

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

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 5 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 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系材料である低透水層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 29 年度は、上記の状況を十分踏まえた上で、本事業の基本となる機能確認試験計画の策定並びに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 報告書目次

はじめに

第1章 全体概要 .....	1-1
1.1 本事業の背景と目的 .....	1-1
1.1.1 試験の背景 .....	1-1
1.1.2 試験の目的 .....	1-1
1.2 本事業の概要 .....	1-3
1.2.1 試験の概要 .....	1-3
1.3 平成29年度の実施概要 .....	1-3
1.3.1 検討委員会 .....	1-3
1.3.2 平成29年度の成果の概要 .....	1-4
(1) 具体的な機能確認試験計画の策定 .....	1-5
(2) 機能確認の実現性確認 .....	1-10
(3) 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 .....	1-41
第1章 参考文献 .....	1-47
第2章 具体的な機能確認試験計画の策定 .....	2-1
2.1 概説 .....	2-1
2.2 規制要求の整理 .....	2-3
2.2.1 規制要求の前提 .....	2-3
(1) 処分概念 .....	2-3
(2) 規制終了までの期間 .....	2-4
2.2.2 中深度処分事業の各段階 .....	2-5
2.2.3 規制要求の考え方 .....	2-5
(1) 設計要求 .....	2-6
(2) 管理要求 .....	2-6
2.2.4 廃止措置の開始までの期間中の異常な漏えいを防止する機能 .....	2-8
2.3 確認対象項目（モニタリング項目）の選定 .....	2-11
2.3.1 中深度処分施設に要求される機能 .....	2-11
2.3.2 中深度処分施設を構成する各部位に要求される機能と技術要件 .....	2-12
2.3.3 中深度処分施設を構成する各部位の仕様・管理項目とモニタリング項目の関係 .....	2-15
2.3.4 確認対象項目（モニタリング項目）の抽出 .....	2-28

2.4 実規模施設に設置する光ファイバセンサーの種類、設置位置、設置方法の検討.....	2-30
2.4.1 光ファイバセンサーの種類 .....	2-30
2.4.2 光ファイバセンサーの設置位置 .....	2-34
2.4.3 光ファイバセンサーの設置方法 .....	2-40
2.5 実規模施設のセメント系材料に人為的なひび割れを発生させる方法の検討.....	2-44
2.5.1 はじめに .....	2-44
2.5.2 (既設の) 実規模施設を用いたひび割れ計測試験の試験条件の整理 .....	2-45
(1) 対象部材 .....	2-45
(2) 試験状況 .....	2-48
2.5.3 現行のひび割れ誘発技術の調査 .....	2-50
2.5.4 ひび割れ誘発手法の選定に関する要素実験 .....	2-53
(1) 静的破砕剤を用いたひび割れ誘発手法.....	2-53
(2) セリ矢を用いたひび割れ誘発手法.....	2-63
(3) 板ジャッキを用いたひび割れ誘発手法.....	2-70
(4) 標準パッカーを用いたひび割れ誘発手法 .....	2-81
(5) 要素実験のまとめ.....	2-104
2.5.5 本検討のまとめ .....	2-106
2.6 既設の計測機器類のデータ活用方法の検討.....	2-107
2.6.1 既設の計測機器類の耐久性評価 .....	2-107
2.6.2 既設の計測機器類のデータ活用方法 .....	2-134
第2章 参考文献.....	2-141
第3章 機能確認の実現性確認.....	3-1
3.1 解析精度向上に資するセメント系材料の化学的変質、溶解特性に関するデータの取得 ..3-1	
3.1.1 はじめに .....	3-1
3.1.2 試験概要 .....	3-2
3.1.3 試験条件 .....	3-2
(1) 試験空洞の吹付けコンクリートの使用材料と配合 .....	3-2
(2) 溶解試験の材料と配合 .....	3-4
(3) 溶質試験ケース .....	3-5
3.1.4 溶解試験手順.....	3-6
(1) 練混ぜ.....	3-6
(2) 供試体採取 .....	3-6
(3) 養生 .....	3-7
(4) 試料調整 .....	3-9
(5) 溶解試験 .....	3-10

(6) 試料分析 .....	3-11
3.1.5 溶解試験の試験項目 .....	3-11
(1) 物理試験項目 .....	3-11
(2) 化学分析項目 .....	3-11
3.1.6 溶解試験の試験結果 .....	3-13
(1) 物理試験結果 .....	3-13
(2) 化学試験 .....	3-15
3.1.7 溶解平衡関係の取得 .....	3-30
(1) 浸漬水の分析 .....	3-30
(2) 溶解平衡関係の取得 .....	3-34
3.1.8 まとめ .....	3-38
3.2 施設挙動の定量化解析 .....	3-39
3.2.1 熱・水・力学に着目した施設挙動 .....	3-39
(1) 目的および検討概要 .....	3-39
(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 .....	3-39
(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 .....	3-63
3.2.2 化学に着目した施設挙動 .....	3-90
(1) はじめに .....	3-90
(2) 解析方針 .....	3-91
(3) 解析コード LIFE D.N.A. ....	3-93
(4) 解析概要 .....	3-102
(5) 解析結果 .....	3-109
3.3 既存計測技術を利用した実処分施設で実施可能なモニタリング計画の具体化 .....	3-174
3.3.1 実処分施設での実施可能なモニタリング項目 .....	3-174
3.3.2 モニタリング計画の具体化 .....	3-176
(1) モニタリング評価方法 .....	3-176
(2) モニタリング計画の具体化 .....	3-177
3.4 光ファイバセンサーの適用に向けたラボ試験 .....	3-216
3.4.1 光ファイバセンサーの耐久性評価 .....	3-216
(1) 評価試験の概要 .....	3-216
(2) 光ファイバ .....	3-217
(3) 劣化促進 .....	3-219
(4) 機械的評価 .....	3-223
(5) 光学的評価 .....	3-233
3.4.2 光ファイバセンサーによる圧力測定 .....	3-237

(1) 圧力測定の概要 .....	3-237
(2) 検証実験 .....	3-238
3.5 光ファイバセンサーによるひずみ等の計測 .....	3-242
3.5.1 概要 .....	3-242
3.5.2 ひずみ計測用光ファイバセンサー .....	3-245
3.5.3 温度計測用光ファイバセンサー .....	3-261
3.5.4 事前試験用の試験体の製作 .....	3-273
(1) はじめに .....	3-273
(2) 実規模施設を用いたひび割れ計測試験の試験条件の整理 .....	3-274
(3) 事前試験用の試験体の設計 .....	3-279
(4) 事前試験用の試験体の製作 .....	3-291
第3章 参考文献 .....	3-300

第4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 .....	4-1
4.1 本年度の既存施設の計測調査データ取得 .....	4-1
4.1.1 計測データ回収 .....	4-1
(1) 既設計器の計測データ回収 .....	4-1
(2) 地震計メンテナンス・計測データの回収 .....	4-2
(3) 間隙水圧計計測 .....	4-5
(4) ひび割れ調査 .....	4-15
(5) 地中無線データ回収 .....	4-72
4.1.2 計測データの整理 .....	4-78
4.1.3 計測システムの保守・点検 .....	4-87
(1) 既設静的設備の保守・点検 .....	4-87
(2) 間隙水圧計他点検 .....	4-88
(3) 計測システム保守・点検 .....	4-110
4.1.4 まとめ .....	4-114
4.2 既存施設の計測調査データの評価 .....	4-115
4.2.1 施設・岩盤挙動計測データの分析・評価 .....	4-115
(1) 坑内環境計測結果の分析評価 .....	4-115
(2) 上部埋戻し材の計測結果の分析評価 .....	4-117
(3) 底部低透水層の計測結果の分析評価 .....	4-120
(4) セメント系材料の計測結果の分析評価 .....	4-133
(5) ひび割れ調査の分析評価 .....	4-141
(6) 周辺岩盤挙動計測結果の分析評価 .....	4-164

4.2.2	地震計の観測データの整理と挙動分析.....	4-170
(1)	検討フロー .....	4-170
(2)	観測データの分析・評価.....	4-171
(3)	解析による地震時の挙動の評価 .....	4-216
4.3	まとめ .....	4-292
4.3.1	今年度の成果.....	4-292
(1)	既存施設の計測調査データの評価.....	4-292
(2)	地震計の観測データの整理と挙動分析.....	4-292
4.3.2	今後の課題 .....	4-293
(1)	地震観測の拡充 .....	4-293
(2)	当該サイトの地質構造および地盤物性値の設定 .....	4-293
第4章	参考文献.....	4-294
第5章	まとめ.....	5-1
5.1	本事業のまとめ.....	5-1
5.1.1	具体的な機能確認試験計画の策定.....	5-1
5.1.2	機能確認の実現性確認.....	5-1
5.1.3	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 .....	5-2
おわりに		

## 図目次

### 【第1章】

図 1.1-1	地下空洞型処分施設の概念図.....	1-2
図 1.3-1	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係 .....	1-6
図 1.3-2	側部低拡散層（左側）側面図.....	1-8
図 1.3-3	温度センサーケーブルの配置.....	1-8
図 1.3-4	標準パッカーによるひび割れ誘発イメージ .....	1-9
図 1.3-5	液固比と固相 Ca 濃度比の関係.....	1-11
図 1.3-6	熱-水連成解析ケース .....	1-12
図 1.3-7	解析フェーズ.....	1-13
図 1.3-8	解析ケース設定 .....	1-13
図 1.3-9	解析モデル .....	1-14
図 1.3-10	廃棄体からの発生熱量設定（施工期間含む） .....	1-14
図 1.3-11	解析結果出力点 .....	1-15
図 1.3-12	解析結果コンター図（フェーズ3_発熱あり） .....	1-16
図 1.3-13	解析モデル .....	1-17
図 1.3-14	施設施工手順を想定した解析ステップ .....	1-18
図 1.3-15	解析値の時間経過における変化推移（平均有効応力） .....	1-19
図 1.3-16	解析値の時間経過における変化推移（飽和度） .....	1-19
図 1.3-17	ケース1における解析モデル .....	1-21
図 1.3-18	ケース2における解析モデル .....	1-21
図 1.3-19	本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 .....	1-22
図 1.3-20	pH 分布（ケース1：50年後） .....	1-23
図 1.3-21	液相 Ca <sup>2+</sup> 分布（ケース1：50年後） .....	1-23
図 1.3-22	pH 分布（ケース2：300年後） .....	1-25
図 1.3-23	Ca <sup>2+</sup> 分布（ケース2：300年後） .....	1-25
図 1.3-24	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 .....	1-26
図 1.3-25	各タイプの光ファイバセンサー構成イメージ.....	1-29
図 1.3-26	動疲労試験結果（汎用タイプ；塩分） .....	1-30
図 1.3-27	動疲労試験結果（耐水タイプ；塩分） .....	1-30
図 1.3-28	放射線照射時間と損失の関係.....	1-31
図 1.3-29	試験構成.....	1-31
図 1.3-30	光ファイバセンサーの設置 .....	1-32
図 1.3-31	実験結果1（ひずみと荷重） .....	1-32
図 1.3-32	実験結果2（ひずみとクロスヘッド位置） .....	1-32



図 1.3-33	計測システムの構成	1-33
図 1.3-34	ひずみ計測用光ファイバセンサー	1-34
図 1.3-35	ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（側部低拡散層表面）	1-35
図 1.3-36	ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（上部低拡散層表面）	1-35
図 1.3-37	ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（手前コンクリートピット表面）	1-36
図 1.3-38	温度計測用光ファイバセンサーケーブル	1-37
図 1.3-39	温度計測用光ケーブルの配置（アクセス坑道沿い壁面）	1-38
図 1.3-40	温度計の配置	1-39
図 1.3-41	事前試験用試験体	1-40
図 1.3-42	鉄筋コンクリート供試体の配筋図（平面図）	1-41
図 1.3-43	地震動の加速度の増幅処理（地下空洞底盤上の地震計、y 方向）	1-45
図 1.3-44	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）	1-46
図 1.3-45	試験施設の応力の地震時増分（水平方向）	1-46

## 【第2章】

図 2.1-1	側部低拡散層（左側）の露出範囲（側面図）	2-1
図 2.1-2	上部低拡散層の露出範囲（平面図）	2-2
図 2.1-3	手前コンクリートピットの露出範囲（正面図）	2-2
図 2.1-4	光ファイバセンサーの計測結果からひび割れ発生状況を推定するイメージ	2-2
図 2.2-1	放射性廃棄物の処分概念	2-4
図 2.3-1	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（低透水層、閉鎖措置段階前）	2-16
図 2.3-2	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（低透水層、閉鎖措置段階以降）	2-17
図 2.3-3	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（低拡散層、閉鎖措置段階前）	2-18
図 2.3-4	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（低拡散層、閉鎖措置段階以降）	2-19
図 2.3-5	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（コンクリートピット、閉鎖措置段階前）	2-20
図 2.3-6	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（コンクリートピット、閉鎖措置段階以降）	2-21
図 2.3-7	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（区画内充てん材、閉鎖措置段階前）	2-22
図 2.3-8	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（区画内充てん材、閉鎖措置段階以降）	2-23

図 2.3-9	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（空洞内充てん材、閉鎖措置段階以降）	2-24
図 2.3-10	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（埋戻し材、閉鎖措置段階以降）	2-25
図 2.3-11	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（処分空洞、閉鎖措置段階前）	2-26
図 2.3-12	機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（処分空洞、閉鎖措置段階以降）	2-27
図 2.3-13	中深度処分施設の廃止措置段階終了までに発生し得る挙動の整理	2-29
図 2.4-1	散乱光のスペクトル	2-30
図 2.4-2	ひずみセンサーケーブル断面図	2-31
図 2.4-3	ひずみセンサーケーブル	2-31
図 2.4-4	温度センサーケーブル断面図	2-31
図 2.4-5	温度センサーケーブル	2-32
図 2.4-6	PPP-BOTDA 方式の構成	2-32
図 2.4-7	TW-COTDR 方式の構成	2-33
図 2.4-8	使用接着剤	2-34
図 2.4-9	設置時イメージ例	2-34
図 2.4-10	側部低拡散層（左側）側面図	2-35
図 2.4-11	上部低拡散層平面図	2-36
図 2.4-12	KK シートの凹凸形状と手前コンクリートピット表面の状況	2-37
図 2.4-13	手前コンクリートピット正面図	2-37
図 2.4-14	温度センサーケーブルの配置	2-38
図 2.4-15	温度センサーケーブル架設イメージ	2-38
図 2.4-16	温度計の配置	2-39
図 2.4-17	試験体（ひずみセンサーケーブル）	2-40
図 2.4-18	試験体（光ファイバ芯線）	2-40
図 2.4-19	吹付施工	2-41
図 2.4-20	吹付後の試験体	2-41
図 2.4-21	吹付前後の光透過損失の変化	2-41
図 2.4-22	実験構成	2-42
図 2.4-23	実験結果（間欠固定）	2-42
図 2.4-24	実験構成（全長固定）	2-43
図 2.5-1	側部低拡散層における既存のひび割れの計測計画のイメージ	2-45
図 2.5-2	ひび割れ誘発箇所	2-45
図 2.5-3	手前部コンクリートピット（正面図）	2-46

図 2.5-4	手前部コンクリートピット (2017年8月撮影)	2-46
図 2.5-5	KKシートの凹凸形状コンクリートピット表面の状況	2-47
図 2.5-6	上部低拡散層 (平面図)	2-47
図 2.5-7	上部低拡散層 (2017年8月撮影)	2-48
図 2.5-8	光ファイバセンサーの設置状況 (手前部コンクリートピット)	2-48
図 2.5-9	光ファイバセンサーの設置状況 (上部低拡散層)	2-49
図 2.5-10	コンクリートの解体技術の分類 (1/2)	2-51
図 2.5-11	コンクリートの解体技術の分類 (2/2)	2-52
図 2.5-12	静的破砕剤による供試体の破砕イメージ	2-53
図 2.5-13	試験体全景	2-54
図 2.5-14	試験体平面図・断面図	2-54
図 2.5-15	コアの削孔状況	2-55
図 2.5-16	ブライスター100	2-55
図 2.5-17	静的破砕剤の練混ぜ状況	2-56
図 2.5-18	静的破砕剤の充填状況	2-56
図 2.5-19	孔口の養生状況	2-57
図 2.5-20	静的破砕剤充填箇所の状況 (1/2)	2-57
図 2.5-21	静的破砕剤充填箇所の状況 (2/2)	2-58
図 2.5-22	ひび割れの発生状況 (静的破砕剤充填 24時間後)	2-58
図 2.5-23	ひび割れの発生状況 (静的破砕剤充填 48時間後)	2-59
図 2.5-24	供試体端部のひび割れの発生状況 (1/2)	2-59
図 2.5-25	供試体端部のひび割れの発生状況 (2/2)	2-60
図 2.5-26	供試体中央部上面のひび割れの発生状況	2-60
図 2.5-27	供試体中央部側面のひび割れの発生状況 (1/2)	2-61
図 2.5-28	供試体中央部側面のひび割れの発生状況 (2/2)	2-61
図 2.5-29	静的破砕剤を用いた解体工事の施工状況	2-62
図 2.5-30	セリ矢	2-63
図 2.5-31	セリ矢を用いたひび割れ誘発手法	2-63
図 2.5-32	電動セリ矢	2-64
図 2.5-33	試験体の寸法	2-64
図 2.5-34	セリ矢の貫入位置と順序	2-65
図 2.5-35	セリ矢の貫入穴の削孔状況	2-65
図 2.5-36	セリ矢の貫入状況 (1/2)	2-66
図 2.5-37	セリ矢の貫入状況 (2/2)	2-66
図 2.5-38	電動セリ矢の貫入状況	2-67
図 2.5-39	セリ矢の貫入位置と順序	2-67

図 2.5-40	ひび割れの発生状況 (①、②貫入後) .....	2-68
図 2.5-41	ひび割れの発生状況 (①~④貫入後) .....	2-68
図 2.5-42	ひび割れの発生状況 (①~④貫入後) .....	2-69
図 2.5-43	試験体の割裂状況 .....	2-69
図 2.5-44	セリ矢のひび割れの発生方向.....	2-70
図 2.5-45	板ジャッキ .....	2-71
図 2.5-46	ポンプユニット .....	2-71
図 2.5-47	板ジャッキの挿入状態と破壊状態[18] .....	2-71
図 2.5-48	板ジャッキ工法によるひび割れ誘発試験に用いた試験体① .....	2-72
図 2.5-49	板ジャッキ工法によるひび割れ誘発試験に用いた試験体② .....	2-72
図 2.5-50	本試験で使用した板ジャッキ.....	2-73
図 2.5-51	試験体のスリット導入状況(1/2).....	2-74
図 2.5-52	試験体のスリット導入状況(2/2).....	2-74
図 2.5-53	スリット導入後の試験体① .....	2-75
図 2.5-54	壁部材におけるダイヤモンドチェーンソウの施工状況 .....	2-75
図 2.5-55	板ジャッキの挿入状況(1/2).....	2-76
図 2.5-56	板ジャッキの挿入状況(2/2).....	2-76
図 2.5-57	板ジャッキ工法ポンプユニット .....	2-77
図 2.5-58	板ジャッキによるひび割れ誘発の試験状況 .....	2-78
図 2.5-59	試験体①のひび割れ発生状況 (1/3) .....	2-78
図 2.5-60	試験体①のひび割れ発生状況 (2/3) .....	2-79
図 2.5-61	試験体①のひび割れ発生状況 (3/3) .....	2-79
図 2.5-62	ひび割れの発生状況.....	2-80
図 2.5-63	標準パッカーで使用する機材.....	2-81
図 2.5-64	標準パッカーの側面図 .....	2-81
図 2.5-65	標準パッカーの破壊原理.....	2-81
図 2.5-66	標準パッカーの断面.....	2-82
図 2.5-67	標準パッカーによるひび割れ誘発イメージ .....	2-82
図 2.5-68	標準パッカー制御用リモコン.....	2-83
図 2.5-69	鉄筋の組立状況.....	2-84
図 2.5-70	鉄筋コンクリート試験体配筋図 .....	2-85
図 2.5-71	鉄筋コンクリート試験体.....	2-86
図 2.5-72	無筋コンクリート試験体光ファイバセンサー設置状況 .....	2-86
図 2.5-73	鉄筋探査機 (電磁誘導式) による鉄筋探知状況 .....	2-87
図 2.5-74	削岩機のビット .....	2-88
図 2.5-75	削岩機による削孔作業状況 .....	2-88

図 2.5-76	削岩機による削孔仕上がり状況 .....	2-89
図 2.5-77	標準パッカー .....	2-89
図 2.5-78	削岩機による削孔仕上がり状況 .....	2-90
図 2.5-79	油圧ポンプ .....	2-90
図 2.5-80	圧力計 .....	2-91
図 2.5-81	インバーター .....	2-91
図 2.5-82	標準パッカーの施工状況 .....	2-92
図 2.5-83	削孔後の試験体 .....	2-93
図 2.5-84	標準パッカー設置状況 .....	2-93
図 2.5-85	無筋コンクリート（光ファイバセンサー無し）ひび割れ発生状況 .....	2-94
図 2.5-86	ひび割れ発生状況（0.1mm 程度） .....	2-94
図 2.5-87	ひび割れ発生状況（2mm 以上） .....	2-95
図 2.5-88	無筋コンクリート（光ファイバセンサー設置）ひび割れ発生状況 .....	2-95
図 2.5-89	ひび割れ発生状況（0.35mm） .....	2-96
図 2.5-90	ひび割れ発生状況（0.3mm~0.4mm 程度） .....	2-96
図 2.5-91	ひび割れ発生状況（2mm 以上） .....	2-97
図 2.5-92	鉄筋コンクリート試験体試験状況 .....	2-98
図 2.5-93	鉄筋コンクリート試験体試験状況 .....	2-99
図 2.5-94	鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況（①拡張後 1/2） .....	2-99
図 2.5-95	鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況（①拡張後 2/2） .....	2-100
図 2.5-96	鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況（②拡張後 1/2） .....	2-100
図 2.5-97	鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況（②拡張後 2/2） .....	2-101
図 2.5-98	鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況（①・②同時拡張後 1/3） .....	2-101
図 2.5-99	鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況（①・②同時拡張後 2/3） .....	2-102
図 2.5-100	鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況（①・②同時拡張後 3/3） .....	2-102
図 2.6-1	坑内環境の正常計器の割合 .....	2-124
図 2.6-2	周辺岩盤の正常計器の割合 .....	2-124
図 2.6-3	坑内環境および周辺岩盤の計器種類毎の異常計器数量変遷 .....	2-124
図 2.6-4	底部埋戻し材の正常計器の割合 .....	2-125
図 2.6-5	側部埋戻し材の正常計器の割合 .....	2-125
図 2.6-6	奥部埋戻し材の正常計器の割合 .....	2-125
図 2.6-7	上部埋戻し材の正常計器の割合 .....	2-125
図 2.6-8	埋戻し材の計器種類毎の異常計器数量変遷 .....	2-126
図 2.6-9	底部低透水層の正常計器の割合 .....	2-127
図 2.6-10	側部低透水層の正常計器の割合 .....	2-127
図 2.6-11	上部低透水層の正常計器の割合 .....	2-127

図 2.6-12	低透水層の計器種類毎の異常計器数量変遷 .....	2-128
図 2.6-13	底部低拡散層の正常計器の割合 .....	2-129
図 2.6-14	側部低拡散層の正常計器の割合 .....	2-129
図 2.6-15	上部低拡散層の正常計器の割合 .....	2-129
図 2.6-16	低拡散層の計器種類毎の異常計器数量変遷 .....	2-130
図 2.6-17	底部コンクリートピットの正常計器の割合 .....	2-131
図 2.6-18	側部コンクリートピットの正常計器の割合 .....	2-131
図 2.6-19	手前部コンクリートピットの正常計器の割合 .....	2-131
図 2.6-20	上部コンクリートピットの正常計器の割合 .....	2-131
図 2.6-21	低拡散層の計器種類毎の異常計器数量変遷 .....	2-132
図 2.6-22	区画内充てん材および上部充てん材の正常計器の割合 .....	2-133
図 2.6-23	充てん材の計器種類毎の異常計器数量変遷 .....	2-133
図 2.6-24	上部低拡散層の光ファイバセンサー設置範囲（平面図） .....	2-134
図 2.6-25	手前コンクリートピットの光ファイバセンサー設置範囲（正面図） .....	2-134
図 2.6-26	上部低拡散層に設置されている計測機器の配置 .....	2-136
図 2.6-27	手前コンクリートピットに設置されている計測機器の配置（1/2） .....	2-138
図 2.6-28	手前コンクリートピットに設置されている計測機器の配置（2/2） .....	2-139

### 【第3章】

図 3.1-1	試験空洞内の様子（平成 29 年 10 月撮影） .....	3-1
図 3.1-2	試験空洞支保パターン図 .....	3-3
図 3.1-3	デンカナトミック TYPE10 .....	3-5
図 3.1-4	練混ぜ状況 .....	3-6
図 3.1-5	供試体採取状況 .....	3-7
図 3.1-6	供試体養生状況 .....	3-7
図 3.1-7	室内温度、湿度設定状況 .....	3-8
図 3.1-8	グローブボックス .....	3-9
図 3.1-9	試料の粉砕状況 .....	3-9
図 3.1-10	溶解試験状況（液固比 10） .....	3-10
図 3.1-11	溶解試験状況（液固比 100） .....	3-10
図 3.1-12	供試体の圧縮強度 .....	3-13
図 3.1-13	細孔径分布の経時変化 .....	3-14
図 3.1-14	空隙率の経時変化 .....	3-14
図 3.1-15	pH の経時変化 .....	3-16
図 3.1-16	浸漬水のイオン濃度の経時変化（液固比 10） .....	3-18
図 3.1-17	浸漬水のイオン濃度の経時変化（液固比 10 低濃度領域拡大） .....	3-18

図 3.1-18	浸漬水のイオン濃度の経時変化 (液固比 100)	3-19
図 3.1-19	浸漬水のイオン濃度の経時変化 (液固比 100 低濃度領域拡大)	3-19
図 3.1-20	急結剤の水和過程	3-22
図 3.1-21	未水和鉱物の組成割合の経時変化 (液固比 10)	3-22
図 3.1-22	水和生成物の組成割合の経時変化 (液固比 10)	3-23
図 3.1-23	水和生成物の組成割合の経時変化 (液固比 10 低割合領域拡大)	3-23
図 3.1-24	未水和鉱物の組成割合の経時変化 (液固比 100)	3-24
図 3.1-25	水和生成物の組成割合の経時変化 (液固比 100)	3-25
図 3.1-26	水和生成物の組成割合の経時変化 (液固比 100 低割合領域拡大)	3-25
図 3.1-27	粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 養生後供試体	3-26
図 3.1-28	粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 液固比 10 浸漬材齢 14 日	3-26
図 3.1-29	粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 液固比 10 浸漬材齢 28 日	3-26
図 3.1-30	粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 液固比 10 浸漬材齢 56 日	3-27
図 3.1-31	粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 液固比 100 浸漬材齢 14 日	3-27
図 3.1-32	粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 液固比 100 浸漬材齢 28 日	3-27
図 3.1-33	粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 液固比 100 浸漬材齢 56 日	3-28
図 3.1-34	液固比と平衡水の pH の関係	3-31
図 3.1-35	液固比と平衡水の $\text{SO}_4^{2-}$ の関係	3-32
図 3.1-36	液固比と平衡水の $\text{Na}^+$ の関係	3-32
図 3.1-37	液固比と平衡水の $\text{K}^+$ の関係	3-32
図 3.1-38	液固比と平衡水の $\text{Ca}^{2+}$ の関係	3-33
図 3.1-39	液固比と平衡水のイオン状 Si の関係	3-33
図 3.1-40	液固比と平衡水のイオン状 Si の関係	3-33
図 3.1-41	液固比と固相 Ca 濃度比の関係	3-35
図 3.1-42	固相 Ca 濃度比と $\text{Na}^+$ 濃度比の関係	3-36
図 3.1-43	固相 Ca 濃度比と $\text{K}^+$ 濃度比の関係	3-36
図 3.1-44	固相 Ca 濃度比と $\text{Ca}^{2+}$ 濃度比の関係	3-37
図 3.2-1	熱-水連成解析ケース	3-40
図 3.2-2	試験空洞および人工バリア断面図	3-42
図 3.2-3	解析モデル	3-42
図 3.2-4	坑内温度・湿度計測記録 (施工期間含む)	3-43
図 3.2-5	坑内温度・湿度計測記録 (施工期間含まない)	3-44
図 3.2-6	廃棄体からの発生熱量設定 (施工期間含む)	3-45
図 3.2-7	解析フェーズ	3-49
図 3.2-8	解析ケース設定	3-50
図 3.2-9	解析結果コンター図 (フェーズ 1)	3-51

図 3.2-10	解析結果コンター図 (フェーズ 2) .....	3-51
図 3.2-11	解析結果コンター図 (フェーズ 3_発熱なし) .....	3-52
図 3.2-12	解析結果コンター図 (フェーズ 3_発熱あり) .....	3-52
図 3.2-13	解析結果コンター図 (フェーズ 4_発熱なし&欠損なし) (1) .....	3-53
図 3.2-14	解析結果コンター図 (フェーズ 4_発熱なし&欠損なし) (2) .....	3-53
図 3.2-15	解析結果コンター図 (フェーズ 4_発熱なし&欠損あり) (1) .....	3-54
図 3.2-16	解析結果コンター図 (フェーズ 4_発熱なし&欠損あり) (2) .....	3-54
図 3.2-17	解析結果コンター図 (フェーズ 4_発熱あり&欠損なし) (1) .....	3-55
図 3.2-18	解析結果コンター図 (フェーズ 4_発熱あり&欠損なし) (2) .....	3-55
図 3.2-19	解析結果コンター図 (フェーズ 4_発熱あり&欠損あり) (1) .....	3-56
図 3.2-20	解析結果コンター図 (フェーズ 4_発熱あり&欠損あり) (2) .....	3-56
図 3.2-21	解析結果出力点 .....	3-57
図 3.2-22	出力結果_ケース H0C0 (発熱なし&欠損なし) .....	3-58
図 3.2-23	出力結果_ケース H0C1 (発熱なし&欠損あり) .....	3-59
図 3.2-24	出力結果_ケース H1C0 (発熱あり&欠損なし) .....	3-60
図 3.2-25	出力結果_ケース H1C1 (発熱あり&欠損あり) .....	3-61
図 3.2-26	熱、力学 (応力変形)、二相流の相互影響 .....	3-64
図 3.2-27	不飽和多孔質体の概念 .....	3-65
図 3.2-28	間隙比と平均有効応力の関係 .....	3-68
図 3.2-29	サクションと間隙比の関係 .....	3-69
図 3.2-30	( $p, q$ ) 面、( $p, s$ ) 面および ( $p, q, s$ ) 面での降伏曲面 .....	3-71
図 3.2-31	有効応力およびサクションの変化による体積ひずみ挙動と降伏曲面 .....	3-71
図 3.2-32	解析モデル .....	3-73
図 3.2-33	施設施工手順を想定した解析ステップ .....	3-74
図 3.2-34	クニゲル GX の乾燥密度と膨潤圧の関係 .....	3-78
図 3.2-35	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 .....	3-79
図 3.2-36	各施工段階における代表断面 .....	3-85
図 3.2-37	解析結果 (平均有効応力_低透水層) .....	3-86
図 3.2-38	解析結果 (飽和度_施設全体) .....	3-87
図 3.2-39	解析値出力点位置 .....	3-88
図 3.2-40	解析値の時間経過における変化推移 (平均有効応力) .....	3-89
図 3.2-41	解析値の時間経過における変化推移 (飽和度) .....	3-89
図 3.2-42	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 .....	3-90
図 3.2-43	人工バリア構築前の処分空洞の状態 .....	3-91
図 3.2-44	埋設完了後の処分空洞の状態 .....	3-92
図 3.2-45	W/C と空隙率の関係 .....	3-95



図 3.2-46	溶解平衡関係の概念図 .....	3-95
図 3.2-47	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 .....	3-96
図 3.2-48	本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 .....	3-97
図 3.2-49	$C_{pCa}/C_{p0Ca}$ と $Na^+$ 濃度の関係[3] .....	3-98
図 3.2-50	$C_{pCa}/C_{p0Ca}$ と $K^+$ 濃度の関係[3] .....	3-99
図 3.2-51	吹付けコンクリートにおける $C_{pCa}/C_{p0Ca}$ と $Na^+$ 濃度の関係 .....	3-100
図 3.2-52	吹付けコンクリートにおける $C_{pCa}/C_{p0Ca}$ と $K^+$ 濃度の関係 .....	3-100
図 3.2-53	ケース 1 における解析モデル .....	3-103
図 3.2-54	ケース 2 における解析モデル .....	3-103
図 3.2-55	固相 NaOH 濃度 (ケース 1 : 0 年後) .....	3-110
図 3.2-56	固相 NaOH 濃度 (ケース 1 : 10 年後) .....	3-110
図 3.2-57	固相 NaOH 濃度 (ケース 1 : 20 年後) .....	3-111
図 3.2-58	固相 NaOH 濃度 (ケース 1 : 50 年後) .....	3-111
図 3.2-59	固相 NaOH 濃度 (ケース 1 : 100 年後) .....	3-112
図 3.2-60	固相 KOH 濃度 (ケース 1 : 0 年後) .....	3-113
図 3.2-61	固相 KOH 濃度 (ケース 1 : 10 年後) .....	3-113
図 3.2-62	固相 KOH 濃度 (ケース 1 : 20 年後) .....	3-114
図 3.2-63	固相 KOH 濃度 (ケース 1 : 50 年後) .....	3-114
図 3.2-64	固相 KOH 濃度 (ケース 1 : 100 年後) .....	3-115
図 3.2-65	固相 $Ca(OH)_2$ 濃度 (ケース 1 : 0 年後) .....	3-116
図 3.2-66	固相 $Ca(OH)_2$ 濃度 (ケース 1 : 10 年後) .....	3-116
図 3.2-67	固相 $Ca(OH)_2$ 濃度 (ケース 1 : 20 年後) .....	3-117
図 3.2-68	固相 $Ca(OH)_2$ 濃度 (ケース 1 : 50 年後) .....	3-117
図 3.2-69	固相 $Ca(OH)_2$ 濃度 (ケース 1 : 100 年後) .....	3-118
図 3.2-70	空隙率 (ケース 1 : 0 年後) .....	3-119
図 3.2-71	空隙率 (ケース 1 : 10 年後) .....	3-119
図 3.2-72	空隙率 (ケース 1 : 20 年後) .....	3-120
図 3.2-73	空隙率 (ケース 1 : 50 年後) .....	3-120
図 3.2-74	空隙率 (ケース 1 : 100 年後) .....	3-121
図 3.2-75	pH 分布 (ケース 1 : 0 年後) .....	3-122
図 3.2-76	pH 分布 (ケース 1 : 10 年後) .....	3-122
図 3.2-77	pH 分布 (ケース 1 : 20 年後) .....	3-123
図 3.2-78	pH 分布 (ケース 1 : 50 年後) .....	3-123
図 3.2-79	pH 分布 (ケース 1 : 100 年後) .....	3-124
図 3.2-80	液相 $Na^+$ 分布 (ケース 1 : 0 年後) .....	3-125
図 3.2-81	液相 $Na^+$ 分布 (ケース 1 : 10 年後) .....	3-125

図 3.2-82	液相 Na <sup>+</sup> 分布 (ケース 1 : 20 年後)	3-126
図 3.2-83	液相 Na <sup>+</sup> 分布 (ケース 1 : 50 年後)	3-126
図 3.2-84	液相 Na <sup>+</sup> 分布 (ケース 1 : 100 年後)	3-127
図 3.2-85	液相 K <sup>+</sup> 分布 (ケース 1 : 0 年後)	3-128
図 3.2-86	液相 K <sup>+</sup> 分布 (ケース 1 : 10 年後)	3-128
図 3.2-87	液相 K <sup>+</sup> 分布 (ケース 1 : 20 年後)	3-129
図 3.2-88	液相 K <sup>+</sup> 分布 (ケース 1 : 50 年後)	3-129
図 3.2-89	液相 K <sup>+</sup> 分布 (ケース 1 : 100 年後)	3-130
図 3.2-90	液相 Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 1 : 0 年後)	3-131
図 3.2-91	液相 Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 1 : 10 年後)	3-131
図 3.2-92	液相 Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 1 : 20 年後)	3-132
図 3.2-93	液相 Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 1 : 50 年後)	3-132
図 3.2-94	液相 Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 1 : 100 年後)	3-133
図 3.2-95	液相 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 1 : 0 年後)	3-134
図 3.2-96	液相 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 1 : 10 年後)	3-134
図 3.2-97	液相 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 1 : 20 年後)	3-135
図 3.2-98	液相 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 1 : 50 年後)	3-135
図 3.2-99	液相 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 1 : 100 年後)	3-136
図 3.2-100	液相 Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 1 : 0 年後)	3-137
図 3.2-101	液相 Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 1 : 10 年後)	3-137
図 3.2-102	液相 Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 1 : 20 年後)	3-138
図 3.2-103	液相 Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 1 : 50 年後)	3-138
図 3.2-104	液相 Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 1 : 100 年後)	3-139
図 3.2-105	液相 Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 1 : 0 年後)	3-140
図 3.2-106	液相 Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 1 : 10 年後)	3-140
図 3.2-107	液相 Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 1 : 20 年後)	3-141
図 3.2-108	液相 Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 1 : 50 年後)	3-141
図 3.2-109	液相 Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 1 : 100 年後)	3-142
図 3.2-110	液相 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 1 : 0 年後)	3-143
図 3.2-111	液相 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 1 : 10 年後)	3-143
図 3.2-112	液相 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 1 : 20 年後)	3-144
図 3.2-113	液相 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 1 : 50 年後)	3-144
図 3.2-114	液相 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 1 : 100 年後)	3-145
図 3.2-115	吹付けコンクリート内面に浸出する総水量の経時変化	3-146
図 3.2-116	吹付けコンクリート内面に浸出する Na <sup>+</sup> ,K <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup> の経時変化	3-147
図 3.2-117	吹付けコンクリート内面に浸出する Cl <sup>-</sup> , Mg <sup>2+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> の経時変化	3-147

図 3.2-118	pH 分布 (ケース 2 : 0 年後)	3-149
図 3.2-119	pH 分布 (ケース 2 : 50 年後)	3-149
図 3.2-120	pH 分布 (ケース 2 : 100 年後)	3-150
図 3.2-121	pH 分布 (ケース 2 : 300 年後)	3-150
図 3.2-122	pH 分布 (ケース 2 : 500 年後)	3-151
図 3.2-123	pH 分布 (ケース 2 : 1,000 年後)	3-151
図 3.2-124	Na <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 0 年後)	3-152
図 3.2-125	Na <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 50 年後)	3-152
図 3.2-126	Na <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 100 年後)	3-153
図 3.2-127	Na <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 300 年後)	3-153
図 3.2-128	Na <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 500 年後)	3-154
図 3.2-129	Na <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 1,000 年後)	3-154
図 3.2-130	K <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 0 年後)	3-155
図 3.2-131	K <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 50 年後)	3-155
図 3.2-132	K <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 100 年後)	3-156
図 3.2-133	K <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 300 年後)	3-156
図 3.2-134	K <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 500 年後)	3-157
図 3.2-135	K <sup>+</sup> 分布 (ケース 2 : 1,000 年後)	3-157
図 3.2-136	Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 0 年後)	3-158
図 3.2-137	Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 50 年後)	3-158
図 3.2-138	Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 100 年後)	3-159
図 3.2-139	Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 300 年後)	3-159
図 3.2-140	Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 500 年後)	3-160
図 3.2-141	Ca <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 1,000 年後)	3-160
図 3.2-142	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 0 年後)	3-161
図 3.2-143	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 50 年後)	3-161
図 3.2-144	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 100 年後)	3-162
図 3.2-145	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 300 年後)	3-162
図 3.2-146	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 500 年後)	3-163
図 3.2-147	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 1,000 年後)	3-163
図 3.2-148	Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 2 : 0 年後)	3-164
図 3.2-149	Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 2 : 50 年後)	3-164
図 3.2-150	Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 2 : 100 年後)	3-165
図 3.2-151	Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 2 : 300 年後)	3-165
図 3.2-152	Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 2 : 500 年後)	3-166
図 3.2-153	Cl <sup>-</sup> 分布 (ケース 2 : 1,000 年後)	3-166

図 3.2-154	Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 0 年後)	3-167
図 3.2-155	Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 50 年後)	3-167
図 3.2-156	Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 100 年後)	3-168
図 3.2-157	Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 300 年後)	3-168
図 3.2-158	Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 500 年後)	3-169
図 3.2-159	Mg <sup>2+</sup> 分布 (ケース 2 : 1,000 年後)	3-169
図 3.2-160	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 0 年後)	3-170
図 3.2-161	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 50 年後)	3-170
図 3.2-162	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 100 年後)	3-171
図 3.2-163	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 300 年後)	3-171
図 3.2-164	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 500 年後)	3-172
図 3.2-165	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 分布 (ケース 2 : 1,000 年後)	3-172
図 3.2-166	地下水組成の出力位置	3-173
図 3.2-167	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	3-173
図 3.3-1	実処分施設におけるモニタリング評価判断のイメージ	3-176
図 3.3-2	処分施設における底部低透水層の位置	3-177
図 3.3-3	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	3-177
図 3.3-4	底部低透水層の沈下量計測結果	3-180
図 3.3-5	レベル測量による計測状況	3-181
図 3.3-6	レベルの測定位置 (2 層目および 3 層目)	3-181
図 3.3-7	3D レーザースキャナー	3-183
図 3.3-8	3D レーザースキャナーの計測配置 (平面図)	3-184
図 3.3-9	3D レーザースキャナーの計測配置 (縦断面図)	3-184
図 3.3-10	3D レーザースキャナーの計測状況	3-185
図 3.3-11	3D レーザースキャナーの計測確認状況	3-185
図 3.3-12	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)	3-186
図 3.3-13	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)	3-186
図 3.3-14	処分施設の変形計測結果の具体的な利用方法案	3-187
図 3.3-15	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	3-188
図 3.3-16	処分施設における低拡散層の位置	3-188
図 3.3-17	底部低拡散層の応力計測結果	3-192
図 3.3-18	側部低拡散層の応力計測結果	3-192
図 3.3-19	上部低拡散層の応力計測結果	3-193
図 3.3-20	クラックスケールによるひび割れ幅の計測状況	3-194
図 3.3-21	コンクリート構造物のひび割れ画像解析技術	3-195
図 3.3-22	放射線管理区域における側部低拡散層の自動撮影のイメージ	3-197

図 3.3-23	低拡散層のひび割れ計測結果の具体的な利用方法案	3-198
図 3.3-24	地震動計測による安全機能への影響確認フロー	3-198
図 3.3-25	地上用検出器の外観および仕様 (例)	3-200
図 3.3-26	地中用検出器の外観および仕様 (例)	3-201
図 3.3-27	試験施設の地震計設置位置	3-202
図 3.3-28	地震計設置状況	3-204
図 3.3-29	地震動計測結果の具体的な利用方法案	3-205
図 3.3-30	計測のイメージ	3-206
図 3.3-31	埋戻し後の人工バリアの状態に影響を及ぼす要因の相関関係図	3-209
図 3.3-32	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	3-210
図 3.3-33	処分施設の裏面排水分析 (検出確認) 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	3-211
図 3.3-34	裏面排水の採取位置の例	3-211
図 3.3-35	処分施設の裏面排水分析結果の具体的な利用方法案 (pH 計測の例)	3-213
図 3.3-36	処分施設の裏面排水分析結果の具体的な利用方法案 (モンモリロナイトの溶出計測の例)	3-213
図 3.3-37	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	3-214
図 3.3-38	近傍ボーリング孔による地下水分析結果の具体的な利用方法案 (水位計測の例)	3-215
図 3.4-1	評価試験のフロー	3-216
図 3.4-2	各タイプの光ファイバ構成イメージ	3-217
図 3.4-3	光ファイバサンプル No.1	3-218
図 3.4-4	光ファイバサンプル No.2	3-218
図 3.4-5	光ファイバサンプル No.3	3-218
図 3.4-6	恒温槽内での塩水浸漬状況	3-220
図 3.4-7	線源からの距離と線量値	3-221
図 3.4-8	ガンマ線照射装置へのサンプル設置状況	3-222
図 3.4-9	試験状況と引張試験機	3-223
図 3.4-10	引張試験	3-223
図 3.4-11	引張試験結果のイメージ	3-224
図 3.4-12	引張試験結果 (汎用タイプ ; 塩分)	3-224
図 3.4-13	引張試験結果 (汎用タイプ ; 高 pH)	3-225
図 3.4-14	引張試験結果 (汎用タイプ ; 放射線)	3-225
図 3.4-15	高 pH で 10 日浸漬後の汎用タイプの劣化状況	3-225

図 3.4-16	引張試験結果（耐水タイプ；塩水） .....	3-226
図 3.4-17	引張試験結果（耐水タイプ；高 pH） .....	3-226
図 3.4-18	引張試験結果（耐放射線タイプ；放射線） .....	3-227
図 3.4-19	引張による動的疲労係数測定.....	3-227
図 3.4-20	動的疲労のデータ構成 .....	3-228
図 3.4-21	動疲労試験結果（汎用タイプ；塩分） .....	3-228
図 3.4-22	動疲労試験結果（汎用タイプ；高 pH） .....	3-229
図 3.4-23	動疲労試験結果（汎用タイプ；放射線） .....	3-229
図 3.4-24	動疲労試験結果（耐水タイプ；塩分） .....	3-230
図 3.4-25	動疲労試験結果（耐水タイプ；高 pH） .....	3-230
図 3.4-26	動疲労試験結果（耐放射線タイプ；放射線） .....	3-231
図 3.4-27	光ファイバの損失定義 .....	3-233
図 3.4-28	OTDR の構成図 .....	3-234
図 3.4-29	ダミー光ファイバを使用した均一な試料の OTDR 概略波形の例 .....	3-234
図 3.4-30	試験状況と OTDR 画面.....	3-234
図 3.4-31	放射線照射時の実験状況.....	3-236
図 3.4-32	放射線照射時間と損失の関係.....	3-236
図 3.4-33	光ファイバセンサー（ポイント型）による圧力測定.....	3-237
図 3.4-34	光ファイバセンサー（ポイント型）による圧力計測結果.....	3-237
図 3.4-35	側圧検知の概念.....	3-238
図 3.4-36	試験構成.....	3-238
図 3.4-37	光ファイバセンサーの設置 .....	3-238
図 3.4-38	光ファイバセンサーの設置 .....	3-239
図 3.4-39	ベントナイト敷き詰め状況 .....	3-239
図 3.4-40	加力状況.....	3-239
図 3.4-41	実験状況.....	3-240
図 3.4-42	実験結果 1（ひずみと荷重） .....	3-241
図 3.4-43	実験結果 2（ひずみとクロスヘッド位置） .....	3-241
図 3.5-1	計測システムの構成.....	3-242
図 3.5-2	PPP-BOTDA 方式の構成.....	3-243
図 3.5-3	TW-COTDR 方式の構成 .....	3-244
図 3.5-4	ひずみ計測用光ファイバセンサー .....	3-245
図 3.5-5	ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（側部低拡散層表面） .....	3-246
図 3.5-6	ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（上部低拡散層表面） .....	3-246
図 3.5-7	ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（手前コンクリートピット表面） ..	3-247
図 3.5-8	ひび割れ開口変位の経時変化（クリップゲージ） .....	3-257

図 3.5-9	光ファイバセンサー分布計測コンター（側部：TW-COTDR 方式）	3-258
図 3.5-10	光ファイバセンサー分布計測コンター（上部：TW-COTDR 方式）	3-258
図 3.5-11	光ファイバセンサー分布計測コンター（手前：TW-COTDR 方式）	3-259
図 3.5-12	光ファイバセンサー分布計測結果（手前：TW-COTDR 方式）	3-260
図 3.5-13	光ファイバセンサーの経時変化（手前：TW-COTDR 方式）	3-260
図 3.5-14	温度計測用光ファイバセンサーケーブル	3-261
図 3.5-15	温度計測用光ケーブルの配置（アクセス坑道沿い壁面）	3-262
図 3.5-16	温度計の配置	3-265
図 3.5-17	温度計測の経時変化（温度計）	3-266
図 3.5-18	光ファイバセンサー分布計測コンター（坑道沿い：PPP-BOTDA 方式）	3-266
図 3.5-19	温度計と光ファイバセンサーの経時変化（坑口部）	3-267
図 3.5-20	温度計と光ファイバセンサーの経時変化（TD200）	3-268
図 3.5-21	温度計と光ファイバセンサーの経時変化（TD400）	3-268
図 3.5-22	温度計と光ファイバセンサーの経時変化（TD600）	3-269
図 3.5-23	温度計と光ファイバセンサーの経時変化（TD800）	3-269
図 3.5-24	温度計と光ファイバセンサーの経時変化（ピット部）	3-270
図 3.5-25	温度計と光ファイバセンサーの分布計測結果（5 日後）	3-271
図 3.5-26	温度計と光ファイバセンサーの分布計測結果（10 日後）	3-271
図 3.5-27	温度計と光ファイバセンサーの分布計測結果（15 日後）	3-272
図 3.5-28	温度計と光ファイバセンサーの分布計測結果（20 日後）	3-272
図 3.5-29	側部低拡散層における既存のひび割れの計測計画のイメージ	3-274
図 3.5-30	ひび割れ誘発箇所	3-274
図 3.5-31	手前部コンクリートピット（正面図）	3-275
図 3.5-32	手前部コンクリートピット（2017 年 8 月撮影）	3-275
図 3.5-33	KK シートの凹凸形状[70]とコンクリートピット表面の状況	3-276
図 3.5-34	上部低拡散層（平面図）	3-277
図 3.5-35	上部低拡散層（2017 年 8 月撮影）	3-277
図 3.5-36	事前試験用試験体	3-280
図 3.5-37	鉄筋コンクリート供試体の配筋図（平面図）	3-281
図 3.5-38	鉄筋コンクリート試験体の配筋図（断面図と鉄筋詳細図）	3-282
図 3.5-39	KK シート[70]	3-283
図 3.5-40	KK シート貼りつけ位置	3-284
図 3.5-41	温度ひび割れ指数と温度ひび割れ発生確率	3-285
図 3.5-42	解析モデル	3-286
図 3.5-43	解析モデル断面図	3-286
図 3.5-44	外気温データ	3-288

図 3.5-45	ひび割れ指数 (全体図) .....	3-289
図 3.5-46	ひび割れ指数 (断面①・②) .....	3-289
図 3.5-47	ひび割れ指数 (断面③・④) .....	3-289
図 3.5-48	安全係数の履歴.....	3-290
図 3.5-49	均しコンクリート打設状況.....	3-291
図 3.5-50	均しコンクリート養生状況.....	3-291
図 3.5-51	打継面処理状況.....	3-292
図 3.5-52	鉄筋の組立状況(1/2).....	3-292
図 3.5-53	鉄筋の組立状況(2/2).....	3-293
図 3.5-54	鉄筋架台設置位置 .....	3-293
図 3.5-55	鉄筋組立完了.....	3-294
図 3.5-56	鉄筋コンクリート試験体型枠組立状況 .....	3-294
図 3.5-57	無筋コンクリート試験体型枠組立状況 .....	3-295
図 3.5-58	KK シート設置状況.....	3-295
図 3.5-59	鉄筋コンクリート試験体打設状況 .....	3-296
図 3.5-60	無筋コンクリート試験体打設状況 .....	3-296
図 3.5-61	コテならし状況.....	3-297
図 3.5-62	鉄筋コンクリート試験体打設完了 .....	3-297
図 3.5-63	無筋コンクリート試験体打設完了 .....	3-298
図 3.5-64	湿潤養生マット敷設状況.....	3-298
図 3.5-65	保温養生マット敷設状況.....	3-299
図 3.5-66	湿潤・保温養生完了 .....	3-299

#### 【第4章】

図 4.1-1	B-①孔の配置 (試験空洞沿い縦断面図) .....	4-6
図 4.1-2	計測坑 B の間隙水圧計の概要図 .....	4-6
図 4.1-3	手ばかり水位計による水位測定状況.....	4-7
図 4.1-4	計測作業方法の概要.....	4-7
図 4.1-5	間隙水圧経時変化 (計測坑 A、2016/10/1～2017/9/12).....	4-9
図 4.1-6	計測坑 B の間隙水圧経時変化 (2016/10/1～2017/9/12) .....	4-10
図 4.1-7	計測坑 C の間隙水圧経時変化 (2016/10/1～2017/9/12).....	4-11
図 4.1-8	間隙水圧経時変化 (試験空洞 D-1 孔、2016/10/1～2017/9/12) .....	4-14
図 4.1-9	間隙水圧経時変化 (試験空洞 E-1 孔、2016/10/1～2017/9/12) .....	4-14
図 4.1-10	調査対象範囲.....	4-15
図 4.1-11	上部コンクリートピットおよび上部低拡散層のひび割れ履歴図 (その 1) ...	4-21
図 4.1-12	上部コンクリートピットおよび上部低拡散層のひび割れ履歴図 (その 2) ...	4-22



図 4.1-13	上部コンクリートピットおよび上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 3）	... 4-23
図 4.1-14	上部コンクリートピットおよび上部低拡散層のひび割れ履歴図（その 4）	... 4-24
図 4.1-15	平成 28 年度第 1 回上部コンクリートピットおよび上部低拡散層の調査結果	..... 4-25
図 4.1-16	平成 28 年度第 2 回上部コンクリートピットおよび上部低拡散層の調査結果	..... 4-26
図 4.1-17	側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 1）	..... 4-28
図 4.1-18	側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 2）	..... 4-29
図 4.1-19	側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 3）	..... 4-30
図 4.1-20	側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 4）	..... 4-31
図 4.1-21	側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 5）	..... 4-32
図 4.1-22	平成 29 年度第 1 回側部低拡散層の調査結果	..... 4-33
図 4.1-23	平成 29 年度第 2 回側部低拡散層の調査結果	..... 4-34
図 4.1-24	BTV 観察孔水平位置図	..... 4-36
図 4.1-25	BTV 観察孔鉛直位置図	..... 4-36
図 4.1-26	BTV 観察装置	..... 4-37
図 4.1-27	BIP-V システムの標準構成図（現場システム）	..... 4-39
図 4.1-28	ボーリングマシンによる斜孔の計測図	..... 4-40
図 4.1-29	押し込み装置概略図	..... 4-40
図 4.1-30	円周方向の分解能	..... 4-41
図 4.1-31	画像取得のための円周ライン	..... 4-41
図 4.1-32	走向傾斜計算ルーチン	..... 4-42
図 4.1-33	BTV 観察レイアウト	..... 4-43
図 4.1-34	深度 5.773m 付近のひび割れ	..... 4-45
図 4.1-35	深度 5.773m 付近のひび割れ（トレース）	..... 4-45
図 4.1-36	深度 8.646m 付近のひび割れ	..... 4-46
図 4.1-37	深度 8.646m 付近のひび割れ（トレース）	..... 4-46
図 4.1-38	深度 11.295m 付近のひび割れ	..... 4-47
図 4.1-39	深度 11.295m 付近のひび割れ（トレース）	..... 4-47
図 4.1-40	ひび割れの発生位置および方向性と水溜まりの確認区間	..... 4-48
図 4.1-41	BTV 観察結果（0.000m-2.000m）	..... 4-49
図 4.1-42	BTV 観察結果（2.000m-4.000m）	..... 4-50
図 4.1-43	BTV 観察結果（4.000m-6.000m）	..... 4-51
図 4.1-44	BTV 観察結果（6.000m-8.000m）	..... 4-52
図 4.1-45	BTV 観察結果（8.000m-10.000m）	..... 4-53
図 4.1-46	BTV 観察結果（10.000m-12.000m）	..... 4-54

図 4.1-47	BTV 観察結果 (12.000m-14.000m) .....	4-55
図 4.1-48	BTV 観察結果 (14.000m-15.030m) .....	4-56
図 4.1-49	前回までの BTV 観察結果との対比 (0.000m-1.000m) .....	4-57
図 4.1-50	前回までの BTV 観察結果との対比 (1.000m-2.000m) .....	4-58
図 4.1-51	前回までの BTV 観察結果との対比 (2.000m-3.000m) .....	4-59
図 4.1-52	前回までの BTV 観察結果との対比 (3.000m-4.000m) .....	4-60
図 4.1-53	前回までの BTV 観察結果との対比 (4.000m-5.000m) .....	4-61
図 4.1-54	前回までの BTV 観察結果との対比 (5.000m-6.000m) .....	4-62
図 4.1-55	前回までの BTV 観察結果との対比 (6.000m-7.000m) .....	4-63
図 4.1-56	前回までの BTV 観察結果との対比 (7.000m-8.000m) .....	4-64
図 4.1-57	前回までの BTV 観察結果との対比 (8.000m-9.000m) .....	4-65
図 4.1-58	前回までの BTV 観察結果との対比 (9.000m-10.000m) .....	4-66
図 4.1-59	前回までの BTV 観察結果との対比 (10.000m-11.000m) .....	4-67
図 4.1-60	前回までの BTV 観察結果との対比 (11.000m-12.000m) .....	4-68
図 4.1-61	前回までの BTV 観察結果との対比 (12.000m-13.000m) .....	4-69
図 4.1-62	前回までの BTV 観察結果との対比 (13.000m-14.000m) .....	4-70
図 4.1-63	前回までの BTV 観察結果との対比 (14.000m-15.000m) .....	4-71
図 4.1-64	地中無線全体システム .....	4-74
図 4.1-65	送信装置.....	4-74
図 4.1-66	無線通信装置で測定中の低透水層中の温度と間隙水圧 .....	4-75
図 4.1-67	地中無線計器および有線計器の設置位置.....	4-76
図 4.1-68	地中無線計器と有線計器の温度データ回収結果 .....	4-76
図 4.1-69	地中無線計器と有線計器の間隙水圧データ回収結果.....	4-77
図 4.1-70	百葉箱温湿度計測結果 .....	4-79
図 4.1-71	上部埋戻し材の沈下計測結果.....	4-80
図 4.1-72	上部埋戻し材の温度計測結果.....	4-80
図 4.1-73	岩盤変位計測結果 .....	4-81
図 4.1-74	岩盤内間隙水圧計測結果 (1/2) .....	4-82
図 4.1-75	岩盤内間隙水圧計測結果 (2/2) .....	4-83
図 4.1-76	地震計①の加速度時刻歴 (2018 年 1 月 24 日) .....	4-84
図 4.1-77	地震計②の加速度時刻歴 (2018 年 1 月 24 日) .....	4-85
図 4.1-78	地震計③の加速度時刻歴 (2018 年 1 月 24 日) .....	4-86
図 4.1-79	分散型温湿度計の点検 .....	4-88
図 4.1-80	絶縁抵抗検査の概要図 .....	4-89
図 4.1-81	出力特性検査の概要図 (計測坑 A、C および試験空洞 D、E の例) .....	4-89
図 4.1-82	出力特性検査結果の評価.....	4-91

図 4.1-83	間隙水圧計の基本特性（長期安定性の定義）	4-92
図 4.1-84	補正定格出力の算出	4-92
図 4.1-85	間隙水圧計とケーブルの接続部（A-1 孔②区間）	4-94
図 4.1-86	間隙水圧計とケーブルの接続部（A-1 孔④区間）	4-94
図 4.1-87	出力特性検査の結果（計測坑 A）	4-96
図 4.1-88	出力特性検査の結果（計測坑 C）	4-96
図 4.1-89	出力特性検査の結果（試験空洞（D-1 孔））	4-97
図 4.1-90	出力特性検査の結果（試験空洞（E-1 孔））	4-97
図 4.1-91	出力特性検査の結果（計測坑 B）	4-98
図 4.1-92	基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 A〕	4-99
図 4.1-93	基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 C〕	4-100
図 4.1-94	基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔試験空洞 D-1 孔〕	4-100
図 4.1-95	基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔試験空洞 E-1 孔〕	4-101
図 4.1-96	基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 B〕	4-101
図 4.1-97	計測坑 A における間隙水圧継時変化	4-103
図 4.1-98	計測坑 B における間隙水圧継時変化	4-103
図 4.1-99	計測坑 C における間隙水圧継時変化	4-103
図 4.1-100	試験空洞（D-1 孔）における間隙水圧継時変化	4-104
図 4.1-101	試験空洞（E-1 孔）における間隙水圧継時変化	4-104
図 4.1-102	計測配置図と点検状況	4-105
図 4.1-103	接続ボックス地点におけるケーブル点検状況	4-105
図 4.1-104	スイッチボックスでの模擬入力状況	4-110
図 4.1-105	無停電装置の交換	4-111
図 4.1-106	撤去前の状況	4-112
図 4.1-107	撤去後の状況	4-112
図 4.1-108	ケーブル先端の養生手順（全て撤去の場合）	4-113
図 4.1-109	ケーブル先端の養生手順（一部撤去の場合）	4-113
図 4.1-110	ケーブル先端の養生状況	4-114
図 4.2-1	坑内気温・湿度の経時変化（百葉箱温湿度計 A-①）	4-116
図 4.2-2	沈下計計測結果	4-118
図 4.2-3	温度計計測結果	4-118
図 4.2-4	沈下量と温度の関係	4-119
図 4.2-5	底部低透水層の沈下計計測結果	4-119
図 4.2-6	土圧計・沈下計設置位置図（平面図）	4-121
図 4.2-7	土圧計・沈下計設置位置図（横断面図、縦断面図）	4-121
図 4.2-8	底部低透水層 土圧計計測結果（鉛直方向）	4-124

図 4.2-9	底部低透水層 土圧計計測結果（水平方向）	4-125
図 4.2-10	土圧計測値と温度計計測値の関係（平成 29 年 2 月 1 日～平成 29 年 12 月 5 日）	4-126
図 4.2-11	土圧計経年変化（A断面左右、平成 20 年 2 月 15 日～平成 29 年 12 月 5 日）	4-126
図 4.2-12	底部低透水層 沈下計計測結果	4-128
図 4.2-13	底部低透水層の沈下量分布（空洞軸方向）	4-129
図 4.2-14	沈下計計測値と温度計計測値の関係（平成 29 年 2 月 1 日～平成 29 年 12 月 5 日）	4-129
図 4.2-15	沈下計経年変化（A断面中央）	4-130
図 4.2-16	底部低透水層沈下量の計測値と解析値の比較（A断面）	4-130
図 4.2-17	温度計設置位置	4-131
図 4.2-18	底部低透水層の温度経年変化	4-131
図 4.2-19	底部低透水層の温度経時変化	4-132
図 4.2-20	底部低透水層の間隙水圧経時変化	4-132
図 4.2-21	底部低拡散層の計測結果（部材中央）	4-134
図 4.2-22	側部低拡散層の計測結果（部材中央）	4-135
図 4.2-23	上部低拡散層の計測結果（部材中央）	4-136
図 4.2-24	底部コンクリートピットの計測結果（部材中央）	4-137
図 4.2-25	側部コンクリートピットの計測結果（部材中央）	4-138
図 4.2-26	手前部コンクリートピットの計測結果（部材中央）	4-139
図 4.2-27	上部コンクリートピットの計測結果（部材中央）	4-140
図 4.2-28	上部低拡散層およ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）	4-143
図 4.2-29	左側側部低拡散層ひび割れ調査結果（正面図）	4-144
図 4.2-30	BTV 観察孔水平位置図	4-145
図 4.2-31	BTV 観察孔鉛直位置図	4-145
図 4.2-32	底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 5.772m 付近のひび割れ）	4-146
図 4.2-33	底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 8.646m 付近のひび割れ）	4-146
図 4.2-34	底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 11.295m 付近のひび割れ）	4-147
図 4.2-35	底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 6m～14m）	4-148
図 4.2-36	BTV 観察結果	4-149
図 4.2-37	上部低拡散層の温度計測結果	4-151
図 4.2-38	上部低拡散層のモルタル応力計測結果	4-152
図 4.2-39	上部コンクリートピットの温度計測結果	4-153
図 4.2-40	上部コンクリートピットの応力計測結果	4-154

図 4.2-41	側部低拡散層の温度計測結果.....	4-155
図 4.2-42	側部低拡散層の応力計測結果.....	4-156
図 4.2-43	底部低拡散層の温度計測結果 (1/2) .....	4-158
図 4.2-44	底部低拡散層の温度計測結果 (2/2) .....	4-159
図 4.2-45	底部低拡散層のひずみ (空洞軸方向) 計測結果.....	4-160
図 4.2-46	底部低拡散層の応力計測結果.....	4-161
図 4.2-47	底部低透水層の間隙水圧計測結果 .....	4-163
図 4.2-48	D 孔岩盤変位計位置図 .....	4-164
図 4.2-49	間隙水圧計位置図 .....	4-165
図 4.2-50	D 孔岩盤変位計経時変化図 .....	4-167
図 4.2-51	D 孔岩盤変位計経時分布.....	4-167
図 4.2-52	間隙水圧経時変化 (A、B 孔) .....	4-168
図 4.2-53	間隙水圧経時変化 (C、D、E 孔) .....	4-169
図 4.2-54	検討フロー .....	4-170
図 4.2-55	地震計設置位置.....	4-172
図 4.2-56	地震計設置状況.....	4-173
図 4.2-57	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....	4-176
図 4.2-58	x 方向の最大加速度比較 .....	4-179
図 4.2-59	y 方向の最大加速度比較 .....	4-179
図 4.2-60	z 方向の最大加速度比較.....	4-179
図 4.2-61	鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率 (地震計①) .....	4-180
図 4.2-62	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) ....	4-180
図 4.2-63	加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017 年 9 月 10 日) .....	4-183
図 4.2-64	加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017 年 9 月 27 日) .....	4-184
図 4.2-65	加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017 年 11 月 5 日) .....	4-185
図 4.2-66	加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017 年 12 月 2 日) .....	4-186
図 4.2-67	加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017 年 12 月 16 日) .....	4-187
図 4.2-68	加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017 年 12 月 20 日) .....	4-188
図 4.2-69	加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2018 年 1 月 24 日) .....	4-189

図 4.2-70	加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2018年1月28日)	4-190
図 4.2-71	加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2018年1月29日)	4-191
図 4.2-72	コンクリート重力ダムの固有周期と堤高の関係	4-192
図 4.2-73	試験空洞と KiK-net 六ヶ所の位置関係	4-193
図 4.2-74	KiK-net 六ヶ所のボーリング柱状図	4-194
図 4.2-75	KiK-net 六ヶ所と試験空洞の方位	4-195
図 4.2-76	KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017年9月10日)	4-196
図 4.2-77	KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017年9月27日)	4-197
図 4.2-78	KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017年11月5日)	4-198
図 4.2-79	KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017年12月2日)	4-199
図 4.2-80	KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017年12月16日)	4-200
図 4.2-81	KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017年12月20日)	4-201
図 4.2-82	KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2018年1月24日)	4-202
図 4.2-83	KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2018年1月29日)	4-203
図 4.2-84	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)	4-205
図 4.2-85	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)	4-206
図 4.2-86	加速度のフーリエスペクトル (2017年9月10日)	4-208
図 4.2-87	加速度のフーリエスペクトル (2017年9月27日)	4-209
図 4.2-88	加速度のフーリエスペクトル (2017年11月5日)	4-210
図 4.2-89	加速度のフーリエスペクトル (2017年12月2日)	4-211
図 4.2-90	加速度のフーリエスペクトル (2017年12月16日)	4-212
図 4.2-91	加速度のフーリエスペクトル (2017年12月20日)	4-213
図 4.2-92	加速度のフーリエスペクトル (2018年1月24日)	4-214
図 4.2-93	加速度のフーリエスペクトル (2018年1月29日)	4-215
図 4.2-94	地震計①の y 方向の卓越振動数および最大加速度	4-218
図 4.2-95	地震諸元 (上から震源距離、震源深さ、マグニチュード)	4-219
図 4.2-96	地震計①の y 方向のフーリエスペクトル	4-220
図 4.2-97	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)	4-222
図 4.2-98	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)	4-223
図 4.2-99	試験空洞および人工バリアの断面図	4-224
図 4.2-100	地震応答解析モデル (全体)	4-225
図 4.2-101	地震応答解析モデル (試験施設)	4-225
図 4.2-102	試験空洞近傍の地質構造 (試験空洞縦断面)	4-226
図 4.2-103	地層分割図	4-230

図 4.2-104	埋戻し材（セメント系）の静弾性係数と材齢の関係	4-232
図 4.2-105	$G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ の関係（埋戻し材（土質系））	4-233
図 4.2-106	$G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ の関係（低透水層）	4-234
図 4.2-107	低拡散層の静弾性係数と材齢の関係	4-235
図 4.2-108	コンクリートピットの静弾性係数と材齢の関係	4-236
図 4.2-109	充填材の静弾性係数と材齢の関係	4-237
図 4.2-110	上部充填材の静弾性係数と材齢の関係	4-238
図 4.2-111	引戻し解析モデル	4-239
図 4.2-112	フィルタ処理（水平方向）	4-241
図 4.2-113	フィルタ処理（鉛直方向）	4-242
図 4.2-114	引戻し解析結果（水平方向）	4-244
図 4.2-115	引戻し解析結果（鉛直方向）	4-245
図 4.2-116	レーリー減衰の減衰定数と振動数の関係	4-247
図 4.2-117	試験施設の応答加速度（水平方向）	4-250
図 4.2-118	試験施設の応答加速度（鉛直方向）	4-251
図 4.2-119	ロッキングの影響を除いた相対変位の算出	4-252
図 4.2-120	試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）	4-253
図 4.2-121	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）	4-254
図 4.2-122	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）	4-254
図 4.2-123	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）	4-255
図 4.2-124	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）	4-255
図 4.2-125	コンクリートピットのせん断応力地震時増分（履歴最大）	4-256
図 4.2-126	コンクリートピットのせん断応力地震時増分（履歴最小）	4-256
図 4.2-127	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）	4-257
図 4.2-128	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）	4-257
図 4.2-129	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）	4-258
図 4.2-130	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）	4-258
図 4.2-131	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）	4-259

図 4.2-132	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）	4-259
図 4.2-133	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）	4-260
図 4.2-134	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）	4-260
図 4.2-135	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）	4-261
図 4.2-136	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）	4-261
図 4.2-137	低拡散層のせん断応力地震時増分（履歴最大）	4-262
図 4.2-138	低拡散層のせん断応力地震時増分（履歴最小）	4-262
図 4.2-139	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）	4-263
図 4.2-140	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）	4-263
図 4.2-141	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）	4-264
図 4.2-142	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）	4-264
図 4.2-143	低拡散層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）	4-265
図 4.2-144	低拡散層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）	4-265
図 4.2-145	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）	4-266
図 4.2-146	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）	4-266
図 4.2-147	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）	4-267
図 4.2-148	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）	4-267
図 4.2-149	低透水層のせん断応力地震時増分（履歴最大）	4-268
図 4.2-150	低透水層のせん断応力地震時増分（履歴最小）	4-268
図 4.2-151	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）	4-269
図 4.2-152	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）	4-269
図 4.2-153	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）	4-270
図 4.2-154	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）	4-270
図 4.2-155	低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）	4-271
図 4.2-156	低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）	4-271
図 4.2-157	低透水層の最大せん断ひずみの地震時増分（履歴最大）	4-272
図 4.2-158	低透水層の最大せん断ひずみレベル	4-272
図 4.2-159	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）	4-273
図 4.2-160	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）	4-273
図 4.2-161	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）	4-274
図 4.2-162	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）	4-274
図 4.2-163	埋戻し材のせん断応力地震時増分（履歴最大）	4-275
図 4.2-164	埋戻し材のせん断応力地震時増分（履歴最小）	4-275
図 4.2-165	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）	4-276
図 4.2-166	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）	4-276
図 4.2-167	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）	4-277



図 4.2-168	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）	..... 4-277
図 4.2-169	埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）	..... 4-278
図 4.2-170	埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）	..... 4-278
図 4.2-171	埋戻し材の最大せん断ひずみの地震時増分（履歴最大）	..... 4-279
図 4.2-172	埋戻し材の最大せん断ひずみレベル	..... 4-279
図 4.2-173	試験施設の最大加速度分布の比較	..... 4-281
図 4.2-174	フーリエスペクトル比較（水平方向）	..... 4-282
図 4.2-175	フーリエスペクトル比較（鉛直方向）	..... 4-283
図 4.2-176	試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）【再掲】	..... 4-285
図 4.2-177	水平方向の相対変位最大時刻の変形図（変形倍率 10000 倍）	..... 4-286
図 4.2-178	入力地震動のフーリエスペクトル	..... 4-287
図 4.2-179	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）	..... 4-289
図 4.2-180	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）	..... 4-289
図 4.2-181	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）	..... 4-290
図 4.2-182	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）	..... 4-290
図 4.2-183	試験施設のせん断応力地震時増分（履歴最大）	..... 4-291
図 4.2-184	試験施設のせん断応力地震時増分（履歴最小）	..... 4-291

## 表目次

### 【第1章】

表 1.3-1	平成 29 年度検討委員会実施経緯.....	1-4
表 1.3-2	平成 29 年度の実施工程表.....	1-5
表 1.3-3	光ファイバセンサーを用いた機能確認試験計画（案） .....	1-7
表 1.3-4	解析ケース .....	1-20
表 1.3-5	処分施設の変形量計測の計測期間および計測範囲（ケース 1） .....	1-27
表 1.3-6	処分施設の変形量計測の計測期間および計測範囲（ケース 2） .....	1-28
表 1.3-7	光ファイバセンサーのサンプル .....	1-29
表 1.3-8	劣化促進パラメータ .....	1-29
表 1.3-9	試験体の配合.....	1-41
表 1.3-10	既設計器一覧.....	1-43

### 【第2章】

表 2.3-1	中深度処分施設の基本安全機能と段階の関係.....	2-11
表 2.3-2	中深度処分施設の基本安全機能の内容 .....	2-12
表 2.3-3	中深度処分施設の各構成部位に要求される機能 .....	2-13
表 2.3-4	中深度処分施設の各構成部位の技術要件.....	2-14
表 2.3-5	抽出した確認対象項目（モニタリング項目）の候補.....	2-28
表 2.4-1	クリップゲージの主な仕様 .....	2-35
表 2.4-2	データロガーの主な仕様.....	2-35
表 2.4-3	温度計の主な仕様 .....	2-39
表 2.5-1	ひび割れ誘発手法の選定に向けた流れ .....	2-44
表 2.5-2	予備試験を実施したひび割れ誘発手法のまとめ .....	2-105
表 2.6-1	計測機器の現状の整理項目 .....	2-107
表 2.6-2	各部材の計測機器の現状整理図表の対応.....	2-108
表 2.6-3	坑内環境の計測機器の現状一覧 .....	2-109
表 2.6-4	周辺岩盤内の岩盤変位計の現状一覧.....	2-109
表 2.6-5	周辺岩盤内の間隙水圧計の現状一覧.....	2-110
表 2.6-6	底部埋戻し材の計測機器の現状一覧.....	2-111
表 2.6-7	側部埋戻し材の計測機器の現状一覧（1/2） .....	2-112
表 2.6-8	側部埋戻し材の計測機器の現状一覧（2/2） .....	2-113
表 2.6-9	奥部埋戻し材の計測機器の現状一覧.....	2-114
表 2.6-10	上部埋戻し材の計測機器の現状一覧.....	2-114
表 2.6-11	底部低透水層の計測機器の現状一覧.....	2-115

表 2.6-12	側部低透水層の計測機器の現状一覧	2-115
表 2.6-13	上部低透水層の計測機器の現状一覧	2-115
表 2.6-14	底部低拡散層の計測機器の現状一覧	2-116
表 2.6-15	側部低拡散層の計測機器の現状一覧	2-117
表 2.6-16	上部低拡散層の計測機器の現状一覧	2-118
表 2.6-17	底部コンクリートピットの計測機器の現状一覧	2-119
表 2.6-18	側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 (1/2)	2-120
表 2.6-19	側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 (2/2)	2-121
表 2.6-20	手前部コンクリートピットの計測機器の現状一覧	2-122
表 2.6-21	上部コンクリートピットの計測機器の現状一覧	2-123
表 2.6-22	充てん材の計測機器の現状一覧	2-123
表 2.6-23	上部低拡散層に設置されている計測機器の種類と数量	2-135
表 2.6-24	上部低拡散層に設置されている計測機器の仕様	2-135
表 2.6-25	手前コンクリートピットに設置されている計測機器の種類と数量	2-137
表 2.6-26	手前コンクリートピットに設置されている計測機器の仕様	2-137

### 【第3章】

表 3.1-1	試験空洞の吹付けコンクリートにおける使用材料	3-3
表 3.1-2	吹付けコンクリートの配合	3-4
表 3.1-3	吹付けコンクリートの配合 (鋼繊維入り)	3-4
表 3.1-4	試験使用材料	3-4
表 3.1-5	試験空洞の吹付けコンクリートにおける使用材料	3-4
表 3.1-6	溶解試験における試験ケース	3-5
表 3.1-7	試験項目と試験材齢	3-11
表 3.1-8	化学分析項目 (溶解試験中)	3-12
表 3.1-9	化学分析項目 (溶解平衡関係の取得)	3-12
表 3.1-10	供試体の圧縮強度	3-13
表 3.1-11	初期試料の化学組成	3-15
表 3.1-12	浸漬水の分析 (浸漬材齢 14 日、28 日、56 日)	3-17
表 3.1-13	浸漬後残渣の外観 (浸漬材齢 14 日、28 日、56 日)	3-20
表 3.1-14	鉱物組成の分析 (浸漬材齢 14 日、28 日、56 日)	3-21
表 3.1-15	ポルトランドセメント中の主要鉱物	3-21
表 3.1-16	浸漬水の分析 (浸漬材齢 70 日)	3-30
表 3.1-17	吹付けコンクリート配合のセメントペーストの鉱物含有量	3-34
表 3.1-18	液固比と固相 Ca 濃度比の関係	3-35
表 3.2-1	営業運停止から原子炉領域解体までの期間	3-45

表 3.2-2	熱-水連成解析二相流パラメータ .....	3-48
表 3.2-3	出力点別解析温度データ整理.....	3-62
表 3.2-4	CODE_BRIGHT の主な適用プロジェクト.....	3-64
表 3.2-5	適用される構成則、平衡則と適用範囲 .....	3-66
表 3.2-6	BB モデルに必要な物性パラメータとクニゲル GX 試験の現状 .....	3-73
表 3.2-7	低透水層に用いる力学物性値.....	3-77
表 3.2-8	廃棄体間充てん材の諸元.....	3-80
表 3.2-9	廃棄体間充てん材に用いる力学物性値 .....	3-80
表 3.2-10	上部充てん材に用いる力学物性値 .....	3-80
表 3.2-11	コンクリートピットに用いる力学物性値 .....	3-81
表 3.2-12	低拡散層に用いる力学物性値.....	3-81
表 3.2-13	埋め戻し材（土質系材料）に用いる力学物性値 .....	3-82
表 3.2-14	埋め戻し材（セメント系材料）に用いる力学物性値.....	3-82
表 3.2-15	支保工の諸元および物性値 .....	3-83
表 3.2-16	均しコンクリートの力学物性値 .....	3-83
表 3.2-17	力学物性値一覧（セメント系部材） .....	3-84
表 3.2-18	$A_{ep1}$ 、 $C_{1ca}$ 、 $n$ の入力値.....	3-96
表 3.2-19	解析ケース .....	3-102
表 3.2-20	地下水組成 .....	3-104
表 3.2-21	岩盤に関する物性値.....	3-104
表 3.2-22	セメント系人工バリアの概要一覧 .....	3-105
表 3.2-23	セメント系人工バリアの構成材料 .....	3-105
表 3.2-24	セメントおよびフライアッシュの化学成分 .....	3-105
表 3.2-25	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） .....	3-106
表 3.2-26	コンクリートの配合（吹付けコンクリート） .....	3-106
表 3.2-27	モルタルの配合（低拡散層） .....	3-106
表 3.2-28	セメント系材料の設定値.....	3-106
表 3.2-29	ベントナイト間隙水のイオン組成 .....	3-107
表 3.2-30	ベントナイト系材料の設定値.....	3-107
表 3.2-31	アウトプット項目（ケース 1） .....	3-108
表 3.2-32	アウトプット項目（ケース 2） .....	3-108
表 3.3-1	セメント系材料の安全機能と状態変化、影響要因、関連パラメータ .....	3-174
表 3.3-2	ベントナイト系材料の安全機能と状態変化、影響要因、関連パラメータ .....	3-175
表 3.3-3	モニタリング期間中に推定される変化の可能性（低拡散層） .....	3-175
表 3.3-4	モニタリング期間中に推定される変化の可能性（低透水層） .....	3-175
表 3.3-5	実処分施設で実施可能なモニタリング対象 .....	3-175

表 3.3-6	処分施設の変形量計測の計測期間および計測範囲（ケース 1）	3-178
表 3.3-7	処分施設の変形量計測の計測期間および計測範囲（ケース 2）	3-179
表 3.3-8	3D レーザースキャナーの仕様（平成 20 年度確証試験） [3]	3-184
表 3.3-9	低拡散層のひび割れ観測が可能な期間および範囲（1/3）	3-189
表 3.3-10	低拡散層のひび割れ観測が可能な期間および範囲（2/3）	3-190
表 3.3-11	低拡散層のひび割れ観測が可能な期間および範囲（3/3）	3-191
表 3.3-12	クラックスケールによるひび割れ調査の概要	3-194
表 3.3-13	コンクリートのひび割れについて遠方から検出が可能な技術（国土交通省、 カメラ）	3-196
表 3.3-14	地震動の計測期間と計測範囲	3-199
表 3.3-15	設置位置選定根拠	3-202
表 3.3-16	地震計の仕様	3-203
表 3.3-17	回収データの仕様	3-203
表 3.3-18	セメント系材料の安全機能に影響を及ぼす要因の整理 [9]	3-207
表 3.3-19	ベントナイト系材料の安全機能に影響を及ぼす要因の整理 [9]	3-208
表 3.3-20	裏面排水の分析項目の計測方法の例	3-212
表 3.3-21	現地計測の計測方法の例	3-215
表 3.4-1	光ファイバのサンプル	3-217
表 3.4-2	各タイプの光ファイバ仕様	3-219
表 3.4-3	劣化促進パラメータ	3-220
表 3.4-4	恒温槽仕様	3-221
表 3.4-5	ガンマ線照射装置仕様	3-222
表 3.4-6	動疲労係数結果（汎用タイプ）	3-231
表 3.4-7	動疲労係数結果（耐水タイプ）	3-231
表 3.4-8	動疲労係数結果（耐放射線タイプ）	3-231
表 3.4-9	損失計測結果（汎用タイプ）	3-235
表 3.4-10	損失計測結果（耐水性タイプ）	3-235
表 3.5-1	クリップゲージの主な仕様	3-255
表 3.5-2	データロガーの主な仕様	3-255
表 3.5-3	TW-COTDR 方式の計測パラメータ	3-259
表 3.5-4	温度計の主な仕様	3-265
表 3.5-5	PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ	3-267
表 3.5-6	ひび割れ誘発手法の選定に向けた流れ	3-273
表 3.5-7	試験体の配合	3-283
表 3.5-8	温度ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係	3-285
表 3.5-9	温度応力解析のリフトスケジュール	3-286

表 3.5-10	コンクリートの配合	3-287
表 3.5-11	コンクリートの物性値	3-287
表 3.5-12	岩盤・地盤の物性値	3-287
表 3.5-13	熱境界条件	3-288
表 3.5-14	試験体の配合	3-296

#### 【第4章】

表 4.1-1	既設計器一覧	4-2
表 4.1-2	回収データの仕様	4-4
表 4.1-3	使用機器一覧	4-8
表 4.1-4	計測坑 A の計測結果	4-8
表 4.1-5	計測坑 B の計測結果	4-9
表 4.1-6	計測坑 C の測定結果	4-11
表 4.1-7	試験空洞 (D-1 孔、E-1 孔) の計測作業結果	4-13
表 4.1-8	調査方法の概要	4-16
表 4.1-9	対象部位における使用材料	4-17
表 4.1-10	上部低拡散層の配合	4-18
表 4.1-11	上部コンクリートピットの配合	4-18
表 4.1-12	側部低拡散層 (左側) の配合	4-18
表 4.1-13	対象部位のひび割れ調査履歴	4-19
表 4.1-14	センサーの仕様	4-74
表 4.1-15	計測データ整理対象項目	4-78
表 4.1-16	静的計測計器点検判定基準一覧表	4-87
表 4.1-17	間隙水圧計の仕様 (計測坑 A、C および試験空洞 D、E)	4-90
表 4.1-18	間隙水圧計の仕様 (計測坑 B)	4-90
表 4.1-19	圧力校正器の仕様	4-90
表 4.1-20	現地点検作業の実施状況	4-93
表 4.1-21	間隙水圧計の点検結果まとめ	4-108
表 4.1-22	平成 29 年度の換算係数	4-109
表 4.1-23	データ模擬入力による点検結果	4-111
表 4.2-1	底部低透水層の上載荷重一覧	4-122
表 4.2-2	最大土圧一覧 (平成 29 年 2 月 1 日～平成 29 年 12 月 5 日)	4-126
表 4.2-3	最大沈下量一覧 (平成 29 年 2 月 1 日～平成 29 年 12 月 5 日)	4-129
表 4.2-4	間隙水圧計計測区間一覧	4-165
表 4.2-5	設置位置選定根拠	4-172
表 4.2-6	地震計の仕様	4-173

表 4.2-7	回収データの仕様 .....	4-174
表 4.2-8	地震動一覧 .....	4-174
表 4.2-9	観測地震動の最大加速度一覧.....	4-178
表 4.2-10	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） ....	4-181
表 4.2-11	試験施設の 3 次元的構造の特徴 .....	4-192
表 4.2-12	KiK-net 六ヶ所の詳細 .....	4-193
表 4.2-13	地震計①と KiK-net 六ヶ所の観測地震動の最大加速度一覧 .....	4-204
表 4.2-14	地震諸元および観測データ（地震計①の y 方向）の整理.....	4-217
表 4.2-15	部材ごとの材料モデル .....	4-224
表 4.2-16	解析物性値一覧.....	4-227
表 4.2-17	引戻し解析に用いる地盤物性値 .....	4-228
表 4.2-18	地盤物性値（修正 R-O モデルのパラメータ） .....	4-229
表 4.2-19	地震応答解析に用いる地盤物性値 .....	4-230
表 4.2-20	支保工の諸元および物性値 .....	4-231
表 4.2-21	解析に用いる支保工の物性値.....	4-231
表 4.2-22	埋戻し材（セメント系）の物性値 .....	4-232
表 4.2-23	埋戻し材（土質系）の物性値.....	4-233
表 4.2-24	低透水層の物性値 .....	4-234
表 4.2-25	低拡散層の物性値 .....	4-235
表 4.2-26	コンクリートピットの物性値.....	4-236
表 4.2-27	充填材の物性値 .....	4-237
表 4.2-28	上部充填材の物性値.....	4-238
表 4.2-29	均しコンクリートの物性値 .....	4-238
表 4.2-30	固有値解析モデル .....	4-246
表 4.2-31	固有値解析結果 .....	4-246
表 4.2-32	質量比例係数 $\alpha$ と剛性比例係数 $\beta$ .....	4-247
表 4.2-33	図化項目一覧.....	4-248
表 4.2-34	解析結果一覧.....	4-249
表 4.2-35	最大加速度一覧.....	4-281





## 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およ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を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[1]。

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た。

### 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を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

施設等も活かし、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。

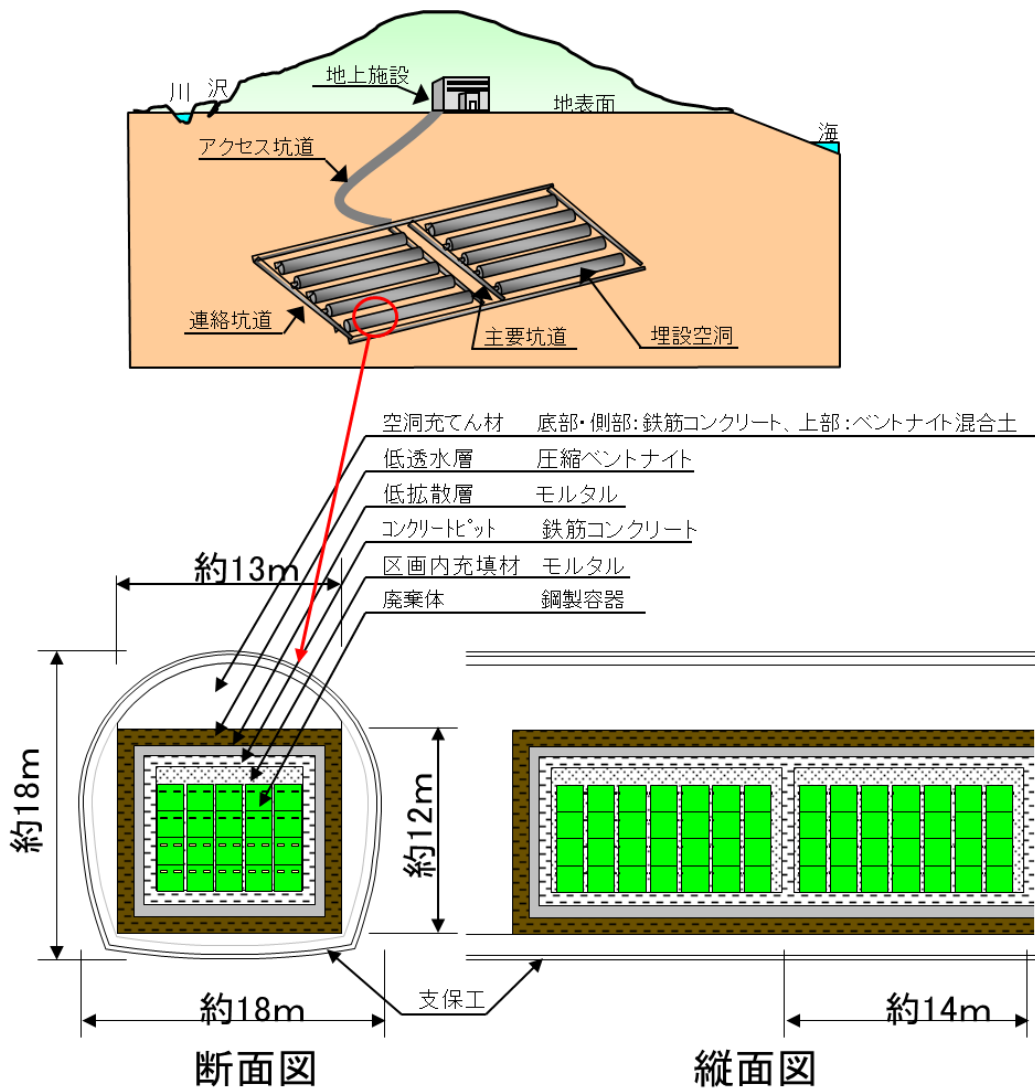


図 1.1-1 地下空洞型処分施設の概念図[2]

## 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を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およ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）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およ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 29 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、(公財)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 29 年度の検討の経緯を表 1.3-1 に示す。

表 1.3-1 平成 29 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 29 年 8 月 3 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 平成 29 年度実施計画のレビュー</li> <li>・ 前提条件の整理</li> <li>・ モニタリングすべき項目の抽出</li> <li>・ 技術開発課題 等</li> </ul>
第 2 回 平成 29 年 11 月 29 日	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 平成 29 年度中間成果のレビュー</li> <li>・ 確認対象項目 (モニタリング項目) の抽出</li> <li>・ 施設挙動の定量化 (確認対象項目の計測実現性確認)</li> <li>・ 既存計測技術を利用した実処分施設で実施可能なモニタリング計画の具体化</li> <li>・ 光ファイバセンサーを活用した計測</li> </ul>
第 3 回 平成 30 年 2 月 26 日	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 平成 29 年度最終成果のレビュー</li> <li>・ 確認対象項目 (モニタリング項目) の抽出</li> <li>・ 施設挙動の定量化 (確認対象項目の計測実現性確認)</li> <li>・ 既存計測技術を利用した実処分施設で実施可能なモニタリング計画の具体化</li> <li>・ 光ファイバセンサーを活用した計測</li> <li>・ 既設の実規模施設における挙動計測と地震計測等</li> </ul>

### 1.3.2 平成 29 年度の成果の概要

平成 29 年度の実施工程を表 1.3-2 に示す。平成 29 年度は、まず、本格的な現地試験への着手に向けて具体的な機能確認試験計画の策定を行った。また、機能確認の実現性確認として、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予察的な解析を実施するとともに、そこで得られた結果を参考に、実処分施設で実施可能と考えられるモニタリング計画について検討した。光ファイバセンサー技術については、その適用性を探るために基本性能の確認を目的としたラボ試験を行うとともに、現地試験として実規模施設の一部に光ファイバセンサーを敷設しひずみ計測および温度計測をスタートさせた。さらに、過年度からの継続として、既設の実規模施設等の挙動計測、地震観測およ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 29 年度の成果の概要を紹介する。

表 1.3-2 平成 29 年度の実施工程表

試験項目等	平成 29 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) 具体的な機能確認試験計画の策定												
(2) 機能確認の実現性確認				解析、ラボ試験、現地試験等の実施								
(3) 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（継続）								
				ひび割れ観察			ひび割れ観察/BTV 観察					
				地震観測（継続）、挙動解析								
(4) 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) 具体的な機能確認試験計画の策定

現在検討が進められている中深度処分に対する規制の内容を整理した。その上で、平成 28 年度までの検討で抽出した「低拡散層のひび割れ」以外に確認対象項目（モニタリング項目）になり得る項目を抽出した。確認対象項目（モニタリング項目）の候補の抽出に際しては、中深度処分施設に要求される基本安全機能と施設を構成する各部位の技術要件や仕様・管理項目との関係性を整理し、確認対象項目（モニタリング項目）と施設に求められる機能との関連を明確化した。

機能確認試験の実施に向けて、

- ・実規模施設に設置する光ファイバセンサーの種類、設置位置、設置方法
- ・実規模施設のセメント系材料に人為的なひび割れを発生させる方法

について検討し、機能確認試験計画を策定した。

また、既設の計測機器類のデータ活用方法について検討を加えた。

1) 規制要求の整理

中深度処分施設の機能確認またはモニタリングを検討対象とする上で、現在検討が進められている規制基準におけるモニタリングに係る要求事項を整理することが重要である。そこで、平成 29 年 12 月 15 日時点における最新の規制基準類のうち、モニタリングに関する記述が最も詳細な「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（改定案）」について、規制要求の前提、中深度処分事業の各段階、規制要求の考え方、廃止措置の開始までの期間中の異常な漏えいを防止する機能について整理した。

## 2) 確認対象項目（モニタリング項目）の抽出

規制基準の動向を考慮した上で、中深度処分施設に要求される基本安全機能を整理した。また、それらを細分化し、中深度処分施設を構成する各部位に要求される技術要件と要求される段階、さらには技術要件を満たすための部材仕様や管理項目の関係を明確化した。その上で、モニタリングの対象期間である、建設段階、廃棄物の埋設段階、閉鎖措置段階、保全段階に着目し、中深度処分施設に発生し得る事象を各部位の仕様・管理項目と関連付け、確認対象項目（モニタリング項目）の候補を抽出した。

一例として、閉鎖措置段階以降の低透水層を対象に整理した、機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係を図 1.3-1 に示す。

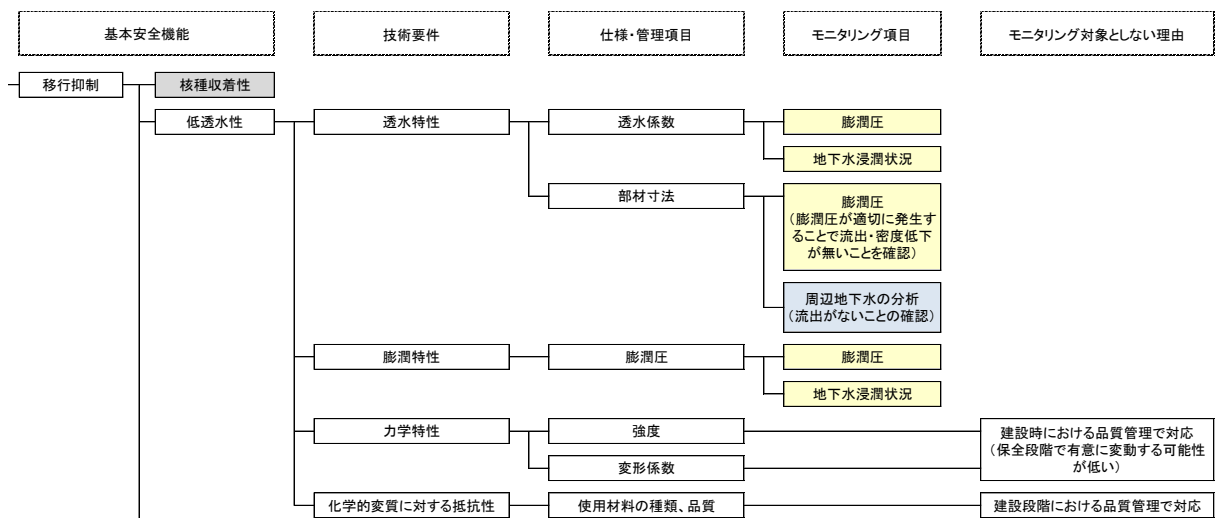


図 1.3-1 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係  
(低透水層、閉鎖措置段階以降) (一部抜粋)



3) 実規模施設に設置する光ファイバセンサーの種類、設置位置、設置方法の検討

平成 28 年度事業において、下記の観点に着目して、光ファイバセンサーを計測技術候補として選定し、耐久性、計測精度、設置方法等の技術課題解決に向けて取り組むこととした [3]。

- 長期耐久性（センサー部に電気・電子部品を含まず、電源不要なこと）
- ポイント計測ではなく、分布計測ができること
- ケーブル量の最少化が図れること（理想はケーブルレス）
- 設置方法が簡易なこと（施工方法で対処）

表 1.3-3 光ファイバセンサーを用いた機能確認試験計画（案）

項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度
●試験準備（センサー・機器の調達）	■		
●側部低拡散層の既存ひび割れ計測			
・光ファイバセンサー設置	■		
・計測	■	■	■
●ひび割れ分布推定方法の検討	■	■	■
●人為的なひび割れ発生事前試験			
・事前試験試験体製作	■	■	
・事前試験		■	
●上部低拡散層等の新規ひび割れ計測			
・光ファイバセンサー設置	■		
・計測		■	■
●光ファイバセンサーによる温度分布検証	■	■	■

これを受けて、光ファイバセンサーの実規模施設への設置計画を策定するとともに、光ファイバセンサーの設置方法についてラボ試験等を通じて検討を行った。ひび割れ計測を目的とした側部低拡散層への光ファイバセンサー設置計画を図 1.3-2 に、温度分布の測定を目的とした空洞への光ファイバセンサー配置計画を図 1.3-3 にそれぞれ示す。

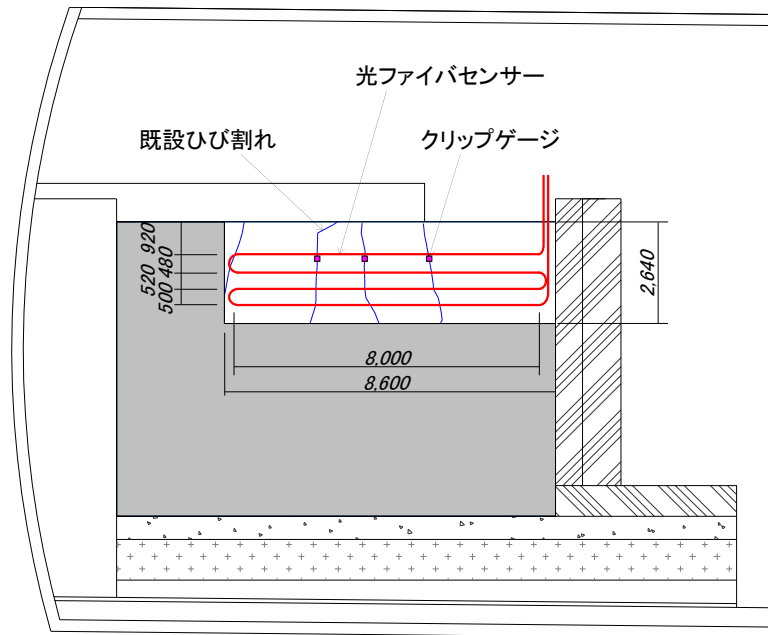


図 1.3-2 側部低拡散層（左側）側面図

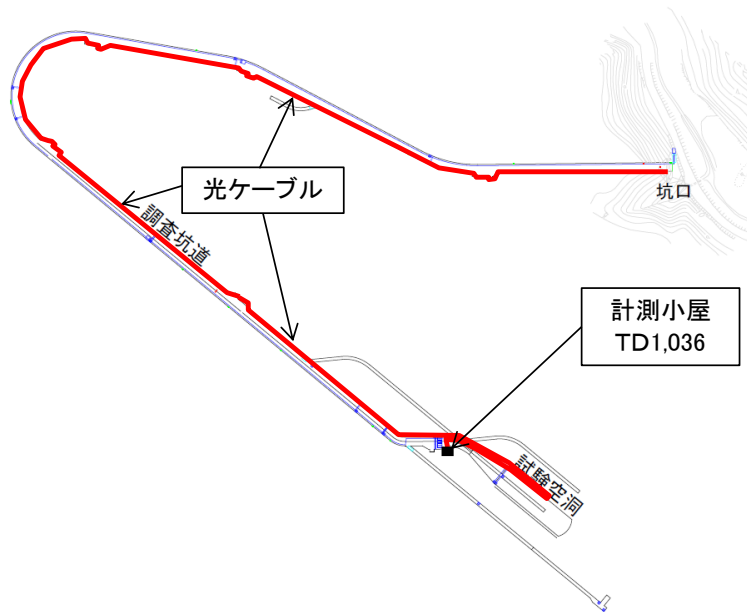


図 1.3-3 温度センサーケーブルの配置

#### 4) 実規模施設のセメント系材料に人為的なひび割れを発生させる方法の検討

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では、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としている。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、確実にひび割れを導入できる手法が必要とされる。そこで、実規模施設のセメント系材料に人為的にひびを発生させる方法について検討した。

現行のひび割れ誘発に関する技術調査を実施し、(1) 静的破砕剤、(2) セリ矢、(3) 板ジャッキ、(4) 標準パッカー、以上の4つを用いたひび割れ誘発手法に着目して、要素試験を

実施し、実規模施設を利用したひび割れ計測試験への適用可能性を評価した。

その結果、主にひび割れ制御性の観点から、セリ矢および標準パッカーを使用したひび割れ誘発手法が、適用可能な手法と考えられた。

但し、セリ矢を用いたひび割れ誘発手法は、ひび割れ制御性に優れ、作業性も非常に高い手法である一方で、実規模施設のような部材寸法が大きく、隣接部材の強い拘束を受ける部材には、意図した幅のひび割れを入れられない可能性がある。この点を考慮すると、作業性はセリ矢に劣るものの、構造物に与えられる力がセリ矢より大きく、比較的大きなひび割れまで誘発できる可能性が高い標準パッカーを使用することが適していると考えられる。

以上より、平成 30 年度に実施することが計画されている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で適用可能なひび割れ誘発手法として、標準パッカーを選定した。

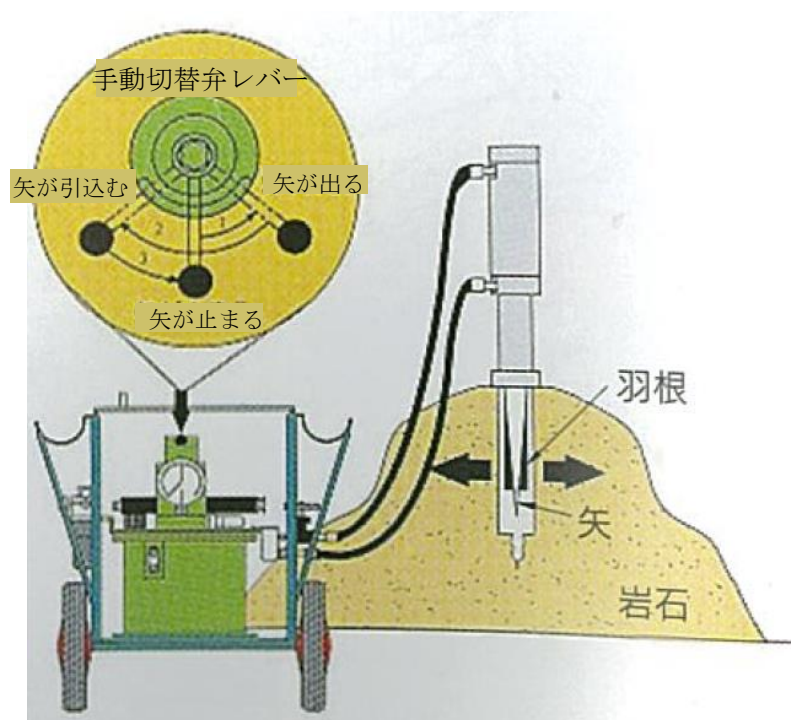


図 1.3-4 標準パッカーによるひび割れ誘発イメージ[4]。

#### 5) 既設の計測機器類のデータ活用方法の検討

平成 19 年度～26 年度の地下空洞型処分施設性能確証試験および閉鎖技術確証試験では、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）および周辺岩盤中に計測機器が設置されている。今年度の点検により、そのうちの 9 割以上が現在も正常に稼働していることが確認された。

これを受けて、今後予定されている既設の実規模施設を活用した試験計画のうち、光ファイバセンサー技術を利用したセメント系材料のひび割れ計測試験において、既設の計測機器

類のデータを活用する方法を検討した。例えば、手前コンクリートピットには複数の既設計測機器が存在するため、人為的なひび割れを発生させた場合には、ひずみ計、鉄筋計がひび割れの発生を検知できる可能性がある。既設の計測機器がひび割れの発生を検知した場合には、発生させたひび割れとの位置関係から光ファイバセンサーの計測データの妥当性を評価することも可能と考えられる。平成 30 年度に実施するひび割れ計測試験においては、これらの既設計測機器の位置を考慮してひび割れ発生位置や発生方向を設定することが望ましいと考えられる。

## (2) 機能確認の実現性確認

1) 解析精度向上に資するセメント系材料の化学的変質、溶解特性に関するデータの取得施設が想定どおりに性能を発揮しつつあることを確認する方法として、建設段階～埋設段階では排水分析が、閉鎖措置段階以降では近傍ボーリング孔による地下水分析が考えられている。この場合、周辺地下水と最初に接し、分析結果に最も影響を与えられ吹付けコンクリートについて、着目すべき分析項目 (pH、イオン種など) を抽出する必要がある。

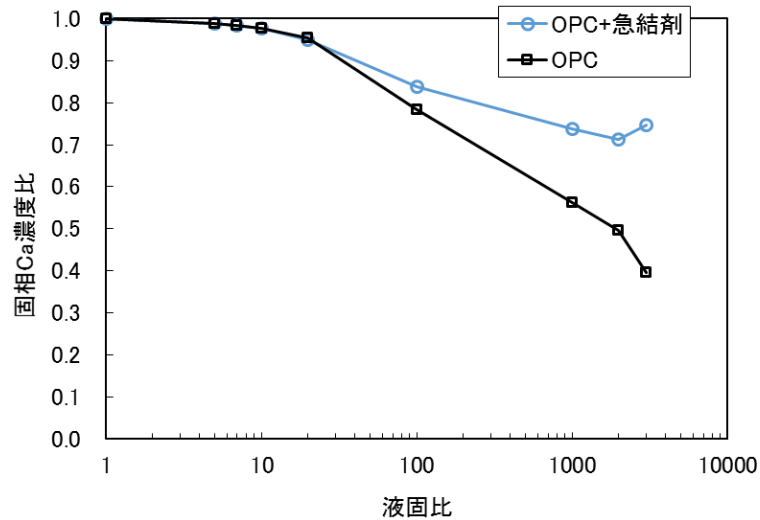
吹付けコンクリートは一般に、硫酸塩を含有する急結剤が用いられており、このことが、吹付けコンクリートの劣化に影響を与えている可能性がある。吹付けコンクリートの長期的な劣化状況を予測する上では、急結剤として硫酸塩を含有するセメント系材料の劣化による化学的変質や、溶解特性を把握することが重要である。

そこで、硫酸塩を主成分とする急結剤を用いたセメントペーストの溶解試験を実施し、鉱物組成の変化や、Ca イオンの溶解平衡関係に関するデータ取得を行った。

溶解試験の結果、明らかになったことは以下のとおりである。

- ・ 急結剤を含むセメントの水和物としては、ポルトランドイト、非晶質の他に、エトリンガイト、モノサルフェートを生成した。
- ・ セメントペーストの浸漬水は、液固比が 5 以下の小さい領域では、イオン化しやすい  $\text{Na}^+$  や  $\text{K}^+$  の濃度が高く、 $\text{Ca}^{2+}$  の濃度は比較的小さい。
- ・ 液固比が 10 から 100 程度の領域では、 $\text{Ca}^{2+}$  の溶出が多くなる。主としてポルトランドイトが溶解し、 $\text{Ca}^{2+}$  が溶出していると考えられる。また  $\text{Ca}^{2+}$  と、モノサルフェートや非晶質から溶出する  $\text{Al}^{3+}$ 、溶液中の  $\text{SO}_4^{2-}$  からエトリンガイトが生成される。
- ・ 液固比が 1000 以上の領域では、セメントペーストの浸漬水から検出される Si イオン、全 Si の濃度が高くなる。C-S-H 等の非晶質も溶解が進むことを示している。

また、浸漬水のイオン分析を実施し、溶解平衡関係に関わるデータを取得した。液固比と固相 Ca 濃度比の関係を図 1.3-5 に示す。急結剤として硫酸塩を含有するセメント系材料 (OPC+急結剤) は、OPC に比較して、液固比が大きくなった場合でも、Ca イオンの溶出が少ないことがわかった。これは急結剤の影響によって、溶解度の低いエトリンガイトが多く生成されたためであると考えられる。



OPC は[5]より引用

図 1.3-5 液固比と固相 Ca 濃度比の関係

## 2) 施設挙動の定量化解析

前項「(1) 2) 確認対象項目 (モニタリング項目) の抽出」で抽出した確認対象項目 (モニタリング項目) の候補に対して、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に定量化することを試みた。

なお、本年度の解析は単設の処分空洞を対象としており、事象の重ね合わせという観点から空洞が連設された場合の影響に関する検討は、次年度以降への課題としている。

### a. 熱・水・力学に着目した施設挙動

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

本解析作業では、温度分布と施設内における水の浸潤の関係を検証し、水の浸潤 (飽和、湧水) によるコンクリート部材やベントナイト部材の温度変化を検討する。その結果を以って、遠隔計測などによる機能確認計測計画へ反映させる。なお、本検討の際、発熱

の考慮が影響するかも併せて確認する（図 1.3-6 参照）。

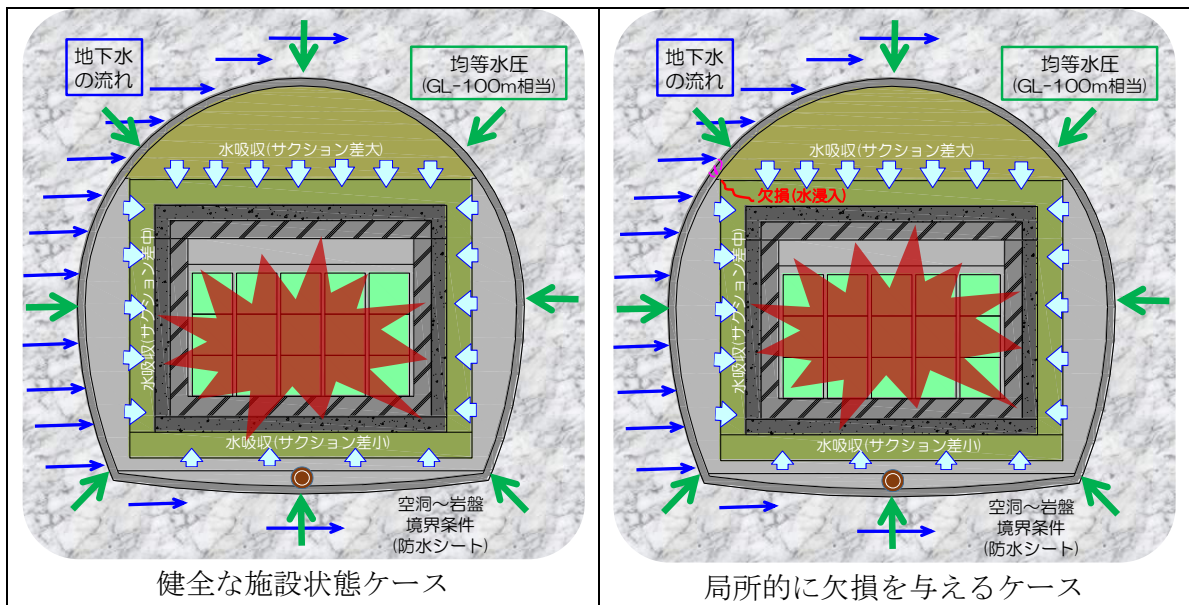


図 1.3-6 熱－水連成解析ケース

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 1.3-9 に示す。モデル全体領域は、坑道周囲から上下左右 50m 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た。

初期条件として、地温およ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。

廃棄体からの発熱発生量は、初期発熱量を 10W/m<sup>3</sup> とし、コバルト 60 の減衰を考慮したものをモデル化して与えた（図 1.3-10 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、バックグラウ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認試験、地下空洞型処分施設閉鎖技術確認試験およ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、解析フェーズ（図 1.3-7 参照）、発熱の有無、一部欠損の有無の組み合わせにより図 1.3-8 に示す計 4 ケースとした。

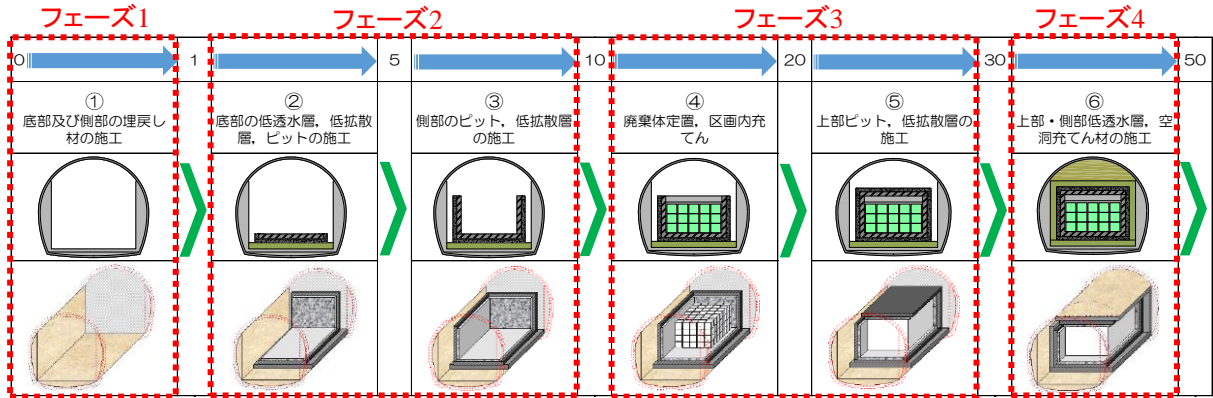


図 1.3-7 解析フェーズ

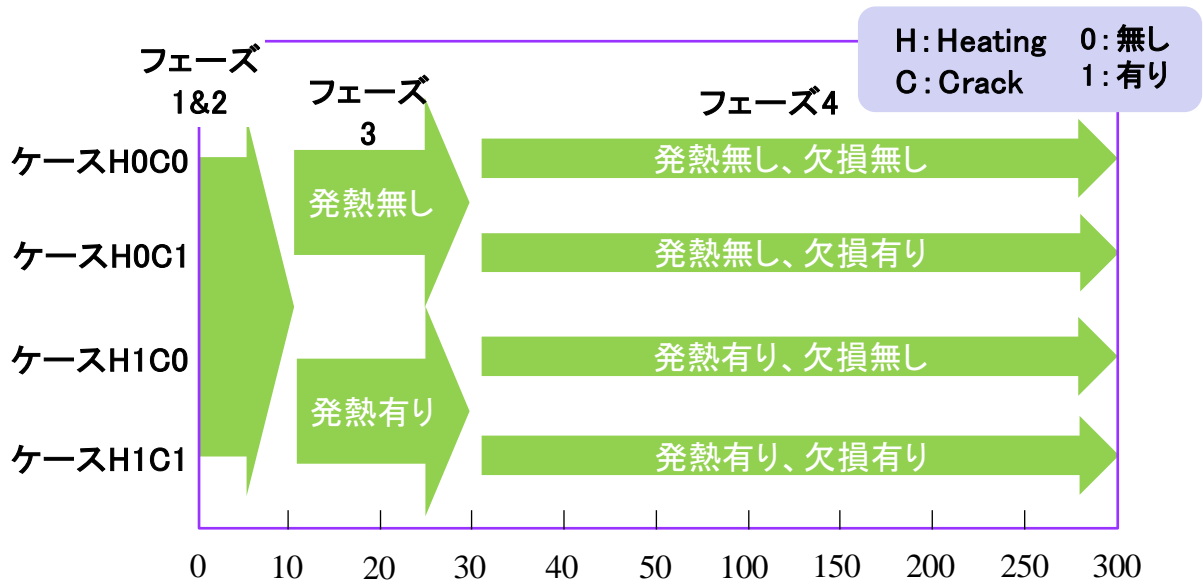


図 1.3-8 解析ケース設定



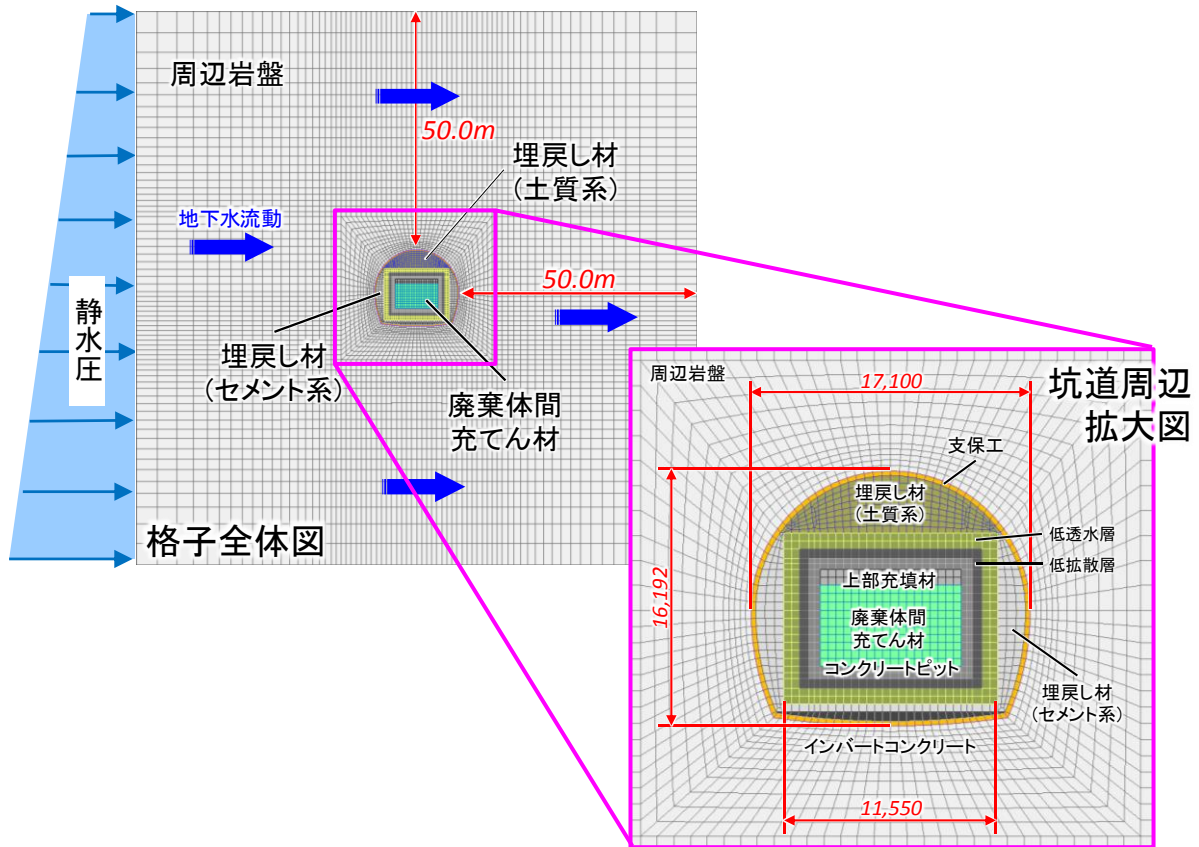


図 1.3-9 解析モデル

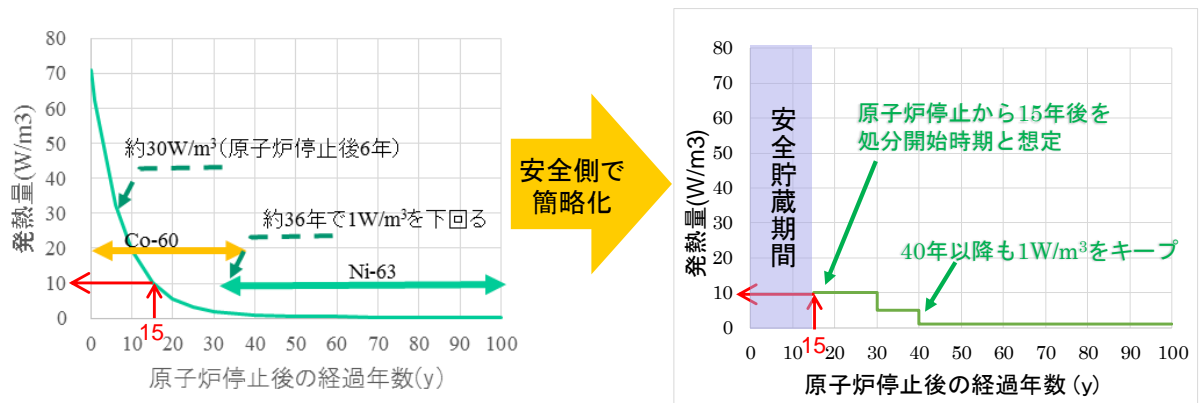


図 1.3-10 廃棄体からの発生熱量設定 (施工期間含む)



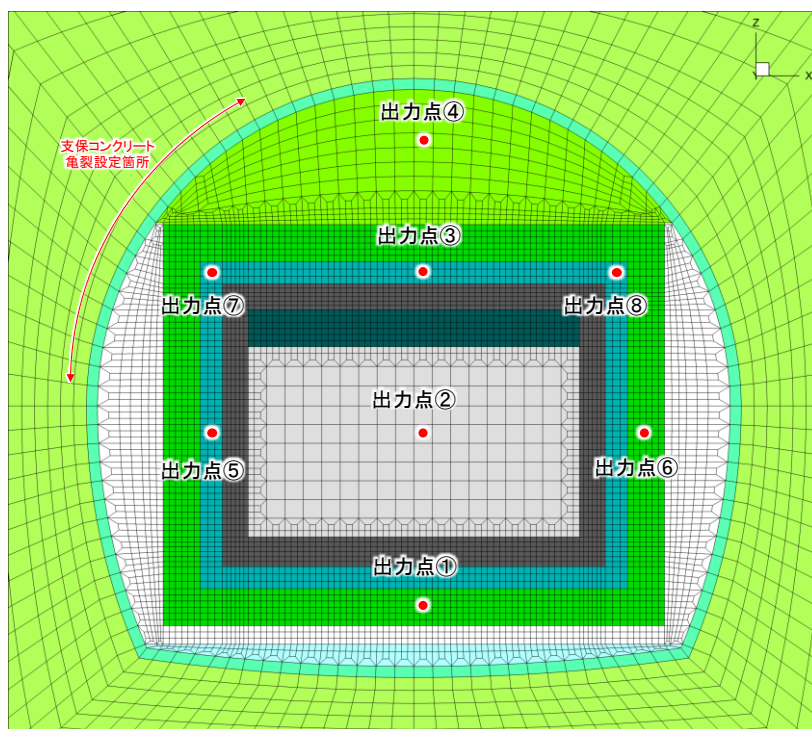


図 1.3-11 解析結果出力点

解析結果の一例として、水飽和率と温度のコンター図を図 1.3-12 に示す。

ケース H0C0 (発熱なし&欠損なし) では、フェーズ 4 以降の出力点④ (図 1.3-11 参照) にて埋戻し材から坑道内側への水の流出により水飽和率の変動が始まり、やがて岩盤から坑道への水の流出により飽和がさらに進むことが示されているが、大きな温度変化は表れていない。

ケース H0C1 (発熱なし&欠損あり) では、ケース H0C0 とほぼ同様の推移傾向を示すが、欠損がある出力点⑦ (図 1.3-11 参照) の方が、水飽和率の上昇速度がわずかに早くなっていることが確認された。

ケース H1C0 (発熱あり&欠損なし) では、フェーズ 3 の廃棄体定置後、最高温度が約 80℃ となる。その後、坑道外への熱の拡散により温度低下があるが、フェーズ 4 の坑道埋戻しにより再び温度の上昇傾向が見られる。最終的に発熱量の低下により温度低下が見られ、概ね 30℃前後で落ち着くものとみられる。

ケース H1C1 (発熱あり&欠損あり) では、基本的な推移はケース H1C0 と同様となるが、欠損がある出力点⑦ (図 1.3-11 参照) の方が、水飽和率の上昇速度がわずかに早くなっていることが確認された。

フェーズ 1～フェーズ 2 に対応する経過年 0 年～10 年については、すべてのケースについて共通の主条件のため、温度の推移に大きな相違は確認されていない。その後、廃棄体を設置するフェーズ 3 の経過年 10 年後から発熱ありのケースでは温度の上昇が見られ、経過年 20 年後における出力点② (図 1.3-11 参照) において最高温度 79.859℃となった。

一方、フェーズ 4 において、空洞充てん施工されると、支保コンクリートの欠損の有無によって、温度の相違がわずかに確認されている。その差異は、小数第 2 位～3 位であり、施

設設計計画を検討する上での計測計画において、この精度を確保できるような計測手法を用いることが「施設挙動の想定値を取得する」ことを満足するものと考えられる。

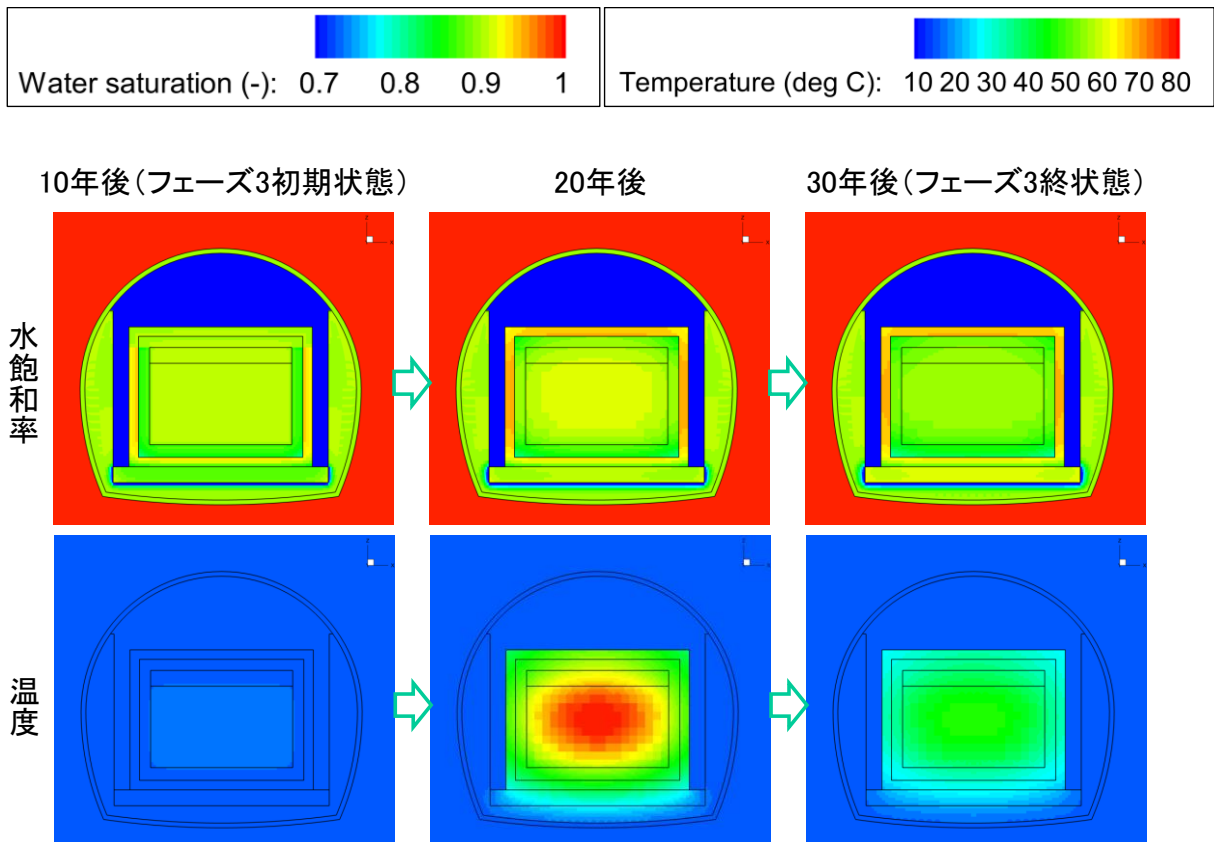


図 1.3-12 解析結果コンター図 (フェーズ3\_発熱あり)

(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。

本解析作業では、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 1.3-13 に示す。

人工バリアの構築解析ステップを図 1.3-14 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認試験、地下空洞型処分施設閉鎖技術確認試験およ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。

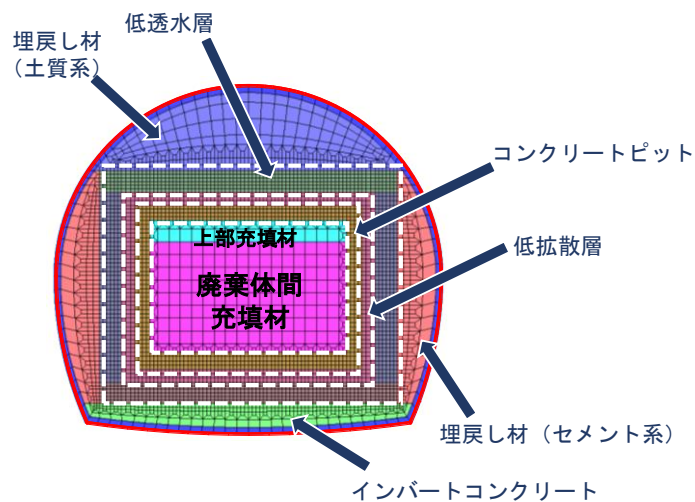


図 1.3-13 解析モデル

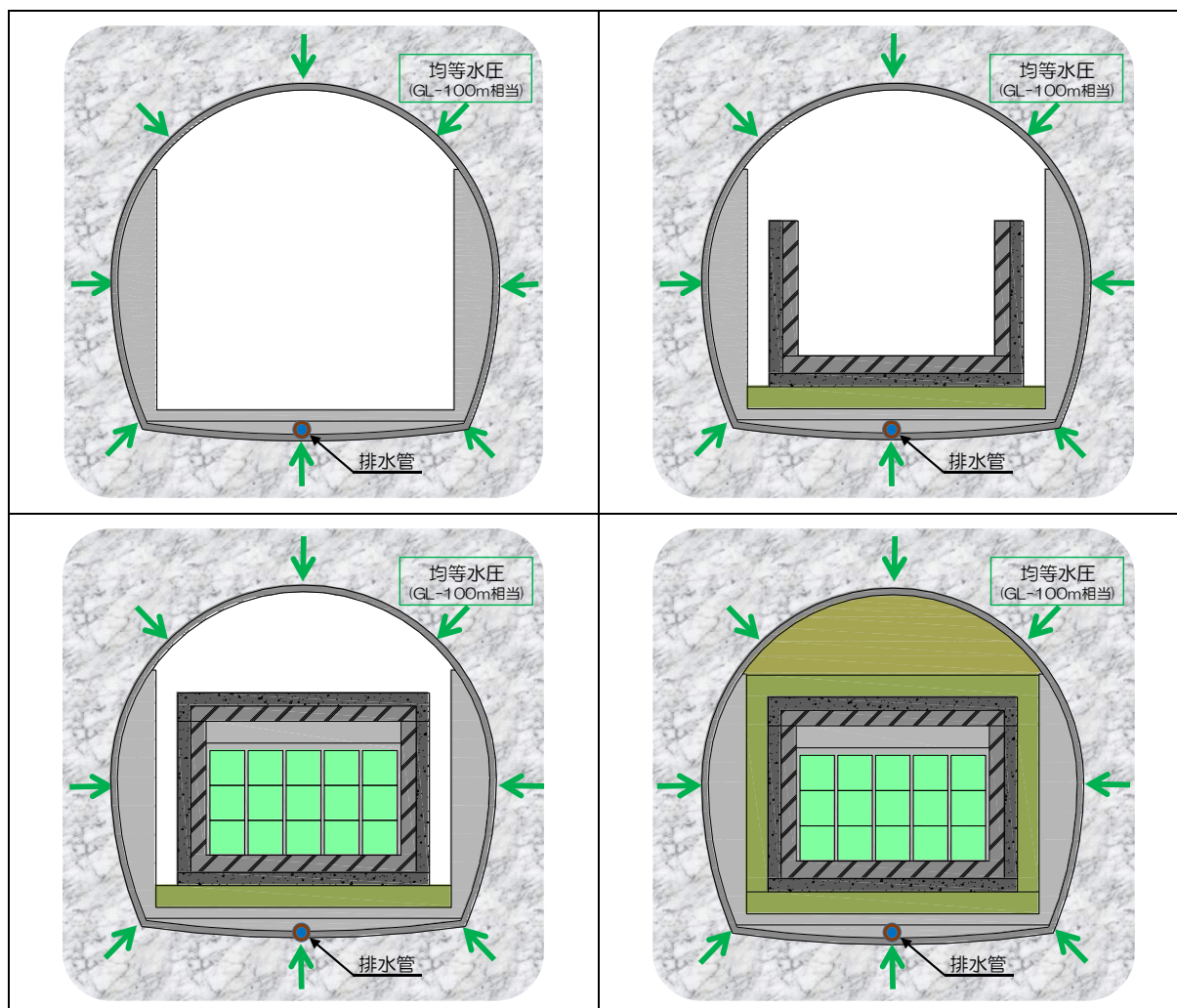


図 1.3-14 施設施工手順を想定した解析ステップ

解析結果の一例として、低透水層底盤の変化推移を図 1.3-15 と図 1.3-16 にそれぞれ示す。

平均有効応力については、低透水層底盤中央部となる出力点①では、各施工段階を経ることにより徐々に増加する変動傾向を示している。また、低透水層底盤側部となる出力点②では、側部施工がほぼ終了する 10 年経過後からは大きな変動を示すことなく推移している。

飽和度については、低透水層において設定した初期飽和度 85%からの推移が確認されており、出力点①では側部施工がほぼ終了する 10 年経過までに 93%程度まで上昇し、その後、落ち着いた挙動を見せている。出力点②では、各施工段階に沿って上昇傾向を変えながら推移する挙動を見せており、特に上部埋戻し設置となる 50 年に向けてベントナイト部分における水収支により大きな飽和度の変化が確認されている。

これらの平均有効応力や飽和度の変化により、各構成部材の膨潤変状などが想定されると共に各構成部材の負荷により底盤沈下などの変状も併せて確認されており、本予察解

析結果の詳細を、施設建設における変状計測計画へ反映することが必要であると考えられる。

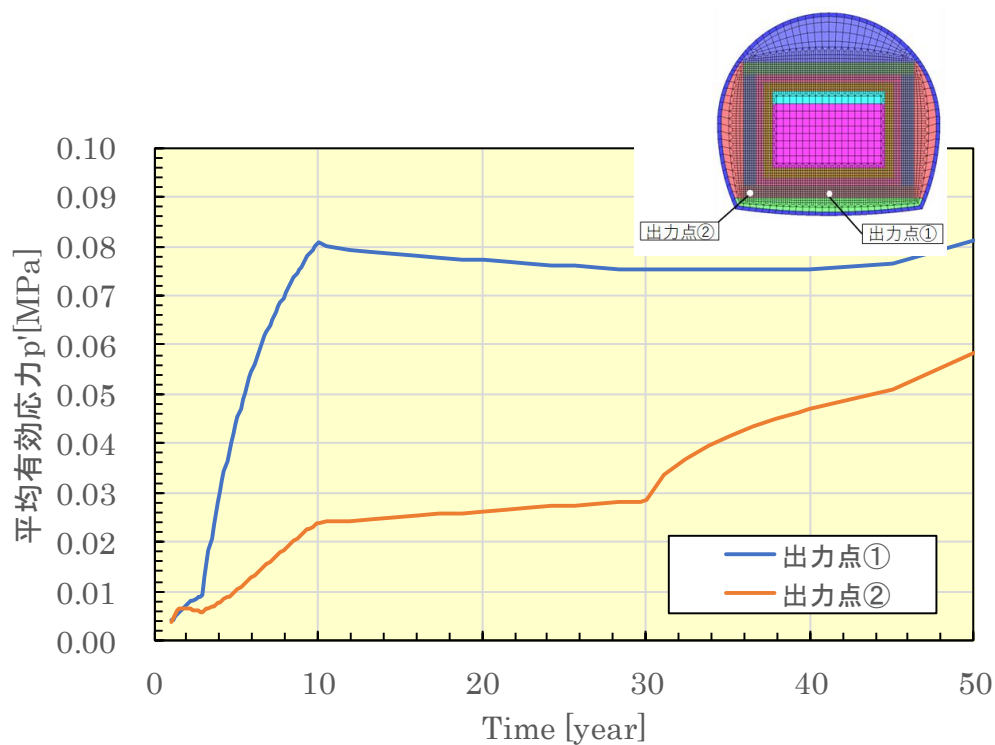


図 1.3-15 解析値の時間経過における変化推移（平均有効応力）

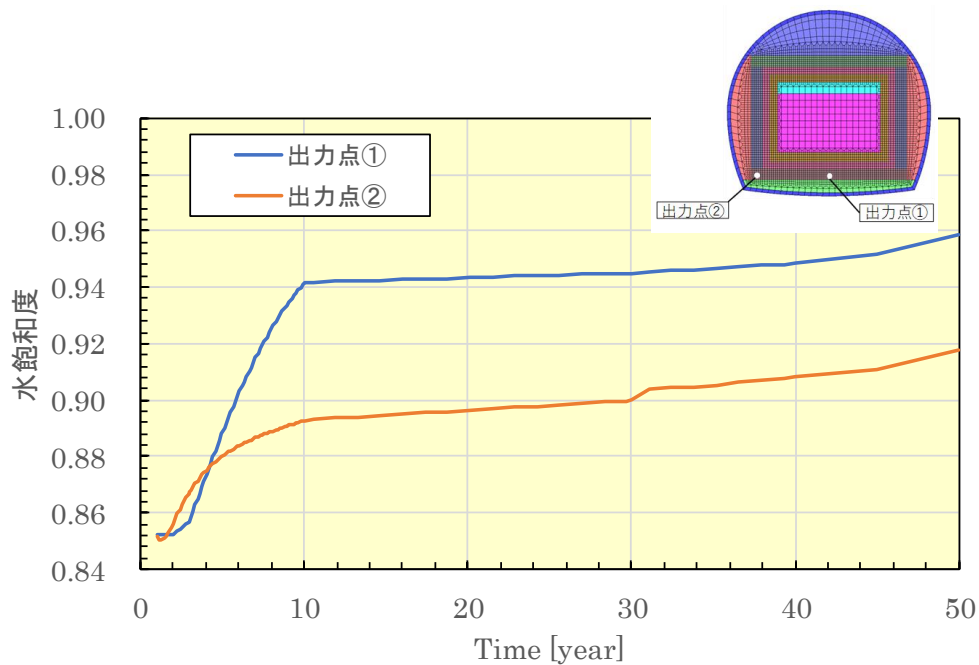


図 1.3-16 解析値の時間経過における変化推移（飽和度）

b. 化学に着目した施設挙動

人工バリアおよ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、本検討を実施することとした。

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。

解析ケースを表 1.3-4 に示す。解析は防水シート裏面の排水分析をイメージしたケース 1 と、処分施設近傍のボーリング孔からの地下水組成モニタリングをイメージしたケース 2 の 2 種類で実施した。

解析モデルを図 1.3-17、図 1.3-18 にそれぞれ示す。

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。吹付けコンクリートについては、前項「(2) 1) 解析精度向上に資するセメント系材料の化学的変質、溶解特性に関するデータの取得」での溶解試験結果を整理して図 1.3-19 のような溶解平衡関係が取得できたため、これを解析入力に用いた。

なお、岩盤中の地下水組成は降水系地下水として設定した。

表 1.3-4 解析ケース

ケース	目的	解析概要	解析期間
1	建設・操業中における防水シート裏面の排水モニタリングにて着目すべき分析項目を抽出	人工バリア構築前の処分空洞を模擬	100 年まで
2	近傍ボーリング孔を用いた地下水組成モニタリングにおいて着目すべき分析項目を抽出	100 年までは人工バリア構築前、100～1,000 年は人工バリア構築完了後の処分空洞を模擬	1,000 年まで



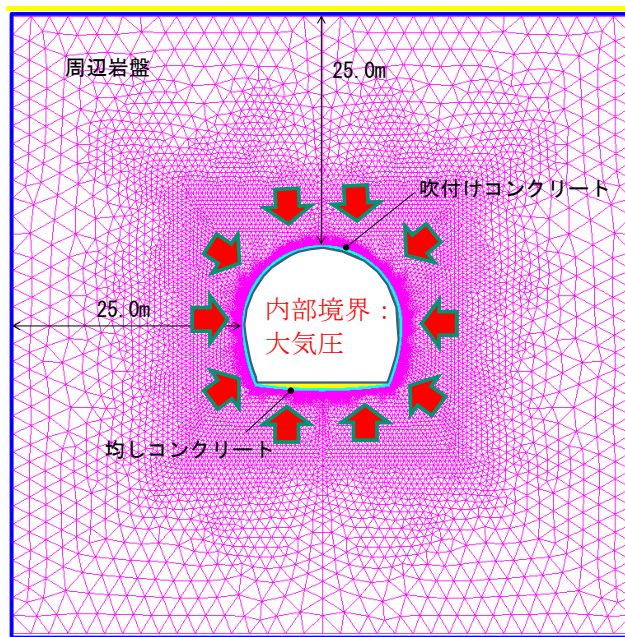

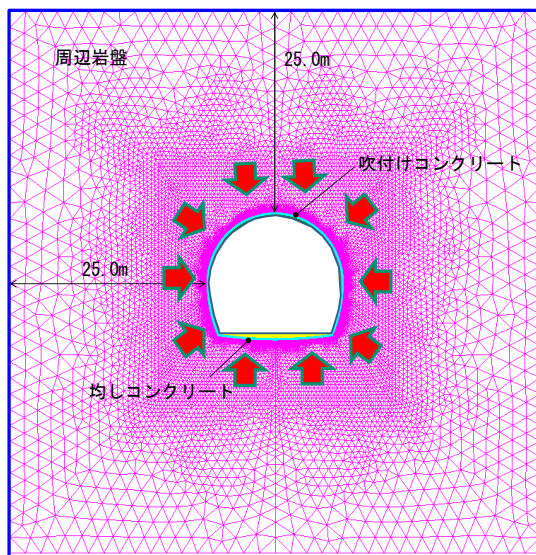
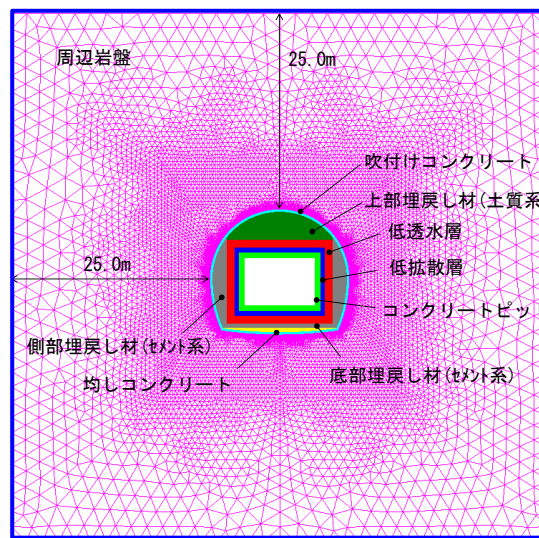


図 1.3-17 ケース 1 における解析モデル

動水勾配 :  $i=0.07$  



解析期間 : 0~100 年



解析期間 : 100~1000 年

図 1.3-18 ケース 2 における解析モデル

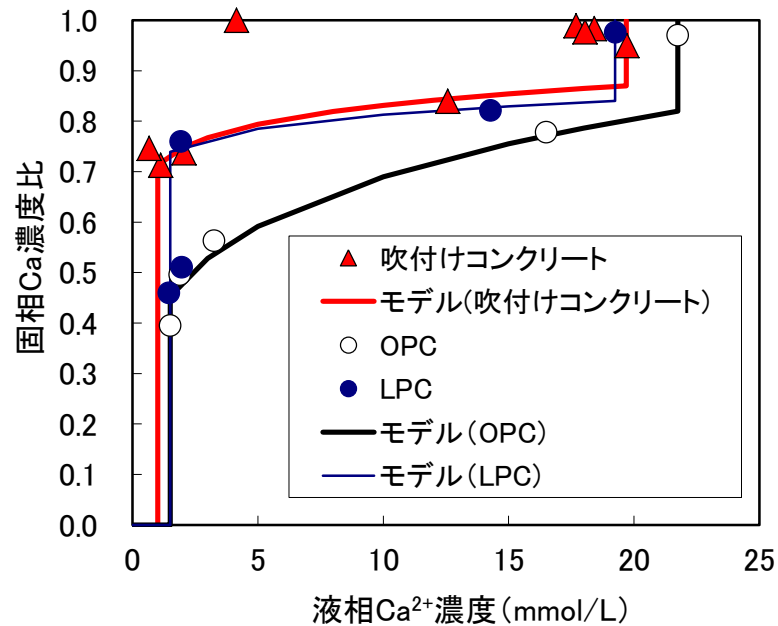


図 1.3-19 本試験にて得られた吹付けコンクリートの Ca 溶解平衡関係

(a) ケース 1 の解析結果

解析の結果、NaOH や KOH は解析開始から 20 年程度で吹付けコンクリート全面にて消失し、その後  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の溶脱が始まること、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の溶脱は主として岩盤に向けて進行するが、解析期間 100 年においても吹付けコンクリートの全域で  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  は多く残存することがわかった。溶脱によって吹付けコンクリートの空隙率はやや粗大化するものの、その影響範囲はごくわずかである。すなわち、本検討における解析期間 100 年のあいだで、吹付けコンクリート内面に浸出する水量の変化はわずかであると考えられる。

pH 分布については、NaOH や KOH の溶脱によって  $\text{OH}^-$  が岩盤に拡散し、pH は大きく上昇すること、 $\text{Na}^+$  や  $\text{K}^+$  は吹付けコンクリートに含まれる量が少ないうえに、NaOH、KOH は早期に消失するため、100 年後には下流側の一部にイオンが残存するのみでほぼ移流によって流失する結果となったが、 $\text{Na}^+$  や  $\text{K}^+$  が消失したあとも  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  が継続的に溶脱を続けるため、周辺岩盤ならびに吹付けコンクリート内面に浸出する水の pH が高い状態で維持し続け、 $\text{Ca}^{2+}$  濃度も特に下流側で徐々に高まることがわかった。

結果の一例として、50 年後の pH 分布を図 1.3-20 に、液相  $\text{Ca}^{2+}$  分布を図 1.3-21 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ものの、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、解析結果を参照して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。また、本解析を通じて、モニタリングすべきイオン種と濃度、モニタリング時期や頻度の計画策定に資する情報が整理できた。



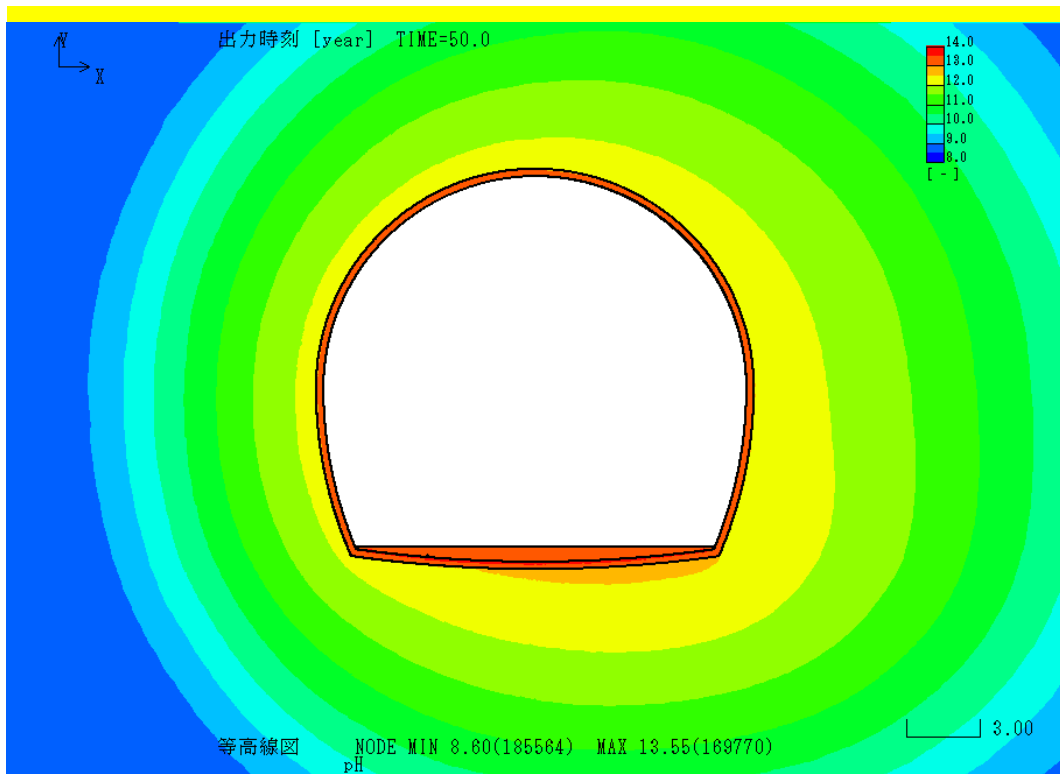


図 1.3-20 pH 分布 (ケース 1 : 50 年後)

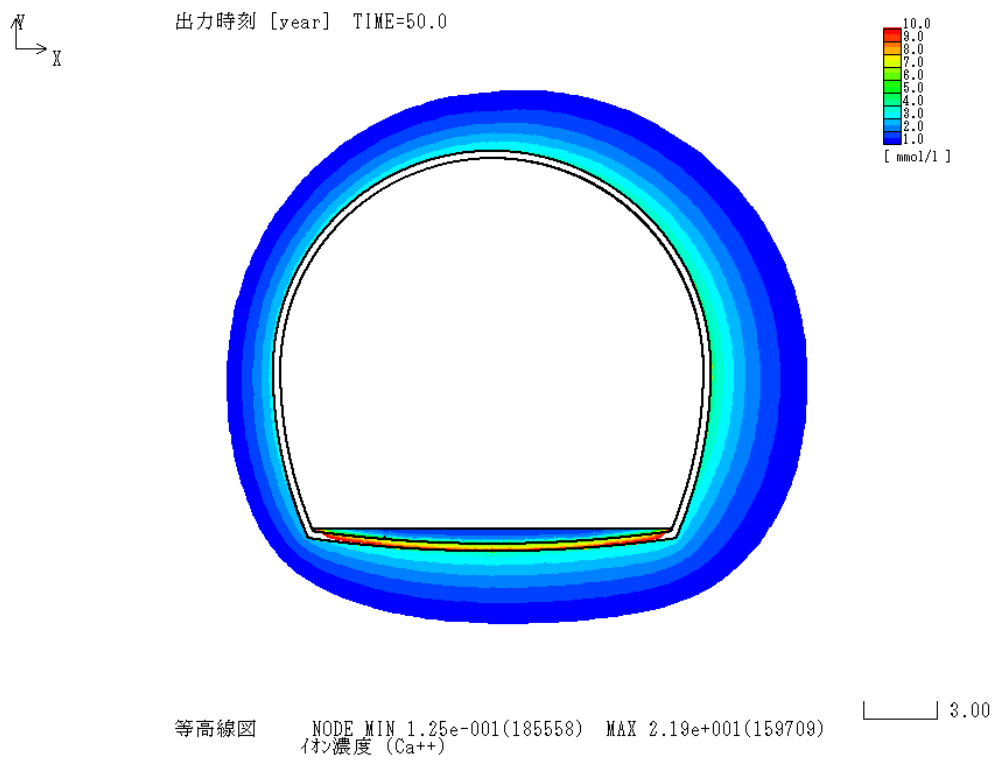


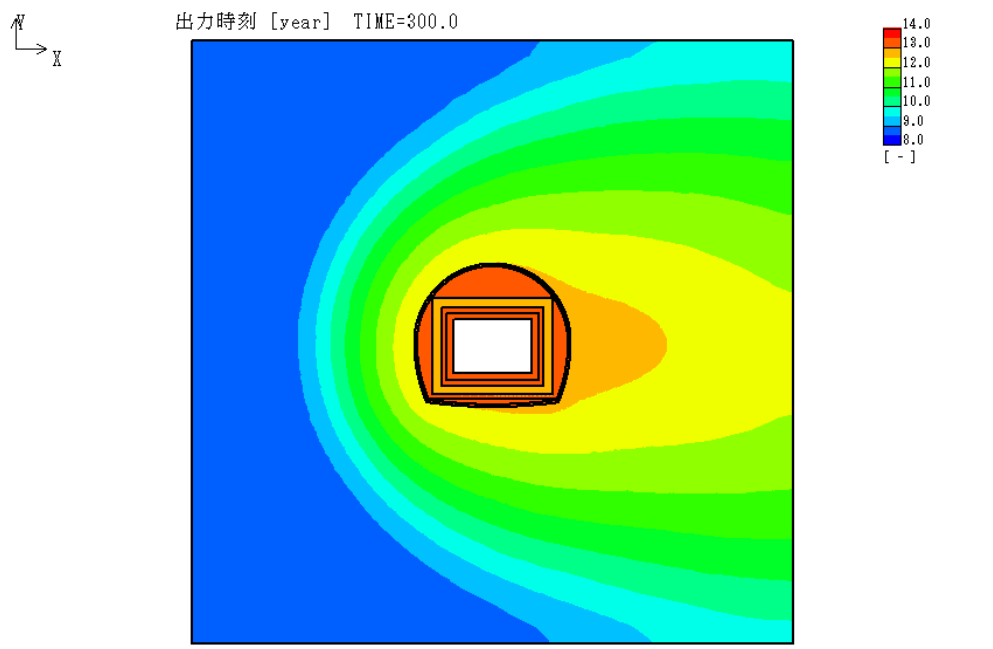
図 1.3-21 液相  $\text{Ca}^{2+}$  分布 (ケース 1 : 50 年後)

(b) ケース 2 の解析結果

解析の結果、時間の経過とともに周辺岩盤の pH が徐々に上昇し、特に下流側において大きく上昇すること、施設構築後はセメント系材料の部材に含まれる NaOH や KOH、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の影響で pH の上昇がさらに進むことがわかった。Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>濃度については、pH と同様に下流側で濃度の上昇が起こるが、ともにイオンとしての移動が速く、量も少ないことから周辺岩盤における濃度上昇は 3mmol/l 程度であり、近傍ボーリング孔による地下水組成モニタリングをしても、有意な差として検出されない可能性が高い。一方、Ca<sup>2+</sup>濃度については、解析開始から 1,000 年までで特に下流側にて 10mmol/l 以上に濃度が上昇する領域が存在し、地下水組成モニタリングの際には有意な差としてあらわれるものと考えられる。また、Ca<sup>2+</sup>濃度は処分空洞からの距離や移流の与えられ方によって大きく異なる結果となった。

結果の一例として、300 年後の pH 分布を図 1.3-22 に、液相 Ca<sup>2+</sup>分布を図 1.3-23 に示す。

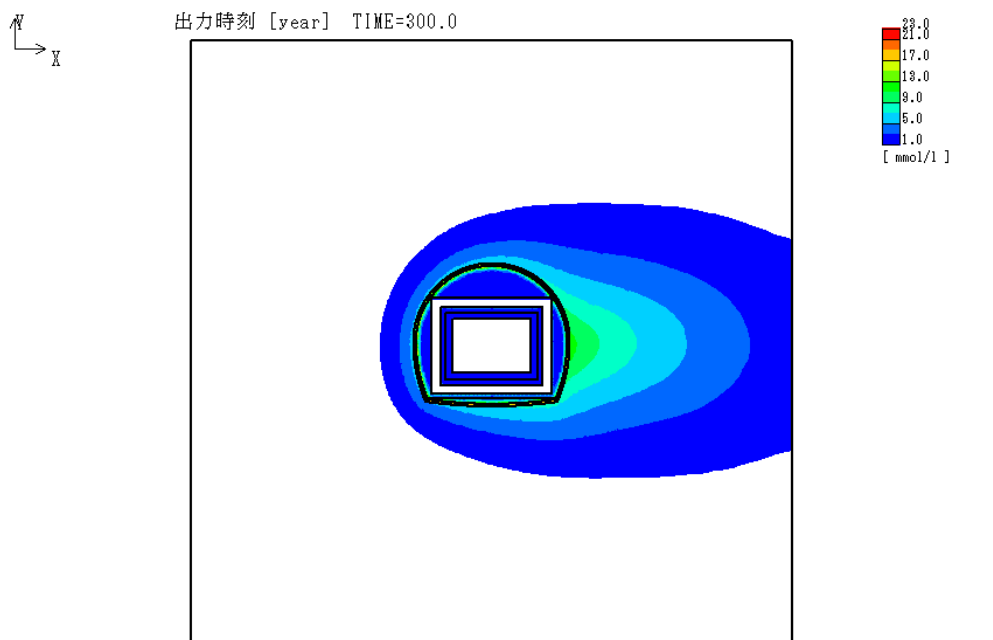
本解析を通じて、モニタリング場所の設定に資する重要な知見が得られた。



等高線図 NODE MIN 8.60(185571) MAX 13.41(137423)  
pH

8.40

図 1.3-22 pH 分布 (ケース 2 : 300 年後)



等高線図 NODE MIN 0.00e+000(38506) MAX 2.16e+001(169569)  
イオン濃度 (Ca<sup>2+</sup>)

8.40

図 1.3-23 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 300 年後)

### 3) 既存計測技術を利用した実処分施設で実施可能なモニタリング計画の具体化

処分場開発の各段階（建設段階、廃棄物の埋設段階、閉鎖措置段階、保全段階）における処分施設の機能確認方法の確立に資するため、各段階で取得可能な情報とその取得方法、それらを踏まえた処分施設状態を推定するための方法論を検討した。モニタリング計画の具体化を検討した項目は、以下のとおりである。

#### 【各種計測】

- ・ 処分施設の変形
- ・ 低拡散層のひび割れ観測
- ・ 地震動計測

#### 【水質分析】

- ・ 処分施設の裏面排水分析
- ・ 近傍ボーリング孔による地下水分析

処分施設の変形について、まず、モニタリングによる安全機能への影響確認フローを整理した（図 1.3-24）。その上で、計測期間、計測範囲、計測頻度の具体化を図った。この際、逐次部材が構築され施設の形状が変わることに配慮した。処分施設の変形量計測の計測期間および計測範囲を表 1.3-5、表 1.3-6 に示す。さらに、計測方法として、レベル測量および 3D レーザースキャナーを候補に挙げ、適用性について整理した。

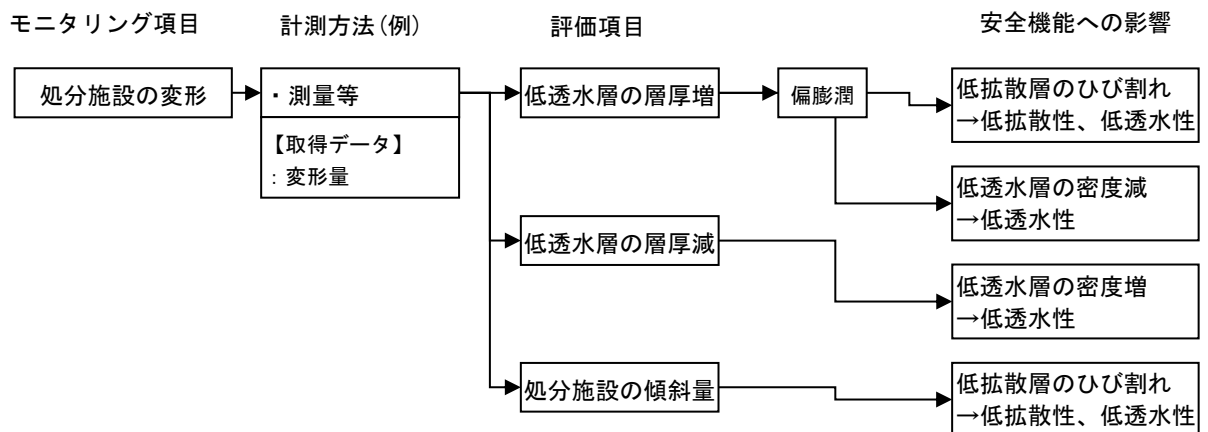


図 1.3-24 施設変形モニタリングによる安全機能への影響確認フロー

表 1.3-5 処分施設の変形量計測の計測期間および計測範囲（ケース 1）

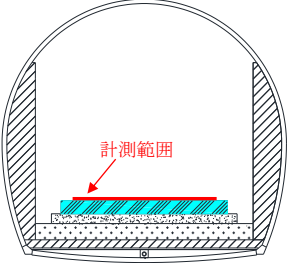
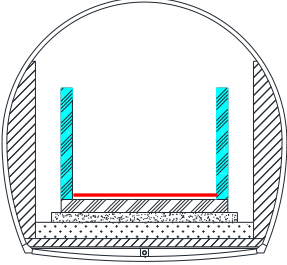
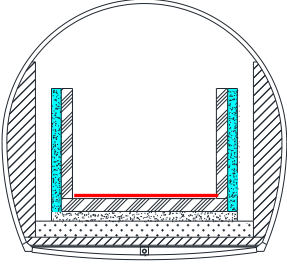
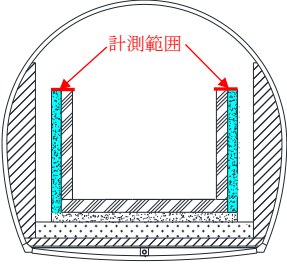
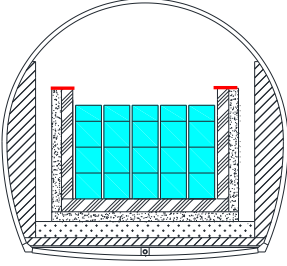
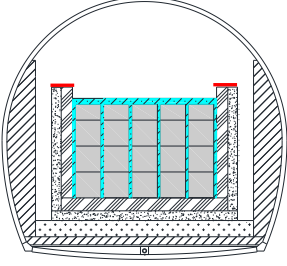
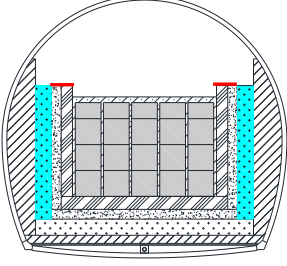
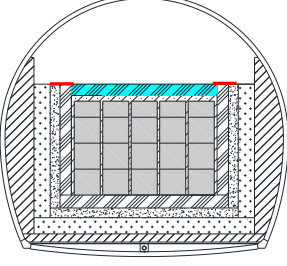
施工イベント (期間)	施工部材
①底部コンクリート ピット	
②側部コンクリート ピット	
③側部低拡散層	

表 1.3-6 処分施設の変形量計測の計測期間および計測範囲（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	

低拡散層のひび割れ観測、地震動計測、処分施設の裏面排水分析、近傍ボーリング孔による地下水分析についても、同様に、安全機能への影響確認フローを整理するとともに、計測期間、計測範囲、計測頻度、計測方法について検討を行った。

#### 4) 光ファイバセンサーの適用に向けたラボ試験

##### a. 光ファイバセンサーの耐久性評価

放射性廃棄物処分場における光ファイバセンサーの適用を検討するにあたり、その耐久性を評価するために、塩分・高 pH・放射線の各環境下においてそれぞれ劣化促進試験を行い、光ファイバセンサーの機械的、光学的特性の変化を把握することとした。

評価試験に供する光ファイバセンサーは、与える劣化因子（塩水・高 pH・放射線）に対して試験結果に差が生じると予想される光ファイバセンサーを市販品のなかから選択した（表 1.3-7、図 1.3-25 参照）。それぞれ一次被覆のみが施された外径 250 ミクロンの光ファイバセンサーである。

劣化促進パラメータは表 1.3-8 に示すとおりである。

表 1.3-7 光ファイバセンサーのサンプル

No.	タイプ	メーカー	型番
1	汎用	Corning (米国)	SMF-28 Ultra Bare Fiber
2	耐水	OFS (米国)	F78814
3	耐放射線	フジクラ (日本)	SMF-RRSMFB

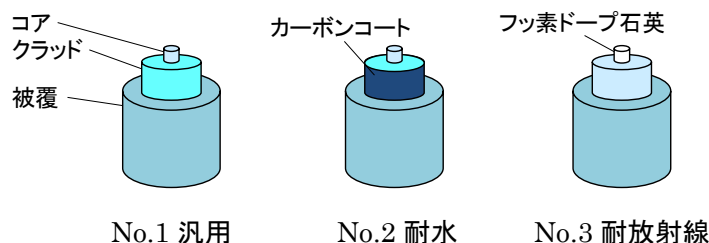


図 1.3-25 各タイプの光ファイバセンサー構成イメージ

表 1.3-8 劣化促進パラメータ (\*は昨年度実施済み、カッコ内は今後)

劣化因子	劣化環境	劣化水準		
		1	2	3
塩分	高濃度 (海水の 2 倍) 塩水に浸漬 (60°C)	10 日*	50 日	(100 日)
高 pH	高アルカリ溶液 (pH13) に浸漬 (60°C)	(1 日)	10 日*	
放射線	200Gy/h を照射	5h*	100h	

塩水浸漬のサンプル（汎用タイプ、耐水タイプ）を対象に、機械的特性を評価するた

めに実施した動疲労試験結果を、図 1.3-26、図 1.3-27 にそれぞれ示す。耐水タイプでは、破断強度は初期値との差異は小さく、明らかな劣化は認められない。

耐水タイプは、高 pH 浸漬に対しても破断強度ならびに疲労係数に大きな変化がないことがわかった。

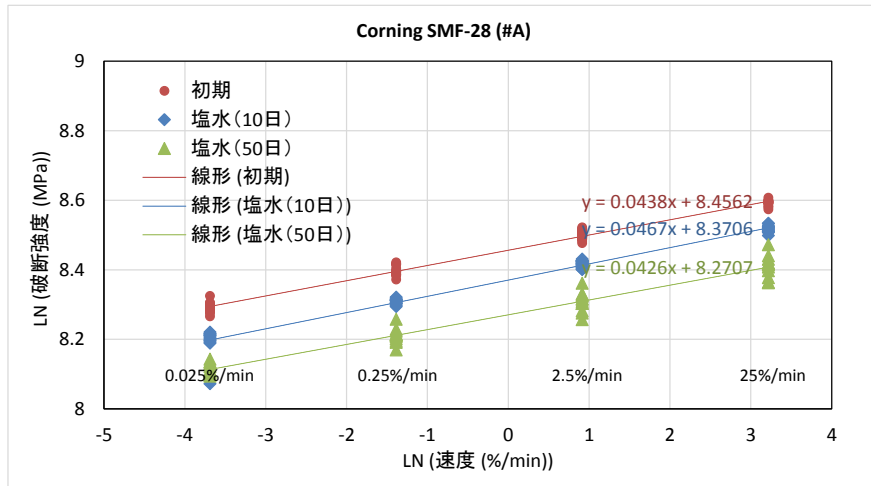


図 1.3-26 動疲労試験結果（汎用タイプ；塩分）

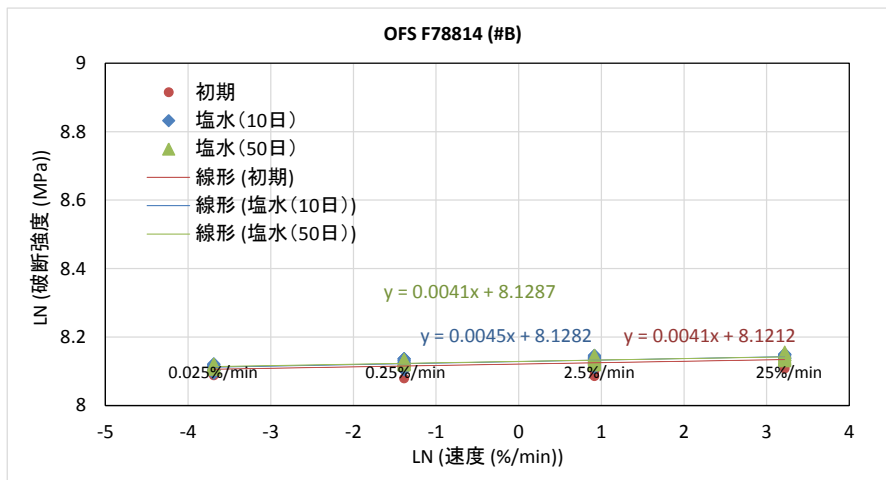


図 1.3-27 動疲労試験結果（耐水タイプ；塩分）

汎用タイプと耐放射線タイプを対象に実施した放射線照射試験結果として、放射線照射時間と損失の計測結果を図 1.3-28 に示す。光ファイバセンサーのコアにフッ素をドーピングすることにより、著しく耐放射線性が高められていることが確認された。



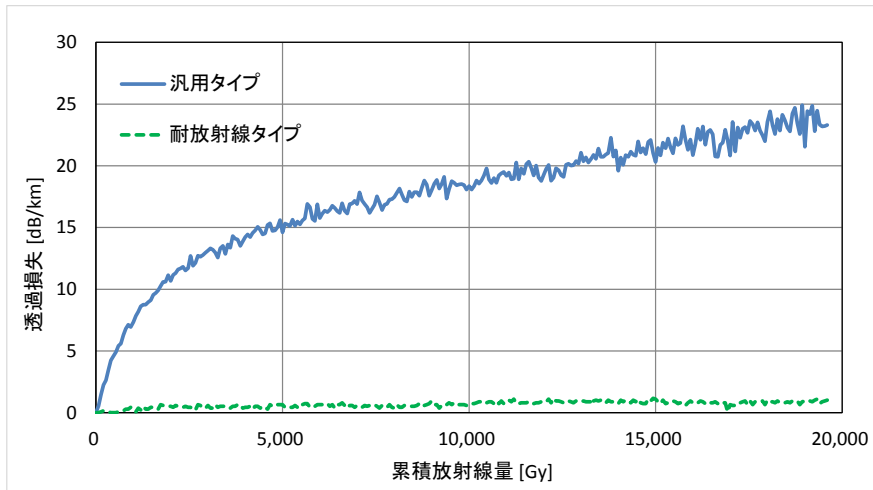


図 1.3-28 放射線照射時間と損失の関係

b. 光ファイバセンサーによる圧力測定

低透水層の膨潤圧測定の実現性を検証するために、加力装置を用いて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を実施した。図 1.3-29 に試験構成を示す。鋼板に拘束条件の異なる光ファイバセンサーを設置（図 1.3-30 参照）したうえで、ベントナイトを敷き詰めた後、加力装置で段階的に荷重を上げながら、光ファイバセンサーに沿ったひずみ分布を計測した。

拘束条件の異なる箇所のひずみ差と、荷重ならびにクロスヘッド変位量の関係を、それぞれ図 1.3-31、図 1.3-32 に示す。荷重の増加に伴って、ひずみが上昇している様子がわかる。一方、荷重を除荷してもひずみが低下せずに残留する結果であった。クロスヘッドの変位量結果と含めて鑑みれば、ベントナイトが締固められる過程で側圧が上昇したもので、その後側圧が充分低下しなかったためと思われる。可逆性などを確認するうえでは試験方法を改良する必要があるが、圧力分布測定の可能性を示唆する結果が得られた。

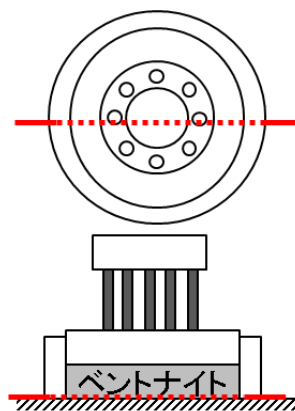


図 1.3-29 試験構成

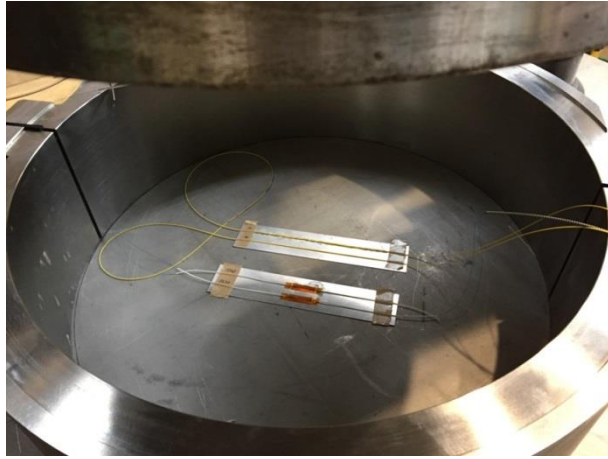


図 1.3-30 光ファイバセンサーの設置

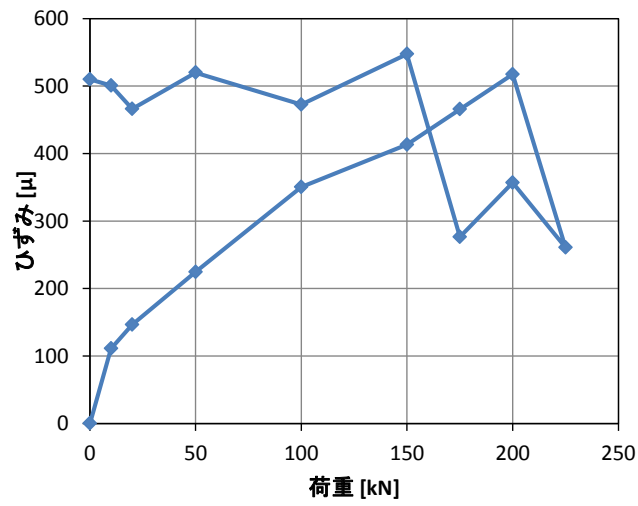


図 1.3-31 実験結果 1 (ひずみと荷重)

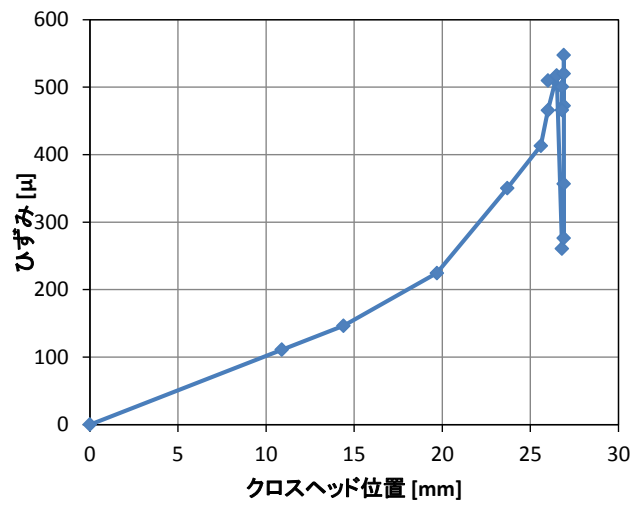


図 1.3-32 実験結果 2 (ひずみとクロスヘッド位置)

5) 光ファイバセンサーによるひずみ等の計測

a. 光ファイバセンサーによる計測の概要

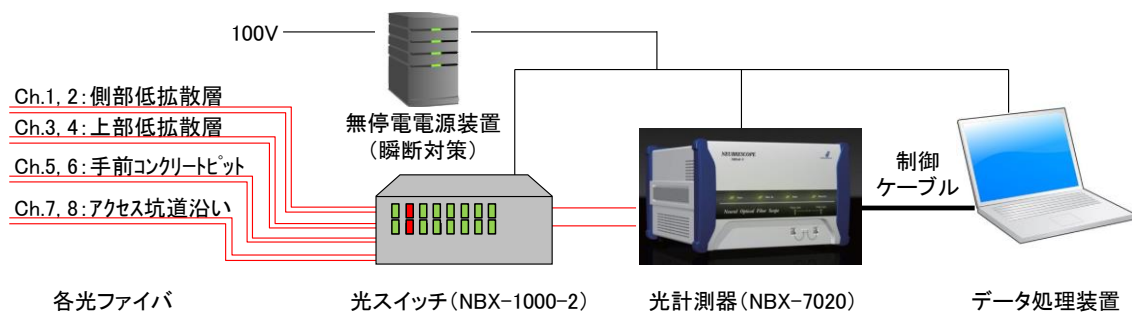
光ファイバセンサーを用いた計測システム（光ファイバセンサー、光スイッチ、光計測器（Neubrex 社製 NBX-7020）、データ処理装置より構成）を構築し、それを用いて、実規模施設のセメント系材料のひずみ等を連続的に計測する。ここで、光ファイバセンサーの設置箇所は以下のとおりとする。それぞれの箇所の光ファイバセンサーは一筆書きで構成され、その両端を光スイッチに接続する。

