JIS K0102	0.2～5mg	0.0050～0.125mmol	Caとして5mg以下含む50ｍｌ水溶液。	
	フレーム原子吸光法	JIS K0101 JIS K0102	0.2～4mg/l	0.0050～0.100mmol/l	Ca 20～400μg 含む 100ml 水溶液。	
	ICP 発光分光分析法	JIS K0101 JIS K0102	10μg/l～5mg/l	0.00025～0.0050mmol/l	Ca 1～500μg 含む 100ml 水溶液。	
	イオンクロマトグラフ法	JIS K0101 JIS K0102	0.2～50mg/l	0.0050～1.25mmol/l	10～200μl	
Mg^{2+}	キレート滴定法	JIS K0101 JIS K0102	MgとCaの合量がCaとして0.15～5mg	0.0037～0.125mmol	Mg2+と Ca の合量が Ca として5mg 以下含む 50ｍｌ水溶液。	
	フレーム原子吸光法	JIS K0101 JIS K0102	20～400μg/l	0.00082～0.016mmol/l	50～300ml	
	ICP 発光分光分析法	JIS K0101 JIS K0102	5μg/l～3mg/l	0.00021～0.0041mmol	Mg 0.5～300μg 含む 100ml 水溶液。	
	イオンクロマトグラフ法	JIS K0101 JIS K0102	0.2～50mg/l	0.0082～2.06mmol/l	10～200μl	

表 2.5-10　液相部組成イオンの分析方法（その 2）

対象イオン	分析方法	規格	定量範囲	定量範囲（mmol 換算）	試料（分析量）	備考
Cl^-	チオシオン酸水銀(Ⅱ)吸光光度法	JIS K0101	20～500μg	0.00056～0.014mmol	50ml	
	硝酸水銀(Ⅱ)滴定法	JIS K0101	0.1～5mg	0.0028～0.14mmol	100ml	
	硝酸銀滴定法	JIS K0101 JIS K0102	1mg 以上	0.028mmol	50ml	
	イオン電極法	JIS K0101 JIS K0102	5～1000mg/l	0.14～28.2mmol/l	100ml	
	イオンクロマトグラフ法	JIS K0101 JIS K0102	0.1～25mg/l,0.05～25mg/l※	0.0014～0.0028mmol/l	10～200μl	※サプレッサと組み合わせる方式の場合
SO_4^{2-}	クロム酸バリウム-ジフェニルカルバジド吸光光度法	JIS K0101	0.2mg 以上	0.002mmol	10ml	
	クロム酸バリウム吸光光度法	JIS K0101 JIS K0102	2～50μg	0.000021～0.00052mmol	10ml	
	重量法	JIS K0101 JIS K0102	50～500μg	0.00052～0.0052mmol	SO_4^{2-}として 10mg 以上含む試料。	
	イオンクロマトグラフ法	JIS K0101 JIS K0102	1～100mg/l	0.01～1mmol/l	50～200μl	
NO_3^-	還元蒸留-インドフェノール青吸光光度法	JIS K0101 JIS K0102	17～340μg	0.00027～0.0055mmol	NO_3^-として 0.14mg 以上含む試料。	
	還元蒸留-中和滴定法	JIS K0101 JIS K0102	1～140μg	0.000016～0.0023mmol	NO_3^-として 1mg 以上含む試料。NO_3^-及びNO_2^-の合量がNO_3^-として 140mg 以下含む試料。	
	銅・カドミウムカラム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光光度法	JIS K0101 JIS K0102	0.8～8μg	0.000013～0.13mmol	NO_3^-として 8μmg 以上含む試料。NO_3^-及びNO_2^-の合量がNO_3^-として 80μmg 以下含む試料。	
	ブルジン吸光光度法	JIS K0101 JIS K0102	5～100μg	0.000081～0.0016mmol	2ml	
	イオンクロマトグラフ法	JIS K0101 JIS K0102	0.5～50mg/l	0.0081～0.81mmol/l	50～200μl	
HCO_3^-	塩化ストロンチウム-塩酸滴定法	JIS K0101 JIS K0102	1～40mg(但し、 CO_2)	0.023～0.91mmol	200ml	全炭酸の定量方法、炭酸、炭酸水素イオン及び炭酸イオンの合量で二酸化炭素(CO_2)の量として表す。
	赤外線分析法	JIS K0101 JIS K0102	3～450mg/l(但し、 CO_2)	0.068～10.0mmol/l	100ml	

3）モニタリング計画の具体化

a．計測期間及び計測範囲

計測期間は、建設段階～裏面排水の採取が可能である閉鎖措置段階（処分空洞の排水管が閉塞される段階）までとなる。

計測範囲（採取位置）は、例として図 2.5-18 に示すように、裏面排水が貯められる空洞外に設置されるピットで行う方法が考えられる。

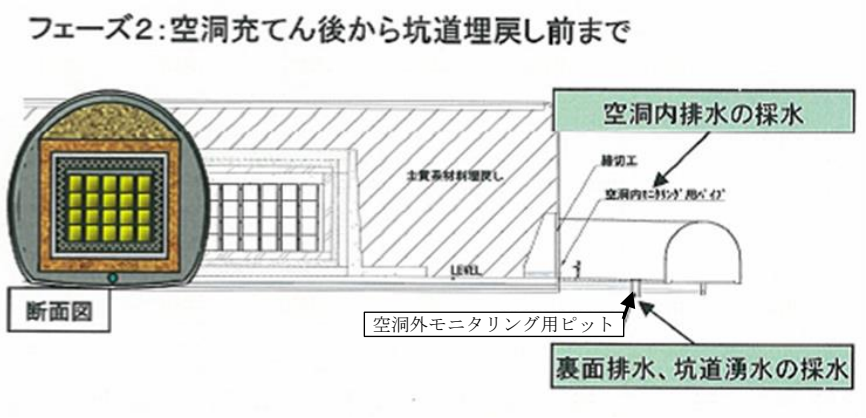


図 2.5-18　裏面排水の採取位置の例[4]

b．計測頻度

1）の解析結果より、裏面排水は計測期間中において大きな変動はなく、各種イオン濃度については、イオンの種類によって変化が大きい期間があることが推察された。

計測頻度は、実施設周辺岩盤をモデル化した上記のような解析等から予測した排水量や各種イオン濃度の変動量を参考にして設定することが望まれる。

c．計測方法

計測方法は、排水量については流量計、イオン濃度については表 2.5-9～表 2.5-10 に示した分析方法など、既存計測技術を用いて実施できると考えられる。

ただし、採水した地下水の分析がどの程度の数量必要なのかなど、施設の安全機能及び安全性への影響を評価するための分析結果の代表性に関する検討は、今後の課題として挙げられる。

(4) 近傍ボーリング孔による地下水分析

昨年度整理した、近傍ボーリング孔による地下水分析モニタリングによる安全機能への影響確認フローを図 2.5-13 に示す。

今年度は、「化学に着目した検討」の解析結果を参照して、定量的にモニタリング計画を再整理するとともに、現状の液相部組成の分析方法を整理した。

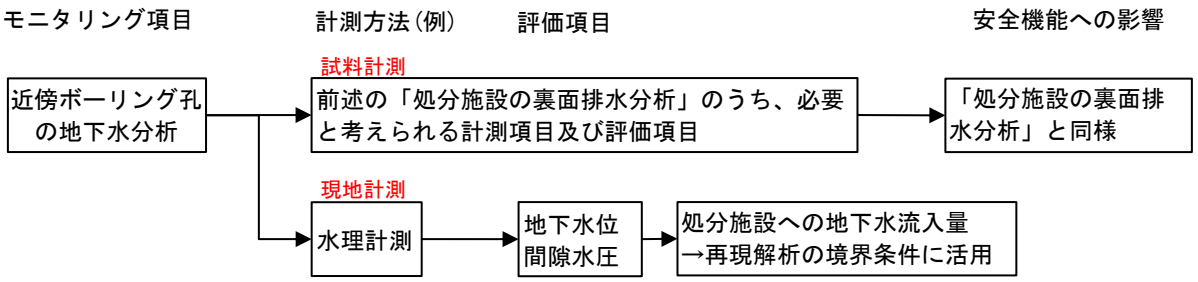


図 2.5-19 近傍ボーリング孔の地下水分析による安全機能への影響確認フロー

1) 解析結果の整理

a. 出力項目

出力項目は、周辺岩盤中の pH 及び各種イオン濃度（Na^+、K^+、Ca^{2+}）とした。

また、「化学に着目した検討」では表 2.5-11 に示すように 7 つの解析ケースを実施しており、各ケースについて解析結果を整理した。

表 2.5-11 解析ケース

（－：考慮しない、○：考慮する）

ケース	動水勾配	ひび割れ・隙間	EDZ	岩盤グラウト	地下水組成	吹付け劣化
1	7%	－	－	－	降水系	－
2	0%	－	－	－	降水系	－
3	7%	○	－	－	降水系	－
4	7%	○	○	－	降水系	－
5	7%	○	－	○	降水系	－
6	7%	○	－	－	海水系	－
7	7%	○	－	－	降水系	○

b．出力期間及び位置

出力期間は、規制期間（300～400 年程度）を考慮して 400 年までとした。

出力位置は、図 2.5-20 に示すように、空洞側壁から下流側の水平方向に 5m、10m、20m、50m、100m、200m、400m の位置とした。

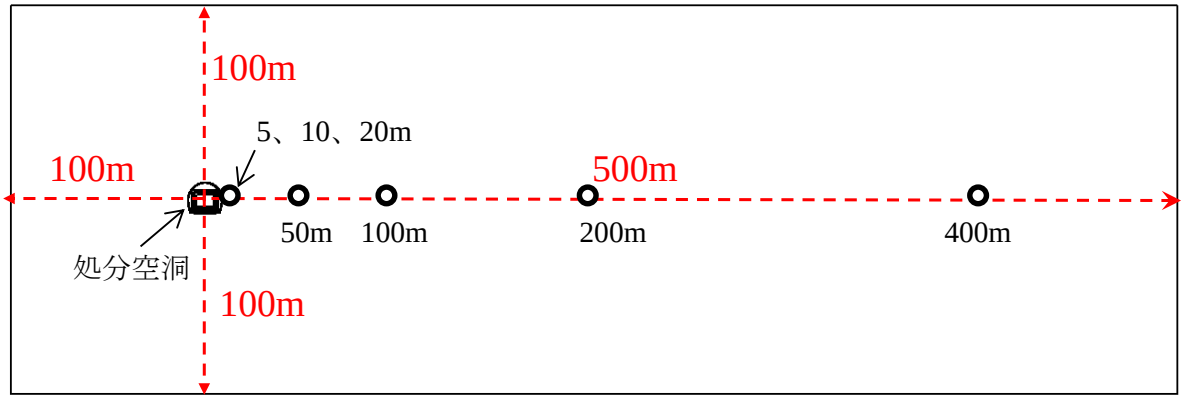


図 2.5-20　解析結果の出力位置

c．解析結果

Case1～Case7 における、pH と施設からの距離の関係を図 2.5-21 に、各種イオン濃度（Na^+、K^+、Ca^{2+}）と施設からの距離の関係を図 2.5-22～図 2.5-24 に示す。

図 2.5-21 に示すように、処分施設から溶出した OH^-により、時間の経過と共に周辺岩盤内の地下水の pH が徐々に上昇し、下流側にその影響範囲が広がっていることがわかる。しかし、いずれの解析ケースにおいても、400 年の間で pH の変化が生じる範囲は、施設から約 100m の範囲であることがわかる。

同様に、図 2.5-22～図 2.5-24 に示すように、処分施設から溶出した各種イオンにより、時間の経過と共に周辺岩盤の地下水のイオン濃度が変化し、下流側にその影響範囲が広がっていることがわかる。Case6 のみ周辺地下水を海水系地下水に設定しており、他のケース（降水系地下水に設定）と比較して特に Na イオン濃度及び K イオン濃度が大きくなっている。しかし、いずれの解析ケースにおいても、400 年の間で各種イオン濃度の変化が生じる範囲は、施設から約 100m の範囲であることがわかる。なお、図 2.5-22～図 2.5-24 には、各イオンのイオンクロマトグラフ法での定量下限を示しており、イオン濃度の変化が生じる施設から約 100m の範囲では定量が可能であると考えられる。

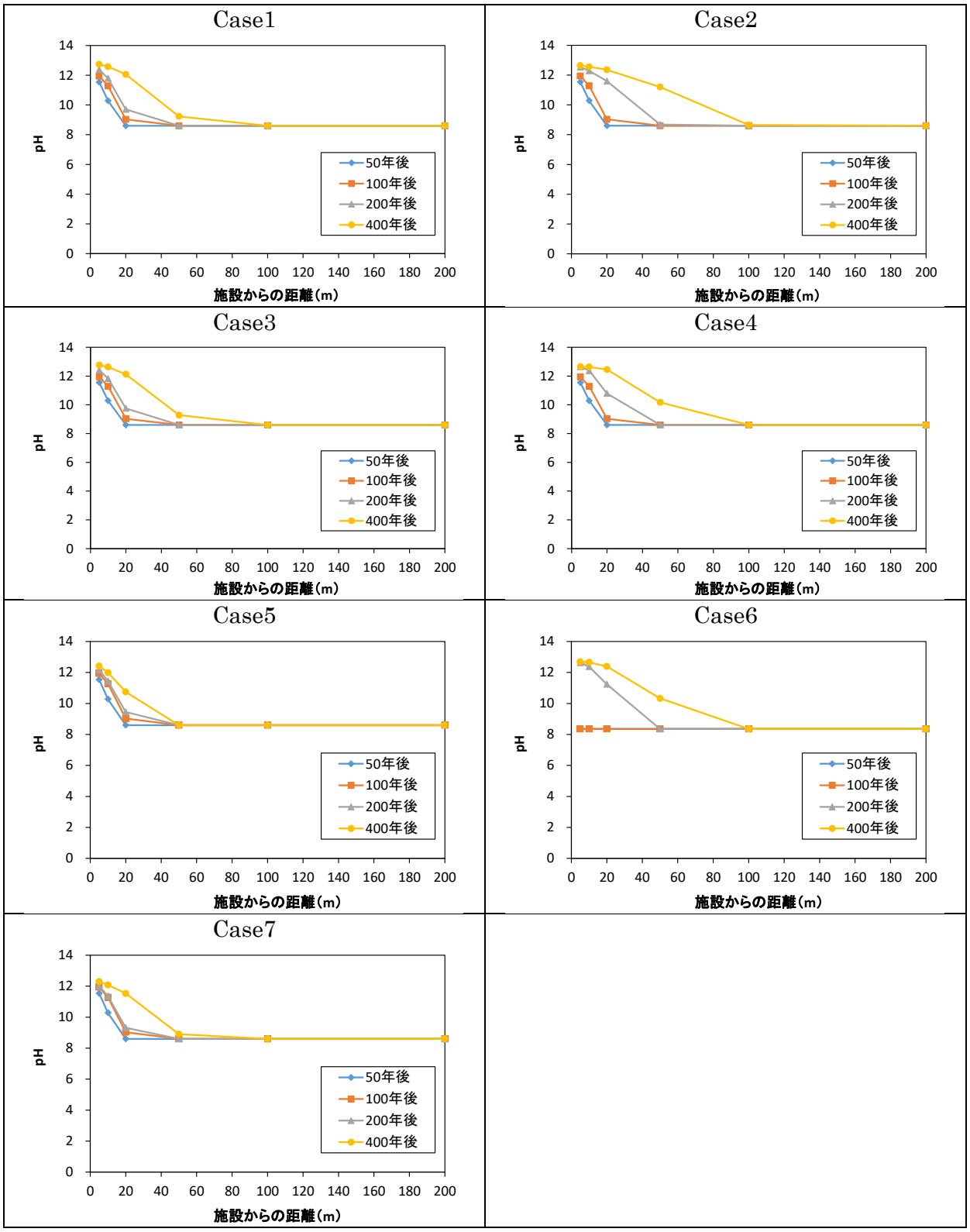
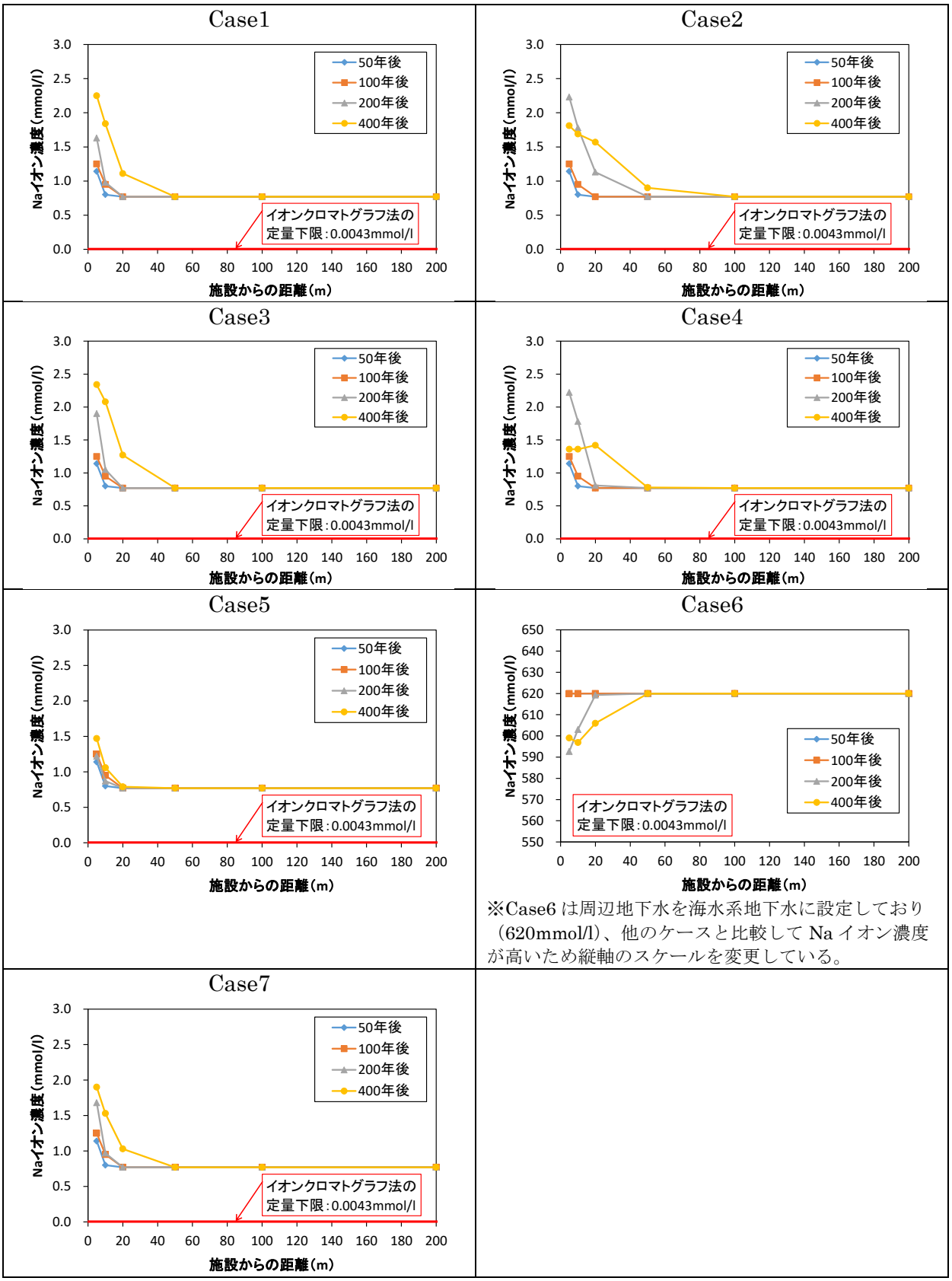
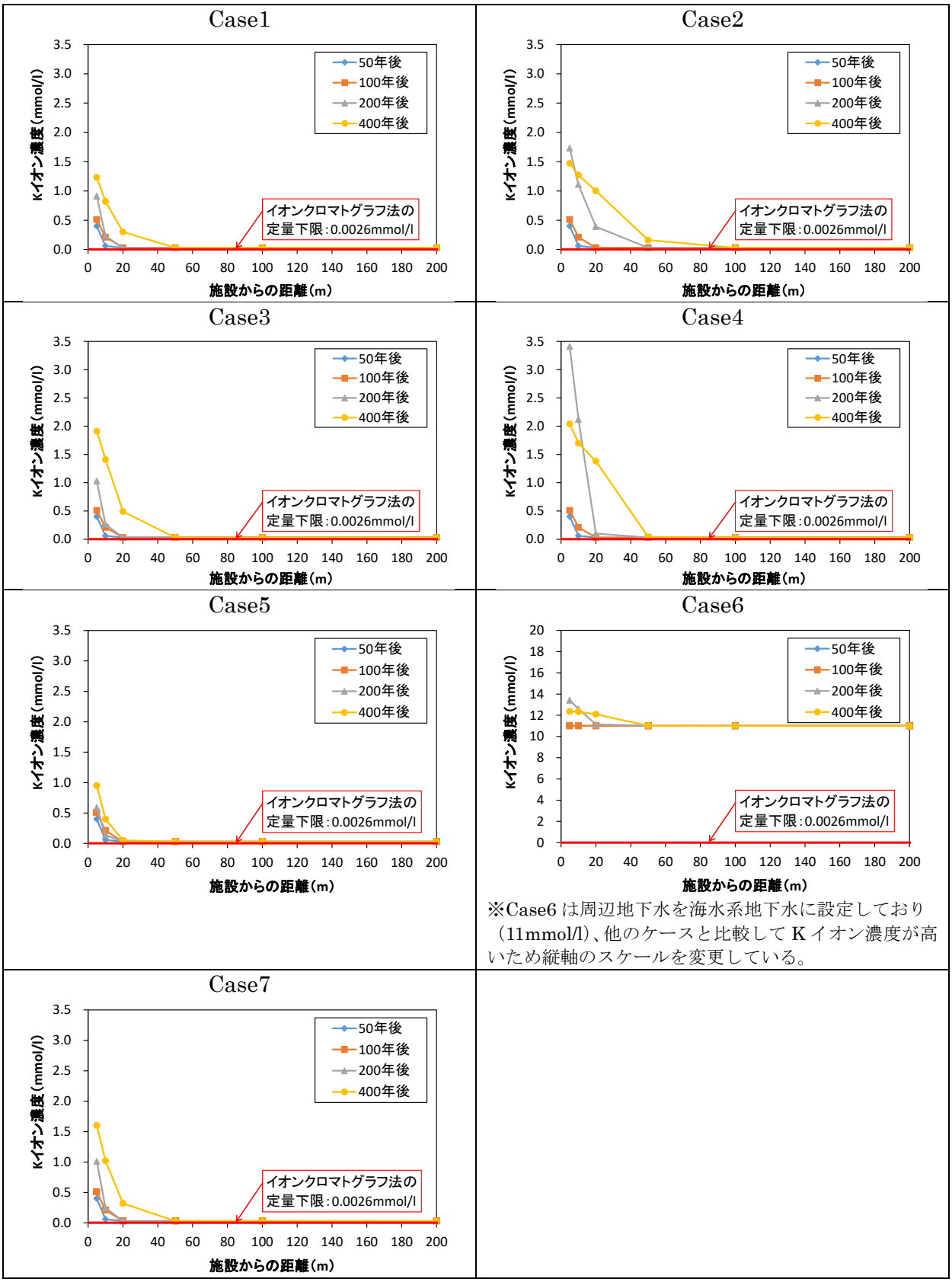


図 2.5-21　pH と施設からの距離の関係



※Case6 は周辺地下水を海水系地下水に設定しており（620mmol/l）、他のケースと比較して Na イオン濃度が高いため縦軸のスケールを変更している。

図 2.5-22　Na イオン濃度と施設からの距離の関係



※Case6 は周辺地下水を海水系地下水に設定しており（11mmol/l）、他のケースと比較して K イオン濃度が高いため縦軸のスケールを変更している。

図 2.5-23　K イオン濃度と施設からの距離の関係

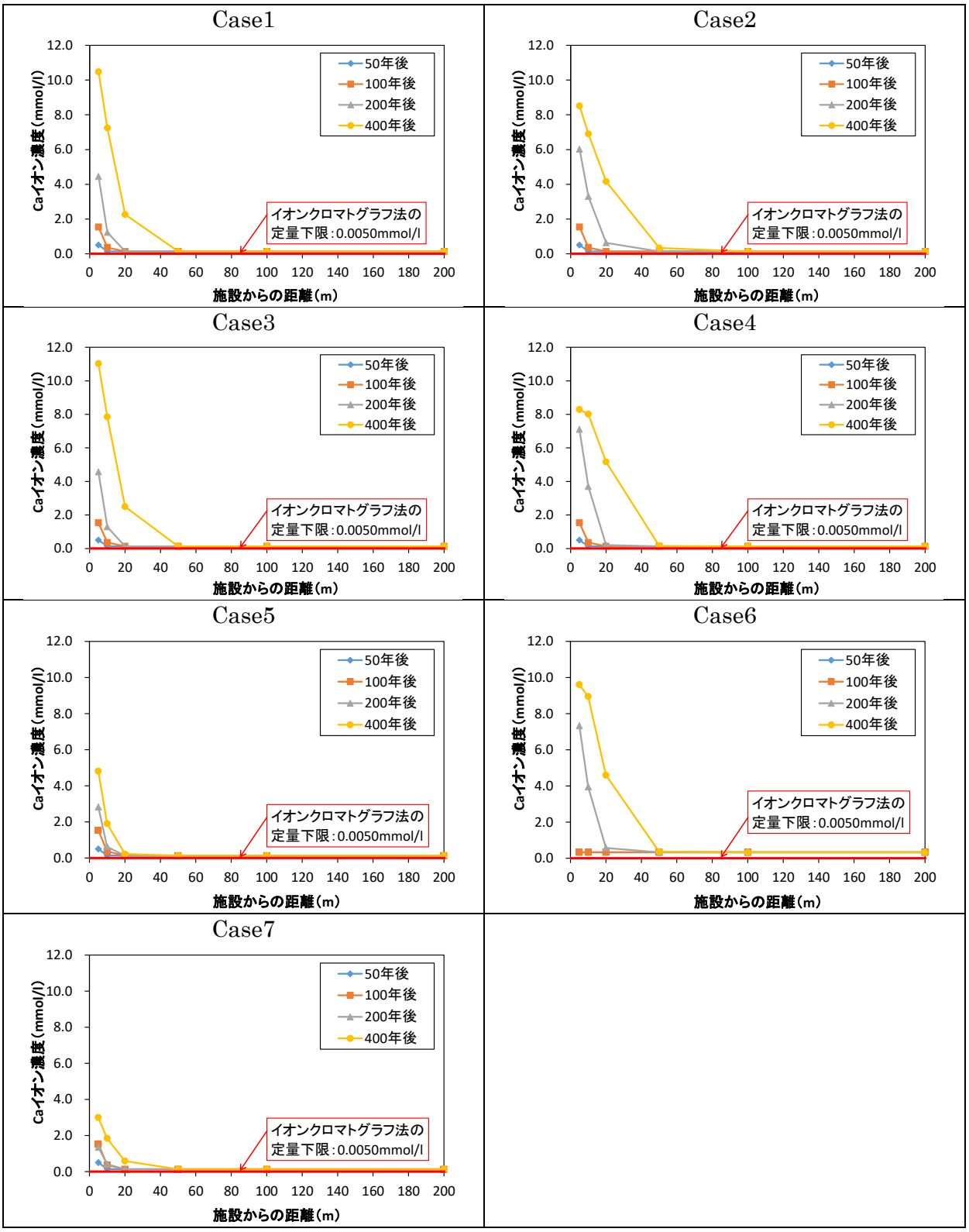


図 2.5-24　Ca イオン濃度と施設からの距離の関係

2）液相部組成の分析方法

液相部組成の分析方法は、前項「裏面排水分析」と同様であり、表 2.5-9～表 2.5-10 に整理した。

3）モニタリング計画の具体化

a．計測期間及び計測範囲

1）の解析結果より、処分施設から溶出したイオンにより、周辺岩盤内の地下水の pH 及び各種イオン濃度（Na^{+}、K^{+}、Ca^{2+}）が 400 年の間で変化し、その影響範囲は、施設から 100m 程度の範囲であることが予測された。モニタリングの計測期間及び計測範囲については、上述のような予測解析の結果を参考にして設定することが望まれる。

また、ボーリング孔の設置に当たっては、以下の点に留意する必要があると考えられる。

- ボーリング孔が施設の地下水流れに影響を及ぼさない位置とする。
- 処分施設の通過流量の推定及び流入水と流出水の成分を把握するために、施設の上下流にボーリング孔を設置する（解析の境界条件）。
- 放射性物質や他の有害物質が流出していないことを確認するために埋設地の敷地境界付近に設定する。

ただし、処分場のサイト調査・選定時には、ボーリングによる調査が実施されると考えられるため、同じボーリング孔を利用して、規制期間における地下水分析を実施すれば、処分場近傍の地盤の場の乱れを小さくでき、有効であると考えられる。また、モニタリングでの変化の有無を確認するためには、影響がないと想定されるボーリング孔からの採水により、リファレンスデータを取得することが有効であると考えられる。

b．計測頻度

モニタリング計測頻度についても、計測期間や計測範囲の設定と同様に、上述のような予測解析の結果を参考にして設定することが望まれる。

c．計測方法

計測方法は、ボーリング孔から採取した地下水試料を用いた pH 測定や表 2.5-9～表 2.5-10 に示した分析方法など、既存計測技術を用いて実施できると考えられる。

4）課題

今回は、空洞横断方向を対象とした 2 次元モデルの物質移行解析における、材料・構造・環境条件の変動を考慮した解析結果を参考にしてモニタリング計画を再整理した。地下水の動水勾配も空洞横断面方向に設定しているが、実施設を考慮した場合は、空洞縦断方向を含めた 3 次元での検討が必要になると考えられる。加えて、空洞の連設の影響検討も必要になると考えられる。

前項の「裏面排水分析」と同様に、採水した地下水の分析がどの程度の数量必要なのかなど、施設の安全機能及び安全性への影響を評価するための分析結果の代表性に関する検討は、

今後の課題として挙げられる。また、今年度の解析では、極端に施設が損傷を受けたようなケースにおいても、施設から溶出するイオンが周辺地下水に及ぼす影響は小さいと推察されることから、近傍ボーリング孔において放射化した物質が検出される可能性は低いと考えられる。しかしながら、採取された地下水が放射化されている場合、ホット試験が必要になることも考えられるため、放射化された地下水の採取の可能性について検討しておくことも今後の課題として挙げられる。

2.5.3　光ファイバセンサーの適用を考慮したモニタリング計画の具体化検討

光ファイバセンサー技術は、従来から使用されている有線式ポイント型計測機器に比べ、下記の点において中深度処分施設のモニタリングへの適用性が高いと考えられる。

- 分布計測が可能
- ケーブル量を最小化可能
- 電源が不要
- 耐久性が高い

本節では、表 2.5-12 に示すモニタリング項目を対象に、光ファイバセンサー技術を活用したモニタリング計画を具体的に検討する。

表 2.5-12　光ファイバセンサーによるモニタリング項目

モニタリング項目	段階	備考
セメント系材料のひび割れ	建設段階～保全段階	本節では、低拡散層のひび割れを主なモニタリング対象として検討
施設内の圧力分布	建設段階～保全段階	本節では、低透水層の膨潤圧が想定どおりに発生しているかの確認を主なモニタリング対象として検討
施設内の温度	建設段階～保全段階	

なお、光ファイバセンサー技術を活用して人工バリア部材の挙動を計測する場合、光ファイバケーブルが人工バリア部材を貫通することになるため、僅かであってもバリア機能の低下を許容することになる。そのため、後述する光ファイバセンサーを活用したモニタリング計画は、表 2.5-1 に示す区分 C に相当する。

(1) セメント系材料（低拡散層）のひび割れ

1) 計測位置

平成 28 年度の検討成果より、不均質な地下水浸潤により、ベントナイト系材料の膨潤圧が偏って作用した場合でも、坑道二次元断面内では、低透水層より内側に配置されるセメント系人工バリア部材は全圧縮状態となり、ひび割れ発生に至らないことが解析的に確認されている[5]。一方、処分坑道軸方向でベントナイト系材料の膨潤圧が偏って発生した場合（図 2.5-25 参照）には、セメント系人工バリア部材に処分坑道軸方向の曲げモーメントが作用し、図 2.5-26 に示すように、低拡散層最外縁に引張強度を上回る引張応力が生じ、ひび割れ発生に至る可能性がある結果が得られている[5]。この場合、処分坑道軸方向の曲げモーメントによるひび割れは、坑道断面方向に発生することになる。

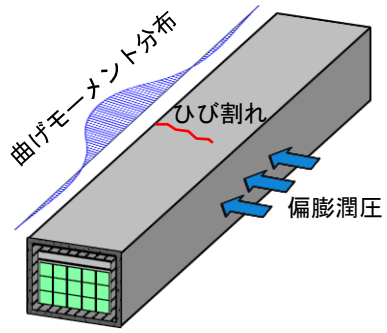


図 2.5-25　低透水層の偏膨潤による曲げひび割れ発生の概念図

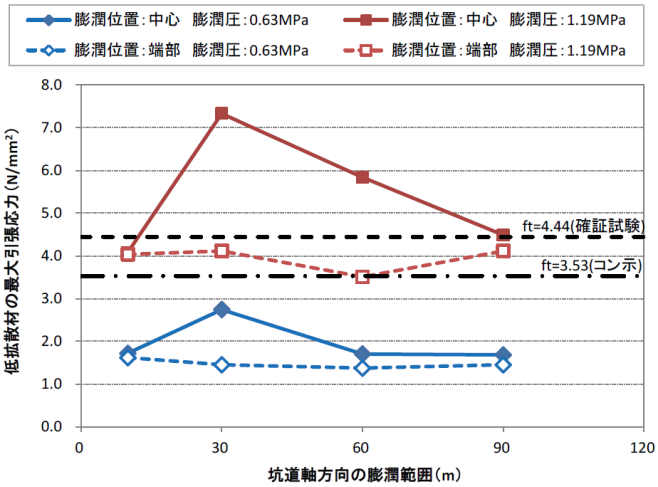
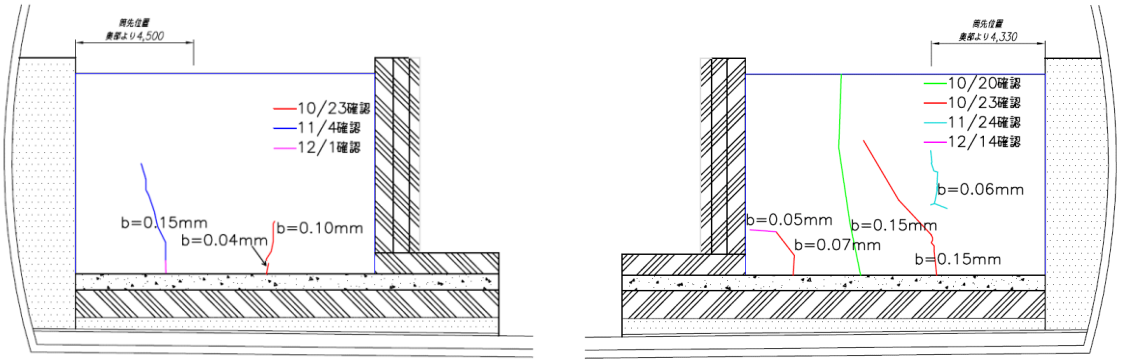


図 2.5-26　処分坑道軸方向の偏膨潤を想定した構造解析結果の一例[5]

平成 21 年度に構築された実規模施設の側部低拡散層には、乾燥収縮が主要因と推定されるひび割れが発生している[6]。平成 21 年度に確認されたひび割れ発生状況を図 2.5-27 に示す。この段階でのひび割れは鉛直方向（処分空洞断面方向）が卓越している。これは、側部低拡散層の下端及び背面が拘束されていることに加え、部材の縦横比が 7.64 : 11.4 と横長の部材であることが影響していると考えられる。

表 2.5-13　平成 21 年度に確認された側部低拡散層のひび割れ[6]

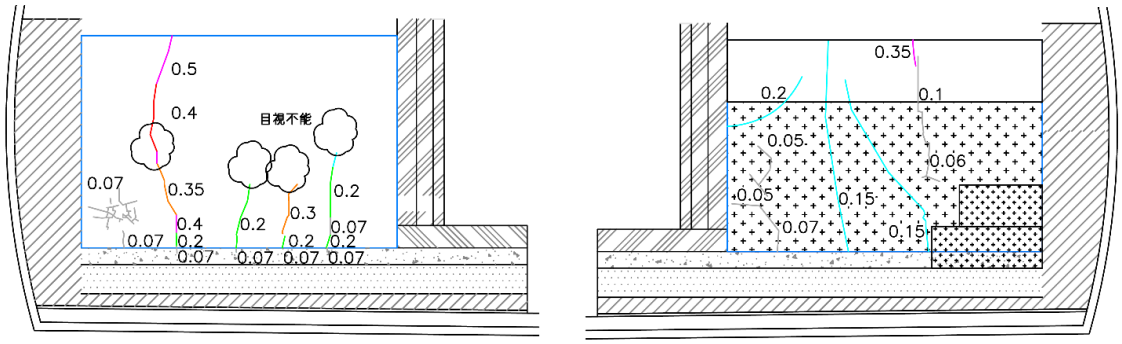
	右	左
ひび割れ本数	4	2
ひび割れ幅(mm)	0.15、0.15、0.07、0.06	0.10、0.04、0.15
発生した材齢（日）	34、37、37、69 日	37、49 日



側部低拡散層（左側）　　側部低拡散層（右側）

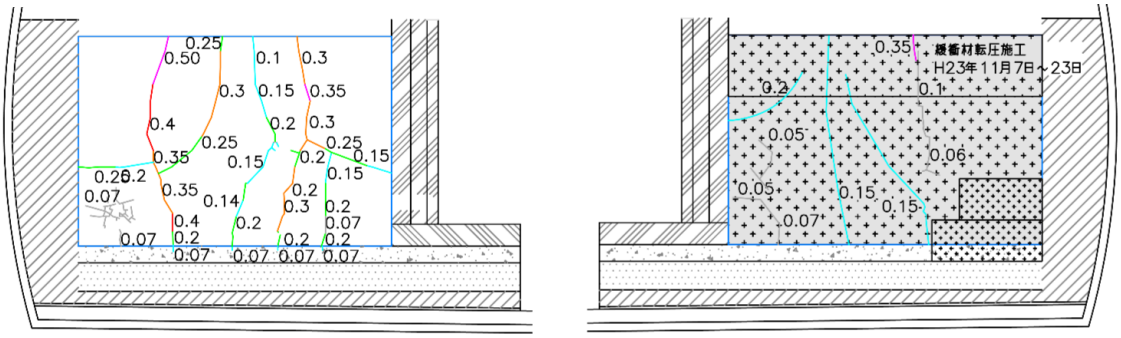
図 2.5-27　側部低拡散層のひび割れ発生状況（平成 21 年度）[6]

実規模施設のセメント系部材に発生したひび割れを対象としたひび割れ観察は、以降の地下空洞型処分施設性能確証試験、閉鎖技術確証試験及び機能確認試験においても継続されている。側部低拡散層（右側）は、平成 22 年度に隣接部材である側部低透水層の大部分が構築されたため、ひび割れ進展状況を確認できない状況となった。一方、側部低拡散層（左側）は、側部低透水層が構築される前の平成 22 年及び平成 23 年時点で、図 2.5-28、図 2.5-29 に示すようにひび割れが進展した[7]。図 2.5-28 に示すように、側部低拡散層（左側）のひび割れは、鉛直方向（処分空洞断面方向）が卓越しているが、その後、図 2.5-29 に示すように水平方向（処分空洞軸方向）にもひび割れが進展している。これは、鉛直方向（処分空洞断面方向）のひび割れが部材下端から上端まで達した後、ひび割れにより分断された部分の縦横比が縦長となったためであると推察される。



側部低拡散層（左側）　　側部低拡散層（右側）

図 2.5-28　側部低拡散層のひび割れ発生状況（平成 22 年度）[7]



側部低拡散層（左側）　　側部低拡散層（右側）

図 2.5-29　側部低拡散層のひび割れ発生状況（平成 23 年度）[7]

一方、上部低拡散層には、図 2.5-30 に示すようなひび割れが発生している。上部低拡散層は、側部低拡散層と異なり、底面のみが拘束された状態であるため、処分空洞断面方向及び軸方向の両方に発生している。なお、最初に発生したひび割れの方向は処分空洞断面方向（部材の長辺方向）である。

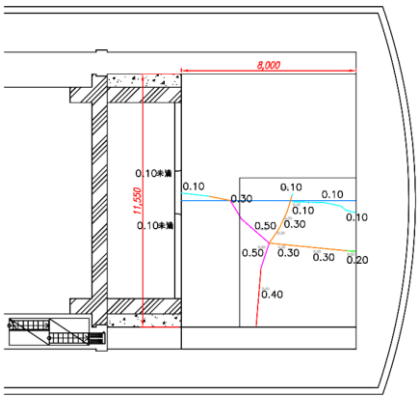


図 2.5-30　上部低拡散層のひび割れ発生状況（平成 25 年度）[7]

以上のように、低拡散層は無筋モルタル部材であるため、乾燥収縮等によるひび割れ発生を抑制することが難しい部材であり、ひび割れ発生方向は、処分空洞断面方向及び軸方向のいずれにも発生しうると考えるのが保守的である。

次に、低拡散層の施工上の打ち継ぎ目について考える。

低拡散層に期待される機能のうち、低拡散性に対しては、ひび割れ発生が大きく影響する。これは、拡散による核種移行を抑制する部材内に、地下水で満たされた数桁単位で拡散係数が大きい領域を形成することなるためである。したがって、施工上の打ち継ぎ目が目開きすることは、ひび割れが進展することと同様に拡散係数が大きい領域を形成することになる。このため、施工上の打ち継ぎ目は、ひび割れと同様に取り扱うことが望ましいと考えられる。

現状で想定される低拡散層の施工手順[8][9]を参考にすると、施工上の打ち継ぎ目は、図 2.5-31 に青線で示す位置となることが想定される。なお、図 2.5-31 に示した想定打ち継ぎ目位置は、低拡散層の施工単位が 2 ピットずつであることを想定した場合の例である。

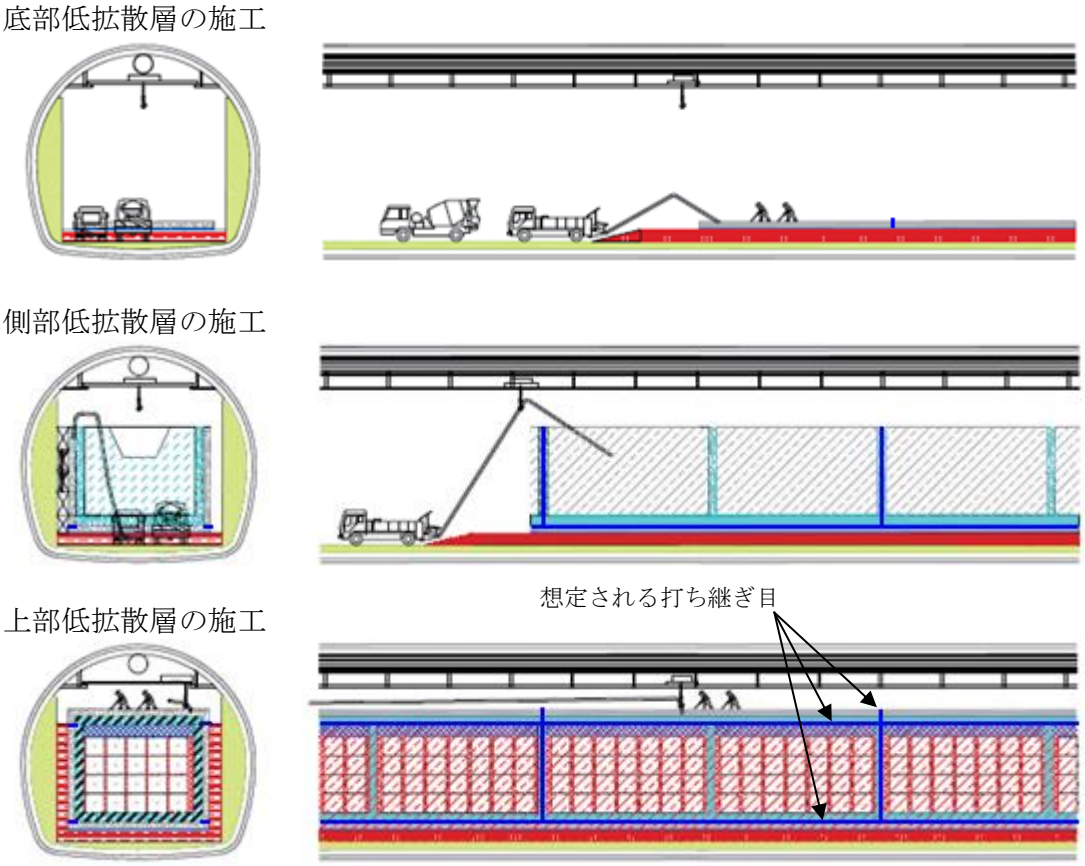


図 2.5-31　想定される低拡散層の打ち継ぎ目の位置（[9]に一部加筆）

長期的なひび割れ発生、ひび割れ進展の要因としては、金属部材の腐食膨張が考えられる。低拡散層のひび割れに着目すると、低拡散層より内側に配置される金属部材の腐食膨張がひび割れ発生・進展の要因となる。低拡散層より内側に配置される金属材料は、一部の廃棄物、廃棄体容器、コンクリートピットの鉄筋である。これらが、腐食膨張することによって、低拡散層に引張応力が生じ、ひび割れ発生、ひび割れの進展に至ると考えられる。しかし、閉鎖措置段階までに発生したひび割れ、施工上の打ち継ぎ目が存在する場合、低拡散層は無筋モルタル部材であり、ひび割れ部はひび割れに直交する向きに引張応力を負担できないため、新たなひび割れが発生するよりも、既存のひび割れが成長する可能性が高いと想定される。また、廃止措置段階までの期間（300～400 年程度）に金属の腐食膨張によるひび割れ進展が顕著になる可能性は低いと考えられる。

以上を踏まえると、

- 低拡散層に発生するひび割れは、断面方向、軸方向いずれにも発生しうる
- 低拡散層の施工上の打ち継ぎ目はひび割れと同様の取扱いをするべきである
- 長期的には、金属部材の腐食膨張によりひび割れが進展すると想定されるが、低拡散層が無筋モルタル部材であることを考慮すると、既存のひび割れが成長する可能性が高いと想定される

このように考えた場合、図 2.5-32 に示すように、ひび割れと打ち継ぎ目の両者を計測するために、格子状に光ファイバセンサーを配置することが一案として考えられる。

なお、低拡散層とその内側に構築されるコンクリートピットは、打ち継ぎ面の一体性を確保するために、凹凸を形成する等の処理が行われることを想定し、低拡散層のひび割れを計測するための光ファイバセンサーは、平滑面である低拡散層外面に設置することを基本として考えた。

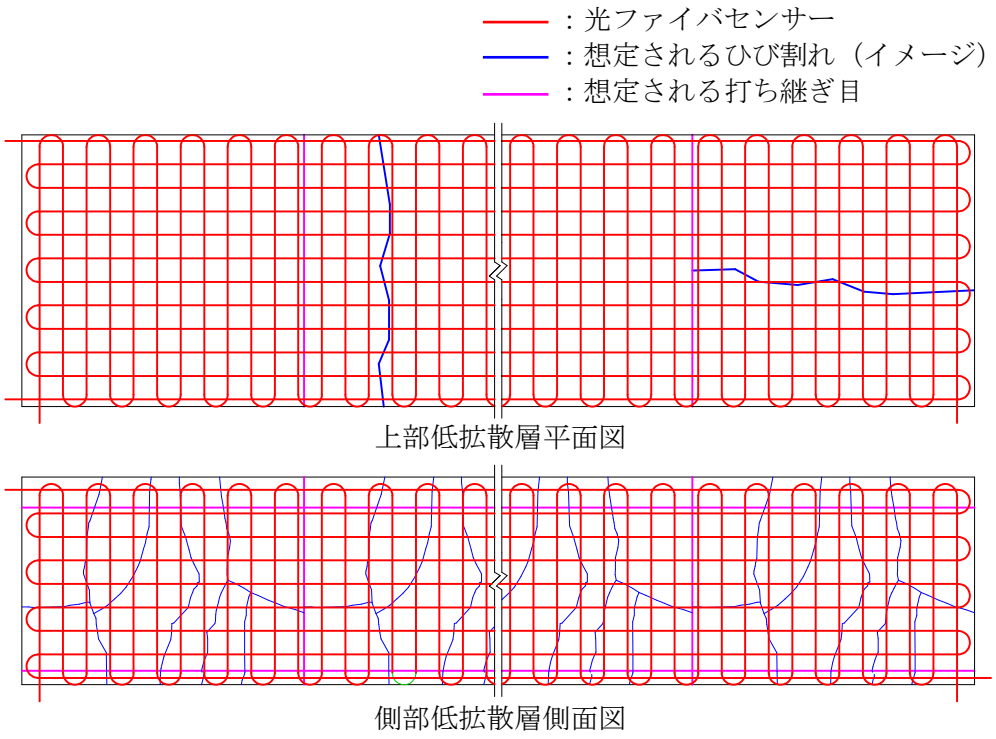


図 2.5-32　低拡散層のひび割れモニタリングのための光ファイバセンサーの設置概念図

2）計測頻度

低拡散層に発生するひび割れの要因は、施工後比較的早い段階では乾燥収縮、閉鎖措置段階以降では低透水層の膨潤圧、長期的には金属材料の腐食膨張などが考えられる。光ファイバセンサーを用いてひび割れ観測を実施する場合には、光アナライザを人間がアクセス可能な場所に設置することになるため、計測頻度を任意に調整することが可能である。そのため、上載荷重が順次増加していく建設段階、廃棄物の埋設段階においては、施工イベント毎に計測することが可能である。また、閉鎖措置段階以降の状態変化が非常に緩慢になることが想定される段階においては、計測頻度を低下させ、変動が認められた場合に検測頻度を上げることも可能である。例えば、後述する施設内の圧力分布計測を併用する場合、閉鎖措置段階において圧力が増大し、低透水層の膨潤圧が発生し始めたと推定された後、偏膨潤によって低拡散層にひび割れが発生する可能性があるため、ひび割れ計測の頻度を上げる等の調整が可能となる。

(2) 施設内の圧力分布

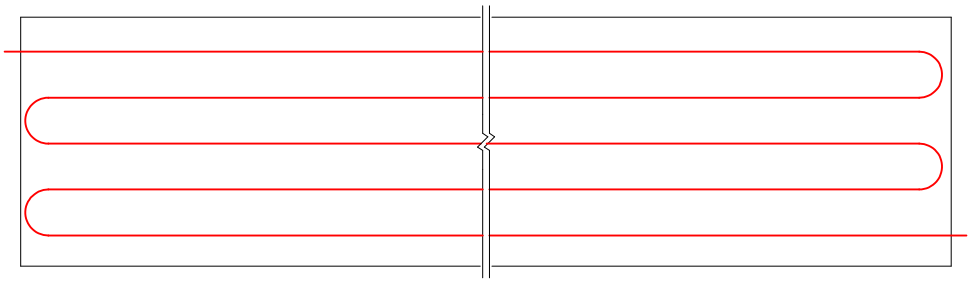
1) 計測位置

施設内の圧力分布計測は、主に低透水層への地下水浸潤状況を把握するためのモニタリングである。閉鎖措置段階以降の再冠水過程では、地下水浸潤が不均質になる可能性があり、低透水層の膨潤圧が発生する時期にずれが生じることが想定される。また、前述したように、処分坑道軸方向に低透水層の膨潤圧が偏った場合には、低拡散層のひび割れ発生につながる可能性もあることから、閉鎖措置段階以降の地下水浸潤状況を把握することは重要であると考えられる。

施設内の圧力分布を計測する場合、低透水層表面で計測することが有効であると考えられ、計測位置としては、低透水層内面と低透水層外面が候補となる。実際の処分事業においては、事業者がモニタリング項目を選定することになるが、前述した低拡散層のひび割れ計測を実施する場合、低拡散層外面に光ファイバセンサーを設置するため、この光ファイバセンサーを圧力計測と併用することが可能と考えられる。すなわち、この場合は、低透水層内面で圧力分布を計測することになる。

一方、低拡散層のひび割れ計測を実施しない場合には、主要な人工バリア部材を貫通する光ファイバセンサーを減らす観点から、低透水層外面で圧力分布を計測することが望ましいと考えられる。

光ファイバセンサーにより圧力分布を計測する場合、ひび割れ計測のように格子状に光ファイバセンサーを敷設する必要性は低く、図 2.5-33 に示すように、処分坑道軸方向にのみ光ファイバセンサーを敷設することで圧力分布を計測可能であると考えられる。



側部低透水層側面図（光ファイバセンサーを軸方向に配置）

図 2.5-33　施設内の圧力分布計測のための光ファイバセンサーの設置概念図

2) 計測頻度

光ファイバセンサーを用いて圧力分布計測を実施する場合も、光アナライザを人間がアクセス可能な場所に設置することになるため、計測頻度を任意に調整することが可能である。閉鎖措置段階以降の再冠水過程においては、例えば 1 週間に 1 回程度の検測頻度とすることが考えられる。また、光ファイバセンサーは、建設段階、廃棄物の埋設段階に敷設するため、建設・操業時の荷重作用に伴う圧力変化を計測することが可能であるため、その際には、施工イベント毎に計測を実施することが可能である。

(3) 施設内の温度

1) 計測位置

施設内の温度分布は、前述した低拡散層のひび割れ観測、低透水層表面における圧力分布計測を実施する際には、それらの光ファイバセンサーで併用することが可能であると考えられる。

一方、低拡散層のひび割れ観測、低透水層内面における圧力分布計測を実施しない場合には、主要な人工バリア部材を貫通する光ファイバセンサーを減らす観点から、低透水層外面で圧力分布を計測することが望ましいと考えられる。

光ファイバセンサーにより温度分布を計測する場合も圧力分布計測と同様に、ひび割れ計測のように格子状に光ファイバセンサーを敷設する必要性は低く、図 2.5-33 に示すように、処分坑道軸方向にのみ光ファイバセンサーを敷設することで温度分布を計測可能であると考えられる。

2) 計測頻度

光ファイバセンサーを用いて温度分布計測を実施する場合も、光アナライザを人間がアクセス可能な場所に設置することになるため、計測頻度を任意に調整することが可能である。

施設内の温度分布に最も大きく影響する要因は、廃棄体からの発熱であると想定される。廃棄体の発熱影響は、「1.2　熱・水・力学に着目した検討」の解析結果から 40 年程度継続することが想定される（図 2.5-34）。また、既往の検討成果[10]によると、図 2.5-35 に示すように廃棄体の発熱影響により上昇した施設内の温度が初期温度程度に低下するまで 40 年程度を要している。

そのため、廃棄体定置から 40 年程度は、例えば 1～2 回/日程度の頻度で計測を実施し、その後は計測頻度を低減させる計測方法が一案として考えられる。

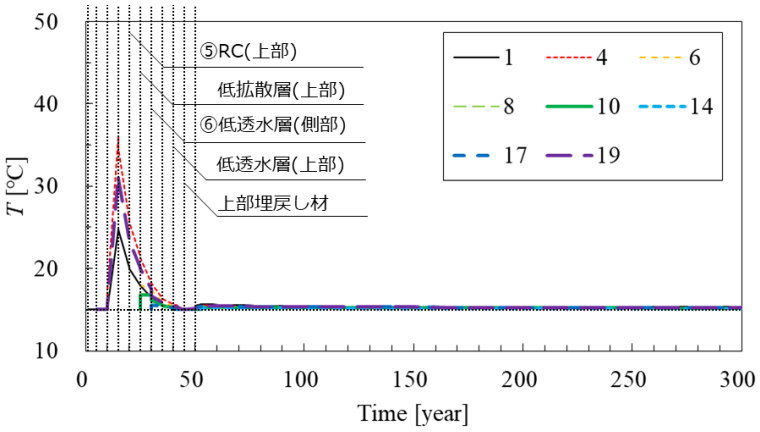


図 2.5-34　廃棄体の発熱影響期間

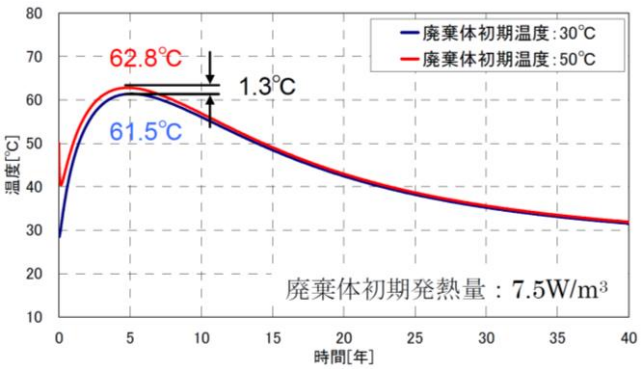


図 2.5-35　既往検討における施設内の温度履歴[10]

2.5.4　モニタリング計画の具体化検討のまとめ（平成 30 年度）

本節では、「2.5.2　既存計測技術を活用したモニタリング計画の具体化検討」、「2.5.3　光ファイバセンサーの適用を考慮したモニタリング計画の具体化検討」で検討したモニタリング計画を統合したモニタリング計画を提示する。

対象とするモニタリング項目は、以下のとおりである。

- 処分施設の変形
- 低拡散層のひび割れ
- 地震動
- 裏面排水分析
- 近傍ボーリング孔の地下水分析
- 施設内の圧力分布
- 施設内の温度

上記のモニタリング項目に対する計測時期（段階）、計測方法について表 2.5-14 に整理する。なお、表 2.5-14 には、モニタリングの制約条件への適合性に応じて設定した表 2.5-1 の区分を併記した。

表 2.5-14　各モニタリング項目の計測時期と計測方法

<table>
<tr><th>モニタリング項目</th><th>建設段階</th><th>廃棄物の
埋設段階</th><th>閉鎖措置段階</th><th>保全段階</th></tr>
<tr><td>処分施設の変形</td><td colspan="2">3D レーザースキャナ</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">低拡散層のひび割れ</td><td>目視観察</td><td>画像解析</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">光ファイバセンサー</td></tr>
<tr><td>地震動</td><td colspan="4">加速度型地震計（地上用検出器、地中用検出器）
※　地表面、周辺岩盤内（ボーリング孔内）の地震動計測は保全段階まで実施可能であるが、処分空洞内、アクセス坑道内における地震動計測は閉鎖措置段階前に計測を終了する</td></tr>
<tr><td>裏面排水分析</td><td colspan="2">フレーム光度法、キレート滴定法、
イオンクロマトグラフ法　等</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>近傍ボーリング孔の
地下水分析</td><td colspan="4">フレーム光度法、キレート滴定法、イオンクロマトグラフ法　等
※　立地段階に調査用に設置されるボーリング孔を活用する場合は区分 A、廃棄物埋設地近傍等にモニタリング用に設置するボーリング孔を使用する場合は区分 B のモニタリングに相当する</td></tr>
<tr><td>施設内の圧力分布</td><td colspan="4">光ファイバセンサー</td></tr>
<tr><td>施設内の温度分布</td><td></td><td colspan="3">光ファイバセンサー</td></tr>
</table>

※　表中の太線は実施可能なモニタリング期間を表し、▬は区分 A、▬は区分 B、▬は区分 C のモニタリングを意味する

2.5.5 残された課題と今後の展望

今年度は、「第 2 章　施設挙動の定量化」の検討結果を踏まえて、具体的なモニタリング計画策定に資する検討を実施した。残された課題及び次年度以降に検討すべき項目として以下が挙げられる。

- 整備が進められている規制基準への適合性を評価する必要がある。また、必要に応じて規制要求を満足するためのモニタリング（例えば、モニタリング用の模擬施設や室内試験を併用したモニタリング）を追加検討する必要がある。
- 既存計測技術を活用したモニタリングにおいては、一部の計測技術で計測精度に課題が残っており、今後の技術開発による計測精度向上や計測限界の向上、計測機器の動作環境の拡張に期待する必要がある。
- 近傍ボーリング孔の地下水分析を実施する際には、地下 100m～200m 程度の深度から地下水をサンプリングする必要があり、かつ、地下水に放射性物質が含まれる可能性もあるが、その技術的成立性については未検討の状態であるため、サンプリング技術に関する調査、検討を実施する必要がある。
- 光ファイバセンサーの耐用年数は、敷設延長をパラメータとする破断確率で評価される。光ファイバセンサーを活用したモニタリング計画では、光ファイバセンサーの耐久性評価の結果を反映し、耐用年数を満足する敷設方法を検討する必要がある。
- 光ファイバセンサーによる圧力分布計測は、計測技術を開発している段階であり、今後の技術開発動向を踏まえ、モニタリング計画に反映する必要がある。
- 実際の処分事業では、複数の処分坑道において建設・操業が並行する形で事業が進められ、廃棄物の埋設が完了した処分坑道、パネルから順次閉鎖措置段階に移行することが想定される。このような中で、処分施設全体でモニタリングを実施するのか、限られた処分坑道のみでモニタリングを実施するのか、あるいは、ある処分坑道の限られた範囲のみでモニタリングを実施するのかを検討する必要がある。このようなモニタリング範囲の代表性に係る課題は、地下水の水質分析におけるボーリング孔の配置や数及びサンプリング量においても同様である。

2.5 節 参考文献

[1] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 29 年度 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業 地下空洞型処分施設機能確認試験 報告書、平成 30 年 3 月

[2] 財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 20 年度 管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書、平成 21 年 3 月

[3] 国土交通省：新技術情報提供システム（NETIS）ホームページ（2018.9.18 現在）、http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/NewIndex.asp

[4] 原子力安全委員会：原子力安全委員会放射性廃棄物・廃止措置専門部会(第 29 回)、配付資料放廃第 29-2 号、平成 22 年 4 月 5 日

[5] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 28 年度管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設機能確認試験 報告書、平成 29 年 3 月

[6] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 21 年度管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書（第 I 分冊）、平成 22 年 3 月

[7] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 29 年度低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業 地下空洞型処分施設機能確認試験 報告書、平成 30 年 3 月

[8] 土木学会：余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方、2008 年 6 月

[9] 土木学会：余裕深度処分における地下施設の設計，品質管理および検査の考え方、2009 年 7 月

[10] 増田良一、佐々木規行、高村尚、奥津一夫：トンネル型処分施設の施設内温度上昇に対する影響因子、土木学会第 63 回年次学術講演会、CS05-46、平成 20 年 9 月

第 3 章　既設の実規模施設における地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察

第3章　既設の実規模施設における地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察

3.1　既存施設の計測調査データ取得

3.1.1　計測データ回収

(1) 既設計器の計測データ回収

現場計測室の計測用 PC より、既設計器で計測されたデータを回収した。対象計器は、表 3.1-1 に示す各部材に設置されている 631 個から動作不良の間隙水圧計 19 箇所を除く 612 個とした。

実施日：平成 30 年 12 月 3 日、平成 31 年 2 月 4 日

表 3.1-1　既設計器一覧

年度	部材名称	計器種別	数量	計
H19	坑内環境	温湿度（百葉箱）	1	1
	周辺岩盤挙動	間隙水圧計	31	37
		岩盤変位	6	
	埋戻し材	ひずみ計	106	215
		有効応力計	18	
		無応力計	4	
		鉄筋計	34	
		温度計	53	
H20	底部低透水層	土圧計	8	31
		加速度計	1	
		沈下計	5	
		温度計	1	
		水分計	12	
		間隙水圧計	4	
	底部低拡散層	ひずみ計	30	62
		有効応力計	6	
		無応力計	1	
		温度計	15	
		継目計	5	
		せん断変位計	5	
	底部コンクリートピット	ひずみ計	30	57
		有効応力計	10	
		無応力計	1	
		傾斜計	1	
		温度計	15	
	側部コンクリートピット	ひずみ計	26	80
		有効応力計	6	
		無応力計	2	
		温度計	26	
		鉄筋計	20	
H21	手前部 コンクリートピット	ひずみ計	10	32
		無応力計	1	
		鉄筋計	10	
		温度計	11	
	側部低拡散層	ひずみ計	16	57
		有効応力計	6	
		低剛性型有効応力計	1	
		無応力計	2	
		温度計	16	
		継目計	4	
		せん断変位計	4	
		土圧計	6	
		加速度計	2	
	充てん材	土圧計	1	1
H22	充てん材	土圧計	2	3
		温度計	1	
	上部充てん材	土圧計	1	2
		温度計	1	
	側部低透水層	土圧計	2	3
		加速度計	1	
H24	上部コンクリートピット	ひずみ計	6	12
		無応力計	1	
		温度計	3	
		有効応力計	2	
	上部低拡散層	ひずみ計	18	34
		無応力計	1	
		温度計	9	
		有効応力計	6	
H25	上部低透水層	土圧計	1	2
		加速度計	1	
H26	上部埋戻し材	沈下計	1	2
		温度計	1	
全計器数量				631

(2) 地震計メンテナンス・計測データの回収

地震計のメンテナンス及び計測データの回収を実施した。地震の発生状況については、地震速報などを活用して把握し、六ヶ所村での地震動の大きさについては、事前に KiK-net 六ヶ所のデータで概況を確認した。

メンテナンスのチェックシートを添付資料 2、地震動回収データを添付資料 5 に示す。

実施日：平成 30 年 6 月 22 日、12 月 3 日、平成 31 年 2 月 4 日

1）メンテナンス方法

メンテナンスに際してチェックシートを用意し、次の手順で行った。なお、メンテナンスの作業は、①～⑨を協力会社職員及び電気工が行った。

メンテナンスの手順

①記録器の LED 表示を目視で確認し、システムが正常に動作していることを確認する。

②NTP サーバ（PC）の画面を目視し、時刻が正常であることを確認する。

③データ回収用 PC を PoE ハブに接続し、または NTP サーバ（PC）を用いて、SetupTool で加速度センサーの応答があること、センサーの時刻が正常であることを確認する。

→PC 上で SetupTool を起動

「IP アドレス」の欄にセンサーのアドレスを入力

「時刻」の欄の表記が正確な時刻であることを確認（表示される時刻は UTC（世界標準時刻）のため、日本の時刻より 9 時間遅い時刻を表示）

④センサーの動作確認のため、あらかじめ、毎日 22：00 に定時測定を行うよう設定しておき、メンテナンス日の前日までデータ取得ができていることを確認する。

⑤メンテナンス時に手動設定により、センサーの動作確認を行い、データ取得ができていることを確認する。

⑥試験空洞内及び試験施設に設置している加速度センサー3 台と PoE ハブ 1 台、メディアコンバータのボックス式 1 台の防水養生ケースをあけ、ケースに損傷がないこと、センサーや機器が移動した形跡がないことなど、物理的な影響が与えられていないことを確認する。

⑦上記の防水養生ケースの中で結露がないことを確認する。また、乾燥剤のインジケータを確認し、寿命を迎えた場合など適切な時期に乾燥剤を交換する。

⑧ケーブル類を全長にわたって目視し、テーピングや結束がはがれていないこと、上部にものが載っていないことなど異常がないことを確認する。

⑨ケーブル類が原因で漏電などの電気関係のトラブルが発生した場合、電気工とともに現場に出向き、確認・復旧作業を行う。

2）データ回収方法

データの回収は、地震計のメンテナンスの際に行った。データの回収では、トリガ値の 1 gal を超えているデータがないか確認し、該当しているデータがある場合に回収した。

データの回収は、次の 2 つの手順のいずれかで行った。

【手順 1】回収するデータ数が少ない場合

①NTP サーバ（PC）に USB メモリを接続

②データ保存フォルダのデータを USB メモリにコピー

【手順 2】回収するデータ数が多い場合

①記録器のコンパクトフラッシュカードを初期設定済みの予備のカードと交換

②データ回収用 PC にコンパクトフラッシュカードを USB 接続し、読み取り

③各センサーのフォルダのうち、トリガ値を超えたデータを選択して別のフォルダにコピー

④保存したファイルを EXCEL の変換ファイル（専用ソフト）で変換し、CSV 形式のデータファイルを作成

回収データの仕様を表 3.1-2 に示す。

表 3.1-2　回収データの仕様

項目	仕　様
トリガ条件	マスタとするセンサー（地震計①試験空洞底盤上（入力側））で、XYZ のいずれかが 1gal 以上（マスタ・スレーブ方式）と設定
トリガ引き伸ばし時間	地震検知時間幅　10 秒 （設定時間の幅の間で加速度が正負両方向とも 1gal を超えたときに、その振動を地震動として検知し、データ回収を開始）
プレトリガ時間	トリガ検知前の収集時間　10 秒 （最初に 1gal を超えたところから遡ってデータ回収をする時間）
ポストトリガ時間	地震収束判断時間　60 秒 （最後に 1gal を超えたところから以降のデータ回収をする時間）
サンプリング周波数・時間	周波数　200Hz（1 秒間に 200 データを取得） 時間　　最小で 3 分間（180 秒、36,000 データ）
出力形式	データ変換後、CSV ファイル形式 1 列目に取得時刻、2～4 列目に XYZ の加速度データ（gal）

3）データ整理方法

トリガ値の 1gal を超えている回収データのうち、連続的にデータを取得している場合、地震以外のデータである可能性が高いので、当日の現場作業や KiK-net 六ヶ所・気象庁の地震データの有無と照合し、地震データではないことを確認したうえで、整理するデータのリストから消去した。

地震動のデータを取得している場合、気象庁 Web の地震情報などを活用し、発生時刻、震源地の位置（座標）、震源深さ、マグニチュード、震源地などを付加情報として整理した。また発生時刻については、取得データの記録と大きなずれがないことを確認した。

地震動のデータについては、センサーごとに、加速度時刻歴のグラフを XYZ の順に作成した。

(3) 間隙水圧計計測

計測対象とする間隙水圧計は、過年度に故障により連続計測を実施していない 17 箇所（A-①、A-②、A-③、A-④、B-②、B-④、C-①、C-②、C-③、C-④、D-①、D-②、D-④、E-①、E-④、E-⑤、E-⑧）、代替器による計測を行っている 2 箇所（C-⑤、D-⑥）の計 19 箇所である。代替機で計測を実施している 2 箇所については、現場計測室にて計測値の確認・記録を行った。計測は年 1 回実施した。

実施日：平成 30 年 10 月 9 日～10 月 12 日

1）計測作業方法

a．計測坑 B の計測作業方法

計測坑 B 内に位置している B-1 孔は、試験空洞壁面付近でボーリング孔先端が水理計測断面③に接するように、鉛直から 15° 傾斜（水平から 75° 傾斜）して掘進されている（図 3.1-1 参照）。このボーリング孔に、図 3.1-2 に示すように 5 つのパッカーで 5 つの計測区間を構築し、それぞれの計測区間から坑口まで立ち上げたチューブ内に 5 台の水位計を挿入して水面位置までの圧力水頭を計測した。

これらのうち、機能喪失した箇所に手ばかり水位計を図 3.1-3 のように挿入して水面までの深さを計測し、この深さをボーリング孔の傾斜で補正して水面標高を算出した。

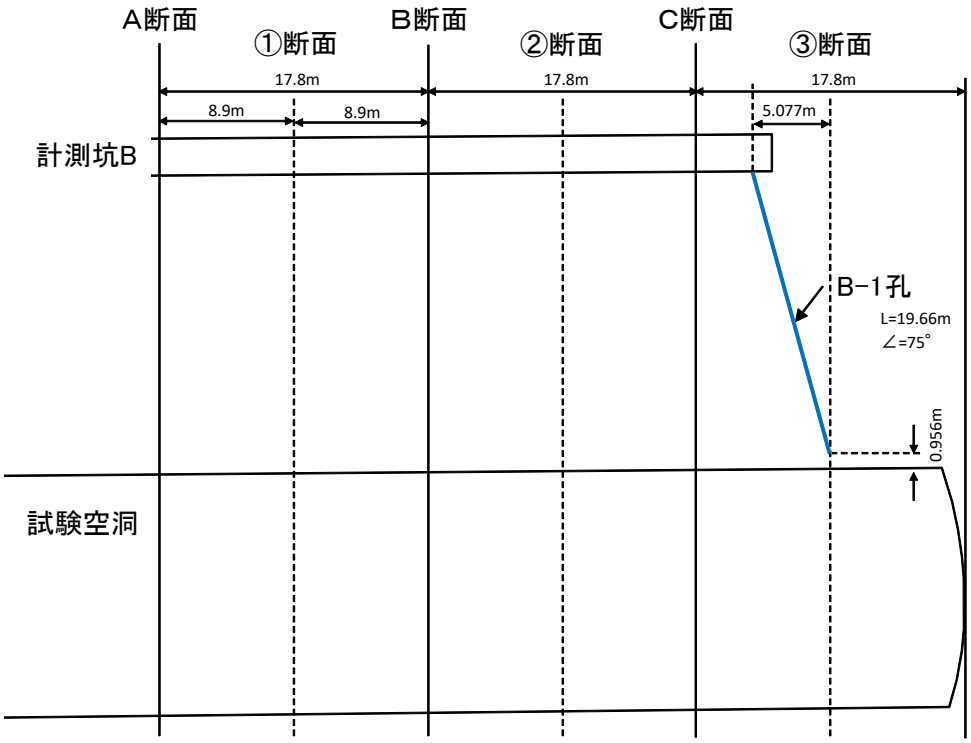


図 3.1-1　B-①孔の配置（試験空洞沿い縦断面図）

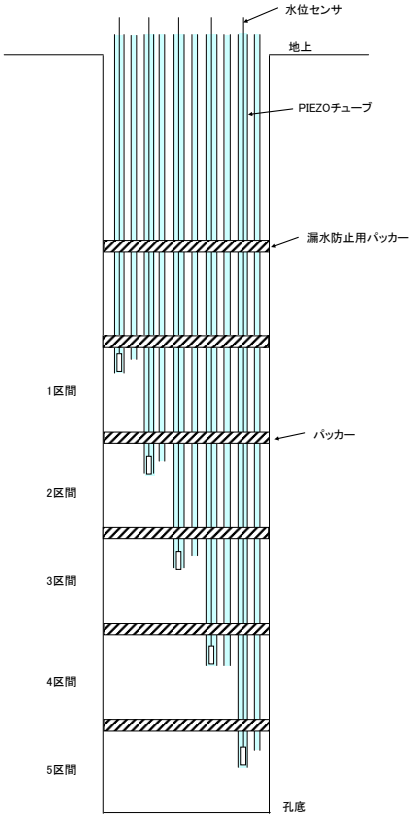


図 3.1-2　計測坑 B の間隙水圧計の概要図

図 3.1-3　手ばかり水位計による水位測定状況

b. 計測坑 B 以外の計測作業方法

計測坑 B 以外（計測坑 A、C 及び試験空洞 D、E）では、図 3.1-4 に示すように各計測区間から導出された圧力計測チューブの先端に、間隙水圧計が設置されている。これらのうち機能喪失した箇所に、準備した圧力計及び圧力表示器を接続して間隙水圧を計測した。使用機器を表 3.1-3 に示す。

水頭換算した計測圧力と圧力計の設置標高から、それぞれの区間の水位を算出した。

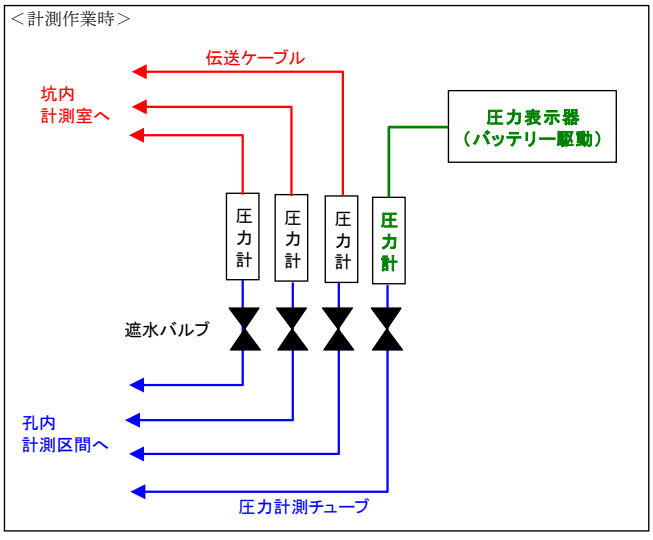


図 3.1-4　計測作業方法の概要

表 3.1-3　使用機器一覧

使用機器	仕様	台数
圧力計	測定レンジ：0～1MPa 精度：±0.1% 出力：4～20mA 電源：12～30VDC	1 台
圧力表示器	電源：バッテリー方式 入力：4～20mA 電源出力：24VDC 表示：圧力表示（測定レンジ対応）	1 台

2）計測作業結果

a．計測坑 A の計測結果

計測坑 A での測定結果を昨年度の測定結果と合わせて表 3.1-4 に示す。また、2017 年 10 月 1 日から 2018 年 10 月 12 日までの間隙水圧の経時変化を図 3.1-5 に示す。

①区間では、昨年の測定時と同様に、チューブ内の水位が口元まで達していないため測定不能であった。A-1 孔の孔口標高が EL-83.55m であることから、①区間の水位はこれより低いと判断された。

②～④区間の測定値はそれぞれ EL-79.87m、EL-80.99m、EL-81.32m であり、昨年 9 月の計測値と比べ、②区間のみ 0.2m 程度上昇したものの、その他は 0.03～0.04m の変動でほぼ同様の値を示した。

昨年度からの間隙水圧の経時変化から、A-1 孔周辺は概ね安定した水位を維持していることが確認された。

表 3.1-4　計測坑 A の計測結果

	孔名/計測区間	孔口標高（EL.m）	センサ設置標高(EL.m)	測定日時		水位（EL.m）	備考
計測坑A	A-1孔　区間①	-83.55	-83.73	昨年度（平成29年度）	9/12 15:10	-	水位低く測定不能（EL-83.55mより低い）
				今年度（平成30年度）	10/10 13:21	-	水位低く測定不能（EL-83.55mより低い）
	A-1孔　区間②	-83.55	-83.73	昨年度（平成29年度）	9/12 15:31	-79.61	
				今年度（平成30年度）	10/10 13:52	-79.87	
	A-1孔　区間③	-83.55	-83.73	昨年度（平成29年度）	9/12 15:52	-80.96	
				今年度（平成30年度）	10/10 14:11	-80.99	
	A-1孔　区間④	-83.55	-83.73	昨年度（平成29年度）	9/12 16:10	-81.36	
				今年度（平成30年度）	10/10 14:28	-81.32	

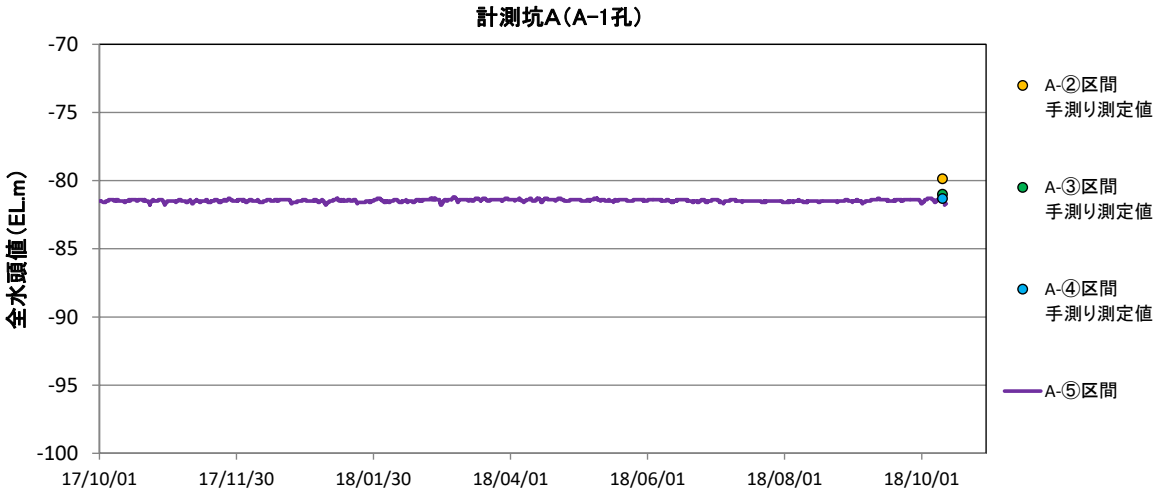


図 3.1-5　計測坑 A の間隙水圧経時変化（2017/10/1～2018/10/12）

b. 計測坑 B の計測結果

計測坑 B での測定結果を昨年度の測定結果と合わせて表 3.1-5 に示す。なお、後述の間隙水圧計の点検によって故障が確認された⑤区間についても別途測定した結果を示した。また、2017 年 10 月 1 日から 2018 年 10 月 12 日までの間隙水圧の経時変化を図 3.1-6 に示す。

B-1 孔の②、④区間の手測りによる測定値は、それぞれ EL-66.57m、EL-71.41m であり、昨年 9 月の計測値と比べて 0.06～0.11m 高い程度であったが概ね同様の値を示した。昨年度からの間隙水圧の経時変化からも、B-1 孔周辺においては安定した水位を維持していることが確認された。

表 3.1-5　計測坑 B の計測結果

	孔名/計測区間	孔口標高（EL.m）	センサ設置標高(EL.m)	測定日時		手測水位（mabh）	水位（EL.m）	備考
計測坑B	B-1孔　区間②	-54.65	-72.39	昨年度（平成29年度）	9/12 13:47	12.45	-66.68	
				今年度（平成30年度）	10/10 10:15	12.34	-66.57	
	B-1孔　区間④	-54.65	-72.39	昨年度（平成29年度）	9/12 13:50	17.41	-71.47	
				今年度（平成30年度）	10/10 10:17	17.35	-71.41	
	B-1孔　区間⑤	-54.65	-72.39	今年度（平成30年度）	10/10 10:19	19.13	-73.13	センサ故障のため手測りにて計測

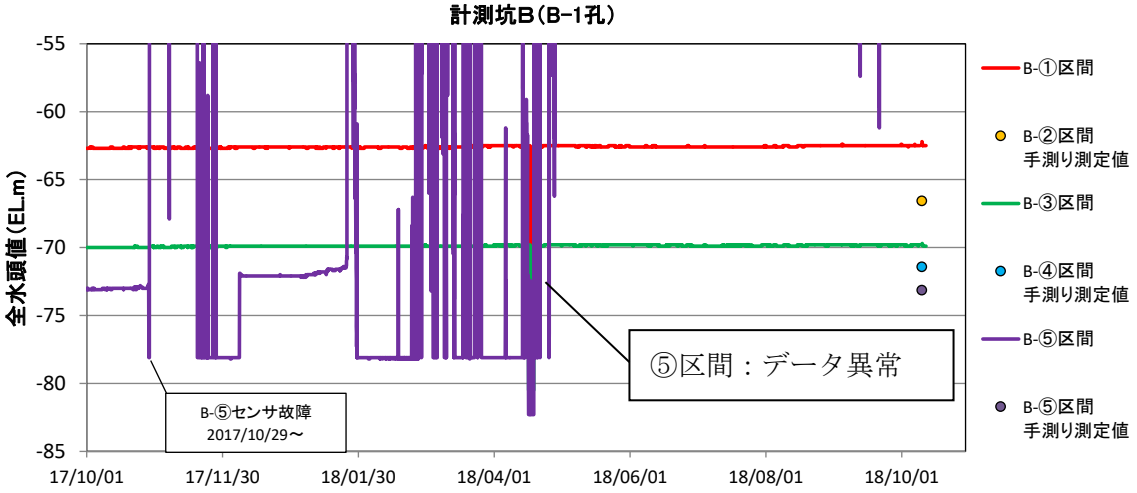


図 3.1-6　計測坑 B の間隙水圧経時変化（2017/10/1～2018/10/12）

c．計測坑 C の計測結果

計測坑 C での測定結果を昨年度の測定結果と合わせて表 3.1-6 に、2017 年 10 月 1 日から 2018 年 10 月 12 日までの間隙水圧の経時変化を図 3.1-7 に示す。

①区間から⑤区間の測定値は、昨年の測定値とほぼ同様で EL-75.50m～EL-81.80m を示し、昨年比で全体に約±0.15m 程度以内の値を示した。

また、C-1 孔全体の水圧分布は、試験空洞に近いほど水位（全水頭）が低い結果となり、昨年と同様の傾向が確認された。

昨年度及び今回測定結果と図 3.1-7 に示した間隙水圧の経時変化からも、C-1 孔周辺は概ね安定した水位を維持していることが確認された。

表 3.1-6　計測坑 C の測定結果

	孔名/計測区間	孔口標高（EL.m）	センサ設置標高(EL.m)	測定日時		水位（EL.m）	備考
計測坑C	C-1孔　区間①	-83.55	-83.45	昨年度（平成29年度）	9/12 16:47	-75.51	
				今年度（平成30年度）	10/10 15:5	-75.45	
	C-1孔　区間②	-83.55	-83.45	昨年度（平成29年度）	9/12 17:11	-80.34	
				今年度（平成30年度）	10/10 15:24	-80.49	
	C-1孔　区間③	-83.55	-83.45	昨年度（平成29年度）	9/12 17:27	-81.70	
				今年度（平成30年度）	10/10 15:36	-81.69	
	C-1孔　区間④	-83.55	-83.45	昨年度（平成29年度）	9/13 9:20	-81.73	
				今年度（平成30年度）	10/10 16:7	-81.82	
	C-1孔　区間⑤	-83.55	-83.45	昨年度（平成29年度）	9/13 9:39	-81.77	代替センサによる計測区間
				今年度（平成30年度）	10/10 16:32	-81.87	代替センサによる計測区間

※計測坑 C の C-1 孔⑤区間については、代替センサーによる計測のため、計測値の確認・記録を行った。

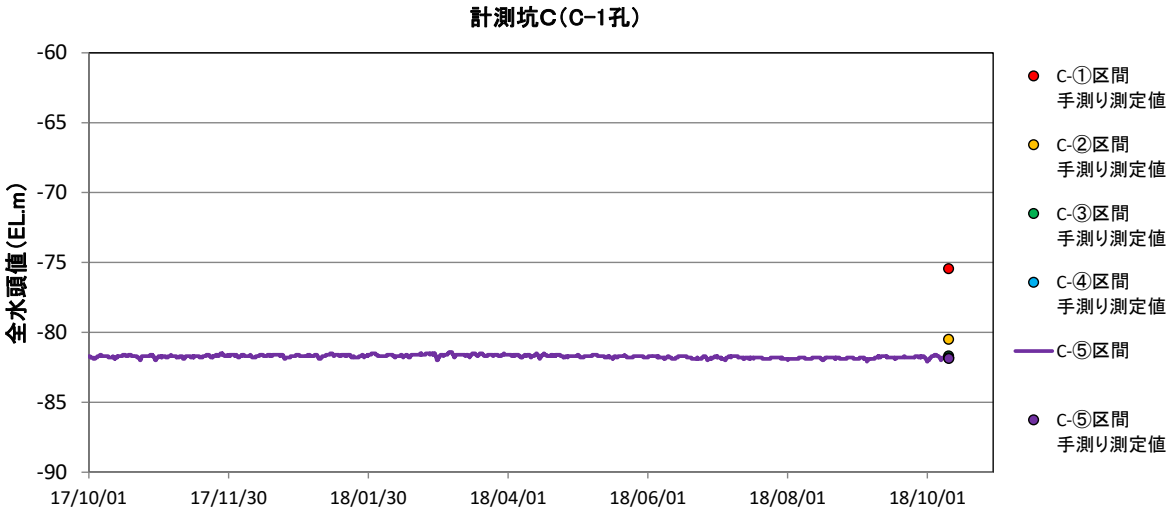


図 3.1-7　計測坑 C の間隙水圧経時変化（2017/10/1～2018/10/12）

d. 試験空洞の計測結果

試験空洞 D-1 孔、E-1 孔での測定結果を昨年度の測定結果と合わせて表 3.1-7 に、間隙水圧の経時変化図を図 3.1-8、図 3.1-9 に示す。

測定の結果、D-1 孔①区間の測定値は EL-89.31m であり、昨年と比べて 0.10m 低い値を示した。一方、D-1 孔②、④、⑥区間の測定値はそれぞれ EL-89.00m、EL-83.59m、EL-77.34m であり、昨年の測定値と比べて 0.38m、0.04m、0.26m 高い値を示した。

また、E-1 孔①、④、⑧区間の測定値は EL-84.66m、EL-83.57m、EL-64.87m であり、昨年とほぼ同様の値を示した。E-1 孔⑤区間の測定は EL-76.67m であり、昨年の測定値と比べて 0.34m の変動が見られた。

以上のように、間隙水圧の測定値は計測地点や深度によって変動傾向が若干異なることが認められた。しかし、間隙水圧の経時変化は 3～4 月に若干高くなり 8～9 月にやや低下する変動をしているものの年間を通して概ね一定であることから、昨年との測定値の違いは季節変動等の影響を受けての変化であり、D-1 孔及び E-1 孔周辺において間隙水圧は概ね安定していることが確認された。

表 3.1-7　試験空洞（D-1 孔、E-1 孔）の計測作業結果

	孔名/計測区間	孔口標高（EL.m）	センサ設置標高(EL.m)	測定日時		水位（EL.m）	備考
試験空洞	D-1孔　区間①	-90.92	-90.2	昨年度（平成29年度）	9/13 10:25	-89.21	
				今年度（平成30年度）	10/11 9:21	-89.31	
	D-1孔　区間②	-90.92	-90.2	昨年度（平成29年度）	9/13 10:44	-89.37	
				今年度（平成30年度）	10/11 9:6	-89.00	
	D-1孔　区間④	-90.92	-89.40	昨年度（平成29年度）	9/13 11:02	-83.59	
				今年度（平成30年度）	10/11 9:42	-83.41	
	D-1孔　区間⑥	-90.92	-89.40	昨年度（平成29年度）	9/13 11:21	-77.34	代替センサによる計測区間
				今年度（平成30年度）	10/11 10:4	-77.33	代替センサによる計測区間
	E-1孔　区間①	-84.40	-89.50	昨年度（平成29年度）	9/13 11:40	-84.65	
				今年度（平成30年度）	10/11 11:17	-84.66	
	E-1孔　区間④	-84.40	-89.50	昨年度（平成29年度）	9/13 13:54	-83.51	
				今年度（平成30年度）	10/11 11:0	-83.57	
	E-1孔　区間⑤	-84.40	-89.50	昨年度（平成29年度）	9/13 14:14	-77.01	
				今年度（平成30年度）	10/11 10:41	-76.67	
	E-1孔　区間⑧	-84.40	-89.50	昨年度（平成29年度）	9/13 15:01	-64.90	
				今年度（平成30年度）	10/11 10:24	-64.87	

※試験空洞 D-1 孔⑥区間については、代替センサーによる計測のため、計測値の確認・記録を行った。

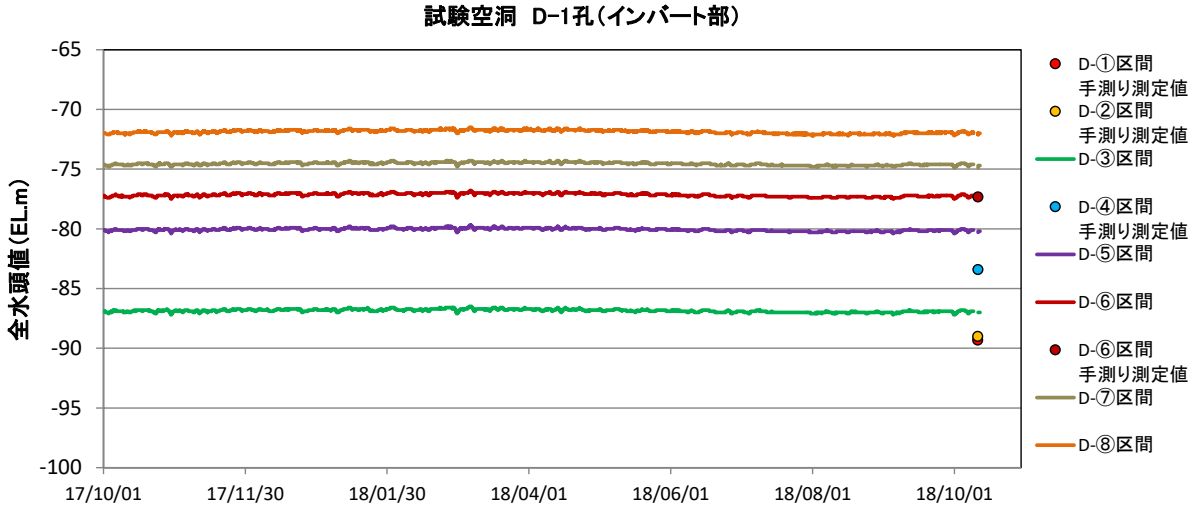


図 3.1-8　試験空洞 D-1 孔の間隙水圧経時変化（2017/10/1～2018/10/12）

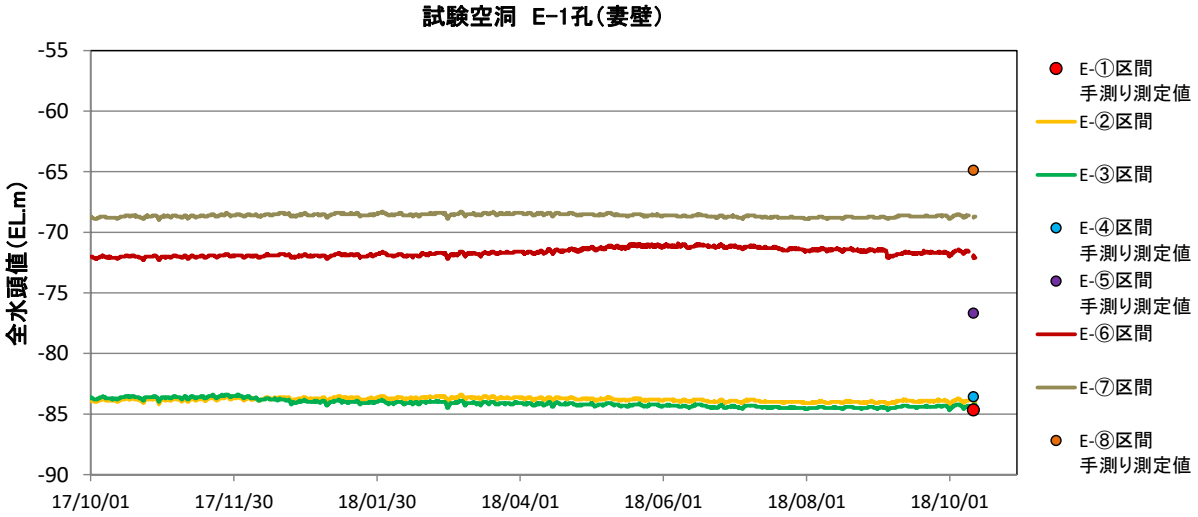


図 3.1-9　試験空洞 E-1 孔の間隙水圧経時変化（2017/10/1～2018/10/12）

(4) ひび割れ調査

1) ひび割れ調査

a. 目的

既存の実規模施設のうち、セメント系材料により施工した試験施設部位のうち上部コンクリートピット、上部低拡散層上部及び側部低拡散層左側のひび割れ状況を把握することを目的に実施した。

b. 対象範囲

平成 30 年度のひび割れ調査における対象範囲を図 3.1-10 に示す。調査対象部位は上部コンクリートピット、上部低拡散層の上部及び側部低拡散層の左側である。なお、図 3.1-10 に示す側部低拡散層の一部（赤枠内、延長 400mm、高さ 2540mm）は、本業務開始前に側部低透水層表面を保護する部材が施工されており、目視観察ができないため、調査対象から除外した。

・側部低拡散層表面（左側）（約 22m²）・・・・・・①

・上部低拡散層の上面（約 40m²）・・・②

・上部コンクリートピット上面（約 3m²）・・・・③

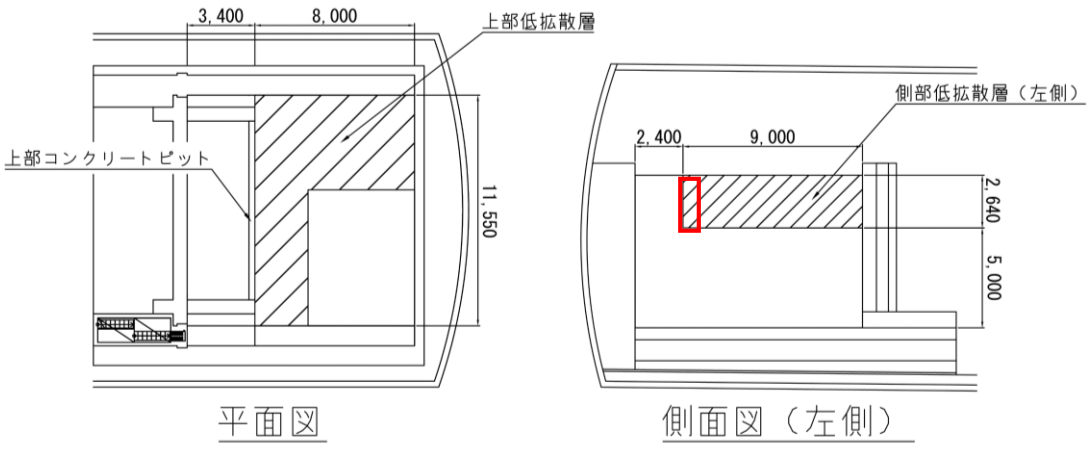


図 3.1-10　調査対象範囲

c．調査方法

今回実施したひび割れ調査の方法を表 3.1-8 に示す。測定に使用するクラックスケールは 0.05mm 単位で計測できるものを使用した。また、ひび割れ幅の測定状況を写真 3.1-1 に示す。ひび割れ幅の測定箇所は、過去の調査時に測定した箇所で実施した。今回の対象部位における使用材料を表 3.1-9 に、上部コンクリートピット、上部低拡散層、側部低拡散層の基本配合をそれぞれ表 3.1-10、表 3.1-11、表 3.1-12 に示す。

表 3.1-8　調査方法の概要

項目	概要	
評価項目	・ひび割れ幅 ・ひび割れの位置（新たなひび割れが認められた場合）	
評価方法	・ひび割れ幅	・1 ヵ所でひび割れ幅が異なる場合は適当な数ヵ所で測定 ・ひび割れに段差がある場合は段差の寸法も記録
	・ひび割れの位置	・巻尺やコンベックスで測定 ・段差が認められた場合もその位置を記録
測定機器	・クラックスケール　品番 58697（シンワ社製）	
測定幅	・0.10 未満は 0.10 未満と表記 ・0.10～1.00 までは 0.05mm 単位でひび割れ幅を測定 ・1.00mm を超える場合は 0.10mm 単位でひび割れ幅を測定	

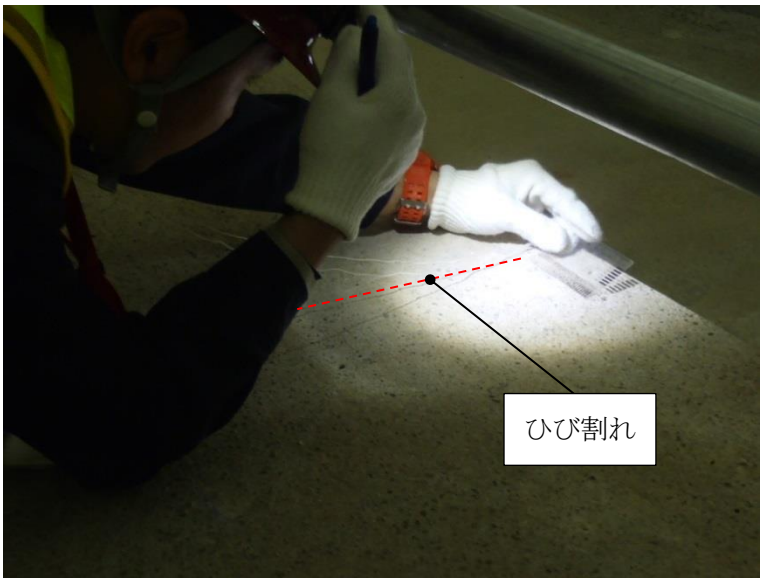


写真 3.1-1　ひび割れ幅の測定状況

表 3.1-9　対象部位における使用材料

材料	記号	概要
セメント	LPC1	低熱ポルトランドセメント（太平洋セメント（株）） 密度=3.22 g/㎝ ³、比表面積=3,490 cm²/g
	LPC2	低熱ポルトランドセメント（太平洋セメント（株）） 密度=3.22 g/cm³、比表面積=3,430 cm²/g
フライアッシュ	FA1	フライアッシュ、Ⅱ種（東北電力（株）能代火力発電所） 密度=2.24g/cm³、比表面積=3,800cm²/g
	FA2	フライアッシュ、Ⅱ種（東北電力（株）能代火力発電所） 密度=2.25g/cm³、比表面積=3,740 cm²/g
膨張材	LEX1	石灰系膨張材､改良型ハイパーエクスパン（太平洋マテリアル（株）） 密度＝3.04 g/cm³
	LEX2	石灰系膨張材､改良型ハイパーエクスパン（太平洋マテリアル（株）） 密度＝3.05 g/cm³
石灰石微粉末	LP1	石灰石微粉末（太平洋セメント（株）熊谷工場） 密度=2.70 g/cm³、比表面積=5,140 cm²/g
	LP2	石灰石微粉末（宮城石灰工業株式会社） 密度=2.72 g/cm³、比表面積=5,420 cm²/g
細骨材	S1	石灰砕砂（八戸松館産）：密度=2.66 g/cm³、FM=2.70
	S2	石灰砕砂（八戸松館産）：密度=2.66 g/cm³、FM=2.75
粗骨材	G	石灰砕石（八戸松館産）：最大粗骨材寸法=20mm、 岩種：石灰岩、密度=2.70 g/cm³
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤、マイティ 3000H（花王（株）） ：カルボキシル基含有ポリエーテル系化合物
	As	フライアッシュ用空気量調整剤 マイクロエア 404（エムエムビー） ：ポリアルキレングリコール誘導体

表 3.1-10　上部低拡散層の配合

W/B (%)	W/P (%)	LP1/B (%)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	使用材料及び単位量 (kg/m³)							
					水 W	粉体 P				S1	G	SP P×%
						結合材 B			LP1			
						LPC1	FA1	LEX1				
45.0	31.0	45.0	65	2.5	230	338	153	20	230	1279	—	0.57

表 3.1-11　上部コンクリートピットの配合

W/B (%)	W/P (%)	LP1/B (%)	s/a (%)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	使用材料及び単位量 (kg/m³)							
						水 W	粉体 P				S1	G	SP P×%
							結合材 B			LP1			
							LPC1	FA1	LEX1				
45.0	30.0	50.0	53.4	65	2.5	160	229	107	20	178	884	780	0.75

表 3.1-12　側部低拡散層（左側）の配合

W/B (%)	W/P (%)	LP2/B (%)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	使用材料及び単位量 (kg/m³)							
					水 W	粉体 P				S2	G	SP P×%
						結合材 B			LP2			
						LPC2	FA2	LEX2				
45.0	31.0	45.0	65	2.5	230	338	153	20	230	1279	—	0.50

d. 各部位の調査履歴

本業務で対象とする側部低拡散層、上部コンクリートピット及び上部低拡散層の調査履歴を表 3.1-13 に示す。今年度 2 回目の調査時点で上部低拡散層は材齢 2191 日、上部コンクリートピットは材齢 2203 日、側部低拡散層は材齢 3365 日であった。

表 3.1-13　対象部位のひび割れ調査履歴

調査日		材齢 （日）		
		上部低拡散層	上部コンクリートピット	側部低拡散層
平成21年度				2009/9/16 打設
	2009. 10. 23			37
	2009. 12. 14			89
平成22年度	2010. 10. 23	―	―	402
平成23年度	2011. 1. 5			476
	2011. 12. 7			812
平成24年度	2012. 3. 13	2012/12/3 打設	2012/11/21 打設	909
平成25年度	2013. 10. 16	317	329	1491
平成26年度	2014. 2. 14	438	450	1612
	2014. 6. 22	566	578	1740
	2014. 12. 2	729	741	1903
平成27年度	2015. 9. 4	1005	1017	2179
	2015. 12. 2	1094	1106	2268
平成28年度	2016. 8. 4	1340	1352	2514
	2016. 12. 14	1472	1484	2646
平成29年度	2017. 8. 7	1708	1720	2882
	2017. 12. 6	1829	1841	3003
平成30年度	2018. 8 23	2089	2101	3263
	2018. 12 3	2191	2203	3365

e. 調査結果

(a) 上部コンクリートピット及び上部低拡散層

上部コンクリートピット及び上部低拡散層はそれぞれ 2012 年 11 月、2012 年 12 月に施工され、その後も年 2 回程度の継続的に調査が行われている。過去のひび割れ履歴図を図 3.1-12 から図 3.1-16 に、本年度の調査結果を図 3.1-17 と図 3.1-18 に示す。

なお、それぞれの図において、灰色でハッチングされている部分は平成 25 年度に実施した上部埋戻し材の施工確認試験によって埋没した箇所を示している。

本年の調査結果では、上部低拡散層上面で、これまで 0.20~0.30mm で推移していたひび割れが、0.10mm に閉じていた。これは、平成 30 年 10 月 9 日から 12 日にかけて実施した光ファイバセンサーを用いたひび割れ計測試験において、上部低拡散層に人為的なひび割れを発生させた影響であると考えられる。図 3.1-11 に示すように、人為的なひび割れを発生させる際に、上部低拡散層のひび割れを閉じる方向に加力している。

なお、人為的に発生させたひび割れについては、本調査の対象外としている。

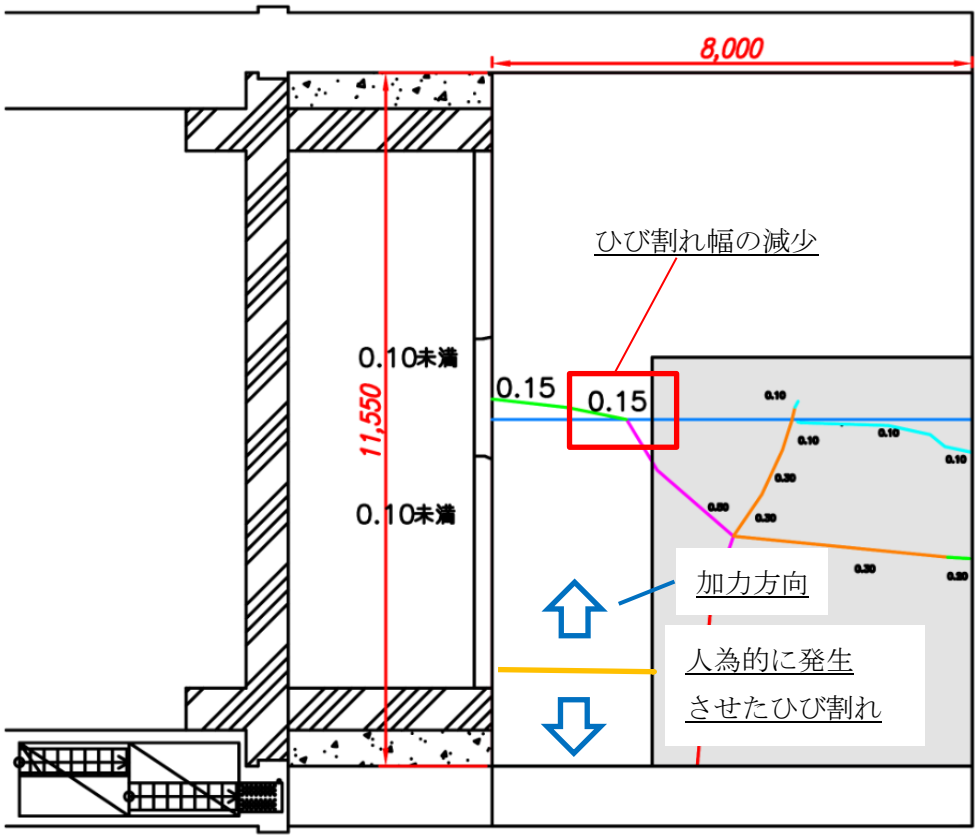
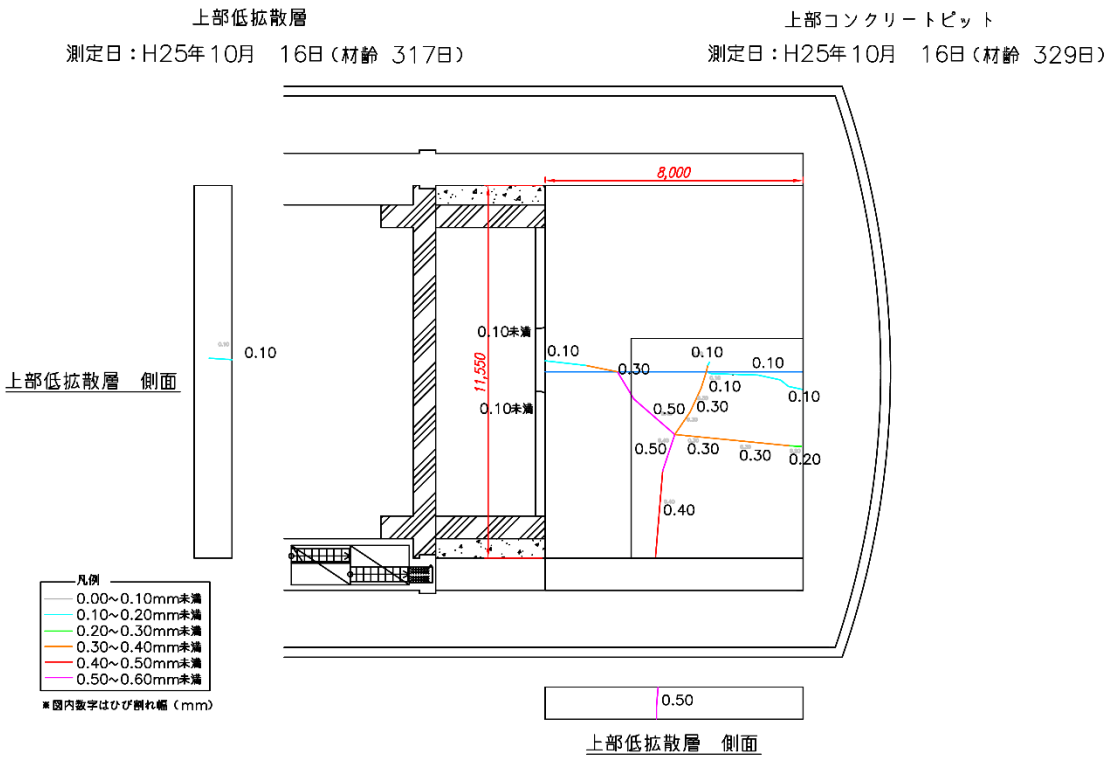


図 3.1-11 上部低拡散層と人為的に発生させたひび割れの関係



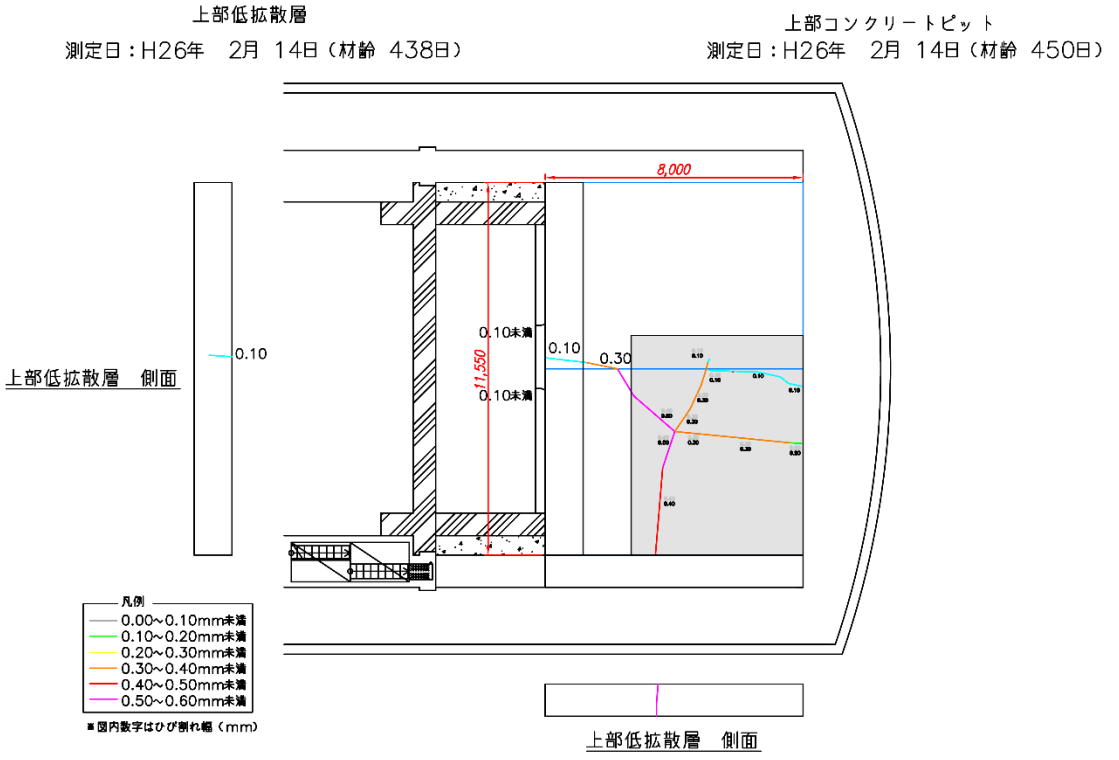


図 3.1-12　上部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 1）

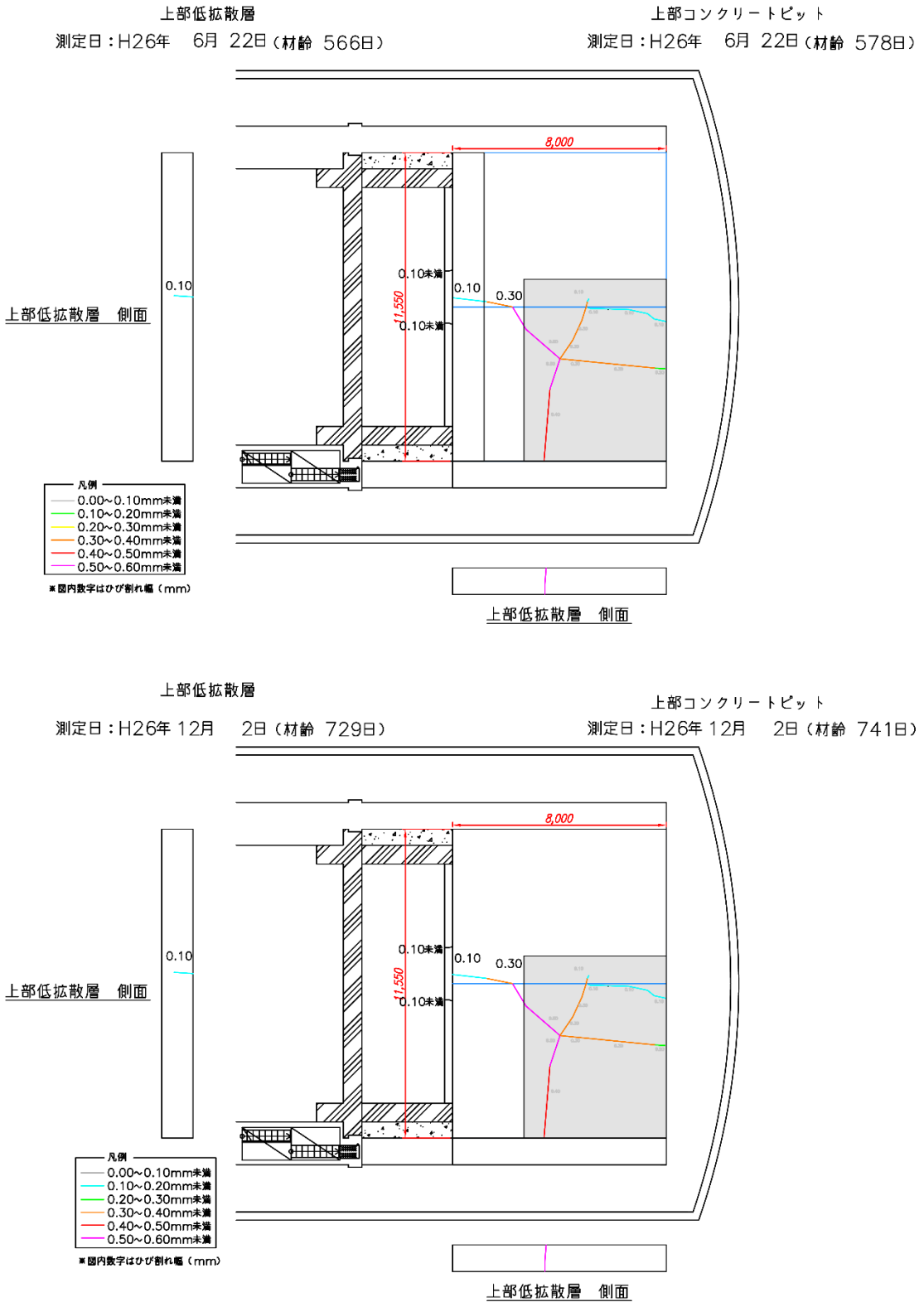


図 3.1-13　上部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 2）

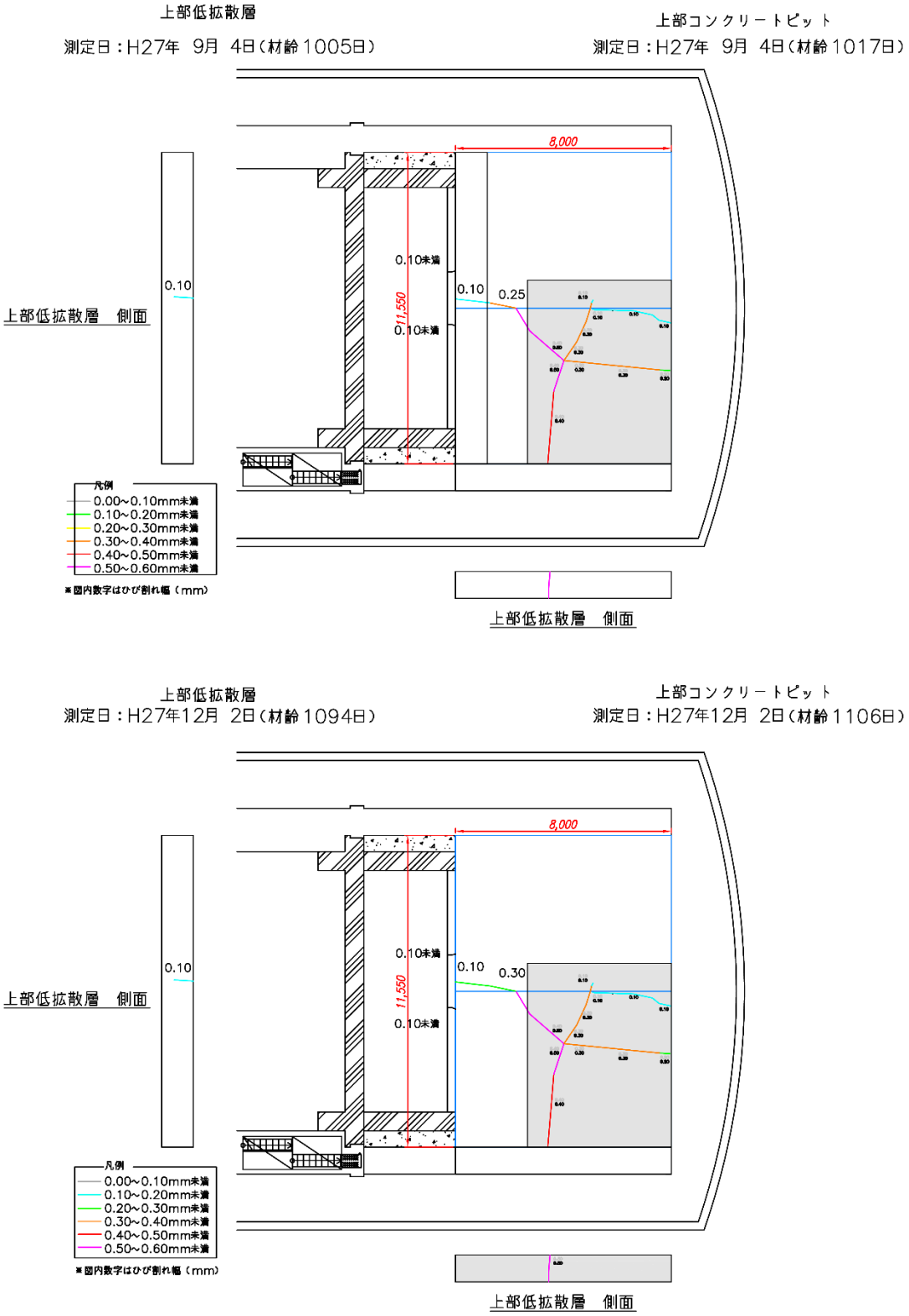
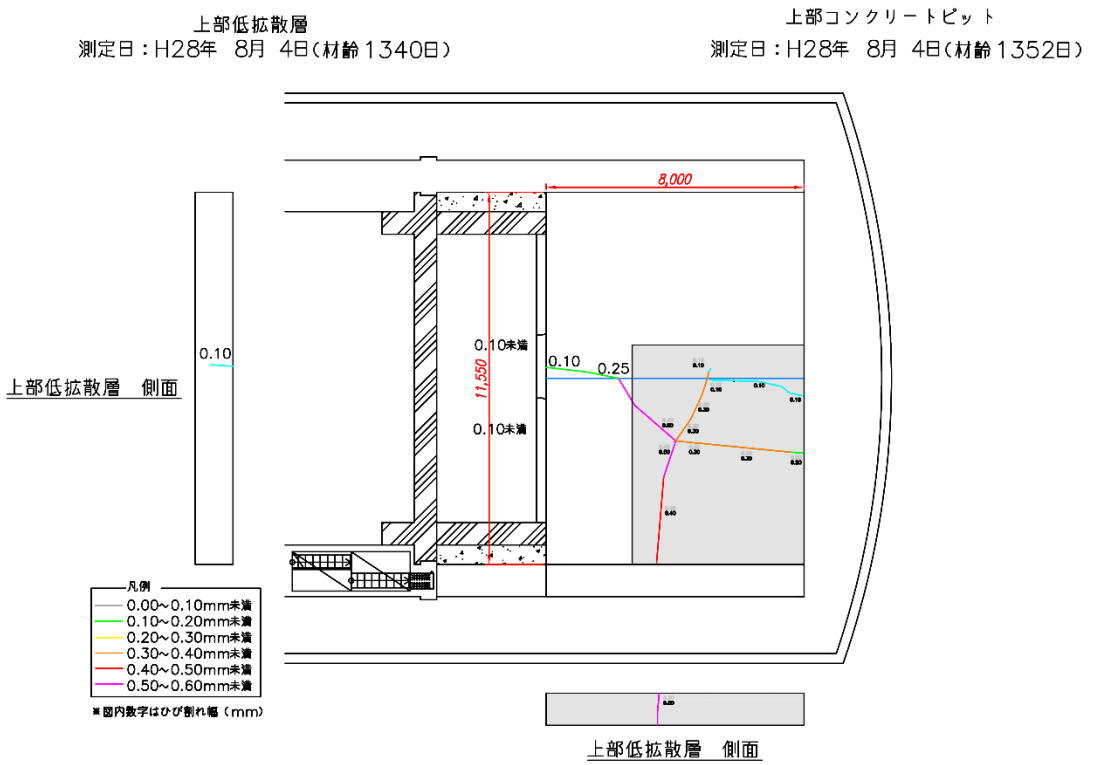


図 3.1-14 上部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 3）



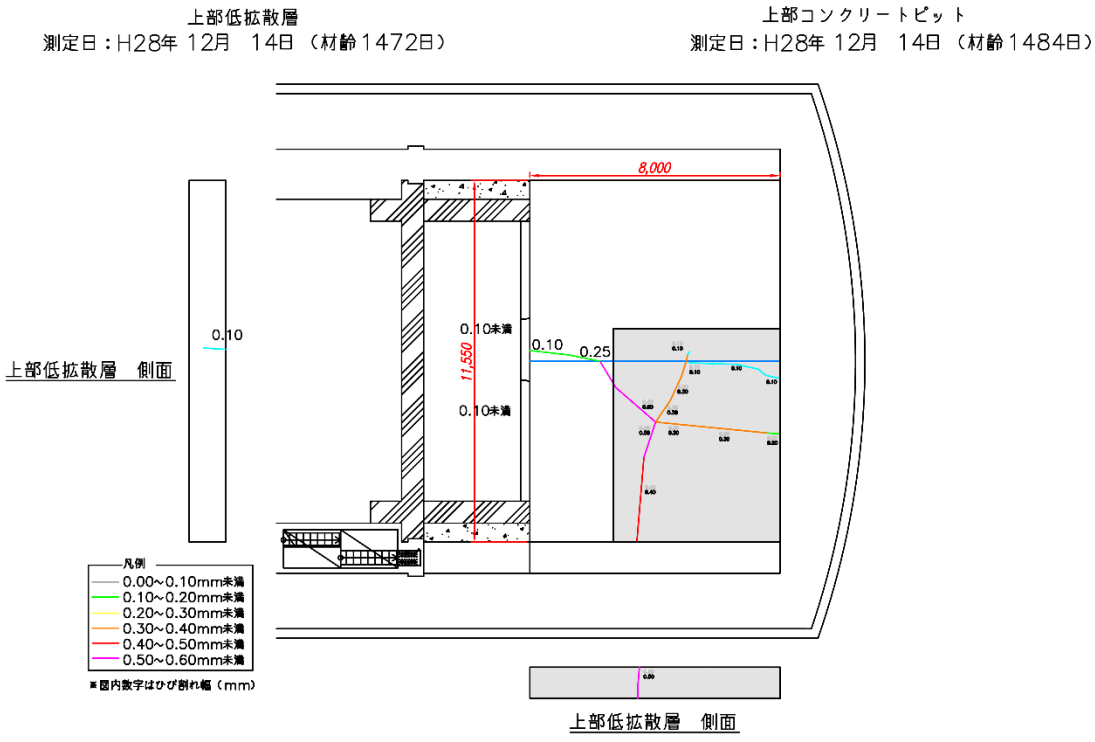
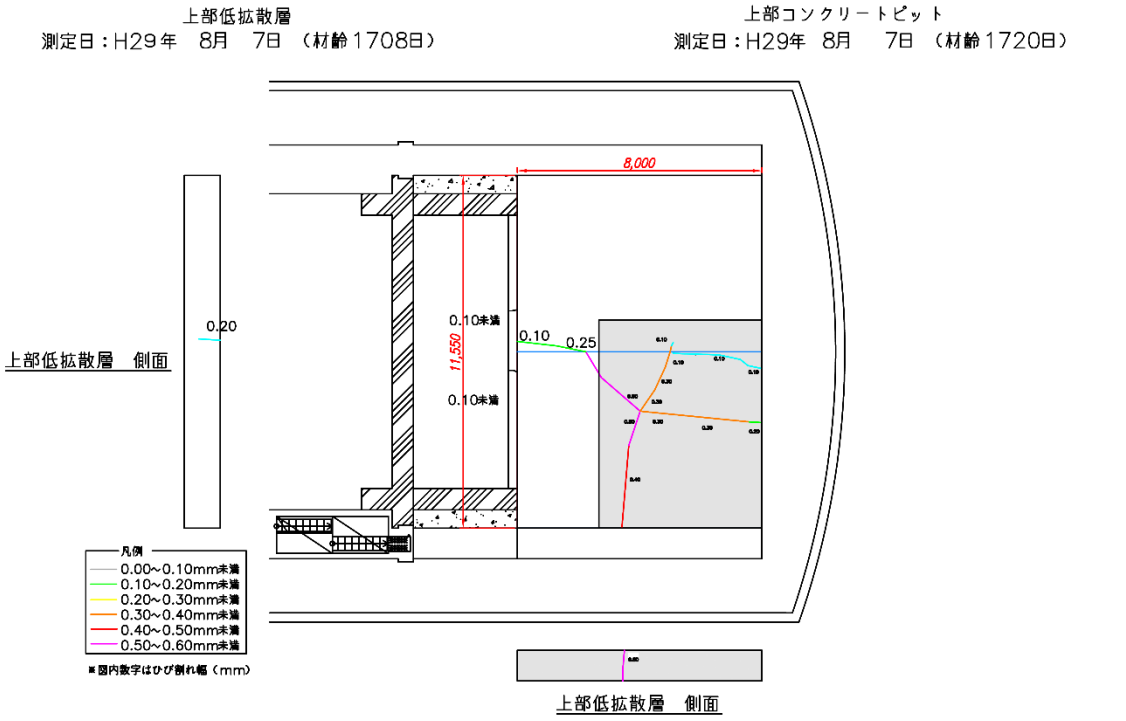


図 3.1-15　上部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 4）



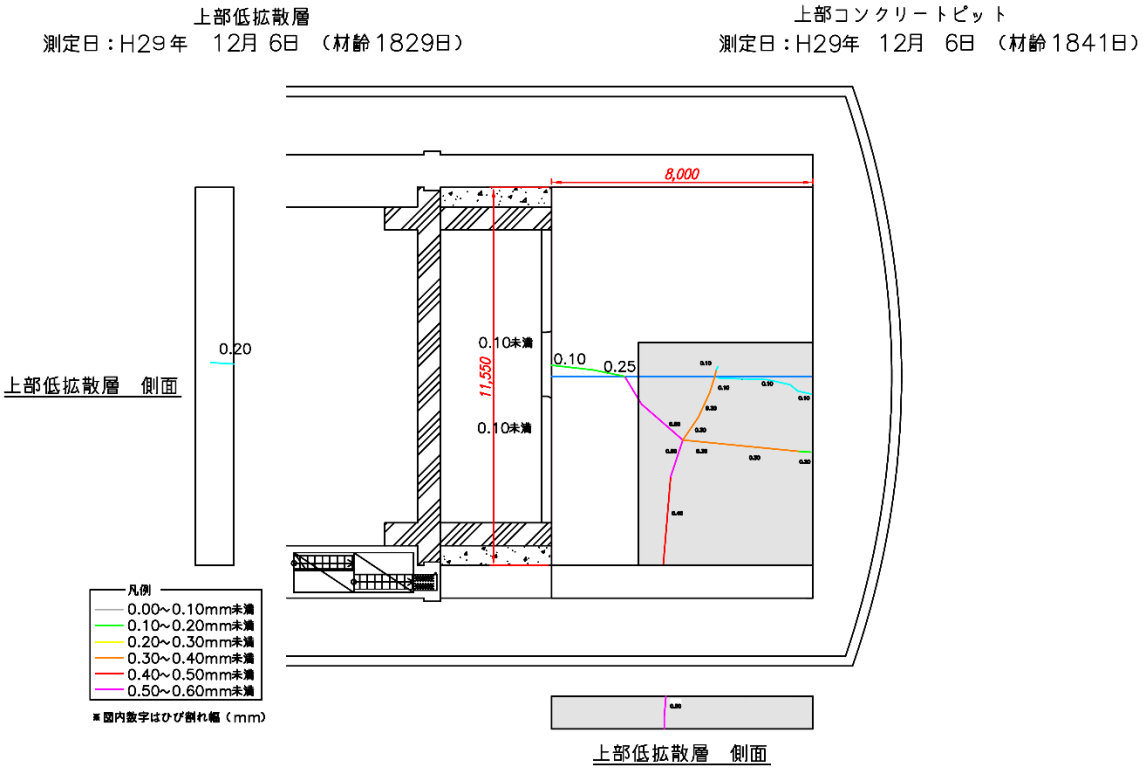


図 3.1-16　上部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 5）

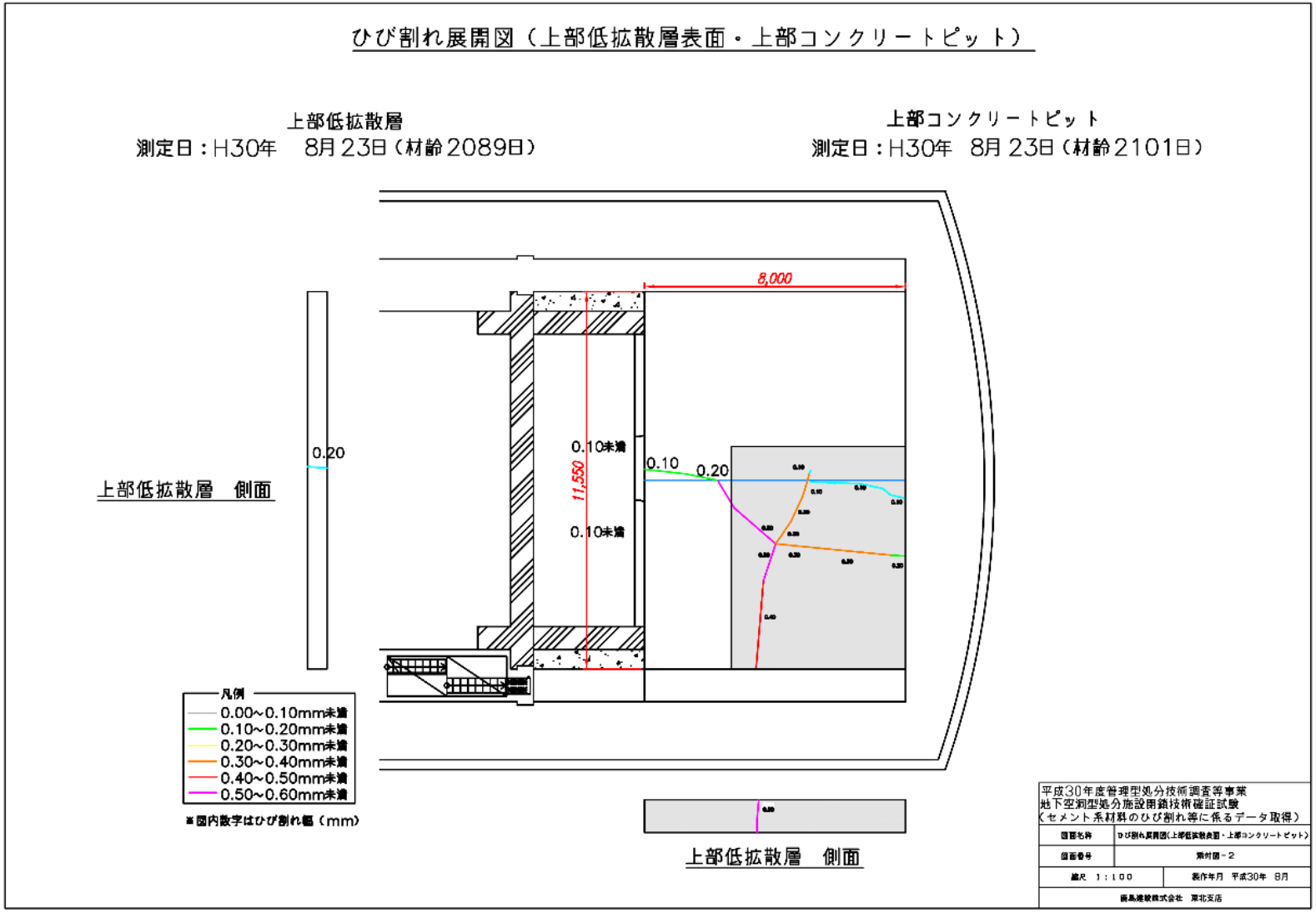


図 3.1-17　平成 30 年度第 1 回上部コンクリートピット及び上部低拡散層の調査結果

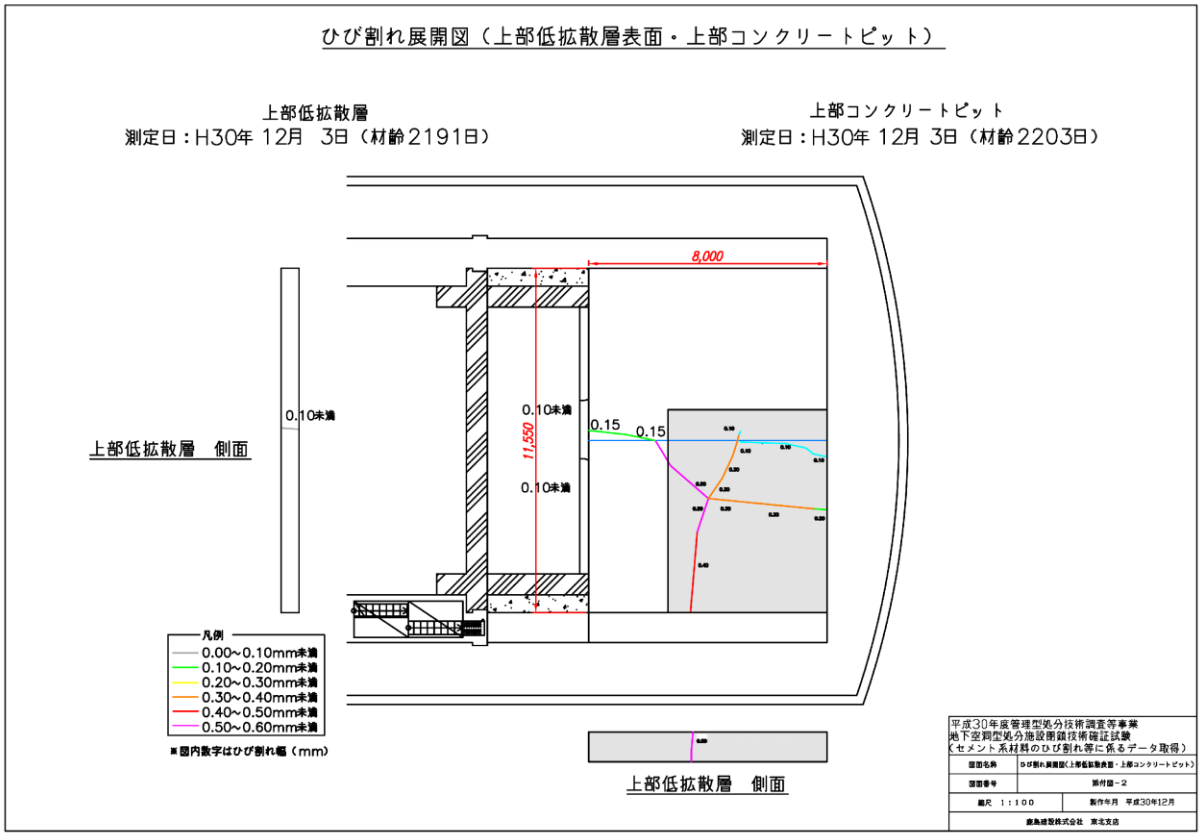


図 3.1-18　平成 30 年度第 2 回上部コンクリートピット及び上部低拡散層の調査結果

(b) 側部低拡散層左側

側部低拡散層は 2009 年 9 月に施工され、その後も年 2 回程度の継続的な調査が行われている。これまでのひび割れの履歴を図 3.1-19 から図 3.1-24 に、本年度の調査結果を図 3.1-25、図 3.1-26 に示す。

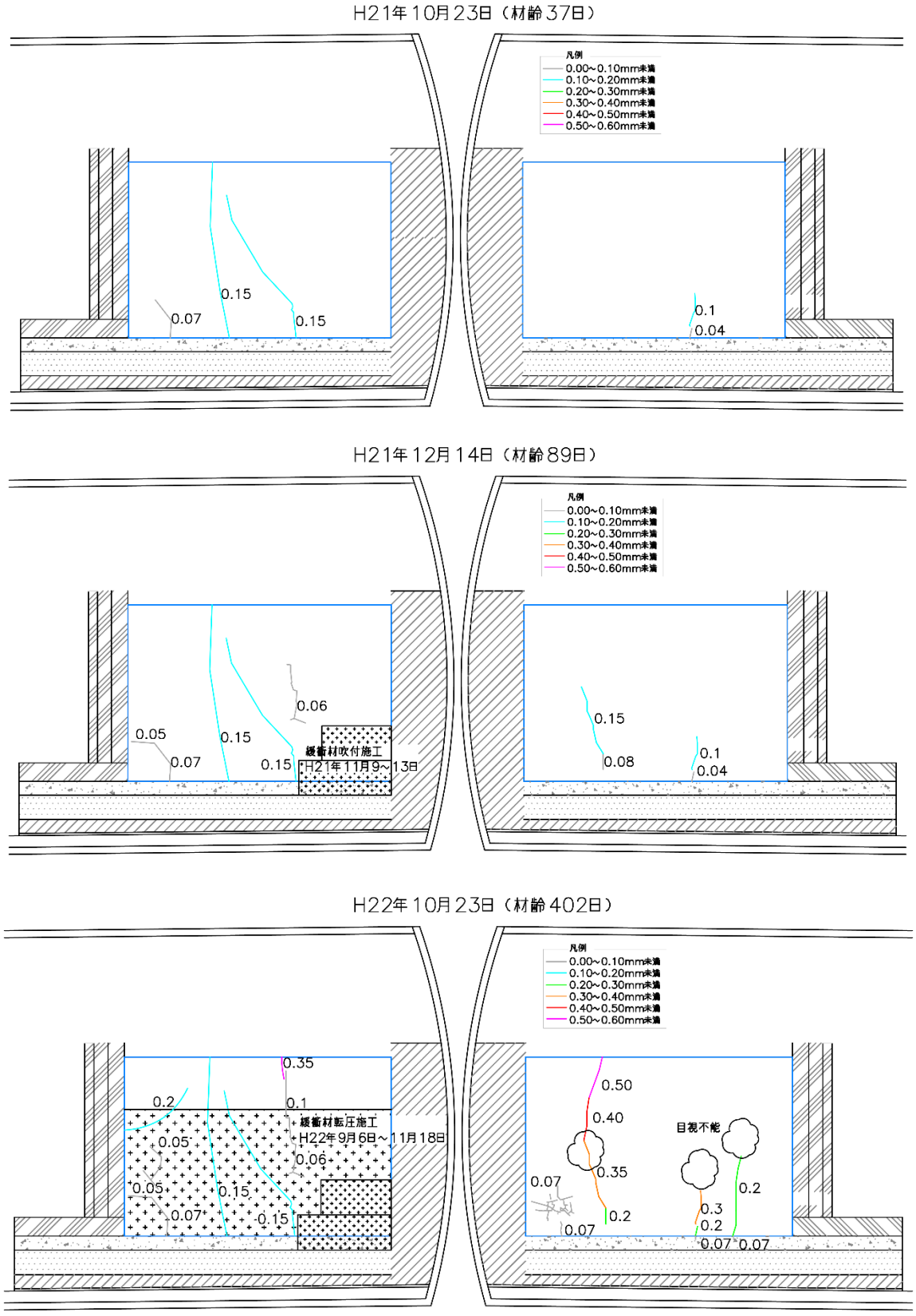


図 3.1-19　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 1）

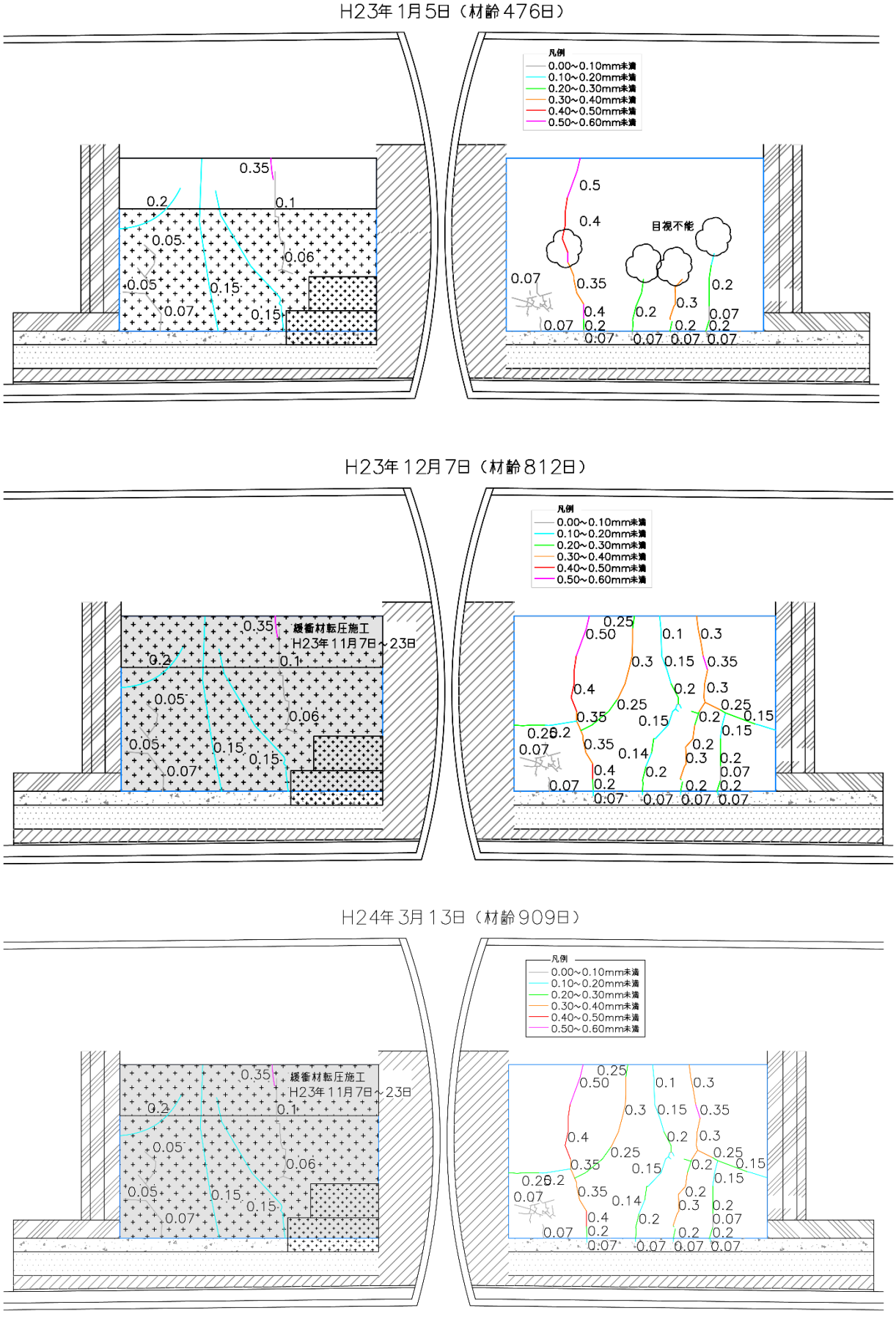
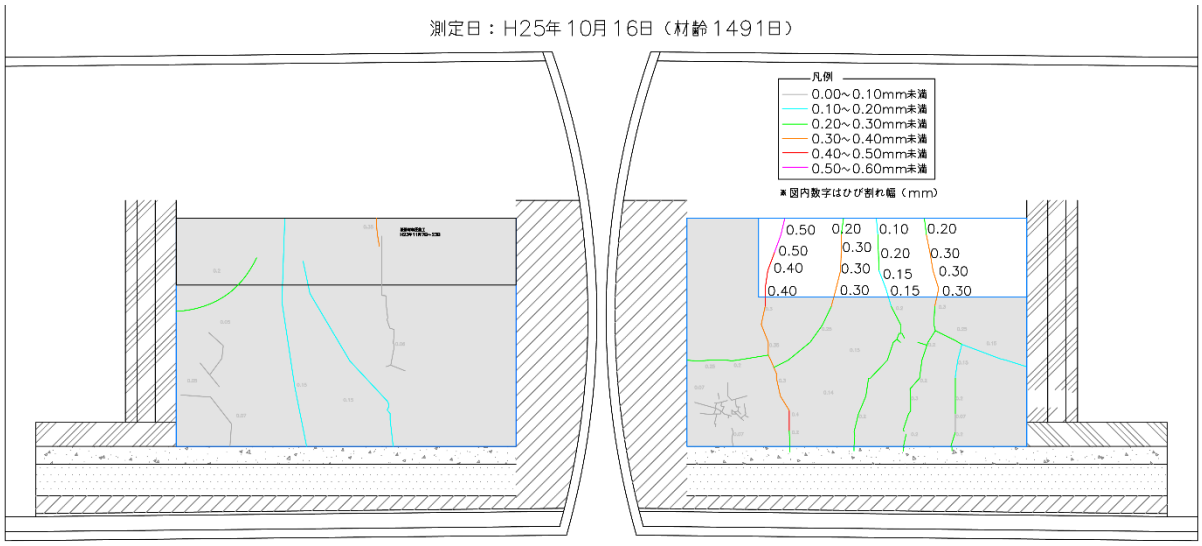
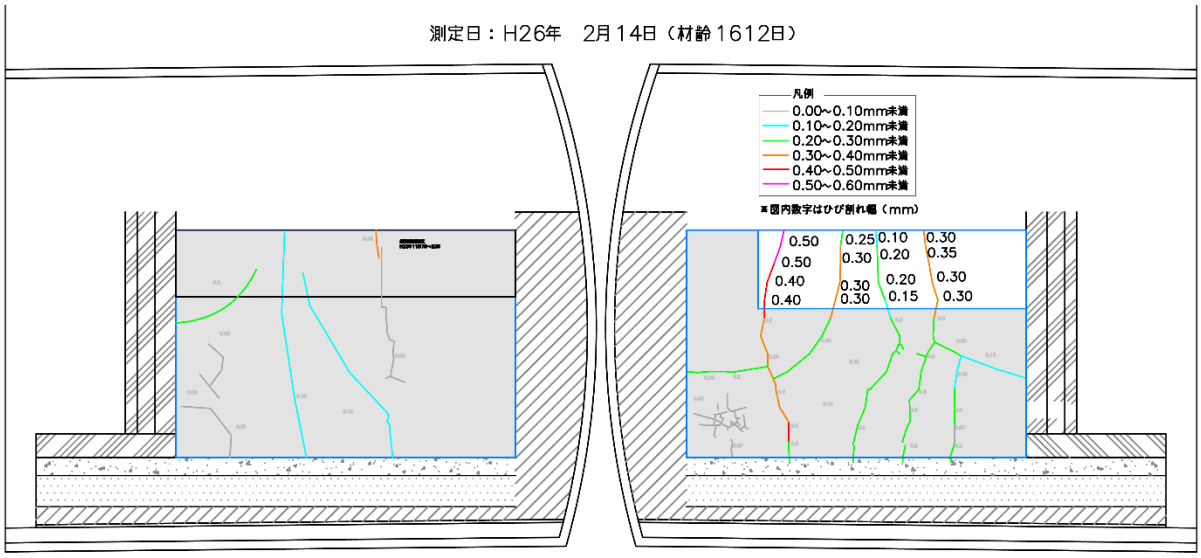


図 3.1-20　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 2）





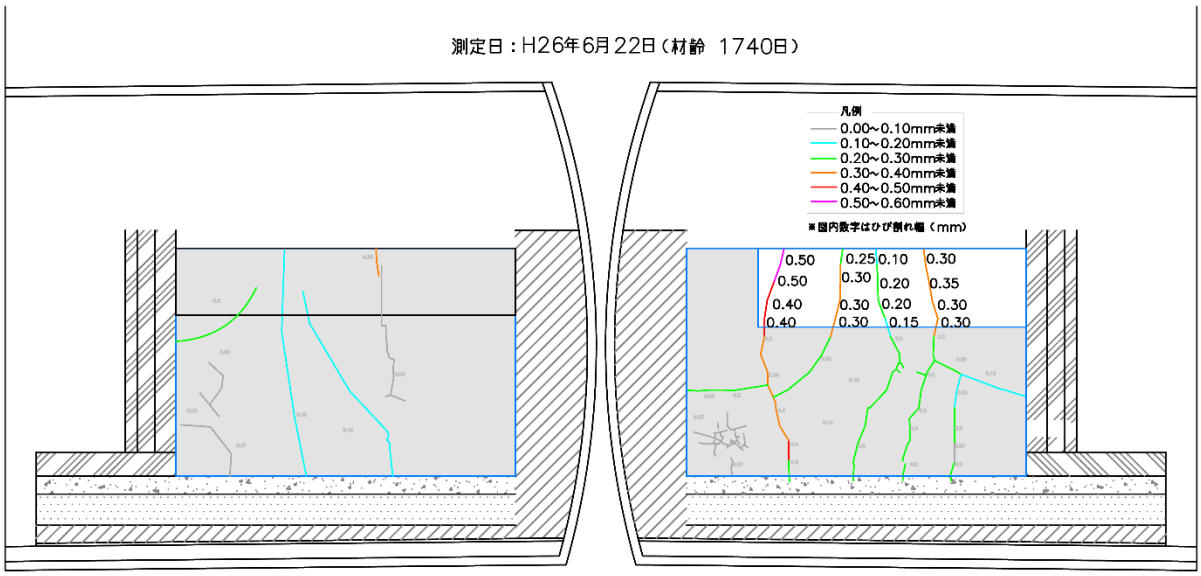


図 3.1-21　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 3）

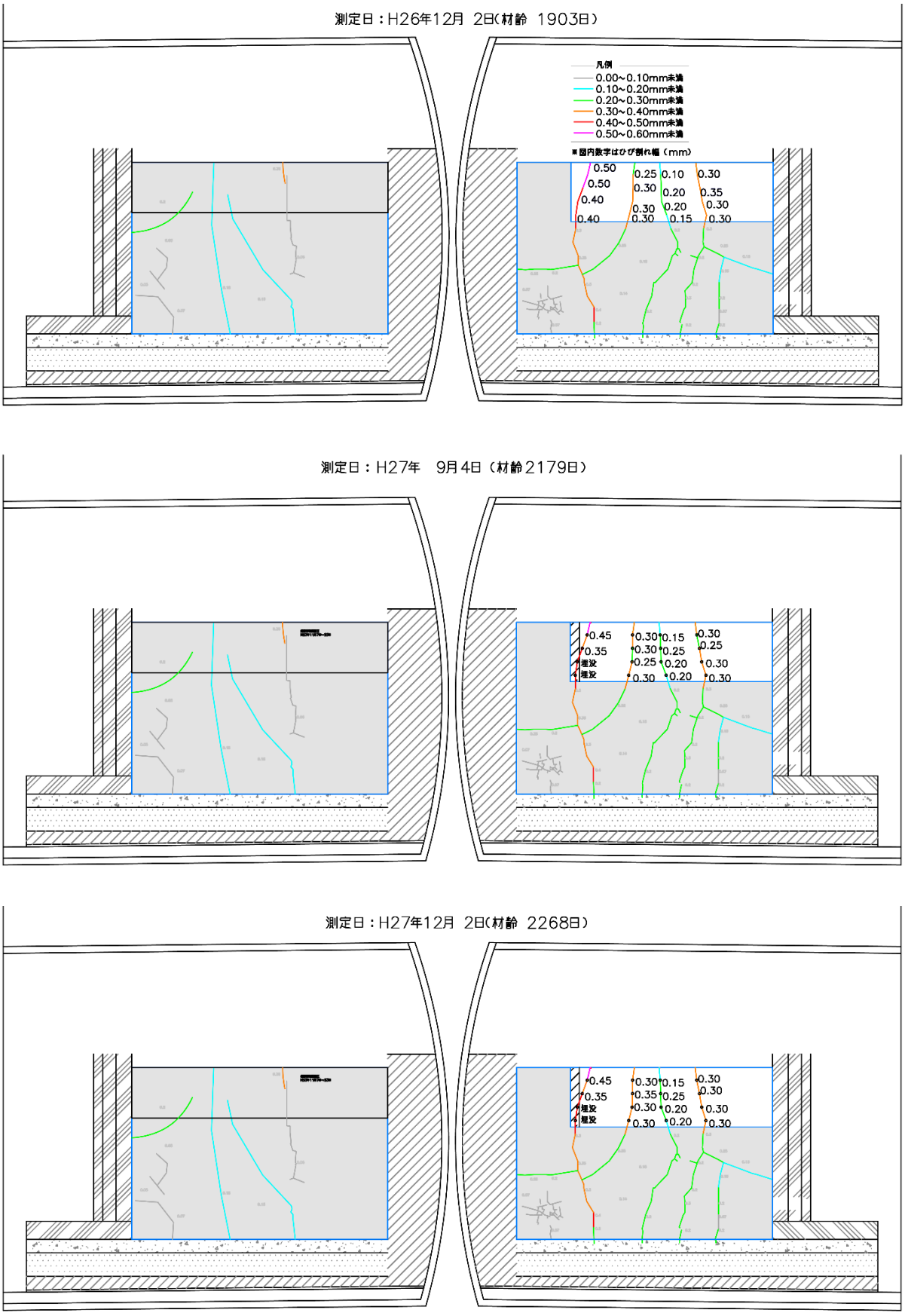


図 3.1-22 側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 4）

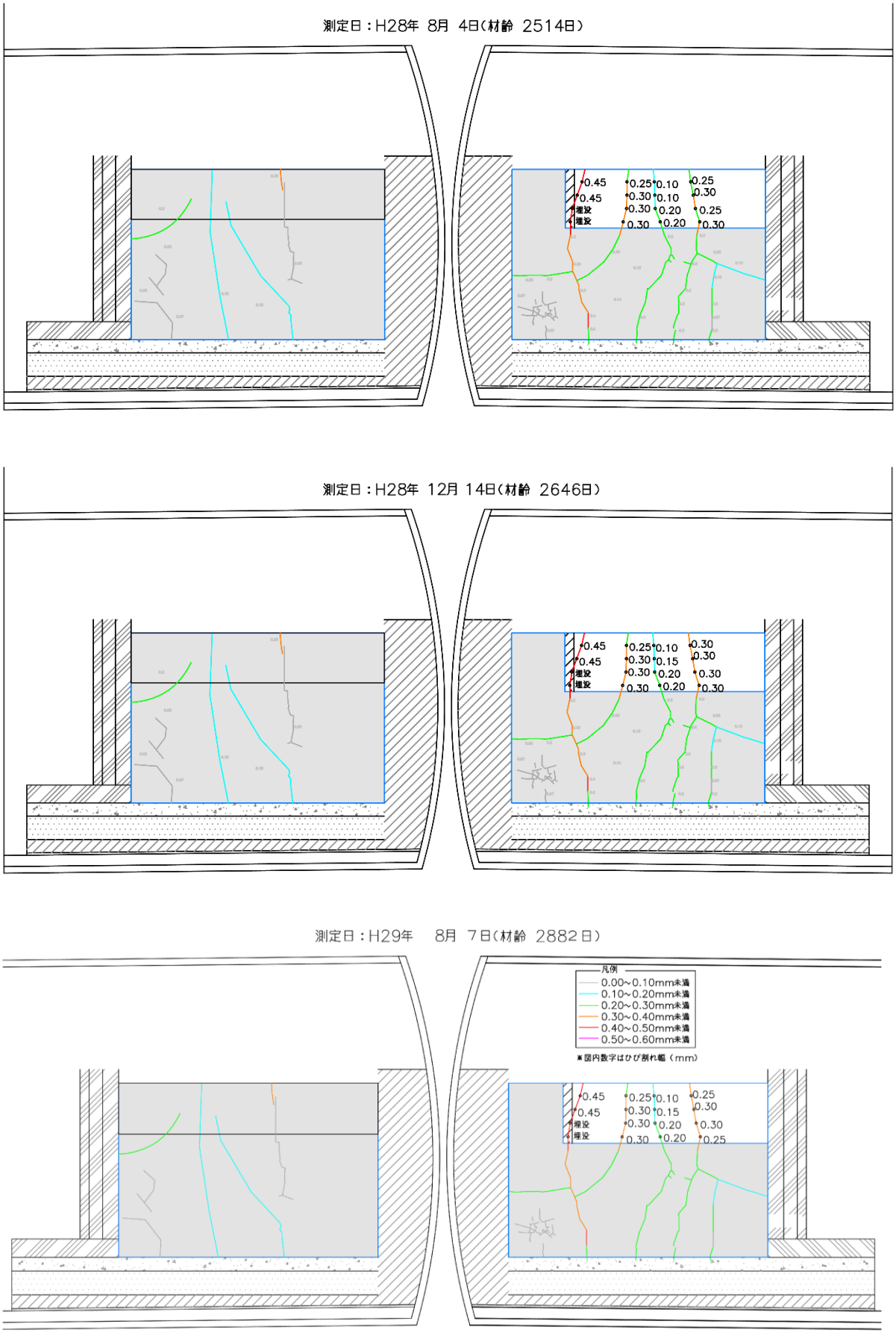


図 3.1-23　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 5）

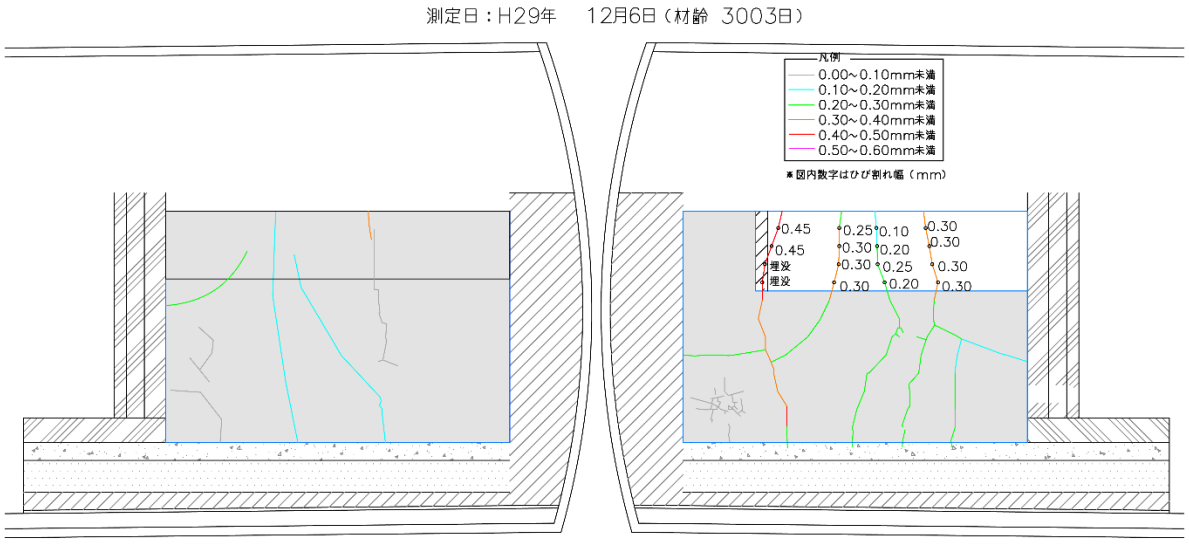


図 3.1-24　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 6）

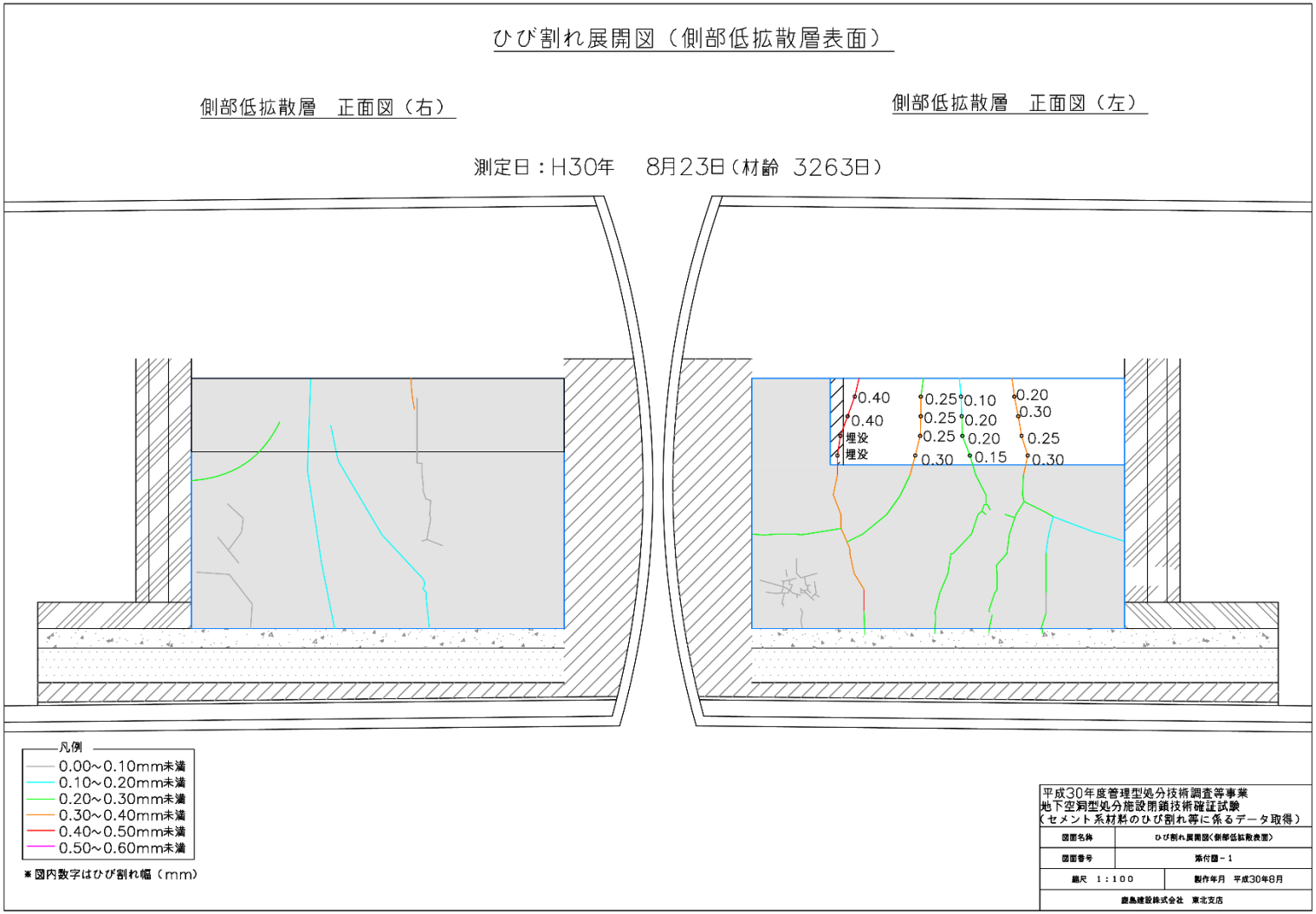


図 3.1-25　平成 30 年度第 1 回側部低拡散層の調査結果

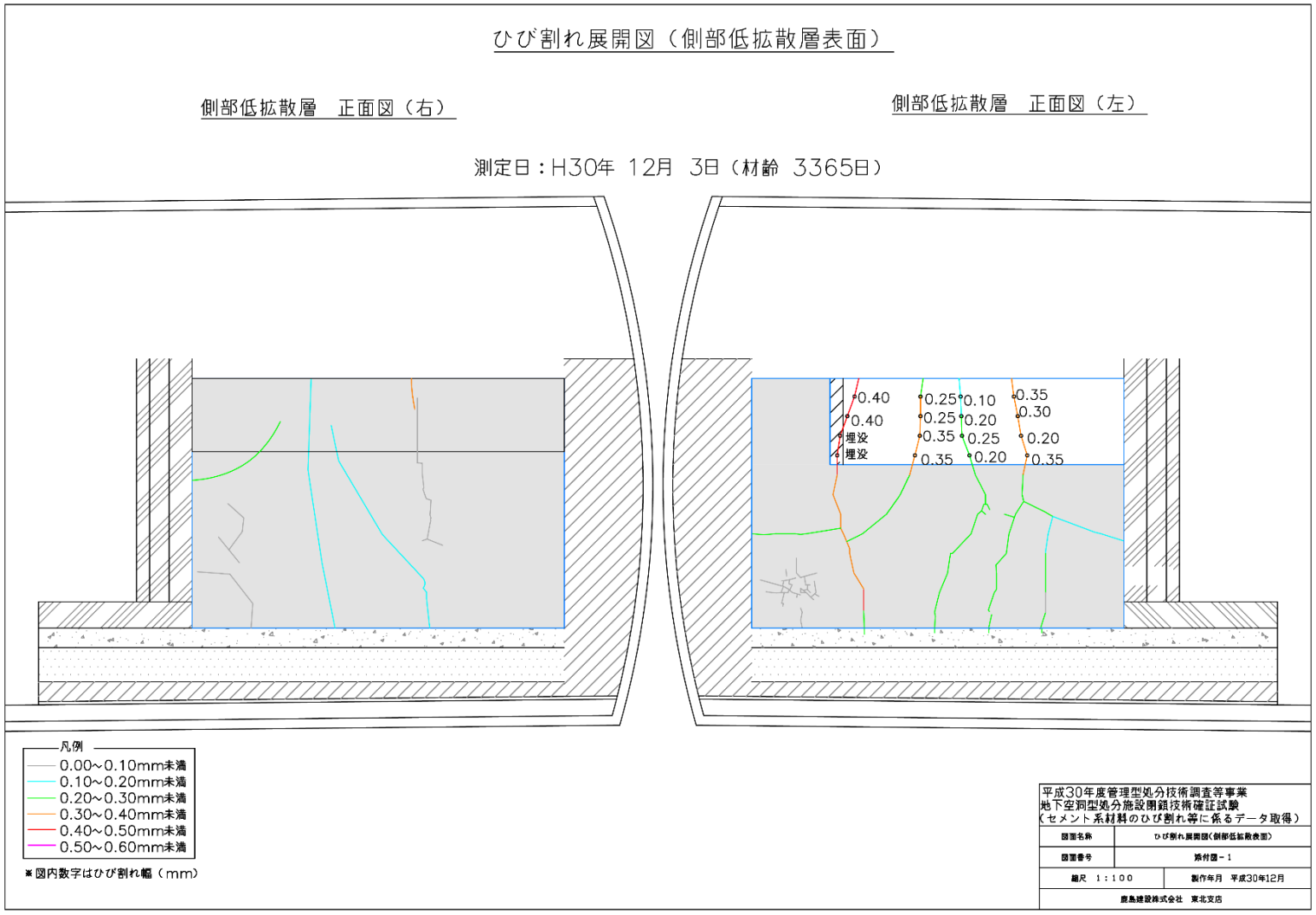


図 3.1-26　平成 30 年度第 2 回側部低拡散層の調査結果

f．まとめ

(a) 上部低拡散層及び上部コンクリートピット

平成 28 年 12 月 14 日の計測時から、平成 30 年 12 月 3 日においてひび割れ幅の増大や進展、新たなひび割れの発生は確認されなかった。但し、上部低拡散層の上面では、これまで 0.20~0.30mm で推移していたひび割れが、0.10mm に閉じていた。これは平成 30 年 10 月 9 日から 12 日にかけて実施した光ファイバセンサーによるひび割れ計測試験による影響であると考えられる。

(b) 側部低拡散層

上部低拡散層及び上部コンクリートピット上面と同様に、平成 28 年 12 月 14 日の計測時から、平成 30 年 12 月 3 日においてひび割れ幅の増大や進展、新たなひび割れの発生は確認されなかった。このため、ひび割れの進展は収束したと判断できる。

2）底部低拡散層 BTV 観察

a．目的

底部低拡散層ひび割れ観測は、平成 20 年度に施工された底部低拡散層の施設挙動計測を目的としたものである。同層は高い拡散抑制機能を保持することが要求される。このため、本試験において同部材の施工後、外部拘束や乾燥収縮等による初期ひび割れ及び重量物の積載等によるひび割れの発生状況を把握する必要がある。そこで、平成 20 年度に底部低拡散層に水平ボーリングを削孔し、毎年１～２回の割合で、ボーリング孔内部のひび割れ観察を行ってきた。平成 20～21 年度の調査ではひび割れは確認されなかったが、平成 22 年度の調査で初めてひび割れ発生（深度 5.772m 及び深度 11.295m）が報告され、平成 23 年度の調査でも新たなひび割れ（深度 8.642m）が確認された。また、平成 24 年度の調査で、深度 11.295m のひび割れに滲み出しが確認され、平成 25 年度以降は同ひび割れの滲み出しは確認されなかった。しかし、平成 28 年度の調査では、深度 11.1m 以深の滲み出しと深度 13.7m 以深の溜まり水が確認され、平成 29 年度の調査では、深度 6.3m 以降での滲み出しと深度 9.5m 以深での溜まり水が確認された。

今回は、これらのひび割れの追跡調査と新規ひび割れの有無の確認を目的とした。

b．試験実施日

平成 30 年 12 月 3 日（月）

c．BTV 観察

(a) 試験概要

平成 20 年度に底部低拡散層で掘進したボーリング孔を用いて、BTV によりひび割れ観測を行った。観測の結果、ひび割れが認められた箇所について、そのひび割れデータを取得するとともに、ひび割れの状況を図化した。本年度は昨年度まで実施していた BTV 側壁観察装置に加え、前方視カメラを用いたボーリング孔観察を新たに実施した。

(b) ひび割れ観察孔位置

ボーリング孔の位置を図 3.1-27、図 3.1-28 に示す。水平位置は底部低拡散層中心から左へ 1,875mm である。鉛直位置は、厚さ 600mm の底部低拡散層上端より 250mm 下、下端より 350mm 上である。BTV 側壁観察装置では、カメラ設置位置より前方プローブ長分（0.17m）を除く、15.03m の観察を実施した。前方視カメラではボーリング孔先端の 0.17m を観察した。

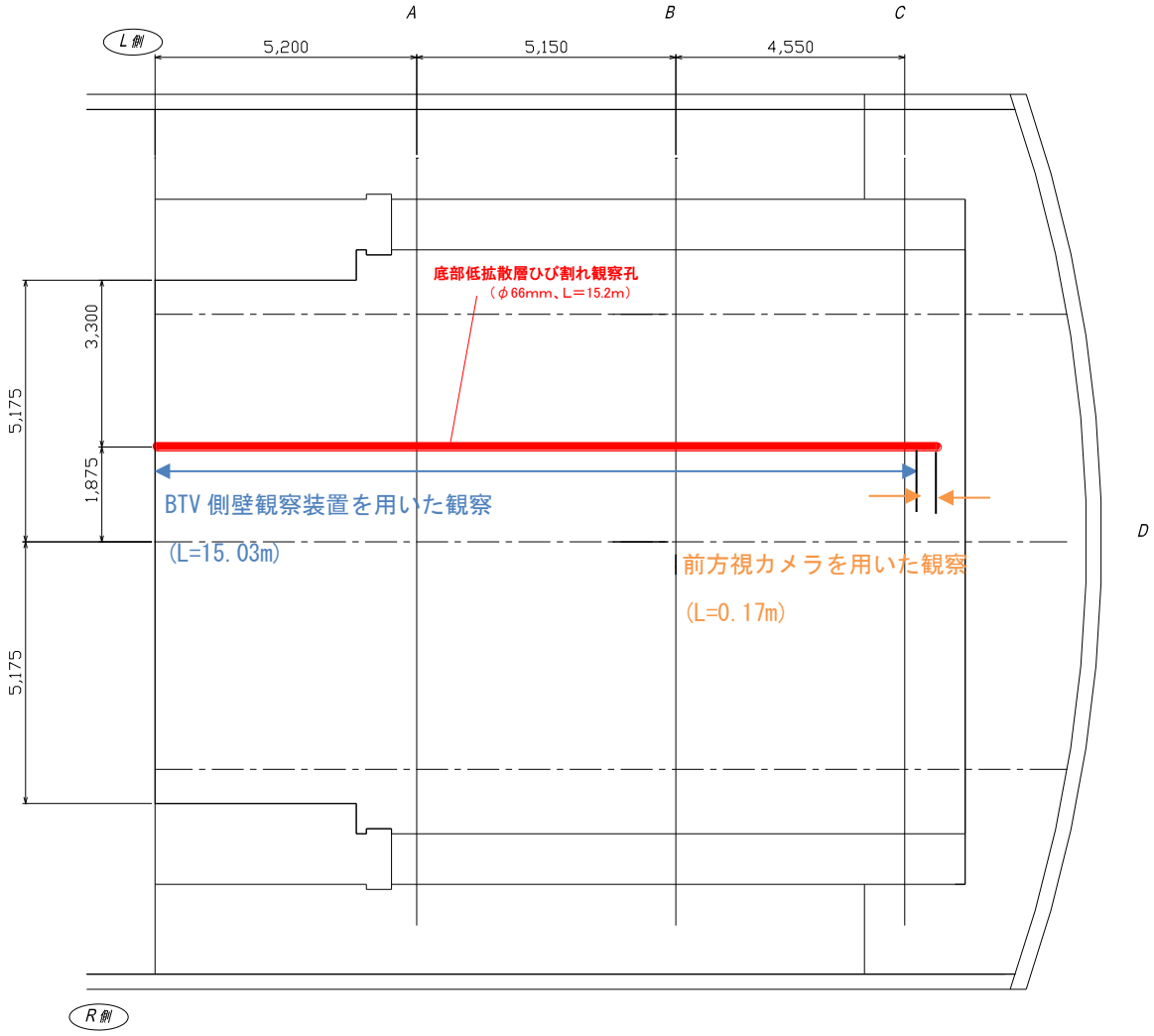


図 3.1-27　BTV 観察孔水平位置図

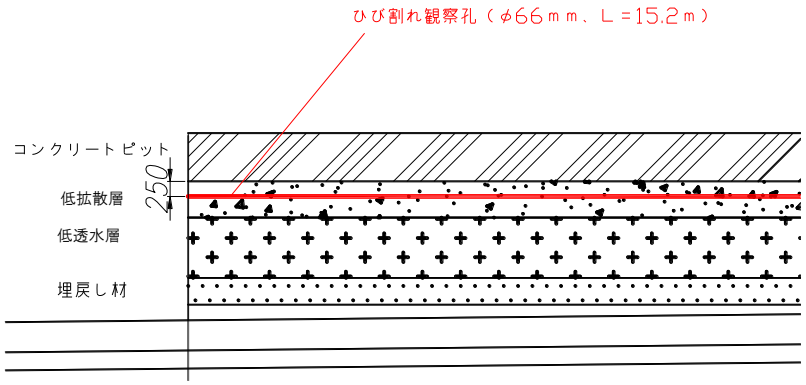


図 3.1-28　BTV 観察孔鉛直位置図

(c) BTV を用いたボーリング孔側壁観察

a）観察装置

BTV 観察に先立って、平成 20 年度に孔口保護用に設置した鋼板を取り外した。ボーリング孔壁のひび割れ観察は下記仕様に基づいて行った。BTV 装置による観察後、孔壁展開画像の表示及び亀裂の幾何学性状のデータ整理も行うシステムを用いた。

［ボアホール観察 BIP-6 システム（レアックス）概略仕様］

プローブ径：　φ50mm

画像観察記録：孔壁全周を連続的に定方位観察可能

孔方向：全方向可能（鉛直孔、水平孔、傾斜孔）

観察速度：21m／時間（0.35m／分）

測定可能な最小ひび割れ幅（＝1 ピクセルの空間分解能）：0.1mm

図 3.1-29　BTV 観察装置

本年度の試験では、より細かなボーリング孔のひび割れを確認するため、昨年度まで使用していたシステム（BIP-V システム：分解能 0.25mm）より高解像度である BIP-6 システム（分解能 0.1mm）を使用した。

BIP-6 システムは、孔内画像観察記録及び解析システムを統合したもので、選択したツールに応じて孔内を可視化する装置である。ツールにはデジタル可視イメージ、ライブビデオイメージ、超音波イメージの 3 種類があり、本調査ではデジタル可視イメージツールを選択した。デジタル可視イメージツールは ODS プローブ（Optical Digital Scanner、以下 ODS という）と呼ばれ、孔壁 360°の定方位連続展開画像をフルカラー・デジタル記録が可能なツールである。

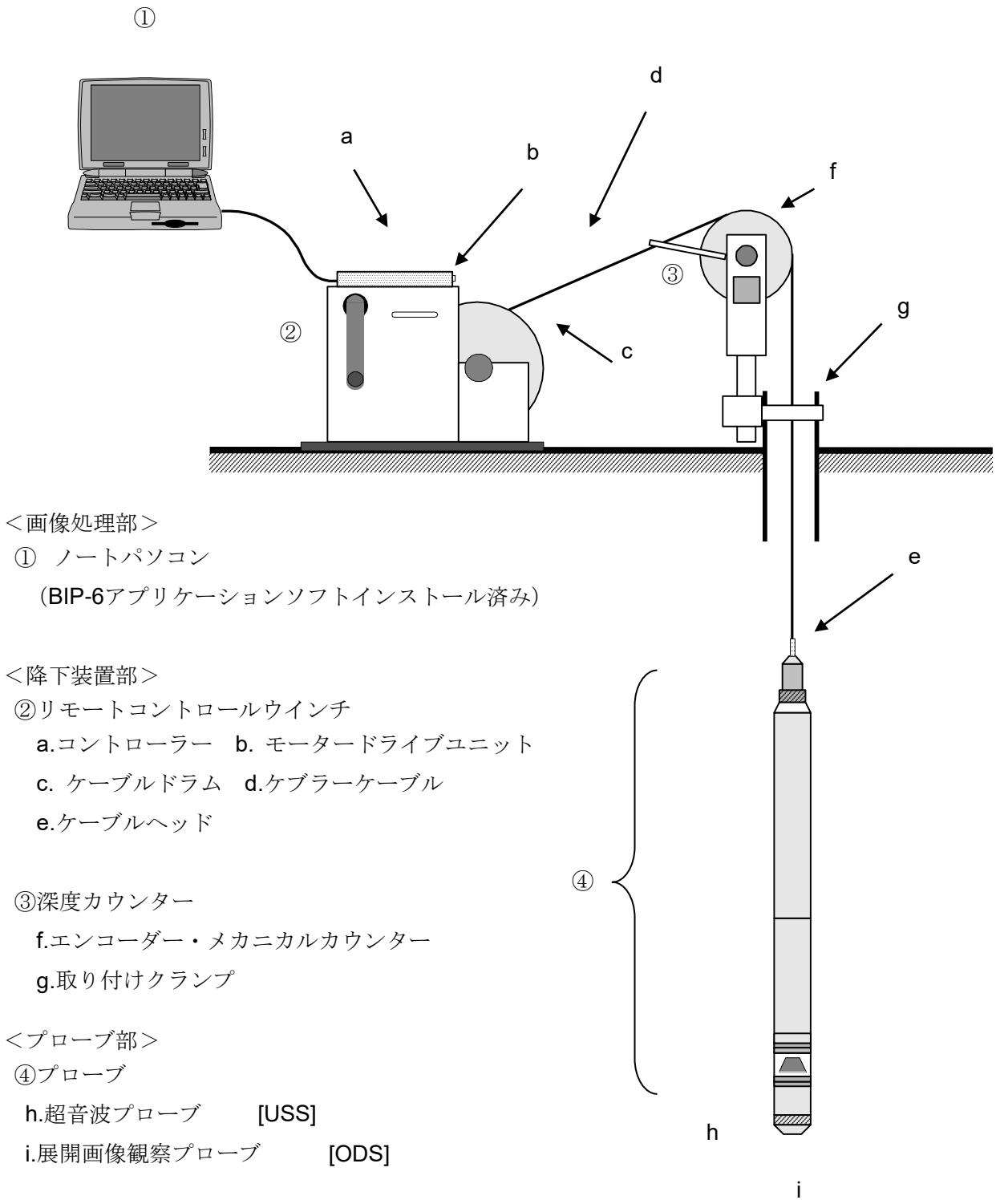
BIP-6 システムの構成図を図 3.1-30 に示す。本システムは、管内を自重降下によって挿入されるプローブ（ゾンデ）部分、深度カウンター、ケブラーケーブルによる昇降装置（ウィンチ）、ロッド押し込み装置、プローブ制御装置、カメラ映像の計測・処理を行う耐衝撃・防水性ノート型パソコンなどで構成される。

以下に ODS の機能と特徴をまとめる。

・ 簡便な画像取り込みシステムによって高速の観察記録が可能。
（～0.58cm/s → 0.00 ～21.00m/h　最大で 108.00m/h）
・ 吊り下げ方式により鉛直孔～下向き斜孔、ロッド方式により水平孔、上向き斜孔～上向き鉛直孔にも適用可能。
・ 観察可能な孔の孔径　56～180mm(条件により異なる)
・ 孔壁の全周生画像とリアルタイムの360°展開画像が観察可能。亀裂からの湧水・ガスの噴出状況はゾンデを停止させ長時間の連続観察が可能。
・ 孔壁の展開画像は、ＰＣハードディスクにデジタル記録し、孔壁全周画像及び展開画像は、ＶＴＲに録画することが可能。
・ 必要箇所では、180°孔壁展開機能により、360°展開時の倍の精度で孔壁の半周連続観察可能。
・ 孔壁展開画像は、光磁気ディスクからコンピューターのディスプレー上に再現可能。また、再現された展開画像はディスプレー上で亀裂などの不連続面の走向傾斜・幅を計測することが可能。測定された走向傾斜などのデータはＰＣハードディスクに記録され統計処理やステレオネット表示が可能。展開画像は、カラープリンター(カラーコピー機)に接続することにより出力可能。
・ 高速コンピューターグラフィックスにより、孔壁画像を任意の方向から三次元観察が可能。

b）鉛直孔

鉛直下向孔の倍の標準構成図を図 3.1-30 に示す。



＜画像処理部＞

① ノートパソコン

（BIP-6アプリケーションソフトインストール済み）

＜降下装置部＞

②リモートコントロールウインチ

a.コントローラー　b. モータードライブユニット

c. ケーブルドラム　d.ケブラーケーブル

e.ケーブルヘッド

③深度カウンター

f.エンコーダー・メカニカルカウンター

g.取り付けクランプ

＜プローブ部＞

④プローブ

h.超音波プローブ　　[USS]

i.展開画像観察プローブ　　[ODS]

図 3.1-30　BIP-6 システムの標準構成図（現場システム）

c）斜孔及び水平孔の測定方法

ボーリング孔が鉛直から-60°よりも緩やかな斜孔若しくは水平から上向きの場合などで、自重による降下が見込めない場合は、図 3.1-31 及び図 3.1-32 の様な機材配置でボーリングマシンによる押込で計測を実施する。また、ボーリングマシンが無い場合は、図 3.1-32 の様な押し込み装置を用いる。

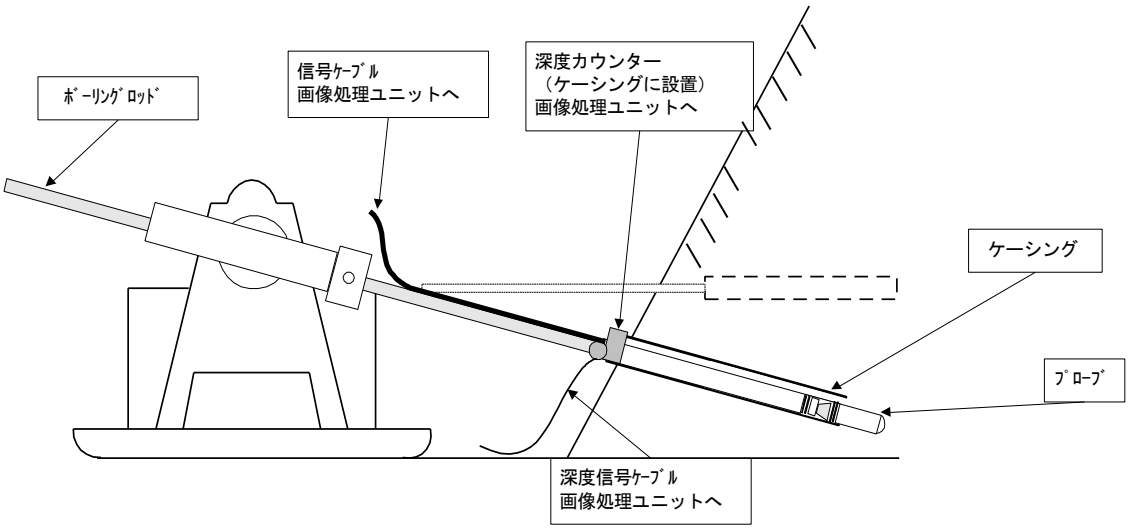


図 3.1-31　ボーリングマシンによる斜孔の計測図

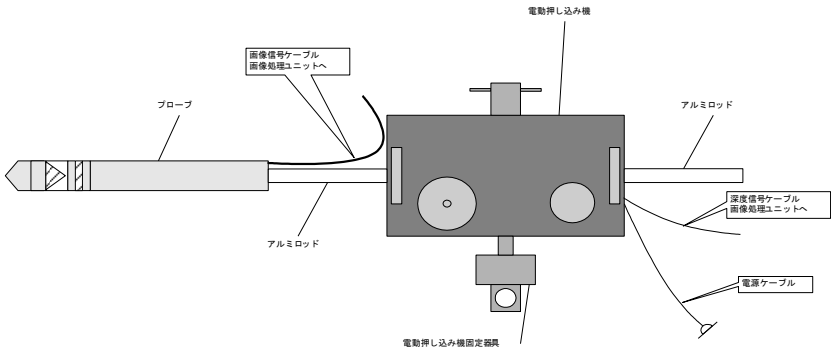


図 3.1-32　押し込み装置概略図

d）孔壁画像の分解能

＜円周方向＞

孔内画像は、円周方向に 2880 ピクセルで作成される。

φ66 孔の場合、1 ピクセルはおよそ 0.1mm となる。

計算方法については以下に示す。

66π（mm）÷2880（ピクセル）≒0.1mm/pixel

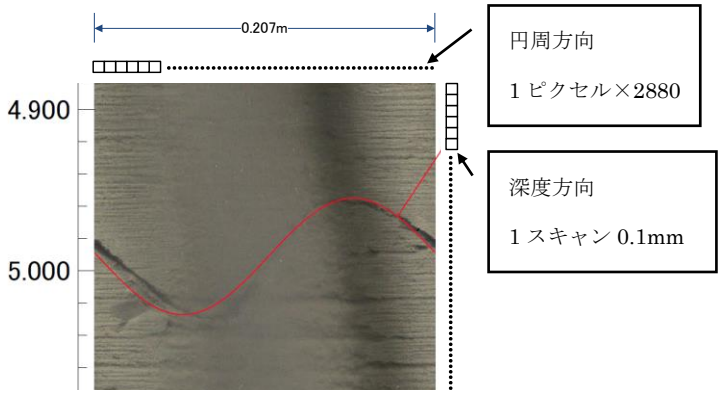


図 3.1-33　円周方向の分解能

＜深度方向＞

深度方向については、エンコーダによりプーリー1 周（72cm）につき 7200 パルスの設定となっている。従って

72（cm）÷7200（パルス）≒0.1mm/パルス

となり、1 パルス毎に 1 ラインの画像を計測していくため、孔壁画像の 1 ラインは理論上 0.1mm の幅を持つことになる。

また、エンコーダからの信号により 0.1mm 毎に画像取り込みの命令がなされるが、カメラの画像取得速度は 1 秒間に 60 回が限界となる。

従って、孔壁画像の最高計測速度は、

0.1mm×60 コマ/秒＝6.0mm/秒

となる。従って、6.0mm/秒を超えない速度で押込み装置の押込み速度を調整する。

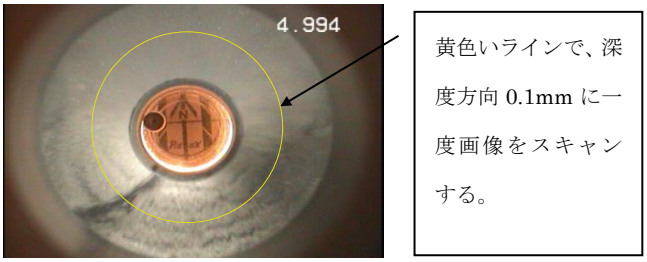


図 3.1-34　画像取得のための円周ライン

e）画像解析

ひび割れ箇所は孔壁に光を当てた際に影となり、BTV 画像上で暗いピクセルのつながりとして現れる。また、孔壁との切合線として示されるひび割れ面は、BTV 画像上でサインカーブを成す（図 3.1-35 参照）。BTV 画像の解析ではこの特徴を利用して、周囲よりも暗いサインカーブ状の模様を探すことによってひび割れを検出する。

ひび割れの走向・傾斜は、これらの情報と一対一の関係にあるサインカーブの形状（位相差・振幅）から同定される。本計測システムでは、現場で観察記録した画像データを読み出して画面上に表示し、ひび割れ箇所をマウスカーソルでポインティングすることによってこの作業を簡便に行うことができる。また、ひび割れの幅は、ひび割れの走向に対して、直交する方向で評価する。

なお、幅が 1 ピクセルの空間分解能（0.1mm）より小さいひび割れであっても、色調（3 色×256 階調）の異なるつながりの分布から、ひび割れの存在を検知できる場合がある。ただし、基本的に空間分解能以下のひび割れ幅を定量的に測定することはできないので、この場合は、検出されたひび割れの幅を「0.1mm 未満」と判定する。

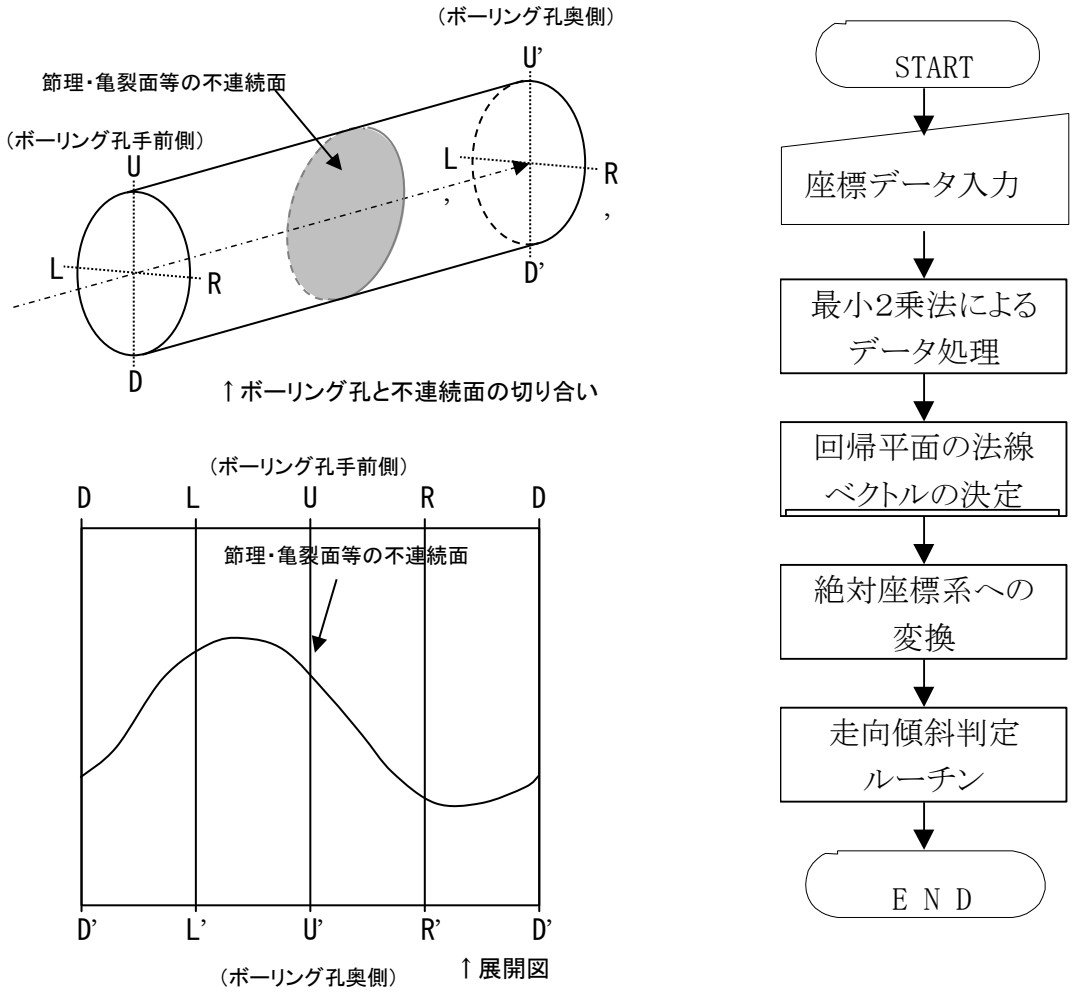
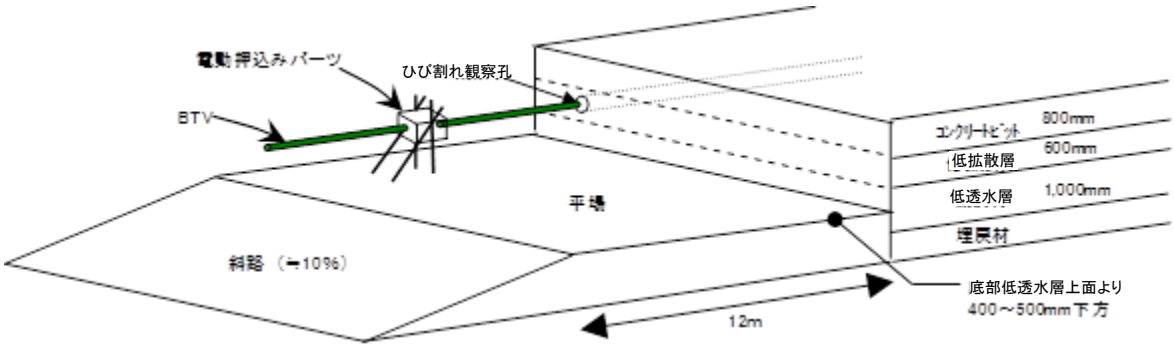


図 3.1-35　走向傾斜計算ルーチン

f）側壁観察状況



底部低拡散層妻手前の砕石スロープ平場上に BTV の電動押し込みパーツを設置した。レイアウトを図 3.1-36 に、BTV 観察状況を写真 3.1-2 に示す。

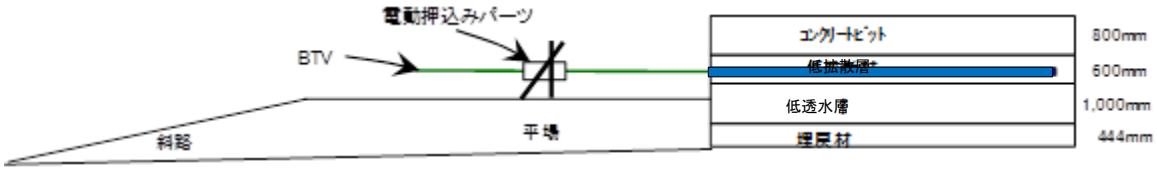


図 3.1-36　ボーリング孔側壁観察レイアウト

写真 3.1-2　BTV 観察状況

(d) 前方視カメラを用いたボーリング孔先端の観察

ボーリング孔は 15.20m であるが、BTV の構造上、孔先端から 0.17m が死角となる。この死角部分及び観察孔先端を観察するために、前方視カメラを用いてひび割れ観察孔の先端を観察した。

［前方視カメラ 「ミニシースネイク」（レアックス）概略仕様］

プローブ径： φ30mm

画像観察記録：動画として記録し、動画画面を撮影することで画像を入手

図 3.1-37 ミニシースネイク装置

前方視カメラは自動水平機能がついているため、カメラが回転せず、ボーリング孔のどの位置にひび割れがあるかを観察することが可能である。ただし、孔の先端方向をカメラ撮影するので、カメラと観察対象物の距離が一定ではないため、ひび割れ幅を観察することはできない。ひび割れ幅を計測できないため、前方視カメラの押し込み速度は観察物の対象に応じて変更が可能である。

写真 3.1-2 ボーリング孔先端観測状況

(e) BTV 観察結果

平成 20 年度（第 1 回目）から数えて 12 回目の計測を実施した結果を以下に示す。

・ 深度0.00m～15.03mまでの画像データを取得した。機械的な深度誤差が発生したため、ロッド長及びカメラ長によりボーリング孔長が、掘削長である15.20mであることを確認し、カメラの構造上の死角である先端0.17mを差し引くとともに、初期値のデータに深度を合わせ込みBTVによる観察長を15.03m（補正後）とした。
・ 記録画像精度（分解能）を深度方向0.1mm、円周方向0.1mmとしBTV装置で得られる最高解像度（分解能）2880ピクセルで画像記録を行った。
・ 前回までの計測時と同様に、削孔時に形成されたと考えられるボーリングを横断する同心円状の筋（展開画像では水平又はスパイラル状の筋）及び、孔壁画像の両端部であるボーリング孔の下側で汚れが波状に見える状況であった。しかし、ひび割れの認識に影響を与えるものではなかった。
・ ひび割れとは別に、骨材の剥離又は気泡跡と思われる円形状の空隙を見ることができた。これも第1回目と比較し変化は見られなかった。
・ 前年度までの観測で確認されている3本の既存ひび割れ（図 3.1-38～18参照）以外に、新規の側壁でのひび割れは確認されなかった。
・ ひび割れの開口幅は、どのひび割れも計測限界である0.1mm未満であった。昨年度のカメラの解像度である0.25mm未満であり、開口幅の拡大は確認できなかった。
・ 図 3.1-44に示すようにひび割れの方向は以下の様である。
  ① 深度5.772m（N86W89N）：ボーリング孔に対して走向はほぼ直交し、ほぼ垂直に切断する。
  ② 深度8.646m（N52E79N）：ボーリング孔に対して走向はN52Eで斜交し、ほぼ垂直に近い79度でボーリング孔を切断する
  ③ 深度11.295m（N66W85N）：ボーリング孔に対して走向はN66Wで斜交し、ほぼ垂直である85度でボーリング孔を切断する。
・ 平成24年度、水の滲み出しによるとおもわれる“しみ”が確認されたが、平成25年度以降、平成27年度まで同位置で“しみ”は確認されていない。
・ 平成30年度の調査では、ボーリング孔側壁の色が全体的に濃い色で撮影されており、明確な水の滲みだしの開始地点がわからなかった。これは、ボーリング孔側壁を観察する際の微妙なカメラの光量調整が色調に影響したものと考えられる。一方で、深度7.63m以深で溜り水があり、深度11.87m以深でボーリング孔が冠水した。平成29年度と比べて、浅い深度での溜まり水が確認された。（図 3.1-44参照）
・ 前方視カメラでボーリング孔先端を観察する際、溜まり水の懸濁によって観察することができなかった。このためボーリング孔から排水を実施した。排水した水は水質分析を実施した。
・ 前方視カメラの観察の結果、ボーリング孔先端に明確なひび割れは確認できなかったが、先端に付着物を確認した（図 3.1-68）。水中で付着物に前方視カメラを当てると、付着

物の一部が剥離した。また図矢印下側では、付着物が線状に分布しているように観察でき、ひび割れに沿って付着物が析出している可能性も考えられる。

・ ボーリング孔から排水後に、前方視カメラで側壁にある3つのひび割れを観察したところ、ひび割れから水が滲みだす様子は観察されなかった。（図 2.4-43）

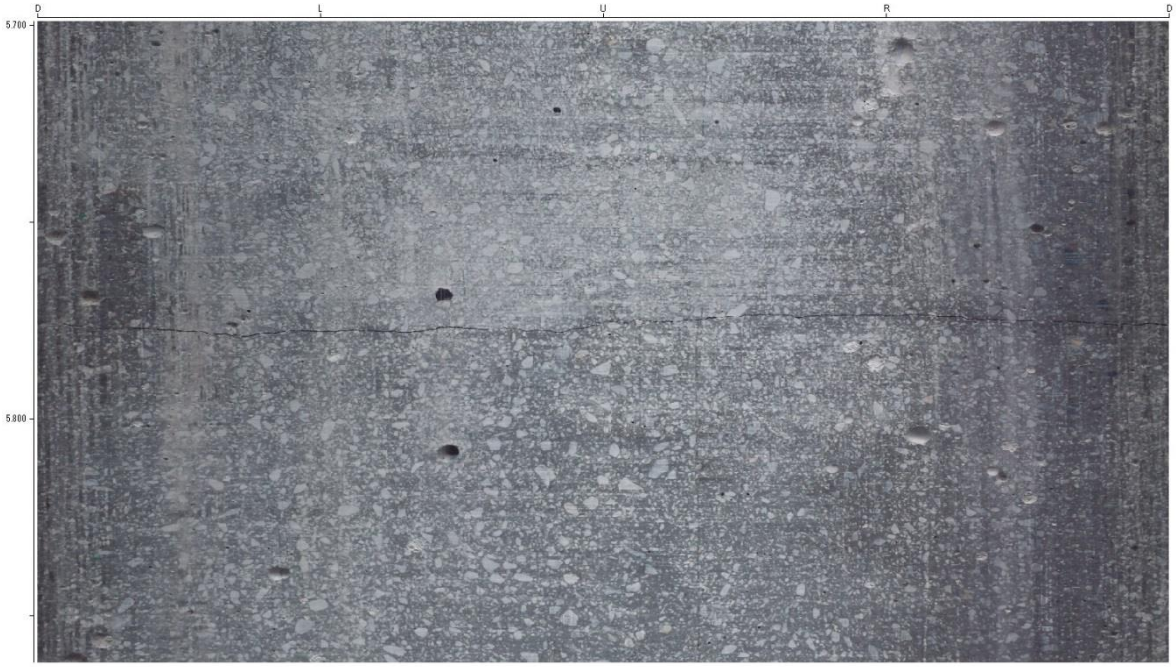
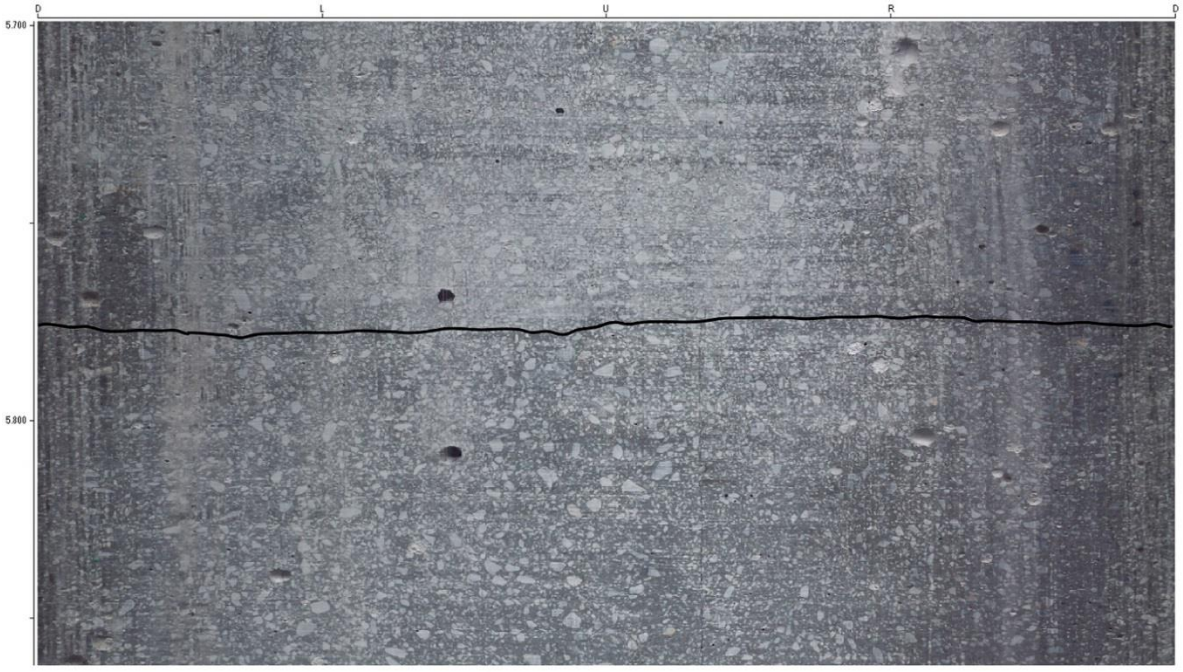


図 3.1-38　深度 5.772m 付近のひび割れ



開口幅は、計測限界の0.1mm未満である。

ひび割れの走向傾斜は、N86W89Nを示す。ボーリング孔に直交しほぼ垂直に切断している。

図 3.1-39　深度 5.772m 付近のひび割れ（トレース）

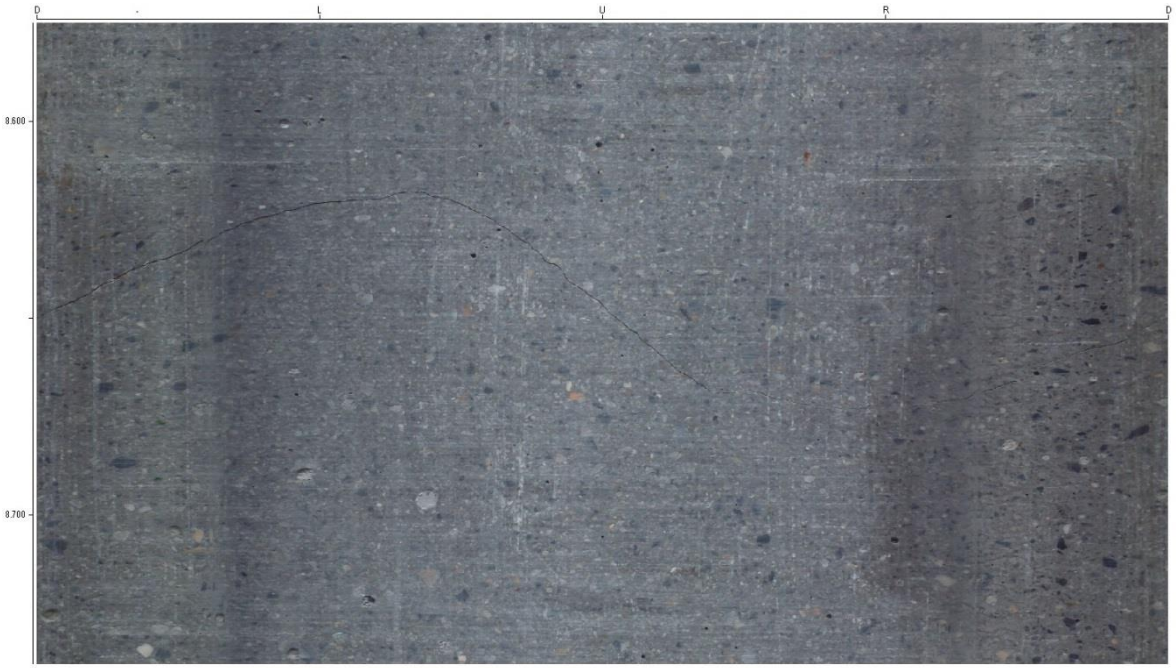
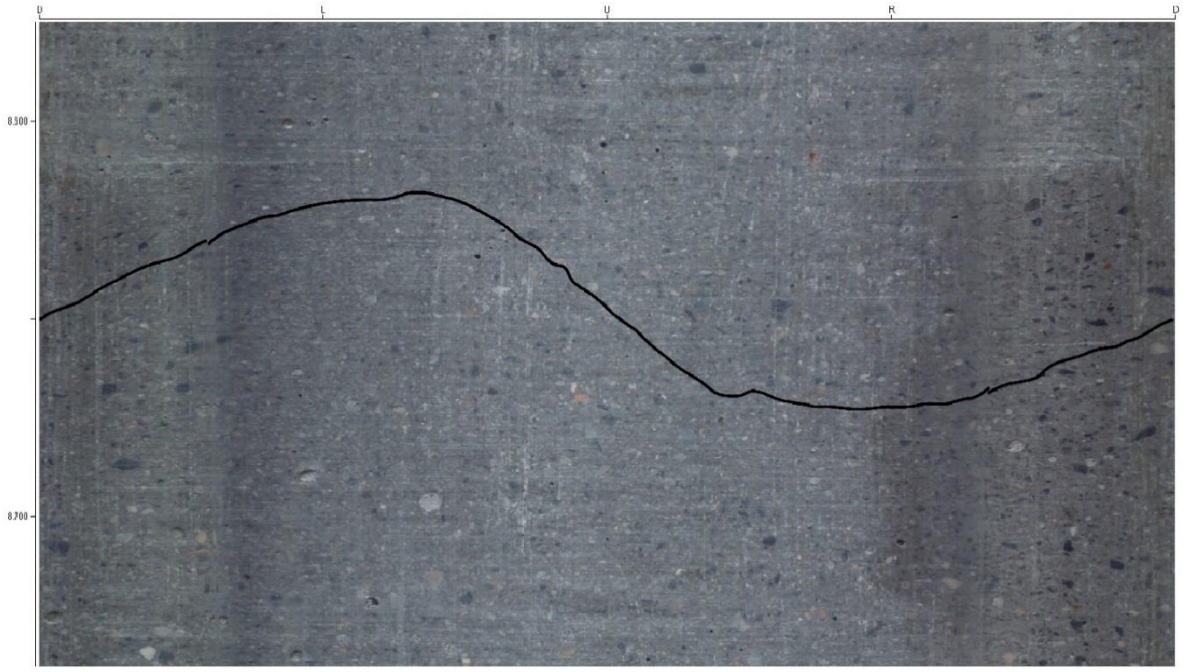


図 3.1-40　深度 8.646m 付近のひび割れ



開口幅は、計測限界の0.1mm未満である。

ひび割れの走向傾斜は、N52E79Nを示す。

図 3.1-41　深度 8.646m 付近のひび割れ（トレース）

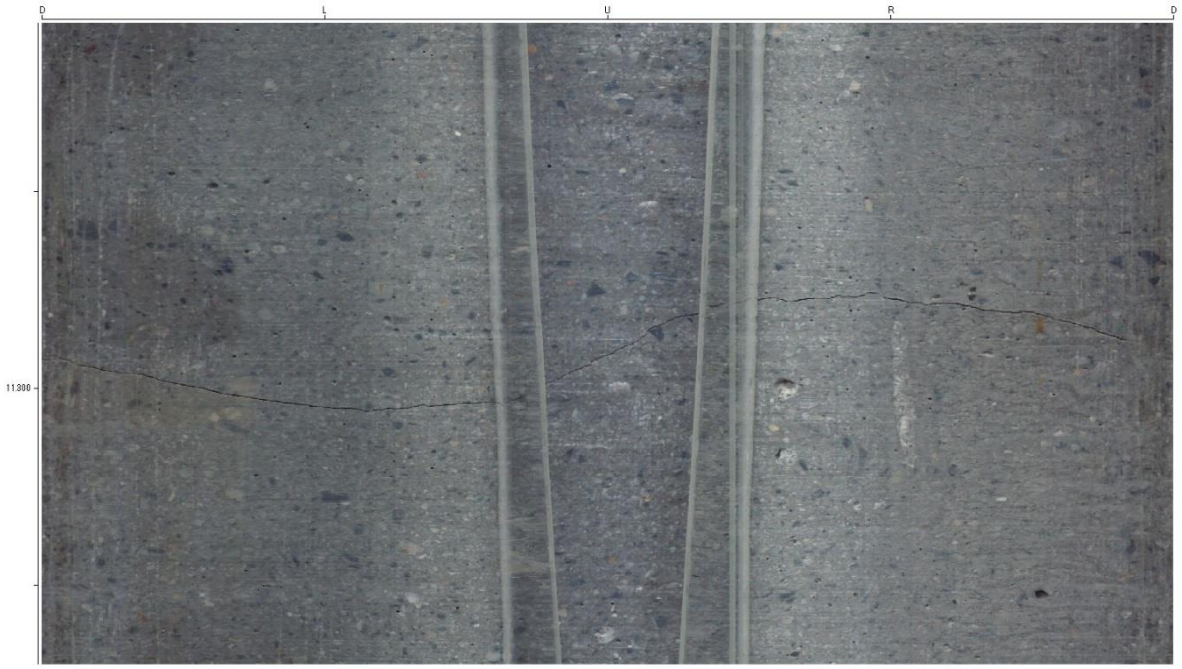
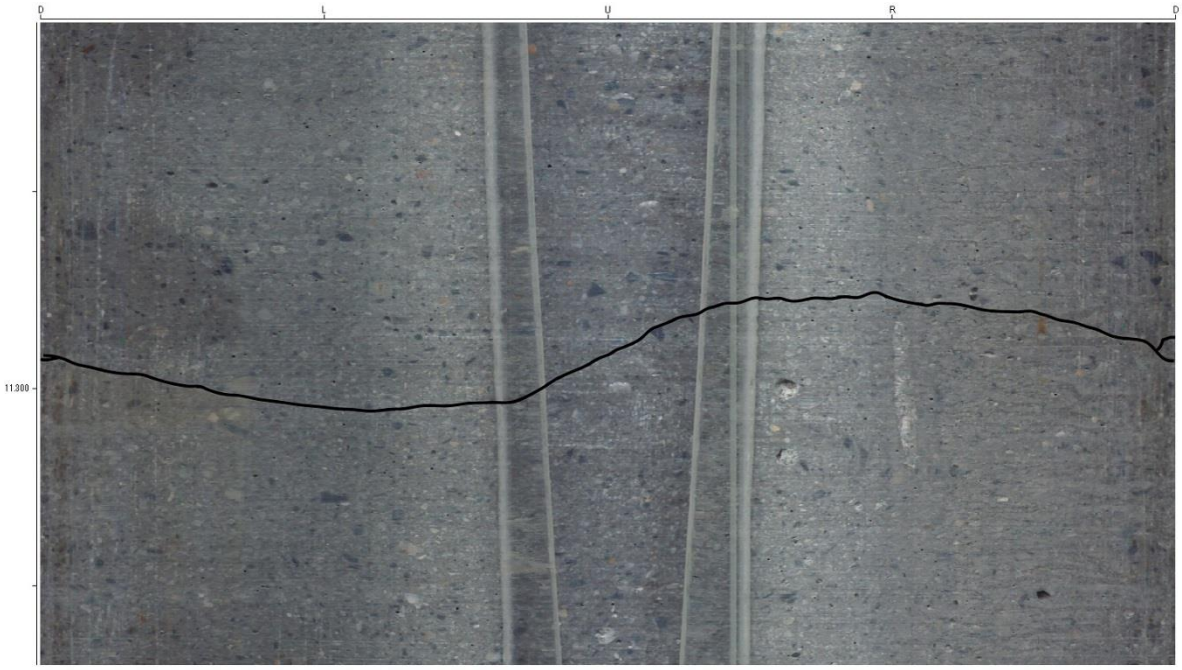


図 3.1-42　深度 11.295m 付近のひび割れ

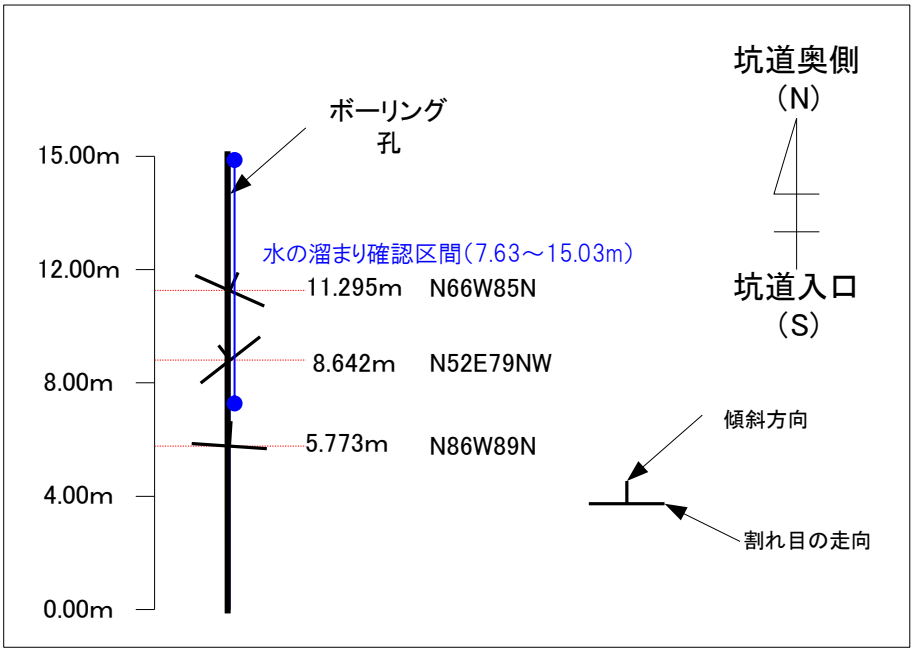


開口幅は、計測限界の0.1mm未満である。

ひび割れの走向傾斜は、N66W85Nを示す。

図 3.1-43　深度 11.295m 付近のひび割れ（トレース）

平面図



断面図

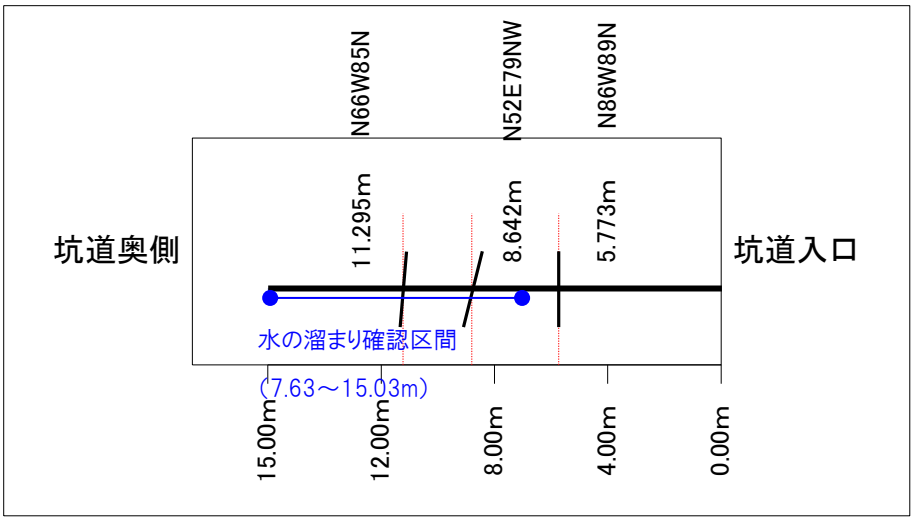


図 3.1-44　ひび割れの発生位置及び方向性と水溜まりの確認区間

［0.000m-2.000m］

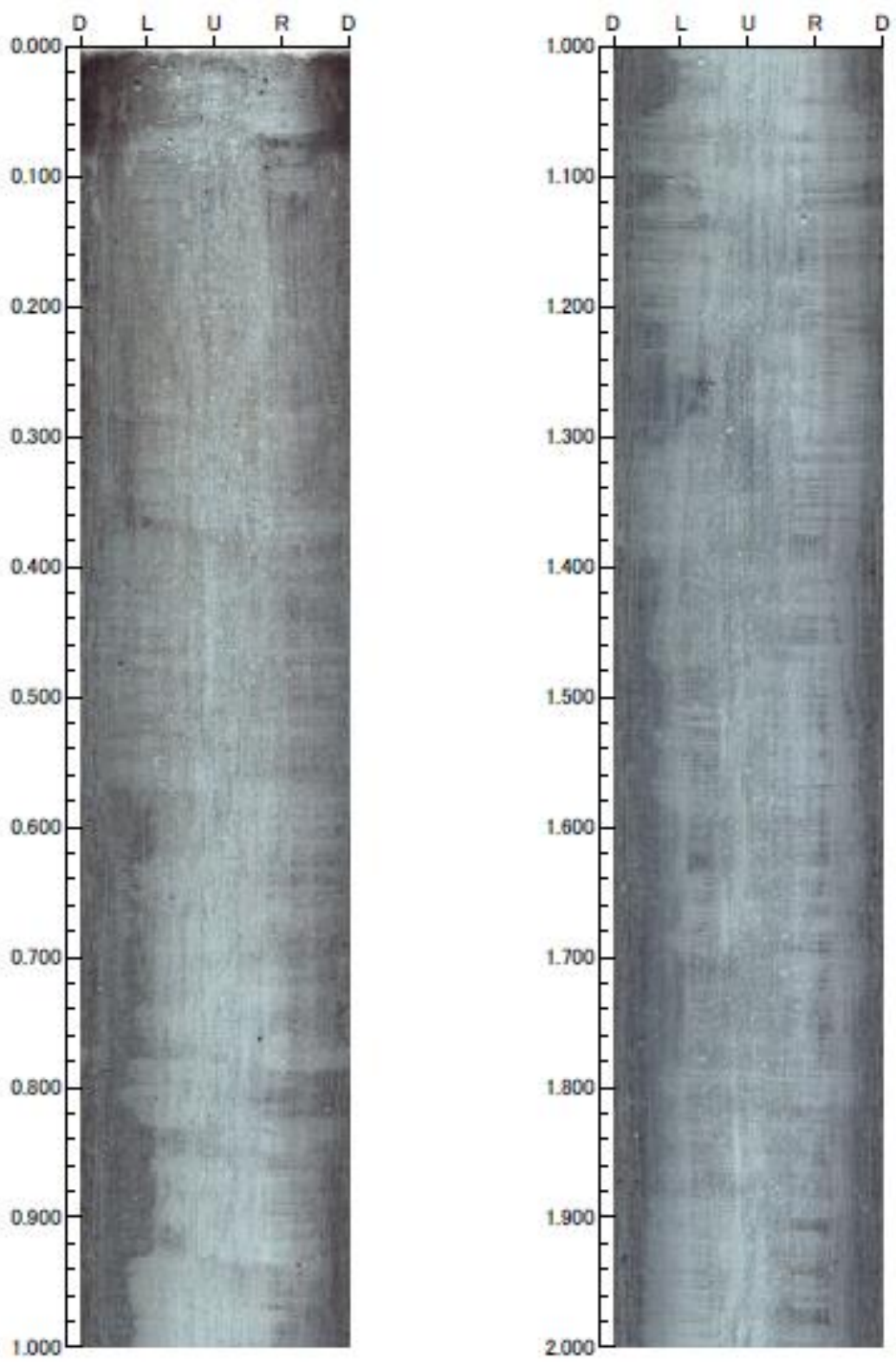


図 3.1-45　BTV 観察結果（0.000m-2.000m）

[2.000m-4.000m]

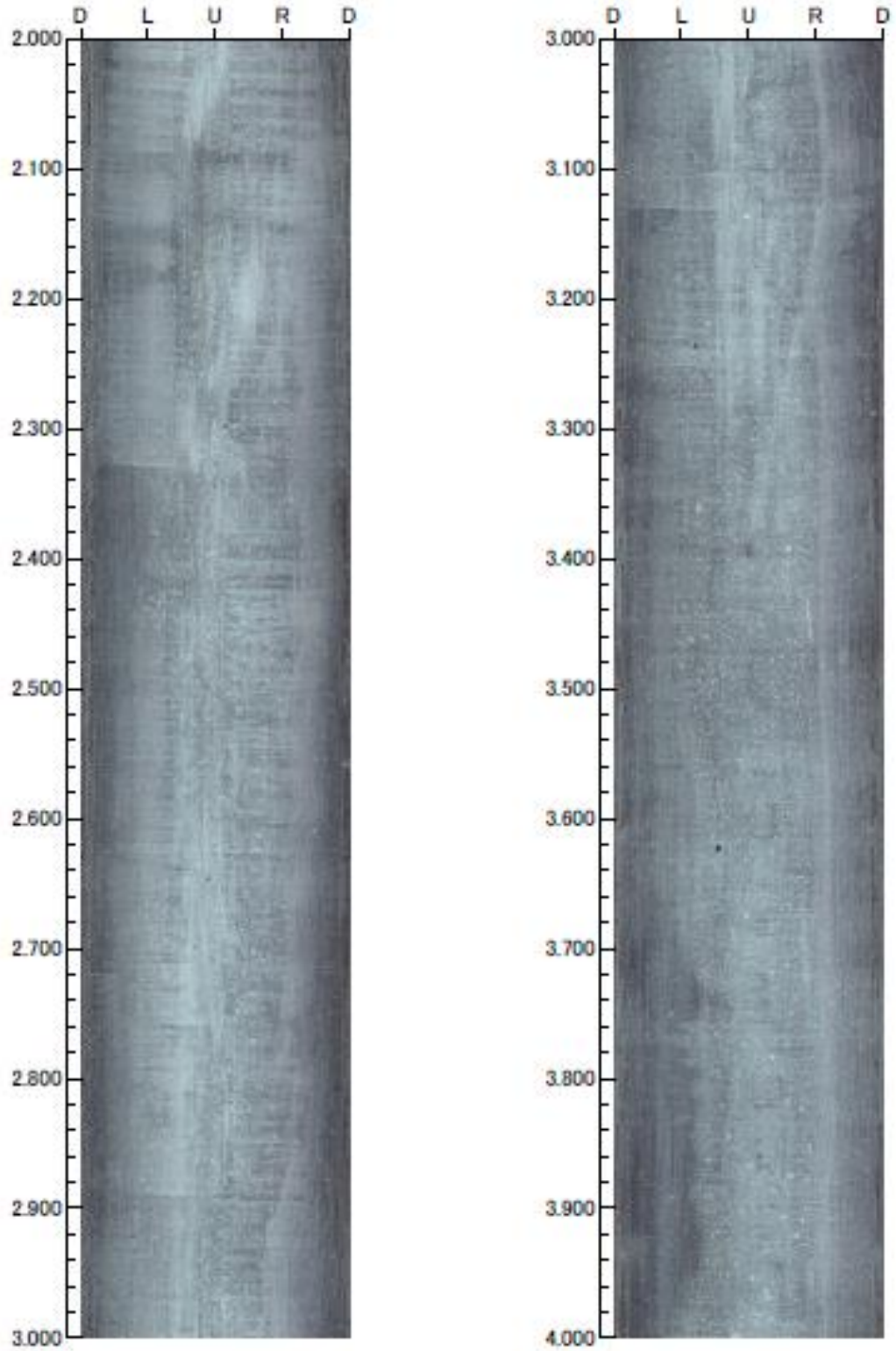


図 3.1-46　BTV 観察結果（2.000m-4.000m）

［4.000m-6.000m］

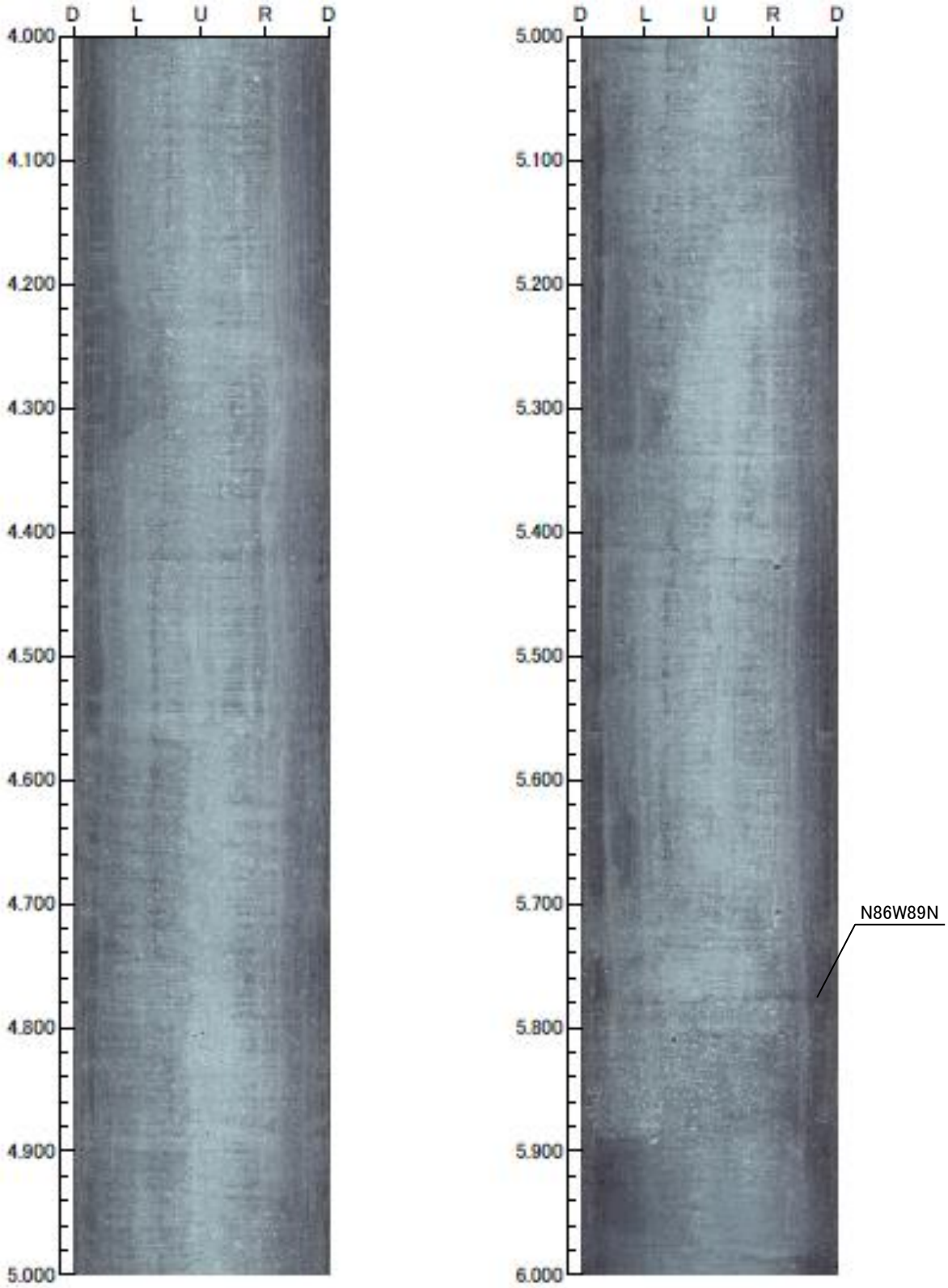


図 3.1-47　BTV 観察結果（4.000m-6.000m）

[6.000m-8.000m]

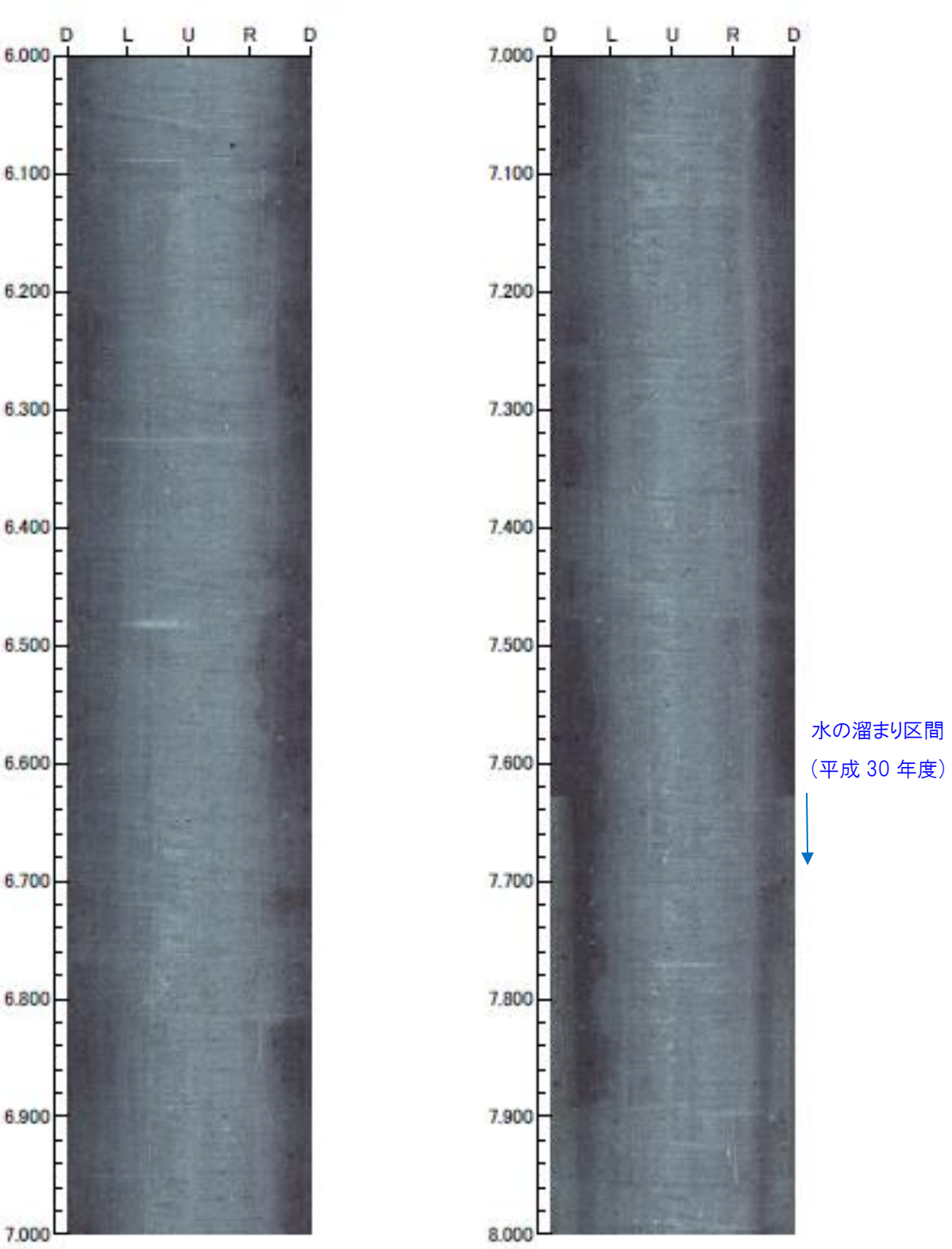


図 3.1-48　BTV 観察結果（6.000m-8.000m）

［8.000m-10.000m］

図 3.1-49　BTV 観察結果（8.000m-10.000m）

［10.000m-12.000m］

図 3.1-50　BTV 観察結果（10.000m-12.000m）

［12.000m-14.000m］

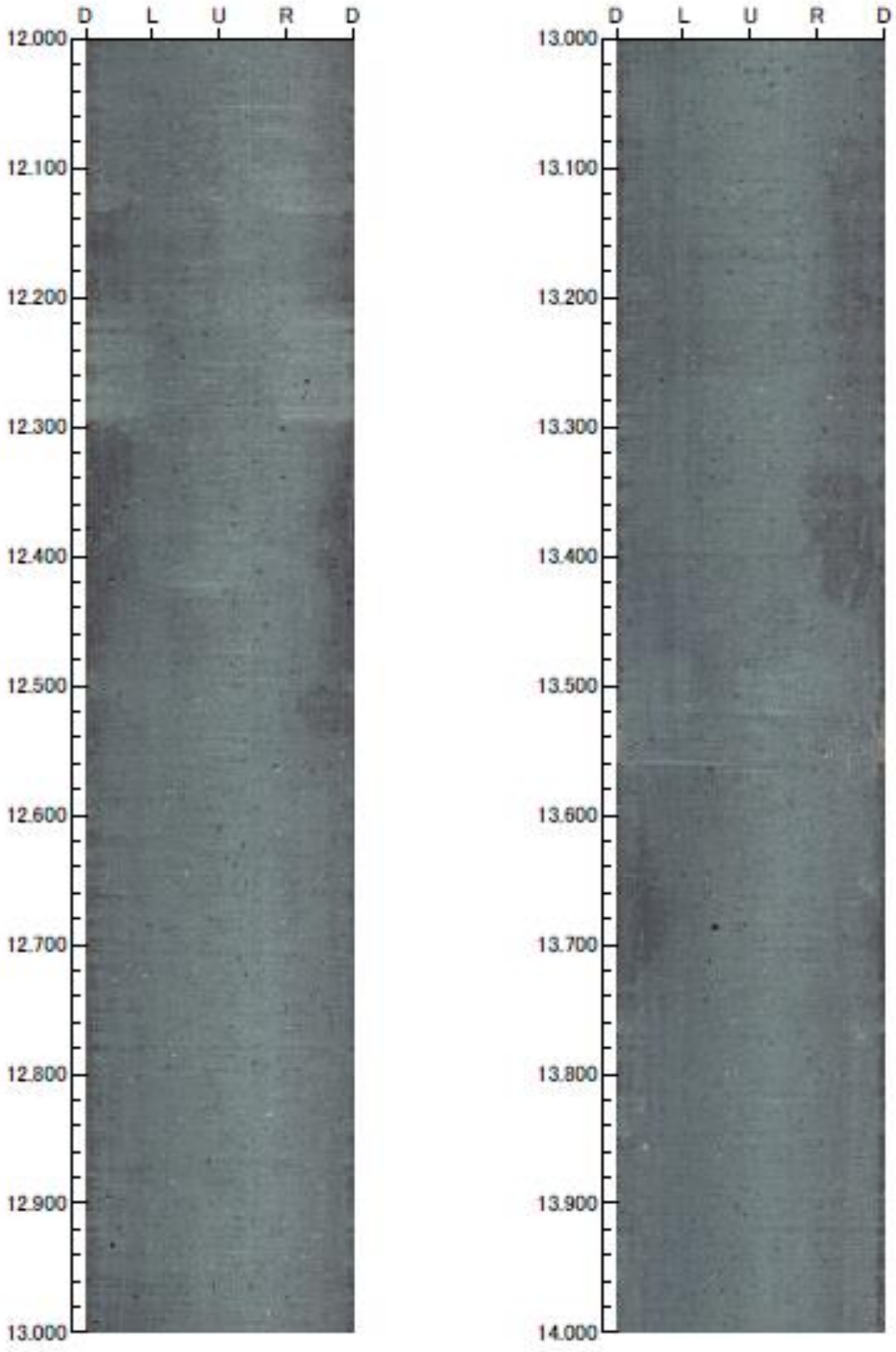


図 3.1-51　BTV 観察結果（12.000m-14.000m）

［14.000m-15.030m］

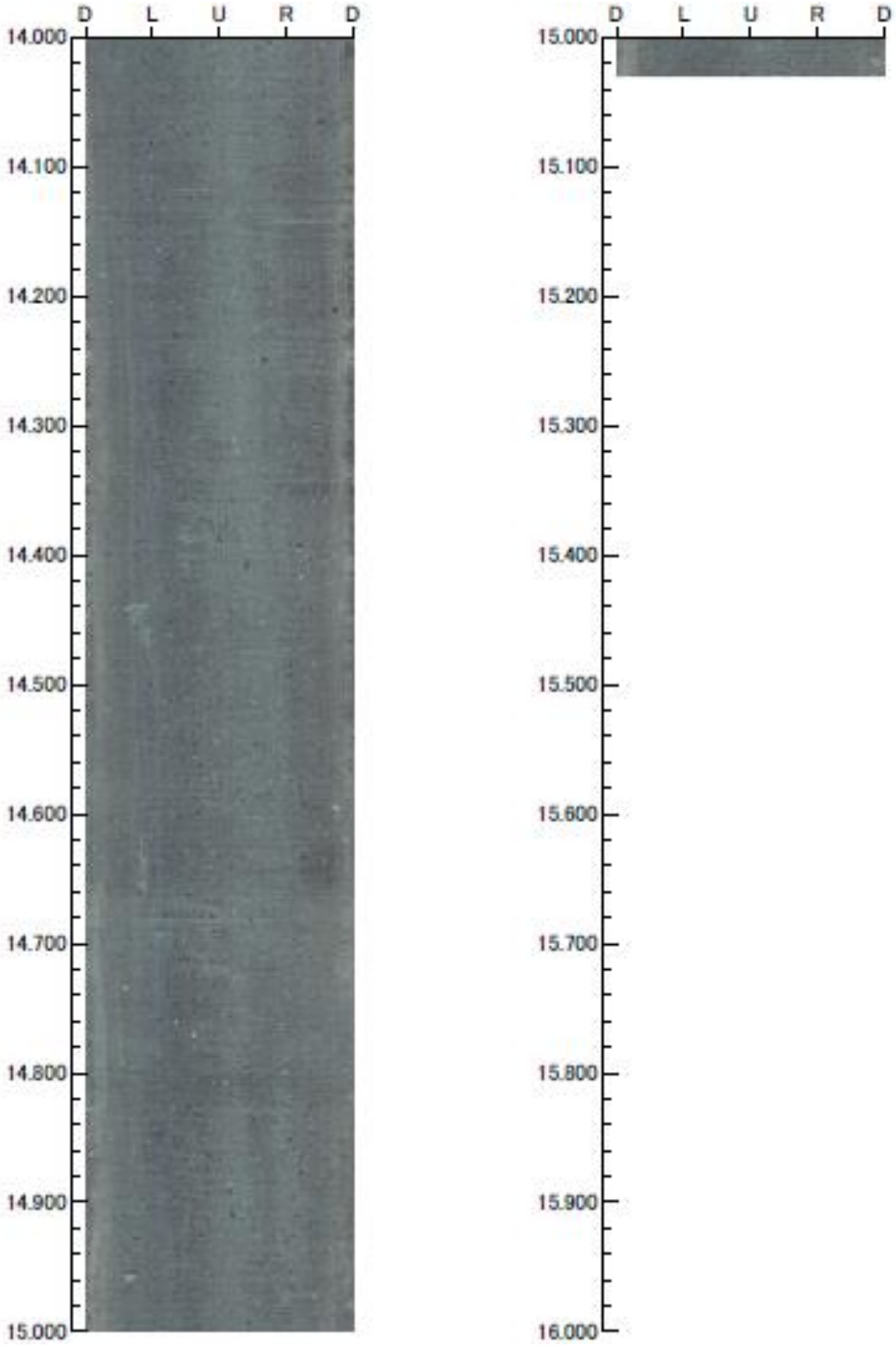


図 3.1-52　BTV 観察結果（14.000m-15.030m）

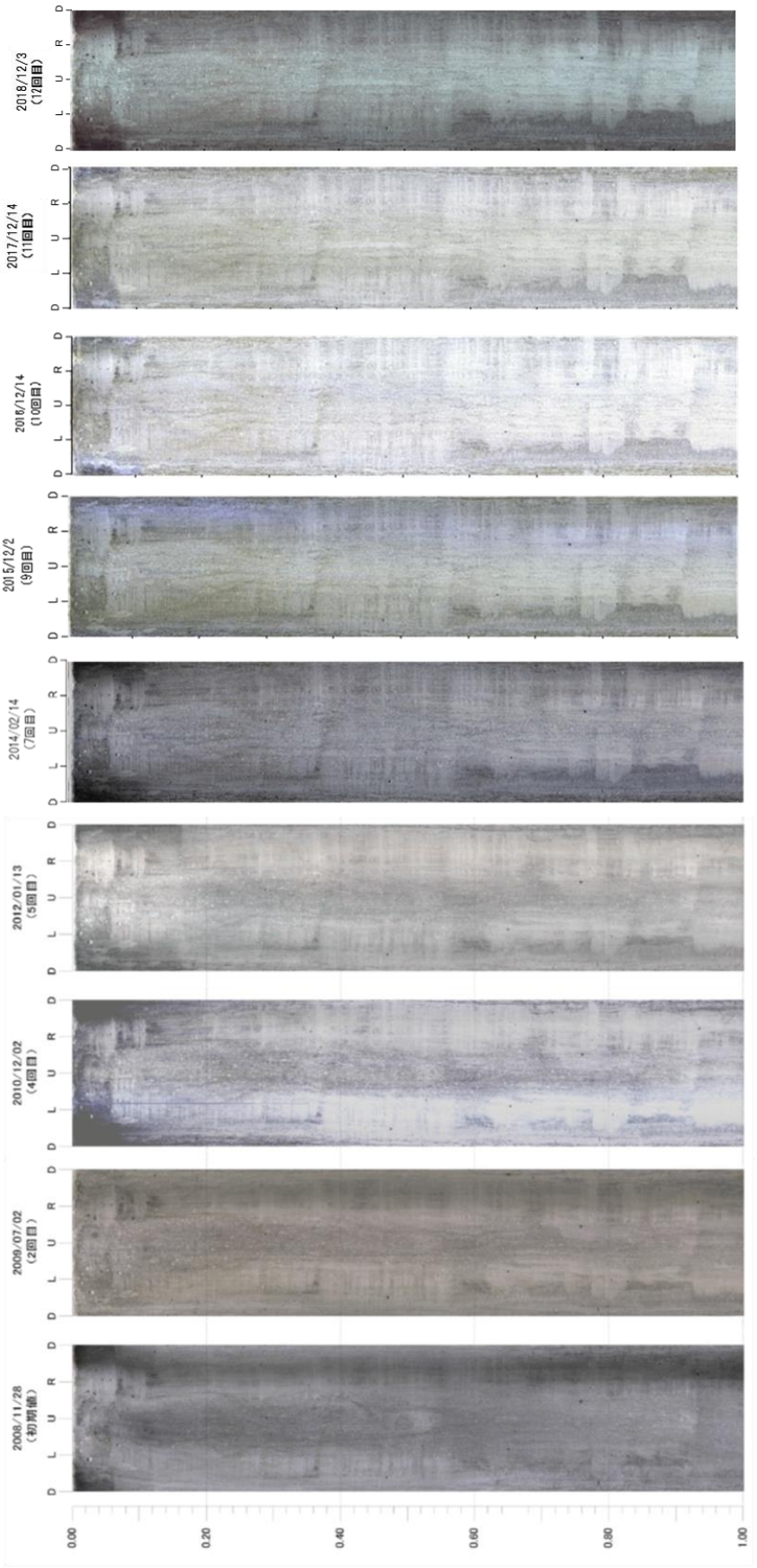


図 3.1-53　前回までの BTV 観察結果との対比（0.000m-1.000m）

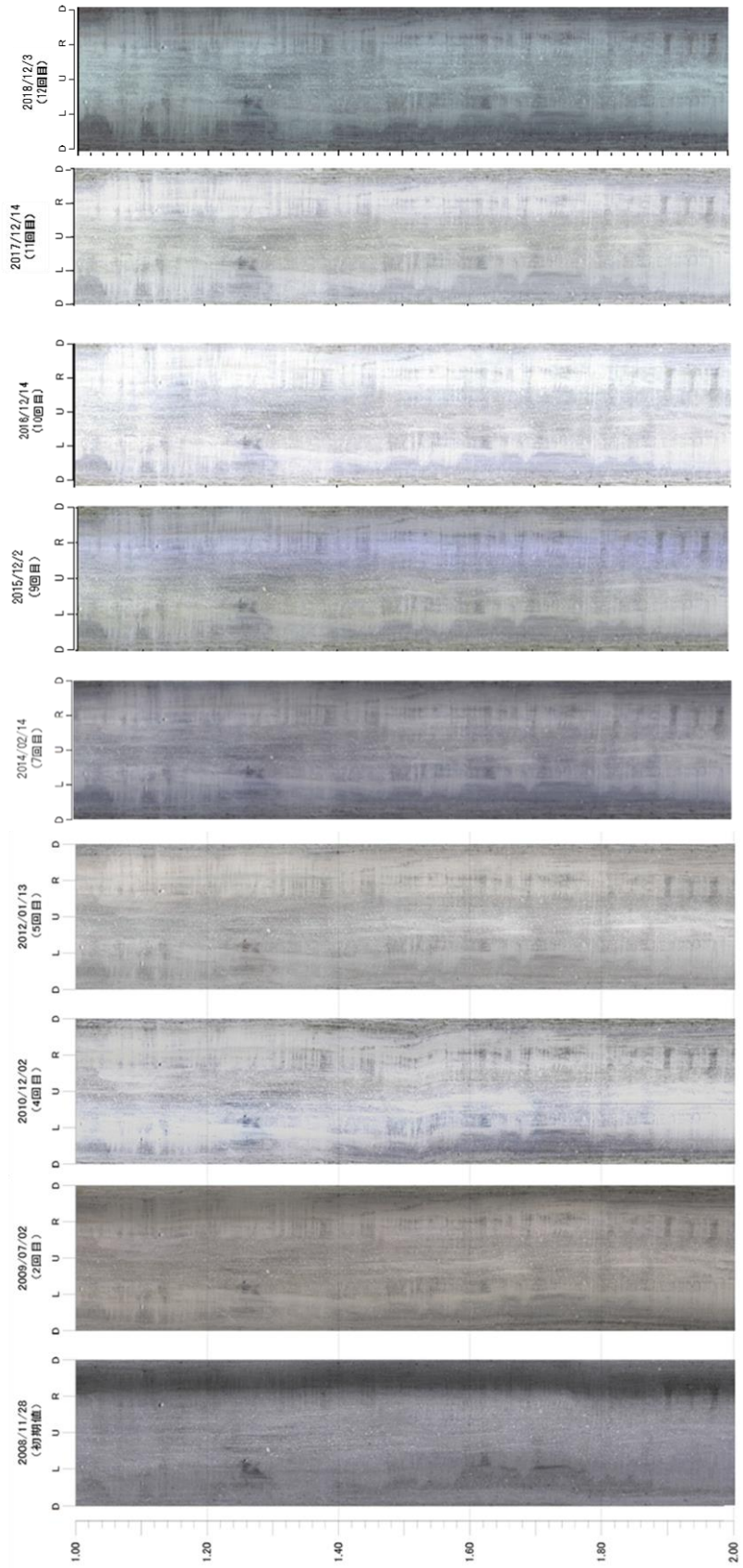


図 3.1-54　前回までの BTV 観察結果との対比（1.000m-2.000m）

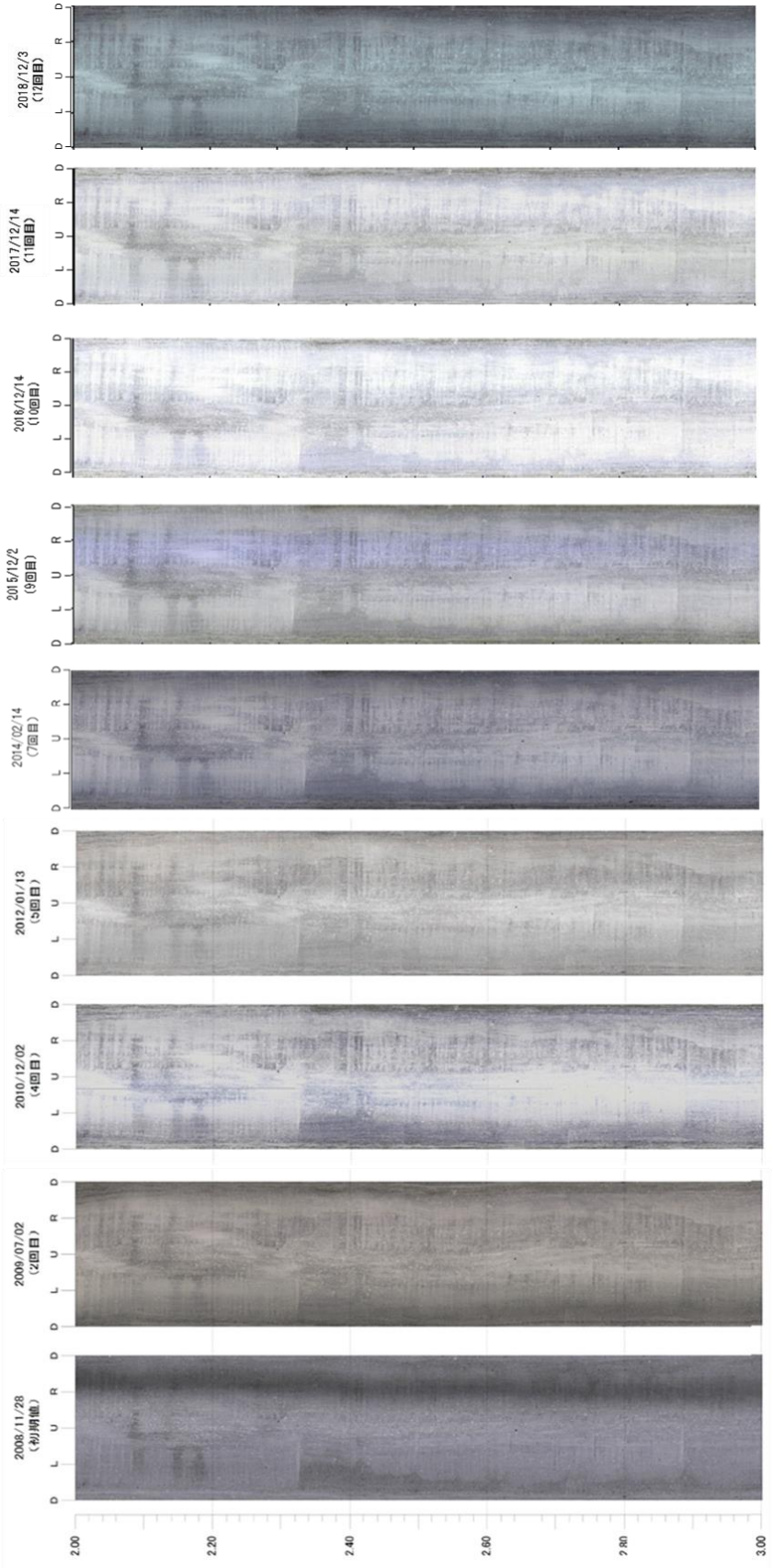


図 3.1-55　前回までの BTV 観察結果との対比（2.000m-3.000m）

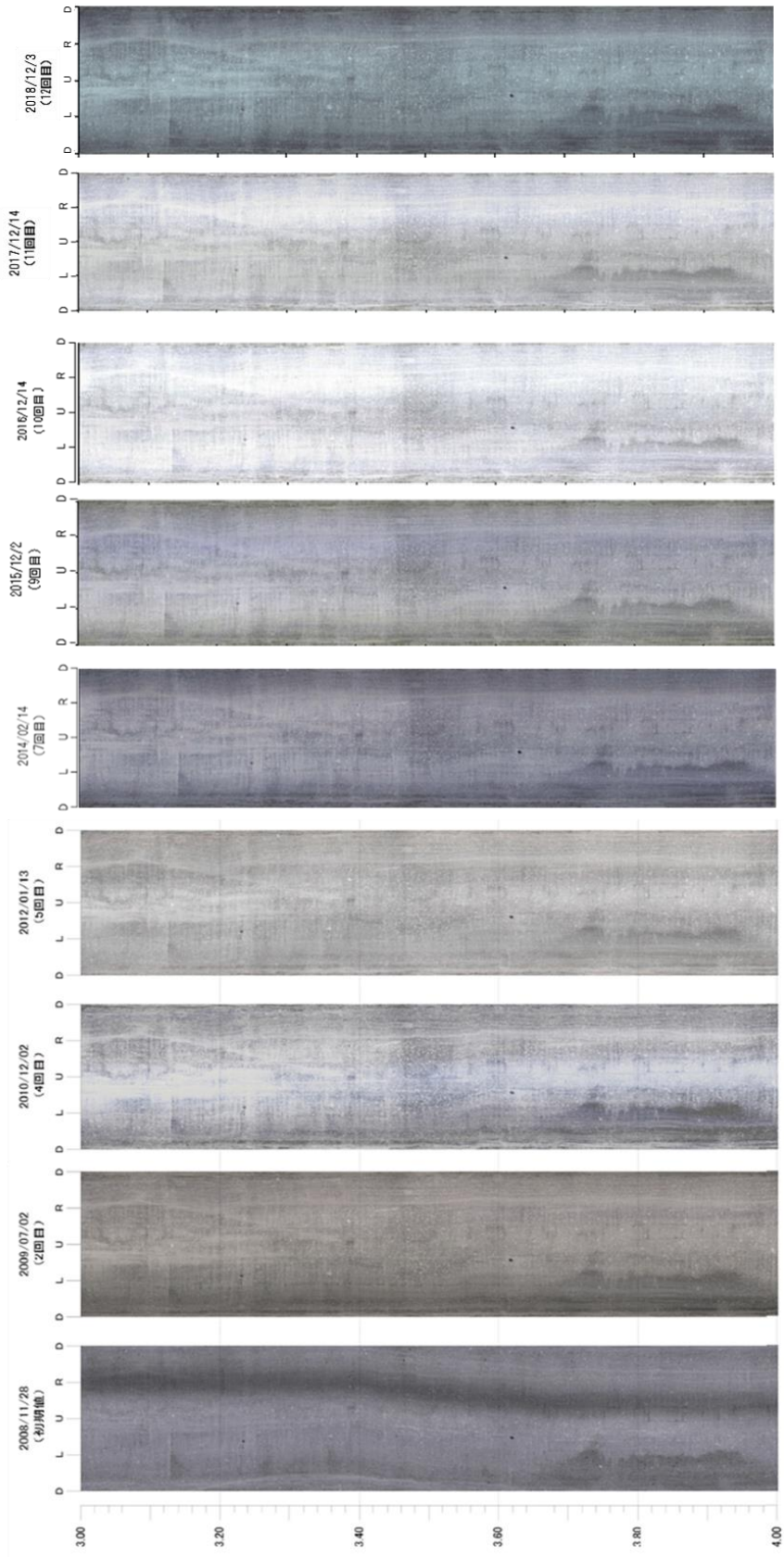


図 3.1-56　前回までの BTV 観察結果との対比（3.000m-4.000m）

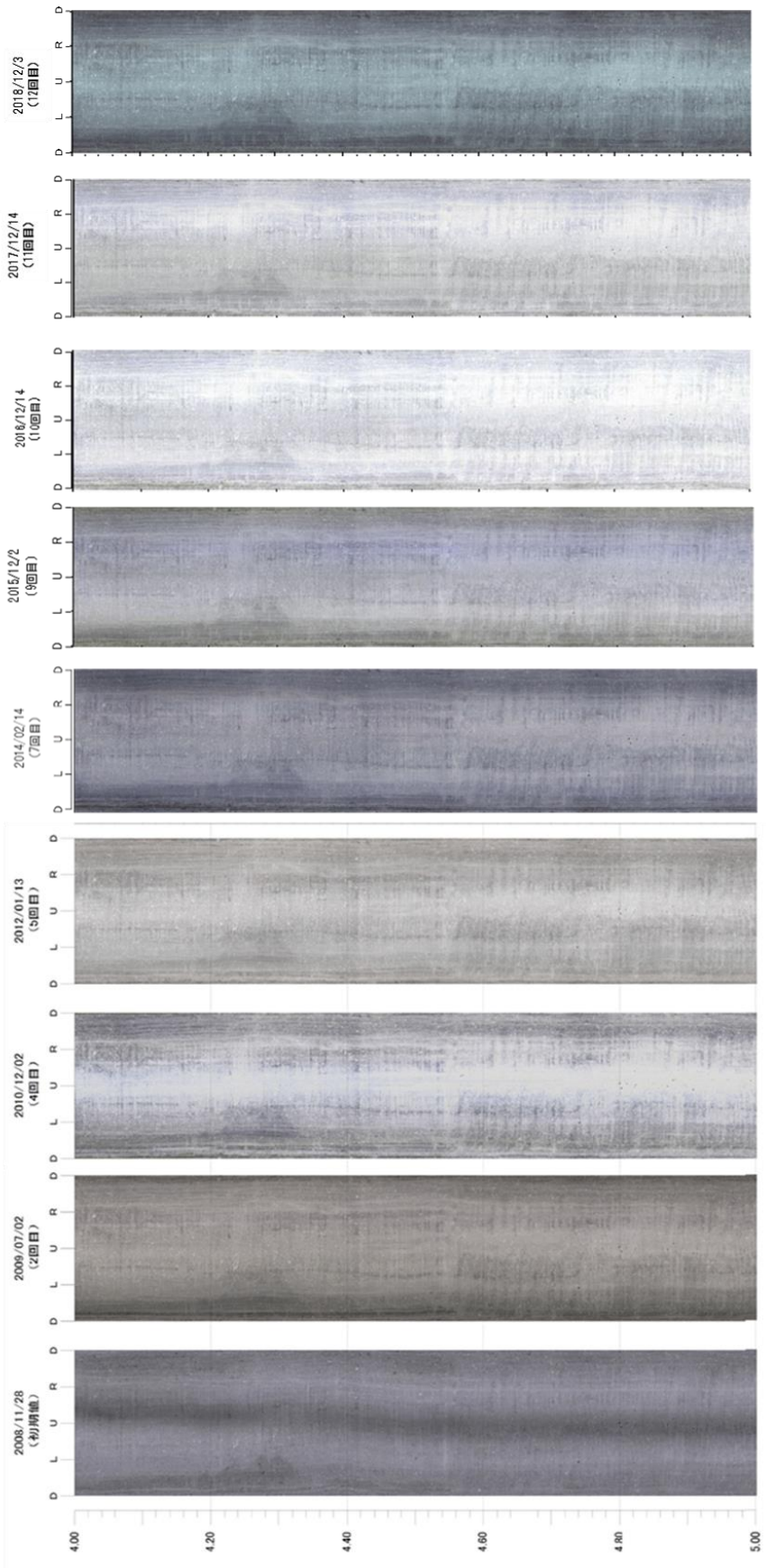


図 3.1-57　前回までの BTV 観察結果との対比（4.000m-5.000m）

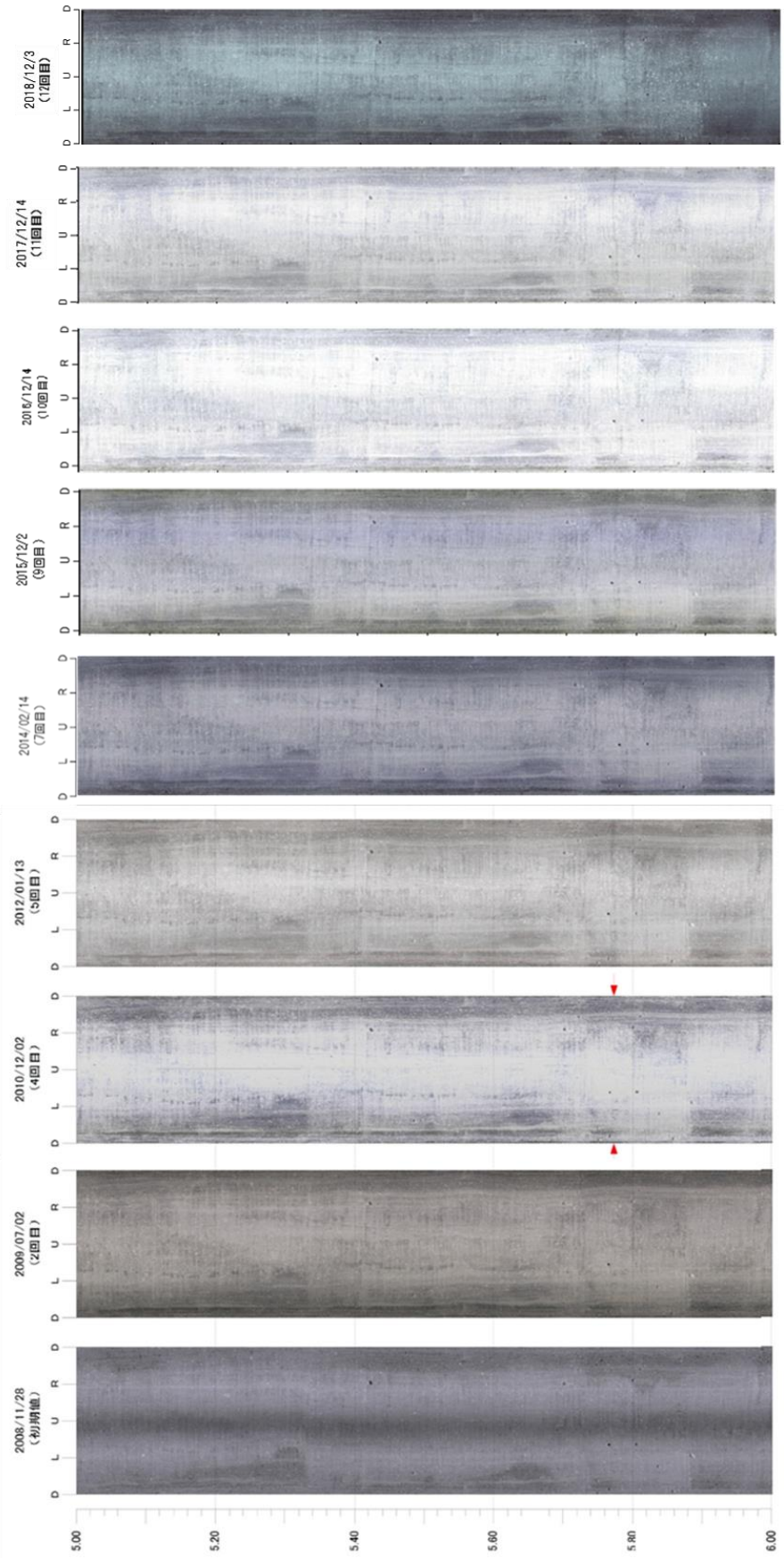


図 3.1-58　前回までの BTV 観察結果との対比（5.000m-6.000m）

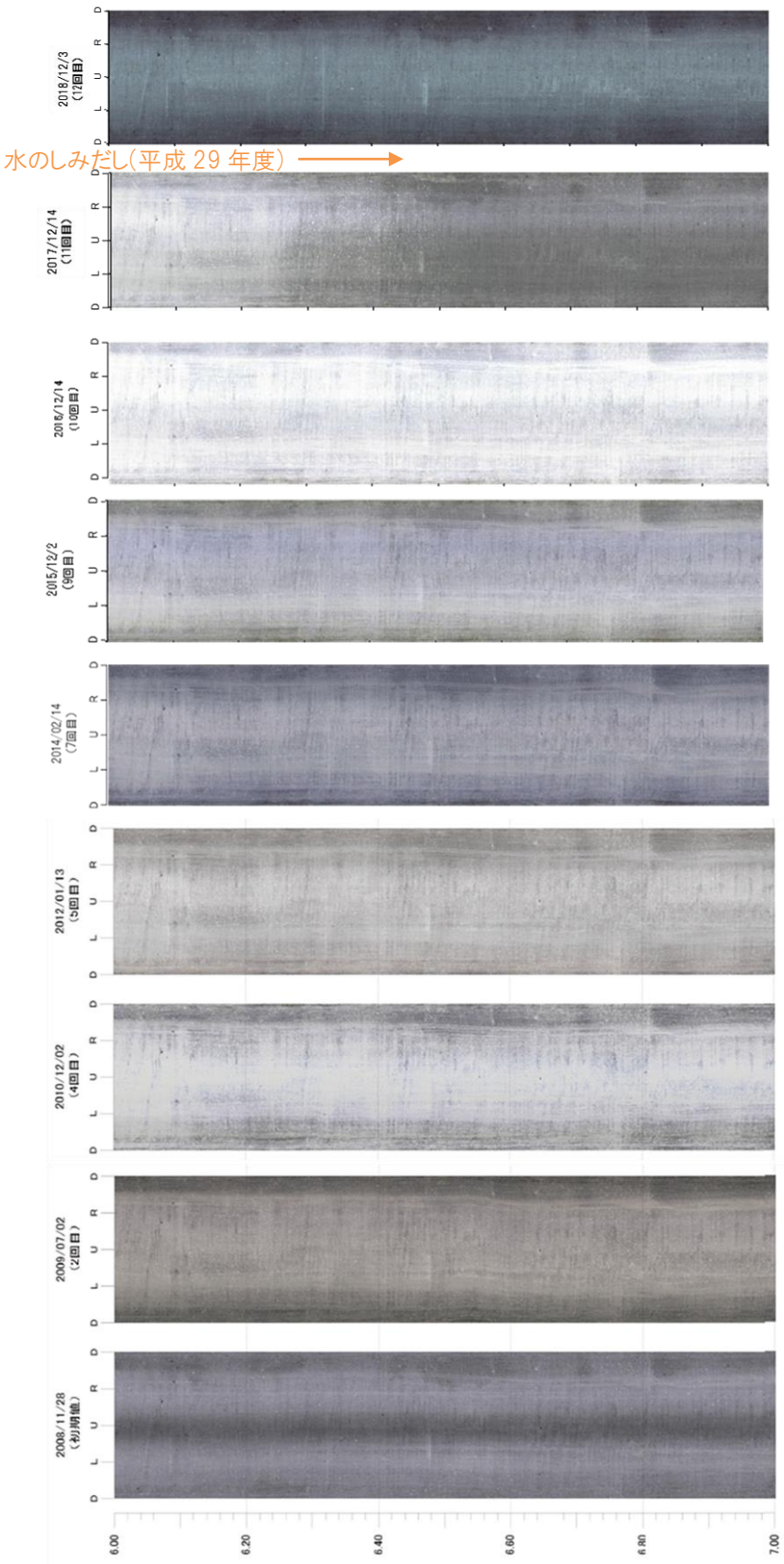


図 3.1-59　前回までの BTV 観察結果との対比（6.000m-7.000m）

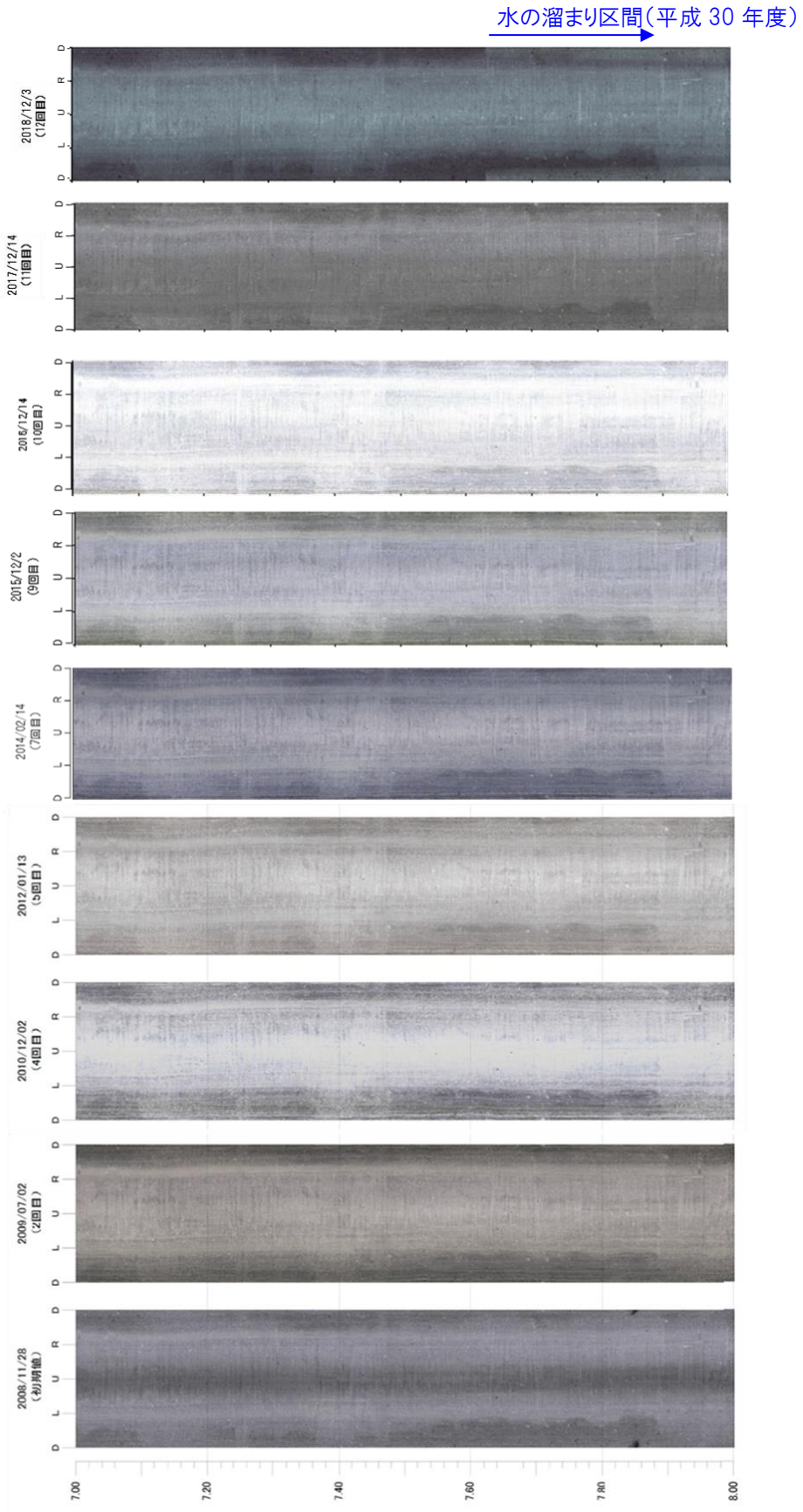


図 3.1-60　前回までの BTV 観察結果との対比（7.000m-8.000m）

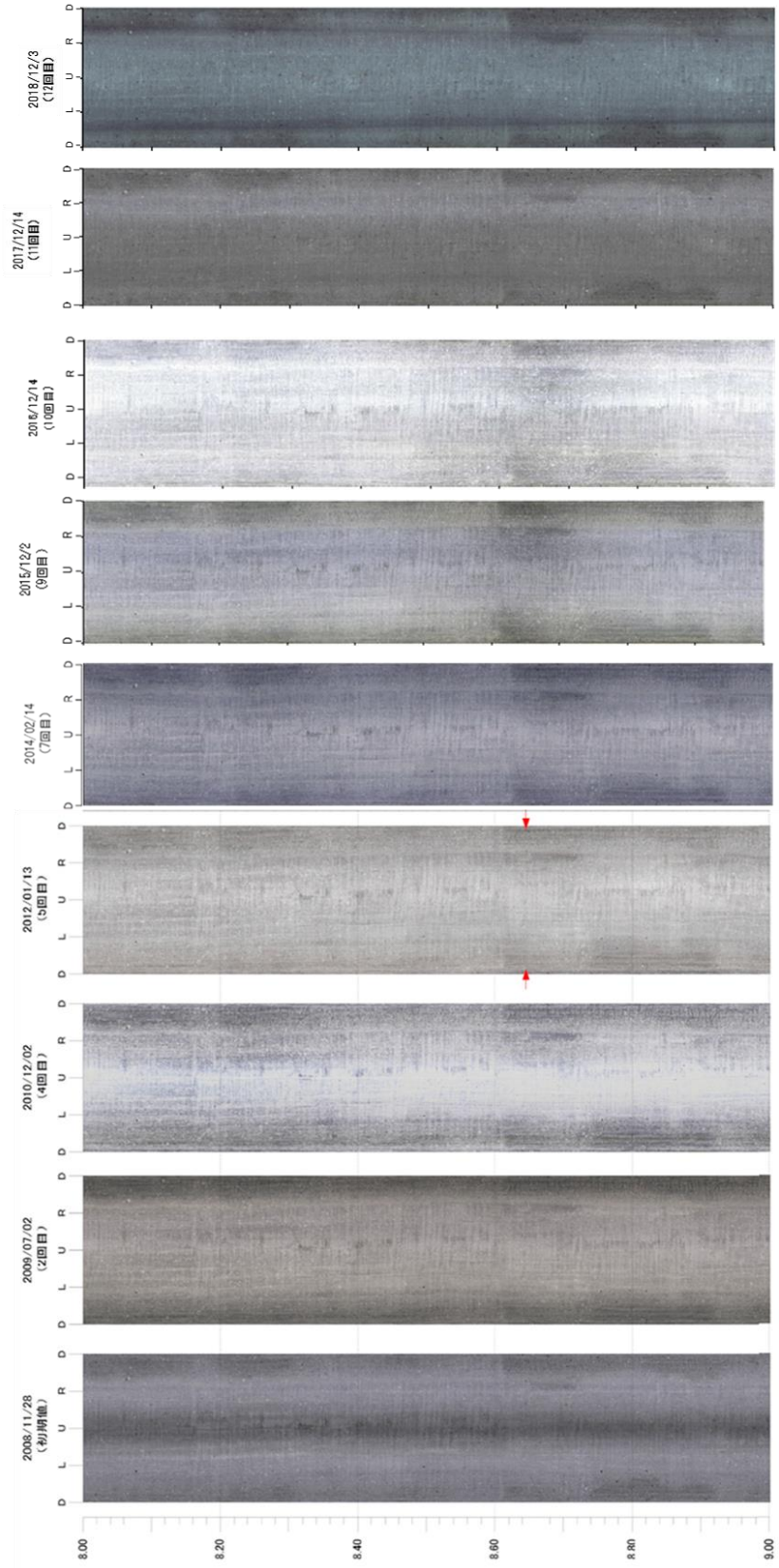


図 3.1-61　前回までの BTV 観察結果との対比（8.000m-9.000m）

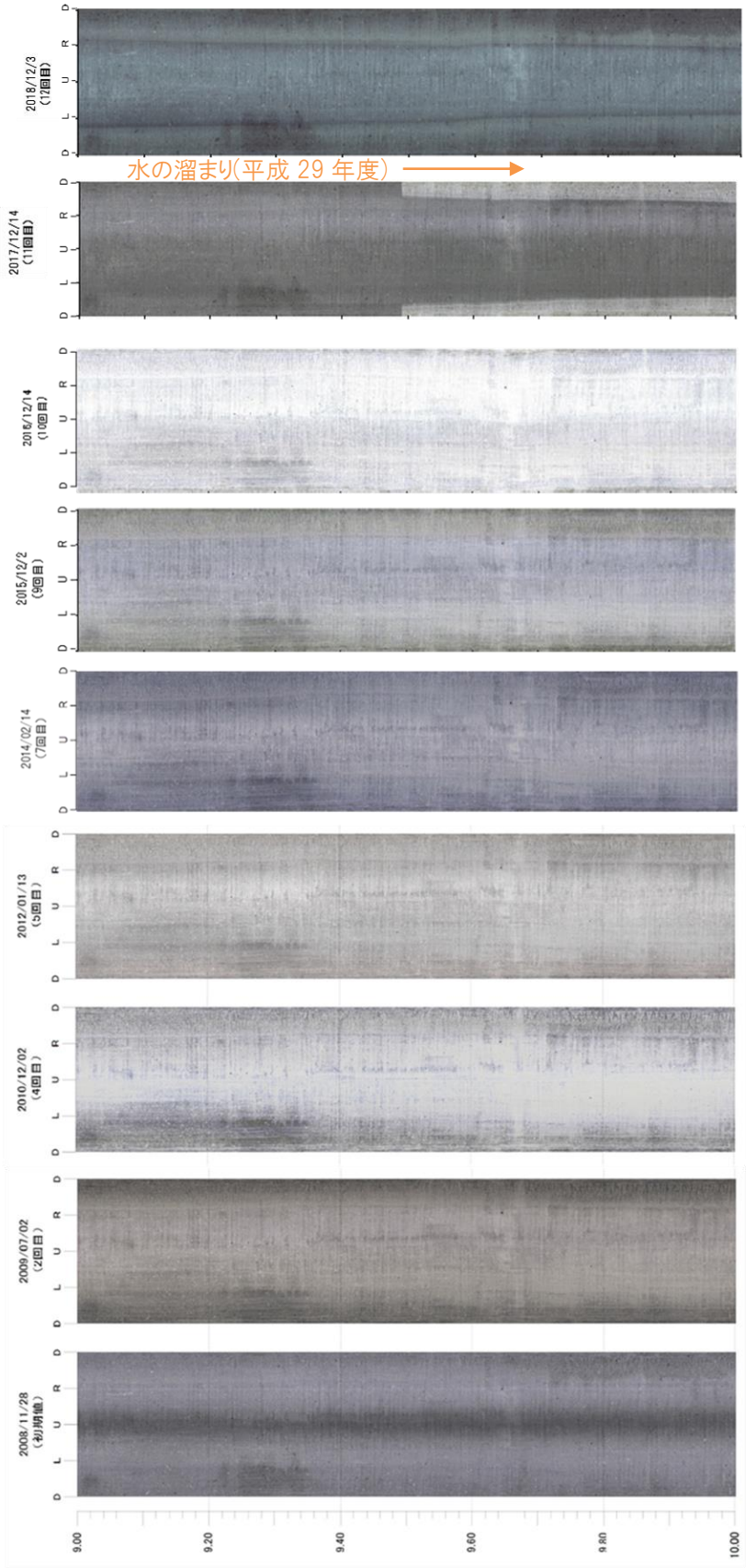


図 3.1-62　前回までの BTV 観察結果との対比（9.000m-10.000m）

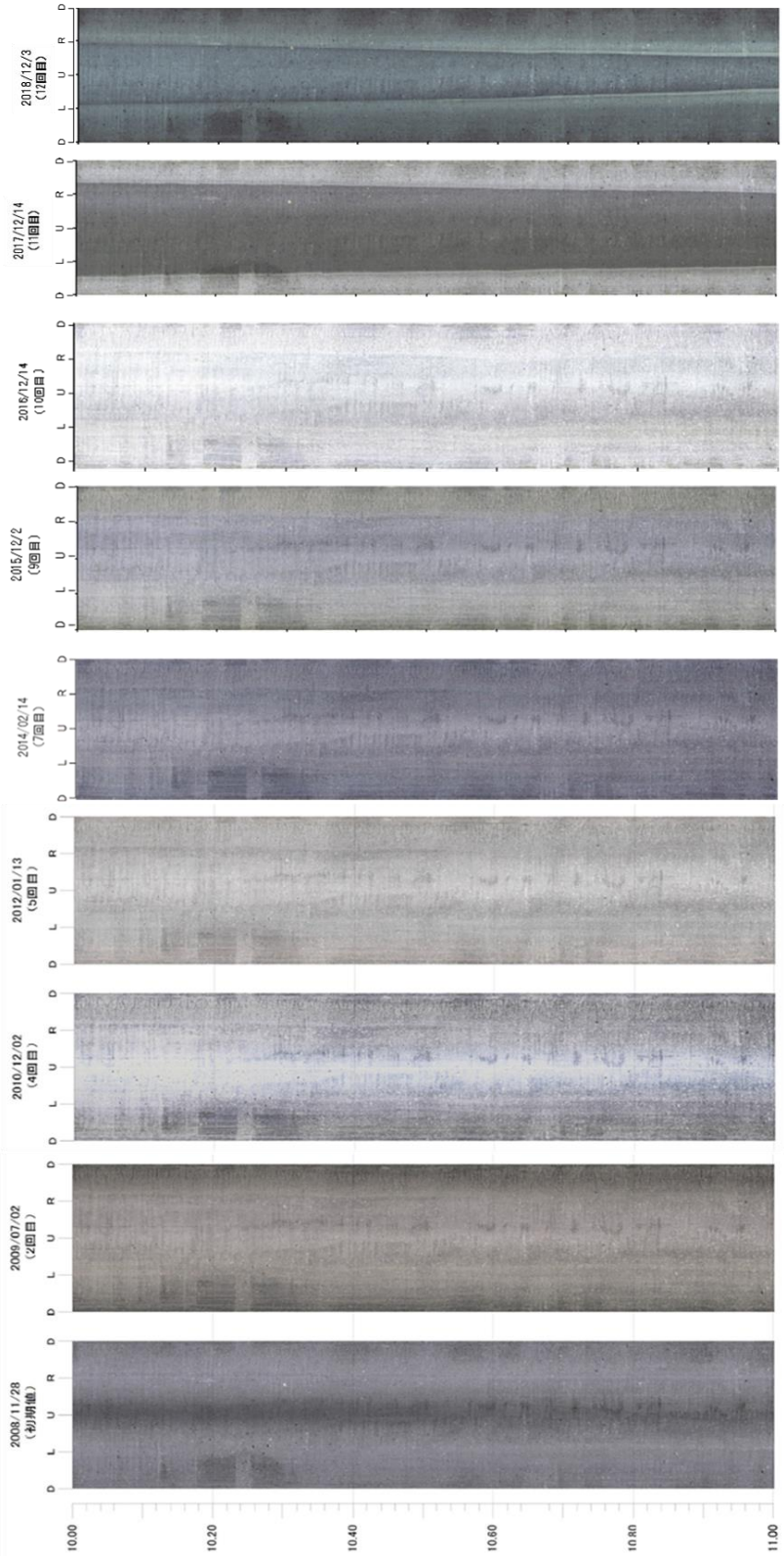


図 3.1-63　前回までの BTV 観察結果との対比（10.000m-11.000m）

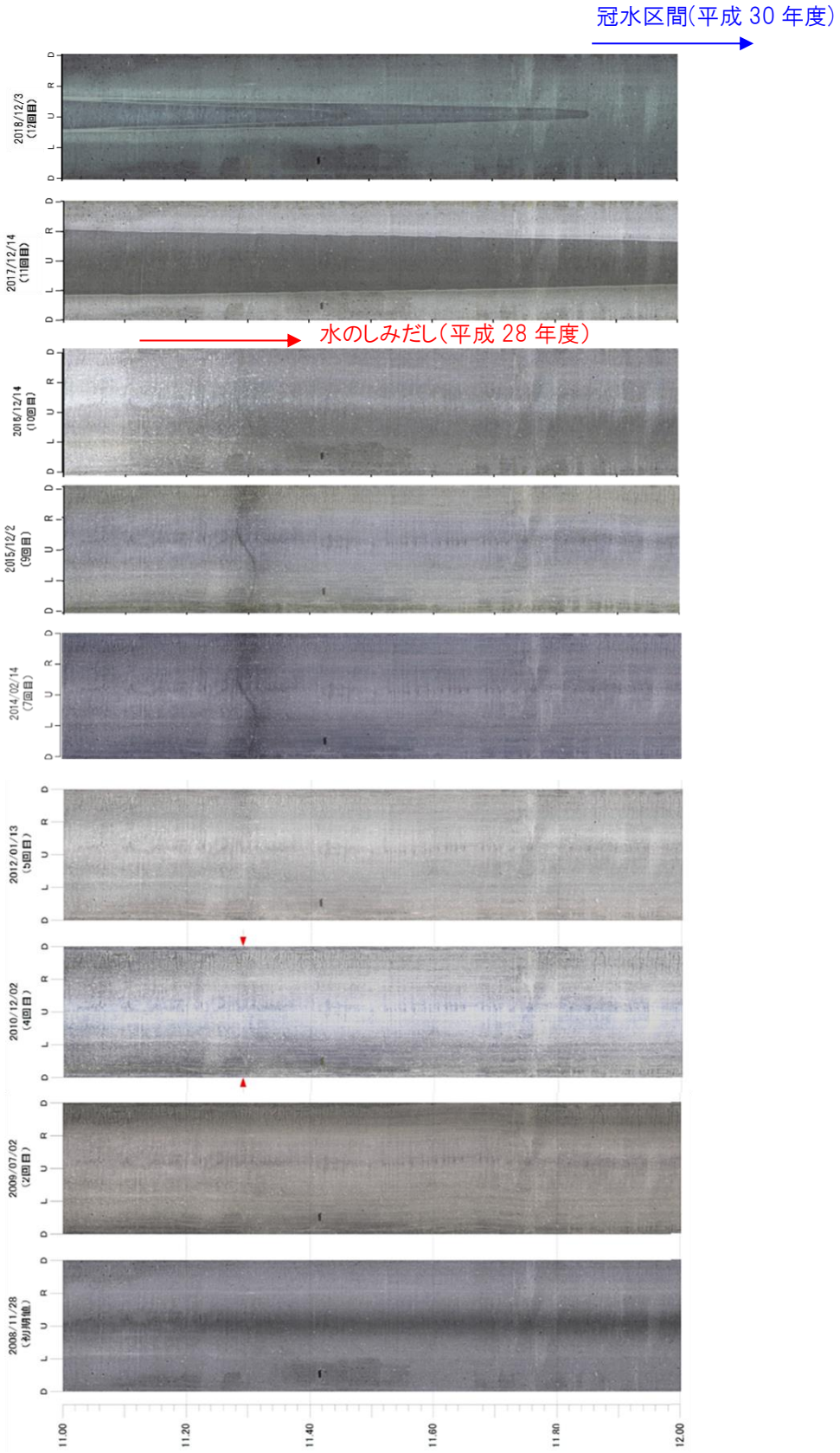


図 3.1-64　前回までの BTV 観察結果との対比（11.000m-12.000m）

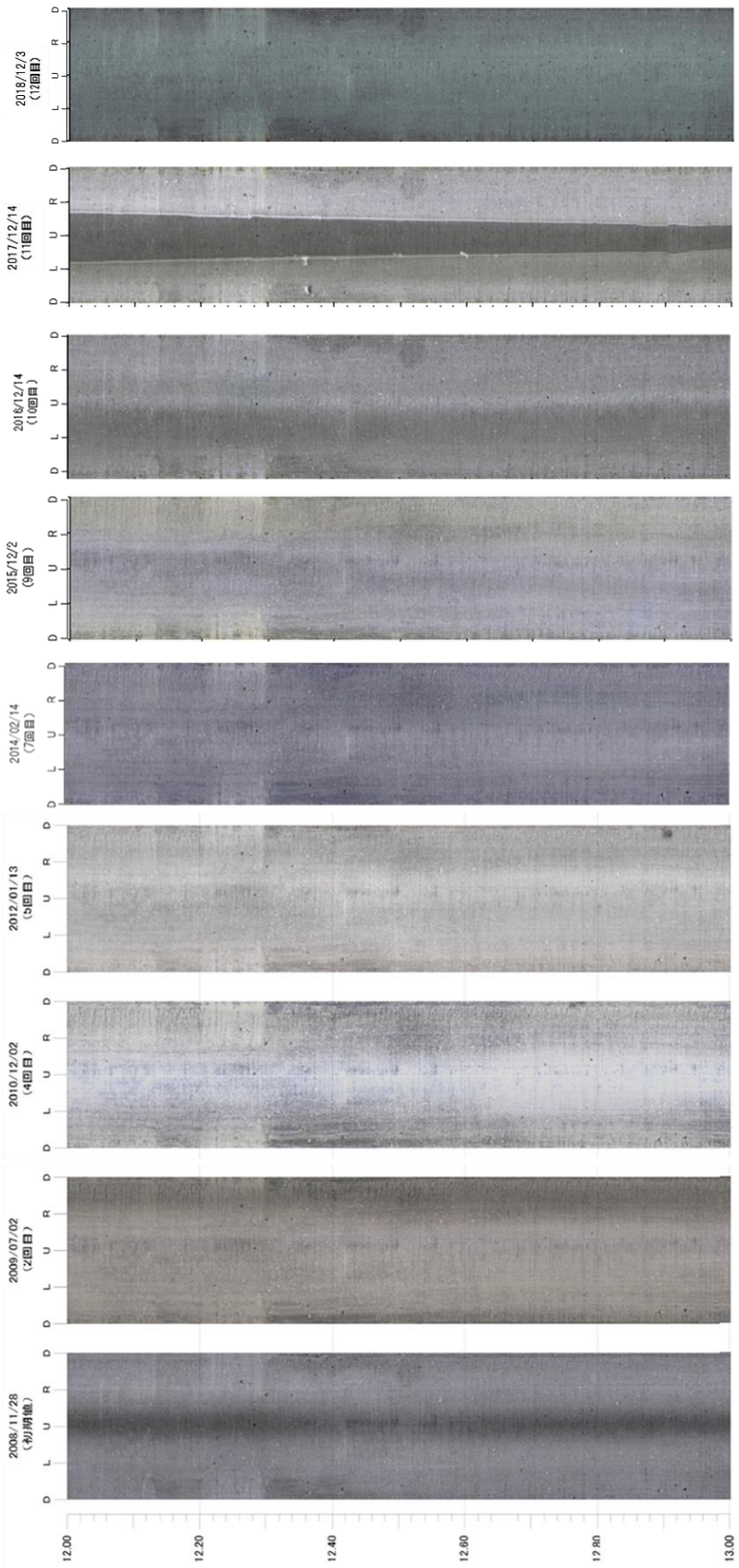


図 3.1-65　前回までの BTV 観察結果との対比（12.000m-13.000m）

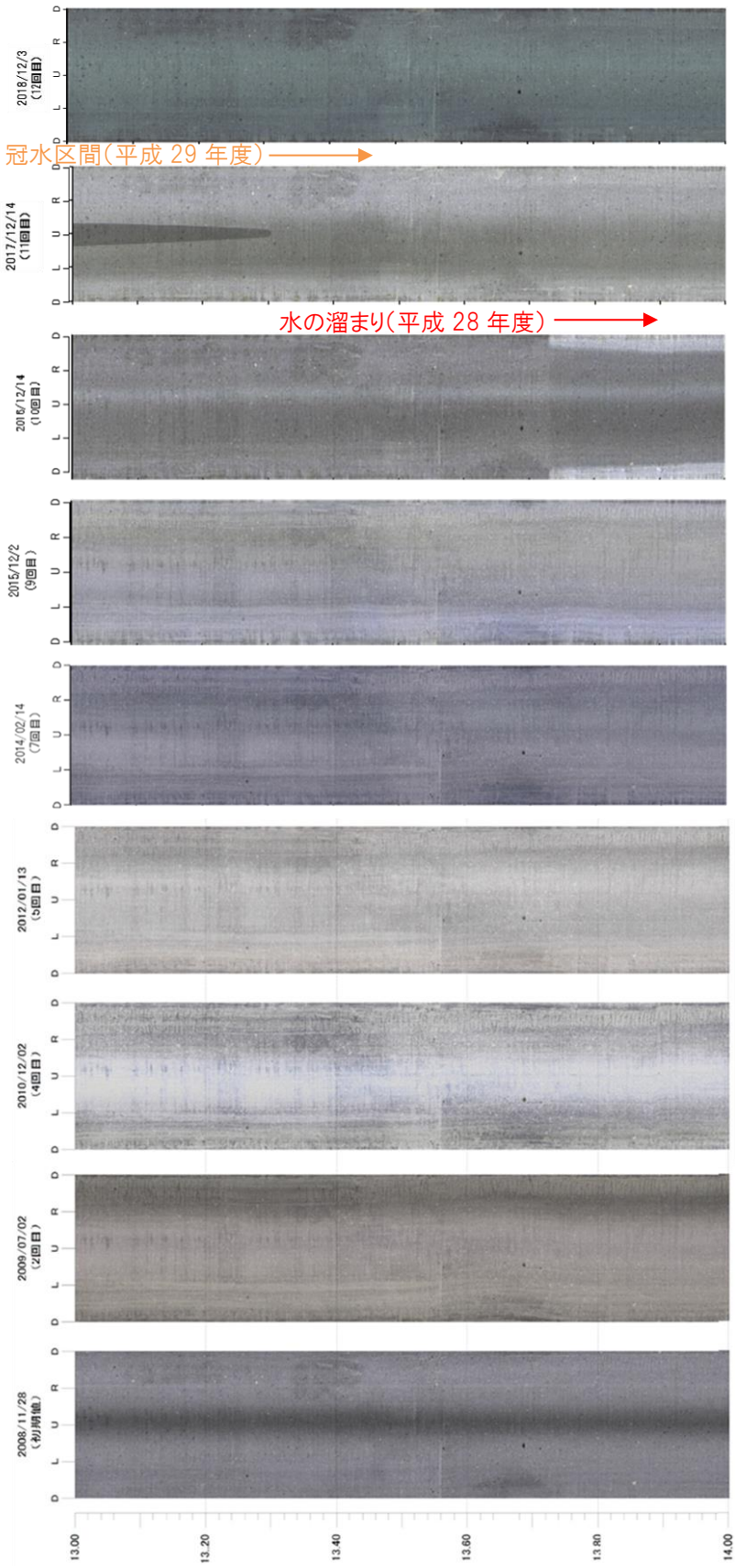


図 3.1-66　前回までの BTV 観察結果との対比（13.000m-14.000m）

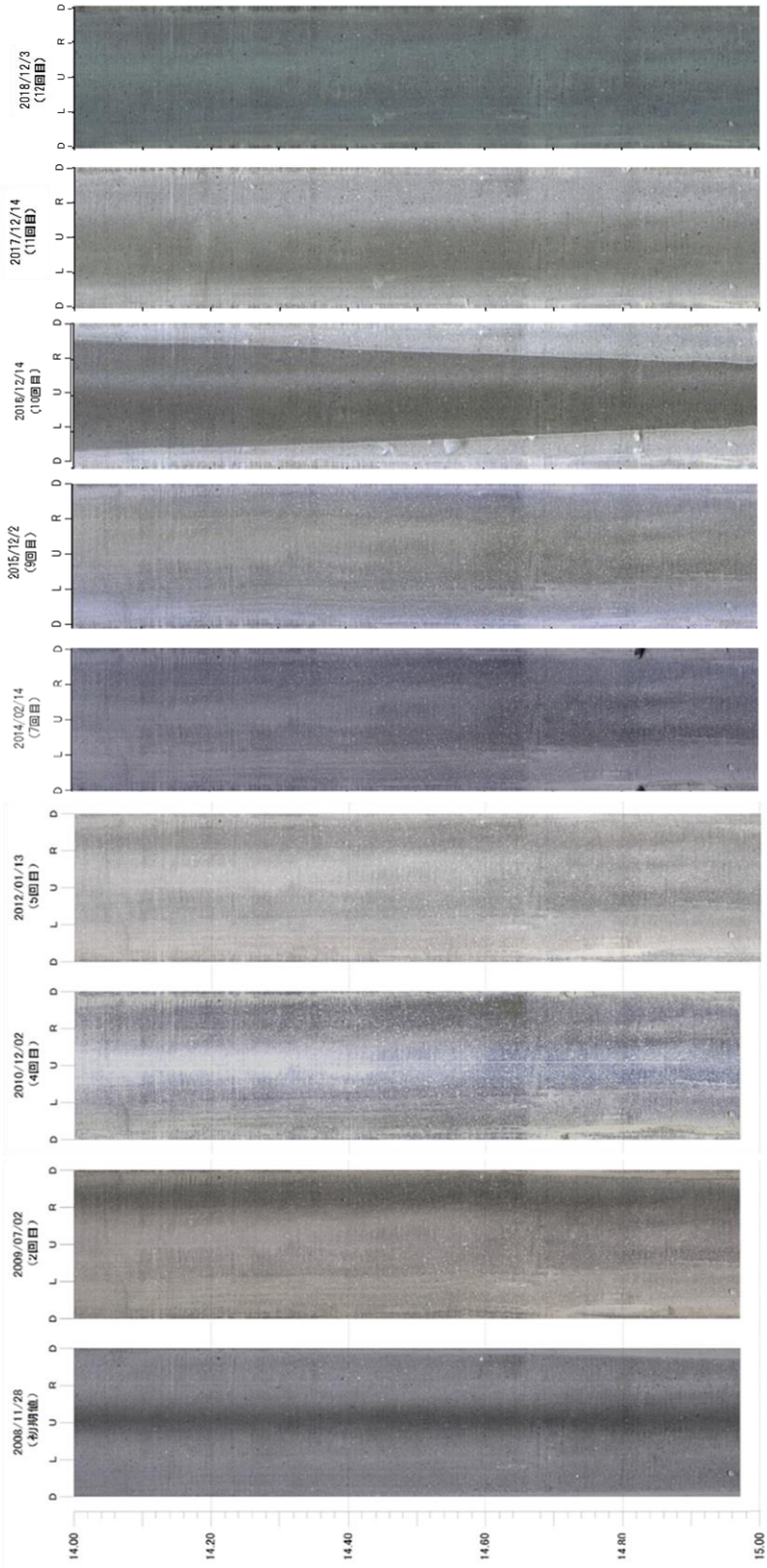


図 3.1-67　前回までの BTV 観察結果との対比（14.000m-15.000m）

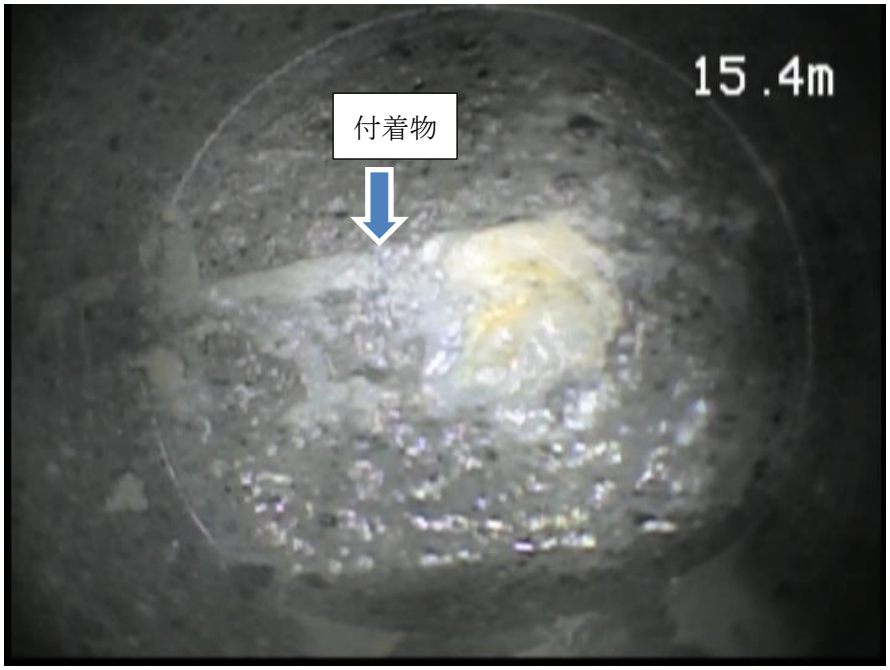


図 3.1-68　前方視カメラで撮影したボーリング孔先端

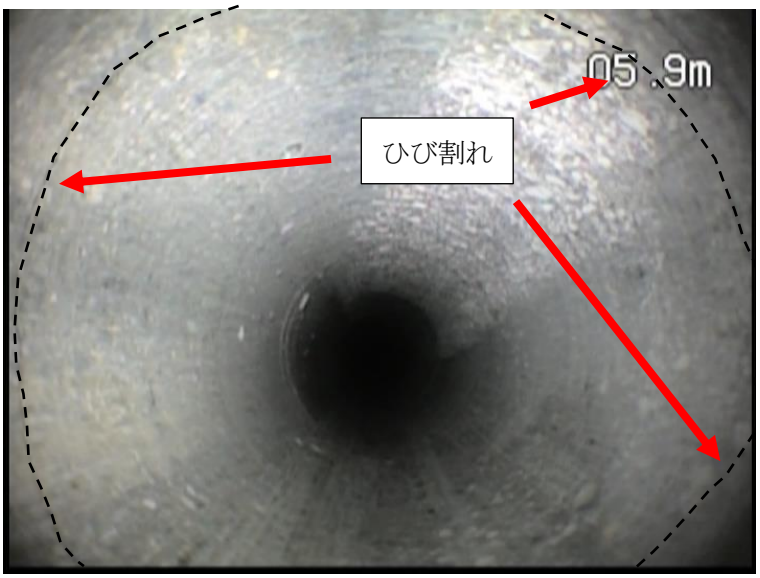


図 3.1-1　前方視カメラで撮影したひび割れ（5.772m 付近）

(f) 計測後の処理

今後、継続的にひび割れ観察を行うことが出来るよう孔の保護処理を行った。具体的には、一辺 200mm 等の鋼板（防錆処理済）を 4 点アンカー留め等の処置をした。観察孔養生後を写真 3.1-3、写真 3.1-4 に示す。

写真 3.1-3　観察孔鉄板養生後

写真 3.1-4　観察孔鉄板養生後（拡大）

d. ボーリング孔内の水質分析

(a) 採水位置

底部低拡散材ボーリング孔内の浸出水の起源及び侵入経路同定の調査として、ボーリング孔内の浸出水の水質分析を行った。

今回の水質分析では、前方視カメラで撮影時に排水したボーリング孔の水と水質分析結果の比較のため図 3.1-70 に示す試験空洞と計測坑Bの湧水も採水した。試験空洞の湧水は、地下水が吹付コンクリートやロックボルトの隙間等から坑道内へ滲み出し、図 3.1-71 に示す側溝の集水桝へ溜まったものである。計測坑 B の湧水は、試験空洞直上付近の坑道内において滲み出した地下水を配水管で導水し、配水管から直接採水したものである（図 3.1-72）。なお計測坑 B は、在来工法（支保工＋鉄矢板）で施工されており、矢板等の隙間から地下水が滲み出している。

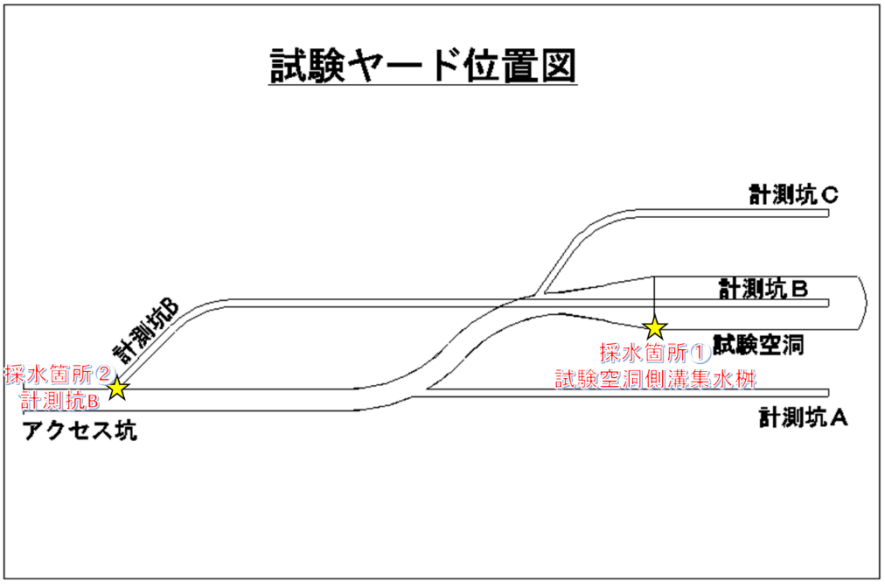


図 3.1-70　空洞と計測坑 B の採水箇所

図 3.1-71　採水箇所①：試験空洞側溝集水桝

図 3.1-72　採水箇所③：計測坑 B 配水管

(b) 採水方法

ボーリング孔の浸出水の採水方法を図 3.1-73 に示す。バキュームにレジューサーを介して塩ビ管を接続し、ひび割れ観測孔の先端付近まで塩ビ管を挿入し採水した。採水状況を図 3.1-74 に示す。採水した水は、すぐに容器へと移した。その際、容器内に空気が残らないように留意した。今回採水した量は、計 13.9 ﾘｯﾄﾙであった。孔内に残留水があると考えられるため、ボーリング孔内には 14～15 ﾘｯﾄﾙ程度はあったものと思われる。

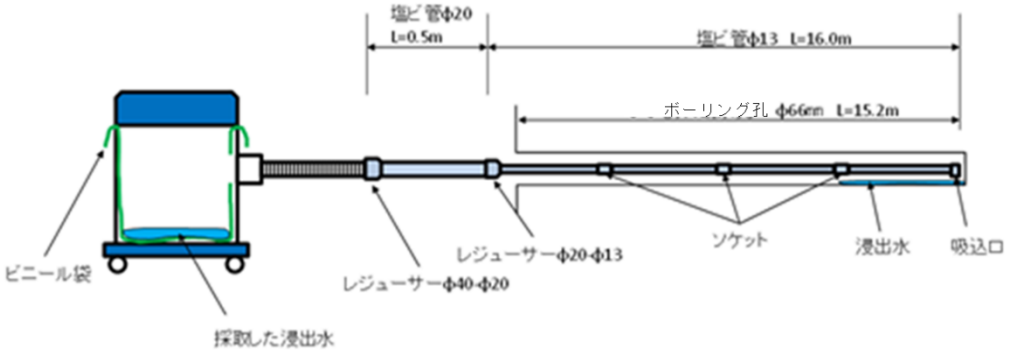


図 3.1-73　採水方法

図 3.1-74　採水状況

図 3.1-75　採水した水（左：採水後全景、右：水深計測）

(c) 水質分析方法

水質分析項目と測定方法を表 3.1-14 に示す。分析項目については平成 18 年に実施された「低レベル放射性廃棄物の次期埋設に関する本格調査結果について[1]」（以下、平成 18 年水質調査）の分析項目に、採水箇所がコンクリート近傍であることを考慮して、鉄、アルミニウム、シリカを追加した。

表 3.1-14　水質分析項目と測定方法

項目	測定の方法	単位
pH	JIS K 0102 12.1 に定めるガラス電極法	-
電気伝導率（EC）	JIS K 0102 13 に定める電気伝導度計による方法（25℃換算値）	mS/m
ナトリウムイオン(Na^+)	JIS K 0102 48.2 に定める原子吸光法	mg/L
カリウムイオン(K^+)	JIS K 0102 49.2 に定める原子吸光法	mg/L
カルシウムイオン(Ca^{2+})	JIS K 0102 50.2 に定める原子吸光法	mg/L
マグネシウムイオン(Mg^{2+})	JIS K 0102 51.2 に定める原子吸光法	mg/L
塩化物イオン(Cl^-)	JIS K 0102 35.3 に定めるイオンクロマトグラフ法	mg/L
硝酸イオン(NO_3^-)	JIS K 0102 43.2.5 に定めるイオンクロマトグラフ法	mg/L
硫酸イオン(SO_4^{2-})	JIS K 0102 41.3 に定めるイオンクロマトグラフ法	mg/L
炭酸水素イオン(HCO_3^-)	JIS K 0101 13.1 に定める滴定法（計算により(HCO_3^-)として表示）	mg/L
炭酸イオン(CO_3^{2-})	JIS K 0101 13.2 に定める滴定法（計算により(CO_3^{2-})として表示）	mg/L
全シリカ（T-Si）	JIS K 0101 44.3.1 に定める融解及び吸光光度法	mg/L
全鉄(T-Fe)	JIS K 0102 57.2 に定める原子吸光法	mg/L
2 価鉄イオン(Fe^{2+})	JIS K 0102 57.1 に定める吸光光度法	mg/L
アルミニウム(Al)	JIS K 0102 58.2 に定める原子吸光法	mg/L

(d) 水質分析結果

水質分析結果を表 3.1-15 に示す。表中には平成 18 年水質調査及び平成 29 年度ボーリング孔内の浸出水の水質分析結果[2]も併せて示しており、これらの結果は、調査坑周辺のボーリング孔（試験空洞施工深度付近）から採水した地下水の分析結果である。また一般的な地下水の主要イオンについて、図 3.1-76 と図 3.1-77 に水質ヘキサダイヤグラムをそれぞれ示す。

ボーリング孔、試験空洞、計測坑 B の結果からは、以下のことが明らかとなった。

- 試験空洞や計測坑 B の湧水と比べ、ボーリング孔内の浸出水は、pH が高く高アルカリ性であった。
- ボーリング孔内への浸出水の電気伝導率、カリウムイオン、硫酸イオン、炭酸イオンは試験空洞・計測坑 B の湧水に比べて 10 倍以上の高い値を示し、ナトリウムイオンがやや高い値を示した。
- ボーリング孔内への浸出水のカルシウムイオン、マグネシウムイオン、塩化物イオン、炭酸水素イオンは、試験空洞・計測坑 B の湧水と比べ、やや低い値を示した。
- 試験空洞と計測坑 B の湧水を比較すると、ほぼ同じような組成であったが、試験空洞のほうが、カルシウムイオン、硫酸イオンなどがわずかに高い値を示した。

また平成 18 年水質調査結果も考慮すると、以下のことが分かった。

- 平成 18 年水質調査結果の軽石混じり砂岩層と軽石凝灰岩層では、ほぼ同じ組成であった。
- これらの分析結果に対して、試験空洞の湧水は、カルシウムイオンがやや高い値を示した。
- 計測坑 B の湧水は、平成 18 年水質調査結果とほぼ同じ組成を示した。

平成 29 年度水質調査と比較すると、以下のことが分かった。

- 観察孔内の浸出水のナトリウムイオンが 10 分の 1 程度に減少したが、それ以外の調査項目で大きな変化はなかった。

表 3.1-15　水質分析結果

項 目（単位）		平成30年度 観察孔内水※2 (2018/12/3採取)	試験空洞 側溝 (2018/12/3採取)	計測孔B (2018/12/3採取)	平成29年度 観察孔内水 (2017/12/6採水)	**平成18年水質調査 軽石混じり砂岩層※3**	**平成18年水質調査 軽石凝灰岩層※3**
pH		12.49	8.33	7.84	12.6	8.9～9.5	8.3～8.7
EC	mS/m	679	21.7	18.11	709	-	-
Eh	mV	-	-	-	-	-224～-24	-106～-79
Na^{+}	mg/L	58.6	21.6	16.7	607	28～31	17～19
K^{+}	mg/L	338.7	1.8	2.89	396	1.4～1.6	0.8～1.1
Ca^{2+}	mg/L	2.93	16.05	8.52	4.1	0.1～0.5	4.6～11
Mg^{2+}	mg/L	0.01	2.34	4.79	0.01	0.1～0.2	1.5～4.8
Fe^{2+}	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-
Cl^{-}	mg/L	4.88	17.2	22.04	4.8	13～16	11～18
HCO_3^{-}	mg/L	0	67.3	49.5	0	30～37	37～40
SO_4^{2-}	mg/L	403.4	20.71	2.17	395	7.8～13	12～16
NO_3^{-}	mg/L	34.08	0.08	10.66	18	-	-
CO_3^{2-}	mg/L	142	0.5	0	194	3.6～11	0～1.2
T-Si	mg/L	34.3	24.7	17.2	30.5	-	-
T-Fe	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-
Al	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	5.1	-	-

※1 pH、電気伝導率は分析室での測定値である。

※2 ひび割れ観測孔内の浸出水について、試験空洞・計測坑 B と比べ、高い値を赤字に、低い値を青字で示した。

※3 水質分析結果は、試験空洞施工深度付近のデータ

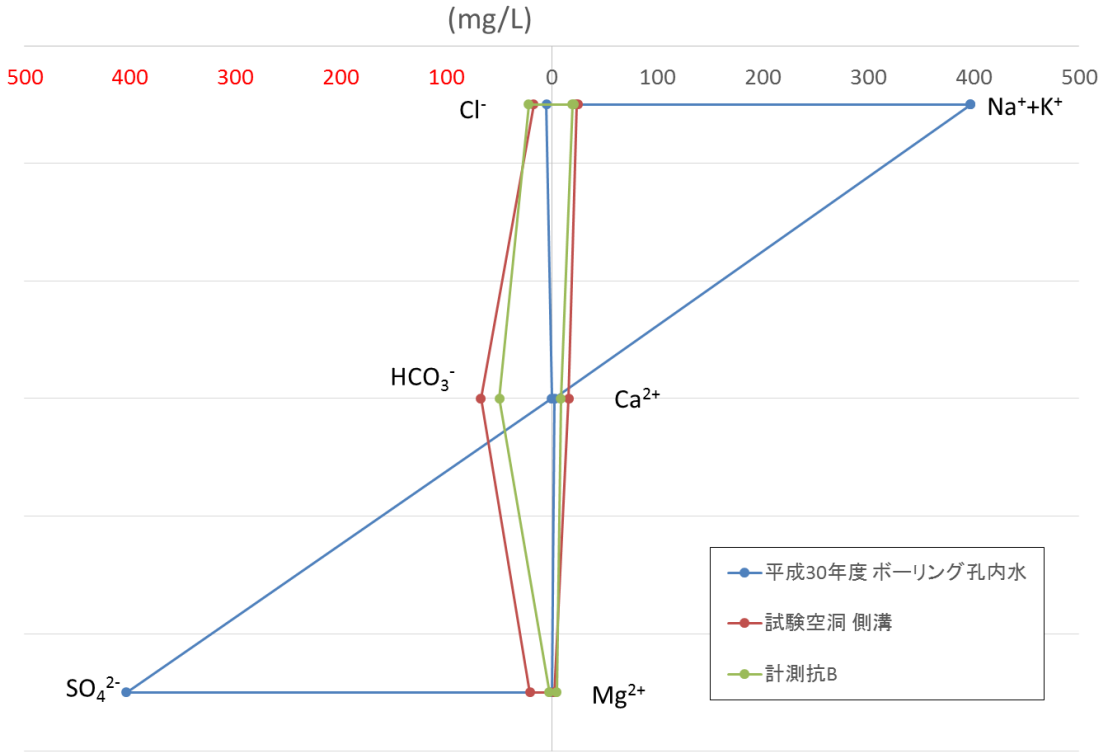


図 3.1-76　水質ヘキサダイヤグラム

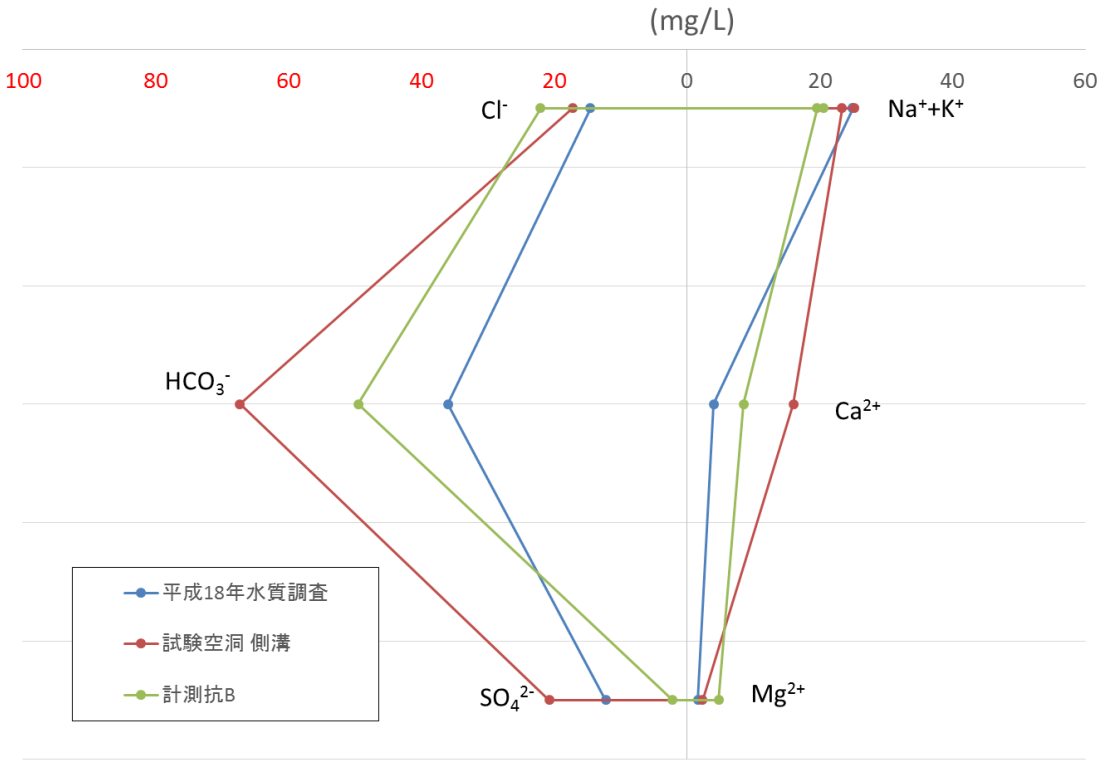


図 3.1-77　水質ヘキサダイヤグラム（平成 18 年水質調査）

（図中の平成 18 年水質調査は、表 3.1-15 の軽石混じり砂岩層と軽石凝灰岩層の平均値）

(e) 水質分析結果の考察

表 3.1-16 に示すように、ボーリング孔の浸出水の原因として考えられるのは、空洞周辺の地下水か、結露水である[3]。本調査結果から、ボーリング孔の浸出水は、空洞周辺の地下水の組成と異なることが明らかとなった。また結露水は一般に純水に近い組成であるため、これもボーリング孔の浸出水の組成と異なる可能性が高い（結露水は夏場にしか出現しないため、冬場に行った本調査では採水できなかった）。したがって、地下水や結露水がボーリング孔へ侵入する過程、あるいはボーリング孔内で溜まっている間に周辺の材料の影響を受け、水質が変化したと考えられる。実際にボーリング孔周辺のコンクリートに使われている低熱ポルトランドセメントやベントナイトには、表 3.1-17 [4]や表 3.1-18 [5]に示すように、一般的にはナトリウムやカリウムを含んでいる。

表 3.1-16　浸出水の原因・侵入経路

原　因	発生場所	経　路	可能性	備考
地下水	空洞周辺	防水シート～埋戻し材コンクリート～底部低透水層～底部低拡散層	小	・防水シートは空洞全周に敷設されている。 ・埋戻し材コンクリートにひび割れは確認されていない。 ・低透水層中の間隙水圧上昇は確認されていない。 ・低透水性のベントナイトを通過するのに長時間がかかる。
施工で使用した水	試験施設上部	各人工バリアの界面、ひび割れ等	無し	・平成 26 年度以降、施工水の使用は無い。
停電時の水没による浸水	試験空洞	BTV 観察孔（孔口） 底部低透水層	小	・観察孔口はコーキング剤による養生を実施（密封状態） ・浸水時間は短く、水圧はほとんど作用していない。ベントナイトは低透水性で通過に長時間がかかる。
結露	試験施設上部	各人工バリアの界面、ひび割れ等	小	【水が通過する可能性がある経路】 (a) 充填材～側部コンクリートピットの界面 (b) 側部コンクリートピット～側部低拡散層の界面 底部コンクリートピットにひび割れがあれば侵入経路となる可能性がある。

表 3.1-17　セメント化学組成（太平洋セメント㈱HP から抜粋）

種類＼項目	区分	強熱減量 ig.loss %	酸化マグネシウム MgO %	三酸化硫黄 SO_3 %	塩化物イオン Cl^- %	全アルカリ Na_2Oeq %	けい酸三カルシウム C_3S %	けい酸二カルシウム C_2S %	アルミン酸三カルシウム C_3A %	鉄アルミン酸四カルシウム C_4AF %
低熱ポルトランドセメント	JIS規格値	≦3.0	≦5.0	≦3.5	≦0.02	≦0.75	—	≧40	≦6	—
	当社品質例	0.64	0.67	2.49	0.004	0.40	27	55	2	9
普通ポルトランドセメント	当社品質例	2.26	1.41	2.10	0.015	0.50	56	18	9	9
中庸熱ポルトランドセメント	当社品質例	0.50	0.95	2.36	0.005	0.50	43	36	3	13
高炉セメントB種	当社品質例	1.64	3.31	2.05	0.010	—	—	—	—	—

表 3.1-18　ベントナイト（Kunigel V1）の化学組成（核燃料サイクル開発機構、1999）

成分	全岩	水ひ試料
SiO_2	69.9	61.3
TiO_2	0.18	0.16
Al_2O_3	14.4	22.0
Fe_2O_3	1.91	1.78
FeO	0.47	0.22
MnO	0.06	0.02
MgO	1.86	3.58
CaO	1.87	0.68
Na_2O	2.70	3.60
K_2O	0.30	0.10
P_2O_5	0.05	0.02
強熱減量 1)	5.04	6.30
合計	98.74	99.76
その他		
Cl^-	0.03	
全S	0.55	
SO_4^{2-}	0.21	
C	0.61	
CO_3^{2-}	1.7	
乾燥減量 2)	8.50	8.71

1)1000℃

2) 室温放置試料の 105℃恒量までの減量

そのほか、計測坑 B の湧水については、平成 18 年水質調査結果とほぼ同じ組成であったため、地山の地下水と考えられるが、試験空洞の湧水については、わずかではあるがカルシウムイオンや硫酸イオン等が高く、吹付コンクリートの影響を受けている可能性がある。

また、平成 29 年度調査と比較してボーリング孔内のナトリウムイオンが減少した理由は、水みちがあると考えられているセメントやベントナイトからナトリウムイオンが溶出するスピードが減少したためと考えられる。実際ナトリウム型ベントナイトは水で膨潤する際にナトリウムイオンを溶出するが、自身の膨潤による透水係数の低下のため水と反応するベントナイトの量が減り、ナトリウムイオンの溶出スピードは低下すると考えられる[6]。今後もベントナイトやセメントから各種イオンが溶出するスピードが変化する可能性があるため、経過観察が必要である。

(5) 地中無線データ回収

平成 20 年に底部低透水層を施工した際に温度計、間隙水圧計を内蔵した地中無線送信装置が設置されており、センサーの計測頻度は 1 回／日、データ取得頻度は 1 回／年として運用している。

地中無線全体システムを図 3.1-78、送信装置を図 3.1-79、センサーの仕様を表 3.1-19、データ回収状況を写真 3.1-5 に示す。通信システムは受信地点に受信機と命令送信機をセットし、埋設されている無線通信装置と常時双方向通信できるようになっているが、現在は、受信機を定期的にセットし、データを回収する形式で運用中である。データ取得時は、試験施設手前に受信装置を配置して、データ送信命令の信号を送ってデータを送信・受信している。現在、無線通信装置は、内蔵している電池の消耗を極力防ぐため、月・水・金曜日の午前 10 時 25 分から午後 3 時 25 分まで 30 分間隔で、受信器から送られてくる指令を受信待機するモードになっている。

平成 28 年度のデータ回収において、2015 年 12 月 3 日～2016 年 2 月 18 日のデータが回収できなかった。その原因として、計測器（送信側）のバッテリ消耗とデータ受信中に送受信機間で通信不具合が生じたことが挙げられる。メーカ（坂田電機）のバッテリ保障期間は 5 年であり、計器を稼働してから平成 28 年度で 8 年目となるため、バッテリの消耗が考えられる。平成 29 年度は、データ通信時のバッテリの負担を減らすために、1 回の通信で送信するデータ量を従来の 1 年分から 1 か月分に分割し、データ回収を回収した。この結果、計器の稼働時間内に計 4 ヶ月分（平成 29 年 8 月 9 日~平成 29 年 12 月 6 日）のデータを回収できた。

計測開始から 10 年目となる本年度は、更なるバッテリの消耗が考えられるため、本年度計測されたデータを含め、未回収のデータをすべて回収することが不可能と考えられた。このため、底部低透水層の経年変化を計測するために、表 3.1-20 のようにデータ未回収期間の 2 か月ごとに、連続した 10 日間の計測結果を回収した。14:55 以降のデータ回収では、バッテリの消耗状態を考慮して、1 回の回収あたり 20 個のデータを回収した。図 3.1-80 に現在までに回収したデータを示す。

温度は、坑道内の外気による換気の影響により外気温の年変化の影響を受けていることが分かる。間隙水圧については低透水層中に水が浸入していないため間隙水圧計のフィルター内の気圧を測定している状態であり、設置時の 1 気圧のまま変化していない。

昨年度無線通信装置のデータを回収した際、地中無線内部の時計が 2 分 30 秒ほど遅延していたため、昨年のデータ回収後に内部の時計を修正した。本年度では 30 秒ほどの遅延が確認された。データ回収後に地中無線内部の時計を修正した。

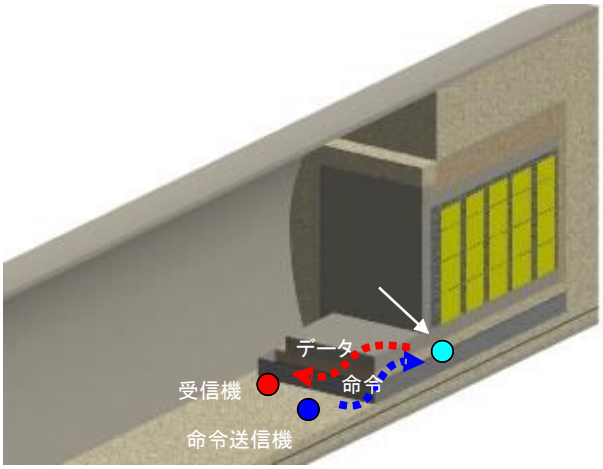


図 3.1-78　地中無線全体システム

・送信装置容器：φ215mm、L=310mm
・内部に通信制御回路、データロガー、電源関連装置等を収納

図 3.1-79　送信装置

表 3.1-19　センサーの仕様

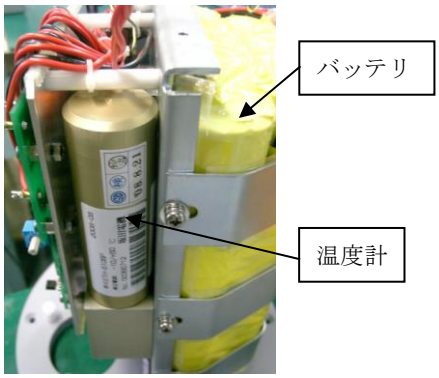
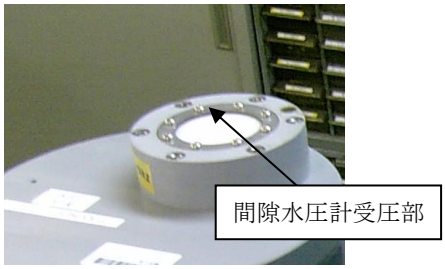
名称	仕　様	センサー写真
温度計	測　定　範　囲：＋70℃ 精　　度：1℃以内	
間隙水圧計	測　定　範　囲：600kPa 精　　度：±1kPa	

表 3.1-20　回収したデータ

NO.	通信時刻	回収個数	回収データ		
1	10:25	10	2018/11/24	～	2018/12/3
2	10:55	10	2018/9/24	～	2018/10/3
3	11:25	10	2018/7/25	～	2018/8/3
4	11:55	10	2018/5/25	～	2018/6/3
5	12:25	10	2018/3/25	～	2018/4/3
6	12:55	10	2018/1/25	～	2018/2/3
7	13:25	10	2017/5/25	～	2017/6/3
8	13:55	10	2017/3/25	～	2017/4/3
9	14:25	10	2017/1/25	～	2017/2/3
10	14:55	20	2016/1/26	～	2016/2/14
11	15:25	20	2017/6/24	～	2017/7/13

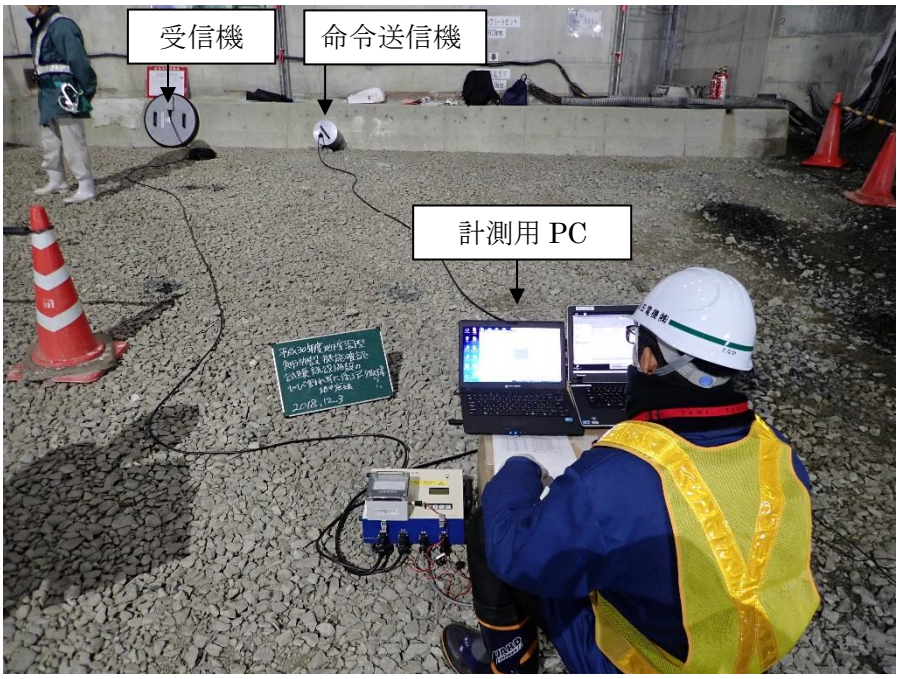


写真 3.1-5　地中無線データ回収状況

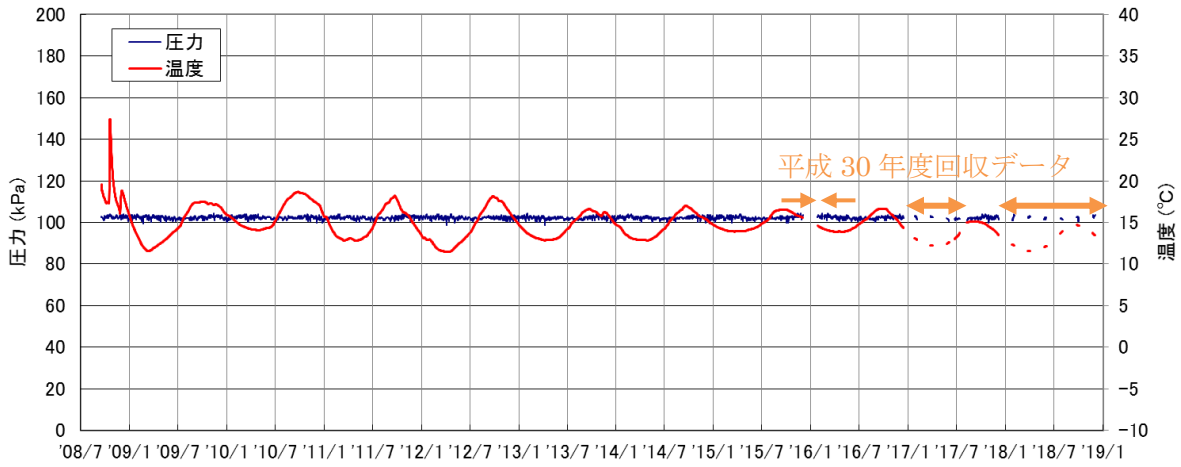


図 3.1-80　無線通信装置で測定中の低透水層中の温度と間隙水圧

また、地中無線計器近傍に有線計器を設置しており、平成 29 年度のデータ回収以降に有線計器で計測した値と比較し、無線通信で回収したデータと比較した。(図 3.1-81)、双方の温度計データを図 3.1-82、間隙水圧計データを図 3.1-83 に示す。地中無線計器の計測値は近傍の有線計器の計測値と同等であった。また表 3.1-20 に示すような断続的なデータ回収方法であっても、温度の季節変動の傾向は概ね捉えられていた。

今後も、地中無線による長期計測の実績確保のため、バッテリが消耗し停止するまで計測を継続する予定である。

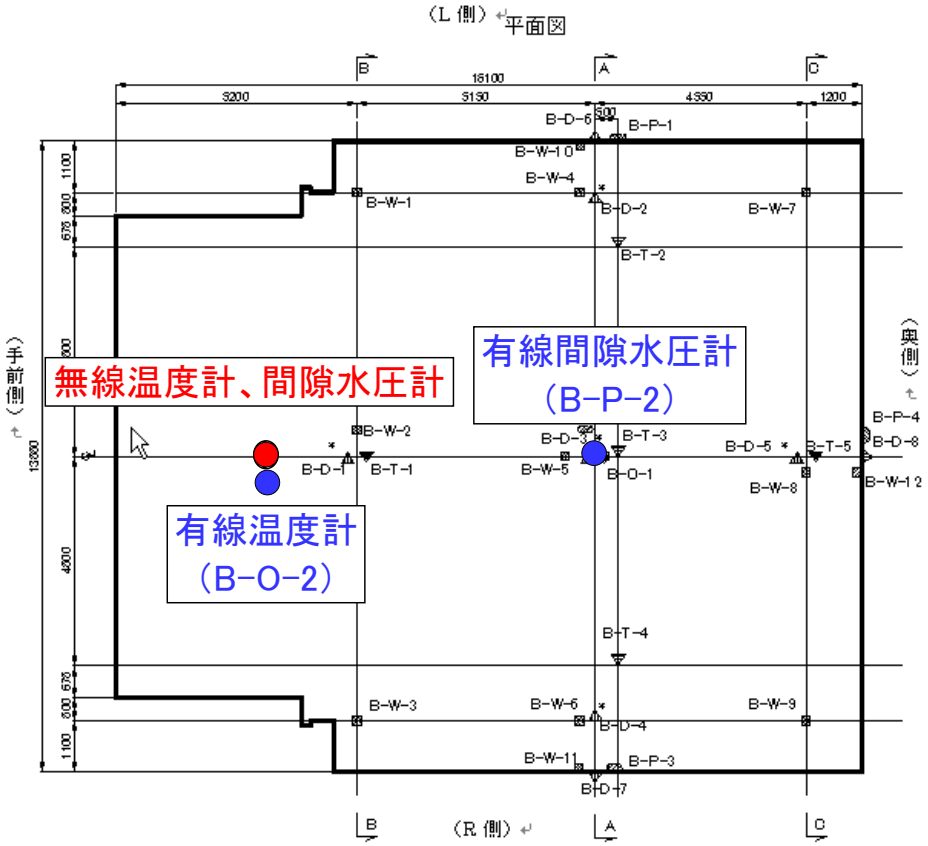


図 3.1-81　地中無線計器及び有線計器の設置位置

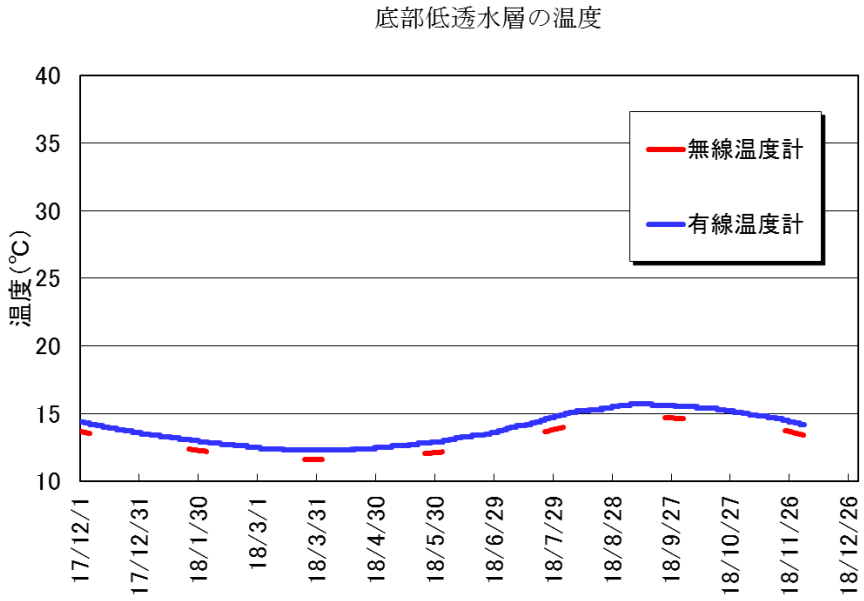


図 3.1-82　地中無線計器と有線計器の温度データ回収結果

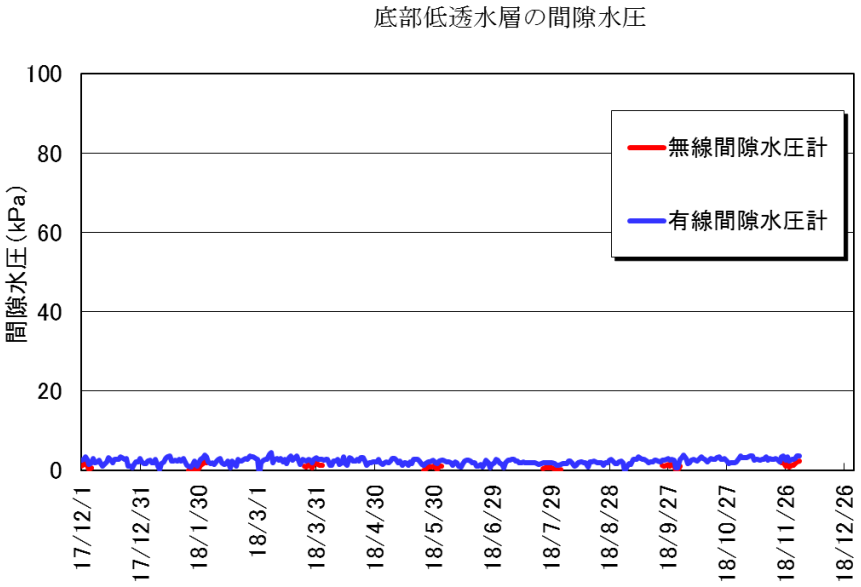


図 3.1-83　地中無線計器と有線計器の間隙水圧データ回収結果

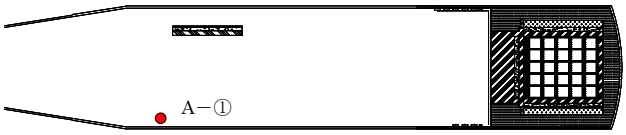
3.1.2　計測データの整理

今年度回収した計測データを整理、集約した。対象項目を表 3.1-21 に示す。

表 3.1-21　計測データ整理対象項目

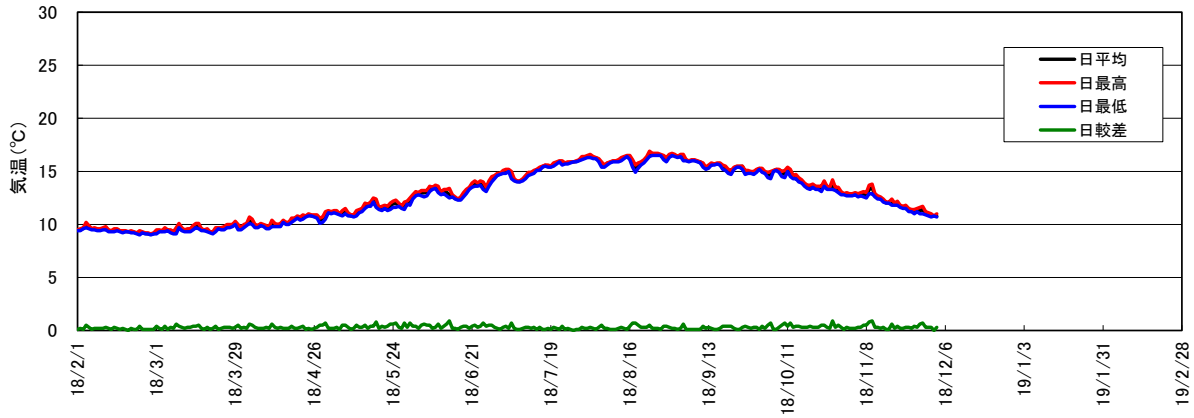
項　目	内　容	データ格納先
既設静的計測データ	経時変化図	添付資料 4
地震動観測データ	経時変化図、付加情報	添付資料 5

整理した図の例として、坑内環境（百葉箱温湿度計）の経時変化を図 3.1-84、上部埋戻し材の沈下計及び温度計の経時変化を図 3.1-85～図 3.1-86、周辺岩盤挙動の岩盤変位計の経時変化を図 3.1-87、間隙水圧計の経時変化を図 3.1-88～図 3.1-89、観測された地震動データのうち最大加速度を記録した 2018 年 9 月 6 日（1）の加速度時刻歴を図 3.1-90～図 3.1-92 に示す。



平面図

百葉箱気温



百葉箱湿度

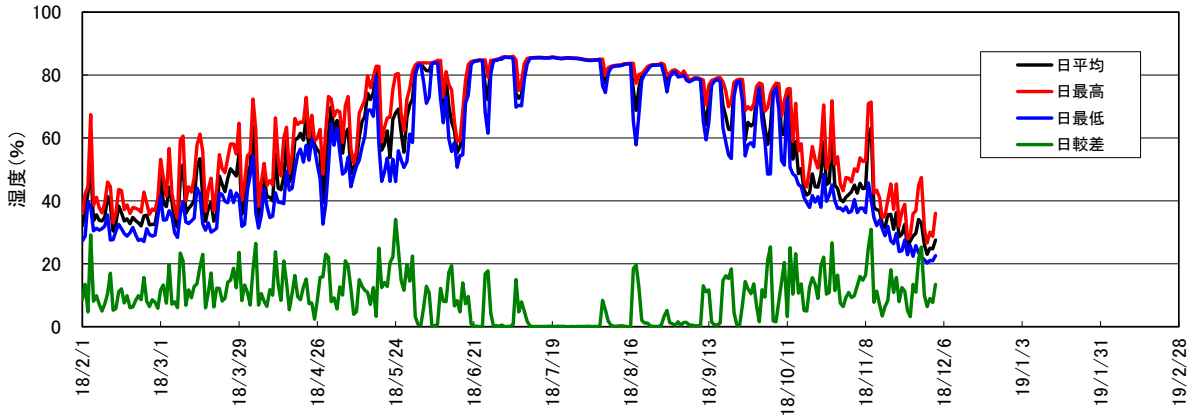
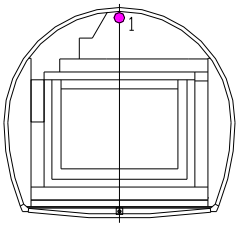


図 3.1-84　百葉箱温湿度計測結果



計測結果の凡例

U－T－x

↓

位置

上部埋戻し材の沈下

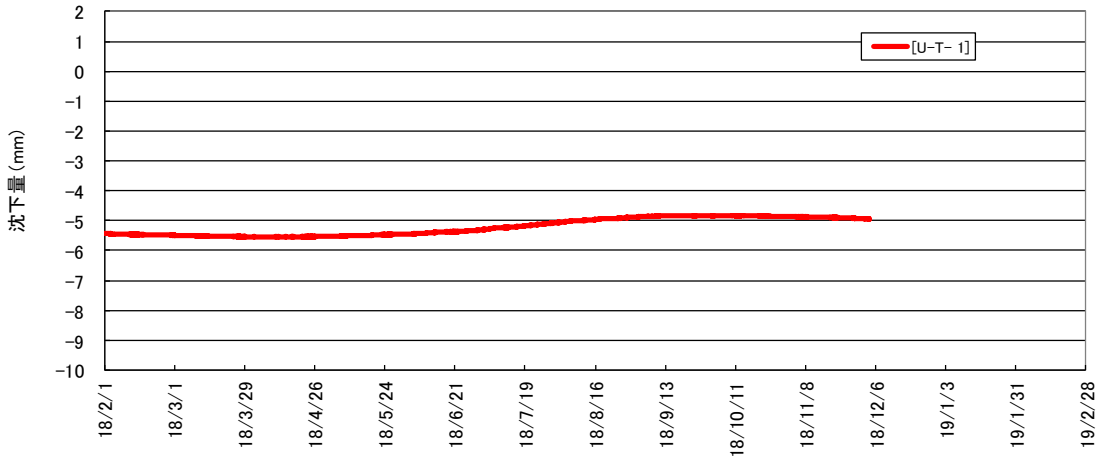
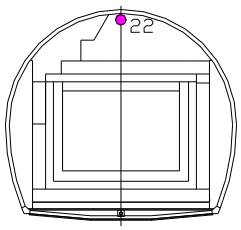


図 3.1-85　上部埋戻し材の沈下計測結果



計測結果の凡例

U－O－x

↓

位置

上部埋戻し材の温度

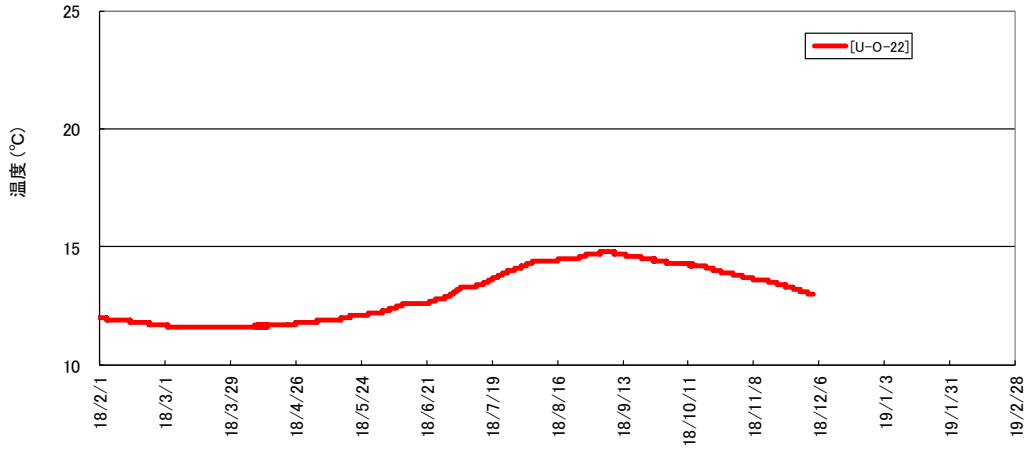
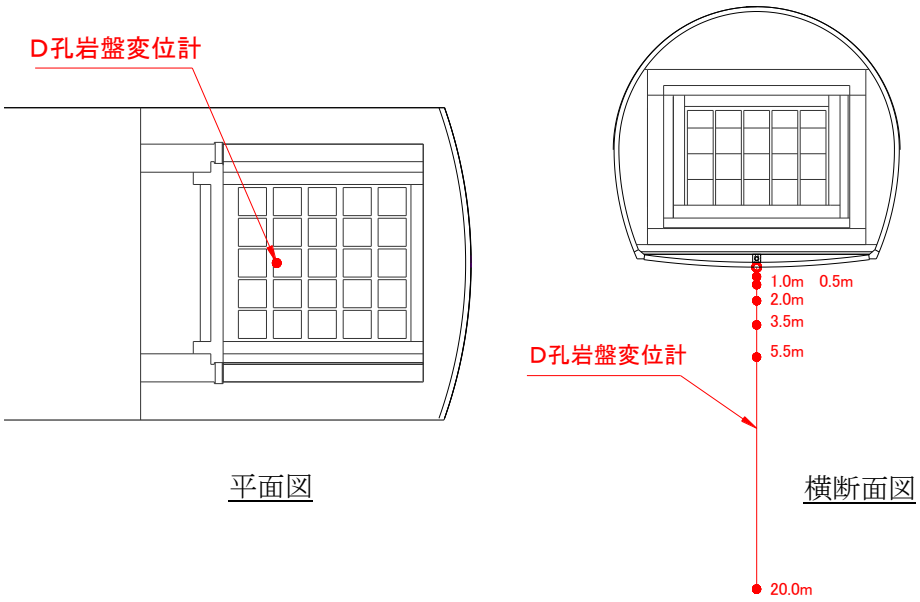


図 3.1-86　上部埋戻し材の温度計測結果



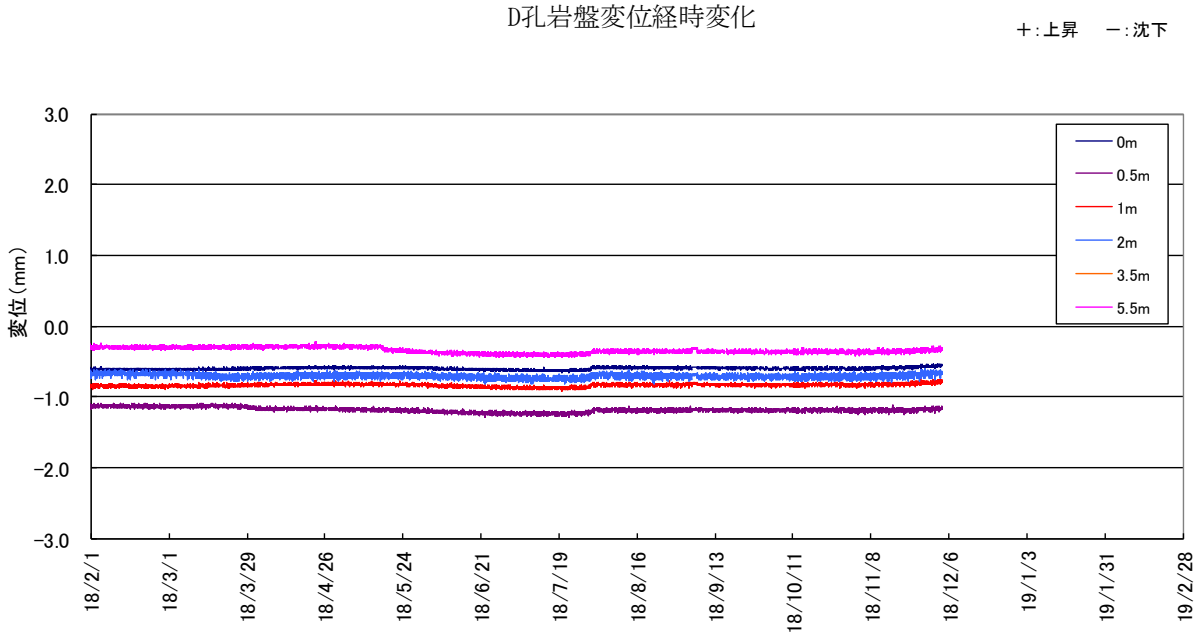
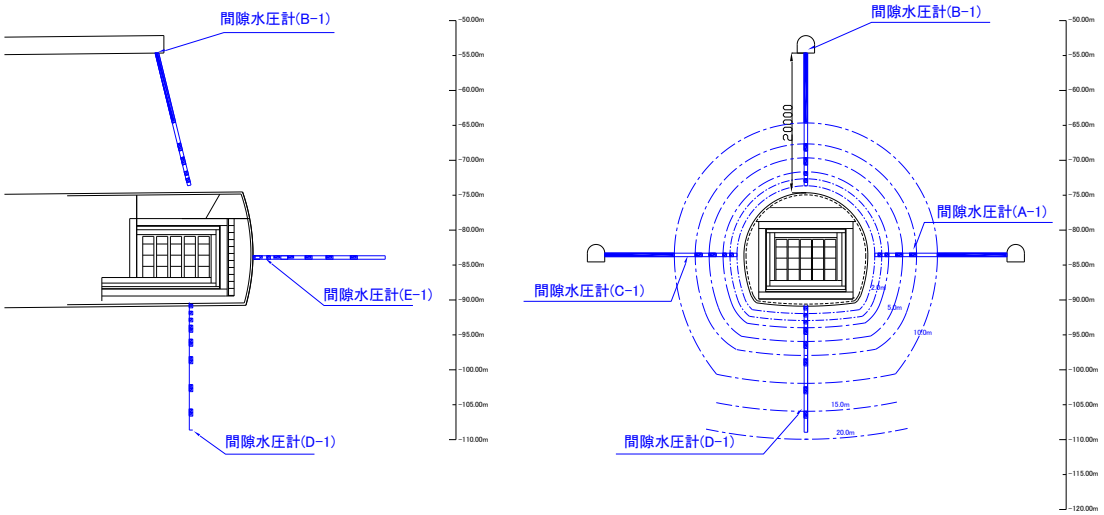
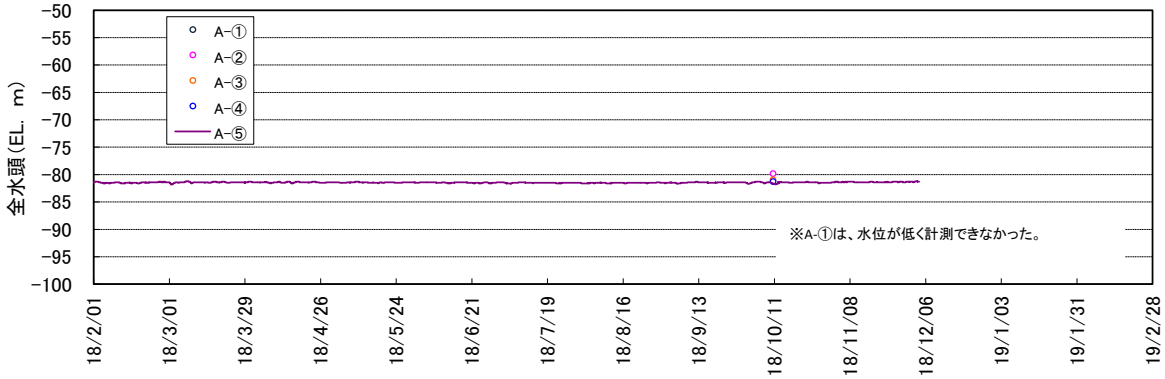


図 3.1-87　岩盤変位計測結果



（試験空洞縦断面図）　　（試験空洞横断面図）

A-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



B-1孔間隙水圧計経時変化グラフ

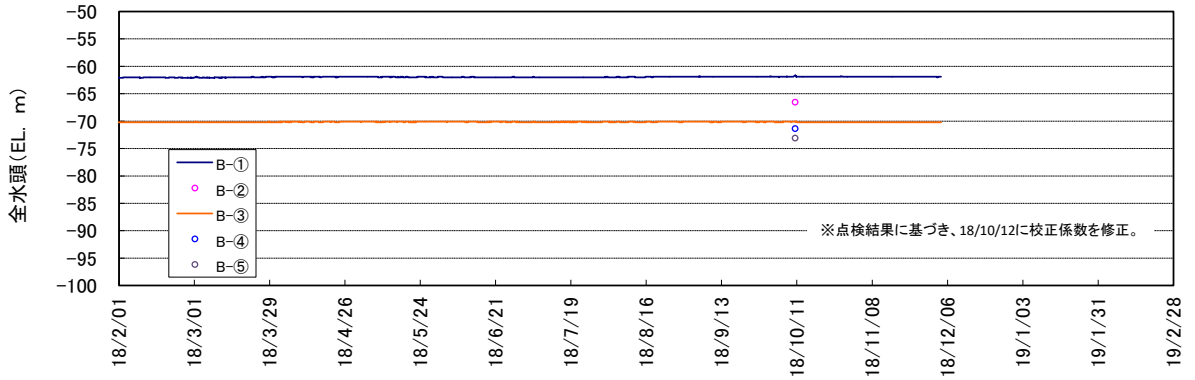
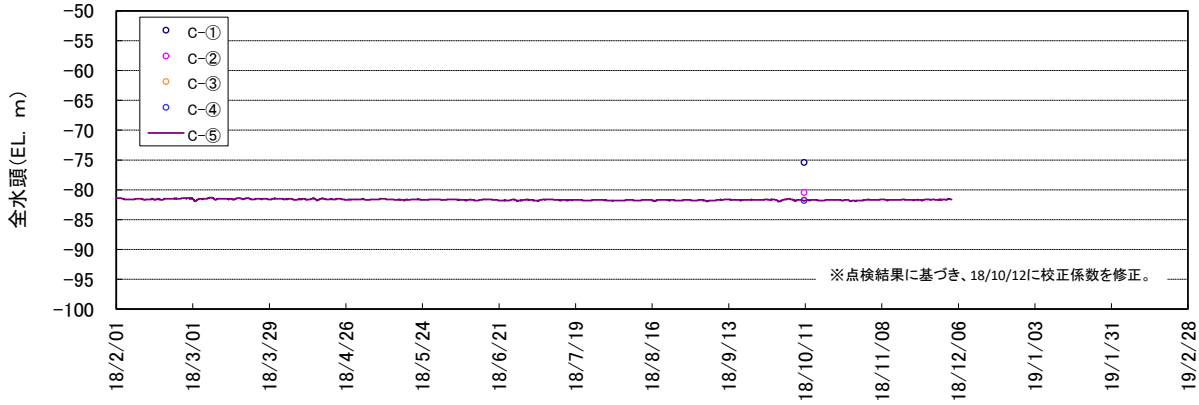
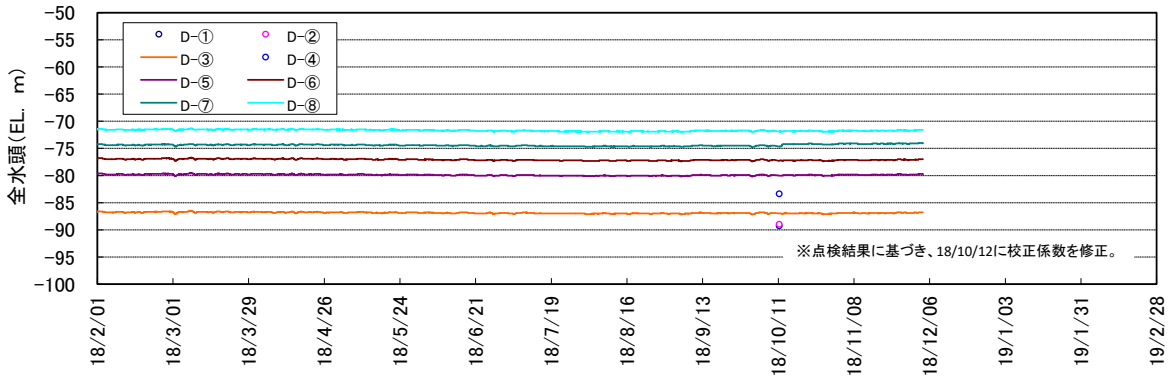


図 3.1-88　岩盤内間隙水圧計測結果（1／2）

C-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



D-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



E-1孔間隙水圧計経時変化グラフ

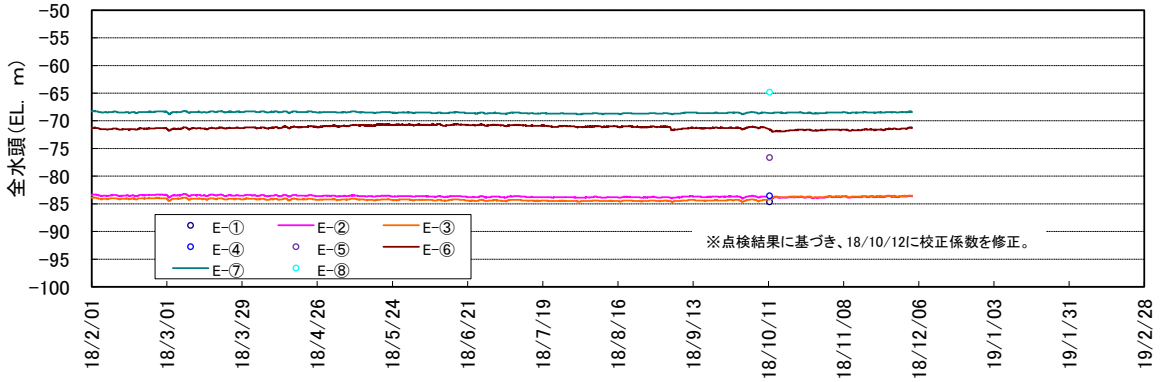
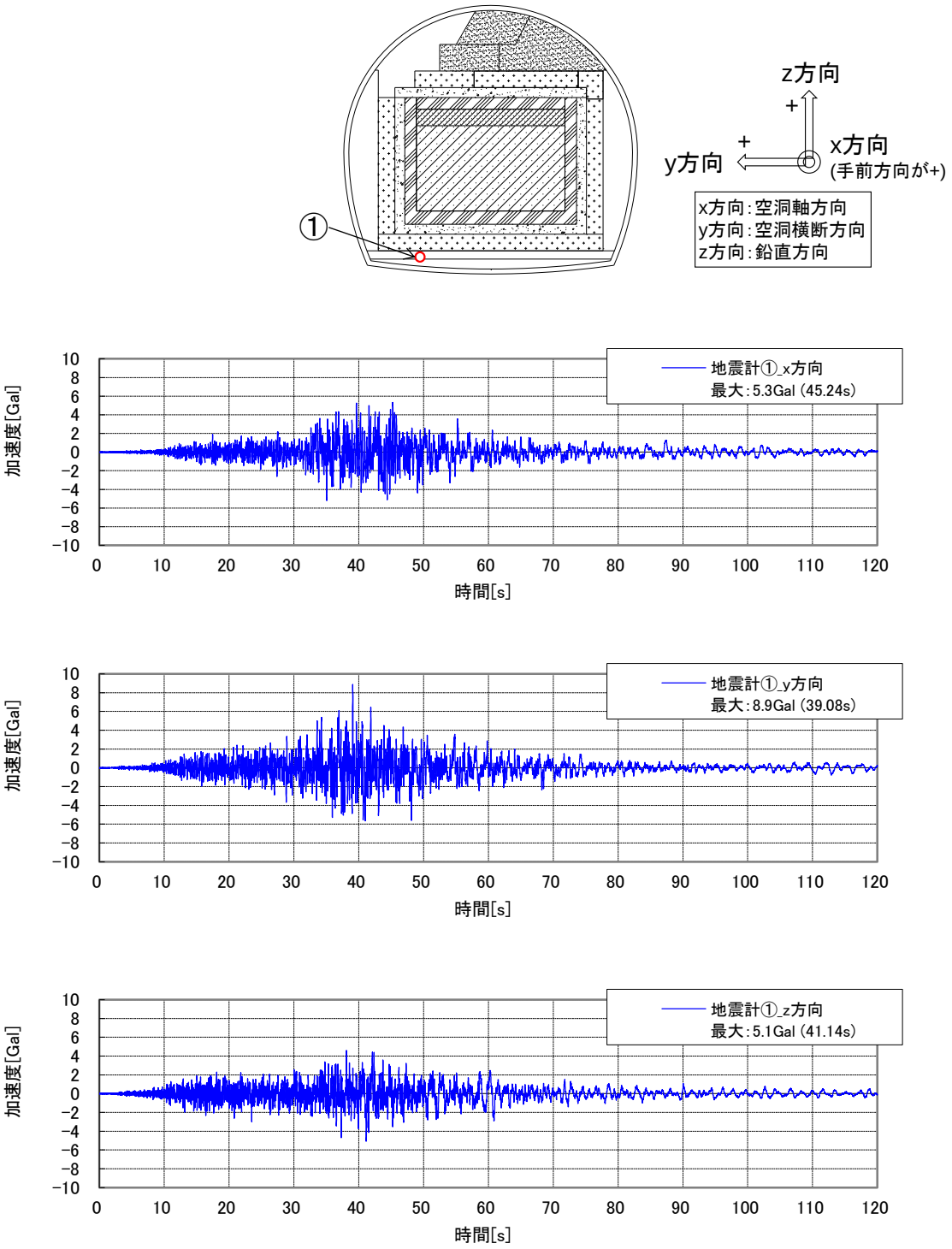
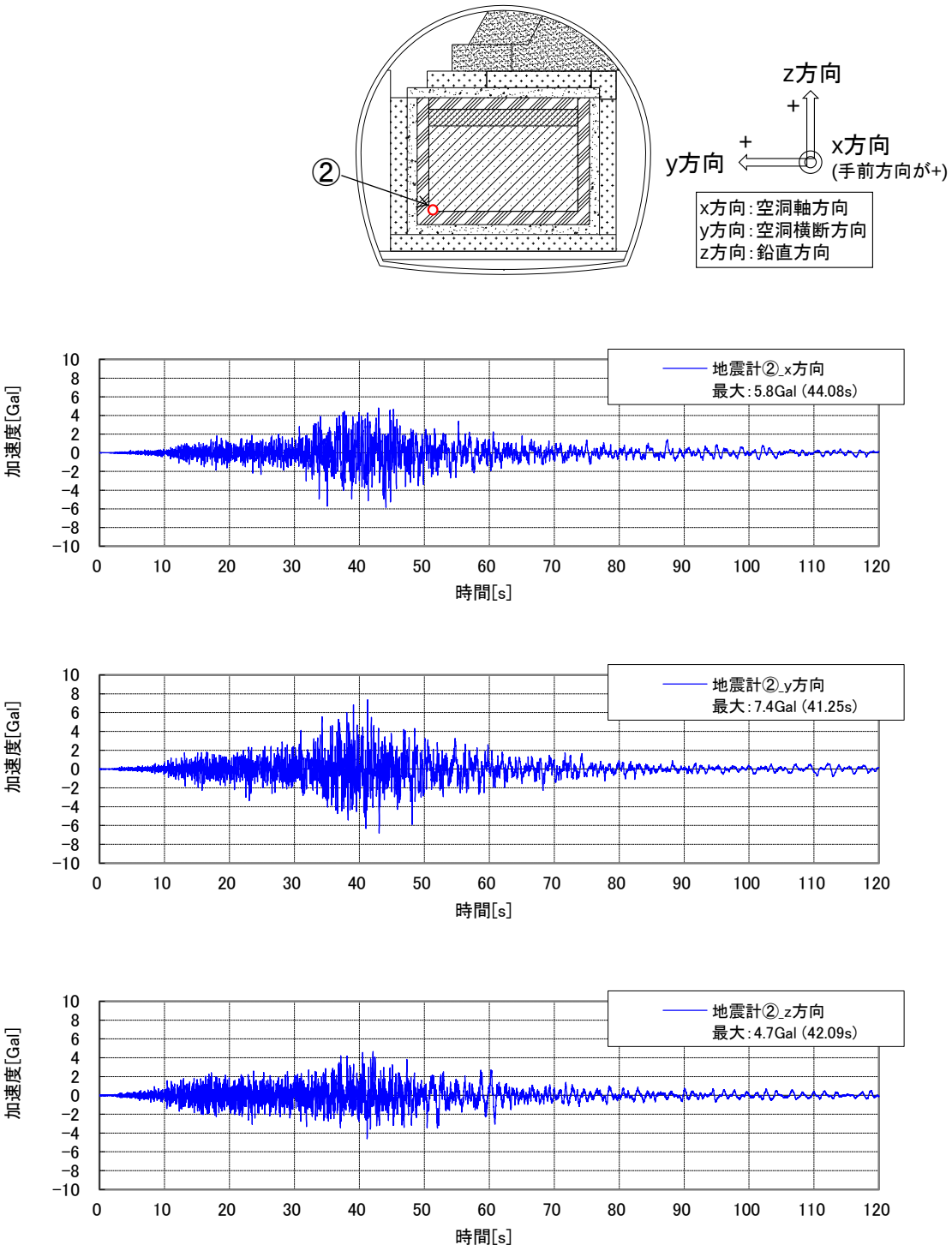


図 3.1-89　岩盤内間隙水圧計測結果（2／2）



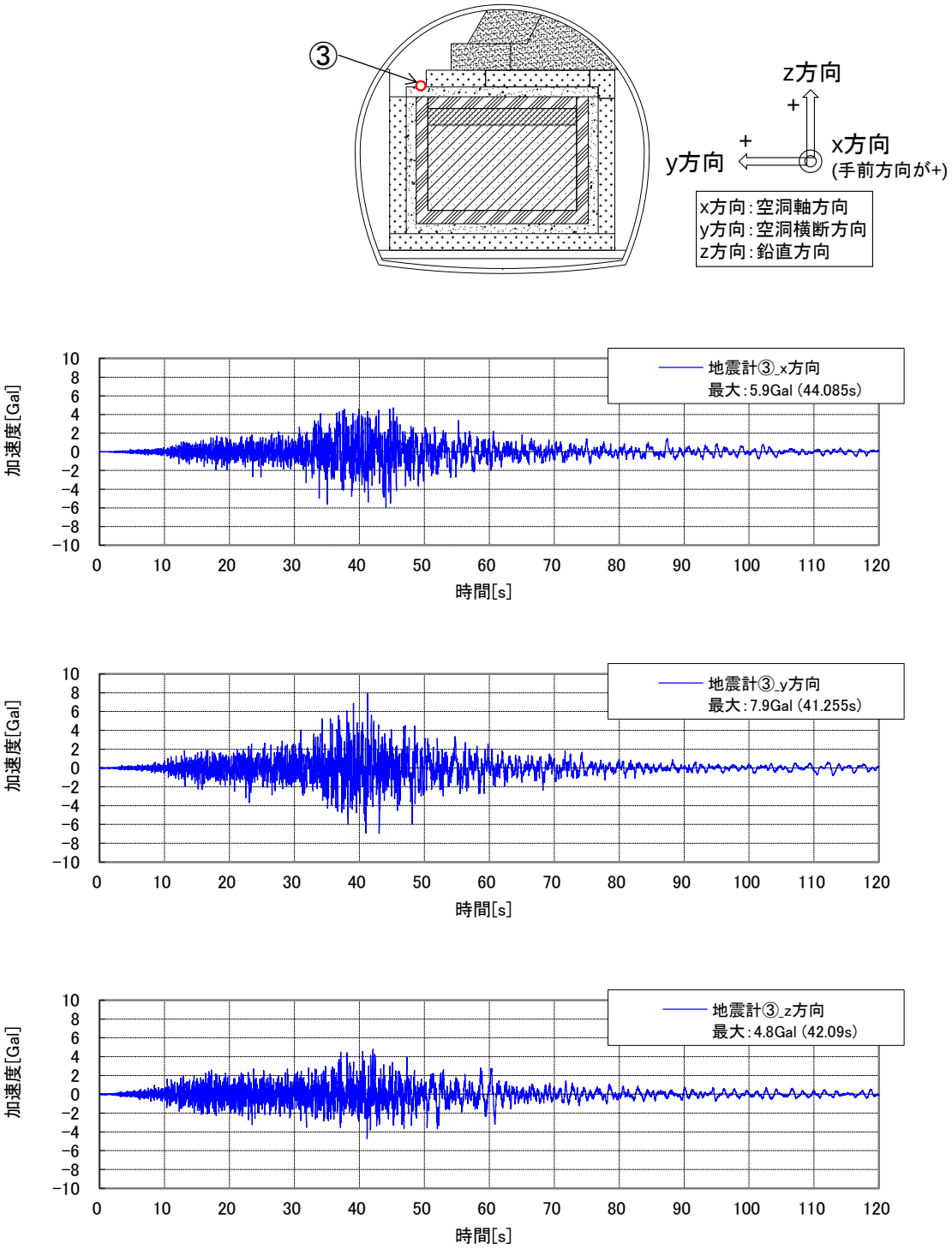
※上から x、y、z 方向

図 3.1-90　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1））



※上から x、y、z 方向

図 3.1-91　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1））



※上から x、y、z 方向

図 3.1-92　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日 (1)）

3.1.3　計測システムの保守・点検

(1) 既設静的設備の保守・点検

対象計測器は、これまでに設置された計測器 631 個から間隙水圧計（計 31 個）を除く 600 個である。なお周辺岩盤内の間隙水圧計の点検は、「(2) 間隙水圧計他点検」で実施した。

実施日：平成 30 年 10 月 9 日～10 日

1) 静的計測設備点検

a. 調査手順

(a) 絶縁検査

既設測定器データロガーTDS-303 にて絶縁測定を行う。

(b) バラツキ検査

既設測定器データロガーTDS-303 にてバラツキ測定を行う。

b. 上記調査異常の場合

(a) 線間抵抗測定

テスターにて線間抵抗の測定をする。

(b) 持ち込み指示計測定

デジタルひずみ計 TC31K にて測定する。

静的計測計器点検よび測定の判定基準を表 3.1-22 に示す。

表 3.1-22　静的計測計器点検判定基準一覧表

検査項目	判定基準
絶縁検査	５０ＭΩ以上
バラツキ検査	±５マイクロ（st）以内
線間抵抗	赤黒間　　350Ω（±10Ω以内） 白緑間　　350Ω（±10Ω以内）
TC31K 測定	±５マイクロ（st）以内

c. 判定方法

(a)（絶縁、バラツキ）異状の場合

スイッチ BOX、計測器双方異常の可能性あり。

(b) 全検査異常

センサー異常の可能性あり。

(c) 措置

スイッチ BOX 異常の場合　　（チャンネルの交換）

センサー異常の場合　　（異常個所の記録と報告）

d. 点検結果

点検結果を添付資料 2 に示す。

2）分散型温湿度計の点検

分散型温湿度計の電池を交換し、正常に動作していうことを確認した。

(2) 間隙水圧計他点検

岩盤挙動計測設備の岩盤変位計（6 個）及び間隙水圧計（31 個）から動作不良な間隙水圧計 19 個を除く 18 個の点検・校正係数の取得（傾き、大気圧下出力）を実施した。岩盤変位計については「(1) 既設静的設備の保守・点検」で実施した。

実施日：平成 30 年 10 月 9 日～10 月 12 日

1）点検方法

a. 絶縁抵抗検査

間隙水圧計の内部と外部とが完全に絶縁されていることを確認するため、絶縁抵抗検査を実施した。絶縁の基準は 10MΩとした。絶縁抵抗検査の概要図を図 3.1-93 に示す。

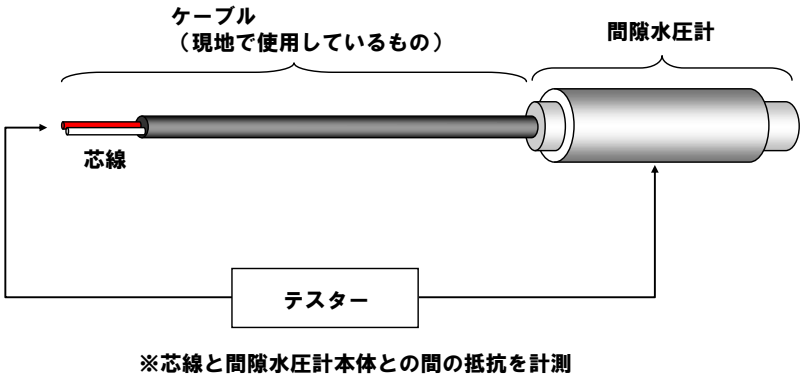


図 3.1-93　絶縁抵抗検査の概要図

b. 出力特性検査

間隙水圧計に圧力を作用させ、圧力に応じた出力が精度の範囲で得られ、間隙水圧計が正常に動作することを確認するため、出力特性検査を実施した。

出力特性検査の概要図を図 3.1-94 に示す。室内で、ポータブル圧力校正器（GE センシング株式会社製 DPI610PC）により標準圧力を発生させて間隙水圧計に印加し、圧力に応じた出力を確認した。この際、印加する圧力範囲を間隙水圧計の測定レンジとし、この間を最大 5 分割して検査を実施した。この検査で、間隙水圧計の精度の範囲で圧力と出力との関係が得られること、また、大気圧下における出力を確認した。

計測坑 A、C 及び試験空洞 D、E の間隙水圧計の仕様を表 3.1-23、計測坑 B の間隙水圧計の仕様を表 3.1-24、使用する圧力校正器の仕様を表 3.1-25 に示す。

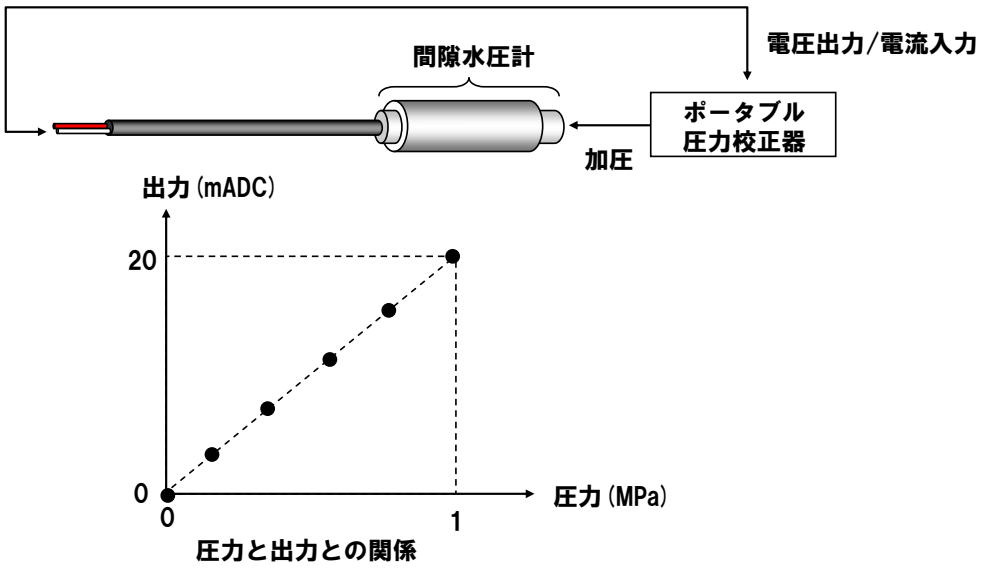


図 3.1-94　出力特性検査の概要図（計測坑 A、C 及び試験空洞 D、E の例）

表 3.1-23　間隙水圧計の仕様（計測坑 A、C 及び試験空洞 D、E）

項目	仕様	備考
メーカー	大倉電気(株)	
型式	PT3011 シリーズ	
測定レンジ	0～1MPa	
圧力基準	ゲージ圧	
出力	4～20mADC	2 線伝送方式
電源	12～30VDC	
精度定格	スパンの±0.1%	既設品と同等精度
長期安定性	スパンの±0.2%	

表 3.1-24　間隙水圧計の仕様（計測坑 B）

項目	仕様	備考
メーカー	ドラック	
型式	PDCR81	
測定レンジ	0～3bar	
圧力基準	ゲージ圧	
出力	0～75mVDC	2 線伝送方式
電源	5VDC	
精度定格	スパンの±0.2%	
長期安定性	スパンの±0.4%	

表 3.1-25　圧力校正器の仕様

項目	仕様
メーカー名	ドラック
名称	ポータブル圧力校正器
型式	DPI610PC
圧力媒体	気体（空圧）
圧力レンジ	-0.1～1MPa
精度	±0.025FS

c．結果の評価方法

出力特性検査結果の評価方法を図 3.1-95 に示す。間隙水圧計の健全性を評価し、再設置後の計測値から圧力を換算する換算係数を算出するため、(1)実測出力と定格出力の比較と、(2)補正定格出力の算出を行った。

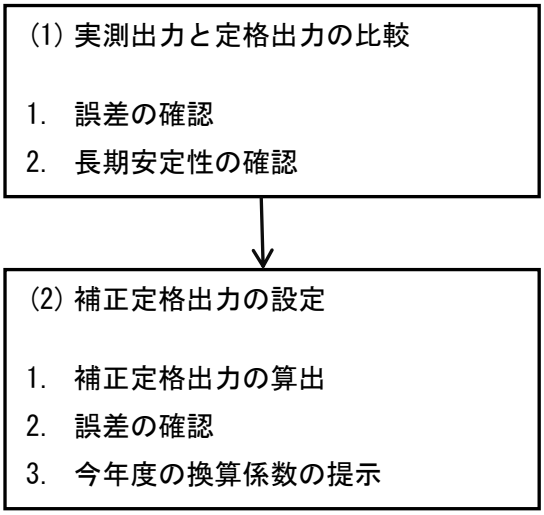


図 3.1-95　出力特性検査結果の評価

まず、(1)実測出力と定格出力の比較では、図 3.1-96 に示すように、“①定格出力”と“②実測出力”の差を“③誤差”とし、この誤差を間隙水圧計の長期安定性（スパンの±0.2%/年）の範囲と比較する。図 3.1-96 に示す“長期安定性”の範囲は計器設置後 1 年経過時の値である。なお、現時点で計器設置から長期間経過しているため、経過年数に比例して計器は劣化（精度が低下）するとした場合の“長期安定性の範囲”を判断基準として用いた。

n 年経過時の“長期安定性の範囲”は以下のように定義する。

$$\pm \alpha \times n \%$$

ここで、α ：長期安定性の範囲（1 年相当）

n ：計器設置からの経過年数

例えば 10 年経過時では、$\alpha = \pm 0.2 \times 10 = 2.0\%$となる。

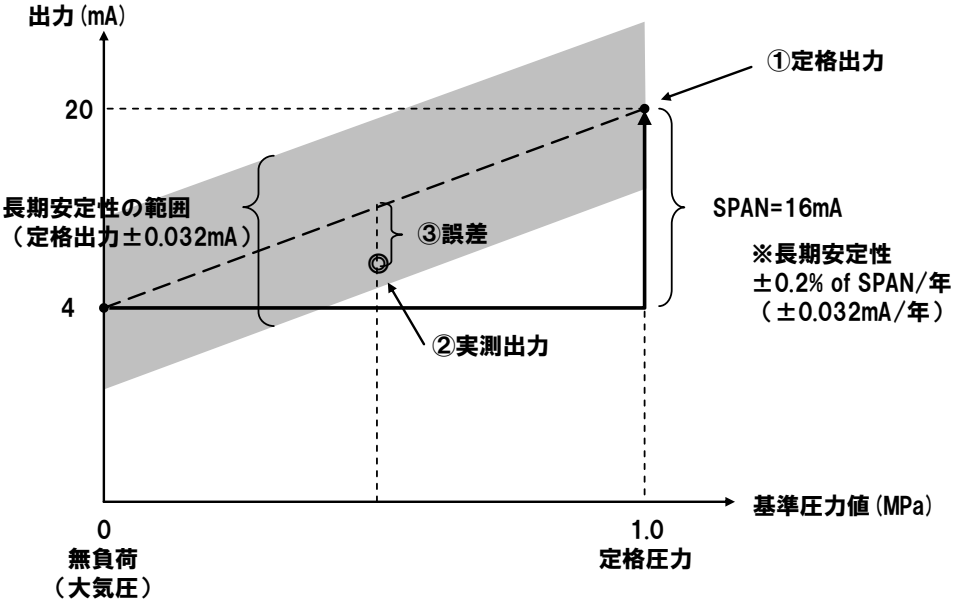


図 3.1-96　間隙水圧計の基本特性（長期安定性の定義）
〔計測坑 A、C 及び試験空洞 D、E の例〕

次に⑵補正定格出力の算出では、図 3.1-97 に示すように、実測出力を直線近似して得られた“⑤補正定格出力”と“②実測出力”の差を“⑥誤差”として、間隙水圧の精度と比較し、今年度の換算係数を提示した。

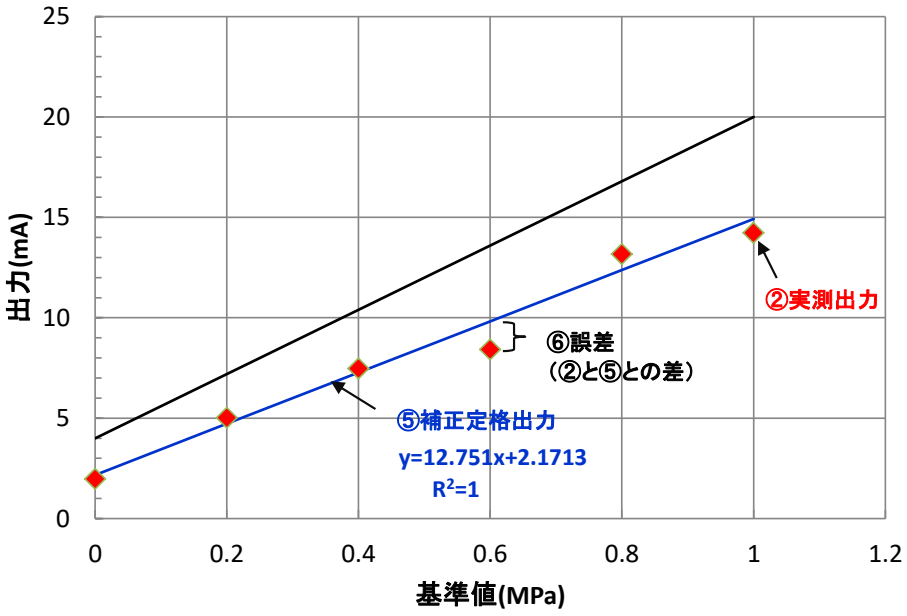


図 3.1-97　補正定格出力の算出

2) 点検結果

現地点検作業の実施状況を表 3.1-26 に示す。

表 3.1-26　現地点検作業の実施状況

場所	孔名	孔口標高（EL. m）	区間名	シリアルNo.	センサ製造年月	点検作業の結果			備考
						外観検査	絶縁抵抗検査	出力特性検査	
計測坑A	A-1	-83.55	①	-	-	-	-	-	計測対象区間
			②	-	-	-	-	-	計測対象区間
			③	-	-	-	-	-	計測対象区間
			④	-	-	-	-	-	計測対象区間
			⑤	8NA7063003	2008年8月	正常	正常	検査実施（正常）	
計測坑B	B-1	-54.65	①	9565	2006年11月	正常	正常	検査実施（正常）	
			②	-	-	-	-	-	計測対象区間
			③	9915	2006年11月	正常	正常	検査実施（正常）	
			④	-	-	-	-	-	計測対象区間
			⑤	9920	2006年11月	正常	異常	検査不可（異常あり）	
計測坑C	C-1	-83.55	①	-	-	-	-	-	計測対象区間
			②	-	-	-	-	-	計測対象区間
			③	-	-	-	-	-	計測対象区間
			④	-	-	-	-	-	計測対象区間
			⑤	4NA7009006	2004年	正常	正常	検査実施（正常）	代替器
試験空洞	D-1	-90.92	①	-	-	-	-	-	
			②	-	-	-	-	-	
			③	6NA7091013	2006年11月	正常	正常	検査実施（正常）	
			④	-	-	-	-	-	計測対象区間
			⑤	6NA7091015	2006年11月	正常	正常	検査実施（正常）	
			⑥	4NA7009008	2004年	正常	正常	検査実施（補正定格出力に異常あり）	代替器
			⑦	6NA7091017	2006年11月	正常	正常	検査実施（正常）	
			⑧	9NA7042004	2009年9月	正常	正常	検査実施（正常）	
	E-1	-84.4	①	-	-	-	-	-	計測対象区間
			②	6NA7091020	2006年11月	正常	正常	検査実施（正常）	
			③	6NA7091021	2006年11月	正常	正常	検査実施（正常）	
			④	-	-	-	-	-	計測対象区間
			⑤	-	-	-	-	-	計測対象区間
			⑥	6NA7091024	2006年11月	正常	正常	検査実施（正常）	
			⑦	6NA7091025	2006年11月	正常	正常	検査実施（正常）	
			⑧	-	-	-	-	-	計測対象区間

a．絶縁抵抗検査

絶縁抵抗検査の結果、B-1 孔⑤区間の間隙水圧計に絶縁異常が認められた。その他の間隙水圧計においては絶縁抵抗が 10MΩ以上であり、異常は認められなかった。

b．出力特性検査

出力特性検査の結果、B-1 孔⑤区間を除く間隙水圧計において検査の実施は可能であったが、D-1 孔の⑥区間では後述する補正定格出力に異常が確認された。その他の間隙水圧計においては特に問題は認められなかった。なお、本検査の結果は、添付資料 6 に示す。

3）点検結果の評価

出力特性検査の結果から、間隙水圧計の健全性を評価し、再設置後の計測値から換算係数を算出するため、「実測出力と定格出力の比較」と「補正定格出力の算出」を行った。なお、計測孔 B（B-1 孔）については、他の個所と使用している間隙水圧計の種類が異なり基準値も異なることから分けて記載する。

a．実測出力と定格出力の比較

(a) 計測坑 A、C 及び試験空洞

間隙水圧計の長期安定性を確認するため、今年度の出力特性検査結果から得られた基準値(圧力)と誤差との関係を計測坑 A（A-1 孔）、計測坑 C（C-1 孔）、試験空洞（D-1 孔、E-1 孔）の順に、図 3.1-98～図 3.1-101 にそれぞれ示す。これらの図には、1 年あたりの長期安定性（±0.2%FS/年）の範囲と、経過年数に比例して長期安定性が劣化するとした場合の範囲をそれぞれ示した。なお、経過年数はそれぞれの間隙水圧計の製造年を基準とした。

・計測坑 A（A-1 孔）

⑤区間の間隙水圧計については、長期安定性における誤差範囲内であり、特に異常は認められなかった。

・計測坑 C（C-1 孔）

⑤区間（代替器）の間隙水圧計については、誤差は全体にわずかにプラス側に振れているものの、長期安定性における誤差範囲内であり、特に異常は認められなかった。

・試験空洞 D-1 孔

③、⑤、⑦、⑧区間の間隙水圧計については、誤差は全体に精度内からわずかにマイナス側に振れているものの、長期安定性における誤差範囲内であり、特に異常は認められなかった。⑥（代替器）区間の間隙水圧計については、基準値（圧力）が低いときはプラス側、高いときはマイナス側に振れるが、長期安定性における誤差範囲内であり、特に異常は認められなかった。

・試験空洞 E-1 孔

②、③、⑥、⑦区間の間隙水圧計については、⑥、⑦区間の間隙水圧計がややマイナス側に大きく振れているものの、すべて長期安定性の誤差範囲内にあり、特に異常は認められなかった。

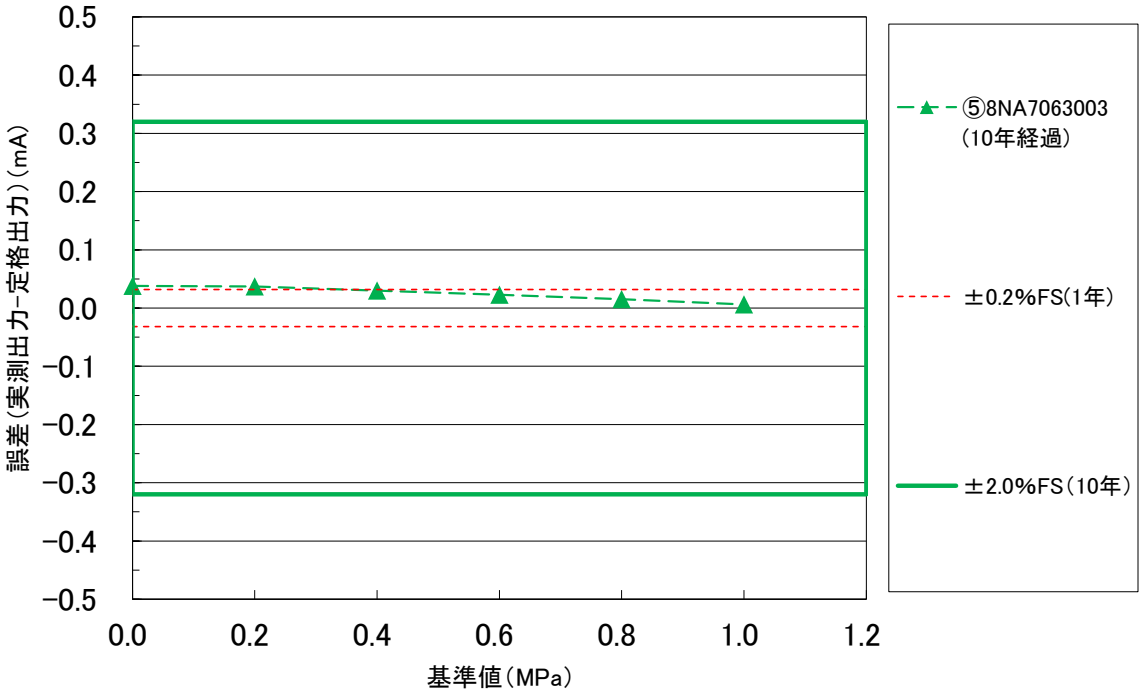


図 3.1-98　出力特性検査の結果（計測坑 A）

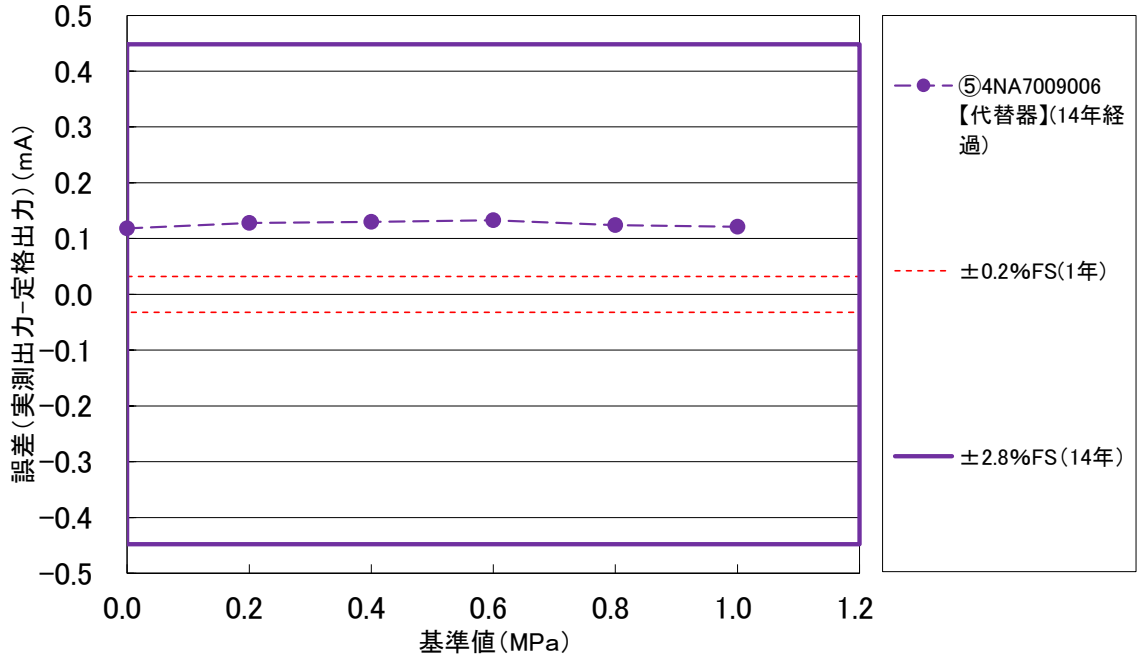


図 3.1-99　出力特性検査の結果（計測坑 C）

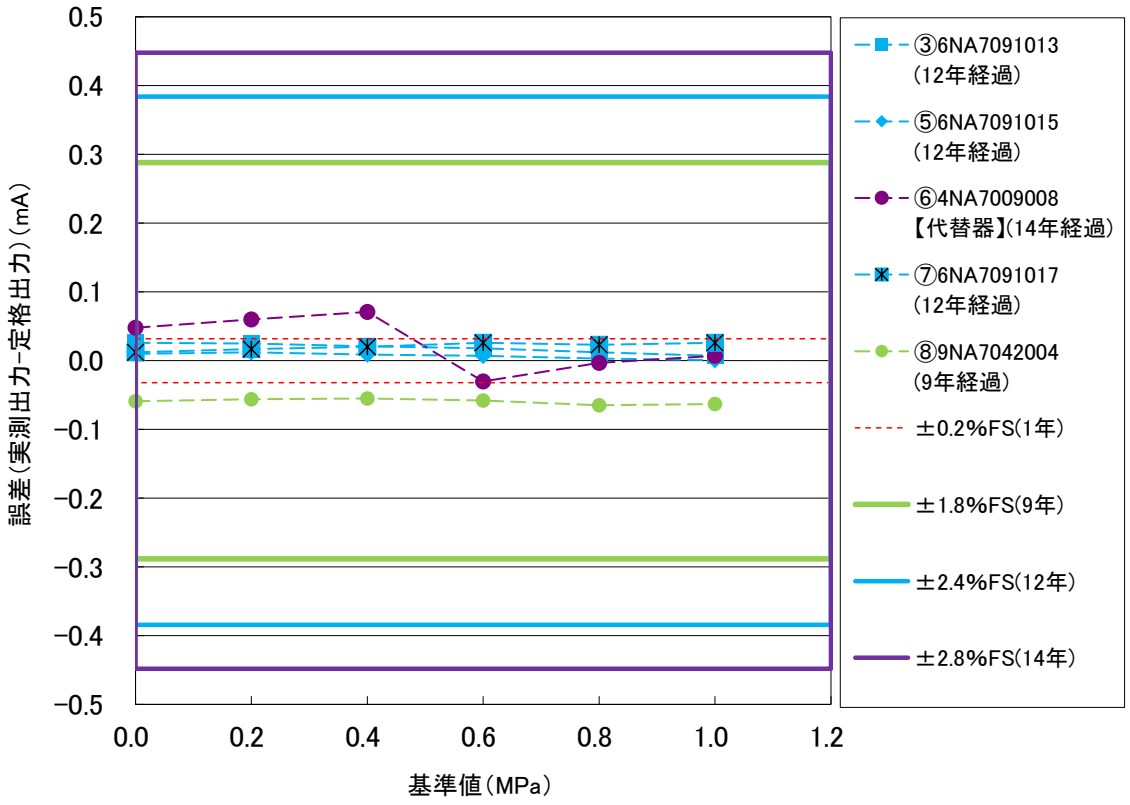


図 3.1-100　出力特性検査の結果（試験空洞（D-1 孔））

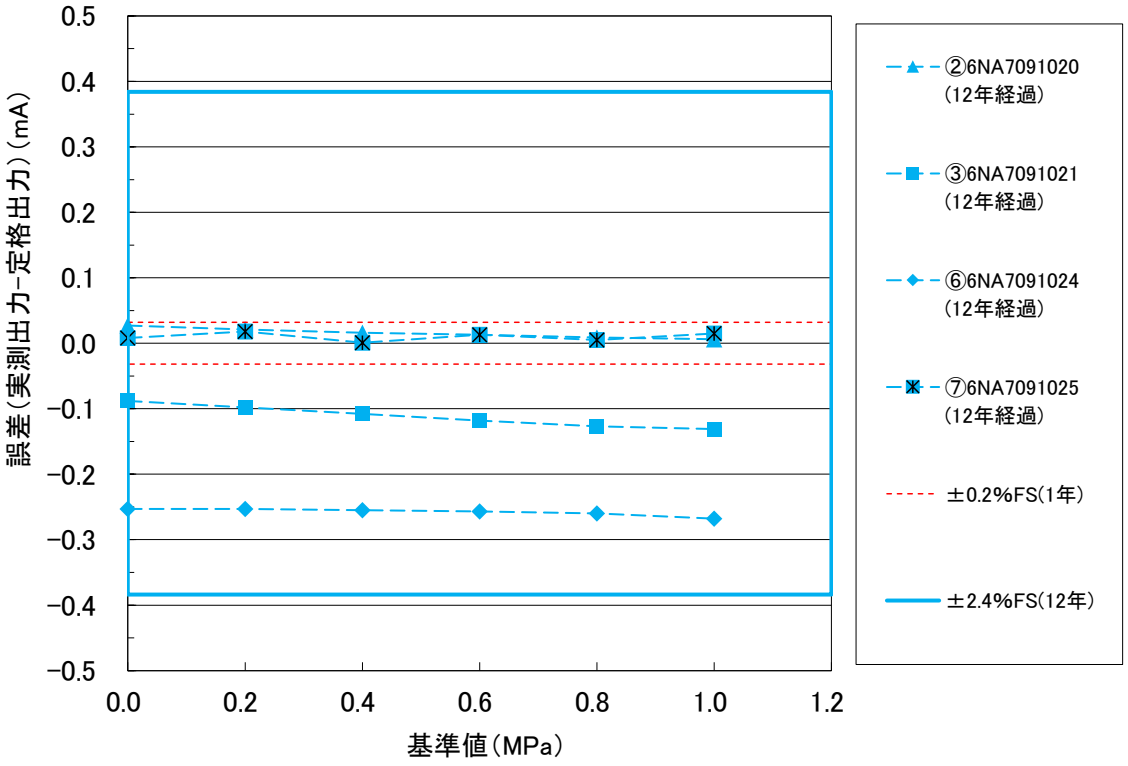


図 3.1-101　出力特性検査の結果（試験空洞（E-1 孔））

(b) 計測坑 B

計測坑 A、C、試験空洞と同じく間隙水圧計の長期安定性を確認するため、今年度の出力特性検査結果から得られた基準値(圧力)と誤差との関係を図 3.1-102 に示す。この図には、1 年あたりの長期安定性を間隙水圧計の精度の 2 倍（±0.4%FS/年）としてその範囲を示すとともに、経過年数に比例して長期安定性が劣化するとした場合の範囲をそれぞれ示した。

図 3.1-102 に示すとおり、B-1 孔の①、③区間の間隙水圧計は設置後 12 年も経過しているにもかかわらず、誤差は概ね経過年数 1 年の範囲に分布しており、長期安定性について異常は全く認められなかった。

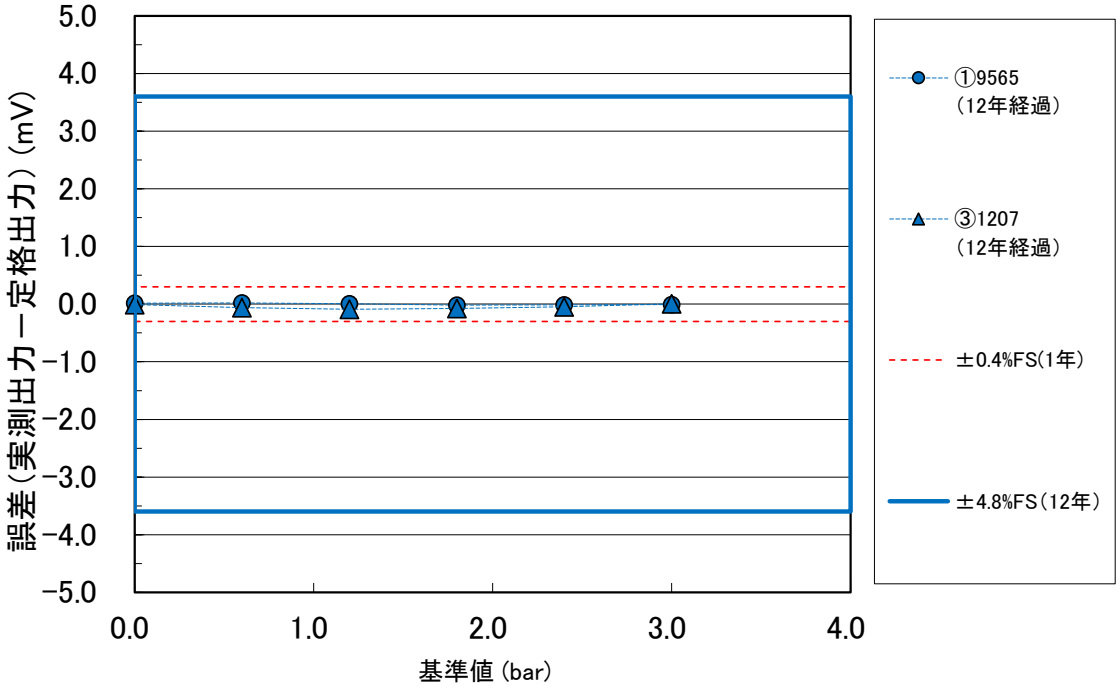


図 3.1-102　出力特性検査の結果（計測坑 B）

b. 補正定格出力の算出

図 3.1-97 に示したように、実測出力を直線近似して定格出力を求め、実測値の誤差を確認した。基準値と誤差の関係を計測坑 A（A-1）、C（C-1 孔）、試験空洞（D-1 孔、E-1 孔）、計測坑 B（B-1 孔）の順に図 3.1-104 から図 3.1-107 にそれぞれ示す。同図には、間隙水圧計の精度（長期安定性の精度ではなく、出荷時の精度）の範囲を赤枠で示した。

実測値を直線近似して求めた補正定格出力と実測値との差は、試験空洞 D の D-1 孔⑥区間（代替品）を除いて、すべて間隙水圧計の精度の範囲内にあり、補正により間隙水圧計の出力を当初の精度内で保証できることが確認できた。

D-1 孔⑥区間の間隙水圧計に関しては、誤差範囲が基準値によりプラス側とマイナス側に大きく振れ、出荷時の精度を基準値（圧力）が 0.4MPa を超えると一部超過し、異常と判断された。

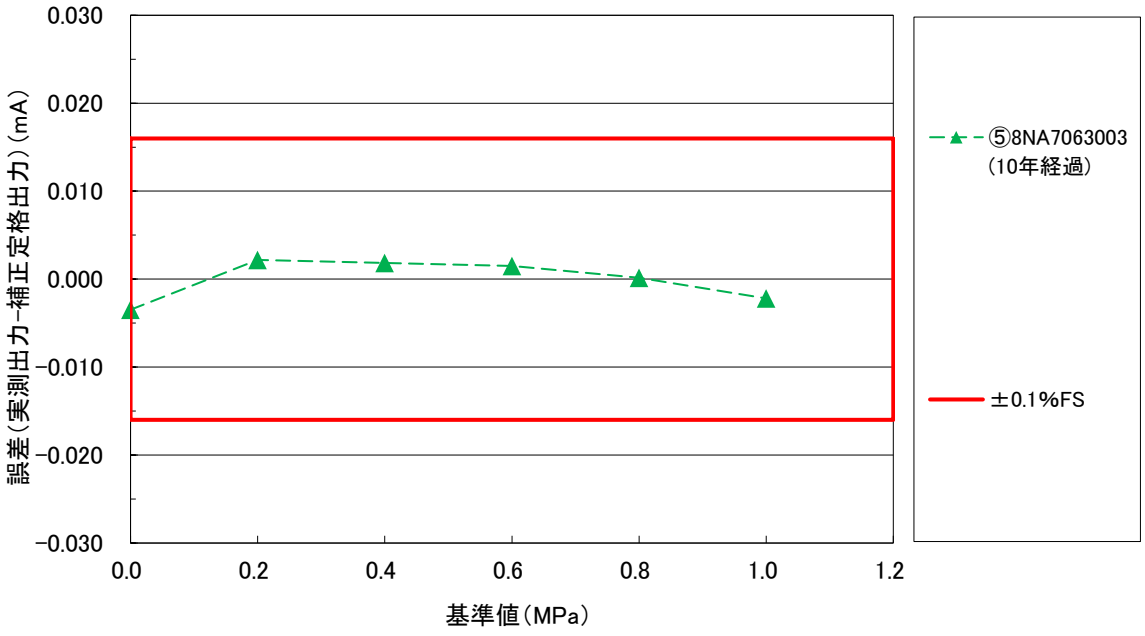


図 3.1-103　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 A〕

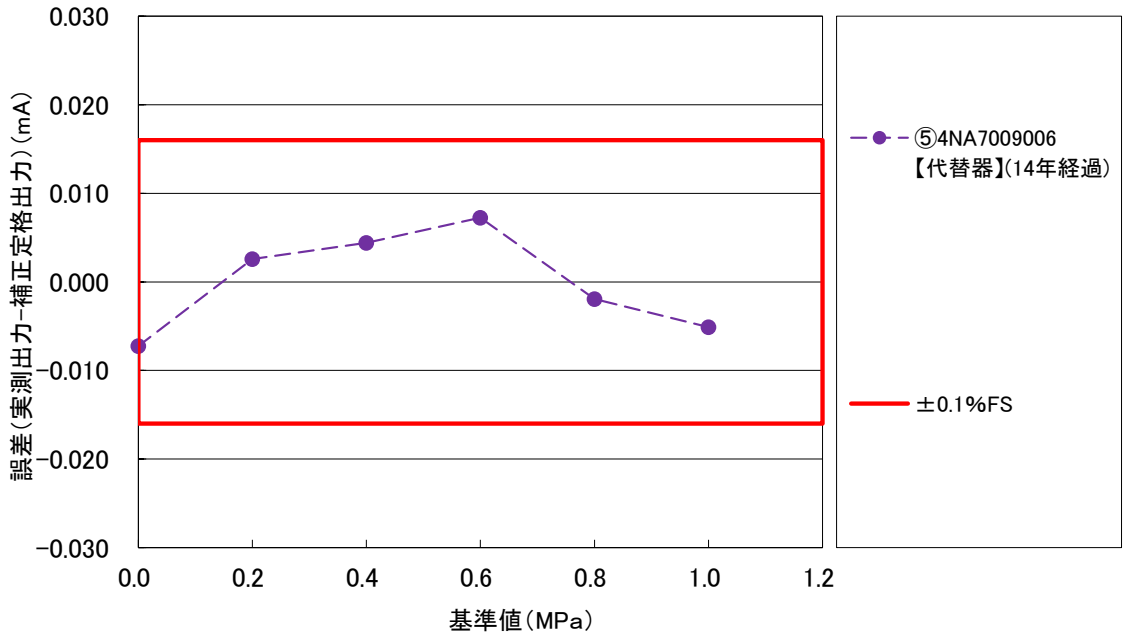


図 3.1-104　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 C〕

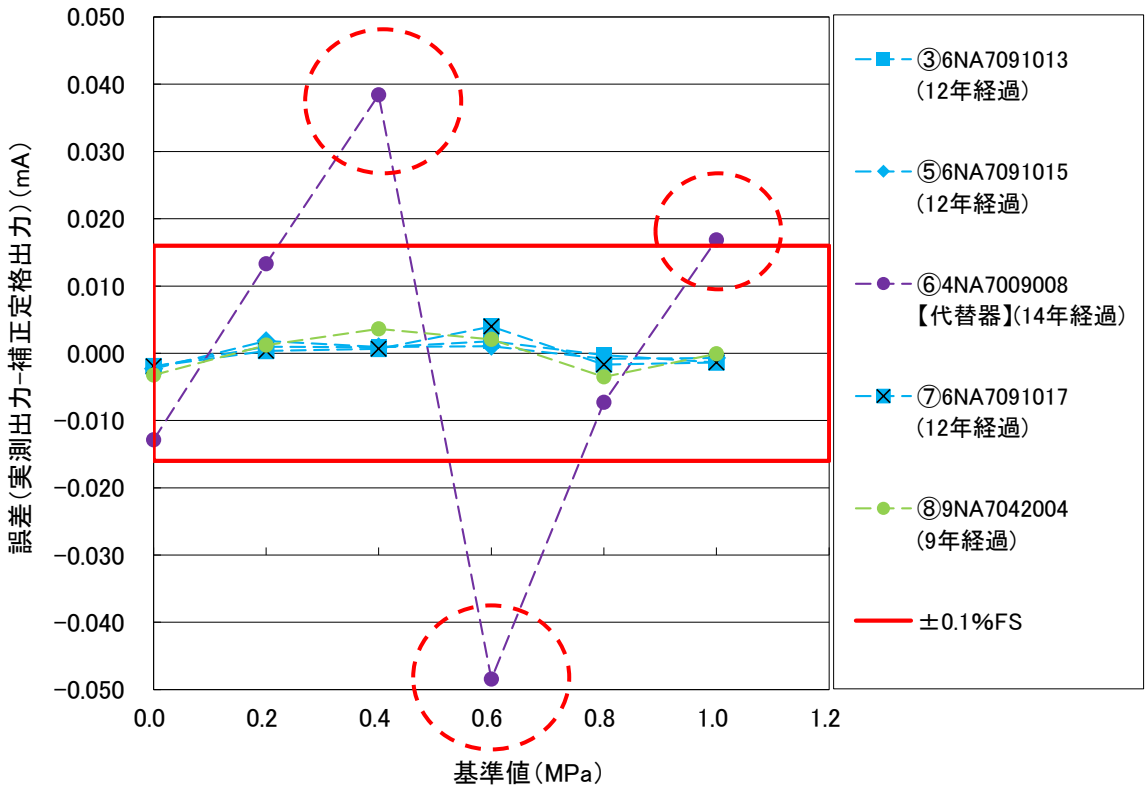


図 3.1-105　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔試験空洞 D-1 孔〕

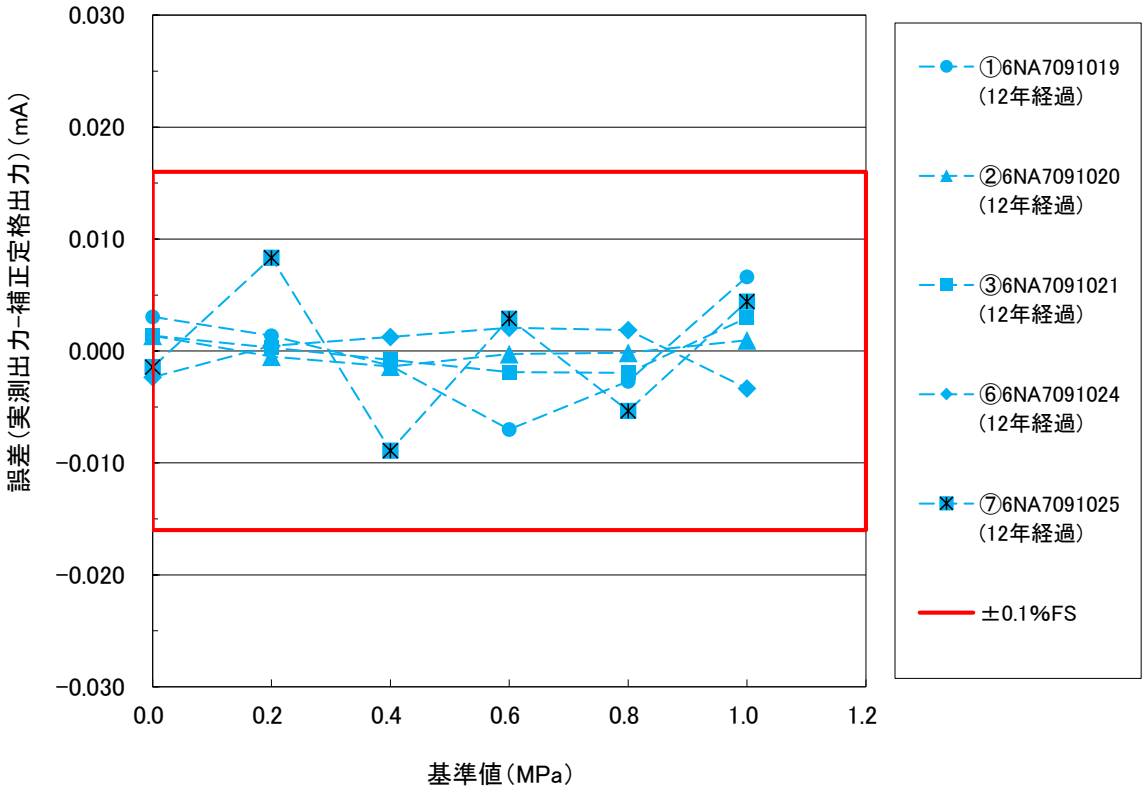


図 3.1-106　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔試験空洞 E-1 孔〕

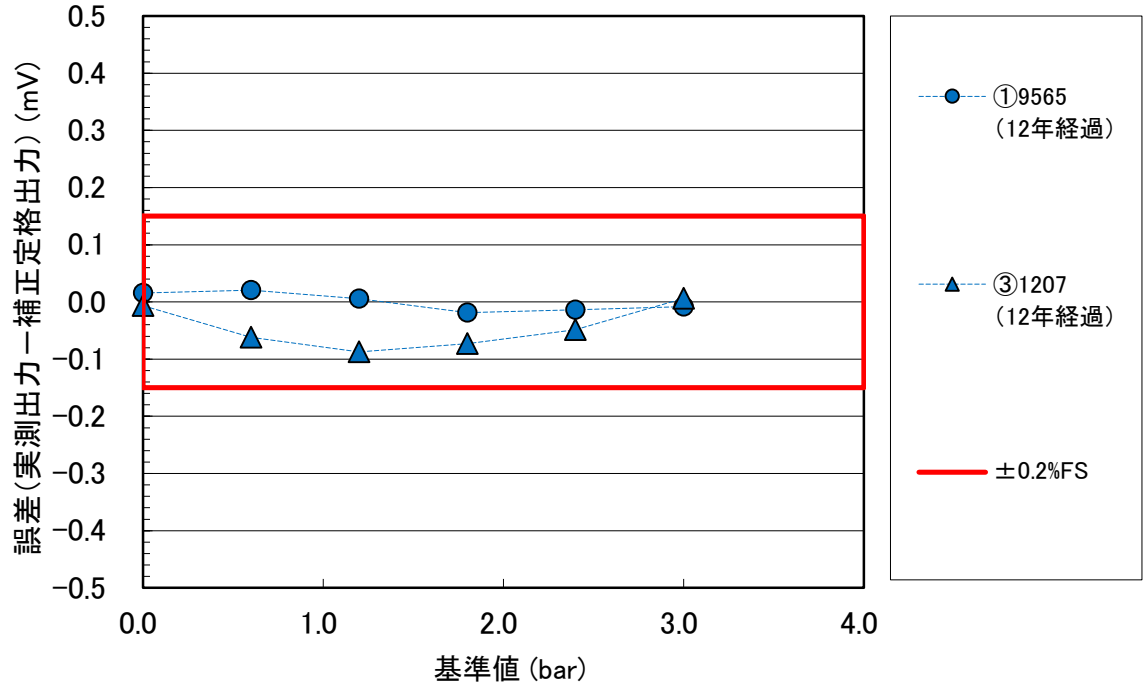


図 3.1-107　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 B〕

4）間隙水圧の経時変化の挙動確認

各区間の間隙水圧の挙動について、2017 年 10 月 1 日～2018 年 10 月 12 日までの各孔の間隙水圧の経時変化を図 3.1-108～図 3.1-112 に示す。この経時変化の水圧挙動に異常が認められた区間及び異常とは言えないが注視すべき区間を以下に示す。

・B-1 孔⑤区間（孔壁から 18.50m～19.00m 区間）

2017 年 10 月下旬頃から 50m 以上も上昇するスパイク状のデータが取得されるようになり、12 月初旬には一度安定傾向を示したものの、2018 年 1 月初旬から緩やかに上昇し始め 1 月下旬から再度スパイク状のデータを示すようになった。4 月下旬以降はデータが振り切れるような乱れが確認され、10 月に至る。2017 年 10 月末の時点で、故障に至ったものと考えられる。

・E-1 孔③区間（孔壁から 2.50m～3.00m 区間）

2017 年 10 月時点までは②区間の全水頭値よりも 0.2m 程度高い値をほぼ平行して推移していたが、2017 年 12 月初旬をピークにわずかに低下し続け、2018 年 10 月には②区間の全水頭値より 0.50m～0.60m 程度低い値で推移している。また、季節変動の傾向とやや異なる。異常とは言えないが今後の計測で注視する必要がある。

・E-1 孔⑥区間（孔壁から 8.50m～10.50m 区間）

2018 年 5 月～6 月をピークにわずかに上昇している。本区間より奥側で計測している⑦区間の変動と比べると、季節変動の傾向とは異なる変動である（手前の⑤区間は手測り計測区間で常時計測ではない）。現段階で異常とは言えないが、今後の計測に注視する必要がある。

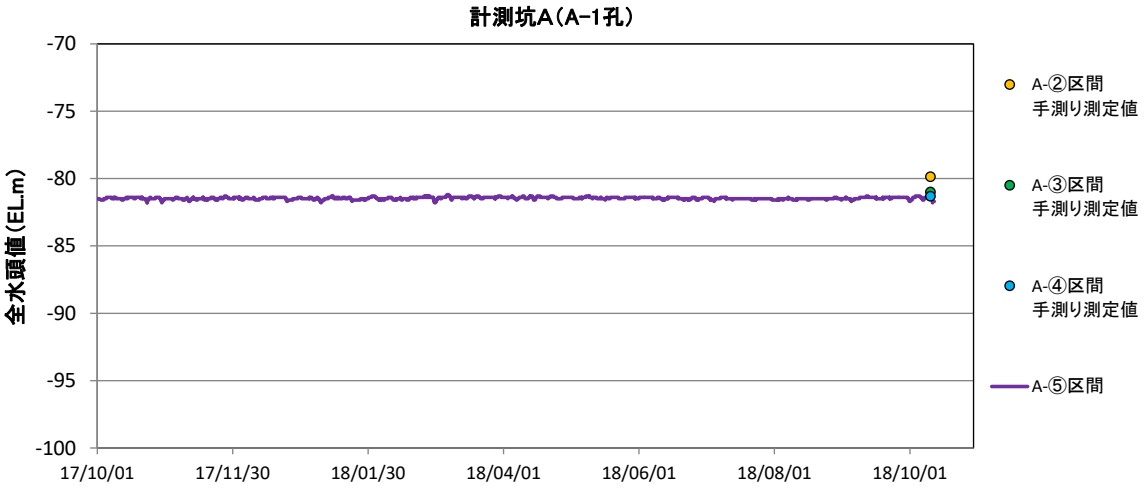


図 3.1-108　計測坑 A における間隙水圧継時変化

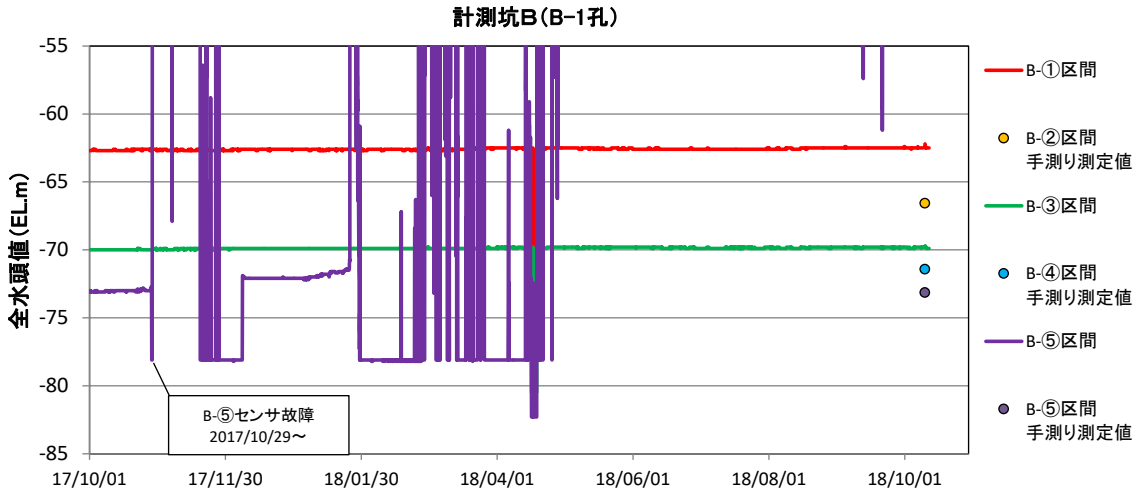


図 3.1-109　計測坑 B における間隙水圧継時変化

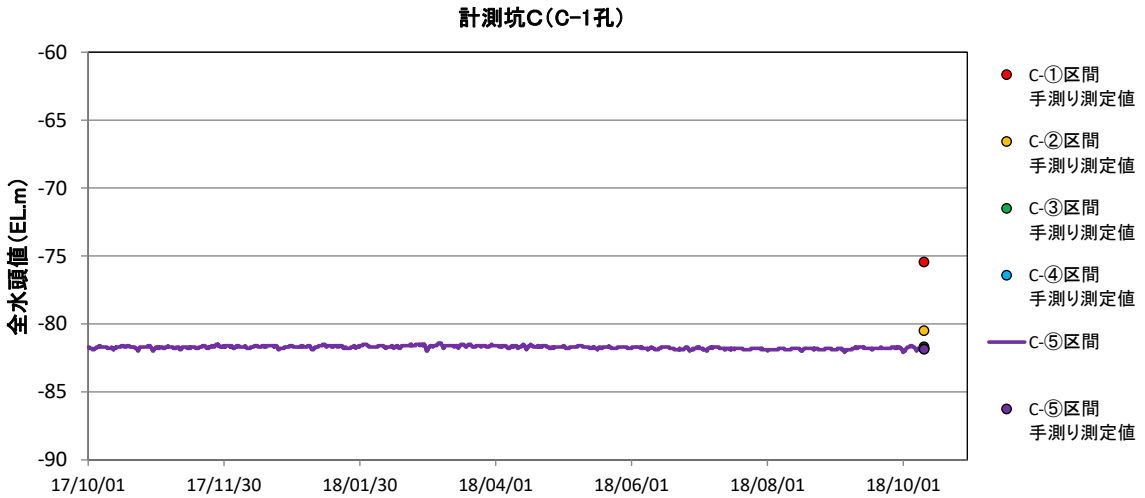


図 3.1-110　計測坑 C における間隙水圧継時変化

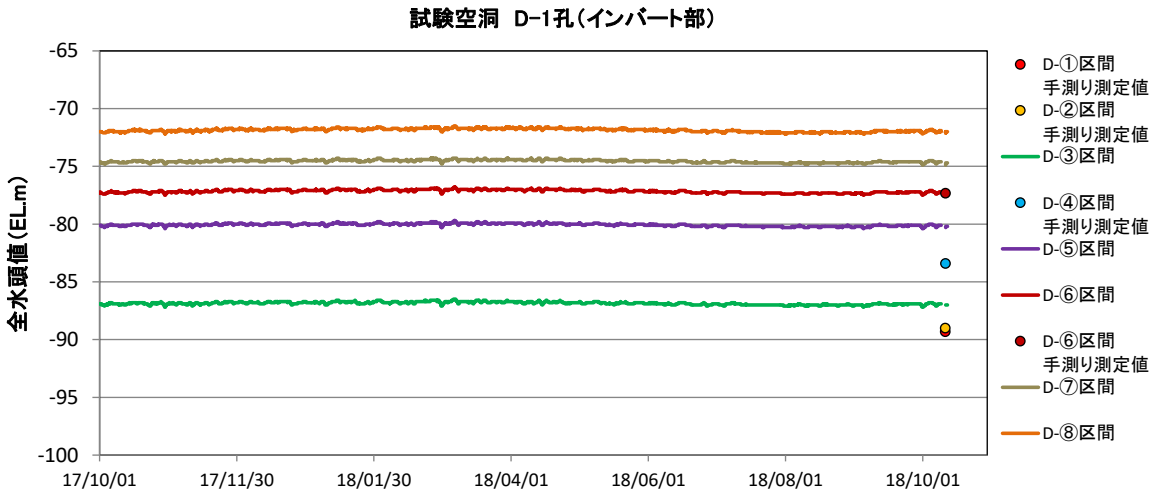


図 3.1-111　試験空洞（D-1 孔）における間隙水圧継時変化

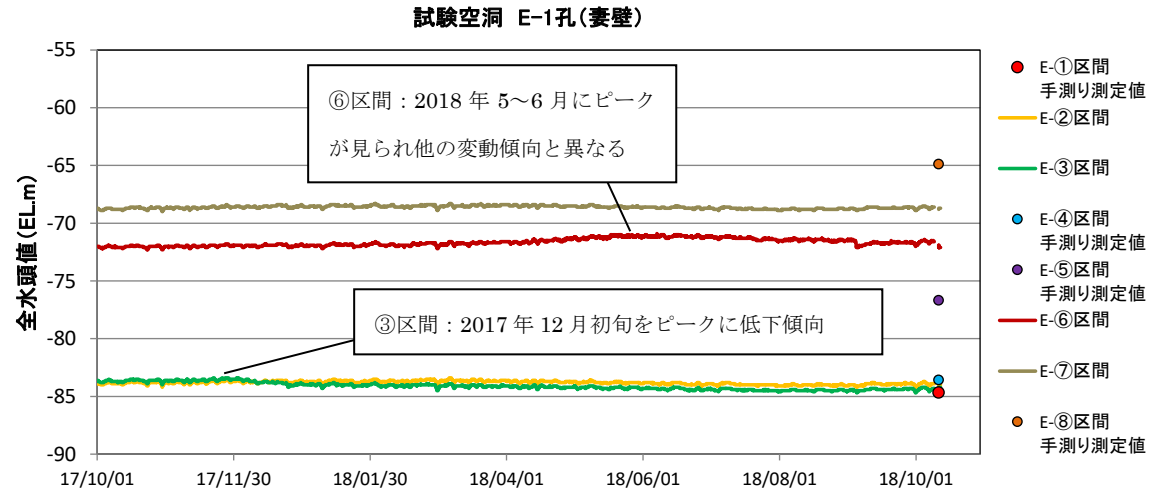


図 3.1-112　試験空洞（E-1 孔）における間隙水圧継時変化

5）点検結果のまとめ

現地点検作業結果のまとめを表 3.1-27 に示す。同表では、各間隙水圧計の計測情報、点検作業の結果として絶縁抵抗検査結果・出力特性検査結果、経時変化の確認結果、今回の対応方針をまとめた。

点検の結果、故障、要経過観察または連続計測中止区間と判定された計器について下記に述べる。

なお、要経過観察は、「絶縁抵抗検査、出力特性検査の結果に顕著な異常は認められず検査時の出力は安定していることから概ね正常と判断されたものの、①センサーの出力特性に劣化が出始めている可能性がある計器、②経時変化で不安定な挙動を示した計器のように、緊急性はないが、今後故障する可能性が高い計器」と定義した。

a．故障

・B-1 孔⑤区間（孔壁から 18.50m～19.00m 区間）

計測データ（間隙水圧の経時変化）の異常、絶縁抵抗検査では絶縁異常及び出力特性検査の実施が不可であり、故障と判断した。

b．要経過観察

・D-1 孔⑥区間（坑壁から 8.50m～10.00m 区間）

出力特性検査における補正出力特性では一部基準値(0.4MPa 以上)をやや超過したが、計測データ（間隙水圧の経時変化）及びその他の点検における異常は認められなかった。出力が基準を超過していることは故障または故障の予兆であるものの、超過範囲が 0.4MPa 以上（計測は 0.1～0.2MPa の範囲である）こと、現時点で正常に計測できていることから要経過観察とした。

最後に補正定格出力の確認により、各間隙水圧計の出力特性(傾きと切片を換算係数として)を表 3.1-28 にまとめた。

表 3.1-27　間隙水圧計の点検結果まとめ

場所	孔名	孔口標高（EL. m）	区間名	測定深度（GL. -m）	SN	センサ製造年月	間隙水圧計の点検作業結果				間隙水圧の経時変化	総合評価	今回の対応方針	備考
							絶縁抵抗検査	出力特性検査						
								長期安定性との比較	補正出力特性	間隙水圧計性能評価	水圧挙動			
計測坑A	A-1	-83.55	①	10.00 ～ 12.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			②	13.50 ～ 15.00	9NA7042001	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			③	16.00 ～ 17.00	0NA8012001	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			④	17.50 ～ 18.00	8NA7063002	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			⑤	18.50 ～ 19.00	8NA7063003	2008年8月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	
計測坑B	B-1	-54.65	①	10.00 ～ 12.50	9565	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	
			②	13.50 ～ 15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			③	16.00 ～ 17.00	9915	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	
			④	17.50 ～ 18.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			⑤	18.50 ～ 19.00	9920	2006年11月	異常あり	計測不能	計測不能	不良	異常あり	故障	撤去	
計測坑C	C-1	-83.55	①	10.00 ～ 12.50	9NA7042002	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			②	13.50 ～ 15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			③	16.00 ～ 17.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			④	17.50 ～ 18.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			⑤	18.50 ～ 19.00	4NA7009006	2004年	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	代替器による計測中
試験空洞	D-1	-90.92	①	0.50 ～ 1.00	6NA7091011	2006年11月	-	-	-	-	-	-	-	
			②	1.50 ～ 2.00	6NA7091012	2006年11月	-	-	-	-	-	-	-	
			③	2.50 ～ 3.00	6NA7091013	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	
			④	4.00 ～ 5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			⑤	6.00 ～ 7.50	6NA7091015	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	
			⑥	8.50 ～ 10.50	4NA7009008	2004年	異常なし	異常なし	一部異常	良好	異常なし	異常なし	要経過観察	代替器による計測中
			⑦	11.50 ～ 14.00	6NA7091017	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	
			⑧	15.00 ～ 19.00	9NA7042004	2009年9月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	
	E-1	-84.4	①	0.50 ～ 1.00	6NA7091019	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年） ケーブル絶縁不良でセンサ撤去(H29)
			②	1.50 ～ 2.00	6NA7091020	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	伝送系に問題あり。E-⑤のケーブルを接続中（H27）。
			③	2.50 ～ 3.00	6NA7091021	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	他の区間と挙動が異なる	異常なし	現状のまま	
			④	4.00 ～ 5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			⑤	6.00 ～ 7.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）
			⑥	8.50 ～ 10.50	6NA7091024	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	他の区間と挙動が異なる	異常なし	現状のまま	
			⑦	11.50 ～ 14.00	6NA7091025	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	
			⑧	15.00 ～ 19.00	6NA7091026	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間（1回/年）

表 3.1-28　平成 30 年度の換算係数

計測場所	孔名	孔口標高 (EL.m)	区間	測定深度 (GL.-m)	センサ設置標高 SL (EL.m)	SN	圧力水頭への換算係数		絶縁抵抗検査	出力特性検査結果		今年度の点検結果（判定）	センサ製造年月	備考
							a（傾き） (m/mV)	b（原点） (mV)		長期安定性との比較（安定性あり：○、なし：×）	補正出力特性（精度内：○、精度外：×）			
計測坑A	A-1	-83.55	①	10.00 ～ 12.50	-83.73	-	-	-	-	-	-	-		
			②	13.50 ～ 15.00	-83.73	-	-	-	-	-	-	-		
			③	16.00 ～ 17.00	-83.73	-	-	-	-	-	-	-		
			④	17.50 ～ 18.00	-83.73	-	-	-	-	-	-	-		
			⑤	18.50 ～ 19.00	-83.73	8NA7063003	6.386E-02	405.5	正常	○	○	○	2008年8月	
計測坑B	B-1	-54.65	①	10.00 ～ 12.50	-67.08	9565	0.399	0.963	正常	○	○	○	2006年11月	
			②	13.50 ～ 15.00	-69.50	-	-	-	-	-	-	-	-	
			③	16.00 ～ 17.00	-71.43	12071	0.391	0.622	正常	○	○	○	2006年11月	
			④	17.50 ～ 18.00	-72.39	-	-	-	-	-	-	-	-	
			⑤	18.50 ～ 19.00	-73.21	9920	-	-	異常	× 検定不可	× 検定不可	故障	2006年11月	
計測坑C	C-1	-83.55	①	10.00 ～ 12.50	-83.45	-	-	-	-	-	-	-	-	
			②	13.50 ～ 15.00	-83.45	-	-	-	-	-	-	-	-	
			③	16.00 ～ 17.00	-83.45	-	-	-	-	-	-	-	-	
			④	17.50 ～ 18.00	-83.45	-	-	-	-	-	-	-	-	
			⑤	18.50 ～ 19.00	-83.45	4NA7009006 【代替器】	6.373E-02	418.0	正常	○	○	○	2004年	
試験空洞	D-1	-90.92	①	0.50 ～ 1.00	-90.20	-	-	-	-	-	-	-	-	
			②	1.50 ～ 2.00	-90.20	-	-	-	-	-	-	-	-	
			③	2.50 ～ 3.00	-89.40	6NA7091013	6.381E-02	407.3	正常	○	○	○	2006年11月	
			④	4.00 ～ 5.00	-89.40	ー	-	-	-	-	-	-	-	
			⑤	6.00 ～ 7.50	-89.40	6NA7091015	6.377E-02	405.9	正常	○	○	○	2006年11月	
			⑥	8.50 ～ 10.50	-89.40	4NA7009008 【代替器】	6.401E-02	409.4	正常	○	×	要経過観察	2004年	
			⑦	11.50 ～ 14.00	-89.40	6NA7091017	6.368E-02	404.7	正常	○	○	○	2006年11月	
			⑧	15.00 ～ 19.00	-89.40	9NA7042004	6.376E-02	401.3	正常	○	○	○	2009年9月	
	E-1	-84.40	①	0.50 ～ 1.00	-89.50	6NA7091019	-	-	-	-	-	-		
			②	1.50 ～ 2.00	-89.50	6NA7091020	6.381E-02	409.2	正常	○	○	○	2006年11月	
			③	2.50 ～ 3.00	-89.50	6NA7091021	6.391E-02	398.3	正常	○	○	○	2006年11月	
			④	4.00 ～ 5.00	-89.50	-	-	-	-	-	-	-	-	
			⑤	6.00 ～ 7.50	-89.50	-	-	-	-	-	-	-	-	
			⑥	8.50 ～ 10.50	-89.50	6NA7091024	6.379E-02	387.1	正常	○	○	○	2006年11月	
			⑦	11.50 ～ 14.00	-89.50	6NA7091025	6.373E-02	394.9	正常	○	○	○	2006年11月	
			⑧	15.00 ～ 19.00	-89.50	6NA7091026	-	-	-	-	-	-		

(3) 計測システム保守・点検

計測システム（計測ケーブル、現場計測室、スイッチボックス、パソコン、プログラム等含む）の保守・点検を実施した。

1) 静的計測システム点検

静的計測システムの点検を実施した。

実施日：平成 30 年 10 月 10 日

a. スイッチボックス～静的計測用 PC 間

(a) 点検機器

スイッチボックス（ひずみ発生器及び電流・電圧発生器）～データロガー～静的計測用 PC

(b) 点検方法

各スイッチボックスから模擬入力を行い、システムを通したデータロガーまたは PC の出力値が規格内であるかを判別し、各計測設備の稼働状況と計測設備間の通信状況について点検した。

(c) 点検結果

点検結果を表 3.1-29 に示す。データ模擬入力による点検では、異常を示す計測器は見られなかった。また、PC においても静的計測システムは正常に作動しており、通信状況が正常であることを確認した。

表 3.1-29 データ模擬入力による点検結果

CH番号	計器番号	模擬入力値（SWボックス）	出力値（ロガー）	合否基準	合否
1160	RD-③12-06	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1161	RD-③12-05	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1162	RD-③12-04	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1164	RD-③12-02	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1165	RD-③12-01	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1309	T-O-1-O	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1328	T-J-1	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1376	T-H- 3-O-V	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1382	T-O- 3-O	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○

3.1.4 まとめ

既設計測器及び試験施設と試験空洞底盤に設置した地震計によって計測されたデータを回収・整理した。また、既設計測器及び計測用機器（パソコン、データロガー、スイッチボックス等）の保守・点検を行い、計測システムが正常に稼働していることを確認した。

3.2 既存施設の計測調査データの評価

3.2.1 施設・岩盤挙動計測データの分析・評価

ひずみ計等の試験施設の挙動計測データと、間隙水圧計等の周辺岩盤の挙動計測データの分析・評価を行う。

(1) 坑内環境計測結果の分析評価

【目的】

試験空洞内の坑内気温及び湿度の経時変化の傾向に着目し分析評価を行う。

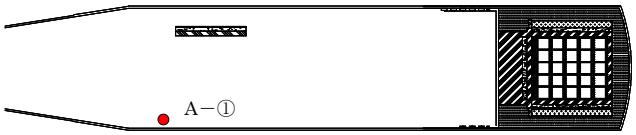
【まとめ】

- 坑内気温、坑内湿度ともに季節の気温・湿度変化に伴う変動が見られる。坑内平均気温は、平成 30 年 2～3 月の冬季期間では 9.1～10.1℃で、平成 30 年 7～8 月の夏季期間では 14.0～16.6℃となっている。坑内湿度では、夏季期間では日最高湿度と日最低湿度の差がほぼゼロに近くなるが、その他の時期においては湿度の差が 0～20%見られる。

1) 坑内の気温及び湿度

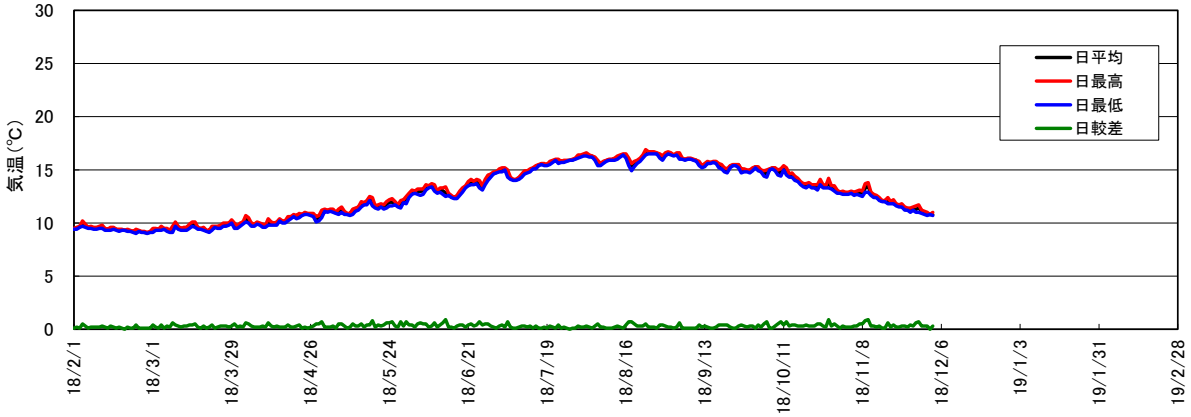
本試験における環境計測は、百葉箱温湿度計 1 基（A-①）による空洞手前で計測を行っている。以下、平成 30 年 2 月から平成 30 年 12 月までの環境計測結果の分析結果について以下に示す。

百葉箱温湿度計 A-①で計測された坑内気温と坑内湿度について、日平均、日最高、日最低、日較差を図 3.2-1 に示す。坑内気温については、日平均気温、日最高気温、日最低気温ともに季節の気温変化に伴う変動が見られる。坑内平均気温は、平成 30 年 2～3 月の冬季期間では 9.1～10.1℃で、平成 30 年 7～8 月の夏季期間では 14.0～16.6℃となっている。今年度は施工試験が実施されていないため、施工に伴う坑内気温の変動は特に見られなかった。坑内湿度についても季節の湿度変化に伴う変動が見られ、夏季期間では日最高湿度と日最低湿度の差がほぼゼロに近くなるが、その他の時期においては湿度の差が 0～20%見られる。



平面図

百葉箱気温



百葉箱湿度

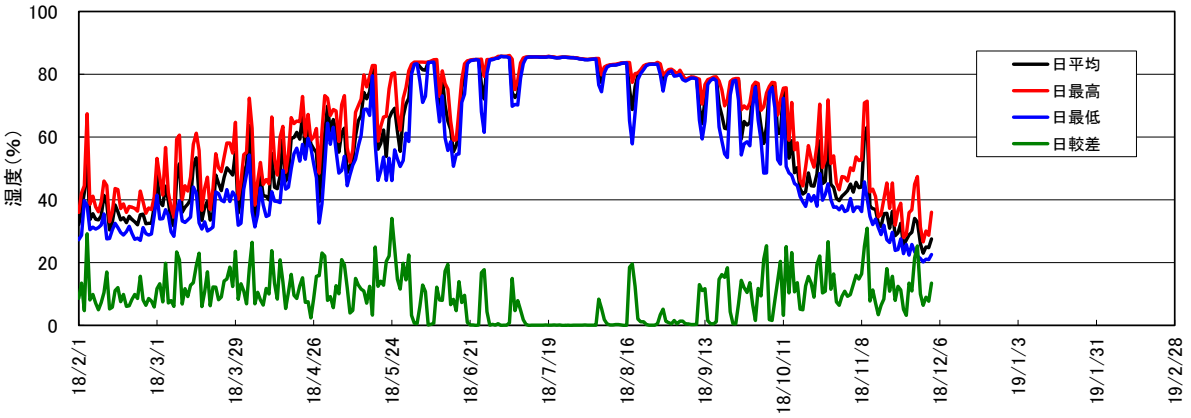


図 3.2-1　坑内気温・湿度の経時変化（百葉箱温湿度計 A-①）

(2) 上部埋戻し材の計測結果の分析評価

【目的】

上部埋戻し材は、試験空洞アーチ部分に接して施工される。上部埋戻し材の材料はベントナイト混合土であり、試験空洞アーチ部分は吹付けコンクリートとその内側の防水シートで構成されている。両者の界面に隙間が発生すると、そこが水みちとなり、施設への水の侵入を早めてしまうことが懸念される。本検討では、平成 26 年度に上部埋戻し材の試験空洞天端付近に設置した沈下計及び温度計の計測結果から、上部埋戻し材施工後の試験施設天端と上部埋戻し材間の隙間量の変動について分析する。

【まとめ】

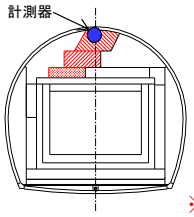
- 沈下量は、平成 26 年度の計測開始後から、上部埋戻し材及び吹付けコンクリートの施工イベントに伴い粘性的な沈下挙動を示していたが、平成 27 年 5 月時点で収束傾向が見られる。沈下量の最大値は平成 29 年 4 月の約 5.8mm である。
- 季節の温度変化に伴い沈下量は変動し、その影響は約 0.095（mm/℃）であった。
- 今後の課題として、計測値の妥当性を確認するために、上部埋戻し材を一部撤去して、施設天端と上部埋戻し材間に発生した隙間量を原位置で確認することが望まれる。さらに、発生した隙間が施設の安全性能に与える影響を、注水試験等により再冠水後のフェーズを踏まえて評価していくことが望まれる。

1) 計測結果・分析

計測を開始した平成 26 年 9 月から平成 30 年 12 月までの沈下計及び温度計の計測結果を図 3.2-2～図 3.2-3 に示す。

図 3.2-2 に示すように、沈下量は、計測開始後の上部埋戻し材及び吹付けコンクリートの施工イベントに伴い粘性的な沈下挙動を示し、平成 27 年 5 月時点で収束傾向が見られる。平成 27 年 5 月以降、図 3.2-2 と図 3.2-3 を比較すると、温度が夏期に向かって上昇するのに伴い、沈下量は減少し、逆に冬期に向かって温度が低下すると沈下量は増加する傾向が見られる。沈下量と温度の関係を図 3.2-4 に示す。図 3.2-4 より、計測開始から平成 27 年 5 月までの期間（赤色の凡例）と平成 27 年 5 月から平成 28 年 3 月（青色の凡例）では、温度に対する沈下量の傾きが異なることがわかる。その後平成 28 年 4 月以降の期間は、平成 27 年 5 月から平成 28 年 3 月の傾きと同等である。これより沈下量は、平成 27 年 5 月までの期間では施工イベントに伴う変動が支配的であるのに対して、その後の期間では季節の温度変化に伴う変動が支配的であることが推察される。なお、平成 27 年 5 月以降の期間における、温度変化に伴う沈下量の変動は約 0.095（mm/℃）であった。また、沈下量の最大値は平成 29 年 4 月の約 5.8mm で平成 27 年 5 月の沈下量（約 5.4mm）と同等であった。

図 3.2-2 には、解析結果（3 次元弾性 FEM 解析）を併記した。解析条件については、平成 26 年度報告書を参照していただきたい。本解析は弾性解析であるため、計測で見られる粘性的な挙動は再現できないが、沈下が収束した後の平成 27 年 5 月の沈下量の計測結果（約 5.6mm）に対して、解析結果は 4.4mm（約 21%の差）であり、本解析が上部埋戻し材の沈下挙動を弾性範囲で概ね再現できていると考えられる。



※赤線部は平成 26 年度施工箇所

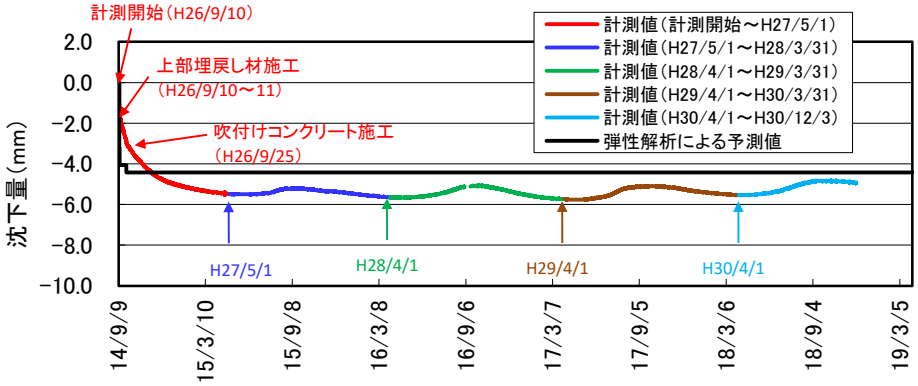


図 3.2-2　沈下計計測結果

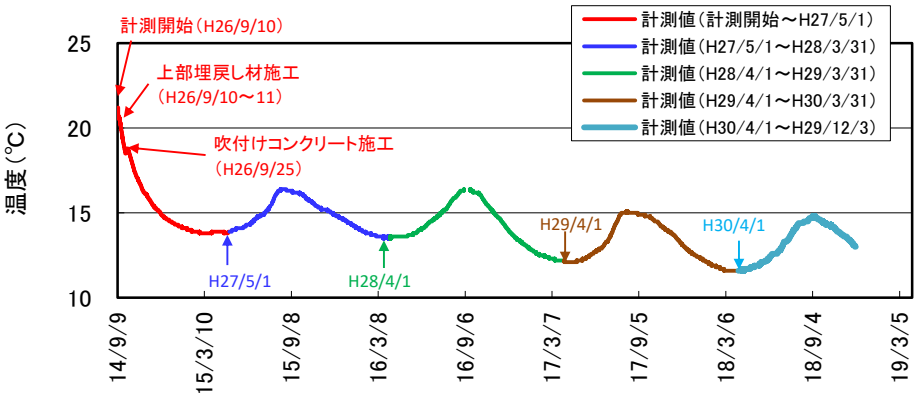


図 3.2-3　温度計計測結果

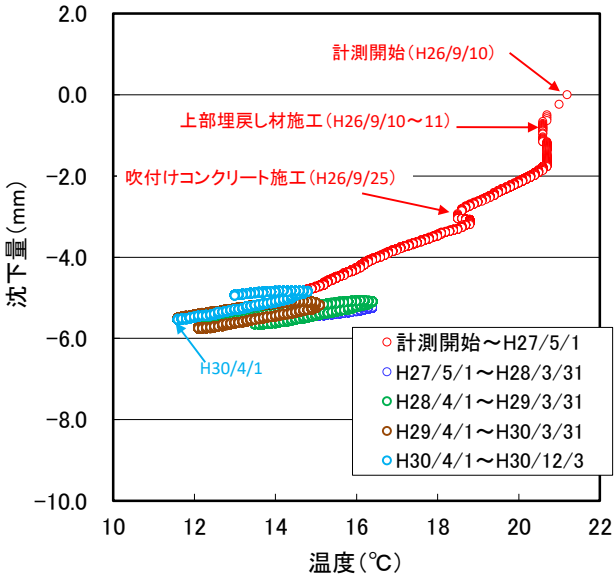
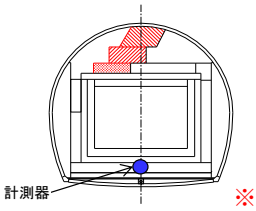


図 3.2-4　沈下量と温度の関係

2）底部低透水層の沈下挙動の影響

上述した上部埋戻し材の沈下が、下部部材であるコンクリートピットや低拡散層等を含む施設全体の沈下の影響を受けていないかを確認するために、底部低透水層に設置した沈下計の計測結果を分析した。図 3.2-2 に示した上部埋戻し材の沈下計計測結果と同期間の、底部低透水層の沈下計計測結果を図 3.2-5 に示す。当該期間の底部低透水層の沈下量の変動（最大値－最小値）は 0.27mm 程度であり、沈下はほとんど発生しておらず、施設全体の沈下は認められない。よって、上部埋戻し材の沈下挙動の要因は、上部埋戻し材の沈下が主であると考えられる。



※赤斜線部は平成 26 年度施工箇所

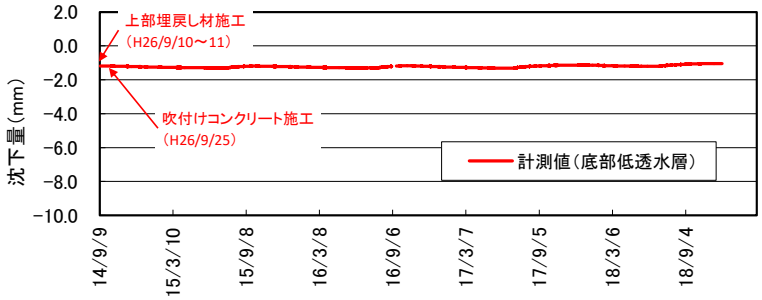


図 3.2-5　底部低透水層の沈下計計測結果

(3) 底部低透水層の計測結果の分析評価

【目的】

底部低透水層の要求機能の一つに、「建設・操業中の力学的安定性」がある。底部低透水層上において行われるコンクリートピットの構築、廃棄体定置作業等の上載荷重に対して、支持部材として十分な強度が要求される。

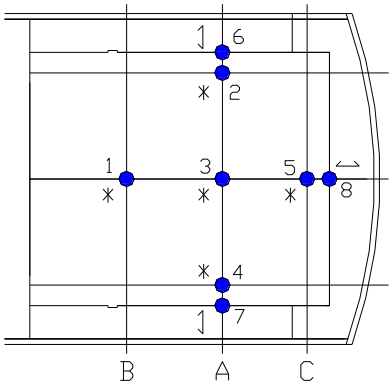
平成 26 年度までで試験施設の施工は終了しており、今年度は施工による上載荷重は変化していないが、低透水層にはクリープ的な挙動もこれまで確認されているため、底部低透水層に作用する土圧や沈下計による計測挙動を分析し、施工終了後の力学的安定性を確認する。

【まとめ】

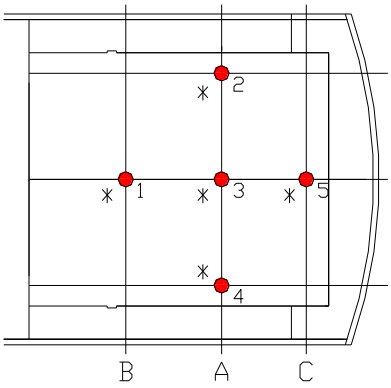
- 今年度に生じた土圧最大値は 0.12N/mm^2（A 断面左側）で、平成 22 年度に確認された最大値 0.21N/mm^2 より小さい値であった。また、過年度の最大値 0.21N/mm^2 では、底部低透水層の極限支持力 1.85N/mm^2 と比較して小さい。平成 24 年以降は、施設左側の土圧計は僅かな減少傾向が見られるのに対して、右側は僅かな増加傾向が見られ、これは試験施設の構成が左右対称ではないことにより、底部低透水層に均一に土圧が作用していないためであると推察される。
- 今年度の沈下量の変動は最大 0.05mm 程度と小さい。
- 現状の上載荷重に対して、土圧及び沈下量の変化は、上載圧から推測される土圧量及び 2 次元 FEM 弾性解析結果から推測される沈下量の範囲内であり、過大な土圧の作用や沈下は認められない。
- 以上より、現時点において底部低透水層は力学的健全性が確保されていると考えられる。

1) 計測器配置と上載荷重

底部低透水層には、図 3.2-6～図 3.2-7 に示すように、鉛直方向土圧測定のため底部埋戻し材界面に 5 箇所、側方土圧測定のため側部埋戻し材に 2 箇所、奥部埋戻し材に 1 箇所土圧計を設置している。また、沈下計は底部低透水層中に 5 箇所設置している。なお沈下計のうち空洞横断方向右側の計測器（B-T-4）は測定不良のため、分析の対象からはずした。



計器番号：B-D-○（○は上記番号）



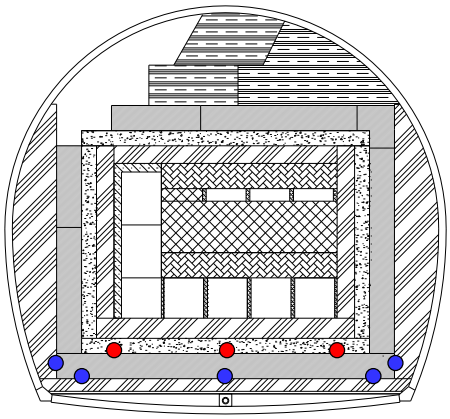
計器番号：B-T-○（○は上記番号）

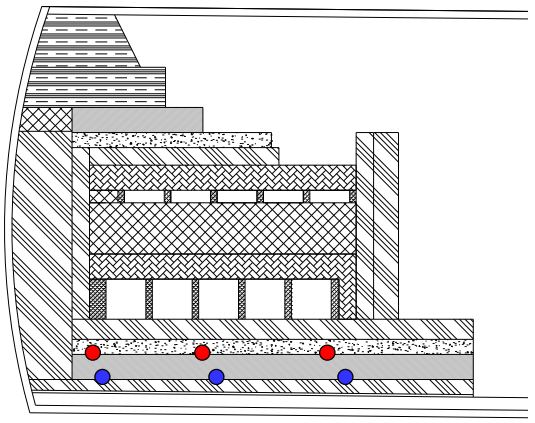
1～5：底部埋戻し材との界面
6,7：側部　〃　　⌙⌡：水平
8：奥部　〃　　＊：鉛直

＊：鉛直

（1）土圧計　　（2）沈下計

図 3.2-6　土圧計・沈下計設置位置図（平面図）





（1）横断面図　　（2）縦断面図

図 3.2-7　土圧計・沈下計設置位置図（横断面図、縦断面図）

平成 19 年度に実施した底部低透水層施工から平成 26 年度施工試験終了時までの施工イベント毎の上載荷重を表 3.2-1 に示す。平成 29 年度現在の累計重量は 40.67MN（累計上載圧 0.208N/mm²）である。

表 3.2-1　底部低透水層の上載荷重一覧

施工年度	No.	部材	単位重量※3	寸法			重量	累計重量	上載圧※1	累計上載圧
				幅	奥行き	高さ				
			(tf/m^3)	(m)	(m)	(m)	(MN)	(MN)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
H19～20	1	底部緩衝材	1.993	13.6	16.1	1.0	4.27	4.27	0.020	0.020
H20	2	底部低拡散材	2.247	11.6	16.1	0.6	2.46	6.72	0.013	0.033
	3	底部CP	2.497	10.4	16.1	0.8	3.27	9.99	0.018	0.050
	4	奥部CP	2.497	10.4	0.7	6.8	1.21	11.20	0.007	0.057
	5	側部CP（左右）	2.497	0.7	10.7	6.8	2.51	13.71	0.013	0.070
H21	6	模擬廃棄体（25ヶ）	2.686	1.6	1.6	1.6	2.70	16.41	0.015	0.085
	7	手前部CP	2.497	11.6	0.7	7.4	1.47	17.89	0.008	0.093
	8	側部低拡散材（左右）	2.247	0.6	11.4	7.6	2.30	20.19	0.012	0.105
	9	充填材	2.267	※2			0.41	20.60	0.002	0.107
	10	上部充填材	2.391	7.1	10.7	1.0	1.77	22.37	0.010	0.117
H22	11	普通コンクリート①	2.300	7.1	10.7	2.0	3.47	25.84	0.019	0.136
	12	普通コンクリート②	2.300	－	－	－	0.27	26.11	0.001	0.137
	13	模擬廃棄体（6ヶ）	－	－	－	－	0.09	26.20	0.001	0.138
	14	模擬廃棄体打設	2.300	－	－	－	1.16	27.36	0.006	0.144
	15	充填材（鉛直）	2.267	－	－	－	1.65	29.01	0.009	0.153
	16	充填材（水平）	2.267	－	－	－	0.15	29.16	0.001	0.153
	17	上部充填材	2.391	7.1	10.7	1.0	1.77	30.93	0.010	0.163
H22～24	18	側部緩衝材（左右）	1.993	1.0	11.4	8.2	3.63	34.56	0.017	0.180
H24	19	上部コンクリートピット	2.497	7.6	9.0	0.7	1.17	35.73	0.005	0.185
	20	上部低拡散材	2.247	8.0	11.6	0.6	1.22	36.95	0.006	0.191
H25	21	上部緩衝材（隅角部）	1.965	－	－	－	0.25	37.20	0.001	0.192
	22	上部緩衝材（平面部）	－	－	－	－	0.63	37.83	0.003	0.195
	23	上部埋戻し材(吹付け)	－	－	－	－	0.56	38.39	0.003	0.197
	24	上部埋戻し材(転圧)	－	－	－	－	0.80	39.19	0.004	0.201
H26	25	上部緩衝材	－	－	－	－	0.36	39.55	0.002	0.202
	26	上部埋戻し材	－	－	－	－	1.12	40.67	0.005	0.208

※1 重量を受面積で除して上載圧を算出している
（No.1：底部緩衝材面積、No.2～17：底部低拡散材面積、No.18～26：底部低拡散材+側部緩衝材面積）
※2 充填材体積は、(廃棄体体積を含む充填材体積)-(廃棄体体積)より算出している
※3 コンクリートピットの単位重量は、コンクリート標準示方書の鉄筋コンクリートの単位重量としている

2）土圧挙動

平成 30 年 2 月 1 日～平成 30 年 12 月 3 日の土圧計計測値の経時変化を図 3.2-8、図 3.2-9 に示す。土圧挙動は季節の温度変化に伴う変動をしている。

季節の温度変化に伴う変動の例として、A 断面中央の土圧計（B-D-3）とその付近に設置してある温度計（B-O-1）の今年度の計測結果から求めた、土圧計計測値と温度計計測値の関係を図 3.2-10 に示す。これより土圧計計測値と温度計計測値には正の相関が見られる。

今年度の各計器の土圧最大値と平成 30 年 2 月 1 日からの増分を表 3.2-2 に示す。今年度の増分は最大 0.005N/mm^2 であった。また、A 断面左側の計器で最大値 0.118N/mm^2 が確認されている。これまでに確認されている土圧最大値はA断面左側で平成22年度の0.21N/mm^{2}であり今年度の値と同等である。平成 22 年度地下空洞型処分施設性能確証試験の施設・周辺岩盤挙動計測において、底部低透水層の極限支持力を 1.85N/mm^2 と設定[7]しており、支持力に対して土圧最大値は小さい値である。

平成 20 年 2 月 15 日の計測開始から平成 30 年 12 月 3 日までに測定された A 断面左右位置（B-D-2、B-D-4）の土圧計計測値の経年変化を図 3.2-11 に示す。両者とも、季節の温度変化に伴う変動を繰り返しながら、上載荷重の増加に伴い増加し、上載荷重レベルとほぼ同じように変化する。図中の実荷重は、表 3.2-1 の累計上載圧である。左右位置（B-D-2、B-D-4）で比較すると、平成 22 年（2010 年）9 月の側部低透水層（右側）施工までは両者で同じトレンドで変動しているが、その後、平成 24 年（2012 年）7 月の側部低透水層（左側）施工までは両者の土圧変化が反転するような挙動を示す。これは施工イベントが、平成 22～23 年度で右側の側部低透水層施工、その後平成 23～24 年度で左側の側部低透水層施工を実施

しており、施工順序に伴い本施設の季節変動の影響が左右で異なるためであると考えられる。平成 24 年（2012 年）7 月の側部低透水層（左側）施工後からは、左右の側部低透水層の状態がほぼ同等となり、両者で同じトレンドを示すようになる。季節の温度変化に伴う変動を繰り返しながら、左側（B-D-2）は僅かな減少傾向が見られるのに対して、右側（B-D-4）は僅かな増加傾向が見られる。これは、試験施設の構成が左右対称ではないことにより、底部低透水層に均一に土圧が作用していないためであると推察される。両者の差は年々小さくなっており、平成 30 年 12 月現在では、左側（B-D-2）と右側（B-D-4）でほぼ一致している。

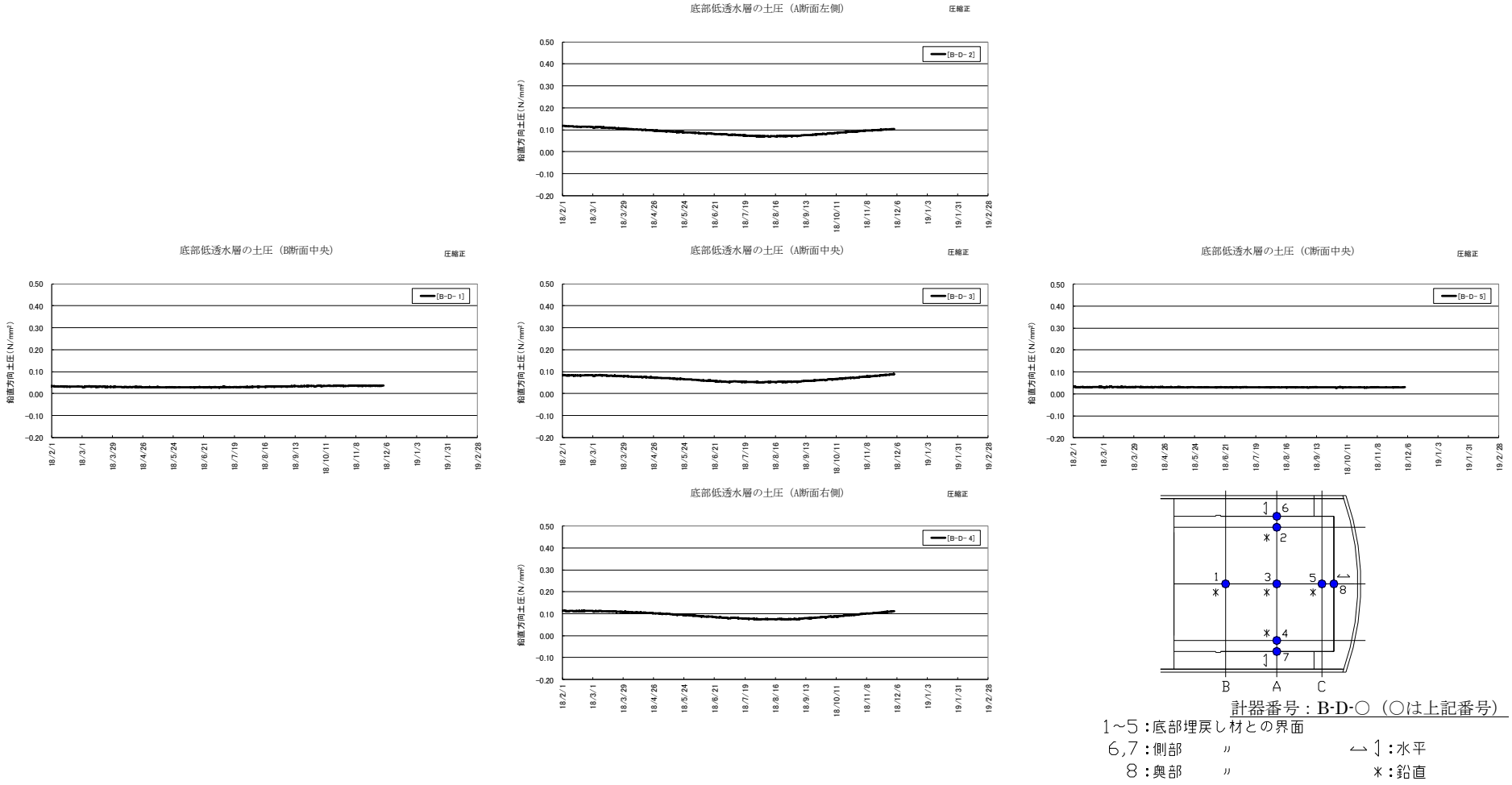


図 3.2-8　底部低透水層　土圧計計測結果（鉛直方向）

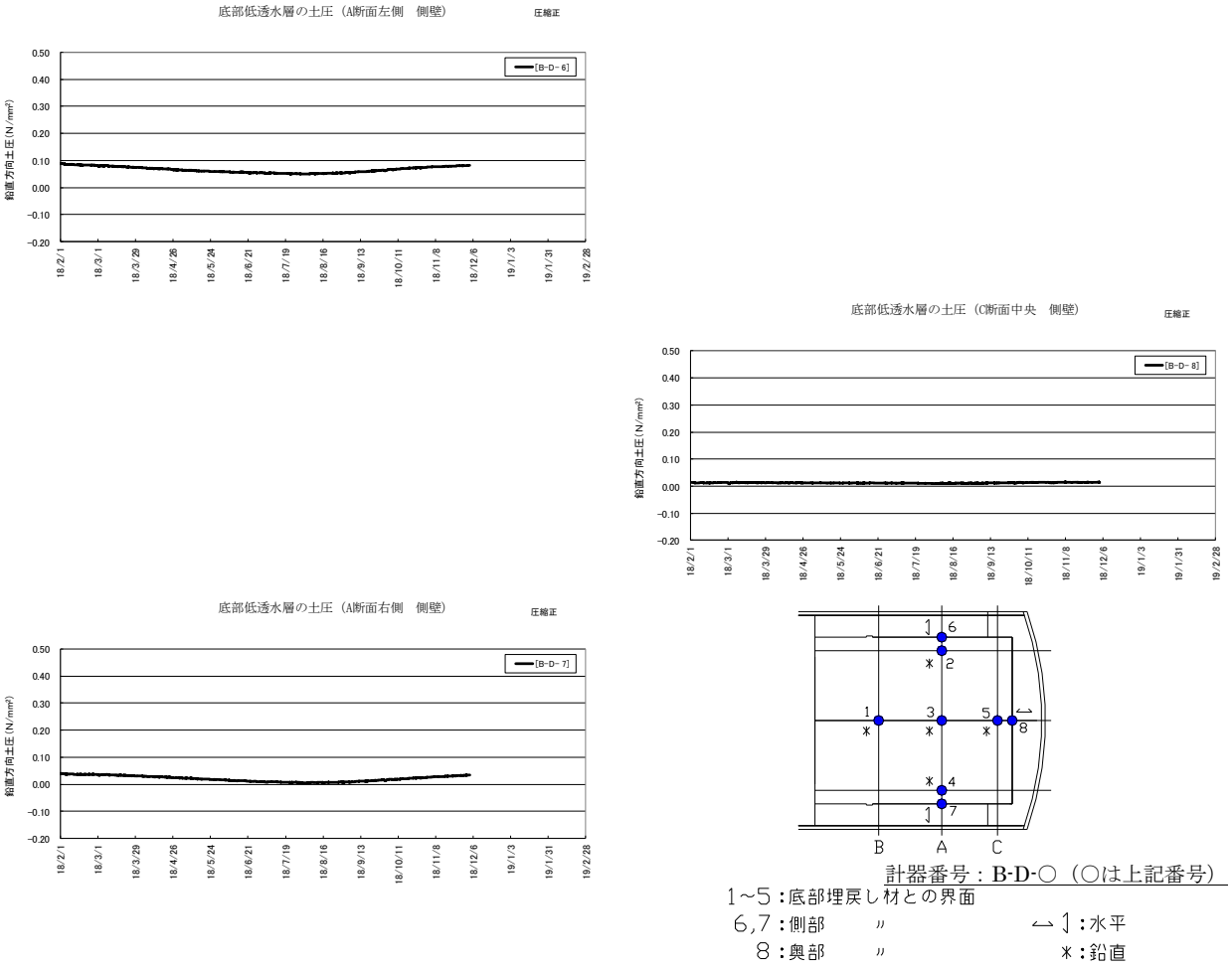


図 3.2-9　底部低透水層　土圧計計測結果（水平方向）

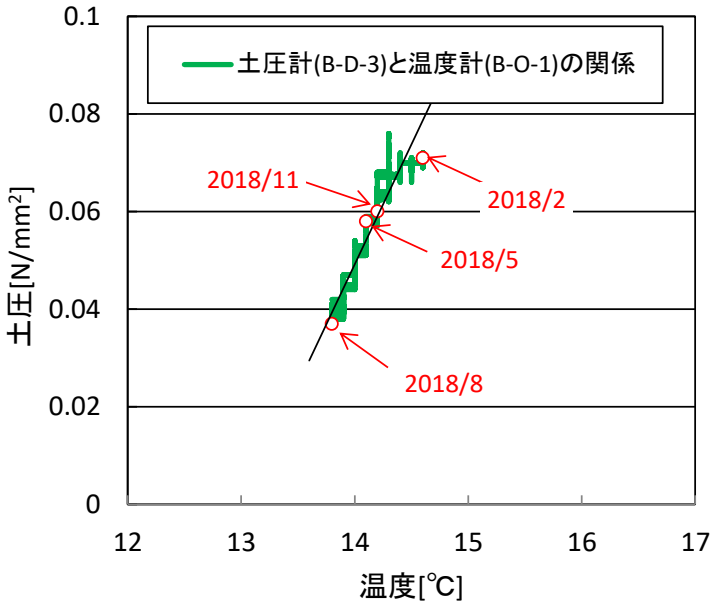


図 3.2-10　土圧計測値と温度計計測値の関係（平成 30 年 2 月 1 日～平成 30 年 12 月 3 日）

表 3.2-2　最大土圧一覧（平成 30 年 2 月 1 日～平成 30 年 12 月 3 日）

	鉛直土圧					水平土圧		
	B断面中央	A断面左側	A断面中央	A断面右側	C断面中央	A断面左側壁	A断面右側壁	C断面中央壁
	[B-D- 1]	[B-D- 2]	[B-D- 3]	[B-D- 4]	[B-D- 5]	[B-D- 6]	[B-D- 7]	[B-D- 8]
最大土圧(H30/2/1～H30/12/3)	0.037	0.118	0.089	0.114	0.033	0.089	0.040	0.015
H30/2/1の土圧	0.034	0.118	0.084	0.113	0.032	0.088	0.039	0.014
増分	0.003	0.000	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002

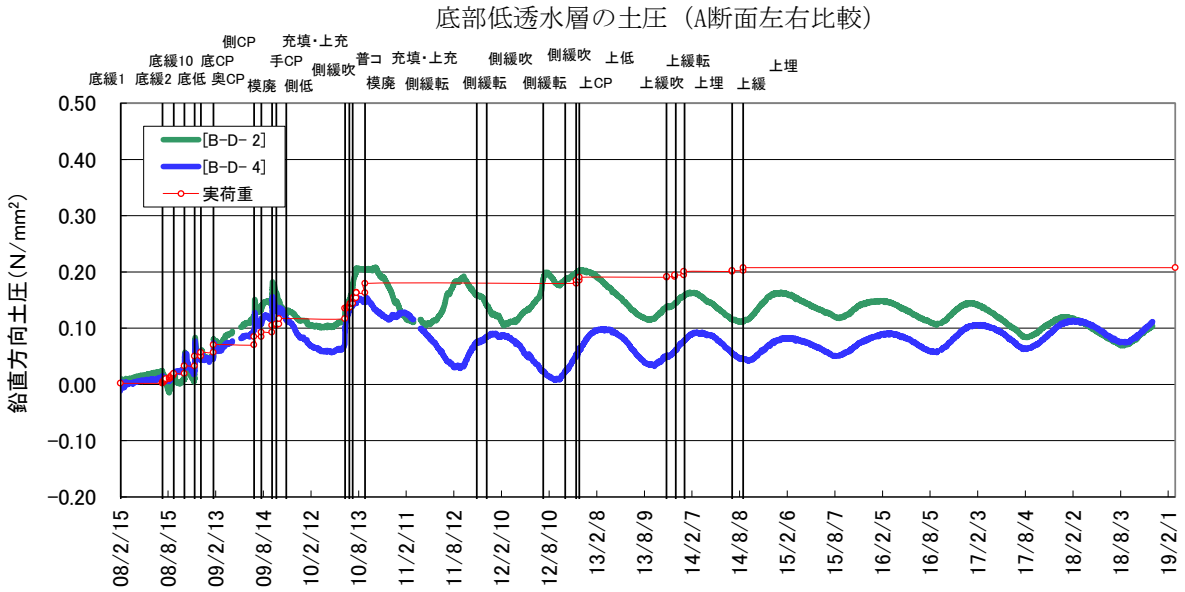


図 3.2-11　土圧計経年変化（A断面左右、平成 20 年 2 月 15 日～平成 30 年 12 月 3 日）

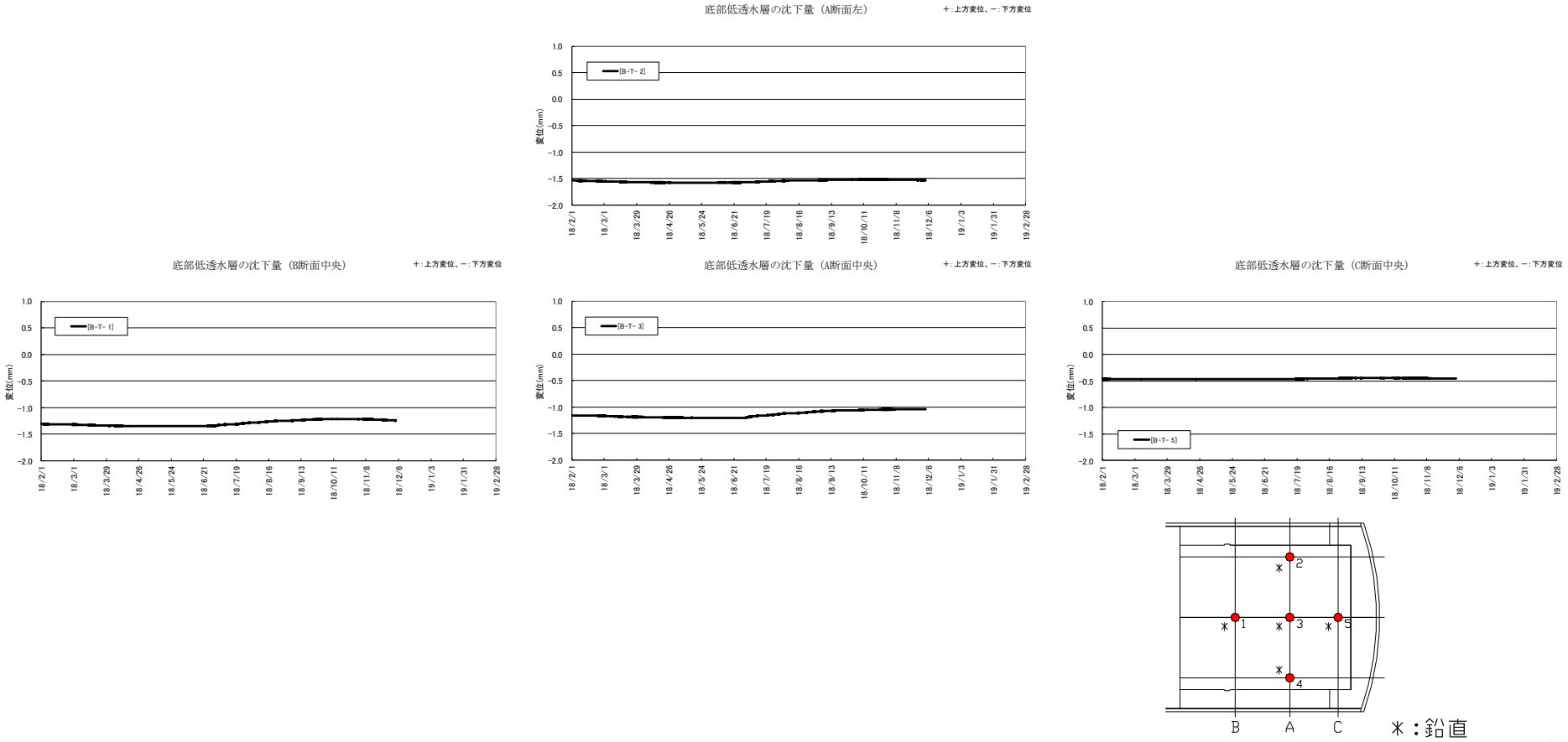
3）沈下挙動

平成 30 年 2 月 1 日～平成 30 年 12 月 3 日の沈下計計測値の経時変化を図 3.2-12 に、今年度の各計器の最大沈下量を表 3.2-3 に示す。

図 3.2-12 に示すように、全体として季節の温度変化に伴う変動しているものの、表 3.2-3 に示す各位置の沈下量をみると、平成 30 年 2 月 1 日の沈下量を基準とした今年度の最大沈下量の増分は、0.01～0.05mm であった。各断面の中央計器の値による空洞軸方向の沈下量分布を図 3.2-13 に示す。施設奥側では、奥部埋戻し材などの周辺部材の拘束が大きいため、底部低透水層の沈下を抑制していると推察される。C 断面と A 断面の間の水平距離（約 4.3m）と沈下量の差（約 0.7mm）から求めた底部低透水層表面の傾きは約 0.01 度と小さく、上載荷重作用による底部低透水層の沈下のばらつきは現時点で小さいといえる。季節の温度変化に伴う変動の例として、A 断面中央の沈下計（B-T-3）とその付近に設置してある温度計（B-O-1）の今年度の計測結果から求めた沈下計計測値と温度計計測値の関係を図 3.2-14 に示す。これより土圧計計測値と温度計計測値には相関は認められない。

平成 20 年 10 月 16 日の計測開始から平成 30 年 12 月 3 日までに底部低透水層の A 断面中央（B-T-3）で計測された沈下量の経年変化を図 3.2-15 に示す。同図には、図 3.2-16 の横断面 2 次元モデルの FEM 解析結果の沈下量を併せて示した。解析に用いた低透水層の弾性係数は、底部低透水層で実施した平板載荷試験結果の最大値、最小値を用いている。実測の沈下量の変化傾向は解析結果と概ね整合している。ただし、実測の沈下量は上載荷重が一定の期間においても徐々に収束する傾向を示しており、低透水層のクリープ的な挙動が観測されている。

2 次元 FEM 弾性解析での底部低透水層沈下量と今年度の計測値との比較を図 3.2-16 に示す。計測値（平成 30 年 12 月 3 日のデータ）は、A 断面左側 1.5mm、A 断面中央 1.0mm であり、平板載荷試験結果の変形係数が平均値～最小値での解析結果に相当する値であった。計測値を説明できる解析の変形係数が、平板載荷試験結果の平均値～最小値となった理由としては、図 3.2-15 より、計測値に低透水層のクリープ的な挙動が生じていることによると考えられる。



※A 断面右側の計測器（B-T-4）は計測不良のため、分析の対象から外した。

図 3.2-12　底部低透水層　沈下計計測結果

表 3.2-3　最大沈下量一覧（平成 30 年 2 月 1 日～平成 30 年 12 月 3 日）

単位：mm

	B断面中央	A断面左側	A断面中央	C断面中央
	[B-T- 1]	[B-T- 2]	[B-T- 3]	[B-T- 5]
最大沈下量(H30/2/1～H30/12/3)	-1.35	-1.58	-1.20	-0.47
H30/2/1の沈下量	-1.30	-1.54	-1.16	-0.46
増分	-0.05	-0.03	-0.04	-0.01

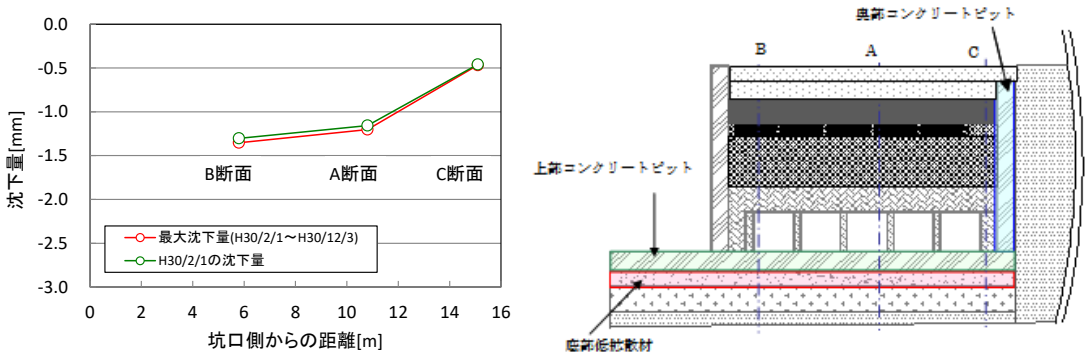


図 3.2-13　底部低透水層の沈下量分布（空洞軸方向）

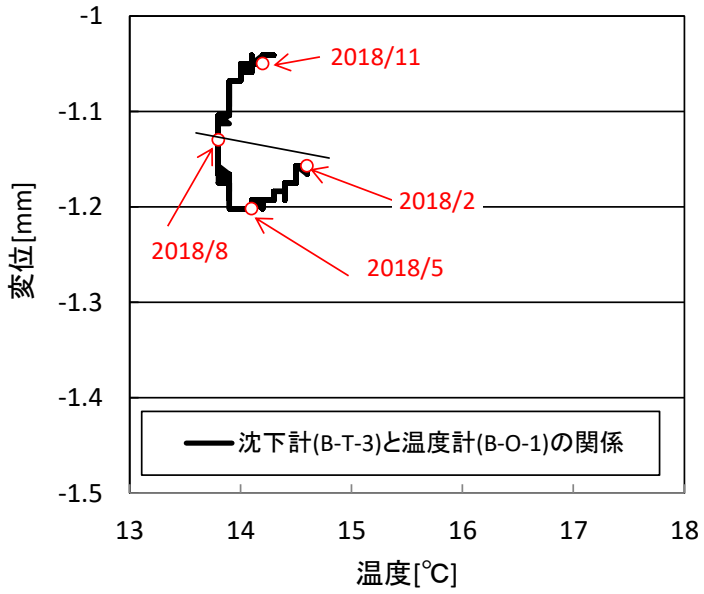


図 3.2-14　沈下計計測値と温度計計測値の関係（平成 30 年 2 月 1 日～平成 30 年 12 月 3 日）

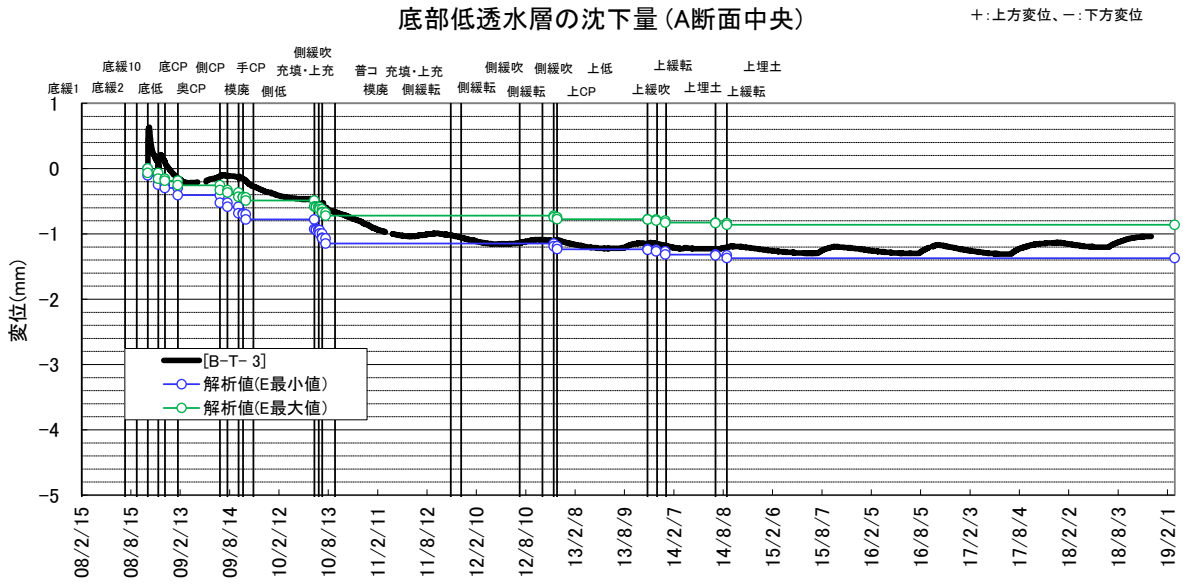


図 3.2-15　沈下計経年変化（A断面中央）

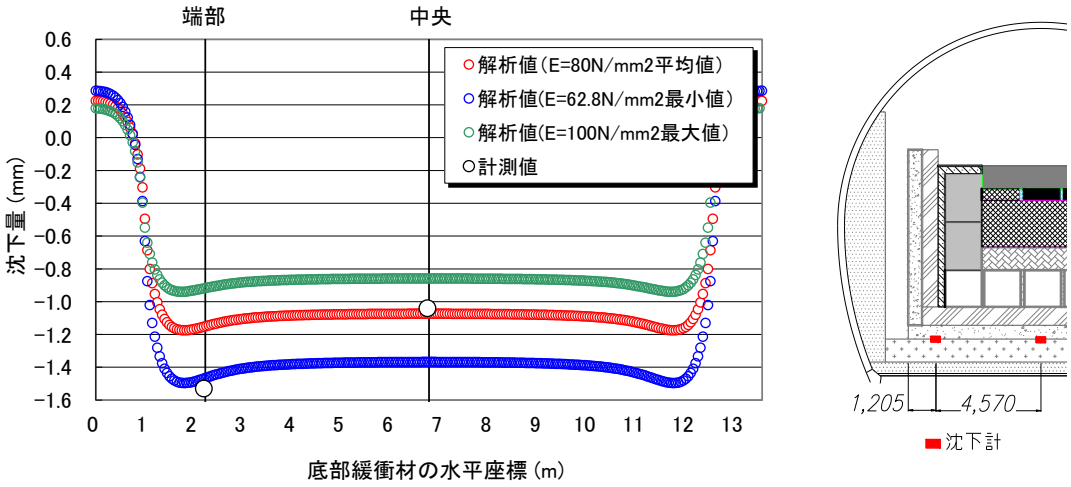


図 3.2-16　底部低透水層沈下量の計測値と解析値の比較（A断面）

【解析条件】

- FEM 弾性解析は、底部低透水層を横断面方向 2 次元でモデル化、3 辺拘束とした。上載荷重は等分布荷重として低透水層上面（底部低拡散層に接する面）に作用させた。
- 上載圧：0.171N/mm²（表 3.2-1 の累計上載圧から底部低透水層に直接作用しない底部低透水層及び側部低透水層の上載圧を除いた値）
- 低透水層の変形係数は、平成 20 年度底部低透水層施工確認試験での平板載荷試験結果を参照し（下記記載）、ポアソン比は平成 20 年度ベントナイト材料特性試験の一軸圧縮試験結果を参照して設定した（ν=0.39）。

  変形係数：平均　80.0N/mm²、最大値　100.0N/mm²、最小値　62.8N/mm²

  試料数　9

4）温度変化

底部低透水層の温度は 2 箇所で計測を行っている。図 3.2-17 に示すように、手前部コンクリートピットより坑口側で 1 箇所（B-O-2）、試験施設中央付近（A 断面）で 1 箇所（B-O-1）である。平成 20 年 10 月 16 日の計測開始から平成 30 年 12 月 3 日までの経年変化を図 3.2-18 に示す。B-O-1、B-O-2 ともに季節変動を繰り返すが、B-O-1 は施工が進むにつれて季節変動量が B-O-2 より小さくなる傾向がある。また、今年度の温度経時変化を図 3.2-19 に示す。坑口側端部に近い B-O-2 は約 12.3℃～15.7℃の間で変動し、端部に近いため坑内気温の影響を受けている。一方、試験施設中央の B-O-1 は約 13.8℃～14.6℃であり変動は小さい。

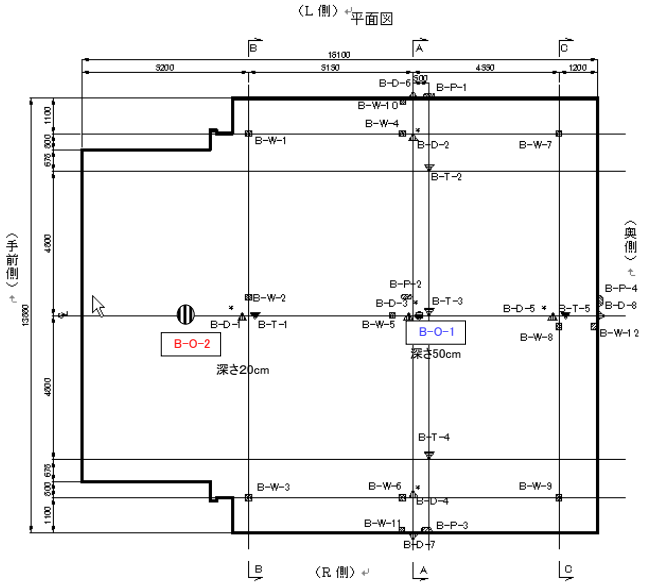


図 3.2-17　温度計設置位置

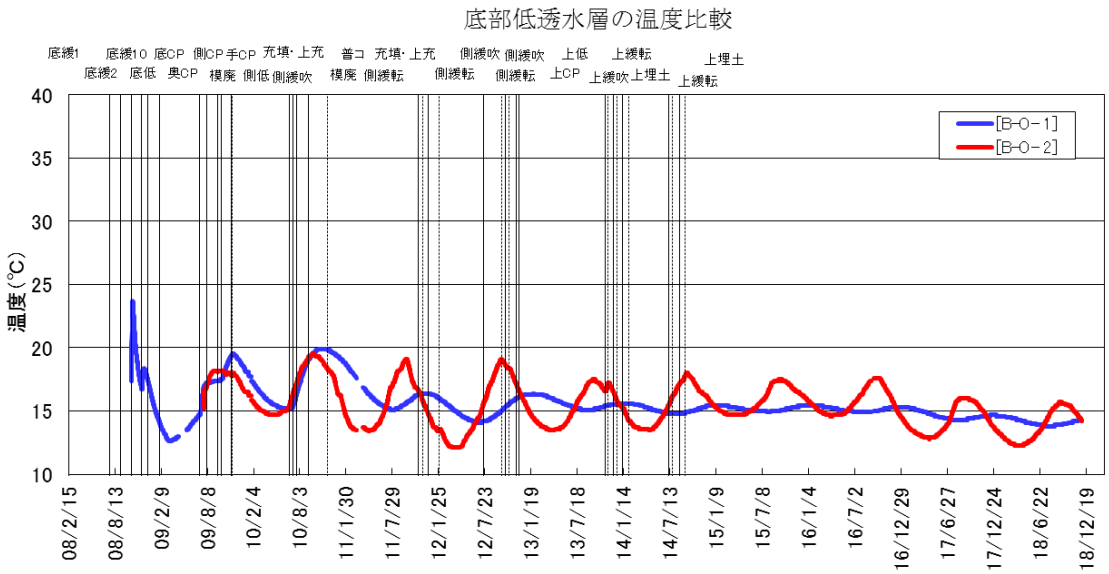


図 3.2-18　底部低透水層の温度経年変化

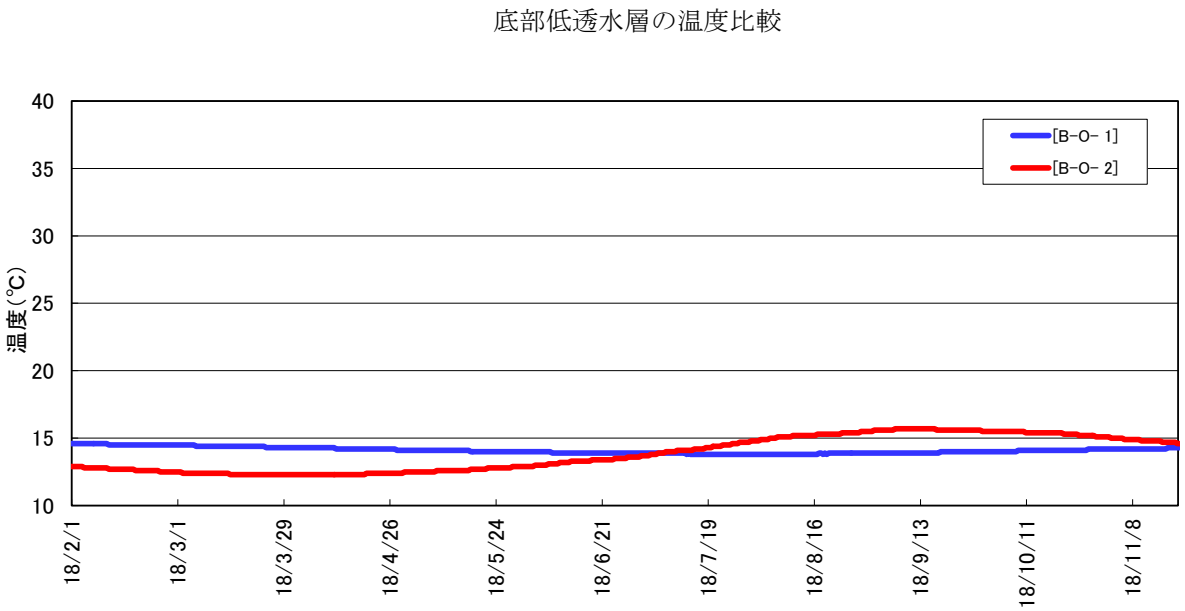
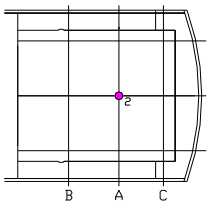


図 3.2-19　底部低透水層の温度経時変化

5）水圧変化

底部低透水層の下部部材である底部埋め戻し材表面に設置した間隙水圧計では、今年度の間隙水圧の変化は認められず、底部低透水層中の間隙水圧に変動はないといえる。代表例として A 断面中央設置計器（B-P-2）の今年度の経時変化を図 3.2-20 に示す。



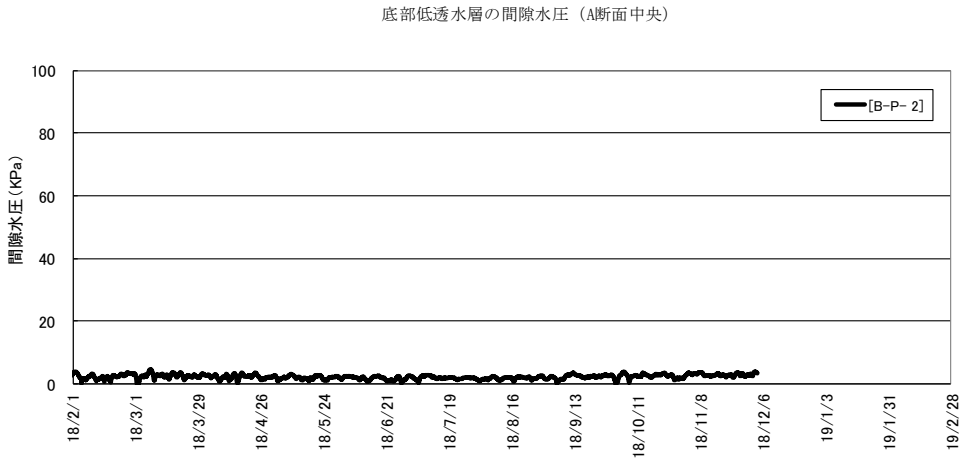


図 3.2-20　底部低透水層の間隙水圧経時変化

(4) セメント系材料の計測結果の分析評価

【目的】

今年度の計測期間中における、セメント系材料の挙動を評価することを目的として、以下の部材を対象として、部材の温度及びひずみ履歴を分析する。

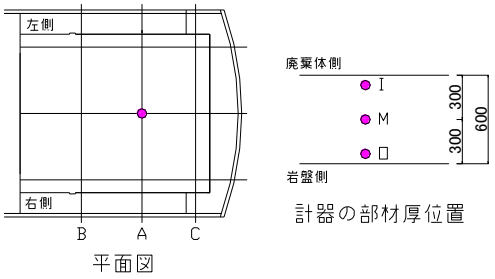
- 底部低拡散層
- 側部低拡散層
- 上部低拡散層
- 底部コンクリートピット
- 側部コンクリートピット
- 手前部コンクリートピット
- 上部コンクリートピット

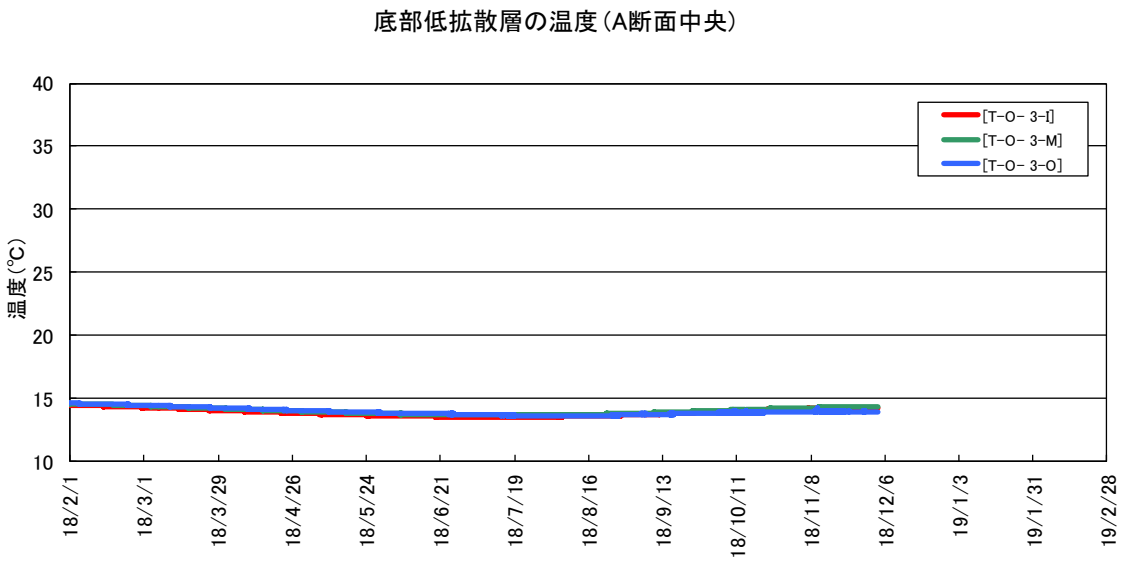
【まとめ】

- いずれの対象部材においても、季節の温度変化に対応したひずみ変化しか認められず、今年度の計測期間中におけるセメント系材料の状態変化はほとんどないものと評価される。

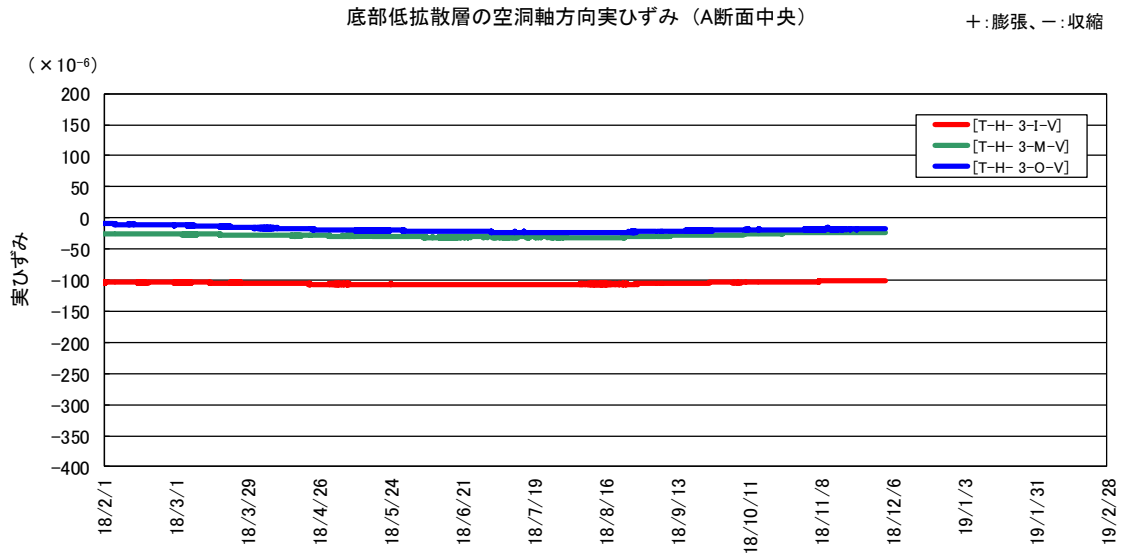
1) 温度及びひずみ履歴

対象部材の部材中心位置における温度及びひずみ計測結果を図 3.2-21～図 3.2-27 に示す。いずれの部材においても、季節の温度変化に対応したひずみ変化しか認められず、不連続な挙動や、過大なひずみの発生は認められないことから、今年度の計測期間中におけるセメント系材料の状態変化はほとんどないものと評価される。



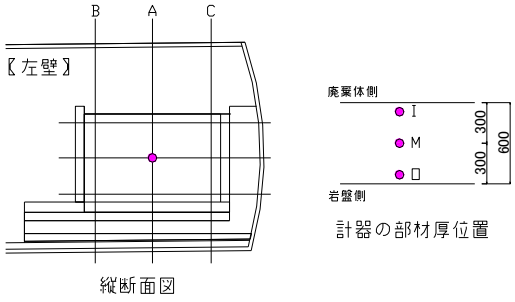


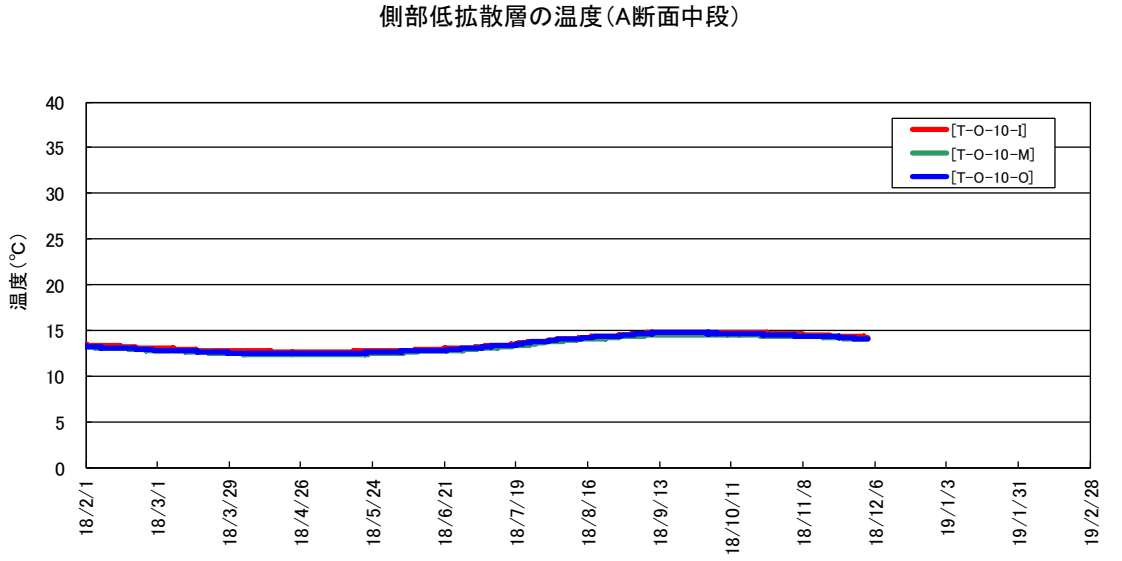
（1） 温度



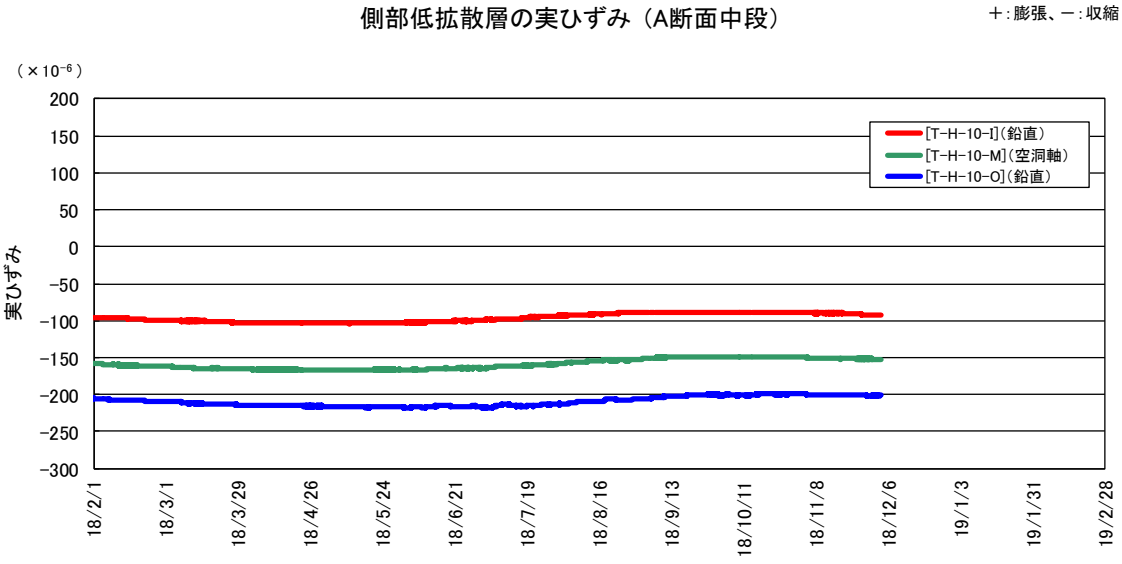
（2） ひずみ

図 3.2-21　底部低拡散層の計測結果（部材中央）



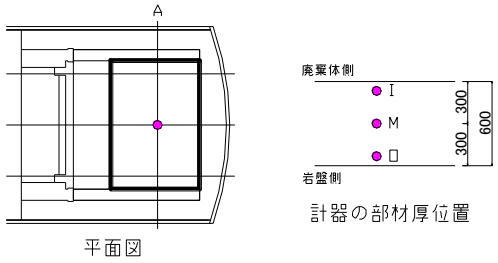


(1) 温度

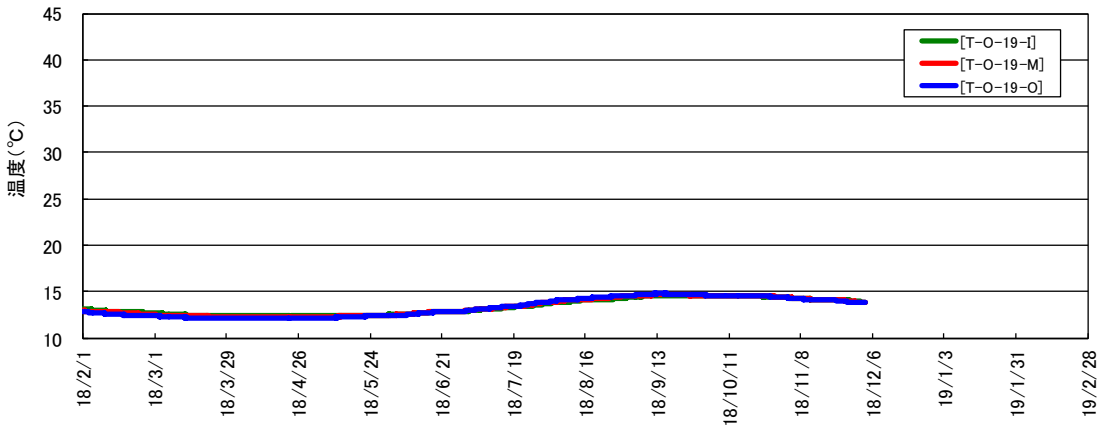


(2) ひずみ

図 3.2-22　側部低拡散層の計測結果（部材中央）

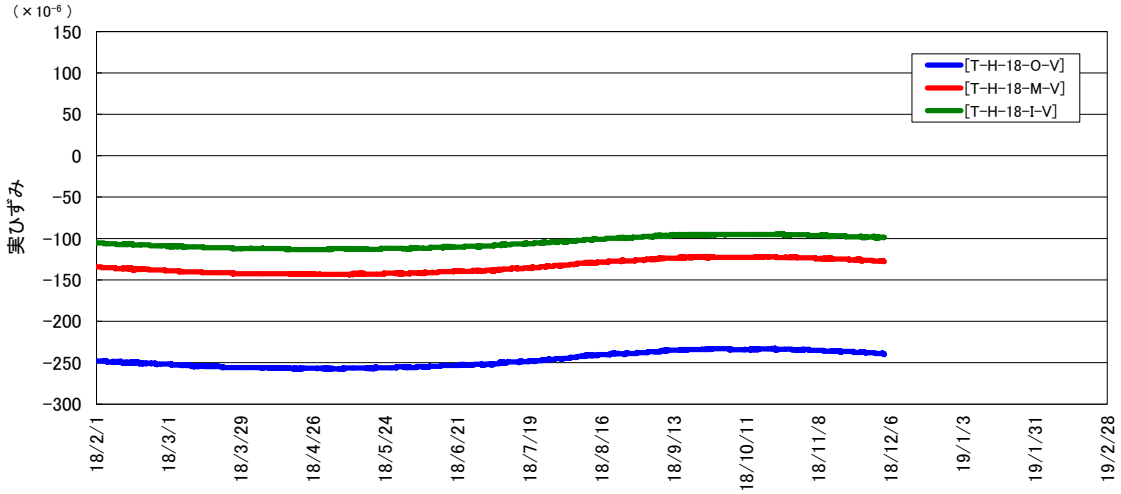


上部低拡散層の温度（右側、湿潤保温養生マット）



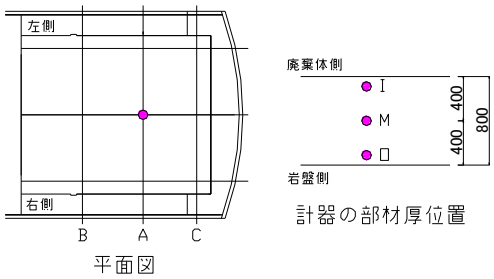
（1）温度

上部低拡散層の実ひずみ（中央、空洞軸方向）　　＋:膨張、－:収縮



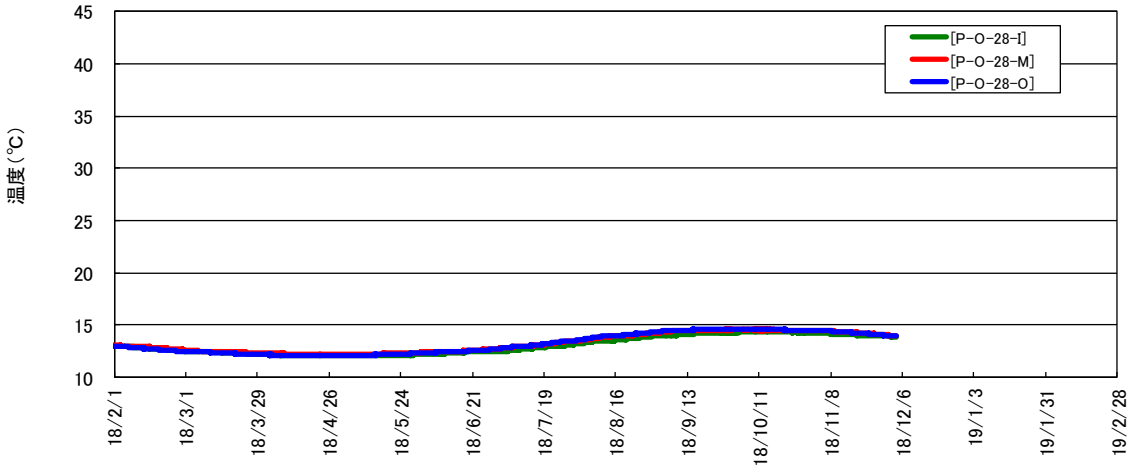
（2）ひずみ

図 3.2-23　上部低拡散層の計測結果（部材中央）



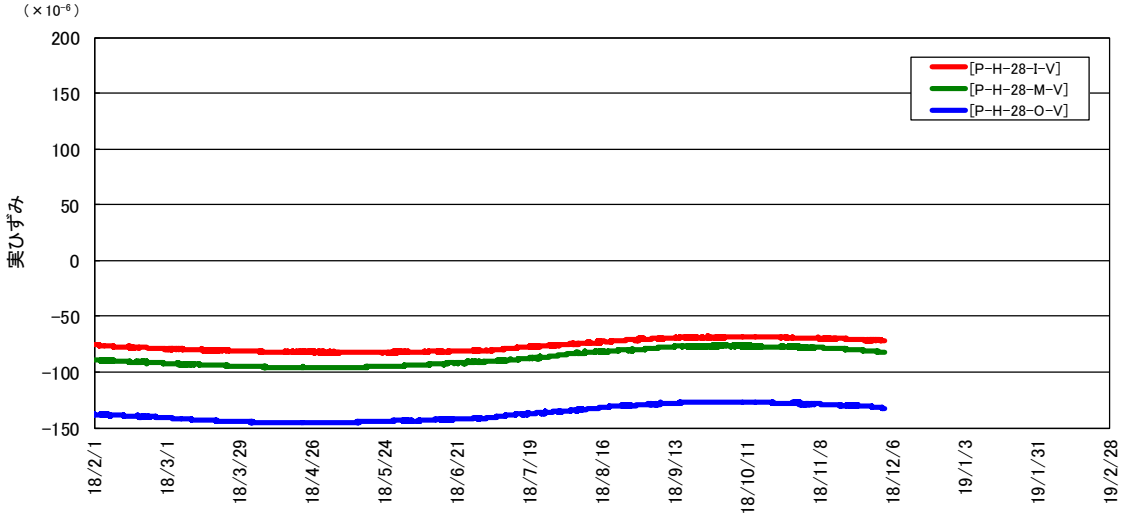
平面図　　計器の部材厚位置

上部コンクリートピットの温度



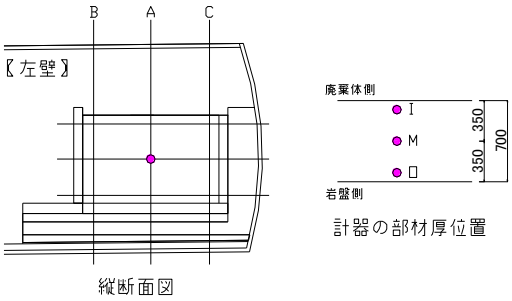
（1）温度

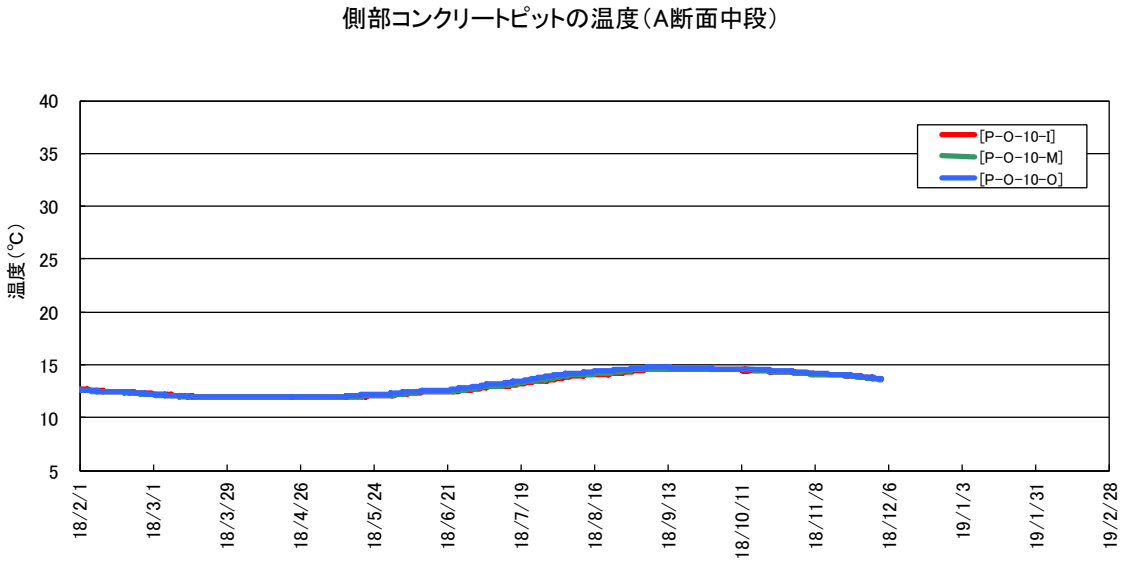
上部コンクリートピットの実ひずみ（中央、空洞軸方向）　　＋：膨張、－：収縮



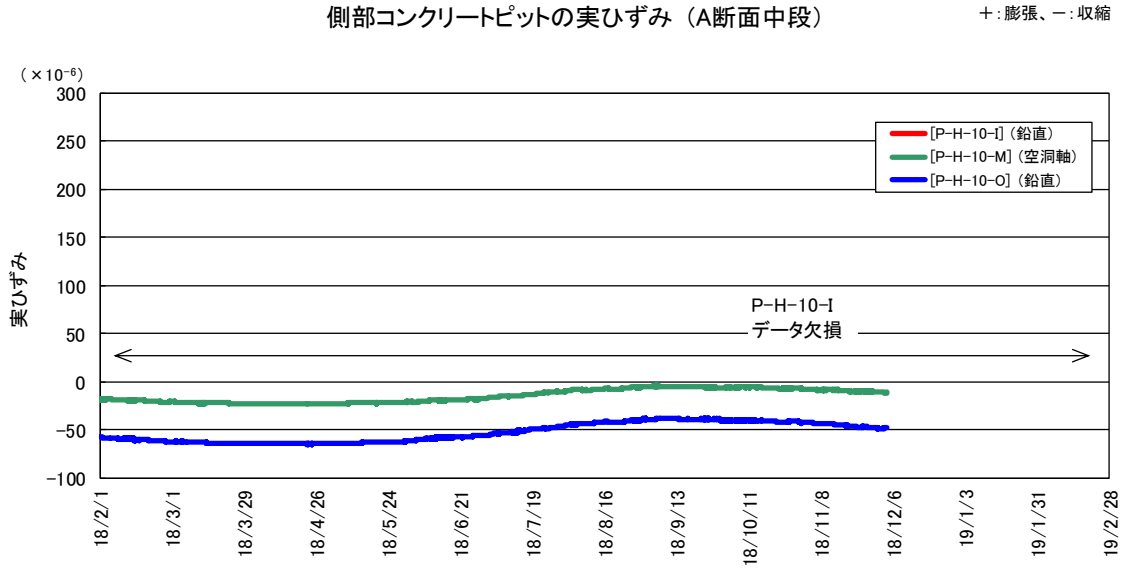
（2）ひずみ

図 3.2-24　底部コンクリートピットの計測結果（部材中央）



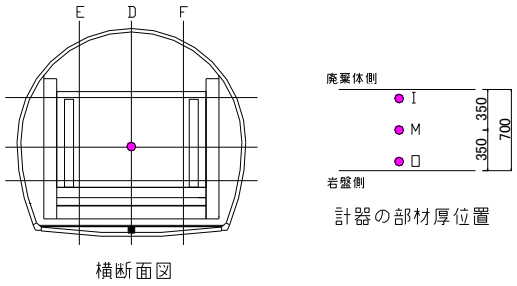


（1）温度



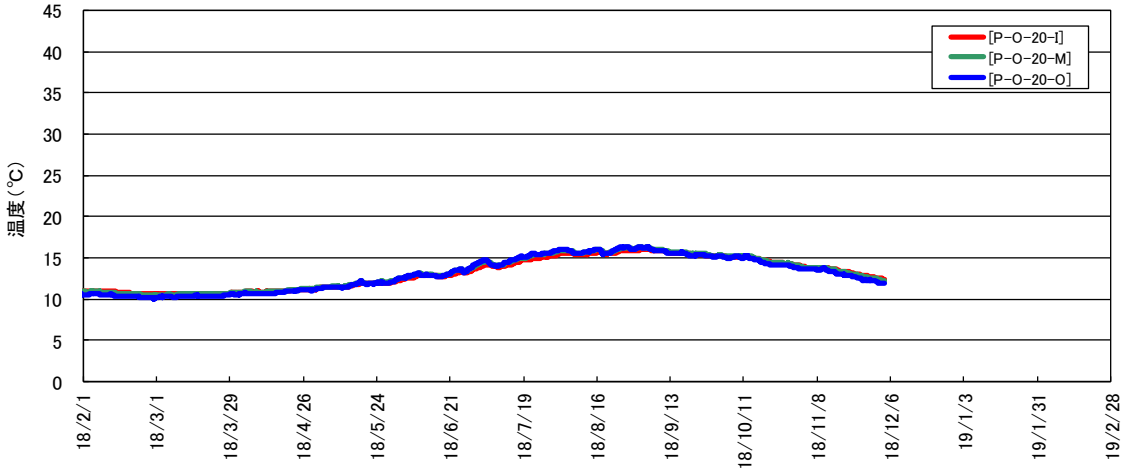
（2）ひずみ

図 3.2-25　側部コンクリートピットの計測結果（部材中央）



横断面図

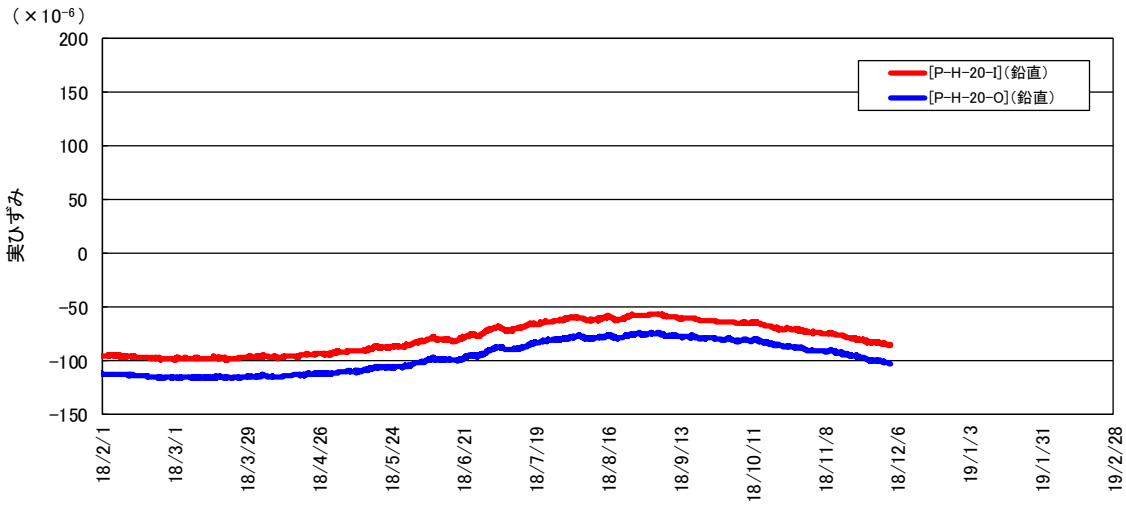
手前部コンクリートピットの温度（中央中段）



（1）温度

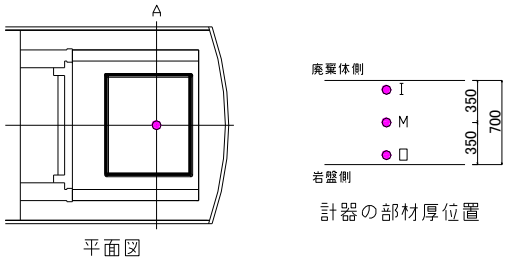
手前部コンクリートピットの実ひずみ（中央中段）

＋：膨張、－：収縮

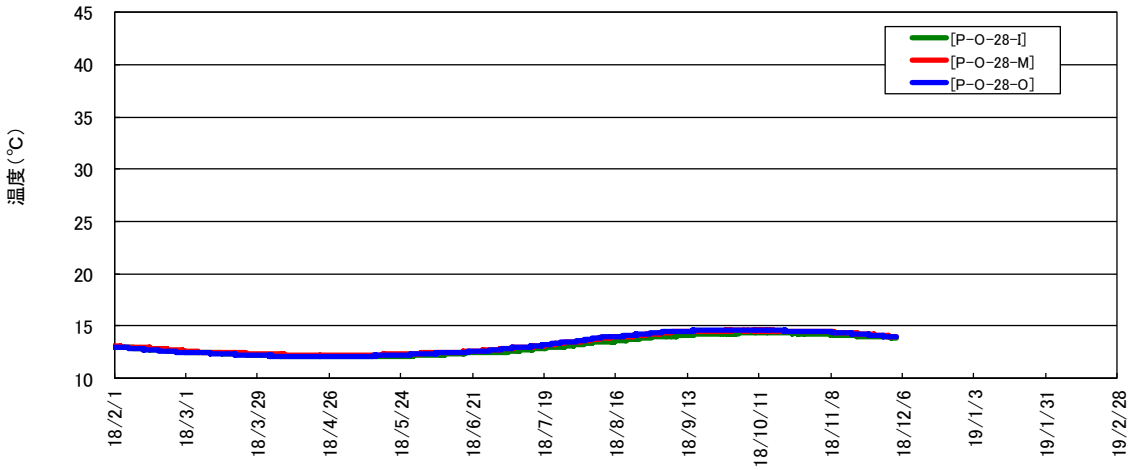


（2）ひずみ

図 3.2-26　手前部コンクリートピットの計測結果（部材中央）



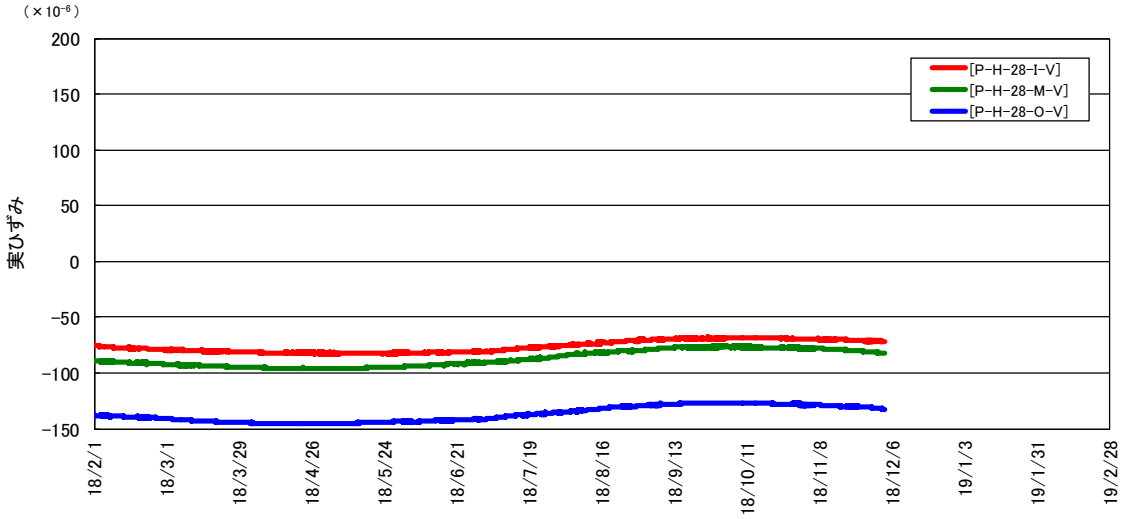
上部コンクリートピットの温度



（1）温度

上部コンクリートピットの実ひずみ（中央、空洞軸方向）

＋：膨張、－：収縮



（2）ひずみ

図 3.2-27　上部コンクリートピットの計測結果（部材中央）

(5) ひび割れ調査の分析評価

【目的】

上部低拡散層、上部コンクリートピット、側部低拡散層のひび割れ調査結果に関して、施設の挙動計測結果と比較・分析し、セメント系材料のひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生について考察する。

調査対象は下記のとおりとし、調査実施日は平成 30 年 8 月 23 日及び平成 30 年 12 月 3 日とした。

- 上部低拡散層の上面
- 上部コンクリートピットの上面
- 左側側部低拡散層表面

同様に、底部低拡散層の BTV 観察結果に関して、施設の挙動計測結果と比較・分析し、セメント系材料のひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生について考察する。

調査対象は下記のとおりとし、調査実施日は平成 30 年 12 月 3 日とした。

- 底部低拡散層の水平ボーリング孔内

【まとめ】

- 今年度のひび割れ調査結果より、上部低拡散層、上部コンクリートピット、左側側部低拡散層において昨年度の調査時からのひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生は確認されなかった。
- 上記対象部材の挙動計測結果においても、季節の温度変化に対応した応力変化が認められ、ひび割れの発生や進展するような不連続な応力挙動が認められないことから、ひび割れの発生や進展は生じていないものと評価され、ひび割れ調査結果と整合する結果が得られた。
- ただし、上部低拡散層の上面では、平成 30 年 10 月 9 日から 12 日にかけて実施した光ファイバセンサーのひび割れ計測試験が影響と考えられるひび割れ幅の変化が観測され、付近に埋設している応力計においても、その影響と見られる変動が計測されている。
- 今年度の BTV 観察結果より、昨年度の観察時からの底部低拡散層のひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生は確認されなかった。
- 底部低拡散層のひずみ、応力の計測結果より、特徴的な挙動は認められず、BTV 観察の結果と整合する。

1）ひび割れ調査結果

a．上部低拡散層･上部コンクリートピット･側部低拡散層左側

上部低拡散層、上部コンクリートピット及び側部低拡散層はそれぞれ平成 24 年 12 月、平成 24 年 11 月、平成 21 年 9 月に施工され、その後も年 2 回程度の継続的に調査が行われている。今年度も調査を 2 回実施した（平成 30 年 8 月 23 日及び平成 30 年 12 月 3 日）。

上部低拡散層及び上部コンクリートピットひび割れ調査結果（2 回目）を図 3.2-28、左側側部低拡散層のひび割れ調査結果（2 回目）を図 3.2-29 に示す。上部低拡散層の上面では、これまで 0.20~0.30mm で推移していたひび割れが，0.10mm に閉じていた。これは平成 30 年 10 月 9 日から 12 日にかけて実施した光ファイバセンサーによるひび割れ計測試験による影響であると考えられる。それ以外の部材においては、昨年度のひび割れ調査時から、ひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生は確認されなかった。

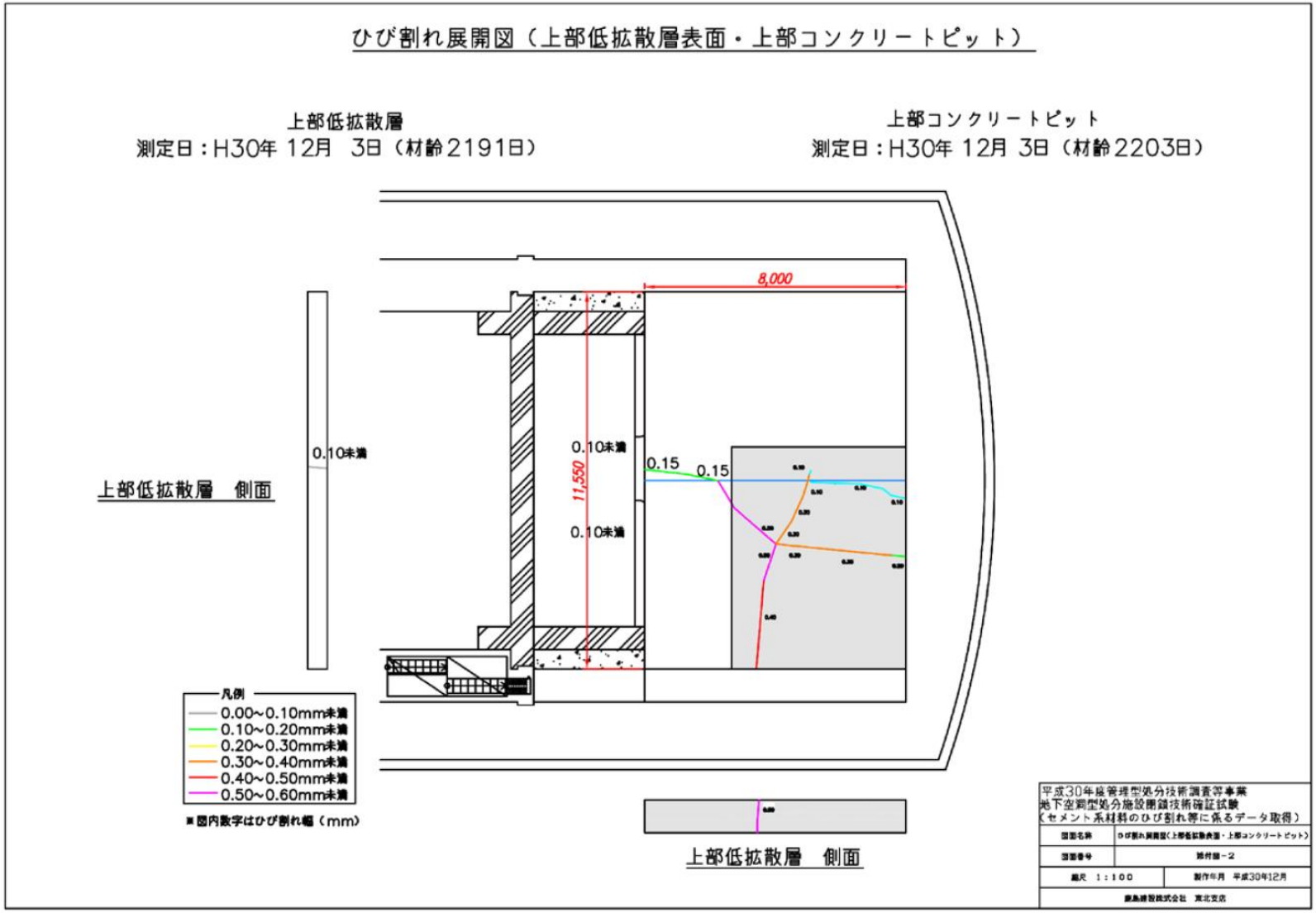


図 3.2-28　上部低拡散層及び上部コンクリートピットひび割れ調査結果（平面図、側面図）

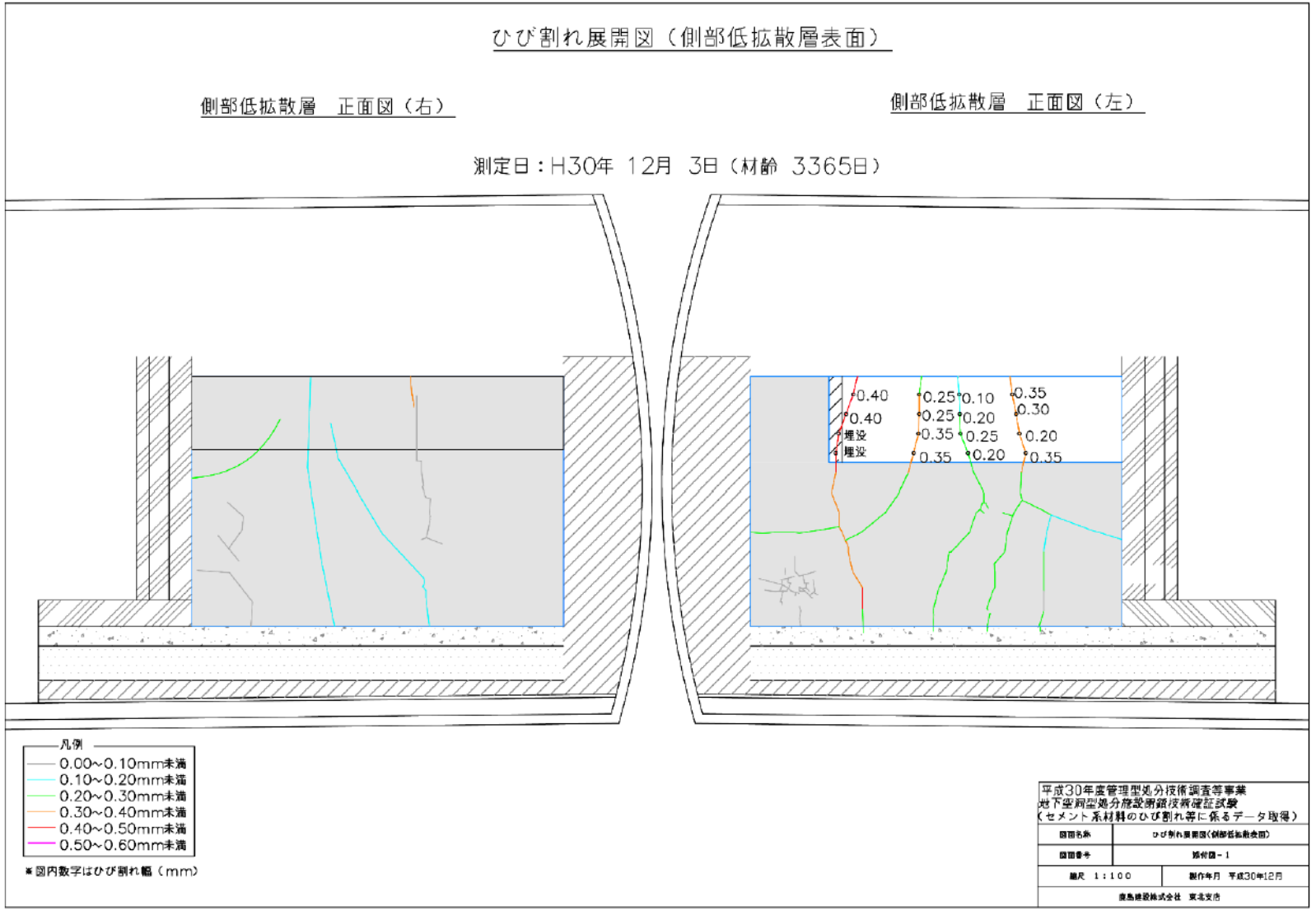


図 3.2-29　左側側部低拡散層ひび割れ調査結果（正面図）

b．底部低拡散層

平成 20 年度に底部低拡散層で掘進したボーリング孔を用いて、BTV によりひび割れ観察を行った。ボーリング孔の位置を図 3.2-30、図 3.2-31 示す。水平位置は部材中心から左へ 1,875mm である。鉛直位置は、厚さ 600mm の底部低拡散層上端より 250mm 下、下端より 350mm 上である。BTV 観察長は、ボーリング孔長 15.2mのうち、BTV 観察装置のカメラ設置位置より前方プローブ長分（0.17m）を除く、15.03mとした。前方視カメラではボーリング孔先端の 0.17m を観察した。

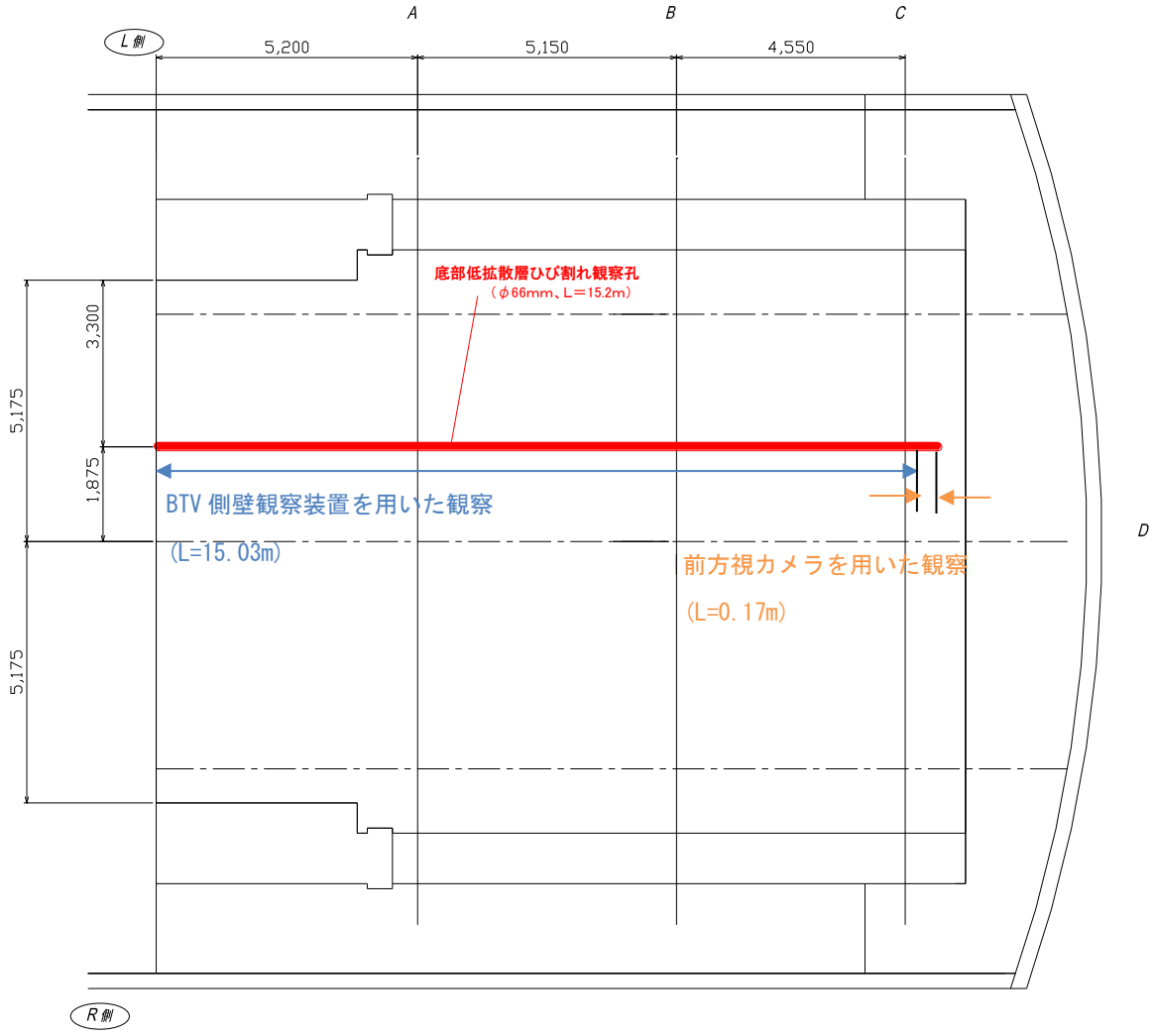


図 3.2-30　BTV 観察孔水平位置図

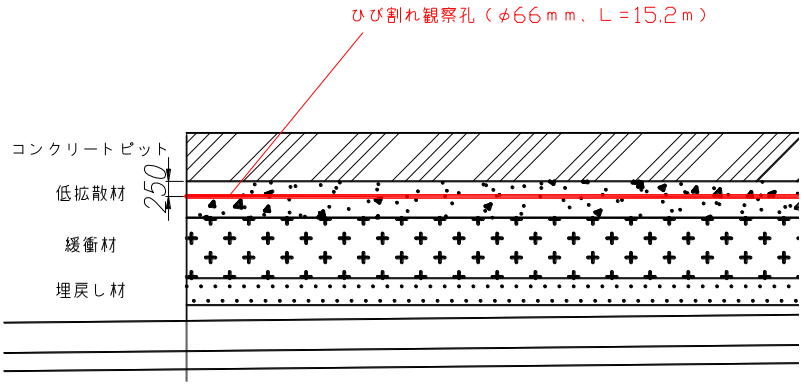


図 3.2-31　BTV 観察孔鉛直位置図

(a) ひび割れ

底部低拡散層の BTV 観察において、ひび割れが確認された 3 箇所の画像を図 3.2-32～図 3.2-34 に示す。これらのひび割れは、昨年度までの BTV 観察でも確認されており、今年度新規のひび割れは確認されなかった。また、ひび割れの開口幅についても、昨年度からの変動は認められなかった。

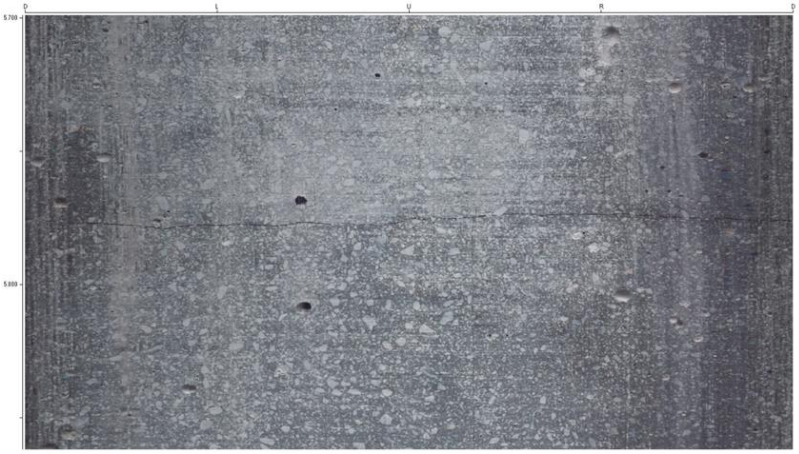


図 3.2-32　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 5.772m 付近のひび割れ）

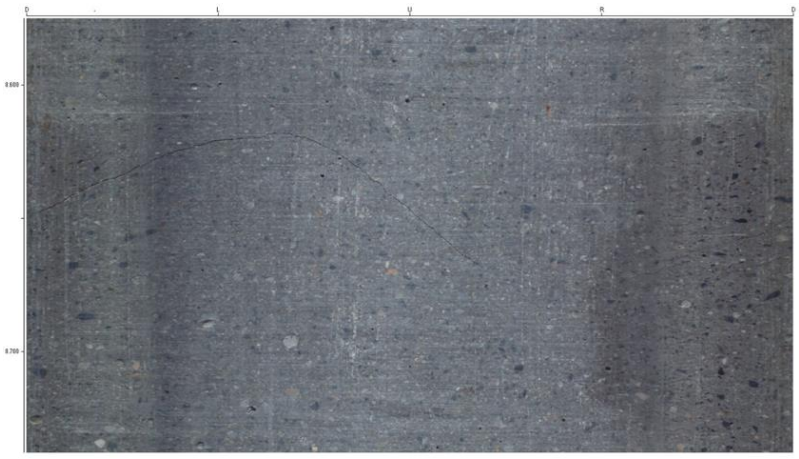


図 3.2-33　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 8.646m 付近のひび割れ）

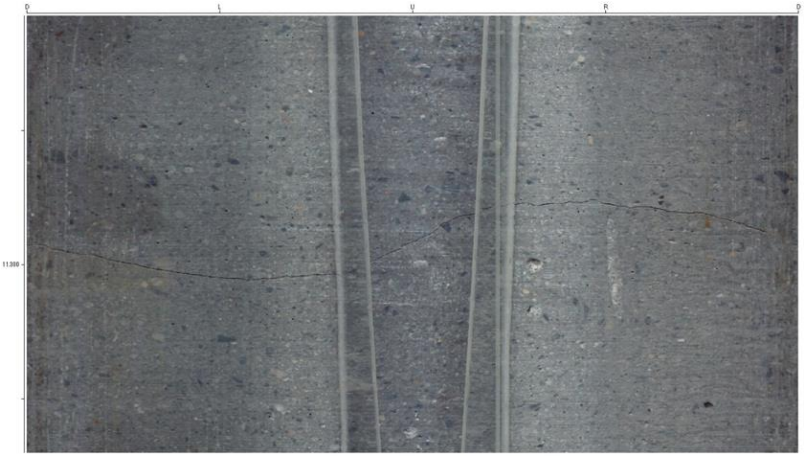


図 3.2-34　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 11.295m 付近のひび割れ）

(b) 水の溜まり

BTV 観察において、昨年度（平成 29 年度）に引続き、観察孔内で水の溜まりが確認された。深度 7.63m 以深で溜り水が確認された（図 3.2-35 参照）。

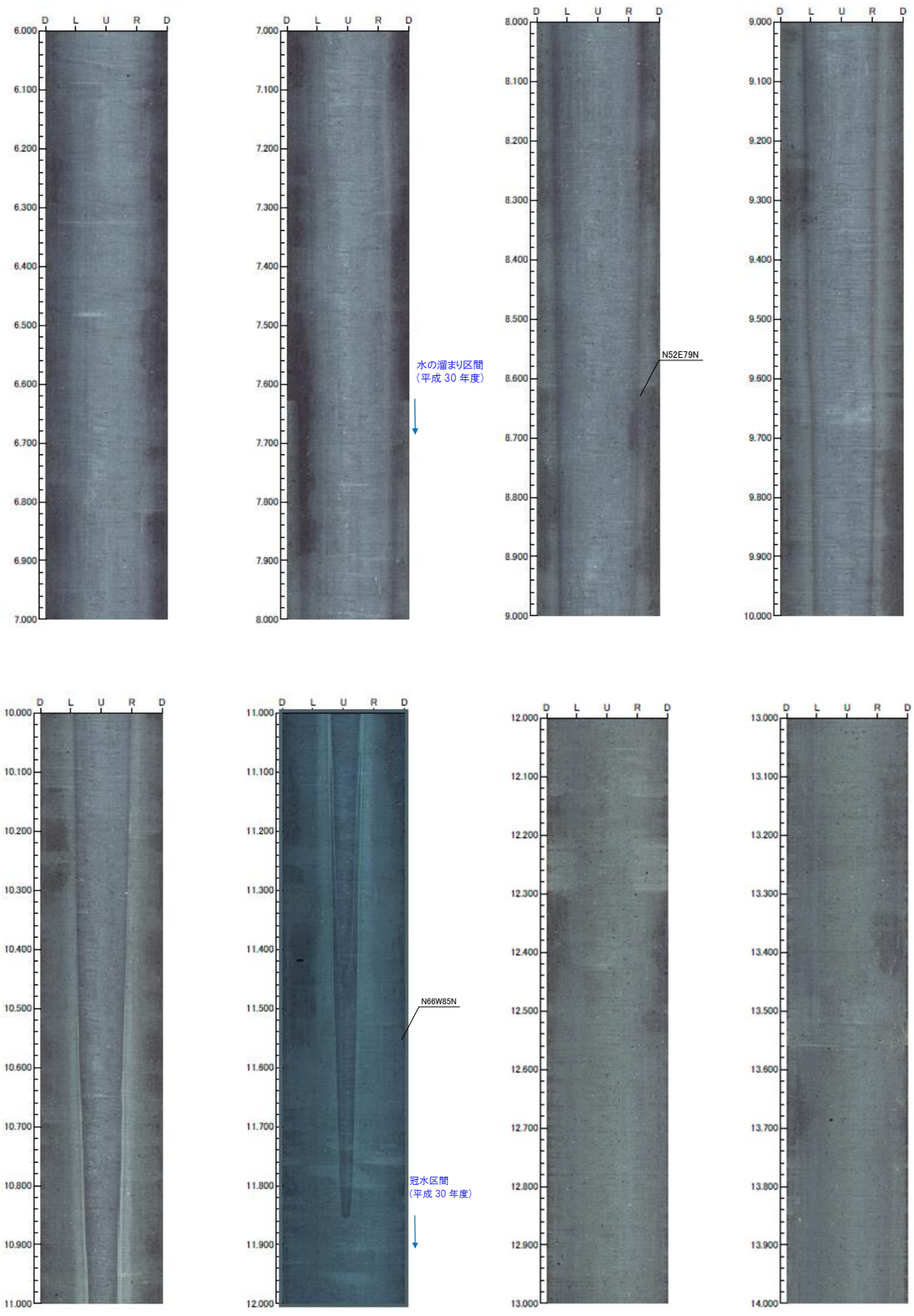


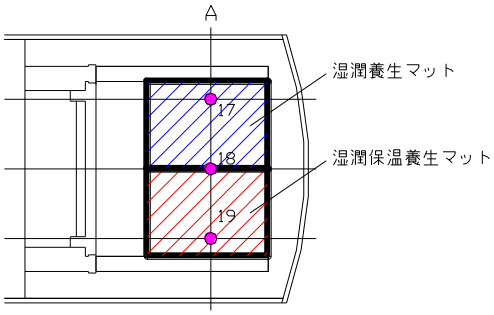
図 3.2-35　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 6m～14m）

2）ひび割れ評価

a．上部低拡散層

上部低拡散層の温度計測結果を図 3.2-36、応力計測結果を図 3.2-37 に示す。応力については、図 3.2-37 に示すように、2018 年 10 月 12 日に実施した上部低拡散層のひび割れ現位置試験の加圧時の影響が、付近の応力計（T-U-12-V、T-U-12-C）で観測されていることがわかる。その他の期間においては、年間を通して季節の温度変化に伴う変動をしている。