- ・ 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

図 1.3-33 に計測システムの構成を、写真 1.3-1 に実際の設置状況を示す。

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 Analysis）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 Reflectometry）でひずみ等を計測する。

平成 30 年 1 月 23 日から、この計測システムによる計測を開始した。



赤線：光ファイバ、黒線：電源ケーブル

図 1.3-33 計測システムの構成

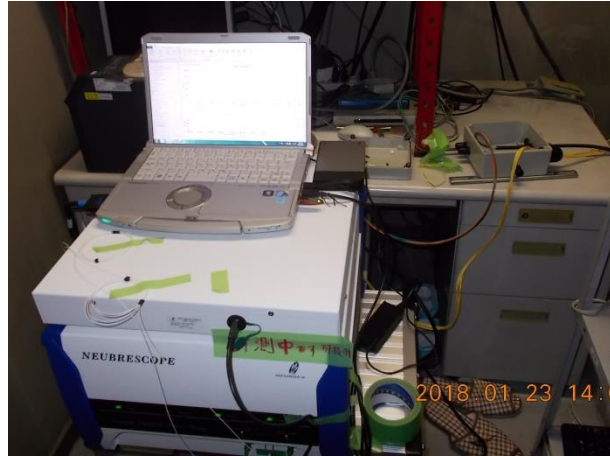


写真 1.3-1 計測システム設置状況

b. 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、 $1.8 \times 3.5\text{mm}$ ）を図 1.3-34 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センサー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センサーが損傷しにくいような構成としている。

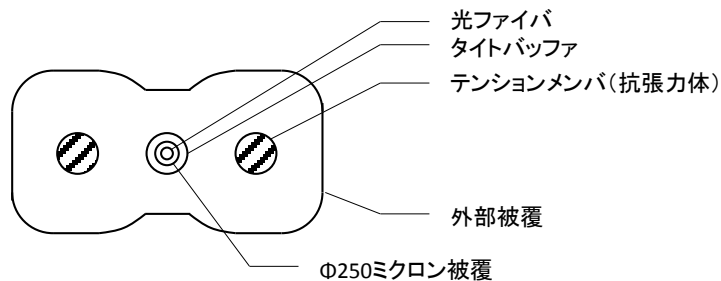


図 1.3-34 ひずみ計測用光ファイバセンサー

ひずみ計測用光ファイバセンサーは、側部低拡散層、上部低拡散層、手前コンクリートピットのそれぞれ表面に、エポキシ接着剤（スリーエム製 DP-420）を用いて直線部を全線固定した。それぞれのセンサーの配置を、図 1.3-35～図 1.3-37 に示す。図内に併記するチャンネル番号は、光スイッチへの接続チャンネルである（図 1.3-33 参照）。

センサー設置の状況を写真 1.3-2 に示す。

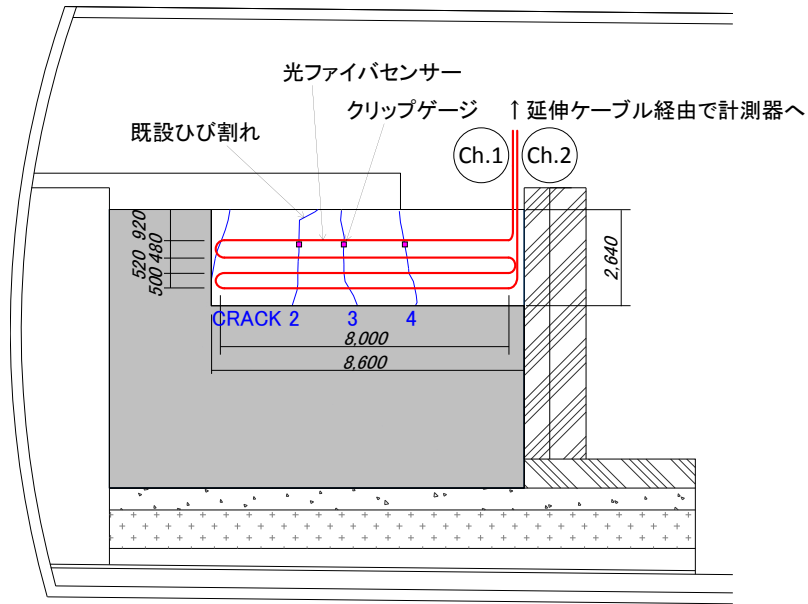


図 1.3-35 ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（側部低拡散層表面）

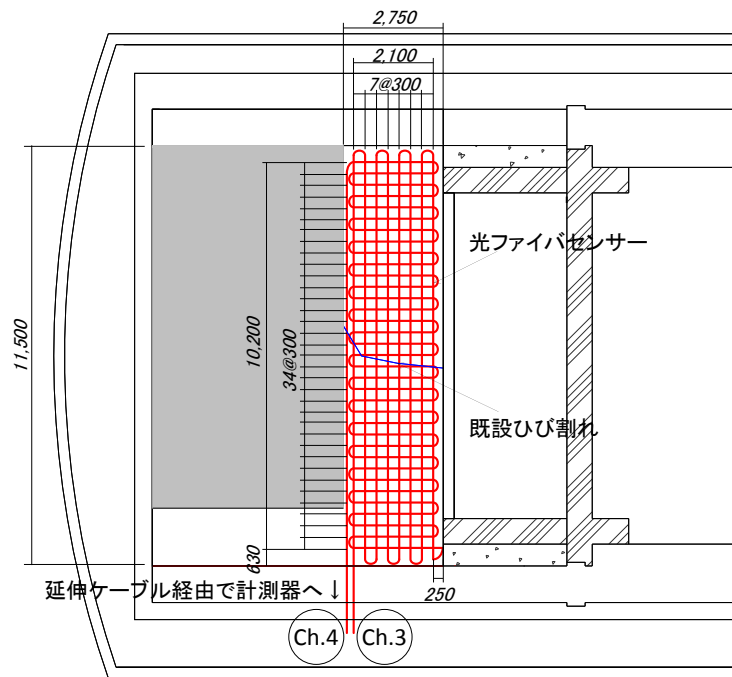


図 1.3-36 ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（上部低拡散層表面）

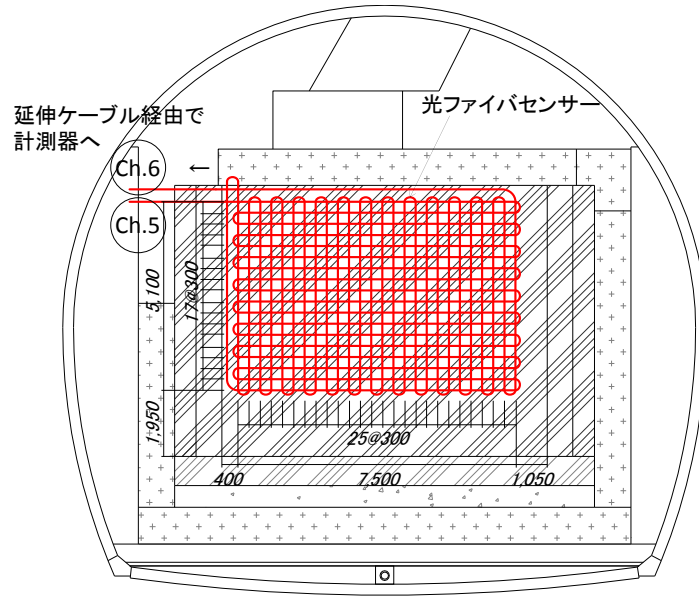


図 1.3-37 ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（手前コンクリートピット表面）

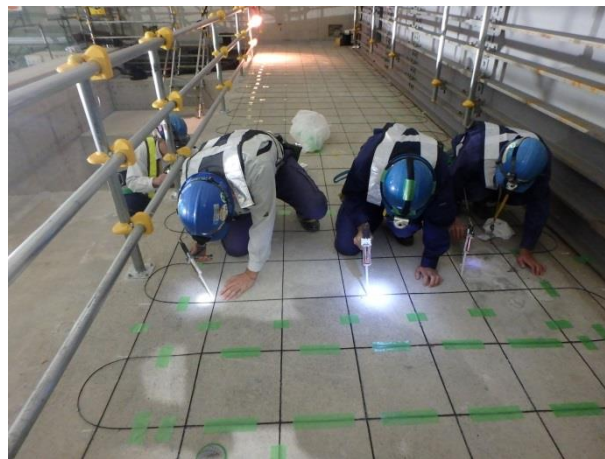


写真 1.3-2 センサー設置作業（上部低拡散層表面）

光ファイバセンサーによるひずみ分布計測を定量的に評価するために、参照用データを取得するための計器を設置した。ひずみ分布計測用の参照計器として、側部低拡散層（左）側面の既設ひび割れの開口変位計測のためのクリップゲージ（共和電業製 DTC-A-2）を三箇所固定した（CRACK2～4：図 1.3-35 参照）。

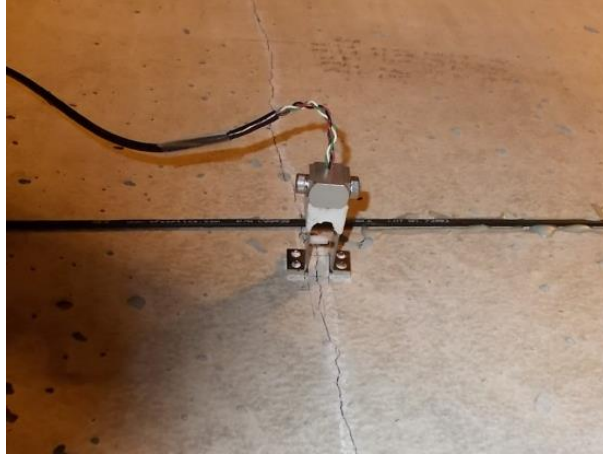


写真 1.3-3 クリップゲージ設置状況

c. 温度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 1.3-38 に示す。内部の光ファイバセンサーと被覆部は縁切りされており、ケーブルに引張などが加わったとしても、内部の光ファイバセンサーには引張が加わらないような構成となっている。

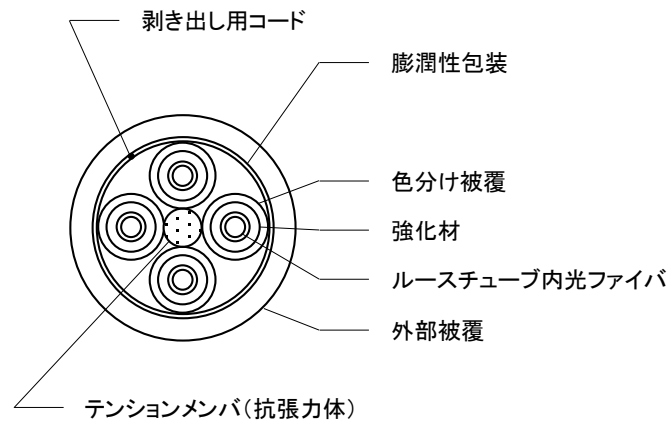


図 1.3-38 温度計測用光ファイバセンサーケーブル

温度計測用光ケーブルは、坑道に沿って、吊り治具を用いて敷設した。ケーブルの配置を、図 1.3-39 に示す。計測小屋から、ピット部で折り返したうえで、坑口まで敷設することとした。

温度計測用光ケーブル設置の状況を写真 1.3-4 に示す。

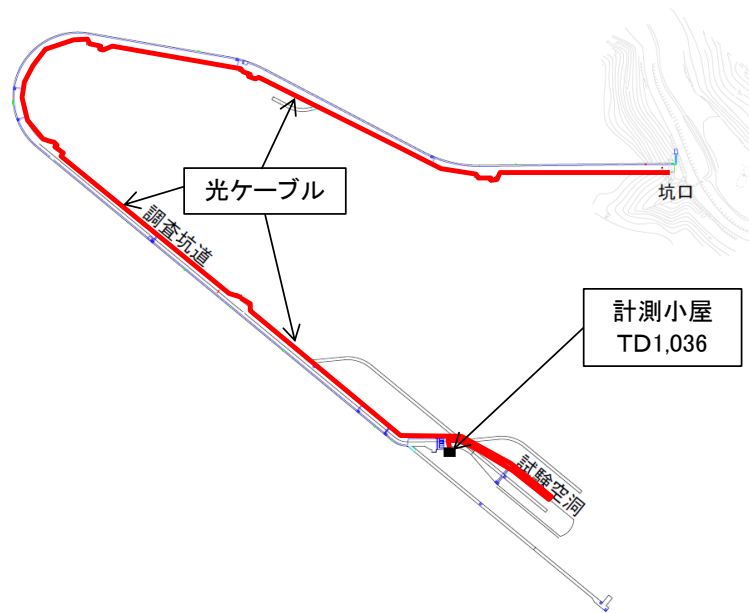


図 1.3-39 温度計測用光ケーブルの配置 (アクセス坑道沿い壁面)

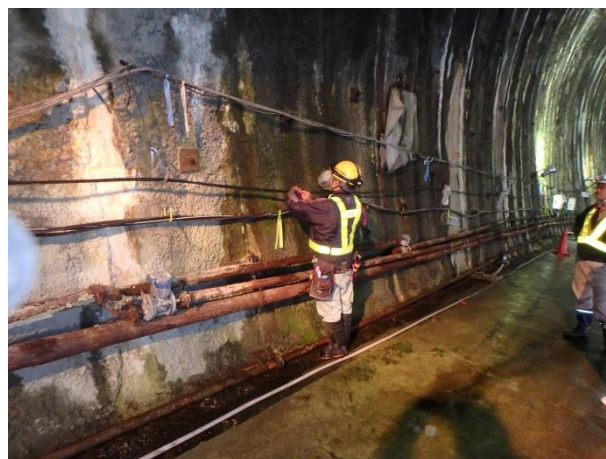


写真 1.3-4 温度計測用光ケーブル配線作業

光ファイバセンサーによる温度分布計測を定量的に評価するために、参照用データを取得するための計器を設置した。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 (T&D 製 TR71wf) を計 7 箇所を設置した (坑口, TD200, TD400, TD600, TD800, TD1000, ピット部)。

温度計の配置を図 1.3-40 に示す。



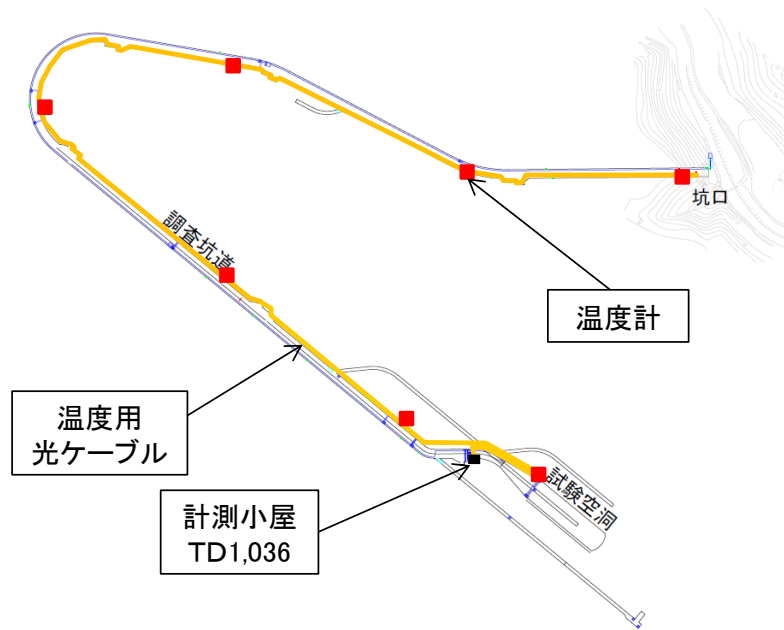


図 1.3-40 温度計の配置

d. 事前試験用の試験体の製作

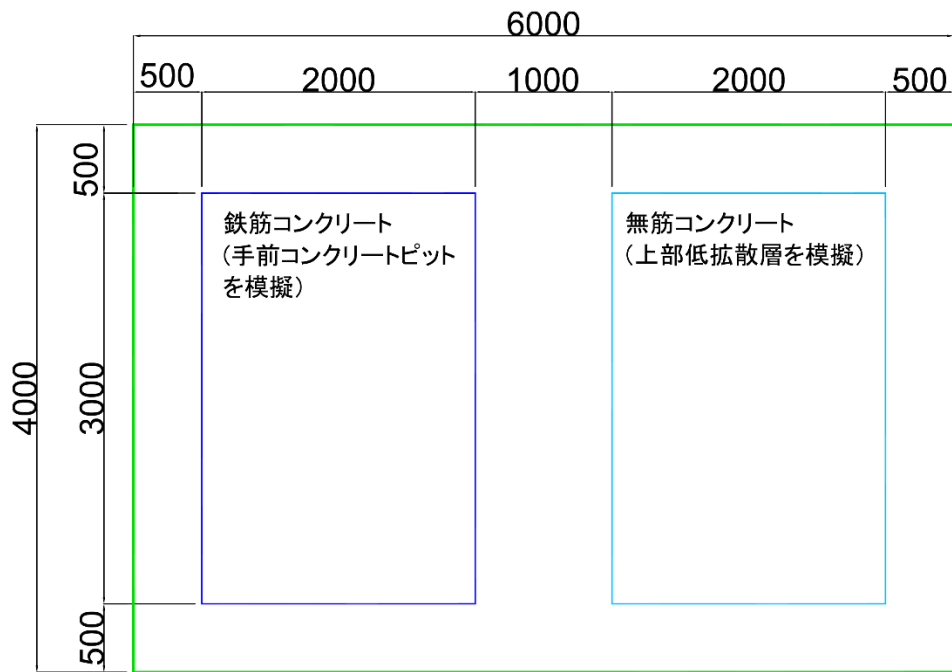
実規模施設を利用した光ファイバセンサーによるひび割れ計測試験では、施設に発生するひび割れを光ファイバセンサーで検知できることを確認する計画である。

今年度業務において、実規模施設にひび割れを誘発する手法の候補を選定した。平成30年度上期（予定）に、ある程度の寸法、部材厚さを有する試験体を使用した事前試験を実施し、要素試験にて選定したひび割れ誘発手法が、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、確実にひび割れを入れられる手法として、信頼性が高いものであることを確認する計画となっている。この事前試験に使用する試験体を製作した。

事前試験用の試験体を図 1.3-41 に示す。手前コンクリートピットを模擬した試験体は、幅 3m×奥行き 2m×部材厚さ 70cm の鉄筋コンクリート構造、上部低拡散層を模擬した試験体は、幅 3m×奥行き 2m×部材厚さ 60cm の無筋コンクリートとする。

鉄筋コンクリート用試験体の配筋図は図 1.3-42 示す。

平面図



断面図

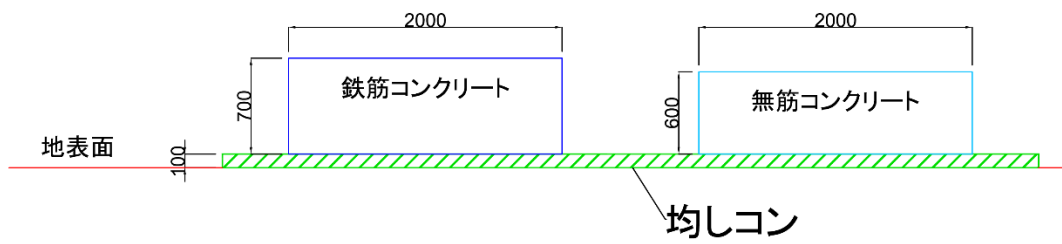


図 1.3-41 事前試験用試験体

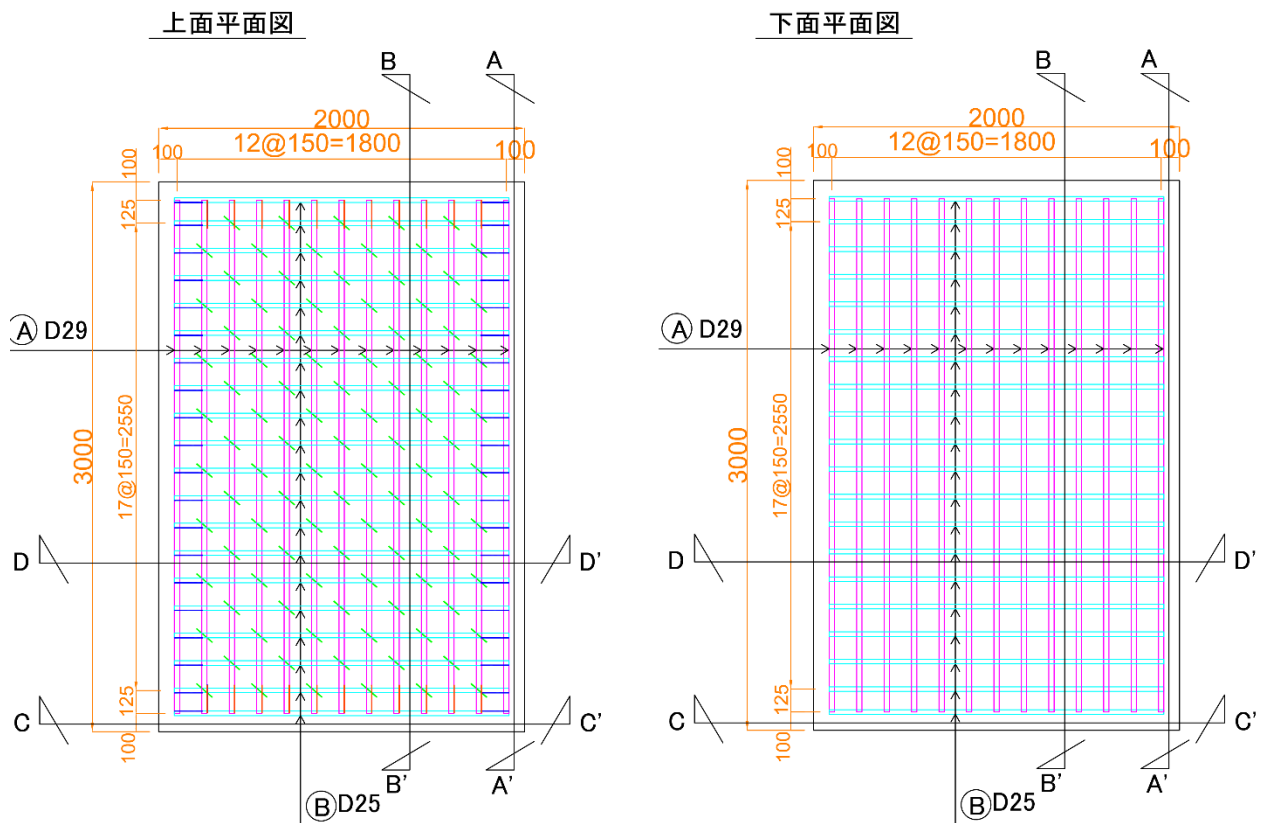


図 1.3-42 鉄筋コンクリート供試体の配筋図（平面図）

試験体に用いるコンクリートの配合を表 1.3-9 に示す。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、予備強度が  $61\text{N/mm}^2$ （長期強度  $90\text{N/mm}^2$  の見込み）の高強度コンクリートを打ち込むこととした。

表 1.3-9 試験体の配合

セメント 種別	呼び強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	水結合材 比(%)	単位重量 ( $\text{kg/m}^3$ )			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
普通	61	32.1	170	530	780	913

- (3) 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、実規模施設およ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（低拡散層およ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 1.3-10 に示す 631 個から動作不良の間隙水圧計 14 箇所を除く 617 個とした。

地震計のメンテナンスおよ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 孔周辺、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およ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（2017 年 8 月 7 日、12 月 6 日）。その結果、これら部位について、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。このため、ひび割れの進展は収束したと判断できる。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（2017 年 12 月 6 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。

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。データ通信時のバッテリーの負担を減らす等の工夫をすることにより、今年度は地中無線送信装置により計 4 ヶ月分（平成 29 年 8 月 9 日～平成 29 年 12 月 6 日）の温度と間隙水圧のデータを回収することができた。

表 1.3-10 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	
		間隙水圧計	31	37	
	周辺岩盤挙動	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		
底部緩衝材	土圧計	8	31		
H20	底部緩衝材	加速度計	1		
		沈下計	5		
		温度計	1		
		水分計	12		
		間隙水圧計	4		
		ひずみ計	30	62	
	底部低拡散材	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		
		ひずみ計	30	57	
H21	底部コンクリートピット	有効応力計	10		
		無応力計	1		
		傾斜計	1		
		温度計	15		
		ひずみ計	26	80	
		有効応力計	6		
H22	側部コンクリートピット	無応力計	2		
		温度計	26		
		鉄筋計	20		
		ひずみ計	10	32	
		無応力計	1		
		鉄筋計	10		
	H23	手前部 コンクリートピット	温度計	11	
			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	
H24	側部低拡散材	継目計	4		
		せん断変位計	4		
		土圧計	6		
		加速度計	2		
		土圧計	1	1	
		土圧計	2	3	
H25	充填材	温度計	1		
		土圧計	1	2	
		温度計	1		
	上部充填材	土圧計	1	2	
		温度計	1		
		土圧計	2	3	
H26	側部緩衝材	加速度計	1		
		ひずみ計	6	12	
		無応力計	1		
	上部コンクリートピット	温度計	3		
		有効応力計	2		
		ひずみ計	18	34	
H27	上部低拡散材	無応力計	1		
		温度計	9		
		有効応力計	6		
H28	上部緩衝材	土圧計	1	2	
		加速度計	1		
H29	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

既設静的計測設備およ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

今年度は試験施設の追加施工がなかったため、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および 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も整合する。

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。

### 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 9 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 1 月 24 日の観測地震動で、地震計① (x 方向) と地震計③ (x, y 方向) が 6.9Gal を記録し最大となった。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ピークが 2 箇所（卓越振動数が 1.0Hz と 4.0Hz）あり、平成 26 年度の地震動（卓越振動数 3.5Hz）と平成 28 年度の地震動（卓越振動数 0.4Hz）の両者の要素を含んでいる地震動を選定した。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 29 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 1.3-43 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 29 年度と平成 26 年度に選定した地震動は、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 29 年度の入力地震動は、試験施設の変形特性および発生応力に与える影響は大きいことがわかった（図 1.3-44、図 1.3-45）。

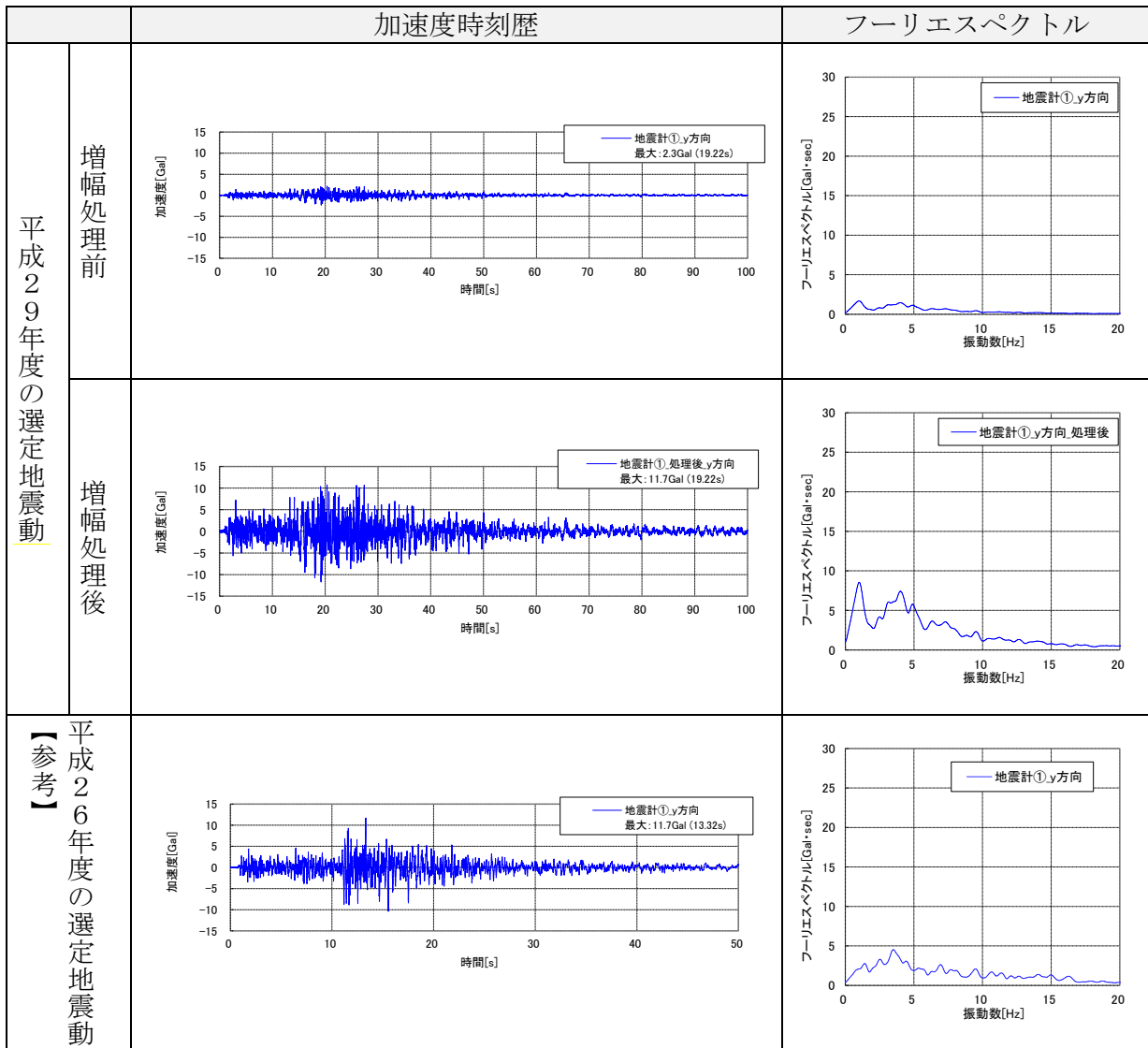


図 1.3-43 地震動の加速度の増幅処理（地下空洞底盤上の地震計、y 方向）

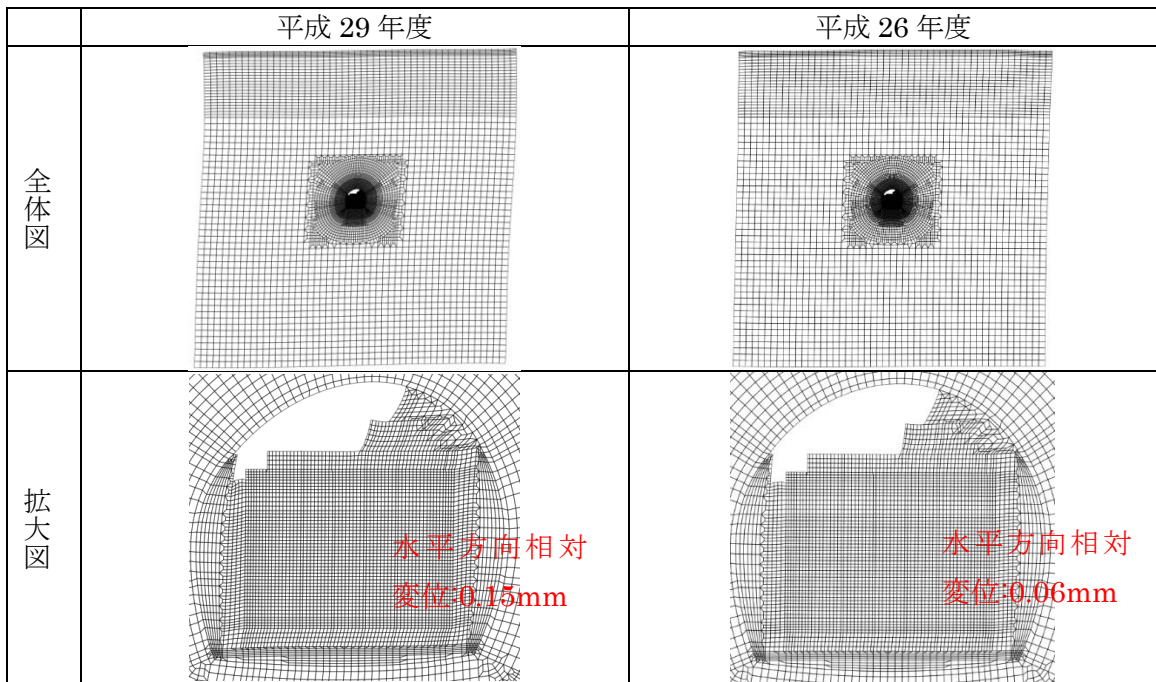


図 1.3-44 水平方向の相対変位最大時刻の変形図（変形倍率を 10000 倍で描画）

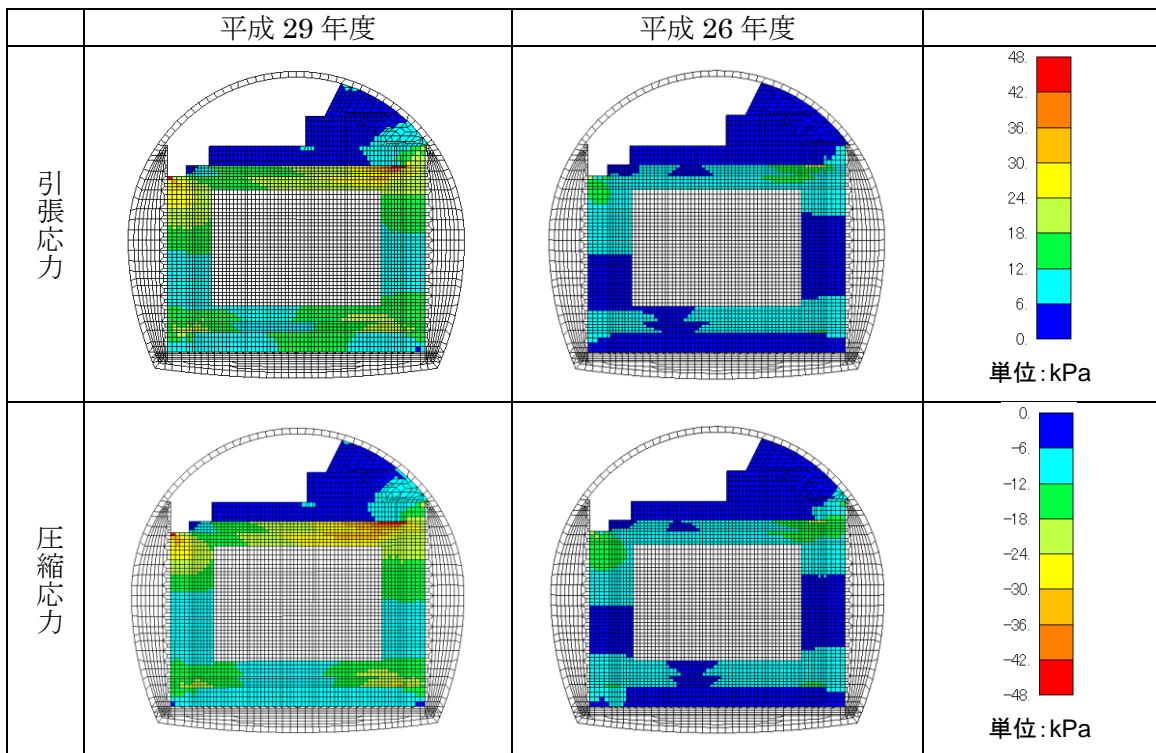


図 1.3-45 試験施設の応力の地震時増分（水平方向）



## 第1章 参考文献

- [1] 原子力規制庁：炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（改定案）、廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム第27回会合、参考資料27-2-2、平成29年11月2日（2017）。
- [2] 電気事業連合会：「原子力発電所等の廃止措置及び運転に伴い発生する放射性廃棄物の処分について」、原子力規制委員会 第2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会合、資料2-1、平成27年2月12日（2015）。
- [3] 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
- [4] 平戸金属工業株式会社：パッカーシリーズカタログ
- [5] 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年



## 第 2 章 具体的な機能確認試験計画の策定



## 第2章 具体的な機能確認試験計画の策定

### 2.1 概説

本章では、現在検討が進められている中深度処分に対する規制の内容を整理した。その上で、平成 28 年度までの検討で抽出した「低拡散層のひび割れ」以外に確認対象項目（モニタリング項目）になり得る項目を抽出した。確認対象項目（モニタリング項目）の候補の抽出に際しては、中深度処分施設に要求される基本安全機能と施設を構成する各部位の技術津要件や仕様・管理項目との関係性を整理し、確認対象項目（モニタリング項目）と施設に求められる機能との関連を明確化した。

抽出した確認対象項目（モニタリング項目）に対して、モニタリング計画を策定した。モニタリング計画は、

- ・ 既存計測技術を利用した実処分施設で実施可能なモニタリング計画
- ・ 光ファイバセンサー技術を活用したモニタリング計画

について、それぞれ検討した。

光ファイバセンサーを活用したモニタリング計画は、平成 28 年度までに検討した既設の実規模施設を活用したひび割れ計測試験[1]を主な対象として検討を実施した。

光ファイバセンサーを活用したひび割れ計測試験は、図 2.1-1～図 2.1-3 に示す既設の実規模施設において露出した状態となっているセメント系材料の表面に光ファイバセンサーを設置し、人為的にひび割れを発生させることにより、複雑な形状のひび割れ発生状況を推定するものである。ひび割れ発生状況推定の概念図を図 2.1-4 に示す。

なお、光ファイバセンサーを活用したひび割れ計測試験は、平成 30 年度の実施を計画しており、本年度は、既設の実規模施設への光ファイバセンサー設置、人為的なひび割れ発生方法の検討を行った。

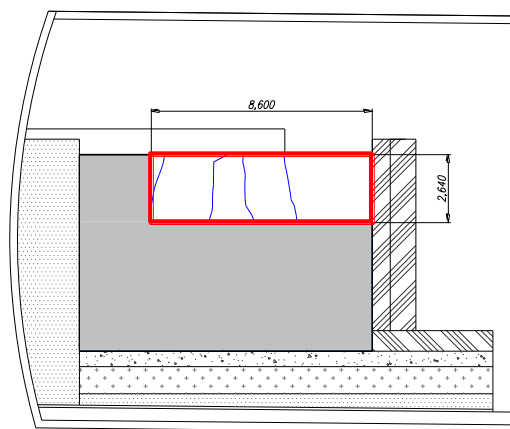


図 2.1-1 側部低拡散層（左側）の露出範囲（側面図） [1]

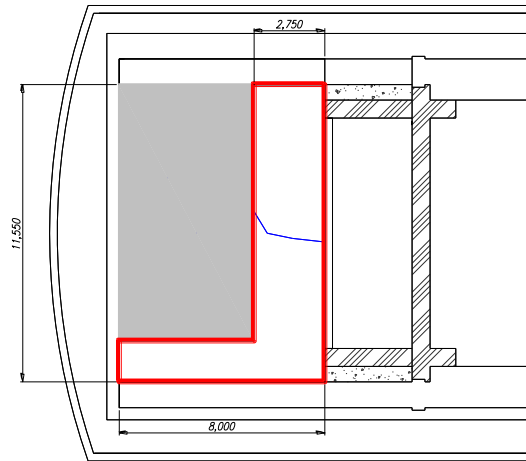


図 2.1-2 上部低拡散層の露出範囲（平面図） [1]

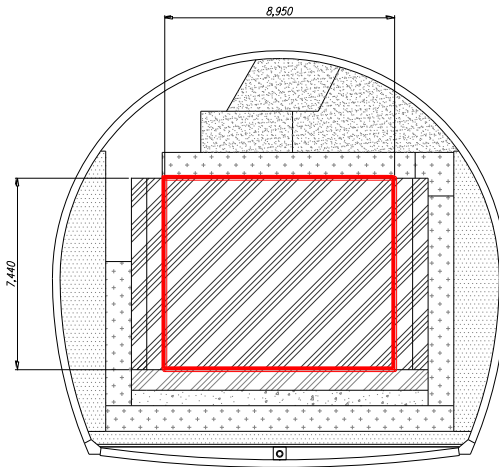


図 2.1-3 手前コンクリートピットの露出範囲（正面図） [1]

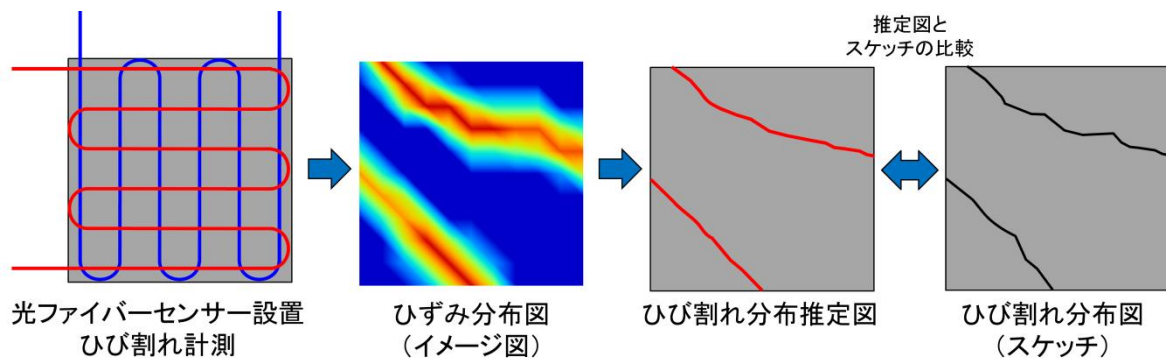


図 2.1-4 光ファイバセンサーの計測結果からひび割れ発生状況を推定するイメージ [1]

今年度の検討で新たに抽出された確認対象項目（モニタリング項目）のうち、光ファイバセンサーによる計測が有効と考えられる項目については、室内試験による計測実現性の検討から開始することとし、その成果は第3章に示した。

## 2.2 規制要求の整理

中深度処分施設の機能確認またはモニタリングを検討対象とする上で、現在検討が進められている規制基準におけるモニタリングに係る要求事項を整理することが重要である。本節では、平成29年12月15日時点における最新の規制基準類[2][3][4]のうち、モニタリングに関する記述が最も詳細な「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（改定案）」[4]（以下、「規制の考え方」と称する。）について整理した結果を示す。なお、本節において斜体で記載した部分は、規制基準類から原文のまま抜粋したことを示す。

### 2.2.1 規制要求の前提

#### (1) 処分概念

従来、余裕深度処分と呼ばれていた処分概念が、今般の規制基準の整備に伴い、中深度処分と呼ばれるようになった。「規制の考え方」では、以下のように中深度処分の処分概念を定義している。

炉内等廃棄物の処分を行うに当たっては、数万年を超える長期間にわたって炉内等廃棄物を起因とする放射線による影響から公衆と、公衆を防護する上で必要な環境（汚染されると間接的に公衆への放射線影響を生じ得るような環境のこと。以下「生活環境」という。）を防護する必要がある。

数万年を超える長期間にわたって公衆と生活環境を防護するための根幹的な対策として、廃棄物と公衆の離隔に有効と考えられる深度へ廃棄物を埋設し、自然現象に起因する事象（以下「自然事象」という。）及び人間活動に起因する事象（以下「人為事象」という。）<sup>\*5</sup>による廃棄物への擾乱等を防ぐとともに、その周辺の岩盤又は地盤等（以下「天然バリア」という。）が有する物理的及び化学的な特性や、天然バリアへの放射性核種の漏出の防止及び低減の機能を有する人工構築物（以下「人工バリア」という。）を活用することにより、埋設された廃棄物からの放射性核種の漏出や生活圏への移行を抑制（以下「閉じ込め<sup>\*6</sup>」という。）する<sup>\*7</sup>。炉内等廃棄物に必要となる離隔のための深度や閉じ込めの程度は、総放射エネルギーや長半減期核種の濃度等に見合ったものとし、深度は浅地中処分よりも深いものとする<sup>\*8</sup>。

以上のような処分概念を「中深度処分」と呼ぶこととする。

（原文には下線なし。）

○放射性廃棄物に含まれる放射性物質を起因とするリスクから公衆と生活環境を防護するため、廃棄物の種類や放射能濃度等に応じた埋設の方法により最終的な処分を行う。

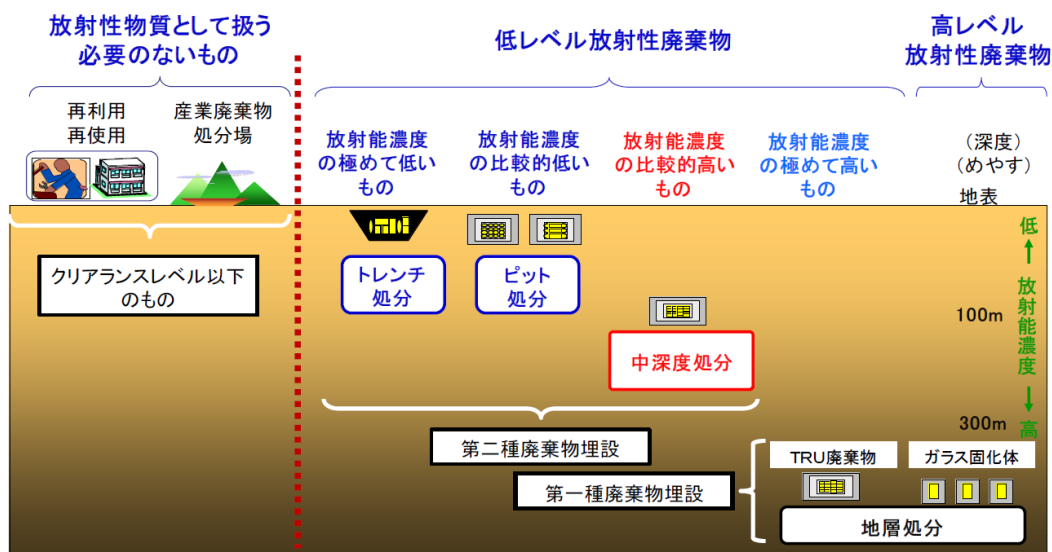


図 2.2-1 放射性廃棄物の処分概念[4]

ここで、上記の下線部において、埋設された廃棄物からの放射性核種の漏出や生活圏への移行を抑制することを「閉じ込め」と呼んでいるが、この「閉じ込め」に対して、以下の注釈が付いており、ここでの「閉じ込め」は、実質的には「移行抑制」に相当すると読み取ることができる。

※6 ここでの「閉じ込め」は、許可基準規則における「限定した区域への閉じ込め」ではなく、放射性核種の漏出や生活圏への移行の抑制のことを意味する。

## (2) 規制終了までの期間

規制期間は、以下に示すように、事業者による事業の継続性を考慮して 300～400 年程度とされている。

埋設された炉内等廃棄物は、数万年を超える長期にわたり人への潜在的な影響が残る可能性があるが、こうした長期間にわたり事業者<sup>※9</sup>を規制して管理させることにより安全を確保することは現実的でない。

このため、事業者が隔離や閉じ込めの措置を完了し、原子力規制委員会が、当該措置に問題がないこと、原子力規制委員会による事業者に対する規制が行われる期間（以下「規制期間」という。）の終了後において防護上の問題を生じ得るような状態に至ることは合理的に想定し得ないこと等を確認した上で、規制は有限の期間で終了するものとする。規制終了までの期間としては、事業者による隔離や閉じ込めの措置に係る確認を一定の期間求める観点に加えて、事業者による事業の継続性の観点から既往のピット処分の事業を参考に、300～400 年程度を念頭に置く。



なお、原子炉等規制法の規定に基づき、規制期間中及び規制期間終了後において、廃棄物埋設地を含む一定の区域に対する掘削や地下利用等の特定の行為は制度的に制限される。

## 2.2.2 中深度処分事業の各段階

平成 29 年 11 月 2 日に公開された「規制の考え方」[4]には、原子炉等規制法の改正が反映し、中深度処分においても「閉鎖措置」が導入され、中深度処分事業の段階が以下のように定義されている。

中深度処分事業は、以下の段階に分けられる。現行の法令に基づき事業者が受ける規制は、このうち審査段階から廃止措置段階までである。なお、廃棄物埋設施設の一部の建設が終了した段階で廃棄物の受入れが行われることも想定されるため、建設段階と埋設段階とが並行する場合もある。

- ・立地段階（立地場所の調査～事業申請前）
- ・審査段階（事業申請～事業許可前）
- ・建設段階（事業許可～廃棄物の受入れ開始前）
- ・廃棄物の埋設段階（廃棄物の受入れ開始～廃棄物埋設地の埋戻し終了）
- ・閉鎖措置段階<sup>\*14</sup>（廃棄物埋設地の埋戻し終了後～閉鎖措置の終了）
- ・保全段階（閉鎖措置の終了後～廃止措置の開始前）
- ・廃止措置段階（廃止措置の開始～廃止措置の終了）
- ・規制期間終了後

「規制の考え方」[4]では、事業者が受ける規制を「審査段階」から「廃止措置段階」までとしており、上述の「2.2.1 (2) 規制終了までの期間」での記載を参考にすると、「審査段階」から「廃止措置段階」までが 300～400 年程度と読み取れる。一方、「中深度処分における廃棄物埋設地の設計プロセスおよび線量評価に係る審査ガイドの骨子案」[3]（以下、「審査ガイドの骨子案」と称する。）には、「埋設の終了から廃止措置の開始までの期間は、300～400 年を目安とする」との記載があり、「規制の考え方」[4]と「審査ガイドの骨子案」[3]には、規制期間の考え方に齟齬がある点に留意する必要がある。

## 2.2.3 規制要求の考え方

「規制の考え方」[4]における規制要求は、設計要求と管理要求に大別される。ここでは、規制要求のうち、モニタリングに関する設計要求、管理要求を整理した。

## (1) 設計要求

設計要求の中では、モニタリング設備に係る要求が明記されており、「放射線モニタリング」と「地下水等モニタリング」の2種類のモニタリングを実施するための設備を設置することが要求されている。

人工バリアによって少なくとも廃止措置の開始までの期間は廃棄物埋設地からの放射性核種の漏出が抑制されていることを確認するため、人工バリアの設計上の問題、施工の不具合等による異常な漏えいの監視・測定（以下「放射線モニタリング」という。）を行うための設備を設置することを要求する。ここで、異常な漏えいとは、廃棄物埋設地から漏出する放射性核種の濃度が一定の水準を超える場合をいう。また、地下水の状態に加えて、廃棄物埋設地の埋戻し終了後における人工バリアや天然バリアが設計を逸脱することなく性能を発揮しつつあることを事業者が確認し、後述する定期的な評価等に必要データを取得するため、廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地及びその周辺の地質環境に係る物理的・化学的特性、人工バリアの性能や人工バリア及び天然バリアの機能に関する地下水の状態等の確認のためのデータ取得（以下「地下水等モニタリング」という。）を行うための設備を設置することを要求する。

放射線モニタリング及び地下水等モニタリング設備の設計に当たっては、廃棄物の埋設段階、坑道の埋戻し段階及び保全段階における廃棄物埋設地周辺の環境や測定期間に適応して実用上必要な精度で監視・測定ができる性能を有する設備を用いることを要求する。この際、モニタリング設備の設置により、漏出抑制機能を担保する人工バリアの劣化や酸化還元雰囲気擾乱など、放射性核種の移行の促進をもたらすことがないように、最適な設計を講じることを要求する。このため、地下水等モニタリングの対象のうち人工バリアの性能については、実際の環境と同等の条件を模擬した環境下での原位置試験又はそれを補完する室内試験等の間接的な方法により確認することが可能であれば、このような設備の設置によって代替することを妨げるものではない。

## (2) 管理要求

管理要求の中では、規制期間終了後の安全性確認に関して、モニタリングに関連する要求が挙げられている。

### 1) 放射性核種の閉じ込め機能の確認に係る要求

設計要求に示されたモニタリングを実施するための設備を用いて、放射性核種の異常な漏えいの徴候がないことを確認する「放射線モニタリング」、および地下水の状態と、人工バリアと天然バリアが設計を逸脱することなく性能を発揮しつつあることを確認するための「地下水等モニタリング」を実施することが要求されている。

廃止措置の開始までの間において放射線モニタリングを行い、人工バリアの設計上の問題、

施工の不具合等による放射性核種の異常な漏えいの徴候がないことを確認することを要求する。

また、廃止措置の開始までの間において、地下水等モニタリングを行い、地下水の状態に加えて、廃棄物埋設地の埋戻し終了後における人工バリアや天然バリアが設計を逸脱することなく漏出抑制や移行抑制に係る性能を発揮しつつあることの確認に必要なデータを取得することを要求する。

## 2) 定期的な評価等に係る要求

廃止措置の開始までの期間において、10年を超えない期間ごとおよび廃棄物の埋設段階や保全段階などの次の段階に移行する前に、最新の技術的知見を踏まえた定期的な評価を行うことが求められている。この定期的な評価では、廃棄物埋設地が70m以上の深度にとどまることによる隔離機能に関する確認の他、モニタリングで取得されたデータを反映し、閉じ込めに関する確認を実施することが要求されている。

中深度処分においては、最新の技術的知見を踏まえてもなお隔離に係る設計が基準に適合しているかどうかを事業者が確認するため、少なくとも10万年間は火山活動及び断層活動、侵食作用が著しい影響を及ぼすおそれのない場所が廃棄物埋設地として選定されていることや、侵食作用を考慮しても廃棄物埋設地が地表から70メートル以上の深度にとどまることの見通しに影響を及ぼす要素や徴候がないことを確認することを要求する。

また、閉じ込めに係る設計についても同様に事業者が確認を行うため、地下水等モニタリング結果も反映し、人工バリアの漏出抑制機能の健全性を確認することに加え、人工バリアからの放射性核種の漏出及び天然バリア中の移行挙動を評価し、自然事象に係るシナリオの基準に適合していることを確認することを要求する。

## 3) 閉鎖措置に係る要求

廃止措置段階以降に、モニタリング設備を残置してモニタリングを継続する必要がある場合には、人間侵入の防止のみならず、モニタリング設備を埋め戻した領域が放射性核種の移行経路にならないことが重要となる。そのため、規制要求にも上記内容が明記されている。また、閉鎖措置後にはモニタリングの実施に関する技術的難易度が大幅に増大すると想定されるため、モニタリング方法を適切に見直すことが要求されている。

閉鎖措置に当たっては、人が容易に立ち入れないようにすることを要求するとともに、埋戻した領域が放射性核種の卓越した移行経路とならないようにすることを要求する。

また、閉鎖措置後は、放射線モニタリングの精度や異常時の補修等の容易性が大幅に低下することが考えられる。このため、事業者が閉鎖措置段階に移行しようとする場合は、放射線モニタリングの方法、異常時の補修等の方法を適切に見直すことを要求する。

#### 4) 異常時の措置に係る要求

規制要求には、モニタリングを行った結果、異常が確認された場合の措置についても記載されている。放射性核種の異常な漏えいの徴候が確認された場合には、漏出箇所の確認や補修等の対策を採ることが要求されており、有効な措置が採れない場合には、廃棄物の回収を要求する場合があることが明記されている。

事業者が放射線モニタリングを行った結果、万一異常な漏えいが確認された場合、既往の事業規則では、放射性物質の異常な漏えいを防止するために必要な措置を講ずることが要求されている。具体的には、漏出箇所の確認や補修等の必要な対策を採ることを要求する。

中深度処分においては、廃止措置の開始までの期間モニタリングを行い、廃棄物埋設地からの放射性核種の異常な漏えいの徴候が確認された場合、漏出箇所の確認や補修等の必要な対策を採ることを要求する。

また、補修等の有効な措置が採れない場合は、廃棄物の一部又は全部の回収を要求することもあり得る。廃棄物の回収を行うこととなった場合は、回収時の安全を確保するための措置を講じることに加え、回収に先がけ、回収が想定される廃棄物を安全に保管するための十分な容量を有する廃棄物の保管施設を設けるとともに、適切な方法により当該廃棄物を保管することを要求する。

### 2.2.4 廃止措置の開始までの期間中の異常な漏えいを防止する機能

以上では、検討中の規制基準のうち、モニタリングに関する要求事項を中心に整理した。ここでは、あらたな規制要求として、廃止措置の開始までの期間中の異常な漏えいを防止する機能について整理する。

「審査ガイドの骨子案」[3]には、中深度処分における廃止措置の開始までの期間中の異常な漏えいを防止する機能の妥当性を確認するために検討されるべき項目、その際の視点および判断基準が示されている。

#### 【許可基準規則】

2 中深度処分を行う場合の廃棄物埋設地は、次に掲げるところにより、放射性物質を閉じ込める機能を有するものでなければならない。

- 一 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了までの間において、放射性物質を廃棄物埋設地内の限定された区域に閉じ込めることができるものであること。
- 二 埋設の終了から廃止措置の開始までの期間、放射性物質を廃棄物埋設地内に閉じ込めることができるものであること。

### 【基準解釈】

- 3 第2項第1号に規定する「廃棄物埋設地内の限定された区域に閉じ込めることができる」とは、次のことをいう。
- 一 廃棄物埋設地内の限定された区域の構造が、想定される自重、土圧、地震力及びその他想定される自然事象に対して十分な耐力を有すること。
  - 二 廃棄物埋設地内の限定された区域を構成する構造が、放射性物質の移行を遮断する性能を有していること。上記2の人工バリア又はその一部がこの構造を兼ねても良い。
- 4 第2項第2号に規定する「埋設の終了から廃止措置の開始までの期間、放射性物質を廃棄物埋設地内に閉じ込めることができる」とは、次のことをいう。
- 一 埋設の終了から廃止措置の開始までの期間は、300～400年を目安とする。
  - 二 発生が合理的に想定できる範囲内の自然現象が人工バリアの機能に及ぼす影響を考慮した最も厳しい状態設定の下で、廃棄物埋設地内における放射性物質の移行を評価した結果、埋設の終了から廃止措置の開始までの期間は、廃棄物埋設地から漏出する放射性物質の量が無視できるほど少ないこと。

### 【判断基準】

- ① 廃棄体容器が腐食により貫通する時期が廃止措置の開始以降となる、廃棄体の下端が地下水により浸漬する時期が廃止措置の開始以降となる等の理由により、放射性物質の漏えい事象が生起しないこと。
- ② 廃止措置の開始までの期間において、廃棄物埋設地から漏出する主要な放射性物質についての放射能の年間当たりの漏出量又は廃棄物埋設地に隣接する岩盤中の地下水濃度が極めて低いこと。  
例えば、年間当たりの漏出量を初期放射エネルギーで除した値が極めて小さいこと、岩盤中の地下水中濃度が検出限界、水中の濃度限度<sup>5)</sup>等に照らして十分に低いこと等。

許可基準規則に示されるように、放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了まで、すなわち廃棄物の埋設段階においては、廃棄物埋設地内の限定された区域に閉じ込める必要があり、基準解釈に「放射性物質の移行を遮断する性能を有している」とされているとおり、この「閉じ込め」は、従来、原子力学会、土木学会等の中深度処分を検討されてきた受け入れ開始から周辺坑道埋め戻し施工完了（閉鎖措置完了）までの「閉じ込め」（廃棄体取り扱い時、放射性物質の飛散、汚染拡大を防止する）に、閉鎖措置段階を含めるか含めないかの相違はあるが、相当すると考えられる。

一方、埋設の終了から廃止措置の開始までの期間、すなわち閉鎖措置段階から保全段階においては、廃棄物埋設地内に閉じ込める必要がある。ただし、ここでの「閉じ込め」は、基準解釈に「廃棄物埋設地から棟出する放射性物質の量が無視できるほど少ない」とされており、判断基準においても、放射性物質の漏出が全く無いことの他に、極めて少ないまたは十分低いという表現が用いられていることから、「移行抑制」に相当する機能と読み取ることができる。これは、「2.2.1

(1) 処分概念」で示した処分概念の考え方と整合するものであり、閉鎖措置段階を含めるか含めないかの違いはあるが、既往の原子力学会等の検討での、「移行抑制」とされているものに相当する。



- ・ 放射性物質を廃棄物埋設地内の限定された区域に閉じ込める

閉鎖措置段階から保全段階においては、

- ・ 廃棄物埋設地から漏出する放射性物質の量が無視できるほど少ないように移行を抑制することによって、放射性物質の異常な漏えいを防止する機能を担保するものと読み取り、この後半部分の「閉じ込め」を破線で示したものである。なお、中深度処分の規制基準は、現在検討が進められている途中段階にあり、今後の整備状況を注視しながら検討を進めていく必要がある。

表 2.3-1 に示した基本安全機能のうち、移行抑制と離隔は、それぞれ 4 項目、2 項目に細分化される。これらを含めた基本安全機能の内容を既往の検討成果[6]も反映した上で整理し、表 2.3-2 に示す。

表 2.3-2 中深度処分施設の基本安全機能の内容

要求機能		段階	機能の内容	
基本安全機能	閉じ込め	建設段階～保全段階	放射性物質の廃棄物埋設地外の環境への有意な漏出を防止すること	
	遮へい	建設段階～廃棄物の埋設段階	廃棄体を線源とする放射線に対して、遮へいを有すること	
	移行抑制	閉鎖措置段階以降	核種収着性	放射性核種を収着すること
			低拡散性	放射性核種の拡散による移行を抑制すること
			低透水性	低透水性により、処分施設を通過する地下水流量の低減を行うこと
			卓越した移行経路形成の防止	連続した地下水移行経路を形成しないこと
	離隔	規制期間終了後	離隔距離の確保	離隔距離を確保すること
			容易な人間侵入の抑制	容易な侵入を防止すること
作業上の機能		建設段階～廃棄物の埋設段階	確実な建設、作業が行われる空間、力学的安定性が確保されること	
			坑道の形状を維持すること	

### 2.3.2 中深度処分施設を構成する各部位に要求される機能と技術要件

中深度処分施設は、人工バリアや天然バリア等の多重バリアシステムにより構成されており、中深度処分施設を構成する部位ごとに要求機能が設定される。ここでは、中深度処分施設を構成する各部位に要求される機能を既往の検討成果[5][6][7]をもとに整理して表 2.3-3 に示す。なお、本検討では、既往の余裕深度処分に関する検討成果より、中深度処分が複数の人工バリアを組み合わせたバリアシステムを採用しており、処分施設の安全性の確保は人工バリアの長期性能に多くを期待していることから、主な機能確認の対象を人工バリアとして検討を行っている。しかし、一部の要求機能は、人工バリア以外にも期待されているため、表 2.3-3 に示すように、人工バリア以外の構成部位を含めて整理を行った。



表 2.3-3 中深度処分施設の各構成部位に要求される機能

要求機能		部位	区画内 充てん材	コンクリート ピット	低拡散層	低透水層	空洞内 充てん材 <sup>※1</sup>	埋戻し材 <sup>※2</sup>	処分空洞
基本 安全 機能	閉じ込め	閉じ込め		●		●			
		遮へい	●	●	●				
	移行 抑制	核種収着性	●	●	●				
		低拡散性			●				
		低透水性				●	●		
		卓越した移行経路 形成の防止						●	
	離隔	離隔距離の確保							●
		容易な人間侵入 の抑制						●	
作業上の機能			●	●	●			●	

●:各部位に要求される主要な機能

※1:処分空洞上部を充てんする土質系材料

※2:処分空洞端部および連絡坑道等を埋め戻す土質系材料

表 2.3-3 に示した各部位に要求される機能を基に各部位の技術要件を整理した。技術要件の整理についても、既往の検討成果[5][6][7]を参考にした。各部位の技術要件の整理結果を表 2.3-4 に示す。



表 2.3-4 中深度処分施設の各構成部位の技術要件

部位	要求機能	各部位の技術要件
区画内 充てん材	遮へい	埋設段階の廃棄体定置後に、上部コンクリートピットの構築のために、区画内充てん材上に建設作業員等が入ることが想定される。このため、区画内充てん材には、廃棄体を線源とする放射線に対して遮へい機能を有することが求められることから、技術要件として、放射線の遮へいが挙げられる。 また、区画内充てん材の上部には、上部コンクリートピット、上部低拡散層、空洞充てん材が設置されるため、これらを支持する十分な強度が求められることから、技術要件として力学特性が挙げられる。
	移行抑制 (核種収着性)	閉鎖後、放射性核種を収着することが求められるため、技術要件として核種収着性が挙げられる。また、核種収着性を維持するための化学抵変質に対する抵抗性が技術要件として挙げられる。
コンクリート ピット	閉じ込め	作用する荷重、地震力に対してコンクリートピットが健全であることで内部にある廃棄体の閉じ込め機能を確保することが要求されることから、技術要件として力学特性が挙げられる。
	遮へい	埋設段階においては、廃棄体を線源とする放射線に対して遮へい機能を有することが要求されることから、技術要件として放射線の遮へいが挙げられる。 また、コンクリートピットには、作用する荷重、地震力に対してコンクリートピットが健全であることで遮へい機能を維持することが要求されることから、技術要件として力学特性が挙げられる。
	移行抑制 (核種収着性)	閉鎖後、放射性核種を収着することが求められるため、技術要件として核種収着性が挙げられる。また、核種収着性を維持するための化学抵変質に対する抵抗性が技術要件として挙げられる。
	操業上の機能	コンクリートピットには、廃棄体定置クレーンの支持構造物としての耐力が要求されることから、技術要件として力学特性が挙げられる。
低拡散層	遮へい	埋設段階においては、廃棄体を線源とする放射線に対して遮へい機能を有することが要求されることから、技術要件として放射線の遮へいが挙げられる。 また、側部低拡散層には、コンクリートピットに付着して遮へい体として自立するための力学特性が技術要件として挙げられる。
	移行抑制 (核種収着性)	閉鎖後、放射性核種の拡散による移行を抑制することが求められるため、技術要件として拡散特性が挙げられる。また、拡散特性に影響を与える部材の寸法を維持するための力学特性、ひび割れ性状および化学的変質に対する抵抗性が技術要件として挙げられる。
	移行抑制 (低拡散性)	閉鎖後、放射性核種を収着することが求められるため、技術要件として核種収着性が挙げられる。また、核種収着性を維持するための化学抵変質に対する抵抗性が技術要件として挙げられる。
	操業上の機能	底部低拡散層の上部には、廃棄体を収納する区画であるコンクリートピットが設置されるため、埋設段階においては、廃棄体、コンクリートピットを支持する十分な強度が求められることから、技術要件として力学特性が挙げられる。
低透水層	閉じ込め	放射性核種の移行媒体となる地下水が廃棄体に浸入することを抑制することで、埋設地外への核種移行を防止することが求められる。地下水の浸入は低透水層の透水特性に支配されることから、技術要件として透水特性が挙げられる。また、透水特性に影響する部材寸法を維持するための力学特性が技術要件として挙げられる。
	移行抑制 (低拡散性)	閉鎖後、放射性核種の拡散による移行を抑制することが求められるため、技術要件として拡散特性が挙げられる。また、拡散特性に影響を与える部材の寸法を維持するための力学特性、化学的変質に対する抵抗性が技術要件として挙げられる。
	移行抑制 (低透水性)	閉鎖後には、移行抑制機能を確保するため、人工バリア内部を通過する地下水流量の低減を図ることが求められる。地下水通過流量は、低透水層の透水特性によって支配されるため、技術要件として透水特性が挙げられる。また、低透水性を維持するために、地下水浸潤による膨潤圧、部材厚を確保するための力学特性および化学的変質に対する抵抗性が技術要件として挙げられる。
	操業上の機能	底部低透水層には、コンクリートピットや廃棄体等の支持部材として十分な強度が求められることから、力学特性が技術要件として挙げられる。
空洞内 充てん材	移行抑制 (低透水性)	閉鎖後長期にわたり低透水層の膨潤変形を十分小さい水準に抑制することが求められることから、技術要件として力学特性が挙げられる。また、長期にわたり力学特性を維持するために化学的変質に対する抵抗性が技術要件として挙げられる。さらに、地下水短絡経路となり得る有害な空げき形成を抑制することが技術要件として挙げられる。
埋戻し材	移行抑制 (卓越した移行経路形成の防止)	埋設段階の建設機材搬入や廃棄体搬送、地下施設内の換気・排水等を目的に設置された坑道が、閉鎖後、天然バリア内に生物圏への連続した核種移行経路を形成しないように、地下水流動場を坑道掘削前の状態に近づけることを目的に施工される。そのため、技術要件として透水特性が挙げられる。また、透水特性を維持するための化学的変質に対する抵抗性が技術要件として挙げられる。
	隔離 (容易な人間侵入の抑制)	埋設段階に用いられた坑道が廃棄物埋設地近傍への侵入経路になることを防止するため、人が容易に侵入できないように長期的に安定した材料により坑道の内部空間を閉塞することが求められる。このため、技術要件として坑道の閉そく性が挙げられる。また、長期にわたり坑道閉そく性を維持するための化学的変質に対する抵抗性が技術要件として挙げられる。
処分空洞	隔離 (隔離距離の確保)	閉鎖後、地表面からの隔離距離を確保する隔離機能が求められるため、埋設設備の上端から地表面までの距離が技術要件となる。
	操業上の機能	埋設段階に考慮すべき荷重条件に対して力学的安定性を確保し、処分空洞の形状を維持するために、力学特性、内空確保が技術要件として挙げられる。また、ベントナイト系材料は、わずかな水により膨潤するため、湧水などに対する防水・排水性が技術要件として挙げられる。



### 2.3.3 中深度処分施設を構成する各部位の仕様・管理項目とモニタリング項目の関係

上述の各部位に要求される機能、技術要件と各部位の仕様や管理項目との関係を整理するため、部位毎にツリーを作成した。表 2.3-1 に示すように、中深度処分施設に要求される機能は、閉鎖措置前と閉鎖措置以降で大きくことなるため、各部位の機能、技術要件と仕様・管理項目との関係は、閉鎖措置前と閉鎖措置以降で個別に整理した。また、作成したツリーにはモニタリング項目を併記することにより、モニタリング項目が変動した場合に、施設のどの機能に影響するのかが明確になるように整理した。

図 2.3-1～図 2.3-12 に機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係を整理したツリーを示す。なお、図 2.3-1～図 2.3-12 には、モニタリング項目としない仕様・管理項目に対してその要因を併記した。

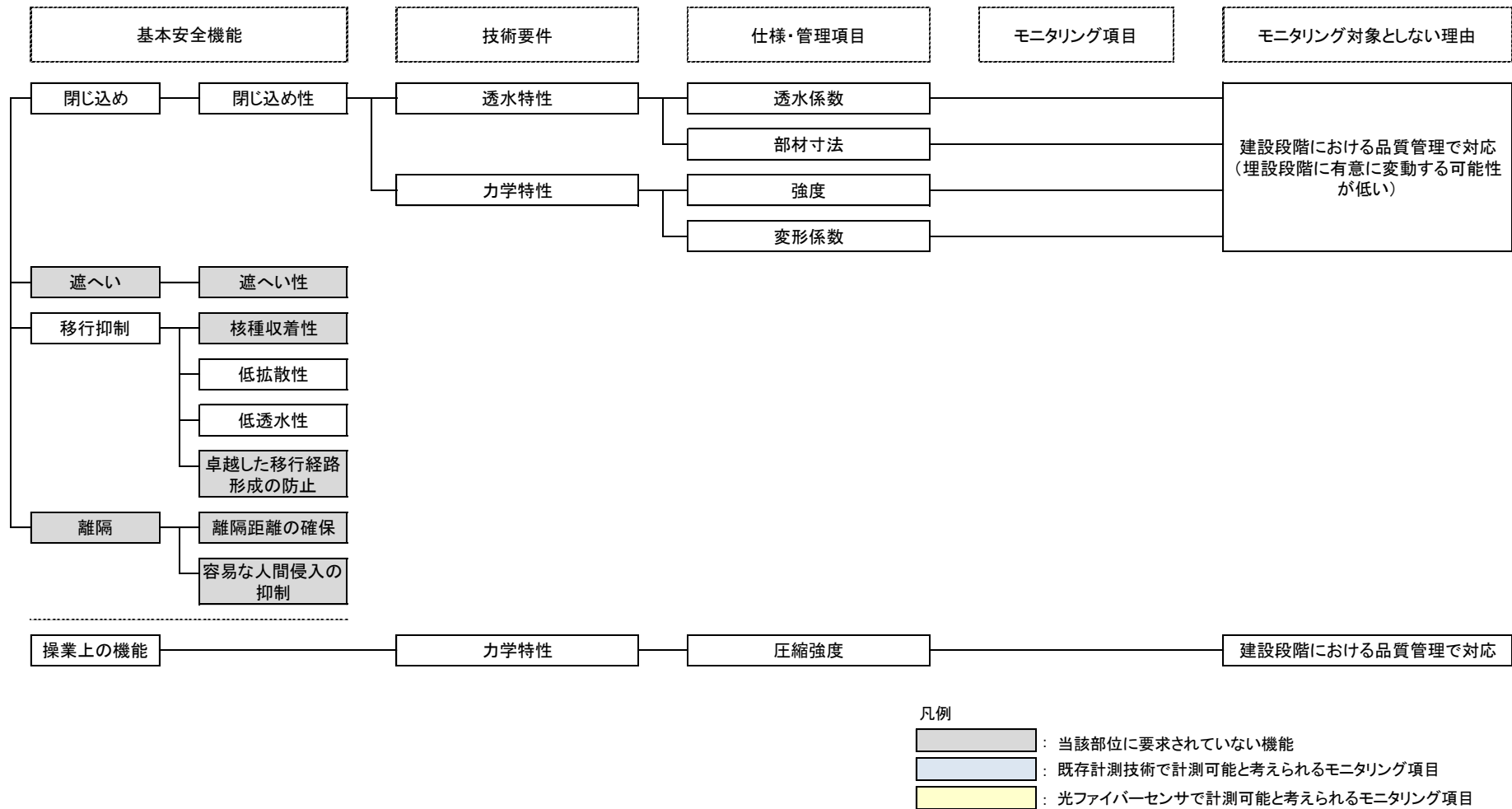


図 2.3-1 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（低透水性層、閉鎖措置段階前）

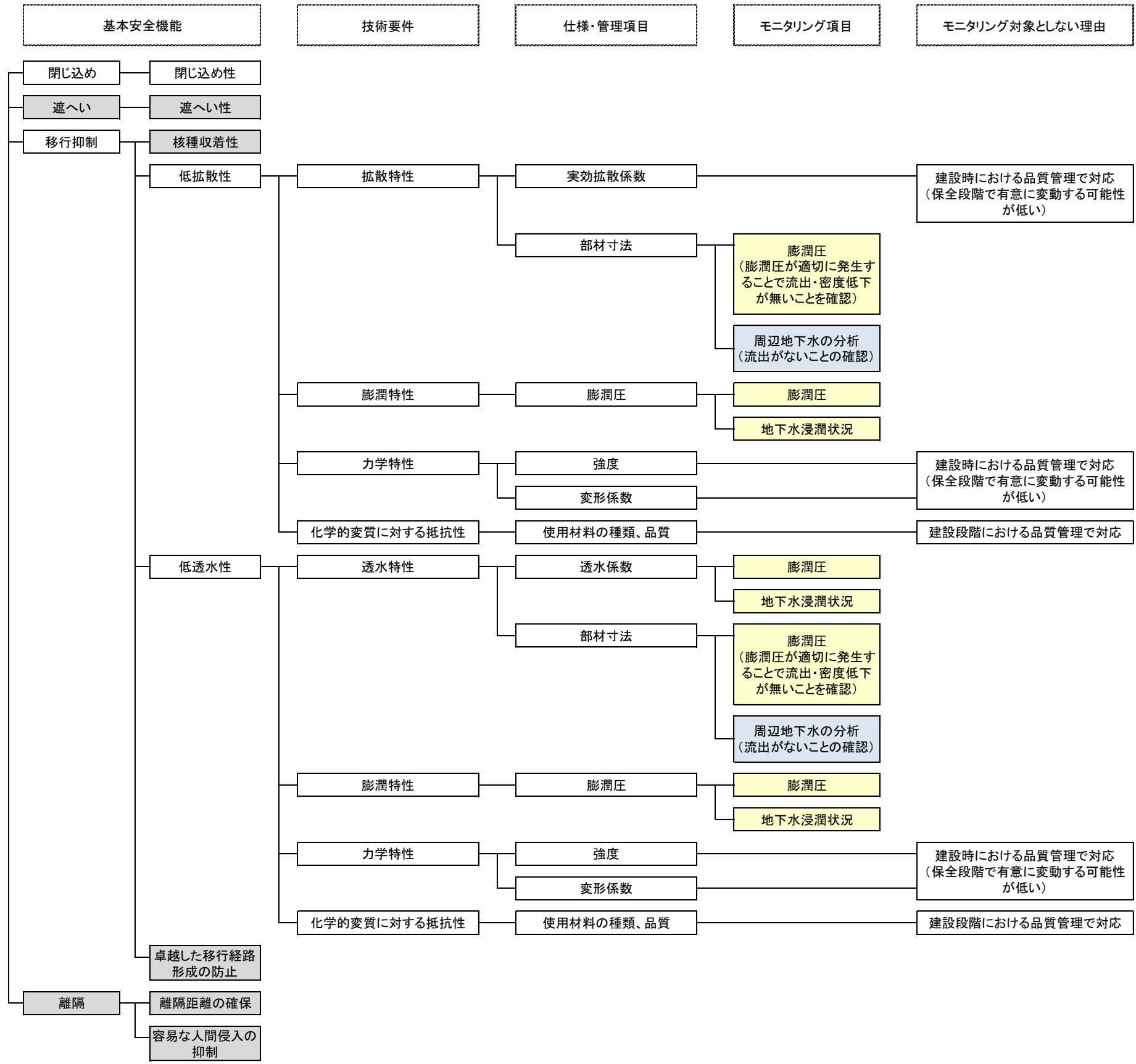


図 2.3-2 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（低透水性層、閉鎖措置段階以降）





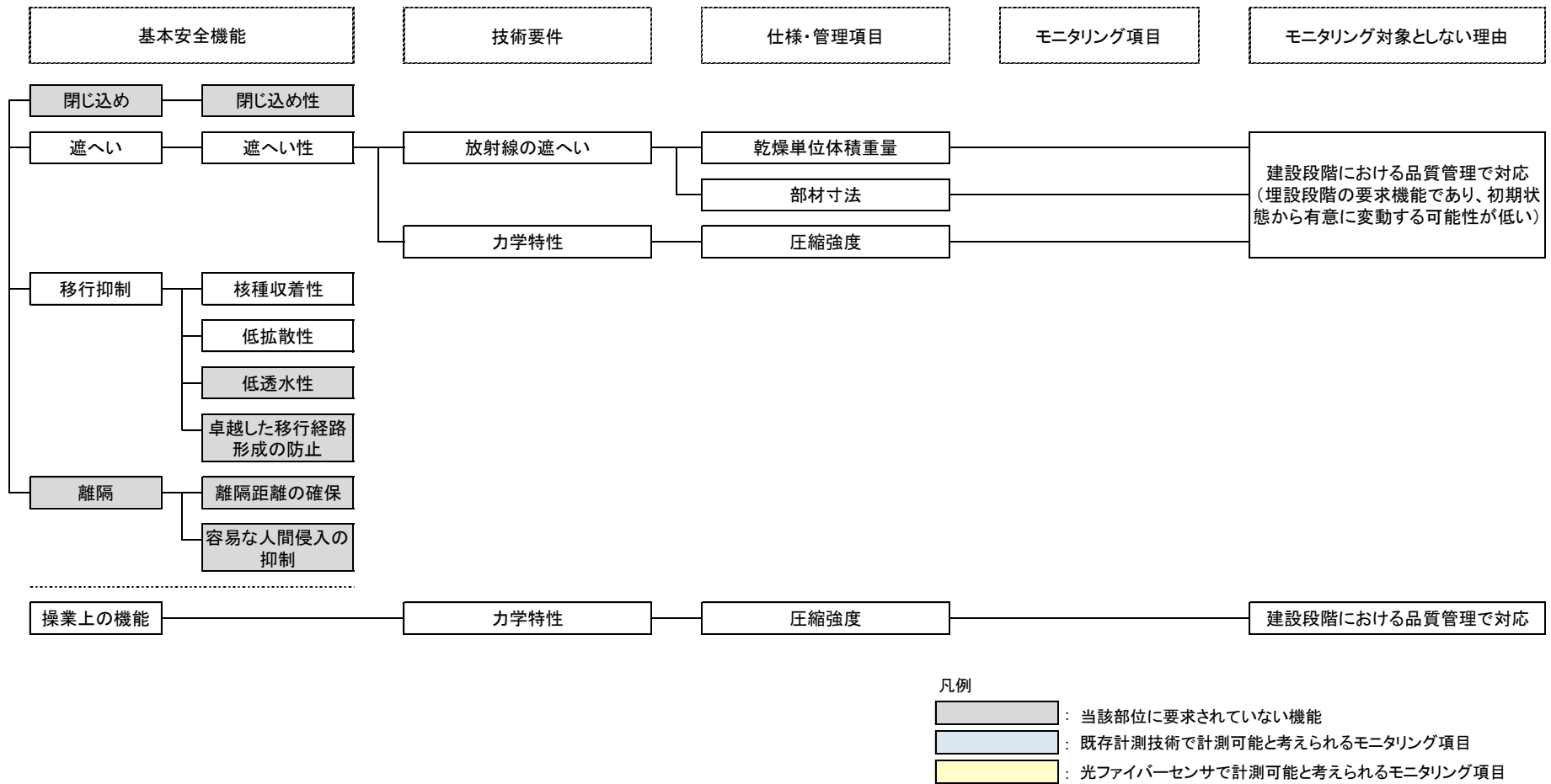
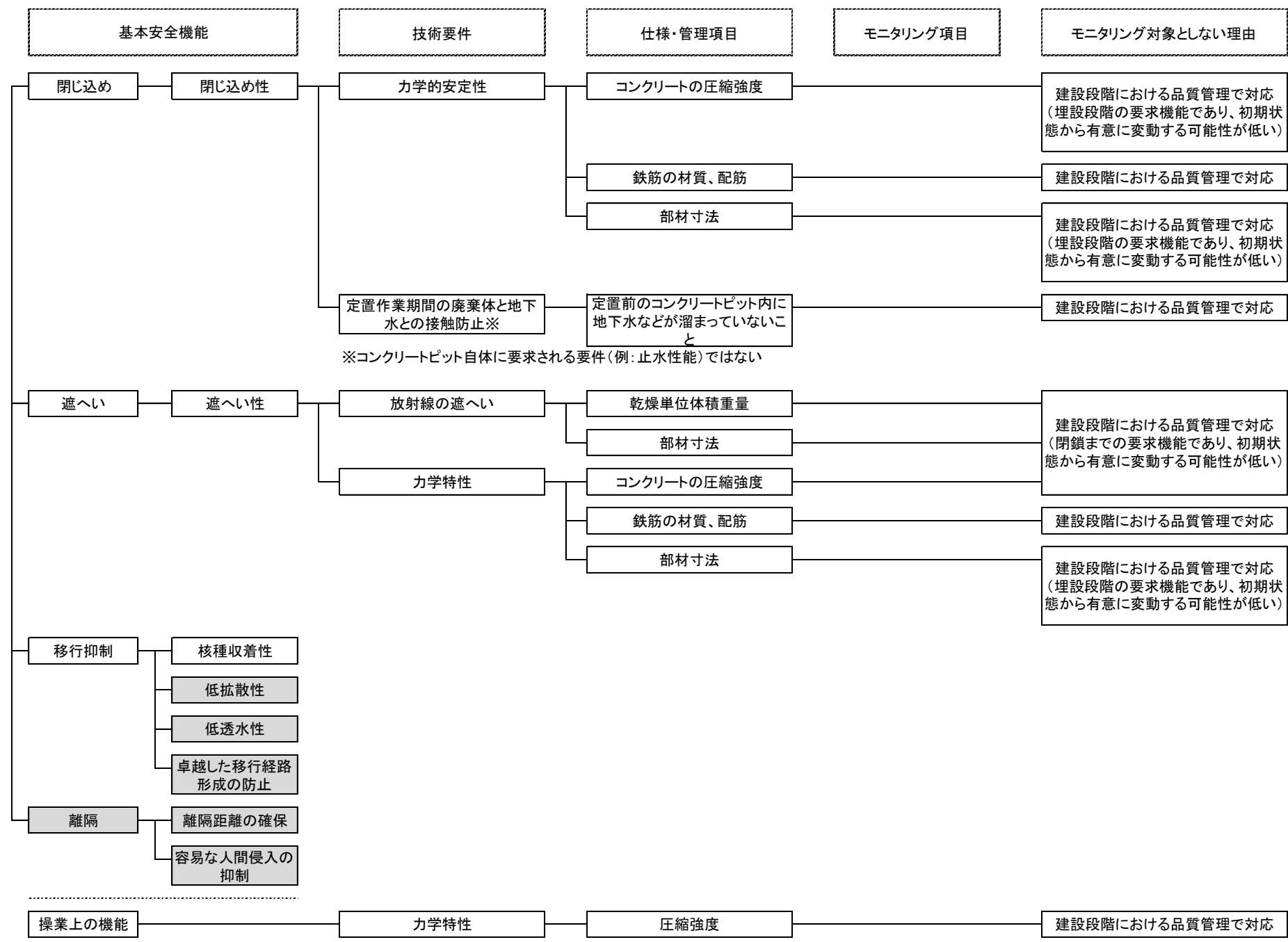


図 2.3-3 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係 (低拡散層、閉鎖措置段階前)



図 2.3-4 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（低拡散層、閉鎖措置段階以降）



凡例

- (White) : 当該部位に要求されていない機能
- (Light Blue) : 既存計測技術で計測可能と考えられるモニタリング項目
- (Light Yellow) : 光ファイバーセンサで計測可能と考えられるモニタリング項目

図 2.3-5 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係 (コンクリートピット、閉鎖措置段階前)



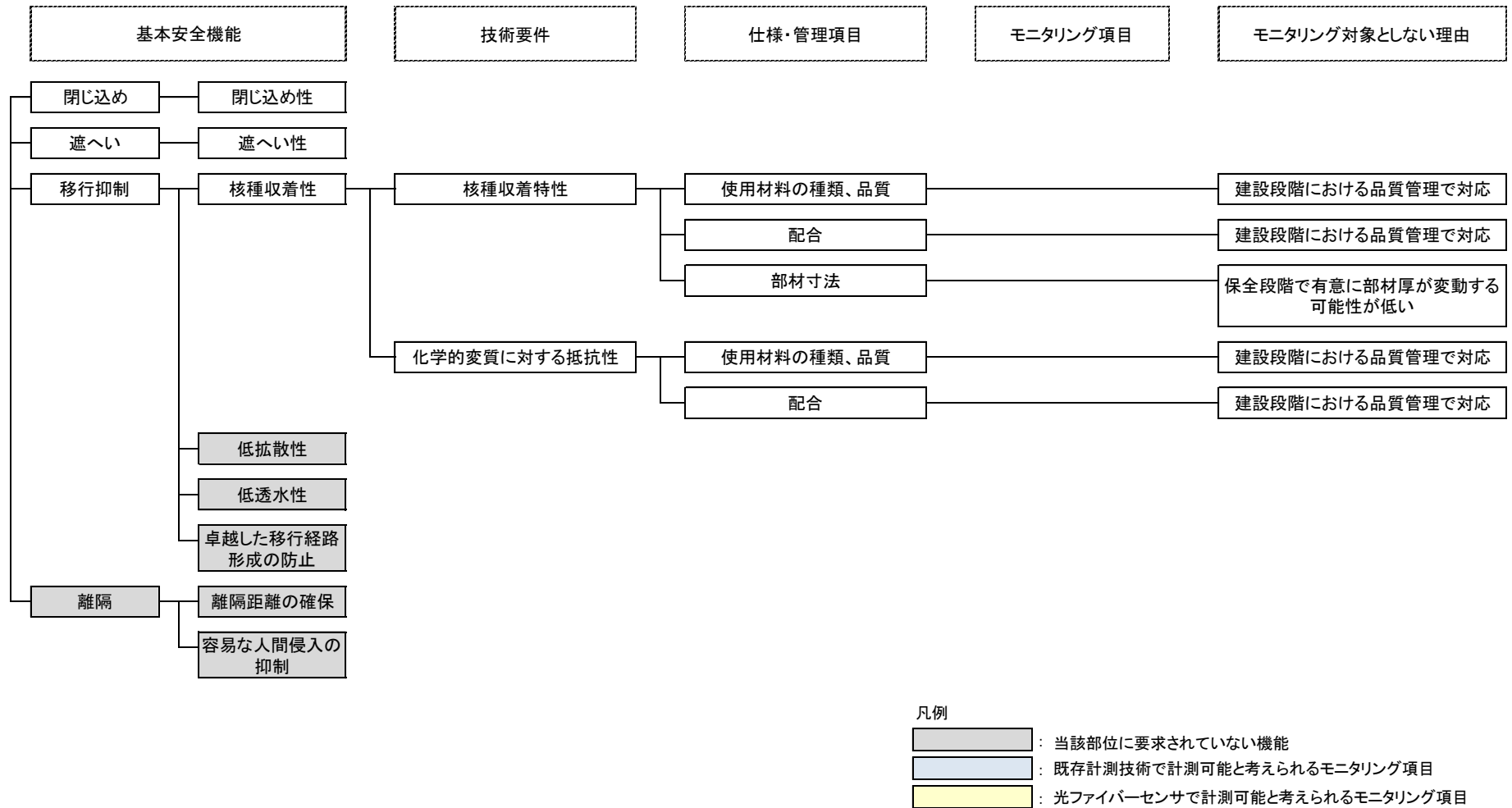


図 2.3-6 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（コンクリートピット、閉鎖措置段階以降）

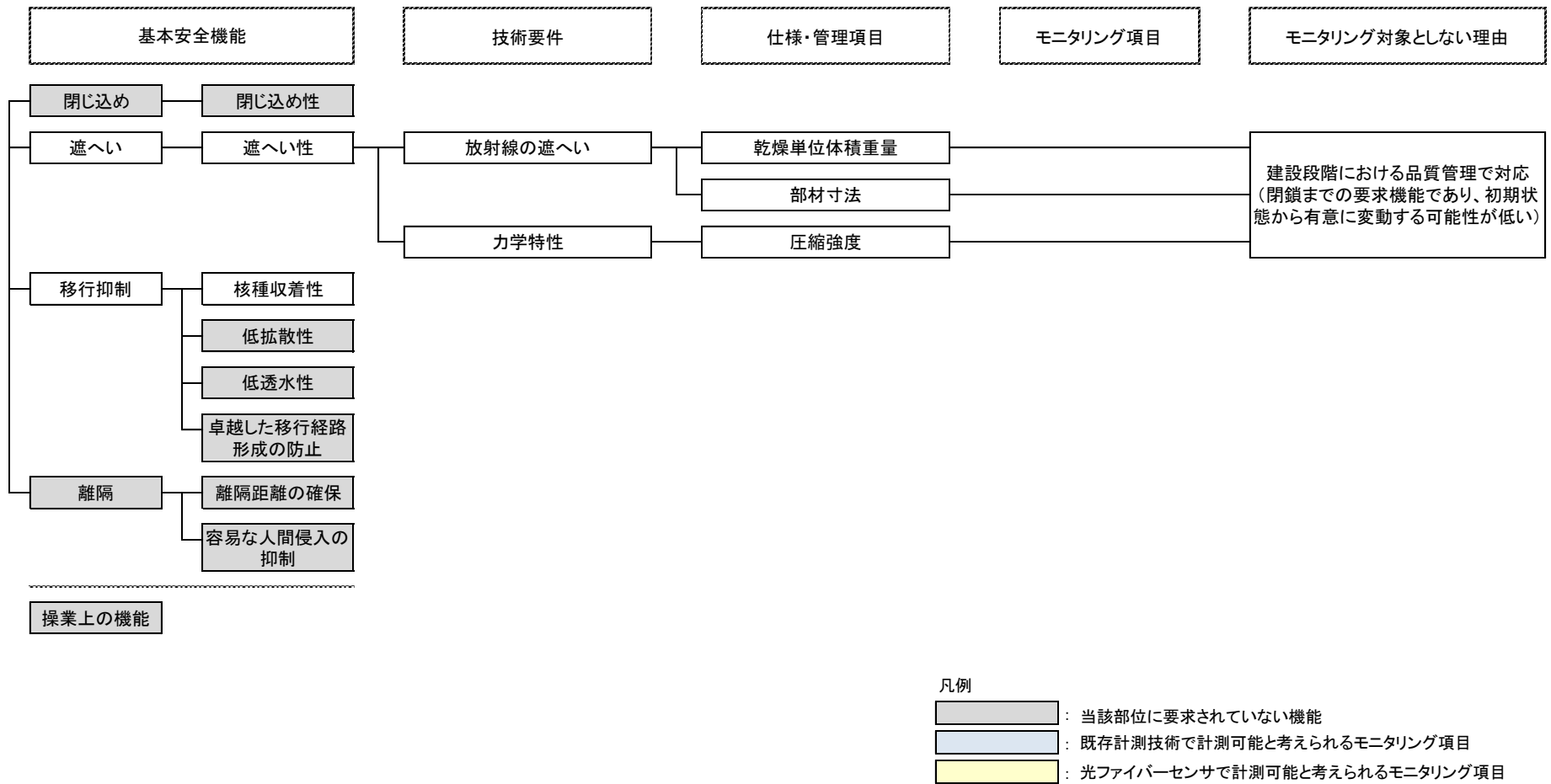


図 2.3-7 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（区画内充てん材、閉鎖措置段階前）



図 2.3-8 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（区画内充てん材、閉鎖措置段階以降）

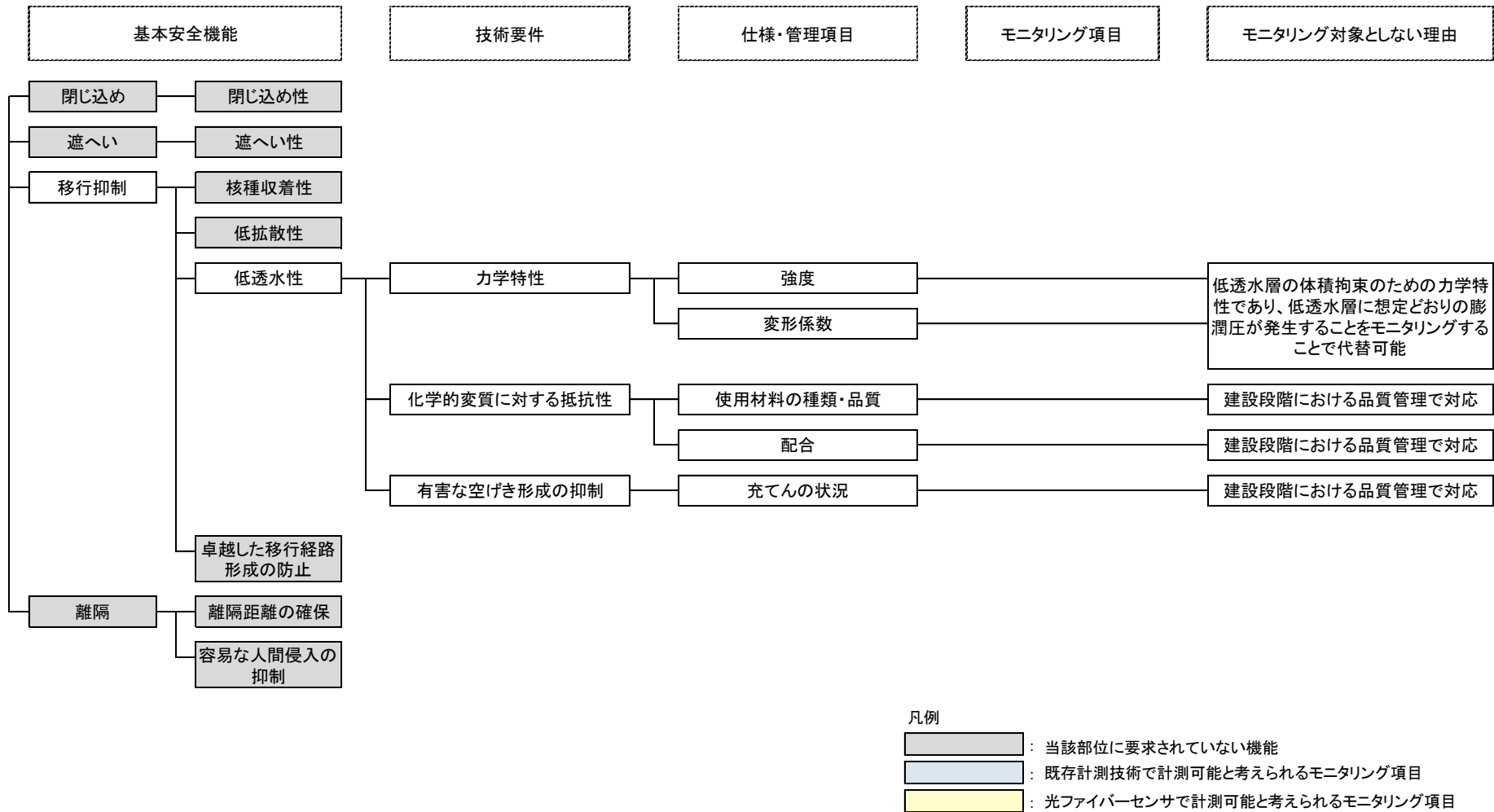


図 2.3-9 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（空洞内充てん材、閉鎖措置段階以降）



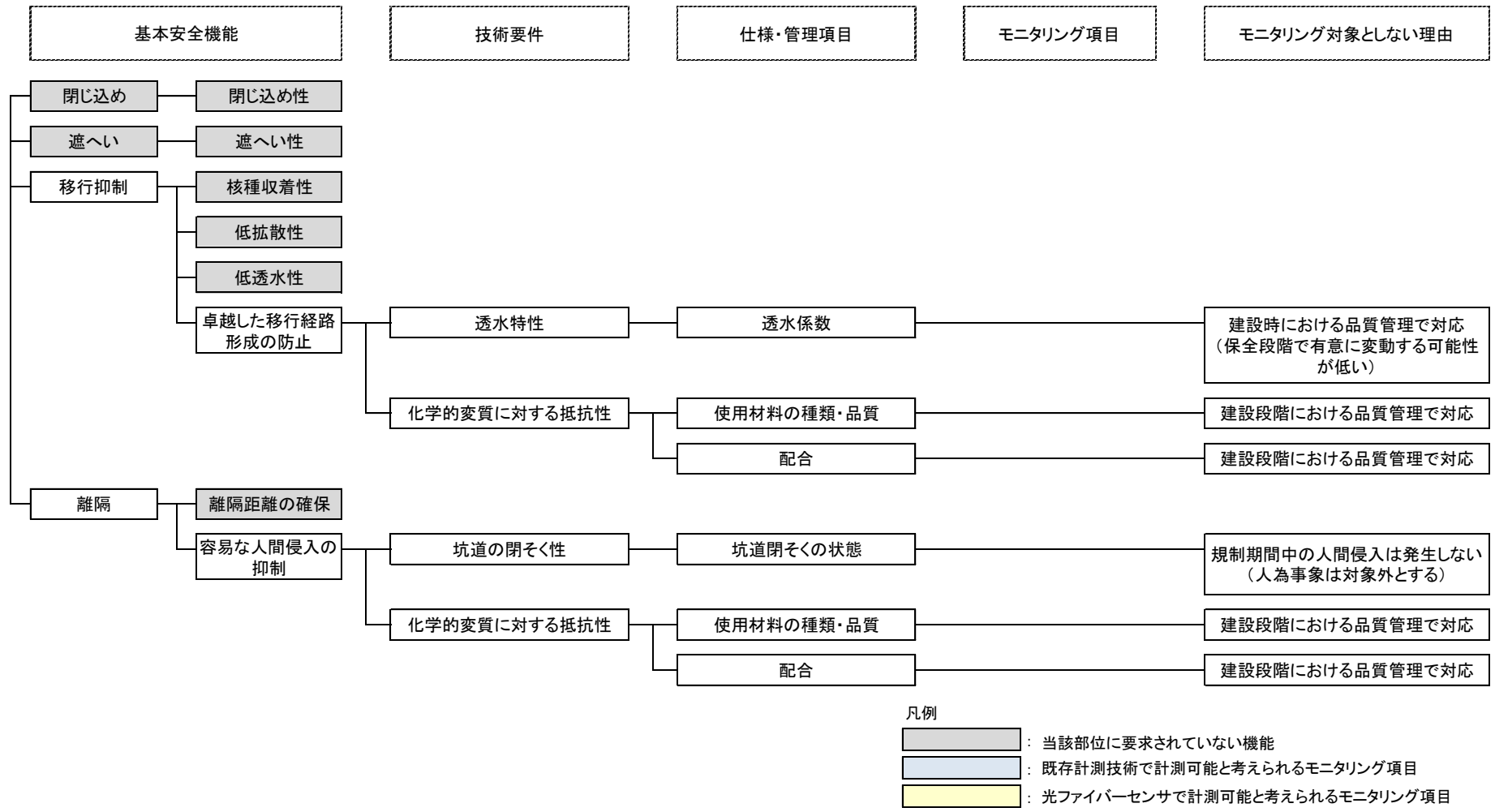


図 2.3-10 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（埋戻し材、閉鎖措置段階以降）

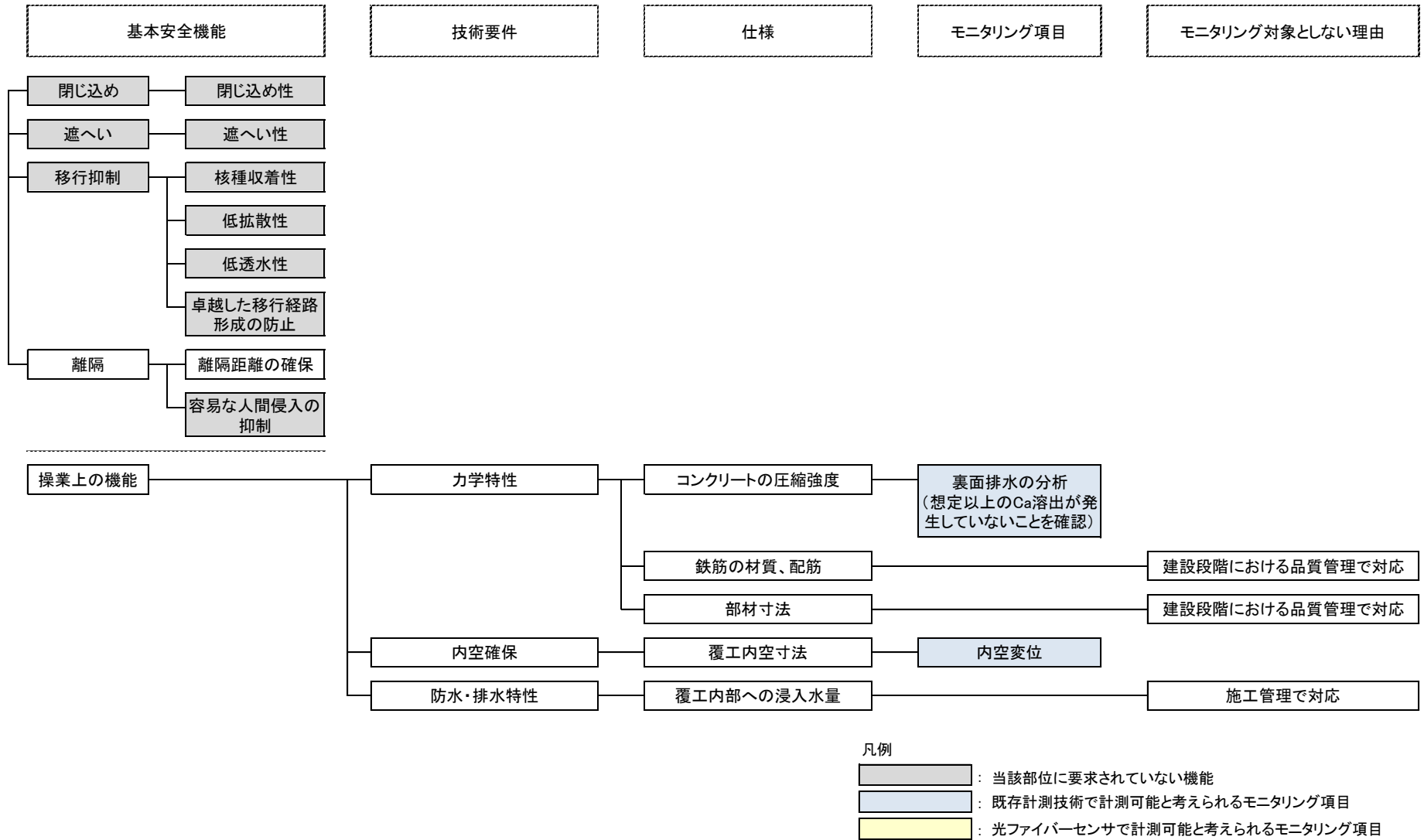


図 2.3-11 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（処分空洞、閉鎖措置段階前）

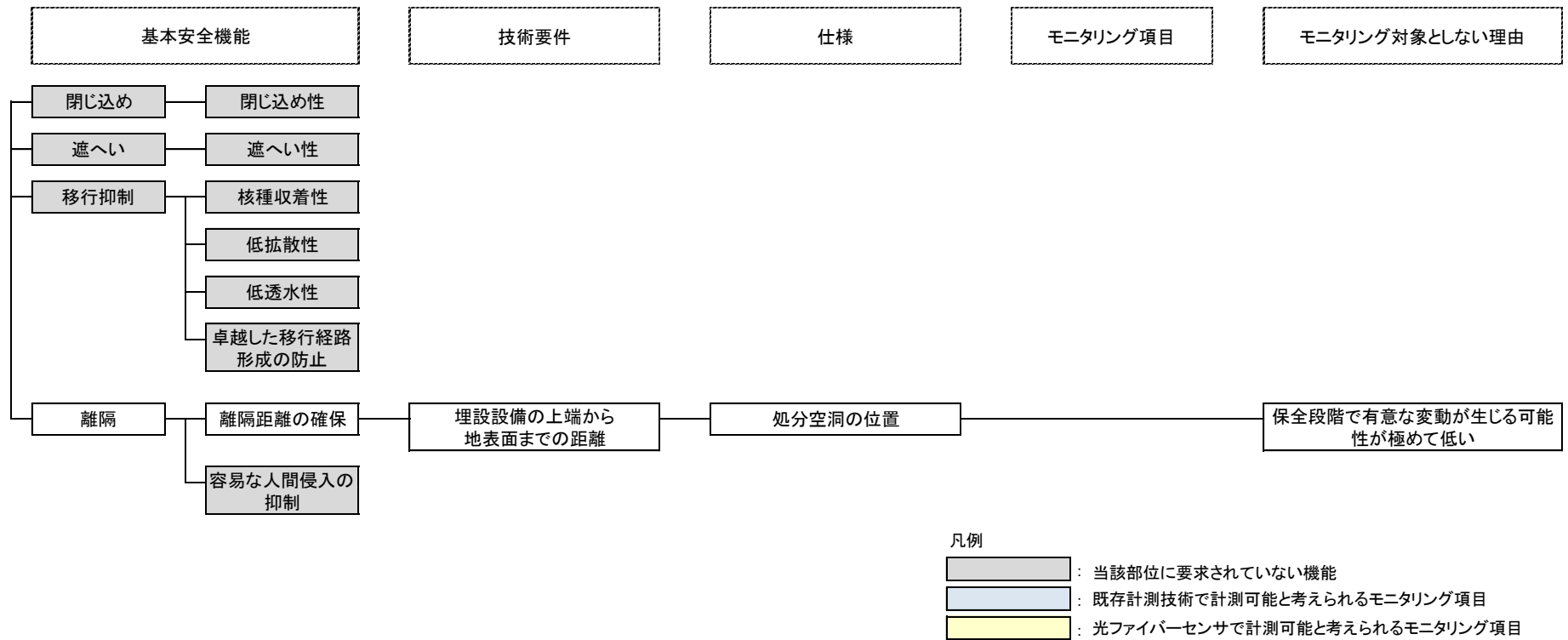


図 2.3-12 機能、技術要件、仕様・管理項目およびモニタリング項目の関係（処分空洞、閉鎖措置段階以降）

### 2.3.4 確認対象項目（モニタリング項目）の抽出

以上で整理した内容を踏まえ、中深度処分施設の建設段階以降に生じ得る事象とモニタリング項目を一覧形式で整理し図 2.3-13 に示す。図 2.3-13 には、中深度処分事業の段階毎に経過年を示しているが、第 3 章で実施する解析的検討で使用するために設定した暫定値である。

以上の検討結果と図 2.3-13 を踏まえて、「適用性・実現性の観点から、現実的にモニタリング候補となりうる事象」という着眼点で確認対象項目（モニタリング項目）を抽出した。抽出した確認対象項目（モニタリング項目）の候補を表 2.3-5 に示す。

表 2.3-5 抽出した確認対象項目（モニタリング項目）の候補

想定する計測技術	段階	確認対象項目の候補
実処分施設で 適用可能な既存 計測技術	閉鎖措置 段階前	処分施設の変形計測（処分空洞の内空変位、底部低透水層の上載荷重による沈下）
		セメント系材料のひび割れ観測
		裏面排水の水質分析
		周辺地下水の水質分析（近傍ボーリング孔）
	閉鎖措置 段階以降	周辺地下水の水質分析（近傍ボーリング孔）
光ファイバ センサー技術	閉鎖措置 段階前	低透水層の膨潤圧
		セメント系材料のひび割れ観測
	閉鎖措置 段階以降	低透水層の膨潤圧
		セメント系材料のひび割れ観測
		地下水浸潤状況（地下水浸潤に伴う温度変化）

既存の計測技術を活用する場合、処分坑道内に進入可能な閉鎖措置段階前には、種々の計測が可能であるが、閉鎖措置段階以降は、処分空洞周囲の連絡坑道や主要坑道、地上からのアクセス坑道が埋め戻されており、実施可能な計測は周辺地下水の分析のみとなる。

一方、光ファイバセンサー技術を活用する場合、長期耐久性が期待でき、分布計測が可能で、ケーブル量を最小化することで人工バリアの機能を損なわない特徴を生かし、閉鎖措置段階以降にも処分空洞内での計測を継続することができる可能性がある。さらに、光ファイバセンサーは建設段階、廃棄物の埋設段階で設置することになるため、閉鎖措置段階前後でシームレスな計測が可能となる点も優位点である。

既存の計測技術、光ファイバセンサー技術の両方で計測可能な項目は、両者を併用することにより相互確認を行い、取得データの信頼性を高めることができると考えられる。

表 2.3-5 に示した確認対象項目（モニタリング項目）の候補に対して、以降で具体的なモニタリング計画を策定する。なお、抽出した確認対象項目（モニタリング項目）の候補の計測実現性確認（計測可能な変動が生じるか否かの評価）は、第 3 章で実施する。

段階		建設段階				廃棄物の埋設段階				閉鎖措置段階	保全段階	廃止措置段階	規制期間終了後
経過年（解析上の設定年数イメージ）		0	1	5	10	20	30	50	60	330	350		
主な作業		① 底部及び側部の埋戻し材の施工	② 底部の低透水層、低拡散層、ビットの施工	③ 側部のビット、低拡散層の施工	④ 廃棄体定置、区画内充てん	⑤ 上部ビット、低拡散層の施工	⑥ 上部・側部低透水層、空洞充てん材の施工	⑦ 連絡・アクセス坑道埋戻し	⑧	⑨ 地上施設の解体、敷地再整備	⑩		
概念図 施設の状態													
基本安全機能 および要求時期	閉じ込め 遮へい	移行抑制				隔離				操作 上機能			
		核種 収着性	低 拡散性	低 透水性	卓越した移行経路 形成防止	距離の 確保	容易な人間侵入 の抑制						
廃棄体										閉じ込め		移行抑制	
区画内 充てん材			○	○						遮へい			隔離
コンクリート ビット		○	○	○									
低拡散層			○	○									
低透水層		○			○								
空洞内充てん材 (土質系)					○								
埋戻し材 (空洞端部、連絡坑道)					○								
処分空洞	防水シート 裏面排水												
	支保 空洞内充てん材 (セメント系)				○								
	内空												
周辺岩盤		○			○								
付帯設備													

・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

図 2.3-13 中深度処分施設の廃止措置段階終了までに発生し得る挙動の整理



## 2.4 実規模施設に設置する光ファイバセンサーの種類、設置位置、設置方法の検討

### 2.4.1 光ファイバセンサーの種類

光ファイバセンサーには、その原理によっていくつかの種類がある[8]。なかでも、光ファイバ内に生じる散乱光を利用した方式によれば、光ファイバそのものがセンサーとして機能するため、光ファイバに沿ったすべての位置における情報を得ることができる[9]。光ファイバ内に生じる散乱光のスペクトルを図 2.4-1 に示す。レイリー散乱光は、その強度が散乱光発生位置の光の透過損失量に依存し、ラマン散乱光は、その強度が散乱光発生位置の温度に依存することが知られている。また、ブリルアン散乱光は、入射光との周波数差（ブリルアン周波数シフト）が散乱光発生位置のひずみと温度に依存することが知られている。

なお、最近の研究開発成果によれば、光ファイバによって異なる固有のレイリー散乱光スペクトルのパターンを用いたひずみや温度の分布計測が実現されており[10]、本研究においても実規模施設を用いて現地環境下におけるその適用性を確認する。

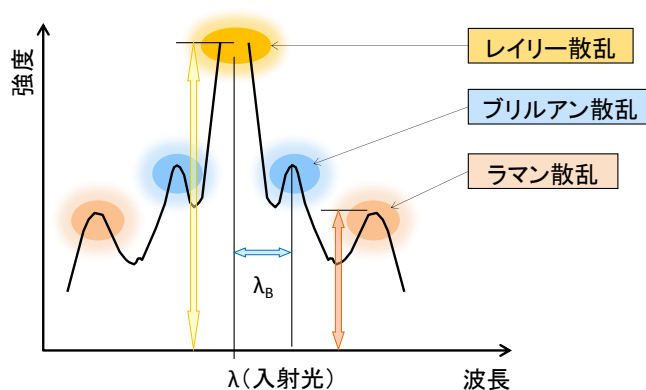


図 2.4-1 散乱光のスペクトル

本研究では、ひずみ分布ならびに温度分布計測を中心とした検討を行う。ひずみ分布計測においては、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 2.4-2～図 2.4-3；OFS 社製 C80920、 $1.8 \times 3.5\text{mm}$ ）を対象物に直接固定することで、ひずみ計測を試みる。また、温度分布計測においては、二次被覆と光ファイバが縁切りされた構造（二次被覆のひずみが内部光ファイバに伝達しない）の四芯のセンサーケーブル（図 2.4-4～図 2.4-5；OFS 社製 CX80766、外径  $8.5\text{mm}$ ）を用いることで、温度計測を試みる。

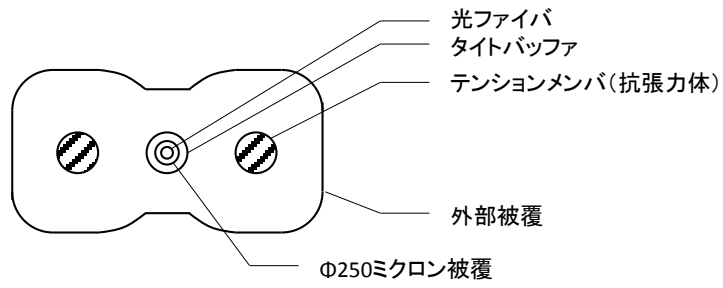


図 2.4-2 ひずみセンサーケーブル断面図



図 2.4-3 ひずみセンサーケーブル

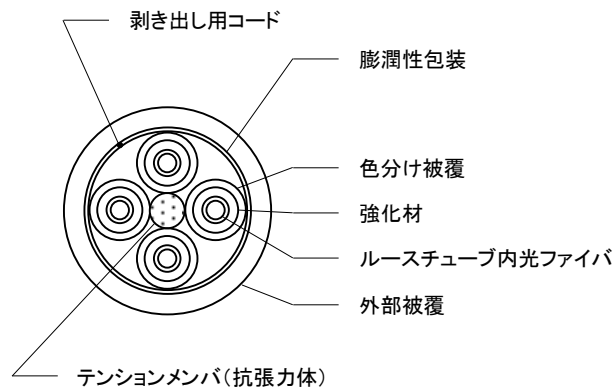


図 2.4-4 温度センサーケーブル断面図





図 2.4-5 温度センサーケーブル

上述のセンサーケーブルは汎用のシングルモード光ファイバを内蔵しており、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 Analysis) [11]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 Reflectometry) [12]をともに具備する Neubrex 社の NBX-7020 を用いる。

PPP-BOTDA 方式の基本的な光ファイバの構成を図 2.4-6 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 $\Delta T$ はそれぞれひずみ変化と温度変化である。

$$\Delta\nu_B = C_{11}\Delta\varepsilon + C_{12}\Delta T \quad (2.4-1)$$

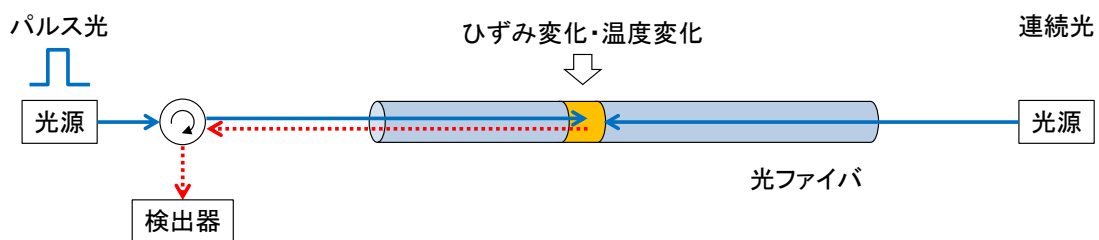


図 2.4-6 PPP-BOTDA 方式の構成

TW-COTDR 方式の基本的な光ファイバの構成を図 2.4-7 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 $\Delta T$ はそれぞれひずみ変化と温度変化である。

$$\Delta\nu_R = C_{21}\Delta\varepsilon + C_{22}\Delta T \quad (2.4-2)$$

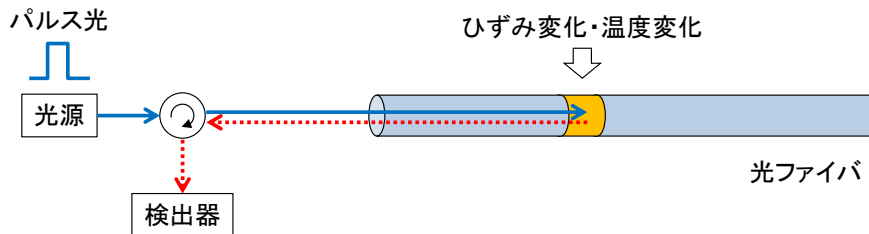


図 2.4-7 TW-COTDR 方式の構成

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 $D_{11} \sim D_{22}$ によって、ひずみ変化 $\Delta\varepsilon$ と温度変化 $\Delta T$ のふたつの未知数を算出することができる。

$$\begin{pmatrix} \Delta\varepsilon \\ \Delta T \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{21} \\ D_{12} & D_{22} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\nu_B \\ \Delta\nu_R \end{pmatrix} \quad (2.4-3)$$

## 2.4.2 光ファイバセンサーの設置位置

実規模施設には、ひずみ分布計測用光ファイバセンサーを三箇所、温度分布計測用光ファイバセンサーを一箇所、それぞれ設置する。光ファイバセンサーの設置箇所と、計測パラメータは以下のとおりである。各パラメータの経時変化をとらえるとともに、ひずみ計測については、次年度以降に予定している、人為的にひび割れを発生させることによるひび割れ計測試験の準備を実施する。

- ・ 側部低拡散層（左側）表面；ひずみ計測
- ・ 上部低拡散層表面；ひずみ計測
- ・ 手前コンクリートピット表面；ひずみ計測
- ・ アクセス坑道沿い壁面；温度計測

上記計測箇所では、それぞれの箇所において光ファイバセンサーでループを構成し、その両端を計測器に接続する（前項記載の PPP-BOTDA 方式実現のため）。

ひずみ分布計測用光ファイバセンサーケーブル（図 2.4-2～図 2.4-3；OFS 社製 C80920）は、エポキシ系接着剤（スリーエム製 DP-420；図 2.4-8）を用いて、対象表面に全長固定する。参考までに、橋梁床板におけるケーブル設置時の状況を図 2.4-9 に示す。



図 2.4-8 使用接着剤



図 2.4-9 設置時イメージ例

側部低拡散層（左側）には、現状露出している範囲に4本のひび割れが存在しており、このうち試験空洞最奥の1本を除く3本のひび割れを計測対象として、坑内温度・湿度の変動に伴うひび割れ幅の変動を計測する。

側部低拡散層（左側）の光ファイバセンサー設置位置を図 2.4-10 に示す。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の構成としている。また、既設ひび割れの開口変位計測技術（例：クリップゲージ）による計測を併用し、両者の計測値を比較する。これらの新設する計器は、足場用アンカー孔やひび割れ観察などの支障にならない箇所に設置する。開口変位計測のためのクリップゲージとデータレコーダの仕様を表 2.4-1～表 2.4-2 にそれぞれ示す。

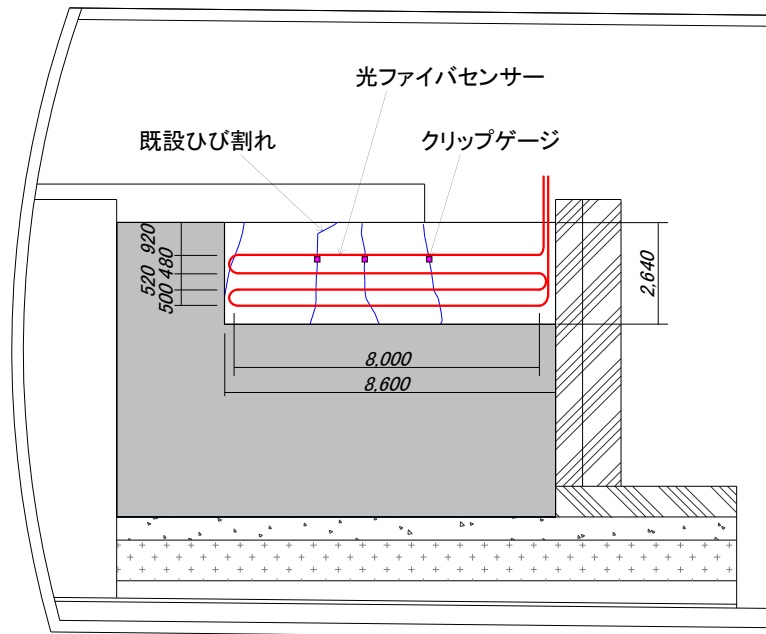


図 2.4-10 側部低拡散層（左側）側面図

表 2.4-1 クリップゲージの主な仕様

メーカー・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 2.4-2 データロガーの主な仕様

メーカー・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 <sup>-6</sup> ひずみ	
ひずみ分解能	1×10 <sup>-6</sup> ひずみ	
ひずみ測定精度	±0.1%FS	

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を設置する。

上部低拡散層の光ファイバセンサー設置位置を図 2.4-11 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、短辺方向のセンサーを設置することとする。

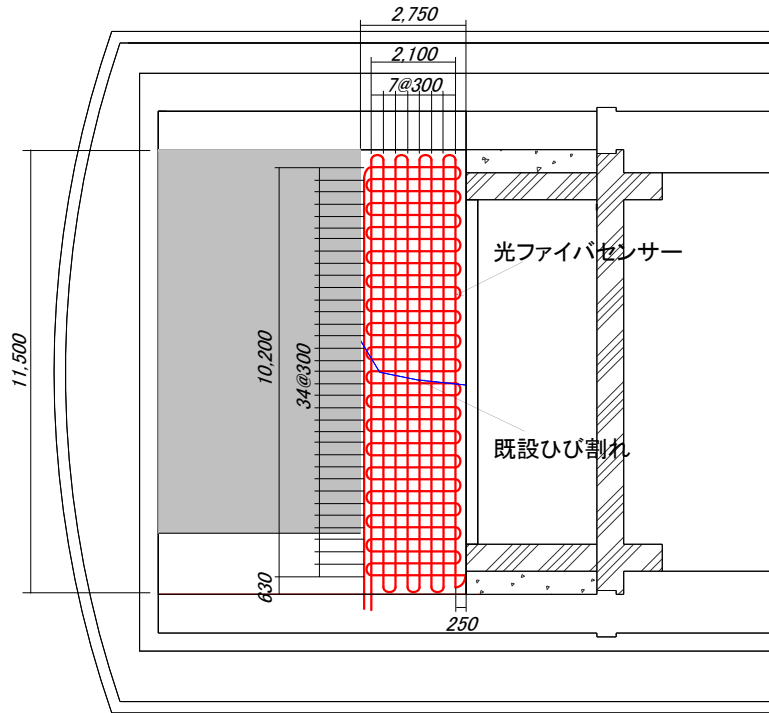


図 2.4-11 上部低拡散層平面図

手前コンクリートピット前面は、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、表面には図 2.4-12 に示すような凹凸が形成されている。また、鉄筋コンクリートで、鉛直・水平ともに 150mm 間隔で鉄筋が配筋されている。人為的なひび割れ発生のために静的破砕剤を使用する際には、コア削孔する必要があるため、コア削孔時には鉄筋と光ファイバセンサーの両者を避ける必要があるため、光ファイバセンサーの設置間隔は 300mm とする。

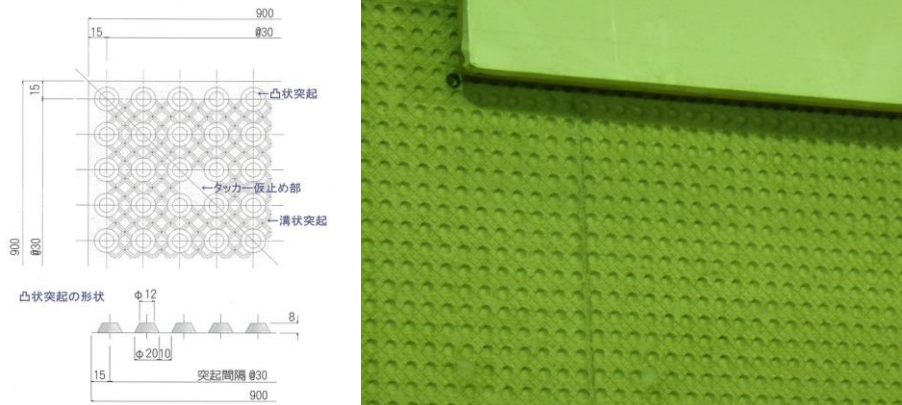


図 2.4-12 KK シートの凹凸形状と手前コンクリートピット表面の状況

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する。次年度以降に予定されている、人為的にひび割れを発生させることによるひび割れ計測試験の準備を実施する。

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 2.4-13 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、作業性の観点から水平方向の光ファイバセンサーを先に設置した後、垂直方向のセンサーを設置することとする。

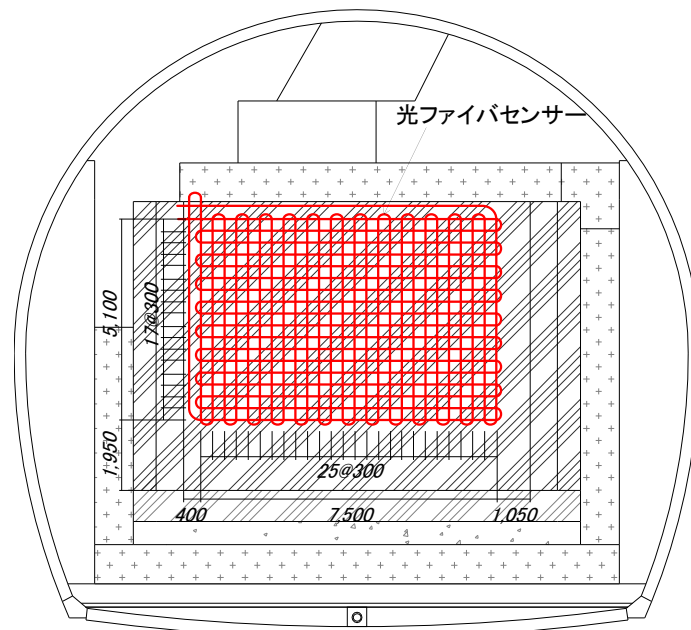


図 2.4-13 手前コンクリートピット正面図



温度分布計測用光ファイバセンサーケーブル（図 2.4-4～図 2.4-5；OFS 社製 CX80766）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する。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する。ケーブルの配置を図 2.4-14 に、架設イメージを図 2.4-15 にそれぞれ示す。

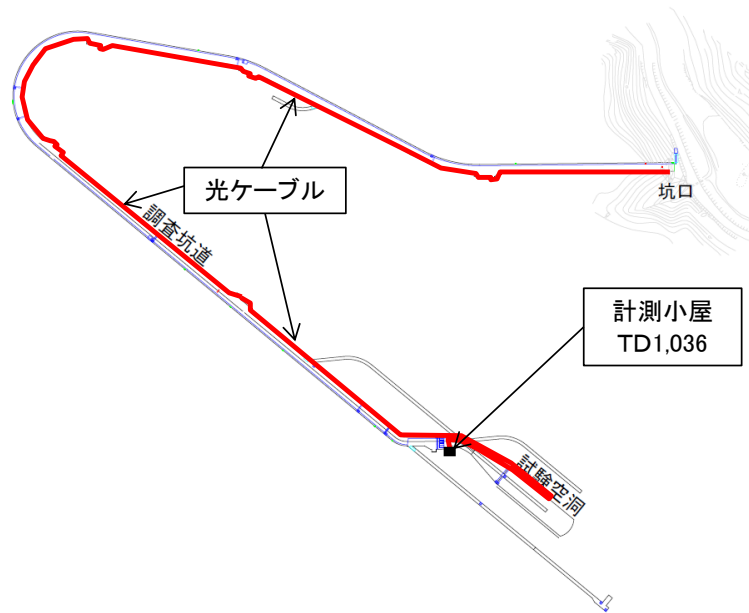


図 2.4-14 温度センサーケーブルの配置

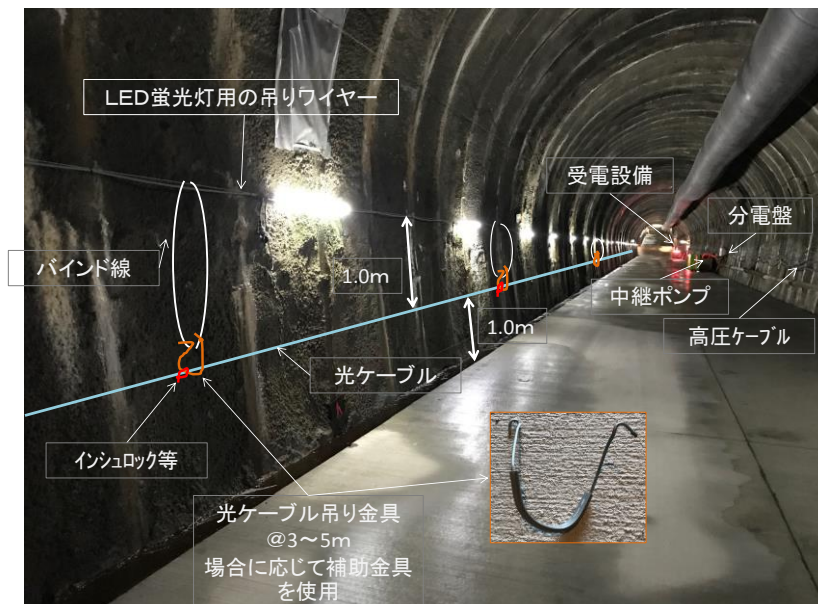


図 2.4-15 温度センサーケーブル架設イメージ

温度分布計測用の参照計器として、坑道沿いに約 200m 間隔で温度計を設置する。温度計の測温部は、温度センサーケーブル部に固定する。温度計の配置を図 2.4-16 に、温度計の仕様を表 2.4-3 にそれぞれ示す。

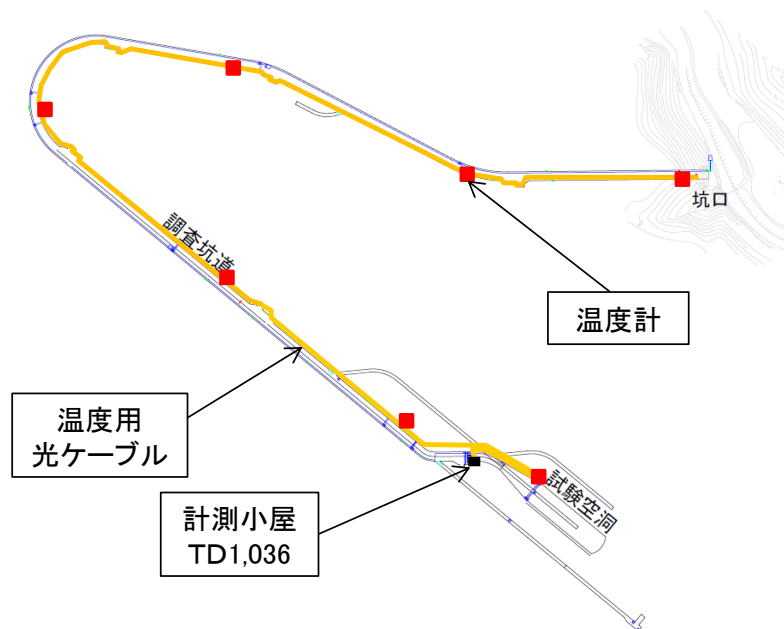


図 2.4-16 温度計の配置

表 2.4-3 温度計の主な仕様

メーカー・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℃	



### 2.4.3 光ファイバセンサーの設置方法

光ファイバセンサーの設置位置として、低拡散層表面が想定されている。施工手順を考慮すれば、既に低拡散層表面に光ファイバが配置された状態で、低透水層の吹付施工をする必要がある。吹付施工に対する耐久性を確認することは、光ファイバによる機能確認モニタリング実現性を確認するうえで重要な点である。そこで、光ファイバ上にベントナイト吹付施工を行い、その前後で光ファイバに断線などがみられないかどうか、実験的に確認した。

試験体は、コンクリート二次製品に接着剤を用いて光ファイバセンサーを固定したものである（図 2.4-17～図 2.4-18）。試験体に吹付施工をしながら、OTDR 装置によって試験体の光ファイバセンサーの光の透過損失量を確認し、変化がないかどうかを確認した（図 2.4-19～図 2.4-20）。その結果、ひずみセンサーケーブル（図 2.4-2～図 2.4-3 参照；OFS 社製 C80920、 $1.8 \times 3.5\text{mm}$ ）はおろか、外径  $0.9\text{mm}$  の光ファイバ素線についても、センサーは破断することなく、透過損失量の有意な変化もみられなかった（図 2.4-21）。



図 2.4-17 試験体（ひずみセンサーケーブル）



図 2.4-18 試験体（光ファイバ芯線）



図 2.4-19 吹付施工



図 2.4-20 吹付後の試験体

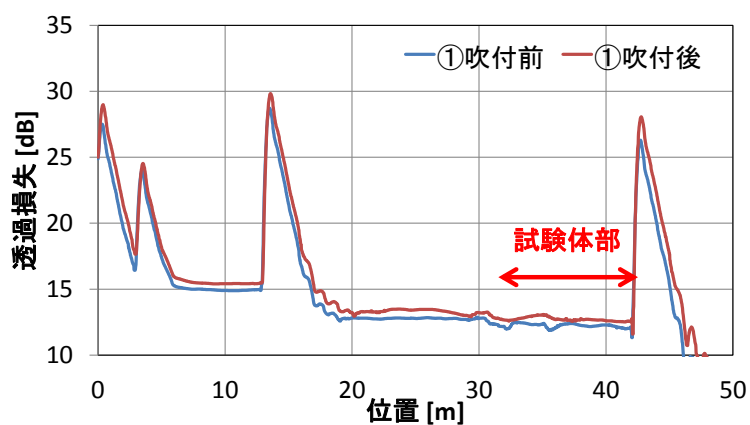


図 2.4-21 吹付前後の光透過損失の変化

光ファイバセンサーを低拡散層に固定する方法として、光ファイバを間欠的に固定するか、あるいは全長にわたって固定するか、に大別される。前者は手間がかからずに施工が容易であるとともに、ひび割れなどが生じた場合にも光ファイバにかかるひずみが鈍化されるために切断され

にくい利点がある。一方、後者は施工手間がかかり、ひび割れが生じた場合に切断の恐れが若干大きくなることが懸念されるが、微小なひび割れ発生も鈍化することなく感度良く検知できる利点がある。そこで、両者の差を確認するために、図 2.4-22 に示す実験構成で比較を行った。

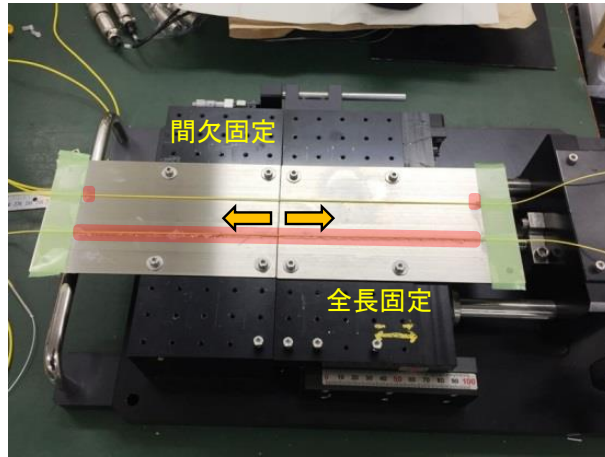


図 2.4-22 実験構成

二枚の鋼板上に光ファイバを間欠（300mm 間隔）ならびに全長固定をしたうえで、鋼板の下間隔を広げながら、ブリルアン散乱光によるひずみ分布計測を行った結果を図 2.4-23 ならびに図 2.4-24 に示す。間欠固定では固定間隔のあいだでほぼ一定のひずみを示しているのに対し、全長固定ではピーク状のひずみ分布を示していることがわかる。感度の高さを考慮し、全長固定による方法で実規模施設におけるひずみセンサーケーブルを固定することとした。なお、同実験構成でひび割れ幅を 4mm まで広げた場合においても、全長固定で光ファイバが切れることはなかった。

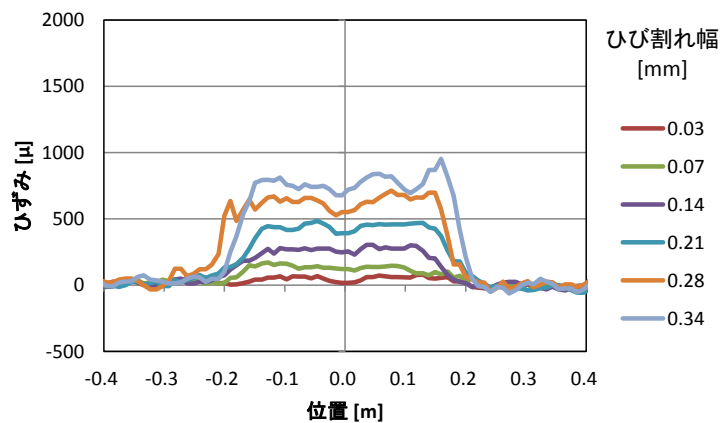


図 2.4-23 実験結果（間欠固定）

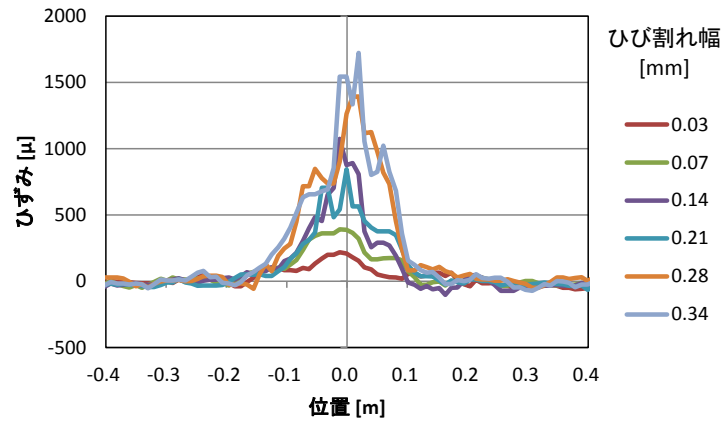


図 2.4-24 実験構成 (全長固定)

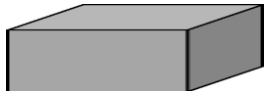

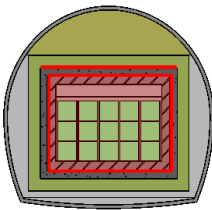
## 2.5 実規模施設のセメント系材料に人為的なひび割れを発生させる方法の検討

### 2.5.1 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では、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。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、確実にひび割れを導入できる手法が必要とされる。そこで、実規模施設のセメント系材料に人為的にひびを発生させる方法の検討を実施した。

ひび割れ誘発手法選定に向けた流れを表 2.5-1 に示す。まず、平成 29 年度業務において、現行のひび割れ誘発に関する技術の調査や小規模の供試体ブロックを用いた要素試験を実施し、実規模施設にひび割れを誘発する手法の候補を選定する。次に、平成 30 年度上期（予定）に、ある程度の寸法、部材厚さを有する試験体を使用した事前試験を実施し、要素試験にて選定したひび割れ誘発手法が、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、確実にひび割れを入れられる手法として信頼性が高いものであることを確認する。以上のプロセスを経て選定されたひび割れ誘発手法を用いて、平成 30 年度下期（予定）に実規模施設を用いたひび割れ計測試験を実施する。

表 2.5-1 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	実規模施設を用いた光ファイバセンサーによるひび割れ計測試験
時期	平成 29 年度	平成 30 年度上期（予定）	平成 30 年度下期（予定）
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 120cm×120cm×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 

## 2.5.2 実規模施設を用いたひび割れ計測試験の試験条件の整理

ひび割れ誘発手法の候補選定にあたり、平成 30 年度に実施することが計画されている実規模施設を利用したひび割れ計測試験の試験条件を整理する。

### (1) 対象部材

光ファイバセンサーは平成 29 年度業務において、上部低拡散層、手前コンクリートピット、側部低拡散層（左側）に設置されている。このうち、側部低拡散層（左側）は現状露出している範囲に 4 本のひび割れが存在している。図 2.5-1 に示すように、試験空洞最奥の 1 本を除く 3 本のひび割れを計測対象として、光ファイバセンサーによって、坑内温度・湿度の変動に伴うひび割れ幅の変動を計測することが計画されている。よって、人為的なひび割れは、上部低拡散層、手前コンクリートピットを対象に発生させることとなっている。

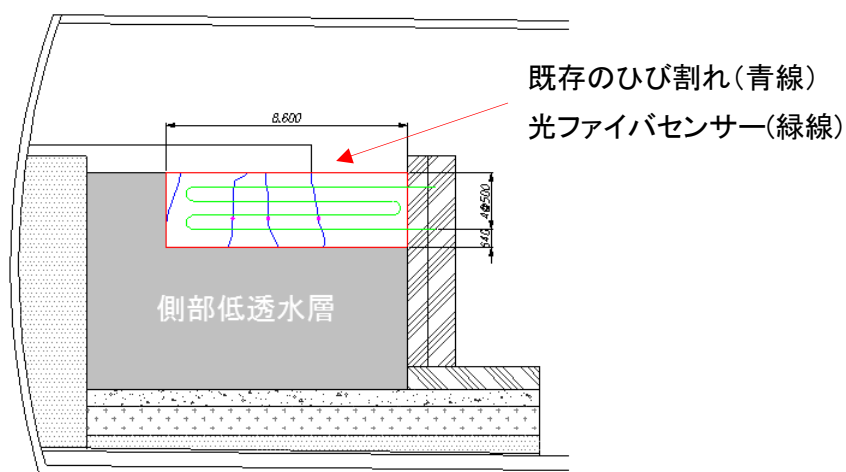


図 2.5-1 側部低拡散層における既存のひび割れの計測計画のイメージ

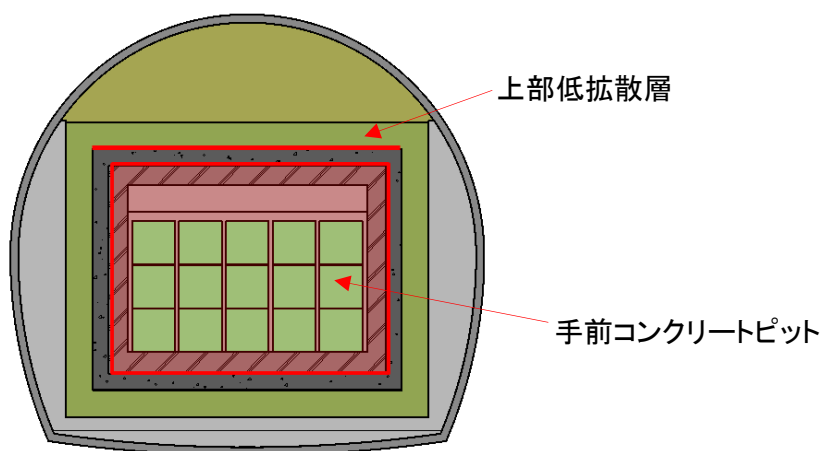


図 2.5-2 ひび割れ誘発箇所



### 1) 手前部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。手前コンクリートピットの材齢 1200 日時点における圧縮強度は  $91.4\text{N/mm}^2$  であることが確認されている[13]。

手前コンクリートピット前面は、KK シート工法[14]による打継ぎ処理がされているため、表面には図 2.5-5 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をしている。

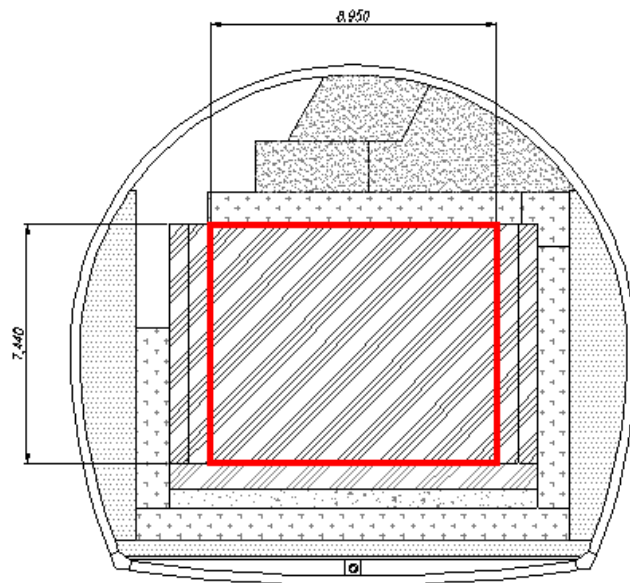


図 2.5-3 手前部コンクリートピット (正面図)



図 2.5-4 手前部コンクリートピット (2017年8月撮影)

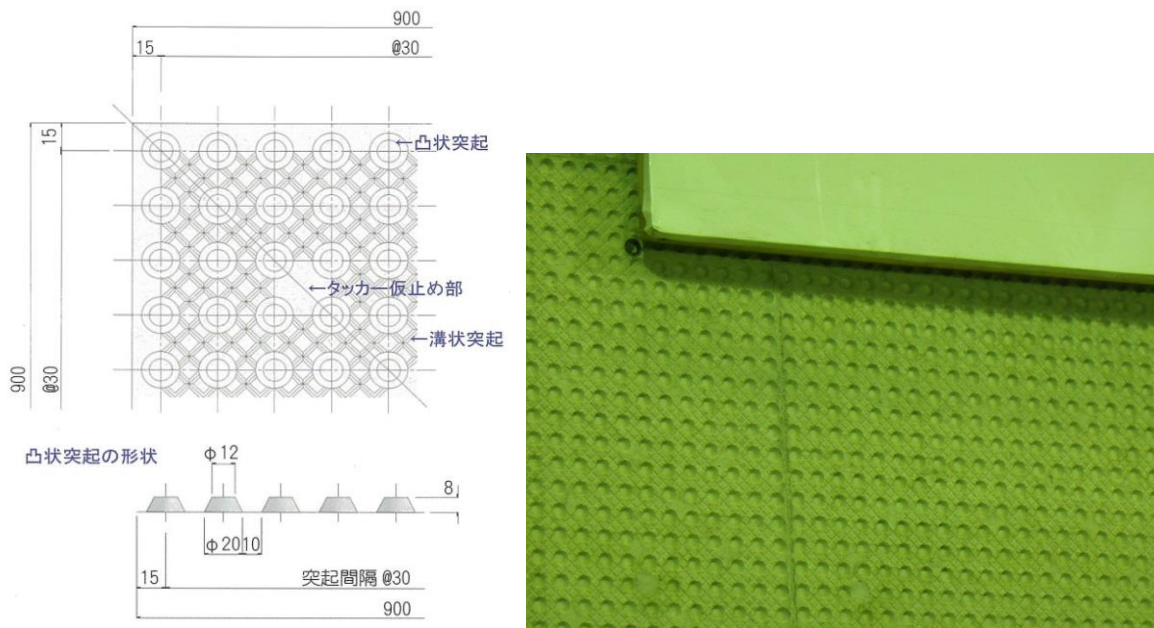


図 2.5-5 KK シートの凹凸形状コンクリートピット表面の状況[15]

## 2) 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。上部低拡散層の材齢 365 日時点における圧縮強度は  $113.5\text{N/mm}^2$  であることが確認されている[13]。

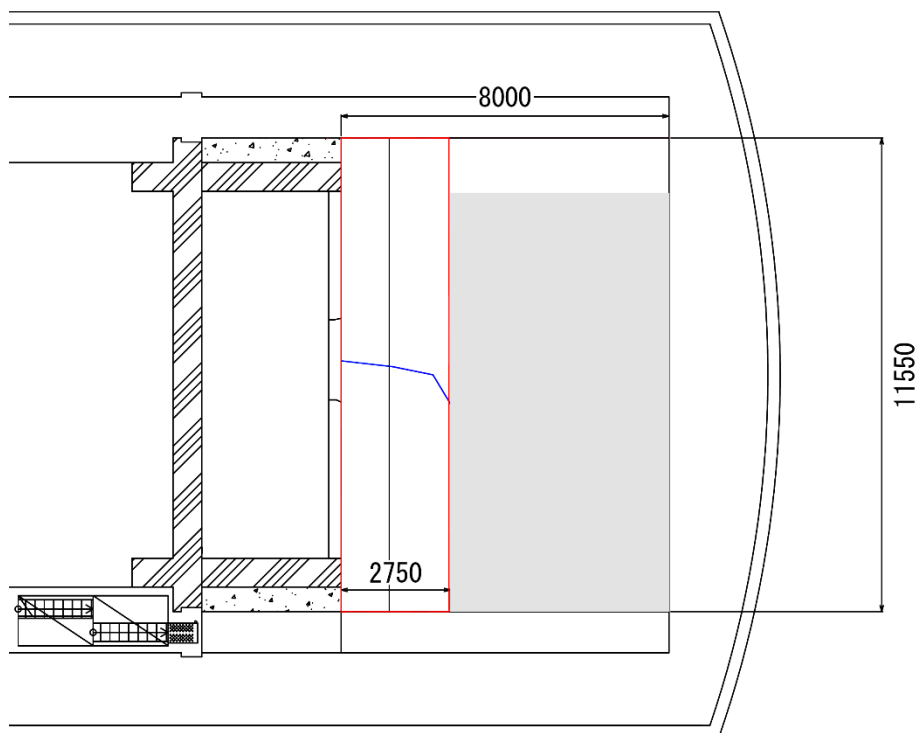


図 2.5-6 上部低拡散層（平面図）





図 2.5-7 上部低拡散層（2017年8月撮影）

(2) 試験状況

実規模施設の試験対象部材には、光ファイバセンサーが網目状に 300mm ピッチで設置される。ひび割れ誘発作業は光ファイバセンサーが設置された状態で実施する必要があるため、光ファイバセンサーを損傷しない手法を選定する必要がある。

また、試験では、光ファイバセンサーの計測結果とひび割れの発生位置や開口幅などの関係を把握するために、段階的にひび割れを拡大、進展させていくことが求められる。

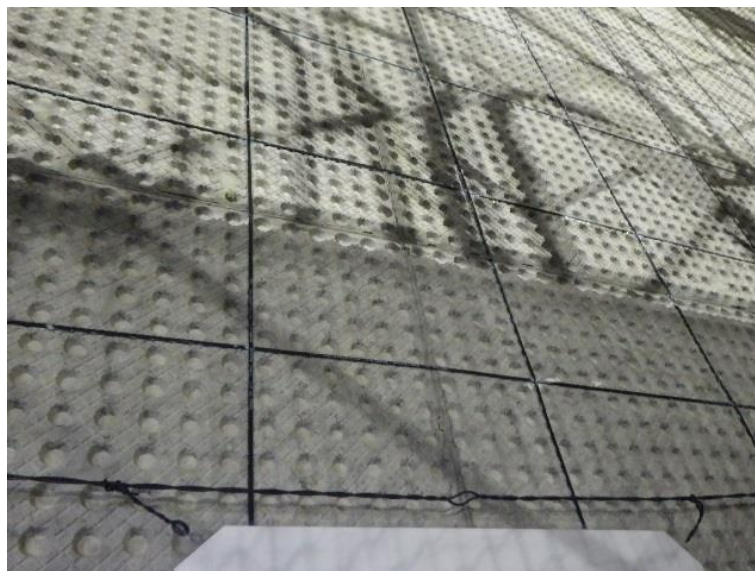


図 2.5-8 光ファイバセンサーの設置状況（手前部コンクリートピット）



図 2.5-9 光ファイバセンサーの設置状況（上部低拡散層）

### 2.5.3 現行のひび割れ誘発技術の調査

コンクリートにひび割れを発生させるための技術として、コンクリート構造物の解体技術に着目し、候補の選定を行った。土木学会建設技術研究委員会において、コンクリートの解体技術・工法について、「壊す力」、「壊す原理」をもとに分類が行われ、それぞれ該当する技術・工法が紹介されている。図 2.5-10、図 2.5-11 に土木学会建設技術研究委員会で示された分類の結果を示す。

これらのうち、「①機械の衝撃力、圧砕力」の「油圧などによる圧縮力」と「機械による直接的な衝撃力」、「③水などの噴射圧」、「④切断・切削」はひび割れを発生させるという今回の目的に不適合である。

よって、「①機械の衝撃力、圧砕力」の「セリ矢等による貫入力」、「②材料の膨張圧」に着目し、候補の選定を行った。

「セリ矢などによる貫入力」は、コンクリートに削孔した穴にくさびなどを入れ、それを抜げる力でコンクリートを割るものである。ひび割れ幅の制御性、光ファイバセンサーに損傷を与える危険性を考慮し、1) セリ矢、2) 板ジャッキ、3) 標準パッカーに着目し、実験を実施した。

「②材料の膨張圧」は、コンクリートに削孔した穴に、膨張性を持つ静的破砕剤や、高圧ガス、火薬を充填し、それが膨張する力でコンクリートを破壊する技術である。これらのうち、セメント系材料である膨張材が水和反応により膨張する力を利用してひび割れを発生させる、静的破砕剤による手法に着目し、実験を実施した。

それぞれの手法の概要は次項で説明する。

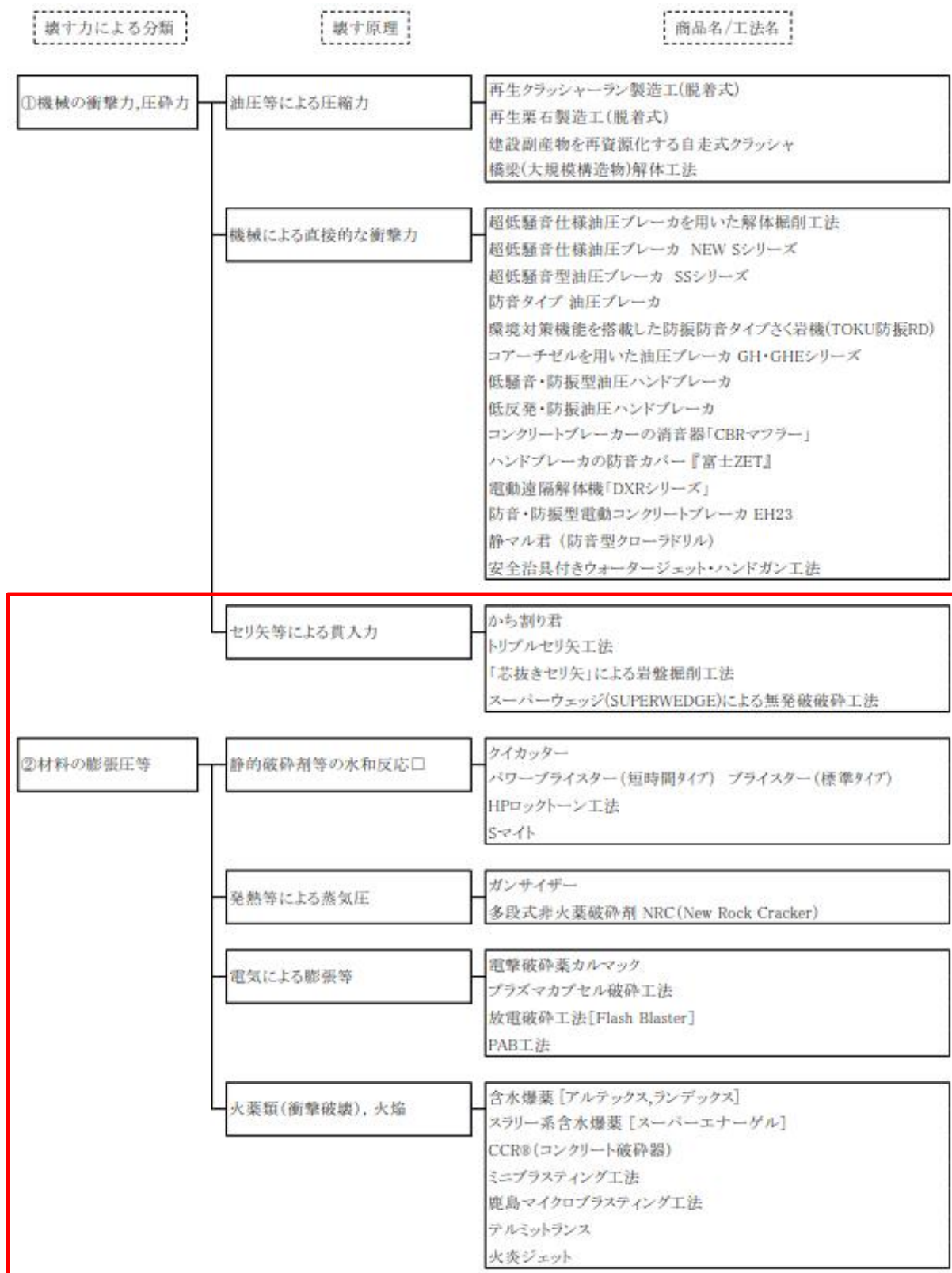


図 2.5-10 コンクリートの解体技術の分類 (1/2) [16]

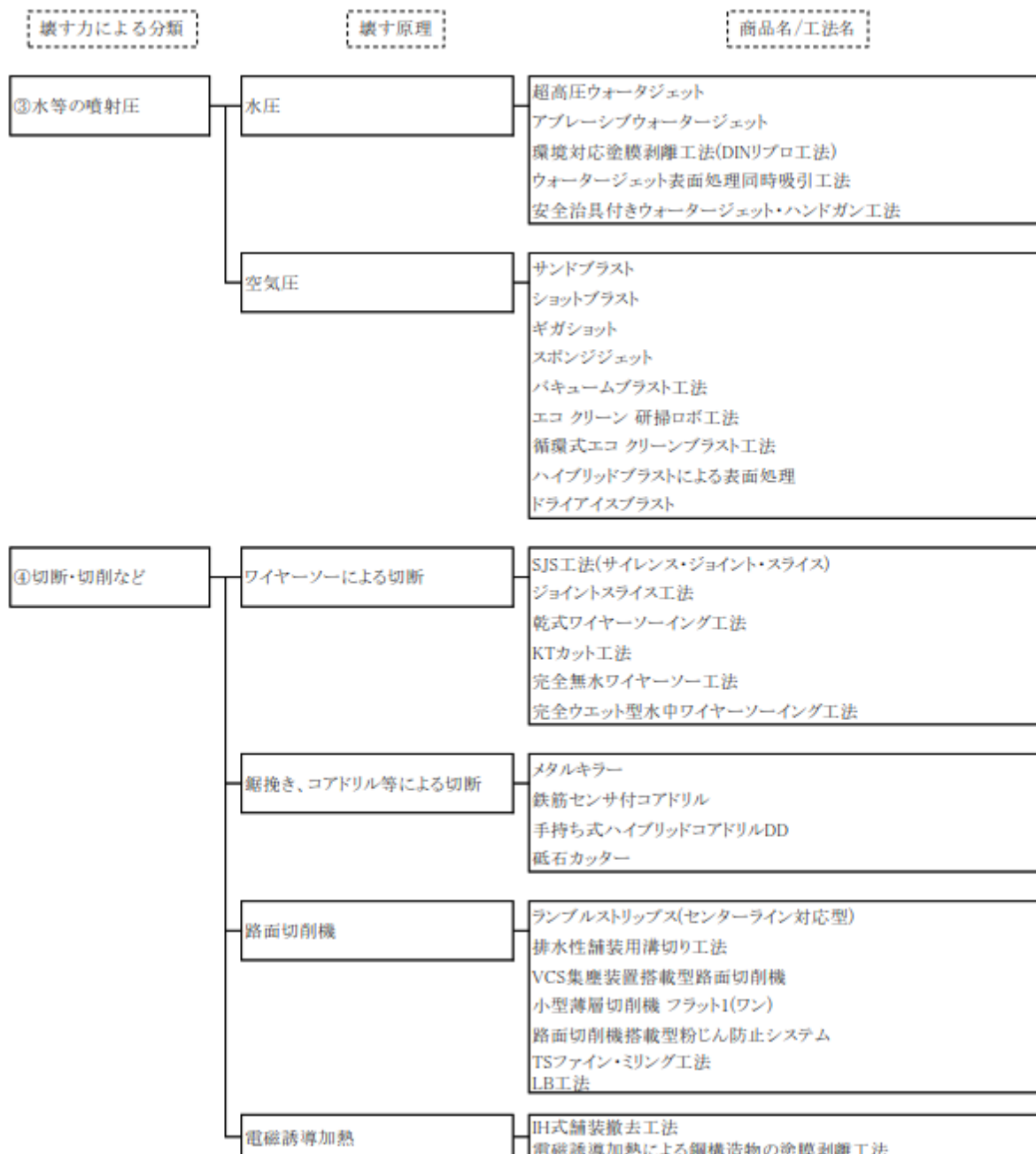


図 2.5-11 コンクリートの解体技術の分類 (2/2) [16]

## 2.5.4 ひび割れ誘発手法の選定に関する要素実験

ひび割れ誘発手法として着目した候補について、予備試験を実施し、実規模施設におけるひび割れ計測試験への適用可能性を評価した。

### (1) 静的破碎剤を用いたひび割れ誘発手法

#### 1) 工法の概要

静的破碎剤による破碎は、あらかじめ削孔した穴の中に生石灰系の膨張材を充填し、時間経過により発生する膨張圧を利用してコンクリートや岩石を破碎する手法である。練混ぜ完了後、徐々に膨張圧は高まり、充填完了後 12 時間～24 時間で亀裂が発生する。充填する孔径により異なるが、60MPa（削孔径 40mm、削孔深さ 350mm として、270t）程度の膨張圧を与えることができる。

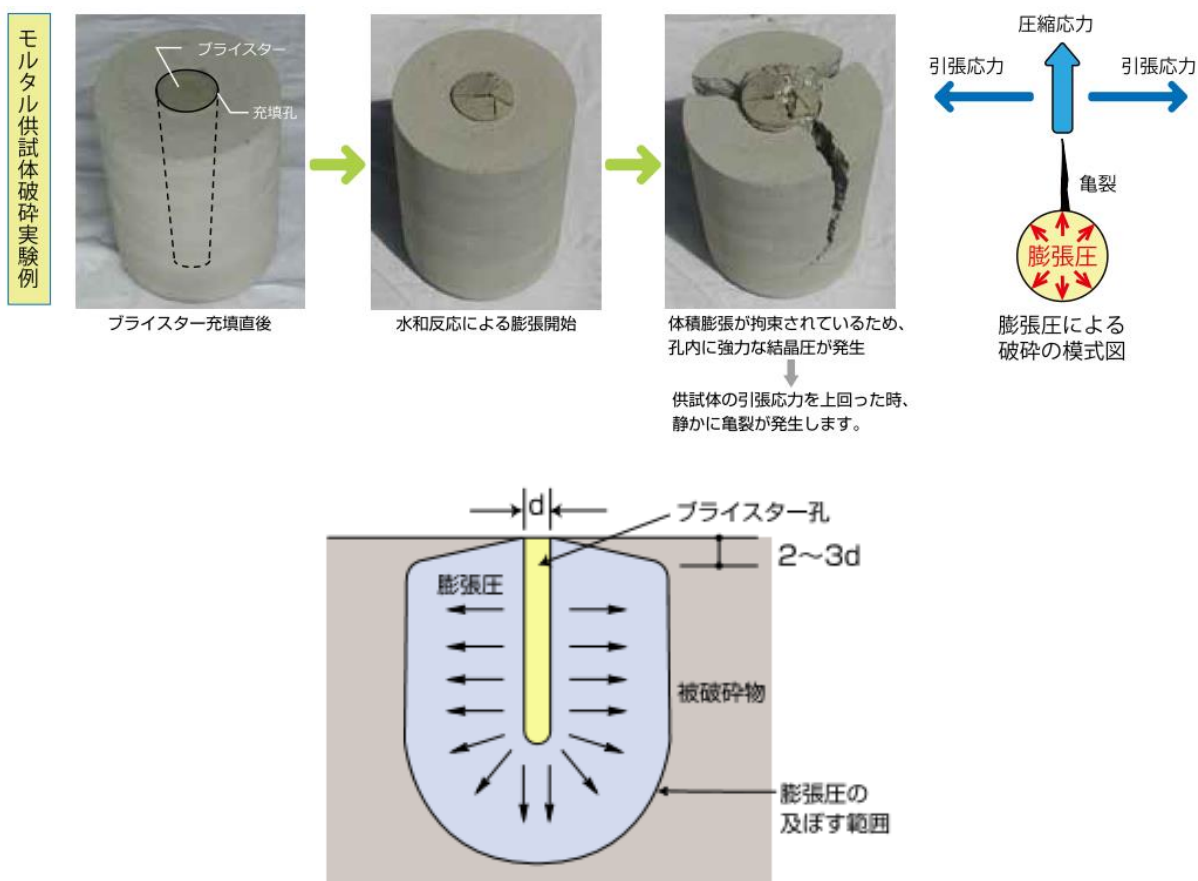


図 2.5-12 静的破碎剤による供試体の破碎イメージ[17]



## 2) 実験の概要

試験体には、幅 1000mm、奥行き 2800mm、部材厚さ 400mm の鉄筋コンクリートを用いた。鉄筋は、長軸方向に 125mm ピッチ、短軸方向に 70mm ピッチで配置されている。静的破砕剤の充填ピッチと、静的破砕剤の充填位置（中央部・端部）がパラメータとなるよう、図 2.5-14 に示すように、静的破砕剤の充填位置を設定した。



図 2.5-13 試験体全景

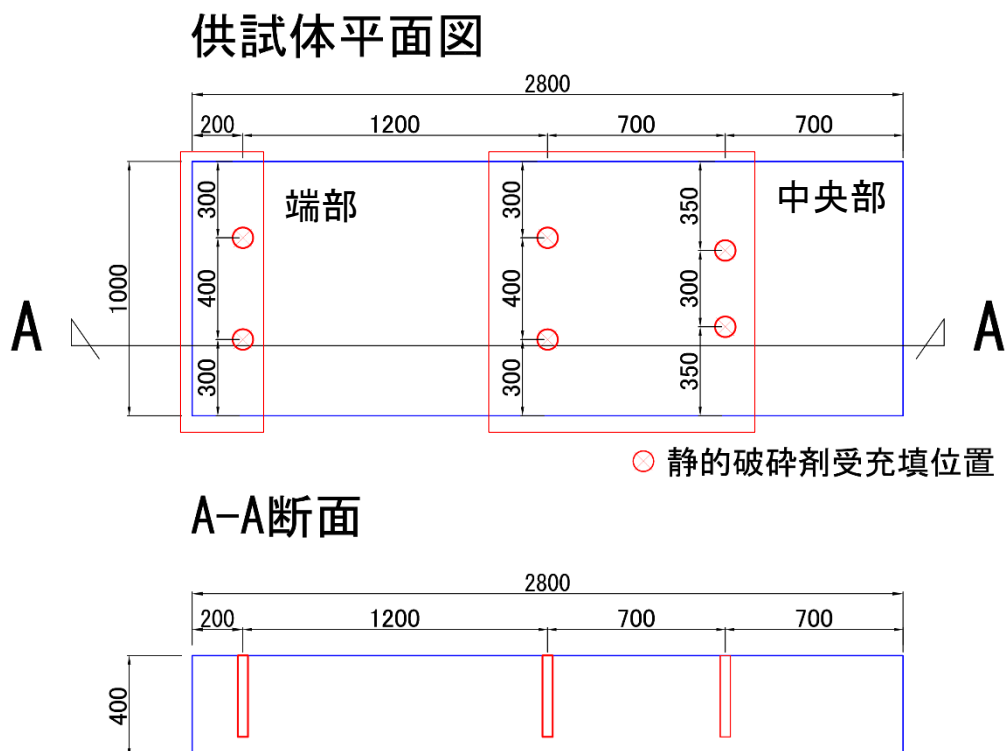


図 2.5-14 試験体平面図・断面図

### 3) 施工状況

#### a. コアの削孔

コア削孔機（ビット径：40mm）を用いて、所定の位置にコアを削孔する。削孔深さは、部材厚さの90%である350mmとした。



図 2.5-15 コアの削孔状況

#### b. 静的破碎剤の練混ぜ

静的破碎剤には、太平洋マテリアル株式会社製のブライスター100を使用した。ブライスター100を1.5kgと水50をバケツ内で混合し、ハンドミキサーを用いて素早く練混ぜを行った。



図 2.5-16 ブライスター100





図 2.5-17 静的破碎剤の練混ぜ状況

c. 静的破碎剤の充填と養生

静的破碎剤は、高温下での使用や誤った混合比での使用による充填後の急速な温度上昇などが原因で、孔内から噴出する危険性がある。そのため、練混ぜ完了後は速やかに孔内に充填し、その後、ブルーシート等で孔口を養生する必要がある。



図 2.5-18 静的破碎剤の充填状況



図 2.5-19 孔口の養生状況

#### 4) 試験結果

静的破砕剤の充填完了後、24 時間後に試験体のひび割れ発生状況を確認した。図 2.5-20 に養生撤去直後の充填箇所を示す。粉末状に固化した静的破砕剤が、孔内から溢れ出ている様子が確認された。粉末を除去すると、図 2.5-21 に示すように、20cm×20cm 程度の範囲で表面部のコンクリートが剥離していた。実規模施設を利用したひび割れ計測試験に適用することを考えた場合、300mm ピッチで設置された光ファイバセンサーに損傷を与えることが懸念される。



図 2.5-20 静的破砕剤充填箇所の状況(1/2)



図 2.5-21 静的破砕剤充填箇所状況(2/2)

静的破砕剤充填完了 24 時間後および 48 時間後のひび割れ発生状況を、図 2.5-22、図 2.5-23 に示す。ひび割れは、①試験体端部に充填したケースのうち、充填箇所の間、②試験体中央部に充填したケースのうち、充填箇所から試験体側面にかけて、以上の 2 箇所を確認された。

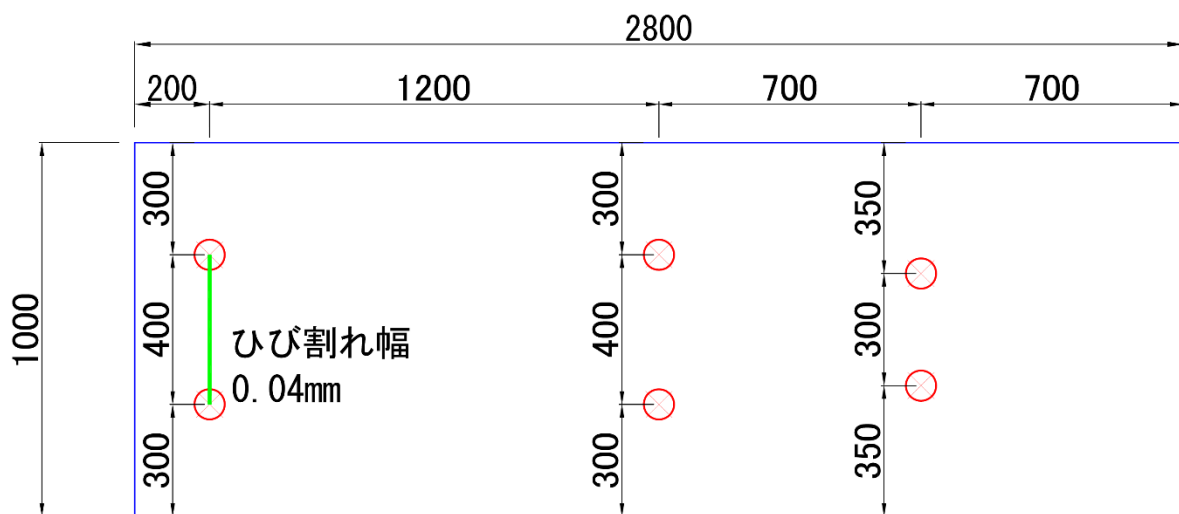


図 2.5-22 ひび割れの発生状況（静的破砕剤充填 24 時間後）

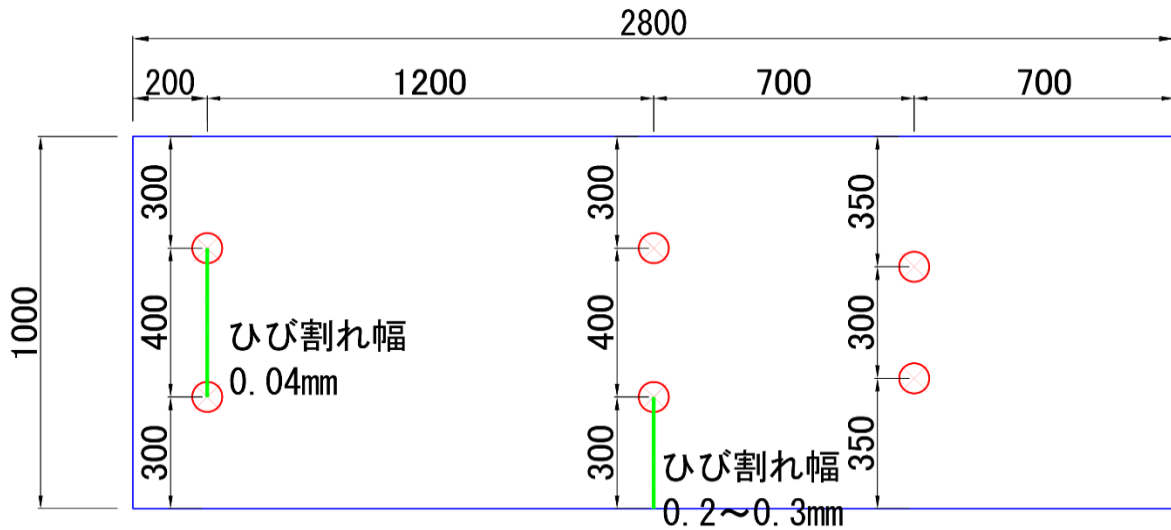


図 2.5-23 ひび割れの発生状況（静的破砕剤充填 48 時間後）

充填終了 24 時間後では、端部に充填したケースのみ、充填箇所間に 0.04mm のひび割れが確認された。このひび割れは、充填終了 48 時間後までに拡大しなかった。



図 2.5-24 供試体端部のひび割れの発生状況（1/2）



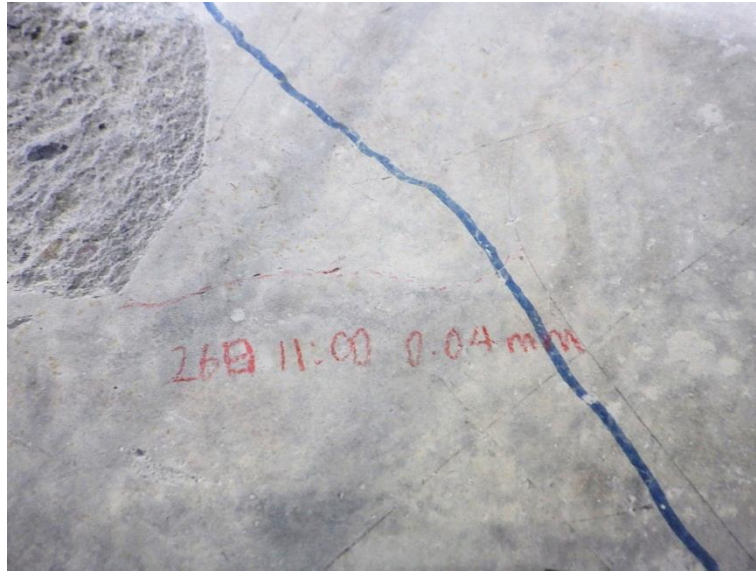


図 2.5-25 供試体端部のひび割れの発生状況 (2/2)

中央部に充填したケースでは、ひび割れは充填箇所の間ではなく、供試体の側面にかけて発生した。ひび割れは、供試体の底面まで貫通しており、ひび割れ幅は0.2~0.3mm程度であった。



図 2.5-26 供試体中央部上面のひび割れの発生状況



図 2.5-27 供試体中央部側面のひび割れの発生状況 (1/2)



図 2.5-28 供試体中央部側面のひび割れの発生状況 (2/2)

#### 5) 本試験で得られた知見

静的破砕剤を用いたひび割れ誘発手法は、充填した静的破砕剤の膨張力によってひび割れを誘発するため、ひび割れの発生する位置や、ひび割れ幅を高い精度で予測することは困難である。また、一度発生させたひび割れをさらに拡大させることができない。実規模施設を用いたひび割れ計測試験では、意図した位置に確実にひび割れを発生させ、ひび割れ幅を段階的に広げることが求められることを考えると、静的破砕剤を用いたひび割れ誘発手法のひび割れ制御性は不十分である。

また、実規模施設での適用を考えた際、静的破砕剤の充填孔のまわりのコンクリート片が20cm×20cm程度剥離したことは、300mmピッチで貼られた光ファイバセンサーに損傷を与える懸念が大きいことを意味する。

以上より、静的破砕剤を用いたひび割れ誘発手法は、実規模施設を用いたひび割れ計測試験に適用するのが非常に困難な手法であると考えられる。

なお、本試験では、供試体の端部の充填箇所の間と、供試体中央部の充填箇所から側面にかけての2箇所ではひび割れを生じさせることができなかった。ひび割れが発生しなかつ

た原因としては、試験体の鉄筋量が多かったこと、充填孔の周囲のコンクリートの拘束が強く、膨張圧が不十分であったことが考えられる。

実際の解体現場で静的破砕剤を用いる場合は、図 2.5-29 に示すように、コアを列状に削孔し、解放面を設けてから施工を行う。実規模施設も外部拘束が大きく、部材寸法が大きい部材である。静的破砕剤を用いたひび割れ誘発手法に限らず、実規模施設を用いたひび割れ計測試験では、部材端部など、拘束条件が小さい箇所では、意図した大きさのひび割れを入れられない可能性があることが示唆される結果となった。



図 2.5-29 静的破砕剤を用いた解体工事の施工状況

## (2) セリ矢を用いたひび割れ誘発手法

### 1) 工法の概要

セリ矢は、図 2.5-30 に示すようなくさび状の道具であり、ハンマードリルで削孔した穴にセリ矢を挿入し、頭部をハンマーで打ち込むことでコンクリートに引張力を与え、コンクリートを割る手法である。セリ矢には、手打ちによりハンマーで打ち込む通常のセリ矢に加え、ハンマードリルに装着して打撃を与える電動セリ矢を用いた。手打ちのセリ矢、電動セリ矢ともに、φ22mm 用のものを使用した。なお、電動セリ矢はφ22mm より大きいサイズの商品は存在しないが、手打ちのセリ矢はφ45mm など、大径のものも使用可能である。



図 2.5-30 セリ矢

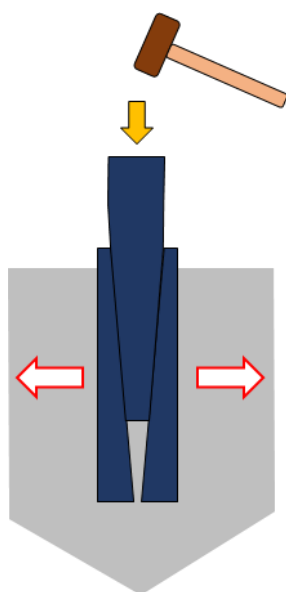


図 2.5-31 セリ矢を用いたひび割れ誘発手法



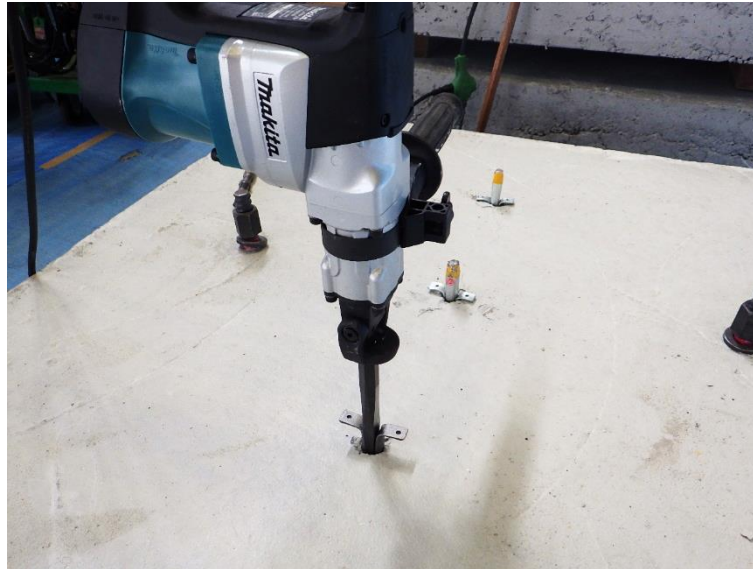


図 2.5-32 電動セリ矢

## 2) 実験の概要

120cm×120cm×50cm、圧縮強度 24N/mm<sup>2</sup>程度の無筋コンクリートを対象に、ひび割れ誘発試験を実施した。φ22mm のハンマードリルでセリ矢を貫入する穴を削孔したあと、セリ矢を貫入し、ハンマーで打撃を与えた。セリ矢を図 2.5-33 に示すと通りの位置に、記載の順序で打ち込み、そのときに発生するひび割れの幅を計測した。

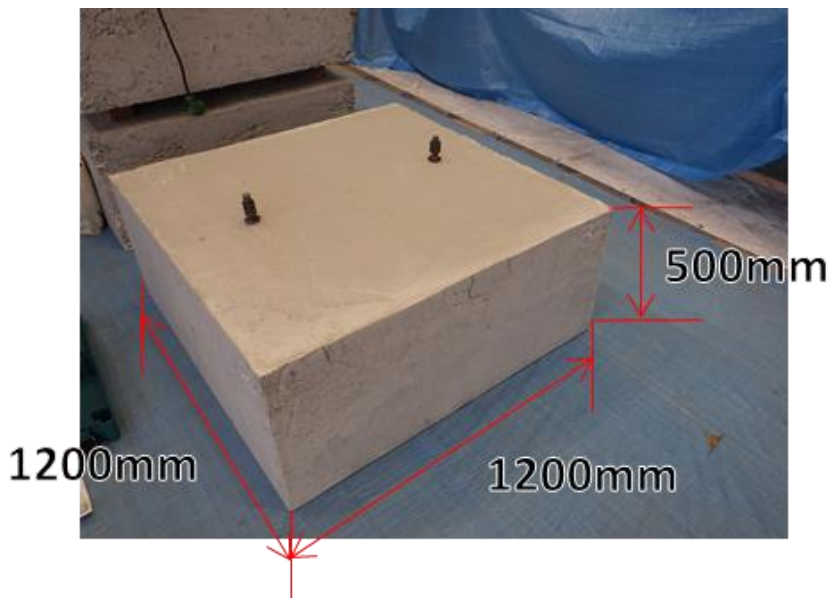


図 2.5-33 試験体の寸法

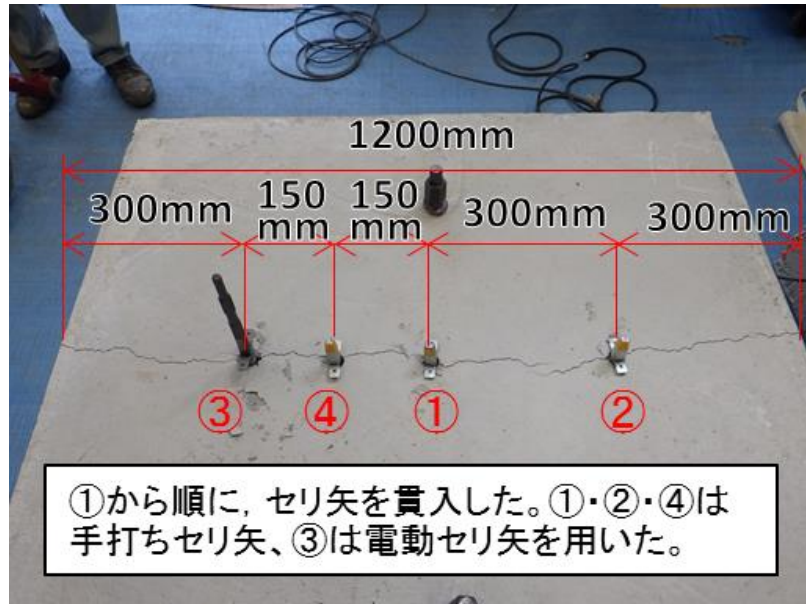


図 2.5-34 セリ矢の貫入位置と順序

### 3) 施工状況

#### a. セリ矢の貫入穴の削孔

φ22mm のハンマードリルを用いて、セリ矢を貫入するための深さ 10cm の穴を削孔する。

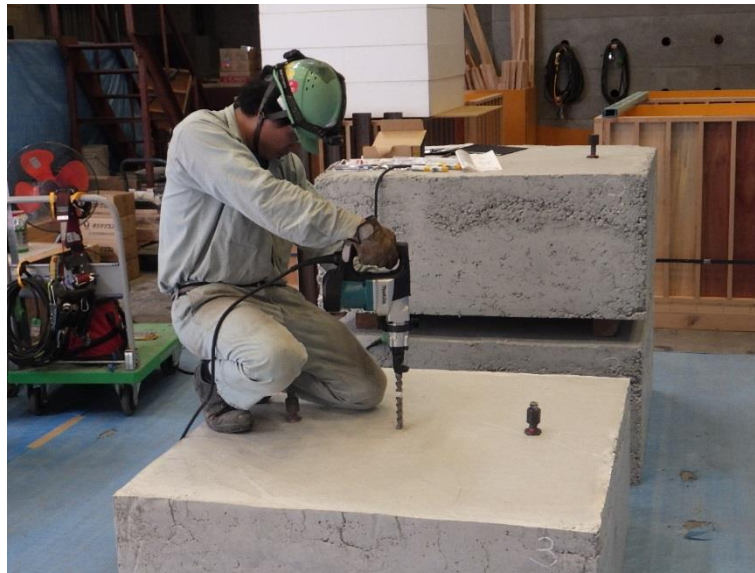


図 2.5-35 セリ矢の貫入穴の削孔状況

b. セリ矢の貫入

手打ちのセリ矢は、大ハンマーにより、試験体に打ち込んだ。



図 2.5-36 セリ矢の貫入状況(1/2)



図 2.5-37 セリ矢の貫入状況(2/2)



c. セリ矢の貫入（電動セリ矢）

電動セリ矢は、ハンマードリルに装着して打撃を与えることで、試験体に打ち込んだ。



図 2.5-38 電動セリ矢の貫入状況

4) 試験結果

セリ矢の貫入位置と順序を、図 2.5-39 に示す。①のみを打ち込んだときは、ひび割れを生じなかったが、②を打ち込んだとき、0.04mm～0.10mm のひび割れが生じた。

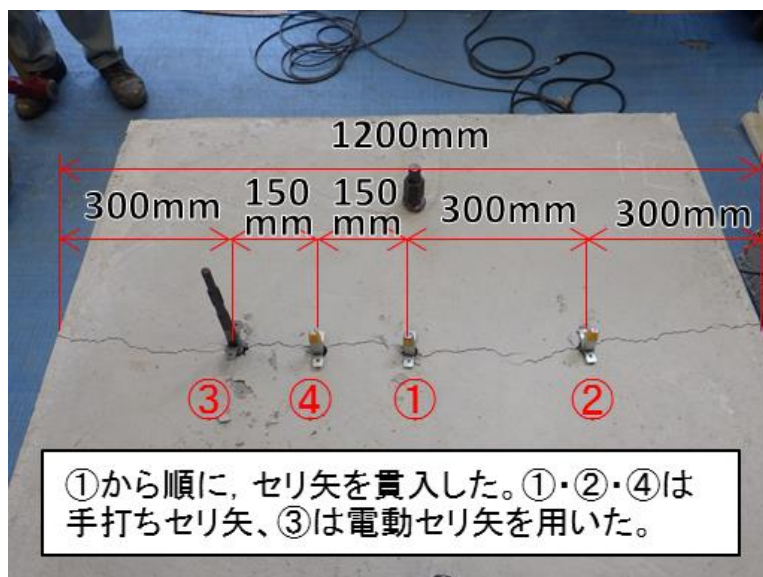


図 2.5-39 セリ矢の貫入位置と順序



図 2.5-40 ひび割れの発生状況 (①、②貫入後)

次に、電動セリ矢を用いて③を打ち込んだ。このとき、①と②の間と同様に、①と③の間に 0.10mm 程度のひび割れが生じた。電動セリ矢を用いた場合、少ない労力でセリ矢を貫入することはできるが、ハンマーを用いた場合に比較して、必ずしも大きな打撃力を与えられているわけではなかった。

④を貫入したとき、ひび割れが列状に一直線につながり、0.20mm～0.30mm 程度のひび割れが生じた。このとき、ひび割れは側面部にも発生しており、試験体を貫通していたものと考えられる。



図 2.5-41 ひび割れの発生状況 (①～④貫入後)

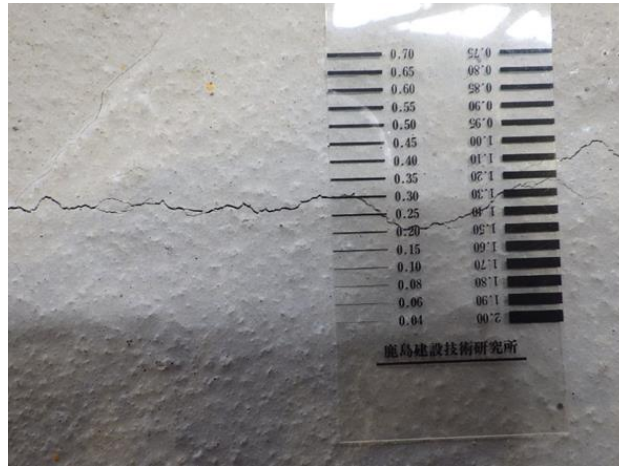


図 2.5-42 ひび割れの発生状況 (①~④貫入後)

①~④のセリ矢をさらに打ち込んでいくと、ひび割れ幅は徐々に拡大していき、試験体を完全に二つに割裂することができた。



図 2.5-43 試験体の割裂状況

#### 5) 本試験で得られた知見

セリ矢を用いたひび割れ誘発手法は、目視でひび割れ幅を確認しながら、打撃を加えることができるため、ひび割れ幅の制御性が高い手法である。また、図 2.5-44 に示すように、削孔した穴に入れるセリ矢の向きを調整することで、ひび割れを誘発する方向も自由に設定できる。このようにセリ矢のひび割れ制御性は非常に高い。

実規模施設を用いたひび割れ計測試験にも、十分に適用可能な手法であると考えられる。但し、セリ矢を用いたひび割れ誘発手法を用いた場合、実規模施設のような部材寸法が大きく、隣接部材の拘束が大きい条件の構造物に意図した大きさのひびを入れられないことが懸念される。要素試験レベルでも、貫通ひび割れが生じるまでは、部材に誘発することができたひび割れは、0.10mm 程度の大きさであった。より大きい径のセリ矢を使用することや、セリ矢の貫入ピッチを狭めること、部材の端部での施工することといった対策をとることで、0.20mm を超えるひび割れを誘発することが可能であると考えられる。

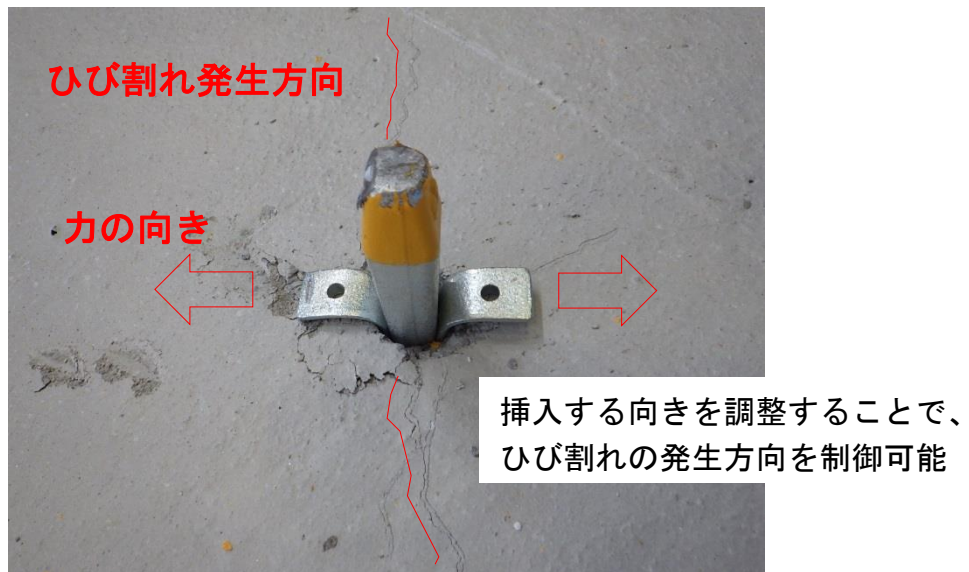


図 2.5-44 セリ矢のひび割れの発生方向

### (3) 板ジャッキを用いたひび割れ誘発手法

#### 1) 工法の概要

板ジャッキ工法は、部分的に切断した溝に挿入した板ジャッキを、水の力で膨らませることで構造物を解体する工法である。図 2.5-45 に板ジャッキを、図 2.5-46 に板ジャッキに水圧を作用させるポンプユニットを、図 2.5-47 に板ジャッキ工法による構造物の解体状況を示す。

板ジャッキ工法では、まず、板ジャッキを挿入できる 3mm 以上の溝を切断し、そこに板ジャッキを設置する。板ジャッキとは、図 2.5-45 に示すような、2 枚の特殊鋼板の端部を溶接することで製作されたジャッキであり、標準品の寸法は、100cm (または 50cm) × 10cm × 厚み 2.4mm である。

次に、給水バルブ、圧力調整弁が設置されたポンプユニットによって、板ジャッキに通水し、水圧を作用させる。水圧を受けて板ジャッキが拡張すると、コンクリートに引張力が加わり、コンクリートは破壊される。

最大で 30MPa (50cm × 10cm × 2.4mm の板ジャッキの場合 100t 程度) の拡張力を与えることが可能である。



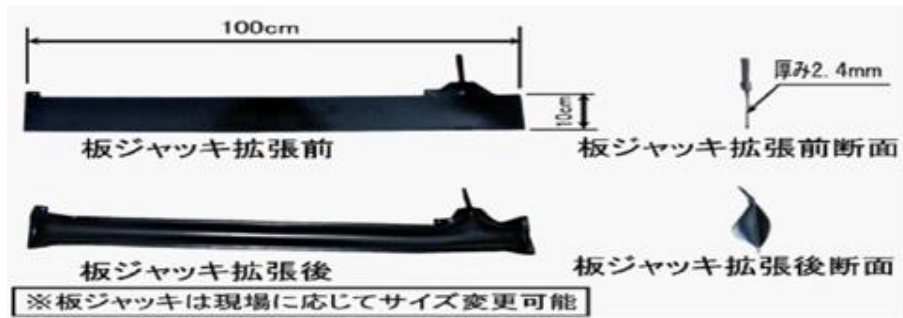


図 2.5-45 板ジャッキ[18]



図 2.5-46 ポンプユニット



図 2.5-47 板ジャッキの挿入状態と破壊状態[18]



## 2) 実験の概要

120cm×120cm×50cm、圧縮強度 24N/mm<sup>2</sup> 程度の無筋コンクリート（試験体①）と 48cm×48cm×42cm、圧縮強度 90N/mm<sup>2</sup> 程度の無筋コンクリートの 2 つの試験体を対象に、ひび割れ誘発試験を実施した。それぞれ、まずコンクリートチェーンソウを用いて、板ジャッキを挿入する深さ 10cm のスリットを導入し、その後、スリット内に設置した板ジャッキを拡張させ、試験体にひび割れを誘発した。

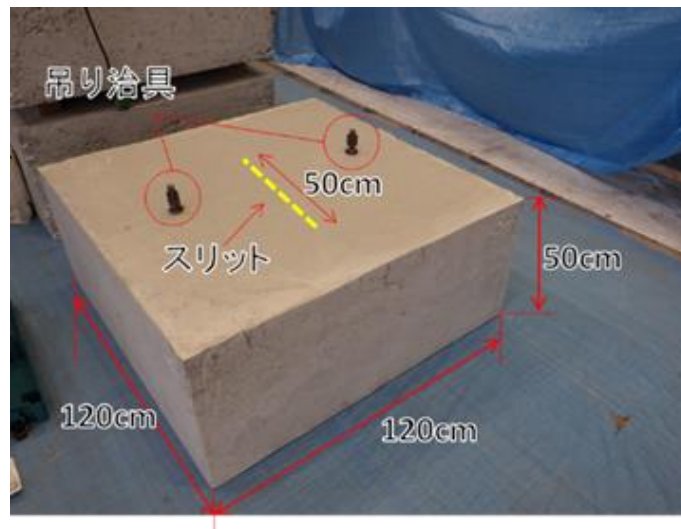


図 2.5-48 板ジャッキ工法によるひび割れ誘発試験に用いた試験体①

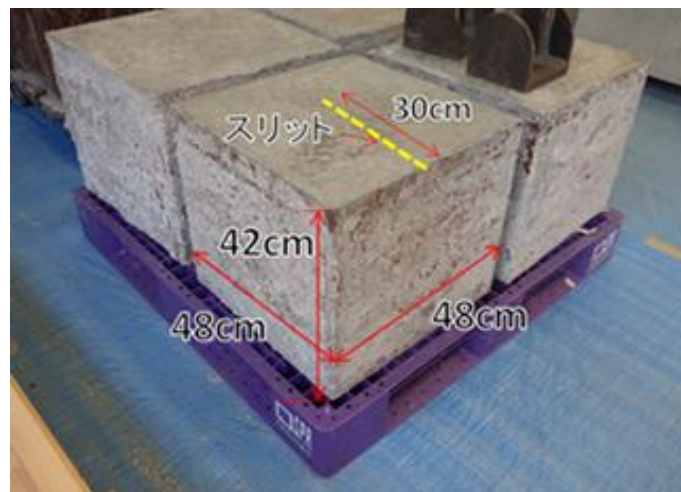


図 2.5-49 板ジャッキ工法によるひび割れ誘発試験に用いた試験体②

図 2.5-50 に本試験で使用した板ジャッキを示す。本試験では、10cm×50cm×厚み 3mm の寸法のものを使用した。板ジャッキの寸法は、用途により調整可能であり、実規模施設を用いたひび割れ計測試験に使用する場合は、幅 10cm～15cm 程度の板ジャッキを製作することで、30cm ピッチで貼りつけられた光ファイバセンサーに干渉せずにひび割れを誘発することが可能であると考えられる。



図 2.5-50 本試験で使用した板ジャッキ

### 3) 施工状況

#### a. スリットの導入

ダイヤモンドチェーンソウを用いて、試験体に深さ 10cm のスリットを導入した。まず試験体に這わせるように、台座ベースをアンカーによって固定する。チェーンソウが装着された支柱ベースは、台座ベースに固定されており、台座ベース状を左右にスライド出来る構造になっている。ダイヤモンドチェーンソウによる切削の際は、水の供給が必要である。そのためスリット導入作業時には、切削水の飛散養生を実施した上、作業員はチェーンソウから離れ、リモコンにより操作を行った。



図 2.5-51 試験体のスリット導入状況(1/2)



図 2.5-52 試験体のスリット導入状況(2/2)

切断作業時に付着したノロを清掃し、スリットの切断作業を終了した。試験体①のスリット導入後の試験体を図 2.5-53 に示す。



図 2.5-53 スリット導入後の試験体①

なお、図 2.5-54 に示すように、本手法は壁部材に対しても適用可能である。



図 2.5-54 壁部材におけるダイヤモンドチェーンソウの施工状況



b. 板ジャッキによるひび割れ誘発

試験体に導入したスリットに板ジャッキを挿入した。



図 2.5-55 板ジャッキの挿入状況(1/2)



図 2.5-56 板ジャッキの挿入状況(2/2)

ポンプユニットにより、板ジャッキへ加圧した。図 2.5-57 に示すとおり、ポンプユニットには給水バルブと圧力調整弁が設置されている。給水バルブを開くと、ホースを通じて板ジャッキに通水が開始され、圧力調整弁を調整することで、徐々に水圧を高めることができる。板ジャッキに作用する圧力は、圧力計により確認できる。

圧力調整弁により圧力を高めると、板ジャッキは徐々に拡張する。このとき、加圧に伴って圧力計の指示値は上昇していくが、ひび割れが発生すると、ジャッキにかかる応力が解放されて圧力計の値は急激に低下する。

ひび割れが発生した際は、給水バルブを締めて板ジャッキへの通水を途絶えさせる。

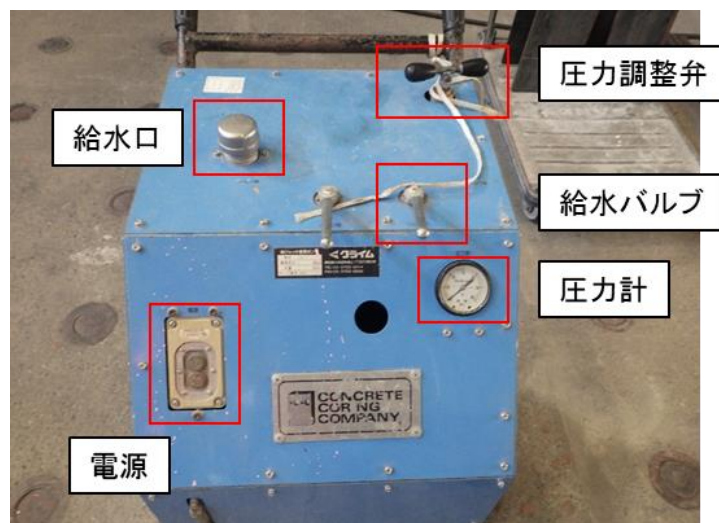


図 2.5-57 板ジャッキ工法ポンプユニット

板ジャッキ工法の施工状況を図 2.5-58 に示す。板ジャッキ工法は、ジャッキに加圧する際に板ジャッキが破裂し、水やホースが飛散する危険性がある。よって、安全管理上、板ジャッキから 5m 程度離れている必要がある。そのため、ひび割れ誘発箇所を目視確認しながら板ジャッキに加圧を行ってひび割れを誘発することは不可能である。

そこで、ひび割れ発生の判断は圧力計を利用して行った。前述のとおり、ひび割れが発生すると、板ジャッキにかかる応力が解放されて圧力計の値は大きく低下する。

ひび割れが発生して圧力計の値が低下したとき、給水バルブを締めることで通水を停止し、ひび割れ幅の拡大を防止した。



図 2.5-58 板ジャッキによるひび割れ誘発の試験状況

#### 4) 試験結果

試験体①のひび割れの発生状況を、図 2.5-59、図 2.5-60、図 2.5-61 に、試験体②のひび割れ発生状況を図 2.5-62 に示す。120cm×120cm×60cm の試験体①では、0.4mm～1.5mm のひび割れが、48cm×48cm×42cm の試験体②では、0.8mm～5mm のひび割れが生じた。

試験体②は試験体①に比較して、圧縮強度は大きいものの、部材寸法が小さいことから、板ジャッキが押しつける必要のあるコンクリート量が小さくなり、大きなひび割れが生じたものと考えられる。



図 2.5-59 試験体①のひび割れ発生状況 (1/3)



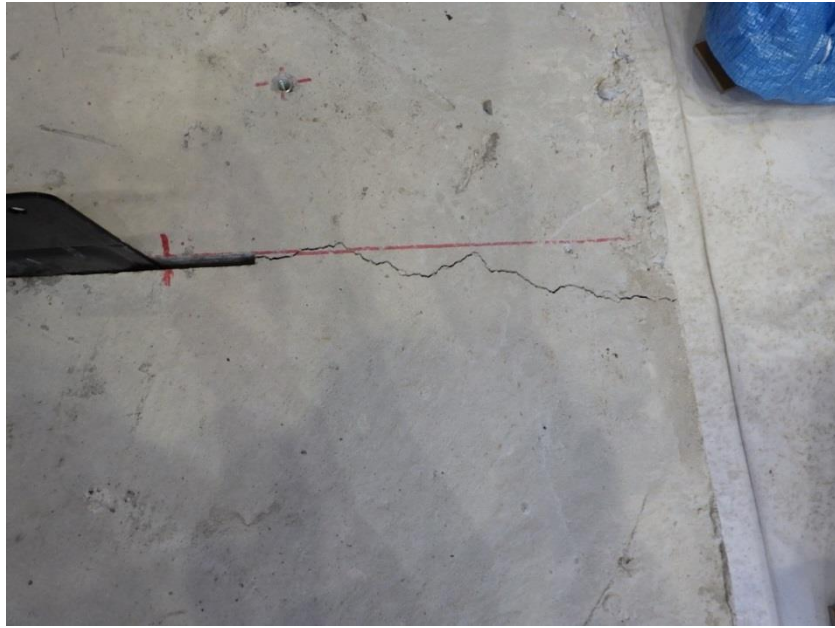


図 2.5-60 試験体①のひび割れ発生状況 (2/3)

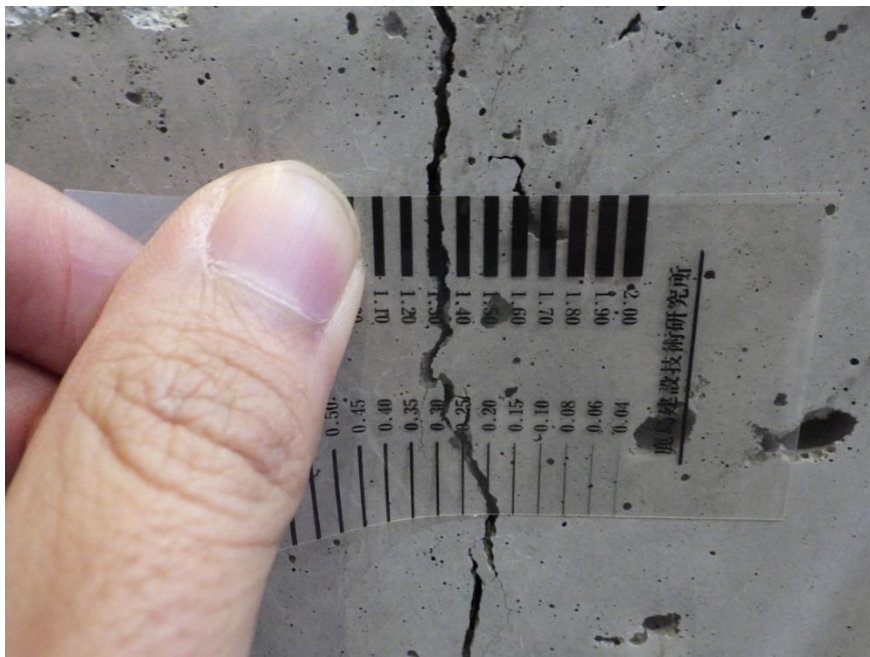


図 2.5-61 試験体①のひび割れ発生状況 (3/3)





図 2.5-62 ひび割れの発生状況

5) 本試験で得られた知見

板ジャッキを用いたひび割れ誘発手法は、板ジャッキを加圧した際に板ジャッキが破裂し、水やホースが飛散することが懸念される。加圧中に板ジャッキに近づくことが危険なため、ひび割れを目視で確認しながら施工を実施することができず、ひび割れ幅を制御して作業を行うことが困難である。

また、実規模施設と比較して部材寸法が小さく、隣接部材の拘束もない条件で実施した試験である点に留意は必要であるものの、本試験では、0.4mm～5mm 程度のひび割れが初期に生じた。実規模施設を用いたひび割れ計測試験に用いた場合に、施設に過大なひび割れを入れることが懸念される。

以上のように、板ジャッキを用いたひび割れ誘発手法は、ひび割れ制御性や安全性の観点から、実規模施設を利用したひび割れ計測試験には適用困難であると考えられる。

#### (4) 標準パッカーを用いたひび割れ誘発手法

##### 1) 工法の概要

標準パッカーは、セリ矢同様に、くさびの原理を用いてコンクリートを割る手法である。セリ矢は、打撃を与えて力を加えるのに対し、パッカーは図 2.5-63 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 2.5-64 にパッカーの側面図を、図 2.5-65 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。このとき矢が進展に合わせて、「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 650t 程度である。

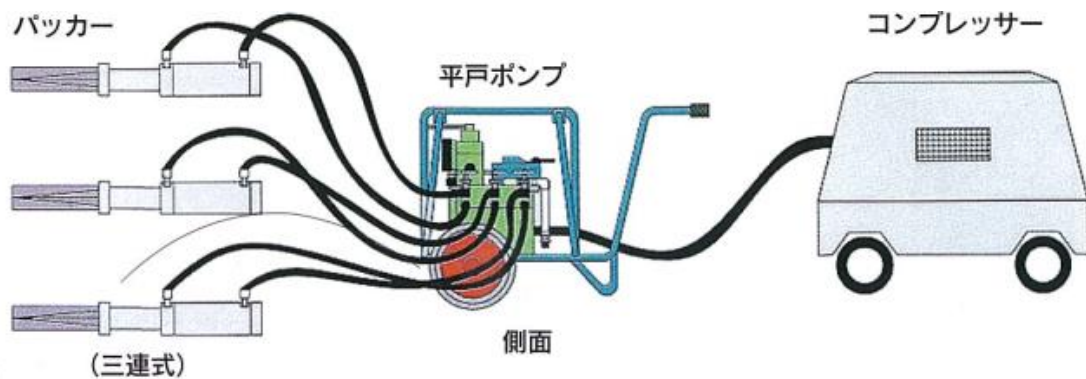


図 2.5-63 標準パッカーで使用する機材[19]

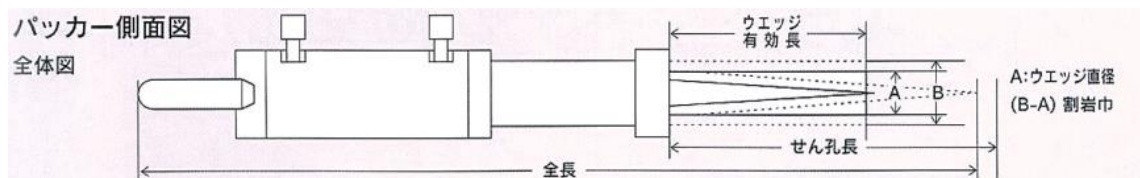


図 2.5-64 標準パッカーの側面図[19]

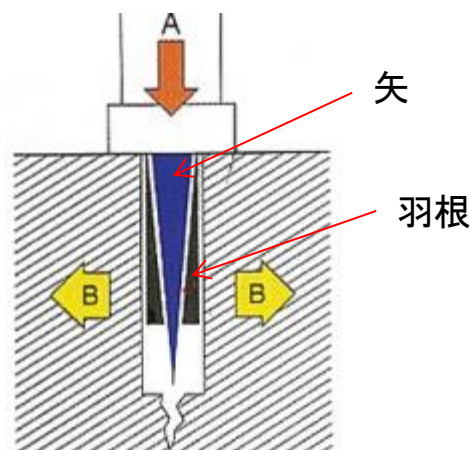


図 2.5-65 標準パッカーの破壊原理[19]

標準パッカーの羽根の断面形状は図 2.5-66 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することが可能である。



図 2.5-66 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、破片が飛び散るなどの危険がなく、目視でひび割れを確認しながら作業を行うことができる。また、矢の上下動を図 2.5-68 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、ひび割れが広がるのを抑制することができる。

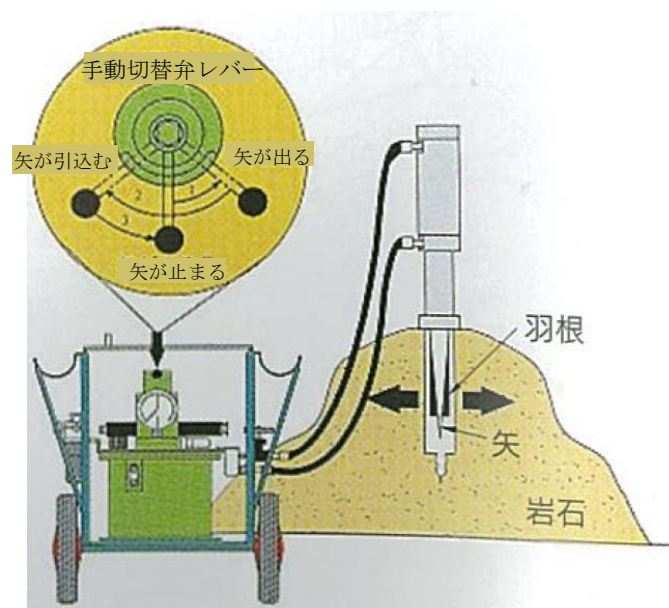


図 2.5-67 標準パッカーによるひび割れ誘発イメージ[19]



図 2.5-68 標準パッカー制御用リモコン



## 2) 試験の概要

120cm×120cm×60cm、圧縮強度 70N/mm<sup>2</sup> の無筋コンクリート試験体 2 体と 120cm×120cm×70cm、圧縮強度 70N/mm<sup>2</sup> の鉄筋コンクリート試験体 1 体を対象に、ひび割れ誘発試験を実施した。削岩機を用いて、φ40mm、深さ 60cm 程度の穴を削孔した後、孔内に標準パッカーを挿入、拡張させて、試験体にひび割れを誘発した。

試験体の鉄筋の組立状況を図 2.5-69 に、配筋図を図 2.5-70 に示す。試験体の鉄筋の種類と間隔は手前コンクリートピットを参考として決定しており、上面、底面は D29 と D25 がそれぞれ 150mm ピッチで配置され、交差している。せん断補強筋には、D16 のヘッドバーが設置されている。



図 2.5-69 鉄筋の組立状況

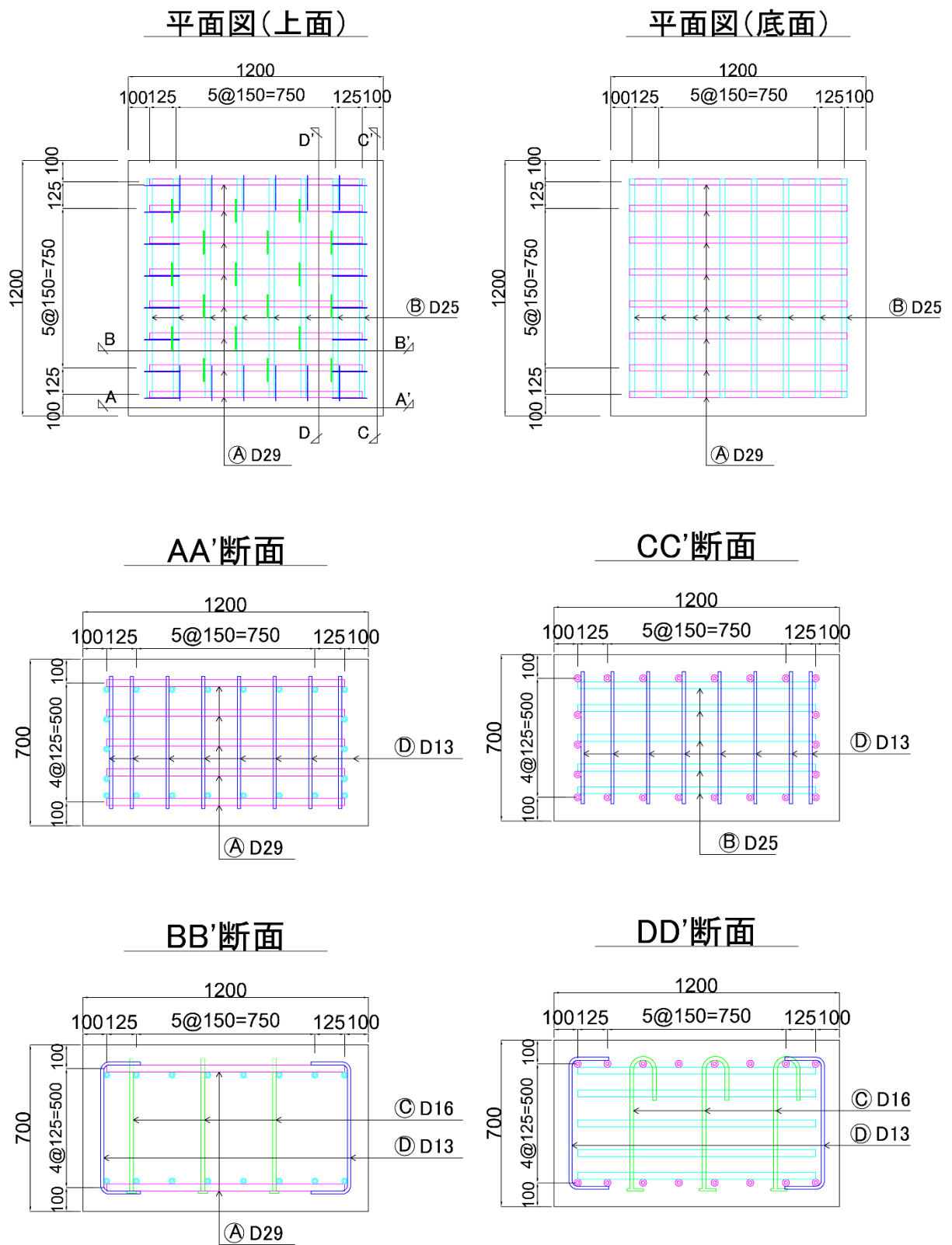


図 2.5-70 鉄筋コンクリート試験体配筋図

コンクリート打設後の試験体を図 2.5-71 に示す。



図 2.5-71 鉄筋コンクリート試験体

無筋コンクリート試験体のうち 1 体は、30cm ピッチで格子状に光ファイバセンサーを試験体に貼りつけた状態で試験を実施している。

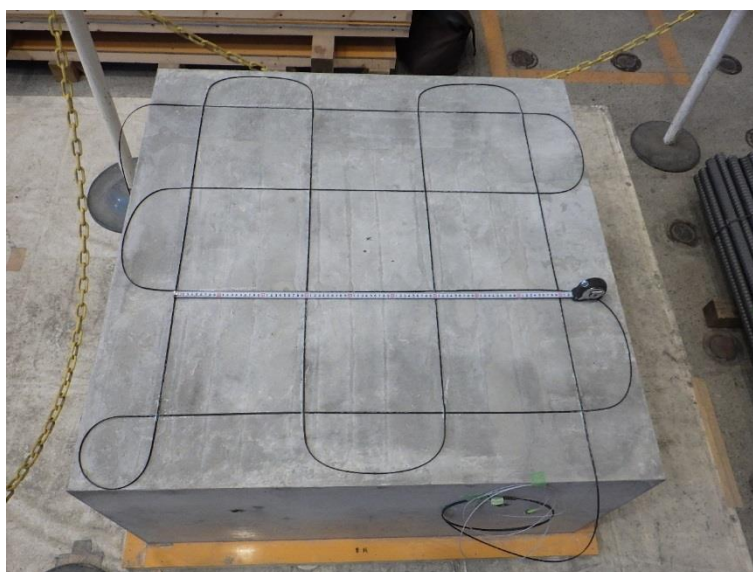


図 2.5-72 無筋コンクリート試験体光ファイバセンサー設置状況

### 3) 施工の概要

#### a. 鉄筋の探査

削岩機で削孔する位置は、鉄筋に干渉しない位置にする必要がある。本試験では、鉄筋探査機(電磁誘導式)で事前に鉄筋の位置を確認した上で、穴を削孔する位置を決定した。

図 2.5-73 に鉄筋探査機(電磁誘導式)を用いた鉄筋探査状況を示す。計測には、株式会社計測技術サービスの「鉄筋探査機プロフォメーター5+」を用いた。本機器は電磁誘導の原理を用いて鉄筋の径やかぶりを計測することが可能である。鉄筋探査機のプローブを探査対象とする鉄筋に対して垂直に移動させると、その鉄筋までのかぶりの値(直線距離)が表示板に示される。その値が最小となる時、プローブの直下に鉄筋があると判断できる。なお、本試験では事前に鉄筋の配置位置を型枠に記録しておき、鉄筋探査機で探知された鉄筋の位置と、実際の配置位置が概ね一致することを確認している。

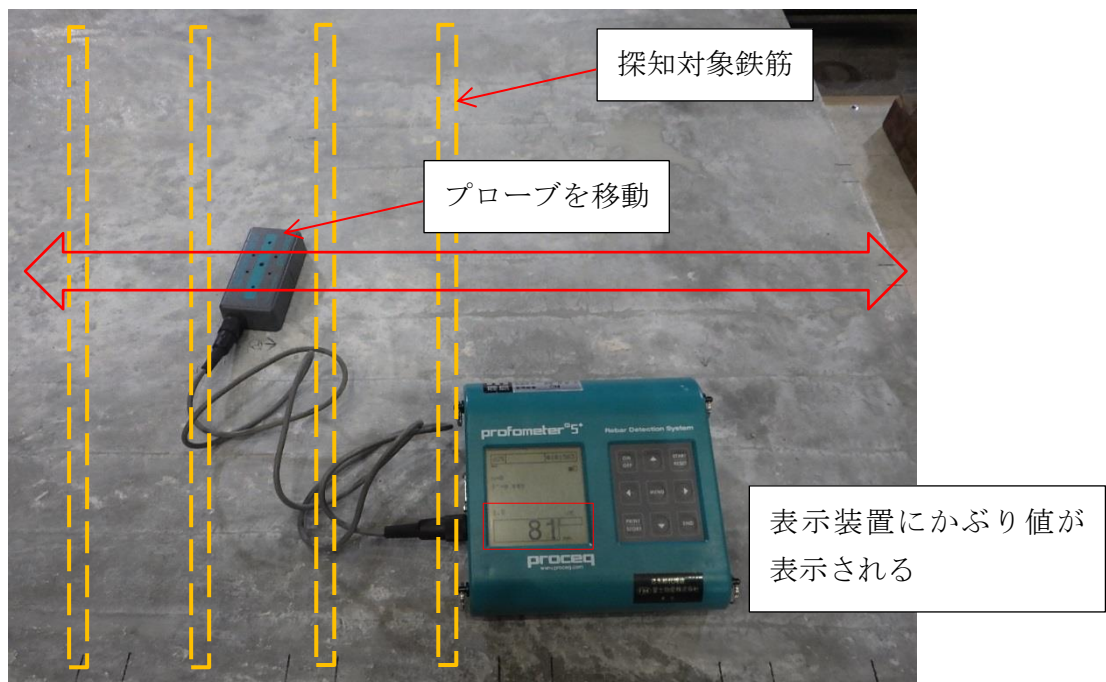


図 2.5-73 鉄筋探査機(電磁誘導式)による鉄筋探知状況



b. 削岩機による削孔

φ40mm のビットを装着した削岩機により、試験体を削孔した。削岩機はコンプレッサーから動力を得て、ビットを回転させながら振動を与えることで、コンクリートを削っていく。使用したビットを図 2.5-74 に、作業状況を図 2.5-75 に示す。削岩の際は粉じんが生じるため、集塵機で粉じんを回収しながら作業を行っている。

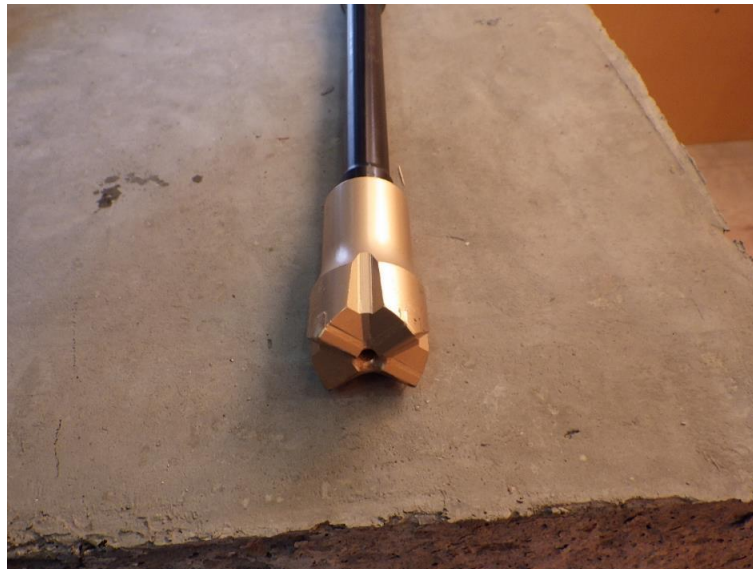


図 2.5-74 削岩機のビット

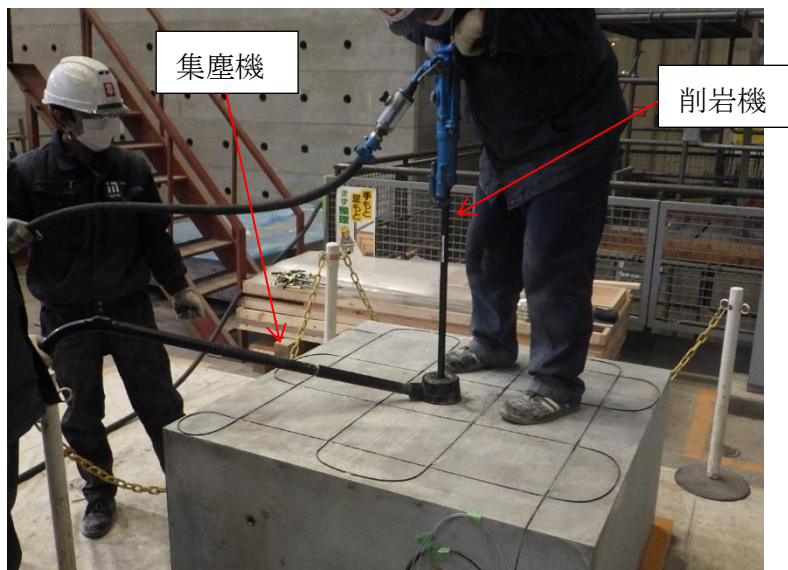


図 2.5-75 削岩機による削孔作業状況

削孔後の仕上がりを図 2.5-76 示す。削孔の開始直後は削孔位置が定まりづらいため、削孔位置の周囲のコンクリート表面や光ファイバセンサーを傷つける恐れがある。本試験では、直径 70mm 程度に収まっているため光ファイバセンサーを損傷することはなかったが、本試験では治具などを用意して、先端が暴れないような対策を取る必要がある。



図 2.5-76 削岩機による削孔仕上がり状況

c. 標準パッカーを用いたひび割れ誘発

削孔した穴に標準パッカーを設置し、ひび割れを誘発した。

使用した標準パッカーを図 2.5-77 から図 2.5-78 に示す。標準パッカーの羽根の長さは 40cm、矢は羽根の先端から 20cm 先まで伸びる。矢が伸びるにつれて、羽根は拡張していく。

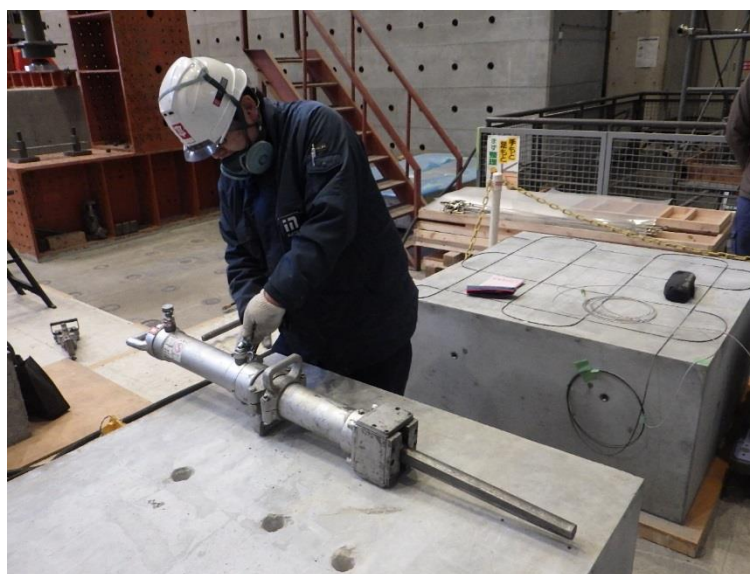


図 2.5-77 標準パッカー

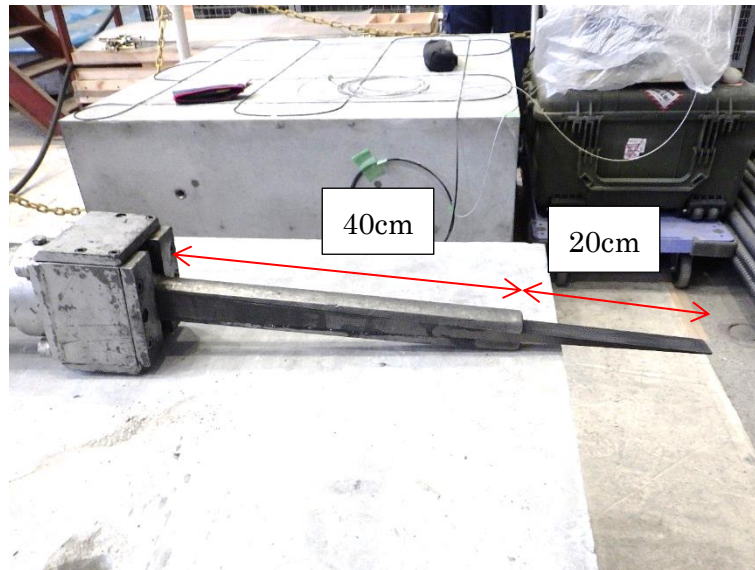


図 2.5-78 削岩機による削孔仕上がり状況

標準パッカーの動力は、図 2.5-79 に示す油圧ポンプによって与える。油圧ポンプには、圧力計や、インバーター、標準パッカーの矢の伸展制御用リモコンが装備されている。

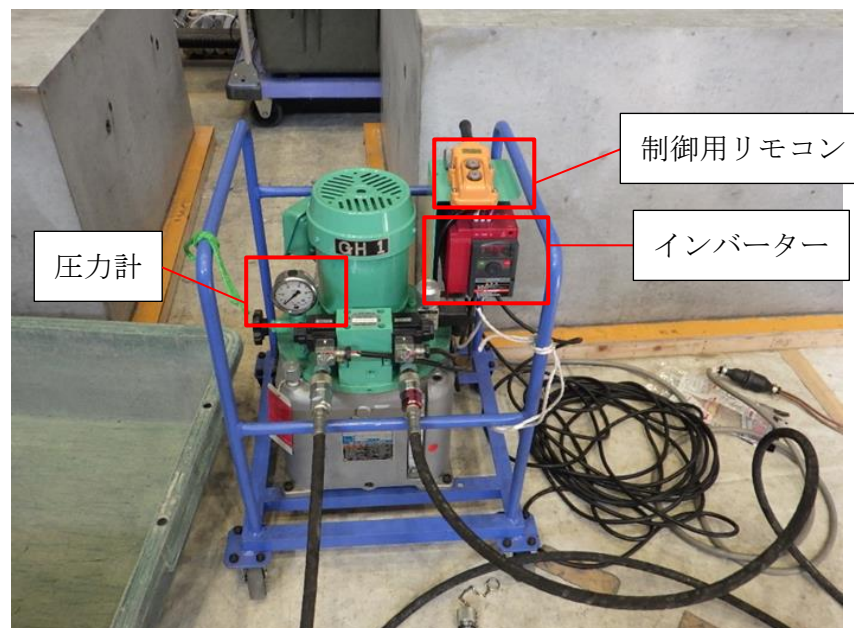


図 2.5-79 油圧ポンプ

本試験で使用した圧力ポンプは、最大圧力 85MPa に設計されており、これ以上の圧力がかからないように制御されている。圧力計を図 2.5-80 に示す。板ジャッキ工法の水圧ポンプと同様、ひび割れが発生すると圧力が解放されて指示値が急激に低下する。





図 2.5-80 圧力計

インバーターを図 2.5-81 に示す。インバーターの周波数を調整することで、矢の伸展の速度を決定できる。本試験ではひび割れ幅を高い精度で制御することを目的としているため、周波数は最小値に設定し、試験を実施した。なお、周波数の大小によって、矢の伸展の速度は変わるものの、試験体に加わる力は同一である。



図 2.5-81 インバーター

標準パッカーの施工状況を図 2.5-82 に示す。リモコンにより矢を伸展させていき、目視および圧力計の指示値を確認することで、ひび割れの発生状況を確認した。

油圧ポンプは1台で3台の標準パッカーを使用することができる。このとき、リモコン操作によって操作される矢の挙動は、3台のパッカーで同一である。

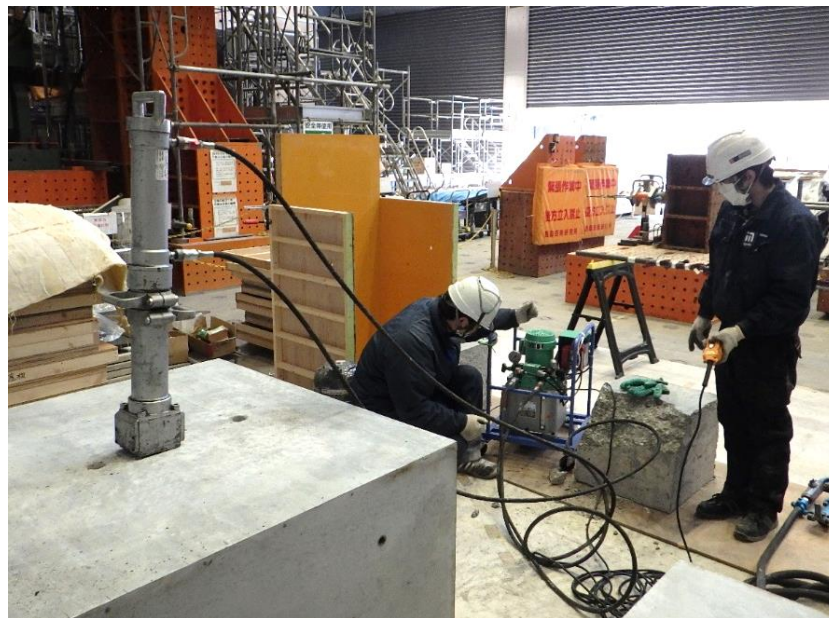


図 2.5-82 標準パッカーの施工状況

#### 4) 試験結果

##### a. 無筋コンクリート試験体

無筋コンクリート試験体 2 体はいずれも、試験体の中央部に  $\phi 40\text{mm}$  深さ 60cm 程度の穴を削孔し、削孔穴に標準パッカーを挿入した。削孔後の試験体の状況を図 2.5-83 に、標準パッカーの設置状況を図 2.5-84 に示す。

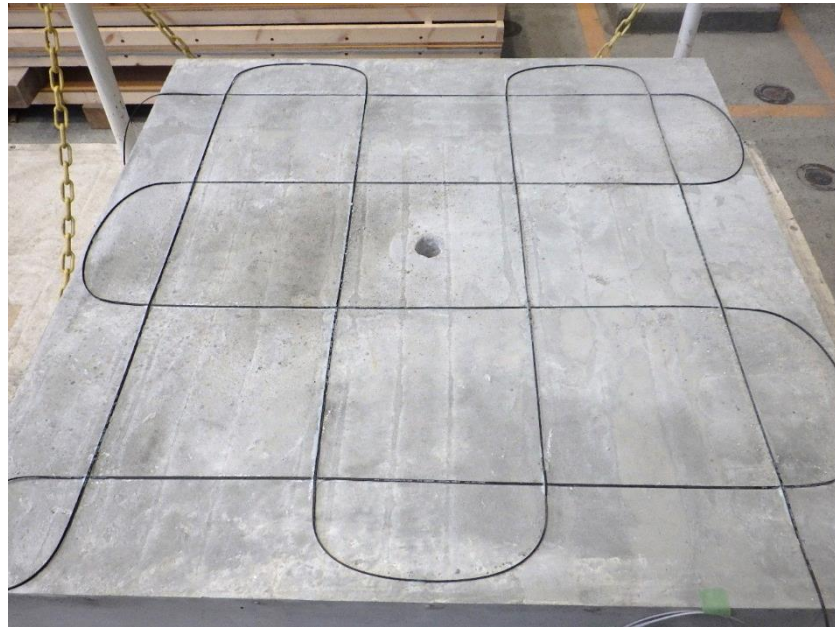


図 2.5-83 削孔後の試験体

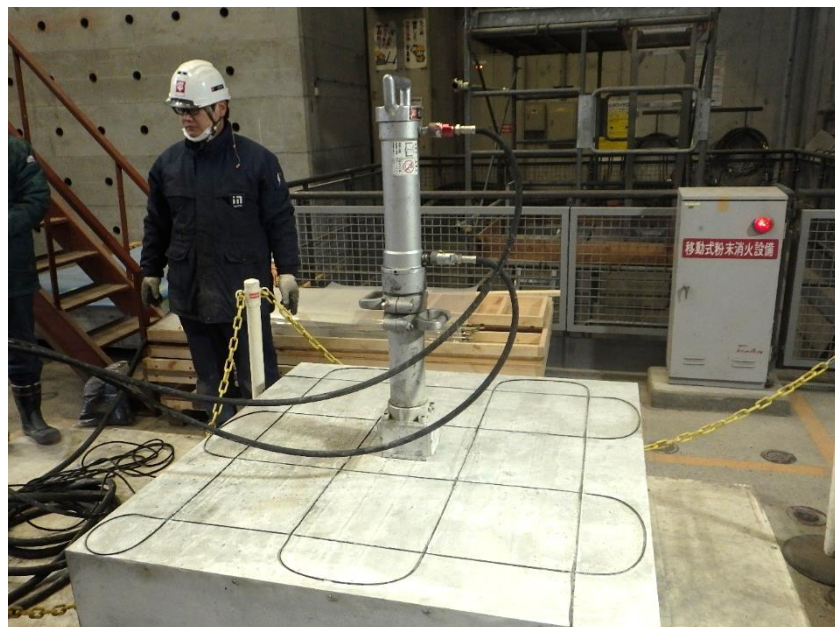


図 2.5-84 標準パッカー設置状況



光ファイバセンサーが設置されていないケースでは、矢を進展させていくと 40MPa で 0.1mm 程度のひび割れが発生した。このとき、試験体に入ったひび割れは貫通していない。さらに矢を進展させると、ひび割れは一気に貫通し、ひび割れ幅は 2mm 以上まで拡大した。



図 2.5-85 無筋コンクリート（光ファイバセンサー無し）ひび割れ発生状況

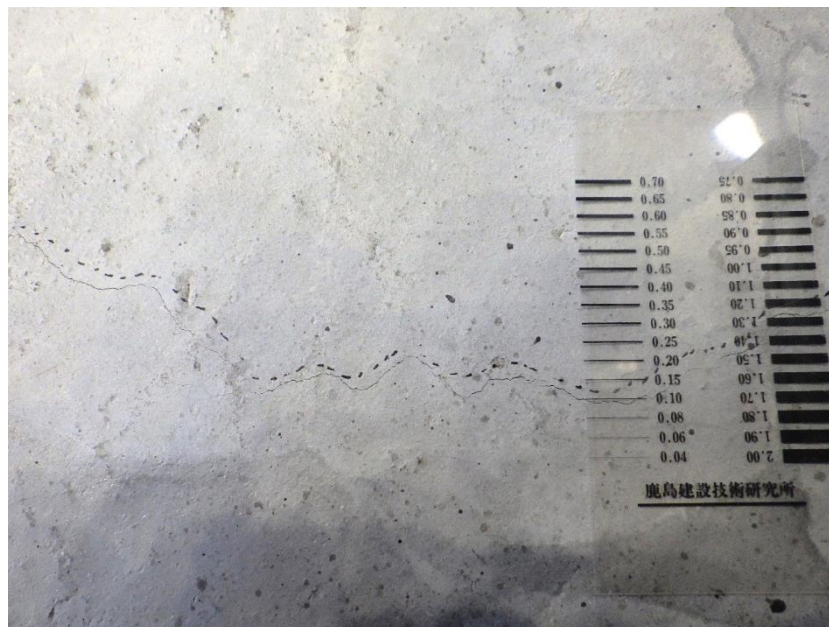


図 2.5-86 ひび割れ発生状況（0.1mm 程度）

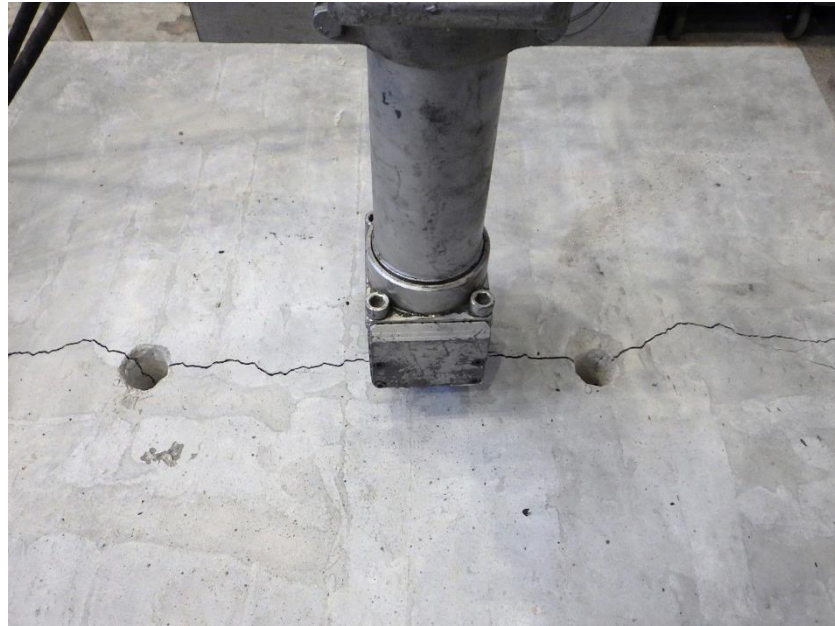


図 2.5-87 ひび割れ発生状況 (2mm 以上)

光ファイバセンサーが設置されているケースでも、0.1mm 程度と思われるひび割れが確認できたため、矢の伸展を停止した。しかし、停止直後にひび割れの幅が 0.3mm～0.5mm 程度まで急激に拡大した。矢の伸展は停止したものの、試験体に圧力が加わった状態となっていたために、ひび割れ幅が拡大したものと考えられる。なお、このときひび割れは貫通していない。

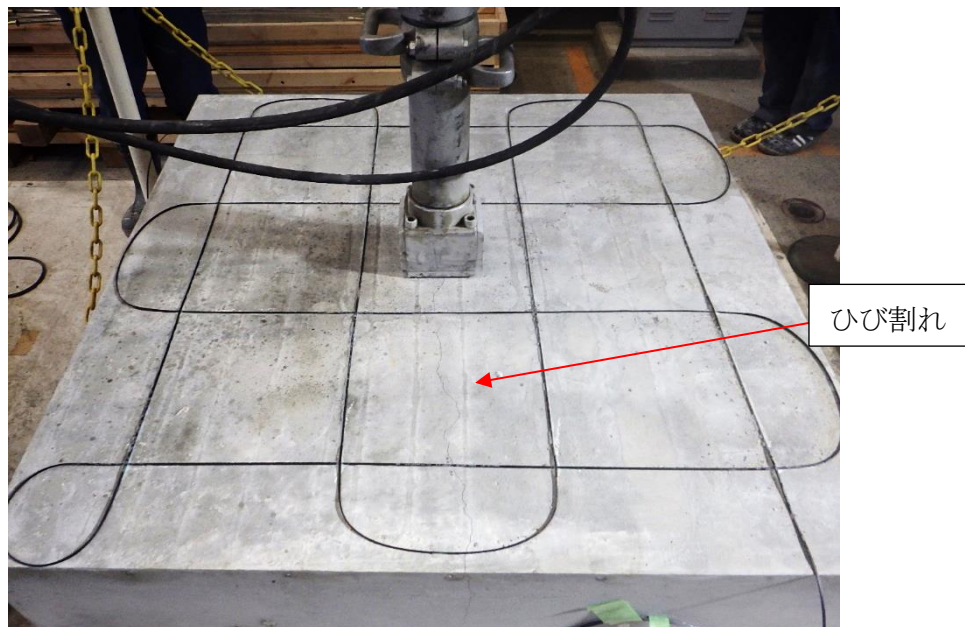


図 2.5-88 無筋コンクリート (光ファイバセンサー設置) ひび割れ発生状況



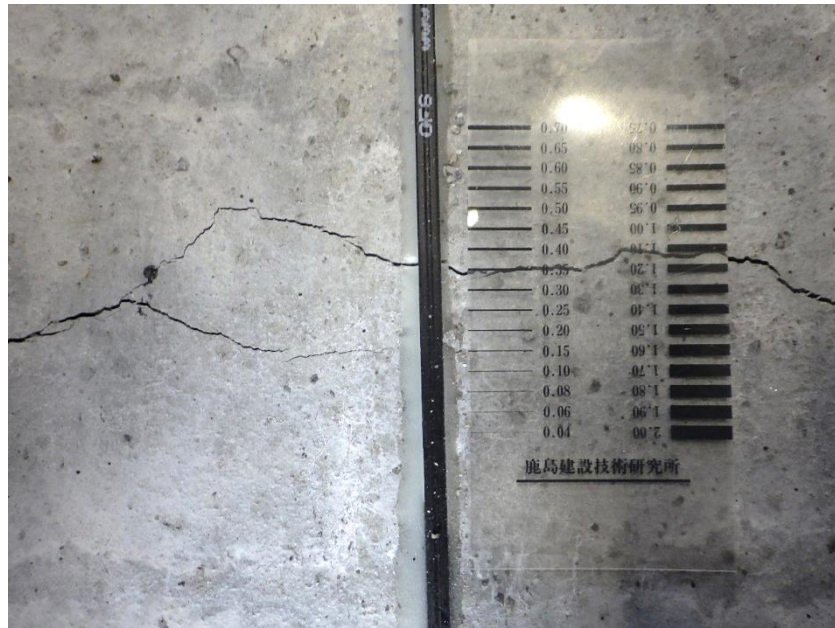


図 2.5-89 ひび割れ発生状況 (0.35mm)



図 2.5-90 ひび割れ発生状況 (0.3mm~0.4mm 程度)

さらに矢を進展させて、ひび割れ幅を 2mm 程度まで拡大させた。この間、ひび割れ幅が徐々に広がっていく様子は、目視で十分に確認することができた。このとき、ひび割れは試験体を貫通した。



図 2.5-91 ひび割れ発生状況 (2mm 以上)

b. 鉄筋コンクリート試験体

鉄筋コンクリート試験体は、試験体の中央部（①の箇所）と中央から 30cm 離れた箇所を削孔し、標準パッカーによりひび割れを発生させた。まず、試験体中央部（①）のみに標準パッカーを設置し、ひび割れを発生し、次に 30cm 離れた②の箇所に標準パッカーを移設し、ひび割れ幅を拡大させた。最後に①と②、2 箇所同時に標準パッカーにより拡張する力を与え、ひび割れ幅を拡大させた。

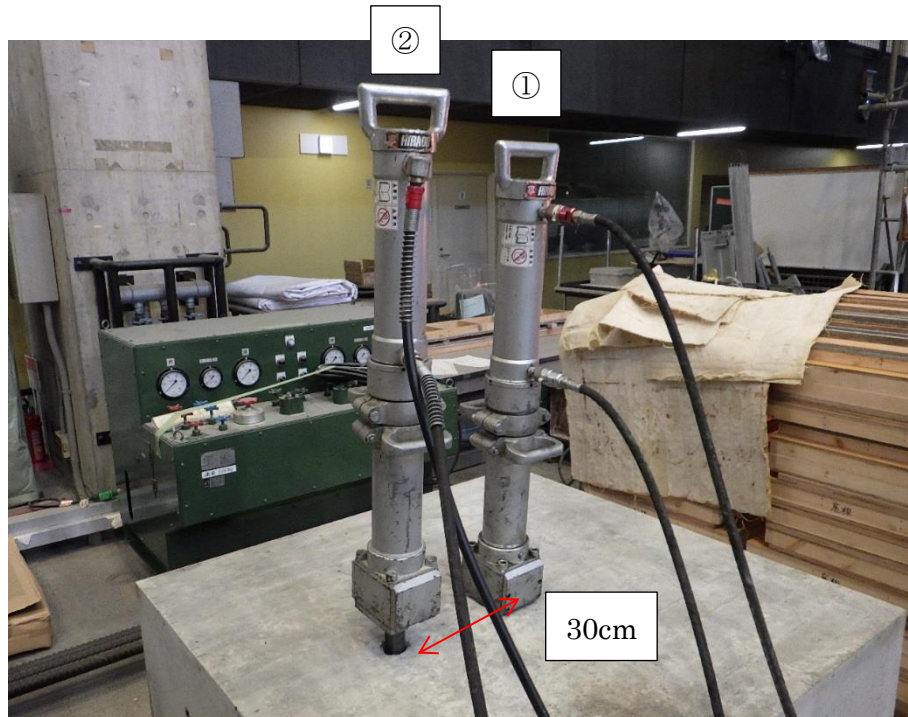


図 2.5-92 鉄筋コンクリート試験体試験状況



試験体中央部 (①) に標準パッカーを設置し、拡張させた。このとき、35MPa で 0.1mm 程度のひび割れが生じ、60MPa で最大 0.15mm 程度までひび割れ幅は拡大した。

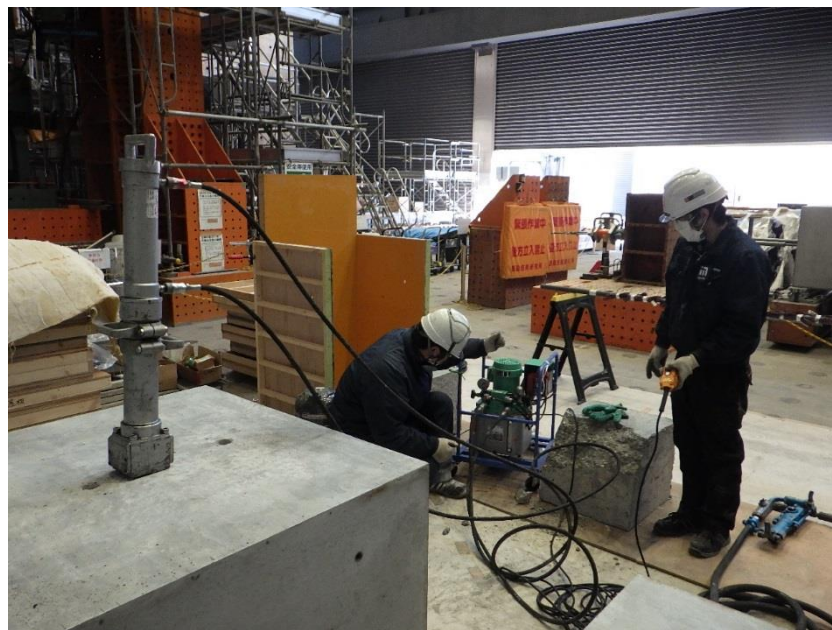


図 2.5-93 鉄筋コンクリート試験体試験状況



図 2.5-94 鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況 (①拡張後 1/2)

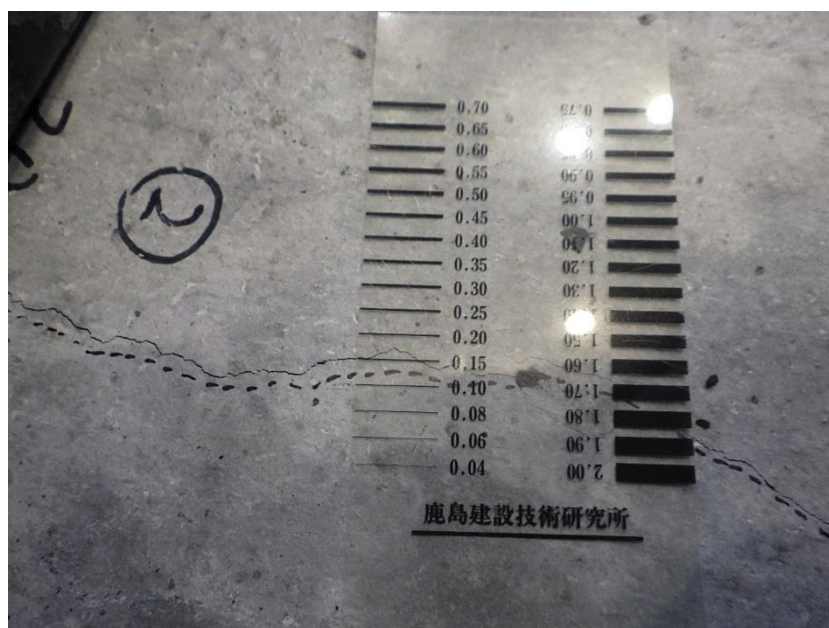


図 2.5-95 鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況 (①拡張後 2/2)

次に中心から 30cm 離れた箇所に標準パッカーを移設し、拡張させた。このとき、①～②間のひび割れは 0.2mm 程度まで拡大した。

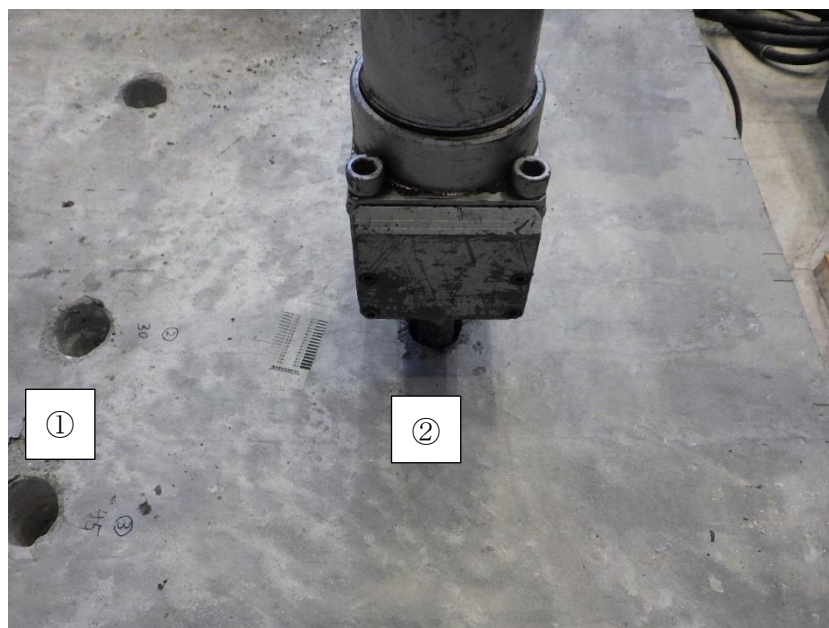


図 2.5-96 鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況 (②拡張後 1/2)

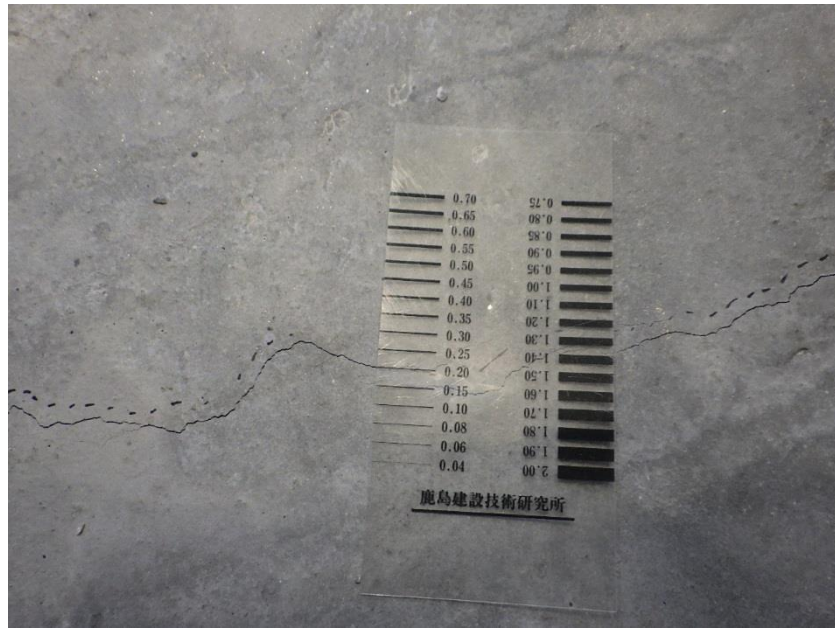


図 2.5-97 鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況 (②拡張後 2/2)

最後に、①と②の2箇所にパッカーを設置し、同時に拡張する力を与えた。図 2.5-98 から図 2.5-100 に、①と②に同時にパッカーにより拡張する力を与えたあとの状況を示す。①~②間のひび割れは0.35mm程度、最大で0.6mmまで拡大した。このとき、ひび割れは試験体を貫通していない。

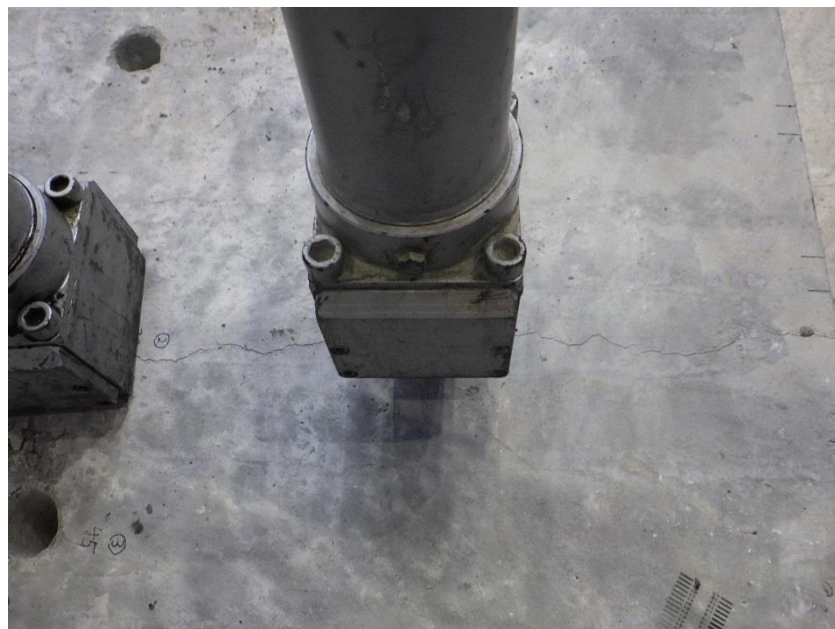


図 2.5-98 鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況 (①・②同時拡張後 1/3)



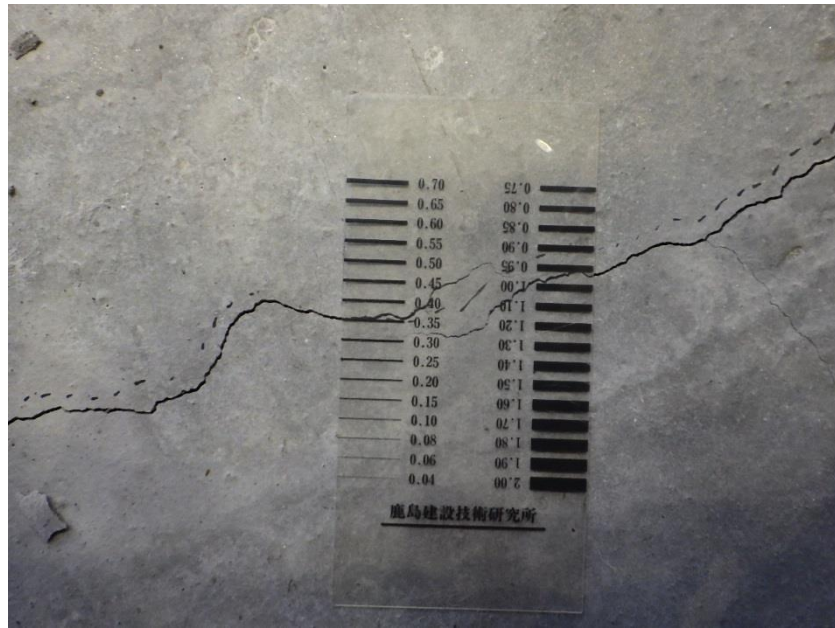


図 2.5-99 鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況 (①・②同時拡張後 2/3)

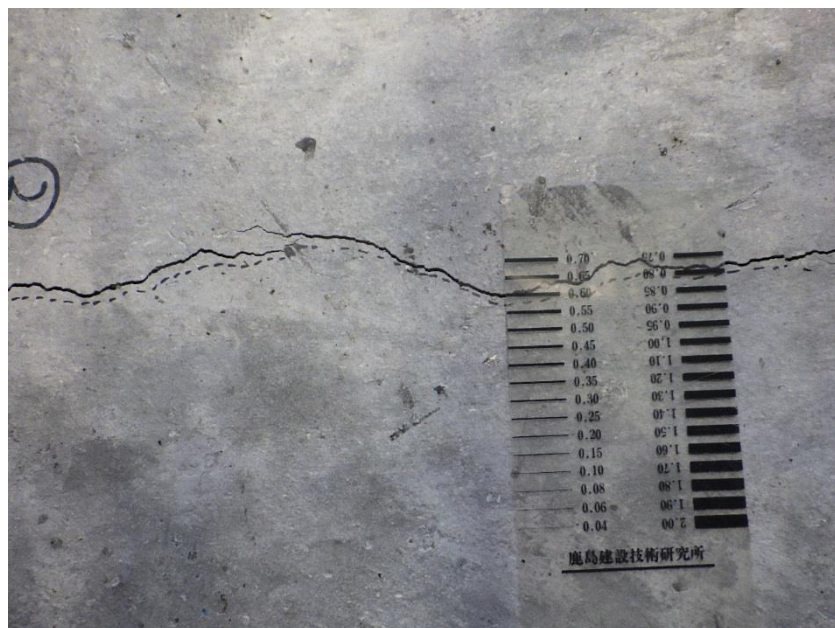


図 2.5-100 鉄筋コンクリート試験体ひび割れ発生状況 (①・②同時拡張後 3/3)

#### 5) 本試験で得られた知見

標準パッカーを用いたひび割れ誘発手法は、ひび割れの発生状況を目視で確認しながらリモコンによる力の制御を行うことで、意図した方向に 0.6mm 程度までのひび割れを段階的に発生させることができた。

但し、無筋コンクリート試験体はひび割れが一気に拡大しやすいため、目視確認によってひび割れ幅を制御しながら、段階的に拡大させることが困難なケースがあった。実規模施設を用いた試験の際には、ひずみゲージや $\epsilon$ ゲージによりひび割れ幅をリアルタイムで計測しながら、標準パッカーによる力の制御を行う必要があると考えられる。



## (5) 要素実験のまとめ

実規模施設を利用したひび割れ計測試験において必要となる、人為的にひび割れを誘発する手法について、要素実験を実施した。表 2.5-2 に各手法の検討結果をまとめ、以下に実規模施設を利用したひび割れ計測試験への適用性を示す。

### 1) 静的破砕剤

静的破砕剤を用いたひび割れ誘発手法は、充填した静的破砕剤の膨張力によってひび割れを誘発するため、ひび割れの発生する位置や、ひび割れ幅を高い精度で予測することは困難である。また、一度発生させたひび割れを、さらに拡大させることができない。

充填箇所の孔口のコンクリート片が剥離する現象が観察されたように、実規模施設を用いたひび割れ計測試験では、光ファイバセンサーに損傷を与える懸念もある。

以上のように、ひび割れ制御性と、光ファイバセンサーに損傷を与える懸念があることから、実規模施設を用いたひび割れ計測試験に適用することは困難であると考えられる。

### 2) セリ矢

セリ矢を用いたひび割れ誘発手法は、人の手（電動セリ矢の場合はハンマードリル）により打撃を加える手法のため、力の制御が容易であることに加え、挿入するセリ矢の向きによって、ひび割れを誘発する方向も自由に設定できる。ひび割れの制御性が非常に高い手法として、実規模施設を用いたひび割れ計測試験に適用可能な手法であると考えられる。また、必要な機材はハンマードリルのみであり、作業性が高い手法である。但し、セリ矢で与えられる力は大きくないため、実規模施設のような寸法や、隣接部材の拘束が大きい部材には、目標とするひび割れ幅のひびを入れられないことが懸念される。

### 3) 板ジャッキ工法


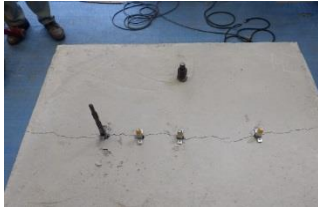


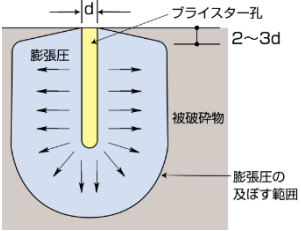
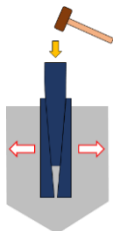
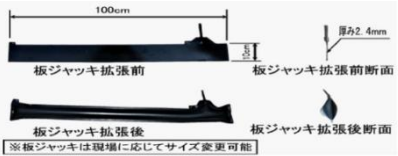
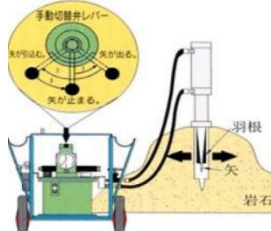
板ジャッキを用いたひび割れ誘発手法は、板ジャッキを加圧した際に板ジャッキが破裂し、水やホースが飛散することが懸念される。加圧中に板ジャッキに近づくことが危険なため、ひび割れを目視で確認しながら施工を実施することができず、ひび割れ幅を制御して作業を行うことが困難である。

安全性やひび割れの制御性の観点から、実規模施設を用いたひび割れ計測試験に適用することは難しいと考えられる。

### 4) 標準パッカー

標準パッカーを用いたひび割れ誘発手法は、リモコンで力を制御できることに加え、挿入する向きを調整することで、意図した方向にひび割れを発生させることが可能である。ひび割れ制御性の高い手法として、実規模施設を用いたひび割れ計測試験に適用可能な手法であると考えられる。特に、セリ矢に比較して与えられる力が大きいことから、実規模施設のような部材のサイズが大きい構造物が対象であっても、ひび割れを誘発できる可能性が高い手法であると考えられる。

表 2.5-2 予備試験を実施したひび割れ誘発手法のまとめ

	静的破砕剤	セリ矢	板ジャッキ	標準パッカー
イメージ				
原理				
最大加圧力	60MPa 削孔径により異なる。	-	30MPa 板ジャッキのサイズにより異なる	85MPa パッカーサイズにより異なる
ひび割れ誘発可能性	△ 試験体の鉄筋量が多いこともあり、ひび割れは部分的に発生した。	○ 拘束が大きい条件でのひび割れ誘発に不安が残る。	△ 過大なひび割れを生じさせる恐れがある。	◎ 鉄筋コンクリート試験体でもひび割れを誘発可能である。
制御性	× 破砕剤の膨張作用により、ひび割れを誘発するため、ひび割れ誘発位置や幅を高い精度で制御することは困難である。またひび割れ幅を段階的に制御して拡大することができない。	◎ 目視でひび割れ幅を確認しながら作業することが可能である。ひび割れを発生させる方向も制御可能である。	× 安全上の理由から、ひび割れ幅を目視確認しながら作業を実施することができない。	◎ 目視でひび割れ幅を確認しながら、リモコンにより力の制御が可能である。ひび割れ発生方向も制御可能である。
安全性	△ 静的破砕剤充填後の養生が必要である。	◎ ハンマードリル以外に、電動工具は使用しない手法である。	△ 板ジャッキが破裂する懸念がある。	○ 油圧力のため、破片の飛散などの危険はない。
必要機材	削岩機、静的破砕剤	ハンマードリル、ハンマー、セリ矢	板ジャッキ、チェーンソウユニット、ポンプユニット	削岩機、パッカー、油圧ポンプユニット、コンプレッサー
作業性	◎ 手持ちの機械のみで施工が可能である。	◎ 手持ちの機械のみで施工が可能である。	× 切断作業の機材が大がかりである。	○ 削岩機、パッカーは手持ちで扱うことが可能である。
総合評価	×	○	×	◎

## 2.5.5 本検討のまとめ

本検討では、平成 30 年度に実施することが計画されている、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で必要となる人為的なひび割れ誘発手法の検討を実施した。

現行のひび割れ誘発に関する技術調査を実施して、(1) 静的破砕剤、(2) セリ矢、(3) 板ジャッキ、(4) 標準パッカー、以上の 4 つを用いたひび割れ誘発手法に着目して、要素試験を実施し、実規模施設を利用したひび割れ計測試験への適用可能性を評価した。

その結果、主にひび割れ制御性の観点から、セリ矢および標準パッカーを使用したひび割れ誘発手法が、適用可能な手法と考えられた。

但し、セリ矢を用いたひび割れ誘発手法は、ひび割れ制御性に優れ、作業性も非常に高い手法である一方で、実規模施設のような部材寸法が大きく、隣接部材の強い拘束を受ける部材には、意図した幅のひび割れを入れられない可能性がある。この点を考慮すると、作業性はセリ矢に劣るものの、構造物に与えられる力がセリ矢より大きく、比較的大きなひび割れまで誘発できる可能性が高い標準パッカーを使用することが適していると考えられる。

以上より、平成 30 年度に実施することが計画されている、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で適用可能なひび割れ誘発手法として、標準パッカーを選定した。今後、事前試験で適用性を確認し、実規模施設を利用した試験を実施する予定である。

## 2.6 既設の計測機器類のデータ活用方法の検討

### 2.6.1 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および確認試験では、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）および周辺岩盤中に計測機器を設置し、施工時およ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、現状の稼働状況およ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2.6-1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2.6-2に示す。なお、以降の整理における計測機器の情報は、平成29年（2017年）9月11日現在のものとした。

表 2.6-1 計測機器の現状の整理項目

整理項目	内 容	備 考
計器情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>設置部材・部位</li> <li>計器種別</li> <li>設置位置（計測断面、界面の部材等）</li> <li>計測方向</li> <li>計測開始日</li> </ul>	
正常異常判定	<ul style="list-style-type: none"> <li>判定結果</li> <li>異常計器の判定根拠および確認日</li> </ul>	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 <ul style="list-style-type: none"> <li>点検異常 →抵抗値が10MΩ以下または出力特性に異常</li> </ul> (2) その他の計測機器 <ul style="list-style-type: none"> <li>点検異常 →抵抗値が50MΩ以下またはばらつきが±5μ以上</li> </ul> (3) 全計器共通 <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>設置数量</li> <li>正常計器数量</li> <li>正常計器の割合</li> <li>稼働実績</li> </ul>	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測項目</li> <li>計測単位</li> <li>現在の計測値</li> <li>計測範囲</li> <li>計測範囲までの余裕値</li> </ul>	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>精度</li> <li>分解能</li> </ul>	

表 2.6-2 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 2.6-3	図 2.6-1	図 2.6-3
周辺岩盤	—		表 2.6-4～表 2.6-5	図 2.6-2	
埋戻し材	底部		表 2.6-6	図 2.6-4	図 2.6-8
	側部		表 2.6-7～表 2.6-8	図 2.6-5	
	奥部	表 2.6-9	図 2.6-6		
上部	H26	表 2.6-10	図 2.6-7		
低透水層	底部	H20	表 2.6-11	図 2.6-9	図 2.6-12
	側部	H22	表 2.6-12	図 2.6-10	
	上部	H25	表 2.6-13	図 2.6-11	
低拡散層	底部	H20	表 2.6-14	図 2.6-13	図 2.6-16
	側部	H21	表 2.6-15	図 2.6-14	
	上部	H24	表 2.6-16	図 2.6-15	
コンクリート ピット	底部	H20	表 2.6-17	図 2.6-17	図 2.6-21
	側部		表 2.6-18～表 2.6-19	図 2.6-18	
	手前部	H21	表 2.6-20	図 2.6-19	
	上部	H24	表 2.6-21	図 2.6-20	
充てん材	区画内	H22	表 2.6-22	図 2.6-22	図 2.6-23
	上部				

各部材における正常計器の割合が低いものでは、図 2.6-2 に示すように岩盤内の間隙水圧計が 39% (12 台/31 台)、図 2.6-9 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 2.6-3 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。

岩盤内の間隙水圧計は、センサー受圧面部分が地下水と接しており、センサーおよびセンサーとケーブルの接続部も湿気が多い試験空洞内に設置され過酷な環境に設置されており、センサーの絶縁異常や出力異常、センサーとケーブルの接続部の絶縁異常などが発生している。次に故障の多い底部低透水層の水分計は、保護カバー付きでベントナイト中に設置されている。底部低透水層の間隙水圧計は、底部埋め戻し材中の箱抜きの中に設置後モルタル充填され、受圧面は埋め戻された砂に接している。底部低透水層の間隙水圧計 4 台のうち 1 台は、設置後 1 年程度で故障しており、その後経年での故障数は増えていない。そのほかの計測器は、セメント系バリア材中に設置されたり、モルタルで養生されたりしており、これらの故障は非常に少ない。

全体では正常計器の割合は 95% (596 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。

表 2.6-3 坑内環境の計測機器の現状一覧

(2017/9/11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	稼働実績期間(年)	交換実績 <sup>1)</sup>	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												
温度計	空洞内百葉箱	2007/9/28	○			1	1	100%	10.0	2016年	温度	°C	15.9	80	64.1	±0.5	0.1
湿度計			○							2016年	湿度	%	87.3	95	7.7	±3	0.1

1) 外的要因により、計器が損傷し交換した。

表 2.6-4 周辺岩盤内の岩盤変位計の現状一覧

(2017/9/11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
	計測坑	深度					理由	確認日											
岩盤変位計	試験施設直下	20m	鉛直	RD ③12 06	2007/9/28	○			6	6	100%	10.0	変位	mm	-0.3	100	100.30	±0.5	0.025
		5.5m		RD ③12 05		○						10.0			0.32		99.68		
		3.5m		RD ③12 04		○						10.0			0.42		99.58		
		2.0m		RD ③12 03		○						10.0			0.57		99.43		
		1.0m		RD ③12 02		○						10.0			0.79		99.21		
		0.5m		RD ③12 01		○						10.0			1.03		98.97		

表 2.6-5 周辺岩盤内の間隙水圧計の現状一覧

(2017/9/11現在)

計器種別	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															
	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 <sup>2)</sup> 期間(年)	交換実績 <sup>3)</sup>	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 <sup>1)</sup>																					
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	12	39%	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		○						10.0	2010年				0.03	0.97											
	試験施設上側	10.0-12.5m		水圧B-1		○						10.0												bar	3	0.34	2.66	±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		○						10.0	2012年			-	-												
		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		○						10.0				-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								MPa	1	-			-	±0.001			0.0000625
		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		○						10.0			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		○						10.0			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		○						10.0			0.15	0.85													
		15.0-19.0m		水圧D-8		○						10.0	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		○						10.0			0.06	0.94													
		2.5-3.0m		水圧E-3		○						10.0			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		○						10.0			0.16	0.84													
		11.5-14.0m		水圧E-7		○						10.0			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 2.6-6 底部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値					その他			
			設置位置						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%	10.0	ひずみ	μ	±5000	104	4896	±50	1	
							U-H-2-U-V		○										101	4899			
							U-H-3-U-V		○										173	4827			
							U-H-4-U-V		○										10.0	-2			4998
							U-H-5-U-V		○										10.0	157			4843
							U-H-1-U-C		○										10.0	89			4911
				U-H-2-U-C	○				10.0	107	4893												
				U-H-3-U-C	○				10.0	49	4951												
				U-H-4-U-C	○				10.0	191	4809												
				U-H-5-U-C	○				10.0	80	4920												
				U-H-1-M-V	○				10.0	99	4901												
				U-H-2-M-V	○				10.0	140	4860												
			U-H-3-M-V	○			10.0		108	4892													
			U-H-4-M-V	○			10.0		111	4889													
			U-H-5-M-V	○			10.0		119	4881													
			U-H-1-M-C	○			10.0		111	4889													
			U-H-2-M-C	○			10.0		164	4836													
			U-H-3-M-C	○			10.0		81	4919													
			U-H-4-M-C	○			10.0		175	4825													
			U-H-5-M-C	○			10.0		114	4886													
			U-H-1-L-V	○			10.0		94	4906													
			U-H-2-L-V	○			10.0		135	4865													
			U-H-3-L-V	○			10.0		57	4943													
			U-H-4-L-V	○			10.0		29	4971													
		U-H-5-L-V	○			10.0	36	4964															
		U-H-1-L-C	○			10.0	48	4952															
		U-H-2-L-C	○			10.0	84	4917															
		U-H-3-L-C	○			10.0	35	4966															
		U-H-4-L-C	○			10.0	-20	4980															
		U-H-5-L-C	○			10.0	37	4963															
		有効応力計	A	中央	中央	空洞軸	U-U-1-M-V	○			6	6	100%	10.0	応力	N/mm <sup>2</sup>	10	-0.17	10.2	±0.1	0.06		
							U-U-2-M-V	○										-0.08	10.1				
							U-U-3-M-V	○										-0.62	10.6				
				U-U-1-M-C	○			10.0	10.1														
				U-U-2-M-C	○			10.0	10.5														
				U-U-3-M-C	○			10.0	10.3														
		無応力計	A	中央	中央	-	U-M-1	○			1	1	100%	10.0	自由ひずみ	μ	±5000	603	4397	±50	1		
		鉄筋計	B	中央	内側	空洞軸	U-R-1-U-V	○			12	12	100%	10.0	応力	N/mm <sup>2</sup>	±350	-9.86	340.1	±3.5	0.175		
							U-R-3-U-V	○										10.0	2.18			347.8	
							U-R-5-U-V	○										10.0	-1.24			348.8	
				U-R-2-U-C	○			10.0	-9.82	340.2													
				U-R-3-U-C	○			10.0	-6.05	343.9													
				U-R-4-U-C	○			10.0	-2.98	347.0													
			A	中央	外側	空洞軸	U-R-1-L-V	○										10.0	-1.25			348.8	
							U-R-3-L-V	○										10.0	-5.34			344.7	
							U-R-5-L-V	○										10.0	-2.42			347.6	
				U-R-2-L-C	○			10.0	0.00	350.0													
				U-R-3-L-C	○			10.0	-6.42	343.6													
				U-R-4-L-C	○			10.0	-24.59	325.4													
		温度計	B	中央	内側	-	U-0-1-U	○			15	15	100%	10.0	温度	℃	80	14.9	65.1	±1.0	0.02		
U-0-2-U	○								10.0	14.6								65.4					
U-0-3-U	○								10.0	14.4								65.6					
U-0-4-U	○					10.0	14.8	65.2															
U-0-5-U	○					10.0	14.8	65.2															
U-0-1-M	○					10.0	14.9	65.1															
A	中央		中央	-	U-0-2-M	○			10.0	14.5								65.5					
					U-0-3-M	○			10.0	15.1								64.9					
					U-0-4-M	○			10.0	14.9								65.1					
	U-0-5-M		○			10.0	14.8	65.2															
	U-0-1-L		○			10.0	15.0	65.0															
	U-0-2-L		○			10.0	14.6	65.4															
C	中央	外側	-	U-0-3-L	○			10.0	15.0	65.0													
				U-0-4-L	○			10.0	15.0	65.0													
				U-0-5-L	○			10.0	14.8	65.2													

表 2.6-7 側部埋戻し材の計測機器の現状一覧 (1/2)

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測開始日	判定	正常異常判定		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績 期間 (年)	計測範囲までの余裕値			その他						
			設置位置					計測方向	計器No.					異常計器	理由	確認日	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																		
埋戻し材	側部	ひずみ計	外側	空洞軸	U-H- 6-U-H	2007/10/26	○			60	59	98%	9.9	1		4999	±50	1					
					U-H- 7-U-H		○		9.9				21	4979									
					U-H- 8-U-H		○		9.7				-25	4975									
					U-H- 9-U-H	○		9.7	-132				4868										
					U-H-10-U-H	○		9.9	-50				4950										
					U-H-11-U-H	○		9.9	-32				4968										
					U-H-12-U-H	○		9.7	-39				4961										
					U-H-13-U-H	×	データ異常	2012/11/28	4.9				-	-									
					U-H-14-U-H	○		9.9	-28				4972										
					U-H-15-U-H	○		9.9	-24				4976										
					U-H-16-U-H	○		9.7	49				4951										
					U-H-17-U-H	○		9.7	-40				4960										
					U-H- 6-U-P	2007/10/26	○		9.9				-58	4942									
					U-H- 7-U-P		○		9.9				-66	4934									
					U-H- 8-U-P		○		9.7				-2347	2653									
				U-H- 9-U-P	○		9.7	-332	4668														
				U-H-10-U-P	2007/10/26	○		9.9	-162				4838										
				U-H-11-U-P		○		9.9	-53				4947										
				U-H-12-U-P		○		9.7	-333				4668										
				U-H-13-U-P	2008/1/11	○		9.7	-320				4680										
				U-H-14-U-P		○		9.9	-93				4907										
				U-H-15-U-P		○		9.9	-228				4772										
				U-H-16-U-P	2008/1/11	○		9.7	-767				4233										
				U-H-17-U-P		○		9.7	-650				4350										
				U-H- 8-M-H		○		9.7	-124				4876										
				U-H- 9-M-H	2008/1/11	○		9.7	688				4312										
				U-H-12-M-H		○		9.7	50				4950										
				U-H-13-M-H		○		9.7	-72				4928										
				U-H-16-M-H		○		9.7	4				4996										
				U-H-17-M-H		○		9.7	-112				4888										
			U-H- 8-M-P	○			9.7	-339	4661														
			U-H- 9-M-P	○			9.7	-102	4898														
			U-H-12-M-P	○			9.7	-329	4671														
			U-H-13-M-P	○			9.7	-284	4716														
			U-H-16-M-P	○			9.7	-390	4610														
			U-H-17-M-P	○			9.7	400	4600														
			U-H- 6-L-H	2007/10/26		○		9.9	-131				4869										
			U-H- 7-L-H			○		9.9	-166				4835										
			U-H- 8-L-H			2008/1/11	○		9.7				-67	4933									
			U-H- 9-L-H	○				9.7	-141				4860										
			U-H-10-L-H	2007/10/26	○			9.9	-175				4825										
			U-H-11-L-H		○		9.9	-225	4775														
			U-H-12-L-H		2008/1/11	○		9.7	-128				4872										
			U-H-13-L-H	○			9.7	-126	4874														
			U-H-14-L-H	2007/10/26		○		9.9	-163				4837										
			U-H-15-L-H		○		9.9	-80	4921														
			U-H-16-L-H		2008/1/11	○		9.7	-229				4771										
			U-H-17-L-H	○			9.7	-238	4762														
			U-H- 6-L-P	2007/10/26		○		9.9	-163				4837										
			U-H- 7-L-P		○		9.9	-95	4905														
			U-H- 8-L-P		2008/1/11	○		9.7	-549				4451										
			U-H- 9-L-P	○			9.7	-447	4553														
			U-H-10-L-P	2007/10/26		○		9.9	-368				4632										
			U-H-11-L-P		○		9.9	-156	4845														
			U-H-12-L-P		2008/1/11	○		9.7	-398				4602										
			U-H-13-L-P	○			9.7	-306	4695														
			U-H-14-L-P	2007/10/26		○		9.9	-384				4616										
			U-H-15-L-P		○		9.9	-305	4695														
			U-H-16-L-P		2008/1/11	○		9.7	-237				4763										
			U-H-17-L-P	○			9.7	-1265	3735														

表 2.6-8 側部埋戻し材の計測機器の現状一覧 (2/2)

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定		耐久性		計測範囲までの余裕値				その他															
			設置位置						判定	理由	確認日	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																											
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%	9.9	応力	N/mm <sup>2</sup>	10	-0.89	10.9	±0.1	0.06										
							U-U- 5-M-H		○		9.9								-0.94	10.9												
							U-U- 6-M-H		○		9.7								-0.26	10.3												
				U-U- 7-M-H			○		9.7	9.6	9.6																					
				U-U- 4-M-P			2007/10/26	○		9.9	-2.20								12.2													
				U-U- 5-M-P				○		9.9	9.4								9.4													
			U-U- 6-M-P	○		9.7		11.5	11.5																							
			U-U- 7-M-P	2008/1/11	○		9.7	-0.55	10.6	10.6																						
			無応力計	A	3リフト	中央	-	U-M- 2	2008/1/11	○										2			2	100%	9.7	自由ひずみ	μ	±5000	37	4963	±50	1
								U-M- 3		○									9.7										-51	4949		
								U-R- 6-U-P		○									9.9										-2.95	347.0		
				U-R- 7-U-P	2007/10/26			○		9.9	-1.08								348.9													
		U-R- 8-U-P		○					9.9	0.93	349.1																					
		U-R- 9-U-P		○					9.9	-5.99	344.0																					
		鉄筋計	A	1リフト	外側	鉛直	U-R- 10-U-P	2008/1/11	○			16	16	100%	9.7	応力	N/mm <sup>2</sup>	±350	-8.11	341.9	±3.5	0.175										
							U-R- 11-U-P		○		9.7								-19.54	330.5												
							U-R- 12-U-P		○		9.9								-13.22	336.8												
				U-R- 13-U-P			2007/10/26	○		9.9	-14.61								335.4													
				U-R- 6-L-P				○		9.9	-0.83								349.2													
				U-R- 7-L-P				○		9.9	-22.16								327.8													
			E	1リフト	内側	U-R- 8-L-P	2007/10/26	○			9.9								308.7	308.7												
						U-R- 9-L-P		○		9.9	-41.30								316.5													
						U-R- 10-L-P		○		9.7	-19.81								330.2													
				A		3リフト	U-R- 11-L-P	2008/1/11	○										9.7	-10.04			340.0									
							U-R- 12-L-P		○		9.9								-33.15	316.9												
							U-R- 13-L-P		○		9.9								-28.71	321.3												
			温度計		B	1リフト	外側	U-0- 6-U	2007/10/26	○										30			30	100%	9.9	温度	℃	80	15.2	64.8	±1.0	0.02
								U-0- 7-U		○									9.9										15.1	64.9		
								U-0- 8-U		○									9.7										15.3	64.7		
				U-0- 9-U				2008/1/11	○		9.7								14.9										65.1			
				U-0- 10-U					○		9.9								14.7										65.3			
				U-0- 11-U					○		9.9								14.3										65.7			
		A		3リフト		U-0- 12-U		2008/1/11	○			9.7	15.2	64.8																		
						U-0- 13-U			○		9.7	14.3	65.7																			
						U-0- 14-U			○		9.9	14.6	65.4																			
				F		1リフト		U-0- 15-U	2007/10/26	○			9.9	14.1	65.9																	
								U-0- 16-U		○		9.7	14.6	65.4																		
								U-0- 17-U		○		9.7	13.4	66.6																		
		B			3リフト	U-0- 8-M	2008/1/11	○			9.7	15.4	64.6																			
						U-0- 9-M		○		9.7	15.1	64.9																				
						U-0- 12-M		○		9.7	15.3	64.7																				
				U-0- 13-M		○		9.7	14.2	65.8																						
				U-0- 16-M		○		9.7	14.7	65.3																						
				U-0- 17-M		○		9.7	13.5	66.5																						
				E	1リフト	U-0- 6-L	2007/10/26	○			9.9	15.1	64.9																			
						U-0- 7-L		○		9.9	15.0	65.0																				
						U-0- 8-L		○		9.7	15.6	64.4																				
					E	3リフト	U-0- 9-L	2008/1/11	○			9.7	15.2	64.8																		
							U-0- 10-L		○		9.9	14.8	65.2																			
							U-0- 11-L		○		9.9	14.4	65.6																			
A	3リフト	U-0- 12-L	2008/1/11	○				9.7	15.4	64.6																						
		U-0- 13-L		○			9.7	14.2	65.8																							
		U-0- 14-L		○			9.9	14.6	65.4																							
	F	1リフト	U-0- 15-L	2007/10/26	○			9.9	14.3	65.7																						
			U-0- 16-L		○		9.7	14.7	65.3																							
			U-0- 17-L		○		9.7	14.7	65.3																							

表 2.6-9 奥部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他						
			設置位置							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	外側	空洞横断	M	1リフト	U-H-18-U-H	2007/10/19	○			16	16	100%	9.9	ひずみ	μ	±5000	-196	4804	±50	1			
					L	3リフト	U-H-19-U-H		○		9.9								-209	4791					
					N	1リフト	U-H-20-U-H		○		9.7								-355	4645					
				M	1リフト	U-H-21-U-H	○			9.9	-142								4858						
				L	3リフト	U-H-18-U-P	○			9.9	-423								4578						
				N	1リフト	U-H-19-U-P	○			9.9	-333								4667						
			内側	鉛直	L	3リフト	U-H-20-U-P	○		2007/12/27	○												9.7	-507	4493
					L	3リフト	U-H-21-U-P	○		2007/10/19	○												9.9	-162	4838
					N	1リフト	U-H-18-L-H	○		2007/10/19	○												9.9	-149	4851
				空洞横断	L	3リフト	U-H-19-L-H	○		2007/10/19	○												9.9	-264	4736
					L	3リフト	U-H-20-L-H	○		2007/12/27	○												9.7	-296	4704
					N	1リフト	U-H-21-L-H	○		2007/10/19	○												9.9	-75	4925
		鉛直	M	1リフト	U-H-18-L-P	○		2007/10/19	○			9.9	-256	4744											
			L	3リフト	U-H-19-L-P	○		2007/10/19	○			9.9	-303	4697											
			L	3リフト	U-H-20-L-P	○		2007/12/27	○			9.7	-421	4579											
			L	3リフト	U-H-21-L-P	○		2007/10/19	○			9.9	-251	4749											
			M	1リフト	U-U- 8-M-H	○		2007/10/19	○			9.9	-0.20	10.2											
			N	1リフト	U-U- 9-M-H	○		2007/12/27	○			9.7	-0.55	10.6											
		有効応力計	中央	鉛直	L	3リフト	U-U- 8-M-P	○		2007/10/19	○		9.9	-2.25	12.3										
					L	3リフト	U-U- 9-M-P	○		2007/12/27	○		9.7	-1.09	11.1										
			無応力計	中央	-	L	3リフト	U-U- 4	○		2007/12/27	○		9.7	248	±5000	4752	±50	1						
						M	1リフト	U-R-14-U-P	○		9.9	-16.01	334.0												
		鉄筋計	外側	鉛直	L	3リフト	U-R-15-U-P	○		9.9	-19.02	331.0													
					N	1リフト	U-R-16-U-P	○		2007/10/19	○		9.9	-32.10	317.9										
	M				1リフト	U-R-14-L-P	○		9.9	-40.51	309.5														
	内側		L	3リフト	U-R-15-L-P	○		9.9	-35.50	314.5															
			L	3リフト	U-R-16-L-P	○		9.9	40.21	309.8															
			N	1リフト	U-0-18-U	○		2007/10/19	○		9.9	14.3	65.7												
	温度計	外側	-	L	3リフト	U-0-19-U	○		2007/10/19	○		9.9	14.1	65.9											
				L	3リフト	U-0-20-U	○		2007/12/27	○		9.7	13.4	66.6											
				N	1リフト	U-0-21-U	○		2007/10/19	○		9.9	14.0	66.0											
				M	1リフト	U-0-18-L	○		2007/10/19	○		9.9	14.3	65.7											
				L	3リフト	U-0-19-L	○		2007/10/19	○		9.9	14.2	65.8											
		内側	L	3リフト	U-0-20-L	○		2007/12/27	○		9.7	13.6	66.4												
			L	3リフト	U-0-21-L	○		2007/10/19	○		9.9	14.2	65.8												

2-114

表 2.6-10 上部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他			
			設置位置							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%	3.0	変位	mm	5.1	50	44.9	±0.5	0.025
		温度計	中央	天端付近	-	-	U-0-22		○			1	1	100%	3.0	温度	℃	14.9	80	65	±1	0.02

表 2.6-11 底部低透水層の計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他				
			設置位置						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%	9.6	土圧	kPa	2000	34	1966	±20	1.1	
				L側			B-D-2	2008/2/12	○									9.6	1881			
				A			中央	B-D-3	2008/2/12	○									9.6			1970
			R側	B-D-4			2008/2/12	○		9.6								1933				
			C	中央			B-D-5	2008/2/12	○									9.6	1965			
			L側	B-D-6			2008/7/26	○		9.1								1884				
		A	R側	側部埋戻し材	水平	B-D-7	2008/7/26	○		9.1	1920											
		C	中央			B-D-8	2008/7/26	○		9.1	1994											
		L側	B-W-1			2008/2/26	○		9.5	64												
		B	中央			B-W-2	2008/2/26	○		9.5	70											
		R側	B-W-3			2008/2/26	×	データ異常	2016/4/13	8.1	-											
		L側	B-W-4			2008/2/26	○		9.5	37	63											
		A	中央	底部埋戻し材	-	B-W-5	2008/2/26	×	点検異常	2011/2/27	3.0	-										
		R側	B-W-6			2008/2/26	○		9.5	62												
	L側	B-W-7	2008/2/26			×	データ異常	2012/5/14	4.2	-												
	C	中央	B-W-8			2008/2/26	○		9.5	66												
	R側	B-W-9	2008/3/11			○		9.5	35	66												
	A	L側	B-W-10			2008/8/21	×	データ異常	2010/7/5	1.9	-											
	A	R側	側部埋戻し材	-	B-W-11	2008/8/21	○		9.1	44	56											
	C	中央			B-W-12	2008/8/21	×	データ異常	2009/11/1	1.2	-											
	L側	B-P-1			2008/8/18	○		9.1	2.7	397												
	A	中央			側部埋戻し材	-	B-P-2	2008/2/12	○		9.6	2.5	398									
	R側	B-P-3					2008/8/18	×	データ異常	2010/3/9	1.6	-										
	C	中央					B-P-4	2008/8/18	○		9.1	398										
	L側	B-T-1	2008/10/16	○				8.9	1.25	18.8												
	B	中央	-	鉛直	B-T-2	2008/10/16	○		8.9	1.51	18.5											
	A	L側			B-T-3	2008/10/16	○		8.9	1.18	18.8											
	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	○		8.9	19.6													
L側	B-O-1	2008/10/16			○		8.9	16.0	64													
温度計	A	中央	-	-	-	-	2008/10/16	○		1	1	100%	8.9	温度	°C	15.1	70	55	±1	0.02		
温度計(無線)	B	中央	-	-	-	-	2008/10/16	○		1	1	100%	8.9	温度	°C	15.1	70	55	±1	0.02		
間隙水圧計(無線)	B	中央	-	-	-	-	2008/10/16	○		1	1	100%	8.9	間隙水圧	kPa	102.5	600	498	±1	0.01		

2-115

表 2.6-12 側部低透水層の計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他				
			設置位置						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%	6.8	土圧	kPa	16	2000	1984	2023	±20	1.111
			C				B-D-10		○													

表 2.6-13 上部低透水層の計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他				
			設置位置						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%	3.8	土圧	kPa	8.0	2000	1992		±20	1.111

表 2.6-14 底部低拡散層の計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定		耐久性				計測範囲までの余裕値				その他													
			設置位置 縦断面 方向	横断面 方向	厚さ 方向				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										
										理由	確認日																					
低 拡 散 層	底部	ひずみ計	B 中央 L側	上段	空洞軸	T-H-1-I-V	2008/10/16	○			30	30	100%	8.9	ひずみ	μ	±5000	317	4684	±50	1											
						T-H-2-I-V		○		8.9								187	4813													
						T-H-3-I-V		○		8.9								213	4788													
						T-H-4-I-V		○		8.9								176	4824													
						T-H-5-I-V		○		8.9								187	4813													
						T-H-1-I-C		○		8.9								192	4808													
						T-H-2-I-C		○		8.9								213	4787													
						T-H-3-I-C		○		8.9								99	4901													
						T-H-4-I-C		○		8.9								264	4736													
						T-H-5-I-C		○		8.9								163	4837													
						T-H-1-M-V		○		8.9								323	4677													
						T-H-2-M-V		○		8.9								184	4816													
			T-H-3-M-V	○		8.9		220	4780																							
			T-H-4-M-V	○		8.9		234	4766																							
			T-H-5-M-V	○		8.9		158	4842																							
			T-H-1-M-C	○		8.9		176	4825																							
			T-H-2-M-C	○		8.9		167	4833																							
			T-H-3-M-C	○		8.9		137	4863																							
			T-H-4-M-C	○		8.9		179	4821																							
			T-H-5-M-C	○		8.9		140	4860																							
			T-H-1-O-V	○		8.9		119	4881																							
			T-H-2-O-V	○		8.9		136	4865																							
			T-H-3-O-V	○		8.9		148	4852																							
			T-H-4-O-V	○		8.9		78	4922																							
			T-H-5-O-V	○		8.9		71	4929																							
			T-H-1-O-C	○		8.9		118	4882																							
			T-H-2-O-C	○		8.9		59	4941																							
			T-H-3-O-C	○		8.9		92	4908																							
			T-H-4-O-C	○		8.9		44	4956																							
			T-H-5-O-C	○		8.9		94	4906																							
			有効応力計	A	L側 中央 R側	中段		空洞軸	T-U-1-V	○												6	6	100%	8.9	応力	N/mm <sup>2</sup>	10	0.34	9.7	±0.1	0.06
									T-U-2-V	○									8.9										0.10	9.9		
									T-U-3-V	○									8.9										-0.15	10.2		
					T-U-1-C	○			8.9	-0.76								10.8														
					T-U-2-C	○			8.9	3.18								6.8														
					T-U-3-C	○			8.9	-1.15								11.2														
		無応力計	A	中央	中段	-	T-M-1	○			1	1	100%	8.9	自由ひずみ	μ	±5000	509	4492	±50	1											
							T-O-1-I	○		8.9								15.3	64.7													
		温度計	A	L側 中央 R側	上段	-	T-O-1-I	○			15	15	100%	8.9	温度	℃	80	14.3	65.7	±1.0	0.02											
							T-O-2-I	○		8.9								14.3	65.7													
							T-O-3-I	○		8.9								14.2	65.8													
							T-O-4-I	○		8.9								14.1	65.9													
							T-O-5-I	○		8.9								14.2	65.8													
							T-O-1-M	○		8.9								15.1	64.9													
				T-O-2-M	○		8.9	14.2	65.8																							
				T-O-3-M	○		8.9	14.3	65.7																							
				T-O-4-M	○		8.9	14.2	65.8																							
				T-O-5-M	○		8.9	14.1	65.9																							
				T-O-1-O	○		8.9	15.1	64.9																							
				T-O-2-O	○		8.9	14.3	65.7																							
				T-O-3-O	○		8.9	14.3	65.7																							
				T-O-4-O	○		8.9	14.2	65.8																							
				T-O-5-O	○		8.9	14.2	65.8																							
				継目計	B	中央	-	鉛直	T-J-1	○												5	5	100%	8.9	変位	mm	10	-0.175	10.175	±0.1	0.005
									T-J-2	○									8.9										-0.071	10.071		
									T-J-3	○									8.9										-0.024	10.024		
		T-J-4	○							8.9	-0.005	10.005																				
		T-J-5	○							8.9	-0.129	10.129																				
		せん断変位計	A	L側 中央 R側	-	空洞横断	T-S-1	○			5	5	100%	8.9	変位	mm	±2.5	0.001	2.50	±0.0075	0.0005											
							T-S-2	○		8.9								0.015	2.49													
							T-S-3	○		8.9								-0.019	2.48													
							T-S-4	○		8.9								0.093	2.41													
							T-S-5	○		8.9								-0.051	2.45													

表 2.6-15 側部低拡散層の計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測開始日	正常異常判定		耐久性			稼働実績 期間 (年)	計測範囲までの余裕値				その他									
			設置位置				計測方向	計器No.	判定	異常計器			設置 数量	正常計器 数量	正常計器 割合	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	○					8.0	ひずみ	μ	±5000	4900	±50	1							
							T-H- 8-I	○			8.0	4928														
							T-H-10-I	○			8.0	4488														
							T-H-12-I	○			8.0	-223	4778													
							T-H-14-I	○			8.0	-25	4975													
							T-H- 8-M	○			8.0	51	4949													
			T-H- 9-M	○			8.0	-40	4960																	
			T-H-10-M	○			8.0	-314	4686																	
			T-H-11-M	○			8.0	-206	4794																	
			T-H-12-M	○			8.0	-268	4732																	
			T-H-13-M	○			8.0	-69	4931																	
			T-H- 6-O	○			8.0	103	4897																	
			T-H- 8-O	○			8.0	-60	4940																	
			T-H-10-O	○			8.0	-908	4092																	
			T-H-12-O	○			8.0	-1338	3662																	
			T-H-14-O	○			8.0	-19	4981																	
			A	中段	中央	空洞軸	T-M- 2	○			2	2	100%				8.0			自由ひずみ	μ	266	4734			
			D				T-M- 3	○			8.0	4452														
			B				上段	内側	鉛直	T-0- 6-I	○												8.0	16.2	63.8	
			A							T-0- 8-I	○						8.0					64.0				
			A							T-0-10-I	○						8.0					15.1	64.9			
			D							T-0-12-I	○						8.0					13.6	66.4			
			C	T-0-14-I	○						8.0	15.3	64.7													
			A	T-0- 8-M	○						8.0	16.0	64.0													
			D	T-0- 9-M	○			8.0	15.3	64.7																
			A	中段	中央	-	T-0-10-M	○			16	16	100%				8.0			温度	℃	80	65.1	±1.0	0.02	
			D				T-0-11-M	○			8.0	14.2	65.8													
			A				T-0-12-M	○			8.0	14.3	65.7													
			D				T-0-13-M	○			8.0	14.2	65.8													
			B				T-0- 6-O	○			8.0	16.1	63.9													
			A				T-0- 8-O	○			8.0	16.0	64.0													
			A	中段	外側	-	T-0-10-O	○									8.0			15.0	65.0					
			D				T-0-12-O	○			8.0	14.4	65.6													
			C				T-0-14-O	○			8.0	15.4	64.6													
			A				T-U- 4	○			8.0	-1.18	11.2													
			D				T-U- 5	○			8.0	-0.61	10.6													
		A	T-U- 6				○			8.0	-1.43	11.4														
		D	T-U- 7	○			8.0	-1.76	11.8																	
		A	下段	内側	空洞軸	T-U- 8	○			7	7	100%	8.0	応力	N/mm <sup>2</sup>	10	10.2	±0.1	0.06							
		D				T-U- 9	○			8.0	-0.22	9.8														
		A				T-UN- 9	○			8.0	0.19	10.2														
		D				T-J- 6	○			8.0	-0.21	10.112														
		A				T-J- 7	○			8.0	-0.112	10.150														
		D				T-J- 8	○			8.0	-0.150	9.308														
		A	下段	側部CP	鉛直	T-J- 9	○			4	4	100%	8.0	変位	mm	10	9.308	±0.1	0.005							
		D				T-J- 9	○			8.0	0.063	9.937														
		A				T-S- 6	○			8.0	-0.130	2.37														
		D				T-S- 7	○			8.0	-0.003	2.50														
		A				下段	底部低拡散層	空洞横断	T-S- 8	○			4			4	100%			8.0	変位	mm	±2.5	2.42	±0.0075	0.0005
		D							T-S- 8	○			8.0			0.077	2.48									
		A	T-S- 9	○						8.0	-0.018	2.48														
		D	T-D- 1	○						8.0	43.2	357														
		A	中段	側部CP	空洞横断				T-D- 2	○			6	6	100%	8.0	土圧	kPa	400	372			±4	0.2		
		D							T-D- 3	○			8.0	28.3	372											
		A				T-D- 4	○			8.0	21.2	379														
		D				T-D- 5	○			8.0	75.2	325														
		A				T-D- 6	○			8.0	44.0	356														
		D				T-D- 6	○			8.0	44.0	356														



表 2.6-16 上部低拡散層の計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	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					
			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%	4.8	ひずみ	μ	-33	±5000	4967	±50	1	
					空洞軸	T-H-17-I-V	○			4.8				40			4960					
					中央	空洞軸直交	T-H-17-M-C		○					4.8			102		4898			
					空洞軸	T-H-17-M-V	○			4.8				52			4948					
					外側	空洞軸直交	T-H-17-O-C		○					4.8			-83		4917			
					空洞軸	T-H-17-O-V	○			4.8				-15			4985					
				中央	内側	空洞軸直交	T-H-18-I-C		○					4.8			-45		4955			
					空洞軸	T-H-18-I-V	○			4.8				1			4999					
					中央	空洞軸直交	T-H-18-M-C		○					4.8			-10		4990			
					空洞軸	T-H-18-M-V	○			4.8				-12			4988					
					外側	空洞軸直交	T-H-18-O-C		○					4.8			-24		4976			
					空洞軸	T-H-18-O-V	○			4.8				-126			4874					
				右側	内側	空洞軸直交	T-H-19-I-C		○					4.8			-99		4901			
					空洞軸	T-H-19-I-V	○			4.8				-137			4863					
					中央	空洞軸直交	T-H-19-M-C		○					4.8			-57		4943			
					空洞軸	T-H-19-M-V	○			4.8				-16			4984					
					外側	空洞軸直交	T-H-19-O-C		○					4.8			-73		4927			
					空洞軸	T-H-19-O-V	○			4.8				-29			4971					
	無応力計	中央	中央	-	T-M-4	○		1	1	100%	4.8	自由ひずみ	μ	424		4576						
		左側	内側	-	T-0-17-I	○					4.8			15.7		64.3						
			中央	-	T-0-17-M	○					4.8			15.8		64.2						
			外側	-	T-0-17-O	○					4.8			15.8		64.2						
		中央	内側	-	T-0-18-I	○					4.8			15.1		64.9						
			中央	-	T-0-18-M	○			9	9	100%	4.8	温度	°C	15.1	80	64.9	±1.0	0.02			
			外側	-	T-0-18-O	○					4.8			15.1		64.9						
		右側	内側	-	T-0-19-I	○					4.8			14.9		65.1						
			中央	-	T-0-19-M	○					4.8			15.0		65.0						
	外側		-	T-0-19-O	○					4.8			15.1		64.9							
	有効応力計	左側	中央	空洞軸直交	T-U-10-C	○					4.8	6	6	100%	応力	N/mm <sup>2</sup>	-0.90	10	10.9	±0.1	0.06	
				空洞軸	T-U-10-V	○			4.8	-0.18	10.2											
		空洞軸直交	T-U-11-C	○			4.8	-0.21	10.2													
		空洞軸	T-U-11-V	○			4.8	-0.14	10.1													
		空洞軸直交	T-U-12-C	○			4.8	-0.31	10.3													
		空洞軸	T-U-12-V	○			4.8	-0.61	10.6													

表 2.6-17 底部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値				その他						
			設置位置						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	A	中央	上段	空洞軸	P-H-1-I-V	2008/11/24	○			30	30	100%	8.8	ひずみ	μ	±5000	4961	±50	1				
				L側			P-H-2-I-V		○													8.8	39	4974	
				中央			P-H-3-I-V		○													8.8	-26	4975	
				R側			P-H-4-I-V		○													8.8	25	4912	
				中央			P-H-5-I-V		○													8.8	88	4829	
				B			中央		P-H-1-I-C	○													8.8	29	4971
			A	L側	中段	空洞横断	P-H-2-I-C		○													8.8	184	4816	
				中央			P-H-3-I-C		○													8.8	45	4955	
				R側			P-H-4-I-C		○													8.8	194	4806	
				中央			P-H-5-I-C		○													8.8	188	4812	
				B			中央		P-H-1-M-V	○													8.8	162	4838
				A			L側		下段	空洞軸	P-H-2-M-V											○			8.8
			中央	P-H-3-M-V	○						8.8											122	4878		
			R側	P-H-4-M-V	○						8.8											119	4881		
			中央	P-H-5-M-V	○						8.8											176	4825		
			B	中央	P-H-1-M-C	○																8.8	105	4895	
			C	中央	P-H-2-M-C	○																8.8	159	4841	
			A	L側	中段	空洞横断	P-H-3-M-C		○													8.8	113	4887	
				中央			P-H-4-M-C		○													8.8	204	4797	
				R側			P-H-5-M-C		○													8.8	69	4931	
				C			中央		P-H-1-O-V	○													8.8	72	4928
				B			中央		P-H-2-O-V	○													8.8	-13	4988
				A			L側		下段	空洞軸	P-H-3-O-V											○			8.8
			中央	P-H-4-O-V	○						8.8											-42	4958		
		R側	P-H-5-O-V	○			8.8				45	4955													
		C	中央	P-H-1-O-C	○						8.8	-28	4972												
		B	中央	P-H-2-O-C	○						8.8	43	4957												
		A	L側	中段	空洞横断	P-H-3-O-C	○						8.8	3	4997										
		中央	P-H-4-O-C			○				8.8	63	4937													
		R側	P-H-5-O-C			○				8.8	-16	4984													
		C	中央			P-U-1-V	○				8.8	-0.59	10.6												
		B	中央			P-U-2-V	○				8.8	-0.58	10.6												
		A	L側			下段	空洞軸		P-U-3-V	○			8.8	0.02	10.0										
		中央	P-U-4-V	○						8.8	-0.31	10.3													
		R側	P-U-5-V	○						8.8	-0.46	10.5													
		C	中央	P-U-1-C	○						8.8	-1.70	11.7												
		B	中央	P-U-2-C	○						8.8	-1.34	11.3												
		A	L側	中段	空洞横断				P-U-3-C	○			8.8	-0.51	10.5										
		中央	P-U-4-C			○				8.8	-0.97	11.0													
		R側	P-U-5-C			○				8.8	-1.14	11.1													
		C	中央			P-M-1	○				1	945	±5000	4055	±50	1									
		無応力計	A			中央	-																		
		傾斜計	A			中央	-		空洞軸	P-K-1-I-V	○			1	1	100%	8.8	傾斜角	°	0.3	±5	4.70	±0.025	0.0025	
				空洞横断	P-K-1-I-C					○			1	1	100%	8.8	傾斜角	°	0.17	±5	4.83	±0.025	0.0025		
		温度計	A	中央	上段	-	P-0-1-I		○			15	15	100%	8.8	温度	°C	80	65.4	±1.0	0.02				
							L側		P-0-2-I	○													8.8	13.5	66.5
							中央		P-0-3-I	○													8.8	13.4	66.6
							R側		P-0-4-I	○													8.8	13.4	66.6
							中央		P-0-5-I	○													8.8	13.2	66.8
							B		中央	P-0-1-M	○													8.8	14.4
A	L側			中段	-	P-0-2-M	○			8.8	13.5											66.5			
	中央					P-0-3-M	○			8.8	13.5											66.5			
	R側					P-0-4-M	○			8.8	13.4											66.6			
	中央					P-0-5-M	○			8.8	13.3											66.7			
	B					中央	P-0-1-O	○			8.8											14.5	65.5		
	A					L側	下段	-	P-0-2-O	○													8.8	13.5	66.5
中央	P-0-3-O			○					8.8	13.4	66.6														
R側	P-0-4-O			○					8.8	13.5	66.5														
中央	P-0-5-O			○					8.8	13.3	66.7														

※傾斜計は1台で2方向計測している

表 2.6-18 側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 (1/2)

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	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						
			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	内側	上段	空洞軸	P-H- 6-I	2009/2/4	○			26	24	92%	8.6	ひずみ	μ	123	±5000	4877	±50	1	
						E		P-H- 7-I	○					8.6			203		4797			
						A		P-H- 8-I	×	データ異常				2014/7/11			5.4		-			-
						D		P-H- 9-I	○					8.6			-838		4163			
						A		P-H-10-I	×	データ異常				2014/7/11			5.4		-			-
						D		P-H-11-I	○					8.6			-477		4523			
				中段	鉛直	A		P-H-12-I	○					8.6			54		4946			
						D		P-H-13-I	○					8.6			101		4899			
						C		P-H-14-I	○					8.6			137		4863			
						F		P-H-15-I	○					8.6			153		4847			
						A		P-H- 8-M	○					8.6			-293		4707			
						D		P-H- 9-M	○					8.6			30		4970			
			中央	空洞軸	A	P-H-10-M		○		8.6				-387			4613					
					D	P-H-11-M		○		8.6				-249			4751					
					A	P-H-12-M		○		8.6				121			4879					
					D	P-H-13-M		○		8.6				112			4888					
					B	P-H- 6-0		○		8.6				108			4892					
					E	P-H- 7-0		○		8.6				178			4822					
			外側	空洞軸	上段	A		P-H- 8-0	○					8.6			-447		4553			
						D		P-H- 9-0	○					8.6			-73		4927			
						A		P-H-10-0	○					8.6			-171		4829			
						D		P-H-11-0	○					8.6			-503		4497			
						A		P-H-12-0	○					8.6			58		4943			
						D		P-H-13-0	○					8.6			32		4968			
		鉛直		中段	C	P-H-14-0		○		8.6	87	4913										
					F	P-H-15-0		○		8.6	128	4872										
					A	P-U- 6		○		8.6	-0.81	10.8										
					D	P-U- 7		○		8.6	-0.5	10.5										
					A	P-U- 8		○		8.6	-1.22	11.2										
					D	P-U- 9		×	データ異常	2009/11/24	0.8	-	-									
		中央	空洞軸	下段	A	P-U-10		○		8.6	-2.12	12.1										
					D	P-U-11		○		8.6	-1.82	11.8										
					A	P-M- 2		○		8.6	1131	3869										
		無応力計	中央	-	D	P-M- 3		○		8.6	737	4263										

表 2.6-19 側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 (2/2)

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定		耐久性		計測範囲までの余裕値				その他					
			設置位置						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%	8.6	応力	N/mm <sup>2</sup>	±350	344.9	±3.5	0.175		
							P-R- 7-I		○									8.6			5.1	340.2
							P-R- 8-I		○									8.6			9.8	349.1
				P-R- 9-I			○			8.6								0.9			349.6	
				P-R-10-I			○			8.6								0.4			341.8	
				P-R-11-I			○			8.6								8.2			344.6	
			P-R-12-I	×	データ異常 2014/7/11	5.4	-		-													
			P-R-13-I	○		8.6	-1.9		348.1													
			P-R-14-I	○		8.6	-0.9		349.1													
			P-R-15-I	○		8.6	-2.0		348.0													
			P-R- 6-O	○		8.6	1.2		348.8													
			P-R- 7-O	○		8.6	4.2		345.8													
			P-R- 8-O	○		8.6	-3.1		346.9													
			P-R- 9-O	○		8.6	-4.1		345.9													
			P-R-10-O	○		8.6	-1.8		348.2													
			P-R-11-O	○		8.6	-0.2		349.8													
			P-R-12-O	○		8.6	-8.5		341.5													
			P-R-13-O	○		8.6	-24.1		325.9													
			P-R-14-O	○		8.6	-6.9		343.1													
			P-R-15-O	○		8.6	-3.7		346.3													
			P-0- 6-I	○		8.6	15.8		64.2													
			P-0- 7-I	○		8.6	15.8		64.2													
			P-0- 8-I	×	データ異常 2014/7/11	5.4	-		-													
			P-0- 9-I	○		8.6	14.1		65.9													
		P-0-10-I	○		8.6	14.9	65.1															
		P-0-11-I	○		8.6	14.3	65.7															
		P-0-12-I	○		8.6	15.6	64.4															
		P-0-13-I	○		8.6	15.3	64.7															
		P-0-14-I	○		8.6	14.9	65.1															
		P-0-15-I	○		8.6	13.6	66.4															
		P-0- 8-M	○		8.6	14.2	65.8															
		P-0- 9-M	○		8.6	14.0	66.0															
		P-0-10-M	○		8.6	14.9	65.1															
		P-0-11-M	○		8.6	14.3	65.7															
		P-0-12-M	○		8.6	15.7	64.3															
		P-0-13-M	○		8.6	15.4	64.6															
		P-0- 6-O	○		8.6	15.9	64.1															
		P-0- 7-O	○		8.6	15.9	64.1															
		P-0- 8-O	○		8.6	14.3	65.7															
		P-0- 9-O	○		8.6	14.0	66.0															
		P-0-10-O	○		8.6	15.1	64.9															
		P-0-11-O	○		8.6	14.2	65.8															
		P-0-12-O	○		8.6	15.7	64.3															
		P-0-13-O	○		8.6	12.9	67.1															
		P-0-14-O	○		8.6	15.2	64.8															
		P-0-15-O	○		8.6	16.1	63.9															
		温度計	内側	B	上段	中央	-	P-0- 6-I	2009/2/4	○		26	25	96%	8.6	温度	°C	80	65.1	±1.0	0.02	
								P-0- 7-I		○									8.6			14.9
P-0- 8-I	×							データ異常 2014/7/11		5.4	-								-			
P-0- 9-I	○							8.6		14.1	65.9											
P-0-10-I	○							8.6		14.9	65.1											
P-0-11-I	○							8.6		14.3	65.7											
P-0-12-I	○				8.6	15.6	64.4															
P-0-13-I	○				8.6	15.3	64.7															
P-0-14-I	○				8.6	14.9	65.1															
P-0-15-I	○				8.6	13.6	66.4															
P-0- 8-M	○				8.6	14.2	65.8															
P-0- 9-M	○				8.6	14.0	66.0															
P-0-10-M	○			8.6	14.9	65.1																
P-0-11-M	○			8.6	14.3	65.7																
P-0-12-M	○			8.6	15.7	64.3																
P-0-13-M	○			8.6	15.4	64.6																
P-0- 6-O	○			8.6	15.9	64.1																
P-0- 7-O	○			8.6	15.9	64.1																
P-0- 8-O	○			8.6	14.3	65.7																
P-0- 9-O	○			8.6	14.0	66.0																
P-0-10-O	○			8.6	15.1	64.9																
P-0-11-O	○			8.6	14.2	65.8																
P-0-12-O	○			8.6	15.7	64.3																
P-0-13-O	○			8.6	12.9	67.1																
P-0-14-O	○		8.6	15.2	64.8																	
P-0-15-O	○		8.6	16.1	63.9																	
外側	B	上段	外側	-	P-0- 6-I	2009/2/4	○		26	25	96%	8.6	温度	°C	80	65.1	±1.0	0.02				
					P-0- 7-I		○									8.6			14.9	65.1		
					P-0- 8-I		×	データ異常 2014/7/11								5.4			-	-		
		P-0- 9-I			○			8.6								14.1			65.9			
		P-0-10-I			○			8.6								14.9			65.1			
		P-0-11-I			○			8.6								14.3			65.7			
	P-0-12-I	○		8.6	15.6		64.4															
	P-0-13-I	○		8.6	15.3		64.7															
	P-0-14-I	○		8.6	14.9		65.1															
	P-0-15-I	○		8.6	13.6		66.4															
	P-0- 8-M	○		8.6	14.2		65.8															
	P-0- 9-M	○		8.6	14.0		66.0															
P-0-10-M	○		8.6	14.9	65.1																	
P-0-11-M	○		8.6	14.3	65.7																	
P-0-12-M	○		8.6	15.7	64.3																	
P-0-13-M	○		8.6	15.4	64.6																	
P-0- 6-O	○		8.6	15.9	64.1																	
P-0- 7-O	○		8.6	15.9	64.1																	
P-0- 8-O	○		8.6	14.3	65.7																	
P-0- 9-O	○		8.6	14.0	66.0																	
P-0-10-O	○		8.6	15.1	64.9																	
P-0-11-O	○		8.6	14.2	65.8																	
P-0-12-O	○		8.6	15.7	64.3																	
P-0-13-O	○		8.6	12.9	67.1																	
P-0-14-O	○		8.6	15.2	64.8																	
P-0-15-O	○		8.6	16.1	63.9																	

表 2.6-20 手前部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	正常異常判定		耐久性			計測項目	単位	計測範囲までの余裕値			その他		
			設置位置							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)	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-16-1	2009/8/6	○		10	10	100%	ひずみ	μ	8.1	±5000	4766	±50	1		
				下段		鉛直	P-H-18-1		○	8.1						-133		4867				
				中段			P-H-20-1		○	8.1						185		4815				
			D	上段		空洞横断	P-H-22-1		○	8.1						151		4849				
				中段			P-H-24-1		○	8.1						-34		4966				
				上段		空洞横断	P-H-16-0		○	8.1						296		4704				
			D	下段		外側	鉛直		P-H-18-0	○						8.1		-273			4727	
				中段					P-H-20-0	○						8.1		232			4768	
				上段					P-H-22-0	○						8.1		298			4702	
		E	中段	空洞横断	P-H-24-0		○		8.1	-29	4971											
			無応力計	D	中段		中央		-	P-M-4	○	8.1	498	4502								
										P-0-16-1	○	8.1	16.0	64.0								
		P-0-18-1								○	8.1	15.6	64.4									
		温度計	D	中段	内側		-		P-0-20-1	○	8.1	15.9	64.1									
									P-0-22-1	○	8.1	16.0	64.0									
						P-0-24-1			○	8.1	15.9	64.1										
				E		中段			中央	P-0-20-M	○	8.1	16.0	64.0								
										P-0-16-0	○	8.1	16.1	63.9								
	P-0-18-0							○		8.1	15.8	64.2										
	D		中段	外側	P-0-20-0	○	8.1	15.9	64.1													
					P-0-22-0	○	8.1	16.1	63.9													
					P-0-24-0	○	8.1	15.9	64.1													
			E		上段	空洞横断	P-R-16-1	○	8.1	33.1	316.9											
						鉄筋計	D	中段	内側	鉛直	P-R-18-1	○	8.1	31.2	318.8							
											P-R-20-1	○	8.1	26.2	323.8							
		P-R-22-1	○	8.1	29.7					320.3												
	E	中段	空洞横断	P-R-24-1	○	8.1	7.3	342.7														
			空洞横断	P-R-16-0	○	8.1	30.5	319.5														
			D	中段	外側	鉛直	P-R-18-0	○	8.1	16.2	333.8											
		P-R-20-0				○	8.1	26.3	323.7													
		P-R-22-0				○	8.1	39.1	310.9													
	E	中段	空洞横断	P-R-24-0	○	8.1	24.0	326.0														

表 2.6-21 上部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値				その他			
			設置位置						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	高さ 方向					理由	確認日											
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%	4.8	ひずみ	μ	2	±5000	4998	±50	1
						空洞軸	P-H-28-I-V		○						4.8			-41		4959		
						空洞軸直交	P-H-28-M-C		○						4.8			5		4996		
						空洞軸	P-H-28-M-V		○						4.8			-22		4978		
						空洞軸直交	P-H-28-O-C		○						4.8			59		4941		
						空洞軸	P-H-28-O-V		○						4.8			78		4922		
		無応力計	中央	中央	外側	-	P-M-6		○			1	1	100%	4.8	自由ひずみ	μ	395	4605			
						-	P-O-28-I		○			4.8	14.6	65.4								
						-	P-O-28-M		○			4.8	14.9	65.1								
		温度計	中央	中央	中央	-	P-O-28-O		○			3	3	100%	4.8	温度	°C	14.9	80	65.1	±1.0	0.02
						空洞軸直交	P-U-19-C		○			4.8	-0.08	10	10.1							
		有効応力計	中央	中央	中央	空洞軸	P-U-19-V		○			2	2	100%	4.8	応力	N/mm <sup>2</sup>	-0.12	10	10.1	±0.1	0.06

表 2.6-22 充てん材の計測機器の現状一覧

(2017/9/11現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値				その他			
			設置位置						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	高さ 方向					理由	確認日											
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%	7.1	土圧	kPa	32	400	368	±4	0.2
				中段	-	水平	F-D-2		○						7.1			14		386		
				上段	-	水平	F-D-1		○						7.1			4		396		
	上部	温度計	中央	下段	-	-	-	F-O-1	○			1	1	100%	7.1	温度	°C	16.2	80	63.8	±1.0	0.02
					土圧計	F-D-4	○			1	1	100%	7.1	土圧	kPa	16	2000	1984	±20	1.111		
					温度計	F-O-2	○			1	1	100%	7.1	温度	°C	14.6	80	65.4	±1.0	0.02		

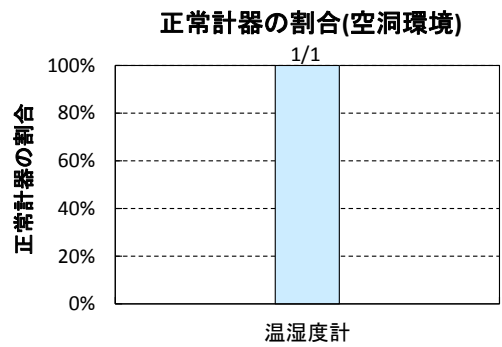
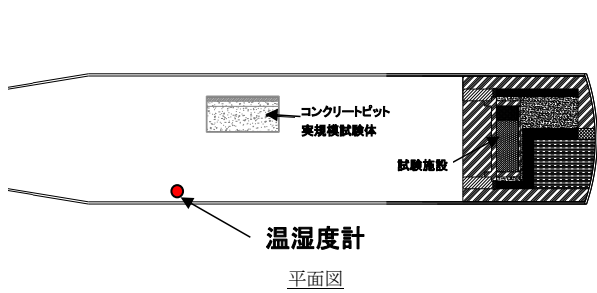
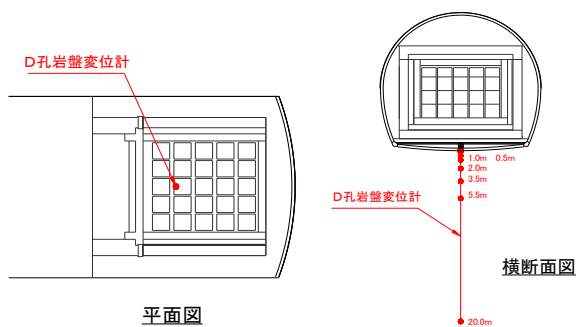
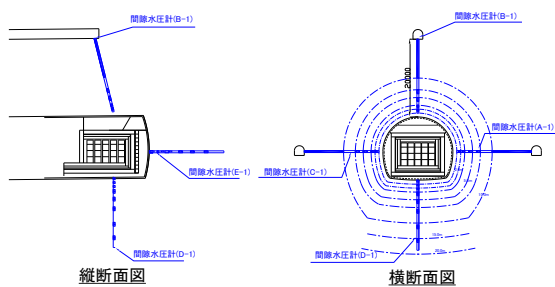
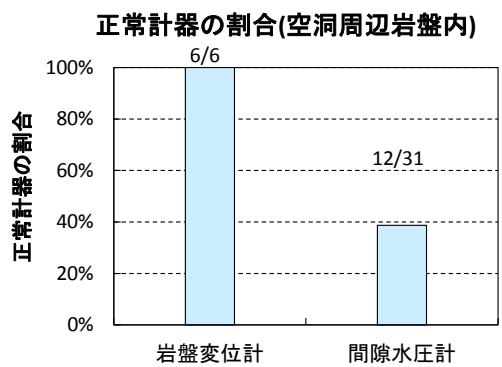


図 2.6-1 坑内環境の正常計器の割合



(1)岩盤変位計



(2)間隙水圧計

図 2.6-2 周辺岩盤の正常計器の割合

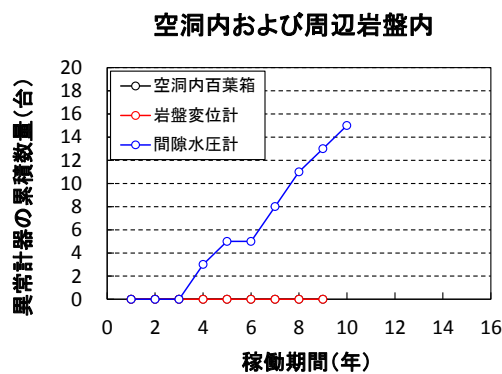


図 2.6-3 坑内環境および周辺岩盤の計器種類毎の異常計器数量変遷

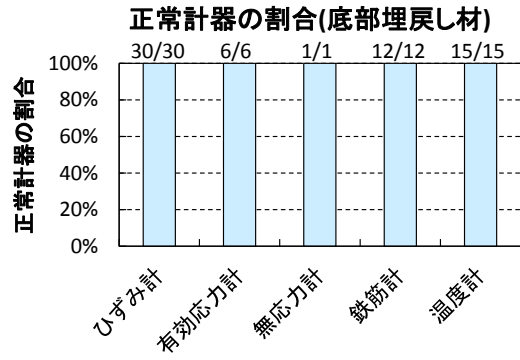
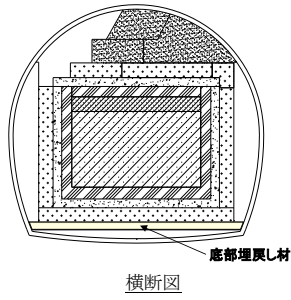


図 2.6-4 底部埋戻し材の正常計器の割合

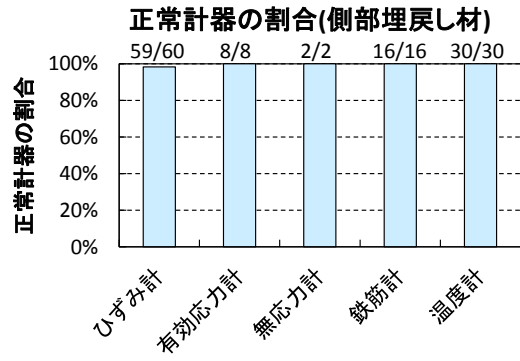
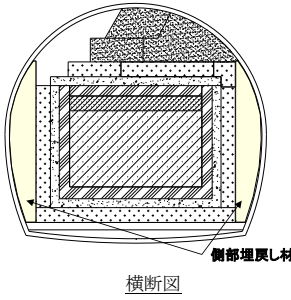


図 2.6-5 側部埋戻し材の正常計器の割合

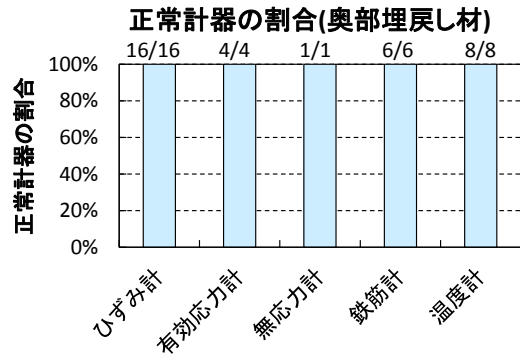
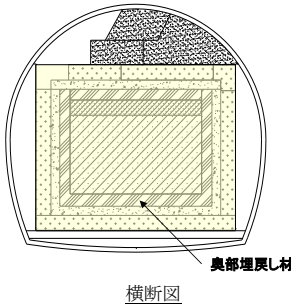


図 2.6-6 奥部埋戻し材の正常計器の割合

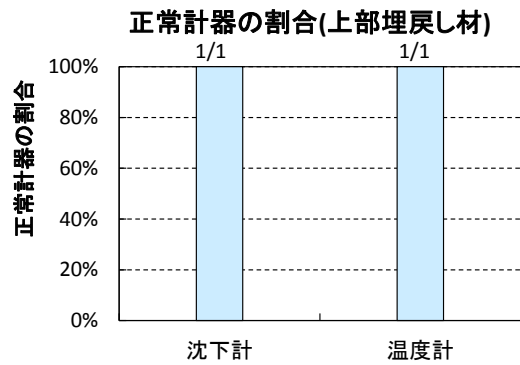
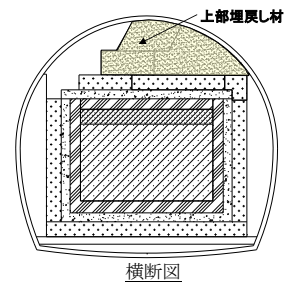


図 2.6-7 上部埋戻し材の正常計器の割合



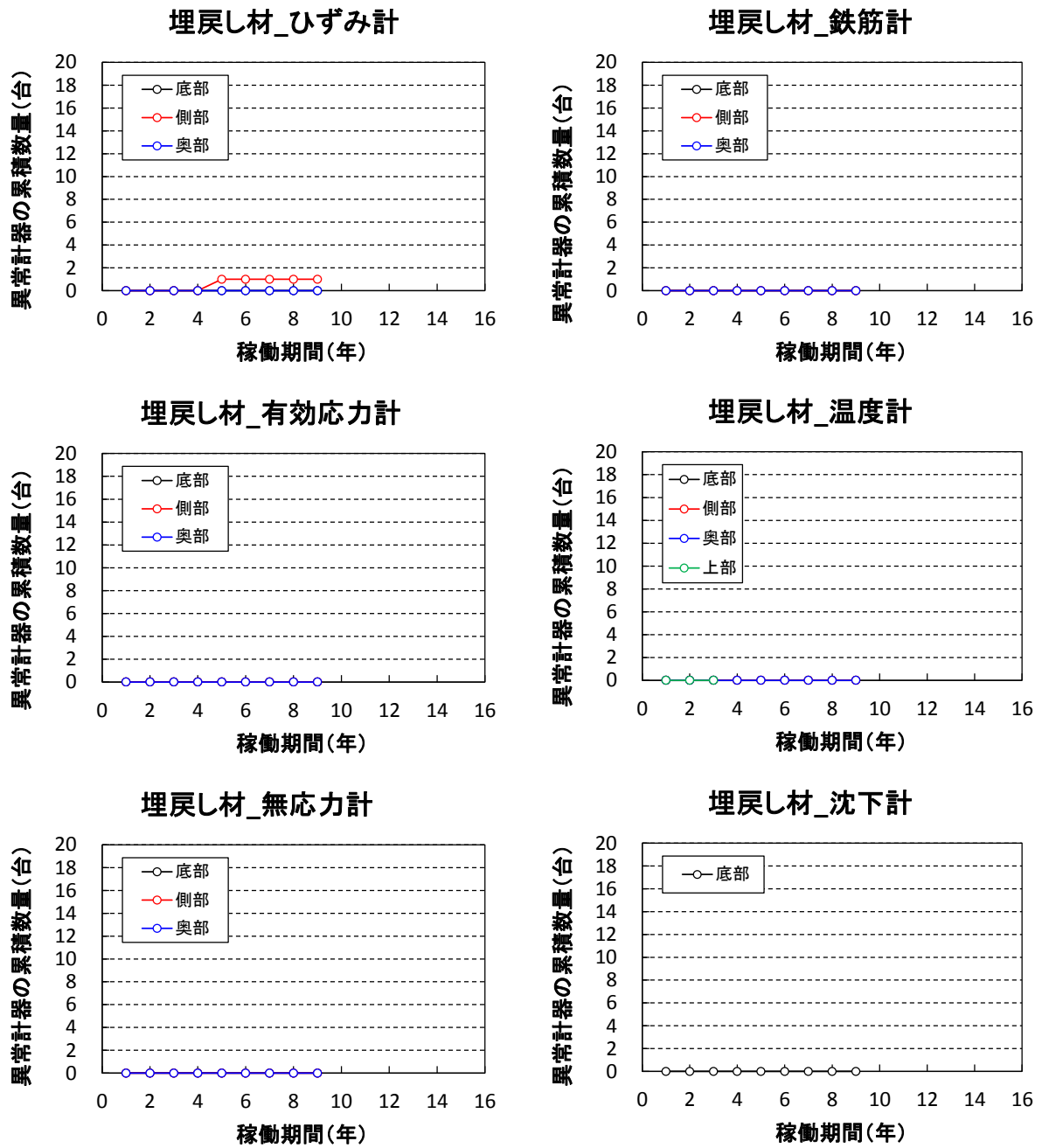


図 2.6-8 埋戻し材の計器種類毎の異常計器数量変遷

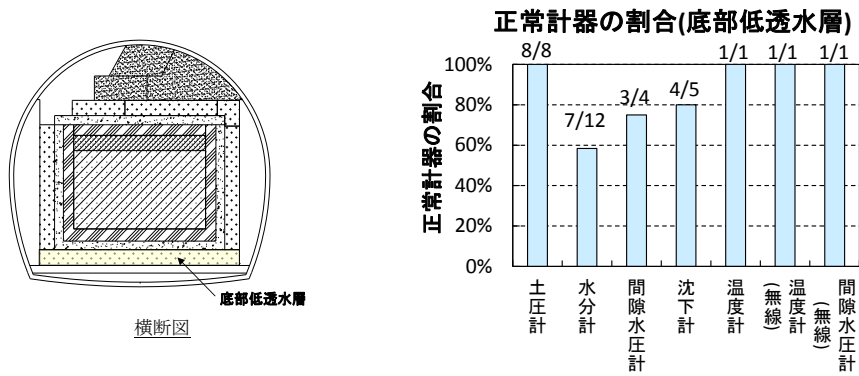


図 2.6-9 底部低透水層の正常計器の割合

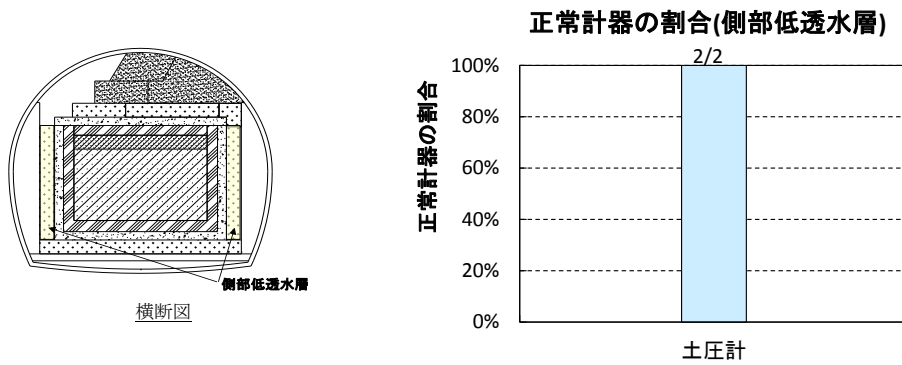


図 2.6-10 側部低透水層の正常計器の割合

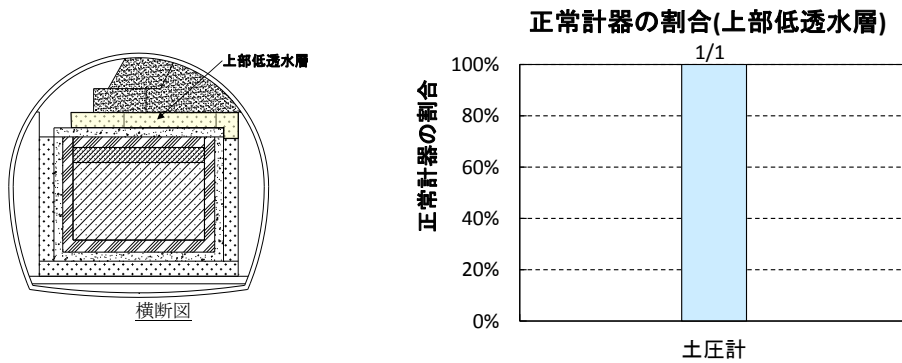


図 2.6-11 上部低透水層の正常計器の割合

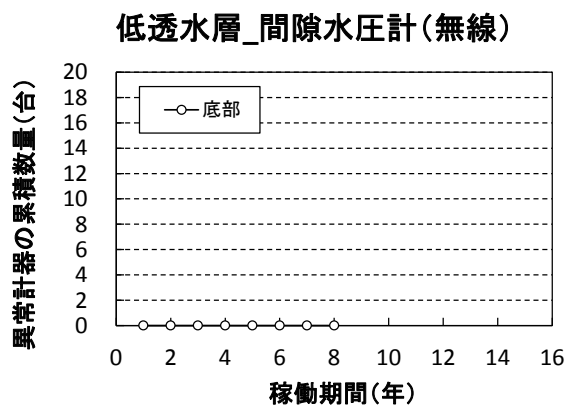
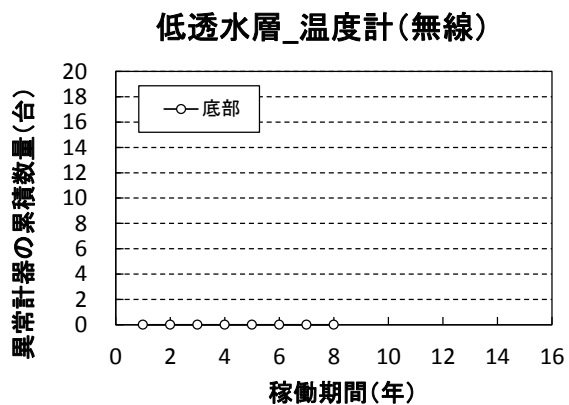
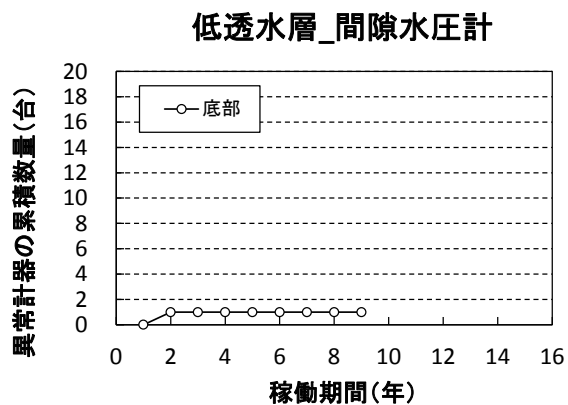
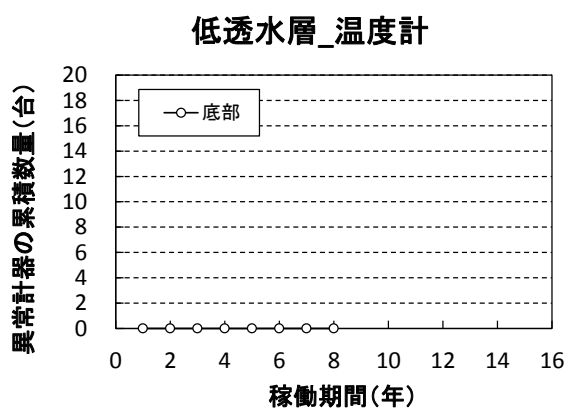
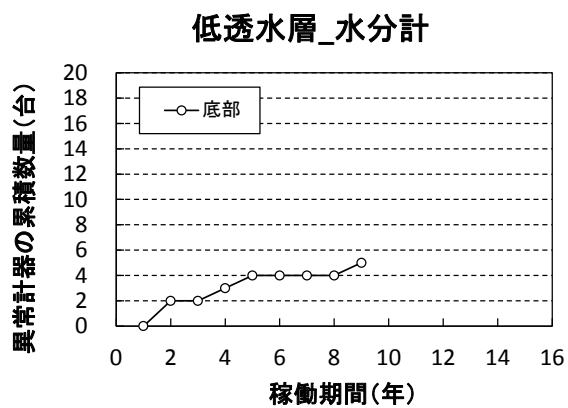
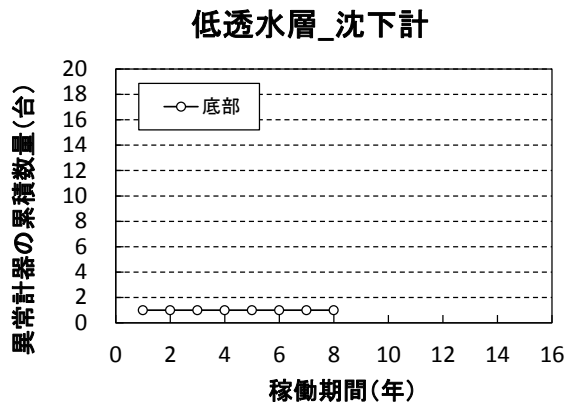
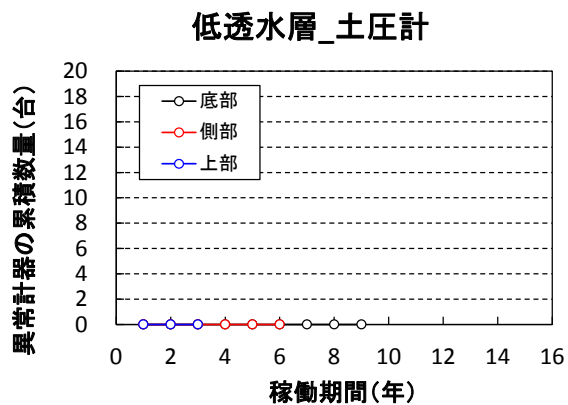


図 2.6-12 低透水層の計器種類毎の異常計器数量変遷

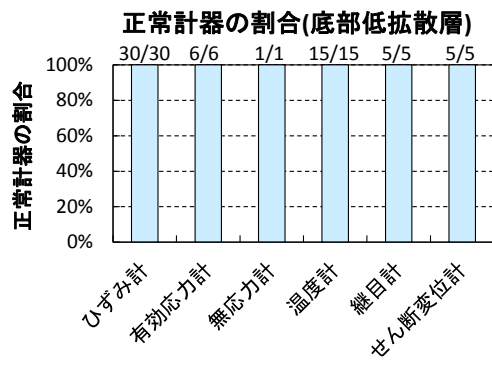
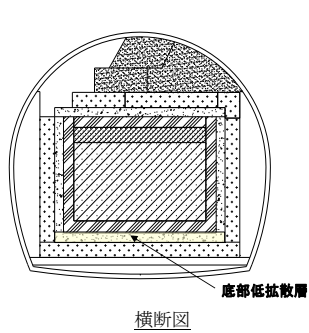


図 2.6-13 底部低拡散層の正常計器の割合

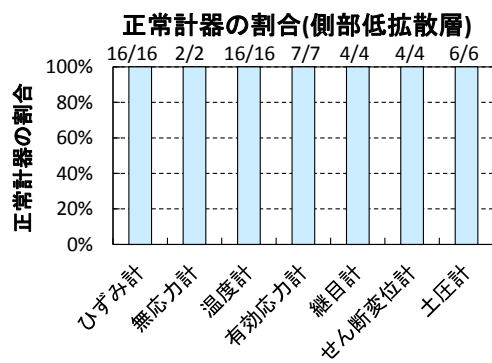
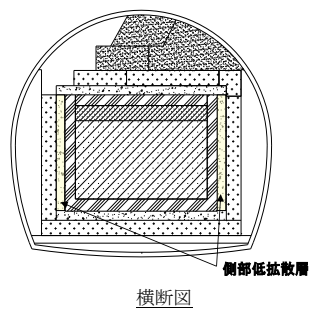


図 2.6-14 側部低拡散層の正常計器の割合

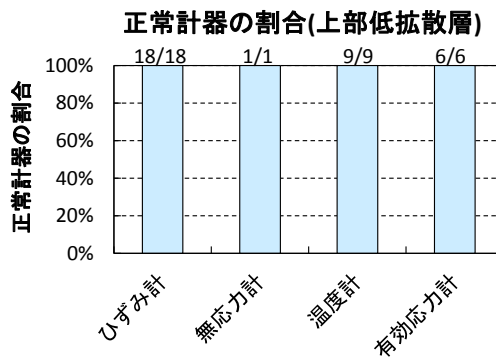
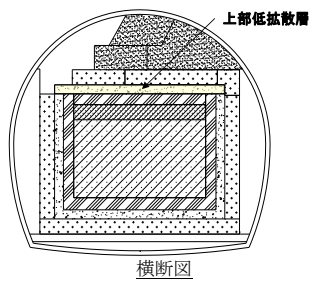


図 2.6-15 上部低拡散層の正常計器の割合

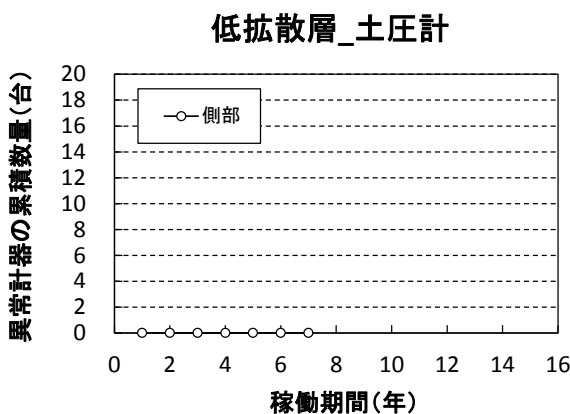
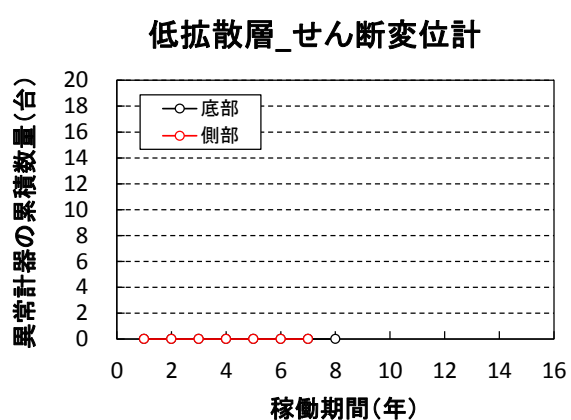
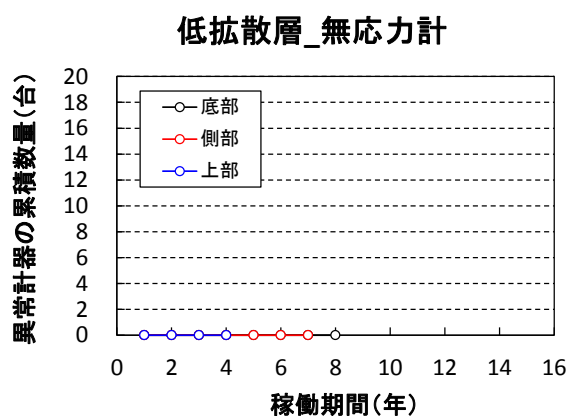
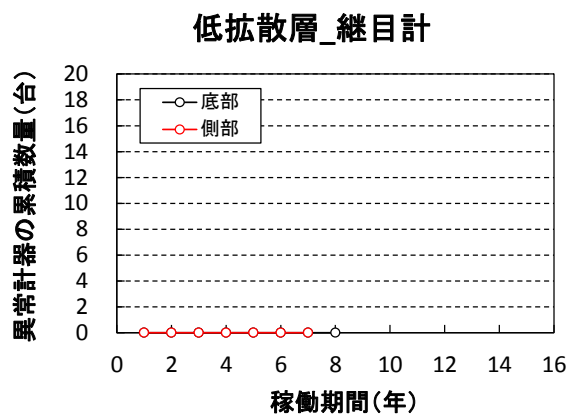
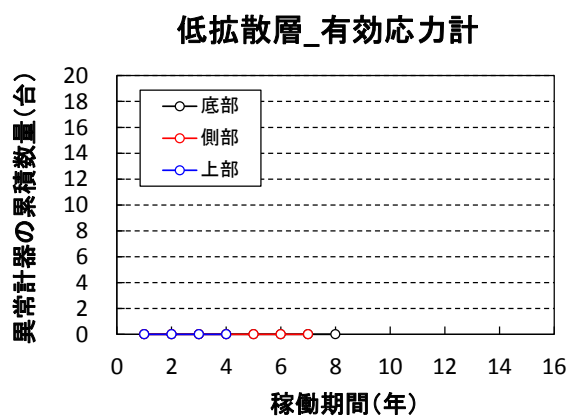
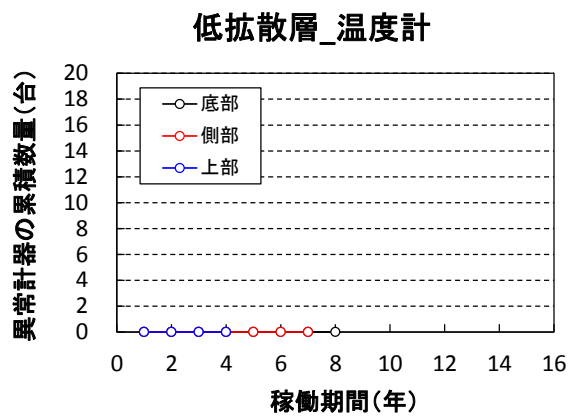
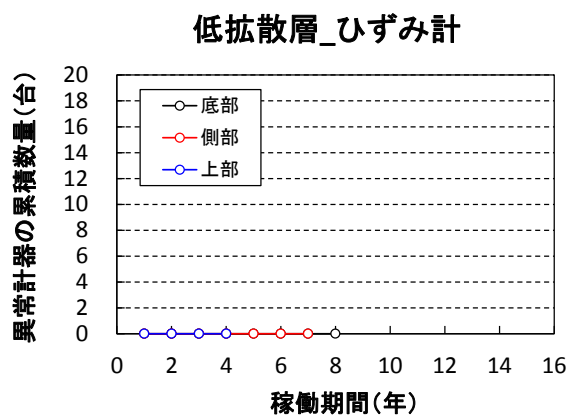


図 2.6-16 低拡散層の計器種類毎の異常計器数量変遷

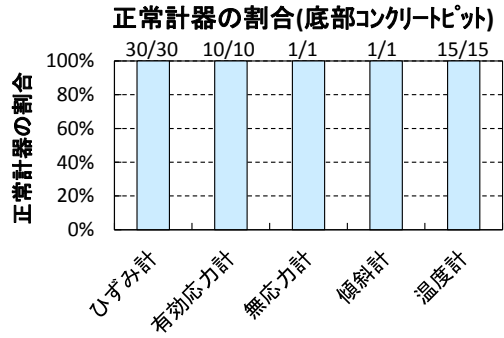
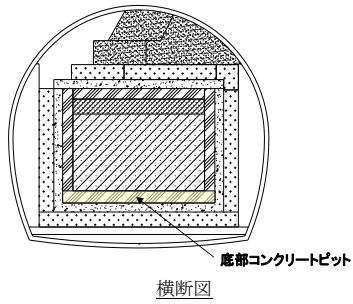


図 2.6-17 底部コンクリートピットの正常計器の割合

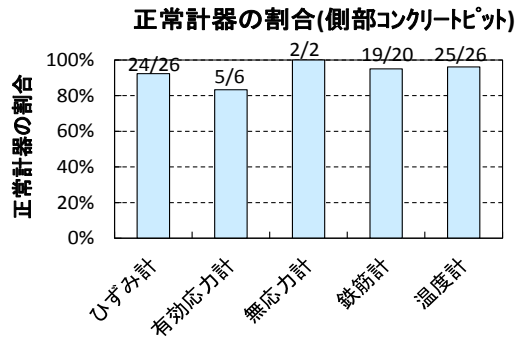
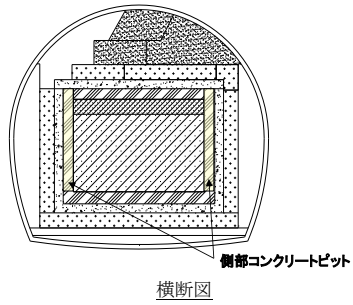