以上より、今年度の期間中に、人為的なひび割れ発生以外のひび割れは発生していないものと考えられる。



計測結果の凡例

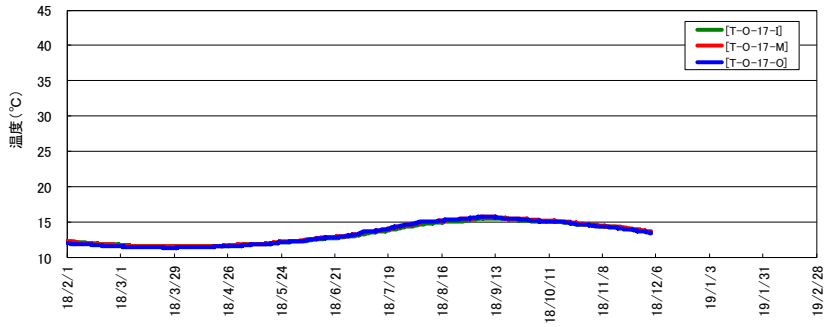
T－O－x - y

位置1

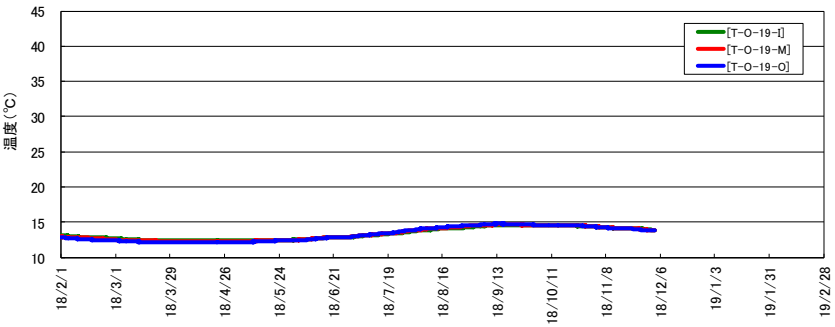
位置2

I：内側
M：中央
O：外側

上部低拡散層の温度（左側、湿潤養生マット）



上部低拡散層の温度（右側、湿潤保温養生マット）



上部低拡散層の温度（右側、湿潤保温養生マット）

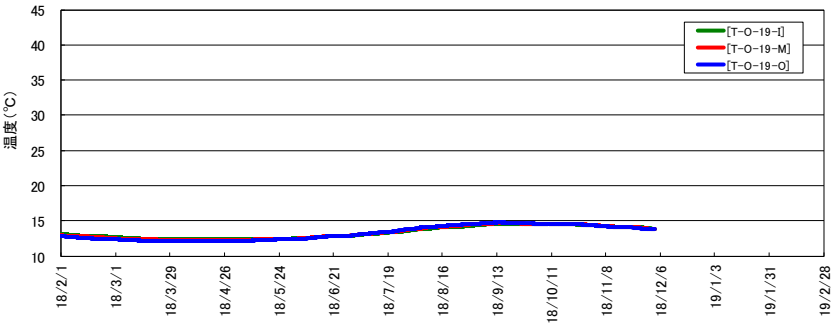
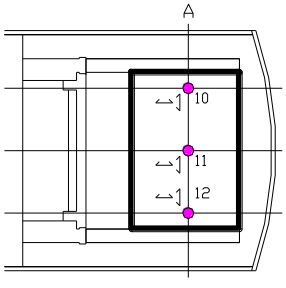


図 3.2-36　上部低拡散層の温度計測結果

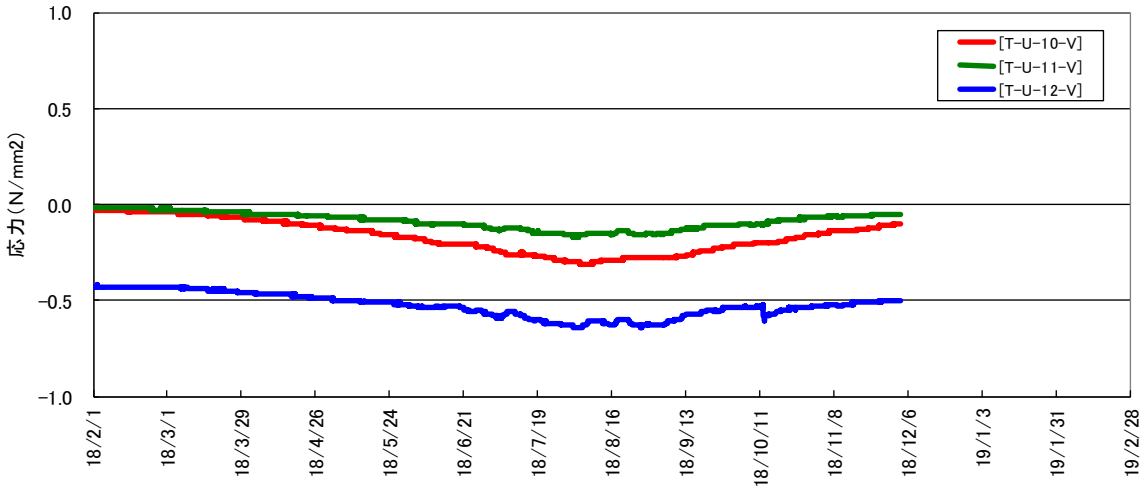


⟷：空洞軸方向
⤵：空洞軸直交方向

計測結果の凡例

T－U－x - y
位置
方向
V：空洞軸方向
C：空洞軸直交方向

上部低拡散層のモルタル応力（空洞軸方向）　＋：引張、－：圧縮



上部低拡散層のモルタル応力（空洞横断方向）　＋：引張、－：圧縮

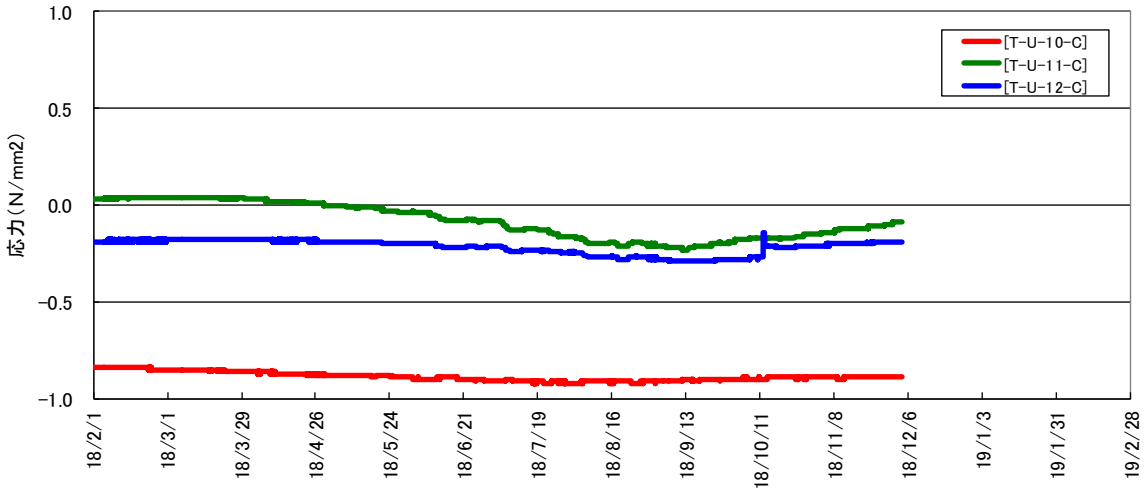
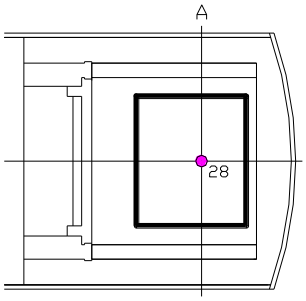


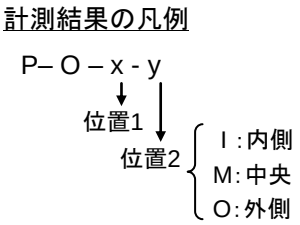
図 3.2-37　上部低拡散層のモルタル応力計測結果

b. 上部コンクリートピット

上部コンクリートピットの温度計測結果を図 3.2-38、応力計測結果を図 3.2-39 に示す。温度、応力ともに、全計測器において年間を通して季節の温度変化に伴う変動をしている。

以上より、今年度の期間中に上部コンクリートピットにひび割れは発生していないものと考えられ、ひび割れ調査結果と整合する。





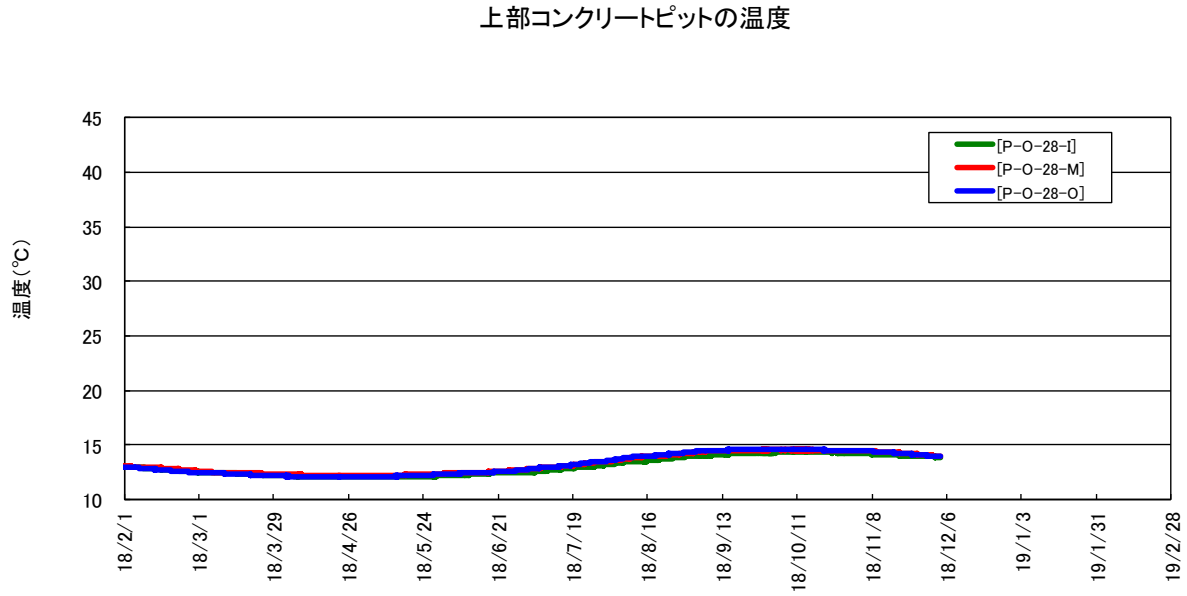


図 3.2-38　上部コンクリートピットの温度計測結果

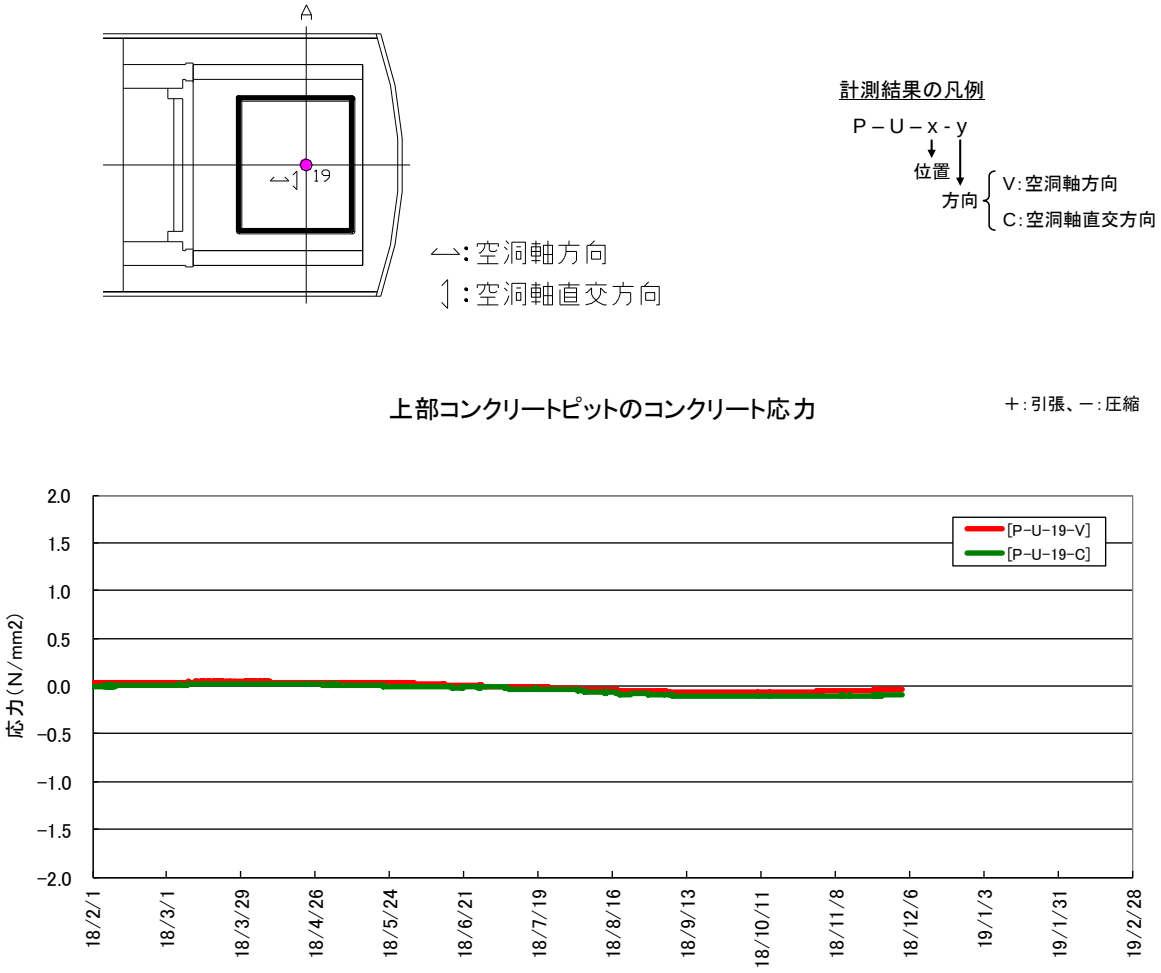
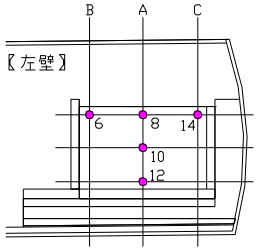


図 3.2-39　上部コンクリートピットの応力計測結果

c．側部低拡散層

左側側部低拡散層の中央測線である A 断面（上段、中段、下段）の温度計測結果を図 3.2-40、応力計測結果を図 3.2-41 に示す。温度、応力ともに、全計測器において年間を通して季節の温度変化に伴う変動をしており、空洞気温の影響を受けやすいと考えられる上段計器（図 3.2-29 に示すように、左側の側部低透水層の上部は一部未施工）は、その他の中段及び下段計器より変動が大きくなっている。

以上より、今年度の期間中に左側側部低拡散層にひび割れは発生していないものと考えられ、ひび割れ調査結果と整合する。



計測結果の凡例

T-O-x-y

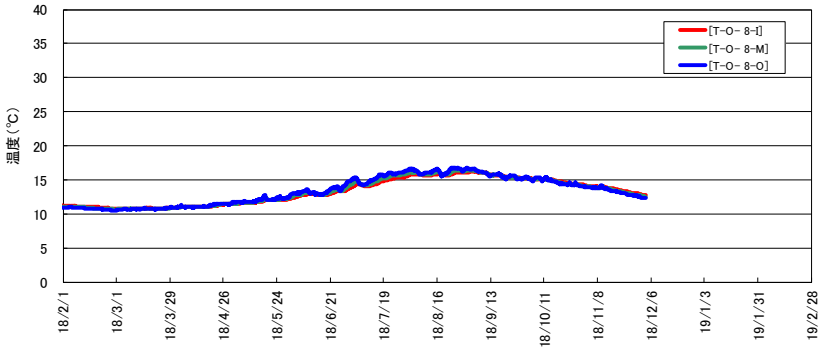
位置1　位置2

I：模擬廃棄体側

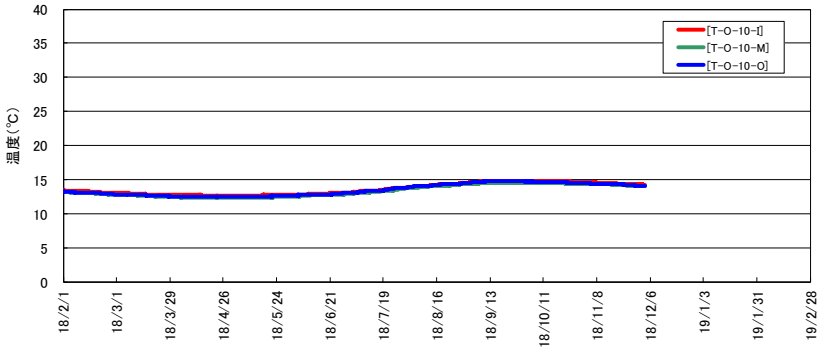
M：中央

O：岩盤側

側部低拡散層の温度（A断面上段）



側部低拡散層の温度（A断面中段）



側部低拡散層の温度（A断面下段）

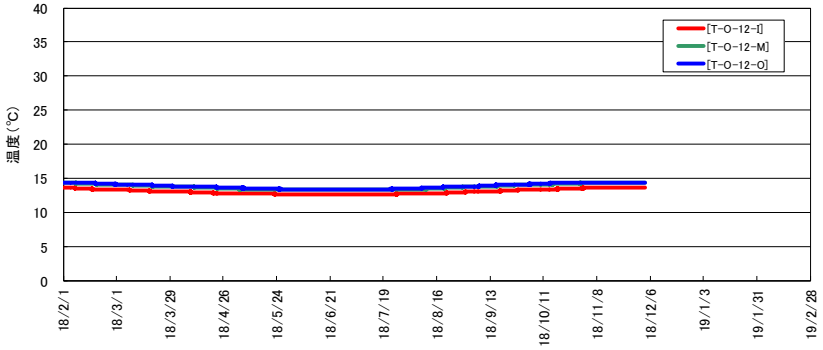


図 3.2-40　側部低拡散層の温度計測結果

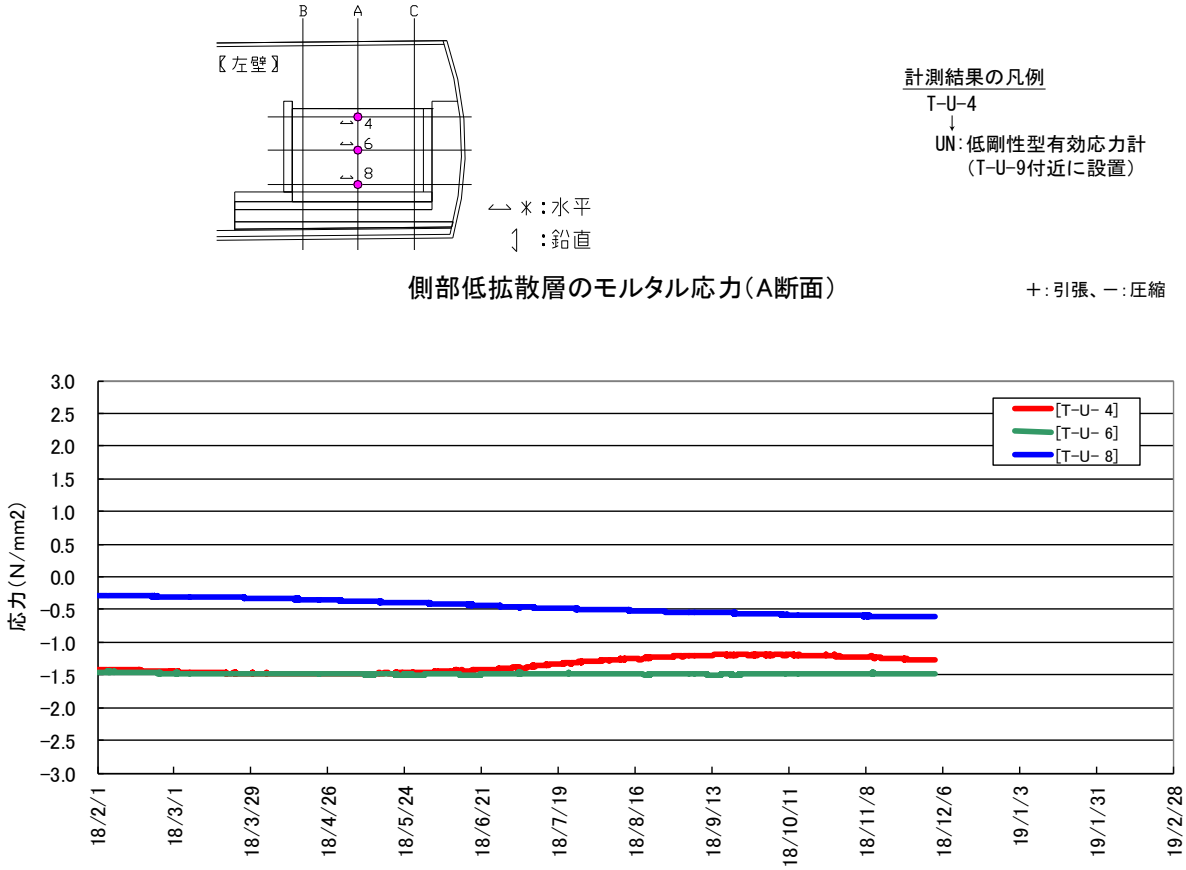
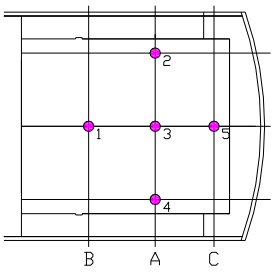


図 3.2-41　側部低拡散層の応力計測結果

d. 底部低拡散層

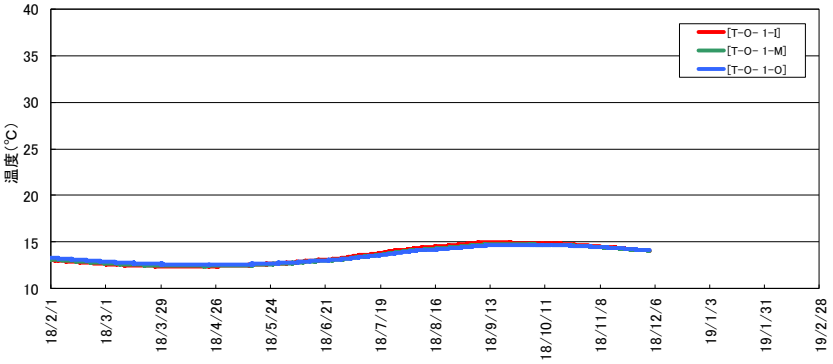
底部低拡散層の温度計測結果を図 3.2-42～図 3.2-43、応力計測結果を図 3.2-44 に示す。温度、応力ともに、全計測器において年間を通して季節の温度変化に伴う変動をしている。

以上より、今年度の期間中に底部低拡散層にひび割れは発生していないものと考えられ、ひび割れ調査結果と整合する。

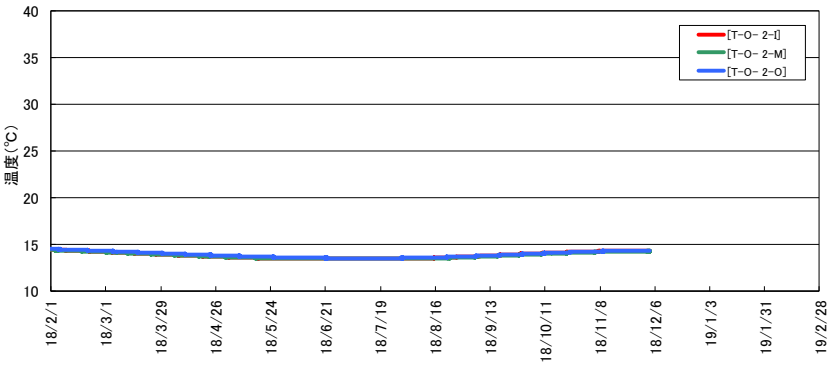


測定結果の凡例
T-0-1-x
↓
計器位置
I：上段
M：中段
O：下段

底部低拡散層の温度（B断面中央）



底部低拡散層の温度（A断面左）



底部低拡散層の温度（A断面中央）

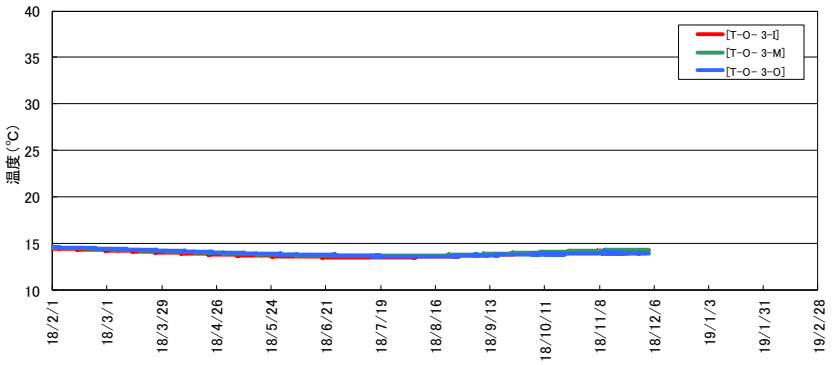


図 3.2-42　底部低拡散層の温度計測結果（1／2）

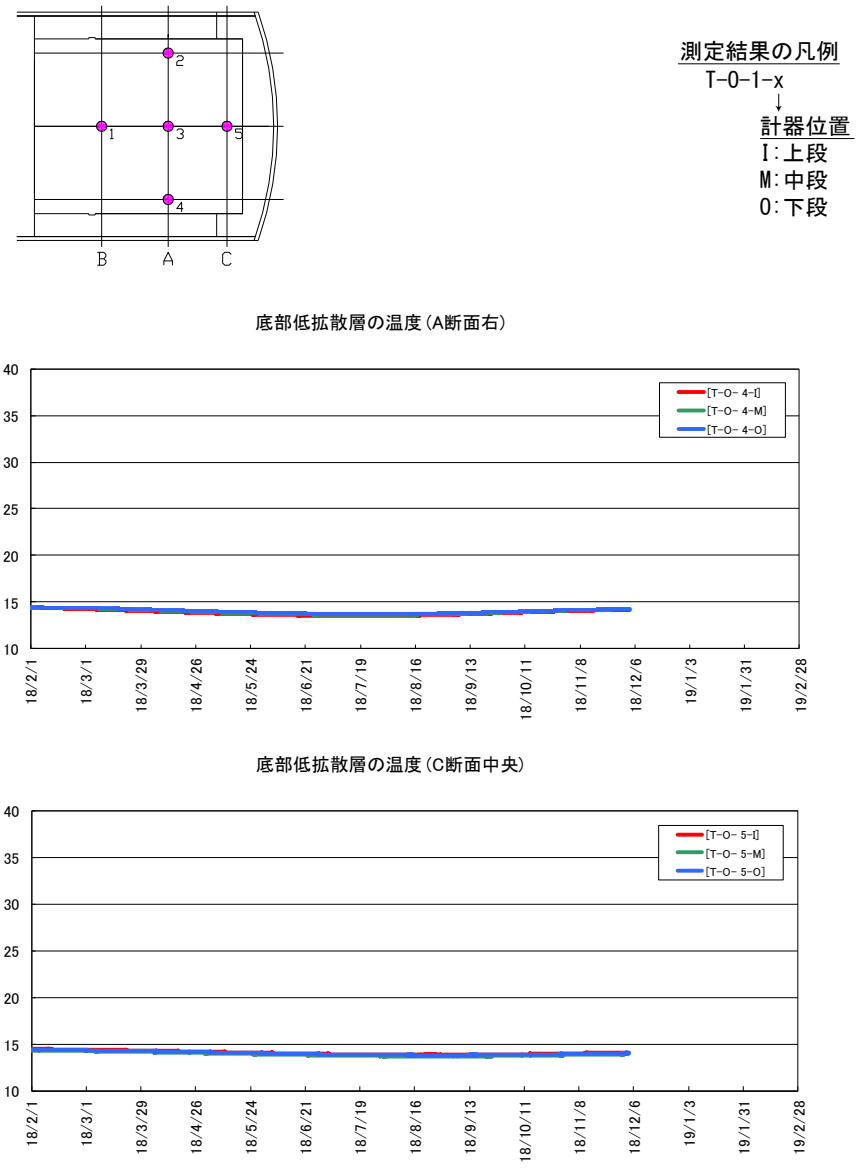
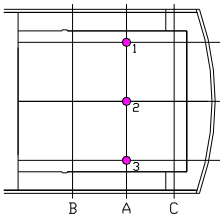
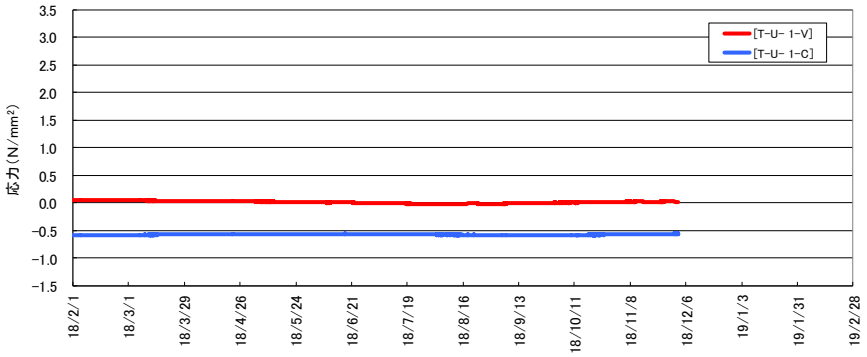


図 3.2-43　底部低拡散層の温度計測結果（2／2）

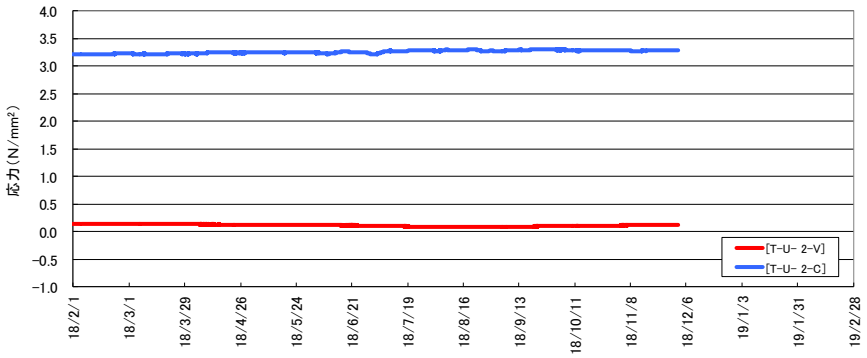


測定結果の凡例
T-U-1-x
↓
測定方向
V:空同軸
C:空洞横断

底部低拡散層のモルタル応力(A断面左)　　＋:引張、－:圧縮



底部低拡散層のモルタル応力(A断面中央)　　＋:引張、－:圧縮



底部低拡散層のモルタル応力(A断面右)　　＋:引張、－:圧縮

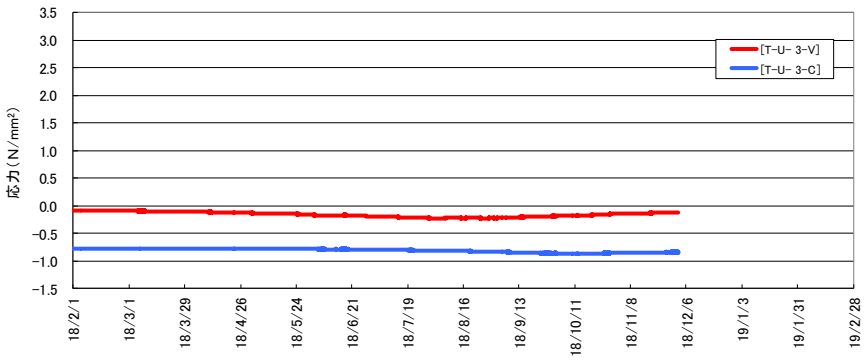


図 3.2-44　底部低拡散層の応力計測結果

(6) 周辺岩盤挙動計測結果の分析評価

【目的】

平成 26 年度までの施工後の施設周辺岩盤の力学・水理挙動を計測して、施設建設が周辺岩盤に与える影響の程度を把握する。

【まとめ】

- 今年度期間中の試験施設周辺の岩盤変位の変化は最大 0.08mm 程度であり、計器の測定精度と同等である。
- 間隙水圧の変動は年間を通して僅かである。

本節では、平成 18 年度に設置した岩盤変位計及び間隙水圧計による計測結果を収集・整理して、計測結果より上記の施工に伴う岩盤挙動についての評価を行った。岩盤変位計の計測位置を図 3.2-45 に、間隙水圧計の設置位置及び計測区間を図 3.2-46、表 3.2-4 に示す。

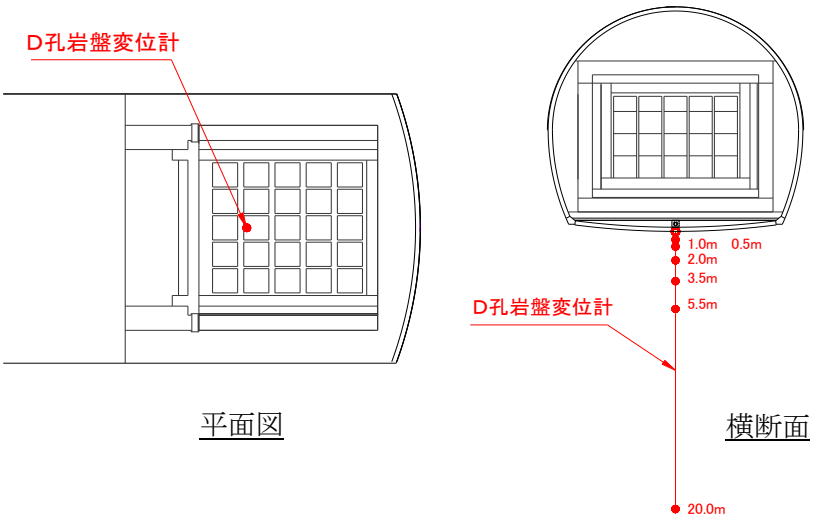
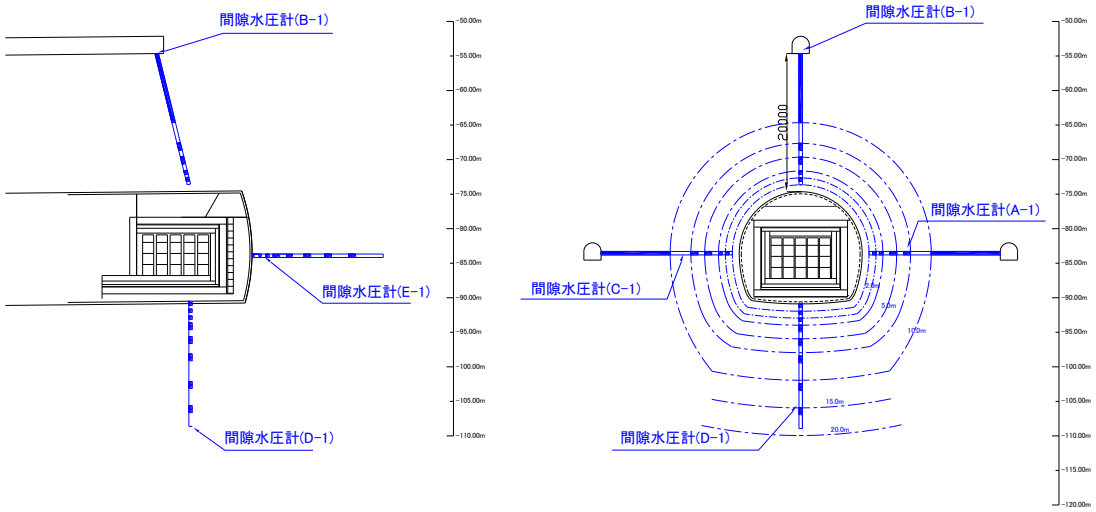


図 3.2-45 D 孔岩盤変位計位置図



（試験空洞縦断面図）　　（試験空洞横断面図）

図 3.2-46　間隙水圧計位置図

表 3.2-4　間隙水圧計計測区間一覧

	A-1	B-1	C-1	D-1	E-1
①区間	10.00 ～ 12.50	10.00 ～ 12.50	10.00 ～ 12.50	0.50 ～ 1.00	0.50 ～ 1.00
②区間	13.50 ～ 15.00	13.50 ～ 15.00	13.50 ～ 15.00	1.50 ～ 2.00	1.50 ～ 2.00
③区間	16.00 ～ 17.00	16.00 ～ 17.00	16.00 ～ 17.00	2.50 ～ 3.00	2.50 ～ 3.00
④区間	17.50 ～ 18.00	17.50 ～ 18.00	17.50 ～ 18.00	4.00 ～ 5.00	4.00 ～ 5.00
⑤区間	18.50 ～ 19.00	18.50 ～ 19.00	18.50 ～ 19.00	6.00 ～ 7.50	6.00 ～ 7.50
⑥区間				8.50 ～ 10.50	8.50 ～ 10.50
⑦区間				11.50 ～ 14.00	11.50 ～ 14.00
⑧区間				15.00 ～ 19.00	15.00 ～ 19.00

1）岩盤変位

平成 30 年 2 月 1 日から平成 30 年 12 月 3 日までの岩盤変位計の各測定深度における変位経時変化を図 3.2-47 に示す。また、両日における岩盤変位分布図を図 3.2-48 に示す。これより、平成 30 年 12 月 3 日時点での岩盤変位は、沈下挙動を呈し、最大 1.15mm（深度 0.5m）であり、BTV で確認された岩盤内の割れ目近傍で大きくなっている。また、平成 30 年 2 月 1 日から平成 30 年 12 月 3 日の間の岩盤変位の変化は最大で 0.08mm（深度 1.0m）となり、計器の測定精度（±0.50mm）以下であることから、変化はほとんど無いと判断して良い。

次に、平成 19 年度の計測開始時から平成 30 年 12 月 3 日までの荷重増分に対する岩盤の弾性係数を算出した。平板載荷試験における変位と弾性係数の関係は式 3.2-1 のようになる[8]。

$$E = \frac{\pi a(1-\nu^2)}{2}\frac{\Delta P}{\Delta \delta} \qquad \text{式 3.2-1}$$

ここに、E：岩盤の弾性係数、a：載荷板の半径、ν：岩盤のポアソン比、ΔP：荷重強度増分、$\Delta \delta$：変位増分である。底部埋戻し材の幅約 14.9m より、これの半径=7.45m を円形載荷板の半径と見なした。ΔPについては、平成 19 年度の底部埋戻し材の上載圧 0.010MPa（単位体積重量：2.345tf/m^3、厚さ：0.444m より算出）及び表 3.2-1 に示す平成 19 の底部低透水層以降の累計上載圧 0.208MPa の合計 0.218MPa とした。

$\Delta \delta$=1.15mm（平成 30 年 12 月 3 日時点の最大値）、ν=0.47（平成 18 年度の詳細設計時に採用した岩盤のポアソン比）とし式 3.2-1 より岩盤の弾性係数を計算すると E≒1800MPa となる。詳細設計時では岩盤の弾性係数について、既往検討を参考に E=2000MPa とした。本施工時による岩盤変位より概算した岩盤の変形性は詳細設計時に採用した値に類するものと考えられる。

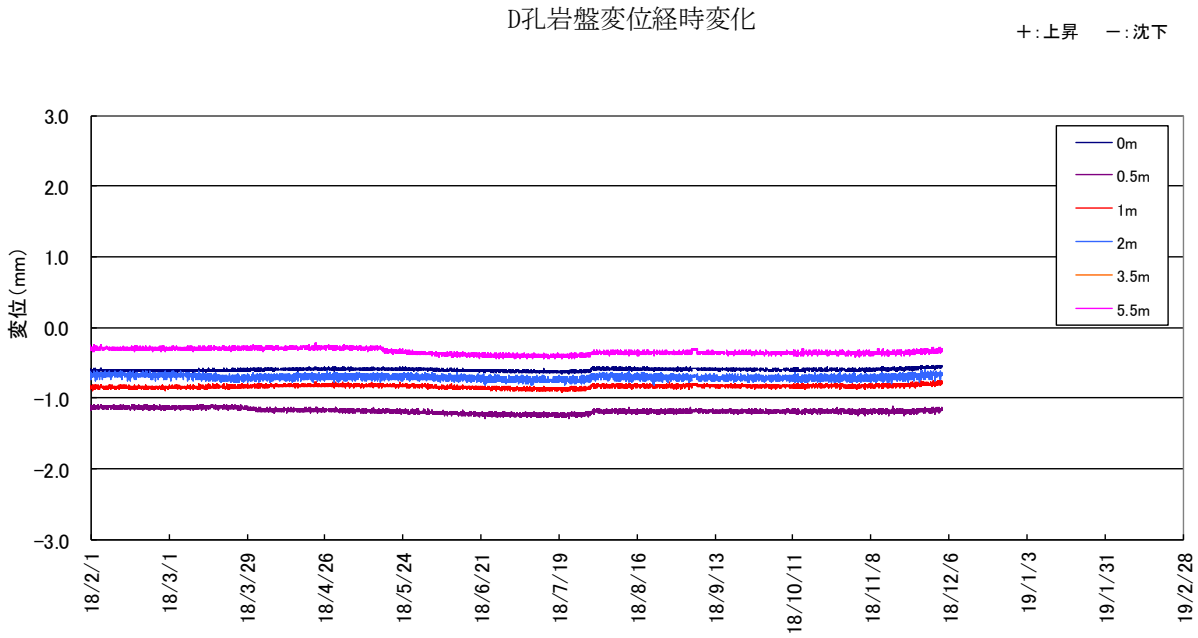
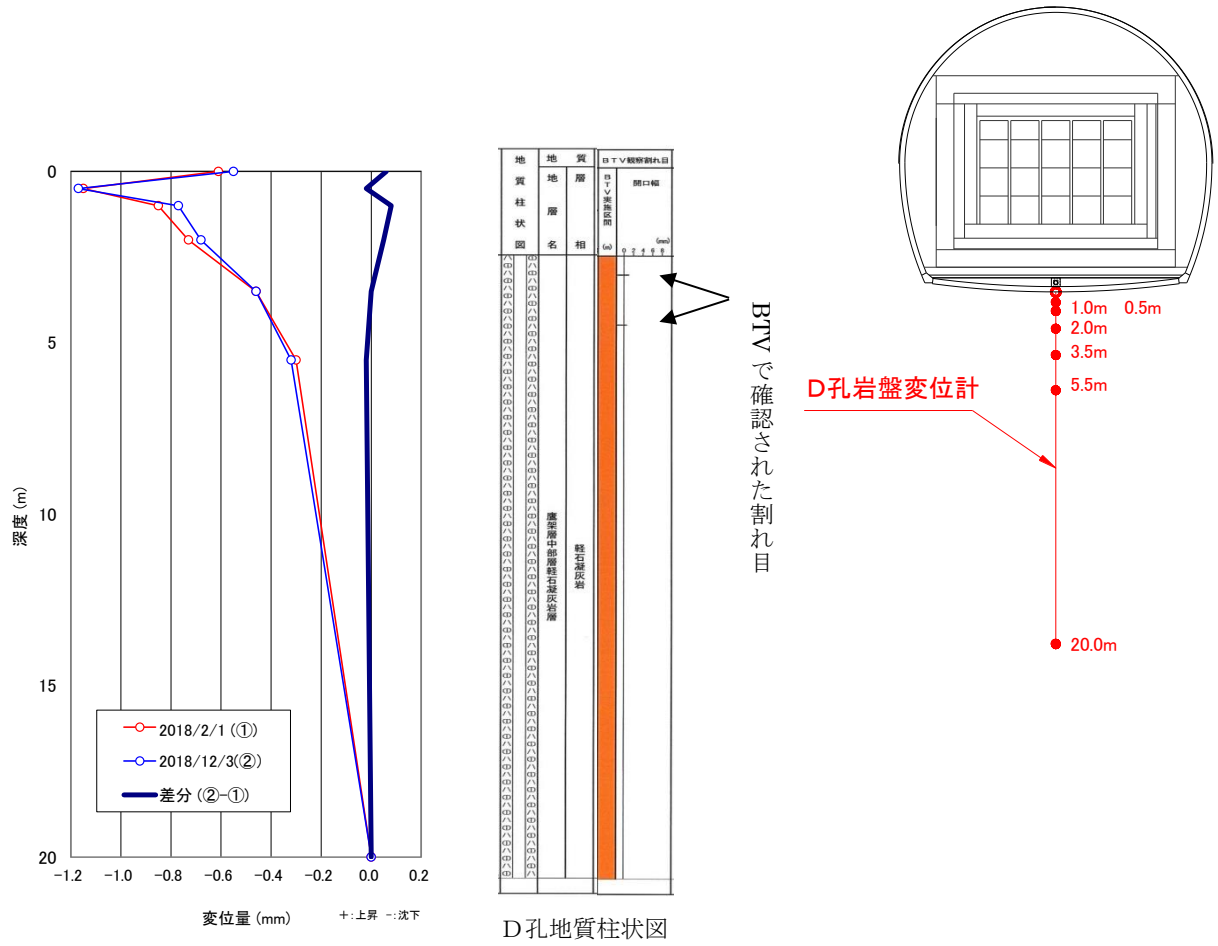


図 3.2-47　D孔岩盤変位計経時変化図



D孔地質柱状図

図 3.2-48　D 孔岩盤変位計経時分布

2）岩盤内間隙水圧

間隙水圧計の計測値（全水頭）の経時変化を図 3.2-49～図 3.2-50 に示す。今年度及び過年度の点検において故障と判断したセンサーについては、別途計測を実施し（2018 年 10 月）、グラフには〇印でプロットした。正常に稼働しているセンサーは、今年度の点検結果に基づき、2018 年 10 月 12 日に校正係数を修正した。

今年度の間隙水圧の変動は僅かであり、1 年を通して間隙水圧の上昇傾向が認められないことから、防水シート背面の裏面排水工が機能していると考えられる。

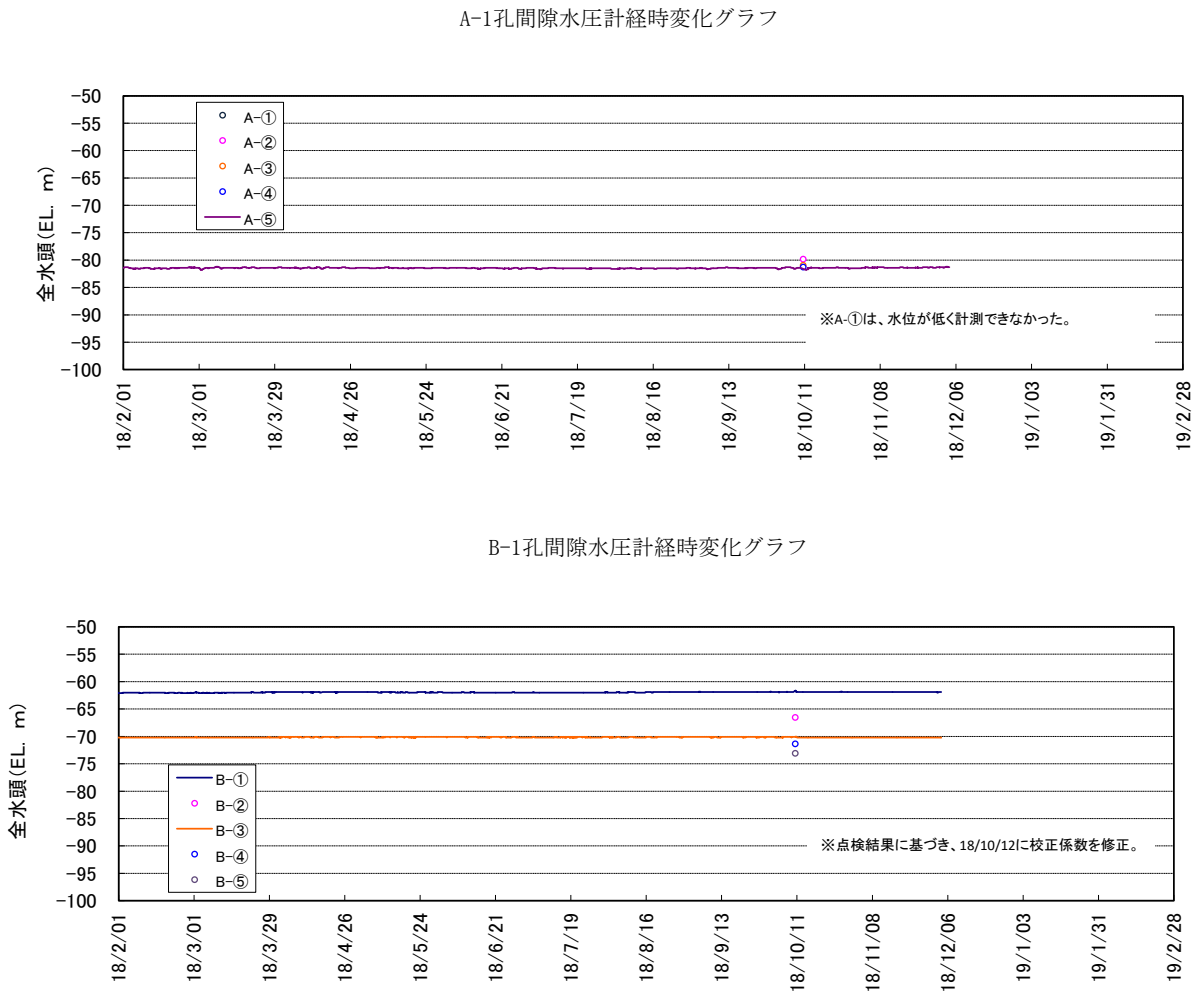
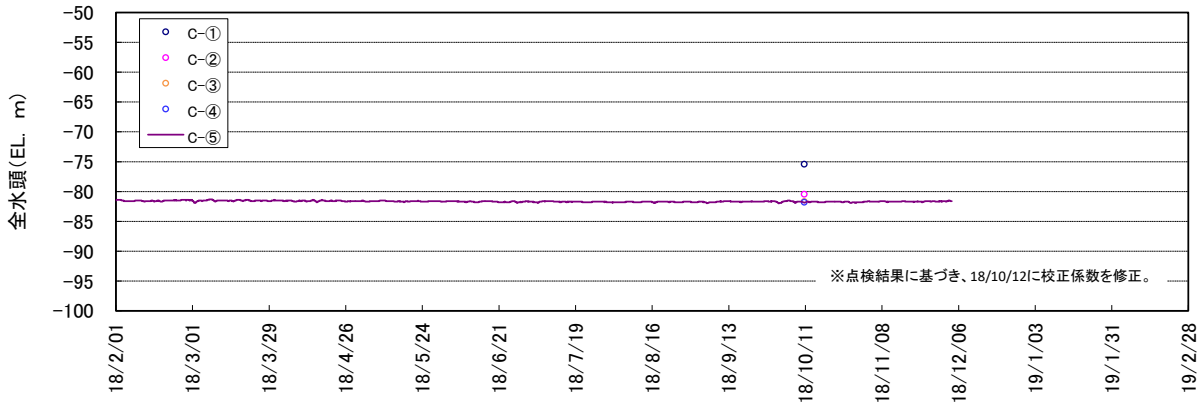
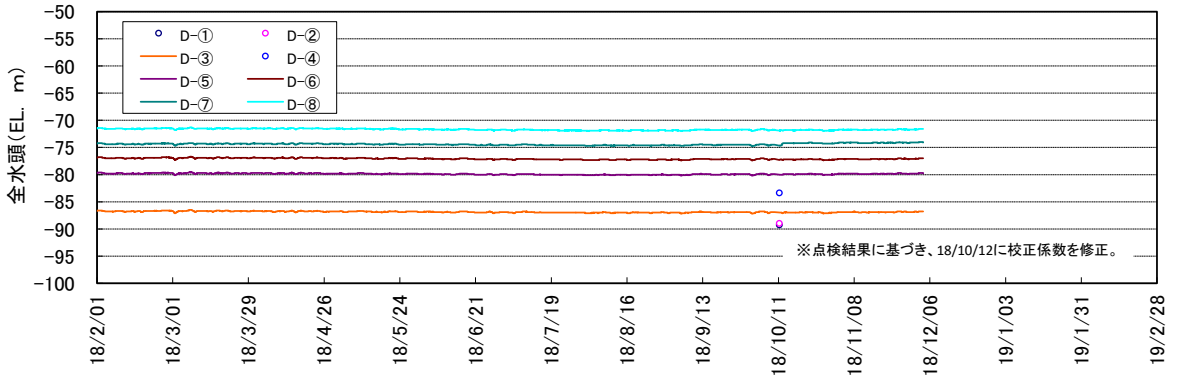


図 3.2-49　間隙水圧経時変化（A、B 孔）

C-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



D-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



E-1孔間隙水圧計経時変化グラフ

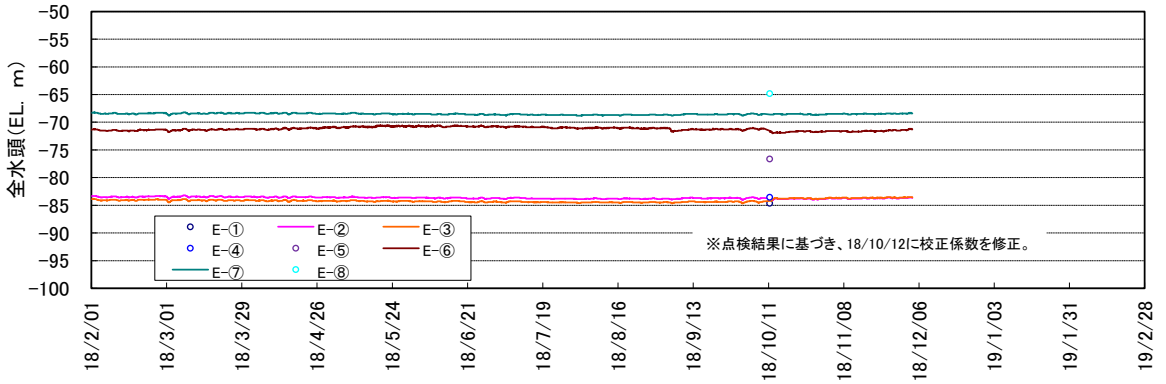


図 3.2-50　間隙水圧経時変化（C、D、E 孔）

3.2.2　地震計の観測データの整理と挙動分析

現地で計測している地震計の観測データを用いて、地震時の本試験施設の応答挙動（加速度等）を分析する。このときの本試験施設のひずみや応力状態などの挙動を定性的に評価するため、観測データから作成した入力地震動を用いて地震応答解析を実施する。

（1）検討フロー

地震計の観測データの整理・分析及びそのデータを用いた地震応答解析の検討フローを図3.2-51に示す。

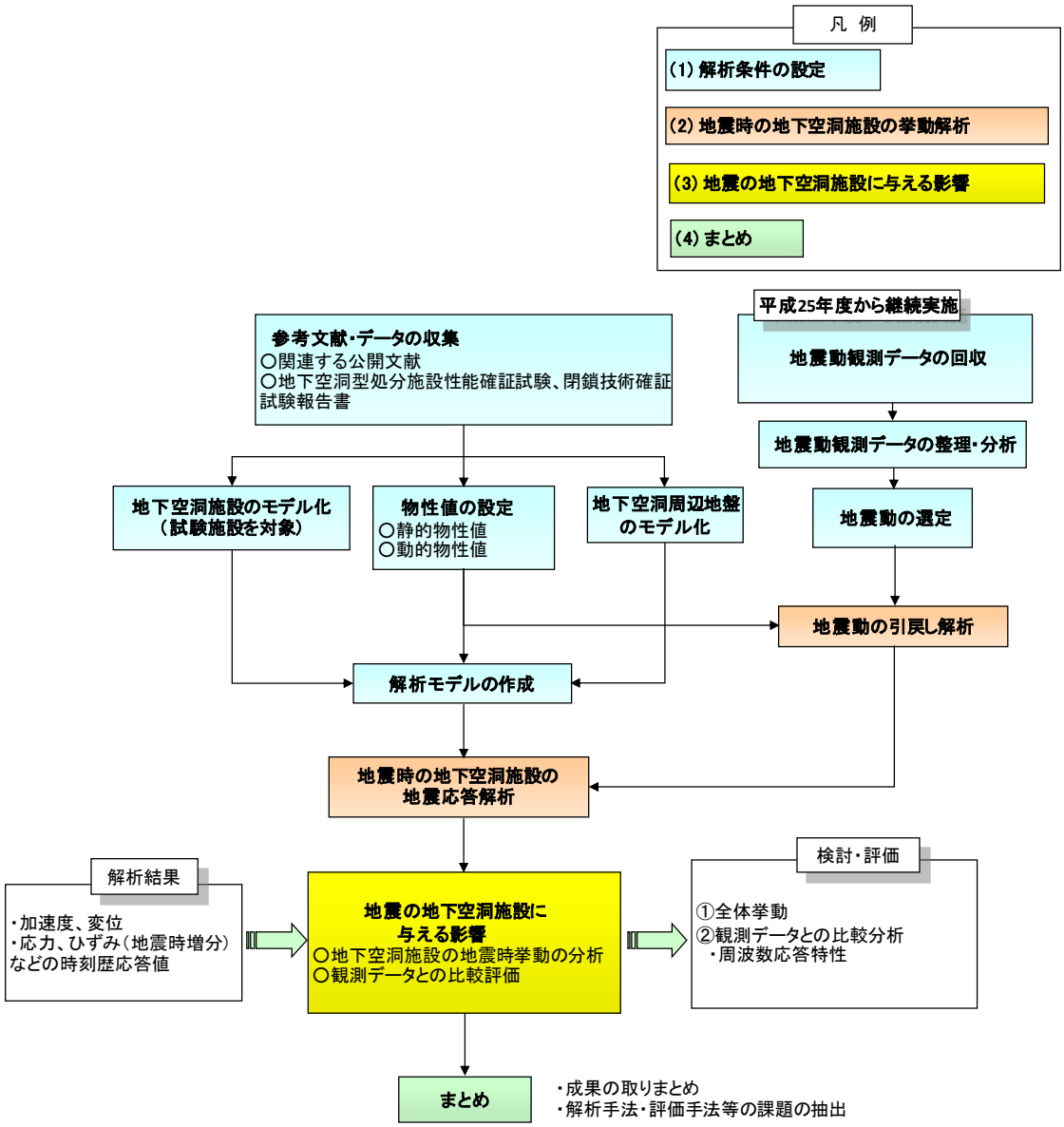


図 3.2-51　検討フロー

(2) 観測データの分析・評価

【目的】

今年度観測された地震動データを整理し、試験施設に与える影響を分析評価する。

【まとめ】

- 今年度の観測された地震動の中で、最大加速度は、平成 30 年 9 月 6 日（1）の地震計①（y 方向）の 8.9Gal であった。
- 観測データのスペクトル分析から推察される試験施設の固有振動数は 15Hz 以上であり、これは既往の結果と同様であった。

1) 計器設置概要

地震計の計器設置について概要を以下に示す。

a. 地震計設置位置

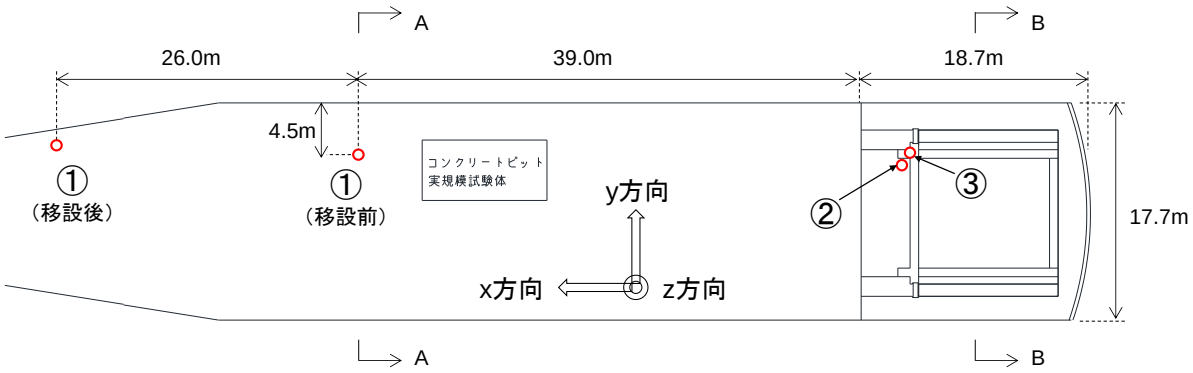
地震計は計 3 台設置し、それぞれ地震計①～③を称することとする。観測を開始した平成 25 年 10 月から平成 27 年 5 月までは、図 3.2-52 のように、地震計①は試験施設から比較的離れた底盤上、地震計②は底部コンクリートピット上、地震計③は手前部コンクリートピット上としていた。しかし、平成 27 年度の観測中に、空洞の停電等により排水ポンプが停止し、空洞底盤部が浸水した際、空洞底盤上にある地震計①が水没し故障する事故が発生した。このことから、今後の運用を考慮して、平成 27 年 10 月に、図 3.2-52 の平面図に示すように地震計①の設置場所を現位置から坑口側に約 26m 移動した。

各地震計の設置位置選定根拠を表 3.2-5 に示す。なお、各地震計の計測方向は以下とする。

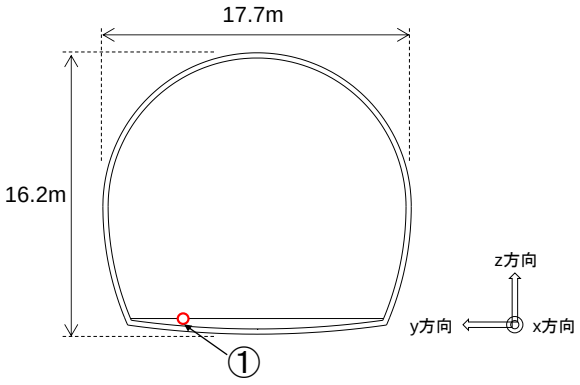
・x 方向：空洞軸方向

・y 方向：空洞横断方向

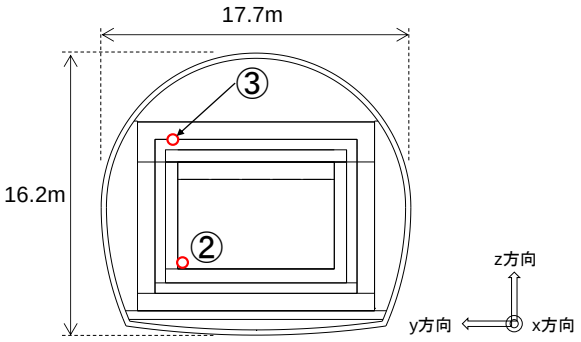
・z 方向：鉛直方向



(1) 平面図



(2) 横断面図（A-A 断面）



(3) 横断面図（B-B 断面に投影）

図 3.2-52　地震計設置位置

表 3.2-5　設置位置選定根拠

地震計	設置位置	選定根拠
地震計①	試験施設から離れた底盤上（インバートコンクリート上）	地震応答解析の入力地震動作成用のデータとするため、地震時の試験施設の影響が小さい位置に設置する必要がある。そのため、試験施設から比較的離れた底盤上を選定した。
地震計②	底部コンクリートピット上	底部低透水層の地震時影響を分析評価するために底部コンクリートピット上を選定した。
地震計③	手前部コンクリートピット上	試験施設全体の地震時影響を分析評価するために、試験施設の中で高位置となる手前部コンクリートピット上を選定した。

b. 地震計仕様

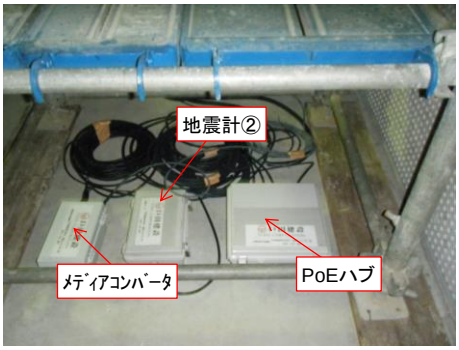
地震計の仕様を表 3.2-6 に、地震計設置状況を図 3.2-53 に示す。

表 3.2-6　地震計の仕様

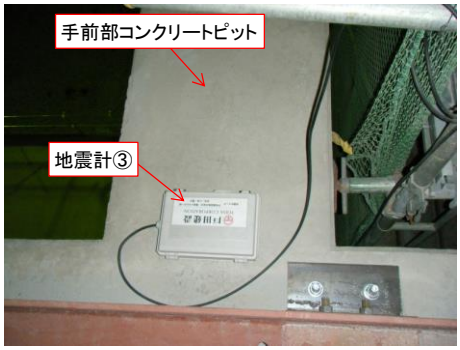
名称	仕　様	機　種
加速度 センサー	計　測　範　囲：±1.5G 周 波 数 応 答：0.1～50Hz 分　　解　　能：X、Y 軸：0.02Gal Z 軸：0.07Gal ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ周波数：100Hz、200Hz 送 信 周 波 数：0.5sec（200Hz） 1.0sec（100Hz） 使　用　条　件：周囲温度：-30℃～60℃ 周囲湿度：95%RH 以下 外 形 寸 法：113×90×60mm	富士電機(株)製 MEMS 応用感振センサー CPUKSNSP-00（防水・防塵型）

(1)　地震計①（移設前）

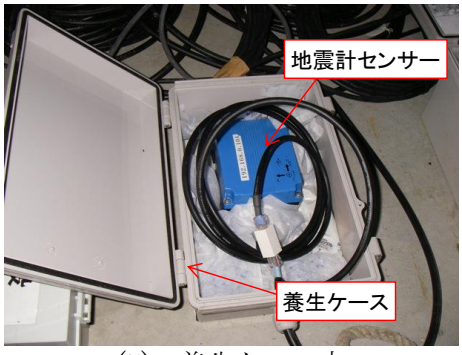
(2)　地震計①（移設後）



(3)　地震計②



(4)　地震計③



(5)　養生ケース内

図 3.2-53　地震計設置状況

c．回収データの仕様

回収データの仕様を表 3.2-7 に示す。

表 3.2-7　回収データの仕様

項目	仕　様
トリガ条件	マスタとするセンサー（地震計①）で、XYZ のいずれかが 1Gal 以上
トリガ引き伸ばし時間	地震検知時間幅　10 秒
プレトリガ時間	トリガ検知前の収集時間　10 秒
ポストトリガ時間	地震収束判断時間　60 秒
サンプリング周波数	200Hz（1 秒間に 200 データを取得）
出力形式	データ変換後、CSV ファイル形式 １列目に取得時刻、2～4 列目に XYZ の加速度データ（Gal）

2）地震動観測データ

今年度の観測を開始した 2018 年 4 月 1 日以降に観測された地震動一覧を、気象庁発表[9]の六ヶ所村尾駮観測点における情報も併せて表 3.2-8 に示す。

観測データは、添付資料に記載する。

表 3.2-8　地震動一覧

日　　時	震源地	マグニチュード	震源深さ	震源距離(六ヶ所村尾駮)	震度(六ヶ所村尾駮)
2018/05/07 05:00:48.4	岩手県内陸北部	M5.1	98km	182km	1
2018/05/14 19:31:17.7	岩手県沖	M5.1	29km	152km	1
2018/07/02 02:27:00.8	青森県東方沖	M4.9	64km	105km	2
2018/07/02 20:53:20.4	青森県東方沖	M5.0	39km	121km	1
2018/07/10 13:55:55.4	青森県東方沖	M4.9	68km	110km	2
2018/08/05 17:44:16.8	青森県東方沖	M4.2	62km	101km	2
2018/08/24 23:15:54.6	青森県東方沖	M5.1	32km	111km	1
2018/09/06 03:07:59.3	胆振地方中東部	M6.7	37km	201km	3
2018/09/06 06:11:29.7	胆振地方中東部	M5.4	38km	200km	1
2018/09/11 22:25:58.6	青森県東方沖	M5.0	47km	102km	1
2018/11/28 11:23:24.5	青森県東方沖	M5.7	11km	160km	1
2018/12/3 17:15:17.4	青森県東方沖	M4.6	87	88	1

3）観測データの分析評価

a．地震の型

地震は発生場所により「海溝型地震」と「活断層型地震」に大きく分けられる。震源深さが概ね 30km よりも浅い活断層型地震が発生すると、震源距離が近いエリアで観測される地震波は短周期成分が卓越することが多く、試験施設のように固有周期が短い構造物（既往の検討結果より固有振動数は 15Hz 以上と推察される）は大きな影響を受ける可能性がある。そこで、今年度観測された地震動を対象として、気象庁発表情報[9]から地震の型を整理することとした。

中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」[10]で検討されたプレート境界面推定等深線図に、今年度観測された地震動の震源位置及び震源深さをプロットした図を図 3.2-54 に示す。今年度観測された地震動の中で、2018 年 9 月 6 日に観測された 2 件の地震以外は、震源深さがプレート境界面推定等深線と同程度であり、海溝型地震と推察される。

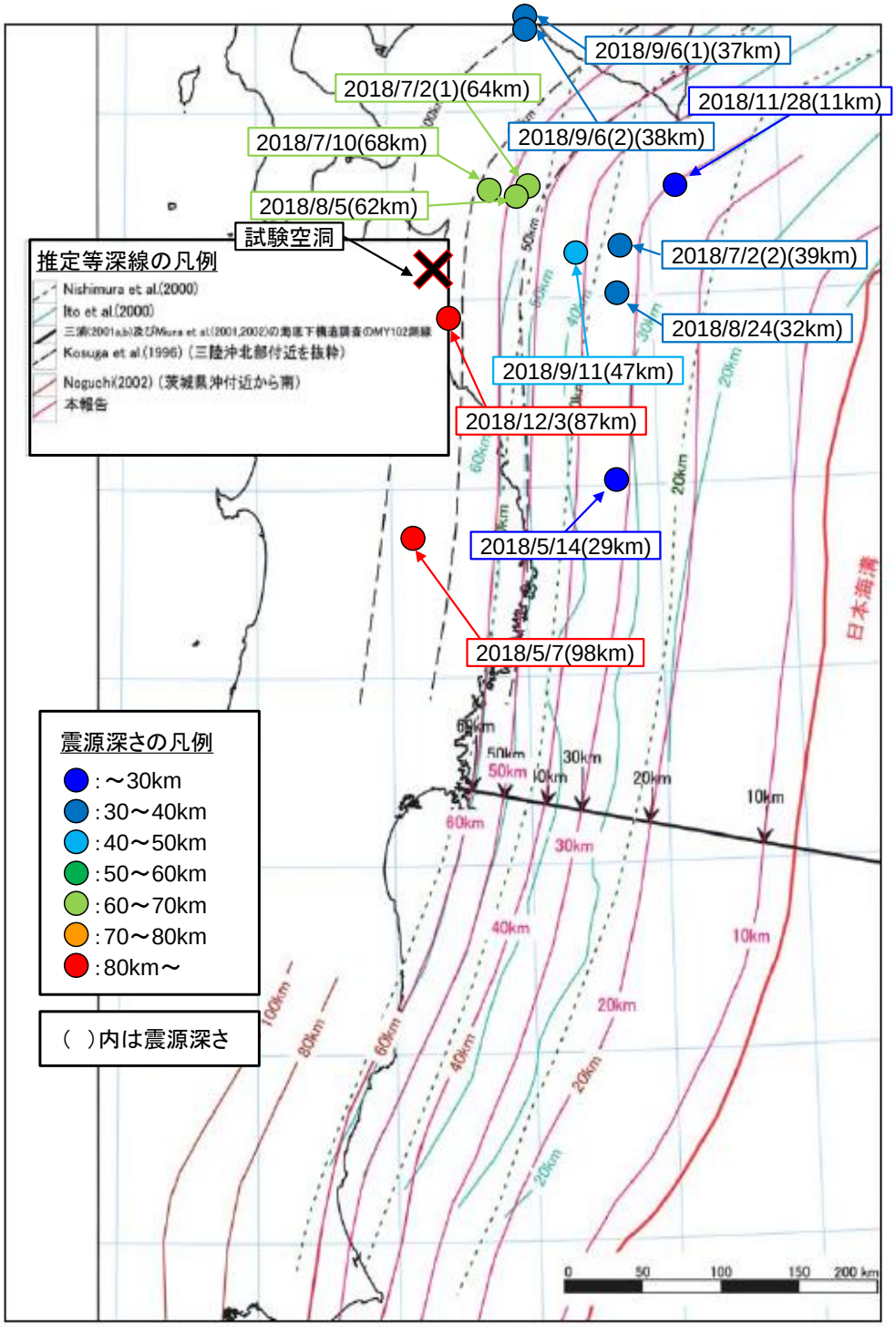


図 3.2-54　今年度観測された地震動の震源深さとプレート境界面推定等深線の関係
（[10]に加筆）

b. 最大加速度

観測地震動の最大加速度一覧を表 3.2-9 に、計測方向毎の最大加速度比較を図 3.2-55～図 3.2-57 に示す（過去のデータも併記した）。これまで観測した地震の中で、平成 28 年 1 月 14 日の観測地震動が、地震計①の最大加速度で 18.2Gal（x 方向）を記録し最大となっている。

最大加速度の鉛直方向と水平方向の関係を分析するために、地震計①を対象として、各観測地震動の鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率を図 3.2-58、最大加速度の比率と震源距離の関係を図 3.2-59、また両者のデータを表 3.2-10 に示す。最大加速度の比率（鉛直/水平）の範囲は、z 方向／x 方向で 0.35～2.14、z 方向／y 方向で 0.38～2.14 であり両者でほぼ同程度である。図 3.2-59 より、震源距離が 120km 程度より近くなると、最大加速度の比率が 1 以上となり、鉛直方向の最大加速度が水平方向より大きくなる場合が見られる。

表 3.2-9　観測地震動の最大加速度一覧

計器名称	計測高さ* [m]	計測方向	平成25年度			平成26年度						
			10/26	11/15	12/27	5/19	6/9	6/15	7/5	7/21	7/25	8/10
地震計①	0	x	3.3	5.4	2.1	1.1	3.7	2.9	2.8	1.1	3.4	12.5
		y	3.1	6.7	2.3	0.7	4.8	3.2	2.8	1.4	4.0	11.7
		z	2.8	4.1	1.8	1.3	6.9	1.7	2.4	0.8	3.4	10.4
地震計②	2.9	x	3.2	4.8	2.7	1.5	5.4	3.1	2.9	1.0	3.2	13.1
		y	3.1	6.3	2.7	1.1	6.4	2.9	3.1	1.3	4.6	12.2
		z	3.1	5.1	2.5	1.5	7.9	1.7	2.3	0.7	4.5	11.4
地震計③	10.34	x	3.5	6.2	2.8	2.0	6.9	3.2	3.1	1.0	3.4	13.9
		y	3.5	6.4	2.9	1.3	7.3	2.9	3.5	1.3	5.2	14.1
		z	3.3	5.2	2.5	1.6	8.3	1.7	2.4	0.8	4.6	12.2

計器名称	計測高さ* [m]	計測方向	平成26年度								平成27年度
			9/10	10/3	10/11	10/14	10/27	11/2	1/9	2/17(1)	2/17(2)	4/30
地震計①	0	x	2.9	2.2	2.4	2.1	1.3	1.4	1.3	4.0	3.4	1.4
		y	4.2	2.1	3.3	2.8	1.6	1.8	1.1	4.0	2.9	1.7
		z	2.2	1.5	1.9	2.9	1.5	2.0	0.7	2.3	2.6	1.0
地震計②	2.9	x	2.8	2.3	2.4	3.0	1.9	1.8	1.3	4.0	3.9	1.6
		y	4.1	2.5	3.2	2.4	1.5	1.9	1.2	4.4	2.8	1.6
		z	2.5	1.5	1.8	3.6	1.5	1.5	0.8	2.4	2.7	0.9
地震計③	10.34	x	3.1	2.3	2.5	3.5	2.3	1.9	1.4	4.1	4.3	1.7
		y	4.2	2.7	3.3	2.9	1.8	2.0	1.2	4.6	3.1	1.5
		z	2.6	1.5	1.9	3.7	1.6	1.5	0.8	2.4	2.9	0.9

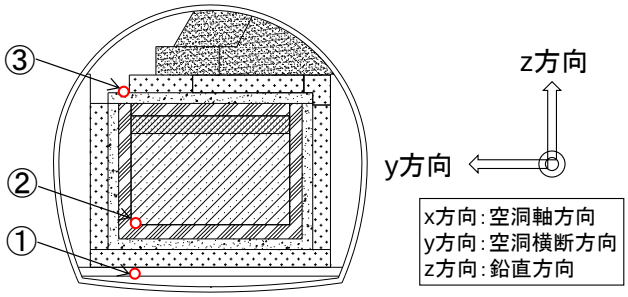
計器名称	計測高さ* [m]	計測方向	平成27年度						平成28年度			
			11/1	1/11(1)	1/11(2)	1/12	1/14	2/2	5/3	5/24	5/25	7/16
地震計①	0	x	3.5	1.4	1.0	1.8	18.2	1.1	2.0	0.9	1.6	1.9
		y	4.3	2.3	1.6	1.8	12.2	1.2	1.2	1.3	2.3	2.1
		z	3.0	1.4	0.7	1.5	11.7	0.9	0.7	1.0	1.3	1.6
地震計②	2.9	x	4.0	1.6	1.1	2.4	20.4	1.2	1.7	1.5	2.0	1.7
		y	4.8	1.9	1.4	2.2	12.2	1.0	1.3	1.5	2.1	2.0
		z	2.9	1.1	0.9	1.4	7.4	0.8	0.7	1.1	1.4	1.2
地震計③	10.34	x	4.4	1.6	1.1	2.7	20.7	1.2	1.7	1.6	2.0	1.8
		y	5.3	1.9	1.5	2.3	12.7	1.0	1.3	1.7	2.3	2.2
		z	3.0	1.2	0.9	1.5	7.5	0.8	0.7	1.1	1.4	1.2

計器名称	計測高さ* [m]	計測方向	平成28年度								平成29年度	
			7/19	7/24	8/17	9/26	10/3	11/12	11/22	11/23	9/10	9/27
地震計①	0	x	1.7	1.1	1.5	4.6	1.1	1.0	1.9	1.3	1.9	2.8
		y	1.6	1.5	1.7	6.3	1.2	1.0	1.6	1.9	2.2	2.3
		z	1.2	0.8	0.7	2.4	1.0	0.6	1.9	0.9	1.4	2.3
地震計②	2.9	x	2.1	1.4	1.6	5.1	1.0	0.9	1.9	1.7	1.9	2.6
		y	2.0	1.4	1.7	5.3	1.1	0.9	1.5	1.7	2.2	2.6
		z	1.4	1.2	0.7	2.2	1.0	0.7	1.8	0.9	1.3	2.1
地震計③	10.34	x	2.3	1.5	1.6	5.1	0.9	0.9	1.9	2.0	1.9	2.8
		y	2.2	1.4	1.8	5.7	1.2	0.9	1.5	1.9	2.3	2.8
		z	1.5	1.2	0.6	2.2	1.0	0.7	1.8	1.0	1.3	2.2

計器名称	計測高さ* [m]	計測方向	平成29年度							平成30年度		
			11/5	12/2	12/16	12/20	1/24	1/28	1/29	5/7	5/14	7/2(1)
地震計①	0	x	1.8	1.0	2.2	1.2	7.4	1.0	0.7	1.0	1.5	3.4
		y	2.5	1.3	1.8	1.4	6.9	1.4	0.7	0.8	1.1	3.5
		z	1.5	0.8	1.2	1.0	6.1	1.0	1.5	1.5	0.8	2.3
地震計②	2.9	x	2.1	1.0	1.9	1.6	8.5	1.0	0.8	1.2	1.3	3.4
		y	1.8	1.5	2.3	1.5	8.1	1.5	1.0	0.9	1.0	4.6
		z	1.8	0.8	1.4	1.6	6.5	0.8	2.0	1.7	0.9	2.9
地震計③	10.34	x	2.1	1.1	2.0	1.8	9.1	1.1	1.0	1.2	1.3	3.7
		y	1.9	1.6	2.4	1.6	8.7	1.6	1.3	0.9	1.0	4.9
		z	1.8	0.8	1.4	1.6	6.6	0.8	2.0	1.7	1.0	3.2

計器名称	計測高さ* [m]	計測方向	平成30年度								
			7/2(2)	7/10	8/5	8/24	9/6(1)	9/6(2)	9/11	11/28	12/3
地震計①	0	x	2.0	2.8	1.9	1.4	5.3	1.5	1.8	1.3	2.3
		y	2.1	3.0	2.0	1.5	8.9	1.7	3.3	1.4	2.5
		z	1.2	1.5	1.1	0.9	5.1	1.1	1.3	1.0	1.6
地震計②	2.9	x	1.9	2.6	2.3	1.4	5.8	1.5	1.9	1.2	2.1
		y	2.7	3.0	1.9	1.3	7.4	1.2	2.8	1.5	2.5
		z	1.3	1.6	1.0	1.0	4.7	1.0	1.7	0.7	2.3
地震計③	10.34	x	1.9	2.5	2.2	1.3	5.9	1.6	2.1	1.3	2.1
		y	3.0	3.0	1.8	1.4	7.9	1.2	3.0	1.5	2.8
		z	1.3	1.6	1.0	1.0	4.8	1.0	1.8	0.8	2.4

*試験空洞底盤高さを基準とした。



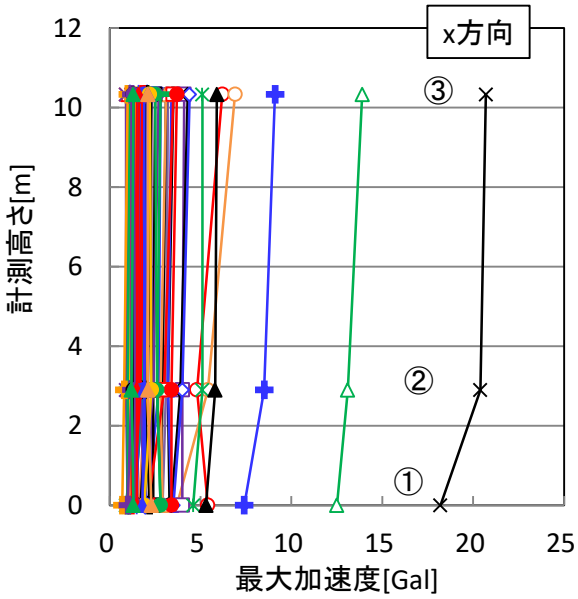


図 3.2-55　x 方向の最大加速度比較

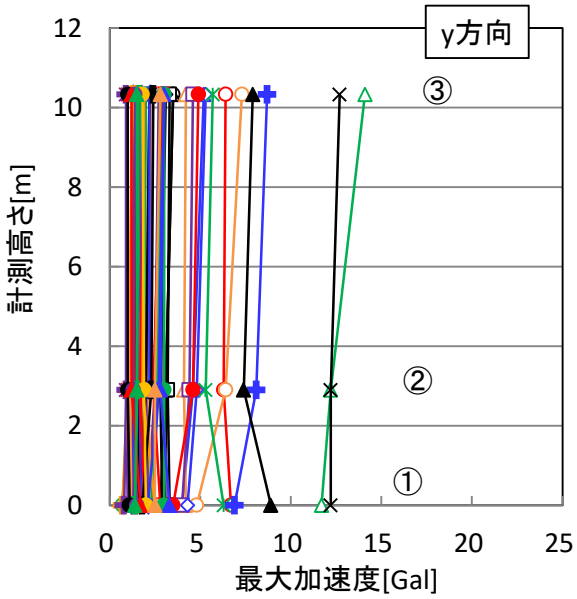


図 3.2-56　y 方向の最大加速度比較

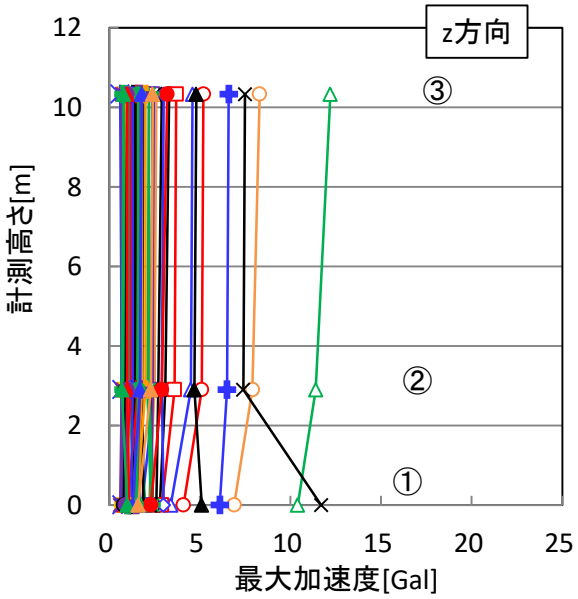
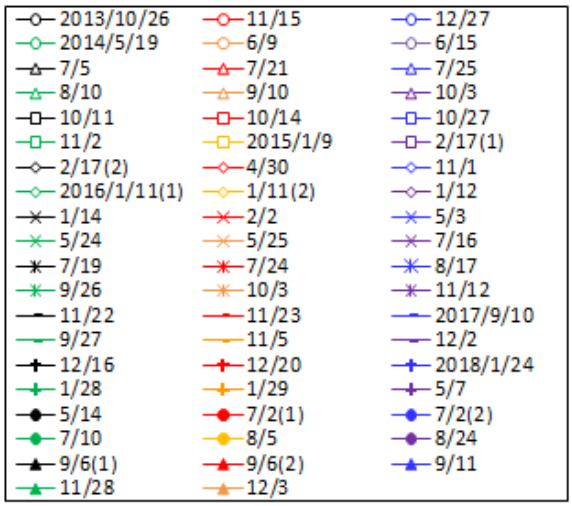


図 3.2-57　z 方向の最大加速度比較



凡　　例

*計測高さは、試験空洞底盤高さを基準とした。

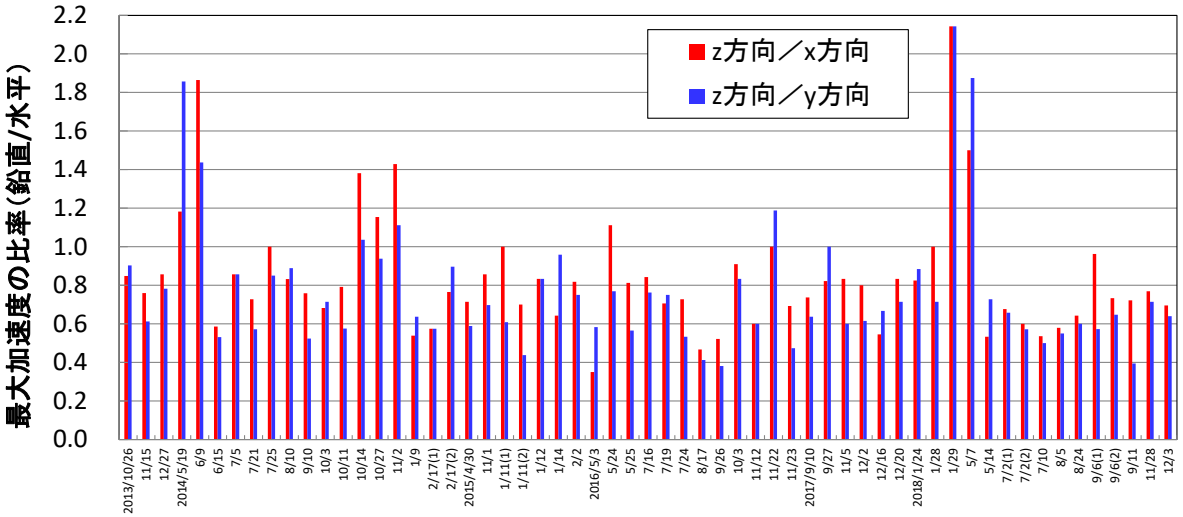


図 3.2-58　鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率（地震計①）

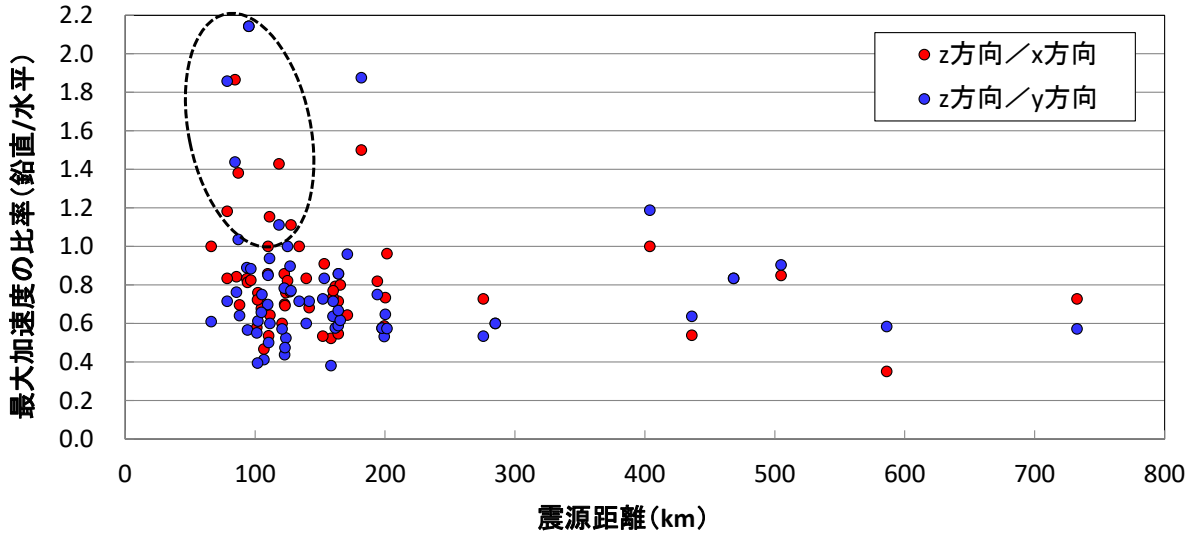


図 3.2-59　鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率と震源距離の関係（地震計①）

表 3.2-10　鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率と震源距離の関係（地震計①）

項目	方向	平成25年度			平成26年度						
		10/26	11/15	12/27	5/19	6/9	6/15	7/5	7/21	7/25	8/10
最大加速度の比率	z方向／x方向	0.85	0.76	0.86	1.18	1.86	0.59	0.86	0.73	1.00	0.83
	z方向／y方向	0.90	0.61	0.78	1.86	1.44	0.53	0.86	0.57	0.85	0.89
震源距離(km)	－	505	102	122	79	85	199	164	733	110	94

項目	方向	平成26年度									平成27年度
		9/10	10/3	10/11	10/14	10/27	11/2	1/9	2/17(1)	2/17(2)	4/30
最大加速度の比率	z方向／x方向	0.76	0.68	0.79	1.38	1.15	1.43	0.54	0.58	0.76	0.71
	z方向／y方向	0.52	0.71	0.58	1.04	0.94	1.11	0.64	0.58	0.90	0.59
震源距離(km)	－	124	142	162	87	111	118	436	198	127	164

項目	方向	平成27年度						平成28年度			
		11/1	1/11(1)	1/11(2)	1/12	1/14	2/2	5/3	5/24	5/25	7/16
最大加速度の比率	z方向／x方向	0.86	1.00	0.70	0.83	0.64	0.82	0.35	1.11	0.81	0.84
	z方向／y方向	0.70	0.61	0.44	0.83	0.96	0.75	0.58	0.77	0.57	0.76
震源距離(km)	－	110	66	123	468	171	194	586	128	94	86

項目	方向	平成28年度								平成29年度	
		7/19	7/24	8/17	9/26	10/3	11/12	11/22	11/23	9/10	9/27
最大加速度の比率	z方向／x方向	0.71	0.73	0.47	0.52	0.91	0.60	1.00	0.69	0.74	0.82
	z方向／y方向	0.75	0.53	0.41	0.38	0.83	0.60	1.19	0.47	0.64	1.00
震源距離(km)	－	105	276	107	158	153	285	404	123	160	125

項目	方向	平成29年度							平成30年度		
		11/5	12/2	12/16	12/20	1/24	1/28	1/29	5/7	5/14	7/2(1)
最大加速度の比率	z方向／x方向	0.83	0.80	0.55	0.83	0.82	1.00	2.14	1.50	0.53	0.68
	z方向／y方向	0.60	0.62	0.67	0.71	0.88	0.71	2.14	1.88	0.73	0.66
震源距離(km)	－	139	166	164	79	97	134	95	182	152	105

項目	方向	平成30年度								
		7/2(2)	7/10	8/5	8/24	9/6(1)	9/6(2)	9/11	11/28	12/3
最大加速度の比率	z方向／x方向	0.60	0.54	0.58	0.64	0.96	0.73	0.72	0.77	0.70
	z方向／y方向	0.57	0.50	0.55	0.60	0.57	0.65	0.39	0.71	0.64
震源距離(km)	－	121	110	101	111	201	200	102	160	88

以降では、今年度観測された地震動について、観測データの分析評価を実施した。

c．フーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比

観測地震動のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（地震計②／地震計①、地震計③／地震計②）を図 3.2-60～図 3.2-71 に示す。図 3.2-60～図 3.2-71 の試験施設の上下端のフーリエスペクトル比（③／②）より、水平方向（x、y 方向）は試験施設内で増幅しているのに対して、鉛直方向（z 方向）は増幅が小さいことがわかる。x 方向と y 方向で比較すると、x 方向の方がフーリエスペクトル比は大きい傾向がある。これは、表 3.2-11 に示すように、x 方向は剛性の小さい低透水層が側壁として構築されていないことに対して、y 方向は側部低透水層が左右に構築されていること、また x 方向は地震計③が設置されている手前部コンクリートピットの坑口側には構造物がなく拘束を受けないことなど、試験施設の 3 次元的構造の特徴が影響しているものと考えられる。

また、試験施設の上下端のフーリエスペクトル比（③／②）が卓越する振動数帯は、水平方向の x、y 方向ともに 15Hz 以上となる傾向があることから、試験施設の固有振動数も同程度と推察される。この傾向は、既往の観測データ及び解析結果と同様である。

試験施設に類似するような重量構造物として、コンクリート重力ダムが考えられることから、図 3.2-72 に示すコンクリート重力ダムの強震記録データから求めた固有周期と堤高の関係[11]の近似式を用いて、試験施設の固有振動数を求めた。コンクリート重力ダムの固有周期 T は次式で表される。

$T=0.18/100\times H\pm 0.05$　（T：固有周期[s]、H：堤高[m]）

H を試験施設の底部低拡散層の下端から上部低拡散層の上端までの高さ（8.84m）とすると、固有振動数 $F=1/T$ は 15Hz 以上となり、観測地震動のフーリエスペクトル比から推察される固有振動数と同等となる。

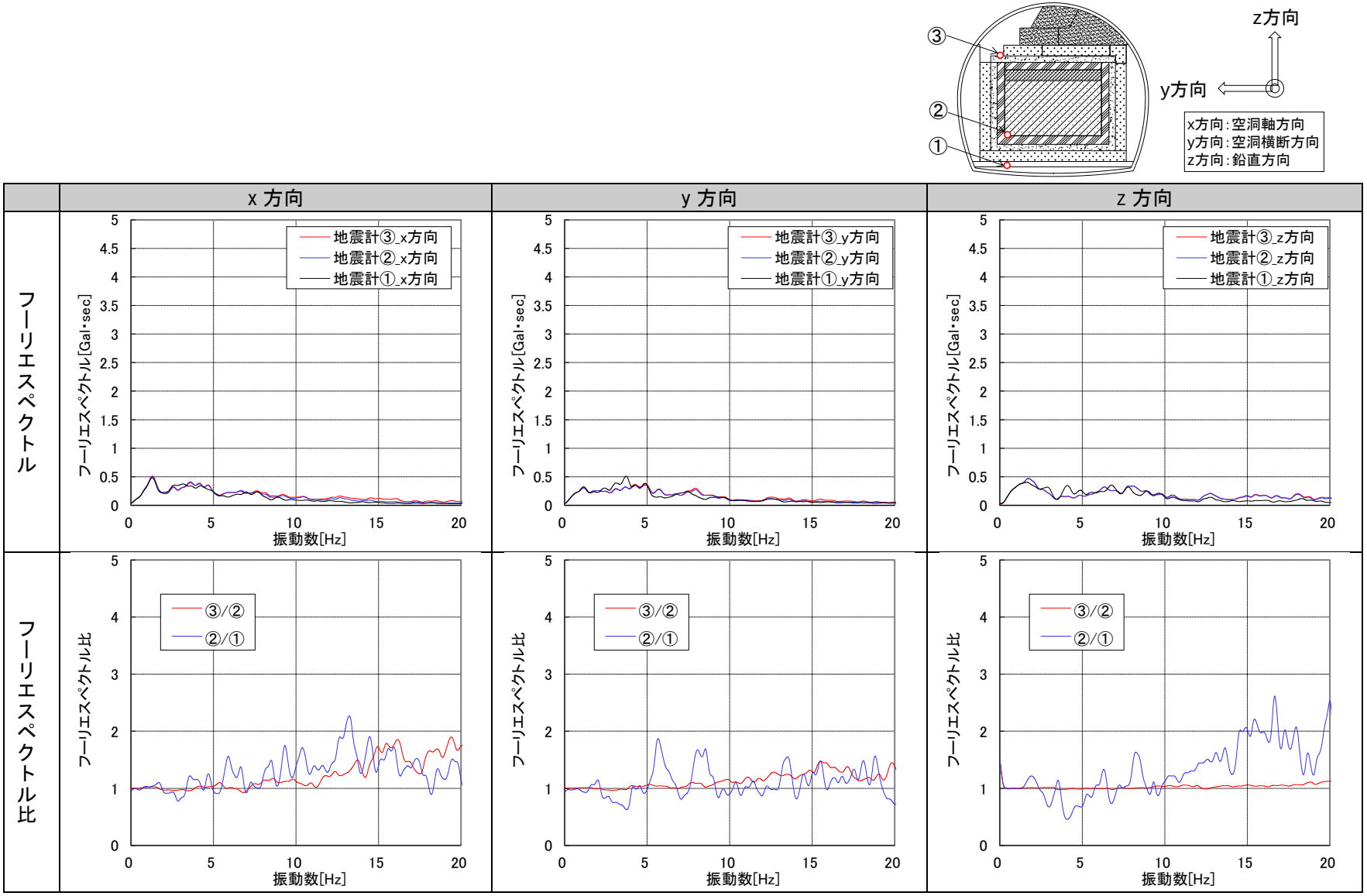


図 3.2-60　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 5 月 7 日）

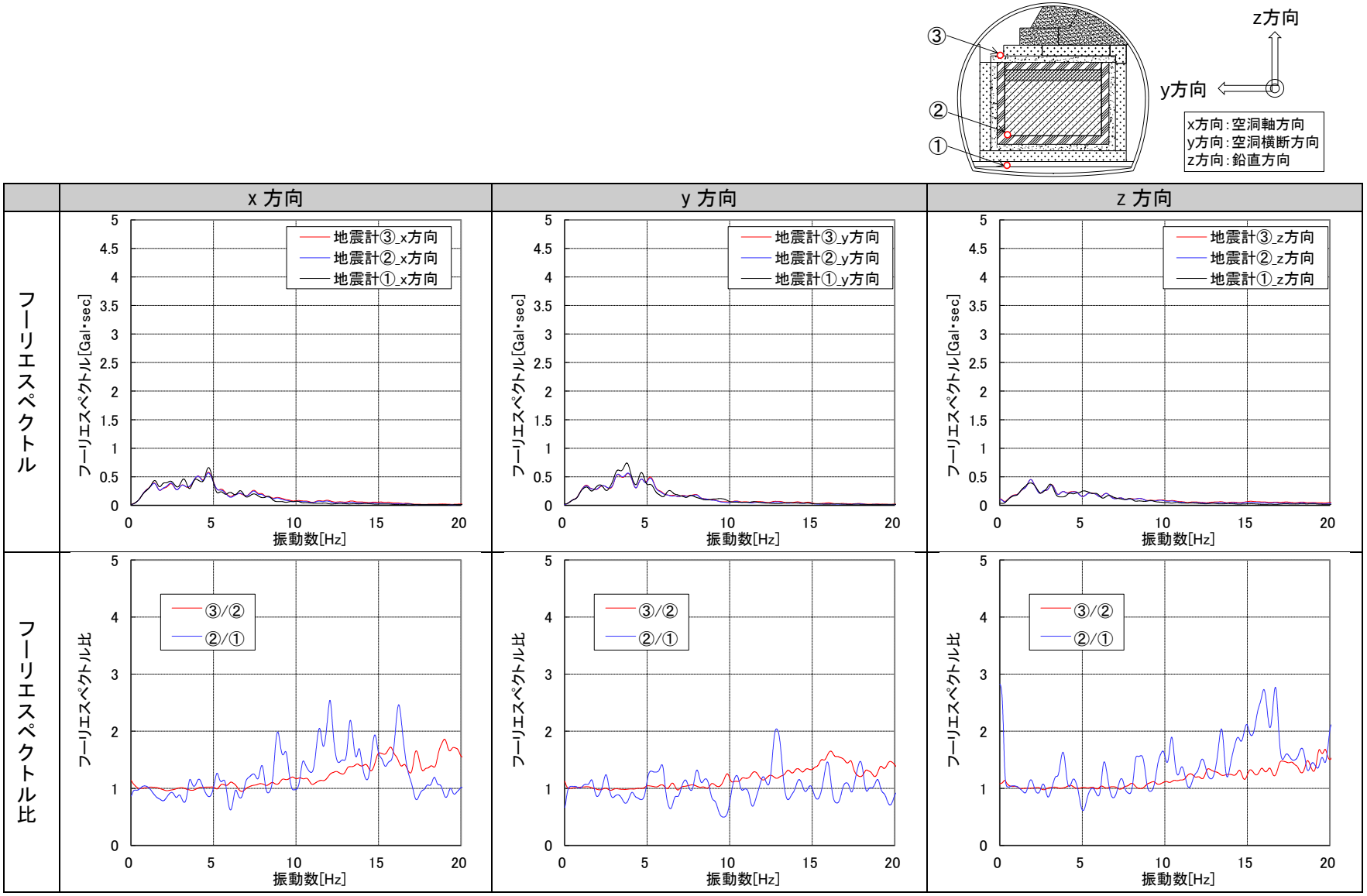


図 3.2-61　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 5 月 14 日）

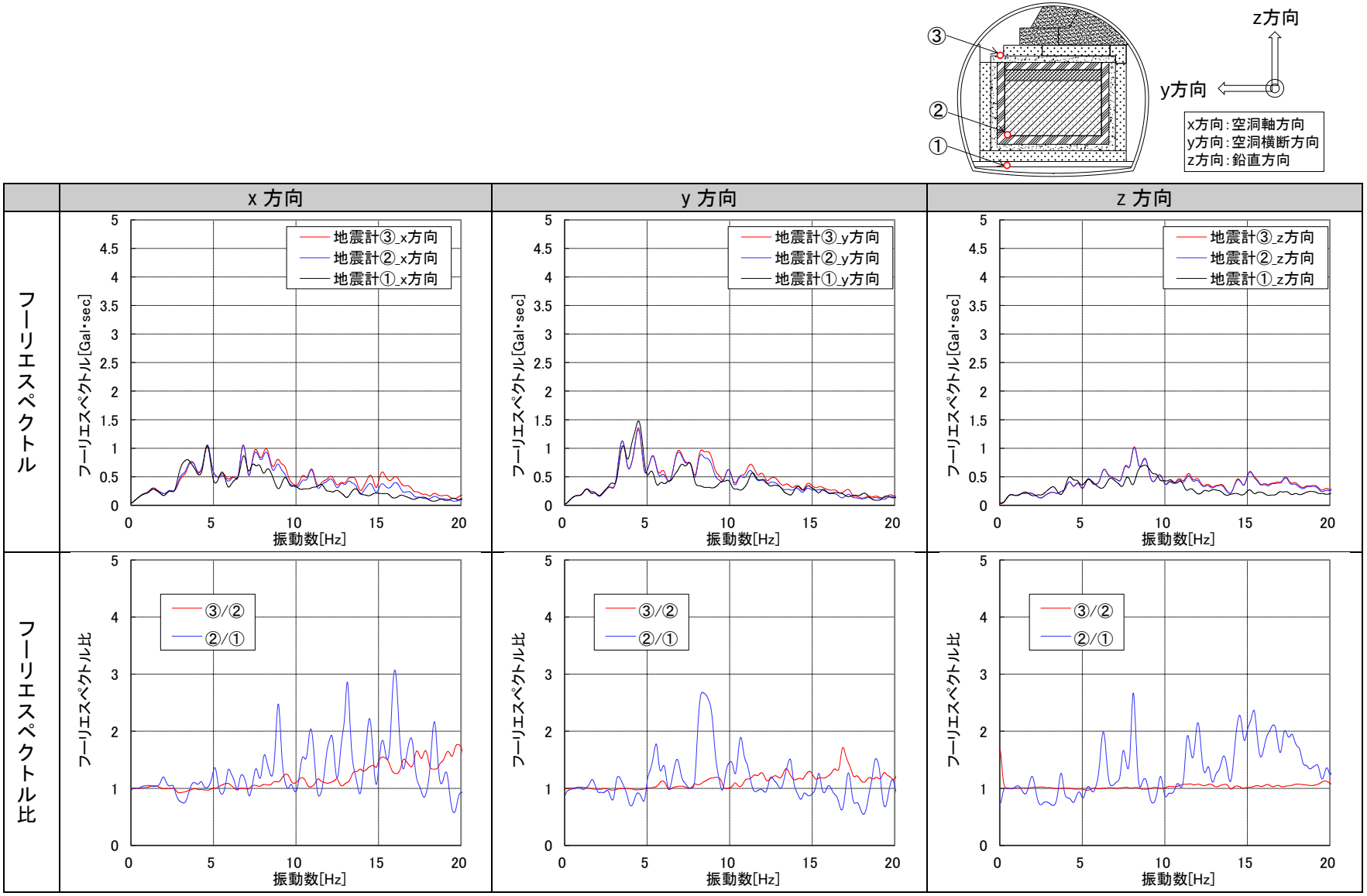


図 3.2-62　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 7 月 2 日（1））

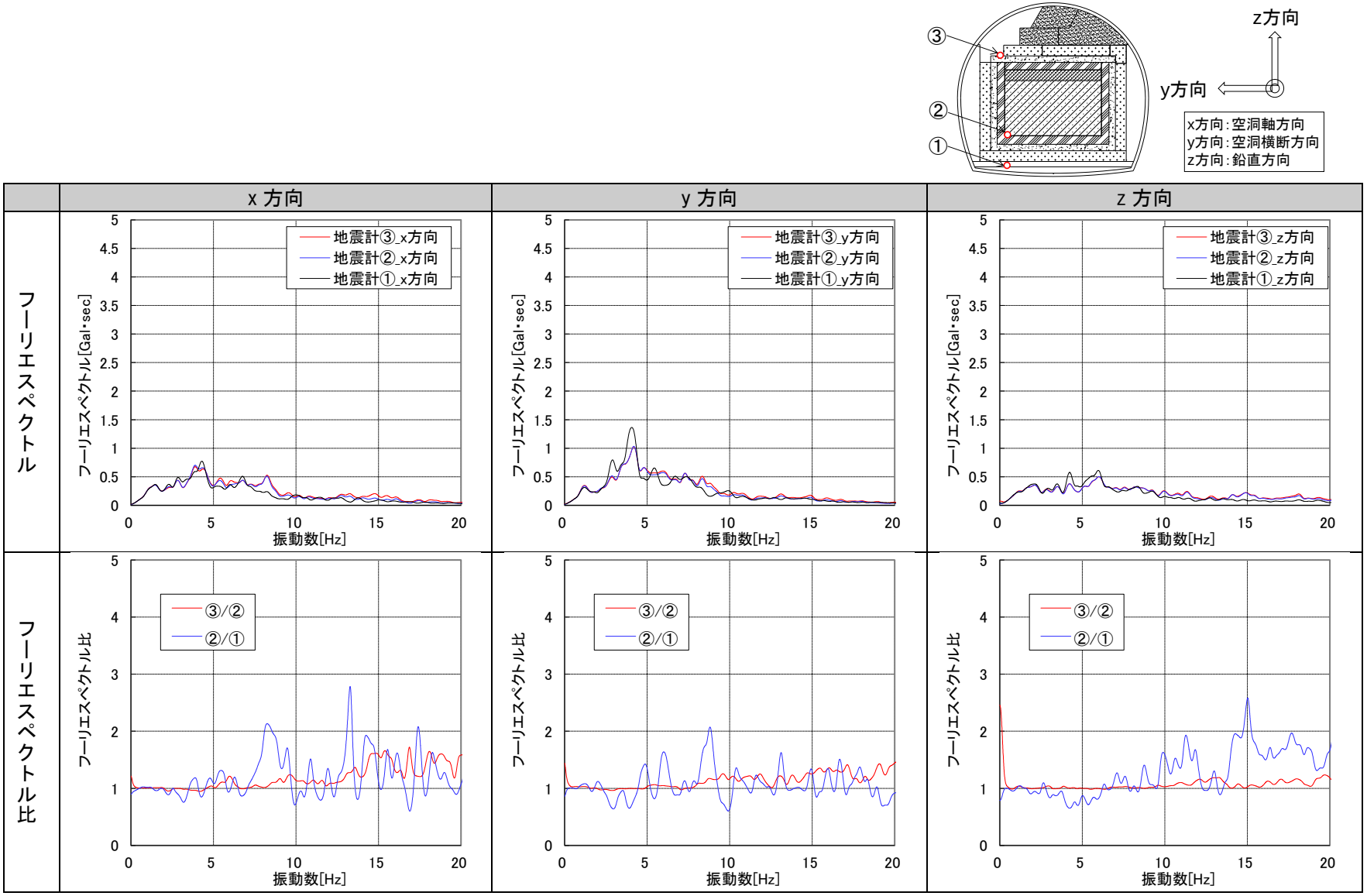


図 3.2-63　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 7 月 2 日（2））

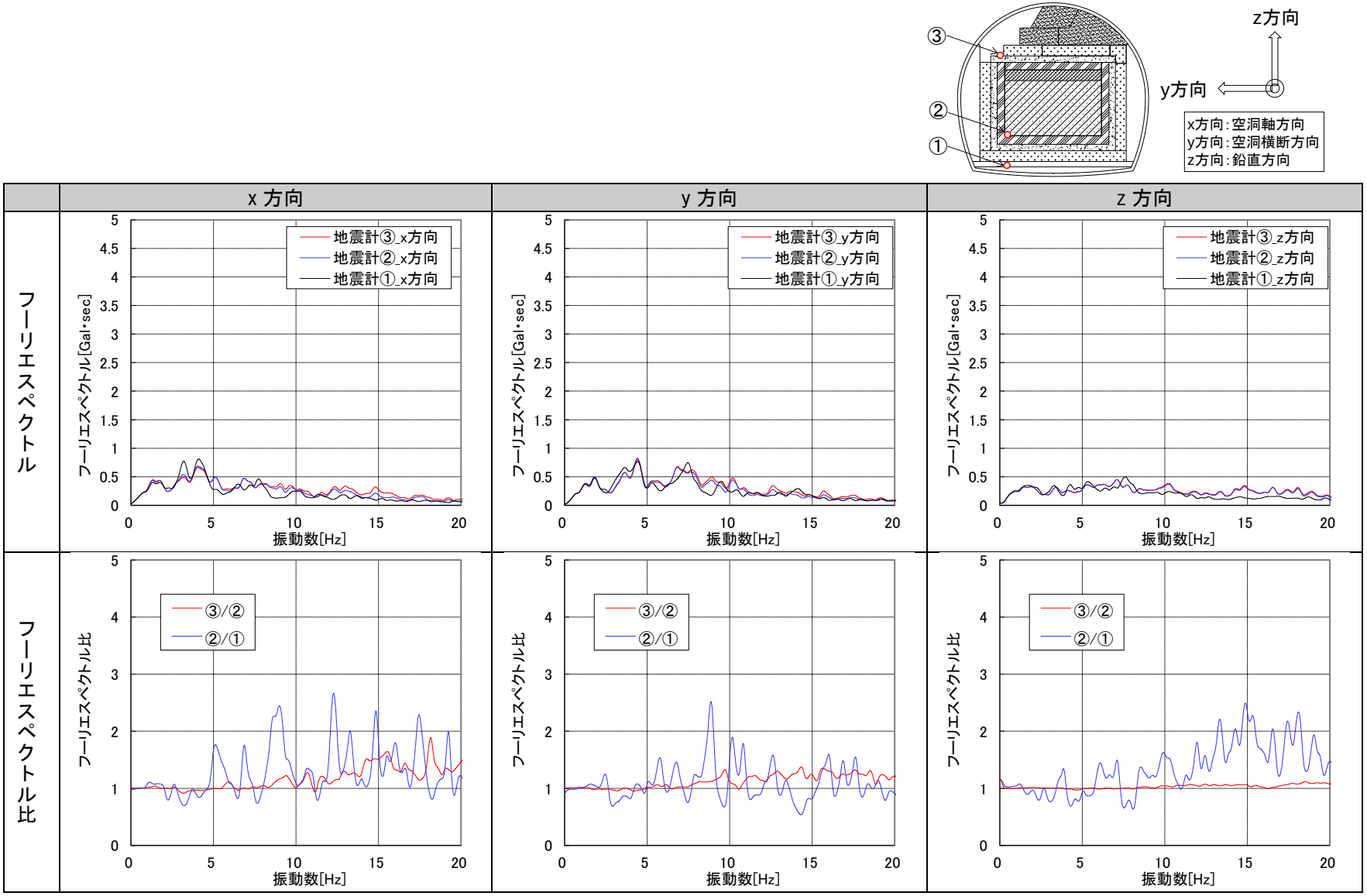
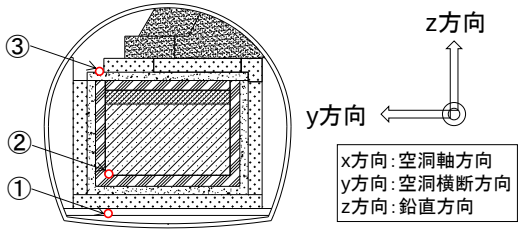


図 3.2-64　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 7 月 10 日）



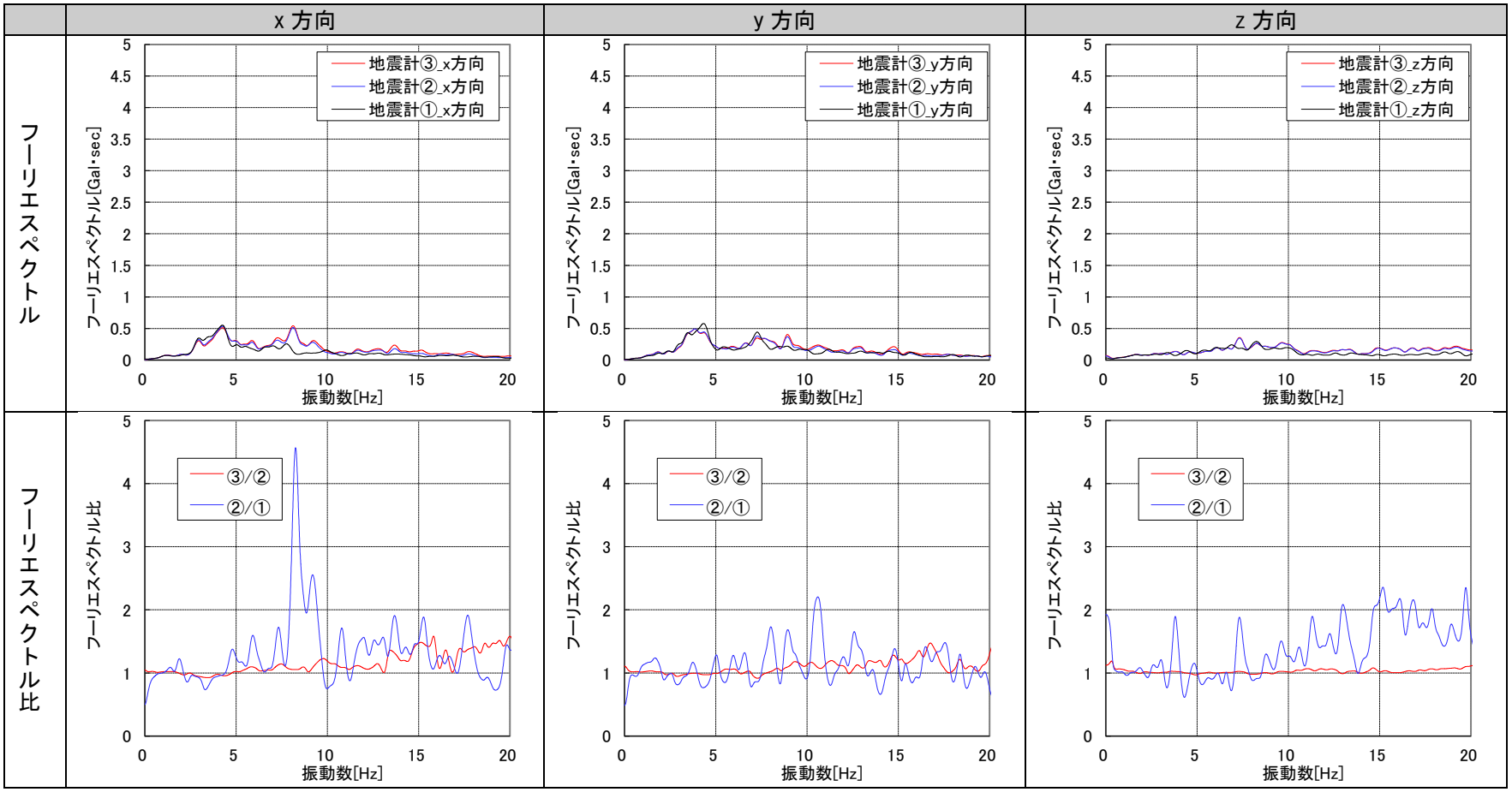


図 3.2-65　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 8 月 5 日）

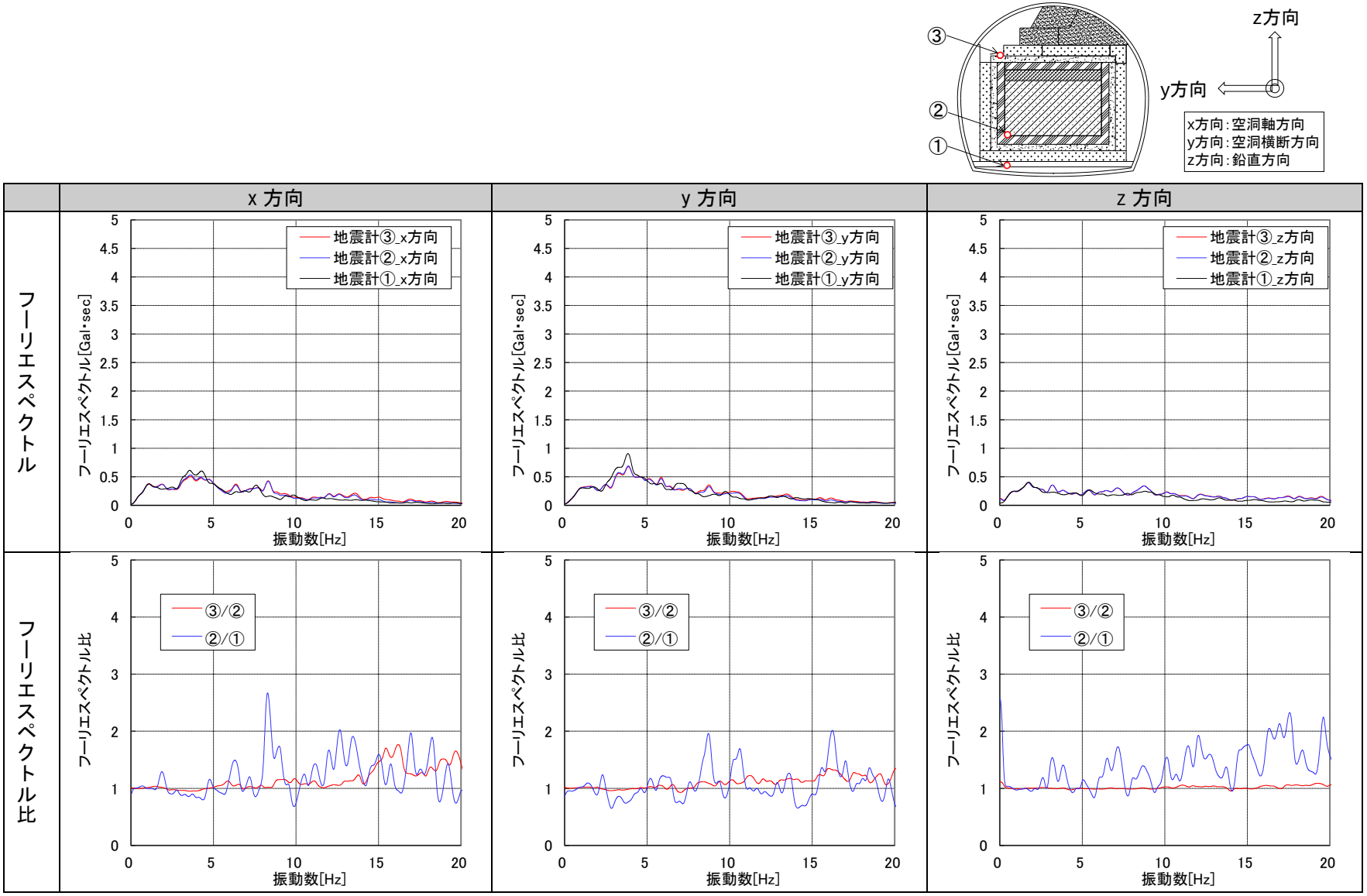


図 3.2-66　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 8 月 24 日）

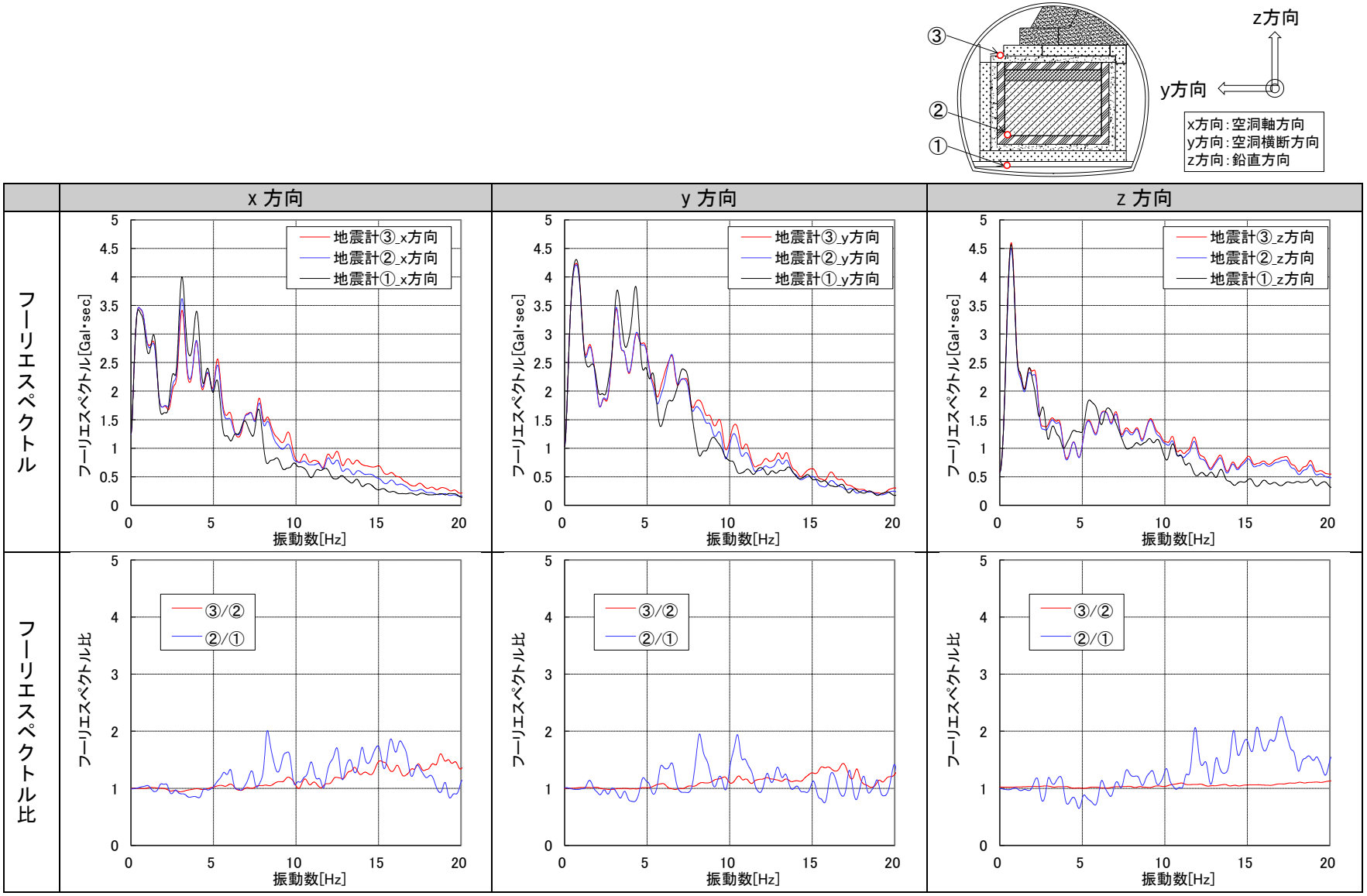


図 3.2-67　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 9 月 6 日（1））

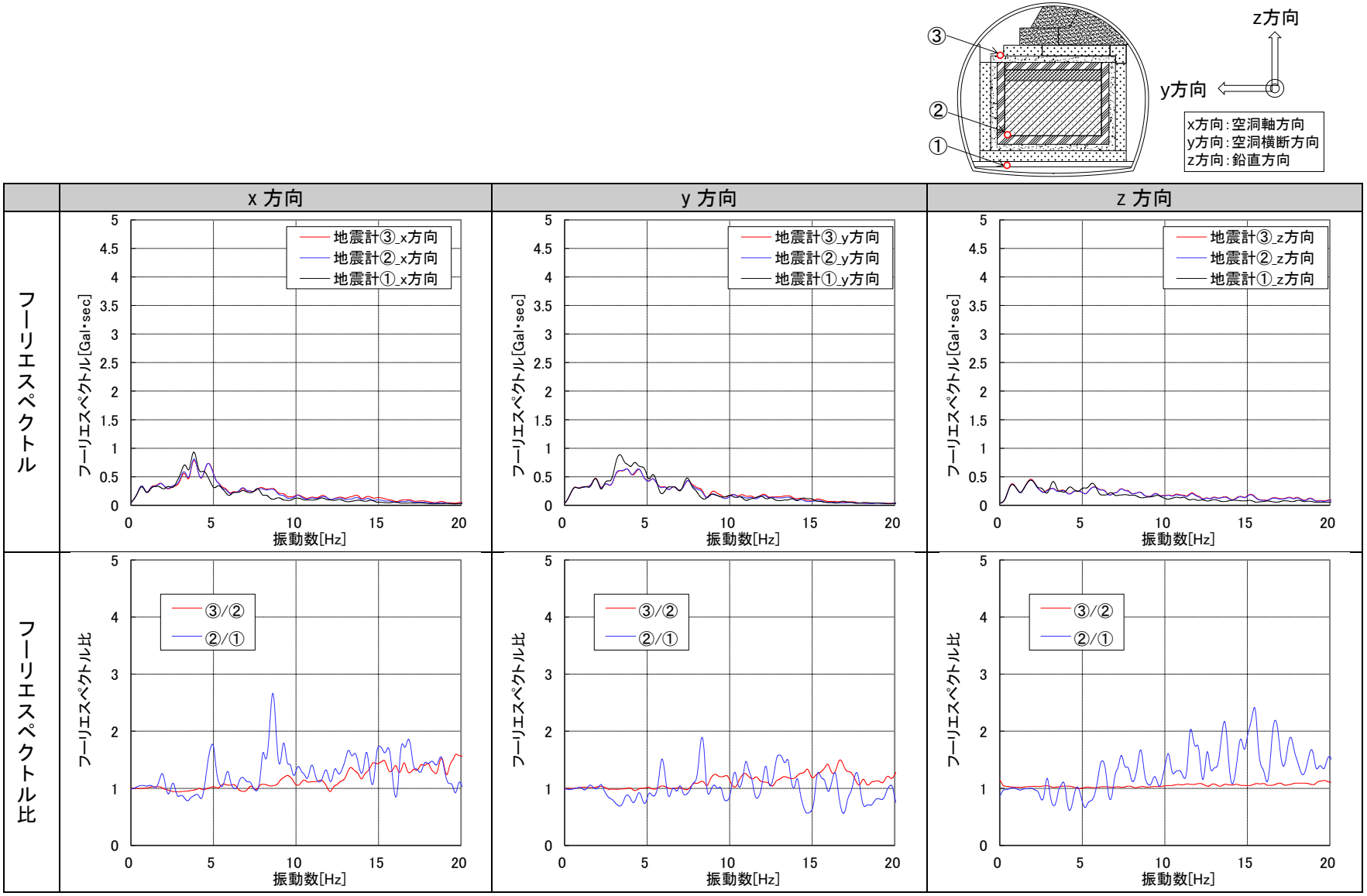


図 3.2-68　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 9 月 6 日（2））

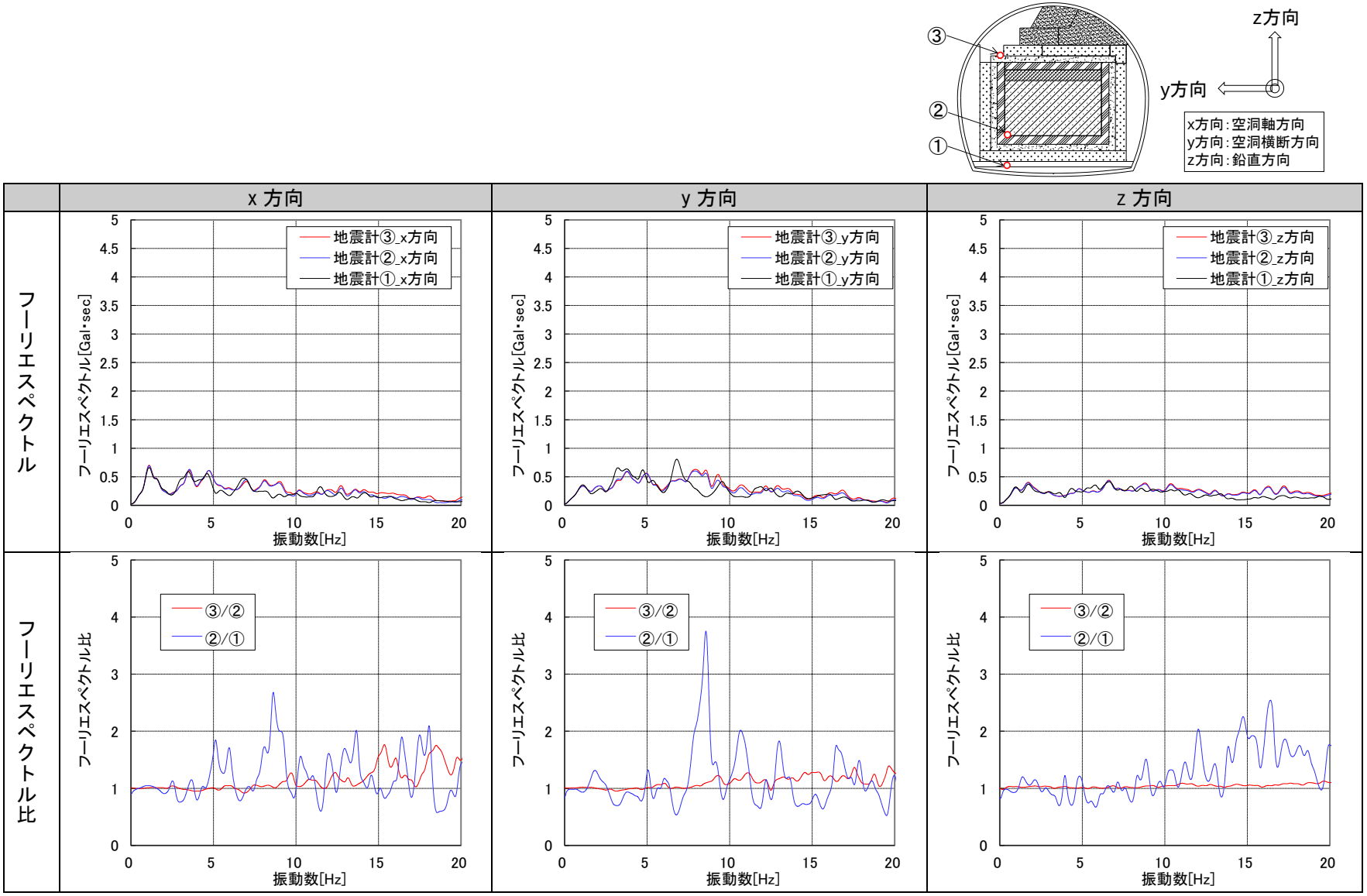


図 3.2-69　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 9 月 11 日）

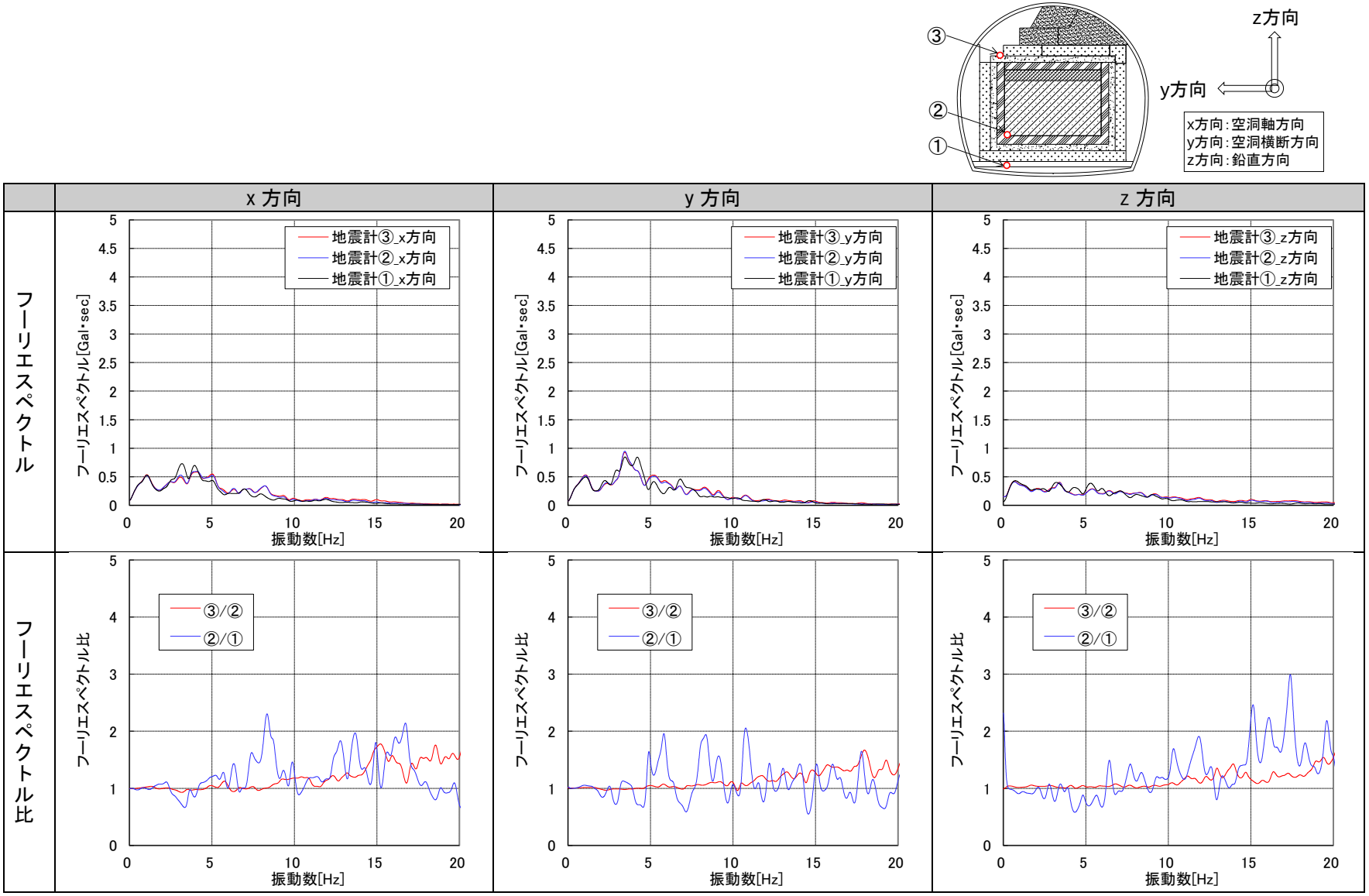


図 3.2-70　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 11 月 28 日）

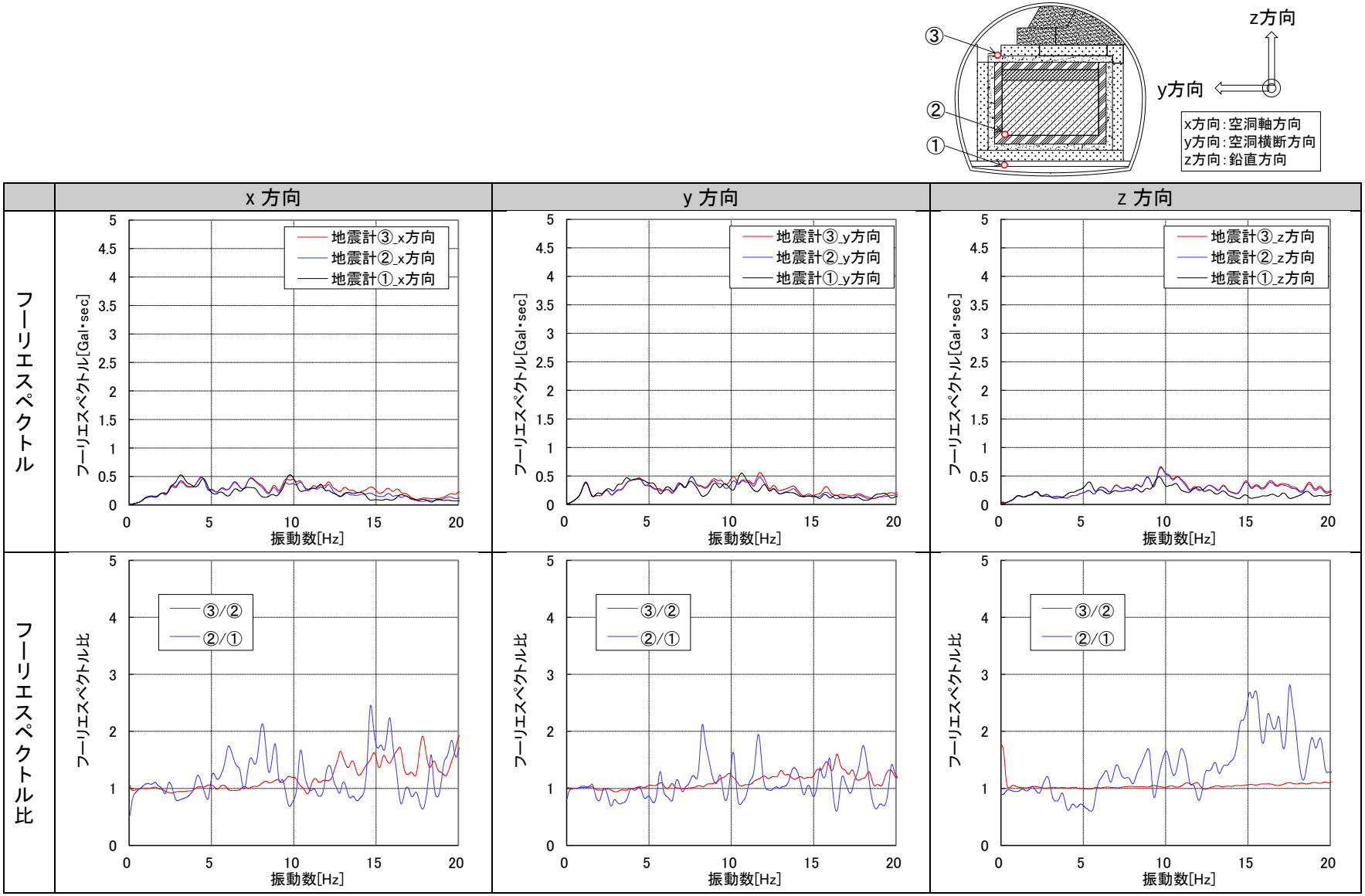
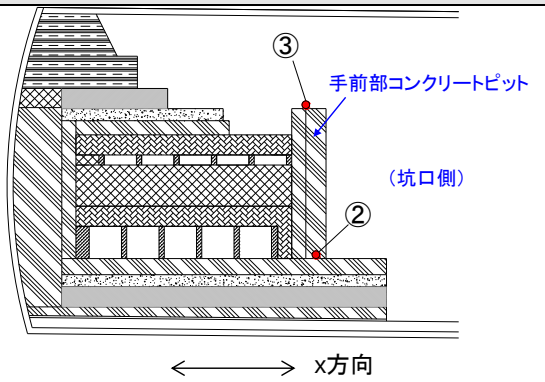
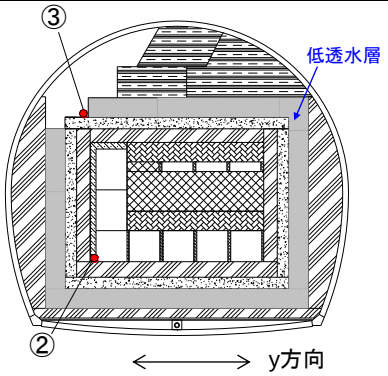


図 3.2-71　加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比（2018 年 12 月 3 日）

表 3.2-11　試験施設の 3 次元的構造の特徴

縦断面図	横断面図
 ・　剛性の小さい低透水層が側壁として構築されていない。 ・　地震計③が設置されている手前部コンクリートピットの坑口側には構造物がなく拘束を受けない。	 ・　側部低透水層が左右に構築されている。

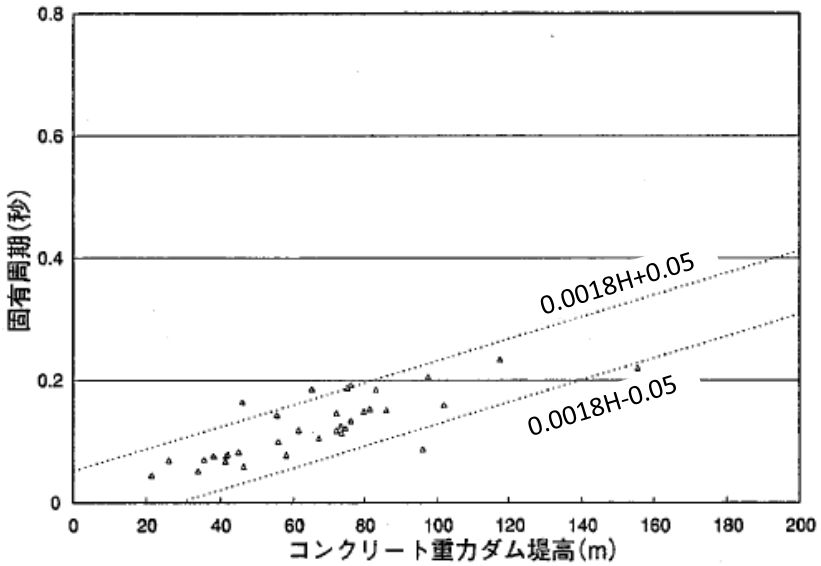


図 3.2-72　コンクリート重力ダムの固有周期と堤高の関係[11]

d. KiK-net データとの比較

(a) 概要

試験空洞（地震計①）と KiK-net 六ヶ所[12]で観測されたデータを比較する。

KiK-net 六ヶ所の詳細を表 3.2-12、試験空洞と KiK-net 六ヶ所の位置関係を図 3.2-73、ボーリング柱状図を図 3.2-74 に示す。

KiK-net 六ヶ所では、地表面（標高 5m）と地下（標高-96.54m）で観測を行っており、地下の標高は、地震計①が設置してある試験空洞底盤（標高約-94m）と標高が近く、比較分析できるものと考えられる。ただし、図 3.2-73 に示すように、試験空洞と KiK-net 六ヶ所間は約 1.5km 離れており、両者の地質・地層構成が異なる可能性があるため、両者の観測データを同等に扱うことには注意する必要がある。

ここでは、試験空洞と KiK-net 六ヶ所で観測された地震動データを比較することにより、両者の観測データの傾向や特徴を分析することとする。

分析の結果、最大加速度及びフーリエスペクトルは、地震計①と KiK-net 六ヶ所で概ね同様の傾向となることがわかった。よって、試験空洞における地震動観測データの妥当性を検討する場合、KiK-net 六ヶ所の観測データと比較して評価する方法が有効であると考えられる。

表 3.2-12　KiK-net 六ヶ所の詳細[12]

項目	内容
データ種別	KiK-net
観測点コード	AOMH06
観測点名	六ヶ所（青森県）
設置位置	北緯 40.9664 度、東経 141.3738 度 （六ヶ所村役場駐車場）
設置高さ	地表面（標高 5m）及び地下（標高-96.54m）
設置方位	北から 5° 時計回りに回転

(C)ZENRIN.CO.LTD（Z18BB 第 2094 号）

図 3.2-73　試験空洞と KiK-net 六ヶ所の位置関係

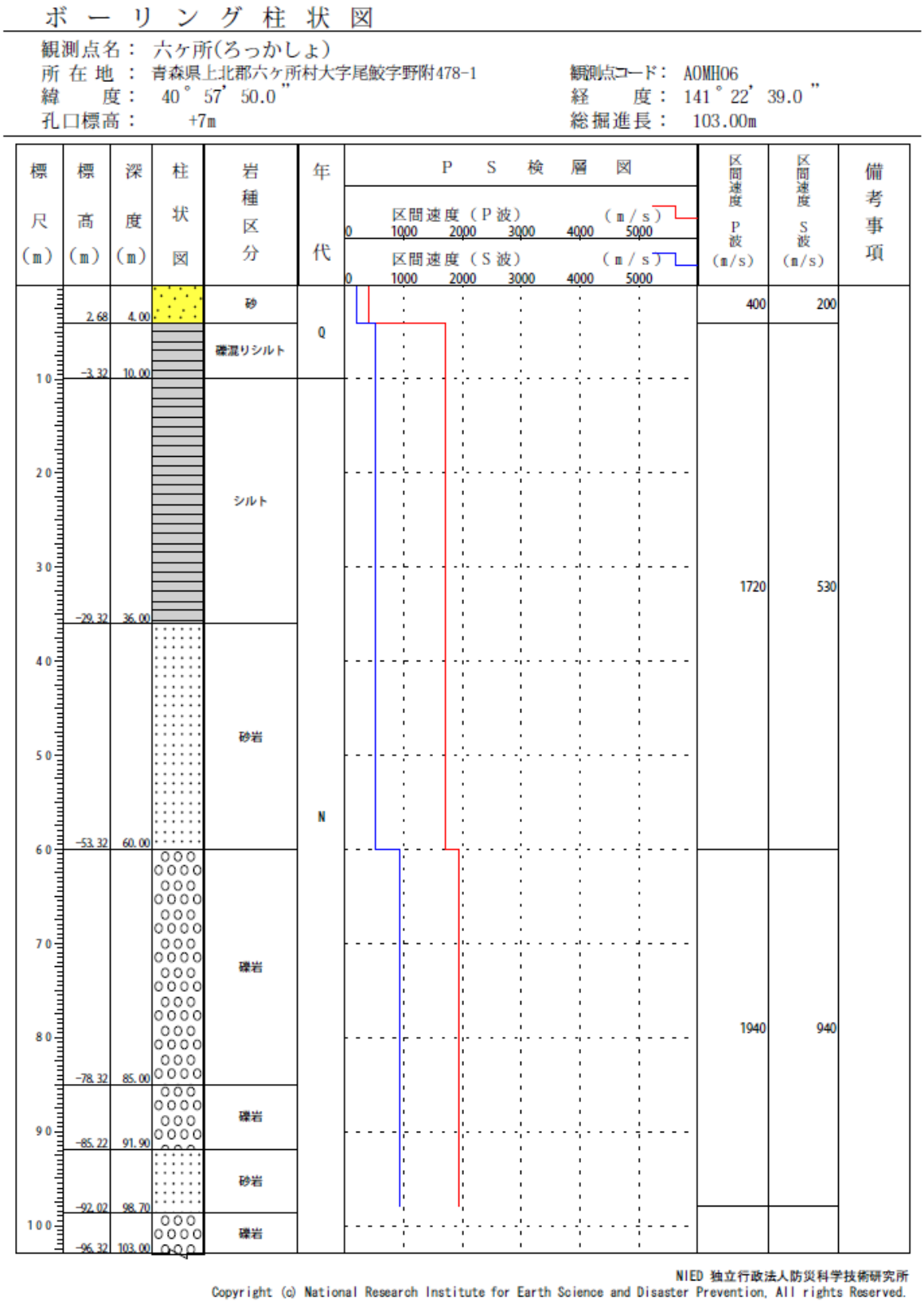


図 3.2-74　KiK-net 六ヶ所のボーリング柱状図[12]

なお、KiK-net 六ヶ所と試験空洞における地震計の計測方向は異なるため、既往文献[13]よる方法を用いて KiK-net 六ヶ所データの方位補正を行った。

図 3.2-75 に示すように、KiK-net 六ヶ所の方位は北から時計回りに 5° 回転、試験空洞の軸方向は北から反時計回りに 49° 回転している。よって KiK-net 六ヶ所データを反時計回りに 54° 回転して、試験空洞の軸方向に合わせた方位補正を行う。

補正前の N-S 成分及び E-W 成分をそれぞれ N(t)、E(t)とし、補正後の N-S 成分及び E-W 成分をそれぞれ N'(t)、E'(t)とする。方位が時計回りに α° 回転したとすると、

$$\begin{pmatrix} N'(t) \\ E'(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N(t) \\ E(t) \end{pmatrix}$$

の関係がある。ここで t は時間である。

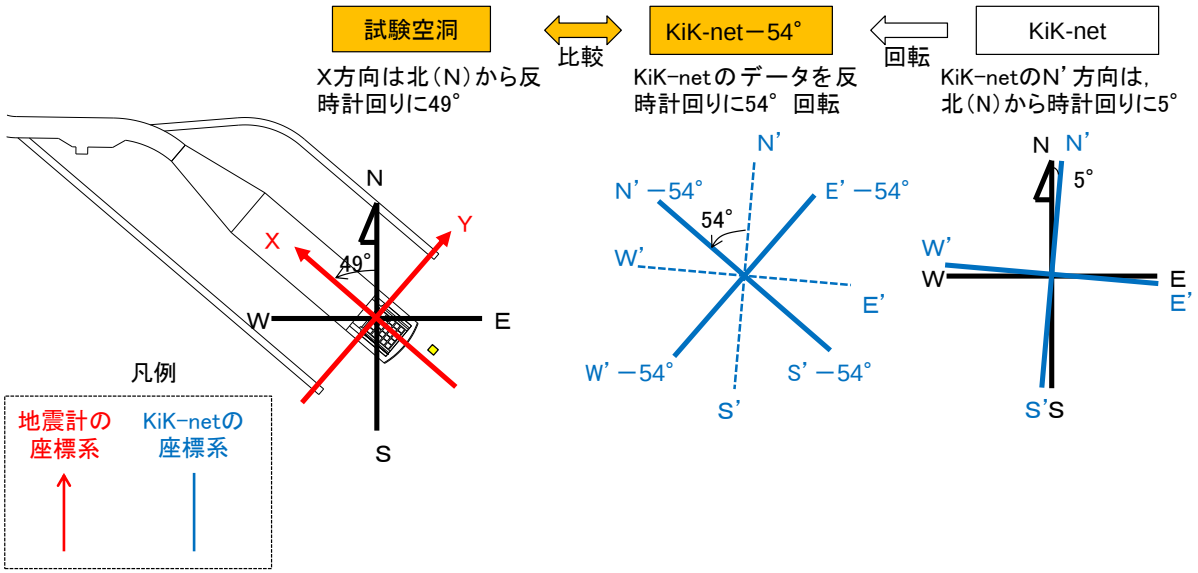
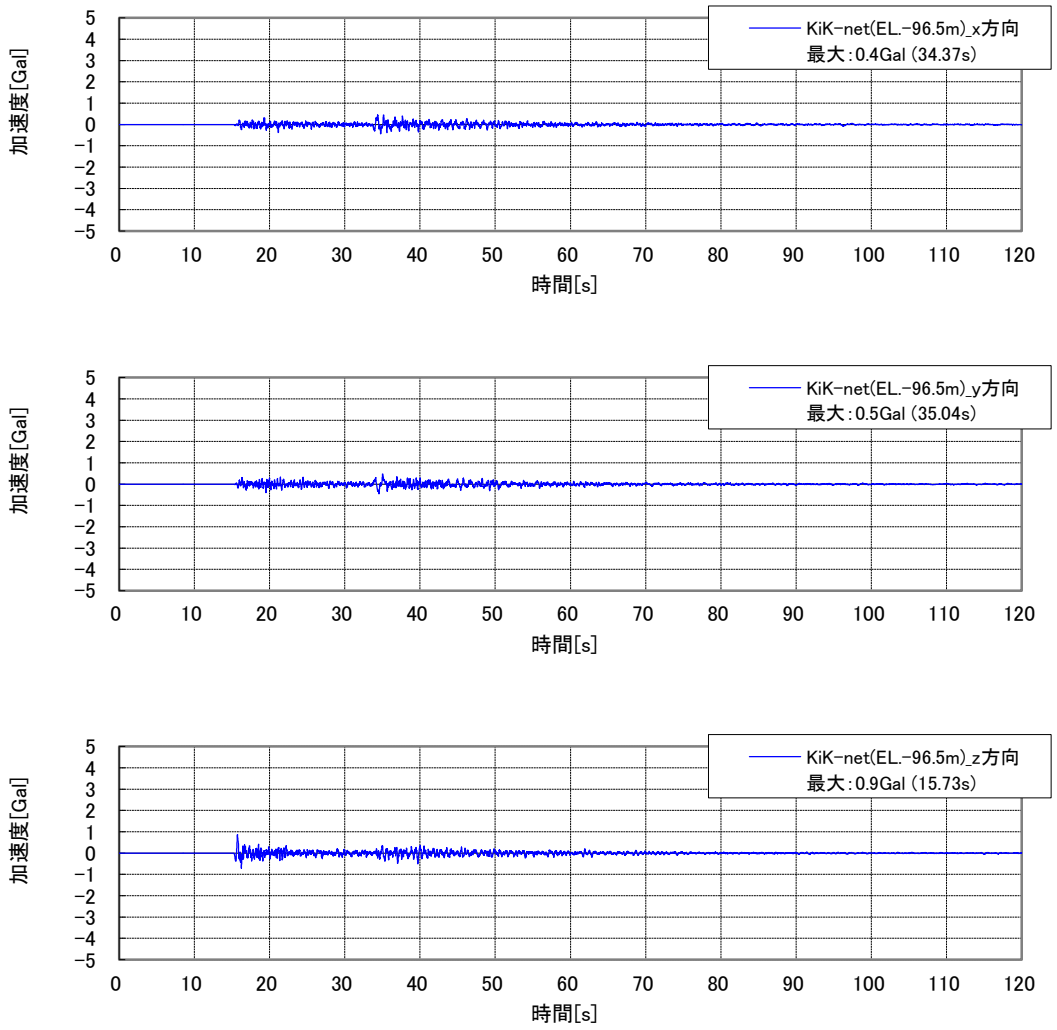


図 3.2-75　KiK-net 六ヶ所と試験空洞の方位

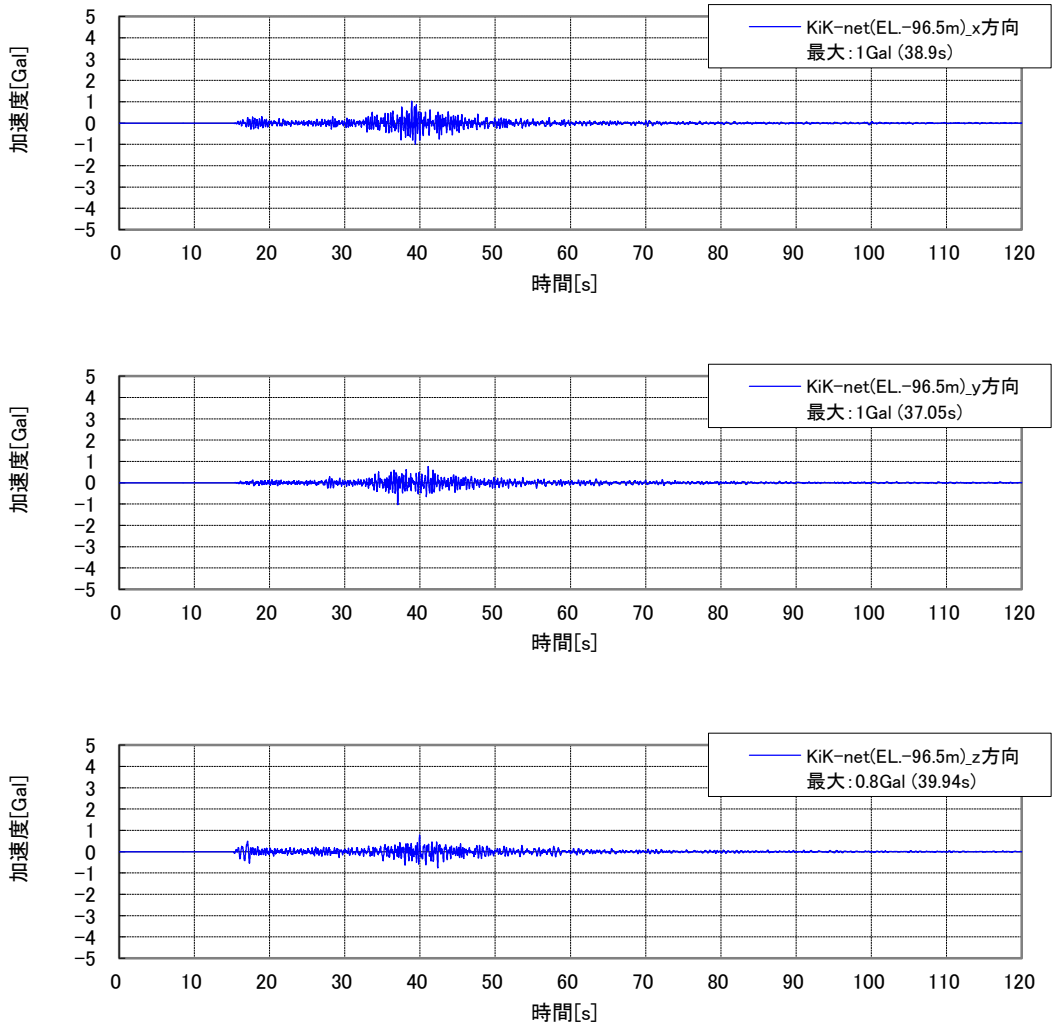
(b) 地震動観測データ

地震計①（標高約-94m）の標高に近い KiK-net 六ヶ所の地下（標高-96.54m）の観測データを図 3.2-76～図 3.2-85 に示す。なお、2018/8/5、2018/9/11 の地震動データは、KiK-net 六ヶ所では観測されていなかった。



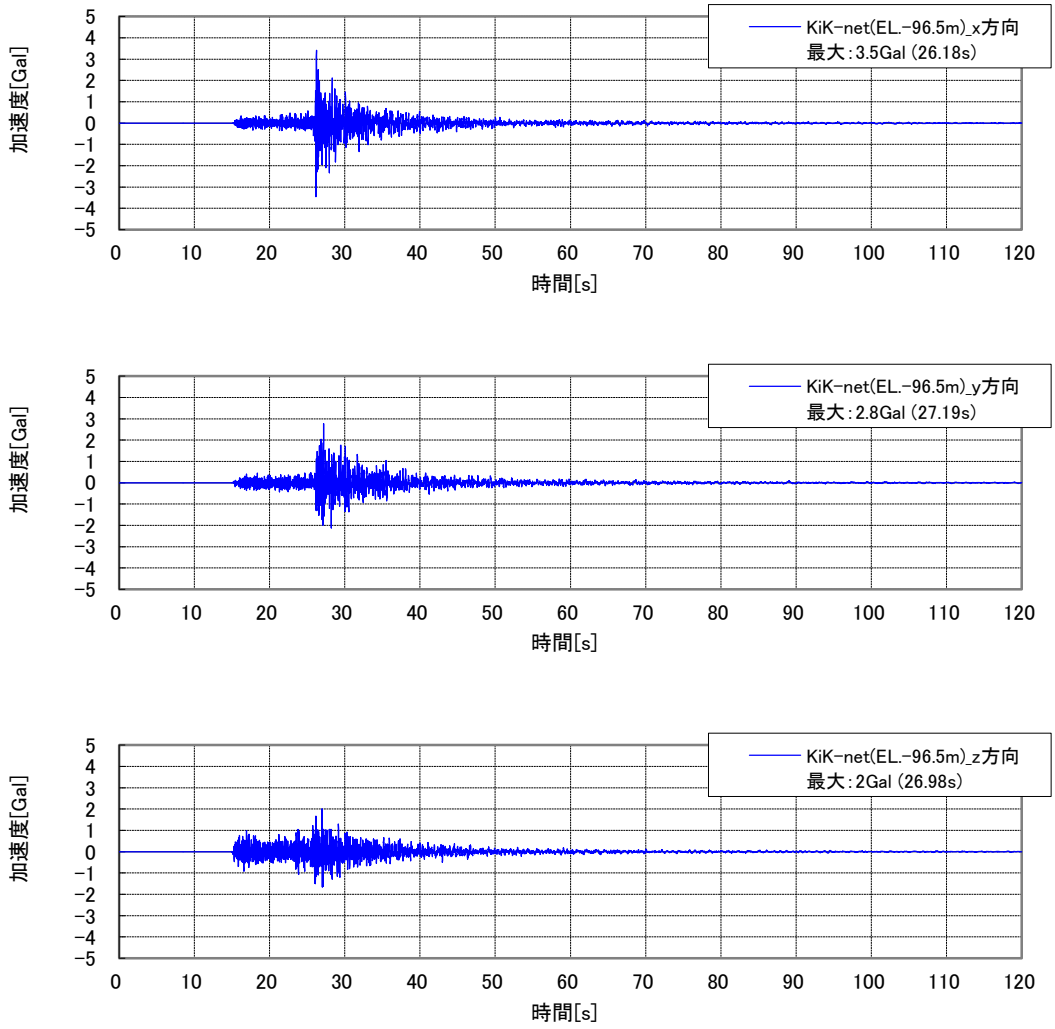
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 3.2-76　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 5 月 7 日）



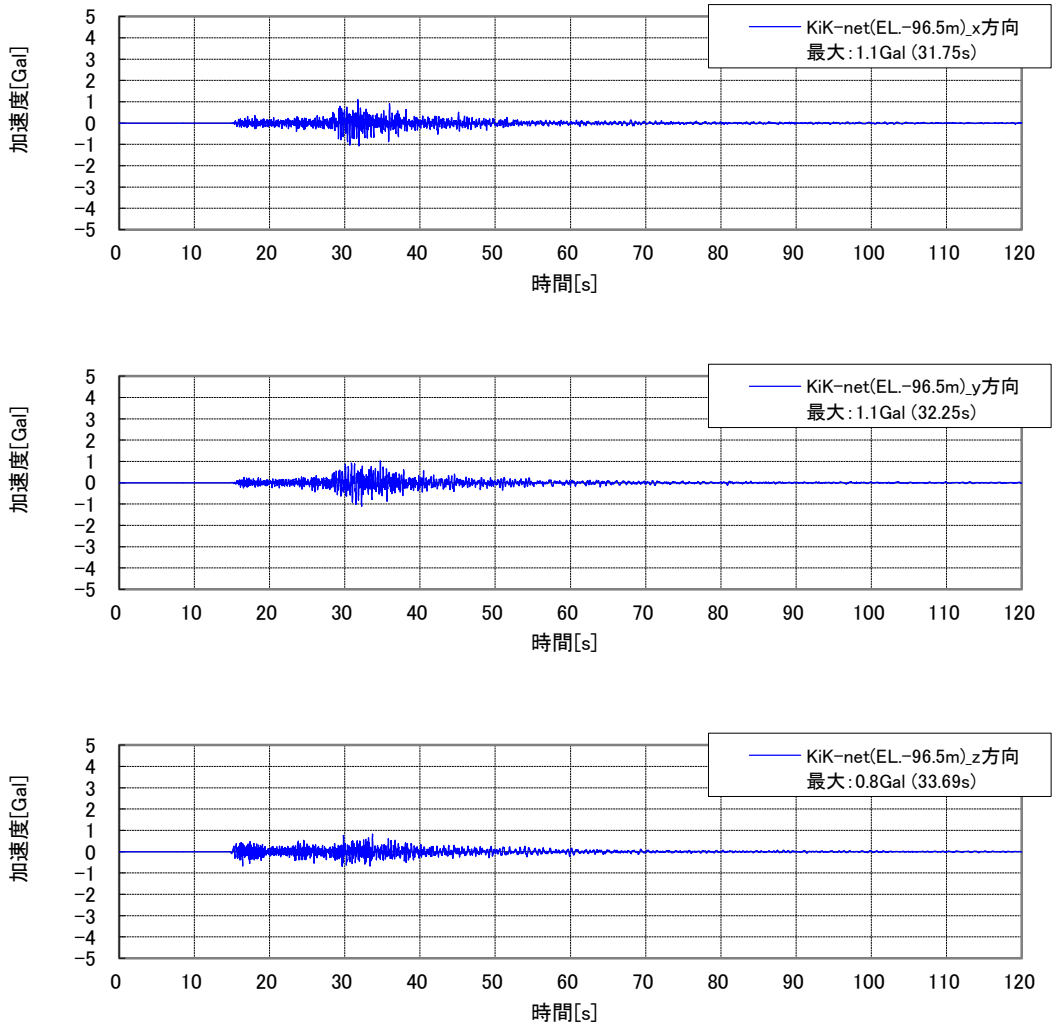
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 3.2-77　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 5 月 14 日）



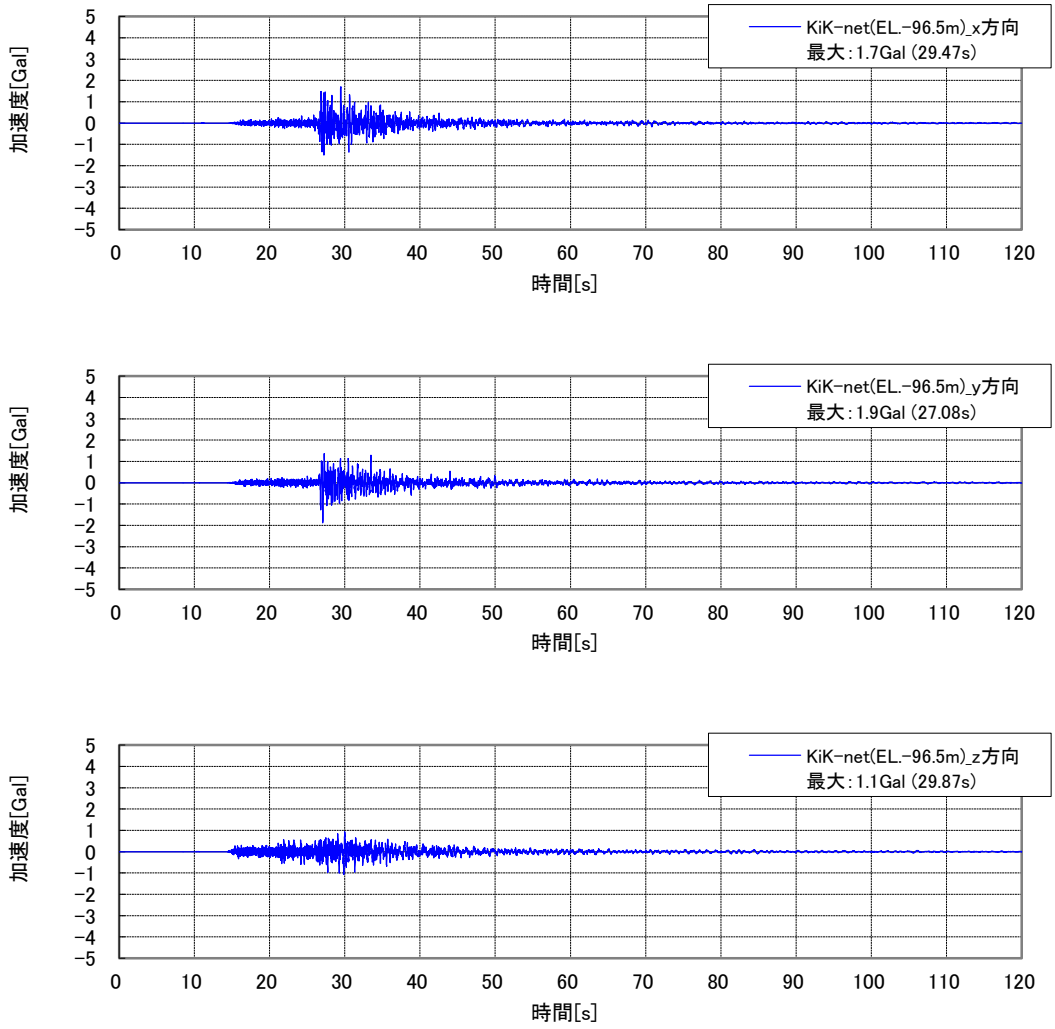
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 3.2-78　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 7 月 2 日（1））



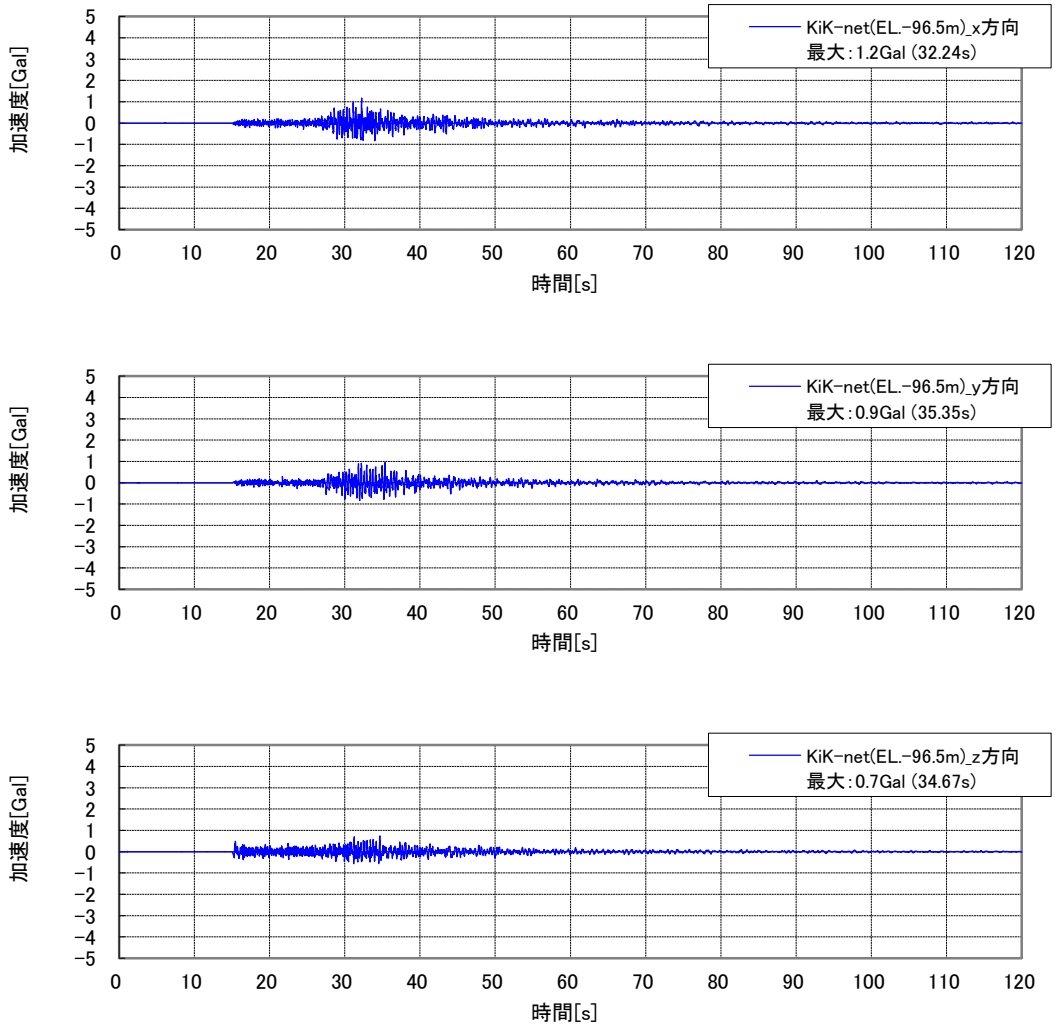
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 3.2-79　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 7 月 2 日（2））



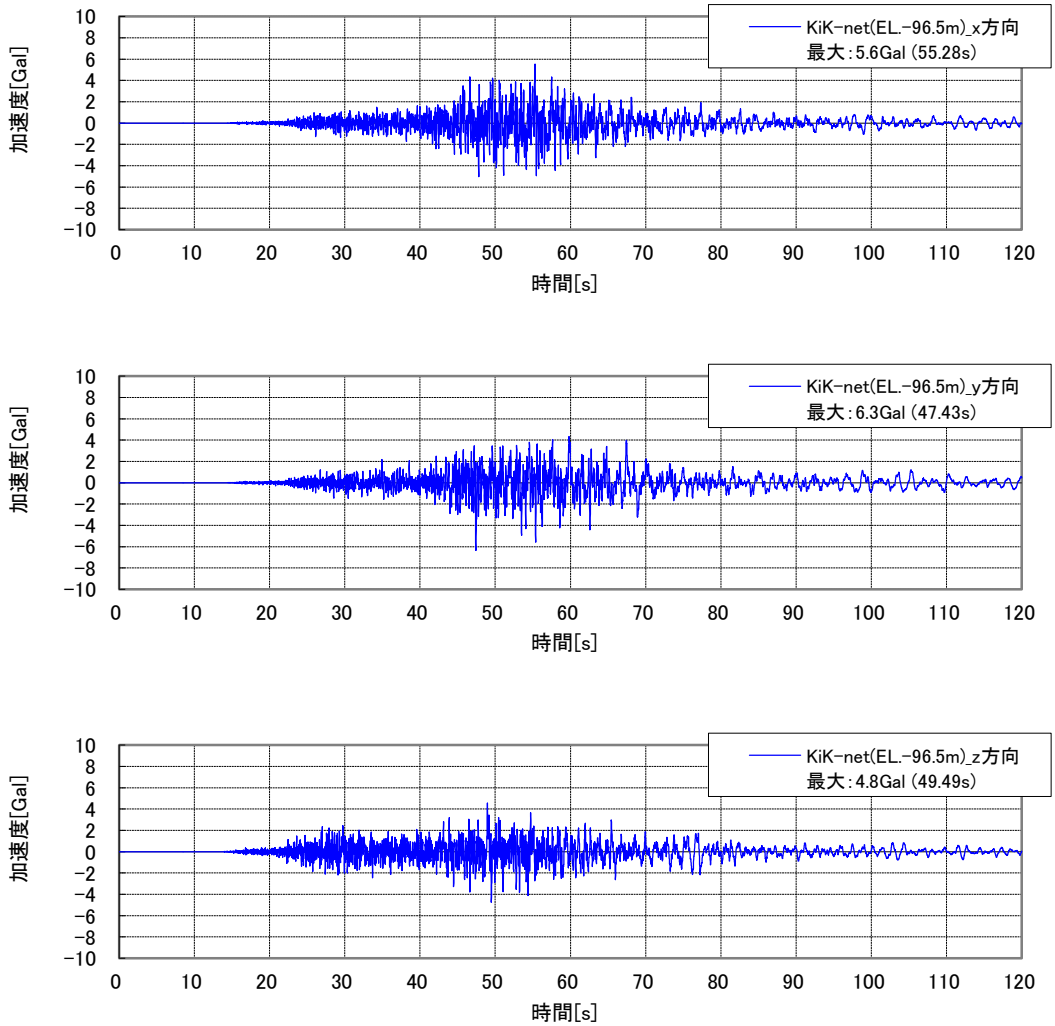
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 3.2-80　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 7 月 10 日）



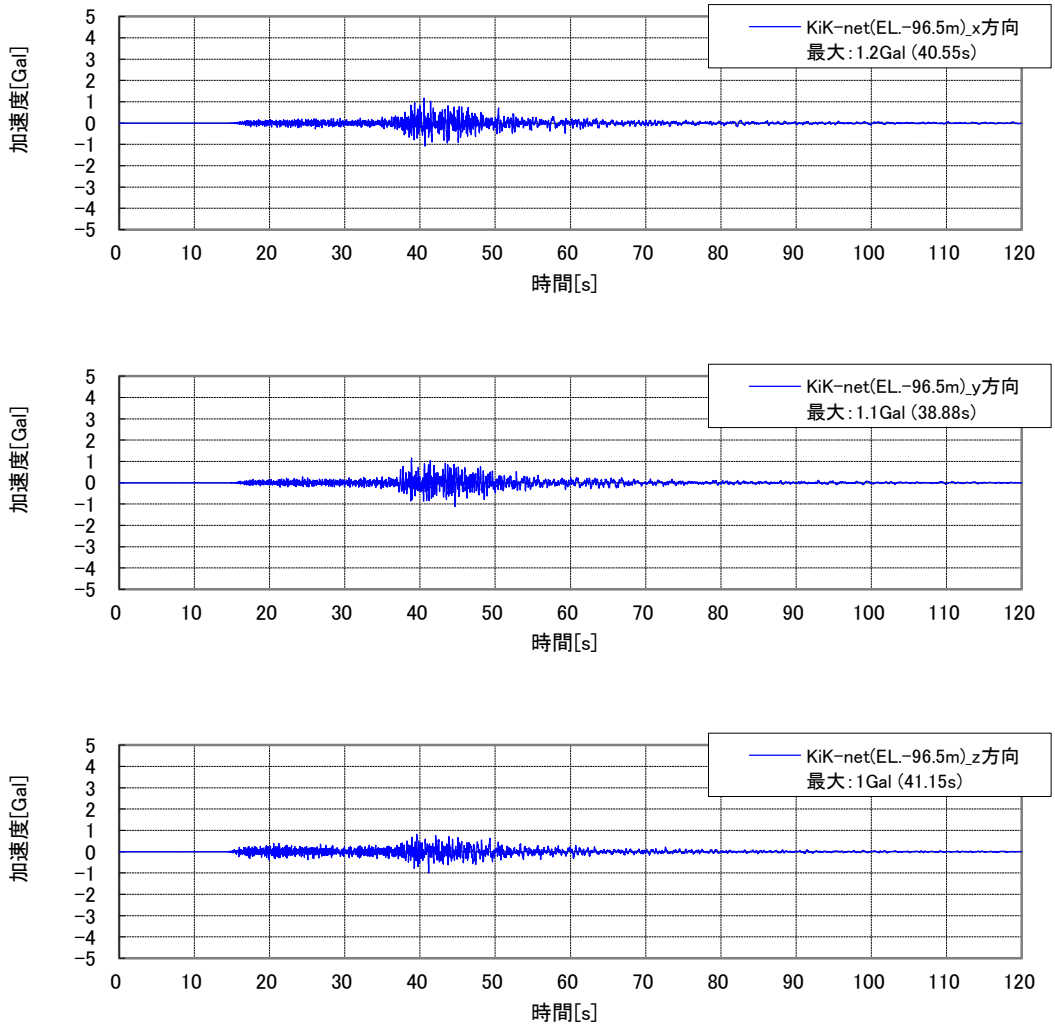
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 3.2-81　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 8 月 24 日）



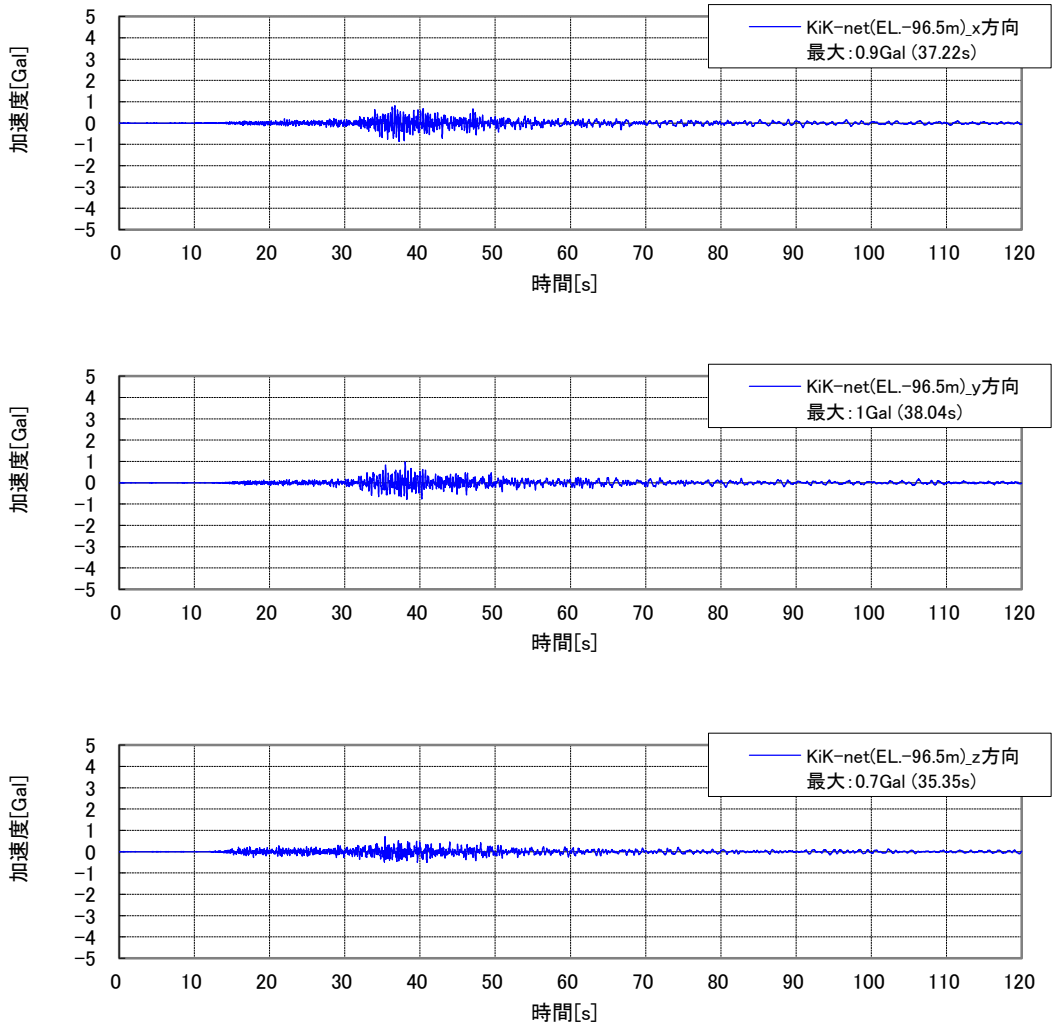
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 3.2-82　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 9 月 6 日（1））



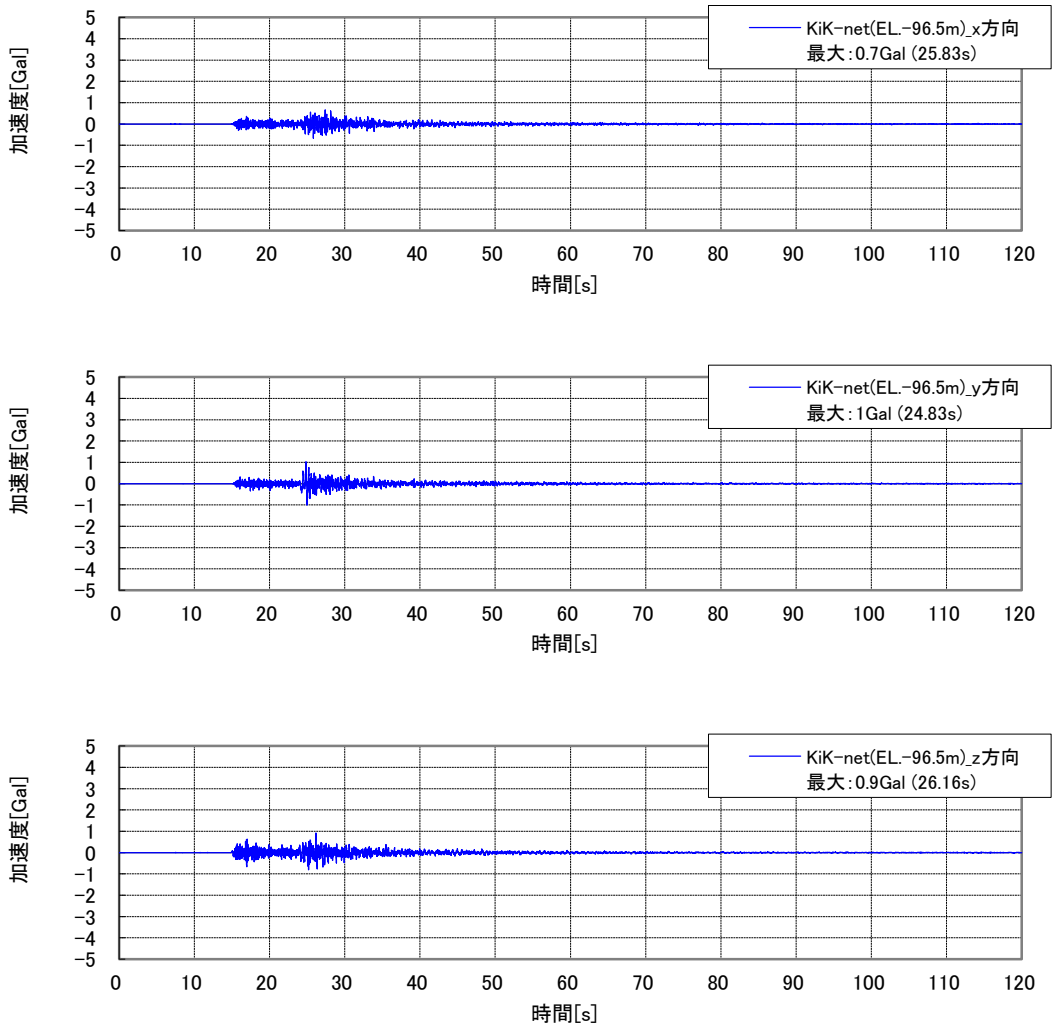
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 3.2-83　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 9 月 6 日（2））



※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 3.2-84　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 11 月 28 日）



※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 3.2-85　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2018 年 12 月 3 日）

(c) 最大加速度

地震計①（標高約-94m）と KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）で観測されたデータの最大加速度一覧を表 3.2-13 に、各観測日の最大加速度比較を図 3.2-86、図 3.2-87 に示す。表 3.2-13 より、各計測方向の最大加速度は地震計①の方が KiK-net 六ヶ所より概ね大きくなる傾向が見られる。また、図 3.2-86、図 3.2-87 より、各観測日における最大加速度の計測方向に対する分布は、地震計①と KiK-net 六ヶ所で概ね同様の傾向となっている。

地震計を設置している試験空洞と KiK-net 六ヶ所では、地質条件や計測条件が異なるため、観測データを一概に比較はできないが、大きな差異はないものと考えられる。

表 3.2-13　地震計①と KiK-net 六ヶ所の観測地震動の最大加速度一覧

観測日	計測方向	最大加速度[Gal]		差分[Gal] (地震計①)-(KiK-net)
		地震計① (標高:-約94m)	KiK-net (標高:-96.54m)	
2018/5/7	x	1.0	0.4	0.6
	y	0.8	0.5	0.3
	z	1.5	0.9	0.6
2018/5/14	x	1.5	1.0	0.5
	y	1.1	1.0	0.1
	z	0.8	0.8	0.0
2018/7/2(1)	x	3.4	3.5	-0.1
	y	3.5	2.8	0.7
	z	2.3	2.0	0.3
2018/7/2(2)	x	2.0	1.1	0.9
	y	2.1	1.1	1.0
	z	1.2	0.8	0.4
2018/7/10	x	2.8	1.7	1.1
	y	3.0	1.9	1.1
	z	1.5	1.1	0.4
2018/8/24	x	1.4	1.2	0.2
	y	1.5	0.9	0.6
	z	0.9	0.7	0.2
2018/9/6(1)	x	5.3	5.6	-0.3
	y	8.9	6.3	2.6
	z	5.1	4.8	0.3
2018/9/6(2)	x	1.5	1.2	0.3
	y	1.7	1.1	0.6
	z	1.1	1.0	0.1
2018/11/28	x	1.3	0.9	0.4
	y	1.4	1.0	0.4
	z	1.0	0.7	0.3
2018/12/3	x	2.3	0.7	1.6
	y	2.5	1.0	1.5
	z	1.6	0.9	0.7

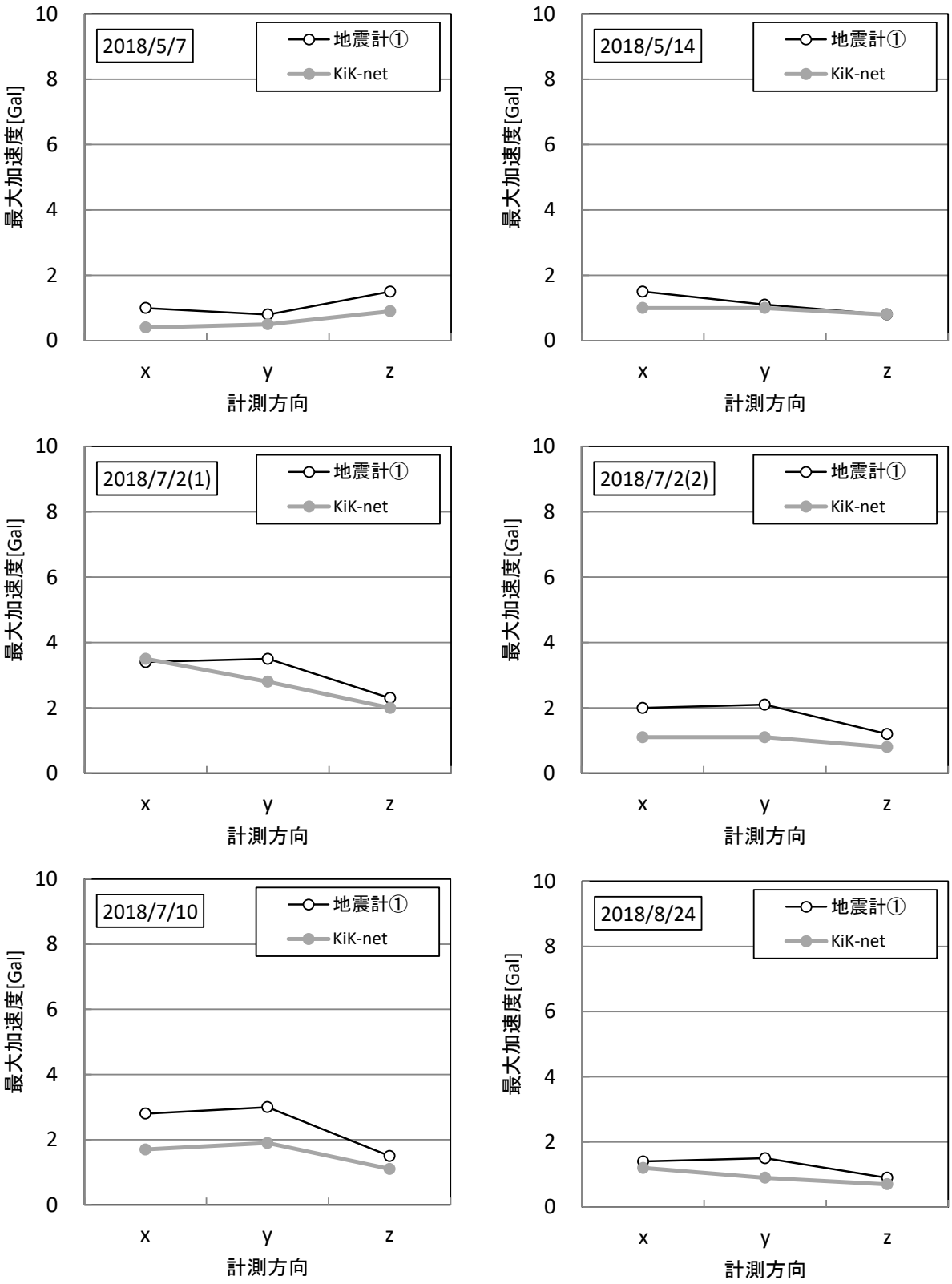


図 3.2-86　地震計①と KiK-net 六ヶ所の観測地震動の最大加速度（その 1）

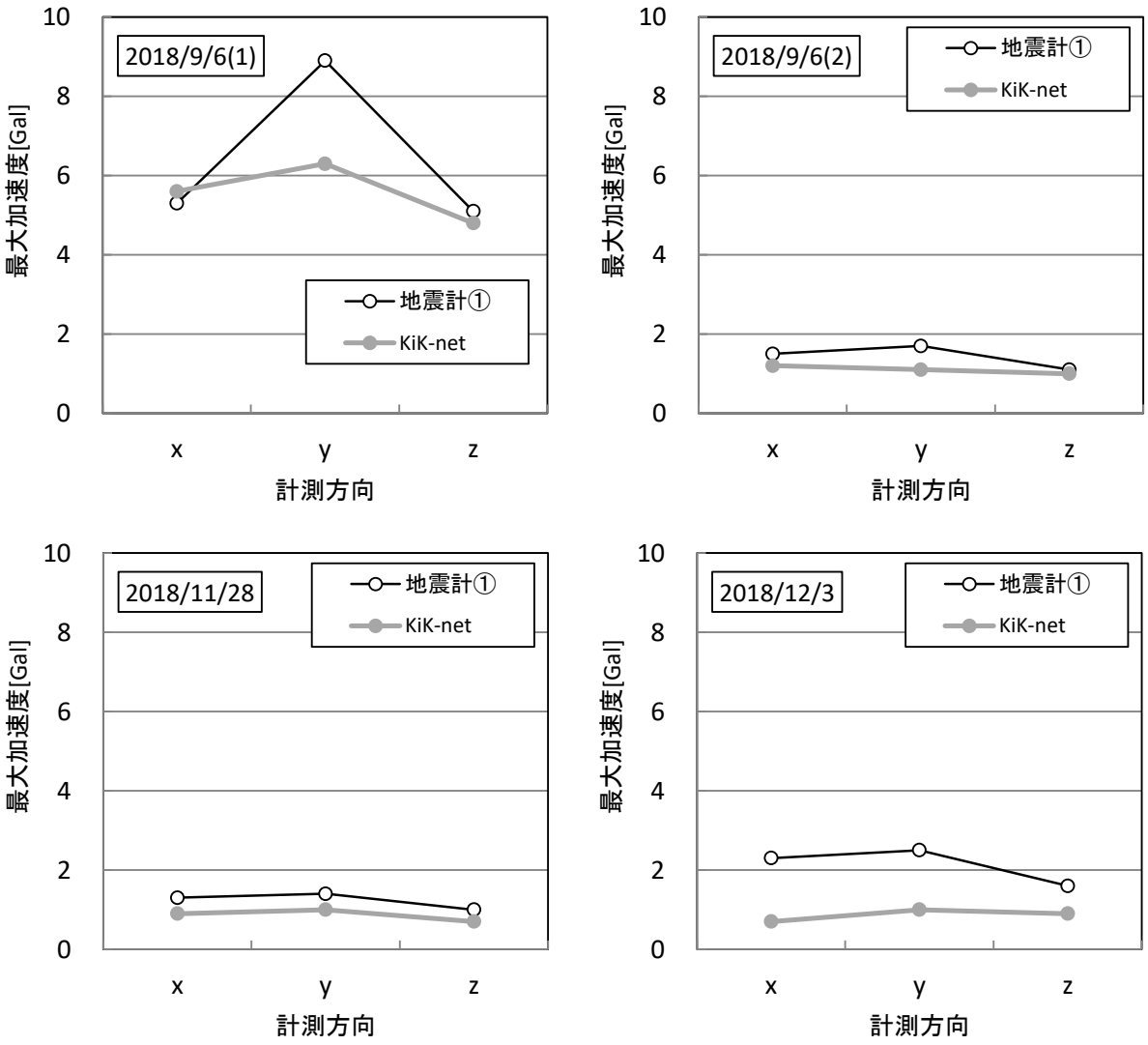
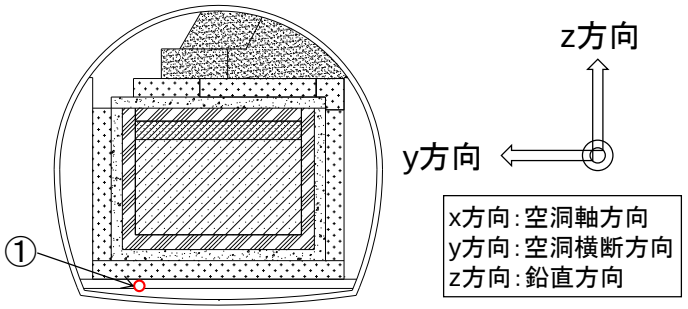


図 3.2-87　地震計①と KiK-net 六ヶ所の観測地震動の最大加速度（その 2）

(d) フーリエスペクトル

試験空洞底盤の地震計①（標高約-94m）と KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（加速度）のフーリエスペクトルを図 3.2-88～図 3.2-97 に示す。

フーリエスペクトルは、いずれの観測日及び計測方向においても、0～3Hz 程度の低振動数帯で地震計①と KiK-net 六ヶ所は近い値となっている。3Hz 以上では、両者のフーリエスペクトル値は乖離し、概ね地震計①の方が大きくなる。この乖離は、地震計①の観測データには、試験空洞の振動特性の影響が現れていることが主たる原因と考えられる。また、図 3.2-73 に示すように約 1.5km 離れている試験空洞と KiK-net 六ヶ所の地質・地層構成の違いも原因の一つと考えられる。



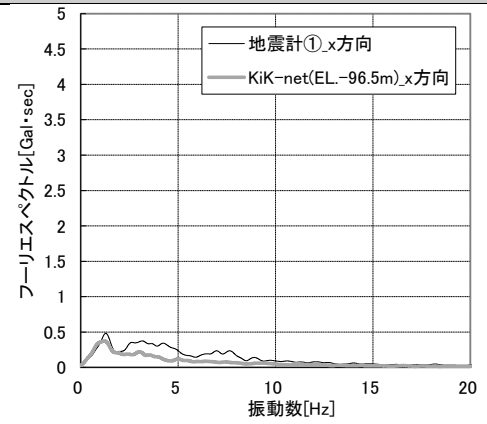
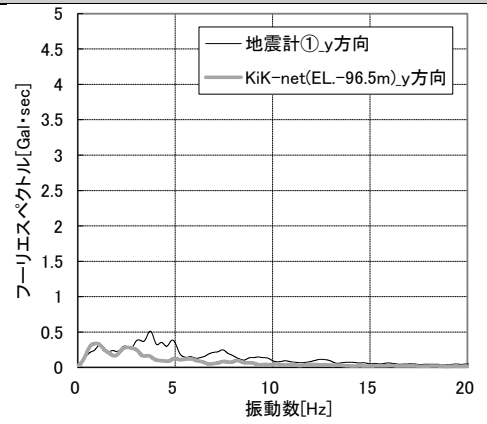
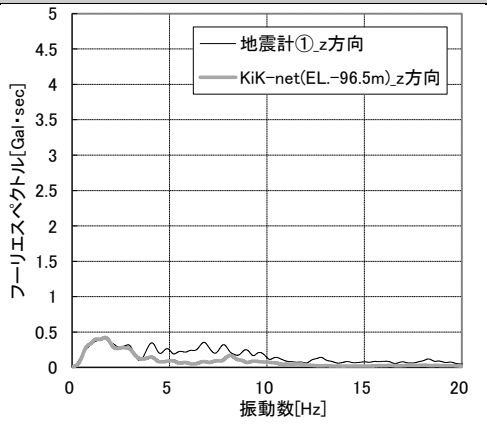
	x 方向	y 方向	z 方向
フーリエスペクトル			

図 3.2-88　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 5 月 7 日）

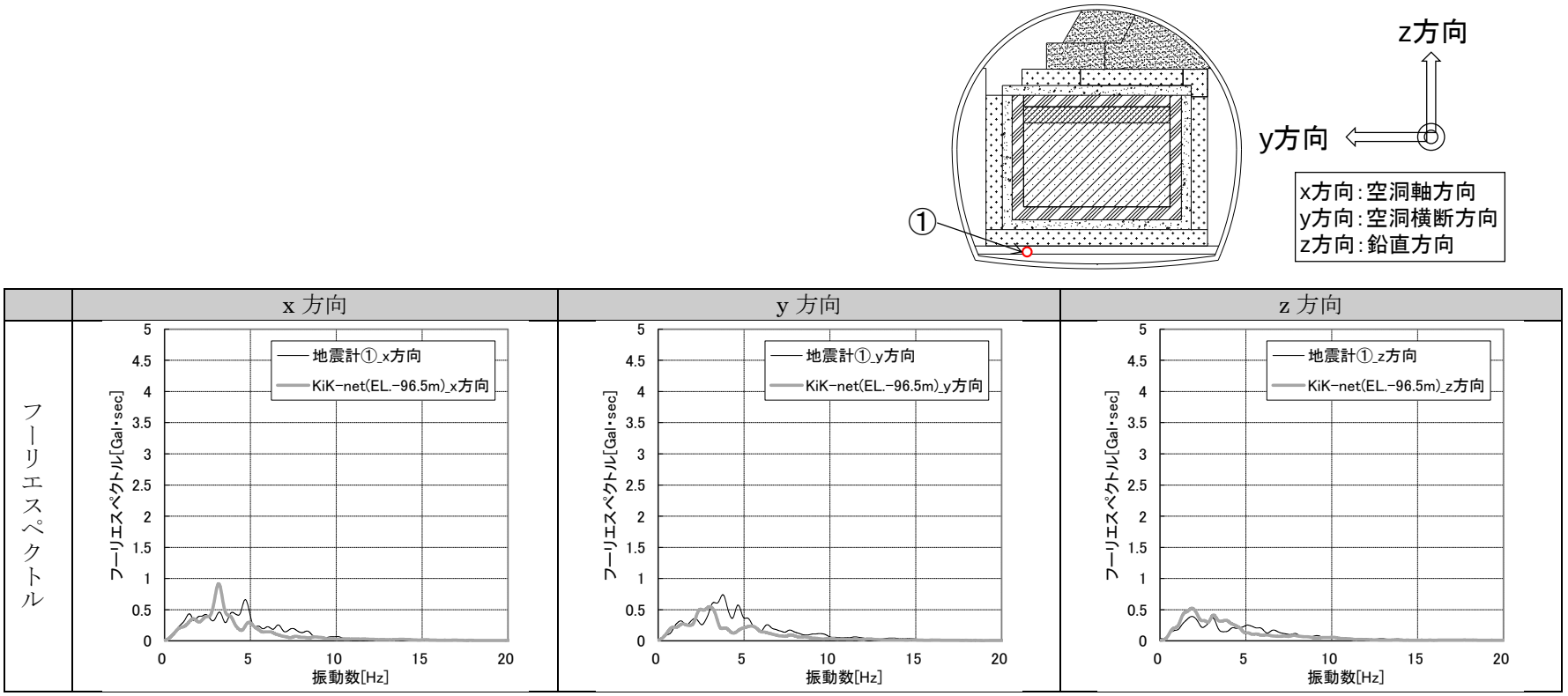
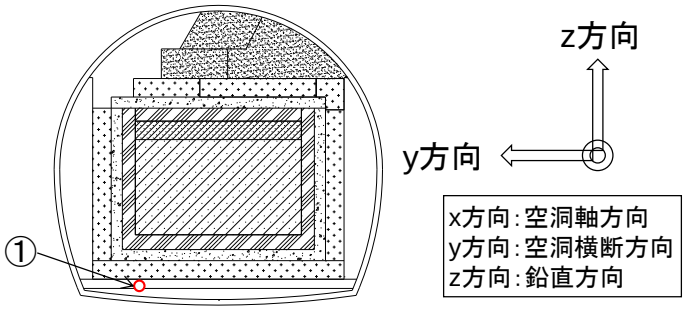


図 3.2-89　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 5 月 14 日）



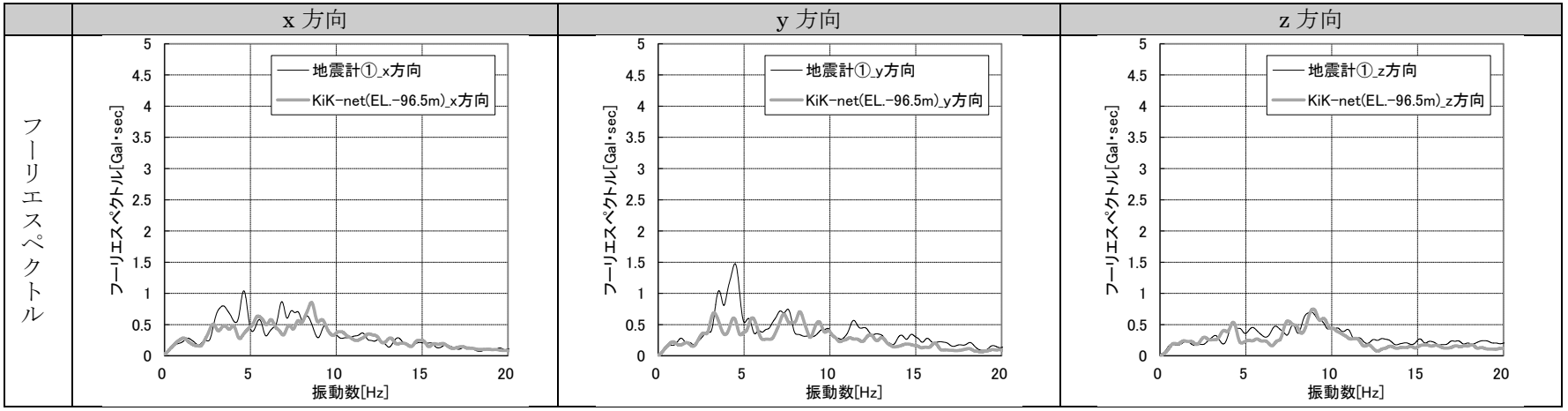
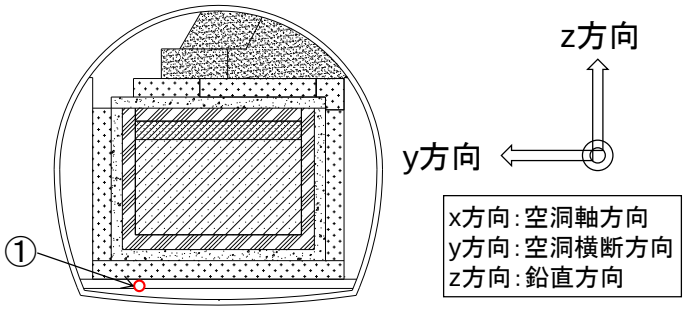


図 3.2-90　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 7 月 2 日（1））



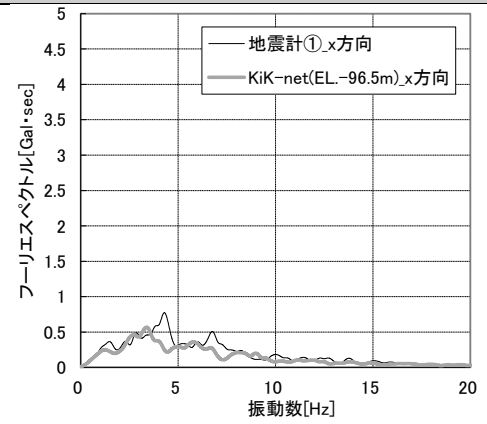
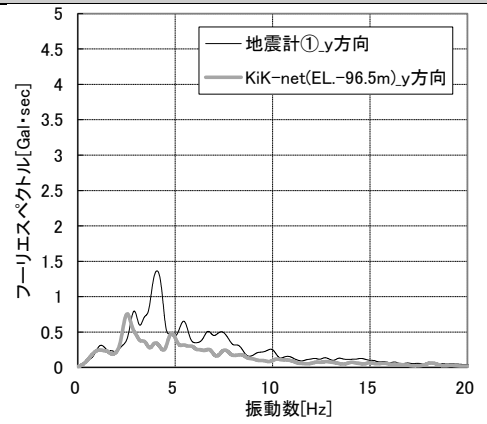
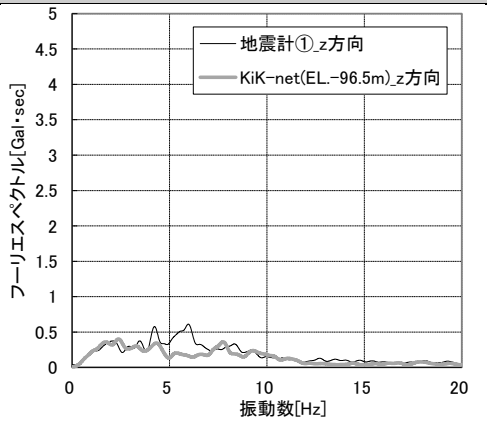
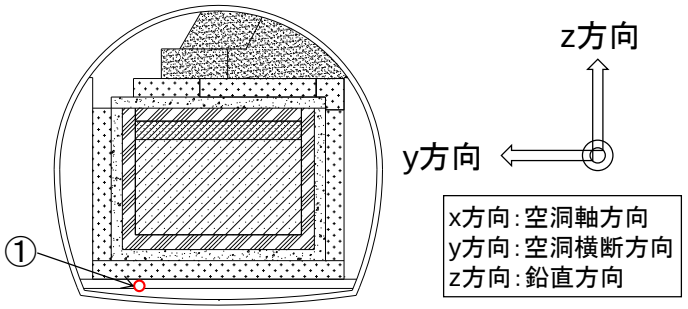
	x 方向	y 方向	z 方向
フーリエスペクトル			

図 3.2-91　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 7 月 2 日（2））



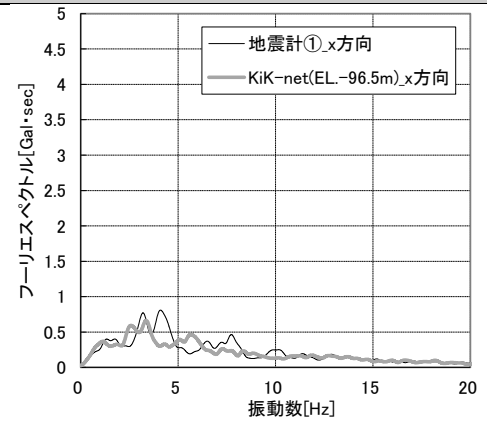
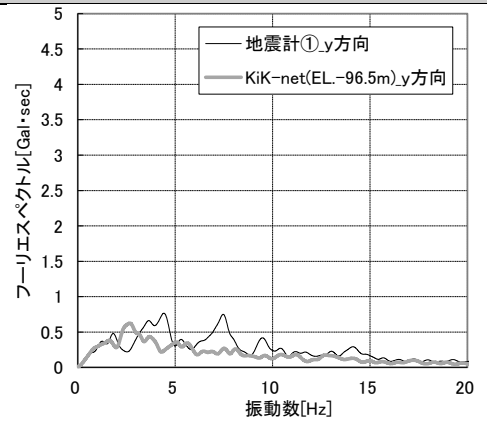
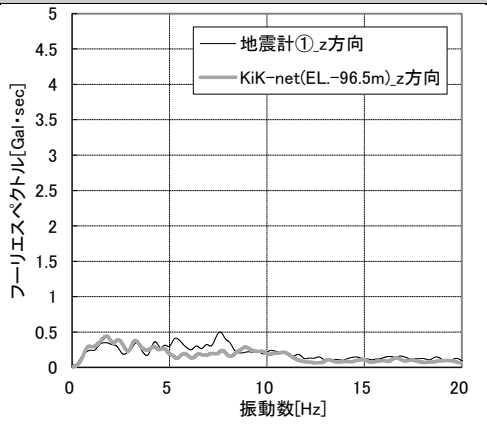
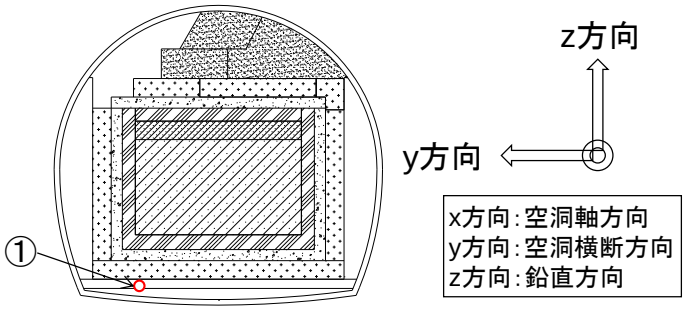
	x 方向	y 方向	z 方向
フーリエスペクトル			

図 3.2-92　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 7 月 10 日）



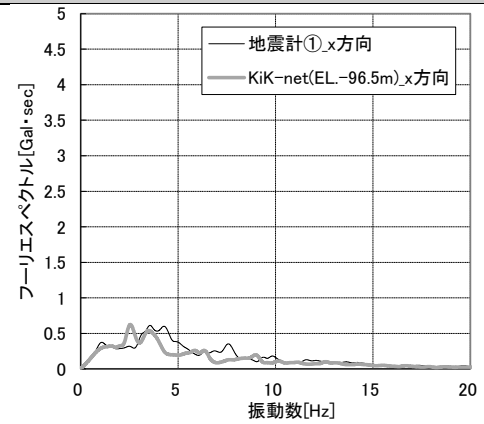
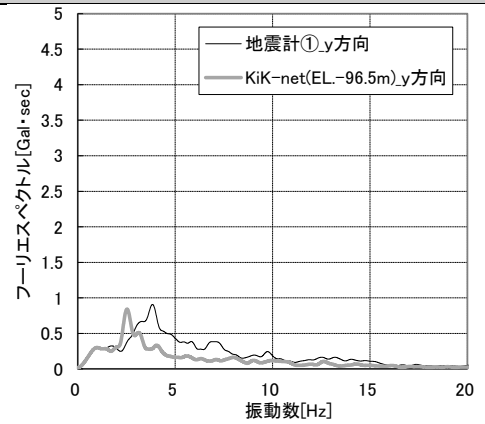
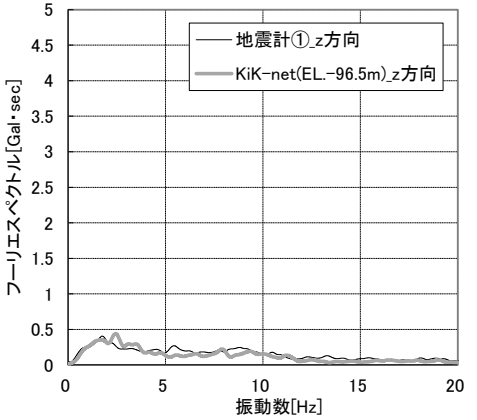
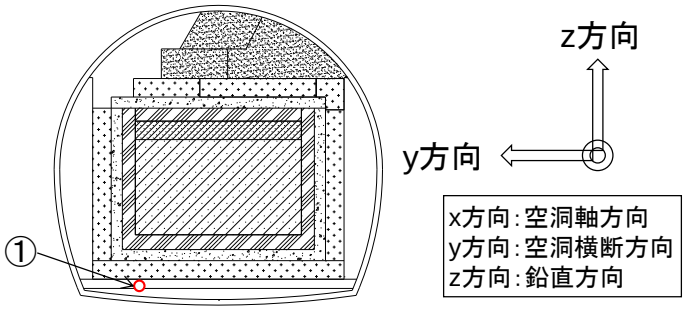
	x 方向	y 方向	z 方向
フーリエスペクトル			

図 3.2-93　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 8 月 24 日）



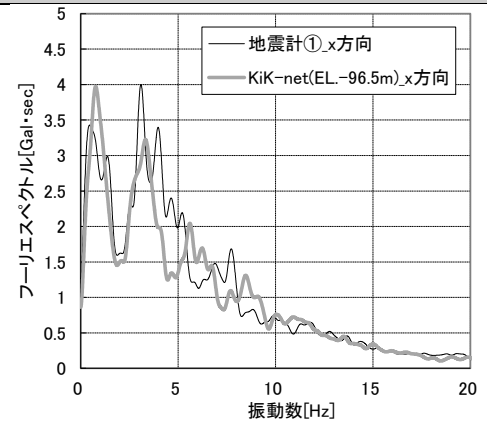
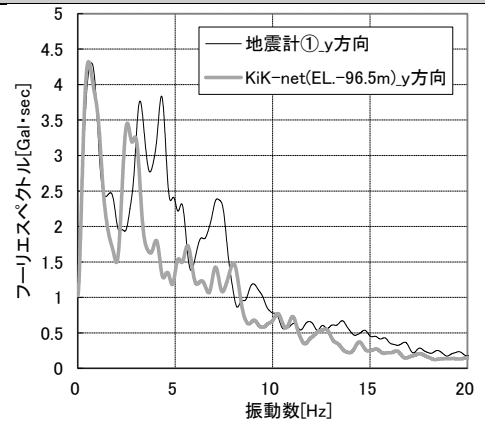
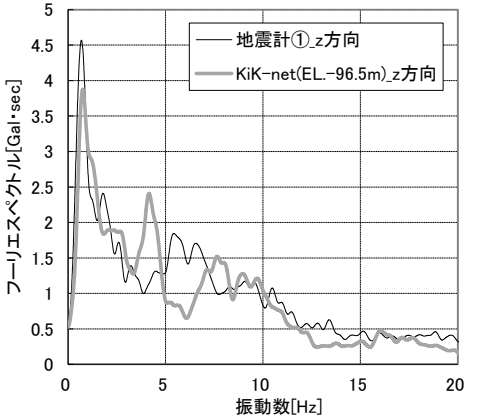
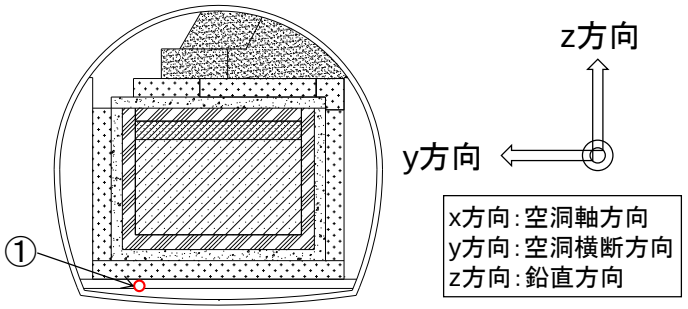
	x 方向	y 方向	z 方向
フーリエスペクトル			

図 3.2-94　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 9 月 6 日（1））



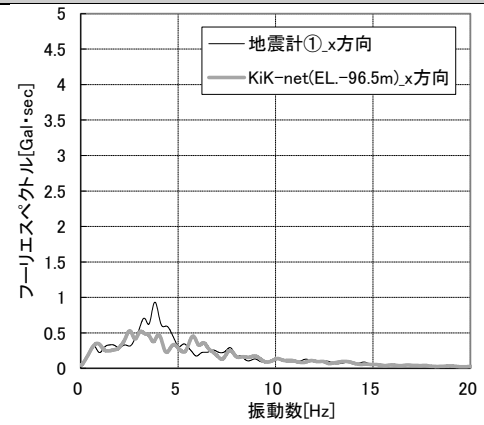
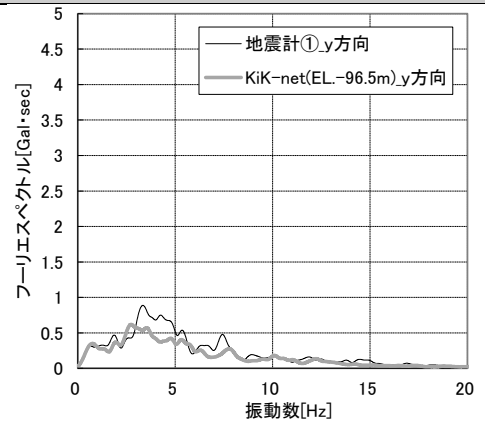
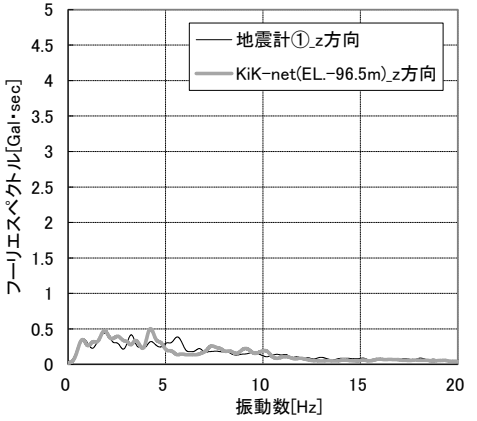
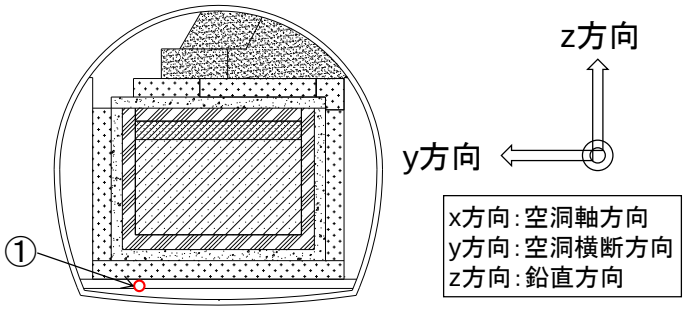
	x 方向	y 方向	z 方向
フーリエスペクトル			

図 3.2-95　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 9 月 6 日（2））



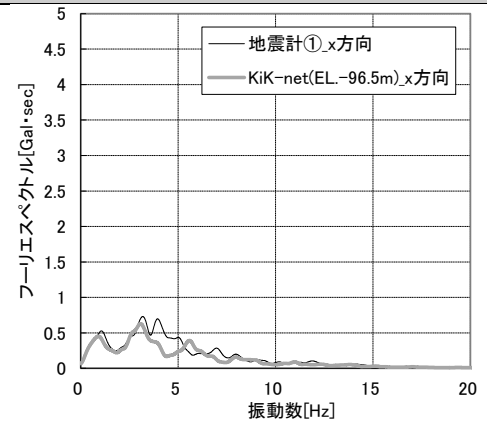
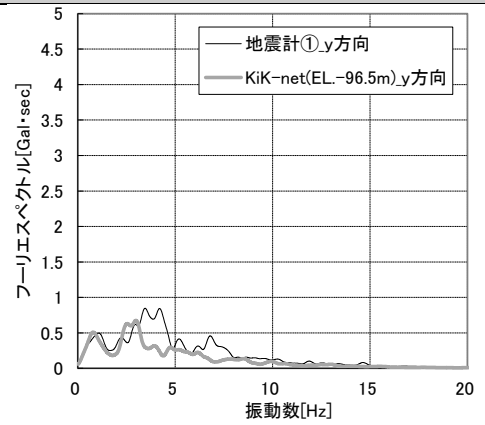
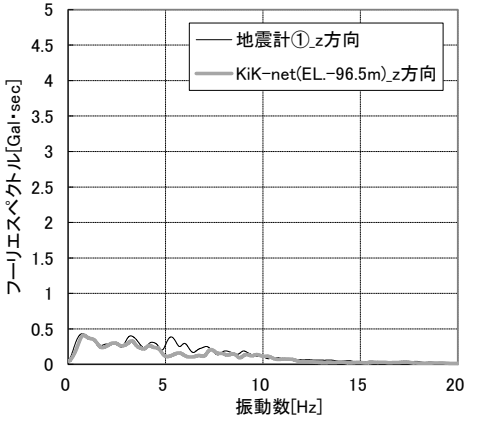
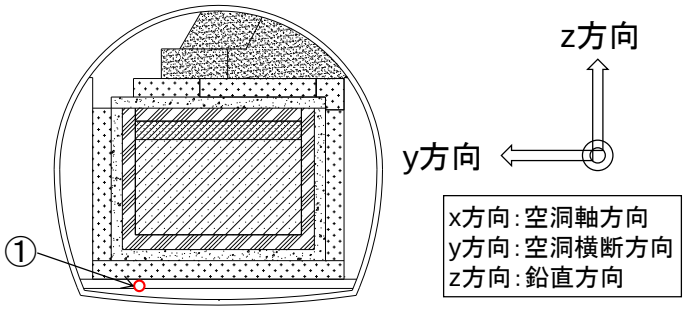
	x 方向	y 方向	z 方向
フーリエスペクトル			

図 3.2-96　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 11 月 28 日）



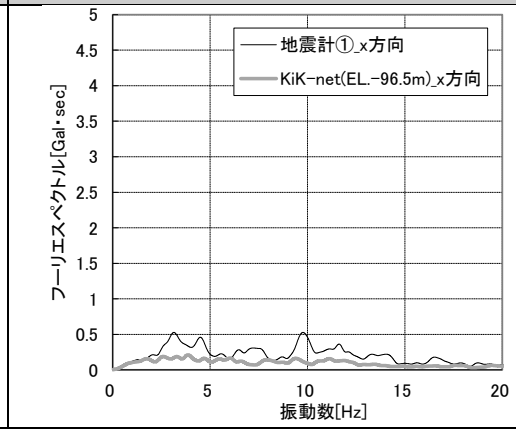
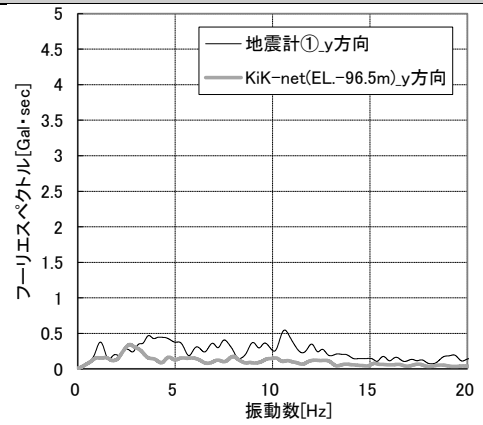
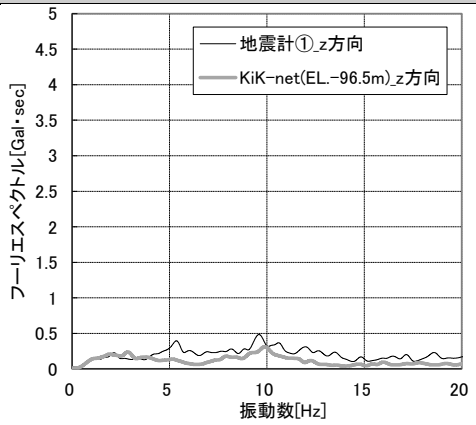
	x 方向	y 方向	z 方向
フーリエスペクトル			

図 3.2-97　加速度のフーリエスペクトル（2018 年 12 月 3 日）

(3) 解析による地震時の挙動の評価

【目的】

入力地震動の特徴の違いが試験施設の応答性状に与える影響を分析評価する。

【まとめ】

- 今年度（平成 30 年度）は、試験施設に設置した地震計の観測データの中から、試験施設の変形特性及び発生応力に与える影響が大きいと考えられる地震動を選定し、地震応答解析を実施した。
- 平成 30 年度と平成 26 年度で選定したの地震動は、いずれも固有振動数が 15Hz 程度の試験施設の振動特性に与える影響は小さいが、平成 30 年度の入力地震動は、試験施設の変形特性及び発生応力に与える影響は大きいことがわかった。

1) 解析条件

a. 本検討に用いる地震動の選定

既往の解析的検討より、周辺地盤の固有振動数（1Hz 程度）に近い卓越振動数を持つ地震動を入力した場合、試験施設の変形特性及び発生応力に与える影響が大きいことがわかっている。

平成 30 年 12 月まで観測された地震動の地震諸元及び地震計①の y 方向の卓越振動数と最大加速度を表 3.2-14 に整理した。また、表 3.2-14 の各項目を図化したものを図 3.2-98～図 3.2-99 に示す。

以下の理由により、平成 30 年 9 月 6 日（1）の観測地震動データを地震応答解析の入力地震動にすることとした。

- 図 3.2-98 より、平成 30 年 9 月 6 日（1）の地震動は、卓越振動数が 0.7Hz と小さく、また最大加速度（8.9Gal）は過去に観測された地震動と比較しても大きいため、試験施設の変形特性及び発生応力に与える影響が大きいと推察される。

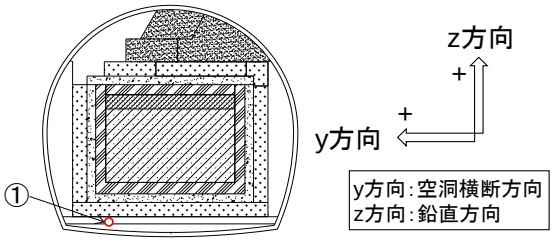


表 3.2-14　地震諸元及び観測データ（地震計①の y 方向）の整理

観測日		地震諸元				地震計① y方向		備　考
		震源深さ	震央距離	震源距離	ﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞ	卓越振動数	最大加速度	
		[km]	[km]	[km]	－	[Hz]	[Gal]	
平成25年	10月26日	56	502	505	7.1	3.8	3.1	
	11月15日	63	80	102	5.3	4.1	6.7	平成25年度選定地震動
	12月27日	38	116	122	5.0	6.4	2.3	
平成26年	5月19日	57	54	79	4.2	3.6	0.7	
	6月9日	82	20	85	4.6	4.0	4.8	
	6月15日	94	176	199	5.5	3.6	3.2	
	7月5日	49	157	164	5.9	3.5	2.8	
	7月21日	30	732	733	6.4	3.7	1.4	
	7月25日	66	88	110	4.9	7.2	4.0	
	8月10日	51	79	94	6.1	3.5	11.7	平成26年度選定地震動
	9月10日	67	104	124	4.9	3.4	4.2	
	10月3日	28	139	142	5.7	3.5	2.1	
	10月11日	36	158	162	6.1	3.8	3.3	
	10月14日	81	32	87	4.4	6.7	2.8	
	10月27日	92	62	111	4.3	10.6	1.6	平成27年度選定地震動
	11月2日	106	53	118	4.0	6.6	1.8	
平成27年	1月9日	126	418	436	5.5	4.2	1.1	
	2月17日(1)	13	197	198	6.9	0.9	4.0	
	2月17日(2)	50	117	127	5.7	3.6	2.9	
	4月30日	24	162	164	5.4	3.3	1.7	
	11月1日	65	88	110	5.2	7.4	4.3	
平成28年	1月11日(1)	10	66	66	4.6	3.7	2.3	
	1月11日(2)	38	117	123	4.4	7.3	1.6	
	1月12日	265	386	468	6.2	3.8	1.8	
	1月14日	52	163	171	6.7	3.0	12.2	
	2月2日	22	193	194	5.6	1.0	1.2	
	5月3日	44	585	586	5.9	3.3	1.2	
	5月24日	48	118	128	4.4	7.1	1.3	
	5月25日	34	88	94	4.8	5.3	2.3	
	7月16日	8	85	86	4.6	4.1	2.1	
	7月19日	66	82	105	4.5	3.8	1.6	
	7月24日	96	258	276	4.9	3.0	1.5	
	8月17日	90	57	107	3.8	3.5	1.7	
	9月26日	29	156	158	5.4	3.6	6.3	
	10月3日	67	138	153	4.5	4.4	1.2	
	11月12日	58	279	285	5.9	3.6	1.0	
	11月22日	25	403	404	7.4	0.4	1.6	平成28年度選定地震動
	11月23日	118	35	123	3.9	6.9	1.9	
平成29年	9月10日	43	154	160	5.6	4.1	2.2	
	9月27日	35	120	125	6.1	1.0	2.3	平成29年度選定地震動
	11月5日	112	83	139	4.3	3.4	2.5	
	12月2日	67	151	166	4.9	4.3	1.3	
	12月16日	52	156	164	5.5	3.6	1.8	
	12月20日	57	54	79	4.1	6.8	1.4	
平成30年	1月24日	34	91	97	6.3	3.6	6.9	
	1月28日	35	129	134	4.9	3.8	1.6	
	1月29日	37	88	95	4.4	4.2	0.7	
	5月7日	98	153	182	5.1	3.7	0.8	
	5月14日	29	149	152	5.1	3.8	1.1	
	7月2日(1)	64	83	105	4.9	4.5	3.5	
	7月2日(2)	39	114	121	5.0	4.1	2.1	
	7月10日	68	87	110	4.9	4.4	3.0	
	8月5日	62	80	101	4.2	4.3	2.0	
	8月24日	32	107	111	5.1	3.8	1.5	
	9月6日(1)	37	198	201	6.7	0.7	8.9	平成30年度選定地震動
	9月6日(2)	38	197	200	5.4	3.3	1.7	
	9月11日	47	90	102	5.0	6.8	3.3	
	11月28日	11	160	160	5.7	3.5	1.4	
	12月3日	87	12	88	4.6	10.6	2.5	

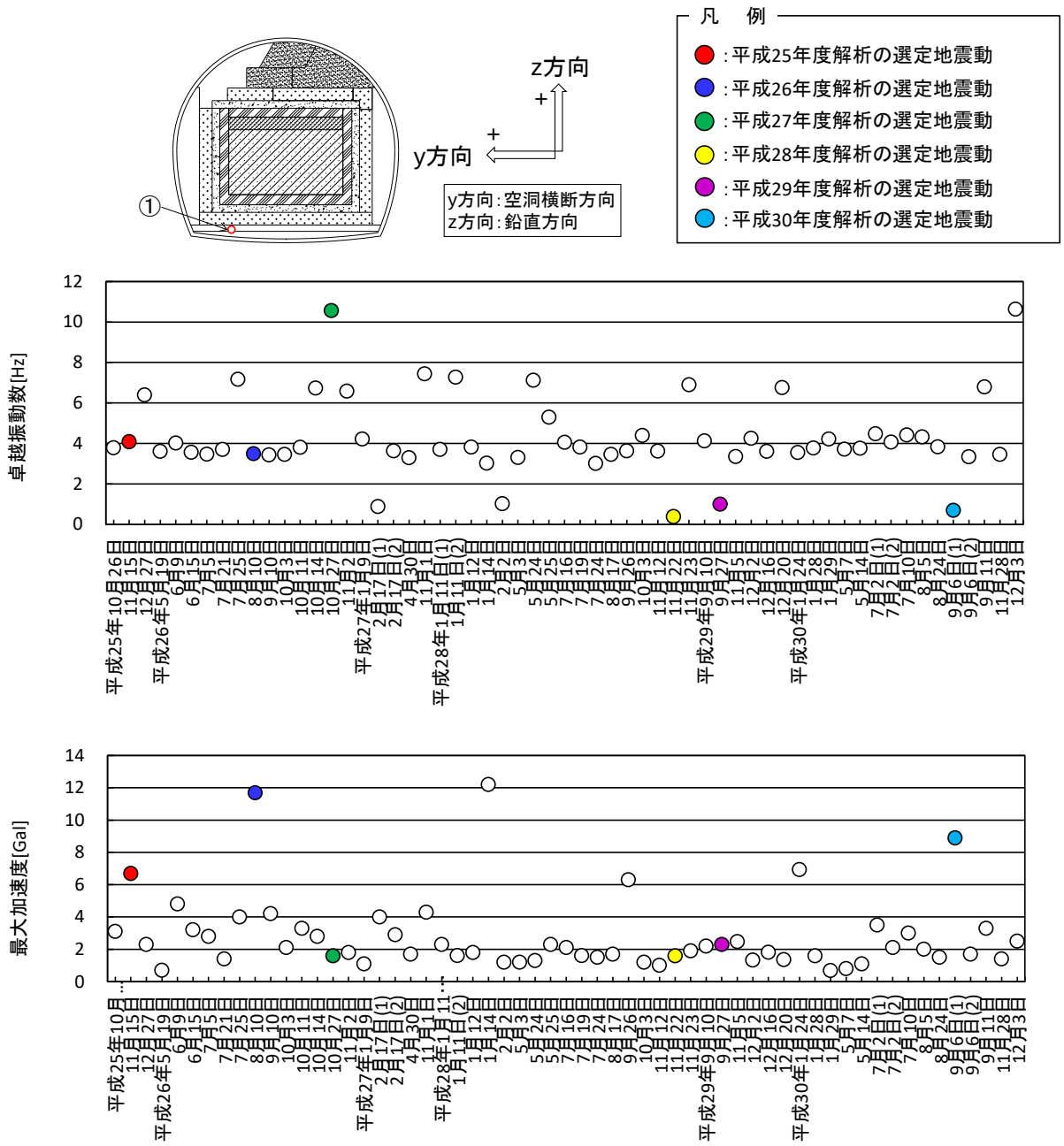


図　3.2-98　地震計①の y 方向の卓越振動数及び最大加速度

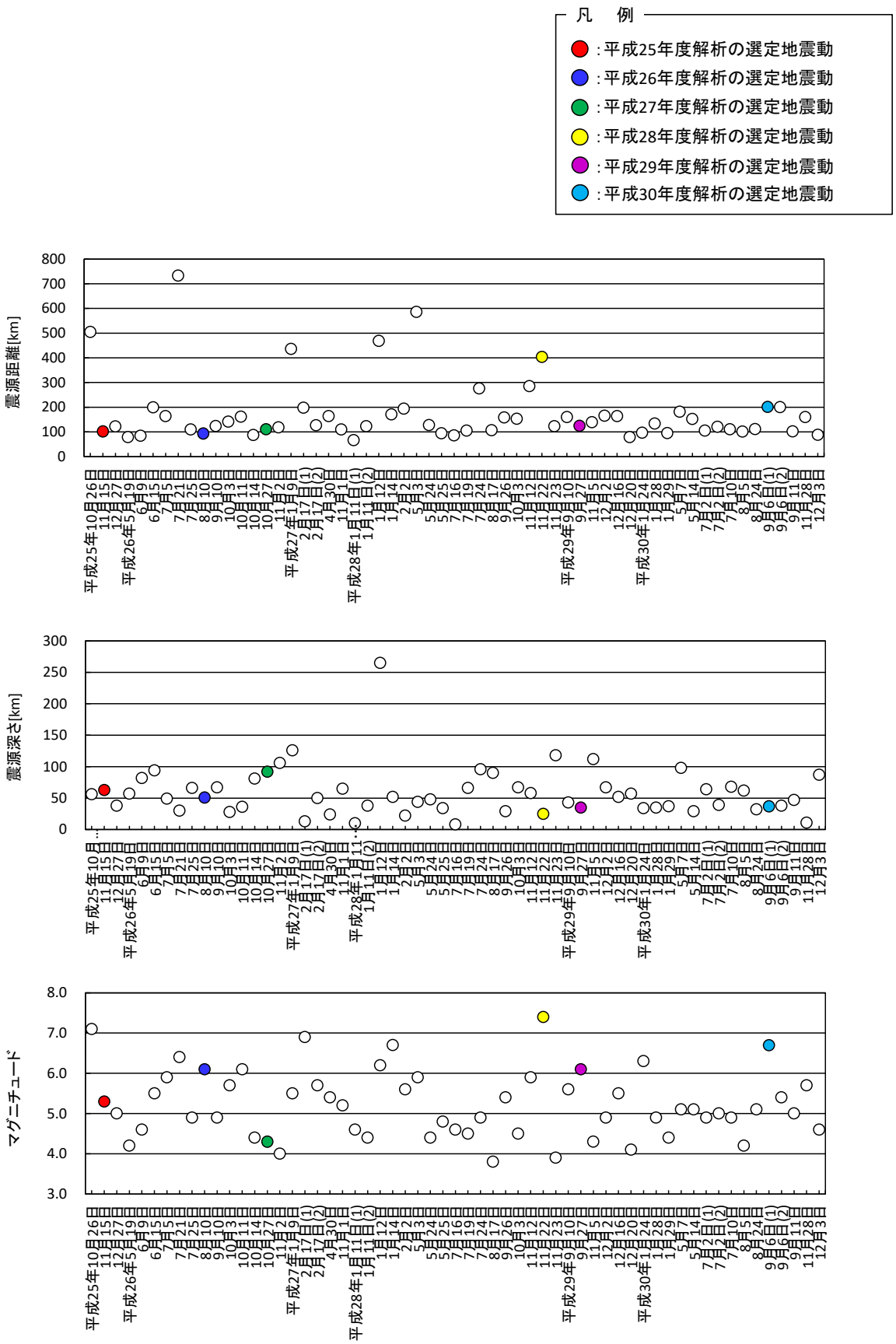
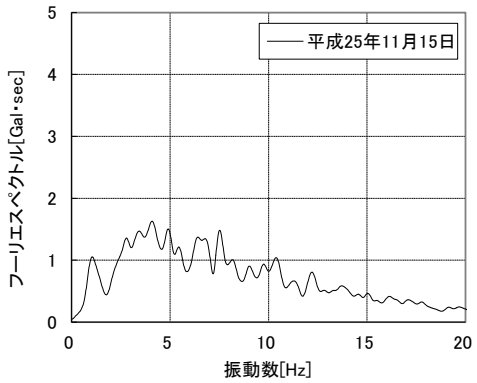
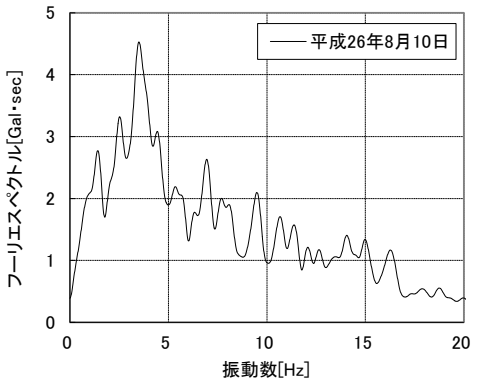


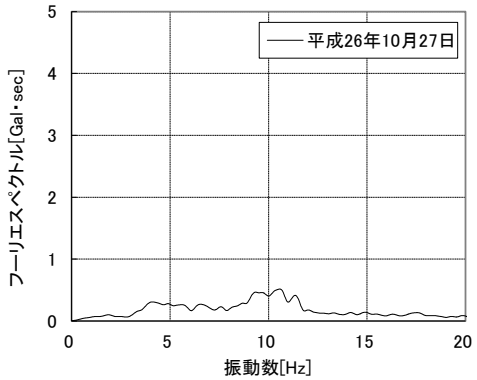
図 3.2-99　地震諸元（上から震源距離、震源深さ、マグニチュード）



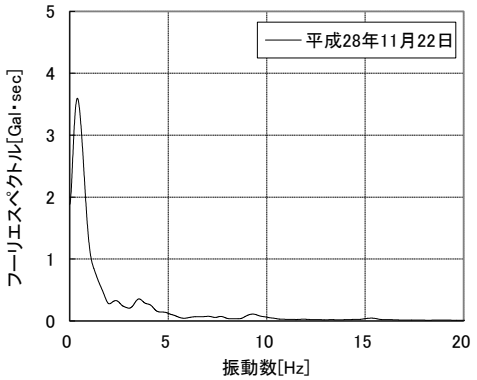
(1) 平成 25 年度の解析で使用



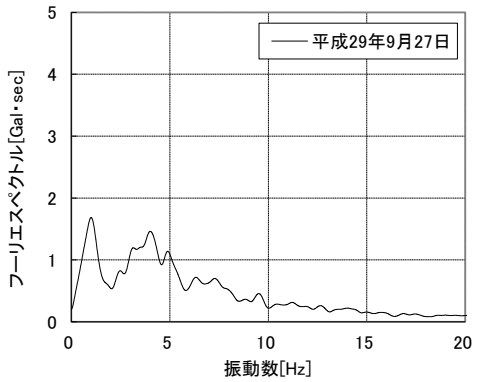
(2) 平成 26 年度の解析で使用



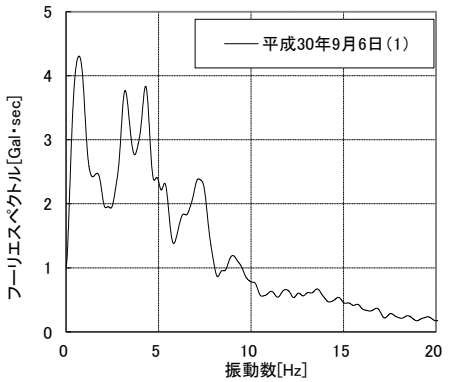
(3) 平成 27 年度の解析で使用



(4) 平成 28 年度の解析で使用



(5) 平成 29 年度の選定地震動



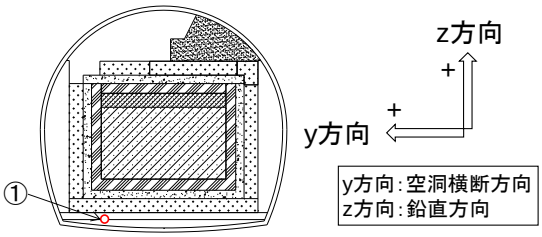
(6) 平成 30 年度の選定地震動

図 3.2-100　地震計①の y 方向のフーリエスペクトル

b．選定した地震動の振幅処理

今年度の解析結果と、既往の解析結果を比較できるようにするため、両解析で使用する地震動レベルを同等とした。比較用の既往の解析結果としては、昨年度と同様に平成 26 年度の解析結果とした。平成26年度で使用した地震動の最大加速度は11.7Galと比較的小さいため、地盤や試験施設の非線形挙動はほとんどないものと考えられる。そこで、地震動レベルの調整においては、線形的に加速度振幅に一律の倍率を乗じる方法を採用して、両解析で使用する地震動の最大加速度が一致するように処理した。

今年度選定した地震動の y 方向の最大加速度（8.9Gal）を、平成 26 年度の解析で使用した地震動の y 方向の最大加速度（11.7Gal）に合わせるために、その比率の約 1.3 倍を乗じて今年度選定した地震動の加速度振幅を処理した。また、z 方向の処理についても y 方向の比率（約 1.3 倍）を用いた。振幅処理の結果（加速度時刻歴及びフーリエスペクトル）を図 3.2-101～図 3.2-102 に示す。



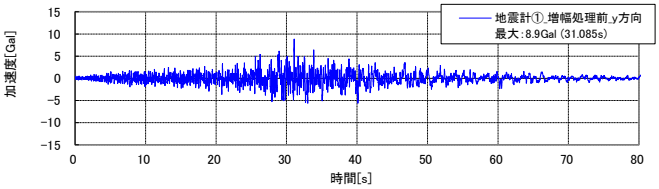
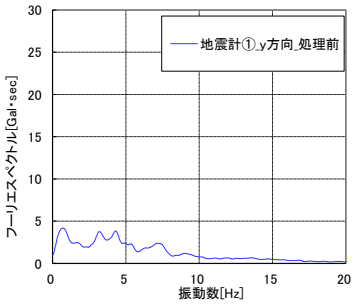
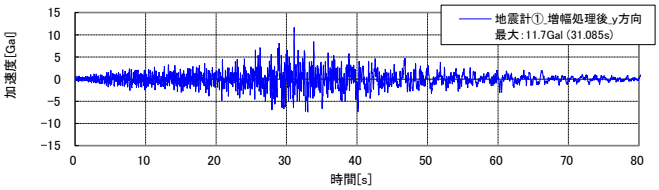
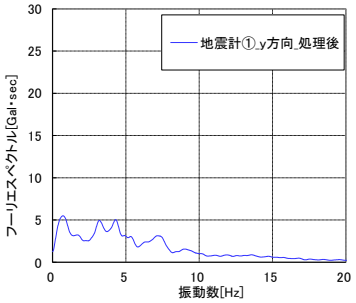
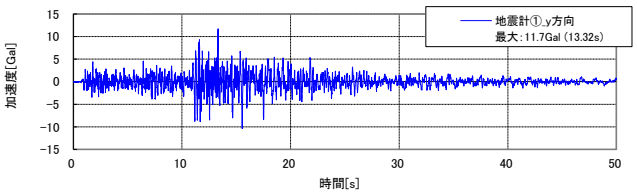
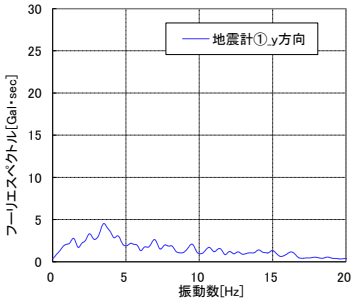
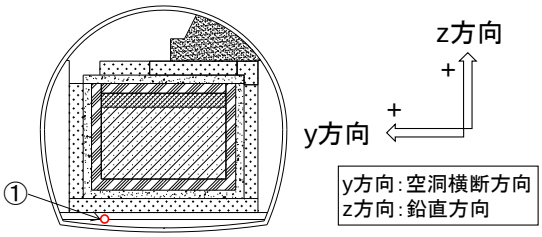
		加速度時刻歴	フーリエスペクトル
平成３０年度の選定地震動	増幅処理前		
	増幅処理後		
【参考】平成２６年度の選定地震動			

図 3.2-101　今年度選定した地震動の加速度の増幅処理（地震計①、y 方向）



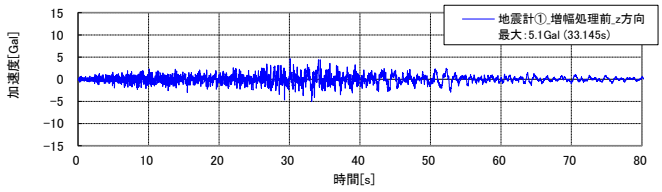
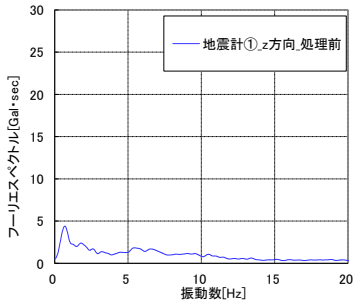
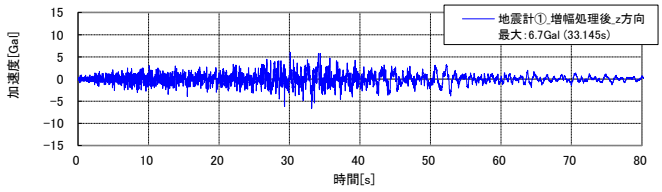
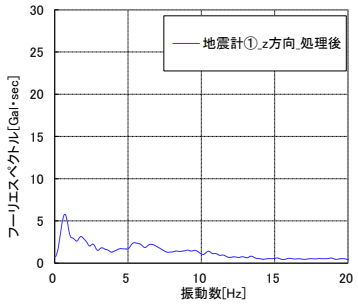
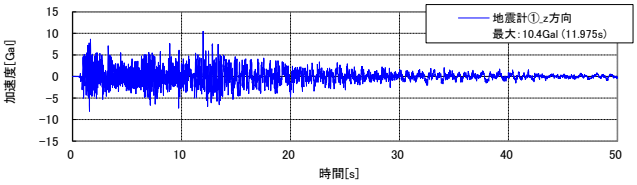
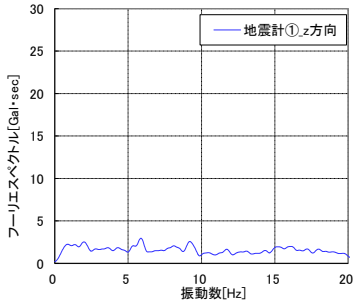
		加速度時刻歴	フーリエスペクトル
平成３０年度の選定地震動	増幅処理前		
	増幅処理後		
【参考】平成２６年度の選定地震動			

図 3.2-102　今年度選定した地震動の加速度の増幅処理（地震計①、z 方向）

c．解析モデルの作成

本検討では、入力地震動の特徴の違いが試験施設に与える影響を比較するため、検討断面は、図 3.2-103 に示すように平成 26 年度の検討断面と同様とした。解析モデルは、平面ひずみ問題として周辺地盤を含めて有限要素法を用いてモデル化（ソリッド要素）した。地震応答解析に用いた部材ごとの材料モデルを表 3.2-15 に示す。なお、コンクリートピット内の模擬廃棄体と充てん材は、両者が合成された均質な構造体として取り扱うこととし、その物性は充てん材で代表させることとした。なお、本解析で用いる観測地震動の最大加速度は 11.7Gal（空洞横断面水平方向）と小さく、解析での地震時応答も小さいと考えられるため、低透水層と他の周辺部材との界面での剥離と滑りは考慮せず、また低透水層の弾塑性挙動を考慮しない非線形弾性体（修正 R-O モデル）とした。

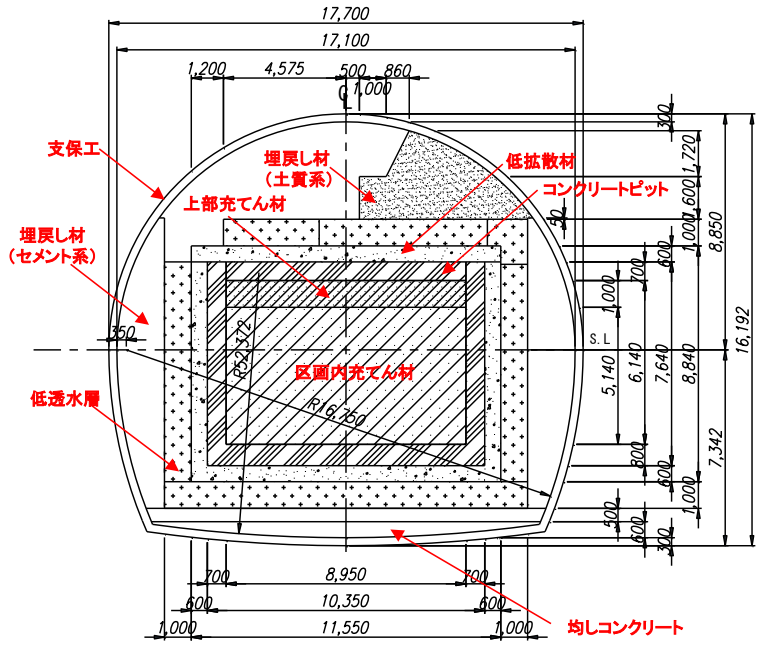


図 3.2-103　試験空洞及び人工バリアの断面図

表 3.2-15　部材ごとの材料モデル

部材	材料モデル 地震応答解析
地盤	修正 R-O モデル
支保工	弾性モデル
埋戻し材（セメント系）	
埋戻し材（土質系）	修正 R-O モデル
低透水層	
低拡散層	弾性モデル
コンクリートピット	
区画内充てん材	
上部充てん材	
均しコンクリート	

地震応答解析モデルを図 3.2-104 及び図 3.2-105 に示す。周辺地盤の地層構成については、図 3.2-106 に示す試験空洞縦断面が示されている参考文献[14]を参考に設定した。

なお、解析には二次元・三次元汎用有限要素解析プログラム（Soil Plus 2016）を用いた。

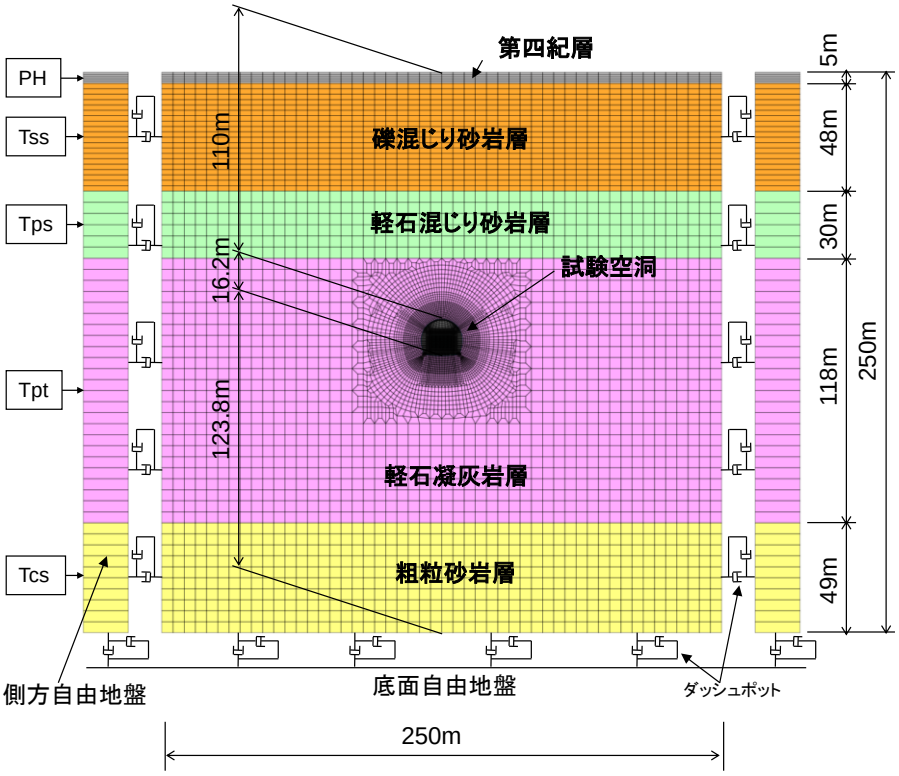


図 3.2-104　地震応答解析モデル（全体）

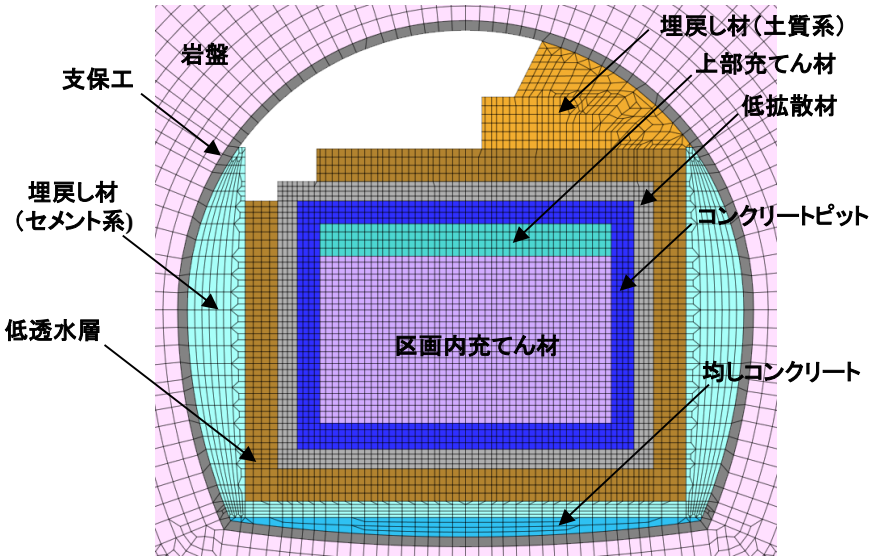


図 3.2-105　地震応答解析モデル（試験施設）

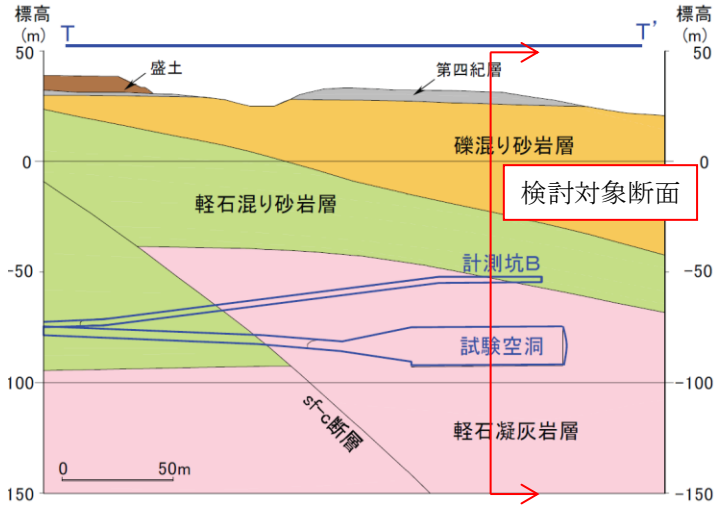


図 3.2-106　試験空洞近傍の地質構造（試験空洞縦断面）

d. 物性値の設定

解析に用いた物性値一覧を表 3.2-16 に示す。

本解析に用いた構造物の物性値は、地下空洞型処分施設性能確証試験及び閉鎖技術確証試験報告書に係わる公開文献等より設定した。また、地盤物性値は、日本原燃再処理施設の物性値[15]を適用した。なお、前述のように、コンクリートピット内の模擬廃棄体と充てん材は、両者が合成された均質な構造体として取り扱うこととし、その物性は充てん材で代表させることとした。

表 3.2-16　解析物性値一覧

種類	区分	単位体積重量	ヤング率	初期せん断剛性	ポアソン比	非線形パラメータ			
						正規化せん断弾性係数	減衰定数	修正R-Oパラメータ	
		γ [kN/m^3]	E[MPa]	G_0[MPa]	ν	G/G0～γ	h～γ	α	β
地盤	PH	19.0	409	139	0.47	$1/(1+8.73\cdot\gamma^{0.690})$	$14.0\cdot\gamma^{0.576}+2.05$	1.804	1.851
	Tss①	17.8	1,601	552	0.45	$1/(1+4.41\cdot\gamma^{0.895})$	$14.7\cdot\gamma^{0.381}-1.34$	2.191	2.131
	Tss②	18.0	2,108	737	0.43				
	Tps	16.8	2,882	1,022	0.41	$1/(1+6.51\cdot\gamma^{0.980})$	$10.3\cdot\gamma^{0.564}+1.63$	2.451	2.293
	Tpt①	15.2	2,814	1,005	0.40	$1/(1+3.93\cdot\gamma^{0.974})$	$11.5\cdot\gamma^{0.513}+0.733$	2.451	2.293
	Tpt②	15.2	3,002	1,080	0.39				
	Tpt③	15.2	3,191	1,156	0.38				
	Tpt④	15.2	3,398	1,231	0.38				
	Tcs	19.9	5,562	2,030	0.37	$1/(1+3.37\cdot\gamma^{0.663})$	$13.2\cdot\gamma^{0.260}-0.945$	1.727	1.788
構造物	コンクリートピット	24.5	37,900	－	0.2	－	－	－	－
	低拡散層	23.0	29,300	－	0.2	－	－	－	－
	低透水層	19.0	－	300	0.41	－	－	3.346	2.293
	充填材	23.0	33,100	－	0.2	－	－	－	－
	上部充填材	24.5	39,100	－	0.2	－	－	－	－
	支保工	24.5	27,900	－	0.2	－	－	－	－
	埋戻し材(セメント系)	24.5	38,900	－	0.2	－	－	－	－
	埋戻し材(土質系)	19.1	－	92	0.43	－	－	2.046	1.916
	均しコンクリート	23.0	22,000	－	0.2	－	－	－	－

(a) 地盤

a) 引戻し解析

地震応答解析を実施するにあたり、事前に解析に用いる入力地震動を得るために、解放基盤表面で規定した検討用地震動を、解析モデルの下端まで引戻す必要がある。この引戻し解析においては、地盤のせん断剛性と減衰特性のひずみ依存性を考慮することとし、その物性値は公開文献[15]を参考に表 3.2-17 に示すとおり設定した。

表 3.2-17　引戻し解析に用いる地盤物性値

地層	単位体積重量	初期せん断剛性 G_0	動ポアソン比 ν	剛性比 $G/G_0 \sim \gamma$	減衰定数 $h \sim \gamma$
	[g/cm^3]	[MPa]		[γ ：%]	[h, γ ：%]
PH	1.94	139	0.47	$1/(1+8.73 \cdot \gamma^{0.690})$	$14.0 \cdot \gamma^{0.576}+2.05$
Tss	$1.83\text{-}8.10 \times 10^{-4} \cdot z$	$660\text{-}7.72 \cdot z$	$0.44+5.51 \times 10^{-4} \cdot z$	$1/(1+4.41 \cdot \gamma^{0.895})$	$14.7 \cdot \gamma^{0.381}-1.34$
Tps	$1.65\text{-}1.86 \times 10^{-3} \cdot z$	$927\text{-}2.56 \cdot z$	$0.42+3.28 \times 10^{-4} \cdot z$	$1/(1+6.51 \cdot \gamma^{0.980})$	$10.3 \cdot \gamma^{0.564}+1.63$
Tpt	1.55	$834\text{-}2.56 \cdot z$	$0.41+2.15 \times 10^{-4} \cdot z$	$1/(1+3.93 \cdot \gamma^{0.974})$	$11.5 \cdot \gamma^{0.513}+0.733$
Tcs	2.03	2030	0.37	$1/(1+3.37 \cdot \gamma^{0.663})$	$13.2 \cdot \gamma^{0.260}-0.945$

※Z は標高（m）を示す

b）地震応答解析

地震応答解析では、地盤のせん断剛性と減衰特性のひずみ依存性を考慮することとし、骨格曲線が次式で定義される修正 R-O モデル[16]を用いた。

$$\gamma = \frac{\tau}{G_0}\left\{1+\alpha\left(\frac{\tau}{\tau_f}\right)^{\beta-1}\right\}$$

ここに、τ_f はせん断強度で、

$$\tau_f = G_0\gamma_r$$

であり、γ_r は $G/G_0 = 0.5$ となるときのせん断ひずみである。また、α と β は定数で、次式で評価する。

$$\alpha = 2^{\beta-1}$$

$$\beta = \frac{2+\pi h_{\max}}{2-\pi h_{\max}}$$

ここに、h_{max} はせん断剛性 G がゼロとなるときの最大減衰定数である。

これらのパラメータは、G/G_0～γ の関係が室内試験で得られた結果と対応するように設定した。表 3.2-17 に示した地盤物性値を用いて評価したパラメータを表 3.2-18 に示す。なお、単位体積重量、初期せん断剛性、動ポアソン比は公開文献[15]の値を用いるが、標高による設定が必要なため、地層が厚い Tss 層（48m）及び Tpt 層（118m）は図 3.2-107 に示すように、それぞれ 2 分割、4 分割して物性値の設定を行った。採用した物性値を表 3.2-19 に示す。

表 3.2-18　地盤物性値（修正 R-O モデルのパラメータ）

地層	γ r	h_{max}	α	β
	[%]	[%]	-	-
PH	4.327×10^{-2}	19	1.804	1.851
Tss	1.905×10^{-1}	23	2.191	2.131
Tps	1.478×10^{-1}	25	2.451	2.293
Tpt	2.453×10^{-1}	25	2.451	2.293
Tcs	1.600×10^{-1}	18	1.727	1.788

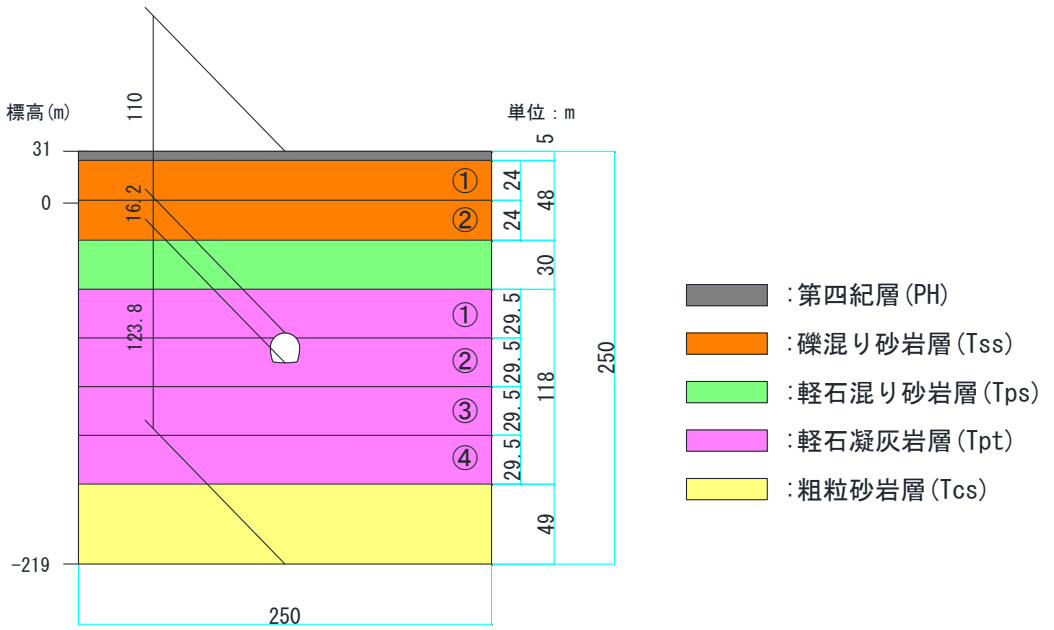


図 3.2-107　地層分割図

表 3.2-19　地震応答解析に用いる地盤物性値

地層	中心標高	単位体積重量	初期せん断剛性 G_0	動ポアソン比 ν
	[m]	[kN/m^3]	[MPa]	―
PH	29	19.0	139	0.47
Tss①	14	17.8	552	0.45
Tss②	-10	18.0	737	0.43
Tps	-37	16.8	1022	0.41
Tpt①	-67	15.2	1005	0.40
Tpt②	-96	15.2	1080	0.39
Tpt③	-126	15.2	1156	0.38
Tpt④	-155	15.2	1231	0.38
Tcs	-195	19.9	2030	0.37

(b) 1 次支保工

支保工は、吹付けコンクリートと鋼製支保工から構成される。それぞれの物性値と諸元を表 3.2-20 に示す。解析では、吹付けコンクリートと鋼製支保工を合わせて、ソリッド要素でモデル化した。その際の物性値は表 3.2-21 に示すように、それぞれの物性値を断面積比で重み付けして設定した。

表 3.2-20　支保工の諸元及び物性値

解析条件項目			諸元及び物性値	参考文献
吹付けコンクリート	吹付け厚	T(cm)	30	
	設計基準強度	f'ck(MPa)	36	[14]
	単位体積重量	γ c(kN/m^3)	23	[14]
	弾性係数	硬化後(MPa)	24,200	[17]
	断面積	Ac(m^2)	0.2936	
鋼製支保工	使用鋼材	－	H-250	[17]
	規格	－	SS540	[14]
	降伏点	Fyk(MPa)	400	[14]
	建込間隔	@(m)	1.0	[17]
	単位体積重量	γ s(kN/m^3)	77	
	等価断面積	As(m^2)	6.35×10^{-3}	
	弾性係数	Es(MPa)	200,000	[17]

表 3.2-21　解析に用いる支保工の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm^2	27.9	$E=\dfrac{E_C A_C + E_S A_S}{A}$ A_C ：コンクリートの断面積 A_S ：鋼製支保工の断面積 $A = A_C + A_S$	
単位体積重量	γ	kN/m^3	24.5		[18]
ポアソン比	ν	－	0.2		[18]

(c) 埋戻し材（セメント系）

埋戻し材（セメント系）の物性値を表 3.2-22 に示す。弾性係数は、図 3.2-108 に示す地下空洞型処分施設性能確証試験結果より求めた静弾性係数と材齢の関係より、91 日の値とした。

表 3.2-22　埋戻し材（セメント系）の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm^2	38.9	91 日	[19]
単位体積重量	γ	kN/m^3	24.5		[18]
ポアソン比	ν	－	0.2		[18]

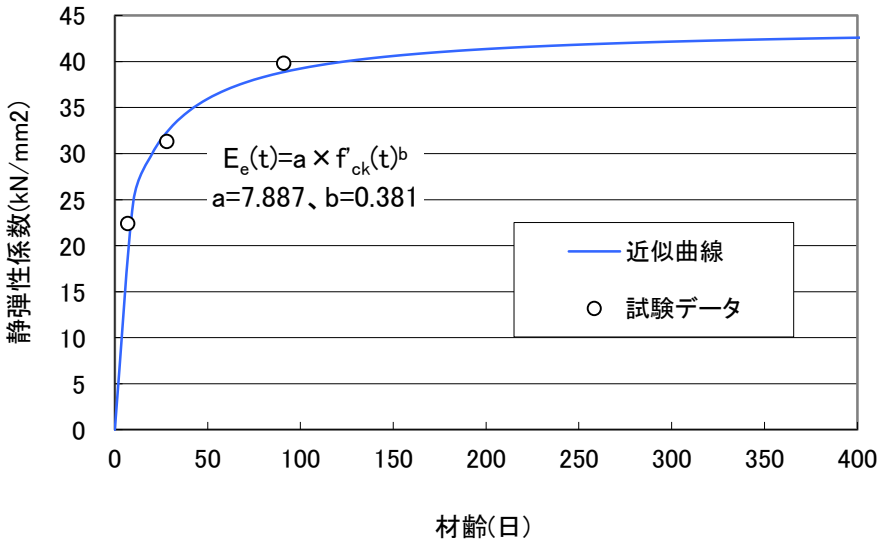


図 3.2-108　埋戻し材（セメント系）の静弾性係数と材齢の関係

(d) 埋戻し材（土質系）

埋戻し材（土質系）の物性値を表 3.2-23 に示す。初期せん断剛性 G_0 は、弾性波速度試験のせん断波速度 V_s より設定している。埋戻し材（土質系）はせん断ひずみに依存してせん断剛性が低下する非線形特性を考慮するものとし、地盤と同様に修正 R-O モデルを用いた。設定した $G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ 関係を、図 3.2-109 に示す。

表 3.2-23　埋戻し材（土質系）の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
初期せん断剛性	G_0	kN/mm^2	0.0923		[20]
単位体積重量	γ	kN/m^3	19.1		[20]
ポアソン比			0.427		[20]
修正 R-O モデルパラメータ	τ f	MPa	0.086	0.066×(92.3/71.178)	[20]
	γ r	%	9.273×10^{-4}	0.086／92.3×100	
	h_{max}	%	20		[20]
	α	－	2.046		[20]
	β	－	1.916		[20]

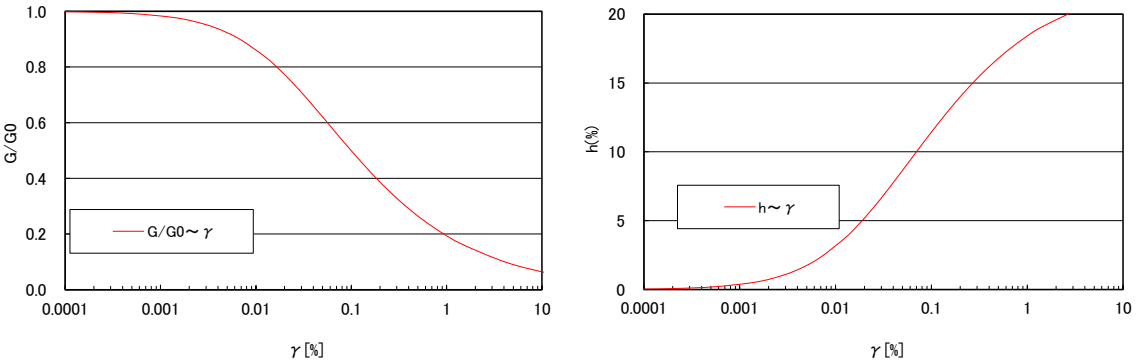


図 3.2-109　$G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ の関係（埋戻し材（土質系））

(e) 低透水層

低透水層の物性値を表 3.2-24 に示す。初期せん断剛性 G_0 は、弾性波速度試験のせん断波速度 V_s より設定している。地震応答解析では、低透水層はせん断ひずみに依存してせん断剛性が低下する非線形特性を考慮するものとし、地盤と同様に修正 R-O モデルを用いた。設定した $G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ 関係を、図 3.2-110 に示す。

表 3.2-24　低透水層の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
初期せん断剛性	G_0	kN/mm^2	0.3		[21]
単位体積重量	γ	kN/m^3	19.0		[21]
ポアソン比			0.41		[21]
修正 R-O モデルパラメータ	τf	MPa	1.114	0.296×(300/79.68)	[21]
	γr	%	3.715×10^{-1}	1.114／300×100	
	h_{max}	%	25		[21]
	α	－	3.346		[21]
	β	－	2.293		[21]

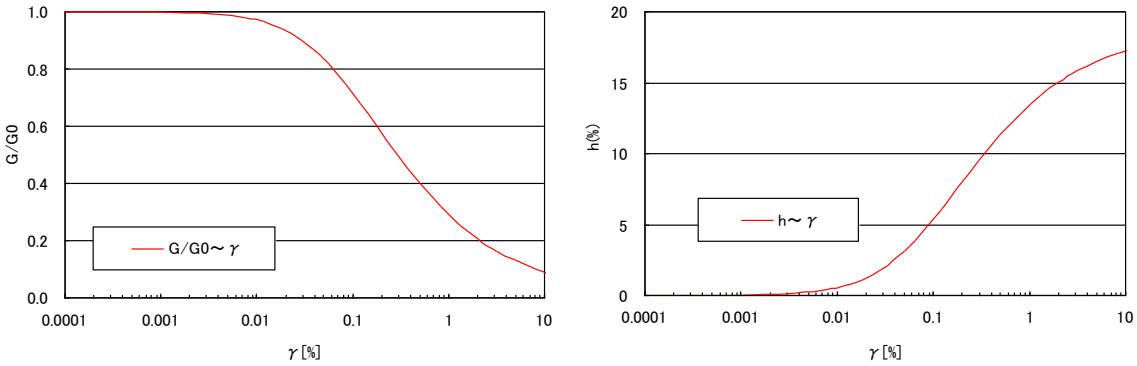


図 3.2-110　$G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ の関係（低透水層）

(f) 低拡散層

低拡散層の物性値を表 3.2-25 に示す。弾性係数は、図 3.2-111 に示す地下空洞型処分施設性能確証試験結果より求めた静弾性係数と材齢の関係より、91 日の値とした。

表 3.2-25　低拡散層の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm^2	29.3	91 日	[19]
単位体積重量	γ	kN/m^3	23.0		[19]
ポアソン比	ν	－	0.2		[19]

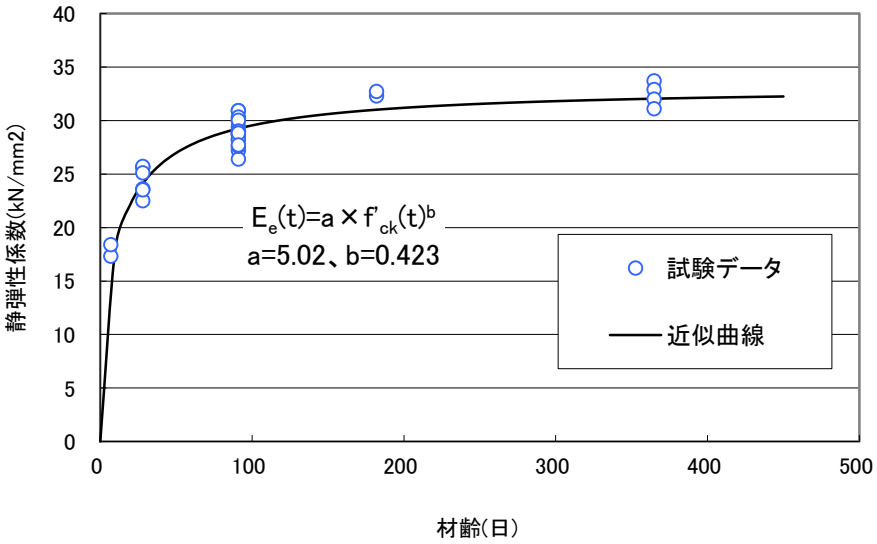


図 3.2-111　低拡散層の静弾性係数と材齢の関係

(g) コンクリートピット

コンクリートピットの物性値を表 3.2-26 に示す。弾性係数は、図 3.2-112 に示す地下空洞型処分施設性能確証試験結果より求めた静弾性係数と材齢の関係より、91 日の値とした。

表 3.2-26　コンクリートピットの物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm^2	37.9	91 日	[19]
単位体積重量	γ	kN/m^3	24.5		[19]
ポアソン比	ν	－	0.2		[19]