図 2.6-18 側部コンクリートピットの正常計器の割合

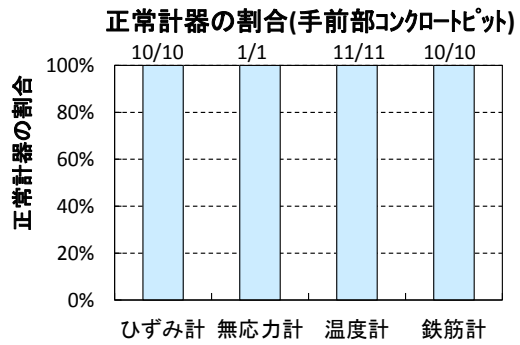
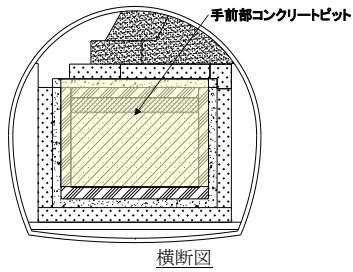


図 2.6-19 手前部コンクリートピットの正常計器の割合

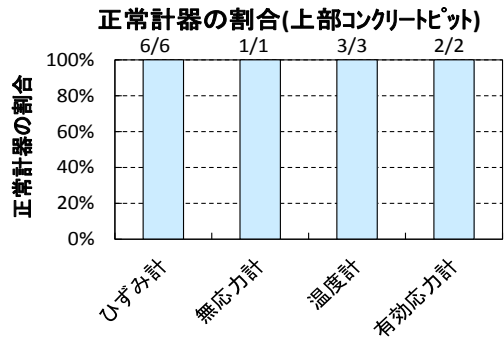
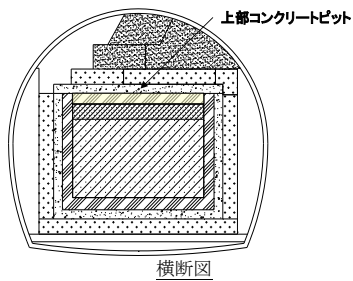


図 2.6-20 上部コンクリートピットの正常計器の割合

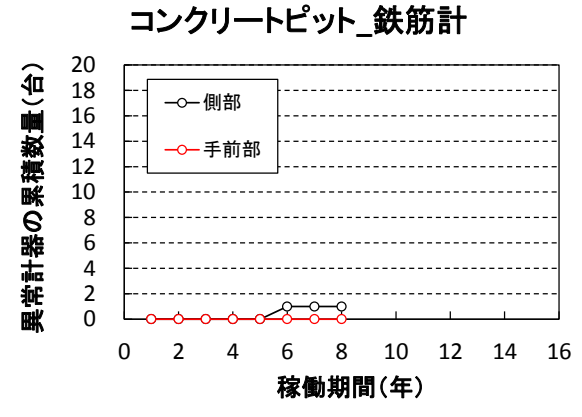
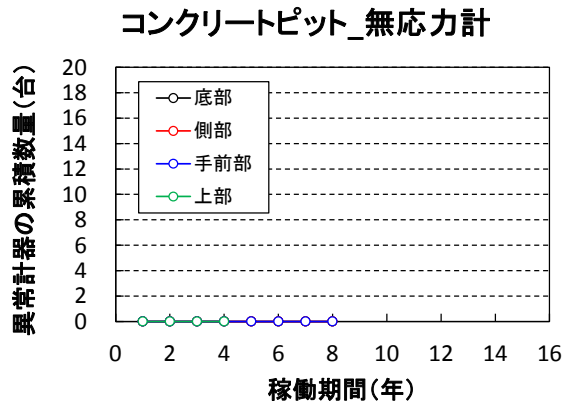
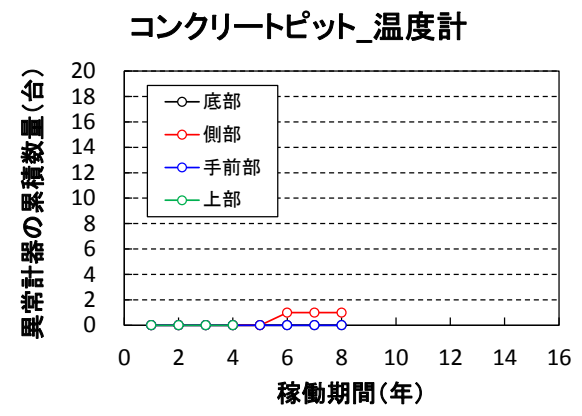
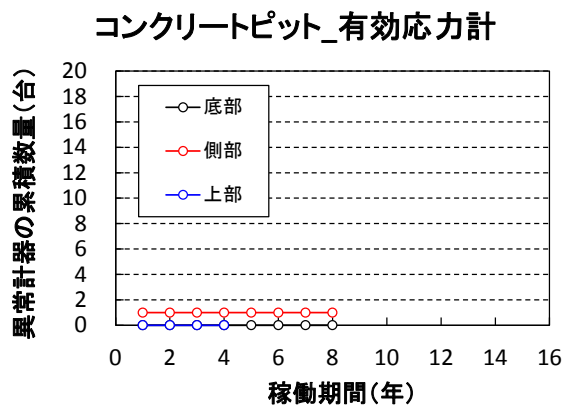
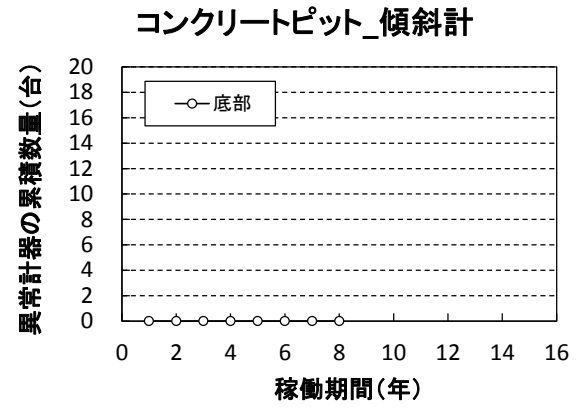
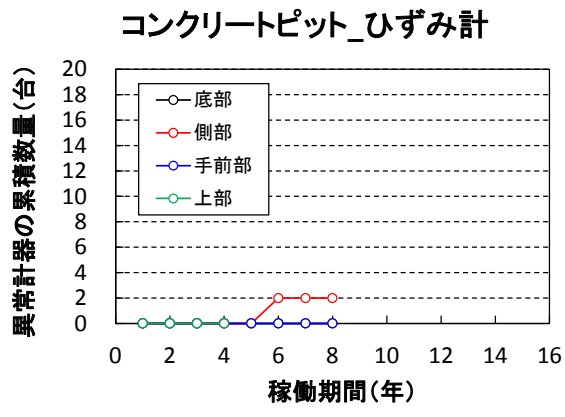


図 2.6-21 低拡散層の計器種類毎の異常計器数量変遷

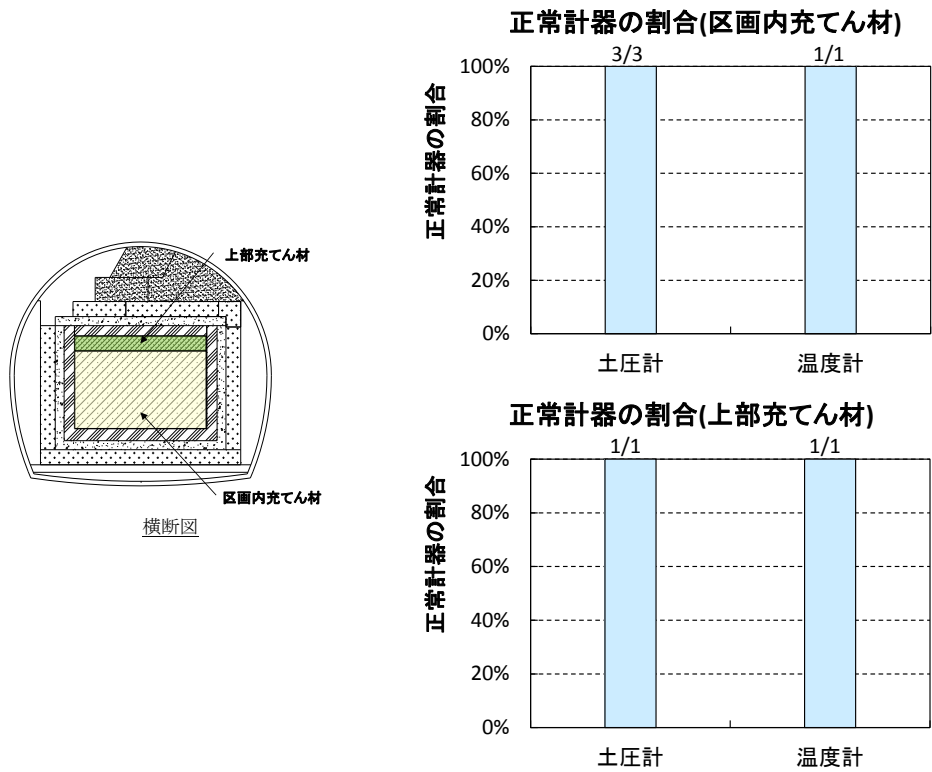


図 2.6-22 区画内充てん材および上部充てん材の正常計器の割合

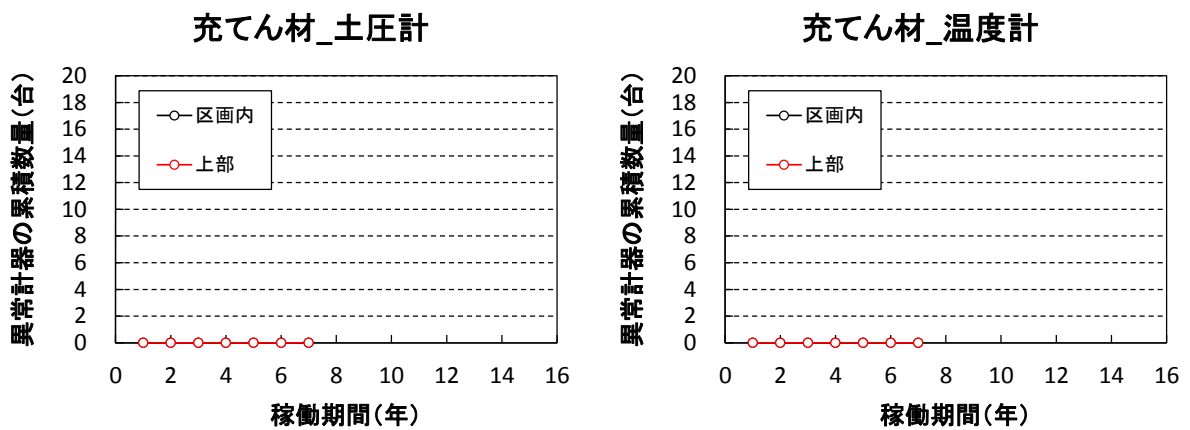


図 2.6-23 充てん材の計器種類毎の異常計器数量変遷



## 2.6.2 既設の計測機器類のデータ活用方法

ここでは、平成 28 年度までに策定した既設の実規模施設を活用した試験計画のうち、光ファイバセンサー技術を利用したセメント系材料のひび割れ計測試験において、既設の計測機器類のデータを活用する方法を検討した。

実規模施設を活用したセメント系材料のひび割れ計測試験は、側部低拡散層（左側）の一部、上部低拡散層の一部、および手前コンクリートピットを対象に実施する計画である。このうち、人為的にひび割れを発生させてひび割れ計測を実施する部位は、上部低拡散層、手前コンクリートピットである。上部低拡散層、手前コンクリートピットの光ファイバセンサー設置範囲を図 2.6-24、図 2.6-25 に示す。

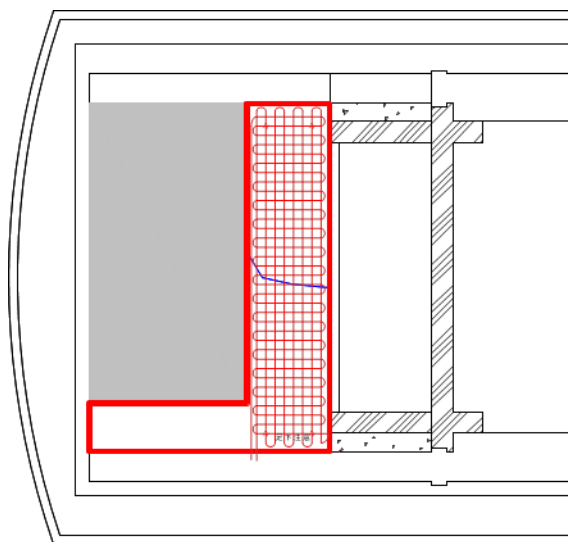


図 2.6-24 上部低拡散層の光ファイバセンサー設置範囲（平面図）

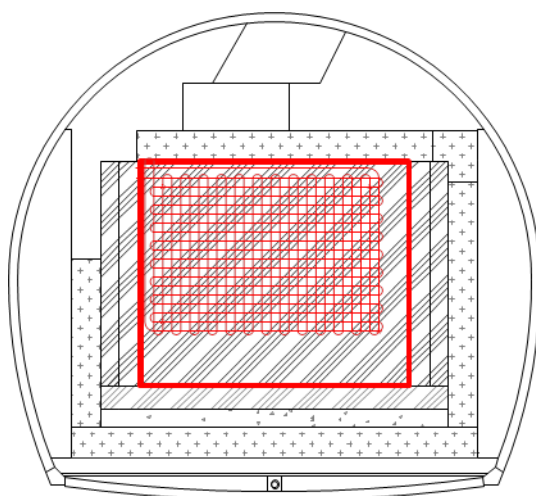


図 2.6-25 手前コンクリートピットの光ファイバセンサー設置範囲（正面図）

上部低拡散層に設置されている計測機器の種類と数量を表 2.6-23 に、計測機器の仕様を表 2.6-24 に示す。また、上部低拡散層に設置されている計測機器の配置図を図 2.6-26 に示す。

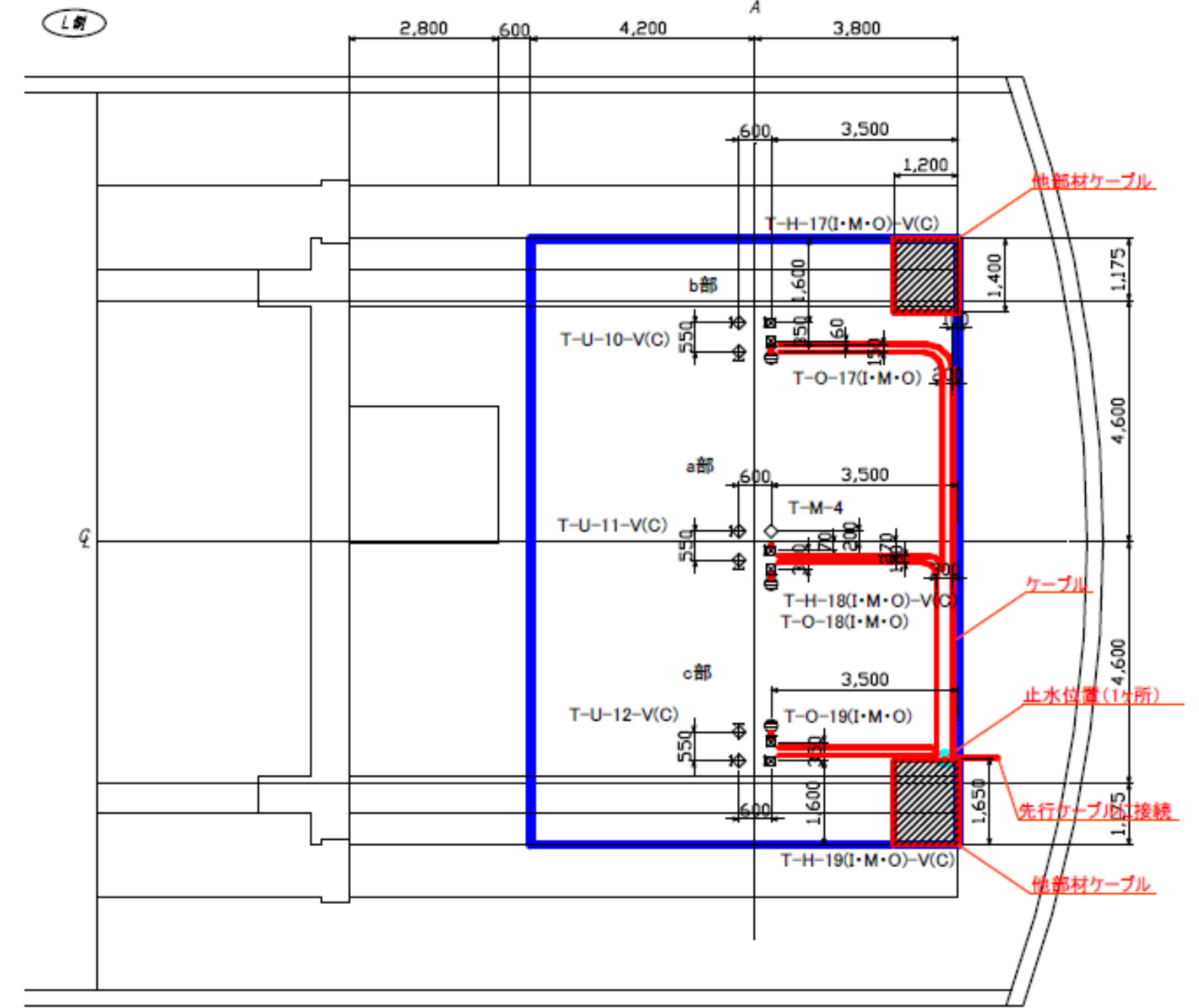
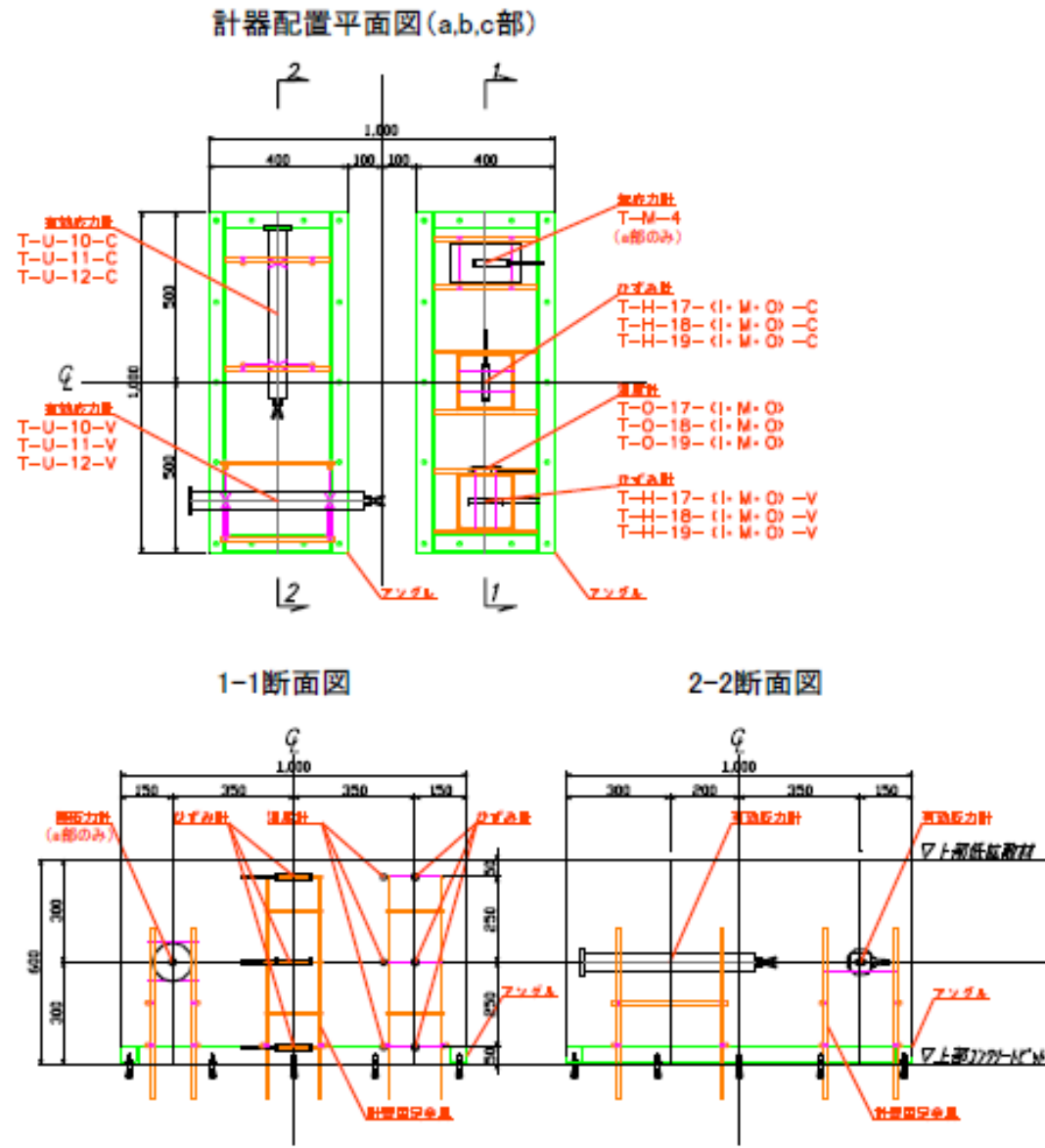
表 2.6-23 上部低拡散層に設置されている計測機器の種類と数量

計測計器	数量	計器番号	備考
ひずみ計	18	T-H-17 (I・M・O)-C ~ T-H-19 (I・M・O)-C T-H-17 (I・M・O)-V ~ T-H-19 (I・M・O)-V	
有効応力計	6	T-U-10-C ~ T-U-12-C T-U-10-V ~ T-U-12-V	
無応力計	1	P-M-4	
温度計	9	T-O-17 (I・M・O) ~ T-O-19 (I・M・O)	

表 2.6-24 上部低拡散層に設置されている計測機器の仕様

名称	仕様	機種
ひずみ計	測定範囲： $\pm 5000 \times 10^{-6}$ ひずみ 定格出力：約 2.5mV/v 非直線性：1%RO 許容温度範囲：-20~+80℃ 入出力抵抗：350Ω	東京測器研究所製 (KM-100B)
有効応力計	測定範囲：10N/mm <sup>2</sup> 定格出力：0.9mV/v 以上 非直線性： $\pm 1.0\%$ RO 以内 許容温度範囲：-10~+80℃ 入出力抵抗：350Ω	東横エルメス製 (GK-10N-505)
無応力計	・ひずみ計を使用 ・無応力容器 (寸法：外径 120×内径 100×長さ 200mm 程度)	ひずみ計：東京測器研究所製 (KM-100B) 無応力容器：東京測器研究所製
温度計	測定範囲：-10~+80℃ 定格出力：2.25mV/v 以上 精度：1℃以内	東横エルメス製 (RT-100)

計器配置平面図



※ケーブルは上部コンクリートピット上面を配線するものとする。

凡例

☒	コンクリートひずみ計 2方向	厚さ方向の岩盤側(O)、中央(M)、模擬湧き体側(D)に設置。
⊕	有効応力計 2方向	厚さ方向の中央に設置。
◇	無応力計	厚さ方向の中央に設置。
⊖	温度計	厚さ方向の岩盤側(O)、中央(M)、模擬湧き体側(D)に設置。

↔ ⊕ : コンクリートひずみ計、有効応力計の計測方向を示す。  
(。は、紙面直交方向。)

図 2.6-26 上部低拡散層に設置されている計測機器の配置



同様に、手前コンクリートピットに埋設されている計測機器の種類と数量を表 2.6-25 に、計測機器の仕様を表 2.6-26 に示す。また、手前コンクリートピットに設置されている計測機器の配置図を図 2.6-27、図 2.6-28 に示す。

表 2.6-25 手前コンクリートピットに設置されている計測機器の種類と数量

計測計器	数量	計器番号	備 考
ひずみ計	10	P-H (16・18・20・22・24) -I P-H (16・18・20・22・24) -O	
無応力計	1	P-M-4	
温度計	11	P-O (16・18・20・22・24) -I P-O (16・18・20・22・24) -O P-O-20-M	
鉄筋計	10	P-R (16・18・20・22・24) -I P-R (16・18・20・22・24) -O	

表 2.6-26 手前コンクリートピットに設置されている計測機器の仕様

名称	仕 様	機 種
ひずみ計	測 定 範 囲：±5000×10 <sup>-6</sup> ひずみ 定 格 出 力：約2.5mV/v 非 直 線 性：1%RO 許容温度範囲：-20～+80℃ 入出力抵抗：350Ω	東京測器研究所製 (KM-100B)
無応力計	・ ひずみ計を使用 ・ 無応力容器 (寸法：外径120×内径100×長さ200mm程度)	ひずみ計：東京測器研究所製 (KM-100B) 無応力容器：東京測器研究所製
温度計	測 定 範 囲：-10～+80℃ 定 格 出 力：2.25mV/v以上 精 度：1℃以内	東横エルメス製 (RT-100)
鉄筋計	測 定 範 囲：±350N/mm <sup>2</sup> 定 格 出 力：±1.0mV/v以上 非 直 線 性：±1.0%RO以内 許容温度範囲：-10～+80℃ 入出力抵抗：350Ω	東横エルメス製 (GR-13HN)



縦断面(手前部)

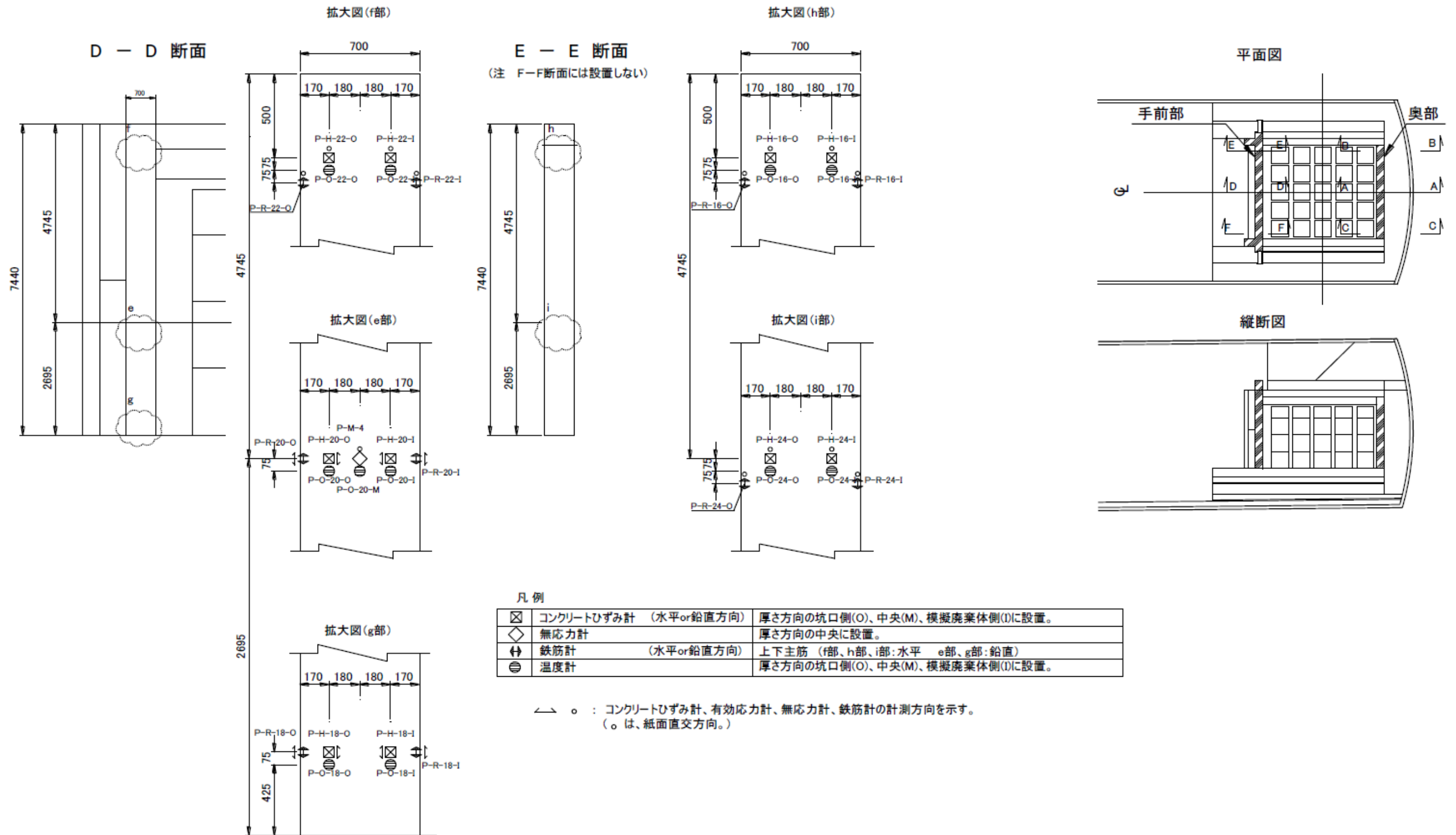


図 2.6-27 手前コンクリートピットに設置されている計測機器の配置 (1/2)





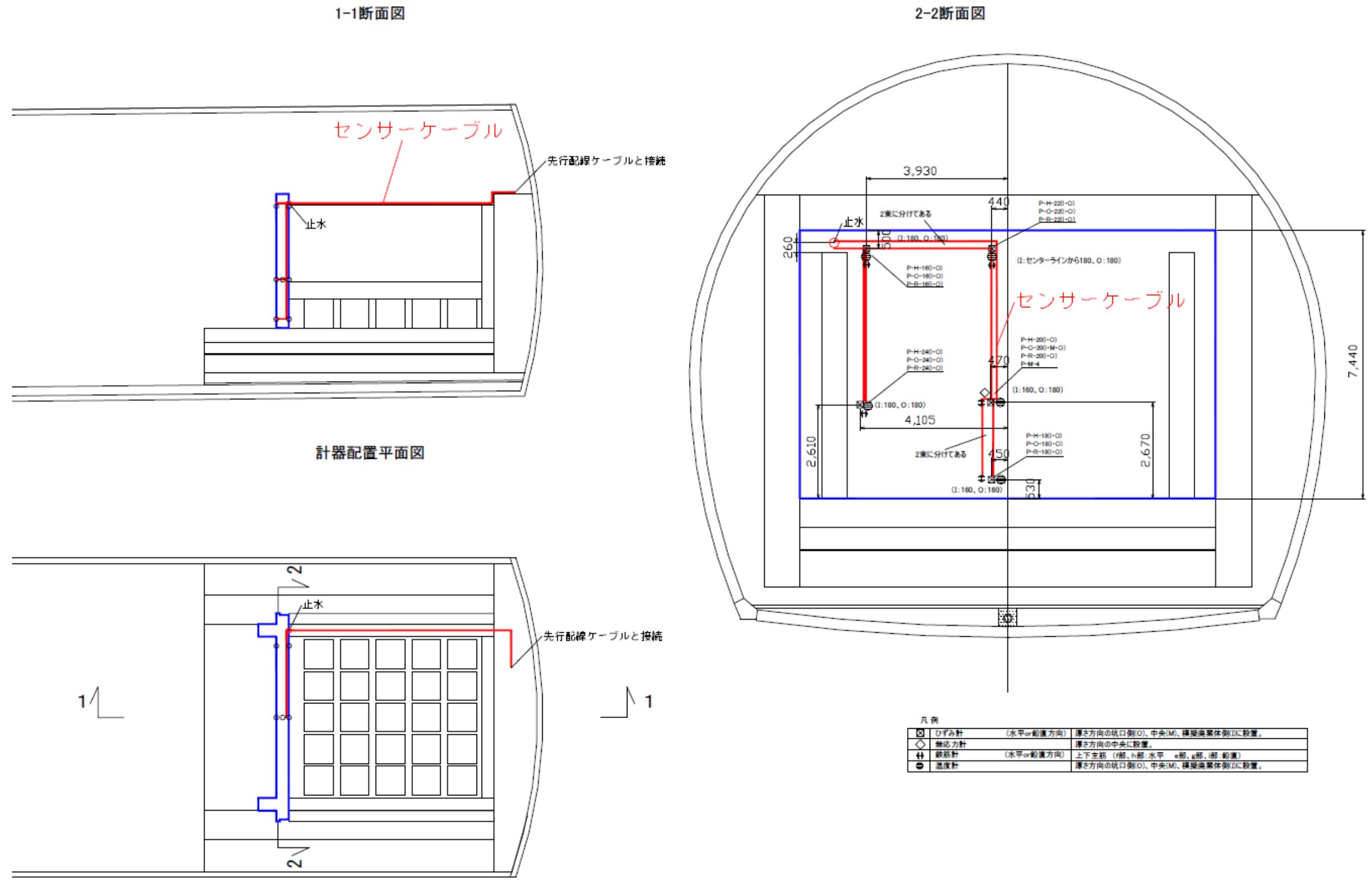


図 2.6-28 手前コンクリートピットに設置されている計測機器の配置 (2/2)



上部低拡散層に光ファイバセンサーを設置する範囲は、試験空洞軸方向の手前側約 2.7m の範囲である。一方、既設の計測機器は、手前側から約 4.2m の位置に設置されており、その上部には上部低透水層、上部埋戻し材が施工されている。すなわち、光ファイバセンサー設置範囲の直下には、既設の計測機器が存在しない。ただし、人為的に発生させるひび割れを試験空洞軸方向に発生させる場合には、図 2.6-26 に示した a 部、c 部のコンクリートひずみ計、有効応力計がひび割れの発生を検知できる可能性がある。

手前コンクリートピットには、試験空洞中心付近と左側に既設の計測機器が設置されている。手前コンクリートピットは、右側の一部と下部に光ファイバセンサーが設置されない範囲があるが、多くの既設計測機器が光ファイバセンサー設置範囲に存在する。そのため、人為的なひび割れを発生させた場合には、ひずみ計、鉄筋計がひび割れの発生を検知できる可能性がある。

既設の計測機器がひび割れの発生を検知した場合には、発生させたひび割れとの位置関係から光ファイバセンサーの計測データの妥当性を評価することが可能と考えられる。平成 30 年度に実施するひび割れ計測試験においては、これらの既設計測機器の位置を考慮してひび割れ発生位置や発生方向を設定することが望ましい。

## 第2章 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 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
- [2] 原子力規制庁：第二種廃棄物埋設に係る規制基準等の骨子案、廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム第 27 回会合、資料 27-1、平成 29 年 11 月 2 日
- [3] 原子力規制庁：中深度処分における廃棄物埋設地の設計プロセス及び線量評価に係る審査ガイドの骨子案、廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム第 27 回会合、資料 27-2、平成 29 年 11 月 2 日
- [4] 原子力規制庁：炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（改定案）、廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム第 27 回会合、参考資料 27-2-2、平成 29 年 11 月 2 日
- [5] 社団法人土木学会 エネルギー小委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会：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 年 6 月
- [6] 社団法人土木学会 エネルギー小委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会：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
- [7] 一般社団法人日本原子力学会：日本原子力学会標準 余裕深度処分施設の施設検査方法：2010、AESJ-SC-F019:2010、2011 年 5 月
- [8] Leung, C. K., Wan, K. T., Inaudi, D., Bao, X., Habel, W., Zhou, Z., Ou, J., Ghandehari, M., Wu, H. C., Imai, M.: Review: optical fiber sensors for civil engineering applications. *Materials and Structures* 48(4), 871-906 (2015).
- [9] Hattog, A. H.: *An Introduction to Distributed Optical Fibre Sensors*. CRC Press (2018).
- [10] R. Posey Jr., G.A. Johnson and S.T. Vohra, "Strain sensing based on coherent Rayleigh scattering in an optical fibre", *Electronics Letters* Vol. 36 No. 20, 28 September 2000.
- [11] 李哲賢, 西口憲一, 宮武美由紀, 牧田篤, 横山光徳, 岸田欣増, ... & 武田展雄. (2008). 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 (高機能光ファイバ及び一般). 電子情報通信学会技術研究報告. OFT, 光ファイバ応用技術, 108(32), 55-60.
- [12] Delepine-Lesoille, S., Guzik, A., Bertrand, J., Henault, J. M., & Kishida, K. (2013, May). Validation of TW-COTDR method for 25km distributed optical fiber sensing. In *Fifth European Workshop on Optical Fibre Sensors* (Vol. 8794, p. 879438). International Society for Optics and Photonics.
- [13] 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報告書、平成 27 年 3 月 (2015)
- [14] 新技術情報共有システム NETIS 新技術概要説明情報  
[http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG\\_NO=KT-030007](http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=KT-030007)
- [15] 協立エンジ株式会社：KK シート工法カタログ
- [16] 社団法人 土木学会 建設技術研究委員会 建設技術体系化小委員会 解体・障害物撤去工

ワーキンググループ：解体・障害物撤去工、2017年1月

[17] 太平洋マテリアル株式会社：ブライスターカタログ

[18] 株式会社クライム：板ジャッキ工法カタログ

[19] 平戸金属工業株式会社：パッカーシリーズカタログ



### 第 3 章 機能確認の実現性確認





## 第3章 機能確認の実現性確認

### 3.1 解析精度向上に資するセメント系材料の化学的変質、溶解特性に関するデータの取得

#### 3.1.1 はじめに

地下約 100m に建設された中深度処分施設の試験空洞（以下、試験空洞と称す）では、これまでに低拡散層、低透水層を中心に人工バリアを構成する各材料に関する低拡散性、透水性に関して、実際に構造物を構築する確証試験が行われている。

これらの確証試験にて施工した部材に関しては、施工から 7 年程度経過しているが、現在までに顕著な劣化は見られていない。一方で、試験空洞については、建設から 10 数年経過し、吹付けコンクリートにはエフロッセンスの発生が確認されている。こうした状況を受けて平成 28 年度業務で、吹付けコンクリートの健全性評価を目的としたコア分析を行った。その結果、吹付けコンクリート自体の強度は十分に担保されているものの、岩盤との界面付近で化学的変質が生じていることが確認された。吹付けコンクリートの劣化は地下空洞自体の健全性を低下させる可能性があり、300～400 年におよぶ規制期間中の施設の安全性を損なうことが懸念される。すなわち、吹付けコンクリートの劣化状況を予測し、長期的な試験空洞の安全性を確認することが重要である。

また、試験空洞内に建設する放射性廃棄物処分施設の長期モニタリング業務では、施設が想定どおりに性能を発揮しつつあることを確認するために、建設段階～埋設段階で排水分析を、閉鎖措置段階以降に近傍ボーリング孔による地下水分析を行うことを計画している。これらを実施するにあたり、周辺地下水と最初に接し、分析結果に最も影響を与えられと考えられる吹付けコンクリートについて、着目すべき分析項目（pH、イオン種など）を抽出する必要がある。

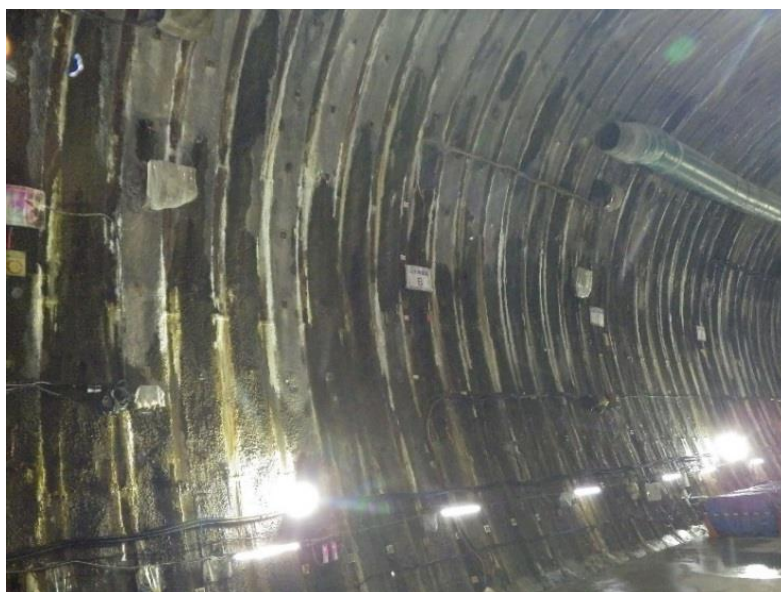


図 3.1-1 試験空洞内の様子（平成 29 年 10 月撮影）

吹付けコンクリートは一般に、硫酸塩を含有する急結剤が用いられており、このことが、吹付けコンクリートの劣化に影響を与えている可能性がある。吹付けコンクリートの長期的な劣化状況を予測する上では、急結剤として硫酸塩を含有するセメント系材料の劣化による化学的変質や、溶解特性を把握することが重要である。

そこで、硫酸塩を主成分とする急結剤を用いたセメントペーストの溶解試験を実施し、鉱物組成の変化や、Ca イオンの溶解平衡関係に関するデータ取得を行った。

### 3.1.2 試験概要

吹付けコンクリートの化学的変質や、溶解特性に関するデータを取得するために、溶解試験を行った。試験空洞で施工された吹付けコンクリートの配合を模擬した供試体を製作し、40℃の環境で 56 日間封緘養生した。養生終了後、供試体を所定の粒径に粉砕し、溶解試験を行った。溶解試験を実施した試料は、固液分離を行い、固体部分は鉱物分析を、液体部分はイオン分析を行った。

### 3.1.3 試験条件

#### (1) 試験空洞の吹付けコンクリートの使用材料と配合

試験空洞の支保パターンを図 3.1-2 に示す。吹付けコンクリートは厚さ 300mm で施工されており、アーチ部は全範囲、ベンチ部では内空側 100mm の範囲で、鋼繊維を加える仕様となっている。表 3.1-1 に試験空洞の吹付けコンクリートにおける使用材料を、図 3.1-2 に鋼繊維を混入しない部位の配合を、表 3.1-3 に鋼繊維が混入された部位の配合を示す。

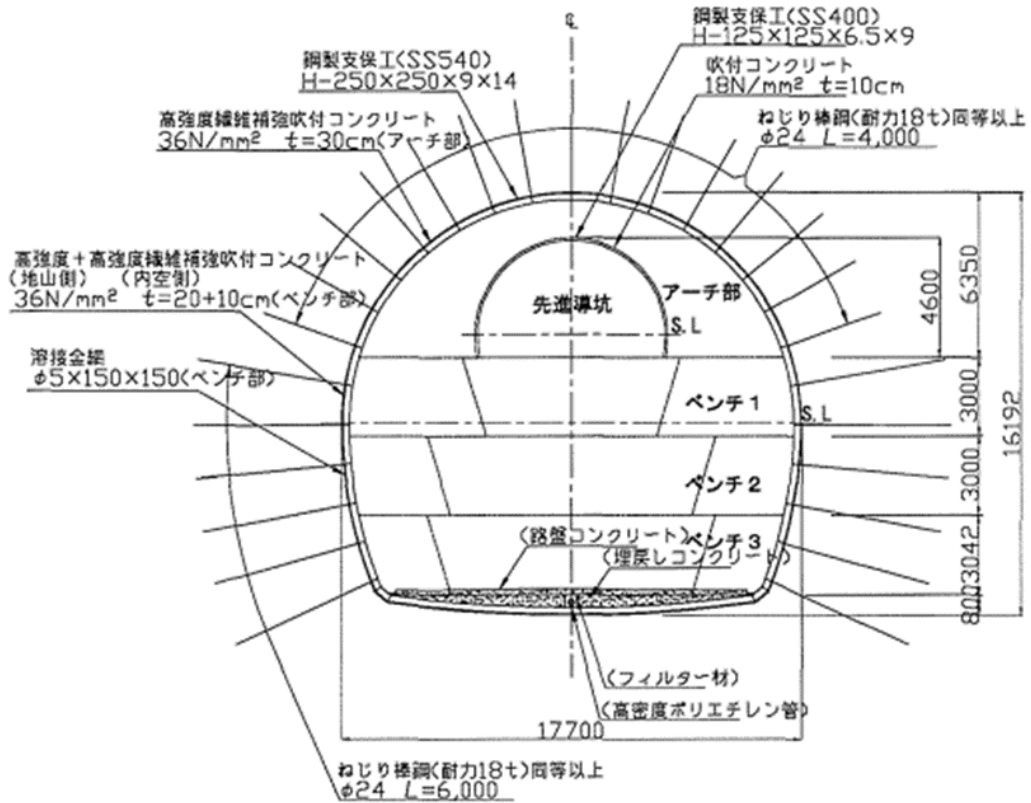


図 3.1-2 試験空洞支保パターン図[1]

表 3.1-1 試験空洞の吹付けコンクリートにおける使用材料

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 <sup>3</sup>
細骨材	S	陸砂 密度 : 2.59g/cm <sup>3</sup> 、F.M. : 2.70
粗骨材	G	砂利 粗骨材最大寸法 10mm、密度 : 2.57g/cm <sup>3</sup>
混和剤	SP	高性能減水剤 FTN-30 (グレースケミカルズ)
	AC	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	SF	鋼繊維 シンコーファイバ φ0.6mm×30mm 神鋼建材株式会社

表 3.1-2 吹付けコンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
		W	C	S	G	SP	AC
45	60	202	450	979	648	3.60	45

表 3.1-3 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 <sup>3</sup> )						
		W	C	S	G	SP	AC	SF
45	60	202	450	969	640	4.95	45	58.9

(2) 溶解試験の材料と配合

試験に使用する材料を表 3.1-4 に、配合を表 3.1-5 に示す。今回の試験では、試験空洞に施工された吹付けコンクリート配合のセメントペースト部分を用いる。

急結剤は、カルシウムサルフォアルミネートを主成分とするデンカナトミック TYPE10(図 3.1-3) を使用した。水はイオン交換水を使用している。

表 3.1-4 試験使用材料

使用材料	記号	摘要
水	W	イオン交換水
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 <sup>3</sup>
混和剤	SP	高性能減水剤 FTN-30 (グレースケミカルズ)
	AC	急結剤 デンカナトミック TYPE10 (デンカ) カルシウムサルフォアルミネート系

表 3.1-5 試験空洞の吹付けコンクリートにおける使用材料

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
		W	C	SP (W 内割)	AC (C 外割 10%)
45	60	540	1202	13.2	120



図 3.1-3 デンカナトミック TYPE10

(3) 溶質試験ケース

液固比と浸漬材齢をパラメータとして、溶質試験を行う。表 3.1-6 に溶解試験における試験ケースを示す。

表 3.1-6 溶解試験における試験ケース

ケース	配合種類	液固比	浸漬材齢	試料重量 g	イオン交換 水重量 g
1	W+C+SP +AC	1	溶解平衡確認後	100	100
2		5	溶解平衡確認後	100	500
3		7	溶解平衡確認後	100	700
4		10	14、28、56日、溶解平衡関係確認後	50	500
5		20	溶解平衡確認後	25	500
6		100	14、28、56日、溶解平衡関係確認後	20	2000
7		1000	溶解平衡確認後	2	2000
8		2000	溶解平衡確認後	1	2000
9		3000	溶解平衡確認後	0.5	1500

### 3.1.4 溶解試験手順

溶解試験の具体的な実施方法について以下に示す。

#### (1) 練混ぜ

セメント（および碎石粉）と高性能減水剤を内割り添加したイオン交換水を練混ぜて、セメントペーストを作製した。これに、急結剤を添加して 10 秒攪拌し、練上がり完了とし、 $\phi 5 \times 10\text{cm}$  のサミット缶に打設した。練混ぜは、 $20^\circ\text{C}$ 環境で実施した。



図 3.1-4 練混ぜ状況

#### (2) 供試体採取

$\phi 5 \times 10\text{cm}$  のサミット缶に、供試体を採取した。急結剤の影響により、ペーストの流動性は著しく失われるため、充填不良が生じないように、テーブルバイブレーターで振動を与えながら、供試体を採取した。





図 3.1-5 供試体採取状況

(3) 養生

サミット缶に打設後、40℃-60%RH の恒温恒湿室において 56 日間の封緘養生を行った。



図 3.1-6 供試体養生状況

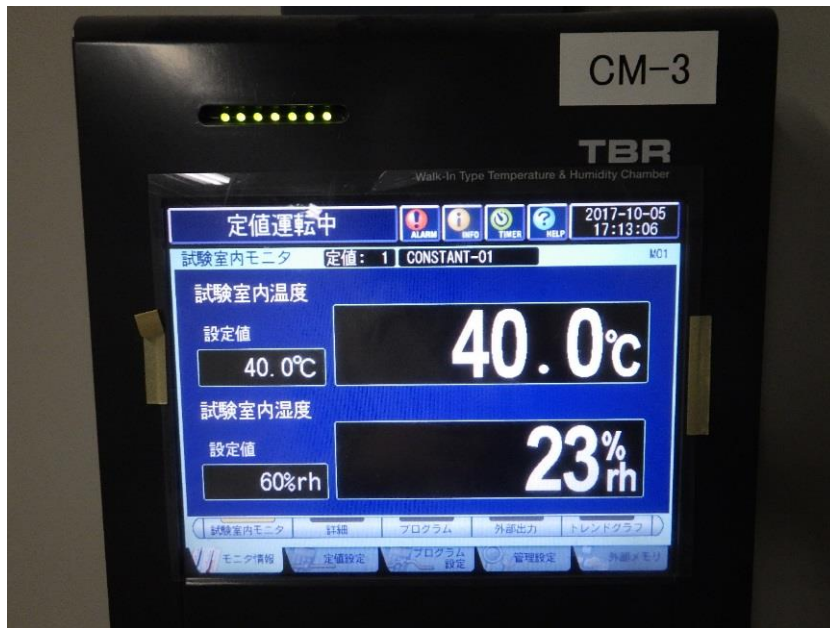


図 3.1-7 室内温度、湿度設定状況



#### (4) 試料調整

養生終了後の供試体は、空気中の二酸化炭素と反応して化学的変質が生じないように、窒素を充填したグローブボックス内で破碎し、ふるいにより 1.2~2.5mm の大きさに粒度調整を行った。試料の粉碎状況を図 3.1-9 に示す。

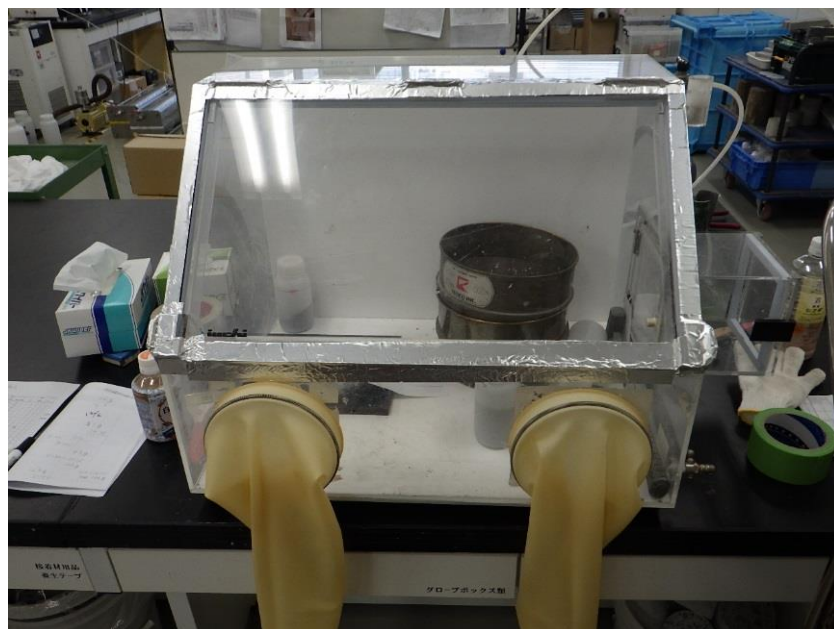


図 3.1-8 グローブボックス

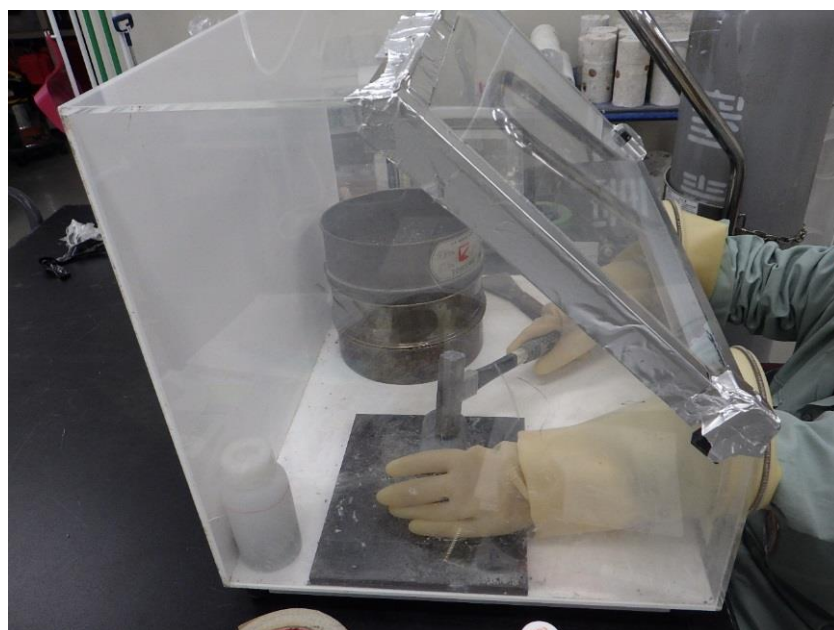


図 3.1-9 試料の粉碎状況

(5) 溶解試験

粒度調整が完了した試料を、イオン交換水に浸漬した。浸漬期間中には、pH を測定し、その際に液相の緩やかな撹拌を行った。pH 測定は、浸漬 7 日目までは 1 日 1 回、その後は 1 週間に 1 回行う。溶解試験状況を図 3.1-10 および図 3.1-11 に示す。

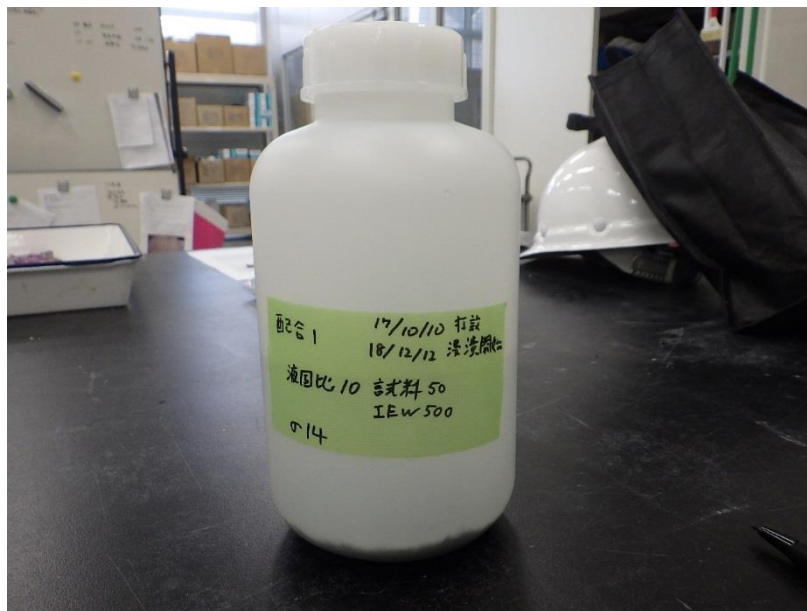


図 3.1-10 溶解試験状況（液固比 10）

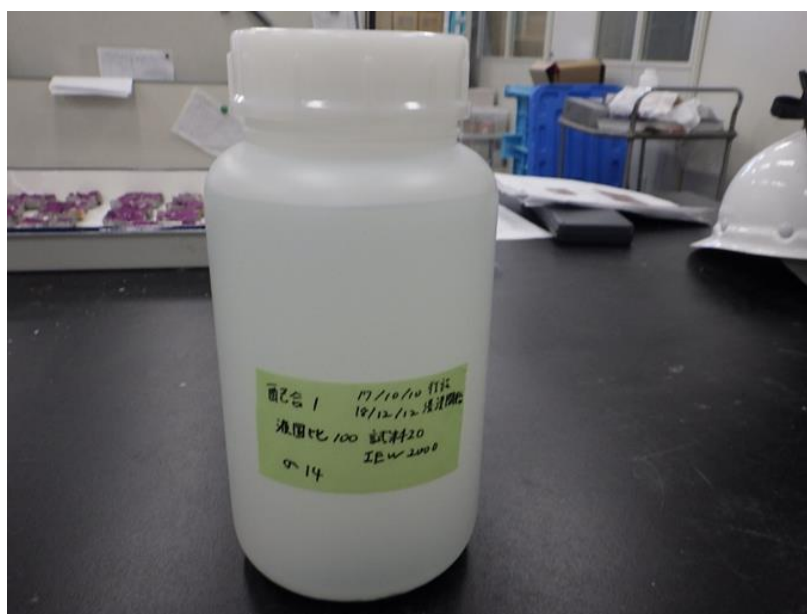


図 3.1-11 溶解試験状況（液固比 100）

## (6) 試料分析

浸漬終了後にメッシュサイズ 5  $\mu\text{m}$  のメンブランフィルターおよびブフナーロートを用いて固液分離を行う。固液の分離は、空気中の二酸化炭素と反応して化学的変質が生じないように、グローブボックス内で実施する。

採取した溶液は、イオン濃度分析にかけ、残存した固相については、粉末 X 線回折によって鉱物組成の分析を実施する。なお、鉱物組成については、浸漬前の試料についても情報を取得し、浸漬前後における各鉱物の増減について評価を行う。

### 3.1.5 溶解試験の試験項目

#### (1) 物理試験項目

製作した供試体について、所定の材齢で圧縮強度試験、空隙率測定試験を実施した。これらの試験を基にして、供試体の養生終了時期を判断した。試験項目と試験材齢を表 3.1-7 に示す。

表 3.1-7 試験項目と試験材齢

試験項目	手法	試験材齢
圧縮強度	JIS A 1108	7 日、14 日、28 日、56 日
空隙率	水銀圧入式ポロシメータ	

#### (2) 化学分析項目

溶解試験に用いた初期試料、養生終了後の試料、固液分離後の試料について、化学分析を実施した。溶解試験の化学分析項目を表 3.1-8 に、溶解平衡関係に関わるデータ取得の際に実施する化学分析項目を表 3.1-9 に示す。

初期試料の分析として、蛍光 X 線分析を実施した。なお急結剤を対象とした蛍光 X 線分析は、主成分である Al や Si が検量範囲を超えることが想定されたため、蛍光 X 線分析と併せて、化学分析を実施することとした。

物理試験により供試体が概ね水和反応を停止したことを確認した後に、溶解試験を開始した。養生終了後の供試体について、粉末 X 線回折測定（リートベルト法）を行い、溶解試験開始時の鉱物組成を分析した。

溶解試験中は全液固比について pH の測定を浸漬後 1 週間は 1 回/日、それ以降は 1 回/週実施した。また、液固比 10 と 100 については浸漬材齢 14 日、28 日、56 日で固液分離し、浸漬水のイオン分析と残渣の鉱物組成分析を実施した。溶解試験を実施している試料が溶解平衡関係に達していることの確認は、pH や液固比 10、100 の試料の浸漬水のイオン濃度、浸漬後残渣の鉱物組成割合の経時変化から判断することとした。液固比 10、100 の試料について、溶解平衡に達していると確認した後、その他の液固比の試料も固液分離を行い、溶解試験を終了した。

溶解試験終了後は浸漬水のイオン分析を実施し、固相と液相の溶解平衡関係を取得した。

表 3.1-8 化学分析項目（溶解試験中）

対象		手法	試験実施時期
初期試料	セメント	化学組成 ・蛍光 X 線分析 ・化学分析 SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、TiO <sub>2</sub>	試験開始時
	急結剤		
	急結剤		
養生 終了後	養生終了後 の供試体	鉍物組成 ・粉末 X 線回折（リートベルト法）	養生終了後 （水和反応終了確認後）
溶解試験 期間中	浸漬水（全液 固比）	pH 分析	開始後 1 週間、それ以降 は 1 回/週
	浸漬水 （液固比 10、100）	イオン分析： Ca、全 Si、イオン状 Si、Al、Fe、Na、 K、Mg、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、全 S	浸漬材齢 14 日、28 日、 56 日
	浸漬後残渣 （液固比 10、100）	鉍物組成 ・粉末 X 線回折（リートベルト法）	浸漬材齢 14 日、28 日、 56 日

表 3.1-9 化学分析項目（溶解平衡関係の取得）

溶解試験 終了後	浸漬水 （全液固比）	イオン分析： Ca、全 Si、イオン状 Si、Al、Fe、 Na、K、Mg、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、全 S	溶解試験終了後 （固液平衡確認後）
	浸漬後残渣 （液固比 10、100）	鉍物組成 ・粉末 X 線回折（リートベルト法）	

### 3.1.6 溶解試験の試験結果

#### (1) 物理試験結果

##### 1) 圧縮強度

各材齢の圧縮強度試験の結果を表 3.1-10、図 3.1-12 に示す。図 3.1-12 中のエラーバーは、各材齢の試験値のばらつき（最大値と最小値）を示している。セメントペーストの強度である点に留意が必要なものの、供試体の圧縮強度は材齢 3 日時点で設計基準強度  $36\text{N/mm}^2$  を上回り、材齢 56 日には平成 28 年度調査時における吹付けコンクリートの実強度  $59.5\text{N/mm}^2$  程度の強度を示している。

表 3.1-10 供試体の圧縮強度

		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
		試験値	平均値
養生 日数 (日)	3	41.8	41.5
		43.1	
		39.5	
	7	48.1	46.9
		44.2	
		48.5	
	14	42.6	48.8
		46.7	
		57.1	
	28	56.4	51.8
		48.3	
		50.8	
56	58.6	57.5	
	57.1		
	56.7		

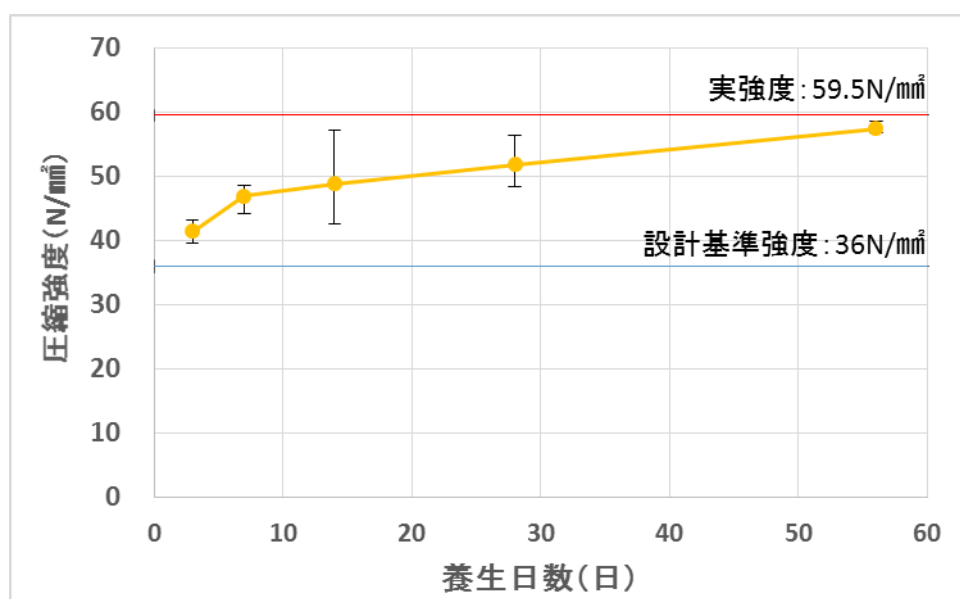


図 3.1-12 供試体の圧縮強度

## 2) 空隙率

水銀圧入法によって測定した、各材齢における細孔径分布を図 3.1-13 に示す。図 3.1-14 に示すとおり、材齢 56 日時点で空隙率の変化は収束していることが確認された。

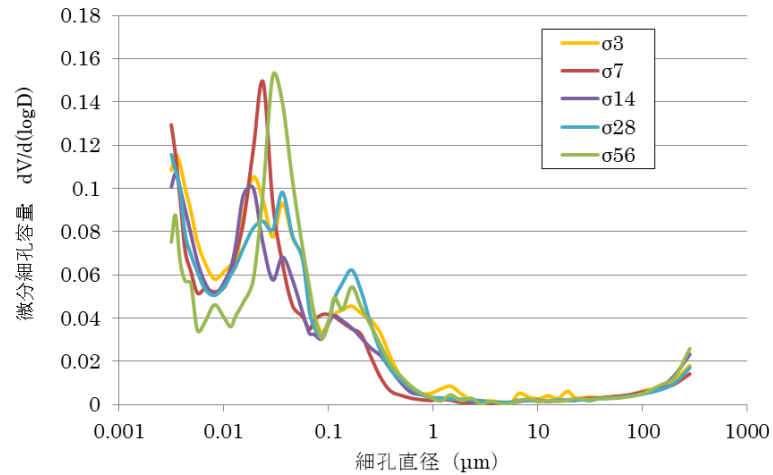


図 3.1-13 細孔径分布の経時変化

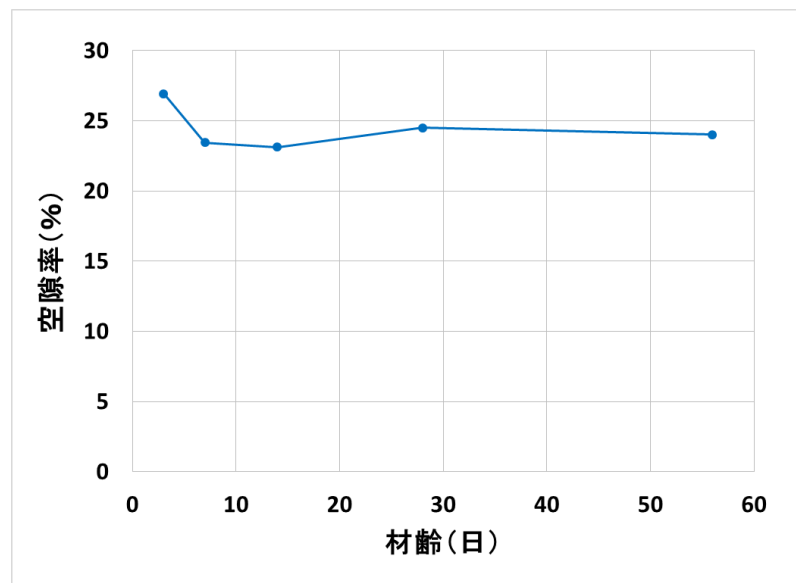


図 3.1-14 空隙率の経時変化

## 3) まとめ

材齢 56 日において、圧縮強度が試験空洞の実強度程度に達していること、空隙率の変化がほぼ収束していることから、水和反応は概ね終了していると判断して、養生を終了して、セメントペーストの溶解試験を開始することとした。

(2) 化学試験

1) 初期試料の化学組成

供試体作成に用いた材料について化学組成を分析した。セメント（普通ポルトランドセメント）は蛍光 X 線分析により、急結剤（デンカナトミック TYPE10）は蛍光 X 線分析と化学分析を用いて分析を実施した。急結剤の化学分析は、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ については JIS R 9101（セッコウの化学分析）を、 $\text{TiO}_2$ は JIS R 5202（セメントの化学分析）を準用して分析を実施している。

表 3.1-11 に初期試料の化学組成分析結果を示す。デンカナトミック TYPE10 はカルシウムサルフォアルミネートを主成分としており、普通ポルトランドセメントでは含有割合が少ない  $\text{SO}_3$  や  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を多く含有していることが分かる。

表 3.1-11 初期試料の化学組成

		試料名	
		セメント (蛍光 X 線分析)	急結剤 (蛍光 X 線分析・化学分析)
成分分析結果 (%)	CaO	63.6	42.1
	MgO	2.4	-
	$\text{SO}_3$	2.0	27.9
	$\text{Na}_2\text{O}$	0.2	2.2
	$\text{K}_2\text{O}$	0.3	0.1
	$\text{P}_2\text{O}_5$	0.2	0.04
	MnO	0.1	-
	$\text{SiO}_2$	20.7	1.7
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	5.2	22.9
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2.9	0.2
	$\text{TiO}_2$	0.3	0.6
	Ig.loss	2.1	1.7
	insol.	-	0.5

## 2) pH

各液固比における pH の経時変化を図 3.1-15 に示す。浸漬材齢 7 日目までに急激に上昇し、その後浸漬材齢 28 日目にかけては緩やかに上昇した。浸漬材齢 28 日目以降は、pH の値に大きな変化は見られず、液固比によらず pH の変化は収束していると考えられる。

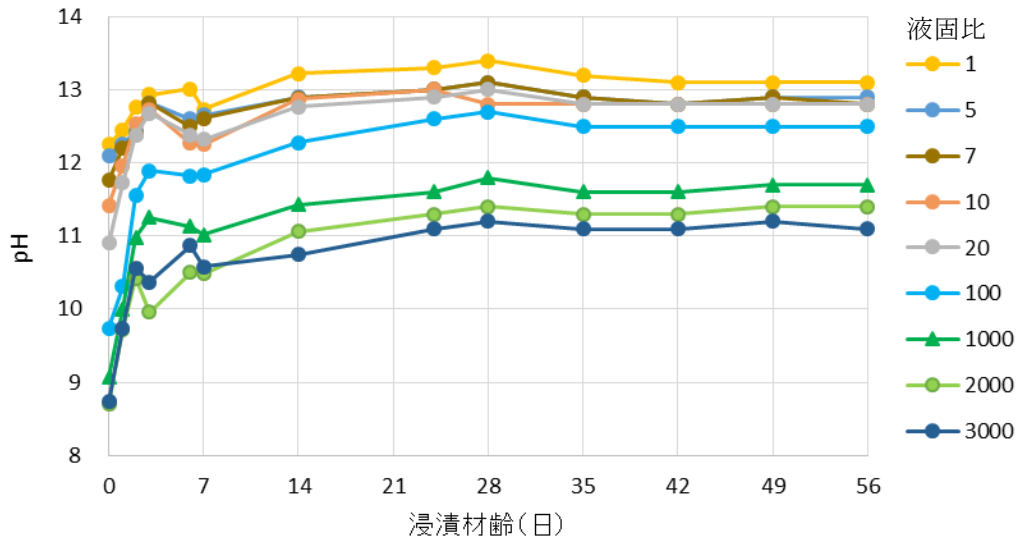


図 3.1-15 pH の経時変化



### 3) 浸漬水のイオン組成

液固比 10、100 のケースは、浸漬材齢 14 日、28 日、56 日に固液分離を実施し、浸漬水のイオン組成分析と浸漬後残渣の鉱物組成分析を実施した。浸漬水のイオン組成を表 3.1-12 に示す。

Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe、全 S は常に定量下限値未満の量のイオンしか検出されず、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、イオン状 Si、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> も浸漬材齢 56 日時点で、検出量は定量下限値未満である。浸漬材齢 28 日の CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> の検出量が大きくなっている理由としては、pH 測定などの分析の過程で、長時間空気に触れてしまい、大気中の CO<sub>2</sub> が浸漬水に溶解してしまった可能性が考えられる。

詳細な考察は、次ページ以降に示す。

表 3.1-12 浸漬水の分析（浸漬材齢 14 日、28 日、56 日）

項目	単位	液固比 10			液固比 100		
		材齢 14 日	材齢 28 日	材齢 56 日	材齢 14 日	材齢 28 日	材齢 56 日
pH		12.7	12.8	12.9	12.3	12.5	12.7
Cl <sup>-</sup>	mg / l	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		5	5	4 未満	4 未満	4	4 未満
Na <sup>+</sup>		191	196	187	19.2	19.4	18.9
K <sup>+</sup>		165	174	171	16.7	17.8	17.5
Ca <sup>2+</sup>		664	649	722	340	356	503
Mg <sup>2+</sup>		0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満
Fe		0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
Al		0.06	0.04	0.03	0.14	0.10	0.11
全 S		100 未満	100 未満	100 未満	100 未満	100 未満	100 未満
イオン状 Si		1 未満	1 未満	1 未満	3	1	1 未満
全 Si		8	3	1	10	3	4
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		5.0 未満	94.7	5.0 未満	7.4	185	5.0 未満

液固比 10 のケースについて、定量下限値以上の量のイオンが検出された Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Al<sup>3+</sup>、全 Si の浸漬水のイオン濃度の経時変化を図 3.1-16 と図 3.1-17 に示す。なお、Al<sup>3+</sup> は定量下限値を超える量のイオンが検知されているものの、その濃度は低く、変化も僅かである。

Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> は浸漬材齢 14 日目までに液相中のイオン濃度が上昇し、その後はイオン濃度はほとんど変化しない。全 Si は浸漬材齢 14 日目までに液相中のイオン濃度が上昇した後、浸漬材齢 28 日目にかけてイオン濃度は低下し、その後は安定する。

一方、Ca<sup>2+</sup> は浸漬材齢 14 日目から 28 日目までは濃度に大きな変化がないが、浸漬材齢 56 日目にかけてやや増加している。浸漬材齢 28 日目では Ca<sup>2+</sup> 以外のイオンに大きな変化はなく、また前述のとおり、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> の混入が確認されたことを考慮すると、液相中の Ca<sup>2+</sup> の一部が CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> と反応して沈殿した可能性が高い。すなわち、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> の混入によって、浸漬材齢 28 日目の Ca<sup>2+</sup> 濃度が過小評価されている可能性がある。

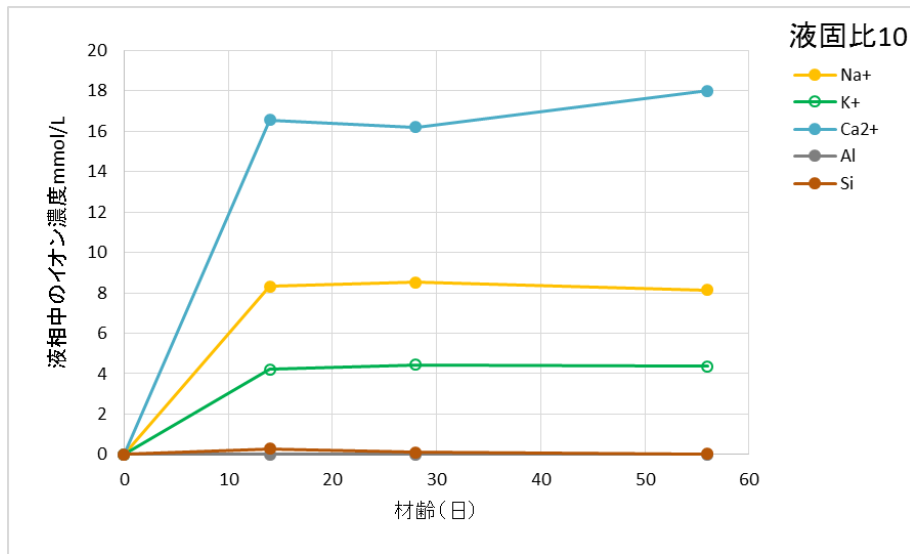


図 3.1-16 浸漬水のイオン濃度の経時変化 (液固比 10)

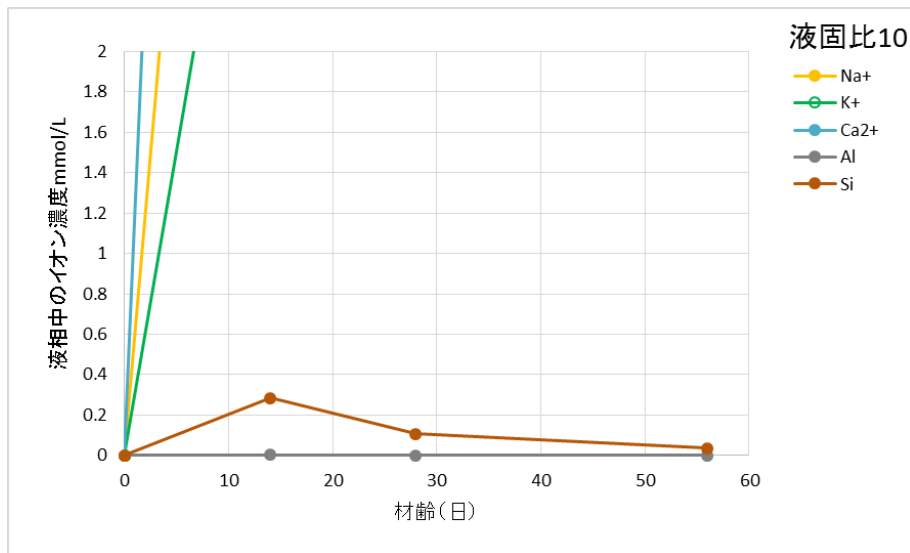


図 3.1-17 浸漬水のイオン濃度の経時変化 (液固比 10 低濃度領域拡大)

液固比 100 について、定量下限値以上の量のイオンが検出された  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、全 Si の浸漬水のイオン濃度の経時変化を図 3.1-18 と図 3.1-19 に示す。なお、Al は定量下限値を超える量のイオンが検知されているものの、その濃度は低い。

液固比 10 のケースと同様の傾向を示しており、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  は浸漬材齢 14 日目以降、濃度変化は確認できない。全 Si は浸漬材齢 14 日目以降、浸漬材齢 28 日目にかけてイオン濃度は低下し、安定する。

一方、 $\text{Ca}^{2+}$  は浸漬材齢 14 日目から 28 日目までは濃度に大きな変化がないが、浸漬材齢 56 日目にかけて増加している。これは、液固比 10 のケースと同様に、炭酸イオンの混入により、浸漬材齢 28 日目の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度が過小評価されている可能性がある。

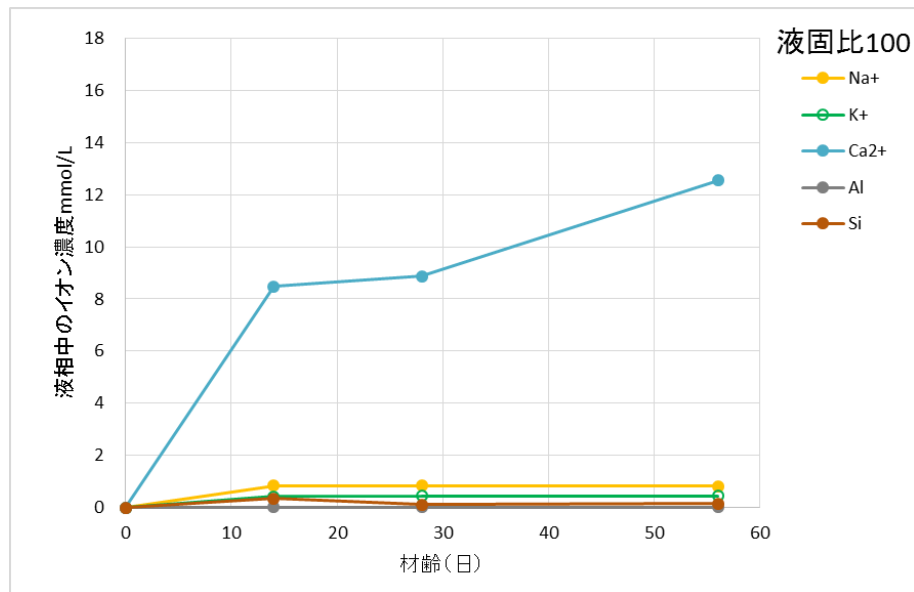


図 3.1-18 浸漬水のイオン濃度の経時変化 (液固比 100)

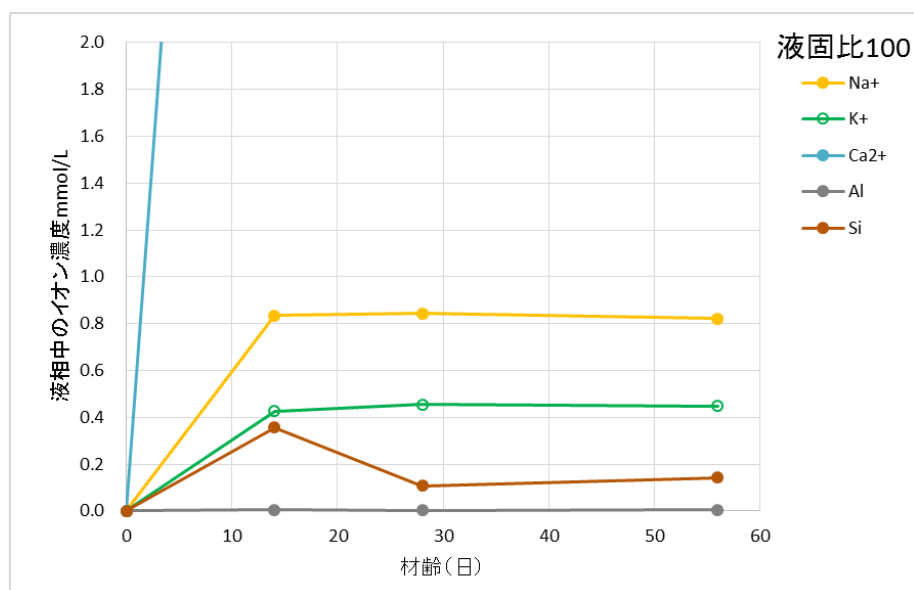


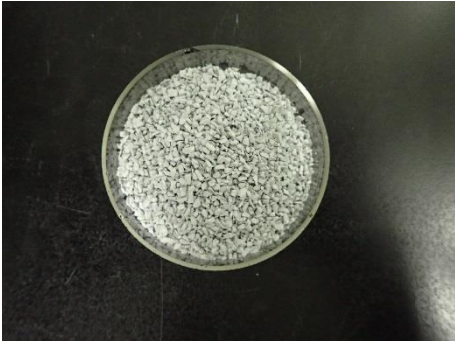

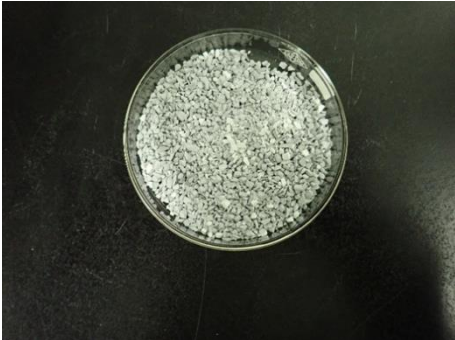




図 3.1-19 浸漬水のイオン濃度の経時変化 (液固比 100 低濃度領域拡大)

4) 浸漬後残渣の鉱物組成

液固比 10、100 の浸漬材齢 14 日、28 日、56 日で固液分離を実施した試料について、浸漬後残渣の鉱物組成を分析した。浸漬後残渣の外観を表 3.1-13 に示す。

表 3.1-13 浸漬後残渣の外観（浸漬材齢 14 日、28 日、56 日）

	液固比 10	液固比 100
初期試料		
14 日		
28 日		
56 日		

鉱物組成分析の結果を表 3.1-14 に示す。浸漬前（養生終了時点）の試料は、表 3.1-15 に示されるようなセメントの主要鉱物であるエーライト、ビーライト、アルミネート、フェライトが少量確認された。養生終了後の供試体に、未水和の鉱物が多少残っていたと考えられる。

浸漬前試料の水和生成物としては、エトリンガイト、モノサルフェート、ポルトランダイト、非晶質が確認された。図 3.1-20 に示すとおり、急結剤を含むセメントの水和過程ではカルシウムシリケート水和物 (C-S-H) やポルトランダイト (Ca(OH)<sub>2</sub>)、エトリンガイトやモノサルフェートが生成される。浸漬前の試料中のエトリンガイトやモノサルフェートは主に、急結剤の水和過程で生成されたものと考えられる。

浸漬に伴う鉱物組成の変化に関する考察は、次ページ以降に記す。

表 3.1-14 鉱物組成の分析（浸漬材齢 14 日、28 日、56 日）

液固比	浸漬材齢 (日)	鉱物組成 (mass%)								
		エーライト C <sub>3</sub> S	ビーライト C <sub>2</sub> S	アルミネート C <sub>3</sub> A	フェライト C <sub>4</sub> AF	エトリンガイト Ett	モノサルフェート Afm	ポルトランダイト Ca(OH) <sub>2</sub>	非晶質 C-S-H	カルサイト CaCO <sub>3</sub>
浸漬前の試料		5.86	2.70	0.22	4.26	7.97	1.80	13.43	63.75	-
10	14	4.50	3.19	0.00	2.44	13.29	1.79	13.17	61.62	-
	28	3.31	2.45	0.04	2.20	15.18	0.38	10.88	65.56	-
	56	3.62	2.30	0.00	2.26	16.34	0.48	10.97	64.03	-
100	14	4.42	3.65	0.05	2.73	10.86	1.23	7.07	69.99	-
	28	3.89	3.14	0.07	2.46	15.92	0.55	4.87	69.12	-
	56	3.62	2.84	0.00	2.41	17.10	0.29	3.13	70.62	-

表 3.1-15 ポルトランドセメント中の主要鉱物[3]

表 1 ポルトランドセメント中の主要化合物量の一例  
[単位：%]

ポルトランドセメントの種類	エーライト (C <sub>3</sub> S)	ビーライト (C <sub>2</sub> S)	アルミネート相 (C <sub>3</sub> A)	フェライト相 (C <sub>4</sub> AF)
普通	50	25	9	9
早強	65	11	8	8
超早強	68	6	8	8
中庸熟	42	36	3	12
耐硫酸塩	63	15	1	15

備考：1. 普通ポルトランドセメントは混合材を除外した量。

2. 合計が100%にならないのは、石こう、MgO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O その他微量成分を加算していないためである。

図 1 急結セメントの水和過程

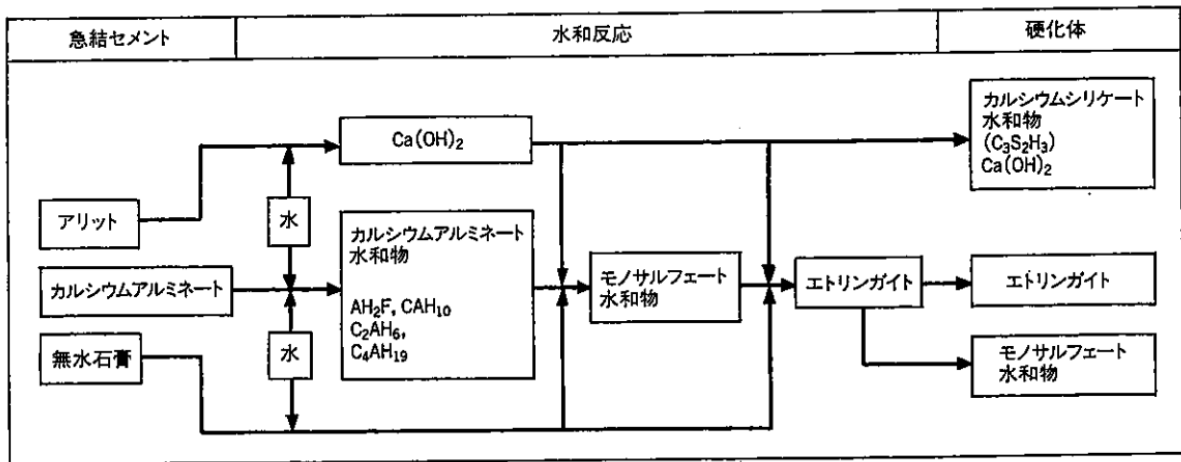


図 3.1-20 急結剤の水和過程[1]

液固比 10 のケースについて、未水和鉱物（エーライト、ビーライト、アルミネート、フェライト）の組成割合の経時変化を図 3.1-21 に示す。エーライト、フェライトは浸漬材齢 28 日目までに組成割合が低下し、それ以降、変化は収束に向かっている。アルミネートは浸漬材齢 14 日目までに組成割合がほぼ 0 となり、水和反応が完了したと考えられる。ビーライトは組成割合にばらつきがあるものの、大きな変化は見られない。

このように、浸漬材齢 56 日時点で、未水和鉱物の水和反応は収束していると考えられる。

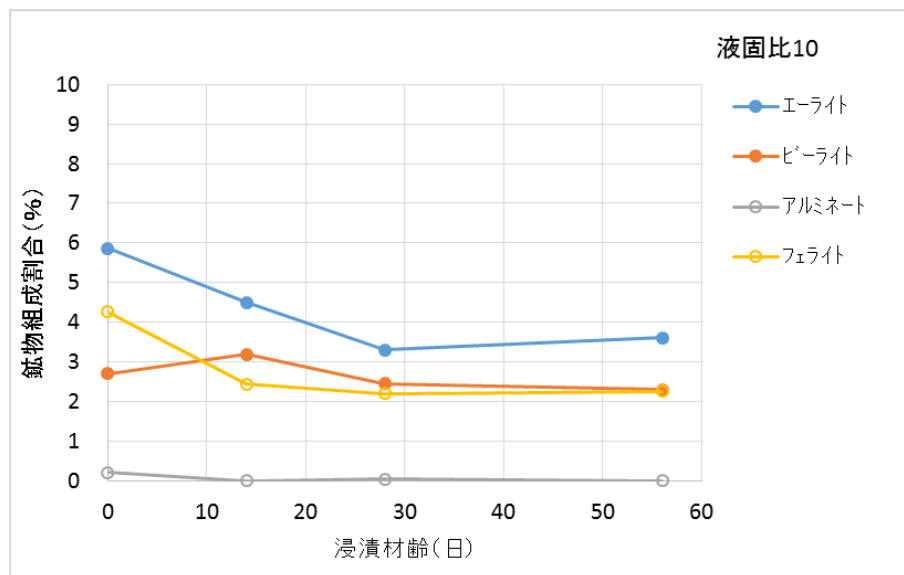


図 3.1-21 未水和鉱物の組成割合の経時変化（液固比 10）

ポルトランドライト ( $\text{Ca(OH)}_2$ )、非晶質 (C-S-H)、エトリンガイト ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ )、モノサルフェート ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )、カルサイト ( $\text{CaCO}_3$ ) の組成割合の変化を図 3.1-22、図 3.1-23 に示す。

ポルトランドライト、モノサルフェートは浸漬材齢 28 日目までに組成割合が減少し、それ

以降は変化がなく、一定となっている。一方で、エトリンガイトは浸漬材齢 14 日目までに組成割合が上昇し、14 日目以降は緩やかに上昇し、収束に向かっている。非晶質の組成割合は、浸漬開始以降に大きな変化はなく、カルサイトは生成されていない。

本実験ではポルトランダイトやモノサルフェートの組成割合の減少が確認されており、これらから溶出した  $\text{Ca}^{2+}$ 、モノサルフェートより溶出する  $\text{Al}^{3+}$ 、溶液中の  $\text{SO}_4^{2-}$  の反応により、エトリンガイトが生じている可能性がある。ただし、非晶質と判定される鉱物には、C-S-H のみならず、C-A-S-H や C-A-H など、Al を含む鉱物も含まれている。これらの鉱物が一部溶解して、エトリンガイトの生成に寄与している可能性も考えられる。

いずれにしても、浸漬水のイオンの濃度や鉱物の組成割合も変化が収束に向かっていることから、固相と液相はほぼ平衡状態に達していると考えられる。

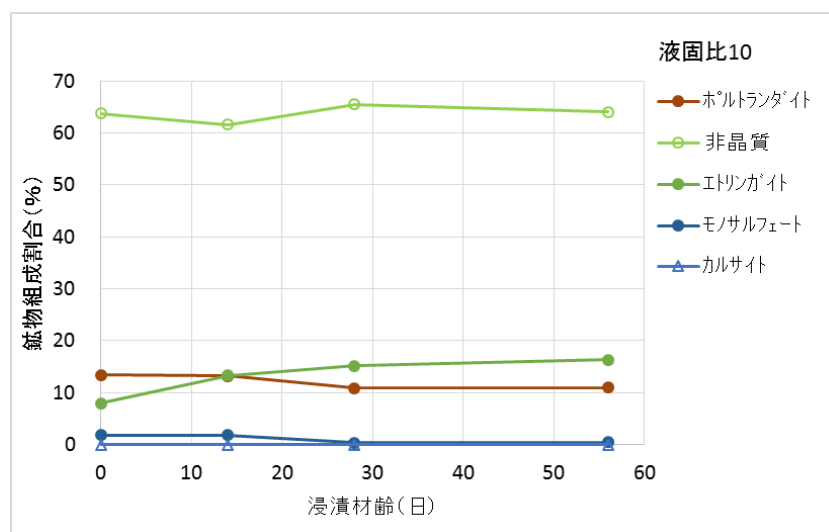


図 3.1-22 水和生成物の組成割合の経時変化 (液固比 10)

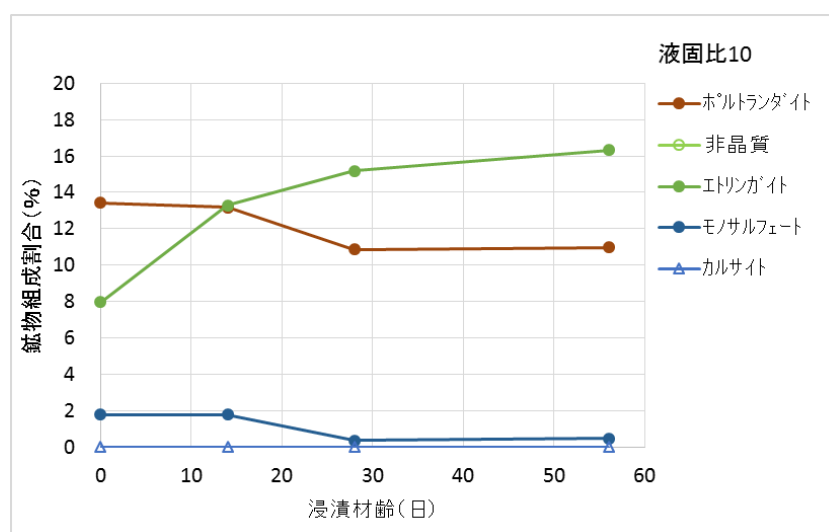


図 3.1-23 水和生成物の組成割合の経時変化 (液固比 10 低割合領域拡大)

液固比 100 のケースについて、未水和鉱物（エーライト、ビーライト、アルミネート、フェライト）の組成割合の経時変化を図 3.1-24 に示す。エーライト、フェライトは浸漬材齢 14 日目までに急激に組成割合が低下し、それ以降、緩やかに低下を続け、変化は収束に向かっている。アルミネートは浸漬材齢 14 日目までに組成割合はほとんど 0 になり、水和反応が終了したと考えられる。ビーライトは組成割合にばらつきがあるものの、概ね安定している。

浸漬材齢 56 日時点で、未水和鉱物の水和反応は収束していると考えられる。

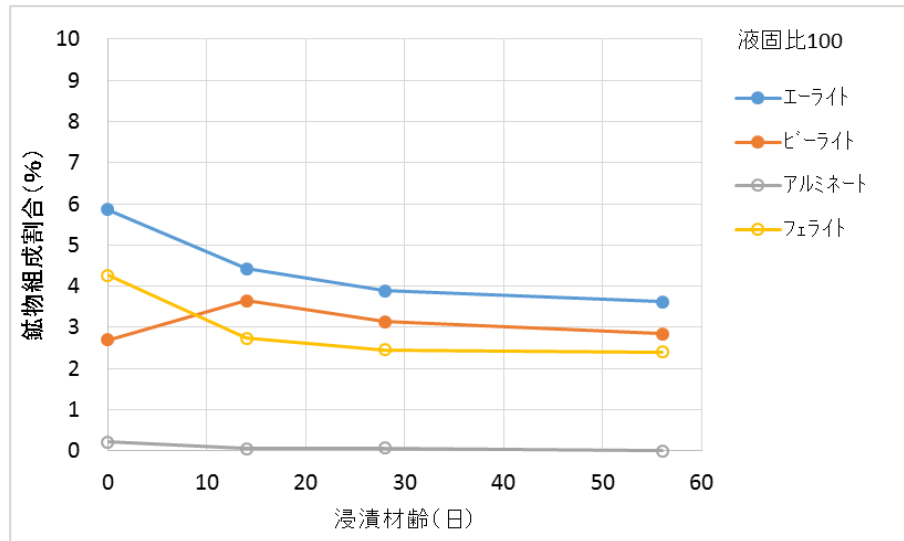


図 3.1-24 未水和鉱物の組成割合の経時変化（液固比 100）



水和生成物であるポルトランドイト ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )、非晶質 (C-S-H)、エトリンガイト ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ )、モノサルフェート ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )、カルサイト ( $\text{CaCO}_3$ ) の組成割合の変化を図 3.1-25、図 3.1-26 に示す。

液固比 10 のケースと同様に、ポルトランドイトとモノサルフェートの組成割合の減少、エトリンガイトの生成が生じており、その変化は概ね収束に向かっていると考えられる。

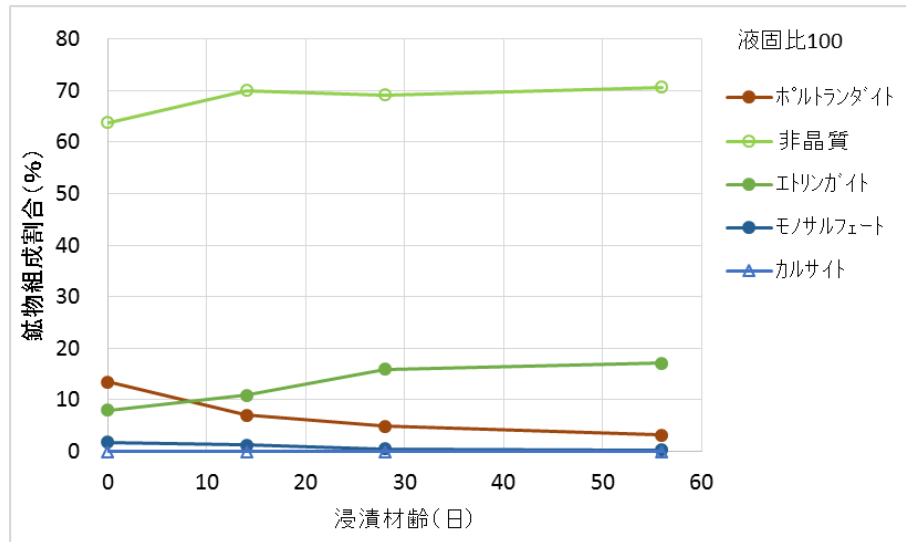


図 3.1-25 水和生成物の組成割合の経時変化 (液固比 100)

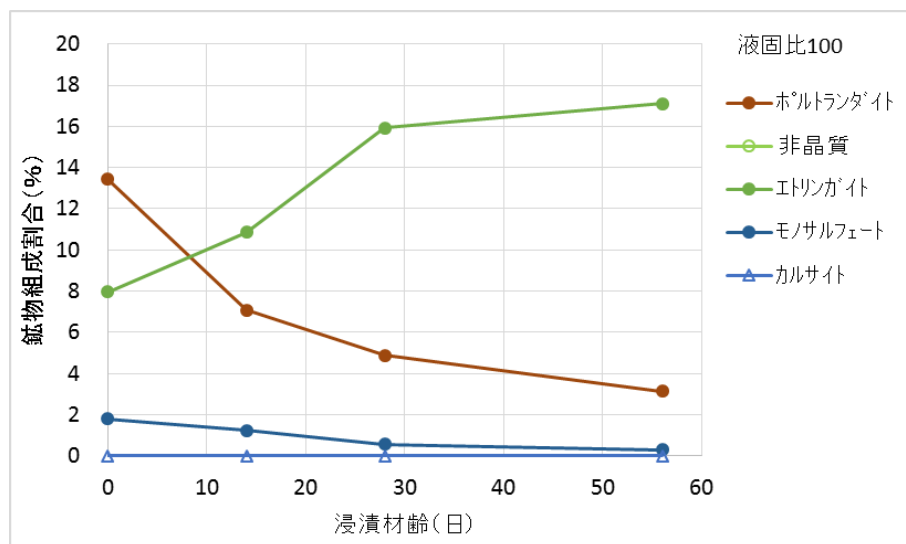


図 3.1-26 水和生成物の組成割合の経時変化 (液固比 100 低割合領域拡大)

鉱物組成分析（リートベルト法）のフィッティング結果の一覧を示す。なお、図中の青線が実測値、赤色が予測値を示し、灰色は実測値と予測値の差分を示す。

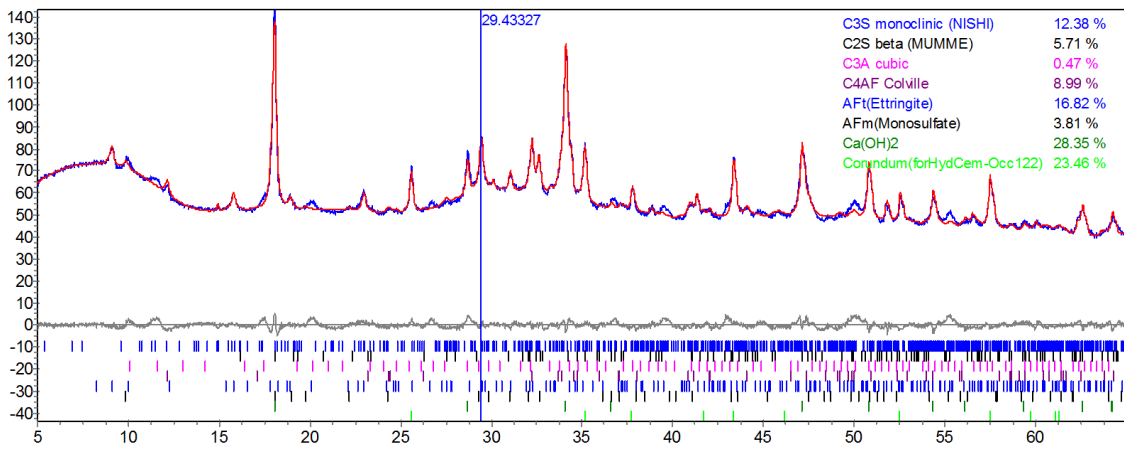


図 3.1-27 粉末 X 線解析（リートベルト法）：養生後供試体

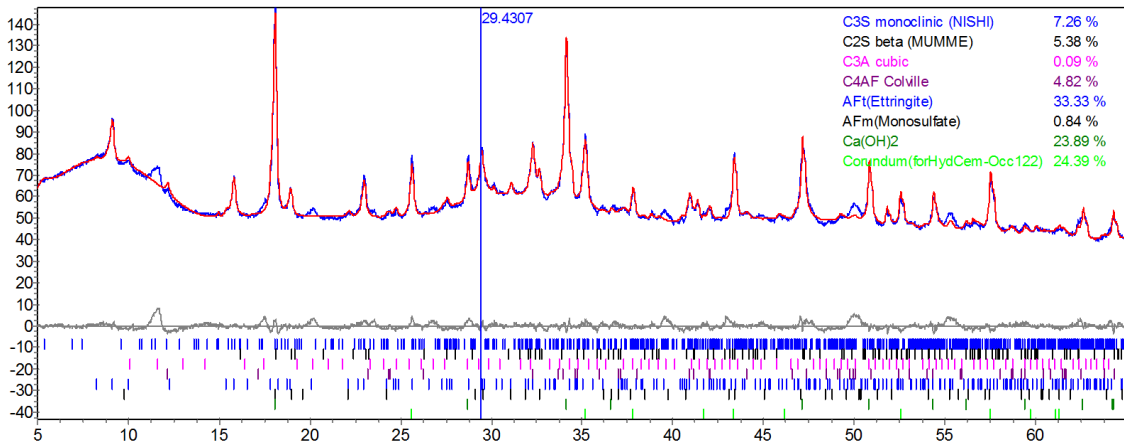


図 3.1-28 粉末 X 線解析（リートベルト法）：液固比 10 浸漬材齢 14 日

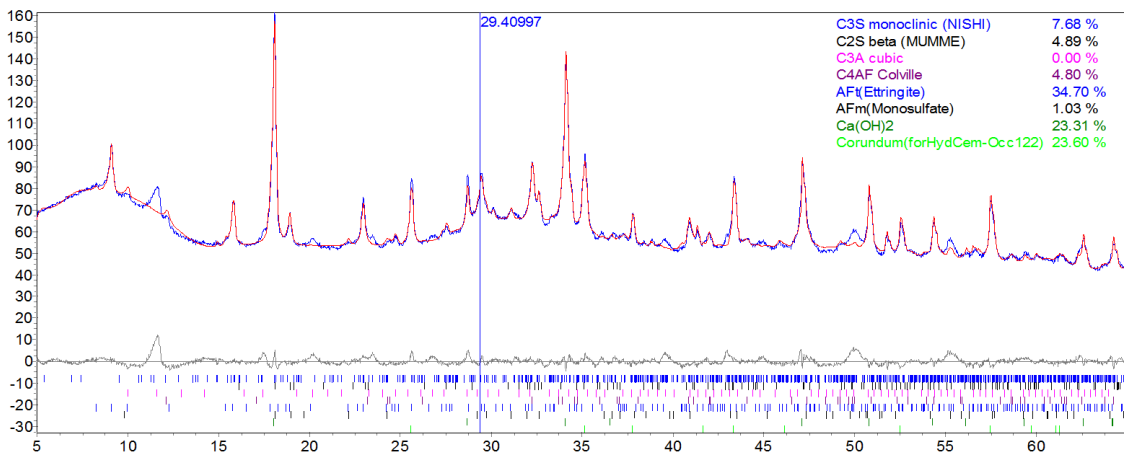


図 3.1-29 粉末 X 線解析（リートベルト法）：液固比 10 浸漬材齢 28 日

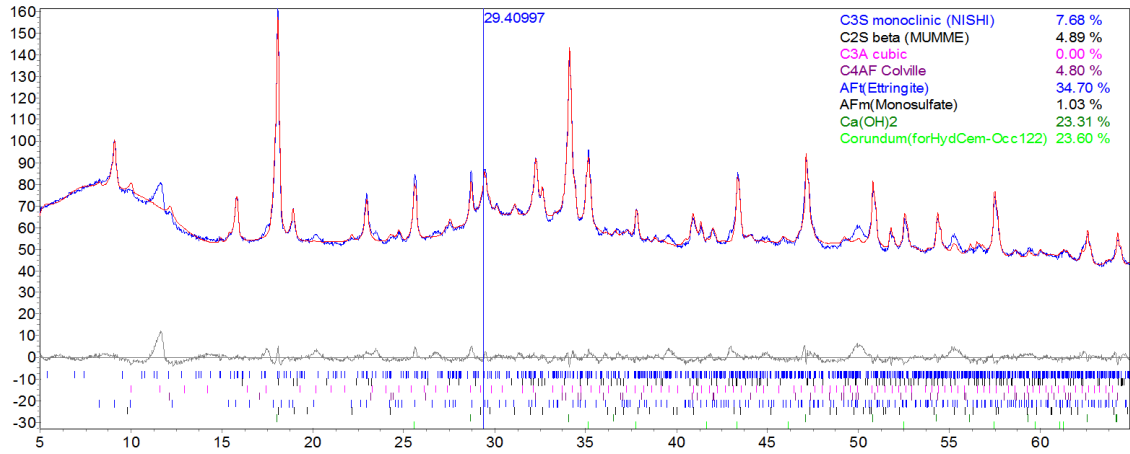


図 3.1-30 粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 液固比 10 浸漬材齢 56 日

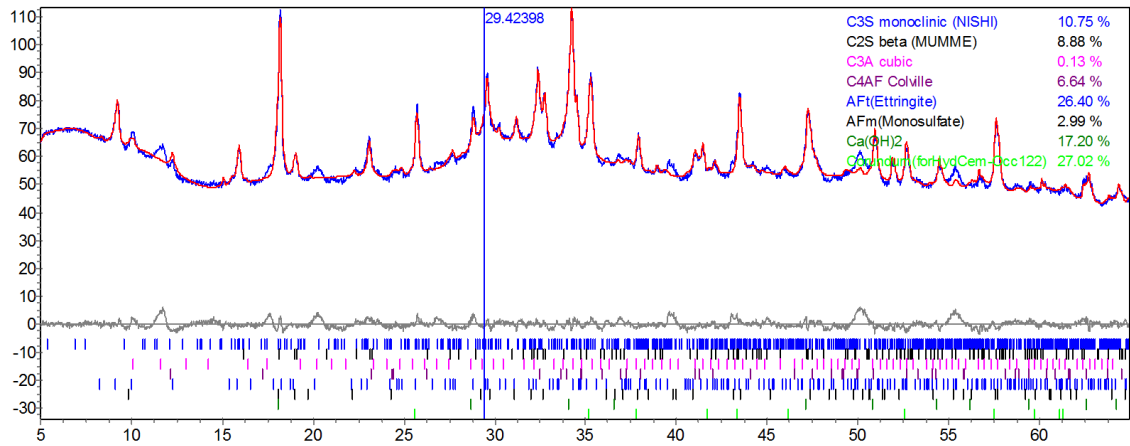


図 3.1-31 粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 液固比 100 浸漬材齢 14 日

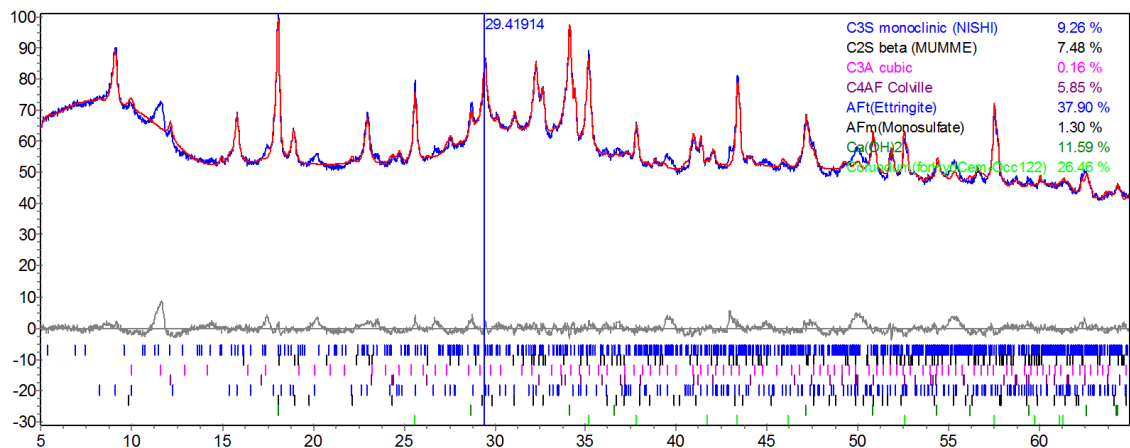


図 3.1-32 粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 液固比 100 浸漬材齢 28 日

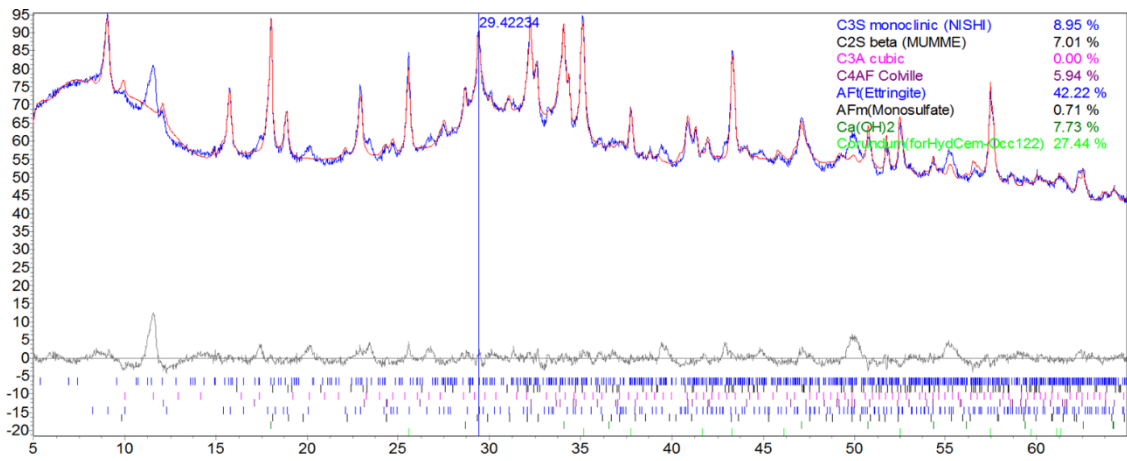


図 3.1-33 粉末 X 線解析 (リートベルト法) : 液固比 100 浸漬材齢 56 日

## 5) まとめ

試験空洞に施工された吹付けコンクリートの劣化の予測やモニタリングに資するデータを取得するために、硫酸イオンを含む急結剤を使用したセメントペーストの溶解試験を実施した。本検討で明らかになったことを以下に記す。

- ・急結剤を含むセメントの水和物としては、ポルトランダイト、非晶質の他に、エトリングイト、モノサルフェートを生成した。
- ・セメントペーストの浸漬水には、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ が検出された。
- ・溶解試験の実施に伴い、固相のセメント水和物は、ポルトランダイト、モノサルフェートが減少し、エトリングイトが生成された。
- ・溶解試験の実施に伴い、固相のセメント水和物は、ポルトランダイト、モノサルフェートが減少し、エトリングイトが生成された。

なお、以上に挙げた変化の収束が確認されたため、液固比 10、100 以外の液固比の試料についても溶解試験を終了し、浸漬水のイオン分析を実施し、溶解平衡関係に関わるデータを取得した。詳細は次項に記す。

### 3.1.7 溶解平衡関係の取得

#### (1) 浸漬水の分析

浸漬材齢 70 日目に、液固比 10、100 の試料を除く全液固比について固液分離を実施し、浸漬水の分析を行った。浸漬水の分析結果を表 3.1-16 に示す。

表 3.1-16 浸漬水の分析（浸漬材齢 70 日）

項目	単位	液固比								
		1	5	7	10	20	100	1000	2000	3000
浸漬材 齢	日	70			56	70	56	70		
pH		13.1	12.9	12.8	12.9	12.8	12.7	11.7	11.4	11.1
Cl <sup>-</sup>	mg /ℓ	5	1	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		19	4	4 未満	4 未満	4 未満	4 未満	4 未満	4 未満	4 未満
Na <sup>+</sup>		1670	378	266	187	93.8	18.9	2.0	1.1	0.7
K <sup>+</sup>		1460	337	239	171	83.6	17.5	1.9	1.2	0.8
Ca <sup>2+</sup>		166	708	737	722	789	503	82.2	45.0	26.5
Mg <sup>2+</sup>		1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満
Fe		0.1 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
Al		0.1 未満	0.02	0.02	0.03	0.02	0.11	0.11	0.09	0.39
全 S		1000 未満	100 未満	100 未満	100 未満	100 未満	100 未満	100 未満	100 未満	10 未満
イオン 状 Si		1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	32	38	21
全 Si	2	4	2	1	2	4	33	40	22	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	114	5.0 未満	5.0 未満	5.0 未満	5.0 未満	5.0 未満	16.2	9.8	9.5	
浸漬材 齢	日	70			56	70	56	70		

浸漬水のイオン分析の結果、比較的に変化の大きかった pH、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、イオン状 Si、全 Si について、液固比と平衡状態の浸漬水のイオン濃度の関係を図 3.1-34 から図 3.1-40 に示す。

図 3.1-34 より、液固比が大きいほど平衡状態の pH は小さくなることを確認できる。

図 3.1-35 より、液固比が 7 以上の領域では  $\text{SO}_4^{2-}$  は定量下限値以下の値しか検出できなかったが、液固比 5 以下のときは、定量下限値を超える  $\text{SO}_4^{2-}$  が溶出していることが分かる。

図 3.1-36 から図 3.1-38 より、液固比が小さい領域では、 $\text{Na}^+$  や  $\text{K}^+$  の濃度が高く、 $\text{Ca}^{2+}$  は比較的濃度が低いこと、液固比が 10 以上の領域では  $\text{Ca}^{2+}$  の濃度が高くなることが分かる。これは液固比が小さいときは、イオン化しやすい  $\text{Na}^+$  や  $\text{K}^+$  の溶出が先行して進行し、ポルトランダイト ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) や非晶質の溶脱が進まなかったためであると考えられる。

また、低液固比においては、 $\text{Ca}^{2+}$  の溶出抑制によって、エトリンガイトの生成反応も抑制され、溶液中の  $\text{SO}_4^{2-}$  が消費されなかったと考えられる。

図 3.1-39、図 3.1-40 から、液固比が 100 以下の領域ではイオン状 Si や全 Si はほとんど検出されないが、液固比が 1000 以上となると、濃度が高くなることが分かる。これは液固比が高い領域では、ポルトランダイトだけでなく、C-S-H が溶解していることを示している。

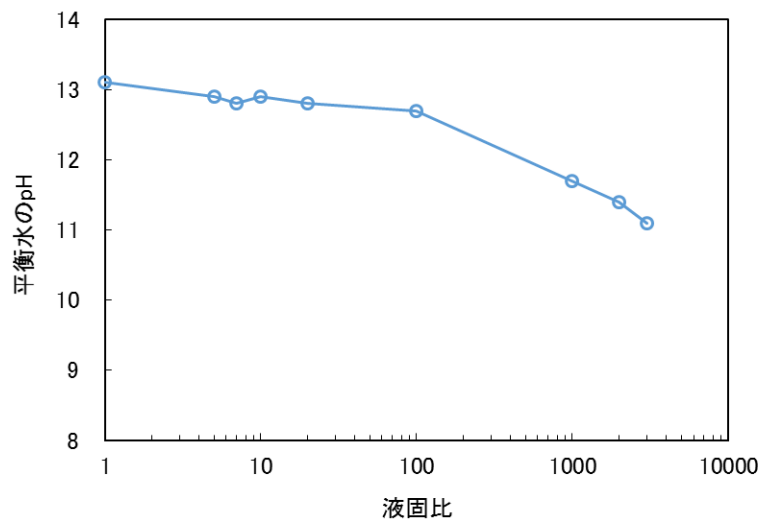


図 3.1-34 液固比と平衡水の pH の関係

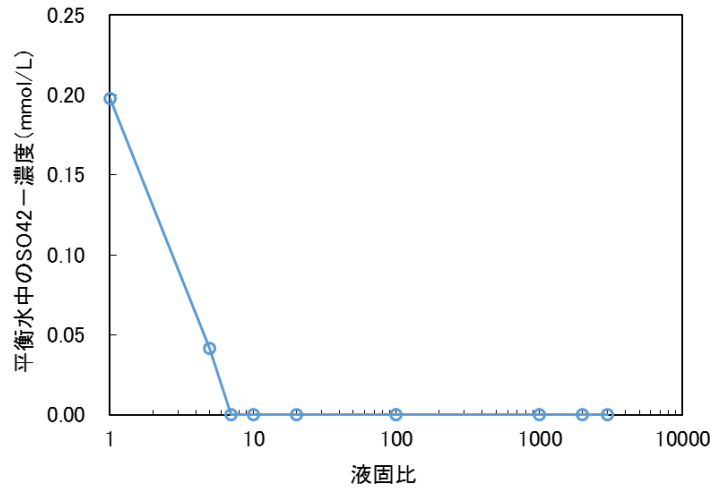


図 3.1-35 液固比と平衡水の  $\text{SO}_4^{2-}$  の関係

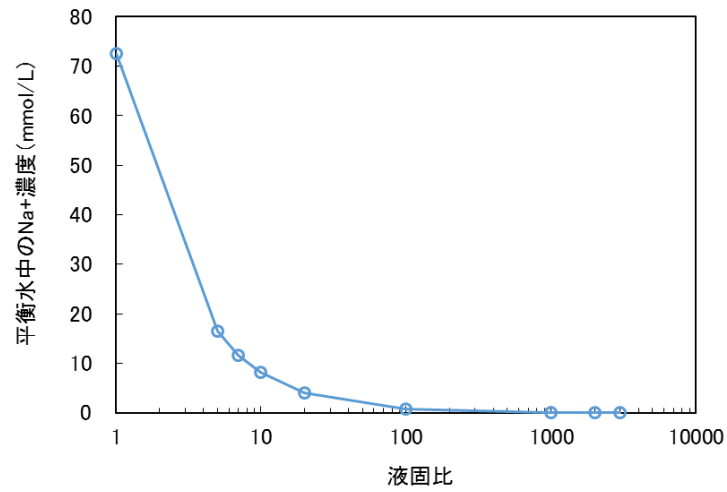


図 3.1-36 液固比と平衡水の  $\text{Na}^+$  の関係

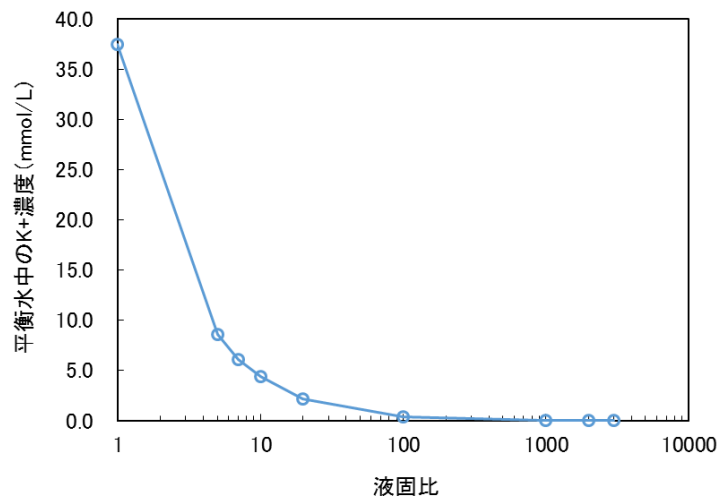


図 3.1-37 液固比と平衡水の  $\text{K}^+$  の関係



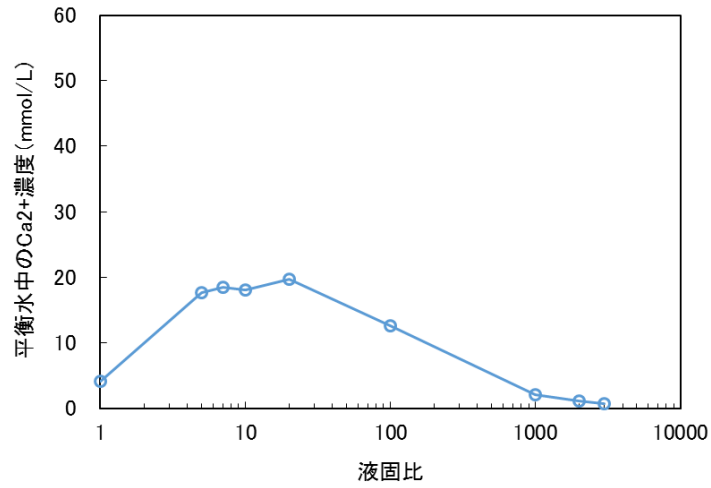


図 3.1-38 液固比と平衡水の Ca<sup>2+</sup> の関係

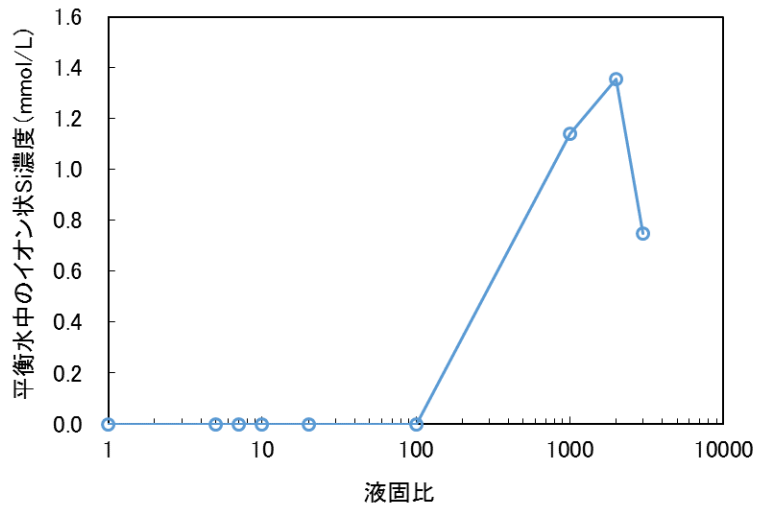


図 3.1-39 液固比と平衡水のイオン状 Si の関係

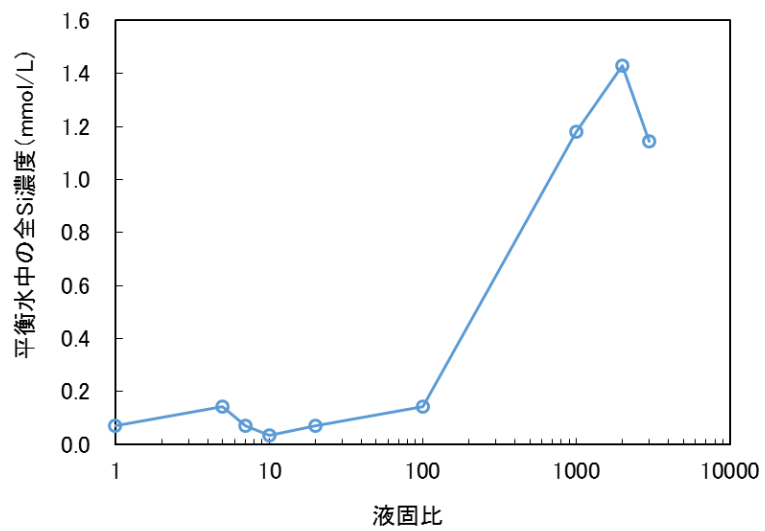


図 3.1-40 液固比と平衡水のイオン状 Si の関係

(2) 溶解平衡関係の取得

Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>の溶解平衡関係について、浸漬開始前の供試体に対する浸漬後の固相に残存するCa濃度(固相Ca濃度比とする)と液相中のCa<sup>2+</sup>濃度の関係性に着目して整理する。

初期試料に含まれるCa濃度は表 3.1-5 に示されるセメントペーストの配合と表 3.1-11 に示される初期試料の化学組成割合から、以下のように求められる。

$$\begin{aligned}
 & \text{(単位量の供試体に含まれるCa量)(mmol/kg)} \\
 & = \{ \text{(単位量の供試体に含まれるセメント量)} \times \text{(セメント中のCaの質量割合)} + \\
 & \text{(単位量の供試体に含まれる急結材量)} \times \text{(急結剤中のCaの質量割合)} \} \div \\
 & \text{(Caの分子量)} \div \text{(供試体の単位体積重量)}
 \end{aligned} \tag{3.1-1}$$

セメントペースト供試体 1kg 中に含まれる主要元素の含有量を表 3.1-17 に示す。

なお、本試験で対象とした吹付けコンクリートを想定したセメントペーストに加え、比較対象として横関[3]による溶解試験で利用された普通ポルトランドセメント(OPC)のセメントペーストを併記した。表やグラフ中では、本試験で製作した供試体を「OPC+急結剤」、横関[3]の論文で示されているものを「OPC」と表記することとする。

OPC+急結剤は、OPC と W/C や単位水量が大きく異なる点に留意が必要である。

表 3.1-17 吹付けコンクリート配合のセメントペーストの鉱物含有量

配合	W/C	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			鉱物含有量 (mmol/kg-paste)					
		W	OPC	急結剤	Na	K	Ca	Al	Si	SO <sub>4</sub>
OPC+急結剤	45	540	1202	120	43	23	7817	472	2240	388
OPC[3]	55	636	1155	0	48	74	7472	663	2284	163

一方で、溶解平衡関係到達後に、固相に残存する Ca 濃度は以下のとおり求められる。

$$\begin{aligned} & (\text{単位量の供試体に、溶解平衡関係到達後に残存する Ca 量}) \quad (\text{mmol/kg}) \\ & = (\text{単位量の供試体に含まれる Ca イオン量}) - (\text{液相の Ca イオン量}) \end{aligned} \quad (3.1-2)$$

固相 Ca 濃度比は、単位量の供試体に含まれる Ca 量と、溶解平衡関係到達後に残存する Ca 量の比で求められる。

液固比と固相 Ca 濃度比の関係を表 3.1-18、図 3.1-41 に示す。OPC+急結剤は、OPC に比較して、液固比が大きくなった場合でも、Ca イオンの溶出が少ないことが分かる。これは急結剤の影響によって、溶解度の低いエトリンガイトが多く生成されたためであると考えられる。

表 3.1-18 液固比と固相 Ca 濃度比の関係

	液固比								
	1	5	7	10	20	100	1000	2000	3000
OPC+急結剤	1.00	0.99	0.98	0.98	0.95	0.84	0.74	0.71	0.75
OPC[3]	1.00	0.99	0.98	0.98	0.95	0.78	0.56	0.50	0.40

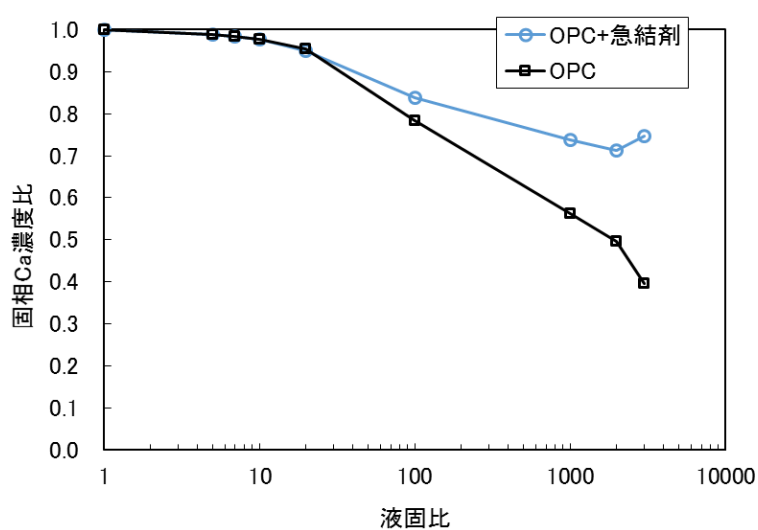


図 3.1-41 液固比と固相 Ca 濃度比の関係  
(OPC は[3]より引用)

各液固比の固相 Ca 濃度比と液相の Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>の濃度の関係をプロットしたものを図 3.1-42、図 3.1-43 に示す。固相 Ca 濃度比が 0.9 を超える領域においては、OPC に比較して、同一固相 Ca 濃度比のときの Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>の濃度が高いことが分かる。

一方で Ca<sup>2+</sup>の濃度は、固相 Ca 濃度比が 0.9 を超える領域において、OPC+急結剤は OPC よりも溶出している Ca<sup>2+</sup>の濃度が高い傾向にあるが、それより小さい領域では、OPC に比較して Ca<sup>2+</sup>の濃度が低いことが分かる。

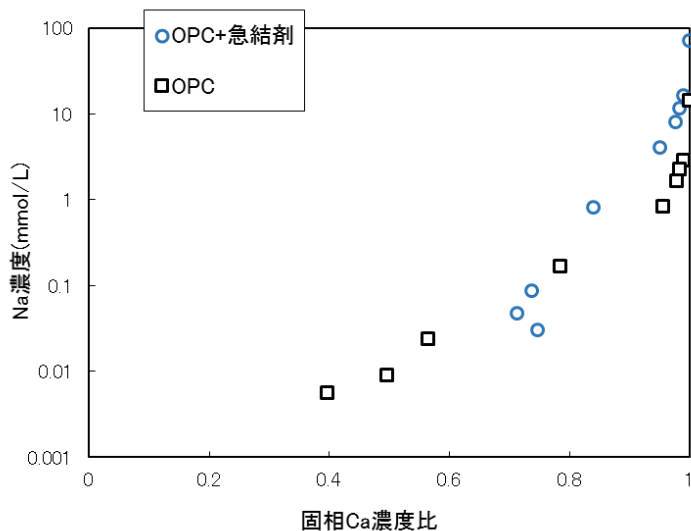


図 3.1-42 固相 Ca 濃度比と Na<sup>+</sup>濃度の関係  
(OPC は[3]より引用)

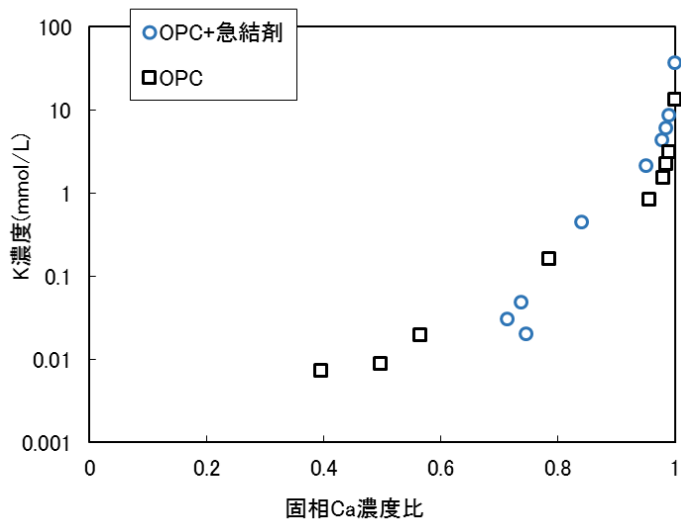


図 3.1-43 固相 Ca 濃度比と K<sup>+</sup>濃度の関係  
(OPC は[3]より引用)

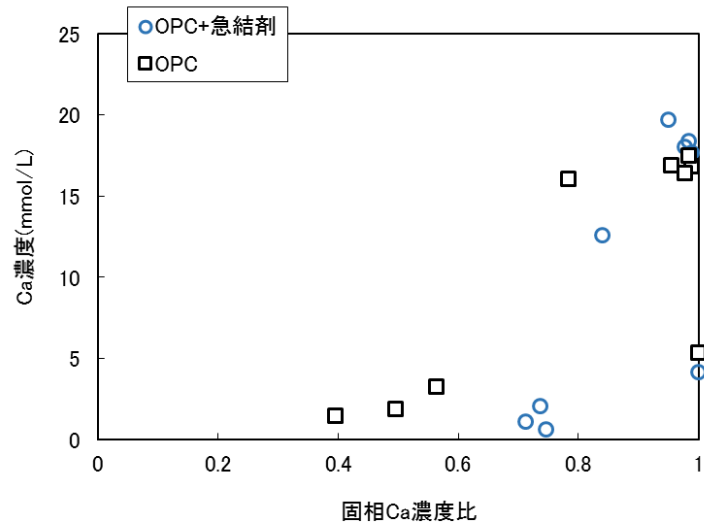


図 3.1-44 固相 Ca 濃度比と  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の関係  
(OPC は[3]より引用)

### 3.1.8 まとめ

吹付けコンクリートの化学的変質や、溶解特性に関するデータを取得するために、硫酸イオンを主成分とする急結剤を含むセメントペーストを作製し、溶解試験を行った。本検討で明らかになったことを以下に記す。

- ・急結剤を含むセメントの水和物としては、ポルトランダイト、C-S-Hの他に、エトリンガイト、モノサルフェートを生成した。
- ・セメントペーストの浸漬水は、液固比が5以下の小さい領域では、イオン化しやすいNa<sup>+</sup>やK<sup>+</sup>の濃度が高く、Ca<sup>2+</sup>の濃度は比較的小さい。
- ・液固比が10から100程度の領域では、Ca<sup>2+</sup>の溶出が多くなる。主としてポルトランダイトが溶解し、Ca<sup>2+</sup>が溶出していると考えられる。またCa<sup>2+</sup>と、モノサルフェートや非晶質から溶出するAl<sup>3+</sup>、溶液中のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>からエトリンガイトが生成される。
- ・液固比が1000以上の領域では、セメントペーストの浸漬水から検出されるSiイオン、全Siの濃度が高くなる。C-S-H等の非晶質も溶解が進むことを示している。
- ・今回の試験で用いた硫酸塩を主成分とする急結剤を用いた吹付けコンクリートを模擬したセメントペーストは、普通セメントを用いたセメントペーストに比較して、Ca<sup>2+</sup>が溶出しづらい。

## 3.2 施設挙動の定量化解析

### 3.2.1 熱・水・力学に着目した施設挙動

#### (1) 目的および検討概要

##### 1) 期間区分と目的

図 2.3-13 に示す「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 2 期間に区分する。

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）

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。

##### 2) 各期間における予察解析の着目点

前述にて示した各期間において、それぞれ以下に示す着目点に対して予察解析を計画し実施する。

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

着目点 1 では、熱－水練成解析コード 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する。その際、廃棄体からの発熱の発生を考慮するケースと考慮しないケースをそれぞれ想定し、検討する。

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、平成 28 年度に用いた応力解析コード CODE\_BRIGHT によって調べ、当該期間の施設変状状態を想定する。

#### (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) 解析手法

本解析作業では、温度分布と施設内における水の浸潤の関係を検証し、水の浸潤（飽和、湧水）によるコンクリート部材やベントナイト部材の温度変化を検討する。その結果を以って、遠隔計測などによる機能確認計測計画へ反映させる。なお、本検討の際、発熱の考慮が影響するかも併せて確認する（図 3.2-1 参照）。

平成 28 年度に実施した解析に用いたモデルを参考に、埋戻し施工後からの期間（図 2.3-13 のシナリオ整理表中、作業⑥から少なくとも保全段階を包含する）を対象とする。

再現する事象の流れを以下のとおり想定する。

- ① 上部空洞が埋め戻され、処分坑道の端部にプラグが設置された後、強制排水を停止する。
- ② 空洞周辺および人工バリア部材の飽和が進む。定置段階から埋戻し完了の期間中、廃棄体からの発熱が起きるが、次第に収束する。

なお、単純に温度変化の分布と程度を確認するため、応力-ひずみ関係などの力学的な考慮はしない。

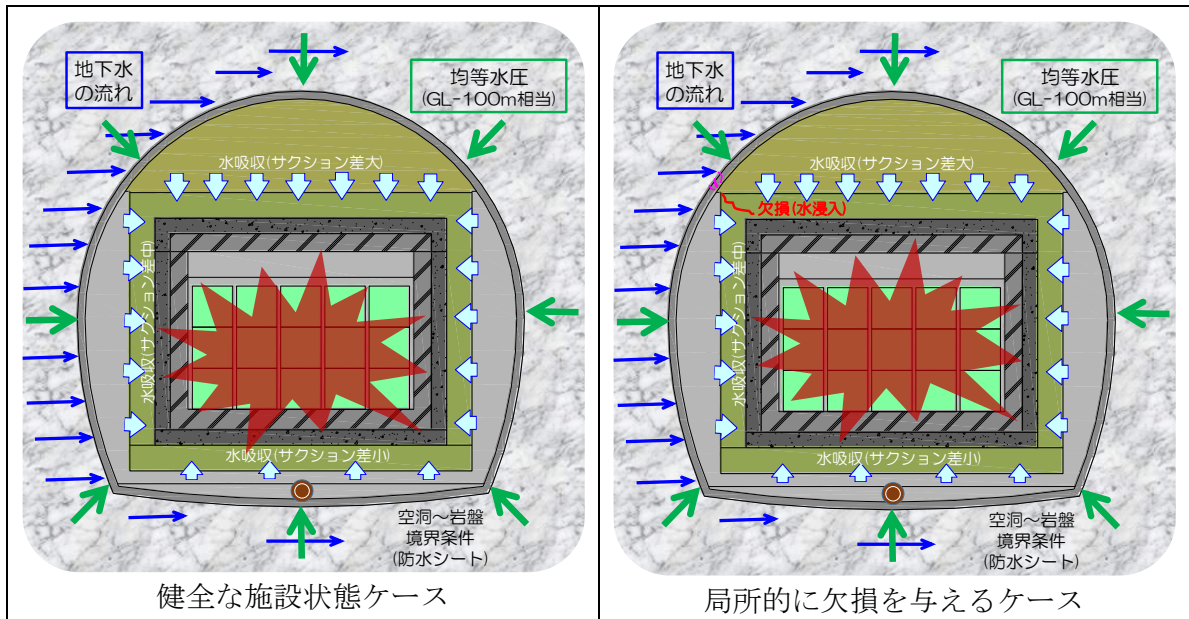


図 3.2-1 熱-水連成解析ケース

本解析作業では、熱-水連成解析コード TOUGH2 を採用した。

TOUGH2 は、米国ローレンスバークレイ国立研究所 (LBNL) の K. Pruess 博士らが開発した 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 [4][5]。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、状態モジュールを交換することで、気液二相状態で、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°C までの超臨界条件) - 空気
- 水-炭酸ガス
- 水-トレーサー
- 水-ブラックオイル
- 水-空気-揮発性溶媒
- 水-無機化学成分 (岩石・水反応)

フラクチャに関してもダブルポロシティモデル (フラクチャマトリックス+岩石マトリックス) として取り扱うことが可能である。また、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。いくつかの状態方程式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。

TOUGH2 では、下記の式(3.2-1)で表される質量-エネルギー保存則を解く[6]。

$$\frac{d}{dt} \int_{V_n} M^k dV = \int_{\Gamma_n} F^k \cdot nd\Gamma + \int_{V_n} q^k dV \quad (3.2-1)$$

ここで、M は体積当たりの質量またはエネルギー、V<sub>n</sub> は要素 n の体積、k は成分、Γ<sub>n</sub> は要素 n の領域、F はフラックス、q は要素内における流出入を示す。式(3.2-1)を積分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。

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およびガス排出速度が比較的良好に再現された[4]。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た。

## 2) 解析モデル

検討断面は、図 3.2-2 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 3.2-3 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 50m 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。

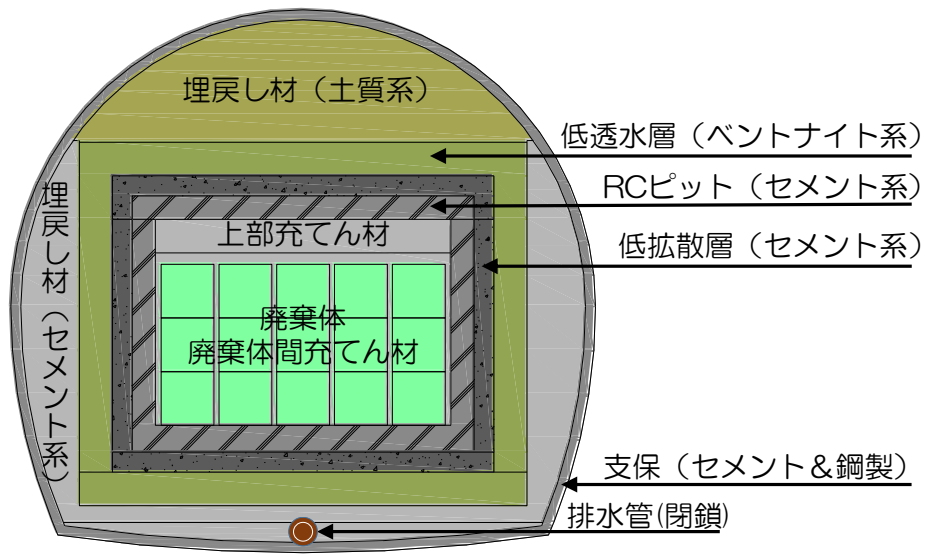


図 3.2-2 試験空洞および人工バリア断面図

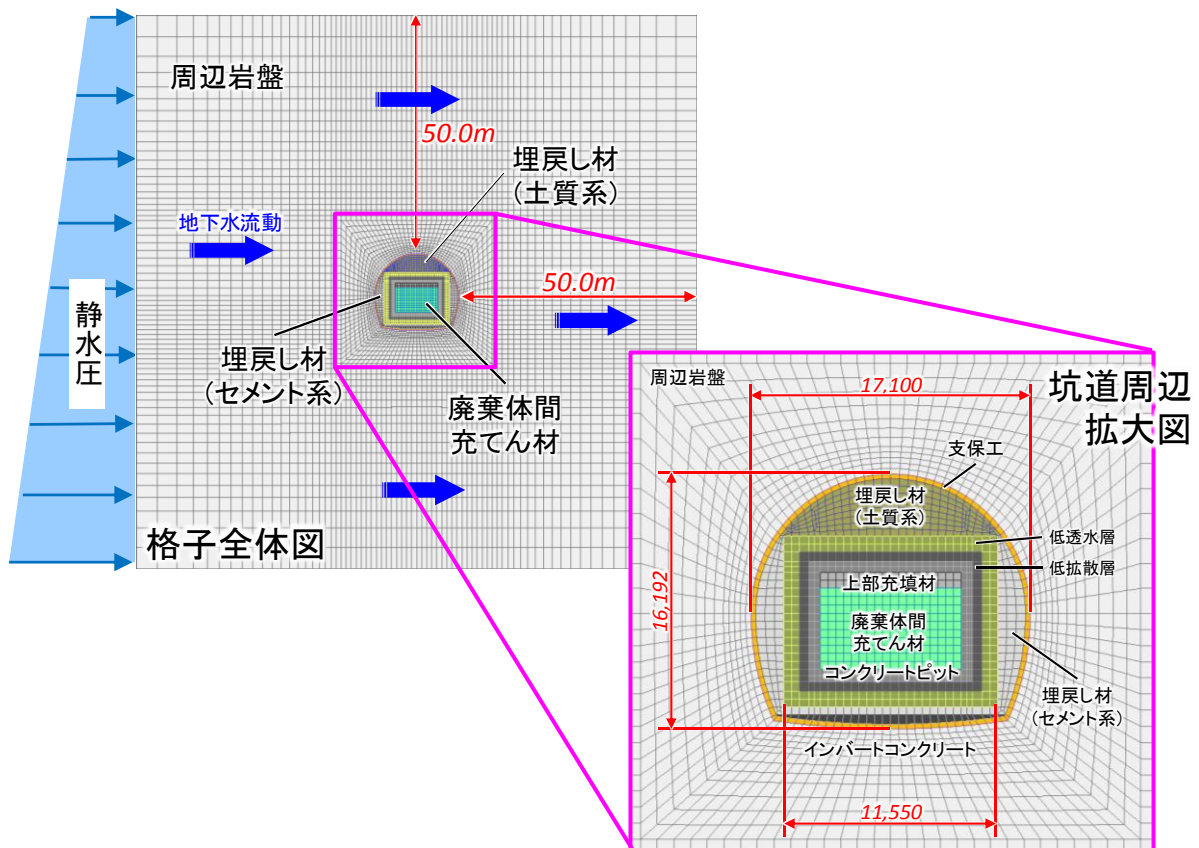


図 3.2-3 解析モデル

### 3) 初期条件

#### a. 坑道の雰囲気温度

地下深部の地温については、地温勾配によって推定することが可能であり、火山地域などの高温異常域を除けば地温勾配はおおむね  $3\sim 5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  程度であることは一般的に知見とみなされている[10]。実際、年平均の地表面温度を  $12\sim 15^{\circ}\text{C}$  とし、地温勾配  $3^{\circ}\text{C}$  とすると地温は深度  $100\text{m}$  で  $15\sim 18^{\circ}\text{C}$  と推定できる。また、平成 26 年度、平成 27 年度の原環センター報告書にて示されている実際の地下坑道内における連続温度計測結果を、図 3.2-4、図 3.2-5 に示す[9][11]。これより、坑内平均温度は約  $15^{\circ}\text{C}$  程度となっており、上記と整合する結果となっている。

以上の結果を参照することにより、地温および坑道内の初期の雰囲気温度を  $15^{\circ}\text{C}$  と設定し、地温勾配  $3^{\circ}\text{C}$  より地表温度を  $12^{\circ}\text{C}$  と設定した。

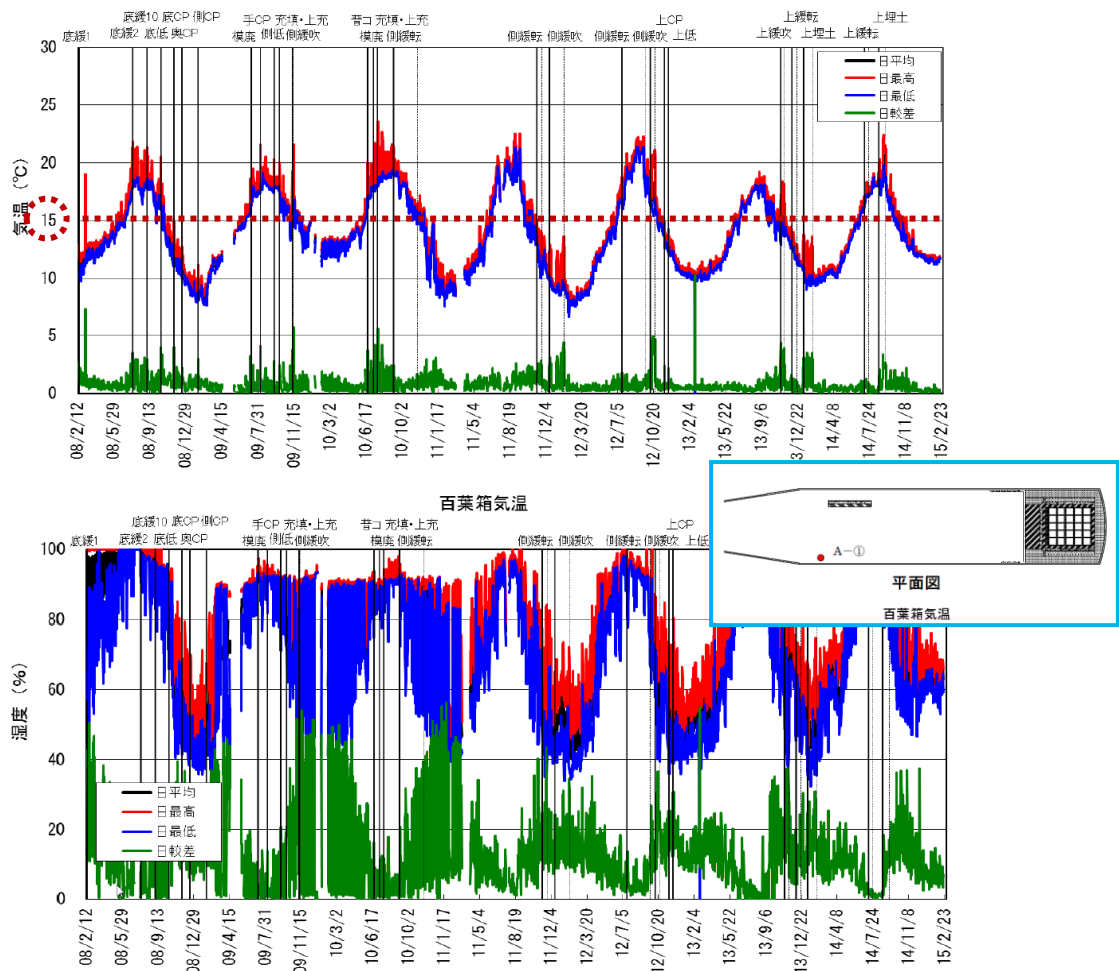


図 3.2-4 坑内温度・湿度計測記録（施工期間含む）

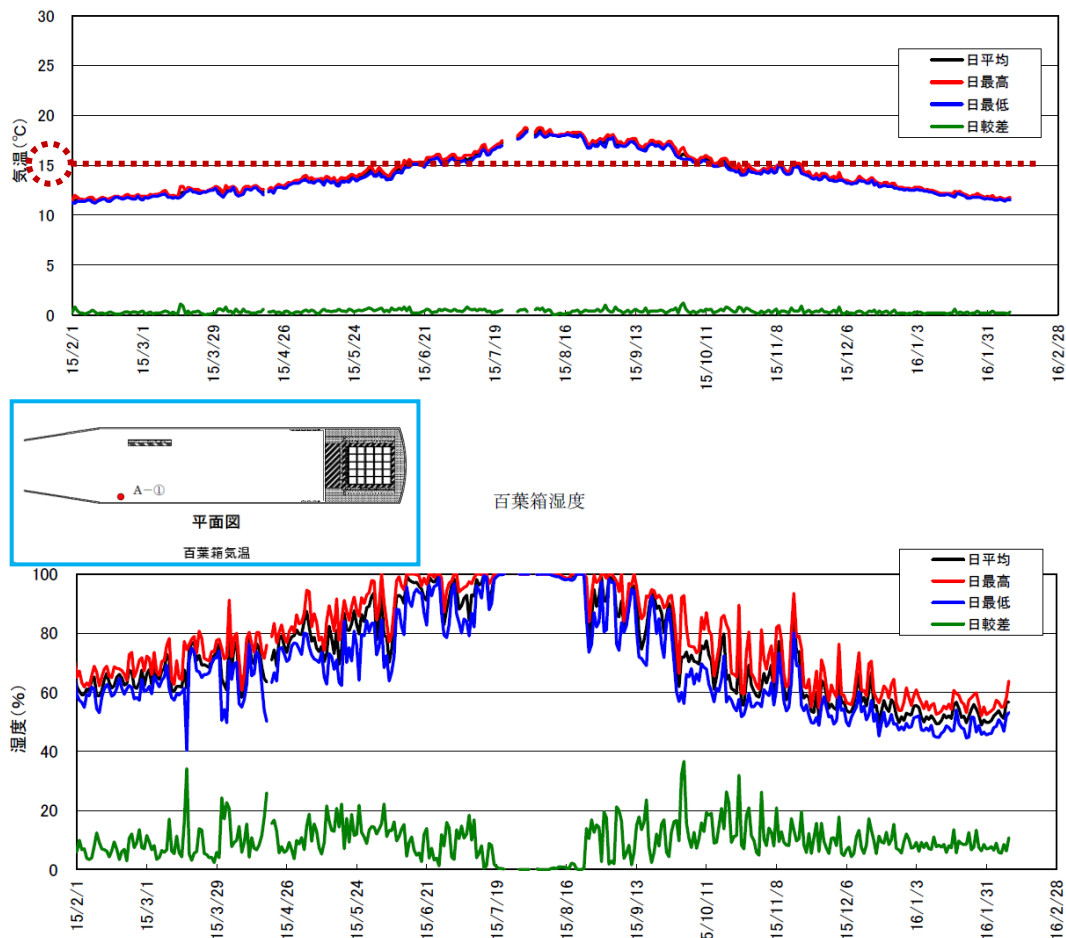


図 3.2-5 坑内温度・湿度計測記録（施工期間含まない）

b. 廃棄体からの発熱発生量

長期評価の不確実性低減に有用な情報を蓄積することを目指し、より現実的な予察を目指して、操業段階初期における廃棄体からの発熱の影響も検討対象として考慮することとした。しかしながら、L1に関する廃棄体の熱特性に関するほとんどの情報は非公表となっているため、発熱量と発熱期間の設定における妥当性の提示が必要となる。

現在、複数箇所の原子力発電所が、営業運転を停止したのち、廃炉から廃棄物取り出し、処分時期などを示す廃止措置計画書を公表している（表 3.2-1 参照）。これらによると、各原子力が提示している安全貯蔵期間（営業停止から核燃料物質の搬出が完了し原子炉領域解体が開始されるまでの期間）は、約 10 年～26 年となっている。今回、それらの結果を参照することにより、地下施設に廃棄体が定置される時期を、中位となる営業停止から約 15 年後と想定し、図 3.2-6 に示す経過年数に対する廃棄物からの発熱量推移グラフ [12]の横軸 15 年後からの発熱量約  $10\text{W/m}^3$  が初期の設定値になるものと考えた。他の検討文献における初期発熱量は概ね  $7.5\text{W/m}^3$  とするケースが多いことから、今回の検討は保守側なものとなると推定された。なお、その後は経過年とともに減衰していき、実際は約 40 年で発生量はほぼ 0 となるが、今回の解析では、保守側として 40 年以降も  $1\text{W/m}^3$  で定値発生するものとした。

表 3.2-1 営業運停止から原子炉領域解体までの期間

発電所名称	安全貯蔵期間
敦賀発電所	約10年
島根原子力発電所1号機	約15年
伊方発電所1号炉	約26年
浜岡発電所1, 2号機	約14年
玄海原子力発電所1号機	約15年
美浜発電所1, 2号機	約26年

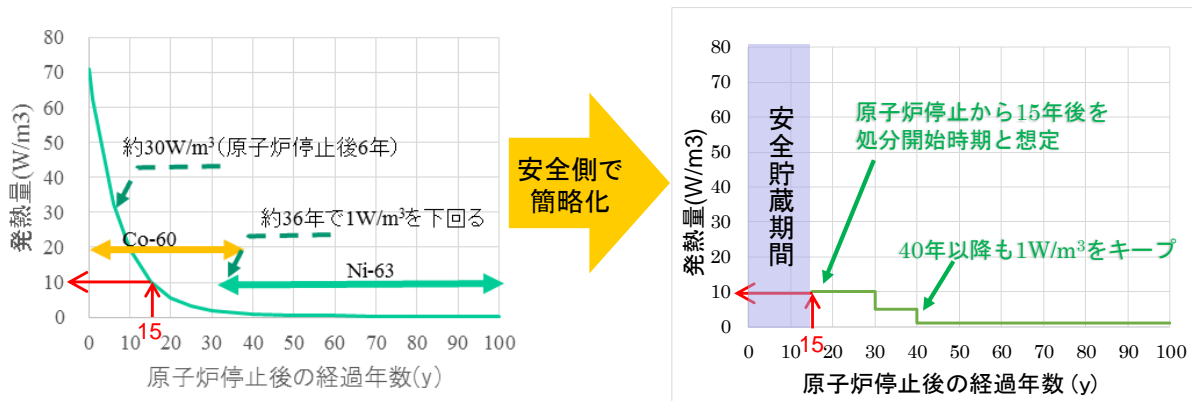


図 3.2-6 廃棄体からの発生熱量設定（施工期間含む）

c. 地下水流動条件

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、バックグラウ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 0.07m/m）と同調することとした。

4) 材料物性値

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およ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[13][14]。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[15][16][17]。

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。整理した解析パラメータ一覧表を表 3.2-2 に示す。

(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  $\rho_d=1.6\text{Mg/m}^3$  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[18]。気相の相対浸透率については、Corey モデル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度（80%～90%）付近の再現性を優先した。毛管圧は van Genuchten モデルで近似した。

(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[19]。ここで用いられているパラメータの内、2 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 2 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、毛管圧は Narasimhan モデルで近似した。フィッティングについては、解析対象と考えられる飽和度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[19]。ここで用いられている 2 相流パラメータ（毛管圧力、相対浸透率）は Mayer, G et. al.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、毛管圧は Narasimhan モデルで近似した。フィッティングについては、解析対象と考えられる飽和度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[19]。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[13][14]。なお、相対浸透率は Corey モデル、毛管圧は Narasimhan モデルで近似した。

(e) 岩盤

相対浸透率は Corey モデル、毛管圧は Narasimhan モデルで近似した。

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[9]。

① Corey モデル (相対浸透率)

$$k_{rg} = (1 - S_e)^2 (1 - S_e^2) \quad (3.2-2)$$

$$k_{rl} = S_e^4 \quad (3.2-3)$$

$$S_e = (S_l - S_{lr}) / (1 - S_{lr} - S_{gr}) \quad (3.2-4)$$

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、 $S_e$  は有効間隙水飽和度、 $S_l$  は間隙水飽和度、 $S_{lr}$  は残留間隙水飽和度、 $S_{gr}$  は残留ガス飽和度を示す。

② van Genuchten モデル (相対浸透率) (水相のみ)

$$K_h = \sqrt{S_e} \left( 1 - (1 - S_e^{1/\lambda})^2 \right)^2 \quad (3.2-5)$$

$$S_e = (S_l - S_{lr}) / (1 - S_{lr} - S_{gr}) \quad (3.2-6)$$

ここで、 $\lambda$  は空隙率分布パラメータを示す。

③ Narasimhan モデル (毛細管)

$$P_c = P_e - P_m \left[ (1 - S_l) / (S_l - S_{lr}) \right]^{1-n} \quad (3.2-7)$$

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)

$$P_c = P_0 \left( S_e^{-1/\lambda} - 1 \right)^{1-\lambda} \quad (3.2-8)$$

$$S_e = (S_l - S_{lr}) / (1 - S_{lr} - S_{gr}) \quad (3.2-9)$$

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

TOUGH2 による熱解析において、必要なパラメータは熱伝導率、比熱および線膨張係数となっている。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認試験・閉鎖技術確認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[20][21][22]。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[15][16][17]。

以上の検討によって採用した各設定値を、採用設定値は、表 3.2-2 に整理して示す。

表 3.2-2 熱－水連成解析二相流パラメータ

部材	絶対浸透率 K (m <sup>2</sup> )		水相と ガス相の 絶対 浸透率 の比 (-)	真密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	空隙率 φ (-)	ヤング係数 E (MPa)	ポアソン比 ν (-)	固相圧縮率 (1/Pa)	熱物性			相対浸透率 k <sub>rw</sub> (-)				毛細管圧力 P <sub>c</sub> (Pa)					初期水 飽和率 (-)		
									熱伝導率 (W/m/K)	比熱 (J/kg/K)	線膨張係数 (μ/°C)	モデル	残留水 飽和率 Swr (-)	残留ガス 飽和率 Sgr (-)	係数 m (-)	係数 n (-)	モデル	残留水 飽和率 Swr (-)	残留ガス 飽和率 Sgr (-)	ガス侵入圧 Pe (MPa)		係数 P0 (MPa)	間隙分布 係数 n (-)
廃棄体間 充てん材	水	5.58E-20	8.33E+01	2.56	0.16	18,400	0.20	9.78E-11	1.507	1,050	6.80	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	0.90
	ガス	4.65E-18																					
上部 充てん材	水	5.58E-20	8.33E+01	2.56	0.13	19,100	0.20	9.42E-11	1.507	1,050	6.80	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	0.90
	ガス	4.65E-18																					
コンクリートピット (セメント系)	水	5.58E-20	8.33E+01	2.68	0.13	36,900	0.20	4.88E-11	1.956	1,232	6.80	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	0.90
	ガス	4.65E-18																					
低拡散層 (セメント系)	水	1.12E-20	7.27E+02	2.63	0.16	28,400	0.20	6.34E-11	1.831	1,332	6.80	Corey	0.15	0.075	25	2.3	Na	0.15	0	0.069	5.000	1.10	0.90
	ガス	8.14E-18																					
低透水層 (ベントナイト系)	水	5.58E-20	1.00E+00	2.65	0.41	22	0.45	1.36E-08	1.400	730	1.00	Corey	0	0	2	2.0	vG	0	0	—	3.270	1.70	0.85
	ガス	5.58E-20																					
上部埋戻し材 (土質系)	水	5.58E-20	1.00E+00	2.65	0.30	58.5	0.43	7.18E-09	1.690	770	6.80	Corey	0.3	0.01	25	2.3	Na	0.15	0	0.069	5.000	1.1	0.758
	ガス	5.58E-20										Grant											
側部埋戻し材 (セメント系)	水	5.58E-21	1.00E+02	2.63	0.13	27,600	0.20	6.52E-11	1.990	1,248	6.80	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	0.90
	ガス	5.58E-19																					
インバート コンクリート	水	1.12E-19	8.29E+01	2.63	0.13	27,900	0.20	6.45E-11	1.990	1,248	10.00	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	0.90
	ガス	9.29E-18																					
支保コンクリート	水	1.12E-19	8.29E+01	2.63	0.13	27,900	0.20	6.45E-11	1.990	1,248	10.00	Corey	0.3	0.18	4	2.0	Na	0	0	0.100	1.200	1.30	0.90
	ガス	9.29E-18																					
岩盤	水	4.70E-15	1.66E+01	2.70	0.55	3,500	0.30	3.43E-10	0.878	800	10.00	Corey	0.6	0	4	3.0	Na	0	0	0.034	0.800	0.35	1.00
	ガス	7.80E-14																					



5) 予察解析結果\_着目点 1

本予察解析では、特に施設建設時を主に図 3.2-7 に示す 4 段階の建設フェーズに代表させ、これを解析ステップとした。フェーズ別にみた解析ステップの主なケース設定を経過年に対応して重ねたものを図 3.2-8 に示す。図中に示すとおり、フェーズ 3 以降に対し、廃棄体からの発熱の有無に着目した再冠水挙動の把握を行った。なお、ケース表示の説明を以下に示す。

H0C0：発熱なし、欠損なし

H0C1：発熱なし、欠損あり

H0C0：発熱あり、欠損なし

H0C1：発熱あり、欠損あり

また、本予察解析において設定した各種条件に関する留意点を以下に示す。

- ・モデル上面、側面、底面は圧力・温度固定境界とした。
- ・フェーズ 1～3 において坑道内部でバリア材等が無い空洞部については、圧力・温度固定境界（圧力：0.1MPa、温度 15℃）とした。
- ・フェーズ 1～3 において、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：0.1MPa、温度 15℃）とした。
- ・欠損ケースとして、想定する支保コンクリート左肩部の絶対浸透率を 2 オーダ大きく設定した。

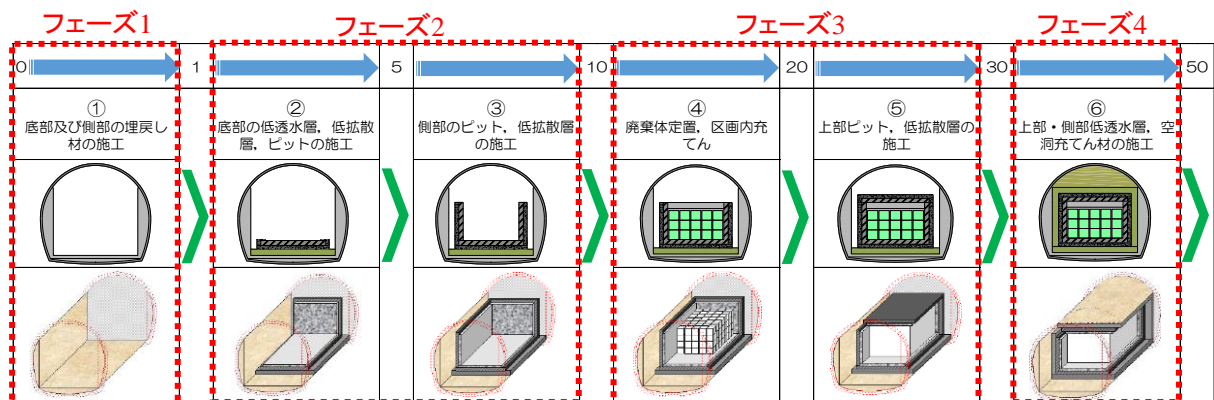


図 3.2-7 解析フェーズ

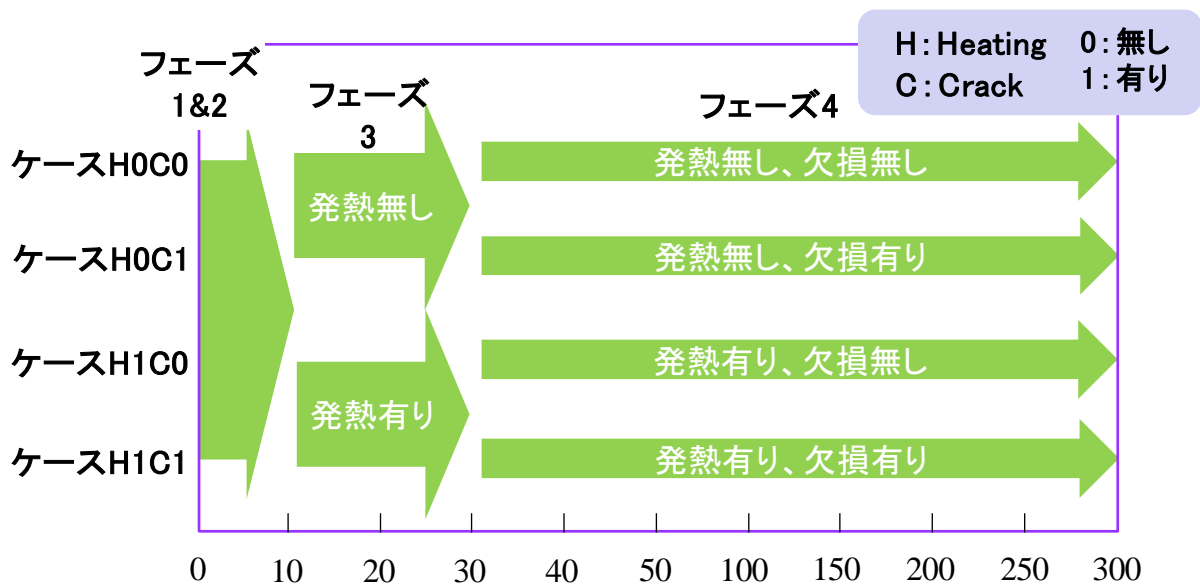


図 3.2-8 解析ケース設定

a. 解析結果\_フェーズ 1 & 2

フェーズ 1 およびフェーズ 2 については、すべてのケースにおいて共通の条件設定のため、解析結果は同一のものとなった。図 3.2-9 にフェーズ 1、図 3.2-10 にフェーズ 2 における水飽和率と温度のコンター図を、施設の建設開始を 0 年とした経過年表示とともに示す。

b. 解析結果\_フェーズ 3

フェーズ 3 については、まだ廃棄体が設置されているが、まだ支保コンクリート部分の化学劣化による欠損は起きていないという設定から、解析結果では発熱の有無による相違比較を行った。図 3.2-11 に発熱なしの条件、図 3.2-12 に発熱ありの条件で解析した水飽和率と温度のコンター図を、施設の建設開始から 10 年後～30 年後の経過年表示とともに示す。

c. 解析結果\_フェーズ 4

フェーズ 4 については、廃棄体からの発熱の有無、支保コンクリートの化学劣化による欠損の有無のすべてのケースにおいて解析結果で相違比較を行った。解析結果は同一のものとなった。図 3.2-13～図 3.2-20 に各ケースの条件で解析した水飽和率と温度のコンター図を、施設の建設開始から 30 年後～50 年後、さらにその後の経過年表示とともに示す。

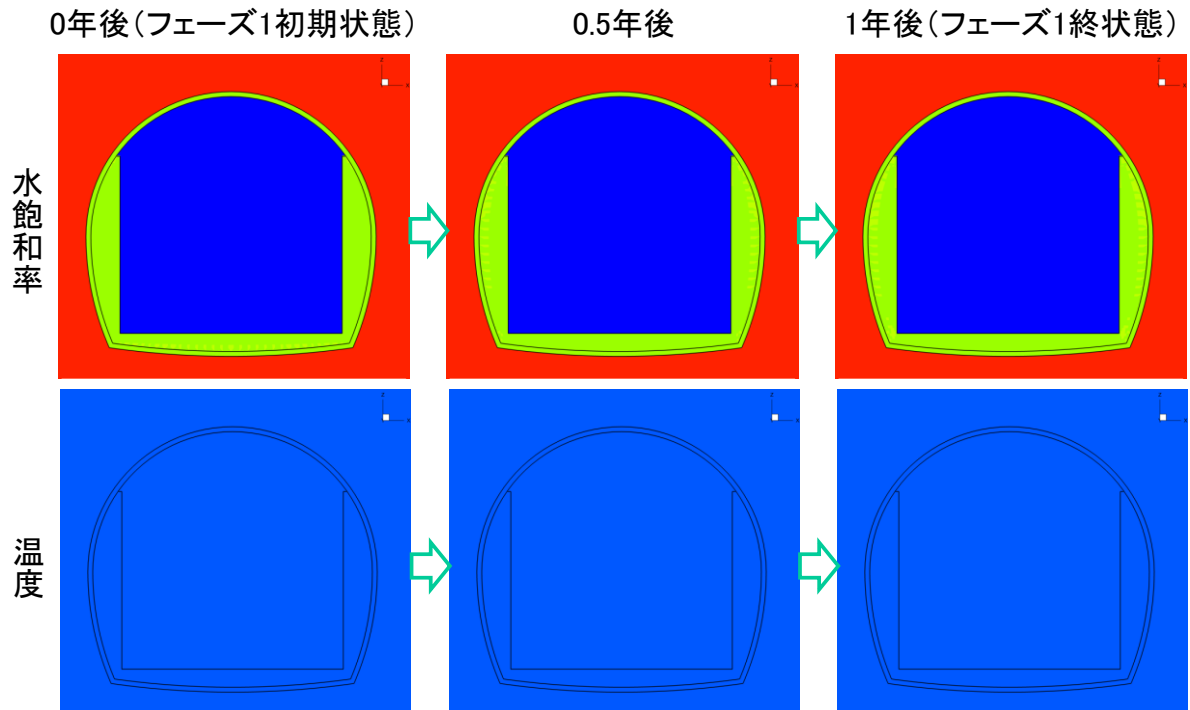


図 3.2-9 解析結果コンター図 (フェーズ1)

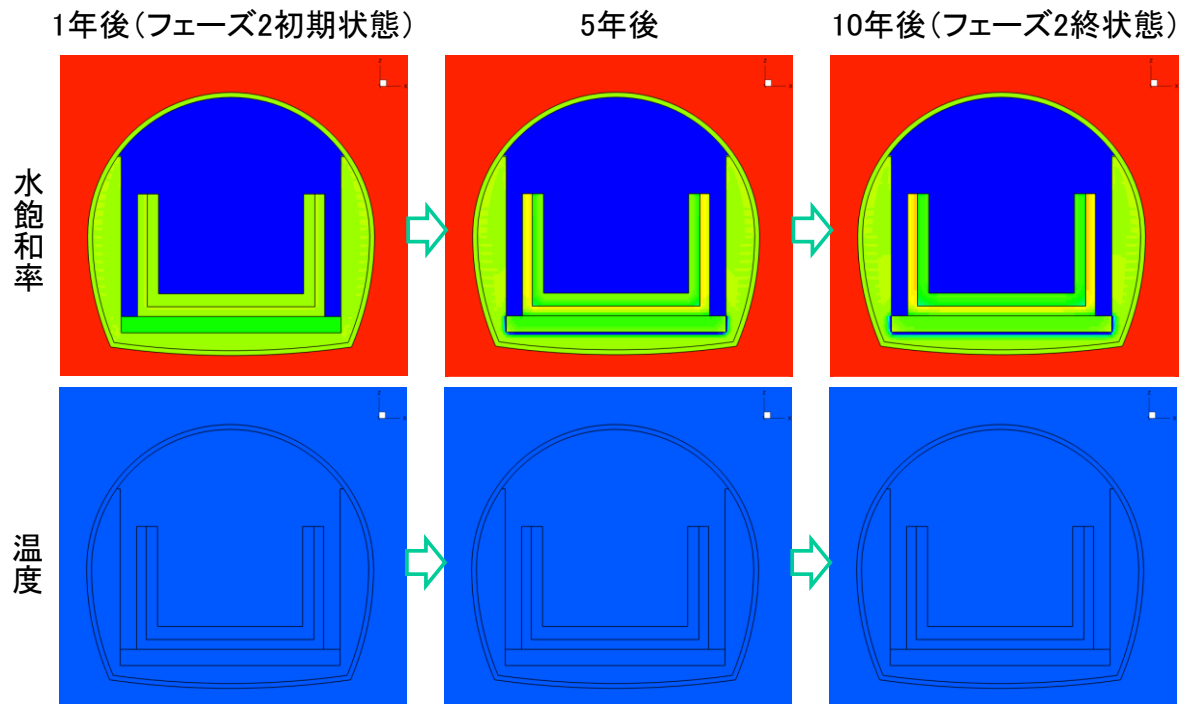


図 3.2-10 解析結果コンター図 (フェーズ2)

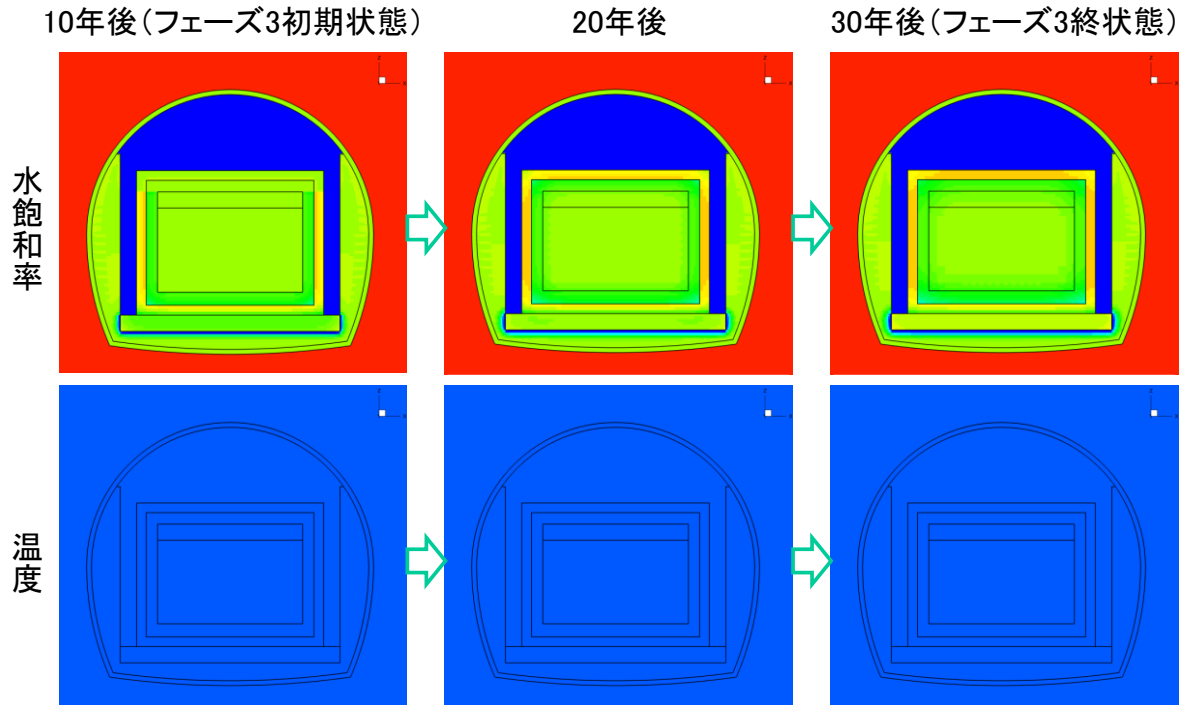


図 3.2-11 解析結果コンター図 (フェーズ3\_発熱なし)