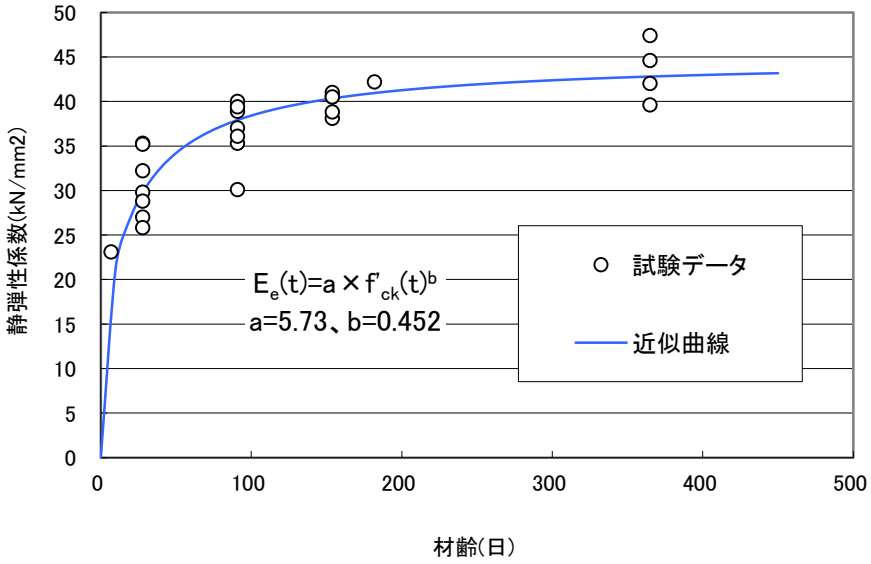


図 3.2-112　コンクリートピットの静弾性係数と材齢の関係

(h) 充てん材

充てん材の物性値を表 3.2-27 に示す。弾性係数は、図 3.2-113 に示す地下空洞型処分施設性能確証試験結果より求めた静弾性係数と材齢の関係より、91 日の値とした。ここで、地下空洞型処分施設性能確証試験における室内試験では、充てん材の養生温度を廃棄体の熱を想定して 3 ケース（20℃、60℃、105℃）実施しているが、60℃と 105℃はバラツキが大きいこと及びサンプル数が少ないことより、本検討では 20℃の値を採用した。

表 3.2-27　充てん材の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm^2	33.1	室内試験(20℃)及び実機の 91 日	[19]
単位体積重量	γ	kN/m^3	23.0		[19]
ポアソン比	ν	－	0.2		[19]

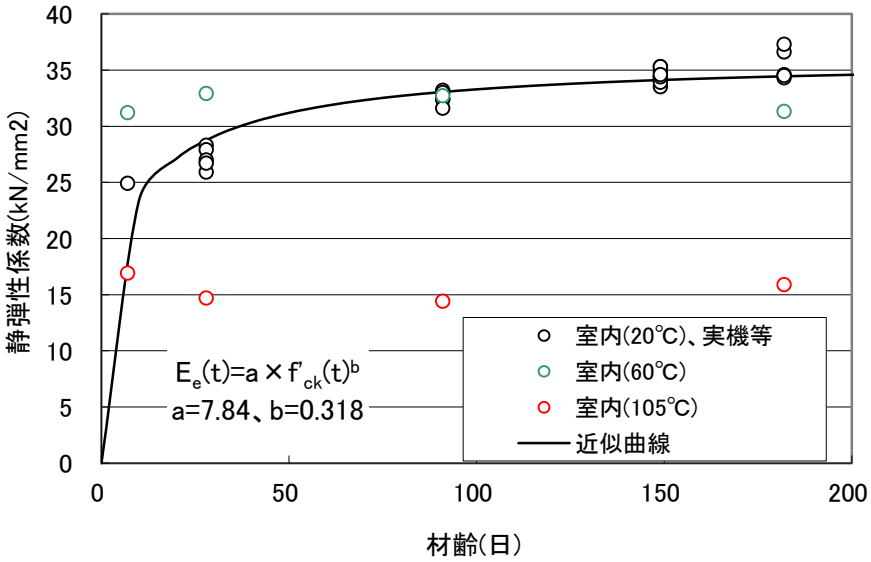


図 3.2-113　充てん材の静弾性係数と材齢の関係

(i) 上部充てん材

上部充てん材の物性値を表 3.2-28 に示す。弾性係数は、図 3.2-114 に示す地下空洞型処分施設性能確証試験結果より求めた静弾性係数と材齢の関係より、91 日の値とした。ここで、地下空洞型処分施設性能確証試験における室内試験では、上部充てん材の養生温度を廃棄体の熱を想定して 3 ケース（20℃、60℃、105℃）実施しているが、60℃と 105℃はバラツキが大きいこと及びサンプル数が少ないことより本検討では除外した。

表 3.2-28　上部充てん材の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm^2	39.1	室内試験(20℃)及び実機の 91 日	[19]
単位体積重量	γ	kN/m^3	24.5		[19]
ポアソン比	ν	－	0.2		[19]

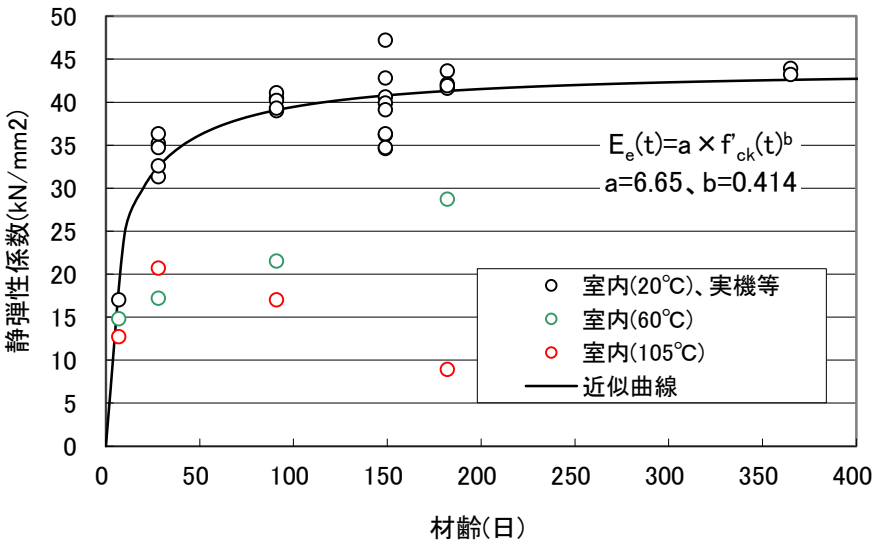


図 3.2-114　上部充てん材の静弾性係数と材齢の関係

(j) 均しコンクリート

均しコンクリートの物性値を表 3.2-29 に示す。

表 3.2-29　均しコンクリートの物性値

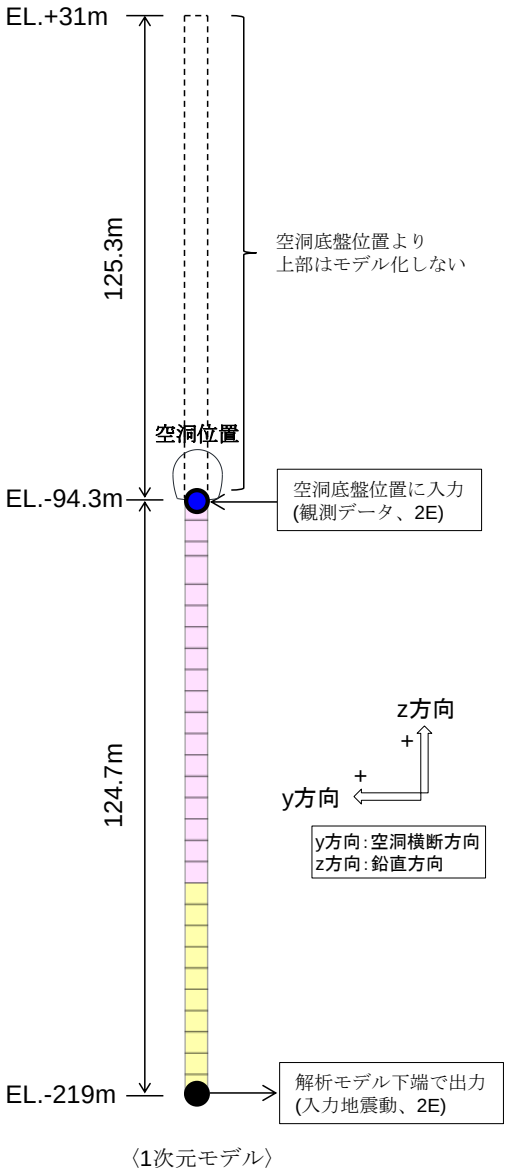
項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm^2	22.0		[19]
単位体積重量	γ	kN/m^3	23.0		[19]
ポアソン比	ν	－	0.2		[19]

e．入力地震動

本検討では、図 3.2-101～図 3.2-102 で作成した地震計①のデータを用いて地震応答解析の入力地震動を作成する。Schnabel et al.が開発した一次元重複反射理論に基づく等価線形解析プログラム（SHAKE）を用いて、地震計①の設置位置から解析モデルの下端(深度 250m)まで地震動を引戻した。

(a) 解析モデル

引戻し解析では、図 3.2-115 に示すように、地震計①が空洞の解放面に設置されていることから、地震計①の観測データは地盤中の下降波（F 波）は含まない 2E 波と仮定し、地震計①が設置されている空洞底盤位置より下部のみをモデル化（124.7m）した。



〈1次元モデル〉

図 3.2-115　引戻し解析モデル

(b) 観測地震動のフィルタ処理

高振動数成分を含む地震動を引戻した場合、高振動数成分が卓越した非現実的な加速度波形になる可能性がある。そのため地震計①のデータに対して 20Hz 以上の高振動成分のフィルタ処理を行い、引戻し解析を実施した（20～20.1Hz の間でフーリエスペクトルがゼロになるようにフィルタ処理した)。平成 30 年度及び平成 26 年度の選定地震動のフィルタ処理前とフィルタ処理後の加速度時刻歴及びフーリエスペクトルを図 3.2-116～図 3.2-117 に示す。

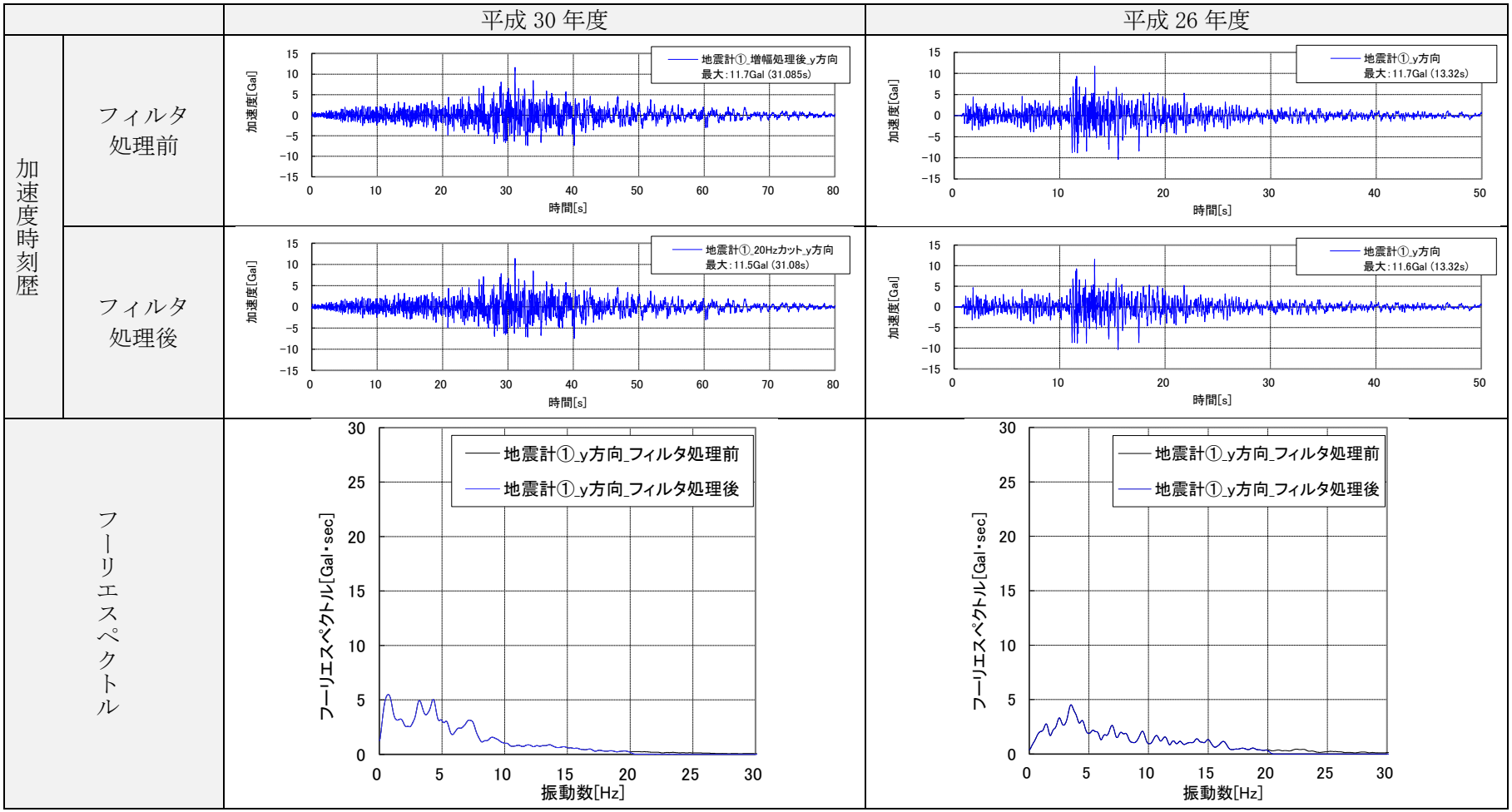


図 3.2-116　フィルタ処理（水平方向）

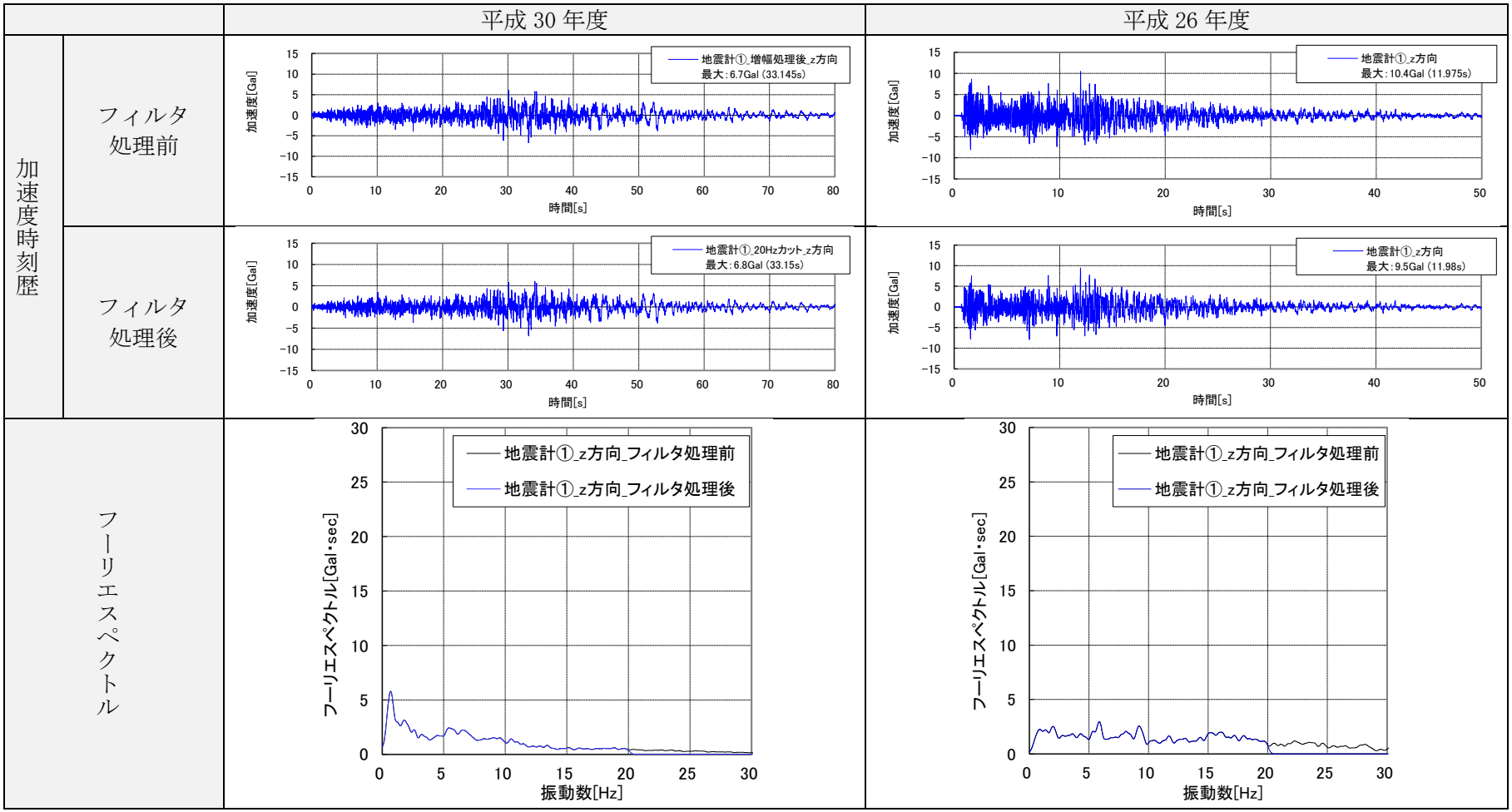


図 3.2-117　フィルタ処理（鉛直方向）

(c) 解析結果

平成 30 年度及び平成 26 年度の選定地震動の引戻し解析結果（加速度時刻歴及びフーリエスペクトル）を、図 3.2-118～図 3.2-119 に示す。

平成 30 年度の引戻し解析では、y 方向の入力地震動の最大加速度は 8.9Gal であり、観測地震動（同 11.5Gal）から 2.6Gal 小さくなった。フーリエスペクトルの比較からも、ほぼ全振動数帯において入力地震動が観測地震動より小さくなる傾向が見られる。また、z 方向でも y 方向と同様の傾向が見られ、入力地震動の最大加速度は 6.1Gal であり、観測地震動（同 6.8Gal）から 0.6Gal 小さくなった。フーリエスペクトルの比較からも、ほぼ全振動数帯において入力地震動が観測地震動より小さくなる傾向が見られる。これらの傾向は、平成 26 年度の引戻し解析結果と同様である。

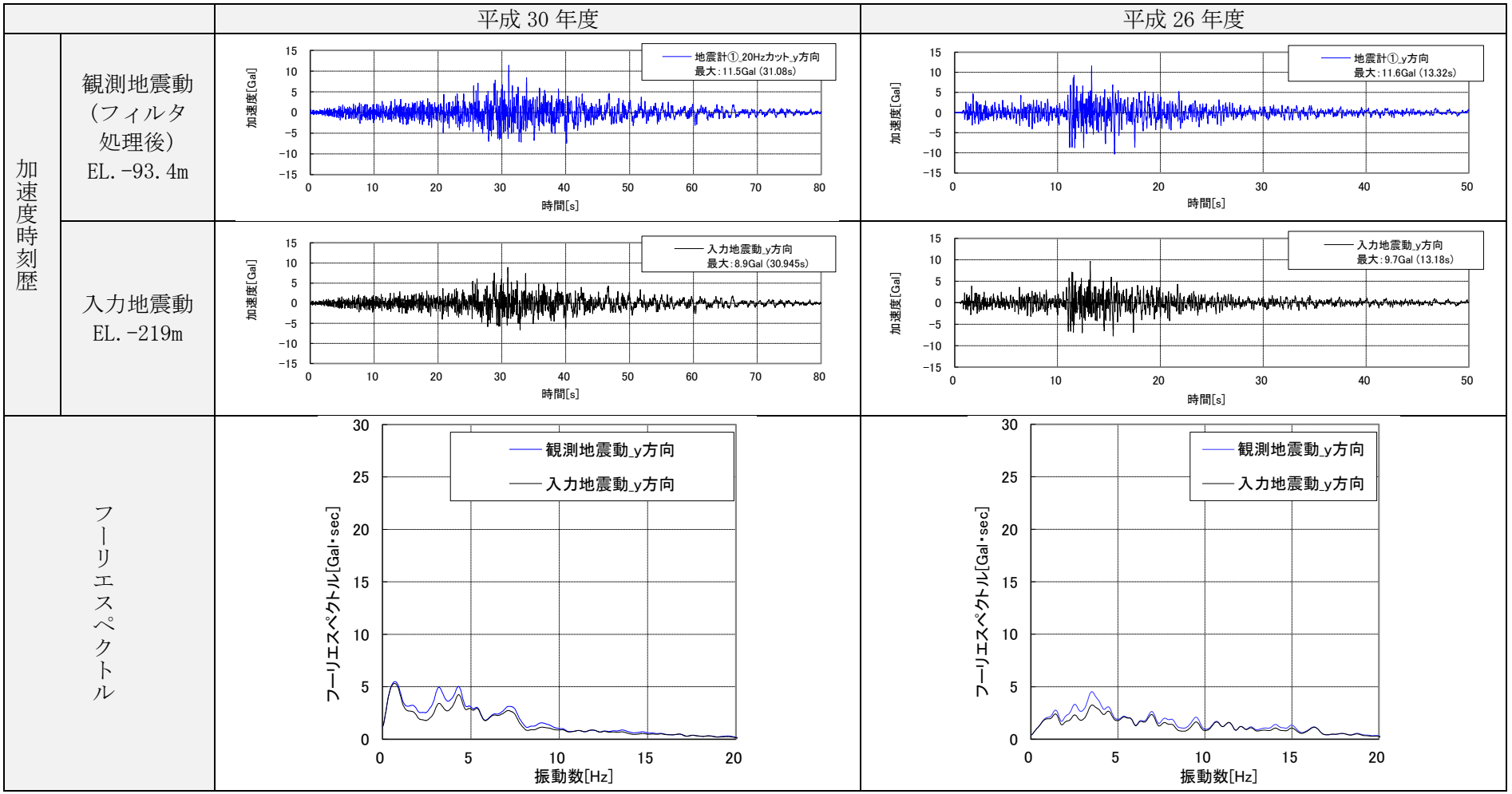


図 3.2-118　引戻し解析結果（水平方向）

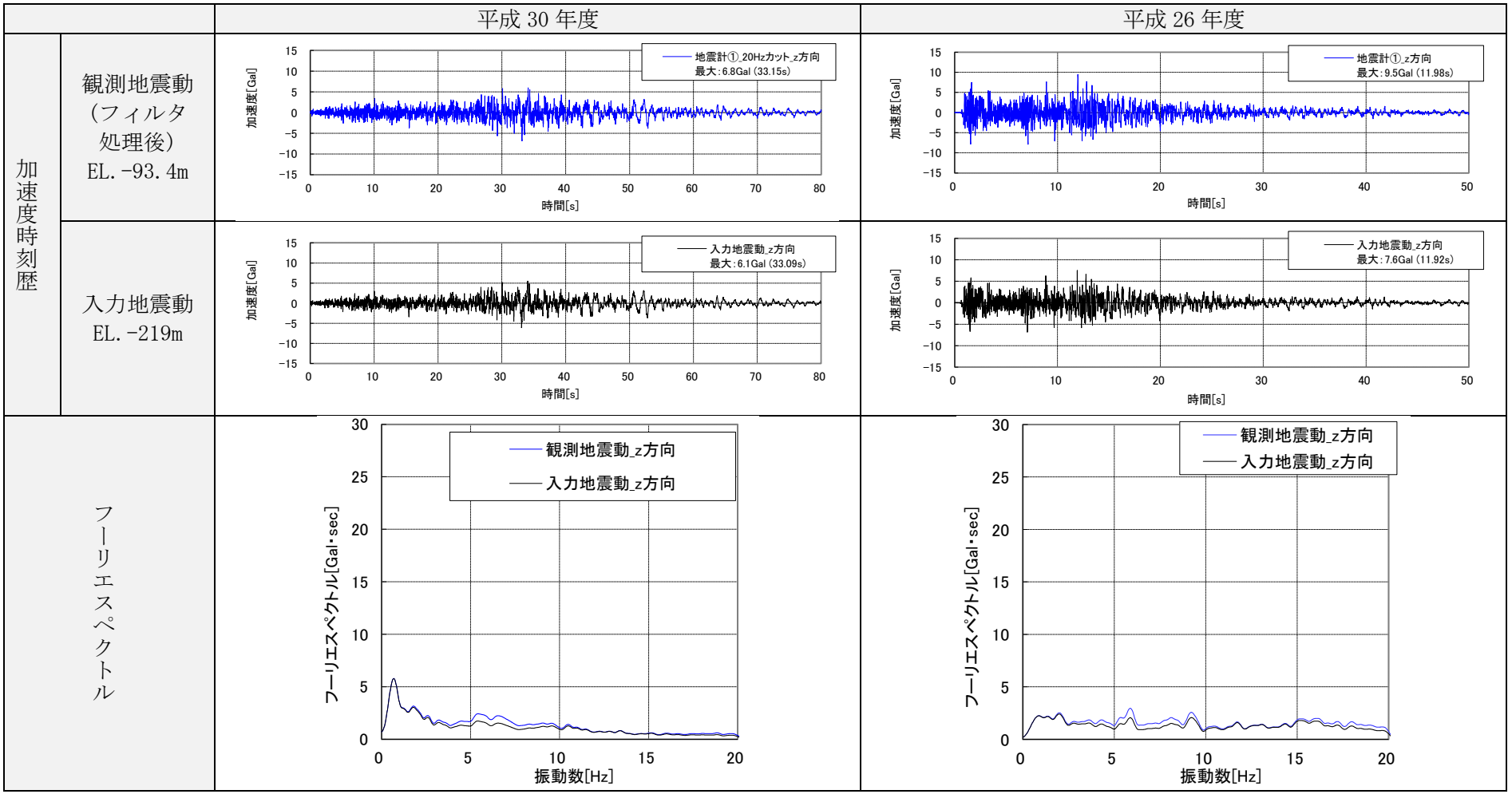


図 3.2-119　引戻し解析結果（鉛直方向）

f．レーリー減衰の係数

本試験施設を対象として固有値解析を行い、地震応答解析で用いるレーリー減衰の係数設定を実施した。レーリー減衰の減衰マトリクスは下式のとおり、質量マトリクスと剛性マトリクスの線形結合で構成される。

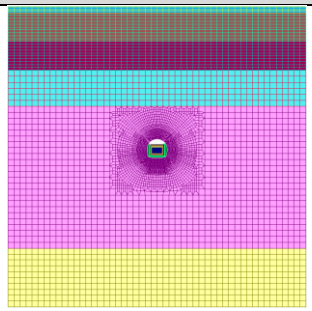
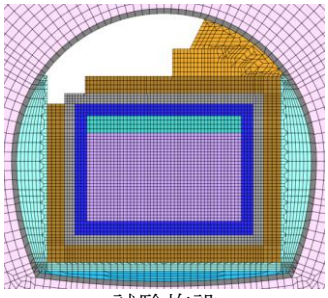
$$C = \alpha \mathrm{M} + \beta \mathrm{K}$$

係数 α と β は、2 組の振動数と減衰率を設定して算出する。

(a) 解析条件

平成 26 年度上部低透水層施工後を解析対象時期とする。この施設形状においては、地震時に試験施設と周辺地盤が一体となって挙動すると考えられるため、固有値解析モデルは、表 3.2-30 に示すように試験施設と周辺地盤を解析対象とした。

表 3.2-30　固有値解析モデル

対象時期	解析モデル		境界条件
平成 26 年度 上部低透水層 施工後	 地盤全体	 試験施設	底面：固定 側面：水平ローラー

(b) 解析結果

固有値解析結果を表 3.2-31 に示す。

表 3.2-31　固有値解析結果

次数	振動数	周期	有効質量比	
	Hz	s	Y	Z
1	0.880	1.137	0.732	0.000
2	1.888	0.530	0.000	0.487
3	2.504	0.399	0.115	0.000
4	2.553	0.392	0.000	0.003
5	2.836	0.353	0.000	0.000
6	3.919	0.255	0.000	0.018

(c) レーリー減衰の係数の設定に用いる振動数

固有値解析結果より、着目固有振動数を設定する。本固有値解析では、地盤を含めてモデル化しているため、表 3.2-31 に示すように 1～6 次の固有振動数は 0.880～3.919Hz であり、これらはほぼ地盤の固有振動数と考えられる（平成 25 年度の検討より、試験施設の固有値は 15Hz 以上の高振動数帯と考えられる）。0.880～3.919Hz の範囲の振動数でレ

ーリー減衰の係数を設定すると、高振動数帯での減衰を過大に評価することが別途動的解析結果より確認できたため、本検討では 1 次（0.880Hz）と 50Hz を着目固有振動数とした。

(d) レーリー減衰の係数

着目固有振動数に対して、地盤及び低透水層については 2%、その他構造物については 5%の減衰率となるように、質量比例項の係数 α と剛性比例項の係数 β を設定した。本検討で設定した係数 α と β を表 3.2-32 に、減衰定数と振動数の関係を図 3.2-120 に示す。

表 3.2-32　質量比例係数 α と剛性比例係数 β

	減衰率	α	β
地盤及び 低透水層	2%	2.173×10^{-1}	1.251×10^{-4}
上記以外	5%	5.434×10^{-1}	3.128×10^{-4}

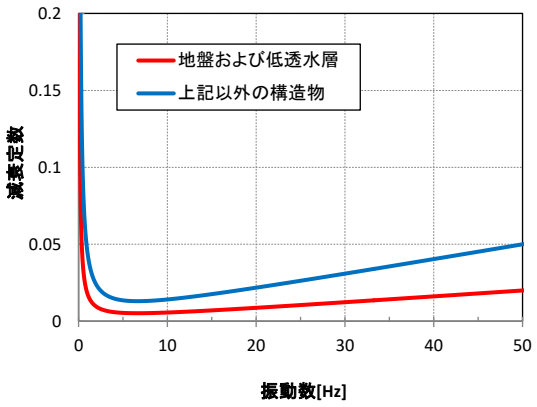


図 3.2-120　レーリー減衰の減衰定数と振動数の関係

2）解析結果

前項で設定した入力地震動 2 波（平成 30 年度、26 年度選定地震動）を用いて時刻歴非線形地震応答解析を実施し、入力地震動の特徴の違いが試験施設に与える影響を比較分析した。

以下の位置及び部材の挙動に着目して地震時影響評価を実施する。

- 地震計設置位置
- 空洞上下端位置
- コンクリートピット（底部、側部、上部）
- 低拡散層（底部、側部、上部）
- 低透水層（底部、側部、上部）
- 埋戻し材（上部）

図化項目一覧を表 3.2-33 に示す。

表 3.2-33　図化項目一覧

対　象	図化処理項目	図の仕様
・地震計設置位置	応答加速度	時刻歴
・空洞上下端位置	相対変位	時刻歴
・コンクリートピット ・低拡散層	最大・最小応力のコンター	時刻歴最大・最小値
	最大・最小ひずみのコンター	時刻歴最大・最小値
・低透水層 ・埋戻し材	最大・最小応力のコンター	時刻歴最大・最小値
	最大・最小ひずみのコンター	時刻歴最大・最小値
	最大せん断ひずみのコンター	時刻歴最大値

※応力およびひずみは地震時増分値による図化とする。

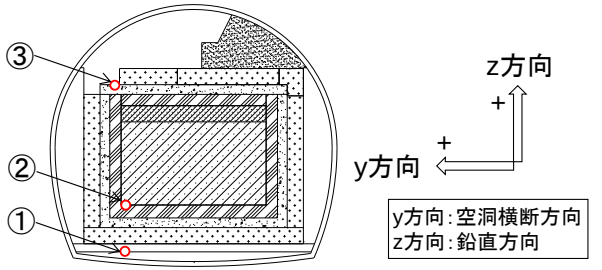
解析結果一覧を表 3.2-34 に示す。なお、応力及びひずみは地震時増分値である。

表 3.2-34　解析結果一覧

対象	図化項目	図番号
地震計設置位置	応答加速度	図 3.2-121～図 3.2-122
空洞上下端位置	相対変位	図 3.2-124
コンクリートピット	直応力（水平方向）分布	図 3.2-125～図 3.2-126
	直応力（鉛直方向）分布	図 3.2-127～図 3.2-128
	せん断応力分布	図 3.2-129～図 3.2-130
	直ひずみ（水平方向）分布	図 3.2-131～図 3.2-132
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 3.2-133～図 3.2-134
	せん断ひずみ分布	図 3.2-135～図 3.2-136
低拡散層	直応力（水平方向）分布	図 3.2-137～図 3.2-138
	直応力（鉛直方向）分布	図 3.2-139～図 3.2-140
	せん断応力分布	図 3.2-141～図 3.2-142
	直ひずみ（水平方向）分布	図 3.2-143～図 3.2-144
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 3.2-145～図 3.2-146
	せん断ひずみ分布	図 3.2-147～図 3.2-148
低透水層	直応力（水平方向）分布	図 3.2-149～図 3.2-150
	直応力（鉛直方向）分布	図 3.2-151～図 3.2-152
	せん断応力分布	図 3.2-153～図 3.2-154
	直ひずみ（水平方向）分布	図 3.2-155～図 3.2-156
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 3.2-157～図 3.2-158
	せん断ひずみ分布	図 3.2-159～図 3.2-160
	最大せん断ひずみの分布	図 3.2-161
埋戻し材	直応力（水平方向）分布	図 3.2-163～図 3.2-164
	直応力（鉛直方向）分布	図 3.2-165～図 3.2-166
	せん断応力分布	図 3.2-167～図 3.2-168
	直ひずみ（水平方向）分布	図 3.2-169～図 3.2-170
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 3.2-171～図 3.2-172
	せん断ひずみ分布	図 3.2-173～図 3.2-174
	最大せん断ひずみの分布	図 3.2-175

a．着目位置の応答加速度

地震計設置位置の応答加速度の時刻歴を図 3.2-121～図 3.2-122 に示す。



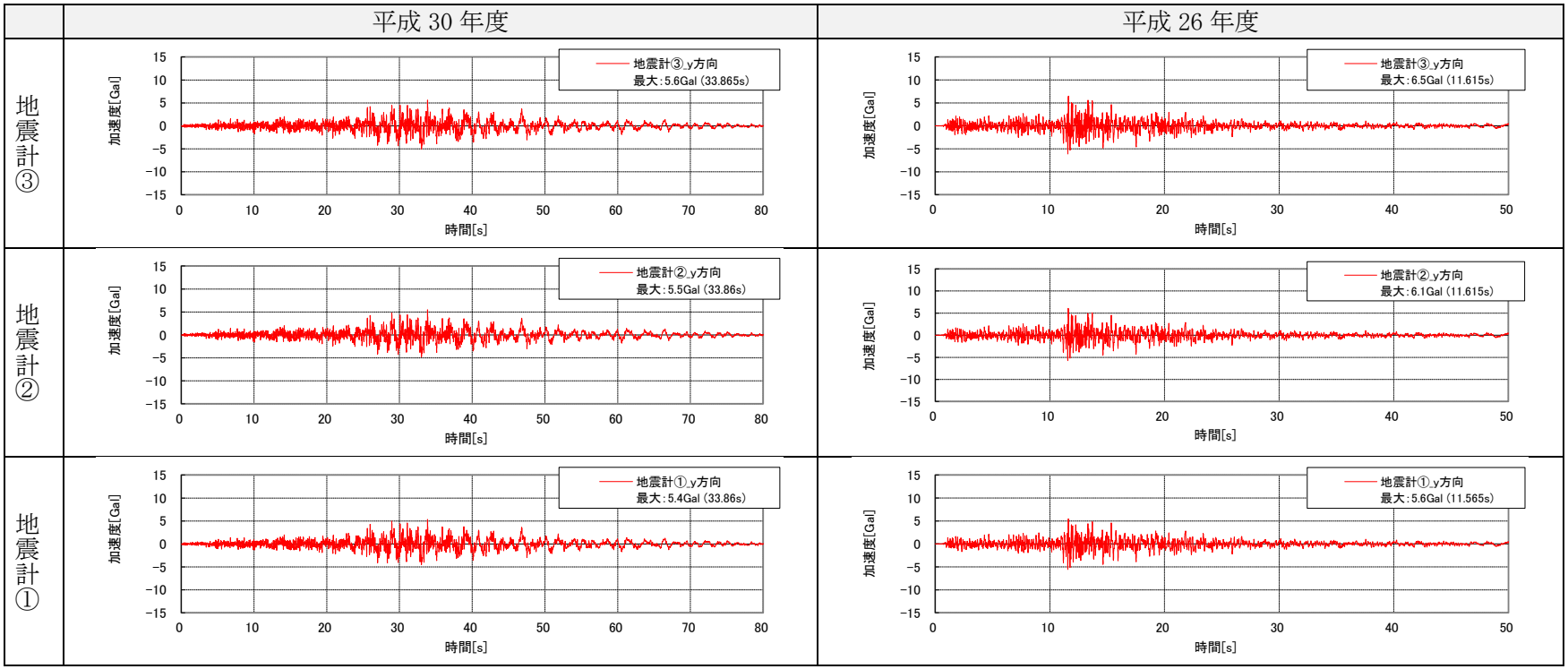
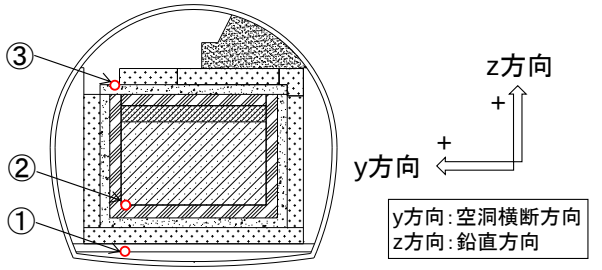


図 3.2-121　試験施設の応答加速度（水平方向）



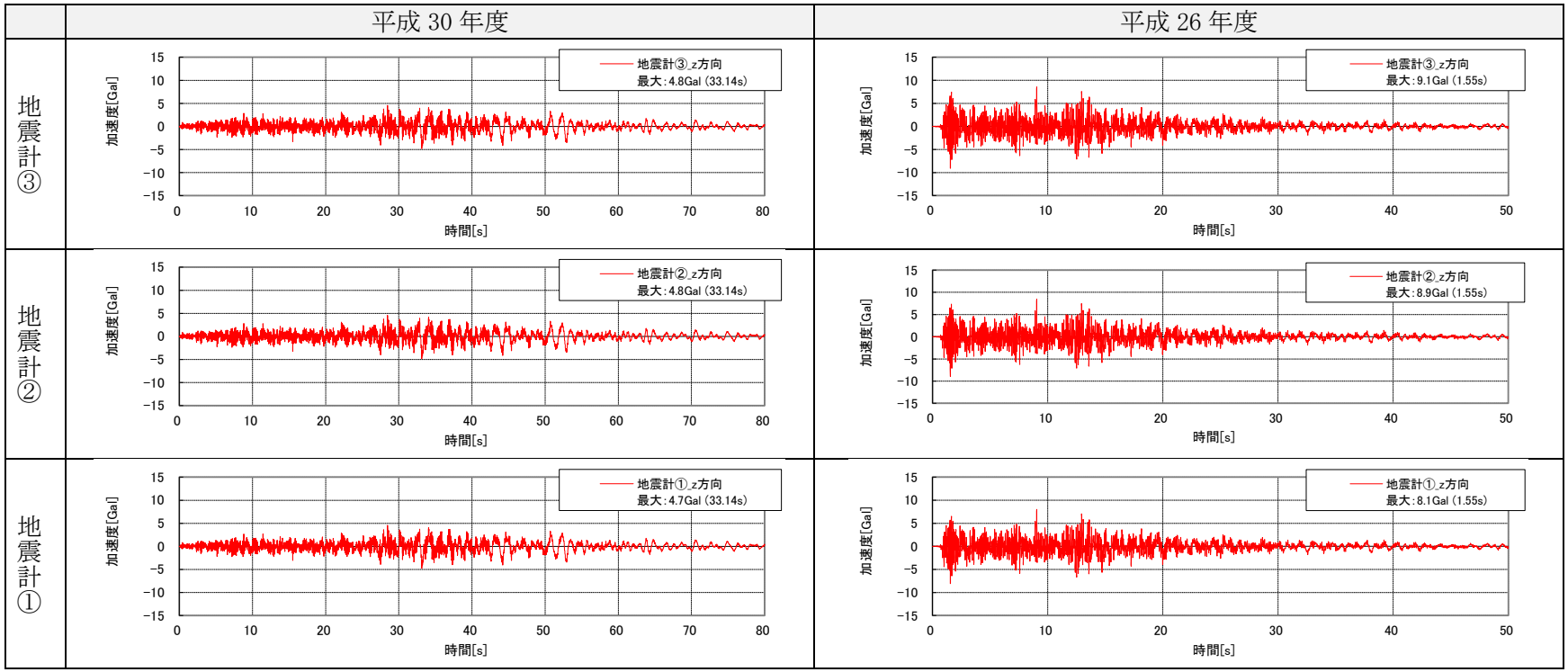
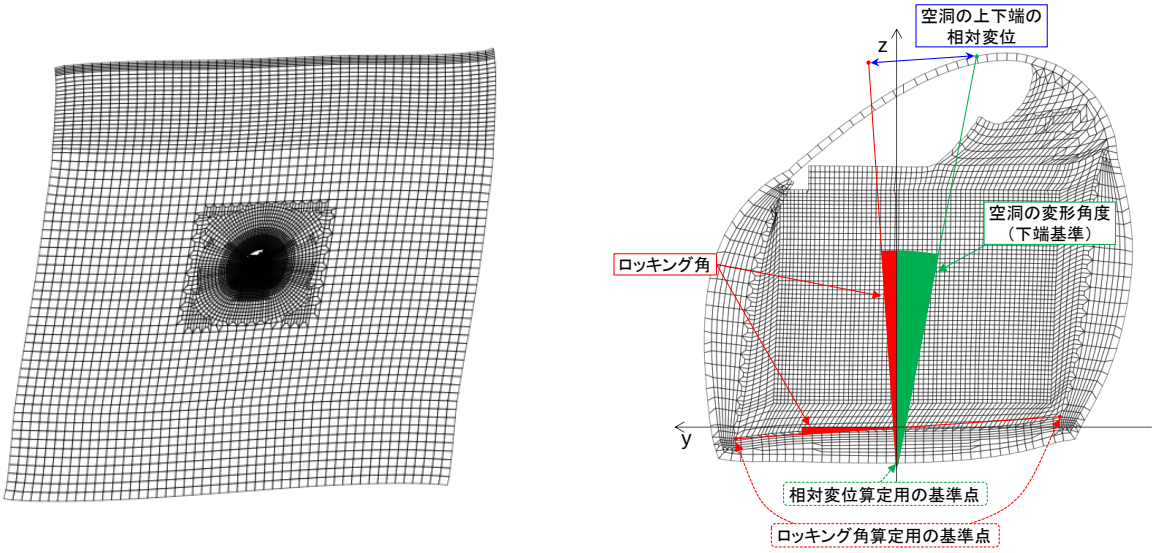


図 3.2-122　試験施設の応答加速度（鉛直方向）

b. 着目位置の応答変位

試験空洞の変形が大きい時刻の変形図を図 3.2-123 に示す。図 3.2-123 に示すように試験空洞全体がロッキングする挙動が確認された。そこで、底部埋戻し材の左右端を基準としてロッキング角を求め、ロッキングの影響を除いて空洞上下端の相対変位を算出した。

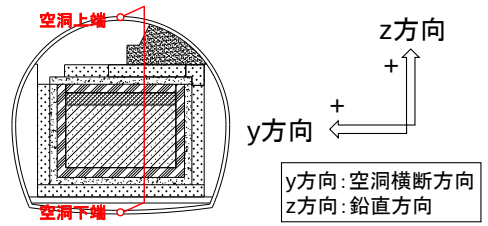
試験空洞の上下端位置の相対変位の時刻歴を図 3.2-124 に示す。



(1) 解析モデル全体の変形　　(2) 試験施設の変形

※変形を明確にするため、変形倍率を 30000 倍で描画

図 3.2-123　ロッキングの影響を除いた相対変位の算出



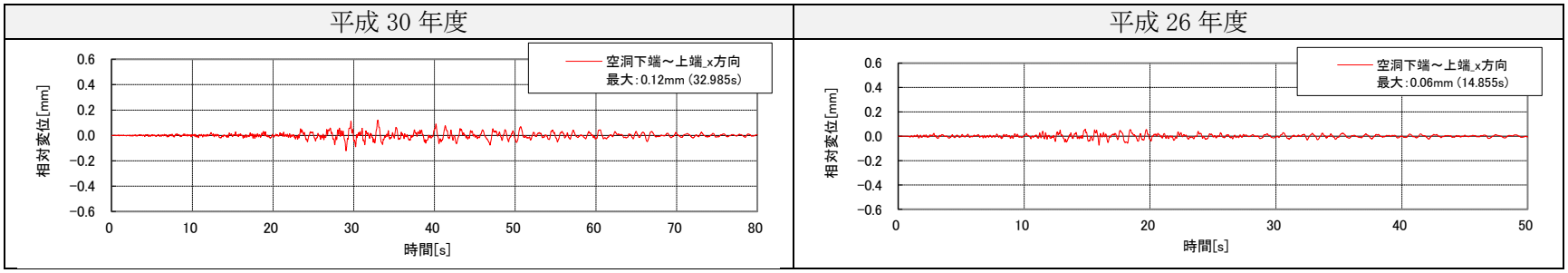


図 3.2-124　試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）

c. コンクリートピット

コンクリートピットの直応力分布及びせん断応力分布を図 3.2-125～図 3.2-130、直ひずみ分布及びせん断ひずみ分布を図 3.2-131～図 3.2-136 に示す。

(a) 直応力（水平方向）分布

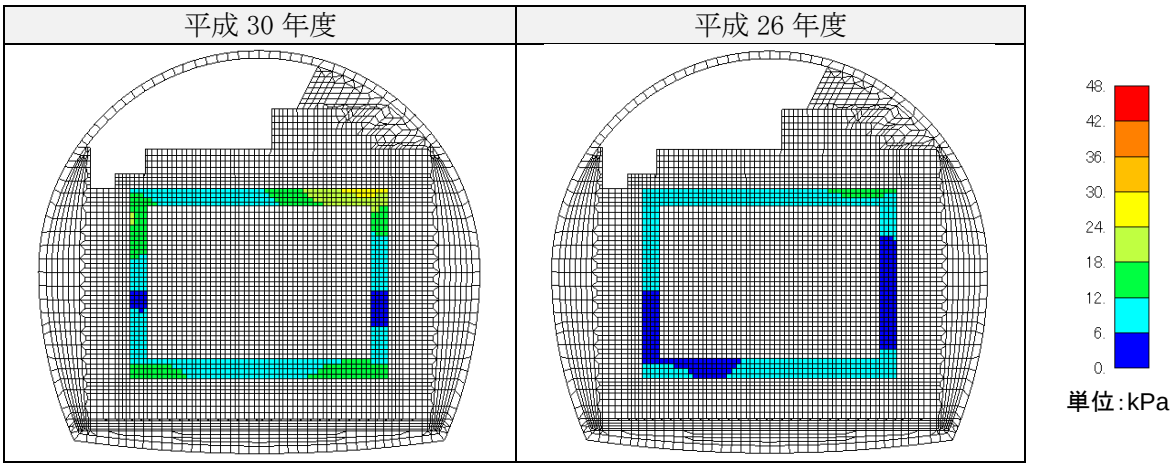


図 3.2-125　コンクリートピットの引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

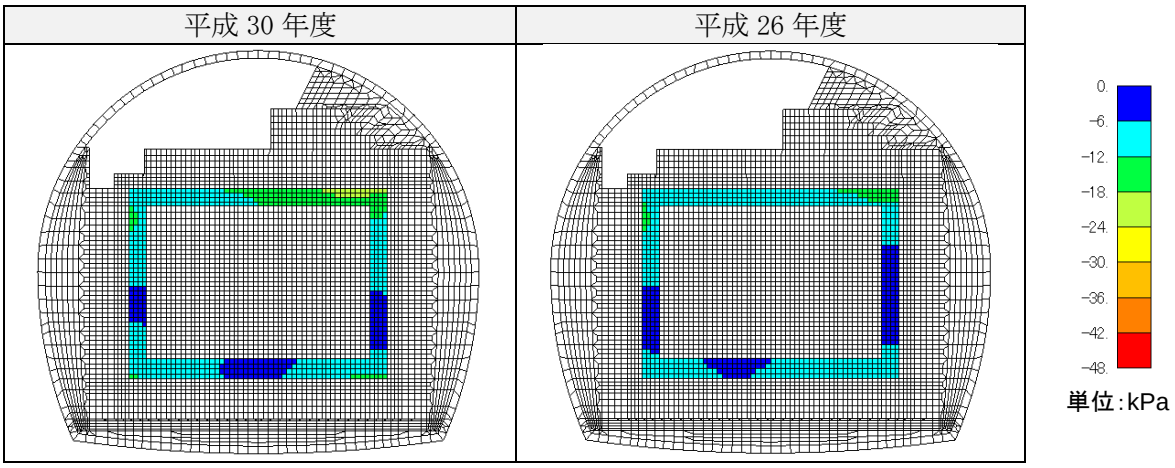


図 3.2-126　コンクリートピットの圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(b) 直応力（鉛直方向）分布

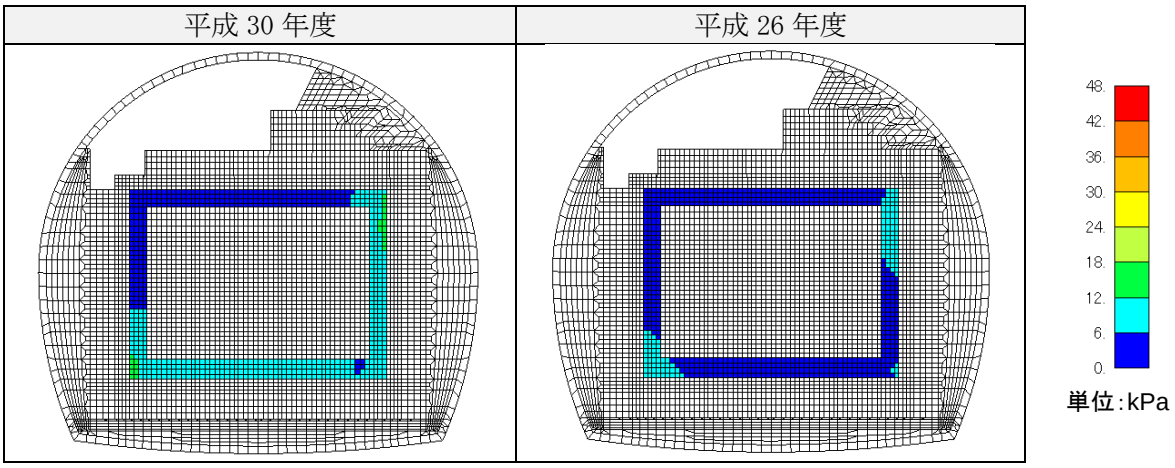


図 3.2-127　コンクリートピットの引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

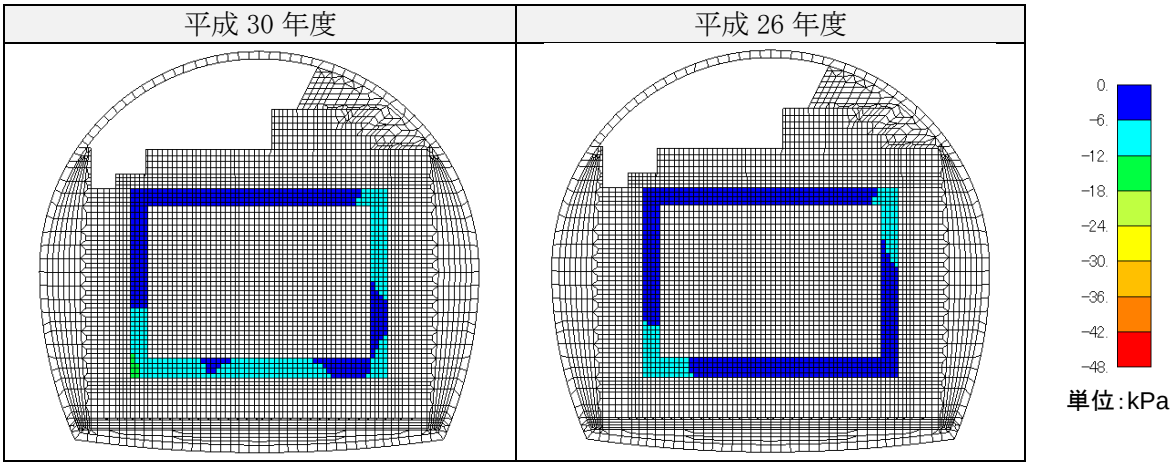


図 3.2-128　コンクリートピットの圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(c) せん断応力分布

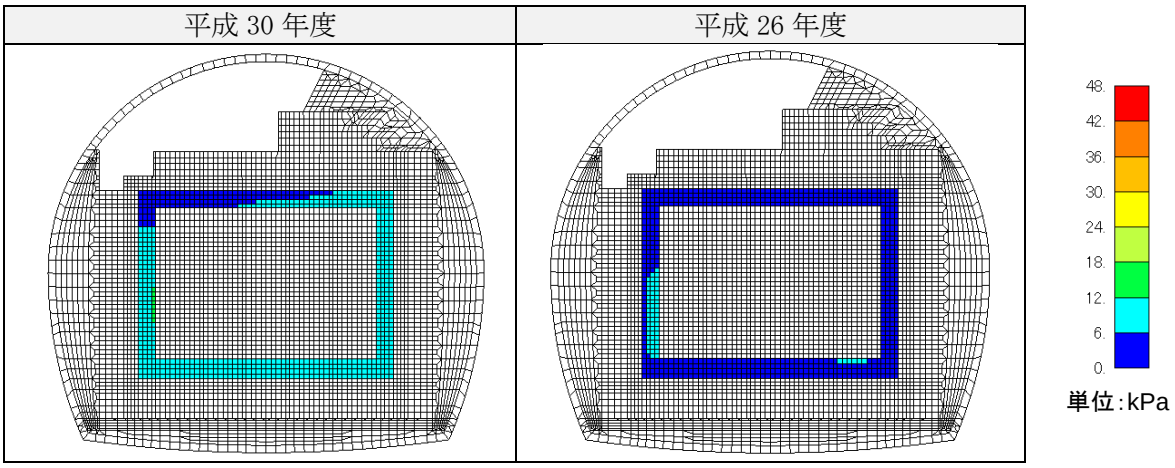


図 3.2-129　コンクリートピットのせん断応力地震時増分（履歴最大）

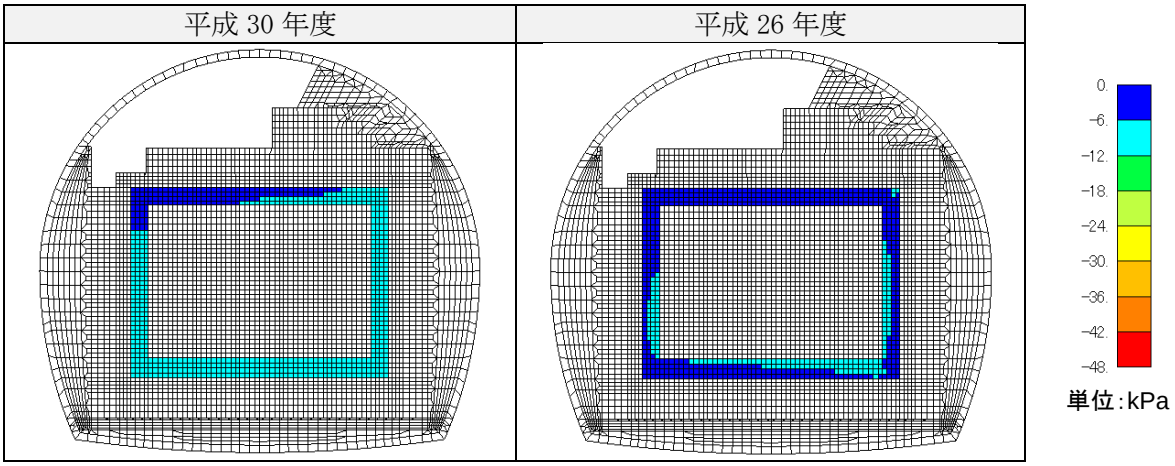


図 3.2-130　コンクリートピットのせん断応力地震時増分（履歴最小）

(d) 直ひずみ（水平方向）分布

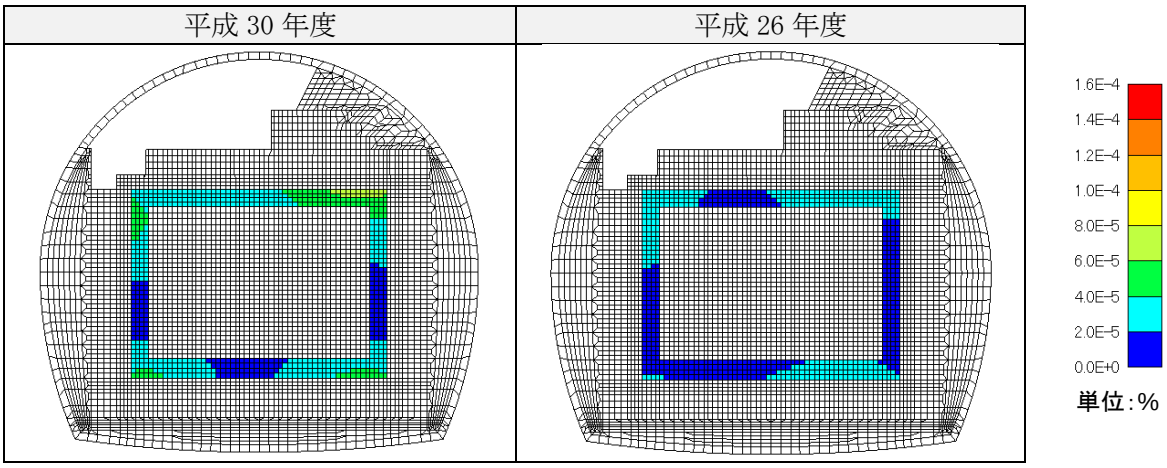


図 3.2-131　コンクリートピットの引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

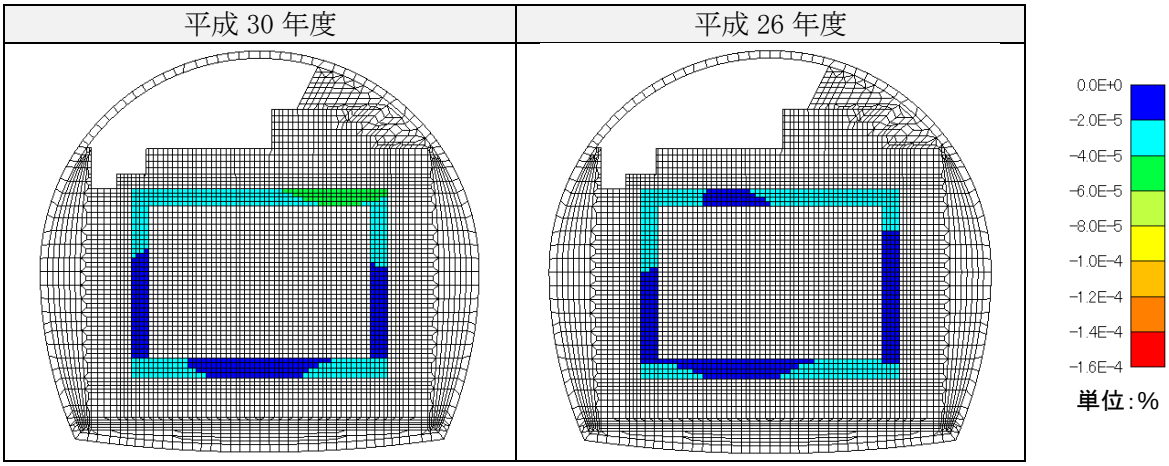


図 3.2-132　コンクリートピットの圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(e) 直ひずみ（鉛直方向）分布

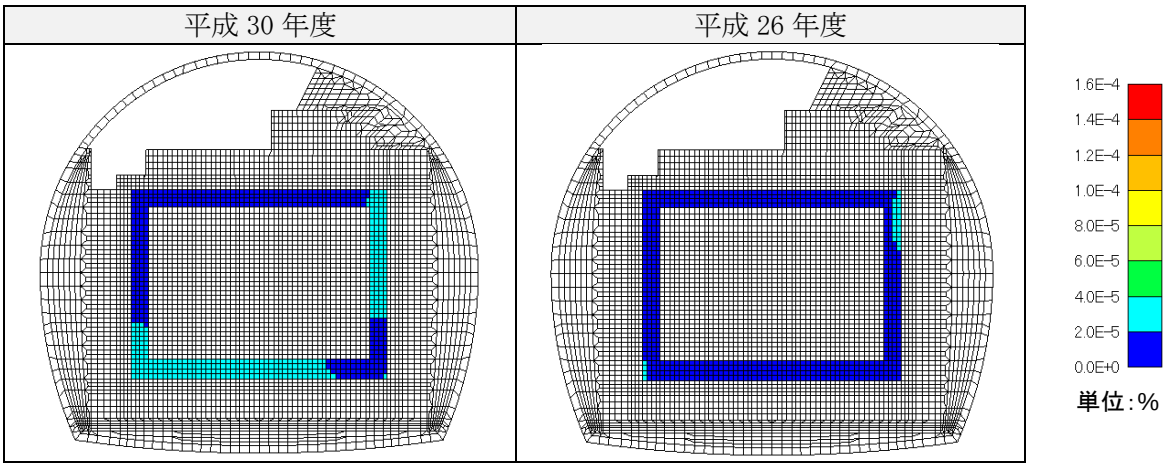


図 3.2-133　コンクリートピットの引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

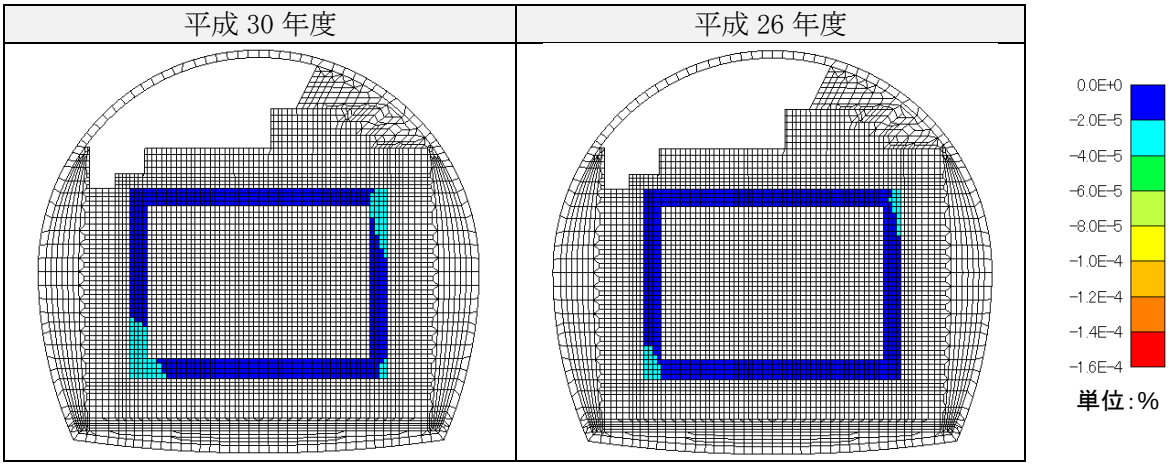


図 3.2-134　コンクリートピットの圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(f) せん断ひずみ分布

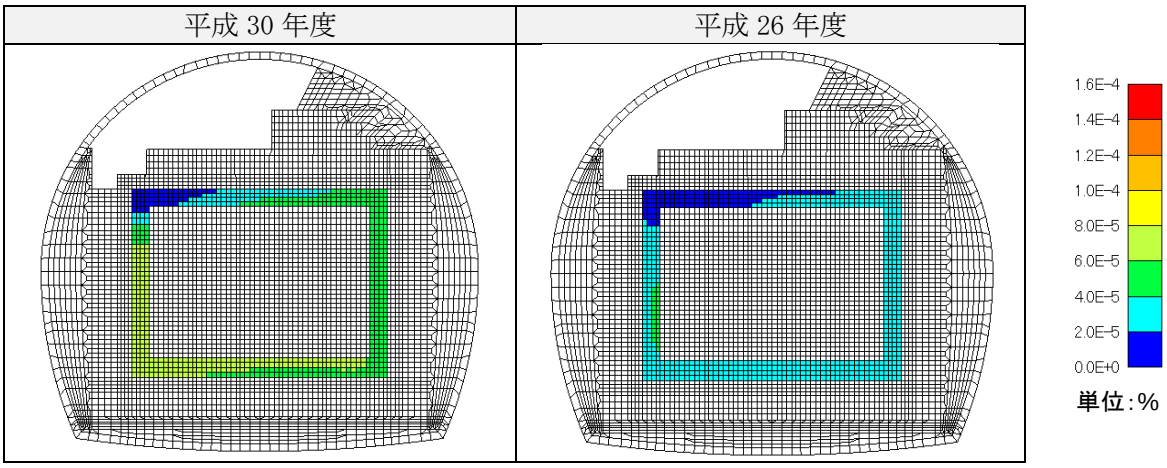


図 3.2-135　コンクリートピットのせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

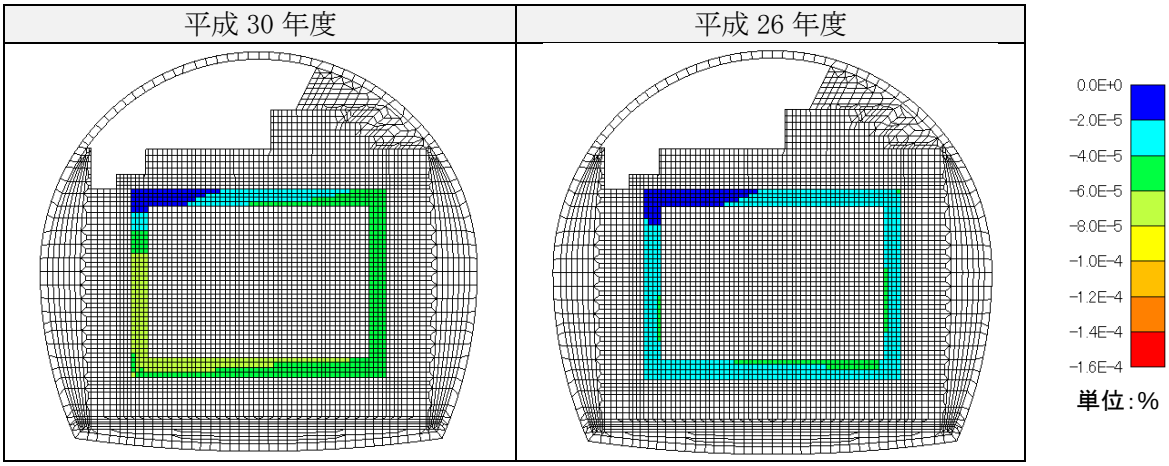


図 3.2-136　コンクリートピットのせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

d. 低拡散層

低拡散層の直応力分布及びせん断応力分布を図 3.2-137～図 3.2-142、直ひずみ分布及びせん断ひずみ分布を図 3.2-143～図 3.2-148 に示す。

(a) 直応力（水平方向）分布

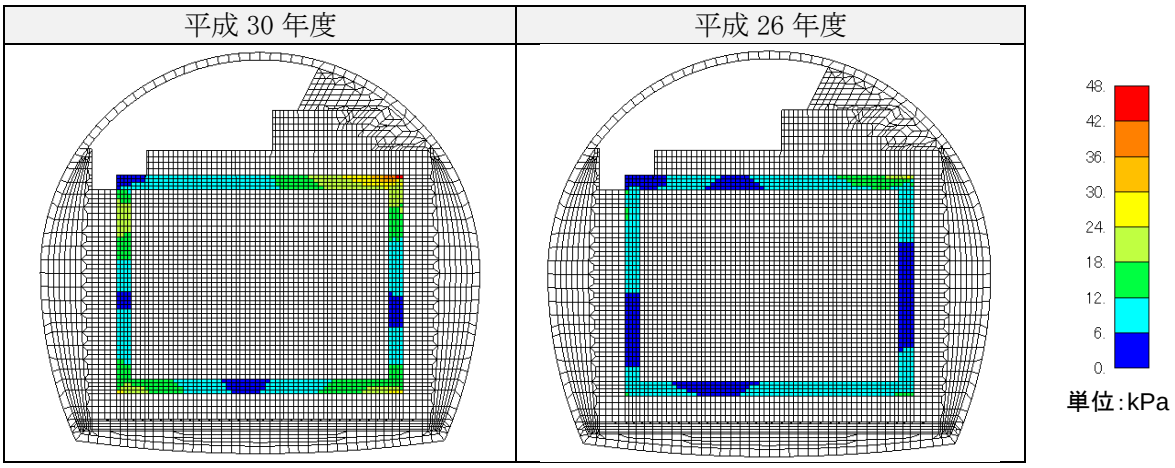


図 3.2-137　低拡散層の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

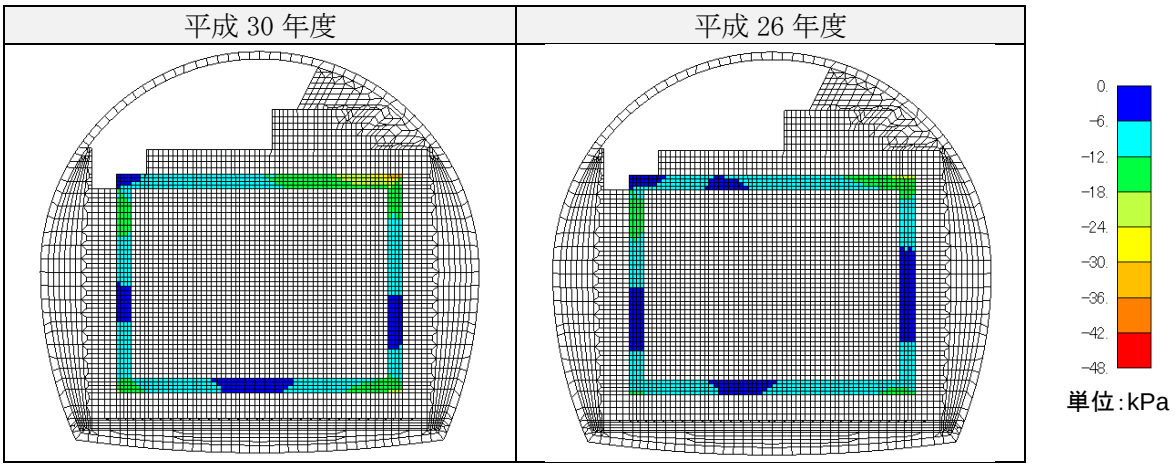


図 3.2-138　低拡散層の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(b) 直応力（鉛直方向）分布

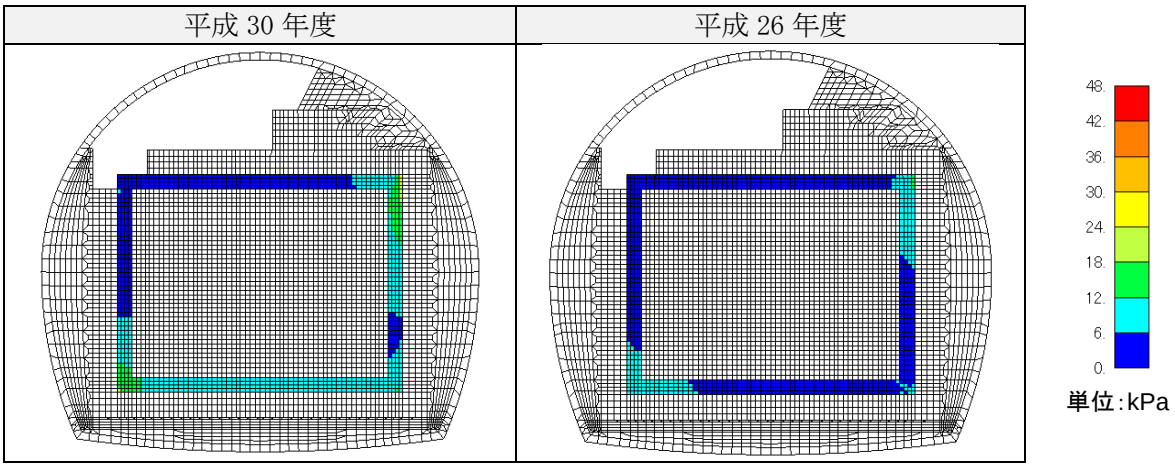


図 3.2-139　低拡散層の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

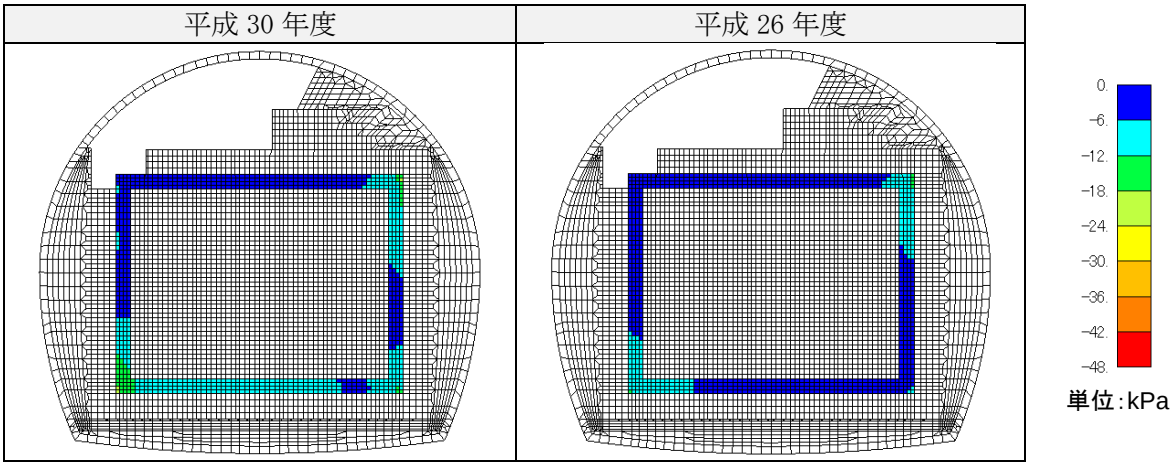


図 3.2-140　低拡散層の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(c) せん断応力分布

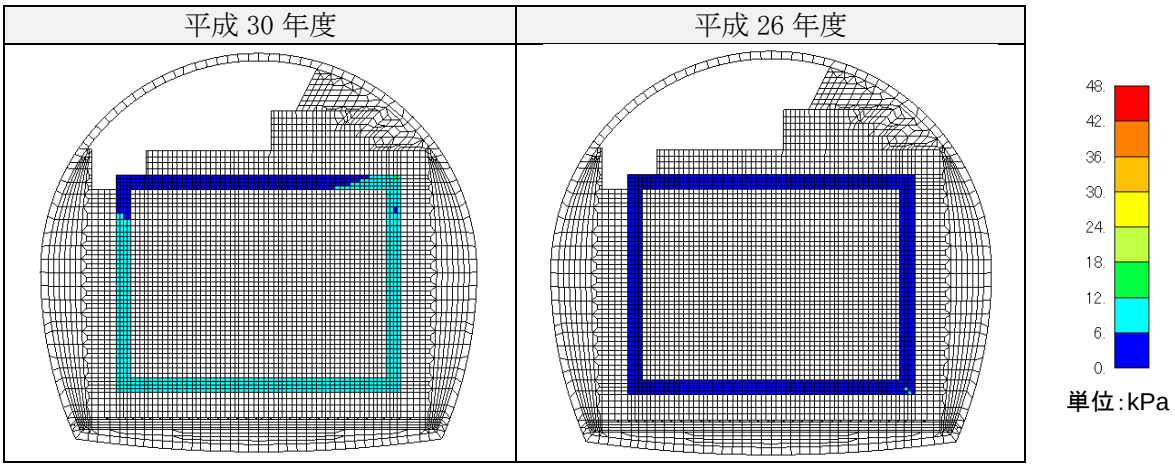


図 3.2-141　低拡散層のせん断応力地震時増分（履歴最大）

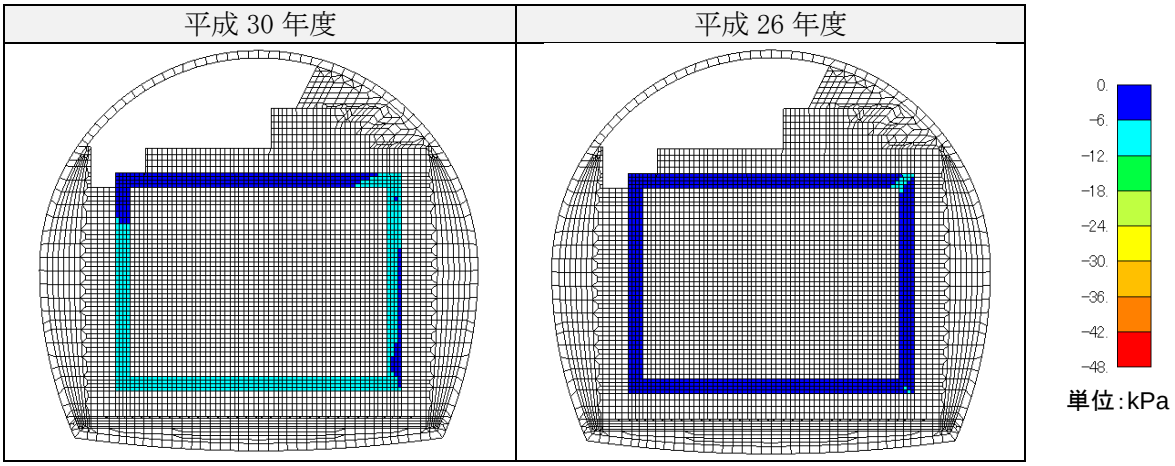


図 3.2-142　低拡散層のせん断応力地震時増分（履歴最小）

(d) 直ひずみ（水平方向）分布

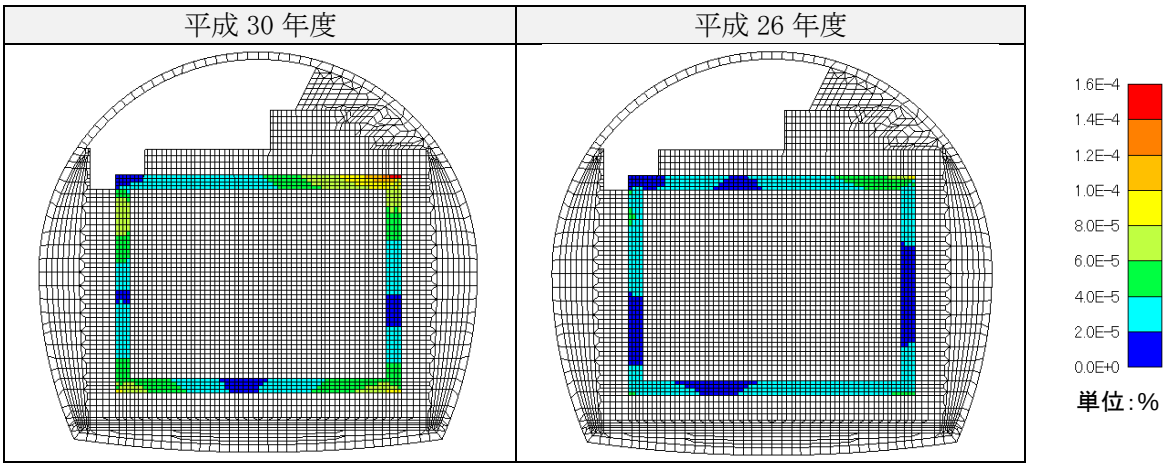


図 3.2-143　低拡散層の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

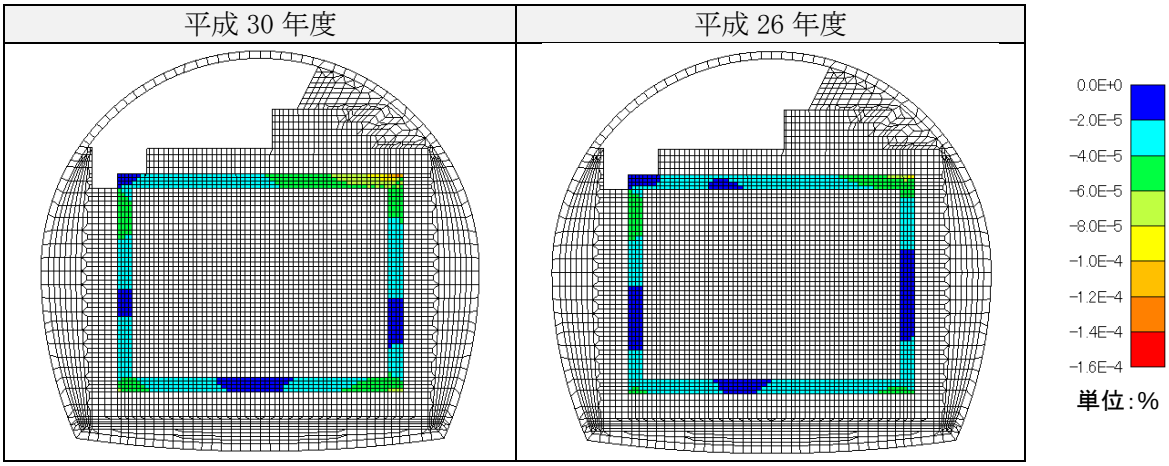


図 3.2-144　低拡散層の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(e) 直ひずみ（鉛直方向）分布

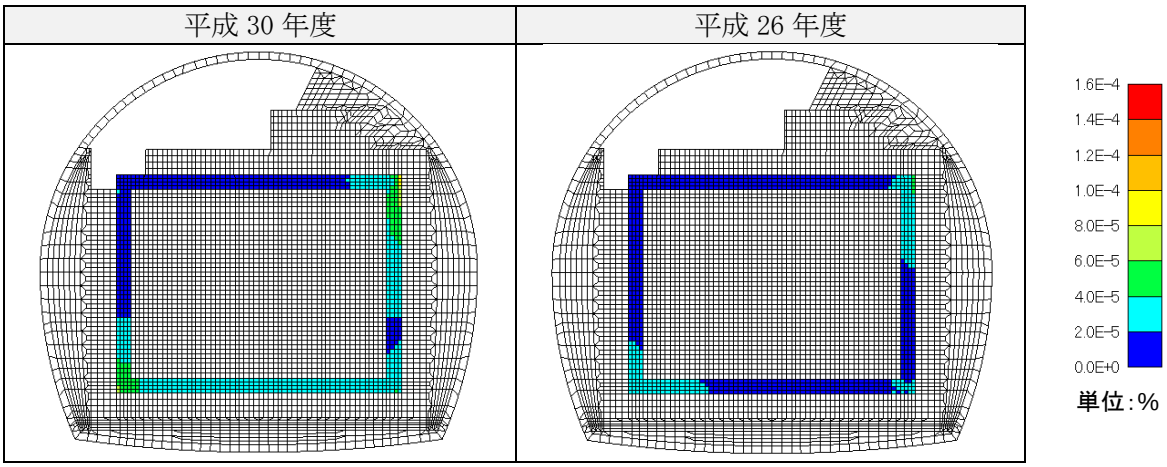


図 3.2-145　低拡散層の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

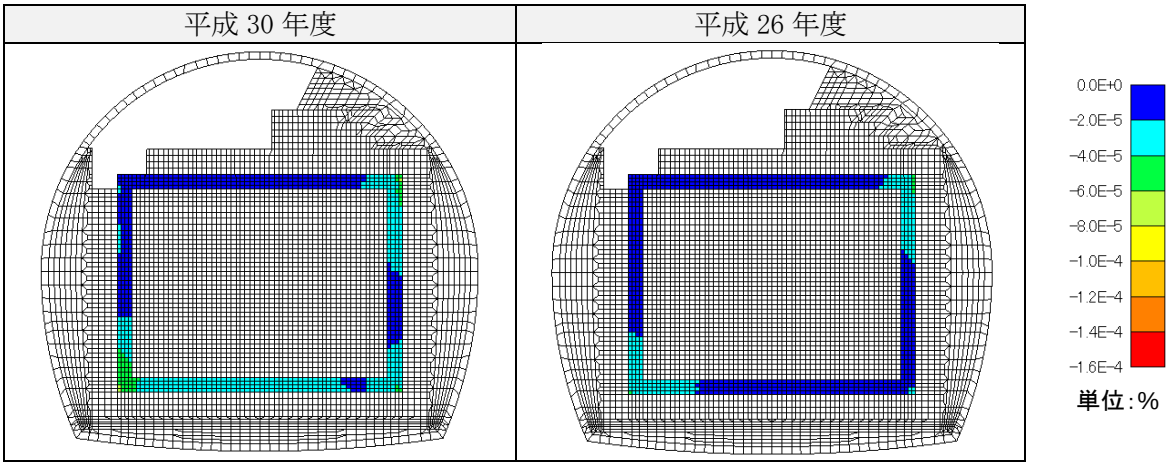


図 3.2-146　低拡散層の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(f) せん断ひずみ分布

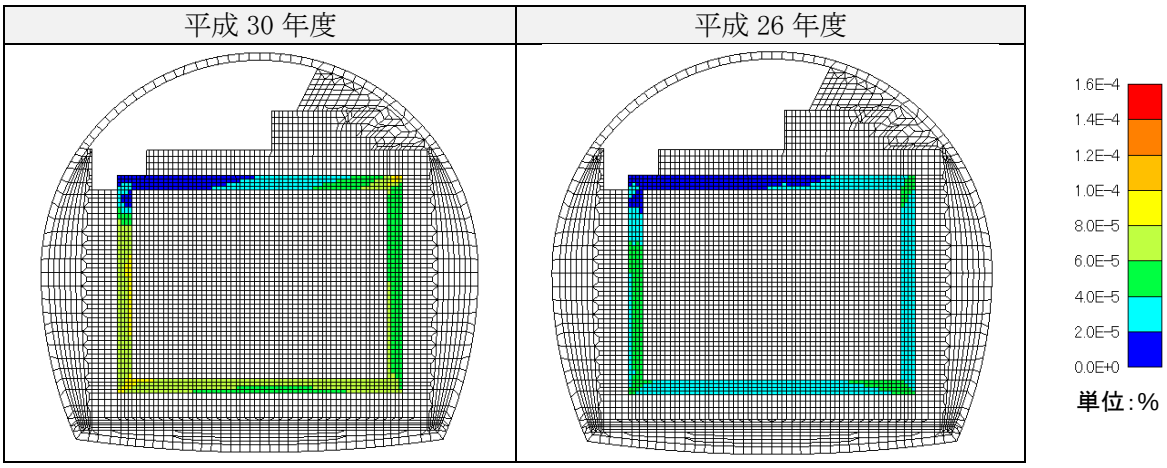


図 3.2-147　低拡散層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

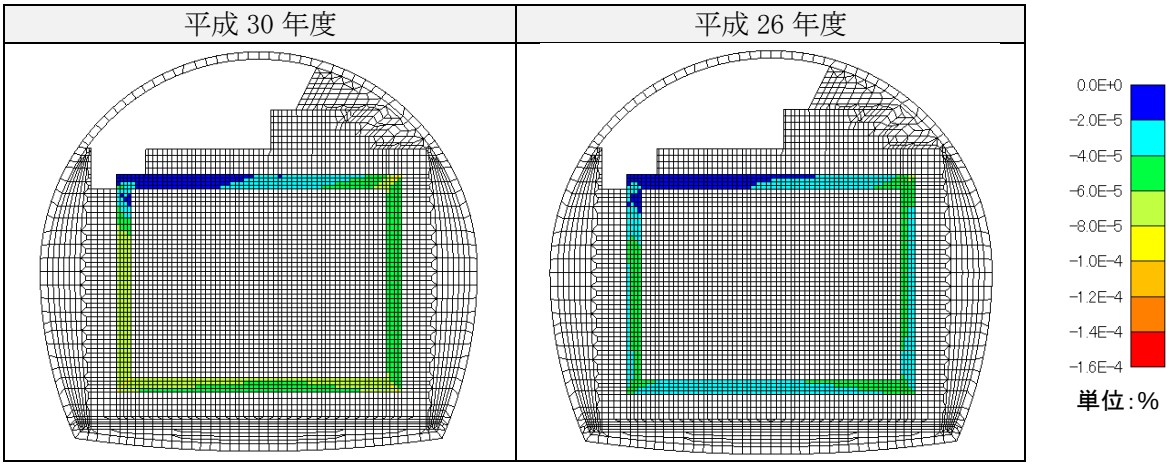


図 3.2-148　低拡散層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

e. 低透水層

低透水層の直応力分布及びせん断応力分布を図 3.2-149～図 3.2-154、直ひずみ分布及びせん断ひずみ分布を図 3.2-155～図 3.2-160、最大せん断ひずみ（主ひずみ差）分布を図 3.2-161 に示す。

(a) 直応力（水平方向）分布

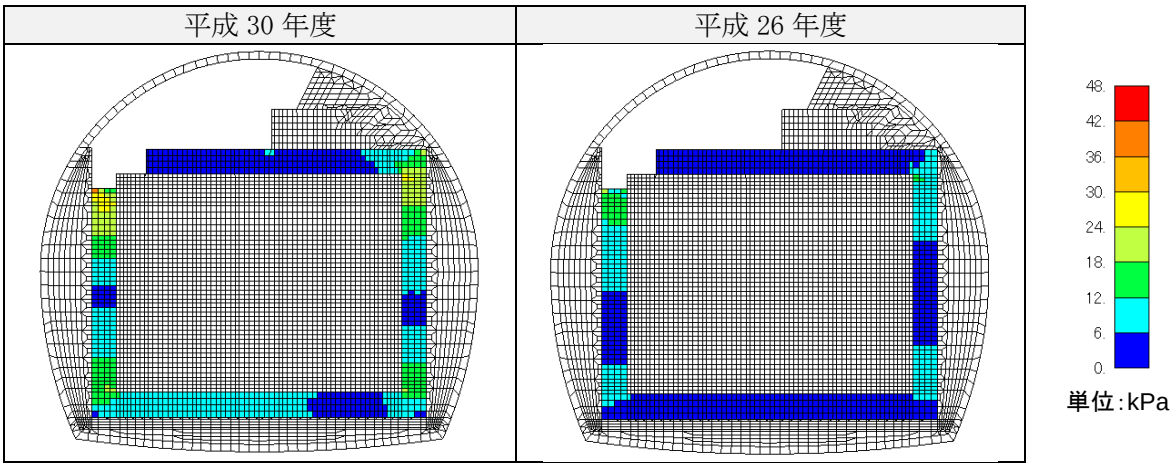


図 3.2-149　低透水層の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

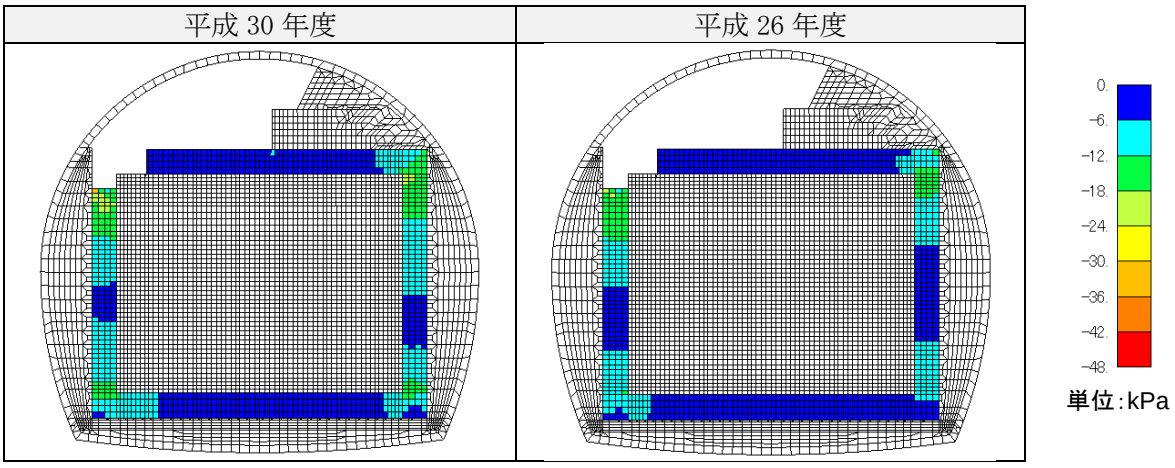


図 3.2-150　低透水層の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(b) 直応力（鉛直方向）分布

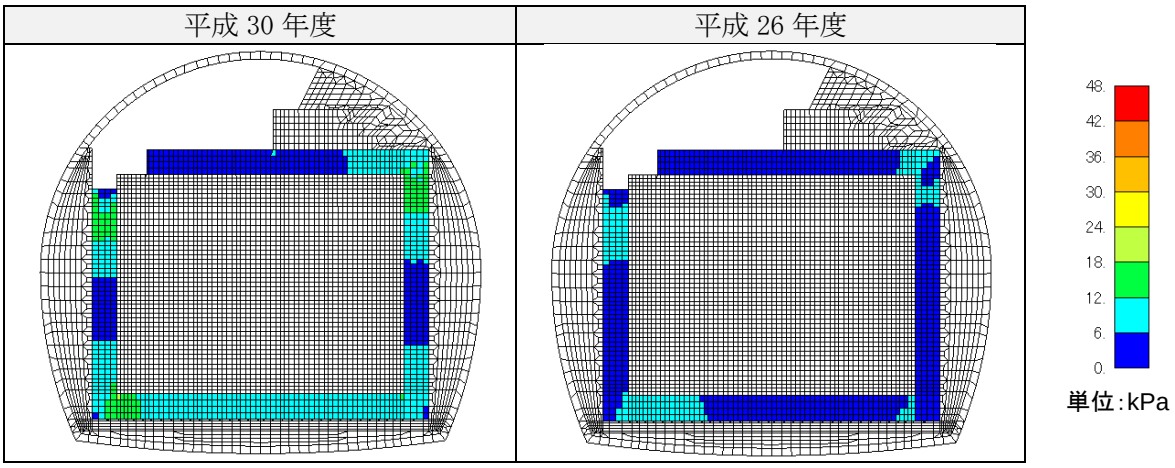


図 3.2-151　低透水層の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

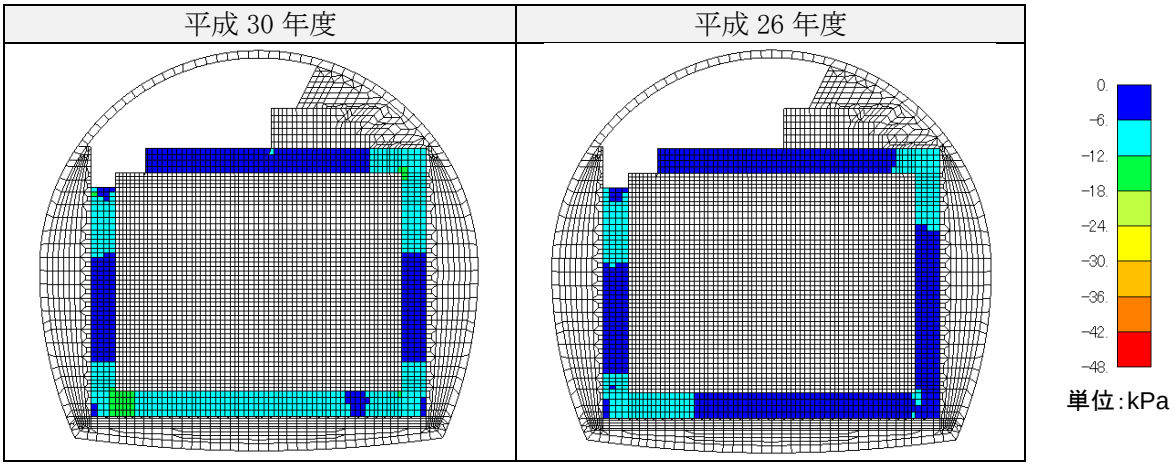


図 3.2-152　低透水層の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(c) せん断応力分布

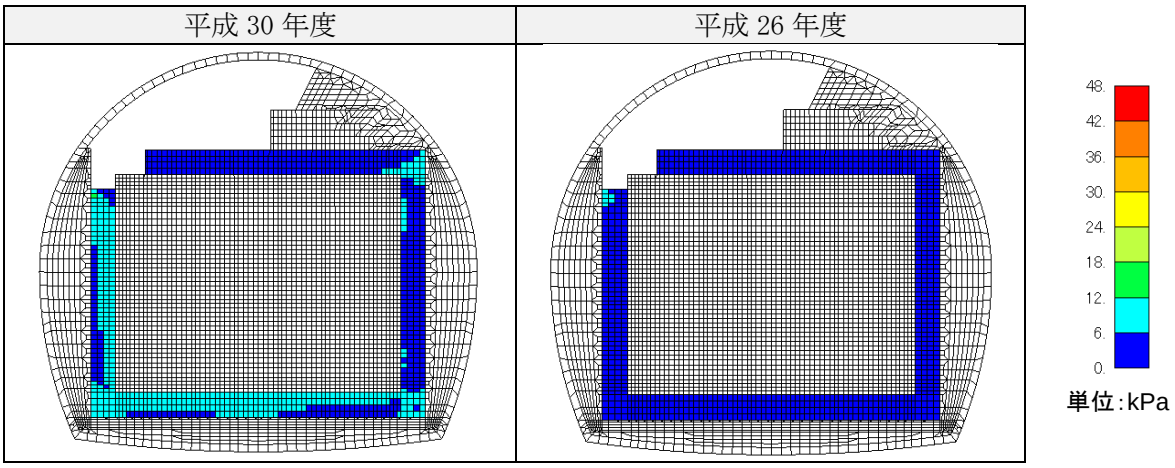


図 3.2-153　低透水層のせん断応力地震時増分（履歴最大）

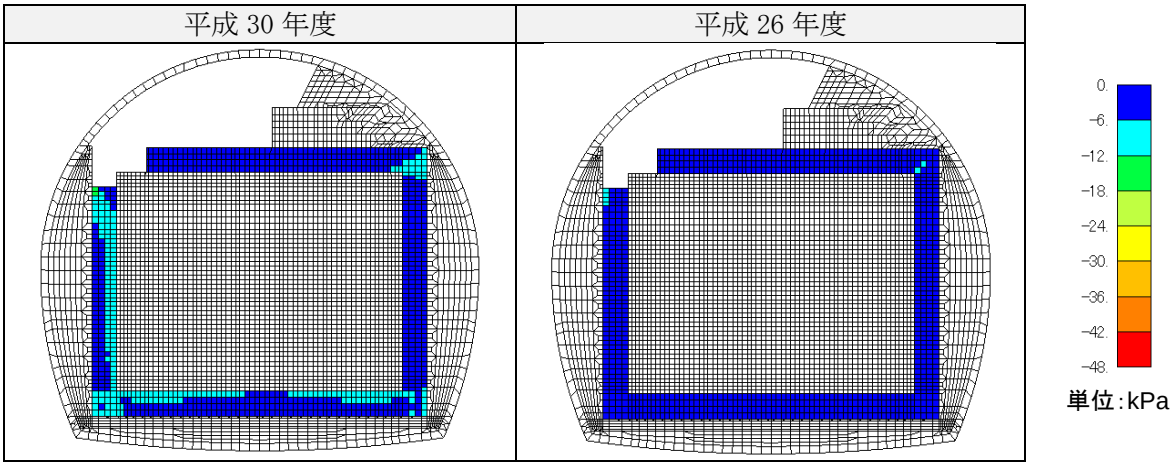


図 3.2-154　低透水層のせん断応力地震時増分（履歴最小）

(d) 直ひずみ（水平方向）分布

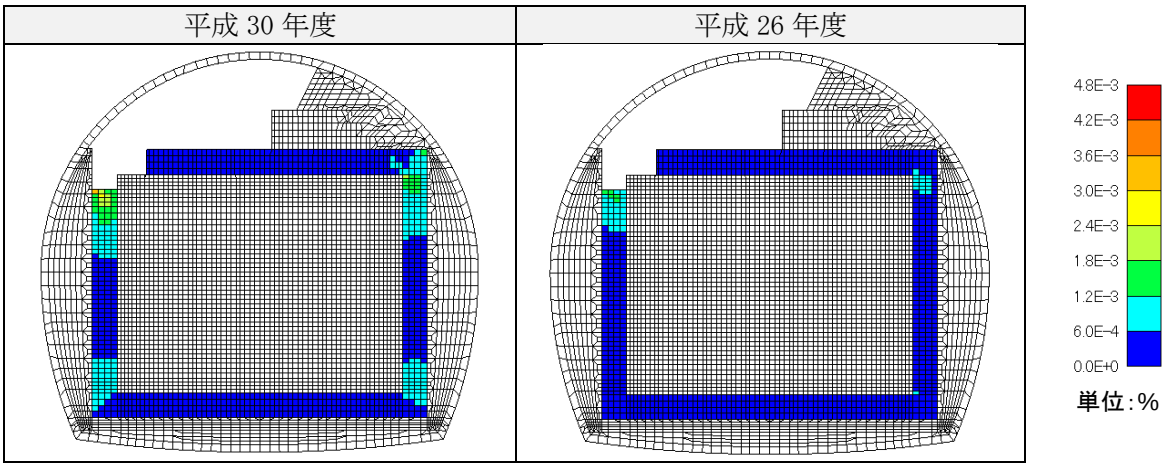


図 3.2-155　低透水層の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

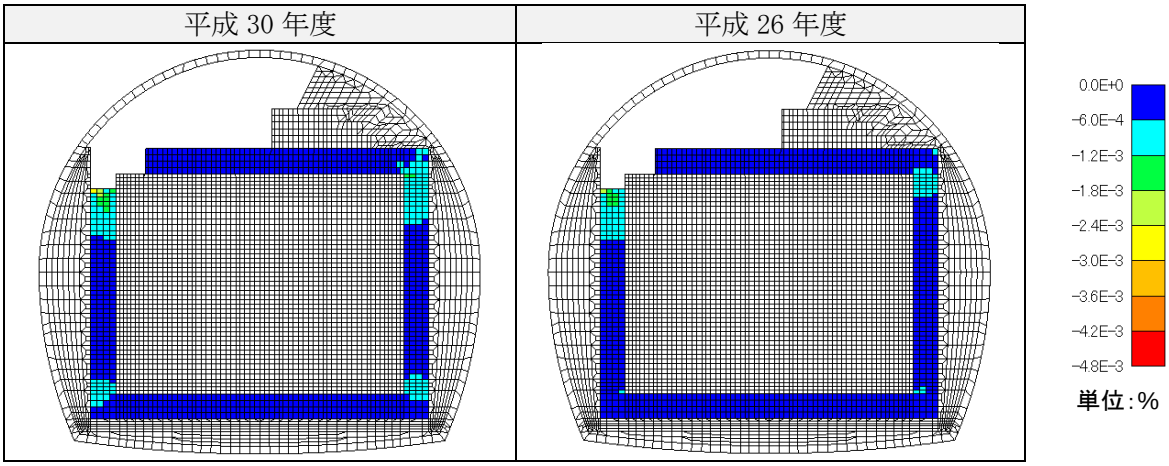


図 3.2-156　低透水層の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(e) 直ひずみ（鉛直方向）分布

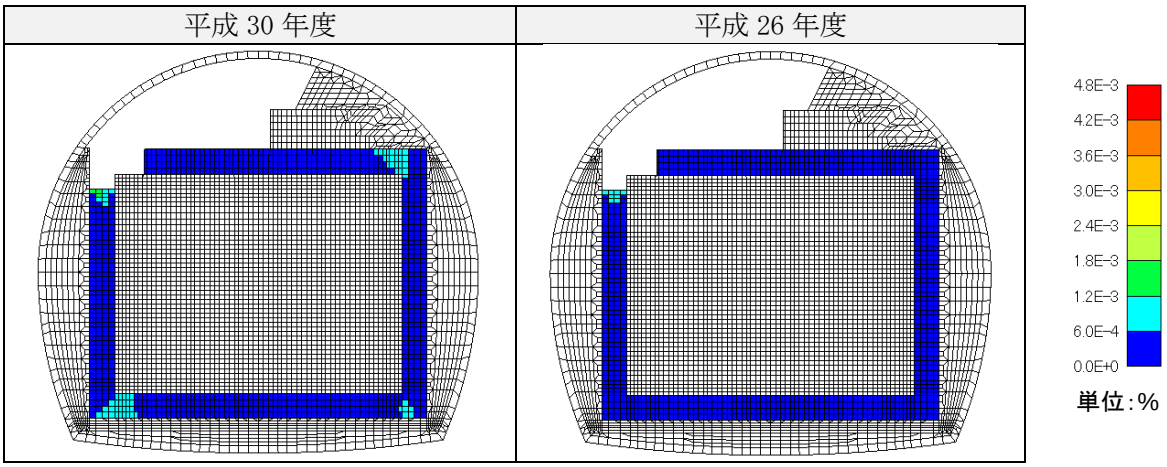


図 3.2-157　低透水層の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

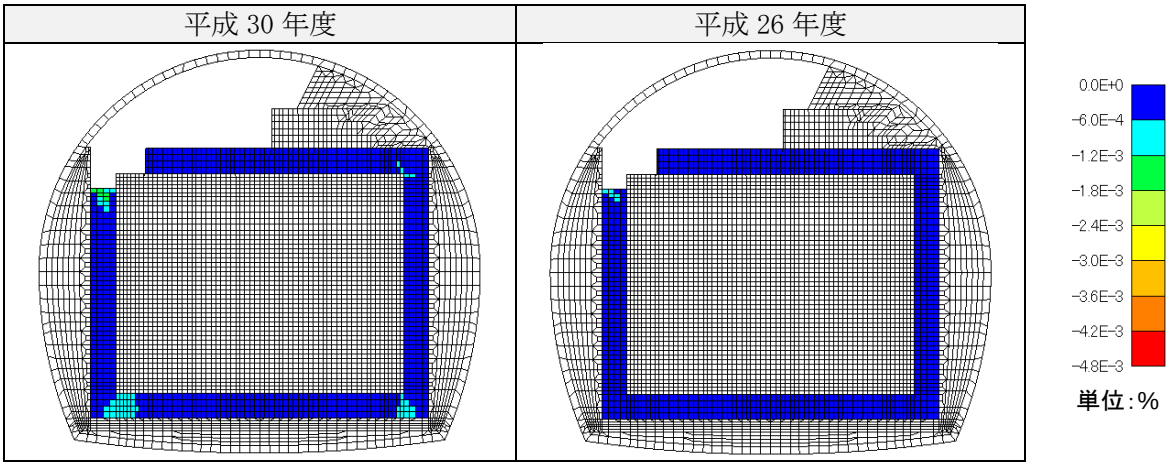


図 3.2-158　低透水層の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(f) せん断ひずみ分布

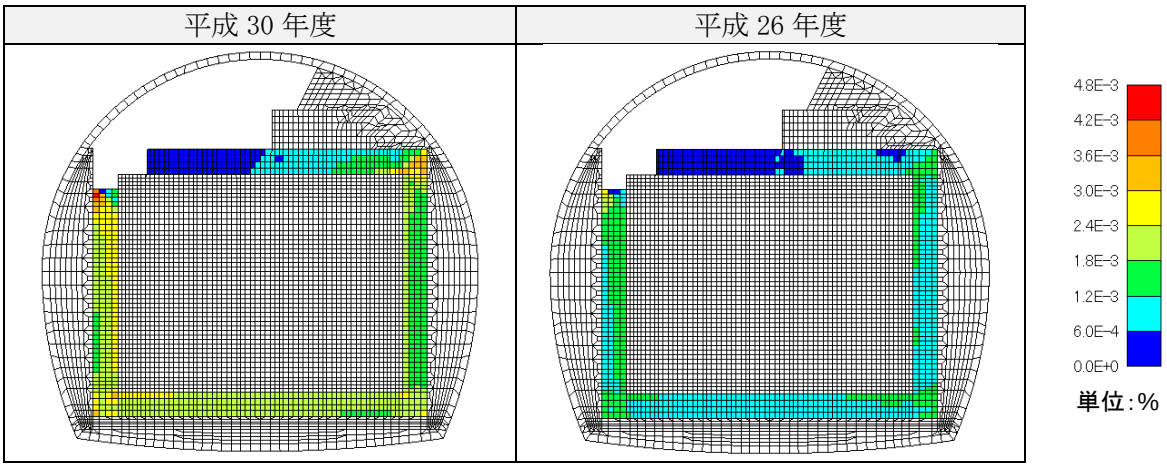


図 3.2-159　低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

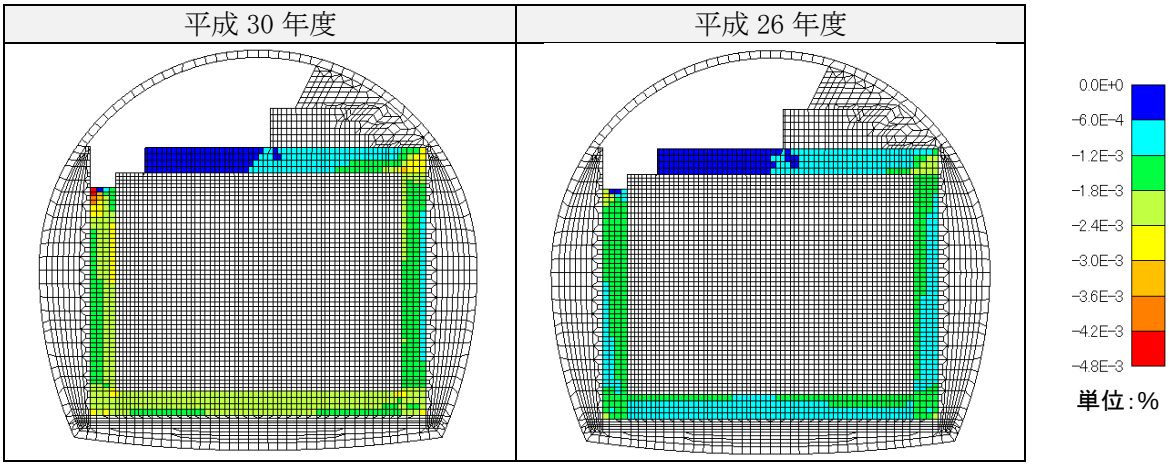


図 3.2-160　低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

(g) 最大せん断ひずみ分布

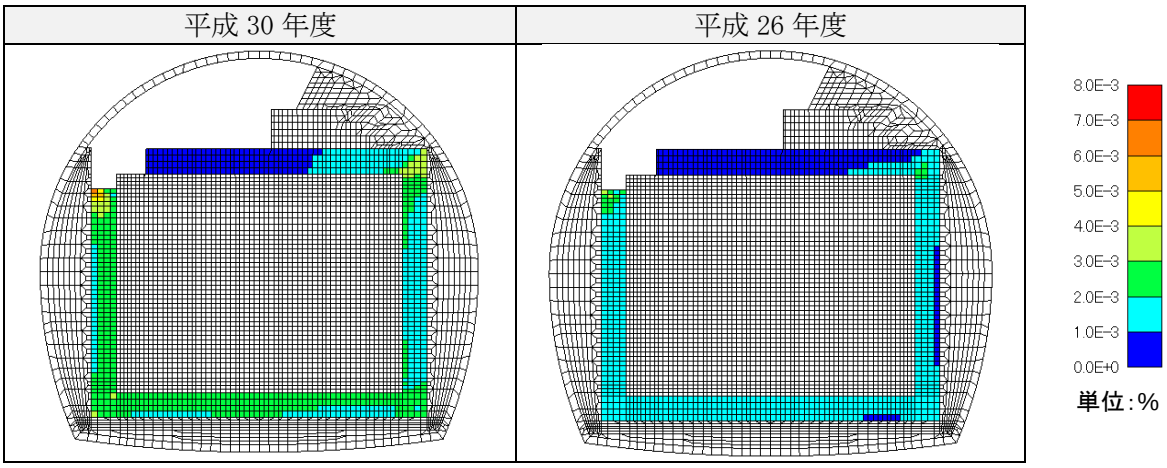


図 3.2-161　低透水層の最大せん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

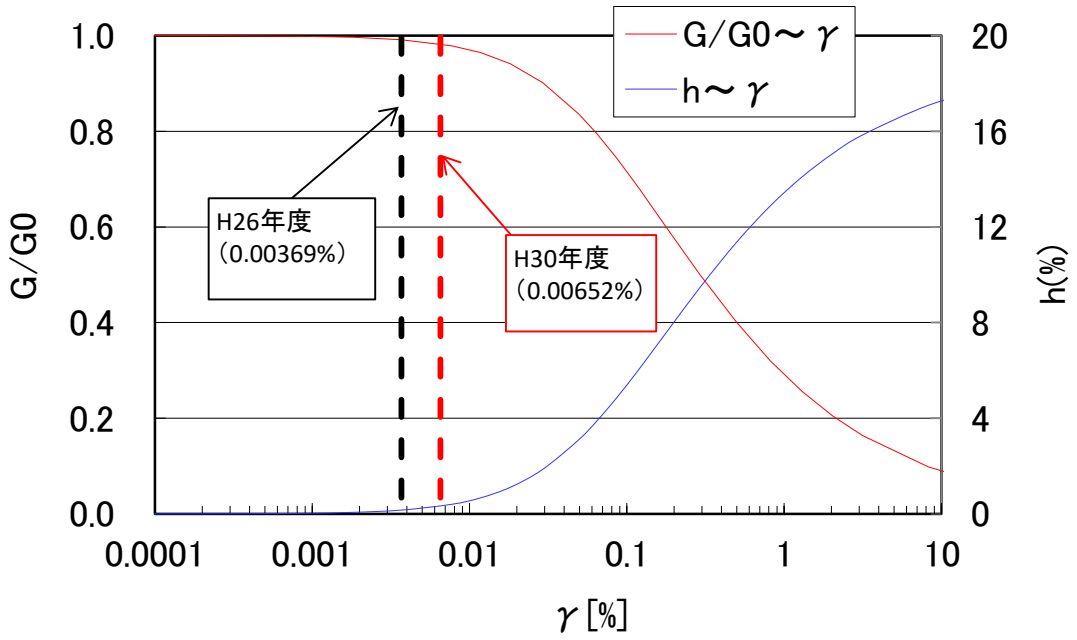


図 3.2-162　低透水層の最大せん断ひずみレベル

f．埋戻し材

埋戻し材の直応力分布及びせん断応力分布を図 3.2-163～図 3.2-168、直ひずみ分布及びせん断ひずみ分布を図 3.2-169～図 3.2-174、最大せん断ひずみ（主ひずみ差）分布を図 3.2-175 に示す。

(a) 直応力（水平方向）分布

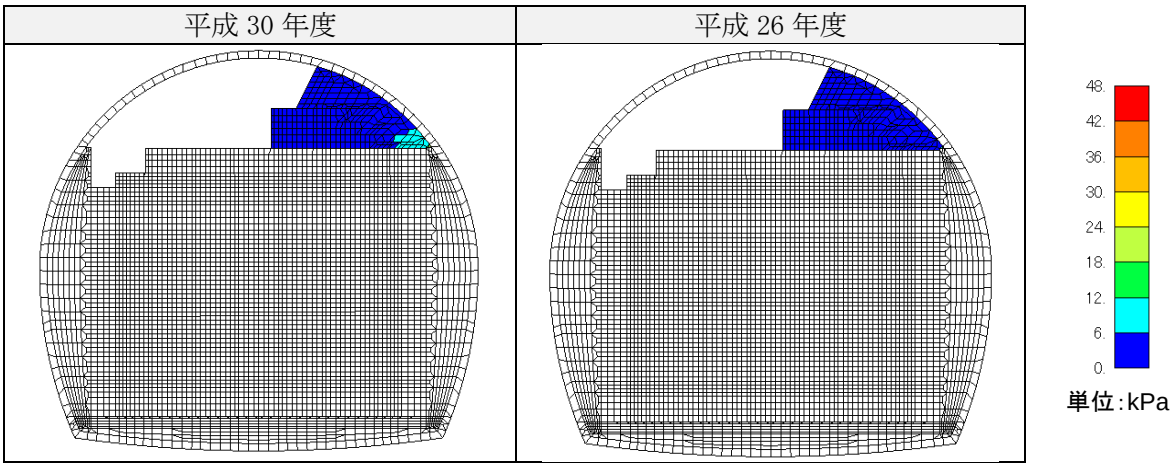


図 3.2-163　埋戻し材の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

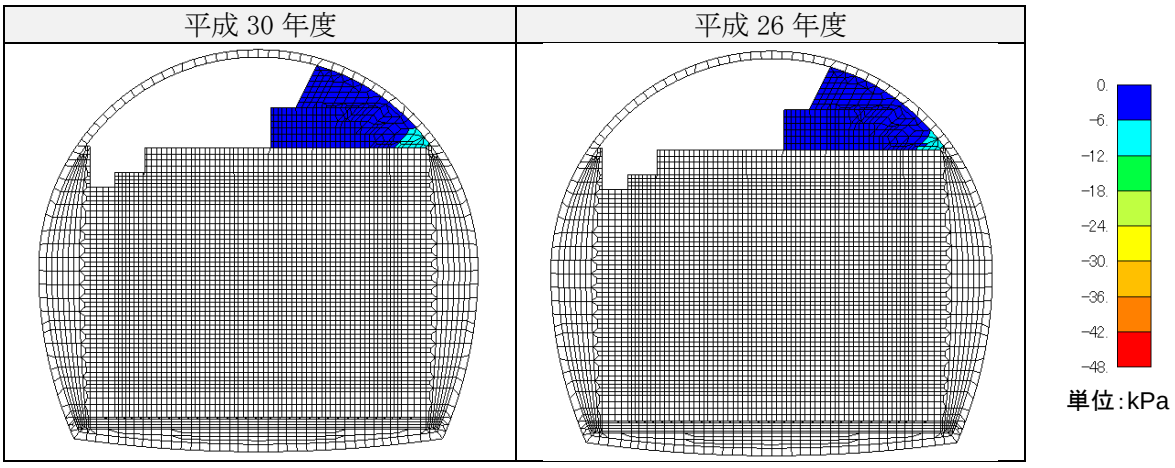


図 3.2-164　埋戻し材の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(b) 直応力（鉛直方向）分布

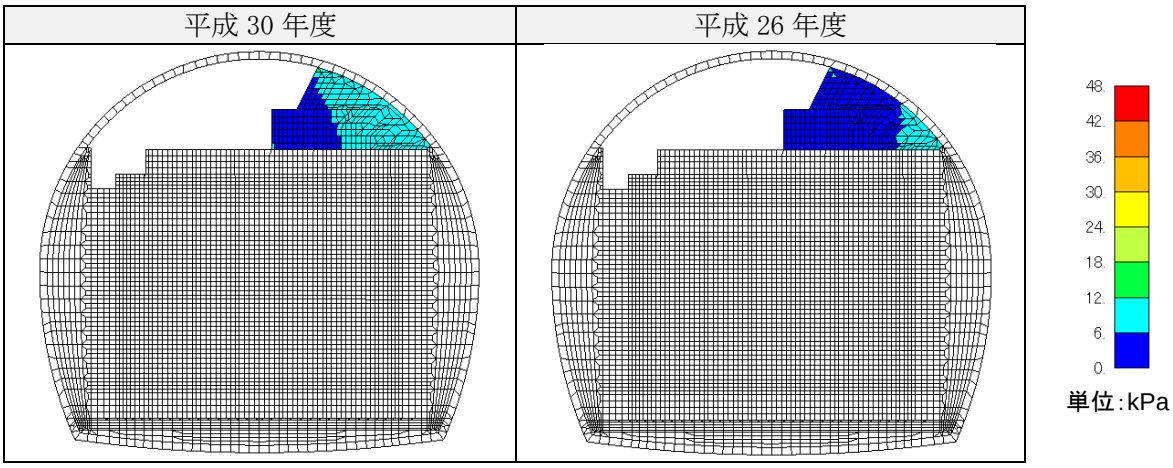


図 3.2-165　埋戻し材の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

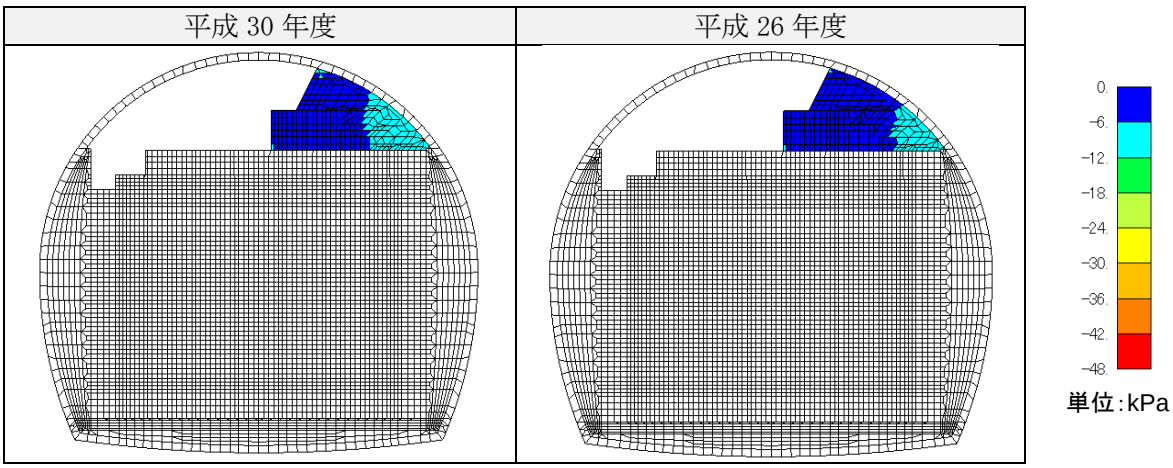


図 3.2-166　埋戻し材の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(c) せん断応力分布

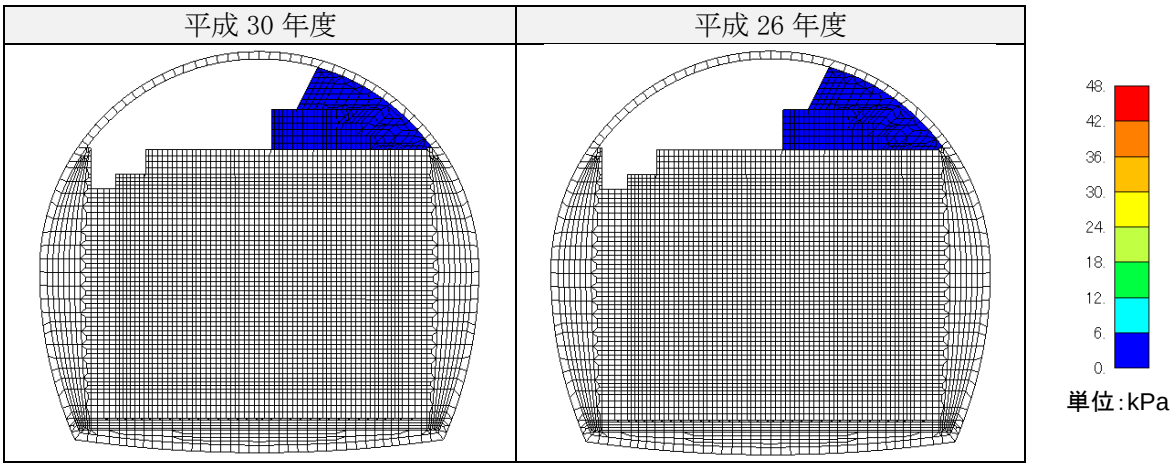


図 3.2-167　埋戻し材のせん断応力地震時増分（履歴最大）

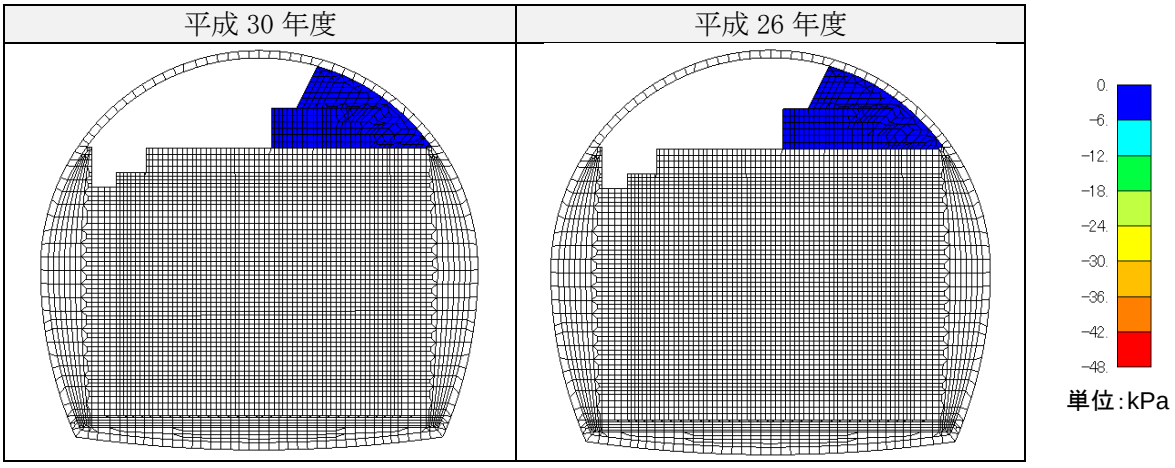


図 3.2-168　埋戻し材のせん断応力地震時増分（履歴最小）

(d) 直ひずみ（水平方向）分布

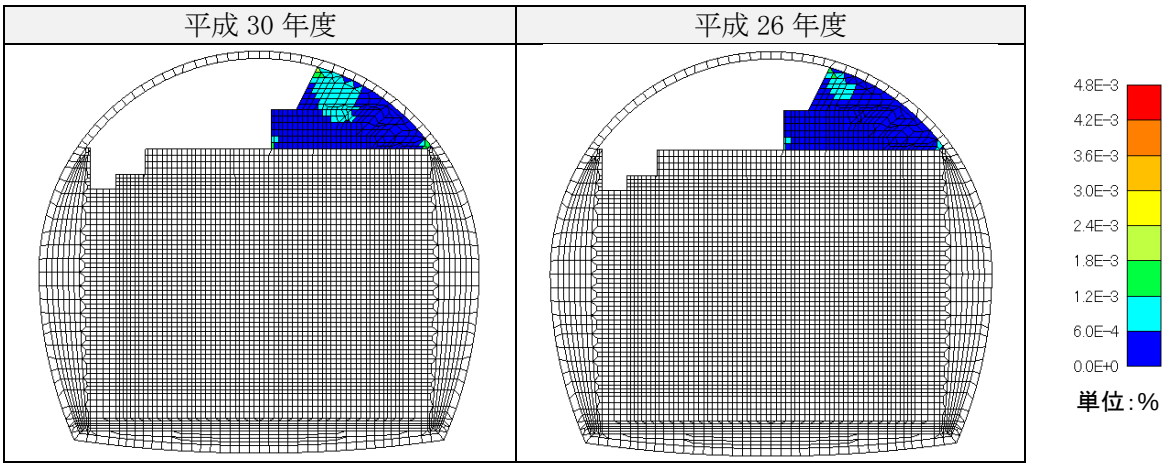


図 3.2-169　埋戻し材の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

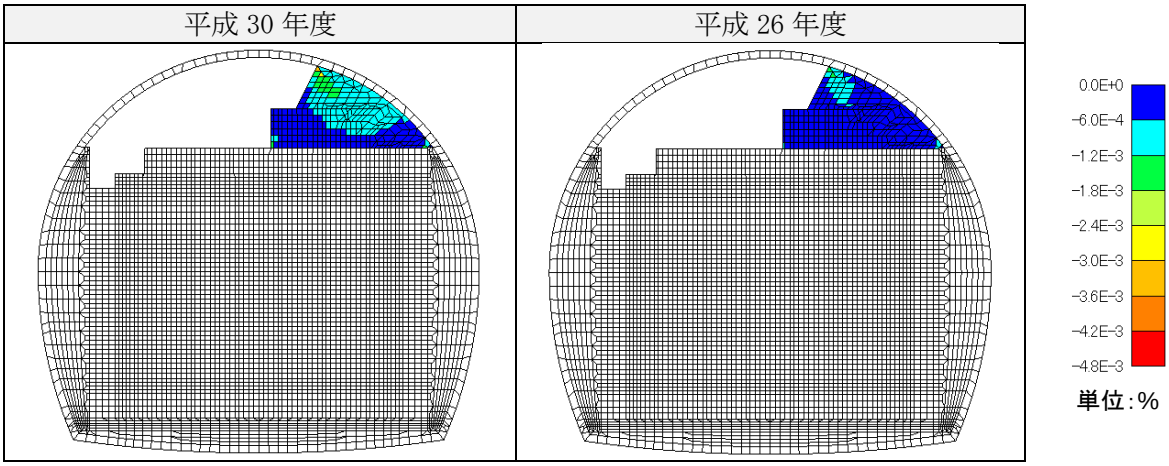


図 3.2-170　埋戻し材の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(e) 直ひずみ（鉛直方向）分布

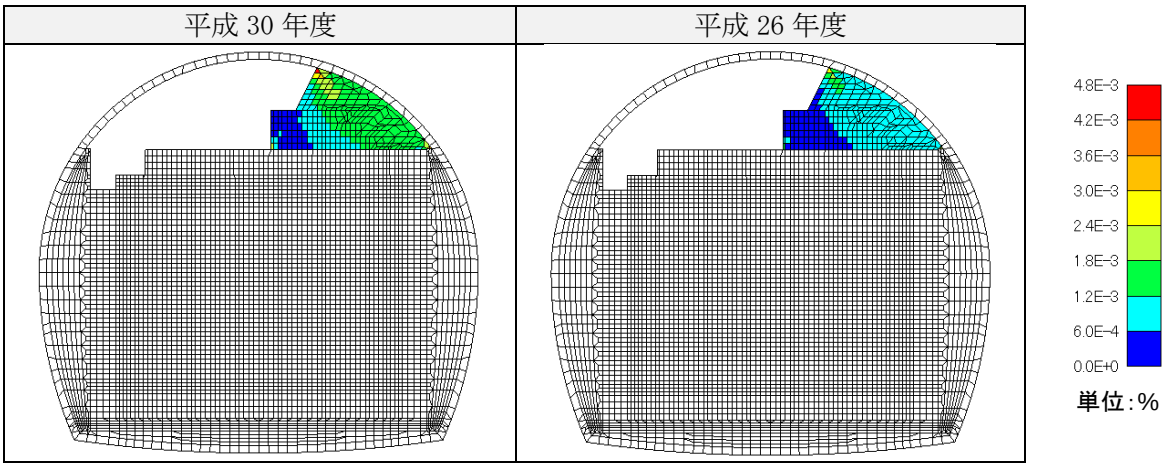


図 3.2-171　埋戻し材の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

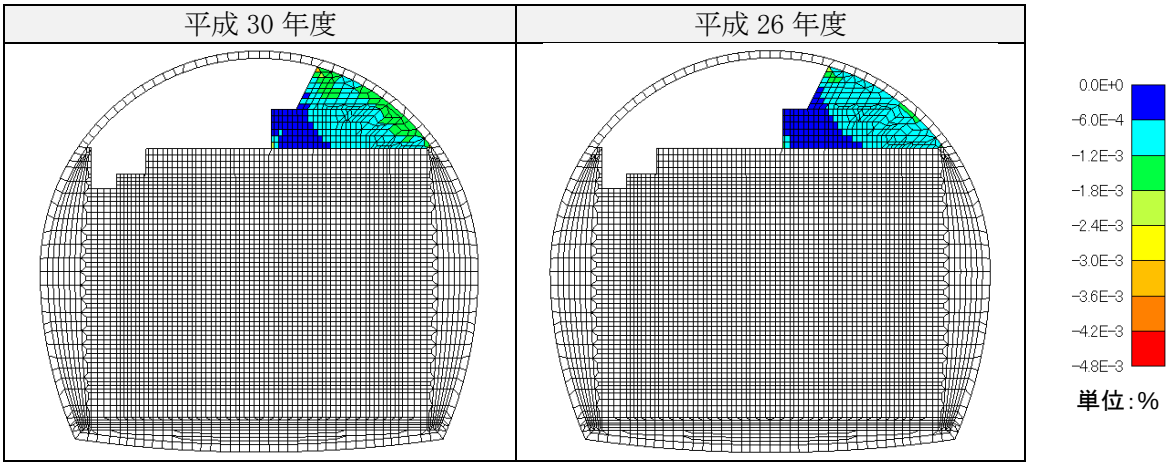


図 3.2-172　埋戻し材の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(f) せん断ひずみ分布

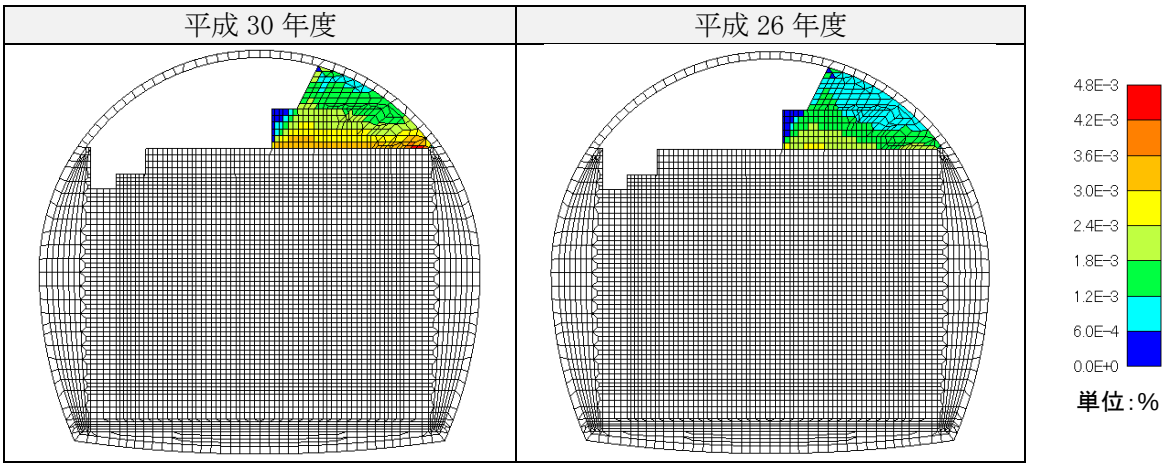


図 3.2-173　埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

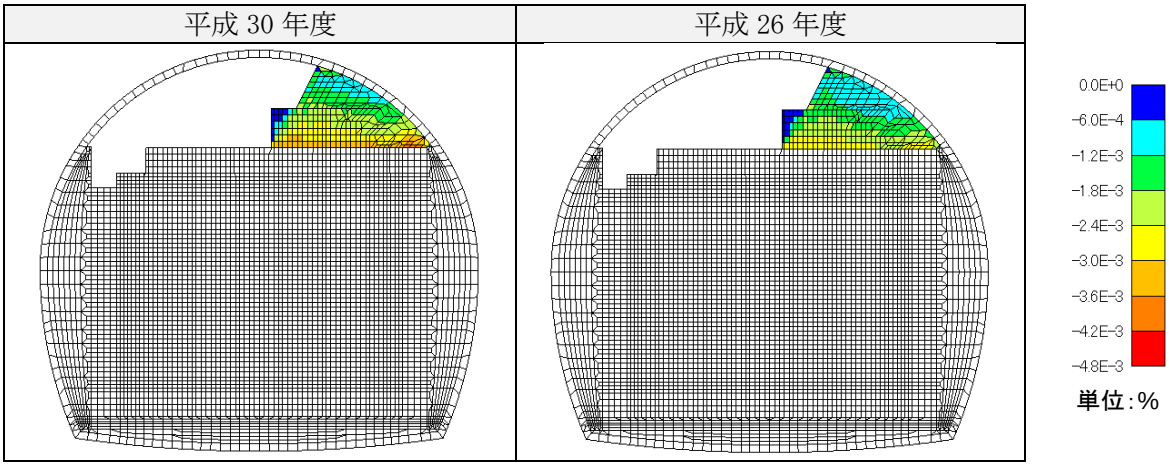


図 3.2-174　埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

(g) 最大せん断ひずみ分布

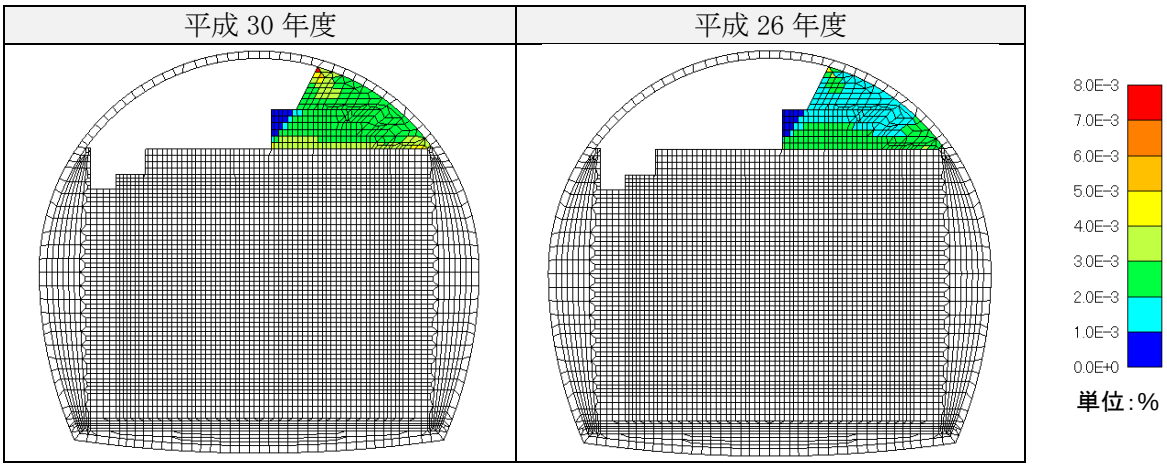


図 3.2-175　埋戻し材の最大せん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

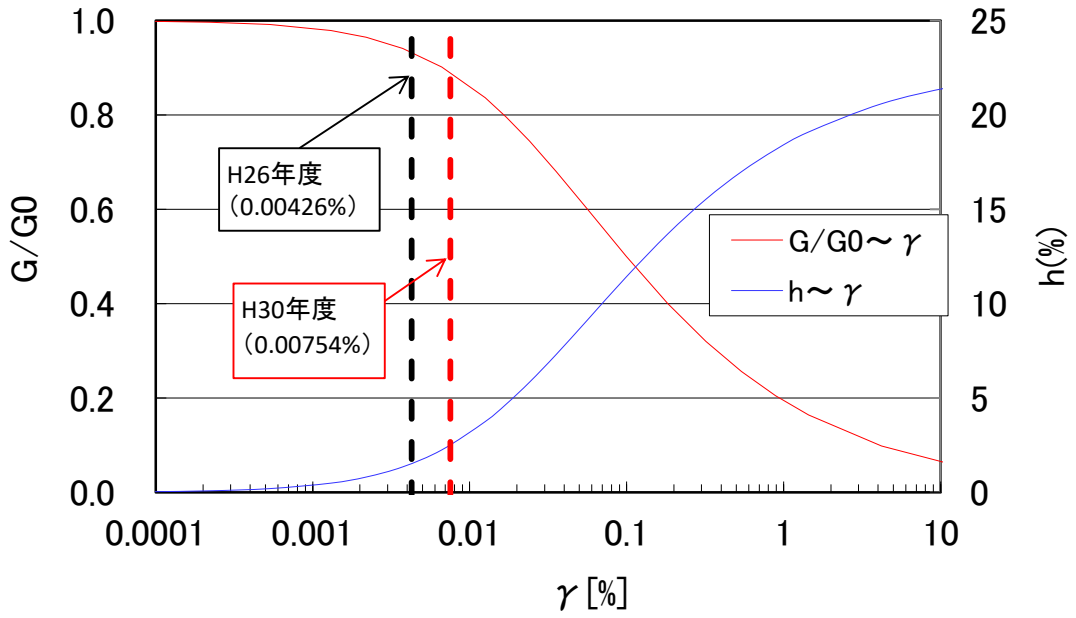


図 3.2-176　埋戻し材の最大せん断ひずみレベル

3）分析評価

以下では、平成 30 年度と平成 26 年度の解析結果を比較分析することにより、入力地震動の特徴の違いが試験施設に与える影響を分析評価する。

a．試験施設の振動特性

試験施設の振動特性を検討するために、地震計設置位置における最大加速度一覧及び分布を表 3.2-35、図 3.2-177、フーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比を図 3.2-178～図 3.2-179 に示す。図 3.2-177 に示すように、水平方向（y 方向）、鉛直方向（z 方向）ともに、施設内での最大加速度の大きな増幅は見られない。水平方向については、図 3.2-178 のフーリエスペクトル比（②を基準）に示すように、本解析モデルでは、9、12、14、17、19Hz 付近の振動数を多く含む波が地震計に入射されると加速度は増幅される。選定した入力地震動について、地震計①位置での卓越振動数は、平成 30 年度では 0.7Hz 付近、平成 26 年度では 3Hz 付近であることにより、加速度の大きな増幅が発生しなかったと推察される。鉛直方向については、図 3.2-179 のフーリエスペクトル比に示すように、本解析モデルでは、どの振動数帯においても大きな増幅は発生しないものと考えられる。

以上より、平成 30 年度と 26 年度の入力地震動では、いずれも試験施設の振動特性に与える影響は小さいことがわかった。

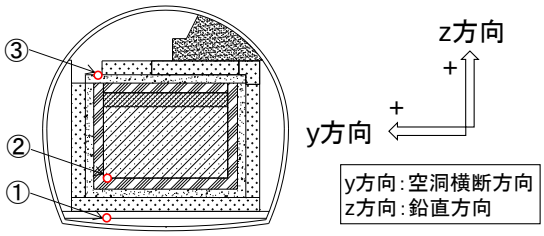


表 3.2-35　最大加速度一覧

位置	高さ* [m]	最大加速度[Gal]					
		y方向			z方向		
		平成30年度：(a)	平成26年度：(b)	(a)/(b)	平成30年度：(a)	平成26年度：(b)	(a)/(b)
地震計③	10.34	5.6	6.5	0.9	4.8	9.1	0.5
地震計②	2.9	5.5	6.1	0.9	4.8	8.9	0.5
地震計①	0	5.4	5.6	1.0	4.7	8.1	0.6

*地震計①の高さを基準とした。

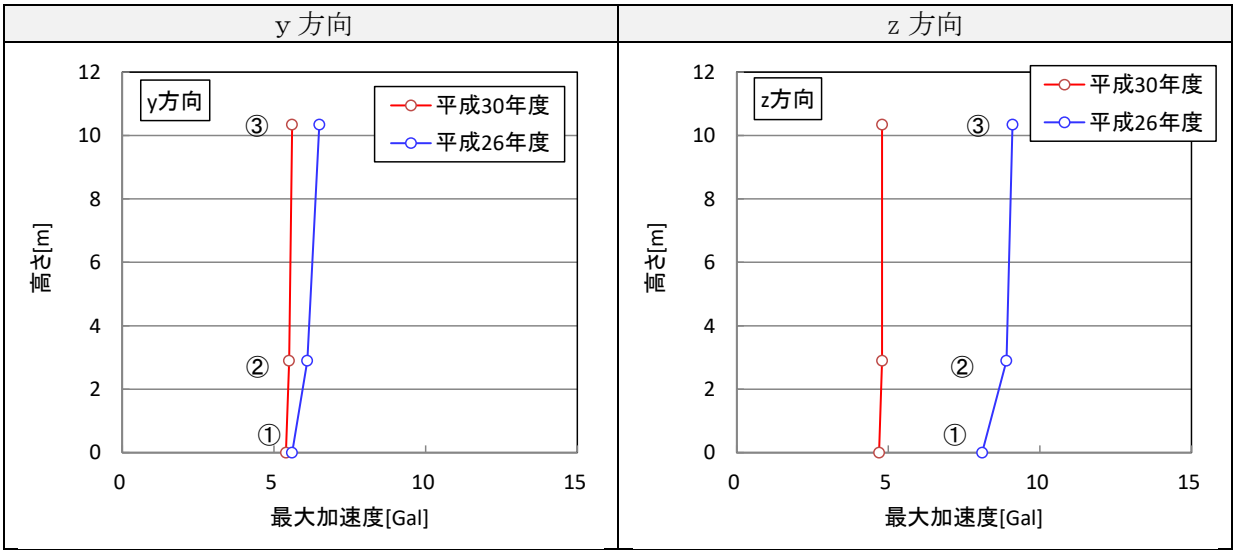
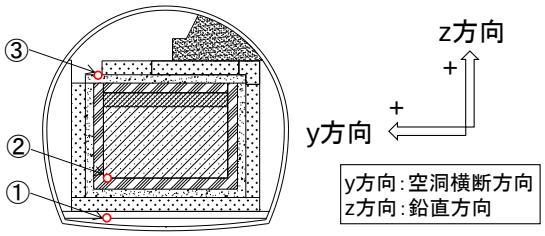


図 3.2-177　試験施設の最大加速度分布の比較



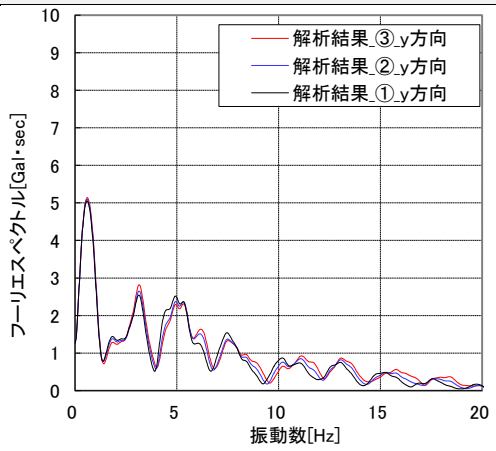
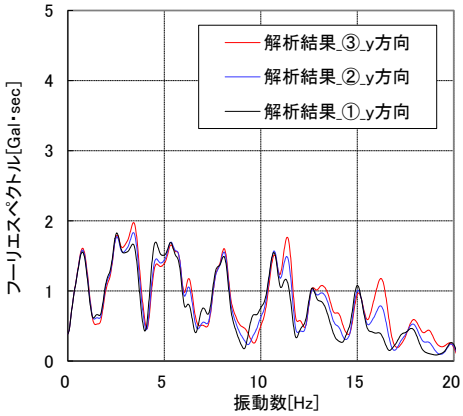
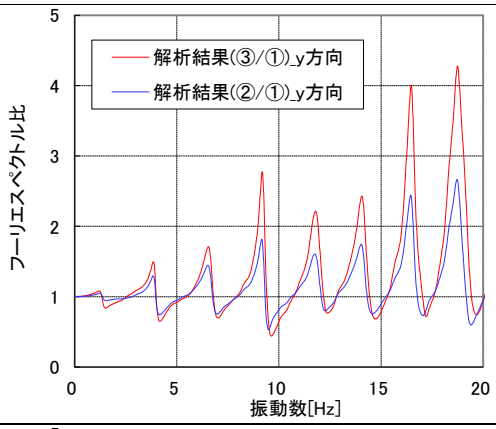
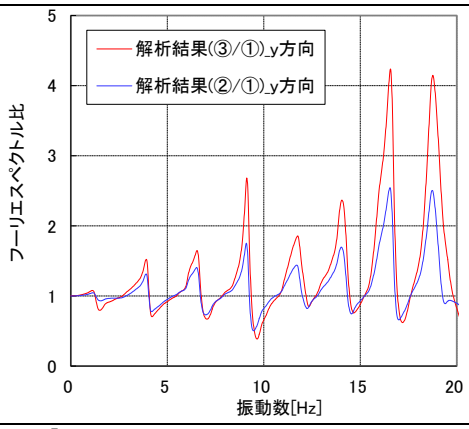
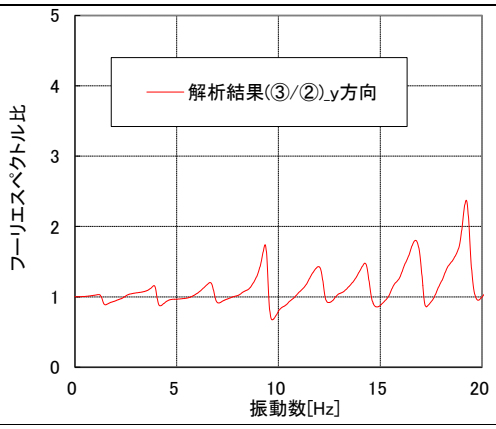
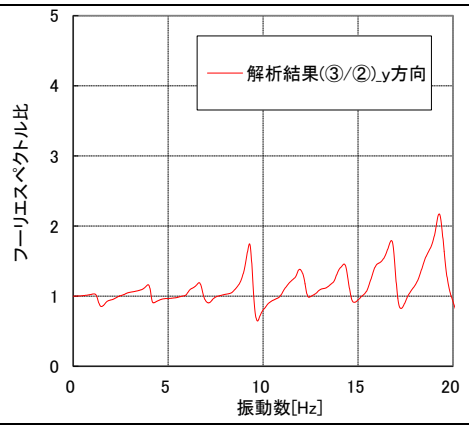
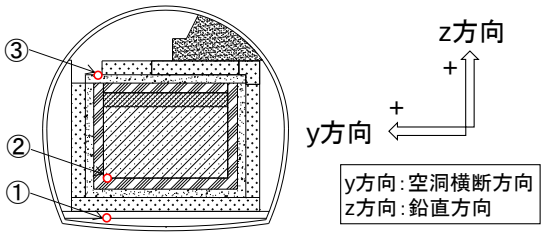
	平成 30 年度	平成 26 年度
フーリエスペクトル		
フーリエスペクトル比（①を基準）		
フーリエスペクトル比（②を基準）		

図 3.2-178　フーリエスペクトル比較（水平方向）



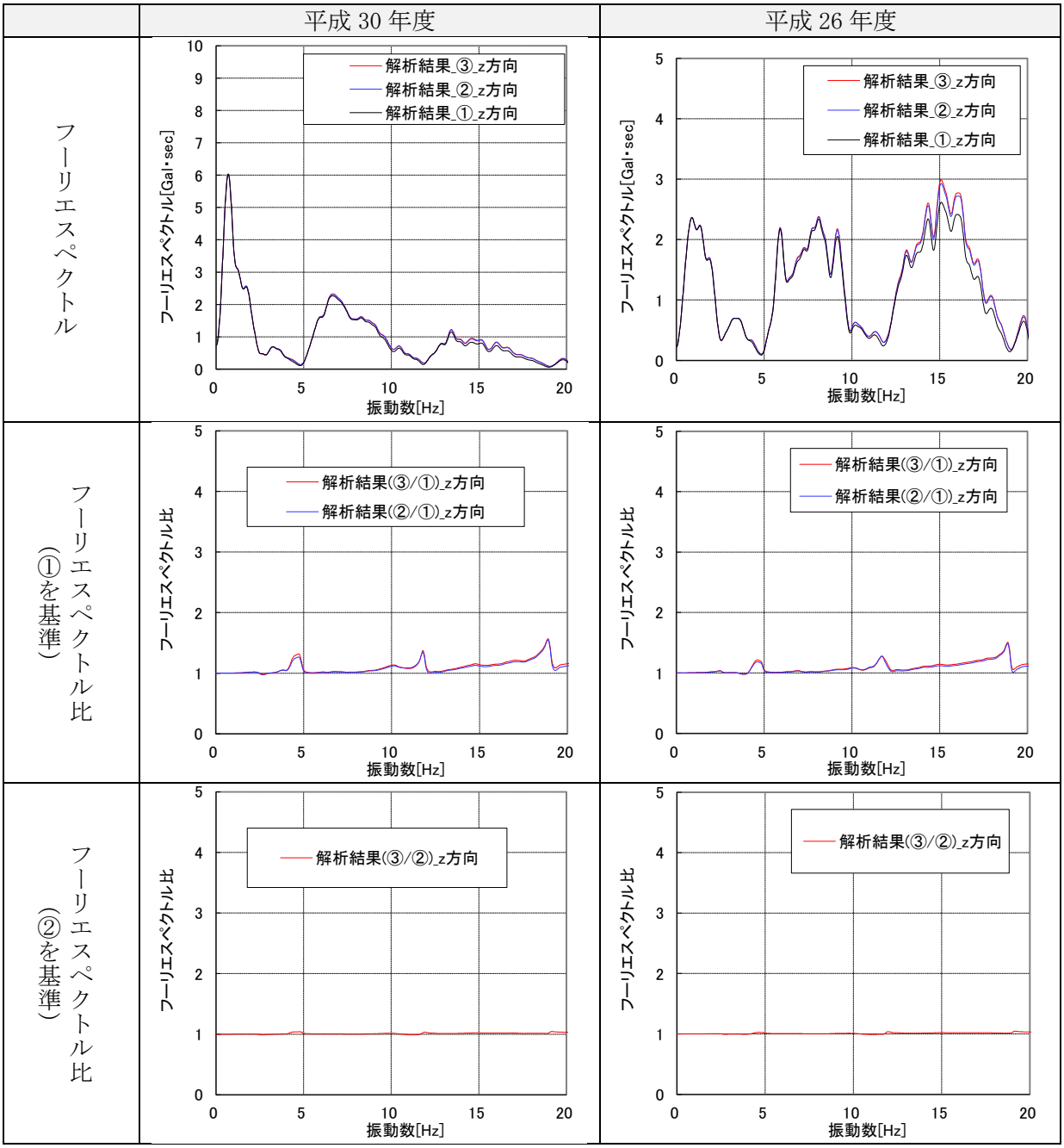


図 3.2-179　フーリエスペクトル比較（鉛直方向）

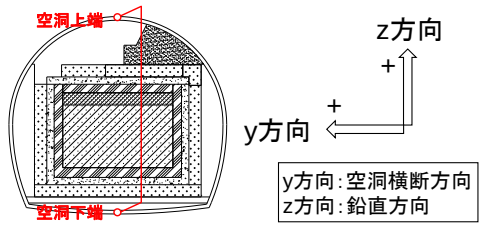
b．試験施設の変形特性

試験施設の変形特性を検討するために、試験空洞の上下端位置の水平方向（y 方向）相対変位の時刻歴を図 3.2-180、相対変位最大時刻の変形図を図 3.2-181 に示す（変形を明確にするため、変形倍率を 10000 倍で描画）。

図 3.2-180 に示すように、平成 30 年度は 0.12mm、平成 26 年度は 0.06mm であり、2 倍の差が生じた。この要因としては、以下のことが考えられる。

- 本解析モデルの 1～6 次の固有振動数は 0.880～3.919Hz（表 3.2-31 参照）であり、図 3.2-182 に示すように、平成 30 年度の入力地震動の方が平成 26 年度よりも固有振動数帯の波を多く含むため、地盤の変形が大きくなった。
- 図 3.2-181 に示すように、試験施設の変形は周辺地盤の変形に追随し、地盤の変形量が大きい平成 30 年度の方が、試験空洞の相対変形も大きくなった。

以上より、平成 30 年度と平成 26 年度の入力地震動では、地盤の固有振動数の波を多く含む平成 30 年度の入力地震動の方が、試験施設の変形特性に与える影響が大きいことがわかった。



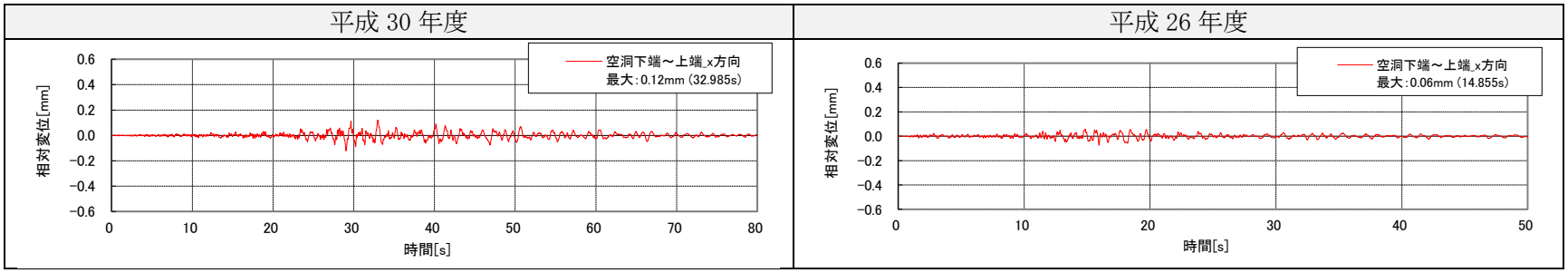
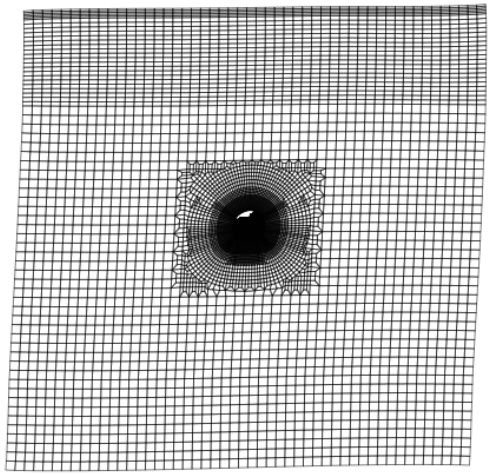
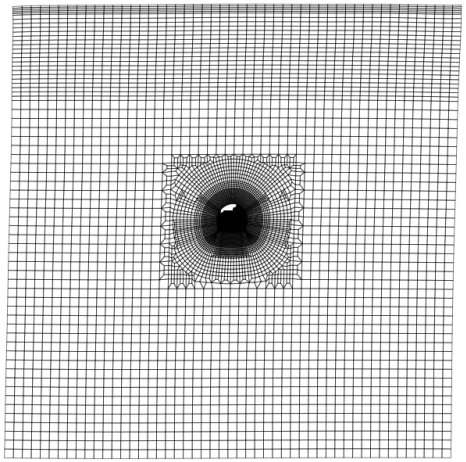
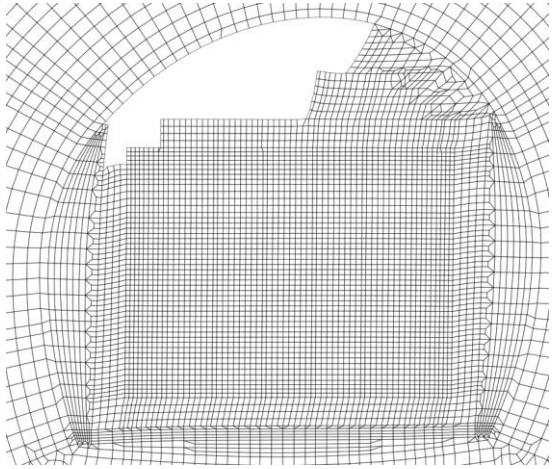
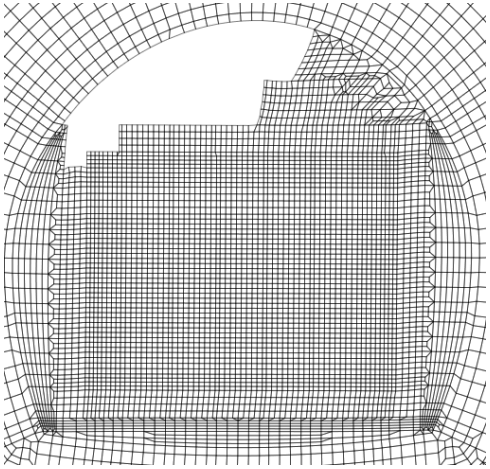
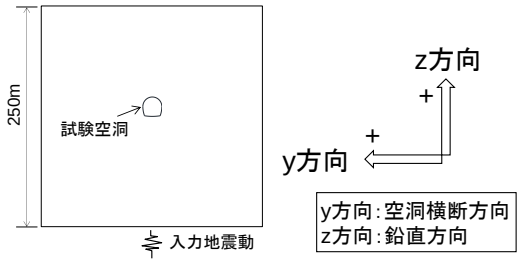


図 3.2-180　試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）【再掲】

	平成 30 年度	平成 26 年度
	32.985s 時点の変形	14.855s 時点の変形
全体図		
拡大図		

※変形を明確にするため、変形倍率を 10000 倍で描画

図 3.2-181　水平方向の相対変位最大時刻の変形図（変形倍率 10000 倍）



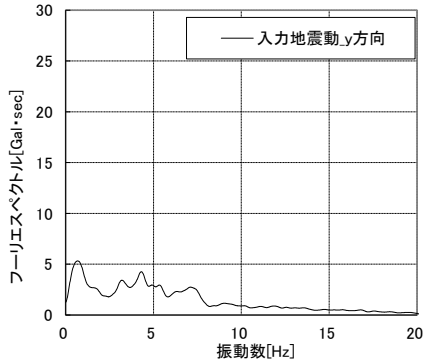
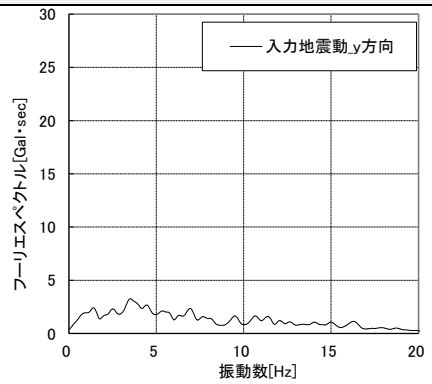
	平成 30 年度	平成 26 年度
y 方向		

図 3.2-182　入力地震動のフーリエスペクトル

c．試験施設の発生応力

試験施設の地震時発生応力（直応力及びせん断応力）を図 3.2-183～図 3.2-188 に示す。なお、図化の対象は解析結果と同様に以下とした。

- コンクリートピット（底部、側部、上部）
- 低拡散層（底部、側部、上部）
- 低透水層（底部、側部、上部）
- 埋戻し材（上部）

応力成分毎に着目すると、図 3.2-183～図 3.2-186 に示すように、引張・圧縮応力は水平方向、鉛直方向ともに左右・上下部の隅角部で応力が集中する傾向が見られる。一方、図 3.2-187～図 3.2-188 に示すように、せん断応力は区画内充てん材とコンクリートピットの境界部で応力が集中する傾向が見られる。これらの傾向は、平成 30 年度、平成 26 年度の両者で共通している。

また、図 3.2-183～図 3.2-188 に示すように、いずれの応力成分においても平成 30 年度の方が平成 26 年度よりも大きくなる傾向が見られる。これは、前項で述べたように、施設の変形量が、平成 30 年度の方が平成 26 年度よりも大きくなることと整合する。

以上より、平成 30 年度と平成 26 年度の入力地震動では、平成 30 年度の入力地震動の方が、試験施設の発生応力に与える影響は大きいことがわかった。

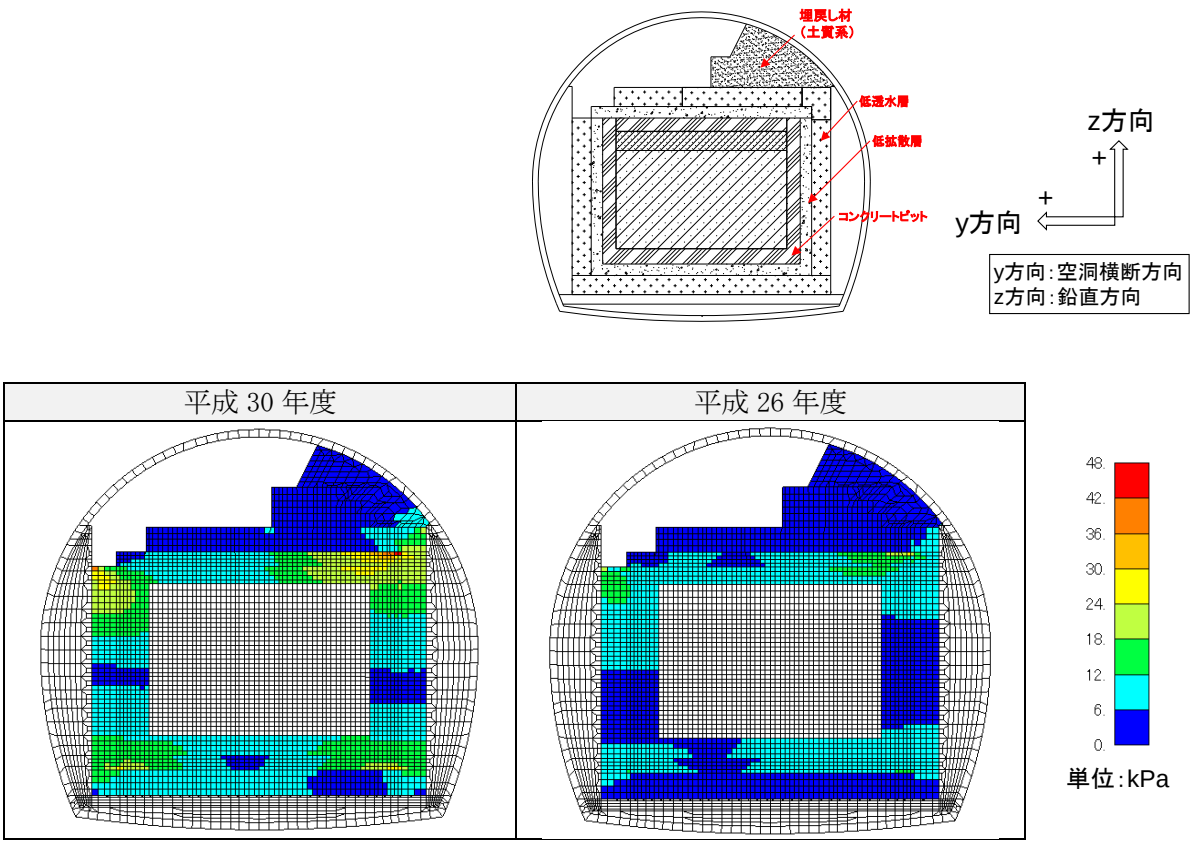


図 3.2-183　試験施設の引張応力の地震時増分（y 方向、引張正、履歴最大）

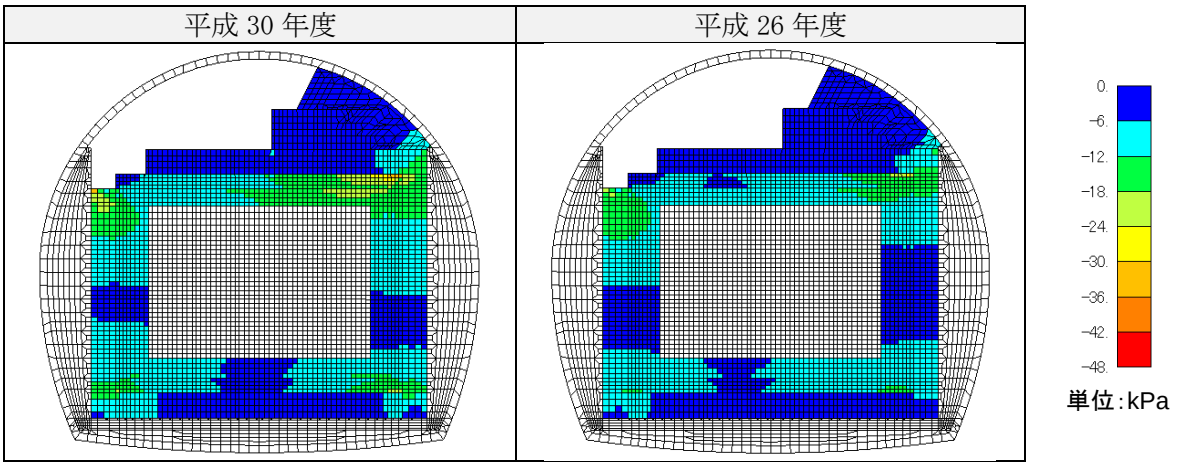


図 3.2-184　試験施設の圧縮応力の地震時増分（y 方向、圧縮負、履歴最小）

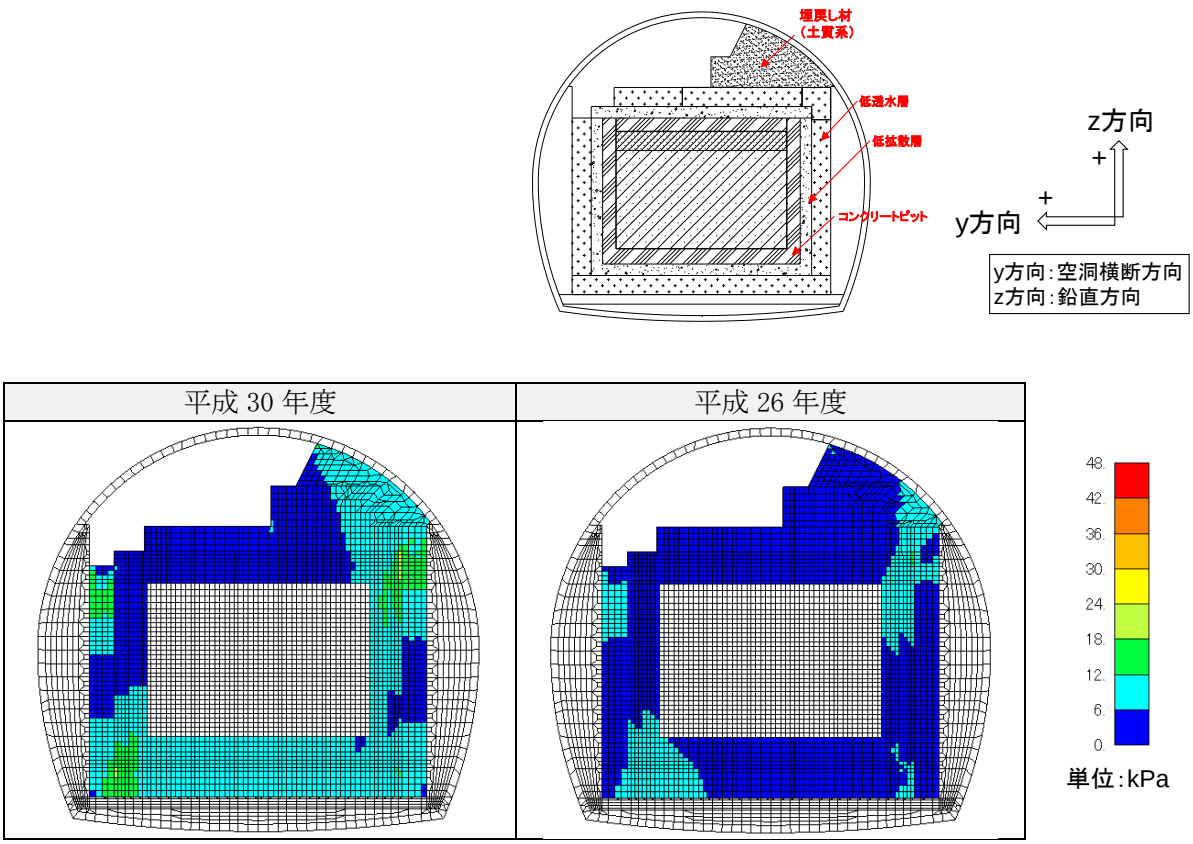


図 3.2-185　試験施設の引張応力の地震時増分（z 方向、引張正、履歴最大）

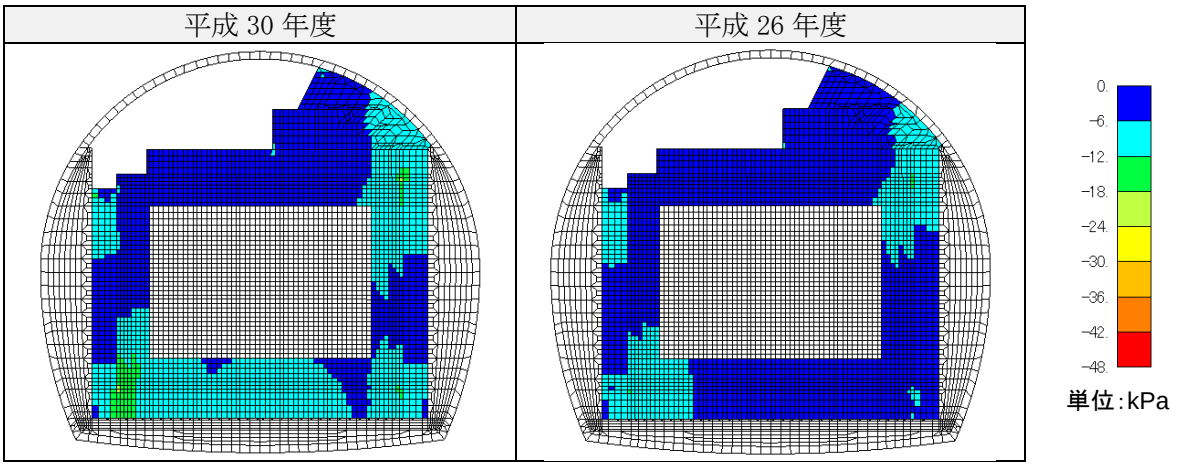


図 3.2-186　試験施設の圧縮応力の地震時増分（z 方向、圧縮負、履歴最小）

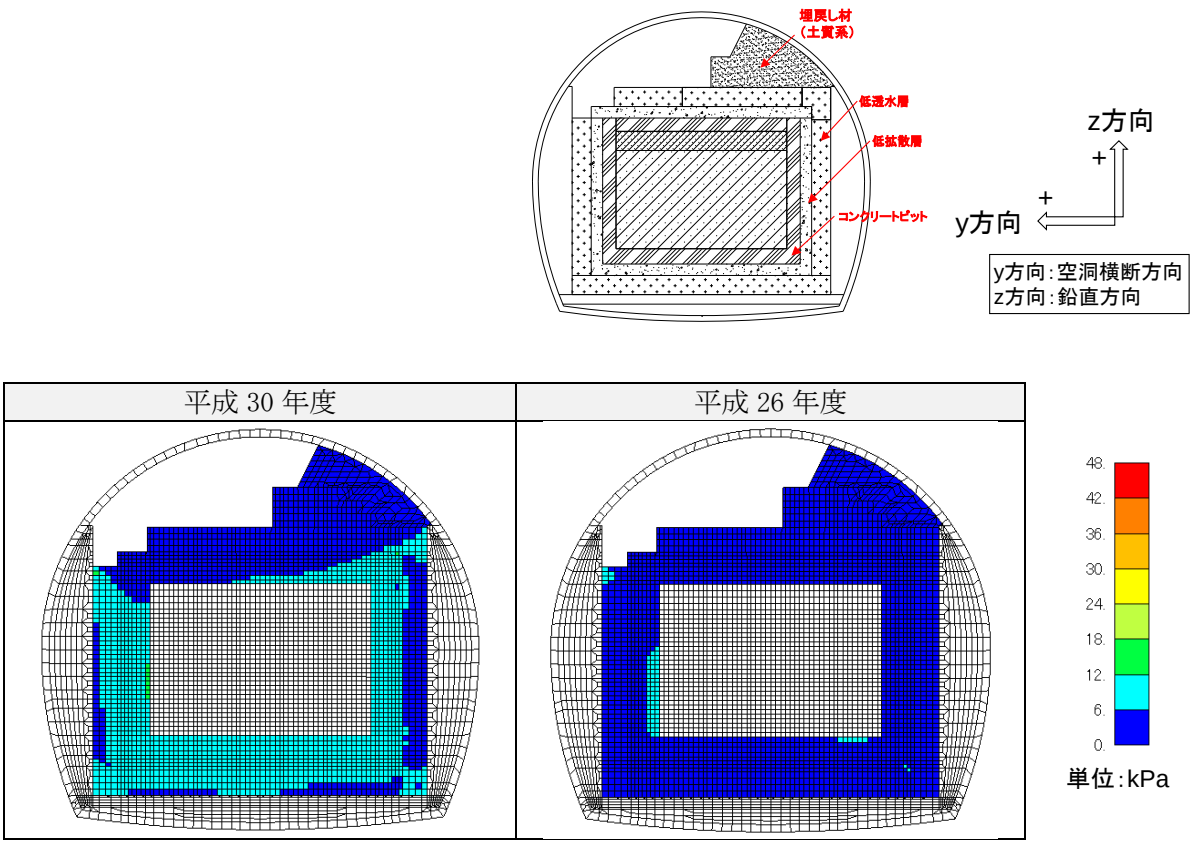


図 3.2-187　試験施設のせん断応力地震時増分（履歴最大）

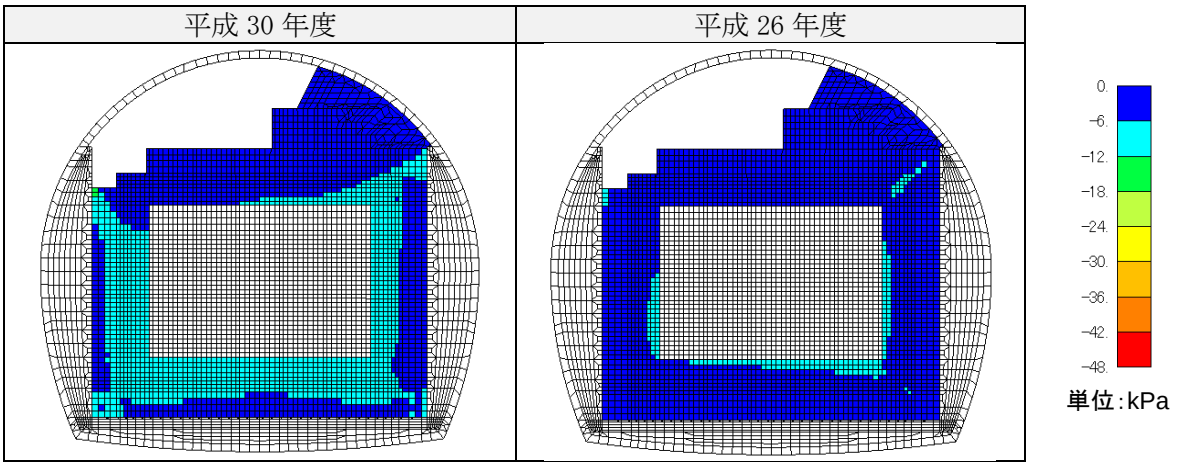


図 3.2-188　試験施設のせん断応力地震時増分（履歴最小）

3.3 まとめ

3.3.1 今年度の成果

本検討では、実物大の模擬施設として構築された地下空洞型処分施設を利用し、施設性能に係わる観測結果や地震観測結果のデータの分析・解析等を実施し、総合的な評価を行った。

「3.2 既存施設の計測調査データの評価」では、試験施設・周辺岩盤に設置されている計測機器を用いた観測結果を活用して、平常時のデータを継続して蓄積し、施工後の施設挙動を分析評価した。

「3.2.2 地震計の観測データの整理と挙動分析」では、今年度観測された地震動データを整理し、試験施設に与える影響を分析した。また地震応答解析では、試験施設の変形特性及び発生応力に与える影響が大きいと考えられる地震動を選定し、試験施設に与える影響を分析した。

(1) 既存施設の計測調査データの評価

2018 年 10 月に実施した手前部コンクリートピット及び上部低拡散層のひび割れ現位置試験による加圧時の影響が、今年度のひび割れ調査でのひび割れ幅の変化や、付近の応力計・ひずみ計の計測値の変化で確認された。しかし、その他の期間においては、全部材において顕著な計測挙動は確認されず、いずれの部材においても、季節の温度変化に対応した挙動のみ認められた。これらは、今年度のひび割れ調査結果及び BTV 観察結果より、対象部材（上部低拡散層、上部コンクリートピット、左側側部低拡散層、底部低拡散層）のひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生は確認されなかったことと整合する。

今年度期間中の試験施設周辺の岩盤変位や間隙水圧の変化量も僅かであり、既往の計測結果と同程度であった。

(2) 地震計の観測データの整理と挙動分析

今年度の観測された地震動の中で、最大加速度は、平成 30 年 9 月 6 日（1）の地震計①（y 方向）の 8.9Gal であった。観測データのスペクトル分析から推察される試験施設の固有振動数は 15Hz 以上であり、これは既往の結果と同様であった。

また、今年度の解析では、フーリエスペクトルの分析から試験施設の変形特性及び発生応力に与える影響が大きいと考えられる地震動を選定し、その地震動が試験施設に与える影響を検討することとした。

平成 30 年度と平成 26 年度の地震計①位置での最大加速度を同等にして、振動数成分が異なる 2 つの入力地震動による地震応答解析結果を比較分析した。その結果、平成 30 年度と平成 26 年度で選定したの地震動は、いずれも試験施設の振動特性に与える影響は小さいが、平成 30 年度の入力地震動は、試験施設の変形特性及び発生応力に与える影響は大きいことがわかった。

3.3.2 今後の課題

今後の課題として、以下のことが挙げられる。

(1) 地震観測の拡充

本検討では、試験空洞底盤に設置した地震計の観測データを用いているため、観測データには試験空洞及び試験施設の影響が含まれ、1 次元モデルを用いた引戻し解析では、精度が高い解析用入力地震動を作成できない可能性がある。解析用入力地震動の精度を高めるためには、試験空洞及び試験施設の影響を受けない当該サイトの岩盤中及び地表面に地震計を設置し、そこで観測された地震動データを用いた分析の実施が望まれる。

(2) 当該サイトの地質構造及び地盤物性値の設定

本検討では、既往文献を参考として解析用地盤を水平成層構造として設定しており、また、当該サイト付近の地盤物性値を引用して解析用物性値を設定している。これらは、解析結果と観測データの乖離発生の原因の一つと考えられる。よって当該サイトにおける詳細な地質構造及び地盤物性値を設定することにより、実挙動と整合がとれる解析の実施が望まれる。

第 3 章　参考文献

[1] 日本原燃株式会社：低レベル放射性廃棄物の次期埋設に関する本格調査について、平成 18 年 9 月
[2] 鹿島建設株式会社：平成 29 年度ひび割れ観測孔内の水質分析結果、平成 30 年 3 月
[3] 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター：管理型処分技術調査等事業地下空洞型処分施設機能確認試験　報告書、平成 29 年 3 月
[4] 太平洋セメント株式会社：低熱ポルトランドセメント　紹介ホームページ http://www.taiheiyo-cement.co.jp/service_product/cement/pdf/lcement_v3.pdf
[5] 核燃料サイクル開発機構：緩衝材の膨潤特性（研究報告）、平成 11 年 12 月
[6] 鬼形正伸：ベントナイトの特性とその応用、平成 19 年、粘土科学、vol46-2、131-138
[7] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 22 年度 管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書 (2011).
[8] 土木学会：原位置岩盤試験法の指針、pp.16 (2000).
[9] 気象庁：震度データベース検索（http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/）
[10] 中央防災会議：「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」 参考図表集 (2006).
[11] 松本徳久他：ダムで観測された強震記録の解析、ICOLD 第 73 回年次例会ワークショップ提出論文 (2005).
[12] 独立行政法人防災科学技術研究所：（http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/）
[13] 汐見勝彦：防災科研 Hi-net 地中地震計設置方位情報推定方法の改良、防災科学技術研究所研究報告、第 80 号 (2012).
[14] 冨田敦紀・岩見忠輝・鈴木康正：余裕深度処分埋設施設本格調査のうち試験空洞の支保設計および挙動、電力土木、No.325、2006.9
[15] 日本原燃株式会社、「再処理施設及び特定廃棄物管理施設「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に係る耐震安全性評価報告　コメント回答（基礎地盤の安定性）」
[16] 地盤工学会：地盤の動的解析－基礎理論から応用までー、2007
[17] 冨田敦紀他：低拘束圧下における堆積軟岩空洞の破壊現象の考察、土木学会論文集、Vol.63、2007
[18] 土木学会：【2007 年制定】コンクリート標準示方書［設計編］、2007
[19] 原子力環境整備促進・資金管理センター、管理型処分技術調査等事業　地下空洞型処分施設性能確証試験　報告書
[20] 原子力環境整備促進･資金管理センター: 平成 25 年度　管理型処分技術調査等事業　地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験　報告書. 平成 26 年 3 月
[21] 雨宮清他：ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験（その５）動的力学特性に関する検討、土木学会第 64 回年次学術講演会、2009

第4章　まとめ

第4章　まとめ

4.1　本事業のまとめ

4.1.1　機能確認の実現性確認

モニタリング候補として挙げられた確認対象項目に対して、その計測実現性を確認するために、想定される施設挙動を解析的検討及び文献調査によりにできるだけ定量化することとした。解析的検討として、熱・水・力学に着目した検討では、廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖後）以降の再冠水プロセスにおける施設内温度変化の把握を着目点とした解析と、建設～廃棄物の埋設段階（排水管閉鎖前）における施設挙動の想定に着目した解析を実施し、モニタリング計画の具体化に向けて求められる精度等の知見が得られた。化学に着目した検討では、主に地下水流動に係る条件（動水勾配、ひび割れ・隙間、EDZ、吹付けコンクリートの初期変質）と化学環境に係る条件（岩盤グラウト、地下水組成）を考慮し、7 ケースのケーススタディを実施し、地下水中の pH や Na イオン、Ca イオンなどの濃度が取り得る幅を経時的に評価した。金属の腐食膨張など解析的検討で取り扱わなかった事象については、既往の検討成果等を参照して定量化することを試みた。

実現性確認のためのラボ試験として、試験空洞吹付けコンクリートの分析、光ファイバセンサーの敷設試験及び光ファイバセンサーの圧力計測試験を実施した。試験空洞吹付けコンクリートの分析は、試験空洞内の吹付けコンクリートの変質に関するデータを拡充し、現地環境下での吹付けコンクリートの化学的変質状況を明らかにするために実施したものであり、試験空洞から吹付けコンクリートのコアを採取して行った。光ファイバセンサーの敷設試験は、センサー固定のための接着剤がない場合に、ひび割れ検知が可能かどうかを実験的に確認するものである。光ファイバセンサーが計測対象に対して押し付けられるような圧力を受けることによって、接着剤を使わずともひび割れ検知ができる可能性が確認された。光ファイバセンサーの圧力計測試験は、低透水層の膨潤圧などのモニタリングに資することを狙いとしたものであり、光ファイバセンサーにより膨潤圧の上昇傾向を確認することができた。

光ファイバセンサーによるひずみ等の計測として、試験体を用いた事前試験を行った上で、実規模施設を活用してひずみと温度の連続的な計測を行うとともに、実規模施設に人為的にひび割れを導入してひずみ計測を実施した。並行して取得した参照データとの比較を通じて、ひずみと温度について、光ファイバセンサーによる計測性能を定量評価することができた。加えて、ブリルアン計測とレイリー計測という二つの計測手法の適用性について有益な知見を得ることができた。

放射線計測に関しては、文献レビューを通じて従来技術と注目すべき技術動向についてとりまとめを行った。

モニタリング計画の具体化検討は、モニタリングにおける制約条件を明らかにした上で、既存計測技術を活用したモニタリング計画と光ファイバセンサーの適用を考慮したモニタリング計画に分けて整理した。既存計測技術を活用したモニタリング計画では、処分施設の変形計測、低拡

散層のひび割れ観察、裏面排水分析、近傍ボーリング孔による地下水分析について、光ファイバセンサーの適用を考慮したモニタリング計画では、低拡散層のひび割れ、施設内の圧力分布、施設内の温度について、その計画イメージを提示するとともに課題を整理した。

4.1.2 既設の実規模施設における地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察

過年度から継続して、実規模施設及び周辺岩盤に設置した計測器を用いた施設等の挙動計測、セメント系材料（低拡散層及びコンクリートピット）のひび割れ観察を実施した。間隙水圧計計測を行った結果、前年度と今年度に測定された間隙水圧の経時変化から、計測孔においては A-1 孔周辺、B-1 孔周辺、C-1 孔周辺とも、概ね安定した水位を維持していることが確認された。試験空洞においても、一部で季節変動等の影響を受けて若干の変化が認められたが、D-1 孔及び E-1 孔周辺において間隙水圧は概ね安定していることが確認された。ひび割れ調査として、上部低拡散層、上部コンクリートピット及び左側側部低拡散層について、ひび割れ観察を 2 回実施した。その結果、上部低拡散層の上面では、これまで 0.20~0.30mm で推移していたひび割れが 0.10mm に閉じていたものの、それ以外については、昨年度の調査時以降、ひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生は確認されなかった。上部低拡散層上面で認められたひび割れ幅の減少については、平成 30 年 10 月 9 日から 12 日にかけて実施した光ファイバセンサーによるひび割れ計測試験による影響であると考えられる。底部低拡散層については、掘進したボーリング孔を用いて、BTV によりひび割れ観察を実施した。その結果、昨年度までの BTV 観察で確認されている 3 箇所の割れ目以外は確認されず、割れ目の開口幅も、昨年度から変化ないことが確認された。

また、地震計の観測では今年度は計 12 回の地震動データが記録され、そのうちの 1 地震の記録に基づき入力地震動を設定し、施設の地震応答解析を実施した。平成 26 年度に実施した解析結果と比較することにより、入力地震動の周波数特性が施設の地震応答挙動に与える影響を明らかにした。

おわりに

発電所廃棄物やTRU廃棄物（地層処分相当の廃棄物を除く）等の低レベル放射性廃棄物の中深度処分施設の計画、設計や円滑な建設及び操業には、より現実的な条件下で、各種の検討や実証試験等の積み重ねが必要となる。本試験は、こうした状況に鑑み、地下空洞型処分施設の機能確認を主目的とする実証的な試験を行うものである。

本試験は大断面の地下空洞における処分施設の主に人工バリアの機能の確認方法の検討及び実証的な試験が主となる。このため、試験の計画にあたっては、低レベル放射性廃棄物等の処分施設の計画・設計・施工・安全評価に関わりのある専門家からなる委員会を設け、幅広く関連する知見や意見等を取り入れて検討を進めてきた。

平成 30 年度は本事業の位置付けをより明確にした上で、前年度に開始した既設の実規模施設における実証試験を継続するとともに、解析的検討及び文献調査を通じて施設挙動の定量化を行い、これらの結果を踏まえ、将来の実処分施設で実施可能なモニタリング計画について検討した。

平成30年度　低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業
地下空洞型処分施設機能確認試験

添付資料

1. 現地写真
2. 既設計測設備点検
3. 計測器資料
4. 施設・周辺岩盤挙動計測データ集
5. 地震動観測データ
6. 間隙水圧計点検記録

目次

添付資料 1 現地写真 1-1
1.1 地震計メンテナンス 1-1
1.2 間隙水圧計計測 1-4
1.3 間隙水圧計点検 1-6
1.4 計測システム保守・点検 1-7

添付資料 2 既設計測設備点検 2-1
2.1 静的設備計測器点検 2-1
2.2 データ模擬入力による点検 2-15
2.3 既設の計測機器類の耐久性評価 2-16

添付資料 3 計測器資料 3-1
3.1 計器情報一覧 3-1
3.2 スイッチボックスアドレス表 3-14

添付資料 4 施設・周辺岩盤挙動計測データ 4-1
4.1 計測システム 4-1
4.2 計測データ 4-8
4.2.1 坑内環境計測結果 4-9
4.2.2 上部埋戻し材埋設計器計測結果 4-13
4.2.3 上部低透水層埋設計器計測結果 4-15
4.2.4 上部コンクリートピット埋設計器計測結果 4-16
4.2.5 上部低拡散層埋設計器計測結果 4-21
4.2.6 手前部コンクリートピット埋設計器計測結果 4-29
4.2.7 側部低拡散層埋設計器計測結果 4-40
4.2.8 底部低透水層埋設計器計測結果 4-52
4.2.9 側部低透水層埋設計測結果 4-67
4.2.10 底部低拡散層埋設計器計測結果 4-68
4.2.11 底部コンクリートピット埋設計器計測結果 4-85
4.2.12 側部コンクリートピット埋設計器計測結果 4-99
4.2.13 充填材･上部充填材埋設計器計測結果 4-117
4.2.14 底部埋戻し材埋設計器計測結果 4-120
4.2.15 奥部埋戻し材埋設計器計測結果 4-134
4.2.16 側部埋戻し材埋設計器計測結果 4-145
4.2.17 岩盤挙動計測結果 4-172

添付資料 5 地震動観測データ 5-5
5.1 2018 年 5 月 7 日 5-6
5.1.1 気象庁発表情報 5-6
5.1.2 観測データ 5-7
5.2 2018 年 5 月 14 日 5-10
5.2.1 気象庁発表情報 5-10
5.2.2 観測データ 5-11
5.3 2018 年 7 月 2 日（1） 5-14
5.3.1 気象庁発表情報 5-14
5.3.2 観測データ 5-15
5.4 2018 年 7 月 2 日（2） 5-18
5.4.1 気象庁発表情報 5-18
5.4.2 観測データ 5-19
5.5 2018 年 7 月 10 日 5-22
5.5.1 気象庁発表情報 5-22
5.5.2 観測データ 5-23
5.6 2018 年 8 月 5 日 5-26
5.6.1 気象庁発表情報 5-26
5.6.2 観測データ 5-27
5.7 2018 年 8 月 24 日 5-30
5.7.1 気象庁発表情報 5-30
5.7.2 観測データ 5-31
5.8 2018 年 9 月 6 日（1） 5-34
5.8.1 気象庁発表情報 5-34
5.8.2 観測データ 5-35
5.9 2018 年 9 月 6 日（2） 5-38
5.9.1 気象庁発表情報 5-38
5.9.2 観測データ 5-39
5.10 2018 年 9 月 11 日 5-42
5.10.1 気象庁発表情報 5-42
5.10.2 観測データ 5-43
5.11 2018 年 11 月 28 日 5-46
5.11.1 気象庁発表情報 5-46
5.11.2 観測データ 5-47
5.12 2018 年 12 月 3 日 5-50
5.12.1 気象庁発表情報 5-50
5.12.2 観測データ 5-51
参考文献 5-54

添付資料 6 間隙水圧計点検記録

A-1 孔 6-1
B-1 孔 6-2
D-1 孔 6-5
E-1 孔 6-9

図目次

図 1.1-1　地震計①メンテナンス（1/2）..... 1-1
図 1.1-2　地震計①メンテナンス（2/2）..... 1-1
図 1.1-3　地震計②メンテナンス（1/2）..... 1-2
図 1.1-4　地震計②メンテナンス（2/2）..... 1-2
図 1.1-5　地震計③メンテナンス（1/2）..... 1-3
図 1.1-6　地震計③メンテナンス（2/2）..... 1-3
図 1.2-1　間隙水圧計計測（計測坑 A）..... 1-4
図 1.2-2　間隙水圧計計測（計測坑 B）..... 1-4
図 1.2-3　間隙水圧計計測（計測坑 C）..... 1-5
図 1.2-4　間隙水圧計計測（試験空洞 D、E）..... 1-5
図 1.3-1　間隙水圧計点検（計測坑 A）..... 1-6
図 1.3-2　間隙水圧計点検（計測坑 B）..... 1-6
図 1.3-3　間隙水圧計点検（試験空洞 D、E）..... 1-7
図 1.4-1　既設静的設備の保守・点検完了..... 1-7
図 4.1-1　計測システム位置..... 4-2
図 4.1-2　システムブロック図..... 4-3
図 4.1-3　計測ボックス配置図..... 4-4
図 4.1-4　計測ボックス詳細配置図..... 4-5
図 4.1-5　センサーケーブル整理図（L 側）..... 4-6
図 4.1-6　センサーケーブル整理図（R 側）..... 4-7
図 4.2-1　百葉箱温湿度計測結果..... 4-10
図 4.2-2　空洞内分散型及び百葉箱温湿度計測結果..... 4-11
図 4.2-3　坑口ー空洞内の分散型計器計測結果..... 4-12
図 4.2-4　上部埋戻し材の沈下計測結果..... 4-13
図 4.2-5　上部埋戻し材の温度計測結果..... 4-14
図 4.2-6　上部低透水層の土圧計測結果..... 4-15
図 4.2-7　上部コンクリートピットの温度計測結果..... 4-17
図 4.2-8　上部コンクリートピットの実ひずみ..... 4-18
図 4.2-9　上部コンクリートピットの自由ひずみ..... 4-19
図 4.2-10　上部コンクリートピットのコンクリート応力計測結果..... 4-20
図 4.2-11　上部低拡散層の温度計測結果（1／2）..... 4-22
図 4.2-12　上部低拡散層の温度計測結果（2／2）..... 4-23
図 4.2-13　上部低拡散層の実ひずみ（1／3）..... 4-24
図 4.2-14　上部低拡散層の実ひずみ（2／3）..... 4-25
図 4.2-15　上部低拡散層の実ひずみ（3／3）..... 4-26
図 4.2-16　上部低拡散層の自由ひずみ..... 4-27

図 4.2-17　上部低拡散層のモルタル応力計測結果 4-28
図 4.2-18　手前部コンクリートピットの温度計測結果（1／3） 4-30
図 4.2-19　手前部コンクリートピットの温度計測結果（2／3） 4-31
図 4.2-20　手前部コンクリートピットの温度計測結果（3／3） 4-32
図 4.2-21　手前部コンクリートピットの実ひずみ（1／3） 4-33
図 4.2-22　手前部コンクリートピットの実ひずみ（2／3） 4-34
図 4.2-23　手前部コンクリートピットの実ひずみ（3／3） 4-35
図 4.2-24　手前部コンクリートピットの自由ひずみ..... 4-36
図 4.2-25　手前部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（1／3） 4-37
図 4.2-26　手前部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（2／3） 4-38
図 4.2-27　手前部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（3／3） 4-39
図 4.2-28　側部低拡散層の温度計測結果（1／3） 4-41
図 4.2-29　側部低拡散層の温度計測結果（2／3） 4-42
図 4.2-30　側部低拡散層の温度計測結果（3／3） 4-43
図 4.2-31　側部低拡散層の実ひずみ（1／3） 4-44
図 4.2-32　側部低拡散層の実ひずみ（2／3） 4-45
図 4.2-33　側部低拡散層の実ひずみ（3／3） 4-46
図 4.2-34　側部低拡散層の自由ひずみ..... 4-47
図 4.2-35　側部低拡散層のモルタル応力計測結果 4-48
図 4.2-36　側部低拡散層の土圧計測結果..... 4-49
図 4.2-37　側部低拡散層のせん断変位計測結果..... 4-50
図 4.2-38　側部低拡散層の継目量計測結果 4-51
図 4.2-39　底部低透水層の土圧計測結果（1／4） 4-53
図 4.2-40　底部低透水層の土圧計測結果（2／4） 4-54
図 4.2-41　底部低透水層の土圧計測結果（3／4） 4-55
図 4.2-42　底部低透水層の土圧計測結果（4／4） 4-56
図 4.2-43　底部低透水層の沈下量計測結果（1／3） 4-57
図 4.2-44　底部低透水層の沈下量計測結果（2／3） 4-58
図 4.2-45　底部低透水層の沈下量計測結果（3／3） 4-59
図 4.2-46　底部低透水層の温度計測結果..... 4-60
図 4.2-47　底部低透水層の間隙水圧計測結果（1／2） 4-61
図 4.2-48　底部低透水層の間隙水圧計測結果（2／2） 4-62
図 4.2-49　底部低透水層の含水比経時変化（1／4） 4-63
図 4.2-50　底部低透水層の含水比経時変化（2／4） 4-64
図 4.2-51　底部低透水層の含水比経時変化（3／4） 4-65
図 4.2-52　底部低透水層の含水比経時変化（4／4） 4-66
図 4.2-53　側部低透水層の土圧計測結果..... 4-67
図 4.2-54　底部低拡散層の温度計測結果（1／3） 4-69

図 4.2-55　底部低拡散層の温度計測結果（2／3） 4-70
図 4.2-56　底部低拡散層の温度計測結果（3／3） 4-71
図 4.2-57　底部低拡散層の実ひずみ（1／5） 4-72
図 4.2-58　底部低拡散層の実ひずみ（2／5） 4-73
図 4.2-59　底部低拡散層の実ひずみ（3／5） 4-74
図 4.2-60　底部低拡散層の実ひずみ（4／5） 4-75
図 4.2-61　底部低拡散層の実ひずみ（5／5） 4-76
図 4.2-62　底部低拡散層の自由ひずみ 4-77
図 4.2-63　底部低拡散層のモルタル応力計測結果（1／2） 4-78
図 4.2-64　底部低拡散層のモルタル応力計測結果（2／2） 4-79
図 4.2-65　底部低拡散層のせん断変位計測結果（1／2） 4-80
図 4.2-66　底部低拡散層のせん断変位計測結果（2／2） 4-81
図 4.2-67　底部低拡散層の継目量計測結果（1／2） 4-83
図 4.2-68　底部低拡散層の継目量計測結果（2／2） 4-84
図 4.2-69　底部コンクリートピットの温度計測結果（1／3） 4-86
図 4.2-70　底部コンクリートピットの温度計測結果（2／3） 4-87
図 4.2-71　底部コンクリートピットの温度計測結果（3／3） 4-88
図 4.2-72　底部低拡散層の実ひずみ（1／5） 4-89
図 4.2-73　底部コンクリートピットの実ひずみ（2／5） 4-90
図 4.2-74　底部コンクリートピットの実ひずみ（3／5） 4-91
図 4.2-75　底部コンクリートピットの実ひずみ（4／5） 4-92
図 4.2-76　底部コンクリートピットの実ひずみ（5／5） 4-93
図 4.2-77　底部コンクリートピットの自由ひずみ 4-94
図 4.2-78　底部コンクリートピットのコンクリート応力計測結果（1／3） 4-95
図 4.2-79　底部コンクリートピットのコンクリート応力計測結果（2／3） 4-96
図 4.2-80　底部コンクリートピットのコンクリート応力計測結果（3／3） 4-97
図 4.2-81　底部コンクリートピットの傾斜計測結果 4-98
図 4.2-82　側部コンクリートピットの温度計測結果（1／5） 4-100
図 4.2-83　側部コンクリートピットの温度計測結果（2／5） 4-101
図 4.2-84　側部コンクリートピットの温度計測結果（3／5） 4-102
図 4.2-85　側部コンクリートピットの温度計測結果（4／5） 4-103
図 4.2-86　側部コンクリートピットの温度計測結果（5／5） 4-104
図 4.2-87　側部コンクリートピットの実ひずみ（1／5） 4-105
図 4.2-88　側部コンクリートピットの実ひずみ（2／5） 4-106
図 4.2-89　側部コンクリートピットの実ひずみ（3／5） 4-107
図 4.2-90　側部コンクリートピットの実ひずみ（4／5） 4-108
図 4.2-91　側部コンクリートピットの実ひずみ（5／5） 4-109
図 4.2-92　側部コンクリートピットの自由ひずみ 4-110

図 4.2-93　側部コンクリートピットのコンクリート応力計測結果.....4-111
図 4.2-94　側部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（1／5）.....4-112
図 4.2-95　側部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（2／5）.....4-113
図 4.2-96　側部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（3／5）.....4-114
図 4.2-97　側部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（4／5）.....4-115
図 4.2-98　側部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（5／5）.....4-116
図 4.2-99　充填材の土圧計測結果.....4-118
図 4.2-100　充填材の温度計側結果.....4-118
図 4.2-101　上部充填材の土圧計測結果.....4-119
図 4.2-102　上部充填材の温度計測結果.....4-119
図 4.2-103　底部埋戻し材の温度計測結果（1／3）.....4-121
図 4.2-104　底部埋戻し材の温度計測結果（2／3）.....4-122
図 4.2-105　底部埋戻し材の温度計測結果（3／3）.....4-123
図 4.2-106　底部埋戻し材の実ひずみ（1／5）.....4-124
図 4.2-107　底部埋戻し材の実ひずみ（2／5）.....4-125
図 4.2-108　底部埋戻し材の実ひずみ（3／5）.....4-126
図 4.2-109　底部埋戻し材の実ひずみ（4／5）.....4-127
図 4.2-110　底部埋戻し材の実ひずみ（5／5）.....4-128
図 4.2-111　底部埋戻し材の自由ひずみ.....4-129
図 4.2-112　底部埋戻し材のコンクリート応力計測結果（1／2）.....4-130
図 4.2-113　底部埋戻し材のコンクリート応力計測結果（2／2）.....4-131
図 4.2-114　底部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（1／2）.....4-132
図 4.2-115　底部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（2／2）.....4-133
図 4.2-116　奥部埋戻し材の温度計測結果（1／2）.....4-135
図 4.2-117　奥部埋戻し材の温度計測結果（2／2）.....4-136
図 4.2-118　奥部埋戻し材の実ひずみ（1／4）.....4-137
図 4.2-119　奥部埋戻し材の実ひずみ（2／4）.....4-138
図 4.2-120　奥部埋戻し材の実ひずみ（3／4）.....4-139
図 4.2-121　奥部埋戻し材の実ひずみ（4／4）.....4-140
図 4.2-122　奥部埋戻し材の自由ひずみ.....4-141
図 4.2-123　奥部埋戻し材のコンクリート応力計測結果.....4-142
図 4.2-124　奥部埋戻し材の鉄筋応力計測結果.....4-144
図 4.2-125　側部埋戻し材の温度計測結果（1／6）.....4-147
図 4.2-126　側部埋戻し材の温度計測結果（2／6）.....4-148
図 4.2-127　側部埋戻し材の温度計測結果（3／6）.....4-149
図 4.2-128　側部埋戻し材の温度計測結果（4／6）.....4-150
図 4.2-129　側部埋戻し材の温度計測結果（5／6）.....4-151
図 4.2-130　側部埋戻し材の温度計測結果（6／6）.....4-152

図 4.2-131　側部埋戻し材の実ひずみ（1／12） 4-153
図 4.2-132　側部埋戻し材の実ひずみ（2／12） 4-154
図 4.2-133　側部埋戻し材の実ひずみ（3／12） 4-155
図 4.2-134　側部埋戻し材の実ひずみ（4／12） 4-156
図 4.2-135　側部埋戻し材の実ひずみ（5／12） 4-157
図 4.2-136　側部埋戻し材の実ひずみ（6／12） 4-158
図 4.2-137　側部埋戻し材の実ひずみ（7／12） 4-159
図 4.2-138　側部埋戻し材の実ひずみ（8／12） 4-160
図 4.2-139　側部埋戻し材の実ひずみ（9／12） 4-161
図 4.2-140　側部埋戻し材の実ひずみ（10／12） 4-162
図 4.2-141　側部埋戻し材の実ひずみ（11／12） 4-163
図 4.2-142　側部埋戻し材の実ひずみ（12／12） 4-164
図 4.2-143　側部埋戻し材の無応力計計測結果 4-165
図 4.2-144　側部埋戻し材のコンクリート応力計測結果（1／2） 4-166
図 4.2-145　側部埋戻し材のコンクリート応力計測結果（2／2） 4-167
図 4.2-146　側部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（1／4） 4-168
図 4.2-147　側部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（2／4） 4-169
図 4.2-148　側部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（3／4） 4-170
図 4.2-149　側部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（4／4） 4-171
図 4.2-150　岩盤変位計測結果 4-172
図 4.2-151　岩盤内間隙水圧計測結果（1／2） 4-173
図 4.2-152　岩盤内間隙水圧計測結果（2／2） 4-174
図 5.1-1　気象庁発表情報（2018 年 5 月 7 日） 5-6
図 5.1-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 5 月 7 日） 5-7
図 5.1-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 5 月 7 日） 5-8
図 5.1-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 5 月 7 日） 5-9
図 5.2-1　気象庁発表情報（2018 年 5 月 14 日） 5-10
図 5.2-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 5 月 14 日） 5-11
図 5.2-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 5 月 14 日） 5-12
図 5.2-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 5 月 14 日） 5-13
図 5.3-1　気象庁発表情報（2018 年 7 月 2 日（1）） 5-14
図 5.3-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（1）） 5-15
図 5.3-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（1）） 5-16
図 5.3-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（1）） 5-17
図 5.4-1　気象庁発表情報（2018 年 7 月 2 日（2）） 5-18
図 5.4-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（2）） 5-19
図 5.4-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（2）） 5-20
図 5.4-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（2）） 5-21

図 5.5-1　気象庁発表情報（2018 年 7 月 10 日） 5-22
図 5.5-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 7 月 10 日） 5-23
図 5.5-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 7 月 10 日） 5-24
図 5.5-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 7 月 10 日） 5-25
図 5.6-1　気象庁発表情報（2018 年 8 月 5 日） 5-26
図 5.6-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 8 月 5 日） 5-27
図 5.6-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 8 月 5 日） 5-28
図 5.6-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 8 月 5 日） 5-29
図 5.7-1　気象庁発表情報（2018 年 8 月 24 日） 5-30
図 5.7-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 8 月 24 日） 5-31
図 5.7-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 8 月 24 日） 5-32
図 5.7-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 8 月 24 日） 5-33
図 5.8-1　気象庁発表情報（2018 年 9 月 6 日（1）） 5-34
図 5.8-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1）） 5-35
図 5.8-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1）） 5-36
図 5.8-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1）） 5-37
図 5.9-1　気象庁発表情報（2018 年 9 月 6 日（2）） 5-38
図 5.9-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（2）） 5-39
図 5.9-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（2）） 5-40
図 5.9-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（2）） 5-41
図 5.10-1　気象庁発表情報（2018 年 9 月 11 日） 5-42
図 5.10-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 9 月 11 日） 5-43
図 5.10-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 9 月 11 日） 5-44
図 5.10-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 9 月 11 日） 5-45
図 5.11-1　気象庁発表情報（2018 年 11 月 28 日） 5-46
図 5.11-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 11 月 28 日） 5-47
図 5.11-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 11 月 28 日） 5-48
図 5.11-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 11 月 28 日） 5-49
図 5.12-1　気象庁発表情報（2018 年 12 月 3 日） 5-50
図 5.12-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 12 月 3 日） 5-51
図 5.12-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 12 月 3 日） 5-52
図 5.12-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 12 月 3 日） 5-53

表目次

表 2.1-1　底部埋戻し材静的設備計測器点検結果 2-2
表 2.1-2　側部埋戻し材静的設備計測器点検結果（1／2） 2-3
表 2.1-3　側部埋戻し材静的設備計測器点検結果（2／2） 2-4
表 2.1-4　奥部・上部埋戻し材静的設備計測器点検結果 2-5
表 2.1-5　底部低透水層静的設備計測器点検結果（1／2） 2-6
表 2.1-6　底部低透水層静的設備計測器点検結果（2／2） 2-6
表 2.1-7　側部低透水層静的設備計測器点検結果 2-6
表 2.1-8　上部低透水層静的設備計測器点検結果 2-6
表 2.1-9　底部低拡散層静的設備計測器点検結果 2-7
表 2.1-10　側部低拡散層静的設備計測器点検結果 2-8
表 2.1-11　上部低拡散層静的設備計測器点検結果 2-9
表 2.1-12　底部コンクリートピット静的設備計測器点検結果 2-10
表 2.1-13　側部コンクリートピット静的設備計測器点検結果（1／2） 2-11
表 2.1-14　側部コンクリートピット静的設備計測器点検結果（2／2） 2-12
表 2.1-15　手前部・上部コンクリートピット静的設備計測器点検結果 2-13
表 2.1-16　充填材静的設備計測器点検結果 2-13
表 2.1-17　上部充填材静的設備計測器点検結果 2-13
表 2.1-18　試験空洞内百葉箱点検結果 2-14
表 2.1-19　岩盤変位計点検結果 2-14
表 2.2-1　データ模擬入力点検結果 2-15
表 2.3-1　計測機器の現状の整理項目 2-16
表 2.3-2　各部材の計測機器の現状整理図表の対応 2-17
表 2.3-3　坑内環境の計測機器の現状一覧 2-18
表 2.3-4　周辺岩盤内の岩盤変位計の現状一覧 2-18
表 2.3-5　周辺岩盤内の間隙水圧計の現状一覧 2-19
表 2.3-6　底部埋戻し材の計測機器の現状一覧 2-20
表 2.3-7　側部埋戻し材の計測機器の現状一覧（1/2） 2-21
表 2.3-8　側部埋戻し材の計測機器の現状一覧（2/2） 2-22
表 2.3-9　奥部埋戻し材の計測機器の現状一覧 2-23
表 2.3-10　上部埋戻し材の計測機器の現状一覧 2-23
表 2.3-11　底部低透水層の計測機器の現状一覧 2-24
表 2.3-12　側部低透水層の計測機器の現状一覧 2-24
表 2.3-13　上部低透水層の計測機器の現状一覧 2-24
表 2.3-14　底部低拡散層の計測機器の現状一覧 2-25
表 2.3-15　側部低拡散層の計測機器の現状一覧 2-26
表 2.3-16　上部低拡散層の計測機器の現状一覧 2-27

表 2.3-17　底部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 2-28
表 2.3-18　側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧（1/2） 2-29
表 2.3-19　側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧（2/2） 2-30
表 2.3-20　手前部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 2-31
表 2.3-21　上部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 2-32
表 2.3-22　充てん材の計測機器の現状一覧 2-32
表 3.1-1　計器情報一覧表（底部埋戻し材） 3-1
表 3.1-2　計器情報一覧表（R 側奥部埋戻し材 1 ﾘﾌﾄ、R 側側部埋戻し材 1 ﾘﾌﾄ） 3-2
表 3.1-3　計器情報一覧表（L 側及び中央奥部埋戻し材 1 ﾘﾌﾄ、L 側側部埋戻し材 1 ﾘﾌﾄ） 3-3
表 3.1-4　計器情報一覧表（L 側側部埋戻し材 3 ﾘﾌﾄ） 3-4
表 3.1-5　計器情報一覧表（中央奥部埋戻し材 3 ﾘﾌﾄ、R 側側部埋戻し材 3 ﾘﾌﾄ） 3-5
表 3.1-6　計器情報一覧表（底部低透水層、底部埋戻し材との界面設置分） 3-6
表 3.1-7　計器情報一覧表（底部低透水層、R 側側部埋戻し材との界面設置分） 3-6
表 3.1-8　計器情報一覧表（底部低透水層、L 側側部及び奥部埋戻し材との界面設置分） 3-6
表 3.1-9　計器情報一覧表（底部低拡散層） 3-7
表 3.1-10　計器情報一覧表（底部コンクリートピット） 3-8
表 3.1-11　計器情報一覧表（L 側側部コンクリートピット） 3-9
表 3.1-12　計器情報一覧表（R 側側部コンクリートピット） 3-10
表 3.1-13　計器情報一覧表（妻部コンクリートピット） 3-11
表 3.1-14　計器情報一覧表（充填材） 3-11
表 3.1-15　計器情報一覧表（L 側側部低拡散層） 3-12
表 3.1-16　計器情報一覧表（R 側側部低拡散層） 3-13
表 3.1-17　計器情報一覧表（上部充填材） 3-13
表 3.1-18　計器情報一覧表（側部低透水層） 3-13
表 3.1-19　計器情報一覧表（上部コンクリートピット） 3-13
表 3.1-20　計器情報一覧表（上部低拡散層） 3-14
表 3.1-21　計器情報一覧表（上部低透水層） 3-14
表 3.1-22　計器情報一覧表（上部埋戻し材） 3-14
表 3.2-1　スイッチボックスアドレス表（KBS07B） 3-15
表 3.2-2　スイッチボックスアドレス表（KBS07A） 3-16
表 3.2-3　スイッチボックスアドレス表（KBS14） 3-17
表 3.2-4　スイッチボックスアドレス表（KBS03B） 3-18
表 3.2-5　スイッチボックスアドレス表（KBS08B） 3-19
表 3.2-6　スイッチボックスアドレス表（KBS03A） 3-20
表 3.2-7　スイッチボックスアドレス表（KBS08A） 3-21
表 3.2-8　スイッチボックスアドレス表（KBS02A） 3-22
表 3.2-9　スイッチボックスアドレス表（KBS09B） 3-23
表 3.2-10　スイッチボックスアドレス表（KBS09A） 3-24

表 3.2-11　スイッチボックスアドレス表（KBS02B） 3-25
表 3.2-12　スイッチボックスアドレス表（KBS10A） 3-26
表 3.2-13　スイッチボックスアドレス表（KBS10B） 3-27
表 3.2-14　スイッチボックスアドレス表（KBS01A） 3-28
表 3.2-15　スイッチボックスアドレス表（KBS01B） 3-29
表 4.2-1　坑内環境計測一覧表 4-9
表 4.2-2　上部埋戻し材計測一覧表 4-13
表 4.2-3　上部低透水層計測一覧表 4-15
表 4.2-4　上部コンクリートピット計測一覧表 4-16
表 4.2-5　上部低拡散層計測一覧表 4-21
表 4.2-6　手前部コンクリートピット計測一覧表 4-29
表 4.2-7　側部低拡散層計測一覧表 4-40
表 4.2-8　底部低透水層計測一覧表 4-52
表 4.2-9　側部低透水層計測一覧表 4-67
表 4.2-10　底部低拡散層計測一覧表 4-68
表 4.2-11　底部コンクリートピット計測一覧表 4-85
表 4.2-12　側部コンクリートピット計測一覧表 4-99
表 4.2-13　充填材計測一覧表 4-117
表 4.2-14　上部充填材計測一覧表 4-117
表 4.2-15　底部埋戻し材計測一覧表 4-120
表 4.2-16　奥部埋戻し材計測一覧表 4-134
表 4.2-17　側部埋戻し材計測一覧表（1／2） 4-145
表 4.2-18　側部埋戻し材計測一覧表（2／2） 4-146
表 5.1-1　地震計計測一覧 5-5
表 5.1-2　地震動一覧 5-5

添付資料１　現地写真

添付資料1　現地写真

1.1　地震計メンテナンス

図 1.1-1　地震計①メンテナンス（1/2）

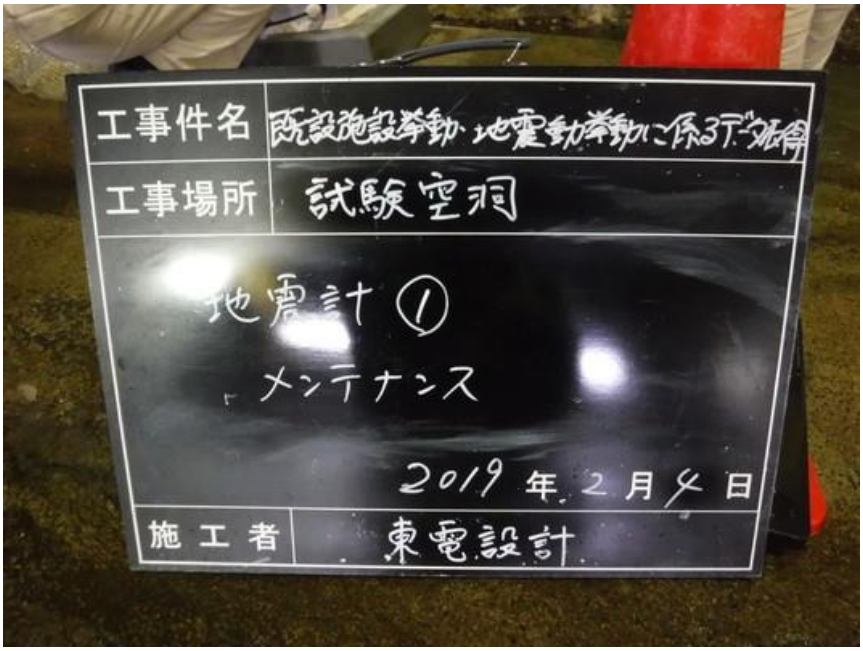


図 1.1-2　地震計①メンテナンス（2/2）

図 1.1-3　地震計②メンテナンス（1/2）

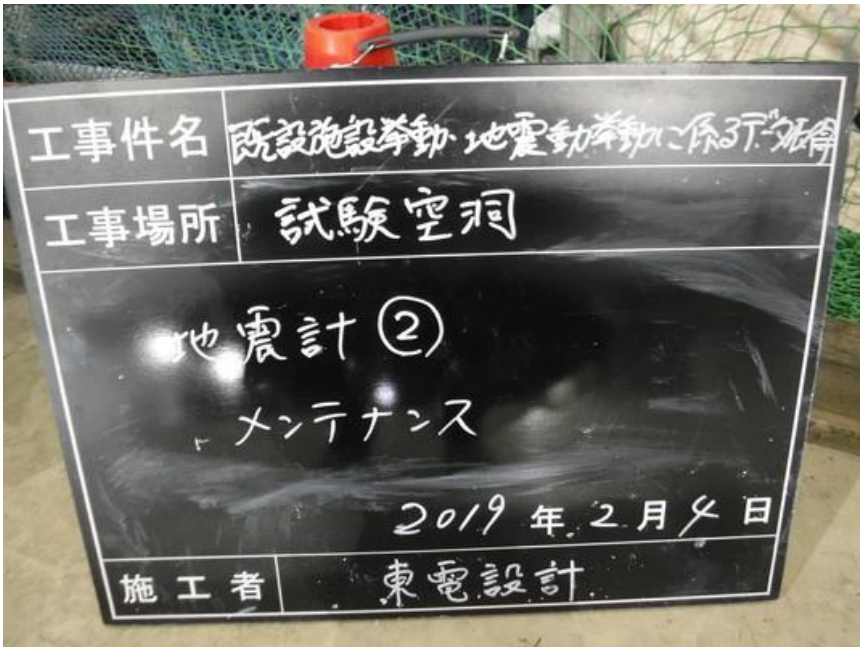


図 1.1-4　地震計②メンテナンス（2/2）

図 1.1-5　地震計③メンテナンス（1/2）

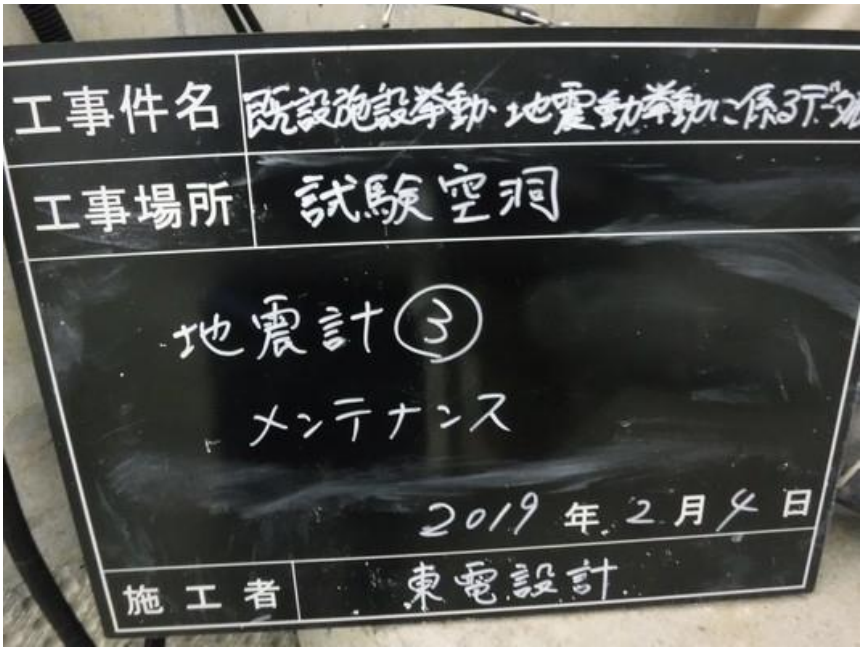


図 1.1-6　地震計③メンテナンス（2/2）

1.2　間隙水圧計計測

図 1.2-1　間隙水圧計計測（計測坑 A）

図 1.2-2　間隙水圧計計測（計測坑 B）

図 1.2-3　間隙水圧計計測（計測坑 C）

図 1.2-4　間隙水圧計計測（試験空洞 D、E）

1.3　間隙水圧計点検

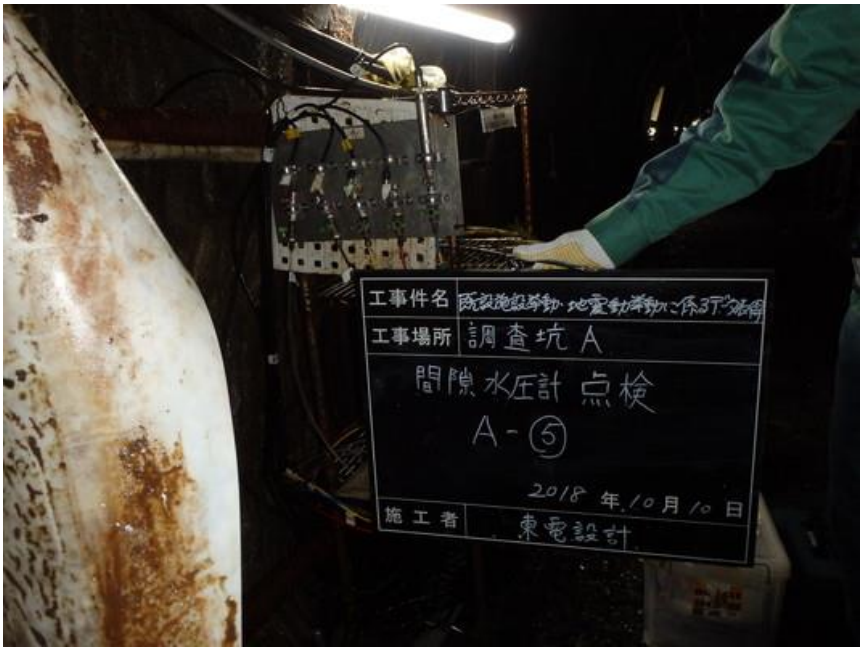


図 1.3-1　間隙水圧計点検（計測坑 A）

図 1.3-2　間隙水圧計点検（計測坑 B）

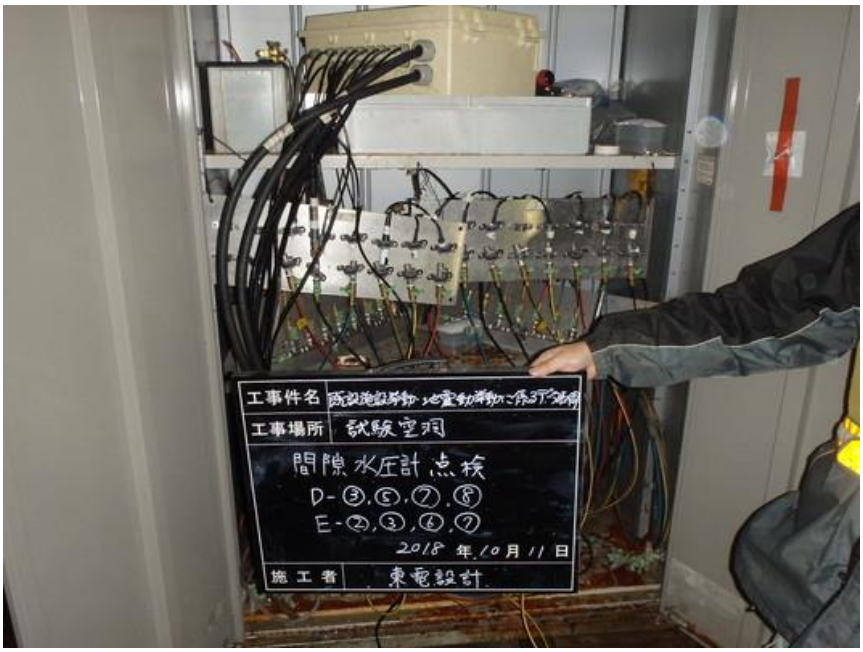


図 1.3-3　間隙水圧計点検（試験空洞 D、E）

1.4　計測システム保守・点検

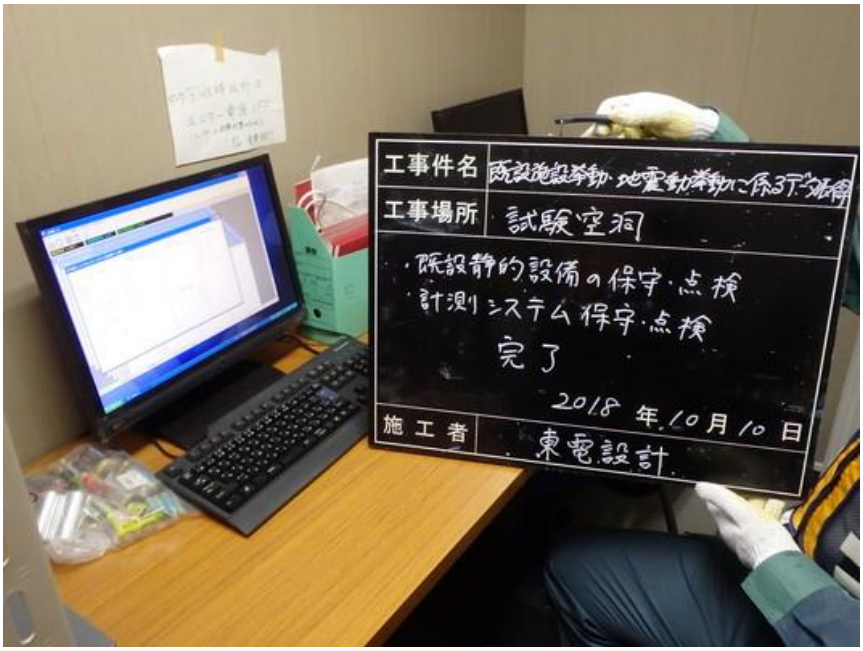


図 1.4-1　既設静的設備の保守・点検完了

添付資料２　既設計測設備点検

添付資料2　既設計測設備点検

2.1　静的設備計測器点検

本年度の静的設備計測器点検結果（平成 30 年 10 月 10 日）を表 2.1-1～表 2.1-19 に示す。

表 2.1-1　底部埋戻し材静的設備計測器点検結果

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	方向	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
埋戻し材	底部	ひずみ計	B	中央	内側	空洞軸	U-H- 1-U-V	1010			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左			U-H- 2-U-V	1021			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-H- 3-U-V	1034			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-H- 4-U-V	1050			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			U-H- 5-U-V	1063			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央		空洞横断	U-H- 1-U-C	1011			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左			U-H- 2-U-C	1022			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-H- 3-U-C	1035			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-H- 4-U-C	1051			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			U-H- 5-U-C	1064			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	中央	空洞軸	U-H- 1-M-V	1012			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左			U-H- 2-M-V	1023			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-H- 3-M-V	1036			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-H- 4-M-V	1052			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			U-H- 5-M-V	1065			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央		空洞横断	U-H- 1-M-C	1013			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左			U-H- 2-M-C	1024			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-H- 3-M-C	1037			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-H- 4-M-C	1053			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			U-H- 5-M-C	1066			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	外側	空洞軸	U-H- 1-L-V	1014			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左			U-H- 2-L-V	1025			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-H- 3-L-V	1038			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-H- 4-L-V	1054			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			U-H- 5-L-V	1067			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央		空洞横断	U-H- 1-L-C	1015			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左			U-H- 2-L-C	1026			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-H- 3-L-C	1039			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-H- 4-L-C	1055			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			U-H- 5-L-C	1327			○		○	－	－	－	－	－	○	H20.8にBLCHを1068→1327に変更
		有効応力計	A	左	中央	空洞軸	U-U- 1-M-V	1032			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-U- 2-M-V	1047	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-U- 3-M-V	1061			○		○	－	－	－	－	－	○	
				左		空洞横断	U-U- 1-M-C	1033			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-U- 2-M-C	1048			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-U- 3-M-C	1062			○		○	－	－	－	－	－	○	
		無応力計	A	中央	中央	－	U-M- 1	1049			○		○	－	－	－	－	－	○	
		鉄筋計	B	中央	内側	空洞軸	U-R- 1-U-V	1016			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A				U-R- 3-U-V	1040			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C				U-R- 5-U-V	1069			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左		空洞横断	U-R- 2-U-C	1027			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-R- 3-U-C	1041			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-R- 4-U-C	1056			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	外側	空洞軸	U-R- 1-L-V	1017			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A				U-R- 3-L-V	1042			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C				U-R- 5-L-V	1070			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左		空洞横断	U-R- 2-L-C	1028			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-R- 3-L-C	1043			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-R- 4-L-C	1057			○		○	－	－	－	－	－	○	
		温度計	B	中央	内側	－	U-O- 1-U	1018			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左			U-O- 2-U	1029			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-O- 3-U	1044			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-O- 4-U	1058			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			U-O- 5-U	1071			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	中央	－	U-O- 1-M	1019			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左			U-O- 2-M	1030			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-O- 3-M	1045			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-O- 4-M	1059			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			U-O- 5-M	1072			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	外側	－	U-O- 1-L	1020			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	左			U-O- 2-L	1031			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			U-O- 3-L	1046			○		○	－	－	－	－	－	○	
				右			U-O- 4-L	1060			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			U-O- 5-L	1073			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-2　側部埋戻し材静的設備計測器点検結果（1／2）

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	高さ	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
埋戻し材	側部	ひずみ計	B	1ﾘﾌﾄ	外側	空洞軸	U-H- 6-U-H	1102	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-H- 7-U-H	1178			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-U-H	1249			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-H- 9-U-H	1271			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-U-H	1092			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-H-11-U-H	1168			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-U-H	1258			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-H-13-U-H	1280		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2012/11にデータ異常（故障）
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-U-H	1210			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-H-15-U-H	1186			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-U-H	1240			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-H-17-U-H	1203			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H- 6-U-P	1103			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-H- 7-U-P	1179			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-U-P	1250			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-H- 9-U-P	1272			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-U-P	1093			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-H-11-U-P	1169			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-U-P	1259			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-H-13-U-P	1281			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-U-P	1211			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-H-15-U-P	1187			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-U-P	1241			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-H-17-U-P	1204			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	3ﾘﾌﾄ	中央	空洞軸	U-H- 8-M-H	1251			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-H- 9-M-H	1273			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A				U-H-12-M-H	1310			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-H-13-M-H	1282			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C				U-H-16-M-H	1242			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-H-17-M-H	1205			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B			鉛直	U-H- 8-M-P	1252			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-H- 9-M-P	1274			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A				U-H-12-M-P	1311			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-H-13-M-P	1283			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C				U-H-16-M-P	1243			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-H-17-M-P	1206			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	1ﾘﾌﾄ	内側	空洞軸	U-H- 6-L-H	1104			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-H- 7-L-H	1180			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-L-H	1253			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-H- 9-L-H	1275			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-L-H	1094			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-H-11-L-H	1170			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-L-H	1312			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-H-13-L-H	1284			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-L-H	1212			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-H-15-L-H	1188			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-L-H	1244			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-H-17-L-H	1207			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H- 6-L-P	1105			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-H- 7-L-P	1181			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-L-P	1254			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-H- 9-L-P	1276			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-L-P	1095			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-H-11-L-P	1171			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-L-P	1313			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-H-13-L-P	1285			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-L-P	1213			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-H-15-L-P	1189			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-L-P	1245			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-H-17-L-P	1208			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-3　側部埋戻し材静的設備計測器点検結果（2／2）

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	高さ	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
埋戻し材	側部	有効応力計	A	1ﾘﾌﾄ	中央	空洞軸	U-U- 4-M-H	1098	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-U- 5-M-H	1174			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	3ﾘﾌﾄ			U-U- 6-M-H	1319			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-U- 7-M-H	1291			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-U- 4-M-P	1099			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-U- 5-M-P	1175			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	3ﾘﾌﾄ			U-U- 6-M-P	1320			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-U- 7-M-P	1292			○		○	－	－	－	－	－	○	
		無応力計	A	3ﾘﾌﾄ	中央	－	U-M- 2	1321			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-M- 3	1293			○		○	－	－	－	－	－	○	
		鉄筋計	B	1ﾘﾌﾄ	外側	鉛直	U-R- 6-U-P	1101			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-R- 7-U-P	1177			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A				U-R- 8-U-P	1091			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-R- 9-U-P	1167			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	3ﾘﾌﾄ			U-R- 10-U-P	1317			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-R- 11-U-P	1289			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	1ﾘﾌﾄ			U-R- 12-U-P	1109			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-R- 13-U-P	1185			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	1ﾘﾌﾄ	内側		U-R- 6-L-P	1100			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-R- 7-L-P	1176			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A				U-R- 8-L-P	1090			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-R- 9-L-P	1166			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	3ﾘﾌﾄ			U-R- 10-L-P	1318			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-R- 11-L-P	1290			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	1ﾘﾌﾄ			U-R- 12-L-P	1108			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-R- 13-L-P	1184			○		○	－	－	－	－	－	○	
		温度計	B	1ﾘﾌﾄ	外側	－	U-O- 6-U	1106			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-O- 7-U	1182			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	3ﾘﾌﾄ			U-O- 8-U	1255			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-O- 9-U	1277			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	1ﾘﾌﾄ			U-O-10-U	1096			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-O-11-U	1172			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	3ﾘﾌﾄ			U-O-12-U	1314			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-O-13-U	1286			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	1ﾘﾌﾄ			U-O-14-U	1214			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-O-15-U	1190			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	3ﾘﾌﾄ			U-O-16-U	1246			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-O-17-U	1209			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B		中央		U-O- 8-M	1256			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-O- 9-M	1278			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A				U-O-12-M	1315			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-O-13-M	1287			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C				U-O-16-M	1247			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-O-17-M	1260			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	1ﾘﾌﾄ	内側		U-O- 6-L	1107			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-O- 7-L	1183			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	3ﾘﾌﾄ			U-O- 8-L	1257			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				U-O- 9-L	1279			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	1ﾘﾌﾄ			U-O-10-L	1097			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-O-11-L	1173			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	3ﾘﾌﾄ			U-O-12-L	1316			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				U-O-13-L	1288			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	1ﾘﾌﾄ			U-O-14-L	1215			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-O-15-L	1191			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	3ﾘﾌﾄ			U-O-16-L	1248			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				U-O-17-L	1261			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-4　奥部・上部埋戻し材静的設備計測器点検結果

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	高さ	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
埋戻し材	奥部	ひずみ計	M	1ﾘﾌﾄ	外側	空洞横断	U-H-18-U-H	1218	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			L				U-H-19-U-H	1226			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-U-H	1262			○		○	－	－	－	－	－	○	
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-U-H	1194			○		○	－	－	－	－	－	○	
			M	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H-18-U-P	1219			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L				U-H-19-U-P	1227			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-U-P	1263			○		○	－	－	－	－	－	○	
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-U-P	1195			○		○	－	－	－	－	－	○	
			M	1ﾘﾌﾄ	内側	空洞横断	U-H-18-L-H	1220			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L				U-H-19-L-H	1228			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-L-H	1264			○		○	－	－	－	－	－	○	
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-L-H	1196			○		○	－	－	－	－	－	○	
			M	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H-18-L-P	1221			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L				U-H-19-L-P	1229			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-L-P	1265			○		○	－	－	－	－	－	○	
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-L-P	1197			○		○	－	－	－	－	－	○	
		有効応力計	L	1ﾘﾌﾄ	中央	空洞横断	U-U- 8-M-H	1232			○		○	－	－	－	－	－	○	
				3ﾘﾌﾄ			U-U- 9-M-H	1268			○		○	－	－	－	－	－	○	
				1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-U- 8-M-P	1233			○		○	－	－	－	－	－	○	
				3ﾘﾌﾄ			U-U- 9-M-P	1269			○		○	－	－	－	－	－	○	
		無応力計	L	3ﾘﾌﾄ	中央	－	U-M- 4	1270			○		○	－	－	－	－	－	○	
		鉄筋計	M	1ﾘﾌﾄ	外側	鉛直	U-R-14-U-P	1217			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L				U-R-15-U-P	1225			○		○	－	－	－	－	－	○	
			N				U-R-16-U-P	1193			○		○	－	－	－	－	－	○	
			M		内側		U-R-14-L-P	1216			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L				U-R-15-L-P	1224			○		○	－	－	－	－	－	○	
			N				U-R-16-L-P	1192			○		○	－	－	－	－	－	○	
		温度計	M	1ﾘﾌﾄ	外側	－	U-O-18-U	1222			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L				U-O-19-U	1230			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L	3ﾘﾌﾄ			U-O-20-U	1266			○		○	－	－	－	－	－	○	
			N	1ﾘﾌﾄ			U-O-21-U	1198			○		○	－	－	－	－	－	○	
			M	1ﾘﾌﾄ	内側		U-O-18-L	1223			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L				U-O-19-L	1231			○		○	－	－	－	－	－	○	
			L	3ﾘﾌﾄ			U-O-20-L	1267			○		○	－	－	－	－	－	○	
			N	1ﾘﾌﾄ			U-O-21-L	1199			○		○	－	－	－	－	－	○	
	上部	沈下計	－	－	－	鉛直	U-T-1	1643			○		○	－	－	－	－	－	○	
		温度計	－	－	－	－	U-O-22	1644			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-5　底部低透水層静的設備計測器点検結果（1／2）

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	方向	界面					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
低透水層	底部	土圧計	B	中央	底部埋戻し材	鉛直	B-D- 1	1078	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			B-D- 2	1075			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			B-D- 3	1081			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			B-D- 4	1087			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			B-D- 5	1084			○		○	－	－	－	－	－	○	
		水分計	B	L側	底部埋戻し材	－	B-W- 1	1074			○	±1%以内	○	－	－	－	－	－	○	
				中央			B-W- 2	1079			○	(※水分計の合否基準は計測	○	－	－	－	－	－	○	
				R側			B-W- 3	1086		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2016/4にデータ異常（故障）
			A	L側			B-W- 4	1076		50MΩ以上	○	±1%以内 (※水分計の合否基準は計測値の±1%以内とする)	○	－	－	－	－	－	○	
				中央			B-W- 5	1325		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2008/8にBLCHを1083→1325に変更 計器の校正が必要(メーカー回答) 2011/2に点検異常（故障）
				R側			B-W- 6	1088		50MΩ以上	○	±1%以内	○	－	－	－	－	－	○	
			C	L側			B-W- 7	1077		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2012/5にデータ異常（故障）
				中央			B-W- 8	1085			○	±1%以内	○	－	－	－	－	－	○	
				R側			B-W- 9	1326		50MΩ以上	○		○	－	－	－	－	－	○	2008/8にBLCHを1089→1326に変更 計器の校正が必要(メーカー回答)
		間隙水圧計	A	中央	底部埋戻し材	－	B-P- 2	1082			○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-6　底部低透水層静的設備計測器点検結果（2／2）

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	方向	界面					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
低透水層	底部	土圧計	A	L側	側部埋戻し材	水平	B-D- 6	1237	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
				R側			B-D- 7	1200			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央	奥部埋戻し材		B-D- 8	1234			○		○	－	－	－	－	－	○	
		沈下計	B	中央	－	鉛直	B-T- 1	1299			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			B-T- 2	1360			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			B-T- 3	1372			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			B-T- 4	1386		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2008/10にデータ異常（故障）
			C	中央			B-T- 5	1398		50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
		温度計	A	中央	－	－	B-O- 1	1373			○		○	－	－	－	－	－	○	
		水分計	A	L側	側部埋戻し材	－	B-W-10	1239		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2010/7にデータ異常（故障）
				R側			B-W-11	1202		50MΩ以上	○	±1%以内	○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央	奥部埋戻し材		B-W-12	1236		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2009/11にデータ異常（故障）
		間隙水圧計	A	L側	側部埋戻し材	－	B-P- 1	1238		50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
				R側	側部埋戻し材		B-P- 3	1201		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2010/3にデータ異常（故障）
			C	中央	奥部埋戻し材		B-P- 4	1235		50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-7　側部低透水層静的設備計測器点検結果

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	高さ	界面					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
低透水層	側部	土圧計	A	中段	側部埋戻し材	空洞横断	B-D-9	1295	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			C				B-D-10	1296			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-8　上部低透水層静的設備計測器点検結果

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	高さ	界面					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
低透水層	上部	土圧計	中央	－	上部低拡散材	鉛直	B-D-11	1748	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-9　底部低拡散層静的設備計測器点検結果

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	方向	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
低拡散層	底部	ひずみ計	B	中央	上段	空洞軸	T-H- 1-I-V	1301	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			T-H- 2-I-V	1361			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-H- 3-I-V	1374			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-H- 4-I-V	1387			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-H- 5-I-V	1399			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央		空洞横断	T-H- 1-I-C	1304			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			T-H- 2-I-C	1364			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-H- 3-I-C	1377			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-H- 4-I-C	1390			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-H- 5-I-C	1402			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	中段	空洞軸	T-H- 1-M-V	1302			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			T-H- 2-M-V	1362			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-H- 3-M-V	1375			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-H- 4-M-V	1388			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-H- 5-M-V	1400			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央		空洞横断	T-H- 1-M-C	1305			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			T-H- 2-M-C	1365			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-H- 3-M-C	1378			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-H- 4-M-C	1391			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-H- 5-M-C	1403			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	下段	空洞軸	T-H- 1-O-V	1303			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			T-H- 2-O-V	1363			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-H- 3-O-V	1376		9MΩ	×		○	352Ω	352Ω	○	1000μ	○	○	2017/9：絶縁抵抗は基準を超えるが、データに異常は見られない（要経過観察）。
				R側			T-H- 4-O-V	1389			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-H- 5-O-V	1401			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央		空洞横断	T-H- 1-O-C	1306			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			T-H- 2-O-C	1366			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-H- 3-O-C	1379			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-H- 4-O-C	1392			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-H- 5-O-C	1404			○		○	－	－	－	－	－	○	
		有効応力計	A	L側	中段	空洞軸	T-U- 1-V	1370			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-U- 2-V	1383			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-U- 3-V	1396			○		○	－	－	－	－	－	○	
				L側		空洞横断	T-U- 1-C	1371			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-U- 2-C	1384			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-U- 3-C	1397			○		○	－	－	－	－	－	○	
		無応力計	A	中央	中段	－	T-M- 1	1385			○		○	－	－	－	－	－	○	
		温度計	B	中央	上段	－	T-O- 1-I	1307			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			T-O- 2-I	1367			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-O- 3-I	1380			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-O- 4-I	1393			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-O- 5-I	1405			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	中段		T-O- 1-M	1308			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			T-O- 2-M	1368			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-O- 3-M	1381			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-O- 4-M	1394			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-O- 5-M	1406			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	下段		T-O- 1-O	1309		14MΩ	×		○	349Ω	－	○	1000μ	○	○	2017/9：絶縁抵抗は基準を超えるが、データに異常は見られない（要経過観察）。
			A	L側			T-O- 2-O	1369		50MΩ以上	○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-O- 3-O	1382		2MΩ	×	14μ	×	350Ω	－	○	1000μ	○	○	
				R側			T-O- 4-O	1395		50MΩ以上	○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-O- 5-O	1407			○		○	－	－	－	－	－	○	
		継目計	B	中央	ー	鉛直	T-J- 1	1328		44MΩ	×	±5μ以内	○	352Ω	352Ω	○	1000μ	○	○	
			A	L側			T-J- 2	1341		50MΩ以上	○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-J- 3	1355			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-J- 4	1420			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-J- 5	1433			○		○	－	－	－	－	－	○	
		せん断変位計	B	中央	ー	空洞横断	T-S- 1	1329			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			T-S- 2	1342			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			T-S- 3	1356			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			T-S- 4	1421			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			T-S- 5	1434			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-10　側部低拡散層静的設備計測器点検結果

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	高さ	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
低拡散層	側部	ひずみ計	B	上段	内側	空洞軸	T-H- 6-I	1593	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段			T-H- 8-I	1595			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中段		鉛直	T-H-10-I	1599			○		○	－	－	－	－	－	○	
				下段			T-H-12-I	1601			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	上段		空洞軸	T-H-14-I	1604			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段	中央	空洞軸	T-H- 8-M	1596			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-H- 9-M	1660			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			T-H-10-M	1598			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-H-11-M	1661			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段			T-H-12-M	1602			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-H-13-M	1662			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	上段	外側	空洞軸	T-H- 6-O	1594			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段			T-H- 8-O	1597			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中段		鉛直	T-H-10-O	1600			○		○	－	－	－	－	－	○	
				下段			T-H-12-O	1603			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	上段		空洞軸	T-H-14-O	1605			○		○	－	－	－	－	－	○	
		無応力計	A	下段	中央	－	T-M- 2	1606			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-M- 3	1663			○		○	－	－	－	－	－	○	
		温度計	B	上段	内側	－	T-O- 6-I	1607			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段			T-O- 8-I	1609			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中段			T-O-10-I	1612			○		○	－	－	－	－	－	○	
				下段			T-O-12-I	1615			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	上段			T-O-14-I	1618			○		○	－	－	－	－	－	○	低剛性型有効応力計
			A	上段	中央		T-O- 8-M	1610			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-O- 9-M	1664			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			T-O-10-M	1613			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-O-11-M	1665			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段			T-O-12-M	1616			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-O-13-M	1666			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	上段	外側		T-O- 6-O	1608			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段			T-O- 8-O	1611			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中段			T-O-10-O	1614			○		○	－	－	－	－	－	○	
				下段			T-O-12-O	1617			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	上段			T-O-14-O	1619			○		○	－	－	－	－	－	○	
		有効応力計	A	上段	内側	空洞軸	T-U- 4	1620			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-U- 5	1667			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			T-U- 6	1621			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-U- 7	1668			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段			T-U- 8	1622			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-U- 9	1669			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-UN- 9	1670			○		○	－	－	－	－	－	○	
		継目計	A	上段	側部CP	空洞横断	T-J- 6	1626			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-J- 7	1674			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段	底部低拡散材	鉛直	T-J- 8	1627			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-J- 9	1675			○		○	－	－	－	－	－	○	
		せん断変位計	A	上段	側部CP	鉛直	T-S- 6	1628			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-S- 7	1676			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段	底部低拡散材	空洞横断	T-S- 8	1629			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-S- 9	1677			○		○	－	－	－	－	－	○	
		土圧計	A	上段	側部CP	空洞横断	T-D- 1	1623			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-D- 2	1671			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			T-D- 3	1624			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-D- 4	1672			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段			T-D- 5	1625			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				T-D- 6	1673			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-11　上部低拡散層静的設備計測器点検結果

部材	部位	計器種別	設置位置		計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
低拡散層	上部	ひずみ計	左側	内側	空洞軸直交	T-H-17-I-C	1713	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-H-17-I-V	1716			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央	空洞軸直交	T-H-17-M-C	1714			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-H-17-M-V	1717			○		○	－	－	－	－	－	○	
				外側	空洞軸直交	T-H-17-O-C	1715			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-H-17-O-V	1718			○		○	－	－	－	－	－	○	
			中央	内側	空洞軸直交	T-H-18-I-C	1719			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-H-18-I-V	1722			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央	空洞軸直交	T-H-18-M-C	1720			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-H-18-M-V	1723			○		○	－	－	－	－	－	○	
				外側	空洞軸直交	T-H-18-O-C	1721			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-H-18-O-V	1724			○		○	－	－	－	－	－	○	
			右側	内側	空洞軸直交	T-H-19-I-C	1725			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-H-19-I-V	1728			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央	空洞軸直交	T-H-19-M-C	1726			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-H-19-M-V	1729			○		○	－	－	－	－	－	○	
				外側	空洞軸直交	T-H-19-O-C	1727			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-H-19-O-V	1730			○		○	－	－	－	－	－	○	
		無応力計	中央	中央	－	T-M- 4	1731			○		○	－	－	－	－	－	○	
		温度計	左側	内側	－	T-O-17-I	1732			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央	－	T-O-17-M	1733			○		○	－	－	－	－	－	○	
				外側	－	T-O-17-O	1734			○		○	－	－	－	－	－	○	
			中央	内側	－	T-O-18-I	1735			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央	－	T-O-18-M	1736			○		○	－	－	－	－	－	○	低剛性型有効応力計
				外側	－	T-O-18-O	1737			○		○	－	－	－	－	－	○	
			右側	内側	－	T-O-19-I	1738			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央	－	T-O-19-M	1739			○		○	－	－	－	－	－	○	
				外側	－	T-O-19-O	1740			○		○	－	－	－	－	－	○	
		有効応力計	左側	中央	空洞軸直交	T-U-10-C	1741			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-U-10-V	1742			○		○	－	－	－	－	－	○	
			中央		空洞軸直交	T-U-11-C	1743			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-U-11-V	1744			○		○	－	－	－	－	－	○	
			左側		空洞軸直交	T-U-12-C	1745			○		○	－	－	－	－	－	○	
					空洞軸	T-U-12-V	1746			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-12　底部コンクリートピット静的設備計測器点検結果

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	高さ	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
コンクリートピット	底部	ひずみ計	B	中央	上段	空洞軸	P-H- 1-I-V	1330	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-H- 2-I-V	1343			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			P-H- 3-I-V	1357			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-H- 4-I-V	1422			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-H- 5-I-V	1435			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央		空洞横断	P-H- 1-I-C	1333			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-H- 2-I-C	1346			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			P-H- 3-I-C	1410			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-H- 4-I-C	1425			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-H- 5-I-C	1438			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	中段	空洞軸	P-H- 1-M-V	1331			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-H- 2-M-V	1344			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			P-H- 3-M-V	1358			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-H- 4-M-V	1423			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-H- 5-M-V	1436			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央		空洞横断	P-H- 1-M-C	1334			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-H- 2-M-C	1347			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			P-H- 3-M-C	1411			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-H- 4-M-C	1426			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-H- 5-M-C	1439			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	下段	空洞軸	P-H- 1-O-V	1332			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-H- 2-O-V	1345			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			P-H- 3-O-V	1359			×		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-H- 4-O-V	1424			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-H- 5-O-V	1437			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央		空洞横断	P-H- 1-O-C	1335			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-H- 2-O-C	1348			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			P-H- 3-O-C	1412			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-H- 4-O-C	1427			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-H- 5-O-C	1440			○		○	－	－	－	－	－	○	
		有効応力計	B	中央	中段	空洞軸	P-U- 1-V	1339			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-U- 2-V	1486			○		○	－	－	－	－	－	○	H28.10にBLCHを1352→1486に変更
				中央			P-U- 3-V	1416			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-U- 4-V	1431			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-U- 5-V	1444			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央		空洞横断	P-U- 1-C	1340			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-U- 2-C	1353			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			P-U- 3-C	1417			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-U- 4-C	1432			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-U- 5-C	1445			○		○	－	－	－	－	－	○	
		無応力計	A	中央	中段	－	P-M- 1	1354			○		○	－	－	－	－	－	○	
		※傾斜計	A	中央	―	空洞軸	P-K- 1-I-V	1418			○		○	－	－	－	－	－	○	※1基で2方向計測
						空洞横断	P-K- 1-I-C	1419			○		○	－	－	－	－	－	○	
		温度計	B	中央	上段	－	P-O- 1-I	1336			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-O- 2-I	1349			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			P-O- 3-I	1413			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-O- 4-I	1428			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-O- 5-I	1441			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	中段		P-O- 1-M	1337			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-O- 2-M	1350			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			P-O- 3-M	1414			○		○	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-O- 4-M	1429			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-O- 5-M	1442			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	中央	下段		P-O- 1-O	1338			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	L側			P-O- 2-O	1351			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中央			P-O- 3-O	1415			×		×	－	－	－	－	－	○	
				R側			P-O- 4-O	1430			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	中央			P-O- 5-O	1443			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-13　側部コンクリートピット静的設備計測器点検結果（1／2）

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	高さ	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
コンクリートピット	側部	ひずみ計	B	上段	内側	空洞軸	P-H- 6-I	1472	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			E				P-H- 7-I	1534			○			－	－	－	－	－	○	
			A	下段		鉛直	P-H- 8-I	1473		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2014/7にデータ異常（故障）
			D				P-H- 9-I	1535		50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			P-H-10-I	1474		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2014/7にデータ異常（故障）
			D				P-H-11-I	1536			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段		空洞軸	P-H-12-I	1475			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-H-13-I	1537			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	上段		空洞軸	P-H-14-I	1476			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				P-H-15-I	1538			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段	中央	空洞軸	P-H- 8-M	1477			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-H- 9-M	1539			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			P-H-10-M	1478			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-H-11-M	1540			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段			P-H-12-M	1479			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-H-13-M	1541			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	上段	外側	空洞軸	P-H- 6-0	1446			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				P-H- 7-0	1408			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段		鉛直	P-H- 8-0	1447			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-H- 9-0	1409			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			P-H-10-0	1448			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-H-11-0	1510			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段		空洞軸	P-H-12-0	1449			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-H-13-0	1511			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	上段			P-H-14-0	1450			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				P-H-15-0	1512			○		○	－	－	－	－	－	○	
		有効応力計	A	下段	中央	空洞軸	P-U- 6	1468			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-U- 7	1530			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			P-U- 8	1469			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-U- 9	1531		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2009/11に点検異常（故障）
			A	上段			P-U-10	1470			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-U-11	1532			○		○	－	－	－	－	－	○	
		無応力計	A	下段	中央	－	P-M- 2	1471			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-M- 3	1533			○		○	－	－	－	－	－	○	
		鉄筋計	B	上段	内側	空洞軸	P-R- 6-I	1458			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				P-R- 7-I	1520			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段		鉛直	P-R- 8-I	1459			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-R- 9-I	1521			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			P-R-10-I	1460			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-R-11-I	1522			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段		空洞軸	P-R-12-I	1461		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2014/7にデータ異常（故障）
			D				P-R-13-I	1523			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	上段			P-R-14-I	1462			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				P-R-15-I	1524			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	上段	外側	空洞軸	P-R- 6-0	1463			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				P-R- 7-0	1525			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段		鉛直	P-R- 8-0	1464			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-R- 9-0	1526			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			P-R-10-0	1465			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-R-11-0	1527			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段		空洞軸	P-R-12-0	1466			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-R-13-0	1528			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	上段			P-R-14-0	1467			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				P-R-15-0	1529			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-14　側部コンクリートピット静的設備計測器点検結果（2／2）

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	高さ	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
コンクリートピット	側部	温度計	B	上段	内側	－	P-0- 6-I	1480	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			E				P-0- 7-I	1542			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段			P-0- 8-I	1481		－	－	－	－	－	－	－	－	－	×	2014/7にデータ異常（故障）
			D				P-0- 9-I	1543		50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			P-0-10-I	1482			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-0-11-I	1544			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段			P-0-12-I	1483			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-0-13-I	1545			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	上段			P-0-14-I	1484			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				P-0-15-I	1546			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段	中央		P-0- 8-M	1485			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-0- 9-M	1547			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			P-0-10-M	1451			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-0-11-M	1513			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段			P-0-12-M	1452			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-0-13-M	1514			○		○	－	－	－	－	－	○	
			B	上段	外側		P-0- 6-0	1453			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E				P-0- 7-0	1515			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	下段			P-0- 8-0	1454			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-0- 9-0	1516			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	中段			P-0-10-0	1455			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-0-11-0	1517			○		○	－	－	－	－	－	○	
			A	上段			P-0-12-0	1456			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D				P-0-13-0	1518			○		○	－	－	－	－	－	○	
			C	上段			P-0-14-0	1457			○		○	－	－	－	－	－	○	
			F				P-0-15-0	1519			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-15　手前部・上部コンクリートピット静的設備計測器点検結果

部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
			断面	高さ	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
コンクリートピット	手前部	ひずみ計	E	上段	内側	空洞横断	P-H-16-I	1560	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
			D	下段		鉛直	P-H-18-I	1562			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中段			P-H-20-I	1564			○		○	－	－	－	－	－	○	
				上段		空洞横断	P-H-22-I	1566			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E	中段			P-H-24-I	1568			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E	上段	外側	空洞横断	P-H-16-O	1561			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D	下段		鉛直	P-H-18-O	1563			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中段			P-H-20-O	1565			○		○	－	－	－	－	－	○	
				上段		空洞横断	P-H-22-O	1567			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E	中段			P-H-24-O	1569			○		○	－	－	－	－	－	○	
		無応力計	D	中段	中央	－	P-M- 4	1570			○		○	－	－	－	－	－	○	
		温度計	E	上段	内側	－	P-O-16-I	1571			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D	下段			P-O-18-I	1573			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中段			P-O-20-I	1575			○		○	－	－	－	－	－	○	
				上段			P-O-22-I	1578			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E	中段			P-O-24-I	1580			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D	中段	中央		P-O-20-M	1576			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E	上段	外側		P-O-16-O	1572			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D	下段			P-O-18-O	1574			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中段			P-O-20-O	1577			○		○	－	－	－	－	－	○	
				上段			P-O-22-O	1579			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E	中段			P-O-24-O	1581			○		○	－	－	－	－	－	○	
		鉄筋計	E	上段	内側	空洞横断	P-R-16-I	1582			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D	下段		鉛直	P-R-18-I	1584			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中段			P-R-20-I	1586			○		○	－	－	－	－	－	○	
				上段		空洞横断	P-R-22-I	1588			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E	中段			P-R-24-I	1590			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E	上段	外側	空洞横断	P-R-16-O	1583			○		○	－	－	－	－	－	○	
			D	下段		鉛直	P-R-18-O	1585			○		○	－	－	－	－	－	○	
				中段			P-R-20-O	1587			○		○	－	－	－	－	－	○	
				上段		空洞横断	P-R-22-O	1589			○		○	－	－	－	－	－	○	
			E	中段			P-R-24-O	1591			○		○	－	－	－	－	－	○	
	上部	ひずみ計	中央	－	内側	空洞軸直交	P-H-28-I-C	1678			○		○	－	－	－	－	－	○	
						空洞軸	P-H-28-I-V	1681			○		○	－	－	－	－	－	○	
					中央	空洞軸直交	P-H-28-M-C	1679			○		○	－	－	－	－	－	○	
						空洞軸	P-H-28-M-V	1682			○		○	－	－	－	－	－	○	
					外側	空洞軸直交	P-H-28-O-C	1680			○		○	－	－	－	－	－	○	
						空洞軸	P-H-28-O-V	1683			○		○	－	－	－	－	－	○	
		無応力計			中央	－	P-M- 6	1689			○		○	－	－	－	－	－	○	
		温度計				－	P-O-28-I	1684			○		○	－	－	－	－	－	○	
						－	P-O-28-M	1685			○		○	－	－	－	－	－	○	
						－	P-O-28-O	1686			○		○	－	－	－	－	－	○	
		有効応力計				空洞軸直交	P-U-19-C	1687			○		○	－	－	－	－	－	○	
						空洞軸	P-U-19-V	1688			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-16　充填材静的設備計測器点検結果

部材	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
		断面	高さ	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
充填材	土圧計	奥側	下段	－	水平	F-D-3	1592	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
		中央	中段	－	水平	F-D-2	1639			○		○	－	－	－	－	－	○	
			上段	－	水平	F-D-1	1638			○		○	－	－	－	－	－	○	
	温度計		中段	－	－	F-O-1	1640			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-17　上部充填材静的設備計測器点検結果

部材	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
		断面	高さ	厚み					測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
上部充填材	土圧計	中央	下段	－	水平	F-D-4	1710	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	
	温度計			－	－	F-O-2	1711			○		○	－	－	－	－	－	○	

表 2.1-18　試験空洞内百葉箱点検結果

計測種別	設置位置	BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
				測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
温度	空洞内百葉箱	1111	2018/10/10	50MΩ以上	○	±5μ以内	○	－	－	－	－	－	○	損傷によりH28.10に交換
湿度		1110			○		○	－	－	－	－	－	○	損傷によりH28.10に交換

表 2.1-19　岩盤変位計点検結果

計測種別	設置位置		BLCH	点検日	絶縁検査(50MΩ以上)		バラツキ検査(±5μ以内)		線間抵抗(350±10Ω)			ﾃﾞｼﾞﾀﾙひずみ計測定(±5μ以内)		データ異常	特記事項
	坑	深度			測定結果	合否	測定結果	合否	赤黒間	白緑間	合否	測定結果	合否	合否	
岩盤変位計	D坑	20m	1160	2018/10/10	49MΩ	×	±5μ以内	○	357Ω	－	○	1000μ	○	○	
		5.5m	1161		44MΩ	×		○	357Ω	－	○	1000μ	○	○	
		3.5m	1162		38MΩ	×		○	357Ω	－	○	1000μ	○	○	
		2.0m	1163		50MΩ以上	○		○	－	－	－	－	－	○	
		1.0m	1164		31MΩ	×		○	357Ω	－	○	1000μ	○	○	
		0.5m	1165		44MΩ	×		○	357Ω	－	○	1000μ	○	○	

2.2　データ模擬入力による点検

点検結果（平成 30 年 10 月 10 日）を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1　データ模擬入力点検結果

CH番号	計器番号	模擬入力値（SWボックス）	出力値（ロガー）	合否基準	合否
1160	RD-③12-06	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1161	RD-③12-05	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1162	RD-③12-04	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1164	RD-③12-02	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1165	RD-③12-01	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1309	T-O-1-O	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1328	T-J-1	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1376	T-H- 3-O-V	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○
1382	T-O- 3-O	1000×10^{-6}	1000×10^{-6}	$(1000\pm5)\times10^{-6}$	○

2.3 既設の計測機器類の耐久性評価

平成19年度～26年度の地下空洞型処分施設性能確証試験及び確認試験では、施設構成部材（埋め戻し材、低透水層、低拡散層、コンクリートピット、充てん材）及び周辺岩盤中に計測機器を設置し、施工時及び施工後の試験施設の力学挙動と周辺岩盤への影響を評価してきた。

本項では、既設計測機器に対して、現状の稼働状況及び稼働実績等を整理し、長期挙動計測に資する計測機器の耐久性や計測可能範囲を評価した。

計測機器の現状整理項目を表 2.3-1 に示す。また、各部材の計測機器の現状整理図表の対応を表 2.3-2 に示す。なお、以降の整理における計測機器の情報は、平成 30 年（2018 年）10 月 12 日現在のものとした。

表 2.3-1 計測機器の現状の整理項目

整理項目	内　　容	備　　考
計器情報	・ 設置部材・部位 ・ 計器種別 ・ 設置位置（計測断面、界面の部材等） ・ 計測方向 ・ 計測開始日	
正常異常判定	・ 判定結果 ・ 異常計器の判定根拠及び確認日	異常計器の判定方法は以下とした （1）岩盤内の間隙水圧計のみ ・ 点検異常 →抵抗値が 10MΩ以下または出力特性に異常 （2）その他の計測機器 ・ 点検異常 →抵抗値が 50MΩ 以下またはばらつきが±5μ以上 （3）全計器共通 ・ 上記点検で異常がないものの、データ欠損やデータ異常が見られる計器
耐久性	・ 設置数量 ・ 正常計器数量 ・ 正常計器の割合 ・ 稼働実績	異常計器の稼働実績は、計測開始日～異常確認日の期間とした。
計測範囲までの余裕値	・ 計測項目 ・ 計測単位 ・ 現在の計測値 ・ 計測範囲 ・ 計測範囲までの余裕値	計測範囲までの余裕値は、現在の計測値から、残りどの程度計測が可能であるかの指標であり、計測範囲と現在の計測値の差分値とした。
その他	・ 精度 ・ 分解能	

表 2.3-2　各部材の計測機器の現状整理図表の対応

部　材	部位	計測開始年度	計測機器の現状一覧	正常計器の割合	異常計器の数量変遷
坑内環境	－	H19	表 2.3-3	図 2.3-1	図 2.3-3
周辺岩盤	－		表 2.3-4～表 2.3-5	図 2.3-2	
埋戻し材	底部		表 2.3-6	図 2.3-4	図 2.3-8
	側部		表 2.3-7～表 2.3-8	図 2.3-5	
	奥部		表 2.3-9	図 2.3-6	
	上部	H26	表 2.3-10	図 2.3-7	
低透水層	底部	H20	表 2.3-11	図 2.3-9	図 2.3-12
	側部	H22	表 2.3-12	図 2.3-10	
	上部	H25	表 2.3-13	図 2.3-11	
低拡散層	底部	H20	表 2.3-14	図 2.3-13	図 2.3-16
	側部	H21	表 2.3-15	図 2.3-14	
	上部	H24	表 2.3-16	図 2.3-15	
コンクリートピット	底部	H20	表 2.3-17	図 2.3-17	図 2.3-21
	側部		表 2.3-18～表 2.3-19	図 2.3-18	
	手前部	H21	表 2.3-20	図 2.3-19	
	上部	H24	表 2.3-21	図 2.3-20	
充てん材	区画内	H22	表 2.3-22	図 2.3-22	図 2.3-23
	上部				

各部材における正常計器の割合が低いものでは、図 2.3-2 に示すように岩盤内の間隙水圧計が 35%（11 台／31 台）、図 2.3-9 に示すように底部低透水層の水分計が 58%（7 台／12 台）、間隙水圧計が 75%（3 台／4 台）となる。これより、水圧や水分等の水関連の計測機器は、他の計測機器と比較して故障しやすい傾向が見られる。特に、岩盤内の間隙水圧計は、図 2.3-3 に示すように、稼働期間に対して故障する計器数量が他の計器と比較して多いことがわかる。

しかし、全体では正常計器の割合は 95%（595 台／628 台※）となり、現状では、9 割以上の計測機器が正常に稼働していると言える。

※計測機器の全数量 633 台のうち、加速度計 5 台は除いている（加速度計は、建設時の動的計測に用いており、現在は稼働していない）。

表 2.3-3　坑内環境の計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報			正常異常判定			耐久性					計測範囲までの余裕値					その他	
計器種別	設置位置	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績	交換実績[1)]	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
				理由	確認日				期間（年）								
温度計	空洞内百葉箱	2007/9/28	○			1	1	100%	11.0	2016年	温度	℃	15.2	80	64.8	±0.5	0.1
湿度計			○							2016年	湿度	%	75.7	95	19.3	±3	0.1

1）外的要因により、計器が損傷し交換した。

表 2.3-4　周辺岩盤内の岩盤変位計の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報						正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値						その他	
計器種別	設置位置		計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
	計測坑	深度					理由	確認日				期間（年）							
岩盤変位計	試験施設直下	20m	鉛直	RD_③12_06	2007/9/28	○			6	6	100%	11.0	変位	mm	-0.36	100	100.36	±0.5	0.025
		5.5m		RD_③12_05		○						11.0			0.32		99.68		
		3.5m		RD_③12_04		○						11.0			0.42		99.58		
		2.0m		RD_③12_03		○						11.0			0.48		99.52		
		1.0m		RD_③12_02		○						11.0			0.67		99.33		
		0.5m		RD_③12_01		○						11.0			1.01		98.99		

表 2.3-5　周辺岩盤内の間隙水圧計の現状一覧

（2018/10/12現在）

計器情報						正常異常判定			耐久性					計測範囲までの余裕値					その他	
計器種別	設置位置		計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績[2]	交換実績[3]	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
	計測坑	深度					理由	確認日[1]				期間（年）								
間隙水圧計	試験施設右側	10.0-15.0m	-	水圧A-1	2007/9/2	×	点検異常	2014/9/5	31	11	35%	7.0	2010年	水圧	MPa	-	1	-	±0.001	0.0000625
		13.5-15.0m		水圧A-2		×	点検異常	2017/9/11				10.0	2011年			-		-		
		16.0-17.0m		水圧A-3		×	点検異常	2015/11/9				8.2	2012年			-		-		
		17.5-18.0m		水圧A-4		×	点検異常	2017/9/11				10.0	2010年			-		-		
		18.5-19.0m		水圧A-5		○						11.1	2010年			0.03		0.97		
	試験施設上側	10.0-12.5m		水圧B-1		×	点検異常	2018/10/10				11.1			bar	-	3	-	±0.006	0.00025
		13.5-15.0m		水圧B-2		×	点検異常	2014/9/5				7.0				-		-		
		16.0-17.0m		水圧B-3		○						11.1	2012年			0.08		2.92		
		17.5-18.0m		水圧B-4		×	点検異常	2010/11/16				3.2				-		-		
		18.5-19.0m		水圧B-5		○						11.1				-0.09		3.09		
	試験施設左側	10.0-15.0m		水圧C-1		×	点検異常	2015/11/9				8.2	2011年		MPa	-	1	-	±0.001	0.0000625
		13.5-15.0m		水圧C-2		×	点検異常	2013/12/3				6.3	2010年			-		-		
		16.0-17.0m		水圧C-3		×	点検異常	2014/9/5				7.0	2012年			-		-		
		17.5-18.0m		水圧C-4		×	点検異常	2013/12/3				6.3	2011年			-		-		
		18.5-19.0m		水圧C-5		×	点検異常	2011/11/25				4.2				-		-		
	試験施設下側	0.5-1.0m		水圧D-1		×	ケーブル異常	2016/10/14				9.1				-		-		
		1.5-2.0m		水圧D-2		×	点検異常	2016/10/14				9.1				-		-		
		2.5-3.0m		水圧D-3		○						11.1				0.03		0.97		
		4.0-5.0m		水圧D-4		×	点検異常	2010/11/16				3.2				-		-		
		6.0-7.5m		水圧D-5		○						11.1				0.09		0.91		
		8.5-10.5m		水圧D-6		×	点検異常	2011/11/25				4.2				-		-		
		11.5-14.0m		水圧D-7		○						11.1				0.15		0.85		
		15.0-19.0m		水圧D-8		○						11.1	2011年			0.17		0.83		
	試験施設奥側	0.5-1.0m		水圧E-1		×	点検異常	2017/9/11				10.0				-		-		
		1.5-2.0m		水圧E-2		○						11.1				0.06		0.94		
		2.5-3.0m		水圧E-3		○						11.1				0.06		0.94		
		4.0-5.0m		水圧E-4		×	点検異常	2010/11/16				3.2				-		-		
		6.0-7.5m		水圧E-5		×	点検異常	2013/12/3				6.3				-		-		
		8.5-10.5m		水圧E-6		○						11.1				0.16		0.84		
		11.5-14.0m		水圧E-7		○						11.1				0.20		0.80		
		15.0-19.0m		水圧E-8		×	点検異常	2017/9/11				10.0				-		-		

1）交換実績は考慮せず、最終的に異常が確認され撤去した日とした。
2）交換実績は考慮せず、計測開始日～最終的に異常が確認され撤去した日までの期間とした。
3）過去の点検において異常と判定された計器に対して、新規計器で交換した実績。

表 2.3-6　底部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日											
埋戻し材	底部	ひずみ計	B	中央	内側	空洞軸	U-H- 1-U-V	2007/9/28	○			30	30	100%	11.0	ひずみ	μ	105	±5000	4895	±50	1
			A	左			U-H- 2-U-V		○						11.0			102		4898		
				中央			U-H- 3-U-V		○						11.0			172		4828		
				右			U-H- 4-U-V		○						11.0			-2		4999		
			C	中央			U-H- 5-U-V		○						11.0			159		4841		
			B	中央		空洞横断	U-H- 1-U-C		○						11.0			89		4911		
			A	左			U-H- 2-U-C		○						11.0			110		4890		
				中央			U-H- 3-U-C		○						11.0			50		4950		
				右			U-H- 4-U-C		○						11.0			194		4807		
			C	中央			U-H- 5-U-C		○						11.0			80		4920		
			B	中央	中央	空洞軸	U-H- 1-M-V		○						11.0			100		4900		
			A	左			U-H- 2-M-V		○						11.0			142		4858		
				中央			U-H- 3-M-V		○						11.0			109		4892		
				右			U-H- 4-M-V		○						11.0			113		4888		
			C	中央			U-H- 5-M-V		○						11.0			120		4880		
			B	中央		空洞横断	U-H- 1-M-C		○						11.0			112		4888		
			A	左			U-H- 2-M-C		○						11.0			167		4833		
				中央			U-H- 3-M-C		○						11.0			83		4917		
				右			U-H- 4-M-C		○						11.0			177		4823		
			C	中央			U-H- 5-M-C		○						11.0			115		4885		
			B	中央	外側	空洞軸	U-H- 1-L-V		○						11.0			96		4904		
			A	左			U-H- 2-L-V		○						11.0			136		4864		
				中央			U-H- 3-L-V		○						11.0			60		4940		
				右			U-H- 4-L-V		○						11.0			33		4968		
			C	中央			U-H- 5-L-V		○						11.0			37		4963		
			B	中央		空洞横断	U-H- 1-L-C		○						11.0			48		4952		
			A	左			U-H- 2-L-C		○						11.0			84		4916		
				中央			U-H- 3-L-C		○						11.0			36		4964		
				右			U-H- 4-L-C		○						11.0			-18		4982		
			C	中央			U-H- 5-L-C		○						11.0			38		4962		
		有効応力計	A	左	中央	空洞軸	U-U- 1-M-V		○			6	6	100%	11.0	応力	N/mm^2	-0.17	10	10.2	±0.1	0.06
				中央			U-U- 2-M-V		○						11.0			-0.09		10.1		
				右			U-U- 3-M-V		○						11.0			-0.65		10.7		
				左		空洞横断	U-U- 1-M-C		○						11.0			-0.04		10.0		
				中央			U-U- 2-M-C		○						11.0			-0.44		10.4		
				右			U-U- 3-M-C		○						11.0			-0.24		10.2		
		無応力計	A	中央	中央	―	U-M- 1		○			1	1	100%	11.0	自由ひずみ	μ	604	±5000	4396	±50	1
		鉄筋計	B	中央	内側	空洞軸	U-R- 1-U-V		○			12	12	100%	11.0	応力	N/mm^2	-11.80	±350	338.2	±3.5	0.175
			A				U-R- 3-U-V		○						11.0			1.79		348.2		
			C				U-R- 5-U-V		○						11.0			-1.16		348.8		
			A	左		空洞横断	U-R- 2-U-C		○						11.0			-11.84		338.2		
				中央			U-R- 3-U-C		○						11.0			-6.13		343.9		
				右			U-R- 4-U-C		○						11.0			-4.71		345.3		
			B	中央	外側	空洞軸	U-R- 1-L-V		○						11.0			-8.28		341.7		
			A				U-R- 3-L-V		○						11.0			-5.42		344.6		
			C				U-R- 5-L-V		○						11.0			-2.58		347.4		
			A	左		空洞横断	U-R- 2-L-C		○						11.0			-0.16		349.8		
				中央			U-R- 3-L-C		○						11.0			-6.97		343.0		
				右			U-R- 4-L-C		○						11.0			-48.55		301.5		
		温度計	B	中央	内側	―	U-O- 1-U		○			15	15	100%	11.0	温度	℃	14.7	80	65.3	±1.0	0.02
			A	左			U-O- 2-U		○						11.0			14.4		65.6		
				中央			U-O- 3-U		○						11.0			14.2		65.8		
				右			U-O- 4-U		○						11.0			14.6		65.4		
			C	中央			U-O- 5-U		○						11.0			14.5		65.5		
			B	中央	中央	―	U-O- 1-M		○						11.0			14.7		65.3		
			A	左			U-O- 2-M		○						11.0			14.3		65.7		
				中央			U-O- 3-M		○						11.0			14.8		65.2		
				右			U-O- 4-M		○						11.0			14.6		65.4		
			C	中央			U-O- 5-M		○						11.0			14.6		65.4		
			B	中央	外側	―	U-O- 1-L		○						11.0			14.8		65.2		
			A	左			U-O- 2-L		○						11.0			14.4		65.6		
				中央			U-O- 3-L		○						11.0			14.8		65.2		
				右			U-O- 4-L		○						11.0			14.7		65.3		
			C	中央			U-O- 5-L		○						11.0			14.6		65.4		