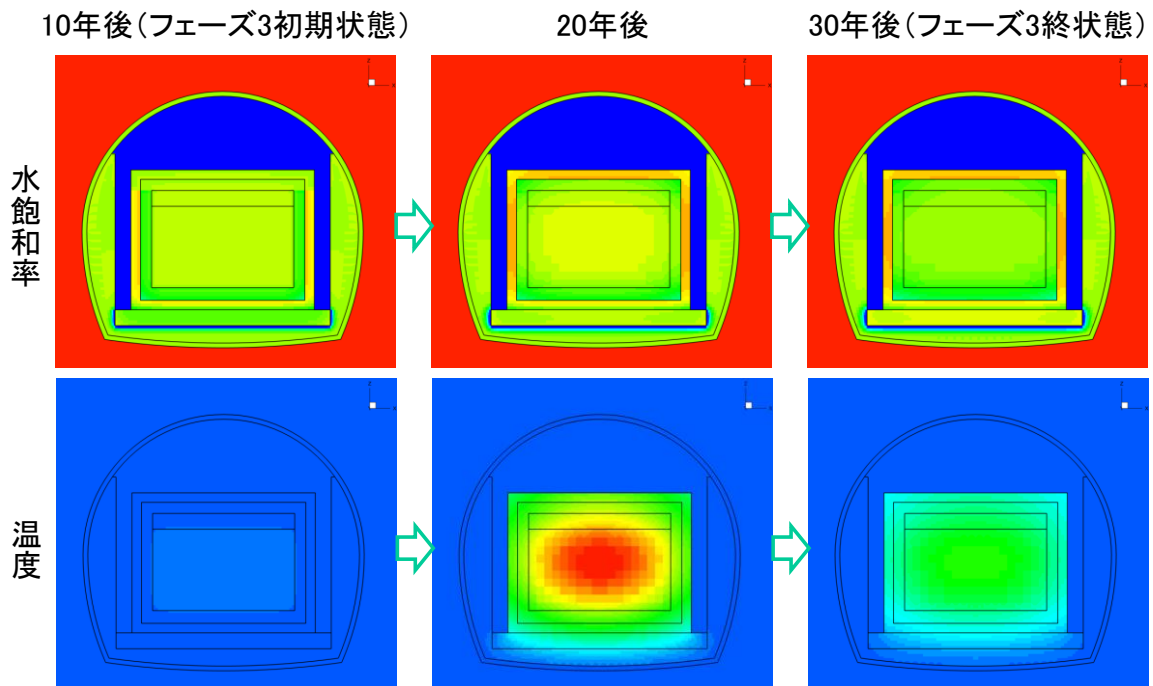


図 3.2-12 解析結果コンター図 (フェーズ3\_発熱あり)

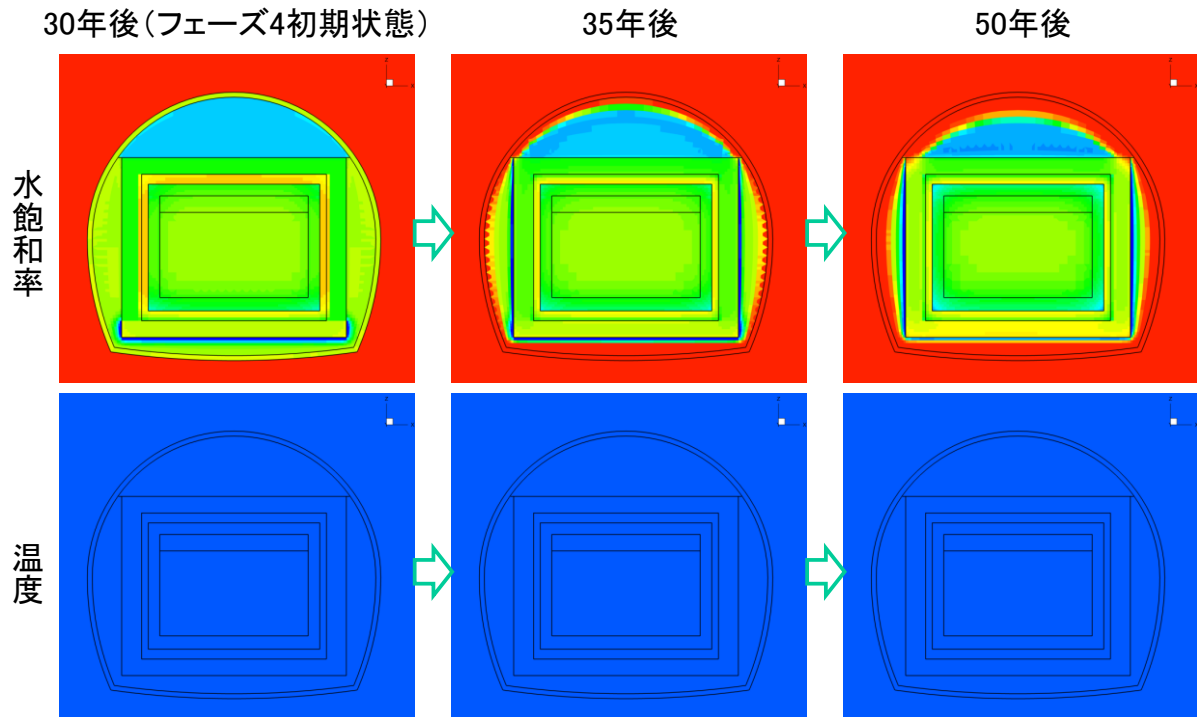


図 3.2-13 解析結果コンター図 (フェーズ4\_発熱なし&欠損なし) (1)

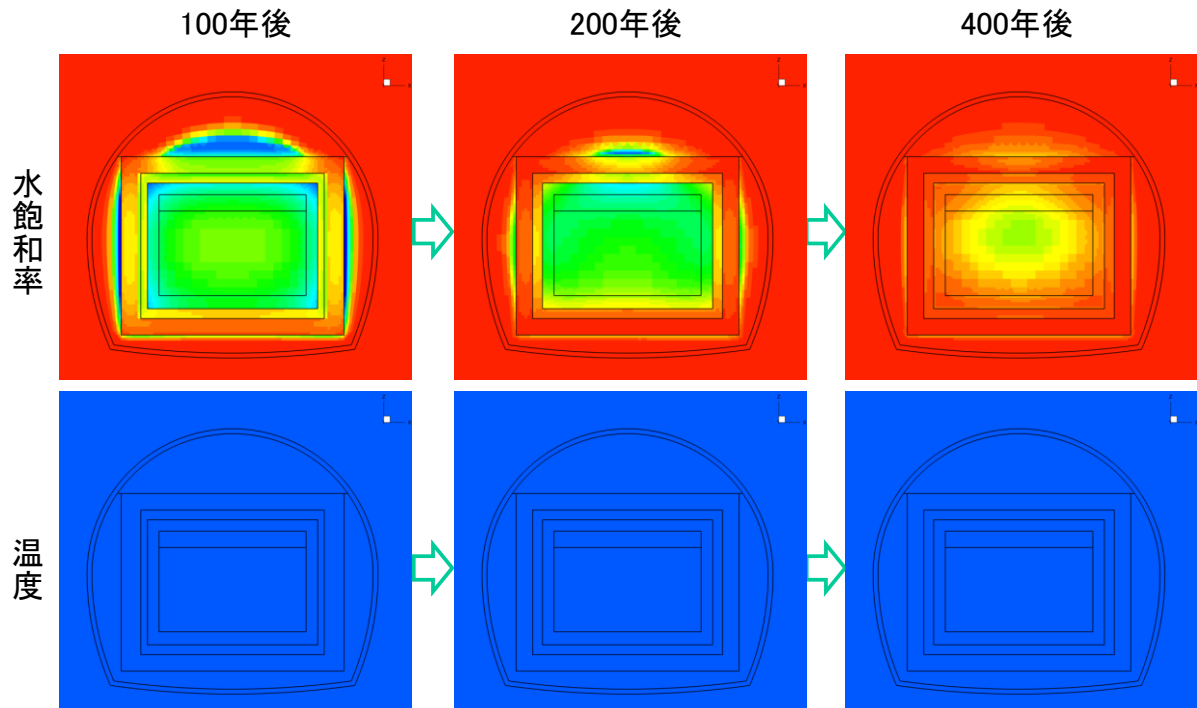


図 3.2-14 解析結果コンター図 (フェーズ4\_発熱なし&欠損なし) (2)

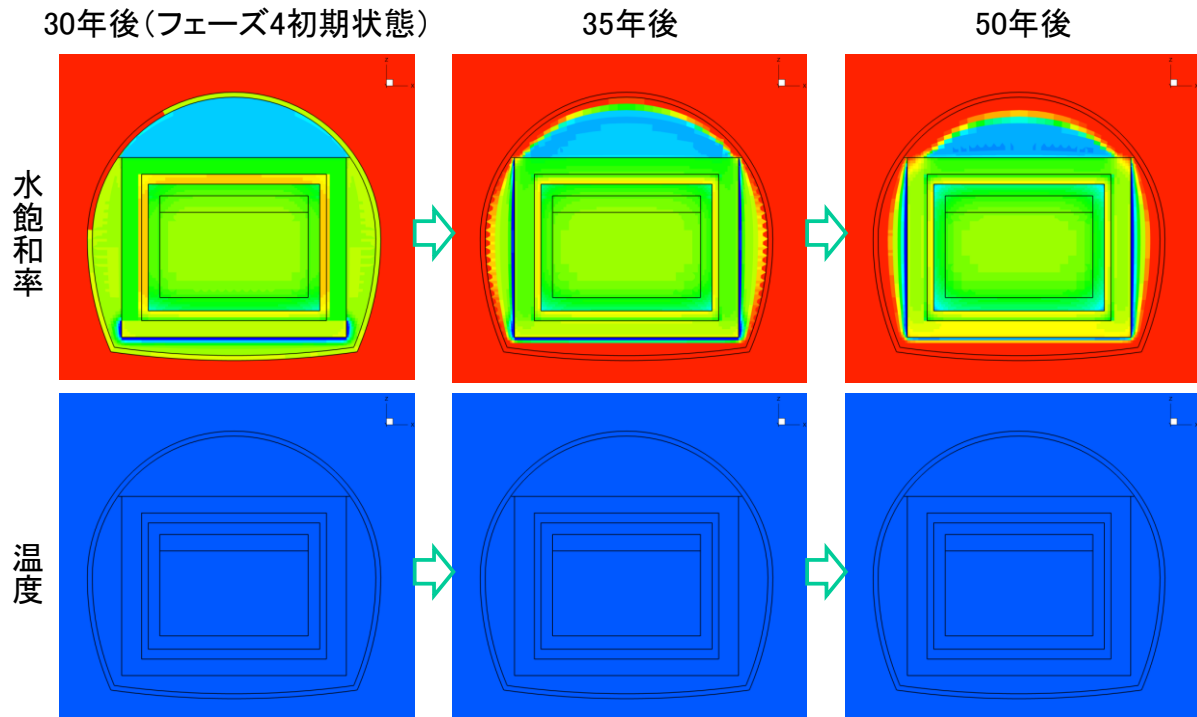


図 3.2-15 解析結果コンター図（フェーズ4\_発熱なし&欠損あり）（1）

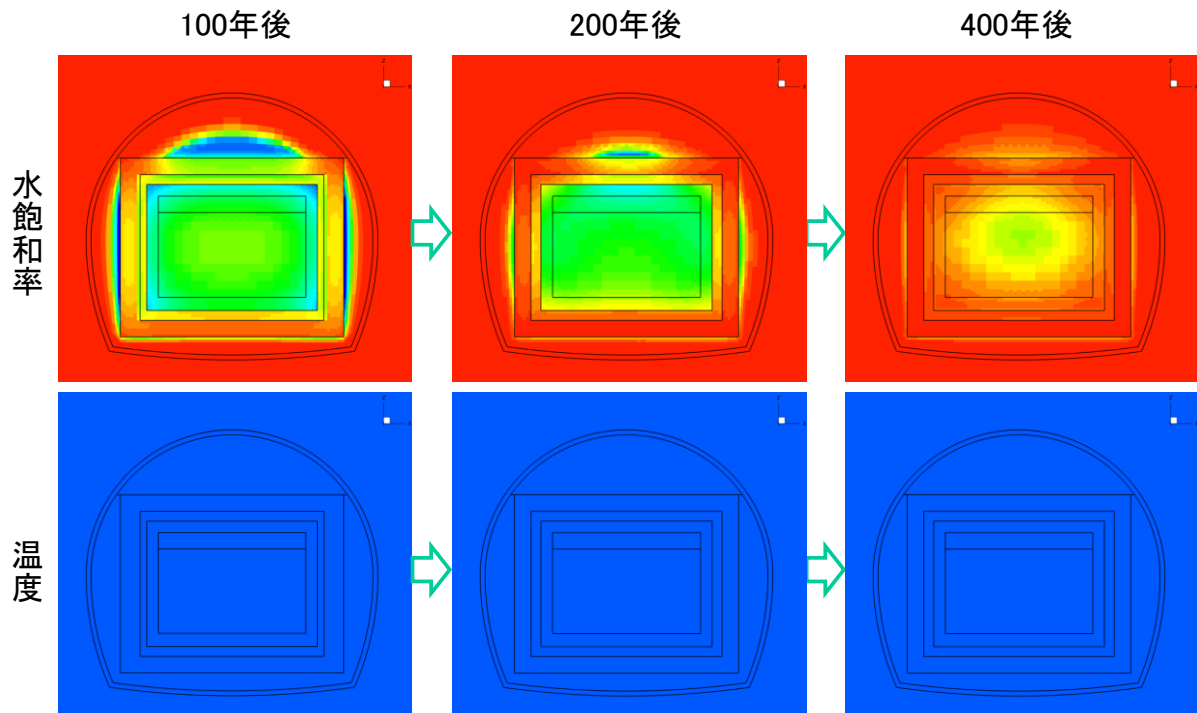


図 3.2-16 解析結果コンター図（フェーズ4\_発熱なし&欠損あり）（2）

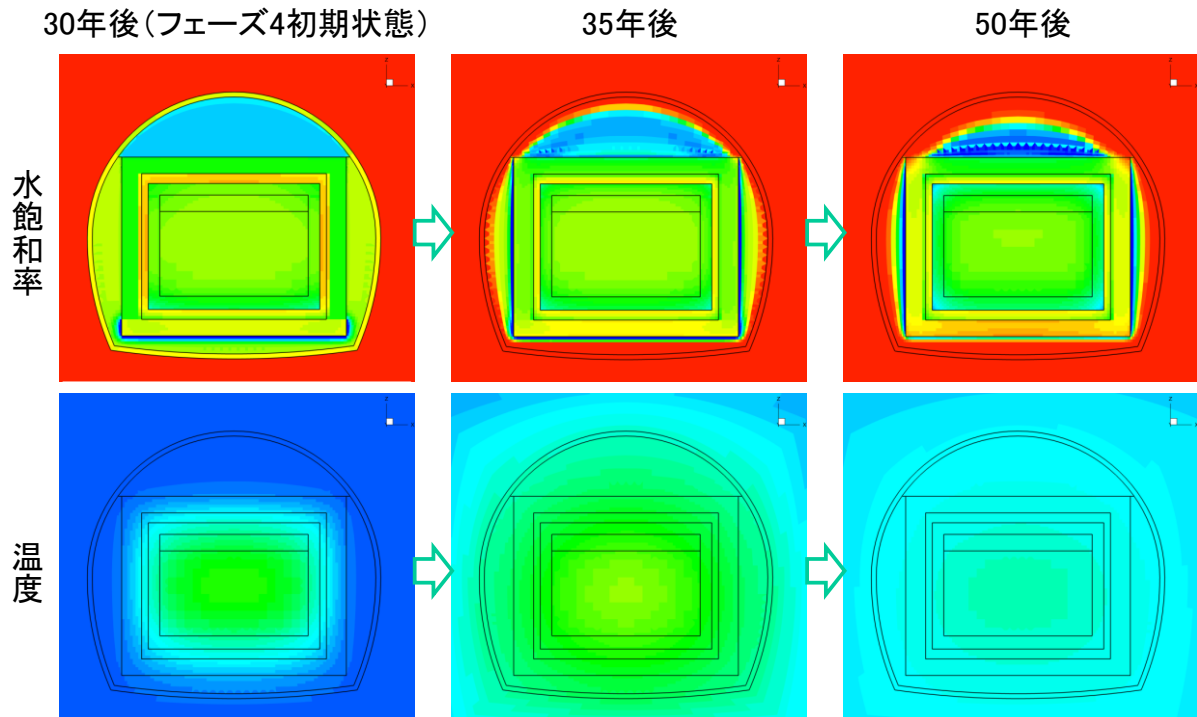


図 3.2-17 解析結果コンター図 (フェーズ4\_発熱あり&欠損なし) (1)

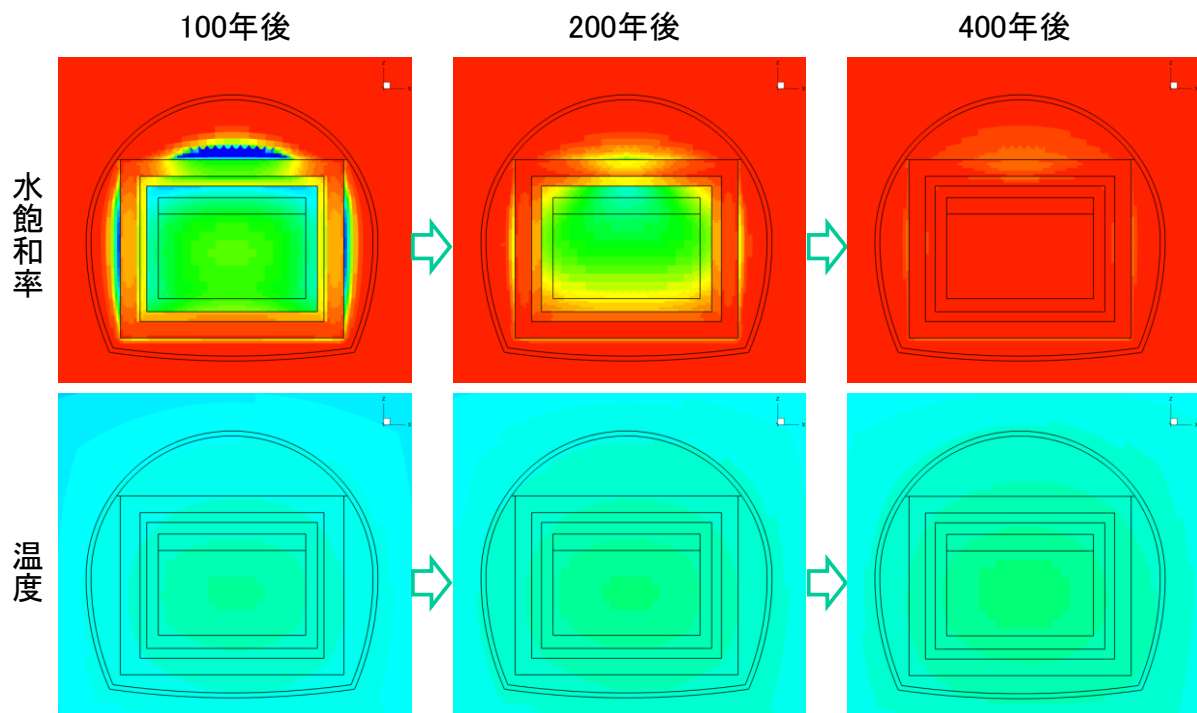


図 3.2-18 解析結果コンター図 (フェーズ4\_発熱あり&欠損なし) (2)

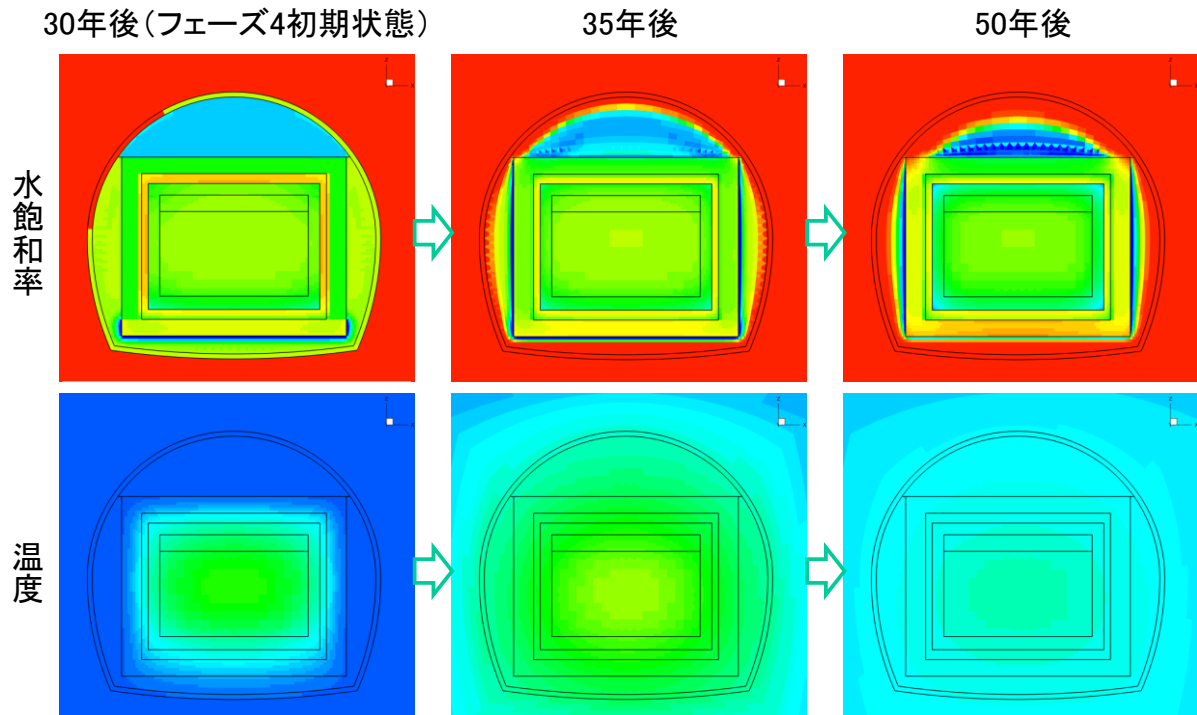


図 3.2-19 解析結果コンター図 (フェーズ4\_発熱あり&欠損あり) (1)

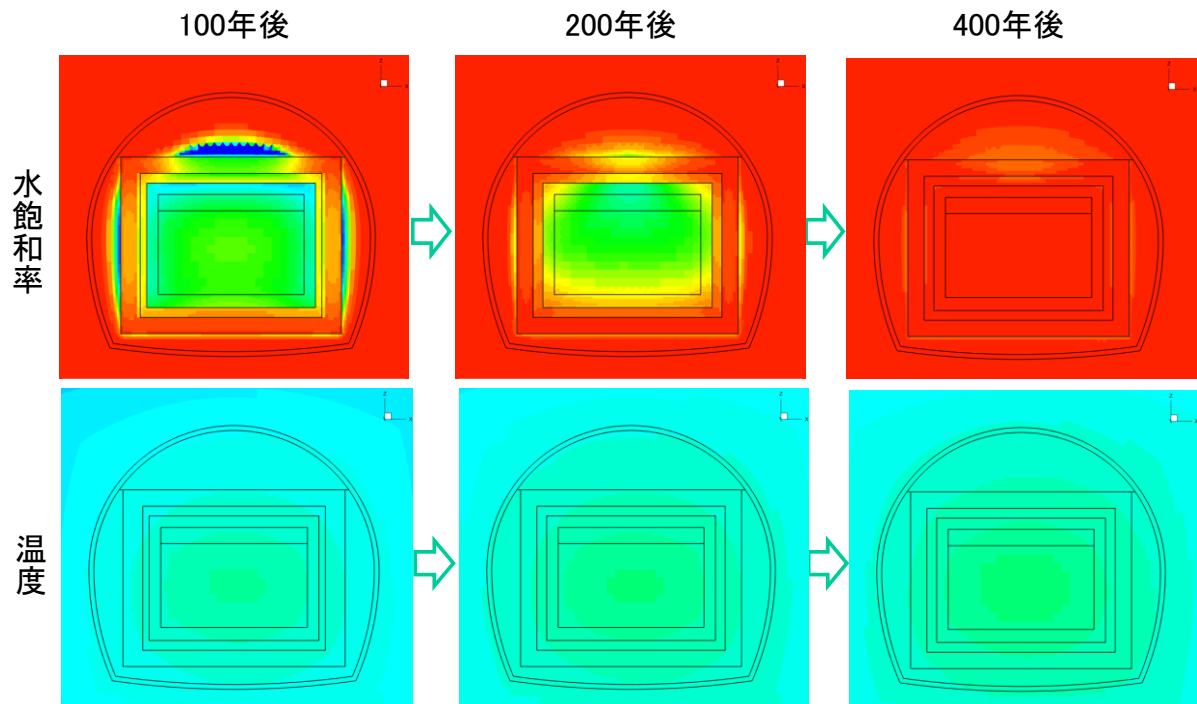


図 3.2-20 解析結果コンター図 (フェーズ4\_発熱あり&欠損あり) (2)



#### d. 計測の観点からみた結果考察

以上の結果を解析目的に掲げている「施設挙動の想定値を取得する」に対応した観点から考察を示す。

比較検討するための解析結果（水飽和率、温度）出力点①～⑧を図 3.2-21 に示す。出力点②が廃棄体中心部に、各構成部材のデータを抽出することとした。また、支保コンクリートの亀裂を設定した際の比較用に出力点⑦、⑧を設定した。

これより抽出した各出力点における水飽和率と温度の時系列の変化推移を建設開始から 100 年を対象にケースごとで整理した。図 3.2-22 にケース H0C0（発熱なし&欠損なし）、図 3.2-23 にケース H0C1（発熱なし&欠損あり）、図 3.2-24 にケース H1C0（発熱あり&欠損なし）、そして図 3.2-25 にケース H1C1（発熱あり&欠損あり）の結果を示す。

H0C0（発熱なし&欠損なし）では、フェーズ 4 以降の出力点④にて埋戻し材から坑道内側への水の流出により水飽和率の変動が始まり、やがて岩盤から坑道への水の流出により飽和がさらに進むことが示されているが、大きな温度変化は表れていない。

H0C1（発熱なし&欠損あり）では、ケース H0C0 とほぼ同様の推移傾向を示すが、欠損がある出力点⑦の方が、水飽和率の上昇速度がわずかに早くなっていることが確認された。

H1C0（発熱あり&欠損なし）では、フェーズ 3 の廃棄体定置後、最高温度が約 80℃となる。その後、坑道外への熱の拡散により温度低下があるが、フェーズ 4 の坑道埋戻しにより再び温度の上昇傾向が見られる。最終的に発熱量の低下により温度低下が見られ、概ね 30℃前後で落ち着くものとみられる。

H1C1（発熱あり&欠損あり）では、基本的な推移はケース H1C0 と同様となるが、欠損がある出力点⑦の方が、水飽和率の上昇速度がわずかに早くなっていることが確認された。

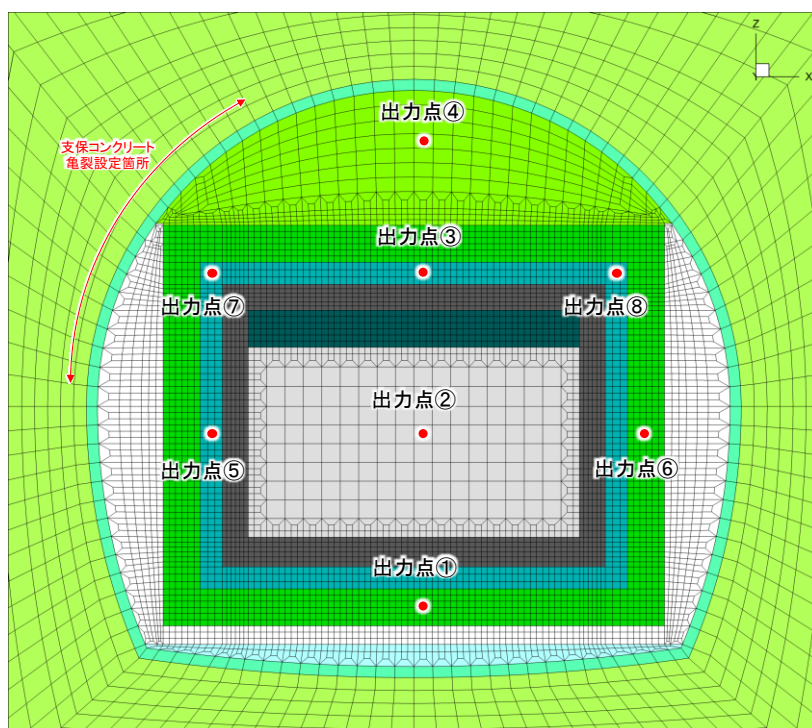


図 3.2-21 解析結果出力点

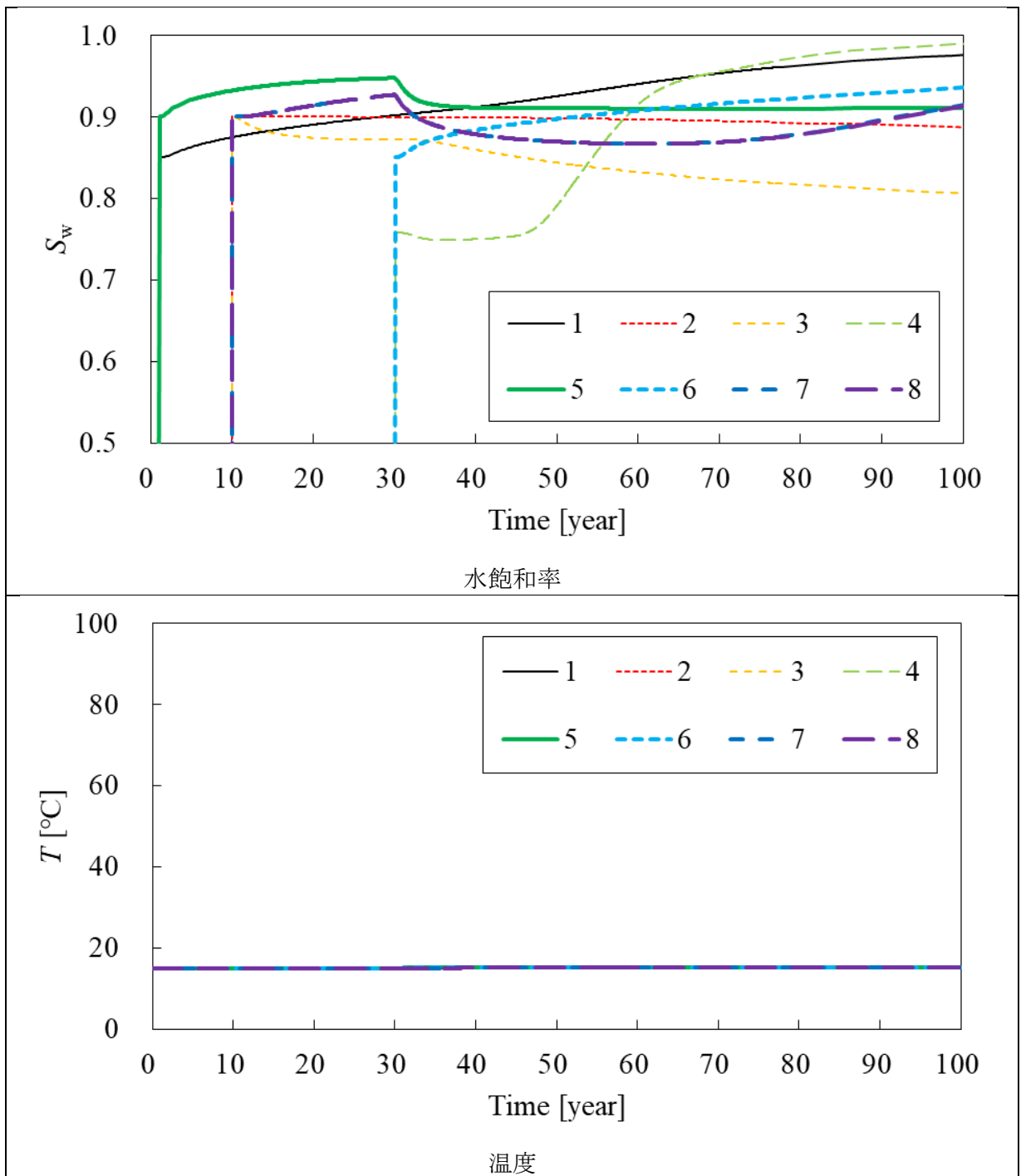


図 3.2-22 出力結果\_ケース HOC0 (発熱なし&欠損なし)

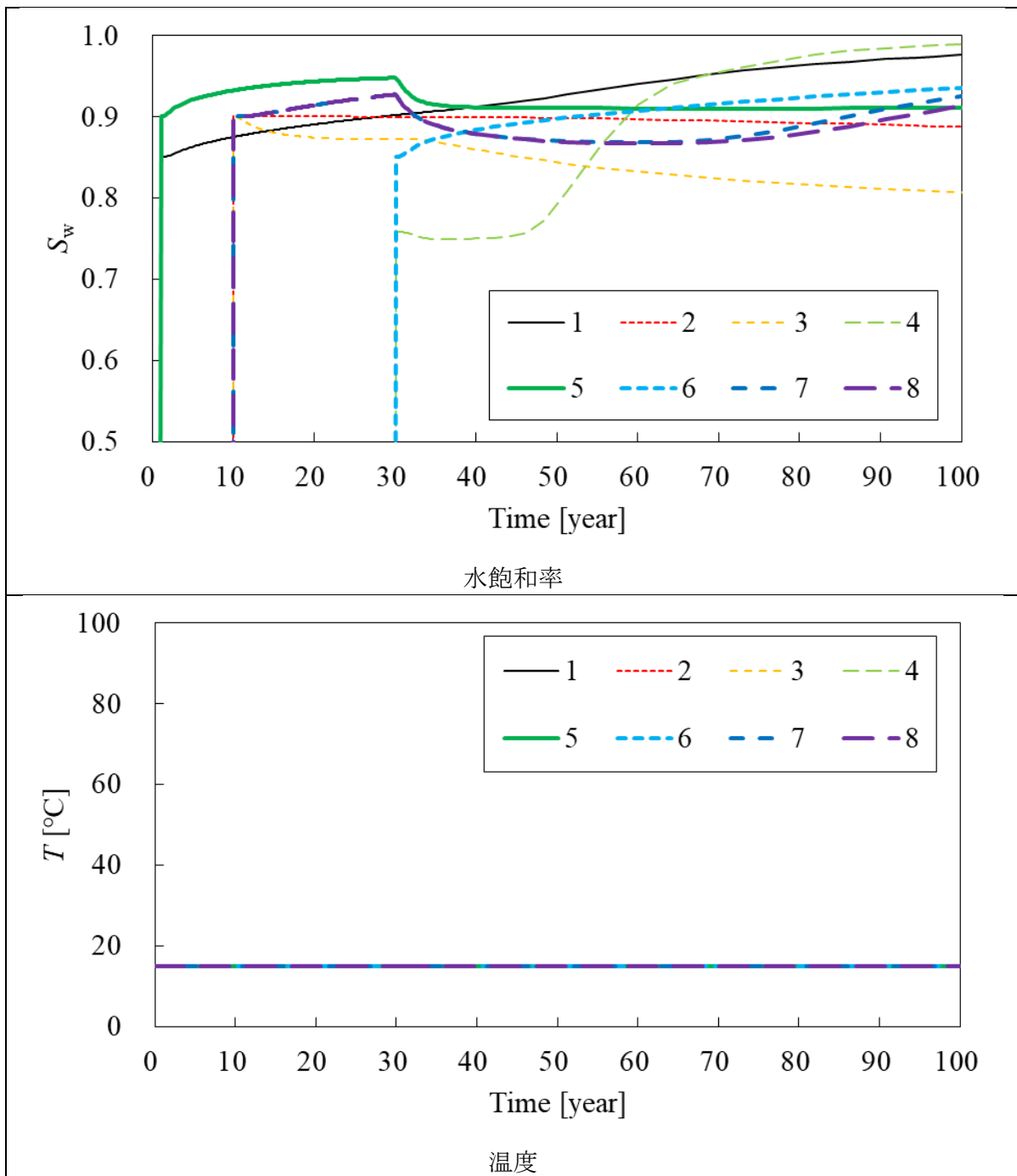


図 3.2-23 出力結果\_ケース H0C1 (発熱なし&欠損あり)

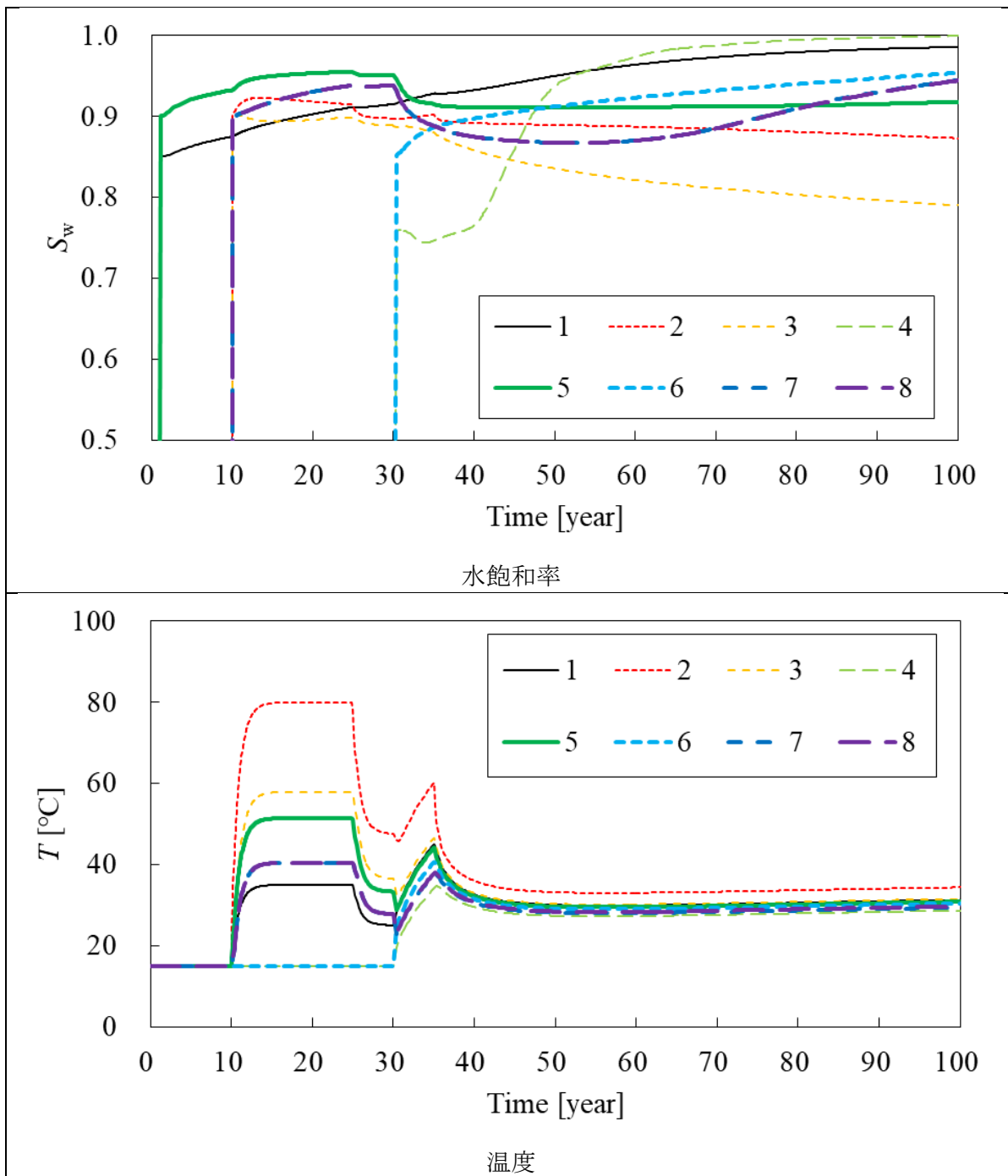


図 3.2-24 出力結果\_ケース H1C0 (発熱あり&欠損なし)

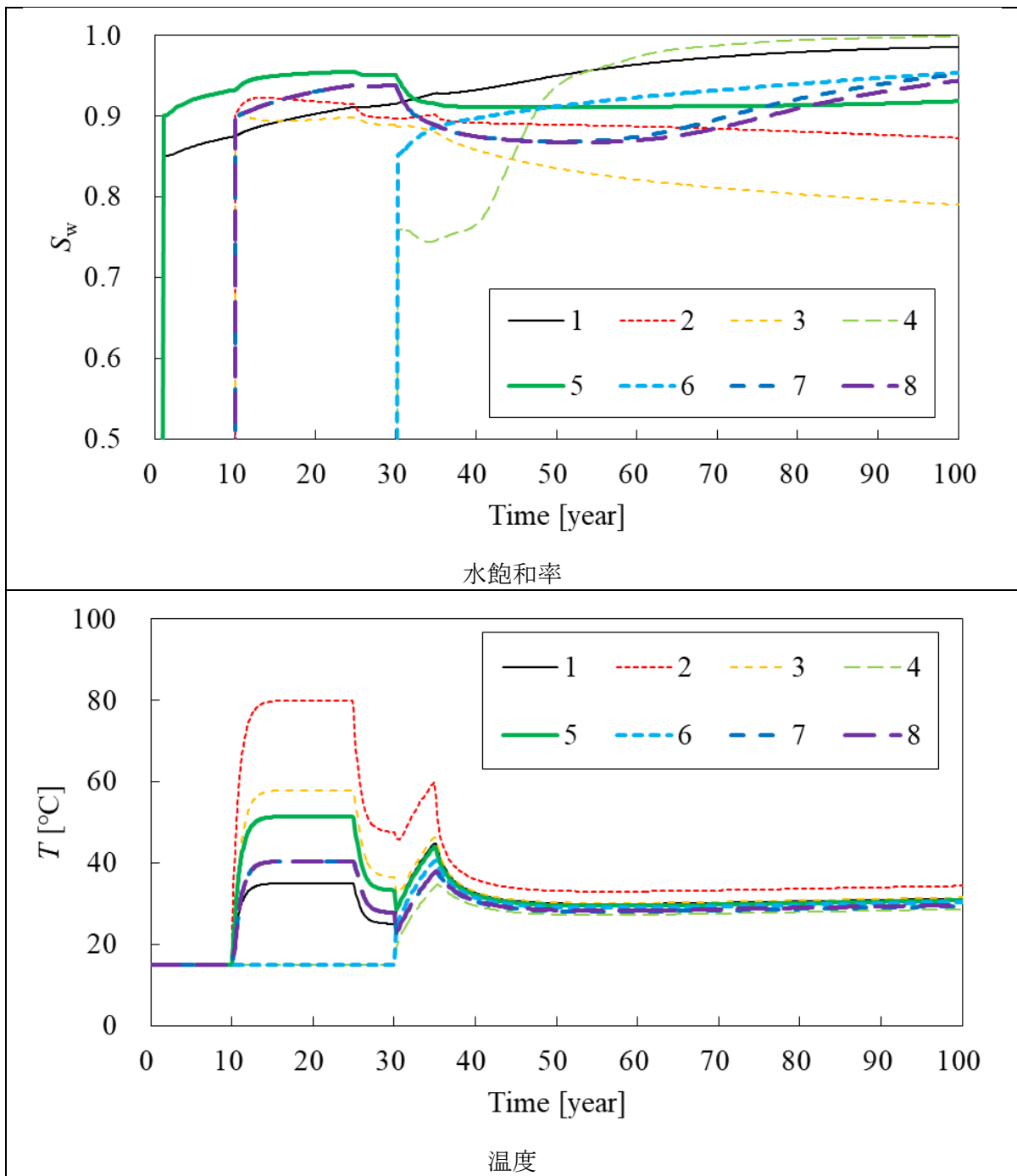


図 3.2-25 出力結果\_ケース H1C1 (発熱あり&欠損あり)

以上の出力データのうち、温度データを各出力点で整理した結果を表 3.2-3 に示す。経過年は、各設定フェーズの基準となる年数を示している。

これより、フェーズ1～フェーズ2に対応する経過年0年～10年については、すべてのケースについて共通の主条件のため、温度の推移に大きな相違は確認されていない。その後、廃棄体を設置するフェーズ3の経過年10年後から発熱ありのケースでは温度の上昇が見られ、経過年20年後における出力点②において最高温度79.859℃となった。

一方、フェーズ4において、空洞充てん施工されると、支保コンクリートの欠損の有無によって、温度の相違がわずかに確認されている。その差異は、小数第2位～3位であり、施設設計計画を検討する上での計測計画において、この精度を確保できるような計測手法を用いることが「施設挙動の想定値を取得する」ことを満足するものと考えられる。

表 3.2-3 出力点別解析温度データ整理

解析ケース	主条件		温度_出力点1					
	発熱	欠損	0年	10年	20年	30年	50年	100年
H0C0	無	無	15.000	15.000	15.000	15.000	15.272	15.317
H1C0	有	無	15.000	15.000	34.911	24.986	29.960	31.208
H1C1	有	有	15.000	15.000	34.911	24.986	29.960	31.205

解析ケース	主条件		温度_出力点2					
	発熱	欠損	0年	10年	20年	30年	50年	100年
H0C0	無	無	15.000	15.000	15.000	15.000	15.168	15.212
H1C0	有	無	15.000	15.000	79.859	47.519	33.113	34.322
H1C1	有	有	15.000	15.000	79.859	47.519	33.113	34.319

解析ケース	主条件		温度_出力点3					
	発熱	欠損	0年	10年	20年	30年	50年	100年
H0C0	無	無	15.000	15.000	15.000	15.000	15.089	15.131
H1C0	有	無	15.000	15.000	57.830	36.498	30.253	31.478
H1C1	有	有	15.000	15.000	57.830	36.498	30.253	31.474

解析ケース	主条件		温度_出力点4					
	発熱	欠損	0年	10年	20年	30年	50年	100年
H0C0	無	無	15.000	15.000	15.000	15.000	15.004	15.043
H1C0	有	無	15.000	15.000	15.000	15.000	27.312	28.605
H1C1	有	有	15.000	15.000	15.000	15.000	27.312	28.602

解析ケース	主条件		温度_出力点5					
	発熱	欠損	0年	10年	20年	30年	50年	100年
H0C0	無	無	15.000	15.000	15.000	15.000	15.168	15.211
H1C0	有	無	15.000	15.000	51.375	33.249	29.560	30.758
H1C1	有	有	15.000	15.000	51.375	33.249	29.560	30.755

解析ケース	主条件		温度_出力点6					
	発熱	欠損	0年	10年	20年	30年	50年	100年
H0C0	無	無	15.000	15.000	15.000	15.000	15.164	15.208
H1C0	有	無	15.000	15.000	15.000	15.000	29.027	30.355
H1C1	有	有	15.000	15.000	15.000	15.000	29.027	30.352

解析ケース	主条件		温度_出力点7					
	発熱	欠損	0年	10年	20年	30年	50年	100年
H0C0	無	無	15.000	15.000	15.000	15.000	15.079	15.120
H1C0	有	無	15.000	15.000	40.347	27.727	28.119	29.336
H1C1	有	有	15.000	15.000	40.347	27.727	28.119	29.333

解析ケース	主条件		温度_出力点8					
	発熱	欠損	0年	10年	20年	30年	50年	100年
H0C0	無	無	15.000	15.000	15.000	15.000	15.074	15.115
H1C0	有	無	15.000	15.000	40.341	27.724	28.351	29.664
H1C1	有	有	15.000	15.000	40.341	27.724	28.351	29.661

### (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) 解析手法[14]

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。

本検討は、平成 28 年度に実施した解析に用いたモデルを参考に、建設から廃棄物の埋設段階の途中（図 2.3-13 のシナリオ整理表中、作業①から作業⑥の排水管閉鎖前まで）を対象とする。

本解析作業では、平成 28 年度の解析検討に用いた応力-ひずみ解析コード CODE\_BRIGHT を使用した[14]。以下に、当該解析コードに関する内容を記す。

#### a. コードの特徴と使用例

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 3.2-4 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およ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 3.2-26 に熱、力学（応力・変形）、二相流の相互影響関係を示す。

表 3.2-4 CODE\_BRIGHT の主な適用プロジェクト

略称	実施場所／国	対象	概要
<b>FEBEX</b> (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
<b>GMT</b> (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
<b>TBT</b> (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
<b>Backfill &amp; Plug Test</b>	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
<b>PRACLAY</b>	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
<b>EB</b> (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
<b>DST</b> (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

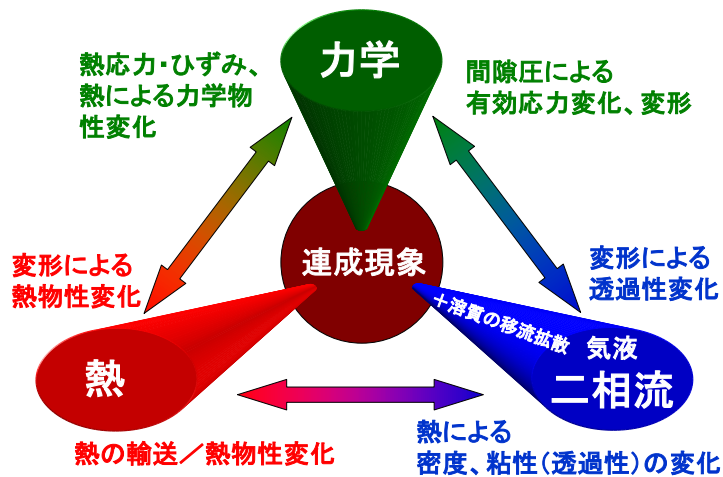


図 3.2-26 熱、力学（応力変形）、二相流の相互影響



## b. 基本的な考え方

多孔質体は、図 3.2-27 に示すように固体粒子、水、ガスで構成されるものとし、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

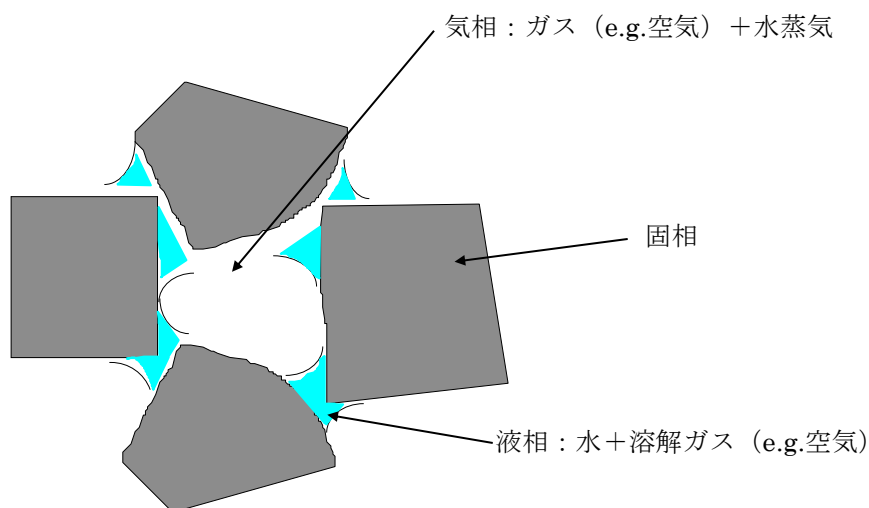


図 3.2-27 不飽和多孔質体の概念

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る。
- ・溶解ガスおよび液相の運動量の釣り合いは、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（設定温度などを最終報告書で追記予定）の関数である（例えば、水蒸気の濃度、表面張力、流体の粘性は温度に強く依存する）。

(a) 支配方程式

多孔質体は、図 3.2-27 に示すように固体粒子、水、ガスで構成されものとし、以下の3つの相と3つの物質が考慮される。

CODE\_BRIGHT では以下に関する支配方程式が、適用された構成則と平衡則（表 3.2-5 参照）を満たすよう解かれる。

- 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である。

- Darcy 則：水、ガスの移流

流束は圧力勾配に比例する

- Fick 則：水蒸気、ガスの拡散

拡散束は濃度勾配に比例する

- Fourier 則：熱伝導

熱流束は温度勾配に比例する

- 水分特性：飽和率とサクシヨンの関係（種々のモデル）

- BB (Balcerona Basic) モデル：応力～ひずみ（後述）

- Henry 則：ガス溶解度

ガス溶解度は圧力に比例する

- サイクロメトリック則：水蒸気量（湿度）

水蒸気量（湿度）はサクシヨンと温度により規定される（相対湿度とサクシヨンの log が比例する）。

表 3.2-5 適用される構成則、平衡則と適用範囲

適用される構成則、平衡則	適用範囲
Darcy 則	水、ガスの移流
Fick 則	水蒸気、ガスの拡散
水分特性	飽和率とサクシヨンの関係（種々のモデル）
弾塑性構成モデル	応力～ひずみ（不飽和を考慮）
Henry 則	ガス溶解度

(b) ベントナイト系人工バリアの力学モデル

CODE\_BRIGHT に導入されている BB (Barcelona Basic) モデルは、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。

- ・サクシジョンの増加（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、飽和までのサクシジョン・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（サクシジ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）。
- ・サクシジ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。

飽和時の挙動は修正カム・クレイモデルと同じことから、以下では特に、不飽和状態での挙動や飽和率（サクシジョン）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。

a) 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(3.2-10)で表される（図 3.2-28 参照）。

$$de = -\lambda(s) \frac{dp'}{p'} \quad (3.2-10)$$

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

$$p' = p - \max(p_g, p_l) \quad (3.2-11)$$

$\lambda(s)$  : サクシジョン  $s$  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(3.2-10)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。

$$d\varepsilon_v = \frac{\lambda(s)}{1+e_0} \frac{dp'}{p'} \quad (3.2-12)$$

ここに、

$e_0$  : 初期間隙比

例えば、サクシジョン  $s$  一定（飽和率一定）条件下では  $\lambda(s)$  一定なので式(3.2-12)より次式が成り立つ。

$$e = e_0 - \lambda(s) \ln \frac{p'}{p_0} \quad (3.2-13)$$

ここに、 $p_0$ 'は初期平均有効応力

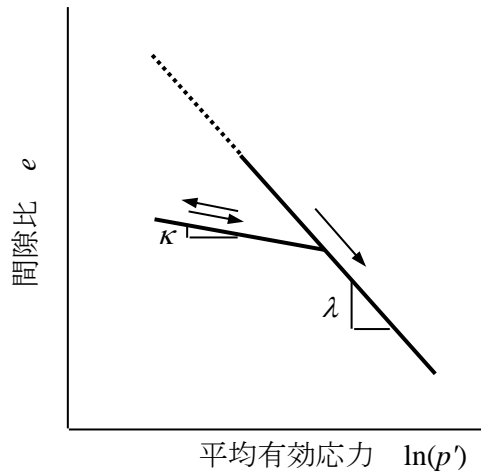


図 3.2-28 間隙比と平均有効応力の関係

$$de = -\kappa(s) \frac{dp'}{p'} \quad (3.2-14)$$

ここに、

$\kappa(s)$  : サクシオン  $s$  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。

$$d\varepsilon_v = \frac{\kappa(s)}{1+e_0} \frac{dp'}{p'} \quad (3.2-15)$$

例えば、サクシオン  $s$  一定（飽和率一定）条件下では次式が成り立つ。

$$e = e_0 - \kappa(s) \ln \frac{p'}{p_0} \quad (3.2-16)$$

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

$$\lambda(s) = \lambda_0 [(1-\gamma)\exp(\beta \cdot s) + \gamma] \quad (3.2-17)$$

$$\kappa(s) = \kappa_0 (1 + \alpha \cdot s) \quad (3.2-18)$$

ここに、

$\lambda_0$  : 飽和時の圧縮指数 =  $\lambda(0)$

$\kappa_0$  : 飽和時の膨潤指数 =  $\kappa(0)$

$\alpha, \beta, \gamma$  : 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(3.2-10)、式(3.2-14)および図 3.2-28 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(3.2-15)より次式のようなになる。

$$E = 3(1-2\nu) \frac{dp'}{d\varepsilon_v} = 3(1-2\nu) \cdot (1+e_0) \cdot \frac{p'}{\kappa(s)} \quad (3.2-19)$$

ここに、 $\nu$ 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  $\kappa(s)$  に反比例することがわかる。

b) 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オン（以下、降伏サクシオンと呼ぶ）を超えてサクシオンが増加（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 3.2-29 参照）。

$$de = -\lambda_s \frac{ds}{s + p_{atm}} \quad (3.2-20)$$

ここに、

$s$  : サクシオン

$p_{atm}$  : 大気圧

$\lambda_s$  : 乾燥による圧縮指数（定数）

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

$$de = -\kappa_s \frac{ds}{s + p_{atm}} \quad (3.2-21)$$

ここに、

$\kappa_s$  : 湿潤による膨潤指数

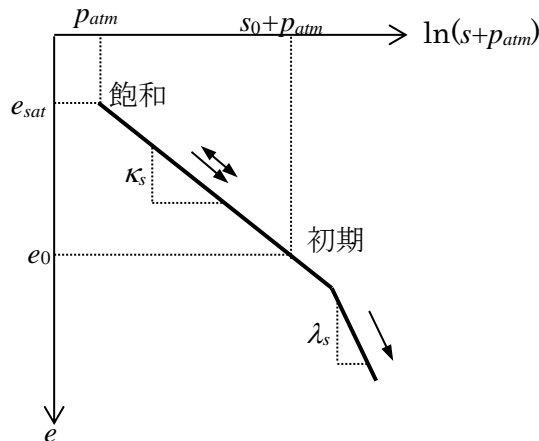


図 3.2-29 サクシオンと間隙比の関係

一般の粘土に対しては  $\lambda_s$ 、 $\kappa_s$  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  $\kappa_s$  は平均有効応力  $p'$  に依存する次式が提案されている。

$$\kappa_s(p') = \kappa_{s0} \left( 1 + \alpha_{sp} \ln \frac{p'}{p'_{ref}} \right) \quad (3.2-22)$$

ここに、

$\kappa_{s0}$  :  $p'_{ref}$  での湿潤膨潤指数

$p'_{ref}$  : 参照平均有効応力

$\alpha_{sp}$  : 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(3.2-22)を用いれば、湿潤膨潤（サクシオン減少）による体積ひずみ増分  $d\varepsilon_s$  は次式で表される。

$$d\varepsilon_s = \frac{\kappa_s(p')}{1+e_0} \frac{ds}{s+p_{atm}} = \frac{1}{1+e_0} \kappa_{s0} \left( 1 + \alpha_{sp} \ln \frac{p'}{p'_{ref}} \right) \frac{ds}{s+p_{atm}} \quad (3.2-23)$$

従って、平均有効応力  $p'$  一定の場合の体積ひずみは、

$$\varepsilon_s = \frac{1}{1+e_0} \kappa_{s0} \left( 1 + \alpha_{sp} \ln \frac{p'}{p'_{ref}} \right) \cdot \ln \frac{s+p_{atm}}{s_0+p_{atm}} \quad (3.2-24)$$

ここで、式(3.2-24)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  $\varepsilon_{smax}$  が得られる（ $\varepsilon_{smax}$  は便宜上、膨張を正、他の体積ひずみ  $\varepsilon_v$ 、 $\varepsilon_s$  は圧縮を正としていることに注意）

$$\varepsilon_{smax} = \frac{1}{1+e_0} \kappa_{s0} \left( 1 + \alpha_{sp} \ln \frac{p'}{p'_{ref}} \right) \ln \frac{p_{atm}}{s_0+p_{atm}} \quad (3.2-25)$$

c) 強度の飽和率依存性

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 3.2-30 参照）。

$$p_0 = p^c \left( \frac{p_0^*}{p^c} \right)^{\frac{\lambda(0)-\kappa(0)}{\lambda(s)-\kappa(0)}} \quad (3.2-26)$$

ここに、

$p_0^*$  : サクシオン  $s=0$ （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(3.2-26)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オン（降伏サクシオン）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  $\phi$  はサクシオンの影響を受けず、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、粘着力はサクシオ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、次式で定義されている（図 3.2-30 参照）。

$$p_s = \kappa \cdot s \quad (3.2-27)$$

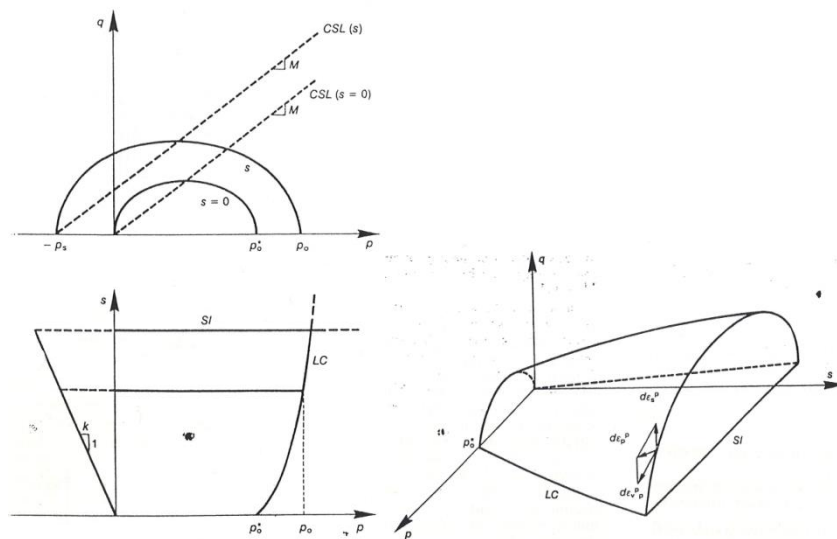


図 3.2-30  $(p, q)$  面、 $(p, s)$  面および  $(p, q, s)$  面での降伏曲面

有効応力およびサクシヨンの変化による体積ひずみ挙動を規定する線  $(\lambda(s), \kappa(s), \lambda_s, \kappa_s)$  と降伏曲面を  $(e, p', s)$  空間で示すと図 3.2-31 のようになる。

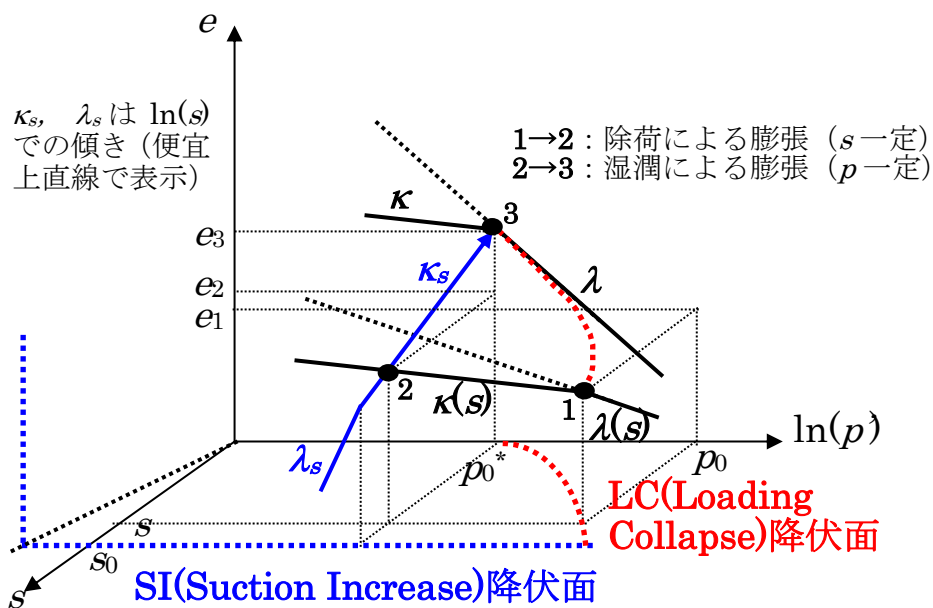


図 3.2-31 有効応力およびサクシヨンの変化による体積ひずみ挙動と降伏曲面

d) 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。

$$k = k_0 \frac{n^3}{(1-n)^2} \frac{(1-n_0)^2}{n_0^3} \quad (3.2-28)$$

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)

(c) 低透水層の力学物性

< 必要な物性値と既往の実験データ >

CODE\_BRIGHT に導入されているベントナイトの飽和・不飽和力学挙動を表す弾塑性構成モデル (Barcelona Basic モデル、BB モデル) で必要な物性値は以下のとおりである。

・飽和圧密特性

圧縮指数  $\lambda_0$ 、膨潤指数  $\kappa_0$

・飽和率に依存する圧密特性 (不飽和圧密特性)

膨潤指数の飽和率 (サクシヨン) 依存性を表すパラメータ  $\alpha$

圧縮指数の飽和率 (サクシヨン) 依存性を表すパラメータ  $\beta, \gamma$

・膨潤特性

拘束圧と飽和過程での膨潤量の関係を表すパラメータ  $\kappa_{s0}$ 、 $\alpha_{sp}$

初期 (施工時) のサクシヨンを超えるサクシヨンが作用したとき (初期飽和率より飽和率が減少する時) の体積収縮量を規定するパラメータ  $\lambda_s$

・飽和せん断強度特性

内部摩擦角  $\phi$ 、粘着力  $c$

・飽和率に依存するせん断特性

粘着力の飽和率 (サクシヨン) 依存性を表すパラメータ

なお、BB モデルでは内部摩擦角は飽和率 (サクシヨン) に依存しないと仮定している。また、本検討では、低透水層が初期飽和率以下となることは想定されないのでパラメータ  $\lambda_s$  の設定は不要である。

これらの物性値を設定するのに必要なクニゲル GX に対する試験の実施状況を表 3.2-6 に示す。不飽和圧密特性は未取得であるが、圧縮指数は保守的に飽和ベントナイトの値を用い、膨潤指数は不飽和一軸圧縮試験に基づき推定する。また、不飽和せん断強度特性も未取得であるが保守的な仮定として飽和と同等、すなわち、粘着力も引張強度もゼロとする。



表 3.2-6 BB モデルで必要な物性パラメータとクニゲル GX 試験の現状

特性	パラメータ	パラメータ設定のための試験、理論	クニゲル GX に対するデータ取得の現状	設定方法
飽和圧密	$\lambda_0, \kappa_0$	圧密試験	圧密試験結果あり a)	試験結果を使用
不飽和圧密	$\alpha$	サクシヨン制御圧密試験 あるいは 不飽和試料の 1 軸圧縮試験	不飽和試料の 1 軸圧縮試験値あり b)	サクシヨン制御圧密試験の実施が望ましいが、不飽和試料の 1 軸圧縮試験値から推定
膨潤	$\kappa_{s0}, \alpha_{sp}$	膨潤圧試験、膨潤量試験 あるいは 小峯らの膨潤評価式	膨潤圧試験、膨潤量試験の結果あり c), d)	試験結果に基づき設定
飽和せん断強度	$\phi, c$	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験結果あり a)	試験結果を使用
不飽和せん断強度(粘着力)と引張強度	$k$	サクシヨン制御三軸圧縮試験	試験データなし	一般に不飽和粘土は粘着力、引張強度を有するが、飽和と同じく粘着力も引張強度もゼロと仮定(保守的設定)
<文献> a) 山田他(2009): ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験(その4) 静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、CS5-052, pp.237~238 b) 千々松他(2008): ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験(その2) 不飽和支持力に関する検討、土木学会第63回年次学術講演会、CS05-15, pp.197~198 c) 伊藤他(2008): ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験(その1) 不飽和支持力に関する検討、土木学会第63回年次学術講演会、CS05-14, pp.195~196 d) 伊藤他(2009): ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験(その3) 膨潤変形挙動に関する検討、土木学会第64回年次学術講演会、CS5-051, pp.235~236				

## 2) 解析モデル

検討断面は、図 3.2-2 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とし、その解析モデルは、図 3.2-32 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。

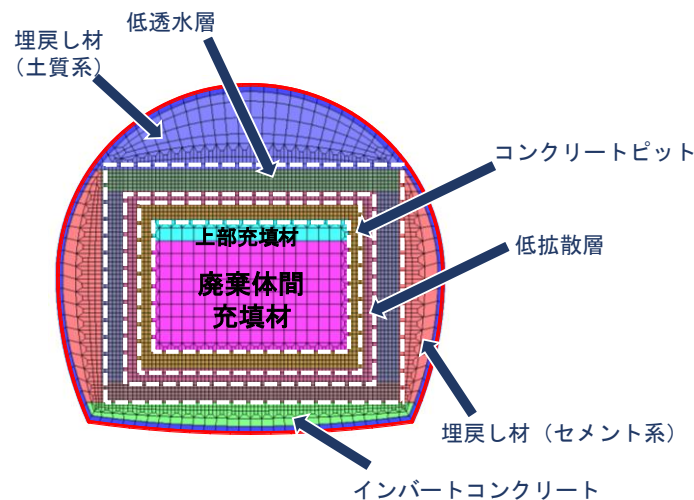


図 3.2-32 解析モデル

### 3) 初期条件

人工バリア内部の構築を行い、施工順序の影響による応力状態を作成する。人工バリアの構築解析ステップの一例を図 3.2-33 に示す。

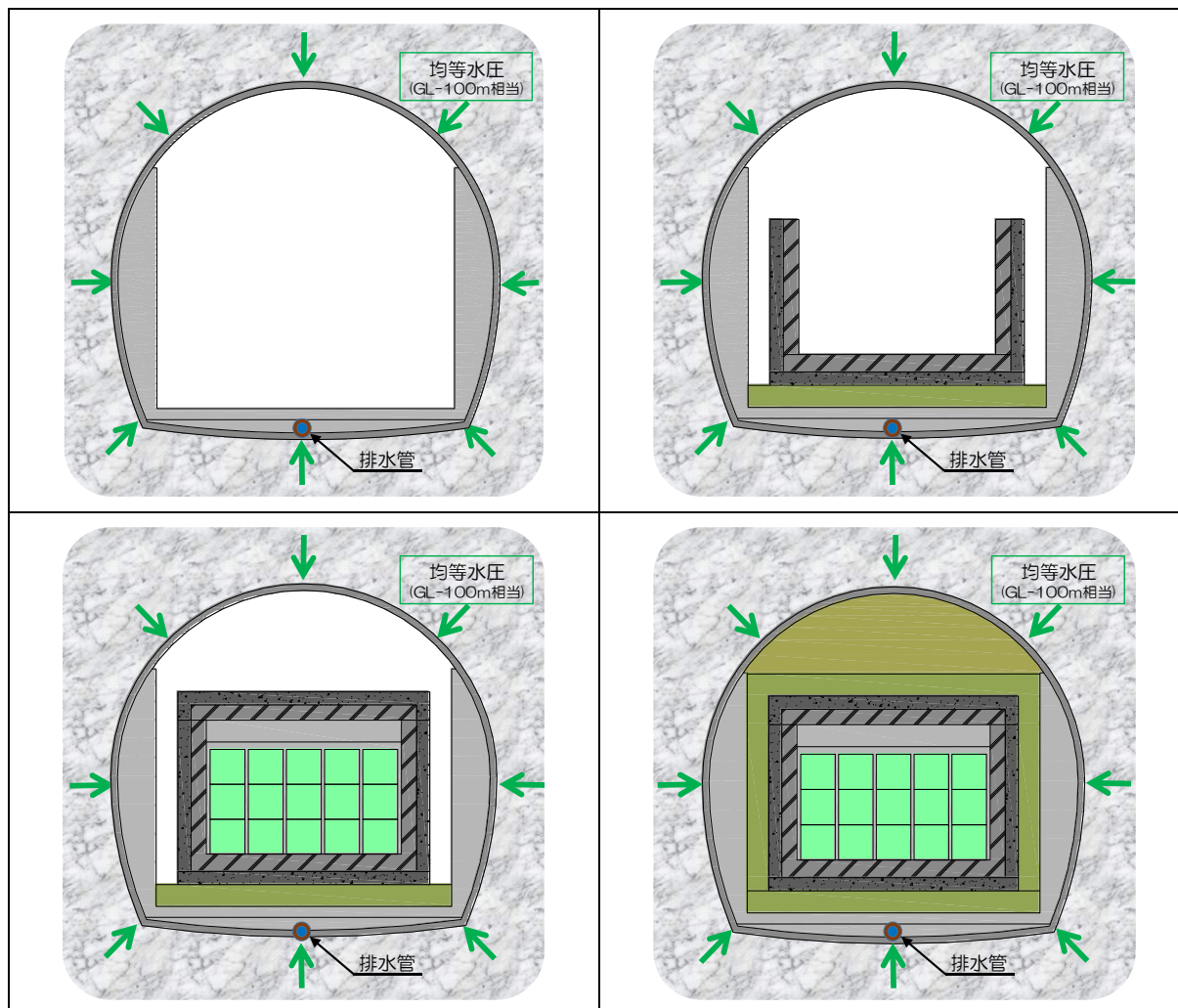


図 3.2-33 施設施工手順を想定した解析ステップ

### 4) 材料物性値

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およ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

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。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て近似して用いるものとした。整理した解析パラメータ一覧表を表 3.2-2 に示す。

#### (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  $\rho_d=1.6\text{Mg/m}^3$  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[18]。気相の相対浸透率については、`CODE_BRIGHT` では Corey モデルを考慮できないことから Power モデル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度（80%～90%）付近の再現性を優先した。毛管圧は van Genuchten モデルで近似した。

#### (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[19]。ここで用いられているパラメータの内、2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2相流パラメータである[7]。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、`CODE_BRIGHT` では相対浸透率の Corey モデルと毛管圧の Narasimhan モデル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、毛管圧は van Genuchten モデルで近似した。フィッティングについては、解析対象と考えられる飽和度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[19]。ここで用いられている2相流パラメータ（毛管圧力、相対浸透率）は Mayer, G et. al. [23]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[4]。なお、`CODE_BRIGHT` では相対浸透率の Corey モデルと毛管圧の Narasimhan モデル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、毛管圧は van Genuchten モデルで近似した。フィッティングについては、解析対象と考えられる飽和度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[19]。ここで用いられている2相流パラメータは RWMC 報告書[24]の値を参照している。なお、`CODE_BRIGHT` では相対浸透率の Corey モデルと毛管圧の Narasimhan モデル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、毛管圧は van Genuchten モデルで近似した。

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[14]。

① Power モデル (相対浸透率)

$$k_{lr} = S_e^m \quad (3.2-29)$$

$$k_{rg} = A(1 - S_e)^n \quad (3.2-30)$$

$$S_e = (S_l - S_{lr}) / (1 - S_{lr} - S_{rg}) \quad (3.2-31)$$

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、 $S_e$  は有効間隙水飽和度、 $S_l$  は間隙水飽和度、 $S_{lr}$  は残留間隙水飽和度、 $S_{gr}$  は残留ガス飽和度、 $n$  および  $m$  は間隙径分布パラメータを示す。

② Grant モデル (相対浸透率)

$$K_{rg} = 1 - K_{lr} \quad (3.2-32)$$

③ van Genuchten モデル (相対浸透率) (水相のみ)

$$K_n = \sqrt{S_e} \left( 1 - (1 - S_e^{1/\lambda})^\lambda \right)^2 \quad (3.2-33)$$

$$S_e = (S_l - S_{lr}) / (1 - S_{lr} - S_{rg}) \quad (3.2-34)$$

ここで、 $\lambda$  は空隙率分布パラメータを示す。

④ van Genuchten モデル (毛管圧)

$$P_c = P_0 \left( S_e^{-1/\lambda} - 1 \right)^{-\lambda} \quad (3.2-35)$$

$$S_e = (S_l - S_{lr}) / (1 - S_{lr} - S_{rg}) \quad (3.2-36)$$

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) [25] 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 3.2-7 に低透水層に用いる力学パラメータを示す。

表 3.2-7 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	$\rho_d$	Mg/m <sup>3</sup>	1.60	
真密度	$\rho_s$	Mg/m <sup>3</sup>	2.65	
初期間隙比	e	—	0.656	
ポアソン比	$\nu$		0.45	
膨潤指数（飽和時）	$k_0$	—	0.087	[26]
圧縮指数（飽和時）	$\lambda_0$	—	0.117	[26]
サクシオン依存膨潤指数パラメータ	$\alpha_i$	—	-0.165	[27]
参照有効応力時の湿潤膨潤指数（飽和時） （パラメータ値設定時の膨潤圧 0.629MPa）	$k_{s0}$	—	0.2108	
有効応力依存湿潤膨潤指数パラメータ （パラメータ値設定時の膨潤圧 0.629MPa）	$\alpha_{sp}$	—	-0.544	
限界応力比	M		0.580	[26]
非関連流れ則パラメータ	$\alpha$	—	0.727	
引張強度	$P_{s0}$	MPa	0.0	
圧密先行応力（飽和時）	$P_0^*$	MPa	1.5	[26]

膨潤圧については8年取りまとめ報告書[13]を基に設定した。報告書[13]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 3.2-34 に示すように整理している。また、図に示す近似式(3.2-37)は既往データより同定している。

$$\sigma_w = \exp(6.1893\rho_d^2 - 1.40472\rho_d + 6.1677) \quad (3.2-37)$$

ここで、 $\sigma_w$  は膨潤圧、 $\rho_d$  は有効粘土密度を示す。よって、式(3.2-37)より膨潤圧は  $\sigma_w = 0.629\text{MPa}$  となる。

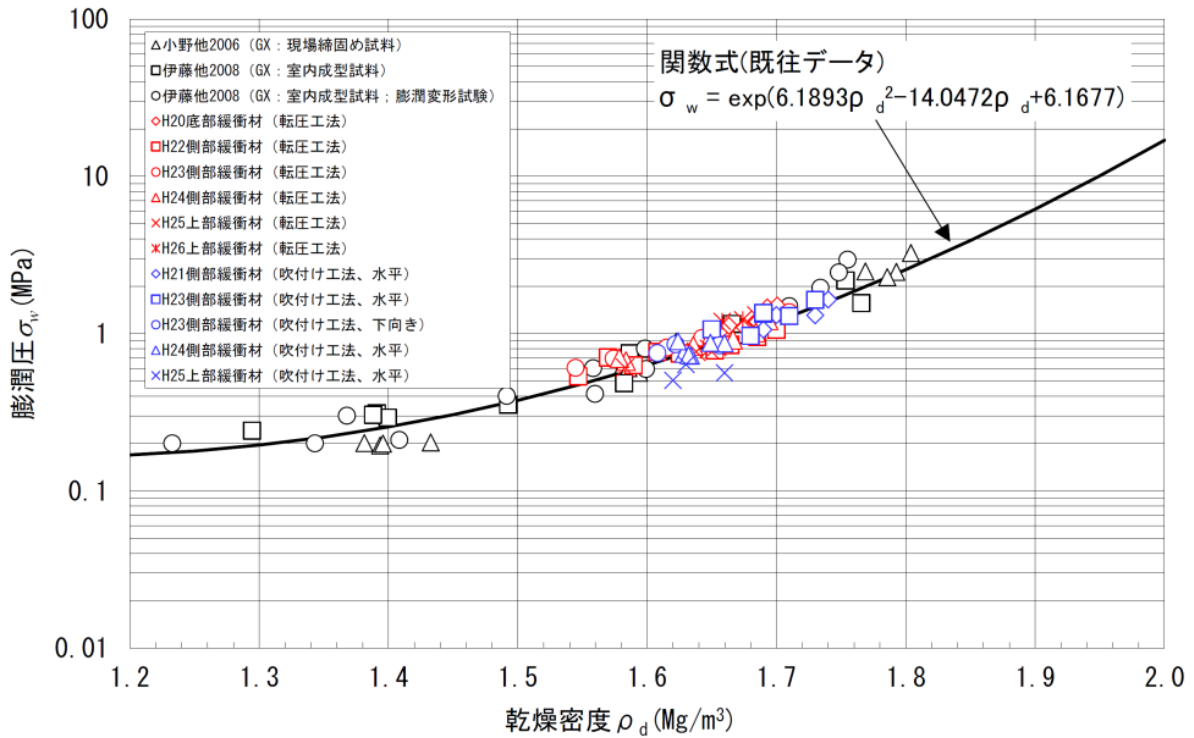


図 3.2-34 クニゲル GX の乾燥密度と膨潤圧の関係

膨潤特性に関するパラメータの設定については山本ら[14]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 $\kappa_s$ は式(3.2-38)で表わされる。

$$\kappa_s(p', s) = \kappa_{s0} \left( 1 + \alpha_{sp} \ln \frac{p'}{p'_{ref}} \right) \exp(\alpha_{ss}, s) \quad (3.2-38)$$

ここに、 $\kappa_{s0}$ 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、 $\alpha_{sp}$ 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)、 $\alpha_{ss}$ はサクシオン依存の湿潤膨潤指数を表わすモデルパラメータ、 $s$ はサクシオンを示す。山本らはサクシオン依存の湿潤膨潤指数が $\alpha_{ss} = 0$ 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(3.2-39)でフィッティングすることでBBモデルのパラメータ( $\kappa_{s0}$ 、 $\alpha_{sp}$ )を同定している。

$$d\varepsilon_s = \frac{\kappa_s(p')}{1+e_0} \frac{ds}{s_0 + p_{atm}} = \frac{1}{1+e_0} \kappa_{s0} \left( 1 + \alpha_{sp} \ln \frac{p'}{p'_{ref}} \right) \frac{ds}{s_0 + p_{atm}} \quad (3.2-39)$$

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 3.2-35 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。

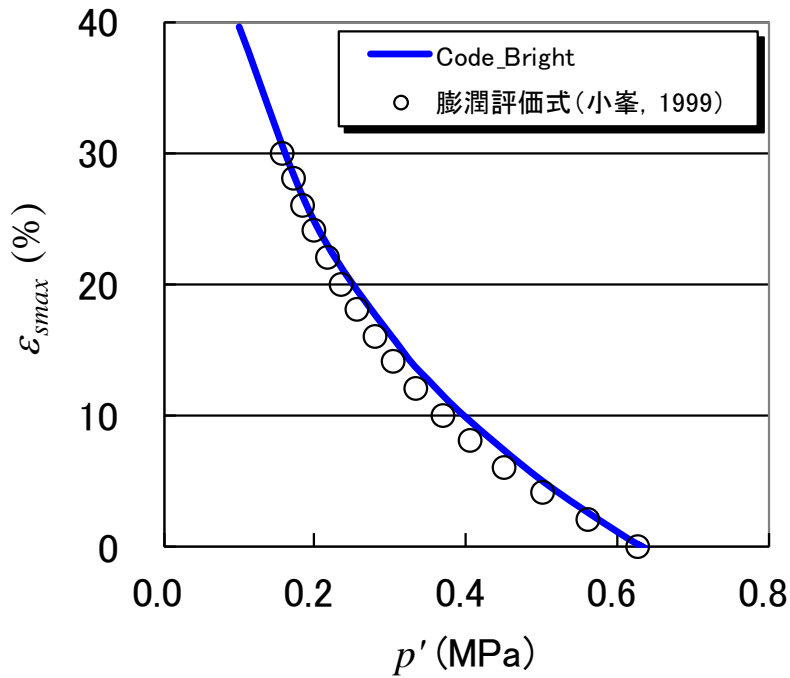


図 3.2-35 小峯らの膨潤評価式に基づく飽和膨潤ひずみと有効拘束応力の関係

Alonso, et. al[25]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に式(3.2-40)に示す Ohmaki の提案するパラメータ $\alpha$ を導入している。

$$\frac{d\epsilon_s^p}{d\epsilon_{vp}^p} = \frac{2q\alpha}{M^2(2q + p_s - p_0)} \quad (3.2-40)$$

ここに、 $d\epsilon_s^p$ はサクシオン増分における塑性ひずみ増分、 $d\epsilon_{vp}^p$ は塑性体積ひずみ増分、 $q$ はミーゼス応力、 $p_s$ はサクシオン依存の引張強度、 $p_0$ 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 $\alpha$ 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(3.2-41)となる。

$$\frac{d\epsilon_s^p}{d\epsilon_{vp}^p} = \frac{2}{3} \frac{1}{1 - \kappa/\lambda(0)} \quad (3.2-41)$$

また、静水圧状態  $K_0$ では、(3.2-42)が成り立つ。

$$p/q + p_s = 3(1 - K_0)/1 + 2K_0 \quad (3.2-42)$$

式(3.2-40)、式(3.2-41)、式(3.2-42)、より、非関連流れ則に関するパラメータ $\alpha$ が式(3.2-43)により導かれる。

$$\alpha = \frac{M(M-9)(M-3)}{9(6-M)} \frac{1}{1 - \kappa/\lambda(0)} \quad (3.2-43)$$

式(3.2-43)より、 $\alpha=0.727$ 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 3.2-8 に、力学物性値を表 3.2-9 に示す。前述した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 3.2-8 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/m <sup>3</sup>	67.0		

表 3.2-9 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・備考
		標準値	変動値		
圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	30.0	—	60.0	標準値：目安の目標強度、変動値：配合が低拡散層ベースであるため、同等の強度が得られると考えた場合の強度
静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	18.4	—	26.8	6年取りまとめ報告書[30]p.2-201 図 2.4-51 の関係式より圧縮強度 30、60 として算出
単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	23.0	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	—	0.2	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値
廃棄体込みの単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	52.4	—	—	

c) 上部充てん材

上部充てん材の物性値を表 3.2-10 に示す。

表 3.2-10 上部充てん材に用いる力学物性値

物性	単位	物性値			出典・備考
		標準値	変動値		
圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	30.0	—	60.0	標準値：目安の目標強度、変動値：配合がコンクリートピットベースであるため、同等の強度が得られると考えた場合の強度
静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	19.1	—	33.0	6年取りまとめ報告書[30]p.2-207 図 2.4-56 の関係式より圧縮強度 30、60 として算出
単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.5	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	—	0.2	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値



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 3.2-11 に示す。

表 3.2-11 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・備考
		標準値	変動値		
圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	60.0	—	70.0	標準値：設計基準強度 (σ <sub>91</sub> )、変動値：6年取りまとめ報告書[30]p.2-151 より σ <sub>91</sub> の最大値
静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	36.9	—	39.4	6年取りまとめ報告書[30]p.2-154 図2.3-22の関係式より圧縮強度 60、70として算出
引張強度	N/mm <sup>2</sup>	4.6	—	5.2	6年取りまとめ報告書[30]p.2-154 図2.3-23の関係式より圧縮強度 60、70として算出
単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.5	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	—	0.2	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値

e) 低拡散層

低拡散層の物性値を表 3.2-12 に示す。

表 3.2-12 低拡散層に用いる力学物性値

物性	単位	物性値			出典・備考
		標準値	変動値		
圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	60	—	75.0	標準値：設計基準強度 (σ <sub>91</sub> )、変動値：6年取りまとめ報告書 p.2-114 より σ <sub>91</sub> の最大値
静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	28.4	—	31.2	6年取りまとめ報告書[30]p.2-115 図2.2-29の関係式より圧縮強度 60、75として算出
引張強度	N/mm <sup>2</sup>	4.4	—	5.2	6年取りまとめ報告書[30]p.2-115 図2.2-30の関係式より圧縮強度 60、75として算出
単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	23.0	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	—	0.2	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値

f) 埋め戻し材（土質系材料）

埋戻し材（土質系）の物性値を表 3.2-13 に示す。

表 3.2-13 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・備考
		標準値	変動値		
乾燥密度	Mg/m <sup>3</sup>	1.60	1.50	1.70	標準値は乾燥密度の管理目標値 1.6±0.1 の中心値、変動値は、1.6±0.1 下限と上限
膨潤圧	MPa	0.033	0.028	0.040	平成 26 年度報告書[11]p.3-85 表 3.2-6 より、現場施工の平均値、最小値、最大値
変形係数	MN/m <sup>2</sup>	4.9	4.0	6.3	平成 26 年度報告書[11]p.3-76 表 3.2-3 より、現場施工の平均値、最小値、最大値
ポアソン比	—	0.43	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値
単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	19.10	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値

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 3.2-14 に示す。

表 3.2-14 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・備考
		標準値	変動値		
圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	30.0	—	60.0	標準値：設計基準強度、変動値：W/B=45% でコンクリートピットと同じであるため、同等の強度が得られると考えた場合の強度
静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	27.6	—	36.7	平成 19 年度報告書[20]p.2-179 図 2.2-7 の関係式より、圧縮強度 30、60 として算出
単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.5	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	—	0.2	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値

h) 支保工

支保工の諸元と力学物性値を表 3.2-15 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 3.2-15 支保工の諸元および物性値

物性	単位	物性値			出典・備考
		標準値	変動値		
圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	36.0	—	—	[31]
静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	27.9	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値（支保工）
単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.5	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値（支保工）
ポアソン比	—	0.2	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値（支保工）

i) 均しコンクリート

均しコンクリートの物性値を表 3.2-16 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 3.2-16 均しコンクリートの力学物性値

物性	単位	物性値			出典・備考
		標準値	変動値		
圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	30.0	—	60.0	標準値：設計基準強度、変動値：W/B=45%でコンクリートピットと同じであるため、同等の強度が得られると考えた場合の強度
静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	27.6	—	36.7	平成 19 年度報告書[20]p.2-179 図 2.2-7 の関係式より、圧縮強度 30、60 として算出
単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.5	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	—	0.2	—	—	平成 26 年度報告書[11]p.7-61 で使用している値

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 3.2-17 に示す。

表 3.2-17 力学物性値一覧（セメント系部材）

部位	物性	単位	物性値			出典
			標準値	変動値		
廃棄体間充てん材	圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	30.0	—	60.0	
	静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	18.4	—	26.8	[30]
	単位体積重量 (充てん材)	kN/m <sup>3</sup>	23.0	—	—	[11]
	ポアソン比	—	0.2	—	—	[11]
	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 <sup>2</sup>	30.0	—	60.0	
	静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	19.1	—	33.0	[30]
	単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.5	—	—	[11]
	ポアソン比	—	0.2	—	—	[11]
コンクリートピット	圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	60.0	—	70.0	[30]
	静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	36.9	—	39.4	[30]
	引張強度	N/mm <sup>2</sup>	4.6	—	5.2	[30]
	単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.5	—	—	[11]
	ポアソン比	—	0.2	—	—	[11]
低拡散層	圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	60	—	75.0	[30]
	静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	28.4	—	31.2	[30]
	引張強度	N/mm <sup>2</sup>	4.4	—	5.2	[30]
	単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	23.0	—	—	[11]
	ポアソン比	—	0.2	—	—	[11]
埋戻し材 (セメント系)	圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	30.0	—	60.0	
	静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	27.6	—	36.7	[20]
	単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.5	—	—	[11]
	ポアソン比	—	0.2	—	—	[11]
支保工コンクリート	圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	36.0	—	—	[31]
	静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	27.9	—	—	[11]
	単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.5	—	—	[11]
	ポアソン比	—	0.2	—	—	[11]
均しコンクリート	圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	30.0	—	60.0	
	静弾性係数	kN/mm <sup>2</sup>	27.6	—	36.7	[20]
	単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.5	—	—	[11]
	ポアソン比	—	0.2	—	—	[11]

5) 予察解析結果\_着目点2

a. 解析結果

本予察解析において確認する施工段階について、表 2.3-13 に示す「起こりうる挙動（時間的連続性シナリオ）整理表」の経過時間軸に対応して、図 3.2-36 に示すような断面を代表と仮定して検討を行った。

図 3.2-37～図 3.2-38 に各施工段階における平均有効応力と飽和度の分布を列挙して示す。

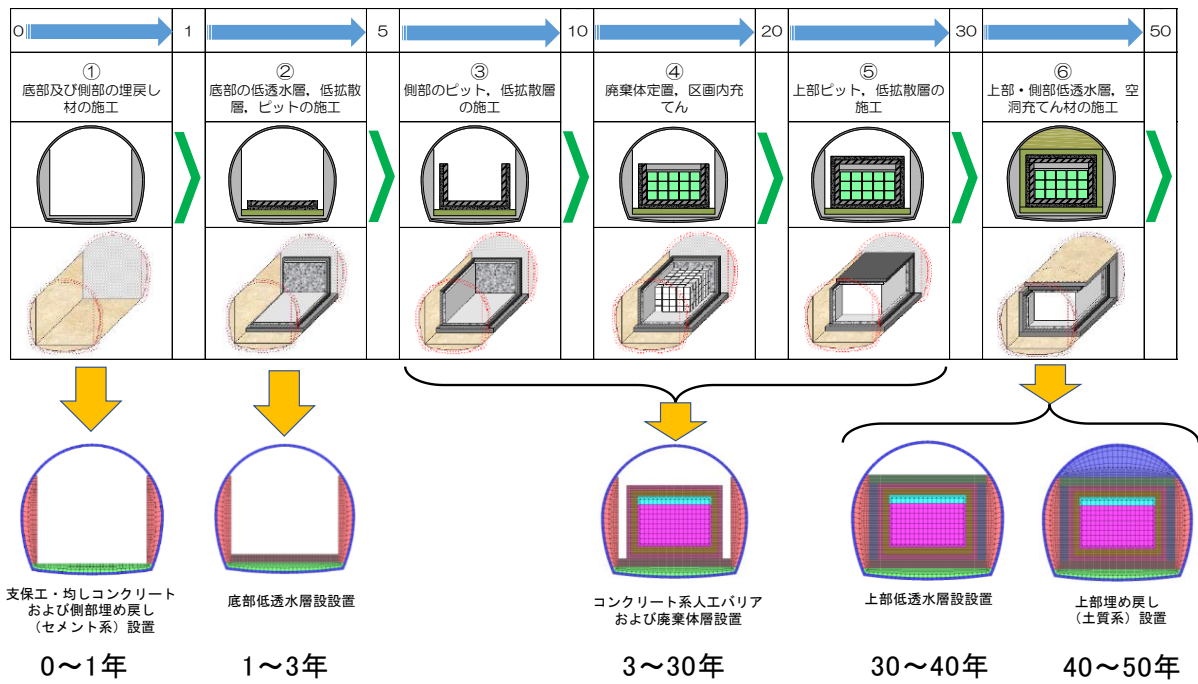


図 3.2-36 各施工段階における代表断面

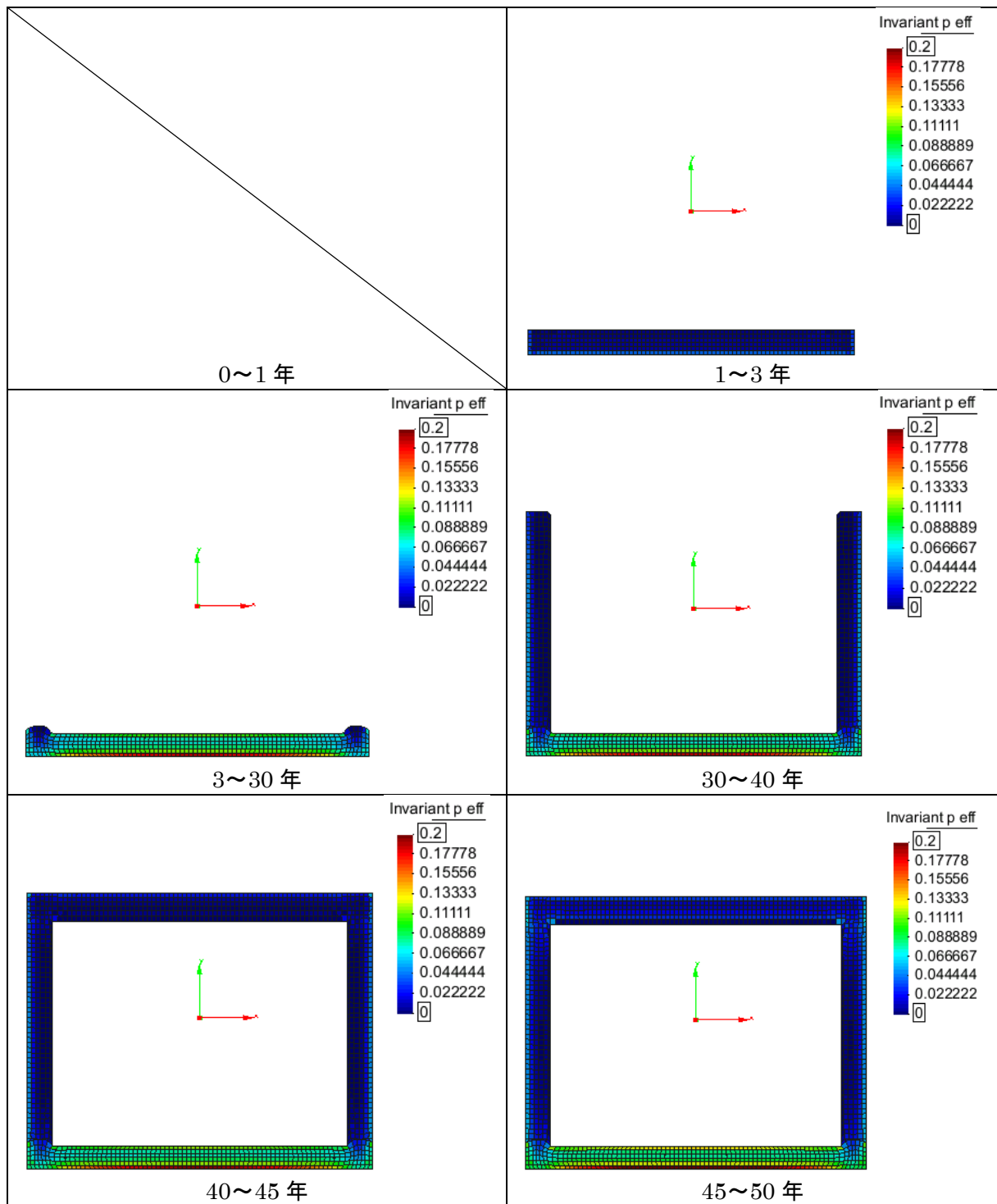


图 3.2-37 解析结果 (平均有效应力\_低透水层)

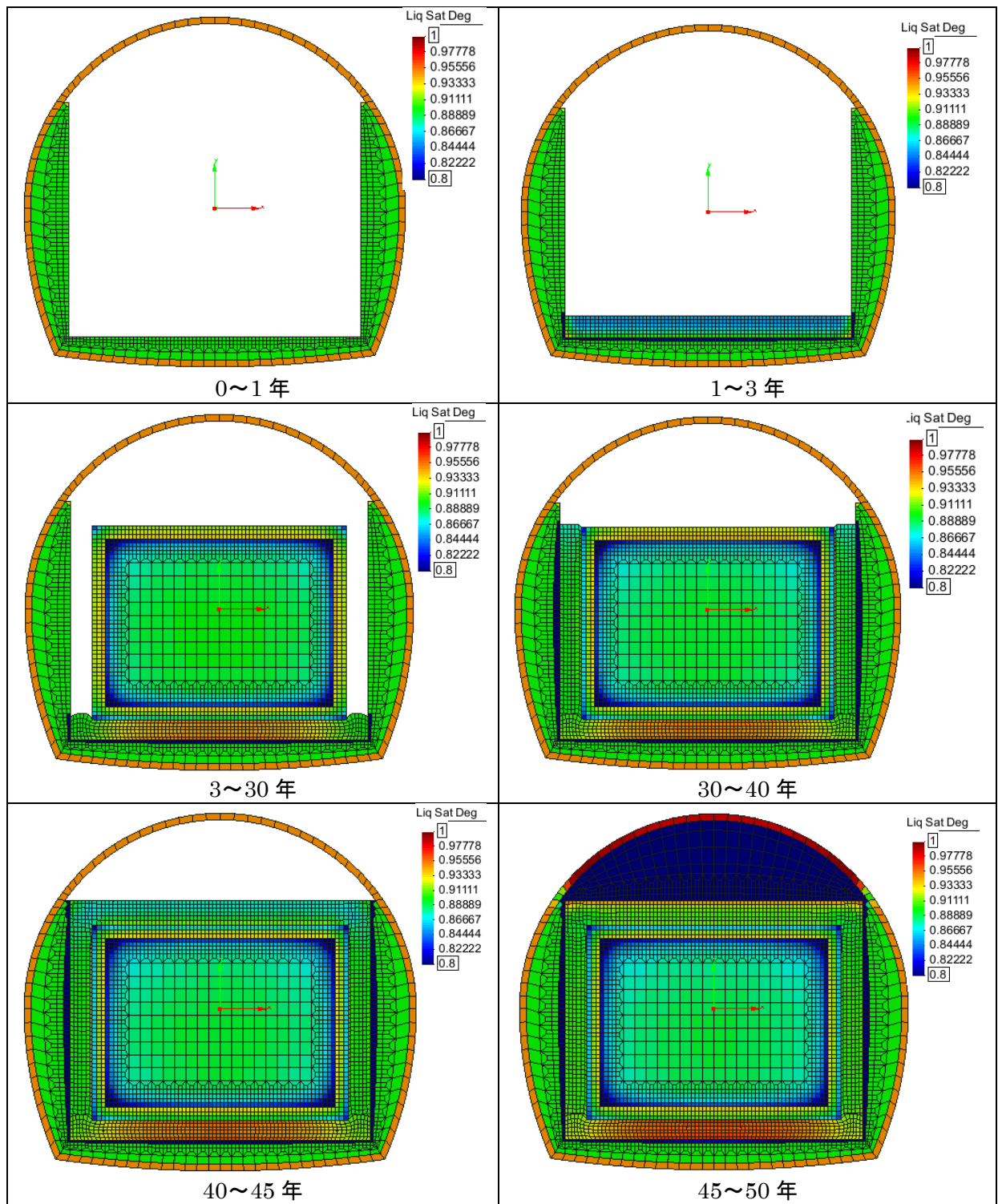


図 3.2-38 解析結果 (飽和度\_施設全体)

b. 計測の観点からみた結果考察

前節において検討示した平均有効応力と飽和度について、主な変状計測と推定されたの低透水層底盤を対象に、経過時間における変化推移をグラフ化して、それぞれ図 3.2-40 と図 3.2-41 に示した。横軸に時間経過を、各グラフの縦軸に解析値を示す。また、出力点については、図坑道断面図上に示した図を図 3.2-39 に示すとともに、各グラフの右上にも簡易図を明示した。

平均有効応力については、低透水層底盤中央部となる出力点①では、各施工段階を経ることにより徐々に増加する変動傾向を示している。また、低透水層底盤側部となる出力点②では、側部施工がほぼ終了する 10 年経過後からは大きな変動を示すことなく推移している。

飽和度については、低透水層において設定した初期飽和度 85%からの推移が確認されており、出力点①では側部施工がほぼ終了する 10 年経過までに 93%程度まで上昇し、その後、落ち着いた挙動を見せている。出力点②では、各施工段階に沿って上昇傾向を変えながら推移する挙動を見せており、特に上部埋戻し設置となる 50 年に向けてベントナイト部分における水収支により大きな飽和度の変化が確認されている。

これらの平均有効応力や飽和度の変化により、各構成部材の膨潤変状などが想定されると共に各構成部材の負荷により底盤沈下などの変状も併せて確認されており、本予察解析結果の詳細を、施設建設における変状計測計画へ反映することが必要であると考えられる。

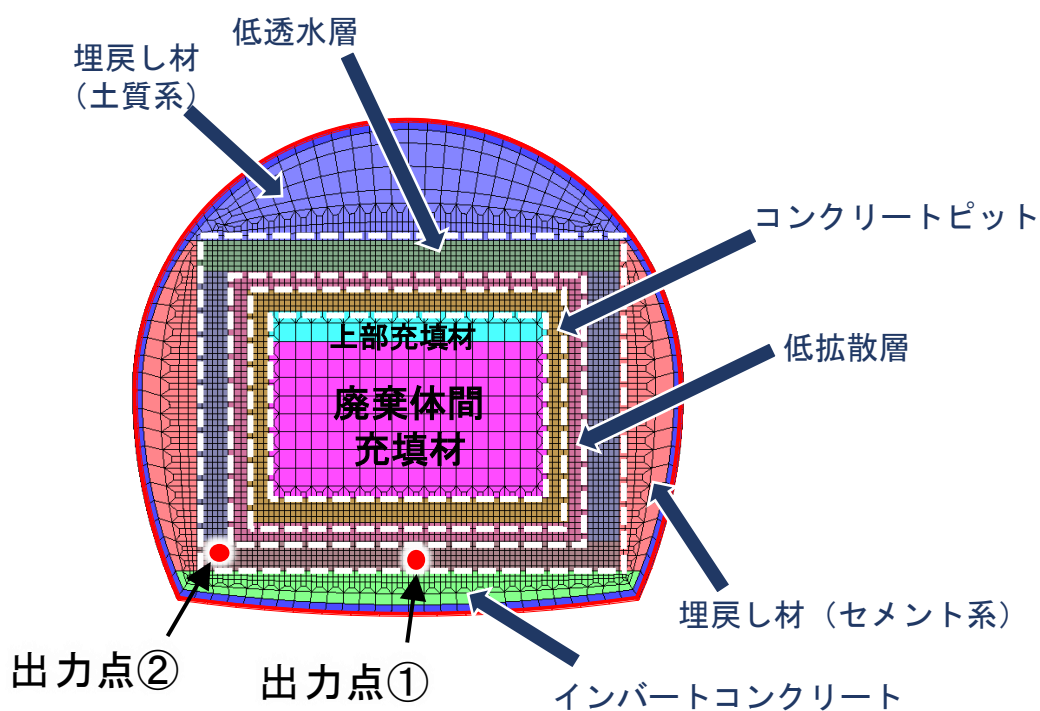


図 3.2-39 解析値出力点位置



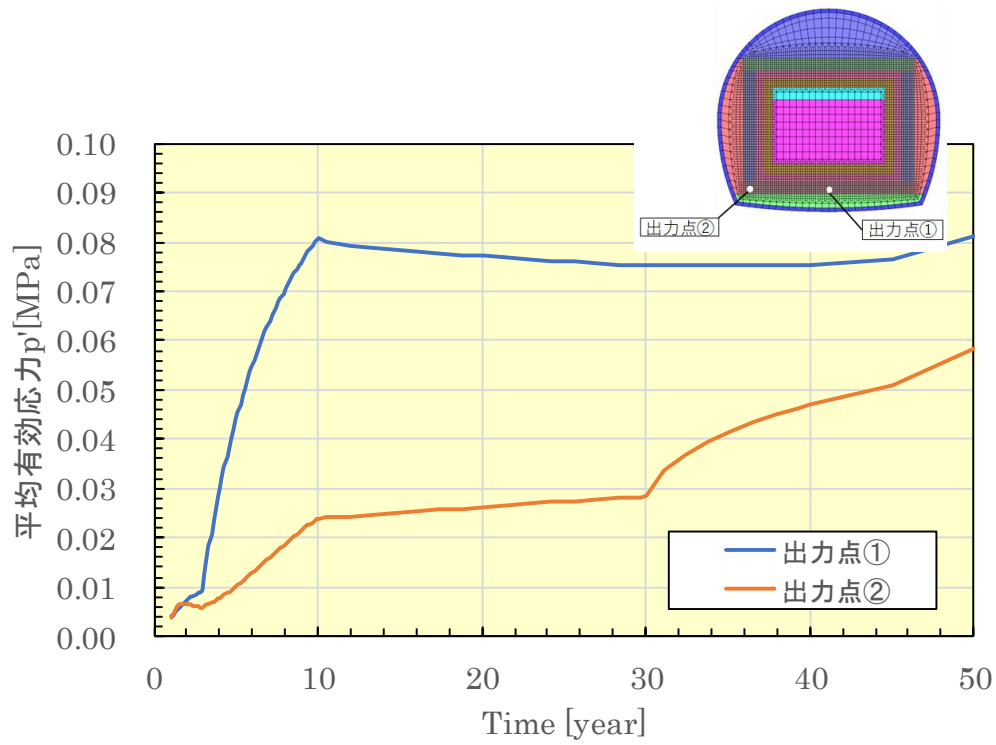


図 3.2-40 解析値の時間経過における変化推移（平均有効応力）

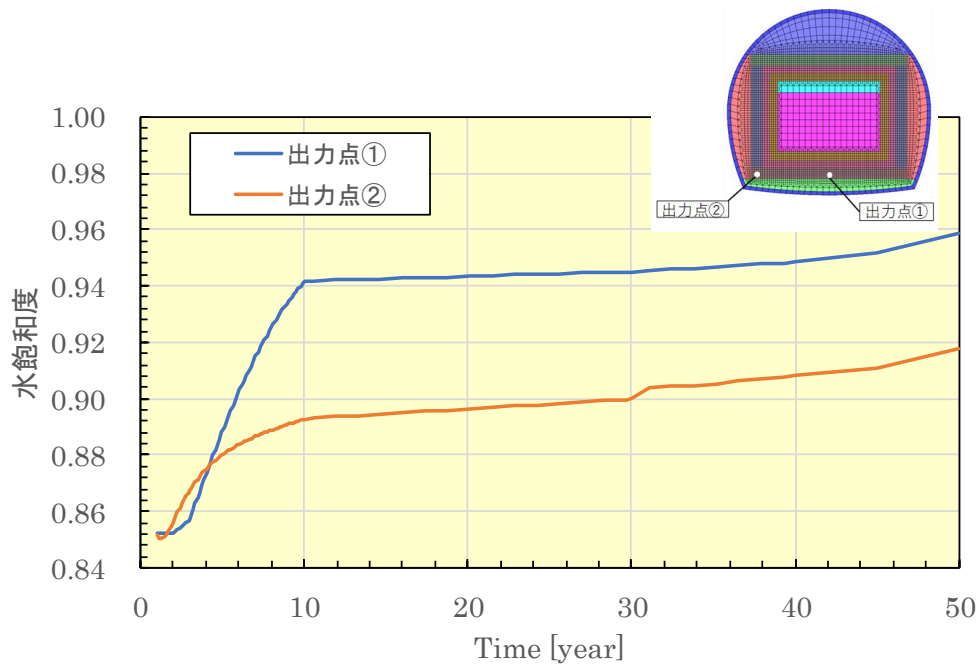


図 3.2-41 解析値の時間経過における変化推移（飽和度）

### 3.2.2 化学に着目した施設挙動

#### (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、空洞周辺およ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、人工バリアおよ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、人工バリアおよ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。

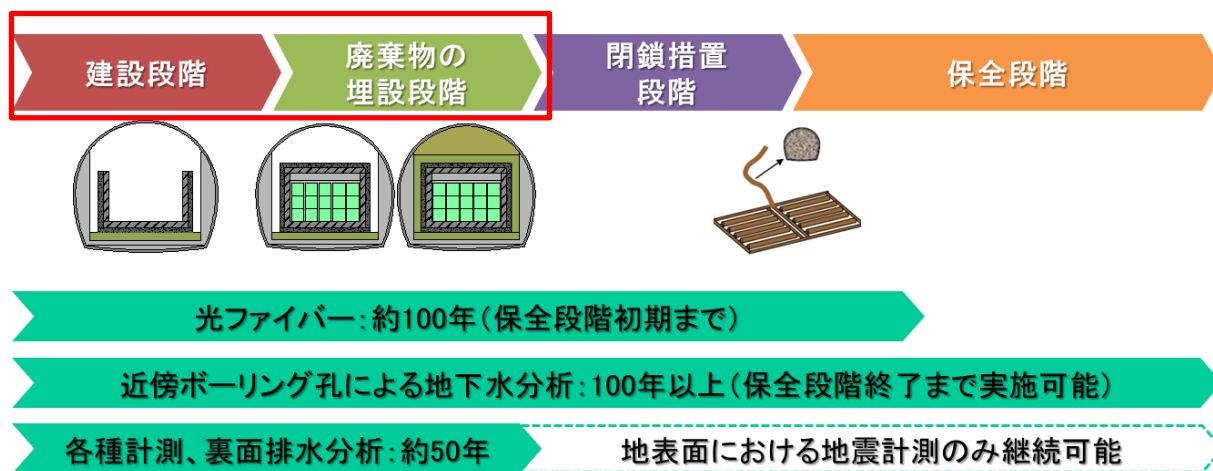


図 3.2-42 人工バリアの機能確認においてモニタリングが必要と思われる項目

## (2) 解析方針

検討対象は、埋設段階および保全段階（建設～1,000年程度まで）とした。埋設段階は図 3.2-43 埋戻し前（再冠水前）の期間であるため[32]、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、前述のとおり、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 3.2-43）と、閉鎖措置段階から再冠水後数 100 年（図 3.2-44）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  $0.07\text{m/m}$  の勾配で作用するものとした[33]。

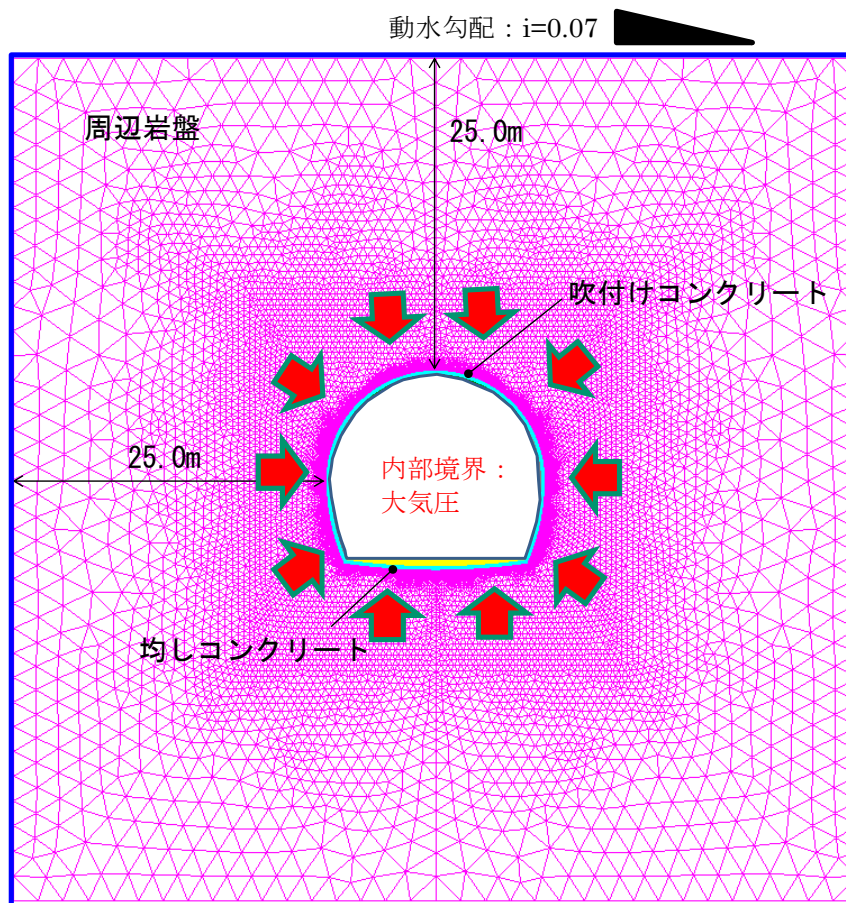


図 3.2-43 人工バリア構築前の処分空洞の状態

動水勾配 :  $i=0.07$

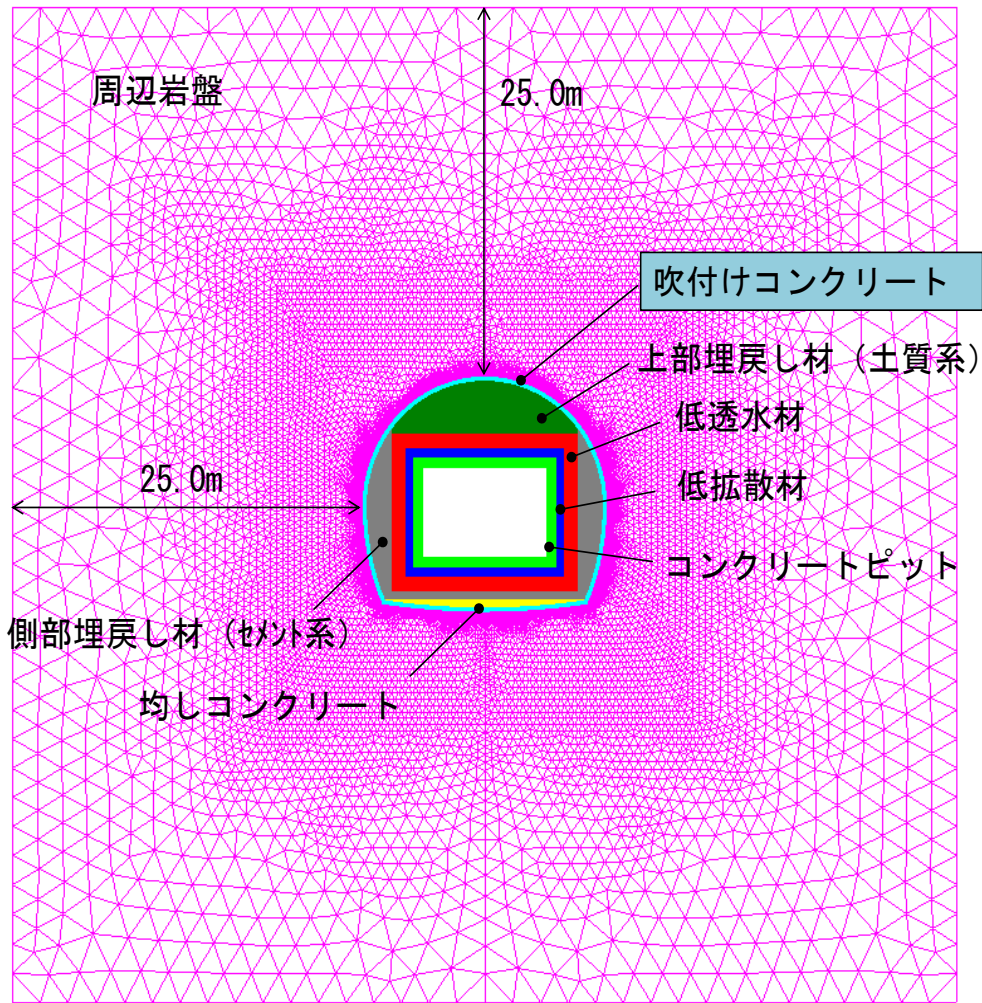


図 3.2-44 埋設完了後の処分空洞の状態

### (3) 解析コード LIFE D.N.A.

#### 1) モデルの概要

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、電気的中性条件およ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[30]。モデルの詳細を以下に示す。

#### 2) 物質移行特性のモデル化

##### a. 質量保存則

基礎方程式は Ca イオンに関する質量保存側であり、以下の式によって表される。

$$\frac{\partial(\phi \cdot C_i)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{eff}^i \cdot \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (u_i \cdot C_i) - \frac{\partial}{\partial x} (u_d \cdot C_i) + Q_i \quad (3.2-44)$$

$C_i$ : 細孔溶液中のイオン種  $i$  の濃度、 $\phi$ : 空隙率、 $D_{eff}^i$ : イオン種  $i$  の有効拡散係数(m<sup>2</sup>/s)、

$u_i$ : イオン種  $i$  の電気泳動力による移動速度(m/s)、 $u_d$ : ダルシー流速(m/s)、

$Q_i$ : イオン種  $i$  の単位時間・単位体積あたりの溶出量

##### b. 拡散によるイオンの移動モデル

LIFE D.N.A.においては、水溶液中でのイオンの移動を電気泳動理論、すなわち、Nernst-Planck 式を基本とし、Debye-Hückel 理論による濃度の影響、空隙の屈曲や骨材・遷移帯の影響、溶出に伴う空隙増加を考慮したに示す有効拡散係数  $D_{eff}^i$  によって算出している。

$$D_{eff}^i = \eta \cdot \beta \cdot f(\phi) \cdot D_0^i \quad (3.2-45)$$

$\eta$ : 吸着などによる低減係数、 $\beta$ : 骨材の影響による低減係数、 $f(\phi)$ : 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(m<sup>2</sup>/s)

$$\beta = \frac{1-c \cdot G_{vol}}{1-d \cdot S_{vol}} \cdot P_{vol} \quad (3.2-46)$$

$G_{vol}$ : コンクリート中の粗骨材体積比(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)、 $S_{vol}$ : コンクリート中の細骨材体積比(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)、 $P_{vol}$ : コンクリート中のペースト体積比、 $c, d$ : 骨材による係数( $c=1.5, d=0.86$ )

$$f(\phi)=0.001+0.07\phi^2 \quad (\phi \leq 0.18) \quad (3.2-47)$$

$$f(\phi)=0.001+0.07\phi^2+1.8(\phi-0.18)^2 \quad (\phi > 0.18)$$

$$D_0^i = a^i \cdot \exp\left(-b^i \cdot \frac{1}{T}\right) \quad (3.2-48)$$

$a^i$ 、 $b^i$ ：イオン種によって異なる定数、 $T$ ：絶対温度 (K)

なお、この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[34]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。

### c. 空隙率

空隙率の算出については、以下のように設定されている。

$$\phi_{total} = \phi_{gel} + \phi_{cap} + \phi_{leach} \quad (3.2-49)$$

$\phi_{total}$ ：全空隙率、 $\phi_{gel}$ ：ゲル空隙、 $\phi_{cap}$ ：キャピラリー空隙、 $\phi_{leach}$ ：溶脱によって生成される空隙

$\phi_{gel}$ については、T.C.Powers の提唱したモデル[35]を参考に以下の式によって求めた。

$$\phi_{gel} = \frac{0.19 \cdot F}{W/C + 0.32} \quad (3.2-50)$$

$F$ ：水和度、 $W/C$ ：水セメント比 (—)

$\phi_{cap}$ 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[34]を、水セメント比とモルタル空隙率の関係に整理した式(3.2-51)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、 $\phi_{cap}$ を算出している。

$$\phi_{cap} = 0.758 \cdot W/C - 4.670 \quad (3.2-51)$$

ここで、 $W/C$ ：水セメント比 (%)

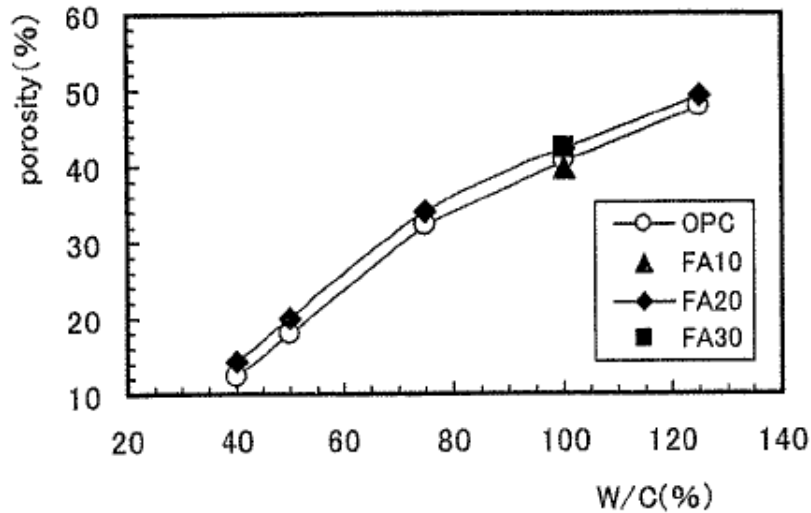


図 3.2-45 W/C と空隙率の関係[34]

### 3) セメント系材料の化学的変質のモデル化

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、図 3.2-46 に示す Ca の溶解平衡関係を基本としている。LIFE D.N.A.では、浸漬初期（固相 Ca 濃度および液相イオン濃度の高い状態）においては、先行して溶脱する Na イオンおよび 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 3.2-46 中の赤破線）、これが他のコードと異なる部分である。式の詳細については後述するが、LIFE D.N.A.における固液平衡モデルにおいては、図中の  $A_{cp1}$ 、 $C_{1Ca}$  および  $n$  が与条件となる。それぞれセメント種類ごとに異なる値であり、実験によって得られる値である[3]。OPC および LPC+FA を用いたときの与条件となる物性値を表 3.2-18 に示す。

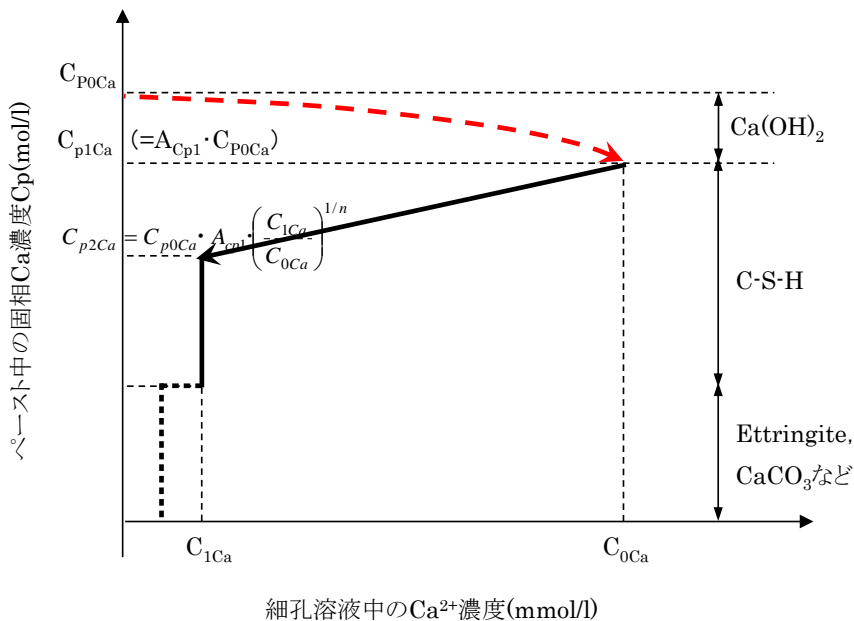


図 3.2-46 溶解平衡関係の概念図[3]

表 3.2-18  $A_{cp1}$ 、 $C_{1ca}$ 、 $n$  の入力値

記号	OPC	LPC+FA
$A_{cp1}$	$-170/T+1.40$	$-170/T+1.48$
$C_{1ca}$	1.5	1.0
$n$	4.5	7

また、セメントの種類によって溶解平衡関係が異なることも特徴である。横関[3]は、セメント種類の異なるセメントペーストによる浸漬試験の結果、それぞれのセメント種類における固液平衡関係を提案している。本検討でもこれに従うものとした。複数のセメント種類を用いた際の固液平衡関係について図 3.2-47 に示す。また、吹付けコンクリートについては、前掲の溶解試験結果を整理して、図 3.2-48 のような溶解平衡関係が取得できたため、これを解析入力に用いた。

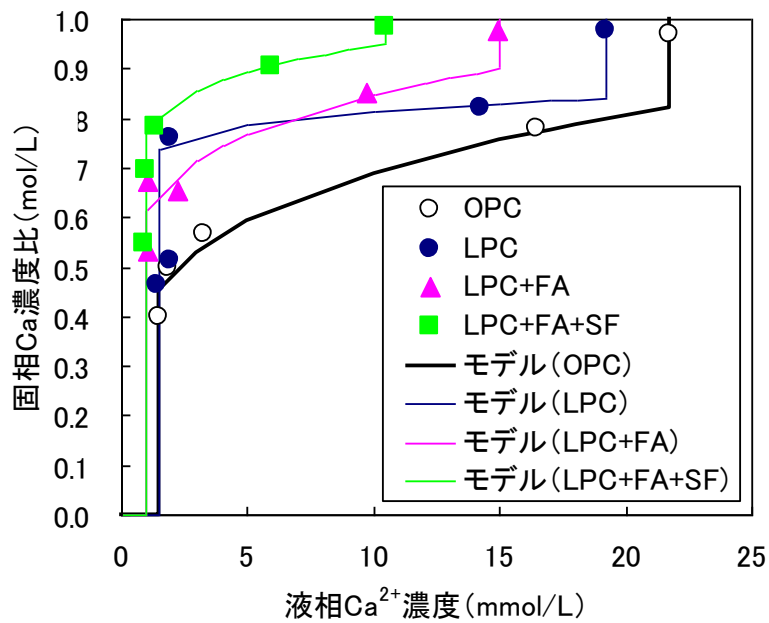


図 3.2-47 複数のセメント種類による固液平衡関係に関する実験データ[3]



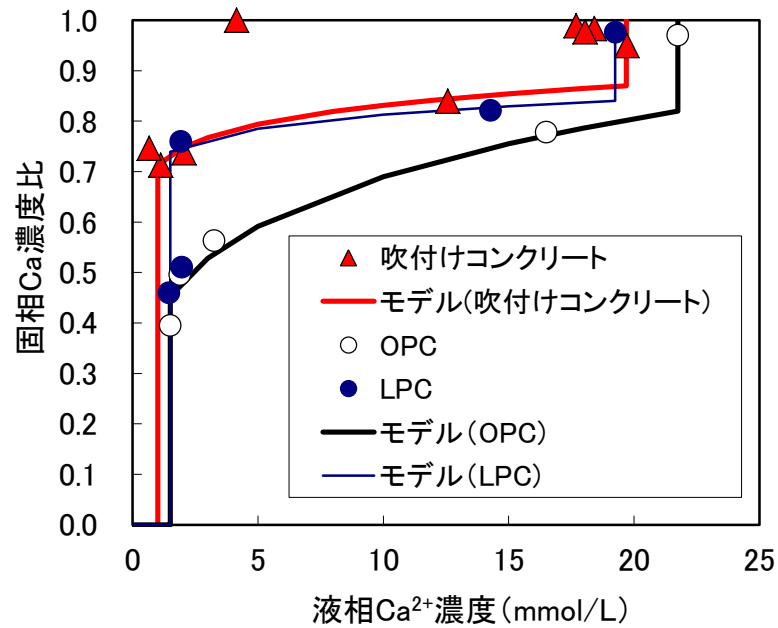


図 3.2-48 本試験にて得られた吹付けコンクリートの Ca 溶解平衡関係

a. Ca の溶解平衡関係

LIFE D.N.A.では、Ca の溶解を以下の 3 つの状態に分類している。

- ① Na、K の影響を受けながら  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  中の Ca が溶解する状態
- ②  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  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

ここで、①については Na イオンおよび K イオンの影響を受けながら  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  が溶解するとモデル化しているため、図 3.2-46 中の  $C_{0Ca}$  は計算によって求めるものであり条件によって異なる。

②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  $C_{1Ca}$  へある傾きを持って直線的に溶解する固液平衡関係を設定している。

$$C_{p2Ca} = C_{p0Ca} \cdot A_{cpl} \cdot \left( \frac{C_{1Ca}}{C_{0Ca}} \right)^{1/n} \quad (3.2-52)$$

$C_{p2Ca}$ : 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 (=  $A_{cpl} \cdot C_{p0Ca}$ )、 $A_{cpl}$ : C-S-H 溶出に関する係数 (-)、 $C_{0Ca}$ :  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  溶出時の液相 Ca イオン濃度 (mmol/L)、 $C_{1Ca}$ : C-S-H 溶出が急激に進行する液相 Ca 濃度、n: C-S-H 溶出に関する係数 (-)

③については、液相 Ca イオン濃度が前掲の表 3.2-18 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。

b. Na、K の溶解平衡関係

図 3.2-49 および図 3.2-50 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[3]。このことから、 $Na^+$ および  $K^+$ の平衡濃度を固相 Ca 濃度の関数として扱った。

$0.97 < r \leq 1$  のとき

$$[Na^+]^* = \frac{(C_{0Na} - 6.43 \cdot 10^{-4})r + (6.43 \cdot 10^{-4} - 0.97 \cdot C_{0Na})}{0.03} \quad (3.2-53)$$

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

$r \leq 0.97$  のとき

$$[Na^+]^* = 10^{-7} \cdot \exp(9.04r) \quad (3.2-54)$$

$$[K^+]^* = 10^{-7} \cdot \exp(9.38r)$$

$[Na^+]^*$  :  $Na^+$ 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)

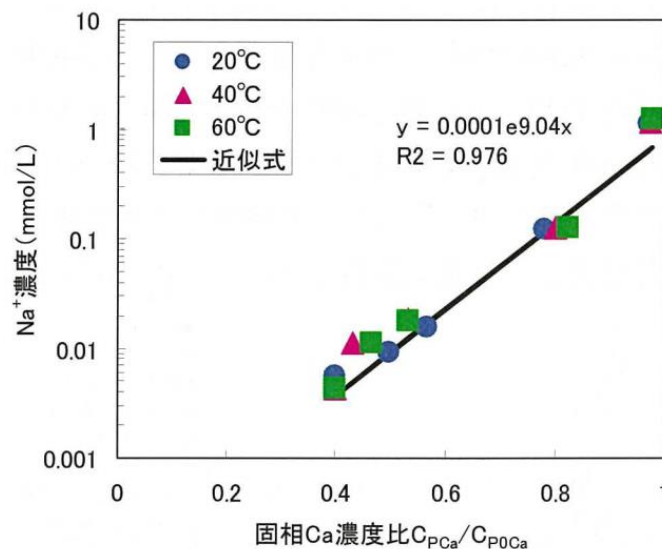


図 3.2-49  $C_{pCa}/C_{p0Ca}$  と  $Na^+$ 濃度の関係[3]

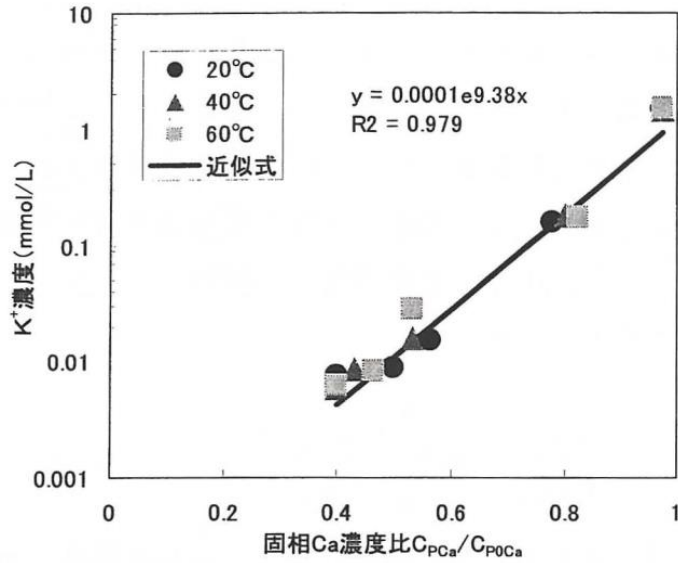


図 3.2-50  $C_{pCa}/C_{p0Ca}$  と  $K^+$ 濃度の関係[3]

なお、吹付けコンクリートについては、前掲の溶解試験結果から、図 3.2-51 および図 3.2-52 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、 $Na^+$ および  $K^+$ の平衡濃度を固相 Ca 濃度の関数として扱った。

$0.97 < r \leq 1$  のとき

$$[Na^+]^* = \frac{(C_{0Na} - 8.43 \times 10^{-3})r + (8.43 \times 10^{-3} - 0.97 \cdot C_{0Na})}{0.03} \quad (3.2-55)$$

$$[K^+]^* = \frac{(C_{0K} - 3.77 \times 10^{-3})r + (3.77 \times 10^{-3} - 0.97 \cdot C_{0K})}{0.03}$$

$r \leq 0.97$  のとき

$$[Na^+]^* = 2 \times 10^{-11} \cdot \exp(20.474) \quad (3.2-56)$$

$$[K^+]^* = 2 \times 10^{-11} \cdot \exp(19.643)$$

$[Na^+]^*$ :  $Na^+$ 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)

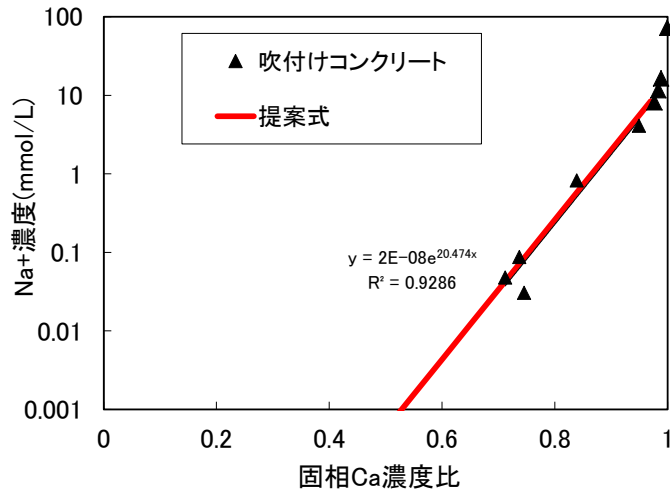


図 3.2-51 吹付けコンクリートにおける  $C_{pCa}/C_{p0Ca}$  と  $Na^+$ 濃度の関係

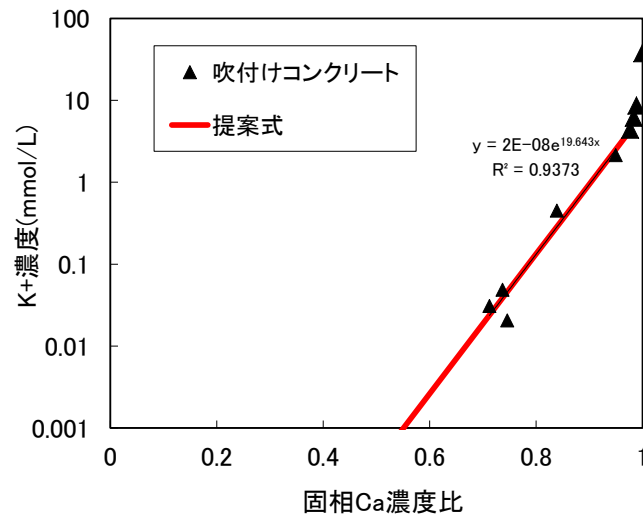


図 3.2-52 吹付けコンクリートにおける  $C_{pCa}/C_{p0Ca}$  と  $K^+$ 濃度の関係

#### 4) ベントナイトの変質のモデル化

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。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。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[36]から 412mmol/L と設定した。

##### ① Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>の交換反応

液相中の Ca<sup>2+</sup>が固相中に取り込まれ、代わりに固相中の 2Na<sup>+</sup>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<sup>+</sup>、OH<sup>-</sup>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<sup>+</sup>、OH<sup>-</sup>の消費反応が起きる[37]。



なお、この反応によって液相中の Mg<sup>2+</sup>、Si(OH)<sub>5</sub><sup>-</sup>は変化しないものとする。

#### 5) 変質に伴う物質移動特性の変化のモデル化

Ca およびその他の成分の溶脱に伴う水和物体積の変化によって空隙率が変化し、拡散係数が変化するモデルとした。

$$\phi_{leach} = \sum_{i=1}^{nsol} V_{hi} \cdot (C_{p0i} - C_{pi}) \quad (3.2-58)$$

$nsol$  : 水和物の総数(種類)、 $V_{hi}$  : 水和物のモル体積(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)

#### (4) 解析概要

##### 1) 解析条件

###### a. 解析ケースと解析モデル

解析ケースを表 3.2-19 に示す。解析は防水シート裏面の排水分析をイメージしたケース 1 と、処分施設近傍のボーリング孔からの地下水組成モニタリングをイメージしたケース 2 の 2 種類で実施した。

ケース 1 では、人工バリア構築前の状態（支保工として吹付けコンクリートのみ）で 100 年まで解析を行い、吹付けコンクリートの内面に浸出してくる水の水質、すなわち防水シート裏面から排水される水の水質の経時的な変化を解析的に評価することとした。

ケース 2 では、解析開始から 100 年まではケース 1 と同様に人工バリア構築前の吹付けコンクリートのみ状態を想定した解析を実施し、その後 1,000 年までは低拡散層や低透水層をはじめとした人工バリアの構築が完了した状態での解析を実施し、処分空洞周辺岩盤における地下水組成の変化を評価することとした。

なお、本試験では、モニタリング期間として 300～400 年を目安としているが、本検討では、その期間をカバーする形で解析を実施することとした。

表 3.2-19 解析ケース

ケース	目的	解析概要	解析期間
1	建設・操業中における防水シート裏面の排水モニタリングにて着目すべき分析項目を抽出	人工バリア構築前の処分空洞を模擬	100 年まで
2	近傍ボーリング孔を用いた地下水組成モニタリングにおいて着目すべき分析項目を抽出	100 年までは人工バリア構築前、100～1,000 年は人工バリア構築完了後の処分空洞を模擬	1,000 年まで

動水勾配 :  $i=0.07$

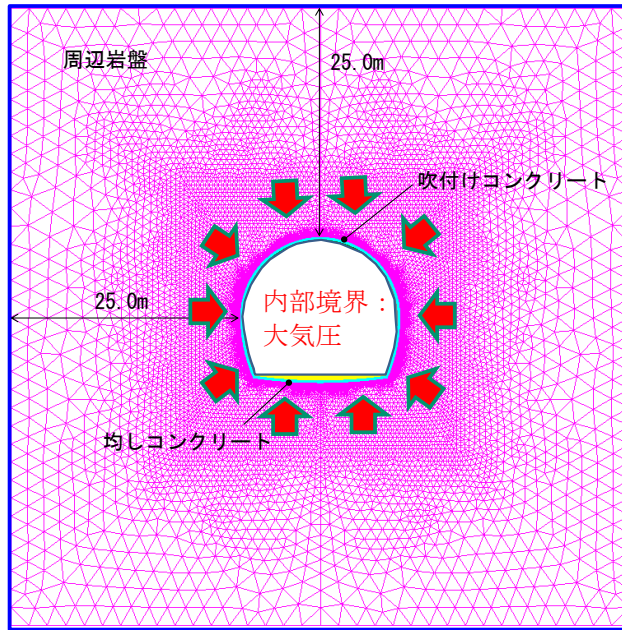


図 3.2-53 ケース 1 における解析モデル

動水勾配 :  $i=0.07$

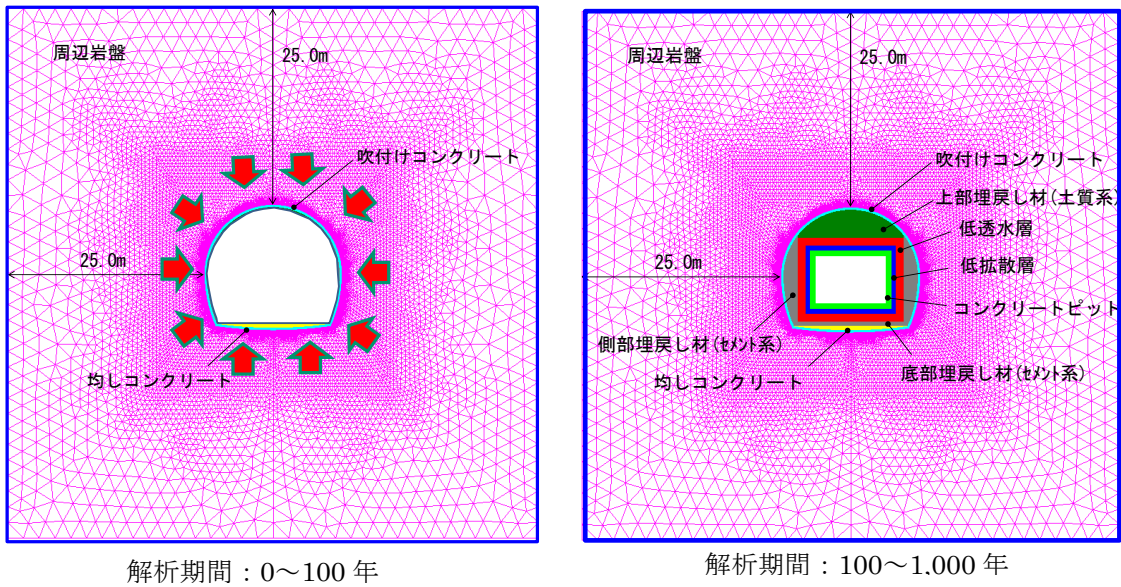


図 3.2-54 ケース 2 における解析モデル

2) 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 3.2-20 に示す。Case1 は降水系地下水とし、既往の文献[38]を参考に設定した。

表 3.2-20 地下水組成

区分	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
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

b. 岩盤物性および動水勾配

岩盤に関する物性値を表 3.2-21 に示す。拡散係数は、間隙率 10%以上の岩盤を対象としたヨウ素イオンについての実測値  $1.0 \times 10^{-10}$  (m<sup>2</sup>/s) が存在するが、ここでは凝灰岩の間隙率 50%を考慮して  $2.0 \times 10^{-9}$  (m<sup>2</sup>/s) とした。動水勾配は 0.07m/m とした。

表 3.2-21 岩盤に関する物性値

項目	単位	岩盤
間隙率	%	50.0
拡散係数	m <sup>2</sup> /s	$2.0 \times 10^{-9}$
透水係数	m/s	$3.0 \times 10^{-8}$
動水勾配 (流れの向き)	m/m	0.07



c. 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 3.2-22 に、検討に用いた使用材料の条件を表 3.2-23 にそれぞれ示す。また、セメントおよびフライアッシュの化学成分は、表 3.2-24 に示すとおりとした。

表 3.2-22 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 3.2-23 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 <sup>3</sup>
	LPC	低熱ポルトランドセメント、密度=3.22g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	石灰細砂、密度=2.68g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G	石灰碎石、密度=2.71g/cm <sup>3</sup>
混和材	LEX	膨張材、密度=3.15g/cm <sup>3</sup>
	LS	石灰石微粉末、密度=2.71g/cm <sup>3</sup>
	FA	フライアッシュⅡ種、密度=2.25g/cm <sup>3</sup>

表 3.2-24 セメントおよ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 <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
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およびセメント系埋戻し材の配合を表 3.2-25 に、吹付けコンクリートの配合を表 3.2-26 に、低拡散層の配合を表 3.2-27 にそれぞれ示す。

表 3.2-25 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/m <sup>3</sup> )						
			W	B			LS	S	G
				LPC	FA	LEX			
45.0	51.5	2.5	160	229	107	20	249	832	786

表 3.2-26 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/m <sup>3</sup> )			
			W	OPC	S	G
45.0	60.0	3.0	202	449	972	643

表 3.2-27 モルタルの配合 (低拡散層)

W/B (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
		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 3.2-28 に示す。

表 3.2-28 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 <sup>2</sup> /s)	5.0×10 <sup>-12</sup>	5.0×10 <sup>-13</sup>	1.0×10 <sup>-13</sup>	5.0×10 <sup>-13</sup>
初期透水係数 (m/s)	1.0×10 <sup>-12</sup>	5.0×10 <sup>-13</sup>	1.0×10 <sup>-13</sup>	5.0×10 <sup>-13</sup>
初期 pH	13.5	13.3		

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、核燃料サイクル開発機構の「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」(JNC、1999) に示されているデータを用い、表 3.2-29 のとおり設定した。

表 3.2-29 ベントナイト間隙水のイオン組成

水質 (mmol/L)	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	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 3.2-30 に示す。上部埋戻し材については、ベントナイト混合率 15%として設定した。

表 3.2-30 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 <sup>2</sup> /s)	1.0×10 <sup>-10</sup>	1.7×10 <sup>-9</sup>
初期透水係数 (m/s)	5.0×10 <sup>-13</sup>	5.0×10 <sup>-11</sup>

e. 温度条件

環境温度は、15℃で一定とした。

### 3) 解析手法

解析には、物質移行解析プログラム「LIFE D.N.A.」 Ver.2.6.0 を用いた。先述のとおり、LIFE D.N.A.は、セメント系のイオンの拡散、移流の影響、電気的中性条件、およ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。

### 4) アウトプット項目

アウトプットの項目を表 3.2-31 および表 3.2-32 に示す。ケース 1 については、吹付けコンクリート内面 (=防水シート裏面) に浸出するイオンの組成変化を把握することを目的としているため、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、吹付けコンクリート内面における pH や各種イオンの濃度分布の変遷、さらにイオンの移動速度を決定する吹付けコンクリートの空隙率の経時変化を出力することとした。

ケース 2 については、周辺岩盤の地下水の水質変化を把握することを目的としているため、施設だけでなく解析領域全体の pH および液相イオン濃度分布の経時変化を出力することとした。

表 3.2-31 アウトプット項目 (ケース 1)

項目	時刻
固相水和物濃度	0 年、10 年、20 年、50 年、100 年
pH	
液相イオン濃度	
空隙率 (%)	

表 3.2-32 アウトプット項目 (ケース 2)

項目	時刻
pH	0 年、50 年、100 年、300 年、500 年、1000 年
液相イオン濃度	

## (5) 解析結果

### 1) ケース 1 (裏面排水モニタリングに資するデータの整理)

#### (a) セメント系材料の化学的変質の変遷と物質移行特性の変化

固相 NaOH、KOH、Ca(OH)<sub>2</sub>濃度の経時変化を図 3.2-55～図 3.2-69 に示す。NaOH や KOH は解析開始から 20 年程度で吹付けコンクリート全面にて消失し、その後 Ca(OH)<sub>2</sub>の溶脱が始まる。Ca(OH)<sub>2</sub>の溶脱は主として岩盤に向けて進行するが、解析期間 100 年においても吹付けコンクリートの全域で Ca(OH)<sub>2</sub>は多く残存する結果となった。次に、吹付けコンクリートにおける空隙率の経時変化を図 3.2-70 から図 3.2-74 に示す。上述した溶脱によって吹付けコンクリートの空隙率はやや粗大化するものの、その影響範囲はごくわずかである。すなわち、本検討における解析期間 100 年のあいだで、吹付けコンクリート内面に浸出する水量の変化はわずかであると考えられる。

#### (b) 吹付けコンクリート内面におけるイオン組成の変化

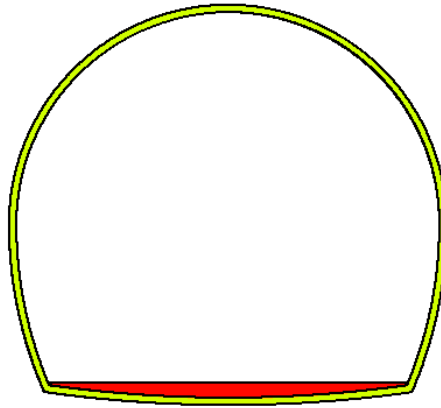
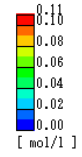
処分空洞近傍における pH 分布の経時変化を図 3.2-75 から図 3.2-79 に示す。NaOH や KOH の溶脱によって OH<sup>-</sup>が岩盤に拡散し、pH は大きく上昇する。次に、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>濃度の経時変化を図 3.2-80 から図 3.2-94 に示す。Na<sup>+</sup>や K<sup>+</sup>は吹付けコンクリートに含まれる量が少ないうえに、NaOH、KOH は早期に消失するため、100 年後には下流側の一部にイオンが残存するのみでほぼ移流によって流失する結果となった。一方、Na<sup>+</sup>や K<sup>+</sup>が消失したあとも Ca(OH)<sub>2</sub>が継続的に溶脱を続けるため、周辺岩盤ならびに吹付けコンクリート内面に浸出する水の pH が高い状態で維持し続け、Ca<sup>2+</sup>濃度も特に下流側で徐々に高まる結果となった。

#### (c) 周辺岩盤の地下水に含まれるイオンの挙動

周辺岩盤の地下水に含まれる CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の経時変化を図 3.2-95 から図 3.2-114 に示す。イオン種によって移動のしかたに違いはあるものの、いずれのイオン種においても吹付けコンクリート内面付近で濃度が大きく変わることはなく、徐々に地下水中のイオン濃度相当に近づく結果となった。



出力時刻 [year] TIME=0.00



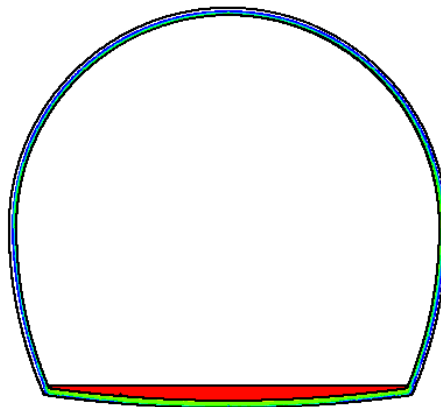
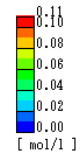
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(134212) MAX 1.08e-001(113097)  
固相濃度(pst)( $\hat{\rho}$ - $\lambda$ 基準) (NaOH)

3.00

図 3.2-55 固相 NaOH 濃度 (ケース 1 : 0 年後)



出力時刻 [year] TIME=10.00



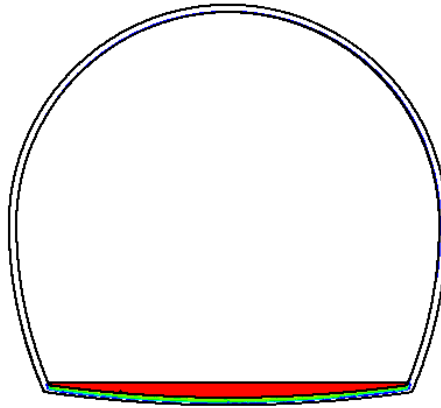
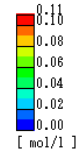
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(156735) MAX 1.08e-001(113097)  
固相濃度(pst)( $\hat{\rho}$ - $\lambda$ 基準) (NaOH)

3.00

図 3.2-56 固相 NaOH 濃度 (ケース 1 : 10 年後)



出力時刻 [year] TIME=20.00



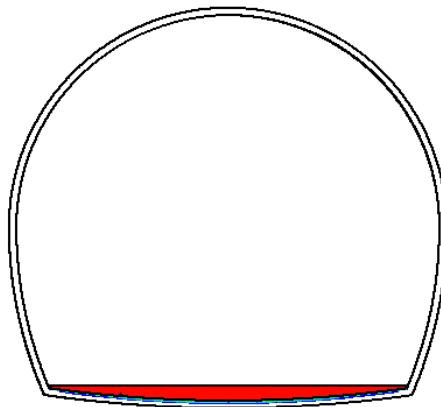
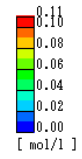
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(115050) MAX 1.08e-001(113097)  
固相濃度(pst)( $\hat{\rho}$ - $\lambda$ 基準) (NaOH)

3.00

図 3.2-57 固相 NaOH 濃度 (ケース 1 : 20 年後)



出力時刻 [year] TIME=50.00



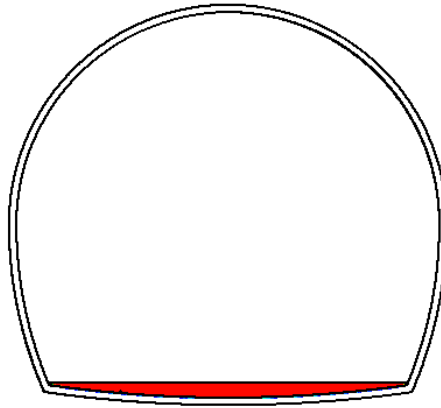
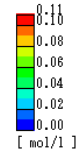
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(115041) MAX 1.08e-001(113097)  
固相濃度(pst)( $\hat{\rho}$ - $\lambda$ 基準) (NaOH)

3.00

図 3.2-58 固相 NaOH 濃度 (ケース 1 : 50 年後)



出力時刻 [year] TIME=100.00



等高線図    NODE MIN 0.00e+000(115041)    MAX 1.08e-001(113097)  
固相濃度(pst)( $\mu\text{mol/g}$ 基準) (NaOH)

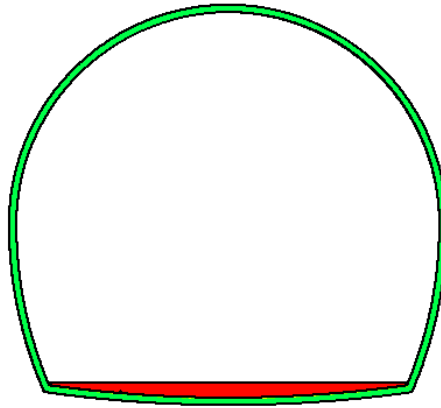
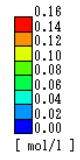
3.00

図 3.2-59 固相 NaOH 濃度 (ケース 1 : 100 年後)





出力時刻 [year] TIME=0.00



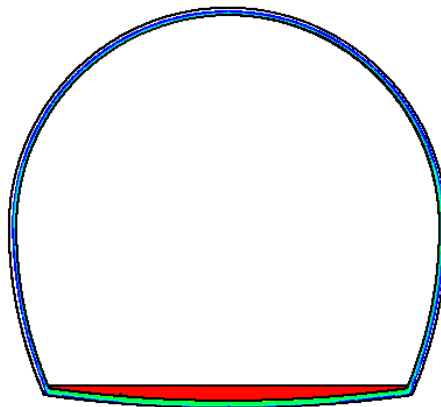
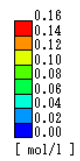
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(184212) MAX 1.54e-001(113097)  
固相濃度(pst)( $\text{mol/l}$ 基準) (KOH)

3.00

図 3.2-60 固相 KOH 濃度 (ケース 1 : 0 年後)



出力時刻 [year] TIME=10.00



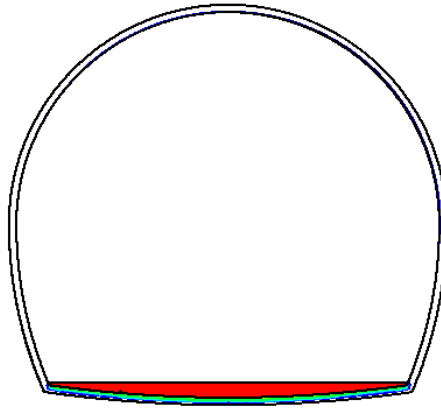
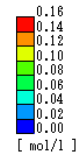
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(156735) MAX 1.54e-001(113097)  
固相濃度(pst)( $\text{mol/l}$ 基準) (KOH)

3.00

図 3.2-61 固相 KOH 濃度 (ケース 1 : 10 年後)



出力時刻 [year] TIME=20.00



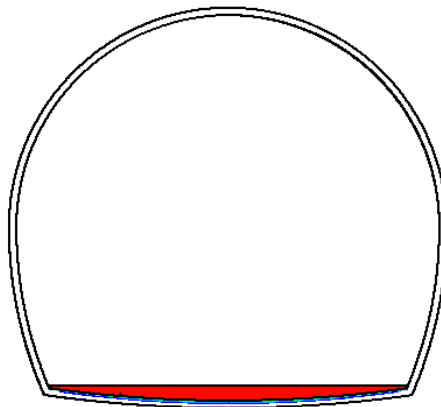
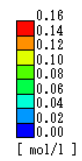
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(115050) MAX 1.54e-001(113097)  
固相濃度(pst)( $\text{mol/l}$ 基準) (KOH)

3.00

図 3.2-62 固相 KOH 濃度 (ケース 1 : 20 年後)



出力時刻 [year] TIME=50.00



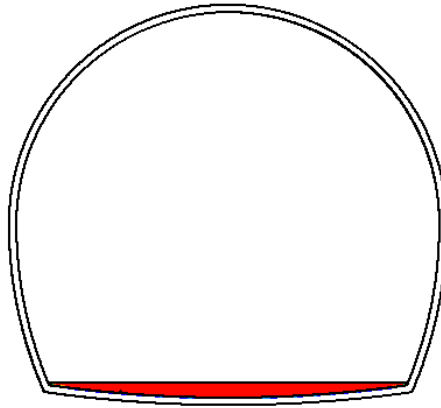
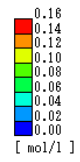
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(115041) MAX 1.54e-001(113097)  
固相濃度(pst)( $\text{mol/l}$ 基準) (KOH)

3.00

図 3.2-63 固相 KOH 濃度 (ケース 1 : 50 年後)



出力時刻 [year] TIME=100.00



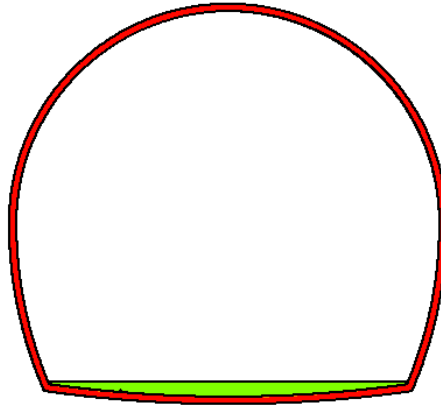
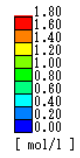
等高線図    NODE MIN 0.00e+000(115041)    MAX 1.54e-001(113100)  
固相濃度(pst)(^~)基準) (KOH)

3.00

図 3.2-64 固相 KOH 濃度 (ケース 1 : 100 年後)



出力時刻 [year] TIME=0.00



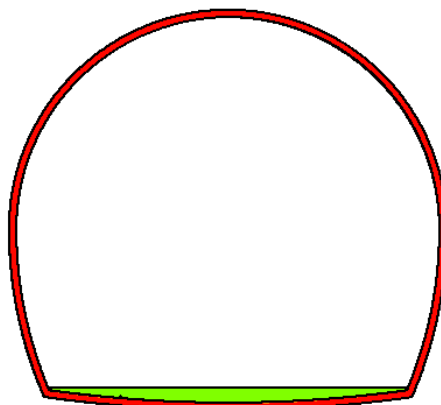
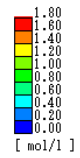
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(184212) MAX 1.78e+000(115041)  
固相濃度(pst)( $\text{Ca(OH)}_2$ 基準) ( $\text{Ca(OH)}_2$ )

3.00

図 3.2-65 固相  $\text{Ca(OH)}_2$  濃度 (ケース 1 : 0 年後)



出力時刻 [year] TIME=10.00



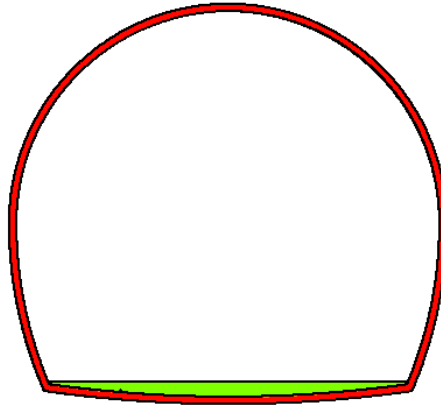
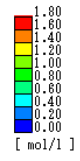
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(184212) MAX 1.78e+000(156748)  
固相濃度(pst)( $\text{Ca(OH)}_2$ 基準) ( $\text{Ca(OH)}_2$ )

3.00

図 3.2-66 固相  $\text{Ca(OH)}_2$  濃度 (ケース 1 : 10 年後)



出力時刻 [year] TIME=20.00



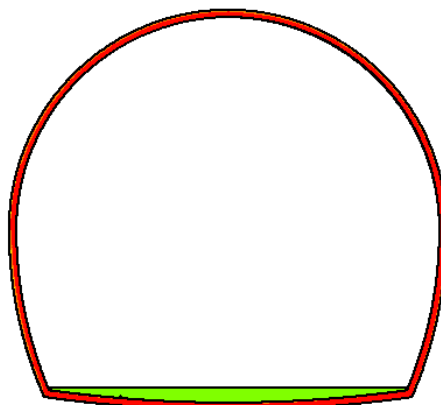
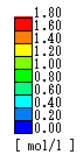
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(184212) MAX 1.78e+000(156748)  
固相濃度(pst)( $\mu\text{mol/l}$ 基準) (Ca(OH)<sub>2</sub>)

3.00

図 3.2-67 固相 Ca(OH)<sub>2</sub>濃度 (ケース 1 : 20 年後)



出力時刻 [year] TIME=50.00



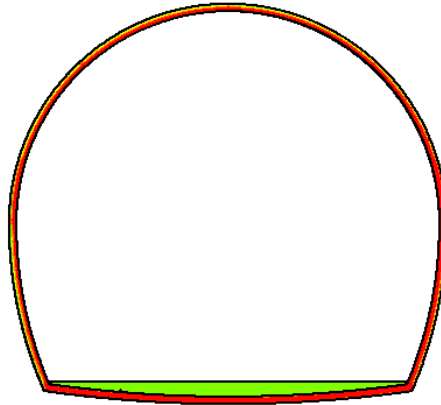
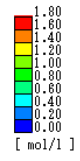
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(184212) MAX 1.78e+000(156748)  
固相濃度(pst)( $\mu\text{mol/l}$ 基準) (Ca(OH)<sub>2</sub>)

3.00

図 3.2-68 固相 Ca(OH)<sub>2</sub>濃度 (ケース 1 : 50 年後)



出力時刻 [year] TIME=100.00



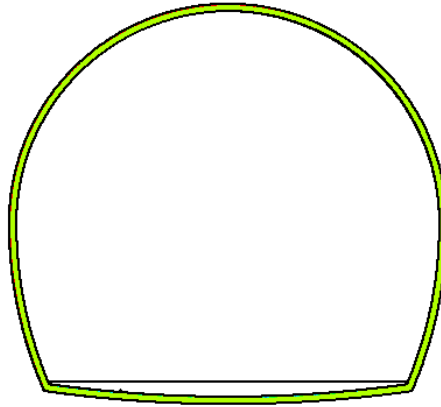
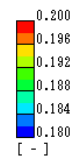
等高線図    NODE MIN 0.00e+000(184212)    MAX 1.78e+000(156748)  
固相濃度(pst)(^~)基準) (Ca(OH)2)

3.00

図 3.2-69 固相  $\text{Ca(OH)}_2$  濃度 (ケース 1 : 100 年後)



出力時刻 [year] TIME=0.000



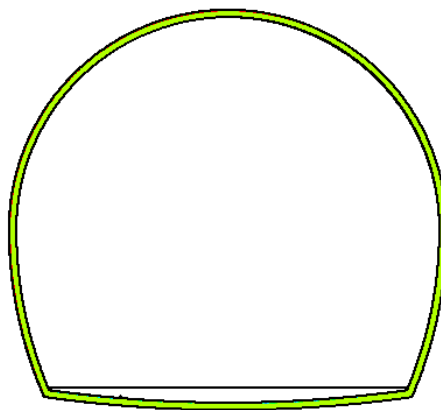
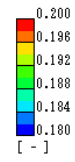
等高線図 NODE MIN 0.17(113097) MAX 0.50(184212)  
空隙率 ( $\theta_{total}(con)$ )

3.00

図 3.2-70 空隙率 (ケース 1 : 0 年後)



出力時刻 [year] TIME=10.000



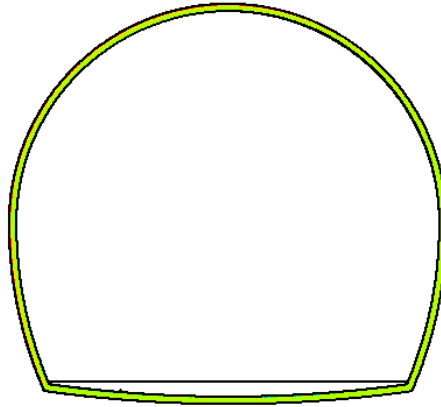
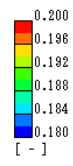
等高線図 NODE MIN 0.17(113097) MAX 0.50(184212)  
空隙率 ( $\theta_{total}(con)$ )

3.00

図 3.2-71 空隙率 (ケース 1 : 10 年後)



出力時刻 [year] TIME=20.000



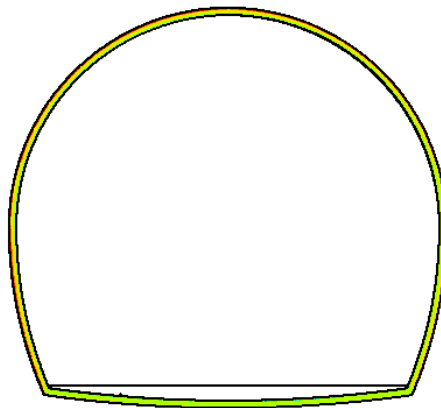
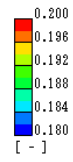
等高線図 NODE MIN 0.17(113097) MAX 0.50(184212)  
空隙率 ( $\theta_{total}(con)$ )

3.00

図 3.2-72 空隙率 (ケース 1 : 20 年後)



出力時刻 [year] TIME=50.000



等高線図 NODE MIN 0.17(113097) MAX 0.50(184212)  
空隙率 ( $\theta_{total}(con)$ )

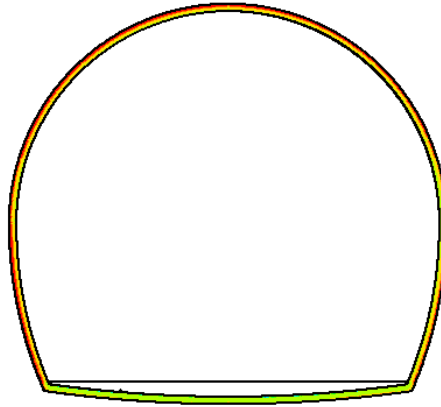
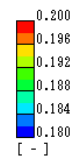
3.00

図 3.2-73 空隙率 (ケース 1 : 50 年後)





出力時刻 [year] TIME=100.000



等高線図    NODE MIN 0.17(113097)    MAX 0.50(184212)  
空隙率 ( $\theta_{total}(con)$ )

3.00

図 3.2-74 空隙率 (ケース 1 : 100 年後)

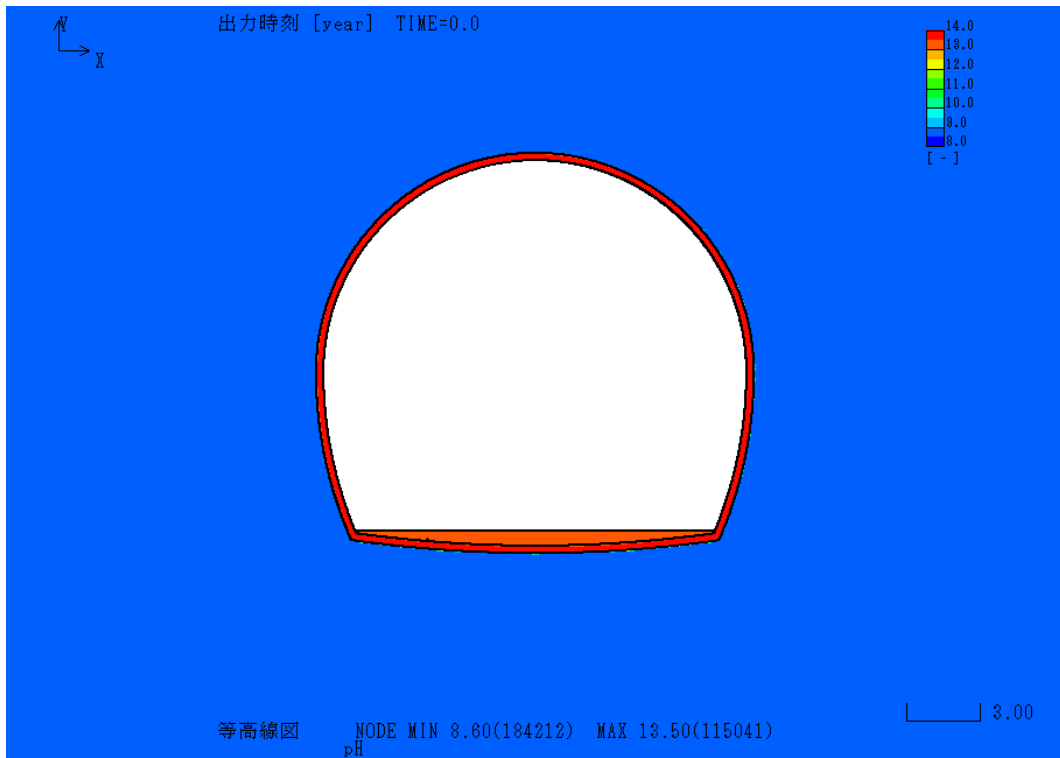


図 3.2-75 pH 分布 (ケース 1 : 0 年後)

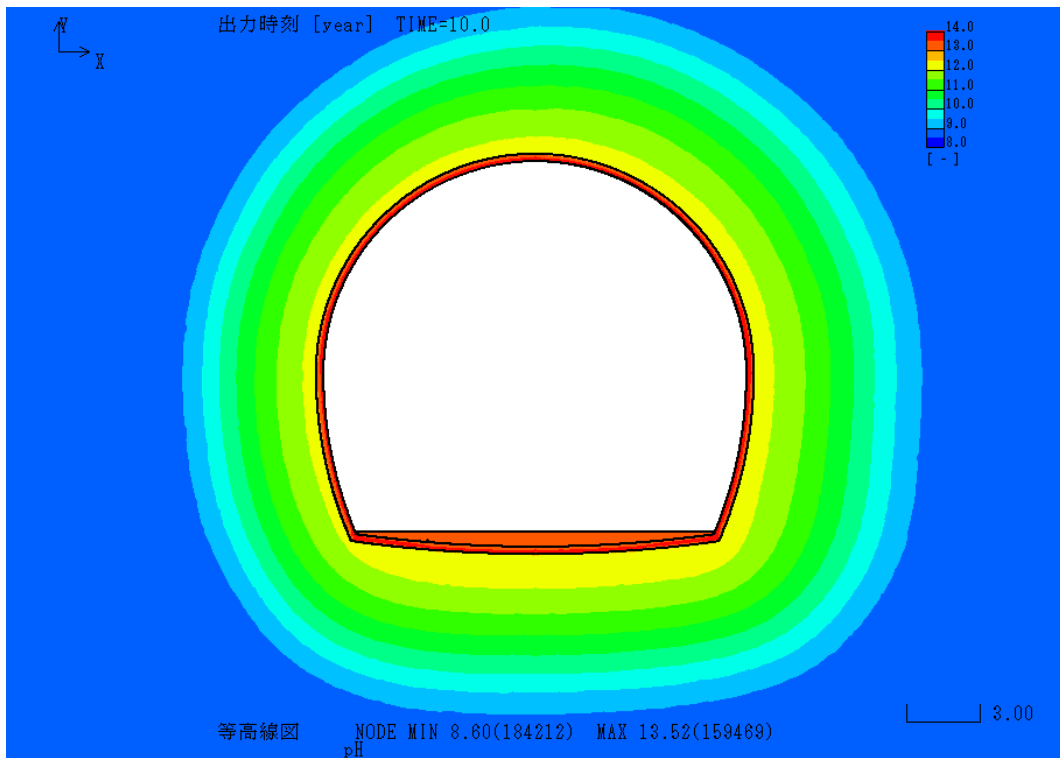


図 3.2-76 pH 分布 (ケース 1 : 10 年後)

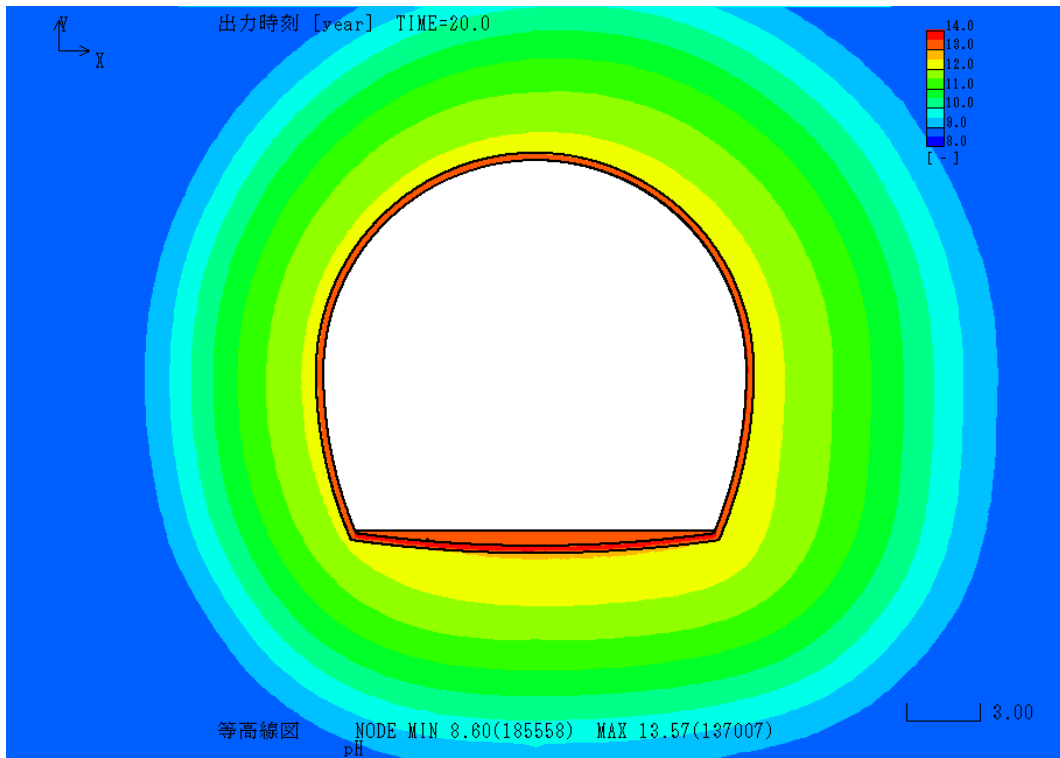


図 3.2-77 pH 分布 (ケース 1 : 20 年後)

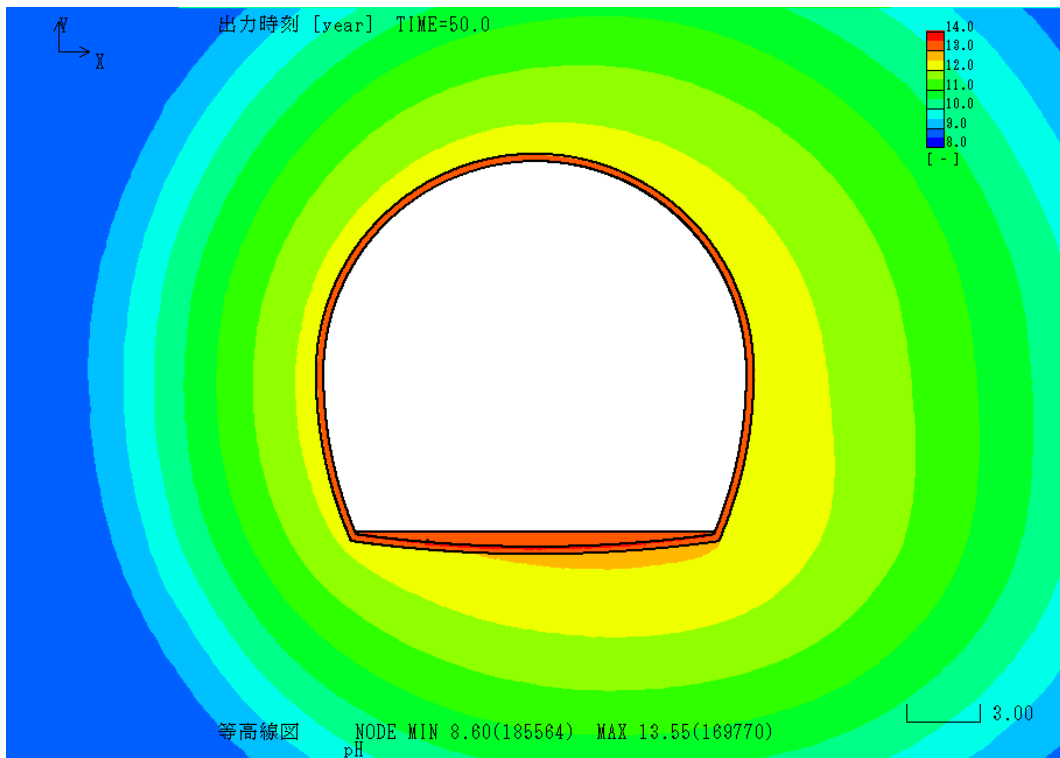


図 3.2-78 pH 分布 (ケース 1 : 50 年後)