表 2.3-7　側部埋戻し材の計測機器の現状一覧（1/2）

（2018/10/12現在）

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
埋戻し材	側部	ひずみ計	B	1ﾘﾌﾄ	外側	空洞軸	U-H- 6-U-H	2007/10/26	○			60	59	98%	11.0	ひずみ	μ	1	±5000	4999	±50	1
			E				U-H- 7-U-H		○						11.0			23		4977		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-U-H	2008/1/11	○						10.8			-23		4977		
			E				U-H- 9-U-H		○						10.8			-132		4868		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-U-H	2007/10/26	○						11.0			-51		4949		
			D				U-H-11-U-H		○						11.0			-32		4968		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-U-H	2008/1/11	○						10.8			-36		4964		
			D				U-H-13-U-H		×	データ異常	2012/11/28				4.9			-		-		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-U-H	2007/10/26	○						11.0			-28		4972		
			F				U-H-15-U-H		○						11.0			-23		4977		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-U-H	2008/1/11	○						10.8			49		4951		
			F				U-H-17-U-H		○						10.8			-40		4960		
			B	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H- 6-U-P	2007/10/26	○						11.0			-57		4943		
			E				U-H- 7-U-P		○						11.0			-66		4934		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-U-P	2008/1/11	○						10.8			-2346		2654		
			E				U-H- 9-U-P		○						10.8			-333		4667		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-U-P	2007/10/26	○						11.0			-163		4837		
			D				U-H-11-U-P		○						11.0			-53		4947		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-U-P	2008/1/11	○						10.8			-332		4668		
			D				U-H-13-U-P		○						10.8			-321		4679		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-U-P	2007/10/26	○						11.0			-93		4907		
			F				U-H-15-U-P		○						11.0			-228		4772		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-U-P	2008/1/11	○						10.8			-767		4233		
			F				U-H-17-U-P		○						10.8			-650		4350		
			B		中央	空洞軸	U-H- 8-M-H	2008/1/11	○						10.8			-121		4879		
			E				U-H- 9-M-H		○						10.8			689		4311		
			A				U-H-12-M-H		○						10.8			53		4947		
			D				U-H-13-M-H		○						10.8			-72		4928		
			C				U-H-16-M-H		○						10.8			5		4995		
			F	3ﾘﾌﾄ			U-H-17-M-H		○						10.8			-112		4888		
			B			鉛直	U-H- 8-M-P		○						10.8			-337		4663		
			E				U-H- 9-M-P		○						10.8			-102		4898		
			A				U-H-12-M-P		○						10.8			-328		4673		
			D				U-H-13-M-P		○						10.8			-284		4716		
			C				U-H-16-M-P		○						10.8			-389		4611		
			F				U-H-17-M-P		○						10.8			398		4602		
			B	1ﾘﾌﾄ	内側	空洞軸	U-H- 6-L-H	2007/10/26	○						11.0			-131		4869		
			E				U-H- 7-L-H		○						11.0			-164		4836		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-L-H	2008/1/11	○						10.8			-64		4936		
			E				U-H- 9-L-H		○						10.8			-140		4860		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-L-H	2007/10/26	○						11.0			-176		4824		
			D				U-H-11-L-H		○						11.0			-225		4775		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-L-H	2008/1/11	○						10.8			-126		4875		
			D				U-H-13-L-H		○						10.8			-127		4873		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-L-H	2007/10/26	○						11.0			-165		4835		
			F				U-H-15-L-H		○						11.0			-79		4921		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-L-H	2008/1/11	○						10.8			-226		4774		
			F				U-H-17-L-H		○						10.8			-238		4762		
			B	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H- 6-L-P	2007/10/26	○						11.0			-163		4837		
			E				U-H- 7-L-P		○						11.0			-96		4905		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-L-P	2008/1/11	○						10.8			-547		4453		
			E				U-H- 9-L-P		○						10.8			-446		4554		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-L-P	2007/10/26	○						11.0			-368		4632		
			D				U-H-11-L-P		○						11.0			-155		4845		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-L-P	2008/1/11	○						10.8			-397		4603		
			D				U-H-13-L-P		○						10.8			-305		4695		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-L-P	2007/10/26	○						11.0			-384		4616		
			F				U-H-15-L-P		○						11.0			-305		4695		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-L-P	2008/1/11	○						10.8			-237		4763		
			F				U-H-17-L-P		○						10.8			-1265		3735		

表 2.3-8　側部埋戻し材の計測機器の現状一覧（2/2）

（2018/10/12現在）

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
埋戻し材	側部	有効応力計	A	1ﾘﾌﾄ	中央	空洞軸	U-U- 4-M-H	2007/10/26	○			8	8	100%	11.0	応力	N/mm^2	-0.90	10	10.9	±0.1	0.06
			D				U-U- 5-M-H		○						11.0			-0.91		10.9		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-U- 6-M-H	2008/1/11	○						10.8			-0.25		10.3		
			D				U-U- 7-M-H		○						10.8			0.46		9.5		
			A	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-U- 4-M-P	2007/10/26	○						11.0			-2.22		12.2		
			D				U-U- 5-M-P		○						11.0			0.51		9.5		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-U- 6-M-P	2008/1/11	○						10.8			-1.50		11.5		
			D				U-U- 7-M-P		○						10.8			-0.56		10.6		
		無応力計	A	3ﾘﾌﾄ	中央	－	U-M- 2	2008/1/11	○			2	2	100%	10.8	自由ひずみ	μ	40	±5000	4960	±50	1
			D				U-M- 3		○						10.8			-51		4949		
		鉄筋計	B	1ﾘﾌﾄ	外側	鉛直	U-R- 6-U-P	2007/10/26	○			16	16	100%	11.0	応力	N/mm^2	-3.26	±350	346.7	±3.5	0.175
			E				U-R- 7-U-P		○						11.0			-0.85		349.2		
			A				U-R- 8-U-P		○						11.0			0.62		349.4		
			D				U-R- 9-U-P		○						11.0			-6.07		343.9		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-R- 10-U-P	2008/1/11	○						10.8			-7.13		342.9		
			D				U-R- 11-U-P		○						10.8			-19.73		330.3		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-R- 12-U-P	2007/10/26	○						11.0			-13.14		336.9		
			F				U-R- 13-U-P		○						11.0			-16.32		333.7		
			B	1ﾘﾌﾄ	内側		U-R- 6-L-P	2007/10/26	○						11.0			-0.90		349.1		
			E				U-R- 7-L-P		○						11.0			-21.61		328.4		
			A				U-R- 8-L-P		○						11.0			-42.15		307.8		
			D				U-R- 9-L-P		○						11.0			-36.44		313.6		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-R- 10-L-P	2008/1/11	○						10.8			-19.81		330.2		
			D				U-R- 11-L-P		○						10.8			-9.85		340.2		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-R- 12-L-P	2007/10/26	○						11.0			-33.54		316.5		
			F				U-R- 13-L-P		○						11.0			-26.69		323.3		
		温度計	B	1ﾘﾌﾄ	外側	－	U-O- 6-U	2007/10/26	○			30	30	100%	11.0	温度	℃	14.9	80	65.1	±1.0	0.02
			E				U-O- 7-U		○						11.0			14.8		65.2		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-O- 8-U	2008/1/11	○						10.8			14.8		65.2		
			E				U-O- 9-U		○						10.8			14.6		65.4		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-O-10-U	2007/10/26	○						11.0			14.6		65.4		
			D				U-O-11-U		○						11.0			14.1		65.9		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-O-12-U	2008/1/11	○						10.8			14.6		65.4		
			D				U-O-13-U		○						10.8			14.0		66.0		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-O-14-U	2007/10/26	○						11.0			14.5		65.5		
			F				U-O-15-U		○						11.0			13.9		66.1		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-O-16-U	2008/1/11	○						10.8			14.3		65.7		
			F				U-O-17-U		○						10.8			13.3		66.7		
			B		中央		U-O- 8-M		○						10.8			14.8		65.2		
			E				U-O- 9-M		○						10.8			14.7		65.3		
			A				U-O-12-M		○						10.8			14.7		65.3		
			D				U-O-13-M		○						10.8			13.9		66.1		
			C				U-O-16-M		○						10.8			14.4		65.6		
			F				U-O-17-M		○						10.8			13.3		66.7		
			B	1ﾘﾌﾄ	内側		U-O- 6-L	2007/10/26	○						11.0			14.9		65.1		
			E				U-O- 7-L		○						11.0			14.8		65.2		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-O- 8-L	2008/1/11	○						10.8			14.9		65.1		
			E				U-O- 9-L		○						10.8			14.7		65.3		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-O-10-L	2007/10/26	○						11.0			14.7		65.3		
			D				U-O-11-L		○						11.0			14.2		65.8		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-O-12-L	2008/1/11	○						10.8			14.7		65.3		
			D				U-O-13-L		○						10.8			13.9		66.1		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-O-14-L	2007/10/26	○						11.0			14.5		65.5		
			F				U-O-15-L		○						11.0			14.1		65.9		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-O-16-L	2008/1/11	○						10.8			14.3		65.7		
			F				U-O-17-L		○						10.8			13.3		66.7		

表 2.3-9　奥部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報										正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日		判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			横断面方向	高さ方向	厚さ方向						理由	確認日											
埋戻し材	奥部	ひずみ計	M	1ﾘﾌﾄ	外側	空洞横断	U-H-18-U-H	2007/10/19		○			16	16	100%	11.0	ひずみ	μ	-196	±5000	4804	±50	1
			L				U-H-19-U-H			○						11.0			-210		4790		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-U-H	2007/12/27		○						10.8			-356		4644		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-U-H	2007/10/19		○						11.0			-142		4858		
			M	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H-18-U-P	2007/10/19		○						11.0			-423		4577		
			L				U-H-19-U-P			○						11.0			-333		4667		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-U-P	2007/12/27		○						10.8			-508		4492		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-U-P	2007/10/19		○						11.0			-162		4838		
			M	1ﾘﾌﾄ	内側	空洞横断	U-H-18-L-H	2007/10/19		○						11.0			-148		4852		
			L				U-H-19-L-H			○						11.0			-265		4735		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-L-H	2007/12/27		○						10.8			-297		4703		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-L-H	2007/10/19		○						11.0			-75		4926		
			M	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H-18-L-P	2007/10/19		○						11.0			-257		4743		
			L				U-H-19-L-P			○						11.0			-303		4697		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-L-P	2007/12/27		○						10.8			-419		4581		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-L-P	2007/10/19		○						11.0			-251		4749		
		有効応力計	L	1ﾘﾌﾄ	中央	空洞横断	U-U- 8-M-H	2007/10/19		○			4	4	100%	11.0	応力	N/mm²	-0.66	10	10.7	±0.1	0.06
				3ﾘﾌﾄ			U-U- 9-M-H	2007/12/27		○						10.8			-0.59		10.6		
				1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-U- 8-M-P	2007/10/19		○						11.0			-2.25		12.3		
				3ﾘﾌﾄ			U-U- 9-M-P	2007/12/27		○						10.8			-1.13		11.1		
		無応力計	L	3ﾘﾌﾄ	中央	－	U-M- 4	2007/12/27		○			1	1	100%	10.8	自由ひずみ	μ	249	±5000	4751	±50	1
		鉄筋計	M	1ﾘﾌﾄ	外側	鉛直	U-R-14-U-P	2007/10/19		○			6	6	100%	11.0	応力	N/mm²	-16.28	±350	333.7	±3.5	0.175
			L				U-R-15-U-P			○						11.0			-9.51		340.5		
			N				U-R-16-U-P			○						11.0			-38.62		311.4		
			M		内側		U-R-14-L-P			○						11.0			-84.18		265.8		
			L				U-R-15-L-P			○						11.0			-36.66		313.3		
			N				U-R-16-L-P			○						11.0			63.94		286.1		
		温度計	M	1ﾘﾌﾄ	外側	－	U-O-18-U	2007/10/19		○			8	8	100%	11.0	温度	℃	14.1	80	65.9	±1.0	0.02
			L				U-O-19-U			○						11.0			13.9		66.1		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-O-20-U	2007/12/27		○						10.8			13.3		66.7		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-O-21-U	2007/10/19		○						11.0			13.8		66.2		
			M	1ﾘﾌﾄ	内側		U-O-18-L	2007/10/19		○						11.0			14.1		65.9		
			L				U-O-19-L			○						11.0			14.0		66.0		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-O-20-L	2007/12/27		○						10.8			13.4		66.6		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-O-21-L	2007/10/19		○						11.0			14.0		66.0		

表 2.3-10　上部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			横断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
埋戻し材	上部	沈下計	中央	天端付近	－	鉛直	U-T-1	2014/9/10	○			1	1	100%	4.1	変位	mm	4.8	50	45.2	±0.5	0.025
		温度計			－	－	U-O-22		○			1	1	100%	4.1	温度	℃	14.2	80	66	±1	0.02

表 2.3-11　底部低透水層の計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	界面の部材					理由	確認日											
低透水層	底部	土圧計	B	中央	底部埋戻し材	鉛直	B-D- 1	2008/2/12	○			8	8	100%	10.7	土圧	kPa	34	2000	1966	±20	1.1
			A	L側			B-D- 2	2008/2/12	○						10.7			114		1886		
				中央			B-D- 3	2008/2/12	○						10.7			53		1947		
				R側			B-D- 4	2008/2/12	○						10.7			84		1916		
			C	中央			B-D- 5	2008/2/12	○						10.7			32		1968		
			A	L側	側部埋戻し材	水平	B-D- 6	2008/7/26	○						10.2			113		1887		
				R側			B-D- 7	2008/7/26	○						10.2			87		1913		
			C	中央	奥部埋戻し材		B-D- 8	2008/7/26	○						10.2			7		1993		
		水分計	B	L側	底部埋戻し材	－	B-W- 1	2008/2/26	○			12	7	58%	10.6	体積含水率	%	36	100	64	±3	0.025
				中央			B-W- 2	2008/2/26	○						10.6			30		70		
				R側			B-W- 3	2008/2/26	×	データ異常	2016/4/13				8.1			－		－		
			A	L側			B-W- 4	2008/2/26	○						10.6			38		62		
				中央			B-W- 5	2008/2/26	×	点検異常	2011/2/27				3.0			－		－		
				R側			B-W- 6	2008/2/26	○						10.6			37		63		
			C	L側			B-W- 7	2008/2/26	×	データ異常	2012/5/14				4.2			－		－		
				中央			B-W- 8	2008/2/26	○						10.6			34		66		
				R側			B-W- 9	2008/3/11	○						10.6			34		66		
			A	L側	側部埋戻し材		B-W-10	2008/8/21	×	データ異常	2010/7/5				1.9			－		－		
				R側			B-W-11	2008/8/21	○						10.1			43		57		
			C	中央	奥部埋戻し材		B-W-12	2008/8/21	×	データ異常	2009/11/1				1.2			－		－		
		間隙水圧計	A	L側	側部埋戻し材	－	B-P- 1	2008/8/18	○			4	3	75%	10.2	間隙水圧	kPa	2.7	400	397	±2	0.2
				中央	底部埋戻し材		B-P- 2	2008/2/12	○						10.7			2.3		398		
				R側	側部埋戻し材		B-P- 3	2008/8/18	×	データ異常	2010/3/9				1.6			－		－		
			C	中央	奥部埋戻し材		B-P- 4	2008/8/18	○						10.2			1.8		398		
		沈下計	B	中央	－	鉛直	B-T- 1	2008/10/16	○			5	4	80%	10.0	変位	mm	1.22	20	18.8	±0.2	0.01
			A	L側			B-T- 2	2008/10/16	○						10.0			1.52		18.5		
				中央			B-T- 3	2008/10/16	○						10.0			1.05		19.0		
				R側			B-T- 4	2008/10/16	×	データ異常	2008/10/16				0.0			－		－		
			C	中央			B-T- 5	2008/10/16	○						10.0			0.44		19.6		
		温度計	A	中央	－	－	B-O- 1	2008/10/16	○			1	1	100%	10.0	温度	℃	14.1	80	66	±1	0.02
		温度計(無線)	B	中央	－	－	－	2008/10/16	○			1	1	100%	10.0	温度	℃	14.6	70	55	±1	0.02
		間隙水圧計(無線)					－	2008/10/16	○			1	1	100%	10.0	間隙水圧	kPa	102.5	600	497	±1	0.01

表 2.3-12　側部低透水層の計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	界面の部材					理由	確認日											
低透水層	側部	土圧計	A	中段	側部埋戻し材	空洞横断	B-D-9	2010/11/11	○			2	2	100%	7.9	土圧	kPa	22	2000	1978	±20	1.111
			C				B-D-10		○						7.9			-16		2016		

表 2.3-13　上部低透水層の計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	界面の部材					理由	確認日											
低透水層	上部	土圧計	中央	中央	上部低拡散層	鉛直	B-D-11	2013/12/6	○			1	1	100%	4.9	土圧	kPa	-24.0	2000	2024	±20	1.111

表 2.3-14　底部低拡散層の計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日											
低拡散層	底部	ひずみ計	B	中央	上段	空洞軸	T-H- 1-I-V	2008/10/16	○			30	30	100%	10.0	ひずみ	μ	316	±5000	4684	±50	1
			A	L側			T-H- 2-I-V		○						10.0			184		4816		
				中央			T-H- 3-I-V		○						10.0			225		4775		
				R側			T-H- 4-I-V		○						10.0			176		4824		
			C	中央			T-H- 5-I-V		○						10.0			186		4814		
			B	中央		空洞横断	T-H- 1-I-C		○						10.0			192		4808		
			A	L側			T-H- 2-I-C		○						10.0			214		4786		
				中央			T-H- 3-I-C		○						10.0			99		4901		
				R側			T-H- 4-I-C		○						10.0			264		4736		
			C	中央			T-H- 5-I-C		○						10.0			163		4837		
			B	中央	中段	空洞軸	T-H- 1-M-V		○						10.0			321		4679		
			A	L側			T-H- 2-M-V		○						10.0			172		4828		
				中央			T-H- 3-M-V		○						10.0			233		4767		
				R側			T-H- 4-M-V		○						10.0			233		4767		
			C	中央			T-H- 5-M-V		○						10.0			156		4844		
			B	中央		空洞横断	T-H- 1-M-C		○						10.0			175		4825		
			A	L側			T-H- 2-M-C		○						10.0			168		4832		
				中央			T-H- 3-M-C		○						10.0			134		4866		
				R側			T-H- 4-M-C		○						10.0			179		4821		
			C	中央			T-H- 5-M-C		○						10.0			140		4860		
			B	中央	下段	空洞軸	T-H- 1-O-V		○						10.0			116		4884		
			A	L側			T-H- 2-O-V		○						10.0			116		4884		
				中央			T-H- 3-O-V		○						10.0			150		4850		
				R側			T-H- 4-O-V		○						10.0			74		4926		
			C	中央			T-H- 5-O-V		○						10.0			70		4930		
			B	中央		空洞横断	T-H- 1-O-C		○						10.0			117		4883		
			A	L側			T-H- 2-O-C		○						10.0			62		4938		
				中央			T-H- 3-O-C		○						10.0			92		4908		
				R側			T-H- 4-O-C		○						10.0			43		4957		
			C	中央			T-H- 5-O-C		○						10.0			94		4906		
		有効応力計	A	L側	中段	空洞軸	T-U- 1-V		○			6	6	100%	10.0	応力	N/mm^2	0.01	10	10.0	±0.1	0.06
				中央			T-U- 2-V		○						10.0			0.11		9.9		
				R側			T-U- 3-V		○						10.0			-0.18		10.2		
				L側		空洞横断	T-U- 1-C		○						10.0			-0.58		10.6		
				中央			T-U- 2-C		○						10.0			3.28		6.7		
				R側			T-U- 3-C		○						10.0			-0.86		10.9		
		無応力計	A	中央	中段	－	T-M- 1		○			1	1	100%	10.0	自由ひずみ	μ	508	±5000	4492	±50	1
		温度計	B	中央	上段	－	T-O- 1-I		○			15	15	100%	10.0	温度	℃	14.9	80	65.1	±1.0	0.02
			A	L側			T-O- 2-I		○						10.0			14.1		65.9		
				中央			T-O- 3-I		○						10.0			14.0		66.0		
				R側			T-O- 4-I		○						10.0			13.9		66.1		
			C	中央			T-O- 5-I		○						10.0			13.9		66.1		
			B	中央	中段		T-O- 1-M		○						10.0			14.7		65.3		
			A	L側			T-O- 2-M		○						10.0			14.0		66.0		
				中央			T-O- 3-M		○						10.0			14.1		65.9		
				R側			T-O- 4-M		○						10.0			13.9		66.1		
			C	中央			T-O- 5-M		○						10.0			13.8		66.2		
			B	中央	下段		T-O- 1-O		○						10.0			14.7		65.3		
			A	L側			T-O- 2-O		○						10.0			14.1		65.9		
				中央			T-O- 3-O		○						10.0			13.8		66.2		
				R側			T-O- 4-O		○						10.0			14.0		66.0		
			C	中央			T-O- 5-O		○						10.0			13.9		66.1		
		継目計	B	中央	－	鉛直	T-J- 1		○			5	5	100%	10.0	変位	mm	-0.185	10	10.185	±0.1	0.005
			A	L側			T-J- 2		○						10.0			-0.071		10.071		
				中央			T-J- 3		○						10.0			-0.029		10.029		
				R側			T-J- 4		○						10.0			0.000		10.000		
			C	中央			T-J- 5		○						10.0			-0.143		10.143		
		せん断変位計	B	中央	－	空洞横断	T-S- 1		○			5	5	100%	10.0	変位	mm	0.001	±2.5	2.50	±0.0075	0.0005
			A	L側			T-S- 2		○						10.0			0.015		2.49		
				中央			T-S- 3		○						10.0			-0.019		2.48		
				R側			T-S- 4		○						10.0			0.094		2.41		
			C	中央			T-S- 5		○						10.0			-0.052		2.45		

表 2.3-15　側部低拡散層の計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
低拡散層	側部	ひずみ計	B	上段	内側	空洞軸	T-H- 6-I	2009/9/16	○			16	16	100%	9.1	ひずみ	μ	104	±5000	4896	±50	1
			A	上段			T-H- 8-I		○						9.1			74		4926		
				中段		鉛直	T-H-10-I		○						9.1			-515		4485		
				下段			T-H-12-I		○						9.1			-226		4774		
			C	上段		空洞軸	T-H-14-I		○						9.1			-25		4976		
			A	上段	中央	空洞軸	T-H- 8-M		○						9.1			49		4952		
			D				T-H- 9-M		○						9.1			-40		4960		
			A	中段			T-H-10-M		○						9.1			-314		4686		
			D				T-H-11-M		○						9.1			-207		4793		
			A	下段			T-H-12-M		○						9.1			-270		4730		
			D				T-H-13-M		○						9.1			-68		4932		
			B	上段	外側	空洞軸	T-H- 6-O		○						9.1			99		4901		
			A	上段			T-H- 8-O		○						9.1			-65		4935		
				中段		鉛直	T-H-10-O		○						9.1			-908		4092		
				下段			T-H-12-O		○						9.1			-1343		3657		
			C	上段		空洞軸	T-H-14-O		○						9.1			-15		4985		
		無応力計	A	下段	中央	－	T-M- 2		○			2	2	100%	9.1	自由ひずみ	μ	267		4733		
			D				T-M- 3		○						9.1			549		4451		
		温度計	B	上段	内側	－	T-O- 6-I		○			16	16	100%	9.1	温度	℃	15.2	80	64.8	±1.0	0.02
			A	上段			T-O- 8-I		○						9.1			15.1		64.9		
				中段			T-O-10-I		○						9.1			14.7		65.3		
				下段			T-O-12-I		○						9.1			13.4		66.6		
			C	上段			T-O-14-I		○						9.1			14.7		65.3		
			A	上段	中央		T-O- 8-M		○						9.1			15.1		64.9		
			D				T-O- 9-M		○						9.1			14.6		65.4		
			A	中段			T-O-10-M		○						9.1			14.5		65.5		
			D				T-O-11-M		○						9.1			14.0		66.0		
			A	下段			T-O-12-M		○						9.1			14.1		65.9		
			D				T-O-13-M		○						9.1			13.9		66.1		
			B	上段	外側		T-O- 6-O		○						9.1			15.5		64.5		
			A	上段			T-O- 8-O		○						9.1			15.4		64.6		
				中段			T-O-10-O		○						9.1			14.6		65.4		
				下段			T-O-12-O		○						9.1			14.2		65.8		
			C	上段			T-O-14-O		○						9.1			14.7		65.3		
		有効応力計	A	上段	内側	空洞軸	T-U- 4		○			7	7	100%	9.1	応力	N/mm^2	-1.19	10	11.2	±0.1	0.06
			D				T-U- 5		○						9.1			-0.53		10.5		
			A	中段			T-U- 6		○						9.1			-1.49		11.5		
			D				T-U- 7		○						9.1			-1.93		11.9		
			A	下段			T-U- 8		○						9.1			-0.58		10.6		
			D				T-U- 9		○						9.1			0.15		9.9		
			D				T-UN- 9		○						9.1			-0.21		10.2		
		継目計	A	上段	側部CP	空洞横断	T-J- 6		○			4	4	100%	9.1	変位	mm	-0.121	10	10.121	±0.1	0.005
			D				T-J- 7		○						9.1			-0.174		10.174		
			A	下段	底部低拡散層	鉛直	T-J- 8		○						9.1			1.071		8.929		
			D				T-J- 9		○						9.1			0.067		9.933		
		せん断変位計	A	上段	側部CP	鉛直	T-S- 6		○			4	4	100%	9.1	変位	mm	-0.130	±2.5	2.37	±0.0075	0.0005
			D				T-S- 7		○						9.1			-0.004		2.50		
			A	下段	底部低拡散層	空洞横断	T-S- 8		○						9.1			0.078		2.42		
			D				T-S- 9		○						9.1			-0.020		2.48		
		土圧計	A	上段	側部CP	空洞横断	T-D- 1		○			6	6	100%	9.1	土圧	kPa	25.0	400	375	±4	0.2
			D				T-D- 2		○						9.1			30.9		369		
			A	中段			T-D- 3		○						9.1			54.6		345		
			D				T-D- 4		○						9.1			45.0		355		
			A	下段			T-D- 5		○						9.1			63.0		337		
			D				T-D- 6		○						9.1			45.2		355		

表 2.3-16　上部低拡散層の計測機器の現状一覧

（2018/10/12現在）

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日											
低拡散層	上部	ひずみ計	中央	左側	内側	空洞軸直交	T-H-17-I-C	2012/12/3	○			18	18	100%	5.9	ひずみ	μ	-32	±5000	4968	±50	1
						空洞軸	T-H-17-I-V		○						5.9			40		4960		
					中央	空洞軸直交	T-H-17-M-C		○						5.9			103		4898		
						空洞軸	T-H-17-M-V		○						5.9			54		4946		
					外側	空洞軸直交	T-H-17-O-C		○						5.9			-82		4918		
						空洞軸	T-H-17-O-V		○						5.9			-13		4987		
				中央	内側	空洞軸直交	T-H-18-I-C		○						5.9			-46		4954		
						空洞軸	T-H-18-I-V		○						5.9			2		4998		
					中央	空洞軸直交	T-H-18-M-C		○						5.9			-9		4991		
						空洞軸	T-H-18-M-V		○						5.9			-14		4987		
					外側	空洞軸直交	T-H-18-O-C		○						5.9			-22		4978		
						空洞軸	T-H-18-O-V		○						5.9			-129		4871		
				右側	内側	空洞軸直交	T-H-19-I-C		○						5.9			-100		4900		
						空洞軸	T-H-19-I-V		○						5.9			-136		4864		
					中央	空洞軸直交	T-H-19-M-C		○						5.9			-58		4942		
						空洞軸	T-H-19-M-V		○						5.9			-16		4984		
					外側	空洞軸直交	T-H-19-O-C		○						5.9			-73		4928		
						空洞軸	T-H-19-O-V		○						5.9			-30		4970		
		無応力計		中央	中央	－	T-M- 4		○			1	1	100%	5.9	自由ひずみ	μ	424		4576		
		温度計		左側	内側	－	T-O-17-I		○			9	9	100%	5.9	温度	℃	15.0	80	65.0	±1.0	0.02
					中央	－	T-O-17-M		○						5.9			15.2		64.8		
					外側	－	T-O-17-O		○						5.9			15.1		64.9		
				中央	内側	－	T-O-18-I		○						5.9			14.7		65.3		
					中央	－	T-O-18-M		○						5.9			14.7		65.3		
					外側	－	T-O-18-O		○						5.9			14.7		65.3		
				右側	内側	－	T-O-19-I		○						5.9			14.5		65.5		
					中央	－	T-O-19-M		○						5.9			14.6		65.4		
					外側	－	T-O-19-O		○						5.9			14.6		65.4		
		有効応力計	中央	左側	中央	空洞軸直交	T-U-10-C		○			6	6	100%	5.9	応力	N/mm^2	-0.97	10	11.0	±0.1	0.06
						空洞軸	T-U-10-V		○						5.9			-0.20		10.2		
				中央		空洞軸直交	T-U-11-C		○						5.9			-0.23		10.2		
						空洞軸	T-U-11-V		○						5.9			-0.17		10.2		
				左側		空洞軸直交	T-U-12-C		○						5.9			-0.33		10.3		
						空洞軸	T-U-12-V		○						5.9			-0.64		10.6		

表 2.3-17　底部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

（2018/10/12現在）

計器情報								正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日											
コンクリートピット	底部	ひずみ計	B	中央	上段	空洞軸	P-H- 1-I-V	2008/11/24	○			30	30	100%	9.9	ひずみ	μ	39	±5000	4961	±50	1
			A	L側			P-H- 2-I-V		○						9.9			-26		4974		
				中央			P-H- 3-I-V		○						9.9			25		4975		
				R側			P-H- 4-I-V		○						9.9			88		4912		
			C	中央			P-H- 5-I-V		○						9.9			171		4829		
			B	中央		空洞横断	P-H- 1-I-C		○						9.9			29		4971		
			A	L側			P-H- 2-I-C		○						9.9			184		4816		
				中央			P-H- 3-I-C		○						9.9			45		4955		
				R側			P-H- 4-I-C		○						9.9			194		4806		
			C	中央			P-H- 5-I-C		○						9.9			188		4812		
			B	中央	中段	空洞軸	P-H- 1-M-V		○						9.9			162		4838		
			A	L側			P-H- 2-M-V		○						9.9			92		4908		
				中央			P-H- 3-M-V		○						9.9			122		4878		
				R側			P-H- 4-M-V		○						9.9			119		4881		
			C	中央			P-H- 5-M-V		○						9.9			176		4825		
			B	中央		空洞横断	P-H- 1-M-C		○						9.9			105		4895		
			A	L側			P-H- 2-M-C		○						9.9			159		4841		
				中央			P-H- 3-M-C		○						9.9			113		4887		
				R側			P-H- 4-M-C		○						9.9			204		4797		
			C	中央			P-H- 5-M-C		○						9.9			69		4931		
			B	中央	下段	空洞軸	P-H- 1-O-V		○						9.9			72		4928		
			A	L側			P-H- 2-O-V		○						9.9			-13		4988		
				中央			P-H- 3-O-V		○						9.9			-34		4966		
				R側			P-H- 4-O-V		○						9.9			-42		4958		
			C	中央			P-H- 5-O-V		○						9.9			45		4955		
			B	中央		空洞横断	P-H- 1-O-C		○						9.9			-28		4972		
			A	L側			P-H- 2-O-C		○						9.9			43		4957		
				中央			P-H- 3-O-C		○						9.9			3		4997		
				R側			P-H- 4-O-C		○						9.9			63		4937		
			C	中央			P-H- 5-O-C		○						9.9			-16		4984		
		有効応力計	B	中央	中段	空洞軸	P-U- 1-V		○			10	10	100%	9.9	応力	N/mm^2	-0.59	10	10.6	±0.1	0.06
			A	L側			P-U- 2-V		○						9.9			-0.58		10.6		
				中央			P-U- 3-V		○						9.9			0.02		10.0		
				R側			P-U- 4-V		○						9.9			-0.31		10.3		
			C	中央			P-U- 5-V		○						9.9			-0.46		10.5		
			B	中央		空洞横断	P-U- 1-C		○						9.9			-1.70		11.7		
			A	L側			P-U- 2-C		○						9.9			-1.34		11.3		
				中央			P-U- 3-C		○						9.9			-0.51		10.5		
				R側			P-U- 4-C		○						9.9			-0.97		11.0		
			C	中央			P-U- 5-C		○						9.9			-1.14		11.1		
		無応力計	A	中央	中段	－	P-M- 1		○			1	1	100%	9.9	自由ひずみ	μ	945	±5000	4055	±50	1
		傾斜計	A	中央	－	空洞軸	P-K- 1-I-V		○			1	1	100%	9.9	傾斜角	°	0.3	±5	4.70	±0.025	0.0025
						空洞横断	P-K- 1-I-C											0.17		4.83		
		温度計	B	中央	上段	－	P-O- 1-I		○			15	15	100%	9.9	温度	℃	14.6	80	65.4	±1.0	0.02
			A	L側			P-O- 2-I		○						9.9			13.5		66.5		
				中央			P-O- 3-I		○						9.9			13.4		66.6		
				R側			P-O- 4-I		○						9.9			13.4		66.6		
			C	中央			P-O- 5-I		○						9.9			13.2		66.8		
			B	中央	中段		P-O- 1-M		○						9.9			14.4		65.6		
			A	L側			P-O- 2-M		○						9.9			13.5		66.5		
				中央			P-O- 3-M		○						9.9			13.5		66.5		
				R側			P-O- 4-M		○						9.9			13.4		66.6		
			C	中央			P-O- 5-M		○						9.9			13.3		66.7		
			B	中央	下段		P-O- 1-O		○						9.9			14.5		65.5		
			A	L側			P-O- 2-O		○						9.9			13.5		66.5		
				中央			P-O- 3-O		○						9.9			13.4		66.6		
				R側			P-O- 4-O		○						9.9			13.5		66.5		
			C	中央			P-O- 5-O		○						9.9			13.3		66.7		

※傾斜計は1台で2方向計測している

表 2.3-18　側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧（1/2）

（2018/10/12現在）

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
コンクリートピット	側部	ひずみ計	B	上段	内側	空洞軸	P-H- 6-I	2009/2/4	○			26	24	92%	9.7	ひずみ	μ	124	±5000	4876	±50	1
			E				P-H- 7-I		○						9.7			204		4796		
			A	下段		鉛直	P-H- 8-I		×	データ異常	2014/7/11				5.4			－		－		
			D				P-H- 9-I		○						9.7			-837		4163		
			A	中段			P-H-10-I		×	データ異常	2014/7/11				5.4			－		－		
			D				P-H-11-I		○						9.7			-477		4523		
			A	上段		空洞軸	P-H-12-I		○						9.7			61		4939		
			D				P-H-13-I		○						9.7			106		4894		
			C	上段		空洞軸	P-H-14-I		○						9.7			139		4861		
			F				P-H-15-I		○						9.7			152		4848		
			A	下段	中央	空洞軸	P-H- 8-M		○						9.7			-292		4709		
			D				P-H- 9-M		○						9.7			32		4968		
			A	中段			P-H-10-M		○						9.7			-384		4616		
			D				P-H-11-M		○						9.7			-248		4752		
			A	上段			P-H-12-M		○						9.7			126		4874		
			D				P-H-13-M		○						9.7			116		4884		
			B	上段	外側	空洞軸	P-H- 6-O		○						9.7			110		4890		
			E				P-H- 7-O		○						9.7			181		4819		
			A	下段		鉛直	P-H- 8-O		○						9.7			-446		4554		
			D				P-H- 9-O		○						9.7			-73		4927		
			A	中段			P-H-10-O		○						9.7			-169		4831		
			D				P-H-11-O		○						9.7			-502		4498		
			A	上段		空洞軸	P-H-12-O		○						9.7			64		4936		
			D				P-H-13-O		○						9.7			37		4963		
			C	上段			P-H-14-O		○						9.7			89		4911		
			F				P-H-15-O		○						9.7			128		4872		
		有効応力計	A	下段	中央	空洞軸	P-U- 6		○			6	5	83%	9.7	応力	N/mm^2	-0.84	10	10.8	±0.1	0.06
			D				P-U- 7		○						9.7			-0.5		10.5		
			A	中段			P-U- 8		○						9.7			-1.09		11.1		
			D				P-U- 9		×	データ異常	2009/11/24				0.8			－		－		
			A	上段			P-U-10		○						9.7			-2.05		12.1		
			D				P-U-11		○						9.7			-1.71		11.7		
		無応力計	A	下段	中央	－	P-M- 2		○			2	2	100%	9.7	自由ひずみ	μ	1131	±5000	3869	±50	1
			D				P-M- 3		○						9.7			736		4264		

表 2.3-19　側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧（2/2）

（2018/10/12現在）

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
コンクリートピット	側部	鉄筋計	B	上段	内側	空洞軸	P-R- 6-I	2009/2/4	○			20	19	95%	9.7	応力	N/mm^2	5.2	±350	344.8	±3.5	0.175
			E				P-R- 7-I		○						9.7			10.0		340.0		
			A	下段		鉛直	P-R- 8-I		○						9.7			0.6		349.4		
			D				P-R- 9-I		○						9.7			0.2		349.8		
			A	中段			P-R-10-I		○						9.7			8.5		341.5		
			D				P-R-11-I		○						9.7			6.2		343.8		
			A	上段		空洞軸	P-R-12-I		×	データ異常	2014/7/11				5.4			－		－		
			D				P-R-13-I		○						9.7			-1.3		348.7		
			C	上段			P-R-14-I		○						9.7			-1.0		349.0		
			F				P-R-15-I		○						9.7			-4.7		345.3		
			B	上段	外側	空洞軸	P-R- 6-0		○						9.7			1.9		348.1		
			E				P-R- 7-0		○						9.7			4.7		345.3		
			A	下段		鉛直	P-R- 8-0		○						9.7			-3.2		346.8		
			D				P-R- 9-0		○						9.7			-4.3		345.7		
			A	中段			P-R-10-0		○						9.7			1.2		348.8		
			D				P-R-11-0		○						9.7			-0.1		349.9		
			A	上段		空洞軸	P-R-12-0		○						9.7			-7.4		342.6		
			D				P-R-13-0		○						9.7			-23.4		326.6		
			C	上段			P-R-14-0		○						9.7			-9.4		340.6		
			F				P-R-15-0		○						9.7			-4.2		345.8		
		温度計	B	上段	内側	－	P-0- 6-I		○			26	25	96%	9.7	温度	℃	15.1	80	64.9	±1.0	0.02
			E				P-0- 7-I		○						9.7			15.1		64.9		
			A	下段			P-0- 8-I		×	データ異常	2014/7/11				5.4			－		－		
			D				P-0- 9-I		○						9.7			13.8		66.2		
			A	中段			P-0-10-I		○						9.7			14.5		65.5		
			D				P-0-11-I		○						9.7			14.1		65.9		
			A	上段			P-0-12-I		○						9.7			14.7		65.3		
			D				P-0-13-I		○						9.7			14.6		65.4		
			C	上段			P-0-14-I		○						9.7			14.3		65.7		
			F				P-0-15-I		○						9.7			13.4		66.6		
			A	下段	中央		P-0- 8-M		○						9.7			14.0		66.0		
			D				P-0- 9-M		○						9.7			13.7		66.3		
			A	中段			P-0-10-M		○						9.7			14.5		65.5		
			D				P-0-11-M		○						9.7			14.0		66.0		
			A	上段			P-0-12-M		○						9.7			14.8		65.2		
			D				P-0-13-M		○						9.7			14.6		65.4		
			B	上段	外側		P-0- 6-0		○						9.7			15.0		65.0		
			E				P-0- 7-0		○						9.7			15.0		65.0		
			A	下段			P-0- 8-0		○						9.7			14.1		65.9		
			D				P-0- 9-0		○						9.7			13.7		66.3		
			A	中段			P-0-10-0		○						9.7			14.6		65.4		
			D				P-0-11-0		○						9.7			14.0		66.0		
			A	上段			P-0-12-0		○						9.7			14.8		65.2		
			D				P-0-13-0		○						9.7			12.7		67.3		
			C	上段			P-0-14-0		○						9.7			14.5		65.5		
			F				P-0-15-0		○						9.7			15.3		64.7		

表 2.3-20　手前部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			断面	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
コンクリートピット	手前部	ひずみ計	E	上段	内側	空洞横断	P-H-16-I	2009/8/6	○			10	10	100%	9.2	ひずみ	μ	234	±5000	4766	±50	1
			D	下段		鉛直	P-H-18-I		○						9.2			-131		4869		
				中段			P-H-20-I		○						9.2			188		4812		
				上段		空洞横断	P-H-22-I		○						9.2			153		4847		
			E	中段			P-H-24-I		○						9.2			-29		4971		
			E	上段	外側	空洞横断	P-H-16-O		○						9.2			298		4703		
			D	下段		鉛直	P-H-18-O		○						9.2			-272		4728		
				中段			P-H-20-O		○						9.2			235		4766		
				上段		空洞横断	P-H-22-O		○						9.2			301		4699		
			E	中段			P-H-24-O		○						9.2			-26		4974		
		無応力計	D	中段	中央	-	P-M- 4		○			1	1	100%	9.2	自由ひずみ	μ	501		4500		
		温度計	E	上段	内側	-	P-O-16-I		○			11	11	100%	9.2	温度	℃	15.3	80	64.7	±1.0	0.02
			D	下段			P-O-18-I		○						9.2			14.9		65.1		
				中段			P-O-20-I		○						9.2			15.1		64.9		
				上段			P-O-22-I		○						9.2			15.2		64.8		
			E	中段			P-O-24-I		○						9.2			15.1		64.9		
			D	中段	中央		P-O-20-M		○						9.2			15.3		64.7		
			E	上段	外側		P-O-16-O		○						9.2			15.3		64.7		
			D	下段			P-O-18-O		○						9.2			15.1		64.9		
				中段			P-O-20-O		○						9.2			15.2		64.8		
				上段			P-O-22-O		○						9.2			15.3		64.7		
			E	中段			P-O-24-O		○						9.2			15.2		64.8		
		鉄筋計	E	上段	内側	空洞横断	P-R-16-I		○			10	10	100%	9.2	応力	N/mm^2	34.1	±350	315.9	±3.5	0.175
			D	下段		鉛直	P-R-18-I		○						9.2			31.4		318.6		
				中段			P-R-20-I		○						9.2			26.8		323.2		
				上段		空洞横断	P-R-22-I		○						9.2			30.1		319.9		
			E	中段			P-R-24-I		○						9.2			7.2		342.8		
			E	上段	外側	空洞横断	P-R-16-O		○						9.2			31.1		318.9		
			D	下段		鉛直	P-R-18-O		○						9.2			16.5		333.5		
				中段			P-R-20-O		○						9.2			26.5		323.5		
				上段		空洞横断	P-R-22-O		○						9.2			39.5		310.5		
			E	中段			P-R-24-O		○						9.2			24.3		325.7		

表 2.3-21　上部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

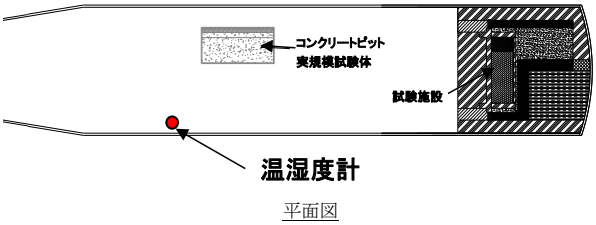
(2018/10/12現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日				期間(年)							
コンクリートピット	上部	ひずみ計	中央	中央	内側	空洞軸直交	P-H-28-I-C	2012/11/21	○			6	6	100%	5.9	ひずみ	μ	2	±5000	4998	±50	1
						空洞軸	P-H-28-I-V		○						5.9			-42		4958		
					中央	空洞軸直交	P-H-28-M-C		○						5.9			5		4995		
						空洞軸	P-H-28-M-V		○						5.9			-20		4980		
					外側	空洞軸直交	P-H-28-O-C		○						5.9			58		4942		
						空洞軸	P-H-28-O-V		○						5.9			76		4924		
		無応力計			中央	－	P-M- 6		○			1	1	100%	5.9	自由ひずみ	μ	396		4604		
		温度計				－	P-O-28-I		○			3	3	100%	5.9	温度	℃	14.3	80	65.7	±1.0	0.02
						－	P-O-28-M		○						5.9			14.5		65.5		
						－	P-O-28-O		○						5.9			14.6		65.4		
		有効応力計				空洞軸直交	P-U-19-C		○			2	2	100%	5.9	応力	N/mm^2	-0.15	10	10.2	±0.1	0.06
						空洞軸	P-U-19-V		○						5.9			-0.1		10.1		

表 2.3-22　充てん材の計測機器の現状一覧

(2018/10/12現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日				期間(年)							
充てん材	区画内	土圧計	奥側	下段	－	水平	F-D-3	2010/7/21	○			3	3	100%	8.2	土圧	kPa	39	400	361	±4	0.2
			中央	中段	－	水平	F-D-2		○						8.2			27		373		
				上段	－	水平	F-D-1		○						8.2			9		391		
		温度計		中段	－	－	F-D-1		○			1	1	100%	8.2	温度	℃	14.4	80	65.6	±1.0	0.02
	上部	土圧計	中央	下段	－	水平	F-D-4	2010/8/3	○			1	1	100%	8.2	土圧	kPa	31	2000	1969	±20	1.111
		温度計			－	－	F-D-2		○			1	1	100%	8.2	温度	℃	14.2	80	65.8	±1.0	0.02



平面図

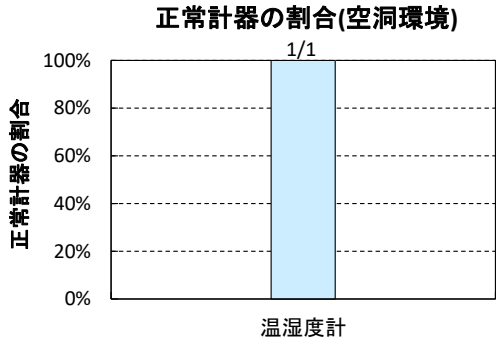
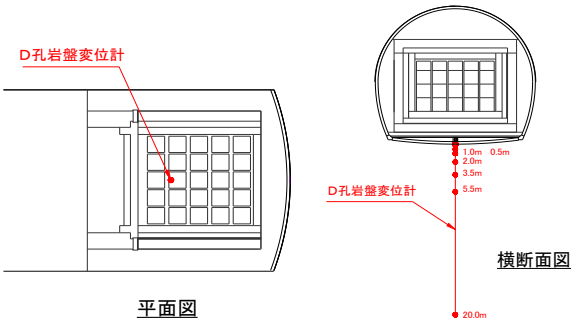
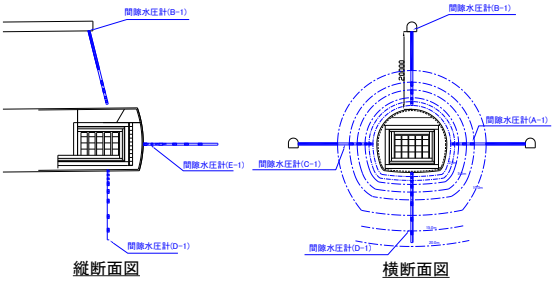


図 2.3-1　坑内環境の正常計器の割合



(1)岩盤変位計



(2)間隙水圧計

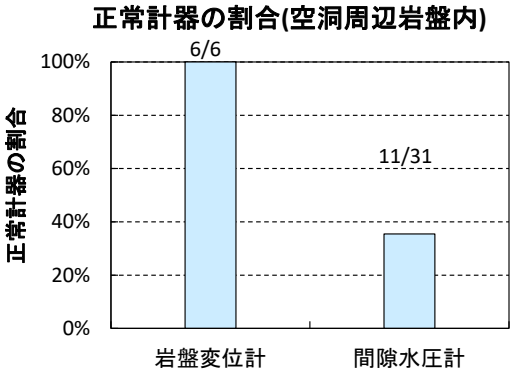


図 2.3-2　周辺岩盤の正常計器の割合

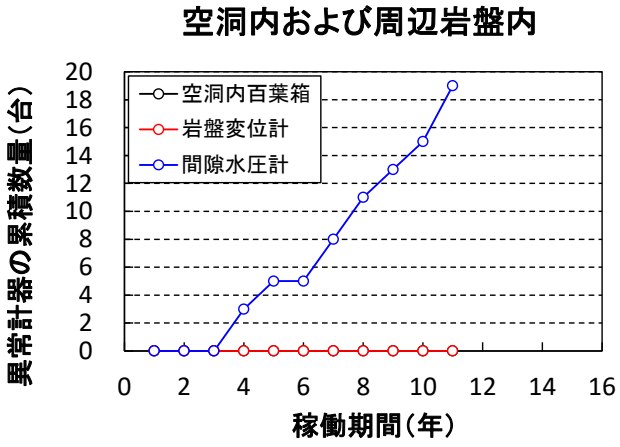
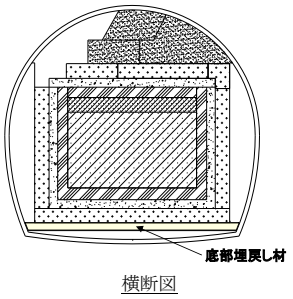


図 2.3-3　坑内環境及び周辺岩盤の計器種類毎の異常計器数量変遷



横断図

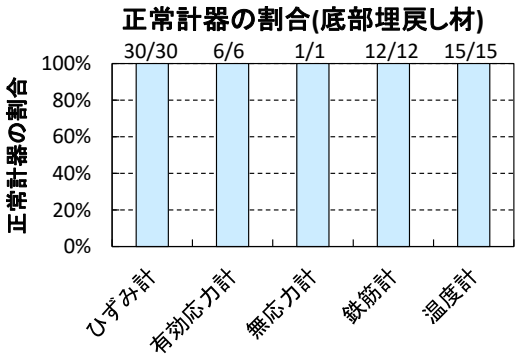
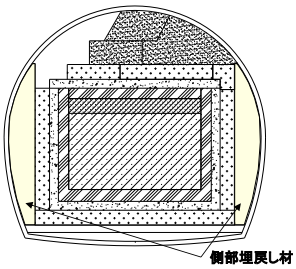


図 2.3-4　底部埋戻し材の正常計器の割合



横断図

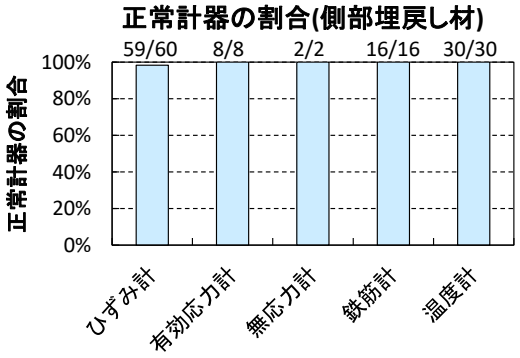
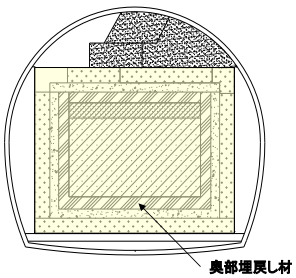


図 2.3-5　側部埋戻し材の正常計器の割合



横断図

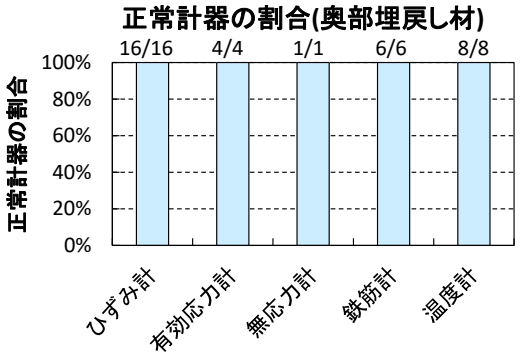
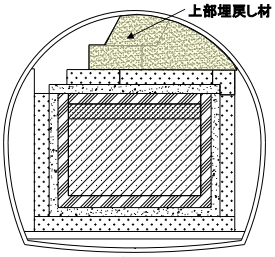


図 2.3-6　奥部埋戻し材の正常計器の割合



横断図

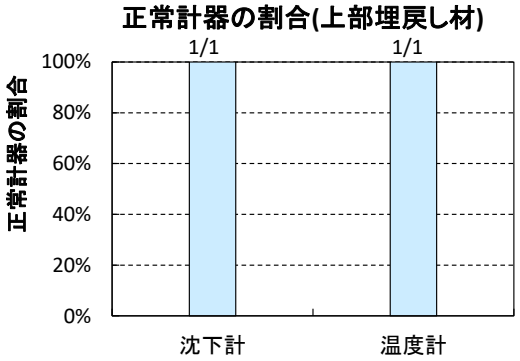


図 2.3-7　上部埋戻し材の正常計器の割合

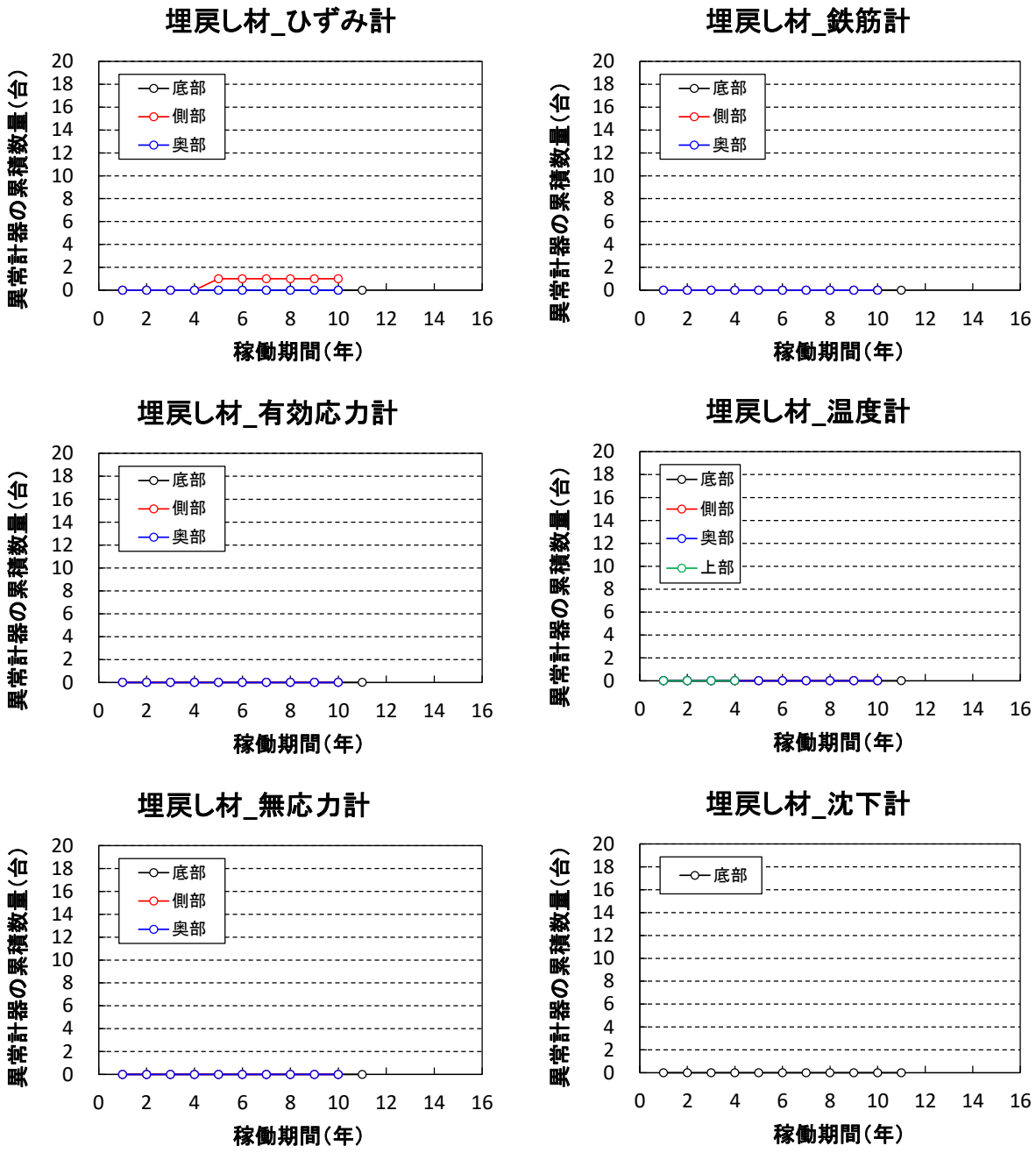
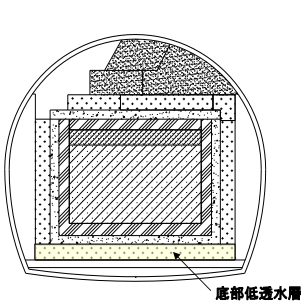


図 2.3-8　埋戻し材の計器種類毎の異常計器数量変遷



横断図

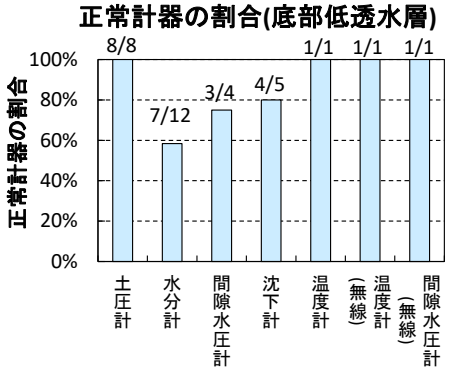
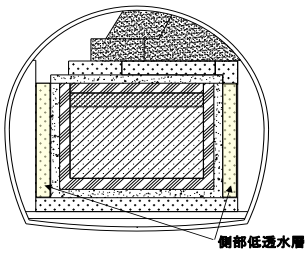


図 2.3-9　底部低透水層の正常計器の割合



横断図

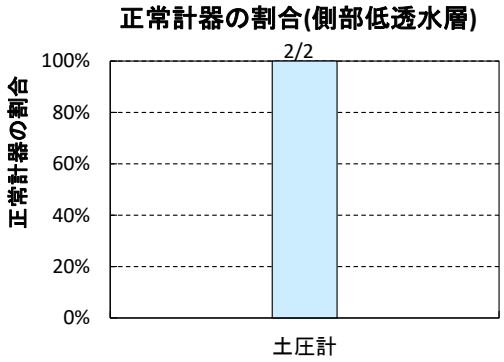
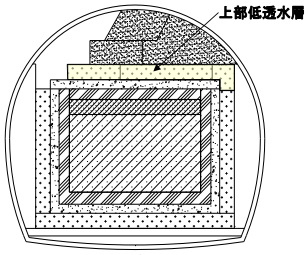


図 2.3-10　側部低透水層の正常計器の割合



横断図

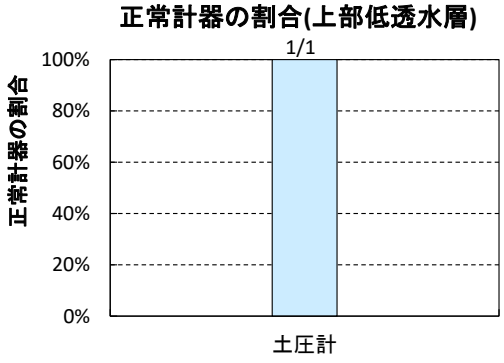


図 2.3-11　上部低透水層の正常計器の割合

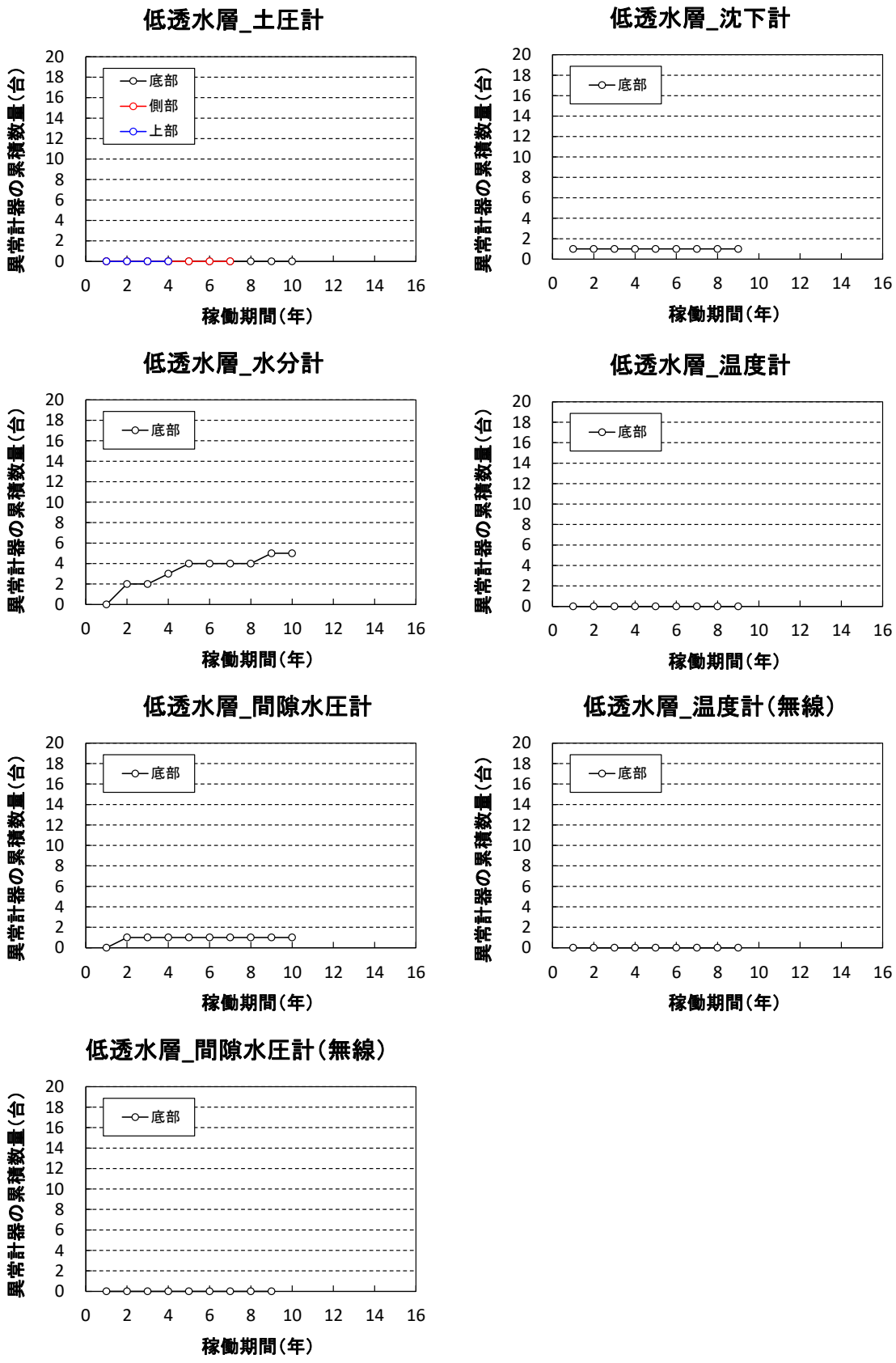
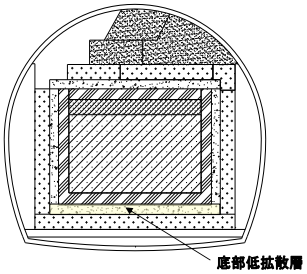


図 2.3-12　低透水層の計器種類毎の異常計器数量変遷



横断図

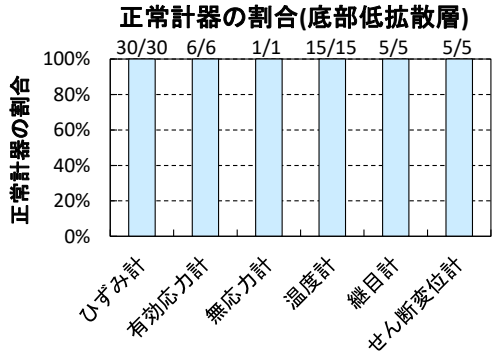
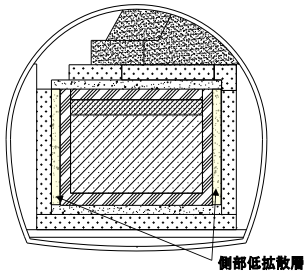


図 2.3-13　底部低拡散層の正常計器の割合



横断図

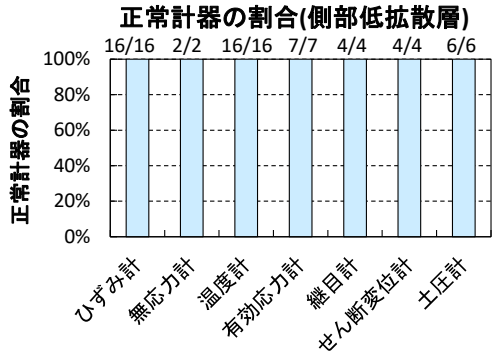
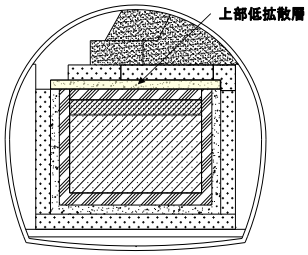


図 2.3-14　側部低拡散層の正常計器の割合



横断図

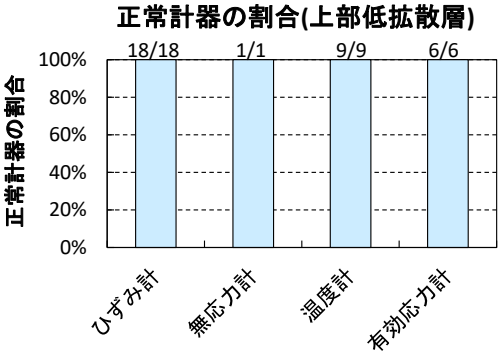


図 2.3-15　上部低拡散層の正常計器の割合

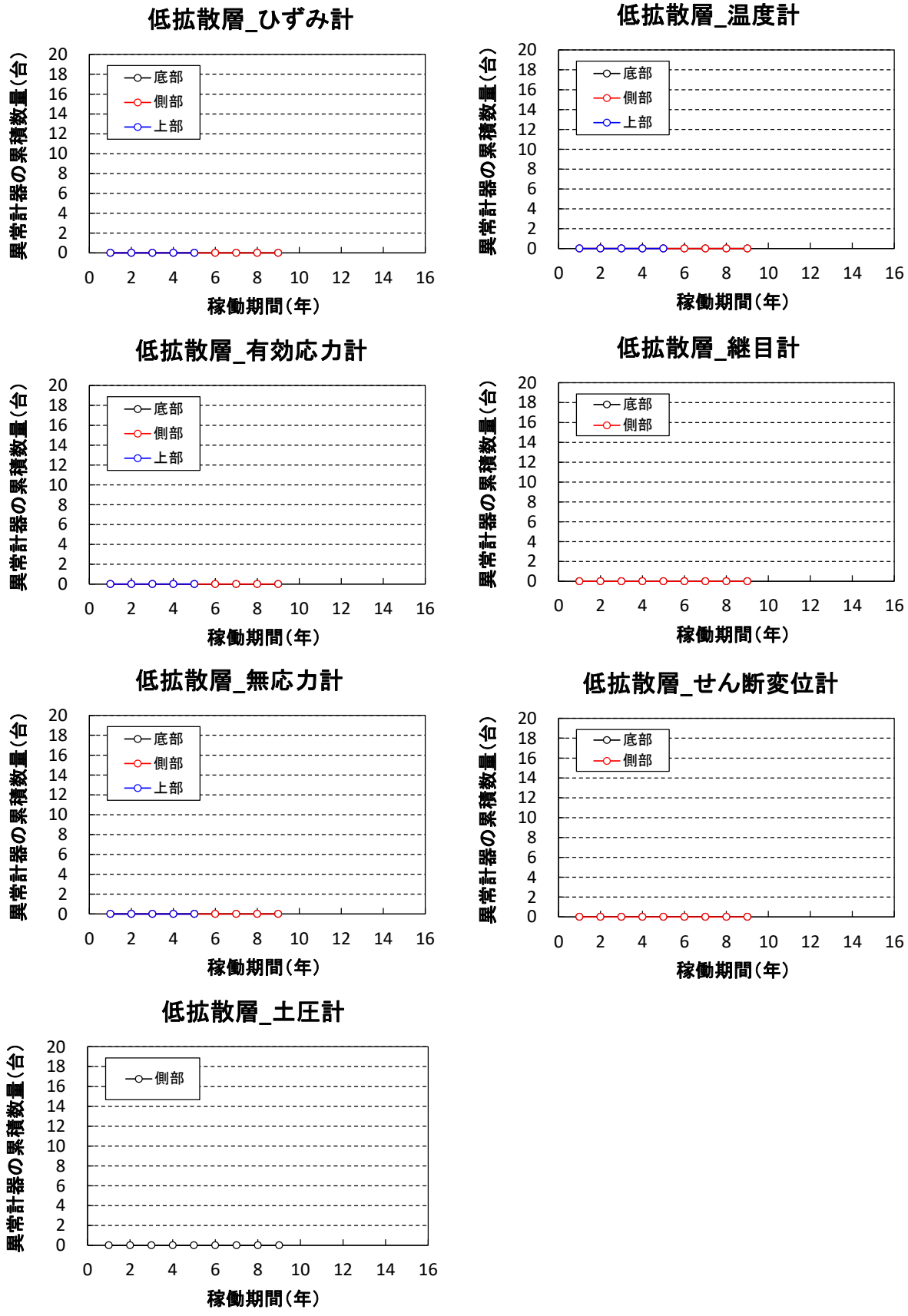
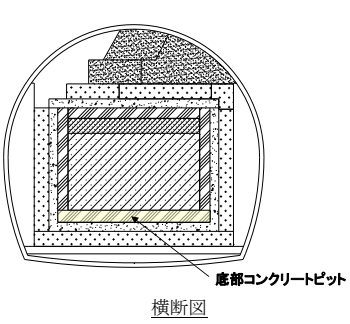


図 2.3-16　低拡散層の計器種類毎の異常計器数量変遷



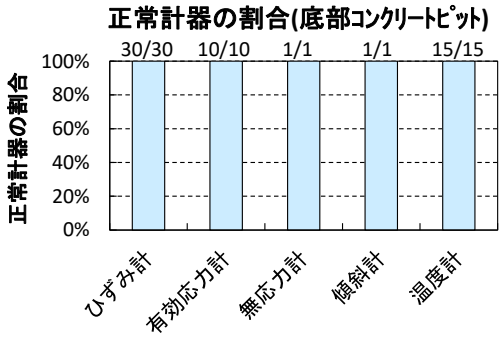
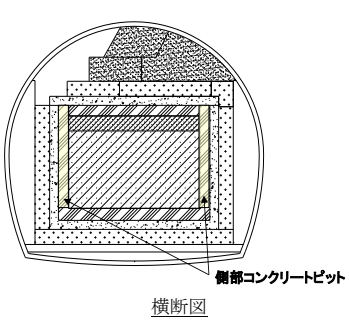


図 2.3-17　底部コンクリートピットの正常計器の割合



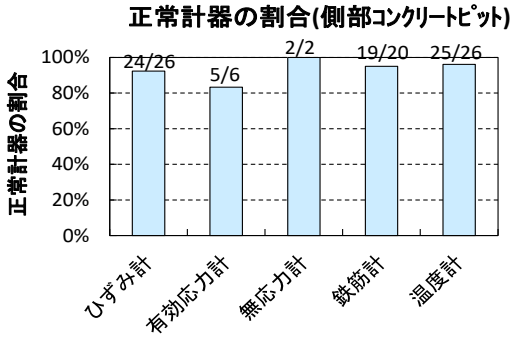
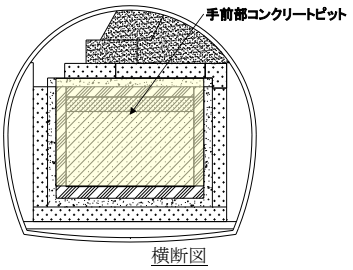


図 2.3-18　側部コンクリートピットの正常計器の割合



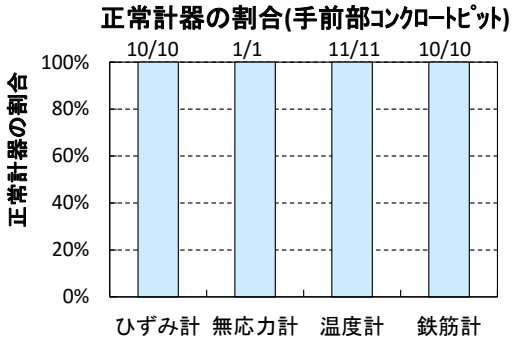
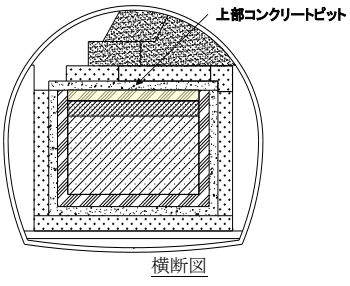


図 2.3-19　手前部コンクリートピットの正常計器の割合



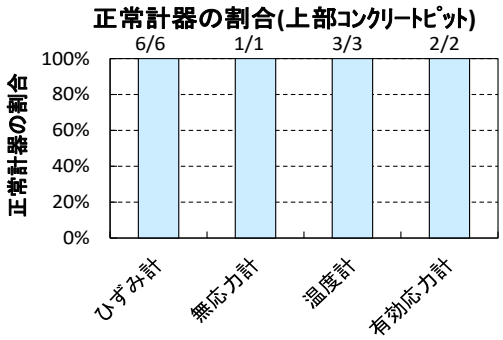


図 2.3-20　上部コンクリートピットの正常計器の割合

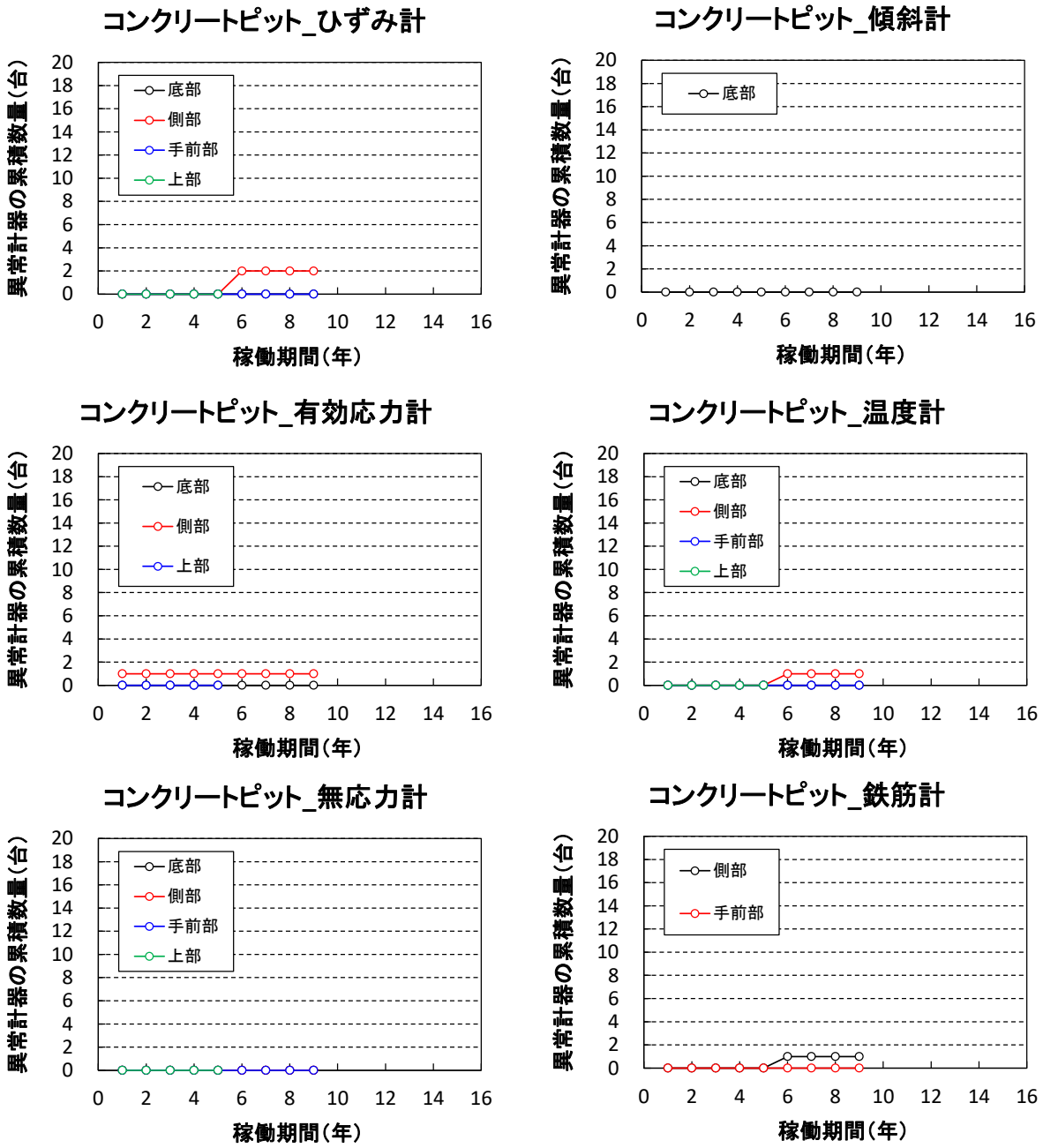
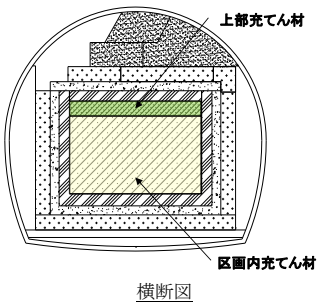


図 2.3-21　低拡散層の計器種類毎の異常計器数量変遷



横断図

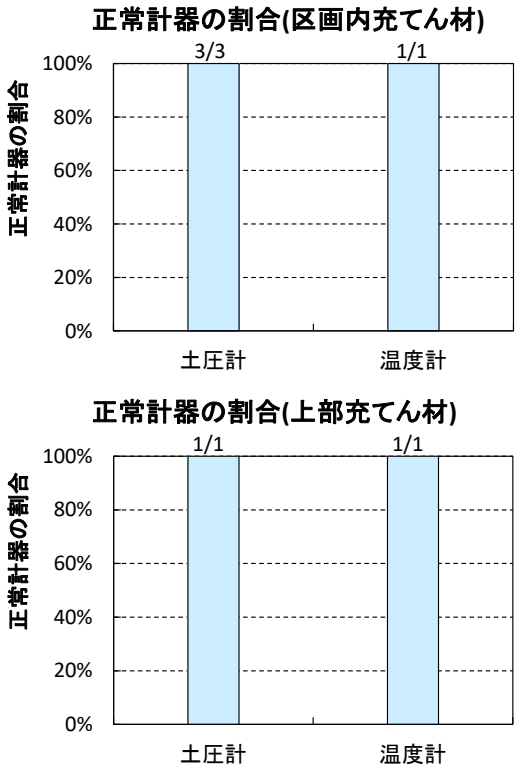


図 2.3-22　区画内充てん材及び上部充てん材の正常計器の割合

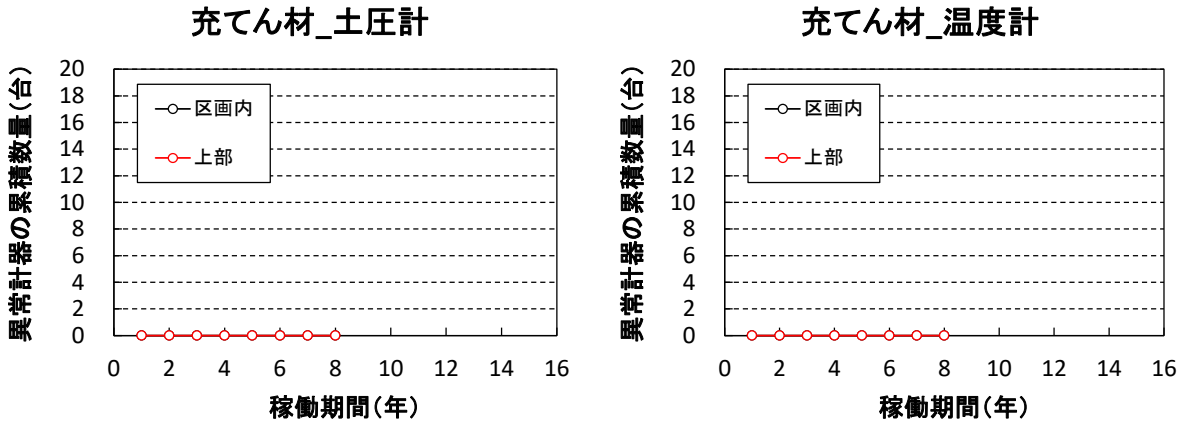


図 2.3-23　充てん材の計器種類毎の異常計器数量変遷

添付資料３　計測器資料

添付資料3　計測器資料

3.1　計器情報一覧

これまでに設置した計器の、スイッチボックスで割り振られたチャンネル番号、静的ソフトで設定した補正値（校正係数）等を表 3.1-13～表 3.1-22 に示す。

表 3.1-1　計器情報一覧表（底部埋戻し材）

計器名称	BLCH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1010	U－H－1－U－V	EKD07279	0.816
ひずみ計	1011	U－H－1－U－C	EKD07280	0.804
ひずみ計	1012	U－H－1－M－V	EKD07281	0.809
ひずみ計	1013	U－H－1－M－C	EKD07282	0.805
ひずみ計	1014	U－H－1－L－V	EKD07283	0.813
ひずみ計	1015	U－H－1－L－C	EKD07284	0.809
鉄筋計	1016	U－R－1－U－V	700937	0.0776
鉄筋計	1017	U－R－1－L－V	700938	0.0781
温度計	1018	U－O－1－U	700854	0.0144
温度計	1019	U－O－1－M	700855	0.0144
温度計	1020	U－O－1－L	700756	0.0145
ひずみ計	1021	U－H－2－U－V	EKD07285	0.809
ひずみ計	1022	U－H－2－U－C	EKD07286	0.816
ひずみ計	1023	U－H－2－M－V	EKD07287	0.810
ひずみ計	1024	U－H－2－M－C	EKD07288	0.812
ひずみ計	1025	U－H－2－L－V	EKD07289	0.806
ひずみ計	1026	U－H－2－L－C	EKD07290	0.816
鉄筋計	1027	U－R－2－U－C	700939	0.0779
鉄筋計	1028	U－R－2－L－C	700940	0.0794
温度計	1029	U－O－2－U	700857	0.0144
温度計	1030	U－O－2－M	700858	0.0144
温度計	1031	U－O－2－L	700859	0.0145
コン有計	1032	U－U－1－M	700879	0.00478
コン有計	1033	U－U－1－M	700880	0.00488
ひずみ計	1034	U－H－3－U－V	EKD07291	0.812
ひずみ計	1035	U－H－3－U－C	EKD07292	0.810
ひずみ計	1036	U－H－3－M－V	EKD07309	0.810
ひずみ計	1037	U－H－3－M－C	EKD07294	0.805
ひずみ計	1038	U－H－3－L－V	EKD07295	0.814
ひずみ計	1039	U－H－3－L－C	EKD07296	0.817
鉄筋計	1040	U－R－3－U－V	700941	0.0778
鉄筋計	1041	U－R－3－U－C	700942	0.0776
鉄筋計	1042	U－R－3－L－V	700943	0.0774
鉄筋計	1043	U－R－3－L－C	700944	0.0774
温度計	1044	U－O－3－U	700860	0.0144
温度計	1045	U－O－3－M	700861	0.0144
温度計	1046	U－O－3－L	700862	0.0144
コン有計	1047	U－U－2－M－V	700881	0.00484
コン有計	1048	U－U－2－M－C	700882	0.00484
無応力計	1049	U－M－1	EKD07293	0.814
ひずみ計	1050	U－H－4－U－V	EKD07297	0.812
ひずみ計	1051	U－H－4－U－C	EKD07298	0.812
ひずみ計	1052	U－H－4－M－V	EKD07299	0.812
ひずみ計	1053	U－H－4－M－C	EKD07300	0.804
ひずみ計	1054	U－H－4－L－V	EKD07301	0.810
ひずみ計	1055	U－H－4－L－C	EKD07302	0.808
鉄筋計	1056	U－R－4－U－C	700945	0.0785
鉄筋計	1057	U－R－4－L－C	700946	0.0778
温度計	1058	U－O－4－U	700863	0.0144
温度計	1059	U－O－4－M	700864	0.0144
温度計	1060	U－O－4－L	700865	0.0144
コン有計	1061	U－U－3－M	700883	0.00477
コン有計	1062	U－U－3－M	700884	0.00477
ひずみ計	1063	U－H－5－U－V	EKD07303	0.801
ひずみ計	1064	U－H－5－U－C	EKD07304	0.821
ひずみ計	1065	U－H－5－M－V	EKD07305	0.806
ひずみ計	1066	U－H－5－M－C	EKD07306	0.813
ひずみ計	1067	U－H－5－L－V	EKD07307	0.806
ひずみ計	1327	U－H－5－L－C	EKD07308	0.810
鉄筋計	1069	U－R－5－U－V	700947	0.0772
鉄筋計	1070	U－R－5－L－V	700948	0.0782
温度計	1071	U－O－5－U	700866	0.0144
温度計	1072	U－O－5－M	700867	0.0144
温度計	1073	U－O－5－L	700868	0.0144

表 3.1-2　計器情報一覧表（R 側奥部埋戻し材 1 ﾘﾌﾄ、R 側側部埋戻し材 1 ﾘﾌﾄ）

計器名称	BLCH	測点名称	計器番号	校正係数
鉄筋計	1166	U－R－ 9 －L－P	701050	0.0777
鉄筋計	1167	U－R－ 9 －U－P	701051	0.0768
ひずみ計	1168	U－H－11－U－H	EKD07536	0.792
ひずみ計	1169	U－H－11－U－P	EKD07537	0.799
ひずみ計	1170	U－H－11－L－H	EKD07538	0.800
ひずみ計	1171	U－H－11－L－P	EKD07539	0.795
温度計	1172	U－O－11－U	701062	0.0145
温度計	1173	U－O－11－L	701063	0.0145
有効応力計	1174	U－U－ 5 －M－H	701087	0.00474
有効応力計	1175	U－U－ 5 －M－P	701086	0.00477
鉄筋計	1176	U－R－ 7 －L－P	701047	0.0783
鉄筋計	1177	U－R－ 7 －U－P	701046	0.0772
ひずみ計	1178	U－H－ 7 －U－H	EKD07615	0.803
ひずみ計	1179	U－H－ 7 －U－P	EKD07616	0.808
ひずみ計	1180	U－H－ 7 －L－H	EKD07617	0.804
ひずみ計	1181	U－H－ 7 －L－P	EKD07618	0.812
温度計	1182	U－O－ 7 －U	701058	0.0145
温度計	1183	U－O－ 7 －L	701059	0.0145
鉄筋計	1184	U－R－13－L－P	701054	0.0776
鉄筋計	1185	U－R－13－U－P	701055	0.0781
ひずみ計	1186	U－H－15－U－H	EKD07619	0.801
ひずみ計	1187	U－H－15－U－P	EKD07620	0.803
ひずみ計	1188	U－H－15－L－H	EKD07621	0.804
ひずみ計	1189	U－H－15－L－P	EKD07622	0.810
温度計	1190	U－O－15－U	701066	0.0145
温度計	1191	U－O－15－L	701067	0.0145
鉄筋計	1192	U－R－16－L－P	701134	0.0698
鉄筋計	1193	U－R－16－U－P	701135	0.0680
ひずみ計	1194	U－H－21－U－H	EKD07623	0.803
ひずみ計	1195	U－H－21－U－P	EKD07624	0.799
ひずみ計	1196	U－H－21－L－H	EKD07625	0.806
ひずみ計	1197	U－H－21－L－P	EKD07626	0.813
温度計	1198	U－O－21－U	701040	0.0145
温度計	1199	U－O－21－L	701041	0.0145

表 3.1-3　計器情報一覧表（L 側及び中央奥部埋戻し材 1 ﾘﾌﾄ、L 側側部埋戻し材 1 ﾘﾌﾄ）

計器名称	BLCH	測点名称	計器番号	校正係数
鉄筋計	1090	U－R－ 8 －L－P	701052	0.0772
鉄筋計	1091	U－R－ 8 －U－P	701053	0.0777
ひずみ計	1092	U－H－10－U－H	EKD07516	0.796
ひずみ計	1093	U－H－10－U－P	EKD07517	0.794
ひずみ計	1094	U－H－10－L－H	EKD07518	0.795
ひずみ計	1095	U－H－10－L－P	EKD07519	0.809
温度計	1096	U－O－10－U	701064	0.0145
温度計	1097	U－O－10－L	701065	0.0145
有効応力計	1098	U－U－ 4 －M－H	701084	0.00472
有効応力計	1099	U－U－ 4 －M－P	701085	0.00487
鉄筋計	1100	U－R－ 6 －L－P	701048	0.0779
鉄筋計	1101	U－R－ 6 －U－P	701049	0.0777
ひずみ計	1102	U－H－ 6 －U－H	EKD07520	0.812
ひずみ計	1103	U－H－ 6 －U－P	EKD07521	0.792
ひずみ計	1104	U－H－ 6 －L－H	EKD07522	0.796
ひずみ計	1105	U－H－ 6 －L－P	EKD07523	0.800
温度計	1106	U－O－ 6 －U	701060	0.0145
温度計	1107	U－O－ 6 －L	701061	0.0145
鉄筋計	1108	U－R－12－L－P	701056	0.0780
鉄筋計	1109	U－R－12－U－P	701057	0.0773
ひずみ計	1210	U－H－14－U－H	EKD07524	0.801
ひずみ計	1211	U－H－14－U－P	EKD07525	0.814
ひずみ計	1212	U－H－14－L－H	EKD07526	0.799
ひずみ計	1213	U－H－14－L－P	EKD07527	0.800
温度計	1214	U－O－14－U	701068	0.0145
温度計	1215	U－O－14－L	701069	0.0145
鉄筋計	1216	U－R－14－L－P	701036	0.0674
鉄筋計	1217	U－R－14－U－P	701037	0.0670
ひずみ計	1218	U－H－18－U－H	EKD07528	0.818
ひずみ計	1219	U－H－18－U－P	EKD07529	0.791
ひずみ計	1220	U－H－18－L－H	EKD07530	0.796
ひずみ計	1221	U－H－18－L－P	EKD07531	0.804
温度計	1222	U－O－18－U	701042	0.0145
温度計	1223	U－O－18－L	701043	0.0145
鉄筋計	1224	U－R－15－L－P	701138	0.0642
鉄筋計	1225	U－R－15－U－P	701139	0.0665
ひずみ計	1226	U－H－19－U－H	EKD07532	0.799
ひずみ計	1227	U－H－19－U－P	EKD07533	0.813
ひずみ計	1228	U－H－19－L－H	EKD07534	0.809
ひずみ計	1229	U－H－19－L－P	EKD07535	0.800
温度計	1230	U－O－19－U	701144	0.0145
温度計	1231	U－O－19－L	701045	0.0145
有効応力計	1232	U－U－ 8 －M－H	701146	0.00473
有効応力計	1233	U－U－ 8 －M－P	701147	0.00469

表 3.1-4　計器情報一覧表（L 側側部埋戻し材 3 ﾘﾌﾄ）

計器名称	BLCH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1249	U－H－ 8 －U－H	EKD07923	0.820
ひずみ計	1250	U－H－ 8 －U－P	EKD07924	0.808
ひずみ計	1251	U－H－ 8 －M－H	EKD07925	0.803
ひずみ計	1252	U－H－ 8 －M－P	EKD07926	0.809
ひずみ計	1253	U－H－ 8 －L －H	EKD07927	0.806
ひずみ計	1254	U－H－ 8 －L －P	EKD07928	0.809
温度計	1255	U－O－ 8 －U	701393	0.0145
温度計	1256	U－O－ 8 －M	701394	0.0145
温度計	1257	U－O－ 8 －L	701395	0.0145
ひずみ計	1258	U－H－12－U－H	EKD07929	0.805
ひずみ計	1259	U－H－12－U－P	EKD07930	0.814
ひずみ計	1310	U－H－12－M－H	EKD07931	0.812
ひずみ計	1311	U－H－12－M－P	EKD07932	0.801
ひずみ計	1312	U－H－12－L －H	EKD07933	0.816
ひずみ計	1313	U－H－12－L －P	EKD07934	0.810
温度計	1314	U－O－12－U	701399	0.0145
温度計	1315	U－O－12－M	701400	0.0145
温度計	1316	U－O－12－L	701401	0.0145
鉄筋計	1317	U－R－10－U－P	701367	0.0654
鉄筋計	1318	U－R－10－L －P	701368	0.0641
有効応力計	1319	U－U－ 6 －M－H	701361	0.00485
有効応力計	1320	U－U－ 6 －M－P	701362	0.00481
無応力計	1321	U－M－ 2	EKD07959	0.821
ひずみ計	1240	U－H－16－U－H	EKD07935	0.808
ひずみ計	1241	U－H－16－U－P	EKD07936	0.808
ひずみ計	1242	U－H－16－M－H	EKD07937	0.810
ひずみ計	1243	U－H－16－M－P	EKD07938	0.812
ひずみ計	1244	U－H－16－L －H	EKD07939	0.814
ひずみ計	1245	U－H－16－L －P	EKD07940	0.820
温度計	1246	U－O－16－U	701405	0.0144
温度計	1247	U－O－16－M	701406	0.0145
温度計	1248	U－O－16－L	701407	0.0145

表 3.1-5　計器情報一覧表（中央奥部埋戻し材 3 ﾘﾌﾄ、R 側側部埋戻し材 3 ﾘﾌﾄ）

計器名称	BLCH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1271	U－H－ 9 －U－H	EKD07941	0.8170
ひずみ計	1272	U－H－ 9 －U－P	EKD07942	0.8060
ひずみ計	1273	U－H－ 9 －M－H	EKD07943	0.8160
ひずみ計	1274	U－H－ 9 －M－P	EKD07944	0.8090
ひずみ計	1275	U－H－ 9 －L－H	EKD07945	0.8120
ひずみ計	1276	U－H－ 9 －L－P	EKD07946	0.8160
温度計	1277	U－O－ 9 －U	701390	0.0145
温度計	1278	U－O－ 9 －M	701391	0.0145
温度計	1279	U－O－ 9 －L	701392	0.0145
ひずみ計	1280	U－H－13－U－H	EKD07947	0.8130
ひずみ計	1281	U－H－13－U－P	EKD07948	0.8130
ひずみ計	1282	U－H－13－M－H	EKD07949	0.8100
ひずみ計	1283	U－H－13－M－P	EKD07950	0.8140
ひずみ計	1284	U－H－13－L－H	EKD07951	0.8060
ひずみ計	1285	U－H－13－L－P	EKD07952	0.8140
温度計	1286	U－O－13－U	701396	0.0145
温度計	1287	U－O－13－M	701397	0.0145
温度計	1288	U－O－13－L	701398	0.0145
鉄筋計	1289	U－R－11－U－P	701365	0.0660
鉄筋計	1290	U－R－11－L－P	701366	0.0648
有効応力計	1291	U－U－ 7 －M－H	701359	0.00484
有効応力計	1298	U－U－ 7 －M－P	701360	0.00478
無応力計	1293	U－M－ 3	EKD07960	0.8180
ひずみ計	1203	U－H－17－U－H	EKD07953	0.8160
ひずみ計	1204	U－H－17－U－P	EKD07954	0.8130
ひずみ計	1205	U－H－17－M－H	EKD07955	0.8120
ひずみ計	1206	U－H－17－M－P	EKD07956	0.8130
ひずみ計	1207	U－H－17－L－H	EKD07957	0.8130
ひずみ計	1208	U－H－17－L－P	EKD07958	0.8120
温度計	1209	U－O－17－U	701402	0.0145
温度計	1260	U－O－17－M	701403	0.0145
温度計	1261	U－O－17－L	701404	0.0145
ひずみ計	1262	U－H－20－U－H	EKD07011	0.8120
ひずみ計	1263	U－H－20－U－P	EKD07012	0.8120
ひずみ計	1264	U－H－20－L－H	EKD07013	0.8090
ひずみ計	1265	U－H－20－L－P	EKD07014	0.8120
温度計	1266	U－O－20－U	701408	0.0145
温度計	1267	U－O－20－L	701409	0.0145
有効応力計	1268	U－U－ 9 －H	701363	0.00478
有効応力計	1269	U－U－ 9 －P	701364	0.00473
無応力計	1270	U－M－ 4	EKD07961	0.8090

表 3.1-6　計器情報一覧表（底部低透水層、底部埋戻し材との界面設置分）

計器名称	BLCH	測点名称	計器番号	校正係数
水分計1	1074	B － W － 1 － L	14650	5.000
土圧計2	1075	B － D － 2 － L － P	800043	0.000657
水分計4	1076	B － W － 4 － L	14653	5.000
水分計7	1077	B － W － 7 － L	14656	5.000
土圧計1	1078	B － D － 1 － L － P	800044	0.000660
水分計2	1079	B － W － 2 － L	14651	5.000
加速度計	1080	U － A － 1	DEF04104	0.176
土圧計3	1081	B － D － 3 － L － P	800041	0.000672
水圧計	1082	B － P － 2 － U	701578	0.178
水分計5	1325	B － W － 5 － L	14654	5.000
土圧計5	1084	B － D － 5 － L － P	800045	0.000675
水分計8	1085	B － W － 8 － L	14657	5.000
水分計3	1086	B － W － 3 － L	14652	5.000
土圧計4	1087	B － D － 4 － L － P	800042	0.000649
水分計6	1088	B － W － 6 － L	14655	5.000
水分計9	1326	B － W － 9 － L	14658	5.000
沈下計	1299	B － T － 1	EMC08024	0.0083
温度計	1300	B － O － 2	801012	0.0143
沈下計	1360	B － T － 2	EMC08025	0.0088
沈下計	1372	B － T － 3	EMC08026	0.0089
温度計	1373	B － O － 1	800818	0.0144
沈下計	1386	B － T － 4	EMC08027	0.0090
沈下計	1398	B － T － 5	EMC08028	0.0082

表 3.1-7　計器情報一覧表（底部低透水層、R 側側部埋戻し材との界面設置分）

計器名称	BLCH	測点名称	計器番号	校正係数
土圧計	1200	B－D－ 7	800762	0.0007
水圧計	1201	B－P－ 3－U	800729	0.1760
水分計	1202	B－W－11	15125	5.0000

表 3.1-8　計器情報一覧表（底部低透水層、L 側側部及び奥部埋戻し材との界面設置分）

計器名称	BLCH	測点名称	計器番号	校正係数
土圧計	1234	B－D－ 8	800763	0.000645
水圧計	1235	B－P－ 4－U	800730	0.166
水分計	1236	B－W－12	15128	5.0000
土圧計	1237	B－D－ 6	800761	0.000655
水圧計	1238	B－P－ 1	800728	0.177
水分計	1239	B－W－10	15124	5.0000

表 3.1-9　計器情報一覧表（底部低拡散層）

計器名称	BLCH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1301	T－H－1－I－V	EKD08888	0.8120
ひずみ計	1302	T－H－1－M－V	EKD08889	0.8100
ひずみ計	1303	T－H－1－O－V	EKD08890	0.8140
ひずみ計	1304	T－H－1－I－C	EKD08892	0.8060
ひずみ計	1305	T－H－1－M－C	EKD08893	0.8180
ひずみ計	1306	T－H－1－O－C	EKD08894	0.8060
温度計	1307	T－O－1－I	800819	0.0143
温度計	1308	T－O－1－M	800820	0.0143
温度計	1309	T－O－1－O	800821	0.0143
ひずみ計	1361	T－H－2－I－V	EKD08895	0.8240
ひずみ計	1362	T－H－2－M－V	EKD08896	0.8100
ひずみ計	1363	T－H－2－O－V	EKD08897	0.8060
ひずみ計	1364	T－H－2－I－C	EKD08898	0.8160
ひずみ計	1365	T－H－2－M－C	EKD08899	0.8030
ひずみ計	1366	T－H－2－O－C	EKD08900	0.8170
温度計	1367	T－O－2－I	800822	0.0143
温度計	1368	T－O－2－M	800823	0.0143
温度計	1369	T－O－2－O	800824	0.0143
有効応力計	1370	T－U－1－V	800834	0.00477
有効応力計	1371	T－U－1－C	800835	0.00482
ひずみ計	1374	T－H－3－I－V	EKD08901	0.8120
ひずみ計	1375	T－H－3－M－V	EKD08902	0.8050
ひずみ計	1376	T－H－3－O－V	EKD08903	0.8200
ひずみ計	1377	T－H－3－I－C	EKD08904	0.8100
ひずみ計	1378	T－H－3－M－C	EKD08905	0.8090
ひずみ計	1379	T－H－3－O－C	EKD08906	0.8080
温度計	1380	T－O－3－I	800825	0.0143
温度計	1381	T－O－3－M	800826	0.0143
温度計	1382	T－O－3－O	800827	0.0144
有効応力計	1383	T－U－2－V	800836	0.00473
有効応力計	1384	T－U－2－C	800837	0.00477
無応力計	1385	T－M－1	EKD08919	0.8120
ひずみ計	1387	T－H－4－I－V	EKD08907	0.8030
ひずみ計	1388	T－H－4－M－V	EKD08908	0.8120
ひずみ計	1389	T－H－4－O－V	EKD08909	0.8130
ひずみ計	1390	T－H－4－I－C	EKD08910	0.8160
ひずみ計	1391	T－H－4－M－C	EKD08911	0.8080
ひずみ計	1392	T－H－4－O－C	EKD08912	0.8010
温度計	1393	T－O－4－I	800828	0.0143
温度計	1394	T－O－4－M	800829	0.0143
温度計	1395	T－O－4－O	800830	0.0143
有効応力計	1396	T－U－3－V	800838	0.00478
有効応力計	1397	T－U－3－C	800839	0.00475
ひずみ計	1399	T－H－5－I－V	EKD08913	0.8060
ひずみ計	1400	T－H－5－M－V	EKD08914	0.8060
ひずみ計	1401	T－H－5－O－V	EKD08915	0.8140
ひずみ計	1402	T－H－5－I－C	EKD08916	0.8030
ひずみ計	1403	T－H－5－M－C	EKD08917	0.8130
ひずみ計	1404	T－H－5－O－C	EKD08918	0.8160
温度計	1405	T－O－5－I	800831	0.0144
温度計	1406	T－O－5－M	800832	0.0143
温度計	1407	T－O－5－O	800833	0.0144
継ぎ目計	1328	T－J－1	EMB08006	0.00500
せん断変位	1329	T－S－1	ERA08008	0.000500
継ぎ目計	1341	T－J－2	EMB08007	0.00472
せん断変位	1342	T－S－2	ERA08009	0.000500
継ぎ目計	1355	T－J－3	EMB08008	0.00478
せん断変位	1356	T－S－3	ERA08010	0.000500
継ぎ目計	1420	T－J－4	EMB08009	0.00478
せん断変位	1421	T－S－4	ERA08011	0.000500
継ぎ目計	1433	T－J－5	EMB08010	0.00478
せん断変位	1434	T－S－5	ERA08012	0.000500

表 3.1-10　計器情報一覧表（底部コンクリートピット）

計器名称	BLCH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1330	P－H－1－I－V	EKF08274	0.829
ひずみ計	1331	P－H－1－M－V	EKF08275	0.817
ひずみ計	1332	P－H－1－O－V	EKF08276	0.818
ひずみ計	1333	P－H－1－I－C	EKF08277	0.822
ひずみ計	1334	P－H－1－M－C	EKF08278	0.82
ひずみ計	1335	P－H－1－O－C	EKF08279	0.816
温度計	1336	P－O－1－I	801206	0.0145
温度計	1337	P－O－1－M	801207	0.0145
温度計	1338	P－O－1－O	801208	0.0145
有効応力計	1339	P－U－1－V	801235	0.00482
有効応力計	1340	P－U－1－C	801236	0.00481
ひずみ計	1343	P－H－2－I－V	EKF08280	0.82
ひずみ計	1344	P－H－2－M－V	EKF08282	0.818
ひずみ計	1345	P－H－2－O－V	EKF08284	0.82
ひずみ計	1346	P－H－2－I－C	EKF08285	0.824
ひずみ計	1347	P－H－2－M－C	EKF08298	0.813
ひずみ計	1348	P－H－2－O－C	EKF08304	0.817
温度計	1349	P－O－2－I	801209	0.0145
温度計	1350	P－O－2－M	801210	0.0146
温度計	1351	P－O－2－O	801211	0.0146
有効応力計	1486	P－U－2－V	801237	0.00467
有効応力計	1353	P－U－2－C	801238	0.00474
無応力計	1354	P－M－1	EKF08303	0.814
ひずみ計	1357	P－H－3－I－V	EKF08281	0.813
ひずみ計	1358	P－H－3－M－V	EKF08283	0.818
ひずみ計	1359	P－H－3－O－V	EKF08299	0.81
ひずみ計	1410	P－H－3－I－C	EKF08300	0.814
ひずみ計	1411	P－H－3－M－C	EKF08301	0.808
ひずみ計	1412	P－H－3－O－C	EKF08302	0.817
温度計	1413	P－O－3－I	801212	0.0145
温度計	1414	P－O－3－M	801213	0.0145
温度計	1415	P－O－3－O	801214	0.0144
有効応力計	1416	P－U－3－V	801239	0.00471
有効応力計	1417	P－U－3－C	801240	0.00472
傾斜計X	1418	P－K－1－I－V	EHP08279	0.00259
傾斜計Y	1419	P－K－1－I－C	EHP08279	0.00261
ひずみ計	1422	P－H－4－I－V	EKF08292	0.818
ひずみ計	1423	P－H－4－M－V	EKF08293	0.818
ひずみ計	1424	P－H－4－O－V	EKF08294	0.817
ひずみ計	1425	P－H－4－I－C	EKF08295	0.828
ひずみ計	1426	P－H－4－M－C	EKF08296	0.822
ひずみ計	1427	P－H－4－O－C	EKF08297	0.829
温度計	1428	P－O－4－I	801215	0.0144
温度計	1429	P－O－4－M	801216	0.0144
温度計	1430	P－O－4－O	801217	0.0145
有効応力計	1431	P－U－4－V	801241	0.00471
有効応力計	1432	P－U－4－C	801242	0.00481
ひずみ計	1435	P－H－5－I－V	EKF08286	0.817
ひずみ計	1436	P－H－5－M－V	EKF08287	0.816
ひずみ計	1437	P－H－5－O－V	EKF08288	0.828
ひずみ計	1438	P－H－5－I－C	EKF08289	0.818
ひずみ計	1439	P－H－5－M－C	EKF08290	0.822
ひずみ計	1440	P－H－5－O－C	EKF08291	0.82
温度計	1441	P－O－5－I	801218	0.0144
温度計	1442	P－O－5－M	801219	0.0145
温度計	1443	P－O－5－O	801220	0.0144
有効応力計	1444	P－U－5－V	801243	0.00475
有効応力計	1445	P－U－5－C	801244	0.00478

表 3.1-11　計器情報一覧表（L 側側部コンクリートピット）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1472	P－H－6－I	EKF08475	0.831
ひずみ計	1446	P－H－6－O	EKF08476	0.836
温度計	1480	P－O－6－I	801489	0.0144
温度計	1453	P－O－6－O	801490	0.0143
鉄筋計	1458	P－R－6－I	801515	0.0776
鉄筋計	1463	P－R－6－O	801516	0.0780
ひずみ計	1473	P－H－8－I	EKF08479	0.8260
ひずみ計	1477	P－H－8－M	EKF08480	0.8310
ひずみ計	1447	P－H－8－O	EKF08481	0.8330
温度計	1481	P－O－8－I	801493	0.0144
温度計	1485	P－O－8－M	801494	0.0143
温度計	1454	P－O－8－O	801495	0.0144
鉄筋計	1459	P－R－8－I	801254	0.0777
鉄筋計	1464	P－R－8－O	801253	0.0779
有効応力計	1468	P－U－6	801551	0.00482
無応力計	1471	P－M－2	EKF08502	0.8180
ひずみ計	1474	P－H－10－I	EKF08485	0.828
ひずみ計	1478	P－H－10－M	EKF08486	0.829
ひずみ計	1448	P－H－10－O	EKF08487	0.826
温度計	1482	P－O－10－I	801499	0.0145
温度計	1451	P－O－10－M	801500	0.0144
温度計	1455	P－O－10－O	801501	0.0145
鉄筋計	1460	P－R－10－I	801519	0.0778
鉄筋計	1465	P－R－10－O	801520	0.0776
有効応力計	1469	P－U－8	801553	0.00477
ひずみ計	1475	P－H－12－I	EKF08492	0.832
ひずみ計	1479	P－H－12－M	EKF08493	0.828
ひずみ計	1449	P－H－12－O	EKF08494	0.825
温度計	1483	P－O－12－I	801505	0.0143
温度計	1452	P－O－12－M	801506	0.0144
温度計	1456	P－O－12－O	801507	0.0143
鉄筋計	1461	P－R－12－I	801523	0.0781
鉄筋計	1466	P－R－12－O	801524	0.0763
有効応力計	1470	P－U－10	801555	0.00468
ひずみ計	1476	P－H－14－I	EKF08498	0.843
ひずみ計	1450	P－H－14－O	EKF08499	0.832
温度計	1484	P－O－14－I	801511	0.0143
温度計	1457	P－O－14－O	801512	0.0144
鉄筋計	1462	P－R－14－I	801527	0.0779
鉄筋計	1467	P－R－14－O	801528	0.0773

表 3.1-12　計器情報一覧表（R 側側部コンクリートピット）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1534	P － H － 7 － I	EKF08477	0.828
ひずみ計	1408	P － H － 7 － O	EKF08478	0.836
温度計	1542	P － O － 7 － I	801491	0.0144
温度計	1515	P － O － 7 － O	801492	0.0144
鉄筋計	1520	P － R － 7 － I	801517	0.0778
鉄筋計	1525	P － R － 7 － O	801518	0.0771
ひずみ計	1535	P － H － 9 － I	EKF08482	0.835
ひずみ計	1539	P － H － 9 － M	EKF08483	0.838
ひずみ計	1409	P － H － 9 － O	EKF08484	0.828
温度計	1543	P － O － 9 － I	801496	0.0144
温度計	1547	P － O － 9 － M	801497	0.0144
温度計	1516	P － O － 9 － O	801498	0.0144
鉄筋計	1521	P － R － 9 － I	801255	0.0778
鉄筋計	1526	P － R － 9 － O	801256	0.0771
有効応力計	1530	P － U － 7	801552	0.00477
無応力計	1533	P － M － 3	EKF08503	0.829
ひずみ計	1536	P － H － 11 － I	EKF08488	0.835
ひずみ計	1540	P － H － 11 － M	EKF08489	0.828
ひずみ計	1510	P － H － 11 － O	EKF08490	0.836
温度計	1544	P － O － 11 － I	801502	0.0145
温度計	1513	P － O － 11 － M	801503	0.0144
温度計	1517	P － O － 11 － O	801504	0.0144
鉄筋計	1522	P － R － 11 － I	801521	0.0775
鉄筋計	1527	P － R － 11 － O	801522	0.0774
有効応力計	1531	P － U － 9	801554	0.00469
ひずみ計	1537	P － H － 13 － I	EKF08495	0.838
ひずみ計	1541	P － H － 13 － M	EKF08496	0.829
ひずみ計	1511	P － H － 13 － O	EKF08497	0.825
温度計	1545	P － O － 13 － I	801508	0.0142
温度計	1514	P － O － 13 － M	801509	0.0144
温度計	1518	P － O － 13 － O	801510	0.0144
鉄筋計	1523	P － R － 13 － I	801525	0.077
鉄筋計	1528	P － R － 13 － O	801526	0.0775
有効応力計	1532	P － U － 11	801556	0.00467
ひずみ計	1538	P － H － 15 － I	EKF08500	0.824
ひずみ計	1512	P － H － 15 － O	EKF08501	0.828
温度計	1546	P － O － 15 － I	801513	0.0143
温度計	1519	P － O － 15 － O	801514	0.0144
鉄筋計	1524	P － R － 15 － I	801529	0.0773
鉄筋計	1529	P － R － 15 － O	801530	0.0781

表 3.1-13　計器情報一覧表（妻部コンクリートピット）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1560	P － H － 16 － I	EKD09115	0.831
ひずみ計	1561	P － H － 16 － O	EKD09116	0.828
温度計	1571	P － O － 16 － I	900761	0.0145
温度計	1572	P － O － 16 － O	900762	0.0145
鉄筋計	1582	P － R － 16 － I	900763	0.0776
鉄筋計	1583	P － R － 16 － O	900764	0.0777
ひずみ計	1562	P － H － 18 － I	EKD09117	0.820
ひずみ計	1563	P － H － 18 － O	EKD09118	0.824
温度計	1573	P － O － 18 － I	900765	0.0145
温度計	1574	P － O － 18 － O	900766	0.0145
鉄筋計	1584	P － R － 18 － I	900767	0.0777
鉄筋計	1585	P － R － 18 － O	900768	0.0784
ひずみ計	1564	P － H － 20 － I	EKD09119	0.839
ひずみ計	1565	P － H － 20 － O	EKD09120	0.821
温度計	1575	P － O － 20 － I	900769	0.0144
温度計	1576	P － O － 20 － M	900770	0.0145
温度計	1577	P － O － 20 － O	900771	0.0145
鉄筋計	1586	P － R － 20 － I	900772	0.0776
鉄筋計	1587	P － R － 20 － O	900773	0.0773
無応力計	1570	P － M － 4	EKD09125	0.832
ひずみ計	1566	P － H － 22 － I	EKD09121	0.825
ひずみ計	1567	P － H － 22 － O	EKD09122	0.828
温度計	1578	P － O － 22 － I	900774	0.0145
温度計	1579	P － O － 22 － O	900775	0.0144
鉄筋計	1588	P － R － 22 － I	900776	0.0778
鉄筋計	1589	P － R － 22 － O	900777	0.0775
ひずみ計	1568	P － H － 24 － I	EKD09123	0.836
ひずみ計	1569	P － H － 24 － O	EKD09124	0.833
温度計	1580	P － O － 24 － I	900778	0.0144
温度計	1581	P － O － 24 － O	900779	0.0144
鉄筋計	1590	P － R － 24 － I	900780	0.0778
鉄筋計	1591	P － R － 24 － O	900781	0.0768

表 3.1-14　計器情報一覧表（充填材）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
土圧計	1638	F － D － 1	000685	0.195
土圧計	1639	F － D － 2	000686	0.169
土圧計	1592	F － D － 3	900898	0.199
温度計	1640	F － O － 1	000687	0.0145

表 3.1-15　計器情報一覧表（L 側側部低拡散層）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1593	T－H－6－I	EKD09299	0.829
ひずみ計	1594	T－H－6－O	EKD09300	0.826
温度計	1607	T－O－6－I	901007	0.0144
温度計	1608	T－O－6－O	901008	0.0143
ひずみ計	1595	T－H－8－I	EKD09301	0.826
ひずみ計	1596	T－H－8－M	EKD09302	0.835
ひずみ計	1597	T－H－8－O	EKD09303	0.828
温度計	1609	T－O－8－I	901009	0.0144
温度計	1610	T－O－8－M	901010	0.0144
温度計	1611	T－O－8－O	901011	0.0144
有効応力計	1620	T－U－4	901034	0.00485
土圧計	1623	T－D－1	901023	0.192
継目計	1626	T－J－6	EMB09011	0.00467
せん断変位	1628	T－S－6	ERA09015	0.0005
ひずみ計	1599	T－H－10－I	EKD09305	0.826
ひずみ計	1598	T－H－10－M	EKD09306	0.825
ひずみ計	1600	T－H－10－O	EKD09307	0.822
温度計	1612	T－O－10－I	901012	0.0144
温度計	1613	T－O－10－M	901013	0.0144
温度計	1614	T－O－10－O	901014	0.0144
有効応力計	1621	T－U－6	901036	0.00467
土圧計	1624	T－D－3	901025	0.198
加速度計	1630	T－A－1－L	DFF04107	0.177
加速度計	1631	T－A－1－P	DFF04108	0.185
ひずみ計	1601	T－H－12－I	EKD09309	0.821
ひずみ計	1602	T－H－12－M	EKD09310	0.842
ひずみ計	1603	T－H－12－O	EKD09311	0.829
温度計	1615	T－O－12－I	901015	0.0144
温度計	1616	T－O－12－M	901016	0.0144
温度計	1617	T－O－12－O	901017	0.0143
有効応力計	1622	T－U－8	901038	0.00476
無応力計	1606	T－M－2	EKD09315	0.822
土圧計	1625	T－D－5	901027	0.2
継目計	1627	T－J－8	EMB09013	0.00487
せん断変位	1629	T－S－8	ERA09016	0.0005
ひずみ計	1604	T－H－14－I	EKD09313	0.822
ひずみ計	1605	T－H－14－O	EKD09314	0.817
温度計	1618	T－O－14－I	901018	0.0143
温度計	1619	T－O－14－O	901019	0.0144

表 3.1-16　計器情報一覧表（R 側側部低拡散層）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1660	T － H － 9 － M	EKD09304	0.826
温度計	1664	T － O － 9 － M	901020	0.0144
有効応力計	1667	T － U － 5	901035	0.00465
土圧計	1671	T － D － 2	901024	0.183
継目計	1674	T － J － 7	EMB09012	0.00484
せん断変位	1676	T － S － 7	ERA09013	0.0005
ひずみ計	1661	T － H － 11 － M	EKD09308	0.832
温度計	1665	T － O － 11 － M	901021	0.0143
有効応力計	1668	T － U － 7	901037	0.00475
土圧計	1672	T － D － 4	901026	0.189
ひずみ計	1662	T － H － 13 － M	EKD09312	0.825
温度計	1666	T － O － 13 － M	901022	0.0143
有効応力計	1669	T － U － 9	901039	0.00476
新型有効応力計	1670	T － UN － 9	901157	0.00273
無応力計	1663	T － M － 3	EKD09316	0.836
土圧計	1673	T － D － 6	901028	0.189
継目計	1675	T － J － 9	EMB09014	0.00481
せん断変位	1677	T － S － 9	ERA09014	0.0005

表 3.1-17　計器情報一覧表（上部充填材）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
土圧計	1710	F － D － 4	000800	0.194
温度計	1711	F － O － 2	000846	0.0145

表 3.1-18　計器情報一覧表（側部低透水層）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
土圧計	1295	B － D － 9	001145	0.000625
土圧計	1296	B － D － 10	001146	0.000626
加速度計	1712	B － A － 1	DFF04114	0.179

表 3.1-19　計器情報一覧表（上部コンクリートピット）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1678	P － H － 28 － I － C	EKD121587	0.814
ひずみ計	1679	P － H － 28 － M － C	EKD121588	0.824
ひずみ計	1680	P － H － 28 － O － C	EKD121589	0.816
ひずみ計	1681	P － H － 28 － I － V	EKD121590	0.833
ひずみ計	1682	P － H － 28 － M － V	EKD121591	0.821
ひずみ計	1683	P － H － 28 － O － V	EKD121592	0.822
温度計	1684	P － O － 28 － I	201163	0.0145
温度計	1685	P － O － 28 － M	201164	0.0145
温度計	1686	P － O － 28 － O	201165	0.0145
有効応力計	1687	P － U － 19 － C	201150	0.00301
有効応力計	1688	P － U － 19 － V	201151	0.00295
無応力計	1689	P － M － 6	EKD121593	0.822

表 3.1-20　計器情報一覧表（上部低拡散層）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
ひずみ計	1713	T － H － 17 － I － C	EKD121634	0.817
ひずみ計	1714	T － H － 17 － M － C	EKD121635	0.812
ひずみ計	1715	T － H － 17 － O － C	EKD121636	0.820
ひずみ計	1716	T － H － 17 － I － V	EKD121637	0.818
ひずみ計	1717	T － H － 17 － M － V	EKD121638	0.821
ひずみ計	1718	T － H － 17 － O － V	EKD121639	0.839
温度計	1732	T － O － 17 － I	201240	0.0144
温度計	1733	T － O － 17 － M	201241	0.0145
温度計	1734	T － O － 17 － O	201242	0.0144
有効応力計	1741	T － U － 10 － C	201205	0.00301
有効応力計	1742	T － U － 10 － V	201206	0.00302
ひずみ計	1719	T － H － 18 － I － C	EKD121640	0.818
ひずみ計	1720	T － H － 18 － M － C	EKD121641	0.828
ひずみ計	1721	T － H － 18 － O － C	EKD121642	0.828
ひずみ計	1722	T － H － 18 － I － V	EKD121643	0.828
ひずみ計	1723	T － H － 18 － M － V	EKD121644	0.825
ひずみ計	1724	T － H － 18 － O － V	EKD121645	0.824
温度計	1735	T － O － 18 － I	201243	0.0145
温度計	1736	T － O － 18 － M	201244	0.0144
温度計	1737	T － O － 18 － O	201245	0.0144
有効応力計	1743	T － U － 11 － C	201207	0.00301
有効応力計	1744	T － U － 11 － V	201208	0.00303
無応力計	1731	T － M － 4	EKD121646	0.833
ひずみ計	1725	T － H － 19 － I － C	EKD121647	0.825
ひずみ計	1726	T － H － 19 － M － C	EKD121648	0.831
ひずみ計	1727	T － H － 19 － O － C	EKD121649	0.832
ひずみ計	1728	T － H － 19 － I － V	EKD121650	0.829
ひずみ計	1729	T － H － 19 － M － V	EKD121651	0.832
ひずみ計	1730	T － H － 19 － O － V	EKD121652	0.813
温度計	1738	T － O － 19 － I	201246	0.0145
温度計	1739	T － O － 19 － M	201247	0.0145
温度計	1740	T － O － 19 － O	201248	0.0145
有効応力計	1745	T － U － 12 － C	201209	0.00293
有効応力計	1746	T － U － 12 － V	201210	0.00301

表 3.1-21　計器情報一覧表（上部低透水層）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
土圧計	1748	B － D － 11	301535	0.000628
加速度計	1749	B － A － 2	DFF130023	0.180

表 3.1-22　計器情報一覧表（上部埋戻し材）

計器名称	CH	測点名称	計器番号	校正係数
沈下計	1643	U － T － 1	EMD140012	0.0237
温度計	1644	U － O － 22	301441	0.0143

3.2　スイッチボックスアドレス表

これまでに設置した計器の、スイッチボックスでのセンサーケーブルのチャンネル対応を表 3.2-1~表 3.2-15 に示す。

表 3.2-1　スイッチボックスアドレス表（KBS07B）

ch 1010	ch 1011	ch 1012	ch 1013	ch 1014	ch 1015	ch 1016	ch 1017	ch 1018	ch 1019
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
B-L	B-L	B-L	B-L	B-L	B-L	B-L	B-L	B-L	B-L
ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	鉄筋計	鉄筋計	温度計	温度計
U-H-1-U-V	U-H-1-U-C	U-H-1-M-V	U-H-1-M-C	U-H-1-L-V	U-H-1-L-C	U-R-1-U-V	U-R-1-L-V	U-O-1-U	U-O-1-M
ch 1020	ch 1021	ch 1022	ch 1023	ch 1024	ch 1025	ch 1026	ch 1027	ch 1028	ch 1029
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
B-L	A-M	A-M	A-M	A-M	A-M	A-M	A-M	A-M	A-M
温度計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	鉄筋計	鉄筋計	温度計
U-O-1-L	U-H-2-U-V	U-H-2-U-C	U-H-2-M-V	U-H-2-M-C	U-H-2-L-V	U-H-2-L-C	U-R-2-U-C	U-R-2-L-C	U-O-2-U
ch 1030	ch 1031	ch 1032	ch 1033	ch 1034	ch 1035	ch 1036	ch 1037	ch 1038	ch 1039
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	底部	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
A-M	A-M	A-M	A-M	A-L	A-L	A-L	A-L	A-L	A-L
温度計	温度計	有効応力計	有効応力計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計
U-O-2-M	U-O-2-L	U-U-1-M-V	U-U-1-M-C	U-H-3-U-V	U-H-3-U-C	U-H-3-M-V	U-H-3-M-C	U-H-3-L-V	U-H-3-L-C
ch 1040	ch 1041	ch 1042	ch 1043	ch 1044	ch 1045	ch 1046	ch 1047	ch 1048	ch 1049
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
A-L	A-L	A-L	A-L	A-L	A-L	A-L	A-L	A-L	A-L
鉄筋計	鉄筋計	鉄筋計	鉄筋計	温度計	温度計	温度計	有効応力計	有効応力計	無応力計
U-R-3-U-V	U-R-3-U-C	U-R-3-L-V	U-R-3-L-C	U-O-3-U	U-O-3-M	U-O-3-L	U-U-2-M-V	U-U-2-M-C	U-M-1-M-V
ch 1050	ch 1051	ch 1052	ch 1053	ch 1054	ch 1055	ch 1056	ch 1057	ch 1058	ch 1059
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
A-N	A-N	A-N	A-N	A-N	A-N	A-N	A-N	A-N	A-N
ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	鉄筋計	鉄筋計	温度計	温度計
U-H-4-U-V	U-H-4-U-C	U-H-4-M-V	U-H-4-M-C	U-H-4-L-V	U-H-4-L-C	U-R-4-U-C	U-R-4-L-C	U-O-4-U	U-O-4-M

表 3.2-2　スイッチボックスアドレス表（KBS07A）

ch 1060	ch 1061	ch 1062	ch 1063	ch 1064	ch 1065	ch 1066	ch 1067	ch 1068	ch 1069
A-N	A-N	A-N	C-L	C-L	C-L	C-L	C-L	C-L	C-L
温度計	有効応力計	有効応力計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	1327に変更	鉄筋計
U-O-4-L	U-U-3-M-V	U-U-3-M-C	U-H-5-U-V	U-H-5-U-C	U-H-5-M-V	U-H-5-M-C	U-H-5-L-V		U-R-5-U-V

ch 1070	ch 1071	ch 1072	ch 1073	ch 1074	ch 1075	ch 1076	ch 1077	ch 1078	ch 1079
C-L	C-L	C-L	C-L	B-M	A-M	A-M	C-M	B-L	B-L
鉄筋計	温度計	温度計	温度計	水分計	土圧計	水分計	水分計	土圧計	水分計
U-R-5-L-V	U-O-5-U	U-O-5-M	U-O-5-L	B-W-1-L	B-D-2-L-P	B-W-4-L	B-W-7-L	B-D-1-L-P	B-W-2-L

底部

ch 1080	ch 1081	ch 1082	ch 1083	ch 1084	ch 1085	ch 1086	ch 1087	ch 1088	ch 1089
A-L	A-L	A-L		C-L	C-L	B-N	A-N	A-N	
温度計	土圧計	間隙水圧計	1325に変更	土圧計	水分計	水分計	土圧計	水分計	1326に変更
B-O-1	B-D-3-L-P	B-P-2-U		B-D-5-L-P	B-W-8-L	B-W-3-L	B-D-4-L-P	B-D-6-L	

ch 1090	ch 1091	ch 1092	ch 1093	ch 1094	ch 1095	ch 1096	ch 1097	ch 1098	ch 1099
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
鉄筋計	鉄筋計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	有効応力計	有効応力計
U-R-8-L	U-R-8-U	U-H-10-U-H	U-H-10-U-P	U-H-10-L-H	U-H-10-L-P	U-O-10-U	U-O-10-L	U-U-4-M-H	U-U-4-M-P

側部1リフト

ch 1100	ch 1101	ch 1102	ch 1103	ch 1104	ch 1105	ch 1106	ch 1107	ch 1108	ch 1109
B	B	B	B	B	B	B	B	C	C
鉄筋計	鉄筋計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	鉄筋計	鉄筋計
U-R-6-L	U-R-6-U	U-H-6-U-H	U-H-6-U-P	U-H-6-L-H	U-H-6-L-P	U-O-6-U	U-O-6-L	U-R-12-L	U-R-12-U

表 3.2-3　スイッチボックスアドレス表（KBS14）

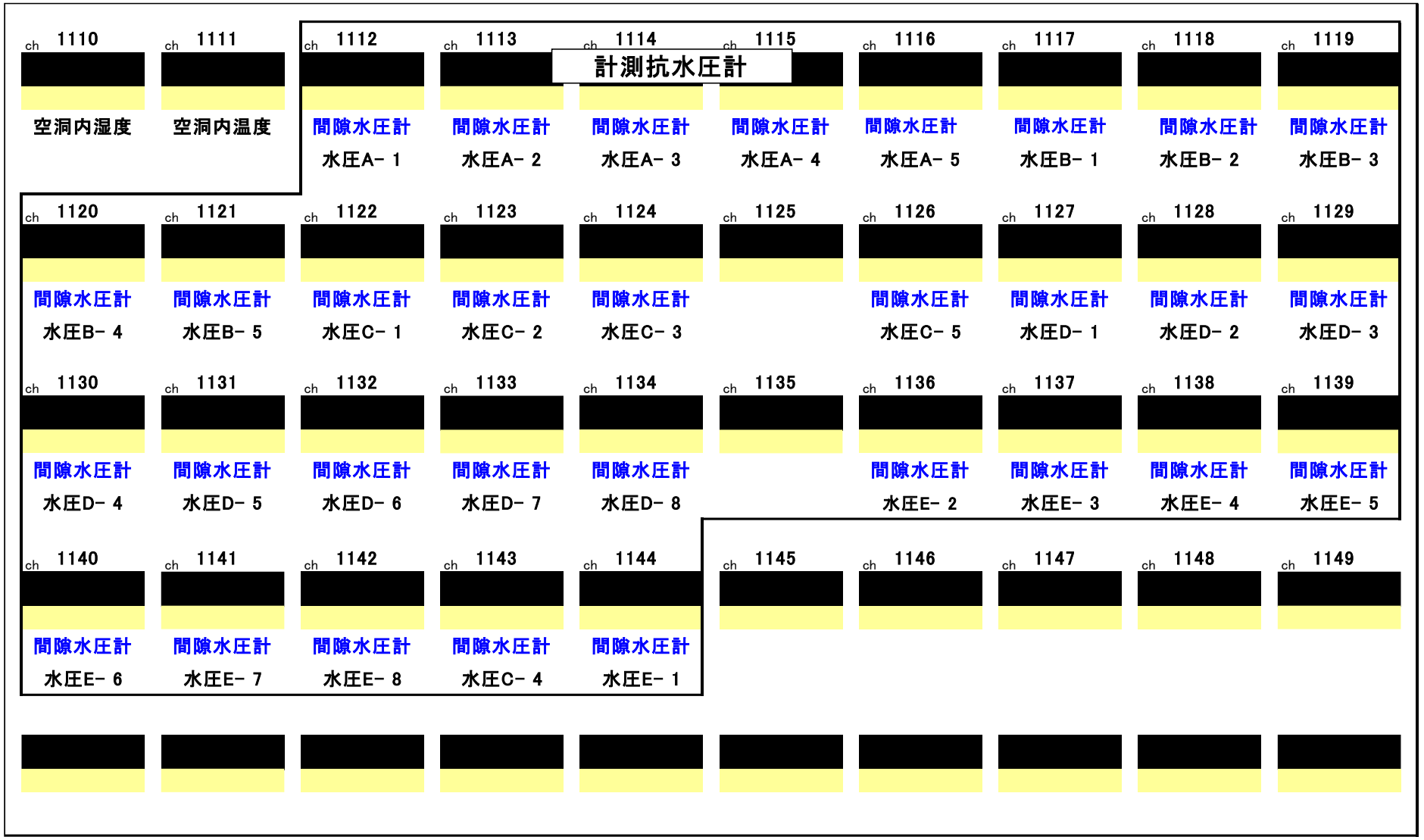


表 3.2-4　スイッチボックスアドレス表（KBS03B）

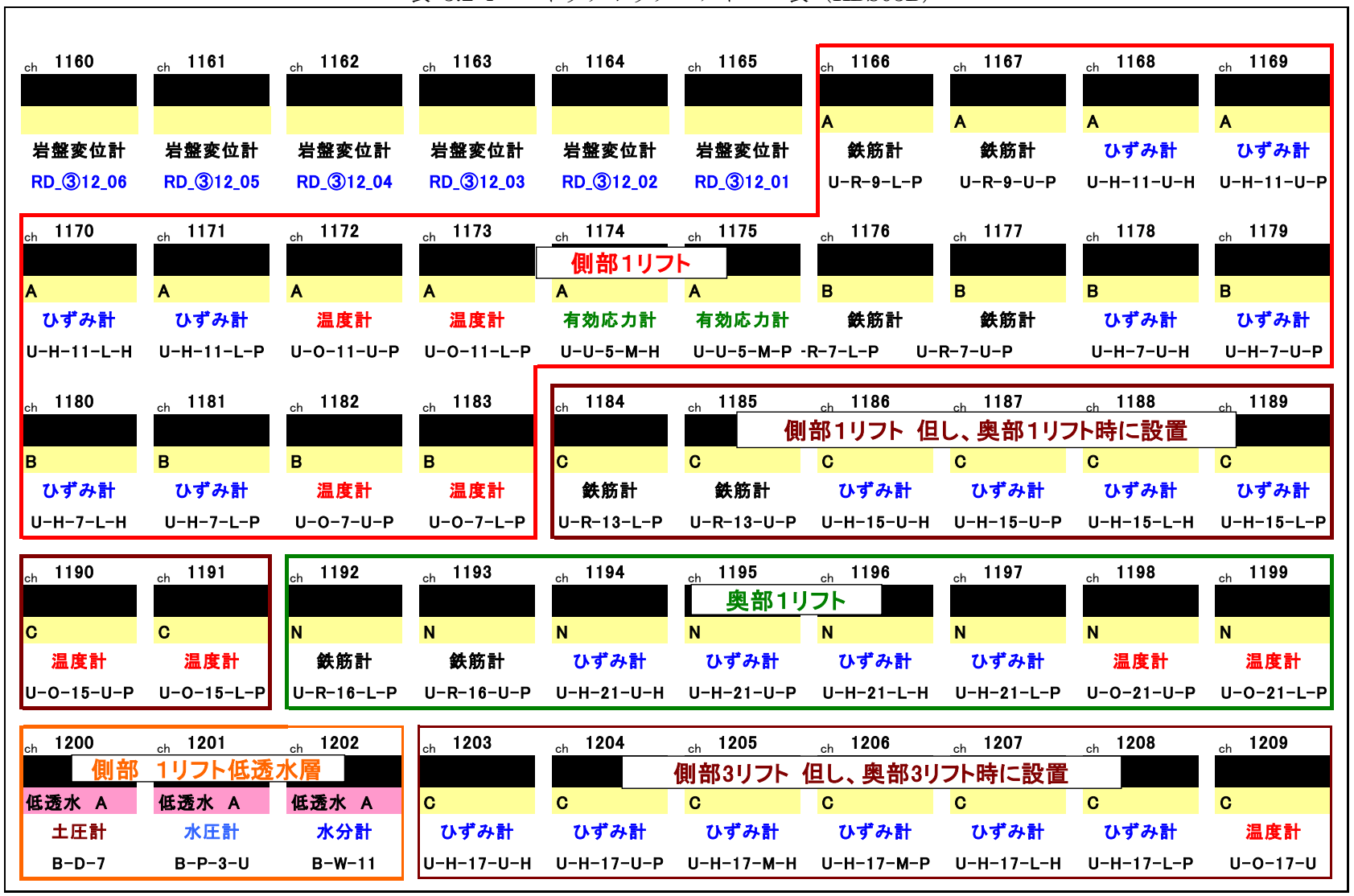
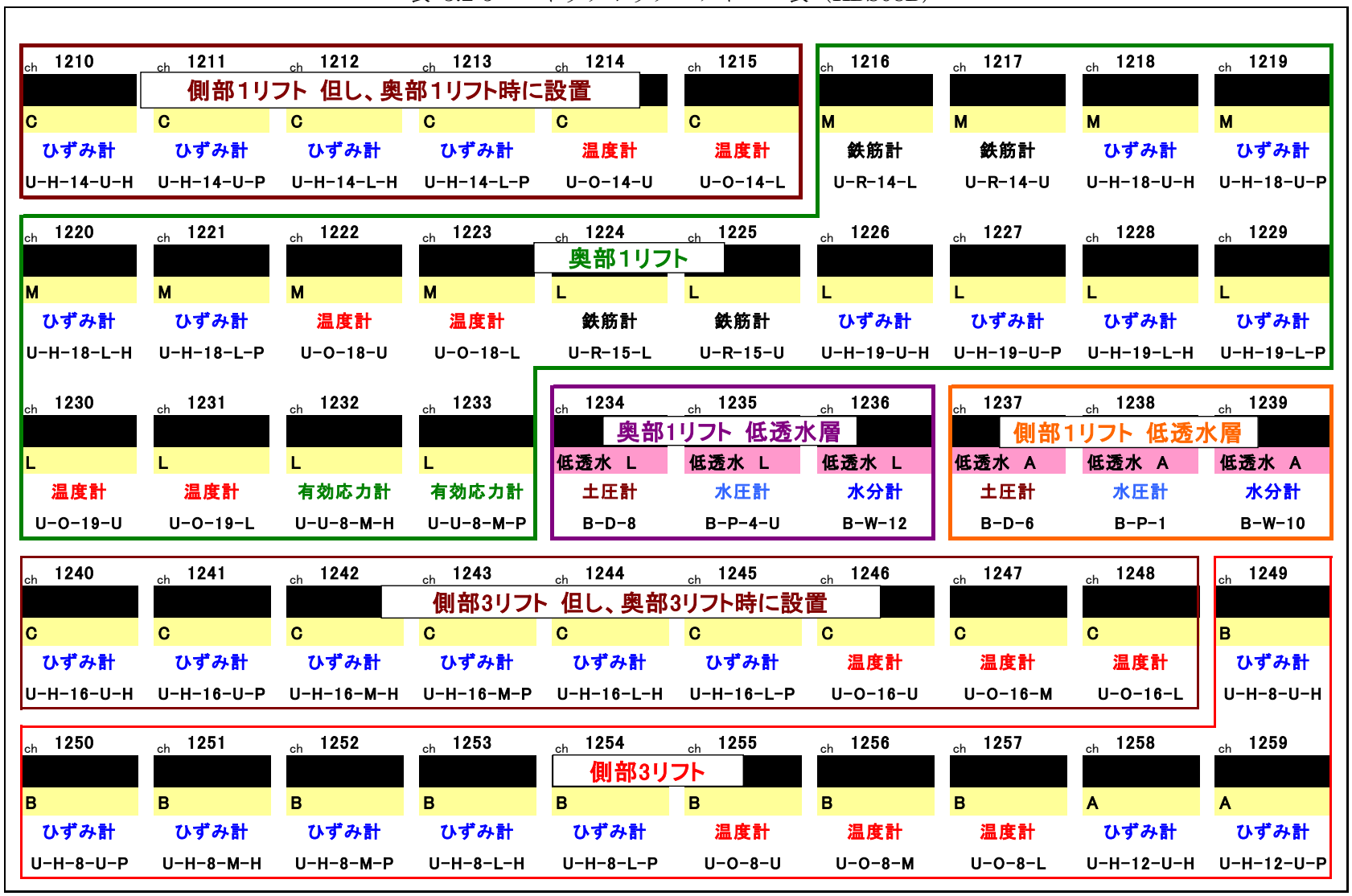


表 3.2-5　スイッチボックスアドレス表（KBS08B）



ch	1210	1211	1212	1213	1214	1215
	C	C	C	C	C	C
	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計
	U-H-14-U-H	U-H-14-U-P	U-H-14-L-H	U-H-14-L-P	U-O-14-U	U-O-14-L

ch	1216	1217	1218	1219
	M	M	M	M
	鉄筋計	鉄筋計	ひずみ計	ひずみ計
	U-R-14-L	U-R-14-U	U-H-18-U-H	U-H-18-U-P

ch	1220	1221	1222	1223	1224	1225
	M	M	M	M	L	L
	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	鉄筋計	鉄筋計
	U-H-18-L-H	U-H-18-L-P	U-O-18-U	U-O-18-L	U-R-15-L	U-R-15-U

ch	1226	1227	1228	1229
	L	L	L	L
	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計
	U-H-19-U-H	U-H-19-U-P	U-H-19-L-H	U-H-19-L-P

ch	1230	1231	1232	1233
	L	L	L	L
	温度計	温度計	有効応力計	有効応力計
	U-O-19-U	U-O-19-L	U-U-8-M-H	U-U-8-M-P

ch	1234	1235	1236
	低透水 L	低透水 L	低透水 L
	土圧計	水圧計	水分計
	B-D-8	B-P-4-U	B-W-12

ch	1237	1238	1239
	低透水 A	低透水 A	低透水 A
	土圧計	水圧計	水分計
	B-D-6	B-P-1	B-W-10

ch	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249
	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B
	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計	ひずみ計
	U-H-16-U-H	U-H-16-U-P	U-H-16-M-H	U-H-16-M-P	U-H-16-L-H	U-H-16-L-P	U-O-16-U	U-O-16-M	U-O-16-L	U-H-8-U-H

ch	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259
	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A
	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計	ひずみ計	ひずみ計
	U-H-8-U-P	U-H-8-M-H	U-H-8-M-P	U-H-8-L-H	U-H-8-L-P	U-O-8-U	U-O-8-M	U-O-8-L	U-H-12-U-H	U-H-12-U-P

表 3.2-6　スイッチボックスアドレス表（KBS03A）

ch 1260	ch 1261	ch 1262	ch 1263	ch 1264	ch 1265	ch 1266	ch 1267	ch 1268	ch 1269
C	C	L	L	L	L	L	L	L	L
温度計	温度計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	有効応力計	有効応力計
U-O-17-M	U-O-17-L	U-H-20-U-H	U-H-20-U-P	U-H-20-L-H	U-H-20-L-P	U-O-20-U	U-O-20-L	U-H-9-M-H	U-H-9-M-P

奥部3リフト

ch 1270	ch 1271	ch 1272	ch 1273	ch 1274	ch 1275	ch 1276	ch 1277	ch 1278	ch 1279
L	B	B	B	B	B	B	B	B	B
無応力計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計
U-M-4	U-H-9-U-H	U-H-9-U-P	U-H-9-M-H	U-H-9-M-P	U-H-9-L-H	U-H-9-L-P	U-O-9-U	U-O-9-M	U-O-9-L

ch 1280	ch 1281	ch 1282	ch 1283	ch 1284	ch 1285	ch 1286	ch 1287	ch 1288	ch 1289
C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計	鉄筋計
U-H-13-U-H	U-H-13-U-P	U-H-13-M-H	U-H-13-M-P	U-H-13-L-H	U-H-13-L-P	U-O-13-U	U-O-13-M	U-O-13-L	U-R-11-U-P

側部3リフト

ch 1290	ch 1291	ch 1292	ch 1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299
A	A	A	A						
鉄筋計	有効応力計	1298に変更	無応力計		土圧計	土圧計		有効応力計	沈下計
U-R-11-L-P	U-U-7-M-H		U-M-3	3R-14-1	B-D-9	B-D-10		U-U-7-M-P	B-T-1

側部　低透水層

ch 1300	ch 1301	ch 1302	ch 1303	ch 1304	ch 1305	ch 1306	ch 1307	ch 1308	ch 1309
温度計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計
B-O-2	P-H-V-1-I	P-H-V-1-M	P-H-V-1-O	P-H-C-1-I	P-H-C-1-M	P-H-C-1-O	T-O-1-I	T-O-1-M	T-O-1-O

底部　低拡散層

表 3.2-7　スイッチボックスアドレス表（KBS08A）

ch 1310	ch 1311	ch 1312	ch 1313	ch 1314	ch 1315	ch 1316	ch 1317	ch 1318	ch 1319
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計	鉄筋計	鉄筋計	有効応力計
U-H-12-M-H	U-H-12-M-P	U-H-12-L-H	U-H-12-L-P	U-O-12-U	U-O-12-M	U-O-12-L	U-H-10-U-P	U-H-10-L-P	U-H-6-M-H

側部3リフト目

ch 1320	ch 1321	ch 1322	ch 1323	ch 1324	ch 1325	ch 1326	ch 1327	ch 1328	ch 1329
A	A				A-L	C-N	C-L		
有効応力計	無応力計				水分計	水分計	ひずみ計	継ぎ目計	せん断変位計
U-H-6-M-P	U-M-2	3L-14-1	4L-14-1	5L-14-1	14L-4-10	14L-4-16	·H-5-L-C	T-J-1	T-S-1

ch 1330	ch 1331	ch 1332	ch 1333	ch 1334	ch 1335	ch 1336	ch 1337	ch 1338	ch 1339
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計	有効応力計
P-H-V-1-I	P-H-V-1-M	P-H-V-1-O	P-H-C-1-I	P-H-C-1-M	P-H-C-1-O	P-O-1-I	P-O-1-M	P-O-1-O	P-U-1-V

底部コンクリートﾋﾟｯﾄ

ch 1340	ch 1341	ch 1342	ch 1343	ch 1344	ch 1345	ch 1346	ch 1347	ch 1348	ch 1349
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
有効応力計	継ぎ目計	せん断変位計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計
P-U-1-C	T-J-2	T-S-2	P-H-V-2-I	P-H-V-2-M	P-H-V-2-O	P-H-C-2-I	P-H-C-2-M	P-H-C-2-O	P-O-2-I

ch 1350	ch 1351	ch 1352	ch 1353	ch 1354	ch 1355	ch 1356	ch 1357	ch 1358	ch 1359
2	2	2	2	2					
温度計	温度計	1486に変更	有効応力計	無応力計	継ぎ目計	せん断変位計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計
P-O-2-M	P-O-2-O		P-U-2-C	P-M-1	T-J-3	T-S-3	P-H-V-3-I	P-H-V-3-M	P-H-V-3-O

表 3.2-8　スイッチボックスアドレス表（KBS02A）

底部低拡散層

ch 1360	ch 1361	ch 1362	ch 1363	ch 1364	ch 1365	ch 1366	ch 1367	ch 1368	ch 1369
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
沈下計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計
B-T-2	-H-V-2-I	P-H-V-2-M	P-H-V-2-O	P-H-C-2-I	P-H-C-2-M	P-H-C-2-O	P-O-2-I	P-O-2-M	P-O-2-O

ch 1370	ch 1371	ch 1372	ch 1373	ch 1374	ch 1375	ch 1376	ch 1377	ch 1378	ch 1379
2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
有効応力計	有効応力計	沈下計	温度計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計
P-U-1-V	P-U-1-C	B-T-3	B-O-1	P-H-V-3-I	P-H-V-3-M	P-H-V-3-O	P-H-C-3-I	P-H-C-3-M	P-H-C-3-O

ch 1380	ch 1381	ch 1382	ch 1383	ch 1384	ch 1385	ch 1386	ch 1387	ch 1388	ch 1389
3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
温度計	温度計	温度計	有効応力計	有効応力計	無応力計	沈下計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計
P-O-3-I	P-O-3-M	P-O-3-O	P-U-2-V	P-U-2-C	P-M-1	B-T-4	P-H-V-4-I	P-H-V-4-M	P-H-V-4-O

ch 1390	ch 1391	ch 1392	ch 1393	ch 1394	ch 1395	ch 1396	ch 1397	ch 1398	ch 1399
4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計	有効応力計	有効応力計	沈下計	ひずみ計
P-H-C-4-I	P-H-C-4-M	P-H-C-4-O	P-O-4-I	P-O-4-M	P-O-4-O	P-U-2-V	P-U-2-C	B-T-5	P-H-V-5-I

ch 1400	ch 1401	ch 1402	ch 1403	ch 1404	ch 1405	ch 1406	ch 1407	ch 1408	ch 1409
5	5	5	5	5	5	5	5	側部コンクリートﾋﾟｯﾄ	
ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計	ひずみ計	ひずみ計
P-H-V-5-M	P-H-V-5-O	P-H-C-5-I	P-H-C-5-M	P-H-C-5-O	P-O-3-I	P-O-3-M	P-O-3-O	P-H-7-O	P-H-9-O

表 3.2-9　スイッチボックスアドレス表（KBS09B）

ch 1410	ch 1411	ch 1412	ch 1413	ch 1414	ch 1415	ch 1416	ch 1417	ch 1418	ch 1419
ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計	有効応力計	有効応力計	傾斜計	傾斜計
P-H-C-3-I	P-H-C-3-M	P-H-C-3-O	P-O-3-I	P-O-3-M	P-O-3-O	P-U-3-V	P-U-3-C	P-K- 1-X	P-K- 1-Y
ch 1420	ch 1421	ch 1422	ch 1423	ch 1424	ch 1425	ch 1426	ch 1427	ch 1428	ch 1429
継ぎ目計	せん断変位計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計
P-J-4	P-S-4	P-H-V-4-I	P-H-V-4-M	P-H-V-4-O	P-H-C-4-I	P-H-C-4-M	P-H-C-4-O	P-O-4-I	P-O-4-M
ch 1430	ch 1431	ch 1432	ch 1433	ch 1434	ch 1435	ch 1436	ch 1437	ch 1438	ch 1439
温度計	有効応力計	有効応力計	継ぎ目計	せん断変位計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計
P-O-4-O	P-U-4-V	P-U-4-C	P-J-5	P-S-5	P-H-V-5-I	P-H-V-5-M	P-H-V-5-O	P-H-C-5-I	P-H-C-5-M
ch 1440	ch 1441	ch 1442	ch 1443	ch 1444	ch 1445	ch 1446	ch 1447	ch 1448	ch 1449
ひずみ計	温度計	温度計	温度計	有効応力計	有効応力計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計
P-H-C-5-O	P-O-5-I	P-O-5-M	P-O-5-O	P-U-5-V	P-U-5-C	P-H-6-O	P-H-8-O	P-H-10-O	P-H-12-O
ch 1450	ch 1451	ch 1452	ch 1453	ch 1454	ch 1455	ch 1456	ch 1457	ch 1458	ch 1459
ひずみ計	温度計	温度計	温度計	温度計	温度計	温度計	温度計	鉄筋計	鉄筋計
P-H-14-O	P-O-10-M	P-O-12-M	P-O-6-O	P-O-8-O	P-O-10-O	P-O-12-O	P-O-14-O	P-R-6-I	P-R-8-I

底部コンクリートピット

側部コンクリートピット

表 3.2-10　スイッチボックスアドレス表（KBS09A）

表 3.2-11　スイッチボックスアドレス表（KBS02B）

側部コンクリートピット

ch 1510	ch 1511	ch 1512	ch 1513	ch 1514	ch 1515	ch 1516	ch 1517	ch 1518	ch 1519
ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計	温度計	温度計	温度計	温度計
P-H-11-O	P-H-13-O	P-H-15-O	P-O-11-M	P-O-13-M	P-O-7-O	P-O-9-O	P-O-11-O	P-O-13-O	P-O-15-O
ch 1520	ch 1521	ch 1522	ch 1523	ch 1524	ch 1525	ch 1526	ch 1527	ch 1528	ch 1529
鉄筋計	鉄筋計	鉄筋計	鉄筋計	鉄筋計	鉄筋計	鉄筋計	鉄筋計	鉄筋計	鉄筋計
P-R-7-I	P-R-9-I	P-R-11-I	P-R-13-I	P-R-15-I	P-R-7-O	P-R-9-O	P-R-11-O	P-R-13-O	P-R-15-O
ch 1530	ch 1531	ch 1532	ch 1533	ch 1534	ch 1535	ch 1536	ch 1537	ch 1538	ch 1539
有効応力計	有効応力計	有効応力計	無応力計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計	ひずみ計
P-U-7	P-U-9	P-U-11	P-M-2	P-H-7-I	P-H-9-I	P-H-11-I	P-H-13-I	P-H-15-I	P-H-9-M
ch 1540	ch 1541	ch 1542	ch 1543	ch 1544	ch 1545	ch 1546	ch 1547	ch 1548	ch 1549
ひずみ計	ひずみ計	温度計	温度計	温度計	温度計	温度計	温度計		
P-H-11-M	P-H-13-M	P-O-7-I	P-O-9-I	P-O-11-I	P-O-13-I	P-O-15-I	P-O-9-M		
ch 1550	ch 1551	ch 1552	ch 1553	ch 1554	ch 1555	ch 1556	ch 1557	ch 1558	ch 1559

表 3.2-12　スイッチボックスアドレス表（KBS10A）

表 3.2-13　スイッチボックスアドレス表（KBS10B）

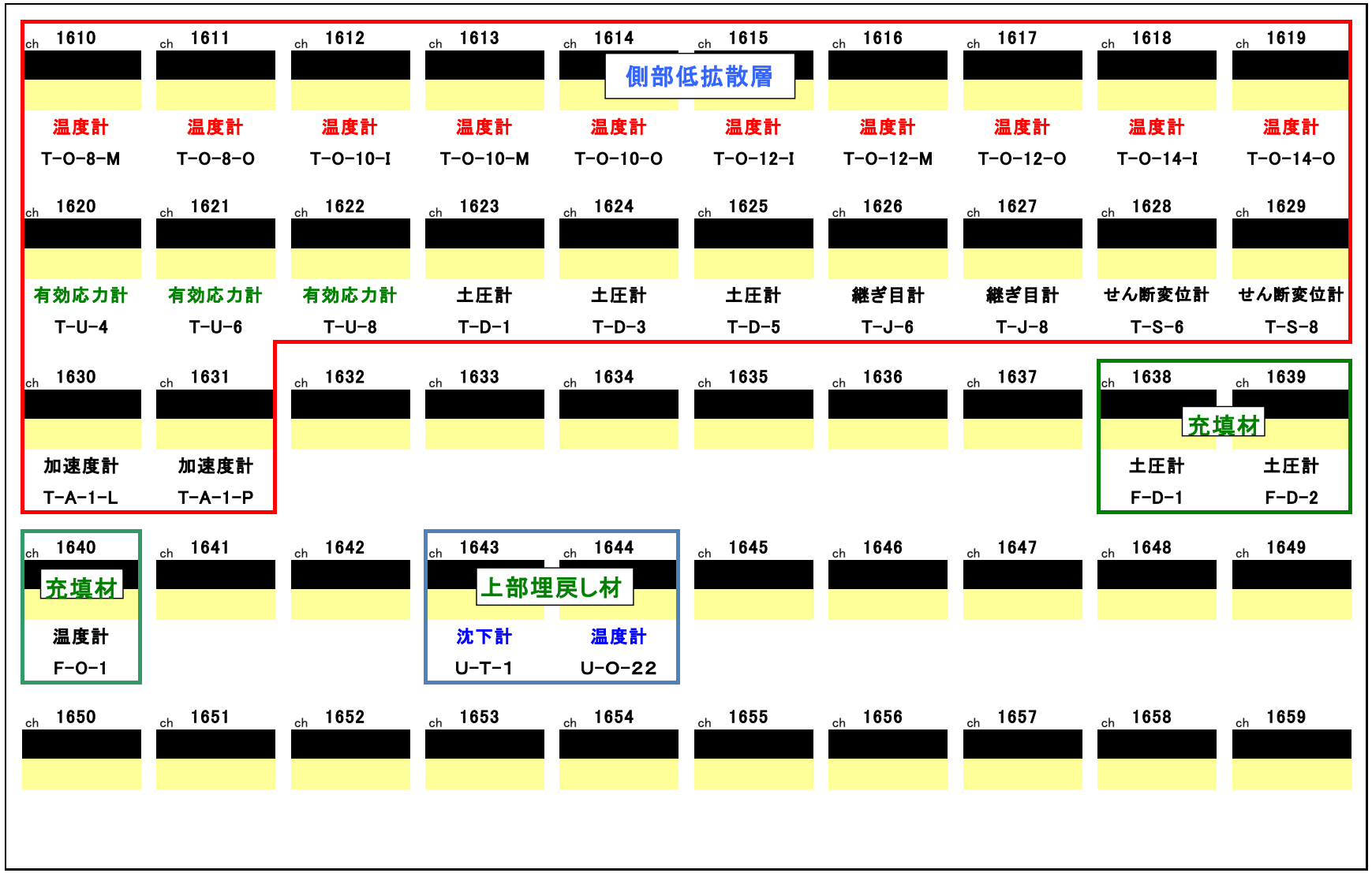


表 3.2-14　スイッチボックスアドレス表（KBS01A）

表 3.2-15　スイッチボックスアドレス表（KBS01B）

添付資料４　施設・周辺岩盤挙動計測データ集

添付資料4　施設・周辺岩盤挙動計測データ

4.1　計測システム

計測システムに関連する資料を、図 4.1-1～図 4.1-6 に示す。

図 4.1-1	計測システム位置
図 4.1-2	システムブロック図
図 4.1-3	計測ボックス配置図
図 4.1-4	計測ボックス詳細配置図
図 4.1-5	センサーケーブル整理図（L 側）
図 4.1-6	センサーケーブル整理図（R 側）

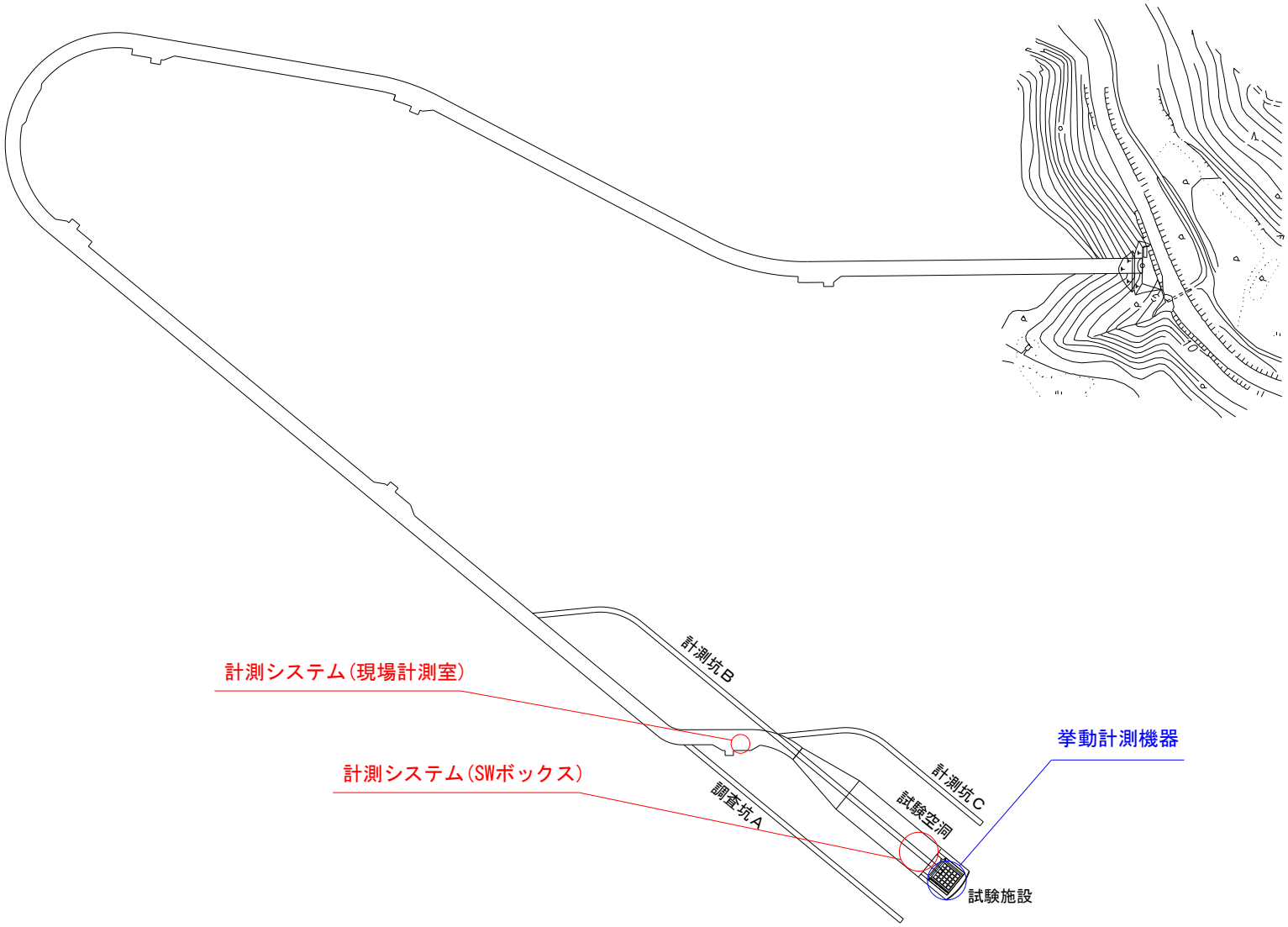


図 4.1-1　計測システム位置

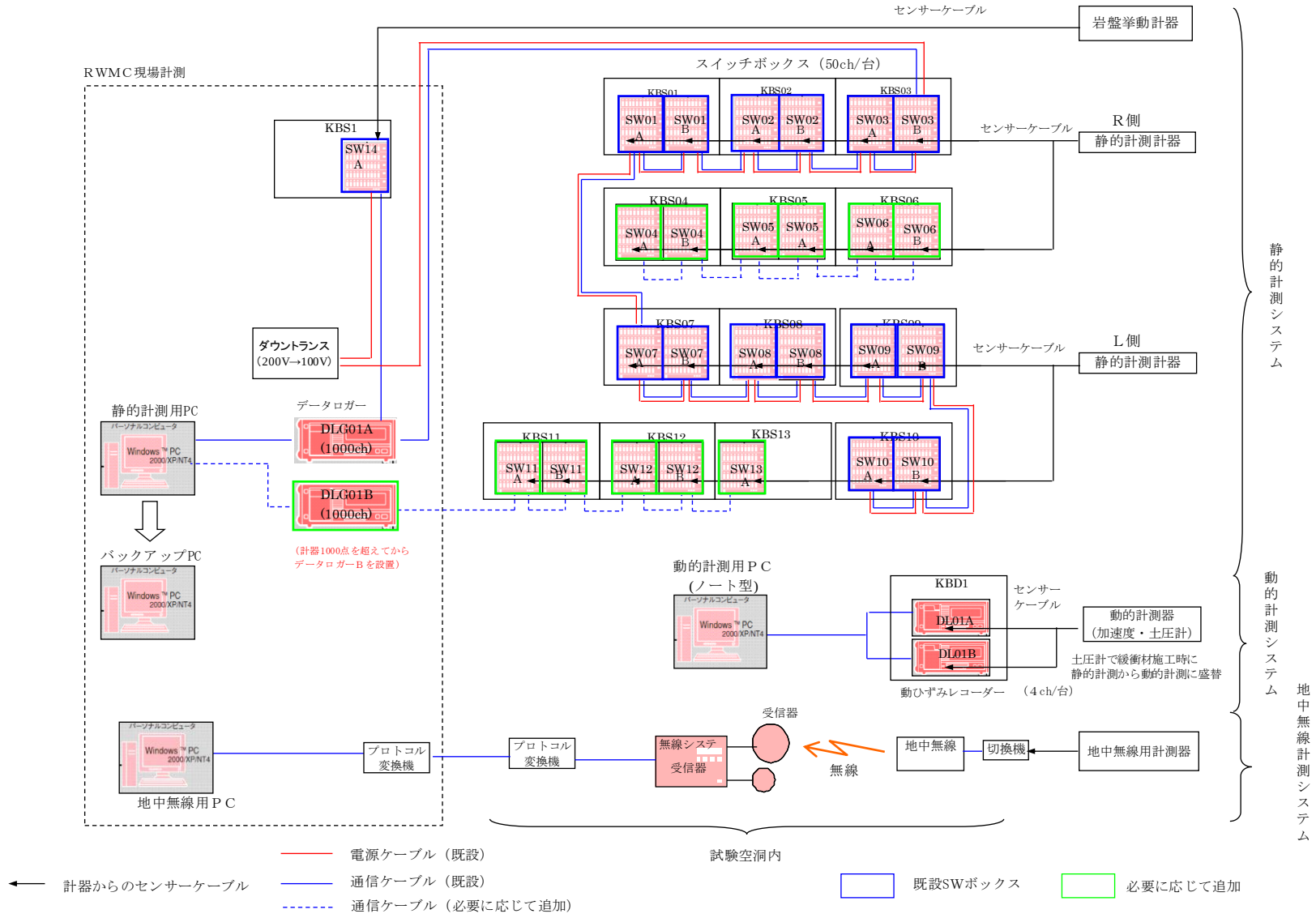


図 4.1-2　システムブロック図

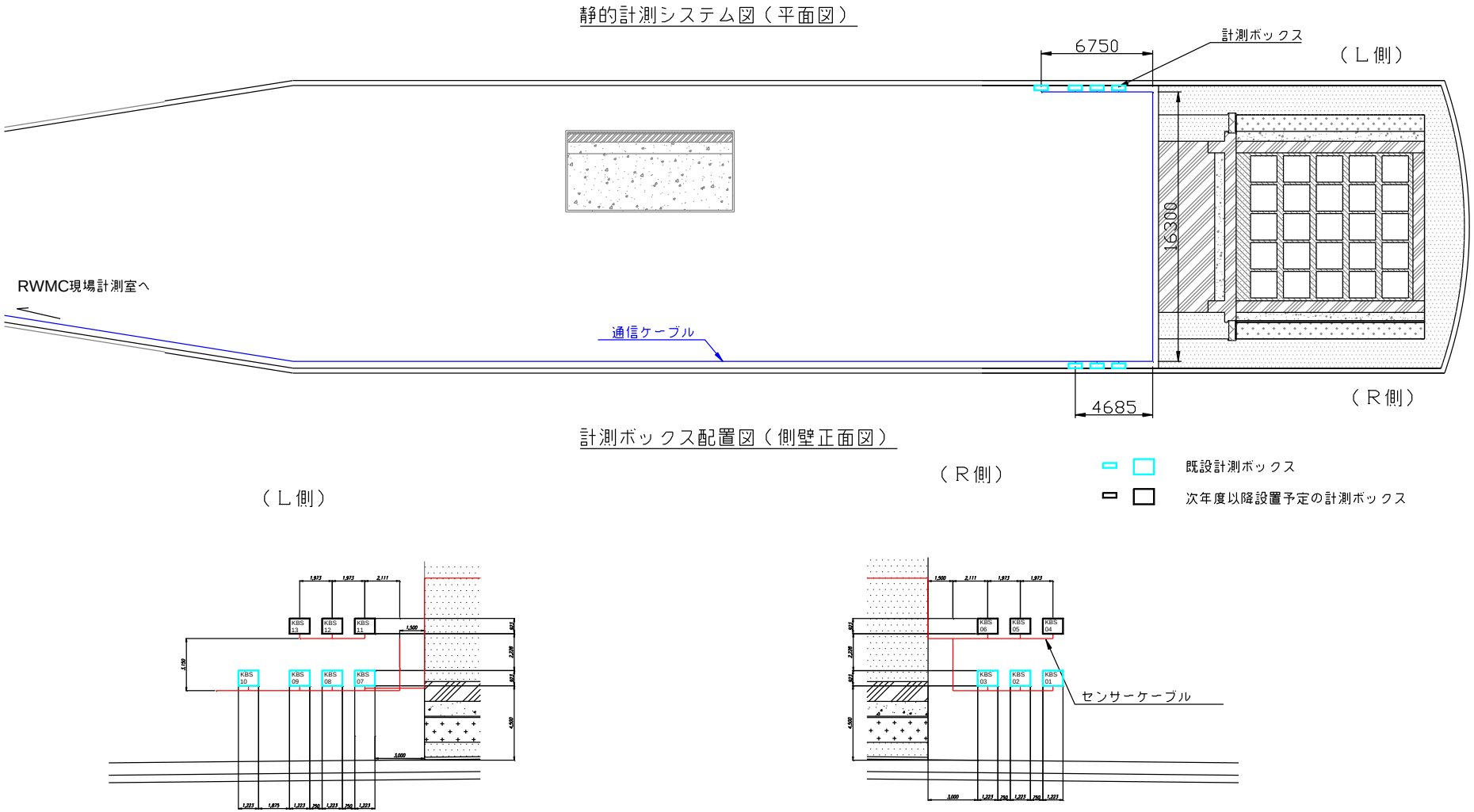
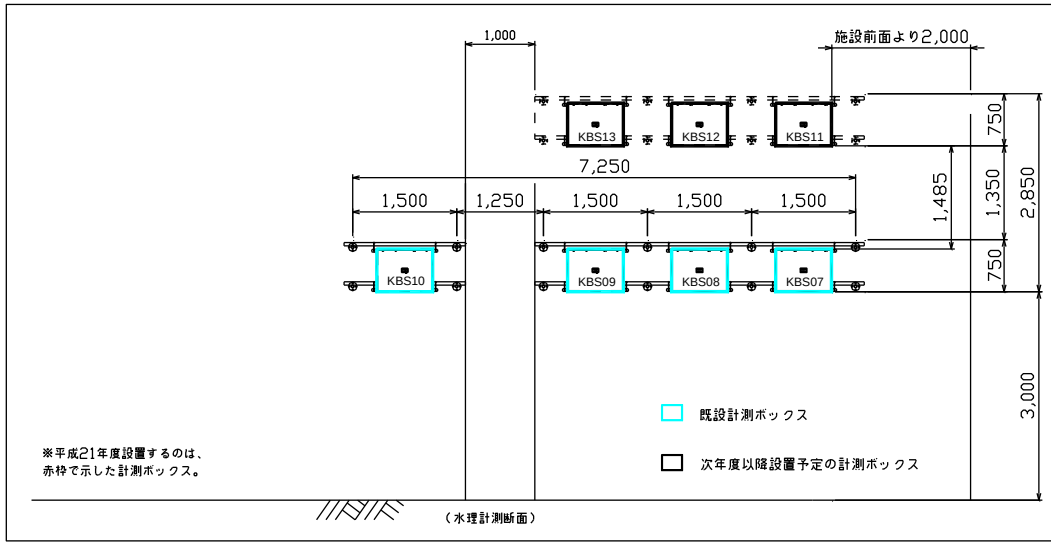
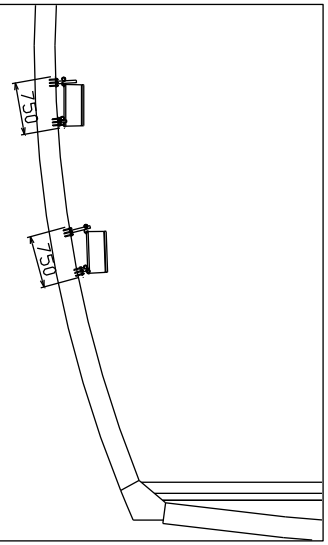


図 4.1-3　計測ボックス配置図

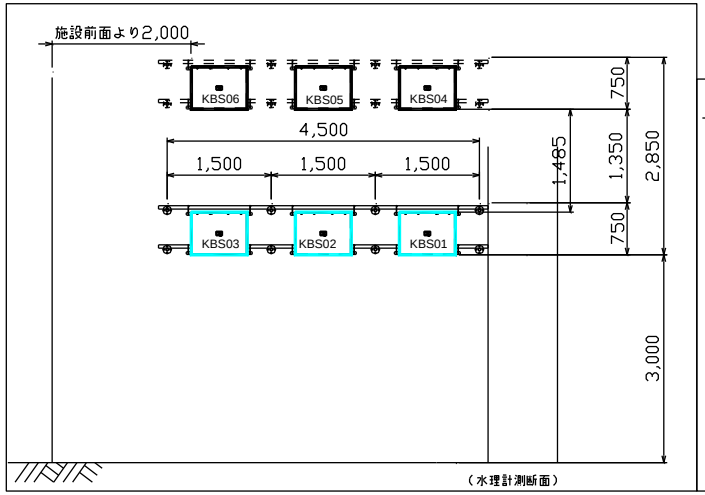
L側スイッチボックス設置正面図



スイッチボックス設置断面図



R側スイッチボックス設置正面図



スイッチボックス設置詳細図

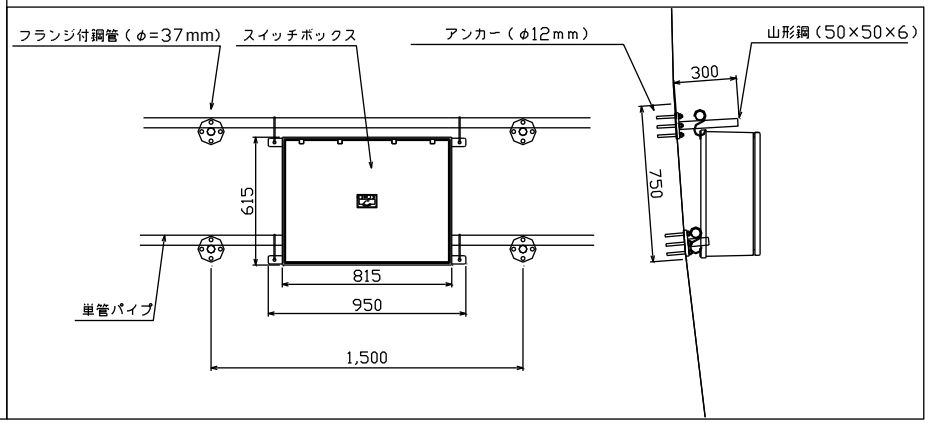


図 4.1-4　計測ボックス詳細配置図

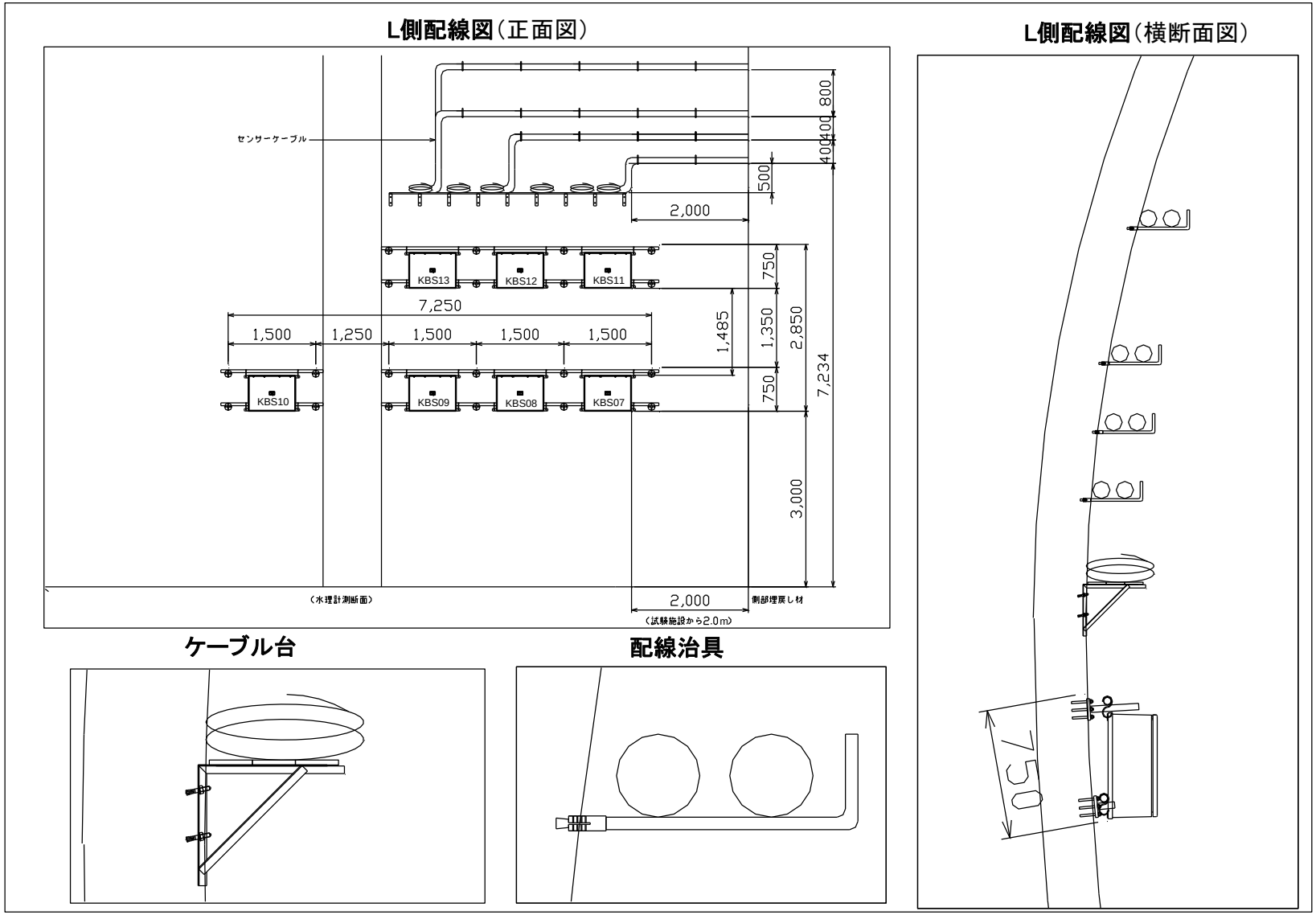


図 4.1-5　センサーケーブル整理図（L 側）

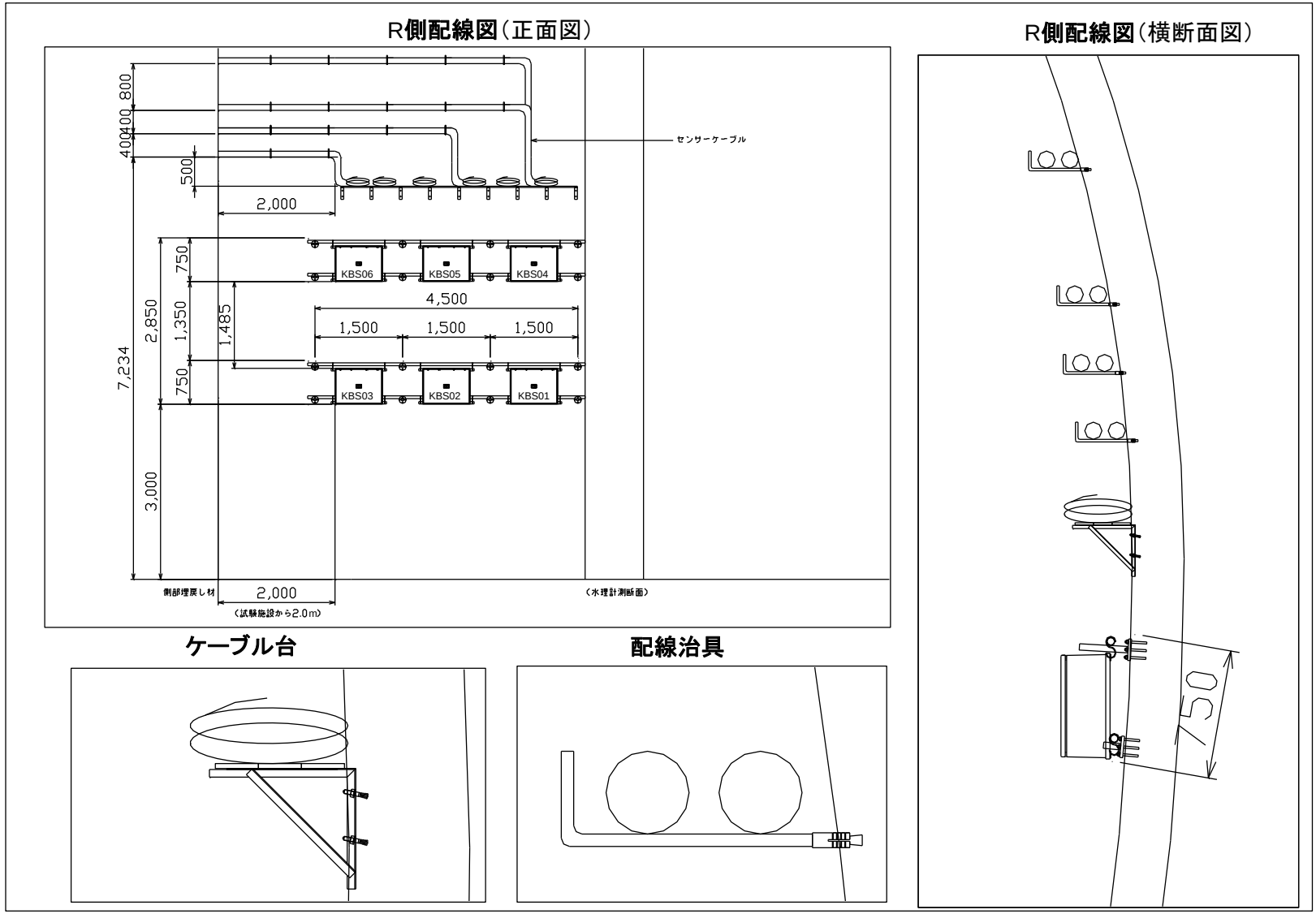
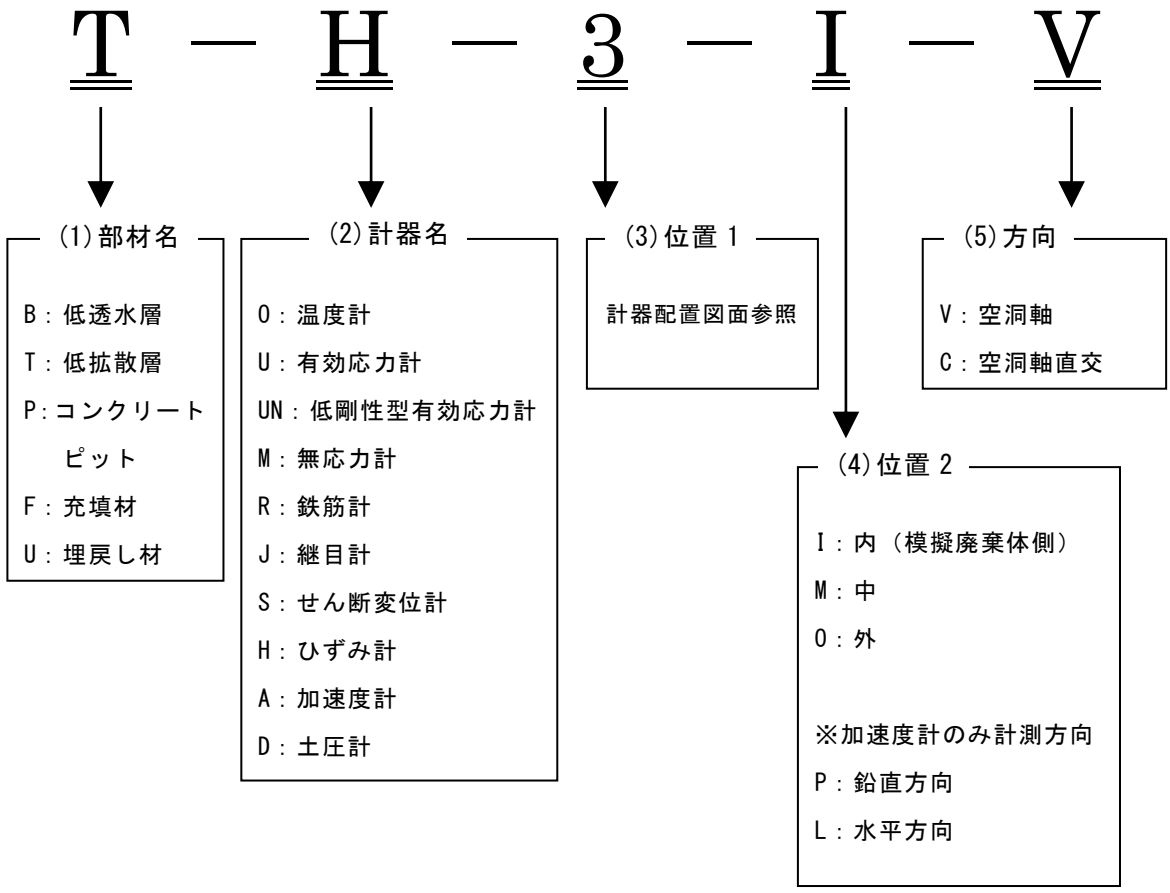


図 4.1-6　センサーケーブル整理図（R 側）

4.2 計測データ

なお、経時変化図における計器番号の設定は以下のとおりである。

[計器番号の設定]



4.2.1　坑内環境計測結果

坑内環境の計測一覧表を表 4.2-1 に示す。

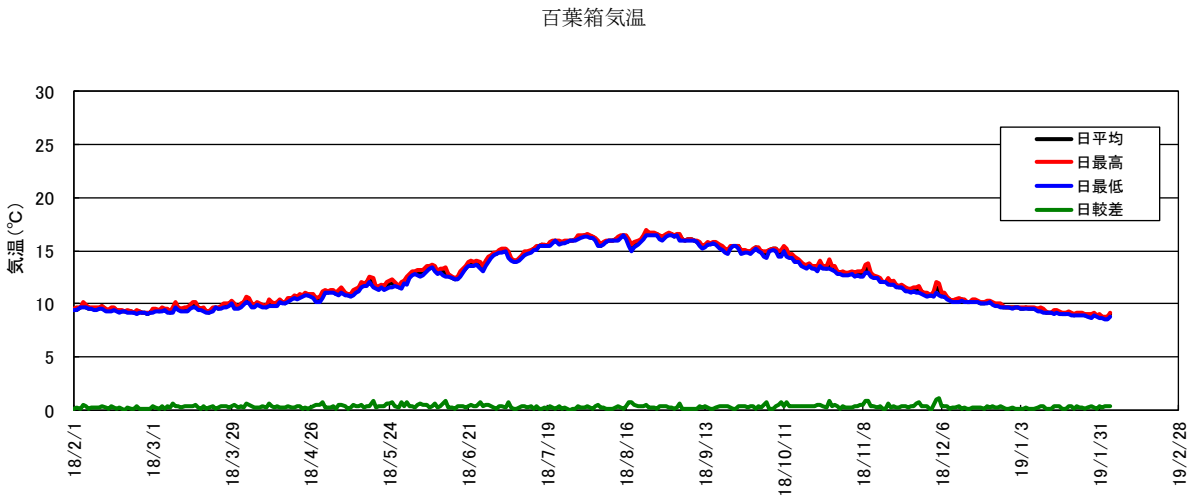
表 4.2-1　坑内環境計測一覧表

計測種別		設置位置	計器No.	測定開始日	備　考
百葉箱	温度	試験空洞内	A-①	2007/9/28	
	湿度				
分散型	温度		B-①	2007/8/23	2016年より大気圧計測を追加
	湿度				
	大気圧				
	温度	ｱｸｾｽ坑 坑口	B-⑤	2007/9/26	
	湿度				
	大気圧				

(1) 百葉箱温湿度計

空洞内に設置した百葉箱によって計測した気温及び湿度の経時変化（日平均、日最高、日最小、日較差）を図 4.2-1 に示す。

平面図



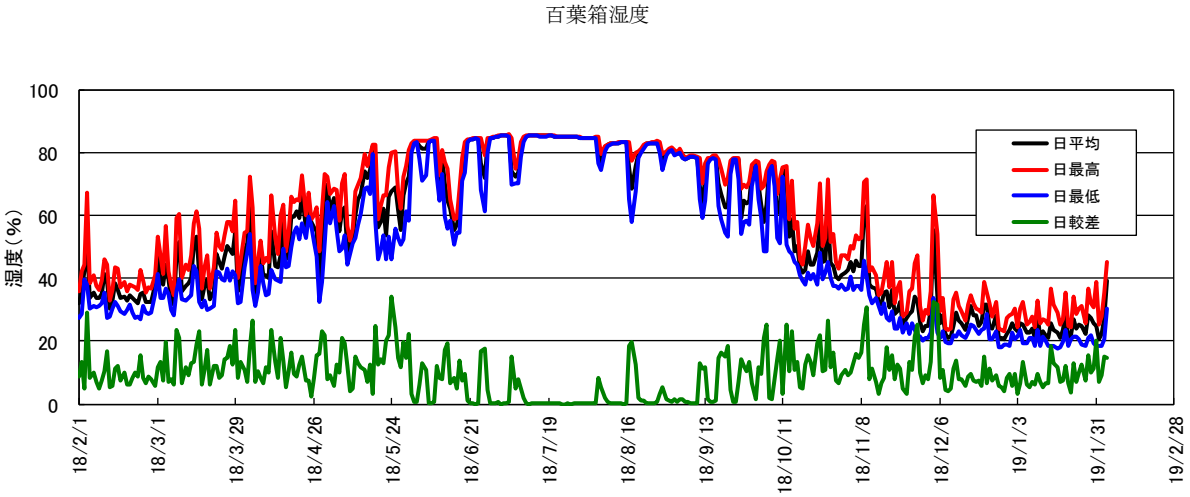
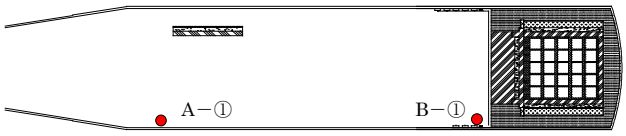


図 4.2-1　百葉箱温湿度計測結果

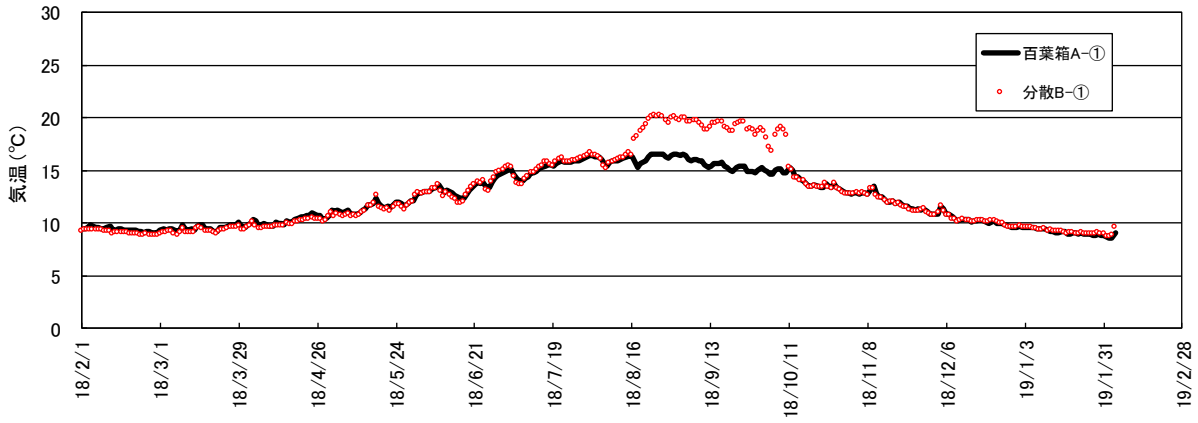
(2) 分散型計測器

空洞内に設置した分散型計測器及び百葉箱によって計測した気温、湿度の経時変化（日平均）を図 4.2-2 に示す。また、空洞内及び坑口に設置した分散型計測器によって計測した気温、湿度、大気圧の経時変化（日平均）を図 4.2-3 に示す。



平面図

百葉箱-分散型の日平均気温比較



百葉箱-分散型の日平均湿度比較

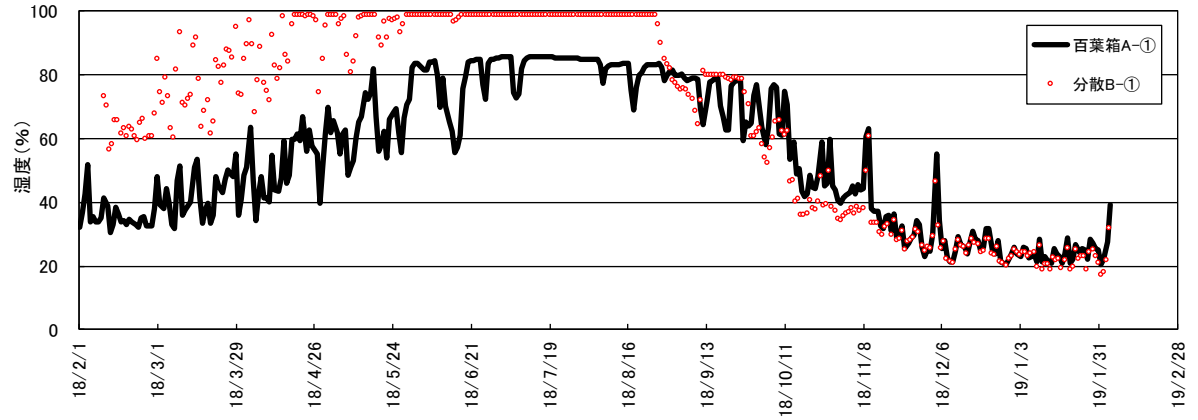
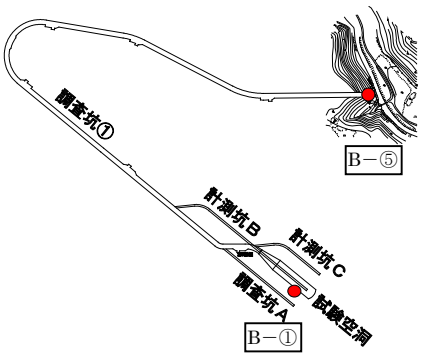
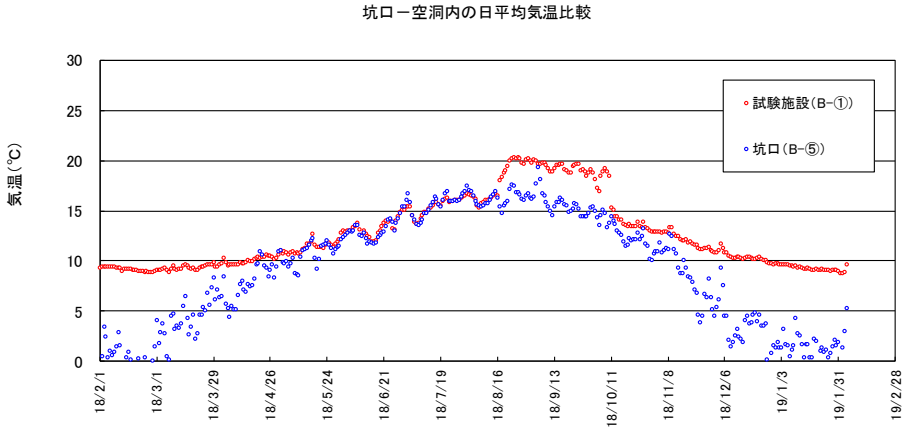
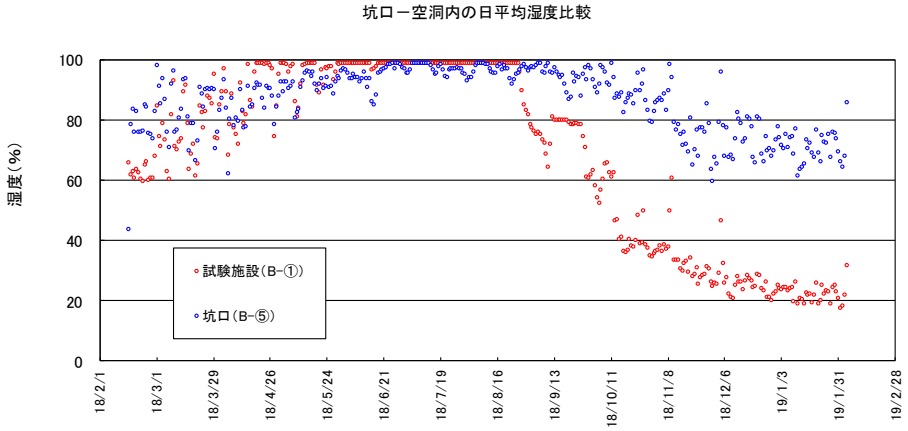


図 4.2-2　空洞内分散型及び百葉箱温湿度計測結果







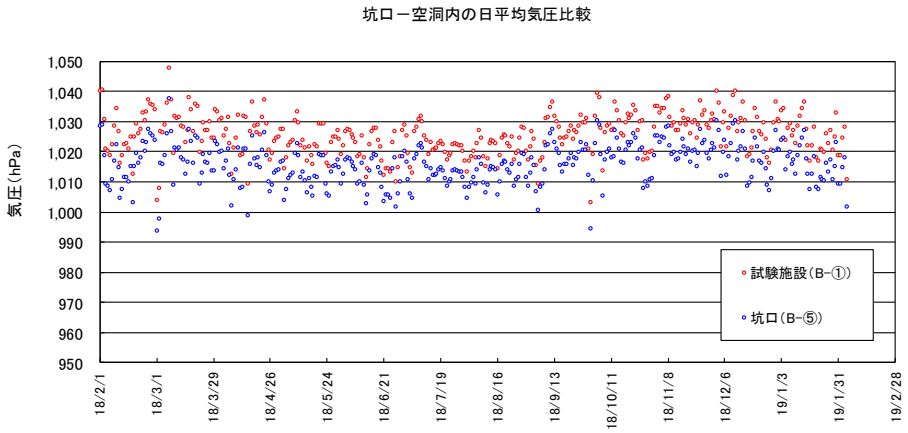


図 4.2-3　坑口－空洞内の分散型計器計測結果

4.2.2　上部埋戻し材埋設計器計測結果

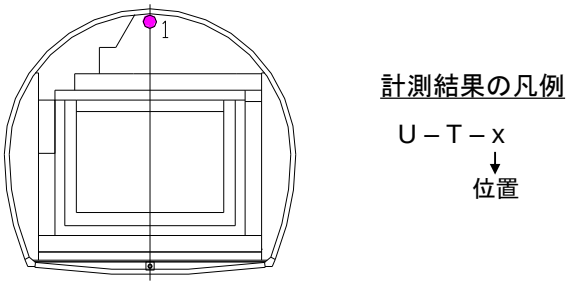
上部埋戻し材計測一覧表を、表 4.2-2 に示す。

表 4.2-2　上部埋戻し材計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置		計測方向	計測開始日
		平面	厚み方向		
沈下計	U-T-1	中央	上部埋戻し材上端	鉛直	2014/9/10
温度計	U-O-22			－	

(1) 沈下計

上部埋戻し材に設置した沈下計の経時変化を、図 4.2-4 に示す。



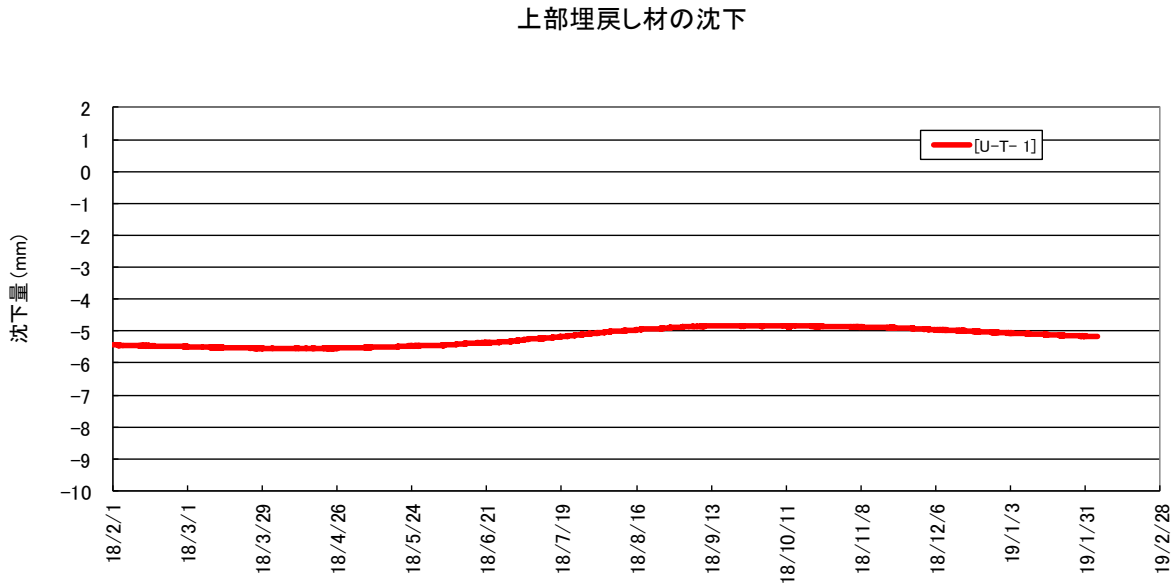
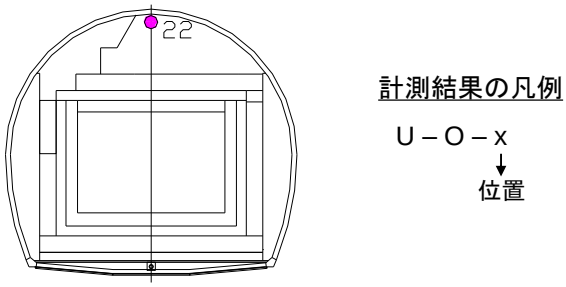


図 4.2-4　上部埋戻し材の沈下計測結果

(2) 温度計

上部埋戻し材に設置した温度計の経時変化を、図 4.2-5 に示す。



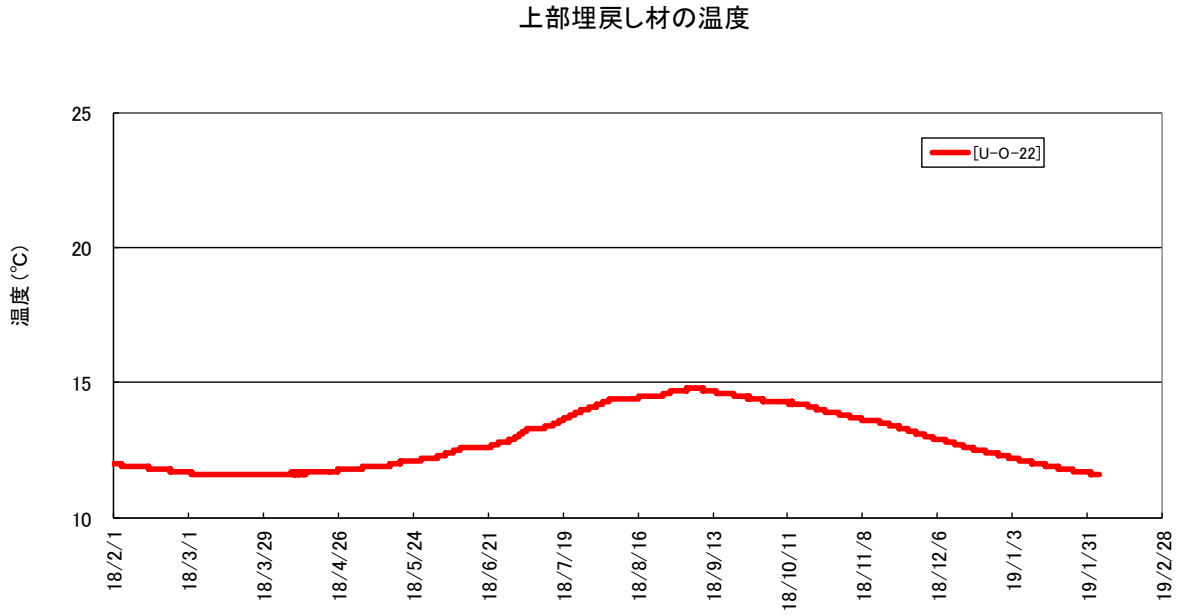


図 4.2-5　上部埋戻し材の温度計測結果

4.2.3　上部低透水層埋設計器計測結果

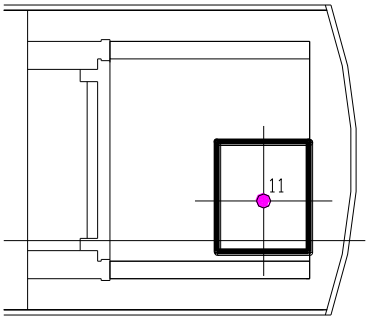
上部低透水層計測一覧表を、表 4.2-3 に示す。

表 4.2-3　上部低透水層計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置		計測方向	計測開始日
		平面	厚み方向		
土圧計	B-D-11	中央	上部低拡散層 上面	鉛直	2013/12/6 （上部低透水層施工前）

（1）土圧計

上部低透水層に設置した土圧計の経時変化を、図 4.2-6 に示す。



計測結果の凡例

B－D－x

↓

位置

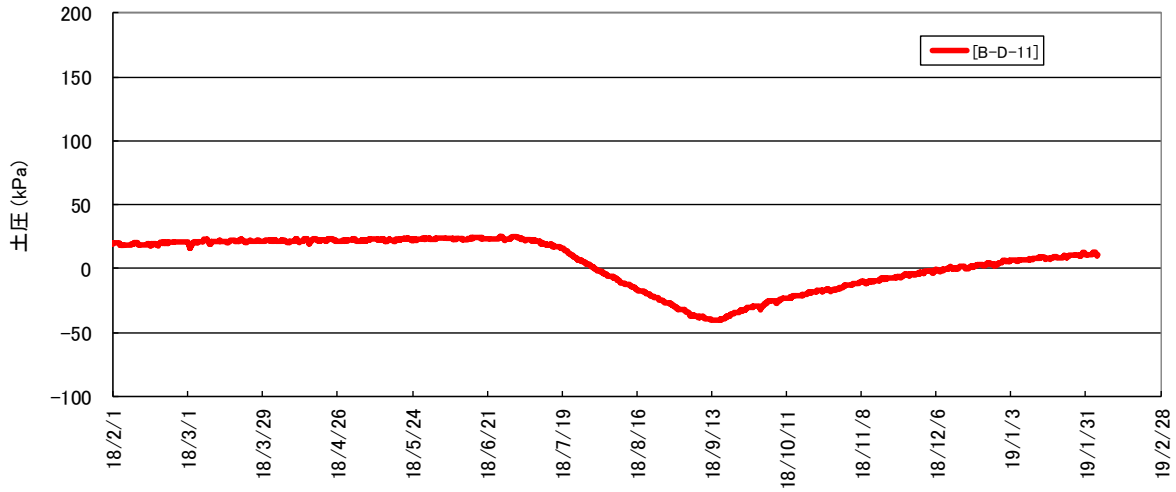


図 4.2-6　上部低透水層の土圧計測結果

4.2.4　上部コンクリートピット埋設計器計測結果

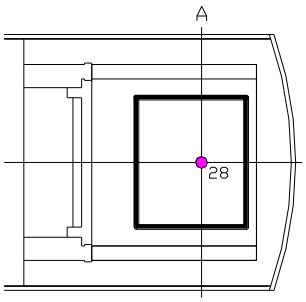
上部コンクリートピット計測一覧表を、表 4.2-4 に示す。

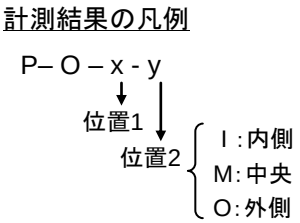
表 4.2-4　上部コンクリートピット計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置		計測方向	計測開始日
		断面	厚み		
ひずみ計	P-H-28-I-C	中央	内側	空洞軸直交	2012/11/21（上部コンクリートピット打設日）
	P-H-28-I-V			空洞軸	
	P-H-28-M-C		中央	空洞軸直交	
	P-H-28-M-V			空洞軸	
	P-H-28-O-C		外側	空洞軸直交	
	P-H-28-O-V			空洞軸	
無応力計	P-M- 6		中央	－	
温度計	P-O-28-I			－	
	P-O-28-M			－	
	P-O-28-O			－	
有効応力計	P-U-19-C			空洞軸直交	
	P-U-19-V			空洞軸	

(1) 温度計

上部コンクリートピットに設置した温度計の経時変化を、図 4.2-7 に示す。





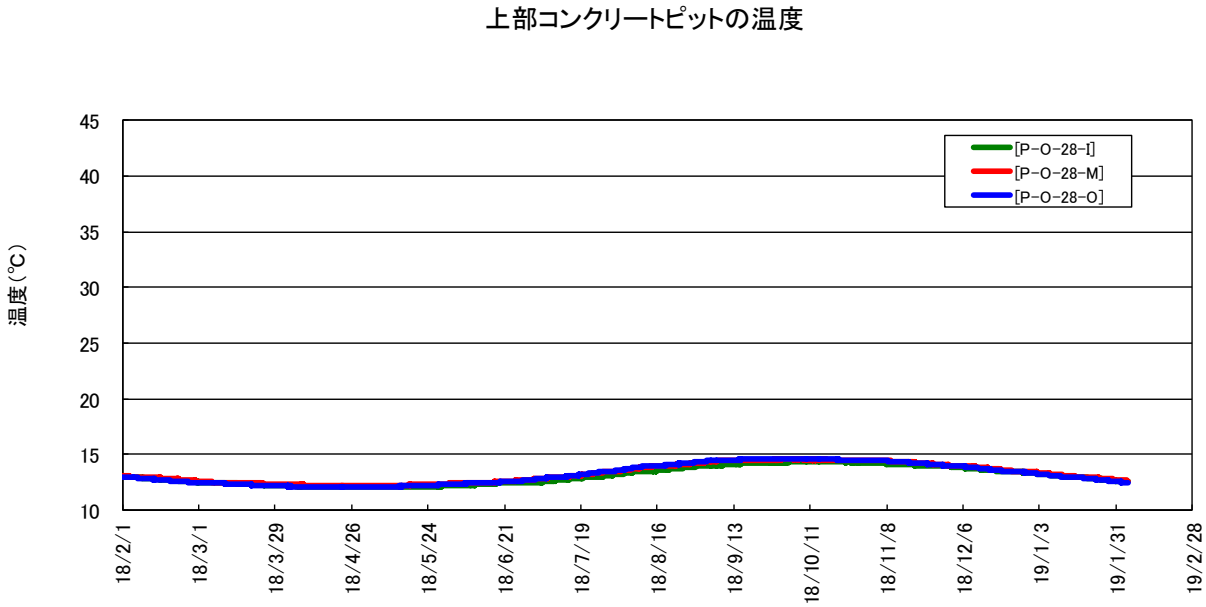


図 4.2-7　上部コンクリートピットの温度計測結果

(2) ひずみ計

上部コンクリートピットに設置したひずみ計の経時変化（実ひずみ）を、図 4.2-8 に示す。

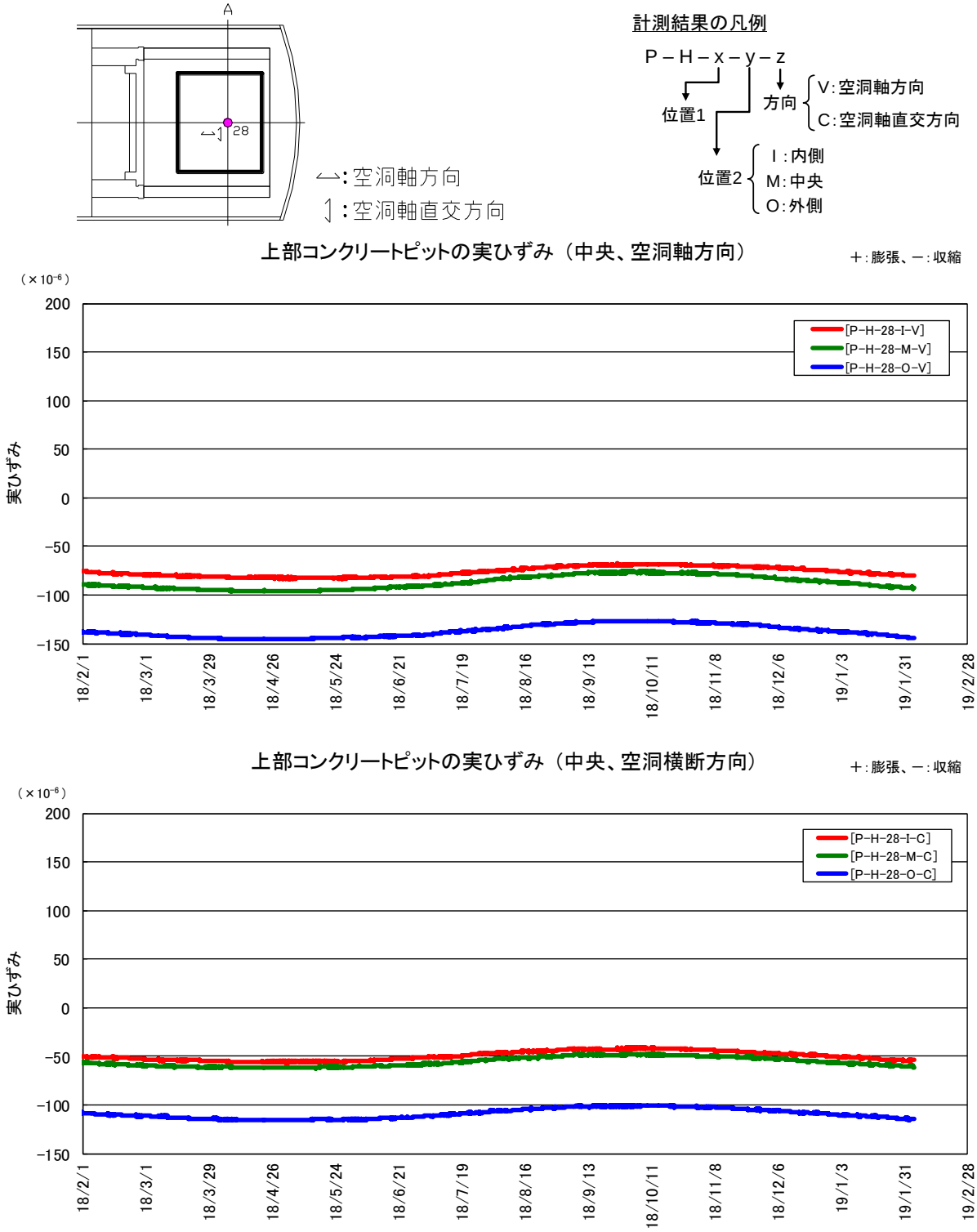
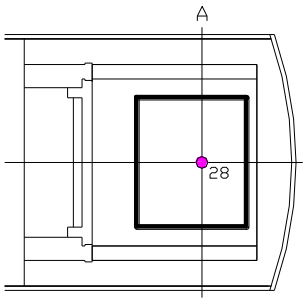


図 4.2-8　上部コンクリートピットの実ひずみ

(3) 無応力計

上部コンクリートピットに設置した無応力計の経時変化（自由ひずみ）を、図 4.2-9 に示す。



計測結果の凡例

P－M－x

↓

位置

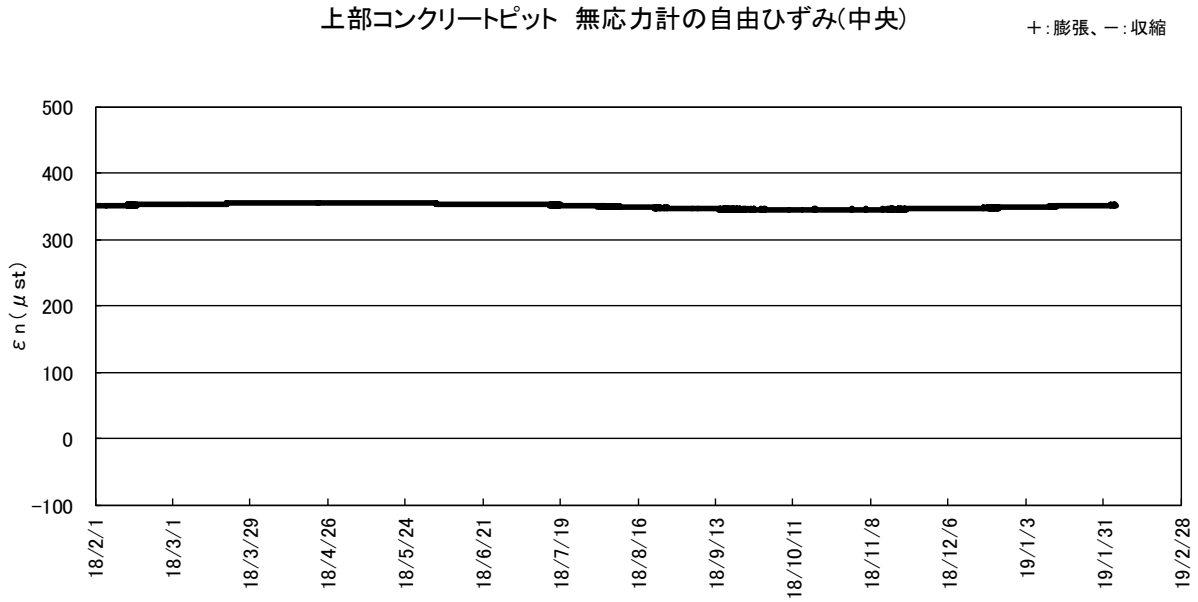


図 4.2-9　上部コンクリートピットの自由ひずみ

(4) 有効応力計

上部コンクリートピットに設置した有効応力計の経時変化を、図 4.2-10 に示す。

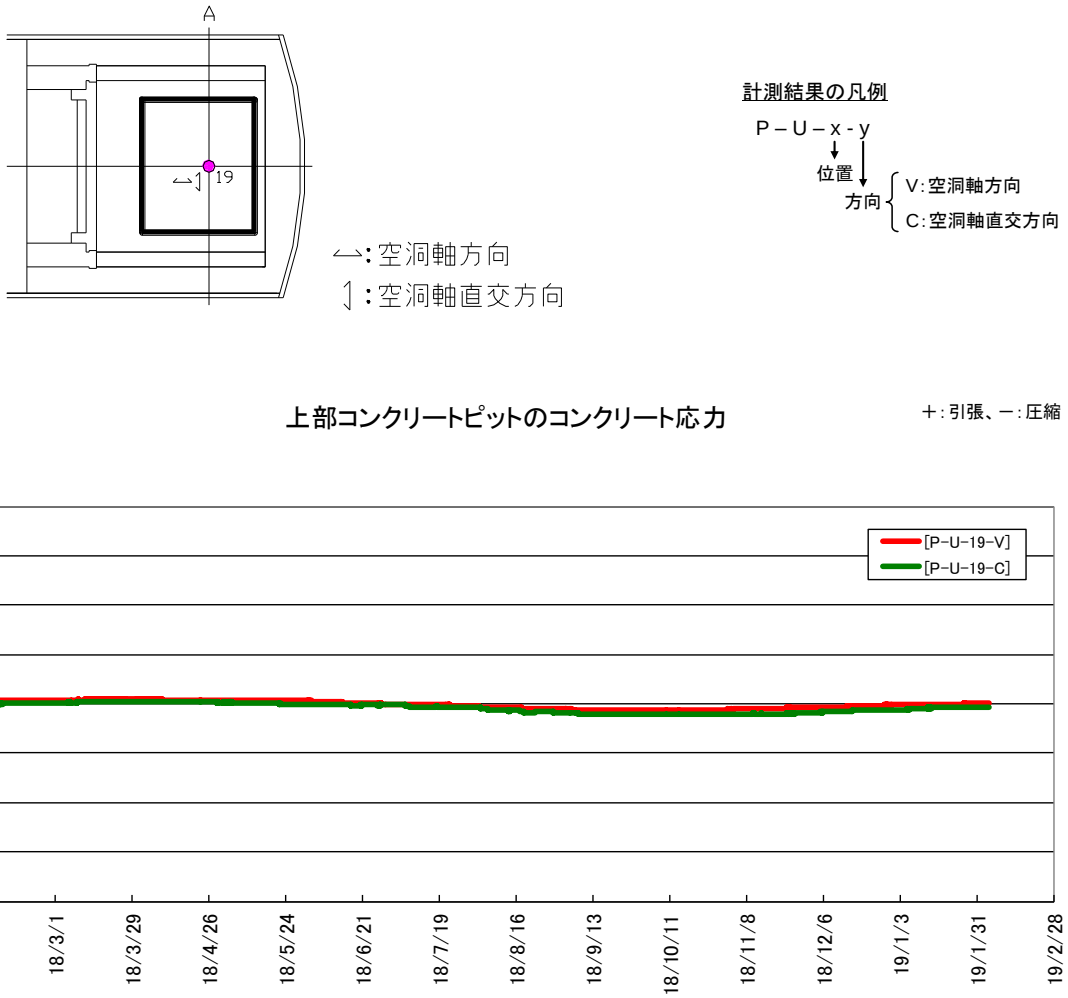


図 4.2-10　上部コンクリートピットのコンクリート応力計測結果

4.2.5　上部低拡散層埋設計器計測結果

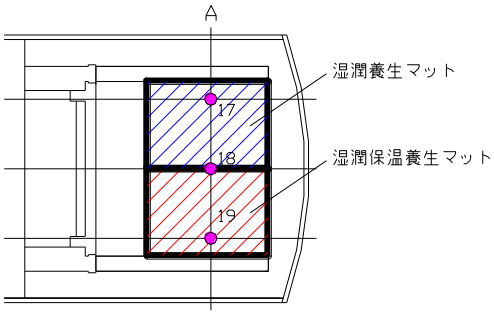
上部低拡散層計測一覧表を、表 4.2-5 に示す。

表 4.2-5　上部低拡散層計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置		計測方向	計測開始日
		断面	厚み		
ひずみ計	T-H-17-I-C	左側	内側	空洞軸直交	2012/12/3 （上部低拡散層打設日）
	T-H-17-I-V			空洞軸	
	T-H-17-M-C		中央	空洞軸直交	
	T-H-17-M-V			空洞軸	
	T-H-17-O-C		外側	空洞軸直交	
	T-H-17-O-V			空洞軸	
	T-H-18-I-C	中央	内側	空洞軸直交	
	T-H-18-I-V			空洞軸	
	T-H-18-M-C		中央	空洞軸直交	
	T-H-18-M-V			空洞軸	
	T-H-18-O-C		外側	空洞軸直交	
	T-H-18-O-V			空洞軸	
	T-H-19-I-C	右側	内側	空洞軸直交	
	T-H-19-I-V			空洞軸	
	T-H-19-M-C		中央	空洞軸直交	
	T-H-19-M-V			空洞軸	
	T-H-19-O-C		外側	空洞軸直交	
	T-H-19-O-V			空洞軸	
無応力計	T-M- 4	中央	中央	－	
温度計	T-O-17-I	左側	内側	－	
	T-O-17-M		中央	－	
	T-O-17-O		外側	－	
	T-O-18-I	中央	内側	－	
	T-O-18-M		中央	－	
	T-O-18-O		外側	－	
	T-O-19-I	右側	内側	－	
	T-O-19-M		中央	－	
	T-O-19-O		外側	－	
有効応力計	T-U-10-C	左側	中央	空洞軸直交	
	T-U-10-V			空洞軸	
	T-U-11-C	中央		空洞軸直交	
	T-U-11-V			空洞軸	
	T-U-12-C	左側		空洞軸直交	
	T-U-12-V			空洞軸	

(1) 温度計

上部低拡散層に設置した温度計の経時変化を、図 4.2-11～図 4.2-12 に示す。



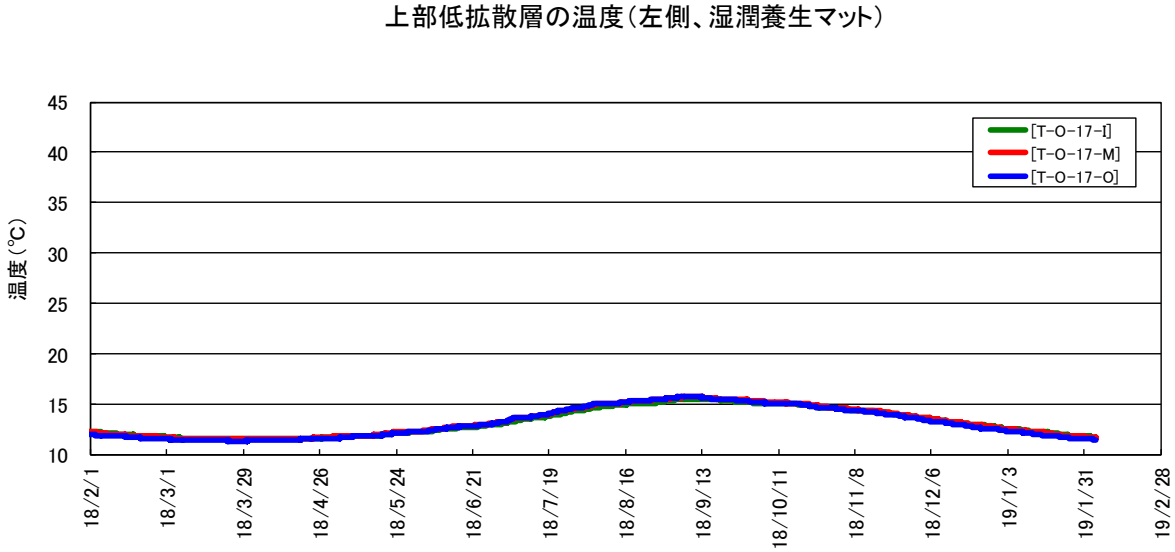
計測結果の凡例

T－O－x - y

位置1

位置2

I：内側
M：中央
O：外側



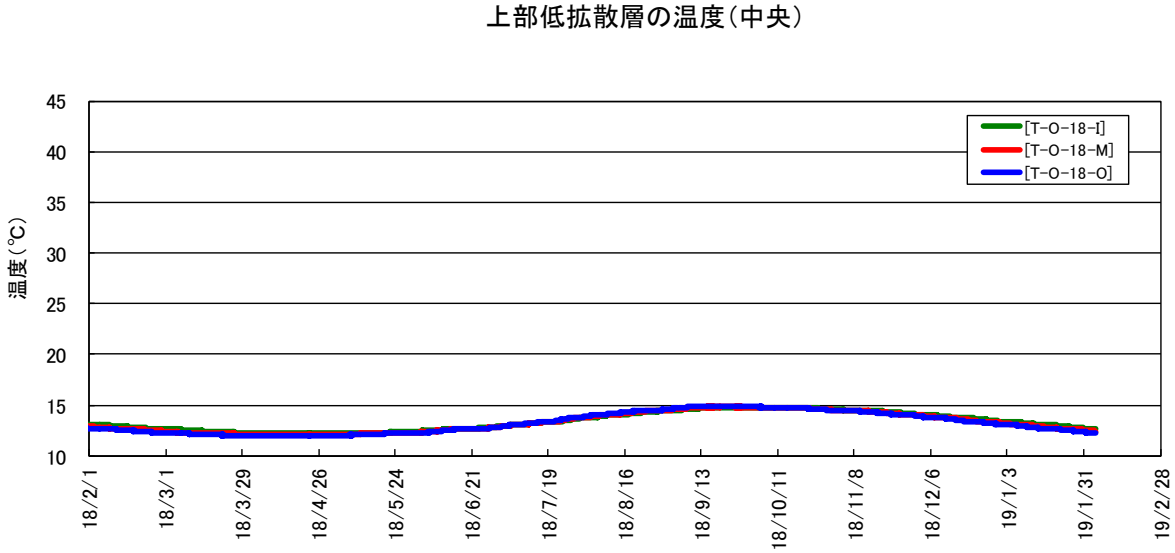
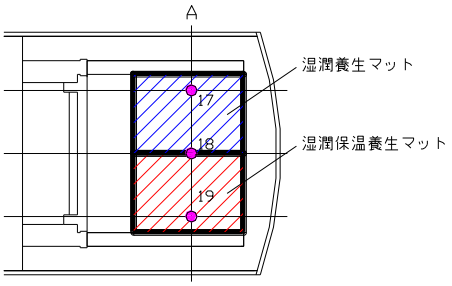


図 4.2-11　上部低拡散層の温度計測結果（1／2）



計測結果の凡例

T－O－x - y

位置1

位置2

I：内側
M：中央
O：外側

上部低拡散層の温度（右側、湿潤保温養生マット）

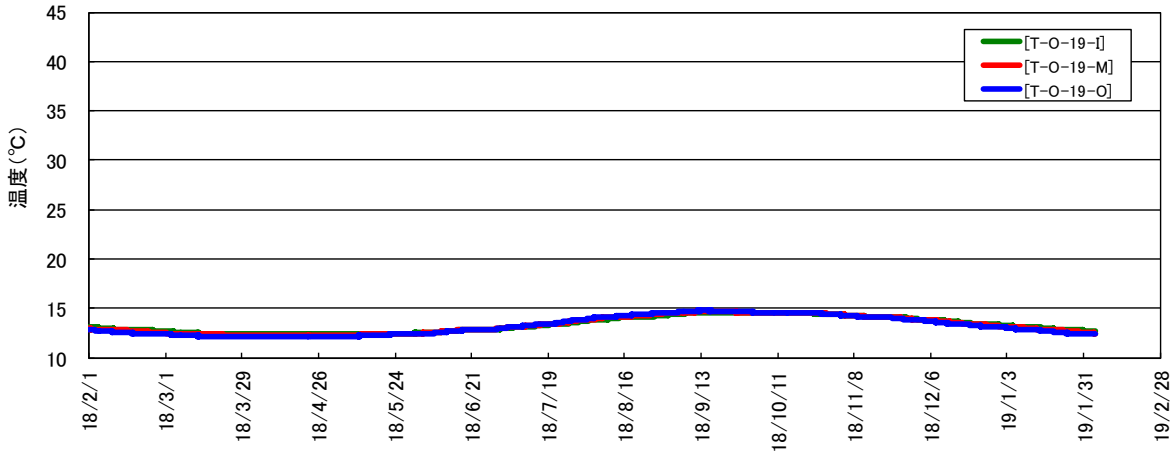
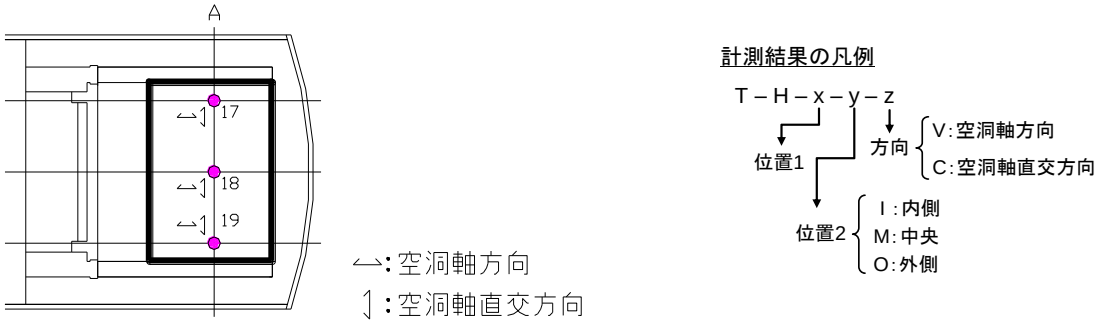
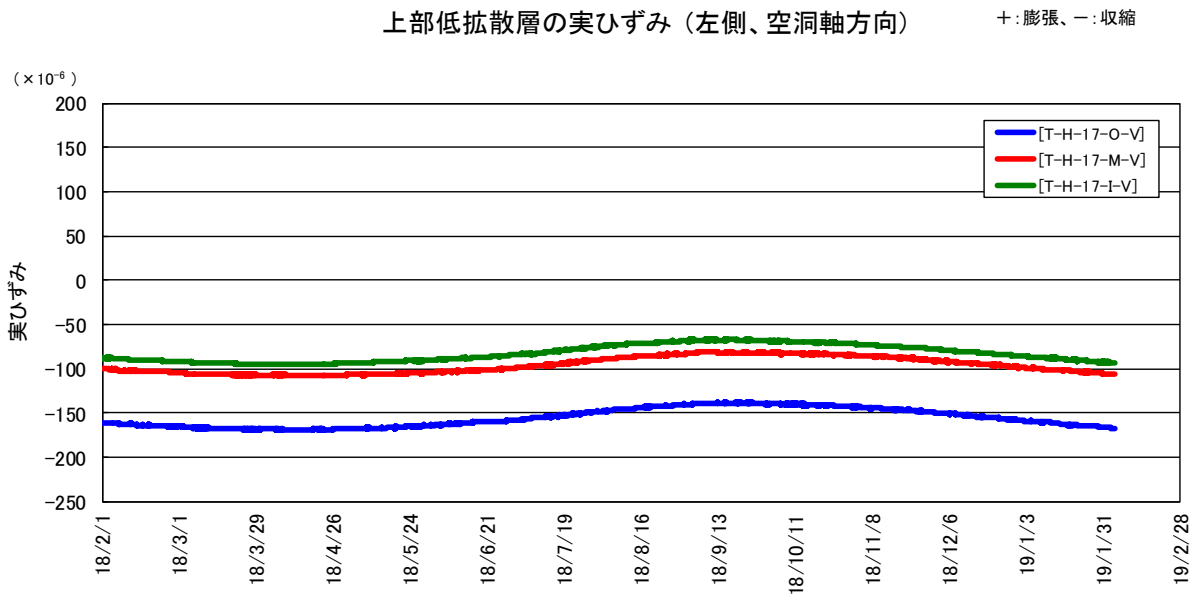


図 4.2-12　上部低拡散層の温度計測結果（2／2）

(2) ひずみ計

上部低拡散層に設置したひずみ計の経時変化（実ひずみ）を、図 4.2-13～図 4.2-15 に示す。





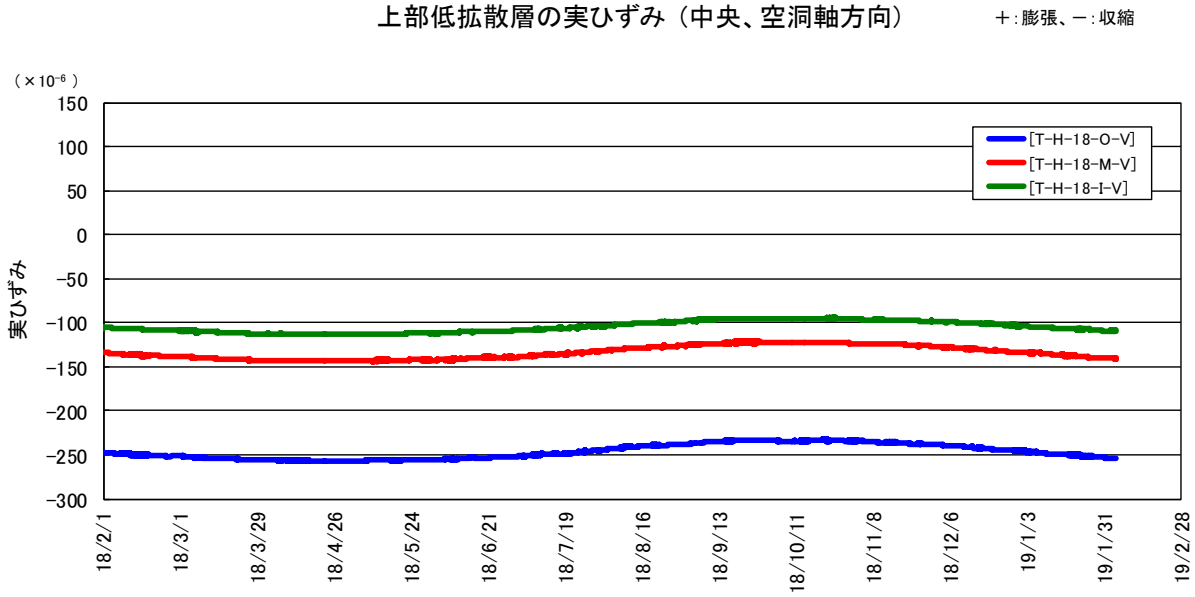


図 4.2-13　上部低拡散層の実ひずみ（1／3）

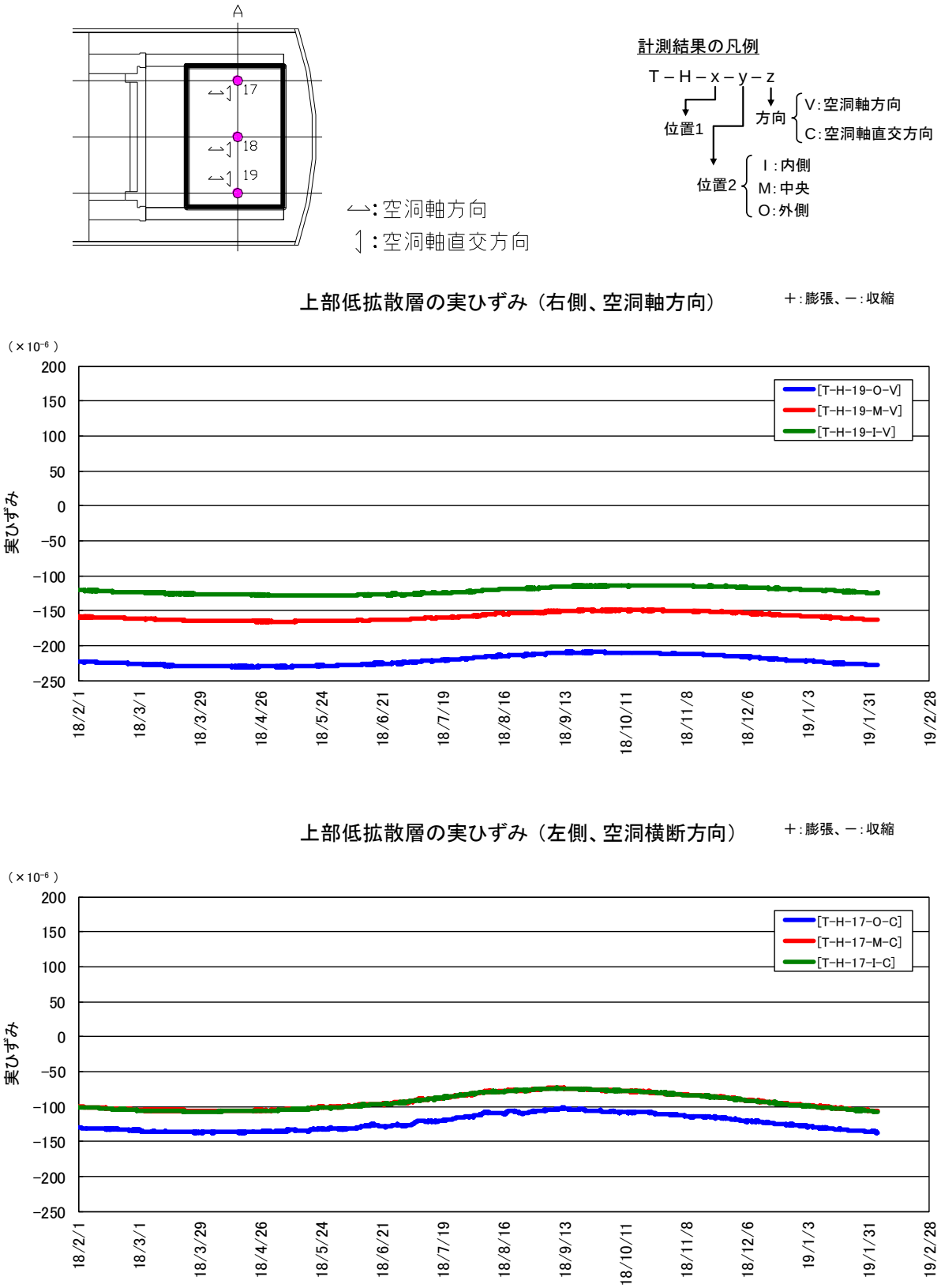
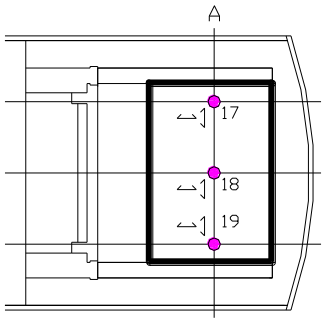


図 4.2-14　上部低拡散層の実ひずみ（2／3）



⟷：空洞軸方向

⤵：空洞軸直交方向

計測結果の凡例

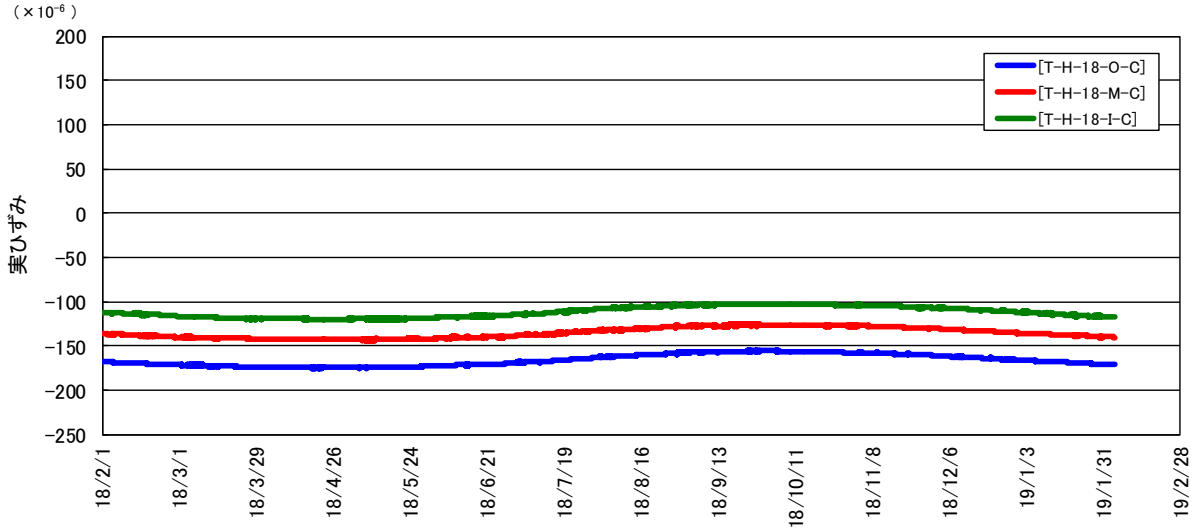
T－H－x－y－z

位置1

方向 { V：空洞軸方向 / C：空洞軸直交方向

位置2 { I：内側 / M：中央 / O：外側

上部低拡散層の実ひずみ（中央、空洞横断方向）　＋：膨張、－：収縮



上部低拡散層の実ひずみ（右側、空洞横断方向）　＋：膨張、－：収縮

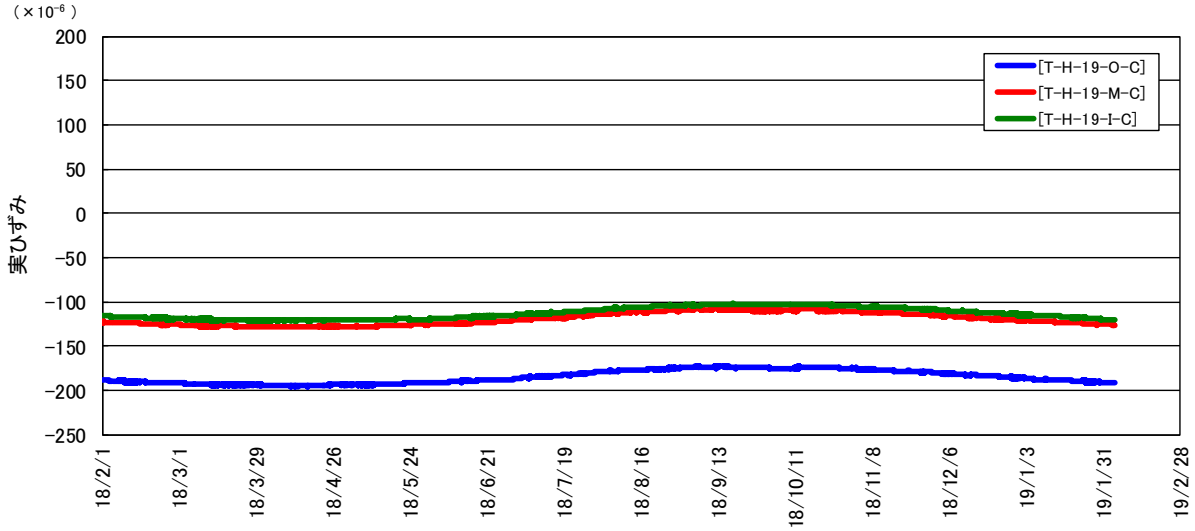
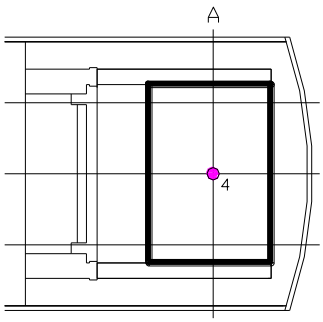


図 4.2-15　上部低拡散層の実ひずみ（3／3）

(3) 無応力計

上部低拡散層に設置した無応力計の経時変化（自由ひずみ）を、図 4.2-16 に示す。



計測結果の凡例

T－M－x

↓

位置

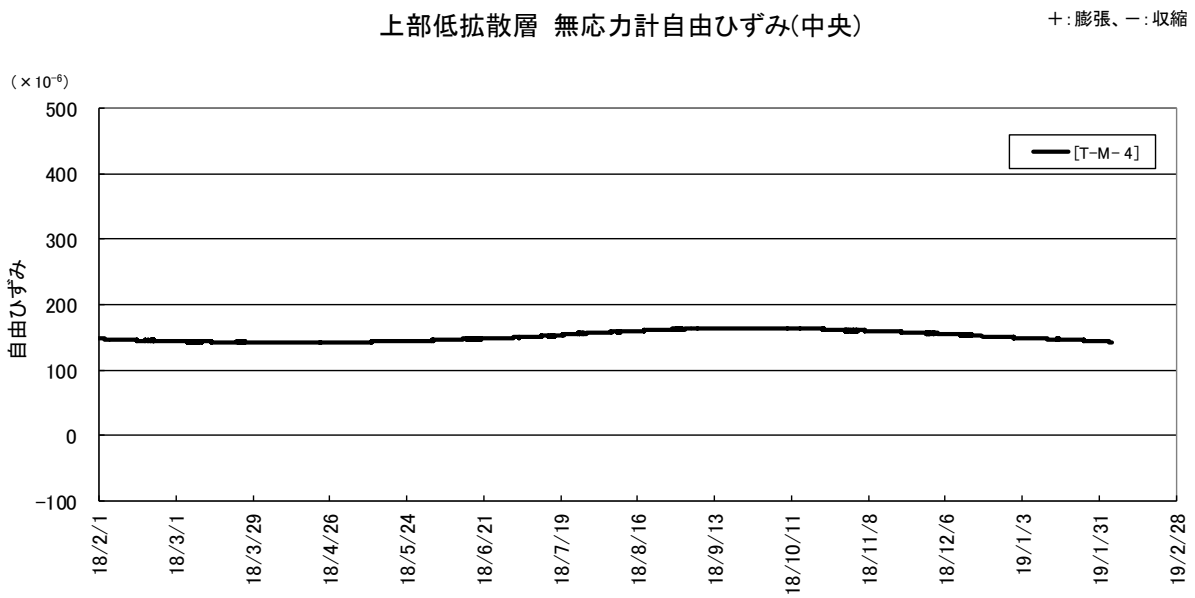
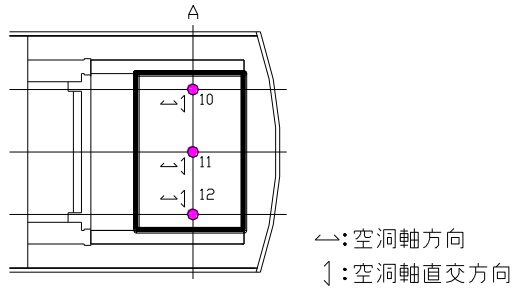


図 4.2-16　上部低拡散層の自由ひずみ

(4) 有効応力計

上部低拡散層に設置した有効応力計の経時変化を、図 4.2-17 に示す。



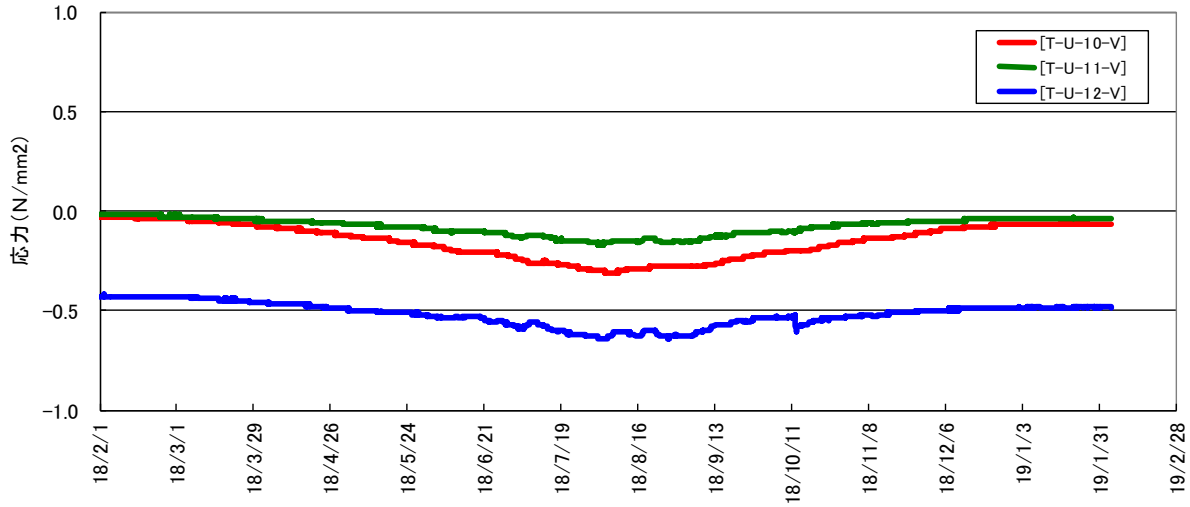
計測結果の凡例

T－U－x - y

位置

方向 { V:空洞軸方向 / C:空洞軸直交方向

上部低拡散層のモルタル応力(空洞軸方向)　　＋:引張、－:圧縮



上部低拡散層のモルタル応力(空洞横断方向)　　＋:引張、－:圧縮

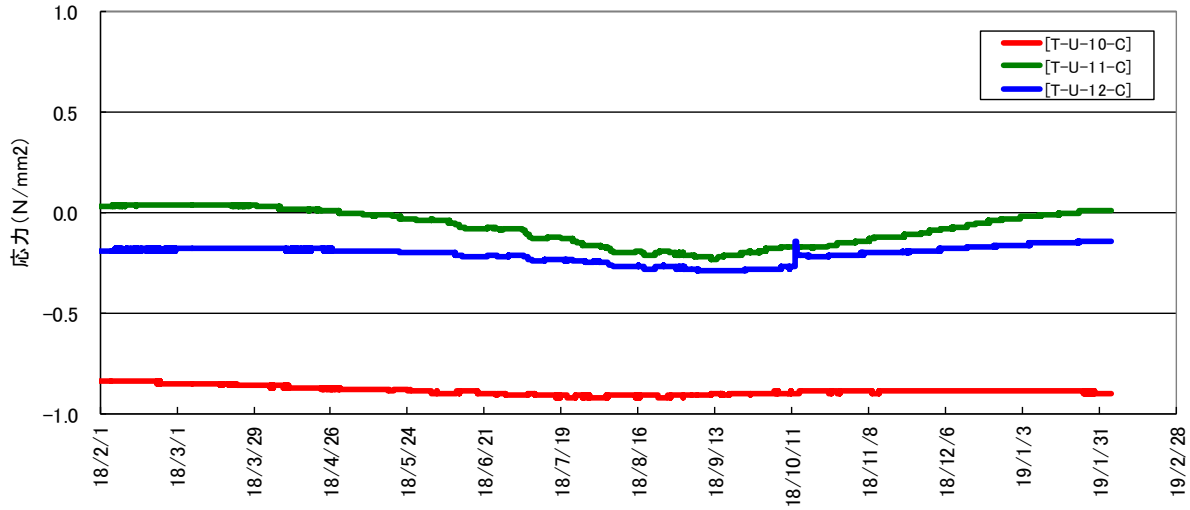


図 4.2-17　上部低拡散層のモルタル応力計測結果

4.2.6　手前部コンクリートピット埋設計器計測結果

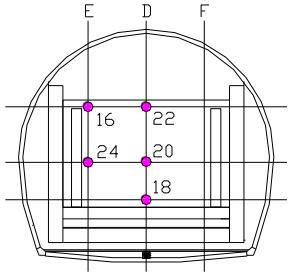
手前部コンクリートピット計測一覧表を、表 4.2-6 に示す。

表 4.2-6　手前部コンクリートピット計測一覧表

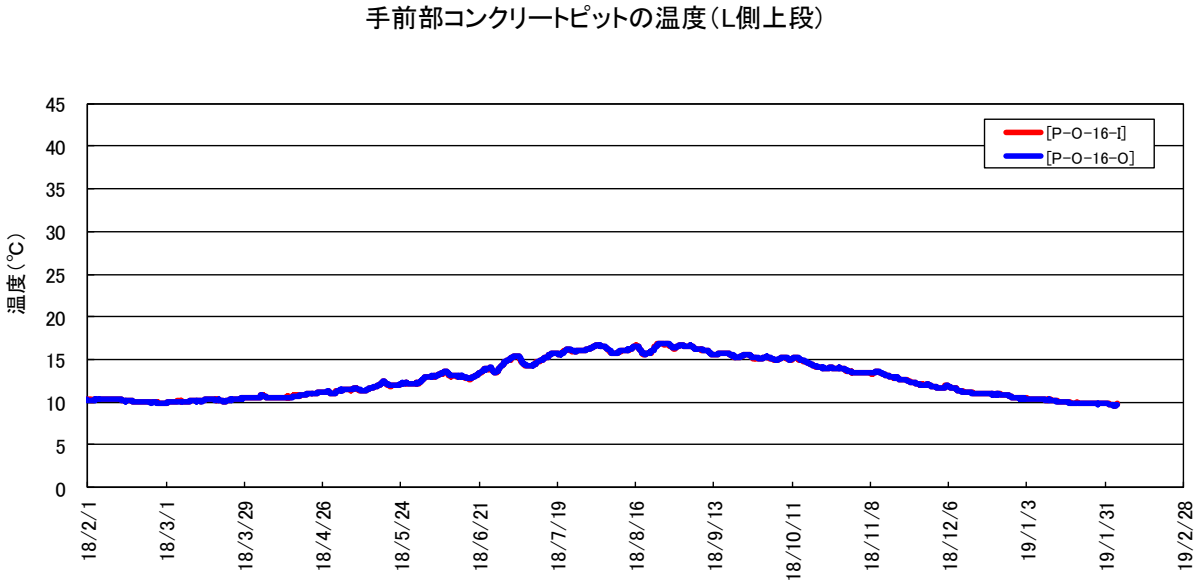
計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日
		断面	高さ	厚み		
ひずみ計	P-H-16-I	E	上段	内側	空洞横断	2009/8/6（手前部コンクリートピット打設日）
	P-H-18-I	D	下段		鉛直	
	P-H-20-I		中段			
	P-H-22-I		上段		空洞横断	
	P-H-24-I	E	中段			
	P-H-16-0	E	上段	外側	空洞横断	
	P-H-18-0	D	下段		鉛直	
	P-H-20-0		中段			
	P-H-22-0		上段		空洞横断	
	P-H-24-0	E	中段			
無応力計	P-M- 4	D	中段	中央	-	
温度計	P-0-16-I	E	上段	内側	-	
	P-0-18-I	D	下段			
	P-0-20-I		中段			
	P-0-22-I		上段			
	P-0-24-I	E	中段			
	P-0-20-M	D	中段	中央		
	P-0-16-0	E	上段	外側		
	P-0-18-0	D	下段			
	P-0-20-0		中段			
	P-0-22-0		上段			
	P-0-24-0	E	中段			
鉄筋計	P-R-16-I	E	上段	内側	空洞横断	
	P-R-18-I	D	下段		鉛直	
	P-R-20-I		中段			
	P-R-22-I		上段		空洞横断	
	P-R-24-I	E	中段			
	P-R-16-0	E	上段	外側	空洞横断	
	P-R-18-0	D	下段		鉛直	
	P-R-20-0		中段			
	P-R-22-0		上段		空洞横断	
	P-R-24-0	E	中段			

(1) 温度計

手前部コンクリートピットに設置した温度計の経時変化を、図 4.2-18～図 4.2-20 に示す。



計測結果の凡例
P-O-x-y
位置1 位置2
I:模擬廃棄体側
M:中央
O:坑口側



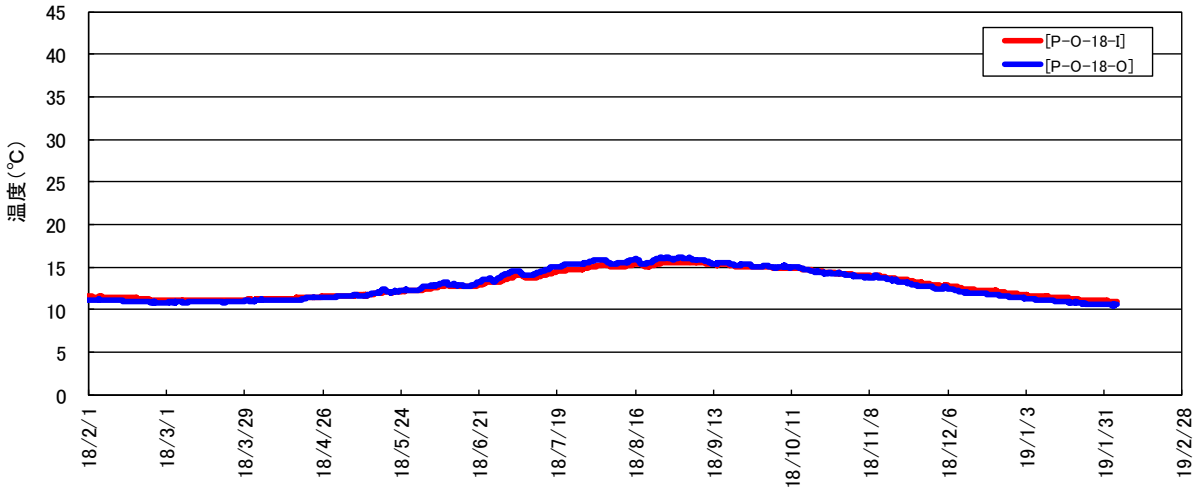
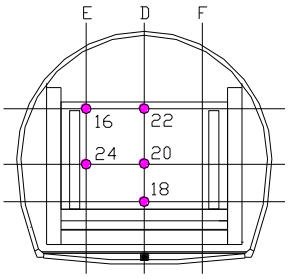


図 4.2-18 手前部コンクリートピットの温度計測結果 (1／3)



計測結果の凡例

P-O-x-y

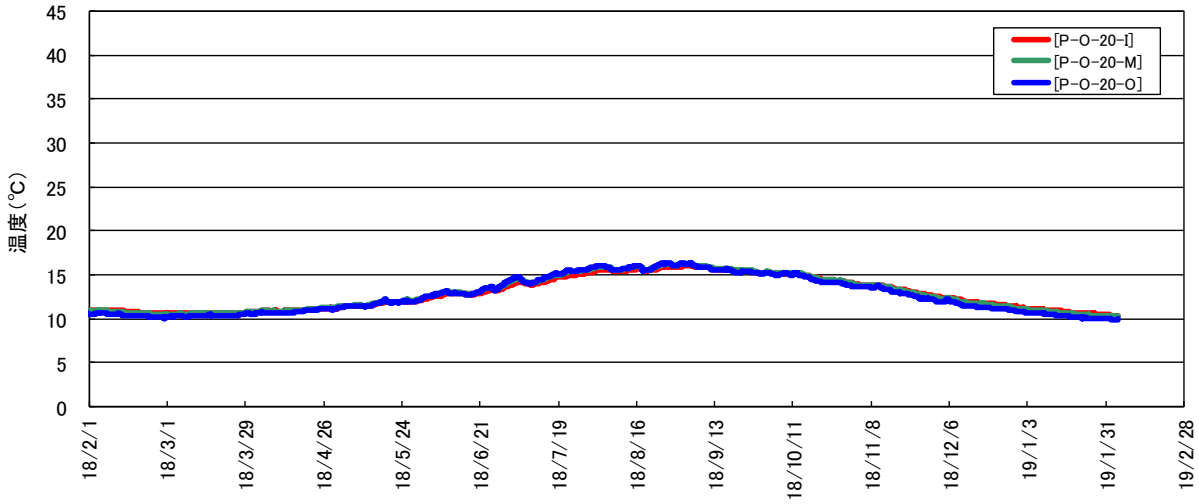
位置1　位置2

I：模擬廃棄体側

M：中央

O：坑口側

手前部コンクリートピットの温度（中央中段）



手前部コンクリートピットの温度（中央上段）

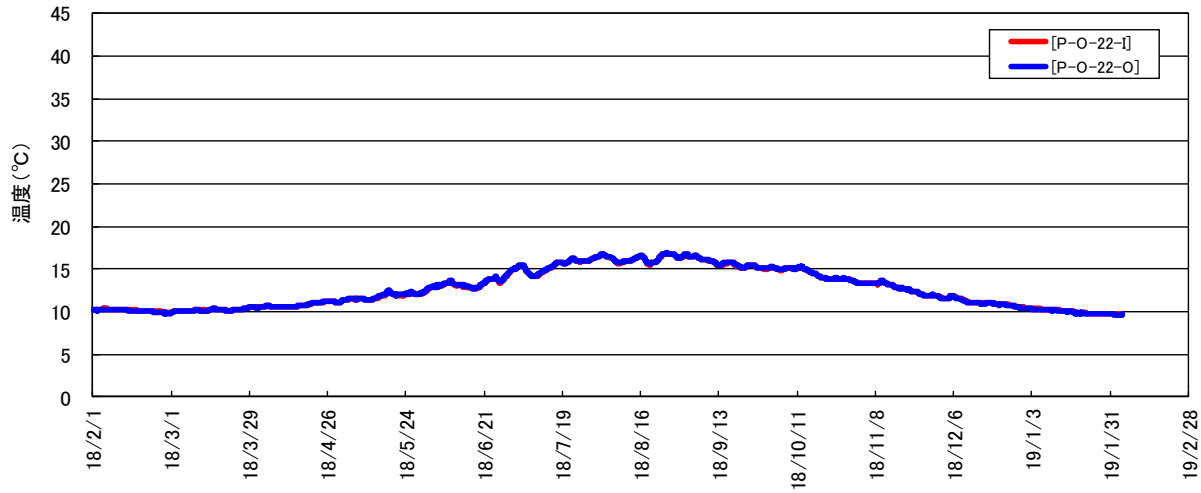
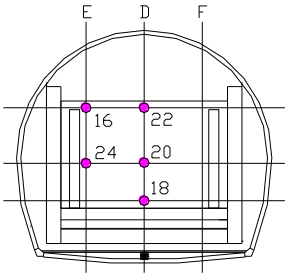


図 4.2-19　手前部コンクリートピットの温度計測結果（2／3）



計測結果の凡例

P-O-x-y

位置1　位置2

I:模擬廃棄体側

M:中央

O:坑口側

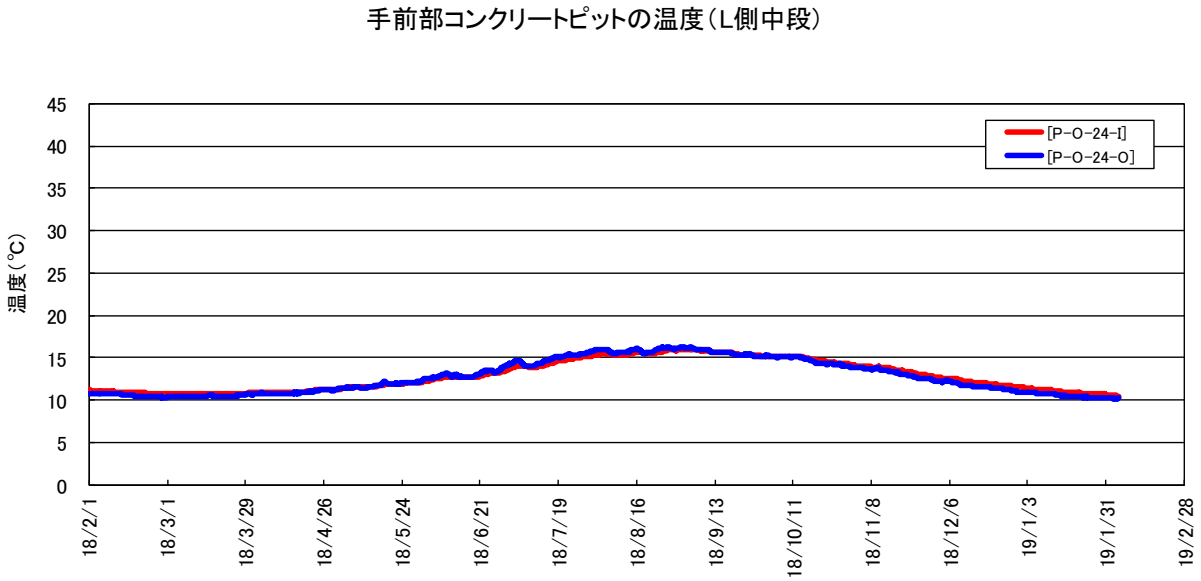
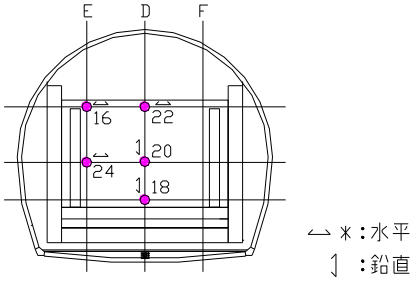


図 4.2-20　手前部コンクリートピットの温度計測結果（3／3）

(2) ひずみ計

手前部コンクリートピットに設置したひずみ計の経時変化（実ひずみ）を、図 4.2-21～図 4.2-23 に示す。



計測結果の凡例

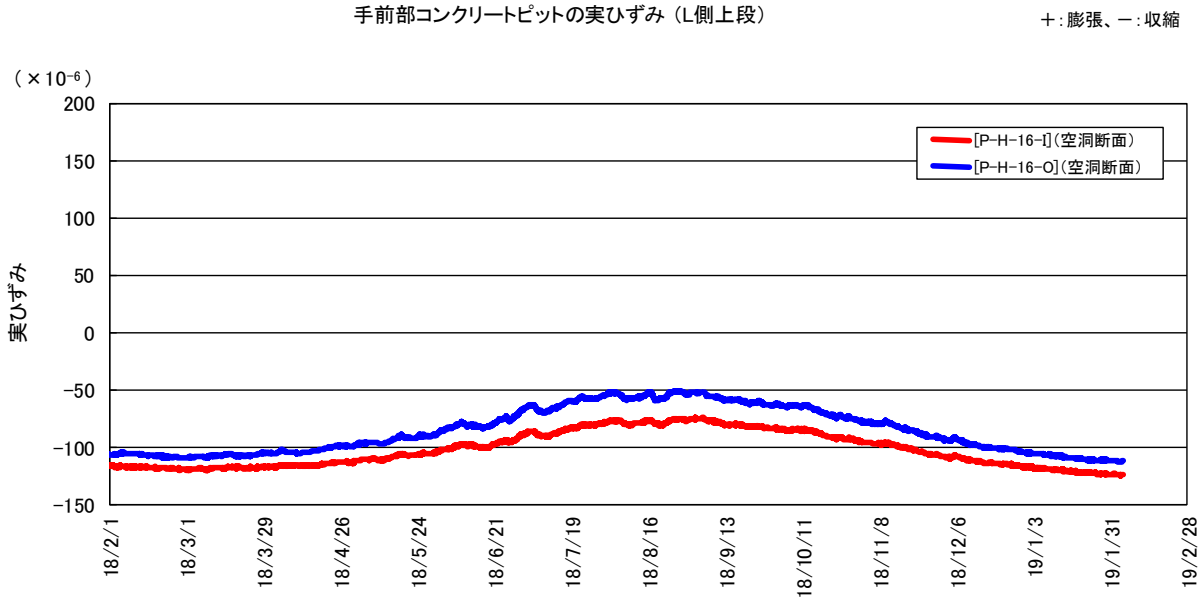
P-H-x-y

位置1 位置2

I：模擬廃棄体側

M：中央

O：坑口側



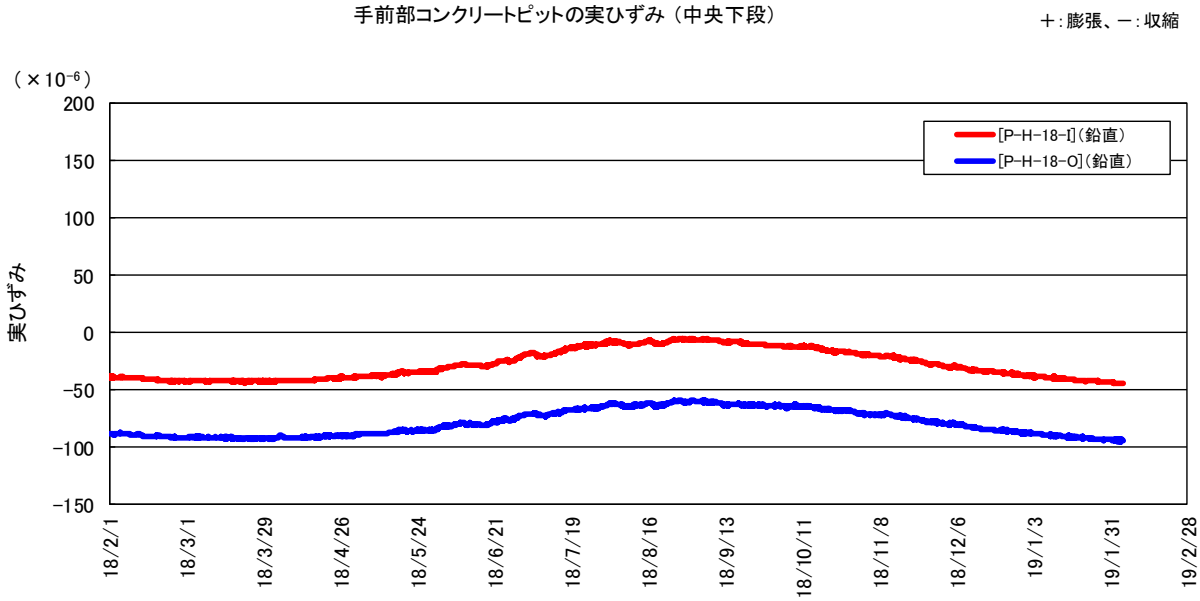


図 4.2-21　手前部コンクリートピットの実ひずみ（1／3）

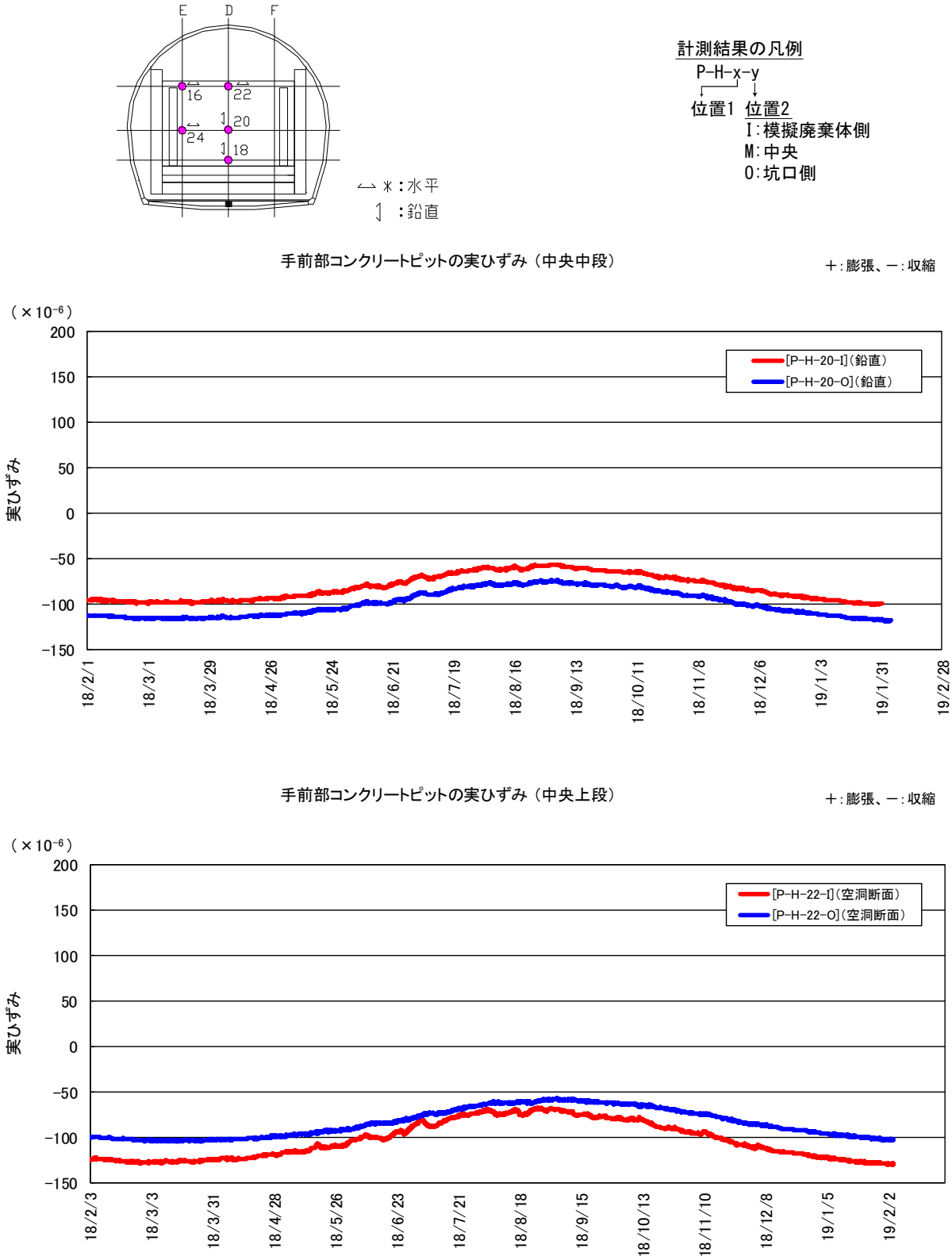


図 4.2-22　手前部コンクリートピットの実ひずみ（2／3）

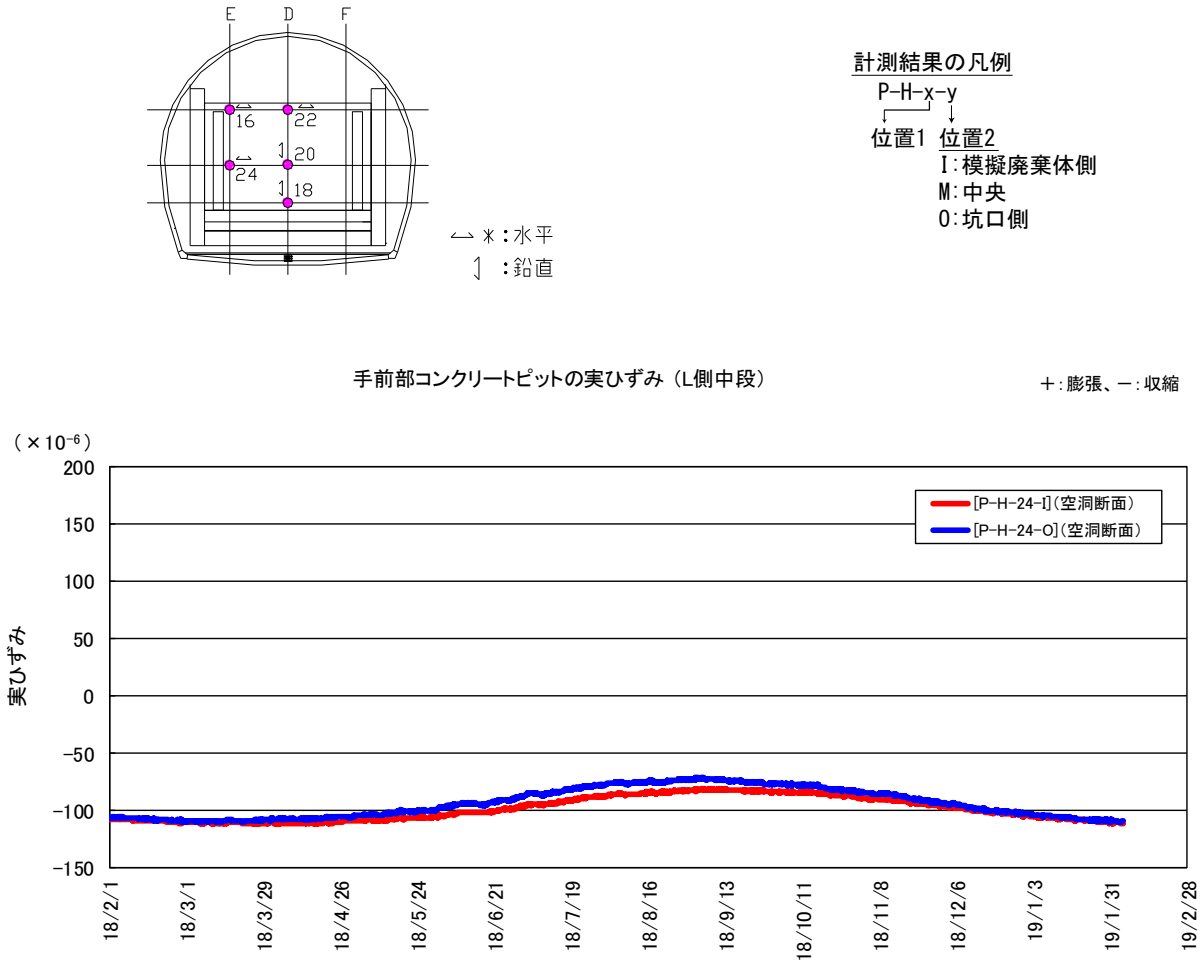


図 4.2-23　手前部コンクリートピットの実ひずみ（3／3）

(3) 無応力計

手前部コンクリートピットに設置した無応力計の経時変化（自由ひずみ）を、図 4.2-24 に示す。

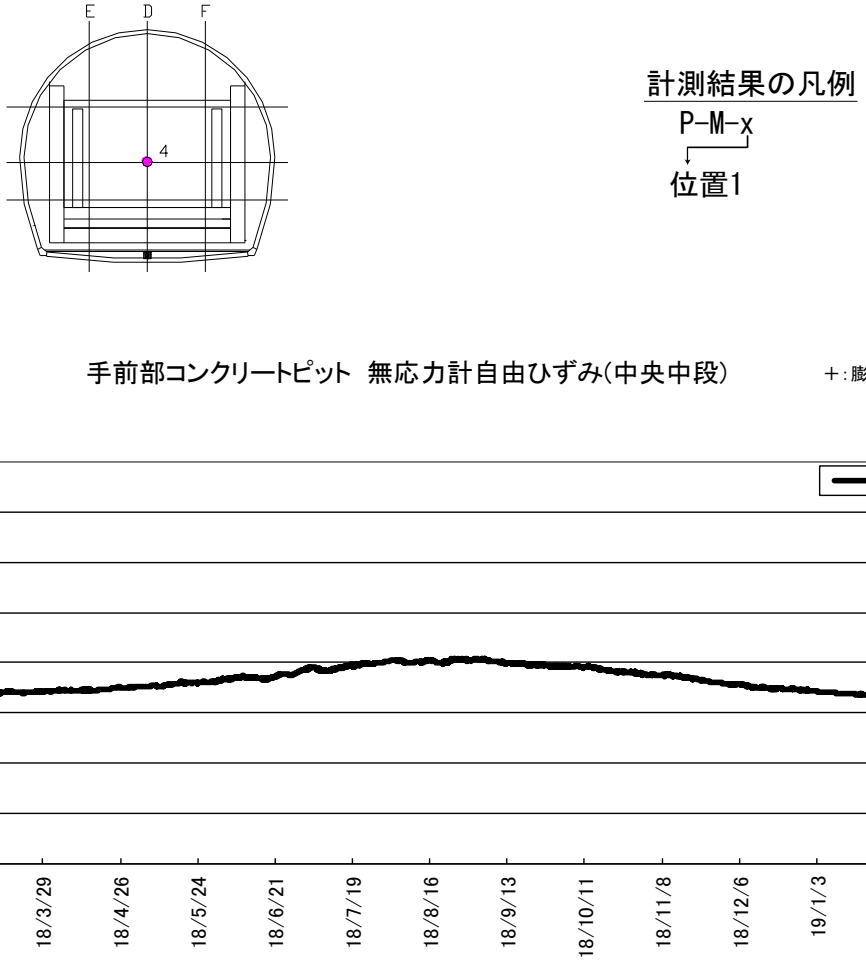


図 4.2-24　手前部コンクリートピットの自由ひずみ

(4) 鉄筋計

手前部コンクリートピットに設置した鉄筋計の経時変化を、図 4.2-25～図 4.2-27 に示す。

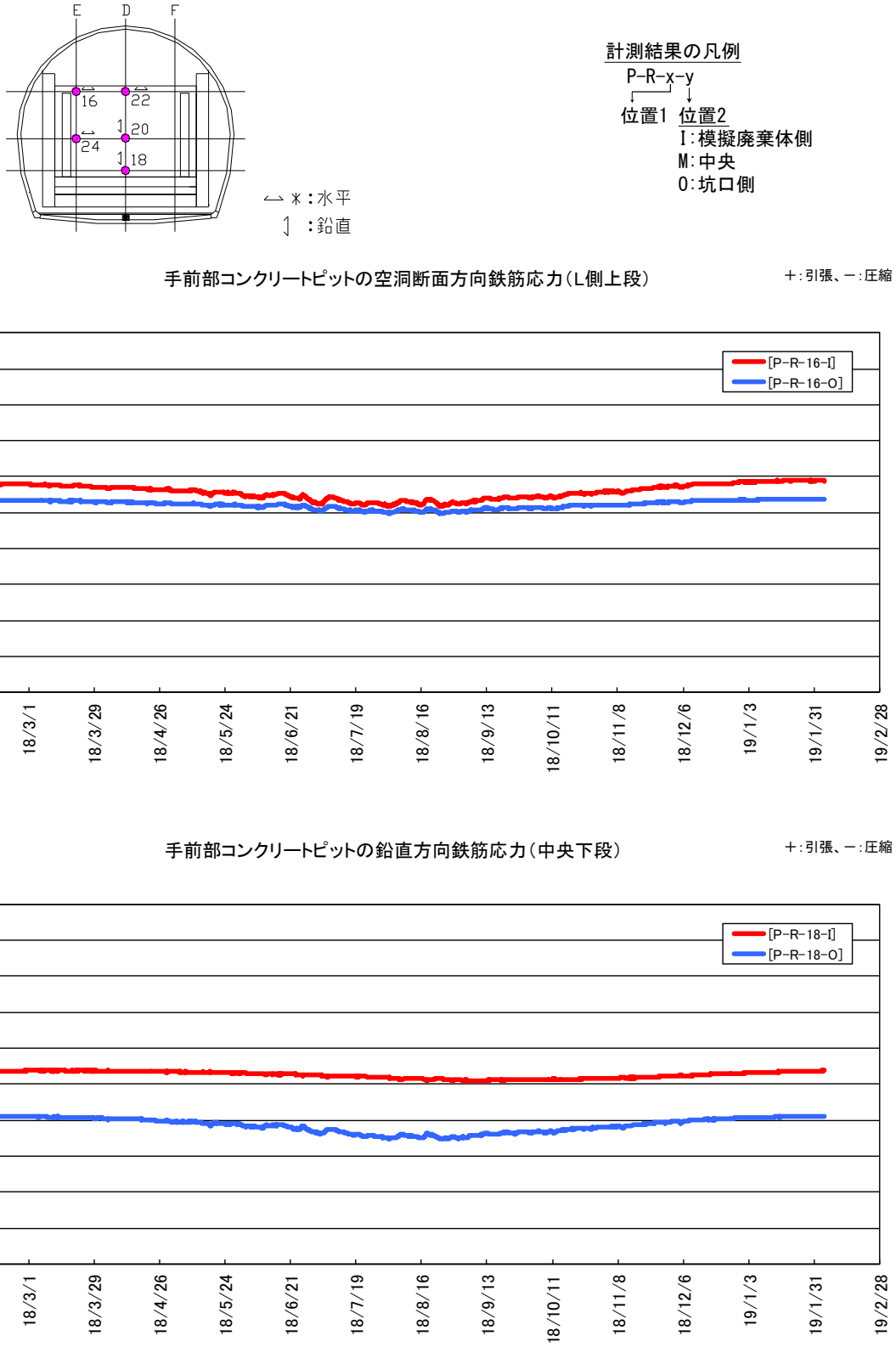


図 4.2-25　手前部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（1／3）

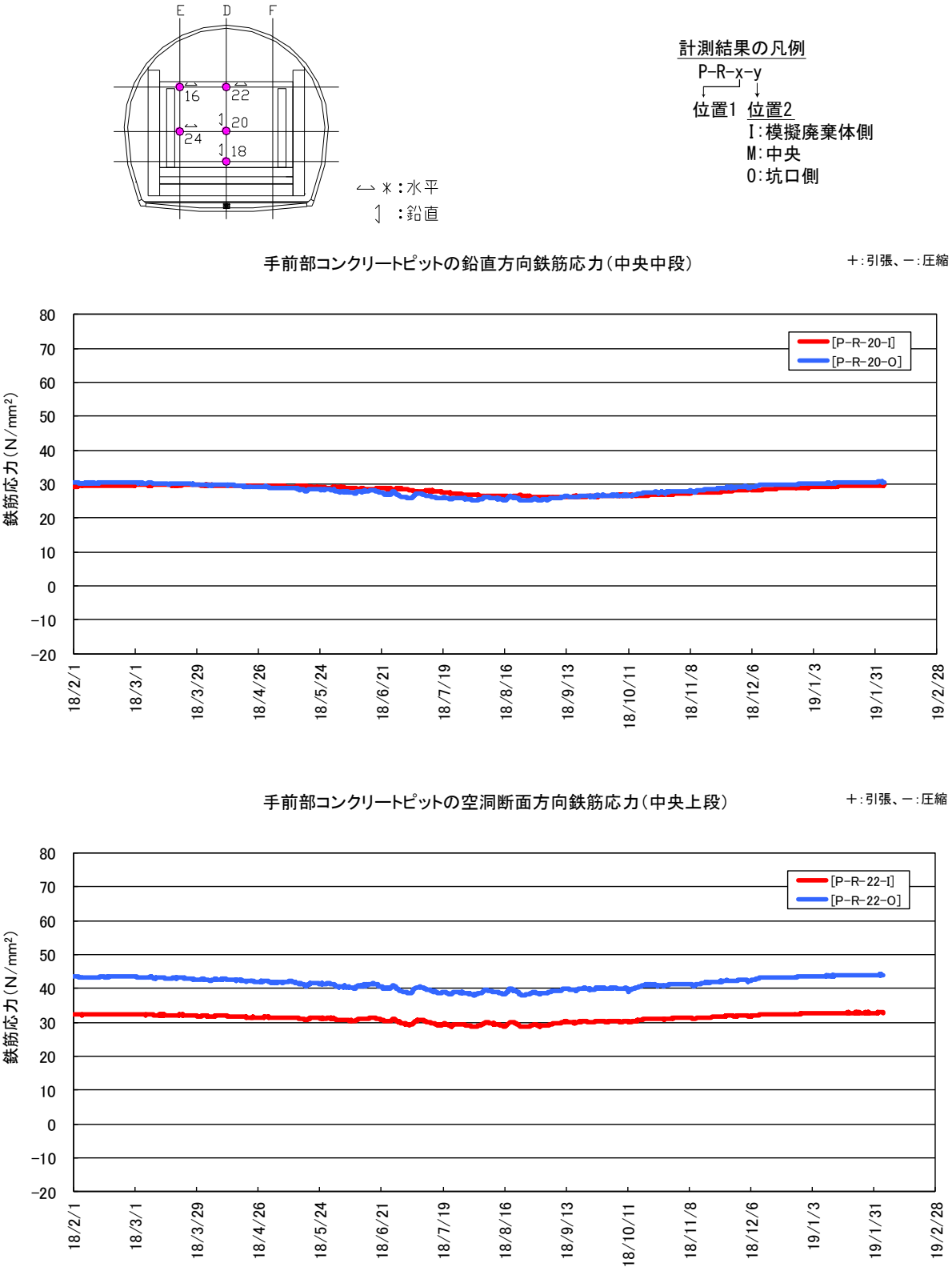


図 4.2-26　手前部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（2／3）

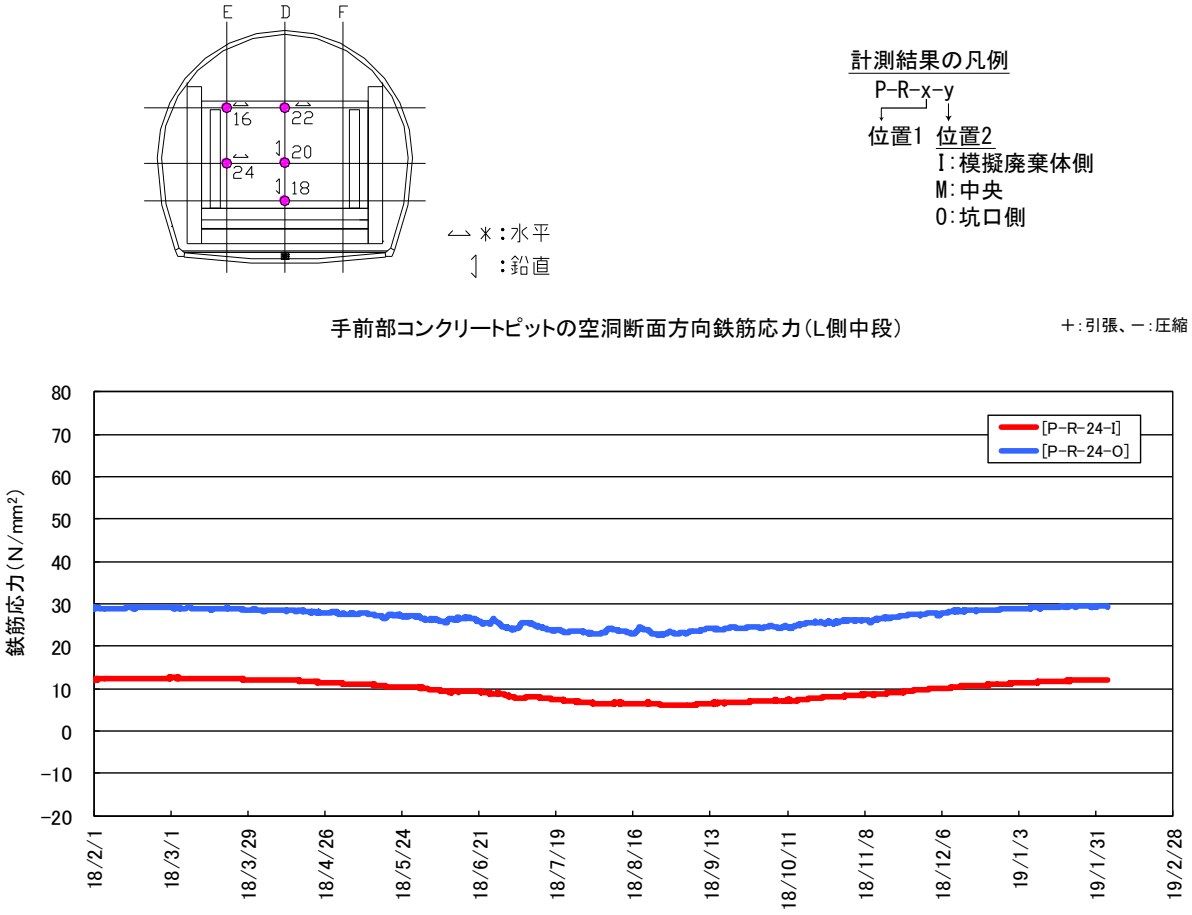


図 4.2-27　手前部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（3／3）

4.2.7　側部低拡散層埋設計器計測結果

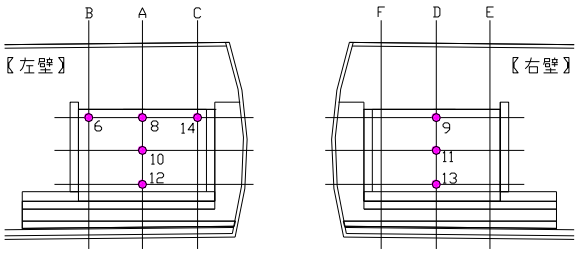
側部低拡散層計測一覧表を、表 4.2-7 に示す。

表 4.2-7　側部低拡散層計測一覧表

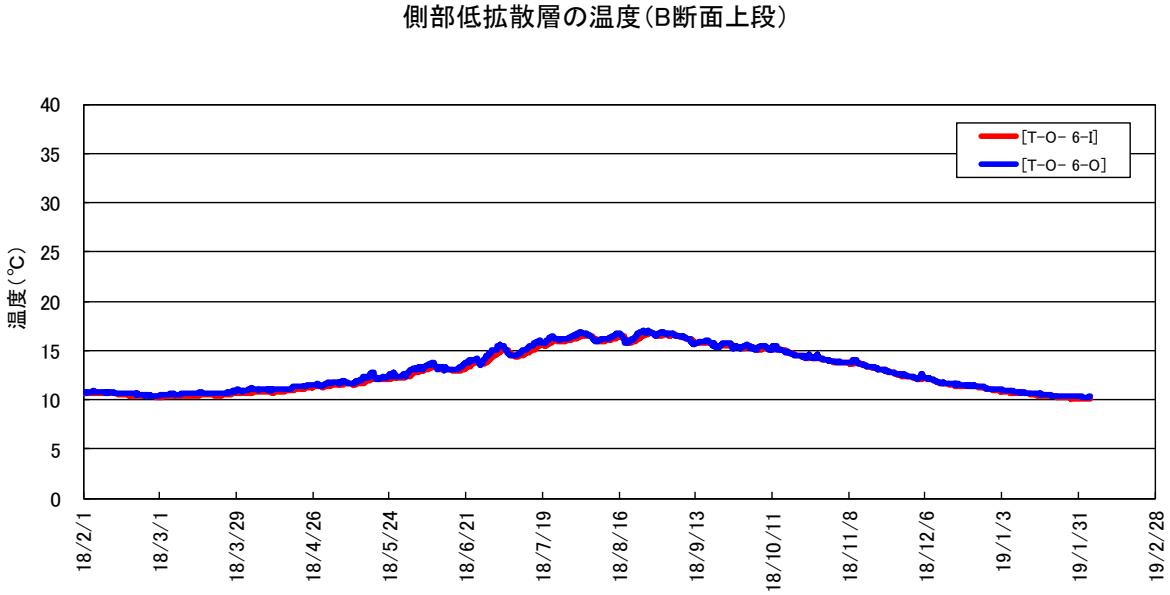
計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日	備考
		断面	高さ	厚み			
ひずみ計	T-H- 6-I	B	上段	内側	空洞軸	2009/9/16 （側部低拡散層打設日）	
	T-H- 8-I	A	上段				
	T-H-10-I		中段		鉛直		
	T-H-12-I		下段				
	T-H-14-I	C	上段		空洞軸		
	T-H- 8-M	A	上段	中央	空洞軸		
	T-H- 9-M	D					
	T-H-10-M	A	中段				
	T-H-11-M	D					
	T-H-12-M	A	下段				
	T-H-13-M	D					
	T-H- 6-O	B	上段	外側	空洞軸		
	T-H- 8-O	A	上段				
	T-H-10-O		中段		鉛直		
	T-H-12-O		下段				
	T-H-14-O	C	上段		空洞軸		
無応力計	T-M- 2	A	下段	中央	-		
	T-M- 3	D					
温度計	T-O- 6-I	B	上段	内側	-		
	T-O- 8-I	A	上段				
	T-O-10-I		中段				
	T-O-12-I		下段				
	T-O-14-I	C	上段				
	T-O- 8-M	A	上段	中央			
	T-O- 9-M	D					
	T-O-10-M	A	中段				
	T-O-11-M	D					
	T-O-12-M	A	下段				
	T-O-13-M	D					
	T-O- 6-O	B	上段	外側			
	T-O- 8-O	A	上段				
	T-O-10-O		中段				
	T-O-12-O		下段				
	T-O-14-O	C	上段				
有効応力計	T-U- 4	A	上段	内側	空洞軸		
	T-U- 5	D					
	T-U- 6	A	中段				
	T-U- 7	D					
	T-U- 8	A	下段				
	T-U- 9	D					
低剛性型有効応力計	T-UN- 9	D					
継目計	T-J- 6	A	上段	側部CP	空洞横断		
	T-J- 7	D					
	T-J- 8	A	下段	底部低拡散層	鉛直		
	T-J- 9	D					
せん断変位計	T-S- 6	A	上段	側部CP	鉛直		
	T-S- 7	D					
	T-S- 8	A	下段	底部低拡散層	空洞横断		
	T-S- 9	D					
土圧計	T-D- 1	A	上段	側部CP	空洞横断		
	T-D- 2	D					
	T-D- 3	A	中段				
	T-D- 4	D					
	T-D- 5	A	下段				
	T-D- 6	D					
加速度計	T-A- 1-L	A	中段	側部低透水層	空洞横断	2010年度	動的計測用計器
	T-A- 1-P				鉛直		