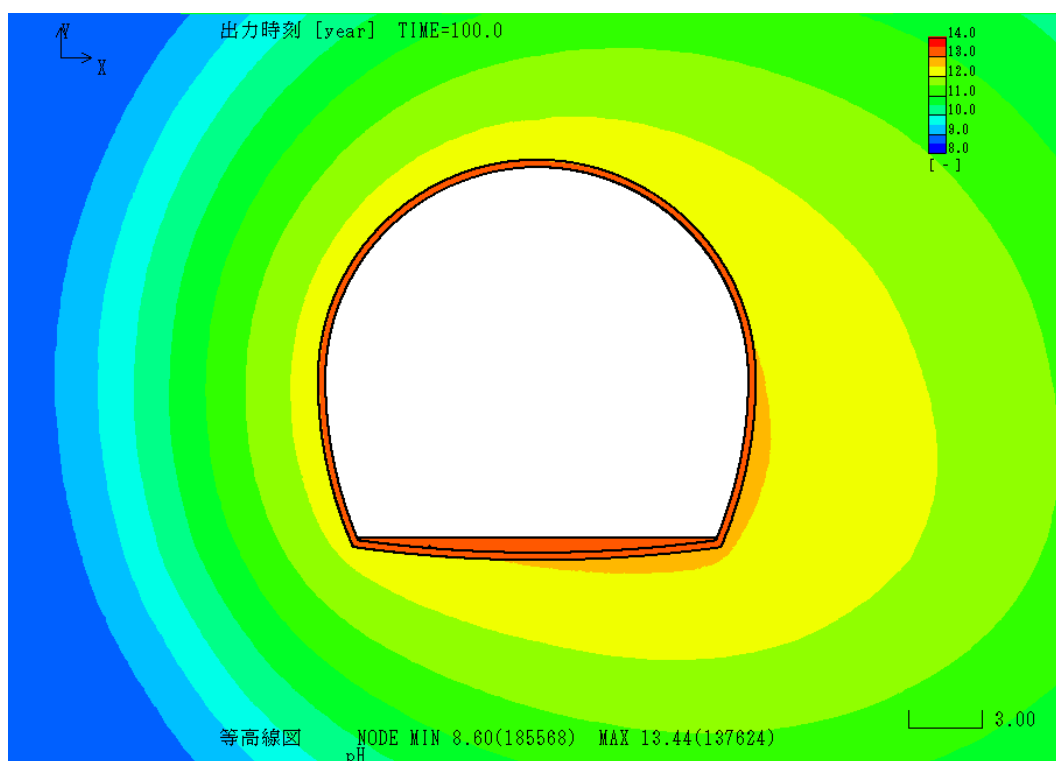
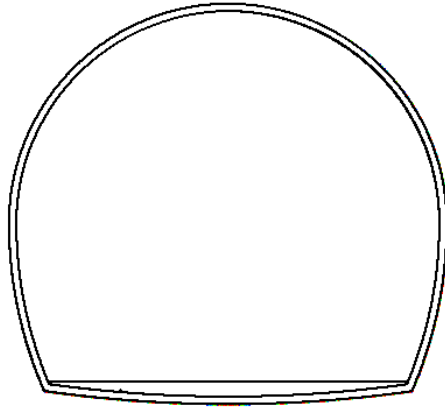
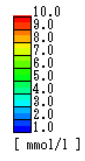


図 3.2-79 pH 分布 (ケース 1 : 100 年後)



出力時刻 [year] TIME=0.0



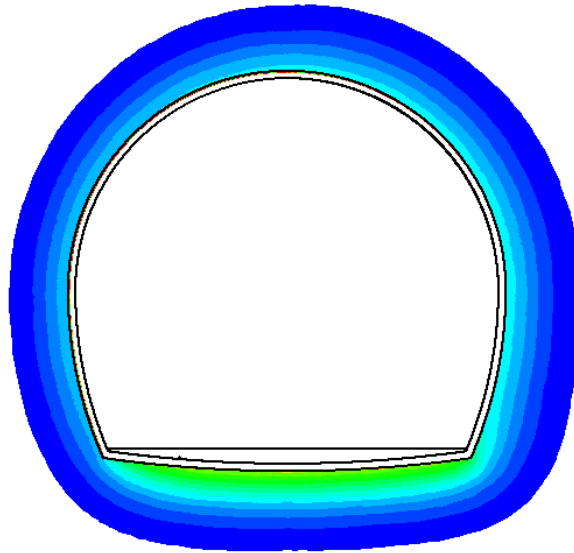
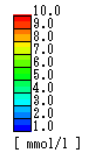
等高線図 NODE MIN 7.70e-001(184212) MAX 6.73e+001(115041)  
イオン濃度 (Na<sup>+</sup>)

3.00

図 3.2-80 液相 Na<sup>+</sup>分布 (ケース 1 : 0 年後)



出力時刻 [year] TIME=10.0



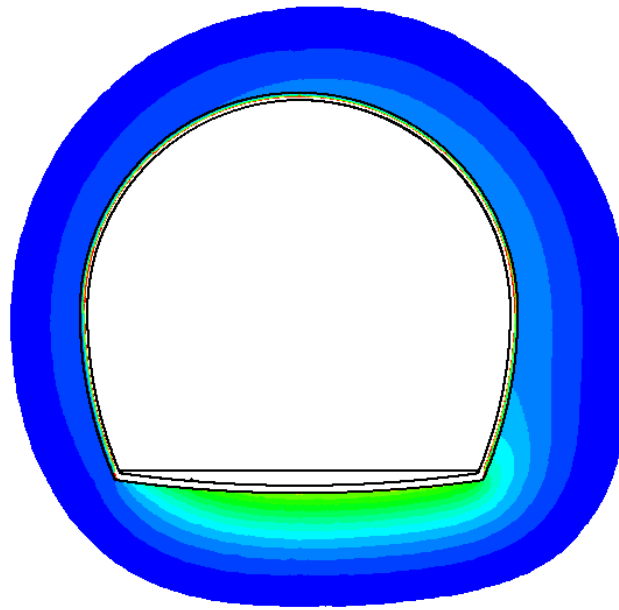
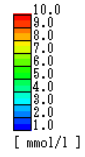
等高線図 NODE MIN 7.70e-001(184212) MAX 6.71e+001(161043)  
イオン濃度 (Na<sup>+</sup>)

3.00

図 3.2-81 液相 Na<sup>+</sup>分布 (ケース 1 : 10 年後)



出力時刻 [year] TIME=20.0



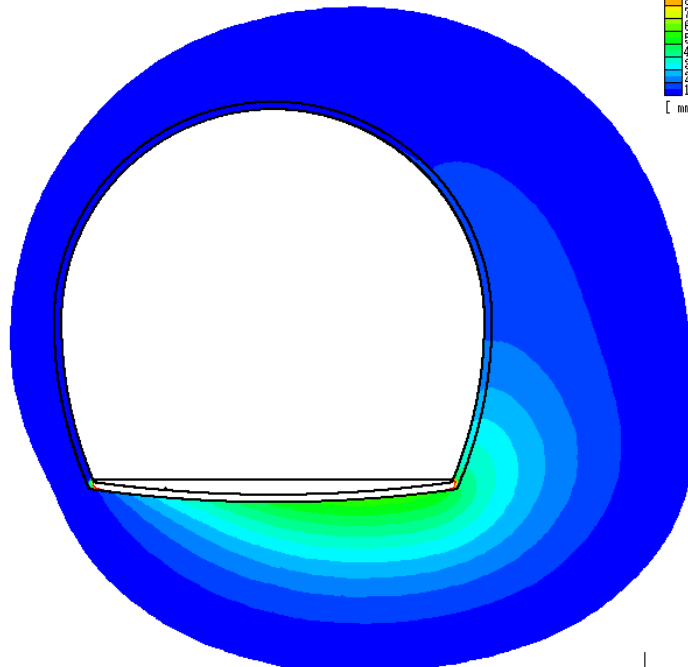
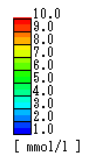
等高線図 NODE MIN 7.70e-001(184212) MAX 6.71e+001(161043)  
イオン濃度 (Na<sup>+</sup>)

3.00

図 3.2-82 液相 Na<sup>+</sup>分布 (ケース 1 : 20 年後)



出力時刻 [year] TIME=50.0



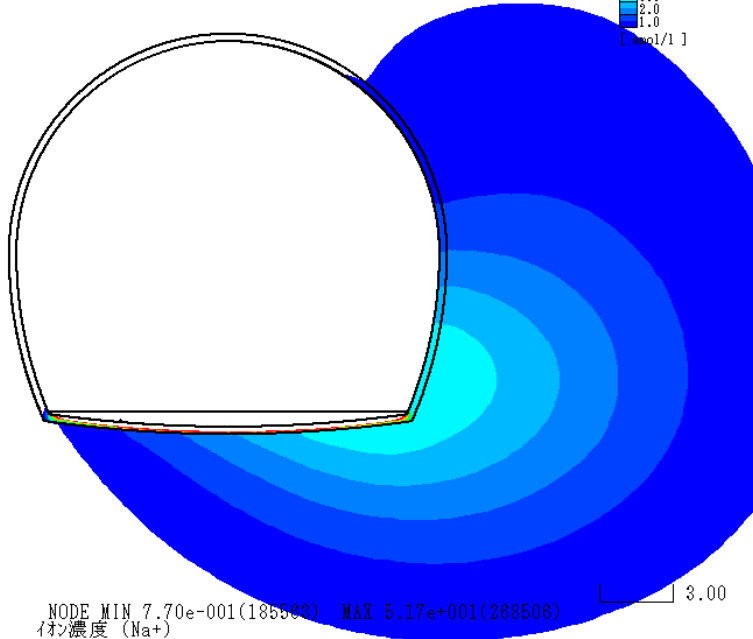
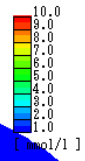
等高線図 NODE MIN 7.70e-001(185580) MAX 6.71e+001(161043)  
イオン濃度 (Na<sup>+</sup>)

3.00

図 3.2-83 液相 Na<sup>+</sup>分布 (ケース 1 : 50 年後)



出力時刻 [year] TIME=100.0

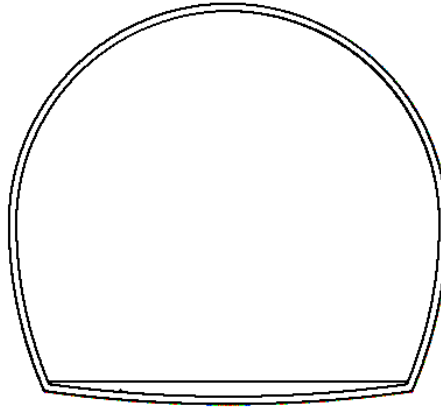
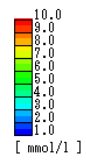


等高線図    NODE MIN 7.70e-001(185582)    MAX 5.17e+001(268506)  
イオン濃度 (Na+)

図 3.2-84 液相 Na<sup>+</sup>分布 (ケース 1 : 100 年後)



出力時刻 [year] TIME=0.0



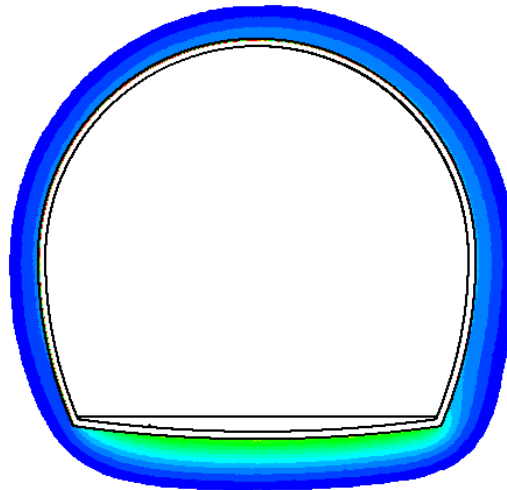
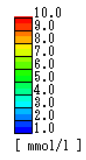
等高線図 NODE MIN 3.00e-002(184212) MAX 6.67e+001(115041)  
イオン濃度 (K+)

3.00

図 3.2-85 液相 K<sup>+</sup>分布 (ケース 1 : 0 年後)



出力時刻 [year] TIME=10.0



等高線図 NODE MIN 3.00e-002(184212) MAX 6.65e+001(161043)  
イオン濃度 (K+)

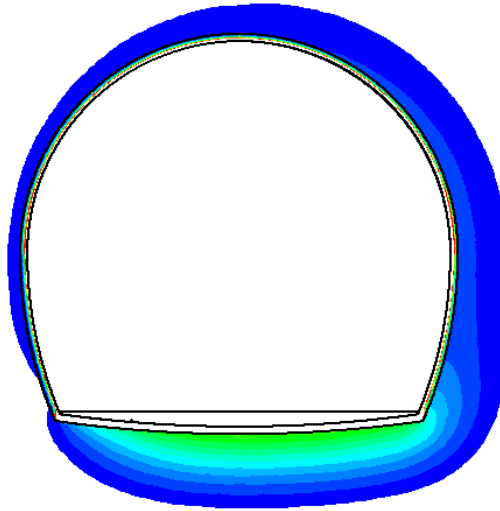
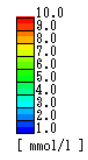
3.00

図 3.2-86 液相 K<sup>+</sup>分布 (ケース 1 : 10 年後)





出力時刻 [year] TIME=20.0



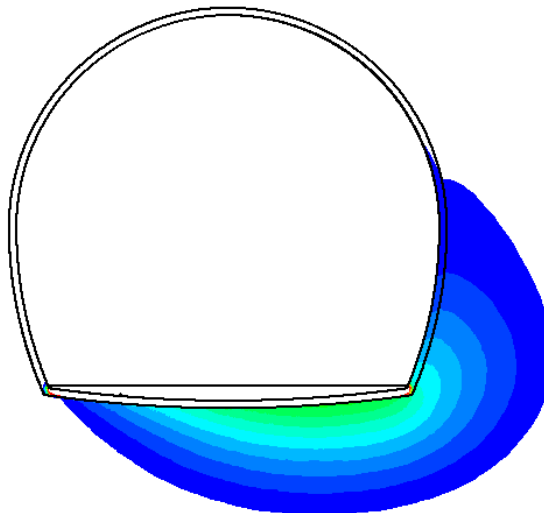
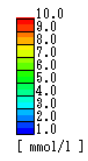
等高線図 NODE MIN 3.00e-002(184270) MAX 6.65e+001(161043)  
イオン濃度 (K+)

3.00

図 3.2-87 液相 K<sup>+</sup>分布 (ケース 1 : 20 年後)



出力時刻 [year] TIME=50.0



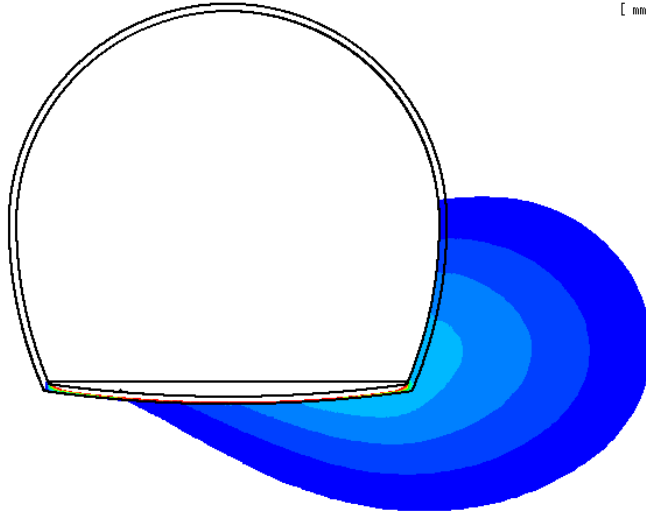
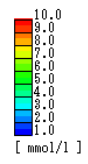
等高線図 NODE MIN 3.00e-002(185562) MAX 6.65e+001(161043)  
イオン濃度 (K+)

3.00

図 3.2-88 液相 K<sup>+</sup>分布 (ケース 1 : 50 年後)



出力時刻 [year] TIME=100.0



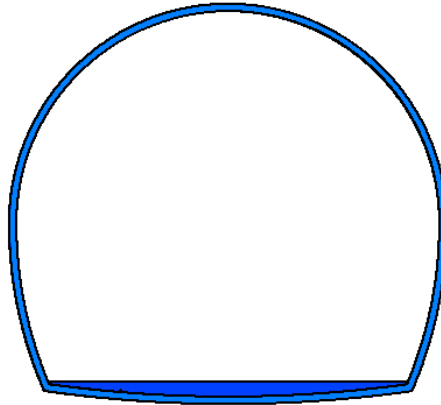
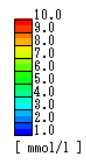
等高線図    NODE MIN 3.00e-002(185566)    MAX 5.69e+001(268514)  
イオン濃度 (K<sup>+</sup>)

3.00

図 3.2-89 液相 K<sup>+</sup>分布 (ケース 1 : 100 年後)



出力時刻 [year] TIME=0.0



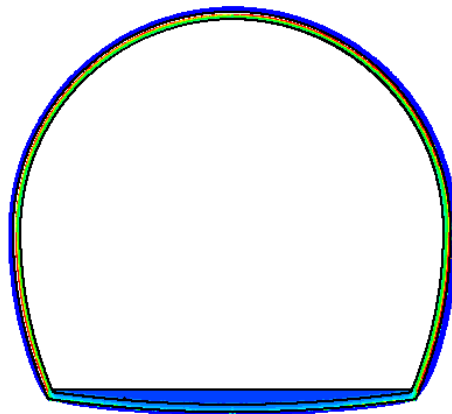
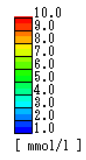
等高線図 NODE\_MIN 1.25e-001(184212) MAX 2.33e+000(115041)  
イオン濃度 (Ca++)

3.00

図 3.2-90 液相 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 1 : 0 年後)



出力時刻 [year] TIME=10.0



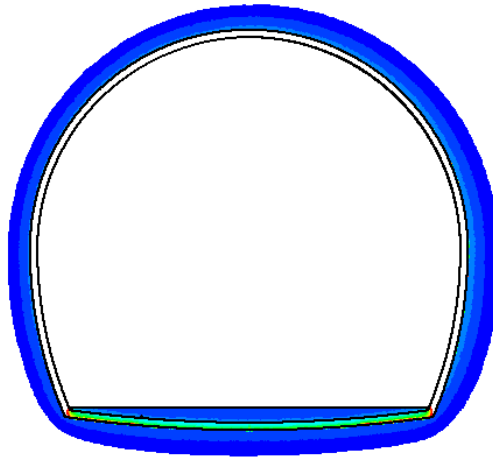
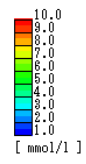
等高線図 NODE\_MIN 1.25e-001(184212) MAX 1.95e+001(159956)  
イオン濃度 (Ca++)

3.00

図 3.2-91 液相 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 1 : 10 年後)



出力時刻 [year] TIME=20.0



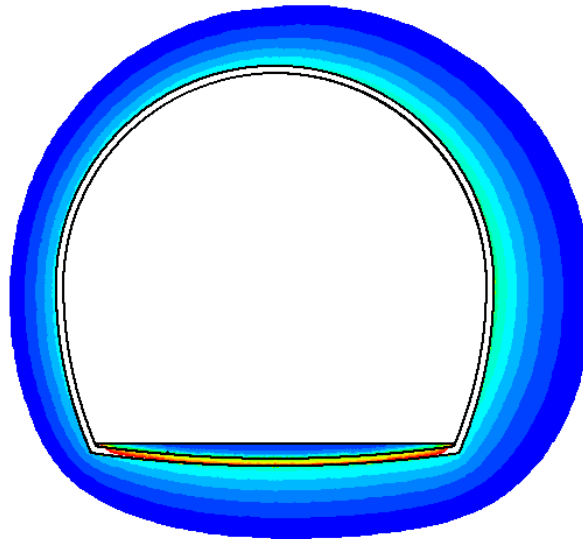
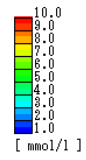
等高線図 NODE\_MIN 1.25e-001(184212) MAX 2.14e+001(159852)  
イオン濃度 (Ca++)

3.00

図 3.2-92 液相 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 1 : 20 年後)



出力時刻 [year] TIME=50.0



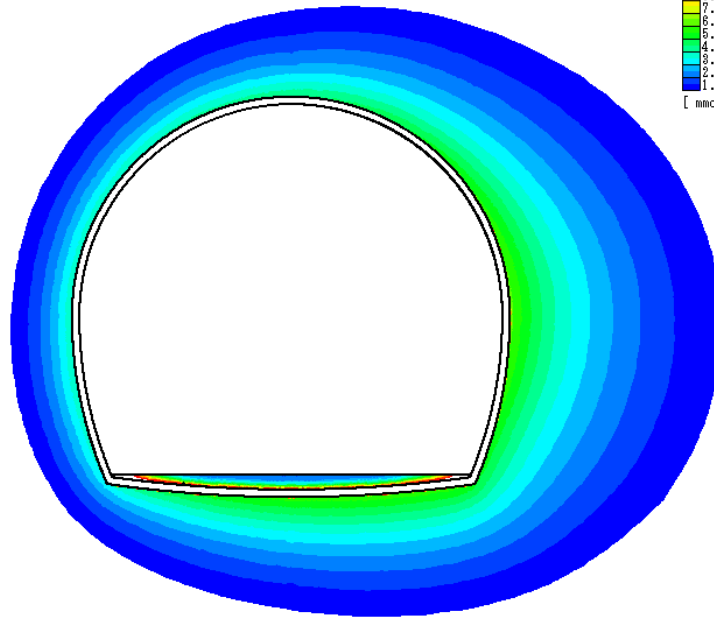
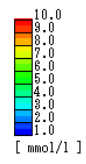
等高線図 NODE\_MIN 1.25e-001(185558) MAX 2.19e+001(159709)  
イオン濃度 (Ca++)

3.00

図 3.2-93 液相 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 1 : 50 年後)



出力時刻 [year] TIME=100.0



等高線図    NODE MIN 1.25e-001(185563)    MAX 2.21e+001(158800)  
イオン濃度 (Ca++)

3.00

図 3.2-94 液相 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 1 : 100 年後)

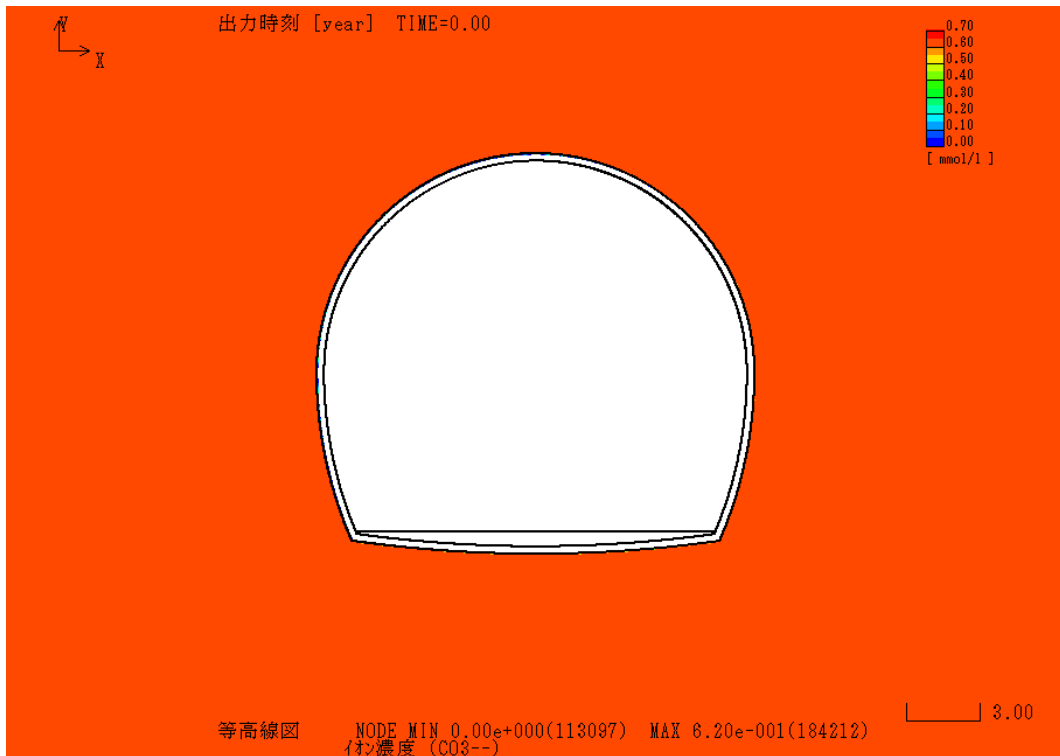


図 3.2-95 液相 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 1 : 0 年後)

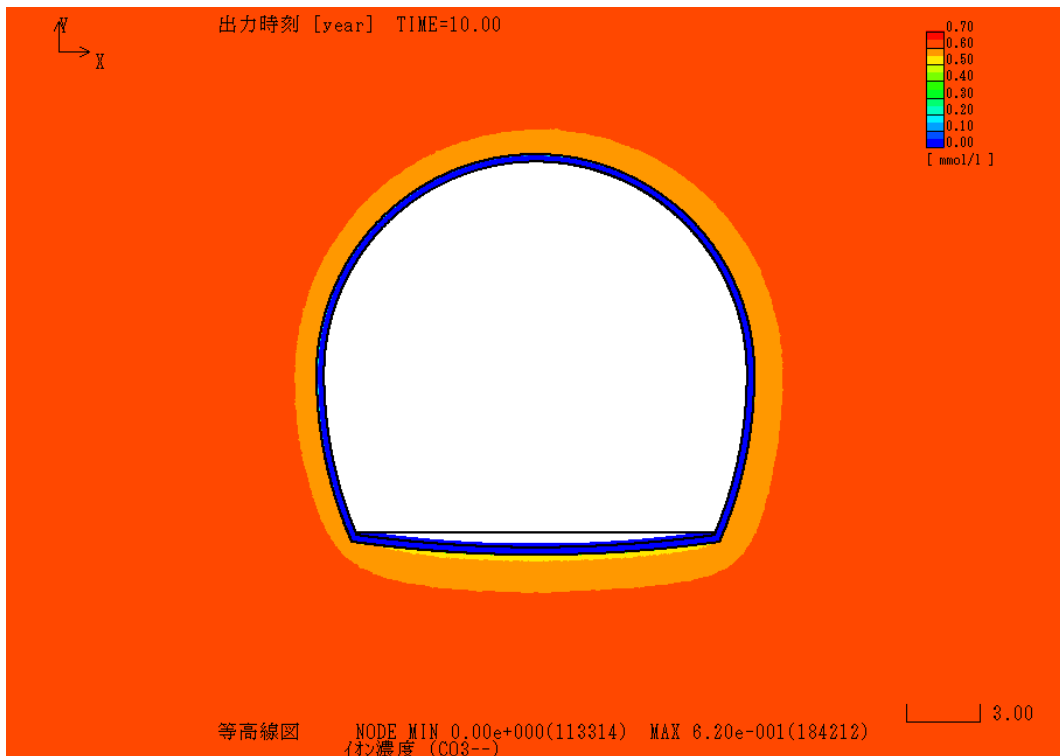


図 3.2-96 液相 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 1 : 10 年後)

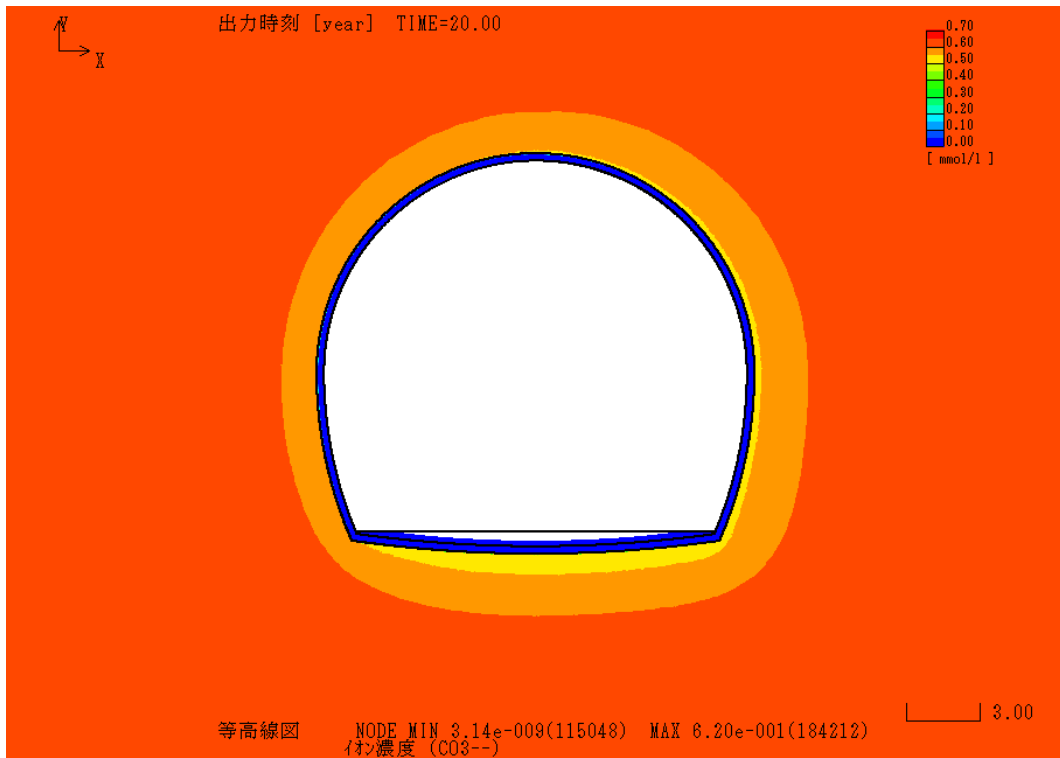


図 3.2-97 液相 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 1 : 20 年後)

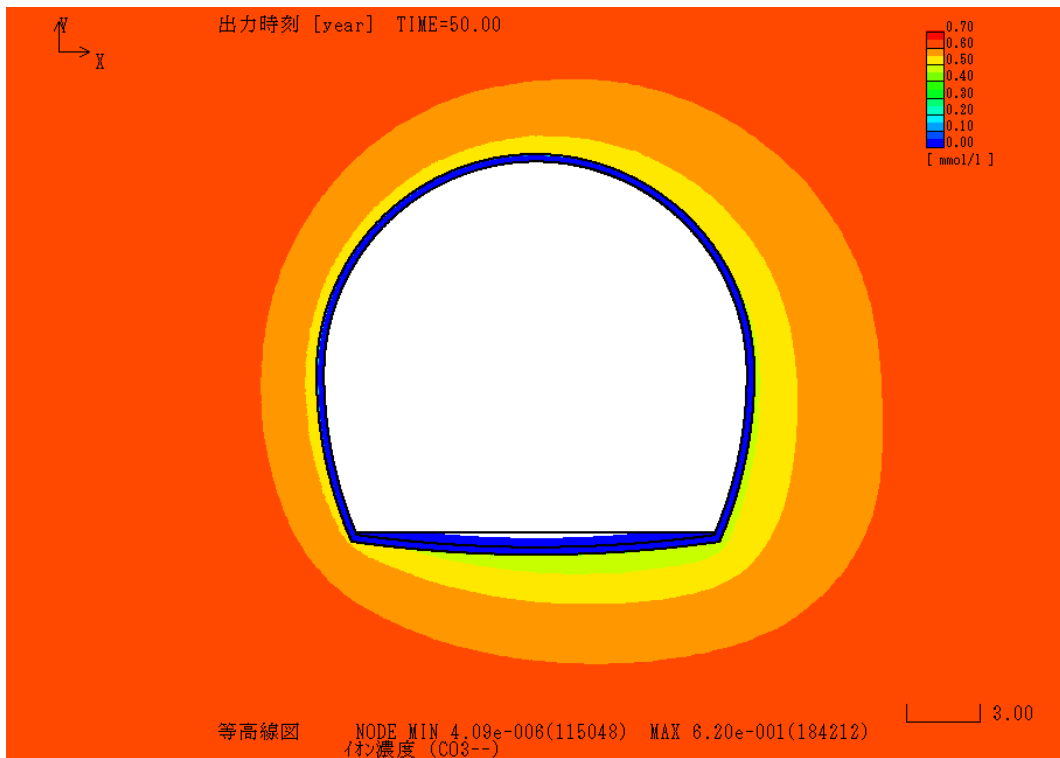


図 3.2-98 液相 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 1 : 50 年後)

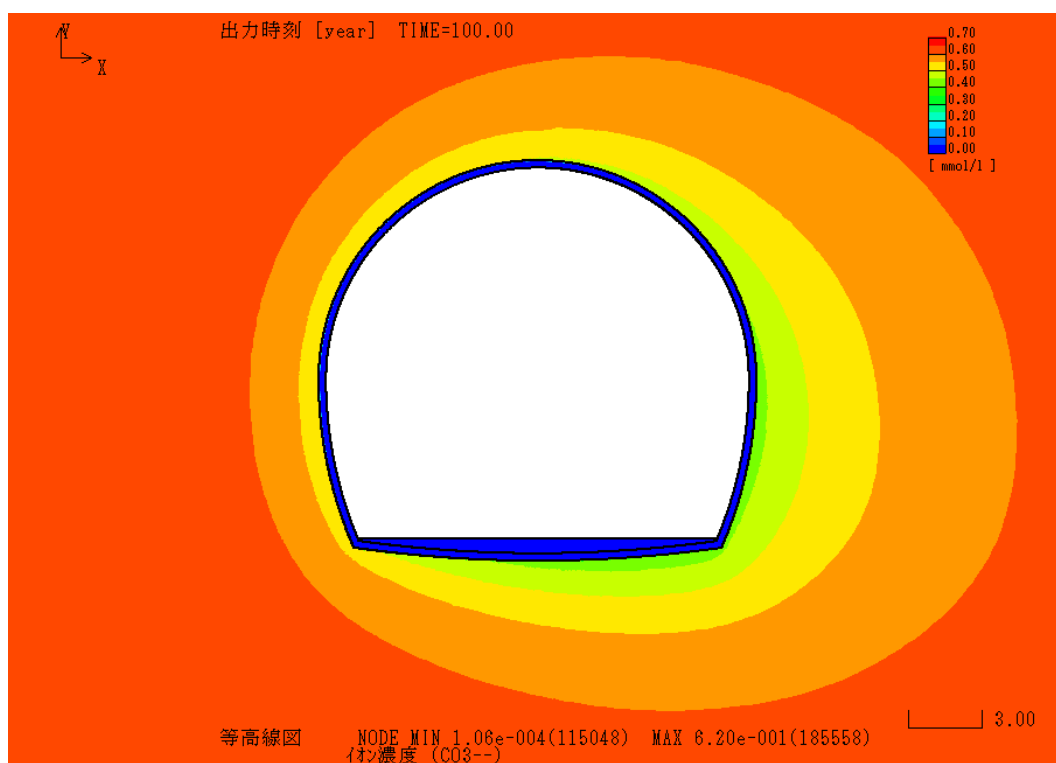


図 3.2-99 液相 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 1 : 100 年後)



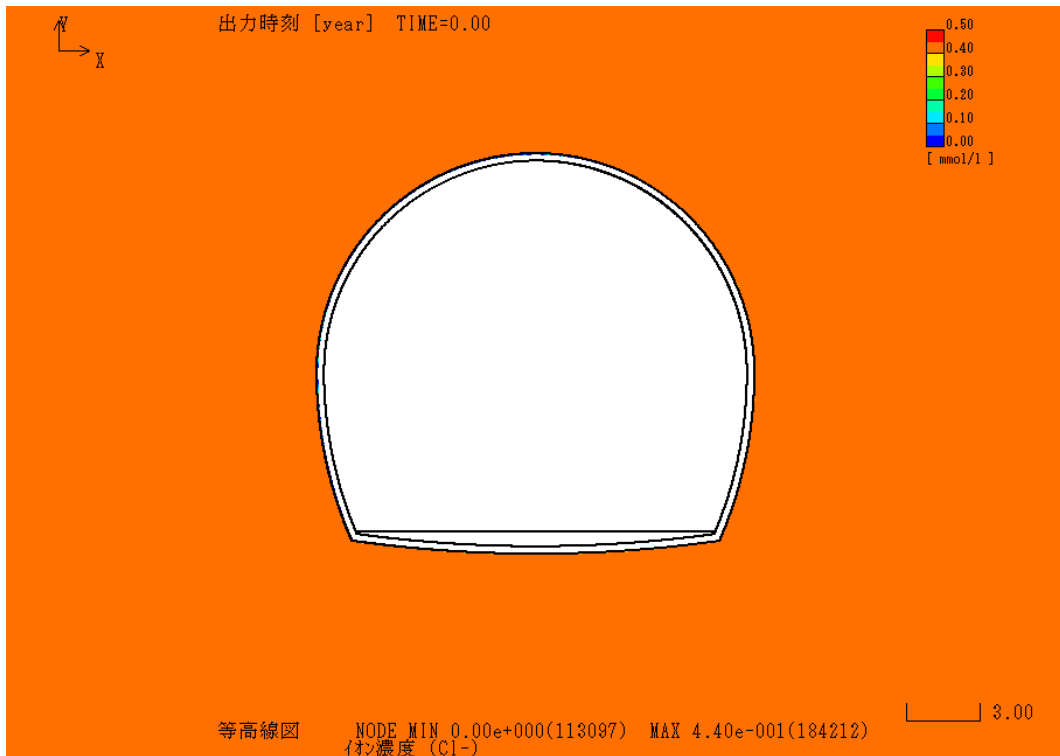


図 3.2-100 液相 Cl-分布 (ケース 1 : 0 年後)

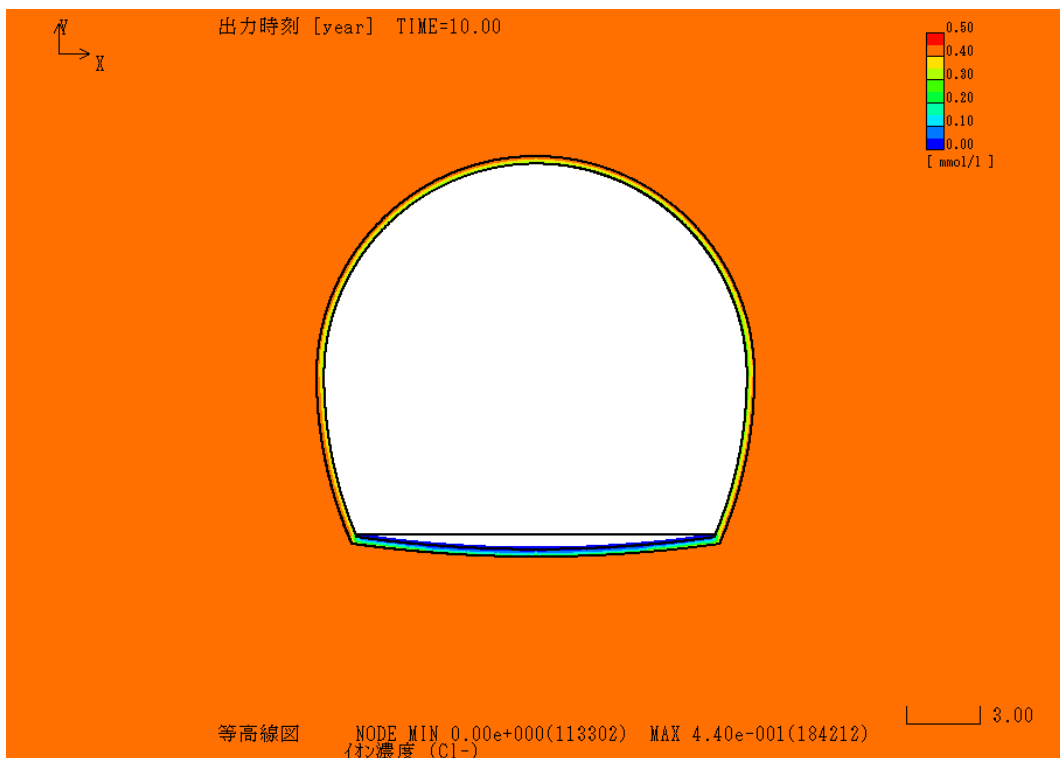


図 3.2-101 液相 Cl-分布 (ケース 1 : 10 年後)

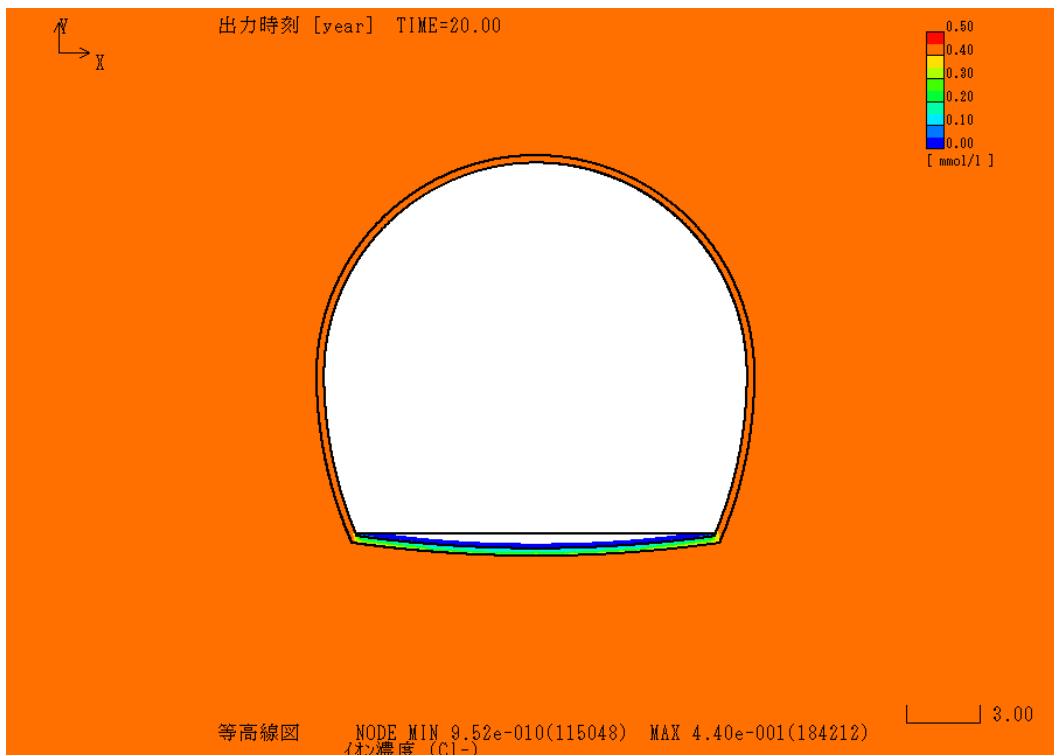


図 3.2-102 液相 Cl<sup>-</sup>分布 (ケース 1 : 20 年後)

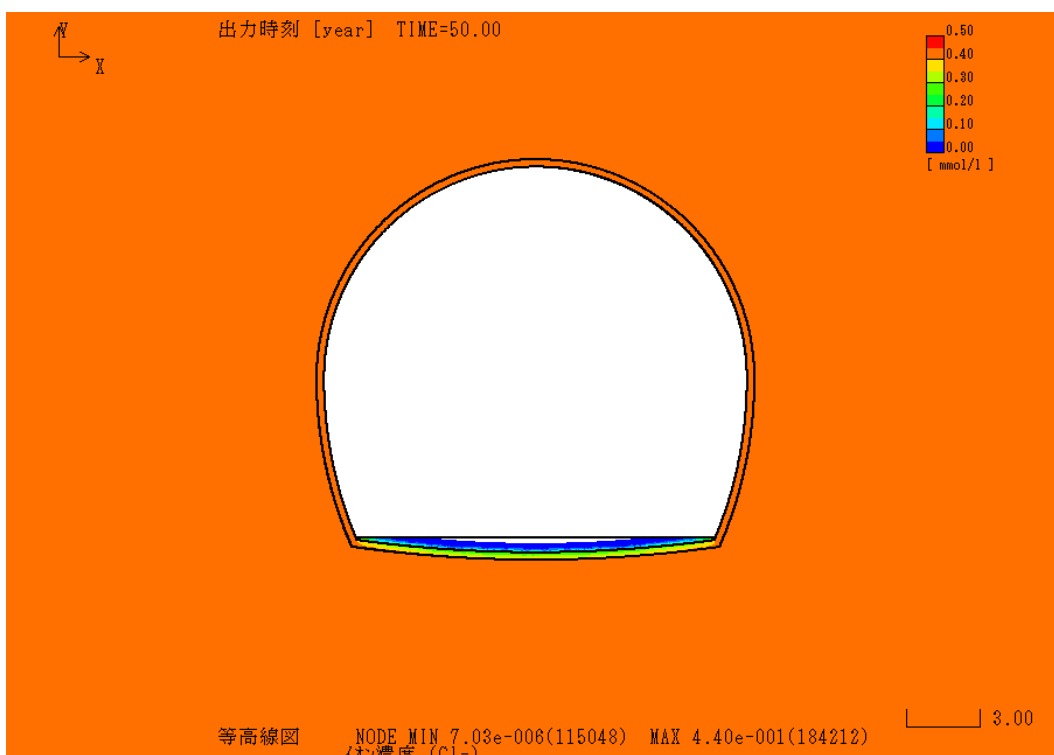


図 3.2-103 液相 Cl<sup>-</sup>分布 (ケース 1 : 50 年後)

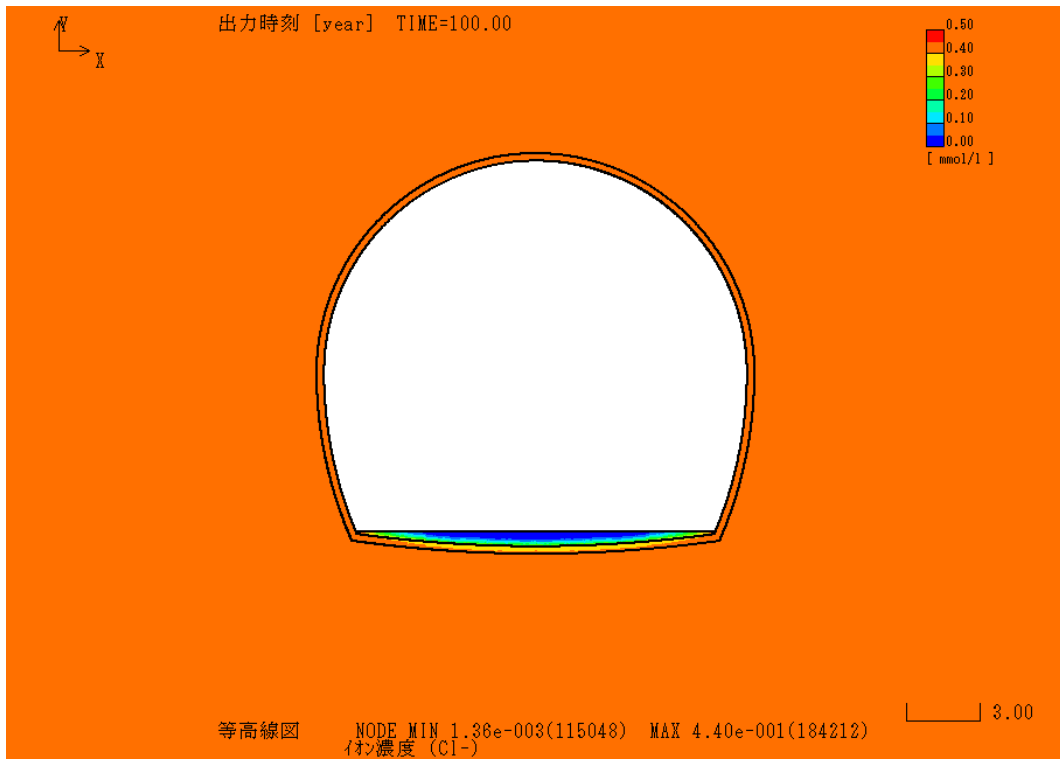


図 3.2-104 液相 Cl<sup>-</sup>分布 (ケース 1 : 100 年後)

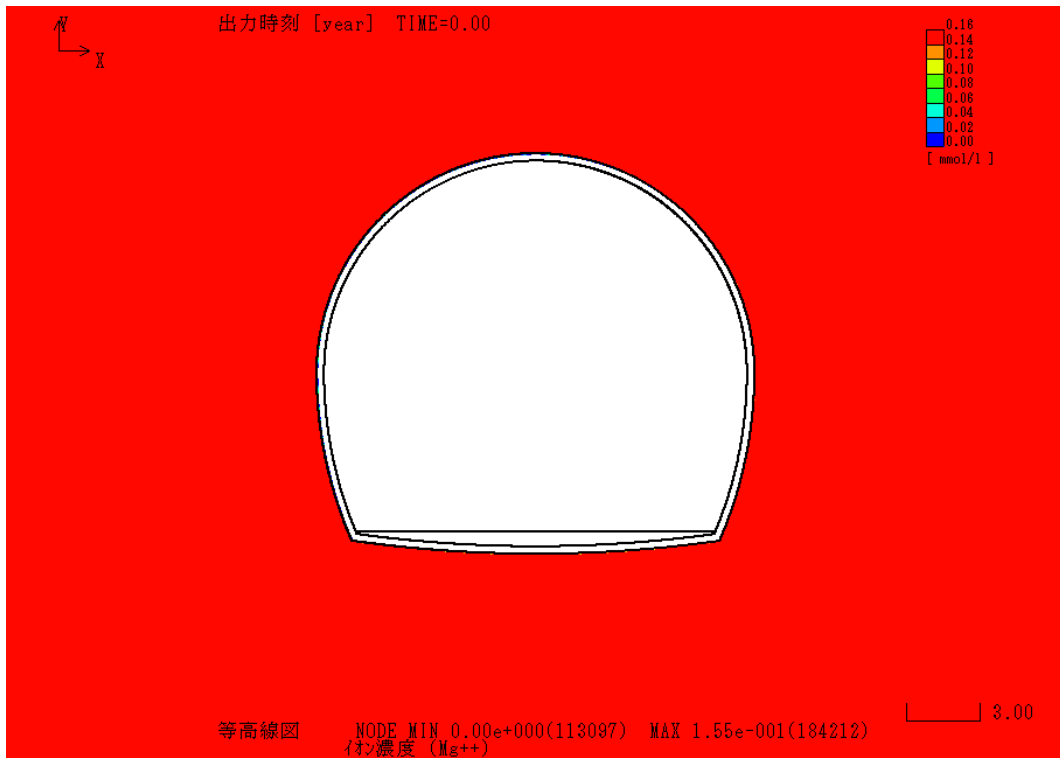


図 3.2-105 液相  $Mg^{2+}$  分布 (ケース 1 : 0 年後)

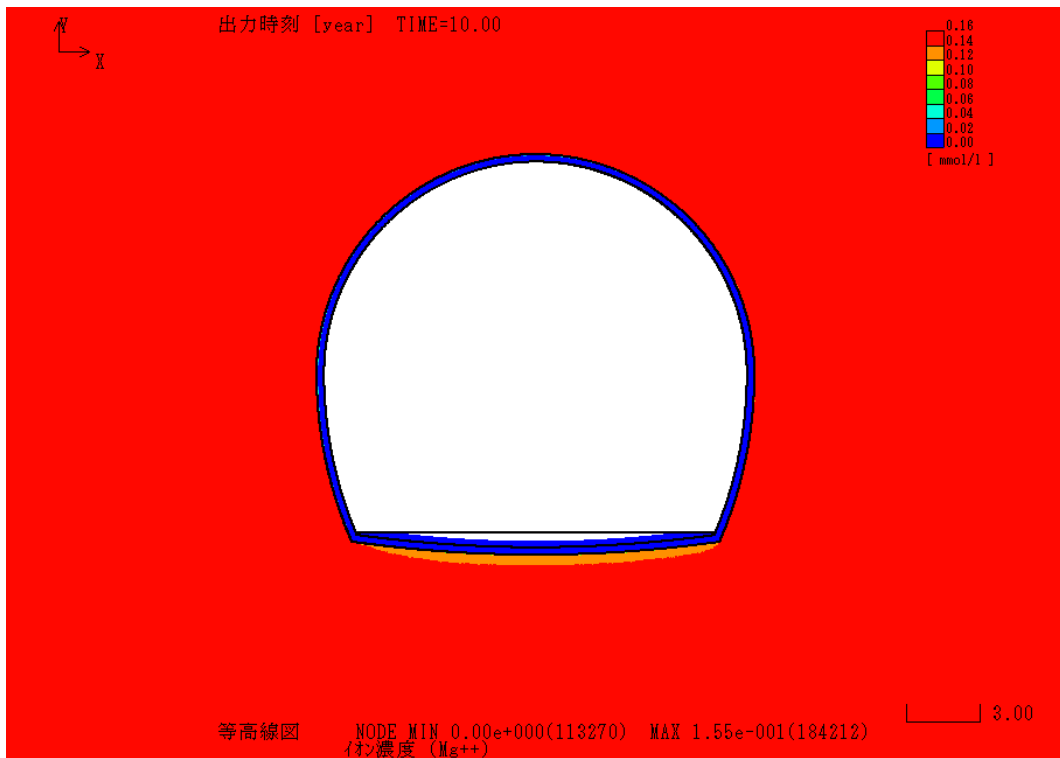


図 3.2-106 液相  $Mg^{2+}$  分布 (ケース 1 : 10 年後)

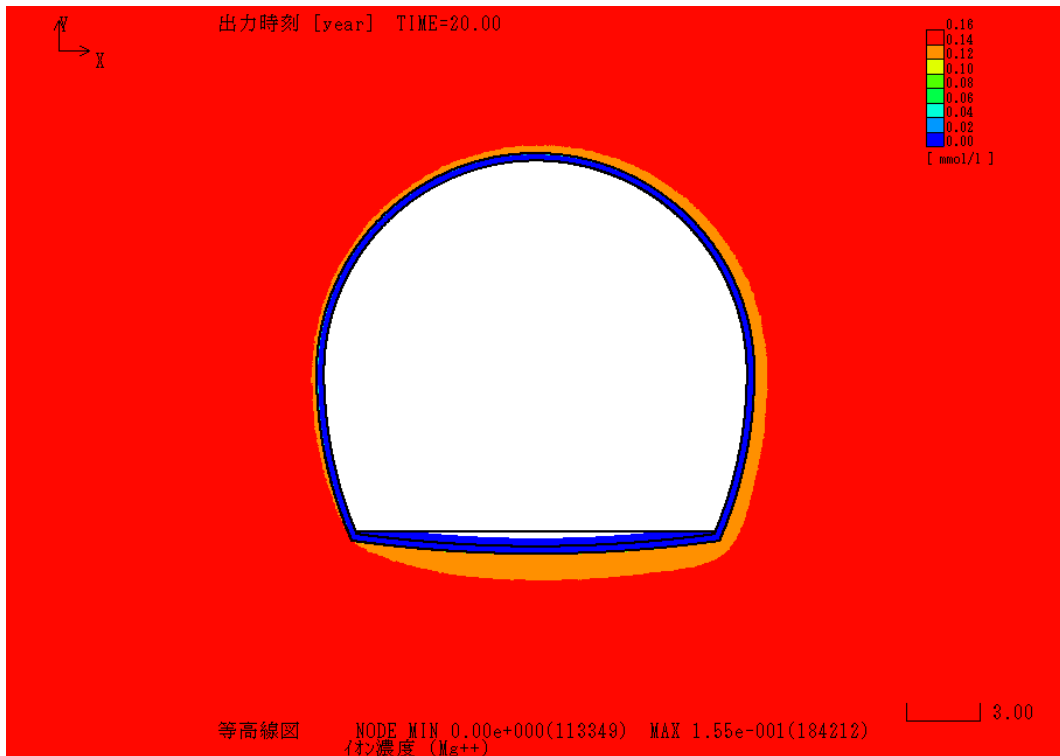


図 3.2-107 液相  $Mg^{2+}$  分布 (ケース 1 : 20 年後)

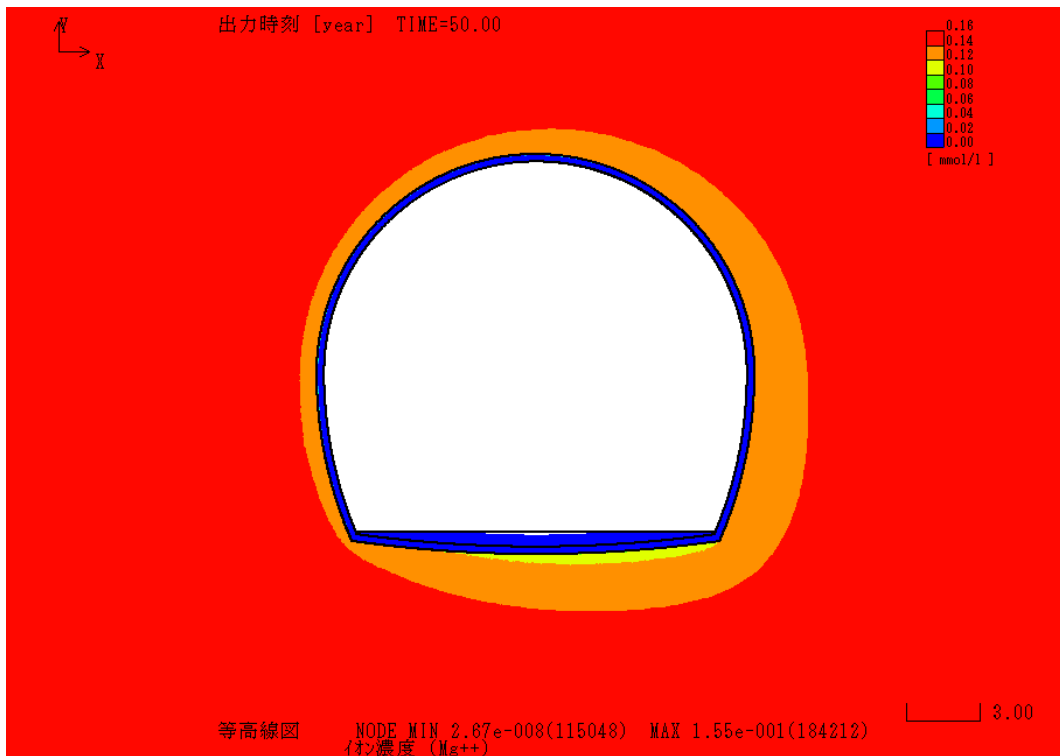


図 3.2-108 液相  $Mg^{2+}$  分布 (ケース 1 : 50 年後)

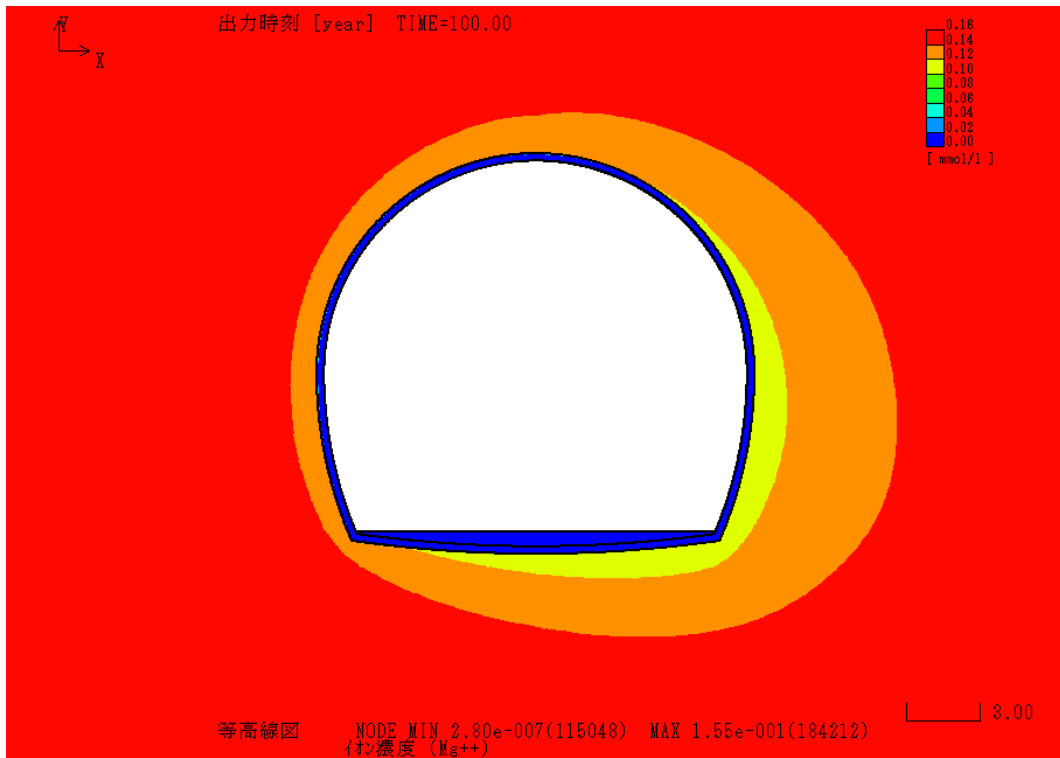


図 3.2-109 液相  $Mg^{2+}$  分布 (ケース 1 : 100 年後)

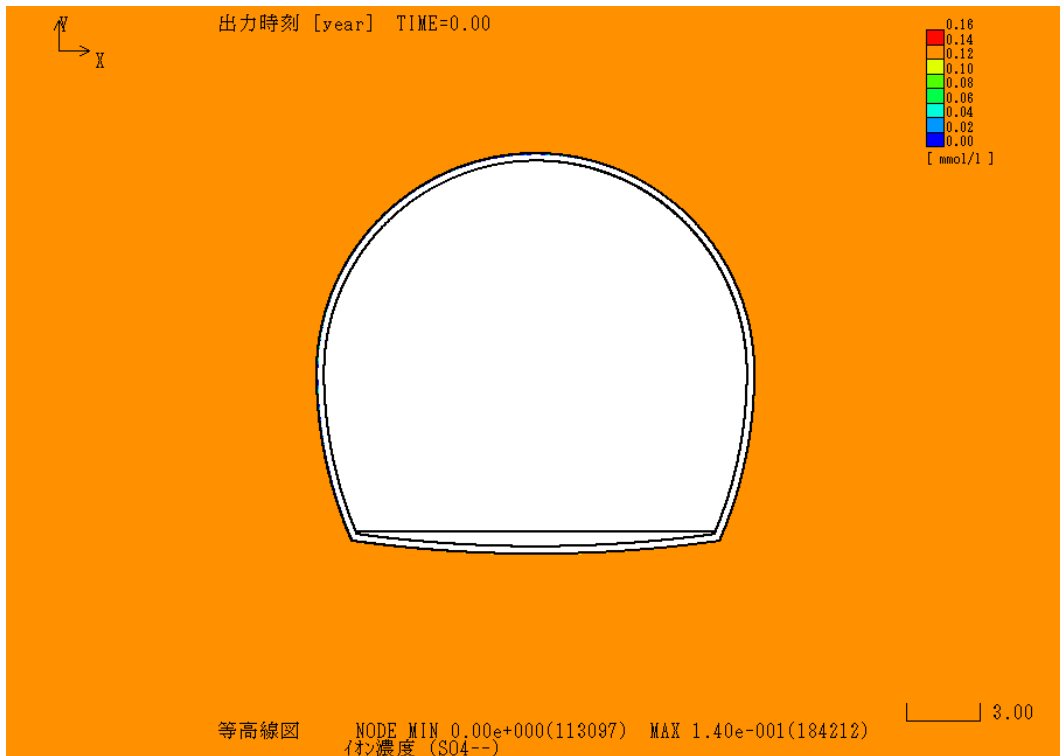


図 3.2-110 液相  $\text{SO}_4^{2-}$  分布 (ケース 1 : 0 年後)

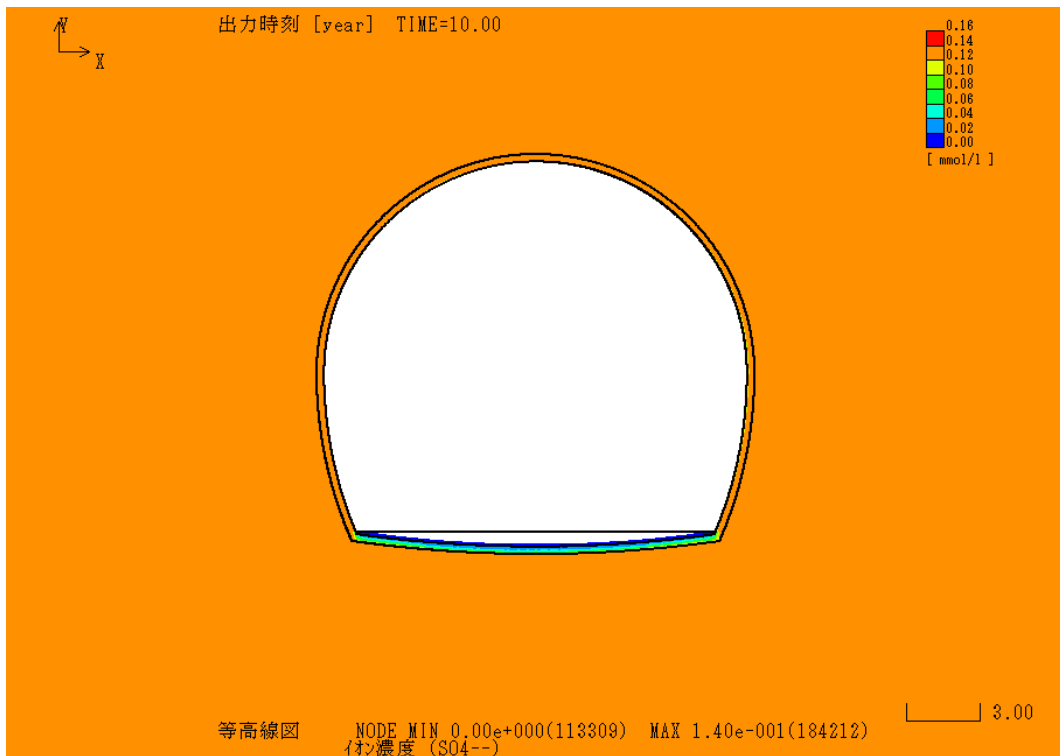


図 3.2-111 液相  $\text{SO}_4^{2-}$  分布 (ケース 1 : 10 年後)

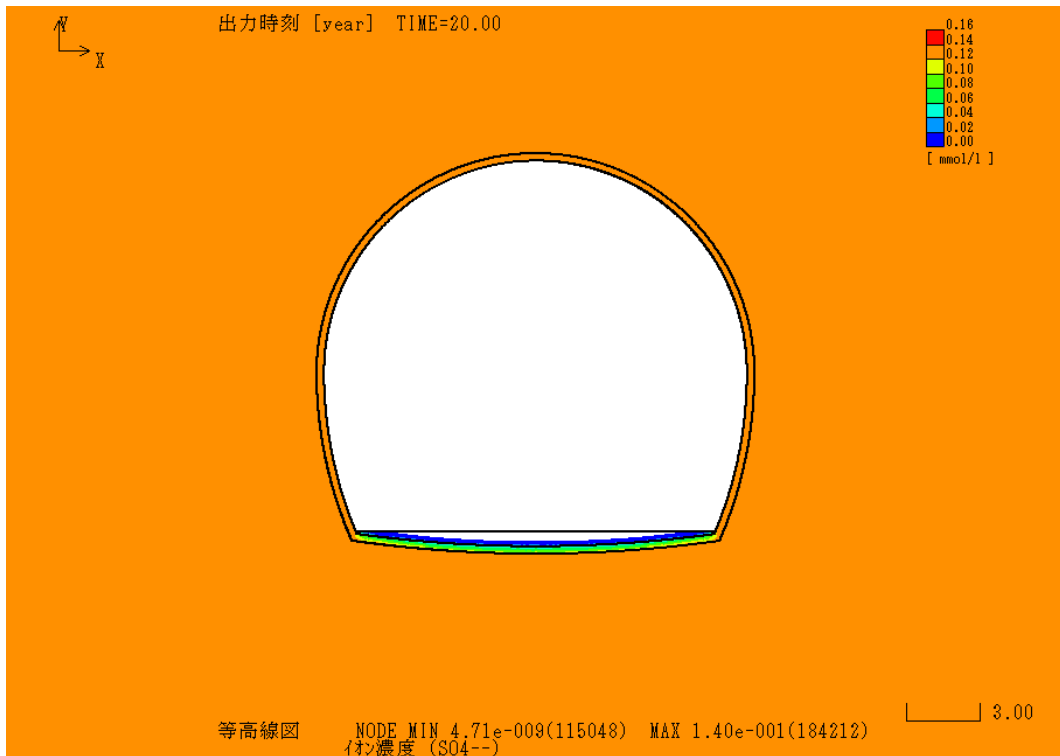


図 3.2-112 液相  $\text{SO}_4^{2-}$  分布 (ケース 1 : 20 年後)

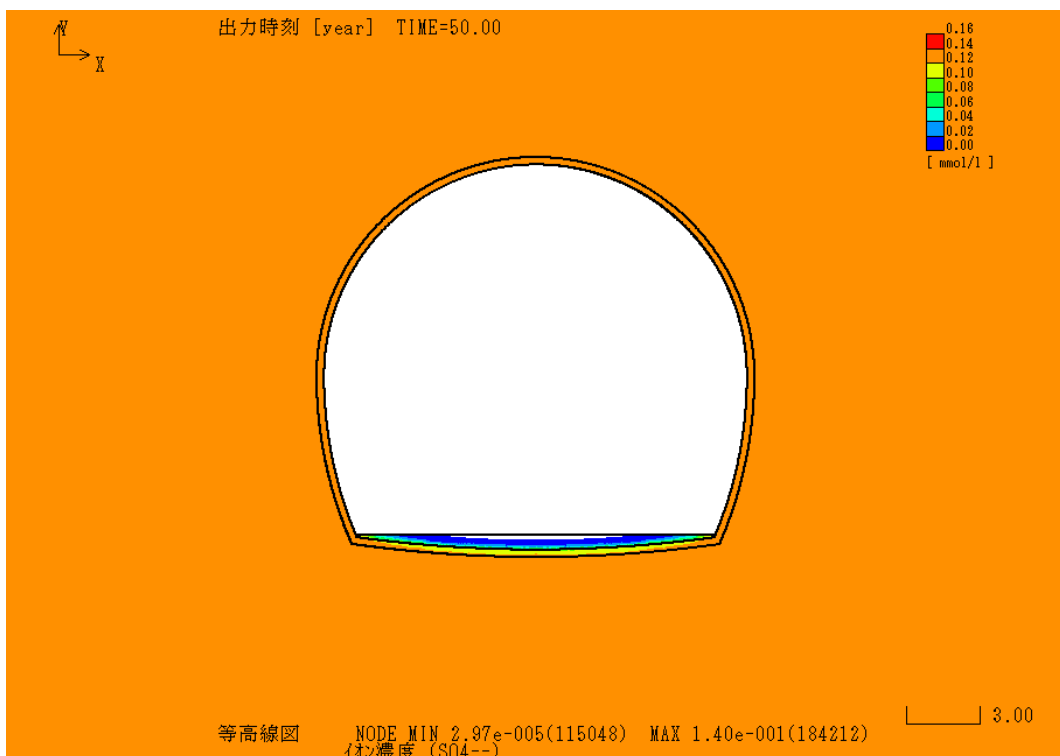


図 3.2-113 液相  $\text{SO}_4^{2-}$  分布 (ケース 1 : 50 年後)



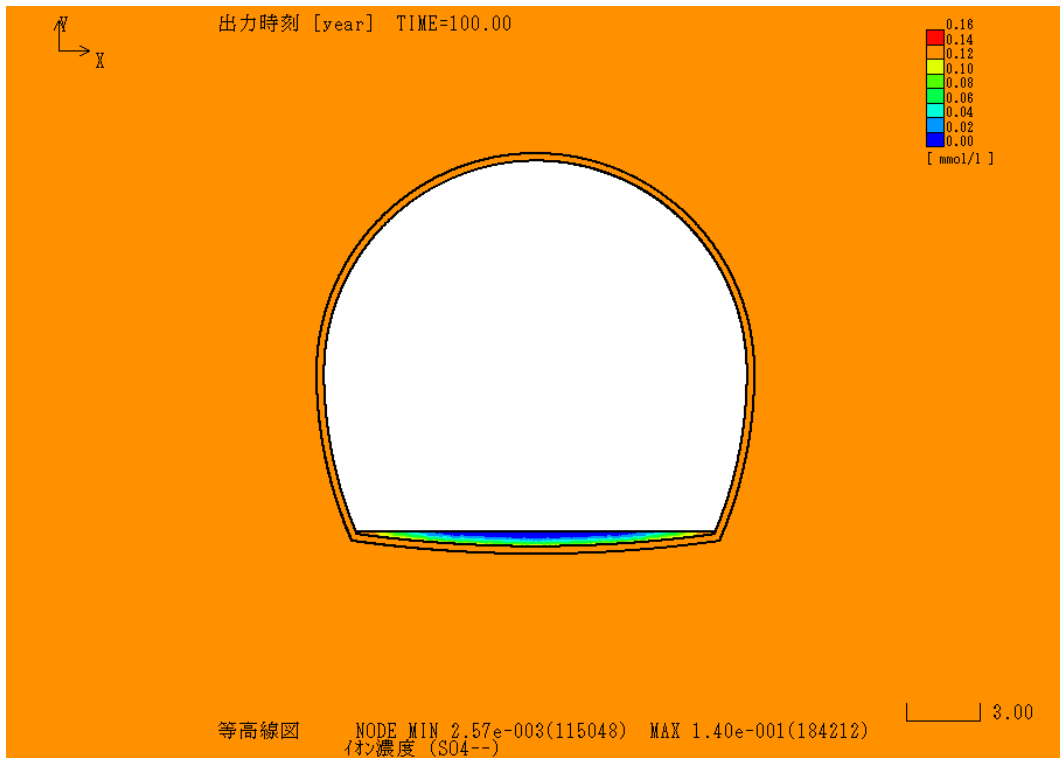


図 3.2-114 液相  $\text{SO}_4^{2-}$  分布 (ケース 1 : 100 年後)

#### (d) 解析結果のモニタリング計画への反映

本解析結果をもとに、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を整理した。

##### ①吹付けコンクリートから浸出した総水量

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 3.2-115 に示す。前述したとおり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。

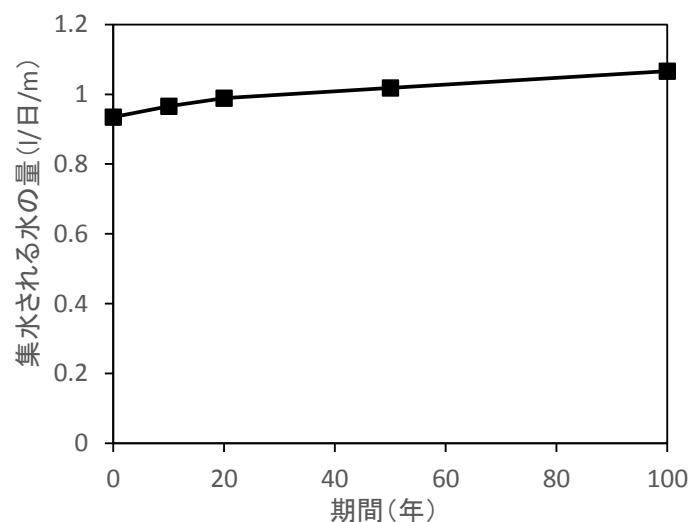


図 3.2-115 吹付けコンクリート内面に浸出する総水量の経時変化

##### ②吹付けコンクリートから浸出した水のイオン組成

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 3.2-116 および図 3.2-117 に示す。施設構築当初は  $\text{Na}^+$  や  $\text{K}^+$  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  $\text{Ca}^{2+}$  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。実際には施設の構築は徐々に進むことで空洞内部の状態も変化すること、さらに建設・操業期間中は地下水のくみ上げを実施するために流れも変化するため、実施時には詳細な検討が必要になると考えられるが、本検討によって、モニタリングすべきイオン種と濃度、モニタリング時期や頻度の計画策定に資する情報として整理できた。

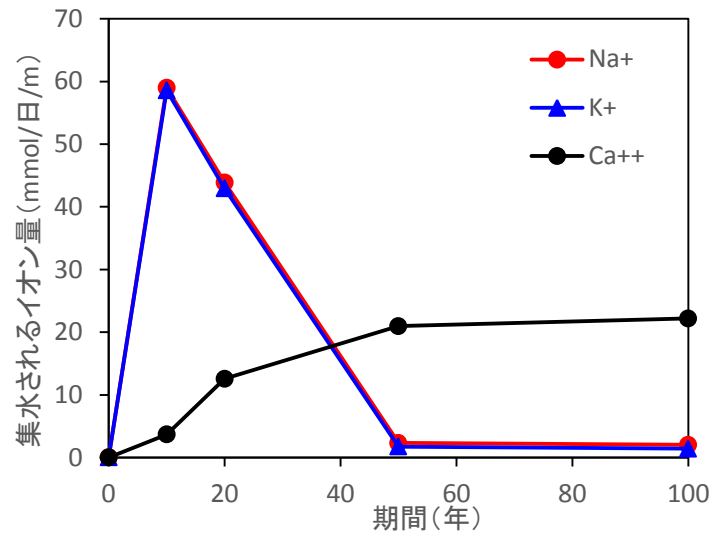


図 3.2-116 吹付けコンクリート内面に浸出する Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>の経時変化

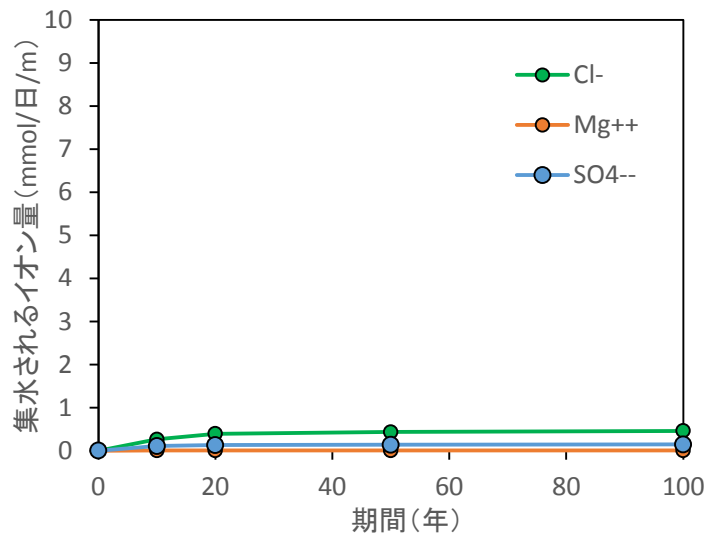


図 3.2-117 吹付けコンクリート内面に浸出する Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の経時変化

## 2) ケース 2 (近傍ボーリング孔による地下水モニタリングに資するデータの整理)

### (a) 周辺岩盤における pH の変化

処分空洞および周辺岩盤における pH 分布の経時変化を図 3.2-118 から図 3.2-123 に示す。時間の経過とともに周辺岩盤の pH が徐々に上昇し、特に下流側において大きく上昇する。また、施設構築後はセメント系材料の部材に含まれる NaOH や KOH、Ca(OH)<sub>2</sub> の影響で pH の上昇がさらに進む結果となった。次に、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>濃度の経時変化を図 3.2-125 から図 3.2-135 に示す。両イオンとも pH と同様に下流側で濃度の上昇が起こるが、ともにイオンとしての移動が速く、量も少ないことから周辺岩盤における濃度上昇は 3mmol/l 程度であり、近傍ボーリング孔による地下水組成モニタリングをしても、有意な差として検出されない可能性が高い。

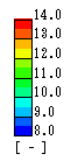
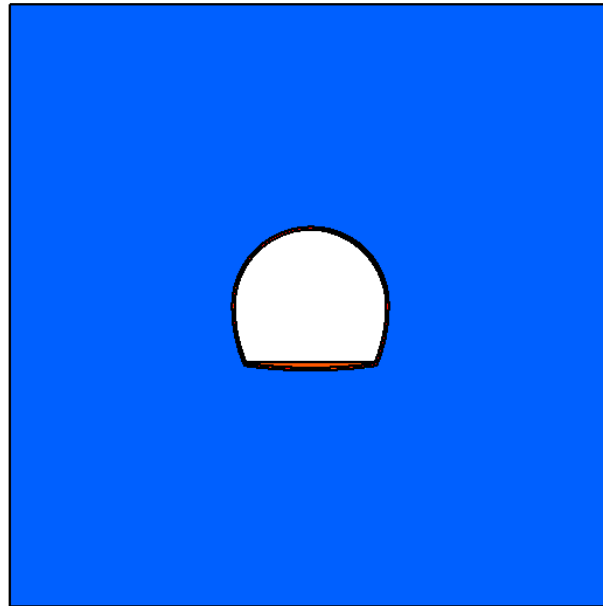
一方、Ca<sup>2+</sup>濃度の経時変化は図 3.2-136 から図 3.2-141 に示すとおりであり、解析開始から 1,000 年までで特に下流側にて 10mmol/l 以上に濃度が上昇する領域が存在し、地下水組成モニタリングの際には有意な差としてあらわれるものと考えられる。また、Ca<sup>2+</sup>濃度は処分空洞からの距離や移流の与えられ方によって大きく異なる結果となり、モニタリング場所の設定においては重要な知見が得られたと考える。

### (b) 周辺岩盤の地下水に含まれるイオンの挙動

周辺岩盤の地下水に含まれる CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の経時変化を図 3.2-142 から図 3.2-165 に示す。イオン種によって移動のしかたに違いはあるものの、いずれのイオン種においても濃度が急激に高まるようなことはなく、大きな変化は見られない結果となった。



出力時刻 [year] TIME=0.0



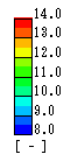
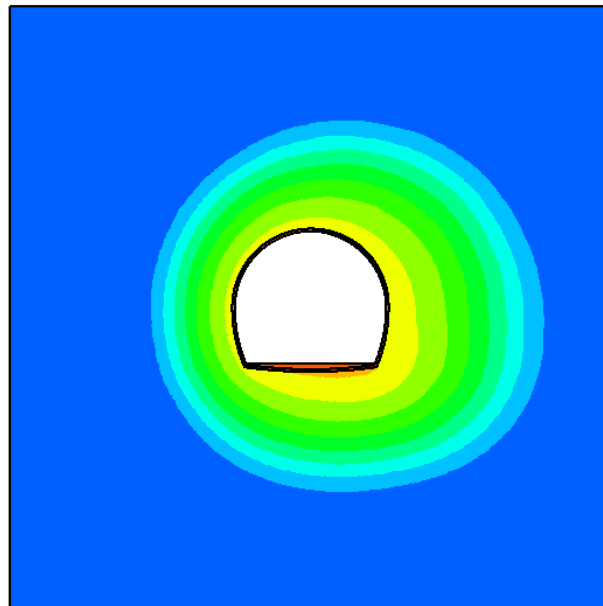
等高線図 NODE MIN 8.60(184212) MAX 13.50(115041)  
pH

8.39

図 3.2-118 pH 分布 (ケース 2 : 0 年後)



出力時刻 [year] TIME=50.0



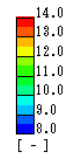
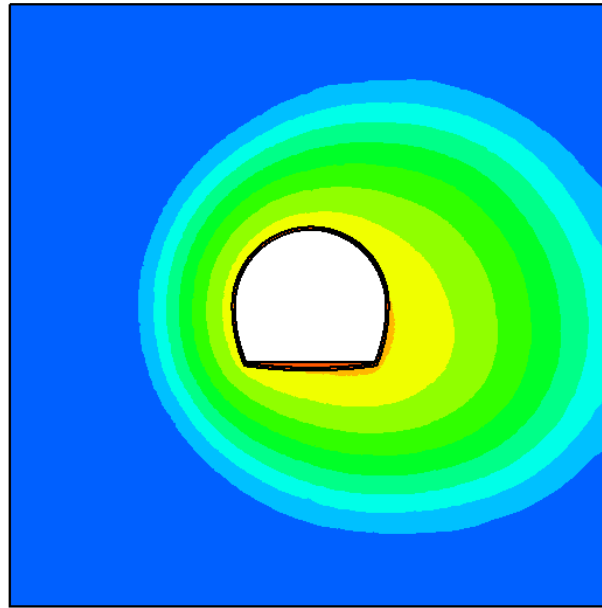
等高線図 NODE MIN 8.60(185564) MAX 13.55(169770)  
pH

8.39

図 3.2-119 pH 分布 (ケース 2 : 50 年後)



出力時刻 [year] TIME=100.0



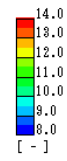
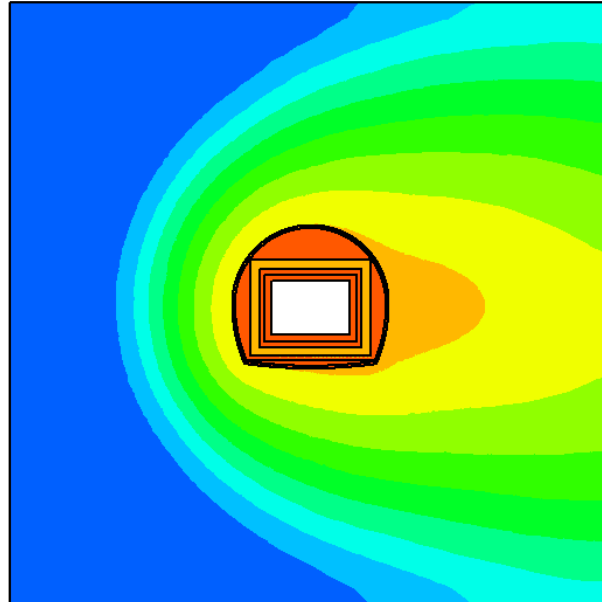
等高線図 NODE MIN 8.60(185568) MAX 13.44(137624)  
pH

8.39

図 3.2-120 pH 分布 (ケース 2 : 100 年後)



出力時刻 [year] TIME=300.0



等高線図 NODE MIN 8.60(185571) MAX 13.41(137423)  
pH

8.40

図 3.2-121 pH 分布 (ケース 2 : 300 年後)

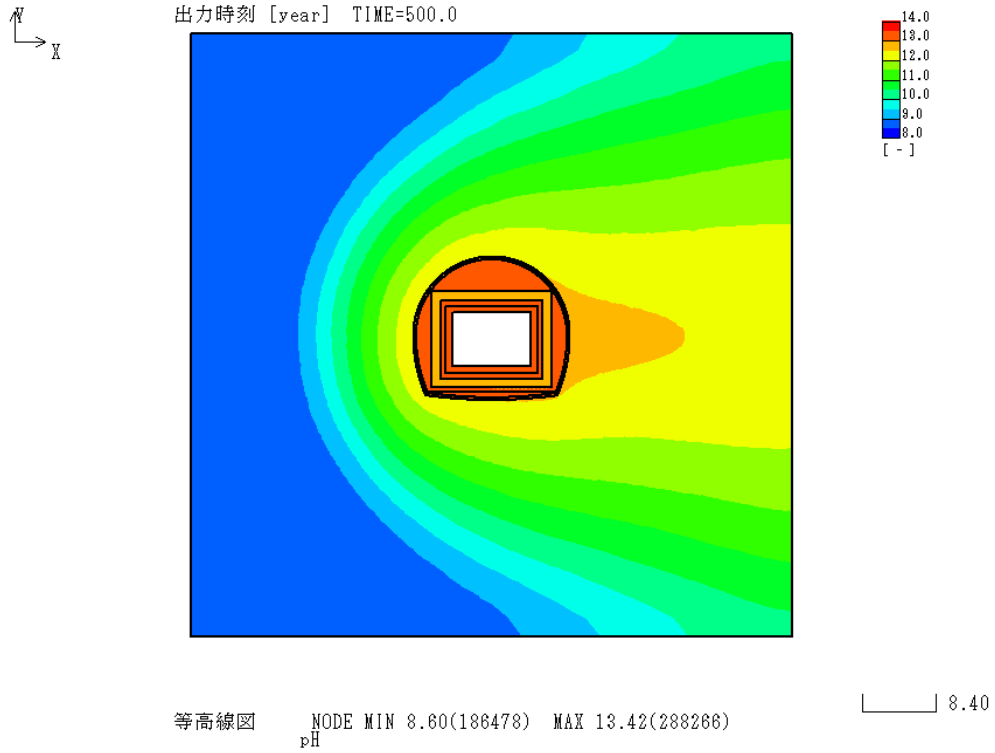


図 3.2-122 pH 分布 (ケース 2 : 500 年後)

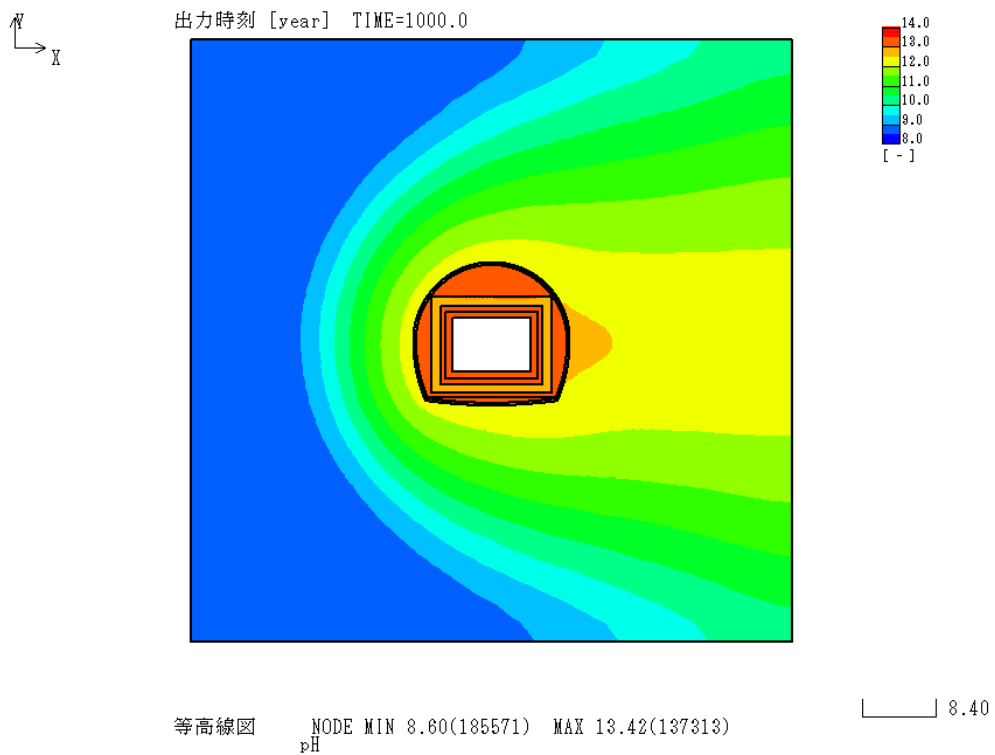
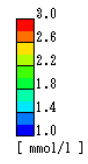
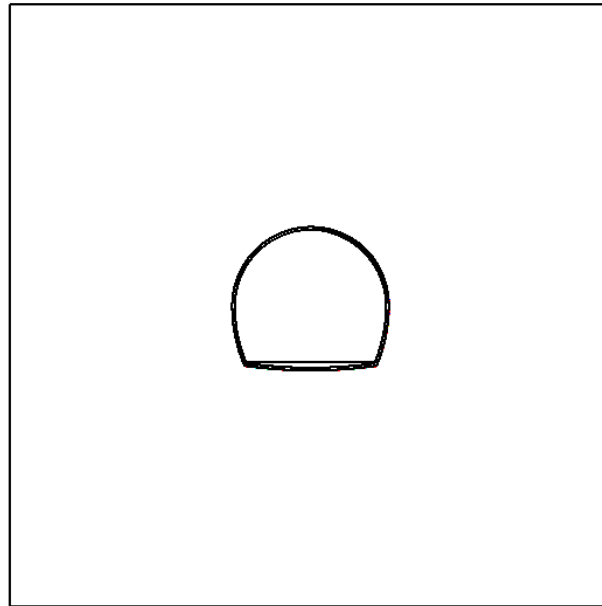


図 3.2-123 pH 分布 (ケース 2 : 1,000 年後)



出力時刻 [year] TIME=0.0



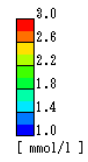
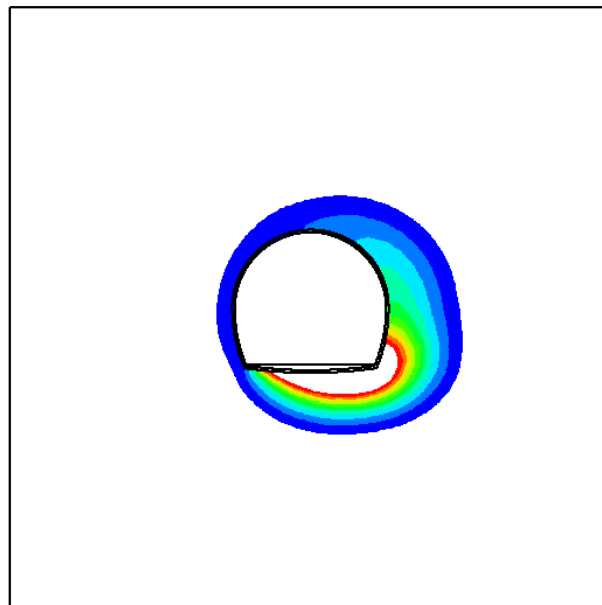
等高線図 NODE MIN 7.70e-001(184212) MAX 6.73e+001(115041)  
イオン濃度 (Na+)

8.39

図 3.2-124 Na+分布 (ケース 2 : 0 年後)



出力時刻 [year] TIME=50.0



等高線図 NODE MIN 7.70e-001(185580) MAX 6.71e+001(161043)  
イオン濃度 (Na+)

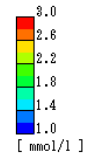
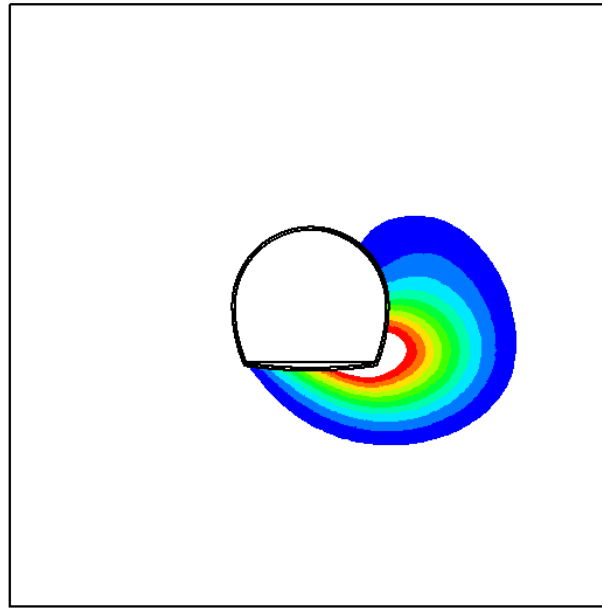
8.39

図 3.2-125 Na+分布 (ケース 2 : 50 年後)





出力時刻 [year] TIME=100.0



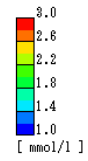
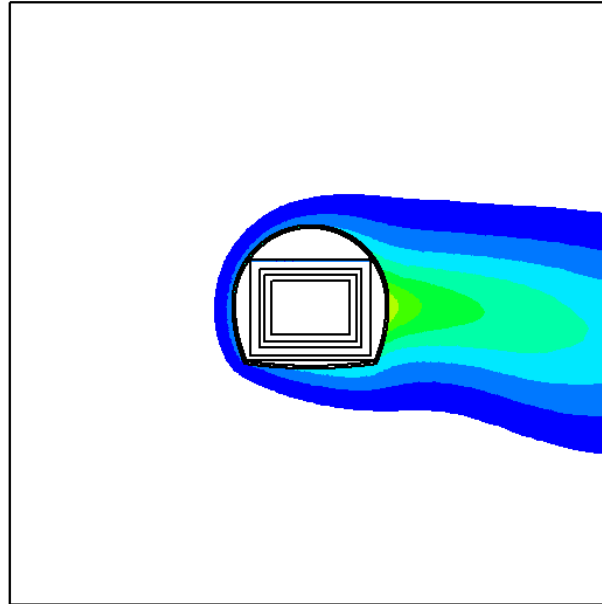
等高線図 NODE MIN 7.70e-001(185563) MAX 5.17e+001(268506)  
イオン濃度 (Na+)

8.39

図 3.2-126 Na+分布 (ケース 2 : 100 年後)



出力時刻 [year] TIME=300.0



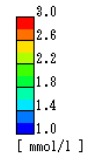
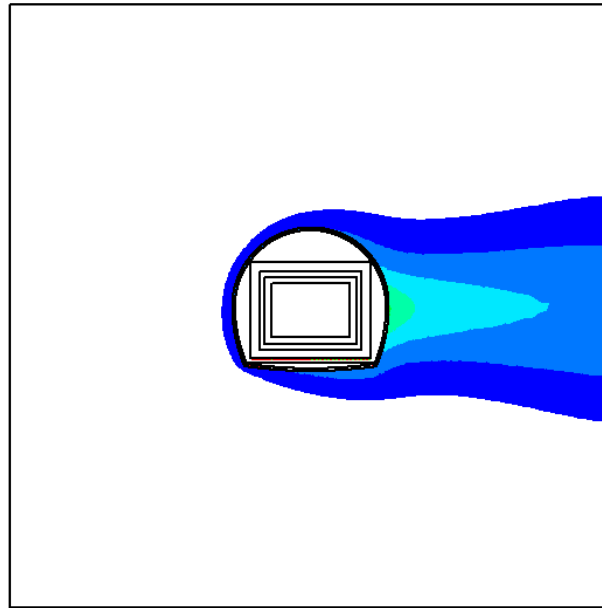
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(38506) MAX 3.74e+001(289336)  
イオン濃度 (Na+)

8.40

図 3.2-127 Na+分布 (ケース 2 : 300 年後)



出力時刻 [year] TIME=500.0



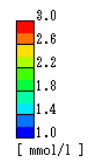
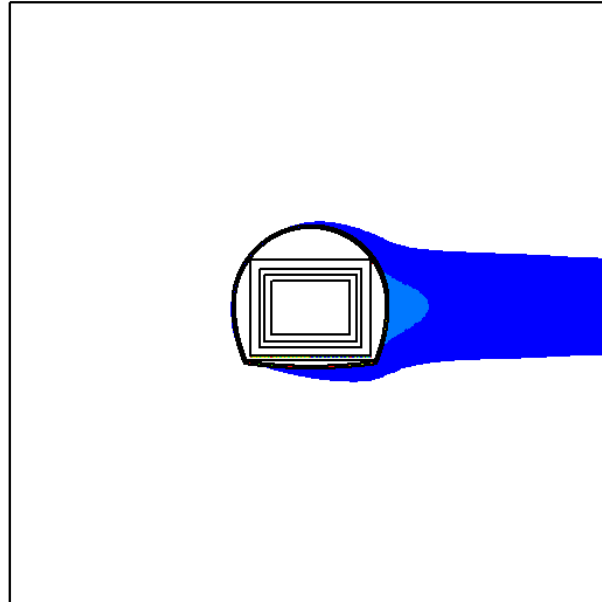
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(38506) MAX 3.56e+001(291209)  
イオン濃度 (Na+)

8.40

図 3.2-128 Na+分布 (ケース 2 : 500 年後)



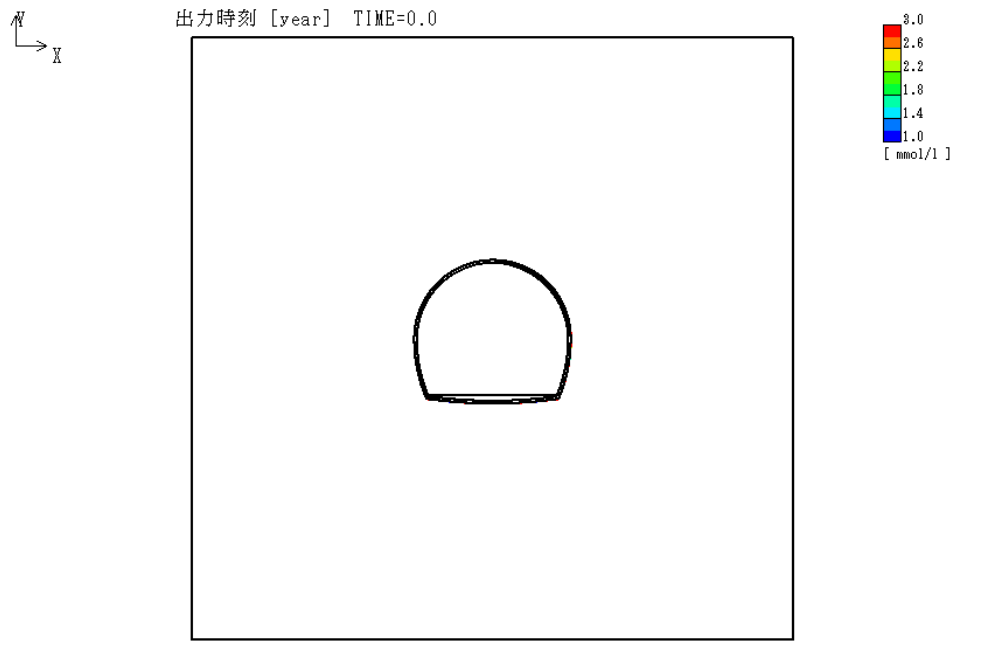
出力時刻 [year] TIME=1000.0



等高線図 NODE MIN 0.00e+000(38506) MAX 3.45e+001(112341)  
イオン濃度 (Na+)

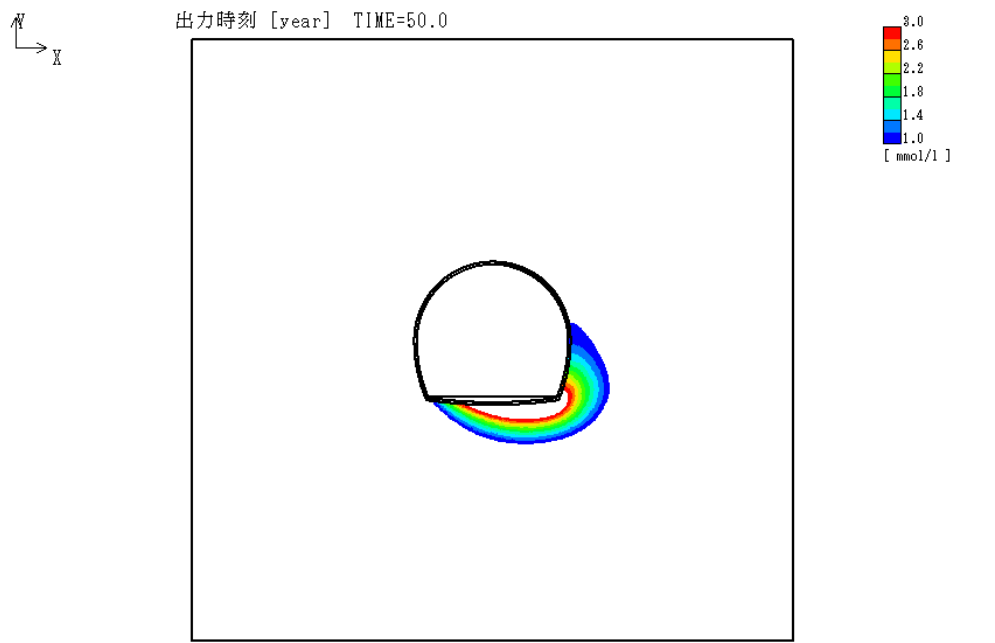
8.40

図 3.2-129 Na+分布 (ケース 2 : 1,000 年後)



等高線図 NODE MIN 3.00e-002(184212) MAX 6.67e+001(115041)  
イオン濃度 (K<sup>+</sup>)

図 3.2-130 K<sup>+</sup>分布 (ケース 2 : 0 年後)

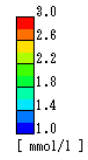
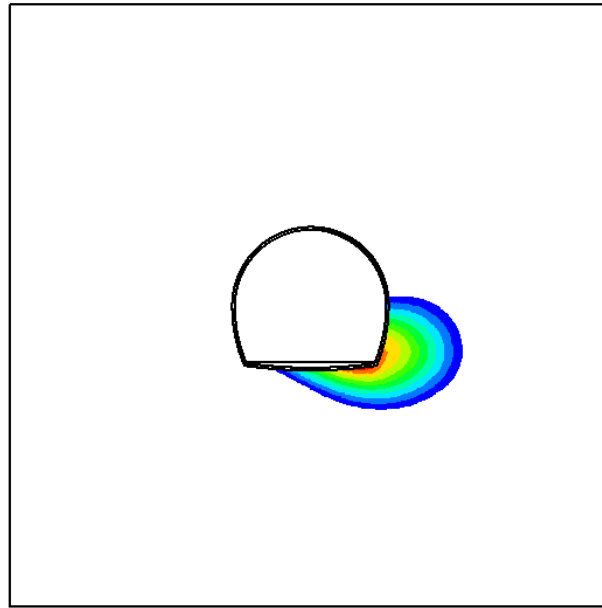


等高線図 NODE MIN 3.00e-002(185562) MAX 6.65e+001(161043)  
イオン濃度 (K<sup>+</sup>)

図 3.2-131 K<sup>+</sup>分布 (ケース 2 : 50 年後)



出力時刻 [year] TIME=100.0



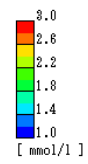
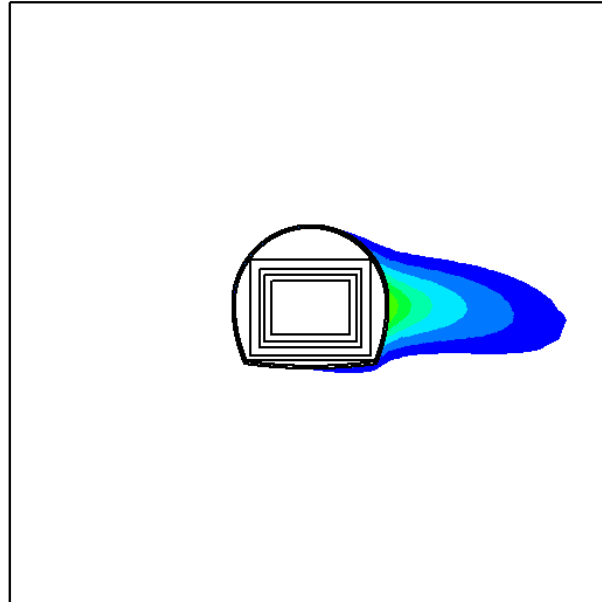
等高線図 NODE MIN 3.00e-002(185566) MAX 5.69e+001(268514)  
イオン濃度 (K<sup>+</sup>)

8.39

図 3.2-132 K<sup>+</sup>分布 (ケース 2 : 100 年後)



出力時刻 [year] TIME=300.0



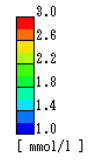
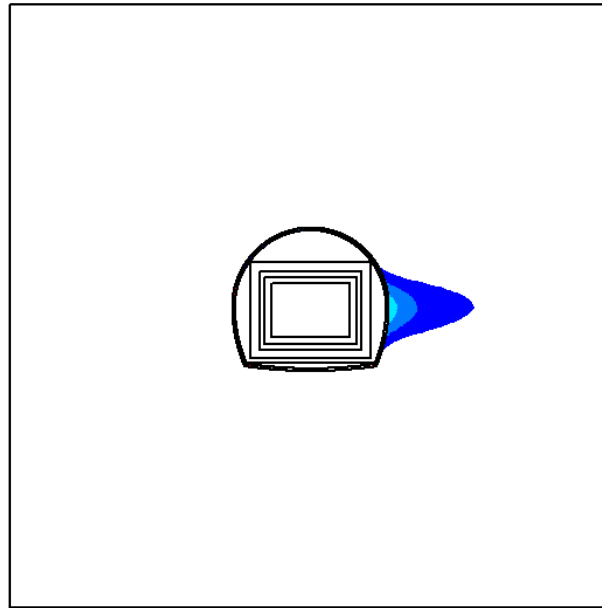
等高線図 NODE MIN 3.00e-002(185568) MAX 5.04e+001(289316)  
イオン濃度 (K<sup>+</sup>)

8.40

図 3.2-133 K<sup>+</sup>分布 (ケース 2 : 300 年後)



出力時刻 [year] TIME=500.0



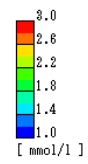
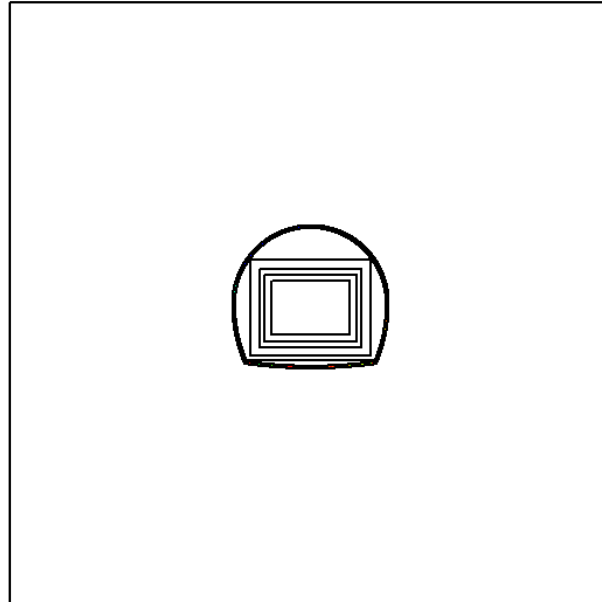
等高線図 NODE MIN 3.00e-002(185568) MAX 4.96e+001(140388)  
イオン濃度 (K<sup>+</sup>)

8.40

図 3.2-134 K<sup>+</sup>分布 (ケース 2 : 500 年後)



出力時刻 [year] TIME=1000.0



等高線図 NODE MIN 3.00e-002(185568) MAX 4.92e+001(19239)  
イオン濃度 (K<sup>+</sup>)

8.40

図 3.2-135 K<sup>+</sup>分布 (ケース 2 : 1,000 年後)

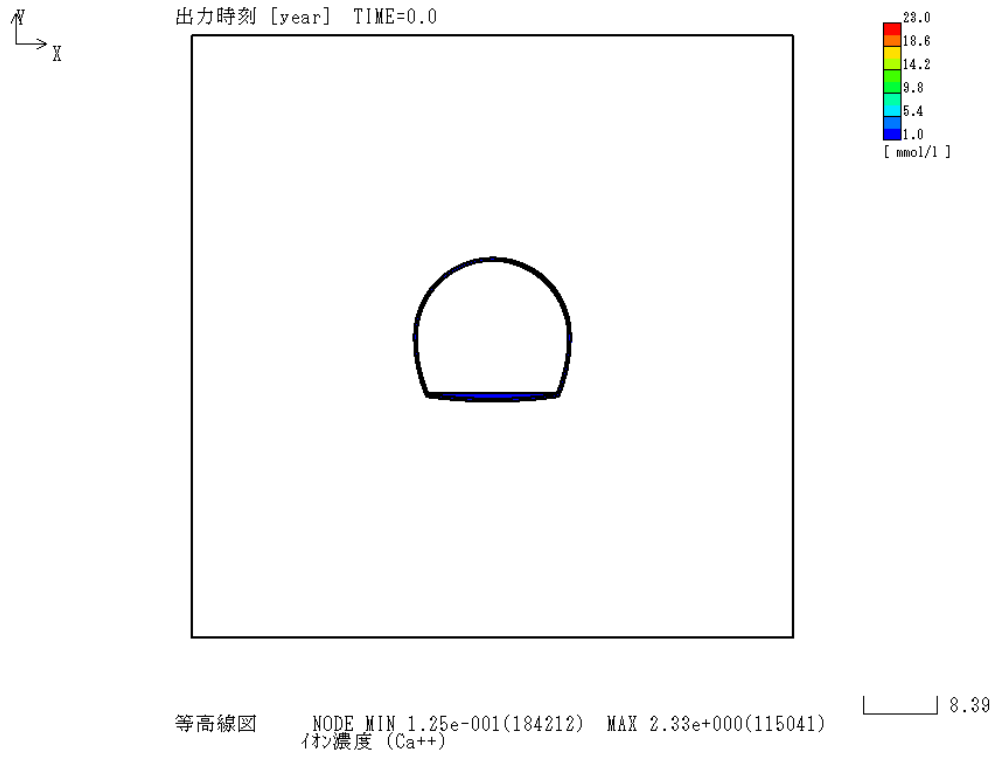


図 3.2-136 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 0 年後)

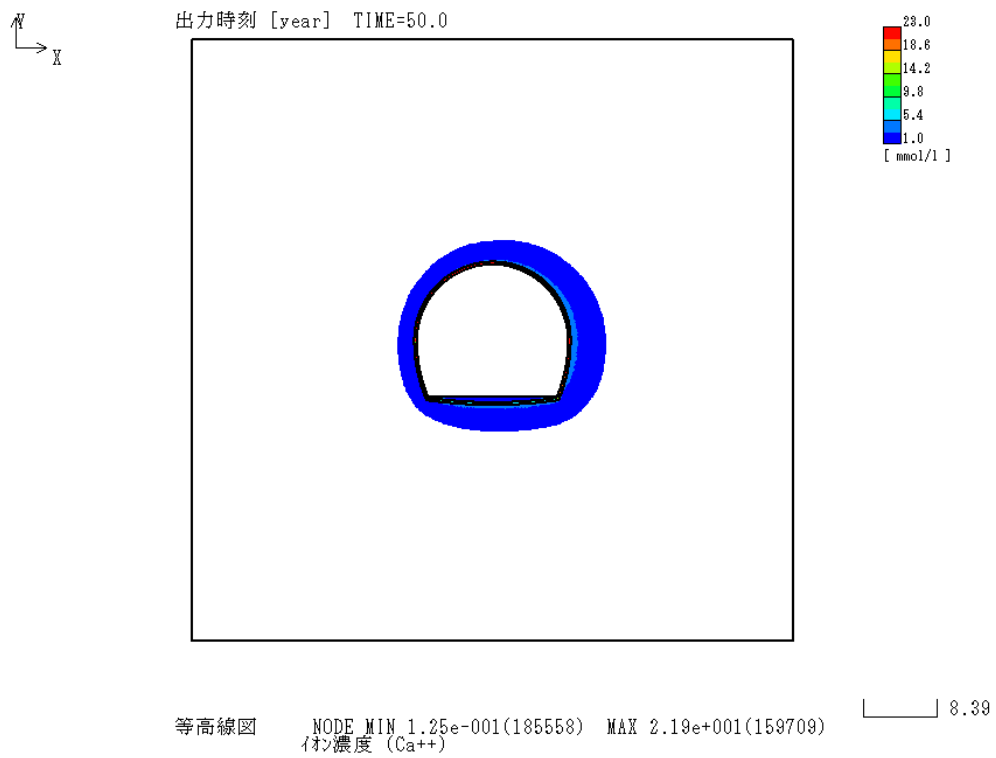
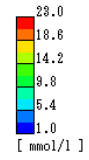
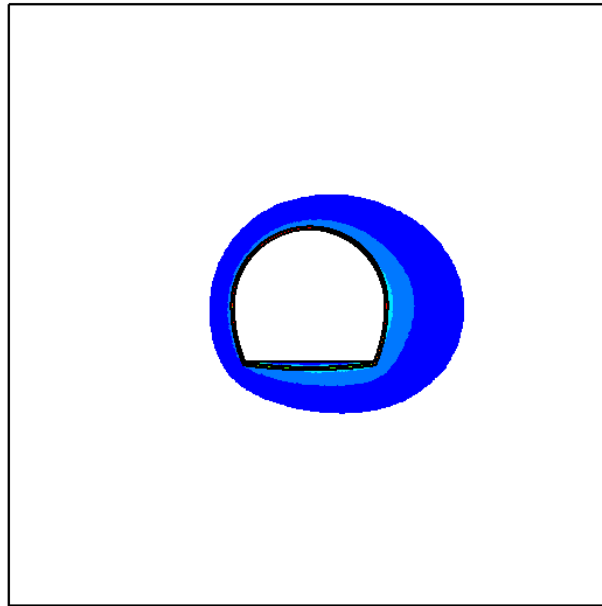


図 3.2-137 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 50 年後)



出力時刻 [year] TIME=100.0



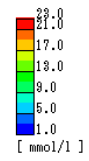
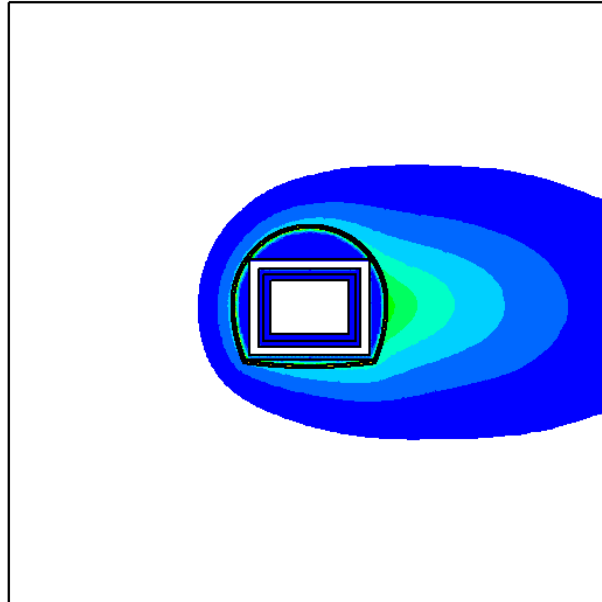
等高線図 NODE MIN 1.25e-001(185563) MAX 2.21e+001(158800)  
イオン濃度 (Ca++)

8.39

図 3.2-138 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 100 年後)



出力時刻 [year] TIME=300.0



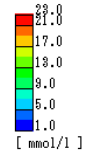
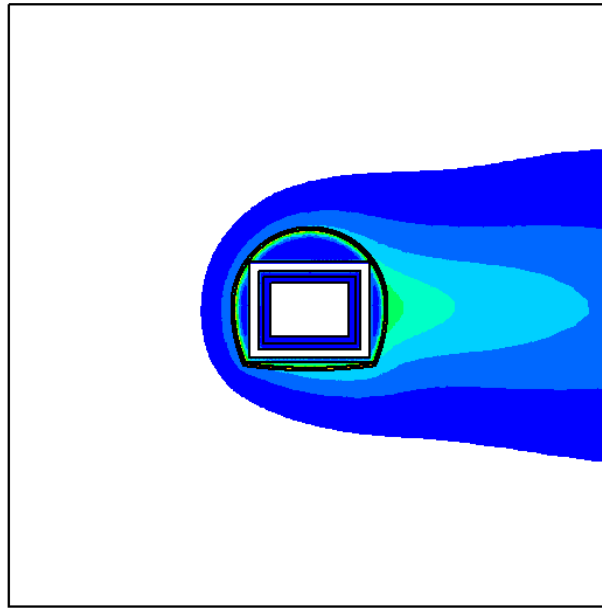
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(38506) MAX 2.16e+001(169569)  
イオン濃度 (Ca++)

8.40

図 3.2-139 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 300 年後)



出力時刻 [year] TIME=500.0



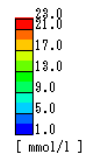
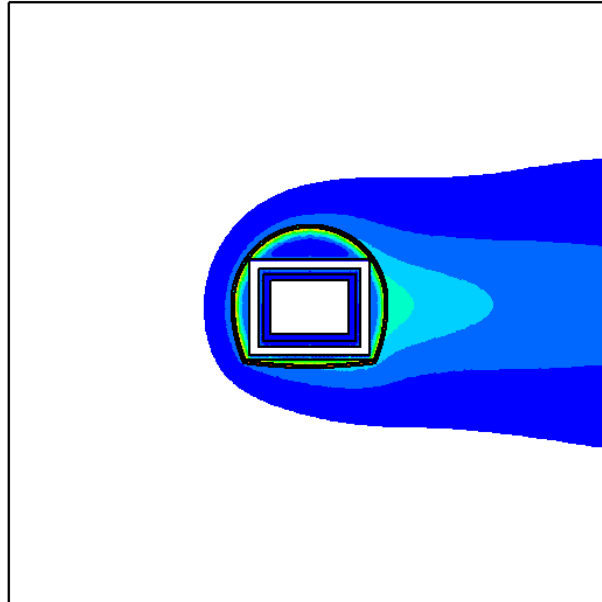
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(38508) MAX 2.16e+001(169602)  
イオン濃度 (Ca<sup>++</sup>)

8.40

図 3.2-140 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 500 年後)



出力時刻 [year] TIME=1000.0



等高線図 NODE MIN 0.00e+000(38508) MAX 2.16e+001(169654)  
イオン濃度 (Ca<sup>++</sup>)

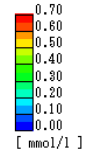
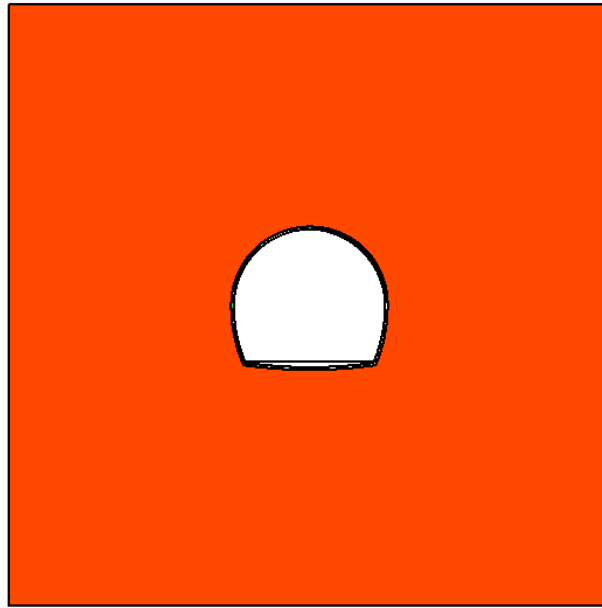
8.40

図 3.2-141 Ca<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 1,000 年後)





出力時刻 [year] TIME=0.00



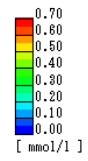
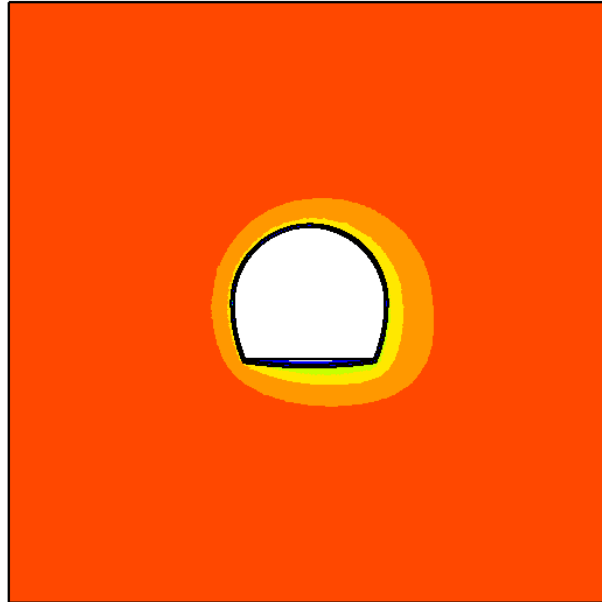
等高線図 NODE MIN 0.00e+000(113097) MAX 6.20e-001(184212)  
イオン濃度 (CO3--)

8.39

図 3.2-142 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 2 : 0 年後)



出力時刻 [year] TIME=50.00



等高線図 NODE MIN 4.09e-008(115048) MAX 6.20e-001(184212)  
イオン濃度 (CO3--)

8.39

図 3.2-143 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 2 : 50 年後)

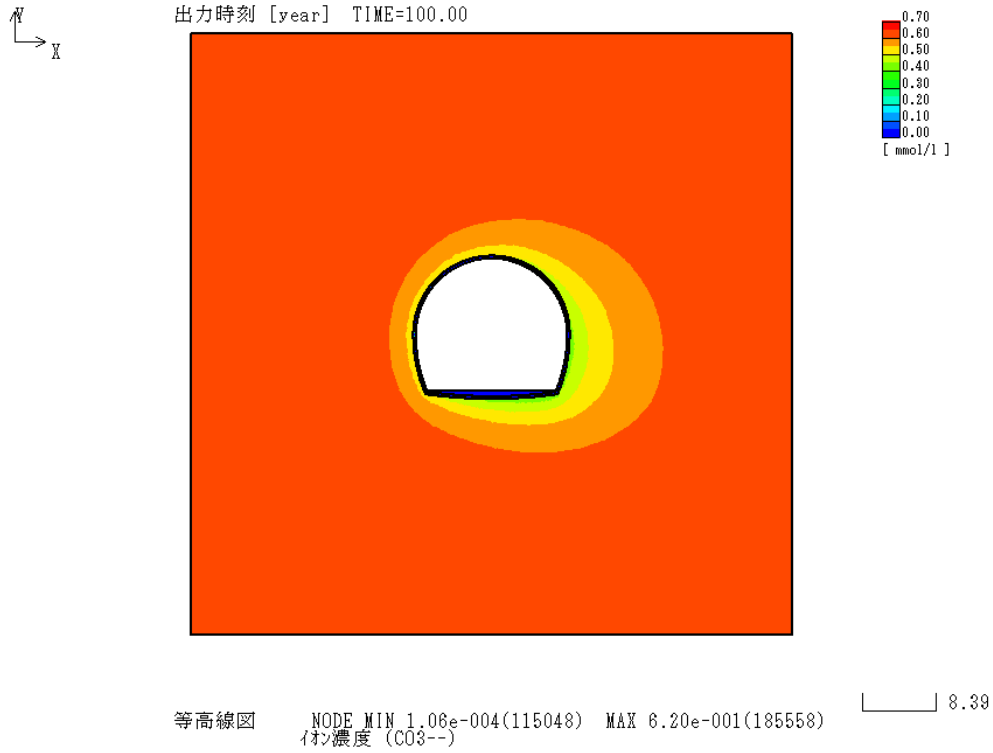


図 3.2-144 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 2 : 100 年後)

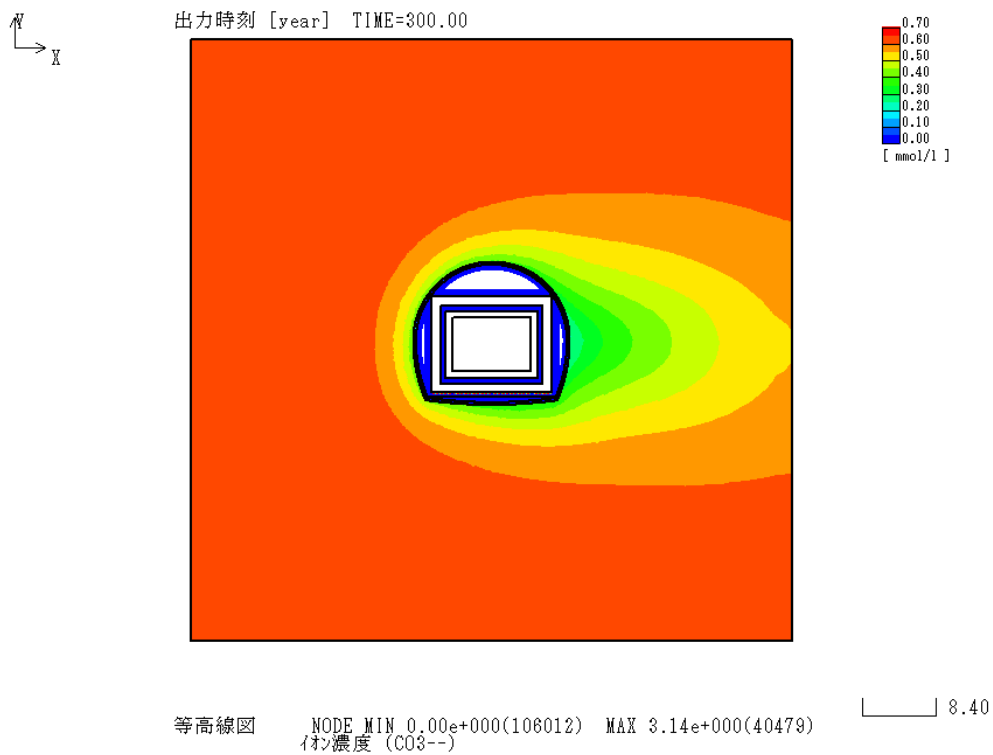


図 3.2-145 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 2 : 300 年後)

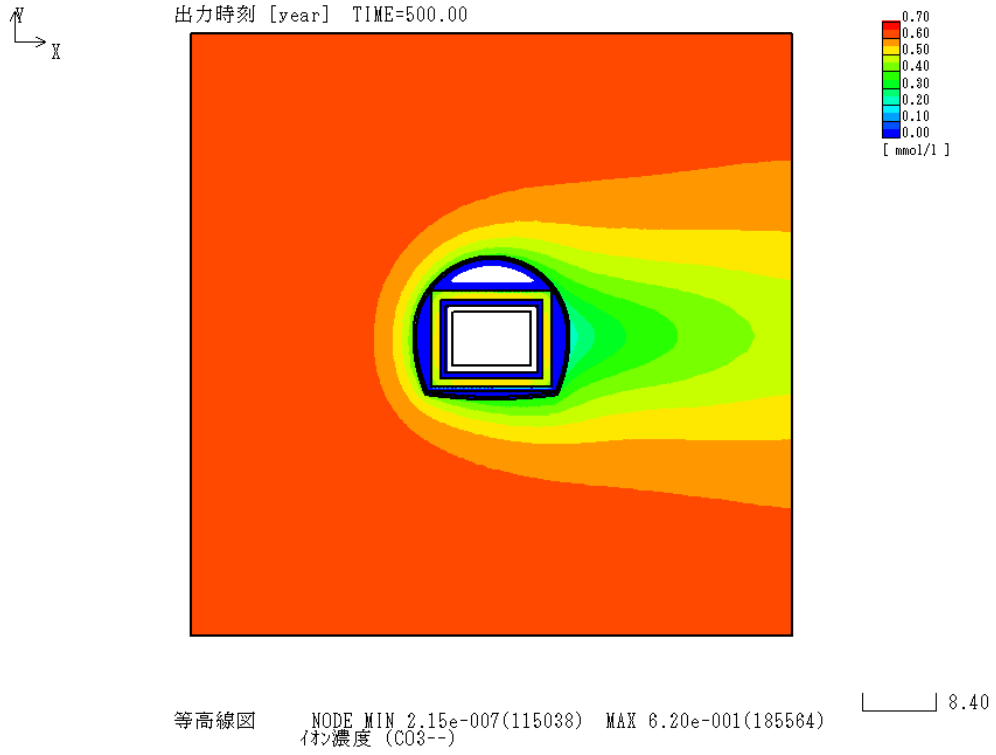


図 3.2-146 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 2 : 500 年後)

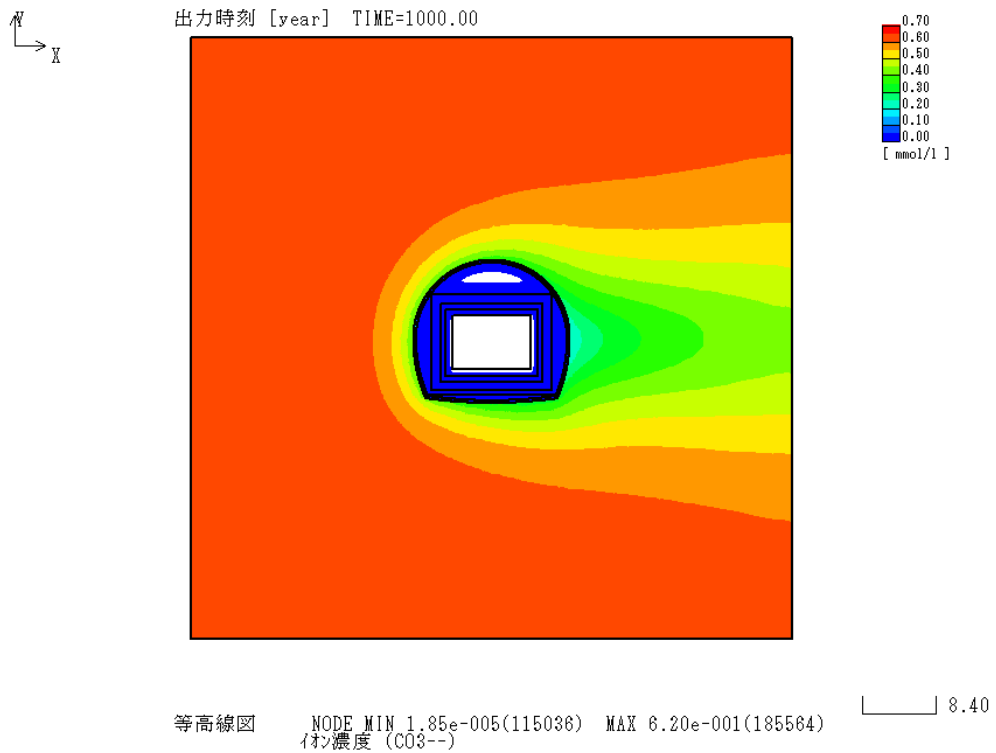


図 3.2-147 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 2 : 1,000 年後)

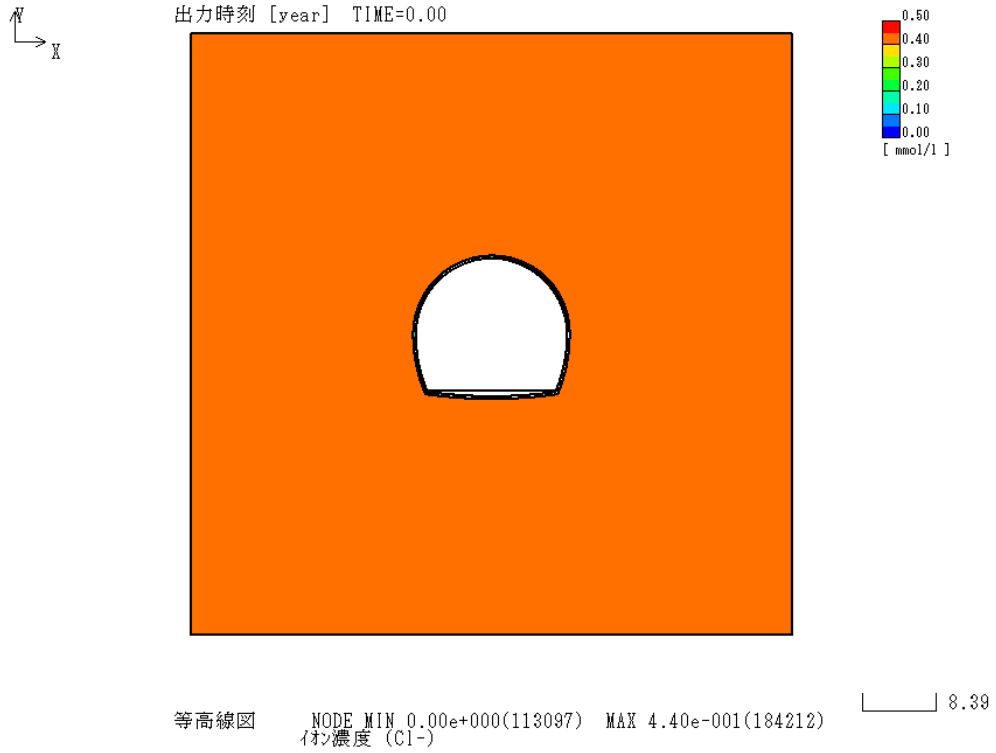


図 3.2-148 Cl分布 (ケース 2 : 0 年後)

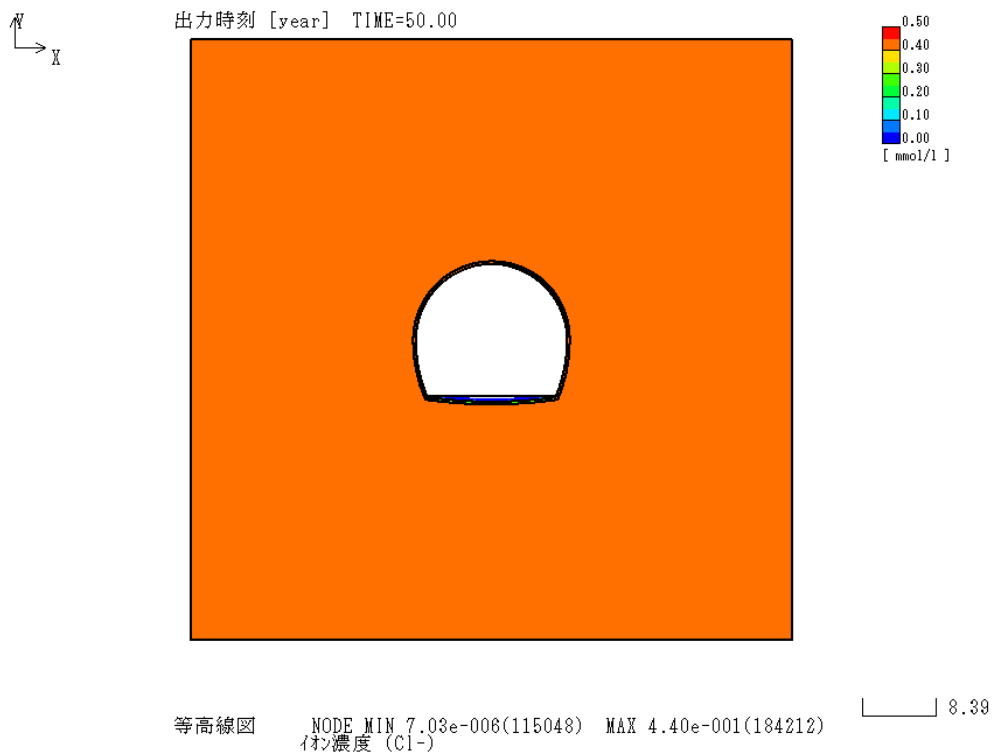


図 3.2-149 Cl分布 (ケース 2 : 50 年後)

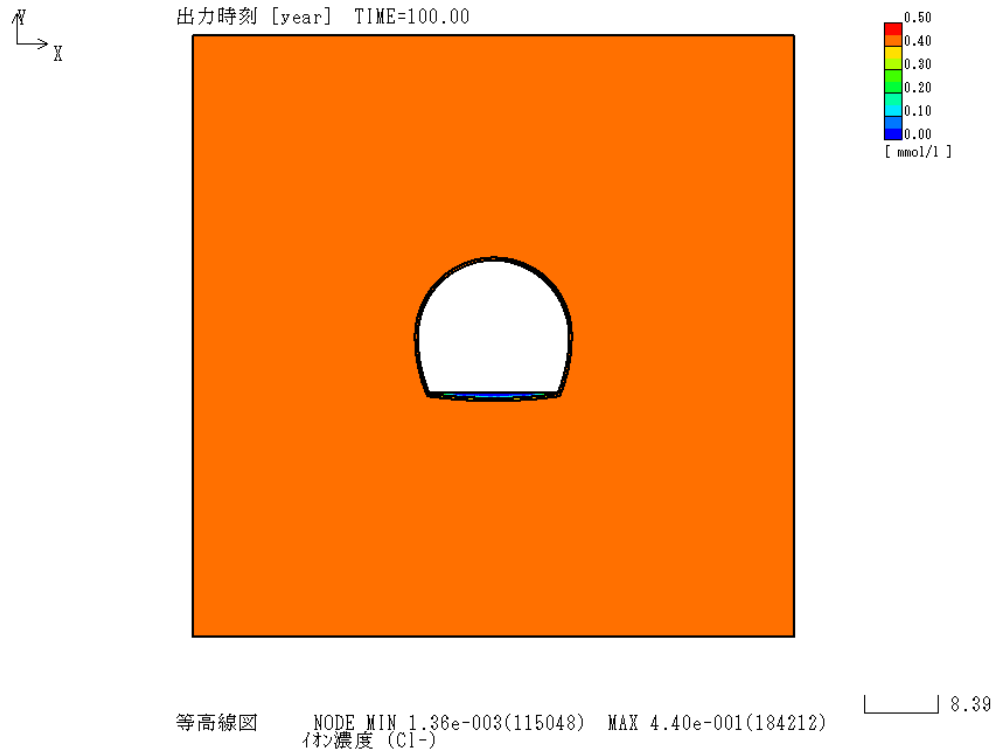


図 3.2-150 Cl<sup>-</sup>分布 (ケース 2 : 100 年後)

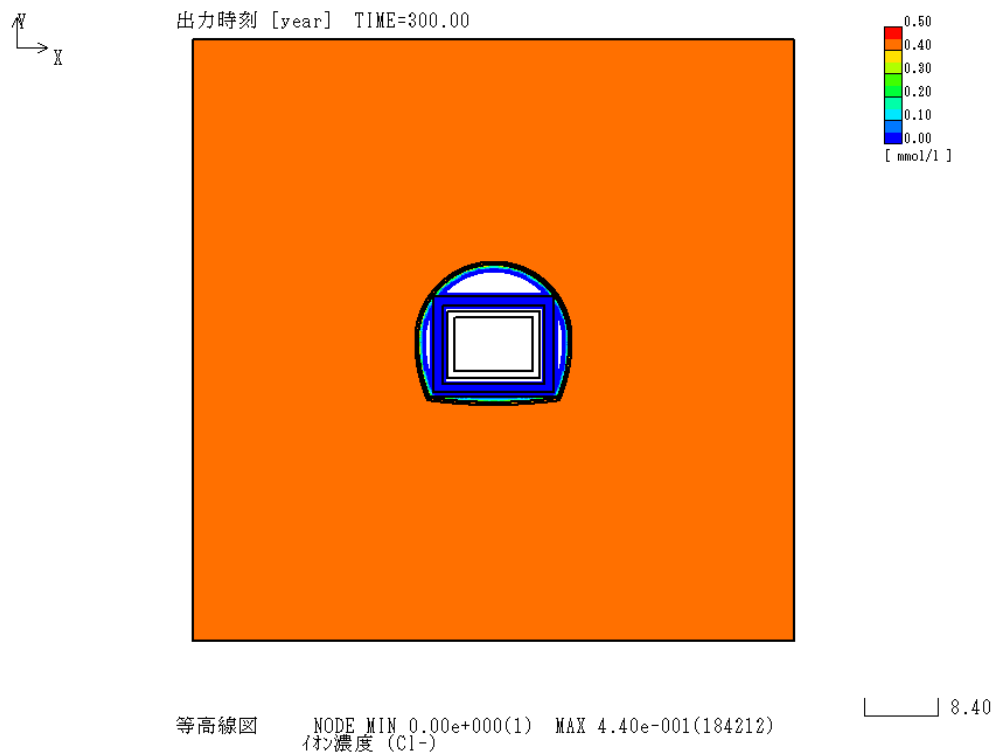


図 3.2-151 Cl<sup>-</sup>分布 (ケース 2 : 300 年後)

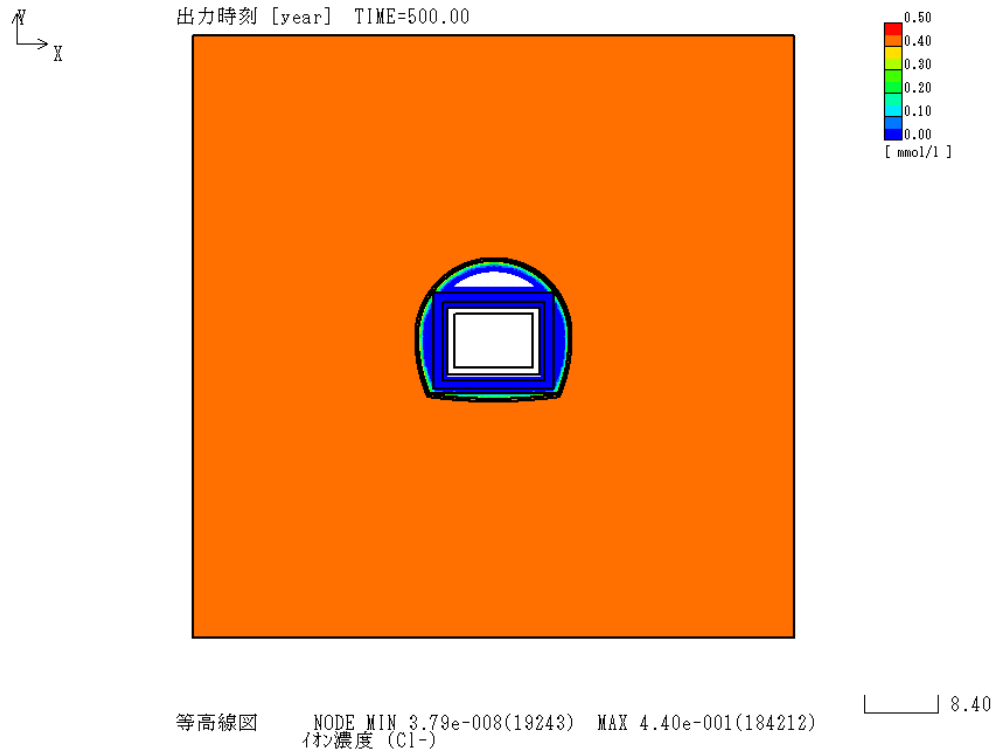


図 3.2-152 Cl-分布 (ケース 2 : 500 年後)

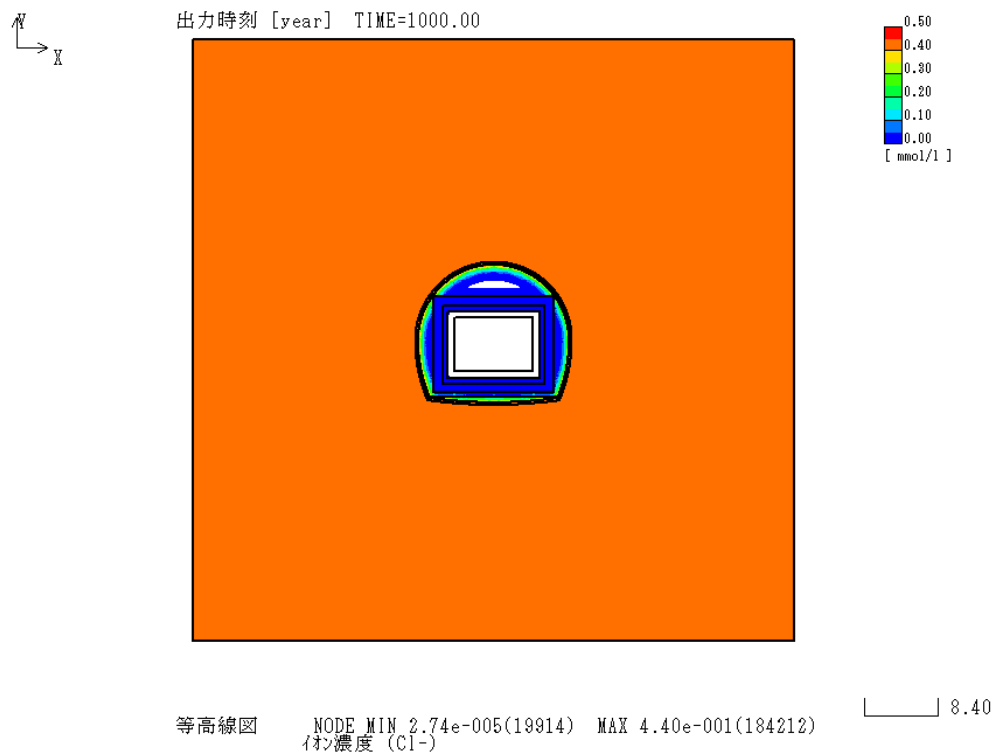


図 3.2-153 Cl-分布 (ケース 2 : 1,000 年後)

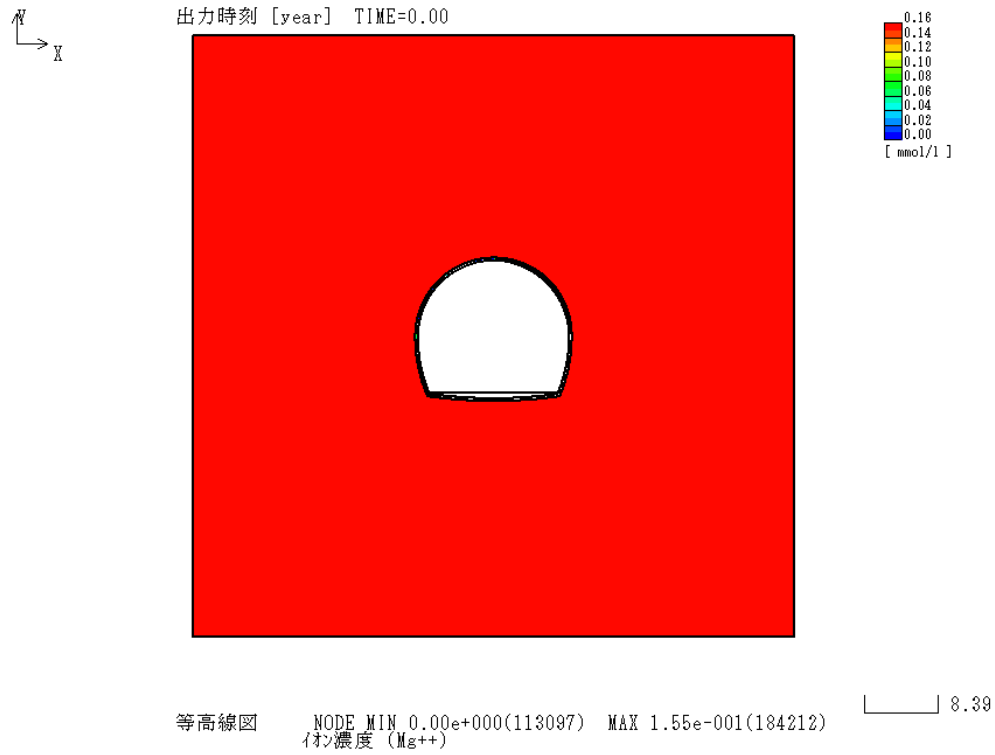


図 3.2-154 Mg<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 0 年後)

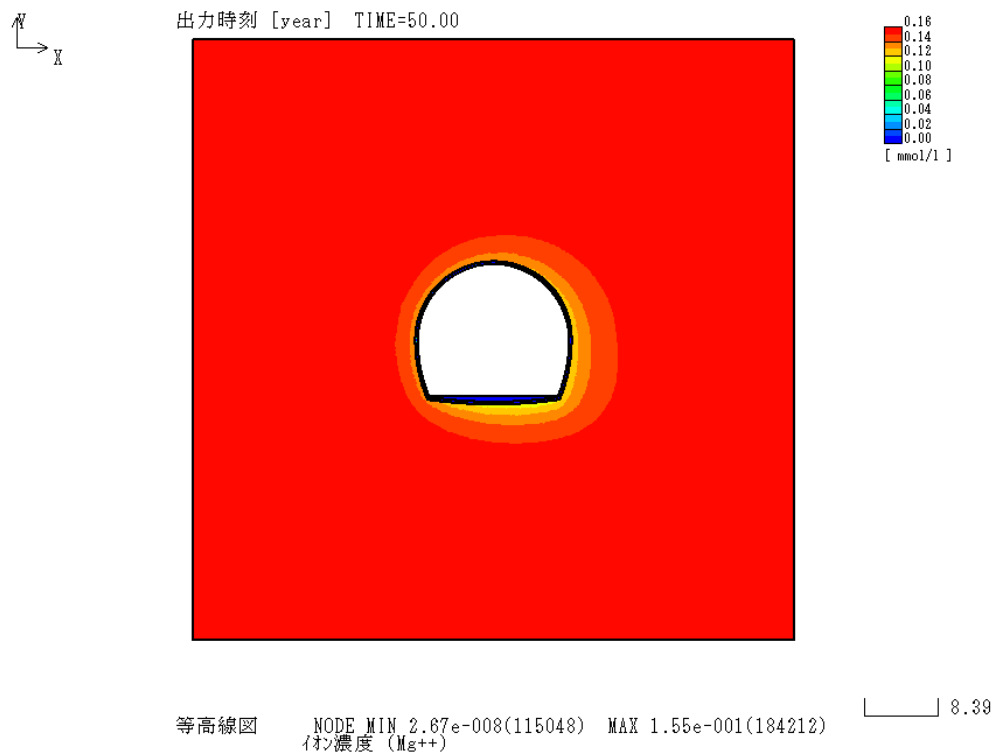


図 3.2-155 Mg<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 50 年後)

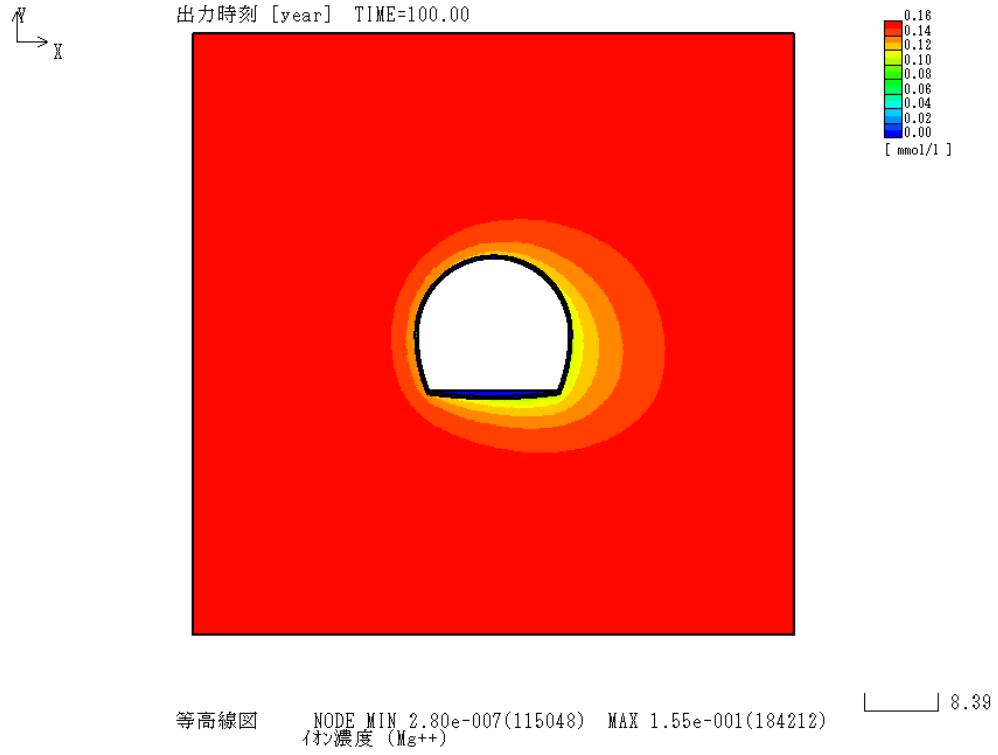


図 3.2-156 Mg<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 100 年後)

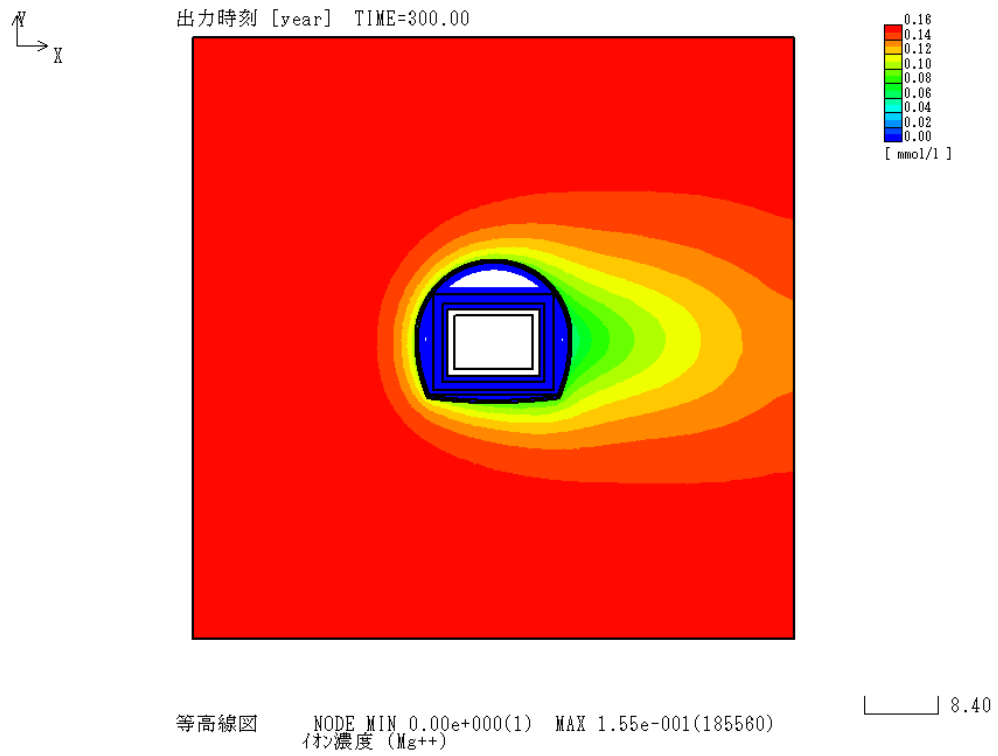


図 3.2-157 Mg<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 300 年後)



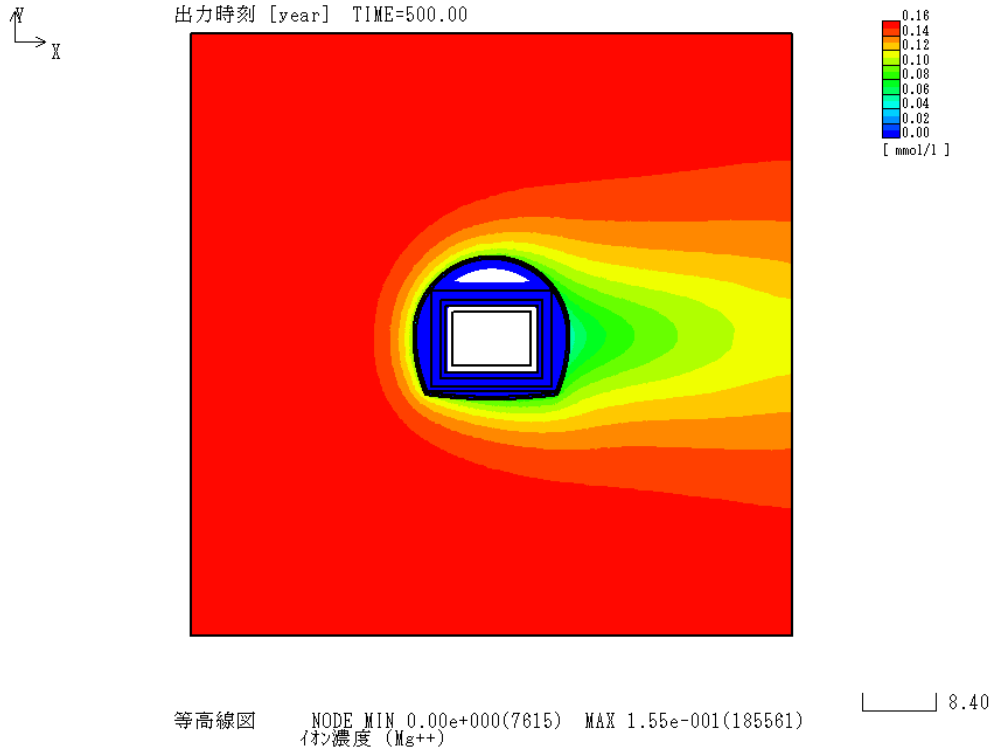


図 3.2-158 Mg<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 500 年後)

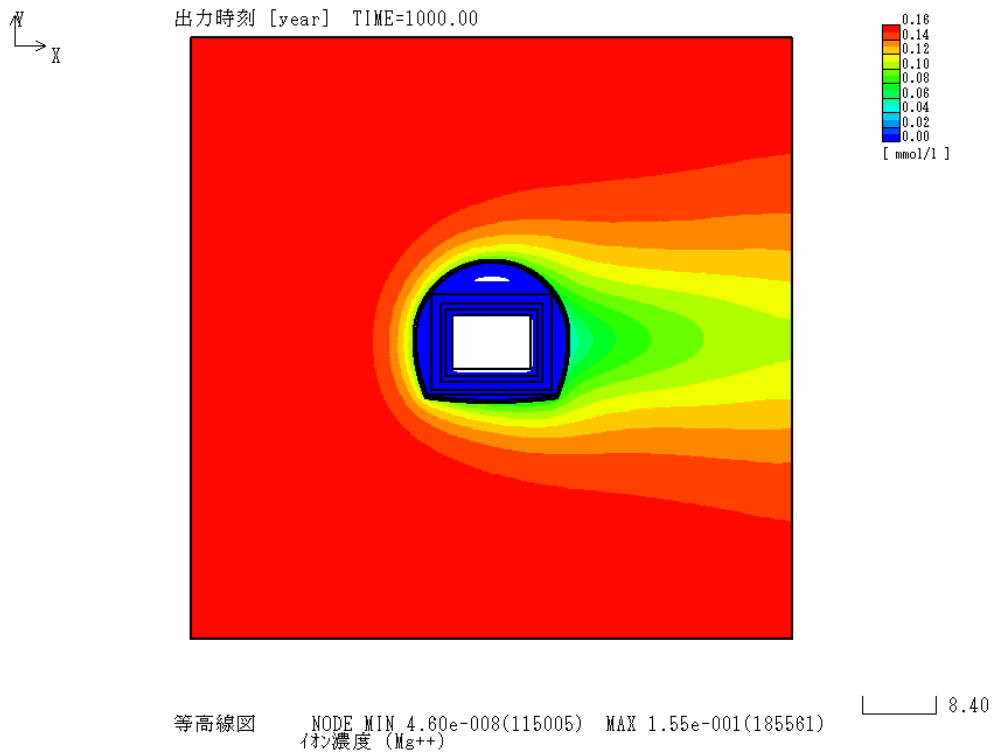


図 3.2-159 Mg<sup>2+</sup>分布 (ケース 2 : 1,000 年後)

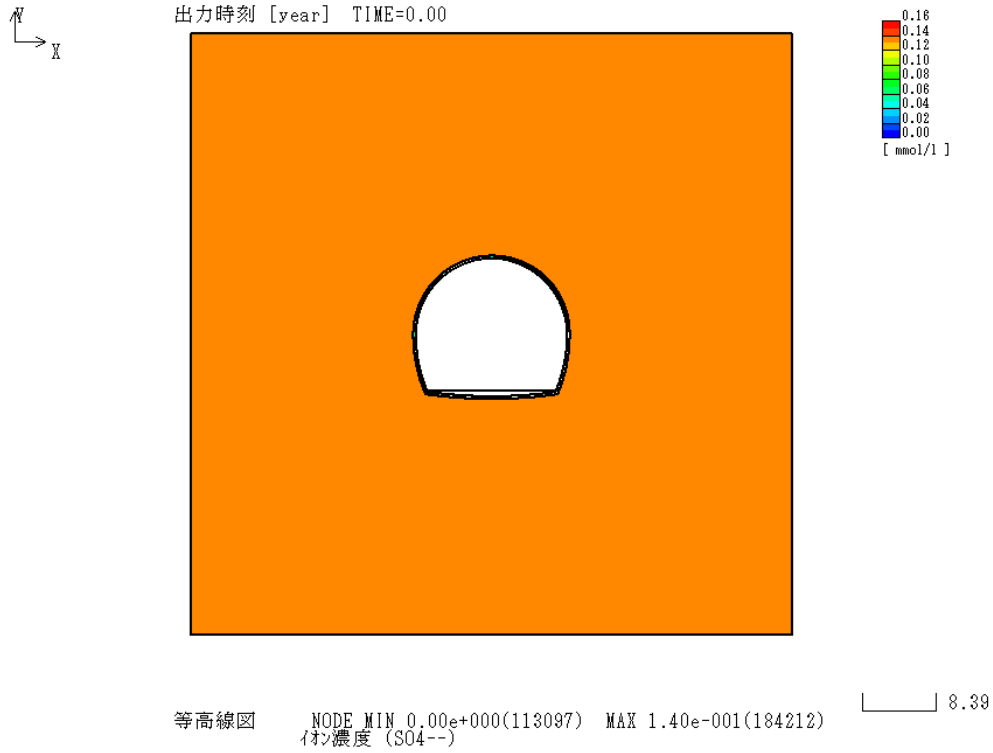


図 3.2-160 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 2 : 0 年後)

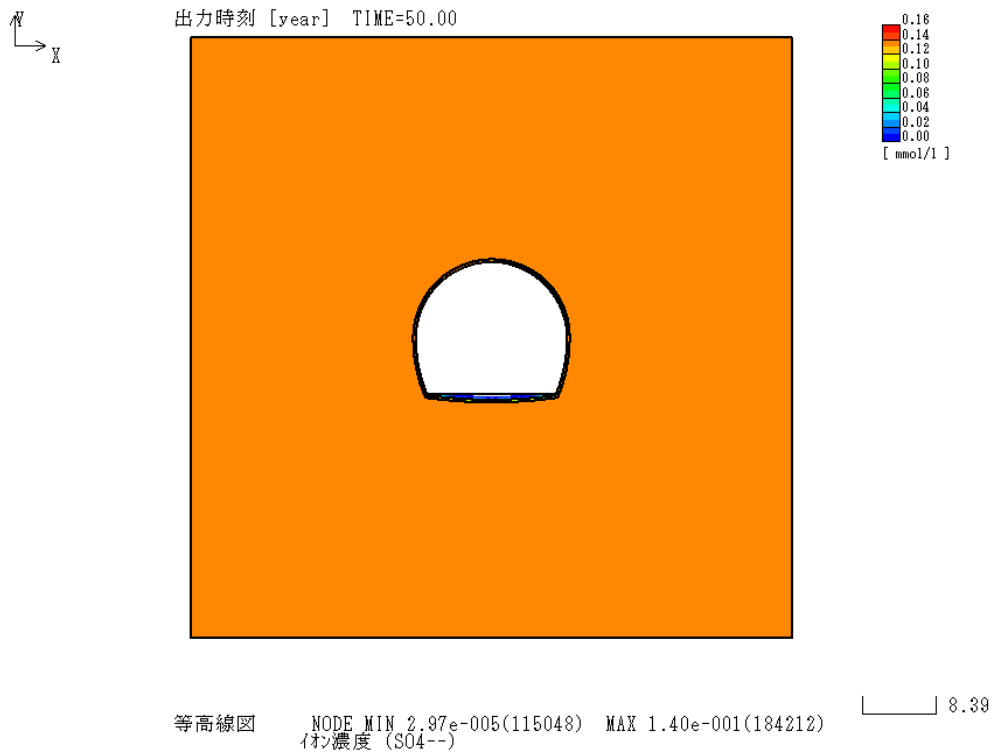


図 3.2-161 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 2 : 50 年後)

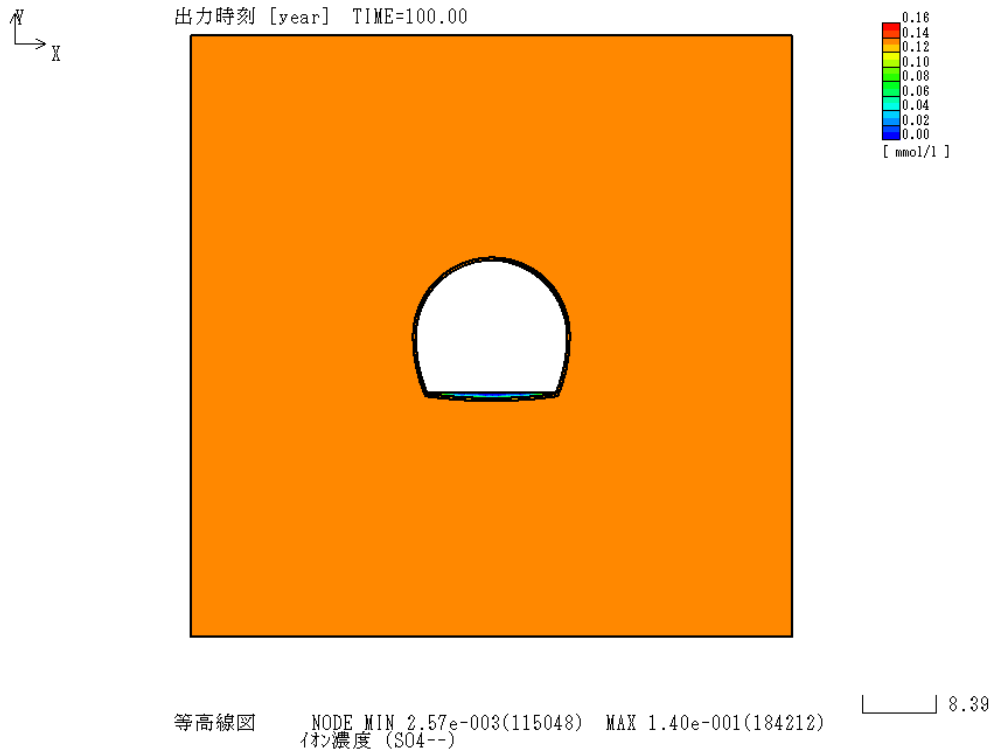


図 3.2-162 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 2 : 100 年後)

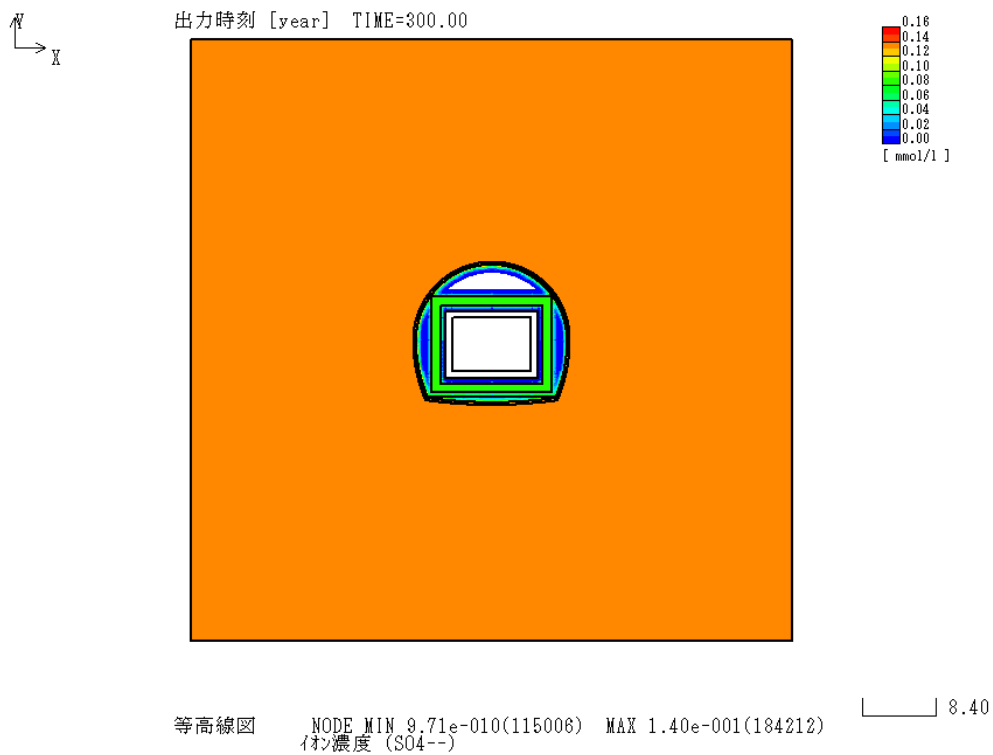


図 3.2-163 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>分布 (ケース 2 : 300 年後)

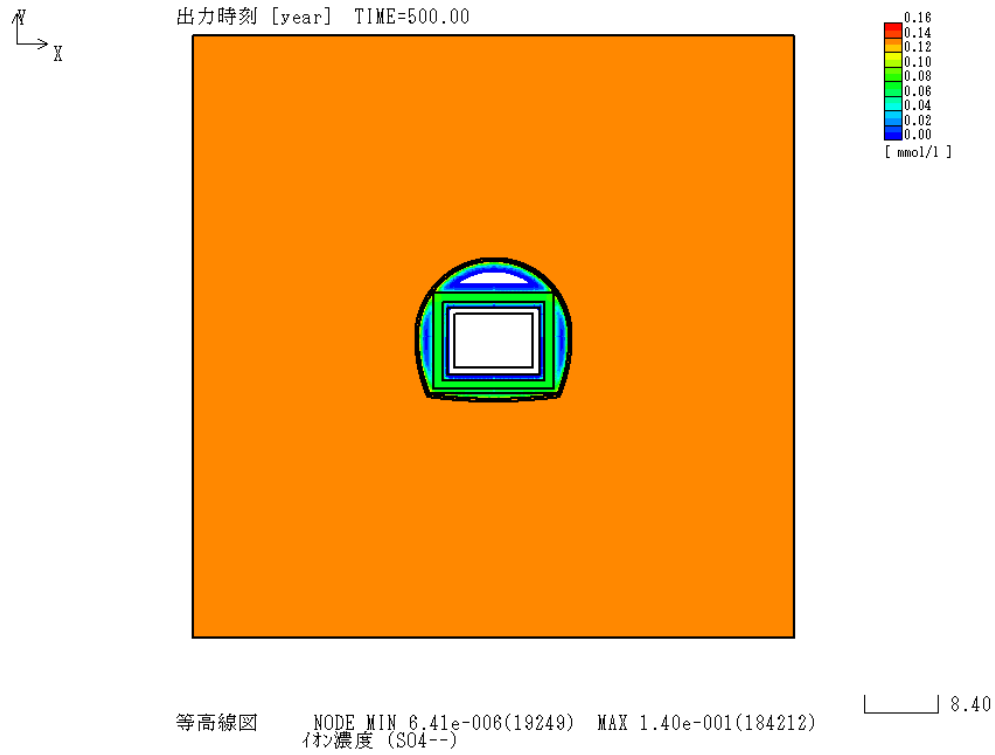


図 3.2-164  $\text{SO}_4^{2-}$ 分布 (ケース 2 : 500 年後)

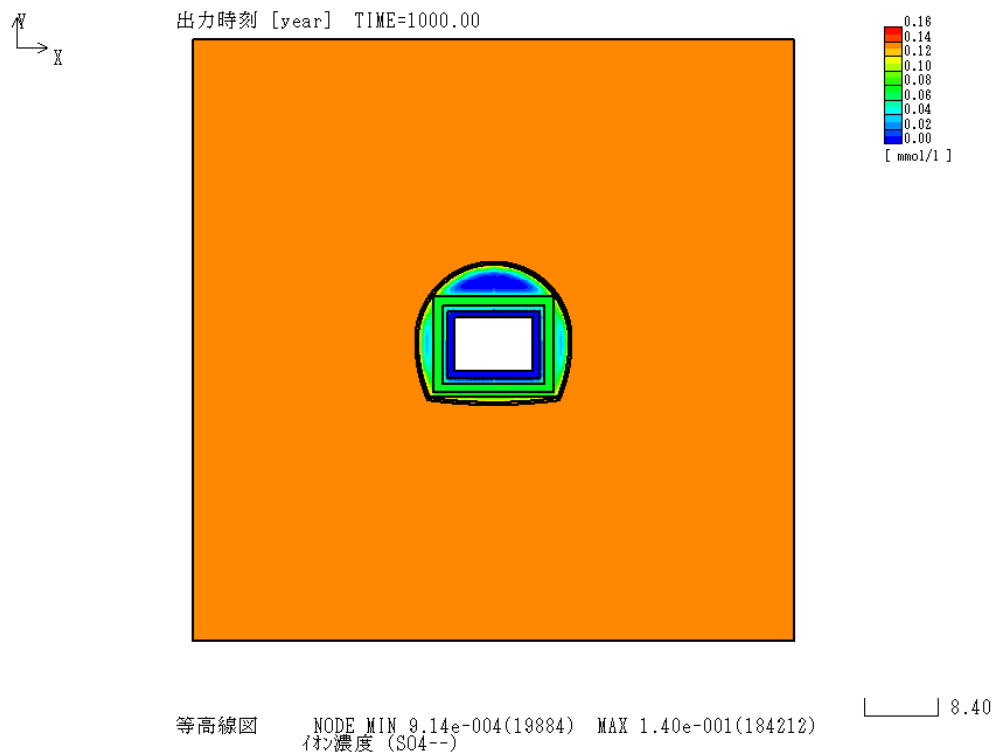


図 3.2-165  $\text{SO}_4^{2-}$ 分布 (ケース 2 : 1,000 年後)

(c) 解析結果のモニタリング計画への反映

本解析結果をもとに、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 3.2-166 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 および  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の経時変化を図 3.2-167 に示す。前掲した解析結果に示したとおり、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。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ことから、今後さらなる検討を加え、モニタリングすべきイオン種と濃度、モニタリング時期や頻度、さらにモニタリング位置に関する情報の整理が必要になると考える。

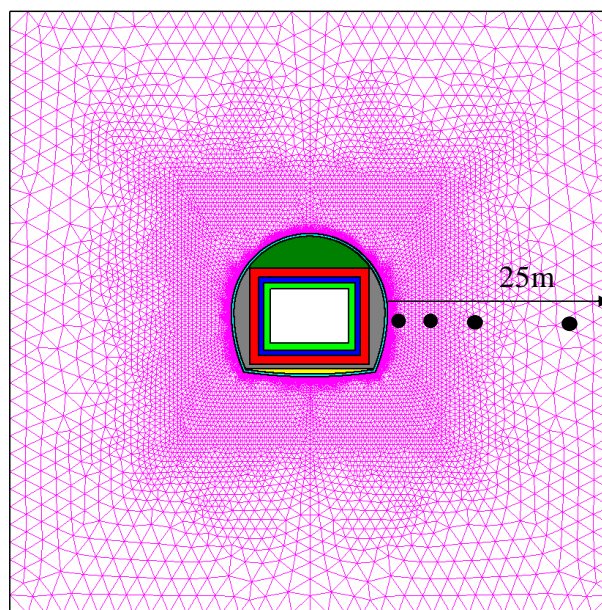


図 3.2-166 地下水組成の出力位置

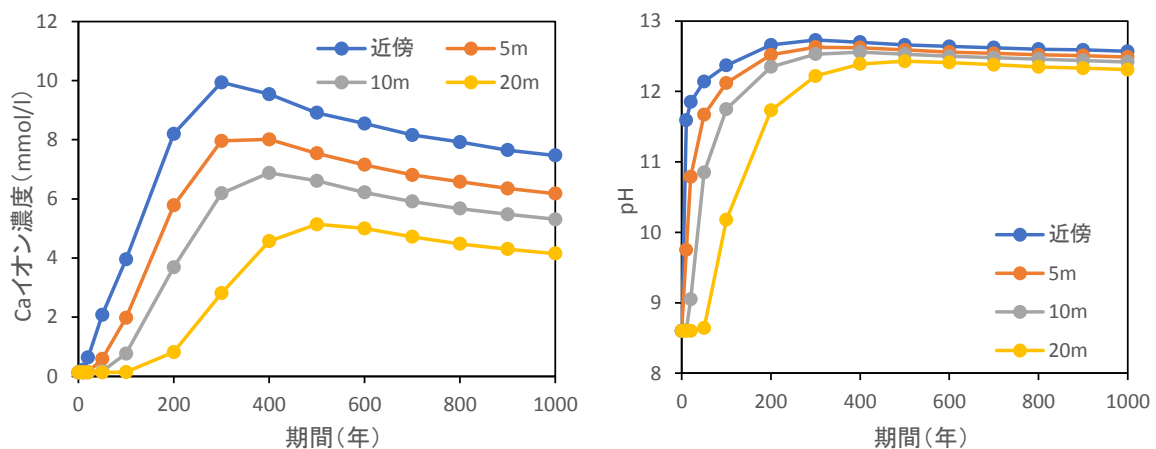


図 3.2-167 地下水組成の出力位置が pH、Ca イオン濃度の経時変化に及ぼす影響

### 3.3 既存計測技術を利用した実処分施設で実施可能なモニタリング計画の具体化

処分場開発の各段階（建設段階、廃棄物の埋設段階、閉鎖措置段階、保全段階）における処分施設の機能確認方法の確立に資するため、各段階で取得可能な情報とその取得方法、それらを踏まえた処分施設状態を推定するための方法論を検討した。

#### 3.3.1 実処分施設での実施可能なモニタリング項目

平成 27 年度の検討において、

- ・ 人工バリアの安全機能に対して安全評価による感度の高いパラメータ（表 3.3-1、表 3.3-2）
- ・ 埋設段階および保全段階で変化する可能性のある影響要因（表 3.3-3、表 3.3-4）

を踏まえ、表 3.3-5 に示すような実処分施設の各段階で実施可能なモニタリング項目について抽出した。以降では、以下の抽出した項目に関するモニタリング計画の具体化を検討した。

##### 【各種計測】

- ・ 処分施設の変形
- ・ 低拡散層のひび割れ観測
- ・ 地震動計測

##### 【水質分析】

- ・ 裏面排水分析（処分施設）
- ・ 近傍ボーリング孔による地下水分析

表 3.3-1 セメント系材料の安全機能と状態変化、影響要因、関連パラメータ

基本安全機能	状態変化		影響要因	関連パラメータ	安全評価による感度の高いパラメータ	変動シナリオで考慮されているパラメータ	
核種収着性	収着性		地下水, 溶脱, 塩影響	分配係数	○		
	空隙増大	化学的状态変化	地下水, 溶脱, 塩影響	空隙率			
	CSH等の溶解		地下水, 溶脱, 塩影響	組成(成分)分析			
低拡散性透水性	低拡散性, 透水性		地下水, 溶脱, 塩影響	実効拡散係数	○	○	
	ひび割れ	力学的状態変化 セメント系変形	銅材腐食	地下水, 溶脱, 塩影響	透水性	○	○
			剛性・強度低下	腐食速度	○		
				腐食膨張倍率	○		
			鋼材弾性係数	○			
			弾性係数	○			
	強度試験	○					
ベントナイト変形	地下水, 溶脱, 塩影響	膨潤圧	○				
空隙増大	化学的状态変化	地下水, 溶脱, 塩影響	空隙率				
CSH等の溶解		地下水, 溶脱, 塩影響	組成(成分)分析				

表 3.3-2 ベントナイト系材料の安全機能と状態変化、影響要因、関連パラメータ

基本安全性能	状態変化		影響要因	関連パラメータ	安全評価による感度の高いパラメータ	変動シナリオで考慮されているパラメータ
低透水性	低透水性		地下水、溶脱、塩影響	透水係数	○	○
	層厚、密度変化	物理的状态変化 化学的状态変化	ベントナイト変形	地下水、溶脱、塩影響	膨潤圧	
	特性変化	化学的状态変化	Ca型化等	地下水、溶脱、塩影響	—	
	密度変化		モンモリロナイト 随伴鉱物の溶解 高イオン凝集	地下水、溶脱、塩影響	密度 間隙率 組成(成分)分析	

表 3.3-3 モニタリング期間中に推定される変化の可能性（低拡散層）

基本安全機能	状態変化	影響要因	機能確認ポイント	実処分施設における変化の可能性	
				埋設段階	保全段階
低拡散性 低透水性	ひび割れ	大気影響	開口面積	高い	高い
		地下水、溶脱、塩影響	弾性係数	低い	高い
		地下水、溶脱、塩影響	強度	低い	高い
		地下水、溶脱、塩影響	膨張圧	低い	低い

表 3.3-4 モニタリング期間中に推定される変化の可能性（低透水層）

基本安全機能	状態変化	影響要因	機能確認ポイント	実処分施設における変化の可能性	
				埋設段階	埋設段階
低透水性	低透水性	地下水、溶脱、塩影響	透水係数	低い	低い

表 3.3-5 実処分施設で実施可能なモニタリング対象

段階	建設段階			廃棄物の埋設段階			閉鎖措置段階	保全段階
主な作業	底部及び側部の埋戻し材の施工	底部の低透水層、低拡散層、ピットの施工	側部のピット、低拡散層の施工	廃棄体定置、区内充てん	上部ピット、低拡散層の施工	上部・側部低透水層、空洞充てん材の施工	アクセス坑道等の埋戻し	保安活動等
概念図 (施設の状態)								
実処分施設で実施可能なモニタリング内容 (平成27年度の成果)	● 各種計測(処分施設の変形)			▼対象部材の埋戻しまで計測可能				
	● 各種計測(低拡散層のひび割れ観測)			▼同上				
	● 各種計測(地震動計測)						地表面の地震計測は、保全段階以降も計測可能	
	● 裏面排水分析(処分施設)						▼排水停止まで計測可能	
	● 近傍ボーリング孔による地下水分析							保全段階以降も計測可能

### 3.3.2 モニタリング計画の具体化

前項で抽出した実処分施設で実施可能なモニタリング項目について、モニタリング計画を具体化する。なお、計画の具体化にあたっては、平成19年度～28年度に実施した地下空洞型処分施設性能確認試験、閉鎖技術確認試験、機能確認試験における成果や、現状における開発技術を参考にした。

#### (1) モニタリング評価方法

実処分施設におけるモニタリング評価判断のイメージを図3.3-1に示す。

モニタリングの目的は、「核種が漏洩していない」ことおよび「安全機能上重要なパラメータに対し計測値が想定範囲内である」ことを確認することである。よって、計測値が想定範囲内であるかどうかを判断し、想定範囲外であった場合は、その原因の調査・分析を行い、安全性を評価することとなる。安全性評価においては、モニタリングで取得したデータを反映した解析モデルにより、現状および長期の施設状態を評価する方法が考えられる。

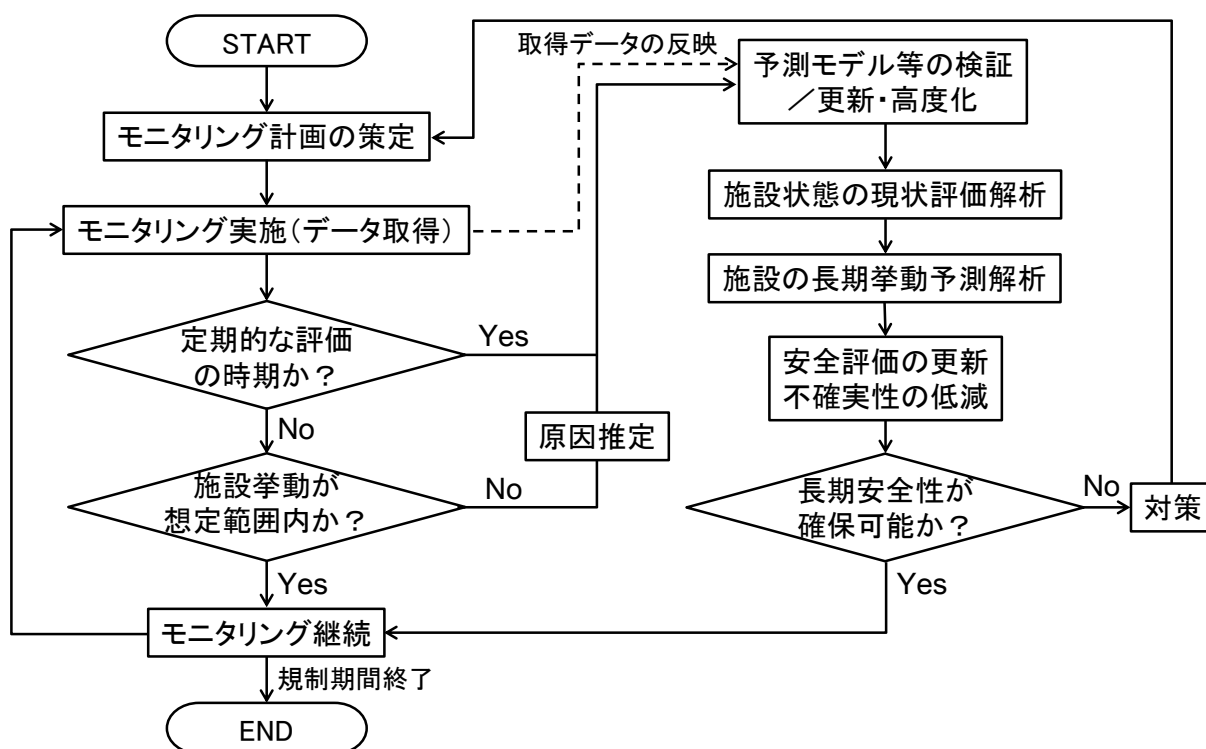


図 3.3-1 実処分施設におけるモニタリング評価判断のイメージ



(2) モニタリング計画の具体化

1) 処分施設の変形

底部低透水層の変形係数は約  $80.0\text{N}/\text{mm}^2$  であり[3]、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およ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 3.3-2)。

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)、低拡散層およ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 3.3-3 に示す。

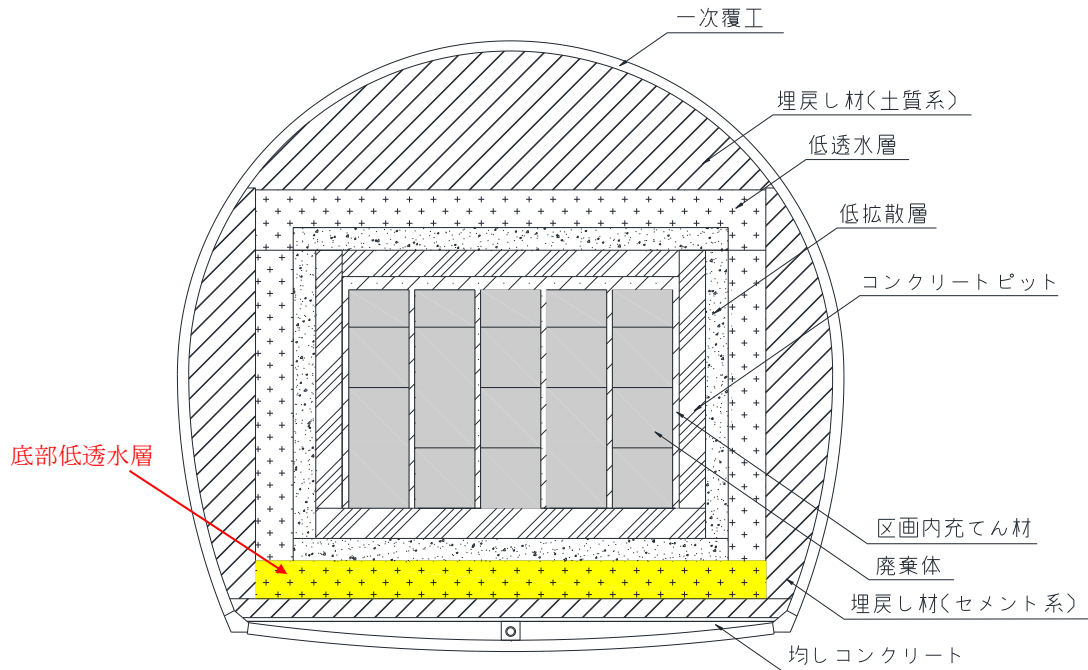


図 3.3-2 処分施設における底部低透水層の位置

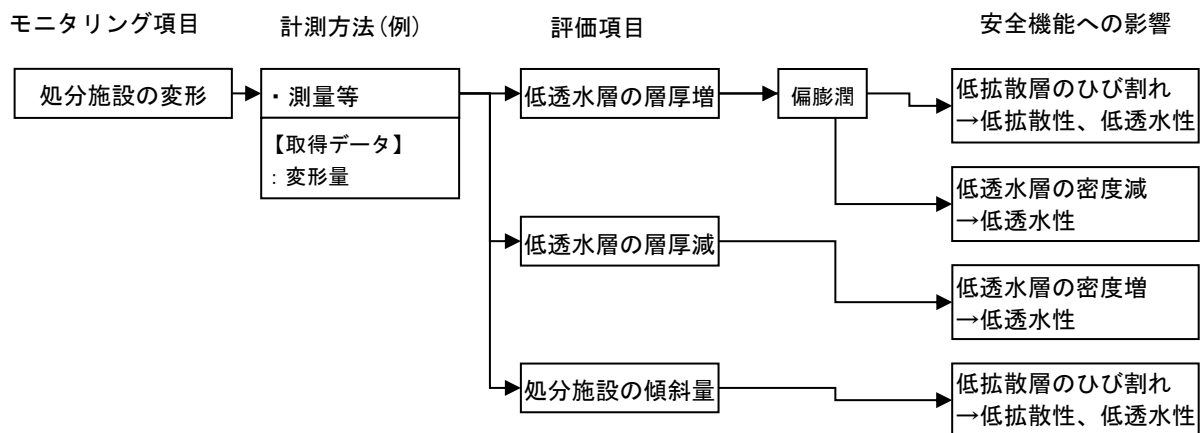


図 3.3-3 施設変形モニタリングによる安全機能への影響確認フロー

a. 計測期間および計測範囲

底部低透水層施工後の期間は、逐次部材が構築され、施設の形状が変わる期間であるため、計測範囲の固定ができず、変形量の計測が難しくなることが予想される。そこで、底部低透水層施工後における計測可能な期間および範囲について検討した。

底部低透水層施工後の施工イベントは、底部低拡散層およびコンクリートピット、側部コンクリートピットおよび低拡散層の施工が続き、その後、廃棄体定置および区画内充てん材の施工が行われる。このように、逐次部材が構築され施設の形状が変わると、計測範囲を固定できないため、変化量の計測が難しくなると考えられる。それを考慮して、計測範囲を固定できるような計測期間を2 ケース抽出した。ケース1は、表 3.3-6 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までの期間を対象として、計測範囲は底部コンクリートピットの上面とした。ケース2は、表 3.3-7 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の期間を対象として、計測範囲は側部コンクリートピットおよび低拡散層の上面とした。

表 3.3-6 処分施設の変形量計測の計測期間および計測範囲（ケース1）

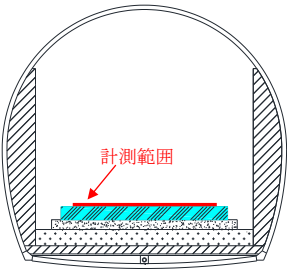
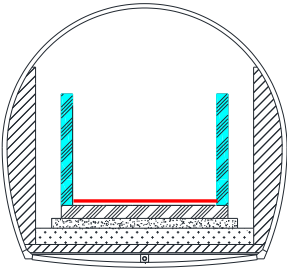
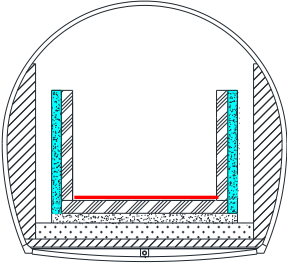
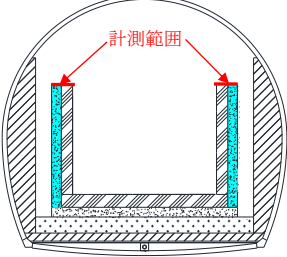
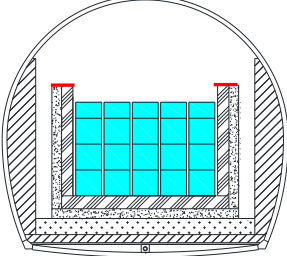
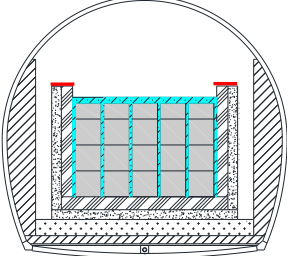
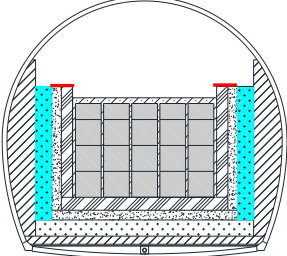
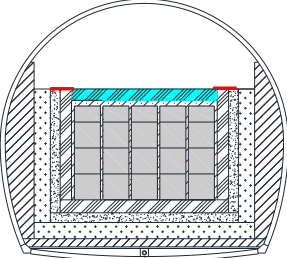
施工イベント (期間)	施工部材
①底部コンクリート ピット	
②側部コンクリート ピット	
③側部低拡散層	

表 3.3-7 処分施設の変形量計測の計測期間および計測範囲（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

計測頻度を検討するために、既往報告書[14]を参考にして、平成 19 年度～20 年度に構築された底部低透水層の沈下量計測結果に関する考察を以下に整理した。底部低透水層の代表位置の沈下量計測結果を図 3.3-4 に示す。

- 底部低透水層は、平成 20 年度～22 年度における底部低拡散層およびコンクリートピットの構築や模擬廃棄体定置等による上載荷重の増加に伴い、沈下が進行する。一方、上載荷重の増加が比較的小さくなる平成 23 年度以降は、1 年周期の季節的な温度変化に伴う変動の繰り返しが主に見られ、沈下の進行は小さくなる。
- 平成 26 年度の上部埋戻し材施工終了時の累計沈下量は 0.4～1.3mm 程度であり、底部低透水層の厚さ（1.0m）に対して約 0.1%と僅かである。

上記の考察より、試験施設では、底部低透水層の上部部材の構築や模擬廃棄体定置により底部低透水層は沈下するが、その累積量は僅かであることがわかった。ただし、試験施設における模擬廃棄体は、1.6m×1.6m×1.6m の寸法の鋼製容器にコンクリート詰めして作成しており、重量としてはコンクリート相当になる。実施設における廃棄体は、寸法は模擬廃棄体と同様だが、金属が主体の廃棄体であることから実施設の沈下量は、試験施設よりも大きくなるのが推察される。また、図 3.3-4 に示すように、底部低透水層の沈下は上載圧の載荷後粘性的に進行する。そのため、計測頻度は既往試験における計測結果等より、底部低透水層の沈下速度を考慮して設定することが望まれる。

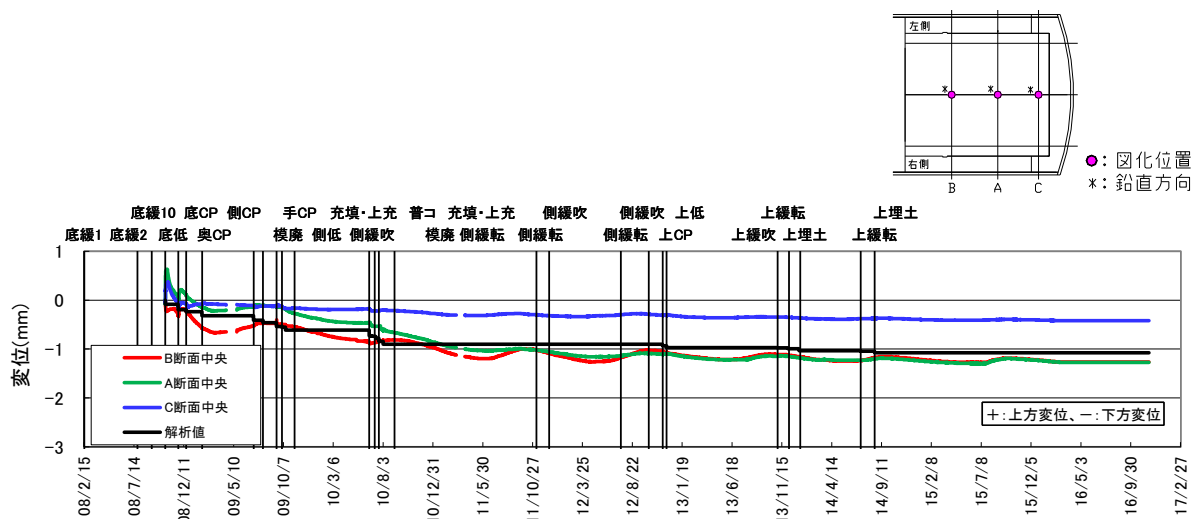


図 3.3-4 底部低透水層の沈下量計測結果

c. 計測方法

(a) レベル測量

処分施設の変形（沈下）を計測するための一般的な方法としては、レベル測量が挙げられる。平成20年度確証試験[3]の底部低透水層の施工管理におけるレベル測量の計測状況を図3.3-5、測量点の平面図を図3.3-6に示す。



図 3.3-5 レベル測量による計測状況[3]

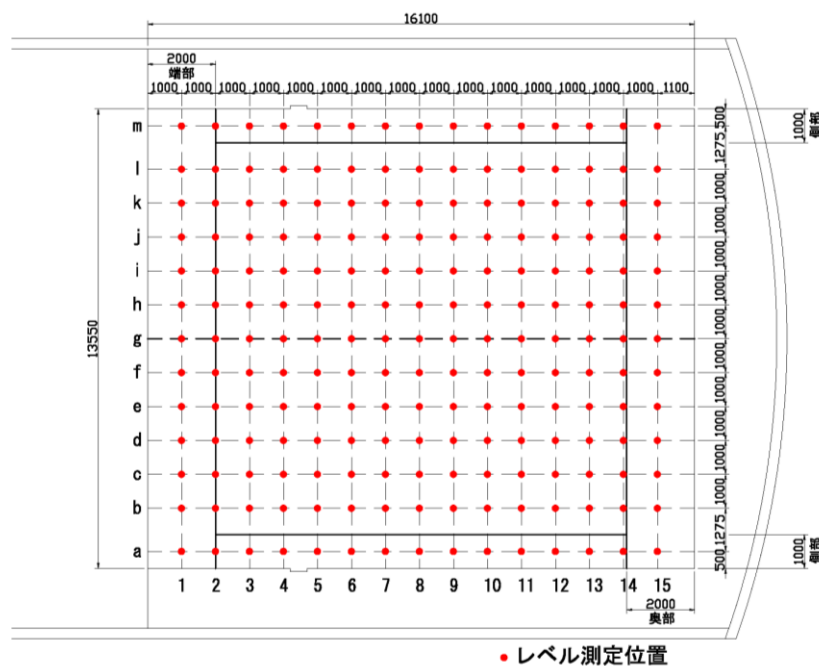


図 3.3-6 レベルの測定位置（2層目および3層目）[3]

## (b) 3D レーザースキャナー

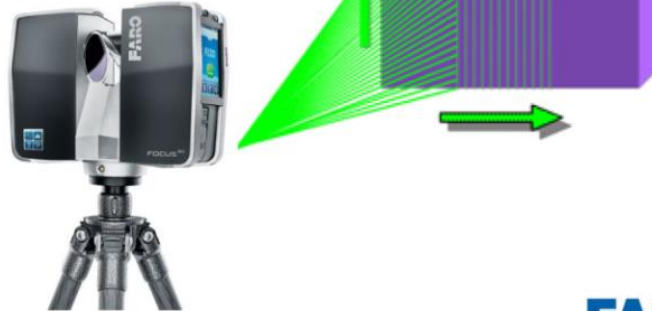
「a. 計測期間および計測範囲」で検討した計測期間には、廃棄体定置期間も含まれる。廃棄体定置期間中は、空洞内は放射線管理区域になり、作業員の立ち入りは制限されるため、作業員によるレベル測量等の実施は難しいと考えられる。さらに計測範囲（底部コンクリートピットの上面や側部コンクリートピットおよび低拡散層の上面）は、施工時期によっては作業員によるアクセスが容易ではない箇所となる。

これらを考慮して、処分施設の変形量の計測方法としては、図 3.3-7 に示すような 3D レーザースキャナー等による計測が有効であると考えられる[41]。平成 20 年度確証試験 [3]においても、底部低透水層の仕上面の形状を 3D レーザースキャナーで計測している。確証試験で用いた 3D レーザースキャナーの仕様を表 3.3-8、計器配置の平面図および縦断面図を図 3.3-8～図 3.3-9、計測状況を図 3.3-10、計測確認状況を図 3.3-11 に示す。3D レーザースキャナーとレベル測量での仕上がり面標高と比較した結果、両者は良く整合する結果となり、3D レーザースキャナーの底部低透水層仕上がり高さ測定への適用性を確認している。

実施設における 3D レーザースキャナーを用いた計測方法を考慮した場合、「a. 計測期間および計測範囲」で述べたように、計測範囲は、底部コンクリートピットの上面にした場合（ケース 1）と、側部コンクリートピットおよび低拡散層の上面とした場合（ケース 2）となる。3D レーザースキャナーの機器設置場所は、レーザー照射により部材の上面の点群データを計測する必要があることや、施工への支障等を考慮すると、空洞天端付近に設置することが望ましいと考えられる。ケース 1 およびケース 2 の計測イメージを図 3.3-12～図 3.3-13 に示す。ただし、廃棄体定置時の放射線管理区域内で使用する場合は、3D レーザースキャナー等の機器の耐放射線対策が必要である。

測定対象物にレーザーを照射して、距離と角度情報を取得し、3次元座標（XYZ）を取得します。

1秒間に数千～数十万発のレーザーを発射するので、取得されたデータは、点の集まりという意味で「点群データ」と呼ばれます。

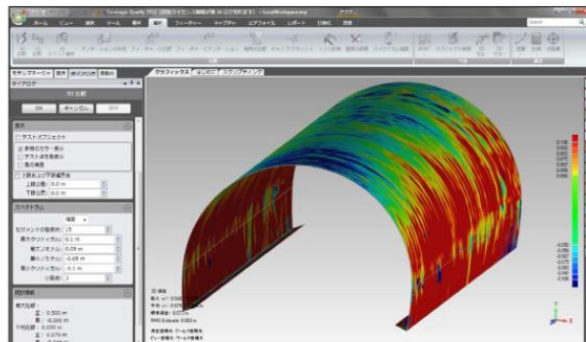


**FARO**

### 3Dレーザーキャナーの利活用例(トンネル)



掘削中のトンネルの3次元の変異計測  
既設トンネルの維持メンテナンス



トータルステーションによる2次元的な変異計測に対し、3Dレーザーキャナーは連続的な変異計測が可能。**現場作業・トンネル利用者の安全に貢献します。**

図 3.3-7 3D レーザーキャナー[41]

表 3.3-8 3D レーザースキャナーの仕様（平成 20 年度確証試験） [3]

概要	本体	高速、高精度レーザーレーダースキャナー
	インターフェイス	ノートパソコン
	スキャナー駆動	サーボモーター
	光学ビューワー	内蔵 CCD ビデオカメラ（静止画）
精度	座標	$\pm 6\text{mm}$ 1.5m～50m まで 1sigma
	距離	$\pm 4\text{mm}$
	角度	$\pm 12.4$ 秒
	モデリング	$\pm 2\text{mm}$

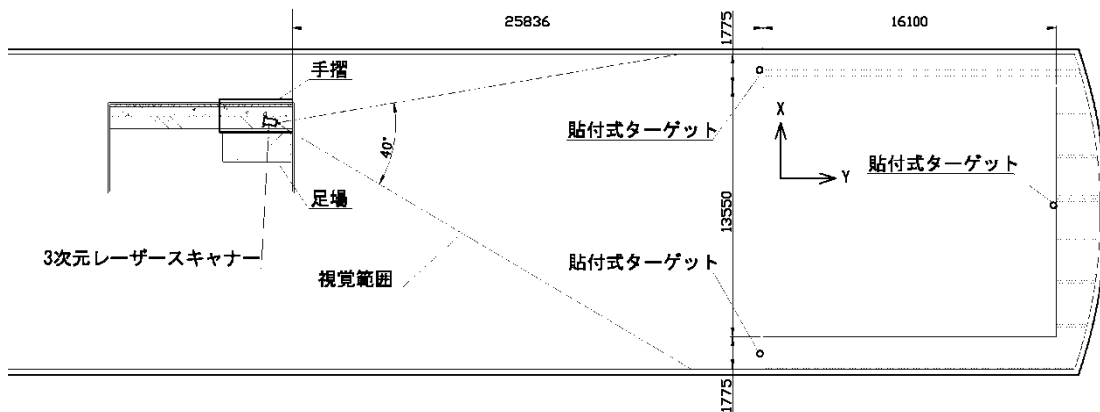


図 3.3-8 3D レーザースキャナーの計測配置（平面図） [3]

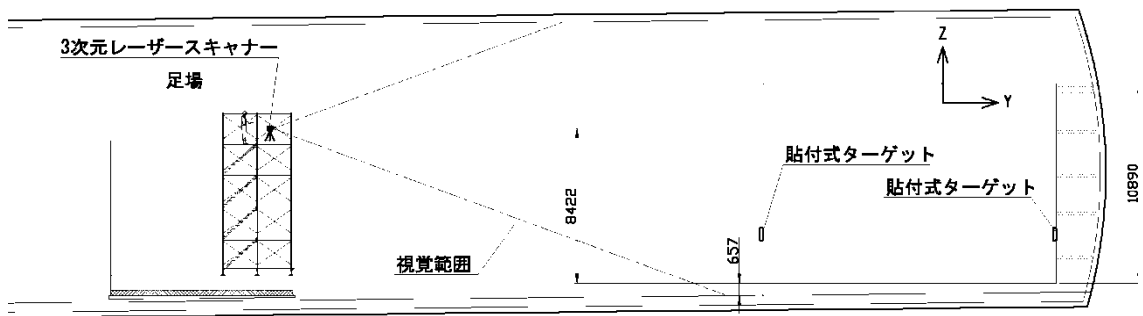


図 3.3-9 3D レーザースキャナーの計測配置（縦断面図） [3]





図 3.3-10 3D レーザースキャナーの計測状況[3]

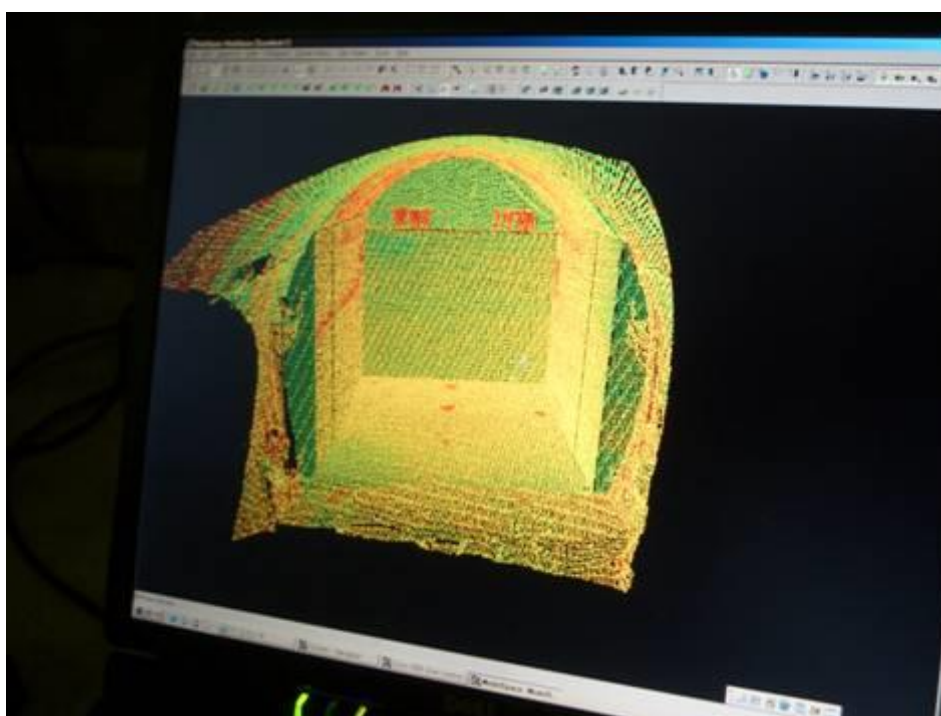


図 3.3-11 3D レーザースキャナーの計測確認状況[3]

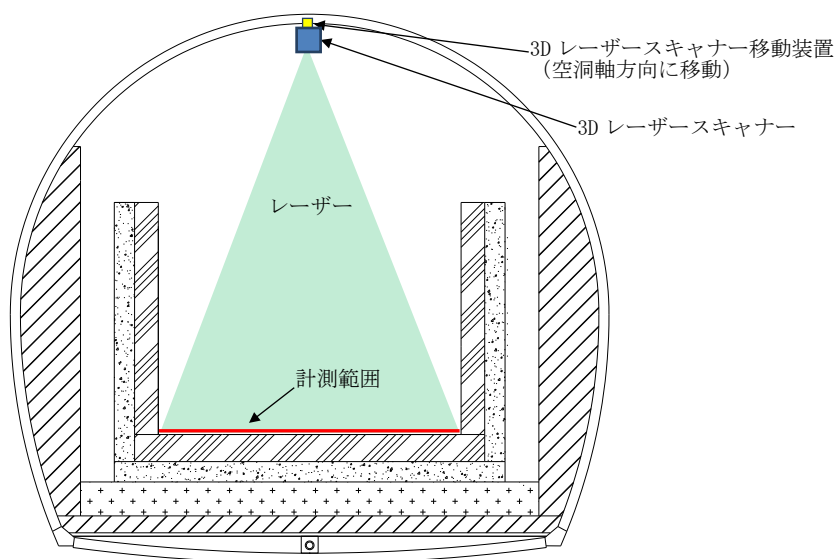


図 3.3-12 実施設における 3D レーザースキャナーの計測イメージ (ケース 1)

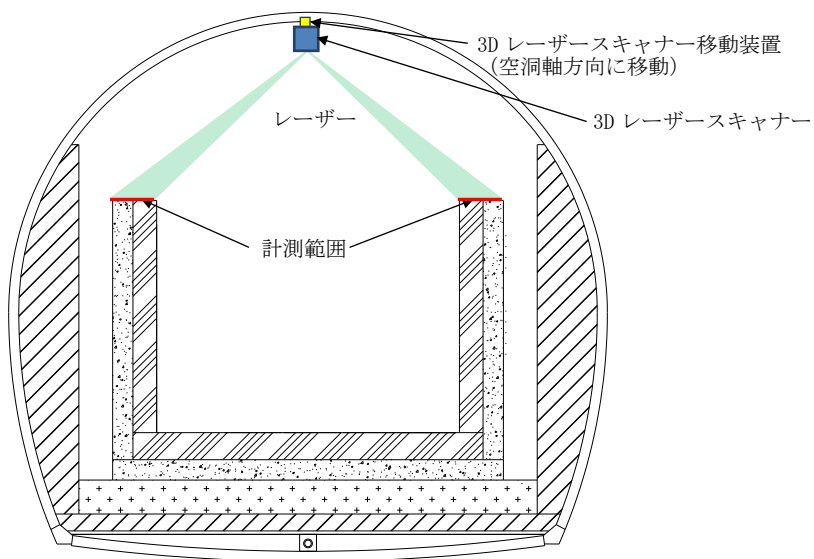


図 3.3-13 実施設における 3D レーザースキャナーの計測イメージ (ケース 2)

d. 計測結果の利用方法

処分施設の変形計測結果の具体的な利用方法を図 3.3-14 に示す。処分施設の変形計測結果は、別途実施する力学解析(再現解析)における入力条件等への利用が考えられる。再現解析の結果(各部材の発生応力、ひび割れ等)が想定範囲内である場合は、計測を継続することとなるが、想定範囲外である場合は、以下の項目を確認して長期の安全評価を実施し、対策の有無を決定する必要があると考えられる。

- ① 原因の分析と解析結果の妥当性の確認  
(他の計測値(光ケーブル等)との比較)
- ② 安全機能への影響確認  
(拡散係数、透水係数の算定)
- ③ 他の影響の可能性確認  
(各部材の相互影響の確認)

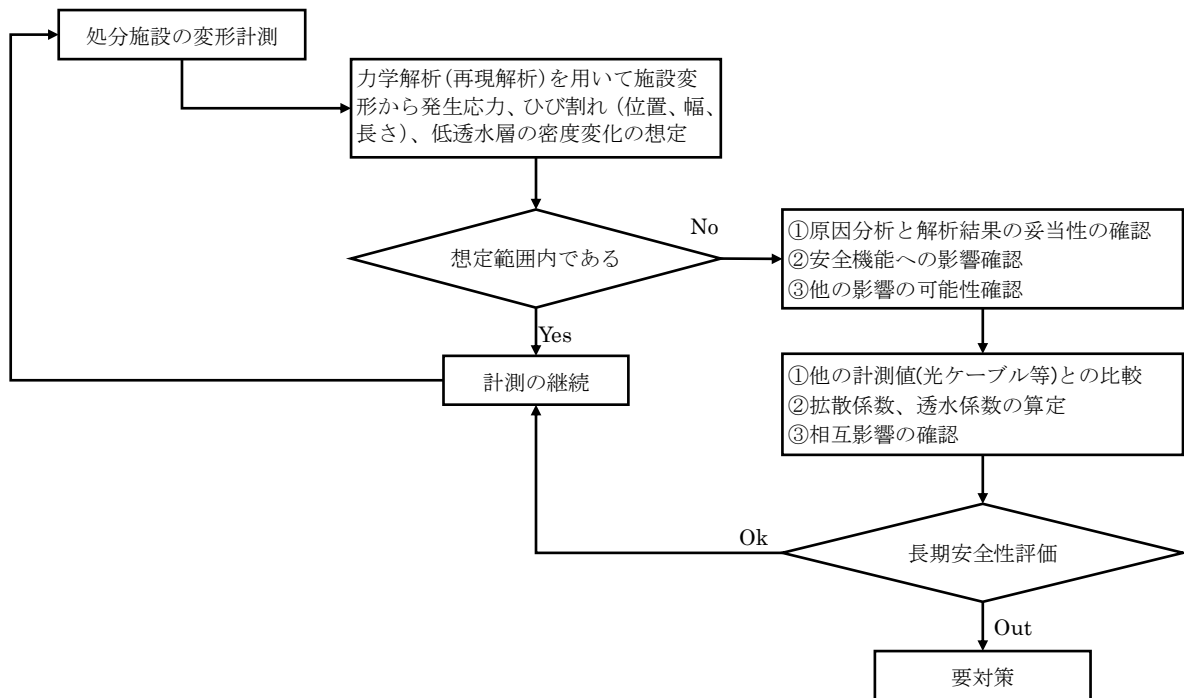


図 3.3-14 処分施設の変形計測結果の具体的な利用方法案

## 2) 低拡散層のひび割れ観測

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（図 3.3-15）。

以降では、実処分施設で実施可能な低拡散層のひび割れ観測について、モニタリング計画を具体化する。

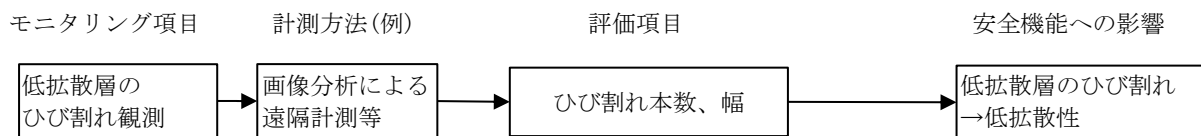


図 3.3-15 低拡散層のひび割れモニタリングによる安全機能への影響確認フロー

### a. 計測期間および計測範囲

図 3.3-16 に示すように、低拡散層は内側のコンクリートピットおよび外側の低透水層に囲まれる部材であり、両者の施工のタイミングにより、低拡散層表面のひび割れを観測できる期間は限られる。また、廃棄体定置から区画内充てん材の施工終了までは、空洞内が放射線管理区域になるため、空洞内での作業は制限されるものと考えられる。

これらを鑑みて、低拡散層のひび割れ観測が可能な期間および範囲を表 3.3-9～表 3.3-11 に示す。

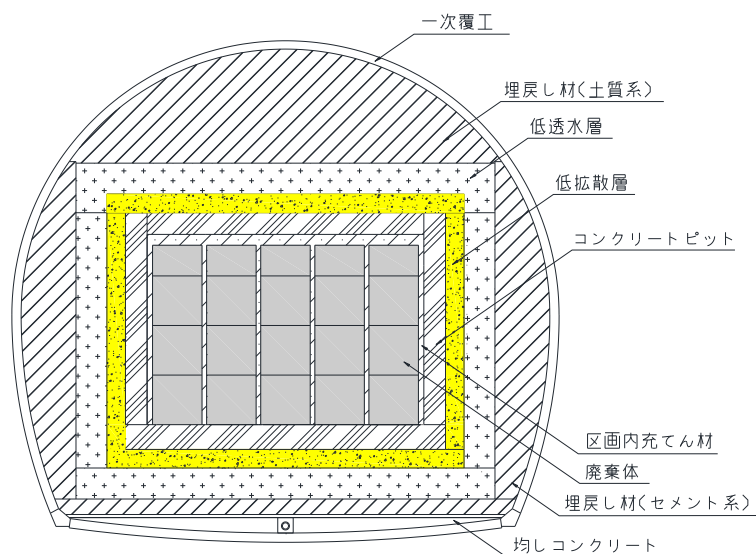


図 3.3-16 処分施設における低拡散層の位置

表 3.3-9 低拡散層のひび割れ観測が可能な期間および範囲 (1/3)

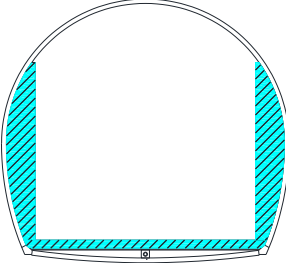
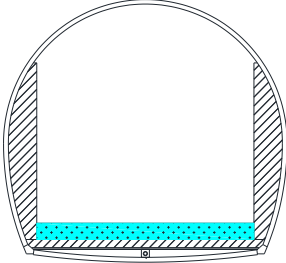
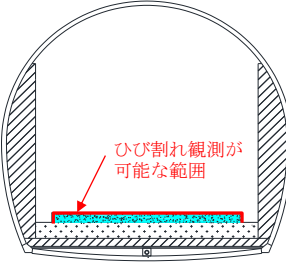
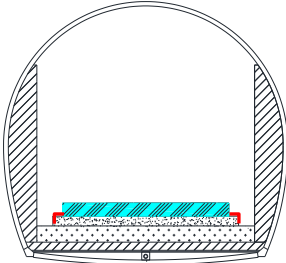
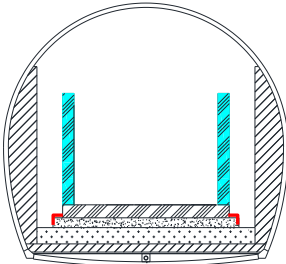
施工イベント (期間)	施工部材	ひび割れ観測が 可能な範囲
①底部・側部埋戻し材 (セメント系)		<ul style="list-style-type: none"> <li>なし</li> </ul>
②底部低透水層		<ul style="list-style-type: none"> <li>なし</li> </ul>
③底部低拡散層		<ul style="list-style-type: none"> <li>底部低拡散層 (上面、側面)</li> </ul>
④底部コンクリート ピット		<ul style="list-style-type: none"> <li>底部低拡散層 (上面一部、側面)</li> </ul>
⑤側部コンクリート ピット		<ul style="list-style-type: none"> <li>④と同様</li> </ul>

表 3.3-10 低拡散層のひび割れ観測が可能な期間および範囲 (2/3)

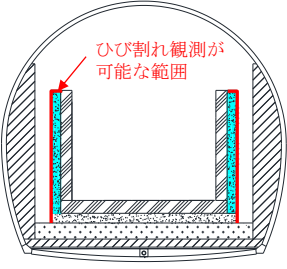
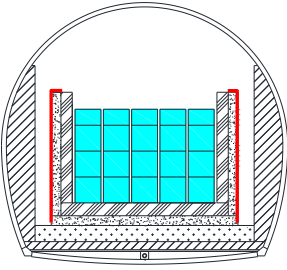
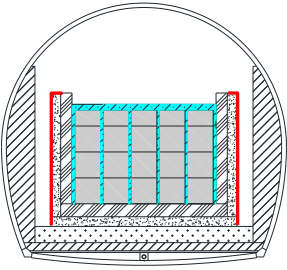
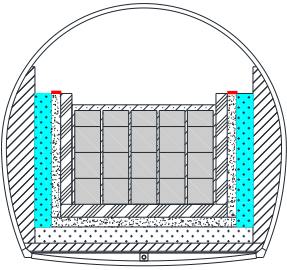
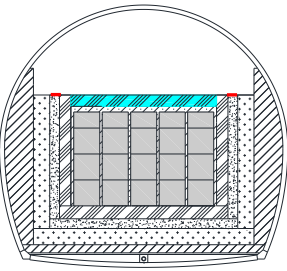
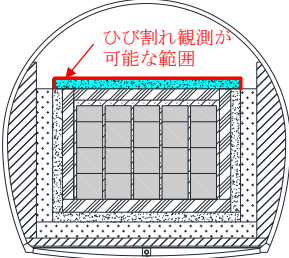
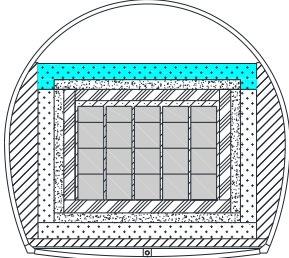
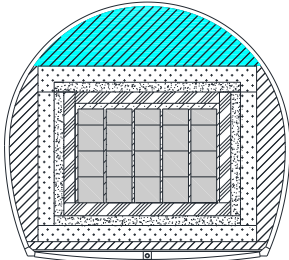
施工イベント (期間)	施工部材	ひび割れ観測が 可能な範囲
⑥側部低拡散層		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 底部低拡散層 (側面)</li> <li>• 側部低拡散層 (上面、側面)</li> </ul>
⑦廃棄体定置		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 範囲は⑥と同様だが、空洞内は放射線管理区域になるため、作業員の立ち入りは制限される。</li> </ul>
⑧区画内充てん材		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ⑦と同様</li> <li>• 区画内充てん材施工後に、空洞内の放射線管理区域が解除され、空洞内での作業が可能となる。</li> </ul>
⑨側部低透水層		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 側部低拡散層 (上面)</li> </ul>
⑩上部コンクリートピット		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ⑨と同様</li> </ul>

表 3.3-11 低拡散層のひび割れ観測が可能な期間および範囲 (3/3)

施工イベント (期間)	施工部材	ひび割れ観測が 可能な範囲
⑪上部低拡散層		<ul style="list-style-type: none"> <li>上部低拡散層 (上面、側面)</li> </ul>
⑫上部低透水層		<ul style="list-style-type: none"> <li>なし</li> </ul>
⑬上部埋戻し材 (土質系)		<ul style="list-style-type: none"> <li>なし</li> </ul>

b. 計測頻度

計測頻度を検討するために、既往検討における、低拡散層のひび割れ発生および挙動計測結果の変動に関する考察を整理した。

(a) 底部低拡散層

底部低拡散層は平成 20 年度に構築され、その後のひび割れ発生および挙動計測結果について、以下の考察をしている[3][14]。底部低拡散層の代表位置の応力計測結果を図 3.3-17 に示す。

- 底部低拡散層打設後に、乾燥収縮が要因と考えられるひび割れが発生した。
- 上載荷重および隣接するセメント系材料の水和発熱の影響を受け、引張応力が増加した(平成 21 年度の模擬廃棄体定置時、平成 22 年度の普通コンクリートおよび充てん材打設)。

- 底部低透水層の沈下量の影響を受け、引張応力が増加した（平成 21 年度の底部低透水層の沈下）。
- 隣接するセメント系材料のひび割れ発生の影響を受け、引張応力が増加した（平成 22 年度の側部低拡散層のひび割れ発生）。

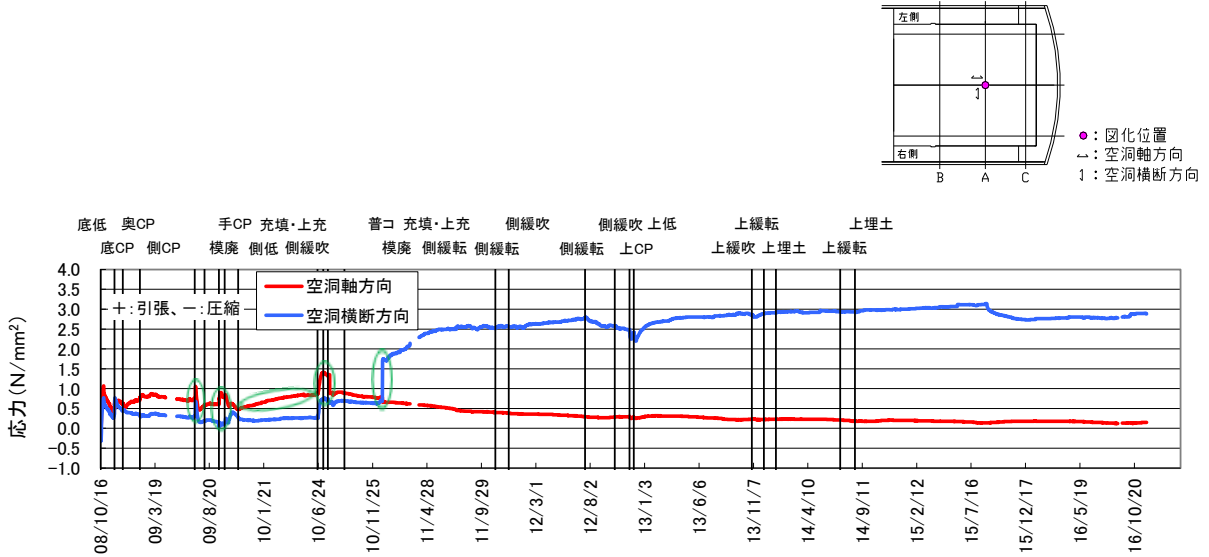


図 3.3-17 底部低拡散層の応力計測結果[14]

(b) 側部低拡散層

側部低拡散層は平成 21 年度に構築され、その後のひび割れ発生および挙動計測結果について、以下の考察をしている[14]。側部低拡散層の代表位置の応力計測結果例を図 3.3-18 に示す。

- 側部低拡散層打設後に、温度収縮および乾燥収縮の複合的要因と考えられるひび割れが発生した。
- 隣接するセメント系材料の液圧、温度応力、水和熱の影響の影響を受け、引張応力が増加した（平成 22 年度の充てん材打設）

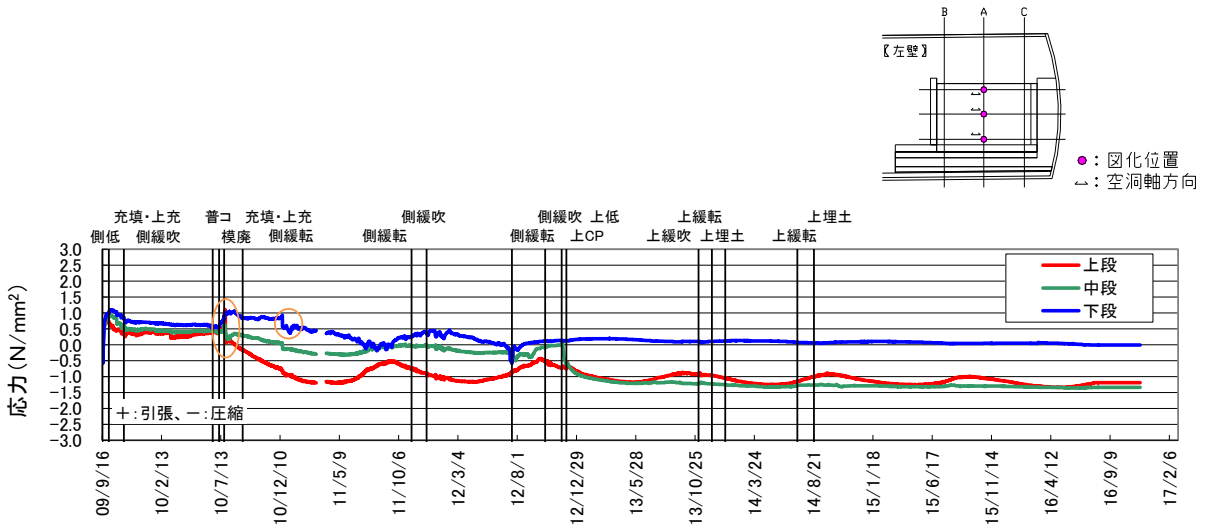


図 3.3-18 側部低拡散層の応力計測結果[14]



### (c) 上部低拡散層

上部低拡散層は平成 24 年度に構築され、その後のひび割れ発生および挙動計測結果について、以下の考察をしている[3][14]。上部低拡散層の代表位置の応力計測結果を図 3.3-19 に示す。

- ・ 上部低拡散層の打設後の養生に湿潤・保温養生マットを用いた場合、養生終了後の部材温度の急激な低下に伴い、引張応力が増加し、ひび割れが発生した。

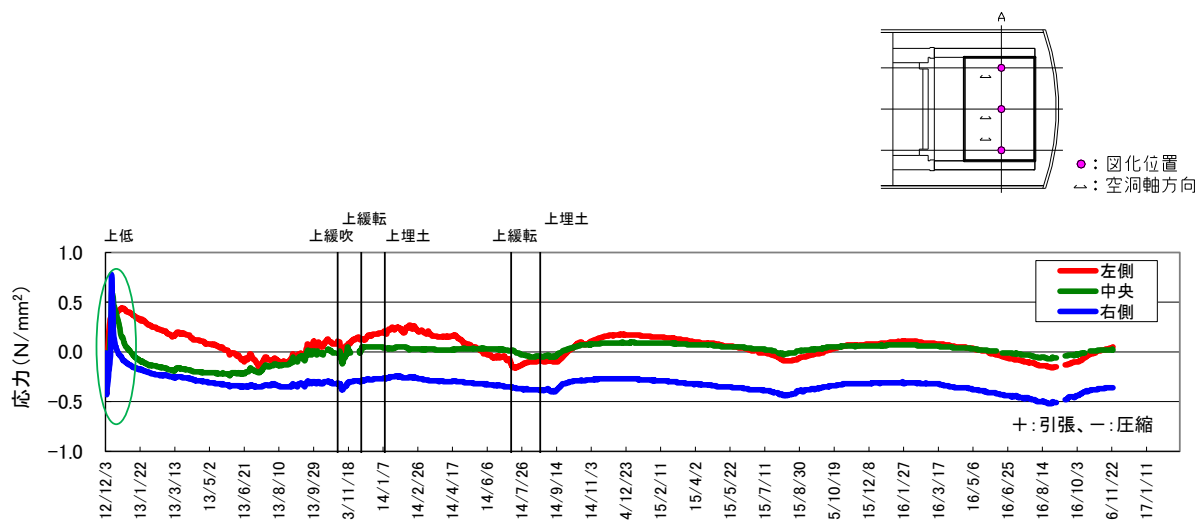


図 3.3-19 上部低拡散層の応力計測結果[14]

### (d) まとめ

以上の整理結果より、低拡散層にひび割れが発生しやすい時期としては、以下が挙げられる。これらの時期を考慮して、ひび割れ観測の頻度を設定することが望まれる。

- ① 低拡散層の打設時
- ② 隣接するセメント系部材の打設時
- ③ 廃棄体定置および部材構築による上載圧増加時

### c. 計測方法

ここでは、ひび割れ幅の計測方法として一般的に用いられているクラックスケールによる計測方法と、近年適用事例が増加しているデジタルカメラ画像を解析してひび割れの分布状態等を評価する方法について述べる。

本検討では別途、長期耐久性が期待できる光ファイバを用いたひび割れ観測方法について検討している (2.4 項参照)。

(a) クラックスケール

ひび割れ幅の計測方法としては、クラックスケールを用いる方法が一般的である。確証試験においても、調査可能なセメント系材料（低拡散層、コンクリートピット）を対象として、クラックスケールによるひび割れ調査を行っており、調査概要を表 3.3-12、計測状況を図 3.3-20 に示す。

表 3.3-12 クラックスケールによるひび割れ調査の概要[14]

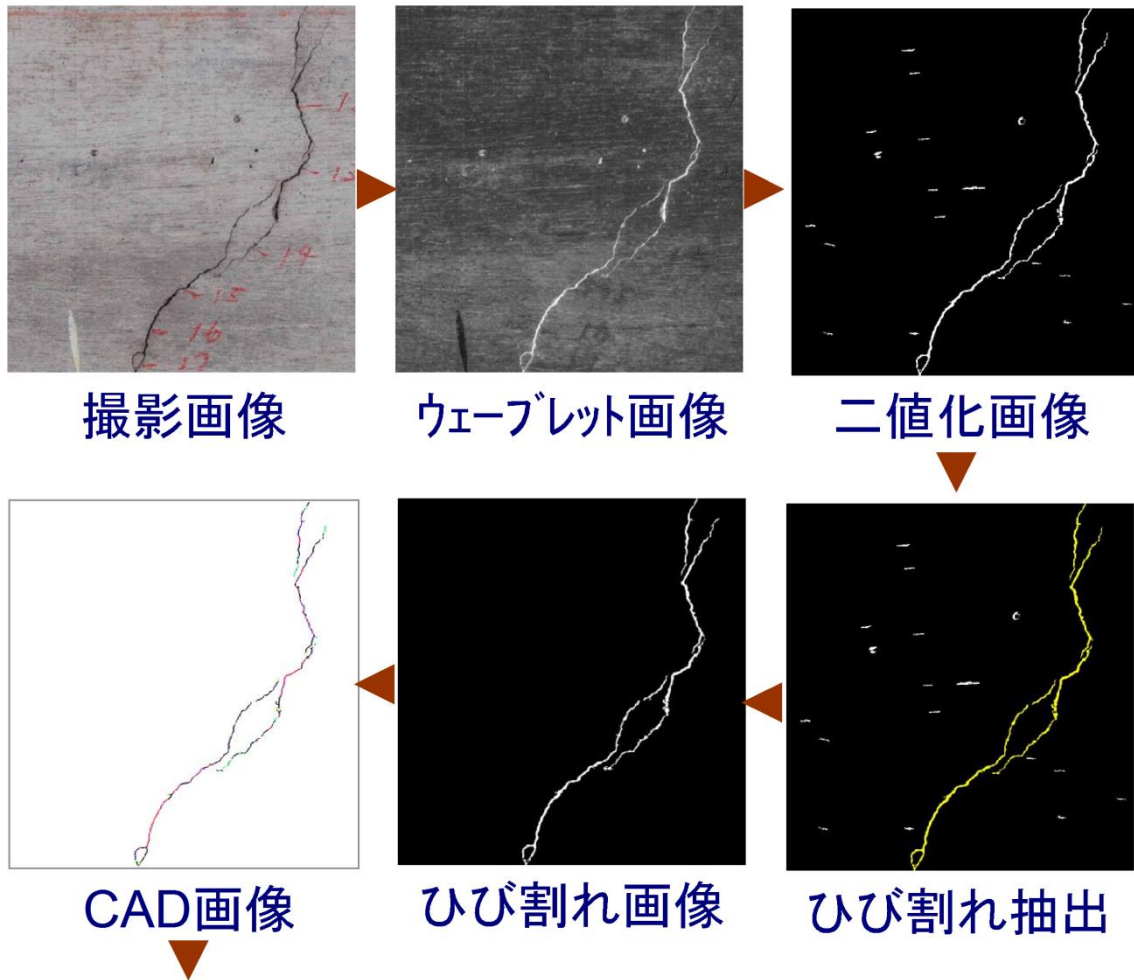
項目	概要	
評価項目	・ひび割れ幅 ・ひび割れの位置（新たなひび割れが認められた場合）	
評価方法	・ひび割れ幅	・1ヵ所でひび割れ幅が異なる場合は適当な数ヵ所で測定 ・ひび割れに段差がある場合は段差の寸法も記録
	・ひび割れの位置	・巻尺やコンベックスで測定 ・段差が認められた場合もその位置を記録
測定機器	・クラックスケール 品番 58697（シンワ社製）	
測定幅	・0.10未満は0.10未満と表記 ・0.10～1.00までは0.05mm単位でひび割れ幅を測定 ・1.00mmを超える場合は0.10mm単位でひび割れ幅を測定	



図 3.3-20 クラックスケールによるひび割れ幅の計測状況[14]

(b) デジタル画像解析

近年では、表 3.3-13、図 3.3-21[42]に示すような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技術が開発されている。この技術を応用すれば、廃棄体定置時の放射線管理区域内においても、図 3.3-22 に示すような方法でデジタルカメラの自動撮影を行うことにより、ひび割れ観測が可能であると推察される。ただし、その場合は、デジタルカメラ等の機器の耐放射線対策が必要である。



長さ [mm]	ひび割れ幅[mm]							
	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~
185.7	2.0	8.3	17.4	22.6	45.8	40.0	29.7	19.9

図 3.3-21 コンクリート構造物のひび割れ画像解析技術[42]

表 3.3-13 コンクリートのひび割れについて遠方から検出が可能な技術（国土交通省、カメラ）

番号	技術名称（副題）	応募者
C1	コンクリート構造物のクラック自動抽出システム (望遠レンズで撮影した画像に自社製ソフトを適用し、クラックを自動で抽出する技術)	株式会社アルファプロダクト
C2	デジタルカメラによるコンクリート表面遠隔調査手法 (コンクリート表面遠隔画像計測手法)	株式会社環境総合テクノス
C3	外壁点検機 スーパーアイ (高倍率カメラとレーザー距離計を用いた外壁点検システム)	日本本総合住生活株式会社
C4	ウェーブレット変換を用いたひび割れ画像解析技術『t.WAVE』	大成建設株式会社
C5	デジタルビデオによる遠方自動撮影システム (画像によるコンクリート構造物の変状調査)	株式会社東設土木コンサルタント
C6	揺動制御型船上点検システム (画像による船上からの港湾・海上構造物の変状調査)	株式会社東設土木コンサルタント
C7	走行型トンネル撮影システム (画像によるトンネル覆工の変状調査)	株式会社東設土木コンサルタント
C8	デジタルカメラによる遠方自動撮影システム (画像によるコンクリート構造物の変状調査)	株式会社東設土木コンサルタント
C9	遠方撮影デジタル画像による構造物のひび割れ計測・点検システム	(株)ウエスコ、(株)ズームスケープ
C10	高所・橋梁点検ロボットカメラによる損傷計測把握	株式会社日立アドバンスデジタル、 三井住友建設株式会社
C11	超高精細画像を用いたコンクリート構造物点検システム	日本高速道路株式会社
C12	コンクリート構造物におけるクラック形状自動抽出システム (クラックの形状特徴を活用したクラック抽出技術)	株式会社 構造計画研究所
C13	デジタル画像による分析・撮影支援システム (「ImageSR-無線撮影装置」)	株式会社中部 EEN
C14	写真計測ソフト（フォトカルク）を用いたクラック計測	株式会社アイティーティ
C15	デジタルカメラによる構造物画像診断システム	株式会社補修技術設計
C16	Actis（アクティス） (デジタル画像解析によるひび割れ幅・長さ自動検出技術)	株式会社 保全工学研究所
C17	デジタルカメラ画像処理を用いたコンクリートのひび割れ計測 (ひび割れ計測の省力化と高度情報処理)	株式会社 大林組
C18	ギガピクセル画像撮影システムを用いた遠隔高精度ひび割れ 検出法	株式会社計測リサーチコンサルタン ト
C19	橋梁点検カメラシステム視る・診るによるひび割れ幅測定技術 (ひび割れ幅測定装置搭載型システム)	ジビル調査設計株式会社
C20	長距離クラック撮影カメラ	坂田電機株式会社
C21	壁面映像による連続写真の可視化と異常規模画像解析システム (TVカメラ調査システムを活用した新たな点検・診断技術)	株式会社ディ・エス・ディ
C22	ニューロ視覚センサによるひび割れ検知技術 (画素内明度を詳細に検知する新方式)	株式会社 テクノス
C23	走行型高速3D トンネル点検システム MIMM（ミーム） (交通規制が不要で、高速走行しながらトンネル覆工壁面カラー 画像と高精度な三次元空間位置データを効率よく取得する システム)	パシフィックコンサルタンツ株式会 社

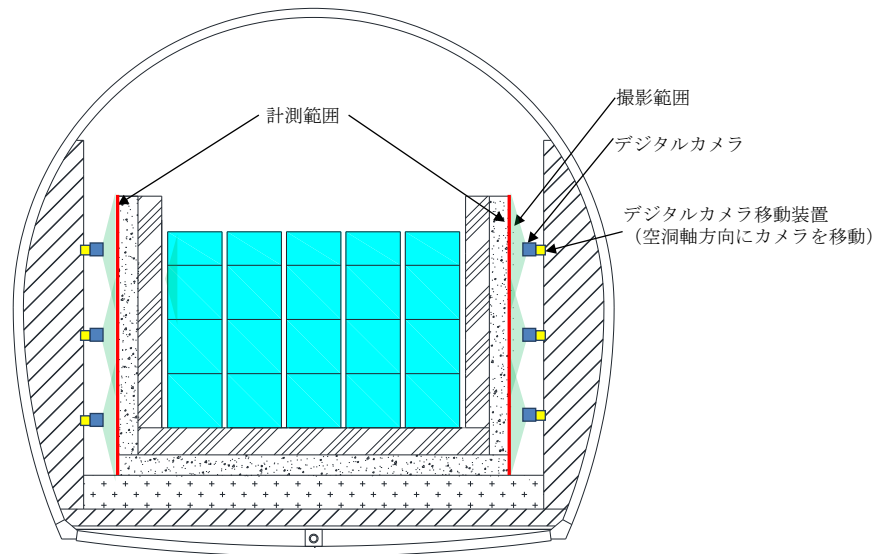


図 3.3-22 放射線管理区域における側部低拡散層の自動撮影のイメージ

d. 計測結果の利用方法

低拡散層のひび割れ計測結果の具体的な利用方法を図 3.3-23 に示す。ひび割れ計測結果も、前述の処分施設の変形計測結果と同様に、別途実施する力学解析（再現解析）における入力条件等への利用が考えられる。再現解析の結果（各部材の発生応力、ひび割れ等）が想定範囲内である場合は、計測を継続することとなるが、想定範囲外である場合は、以下の項目を確認して長期の安全評価を実施し、対策の有無を決定する必要があると考えられる。

- ① 原因の分析と解析結果の妥当性の確認  
（他の計測値（光ケーブル等）との比較）
- ② 安全機能への影響確認  
（拡散係数、透水係数の算定）
- ③ 他の影響の可能性確認  
（各部材の相互影響の確認）

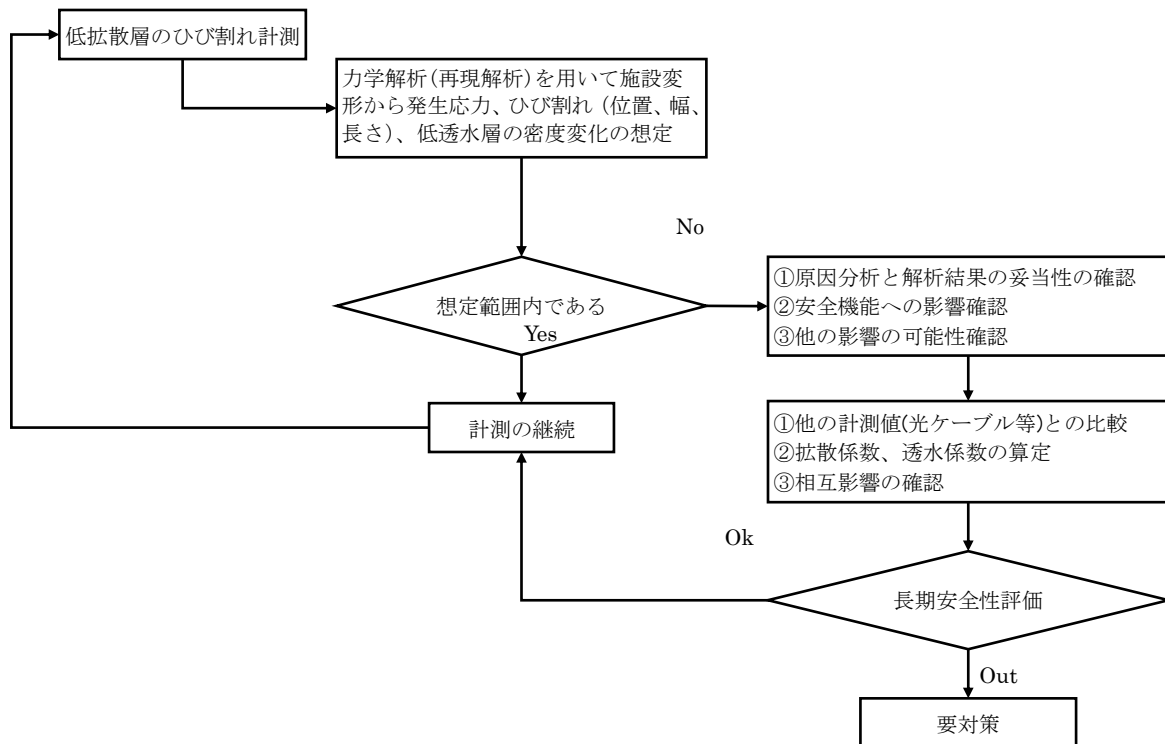


図 3.3-23 低拡散層のひび割れ計測結果の具体的な利用方法案

### 3) 地震動計測

地震動による実処分施設への影響を評価するために、実処分施設および周辺岩盤において地震動を計測することが望まれる。地震動計測により取得される計測データは、再現解析のための入力地震動に利用でき、再現解析により地震動による施設への影響を評価できると考えられる。また、複数点の計測データを取得することにより、周辺岩盤の深部から地表面までの増幅特性を分析できる(図 3.3-24)。

以降では、実処分施設で実施可能な地震動計測について、モニタリング計画を具体化する。

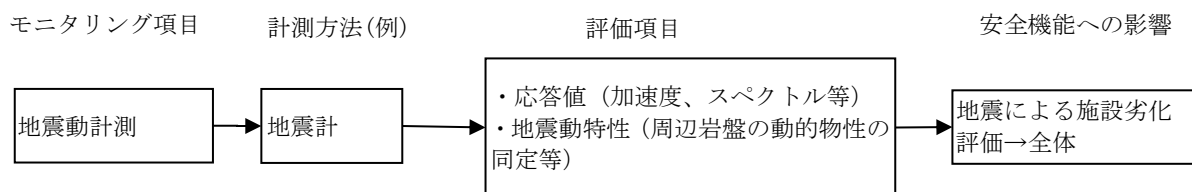


図 3.3-24 地震動計測による安全機能への影響確認フロー

#### a. 計測期間および計測位置

地震は、いつ、どこで、どの程度の大きさで発生する等、現状では予知することは難しいため、地震動計測は以下の事が望まれる。

- ・ 規制期間内（300～400年程度）は常時実施されること。
- ・ 処分施設以深の深部岩盤から地表面にかけての増幅特性を評価するために、計測位置の深度分布は、深部岩盤から地表面にかけて設定すること。
- ・ 計測位置の平面分布は、地盤構造や再現解析のモデル化範囲等を考慮して設定すること。

前述したように、処分場開発の各段階（建設段階、廃棄物の埋設段階、閉鎖措置段階、保全段階）においては、処分施設の形状や、処分空洞およびアクセス坑道の埋戻しの状態が変化するため、地震動を計測するための地震計の設置期間や設置位置も制限を受けることになる。そこで、処分場開発の各段階における計測可能な期間および位置について検討した。

地震動の計測位置は、以下の4つに分けられる。

- ① 処分空洞内
- ② アクセス坑道内
- ③ 周辺岩盤内
- ④ 地表面

表 3.3-14 に示すように、処分空洞の埋戻しにより「①処分空洞内」の計測は不可となり、アクセス坑道の埋戻しにより「②アクセス坑道内」の計測は不可となる。「③周辺岩盤内」および「④地表面」の計測は、保全段階以降も計測可能である。

表 3.3-14 地震動の計測期間と計測範囲

段階	建設段階			廃棄物の埋設段階			閉鎖措置段階	保全段階
主な作業	底部及び側部の埋戻し材の施工	底部の低透水層、低拡散層、ピットの施工	側部のピット、低拡散層の施工	廃棄体定置、区内充てん	上部ピット、低拡散層の施工	上部・側部低透水層、空洞充てん材の施工	アクセス坑道等の埋戻し	保安活動等
概念図 (施設の状態)								
地震動の計測範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ①処分空洞内</li> <li>● ②アクセス坑道内</li> <li>● ③周辺岩盤内</li> <li>● ④地表面</li> </ul>			処分空洞の埋戻しまで アクセス坑道の埋戻しまで			保全段階以降も計測可能	

#### b. 計測頻度

地震計は常時稼働することになるため、全期間のデータを取得すると、データ量が膨大となる。処分施設への影響を評価する上で取得すべき地震動データは、比較的大きな地震の計測データであるため、取得するデータと廃棄するデータを取捨する必要がある。現状では、トリガー条件として設定したトリガー値（例えば 1Gal の加速度）を超過した場合のみ、計測データを取得する方法が一般的に使われている。

c. 計測方法


地震計は、その構造や用途によりさまざまな種類があり、「加速度型地震計」、「速度型地震計」、「変位型地震計」に分類できる。以降では、比較的大きな地震まで記録でき、有感地震を観測する強震計や震度計での実績が多い「加速度型地震計」の計測方法について述べる。

(a) 加速度検出器の種類


加速度検出器は、地震動の計測位置によって以下の 2 つに分けられる。地上用検出器は、地上や対象物に直接据え置いて設置するタイプである。一方、地中用検出器は、ボーリング孔を利用して、地中に設置するタイプである。

現段階の開発例[43]として、地上用検出器の外観および仕様を図 3.3-25、地中用検出器の外観および仕様を図 3.3-26 に示す。

- ・ 地上用検出器  
(計測位置：①処分空洞内、②アクセス坑道内、④地表面)
- ・ 地中用検出器  
(計測位置：③周辺岩盤内)



831-123-02 JEP-4A3



831-134-02 JEP-8A3

コードNo.	831-123-02	831-134-02
符号	JEP-4A3	JEP-8A3
方式	サーボ型加速度計	
測定範囲	±3000Gal(上下動±2000Gal)	
感度	0.306V/(m/s <sup>2</sup> )±3%	
温度による感度変動	0.03%/°C 以下	
振動数範囲	DC～450Hz	
バイアス安定性	0.2m/s <sup>2</sup> 以下	
スケールファクター安定性	0.1%以下	
使用温度	-40～+60°C	
耐水性	防滴構造	
外観寸法	192(W)×192(D)×150(H)mm	165(W)×175(D)×112(H)mm
質量	約5kg	約1.5kg

ケーブル長をあらかじめ決定してください。

図 3.3-25 地上用検出器の外観および仕様 (例)





コードNo.	831-157-02
符号	JEP-4B3
方式	サーボ型加速度計
測定範囲	±3000Gal(上下動±2000Gal)
感度	0.306V/(m/s <sup>2</sup> )±3%
振動数範囲	DC~450Hz
バイアス安定性	0.2m/s <sup>2</sup> 以下
スケール非線形性	0.1%以下
使用温度	-40~+60℃
耐水圧	30気圧
外観寸法	ø89×733(H)mm
質量	約18kg

ケーブル長をあらかじめ決定してください。

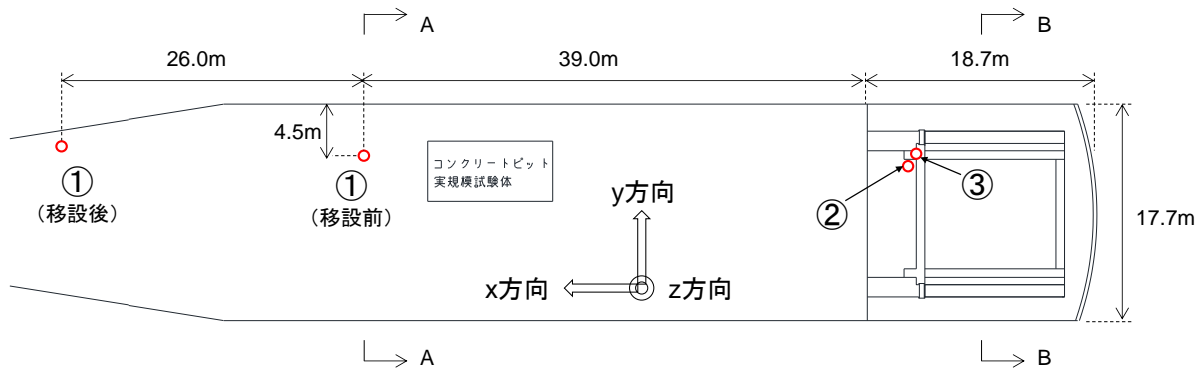
831-157-02  
JEP-4B3

図 3.3-26 地中用検出器の外観および仕様 (例)

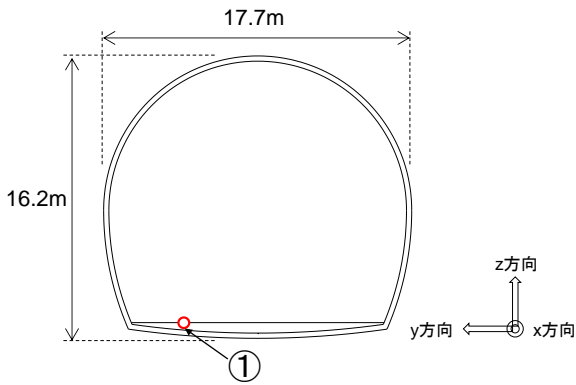
(b) 確証試験の地震動計測

平成 25 年度の確証試験において、図 3.3-27 に示すように、試験空洞および試験施設に地震計を計 3 台 (地震計①~③) 設置した[14]。地震計①は試験施設から比較的離れた底盤上 (平成 27 年に坑口側に約 26m 移動)、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に設置している。各地震計の設置位置選定根拠を表 3.3-15 に示す。

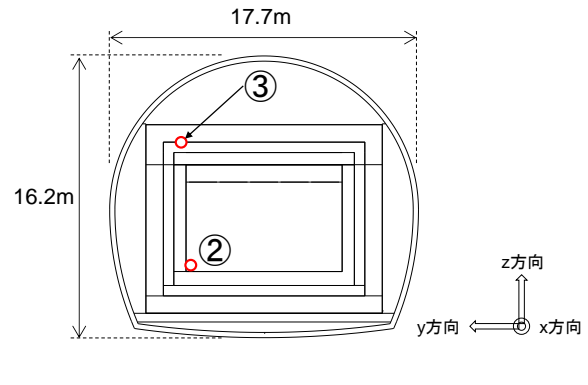
地震計の仕様を表 3.3-16、回収データの仕様を表 3.3-17、設置状況を図 3.3-28 に示す。



(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 3.3-27 試験施設の地震計設置位置[14]

表 3.3-15 設置位置選定根拠[14]

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。

表 3.3-16 地震計の仕様[14]

名称	仕様	機種
加速度センサ	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 サンプル周波数：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 CPUKSNSP-00（防水・防塵型）

表 3.3-17 回収データの仕様[14]

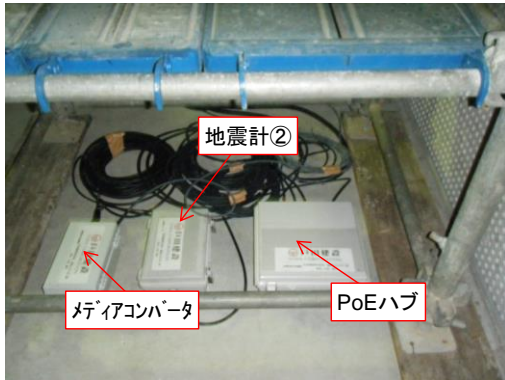
項目	仕様
トリガ条件	マスタとするセンサ（地震計①）で、XYZのいずれかが1Gal以上
トリガ引き伸ばし時間	地震検知時間幅 10秒
プレトリガ時間	トリガ検知前の収集時間 10秒
ポストトリガ時間	地震収束判断時間 60秒
サンプリング周波数	200Hz（1秒間に200データを取得）
出力形式	データ変換後、CSVファイル形式 1列目に取得時刻、2～4列目にXYZの加速度データ（Gal）



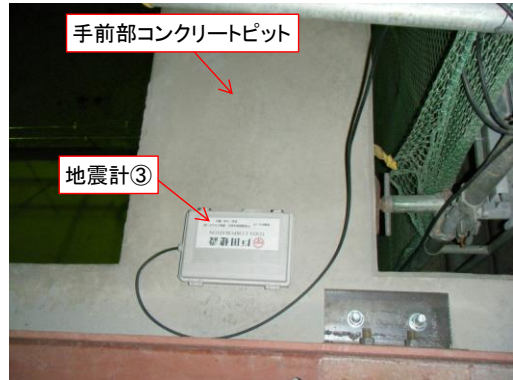
(1) 地震計① (移設前)



(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 3.3-28 地震計設置状況[14]

d. 計測結果の利用方法

地震動計測結果の具体的な利用方法を図 3.3-29 に示す。地震動計測結果も、前述の処分施設の変形計測結果と同様に、別途実施する力学解析（再現解析）における入力条件等への利用が考えられる。再現解析の結果（各部材の発生応力、ひび割れ等）が想定範囲内である場合は、計測を継続することとなるが、想定範囲外である場合は、以下の項目を確認して長期の安全評価を実施し、対策の有無を決定する必要があると考えられる。

- ① 原因の分析と解析結果の妥当性の確認  
（他の計測値（光ケーブル等）との比較）
- ② 安全機能への影響確認  
（拡散係数、透水係数の算定）
- ③ 他の影響の可能性確認  
（各部材の相互影響の確認）

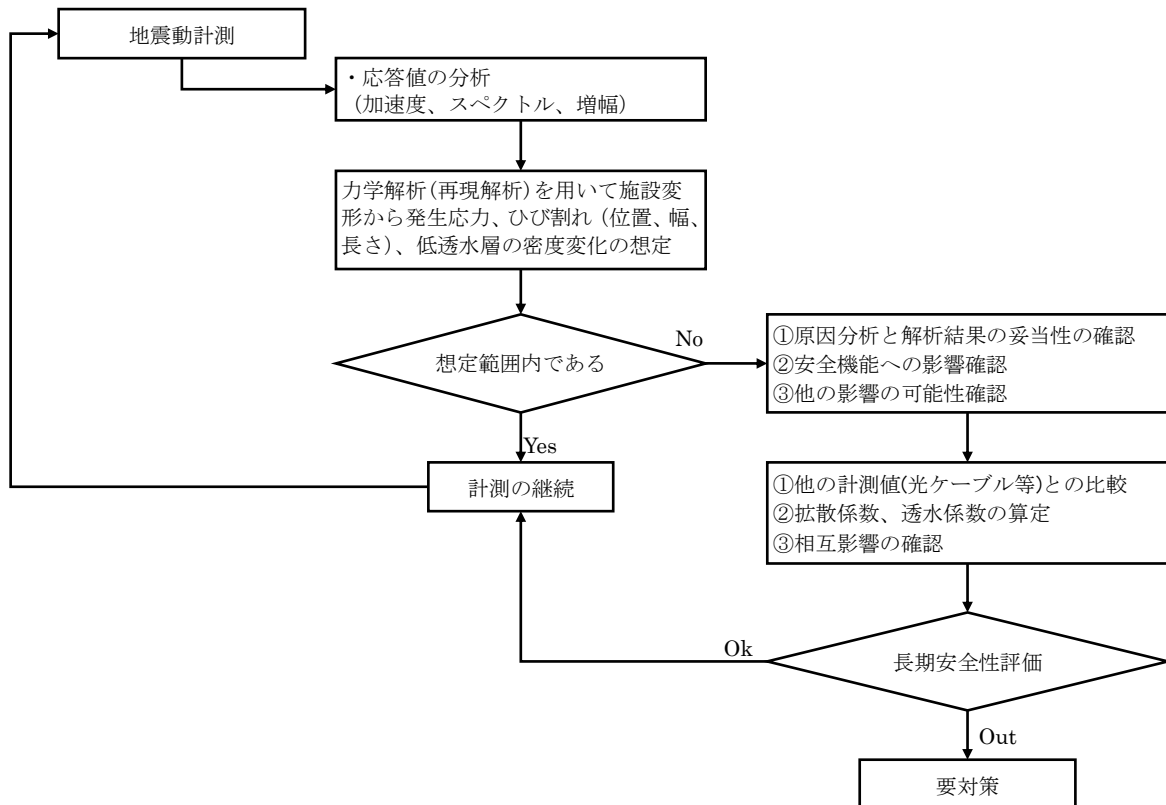


図 3.3-29 地震動計測結果の具体的な利用方法案

#### 4) 処分施設の裏面排水分析

##### a. 評価項目の抽出

処分施設の裏面排水を対象として、流量および各分析試験を行い施設の状態予測の一助とする。対象とするモニタリングは、流量、pH等に代表される「計測値の変化量」を対象とするものと、モンモリロナイト等に代表される通常検出されないと想定される物質の「検出確認」に区分した(図 3.3-30)。

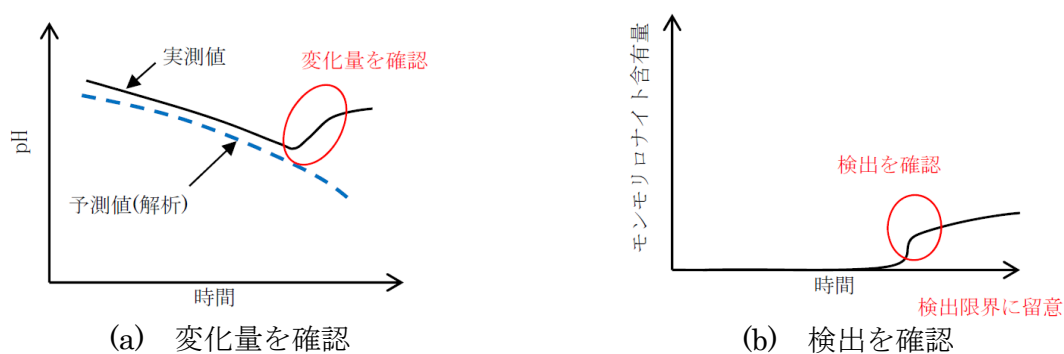


図 3.3-30 計測のイメージ

評価項目抽出のための参考として、セメント系材料およびベントナイト系材料の安全機能に影響を及ぼす要因の整理[9]を表 3.3-18～表 3.3-19 に示す。また、埋戻し後の人工バリアの状態に影響を及ぼす要因の相関関係を図 3.3-31 に示す。

また、余裕深度処分施設の対象となる放射性廃棄物(以下、「対象廃棄物」という。)のうち、原子炉施設から発生するものは、運転中に発生する放射化金属および使用済樹脂、解体時に発生する解体廃棄物などがある。また、再処理施設およびMOX燃料加工施設等において発生するものは、操業・運転時に伴い発生するプロセス廃棄物、雑廃棄物、チャンネルボックスおよびバーナブルポイズン、解体時に発生する解体廃棄物などに大別される。安全確保上考慮すべき対象廃棄物の特性のうち、化学特性に関しては、「廃棄物の腐食生成物および廃棄物に含有される物質(有機物、硫酸塩、硝酸塩、カドミウム、ホウ素、アルカリ成分)が取扱い設備等に影響するおそれがある。」とされている[44]。硝酸塩の影響については、硝酸塩の存在により溶解反応が促進される可能性が示唆されている[45][46]。

上記の内容を基に、処分施設の裏面排水分析モニタリングによる安全機能および安全性への影響確認フローを、「変化量」を対象とした場合を図 3.3-32、「検出」を対象とした場合を図 3.3-33 に示す。

なお、「変化量」および「検出」を対象とした場合、両者とも共通の試料(処分施設の裏面排水)を用いることになるため、以降のモニタリング計画の具体化においても、共通のモニタリング計画とした。

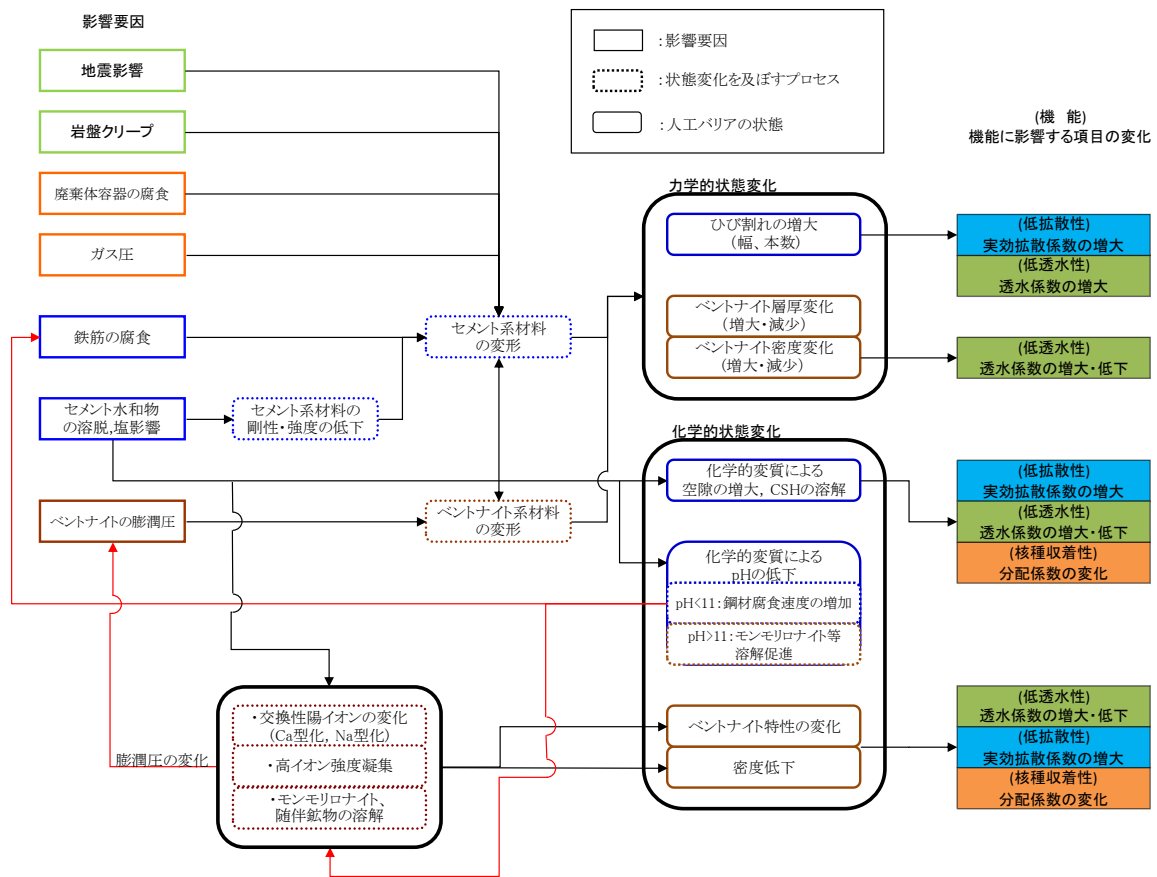
表 3.3-18 セメント系材料の安全機能に影響を及ぼす要因の整理[9]

影響要因		人工バリアへの影響機構	影響事項	安全機能への影響		
物理的影響	ベントナイトの膨潤圧	膨潤圧によりコンクリートピット、低拡散層にひび割れが発生	ひび割れ	拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	
	ベントナイトの沈下	底部低透水層の不同沈下により、コンクリートピット、低拡散層にひび割れが発生		拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	
	鉄筋の腐食	腐食膨張により、コンクリートピット、低拡散層にひび割れが発生		拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	
	廃棄体容器の腐食	腐食膨張、陥没により、コンクリートピット、低拡散層にひび割れが発生		拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	
	ガス発生	鋼材の腐食ガスの蓄積により、コンクリートピット、低拡散層にひび割れが発生		拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	
	岩盤クリープ	岩盤クリープによりコンクリートピット、低拡散層にひび割れが発生		拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	
	地震影響	地震力によりコンクリートピット、低拡散層にひび割れが発生		拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	
化学的影響	廃棄体の発熱影響	熱によりセメント系材料が化学的に変質し、バリア性能を低下させる可能性がある。	ひび割れ	拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	
	周辺地下水の交硫酸イオン濃度	地下水に高濃度の硫酸イオンが含まれる場合、膨張性のエトリンガイトなどが生成されひび割れが発生		拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	収着性能の低下
	廃棄体中の可溶性塩	一部の廃棄体は硫酸塩を含むため、膨張性のエトリンガイトなどが生成されひび割れが発生		拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	収着性能の低下
	アルカリ骨材反応	アルカリ骨材反応によってコンクリートピットおよび低拡散層にひび割れが発生		拡散係数の増加	施設内通過流量の増加	
	ひび割れ部、空隙における二次鉱物の生成	地下水とセメント溶脱成分との反応による二次鉱物がひび割れ、空隙を閉塞	ひび割れ、空隙閉塞	拡散係数の低下	施設内通過流量の低下	収着性能の低下

表 3.3-19 ベントナイト系材料の安全機能に影響を及ぼす要因の整理[9]

影響要因		人工バリアへの影響機構	影響事項	安全機能への影響		
物理的影響	廃棄体容器（金属）腐食	廃棄体容器の腐食膨張、陥没により、低透水層が圧縮、膨張し、密度が変化する。	密度変化	透水係数の変化		
	ガス発生	廃棄体容器（金属）の腐食ガスの蓄圧により低透水層が圧縮され、密度が増加	密度増大	透水係数の低下		
	岩盤クリープ	岩盤クリープにより低層水層が薄くなり密度が増加	密度、厚さ変化	透水係数の変化		
	地震影響	地震力により低透水層の沈下などが発生し、低透水層の密度が変化	密度変化	透水係数の変化		
	近接部材の隙間などへのベントナイトの浸入	コンクリート打継目やひび割れ部へのベントナイトの浸入による密度の低下	密度低下	透水係数の増加		
化学的影響	交換性陽イオンの変化（Ca型化）	セメント系材料からの高カルシウム濃度の間隙水によるCa型化	膨潤圧の低下	透水係数の増加		
	高イオン強度による凝集等	硝酸塩、硫酸塩等の可溶性塩の蓄積により空隙特性が変化し膨潤性能が低下	膨潤圧の低下	透水係数の増加		
	モンモリロナイト、随伴鉱物の溶解と二次鉱物の生成	セメント系材料からの高アルカリ性の間隙水によるベントナイト構成材料の溶解による密度低下。溶解成分と地下水成分等が反応して二次鉱物が沈殿	膨潤圧の低下、空隙の閉塞	透水係数の変化		





※1: pH<11程度で鋼材の不動態被膜が消失することにより腐食速度が増加することが想定される。

※2: pH>11程度でベントナイト中のモンモリロナイトが溶解するとされている[47]。

図 3.3-31 埋戻し後の人工バリアの状態に影響を及ぼす要因の相関関係図[9]

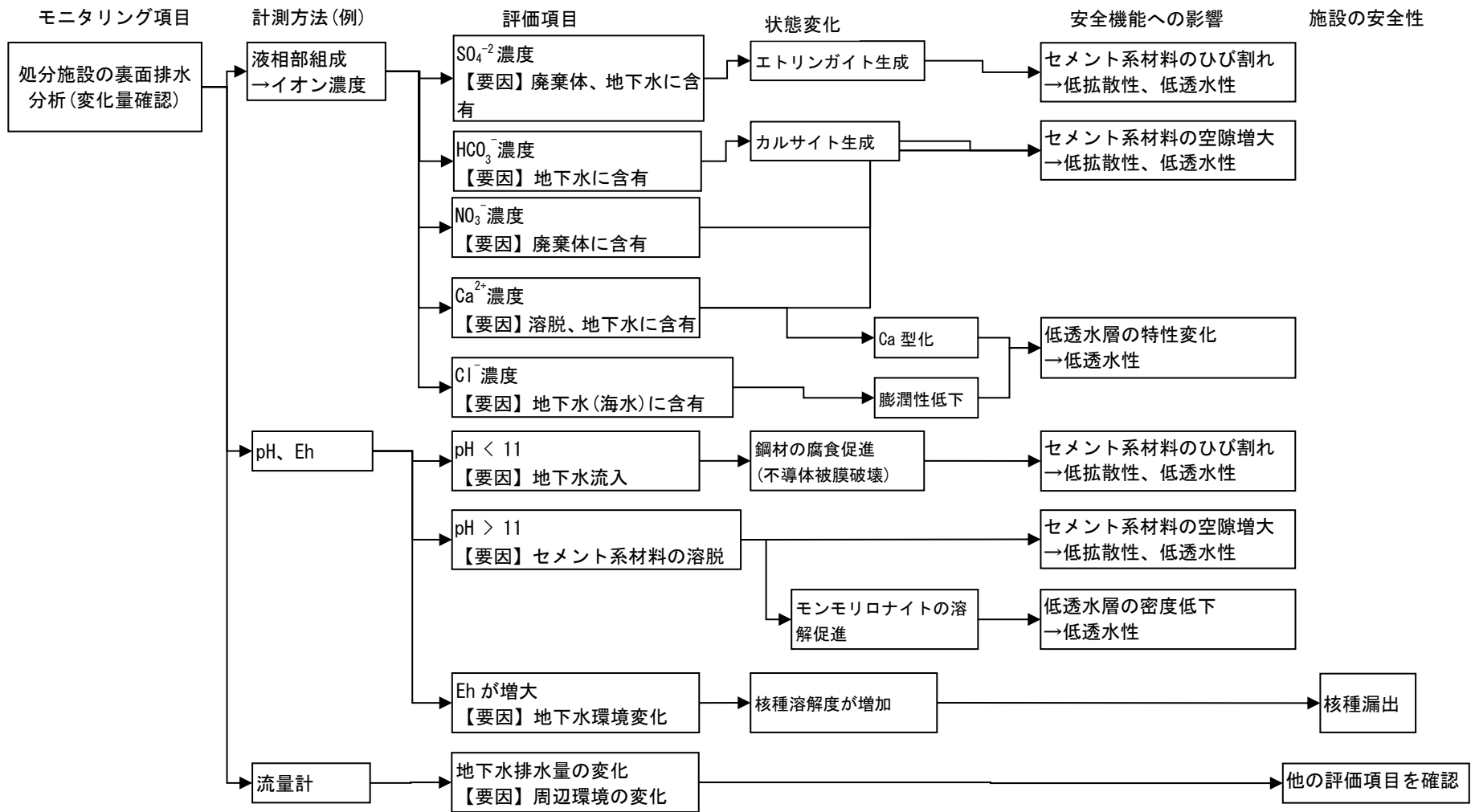


図 3.3-32 処分施設の裏面排水分析(変化量対象)モニタリングによる安全機能、安全性への影響確認フロー

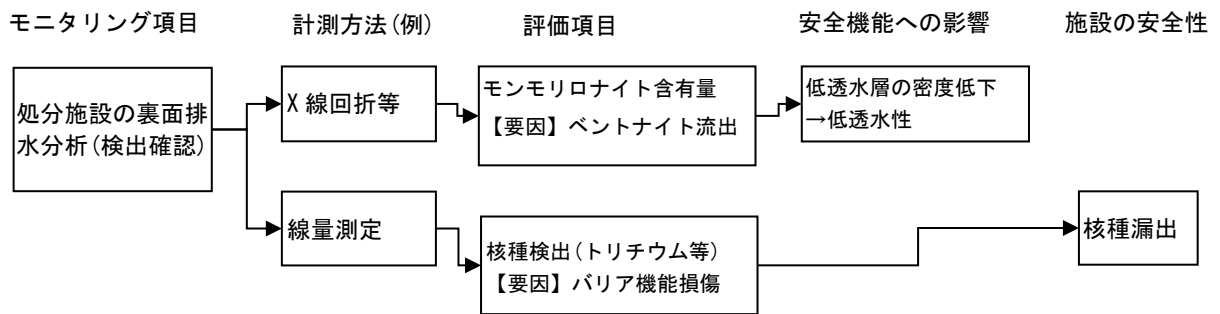


図 3.3-33 処分施設の裏面排水分析(検出確認)モニタリングによる安全機能、安全性への影響確認フロー

b. 計測期間および計測範囲

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 3.3-34 に示すように、裏面排水が貯められるピットで行う方法が考えられる。

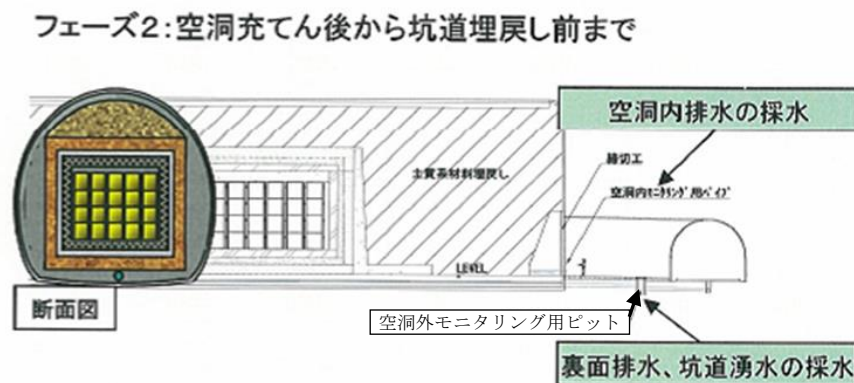


図 3.3-34 裏面排水の採取位置の例[48]

c. 計測頻度

処分施設の裏面排水分析の計測頻度は、処分施設の仕様や周辺岩盤の水理特性等を考慮して設定すべきであると考えられる。現段階では、処分施設の仕様および処分施設の地点は決まっていないため、計測頻度を詳細に設定することは難しいと考えられる。

参考として、一般廃棄物の最終処分場における計測頻度に関する記述[49]を以下に示す。

「埋立処分開始後、地下水等検査項目について一年に一回（ただし、最終処分場の周縁の地下水の汚染の有無の指標として電気伝導率および塩化物イオンの濃度を用いることが適当でない最終処分場にあつては、六月に一回）以上測定し、かつ、記録すること。」

d. 計測方法

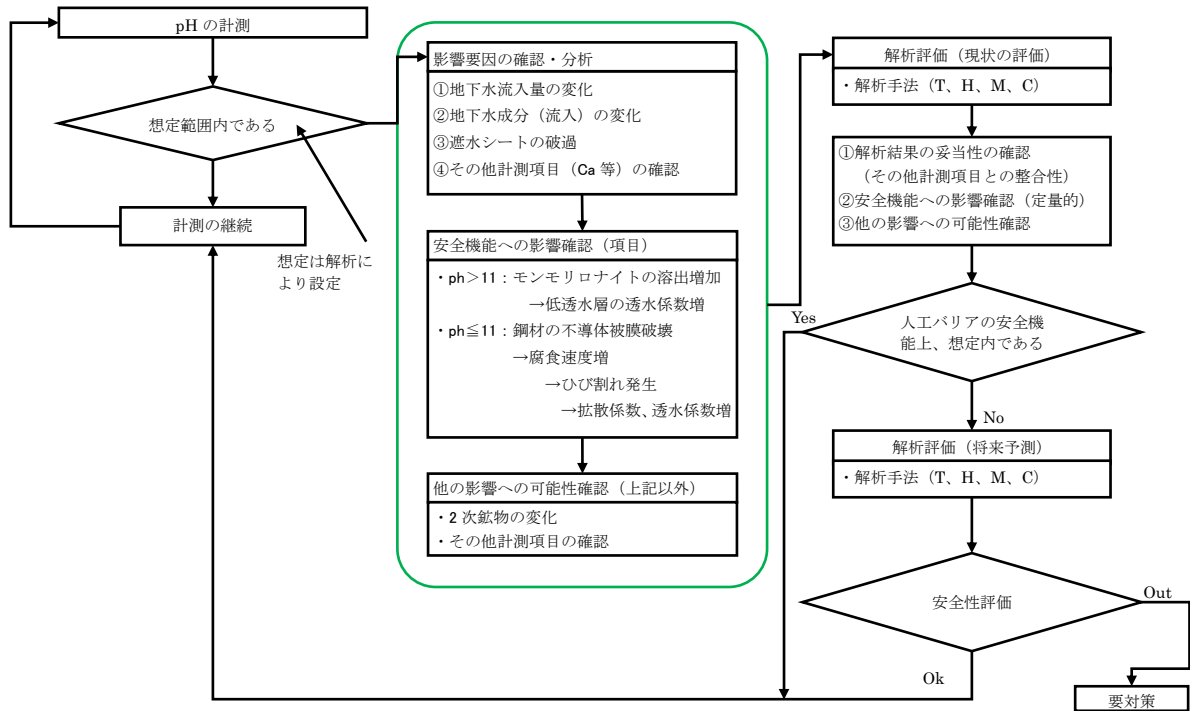
図 3.3-32～図 3.3-33 に示した裏面排水の分析項目の計測方法の例を表 3.3-20 に示す。

表 3.3-20 裏面排水の分析項目の計測方法の例

分析項目	計測方法
液相部組成 (イオン濃度)	・ イオンクロマトグラフ法 ・ ICP 発光分析法
pH	・ pH 計 (ガラス電極法)
酸化還元電位 (Eh)	・ Eh 計
流量	・ 流量計
固相部組成	・ X 線回折
線量	・ 液体シンチレーションカウンター (放射線量) ・ ゲルマニウム半導体検出器 (核種分析)

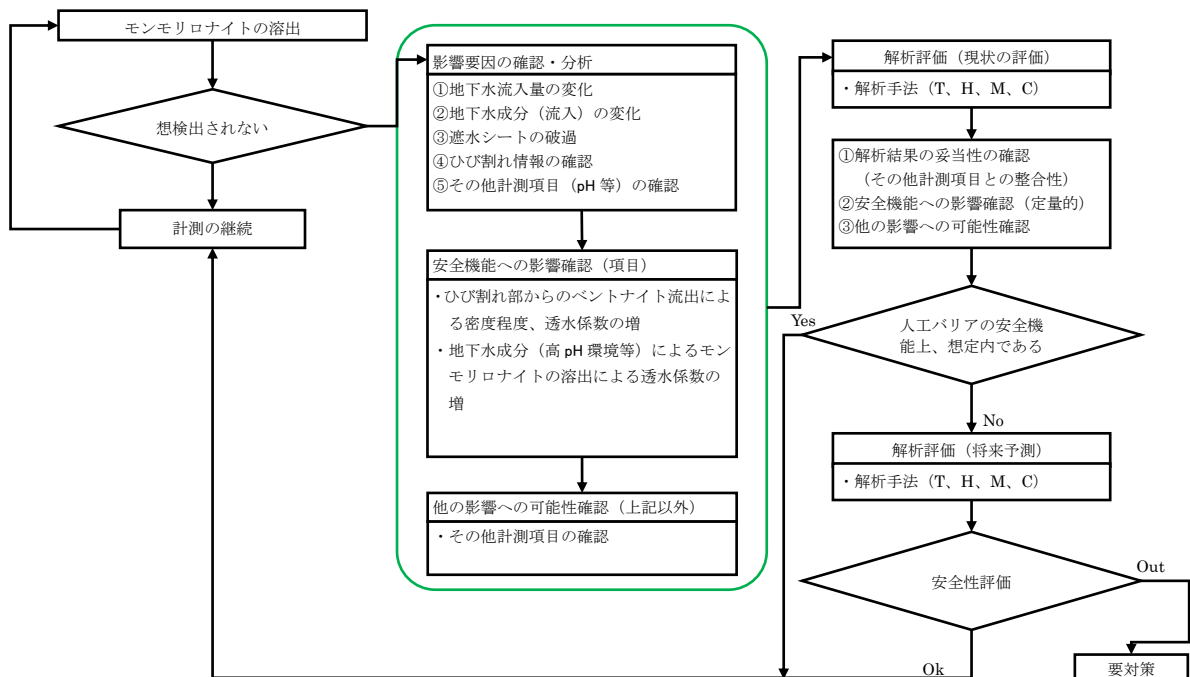
e. 計測結果の利用方法

処分施設の裏面排水分析結果は、処分施設の状態予測の一助になると考えられる。具体的な利用方法の例として、pH 計測（変化量を確認）の場合を図 3.3-35、モンモリロナイトの溶出計測（検出を確認）の場合を図 3.3-36 に示す。



※THMCは、T：Thermal（熱）、H：hydro（水理学）、M：Mechanical（力学）、C：Chemical（化学）の略

図 3.3-35 処分施設の裏面排水分析結果の具体的な利用方法案（pH 計測の例）



※THMCは、T：Thermal（熱）、H：hydro（水理学）、M：Mechanical（力学）、C：Chemical（化学）の略

図 3.3-36 処分施設の裏面排水分析結果の具体的な利用方法案（モンモリロナイトの溶出計測の例）

## 5) 近傍ボーリング孔による地下水分析

### a. 計測方法の区分

処分施設の近傍ボーリング孔による地下水を対象として、各分析試験および現地計測を行い施設の状態予測の一助とする。対象とするモニタリングは、「4) 処分施設の裏面排水分析」と同様に現地で採取した試料を用いて分析するもの（試料計測）と、現地における水理計測により分析するもの（現地計測）に区分した（図 3.3-37）。

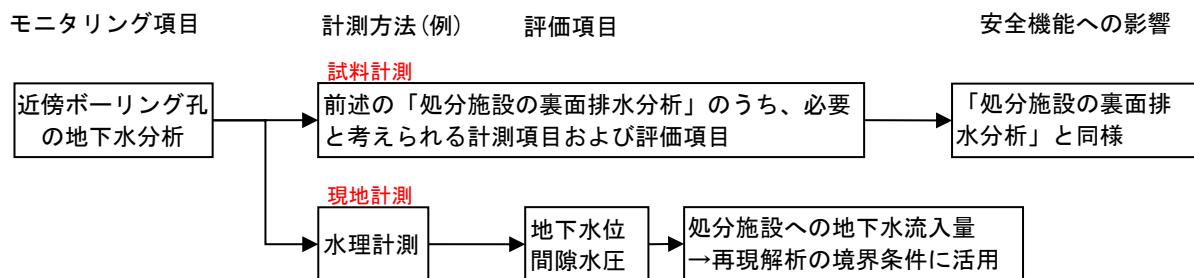


図 3.3-37 近傍ボーリング孔による地下水分析モニタリングによる安全機能への影響確認フロー

### b. 計測期間および計測範囲

計測期間は、保全段階以降も可能であると考えられる。

計測範囲（ボーリング孔位置）は、処分施設の仕様や周辺岩盤の水理特性等を考慮して設定すべきであると考えられる。現段階では、処分施設の仕様および処分施設の地点は決まっていないため、計測範囲を詳細に設定することは困難である。よって、以下の点に留意して設定することとする。

- ・ 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およ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処分施設管理区域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ことが考えられるため、同じボーリング孔を利用して、建設～保全段階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。

### c. 計測頻度

試料計測の計測頻度については、「4) 処分施設の裏面排水分析」を参考に設定すべきであると考えられる。

現地計測（地下水位や間隙水圧等の水理計測）は、現状の技術で連続計測が可能であり、また処分施設への地下水流入量に影響を与えるパラメータであることから、常時の監視が望まれる。

d. 計測方法

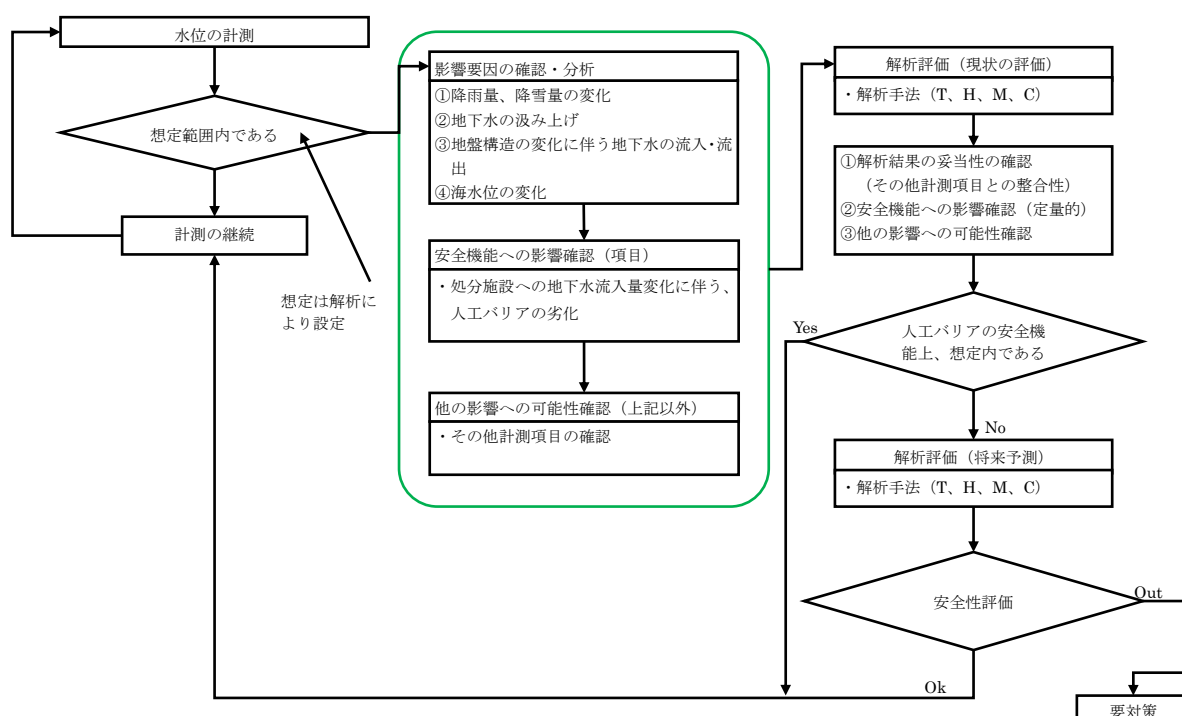
試料計測の計測方法については、「4) 処分施設の裏面排水分析」と同様である。  
 現地計測（地下水位や間隙水圧等の水理計測）の計測方法の例を表 3.3-21 に示す。

表 3.3-21 現地計測の計測方法の例

分析項目	計測方法
地下水位	・水位計
間隙水圧	・ピエゾメータ

e. 計測結果の利用方法

近傍ボーリング孔による地下水分析結果は、処分施設の状態予測の一助になると考えられる。具体的な利用方法の例として、水位計測の場合を図 3.3-38 に示す。



※THMCは、T: Thermal (熱)、H: hydro (水理学)、M: Mechanical (力学)、C: Chemical (化学) の略

図 3.3-38 近傍ボーリング孔による地下水分析結果の具体的な利用方法案（水位計測の例）

### 3.4 光ファイバセンサーの適用に向けたラボ試験

本項では、光ファイバセンサーの基本性能を把握するための耐久性評価試験(昨年度より継続)ならびに、膨潤圧計測の計測に向けた圧力測定試験について記載する。

#### 3.4.1 光ファイバセンサーの耐久性評価

放射性廃棄物処分場における光ファイバセンサーの適用を検討するにあたり、その耐久性を評価するために必要なバックデータを昨年度より試験的に得ている[14]。具体的には、塩分・高 pH・放射線の各環境下においてそれぞれ劣化促進を行い、光ファイバセンサーの機械的、光学的特性の変化を把握する。ここで用いる光ファイバセンサーは、一般的な光ファイバそのものである。つまり、ブリルアン散乱光を用いたセンサー技術(BOTDR/BOTDA方式、BOCDA方式など)[50]の適用を想定し、利用する光ファイバは通信用の一般的なシングルモード光ファイバである。FBG方式で用いられるグレーティング(回折格子)などの特殊な加工を施した光ファイバは対象としていない。また、光ファイバ同士を接続するためのコネクタ部については、センサーを含む全体のシステム構成を工夫することによりサイト内でその設置を回避できる余地があるため、本検討では考慮しないこととする。

本項では、昨年度より実施している、光ファイバセンサー技術の耐久性評価のための試験の詳細について記載する。

##### (1) 評価試験の概要

光ファイバがセンサーとして長期的にその性能を保持するためには、機械的強度に大きな低下がない(断線しない)とともに、光学的特性が確保されている(光が通る)必要がある。本検討では、光ファイバサンプルに劣化促進を与え、その前後で機械的、光学的評価試験を行う。評価試験のフローを図 3.4-1 に示す。

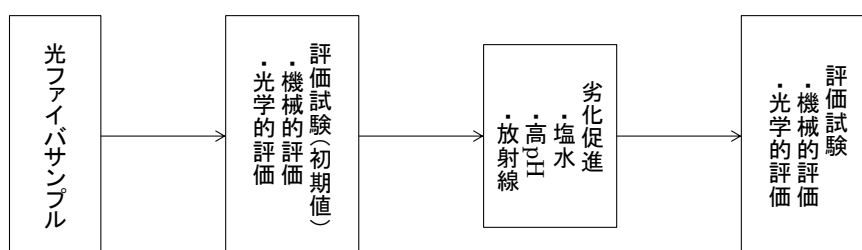


図 3.4-1 評価試験のフロー

光ファイバの劣化因子としては、既往研究の多い温度・湿度(水分)・応力以外に、放射性廃棄物処分場における特有のものとして塩分・高 pH・放射線が挙げられる。本検討では、これらを劣化因子として選択し、劣化水準を段階的に変化させて評価試験を行う。劣化因子はそれぞれ単独で与え、複合的な影響は本研究では対象としない。

通常、光ファイバはケーブル(二次被覆、シース含む)加工されるが、シース材料などに



よって耐環境特性は大きく異なる。センサー用途を目的とした本検討では、センサー感度に大きな影響を与える二次被覆やシースの詳細な仕様（材質や被覆厚など）は現時点で決定していないこと、また安全側での評価となることから、一次被覆のみを有する光ファイバ線（外径 250 μm）で耐久性を評価することとした。

## (2) 光ファイバ

評価試験に供する光ファイバは、与える劣化因子（塩水・高 pH・放射線）に対して試験結果に差が生じると予想される光ファイバを市販品のなかから選択した（表 3.4-1 参照）。No.1 の光ファイバは汎用タイプとして、通信用光ファイバで世界シェアトップの Corning 社の製品とした。No.2 の光ファイバは耐水タイプとして、クラッド表面にカーボン被覆[51]、[52]がなされた OFS 社の製品とした。No.3 は耐放射線タイプとして、コアとクラッドの屈折率が最適化[53]、[54]されたフジクラ社の製品とした。ブリルアン散乱光によるセンサー方式の適用を考慮し、これら光ファイバはすべてシングルモード光ファイバで通信用途に製造されているものである。劣化促進から評価試験まで二次被覆のない状態、つまり光ファイバ素線（外径 250 μm）で行う。各タイプの光ファイバの構成イメージを図 3.4-2 に、サンプルの外観を図 3.4-3～図 3.4-5 にそれぞれ示す。

表 3.4-1 光ファイバのサンプル

No.	タイプ	メーカー	型番
1	汎用	Corning（米国）	SMF-28 Ultra Bare Fiber
2	耐水	OFS（米国）	F78814
3	耐放射線	フジクラ（日本）	SMF-RRSMFB

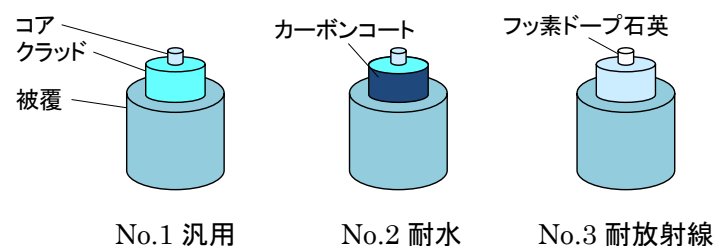


図 3.4-2 各タイプの光ファイバ構成イメージ



図 3.4-3 光ファイバサンプル No.1



図 3.4-4 光ファイバサンプル No.2



図 3.4-5 光ファイバサンプル No.3

各タイプの光ファイバの仕様を表 3.4-2 に示す。

表 3.4-2 各タイプの光ファイバ仕様

項目	No.1 汎用	No.2 耐水	No.3 耐放射線
ファイバタイプ	シングルモード光ファイバ	カーボンコートシングルモード光ファイバ	フッ素ドープ石英コアシングルモード光ファイバ
使用波長	1310nm / 1550nm	1310nm / 1550nm	1310nm
モードフィールド径	9.2±0.4 μm @1310nm 10.4±0.5 μm @1550nm	8.9±0.5 μm @1310nm 10.0±0.5 μm @1550nm	8.6±0.7 μm @1310nm
コア材質	ゲルマニウムドープ石英	ゲルマニウムドープ石英	フッ素ドープ石英
クラッド材質	純粋石英	純粋石英	フッ素ドープ石英
ファイバ径	125±0.7 μm	125±1 μm	125±2 μm
伝送損失	≤0.32dB/km @1310nm ≤0.18dB/km @1550nm	≤0.5dB/km @1310nm ≤0.3dB/km @1550nm	≤0.6dB/km @1310nm ≤0.5dB/km @1550nm
カットオフ波長	≤1260nm	≤1310nm	≤1260nm
一次被覆材質	アクリレート樹脂	カーボンコート+アクリレート樹脂	アクリレート樹脂
被覆径	242±5 μm	250±10 μm	245±10 μm
スクリーニングレベル	>1% (0.69GPa)	>1% (0.69GPa)	>1% (0.69GPa)
使用温度範囲	-60～85℃	-40～85℃	0～60℃

### (3) 劣化促進

劣化促進パラメータを表 3.4-3 に示す。光ファイバ全長に対して均一に劣化促進するためには、用意した光ファイバサンプル（素線、約 250m 長）をボビンから外して束どりした状態が望ましい。しかし、運搬時の破損などを避けるために、それぞれの劣化促進は光ファイバがプラスチック製のボビンに巻き取られた状態で行う。安定した光学的評価試験結果を得るためにも、ボビンに巻いた状態は適していると言える。また、機械的、光学的ともに評価試験はサンプル全長に対して行うため、ボビンの内周～外周における劣化度合いの差が評価結果へ与える影響は、一定程度低減されると考えられる。

なお、各劣化環境は光ファイバセンサー設置位置などをもとに定量的に決定したものではない。既往研究での実験条件を参考に、使用する実験設備の制限の下で出来る限り劣化促進されるよう意図したものである。

表 3.4-3 劣化促進パラメータ (\*は昨年度実施済み、カッコ内は今後)

劣化因子	劣化環境	劣化水準		
		1	2	3
塩分	高濃度 (海水の 2 倍) 塩水に浸漬 (60℃)	10 日*	50 日	(100 日)
高 pH	高アルカリ溶液 (pH13) に浸漬 (60℃)	(1 日)	10 日*	
放射線	200Gy/h を照射	5h*	100h	

シングルモード光ファイバを構成する石英ガラスは、水やアルカリなどの化学的浸食を受けることが知られている[55]。そこで、塩分・高 pH に対する劣化促進は、光ファイバサンプルを溶液に浸漬することによって行う。浸漬は恒温槽内で行い、既往研究における加速劣化試験条件[56]などを参考に、60℃、大気圧環境下で実施する。さらなる高温では劣化進行が激しく機械的評価試験で安定した結果が得られないと懸念されること、通信用架空線が日射によって経験する最高温度とも一致するため参照可能な研究結果が多いこと、セメント系材料の性能低下が 60℃まではみられないこと[57]などから本条件とする。恒温槽内での浸漬状況と恒温槽の仕様を図 3.4-6 と表 3.4-4 にそれぞれ示す。

塩分については、室温で海水に浸漬したカーボン被覆の効果確認の事例[58]を参考に、濃度を 2 倍 (6%)、温度を 60℃とすることで劣化促進を図る。高濃度の塩水は、塩化ナトリウムと蒸留水から作製する。

高 pH については、既往研究[59]を参考にセメント溶解水を想定した下記組成の高アルカリ水に浸漬する。このときのイオン強度は約 0.5、pH は 13.4 である。

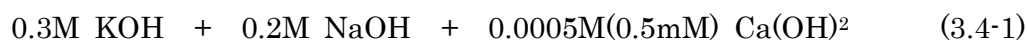


図 3.4-6 恒温槽内での塩水浸漬状況

表 3.4-4 恒温槽仕様

項目	仕様
加温ヒータ容量	4.5kW
温度設定範囲	-40～150℃
湿度設定範囲	20～98% rh
内寸法(W)×(D)×(H)	1000×800×1000 mm

シングルモード光ファイバを構成する石英ガラスは、放射線を照射すると透過率が低下することが知られている[55]。そこで、放射線に対する劣化促進は、光ファイバサンプルに放射線を直接照射することによって行う。既往の研究[53]、[54]、[60]と図 3.4-7 に示すガンマ線照射装置の性能（装置所有機関による測定結果）を鑑み、200Gy/h で照射する。L1 処分容器表面線量率は最大 500mSv/h であるが、実施設のコンクリートピット（0.7m 厚）による放射線の実効線量透過率は  $2 \times 10^{-3}$  程度である[61]（点線源、セシウム 137 の場合）。そのため、200Gy/h の照射 1 時間は、コンクリートピット外壁部における曝露約 20 年に相当する。そのため、本評価における最長の劣化水準 2（照射 100 時間）は、約 2000 年に相当すると考えられる。

使用するガンマ線照射装置の外観と仕様を図 3.4-8 と表 3.4-5 にそれぞれ示す。

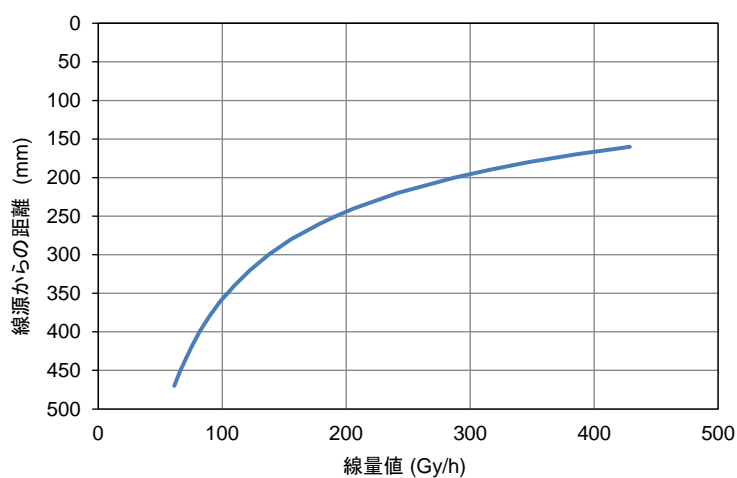


図 3.4-7 線源からの距離と線量値

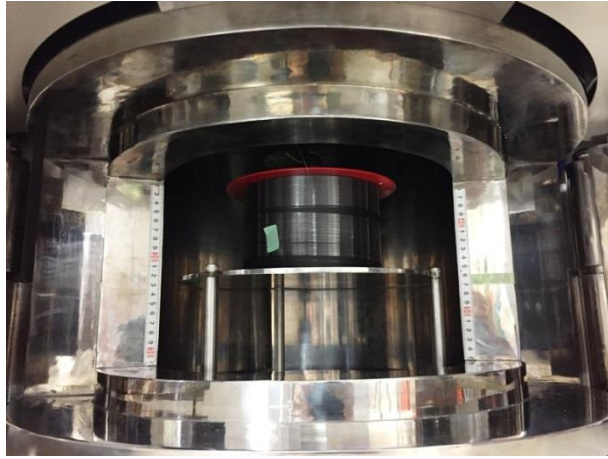


図 3.4-8 ガンマ線照射装置へのサンプル設置状況

表 3.4-5 ガンマ線照射装置仕様

項目	仕様
線源	セシウム 137
線源容量	244.2TBq
照射室	φ 338×600mm
照射台	φ 300mm
照射線量率範囲	4.8～1500Gy/h

#### (4) 機械的評価

光ファイバは、応力が付加されていると石英ガラス表面の微小な傷が拡大することで破断に至る。つまり、破断応力以下の応力でも、長期間継続して負荷させると傷が成長し破断に至ることがある。これはガラスの疲労特性として知られ、規格[62]に規定される静疲労試験や動疲労試験によって、破断強度そのものとともに、破断評価に必要な疲労係数(n)を求めることができる。実際の本検討における試験状況と引張試験機を図 3.4-9 に示す。



図 3.4-9 試験状況と引張試験機

静的試験では、数 m 程度の長さの光ファイバに一定なひずみ(引張や曲げによる)を加え、破断強度(応力)を測定する(図 3.4-10 参照)。この測定を数多くのサンプルで実施して、それぞれの破断強度結果を累積分布として表現することで、光ファイバの現有的機械的性能を評価できる。図 3.4-11 のように、引張試験結果はワイブル分布形状を示すことが知られている。評価指標としては、破断強度が高いこととともに、破断強度にばらつきが少ないことが安定した性能の観点からも重要であると言える。

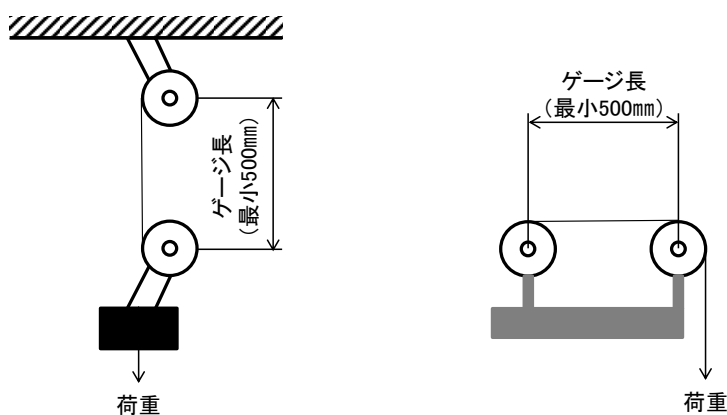


図 3.4-10 引張試験



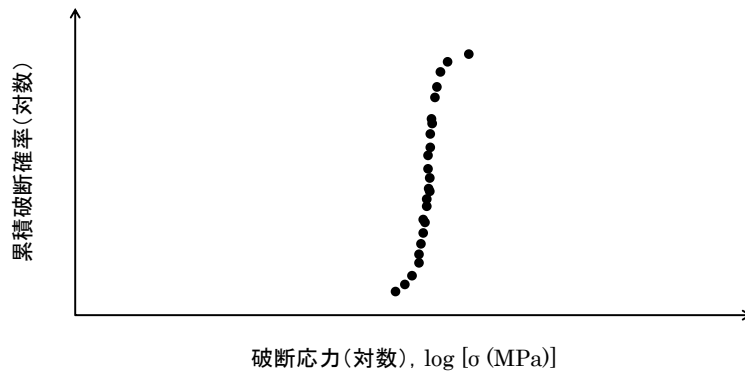


図 3.4-11 引張試験結果のイメージ

光ファイバサンプル No.1 (汎用タイプ) の引張試験結果を図 3.4-12～図 3.4-14 に示す。  
 図 3.4-12 の結果から、塩水浸漬期間の増加によって、平均破断強度が低下するとともに、破断強度のばらつきが増えていくことがわかった。

高 pH 浸漬については、図 3.4-15 に示す様に、引張試験を実施できない (治具で把持できない) ほど光ファイバが劣化してしまったため、データを取得できなかった (図 3.4-13)。

図 3.4-14 の結果から、放射線照射によって、破断強度の平均やばらつきに大きな変化がないことがわかった。

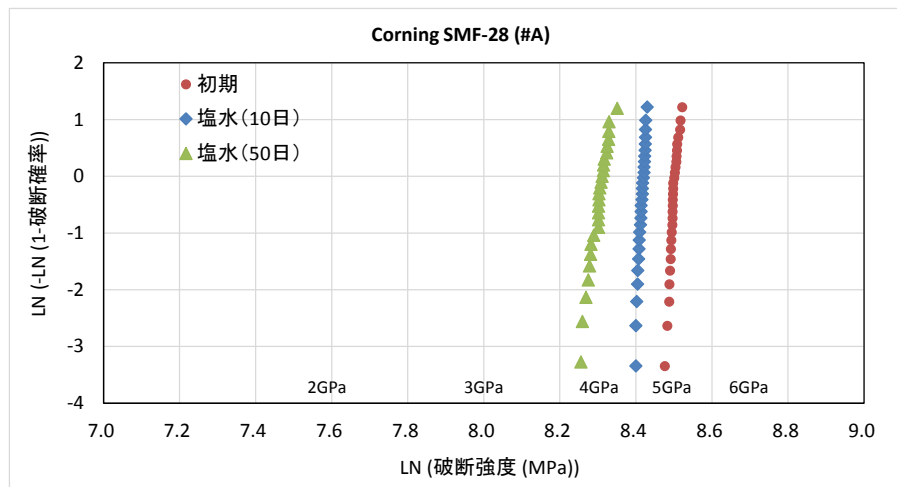


図 3.4-12 引張試験結果 (汎用タイプ ; 塩分)



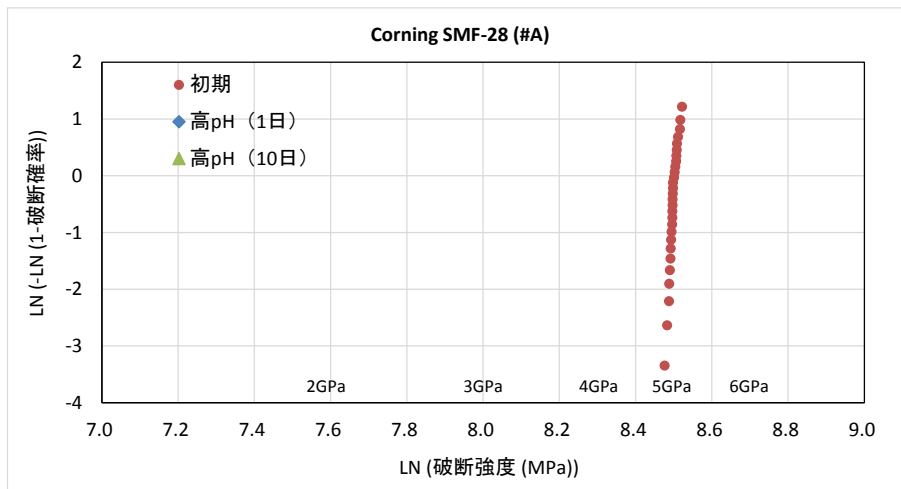


図 3.4-13 引張試験結果 (汎用タイプ ; 高 pH)

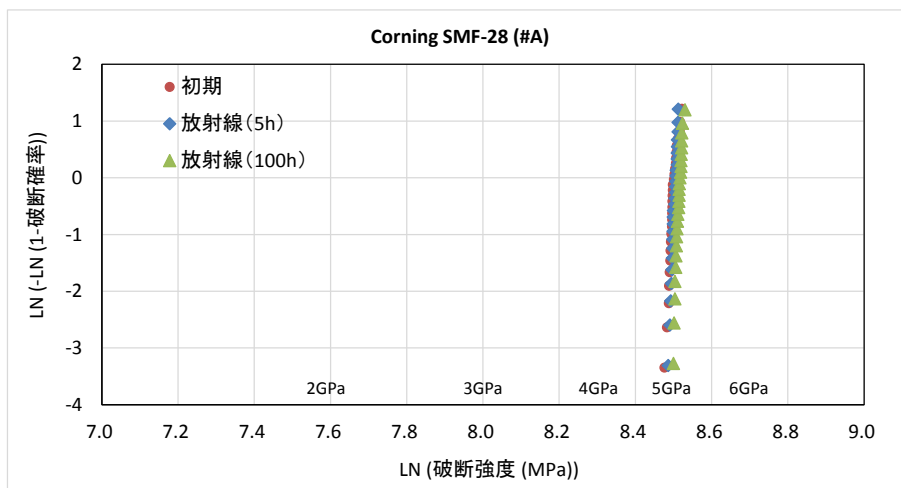


図 3.4-14 引張試験結果 (汎用タイプ ; 放射線)



図 3.4-15 高 pH で 10 日浸漬後の汎用タイプの劣化状況

光ファイバサンプル No.2 (耐水タイプ) の引張試験結果を図 3.4-16～図 3.4-17 に示す。塩水や高 pH 浸漬に対しても、破断強度の平均やばらつきに大きな変化がないことがわかった。

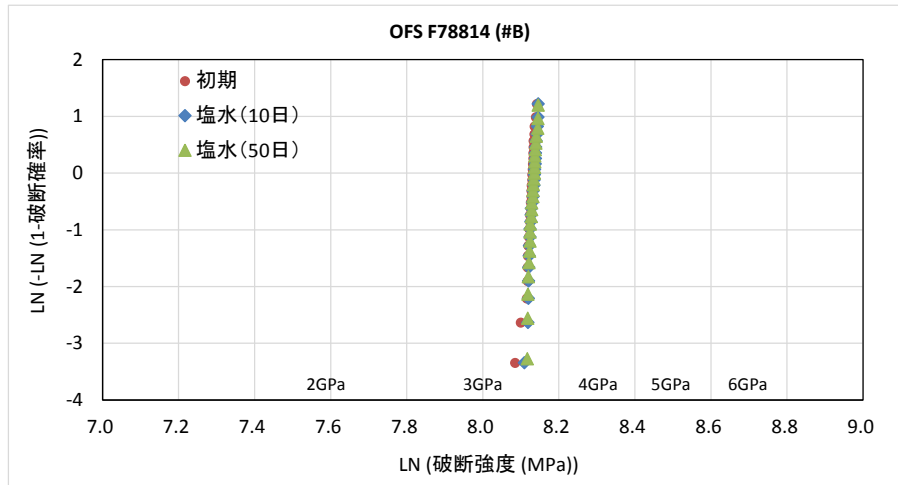


図 3.4-16 引張試験結果 (耐水タイプ ; 塩水)

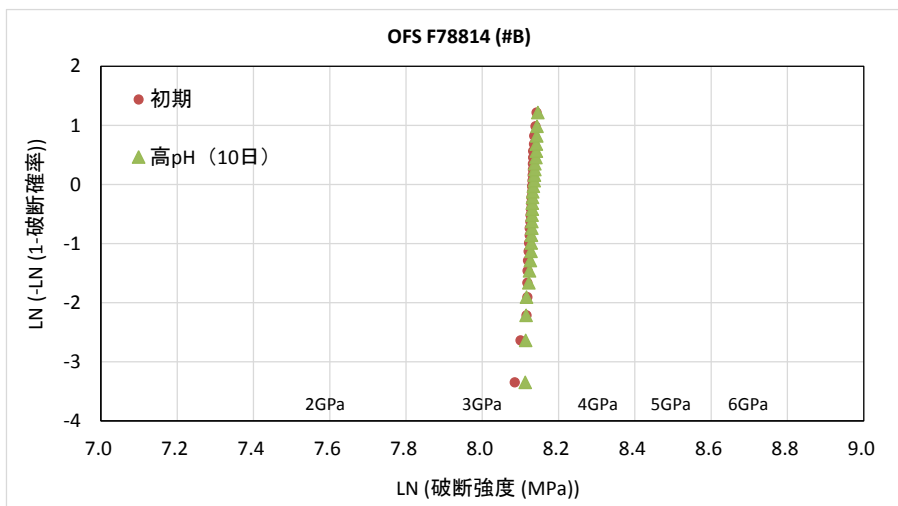


図 3.4-17 引張試験結果 (耐水タイプ ; 高 pH)

光ファイバサンプル No.3 (耐放射線) の引張試験結果を図 3.4-18 に示す。わずかではあるが、放射線照射によって破断強度が上がっているように見える。その原因は定かではない。

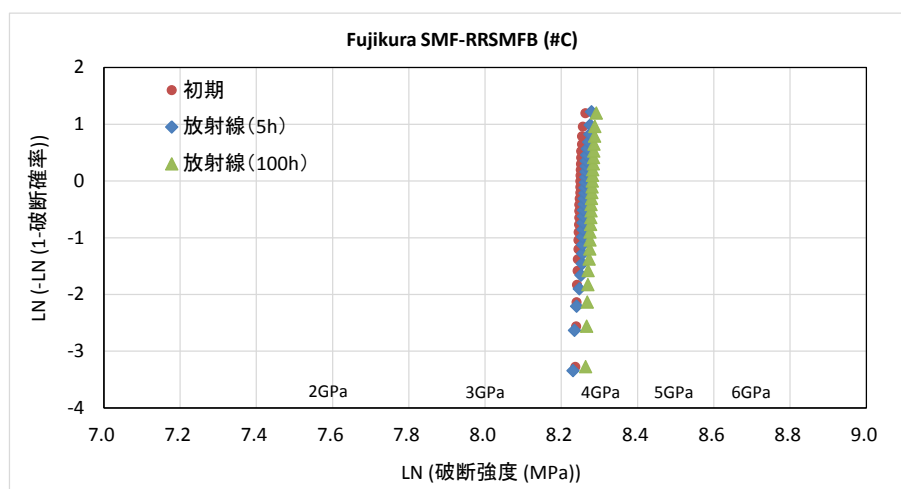


図 3.4-18 引張試験結果 (耐放射線タイプ ; 放射線)

動疲労試験では、光ファイバに加えるひずみ (引張や曲げによる) 速度を変え、破断強度を測定することで疲労係数 ( $n_d$ ) を求める (図 3.4-19~図 3.4-20 参照)。

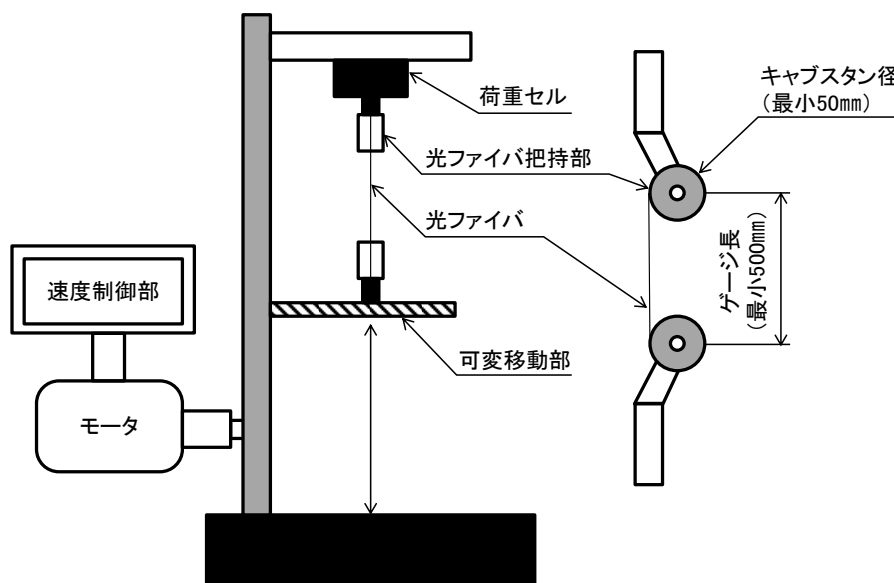


図 3.4-19 引張による動的疲労係数測定

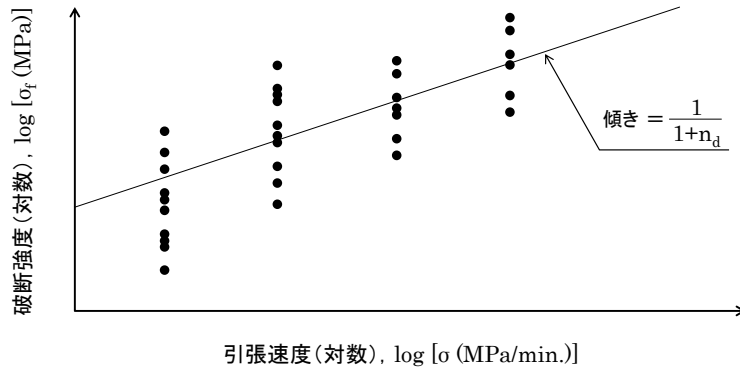


図 3.4-20 動的疲労のデータ構成

光ファイバサンプル No.1(汎用タイプ)の動疲労試験結果を図 3.4-21～図 3.4-23 に示す。

図 3.4-21 の結果から、塩水浸漬期間の増加による破断強度の低下はみられるものの、疲労係数（線形近似の傾き）に大きな変化はなかった。

高 pH 浸漬については、前述のように引張試験を実施できないほど劣化してしまった（図 3.4-15 参照）ため、データを取得できなかった（図 3.4-22）。

図 3.4-23 の結果から、放射線照射によって、破断強度ならびに疲労係数に大きな変化がないことがわかった。

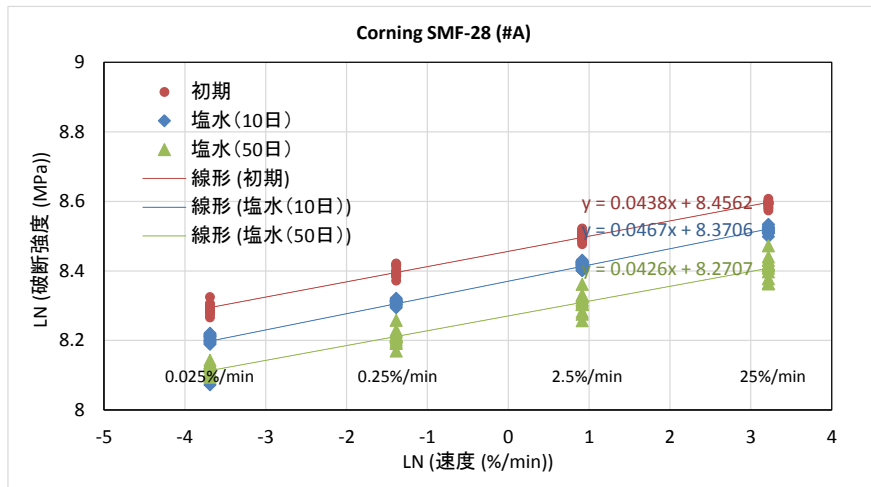


図 3.4-21 動疲労試験結果（汎用タイプ；塩分）

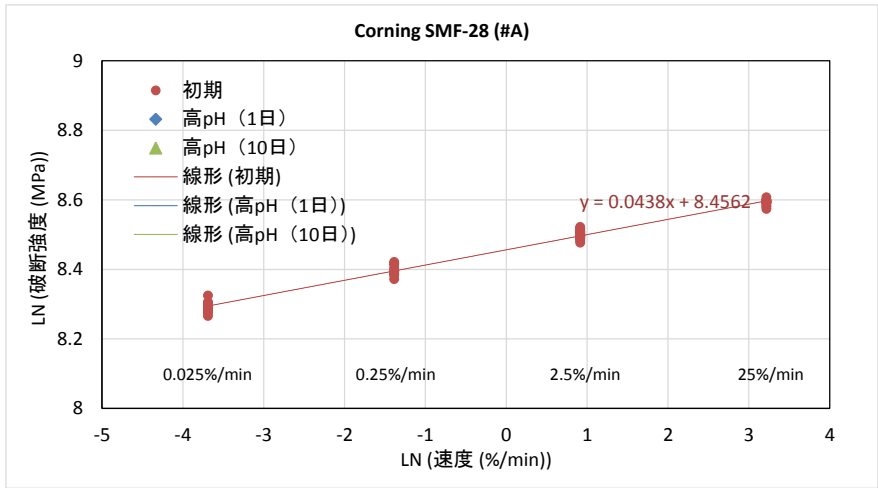


図 3.4-22 動疲労試験結果 (汎用タイプ ; 高 pH)

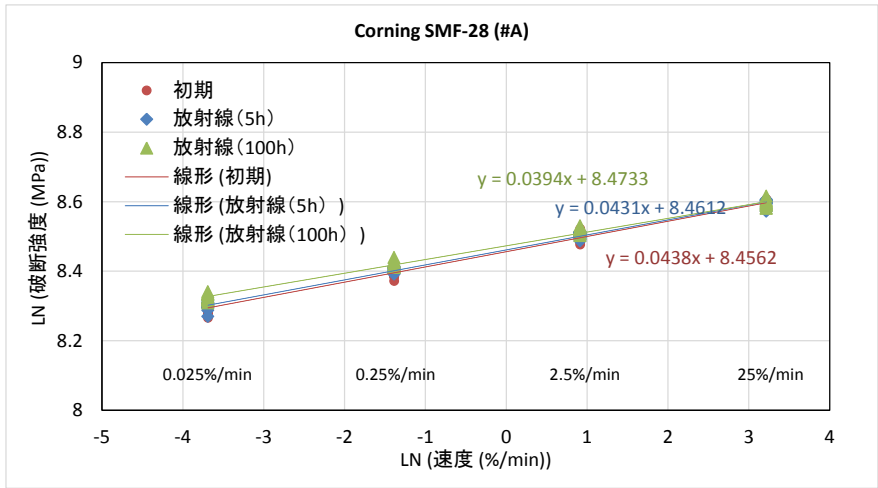


図 3.4-23 動疲労試験結果 (汎用タイプ ; 放射線)

光ファイバサンプル No.2 (耐水タイプ) の動疲労試験結果を図 3.4-24～図 3.4-25 にそれぞれ示す。これまでのところ、初期値との差異は小さく、明らかな劣化は認められない。塩水や高 pH 浸漬に対しても、破断強度ならびに疲労係数に大きな変化がないことがわかった。

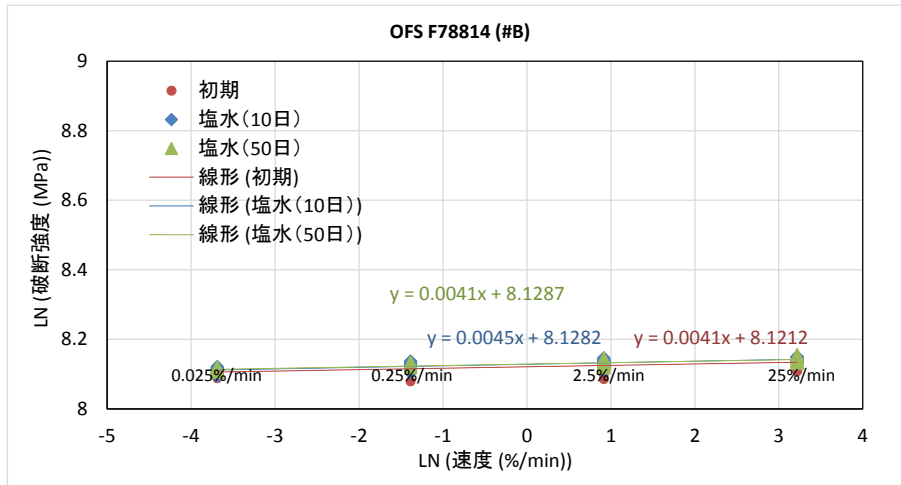


図 3.4-24 動疲労試験結果 (耐水タイプ ; 塩分)

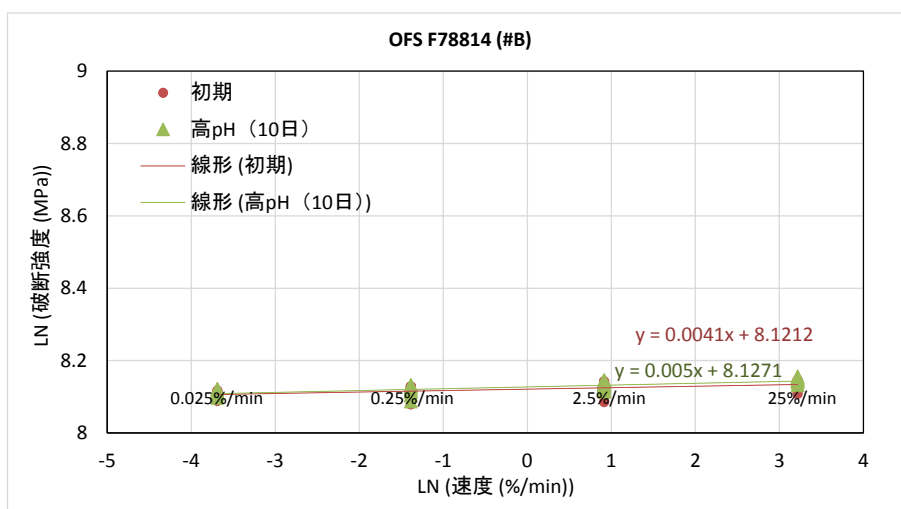


図 3.4-25 動疲労試験結果 (耐水タイプ ; 高 pH)

光ファイバサンプル No.3 (耐放射線タイプ) の引張試験結果を図 3.4-26 に示す。わずかながら、放射線照射によって破断強度が上がっているように見える。その原因は定かではない。疲労係数に大きな変化はみられなかった。

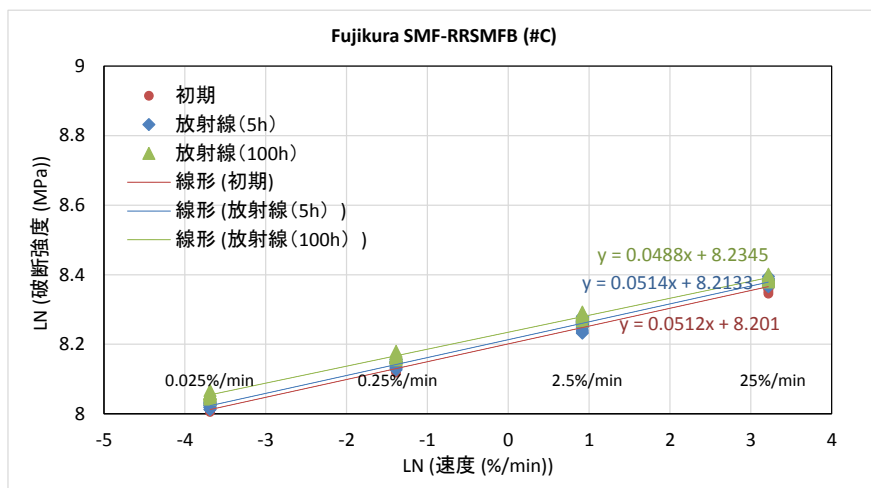


図 3.4-26 動疲労試験結果 (耐放射線タイプ ; 放射線)

動疲労試験結果から求めた疲労係数 (nd) を表 3.4-6~表 3.4-8 に示す。

表 3.4-6 動疲労係数結果 (汎用タイプ、\*は昨年度実施済み)

劣化因子	劣化水準			
	0	1	2	3
塩分	初期値	10 日*	50 日	100 日
	21.83	20.41	22.47	試験中
高 pH	初期値	1 日	10 日*	
	21.83	試験中	—	
放射線	初期値	5h*	100h	
	21.83	22.20	24.38	

表 3.4-7 動疲労係数結果 (耐水タイプ、\*は昨年度実施済み)

劣化因子	劣化水準			
	0	1	2	3
塩分	初期値	10 日*	50 日	100 日
	242.90	221.22	242.90	試験中
高 pH	初期値	1 日	10 日*	
	242.90	試験中	199.00	

表 3.4-8 動疲労係数結果 (耐放射線タイプ、\*は昨年度実施済み)

劣化因子	劣化水準			
	0	1	2	3
放射線	初期値	5h*	100h	
	18.53	18.46	19.49	

光ファイバに付加される応力  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  下において、傷が成長し破断に至る時間をそれぞれ  $T_1$ 、 $T_2$  とすると、応力と破断時間の関係は近似的に下式であらわされる[63]。応力の比に疲労係数を乗じた値が、破断に至る時間の逆比に等しいことを示している。つまり、1%伸びの応力 ( $\sigma_1$ ) 下で  $T_1=1$  秒で破断に至る大きさの傷は、疲労係数  $n=20$  の場合、0.5%伸びの応力 ( $\sigma_2$ ) 下で  $T_2=1.05 \times 10^6$  秒 ( $\approx 12$  日間) には破断に至ると言う考え方である。疲労係数  $n$  は疲労試験方法 (静的、動的) により異なり、測定時間と適用応力レベルにより、その結果に影響を与えることが知られているため、その取扱いには注意を要する[62]。

$$\left( \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right)^n = \frac{T_2}{T_1} \quad (3.4\cdot2)$$

一般的には、光ファイバの強度を全長にわたって保証するため、製造された光ファイバの全長にわたり所定の張力 (スクリーニングひずみ) を加えて傷などの低強度部を取り除くスクリーニング試験が行われている[64][65]。本評価で得られる疲労係数とスクリーニング試験条件 (スクリーニングひずみ、スクリーニング時間など)、さらに放射性廃棄物処分場内での光ファイバセンサー設置位置における環境条件 (光ファイバに加わるひずみ、ひずみに加わる期間など) をもって、光ファイバセンサーの推定寿命を求めることとなる。



(5) 光学的評価

光ファイバ内での光パワーの減少の尺度として損失がある。光ファイバの距離の離れた二つの断面 1 と 2 の間の波長  $\lambda$  での損失  $A(\lambda)$  は下式によって求められる。ここで、 $P_1(\lambda)$  は光ファイバ入射側断面 1 を通過する光パワー、 $P_2(\lambda)$  は光ファイバ出射側断面 2 を通過する光パワーである (図 3.4-27 参照)。

$$A(\lambda) = 10 \log_{10} \left| \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \right| \quad (3.4-3)$$

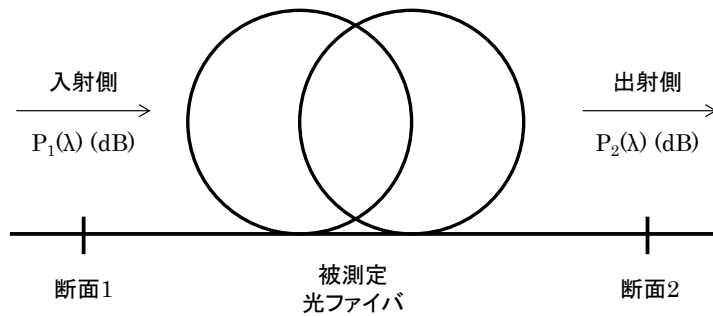


図 3.4-27 光ファイバの損失定義

光ファイバの単位長さ当たりの損失係数  $\alpha(\lambda)$  は下式によって求められる。ここで、 $A(\lambda)$  は波長  $\lambda$  での損失、 $L$  は長さである。

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \quad (3.4-4)$$

損失試験のうち光パルス試験機 (OTDR : Optical Time Domain Reflectometry) を用いる OTDR 法は単一方向の測定であり、光ファイバの異なる箇所から光ファイバの先端までの後方散乱光パワーを測定する方法である。この測定は光ファイバ内の伝搬速度および光ファイバの両端からの後方散乱光を測定し、この二つの OTDR 波形を平均化することによって、光ファイバの損失試験に用いることができる。OTDR による損失試験方法を図 3.4-28 に、ダミー光ファイバを使用した均一な試料の OTDR 概略波形の例を図 3.4-29 にそれぞれ示す。実際の本検討における試験状況と OTDR 画面を図 3.4-30 に示す。被測定光ファイバ部分の単方向の後方散乱損失係数は、下式であらわされる。ここで、 $\alpha$  は単方向の後方散乱係数、 $Z_1$  はダミー光ファイバ以遠のデッドゾーン (接続部の測定不可領域) を越えたところの距離、 $Z_2$  は試料の端部の距離 (終端反射影響のないところ) である。

$$\alpha(\lambda) = \frac{P_1(\lambda) - P_2(\lambda)}{Z_1 - Z_2} \quad (3.4-5)$$

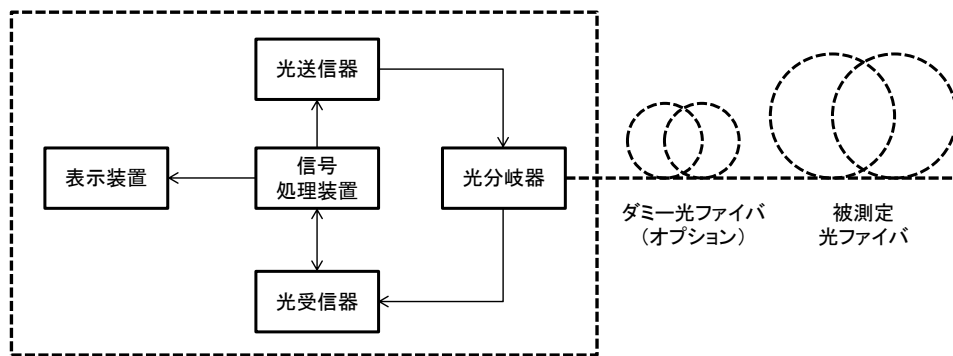


図 3.4-28 OTDR の構成図

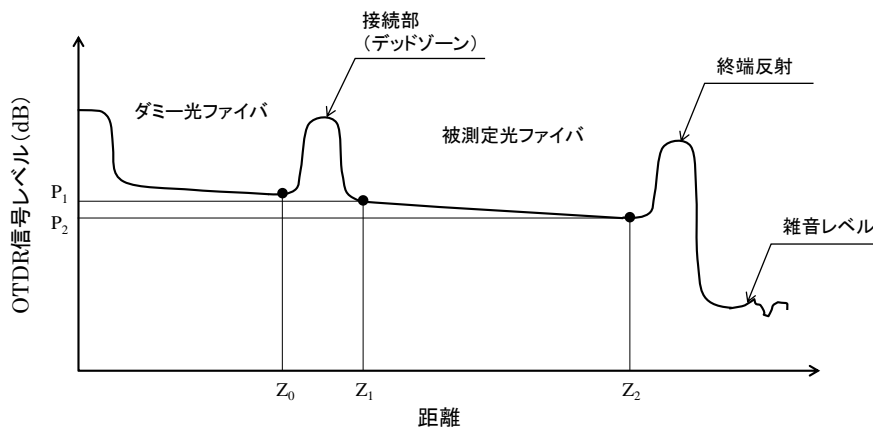


図 3.4-29 ダミー光ファイバを使用した均一な試料の OTDR 概略波形の例



図 3.4-30 試験状況と OTDR 画面

一般的に、シングルモード光ファイバでの損失試験時には、1310nm または 1550nm の波長を使うことが多い。波長 1310nm で約 0.4 dB/km、波長 1550nm で約 0.2 dB/km が一般的な損失と言われている。本検討として重視すべきは、計画している光ファイバセンサーで

使用される波長 1550nm であるが、計測できる条件下では参考値として波長 1310nm でも計測を行った。

光ファイバサンプル No.1 (汎用タイプ) の損失計測結果を表 3.4-9 に示す。各サンプルにつき約 150m 長の損失 (dB) を計測したものである。塩分浸漬期間の増加に伴い、わずかであるが損失が増えた。懸念された光ファイバの変質そのものが発生したことを示唆する結果である。しかし、長期浸漬によって、ボビンに巻き取られた光ファイバに緩みが生じたことで損失が増加した可能性も否定し切れない。

表 3.4-9 損失計測結果 (汎用タイプ、\*は昨年度実施済み)

劣化因子	波長	劣化水準			
		0	1	2	3
塩分		初期値	10 日*	50 日	100 日
	1310nm	0.35 dB	0.34	0.38	(未実施)
	1550nm	0.24	0.32	0.32	(未実施)
高 pH		初期値	1 日	10 日*	
	1310nm	0.35 dB	(未実施)	—	
	1550nm	0.24	(未実施)	—	

光ファイバサンプル No.3 (耐水性タイプ) の損失計測結果を表 3.4-10 に示す。各サンプルにつき約 150m 長の損失 (dB) を計測したものである。塩分浸漬期間の増加に伴い、わずかであるが損失が増えた。懸念された光ファイバの変質そのものが発生したことを示唆する結果である。しかし、長期浸漬によって、ボビンに巻き取られた光ファイバに緩みが生じたことで損失が増加した可能性も否定し切れない。

表 3.4-10 損失計測結果 (耐水性タイプ、\*は昨年度実施済み)

劣化因子	波長	劣化水準			
		0	1	2	3
塩分		初期値	10 日*	50 日	100 日
	1310nm	0.35 dB	0.37	0.41	(未実施)
	1550nm	0.25	0.29	0.32	(未実施)
高 pH		初期値	1 日	10 日*	
	1310nm	0.35 dB	(未実施)	0.31	
	1550nm	0.25	(未実施)	0.26	

劣化因子のうち放射線については、照射を停止すると損失変化が徐々に復帰していくことが知られている。そこで、損失試験については放射線を照射した状態で実施することとする。実験時の状況を図 3.4-41 に示す。損失の測定波長は 1550nm として、照射開始から 100 時間のあいだ 20 分間隔で定期的に測定した。



図 3.4-31 放射線照射時の実験状況

光ファイバサンプル No.1 (汎用タイプ) と No.3 (耐放射線タイプ) の放射線照射時間と損失の計測結果を図 3.4-32 に示す。それぞれの長さ (L) は、汎用タイプ 183m、耐放射線タイプ 137m で測定を行い、1km あたりの損失を算出した。累積放射線量で約 20,000Gy の場合、汎用タイプで約 23dB/km の損失増加が生じたのに対して、耐放射線タイプでは約 1dB/km の損失増加に抑えられた。既往文献[66]でも見られるように、光ファイバのコアにフッ素をドープすることにより、著しく耐放射線性を高められることを確認できた。ちなみに、照射終了 8 日後に汎用タイプを再測したところ、損失が約 15dB/km まで復帰していた。

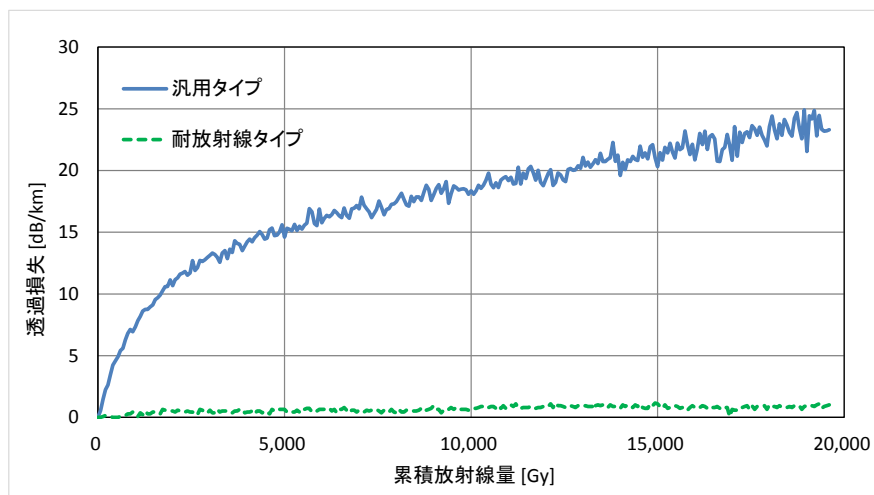


図 3.4-32 放射線照射時間と損失の関係

### 3.4.2 光ファイバセンサーによる圧力測定

#### (1) 圧力測定の概要

光ファイバによる圧力測定センサーとしてファブリーペロー方式を利用した圧力センサーがある。例えば、ポイント型の圧力センサーを用いてベントナイト膨潤圧に起因する圧力測定を試みたところ (図 3.4-33)、妥当な結果が得られたことを確認できている (図 3.4-34)。

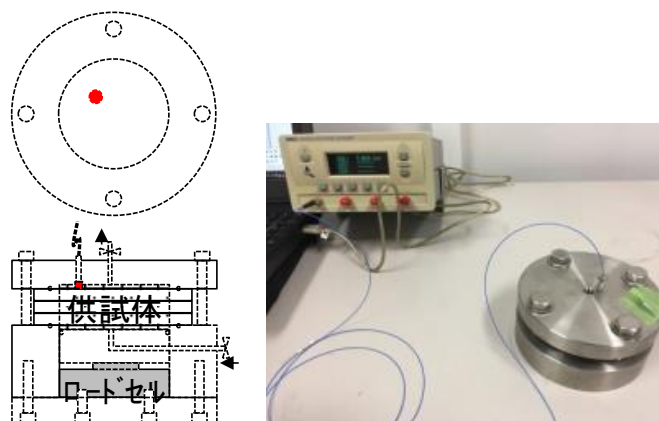


図 3.4-33 光ファイバセンサー (ポイント型) による圧力測定

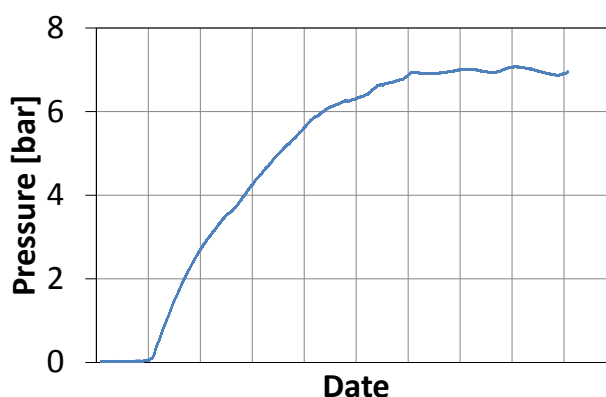


図 3.4-34 光ファイバセンサー (ポイント型) による圧力計測結果

ファブリーペロー方式はポイント型のセンサーであり、光ファイバ 1 本につき端部の一点のみを計測する方式である。多点の圧力を計測するためには、その数だけ光ファイバを用意する必要があり、光ファイバのもつ利点を損なってしまう。そこで本項では、一本の光ファイバで多点の圧力を計測する技術 (圧力分布) の実現性を検討した結果について記す。

図 3.4-35 に圧力分布の計測イメージを示す。並列する二本の光ファイバの拘束条件を変えて、側圧によって異なる長軸方向の挙動が生じると考えられる。長軸方向の挙動の違いは、これまでひずみ計測で用いられている技術での計測で実現可能であるため、側圧が両者のひずみ差と相関がみられれば、側圧分布の実現性が確認できる。

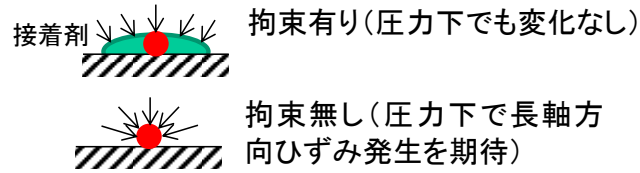


図 3.4-35 側圧検知の概念

(2) 検証実験

圧力分布測定の実現性を検証するために、加力装置を用いて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を実施した。図 3.4-36 に試験構成を示す。鋼板に拘束条件の異なる光ファイバセンサーを設置したうえで、ベントナイトを敷き詰めた。加力装置で段階的に荷重を上げながら、光ファイバセンサーに沿ったひずみ分布を計測した。試験状況を図 3.4-37～図 3.4-41 に示す。

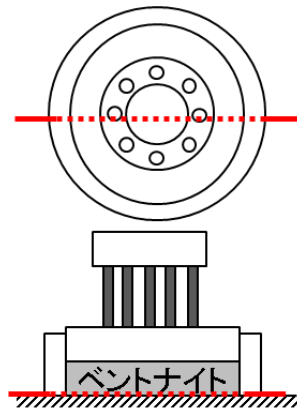


図 3.4-36 試験構成

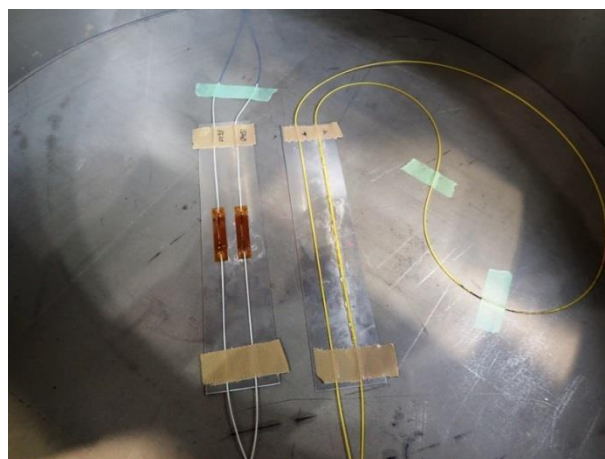


図 3.4-37 光ファイバセンサーの設置



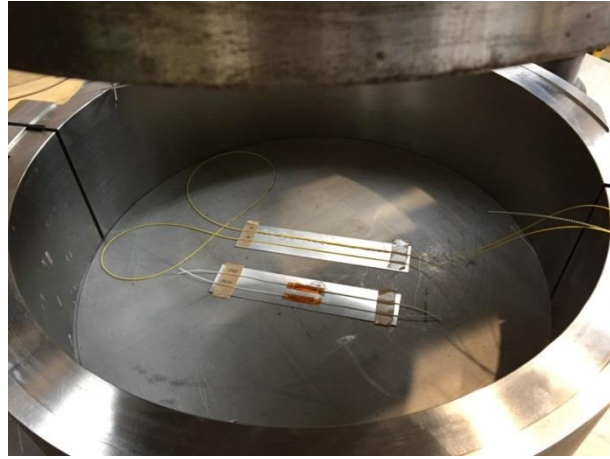


図 3.4-38 光ファイバセンサーの設置



図 3.4-39 ベントナイト敷き詰め状況



図 3.4-40 加力状況

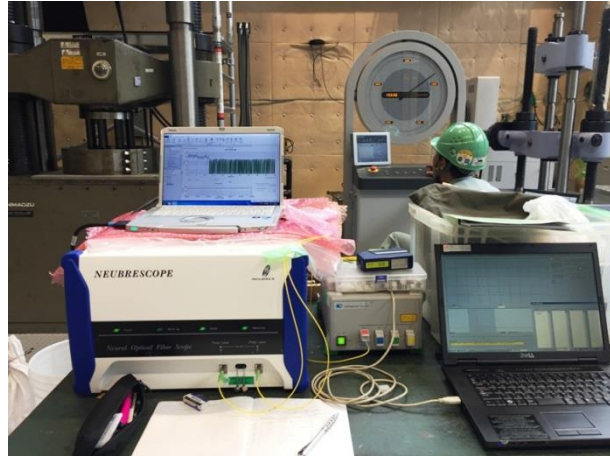


図 3.4-41 実験状況



拘束条件の異なる箇所のひずみ差と、荷重ならびにクロスヘッド変位量の間を、それぞれ図 3.4-42 と図 3.4-43 に示す。荷重の増加に伴って、ひずみが上昇している様子がわかる。一方、荷重を除荷してもひずみが低下せずに残留する結果であった。クロスヘッドの変位量結果と含めて鑑みれば、ベントナイトが締固められる過程で側圧が上昇したもので、その後側圧が充分低下しなかったためと思われる。可逆性などを確認するうえでは試験方法を改良する必要があるが、圧力分布測定の可能性を示唆する結果が得られた。

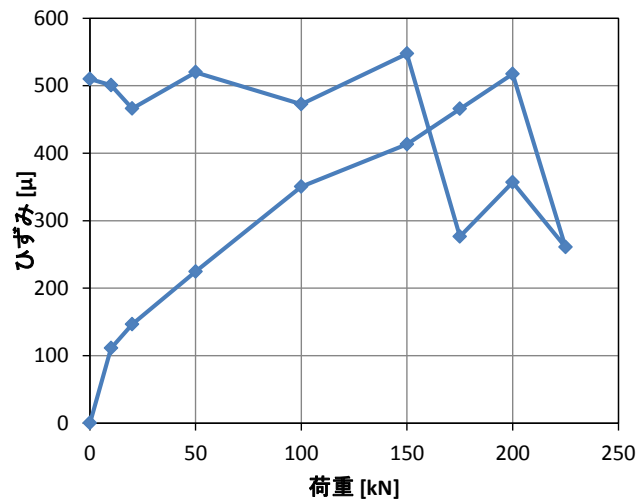


図 3.4-42 実験結果 1 (ひずみと荷重)

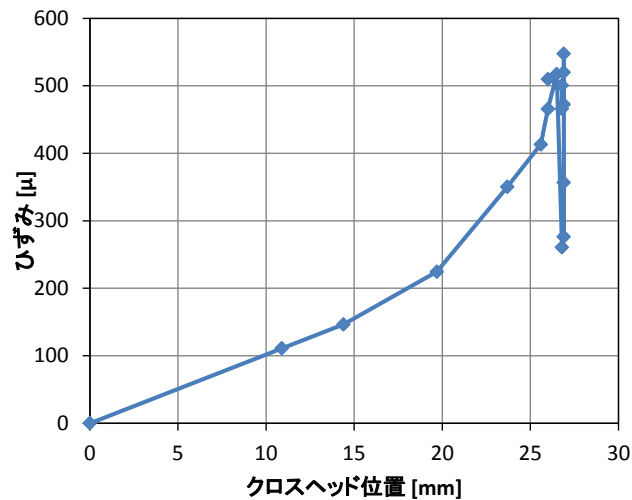


図 3.4-43 実験結果 2 (ひずみとクロスヘッド位置)