(1) 温度計

側部低拡散層に設置した温度計の経時変化を、図 4.2-28～図 4.2-30 に示す。



計測結果の凡例
T-O-x-y
位置1 位置2
I:模擬廃棄体側
M:中央
O:岩盤側



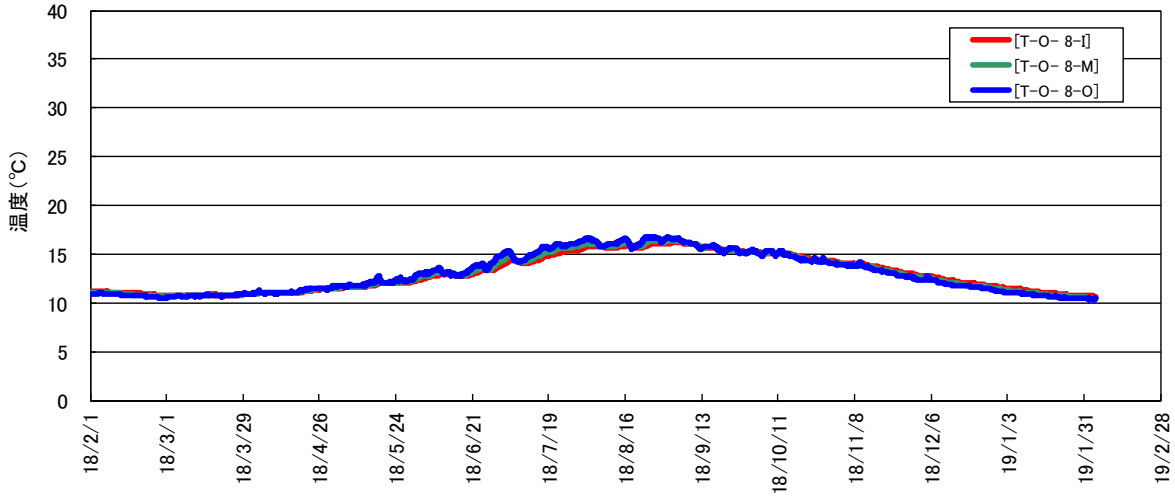
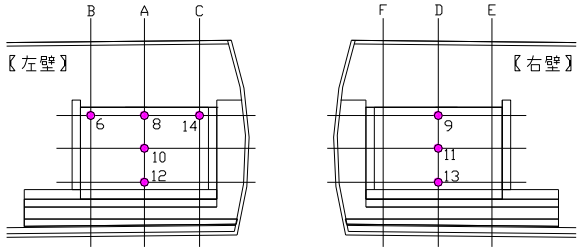


図 4.2-28 側部低拡散層の温度計測結果（1／3）



計測結果の凡例

T-O-x-y

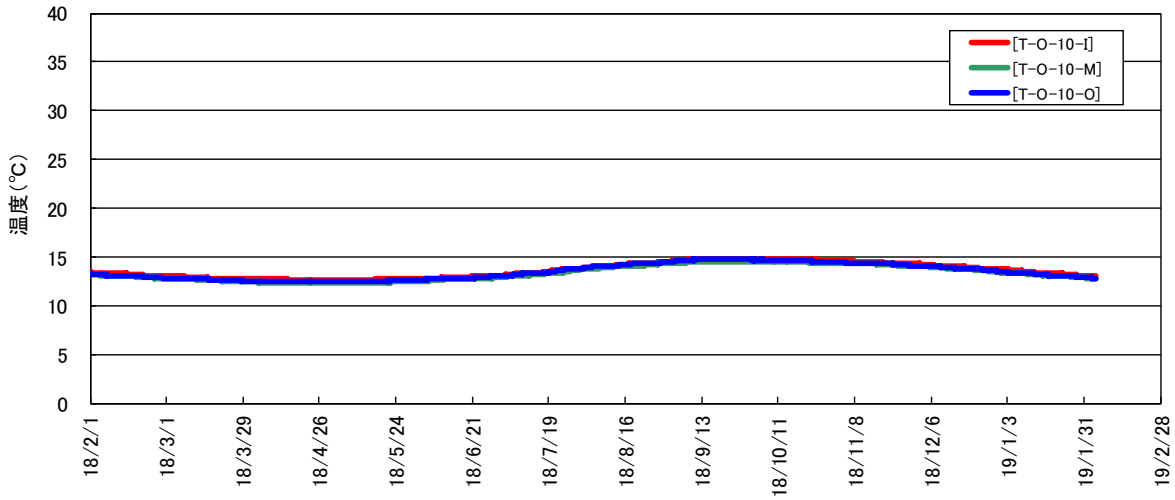
位置1　位置2

I：模擬廃棄体側

M：中央

O：岩盤側

側部低拡散層の温度（A断面中段）



側部低拡散層の温度（A断面下段）

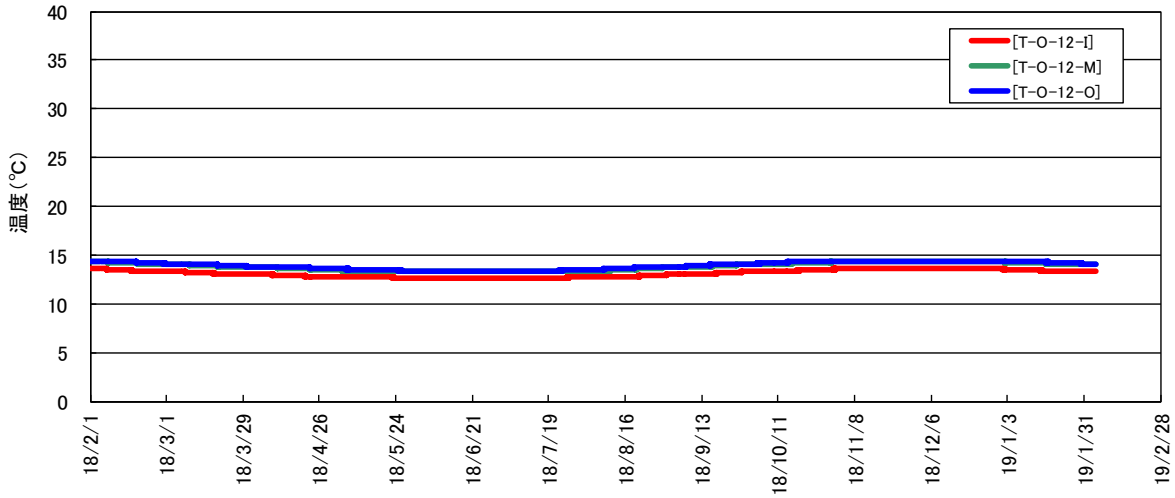
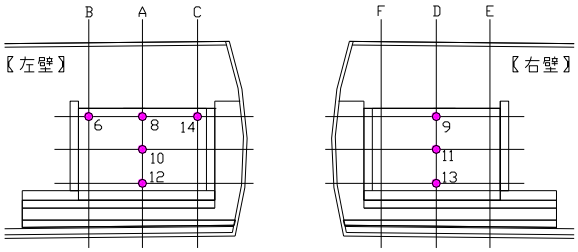


図 4.2-29　側部低拡散層の温度計測結果（2／3）



計測結果の凡例

T-O-x-y

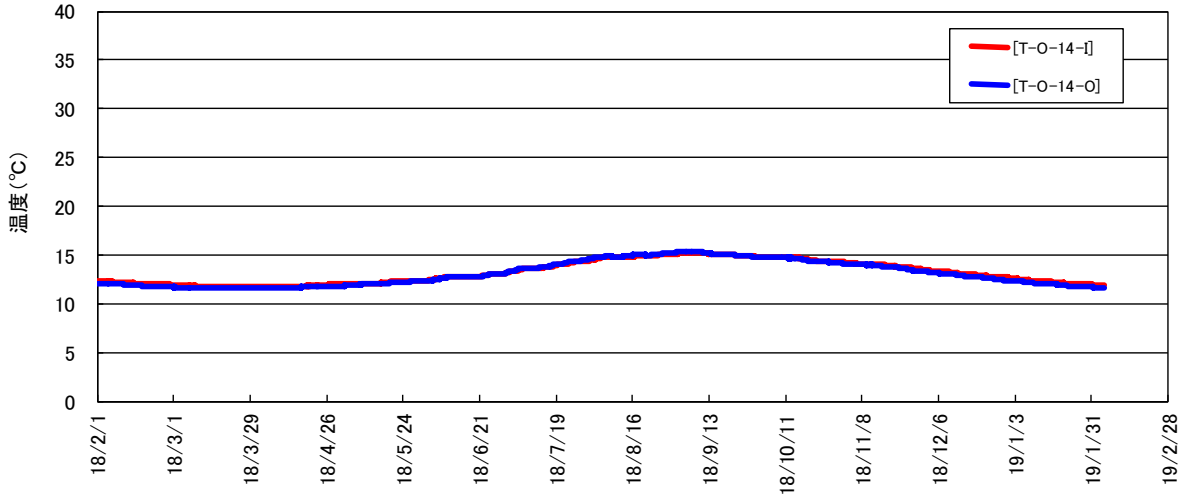
位置1　位置2

I：模擬廃棄体側

M：中央

O：岩盤側

側部低拡散層の温度（C断面上段）



側部低拡散層の温度（D断面上・中・下段）

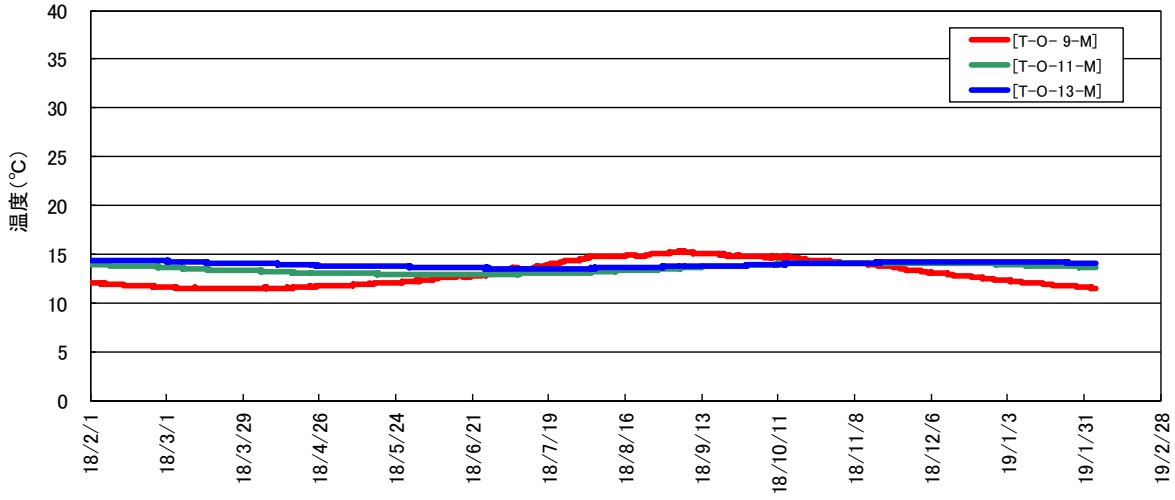
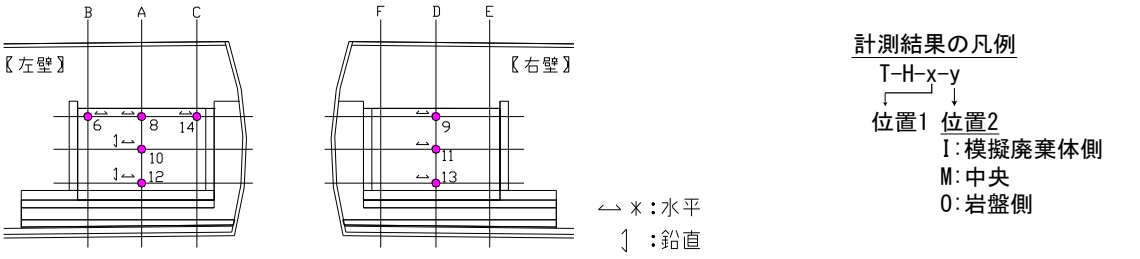
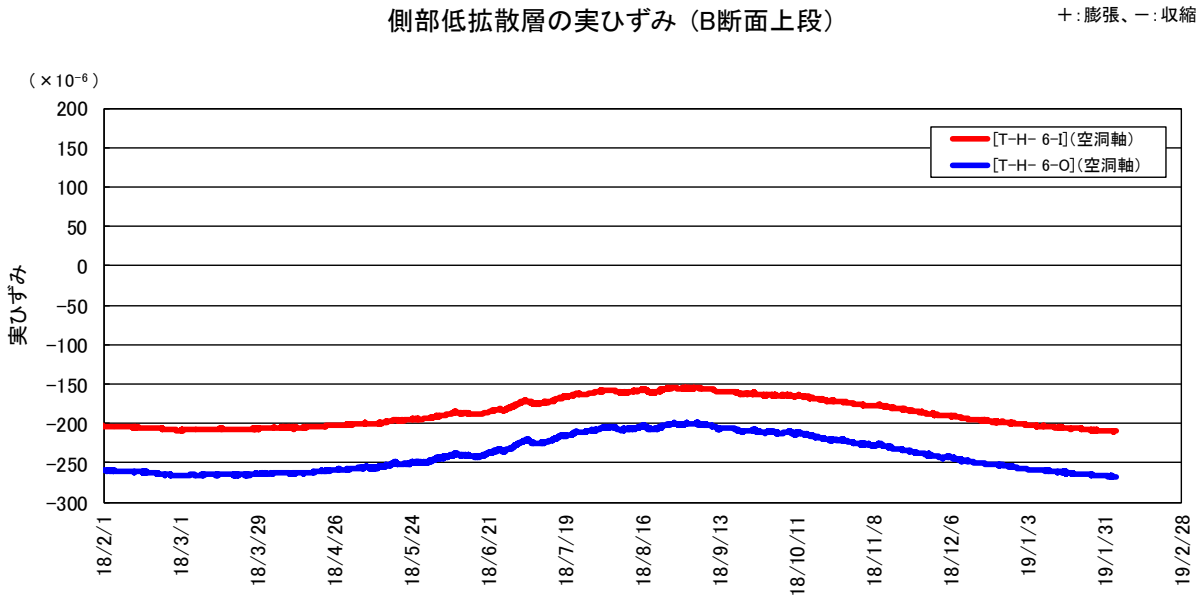


図 4.2-30　側部低拡散層の温度計測結果（3／3）

(2) ひずみ計

側部低拡散層に設置したひずみ計の経時変化（実ひずみ）を、図 4.2-31～図 4.2-33 に示す。





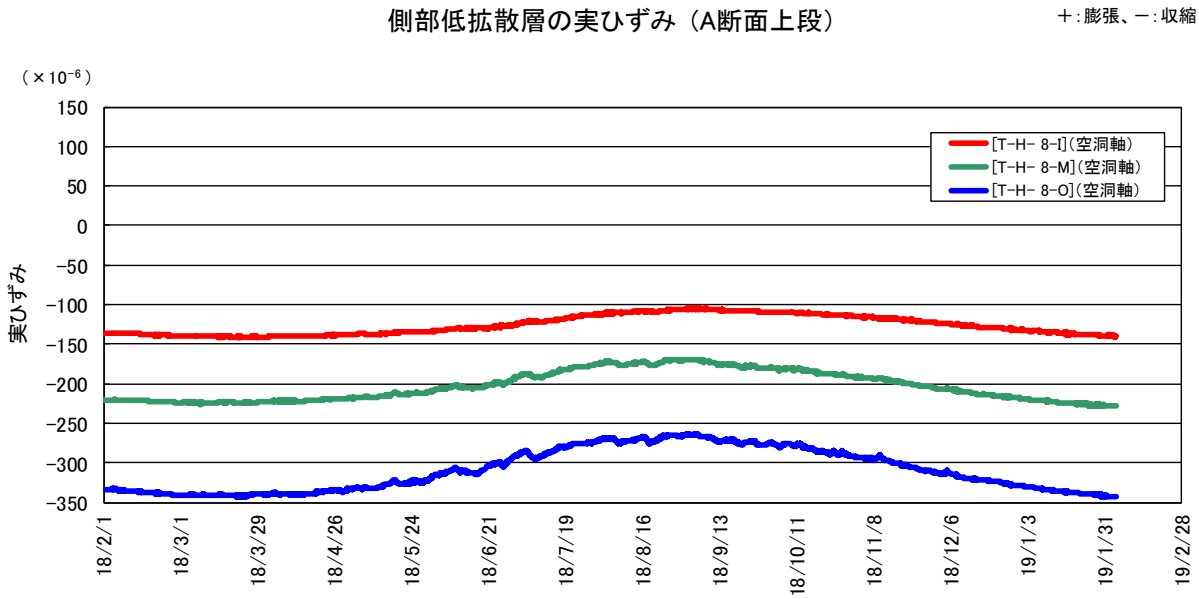
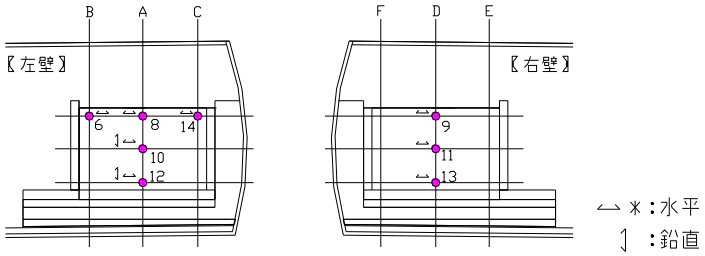


図 4.2-31　側部低拡散層の実ひずみ（1／3）



計測結果の凡例

T-H-x-y

位置1 位置2

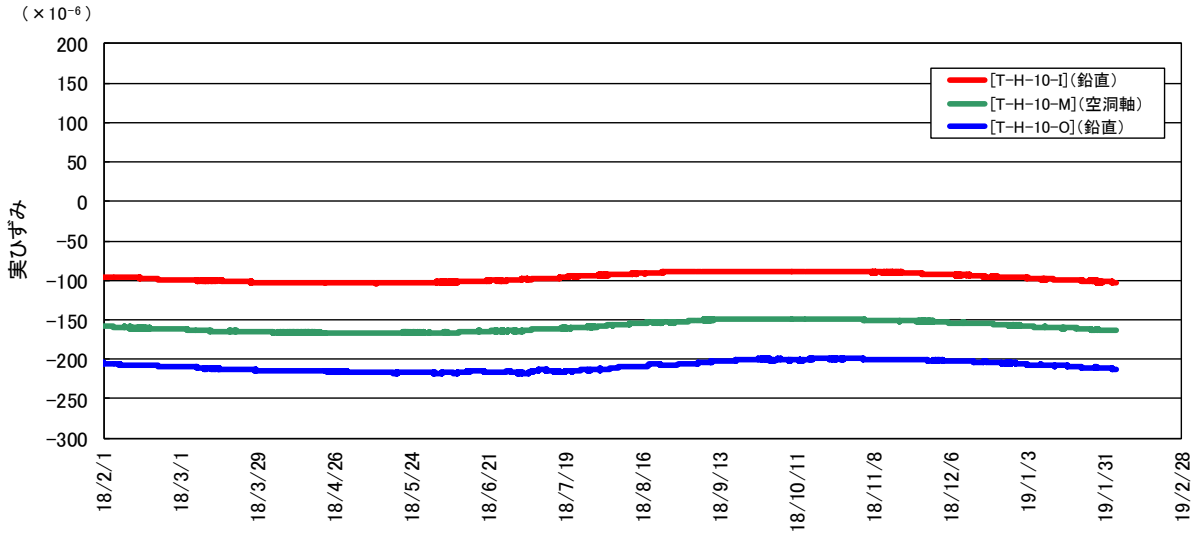
I：模擬廃棄体側

M：中央

O：岩盤側

側部低拡散層の実ひずみ（A断面中段）

＋：膨張、－：収縮



側部低拡散層の実ひずみ（A断面下段）

＋：膨張、－：収縮

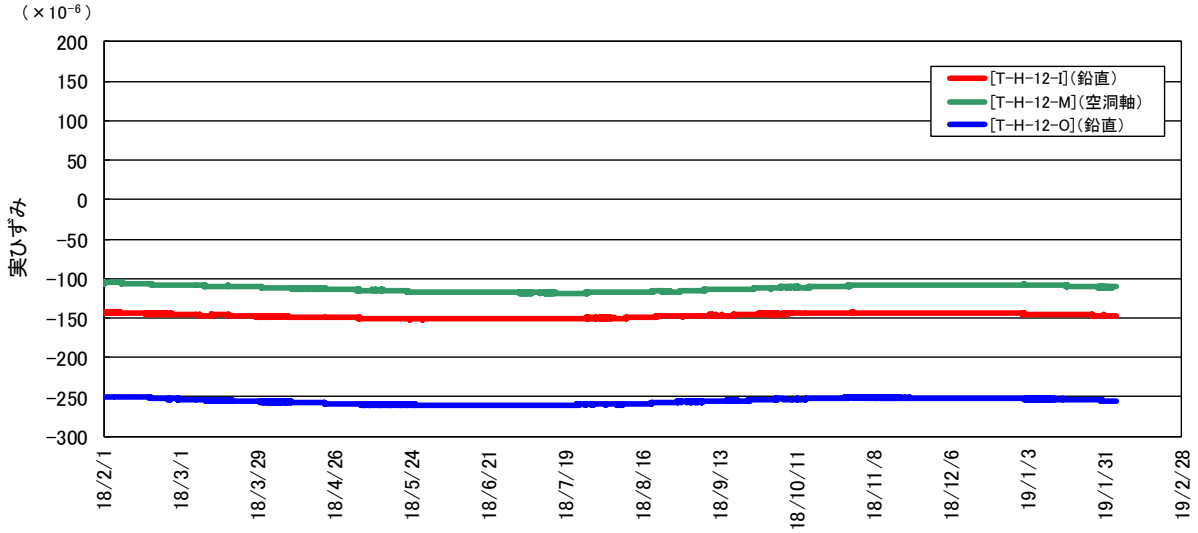
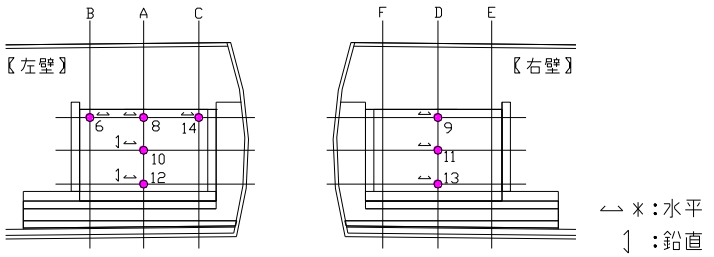


図 4.2-32　側部低拡散層の実ひずみ（2／3）



計測結果の凡例

T-H-x-y

位置1 位置2

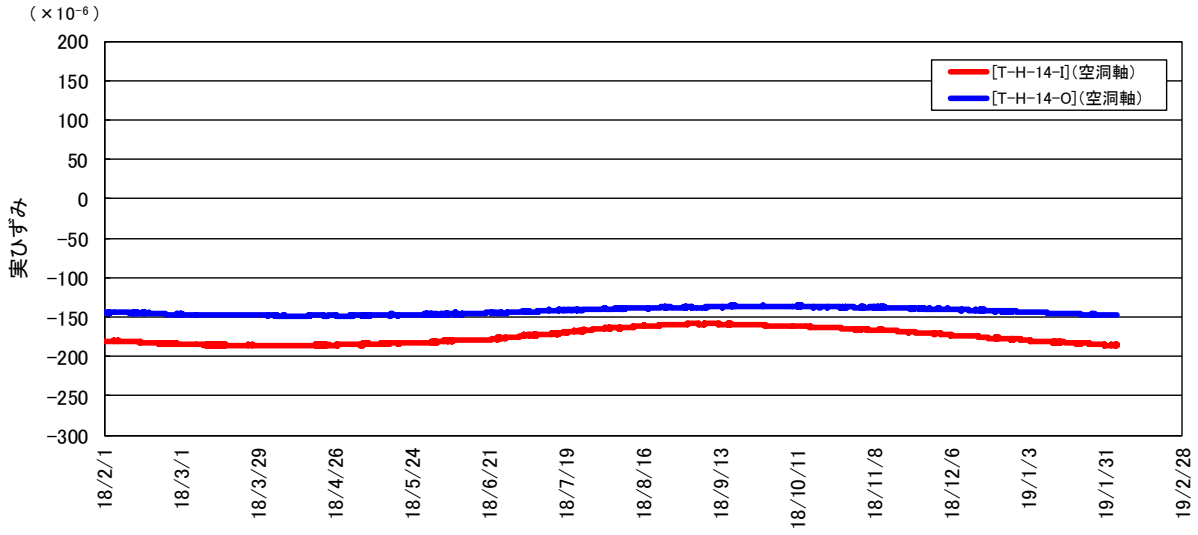
I：模擬廃棄体側

M：中央

O：岩盤側

側部低拡散層の実ひずみ（C断面上段）

＋：膨張、－：収縮



側部低拡散層の実ひずみ（D断面 上中下段）

＋：膨張、－：収縮

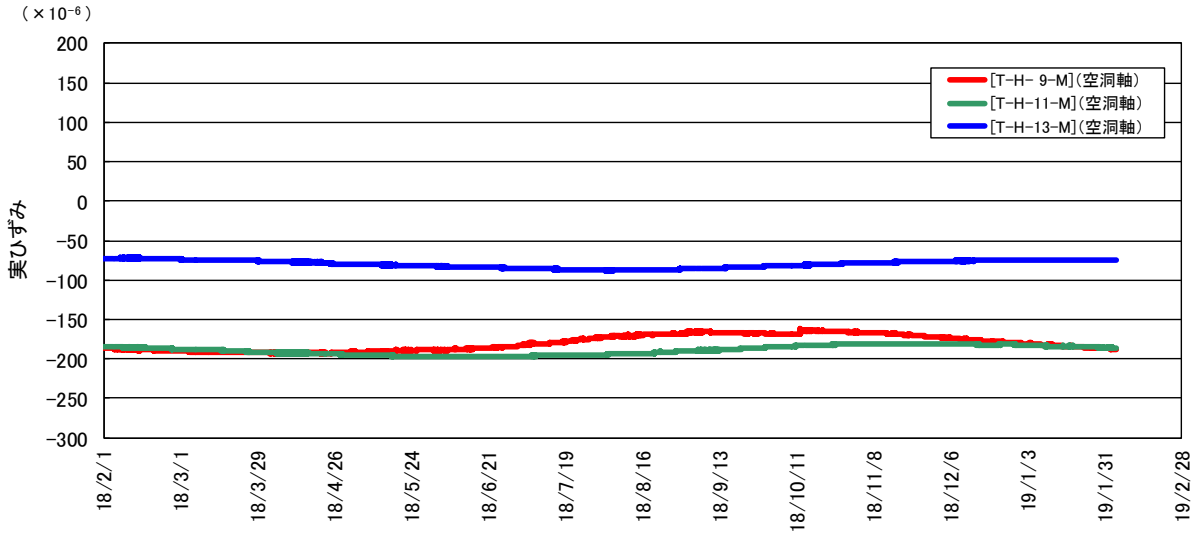


図 4.2-33　側部低拡散層の実ひずみ（3／3）

(3) 無応力計

側部低拡散層に設置した無応力計の経時変化（自由ひずみ）を、図 4.2-34 に示す。

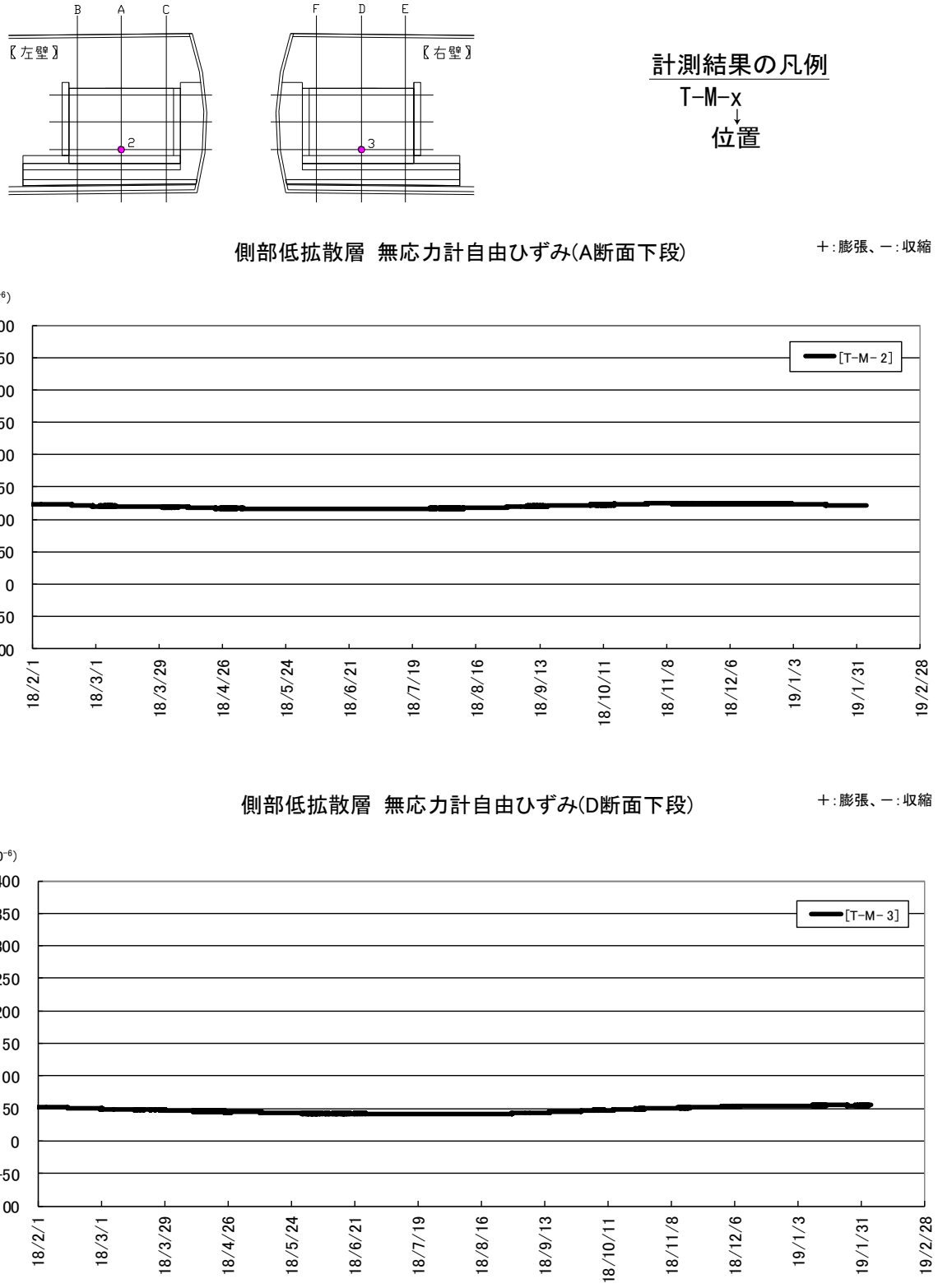


図 4.2-34　側部低拡散層の自由ひずみ

(4) 有効応力計

側部低拡散層に設置した有効応力計の経時変化を、図 4.2-35 に示す。

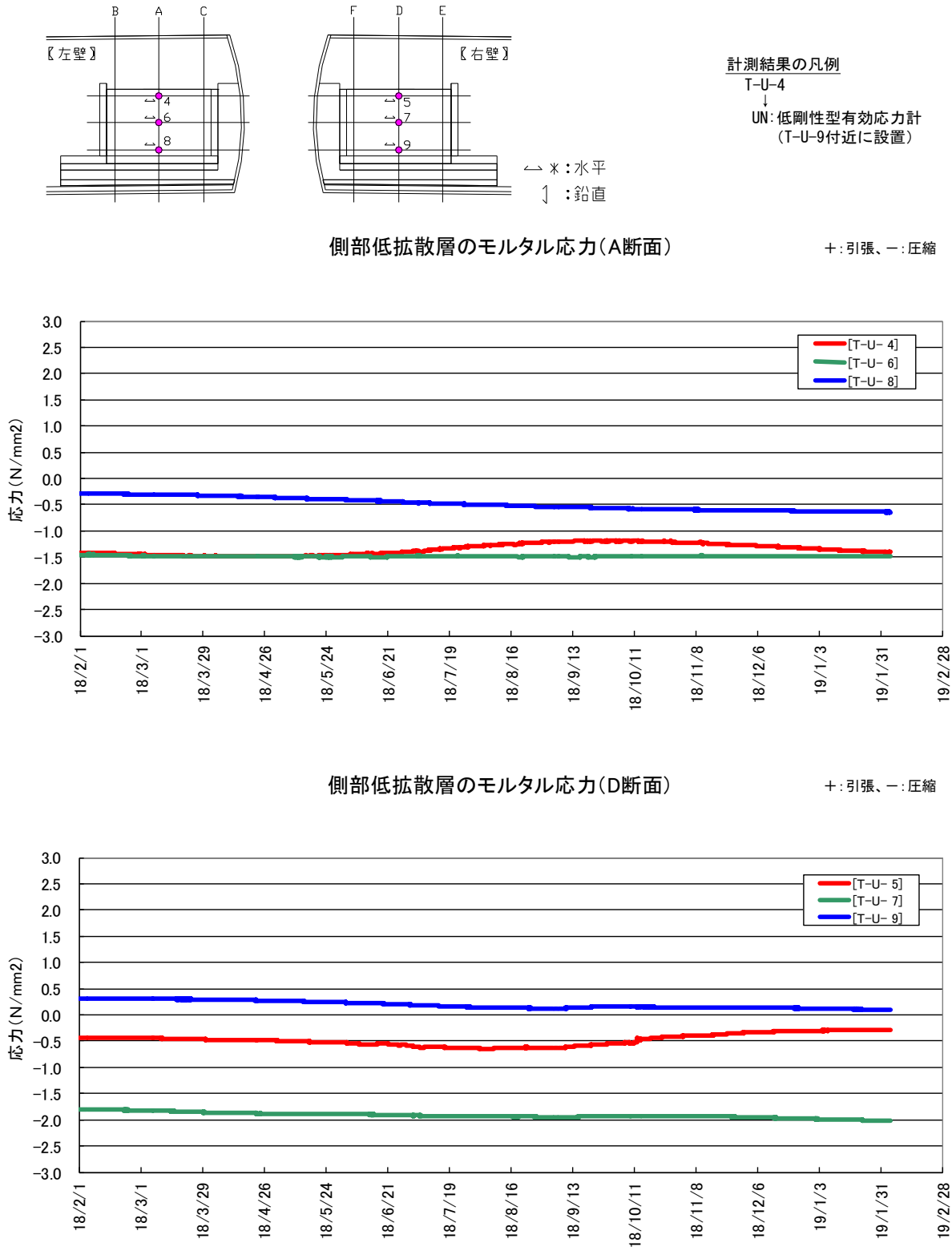


図 4.2-35　側部低拡散層のモルタル応力計測結果

(5) 土圧計

側部低拡散層に設置した土圧計の経時変化を、図 4.2-36 に示す。

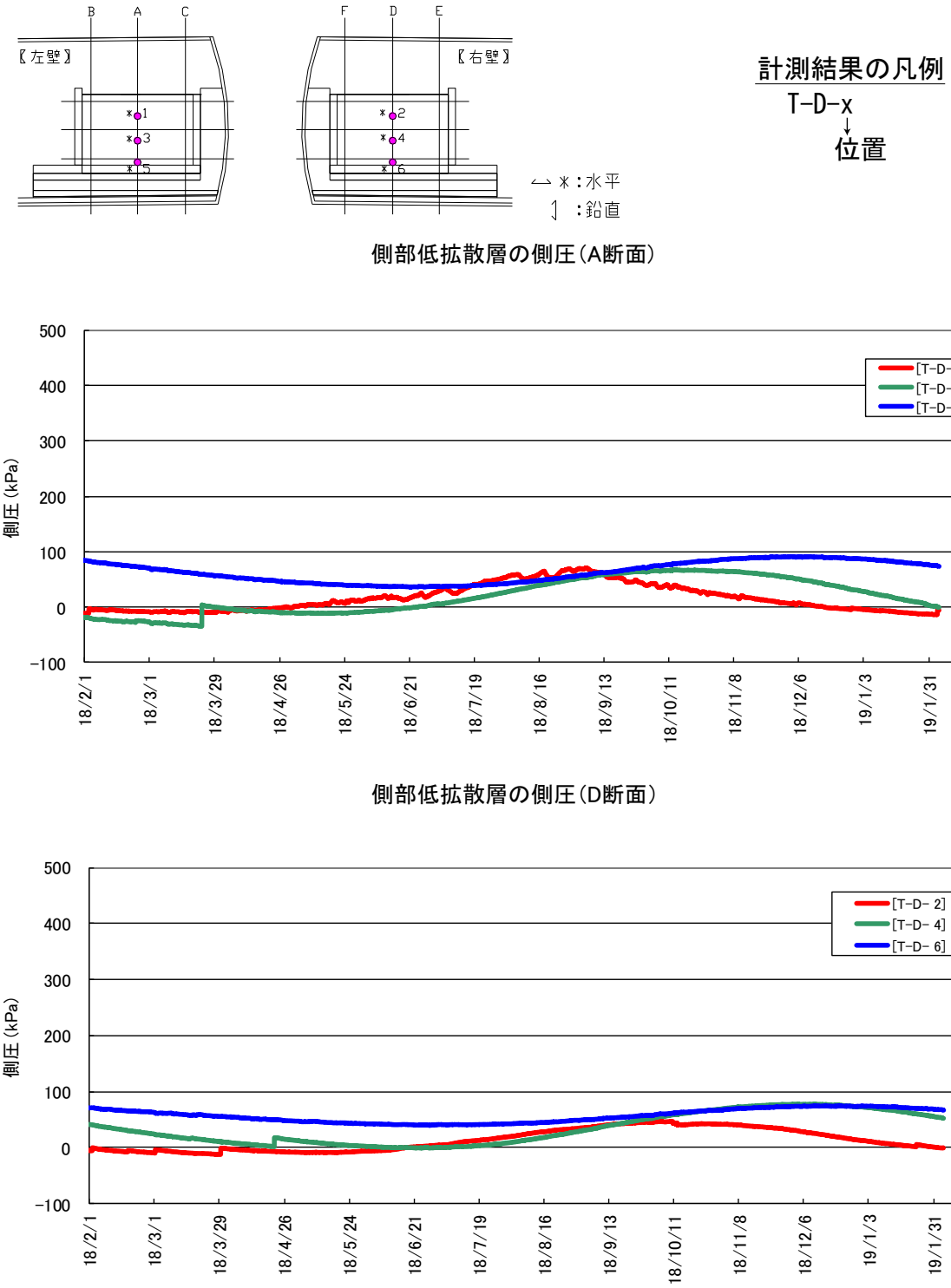


図 4.2-36　側部低拡散層の土圧計測結果

(6) せん断変位計

側部低拡散層と側部コンクリートピットの界面及び側部低拡散層と底部低拡散層の界面に設置したせん断変位計の経時変化を、図 4.2-37 に示す。

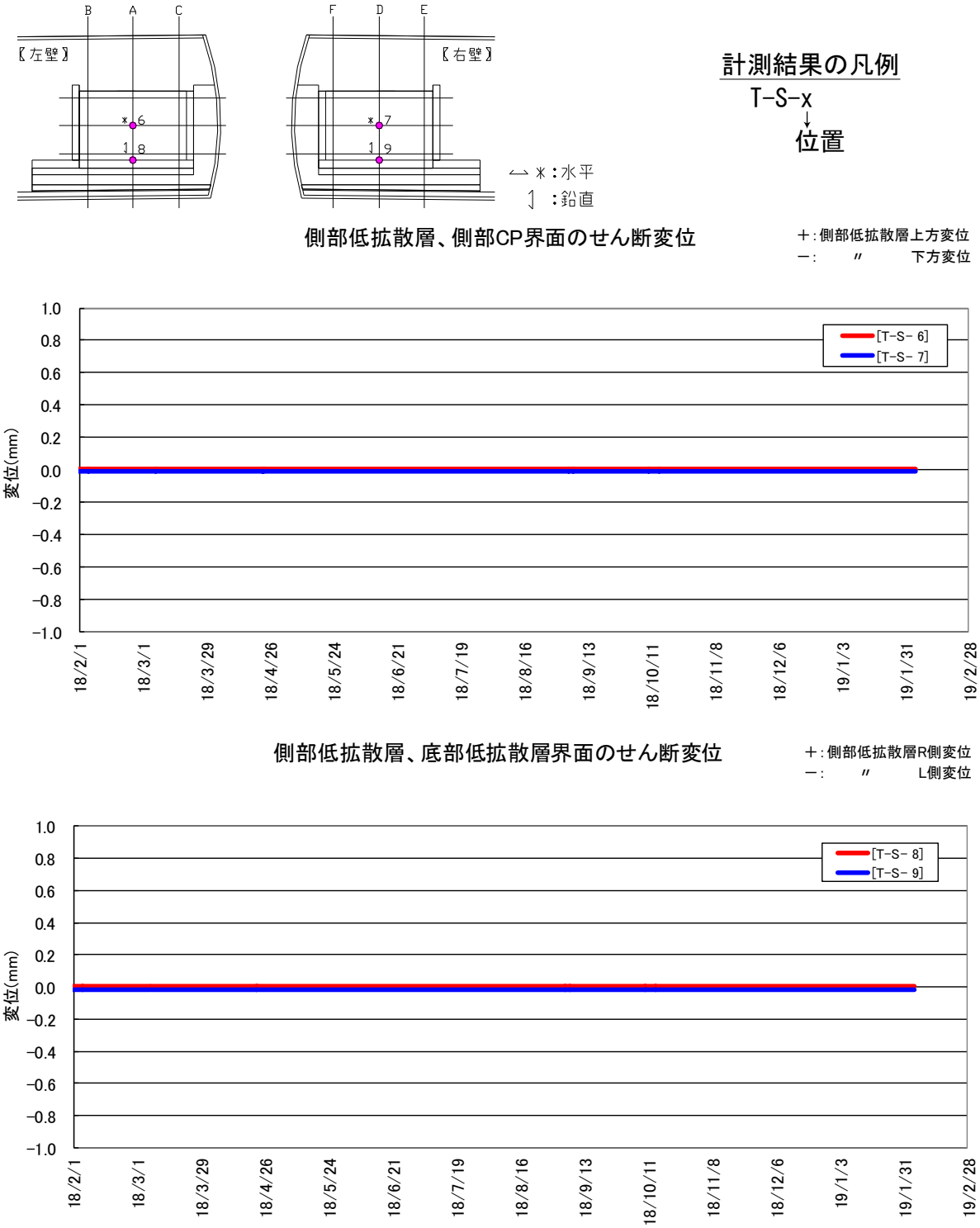


図 4.2-37　側部低拡散層のせん断変位計測結果

(7) 継目計

側部低拡散層と側部コンクリートピットの界面及び側部低拡散層と底部低拡散層の界面に設置した継目計の経時変化を、図 4.2-38 に示す。

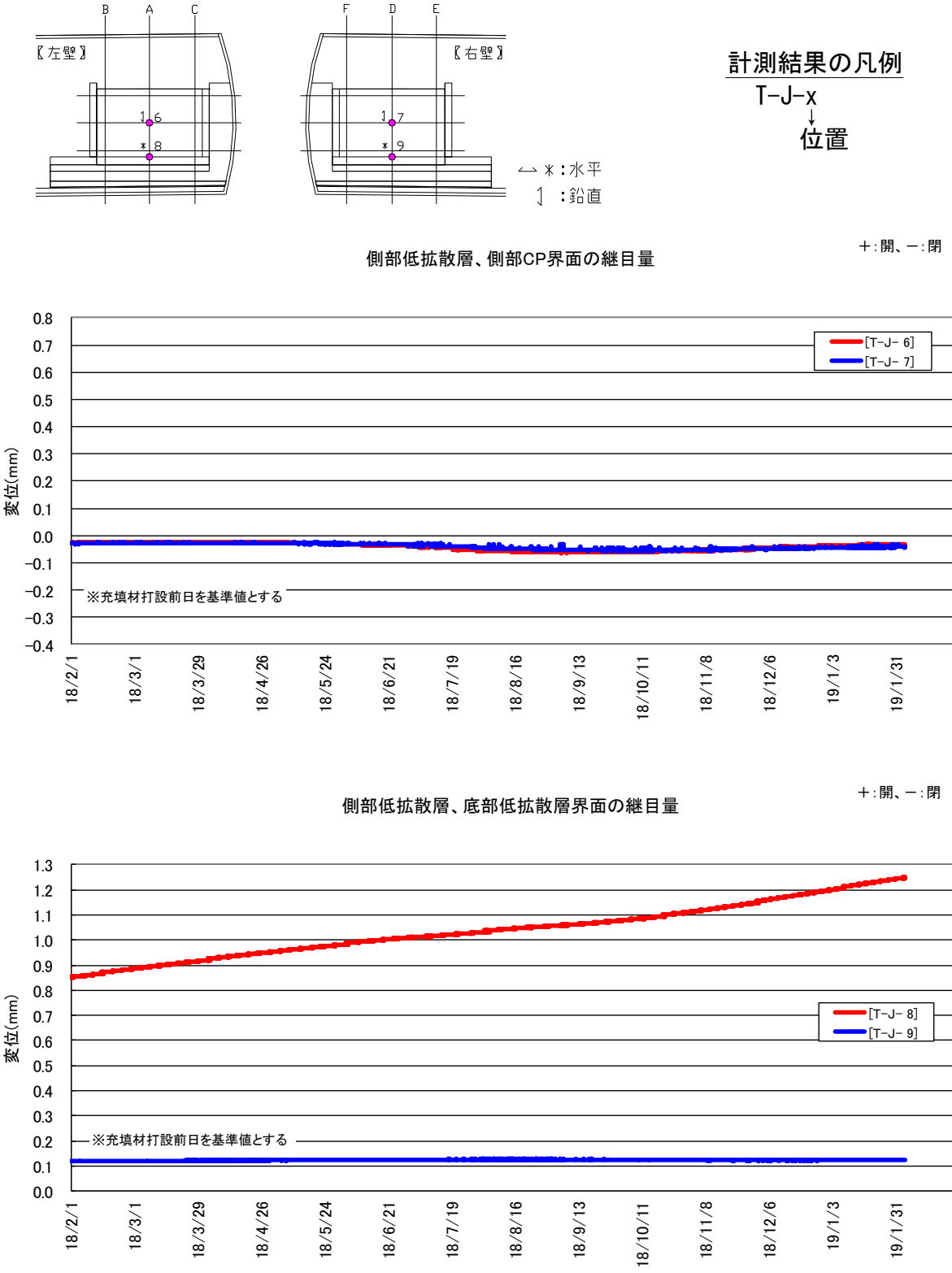


図 4.2-38 側部低拡散層の継目量計測結果

4.2.8　底部低透水層埋設計器計測結果

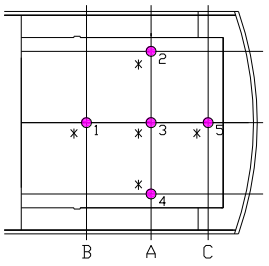
底部低透水層計測一覧表を、表 4.2-8 に示す。

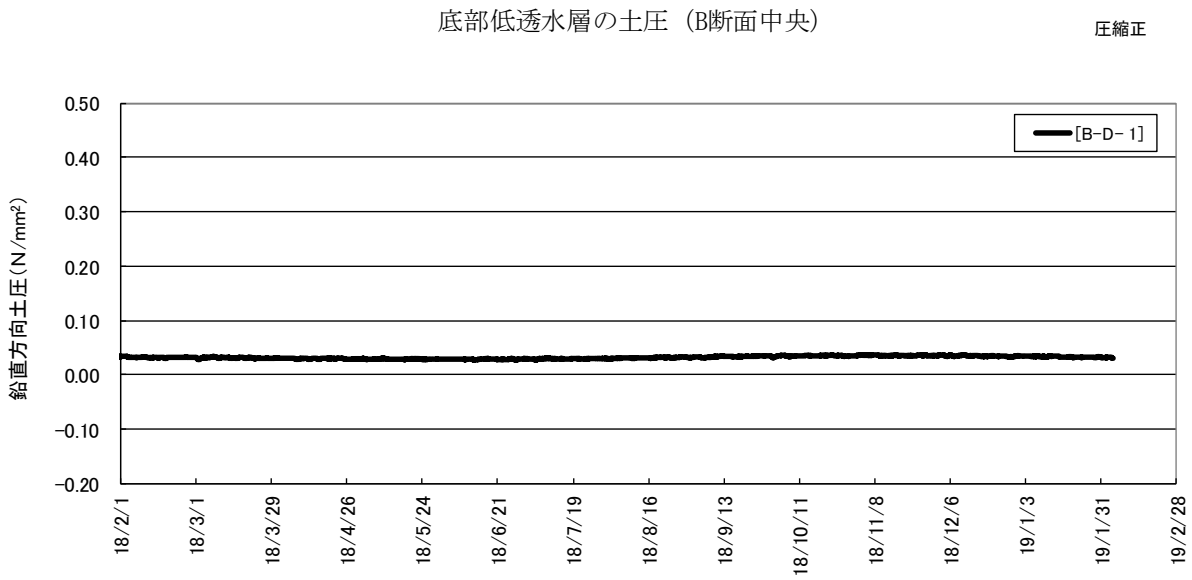
表 4.2-8　底部低透水層計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日	備考
		断面	断面方向	界面			
土圧計	B-D- 1	B	中央	底部埋戻し材	鉛直	2008/2/12	底部低透水層 1層打設 2008/2/12 2層打設 2008/7/24 6層打設 2008/8/18 10層打設 2008/9/5
	B-D- 2	A	L側				
	B-D- 3		中央				
	B-D- 4		R側				
	B-D- 5	C	中央				
	B-D- 6	A	L側	側部埋戻し材	水平	2008/8/18	
	B-D- 7		R側				
	B-D- 8	C	中央	奥部埋戻し材			
沈下計	B-T- 1	B	中央	-	鉛直	2008/10/16	
	B-T- 2	A	L側				
	B-T- 3		中央				
	B-T- 4		R側				
	B-T- 5	C	中央				
温度計	B-O- 1	A	中央	-	―		
水分計	B-W- 1	B	L側	底部埋戻し材	―	2008/2/26	
	B-W- 2		中央				
	B-W- 3		R側				
	B-W- 4	A	L側			2008/2/27	
	B-W- 5		中央				
	B-W- 6		R側				
	B-W- 7	C	L側				
	B-W- 8		中央				
	B-W- 9		R側			2008/3/11	
	B-W-10	A	L側	側部埋戻し材		2008/8/21	
	B-W-11		R側				
	B-W-12	C	中央	奥部埋戻し材			
間隙水圧計	B-P- 1	A	L側	側部埋戻し材	―	2008/8/18	
	B-P- 2		中央	底部埋戻し材		2008/2/12	
	B-P- 3		R側	側部埋戻し材		2008/8/18	
	B-P- 4	C	中央	奥部埋戻し材			

(1) 土圧計

底部低透水層と埋戻し材界面に設置した土圧計の経時変化を、図 4.2-39～図 4.2-41 に示す。





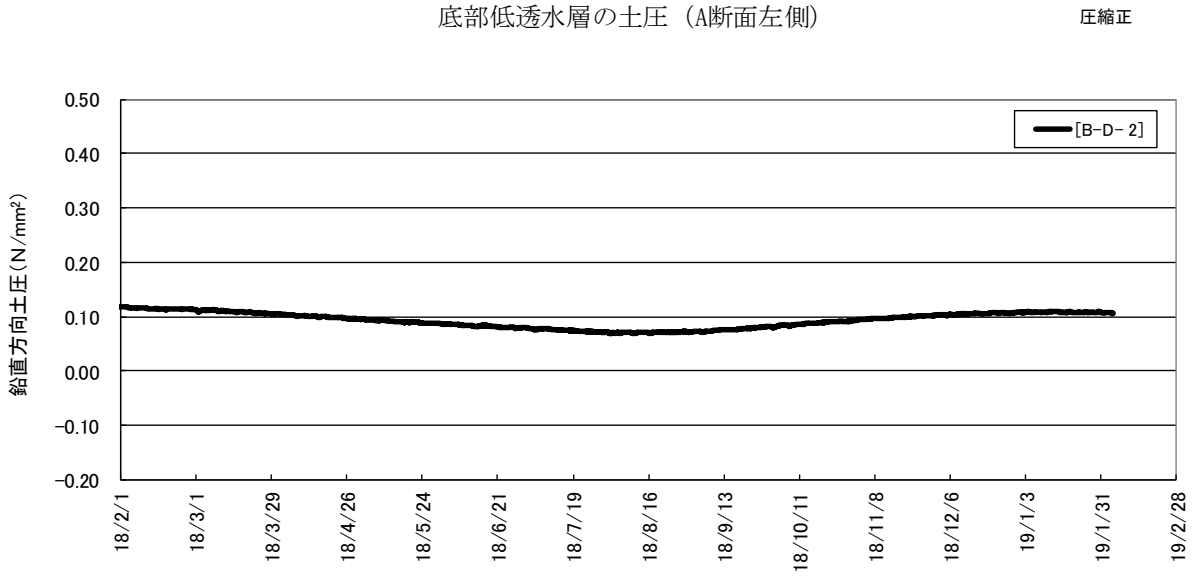
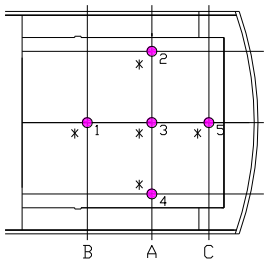


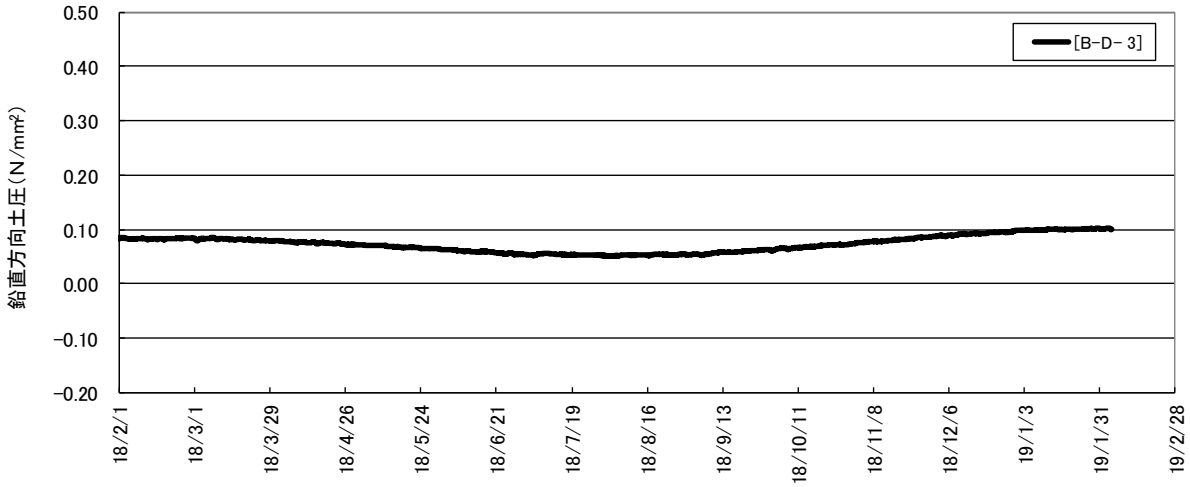
図 4.2-39　底部低透水層の土圧計測結果（1／4）



1～5：底部埋戻し材との界面
6,7：側部　〃
8：奥部　〃

⟷：水平
＊：鉛直

底部低透水層の土圧（A断面中央）　圧縮正



底部低透水層の土圧（A断面右側）　圧縮正

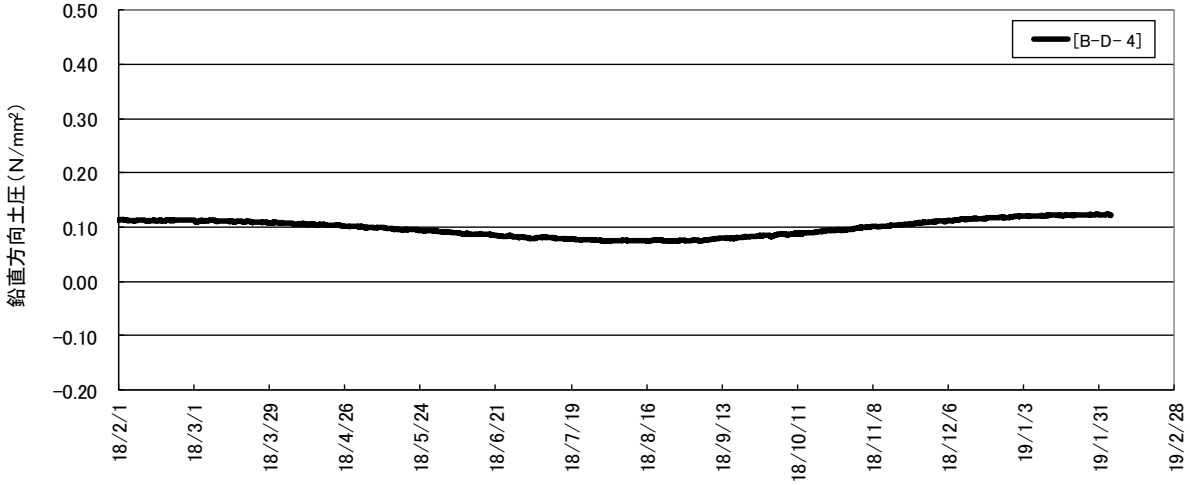
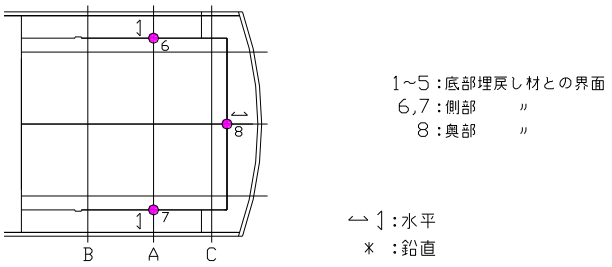
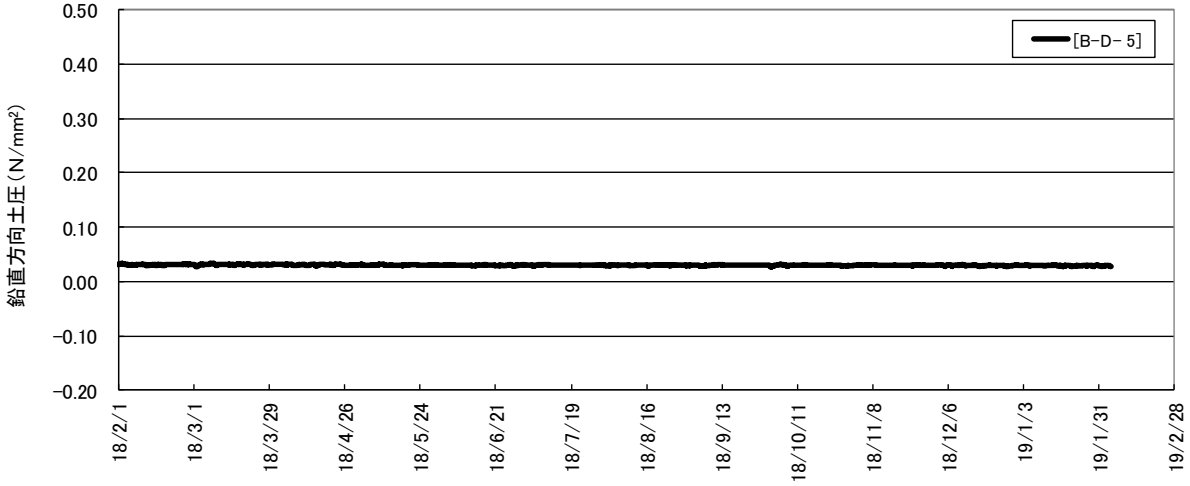


図 4.2-40　底部低透水層の土圧計測結果（2／4）



底部低透水層の土圧（C断面中央）　圧縮正



底部低透水層の土圧（A断面左側　側壁）　圧縮正

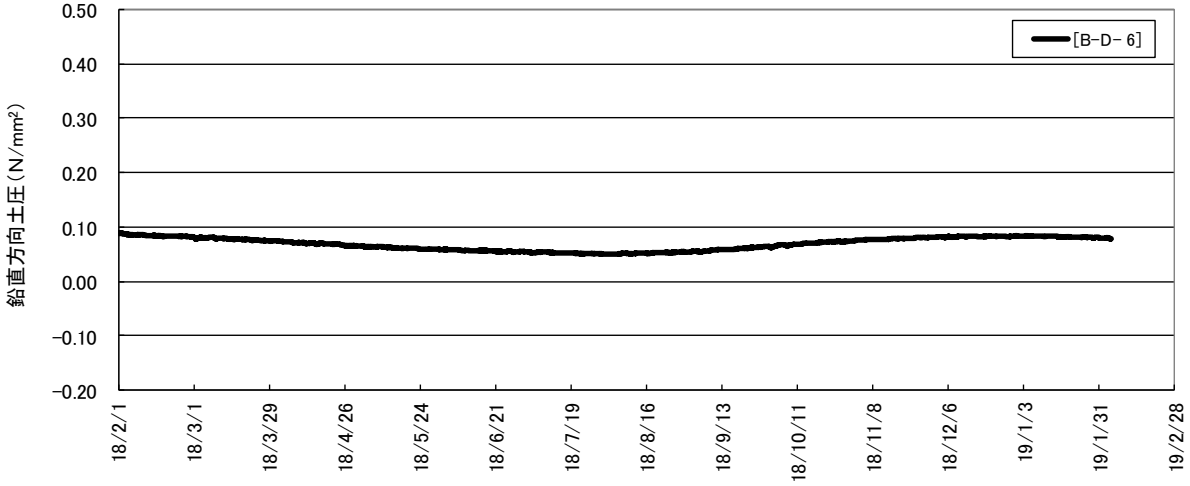
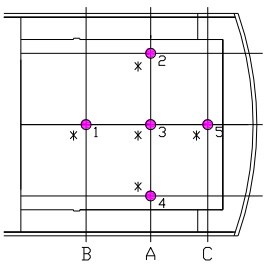


図 4.2-41　底部低透水層の土圧計測結果（3／4）

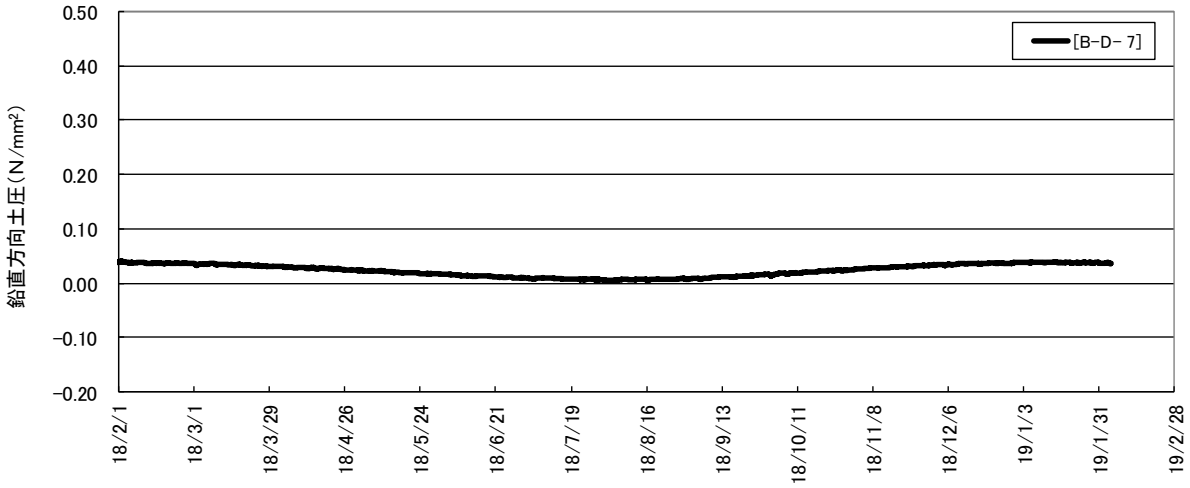


1～5：底部埋戻し材との界面
6,7：側部　〃
8：奥部　〃

⟷：水平
＊：鉛直

底部低透水層の土圧（A断面右側　側壁）

圧縮正



底部低透水層の土圧（C断面中央　側壁）

圧縮正

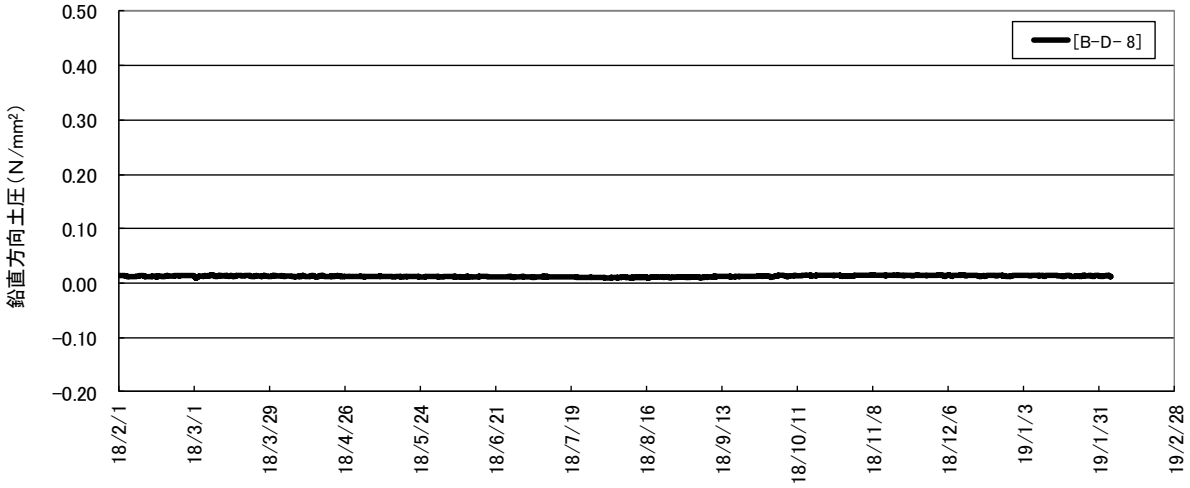
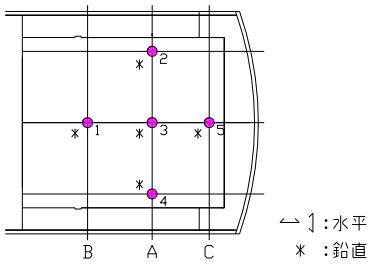


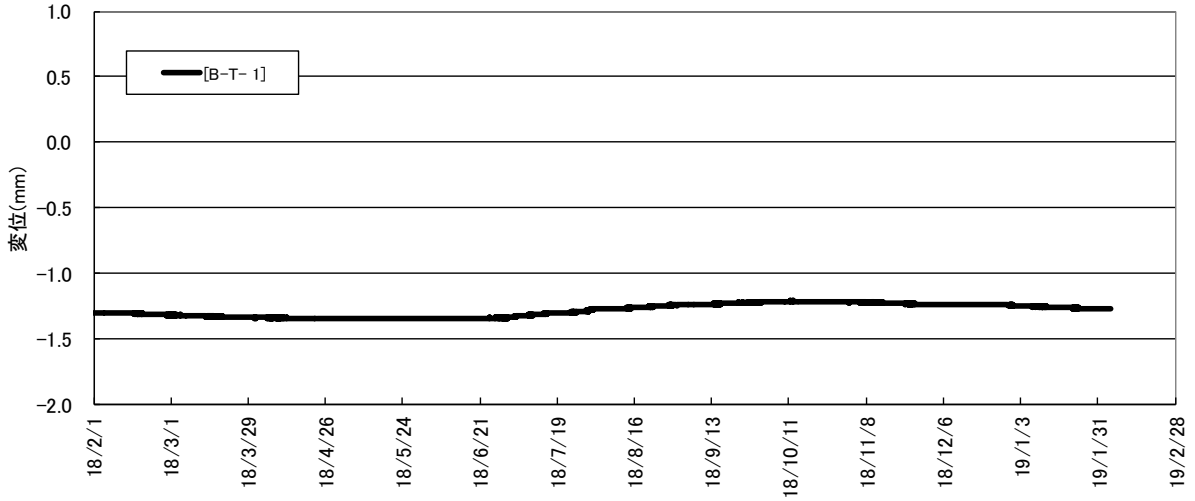
図 4.2-42　底部低透水層の土圧計測結果（4／4）

(2) 沈下計

底部低透水層に設置した沈下計の経時変化を、図 4.2-43～図 4.2-45 に示す。



底部低透水層の沈下量（B断面中央）　　＋：上方変位、－：下方変位



底部低透水層の沈下量（A断面左）　　＋：上方変位、－：下方変位

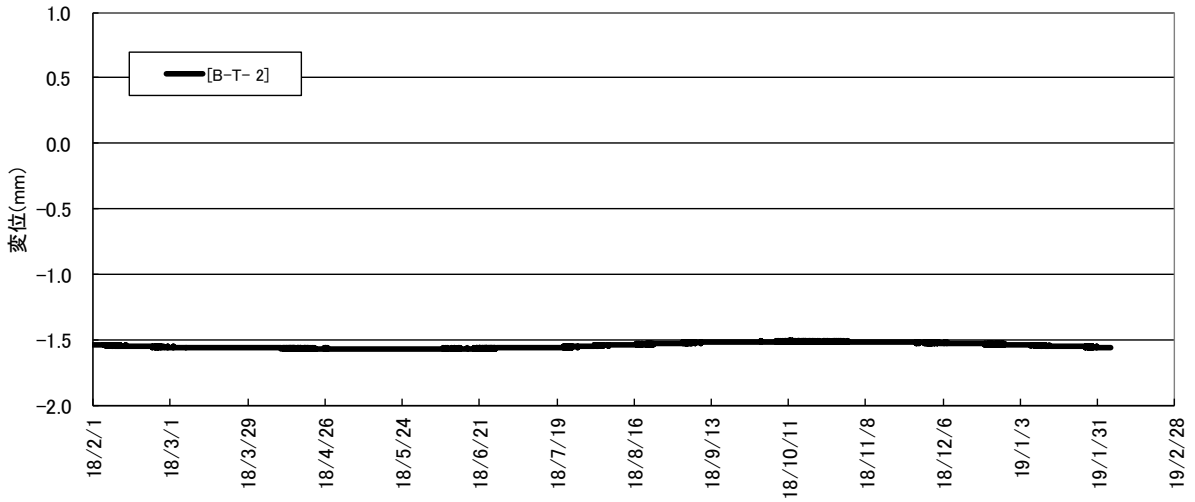
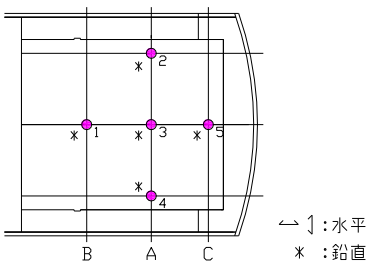
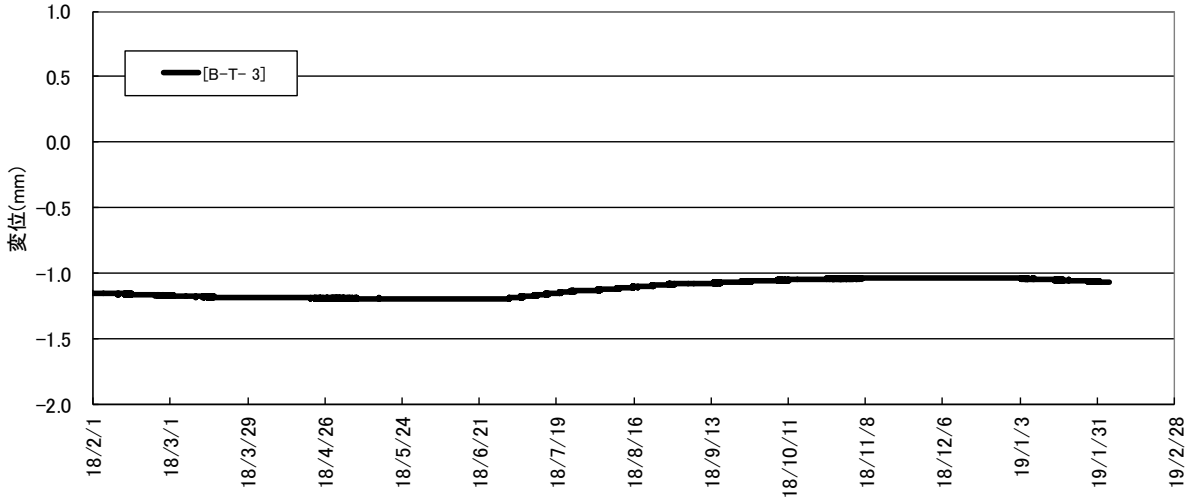


図 4.2-43　底部低透水層の沈下量計測結果（1／3）



底部低透水層の沈下量（A断面中央）　　＋：上方変位、－：下方変位



底部低透水層の沈下量（A断面右）　　＋：上方変位、－：下方変位

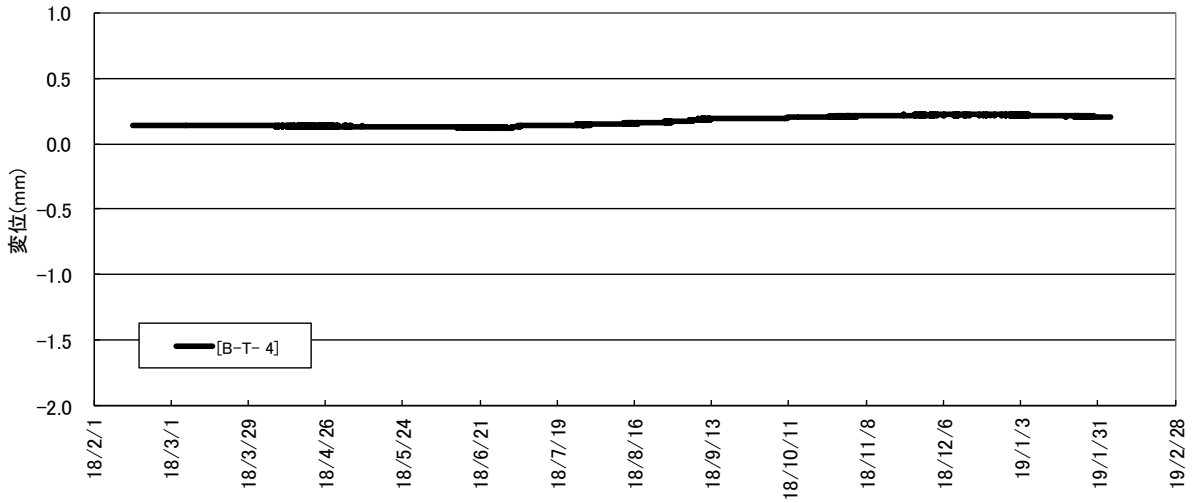
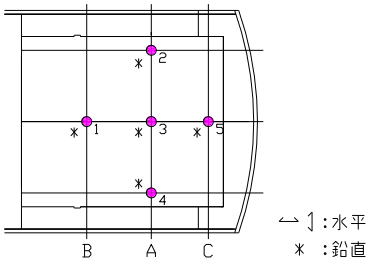


図 4.2-44　底部低透水層の沈下量計測結果（2／3）



底部低透水層の沈下量（C断面中央）　　＋：上方変位、－：下方変位

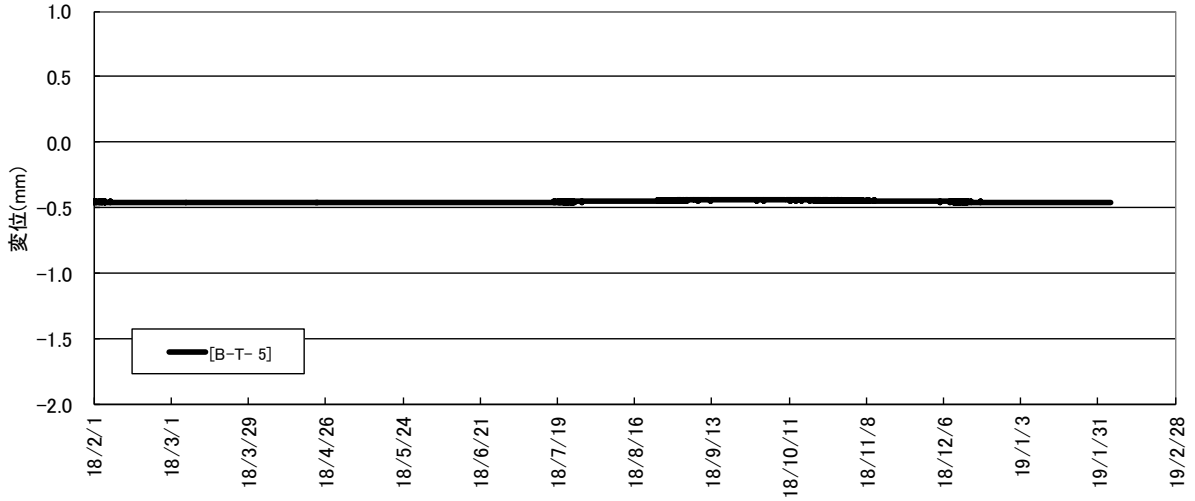
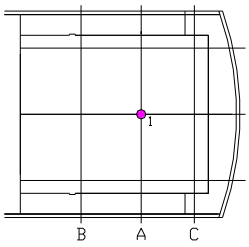


図 4.2-45　底部低透水層の沈下量計測結果（3／3）

(3) 温度計

底部低透水層に設置した温度計の経時変化を、図 4.2-46 に示す。



底部低透水層の温度（鹿島）

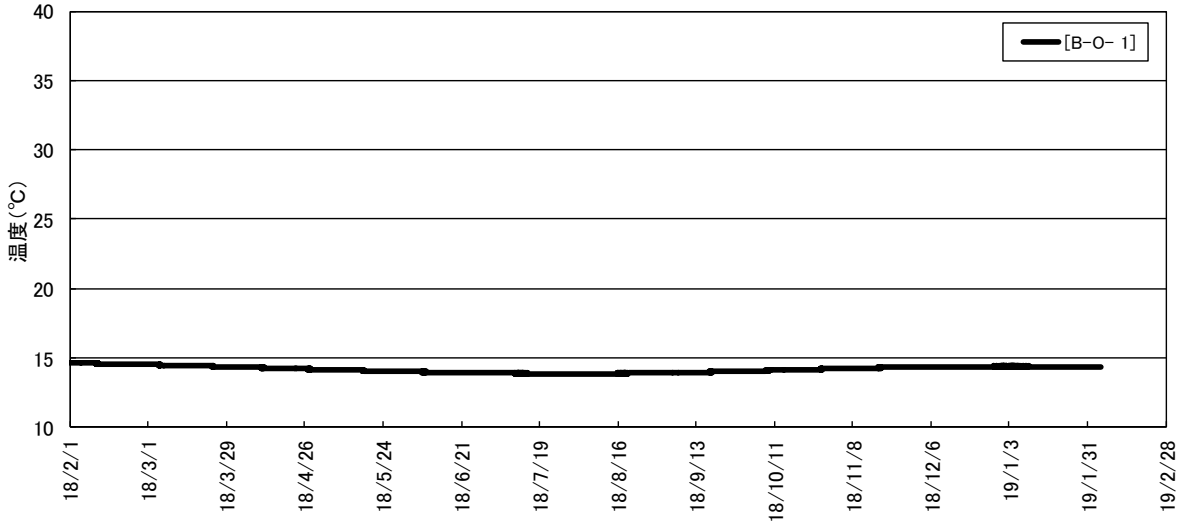
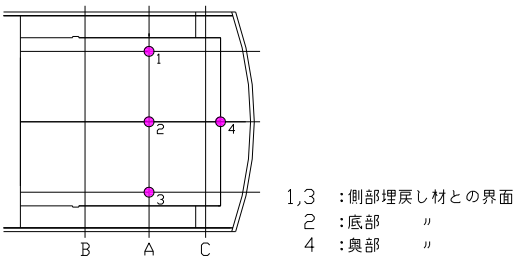


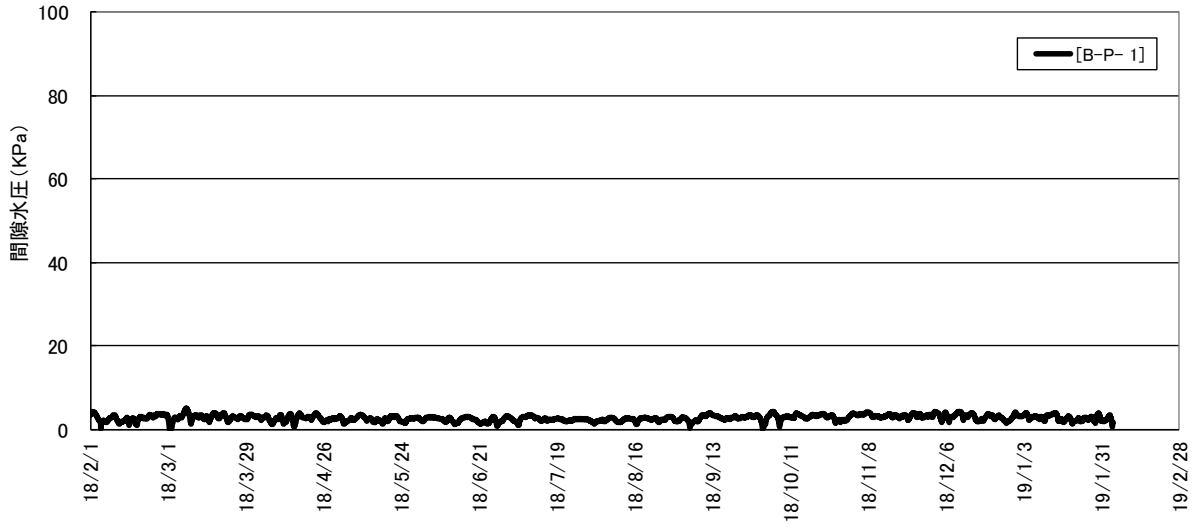
図 4.2-46　底部低透水層の温度計測結果

(4) 間隙水圧計

底部低透水層と埋戻し材界面に設置した間隙水圧計の経時変化を、図 4.2-47～図 4.2-48 に示す。



底部低透水層の間隙水圧（A断面左側）



底部低透水層の間隙水圧（A断面中央）

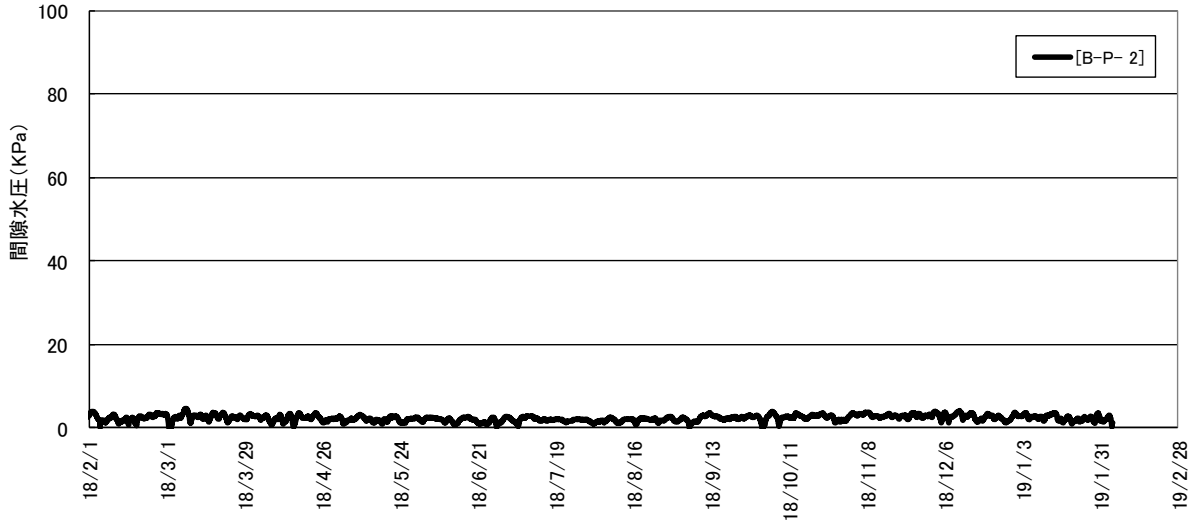
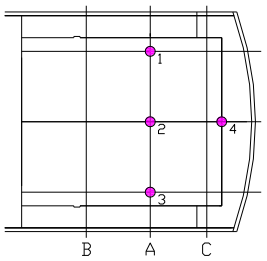
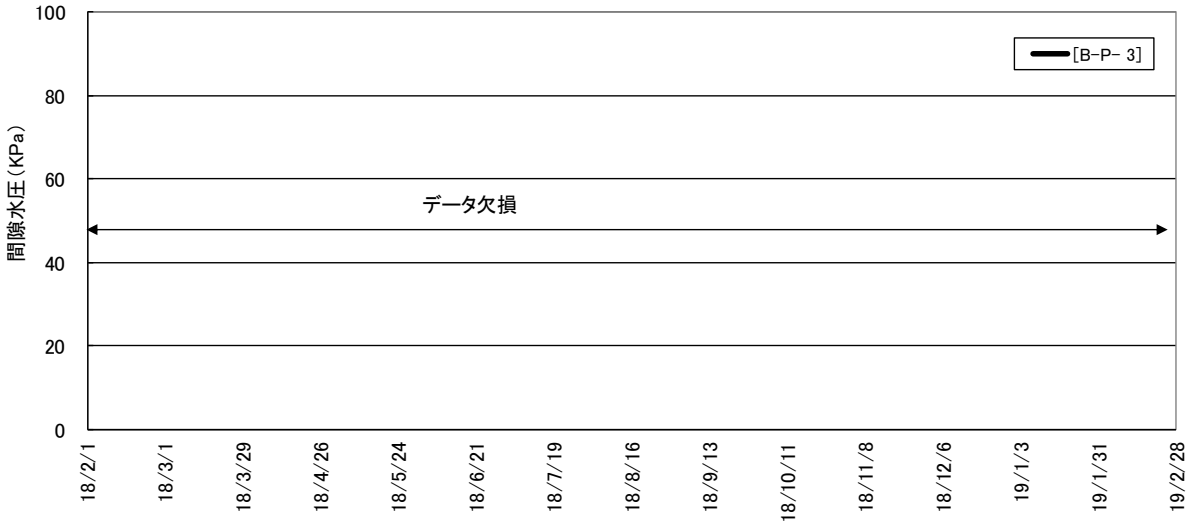


図 4.2-47　底部低透水層の間隙水圧計測結果（1／2）



1,3 ：側部埋戻し材との界面
2 ：底部 〃
4 ：奥部 〃

底部低透水層の間隙水圧（A断面右側）



底部低透水層の間隙水圧（C断面中央）

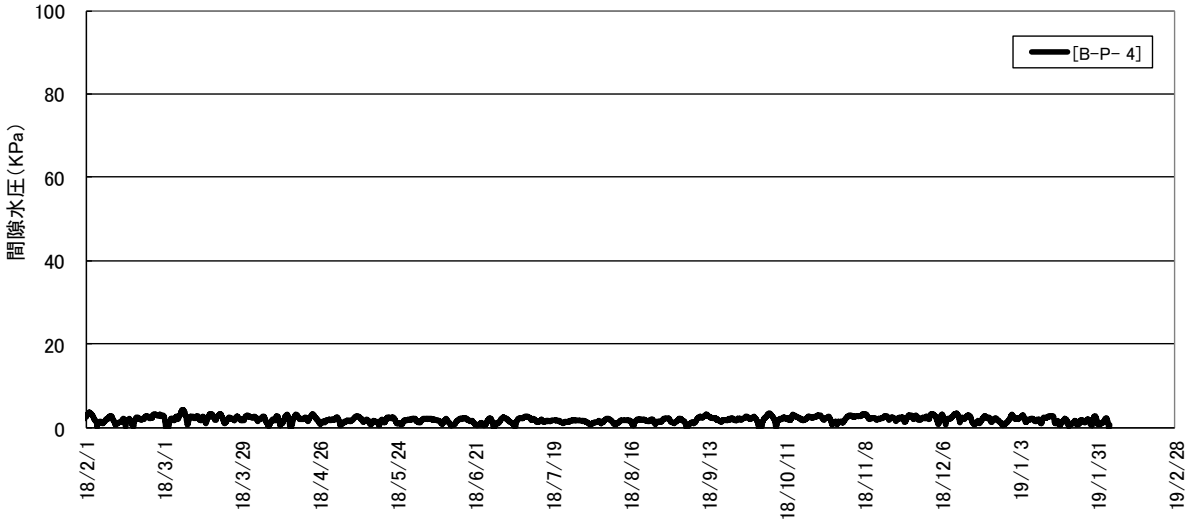
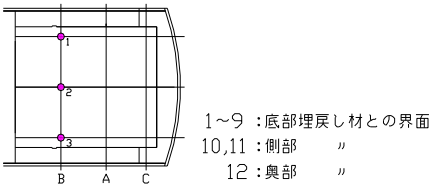
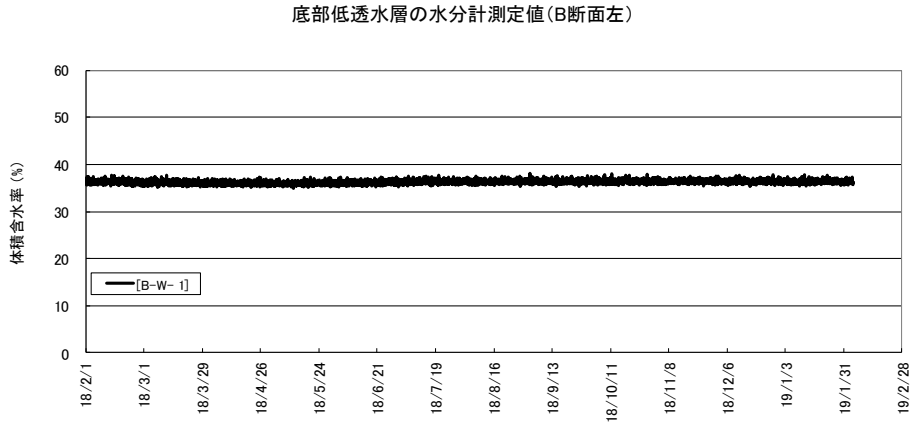


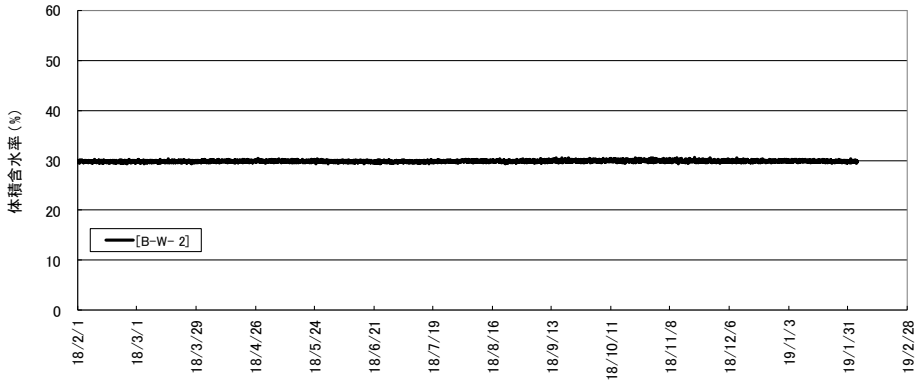
図 4.2-48 底部低透水層の間隙水圧計測結果（2／2）

(5) 水分計

底部低透水層と埋戻し材の界面に設置した水分計（TRIME-ITC）の経時変化を、図 4.2-49～図 4.2-52 に示す。この値は、平成 19 年度報告書「8.3.3　水分計の校正曲線の取得」で評価された校正式を用いて含水比に換算したものである。







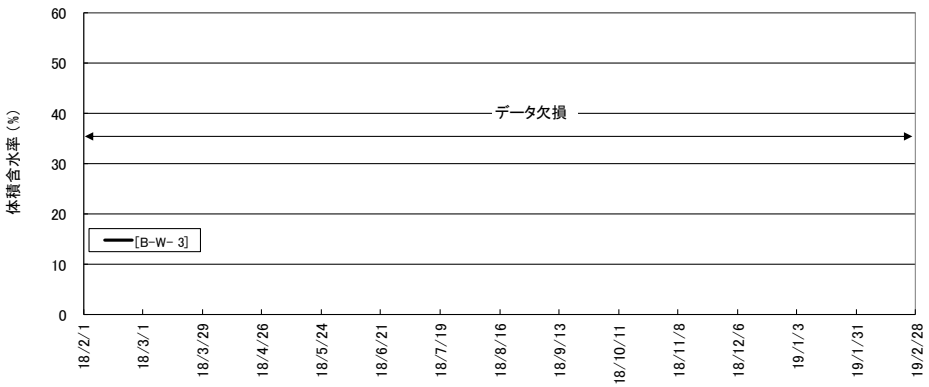
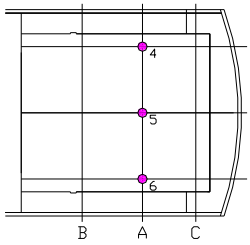
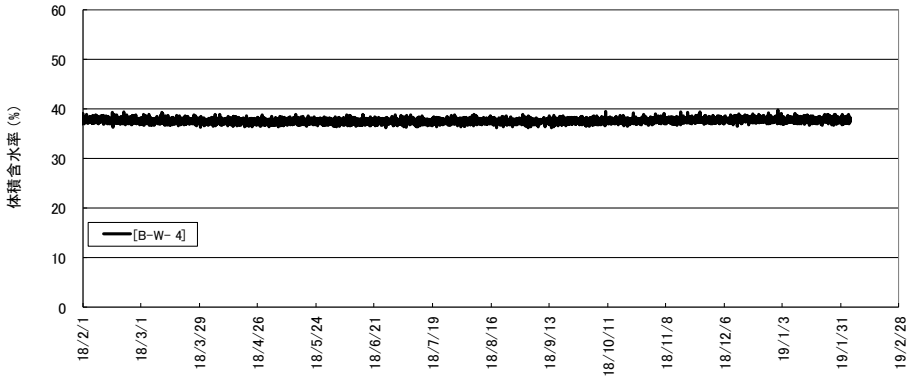


図 4.2-49　底部低透水層の含水比経時変化（1／4）

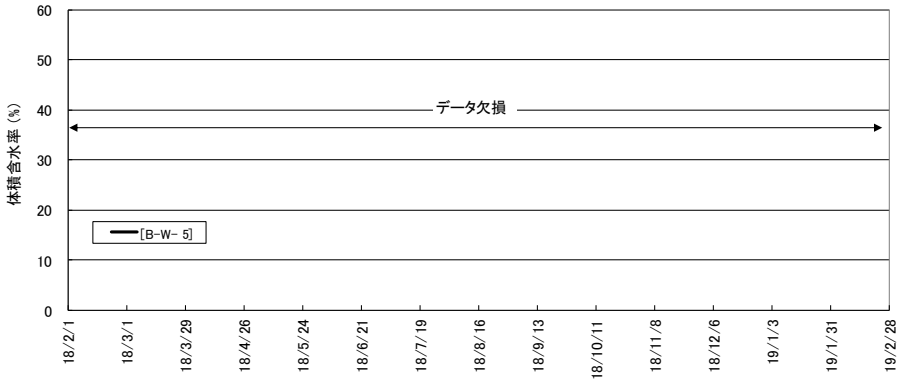


1～9 ：底部埋戻し材との界面
10,11 ：側部 〃
12 ：奥部 〃

底部低透水層の水分計測定値(A断面左)



底部低透水層の水分計測定値(A断面中央)



底部低透水層の水分計測定値(A断面右)

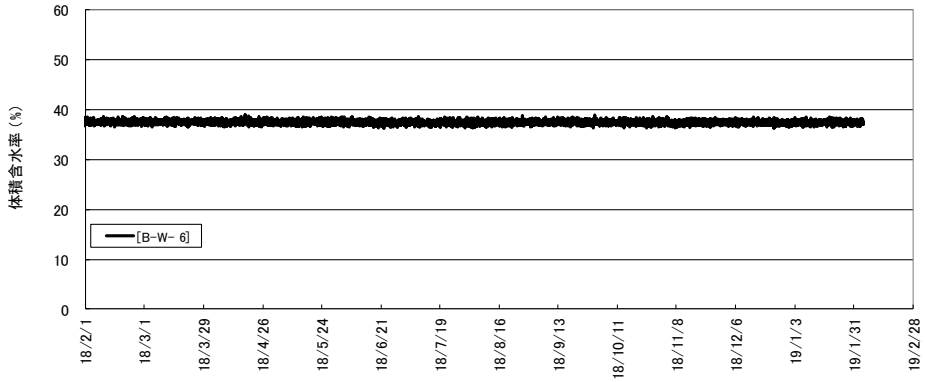
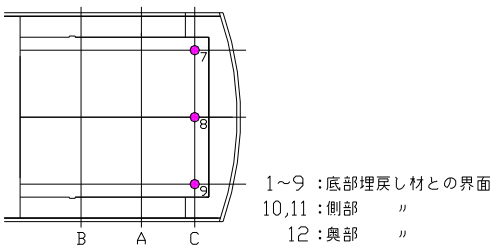
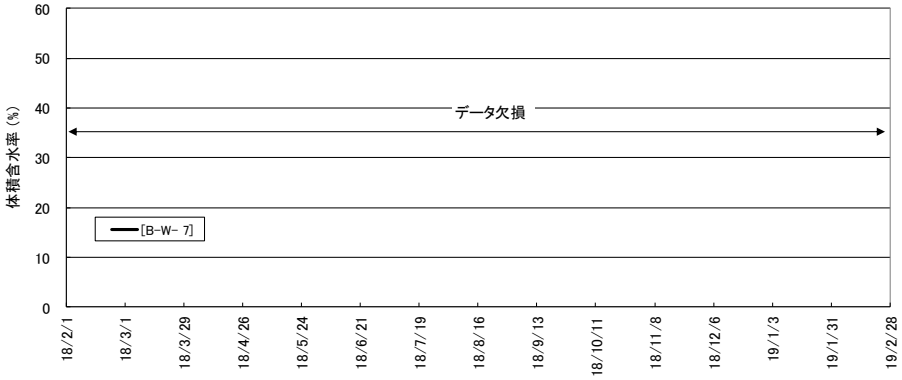


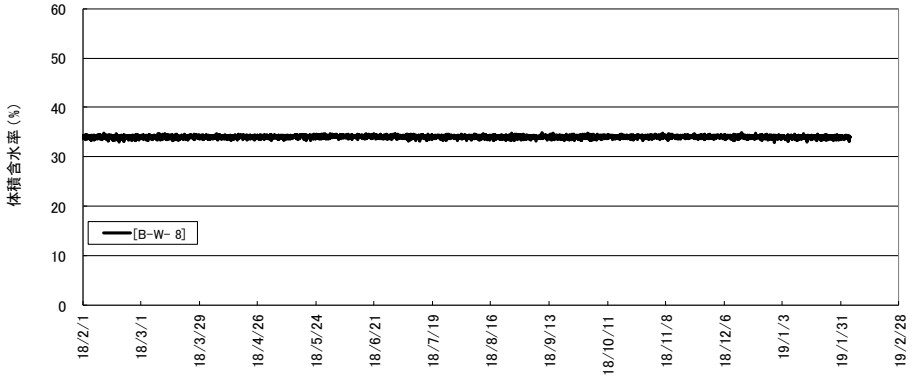
図 4.2-50 底部低透水層の含水比経時変化（2／4）



底部低透水層の水分計測定値(C断面左)



底部低透水層の水分計測定値(B断面中央)



底部低透水層の水分計測定値(B断面中央)

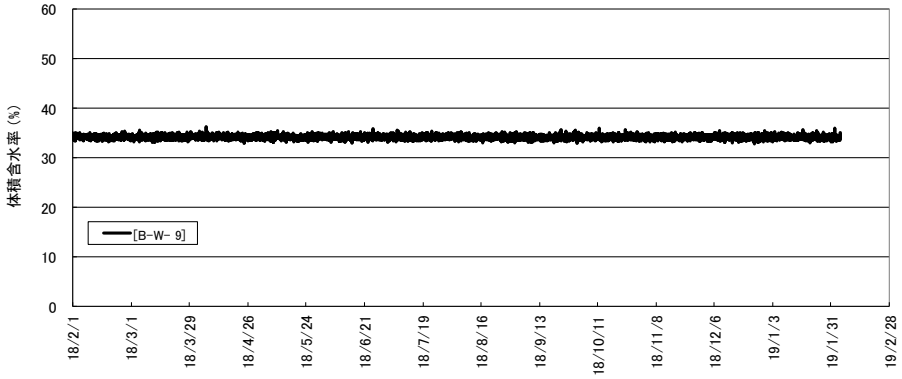
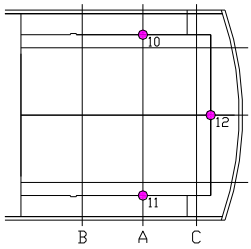
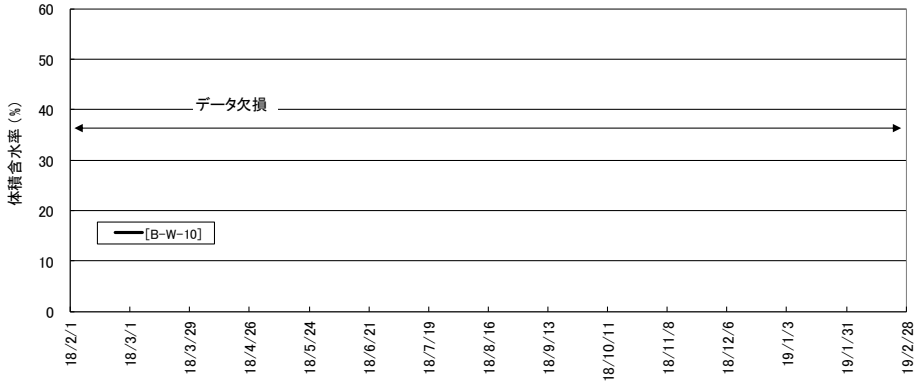


図 4.2-51　底部低透水層の含水比経時変化（3／4）

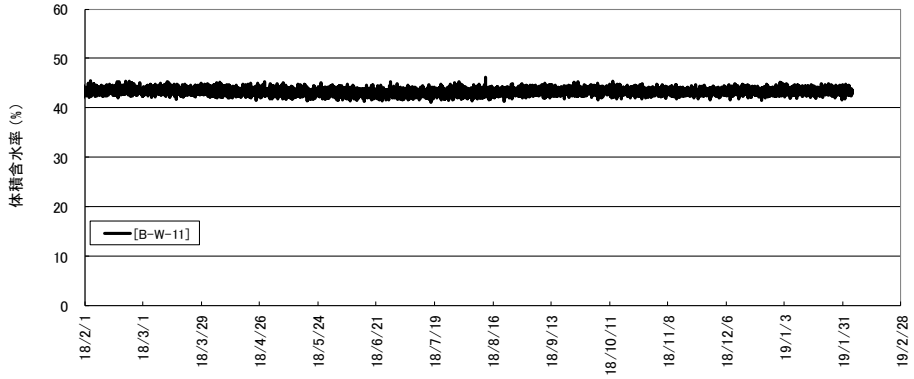


1～9 ：底部埋戻し材との界面
10,11 ：側部　〃
12 ：奥部　〃

底部低透水層の水分計測定値(A断面左)



底部低透水層の水分計測定値(B断面中央)



底部低透水層の水分計測定値(C断面中央)

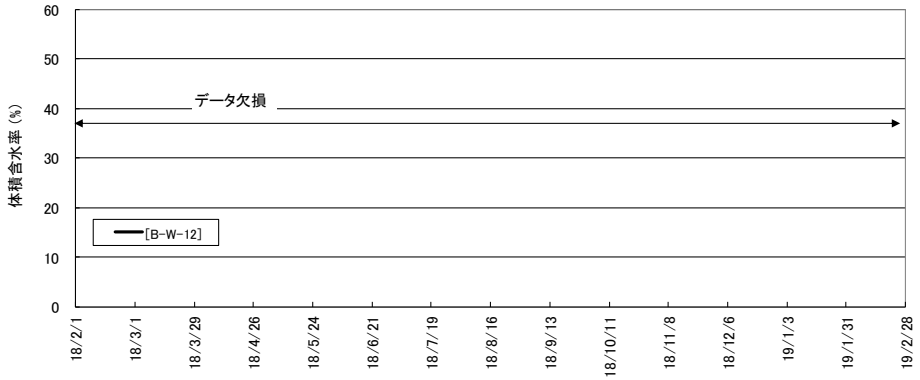


図 4.2-52　底部低透水層の含水比経時変化（4／4）

4.2.9　側部低透水層埋設計測結果

側部低透水層計測一覧表を、表 4.2-9 に示す。

表 4.2-9　側部低透水層計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日	備考
		断面	高さ	厚み			
土圧計	B-D-9	A	中段	側部埋戻し材表面	空洞横断	2010/11/11	動的計測用計器
	B-D-10	C					

(1) 土圧計

側部低透水層測定用に設置した土圧計の経時変化を、　図 4.2-53 に示す。

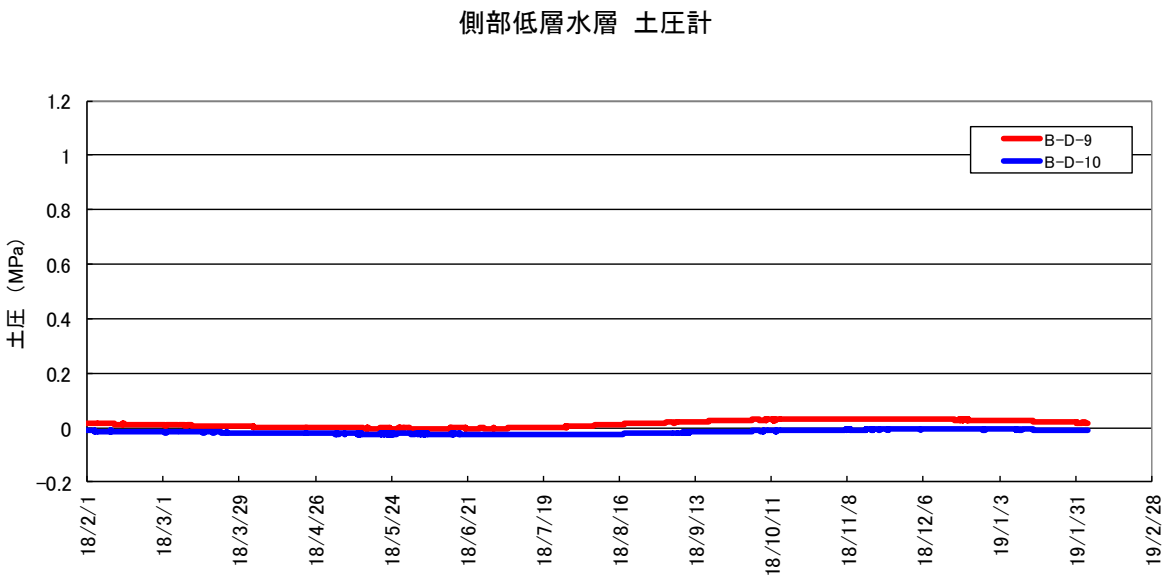


図 4.2-53　側部低透水層の土圧計測結果

4.2.10　底部低拡散層埋設計器計測結果

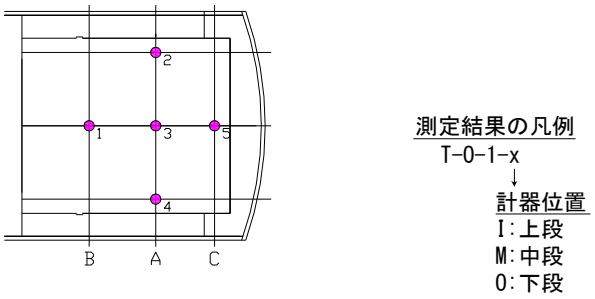
底部低拡散層計測一覧表を、表 4.2-10 に示す。

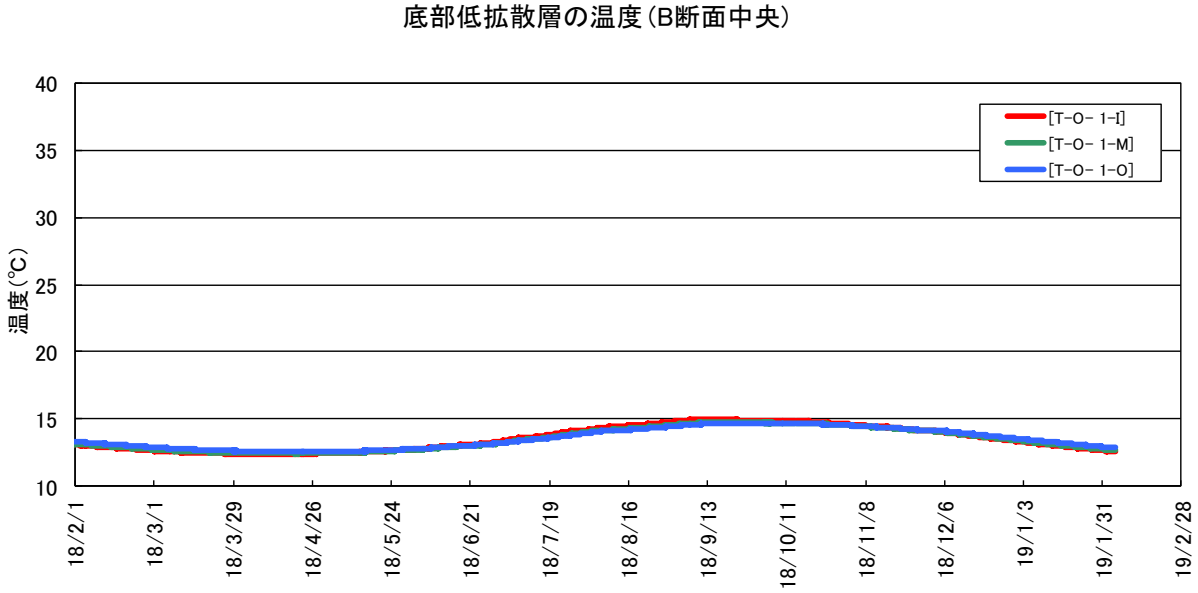
表 4.2-10　底部低拡散層計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日	備考
		断面	断面方向	厚み			
ひずみ計	T-H- 1-I-V	B	中央	上段	空洞軸	2008/10/16	底部 低拡散層打設 2008/10/16
	T-H- 2-I-V	A	L側				
	T-H- 3-I-V		中央				
	T-H- 4-I-V		R側				
	T-H- 5-I-V	C	中央				
	T-H- 1-I-C	B	中央		空洞横断		
	T-H- 2-I-C	A	L側				
	T-H- 3-I-C		中央				
	T-H- 4-I-C		R側				
	T-H- 5-I-C	C	中央				
	T-H- 1-M-V	B	中央	中段	空洞軸		
	T-H- 2-M-V	A	L側				
	T-H- 3-M-V		中央				
	T-H- 4-M-V		R側				
	T-H- 5-M-V	C	中央				
	T-H- 1-M-C	B	中央		空洞横断		
	T-H- 2-M-C	A	L側				
	T-H- 3-M-C		中央				
	T-H- 4-M-C		R側				
	T-H- 5-M-C	C	中央				
	T-H- 1-O-V	B	中央	下段	空洞軸		
	T-H- 2-O-V	A	L側				
	T-H- 3-O-V		中央				
	T-H- 4-O-V		R側				
	T-H- 5-O-V	C	中央				
	T-H- 1-O-C	B	中央		空洞横断		
	T-H- 2-O-C	A	L側				
	T-H- 3-O-C		中央				
	T-H- 4-O-C		R側				
	T-H- 5-O-C	C	中央				
有効応力計	T-U- 1-V	A	L側	中段	空洞軸		
	T-U- 2-V		中央				
	T-U- 3-V		R側				
	T-U- 1-C		L側		空洞横断		
	T-U- 2-C		中央				
	T-U- 3-C		R側				
無応力計	T-M- 1	A	中央	中段	空洞軸		
温度計	T-O- 1-I	B	中央	上段	―		
	T-O- 2-I	A	L側				
	T-O- 3-I		中央				
	T-O- 4-I		R側				
	T-O- 5-I	C	中央				
	T-O- 1-M	B	中央	中段			
	T-O- 2-M	A	L側				
	T-O- 3-M		中央				
	T-O- 4-M		R側				
	T-O- 5-M	C	中央				
	T-O- 1-O	B	中央	下段			
	T-O- 2-O	A	L側				
	T-O- 3-O		中央				
	T-O- 4-O		R側				
	T-O- 5-O	C	中央				
継目計	T-J- 1	B	中央	―	鉛直	2008/11/24	
	T-J- 2	A	L側				
	T-J- 3		中央				
	T-J- 4		R側				
	T-J- 5	C	中央				
せん断変位計	T-S- 1	B	中央	―	空洞横断		
	T-S- 2	A	L側				
	T-S- 3		中央				
	T-S- 4		R側				
	T-S- 5	C	中央				

(1) 温度計

底部低拡散層に設置した温度計の経時変化を、図 4.2-54～図 4.2-55 に示す。





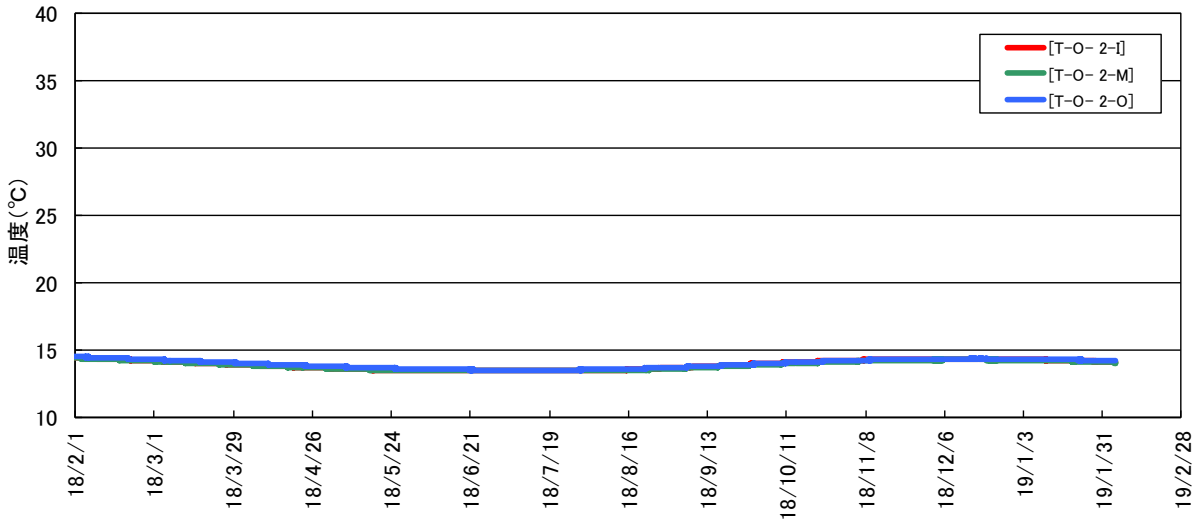
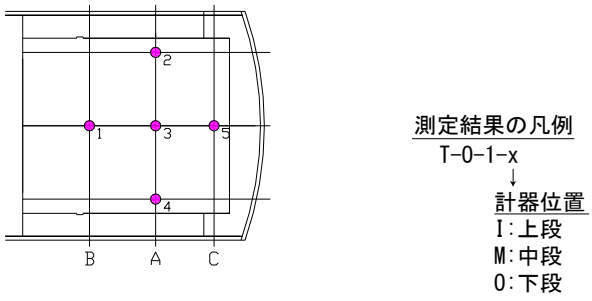
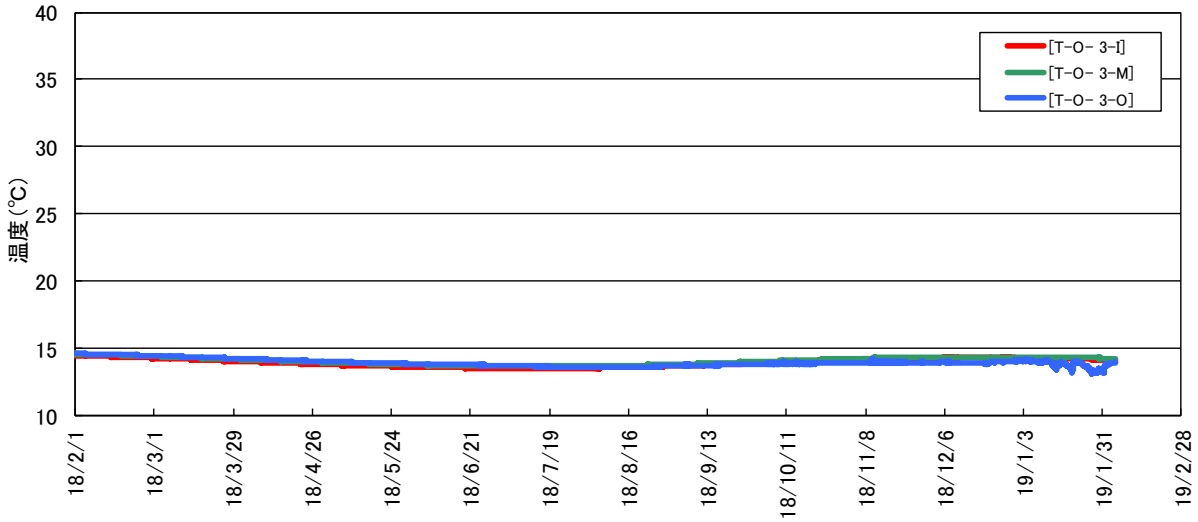


図 4.2-54　底部低拡散層の温度計測結果（1／3）





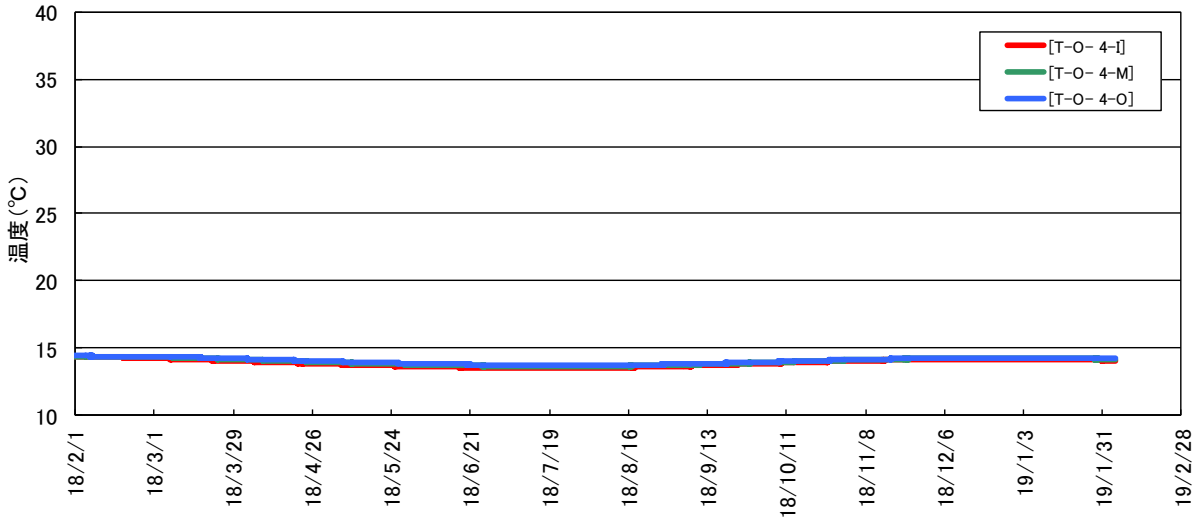
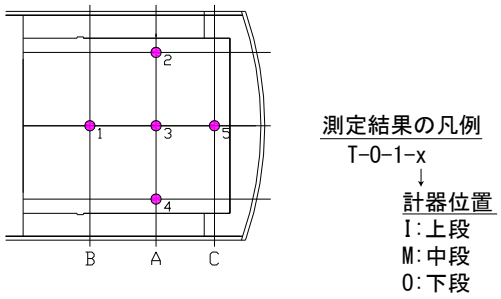


図 4.2-55　底部低拡散層の温度計測結果（2／3）



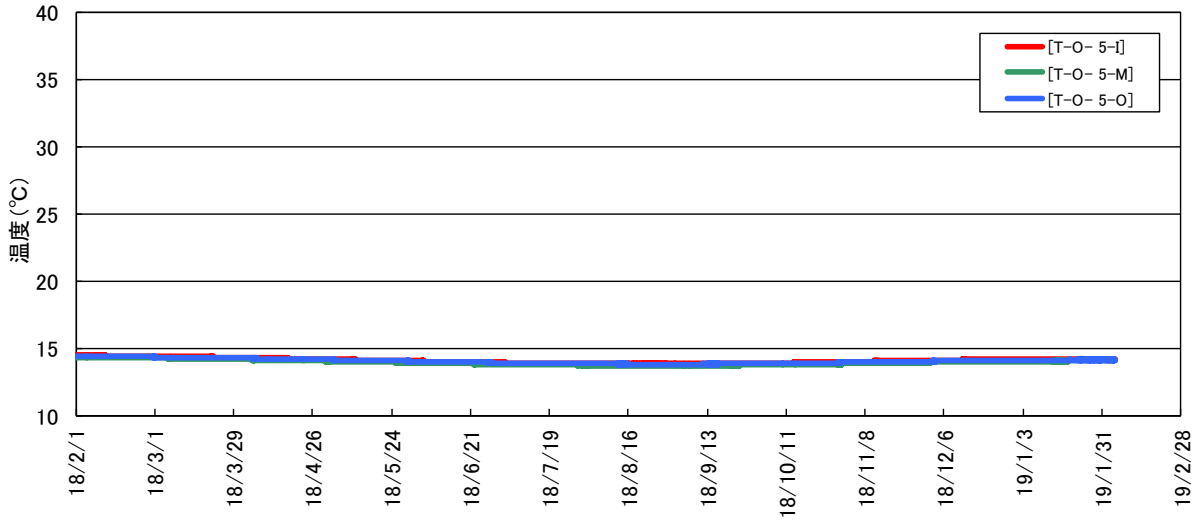
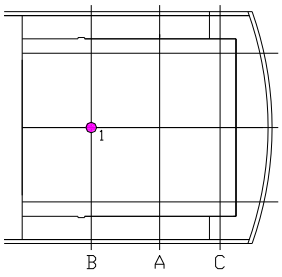


図 4.2-56　底部低拡散層の温度計測結果（3／3）

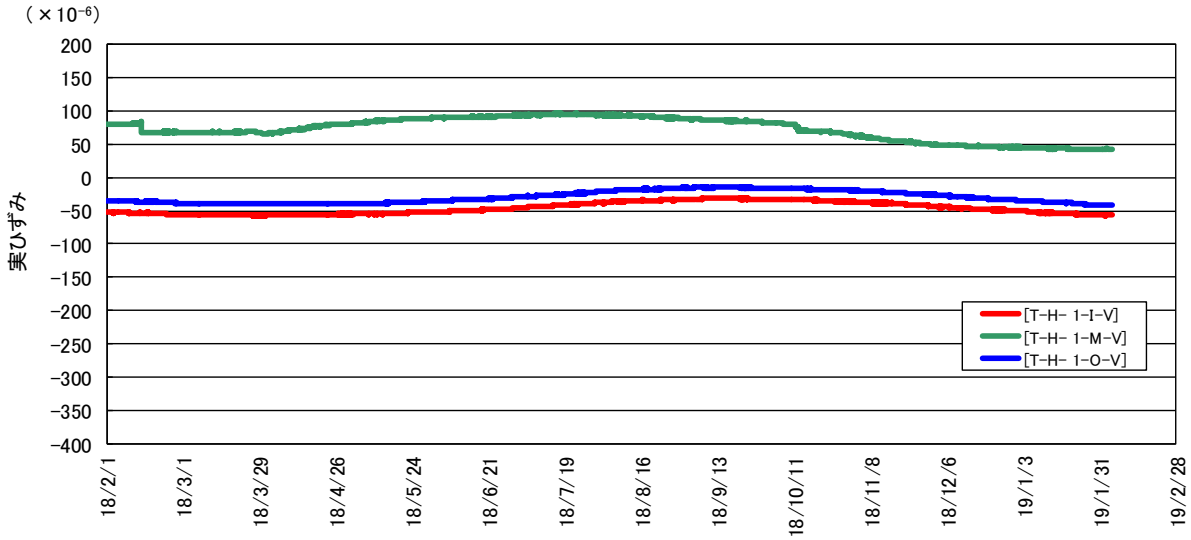
(2) ひずみ計

底部低拡散層に設置したひずみ計の経時変化（実ひずみ）を、図 4.2-72～図 4.2-61 に示す。



測定結果の凡例
T-H-1-x-y
測定方向
V:空同軸
C:空洞横断
計器位置
I:上段
M:中段
O:下段

底部低拡散層の空洞軸方向実ひずみ（B断面中央）　＋:膨張、－:収縮



底部低拡散層の空洞横断方向実ひずみ（B断面中央）　＋:膨張、－:収縮

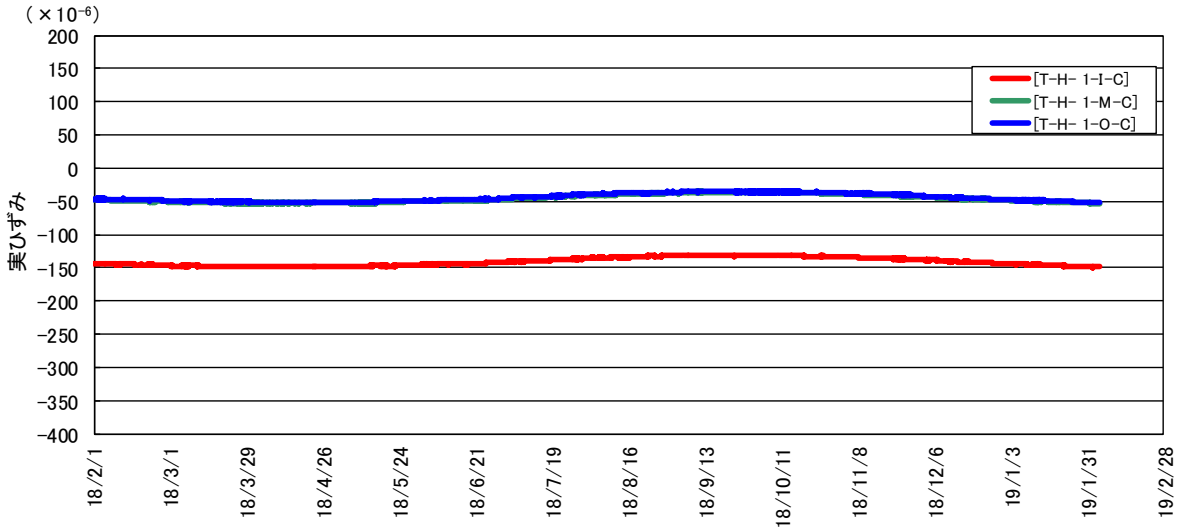
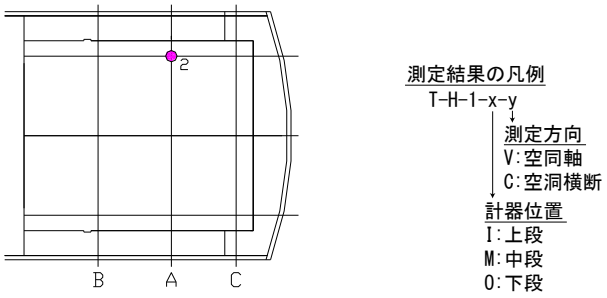
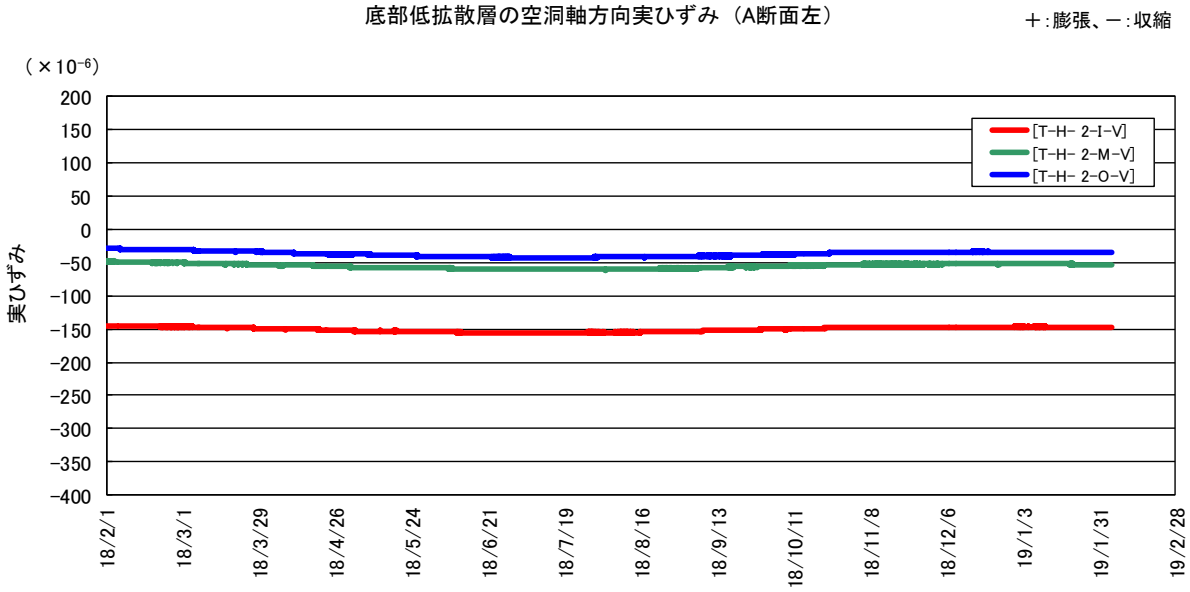


図 4.2-57　底部低拡散層の実ひずみ（1／5）





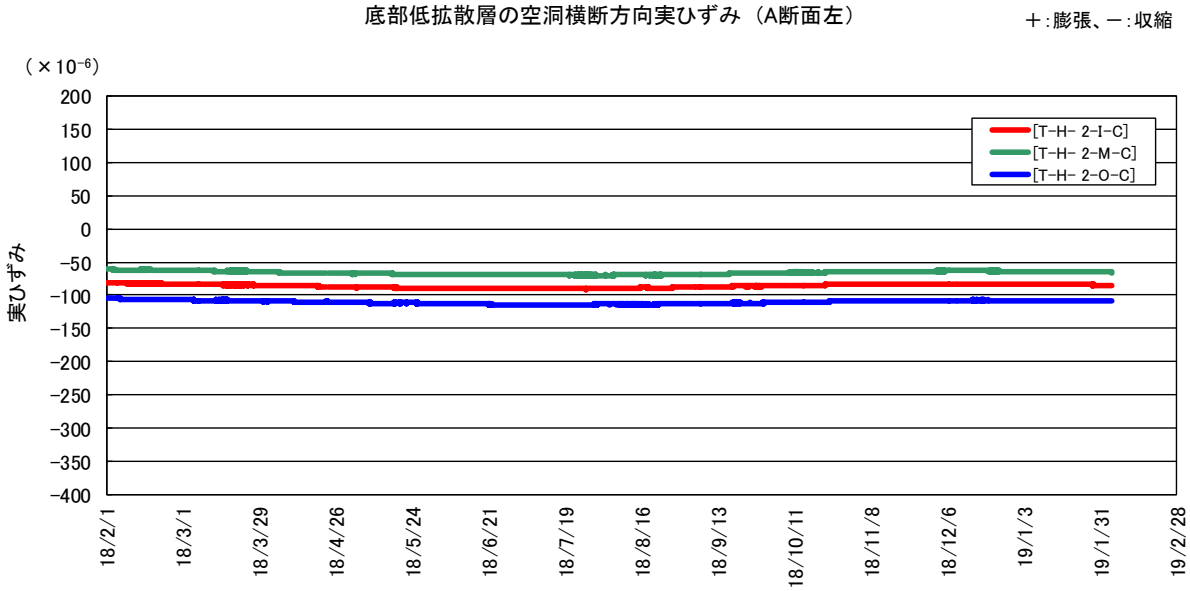
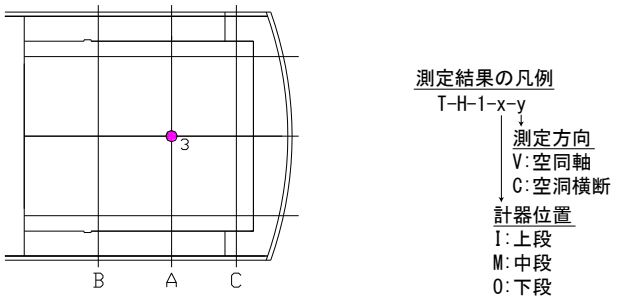
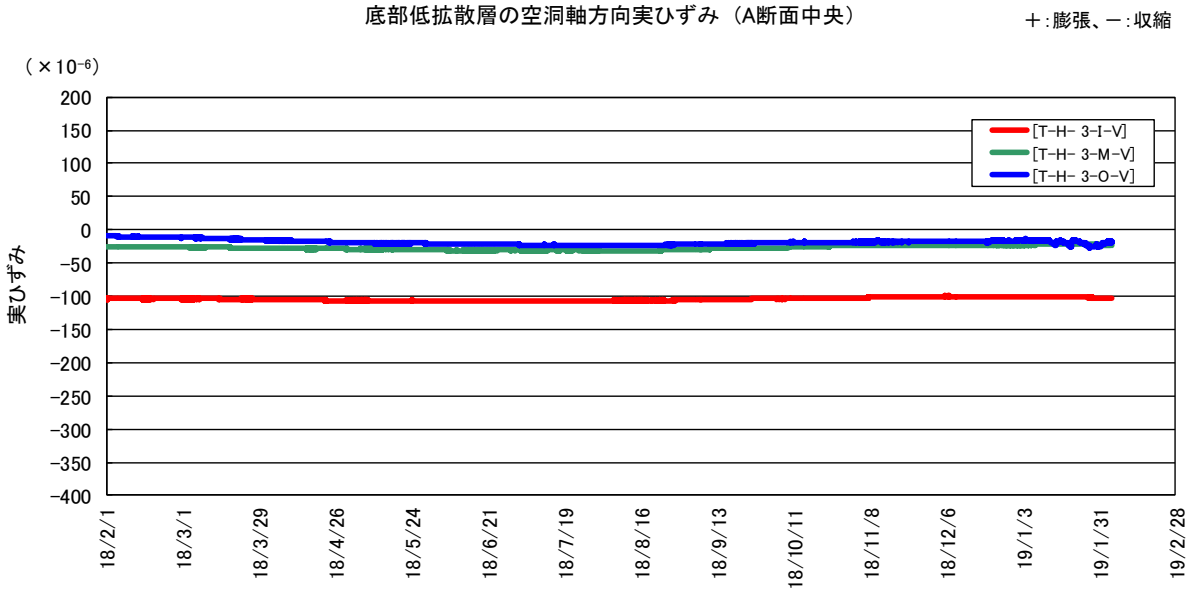


図 4.2-58　底部低拡散層の実ひずみ（2／5）





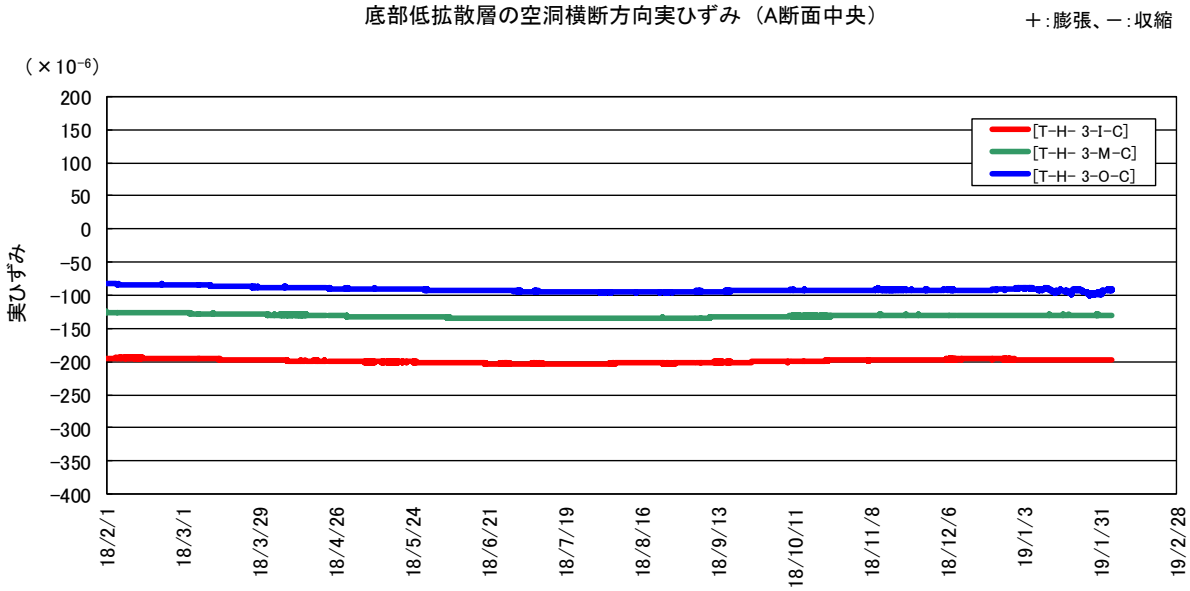
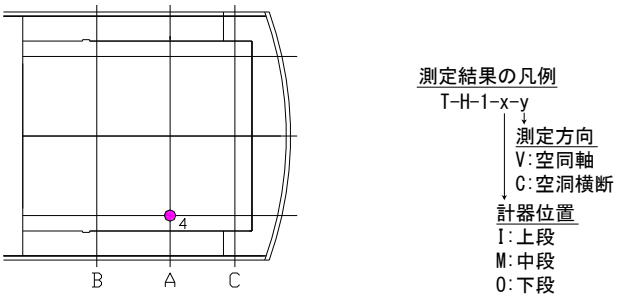
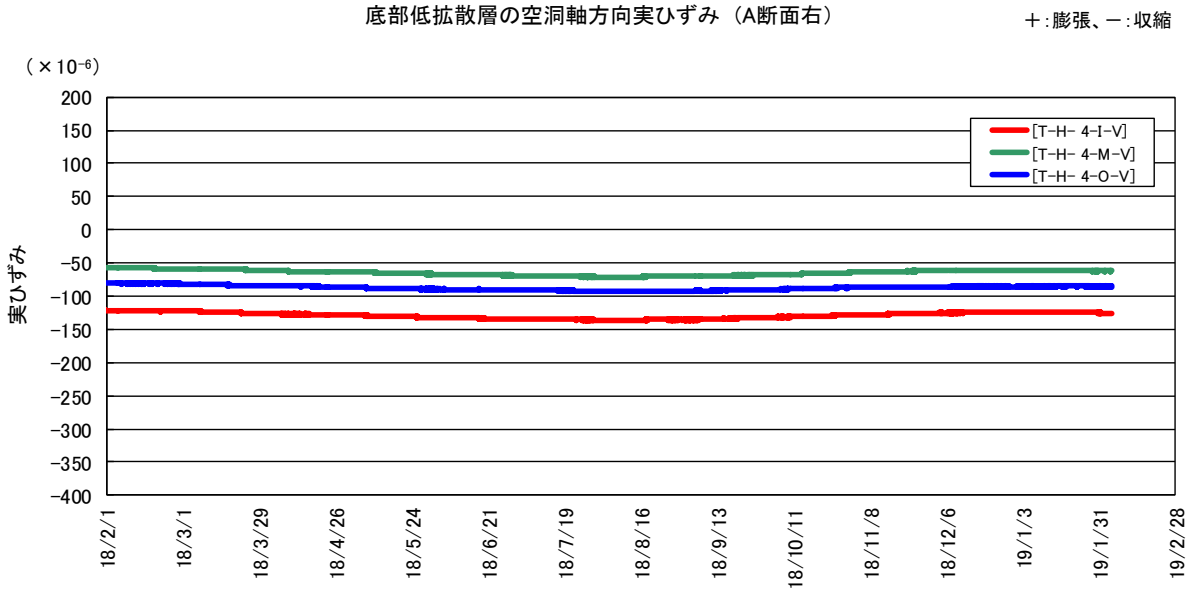


図 4.2-59　底部低拡散層の実ひずみ（3／5）





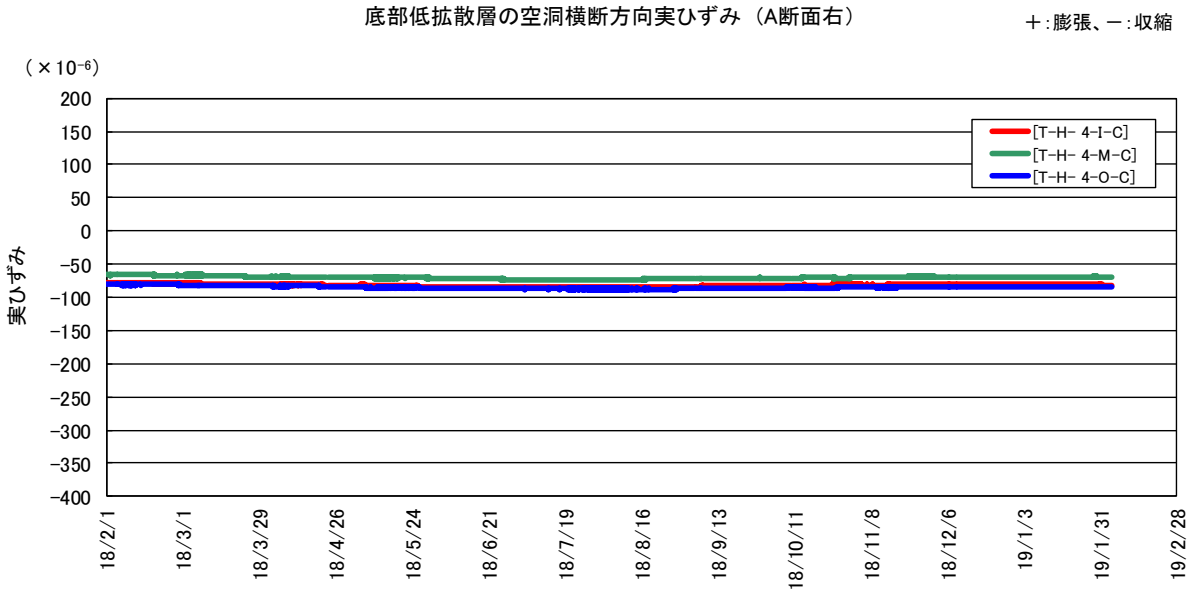
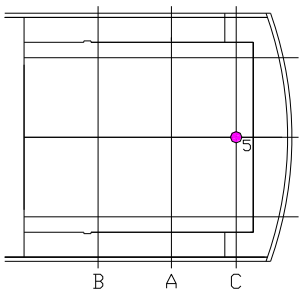


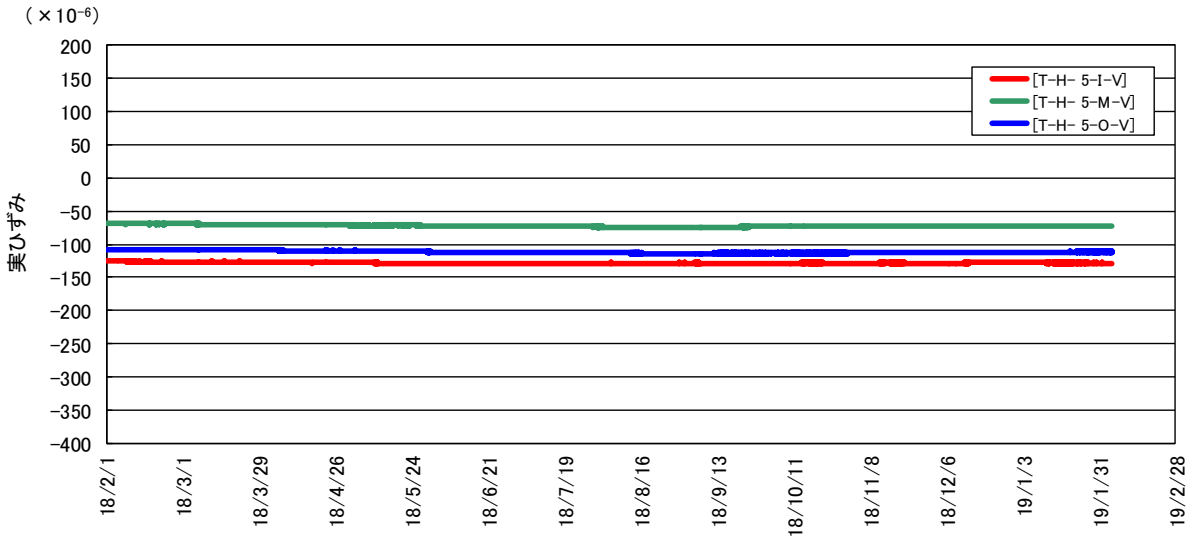
図 4.2-60　底部低拡散層の実ひずみ（4／5）



測定結果の凡例
T-H-1-x-y
測定方向
V:空同軸
C:空洞横断
計器位置
I:上段
M:中段
O:下段

底部低拡散層の空洞軸方向実ひずみ（C断面中央）

＋:膨張、－:収縮



底部低拡散層の空洞横断方向実ひずみ（C断面中央）

＋:膨張、－:収縮

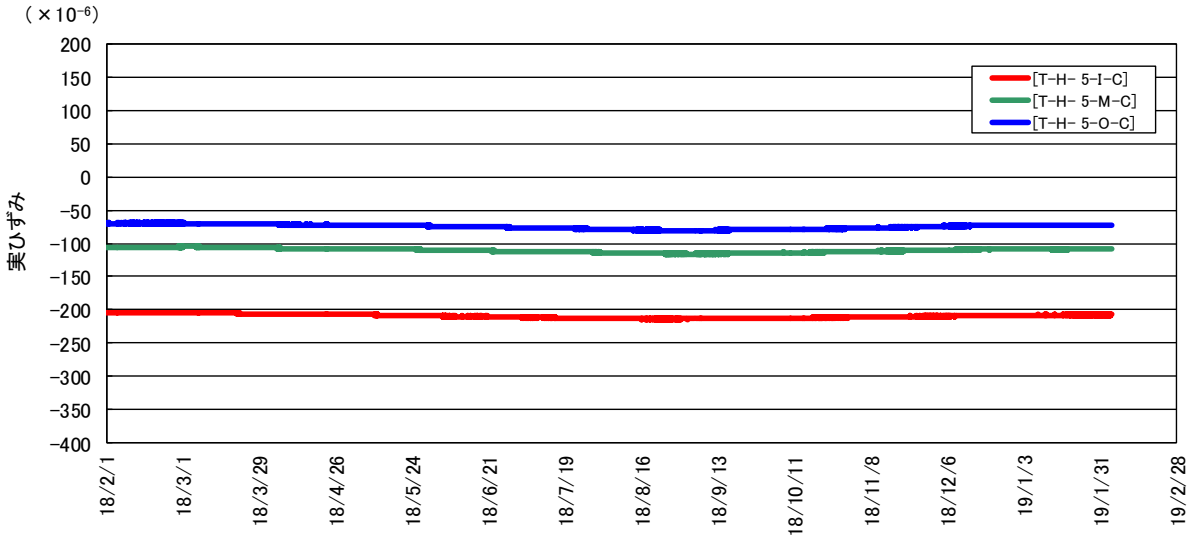


図 4.2-61　底部低拡散層の実ひずみ（5／5）

(3) 無応力計

底部低拡散層に設置した無応力計の経時変化（自由ひずみ）を、図 4.2-62 に示す。

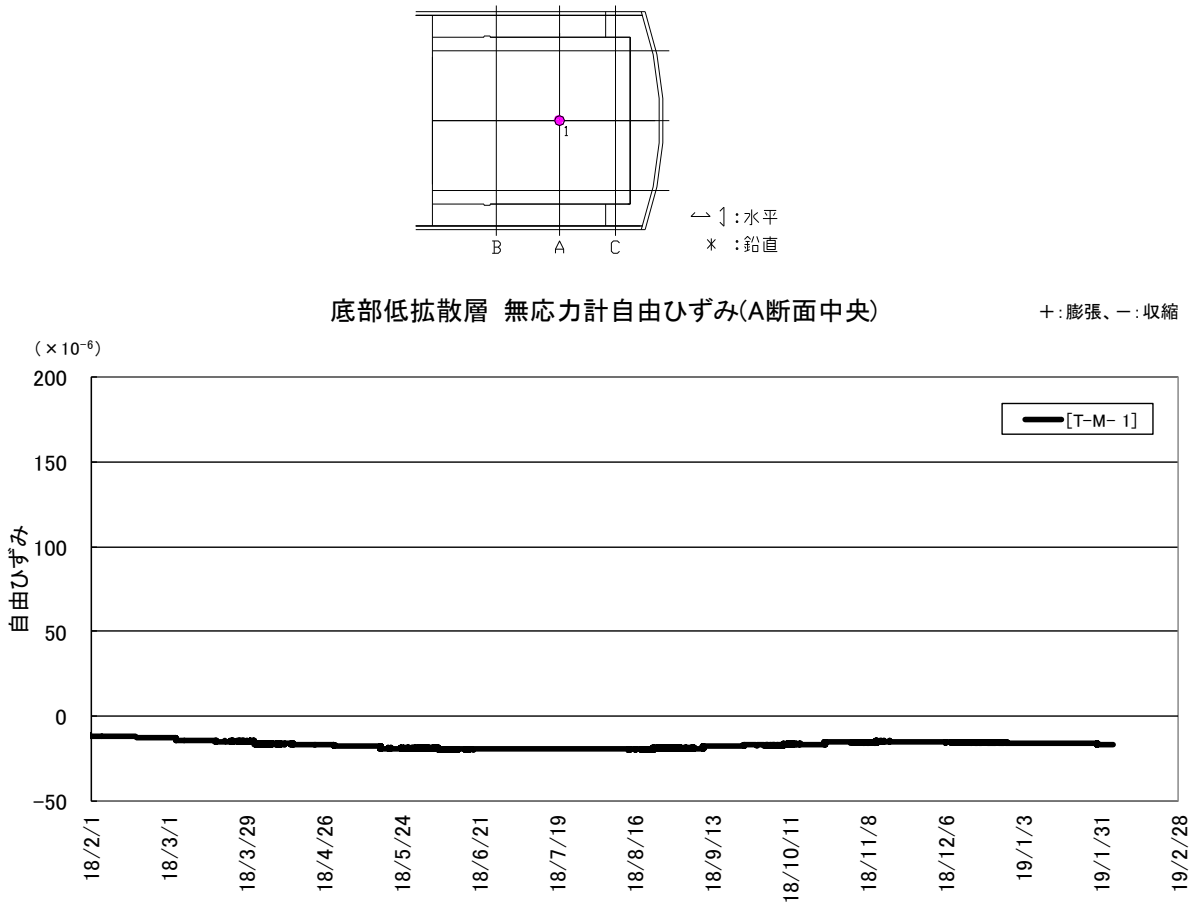
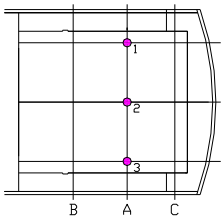


図 4.2-62　底部低拡散層の自由ひずみ

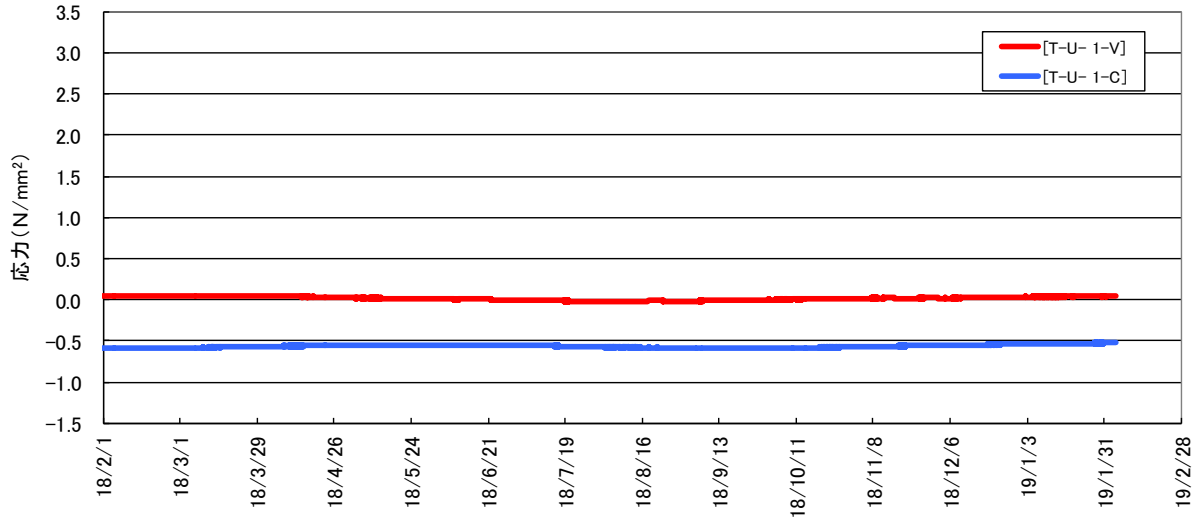
(4) 有効応力計

底部低拡散層に設置した有効応力計の経時変化を、図 4.2-63～図 4.2-64 に示す。



測定結果の凡例
T-U-1-x
↓
測定方向
V:空同軸
C:空洞横断

底部低拡散層のモルタル応力(A断面左)　　＋:引張、－:圧縮



底部低拡散層のモルタル応力(A断面中央)　　＋:引張、－:圧縮

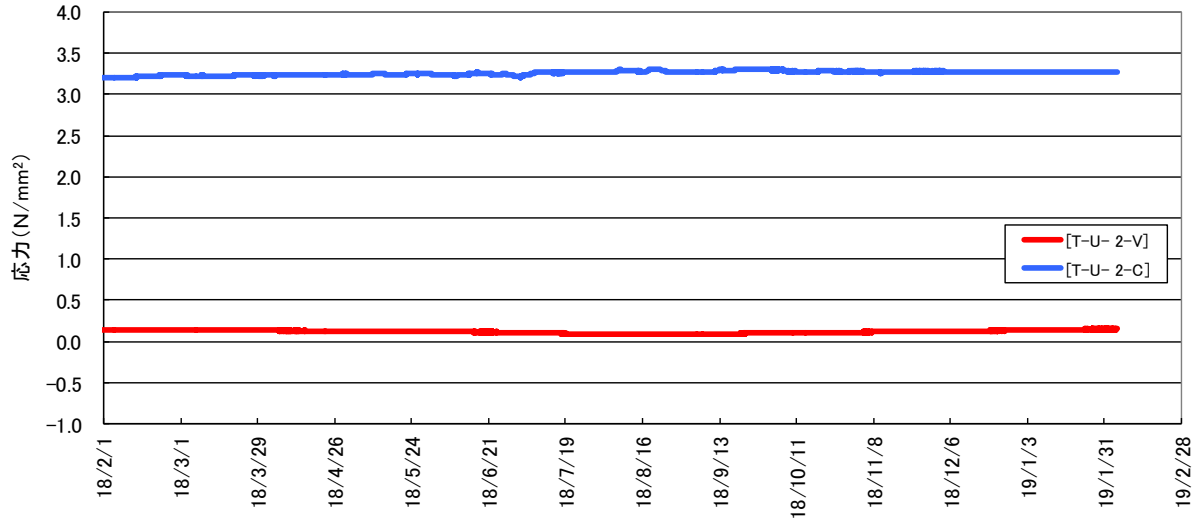


図 4.2-63　底部低拡散層のモルタル応力計測結果（1／2）

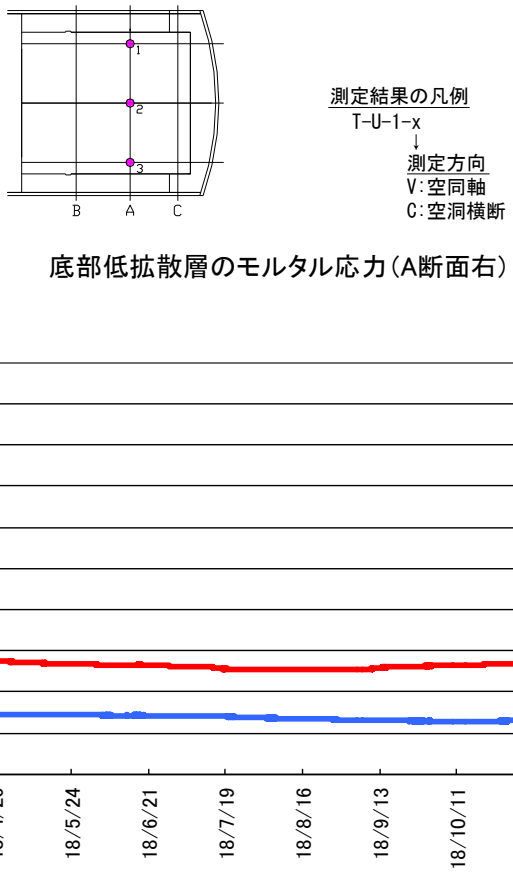
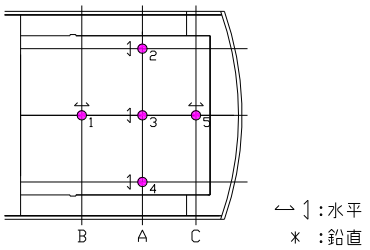
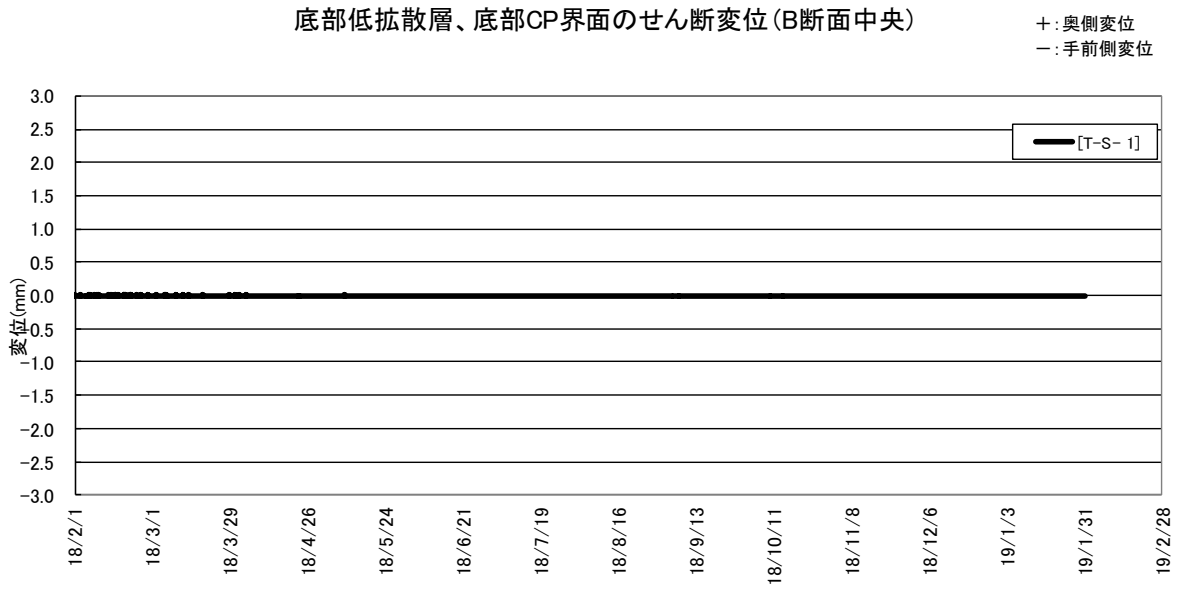


図 4.2-64　底部低拡散層のモルタル応力計測結果（2／2）

(5) せん断変位計

底部低拡散層と底部コンクリートピットの界面に設置したせん断変位計の経時変化を、図 4.2-65～図 4.2-66 に示す。





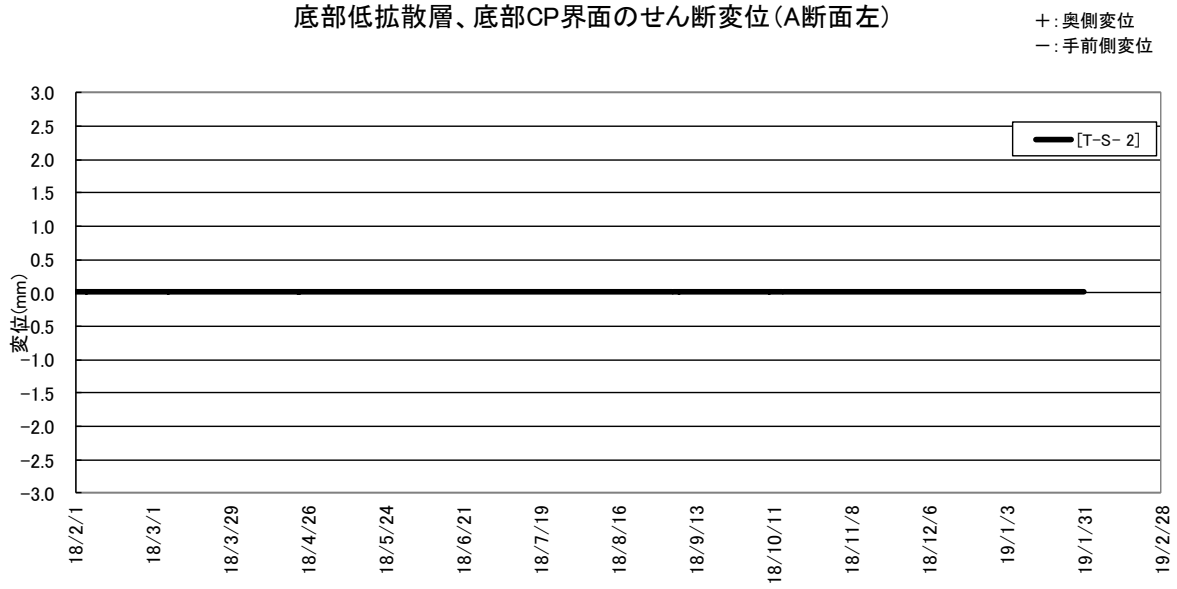
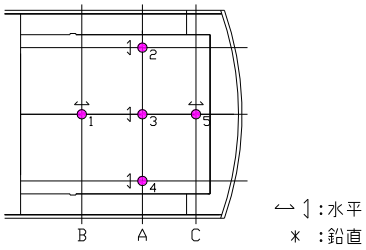
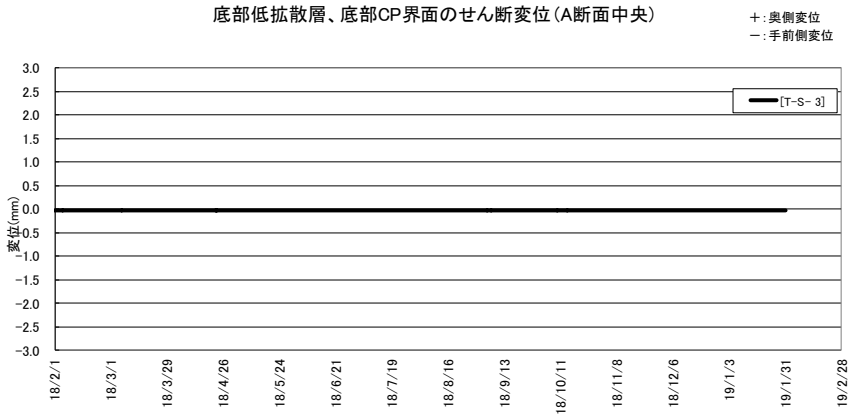
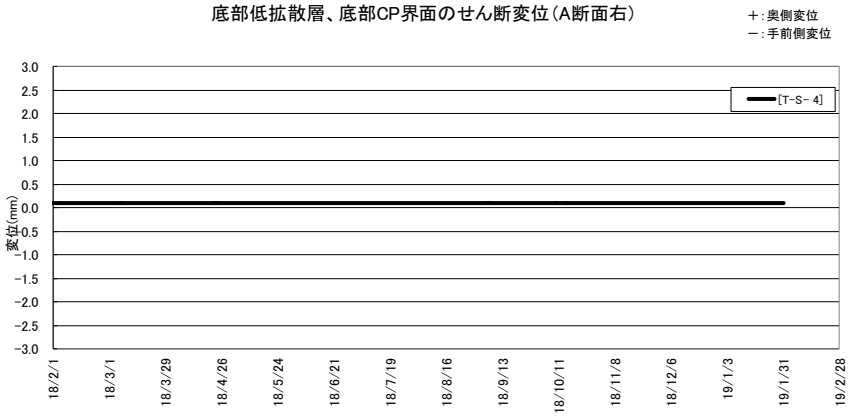


図 4.2-65　底部低拡散層のせん断変位計測結果（1／2）







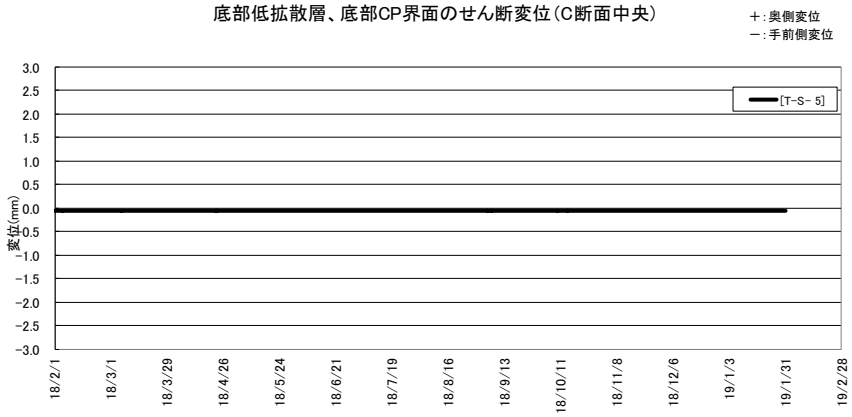
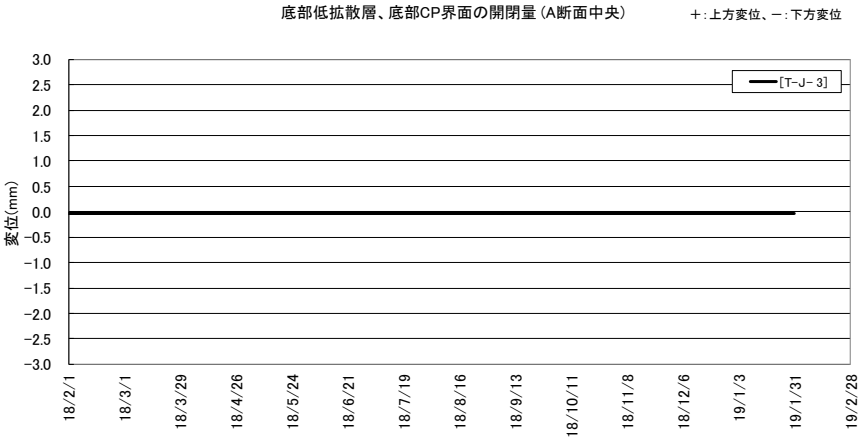
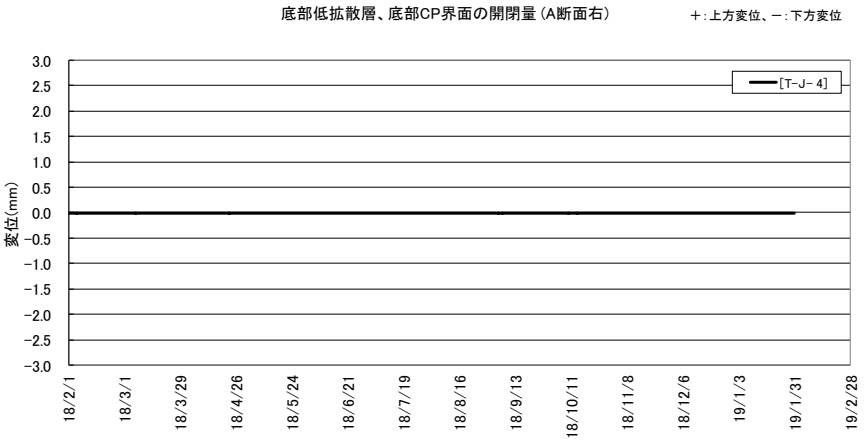


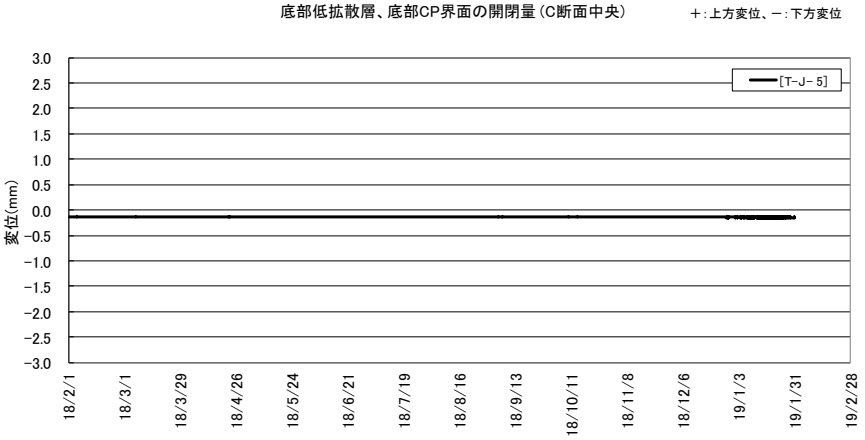
図 4.2-66　底部低拡散層のせん断変位計測結果（2／2）

(6) 継目計

底部低拡散層と底部コンクリートピットの界面に設置した継目計の経時変化を、図

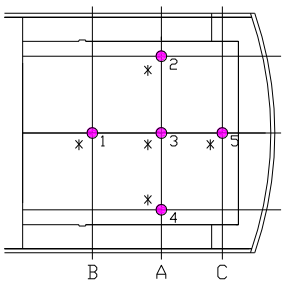




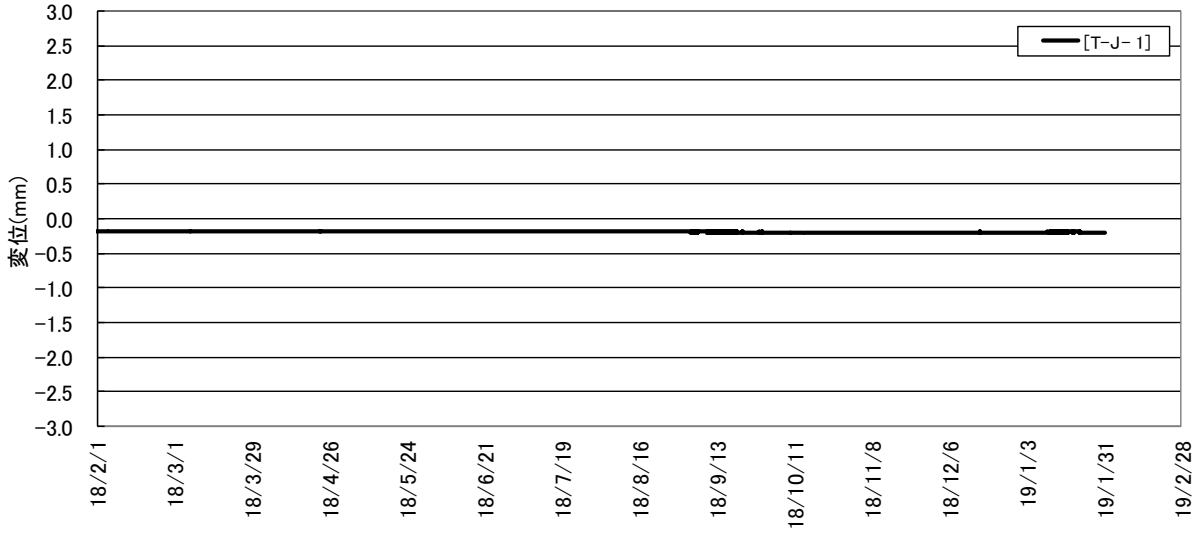


4.2-67～

図 4.2-68 に示す。



底部低拡散層、底部CP界面の開閉量（B断面中央）　　＋：上方変位、－：下方変位



底部低拡散層、底部CP界面の開閉量（A断面左）　　＋：上方変位、－：下方変位

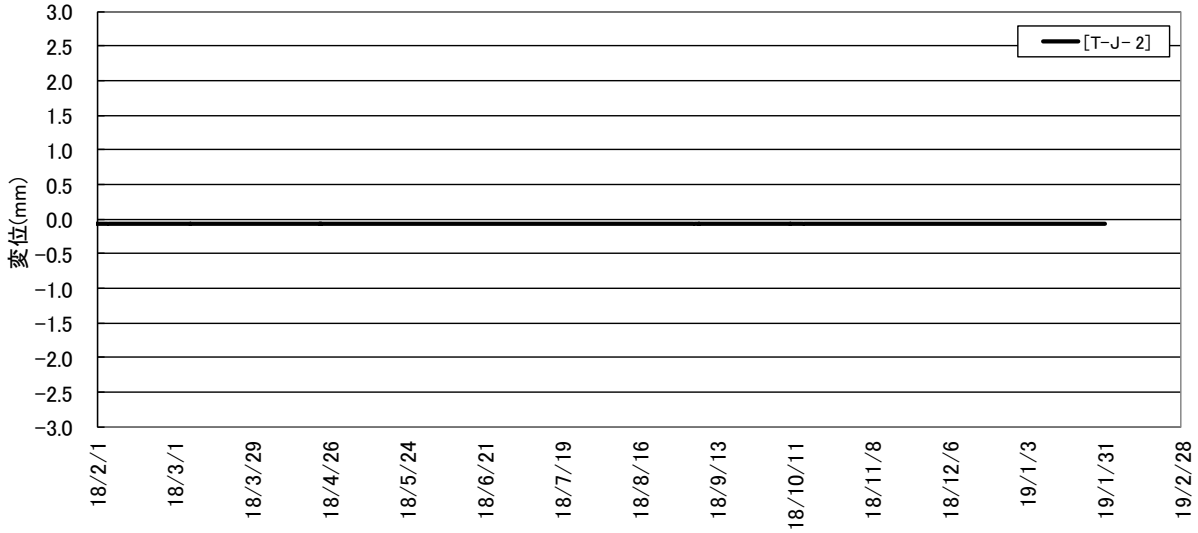
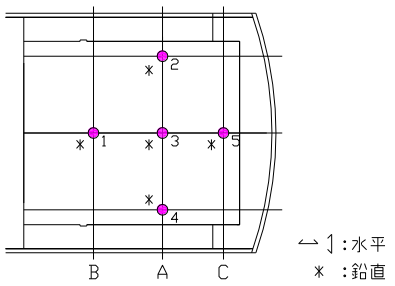
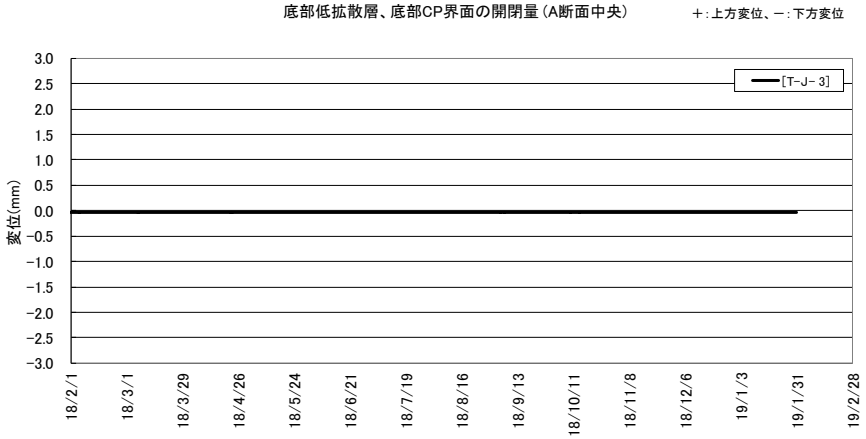
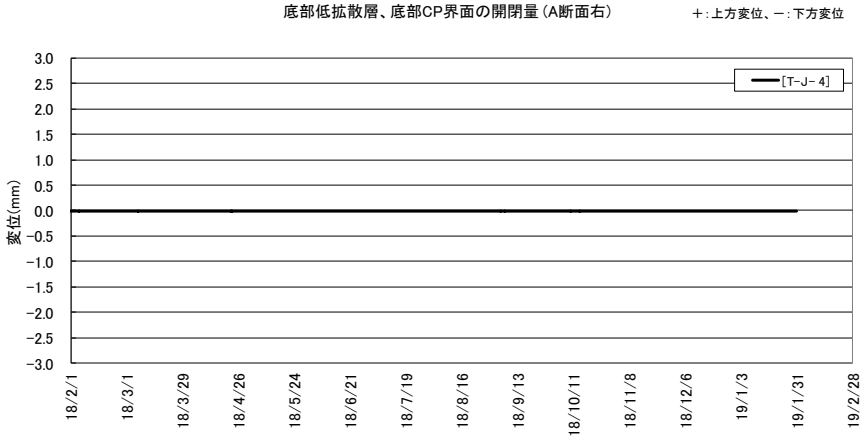


図 4.2-67　底部低拡散層の継目量計測結果（1／2）







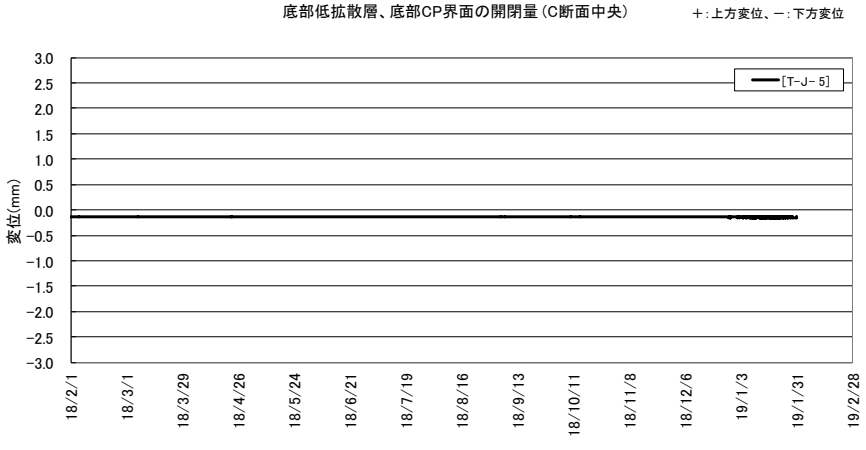


図 4.2-68　底部低拡散層の継目量計測結果（2／2）

4.2.11　底部コンクリートピット埋設計器計測結果

底部コンクリートピット計測一覧表を、表 4.2-11 に示す。

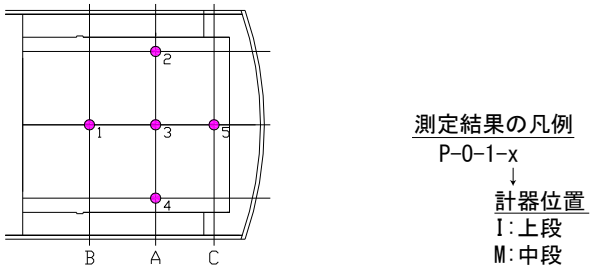
表 4.2-11　底部コンクリートピット計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日	備考
		断面	断面方向	厚み			
ひずみ計	P-H- 1-I-V	B	中央	上段	空洞軸	2008/11/24	底部 ｺﾝｸﾘｰﾄﾋﾟｯﾄ 打設 2008/11/24
	P-H- 2-I-V	A	L側				
	P-H- 3-I-V		中央				
	P-H- 4-I-V		R側				
	P-H- 5-I-V	C	中央				
	P-H- 1-I-C	B	中央		空洞横断		
	P-H- 2-I-C	A	L側				
	P-H- 3-I-C		中央				
	P-H- 4-I-C		R側				
	P-H- 5-I-C	C	中央				
	P-H- 1-M-V	B	中央	中段	空洞軸		
	P-H- 2-M-V	A	L側				
	P-H- 3-M-V		中央				
	P-H- 4-M-V		R側				
	P-H- 5-M-V	C	中央				
	P-H- 1-M-C	B	中央		空洞横断		
	P-H- 2-M-C	A	L側				
	P-H- 3-M-C		中央				
	P-H- 4-M-C		R側				
	P-H- 5-M-C	C	中央				
	P-H- 1-O-V	B	中央	下段	空洞軸		
	P-H- 2-O-V	A	L側				
	P-H- 3-O-V		中央				
	P-H- 4-O-V		R側				
	P-H- 5-O-V	C	中央				
	P-H- 1-O-C	B	中央		空洞横断		
	P-H- 2-O-C	A	L側				
	P-H- 3-O-C		中央				
	P-H- 4-O-C		R側				
	P-H- 5-O-C	C	中央				
有効応力計	P-U- 1-V	B	中央	中段	空洞軸		
	P-U- 2-V	A	L側				
	P-U- 3-V		中央				
	P-U- 4-V		R側				
	P-U- 5-V	C	中央				
	P-U- 1-C	B	中央		空洞横断		
	P-U- 2-C	A	L側				
	P-U- 3-C		中央				
	P-U- 4-C		R側				
	P-U- 5-C	C	中央				
無応力計	P-M- 1	A	中央	中段	空洞軸		
傾斜計	P-K- 1-X	A	中央	―	空洞軸		
	(※P-K- 1-Y)				空洞横断		
温度計	P-O- 1-I	B	中央	上段	―		
	P-O- 2-I	A	L側				
	P-O- 3-I		中央				
	P-O- 4-I		R側				
	P-O- 5-I	C	中央				
	P-O- 1-M	B	中央	中段			
	P-O- 2-M	A	L側				
	P-O- 3-M		中央				
	P-O- 4-M		R側				
	P-O- 5-M	C	中央				
	P-O- 1-O	B	中央	下段			
	P-O- 2-O	A	L側				
	P-O- 3-O		中央				
	P-O- 4-O		R側				
	P-O- 5-O	C	中央				

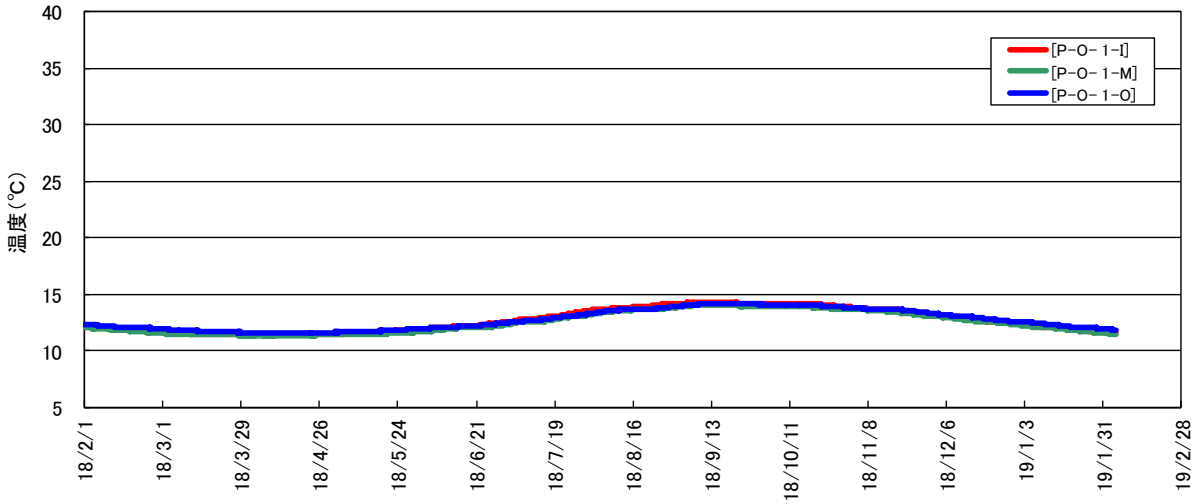
※1 基の計器で 2 方向を計測。

(1) 温度計

底部コンクリートピットに設置した温度計の経時変化を、図 4.2-69～図 4.2-71 に示す。



底部コンクリートピットの温度B断面中央）



底部コンクリートピットの温度（A断面左）

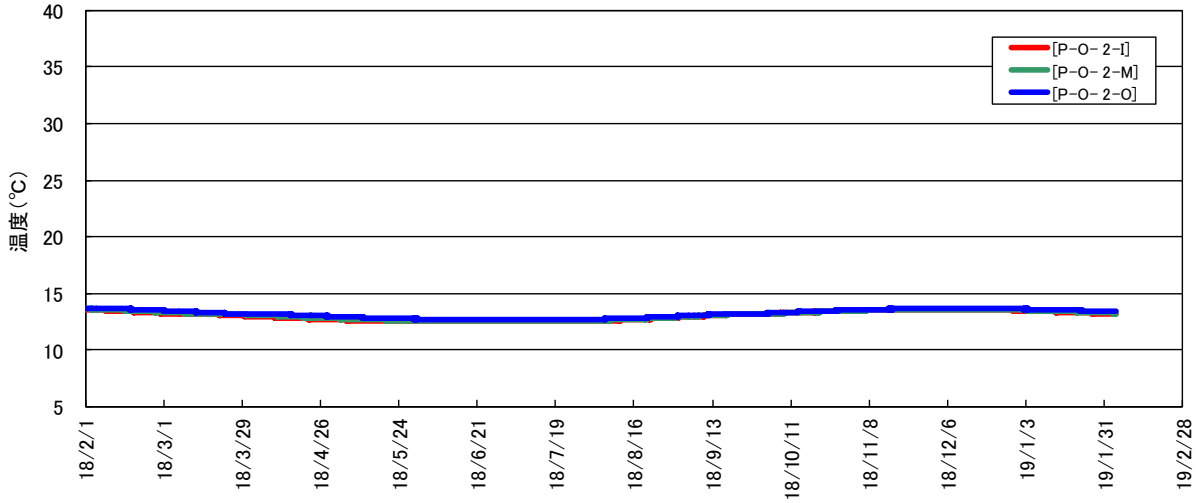
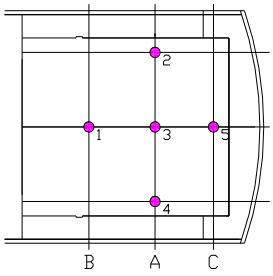
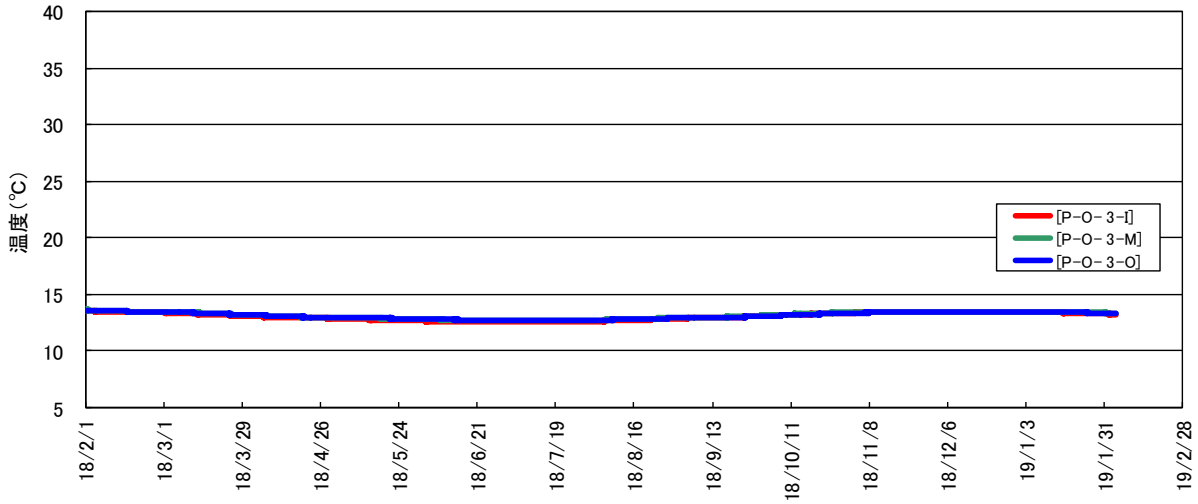


図 4.2-69　底部コンクリートピットの温度計測結果（1／3）



測定結果の凡例
P-O-1-x
↓
計器位置
I：上段
M：中段
O：下段

底部コンクリートピットの温度（A断面中央）



底部コンクリートピットの温度（A断面右）

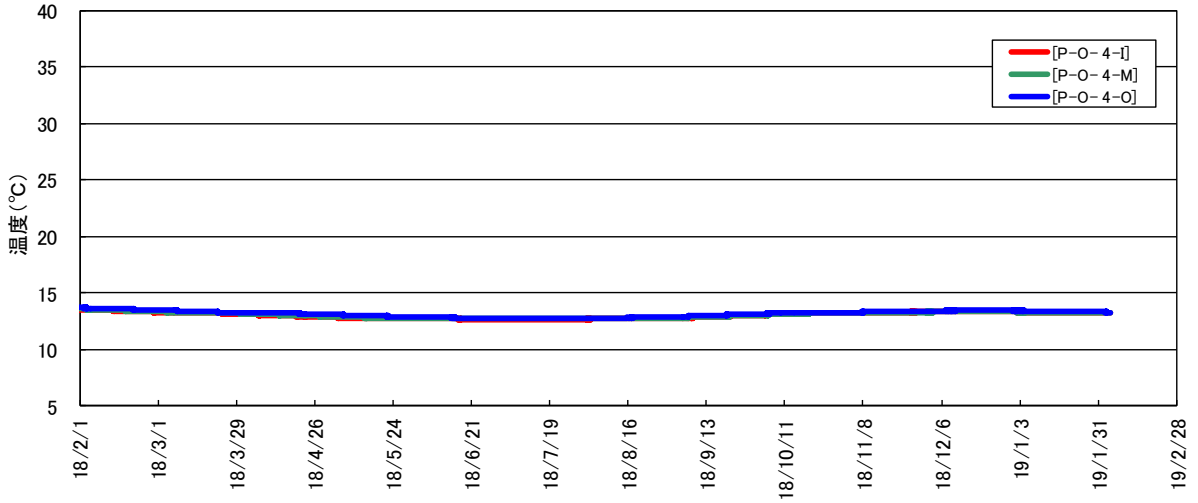
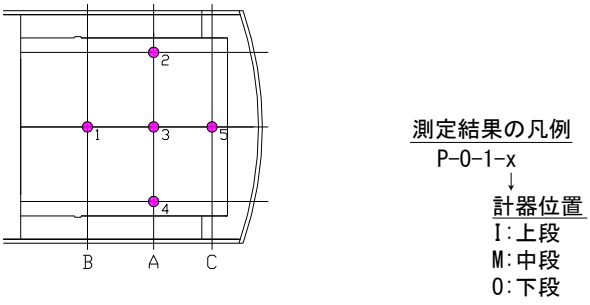


図 4.2-70　底部コンクリートピットの温度計測結果（2／3）



底部コンクリートピットの温度（C断面中央）

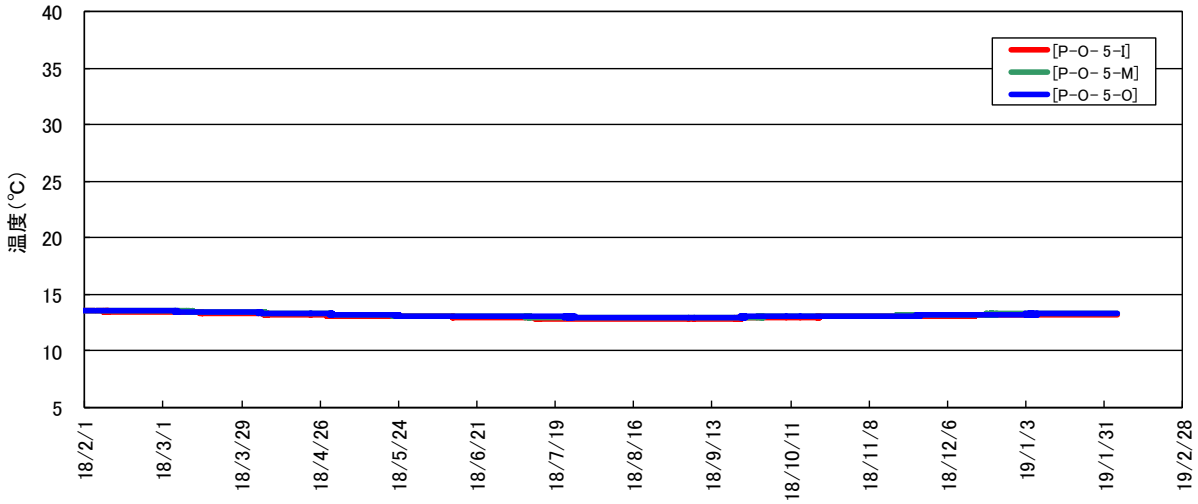
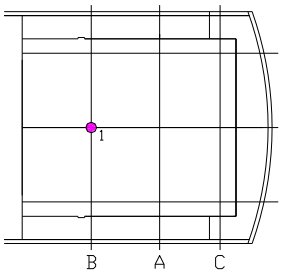


図 4.2-71　底部コンクリートピットの温度計測結果（3／3）

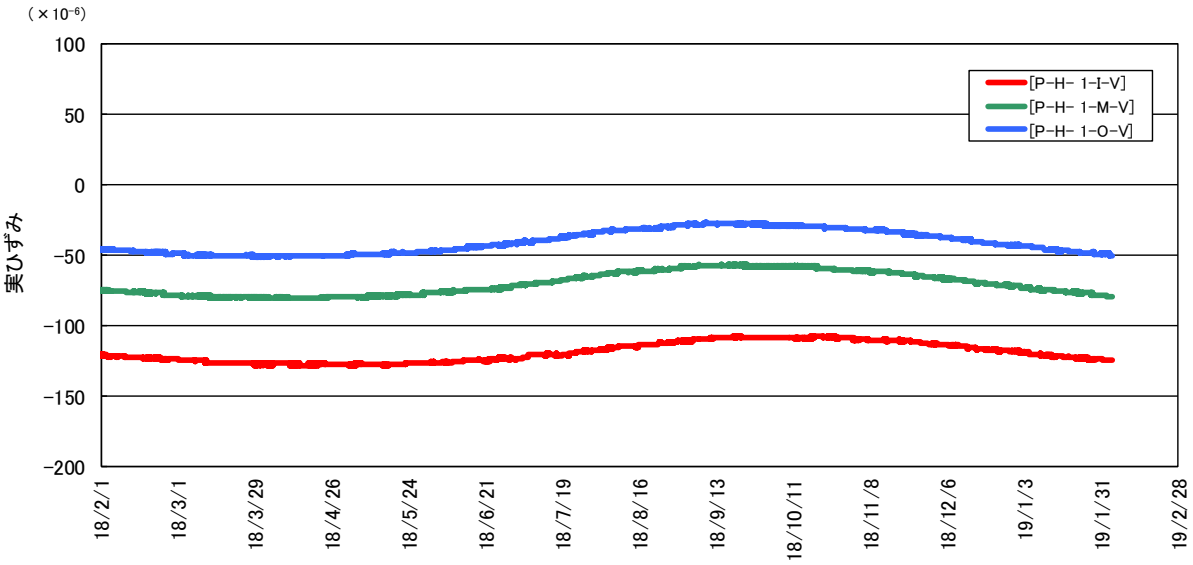
(2) ひずみ計

底部低拡散層に設置したひずみ計の経時変化（実ひずみ）を、図 4.2-72～図 4.2-61 に示す。



測定結果の凡例
T-H-1-x-y
測定方向
V:空同軸
C:空洞横断
計器位置
I:上段
M:中段
O:下段

底部コンクリートピットの空洞軸方向実ひずみ（B断面中央）　＋:膨張、－:収縮



底部コンクリートピットのの空洞横断方向実ひずみ（B断面中央）　＋:膨張、－:収縮

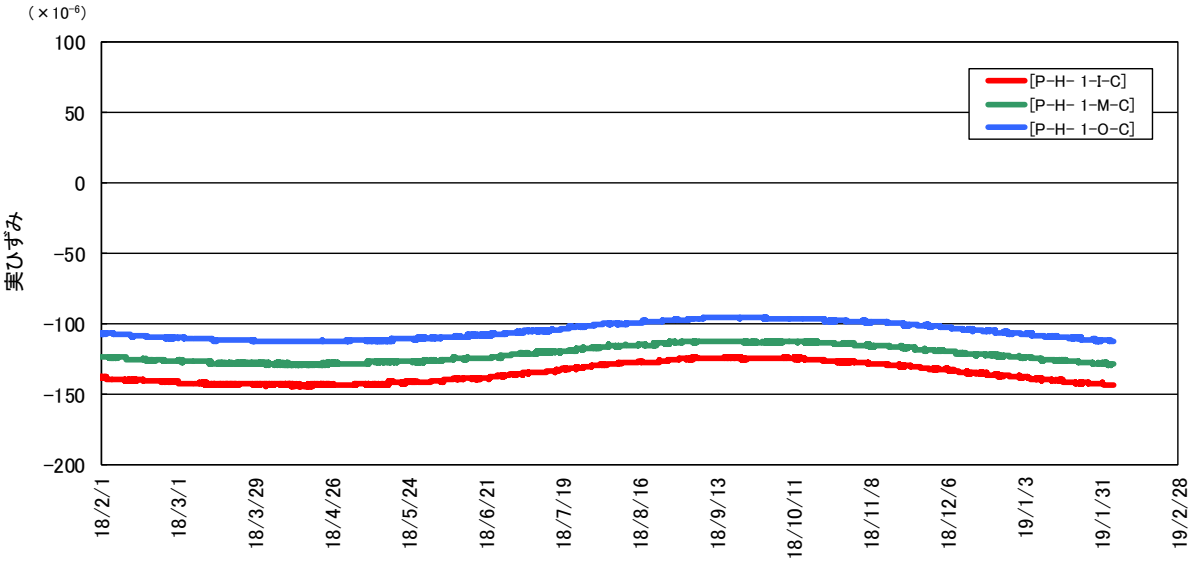
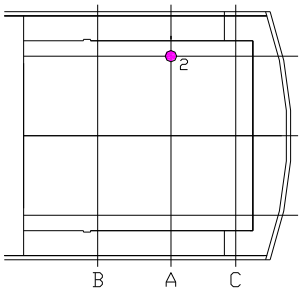


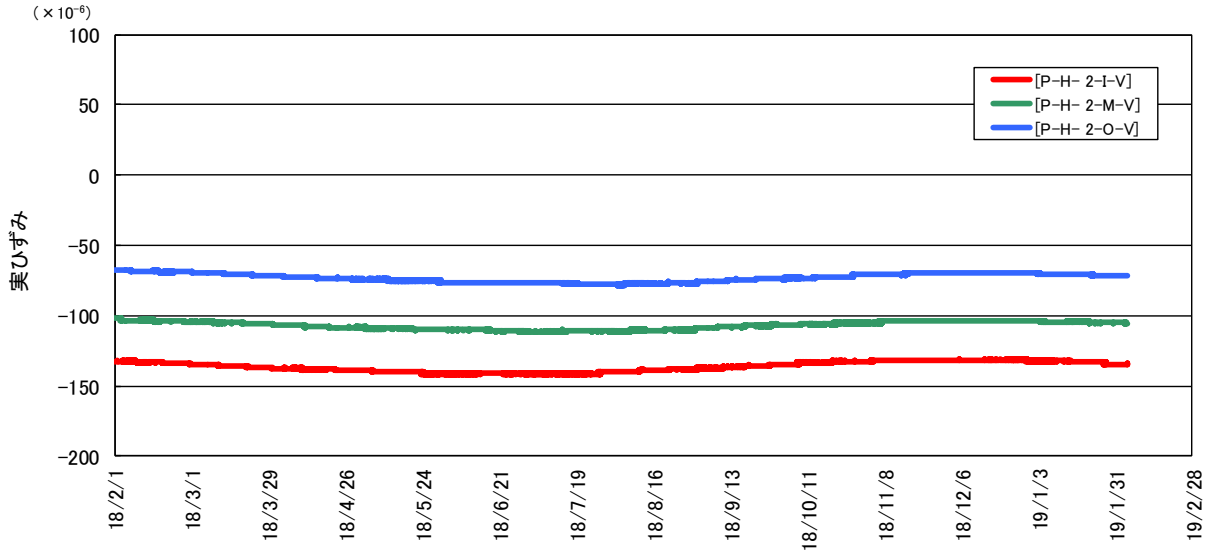
図 4.2-72　底部低拡散層の実ひずみ（1／5）



測定結果の凡例
P-H-1-x-y
測定方向
V:空同軸
C:空洞横断
計器位置
I:上段
M:中段
O:下段

底部コンクリートピットの空洞軸方向実ひずみ（A断面左）

＋:膨張、－:収縮



底部コンクリートピットのの空洞横断方向実ひずみ（A断面左）

＋:膨張、－:収縮

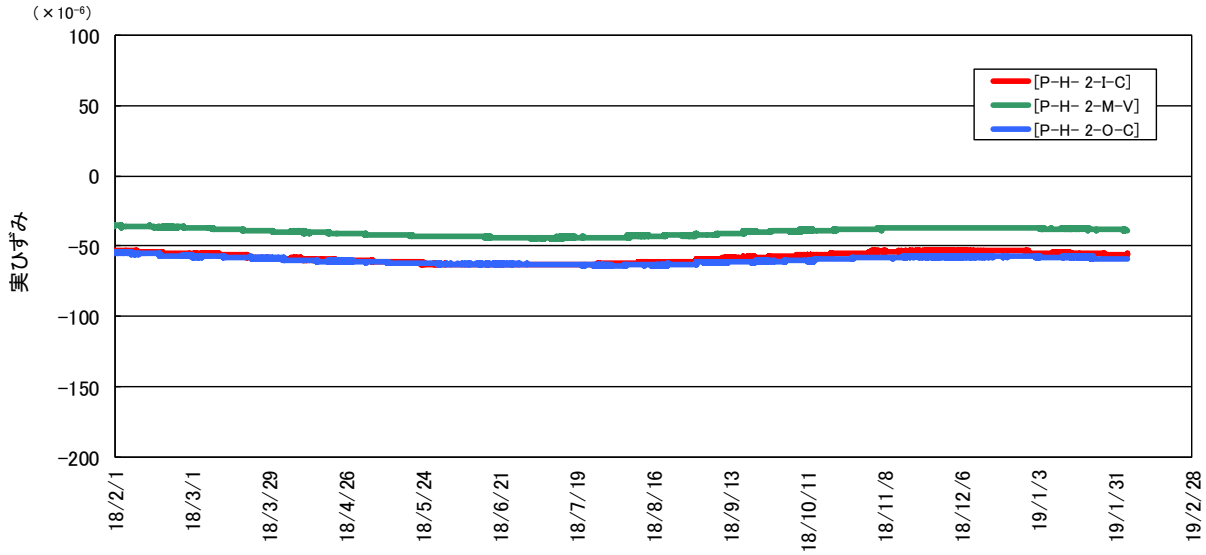
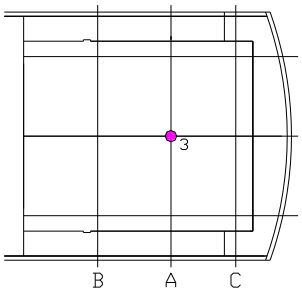
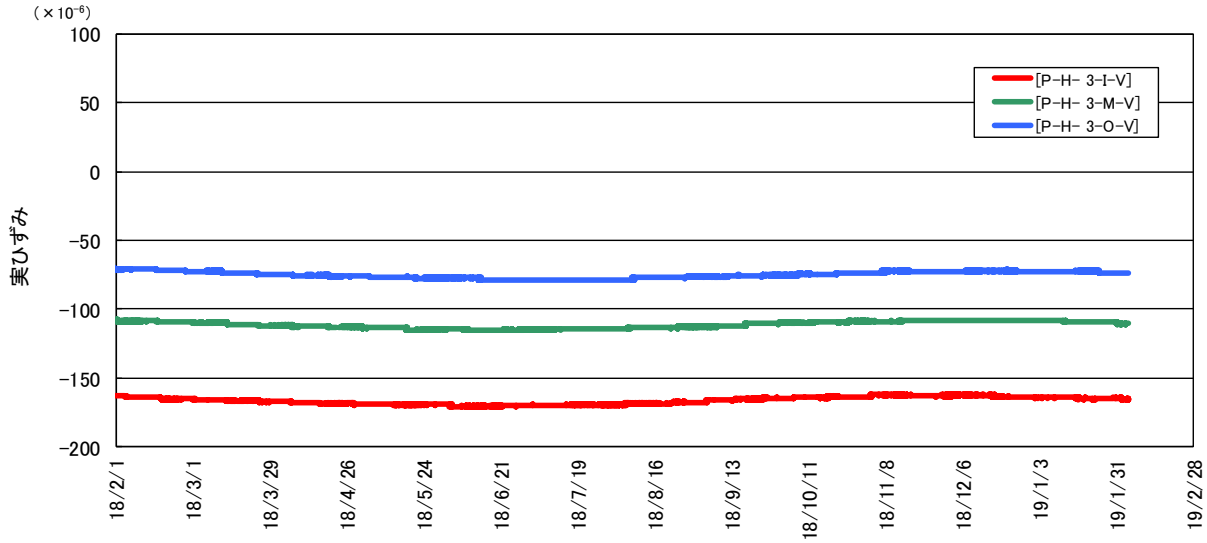


図 4.2-73　底部コンクリートピットの実ひずみ（2／5）



測定結果の凡例
P-H-1-x-y
測定方向
V:空同軸
C:空洞横断
計器位置
I:上段
M:中段
O:下段

底部コンクリートピットの空洞軸方向実ひずみ（A断面中央）　＋:膨張、－:収縮



底部コンクリートピットのの空洞横断方向実ひずみ（A断面中央）　＋:膨張、－:収縮

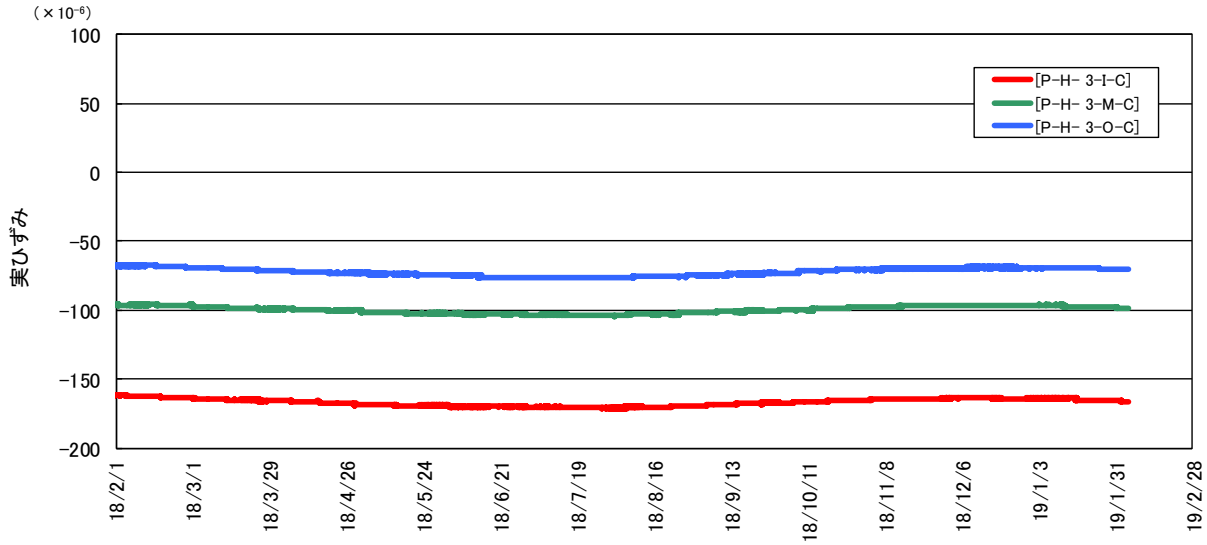
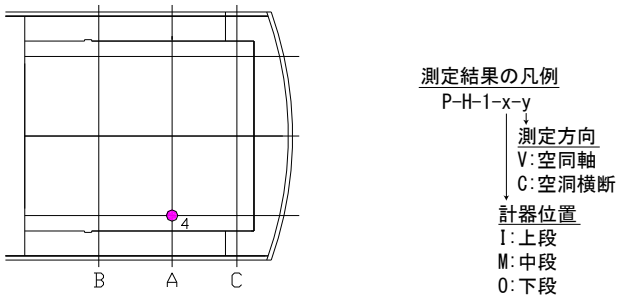
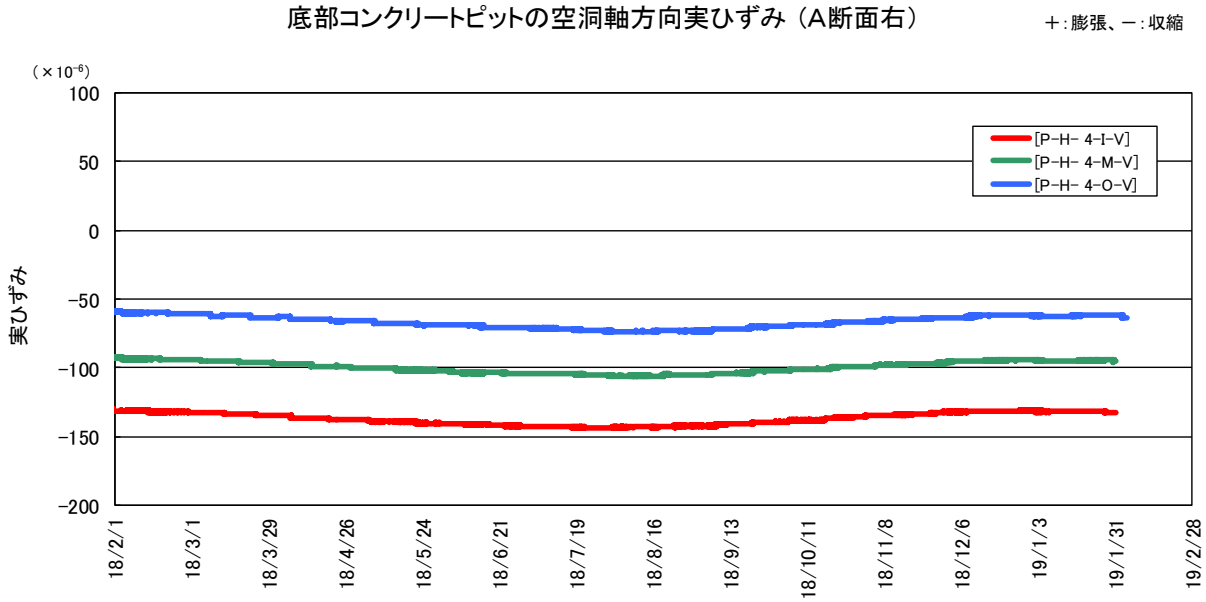


図 4.2-74　底部コンクリートピットの実ひずみ（3／5）





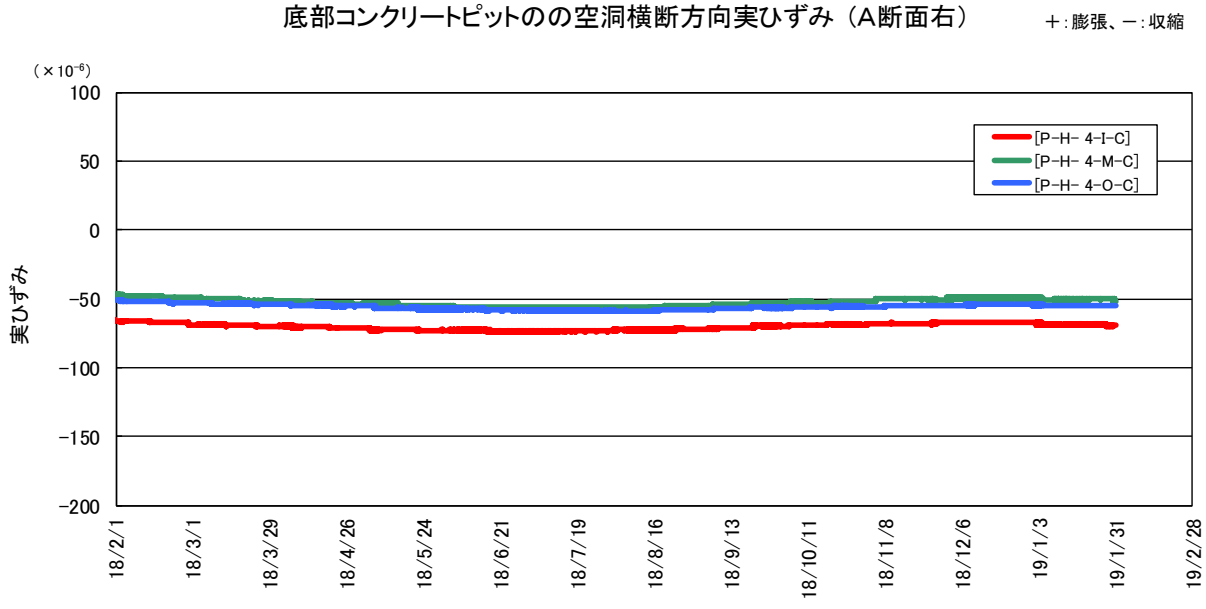
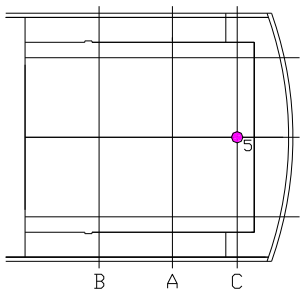
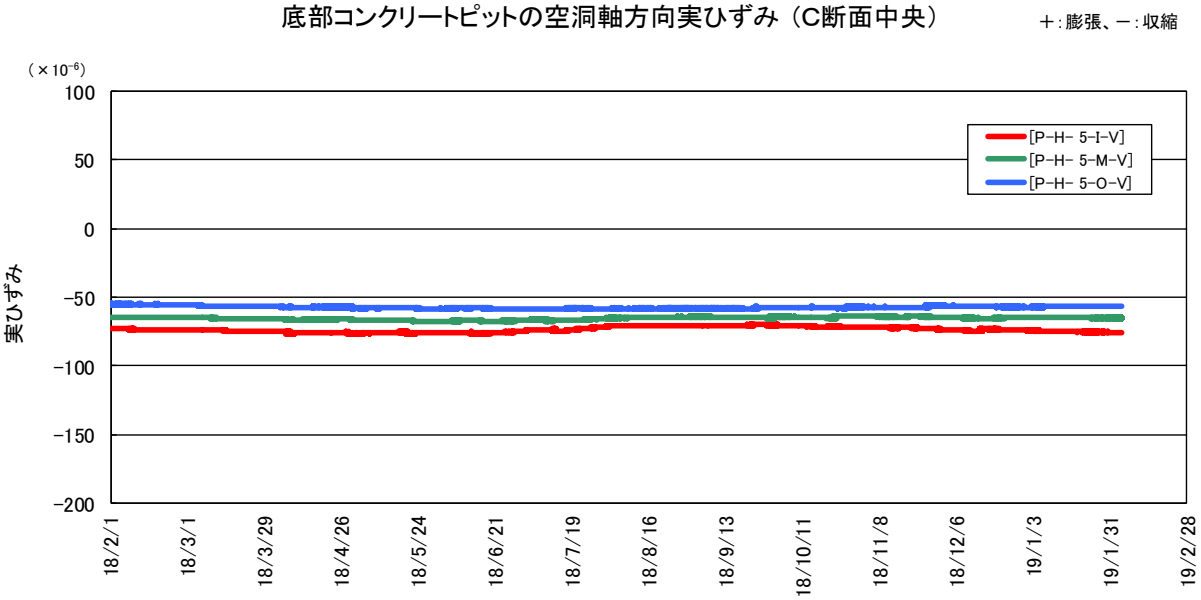


図 4.2-75　底部コンクリートピットの実ひずみ（4／5）



測定結果の凡例
P-H-1-x-y
測定方向
V:空同軸
C:空洞横断
計器位置
I:上段
M:中段
O:下段



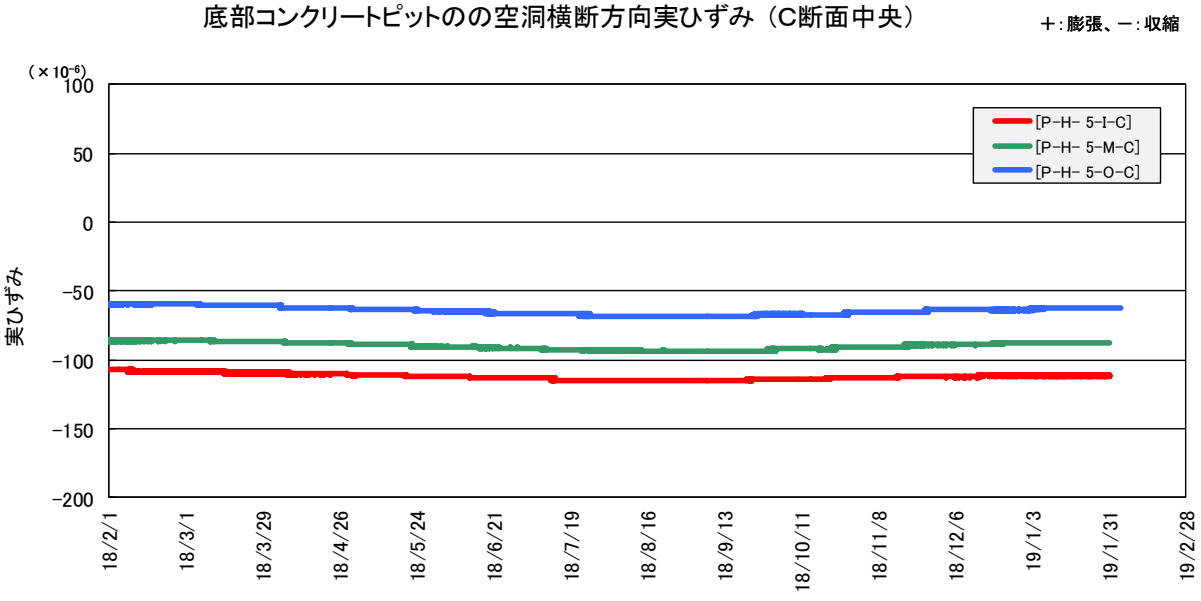
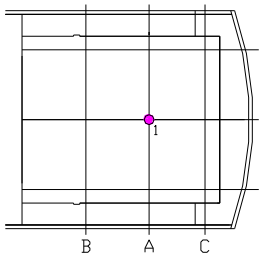


図 4.2-76　底部コンクリートピットの実ひずみ（5／5）

(3) 無応力計

底部コンクリートピットに設置した無応力計の経時変化（自由ひずみ）を、図 4.2-77 に示す。



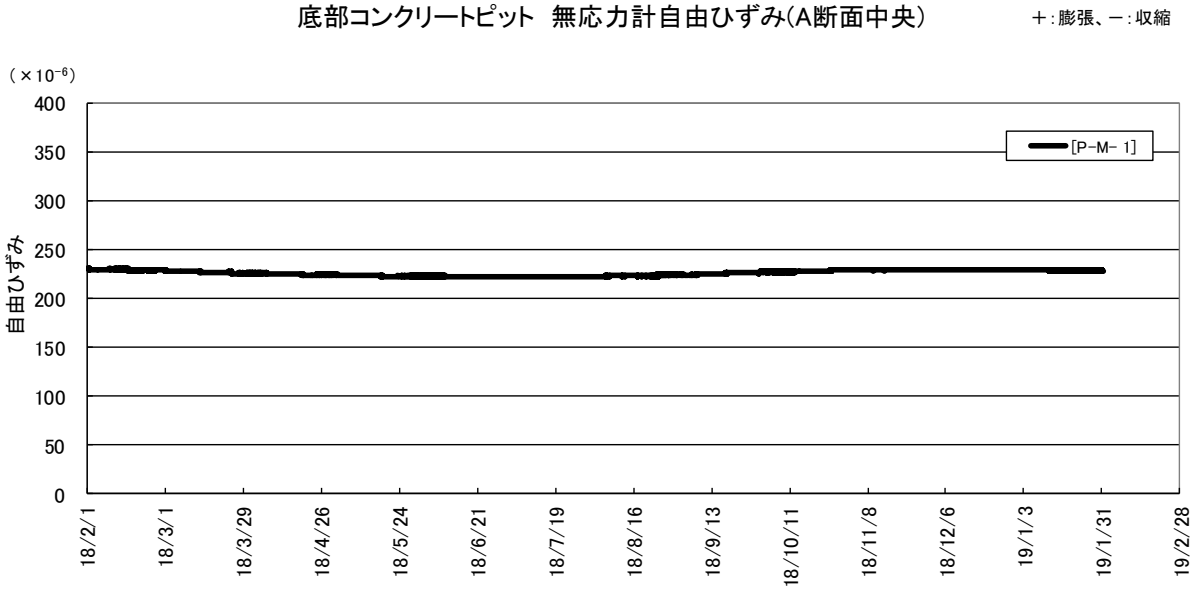
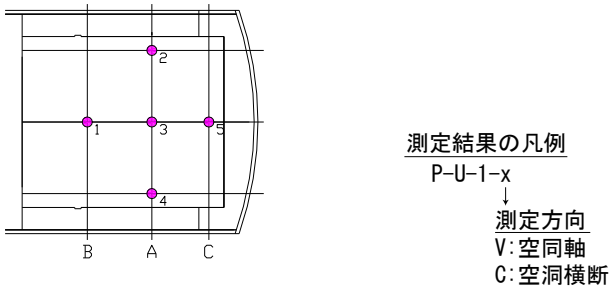
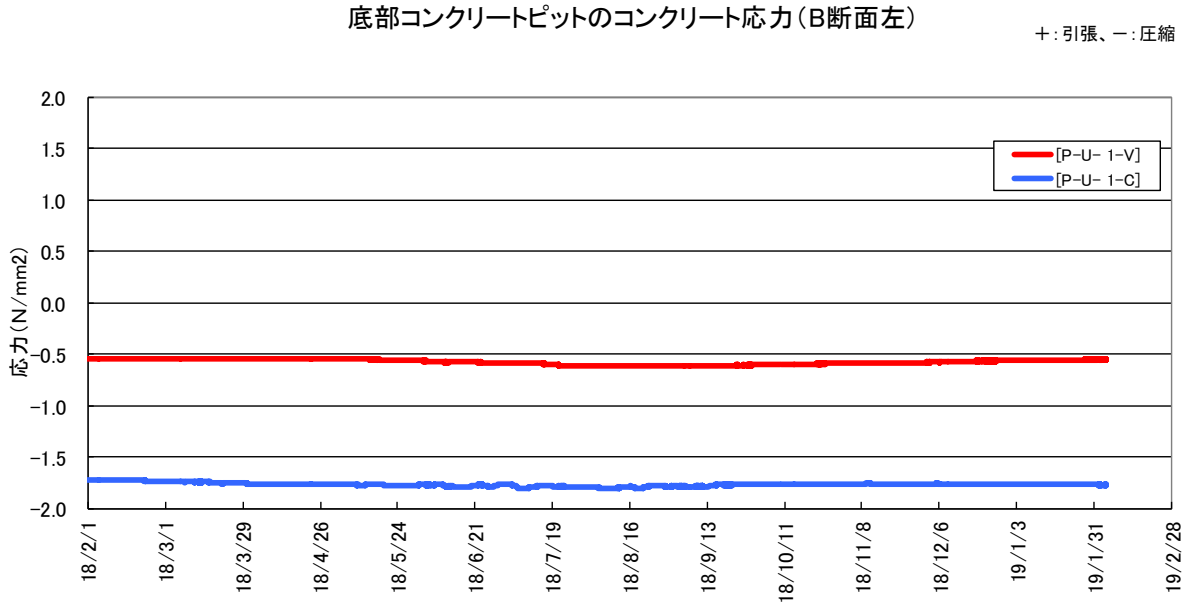


図 4.2-77 底部コンクリートピットの自由ひずみ

(4) 有効応力計

底部コンクリートピットに設置した有効応力計の経時変化を、図 4.2-78～図 4.2-80 に示す。





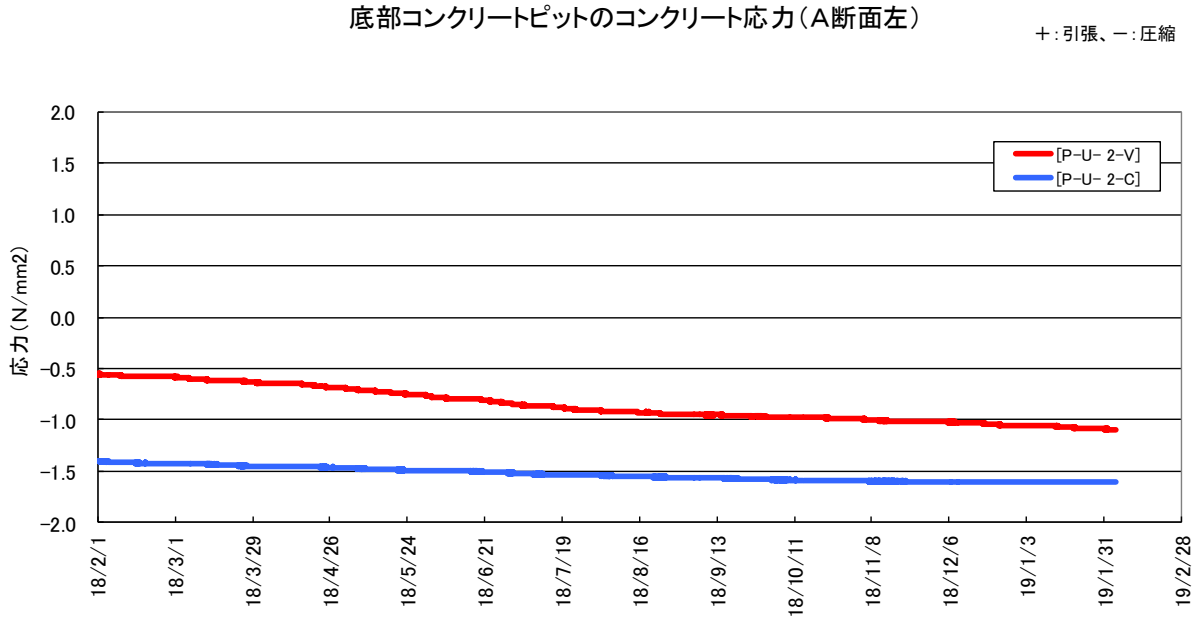
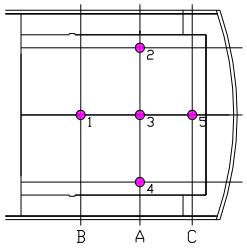


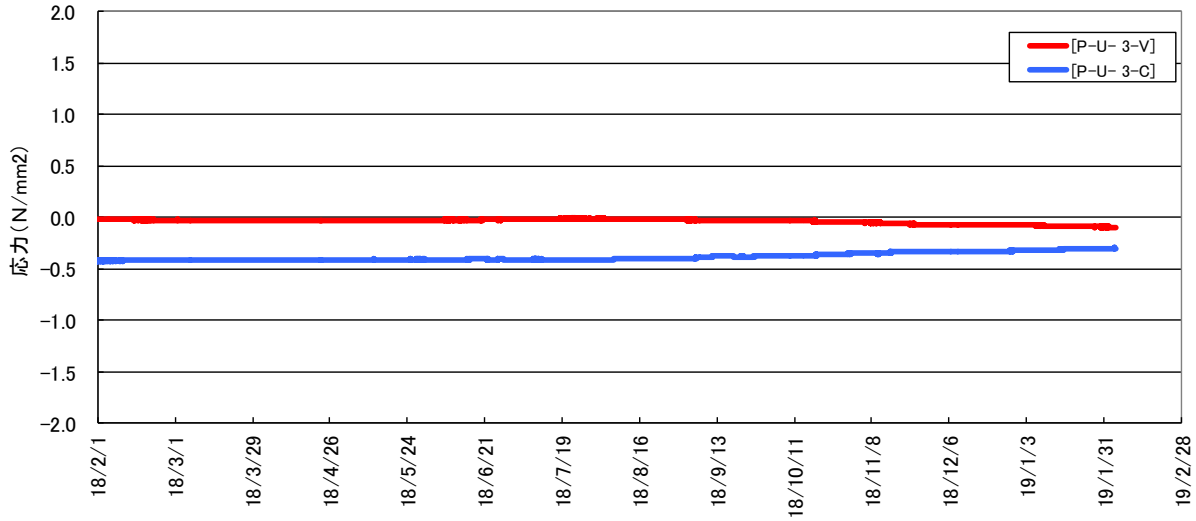
図 4.2-78　底部コンクリートピットのコンクリート応力計測結果（1／3）



測定結果の凡例
P-U-1-x
↓
測定方向
V:空同軸
C:空洞横断

底部コンクリートピットのコンクリート応力（A断面中央）

＋:引張、－:圧縮



底部コンクリートピットのコンクリート応力（A断面右）

＋:引張、－:圧縮

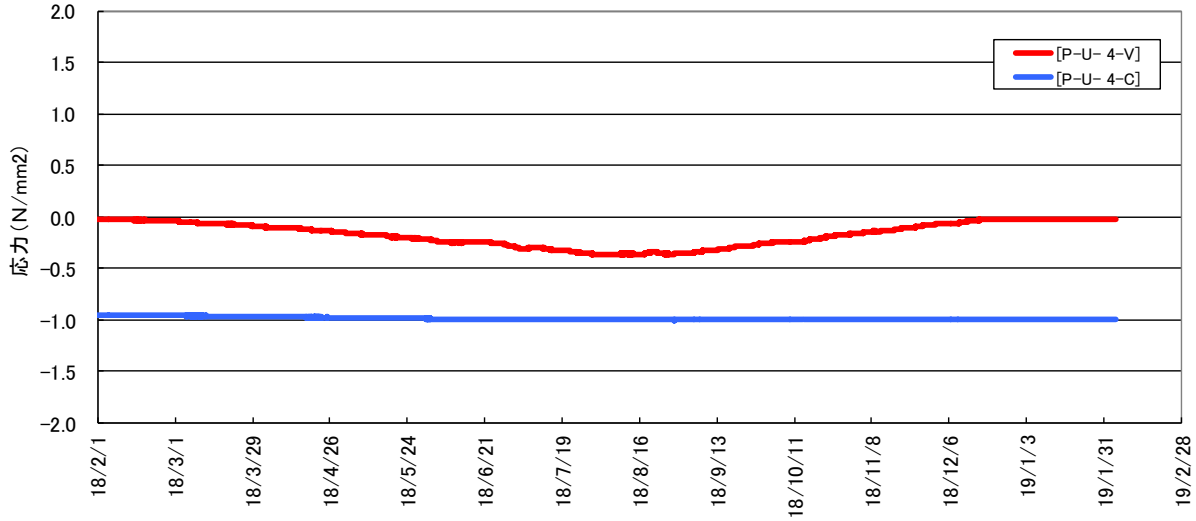
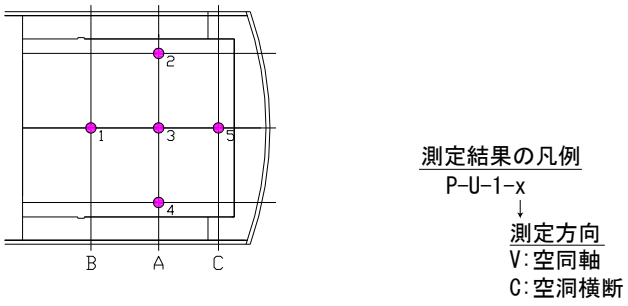


図 4.2-79　底部コンクリートピットのコンクリート応力計測結果（2／3）



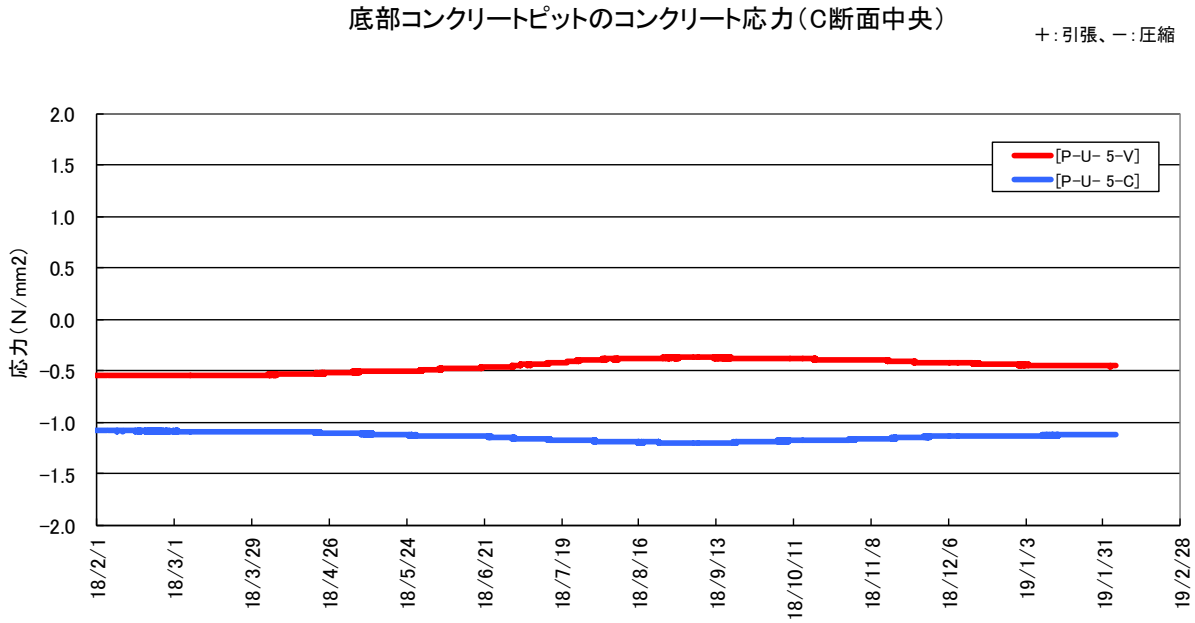
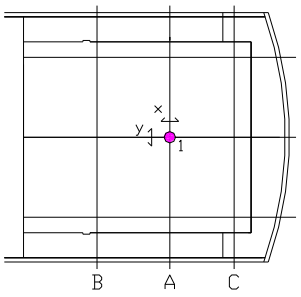


図 4.2-80　底部コンクリートピットのコンクリート応力計測結果（3／3）

(5) 傾斜計

底部コンクリートピットに設置した傾斜計の経時変化を、図 4.2-81 に示す。



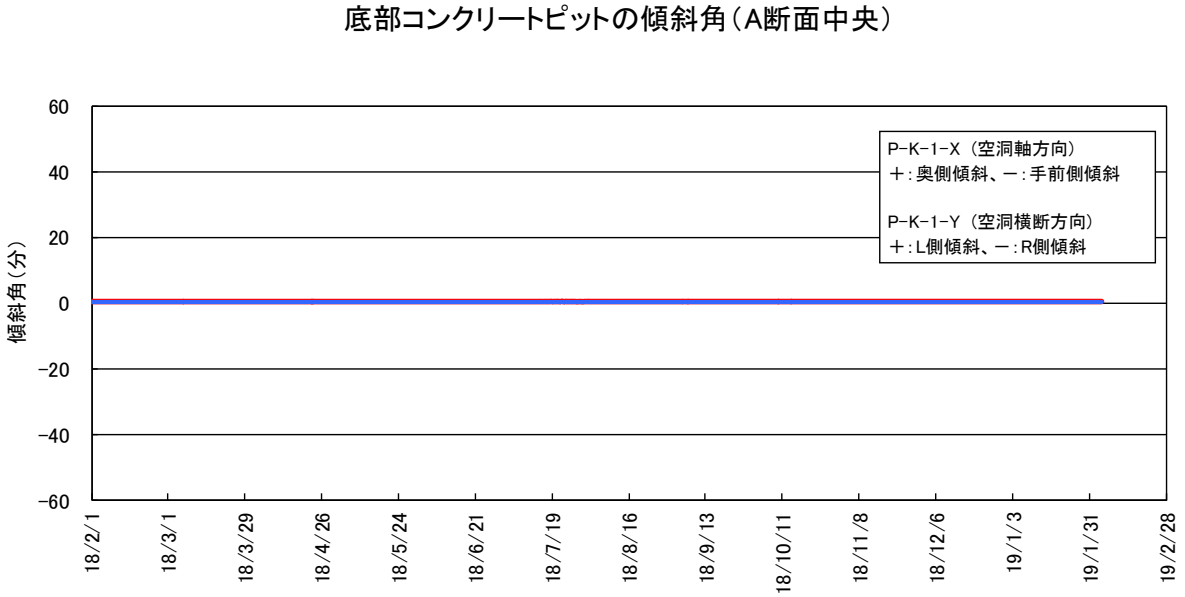


図 4.2-81　底部コンクリートピットの傾斜計測結果

4.2.12　側部コンクリートピット埋設計器計測結果

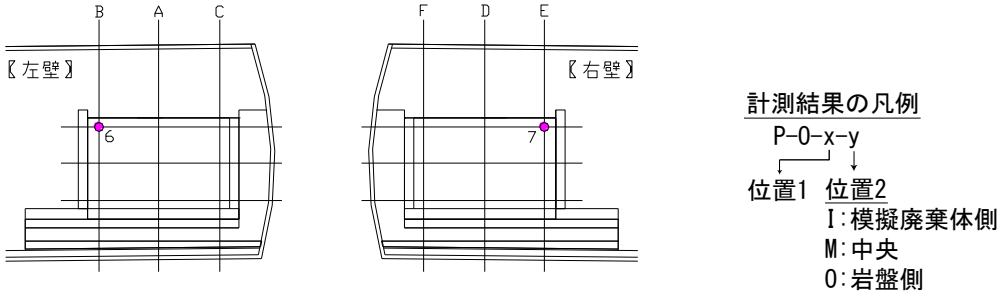
側部コンクリートピット計測一覧表を、表 4.2-12 に示す。

表 4.2-12　側部コンクリートピット計測一覧表

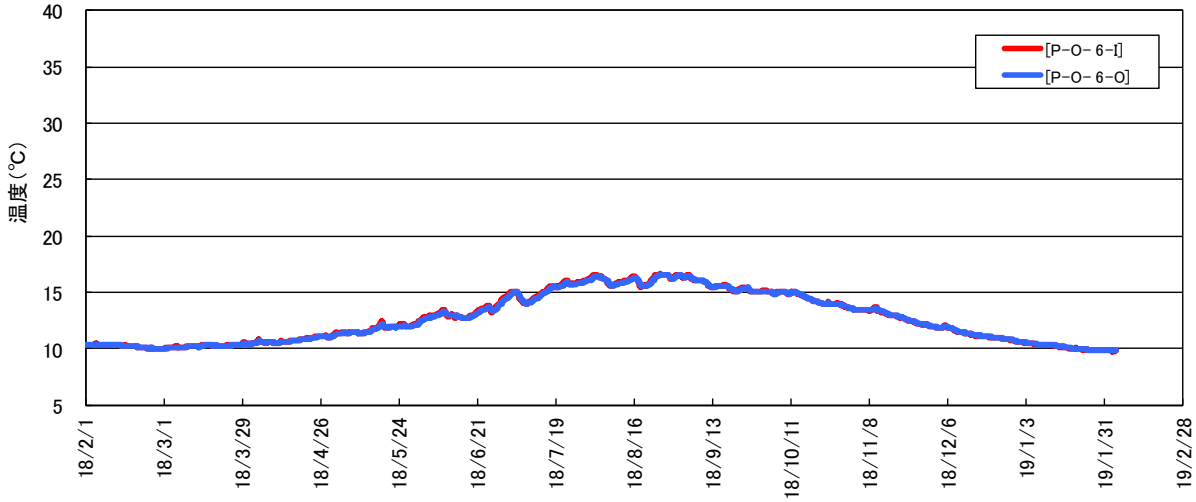
計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日	備考
		断面	高さ	厚み			
ひずみ計	P-H- 6-I	B	上段	内側	空洞軸	2009/2/4	
	P-H- 7-I	E					
	P-H- 8-I	A	下段		鉛直		
	P-H- 9-I	D					
	P-H-10-I	A	中段				
	P-H-11-I	D					
	P-H-12-I	A	上段		空洞軸		
	P-H-13-I	D					
	P-H-14-I	C	上段		空洞軸		
	P-H-15-I	F					
	P-H- 8-M	A	下段	中央	空洞軸		
	P-H- 9-M	D					
	P-H-10-M	A	中段				
	P-H-11-M	D					
	P-H-12-M	A	上段				
	P-H-13-M	D					
	P-H- 6-O	B	上段	外側	空洞軸		
	P-H- 7-O	E					
	P-H- 8-O	A	下段		鉛直		
	P-H- 9-O	D					
	P-H-10-O	A	中段				
	P-H-11-O	D					
	P-H-12-O	A	上段		空洞軸		
	P-H-13-O	D					
	P-H-14-O	C	上段				
	P-H-15-O	F					
有効応力計	P-U- 6	A	下段	中央	空洞軸		
	P-U- 7	D					
	P-U- 8	A	中段				
	P-U- 9	D					
	P-U-10	A	上段				
	P-U-11	D					
無応力計	P-M- 2	A	下段	中央	空洞軸		
	P-M- 3	D					
鉄筋計	P-R- 6-I	B	上段	内側	空洞軸		
	P-R- 7-I	E					
	P-R- 8-I	A	下段		鉛直		
	P-R- 9-I	D					
	P-R-10-I	A	中段				
	P-R-11-I	D					
	P-R-12-I	A	上段		空洞軸		
	P-R-13-I	D					
	P-R-14-I	C	上段				
	P-R-15-I	F					
	P-R- 6-O	B	上段	外側	空洞軸		
	P-R- 7-O	E					
	P-R- 8-O	A	下段		鉛直		
	P-R- 9-O	D					
	P-R-10-O	A	中段				
	P-R-11-O	D					
	P-R-12-O	A	上段		空洞軸		
	P-R-13-O	D					
	P-R-14-O	C	上段				
	P-R-15-O	F					
温度計	P-O- 6-I	B	上段	内側	－		
	P-O- 7-I	E					
	P-O- 8-I	A	下段				
	P-O- 9-I	D					
	P-O-10-I	A	中段				
	P-O-11-I	D					
	P-O-12-I	A	上段				
	P-O-13-I	D					
	P-O-14-I	C	上段				
	P-O-15-I	F					
	P-O- 8-M	A	下段	中央			
	P-O- 9-M	D					
	P-O-10-M	A	中段				
	P-O-11-M	D					
	P-O-12-M	A	上段				
	P-O-13-M	D					
	P-O- 6-O	B	上段	外側			
	P-O- 7-O	E					
	P-O- 8-O	A	下段				
	P-O- 9-O	D					
	P-O-10-O	A	中段				
	P-O-11-O	D					
	P-O-12-O	A	上段				
	P-O-13-O	D					
	P-O-14-O	C	上段				
	P-O-15-O	F					

(1) 温度計

側部コンクリートピットに設置した温度計の経時変化を、図 4.2-82～図 4.2-86 に示す。



側部コンクリートピットの温度(B断面上段)



側部コンクリートピットの温度(E断面上段)

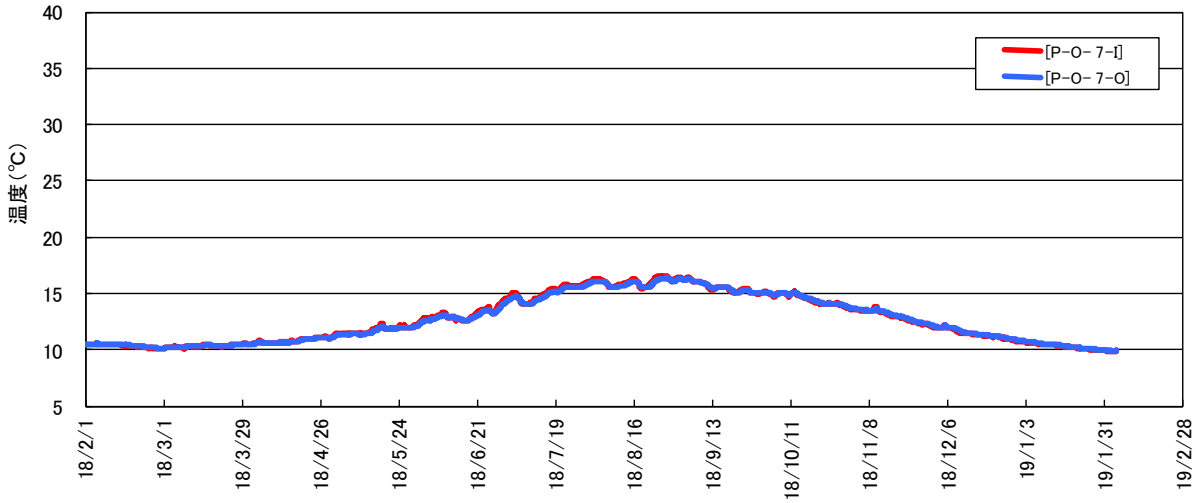
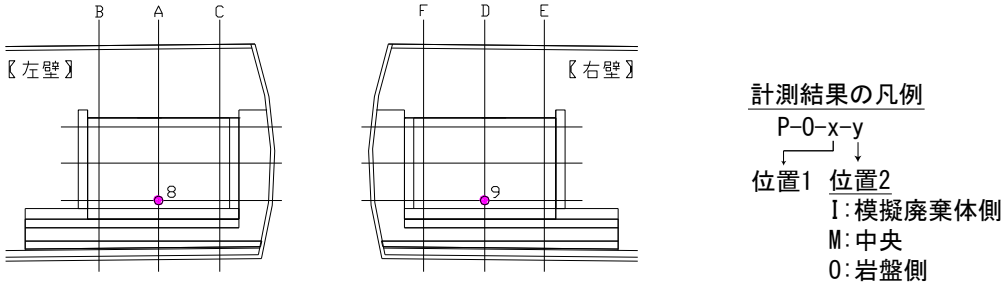
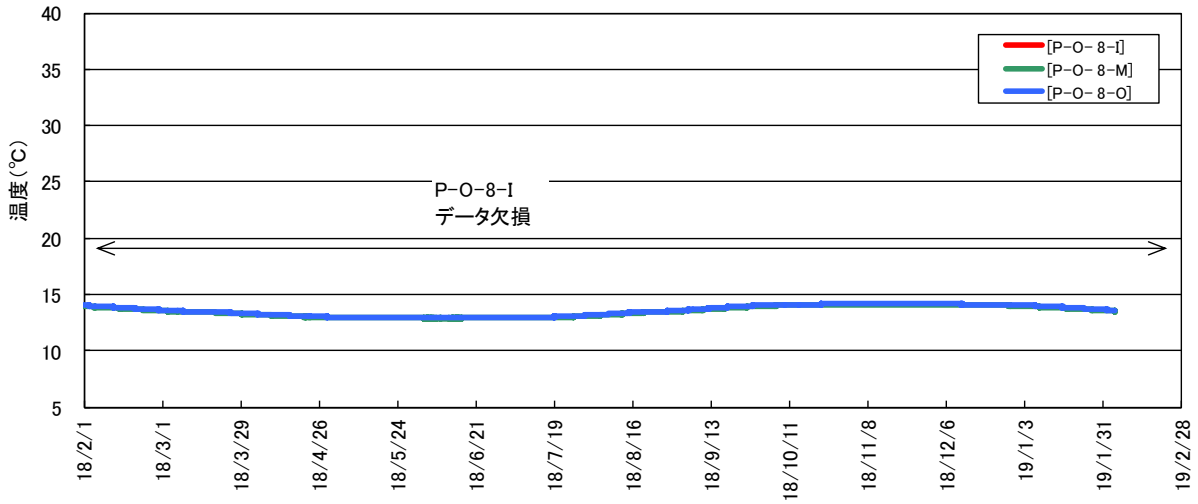


図 4.2-82 側部コンクリートピットの温度計測結果 (1／5)



側部コンクリートピットの温度（A断面下段）



側部コンクリートピットの温度（D断面下段）

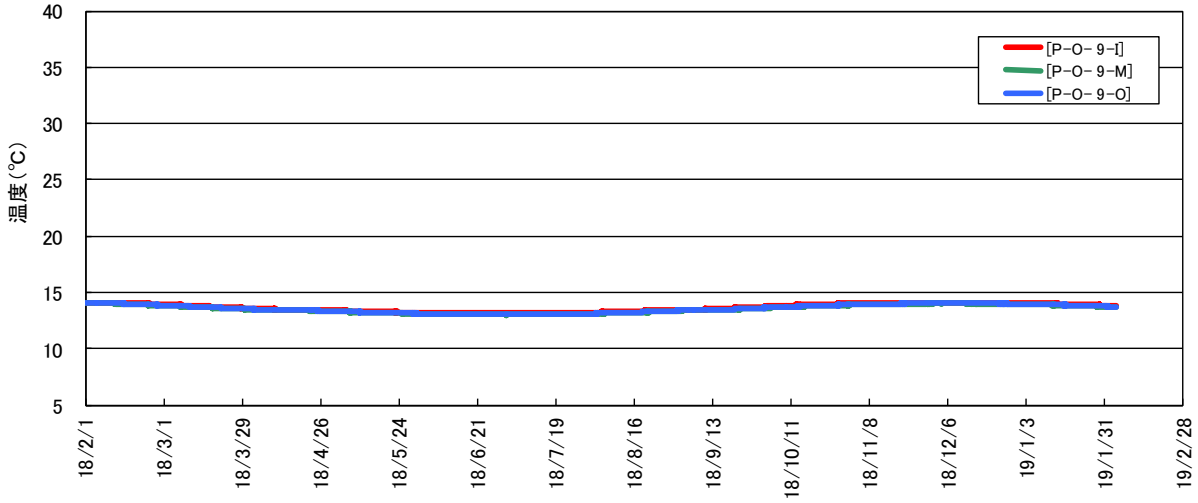
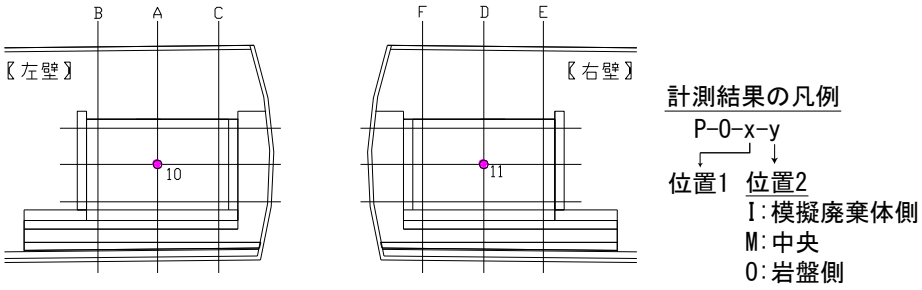
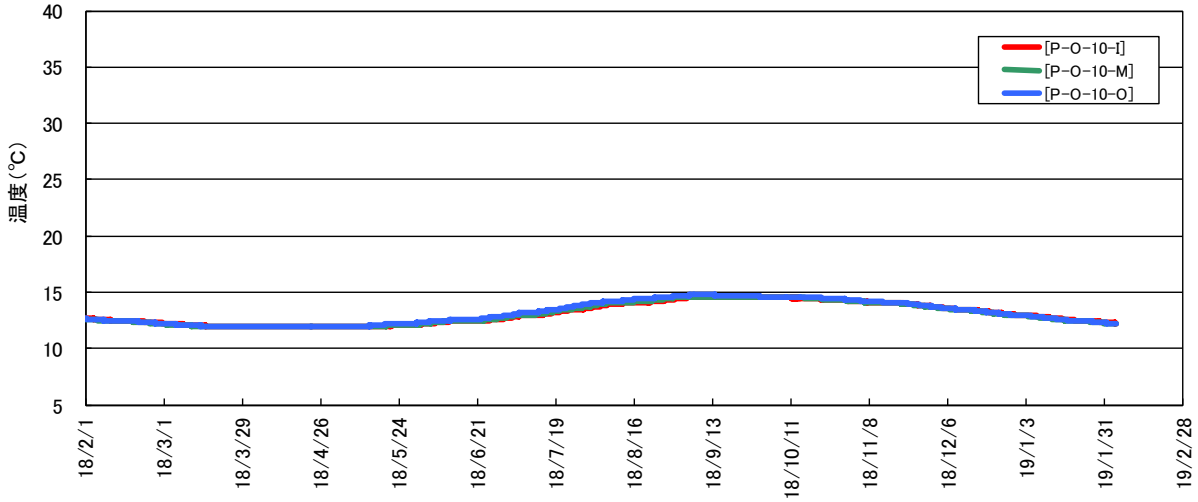


図 4.2-83　側部コンクリートピットの温度計測結果（2／5）



側部コンクリートピットの温度（A断面中段）



側部コンクリートピットの温度（A断面中段）

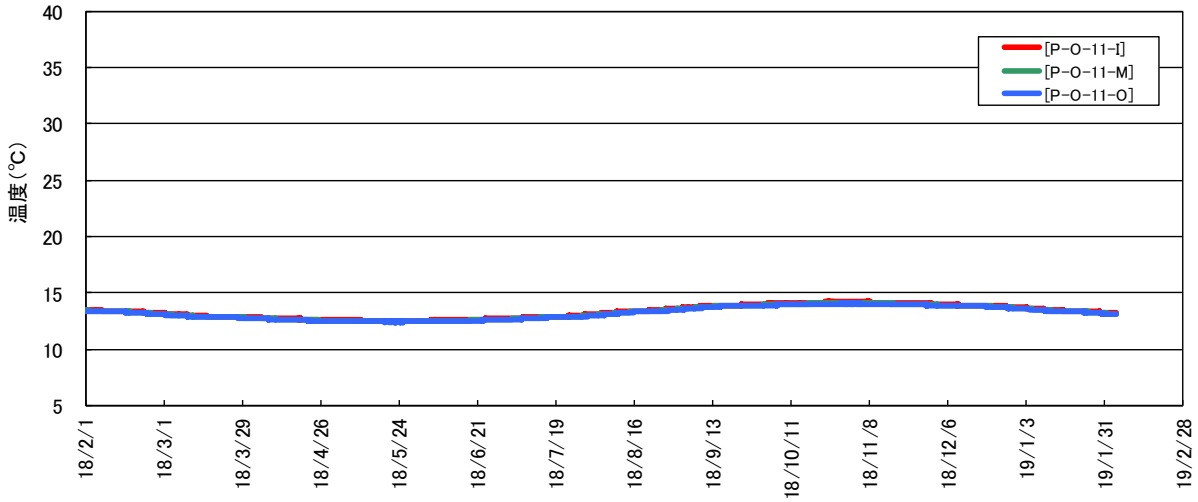
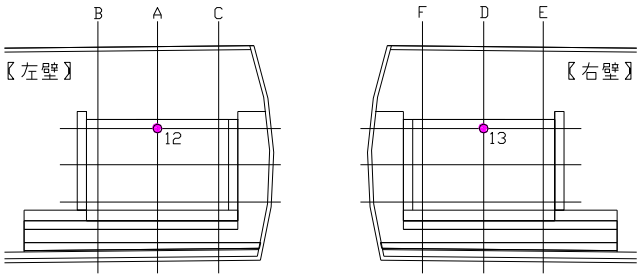


図 4.2-84　側部コンクリートピットの温度計測結果（3／5）



計測結果の凡例

P-O-x-y

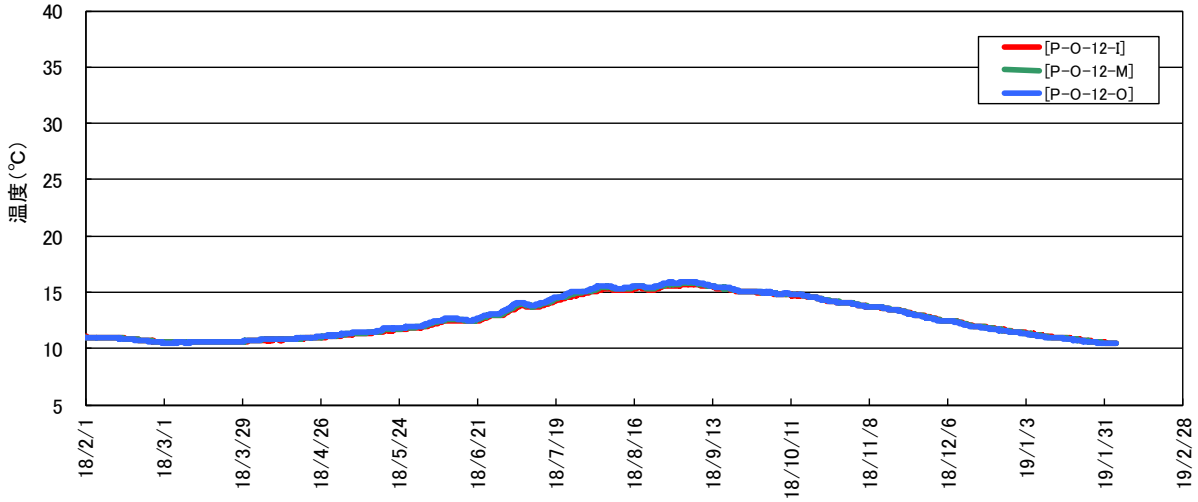
位置1　位置2

I：模擬廃棄体側

M：中央

O：岩盤側

側部コンクリートピットの温度（A断面中段）



側部コンクリートピットの温度（A断面中段）

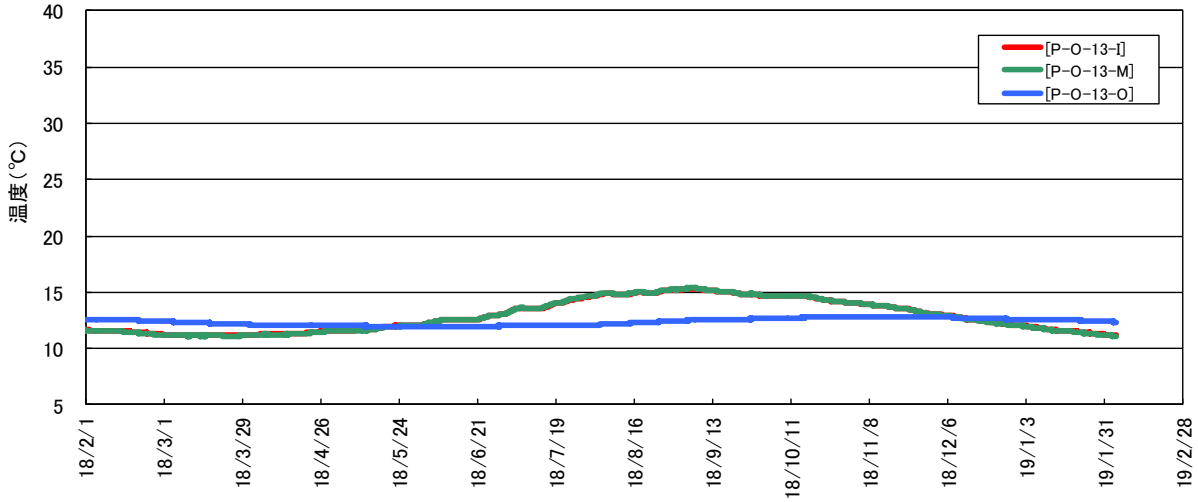
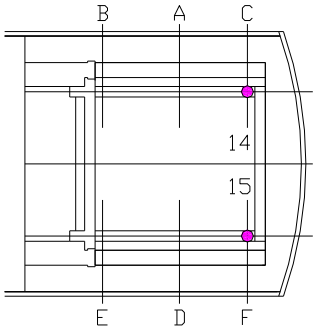


図 4.2-85　側部コンクリートピットの温度計測結果（4／5）



計測結果の凡例

P-O-x-y

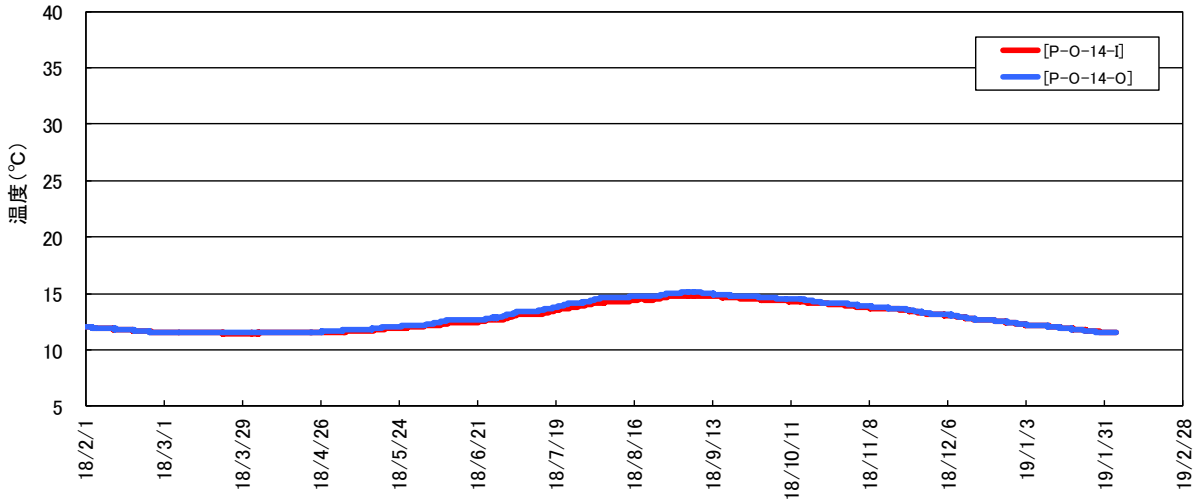
位置1　位置2

I:模擬廃棄体側

M:中央

O:岩盤側

側部コンクリートピットの温度（C断面上段）



側部コンクリートピットの温度（F断面上段）

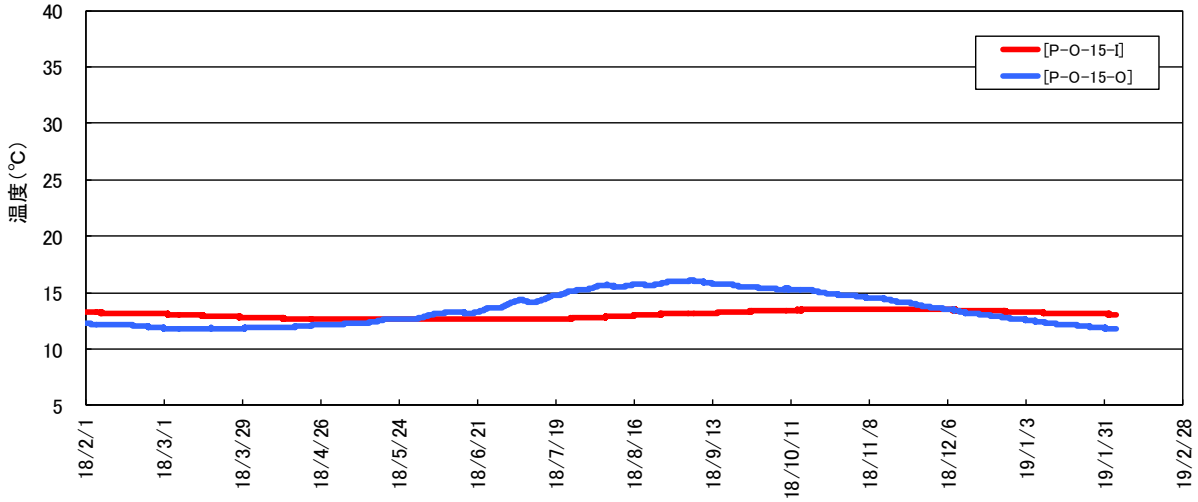
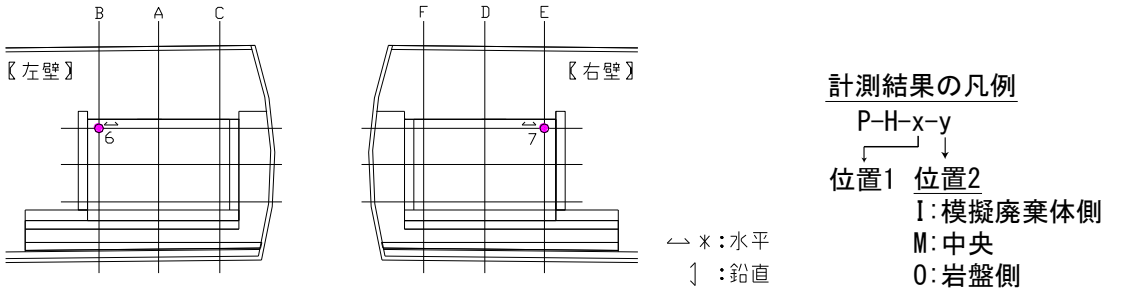
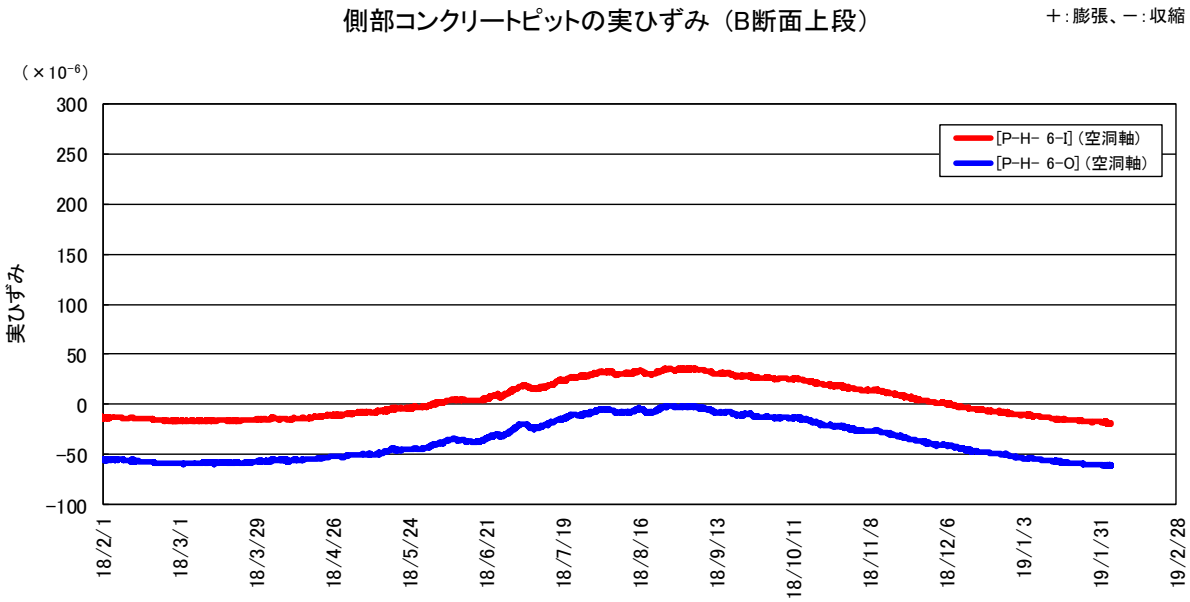


図 4.2-86　側部コンクリートピットの温度計測結果（5／5）

(2) ひずみ計

側部コンクリートピットに設置したひずみ計の経時変化（実ひずみ）を、図 4.2-87～図 4.2-91 に示す。





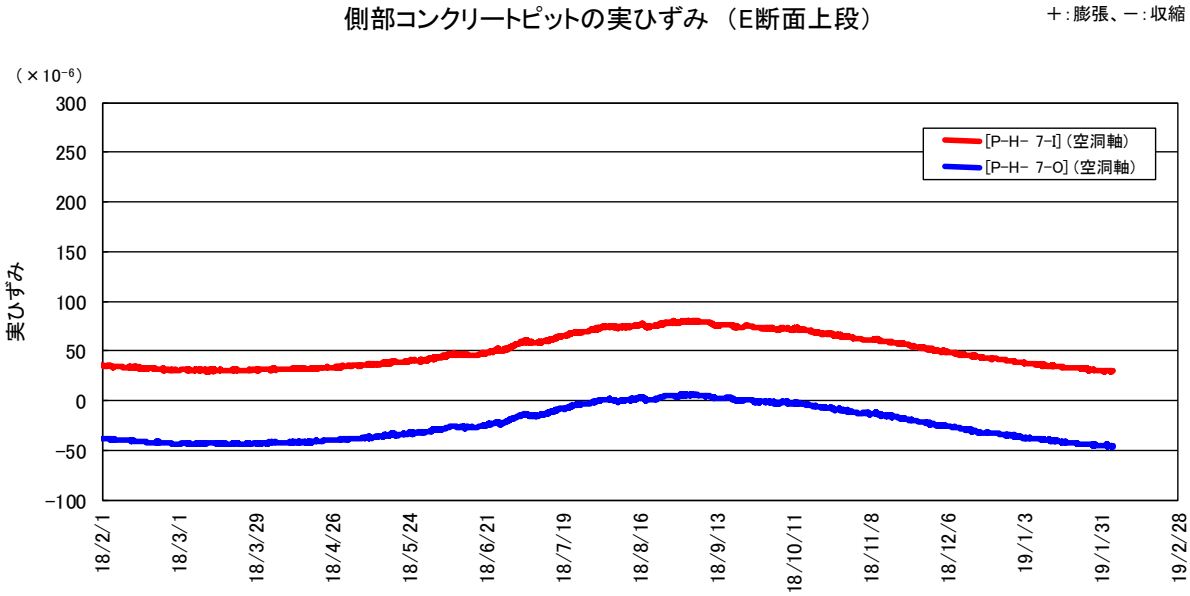


図 4.2-87　側部コンクリートピットの実ひずみ（1／5）

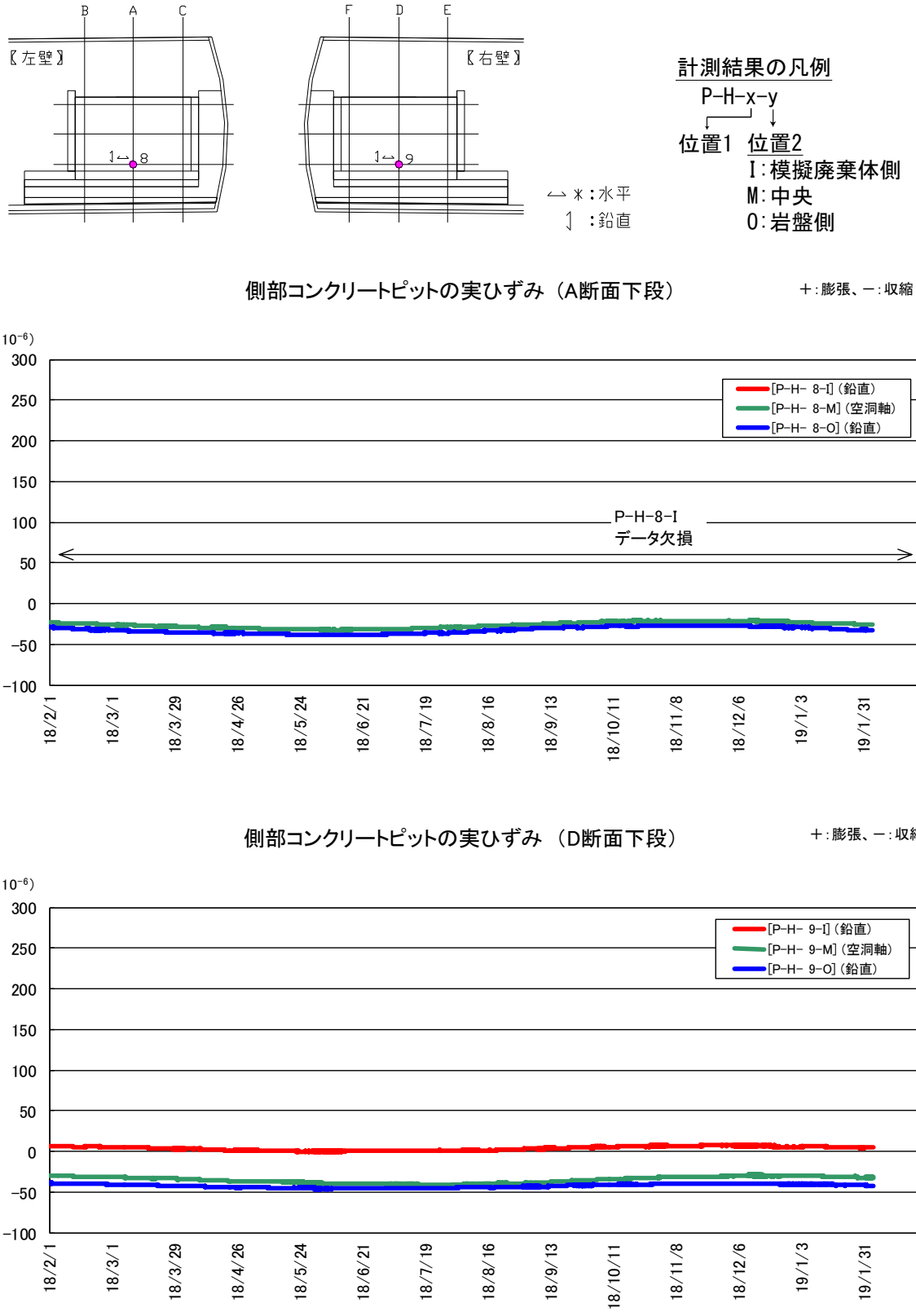
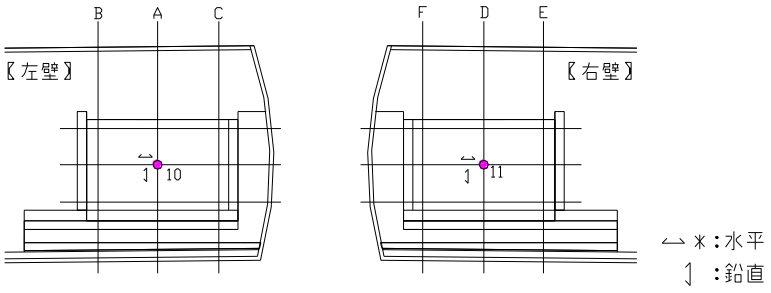


図 4.2-88　側部コンクリートピットの実ひずみ（2／5）



計測結果の凡例

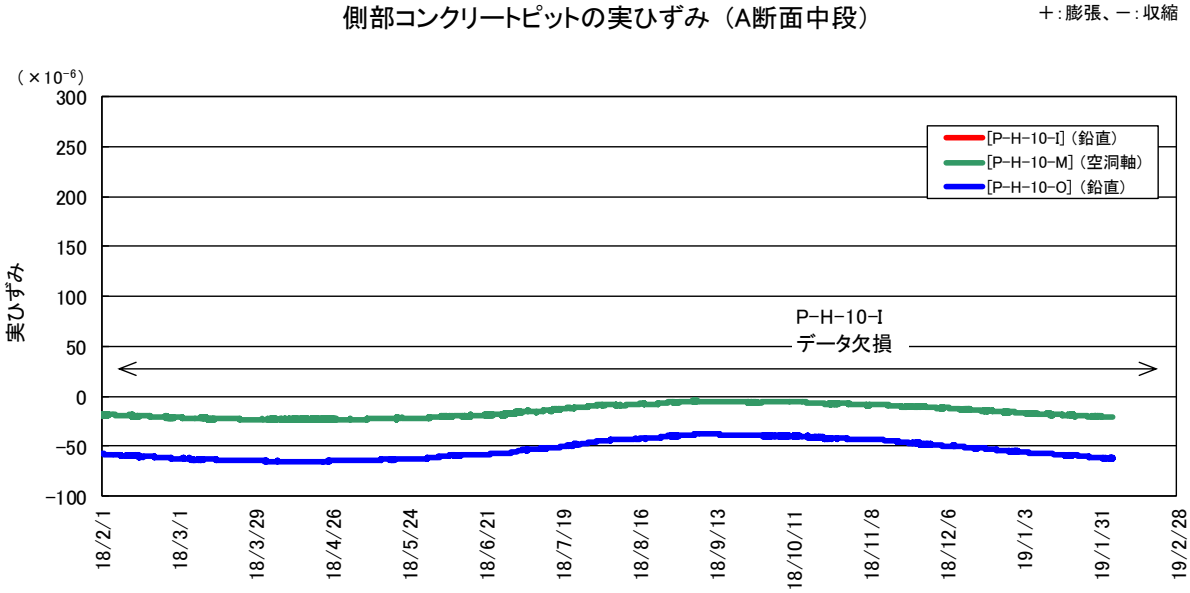
P-H-x-y

位置1　位置2

I：模擬廃棄体側

M：中央

O：岩盤側



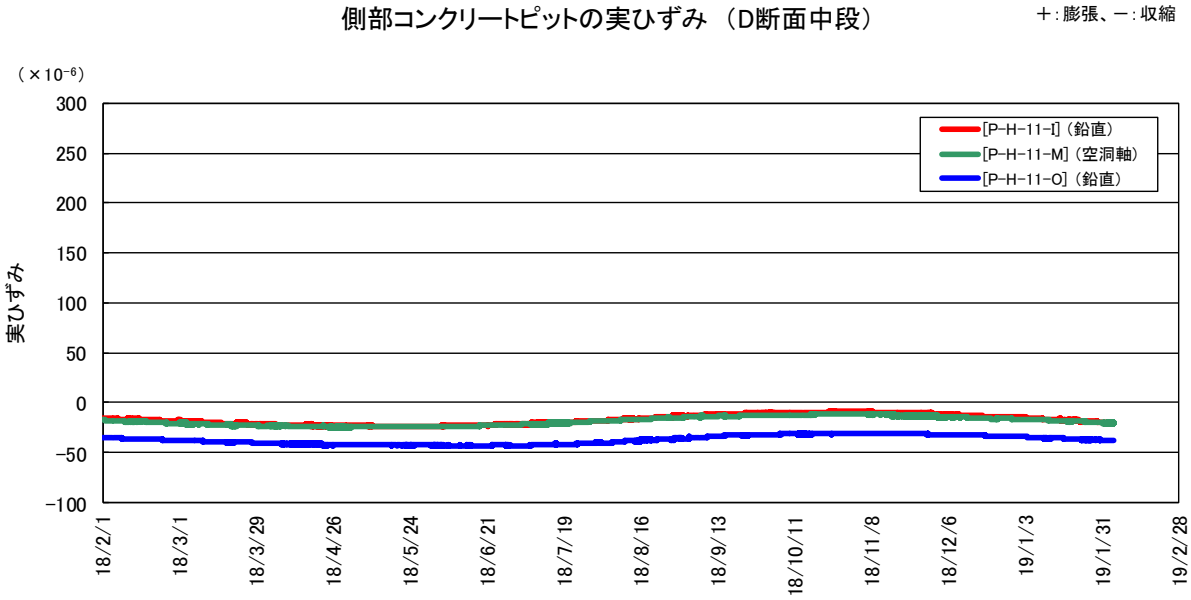


図 4.2-89　側部コンクリートピットの実ひずみ（3／5）

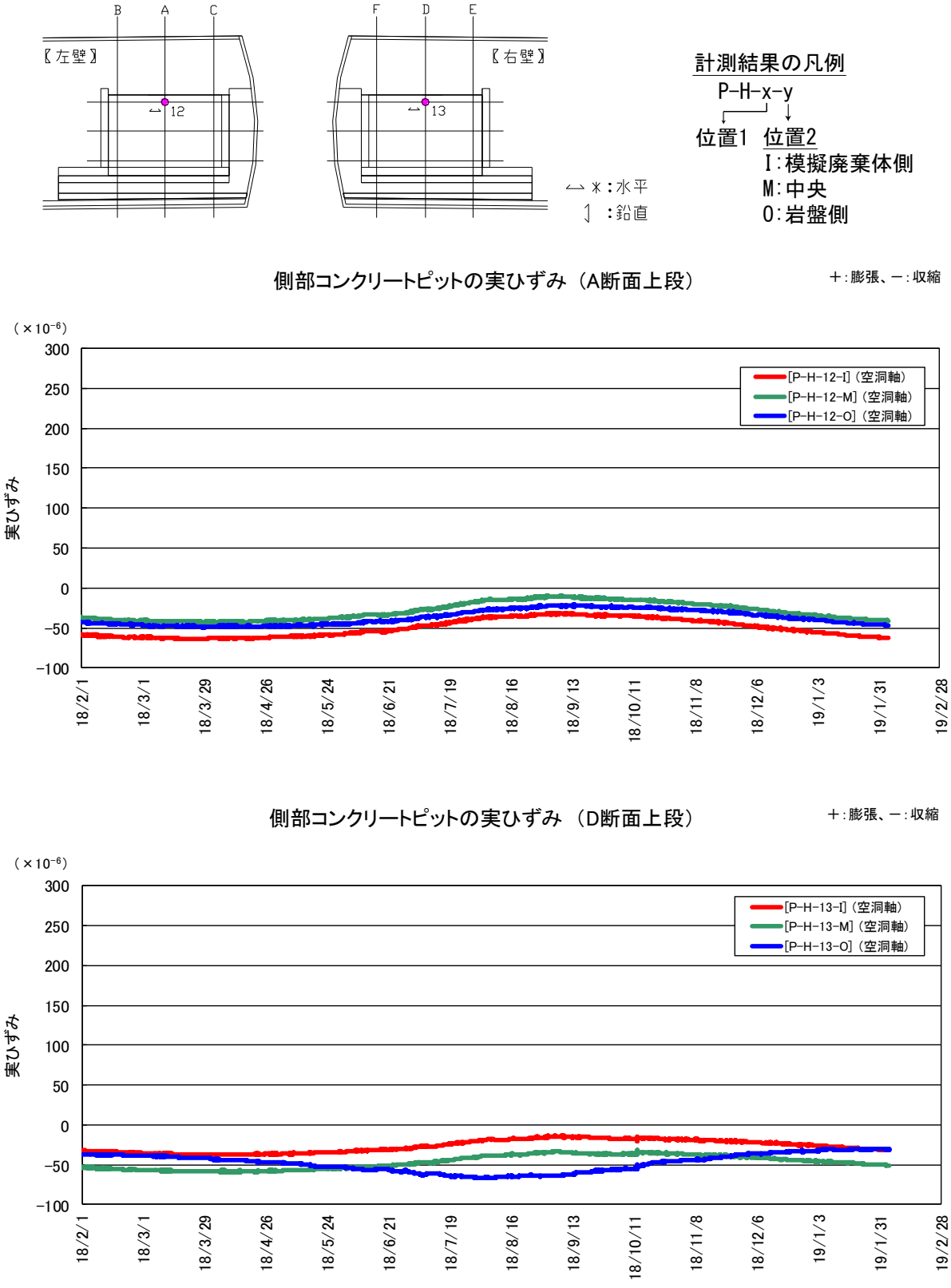


図 4.2-90　側部コンクリートピットの実ひずみ（4／5）

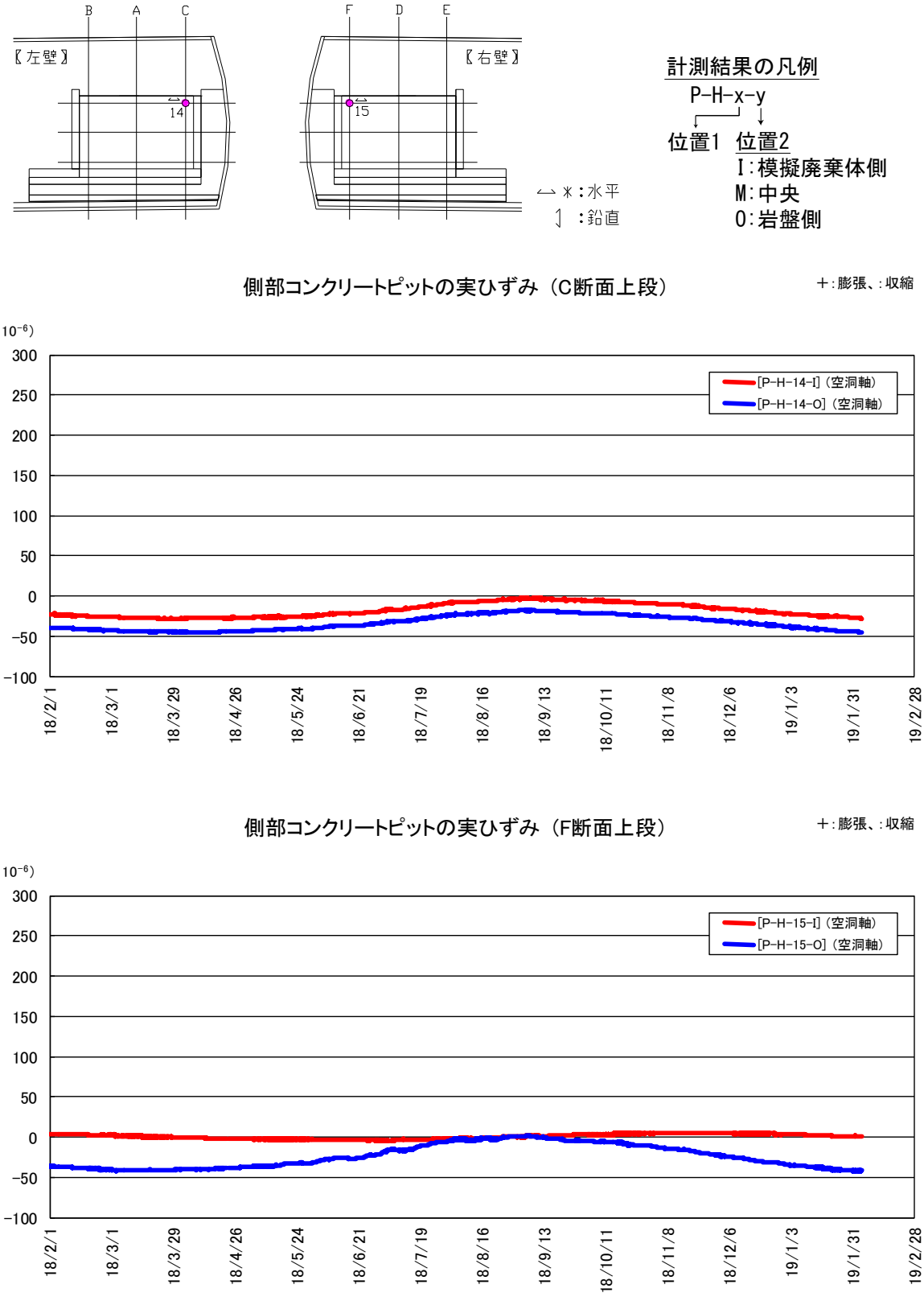
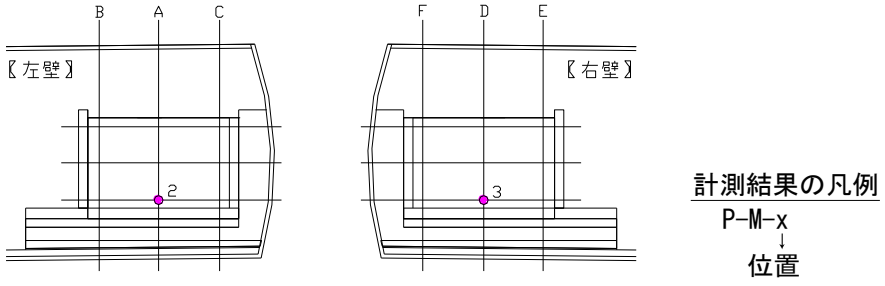
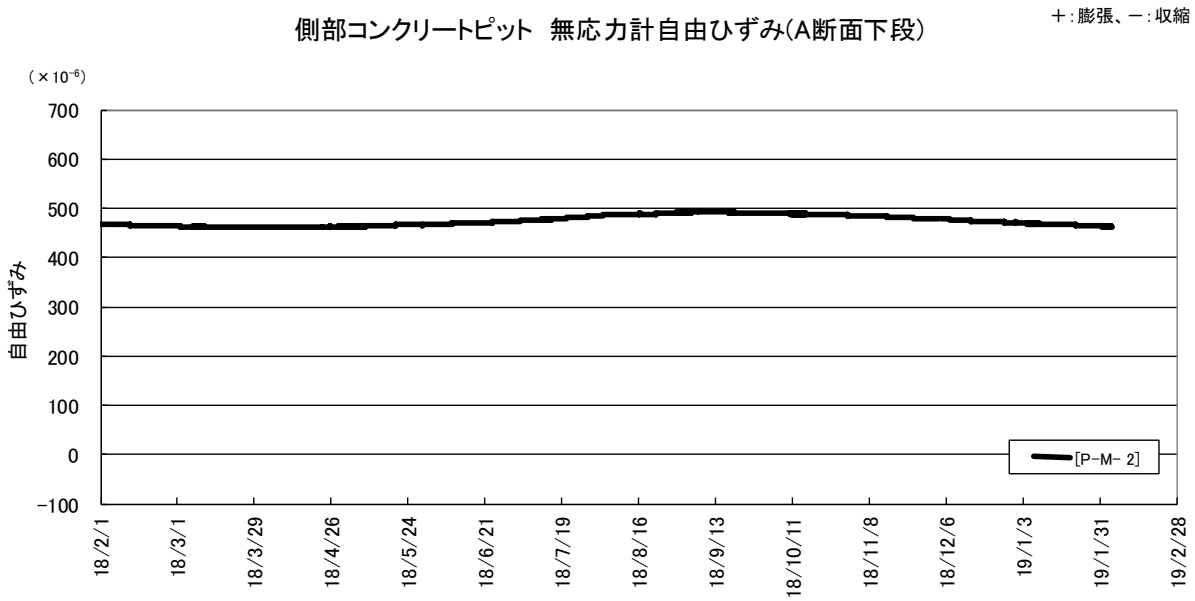


図 4.2-91　側部コンクリートピットの実ひずみ（5／5）

(3) 無応力計

側部コンクリートピットに設置した無応力計の経時変化（自由ひずみ）を、図 4.2-92 に示す。





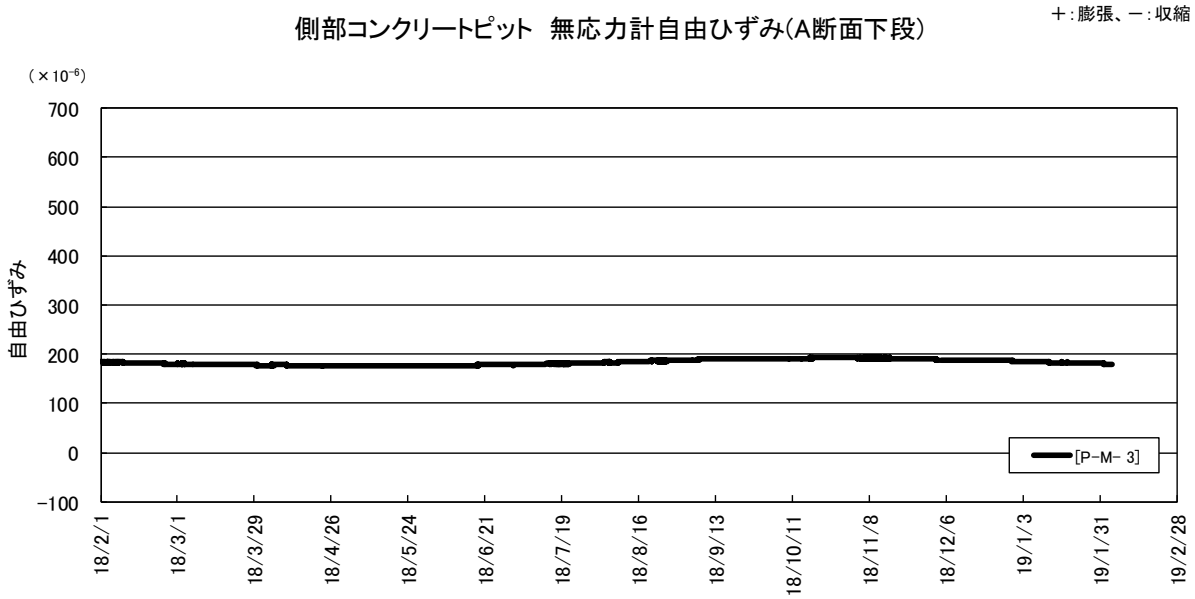
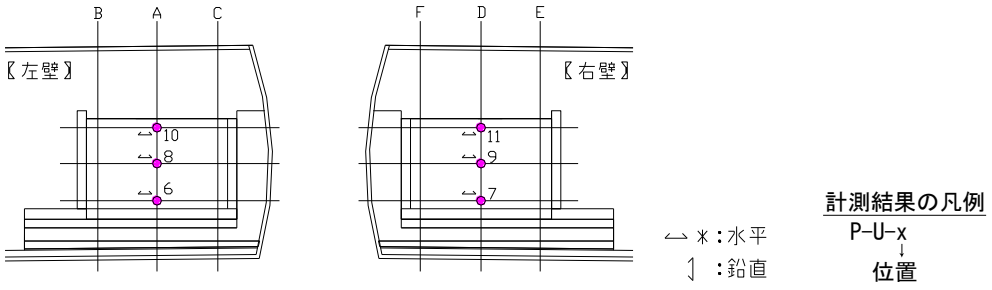
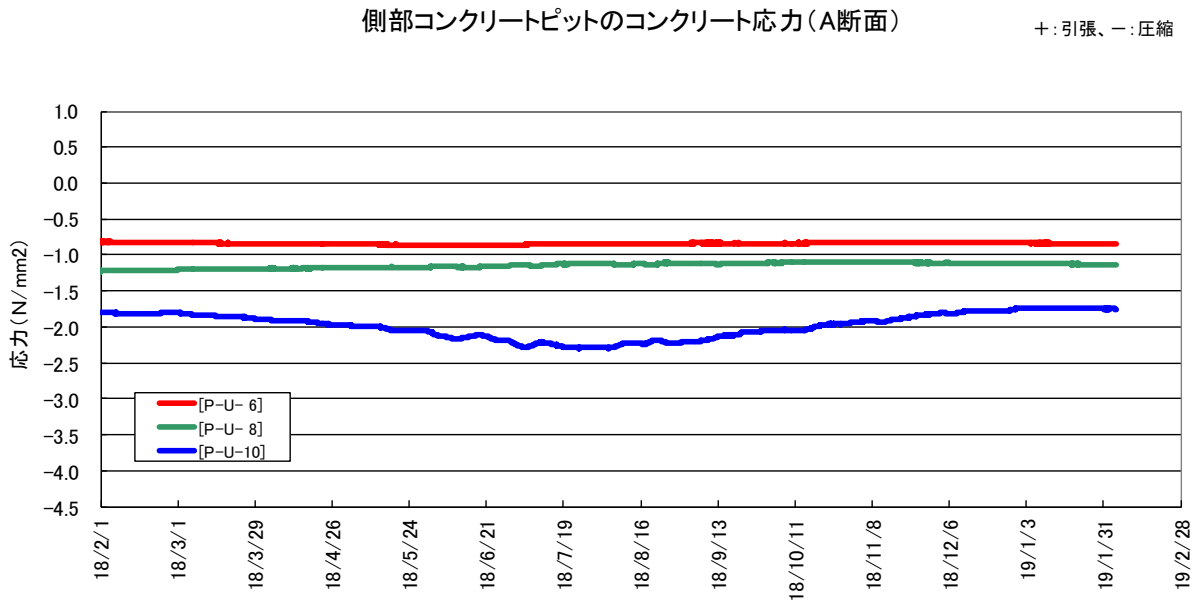


図 4.2-92　側部コンクリートピットの自由ひずみ

(4) 有効応力計

側部コンクリートピットに設置した有効応力計の経時変化を、図 4.2-93 に示す。





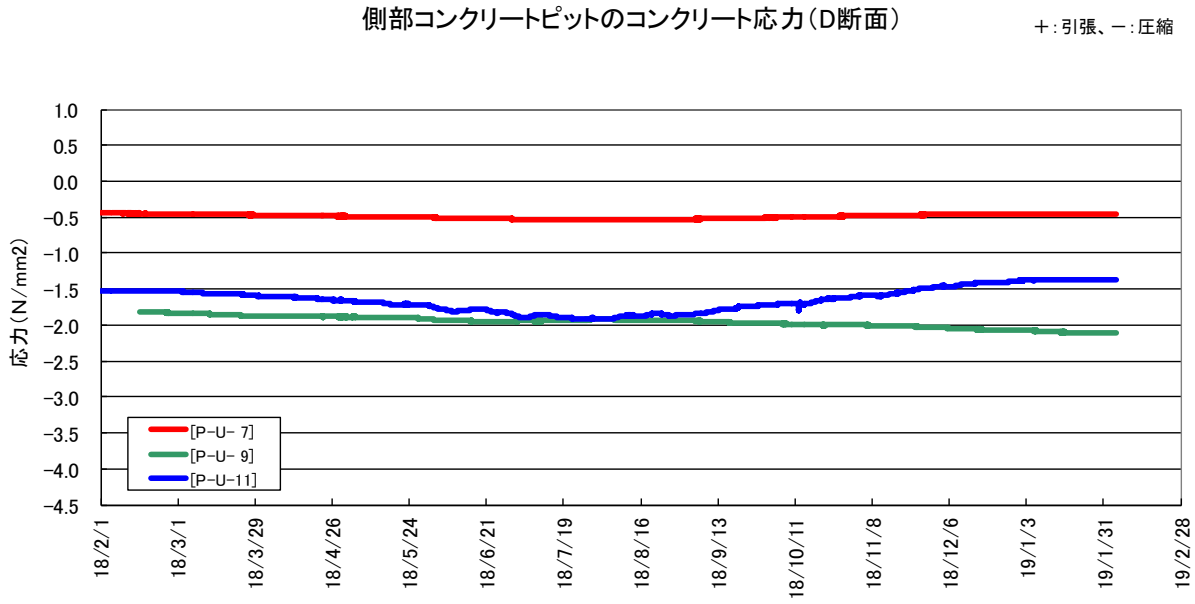


図 4.2-93　側部コンクリートピットのコンクリート応力計測結果

(5) 鉄筋計

側部コンクリートピットに設置した鉄筋計の経時変化を、図 4.2-94～図 4.2-98 に示す。

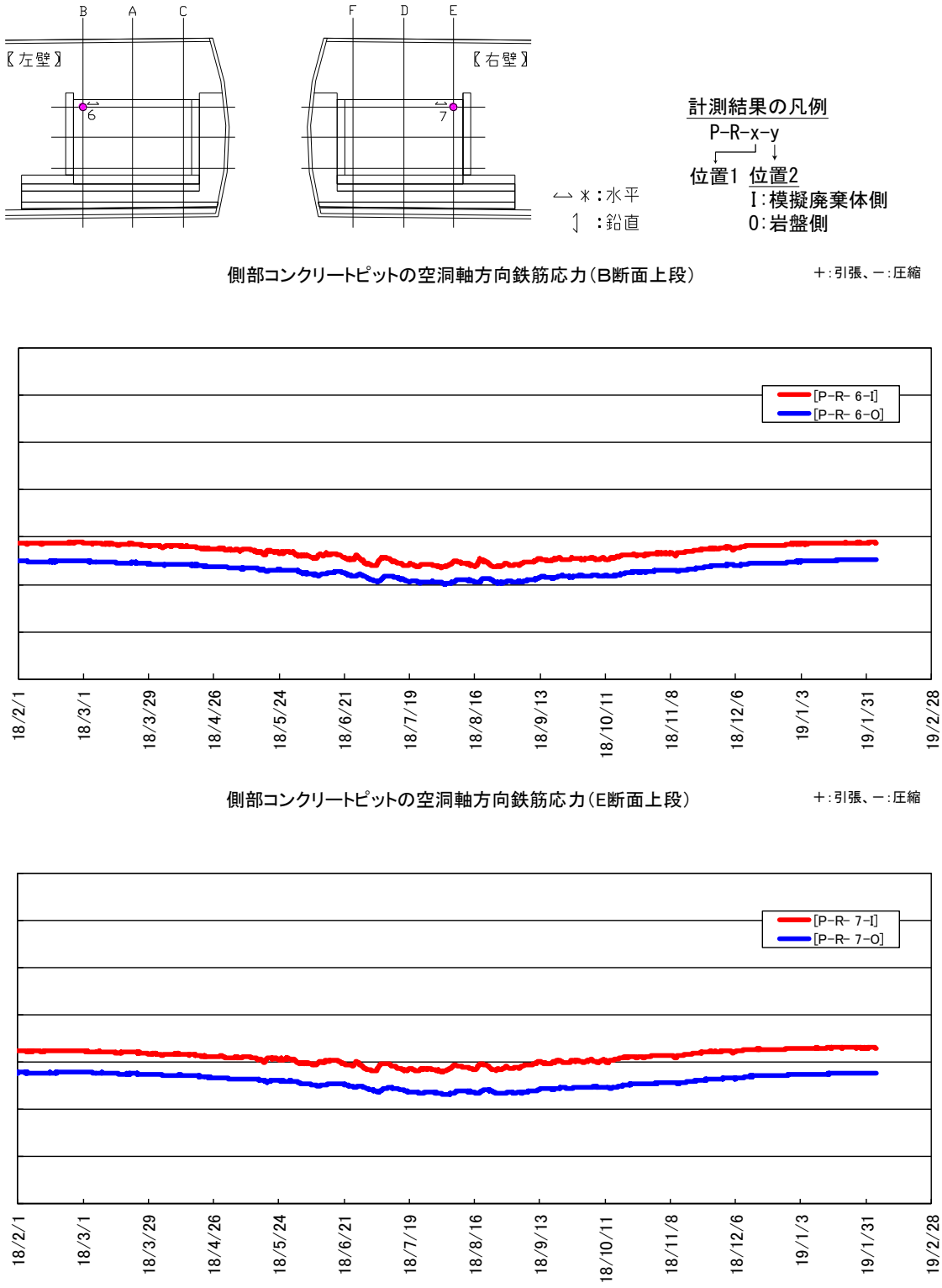
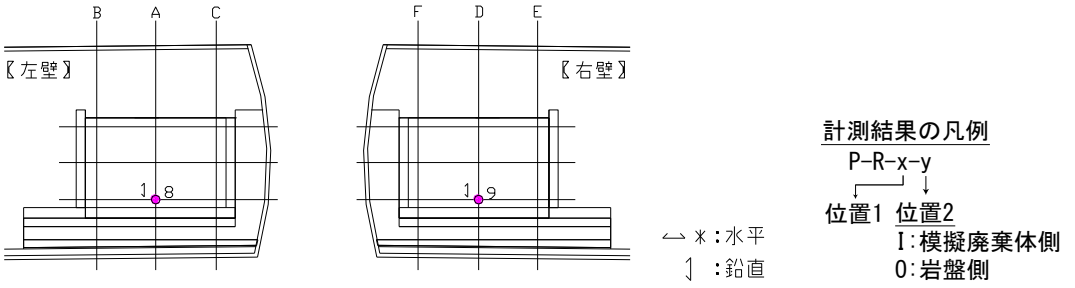
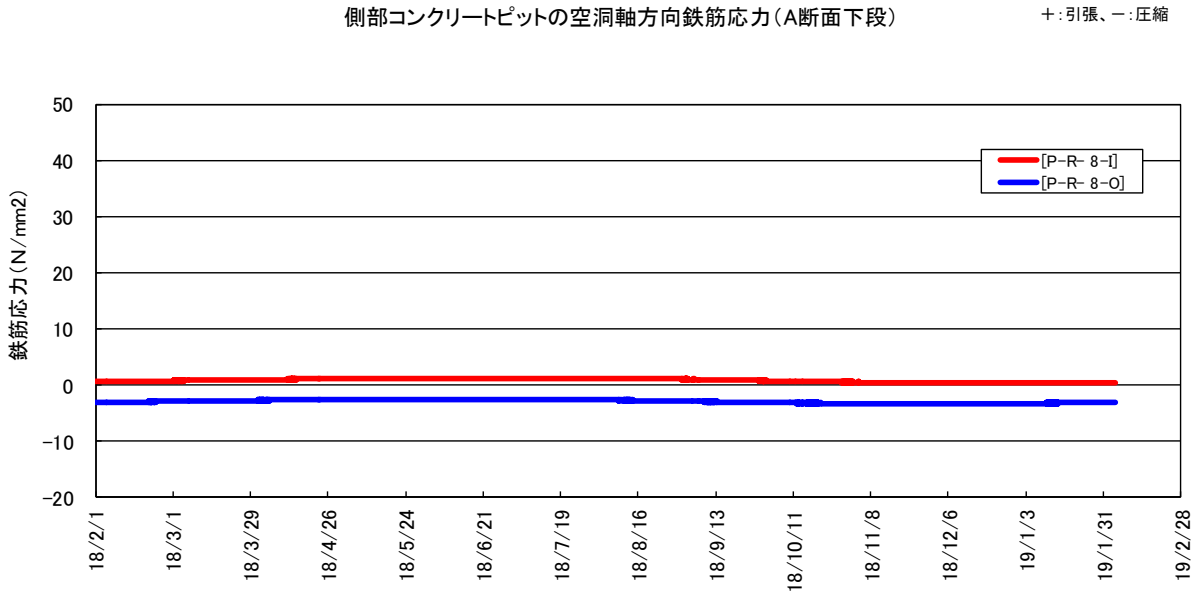


図 4.2-94 側部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（1／5）





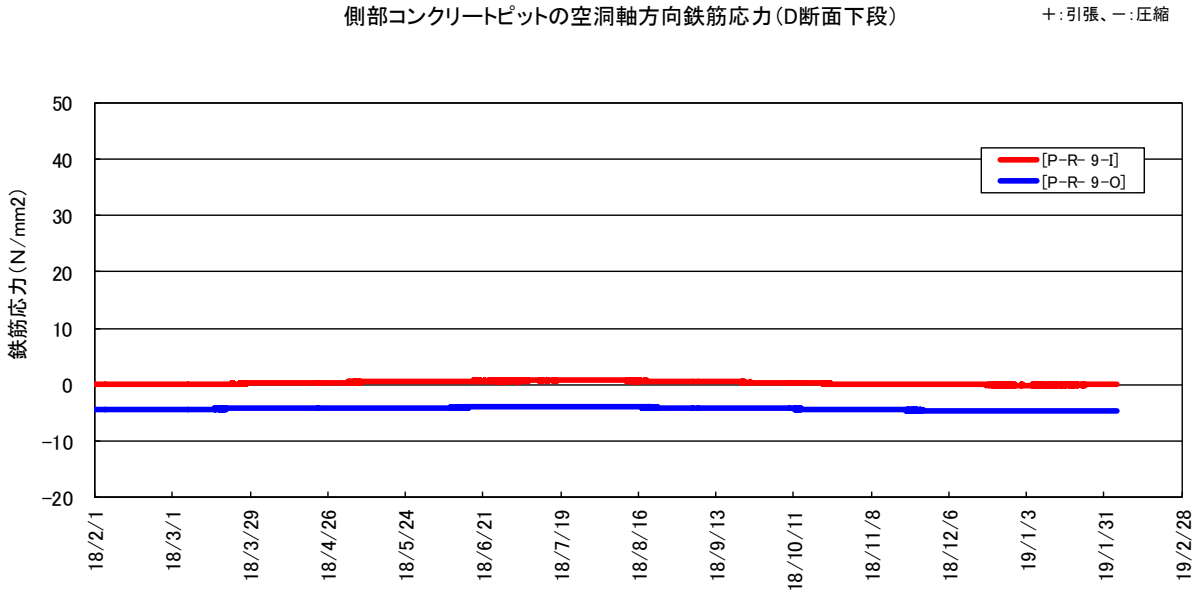
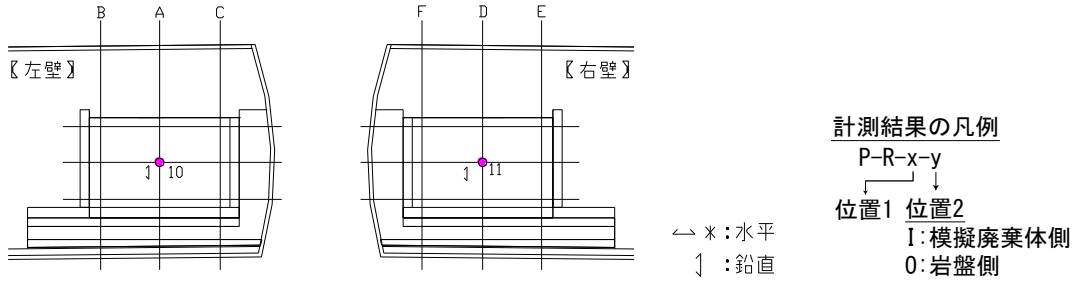
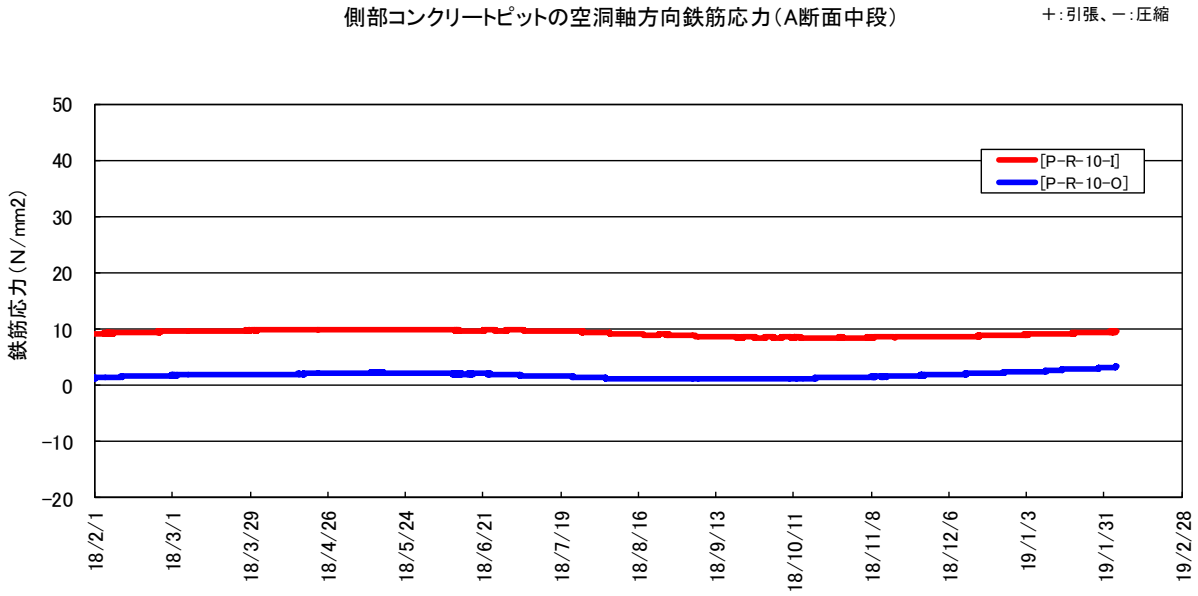


図 4.2-95　側部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（2／5）





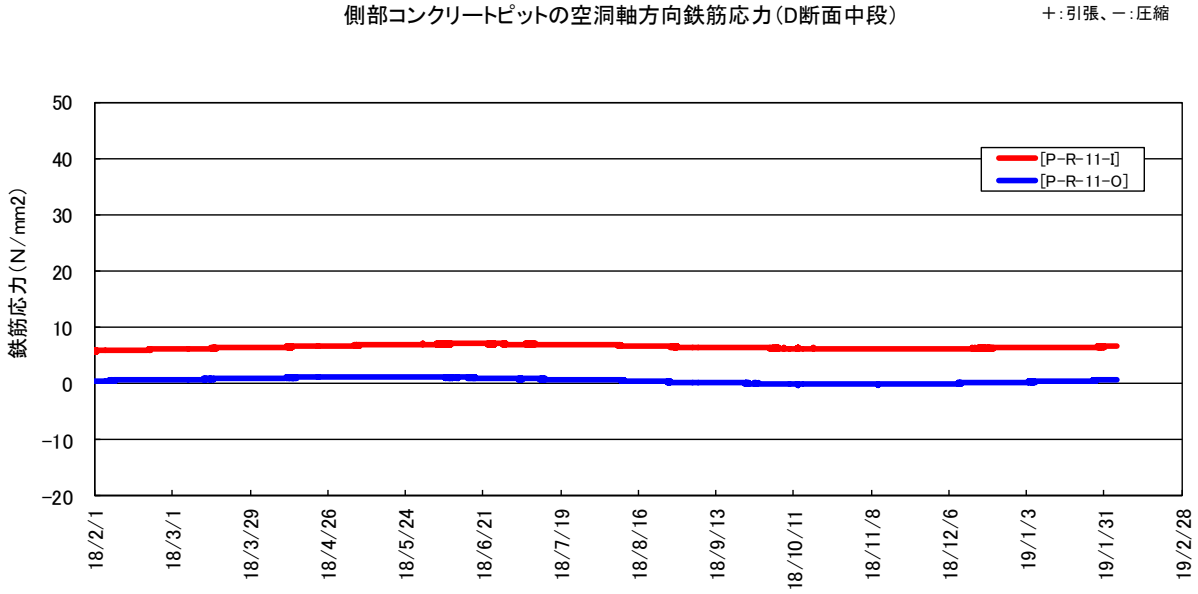
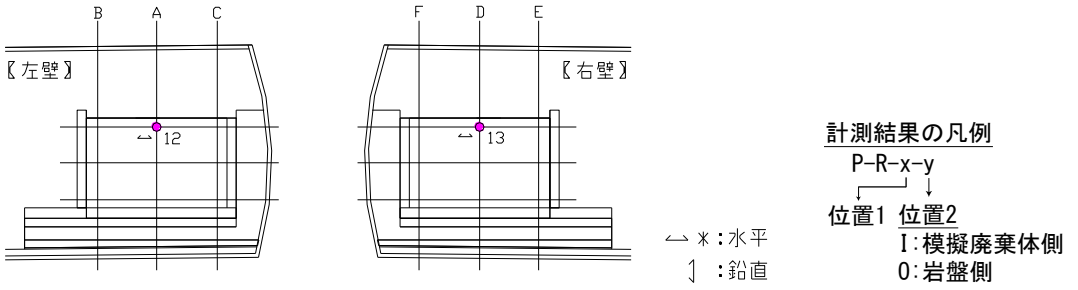
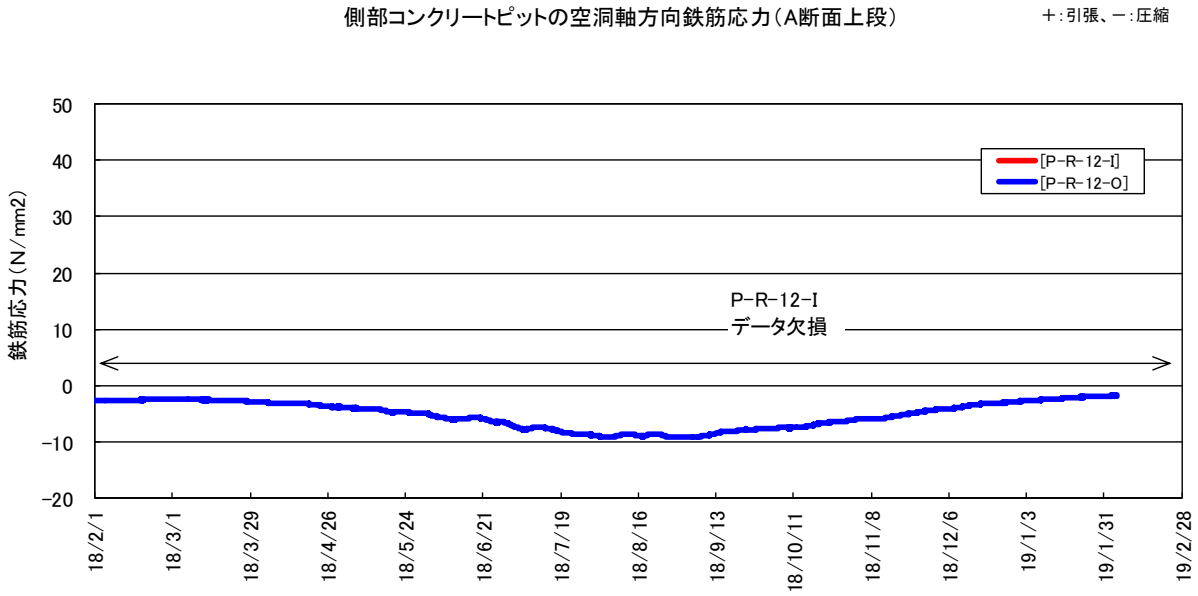


図 4.2-96　側部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（3／5）





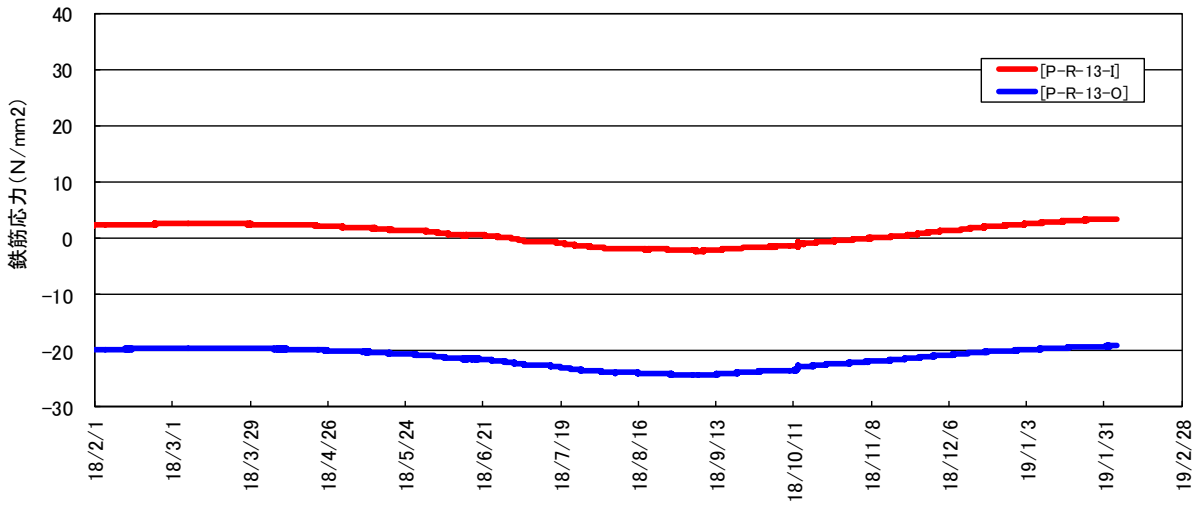
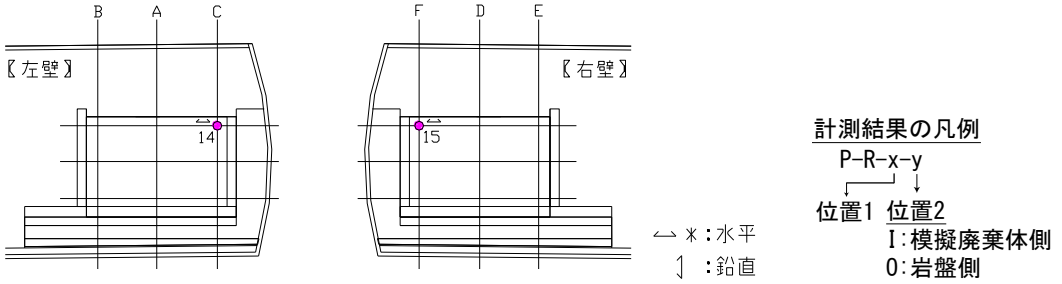
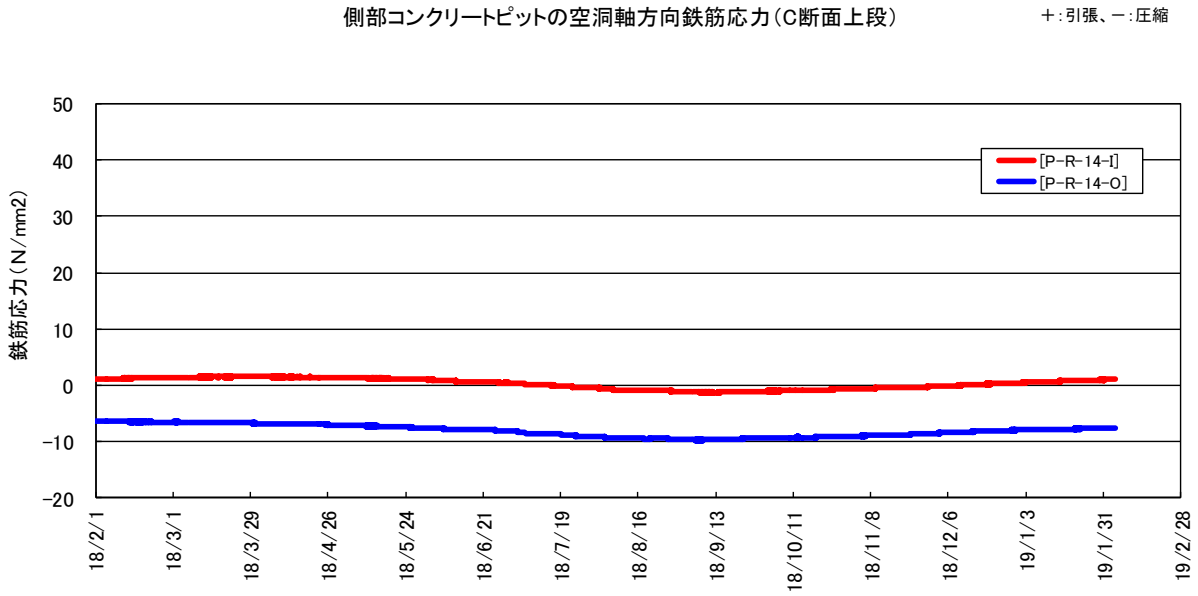


図 4.2-97　側部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（4／5）





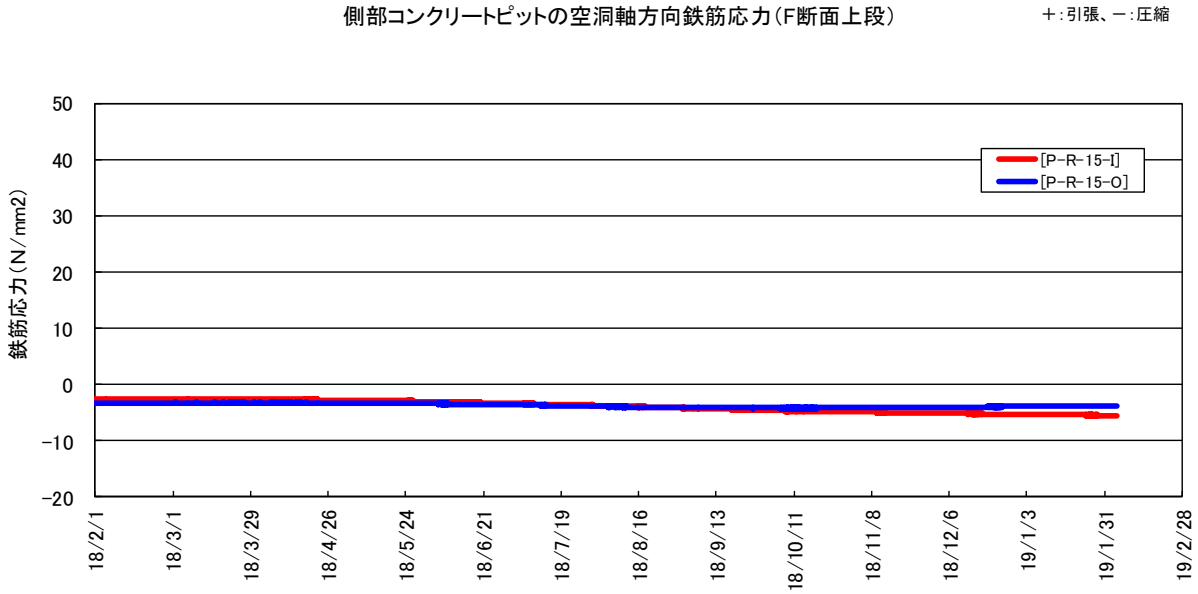


図 4.2-98　側部コンクリートピットの鉄筋応力計測結果（5／5）

4.2.13　充填材･上部充填材埋設計器計測結果

充填材及び上部充填材計測一覧表を表 4.2-13、表 4.2-14 に示す。

表 4.2-13　充填材計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	測定開始日
		断面	高さ	厚み		
土圧計	F-D-1	A	上段	部材表面	空洞横断	2010/7/21 充填材打設日
	F-D-2		中段			
	F-D-3		下段			
温度計	F-O-1	A	中段		-	

表 4.2-14　上部充填材計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	測定開始日
		断面	高さ	厚み		
土圧計	F-D-4	A	上部充填材打設箇所	部材表面	空洞横断	2010/8/3 上部充填材打設日
温度計	F-O-2	A			-	

(1) 充填材

1) 土圧計

充填材測定用に設置した土圧計の経時変化を図 4.2-99 に示す。

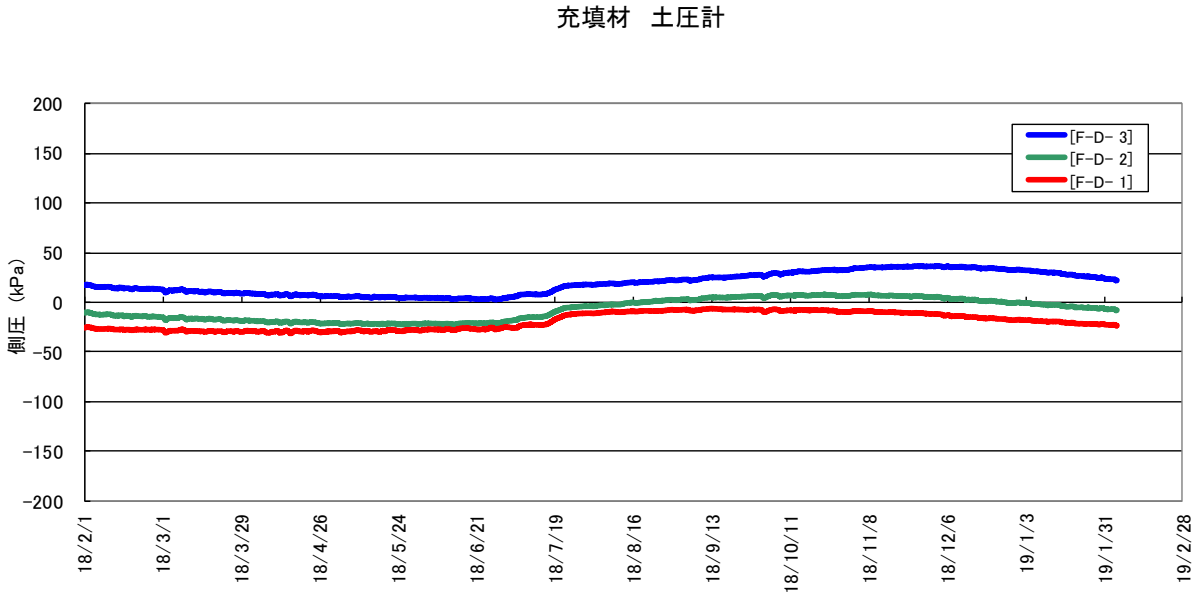


図 4.2-99　充填材の土圧計測結果

2) 温度計

充填材測定用に設置した温度計の経時変化を図 4.2-100 に示す。

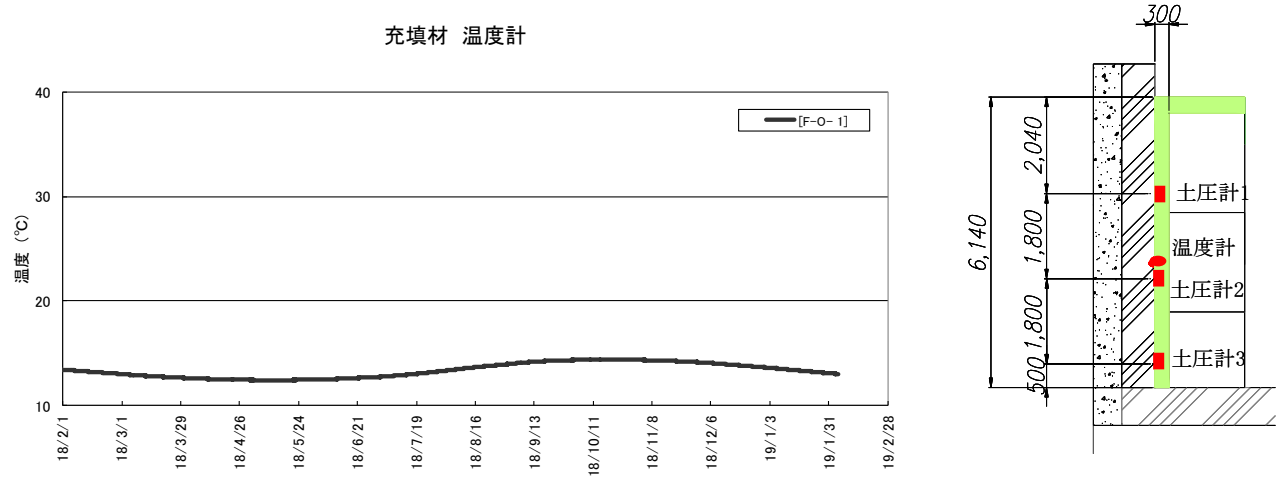


図 4.2-100　充填材の温度計側結果

(2) 上部充填材

1) 土圧計

充填材測定用に設置した土圧計の経時変化を図 4.2-101 に示す。

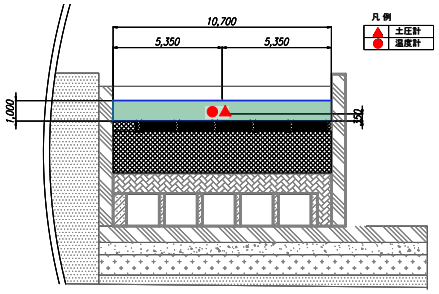


図 4.2-101 上部充填材の土圧計測結果

2) 温度計

充填材測定用に設置した温度計の経時変化を
図 4.2-102 に示す。

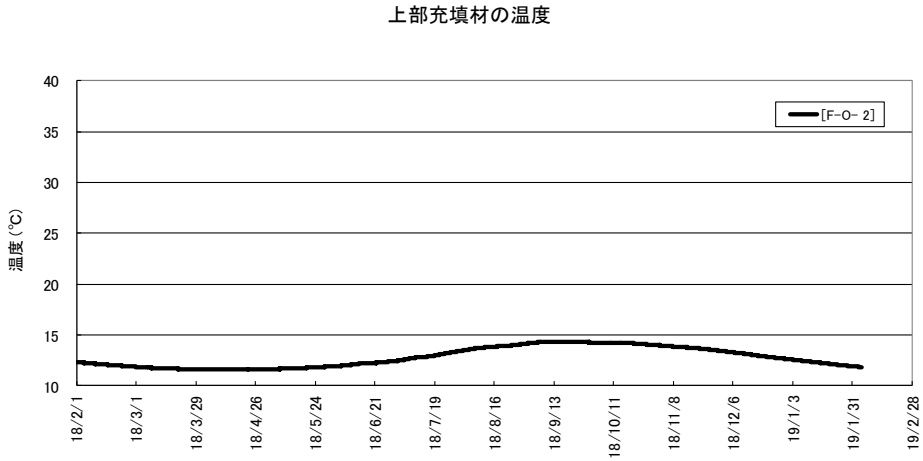


図 4.2-102 上部充填材の温度計測結果

4.2.14　底部埋戻し材埋設計器計測結果

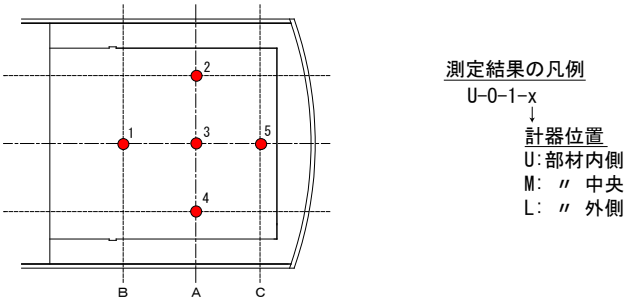
底部埋戻し材計測一覧表を、表 4.2-15 に示す。

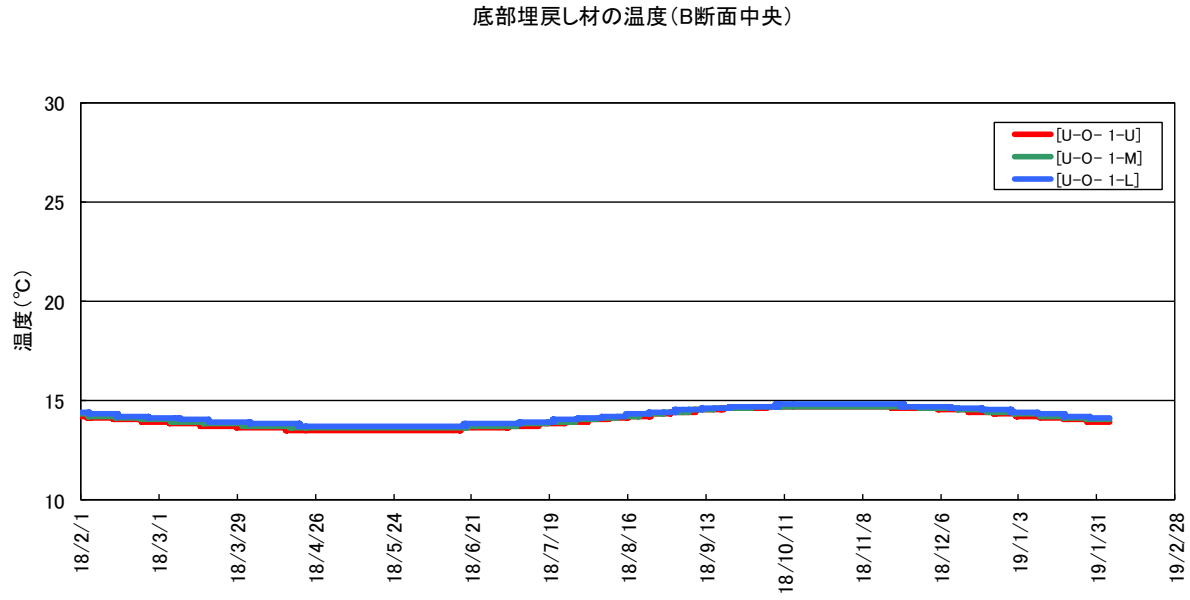
表 4.2-15　底部埋戻し材計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日	備考
		断面	断面方向	厚み			
ひずみ計	U-H- 1-U-V	B	中央	内側	空洞軸方向	2007/9/26	底部ｺﾝｸﾘｰﾄ打設 2007/9/28
	U-H- 2-U-V	A	左				
	U-H- 3-U-V		中央				
	U-H- 4-U-V		右				
	U-H- 5-U-V	C	中央				
	U-H- 1-U-C	B	中央		空洞横断方向		
	U-H- 2-U-C	A	左				
	U-H- 3-U-C		中央				
	U-H- 4-U-C		右				
	U-H- 5-U-C	C	中央				
	U-H- 1-M-V	B	中央	中央	空洞軸方向		
	U-H- 2-M-V	A	左				
	U-H- 3-M-V		中央				
	U-H- 4-M-V		右				
	U-H- 5-M-V	C	中央				
	U-H- 1-M-C	B	中央		空洞横断方向		
	U-H- 2-M-C	A	左				
	U-H- 3-M-C		中央				
	U-H- 4-M-C		右				
	U-H- 5-M-C	C	中央				
	U-H- 1-L-V	B	中央	外側	空洞軸方向		
	U-H- 2-L-V	A	左				
	U-H- 3-L-V		中央				
	U-H- 4-L-V		右				
	U-H- 5-L-V	C	中央				
	U-H- 1-L-C	B	中央		空洞横断方向		
	U-H- 2-L-C	A	左				
	U-H- 3-L-C		中央				
	U-H- 4-L-C		右				
	U-H- 5-L-C	C	中央				
有効応力計	U-U- 1-M-V	A	左	中央	空洞軸方向		
	U-U- 2-M-V		中央				
	U-U- 3-M-V		右				
	U-U- 1-M-C		左		空洞横断方向		
	U-U- 2-M-C		中央				
	U-U- 3-M-C		右				
無応力計	U-M- 1		中央		―		
鉄筋計	U-R- 1-U-V	B	中央	内側	空洞軸方向		
	U-R- 3-U-V	A					
	U-R- 5-U-V	C				2007/9/27	
	U-R- 2-U-C	A	左		空洞横断方向	2007/9/26	
	U-R- 3-U-C		中央				
	U-R- 4-U-C		右				
	U-R- 1-L-V	B	中央	外側	空洞軸方向		
	U-R- 3-L-V	A					
	U-R- 5-L-V	C				2007/9/27	
	U-R- 2-L-C	A	左		空洞横断方向		
	U-R- 3-L-C		中央				
	U-R- 4-L-C		右				
温度計	U-O- 1-U	B	中央	内側	―	2007/9/26	
	U-O- 2-U	A	左				
	U-O- 3-U		中央				
	U-O- 4-U		右				
	U-O- 5-U	C	中央			2007/9/27	
	U-O- 1-M	B	中央	中央	―	2007/9/26	
	U-O- 2-M	A	左				
	U-O- 3-M		中央				
	U-O- 4-M		右				
	U-O- 5-M	C	中央			2007/9/27	
	U-O- 1-L	B	中央	外側	―	2007/9/26	
	U-O- 2-L	A	左				
	U-O- 3-L		中央				
	U-O- 4-L		右				
	U-O- 5-L	C	中央			2007/9/27	

(1) 温度計

底部埋戻し材に設置した温度計の経時変化を、図 4.2-103～図 4.2-105 に示す。





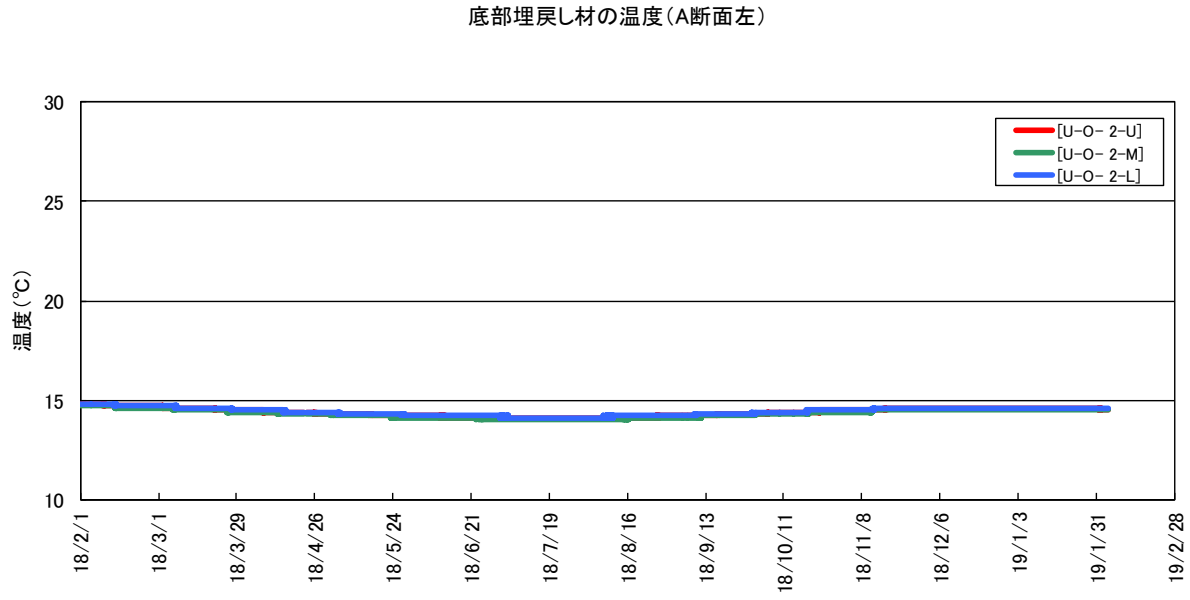
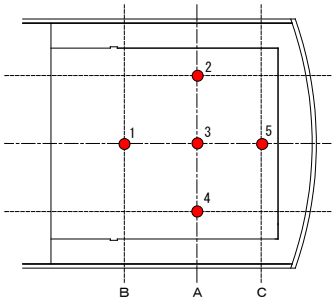
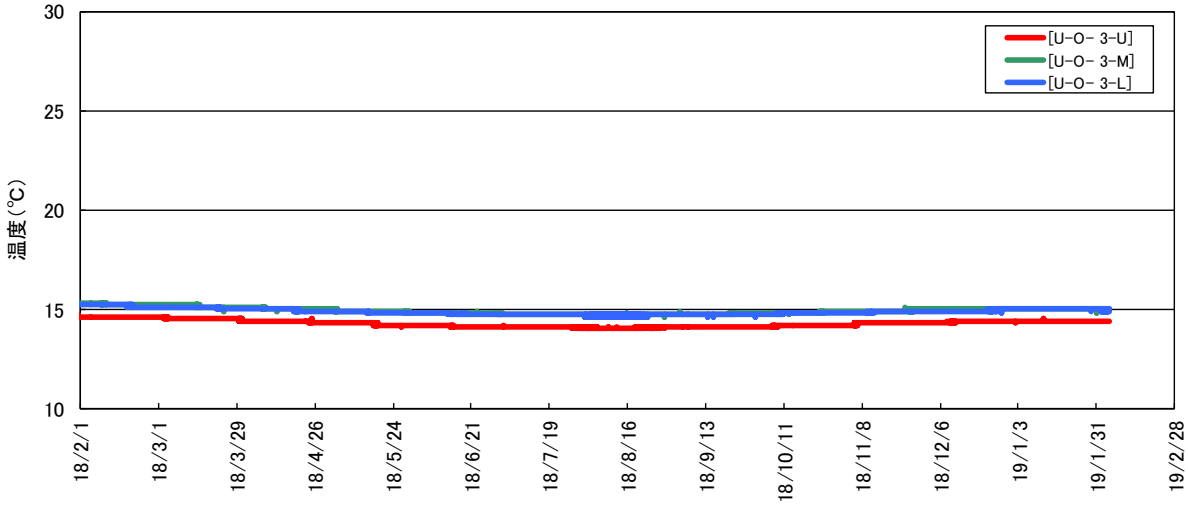


図 4.2-103 底部埋戻し材の温度計測結果 (1／3)



測定結果の凡例
U-O-1-x
↓
計器位置
U:部材内側
M: 〃 中央
L: 〃 外側

底部埋戻し材の温度(A断面中央)



底部埋戻し材の温度(A断面右)

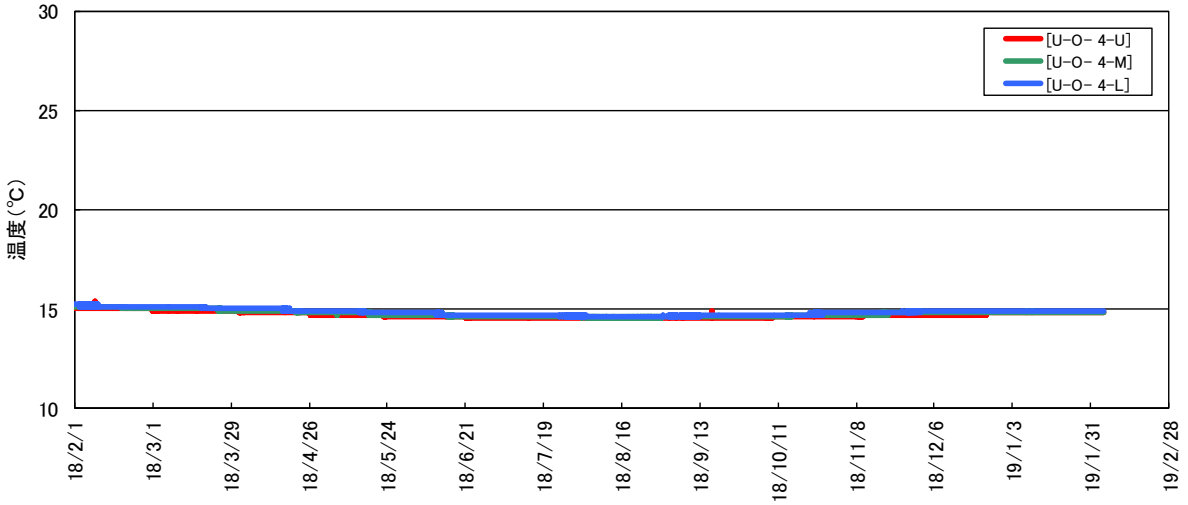
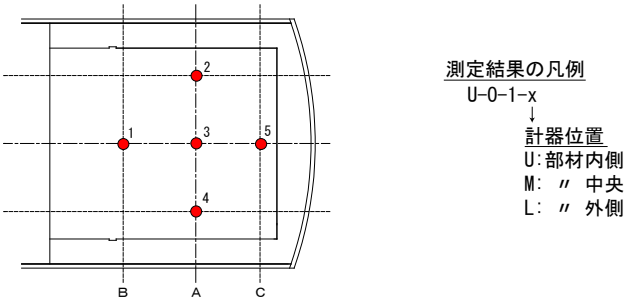


図 4.2-104 底部埋戻し材の温度計測結果 (2／3)



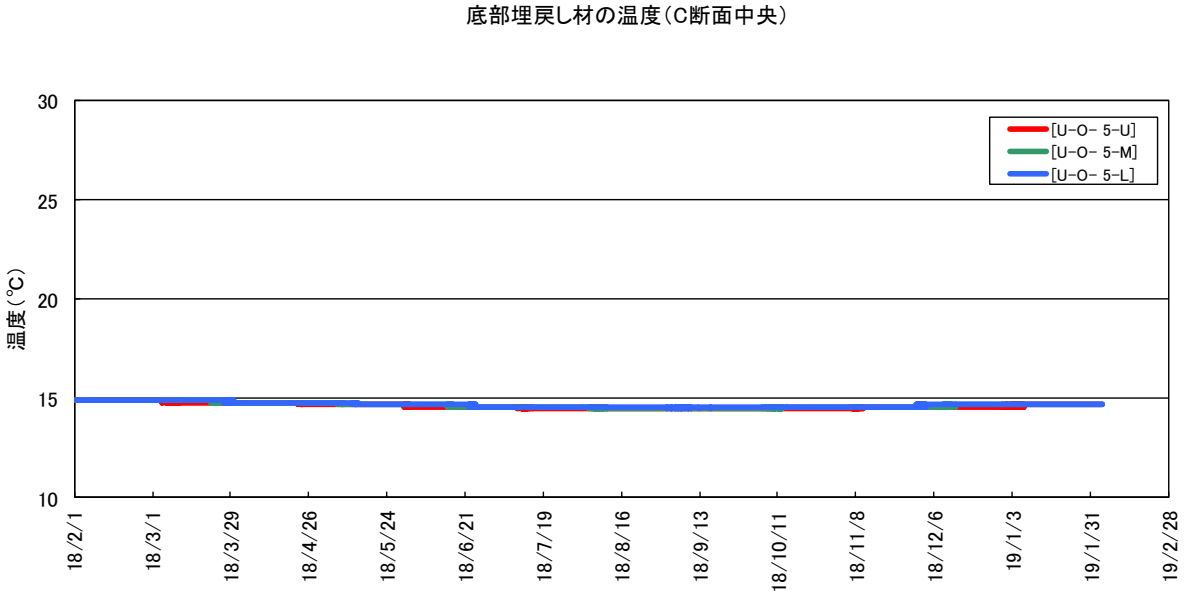
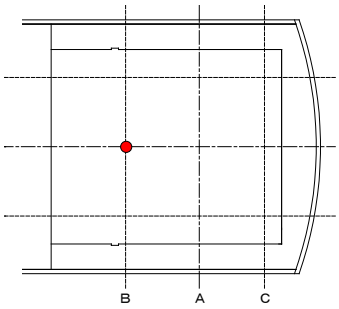


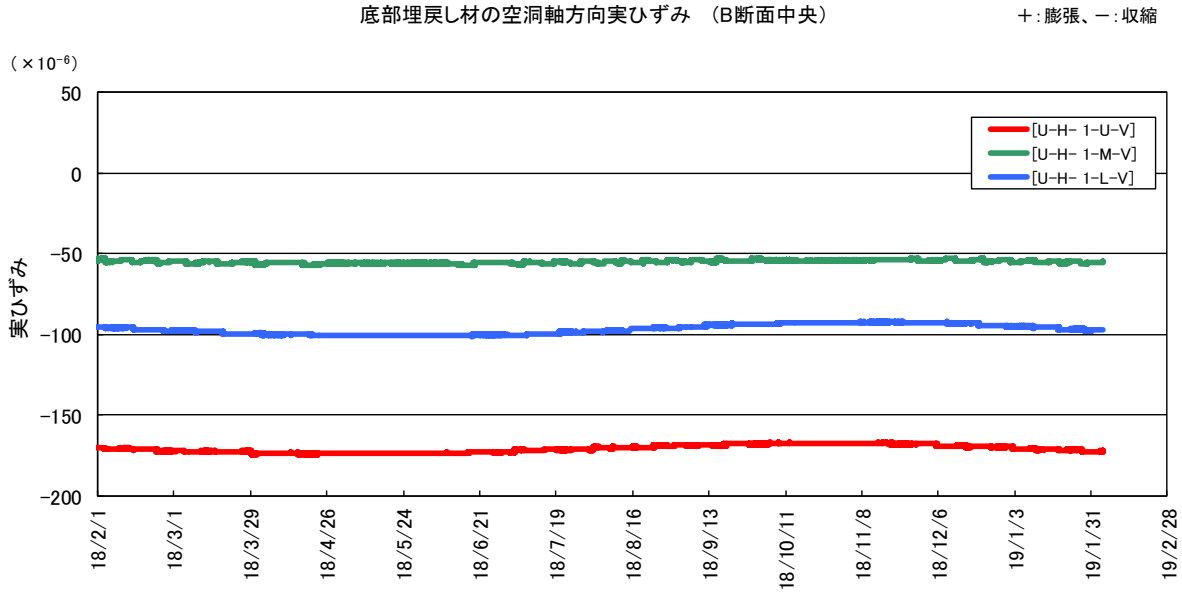
図 4.2-105　底部埋戻し材の温度計測結果（3／3）

(2) ひずみ計

底部埋戻し材に設置したひずみ計の経時変化（実ひずみ）を、図 4.2-106～図 4.2-110 に示す。



測定結果の凡例
U-H-1-x-y
測定方向
V:空洞軸方向
C: 〃 横断方向
計器位置
U:部材内側
M: 〃 中央
L: 〃 外側



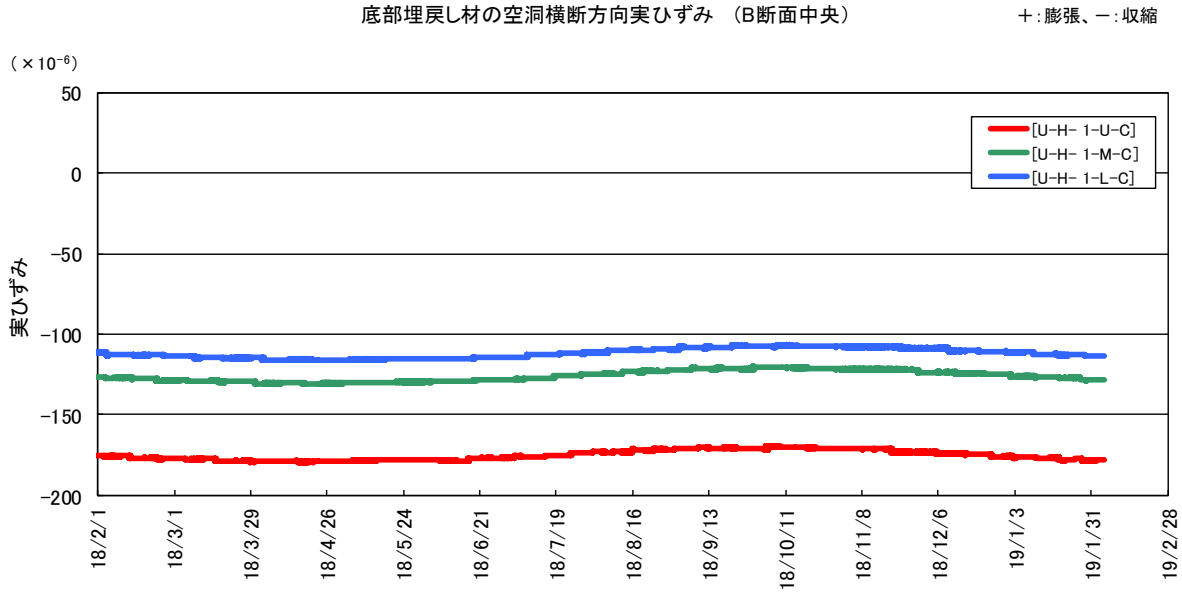
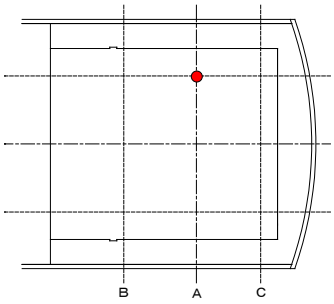
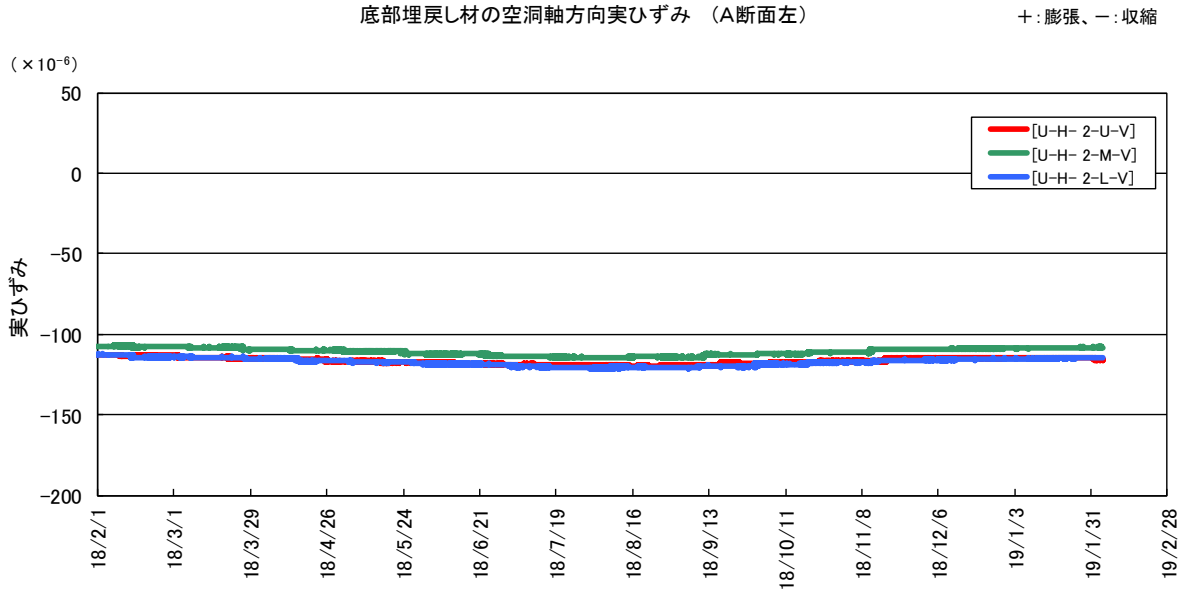


図 4.2-106 底部埋戻し材の実ひずみ（1／5）



測定結果の凡例
U-H-1-x-y
↓
測定方向
V:空洞軸方向
C: 〃 横断方向
計器位置
U:部材内側
M: 〃 中央
L: 〃 外側



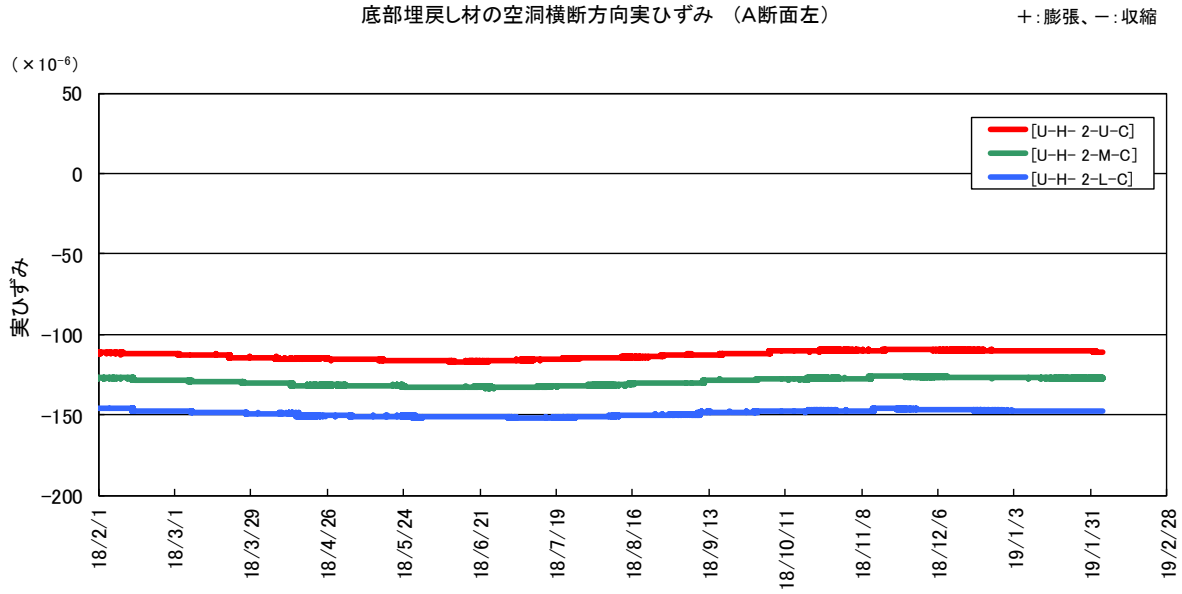


図 4.2-107 底部埋戻し材の実ひずみ（2／5）

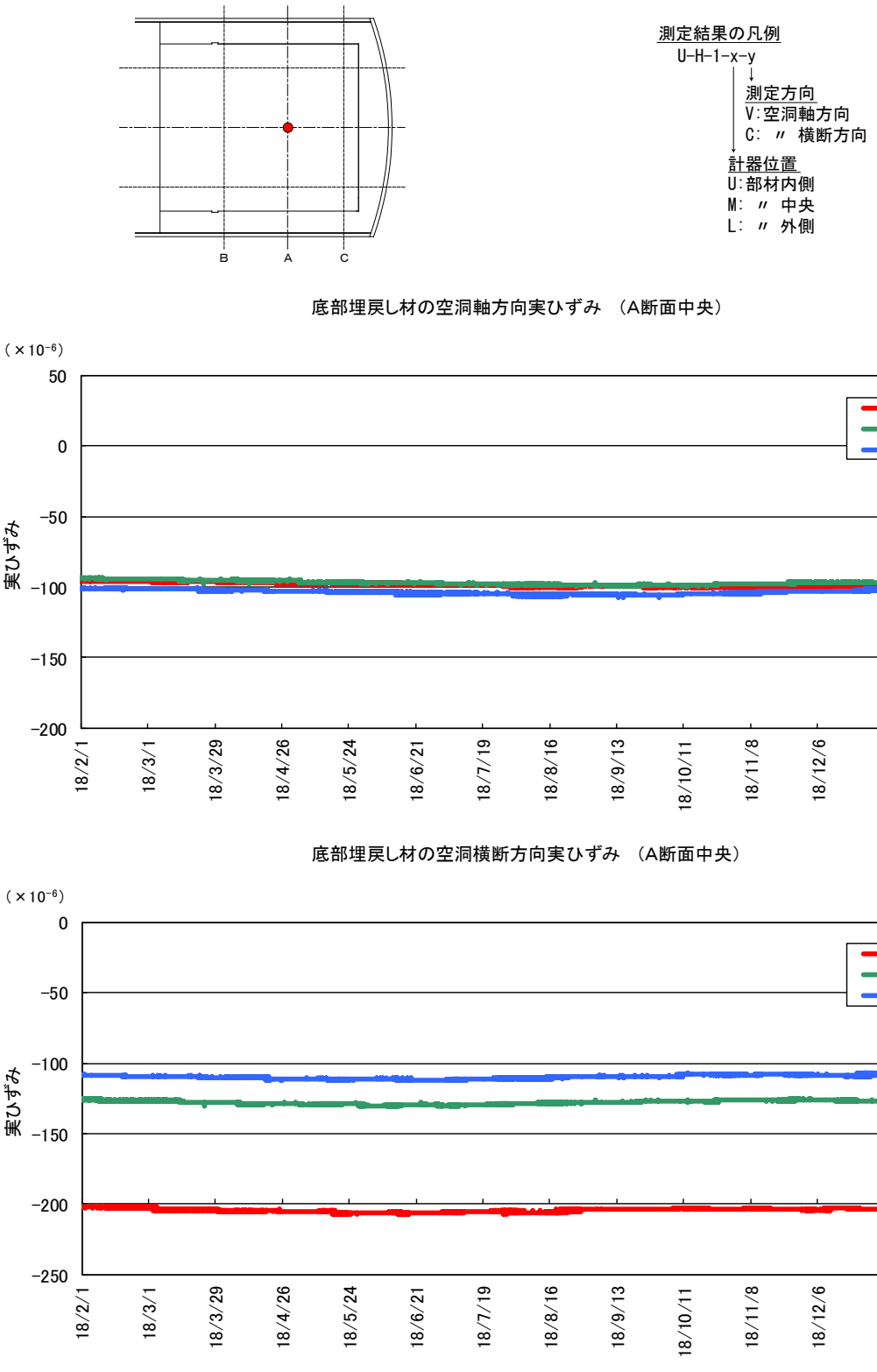
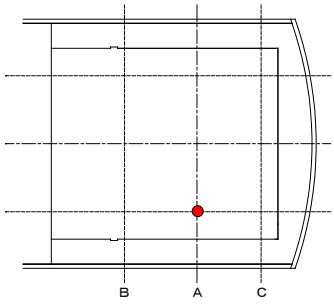
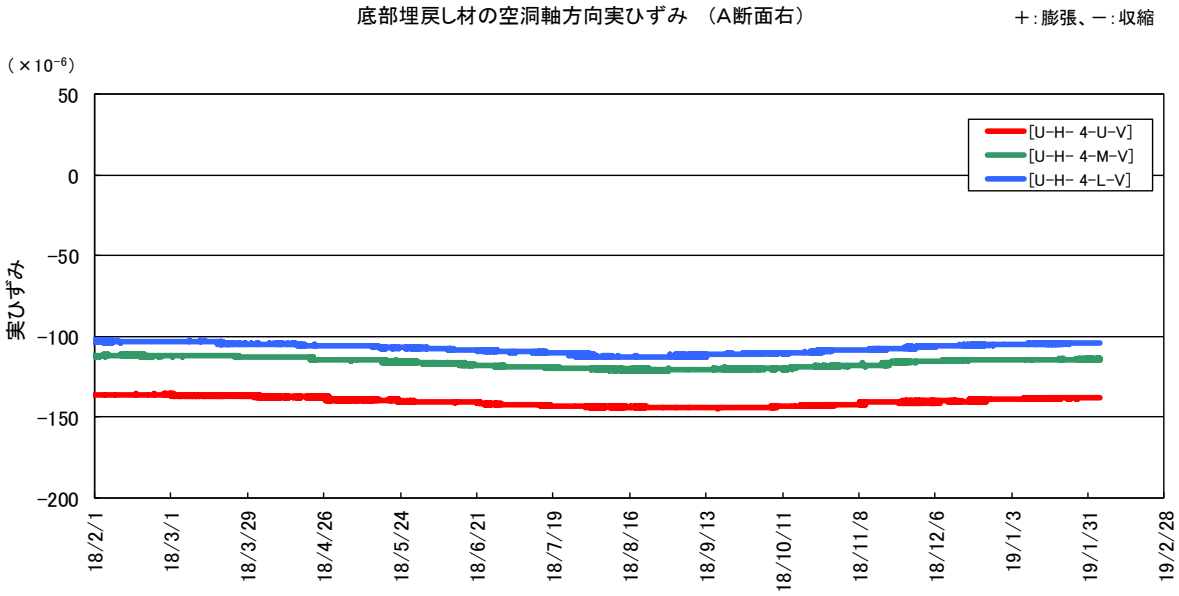


図 4.2-108 底部埋戻し材の実ひずみ（3／5）



測定結果の凡例
U-H-1-x-y
測定方向
V:空洞軸方向
C: 〃 横断方向
計器位置
U:部材内側
M: 〃 中央
L: 〃 外側



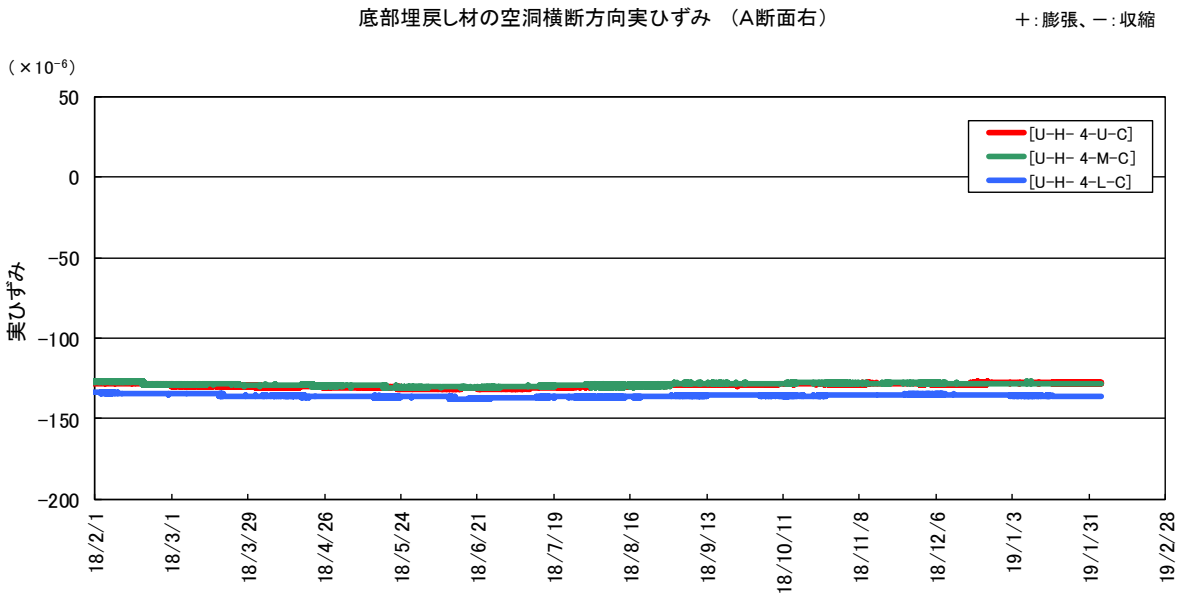
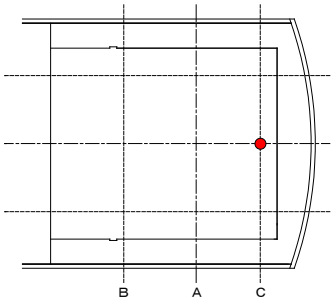
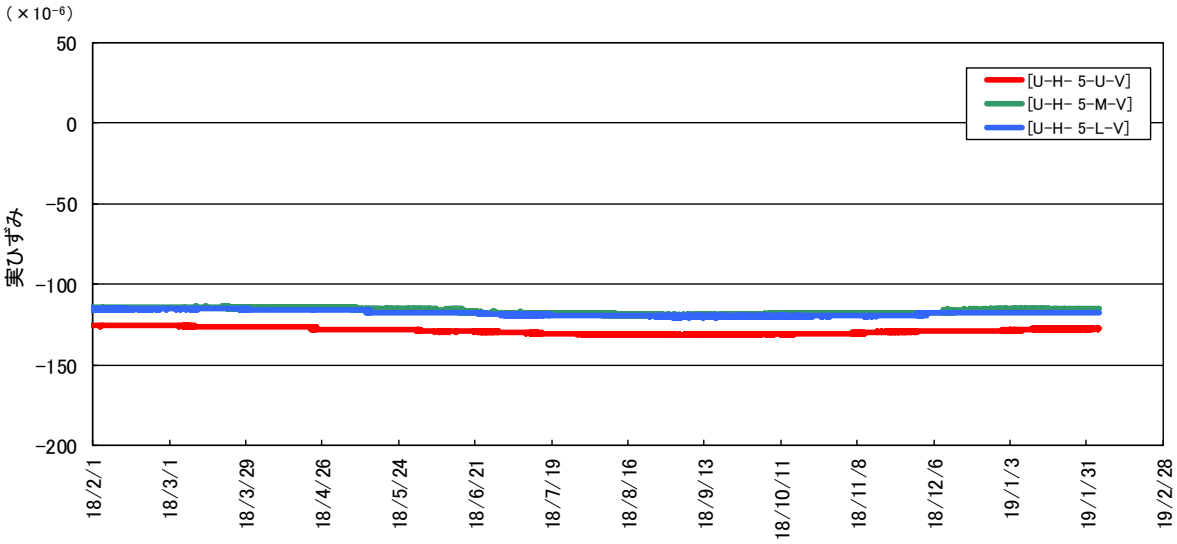


図 4.2-109 底部埋戻し材の実ひずみ（4／5）



測定結果の凡例
U-H-1-x-y
測定方向
V:空洞軸方向
C: 〃 横断方向
計器位置
U:部材内側
M: 〃 中央
L: 〃 外側

底部埋戻し材の空洞軸方向実ひずみ （C断面中央）　　＋:膨張、－:収縮



底部埋戻し材の空洞横断方向実ひずみ （C断面中央）　　＋:膨張、－:収縮

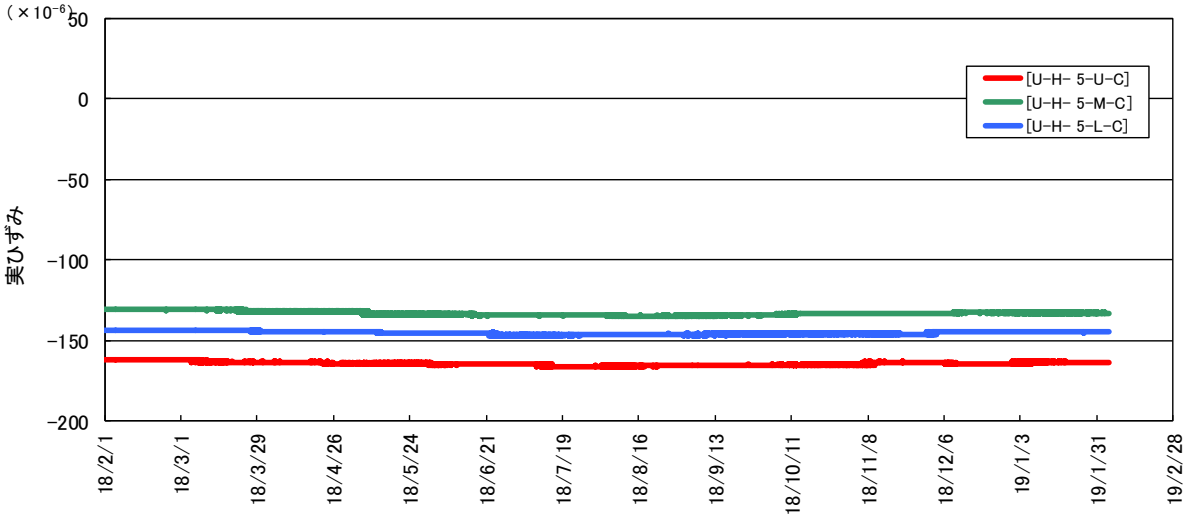
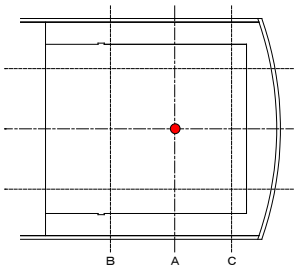


図 4.2-110　底部埋戻し材の実ひずみ（5／5）

(3) 無応力計

底部埋戻し材に設置した無応力計の経時変化（自由ひずみ）を、図 4.2-111 に示す。



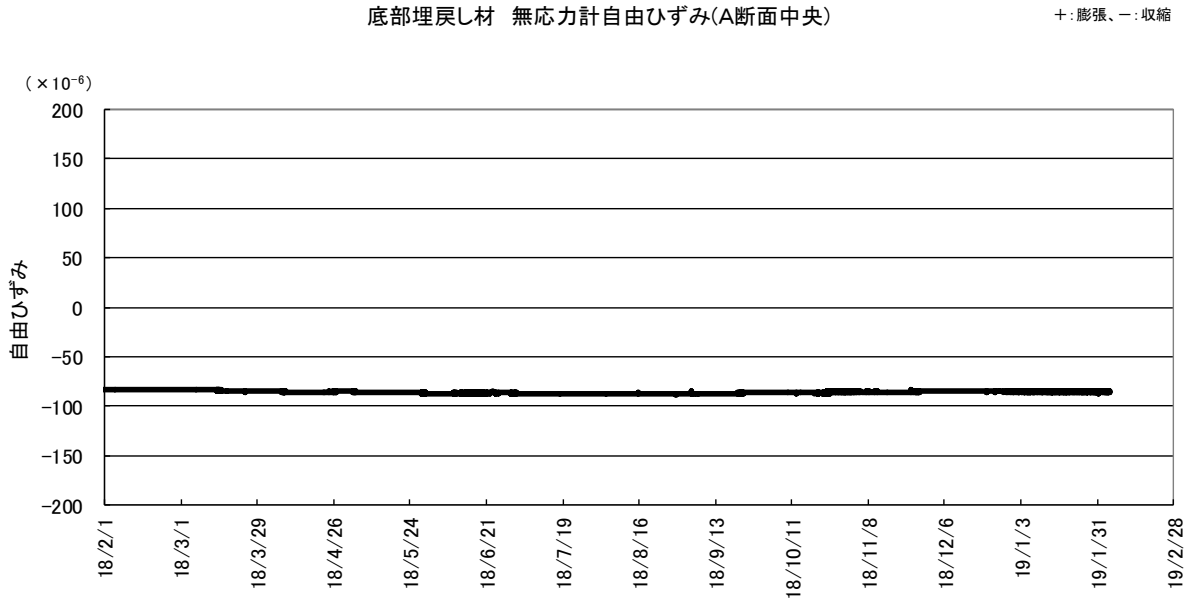
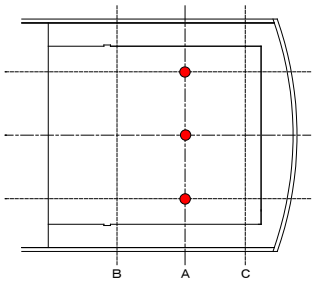


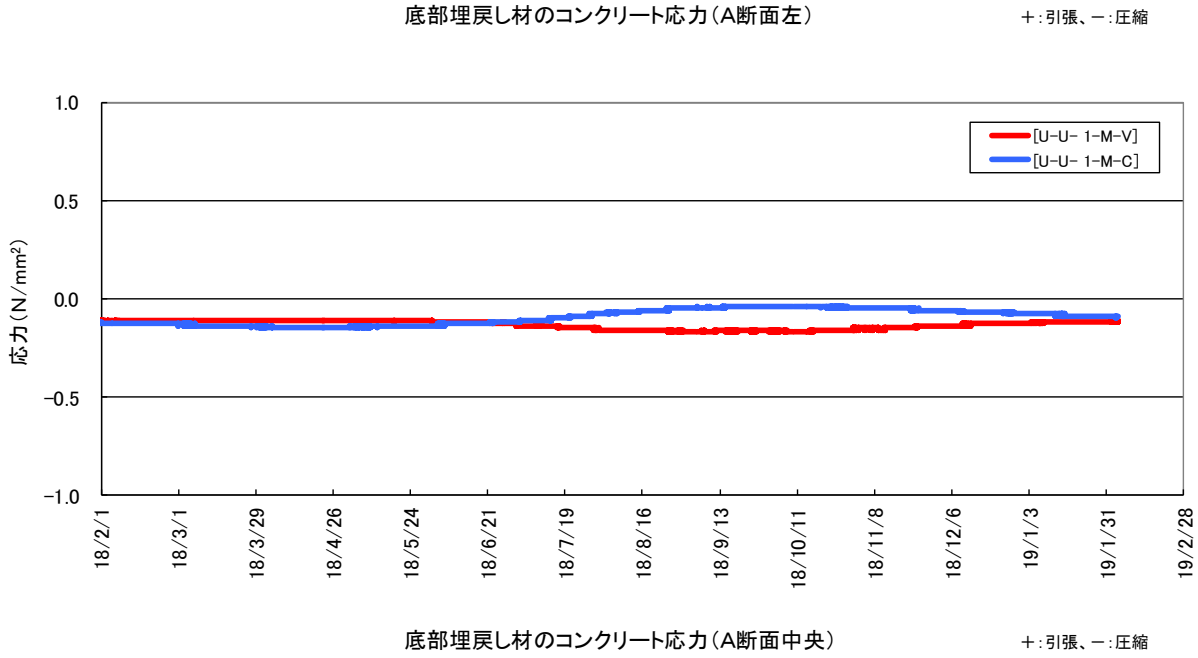
図 4.2-111　底部埋戻し材の自由ひずみ

(4) 有効応力計

底部埋戻し材に設置した有効応力計の経時変化を、図 4.2-112～図 4.2-113 に示す。



測定結果の凡例
U-U-1-x-y
測定方向
V:空洞軸方向
C: 〃 横断方向
計器位置
U:部材内側
M: 〃 中央
L: 〃 外側



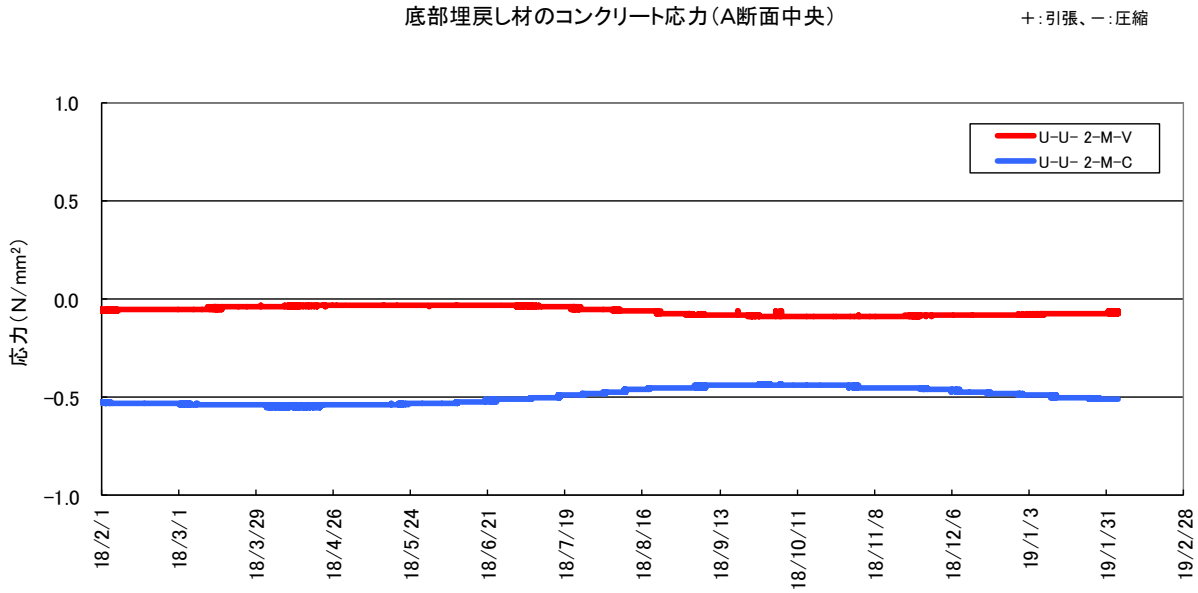
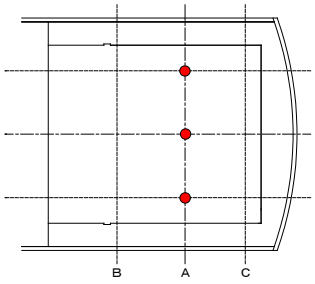


図 4.2-112 底部埋戻し材のコンクリート応力計測結果（1／2）



測定結果の凡例
U-U-1-x-y
測定方向
V:空洞軸方向
C: 〃 横断方向
計器位置
U:部材内側
M: 〃 中央
L: 〃 外側

底部埋戻し材のコンクリート応力（A断面右）

＋:引張、－:圧縮

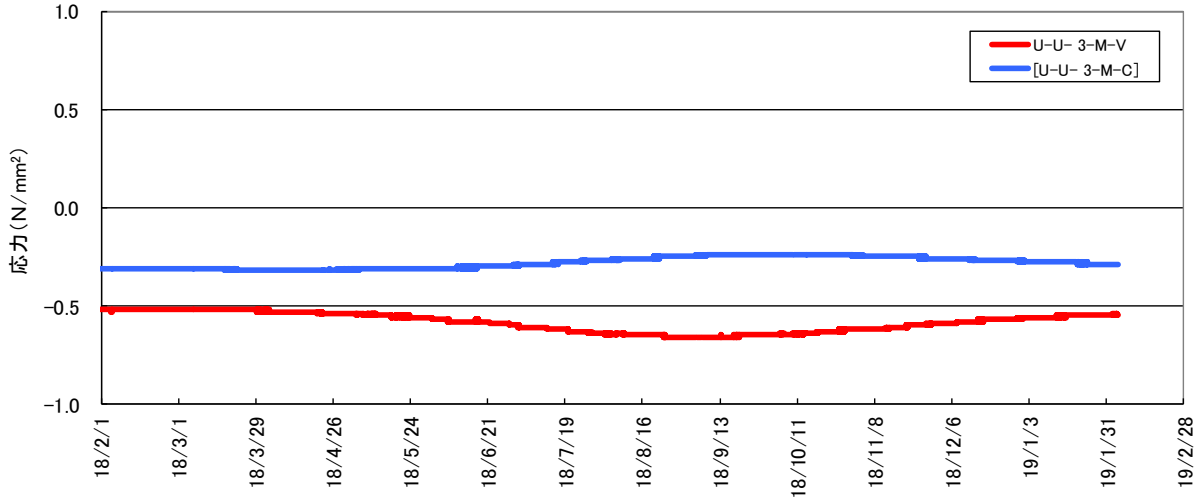
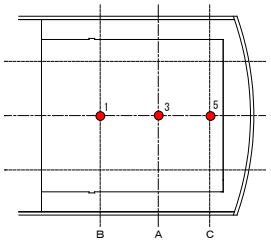
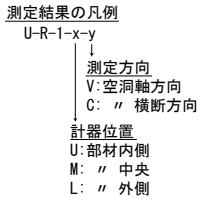


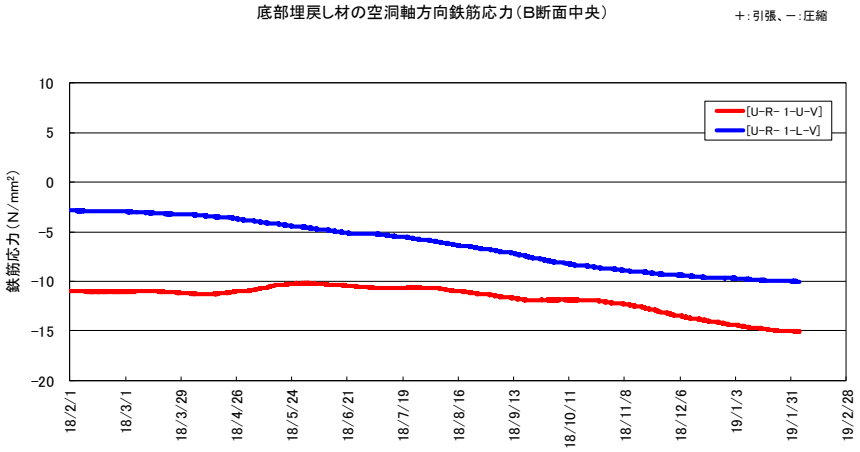
図 4.2-113　底部埋戻し材のコンクリート応力計測結果（2／2）

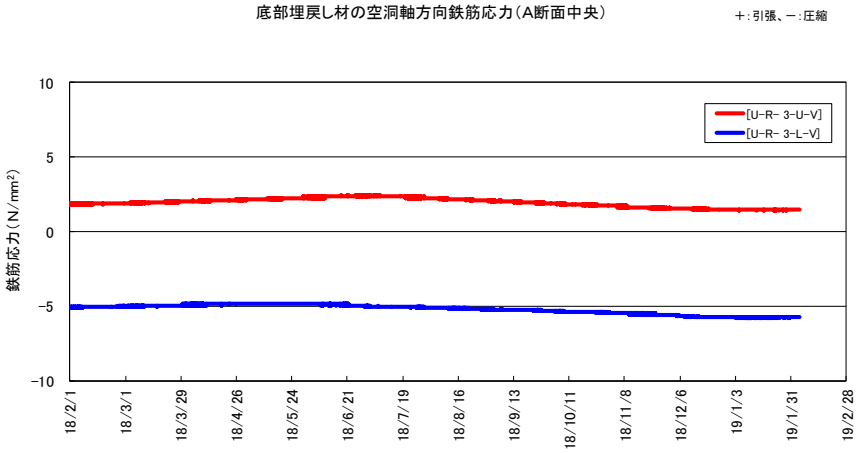
(5) 鉄筋計

底部埋戻し材に設置した鉄筋計の経時変化を、図 4.2-114～図 4.2-115 に示す。









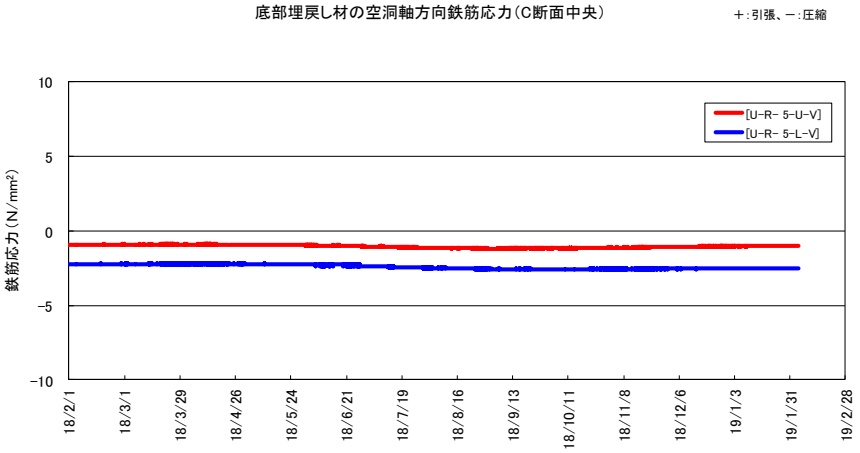


図 4.2-114 底部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（1／2）

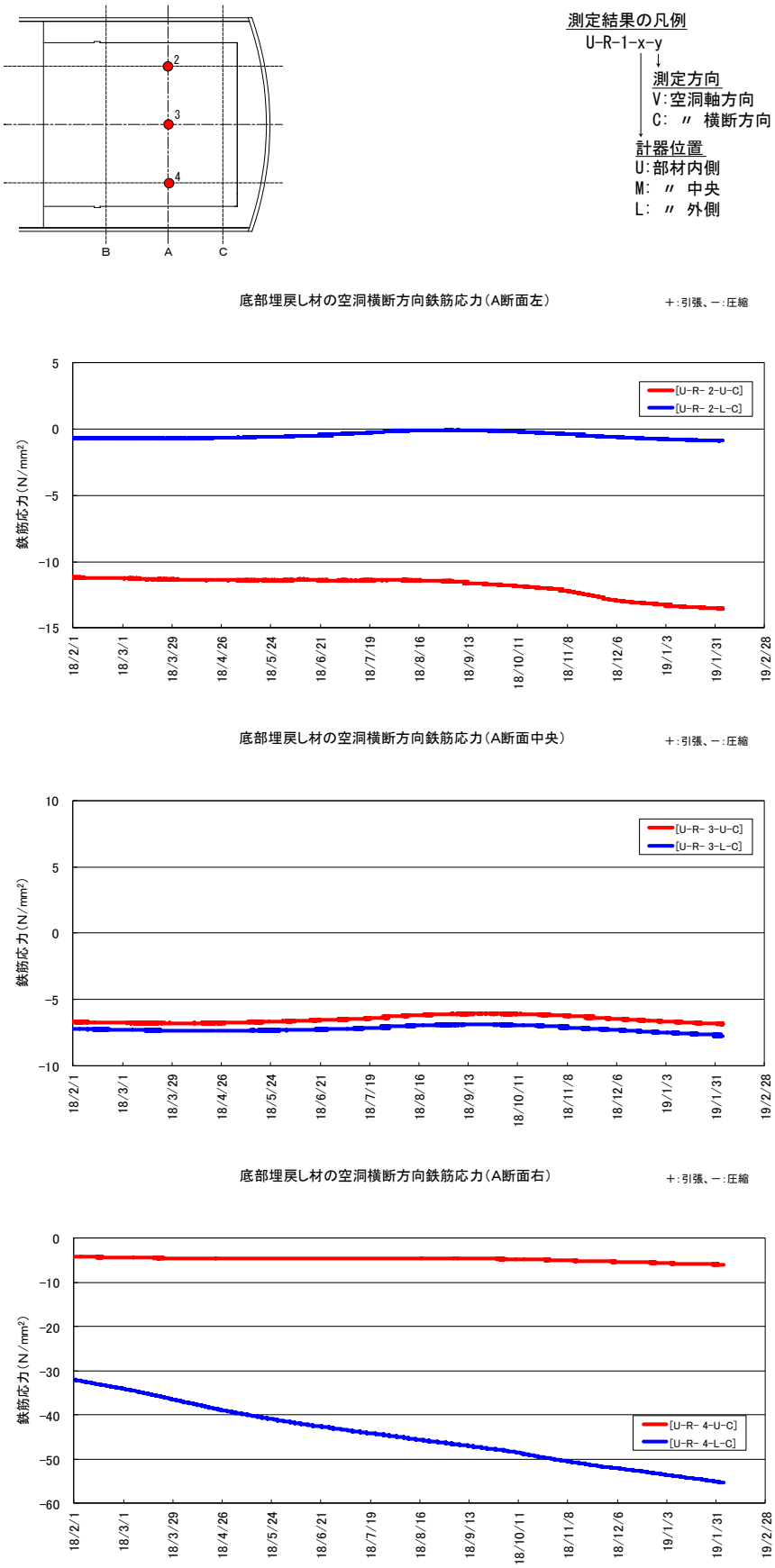


図 4.2-115 底部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（2／2）

4.2.15　奥部埋戻し材埋設計器計測結果

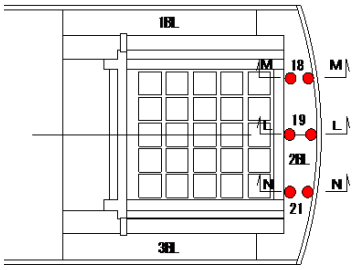
奥部埋戻し材計測一覧表を、表 4.2-16 に示す。

表 4.2-16　奥部埋戻し材計測一覧表

計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日	備考
		断面	高さ	厚み			
ひずみ計	U-H-18-U-H	M	1ﾘﾌﾄ	外側	空洞横断方向	2007/10/18	奥部ｺﾝｸﾘｰﾄ打設 1L 2007/10/19 2L 2007/12/11 3L 2007/12/27
	U-H-19-U-H	L					
	U-H-20-U-H	L	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-H-21-U-H	N	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
	U-H-18-U-P	M	1ﾘﾌﾄ		鉛直方向		
	U-H-19-U-P	L					
	U-H-20-U-P	L	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-H-21-U-P	N	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
	U-H-18-L-H	M	1ﾘﾌﾄ	内側	空洞横断方向		
	U-H-19-L-H	L					
	U-H-20-L-H	L	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-H-21-L-H	N	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
	U-H-18-L-P	M	1ﾘﾌﾄ		鉛直方向		
	U-H-19-L-P	L					
	U-H-20-L-P	L	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-H-21-L-P	N	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
有効応力計	U-U- 8-M-H	L	1ﾘﾌﾄ	中央	空洞横断方向	2007/10/18	
	U-U- 9-M-H		3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-U- 8-M-P		1ﾘﾌﾄ		鉛直方向	2007/12/22	
	U-U- 9-M-P		3ﾘﾌﾄ				
無応力計	U-M- 4				―		
鉄筋計	U-R-14-U-P	M	1ﾘﾌﾄ	外側	鉛直方向	2007/10/18	
	U-R-15-U-P	L					
	U-R-16-U-P	N					
	U-R-14-L-P	M		内側			
	U-R-15-L-P	L					
	U-R-16-L-P	N					
温度計	U-O-18-U	M	1ﾘﾌﾄ	外側	―		
	U-O-19-U	L					
	U-O-20-U	L	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-O-21-U	N	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
	U-O-18-L	M	1ﾘﾌﾄ	内側		2007/10/18	
	U-O-19-L	L					
	U-O-20-L	L	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-O-21-L	N	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	

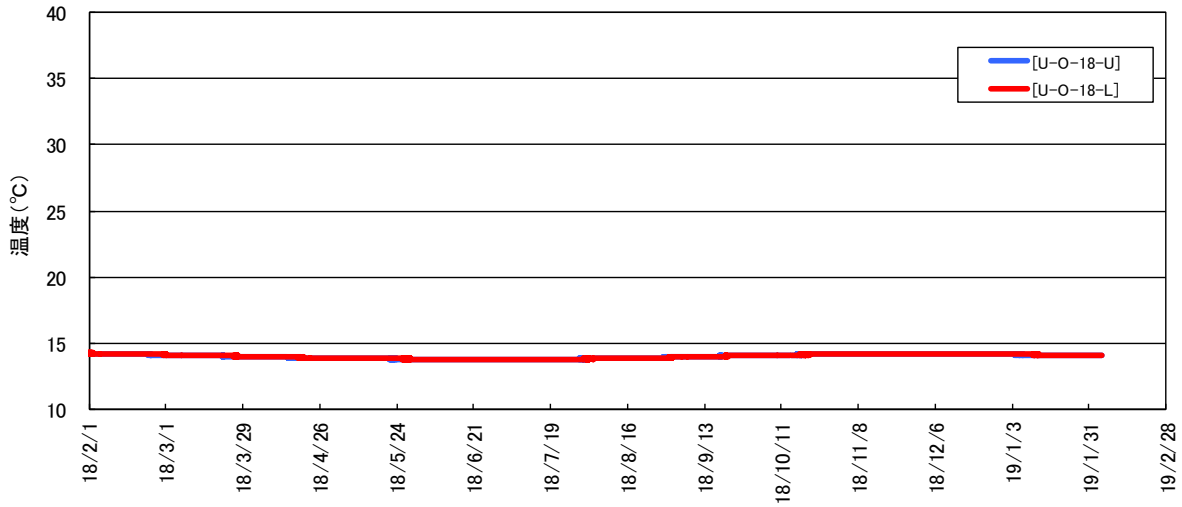
(1) 温度計

奥部埋戻し材に設置した温度計の経時変化を、図 4.2-116～図 4.2-117 に示す。



測定結果の凡例
U-O-18-x
↓
計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

奥部埋戻し材の温度(M断面下)



奥部埋戻し材の温度(L断面下)

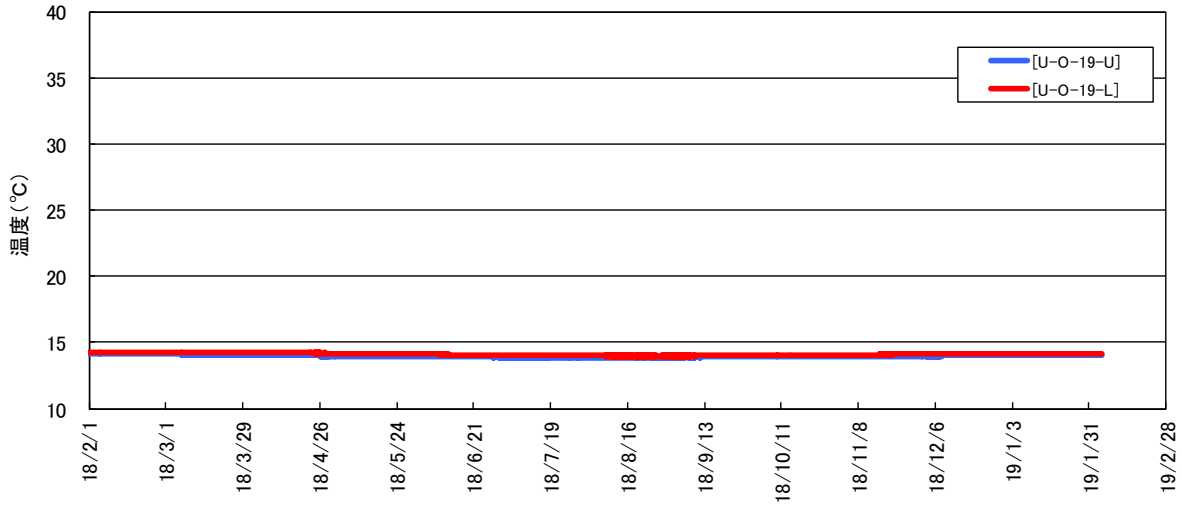
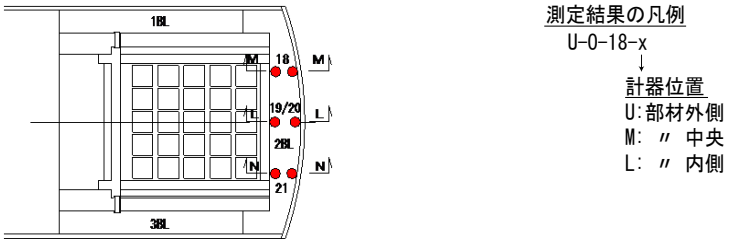
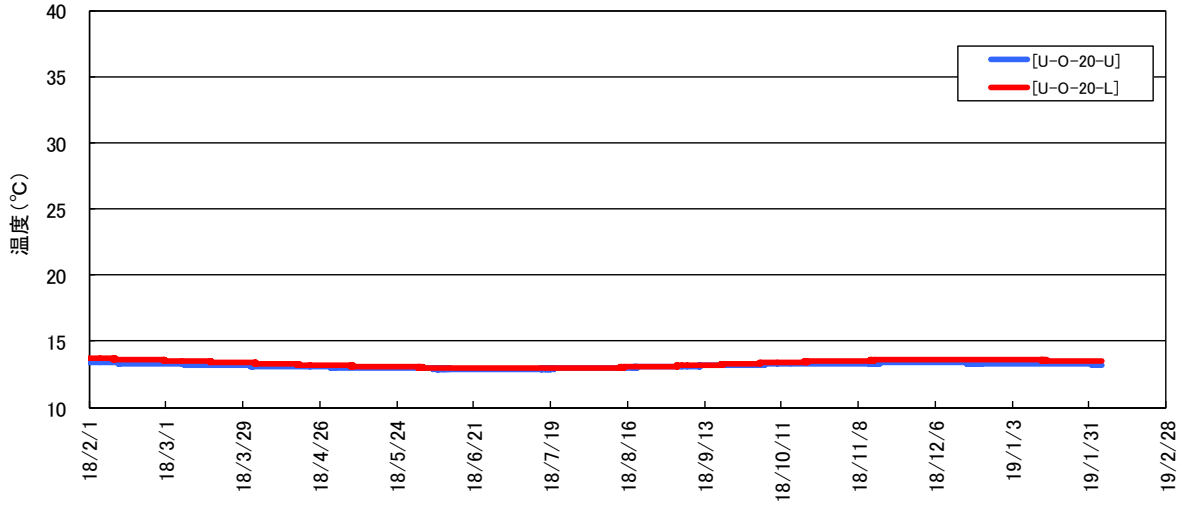


図 4.2-116　奥部埋戻し材の温度計測結果（1／2）



奥部埋戻し材の温度(L断面3リフト)



奥部埋戻し材の温度(N断面下)

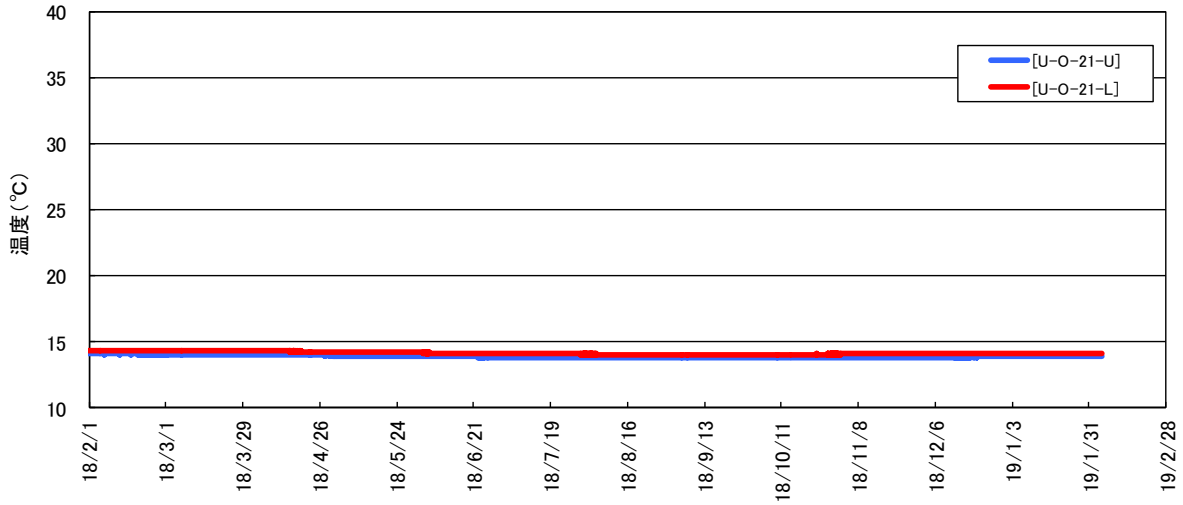
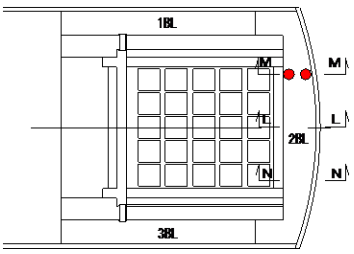


図 4.2-117 奥部埋戻し材の温度計測結果 (2／2)

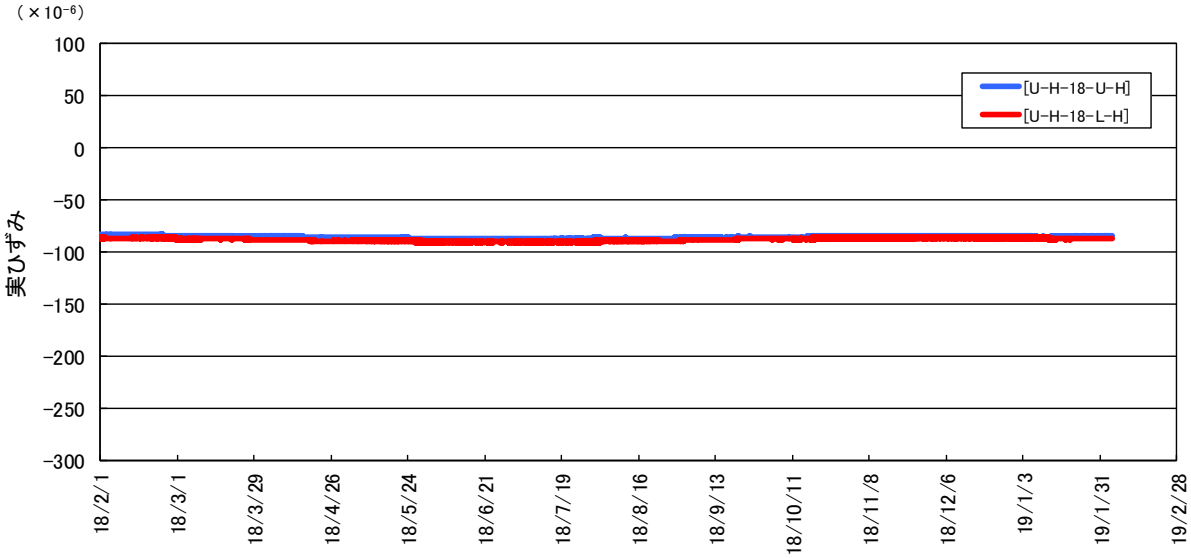
(2) ひずみ計

奥部埋戻し材に設置したひずみ計の経時変化（実ひずみ）を、図 4.2-118～図 4.2-121 に示す。



測定結果の凡例
U-H-18-x-y
測定方向
H:空洞横断方向
P:鉛直方向
計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

奥部埋戻し材の空洞横断方向実ひずみ（M断面下）　＋:膨張、－:収縮



奥部埋戻し材の鉛直方向実ひずみ（M断面下）　＋:膨張、－:収縮

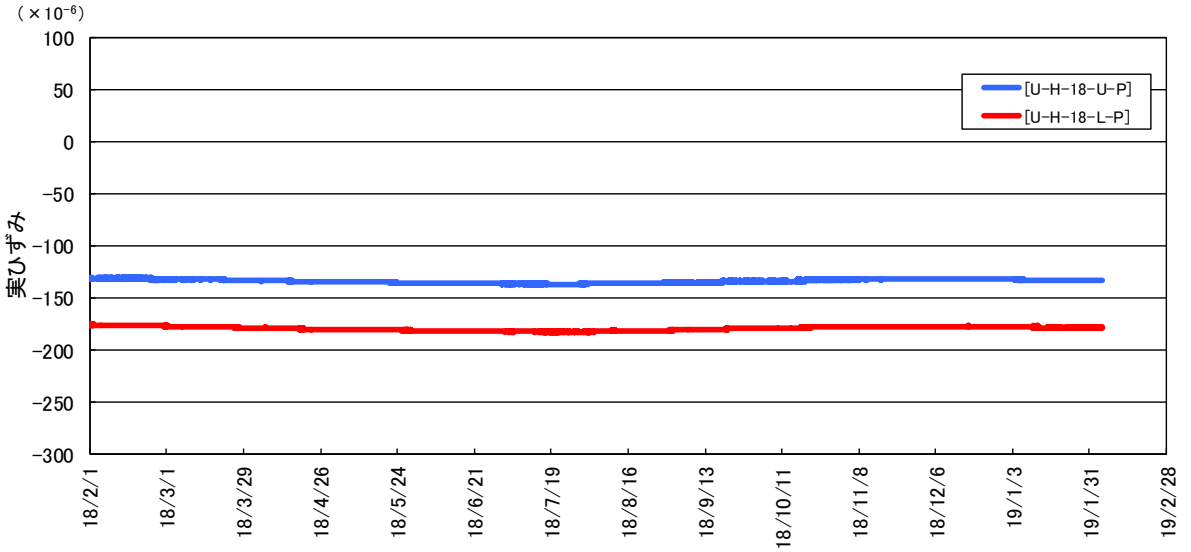


図 4.2-118　奥部埋戻し材の実ひずみ（1／4）

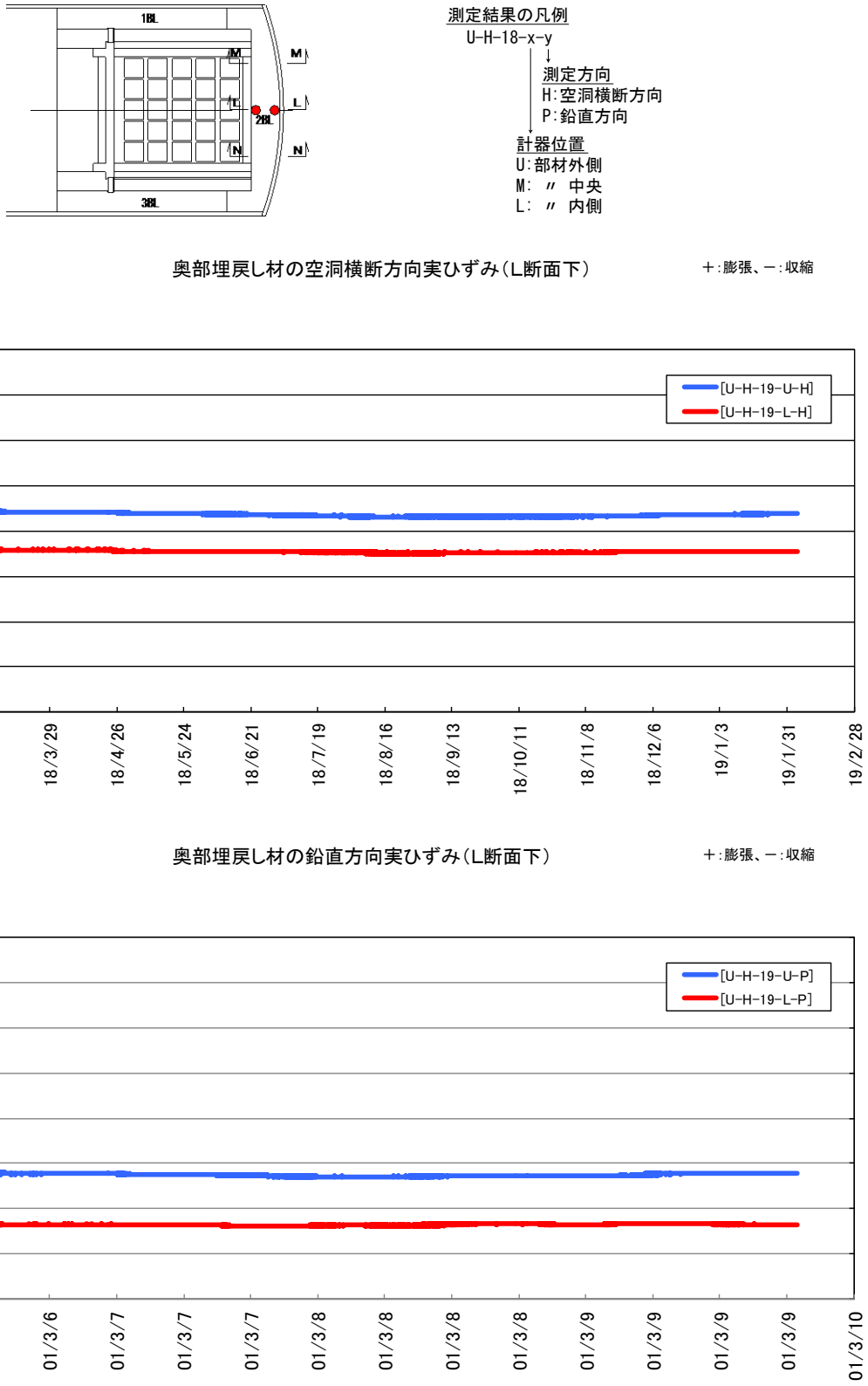
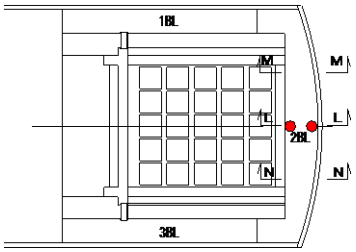
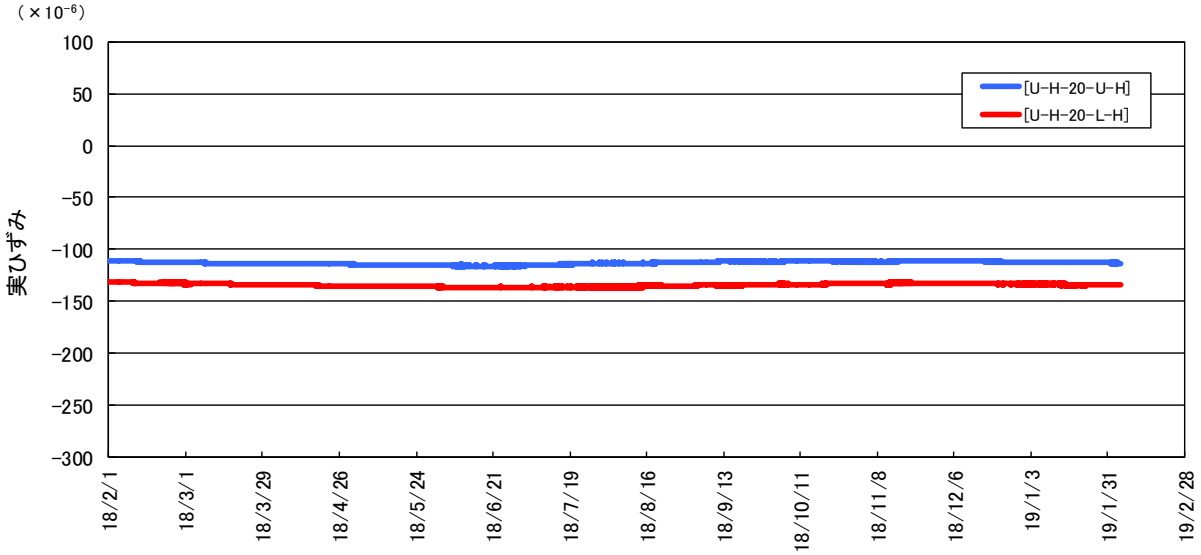


図 4.2-119　奥部埋戻し材の実ひずみ（2／4）



測定結果の凡例
U-H-18-x-y
↓
測定方向
H:空洞横断方向
P:鉛直方向
計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

奥部埋戻し材の空洞横断方向実ひずみ(L断面3リフト)　　+:膨張、−:収縮



奥部埋戻し材の鉛直方向実ひずみ(L断面3リフト)　　+:膨張、−:収縮

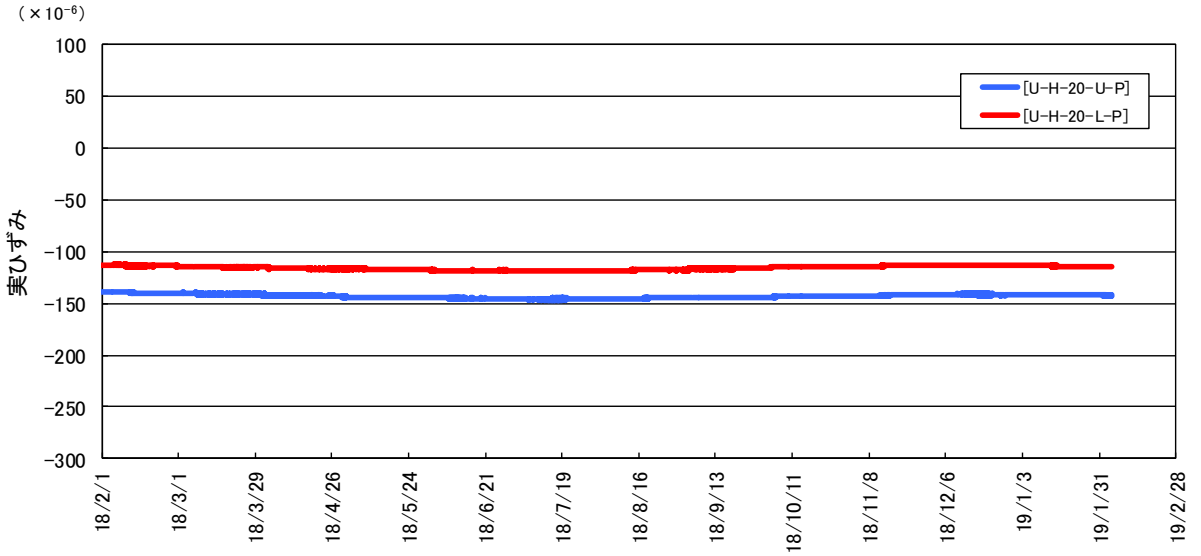
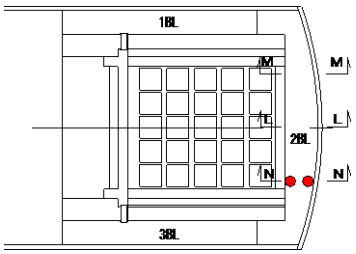
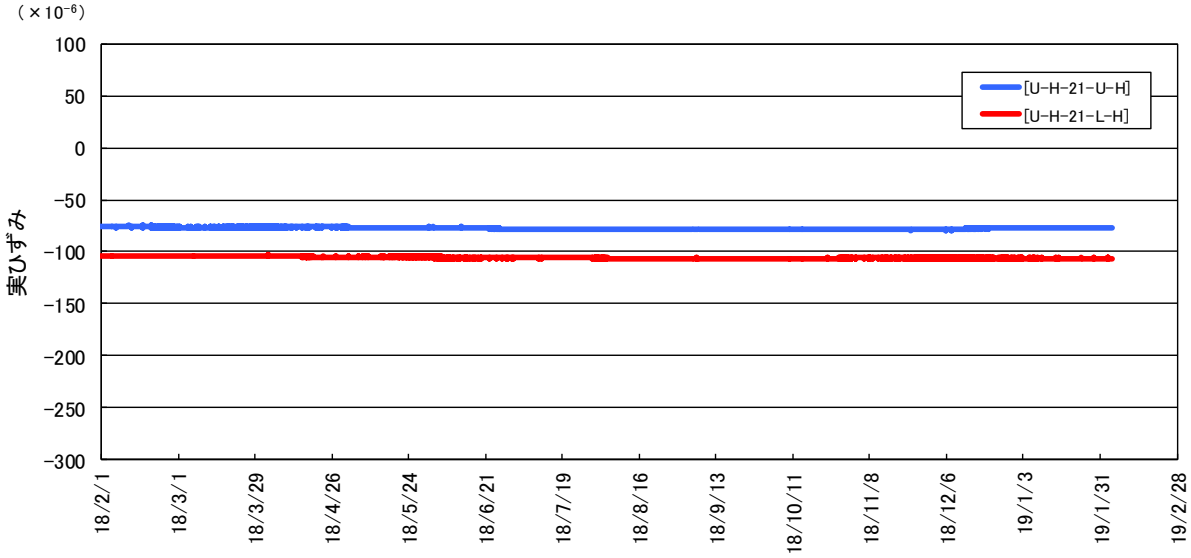


図 4.2-120　奥部埋戻し材の実ひずみ（3／4）



測定結果の凡例
U-H-18-x-y
↓
測定方向
H:空洞横断方向
P:鉛直方向
計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

奥部埋戻し材の空洞横断方向実ひずみ(N断面下)　　＋:膨張、－:収縮



奥部埋戻し材の鉛直方向実ひずみ(N断面下)　　＋:膨張、－:収縮

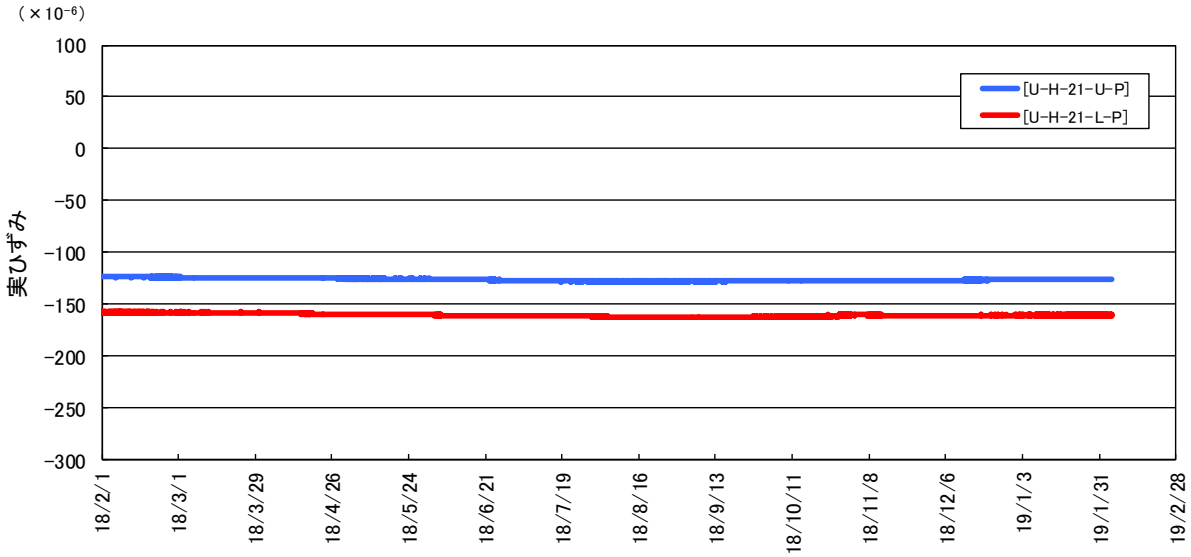
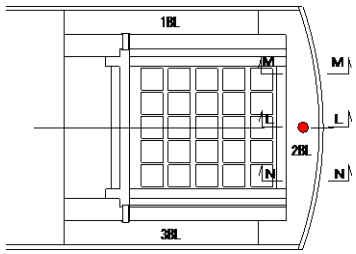


図 4.2-121　奥部埋戻し材の実ひずみ（4／4）

(3) 無応力計

奥部埋戻し材に設置した無応力計の経時変化（自由ひずみ）を、図 4.2-122 に示す。



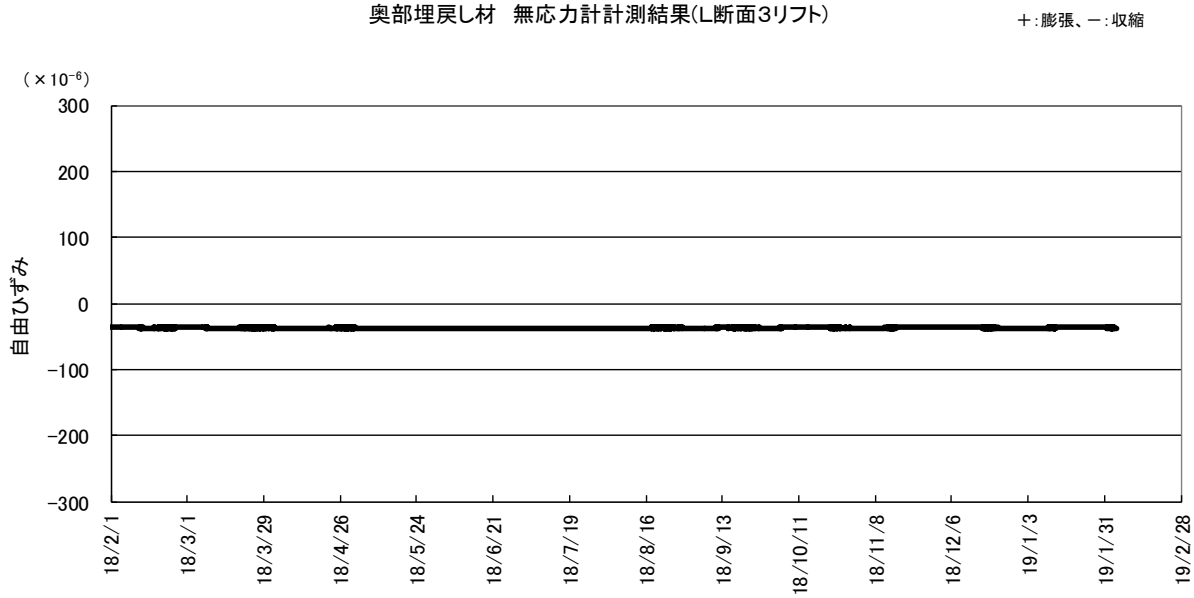
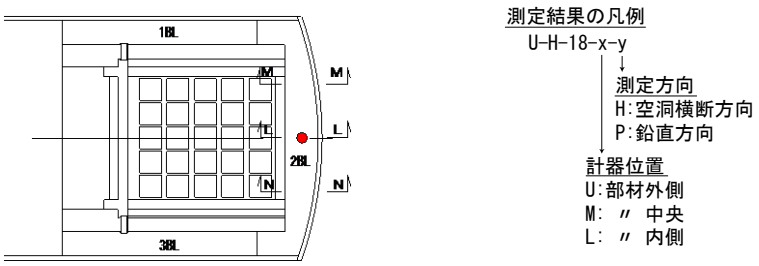
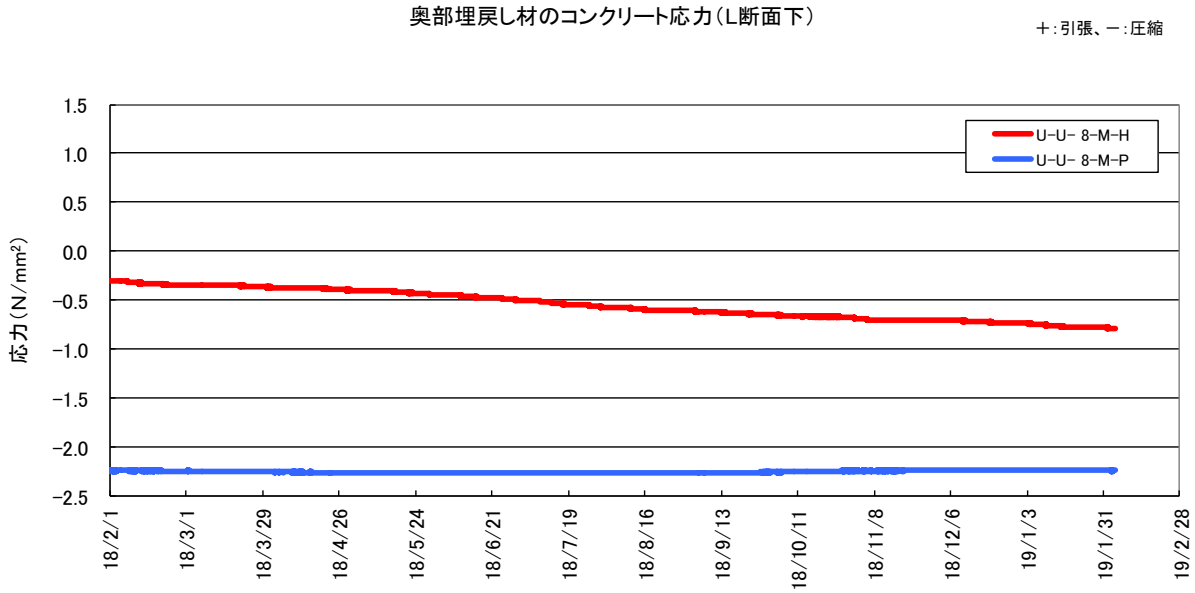


図 4.2-122　奥部埋戻し材の自由ひずみ

(4) 有効応力計

奥部埋戻し材に設置した有効応力計の経時変化を、図 4.2-123 に示す。





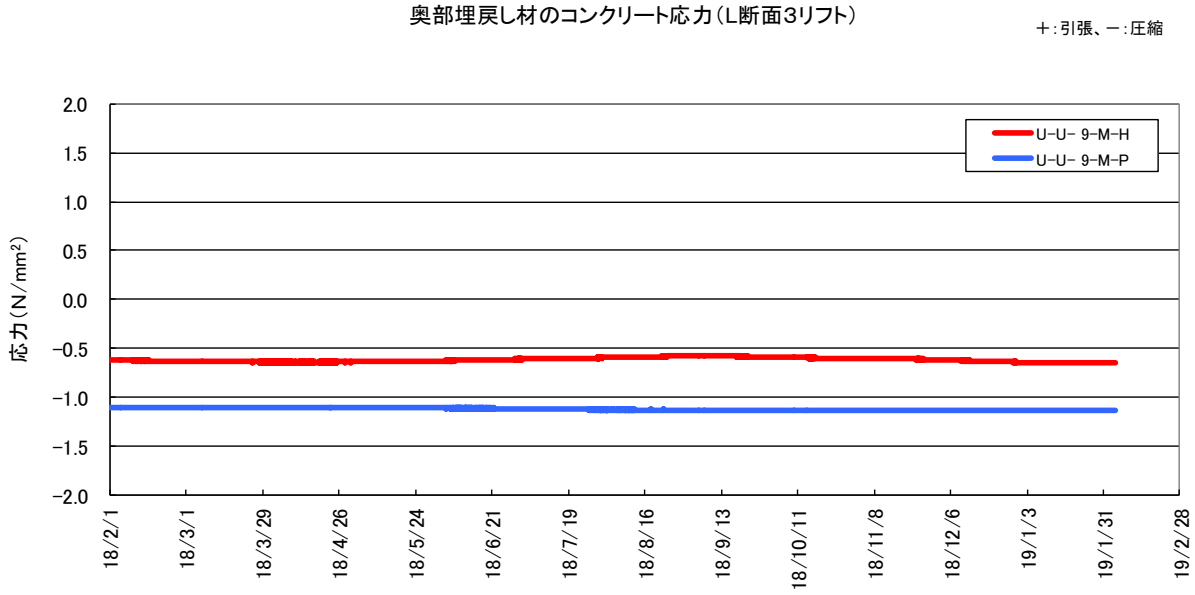
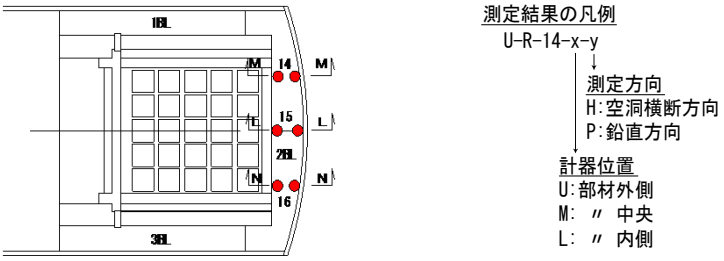


図 4.2-123 奥部埋戻し材のコンクリート応力計測結果

(5) 鉄筋計

奥部埋戻し材に設置した鉄筋計の経時変化を、図 4.2-124 に示す。



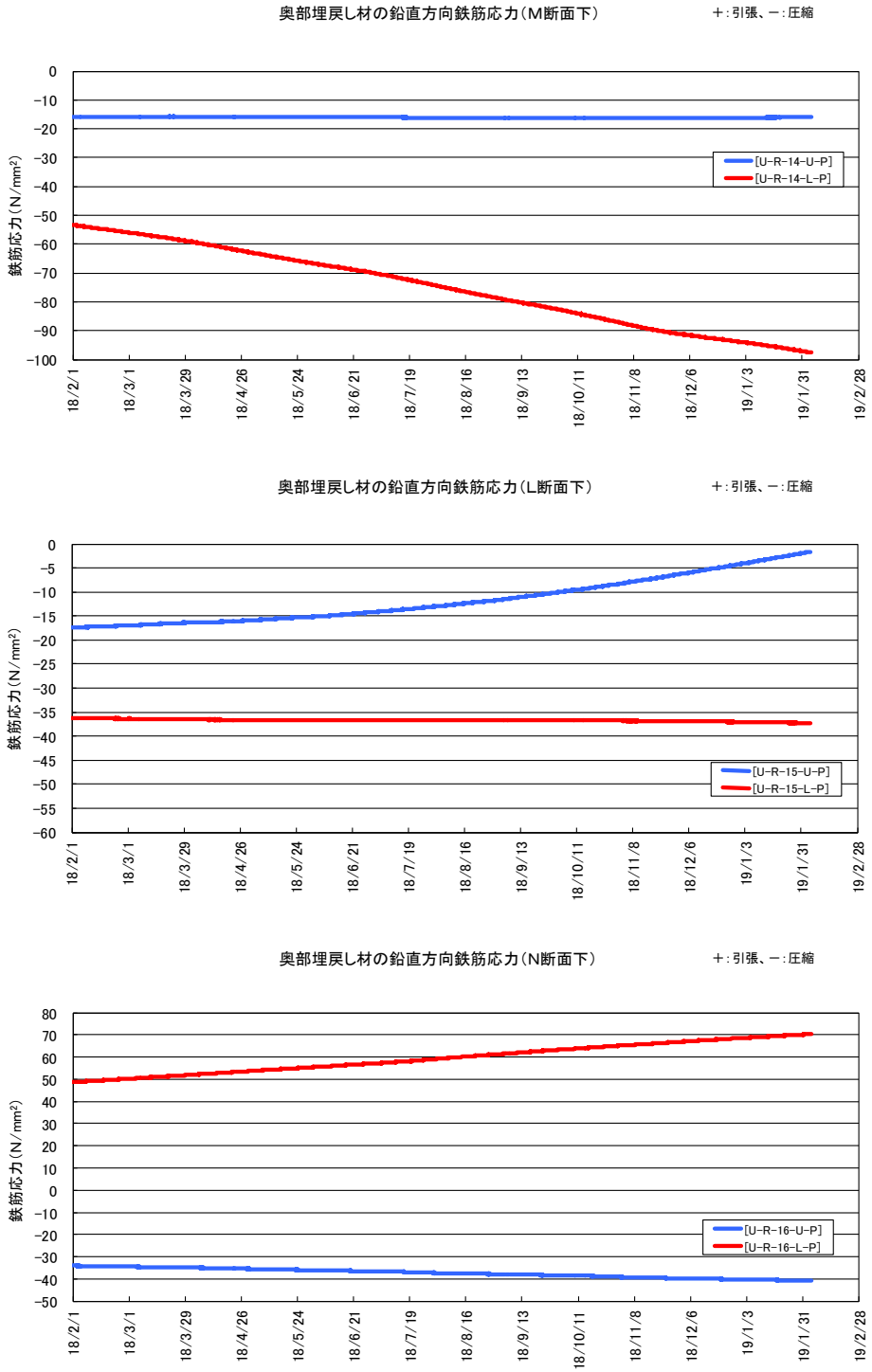


図 4.2-124　奥部埋戻し材の鉄筋応力計測結果

4.2.16　側部埋戻し材埋設計器計測結果

側部埋戻し材計測一覧表を、表 4.2-17～表 4.2-18 に示す。

表 4.2-17　側部埋戻し材計測一覧表（1／2）

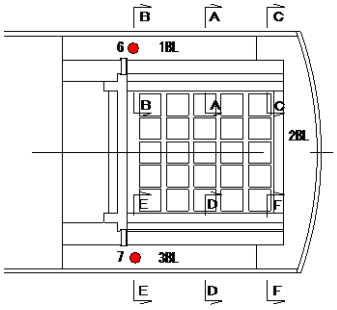
計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日	備考
		断面	高さ	厚み			
ひずみ計	U-H- 6-U-H	B	1ﾘﾌﾄ	外側	空洞軸方向	2007/10/17	側部 ｺﾝｸﾘｰﾄ打設 1L 2007/10/26 2L 2007/12/20 3L 2008/1/11 4L 2008/1/23
	U-H- 7-U-H	E				2007/10/18	
	U-H- 8-U-H	B	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-H- 9-U-H	E					
	U-H-10-U-H	A	1ﾘﾌﾄ			2007/10/17	
	U-H-11-U-H	D					
	U-H-12-U-H	A	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-H-13-U-H	D					
	U-H-14-U-H	C	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
	U-H-15-U-H	F					
	U-H-16-U-H	C	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-H-17-U-H	F					
	U-H- 6-U-P	B	1ﾘﾌﾄ		鉛直方向	2007/10/17	
	U-H- 7-U-P	E				2007/10/18	
	U-H- 8-U-P	B	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-H- 9-U-P	E					
	U-H-10-U-P	A	1ﾘﾌﾄ			2007/10/17	
	U-H-11-U-P	D					
	U-H-12-U-P	A	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-H-13-U-P	D					
	U-H-14-U-P	C	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
	U-H-15-U-P	F					
	U-H-16-U-P	C	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-H-17-U-P	F					
	U-H- 8-M-H	B	3ﾘﾌﾄ	中央	空洞軸方向	2008/1/10	
	U-H- 9-M-H	E					
	U-H-12-M-H	A					
	U-H-13-M-H	D					
	U-H-16-M-H	C				2007/12/22	
	U-H-17-M-H	F					
	U-H- 8-M-P	B			鉛直方向	2008/1/10	
	U-H- 9-M-P	E					
	U-H-12-M-P	A					
	U-H-13-M-P	D					
	U-H-16-M-P	C				2007/12/22	
	U-H-17-M-P	F					
	U-H- 6-L-H	B	1ﾘﾌﾄ	内側	空洞軸方向	2007/10/17	
	U-H- 7-L-H	E				2007/10/18	
	U-H- 8-L-H	B	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-H- 9-L-H	E					
	U-H-10-L-H	A	1ﾘﾌﾄ			2007/10/17	
	U-H-11-L-H	D				2007/10/18	
	U-H-12-L-H	A	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-H-13-L-H	D					
	U-H-14-L-H	C	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
	U-H-15-L-H	F					
	U-H-16-L-H	C	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-H-17-L-H	F					
	U-H- 6-L-P	B	1ﾘﾌﾄ		鉛直方向	2007/10/17	
	U-H- 7-L-P	E				2007/10/18	
	U-H- 8-L-P	B	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-H- 9-L-P	E					
	U-H-10-L-P	A	1ﾘﾌﾄ			2007/10/17	
	U-H-11-L-P	D				2007/10/18	
	U-H-12-L-P	A	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-H-13-L-P	D					
	U-H-14-L-P	C	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
	U-H-15-L-P	F					
	U-H-16-L-P	C	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-H-17-L-P	F					

表 4.2-18　側部埋戻し材計測一覧表（2／2）

計器種別	計器No.	設置位置			計測方向	計測開始日	備考
		断面	高さ	厚み			
有効応力計	U-U- 4-M-H	A	1ﾘﾌﾄ	中央	空洞軸方向	2007/10/17	側部ｺﾝｸﾘｰﾄ打設 1L 2007/10/26 2L 2007/12/20 3L 2008/1/11 4L 2008/1/23
	U-U- 5-M-H	D				2007/10/18	
	U-U- 6-M-H	A	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-U- 7-M-H	D					
	U-U- 4-M-P	A	1ﾘﾌﾄ		鉛直方向	2007/10/17	
	U-U- 5-M-P	D				2007/10/18	
	U-U- 6-M-P	A	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-U- 7-M-P	D					
無応力計	U-M- 2	A	3ﾘﾌﾄ		ー	2008/1/10	
	U-M- 3	D					
鉄筋計	U-R- 6-U-P	B	1ﾘﾌﾄ	外側	鉛直方向	2007/10/17	
	U-R- 7-U-P	E				2007/10/18	
	U-R- 8-U-P	A				2007/10/17	
	U-R- 9-U-P	D					
	U-R- 10-U-P	A	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-R- 11-U-P	D					
	U-R- 12-U-P	C	1ﾘﾌﾄ			2007/10/17	
	U-R- 13-U-P	F				2007/10/18	
	U-R- 6-L-P	B	1ﾘﾌﾄ	内側		2007/10/17	
	U-R- 7-L-P	E				2007/10/18	
	U-R- 8-L-P	A				2007/10/17	
	U-R- 9-L-P	D					
	U-R- 10-L-P	A	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-R- 11-L-P	D					
	U-R- 12-L-P	C	1ﾘﾌﾄ			2007/10/17	
	U-R- 13-L-P	F				2007/10/18	
温度計	U-0- 6-U	B	1ﾘﾌﾄ	外側	ー	2007/10/17	
	U-0- 7-U	E				2007/10/18	
	U-0- 8-U	B	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-0- 9-U	E					
	U-0-10-U	A	1ﾘﾌﾄ			2007/10/17	
	U-0-11-U	D				2007/10/18	
	U-0-12-U	A	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-0-13-U	D					
	U-0-14-U	C	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
	U-0-15-U	F					
	U-0-16-U	C	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-0-17-U	F					
	U-0- 8-M	B		中央		2008/1/10	
	U-0- 9-M	E					
	U-0-12-M	A					
	U-0-13-M	D					
	U-0-16-M	C				2007/12/22	
	U-0-17-M	F					
	U-0- 6-L	B	1ﾘﾌﾄ	内側		2007/10/17	
	U-0- 7-L	E				2007/10/18	
	U-0- 8-L	B	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-0- 9-L	E					
	U-0-10-L	A	1ﾘﾌﾄ			2007/10/17	
	U-0-11-L	D				2007/10/18	
	U-0-12-L	A	3ﾘﾌﾄ			2008/1/10	
	U-0-13-L	D					
	U-0-14-L	C	1ﾘﾌﾄ			2007/10/18	
	U-0-15-L	F					
	U-0-16-L	C	3ﾘﾌﾄ			2007/12/22	
	U-0-17-L	F					

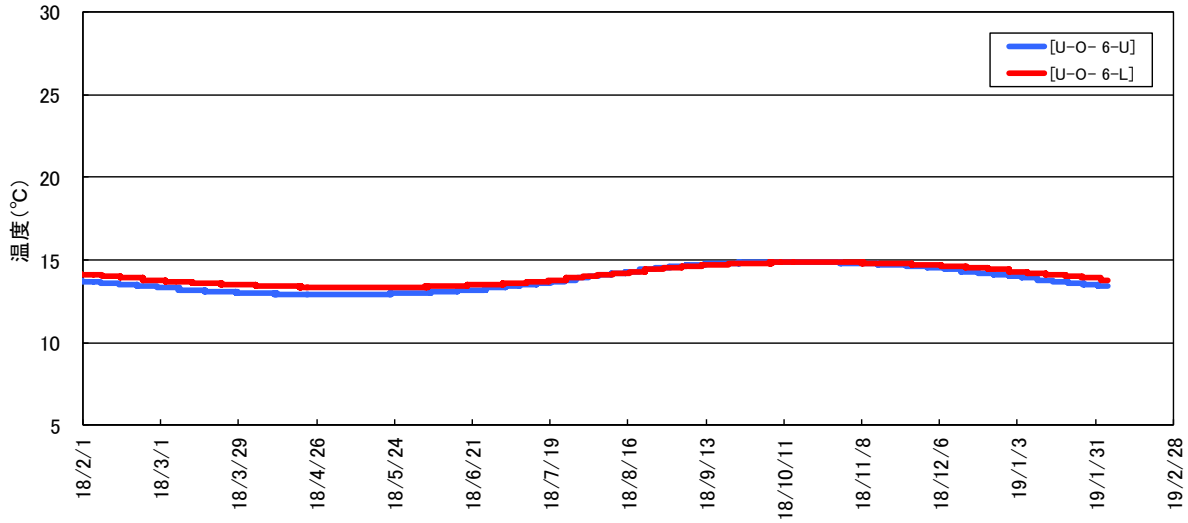
(1) 温度計

側部埋戻し材に設置した温度計の経時変化を、図 4.2-125～図 4.2-130 に示す。



測定結果の凡例
U-O-6-x
↓
計器位置
U:部材上部
L: 〃 下部

側部埋戻し材　温度計計測結果(B断面下)



側部埋戻し材　温度計計測結果(E断面下)

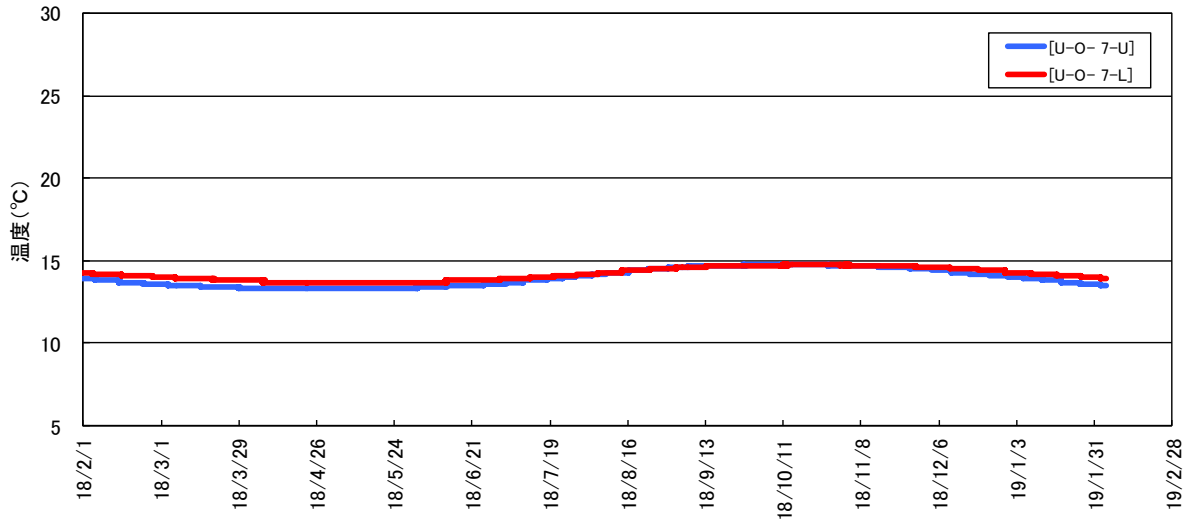
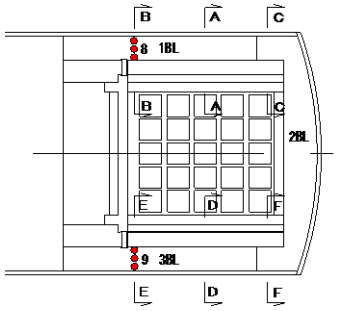
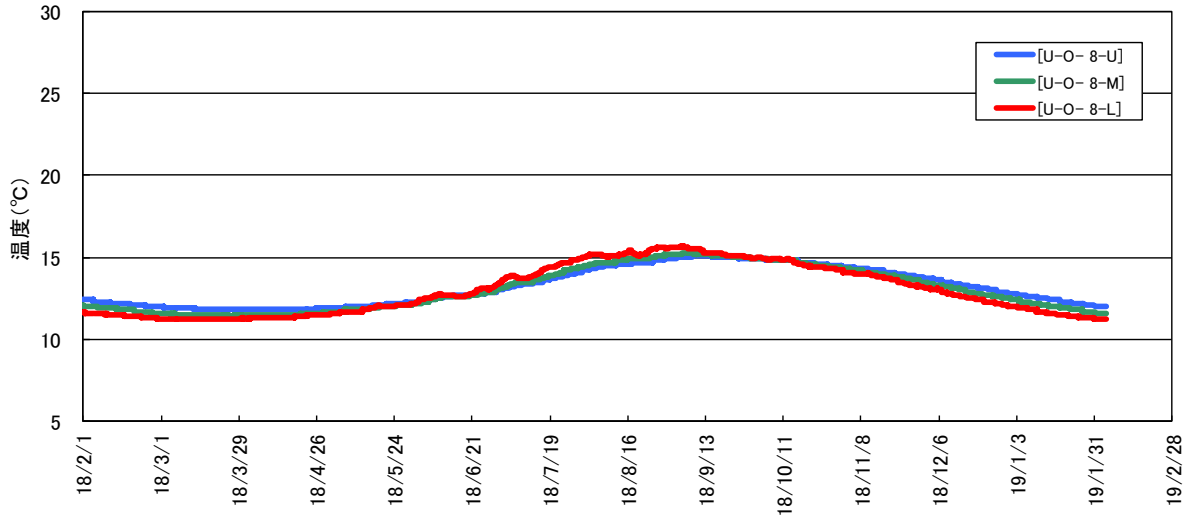


図 4.2-125　側部埋戻し材の温度計測結果（1／6）



測定結果の凡例
U-O-6-x
↓
計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

側部埋戻し材　温度計計測結果(F断面3リフト)



側部埋戻し材　温度計計測結果(E断面3リフト)

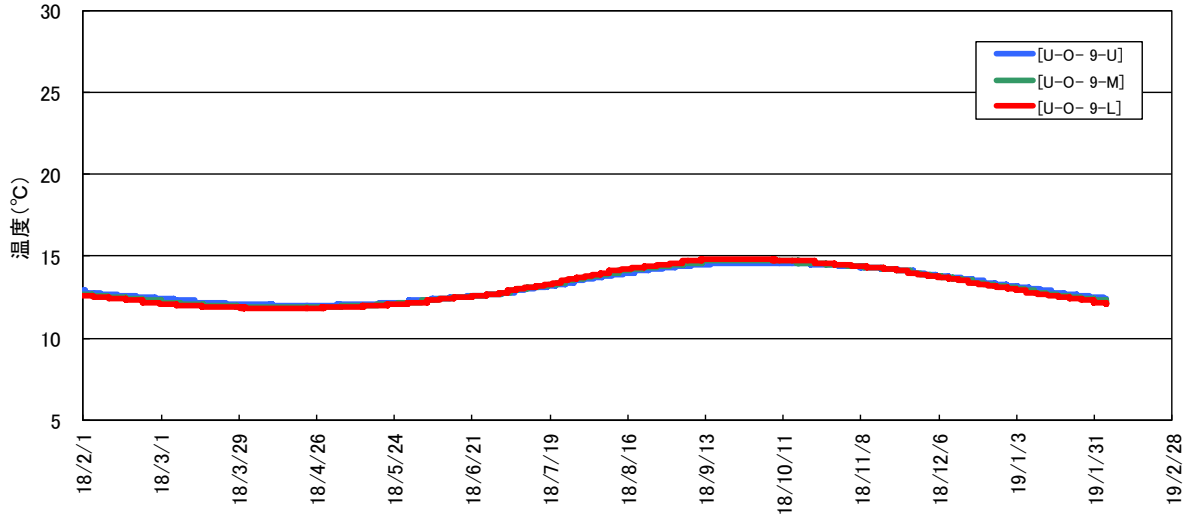
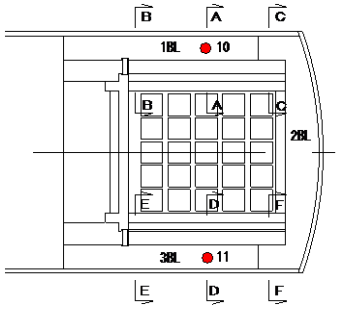
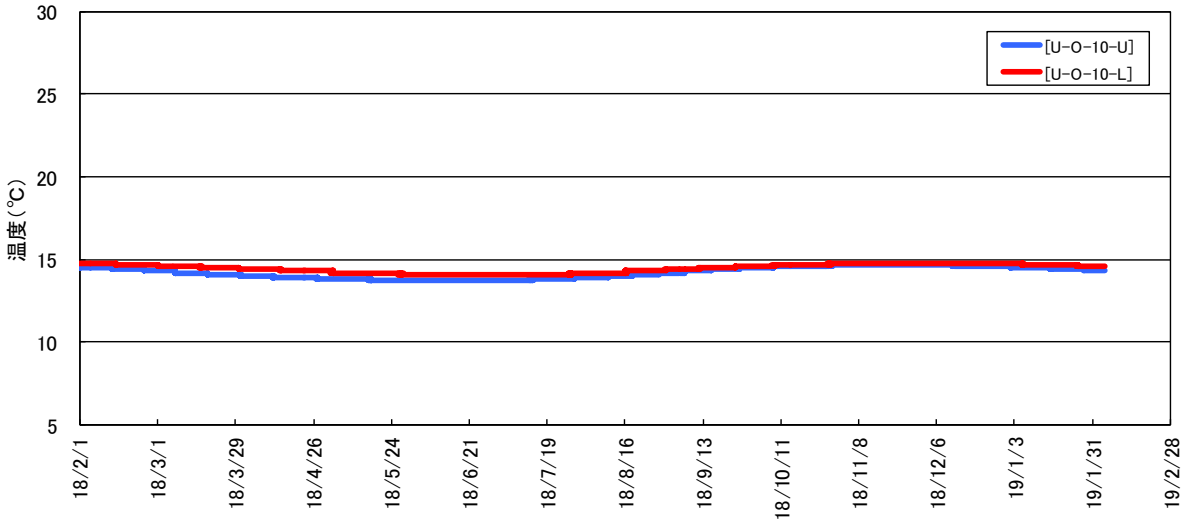


図 4.2-126　側部埋戻し材の温度計測結果（2／6）



測定結果の凡例
U-O-6-x
↓
計器位置
U:部材上部
L: 〃 下部

側部埋戻し材　温度計計測結果(A断面下)



側部埋戻し材　温度計計測結果(D断面下)

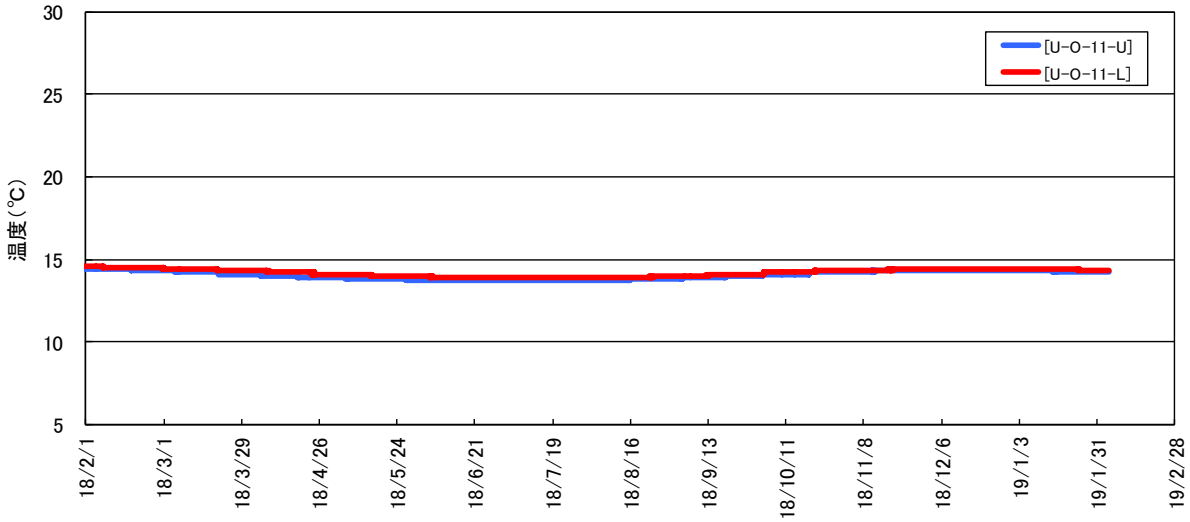
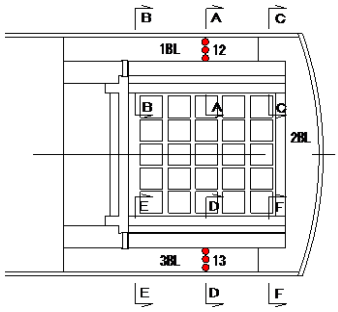
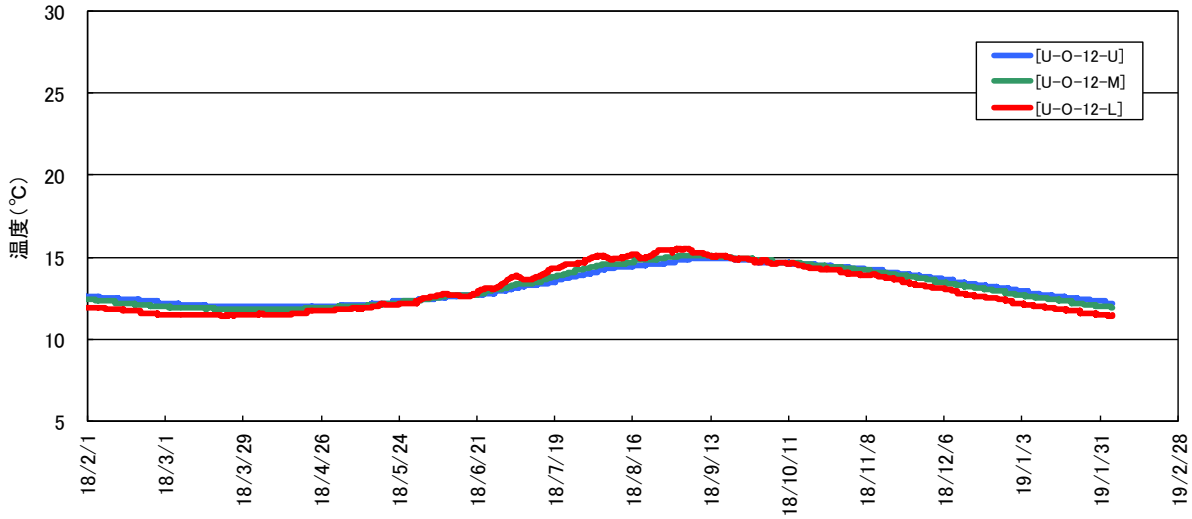


図 4.2-127　側部埋戻し材の温度計測結果（3／6）



測定結果の凡例
U-O-6-x
↓
計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

側部埋戻し材　温度計計測結果（A断面3リフト）



側部埋戻し材　温度計計測結果（D断面3リフト）

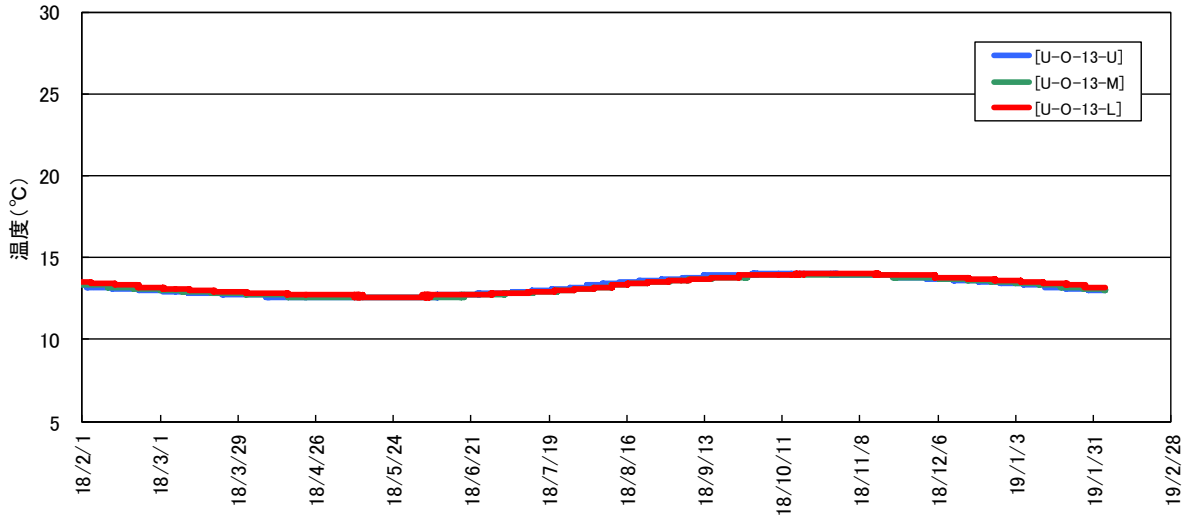
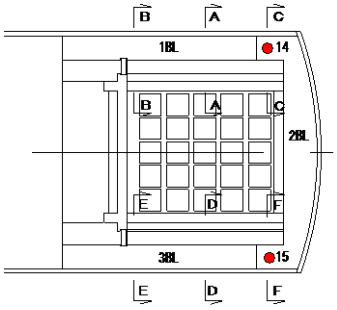
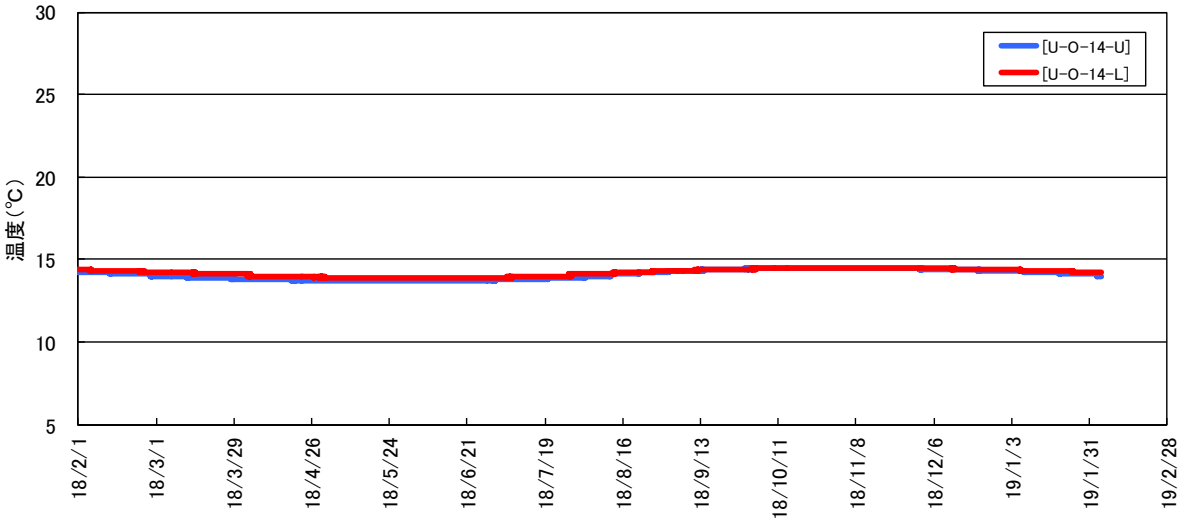


図 4.2-128　側部埋戻し材の温度計測結果（4／6）



測定結果の凡例
U-O-6-x
↓
計器位置
U:部材上部
L: 〃 下部

側部埋戻し材　温度計計測結果(C断面下)



側部埋戻し材　温度計計測結果(F断面下)

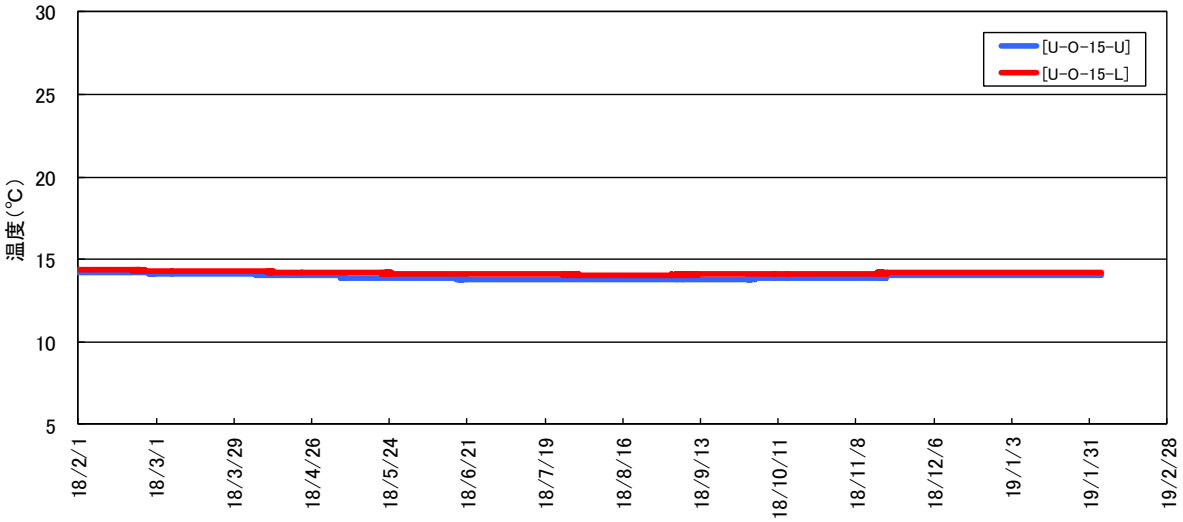
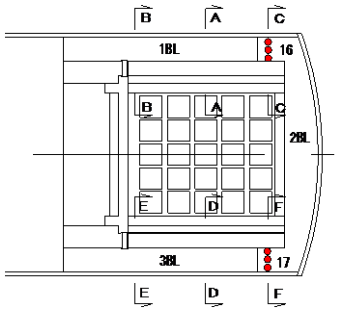
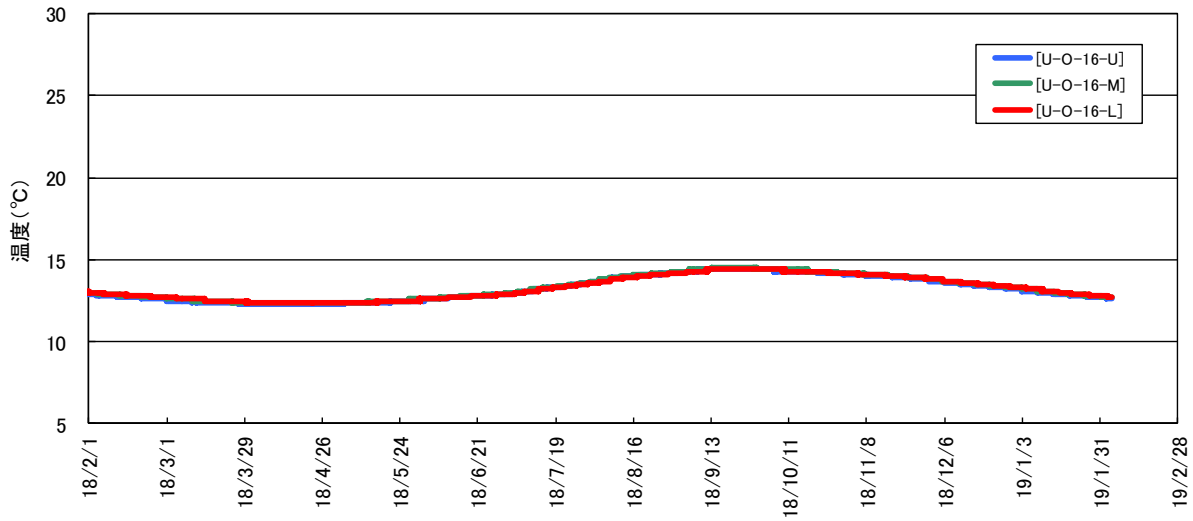


図 4.2-129　側部埋戻し材の温度計測結果（5／6）



測定結果の凡例
U-O-6-x
↓
計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

側部埋戻し材　温度計計測結果（F断面3リフト）



側部埋戻し材　温度計計測結果（F断面3リフト）

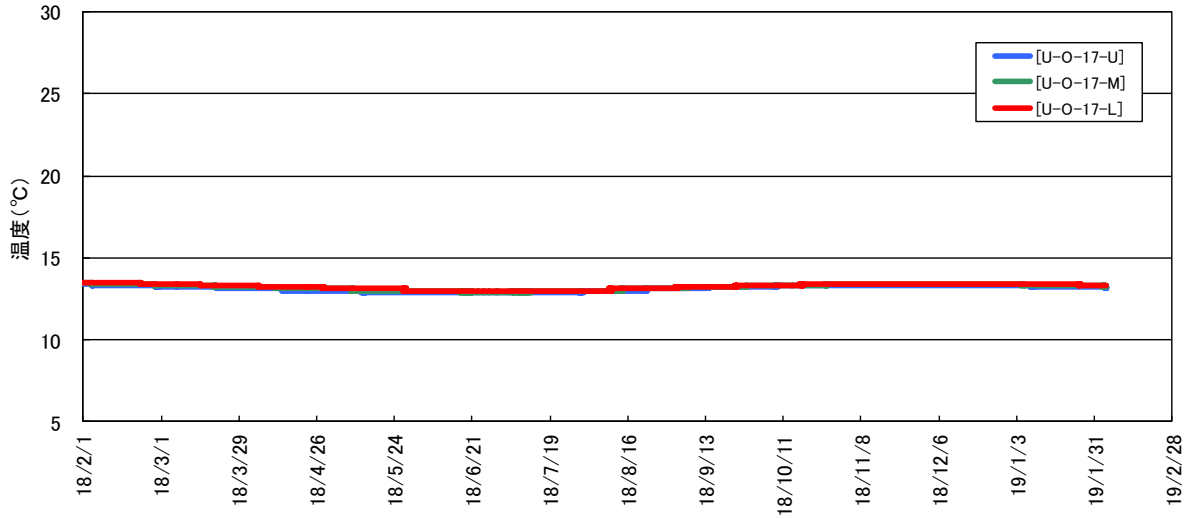
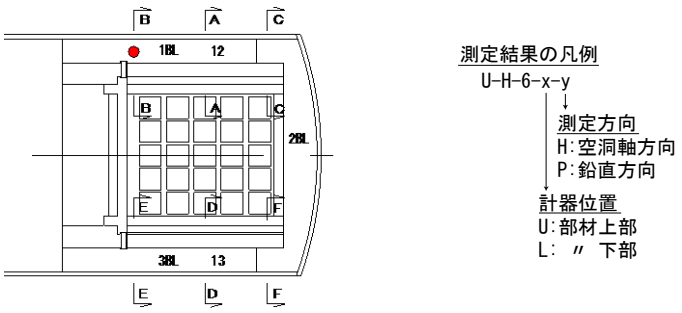
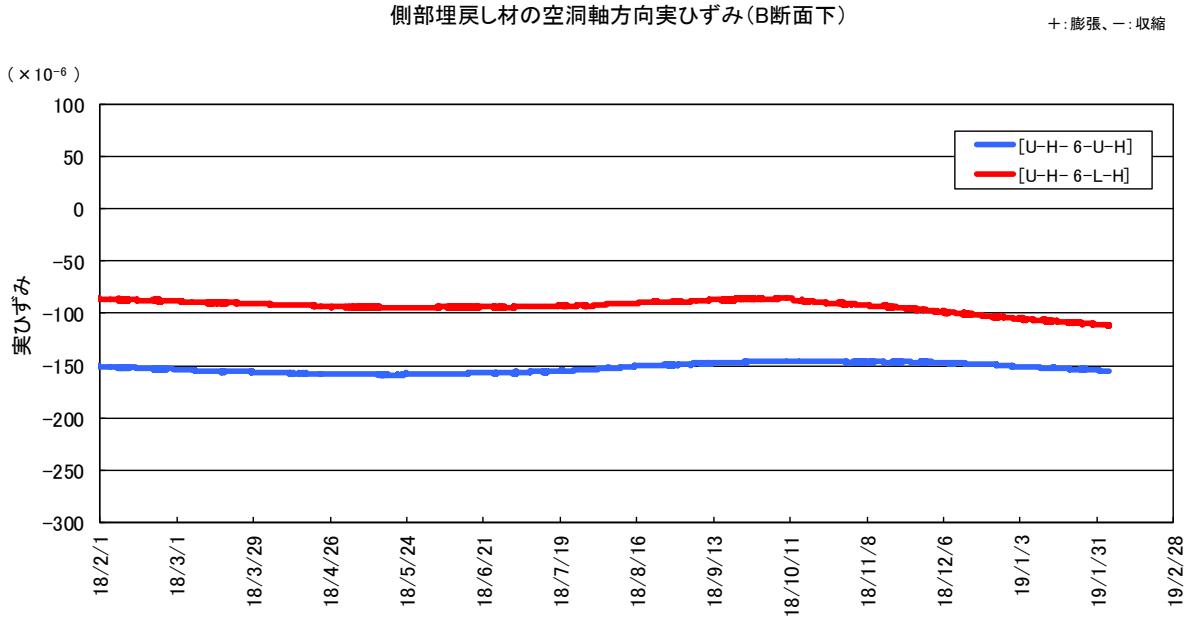


図 4.2-130　側部埋戻し材の温度計測結果（6／6）

(2) ひずみ計

側部埋戻し材に設置したひずみ計の経時変化（実ひずみ）を、図 4.2-131～図 4.2-142 に示す。





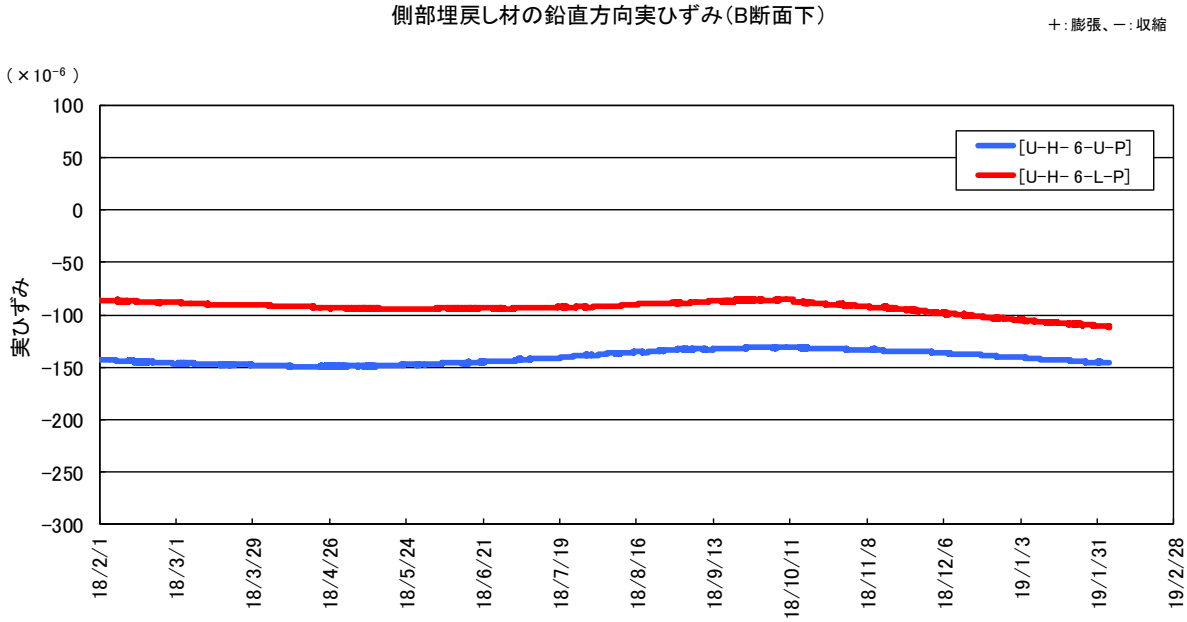
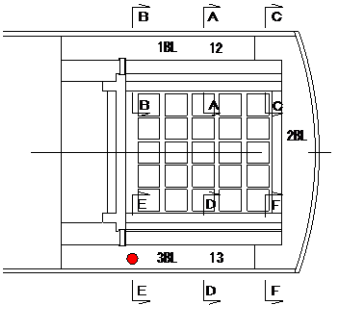


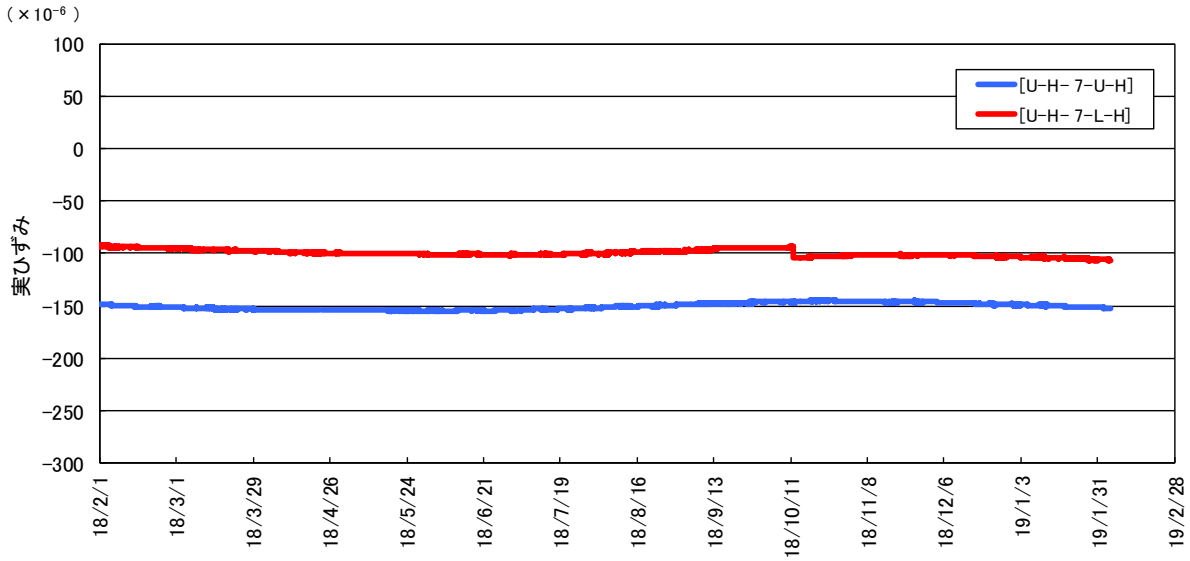
図 4.2-131 側部埋戻し材の実ひずみ（1／12）



測定結果の凡例
U-H-6-x-y
測定方向
H:空洞軸方向
P:鉛直方向
計器位置
U:部材上部
L: 〃 下部

側部埋戻し材の空洞軸方向実ひずみ(B断面下)

＋:膨張、－:収縮



側部埋戻し材の鉛直方向実ひずみ(B断面下)

＋:膨張、－:収縮

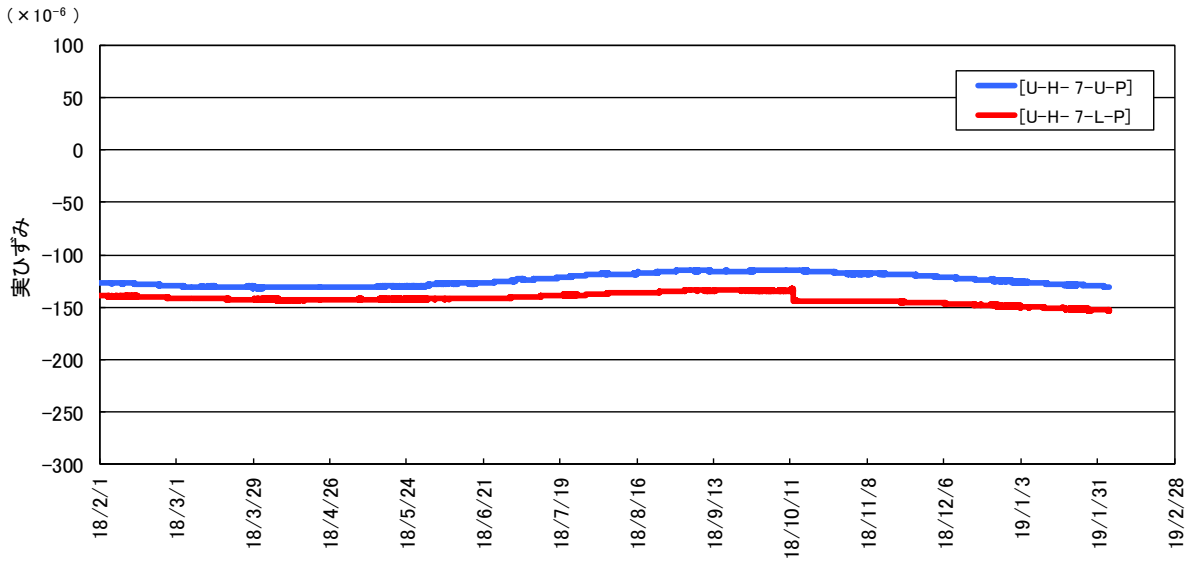
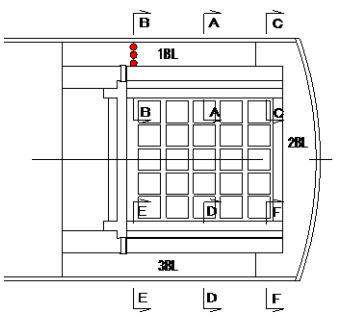


図 4.2-132 側部埋戻し材の実ひずみ（2／12）



測定結果の凡例

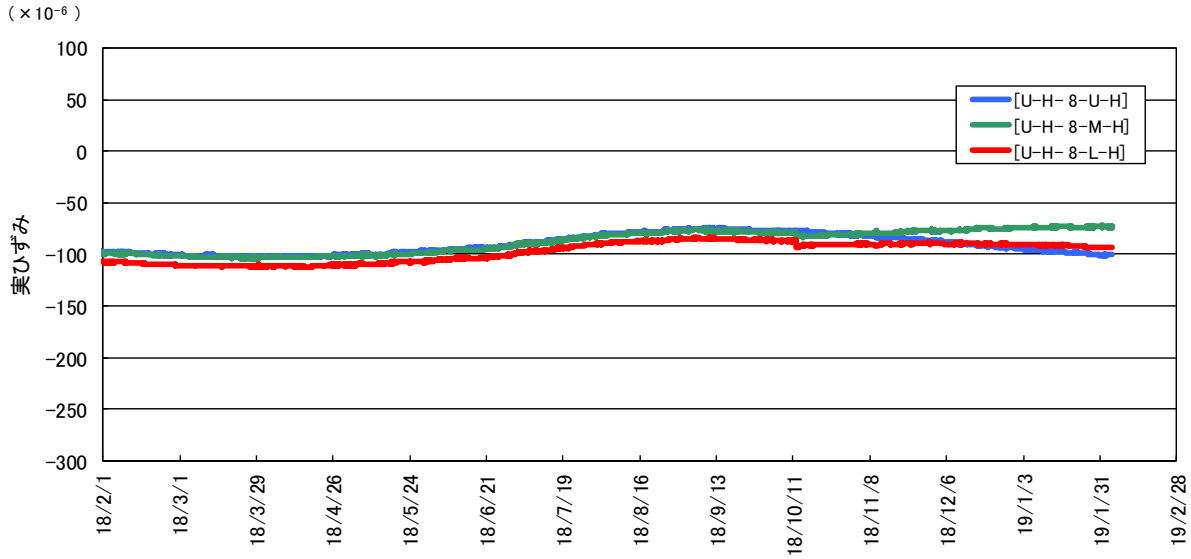
U-H-6-x-y

測定方向
H:空洞軸方向
P:鉛直方向

計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

側部埋戻し材の空洞軸方向実ひずみ(C断面3リフト)

＋:膨張、－:収縮



側部埋戻し材の空洞軸方向実ひずみ(C断面3リフト)

＋:膨張、－:収縮

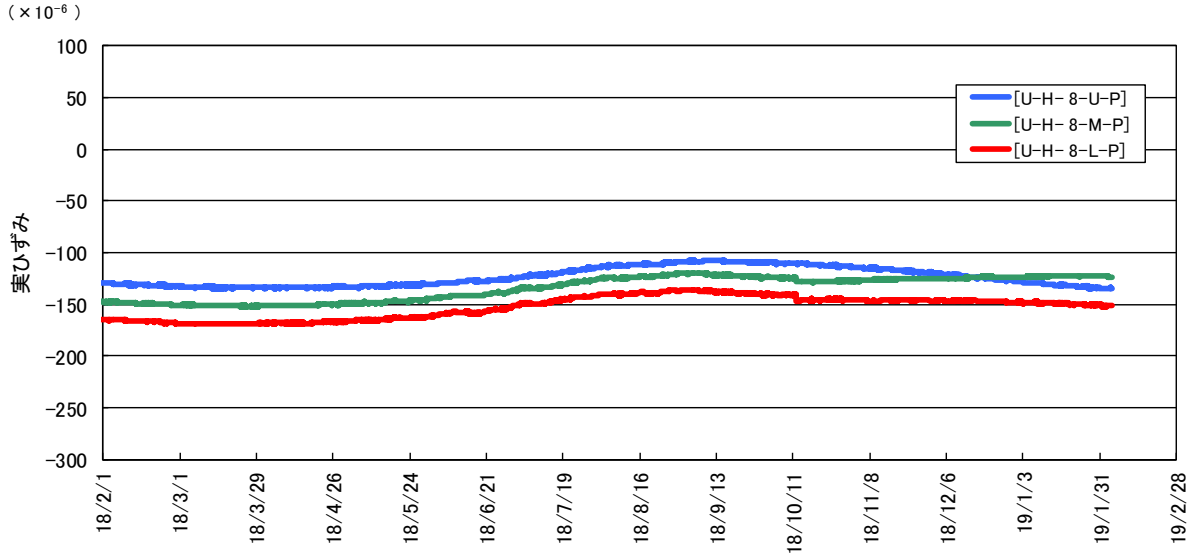


図 4.2-133 側部埋戻し材の実ひずみ（3／12）

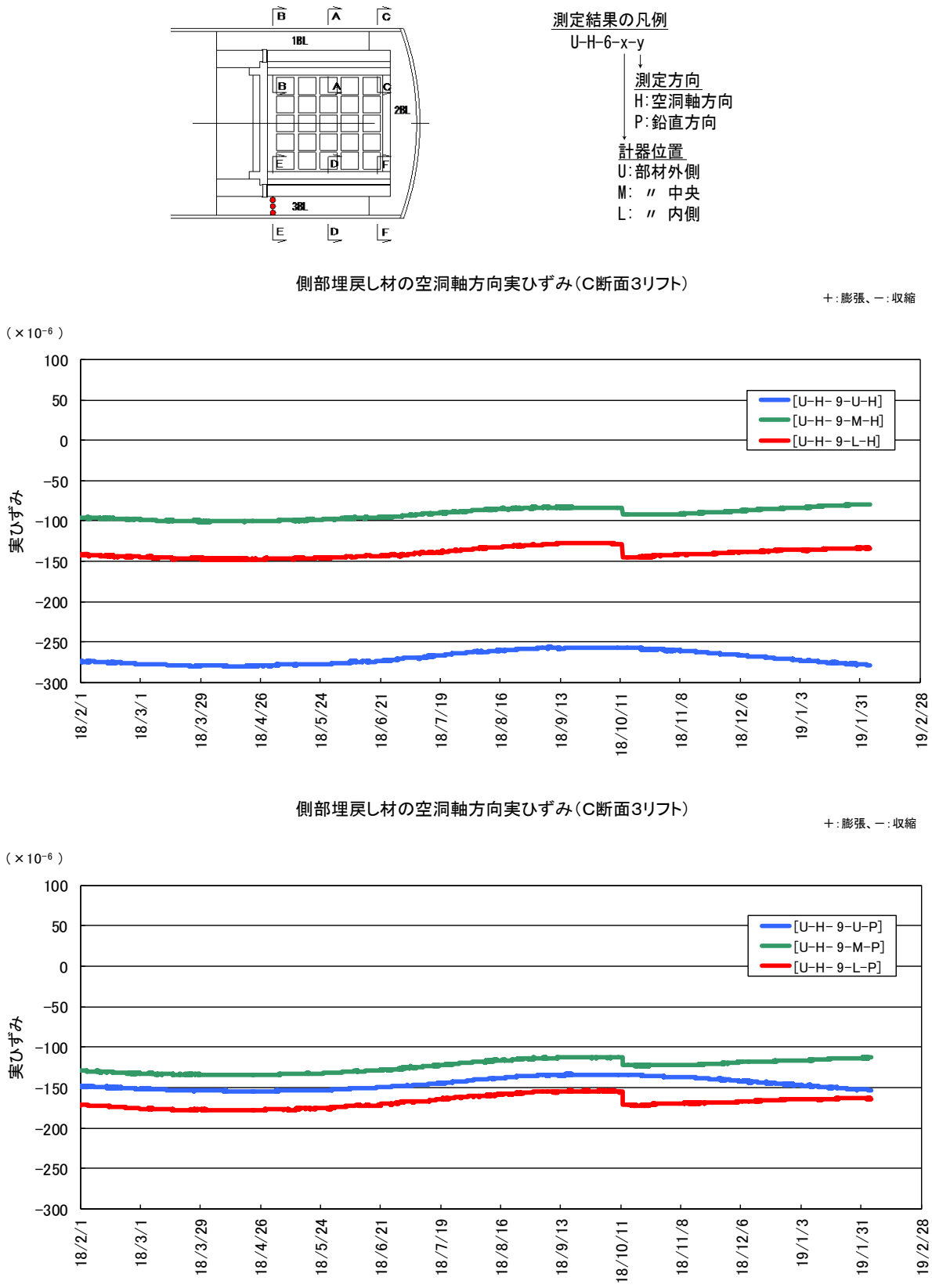
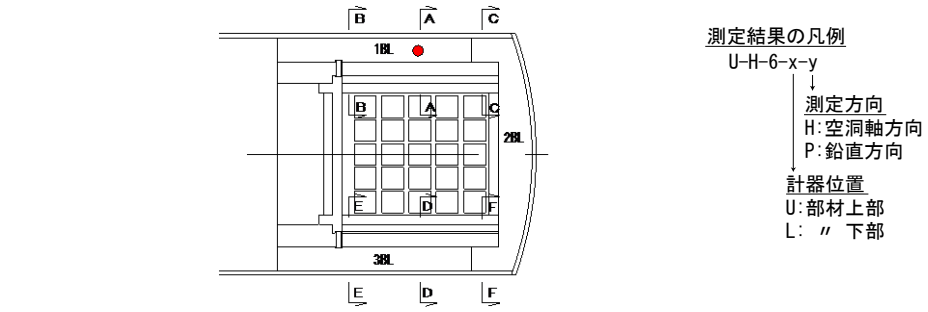
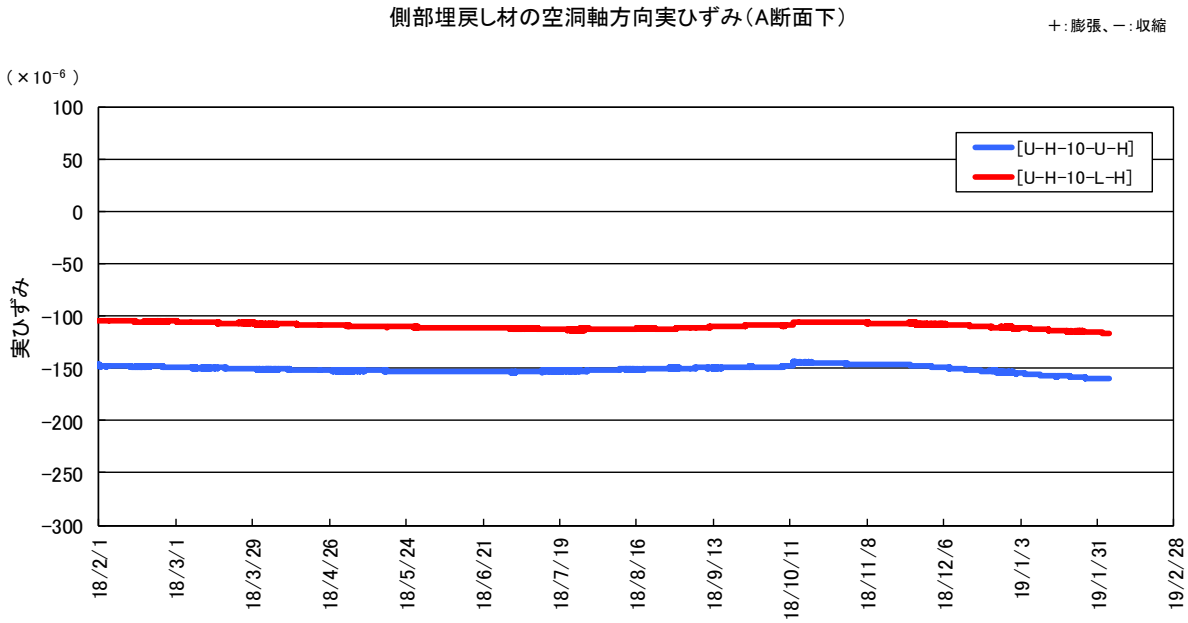


図 4.2-134　側部埋戻し材の実ひずみ（4／12）





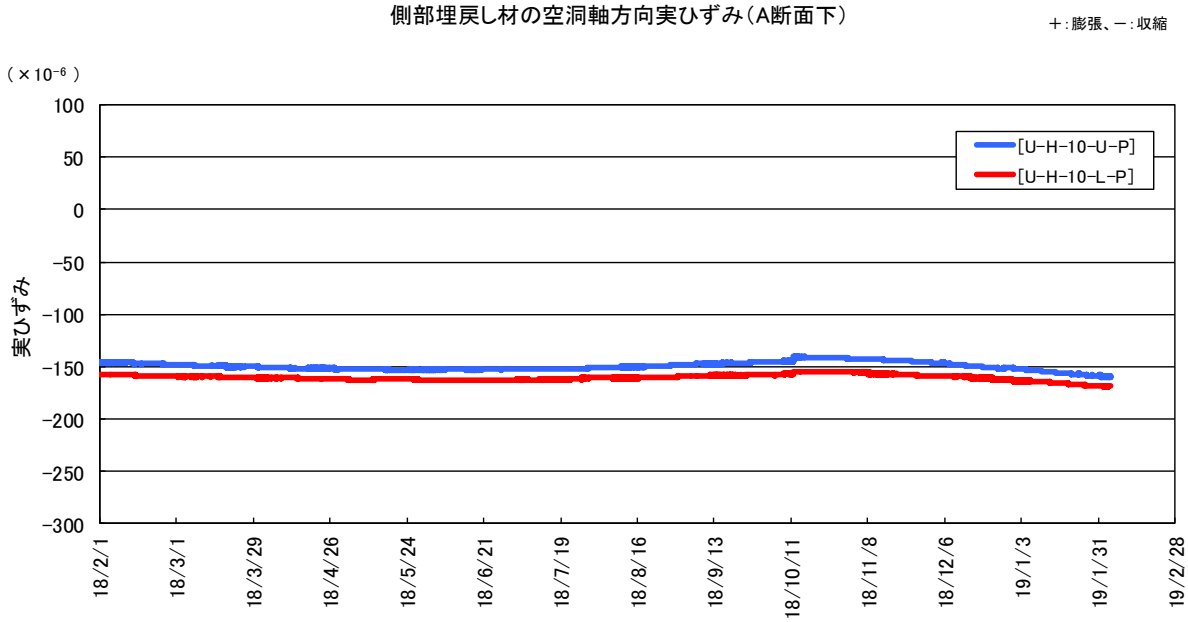
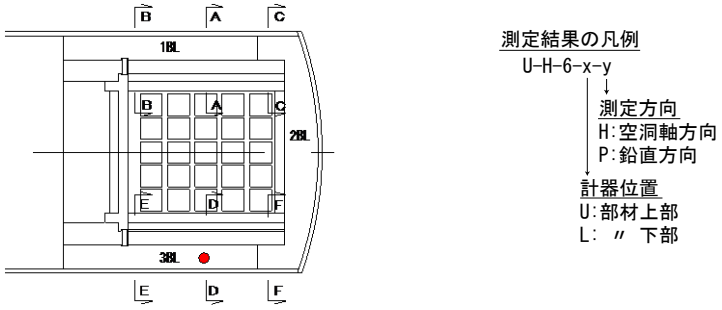
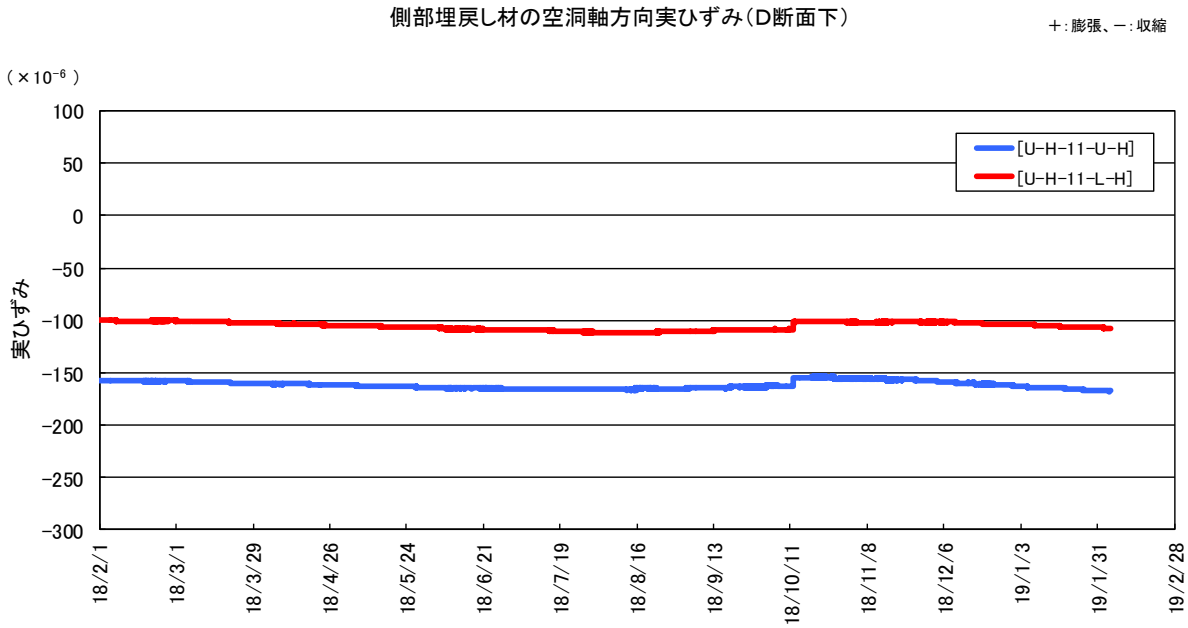


図 4.2-135 側部埋戻し材の実ひずみ（5／12）





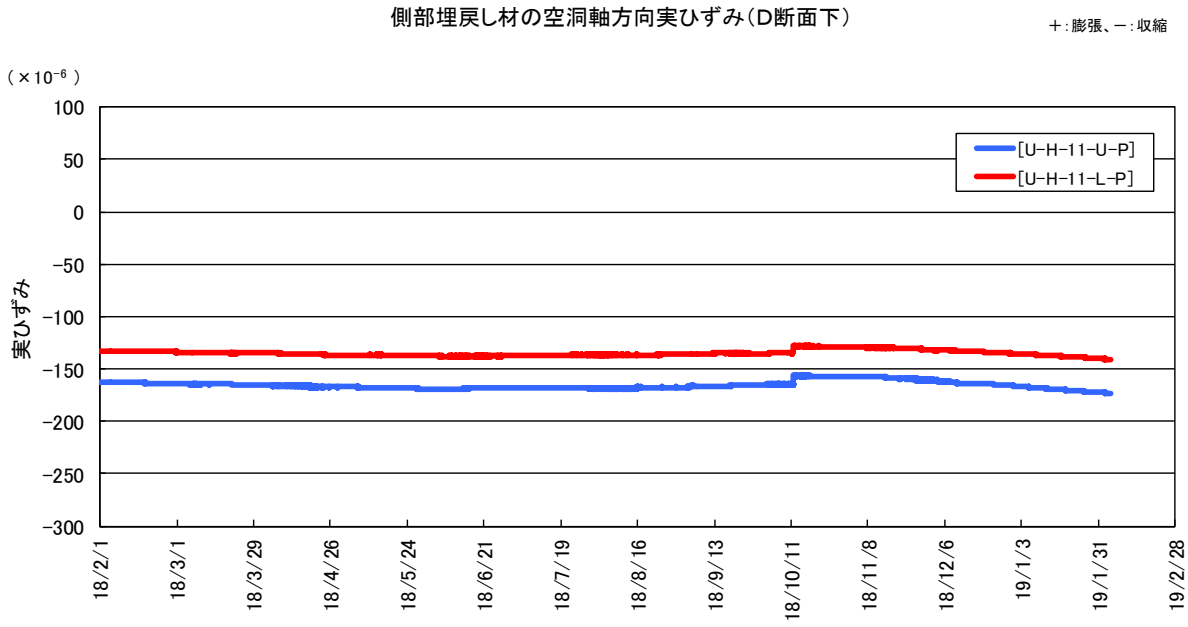


図 4.2-136 側部埋戻し材の実ひずみ（6／12）

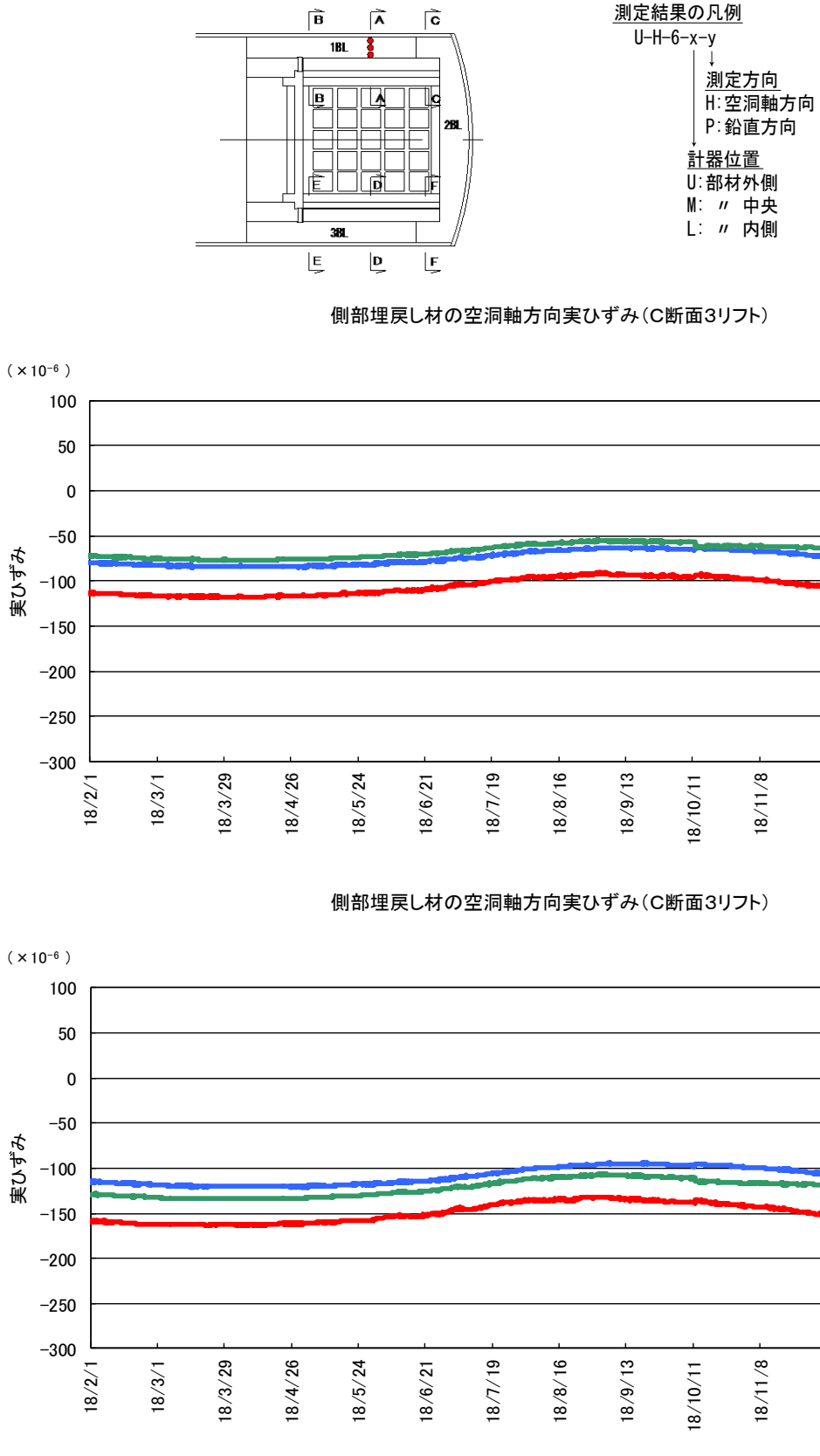


図 4.2-137　側部埋戻し材の実ひずみ（7／12）

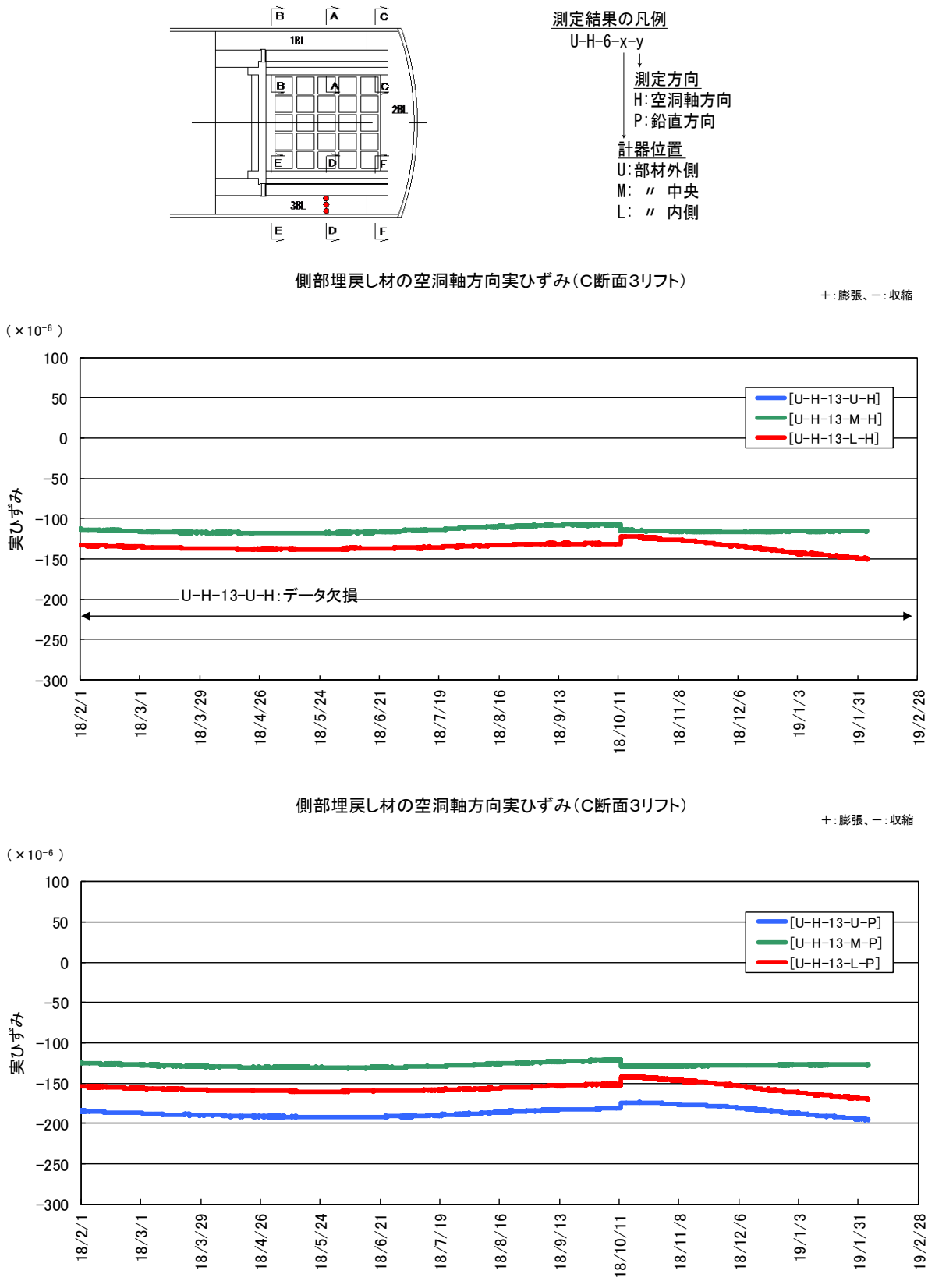
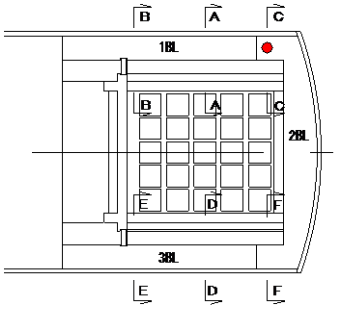
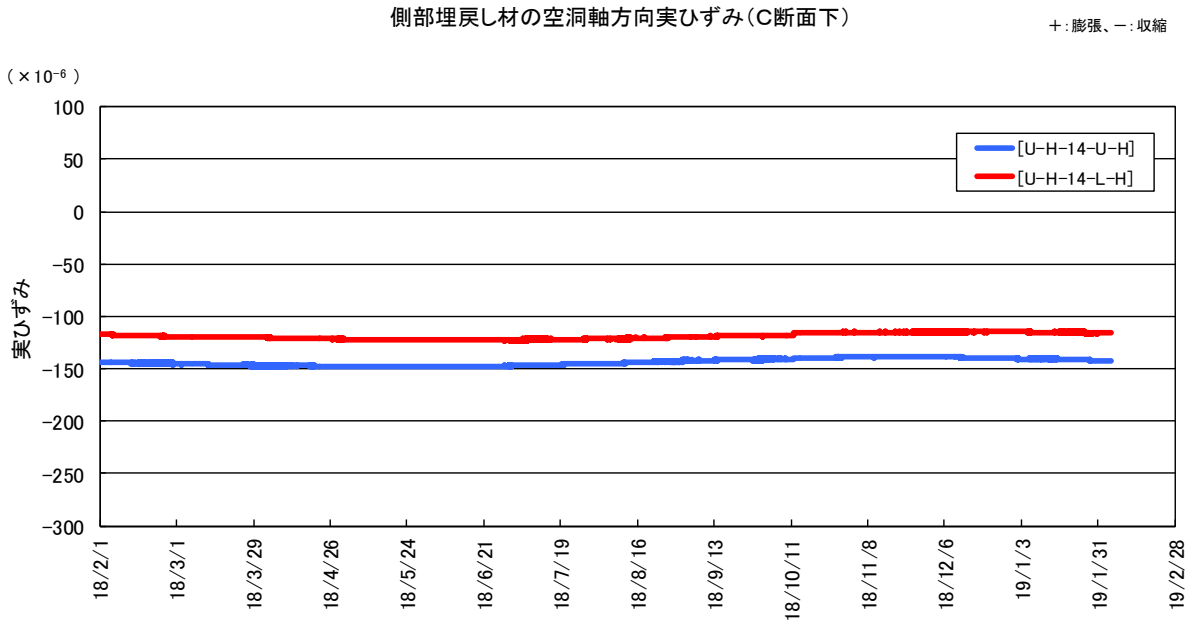


図 4.2-138　側部埋戻し材の実ひずみ（8／12）



測定結果の凡例
U-H-6-x-y
↓
測定方向
H:空洞軸方向
P:鉛直方向
計器位置
U:部材上部
L: 〃 下部



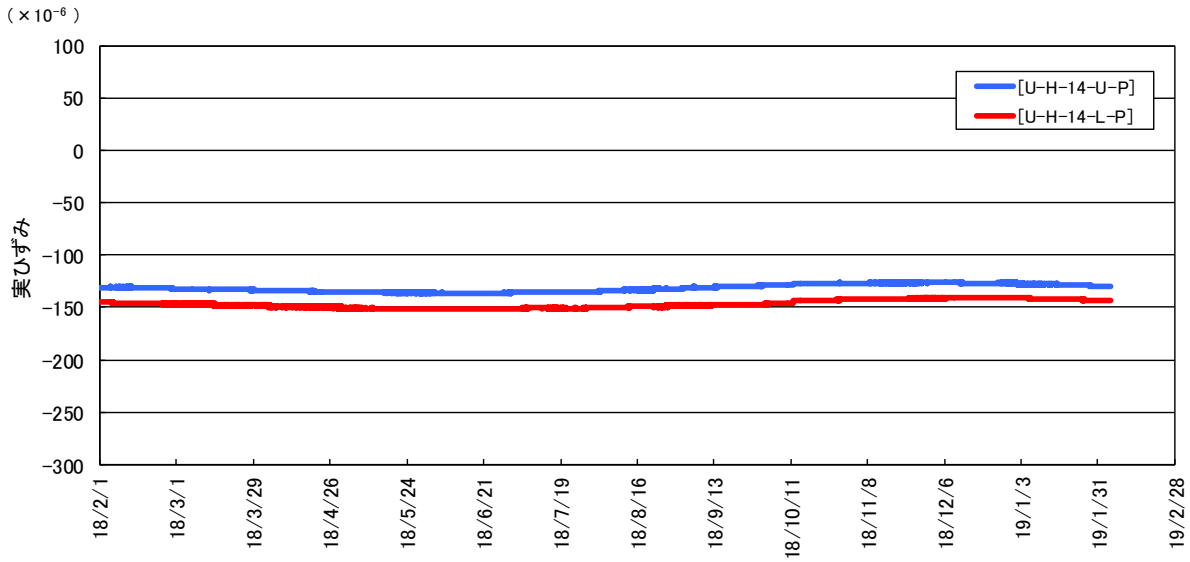
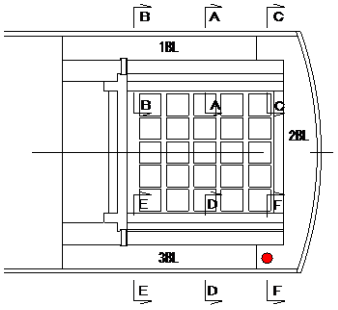


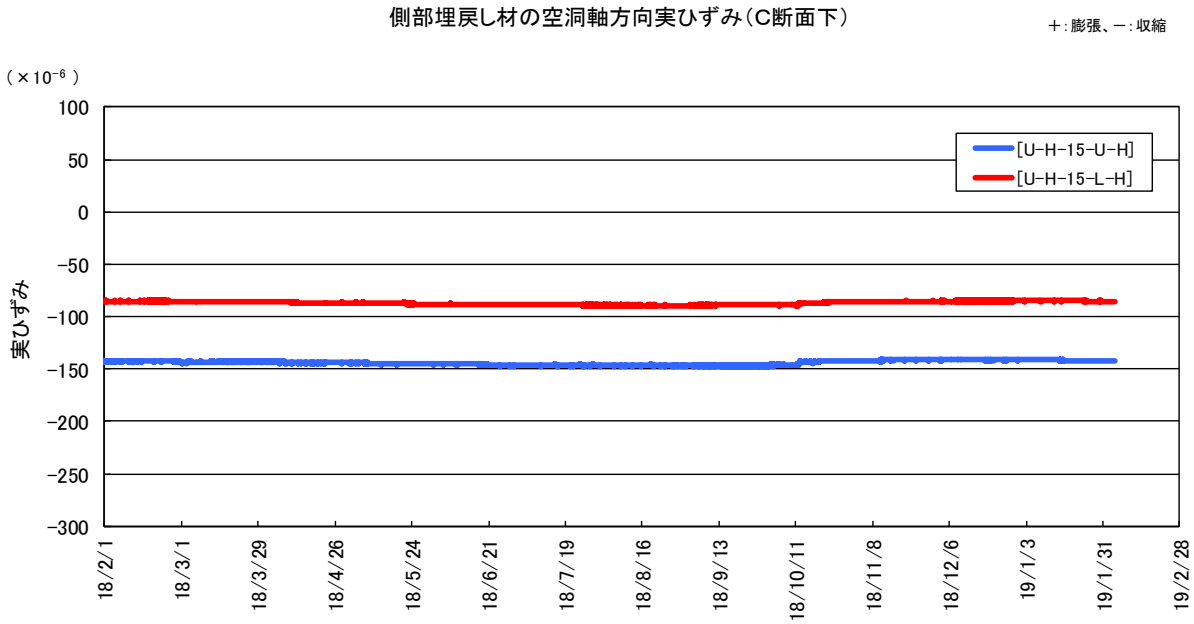
図 4.2-139 側部埋戻し材の実ひずみ（9／12）



測定結果の凡例

U-H-6-x-y

- 測定方向
  - H:空洞軸方向
  - P:鉛直方向
- 計器位置
  - U:部材上部
  - L: 〃 下部



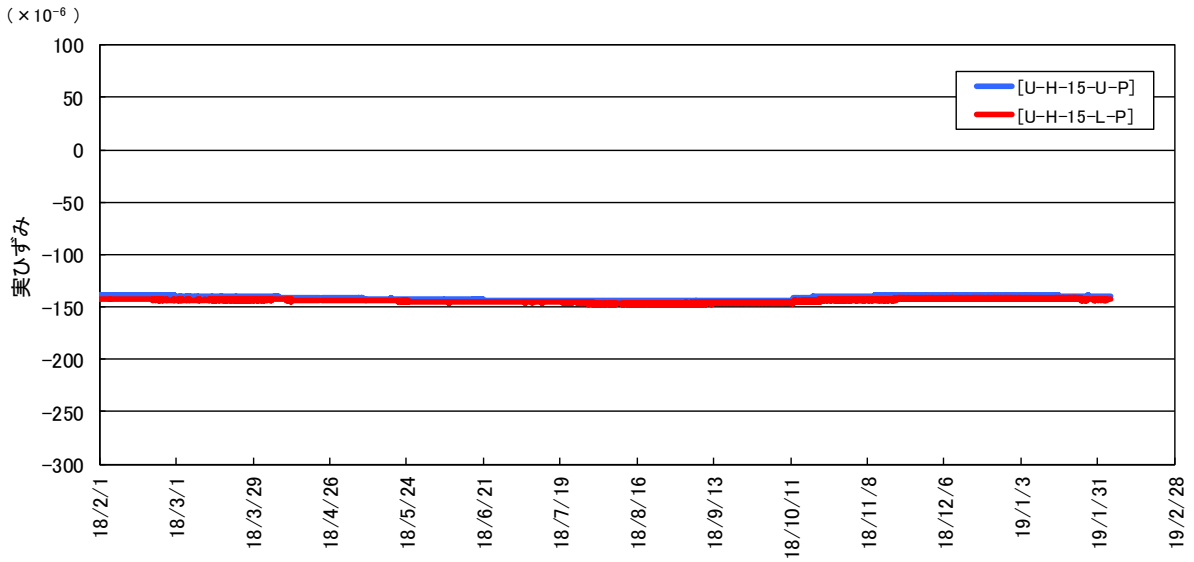
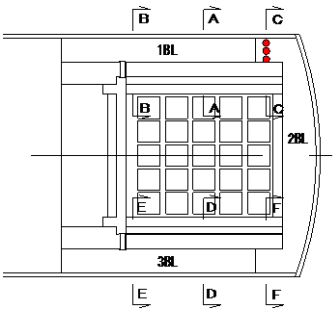


図 4.2-140　側部埋戻し材の実ひずみ（10／12）

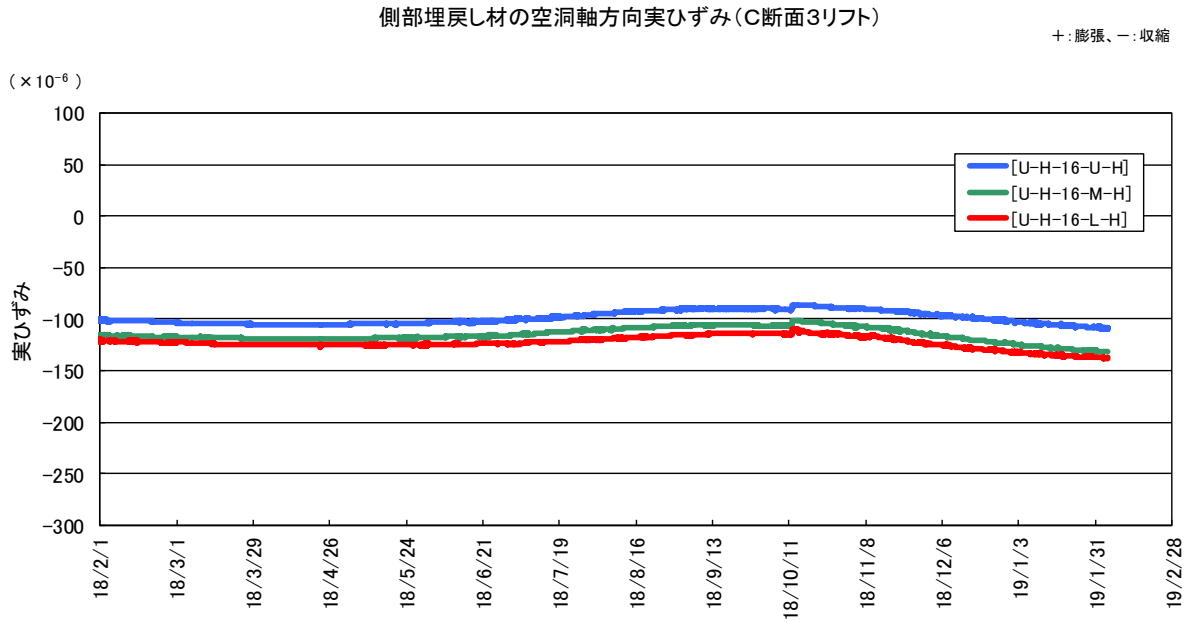


測定結果の凡例

U-H-6-x-y

測定方向
H:空洞軸方向
P:鉛直方向

計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側



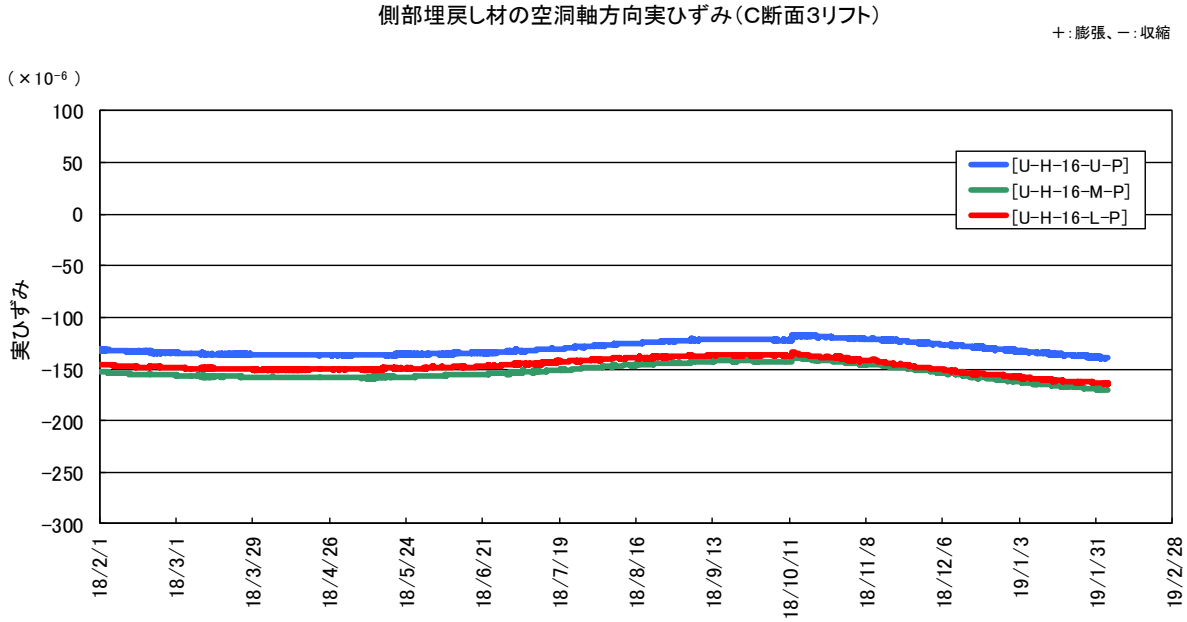
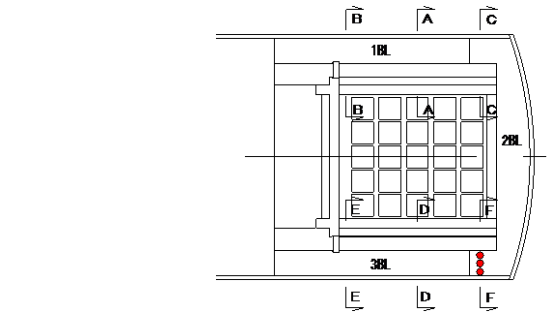


図 4.2-141　側部埋戻し材の実ひずみ（11／12）



測定結果の凡例

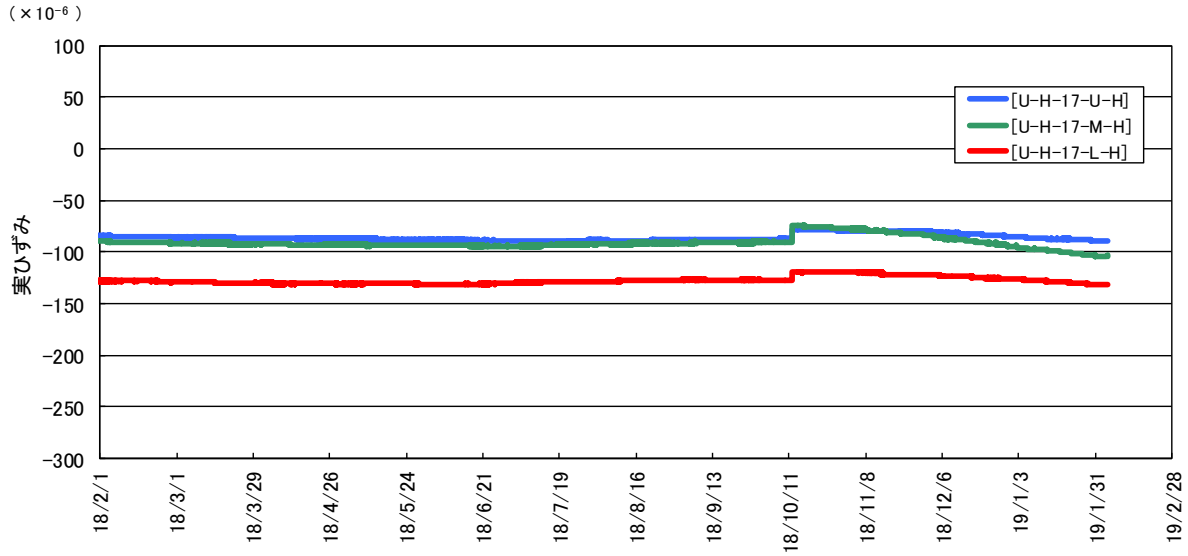
U-H-6-x-y

測定方向
H:空洞軸方向
P:鉛直方向

計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

側部埋戻し材の空洞軸方向実ひずみ（C断面3リフト）

＋:膨張、－:収縮



側部埋戻し材の空洞軸方向実ひずみ（C断面3リフト）

＋:膨張、－:収縮

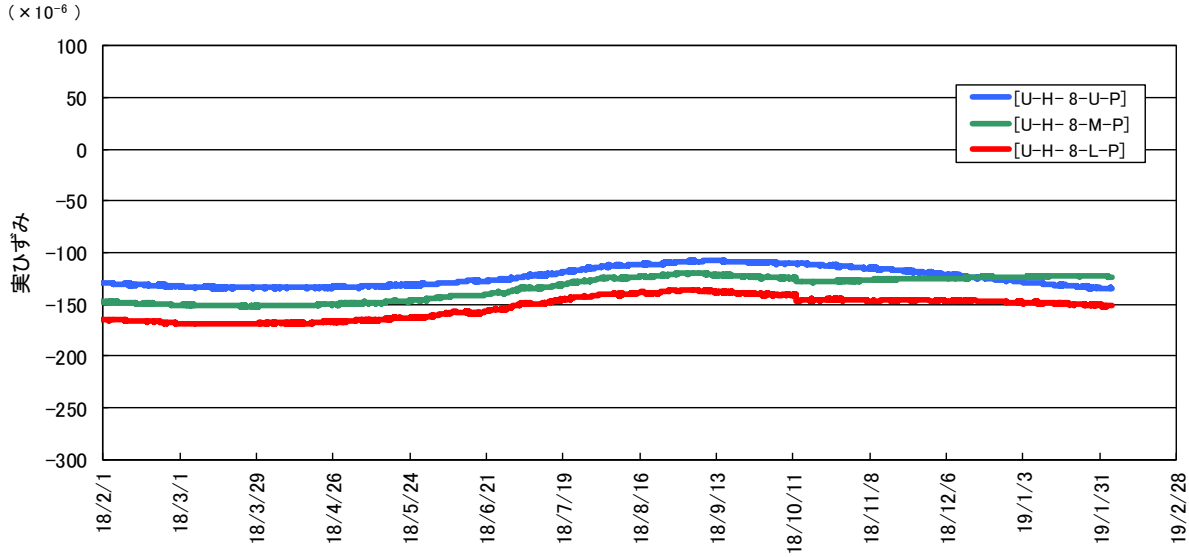
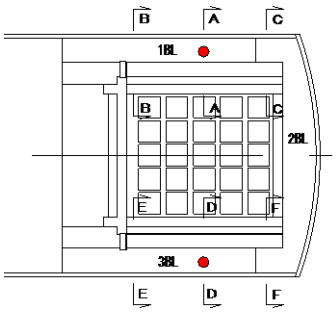
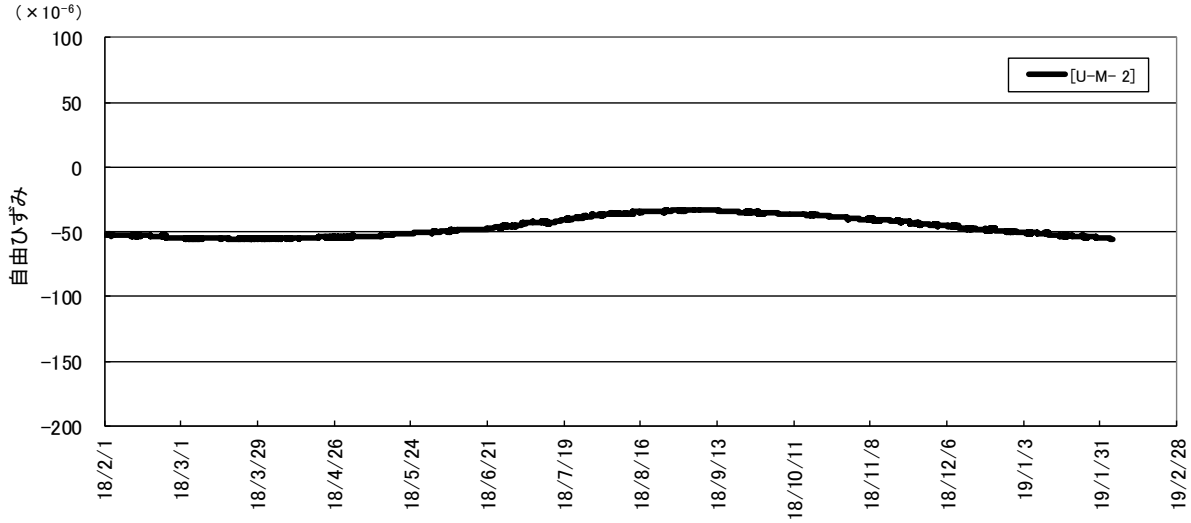


図 4.2-142　側部埋戻し材の実ひずみ（12／12）

(3) 無応力計

側部埋戻し材に設置した無応力計の経時変化（自由ひずみ）を、図 4.2-143 に示す。





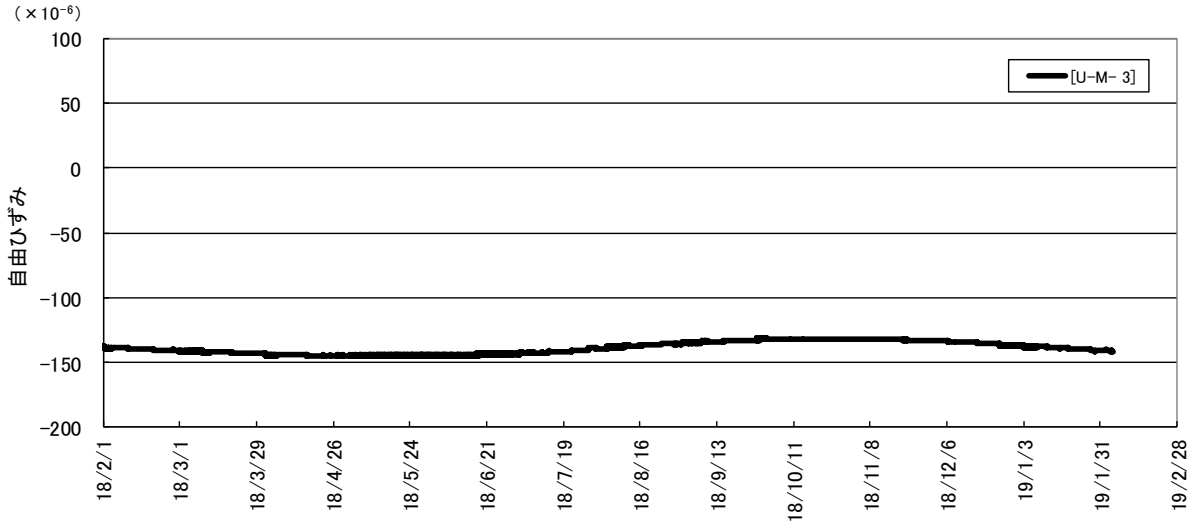
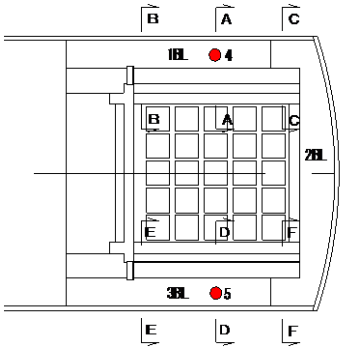


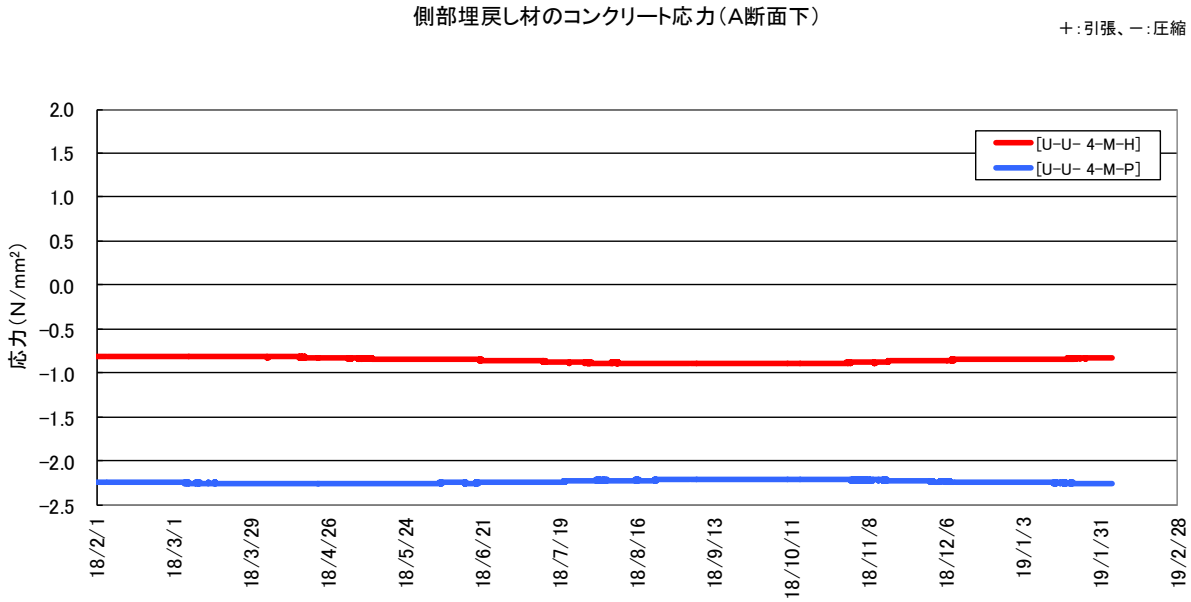
図 4.2-143　側部埋戻し材の無応力計計測結果

(4) 有効応力計

側部埋戻し材に設置した有効応力計の経時変化を、図 4.2-144～図 4.2-145 に示す。



測定結果の凡例
U-U-4-x-y
測定方向
H:空洞軸方向
P:鉛直方向
計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側



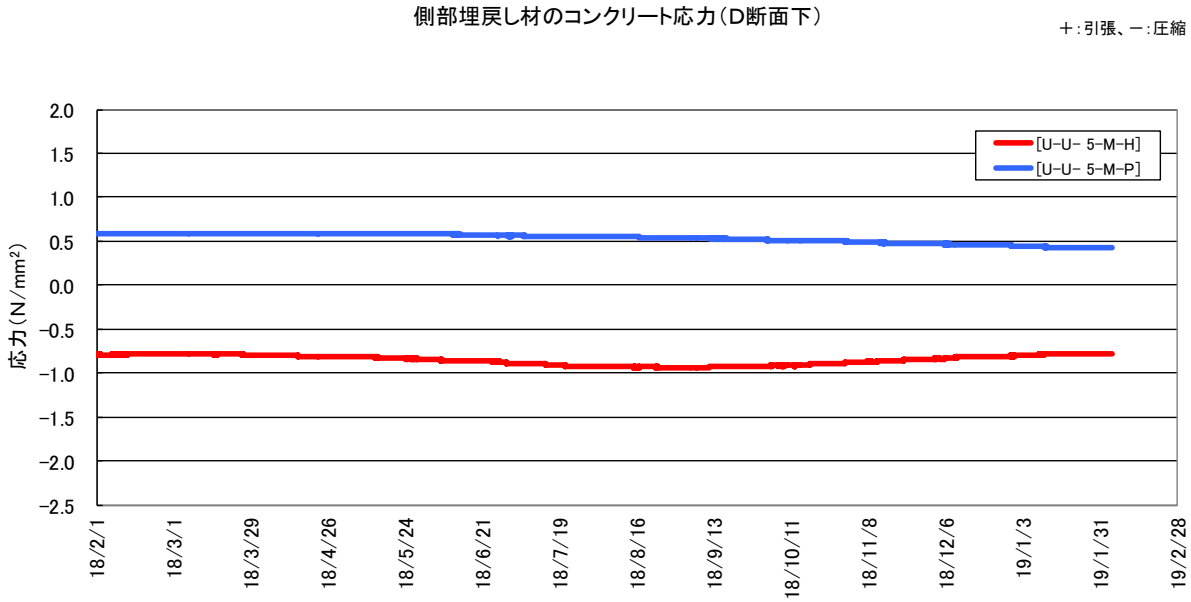
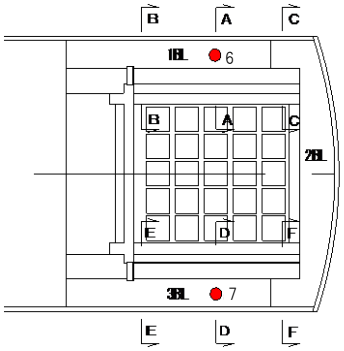


図 4.2-144 側部埋戻し材のコンクリート応力計測結果（1／2）

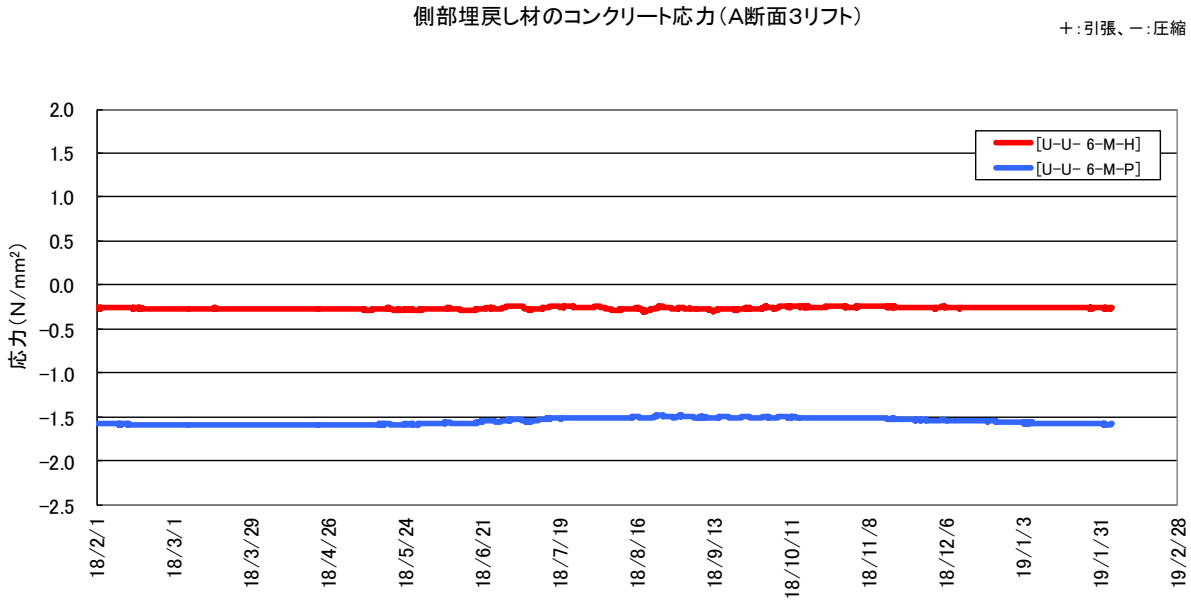


測定結果の凡例

U-U-4-x-y

測定方向
H:空洞軸方向
P:鉛直方向

計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側



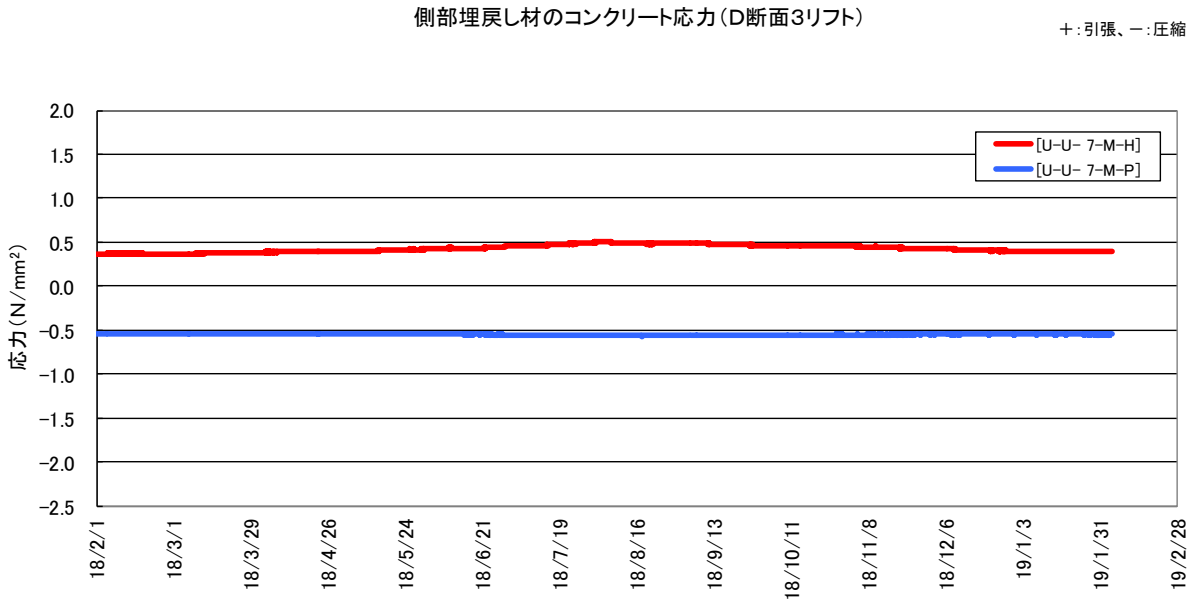
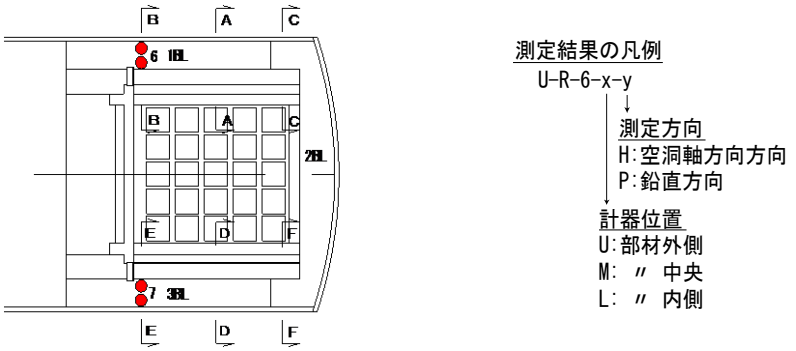
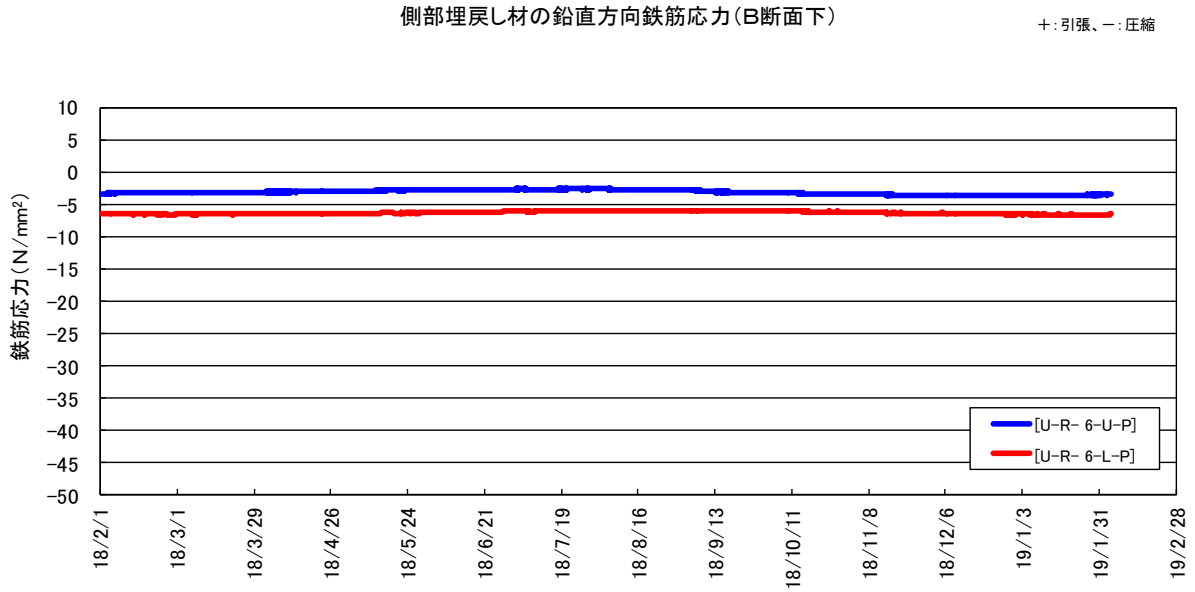


図 4.2-145　側部埋戻し材のコンクリート応力計測結果（2／2）

(5) 鉄筋計

側部埋戻し材に設置した鉄筋計の経時変化を、図 4.2-146～図 4.2-149 に示す。





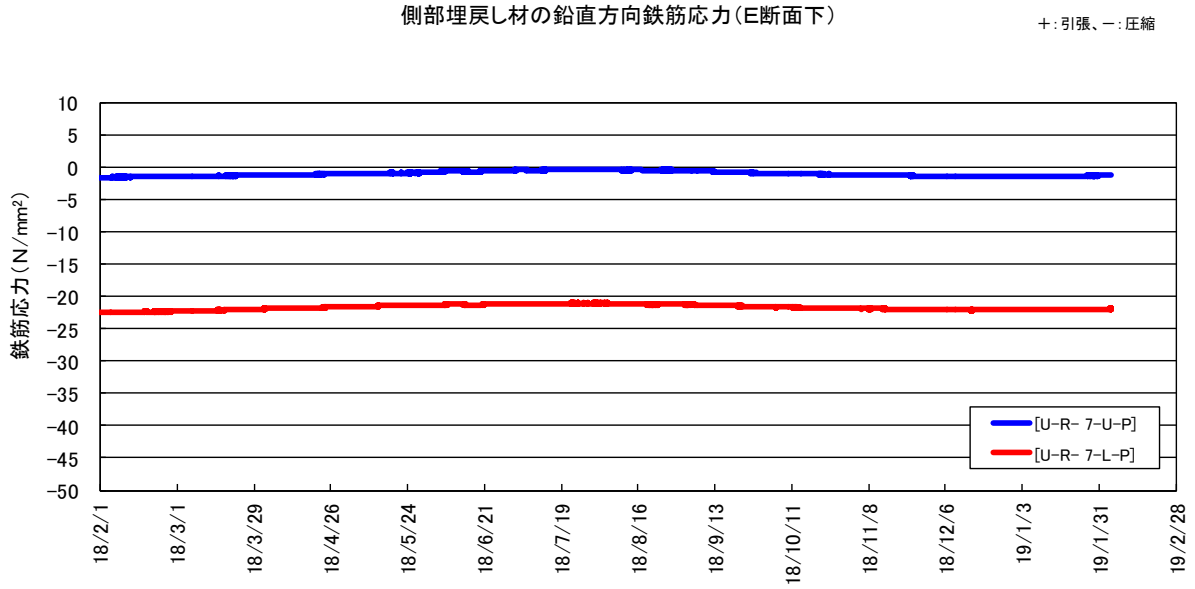
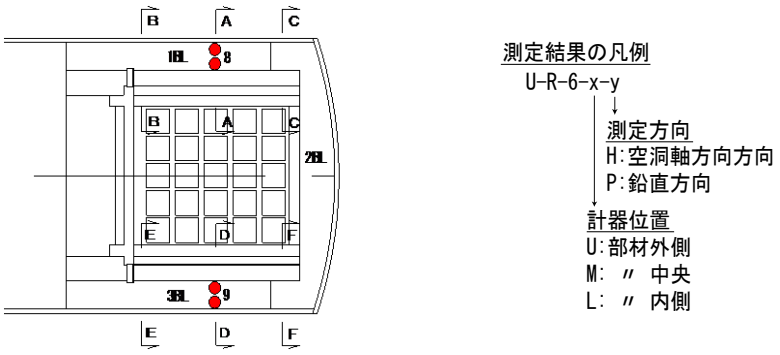
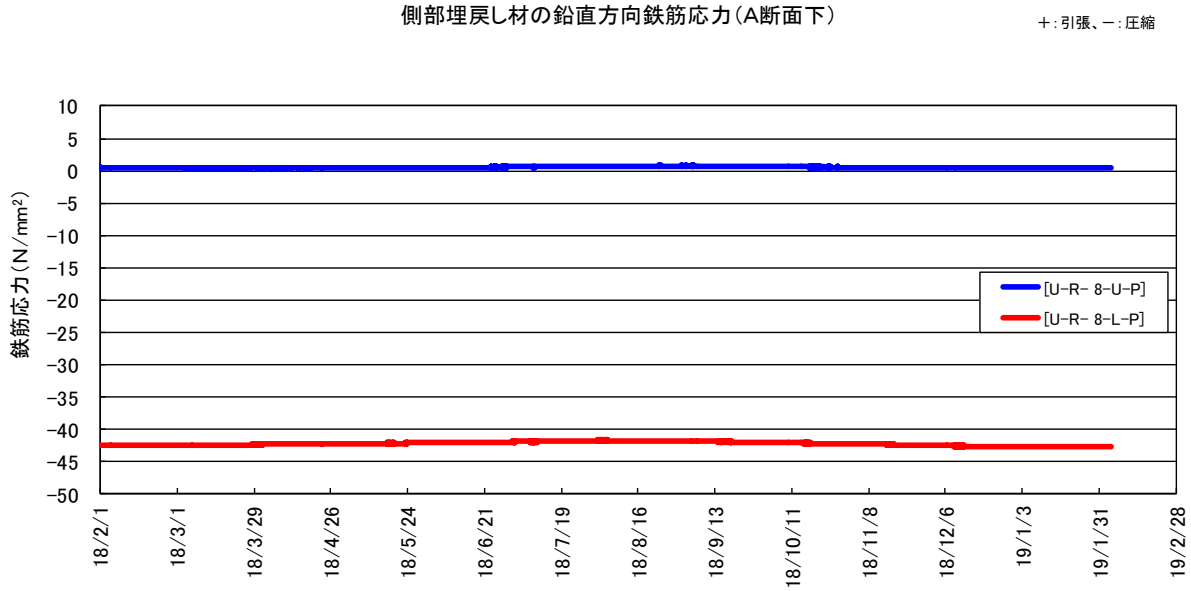


図 4.2-146 側部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（1／4）





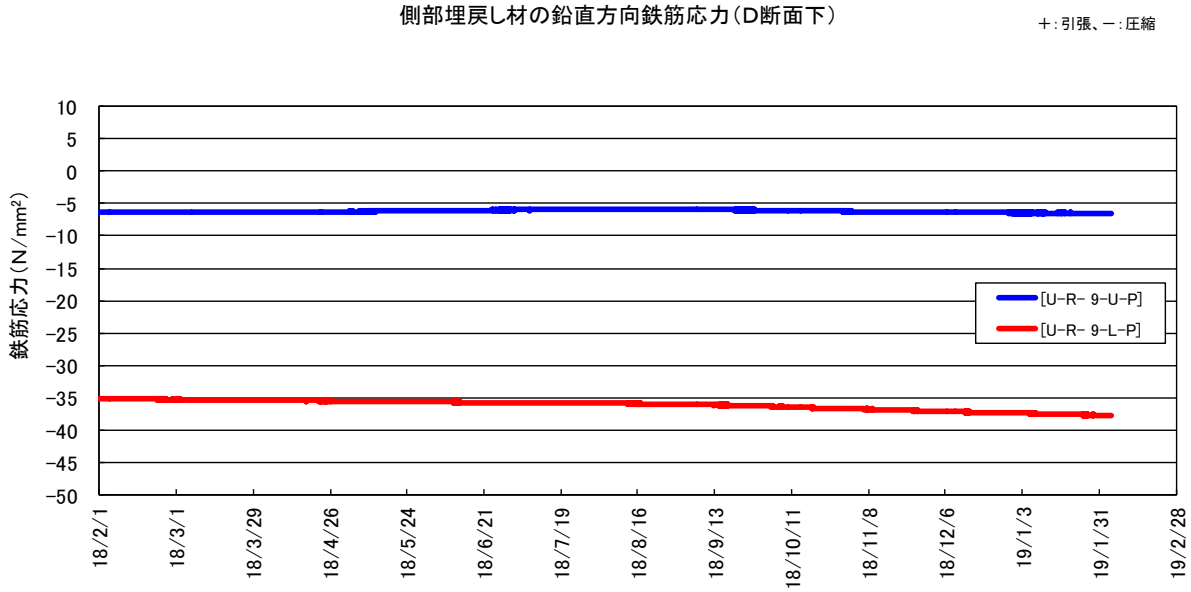
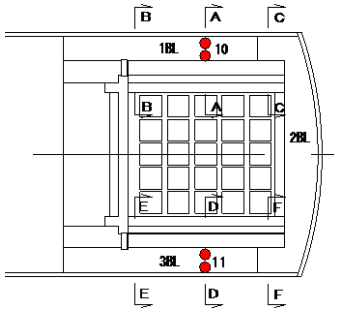


図 4.2-147 側部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（2／4）



測定結果の凡例

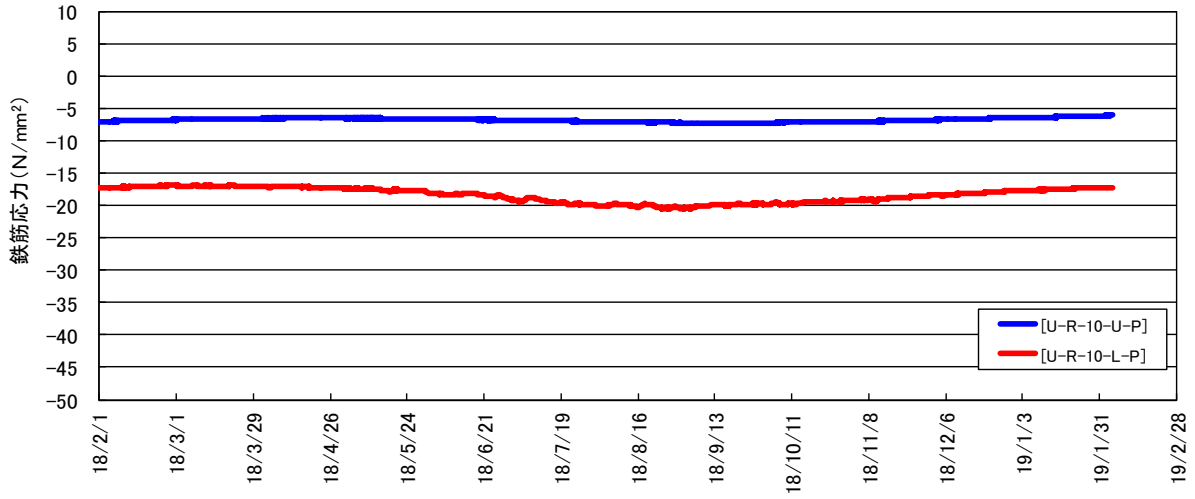
U-R-6-x-y

測定方向
H:空洞軸方向方向
P:鉛直方向

計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

側部埋戻し材の鉛直方向鉄筋応力（A断面3リフト）

＋:引張、－:圧縮



側部埋戻し材の鉛直方向鉄筋応力（D断面3リフト）

＋:引張、－:圧縮

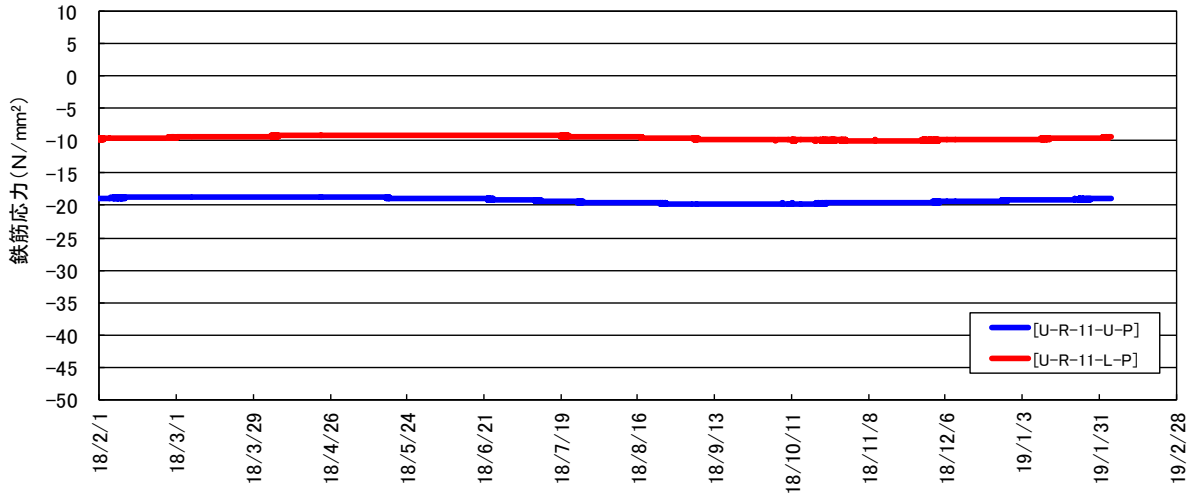
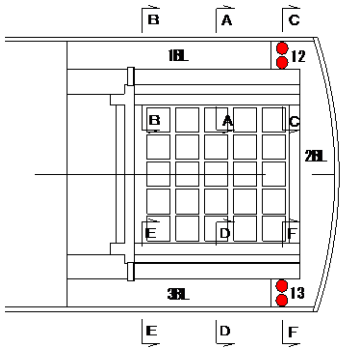


図 4.2-148 側部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（3／4）



測定結果の凡例

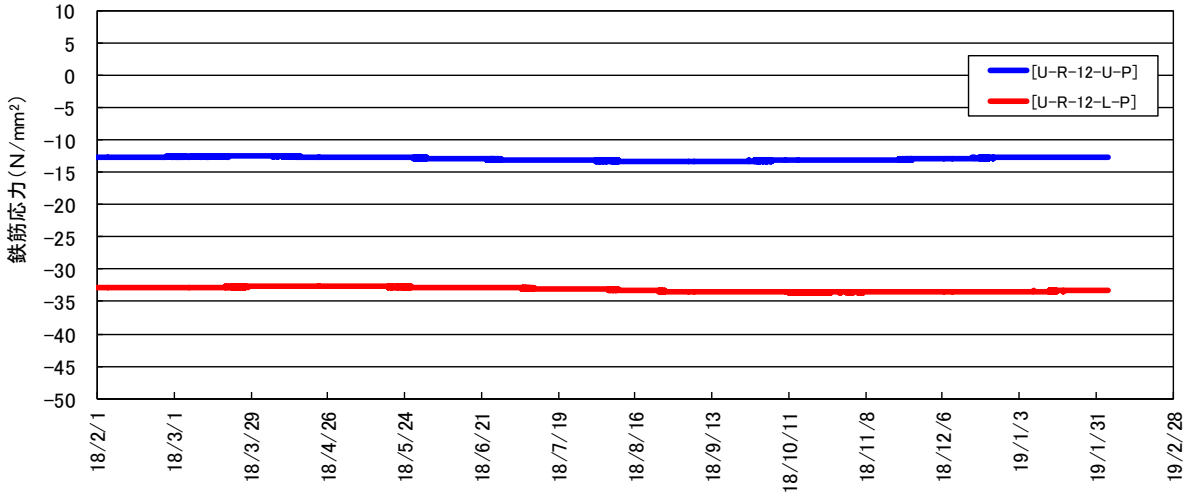
U-R-6-x-y

測定方向
H:空洞軸方向方向
P:鉛直方向

計器位置
U:部材外側
M: 〃 中央
L: 〃 内側

側部埋戻し材の鉛直方向鉄筋応力（C断面下）

＋:引張、－:圧縮



側部埋戻し材の鉛直方向鉄筋応力（F断面下）

＋:引張、－:圧縮

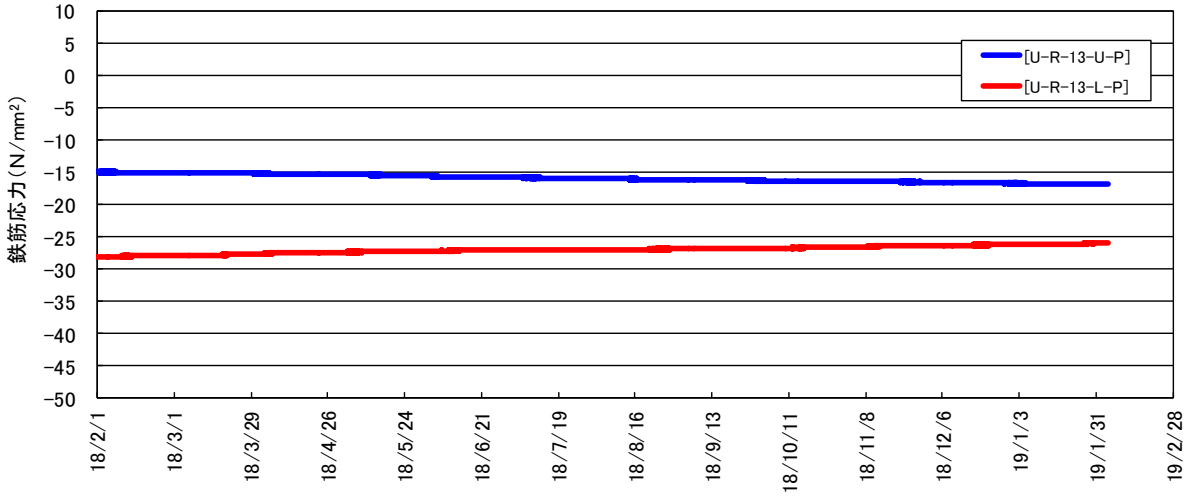
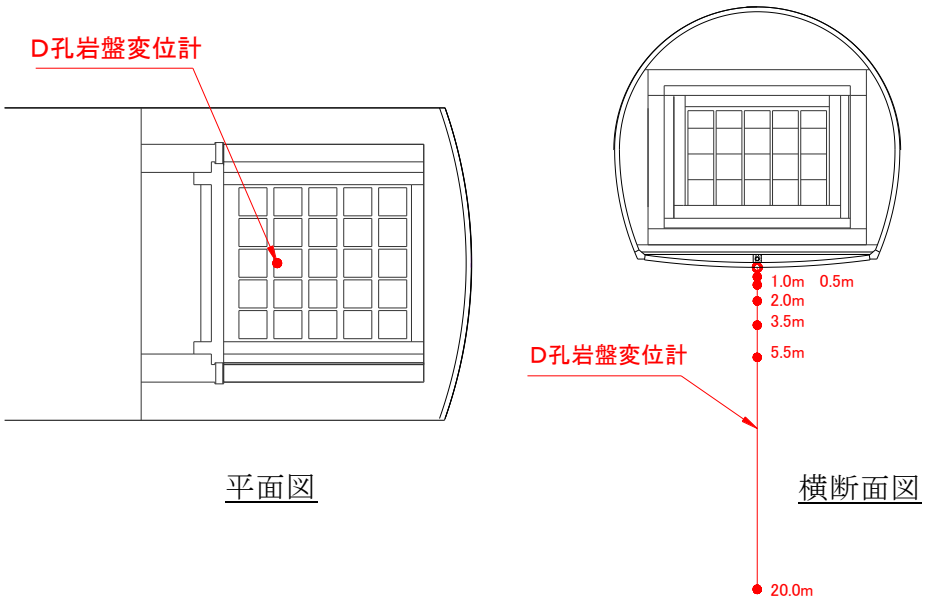


図 4.2-149 側部埋戻し材の鉄筋応力計測結果（4／4）

4.2.17　岩盤挙動計測結果

（1）岩盤変位計

岩盤変位計の経時変化を、図 4.2-150 に示す。



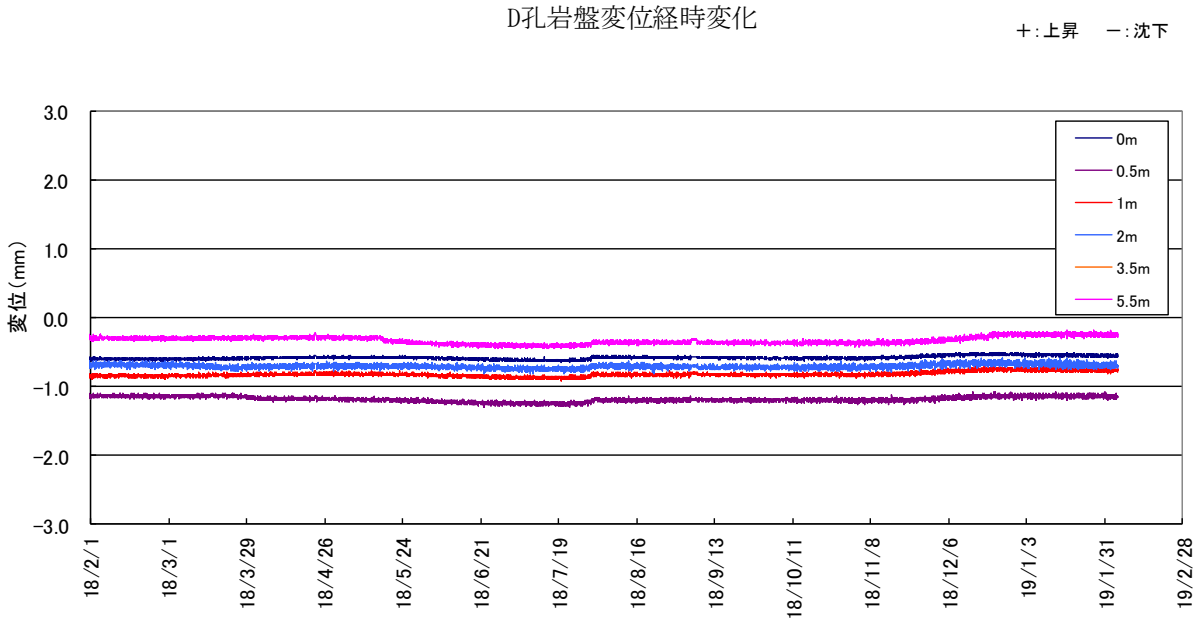
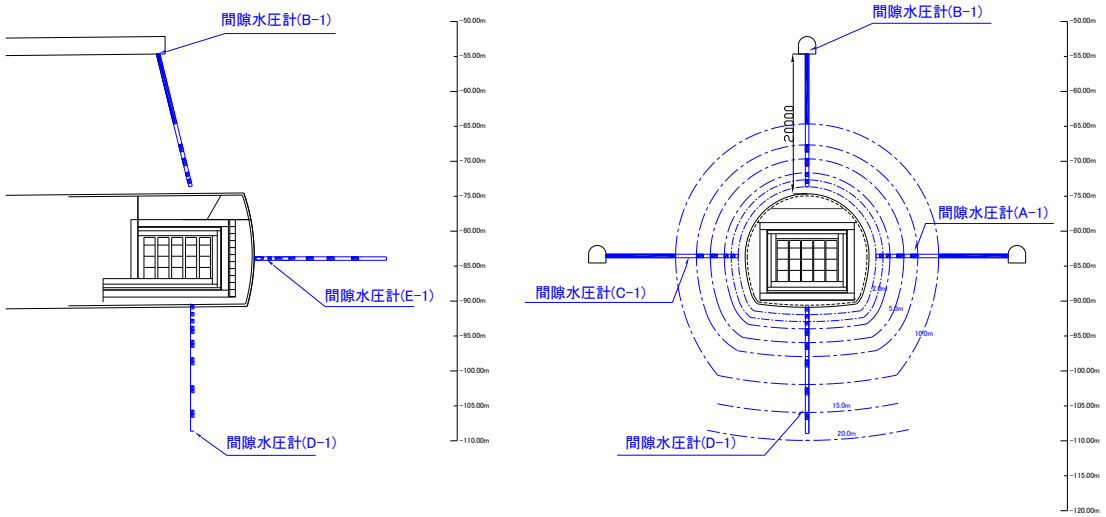


図 4.2-150　岩盤変位計測結果

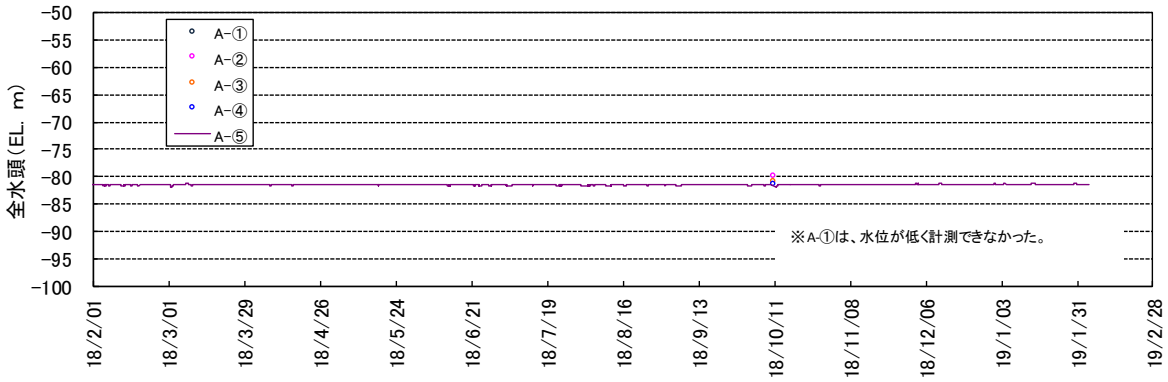
(2) 岩盤内間隙水圧計

岩盤内間隙水圧計の経時変化を、図 4.2-151～図 4.2-152 に示す。



（試験空洞縦断面図）　　（試験空洞横断面図）

A-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



B-1孔間隙水圧計経時変化グラフ

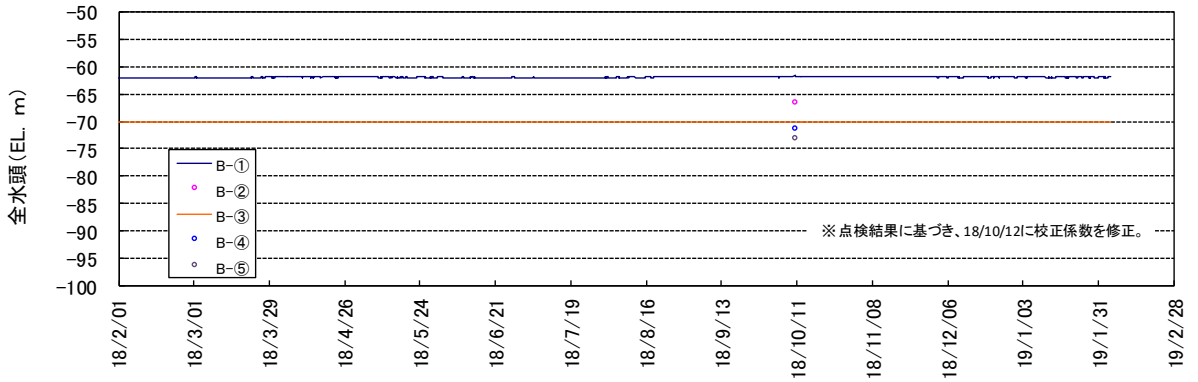
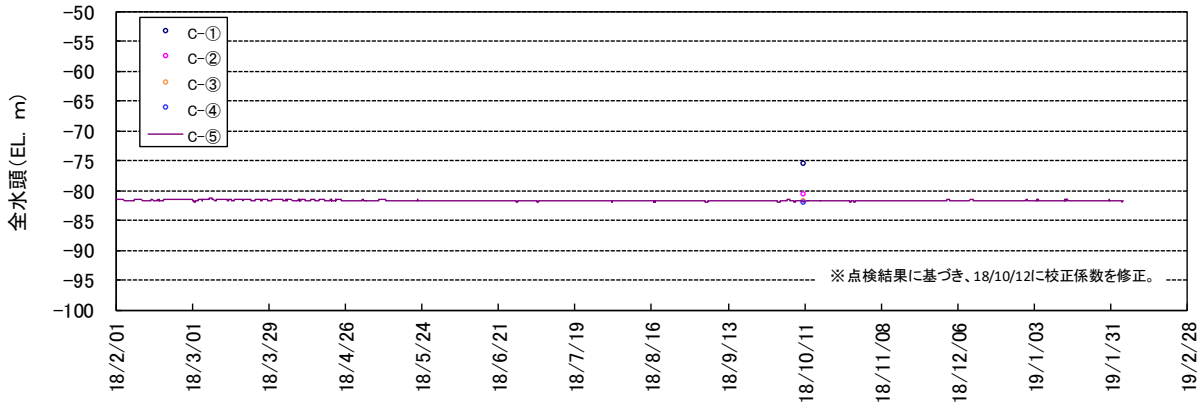
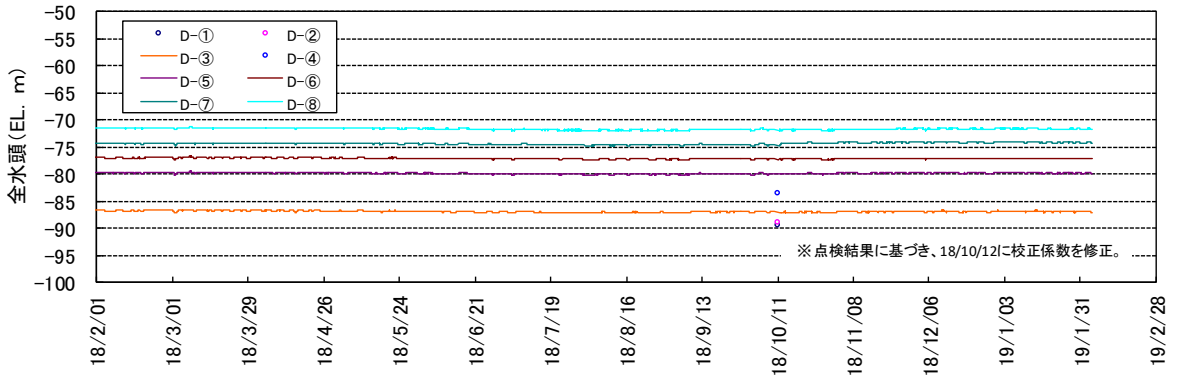


図 4.2-151　岩盤内間隙水圧計測結果（1／2）

C-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



D-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



E-1孔間隙水圧計経時変化グラフ

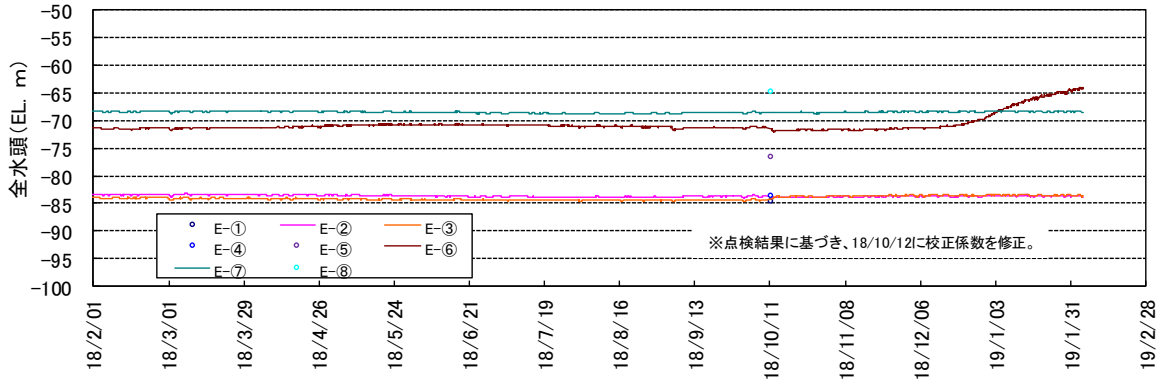


図 4.2-152　岩盤内間隙水圧計測結果（2／2）

添付資料５　地震動観測データ

添付資料5　地震動観測データ

地震計の計測一覧を表 5.1-1 に示す。今年度の観測を開始した 2018 年 4 月 1 日以降に観測された地震動一覧を、気象庁発表[1]の六ヶ所村尾駮観測点における情報も併せて表 5.1-2 に示す。

表 5.1-1　地震計計測一覧

計器種別	計器No.	設置位置	計測方向	計測開始日
地震計	地震計①	空洞底盤上	3方向 ・x方向（空洞軸方向） ・y方向（空洞横断方向） ・z方向（鉛直方向）	2013/10/23
	地震計②	底部コンクリートピット上		
	地震計③	手前部コンクリートピット上		

※地震観測のトリガ条件：マスタとするセンサ（地震計①）で、xyz 方向のいずれかが 1Gal 以上

表 5.1-2　地震動一覧

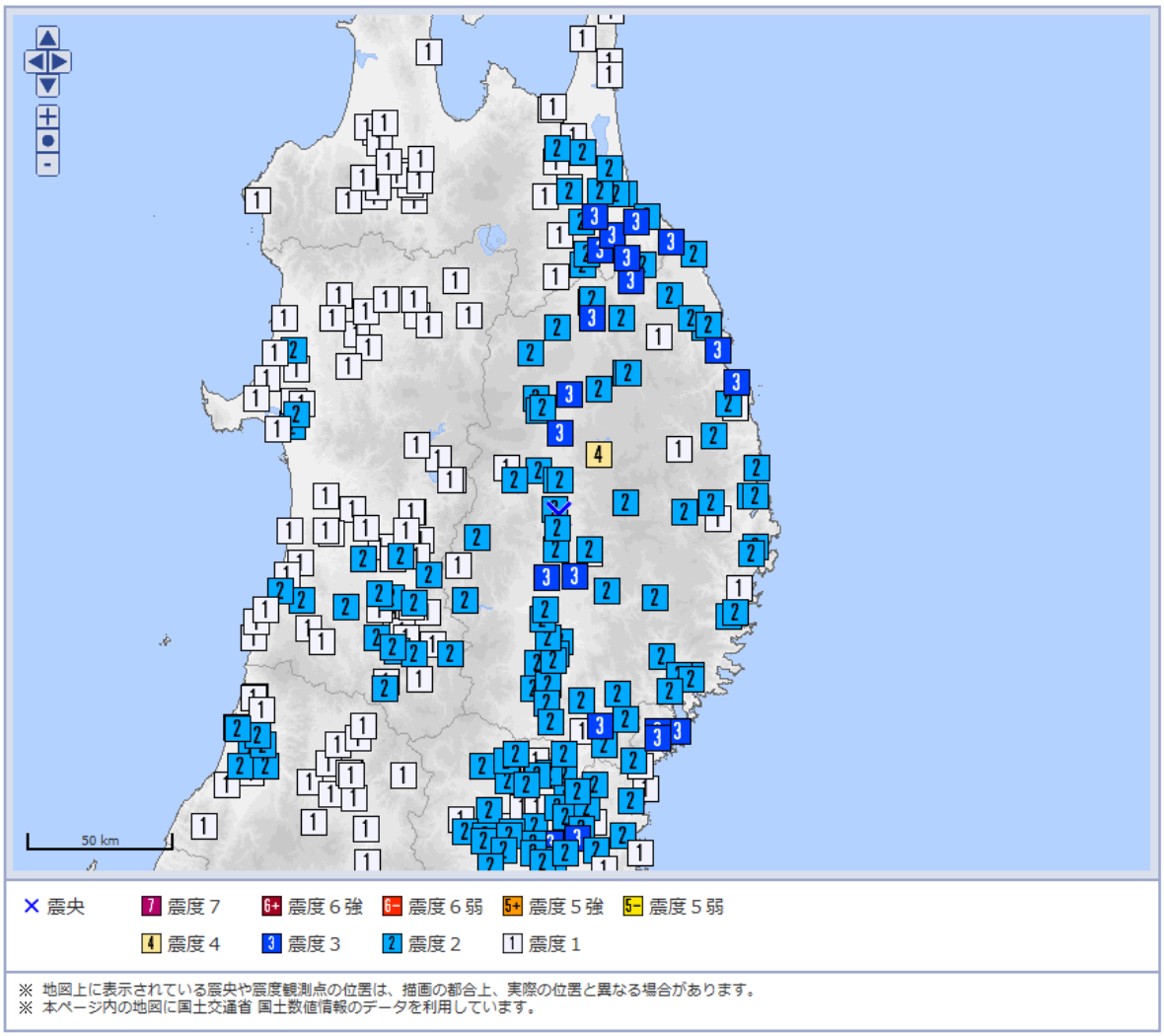
日　　時	震源地	マグニチュード	震源深さ	震源距離(六ヶ所村尾駮)	震度(六ヶ所村尾駮)	観測データ(試験空洞)
2018/05/07 05:00:48.4	岩手県内陸北部	M5.1	98km	182km	1	5.1　に記載
2018/05/14 19:31:17.7	岩手県沖	M5.1	29km	152km	1	5.2　に記載
2018/07/02 02:27:00.8	青森県東方沖	M4.9	64km	105km	2	5.3　に記載
2018/07/02 20:53:20.4	青森県東方沖	M5.0	39km	121km	1	5.4　に記載
2018/07/10 13:55:55.4	青森県東方沖	M4.9	68km	110km	2	5.5　に記載
2018/08/05 17:44:16.8	青森県東方沖	M4.2	62km	101km	2	5.6　に記載
2018/08/24 23:15:54.6	青森県東方沖	M5.1	32km	111km	1	5.7　に記載
2018/09/06 03:07:59.3	胆振地方中東部	M6.7	37km	201km	3	5.8　に記載
2018/09/06 06:11:29.7	胆振地方中東部	M5.4	38km	200km	1	5.9　に記載
2018/09/11 22:25:58.6	青森県東方沖	M5.0	47km	102km	1	5.10　に記載
2018/11/28 11:23:24.5	青森県東方沖	M5.7	11km	160km	1	5.11　に記載
2018/12/3 17:15:17.4	青森県東方沖	M4.6	87	88	1	5.12　に記載

5.1　2018 年 5 月 7 日

5.1.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.1-1 に示す。

震度分布図



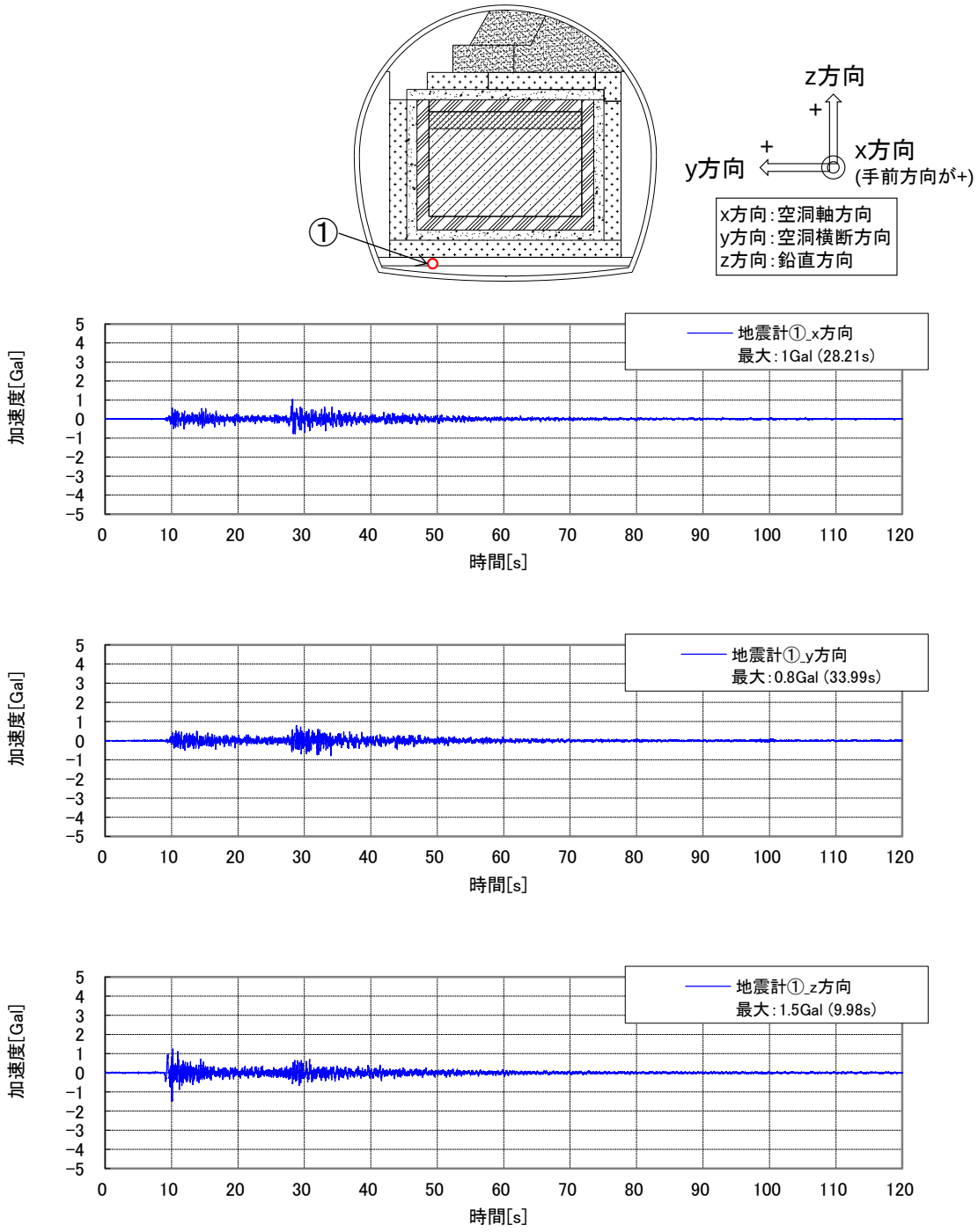
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/05/07　05:00:48.4	岩手県内陸北部	39°35.7′N	141°09.6′E	98km	M5.1	4

図 5.1-1　気象庁発表情報（2018 年 5 月 7 日）

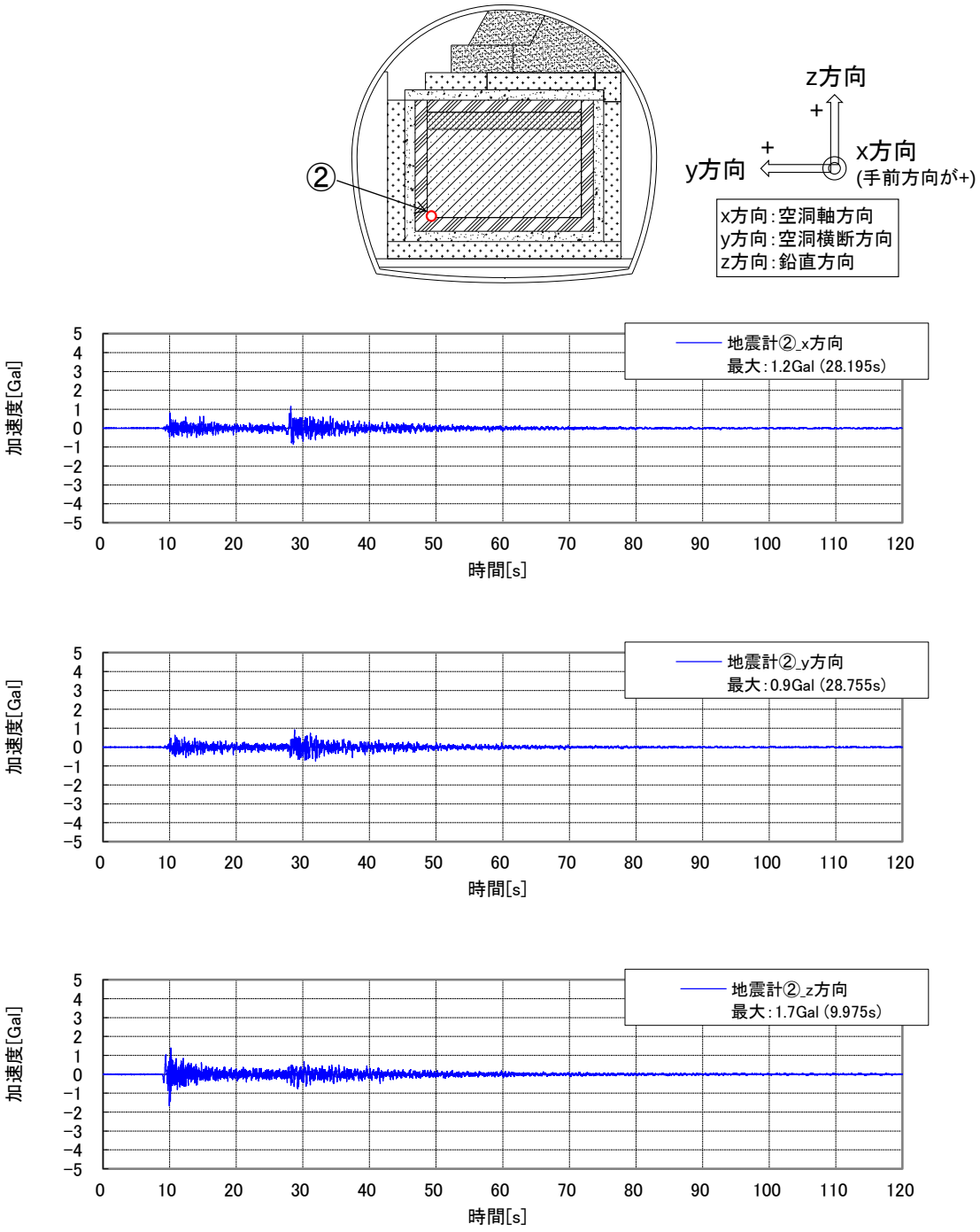
5.1.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.1-2～図 5.1-4 に示す。



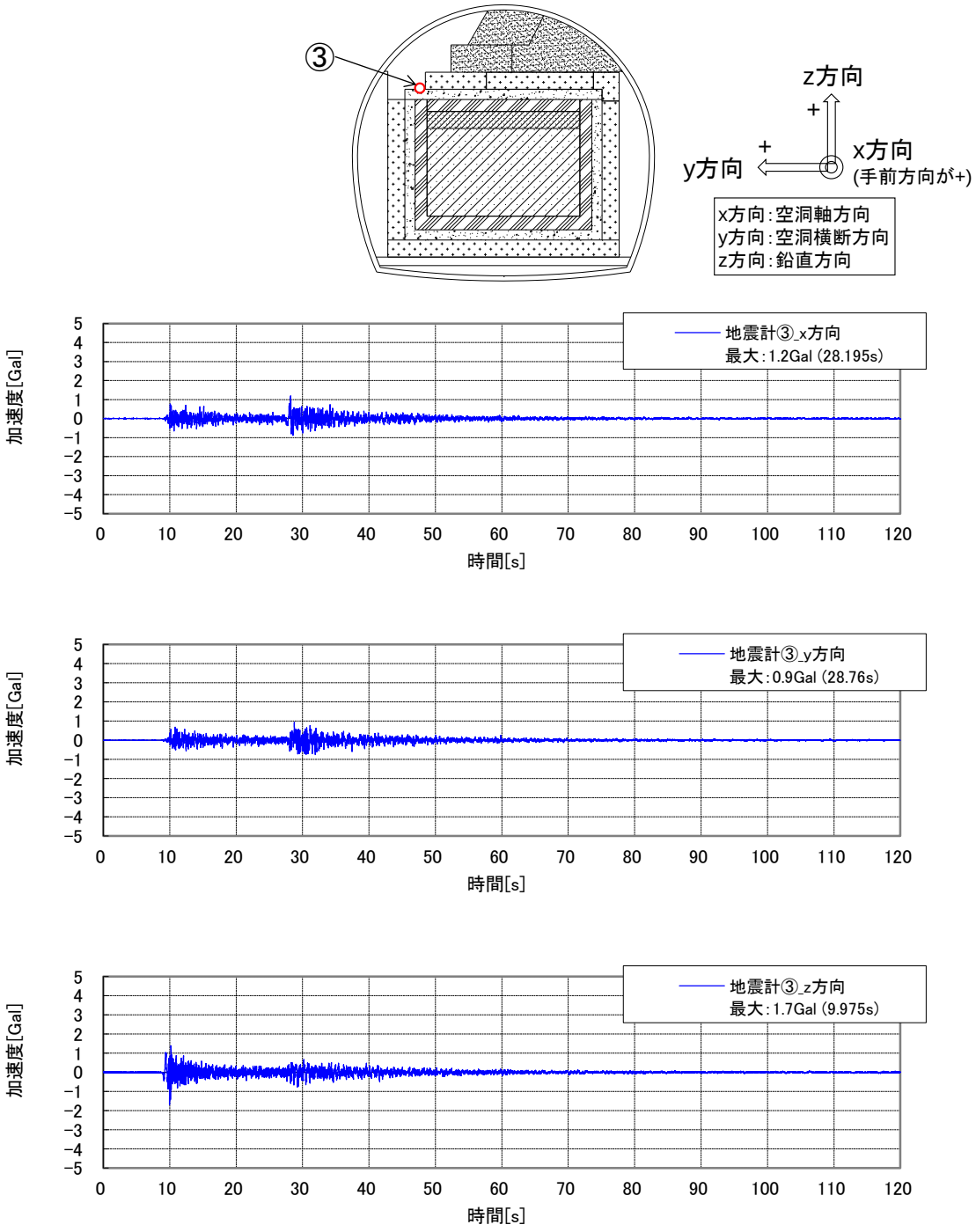
※上から x、y、z 方向

図 5.1-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 5 月 7 日）



※上から x、y、z 方向

図 5.1-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 5 月 7 日）



※上から x、y、z 方向

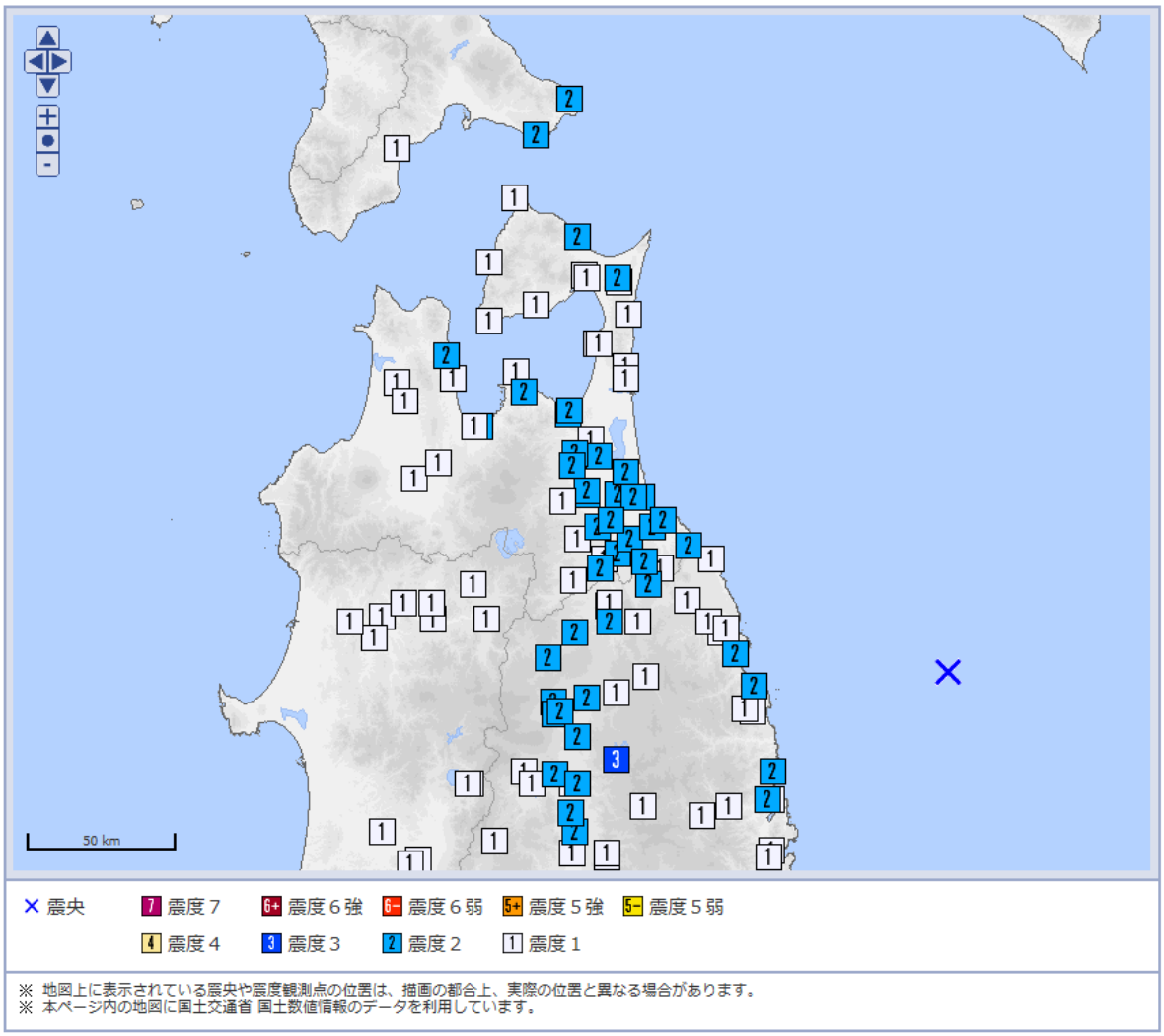
図 5.1-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 5 月 7 日）

5.2　2018 年 5 月 14 日

5.2.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.2-1 に示す。

震度分布図



※ 地図上に表示されている震央や震度観測点の位置は、描画の都合上、実際の位置と異なる場合があります。
※ 本ページ内の地図に国土交通省 国土数値情報のデータを利用しています。

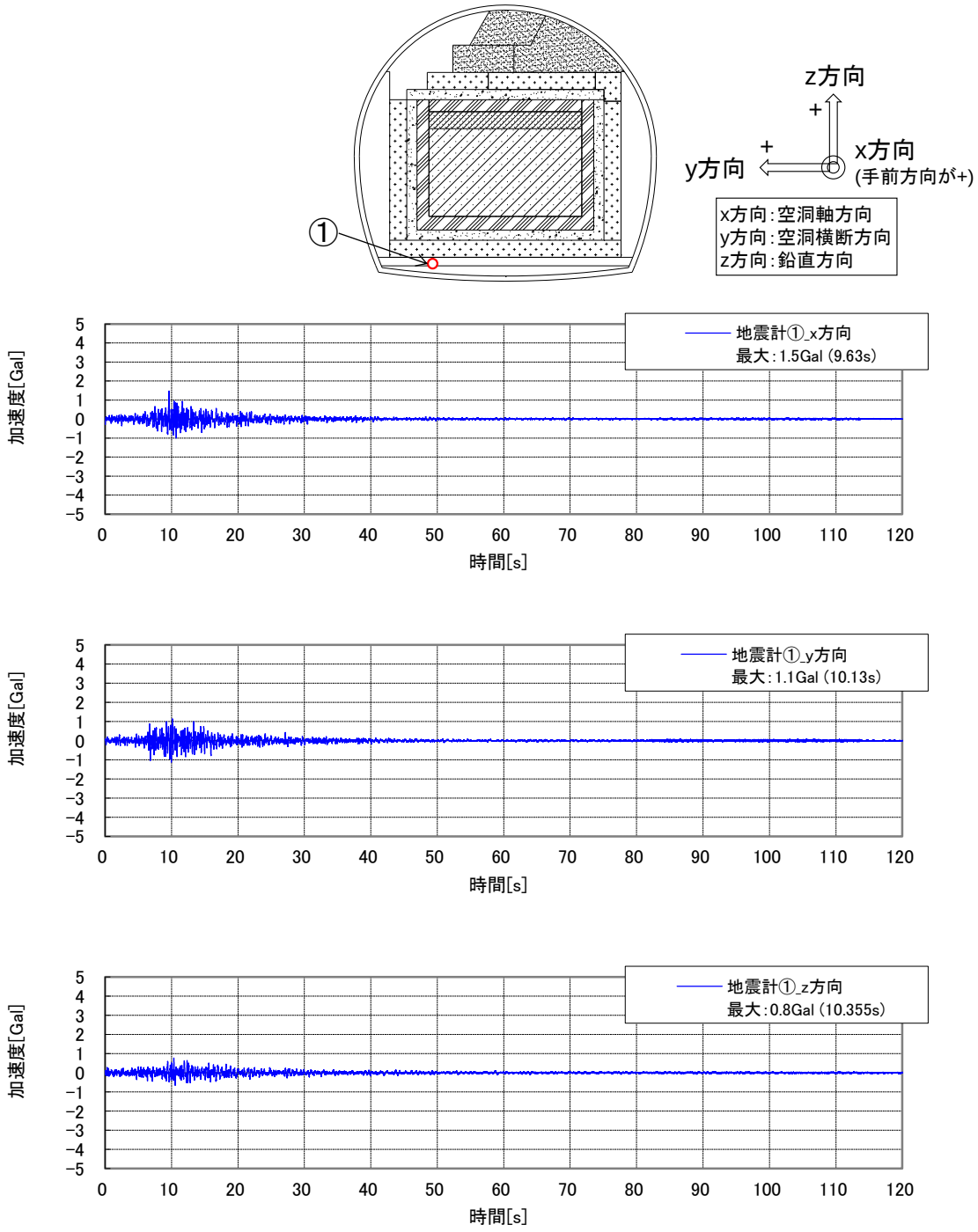
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/05/14　19:31:17.7	岩手県沖	40°03.5′N	142°41.1′E	29km	M5.1	3

図 5.2-1　気象庁発表情報（2018 年 5 月 14 日）

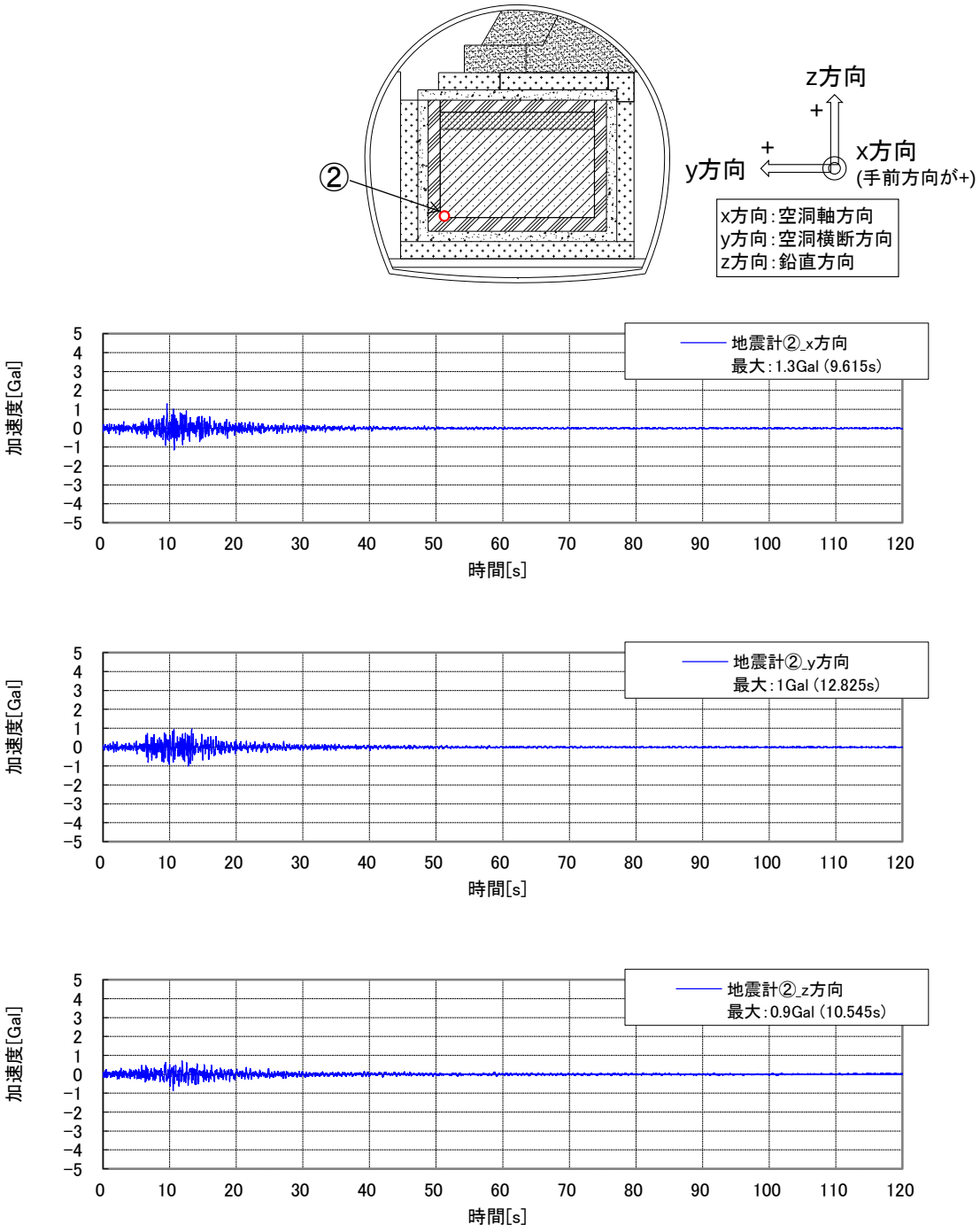
5.2.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.2-2～図 5.2-4 に示す。



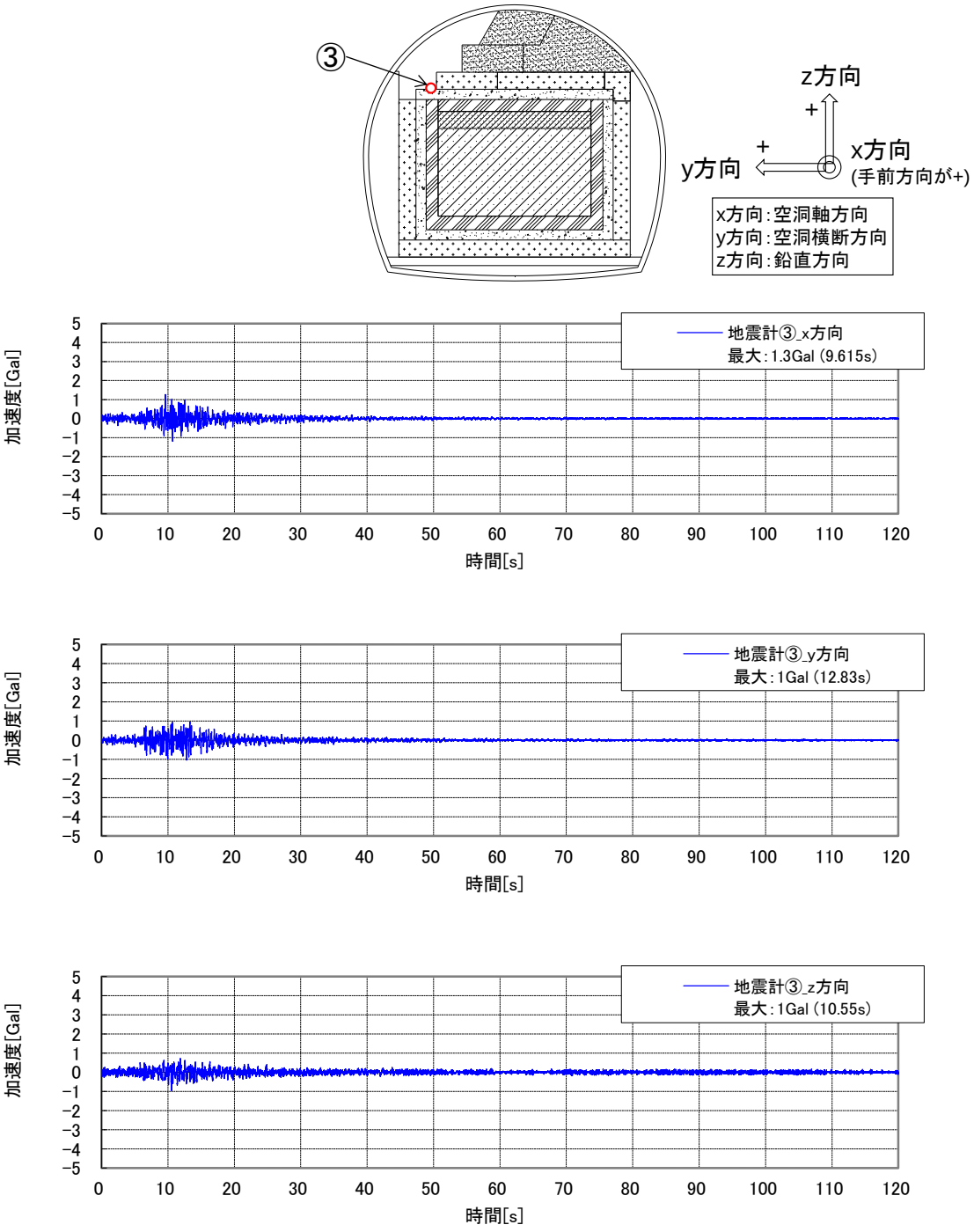
※上から x、y、z 方向

図 5.2-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 5 月 14 日）



※上から x、y、z 方向

図 5.2-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 5 月 14 日）



※上から x、y、z 方向

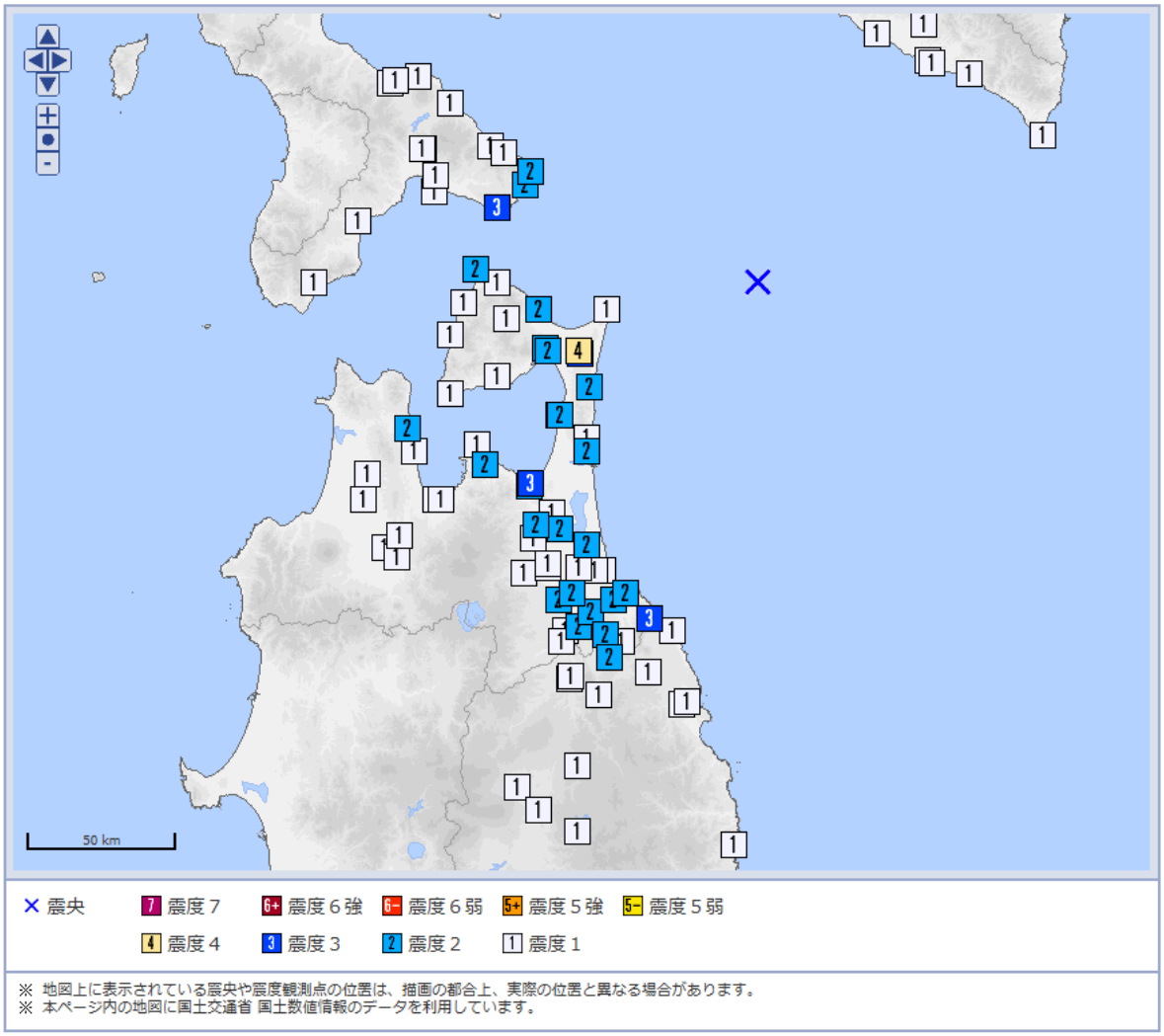
図 5.2-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 5 月 14 日）

5.3　2018 年 7 月 2 日（1）

5.3.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.3-1 に示す。

震度分布図



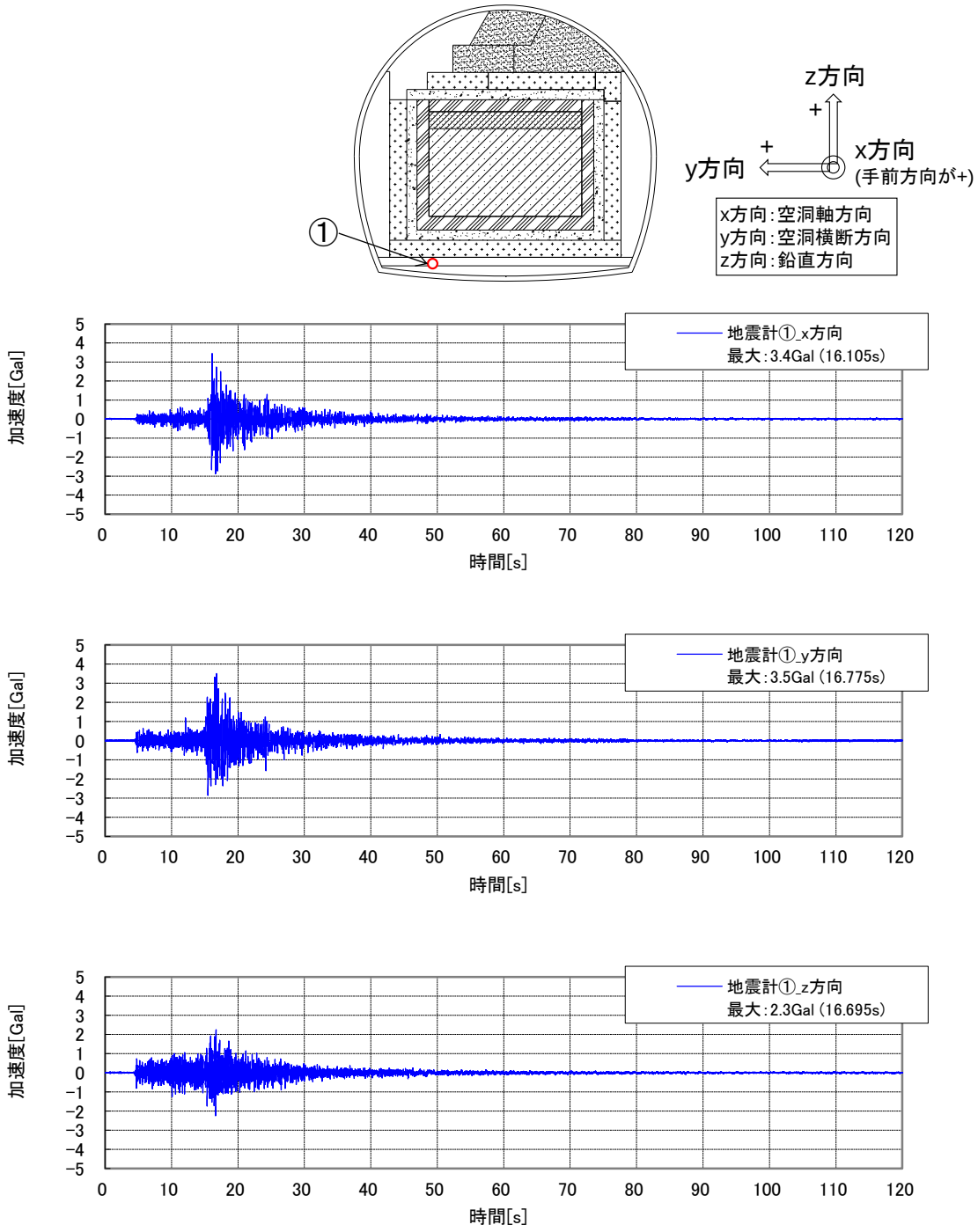
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/07/02　02:27:00.8	青森県東方沖	41°29.6′N	142°03.8′E	64km	M4.9	4

図 5.3-1　気象庁発表情報（2018 年 7 月 2 日（1））

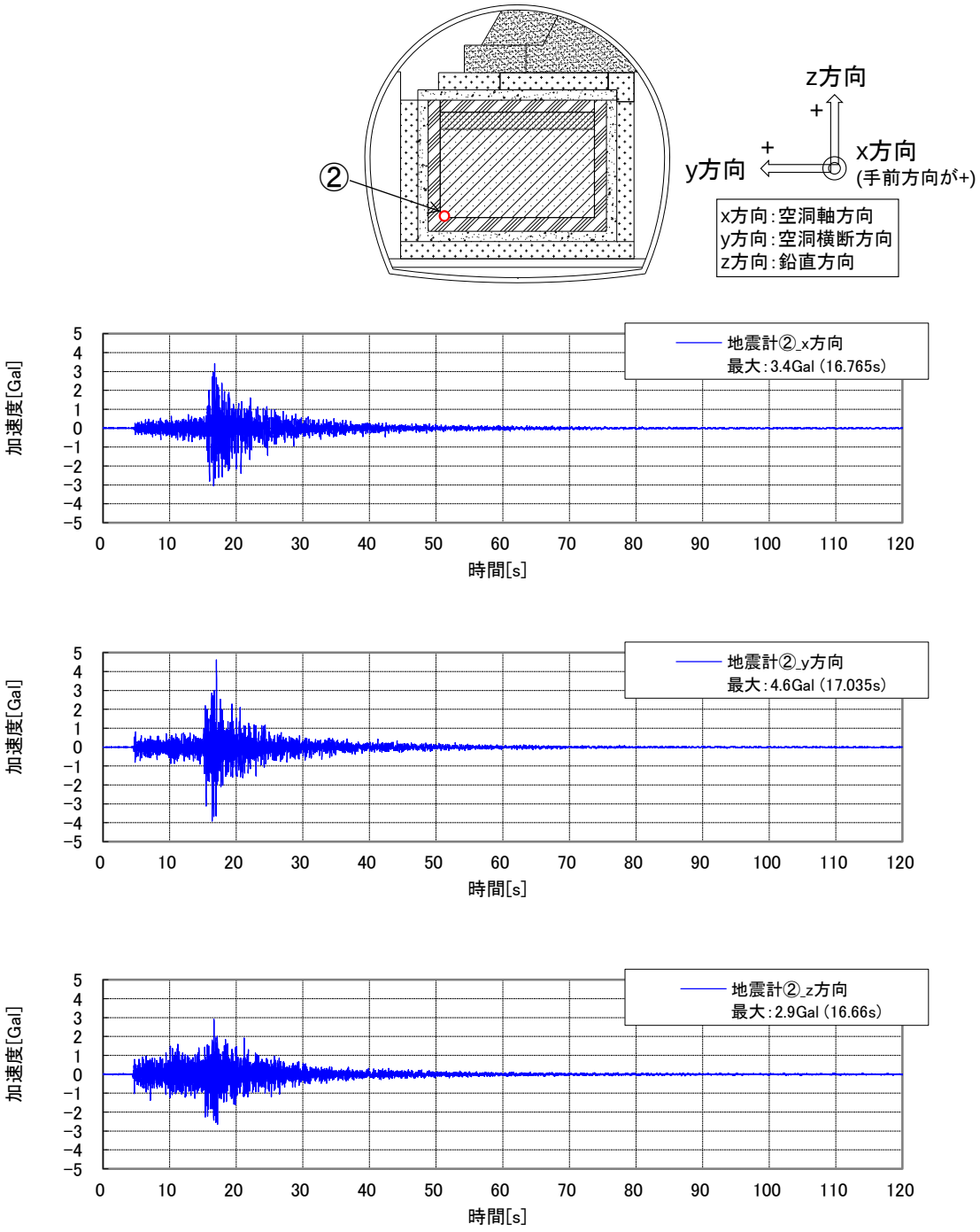
5.3.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.3-2～図 5.3-4 に示す。



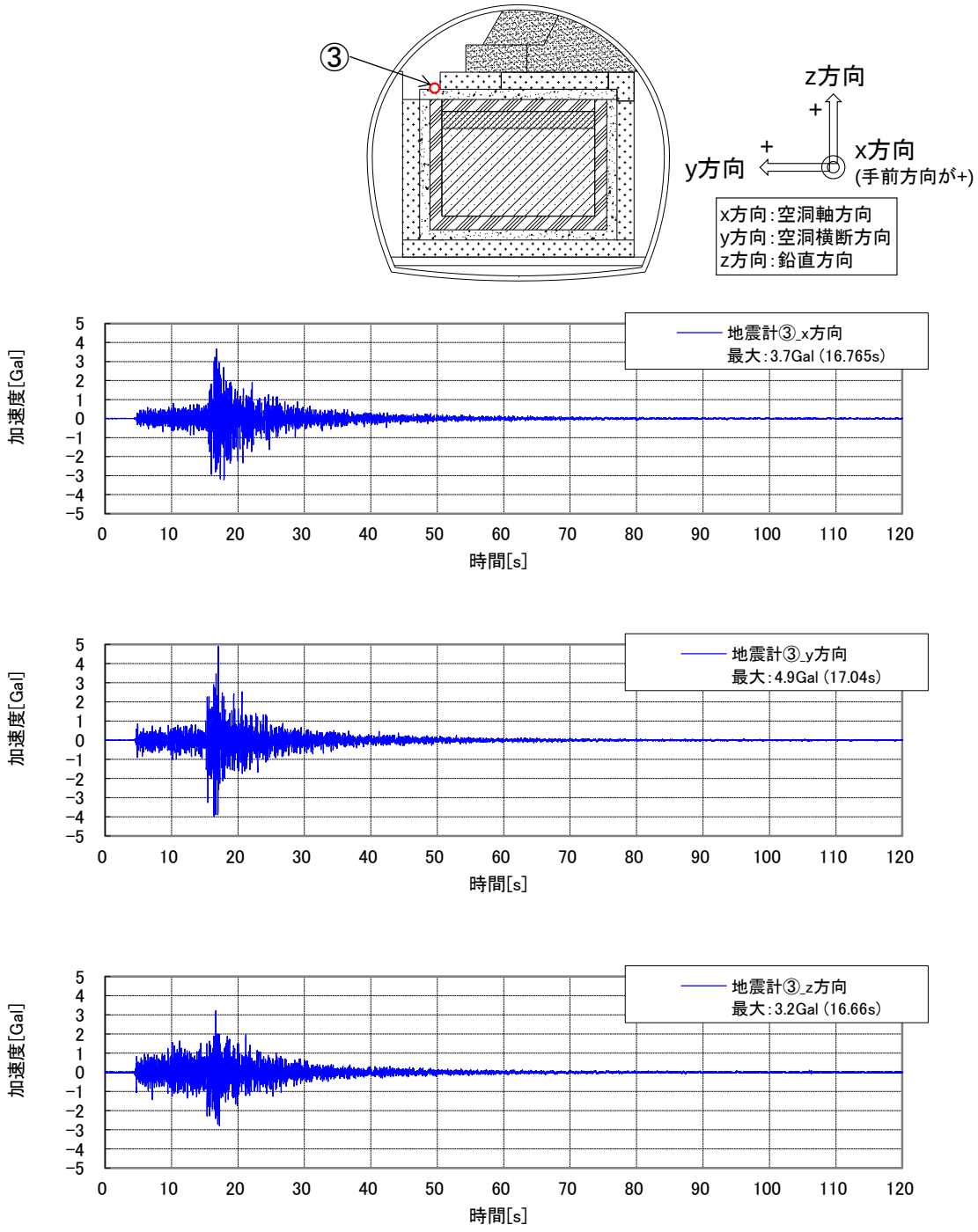
※上から x、y、z 方向

図 5.3-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（1））



※上から x、y、z 方向

図 5.3-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（1））



※上から x、y、z 方向

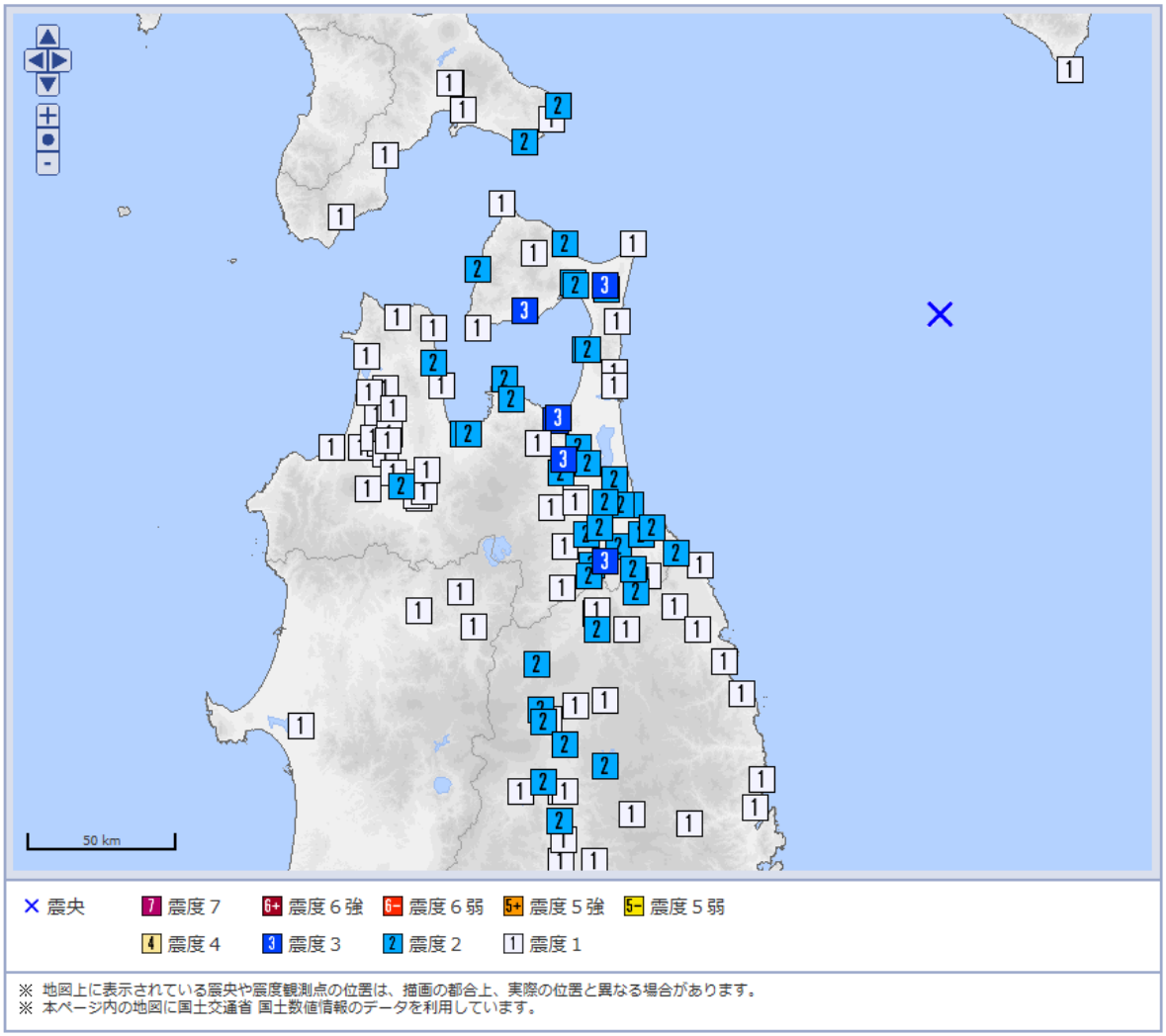
図 5.3-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（1））

5.4　2018 年 7 月 2 日（2）

5.4.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.4-1 に示す。

震度分布図



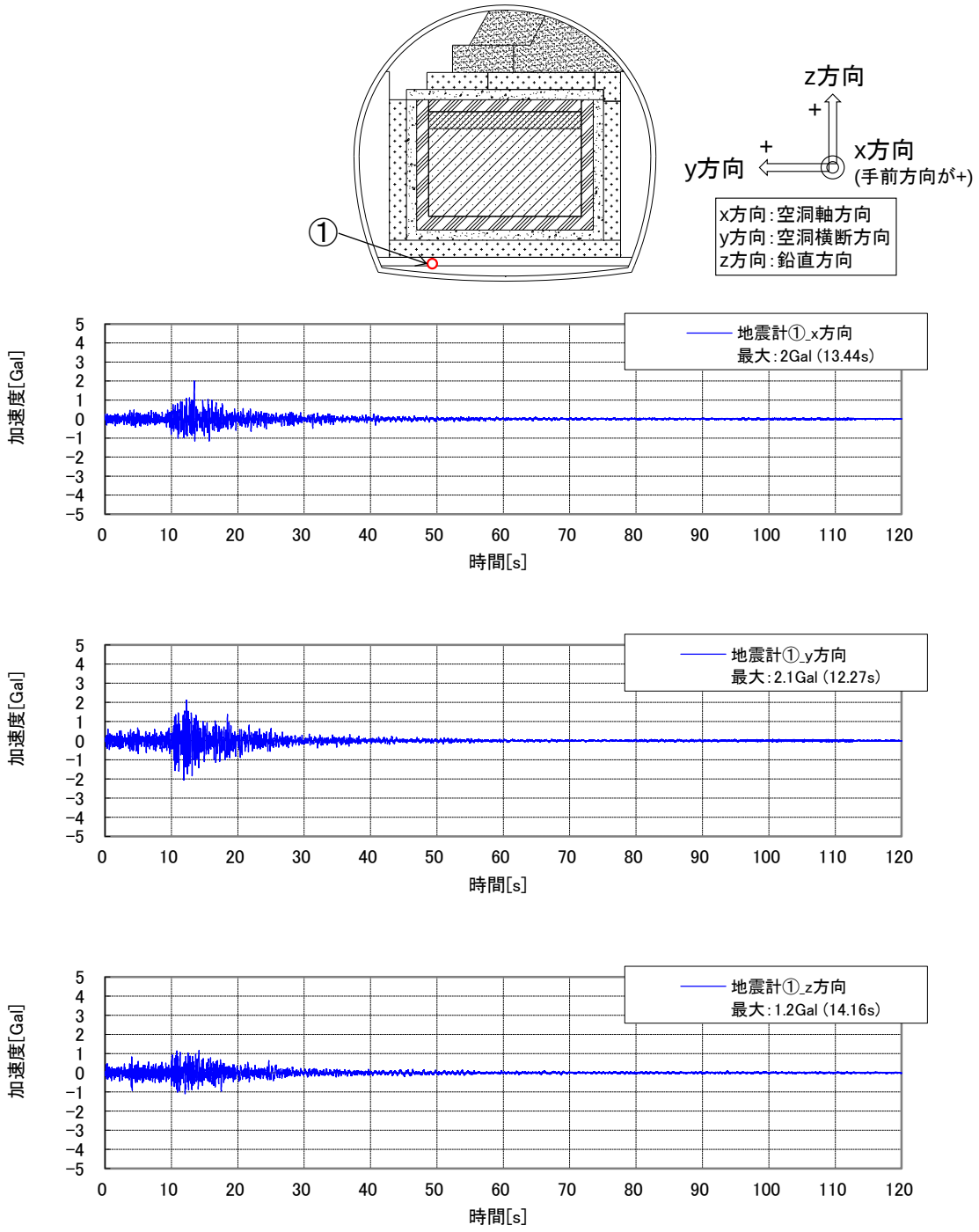
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/07/02　20:53:20.4	青森県東方沖	41°11.7′N	142°42.0′E	39km	M5.0	3

図 5.4-1　気象庁発表情報（2018 年 7 月 2 日（2））

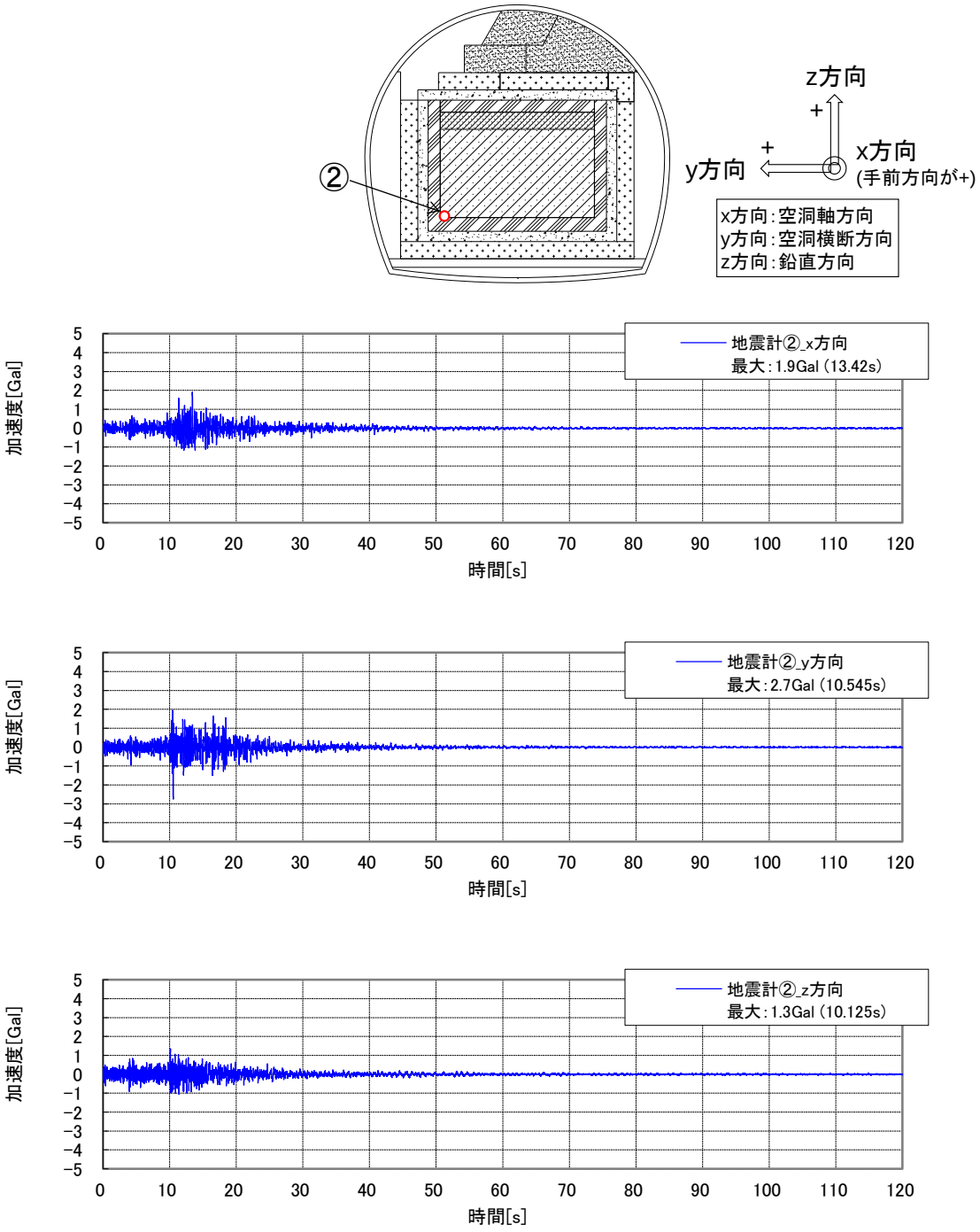
5.4.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.4-2～図 5.4-4 に示す。



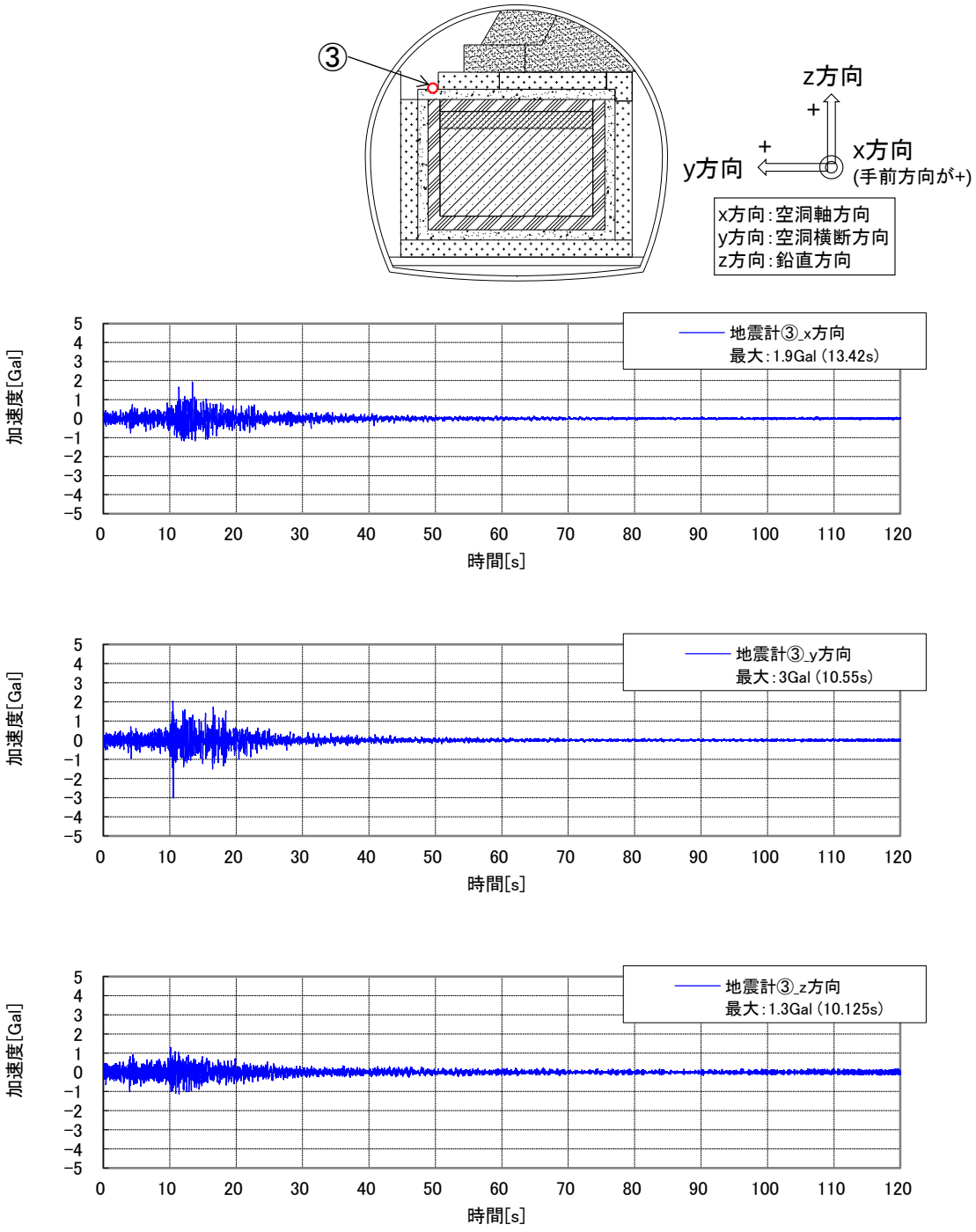
※上から x、y、z 方向

図 5.4-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（2））



※上から x、y、z 方向

図 5.4-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（2））



※上から x、y、z 方向

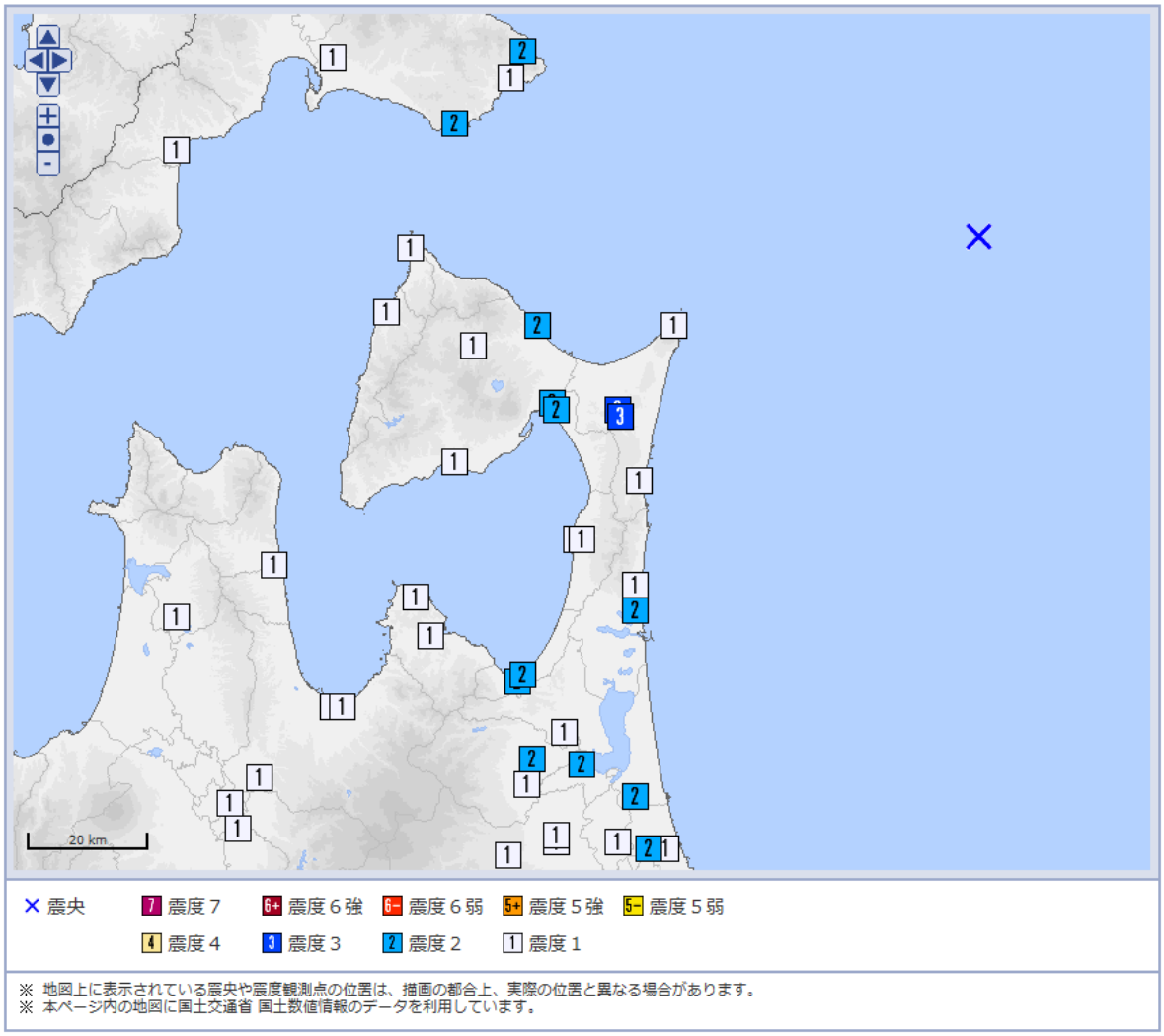
図 5.4-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 7 月 2 日（2））

5.5　2018 年 7 月 10 日

5.5.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.5-1 に示す。

震度分布図



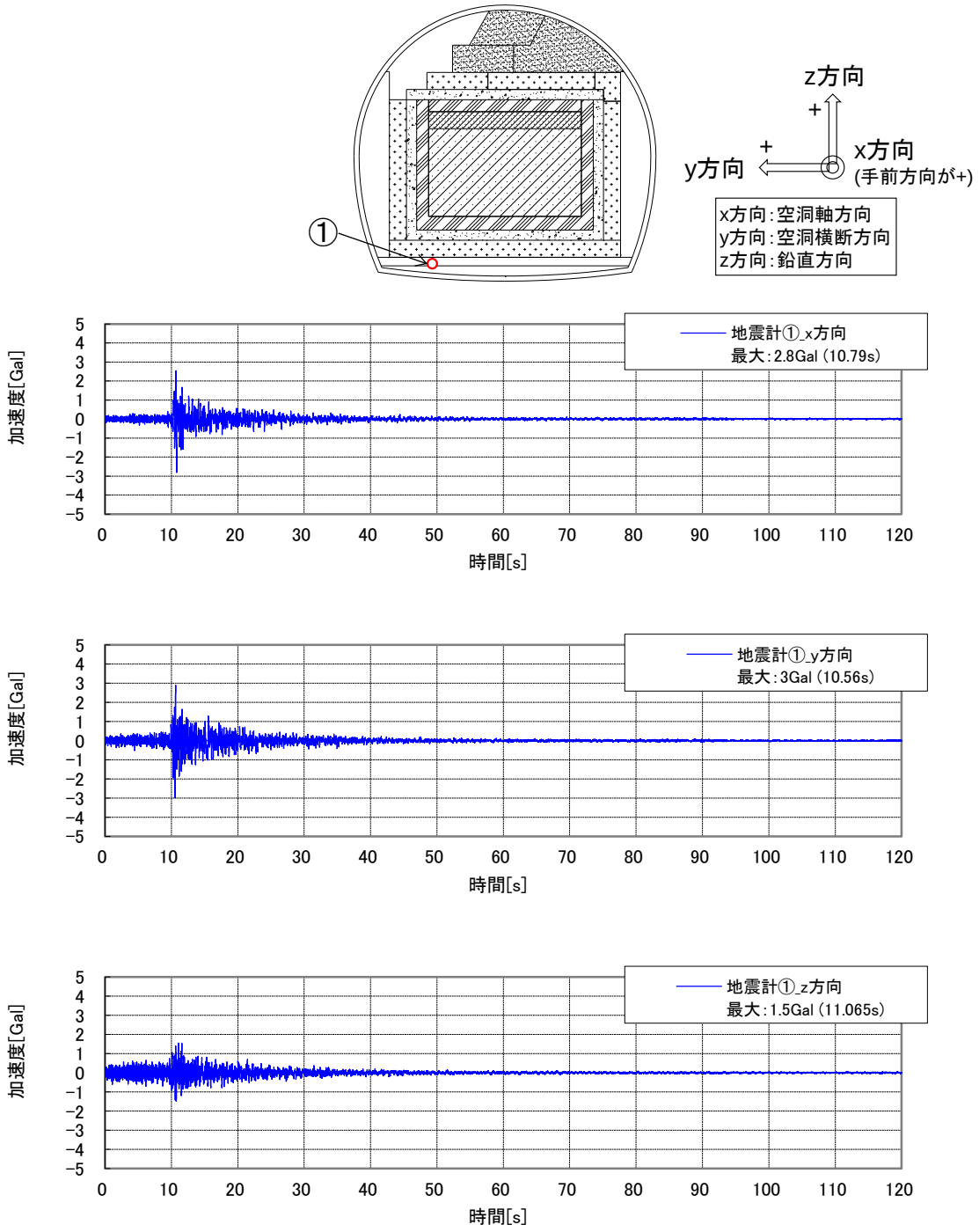
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/07/10　13:55:55.4	青森県東方沖	41°32.9′N	142°04.4′E	68km	M4.9	3

図 5.5-1　気象庁発表情報（2018 年 7 月 10 日）

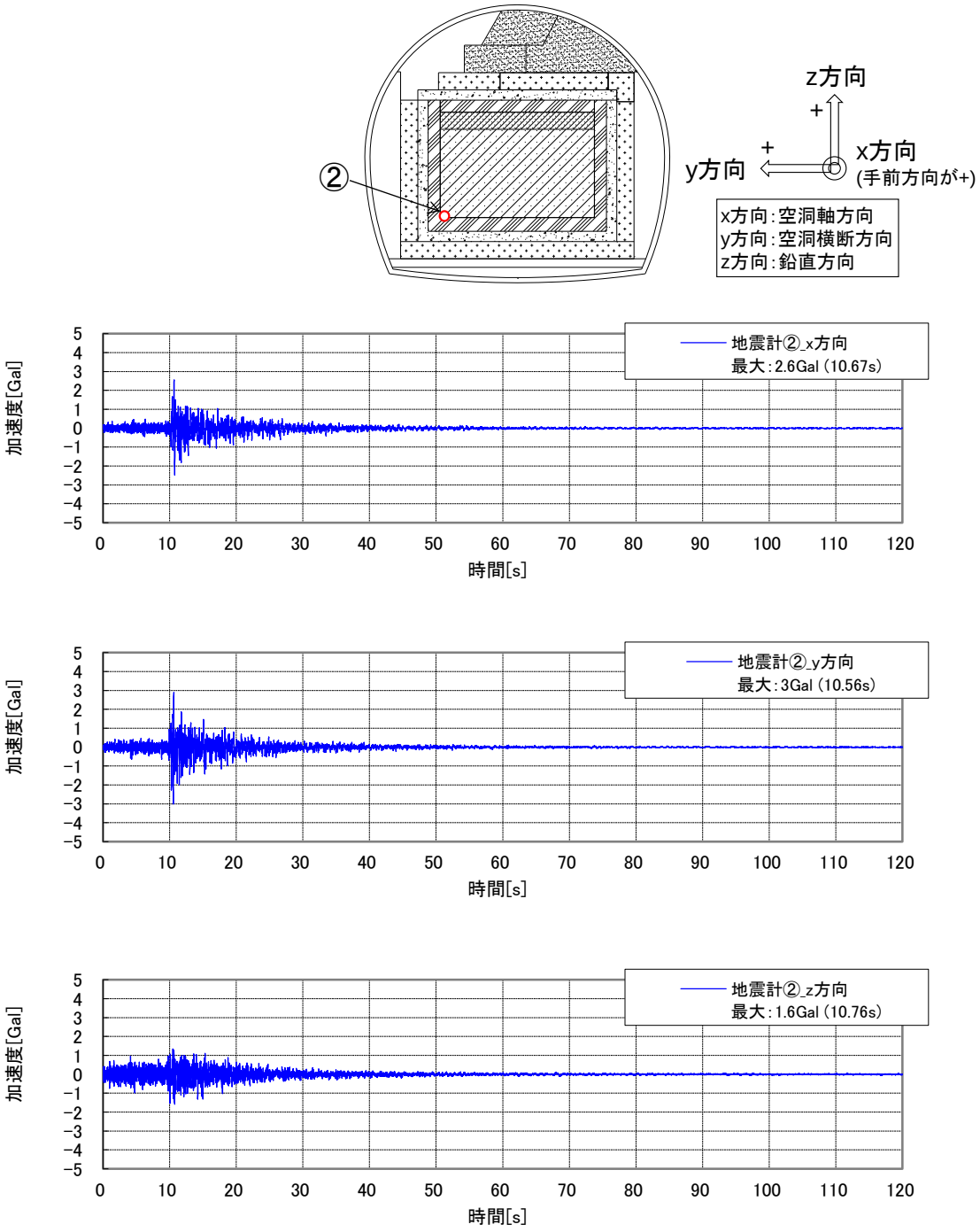
5.5.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.5-2～図 5.5-4 に示す。



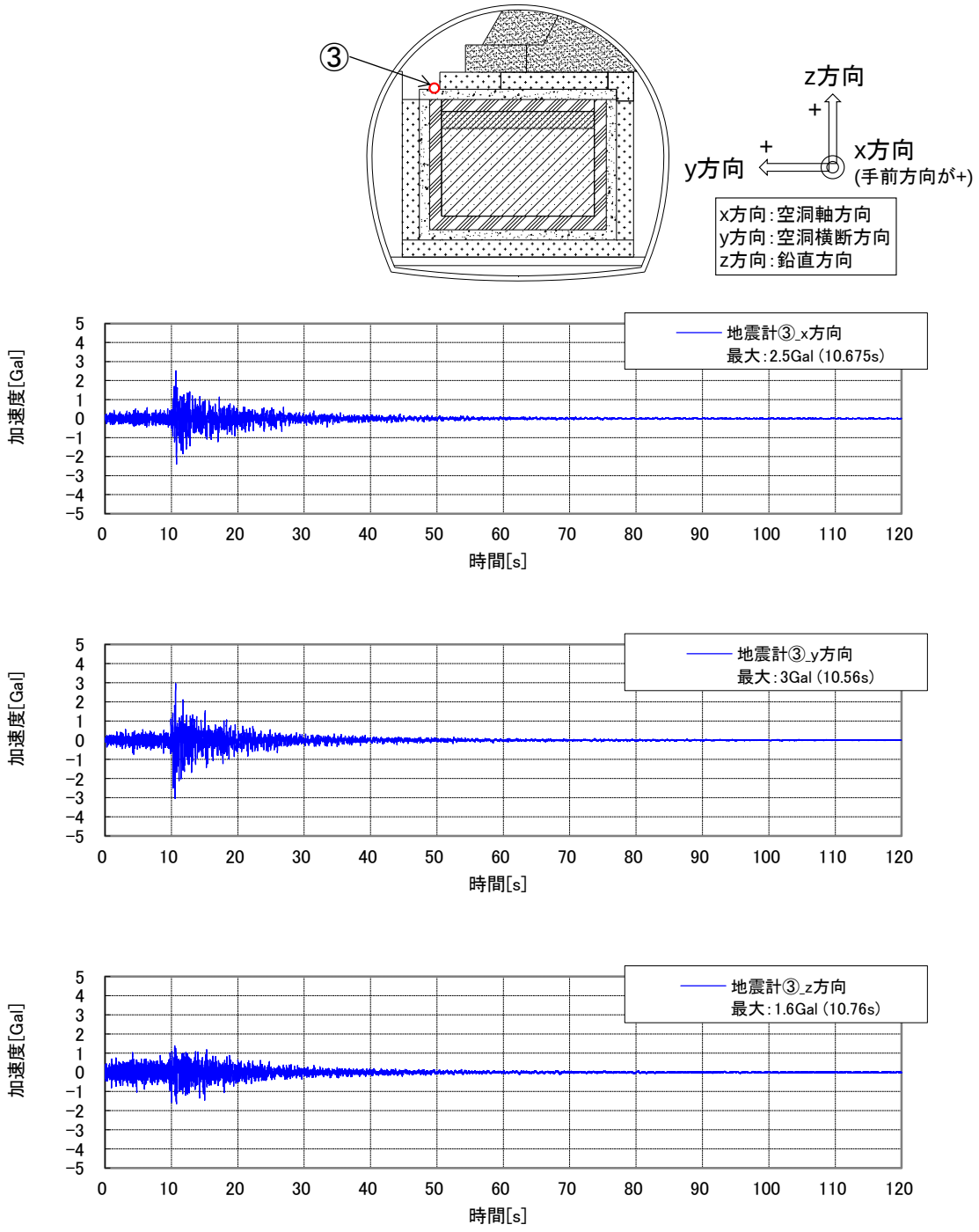
※上から x、y、z 方向

図 5.5-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 7 月 10 日）



※上から x、y、z 方向

図 5.5-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 7 月 10 日）



※上から x、y、z 方向

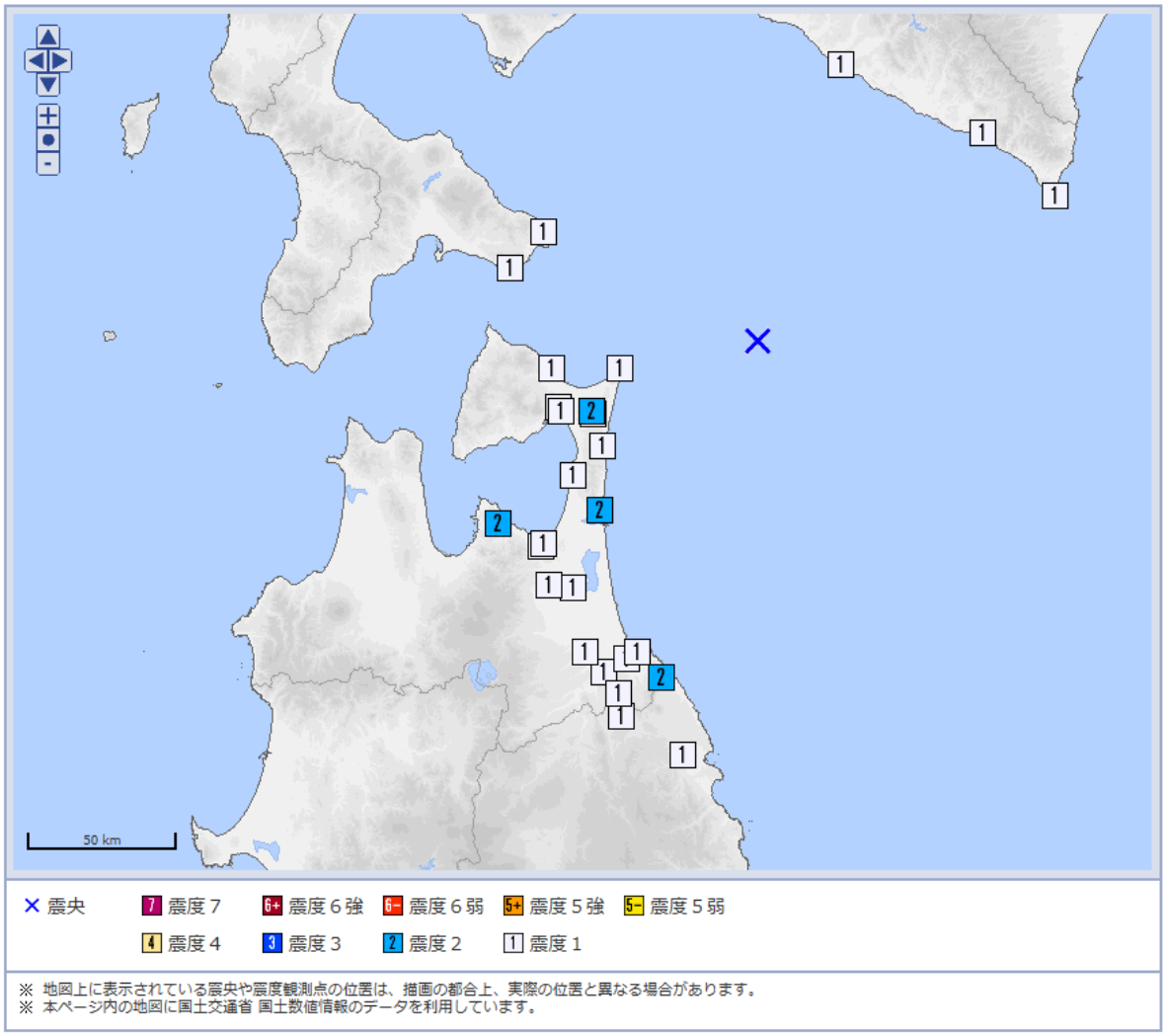
図 5.5-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 7 月 10 日）

5.6　2018 年 8 月 5 日

5.6.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.6-1 に示す。

震度分布図



※ 地図上に表示されている震央や震度観測点の位置は、描画の都合上、実際の位置と異なる場合があります。
※ 本ページ内の地図に国土交通省 国土数値情報のデータを利用しています。

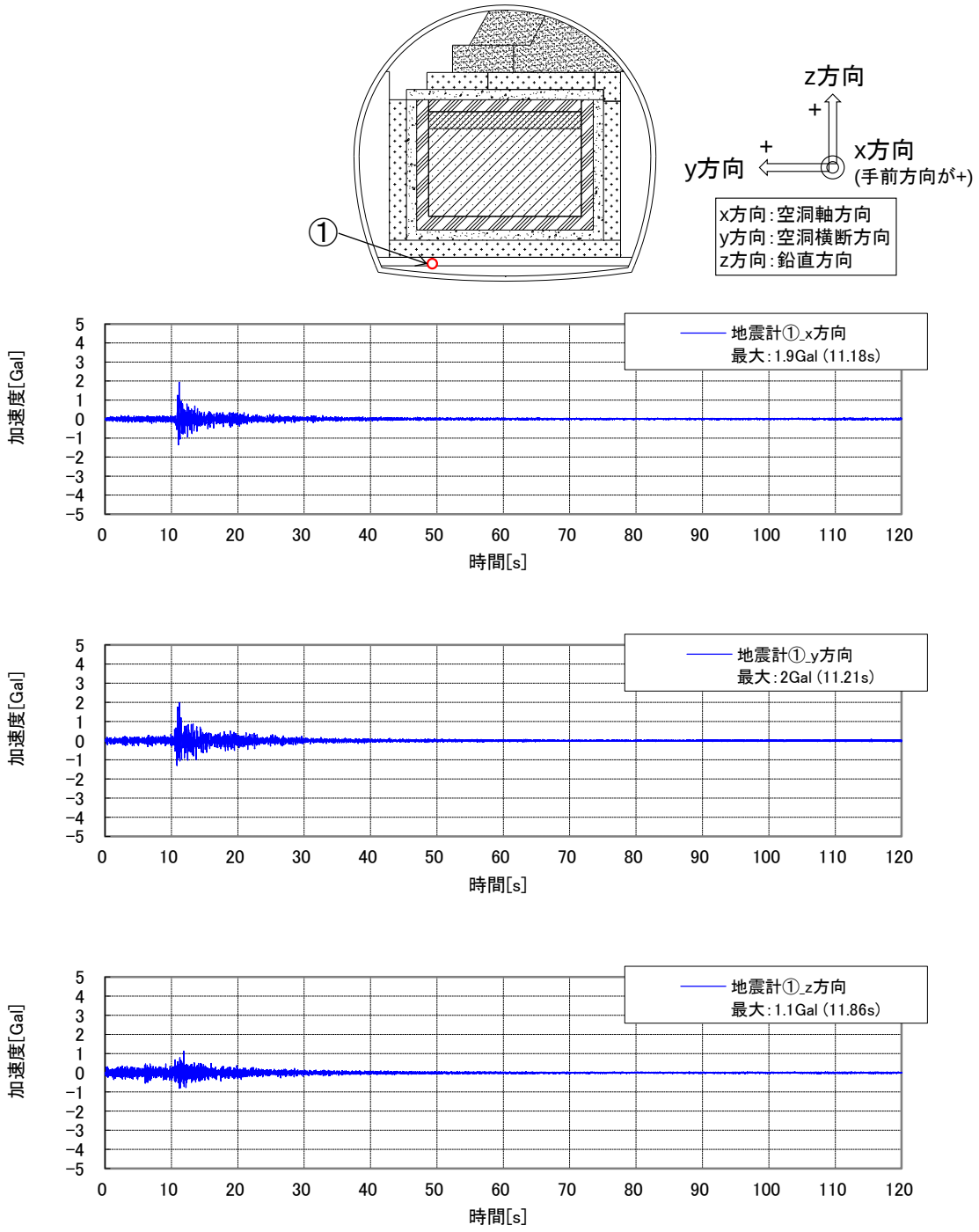
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/08/05　17:44:16.8	青森県東方沖	41°29.8′N	142°00.7′E	62km	M4.2	2

図 5.6-1　気象庁発表情報（2018 年 8 月 5 日）

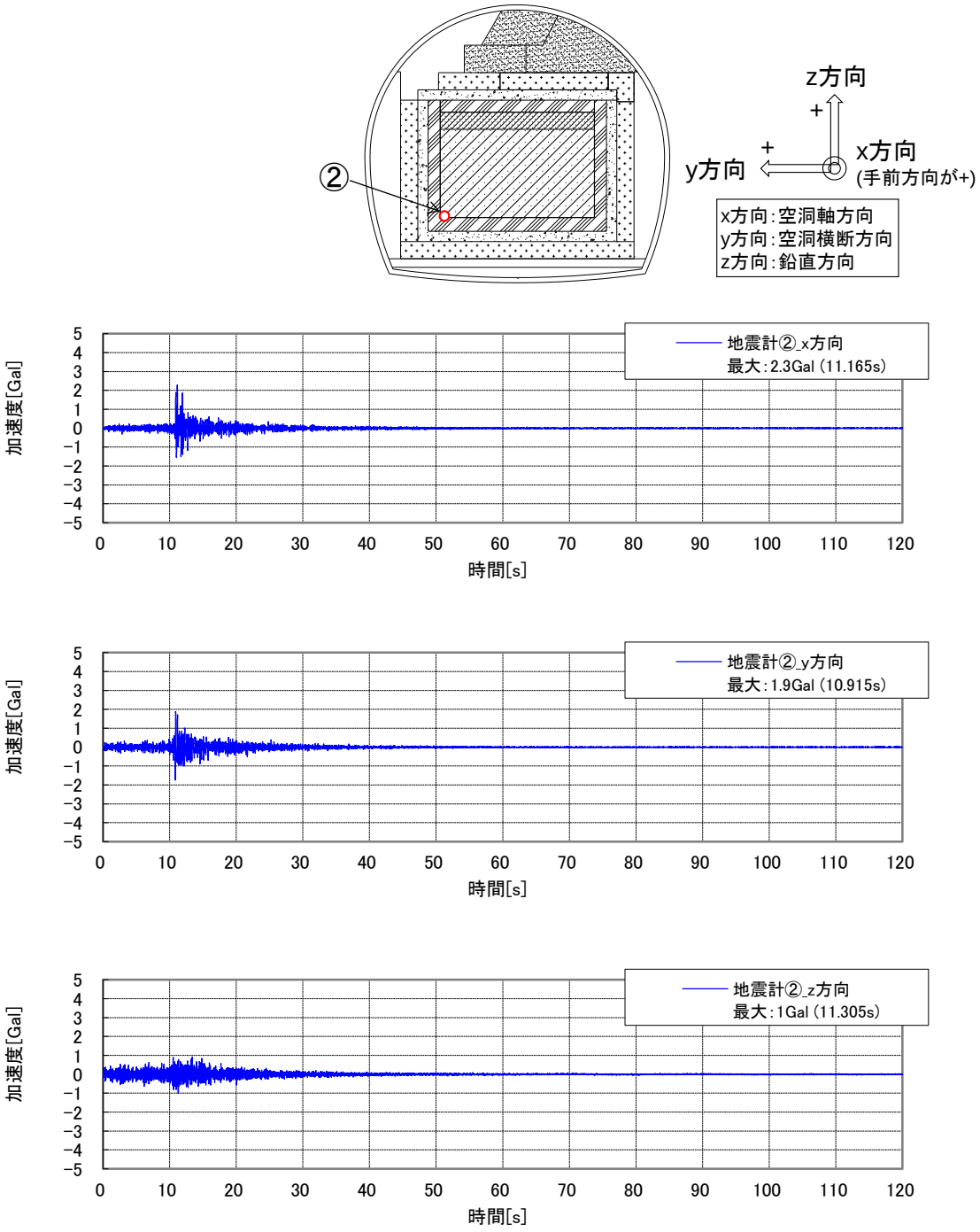
5.6.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.6-2～図 5.6-4 に示す。



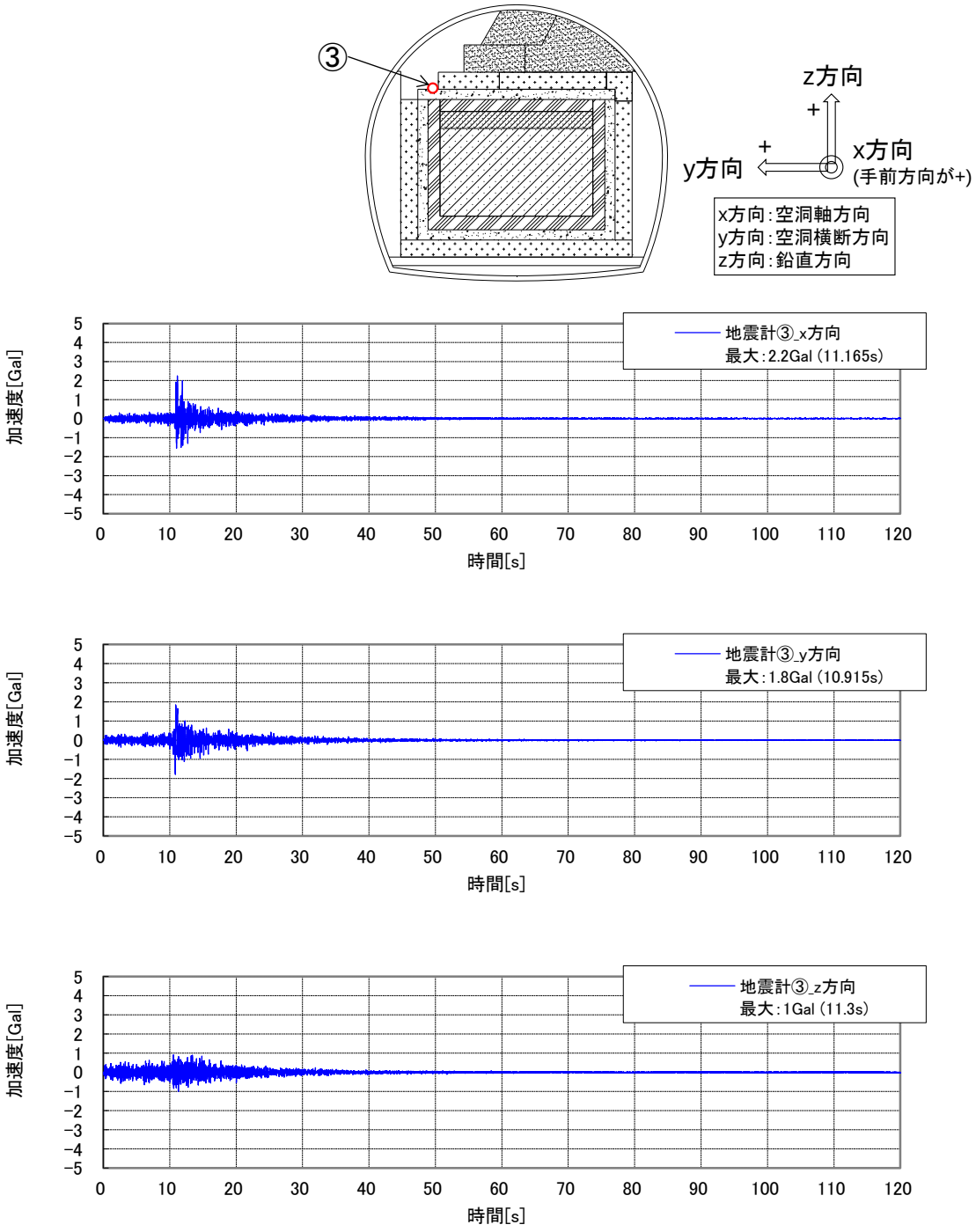
※上から x、y、z 方向

図 5.6-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 8 月 5 日）



※上から x、y、z 方向

図 5.6-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 8 月 5 日）



※上から x、y、z 方向

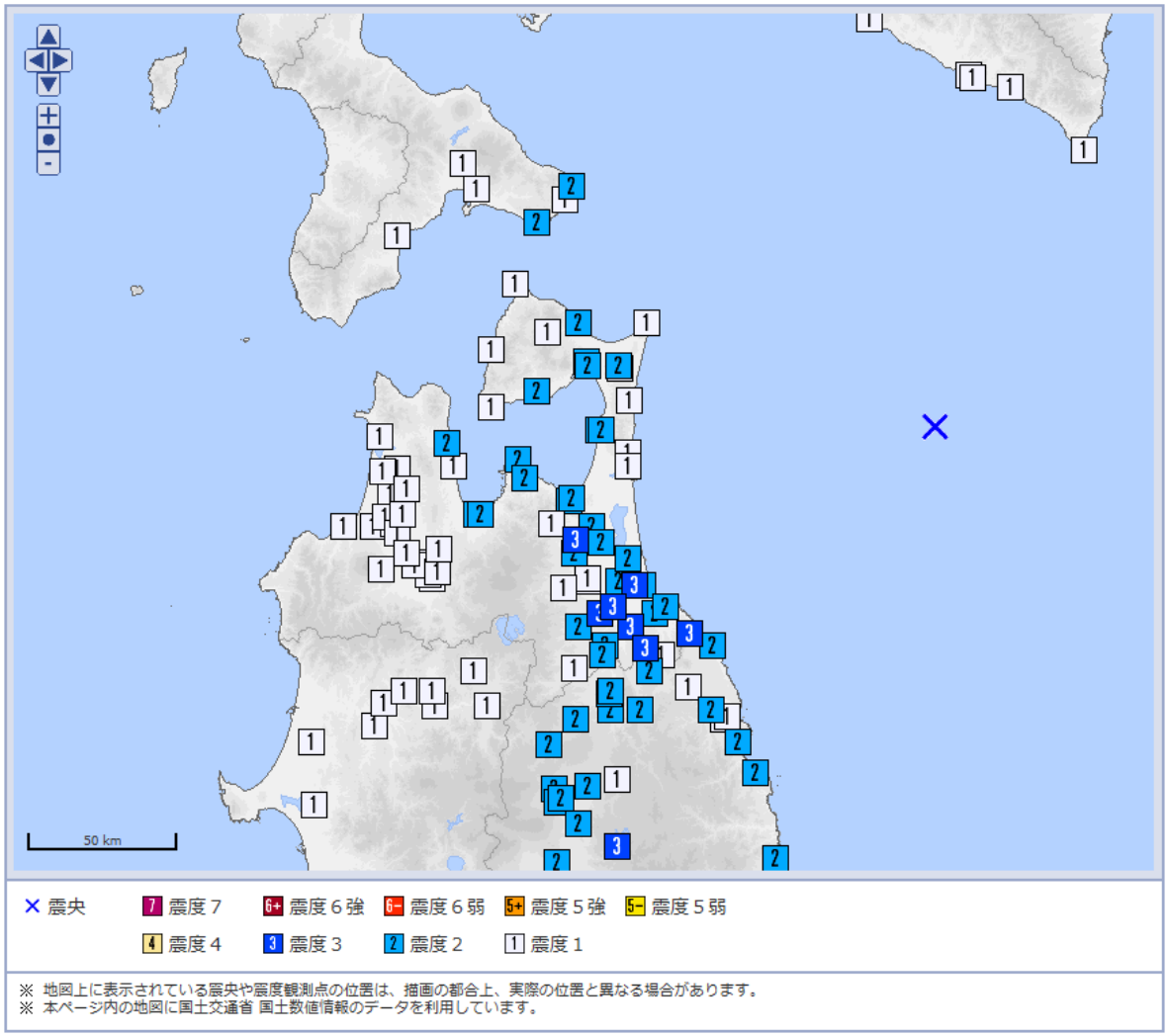
図 5.6-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 8 月 5 日）

5.7　2018 年 8 月 24 日

5.7.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.7-1 に示す。

震度分布図



※ 地図上に表示されている震央や震度観測点の位置は、描画の都合上、実際の位置と異なる場合があります。
※ 本ページ内の地図に国土交通省 国土数値情報のデータを利用しています。

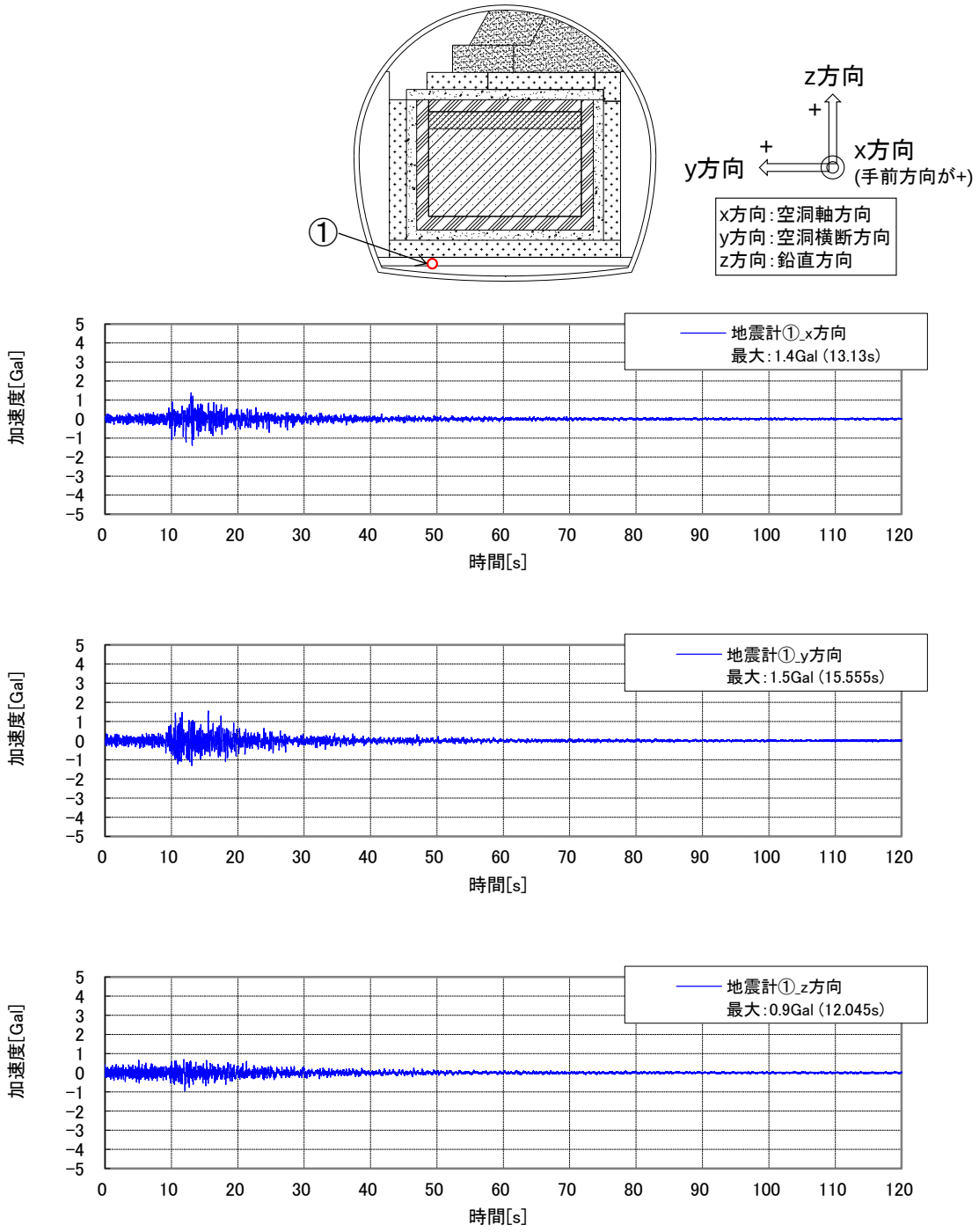
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/08/24　23:15:54.6	青森県東方沖	41°05.6′N	142°37.5′E	32km	M5.1	3

図 5.7-1　気象庁発表情報（2018 年 8 月 24 日）

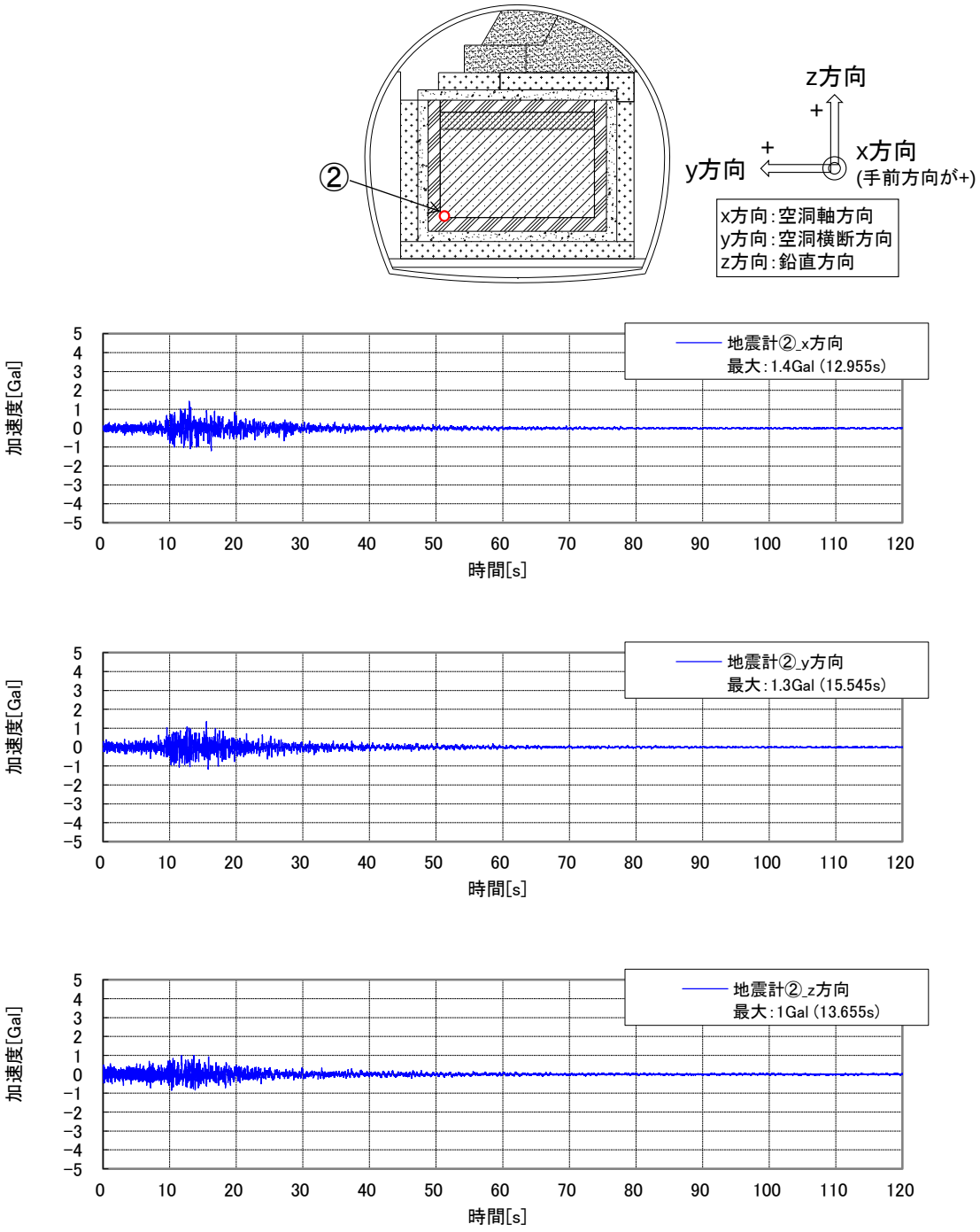
5.7.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.7-2～図 5.7-4 に示す。



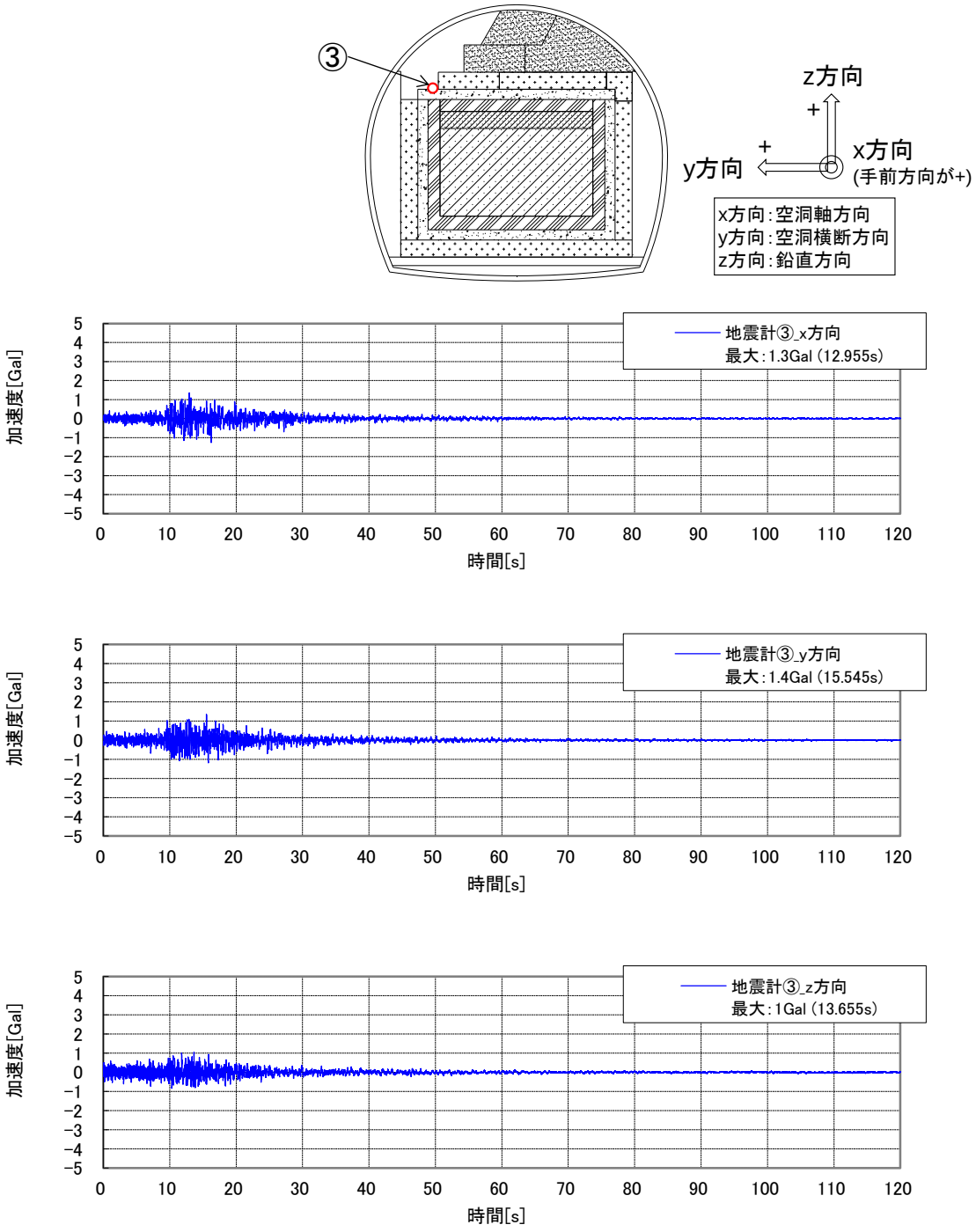
※上から x、y、z 方向

図 5.7-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 8 月 24 日）



※上から x、y、z 方向

図 5.7-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 8 月 24 日）



※上から x、y、z 方向

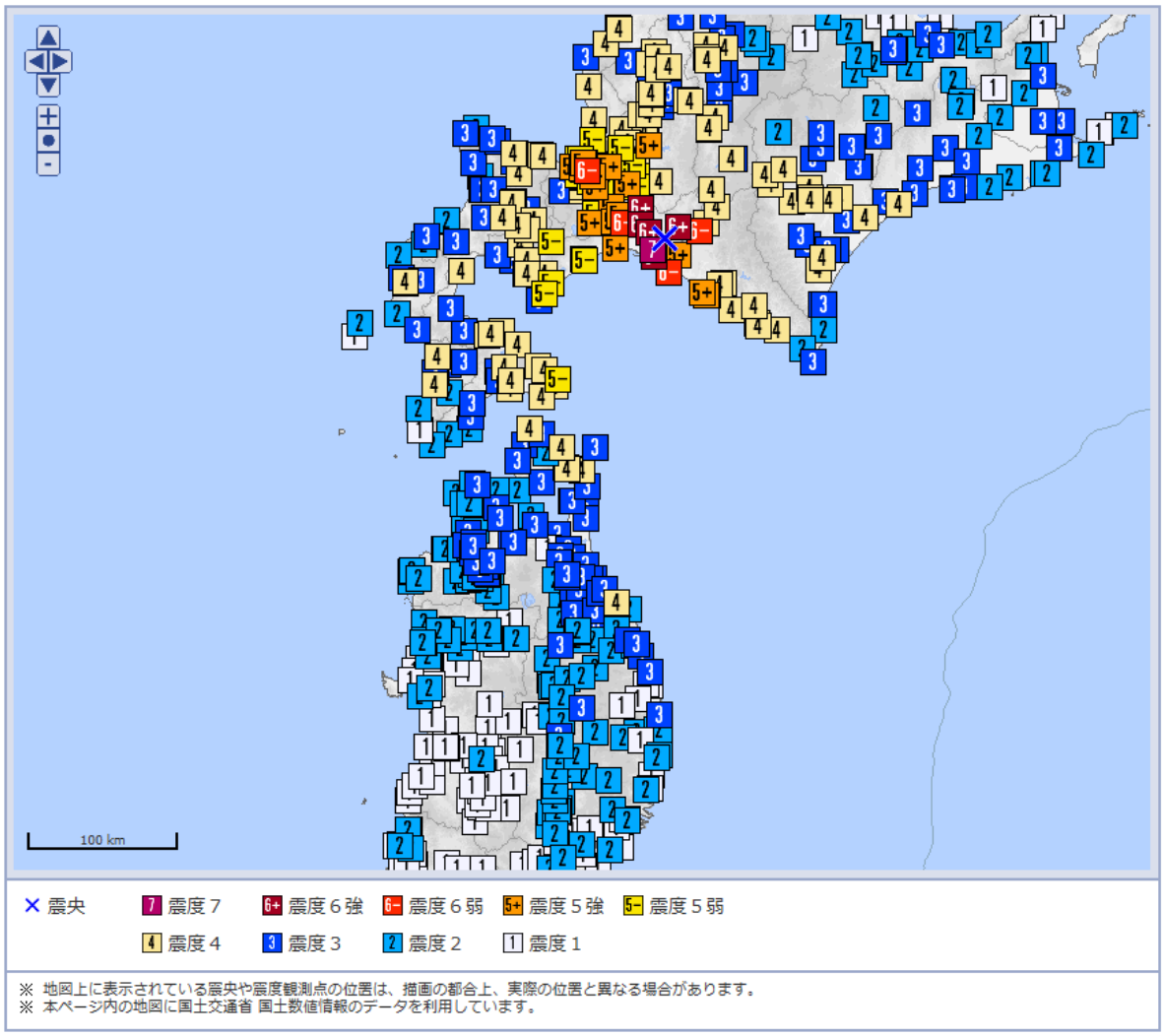
図 5.7-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 8 月 24 日）

5.8　2018 年 9 月 6 日（1）

5.8.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.8-1 に示す。

震度分布図



※ 地図上に表示されている震央や震度観測点の位置は、描画の都合上、実際の位置と異なる場合があります。
※ 本ページ内の地図に国土交通省 国土数値情報のデータを利用しています。

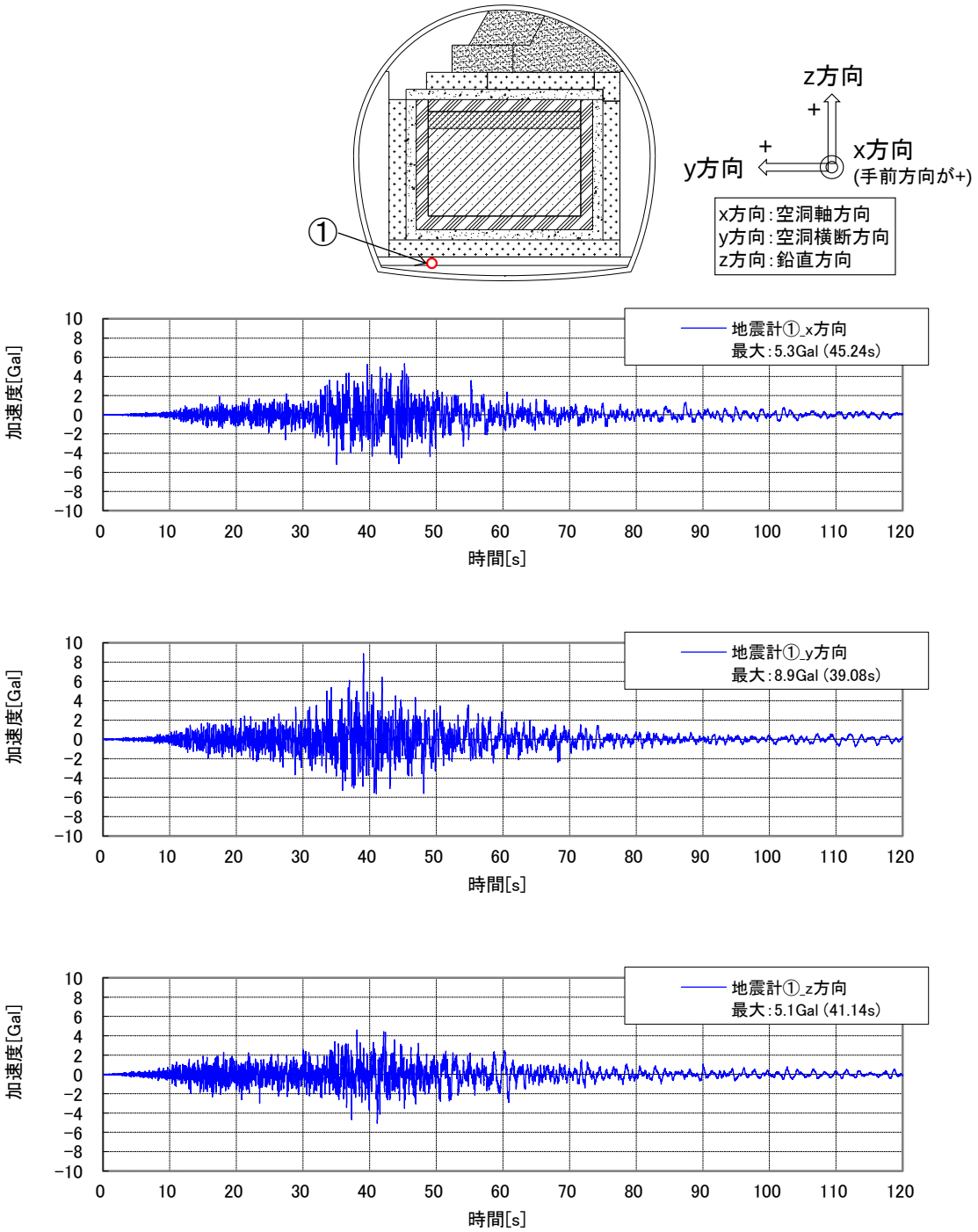
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/09/06　03:07:59.3	胆振地方中東部	42°41.4′N	142°00.4′E	37km	M6.7	7

図 5.8-1　気象庁発表情報（2018 年 9 月 6 日（1））

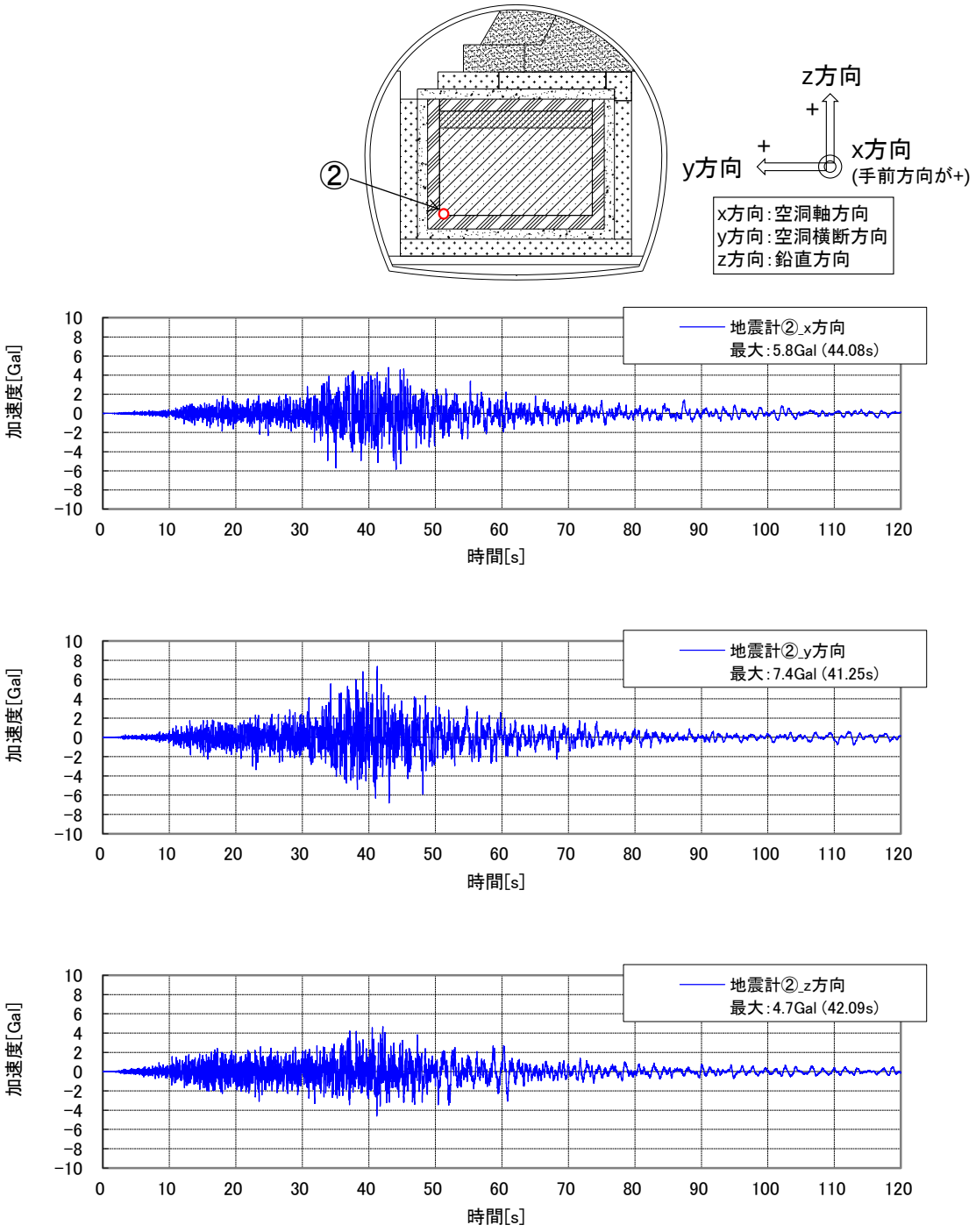
5.8.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.8-2～図 5.8-4 に示す。



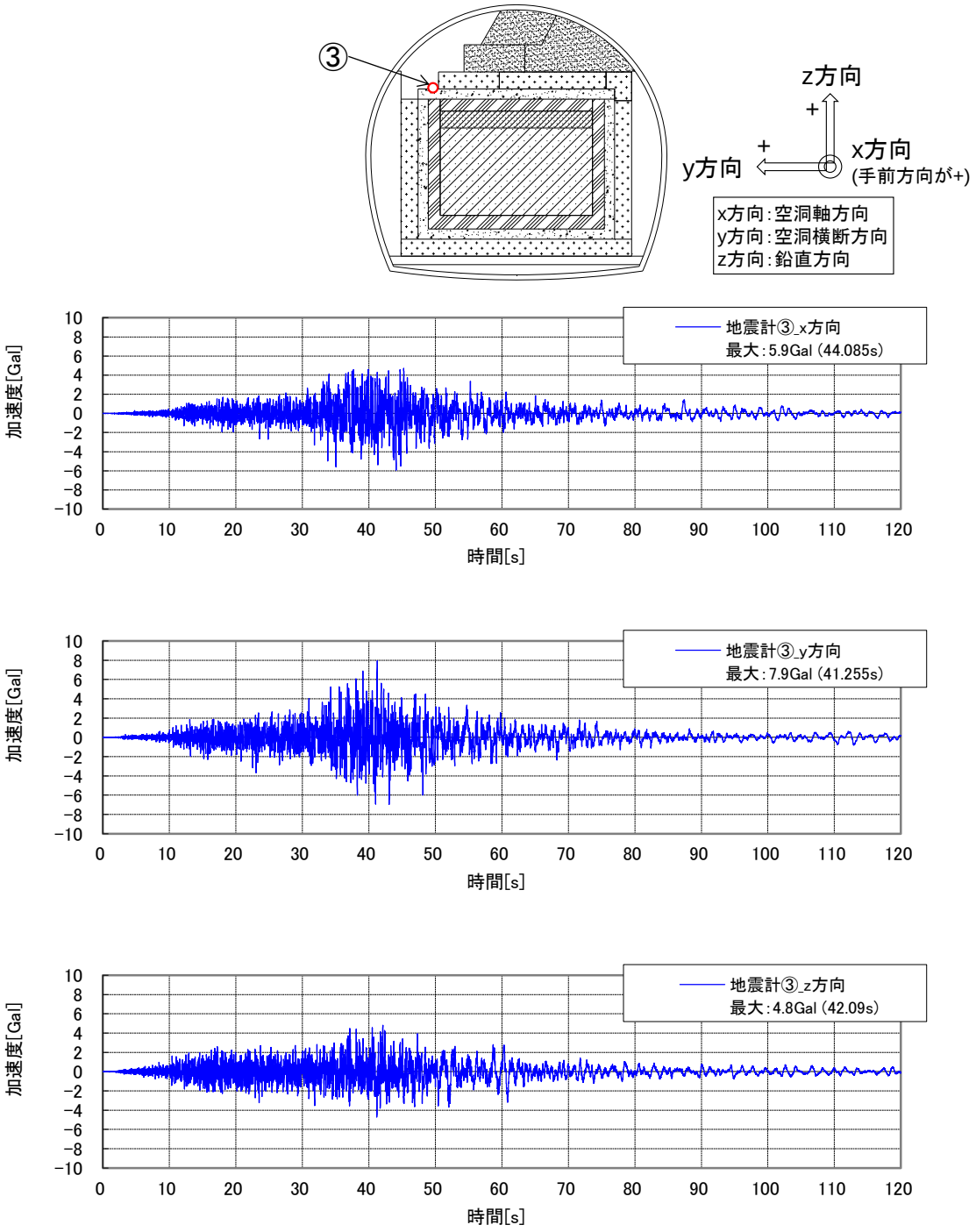
※上から x、y、z 方向

図 5.8-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1））



※上から x、y、z 方向

図 5.8-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1））



※上から x、y、z 方向

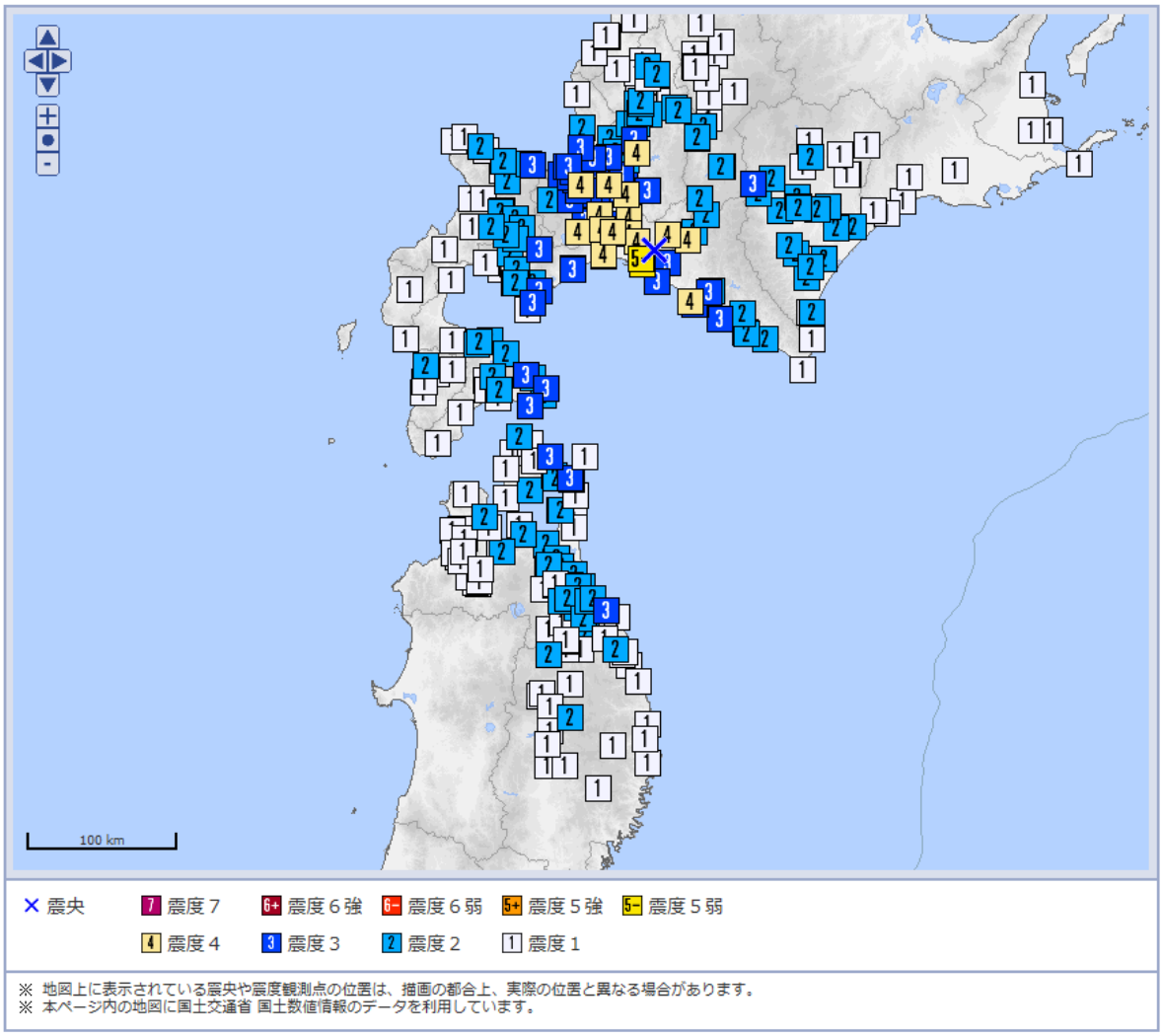
図 5.8-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（1））

5.9　2018 年 9 月 6 日（2）

5.9.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.9-1 に示す。

震度分布図



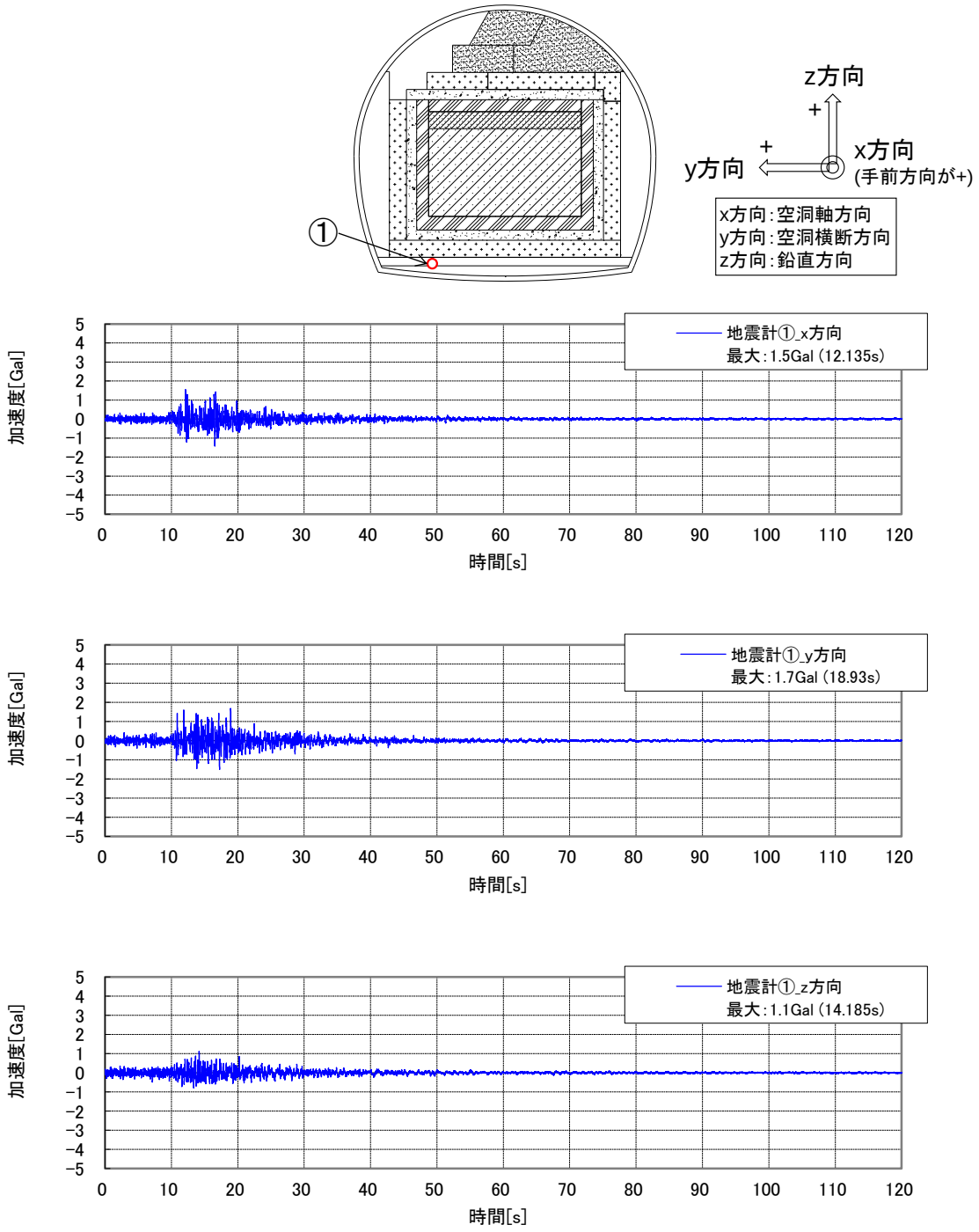
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/09/06　06:11:29.7	胆振地方中東部	42°40.2′N	142°00.9′E	38km	M5.4	5 弱

図 5.9-1　気象庁発表情報（2018 年 9 月 6 日（2））

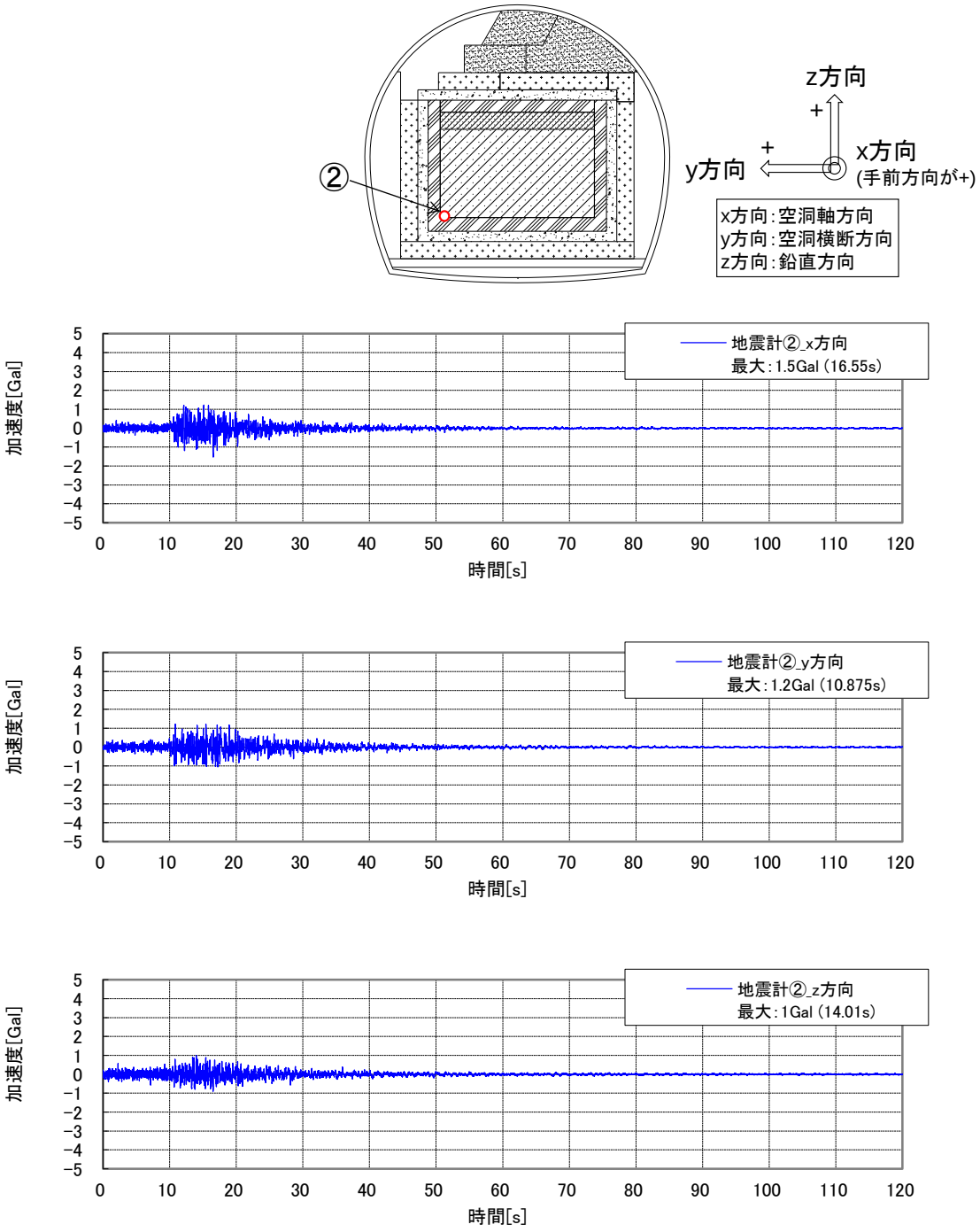
5.9.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.9-2～図 5.9-4 に示す。



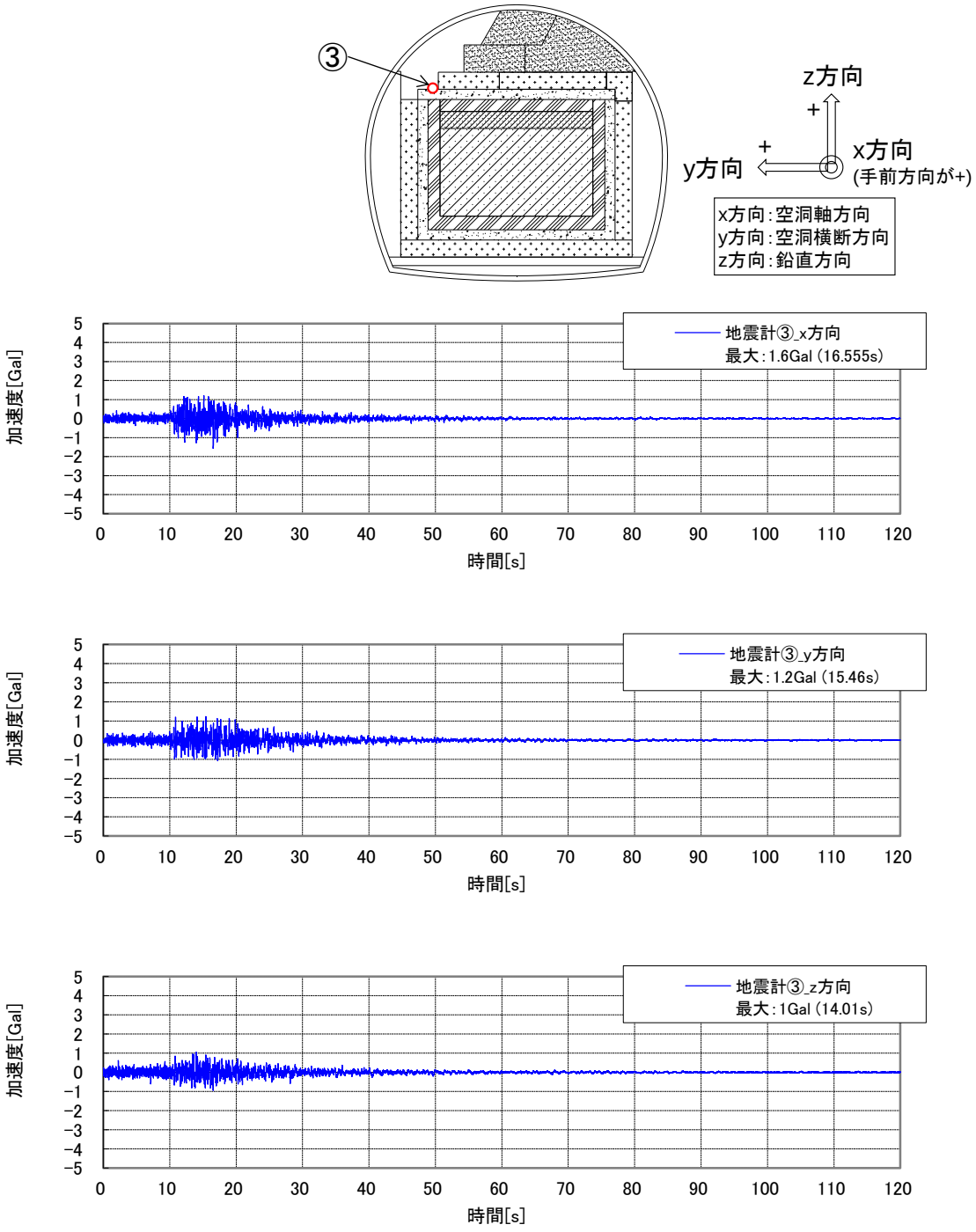
※上から x、y、z 方向

図 5.9-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（2））



※上から x、y、z 方向

図 5.9-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（2））



※上から x、y、z 方向

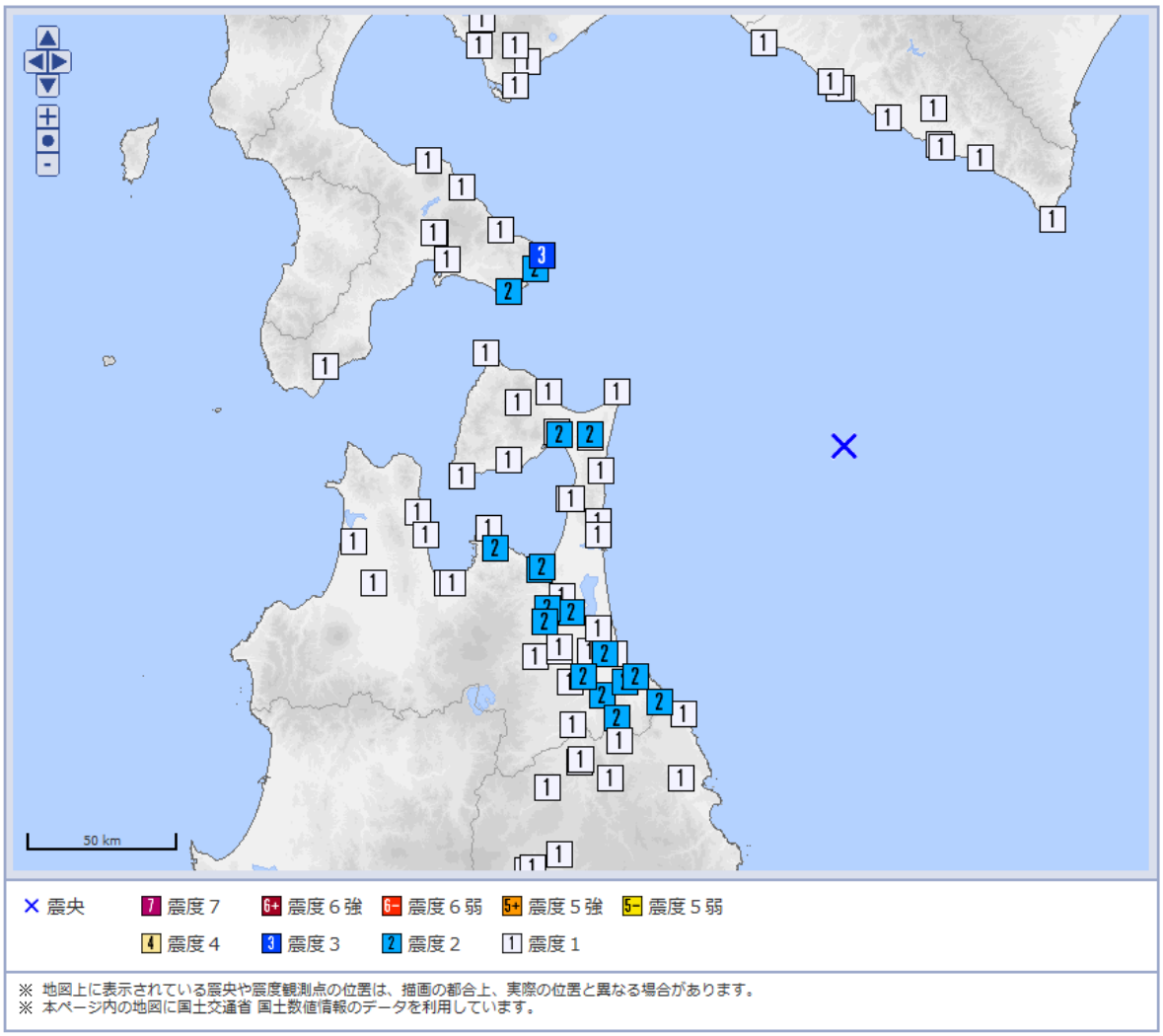
図 5.9-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 9 月 6 日（2））

5.10　2018 年 9 月 11 日

5.10.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.10-1 に示す。

震度分布図



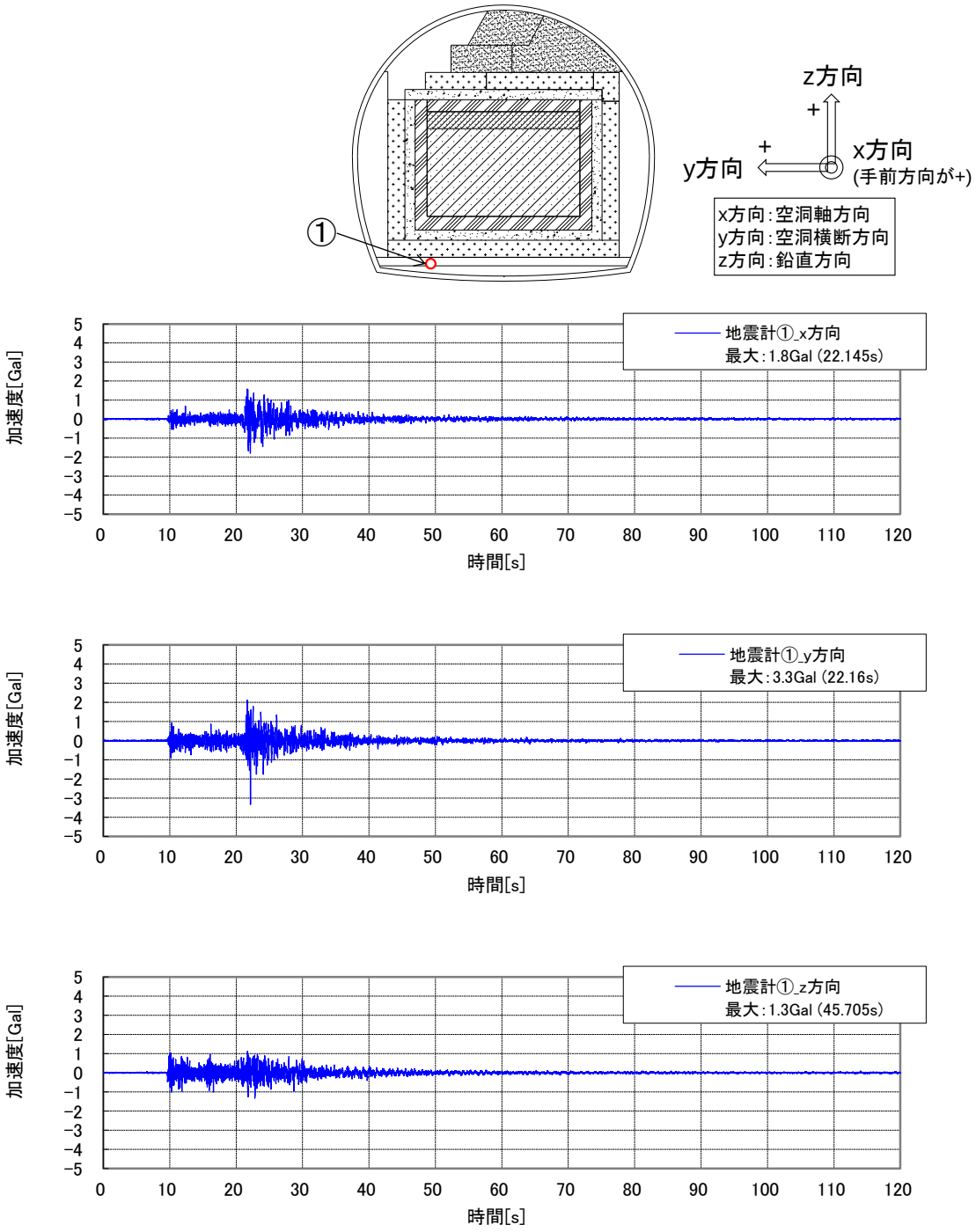
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/09/11　22:25:58.6	青森県東方沖	41°14.8′N	142°22.5′E	47km	M5.0	3

図 5.10-1　気象庁発表情報（2018 年 9 月 11 日）

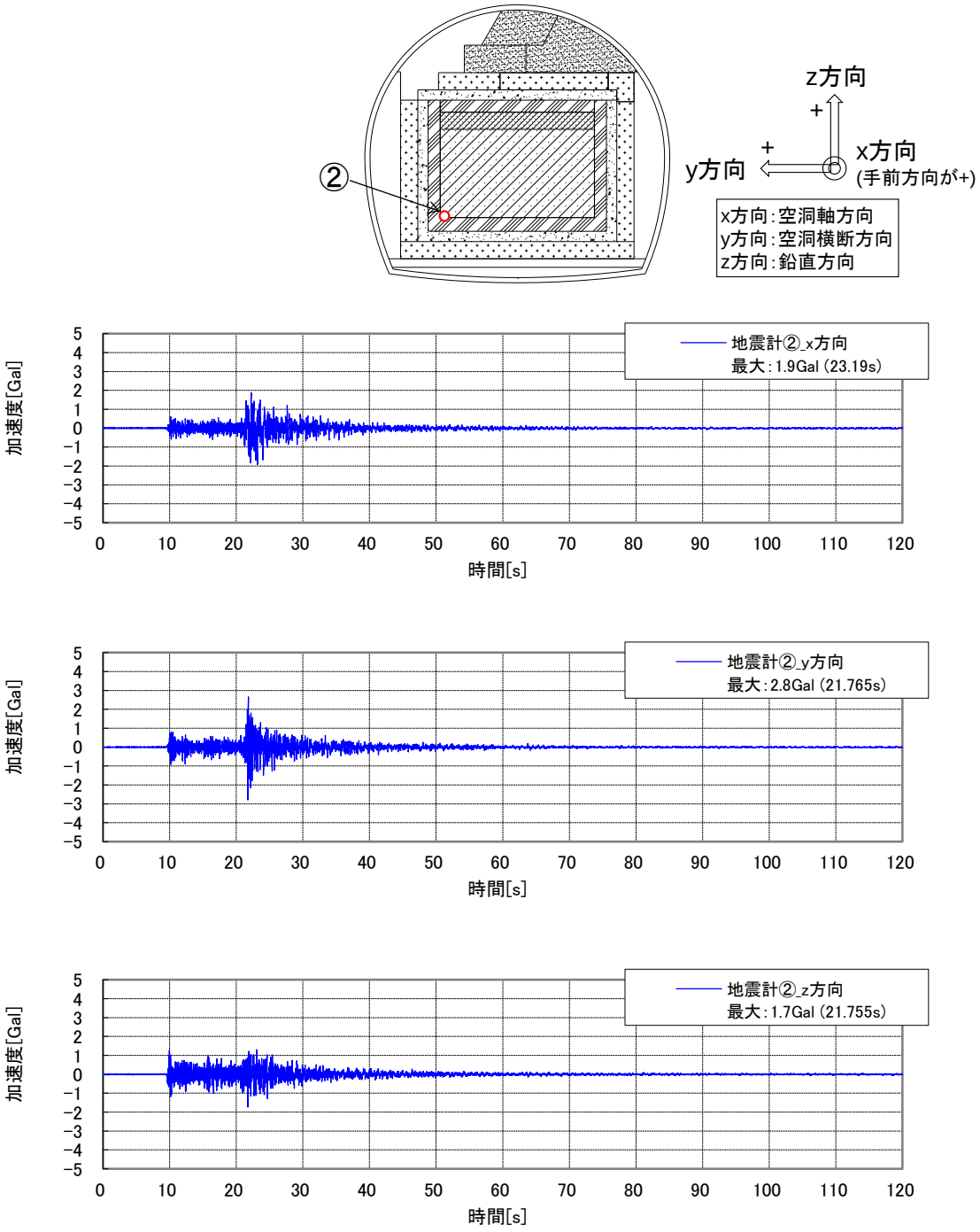
5.10.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.10-2～図 5.10-4 に示す。



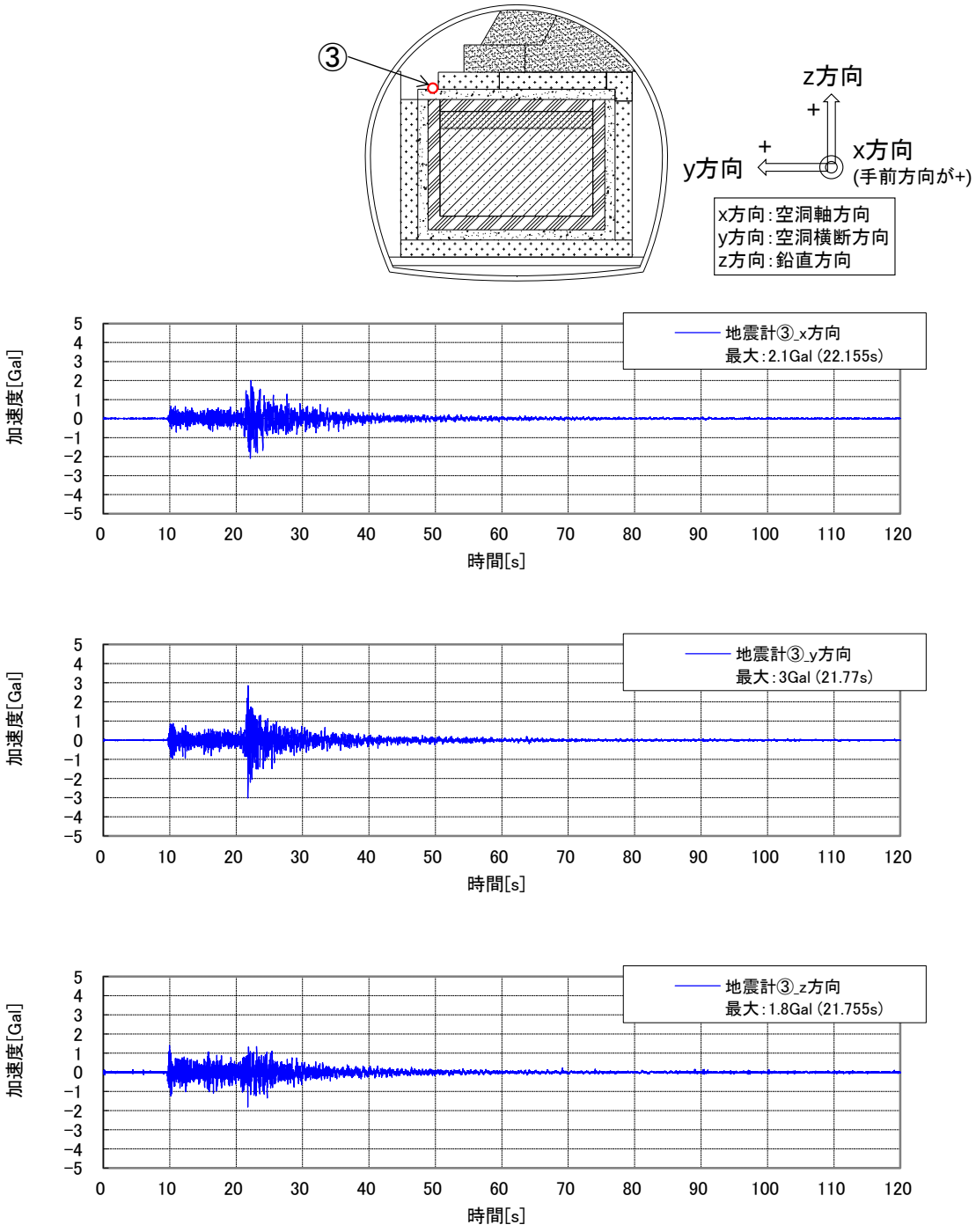
※上から x、y、z 方向

図 5.10-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 9 月 11 日）



※上から x、y、z 方向

図 5.10-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 9 月 11 日）



※上から x、y、z 方向

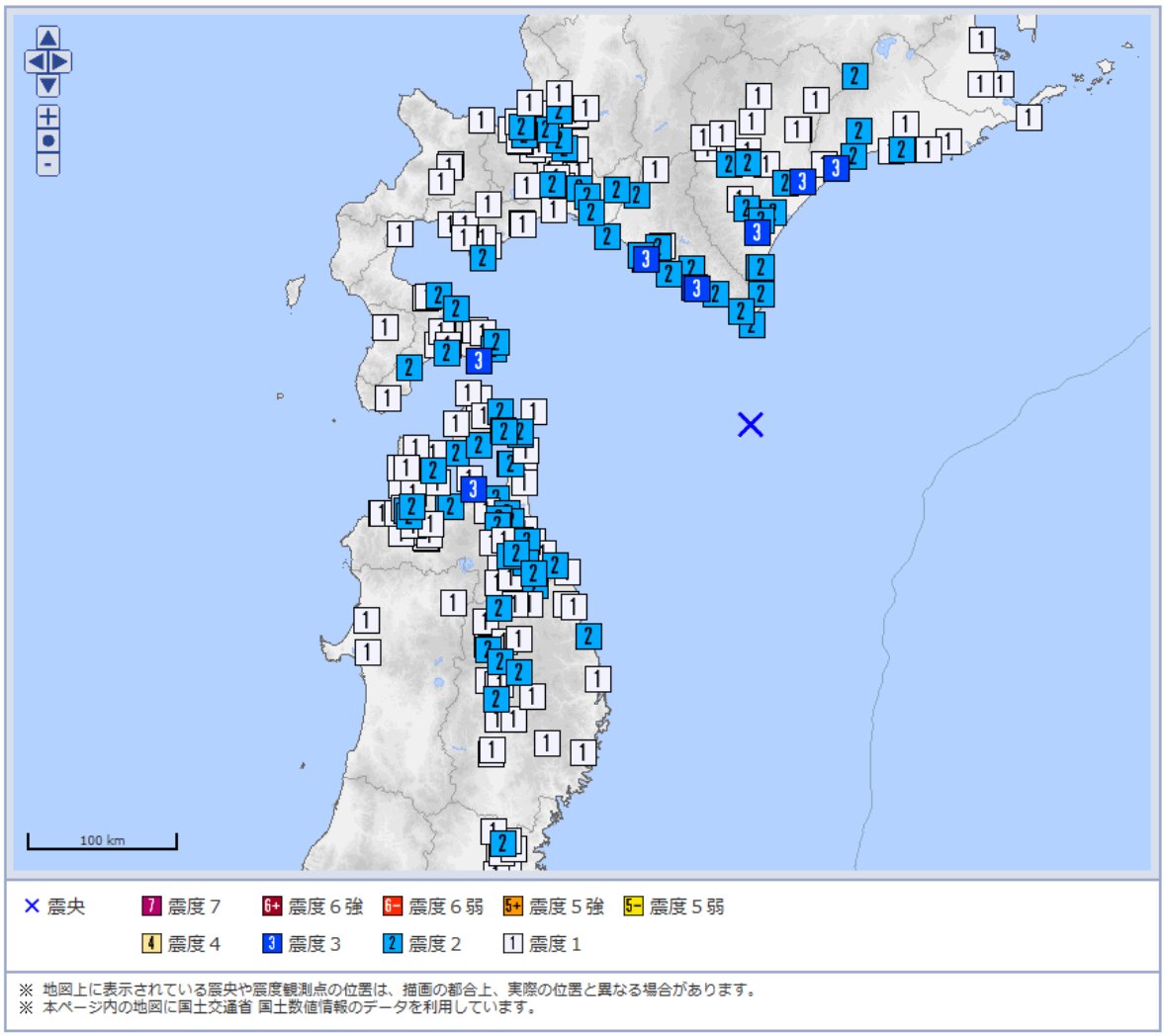
図 5.10-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 9 月 11 日）

5.11　2018 年 11 月 28 日

5.11.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.11-1 に示す。

震度分布図



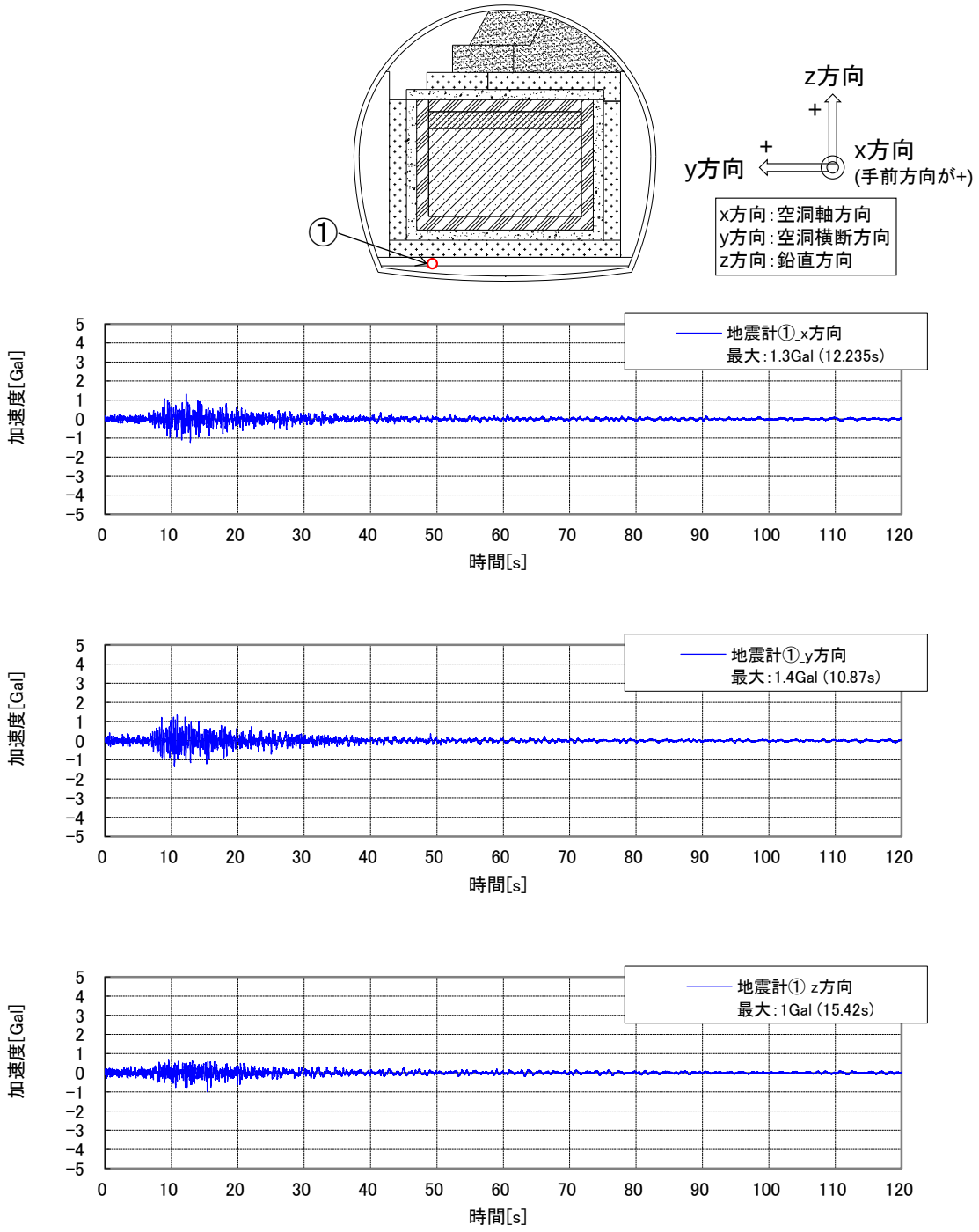
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/11/28　11:23:24.5	青森県東方沖	41°20.2′N	143°13.3′E	11km	M5.7	3

図 5.11-1　気象庁発表情報（2018 年 11 月 28 日）

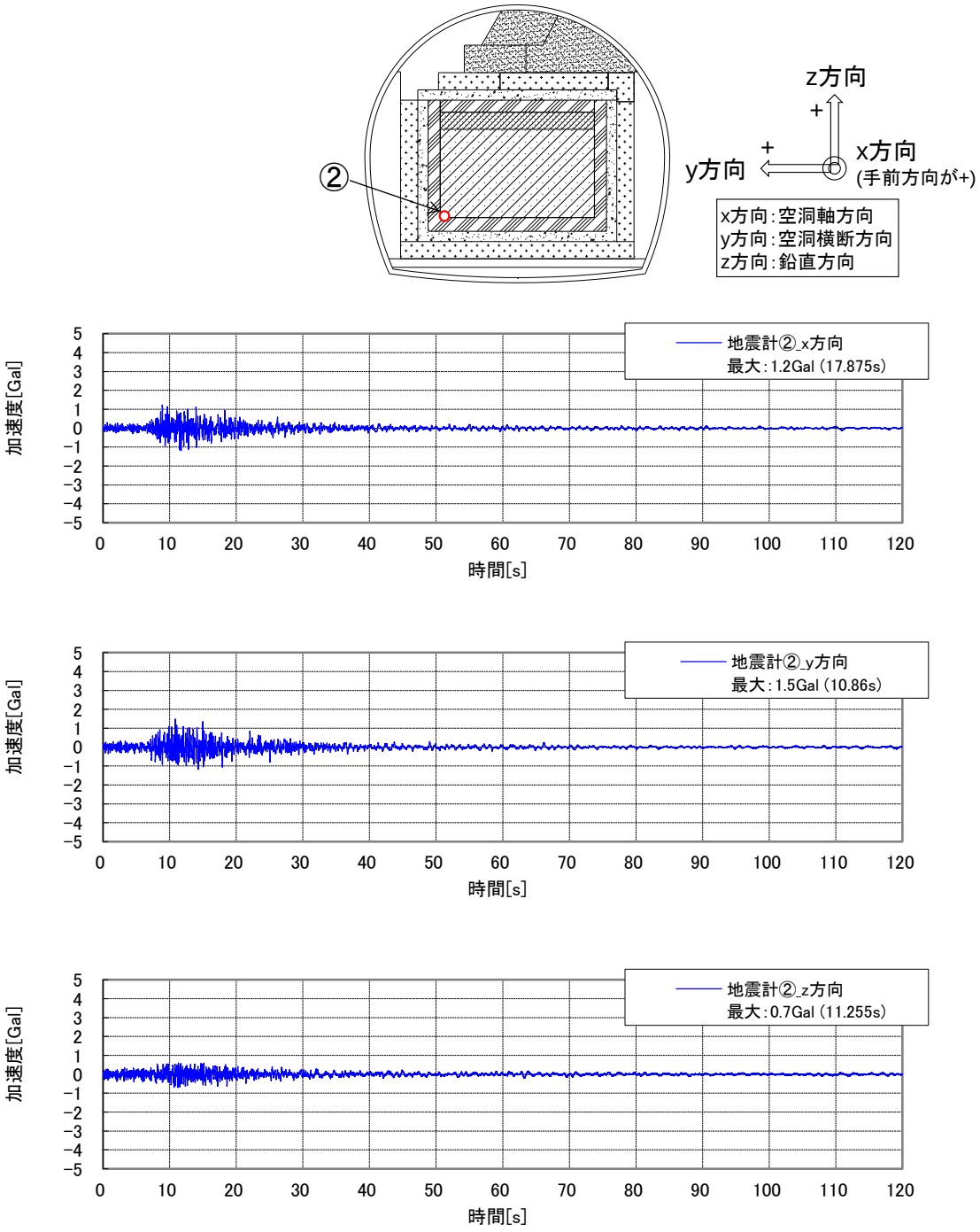
5.11.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.11-2～図 5.11-4 に示す。



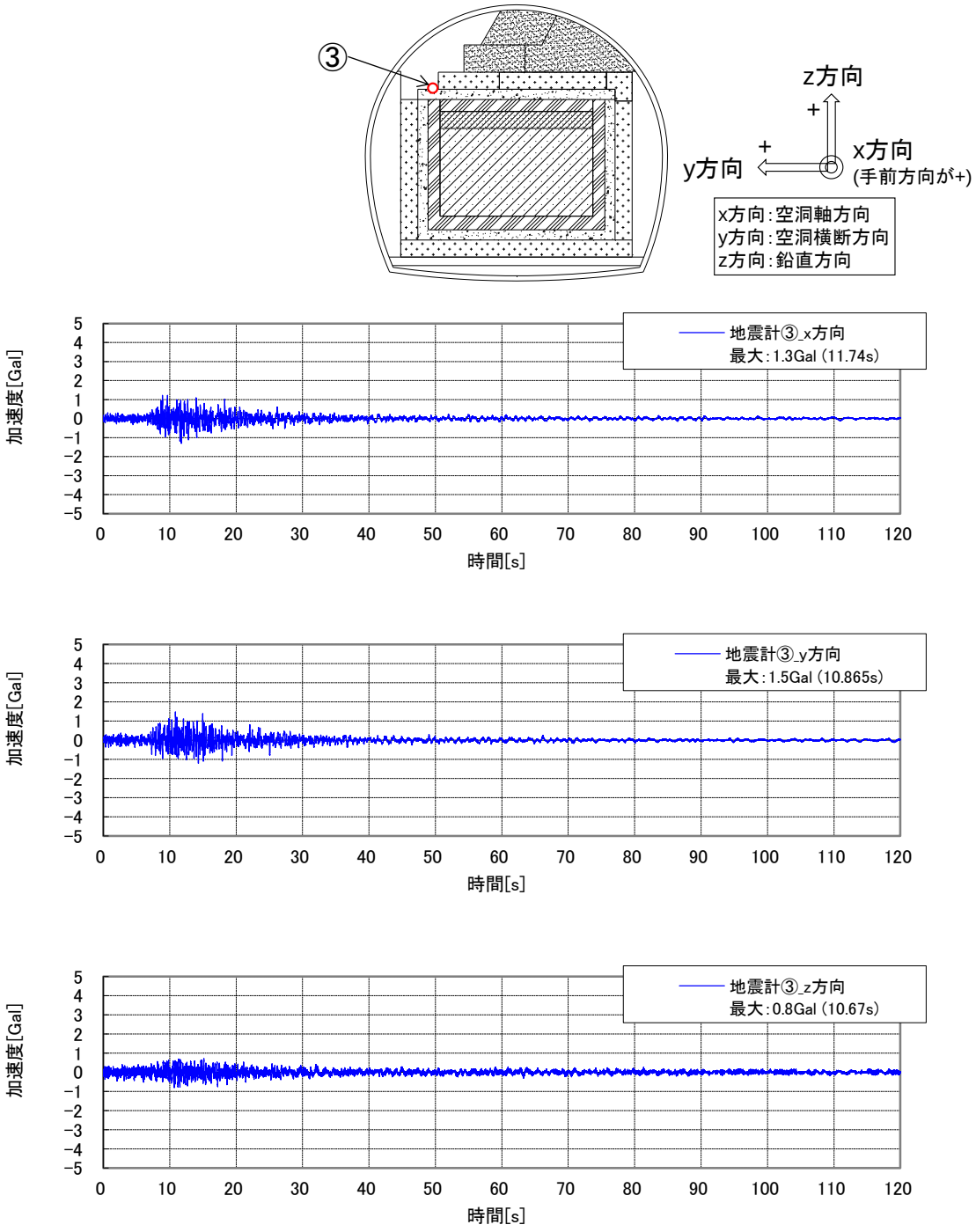
※上から x、y、z 方向

図 5.11-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 11 月 28 日）



※上から x、y、z 方向

図 5.11-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 11 月 28 日）



※上から x、y、z 方向

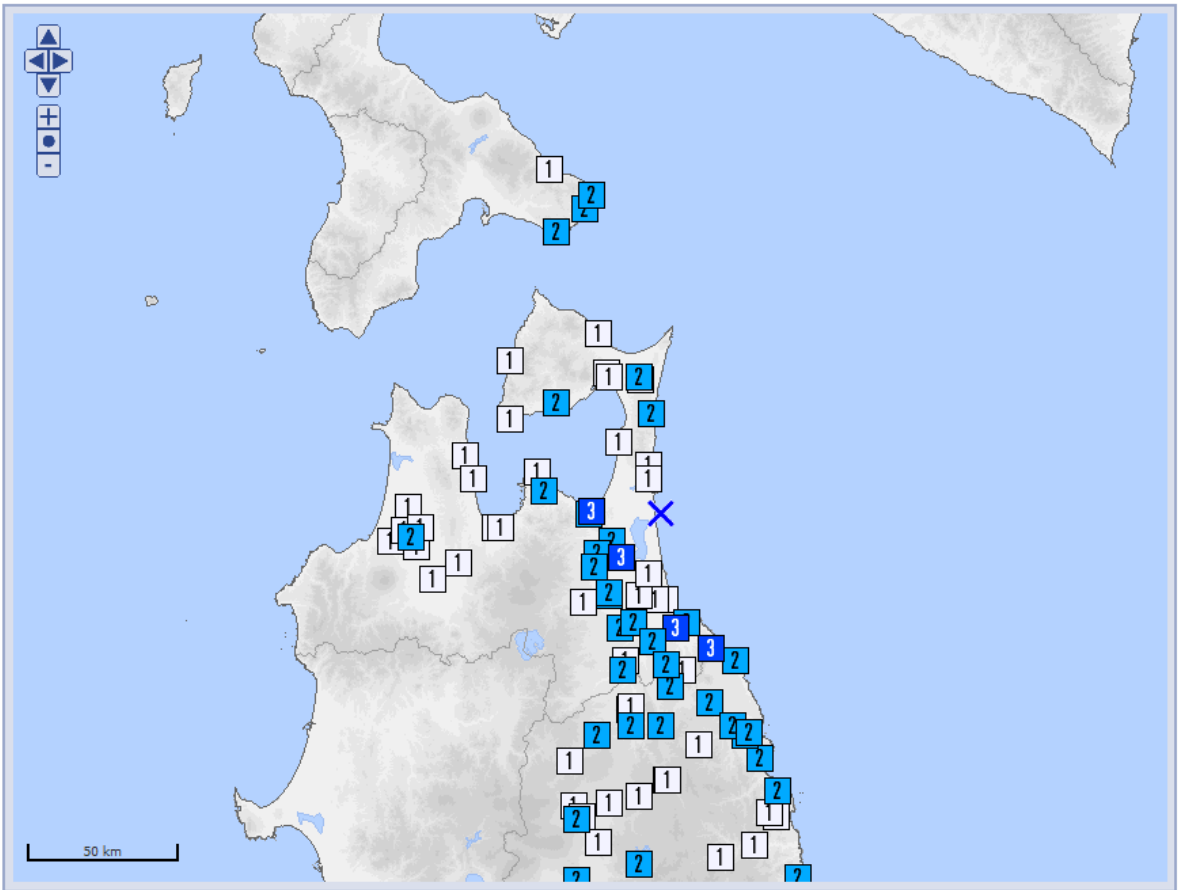
図 5.11-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 11 月 28 日）

5.12　2018 年 12 月 3 日

5.12.1　気象庁発表情報

気象庁発表情報[1]を図 5.12-1 に示す。

震度分布図



※ 地図上に表示されている震央や震度観測点の位置は、描画の都合上、実際の位置と異なる場合があります。
※ 本ページ内の地図に国土交通省 国土数値情報のデータを利用しています。

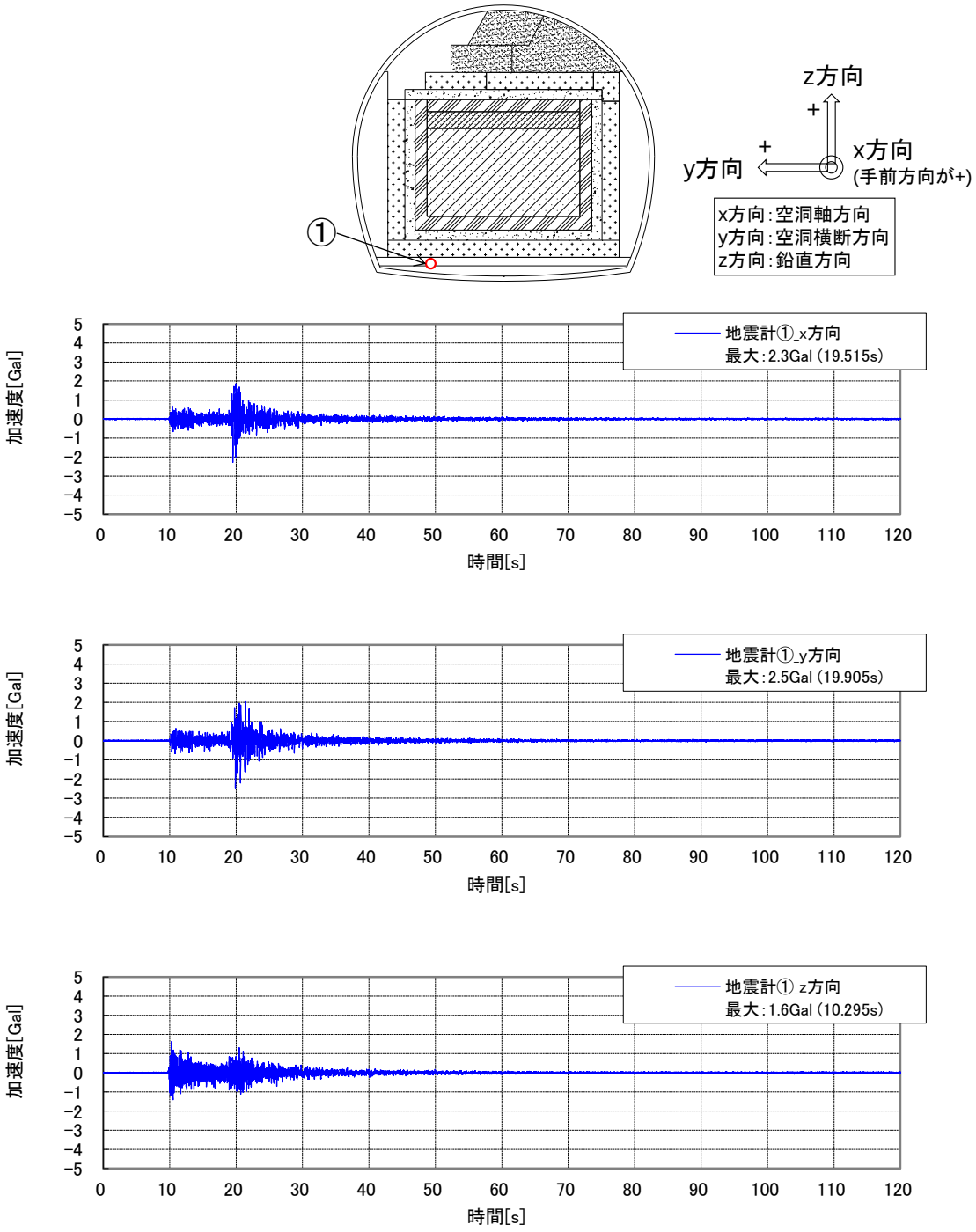
震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2018/12/03　17:15:17.4	青森県東方沖	40°51.9′N	141°25.0′E	87km	M4.6	3

図 5.12-1　気象庁発表情報（2018 年 12 月 3 日）

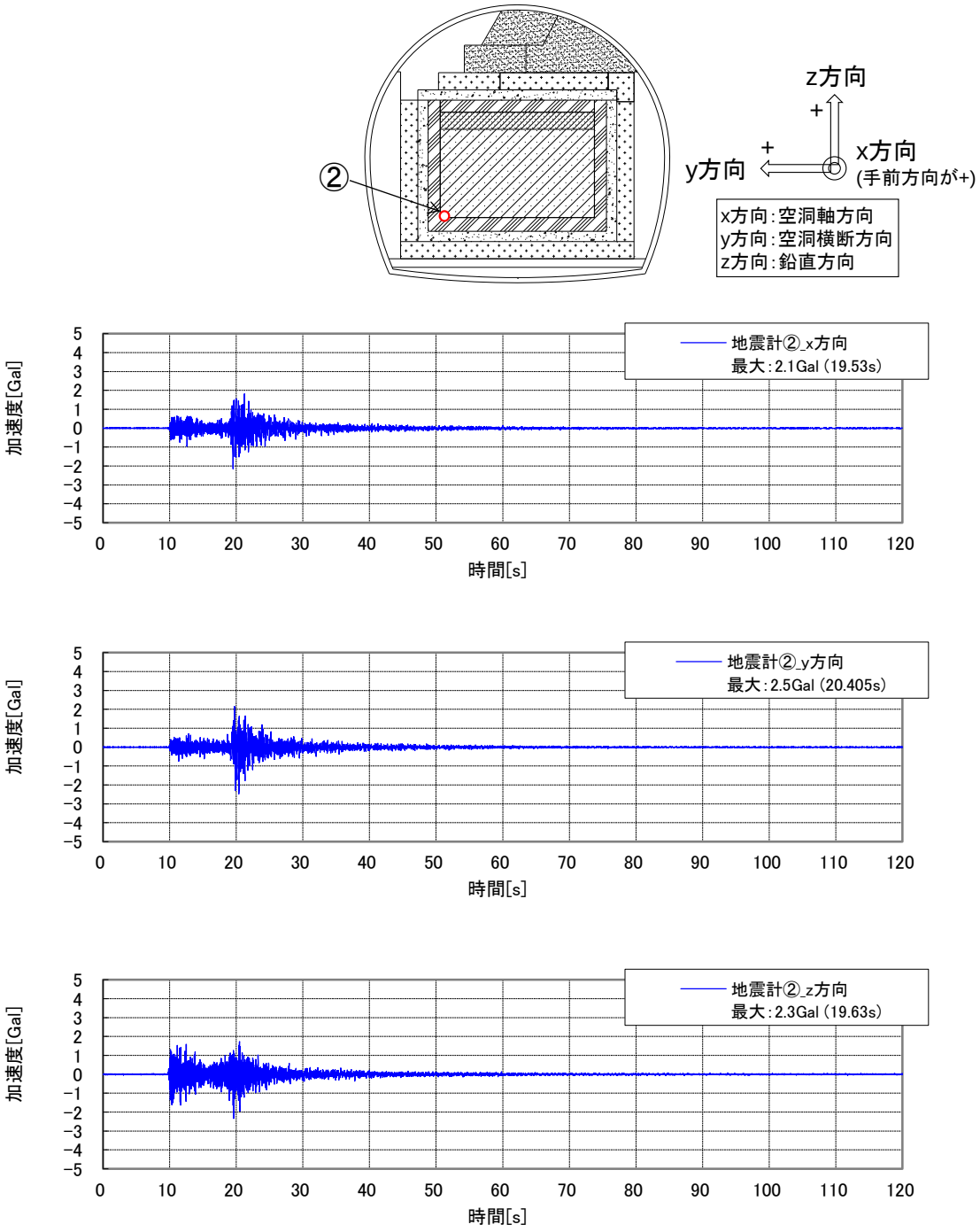
5.12.2　観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.12-2～図 5.12-4 に示す。



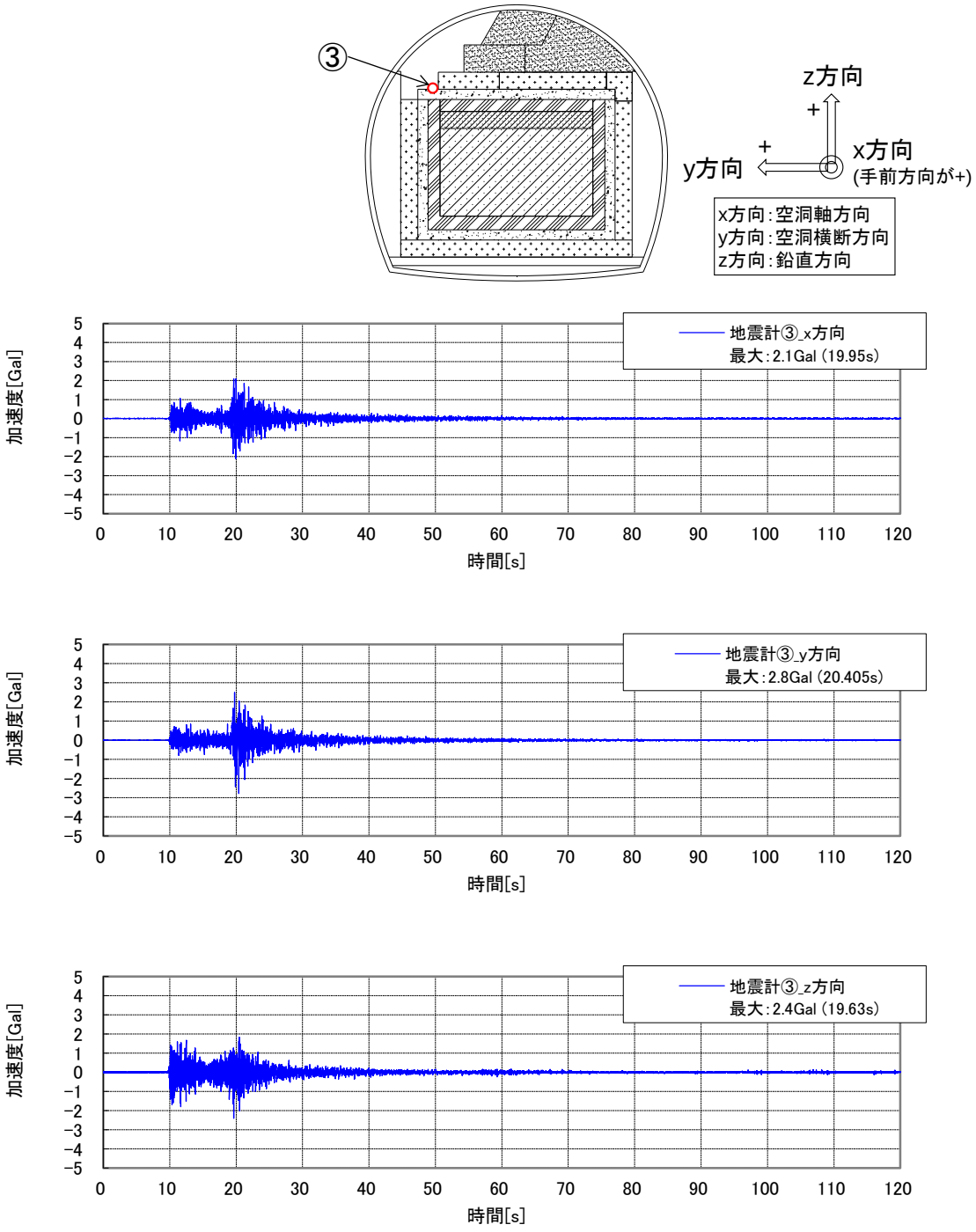
※上から x、y、z 方向

図 5.12-2　地震計①の加速度時刻歴（2018 年 12 月 3 日）



※上から x、y、z 方向

図 5.12-3　地震計②の加速度時刻歴（2018 年 12 月 3 日）



※上から x、y、z 方向

図 5.12-4　地震計③の加速度時刻歴（2018 年 12 月 3 日）

参考文献

[1] 気象庁：震度データベース検索（http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/）

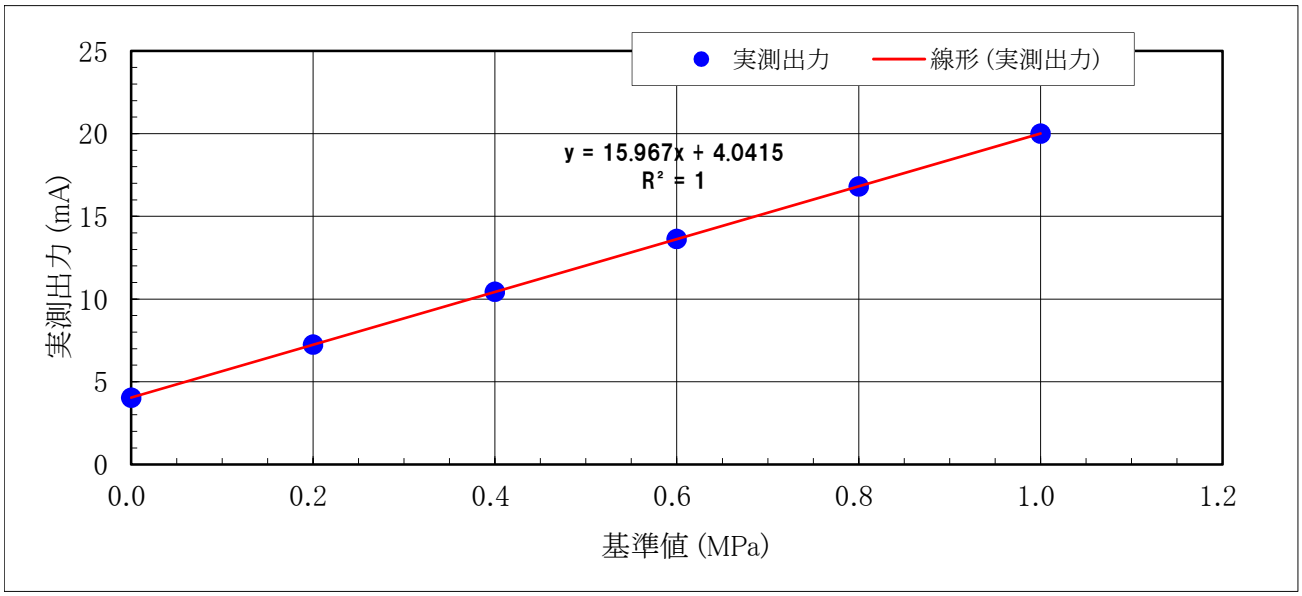
添付資料６　間隙水圧計点検記録

間隙水圧計出力特性検査記録表

センサ型番:	8NA7063003	検定年月日:	平成30年10月9日　17:55～18:25
測定レンジ:	0～1MPa	検定者氏名:	林　駿介
設置位置:	A-⑤	検定時気温:	22.0℃

基準値 (MPa)	① 定格出力 (mA)	② 実測出力 (mA)	③=②-① 誤差 (mA)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mA)	⑥＝②－⑤ 誤差 (mA)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	4.000	4.038	0.038	0.24	4.041	-0.003	-0.02
0.2000	7.200	7.237	0.037	0.23	7.235	0.002	0.01
0.4000	10.400	10.430	0.030	0.19	10.428	0.002	0.01
0.6000	13.600	13.623	0.023	0.14	13.622	0.001	0.01
0.8000	16.800	16.815	0.015	0.09	16.815	0.000	0.00
1.0000	20.000	20.006	0.006	0.04	20.008	-0.002	-0.01
0.8000	16.800	16.807	0.007	0.04	16.815	-0.008	-0.05
0.6000	13.600	13.624	0.024	0.15	13.622	0.002	0.02
0.4000	10.400	10.420	0.020	0.12	10.428	-0.008	-0.05
0.2000	7.200	7.223	0.023	0.14	7.235	-0.012	-0.07
0.0000	4.000	4.025	0.025	0.16	4.041	-0.016	-0.10

検定結果							
定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	4.038	mA	ゼロ点	ゼロ点(昇圧	4.041	mA
	基準値	4.000	mA		基準値	4.041	mA
	誤差	0.038	mA		誤差	-0.003	mA
	許容誤差	±0.016	mA		許容誤差	±0.016	mA
SPAN	実測SPAN	15.968	mA/MPa	SPAN	実測SPAN	15.967	mA/MPa
	基準値	16.000	mA/MPa		基準値	15.967	mA/MPa
	誤差	-0.032	mA/MPa		誤差	0.000	mA/MPa
	許容誤差	±0.016	mA/MPa		許容誤差	±0.016	mA/MPa



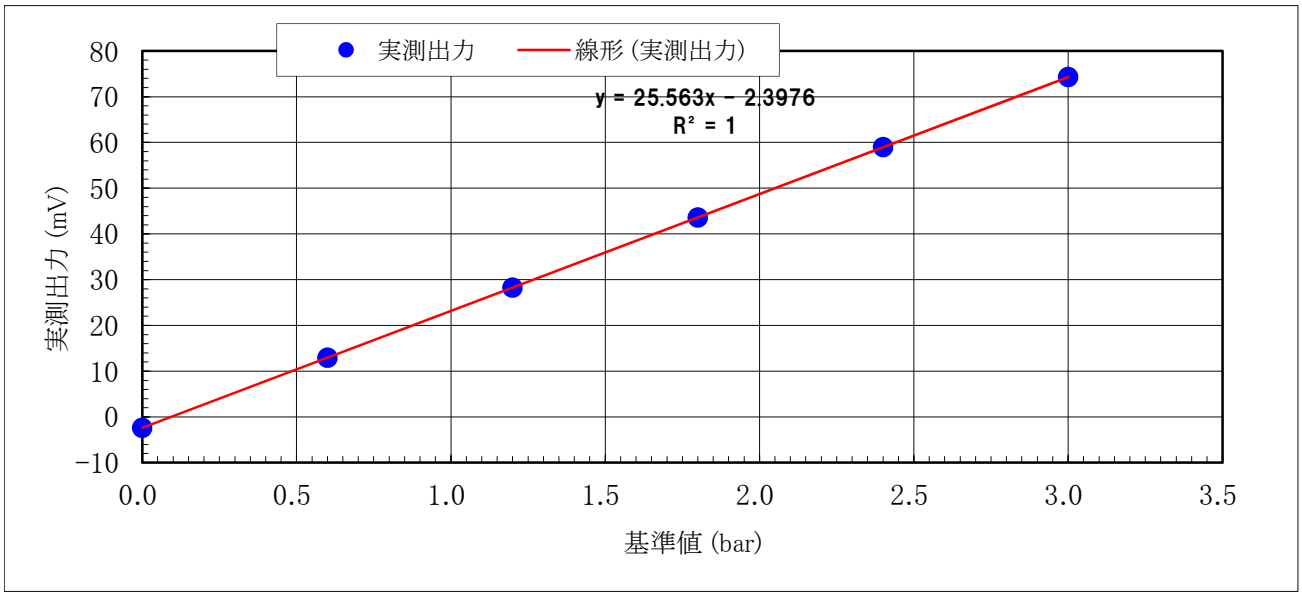
㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

センサ型番:	9565	検定年月日:	平成30年10月9日 18:20～18:35
測定レンジ:	0～3bar	検定者氏名:	渡辺　満
設置位置:	B-①	検定時気温:	22.4℃

検定記録							
基準値 (bar)	① 定格出力 (mV)	② 実測出力 (mV)	③=②-① 誤差 (mV)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mV)	⑥=②－⑤ 誤差 (mV)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	-2.300	-2.4	-0.100	-0.13	-2.415	0.015	0.02
0.6000	13.180	13.0	-0.230	-0.31	12.929	0.021	0.03
1.2000	28.660	28.3	-0.380	-0.51	28.274	0.006	0.01
1.8000	44.140	43.6	-0.540	-0.72	43.619	-0.019	-0.02
2.4000	59.620	59.0	-0.670	-0.89	58.964	-0.014	-0.02
3.0000	75.100	74.3	-0.800	-1.07	74.308	-0.008	-0.01
2.4000	59.620	59.0	-0.640	-0.85	58.964	0.016	0.02
1.8000	44.140	43.6	-0.510	-0.68	43.619	0.011	0.01
1.2000	28.660	28.3	-0.370	-0.49	28.274	0.016	0.02
0.6000	13.180	12.9	-0.260	-0.35	12.929	-0.009	-0.01
0.0000	-2.300	-2.5	-0.150	-0.20	-2.415	-0.035	-0.05

検定結果							
定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	-2.400	mV	ゼロ点	ゼロ点	-2.415	mV
	基準値	0.000	mV		基準値	-2.415	mV
	誤差	-0.100	mV		誤差	0.015	mV
	許容誤差	±0.15	mV		許容誤差	±0.15	mV
傾き	傾き	25.575	mV/bar	傾き	傾き	25.575	mV/bar
	基準値	23.107	mV/bar		基準値	23.107	mV/bar
	誤差	2.467	mV/bar		誤差	2.467	mV/bar
	許容誤差	±0.15	mV/bar		許容誤差	±0.15	mV/bar



㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

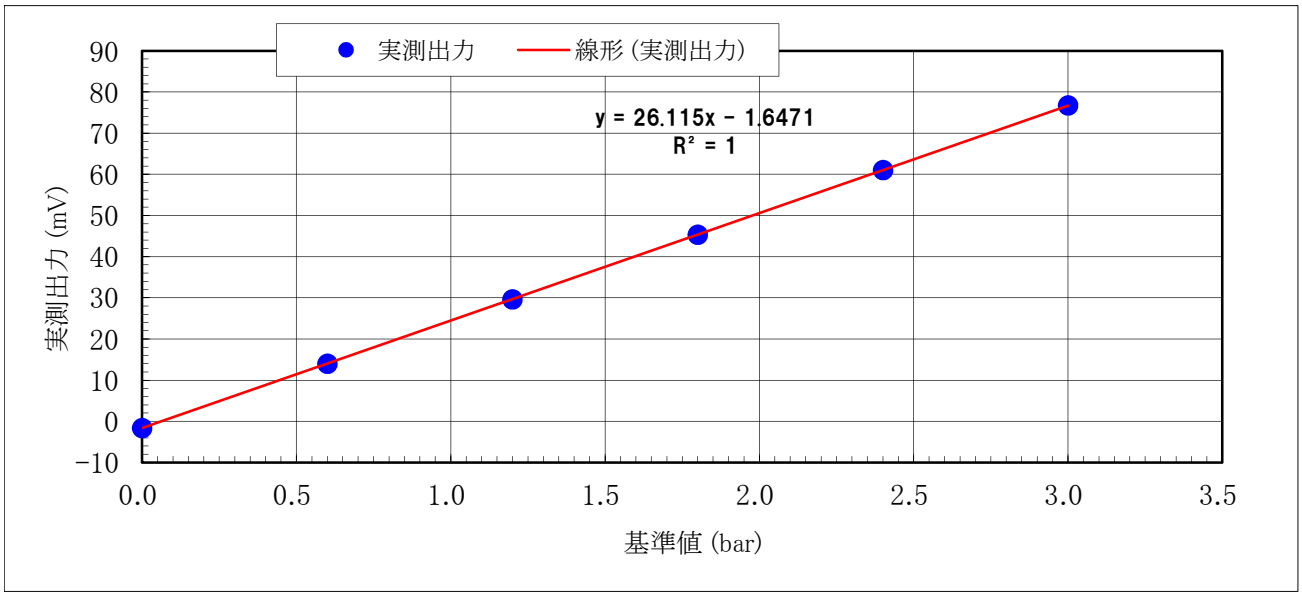
センサ型番:	12071	検定年月日:	平成30年10月9日 18:00～18:13
測定レンジ:	0～3bar	検定者氏名:	渡辺　満
設置位置:	B-③	検定時気温:	23.4℃

検定記録

基準値 (bar)	① 定格出力 (mV)	② 実測出力 (mV)	③=②-① 誤差 (mV)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mV)	⑥=②－⑤ 誤差 (mV)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	-6.500	-1.6	4.900	6.53	-1.593	-0.007	-0.01
0.6000	8.320	14.0	5.690	7.59	14.072	-0.062	-0.08
1.2000	23.140	29.7	6.510	8.68	29.738	-0.088	-0.11
1.8000	37.960	45.3	7.370	9.83	45.403	-0.073	-0.09
2.4000	52.780	61.0	8.240	10.99	61.068	-0.048	-0.06
3.0000	67.600	76.7	9.140	12.19	76.734	0.006	0.01
2.4000	52.780	61.1	8.340	11.12	61.068	0.052	0.07
1.8000	37.960	45.5	7.530	10.04	45.403	0.087	0.11
1.2000	23.140	29.8	6.650	8.87	29.738	0.052	0.07
0.6000	8.320	14.1	5.800	7.73	14.072	0.048	0.06
0.0000	-6.500	-1.6	4.940	6.59	-1.593	0.033	0.04

検定結果

定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	-1.600	mV	ゼロ点	ゼロ点	-1.593	mV
	基準値	0.000	mV		基準値	-1.593	mV
	誤差	4.900	mV		誤差	-0.007	mV
	許容誤差	±0.15	mV		許容誤差	±0.15	mV
傾き	傾き	26.109	mV/bar	傾き	傾き	26.109	mV/bar
	基準値	22.115	mV/bar		基準値	22.115	mV/bar
	誤差	3.994	mV/bar		誤差	3.994	mV/bar
	許容誤差	±0.15	mV/bar		許容誤差	±0.15	mV/bar



㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

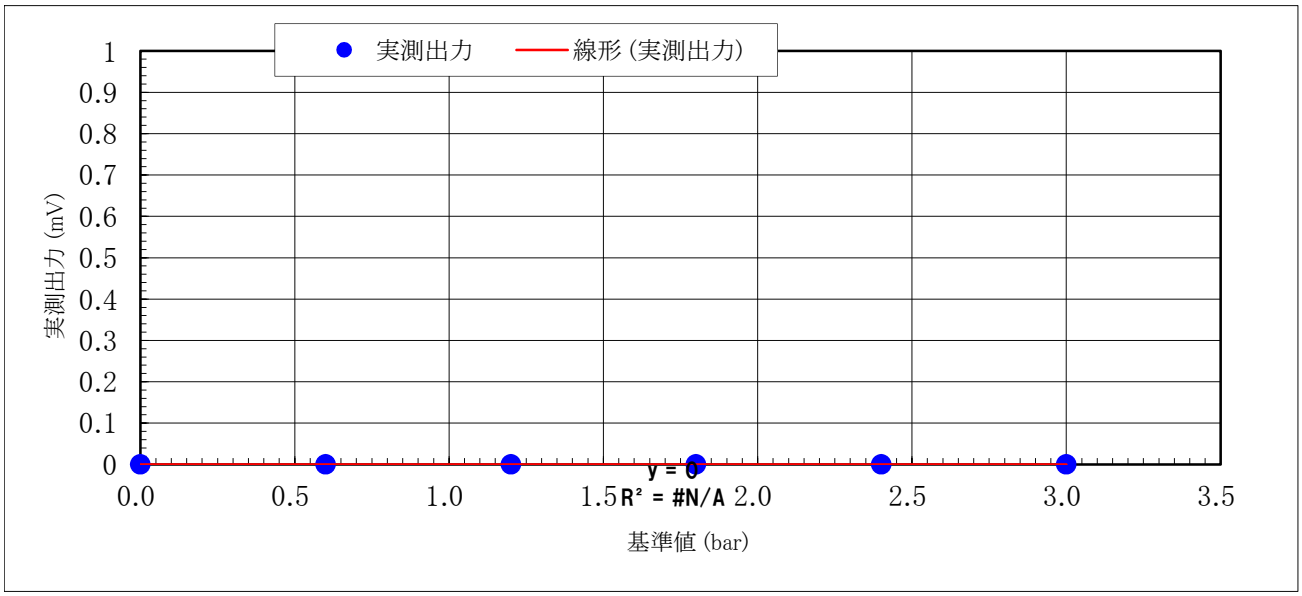
センサ型番:	9920	検定年月日:	平成30年10月9日 17:10～17:35
測定レンジ:	0～3bar	検定者氏名:	渡辺　満
設置位置:	B-⑤	検定時気温:	23.4℃

検定記録

基準値 (bar)	① 定格出力 (mV)	② 実測出力 (mV)	③=②-① 誤差 (mV)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mV)	⑥＝②－⑤ 誤差 (mV)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	-2.600	0.0	2.600	3.47	0.000	0.000	#DIV/0!
0.6000	12.700	0.0	-12.700	-16.93	0.000	0.000	#DIV/0!
1.2000	28.000	0.0	-28.000	-37.33	0.000	0.000	#DIV/0!
1.8000	43					0.000	#DIV/0!
2.4000	58	検定不可				0.000	#DIV/0!
3.0000	73.900	0.0	-73.900	-98.53	0.000	0.000	#DIV/0!
2.4000	58.600	0.0	-58.600	-78.13	0.000	0.000	#DIV/0!
1.8000	43.300	0.0	-43.300	-57.73	0.000	0.000	#DIV/0!
1.2000	28.000	0.0	-28.000	-37.33	0.000	0.000	#DIV/0!
0.6000	12.700	0.0	-12.700	-16.93	0.000	0.000	#DIV/0!
0.0000	-2.600	0.0	2.600	3.47	0.000	0.000	#DIV/0!

検定結果

定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	0.000	mV	ゼロ点	ゼロ点	0.000	mV
	基準値	0.000	mV		基準値	0.000	mV
	誤差	2.600	mV		誤差	0.000	mV
	許容誤差	±0.15	mV		許容誤差	±0.15	mV
傾き	傾き	0.000	mV/bar	傾き	傾き	0.000	mV/bar
	基準値	22.900	mV/bar		基準値	22.900	mV/bar
	誤差	-22.900	mV/bar		誤差	-22.900	mV/bar
	許容誤差	±0.15	mV/bar		許容誤差	±0.15	mV/bar



㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

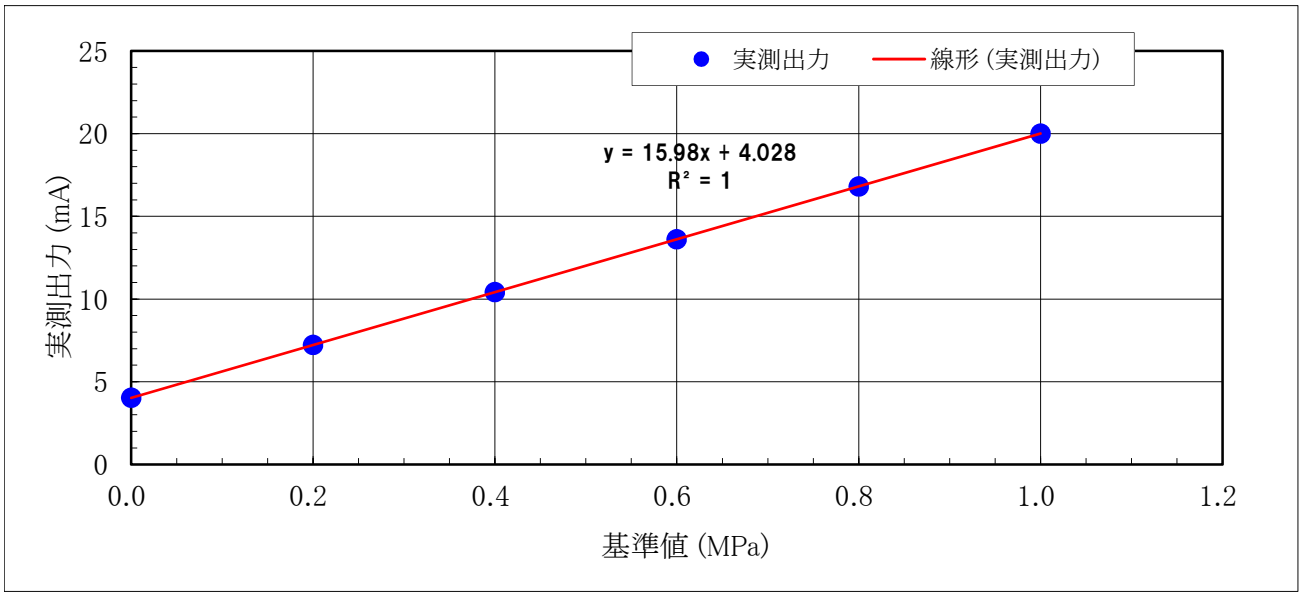
センサ型番:	6NA7091013	検定年月日:	平成30年10月9日 18:50～18:55
測定レンジ:	0～1MPa	検定者氏名:	渡辺　満
設置位置:	D-③	検定時気温:	21.6℃

検定記録

基準値 (MPa)	① 定格出力 (mA)	② 実測出力 (mA)	③=②-① 誤差 (mA)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mA)	⑥=②－⑤ 誤差 (mA)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	4.000	4.026	0.026	0.16	4.028	-0.002	-0.01
0.2000	7.200	7.225	0.025	0.16	7.224	0.001	0.01
0.4000	10.400	10.421	0.021	0.13	10.420	0.001	0.01
0.6000	13.600	13.618	0.018	0.11	13.616	0.002	0.01
0.8000	16.800	16.812	0.012	0.08	16.812	0.000	0.00
1.0000	20.000	20.007	0.007	0.04	20.008	-0.001	-0.01
0.8000	16.800	16.804	0.004	0.02	16.812	-0.008	-0.05
0.6000	13.600	13.604	0.004	0.02	13.616	-0.012	-0.08
0.4000	10.400	10.405	0.005	0.03	10.420	-0.015	-0.09
0.2000	7.200	7.206	0.006	0.04	7.224	-0.018	-0.11
0.0000	4.000	4.008	0.008	0.05	4.028	-0.020	-0.12

検定結果

定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	4.026	mA	ゼロ点	ゼロ点(昇圧	4.028	mA
	基準値	4.000	mA		基準値	4.028	mA
	誤差	0.026	mA		誤差	-0.002	mA
	許容誤差	±0.016	mA		許容誤差	±0.016	mA
SPAN	実測SPAN	15.981	mA/MPa	SPAN	実測SPAN	15.980	mA/MPa
	基準値	16.000	mA/MPa		基準値	15.980	mA/MPa
	誤差	-0.019	mA/MPa		誤差	0.000	mA/MPa
	許容誤差	±0.016	mA/MPa		許容誤差	±0.016	mA/MPa



㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

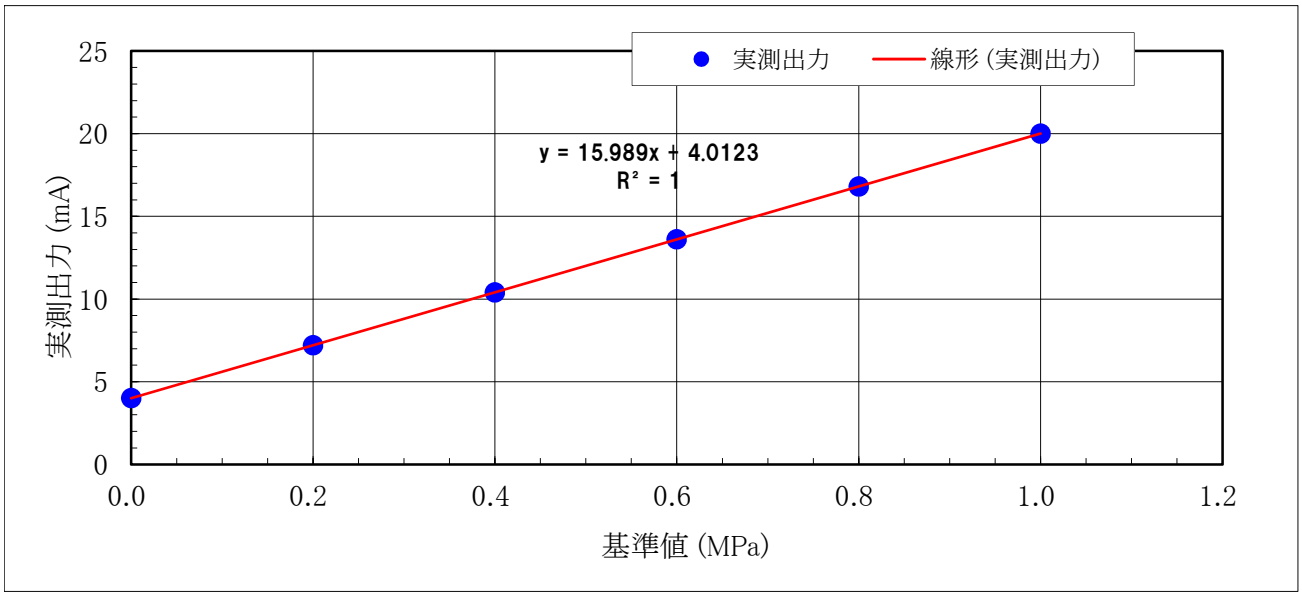
センサ型番:	6NA7091015	検定年月日:	平成30年10月9日 19:00～19:07
測定レンジ:	0～1MPa	検定者氏名:	渡辺　満
設置位置:	D-⑤	検定時気温:	20.8℃

検定記録

基準値 (MPa)	① 定格出力 (mA)	② 実測出力 (mA)	③=②-① 誤差 (mA)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mA)	⑥=②－⑤ 誤差 (mA)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	4.000	4.010	0.010	0.06	4.012	-0.002	-0.01
0.2000	7.200	7.212	0.012	0.07	7.210	0.002	0.01
0.4000	10.400	10.409	0.009	0.06	10.408	0.001	0.01
0.6000	13.600	13.607	0.007	0.04	13.606	0.001	0.01
0.8000	16.800	16.803	0.003	0.02	16.804	-0.001	-0.01
1.0000	20.000	20.001	0.001	0.01	20.002	-0.001	0.00
0.8000	16.800	16.802	0.002	0.01	16.804	-0.002	-0.01
0.6000	13.600	13.600	0.000	0.00	13.606	-0.006	-0.04
0.4000	10.400	10.401	0.001	0.01	10.408	-0.007	-0.04
0.2000	7.200	7.200	0.000	0.00	7.210	-0.010	-0.06
0.0000	4.000	3.999	-0.001	-0.01	4.012	-0.013	-0.08

検定結果

定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	4.010	mA	ゼロ点	ゼロ点(昇圧	4.012	mA
	基準値	4.000	mA		基準値	4.012	mA
	誤差	0.010	mA		誤差	-0.002	mA
	許容誤差	±0.016	mA		許容誤差	±0.016	mA
SPAN	実測SPAN	15.991	mA/MPa	SPAN	実測SPAN	15.989	mA/MPa
	基準値	16.000	mA/MPa		基準値	15.989	mA/MPa
	誤差	-0.009	mA/MPa		誤差	0.000	mA/MPa
	許容誤差	±0.016	mA/MPa		許容誤差	±0.016	mA/MPa



㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

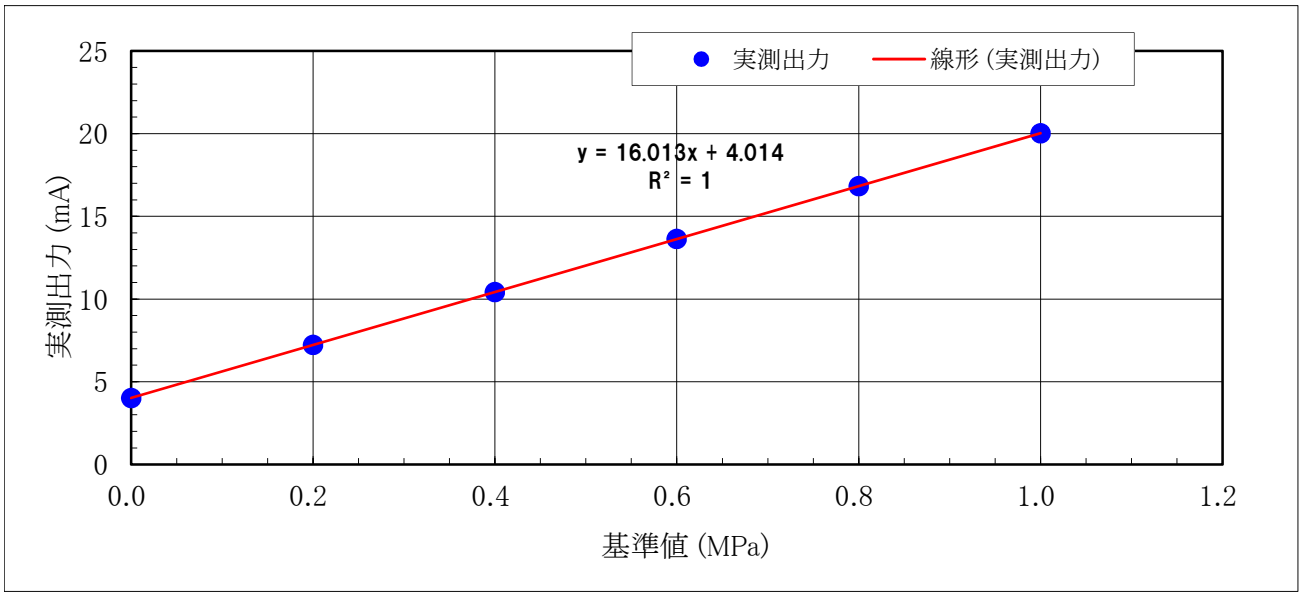
センサ型番:	6NA7091017	検定年月日:	平成30年10月9日 19:15～19:23
測定レンジ:	0～1MPa	検定者氏名:	渡辺　満
設置位置:	D-⑦	検定時気温:	19.9℃

検定記録

基準値 (MPa)	① 定格出力 (mA)	② 実測出力 (mA)	③=②-① 誤差 (mA)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mA)	⑥=②－⑤ 誤差 (mA)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	4.000	4.012	0.012	0.07	4.014	-0.002	-0.01
0.2000	7.200	7.217	0.017	0.11	7.217	0.000	0.00
0.4000	10.400	10.420	0.020	0.12	10.419	0.001	0.00
0.6000	13.600	13.626	0.026	0.16	13.622	0.004	0.02
0.8000	16.800	16.823	0.023	0.14	16.825	-0.002	-0.01
1.0000	20.000	20.026	0.026	0.16	20.027	-0.001	-0.01
0.8000	16.800	16.811	0.011	0.07	16.825	-0.014	-0.09
0.6000	13.600	13.606	0.006	0.04	13.622	-0.016	-0.10
0.4000	10.400	10.399	-0.001	-0.01	10.419	-0.020	-0.13
0.2000	7.200	7.197	-0.003	-0.02	7.217	-0.020	-0.12
0.0000	4.000	3.993	-0.007	-0.04	4.014	-0.021	-0.13

検定結果

定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	4.012	mA	ゼロ点	ゼロ点(昇圧	4.014	mA
	基準値	4.000	mA		基準値	4.014	mA
	誤差	0.012	mA		誤差	-0.002	mA
	許容誤差	±0.016	mA		許容誤差	±0.016	mA
SPAN	実測SPAN	16.014	mA/MPa	SPAN	実測SPAN	16.013	mA/MPa
	基準値	16.000	mA/MPa		基準値	16.013	mA/MPa
	誤差	0.014	mA/MPa		誤差	0.000	mA/MPa
	許容誤差	±0.016	mA/MPa		許容誤差	±0.016	mA/MPa



㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

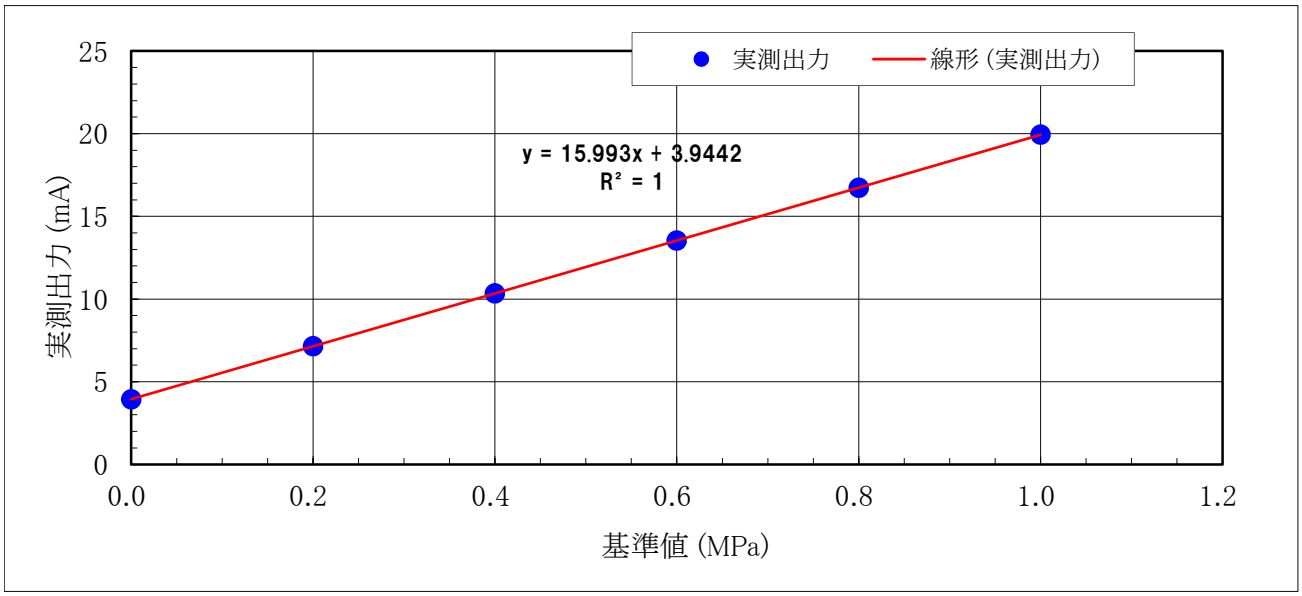
センサ型番:	9NA7042004	検定年月日:	平成30年10月9日 19:28～19:37
測定レンジ:	0～1MPa	検定者氏名:	渡辺　満
設置位置:	D-⑧	検定時気温:	19.6℃

検定記録

基準値 (MPa)	① 定格出力 (mA)	② 実測出力 (mA)	③=②-① 誤差 (mA)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mA)	⑥=②－⑤ 誤差 (mA)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	4.000	3.941	-0.059	-0.37	3.944	-0.003	-0.02
0.2000	7.200	7.144	-0.056	-0.35	7.143	0.001	0.01
0.4000	10.400	10.345	-0.055	-0.34	10.341	0.004	0.02
0.6000	13.600	13.542	-0.058	-0.36	13.540	0.002	0.01
0.8000	16.800	16.735	-0.065	-0.41	16.739	-0.004	-0.02
1.0000	20.000	19.937	-0.063	-0.39	19.937	0.000	0.00
0.8000	16.800	16.730	-0.070	-0.44	16.739	-0.009	-0.05
0.6000	13.600	13.532	-0.068	-0.43	13.540	-0.008	-0.05
0.4000	10.400	10.337	-0.063	-0.39	10.341	-0.004	-0.03
0.2000	7.200	7.137	-0.063	-0.39	7.143	-0.006	-0.04
0.0000	4.000	3.934	-0.066	-0.41	3.944	-0.010	-0.06

検定結果

定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	3.941	mA	ゼロ点	ゼロ点(昇圧	3.944	mA
	基準値	4.000	mA		基準値	3.944	mA
	誤差	-0.059	mA		誤差	-0.003	mA
	許容誤差	±0.016	mA		許容誤差	±0.016	mA
SPAN	実測SPAN	15.996	mA/MPa	SPAN	実測SPAN	15.993	mA/MPa
	基準値	16.000	mA/MPa		基準値	15.993	mA/MPa
	誤差	-0.004	mA/MPa		誤差	0.000	mA/MPa
	許容誤差	±0.016	mA/MPa		許容誤差	±0.016	mA/MPa



㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

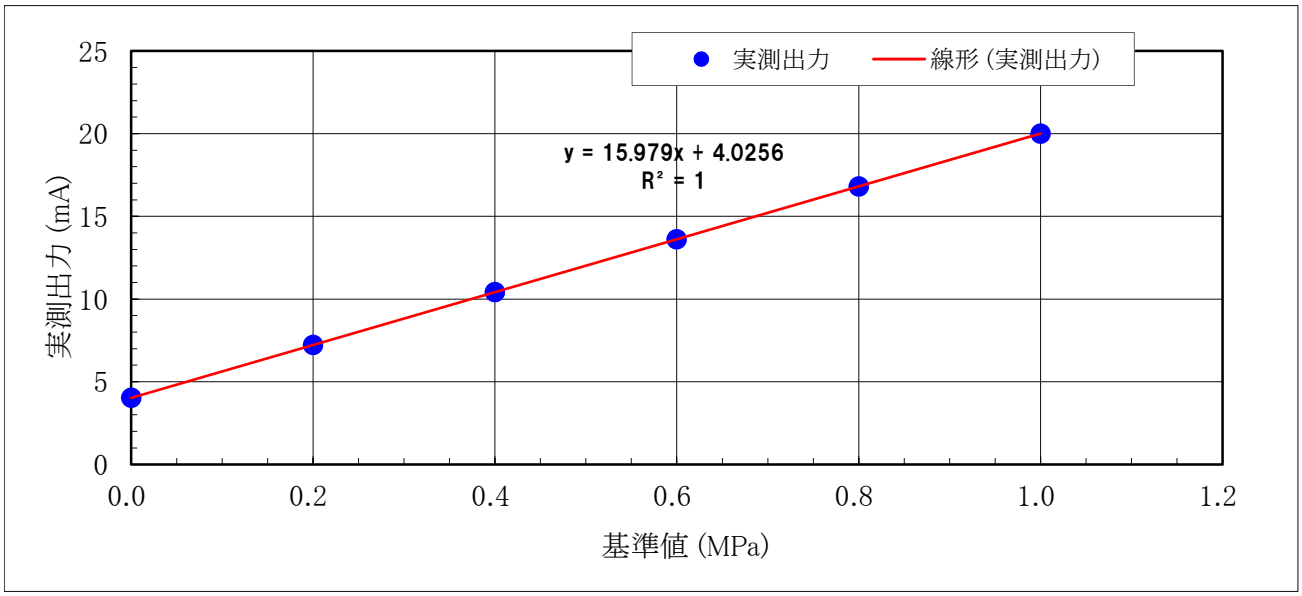
センサ型番:	6NA7091020	検定年月日:	平成30年10月10日 8:12～8:23
測定レンジ:	0～1MPa	検定者氏名:	渡辺　満
設置位置:	E-②	検定時気温:	19.9℃

検定記録

基準値 (MPa)	① 定格出力 (mA)	② 実測出力 (mA)	③=②-① 誤差 (mA)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mA)	⑥=②－⑤ 誤差 (mA)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	4.000	4.027	0.027	0.17	4.026	0.001	0.01
0.2000	7.200	7.221	0.021	0.13	7.222	-0.001	0.00
0.4000	10.400	10.416	0.016	0.10	10.417	-0.001	-0.01
0.6000	13.600	13.613	0.013	0.08	13.613	0.000	0.00
0.8000	16.800	16.809	0.009	0.06	16.809	0.000	0.00
1.0000	20.000	20.006	0.006	0.04	20.005	0.001	0.01
0.8000	16.800	16.802	0.002	0.01	16.809	-0.007	-0.04
0.6000	13.600	13.601	0.001	0.01	13.613	-0.012	-0.08
0.4000	10.400	10.401	0.001	0.01	10.417	-0.016	-0.10
0.2000	7.200	7.203	0.003	0.02	7.222	-0.019	-0.12
0.0000	4.000	4.005	0.005	0.03	4.026	-0.021	-0.13

検定結果

定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	4.027	mA	ゼロ点	ゼロ点(昇圧	4.026	mA
	基準値	4.000	mA		基準値	4.026	mA
	誤差	0.027	mA		誤差	0.001	mA
	許容誤差	±0.016	mA		許容誤差	±0.016	mA
SPAN	実測SPAN	15.979	mA/MPa	SPAN	実測SPAN	15.979	mA/MPa
	基準値	16.000	mA/MPa		基準値	15.979	mA/MPa
	誤差	-0.021	mA/MPa		誤差	0.000	mA/MPa
	許容誤差	±0.016	mA/MPa		許容誤差	±0.016	mA/MPa



㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

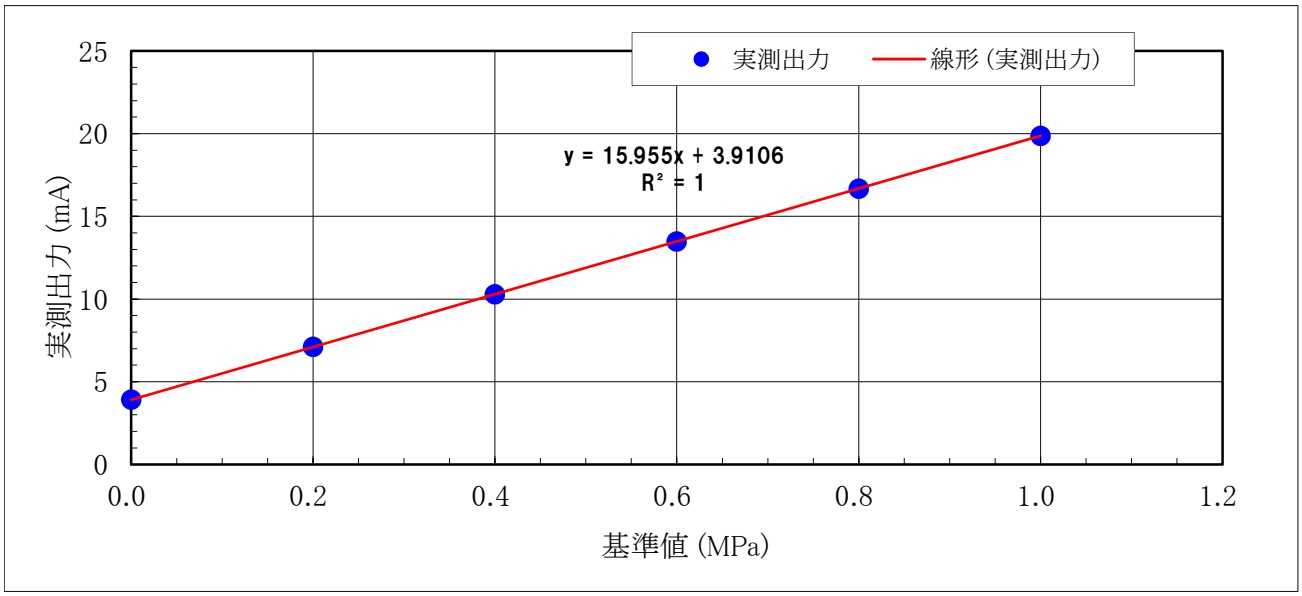
センサ型番:	6NA7091021	検定年月日:	平成30年10月10日 8:23～8:33
測定レンジ:	0～1MPa	検定者氏名:	渡辺　満
設置位置:	E-③	検定時気温:	20.0℃

検定記録

基準値 (MPa)	① 定格出力 (mA)	② 実測出力 (mA)	③=②-① 誤差 (mA)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mA)	⑥=②－⑤ 誤差 (mA)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	4.000	3.912	-0.088	-0.55	3.911	0.001	0.01
0.2000	7.200	7.102	-0.098	-0.61	7.102	0.000	0.00
0.4000	10.400	10.292	-0.108	-0.68	10.293	-0.001	0.00
0.6000	13.600	13.482	-0.118	-0.74	13.484	-0.002	-0.01
0.8000	16.800	16.673	-0.127	-0.79	16.675	-0.002	-0.01
1.0000	20.000	19.869	-0.131	-0.82	19.866	0.003	0.02
0.8000	16.800	16.670	-0.130	-0.81	16.675	-0.005	-0.03
0.6000	13.600	13.473	-0.127	-0.79	13.484	-0.011	-0.07
0.4000	10.400	10.276	-0.124	-0.78	10.293	-0.017	-0.10
0.2000	7.200	7.077	-0.123	-0.77	7.102	-0.025	-0.15
0.0000	4.000	3.883	-0.117	-0.73	3.911	-0.028	-0.17

検定結果

定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	3.912	mA	ゼロ点	ゼロ点(昇圧	3.911	mA
	基準値	4.000	mA		基準値	3.911	mA
	誤差	-0.088	mA		誤差	0.001	mA
	許容誤差	±0.016	mA		許容誤差	±0.016	mA
SPAN	実測SPAN	15.957	mA/MPa	SPAN	実測SPAN	15.955	mA/MPa
	基準値	16.000	mA/MPa		基準値	15.955	mA/MPa
	誤差	-0.043	mA/MPa		誤差	0.000	mA/MPa
	許容誤差	±0.016	mA/MPa		許容誤差	±0.016	mA/MPa



㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

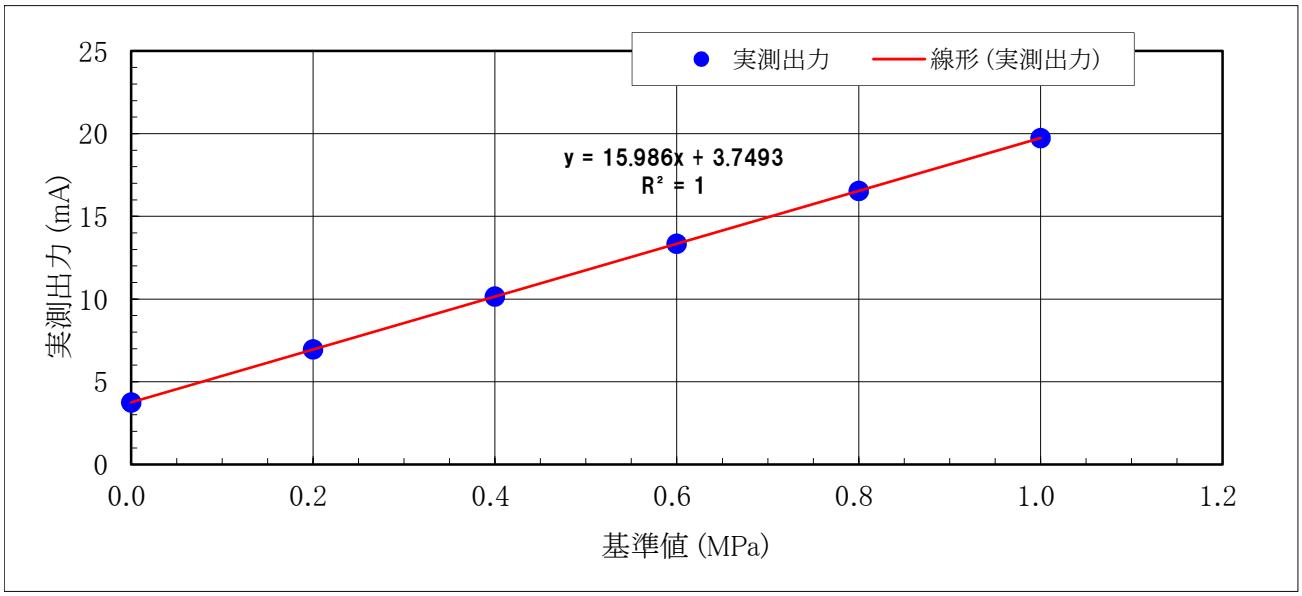
センサ型番:	6NA7091024	検定年月日:	平成30年10月10日 8:35～8:44
測定レンジ:	0～1MPa	検定者氏名:	渡辺　満
設置位置:	E-⑥	検定時気温:	20.9℃

検定記録

基準値 (MPa)	① 定格出力 (mA)	② 実測出力 (mA)	③=②-① 誤差 (mA)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mA)	⑥=②－⑤ 誤差 (mA)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	4.000	3.747	-0.253	-1.58	3.749	-0.002	-0.01
0.2000	7.200	6.947	-0.253	-1.58	6.947	0.000	0.00
0.4000	10.400	10.145	-0.255	-1.59	10.144	0.001	0.01
0.6000	13.600	13.343	-0.257	-1.61	13.341	0.002	0.01
0.8000	16.800	16.540	-0.260	-1.63	16.538	0.002	0.01
1.0000	20.000	19.732	-0.268	-1.68	19.735	-0.003	-0.02
0.8000	16.800	16.524	-0.276	-1.73	16.538	-0.014	-0.09
0.6000	13.600	13.323	-0.277	-1.73	13.341	-0.018	-0.11
0.4000	10.400	10.124	-0.276	-1.73	10.144	-0.020	-0.12
0.2000	7.200	6.926	-0.274	-1.71	6.947	-0.021	-0.13
0.0000	4.000	3.722	-0.278	-1.74	3.749	-0.027	-0.17

検定結果

定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	3.747	mA	ゼロ点	ゼロ点(昇圧	3.749	mA
	基準値	4.000	mA		基準値	3.749	mA
	誤差	-0.253	mA		誤差	-0.002	mA
	許容誤差	±0.016	mA		許容誤差	±0.016	mA
SPAN	実測SPAN	15.985	mA/MPa	SPAN	実測SPAN	15.986	mA/MPa
	基準値	16.000	mA/MPa		基準値	15.986	mA/MPa
	誤差	-0.015	mA/MPa		誤差	0.000	mA/MPa
	許容誤差	±0.016	mA/MPa		許容誤差	±0.016	mA/MPa



㈱ダイヤコンサルタント

間隙水圧計出力特性検査記録表

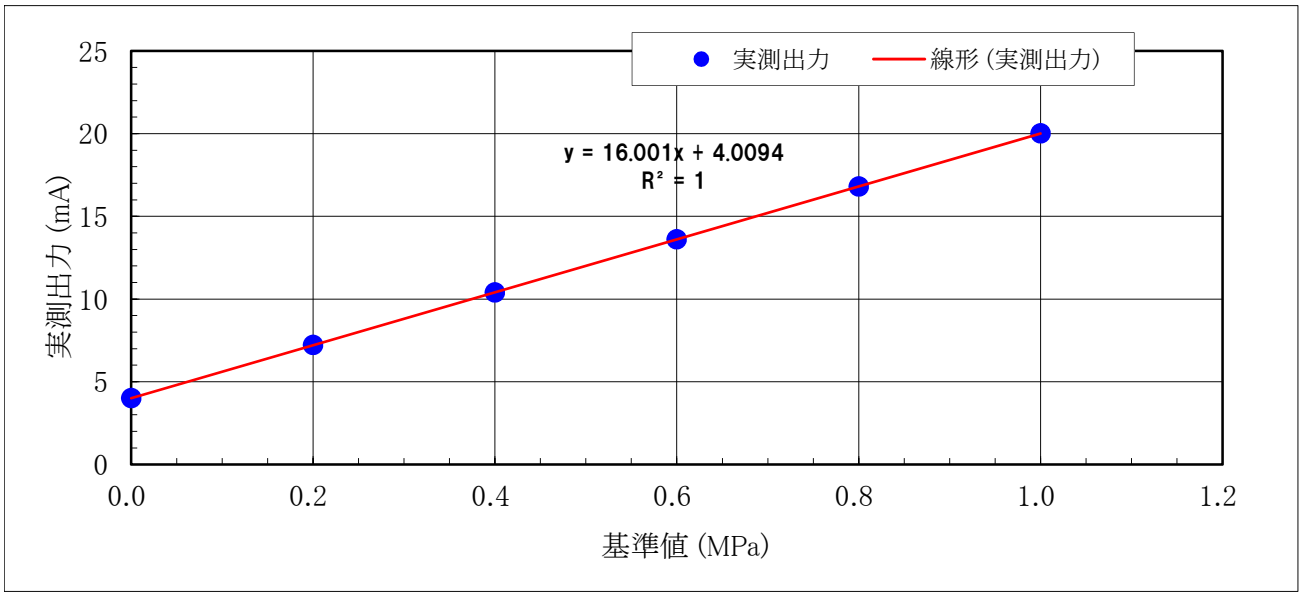
センサ型番:	6NA7091025	検定年月日:	平成30年10月10日 8:43～8:59
測定レンジ:	0～1MPa	検定者氏名:	林　駿介
設置位置:	E-⑦	検定時気温:	22.1℃

検定記録

基準値 (MPa)	① 定格出力 (mA)	② 実測出力 (mA)	③=②-① 誤差 (mA)	④ 精度 (%of SPAN)	⑤ 補正 定格出力 (mA)	⑥=②－⑤ 誤差 (mA)	⑦ 精度 (%of SPAN)
0.0000	4.000	4.008	0.008	0.05	4.009	-0.001	-0.01
0.2000	7.200	7.218	0.018	0.11	7.210	0.008	0.05
0.4000	10.400	10.401	0.001	0.01	10.410	-0.009	-0.06
0.6000	13.600	13.613	0.013	0.08	13.610	0.003	0.02
0.8000	16.800	16.805	0.005	0.03	16.810	-0.005	-0.03
1.0000	20.000	20.015	0.015	0.09	20.011	0.004	0.03
0.8000	16.800	16.807	0.007	0.04	16.810	-0.003	-0.02
0.6000	13.600	13.611	0.011	0.07	13.610	0.001	0.01
0.4000	10.400	10.415	0.015	0.09	10.410	0.005	0.03
0.2000	7.200	7.179	-0.021	-0.13	7.210	-0.031	-0.19
0.0000	4.000	3.985	-0.015	-0.09	4.009	-0.024	-0.15

検定結果

定格出力に対する検定結果				補正定格出力に対する検定結果			
ゼロ点	ゼロ点	4.008	mA	ゼロ点	ゼロ点(昇圧	4.009	mA
	基準値	4.000	mA		基準値	4.009	mA
	誤差	0.008	mA		誤差	-0.001	mA
	許容誤差	±0.016	mA		許容誤差	±0.016	mA
SPAN	実測SPAN	16.007	mA/MPa	SPAN	実測SPAN	16.001	mA/MPa
	基準値	16.000	mA/MPa		基準値	16.001	mA/MPa
	誤差	0.007	mA/MPa		誤差	0.000	mA/MPa
	許容誤差	±0.016	mA/MPa		許容誤差	±0.016	mA/MPa



㈱ダイヤコンサルタント

委託調査報告書公表用書誌情報

（様式1）

記入項目	書誌情報		記入要領
1．報告書の題名【必須】	平成30年度低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業 地下空洞型処分施設機能確認試験 報告書		報告書の題名を以下の要領にて記入して下さい。 ・報告書の題名は本の表紙に記載されている表題と一致させて下さい。 ・記載されている題名は全て記入して下さい（委託事業名を含む）。 ・本の表題に委託事業名が記載されていない場合、次の2．委託事業名欄に記載して下さい。 ・文字の入力（全角・半角）は全て表題に記載されているとおり入力して下さい。 ・値に改行は使用できません。
2．委託事業名【必須】			報告書の表題に委託契約書に記載されている委託事業名が記載されていない場合のみ入力して下さい（報告書名は記載しないでください）。
3．報告書の作成者名【必須】 （委託先名）	公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター		報告書を作成した作成者名（委託事業者名）を以下の要領により記入して下さい。 ・作成者名が複数ある場合はそれぞれの事業者を半角カンマ(,)区切りで入力して下さい。 ・値に改行は使用できません。
4．報告書の概要【必須】	本報告書は、地下空洞型処分施設を対象とし、ベントナイト系材料やセメント系材料により構成される人工バリアについて、長期性能を確認するための考え方、モニタリング計画、性能確認の実現性等の検討を実施し、その成果を取り纏めたものである。		報告書の概要を記入して下さい。（140文字以内を推奨）
5．報告書のタグ情報【必須】	安全,エネルギー,研究		データ検索を容易にするための検索キーワードを以下から選択し、入力して下さい。 G空間、安全、医療、エネルギー、ガス、環境、観測、議会資料、企業_会社情報、教育、漁業、金融、契約、研究、建設、保健、商業、工業、交通、国際、国際開発_援助、国土、財政、裁判、支出、社会可動性、社会保障、商取引、食料、水産業、スポーツ、生活、製造、地方、調達、通信_放送、統計、農業、犯罪、福祉、不動産、法令集、保険、郵便、林業、経済、行政、鉱業、産業、資源、社会、水道、地理、法律、立法、労働、災害、セキュリティ 複数の値を入力する場合は、半角カンマ(,)区切りで列挙する。 【例】G空間,交通
6．報告書のタグ情報（自由記述） 【任意】	放射性廃棄物		5以外のタグ情報があれば、入力して下さい。複数キーワードを入力する場合は、半角カンマ(,)区切りで列挙して下さい。キーワードに使用できる記号は、半角ハイフン(-)と半角アンダーバー(_)です。 【例】水,土壌
7．対象地域【任意】			調査が地域に特化している内容であれば、都道府県コード及び市町村コードを記入して下さい。※総務省の全国地方公共団体コード （http://www.soumu.go.jp/denshijiti/code.html） 複数の値を入力する場合は、半角カンマ(,)区切りで列挙して下さい。 【例】01,01101 （北海道の都道府県コードは「01」、北海道中央区の市町村コードは「01101」である）
8．契約期間【任意】	契約開始日	契約終了日	委託先との契約期間について入力して下さい。 数字は半角で入力して下さい。YYYY/MM/DD形式で入力すると、和暦に変換されます 。
	平成30年4月2日	平成31年3月31日	
9．担当課室名【必須】	資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 放射性廃棄物対策課		報告書の担当窓口となった経済産業省の局課室名を以下の要領により入力して下さい。 ・担当局課室が複数ある場合はそれぞれの局課室名をカンマで区切って入力して下さい。 ・値に改行は使用できません。

10. 担当者名・内線番号【必須】	担当者名	内線番号	報告書の担当者名と内線番号、外線番号、担当者アドレスを入力して下さい。 英数字、記号は半角を使用して下さい。 【外線番号の例】03-3501-0533 ・外線番号のみ公表されます。 ※各欄には、経済産業省の担当課室の担当者等を記載のこと。
	岩田　孟	75915	
	外線番号	担当者アドレス	
	03-3501-1992	iwata-hajime@meti.go.jp	
11. 報告書の作成年月日【必須】	平成31年3月31日		報告書を作成した年月日を入力して下さい。(不明な場合は年月も可。) 数字は半角で入力して下さい。YYYY/MM/DD形式で入力すると、和暦に変換されます 。
12. 報告書の作成頻度【必須】	随時		委託調査の特性上、基本的に随時作成を選択して下さい。 定期的に報告書を作成している場合は、作成頻度を以下から選択して下さい。 選択肢がない場合は自由記述で入力して下さい。 年単位、半年単位、四半期単位、隔月単位、月単位、隔週単位、週単位、随時、リアルタイム 複数の値を入力する場合は、半角カンマ(,)区切りで列挙する 。
13. ライセンスの選択【必須】	CC-BY		国が保有する情報の特性上、基本的にライセンス(利用条件)はCC-BYを選択して下さい。 報告書の内容によっては、他のライセンスを以下から選択して下さい(ライセンスの詳細は下記参照)。 CC0(制約なし)、CC-BY(出典表示)、CC-BY-ND(改変禁止)、 CC-BY-SA(利用規約の継承)、CC-BY-NC(非営利)、CC-NC(非商用)、その他
14.「委託調査」の該当の有無【必須】	■該当する。 □該当しない。		該当する□を■に変更してください。 「委託調査」に「該当しない」にチェックされている場合は、原則、HPには掲載されません。 「委託調査の定義」については、下記を参考にして下さい。
15. セルフチェック【必須】	■内容に情報公開法に抵触する企業情報等やアンケート個票等のデータは入ってい ■ホームページに掲載できる報告様式のPDFファイルとなっている。		チェックのうえ□を■に変更してください。

(参考)
ライセンスについて
・CC0　原作者のクレジットの表示を必要とせず、改変はもちろん、営利目的での二次利用も許可されるライセンス(パブリックドメイン)。
・CC-BY　原作者のクレジット(氏名、作品タイトルなど)を表示することを主な条件とし、改変はもちろん、営利目的での二次利用も許可されるライセンス。
・CC-BY-ND　原作者のクレジット(氏名、作品タイトルなど)を表示し、かつ元の作品を改変しないことを主な条件に、営利目的での利用(転載、コピー、共有)が行えるライセンス。
・CC-BY-SA　原作者のクレジット(氏名、作品タイトルなど)を表示し、改変した場合には元の作品と同じCCライセンス(このライセンス)で公開することを主な条件に、営利目的での二次利用も許可されるライセンス。
・CC-BY-NC　原作者のクレジット(氏名、作品タイトルなど)を表示し、かつ非営利目的であることを主な条件に、改変したり再配布したりすることができるライセンス。

【委託調査の定義】
政策の企画立案のために活用することを目的として、物事の実態・動向などを明確にするために調べるもの(委託費に限る。)。
※　ある一つの事業の内数として行われるものであって、特定の事業と一体不可分として行われ、調査だけを切り離すことができないものは含まない。
(例1)具体的な人材育成プログラムを作成する上で前提となる企業の人材ニーズ調査
→　×:「委託調査」の対象外
(例2)具体的な人材育成プログラムを作成する事業と同じ経費に含まれているが、当該事業に直結するものではない、一般的な諸外国の人材育成に係る施策の動向調査
→　○:「委託調査」の対象
※研究開発、実証実験、技術基準、探査等は、「委託調査」の範囲外とする。
※該当するか否かの判断に迷った場合は大臣官房会計課企画担当(内線2217)まで御連絡の上確認下さい。