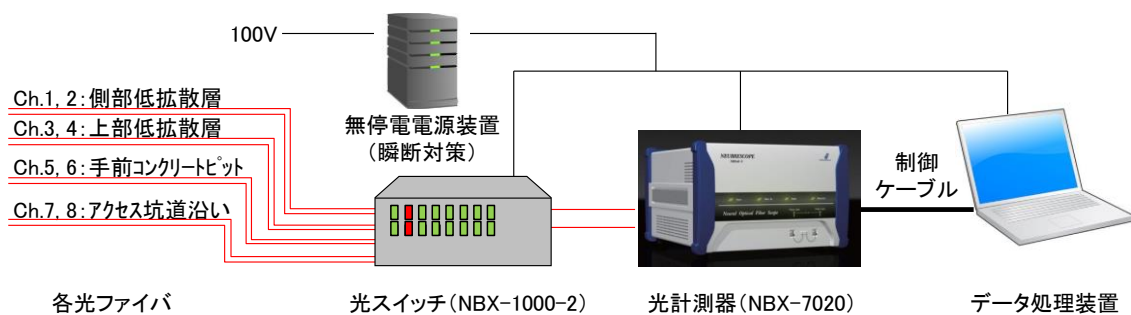
### 3.5 光ファイバセンサーによるひずみ等の計測

#### 3.5.1 概要

光ファイバセンサーを用いた計測システム（光ファイバ、光スイッチ、光計測器（Neubrex社製 NBX-7020）、データ処理装置より構成）を構築し、それを用いて、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とおりとする。それぞれの箇所の光ファイバは一筆書きで構成され、その両端を光スイッチに接続する。

- ・ 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

図 3.5-1 に計測システムの構成を、写真 3.5-1 に実際の設置状況を示す。



赤線：光ファイバ、黒線：電源ケーブル

図 3.5-1 計測システムの構成

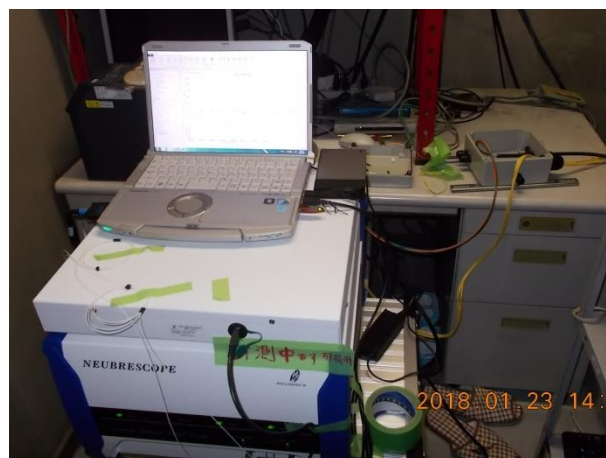


写真 3.5-1 計測システム設置状況

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 Analysis) [67]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 Reflectometry) [68]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 3.5-2 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 $\Delta T$ はそれぞれひずみ変化と温度変化である。

$$\Delta\nu_B = C_{11}\Delta\varepsilon + C_{12}\Delta T \quad (3.5-1)$$

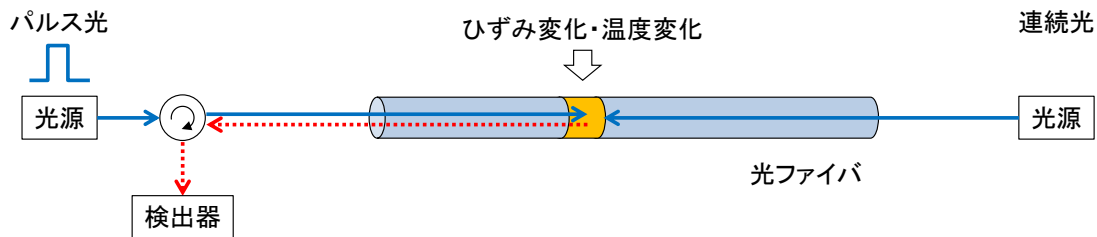


図 3.5-2 PPP-BOTDA 方式の構成

TW-COTDR 方式の基本的な光ファイバの構成を図 3.5-3 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 $\Delta T$ はそれぞれひずみ変化と温度変化である。

$$\Delta\nu_R = C_{21}\Delta\varepsilon + C_{22}\Delta T \quad (3.5-2)$$

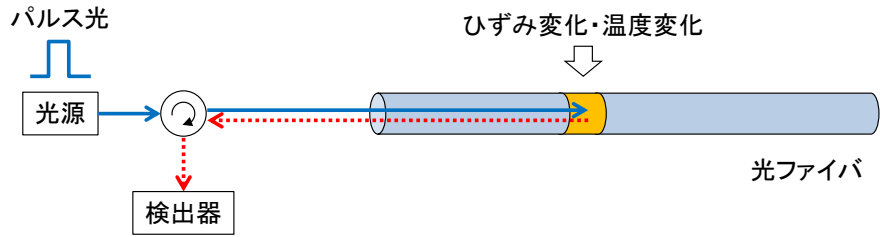


図 3.5-3 TW-COTDR 方式の構成

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  $D_{11} \sim D_{22}$  によって、ひずみ変化  $\Delta\varepsilon$  と温度変化  $\Delta T$  のふたつの未知数を算出することができる。前述の  $C_{11} \sim C_{22}$  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。

$$\begin{pmatrix} \Delta\varepsilon \\ \Delta T \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{21} \\ D_{12} & D_{22} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\nu_B \\ \Delta\nu_R \end{pmatrix} \quad (3.5-3)$$

### 3.5.2 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 3.5-4 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扁平としている。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写真 3.5-2 に示す。

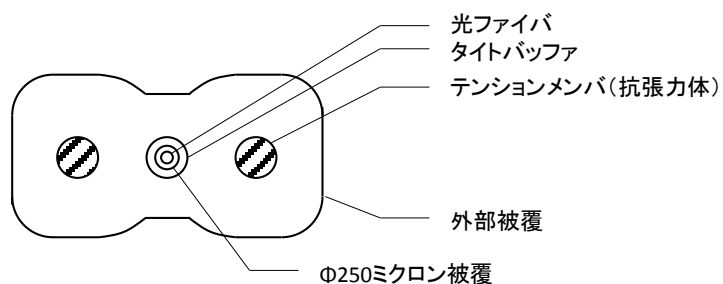


図 3.5-4 ひずみ計測用光ファイバセンサー



写真 3.5-2 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は、側部低拡散層、上部低拡散層、手前コンクリートピットのそれぞれ表面に、エポキシ接着剤（スリーエム製 DP-420）を用いて直線部を全線固定した。それぞれのセンサーの配置を、図 3.5-5～図 3.5-7 に示す。図内に併記するチャンネル番号は、光スイッチへの接続チャンネルである（図 3.5-1 参照）。

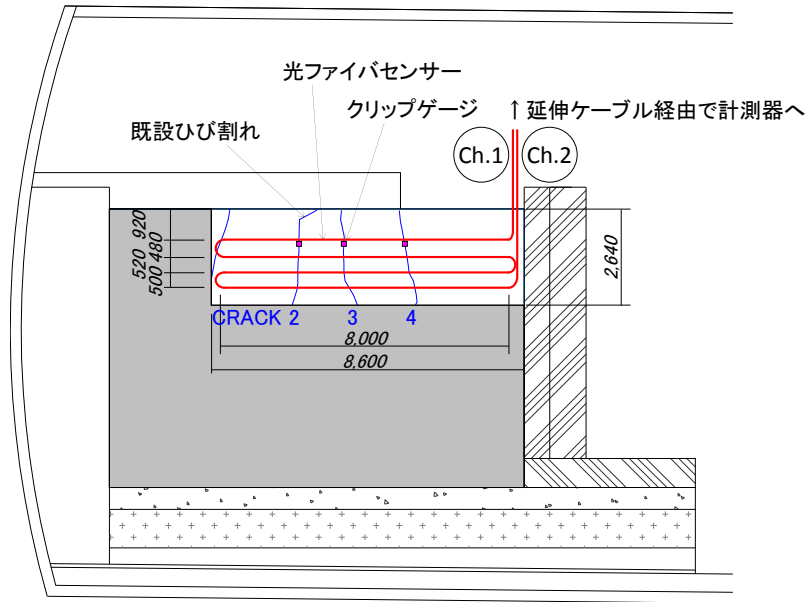


図 3.5-5 ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（側部低拡散層表面）

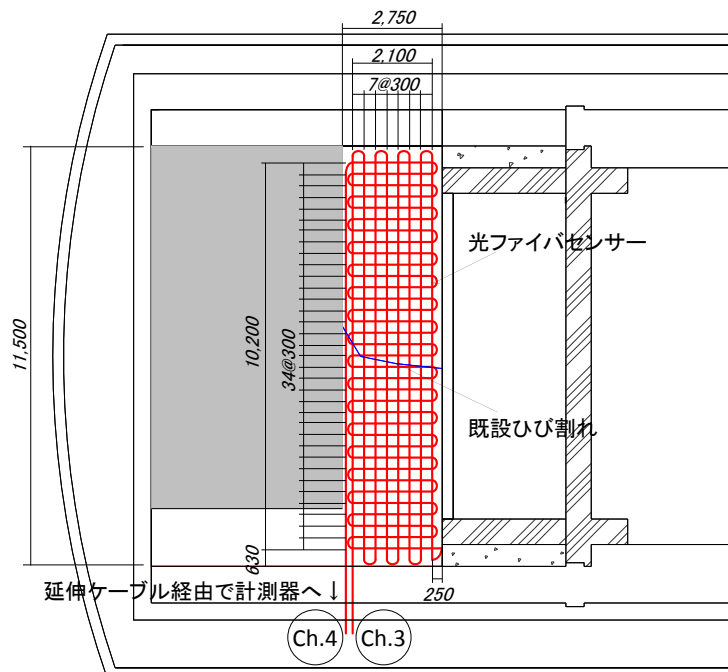


図 3.5-6 ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置（上部低拡散層表面）

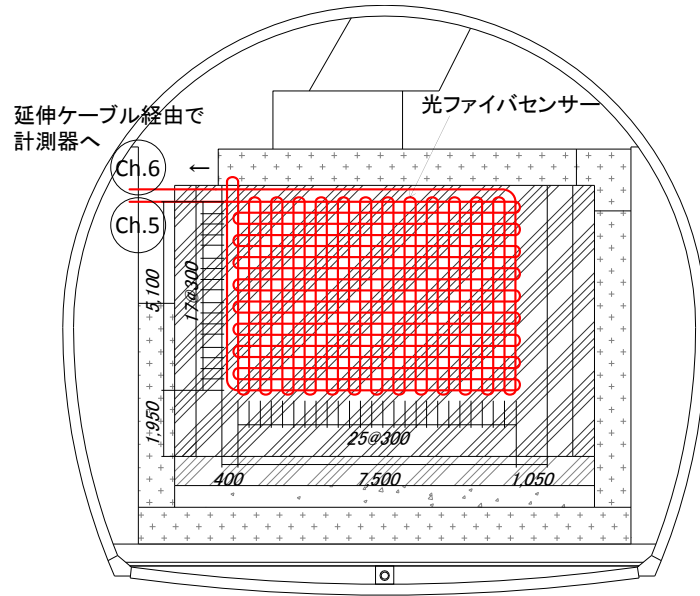


図 3.5-7 ひずみ計測用光ファイバセンサーの配置 (手前コンクリートピット表面)

側部は、既設ひび割れを交差するようセンサーを配置した。はじめに設置位置を墨出しした後、センサーを養生テープで仮固定した。その際に、センサーが捻じれたりしていないことを確認し、接着剤で直線部を全長固定した。センサー設置の状況を写真 3.5-3～写真 3.5-4 に示す。また、既設ひび割れとセンサーが交差する箇所の様子を写真 3.5-5 に示す。



写真 3.5-3 センサー設置作業 (側部)



写真 3.5-4 センサー設置作業（側部）

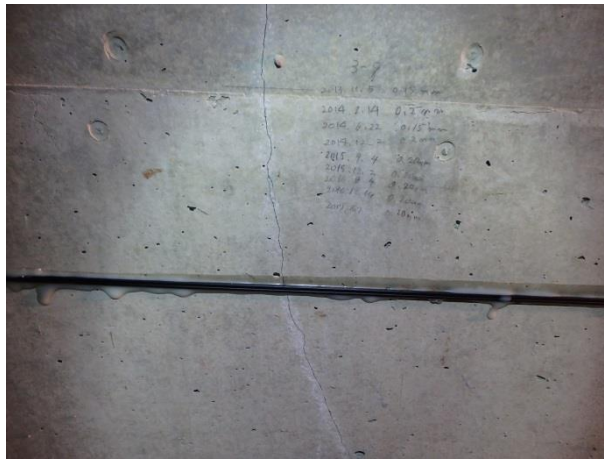


写真 3.5-5 設置後センサー近影（側部）

上部は、30cm 間隔で格子状にセンサーを配置した。はじめに設置位置を墨出しした後、センサーを養生テープで仮固定した。設置範囲の中央付近に短軸方向の既設ひび割れがみられたため、格子状のセンサーは長軸方向から先に固定して既設ひび割れと直交するようにし、その後短軸方向のセンサーを固定するようにした。その際に、センサーが捻じれたりしていないことを確認し、接着剤で直線部を全長固定した。センサーの折り返し部については、引っ掛かったりしないように接着剤で間欠固定するにとどめ、計測箇所からは除いた。表面の凹凸が目立つ箇所が散見されたが、センサー塗布後に養生テープで抑えつけることで、表面とセンサー間が密着するよう努めた。センサー設置の状況を写真 3.5-6～写真 3.5-8 に示す。また、センサー同士が交差する箇所の様子を写真 3.5-9 に、センサーの折り返し部を写真 3.5-10 にそれぞれ示す。



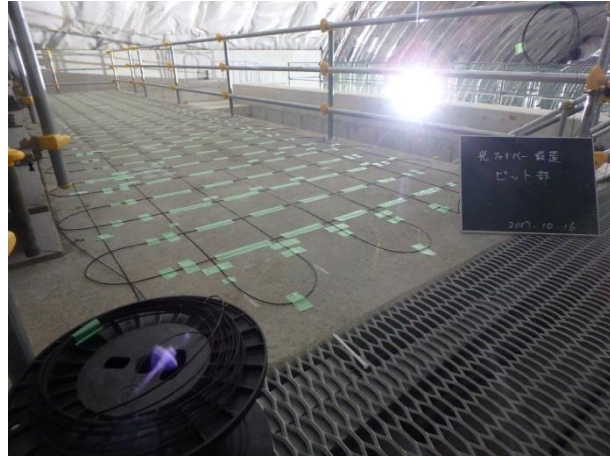


写真 3.5-6 センサー仮止め状況（上部）



写真 3.5-7 センサー設置作業（上部）



写真 3.5-8 設置後センサー（上部）



写真 3.5-9 設置後センサー（交差部；上部）



写真 3.5-10 設置後センサー（折り返し部；上部）

手前は、30cm 間隔で格子状にセンサーを配置した。はじめに設置位置を墨出しした後、センサーを養生テープで仮固定した。このとき、水平方向のセンサーから先に固定し、その後垂直方向のセンサーを固定した。その際に、センサーが捻じれたりしていないことを確認し、接着剤で直線部を全長固定した。センサーの折り返し部については、引っ掛かったりしないように接着剤で間欠固定するにとどめ、計測箇所からは除いた。打継処理（KK シート）が施されていたが、その凹凸間隔が 30mm であったことから、すべてのセンサーは凹部を避けて設置することができた。センサー設置の状況を写真 3.5-11～写真 3.5-12 に示す。また、センサー同士が交差する箇所の様子を写真 3.5-13 に示す。



写真 3.5-11 センサー仮止め作業（手前）



写真 3.5-12 センサー設置作業（手前）



写真 3.5-13 設置後センサー近影（手前）

側部・上部・手前の各光ファイバセンサーは、それぞれ往復路で計6本の光ファイバケーブルとして束ねて計測小屋まで延伸した。延伸した光ファイバは計測小屋内で端部にコネクタを接続



したうえで、計測機器に繋ぎこんだ。ケーブルの延伸や融着作業などの様子を写真 3.5-14～写真 3.5-23 に示す。



写真 3.5-14 ケーブル延伸（ピット～計測小屋）

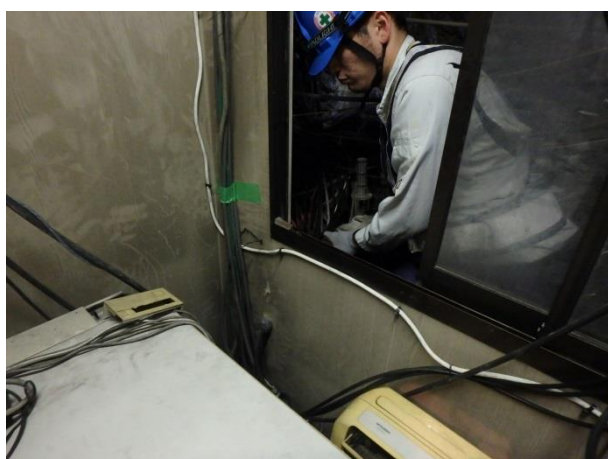


写真 3.5-15 貫通孔あけ（計測小屋）



写真 3.5-16 融着接続作業（ピット）



写真 3.5-17 ケーブル配線作業（計測小屋付近）

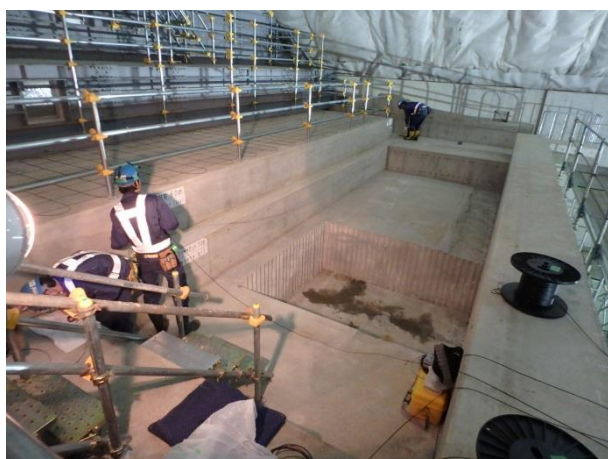


写真 3.5-18 センサー配線作業（上部）



写真 3.5-19 センサー配線作業（上部）



写真 3.5-20 融着接続作業（ピット付近）



写真 3.5-21 ケーブル配線作業（ピット下部）



写真 3.5-22 端子箱（計測小屋）





写真 3.5-23 計測器設置作業（計測小屋）

光ファイバセンサーによるひずみ分布計測を定量的に評価するために、参照用データを取得するための計器を設置した。ひずみ分布計測用の参照計器として、側部低拡散層（左）側面の既設ひび割れの開口変位計測のためのクリップゲージ（共和電業製 DTC-A-2）を三箇所固定した（CRACK2～4：図 3.5-5 参照）。クリップゲージのケーブルは延伸して、ピット上面に設置したデータレコーダ（共和電業製 RMH-310A）に接続した。クリップゲージの仕様を表 3.5-1 に、データロガーの仕様を表 3.5-2 に、設置状況を写真 3.5-24～写真 3.5-25 にそれぞれ示す。なお、クリップゲージの出力の温度影響は 0.05%FS/°C で極めて小さい。

表 3.5-1 クリップゲージの主な仕様

メーカー・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 3.5-2 データロガーの主な仕様

メーカー・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 <sup>-6</sup> ひずみ	
ひずみ分解能	1×10 <sup>-6</sup> ひずみ	
ひずみ測定精度	±0.1%FS	

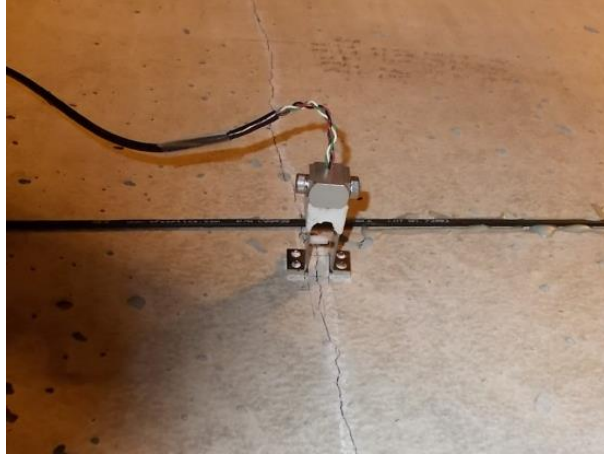


写真 3.5-24 クリップゲージ設置状況（側部）



写真 3.5-25 データロガーへの接続作業（上部）



クリップゲージによるひび割れ開口変位の連続計測結果を図 3.5-8 に示す。クリップゲージで一時間毎に計測した結果である。図内には、ピット下部に設置した温度計による一時間毎の連続計測結果も併記する。両結果ともに、1月23日の正午を初期値とした変化量を示している。0.0～-0.6℃程度の温度変化に応じて、最大で10数ミクロンのひび割れ開口変位が生じている。両者に負の相関があることから、コンクリートの熱膨張に起因したひび割れ開口変位と考えられる。ちなみに、目視観察によるひび割れ幅は0.2～0.3mmの箇所である。

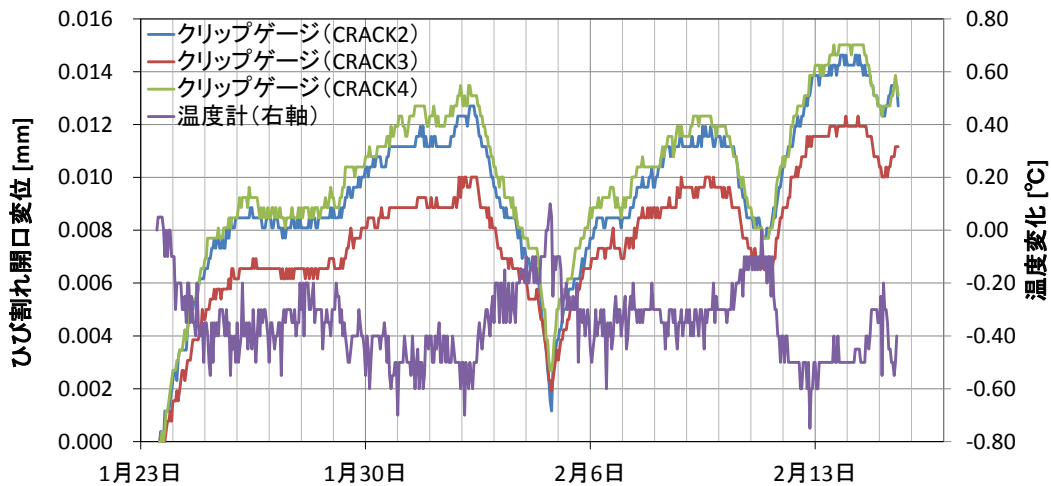


図 3.5-8 ひび割れ開口変位の経時変化 (クリップゲージ)

光ファイバによる連続計測結果を図 3.5-9～図 3.5-11 に示す。PPP-BOTDA 方式で三時間毎に計測したレイリー周波数シフト $\Delta\nu_R$  (式(3.5-2)) の結果をもとに、1月23日正午頃を初期値とした変化としてコンターで示したものである。図 3.5-5～図 3.5-7 に示したように、ひずみ計測用光ファイバセンサーは直線部を接着剤で全長固定しながら、それぞれの対象面に配置した。そのため、固定された箇所(固定部)とそうでない箇所では温度や湿度に対する挙動が異なることが考えられ、下図の計測結果からもそのことが分かる。つまり、固定部以外では拘束がないため、温度による熱膨張変化が大きく、みかけ上ひずみが大きくなる。このときの TW-COTDR 方式の計測パラメータを表 3.5-3 に示す。

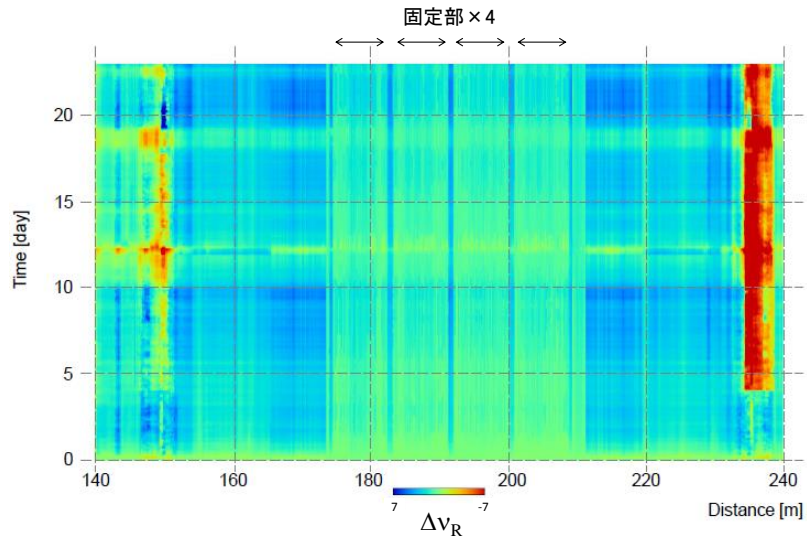


図 3.5-9 光ファイバセンサー分布計測コンター（側部：TW-COTDR 方式）

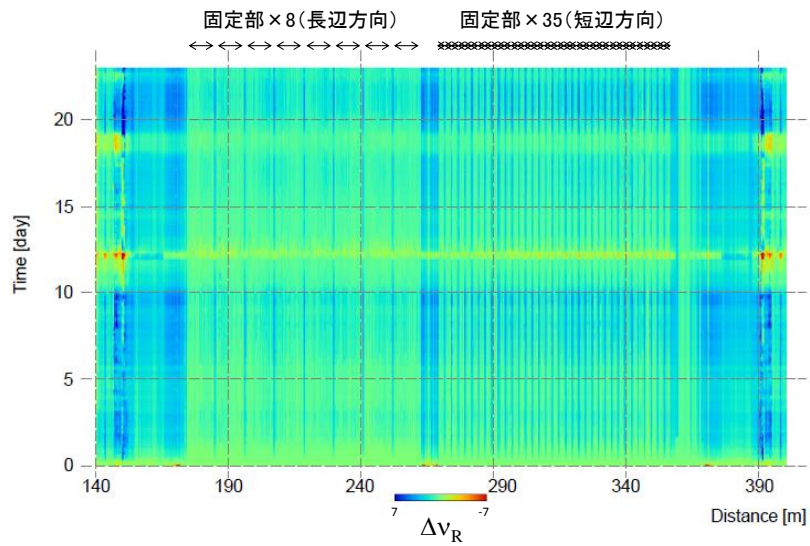


図 3.5-10 光ファイバセンサー分布計測コンター（上部：TW-COTDR 方式）

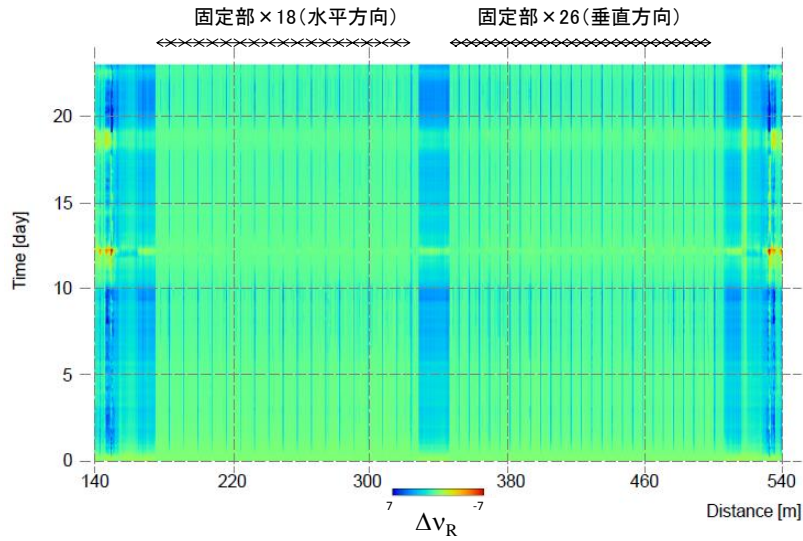


図 3.5-11 光ファイバセンサー分布計測コンター（手前：TW-COTDR 方式）

表 3.5-3 TW-COTDR 方式の計測パラメータ

	側部 (Ch.1, 2)	上部 (Ch.3, 4)	手前 (Ch.5, 6)
距離レンジ	500 m	600 m	700 m
位置分解能	20 cm	20 cm	20 cm
サンプリング間隔	10 cm	10 cm	10 cm
加算回数	2 <sup>14</sup>	2 <sup>14</sup>	2 <sup>14</sup>
周波数掃引範囲	150 GHz (194.0~194.15 THz)	150 GHz (194.0~194.15 THz)	150 GHz (194.0~194.15 THz)
掃引周波数ステップ	200 MHz	200 MHz	200 MHz
周波数掃引回数	751	751	751
計測時間（単発）	約 190 秒	約 210 秒	約 220 秒
計測間隔	180 分	180 分	180 分
計測開始日時	2018/1/23 11:11	2018/1/23 11:35	2018/1/23 12:02
計測終了日時	2018/2/15 11:14	2018/2/15 11:39	2018/2/15 12:06
計測本数	187	186	186

経過日ごとの、光ファイバセンサーの分布計測結果を図 3.5-12 に示す。前掲の図同様に、1月23日正午頃を初期値とした結果を示している。全長固定により光ファイバセンサーが拘束された結果、固定部以外の伸縮量が大きい様子がみてとれる。

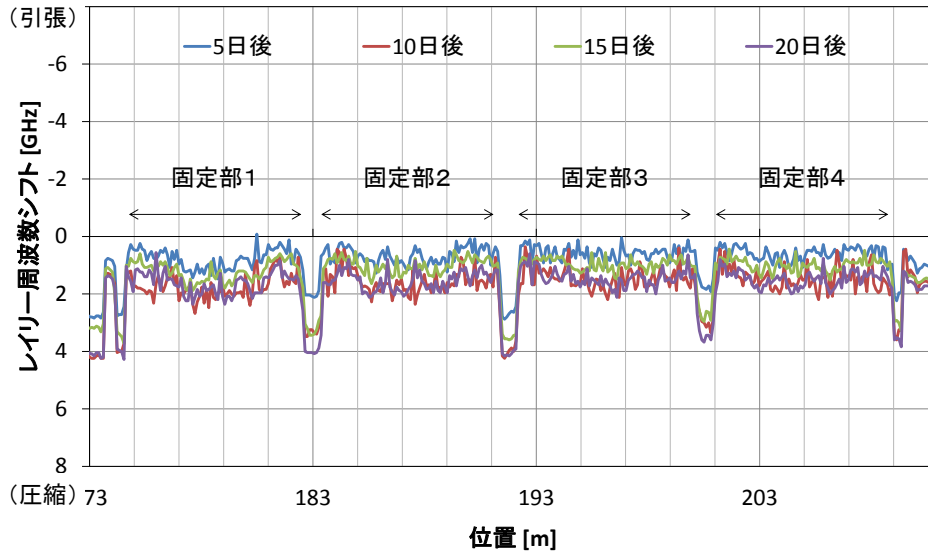


図 3.5-12 光ファイバセンサー分布計測結果 (手前：TW-COTDR 方式)

設置箇所ごとの、光ファイバセンサーの経時変化を図 3.5-13 に示す。前掲の図同様に、1月23日正午頃を初期値とした結果を示している。本結果はひずみ変化と温度変化を含んだ結果である式(3.5-2)が、ひび割れ開口変位の結果 (図 3.5-8 参照) と酷似しており、温度変化に伴う対象構造物の挙動が含まれるものと推察される。

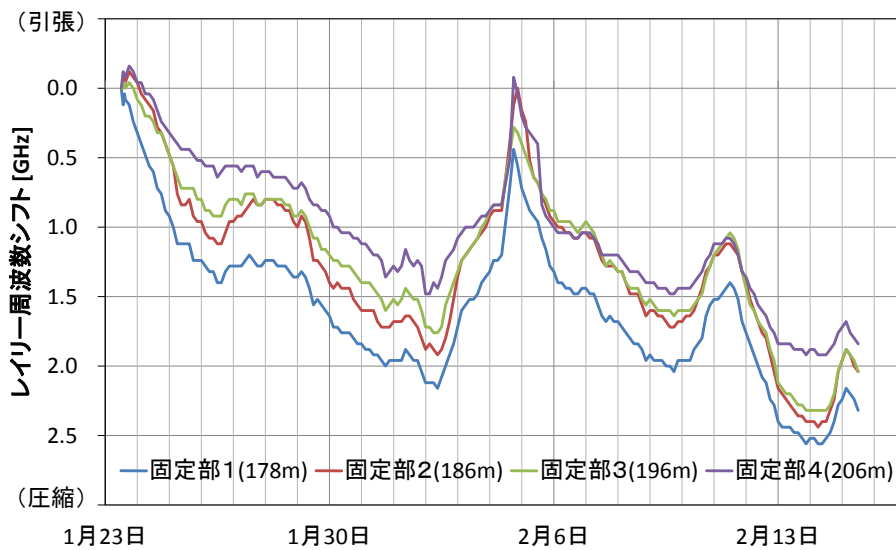


図 3.5-13 光ファイバセンサーの経時変化 (手前：TW-COTDR 方式)

### 3.5.3 温度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3.5-14に示す。内部の光ファイバと被覆部は縁切りされており、ケーブルに引張など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写真3.5-26に示す。

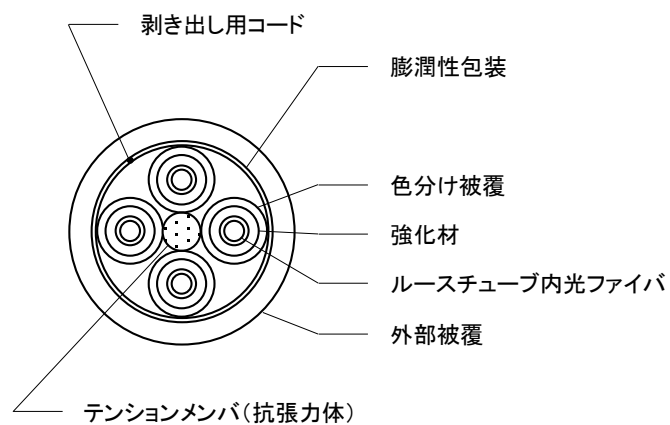


図 3.5-14 温度計測用光ファイバセンサーケーブル



写真 3.5-26 温度計測用光ファイバセンサーケーブル

温度計測用光ケーブルは、坑道に沿って、吊り治具を用いて敷設した。ケーブルの配置を、図 3.5-15 に示す。計測小屋から、ピット部で折り返したうえで、坑口まで敷設することとした。

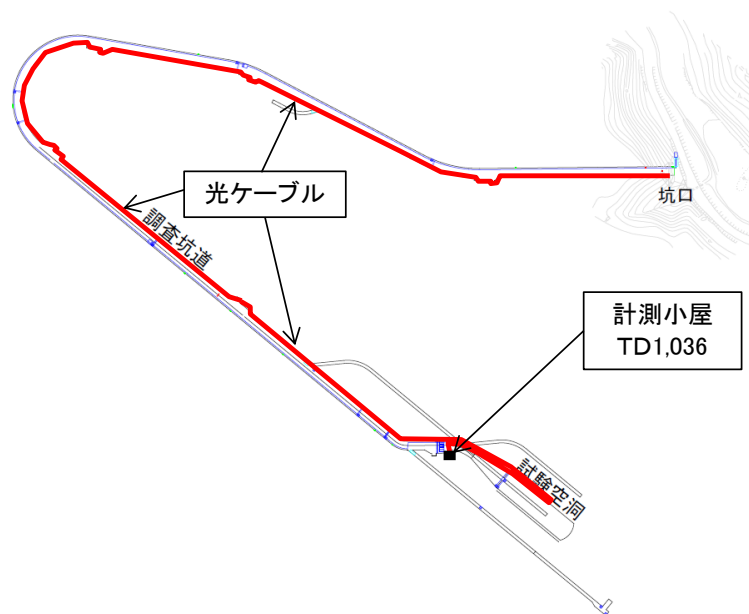


図 3.5-15 温度計測用光ケーブルの配置（アクセス坑道沿い壁面）

温度計測用光ケーブルの敷設や端部処理（計測小屋・坑口部）の作業などの様子を写真 3.5-27～写真 3.5-32 に示す。



写真 3.5-27 温度計測用光ケーブル





写真 3.5-28 温度計測用光ケーブル配線作業



写真 3.5-29 温度計測用光ケーブル配線作業



写真 3.5-30 配線後の温度計測用光ケーブル



写真 3.5-31 端部処理（計測小屋）



写真 3.5-32 端子箱（坑口側）



光ファイバセンサーによる温度分布計測を定量的に評価するために、参照用データを取得するための計器を設置した。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 (T&D 製 TR71wf) を計 7 箇所を設置した (坑口, TD200, TD400, TD600, TD800, TD1000, ピット部)。温度計の測温部は、温度計測用光ケーブル部に固定した。温度計の配置を図 3.5-16 に、仕様を表 3.5-4 に、設置状況を写真 3.5-33 にそれぞれ示す。

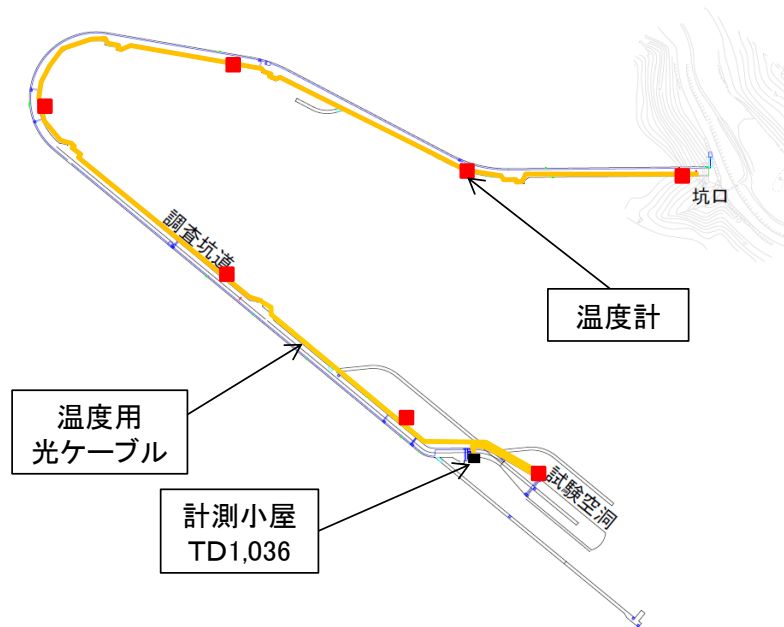


図 3.5-16 温度計の配置

表 3.5-4 温度計の主な仕様

メーカー・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℃	



写真 3.5-33 温度計設置状況 (坑道沿い)

温度計による連続計測結果を図 3.5-17 に示す。温度計で一時間毎に計測した結果である（同じ位置に固定した測温部 2 チャンネルの平均値）。坑口や TD200 付近では温度が低いうえに温度変化が大きいが、奥になるにつれて温度が高くまた温度変化が小さくなる様子が分かる。TD800 で最も高い温度を示し、TD1000 からピット部にかけて徐々に温度が低下する傾向である。

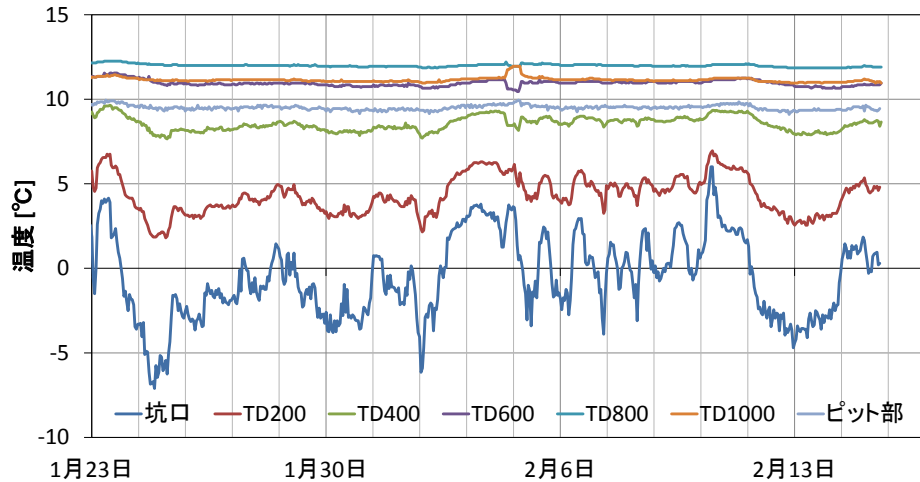


図 3.5-17 温度計測の経時変化（温度計）

光ファイバによる連続計測結果を図 3.5-18 に示す。PPP-BOTDA 方式で三時間毎に計測したブリルアン周波数シフト $\Delta\nu_B$ 式(3.5-1)の結果をもとに、1月23日正午頃を初期値とした変化としてコンターで示したものである。図 3.5-15 に示したように、温度計測用光ケーブルは計測小屋から、ピット部で折り返したうえで坑口まで敷設、同じ経路を戻る往復路を構成している。そのため、坑口（光ファイバ計測で約 1371m 付近）を境とした往路・復路で線対称な温度分布を示すと考えられ、その点から下図は一定程度妥当な結果と言える。このときの PPP-BOTDA 方式の計測パラメータを表 3.5-5 に示す。

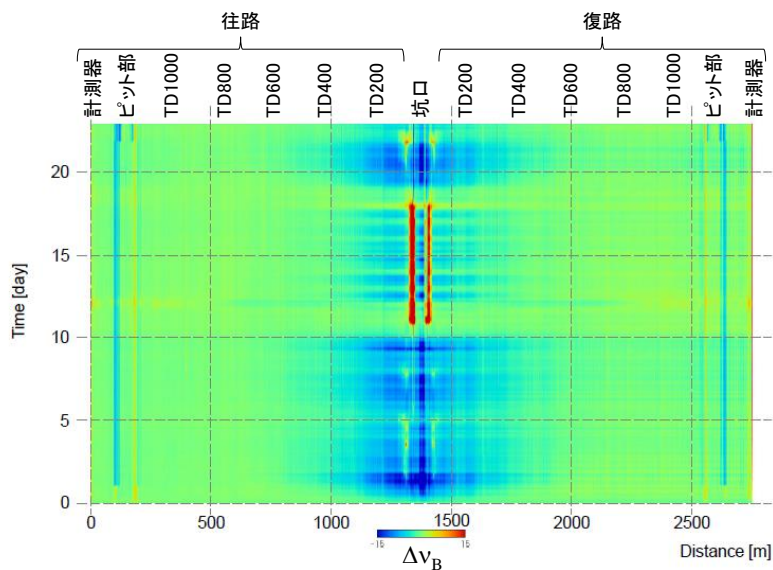


図 3.5-18 光ファイバセンサー分布計測コンター（坑道沿い：PPP-BOTDA 方式）

表 3.5-5 PPP-BOTDA 方式の計測パラメータ

	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 <sup>15</sup>
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
計測終了日時	2018/2/15 12:20
計測本数	185

設置箇所ごとの、温度計と光ファイバセンサーの経時変化を図 3.5-19～図 3.5-24 に示す。それぞれ 1 月 23 日正午頃を初期値とした経時変化で、光ファイバについては往路と復路でそれぞれ当該箇所に対応する結果を示している。大きなばらつきのある坑口部分を除いて、光ファイバセンサーによるブリルアン周波数シフトの計測結果が、温度計と比較して同様の傾向を示していることがわかる。坑口部でのばらつきの原因のひとつは、風などで温度計測用光ケーブルが揺れたことによるひずみの発生や、局所的な凍結など（写真 3.5-34）が考えられる。また、各箇所において往路よりも復路の光ファイバセンサー結果の方がばらつきが大きい。特にピットに近いほどその差が顕著である。復路の方が、光ファイバの長さによるブリルアン散乱光の距離減衰の影響を受けるためである。

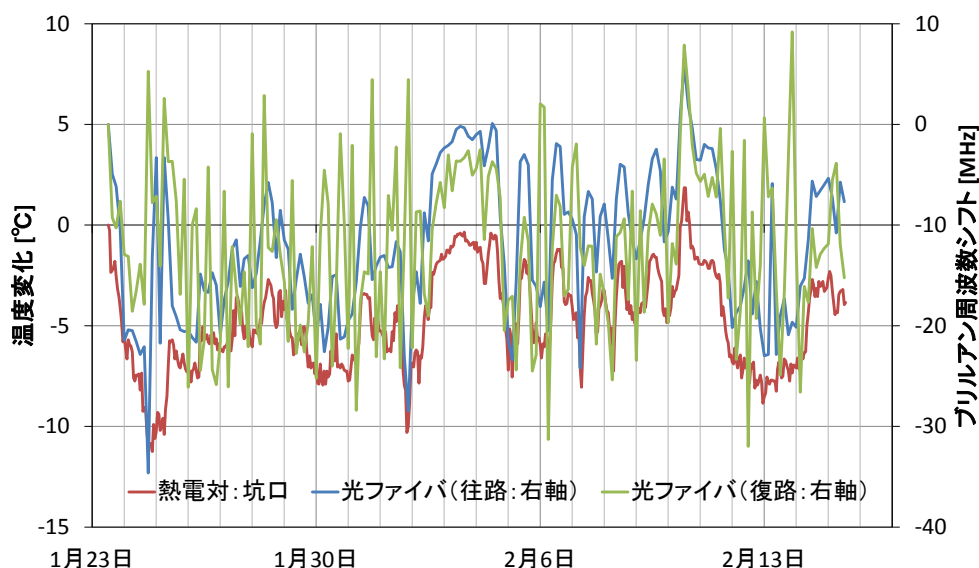


図 3.5-19 温度計と光ファイバセンサーの経時変化（坑口部）

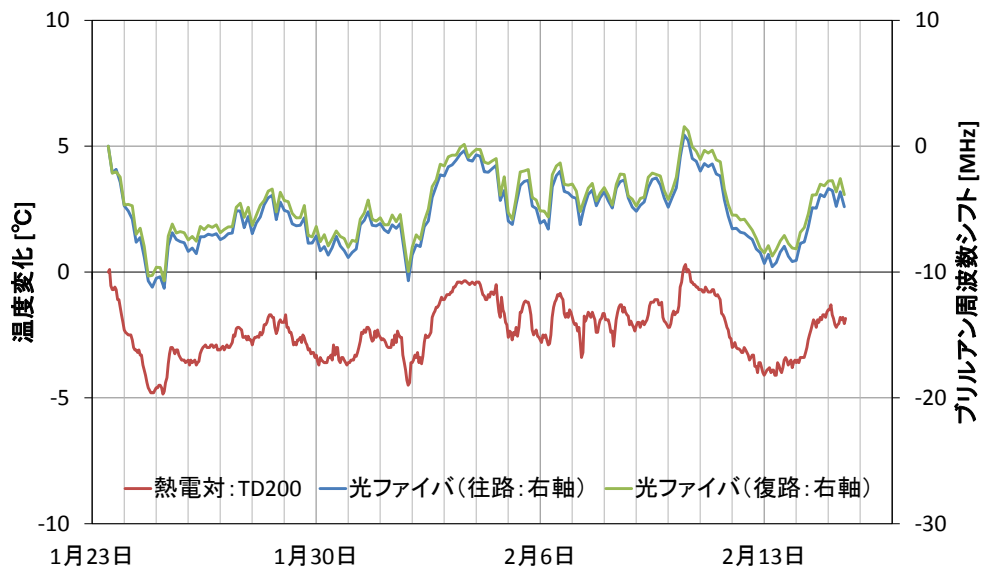


図 3.5-20 温度計と光ファイバセンサーの経時変化 (TD200)

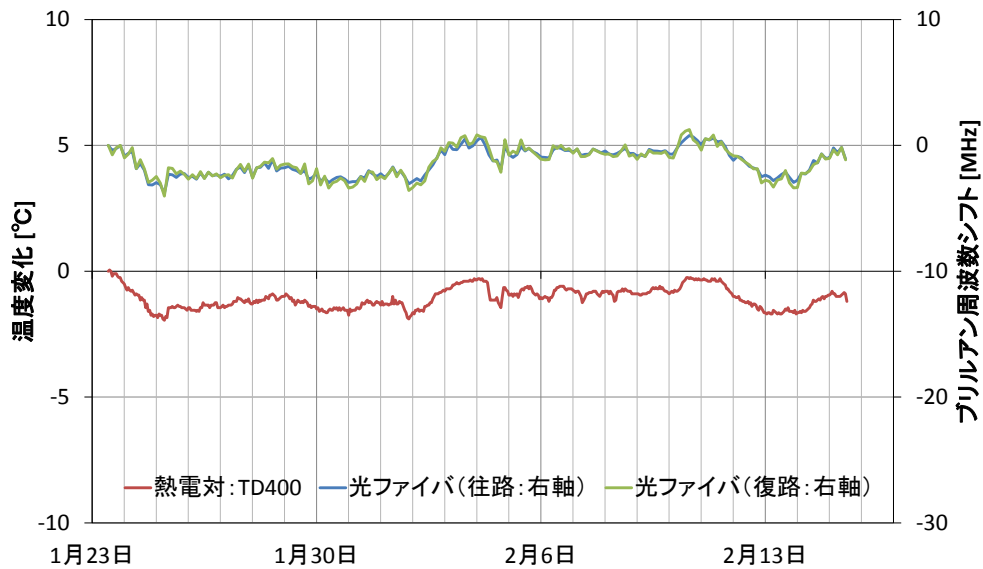


図 3.5-21 温度計と光ファイバセンサーの経時変化 (TD400)

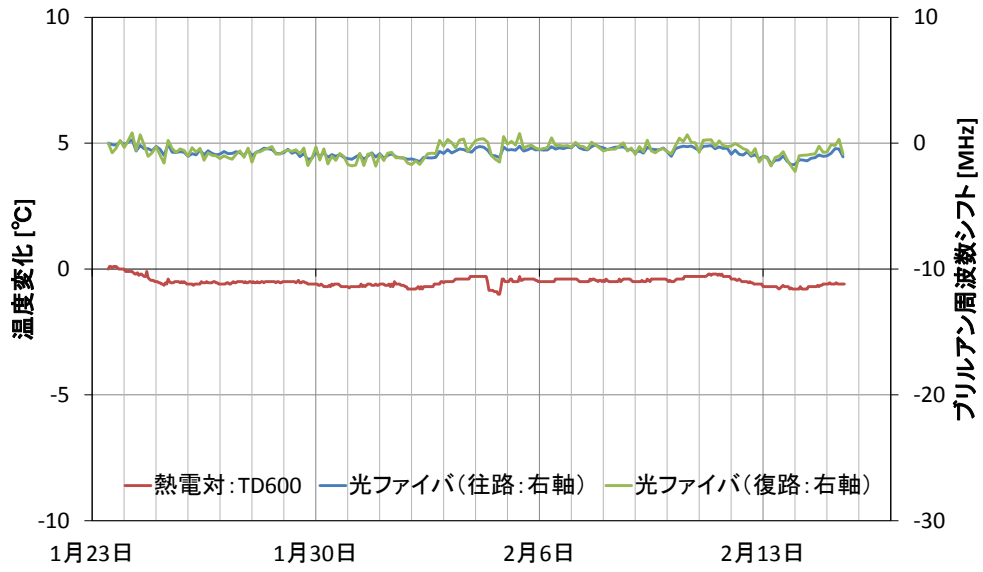


図 3.5-22 温度計と光ファイバセンサーの経時変化 (TD600)

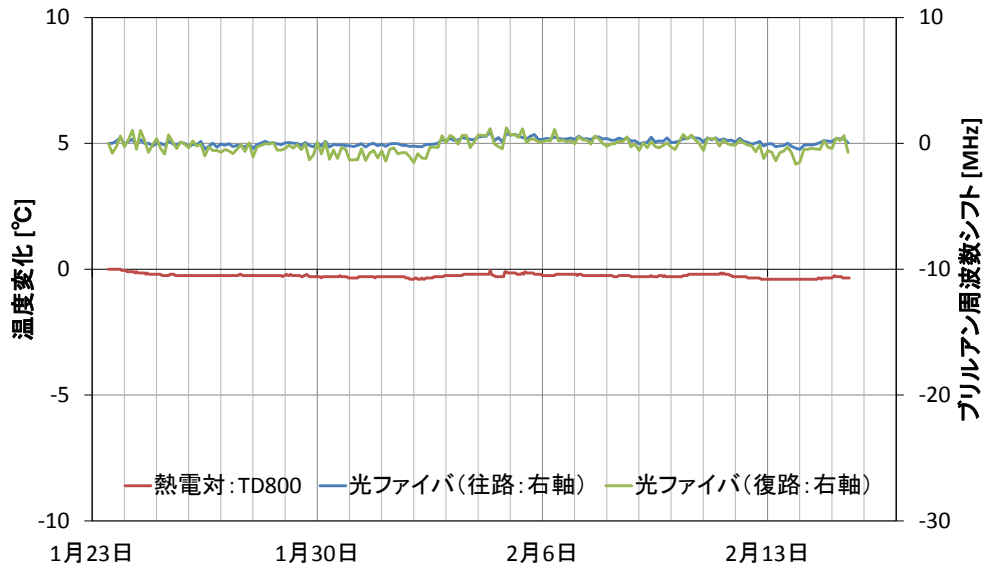


図 3.5-23 温度計と光ファイバセンサーの経時変化 (TD800)

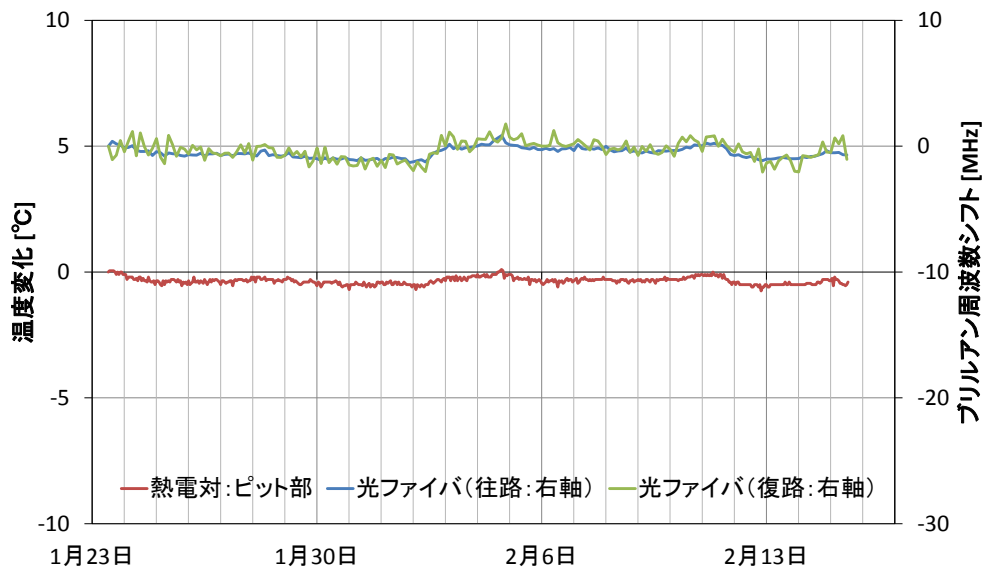


図 3.5-24 温度計と光ファイバセンサーの経時変化（ピット部）



写真 3.5-34 温度計測用光ケーブルの凍結状況（坑道沿い）

経過日ごとの、温度計と光ファイバセンサーの分布計測結果を図 3.5-25～図 3.5-28 に示す。前掲の図同様に、それぞれ 1 月 23 日正午頃を初期値として、光ファイバについては往路と復路でそれぞれの結果を示している。総じて、光ファイバセンサーによるブリルアン周波数シフトの計測結果が、温度計と比較して同様の分布形状を示していることがわかる。坑口部での変動が局所的なことから、前述のように温度計測用光ケーブルに生じたひずみその原因と考えられる。

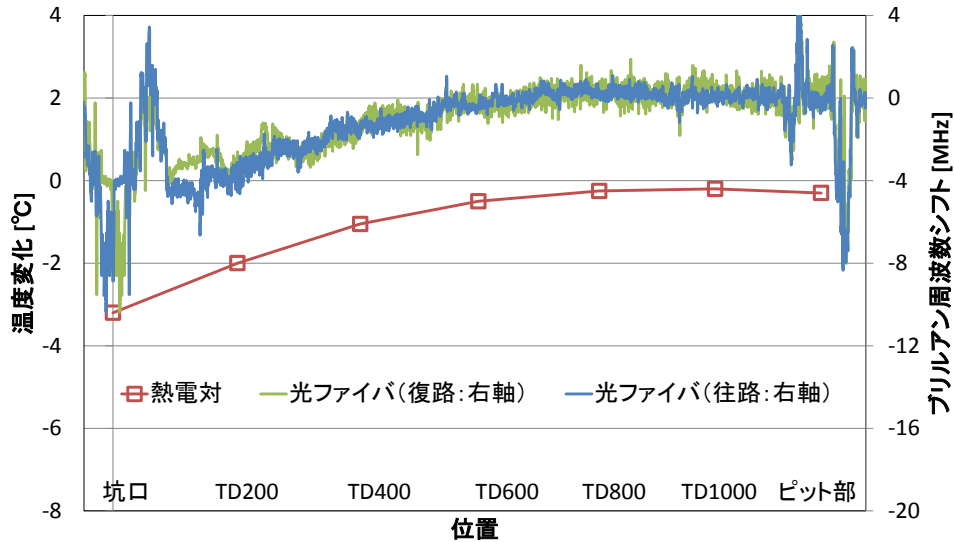


図 3.5-25 温度計と光ファイバセンサーの分布計測結果（5 日後）

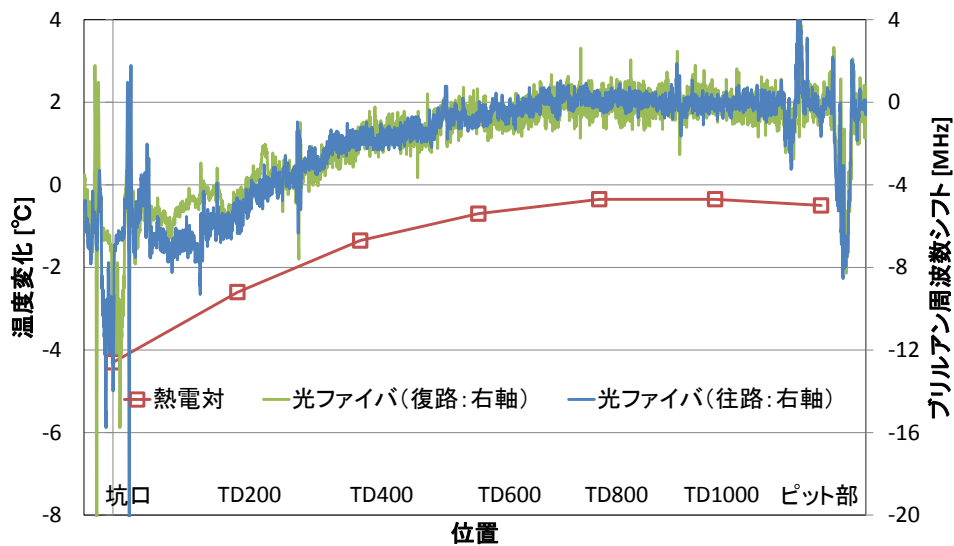


図 3.5-26 温度計と光ファイバセンサーの分布計測結果（10 日後）

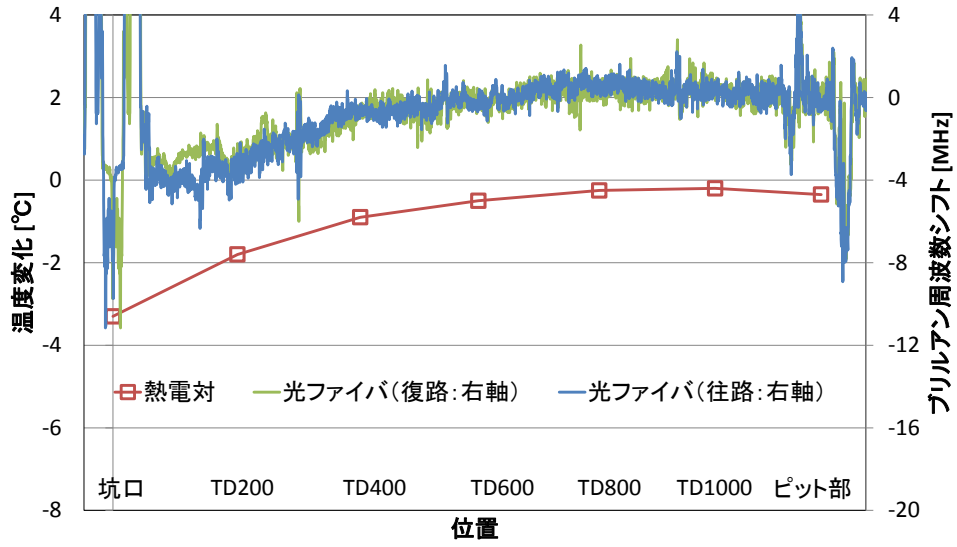


図 3.5-27 温度計と光ファイバセンサーの分布計測結果 (15 日後)

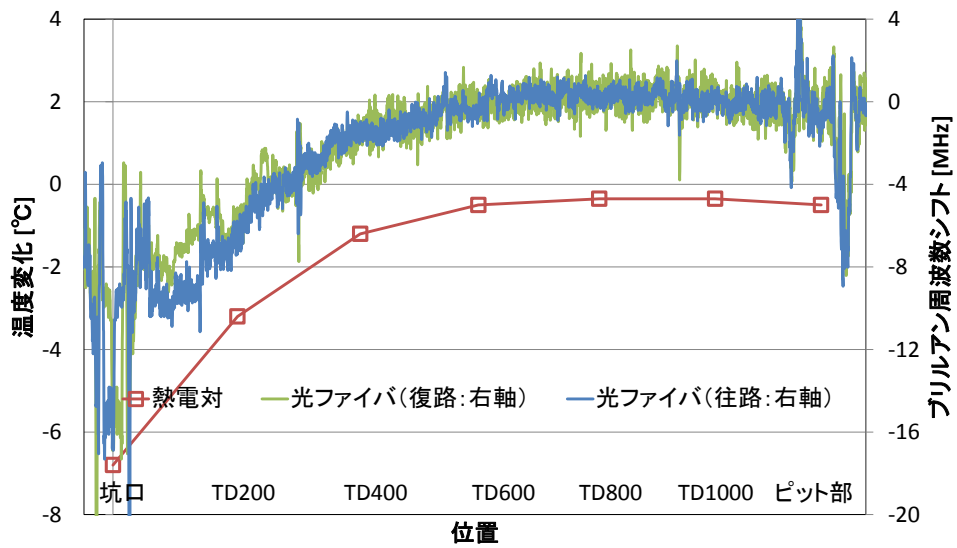


図 3.5-28 温度計と光ファイバセンサーの分布計測結果 (20 日後)



### 3.5.4 事前試験用の試験体の製作

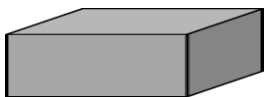

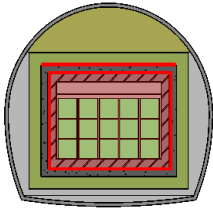
#### (1) はじめに

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では、施設に発生す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。この試験を実施するために、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を検討する必要がある。

ひび割れ誘発手法の検討の流れを表 3.5-6 に示す。まず、平成 29 年度業務において、現行のひび割れ誘発に関する技術の調査や小規模の供試体ブロックを用いた要素試験を実施し、実規模施設にひび割れを誘発する手法の候補を選定する。次に、平成 30 年度上期（予定）に、ある程度の寸法、部材厚さを有する試験体を使用した事前試験を実施し、要素試験にて選定したひび割れ誘発手法が、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、確実にひび割れを入れられる手法として、信頼性が高いものであることを確認する。以上のプロセスを経て選定されたひび割れ誘発手法を用いて、平成 30 年度下期（予定）に実規模施設を用いたひび割れ計測試験を実施する。

本報告書では、平成 30 年度上期に実施予定である事前試験に使用する試験体の製作について記載する。

表 3.5-6 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	実規模施設を用いた光ファイバセンサーによるひび割れ計測試験
時期	平成 29 年度	平成 30 年度上期（予定）	平成 30 年度下期（予定）
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 120cm×120cm×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 

(2) 実規模施設を用いたひび割れ計測試験の試験条件の整理

ひび割れ誘発手法の候補選定にあたり、平成 30 年度に実施することが計画されている実規模施設を利用したひび割れ計測試験の試験条件を整理する。

1) 対象部材

光ファイバセンサーは平成 29 年度業務において、上部低拡散層、手前コンクリートピット、側部低拡散層（左側）に設置されている。このうち、側部低拡散層（左側）は現状露出している範囲に 4 本のひび割れが存在している。図 3.5-29 に示すように、試験空洞最奥の 1 本を除く 3 本のひび割れを計測対象として、光ファイバセンサーによって、坑内温度・湿度の変動に伴うひび割れ幅の変動を計測することが計画されている。よって、人為的なひび割れは、上部低拡散層、手前コンクリートピットを対象に発生させることとなっている。

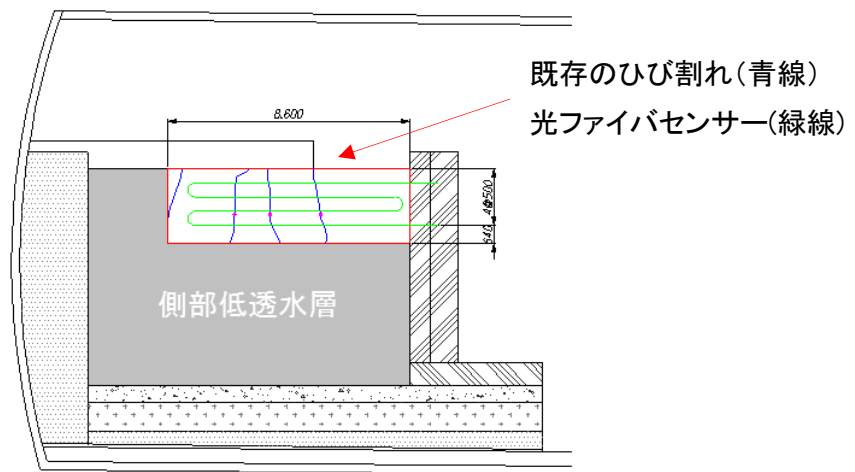


図 3.5-29 側部低拡散層における既存のひび割れの計測計画のイメージ

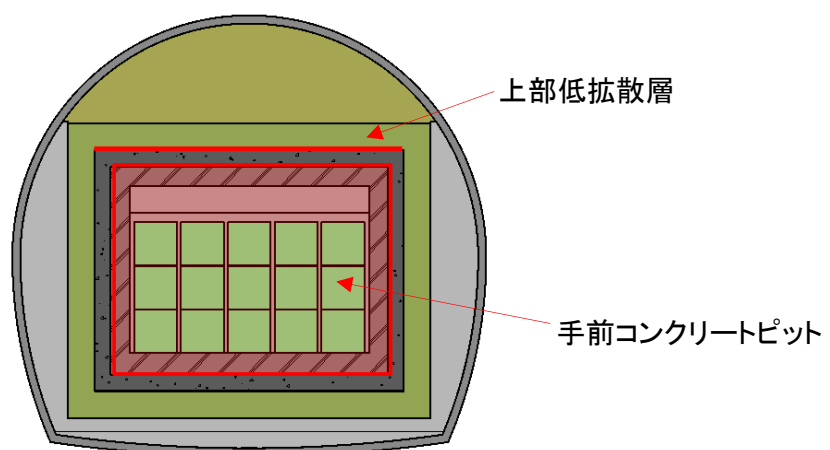


図 3.5-30 ひび割れ誘発箇所

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。手前コンクリートピットの材齢 1200 日時点における圧縮強度は  $91.4\text{N/mm}^2$  であることが確認されている[11]。手前コンクリートピット前面は、KK シート工法[69][70]による打継ぎ処理がされているため、表面には図 3.5-33 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。

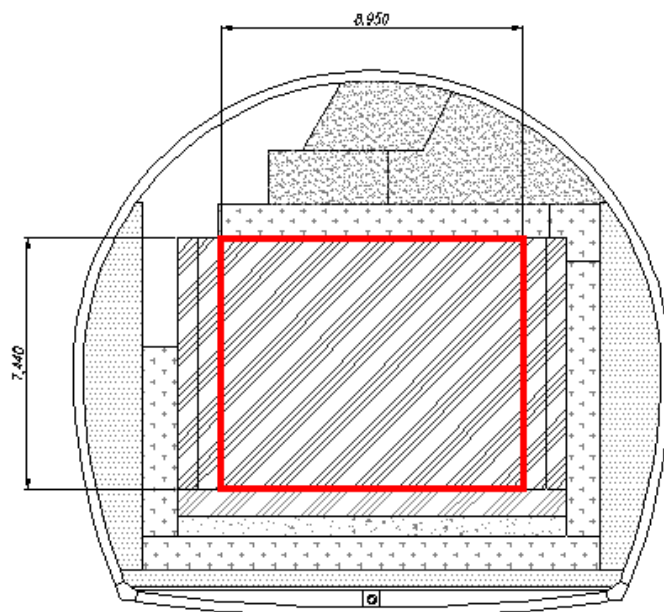


図 3.5-31 手前部コンクリートピット (正面図)



図 3.5-32 手前部コンクリートピット (2017年8月撮影)

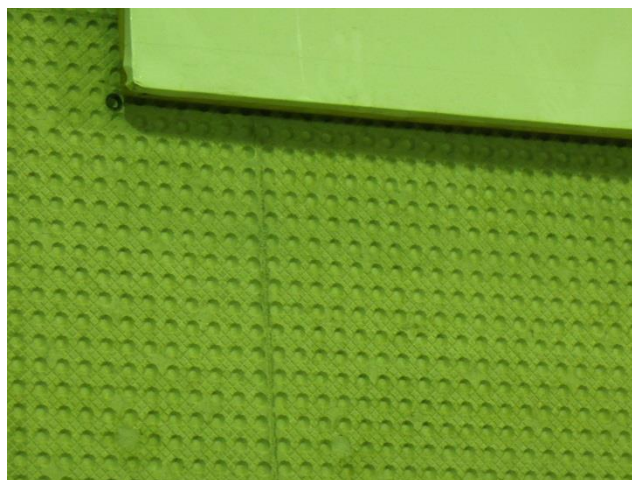
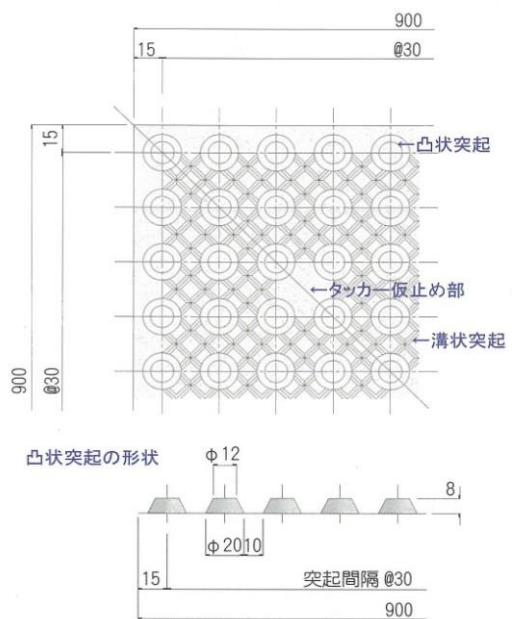


図 3.5-33 KK シートの凹凸形状[70]とコンクリートピット表面の状況

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。上部低拡散層の材齢 365 日時点における圧縮強度は  $113.5\text{N/mm}^2$  であることが確認されている[11]。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。

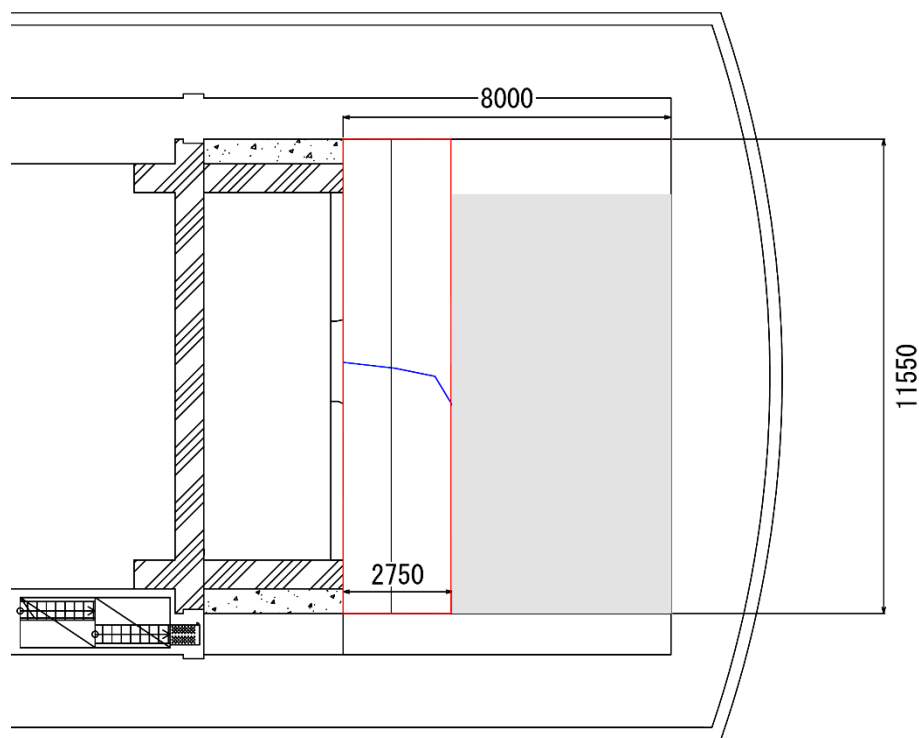


図 3.5-34 上部低拡散層（平面図）

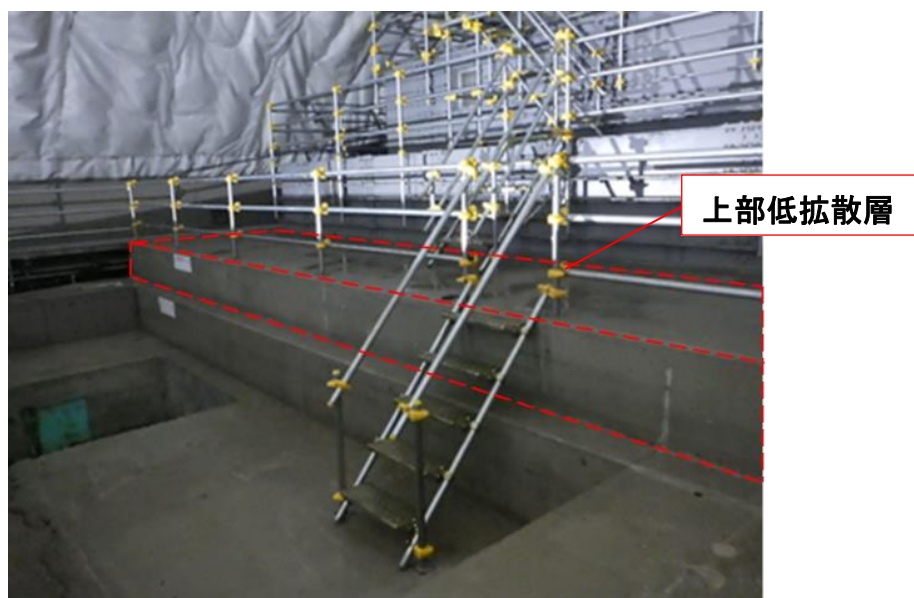


図 3.5-35 上部低拡散層（2017 年 8 月撮影）

## 2) 事前試験用の試験体の設計で留意すべき事項

### a. 拘束条件の模擬

実規模施設で対象とする部材は、部材自体の寸法が大きいことに加え、隣接する部材の拘束も大きい。そのため、事前試験用の試験体として、実規模施設と同等の拘束条件の試験体を製作することは困難である。本検討においては、ある程度の面積を有するコンクリートブロックを均しコンクリート上に施工することで、隣接部材による拘束の影響の再現を試みることにする。

### b. 初期ひび割れ発生の抑制

手前コンクリートピット、上部低拡散層ともに、内面が拘束された状態であることから、事前試験用の試験体も、前述のとおり、均しコンクリートによる拘束を与える予定である。このとき、均しコンクリートの拘束による温度応力ひび割れが発生することが懸念される。また、表面の乾燥に伴う乾燥収縮ひび割れや自己収縮によるひび割れが発生する可能性がある。このような初期のひび割れが、事前試験を実施する前に自然に発生しないよう、対策を講じる必要がある。

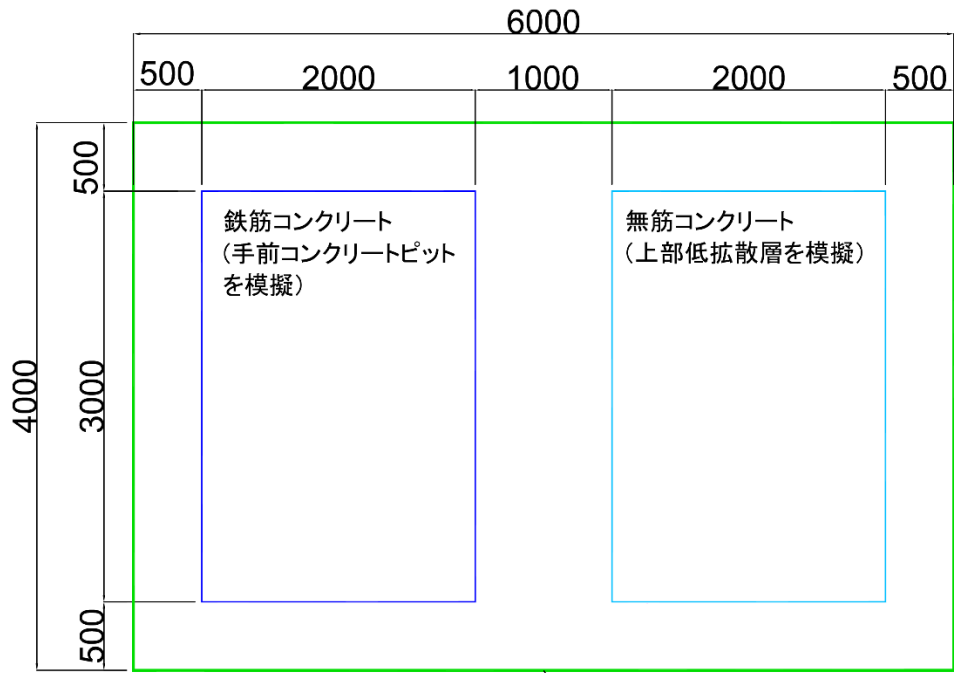
### (3) 事前試験用の試験体の設計

#### 1) 試験体の寸法

製作する事前試験用の試験体を図 3.5-36 に示す。手前コンクリートピットを模擬した試験体は、幅 3m×奥行き 2m×部材厚さ 70cm の鉄筋コンクリート構造、上部低拡散層を模擬した試験体は、幅 3m×奥行き 2m×部材厚さ 60cm の無筋コンクリートとする。

ひび割れ誘発手法の候補として選定した標準パッカーに対し、複数回の試験が行えるよう、試験体の寸法を設定した。

平面図



断面図

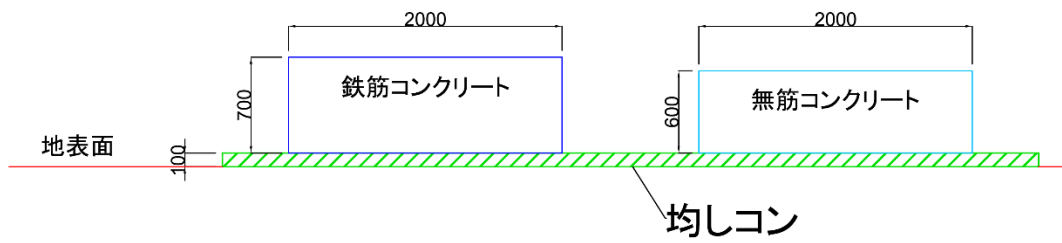


図 3.5-36 事前試験用試験体



2) 手前コンクリートピットを模擬した試験体の配筋

図 3.5-37、図 3.5-38 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する。

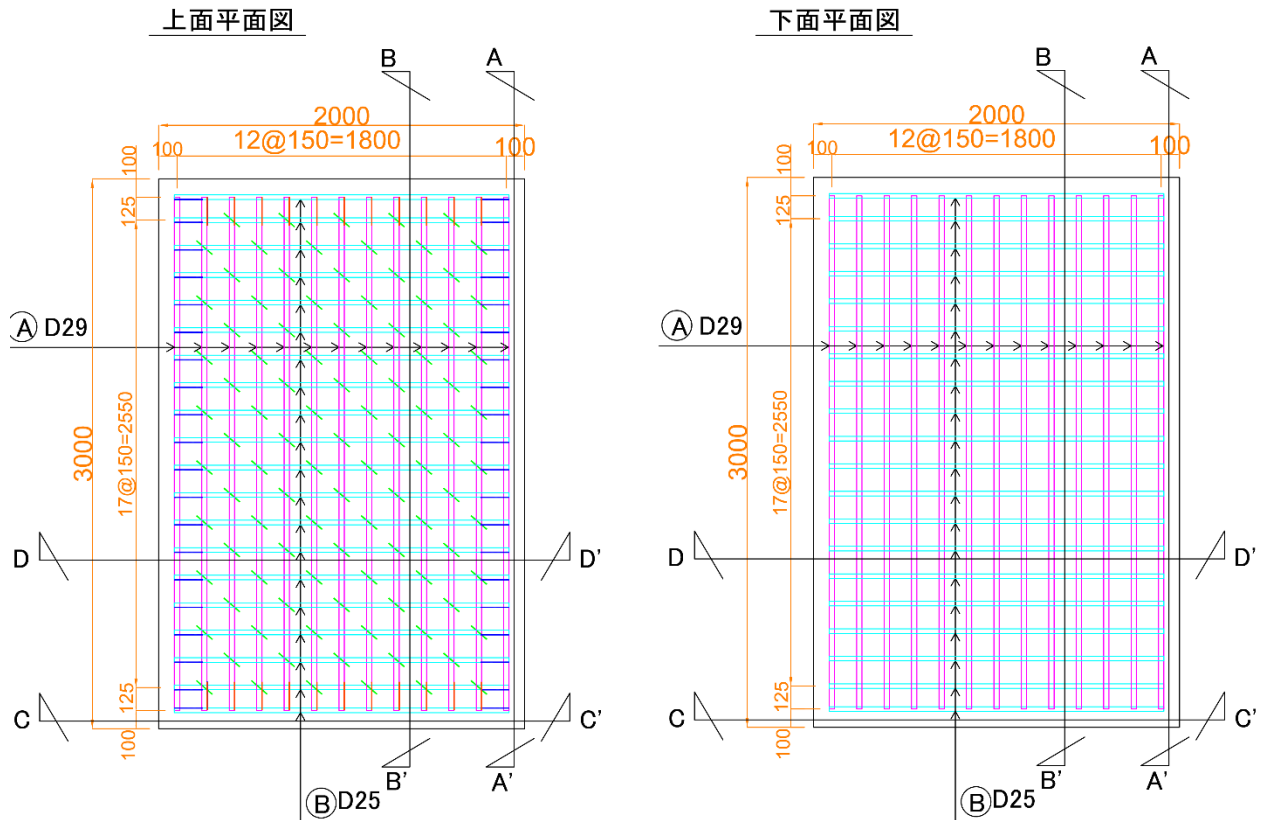


図 3.5-37 鉄筋コンクリート供試体の配筋図 (平面図)

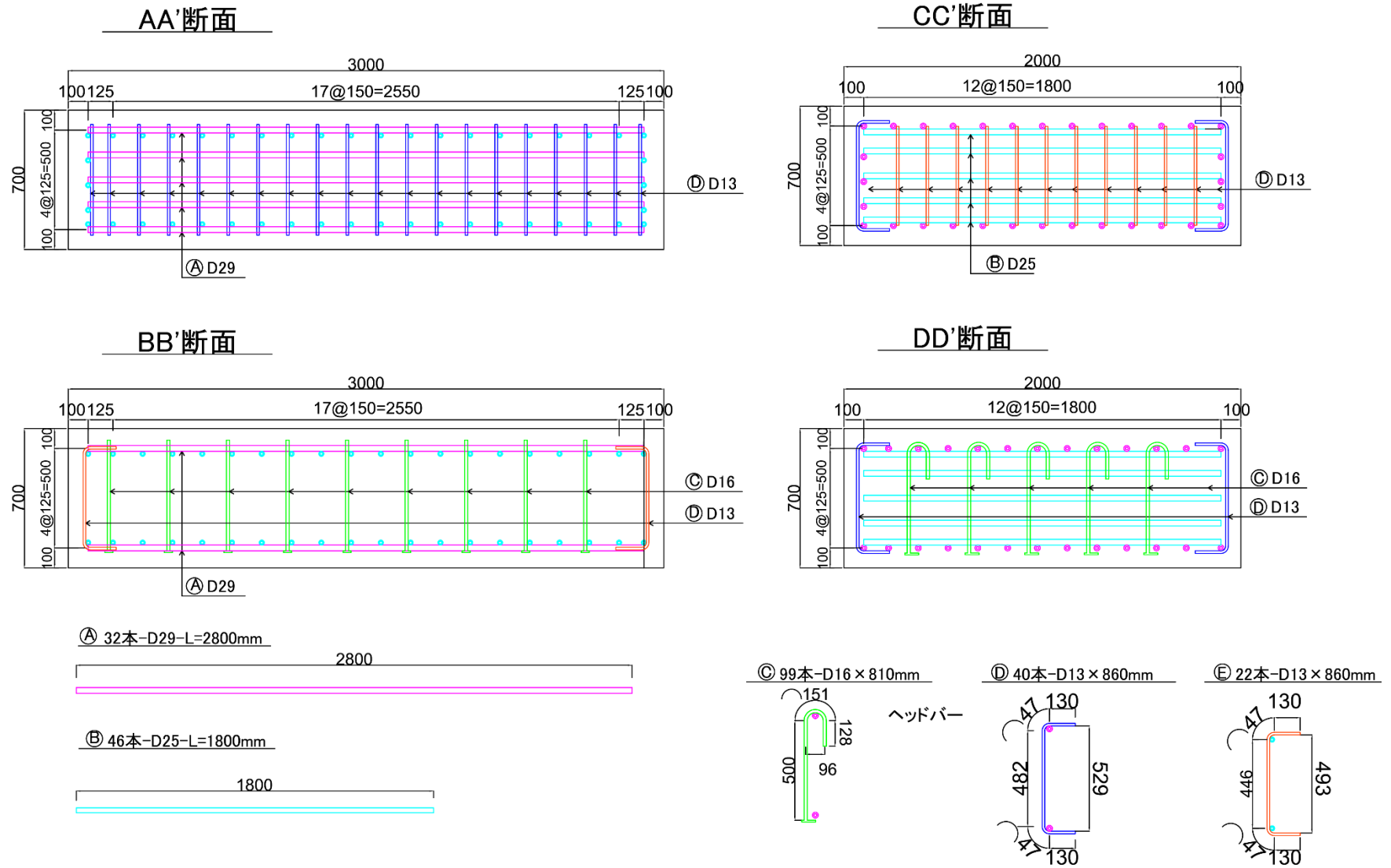


図 3.5-38 鉄筋コンクリート試験体の配筋図 (断面図と鉄筋詳細図)

### 3) 試験体の配合

試験体に用いるコンクリートの配合を表 3.5-7 に示す。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、予備強度が  $61\text{N/mm}^2$ （長期強度  $90\text{N/mm}^2$  の見込み）の高強度コンクリートを打ち込むこととした。

表 3.5-7 試験体の配合

セメント 種別	呼び強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	水結合材 比(%)	単位重量 ( $\text{kg/m}^3$ )			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
普通	61	32.1	170	530	780	913

### 4) 手前コンクリートピットの凹凸形状の再現

手前コンクリートピットの表面は、KK シートによる鉛直打継処理が行われているため、凹凸形状をしている。手前コンクリートピットを模擬した供試体の側面のうち 2 面には KK シートを使用し、凹凸形状を再現することとした。

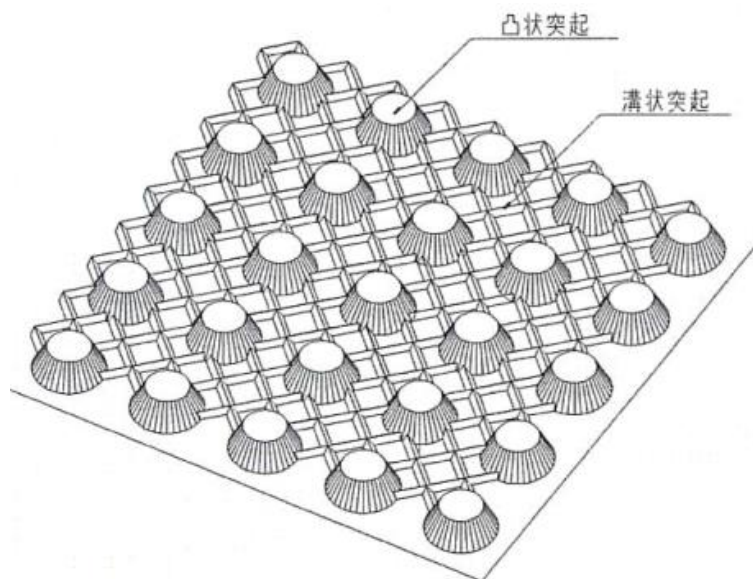


図 3.5-39 KK シート[70]

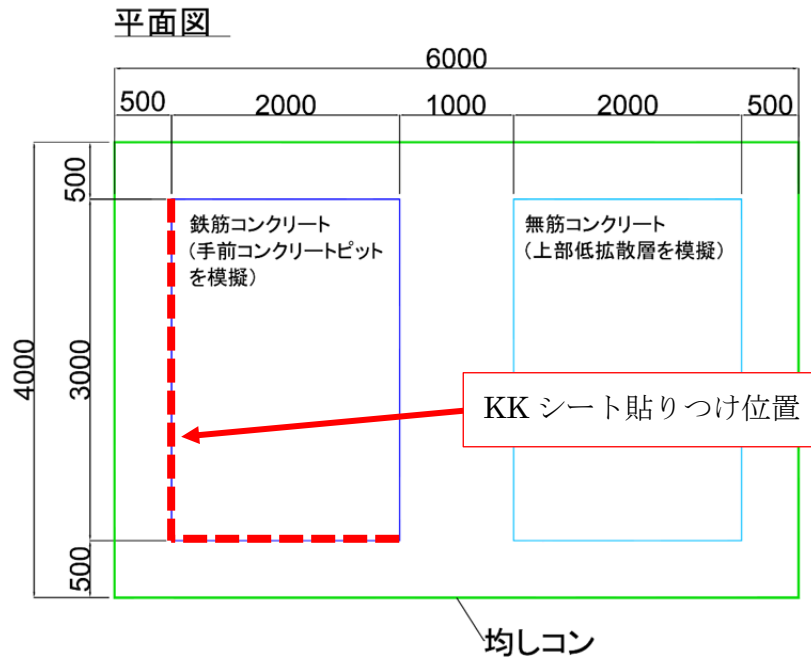


図 3.5-40 KK シート貼りつけ位置

5) 温度応力解析によるひび割れ発生確率の照査

a. はじめに

設計寸法、配合に対して温度応力解析を実施し、ひび割れ発生確率を照査した。温度応力解析は汎用ソフトである ASTEA-MACSver9.2 を使用した。

本検討に用いる材料諸定数は『マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016』[71]に従って設定した。

『コンクリート標準示方書【設計編】2012 年制定』[72]によれば、安全係数（ひび割れ指数）とひび割れ発生確率との関係性は図 3.5-41 のように、一般的な構造物における安全係数の値が表 3.5-8 のように示されている。

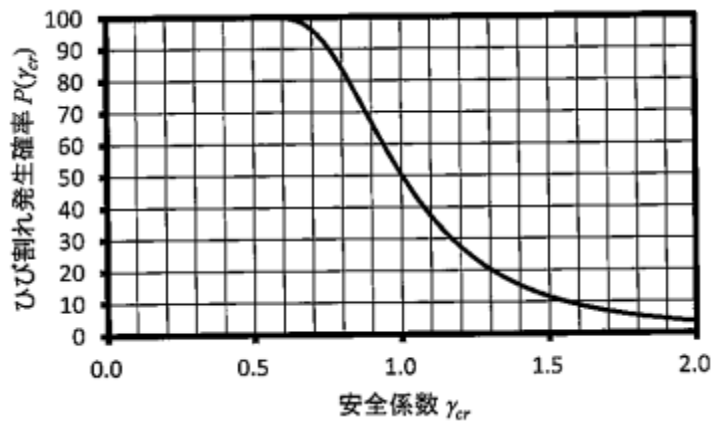


図 3.5-41 温度ひび割れ指数と温度ひび割れ発生確率[72]

表 3.5-8 温度ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係[72]

表 2.1.1 一般的な配筋の構造物における標準的なひび割れ発生確率と安全係数 $\gamma_{cr}$

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 $\gamma_{cr}$
ひび割れを防止したい場合	5 (%)	1.85 以上
ひび割れの発生をできる限り制限したい場合	15 (%)	1.40 以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50 (%)	1.0 以上

コンクリートの強度を実規模施設に合わせることに主眼を置いたこと、また軽度の温度ひび割れは事前試験におけるひび割れ誘発作業に及ぼす影響は小さいと考えられることから、本検討では、試験体に過大なひび割れが発生することを防止すること（ひび割れ発生確率 50%）を目標とし、養生を工夫することとした。

b. 検討対象

解析は、地盤、均しコンクリート、鉄筋コンクリート試験体 (2m×3m×70cm)、無筋コンクリート試験体 (2m×3m×60cm) を対象とした。解析モデルを図 3.5-42、図 3.5-43 に示す。

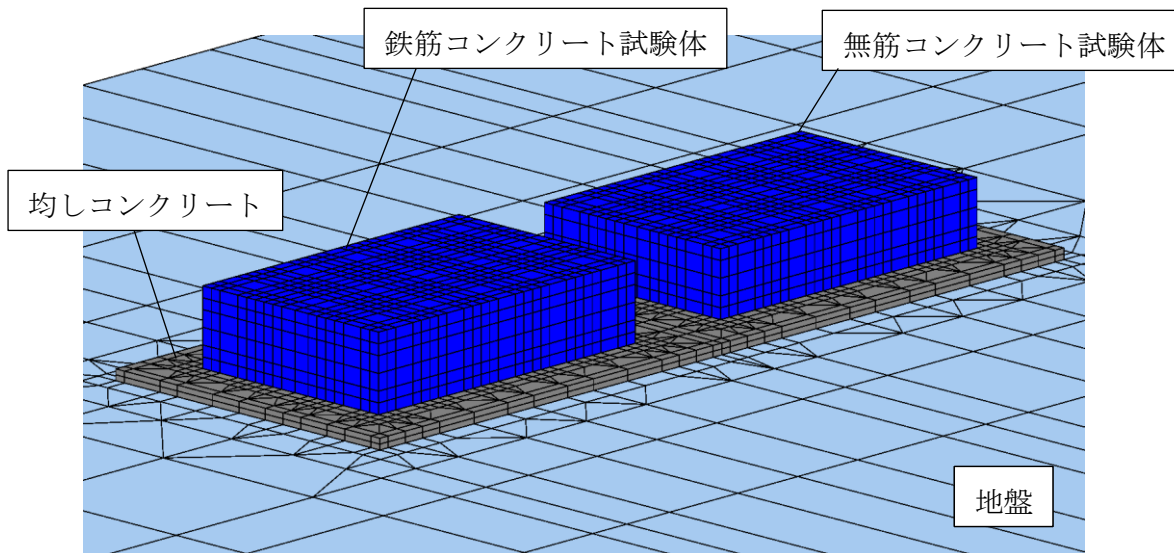


図 3.5-42 解析モデル

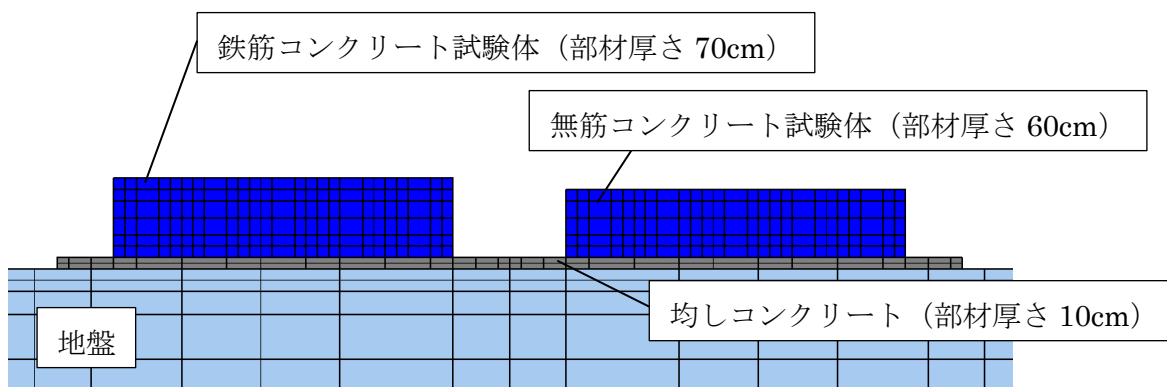


図 3.5-43 解析モデル断面図

表 3.5-9 温度応力解析のリフトスケジュール

No.	日付	外気温 (°C)	打設温度 (°C)	イベント
1	2月1日	4.6	9.6	均しコンクリート打設
2	2月16日	5.0	10.0	試験体打設
3	翌2月16日	5.0	-	解析計算終了

c. コンクリート配合

コンクリートの配合を表 3.5-10 に示す。

表 3.5-10 コンクリートの配合

	セメント 種別	呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )	水結合材 比(%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )			
				水	セメント	細骨材	粗骨材
均しコンクリート	普通	21	65.9	184	280	539	639
試験体	普通	61	32.1	170	530	780	913

d. コンクリート・岩盤の物性値

コンクリートの物性値を表 3.5-11 に、岩盤の物性値を表 3.5-12 に示す。物性値は「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 日本コンクリート工学会」に従って設定した。

表 3.5-11 コンクリートの物性値

項目	単位	材料定数
熱伝導率	W/m°C	2.7
密度	kg/m <sup>3</sup>	2400
比熱	kJ/kg°C	1.15
温度上昇	°C	$Q = Q_{\infty} [1 - \exp\{-\gamma_{AT}(t - t_{0,Q})^{S_{AT}}\}]$
ヤング率	N/mm <sup>2</sup>	$E_c(t_e) = C_3 \times f'_c(t_e)^{C_4}$
圧縮強度	N/mm <sup>2</sup>	$f'_c(t_e) = (t_e - S_f) \div \{a + b \times (t_e - S_f)\} \times f'_c(t_n)$
引張強度	N/mm <sup>2</sup>	$f'_c(t_e) = C_1 \times f'_c(t_e)^{C_2}$
ポアソン比		0.2
線膨張係数	$\mu / ^\circ\text{C}$	10
クリープ	N/mm <sup>2</sup>	$E_e(t_e) = \phi(t_e) \times E_c(t_e)$
自己収縮・乾燥収縮		$\varepsilon_{ex}(t_e) = \varepsilon_{ex,\infty} [1 - \exp\{-a_{ex}(t_e - t_{ex,0})^{b_{ex}}\}]$
打込み温度	°C	外気温+5°C
管理材齢日	日	28

表 3.5-12 岩盤・地盤の物性値

項目	単位	材料定数
岩盤および地盤の種別		普通の地盤
密度	kg/m <sup>3</sup>	2100
比熱	kJ/kg°C	1.40
熱伝導率	W/m°C	1.7

e. 外気温

外気温は 1981 年～2010 年の東京都調布市の月平均気温を各月 15 日の気温と仮定して線形補完した。外気温の変化を図 3.5-44 に示す。

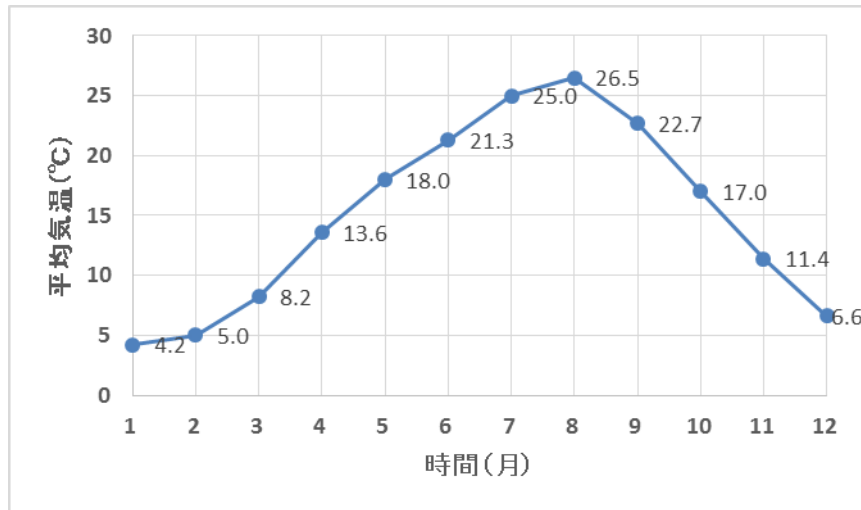


図 3.5-44 外気温データ

f. 熱伝達条件

実施工の使用型枠・養生方法に従って、コンクリート打設後の熱伝達条件を表 3.5-13 に示すように設定した。

発熱した試験体が冷気によって急激に冷やされることにより、温度ひび割れが生じることが懸念された。そこで、試験体の打設面は Q マット (NETIS・KT-980368-V) を敷いて、保湿保温養生を行うこととした。Q マットは湿潤養生マットと保温養生マットの 2 層構造となっていて、湿潤養生マットは従来の養生マットの 10 倍の初期保水量と、5 倍の保水時間を有しており、1 回の散水のみで材齢 28 日までの期間、コンクリート表面の相対湿度を 80%R.H 以上に保つことができる。また保温マットは、熱伝達率が従来のコンクリート養生マットの 1/2 以下であり、構造物全体が最高温度から安定温度に降下する際の温度勾配を緩やかにする。

表 3.5-13 熱境界条件

	熱伝達率 (W/m <sup>2</sup> °C)	備考
側面	8	合板型枠。打設後 2 週間で脱型
打設面	5.2	Q マット。打設後 2 週間で撤去
露出面	14	



g. 解析結果

解析結果を図 3.5-45 から図 3.5-47 に示す。試験体の中央部でひび割れ指数 1.20～1.40 となっていることが確認できる。

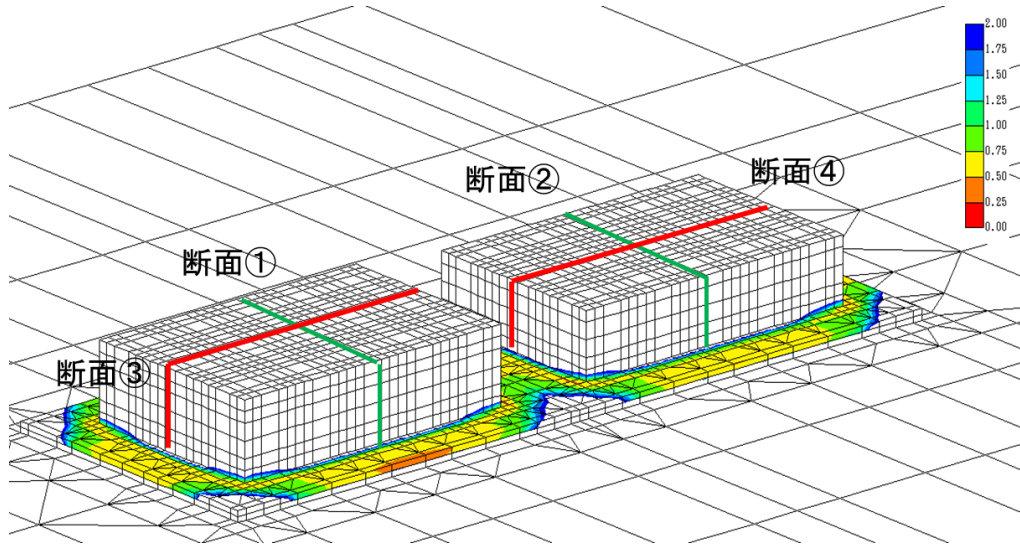


図 3.5-45 ひび割れ指数 (全体図)

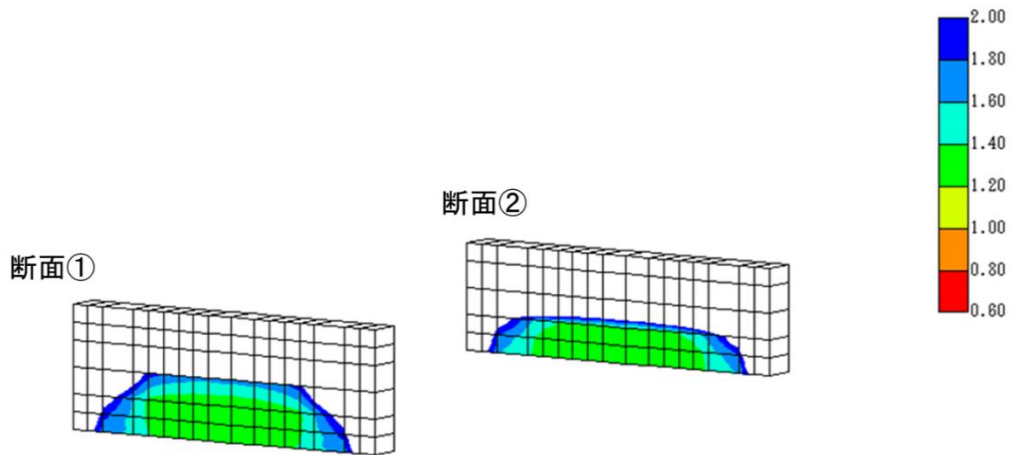


図 3.5-46 ひび割れ指数 (断面①・②)

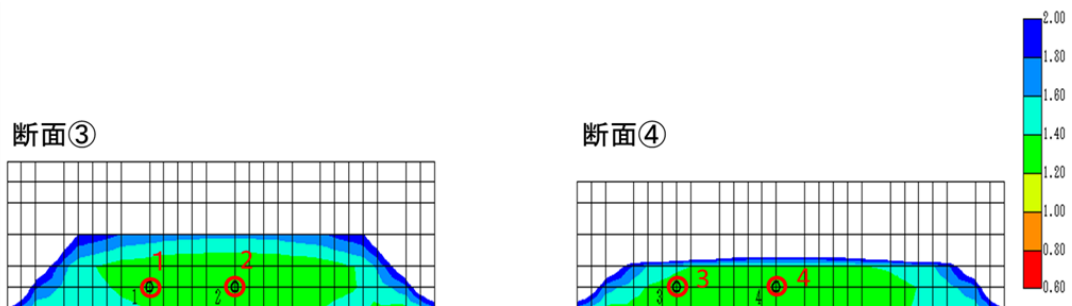


図 3.5-47 ひび割れ指数 (断面③・④)

図 3.5-47 中の、点 1～点 4 におけるひび割れ指数の履歴を示す。ひび割れ指数は、打設直後に最小値 1.22 をとり、養生の工夫によって、目標とするひび割れ指数を満足することが確認できた。

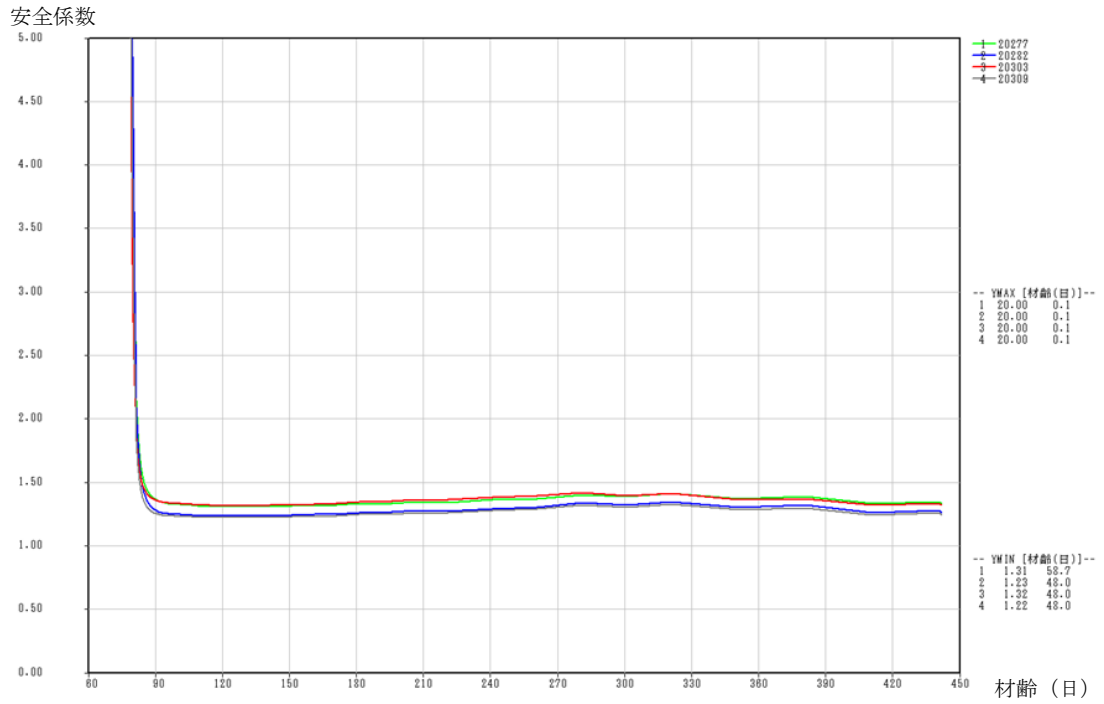


図 3.5-48 安全係数の履歴

#### (4) 事前試験用の試験体の製作

##### 1) 試験体の製作場所

試験体の製作は、東京都調布市の鹿島建設技術研究所敷地内で行った。施工は 2018 年 2 月に行っており、1 日に均しコンクリートの打込み、16 日に試験体の打込みを行った。

##### 2) 事前試験用供試体の製作状況

###### a. 均しコンクリートの打込み

均しコンクリート (21-18-20N) を、シュートを用いて打設した。打設状況を図 3.5-49 に示す。夜間は気温が低下し、凍害を生じる恐れがあったため、人が載れる程度にコンクリートが硬化した後に、ブルーシートにより養生を行った。



図 3.5-49 均しコンクリート打設状況



図 3.5-50 均しコンクリート養生状況



b. 打継面処理

均しコンクリートの打設翌日に、ハイウォッシャーにより、打継面を処理した。



図 3.5-51 打継面処理状況

c. 鉄筋の組立

鉄筋の組立を行った。上筋、下筋には D29 と D25 がそれぞれ 150mm ピッチで格子状に配置されている。上筋を組み立てるために、図 3.5-54 に示す位置にアングル架台を設置した。



図 3.5-52 鉄筋の組立状況(1/2)

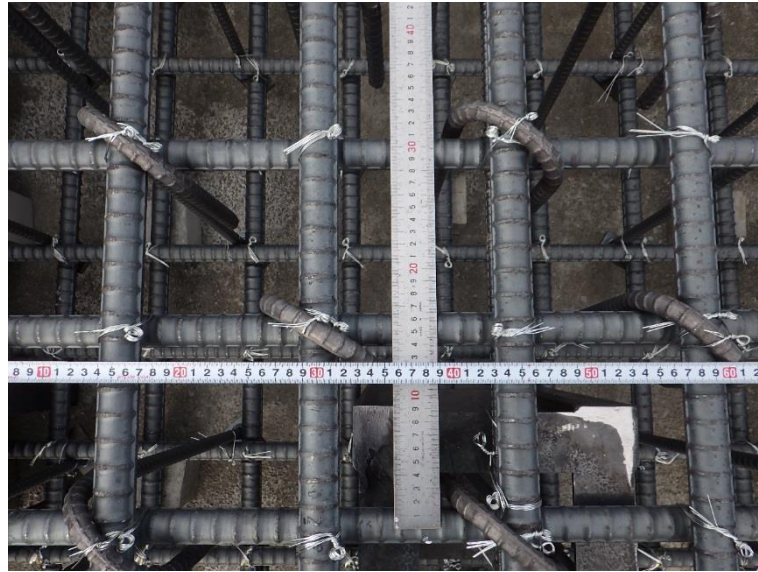


図 3.5-53 鉄筋の組立状況(2/2)

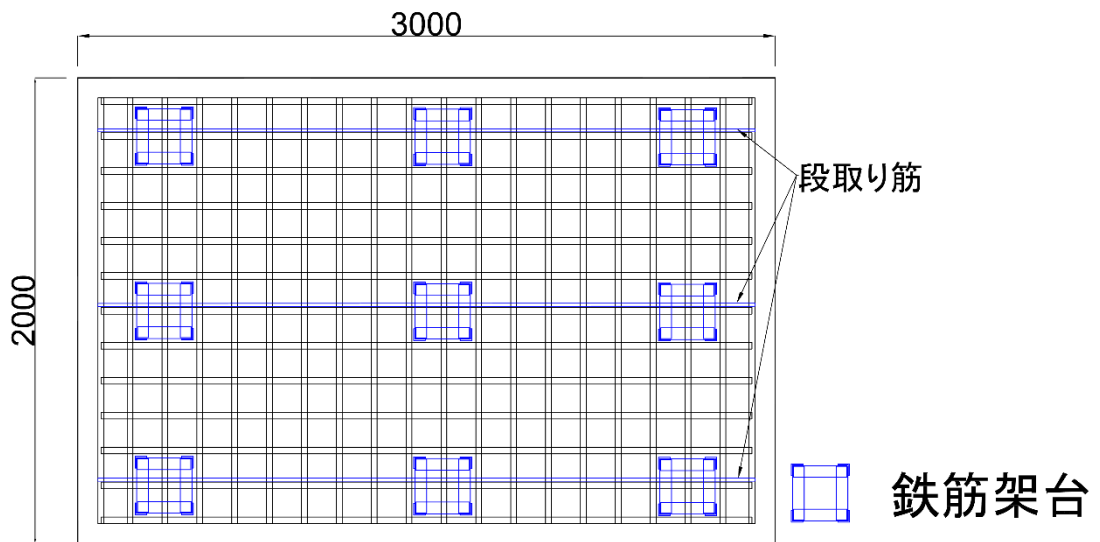


図 3.5-54 鉄筋架台設置位置





図 3.5-55 鉄筋組立完了

d. 型枠組立

所定の位置に型枠を組立てた。鉄筋コンクリート試験体の側面のうち、2面は実規模施設を模擬して KK シートを張りつけた。



図 3.5-56 鉄筋コンクリート試験体型枠組立状況

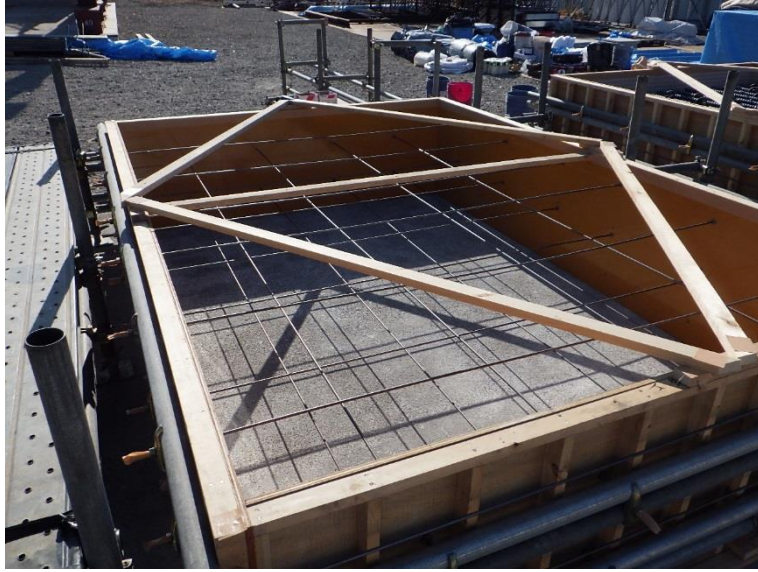


図 3.5-57 無筋コンクリート試験体型枠組立状況

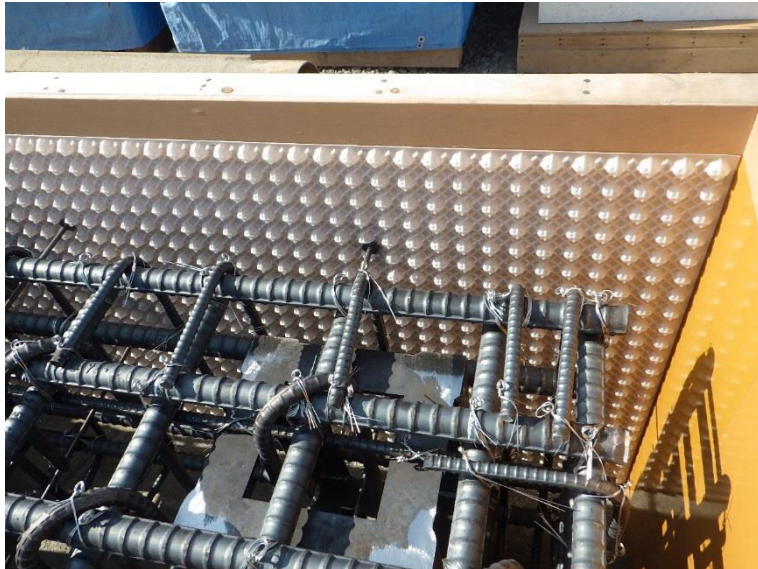


図 3.5-58 KKシート設置状況



e. 試験体コンクリートの打込み

ポンプ車により試験体のコンクリートの打設を行った。コンクリートの配合は 61-50-20 N とした。上面はトンボで均した後、コテ仕上げを行った。

表 3.5-14 試験体の配合

配合	呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )	水結合材 比(%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
61-50-20 N	61	32.1	170	530	780	913



図 3.5-59 鉄筋コンクリート試験体打設状況



図 3.5-60 無筋コンクリート試験体打設状況





図 3.5-61 コテならし状況



図 3.5-62 鉄筋コンクリート試験体打設完了

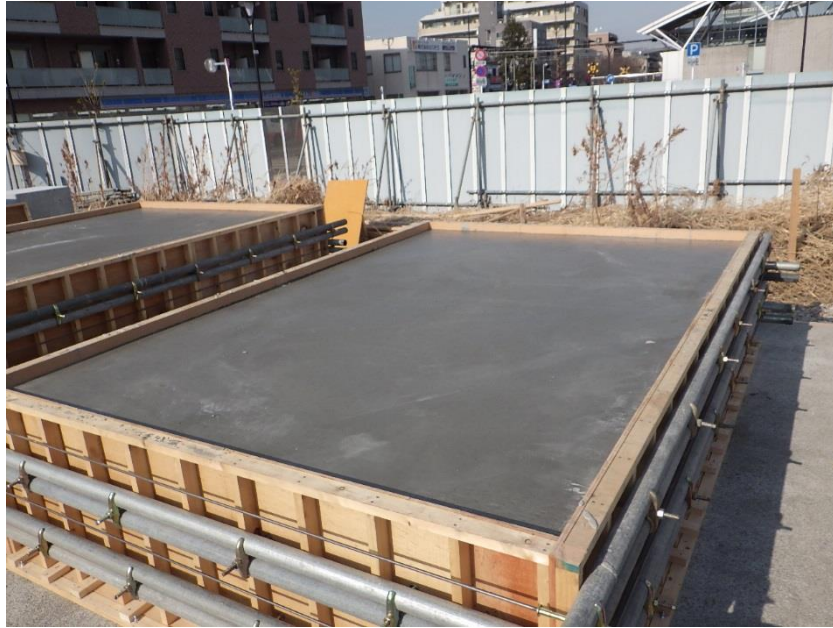


図 3.5-63 無筋コンクリート試験体打設完了

f. コンクリートの養生

コンクリートの仕上げ面は、Q マットにより湿潤・保温養生した。はじめに湿潤養生用のマットを敷設し、散水した。その後、保温養生用のマットを敷き、防炎シートで全体を覆った。養生の状況を図 3.5-64 から図 3.5-66 に示す。

保温養生は1ヵ月以上継続して実施する。その間、湿潤マットが保湿されていることを確認し、必要に応じ、適宜給水を行うこととする。



図 3.5-64 湿潤養生マット敷設状況





図 3.5-65 保温養生マット敷設状況



図 3.5-66 湿潤・保温養生完了

### 第3章 参考文献

- [1] 富田敦紀、蛭名孝仁、福田勝美、戸井田克、地下深部約 100m の堆積岩中に大規模試験空洞を掘削
- [2] 社団法人 セメント協会：C&C エンサイクロペディア[セメント・コンクリート化学の基礎解説]、p10、1996年7月
- [3] 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年
- [4] 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 ー気液 2 相流解析コードの選定と適用ー、財団法人 電力中央研究所報告、研究報告 N09003、平成 21 年 12 月 (2009).
- [5] 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、平成 20 年 2 月 (2008).
- [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、平成 18 年 3 月 (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 ー人工バリア内のガス移行解析手法とデータ取得ー、原子力学会バックエンド研究 研究論文、Vol.10 No.1-2、2004年3月 (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、平成 28 年 3 月 (2016).
- [10] 山本莊毅、水文学講座 6 地下水水文学、共立出版 (1992).
- [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 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認試験 報告書、平成 27 年 3 月 (2015).
- [12] 余裕深度処分対象廃棄物に関する基本データ集、電気事業連合会、平成 28 年 8 月 (2016)
- [13] 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認試験 平成 19 年～平成 26 年度の取りまとめ報告書、平成 27 年 3 月 (2015).
- [14] 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 (2017).
- [15] 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認試験における底部・側部埋戻し材施工確認試験に関する検討 (その 4) ーコンクリートのひび割れ予測評価に関する考察ー、土木学会第 63 回年次学術講演会、平成 20 年 9 月. (2008)
- [16] 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、平成 20 年 9 月(2008).

- [17] 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ー地下空洞型処分施設性能確証試験ー、土木学会第 65 回年次学術講演会、平成 22 年 9 月(2010).
- [18] 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、平成 19 年 9 月(2007).
- [19] Mamoru Kumagai et.al.: 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, October (2010).
- [20] 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、平成 20 年 3 月 (2008).
- [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 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 (2009).
- [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 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、平成 25 年 3 月 (2013).
- [23] 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).
- [24] 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、平成 18 年 3 月 (2006).
- [25] E. E. Alonso, A. Gens and A. Josa : A Constitutive model for partially saturated soils, Géotechnique, 40, No.3 (1990).
- [26] 山田敦夫、足立有史、千々松正和、雨宮清、金子岳夫、伊藤裕紀、庭瀬一仁：ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験（その 4）静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).
- [27] 山本修一、武内邦文、熊谷守、大石英希：力学連成二相流解析におけるクニゲル GX ベントナイトの力学特性検討、土木学会第 65 回年次学術講演会 (2010).
- [28] 石川博久、石黒勝彦、並河努、菅野毅：低透水層の圧密特性、動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所 公開資料、PNC TN8410 97-051 (1997).
- [29] 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 回年次学術講演会 (2008).
- [30] 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 (2013).
- [31] 富田敦紀、蛭名孝仁、福田勝美、戸井田克：地下深部約 100m 堆積軟岩中に大規模試験空洞を掘削、トンネルと地下、Vol. 37、 No. 11, pp. 855-863 (2006).
- [32] 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的设计、品質管理および検査の

- 考え方、p.25、2009年
- [33] 横関康祐、広中良和、取違剛、庭瀬一仁、谷智之：余裕深度処分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、平成19年9月(2007)。
- [34] 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年
- [35] Powers.T.C.: Physical Properties of Cement Paste, Proceedings of the Fourth International Conference on the Chemistry of Cement, U.S. National Bureau of Standards Monograph 43, Vol.2, pp.577-613 (1962).
- [36] 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年
- [37] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：地層処分技術調査等 TRU 廃棄物処分関連技術調査－人工バリア長期性能確証試験－報告書、2004年
- [38] 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、プレスリリース、2006.9.1
- [39] 取違剛、横関康祐、庭瀬一仁、金子岳夫：モルタルからの Ca 溶脱に及ぼす各種要因に関する解析的検討、土木学会第64回年次学術講演会、CS5-029、pp.191-192、2009年
- [40] 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
- [41] FARO ホームページ：<http://www.faro.com/ja-jp/>
- [42] 国土交通省北海道開発局ホームページ：  
[http://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gijyutu/ud49g70000004bv9-att/k\\_23.pdf](http://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gijyutu/ud49g70000004bv9-att/k_23.pdf)
- [43] 株式会社 ミットヨホームページ：<https://www.mitutoyo.co.jp/>
- [44] 原子力安全・保安部会：廃棄物安全小委員会報告書、低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る安全規制について」、平成20年1月18日
- [45] 武井明彦 他：セメント系材料に対する硝酸塩等の影響評価、JNC TJ8400 2002-020、2003年
- [46] 武井明彦 他：セメント系材料に対する硝酸塩等の影響評価Ⅱ、JNC TJ8400 2002-041、2004年
- [47] 田島孝敏 他：コンクリート間隙水によるベントナイト及び岩石の変質、大林組技術研究所報 No67、2003年
- [48] 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
- [49] 総理府・厚生省令第一号：一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令、平成29年6月9日
- [50] Leung, C. K., Wan, K. T., Inaudi, D., Bao, X., Habel, W., Zhou, Z., Ou, J., Ghandehari, M., Wu, H. C., Imai, M.: Review: optical fiber sensors for civil engineering applications. Materials and Structures 48(4), 871-906 (2015).

- [51] 吉澤信幸：カーボンコーティングによる光ファイバの高信頼化、材料と環境 41(1)、46-53、1992年
- [52] Lindholm, E. A., Li, J., Hokansson, A. S., Abramczyk, J., Arthur, S. E., and Tallant, D. R.: Low speed carbon deposition process for hermetic optical fibers. In Proc. 48th Int. Wire Cable Symposium, 672-679 (1999).
- [53] 愛川和彦、井添克昭、社本尚樹、工藤学、妻沼孝司：耐放射線シングルモード光ファイバ、フジクラ技報、113、10-14、2008年
- [54] Wijnands, Thijs, et al.: Optical absorption in commercial single mode optical fibers in a high energy physics radiation field. IEEE Transactions on Nuclear Science 55.4, 2216-2222 (2008).
- [55] 藤原成利：ガラスの劣化、マテリアルライフ、3(2)、77-81、1991年
- [56] 中原恒雄、鈴木修三：光ファイバの特性、テレビジョン学会誌 32(4)、286-291、1978年
- [57] 公益社団法人 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処分施設性能確証試験報告書（第 I 分冊）、2010年
- [58] Lindholm, E. A., Li, J., Hokansson, A., Slyman, B., Burgess, D.: Aging behavior of optical fibers in aqueous environments. In Photonics Europe, International Society for Optics and Photonics, 25-32, 2004.
- [59] 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 年度地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処分技術人工バリア長期性能評価技術開発報告書（第 1 分冊）—人工バリアの長期挙動の評価—、4-68、2013年
- [60] 草野譲一：高放射線環境で使用される機器・材料類の耐放射線特性データ集、JAEA-Review 2008-012、日本原子力研究開発機構、2008年
- [61] 日本アイソトープ協会：アイソトープ手帳、148、2001年
- [62] 日本工業標準調査会：光ファイバ機械特性試験方法 JIS C 6821 (1999).
- [63] 常石克之：光ファイバの被覆材料と構造. SEI テクニカルレビュー 182, 56-64 (2013).
- [64] 満永豊、勝山豊、小林敬和、石田之則：スクリーニング試験による光ファイバ強度保証法. 電子情報通信学会論文誌 B 66(7), 829-836 (1983).
- [65] 山田裕介、中島和秀、倉嶋利雄：通信用光ファイバの強度保証と破断特性評価技術. NEW GLASS 27 (106) , 3-6 (2012).
- [66] Kakuta, T., Shikama, T., Narui, M., & Sagawa, T. (1998). Behavior of optical fibers under heavy irradiation. Fusion Engineering and Design, 41(1-4), 201-205
- [67] 李哲賢 他：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
- [68] 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).
- [69] 新技術情報共有システム NETIS 新技術概要説明情報  
[http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG\\_NO=KT-030007](http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=KT-030007)

[70] 協立エンジ株式会社：KK シート工法カタログ

[71] 公益社団法人 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016、  
2016年11月

[72] 公益社団法人 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]、2012年3  
月



## 第4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4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

#### 4.1 本年度の既存施設の計測調査データ取得

##### 4.1.1 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 4.1-1 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 14 箇所を除く 617 個とした。

実施日：平成 29 年 12 月 5 日、平成 30 年 2 月 15 日

表 4.1-1 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 岩盤変位	
	埋戻し材	ひずみ計	106	215
		有効応力計	18	
		無応力計	4	
		鉄筋計 温度計	34 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	
充てん材	せん断変位計	4	1	
	土圧計	6		
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 加速度計	1 1	2
H26	上部埋戻し材	沈下計 温度計	1 1	2
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およ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 29 年 6 月 12 日、12 月 5 日、平成 30 年 2 月 15 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を協力会社職員および電気工が行った。

### 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 で加速度センサの応答があること、センサ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試験空洞内および試験施設に設置している加速度センサ 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いった。

### 【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 4.1-2 に示す。

表 4.1-2 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 (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 (設定時間の幅の中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 12 箇所 (A-①、A-③、B-②、B-④、C-①、C-②、C-③、C-④、D-②、D-④、E-④、E-⑤)、代替器による計測を行っている 2 箇所 (C-⑤、D-⑥) の計 14 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 29 年 9 月 11 日～9 月 15 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 4.1-1 参照）。このボーリング孔に、図 4.1-2 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 B-②および B-④に手ばかり水位計を図 4.1-3 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。

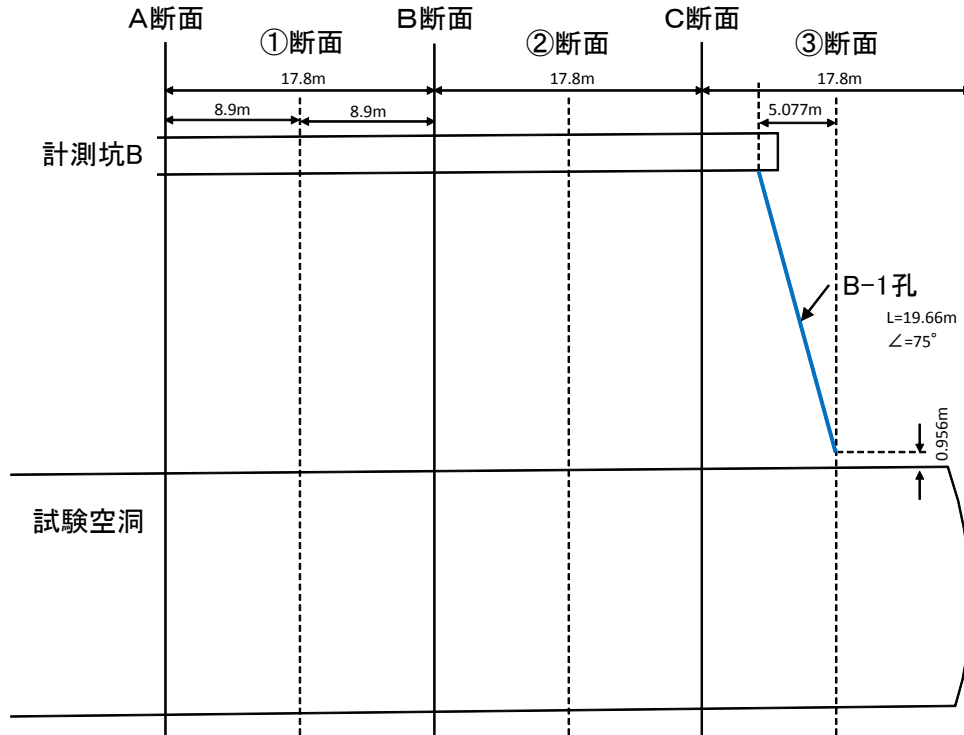


図 4.1-1 B-①孔の配置 (試験空洞沿い縦断面図)

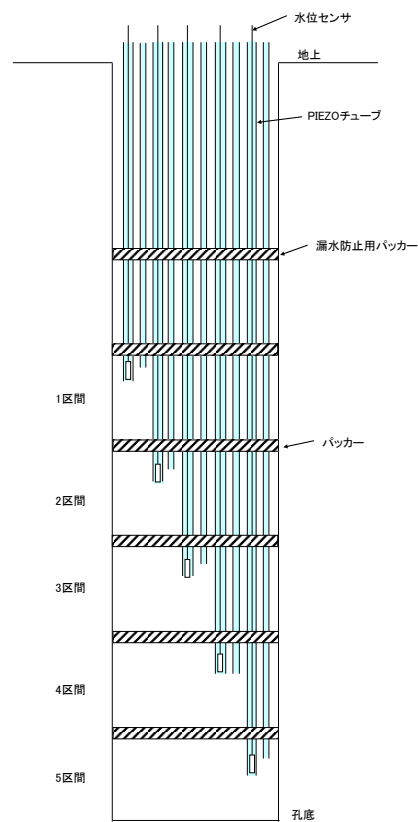


図 4.1-2 計測坑 B の間隙水圧計の概要図





図 4.1-3 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 および試験空洞 D、E）では、図 4.1-4 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 10 ヶ所（A-①、A-③、C-①、C-②、C-③、C-④、D-②、D-④、E-④、E-⑤）に、準備した圧力計およ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 4.1-3 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。

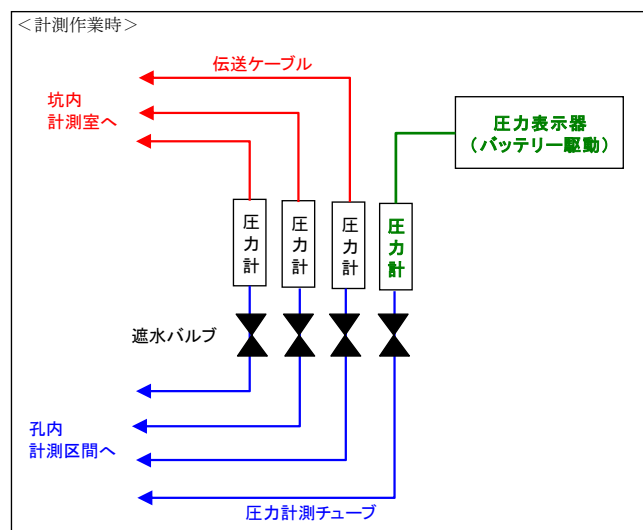


図 4.1-4 計測作業方法の概要

表 4.1-3 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 4.1-4 に示す。また、2016 年 10 月 1 日から 2017 年 9 月 12 日までの間隙水圧の経時変化を図 4.1-5 に示す。なお、表 4.1-4 には、今年度の点検でセンサが故障と判断された②区間および④区間の測定結果も記載した。

①区間では、昨年同様に、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。

また、③区間の測定値は EL-80.91m であり、昨年 10 月の計測値とほぼ同様の値（昨年比 -0.05m）であった。

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 4.1-4 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
				昨年度 (平成28年度)	今年度 (平成29年度)		
計測坑 A	A-1孔 区間①	-83.55	-83.73	10/12 14:01	-	-	水位低く測定不能 (EL-83.55mより低い)
				9/12 15:10	-	-	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	9/12 15:31	-79.61	-79.61	センサ故障のため手測りにて計測
	A-1孔 区間③	-83.55	-83.73	10/12 13:51	-80.91	-80.91	
				9/12 15:52	-80.96	-80.96	
	A-1孔 区間④	-83.55	-83.73	9/12 16:10	-81.36	-81.36	センサ故障のため手測りにて計測

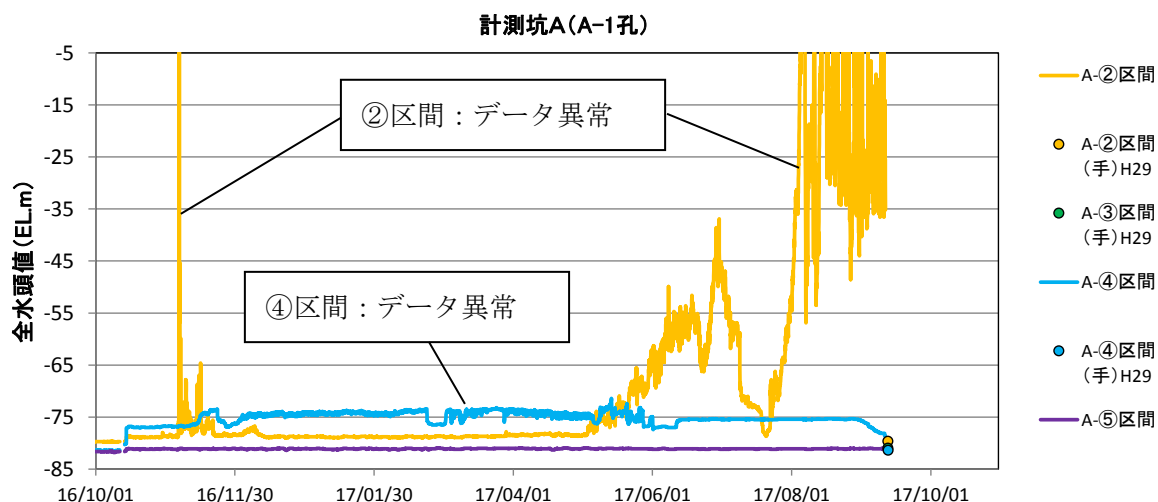


図 4.1-5 間隙水圧経時変化（計測坑 A、2016/10/1～2017/9/12）

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 4.1-5 に示す。また、2016 年 10 月 1 日から 2017 年 9 月 12 日までの間隙水圧の経時変化を図 4.1-6 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-66.68m、EL-71.47m であり、昨年 10 月の計測値と比べて 0.04～0.05m 高い値を示した。昨年度からの間隙水圧の経時変化から判断して、B-1 孔周辺では安定した水位を維持していることが確認された。

表 4.1-5 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		水位 (EL.m)	備考
				昨年度 (平成28年度)	今年度 (平成29年度)		
計測坑 B	B-1 孔 区間②	-54.65	-72.39	10/11 16:32		-66.72	
				9/12 13:47		-66.68	
	B-1 孔 区間④	-54.65	-72.39	10/11 16:35		-71.52	
				9/12 13:50		-71.47	

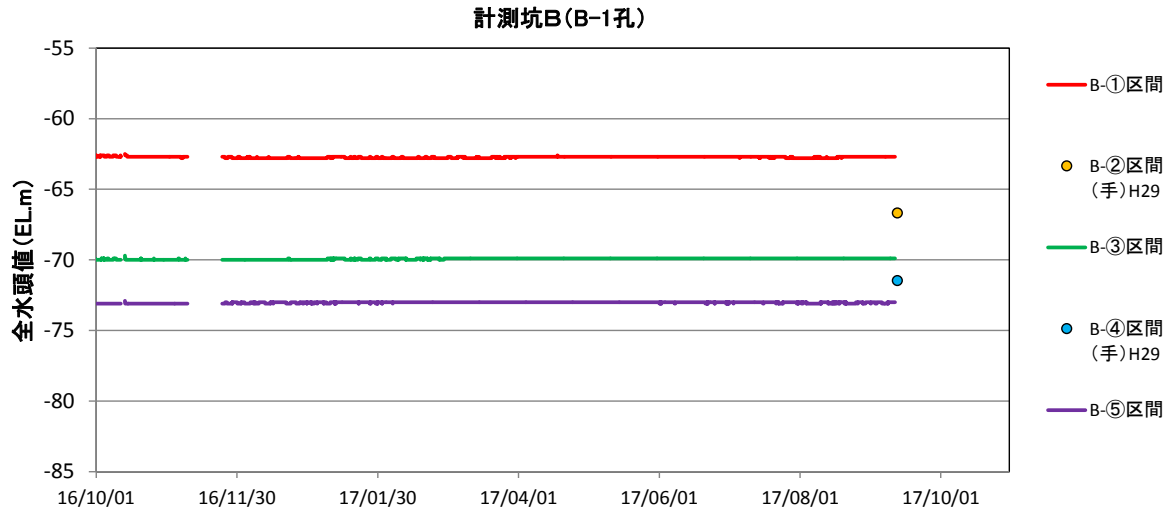


図 4.1-6 計測坑 B の間隙水圧経時変化 (2016/10/1～2017/9/12)

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 4.1-6 に、2016 年 10 月 1 日から 2017 年 9 月 12 日までの間隙水圧の経時変化を図 4.1-6 に示す。

①区間から⑤区間の測定値は、昨年 10 月の測定値とほぼ同様に EL-75.50m～EL-81.80m を示し、昨年比で全体に約±0.20m 以内の値を示した。

ただし、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。

昨年度および今回測定結果と図 4.1-6 に示した間隙水圧の経時変化から、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 4.1-6 計測坑 C の測定結果

計測坑 C	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
				昨年度 (平成28年度)	今年度 (平成29年度)		
C-1 孔 区間①		-83.55	-83.45	10/12 14:33		-75.50	
				9/12 16:47		-75.51	
C-1 孔 区間②		-83.55	-83.45	10/12 14:52		-80.40	
				9/12 17:11		-80.34	
C-1 孔 区間③		-83.55	-83.45	10/12 15:11		-81.52	
				9/12 17:27		-81.70	
C-1 孔 区間④		-83.55	-83.45	10/12 15:30		-81.69	
				9/13 9:20		-81.73	
C-1 孔 区間⑤		-83.55	-83.45	10/11 14:00		-81.87	代替センサによる計測
				9/13 9:39		-81.77	代替センサによる計測

※計測坑 C の C-1 孔⑤区間については、代替センサによる計測のため、計測値の確認・記録を行った。

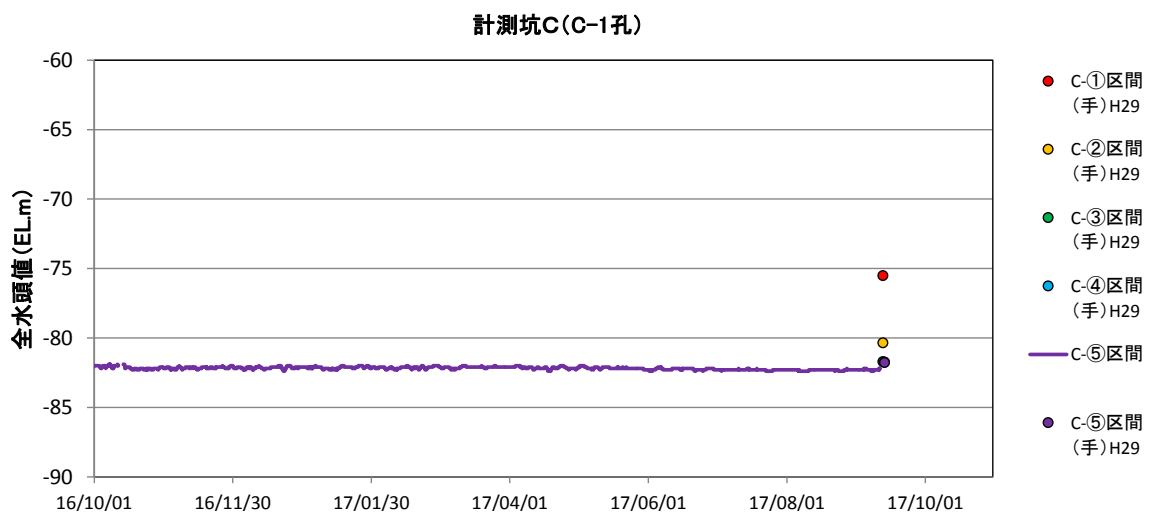


図 4.1-7 計測坑 C の間隙水圧経時変化 (2016/10/1~2017/9/12)

#### 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 4.1-7 に、間隙水圧の経時変化図を図 4.1-8、図 4.1-9 に示す。なお、表 4.1-7 には、昨年度の点検でセンサーケーブル不良により計測を中止している D-1 孔の①区間、今年度の点検でセンサが故障と判断された E-1 孔①区間および⑧区間の測定結果も記載した。

測定の結果、D-1 孔①、②区間の測定値は EL-89.21m、EL-89.37m であり、昨年と比べてそれぞれ 0.07m、0.18m 低い値を示した。一方、D-1 孔④、⑥区間の測定値はそれぞれ EL-83.59m、EL-77.34m であり、昨年との測定値と比べて 0.04m、0.26m 高い値を示した。

また、E-1 孔①区間の測定値は EL-84.65m であり、昨年の測定値 (EL-84.62m) とほぼ同様の値を示した。E-1 孔④、⑤区間の測定はそれぞれ EL-83.51m、EL-77.01m であり、昨年の測定値と比べて 0.07m、0.19m 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 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 孔および 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 4.1-7 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28年度)	10/13 11:43	-89.14	昨年度センサケーブル不良のため手測りで計測
				今年度 (平成29年度)	9/13 10:25	-89.21	
	D-1孔 区間②	-90.92	-90.2	今年度 (平成28年度)	10/13 13:46	-89.19	昨年度センサ故障が確認されたため手測りで計測
				今年度 (平成29年度)	9/13 10:44	-89.37	
	D-1孔 区間④	-90.92	-89.40	今年度 (平成28年度)	10/12 16:00	-83.63	
				今年度 (平成29年度)	9/13 11:02	-83.59	
	D-1孔 区間⑥	-90.92	-89.40	今年度 (平成28年度)	10/11 14:00	-77.60	代替センサによる計測区間
				今年度 (平成29年度)	9/13 11:21	-77.34	代替センサによる計測区間
	E-1孔 区間①	-84.40	-89.50	今年度 (平成28年度)	10/13 14:06	-84.62	昨年度センサケーブル不良のため手測りで計測
				今年度 (平成29年度)	9/13 11:40	-84.65	センサケーブル不良のため手測りで計測
	E-1孔 区間④	-84.40	-89.50	今年度 (平成28年度)	10/12 16:41	-83.58	
				今年度 (平成29年度)	9/13 13:54	-83.51	
	E-1孔 区間⑤	-84.40	-89.50	今年度 (平成28年度)	10/12 10:21	-76.82	
				今年度 (平成29年度)	9/13 14:14	-77.01	
E-1孔 区間⑧	-84.40	-89.50	今年度 (平成29年度)	9/13 15:01	-64.90	センサ故障のため手測りにて計測	

※試験空洞 D-1 孔⑥区間については、代替センサによる計測のため、計測値の確認・記録を行った。

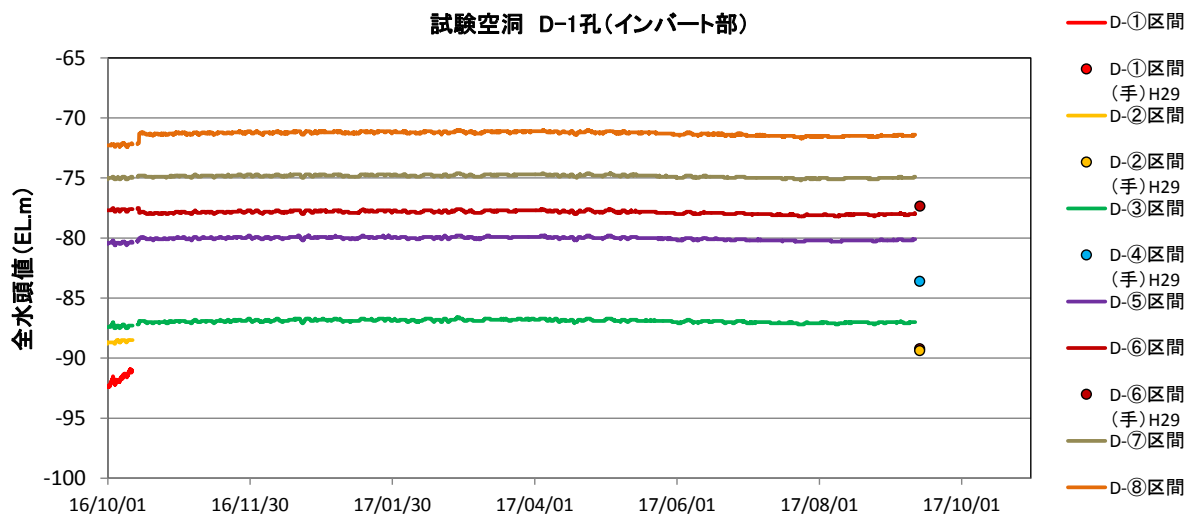


図 4.1-8 間隙水圧経時変化 (試験空洞 D-1 孔、2016/10/1～2017/9/12)

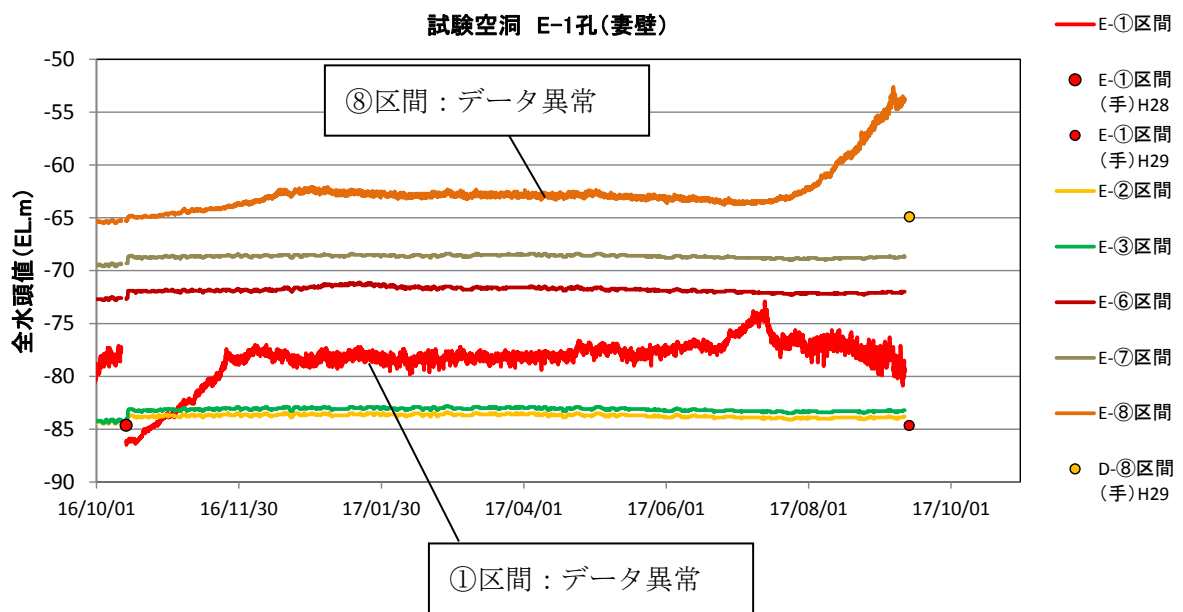


図 4.1-9 間隙水圧経時変化 (試験空洞 E-1 孔、2016/10/1～2017/9/12)



#### (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された上部コンクリートピット、上部低拡散層上部およ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 28 年度のひび割れ調査における対象範囲を図 4.1-10 に示す。調査対象部位は上部コンクリートピットおよび上部低拡散層の上部と側部低拡散層の左側である。なお、図 4.1-10 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路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）（29m<sup>2</sup>）・・・・・・・・①
- ・上部低拡散層の上面（92m<sup>2</sup>）・・・・・・・・②
- ・上部コンクリートピット上面（3m<sup>2</sup>）・・・・・・・・③

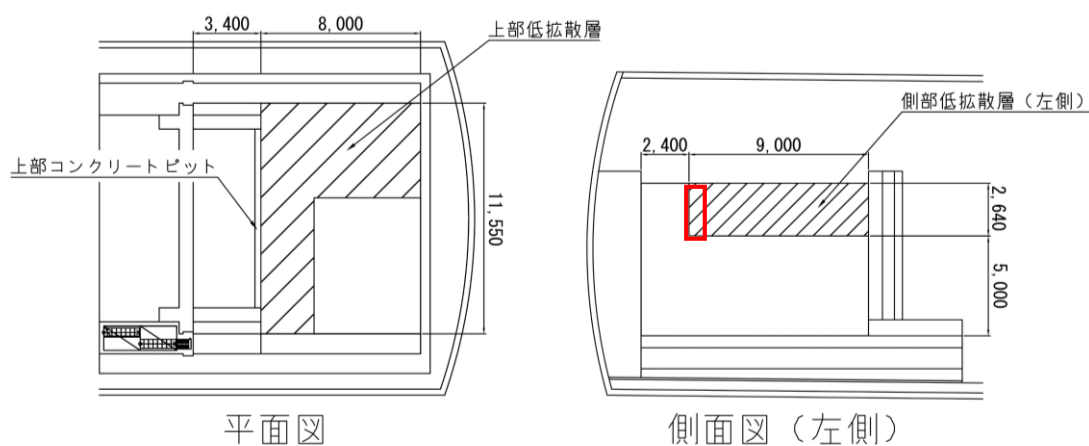


図 4.1-10 調査対象範囲

c. 調査方法

今回実施したひび割れ調査の方法を表 4.1-8 に示す。測定に使用するクラックスケールは最小 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 4.1-1 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を実施した。今回の対象部位における使用材料を表 4.1-9 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 4.1-10、表 4.1-11、表 4.1-12 に示す。

表 4.1-8 調査方法の概要

項目	概要	
評価項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ幅</li> <li>ひび割れの位置 (新たなひび割れが認められた場合)</li> </ul>	
評価方法	ひび割れ幅	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 ヶ所でひび割れ幅が異なる場合は適当な数ヶ所で測定</li> <li>ひび割れに段差がある場合は段差の寸法も記録</li> </ul>
	ひび割れの位置	<ul style="list-style-type: none"> <li>巻尺やコンベックスで測定</li> <li>段差が認められた場合もその位置を記録</li> </ul>
測定機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>クラックスケール 品番 58697 (シンワ社製)</li> </ul>	
測定幅	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.10 未満は 0.10 未満と表記</li> <li>0.10～1.00 までは 0.05mm 単位でひび割れ幅を測定</li> <li>1.00mm を超える場合は 0.10mm 単位でひび割れ幅を測定</li> </ul>	

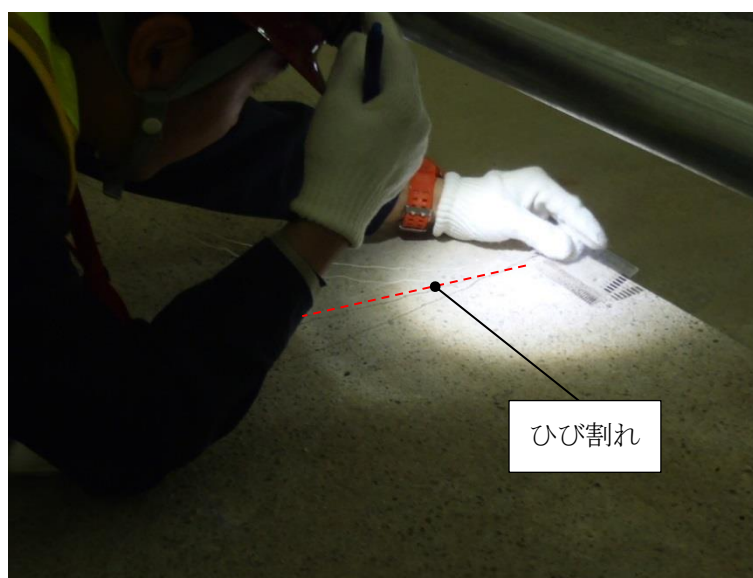


写真 4.1-1 ひび割れ幅の測定状況

表 4.1-9 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/cm <sup>3</sup> 、比表面積=3,490 cm <sup>2</sup> /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/cm <sup>3</sup> 、比表面積=3,430 cm <sup>2</sup> /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/cm <sup>3</sup> 、比表面積=3,800cm <sup>2</sup> /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/cm <sup>3</sup> 、比表面積=3,740 cm <sup>2</sup> /g
膨張材	LEX1	石灰系膨張材、改良型ハイパーエクспан (太平洋マテリアル (株)) 密度=3.04 g/cm <sup>3</sup>
	LEX2	石灰系膨張材、改良型ハイパーエクспан (太平洋マテリアル (株)) 密度=3.05 g/cm <sup>3</sup>
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/cm <sup>3</sup> 、比表面積=5,140 cm <sup>2</sup> /g
	LP2	石灰石微粉末 (宮城石灰工業株式会社) 密度=2.72 g/cm <sup>3</sup> 、比表面積=5,420 cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S1	石灰砕砂 (八戸松館産) : 密度=2.66 g/cm <sup>3</sup> 、FM=2.70
	S2	石灰砕砂 (八戸松館産) : 密度=2.66 g/cm <sup>3</sup> 、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/cm <sup>3</sup>
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 4.1-10 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 (%)	使用材料および単位量 (kg/m <sup>3</sup> )									
					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 4.1-11 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 (%)	使用材料および単位量 (kg/m <sup>3</sup> )									
						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 4.1-12 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 (%)	使用材料および単位量 (kg/m <sup>3</sup> )									
					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および上部低拡散層の調査履歴を表 4.1-13 に示す。今年度 2 回目の調査時点で上部低拡散層は材齢 1829 日、上部コンクリートピットは材齢 1841 日、側部低拡散層は材齢 3003 日であった。

表 4.1-13 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

e. 調査結果

(a) 上部コンクリートピットおよび上部低拡散層

上部コンクリートピットおよ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 4.1-11、図 4.1-12、図 4.1-13、図 4.1-14 に、本年度の調査結果を図 4.1-15、図 4.1-16 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め戻された箇所を示している。

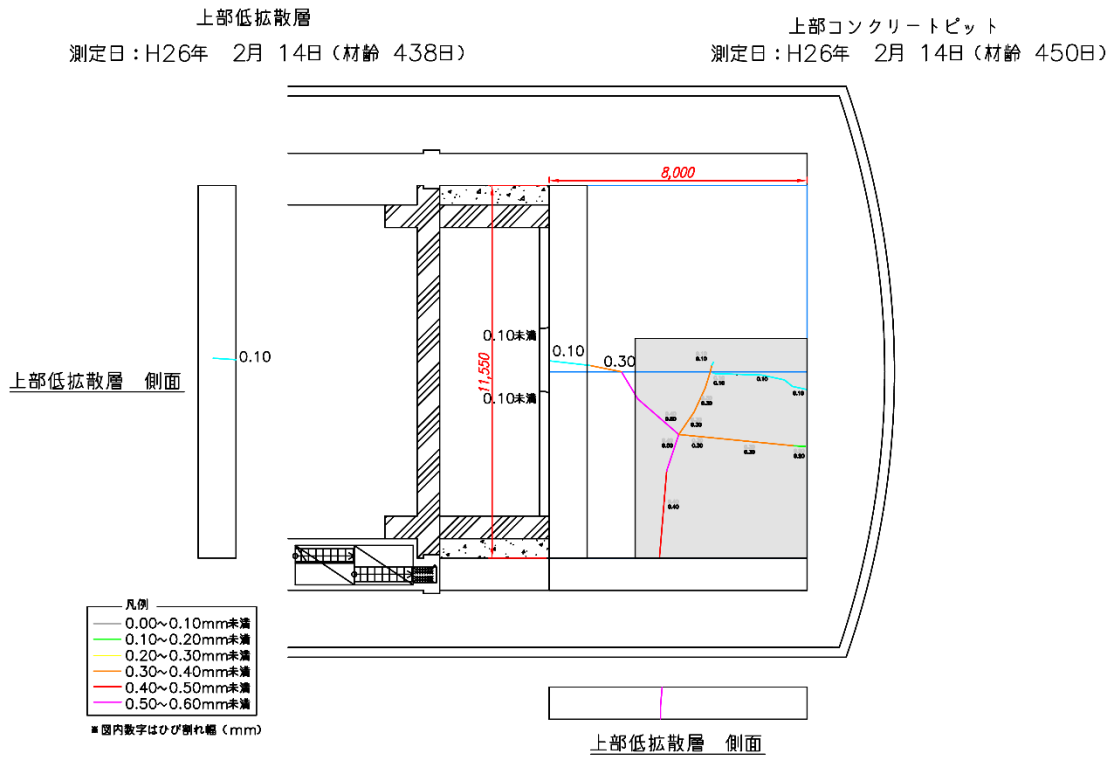
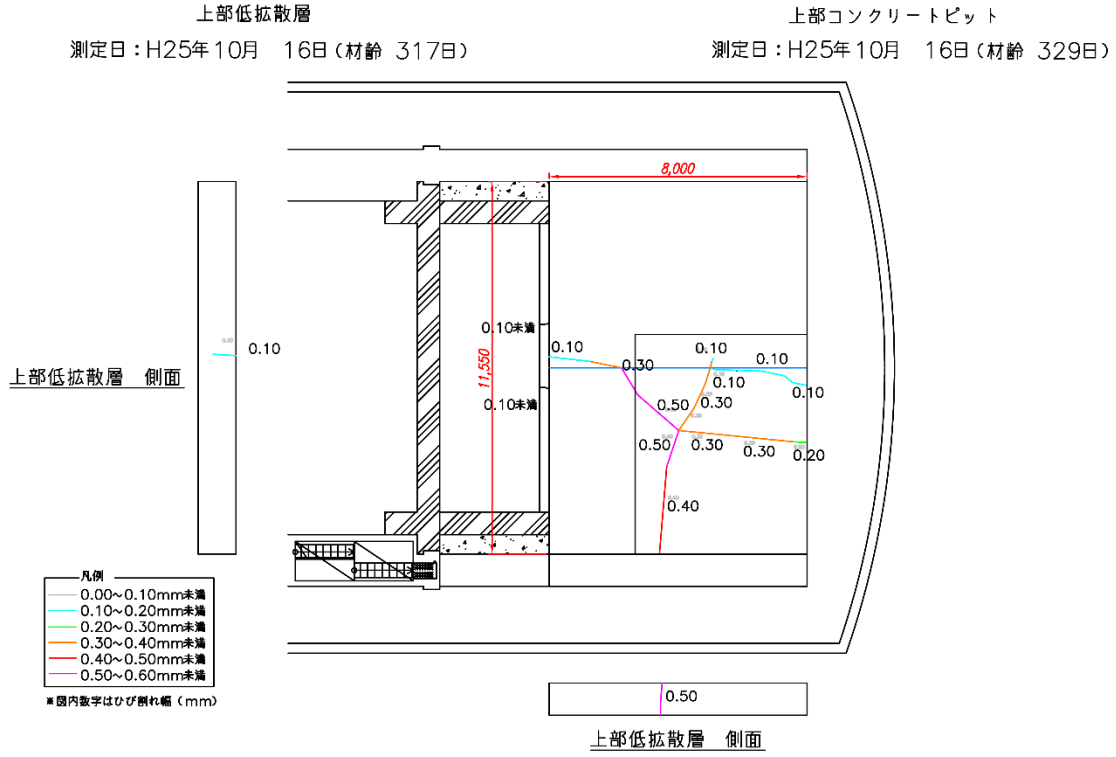


図 4.1-11 上部コンクリートピットおよび上部低拡散層のひび割れ履歴図（その1）

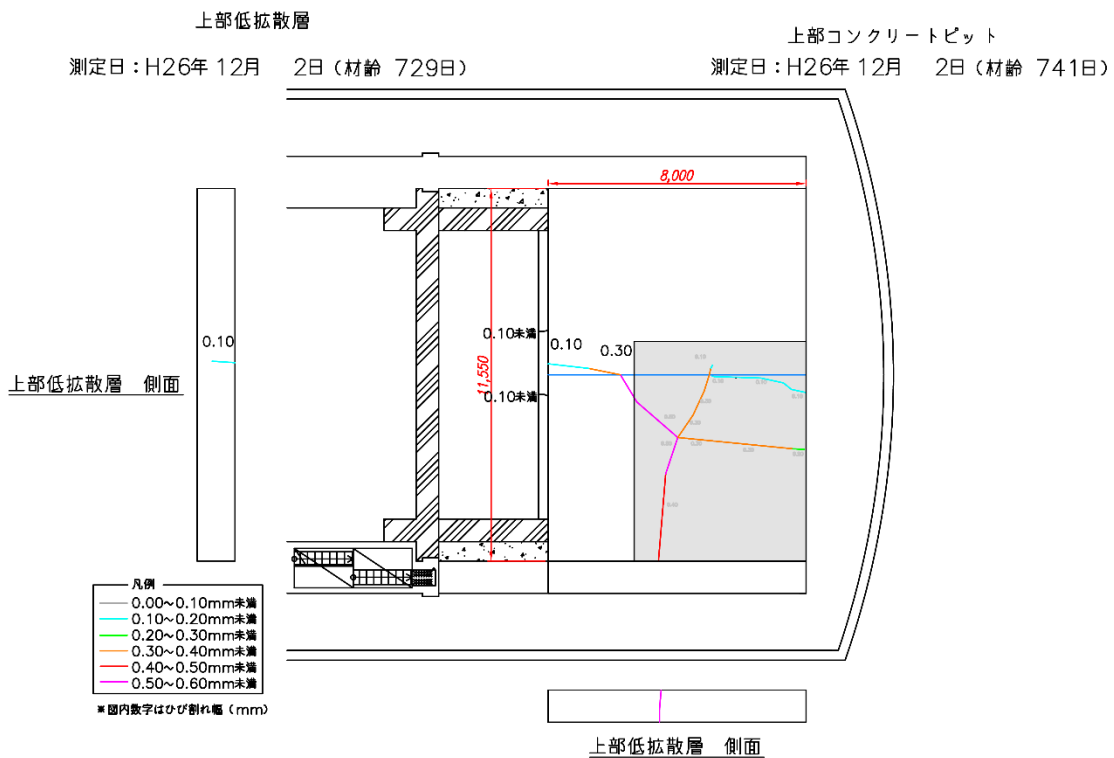
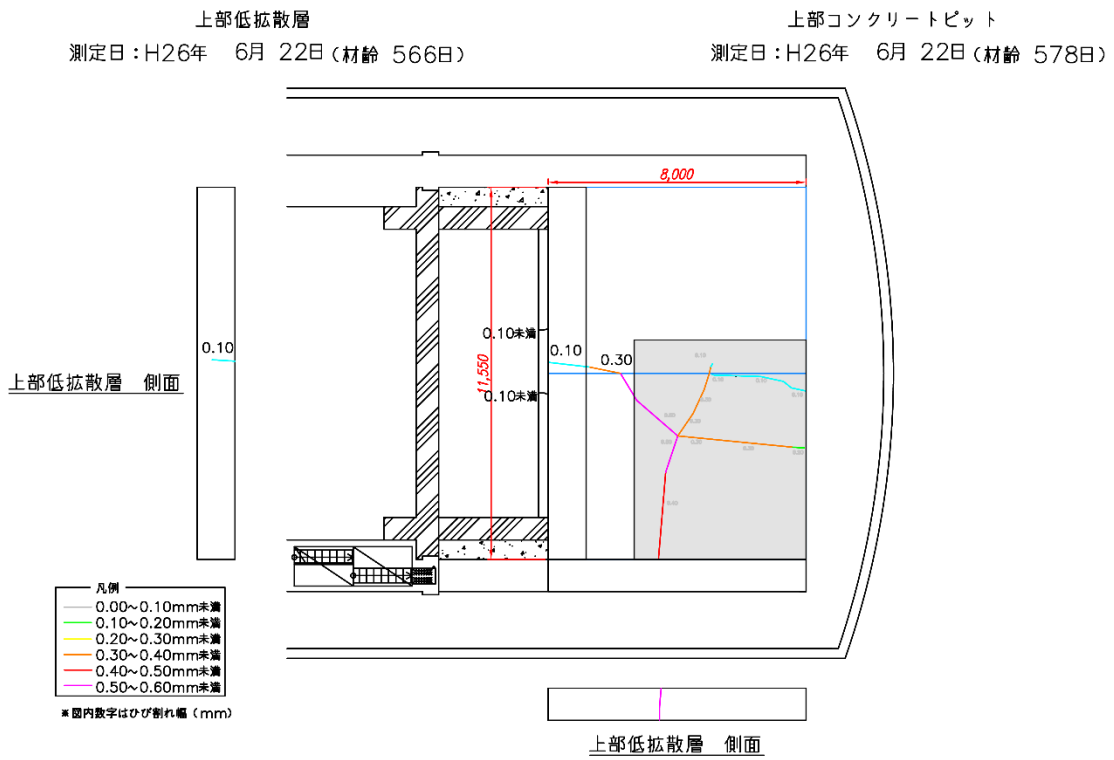


図 4.1-12 上部コンクリートピットおよび上部低拡散層のひび割れ履歴図（その2）



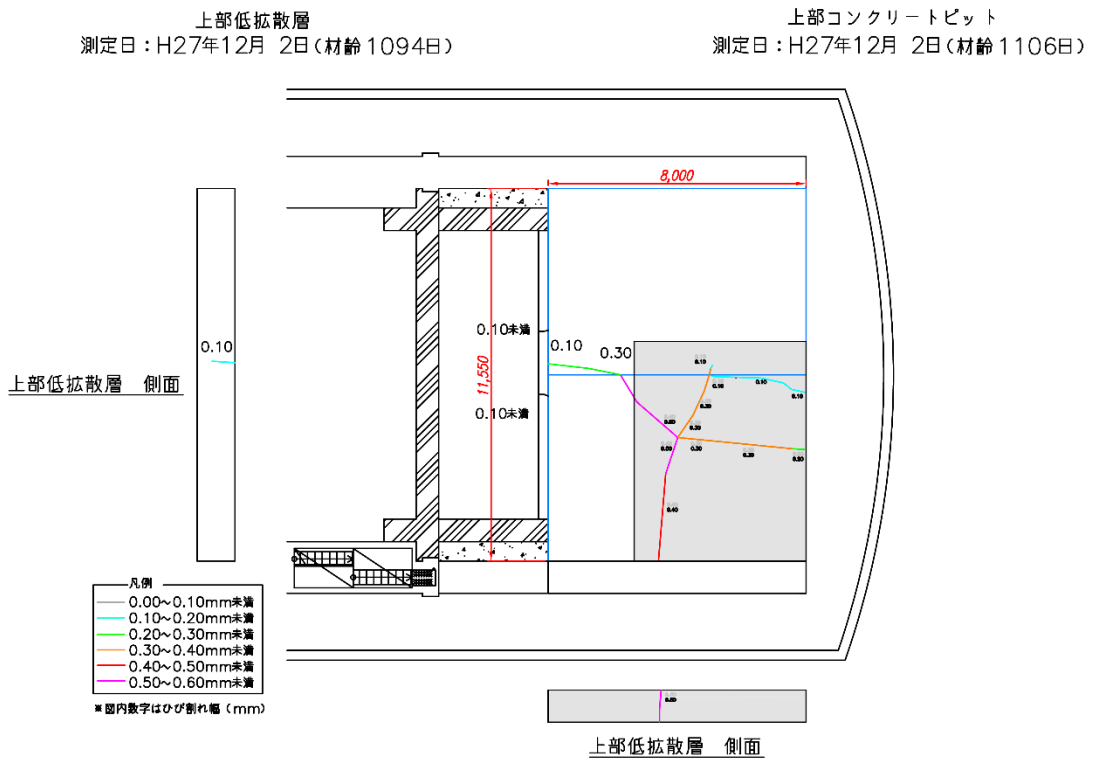
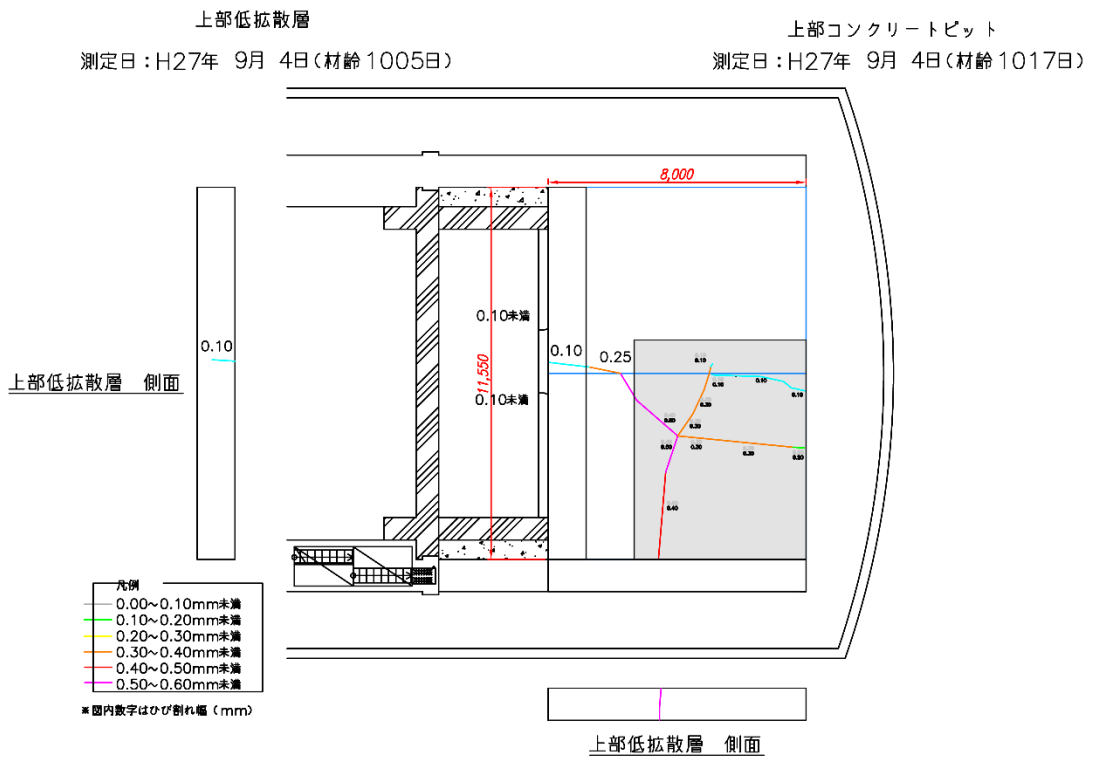
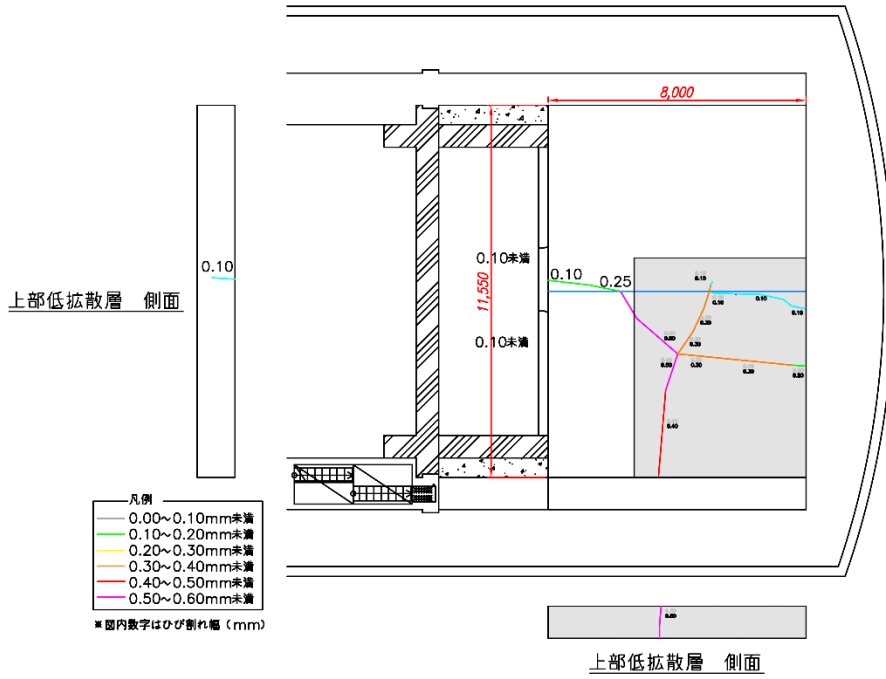


図 4.1-13 上部コンクリートピットおよび上部低拡散層のひび割れ履歴図 (その 3)

上部低拡散層  
測定日：H28年 8月 4日(材齢1340日)

上部コンクリートピット  
測定日：H28年 8月 4日(材齢1352日)



上部低拡散層  
測定日：H28年 12月 14日 (材齢1472日)

上部コンクリートピット  
測定日：H28年 12月 14日 (材齢1484日)

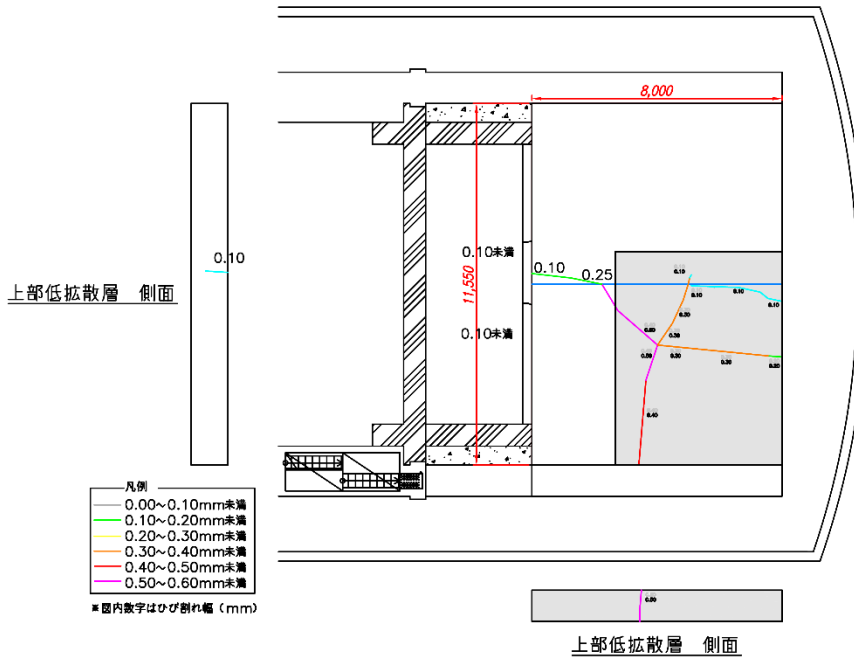


図 4.1-14 上部コンクリートピットおよび上部低拡散層のひび割れ履歴図 (その 4)

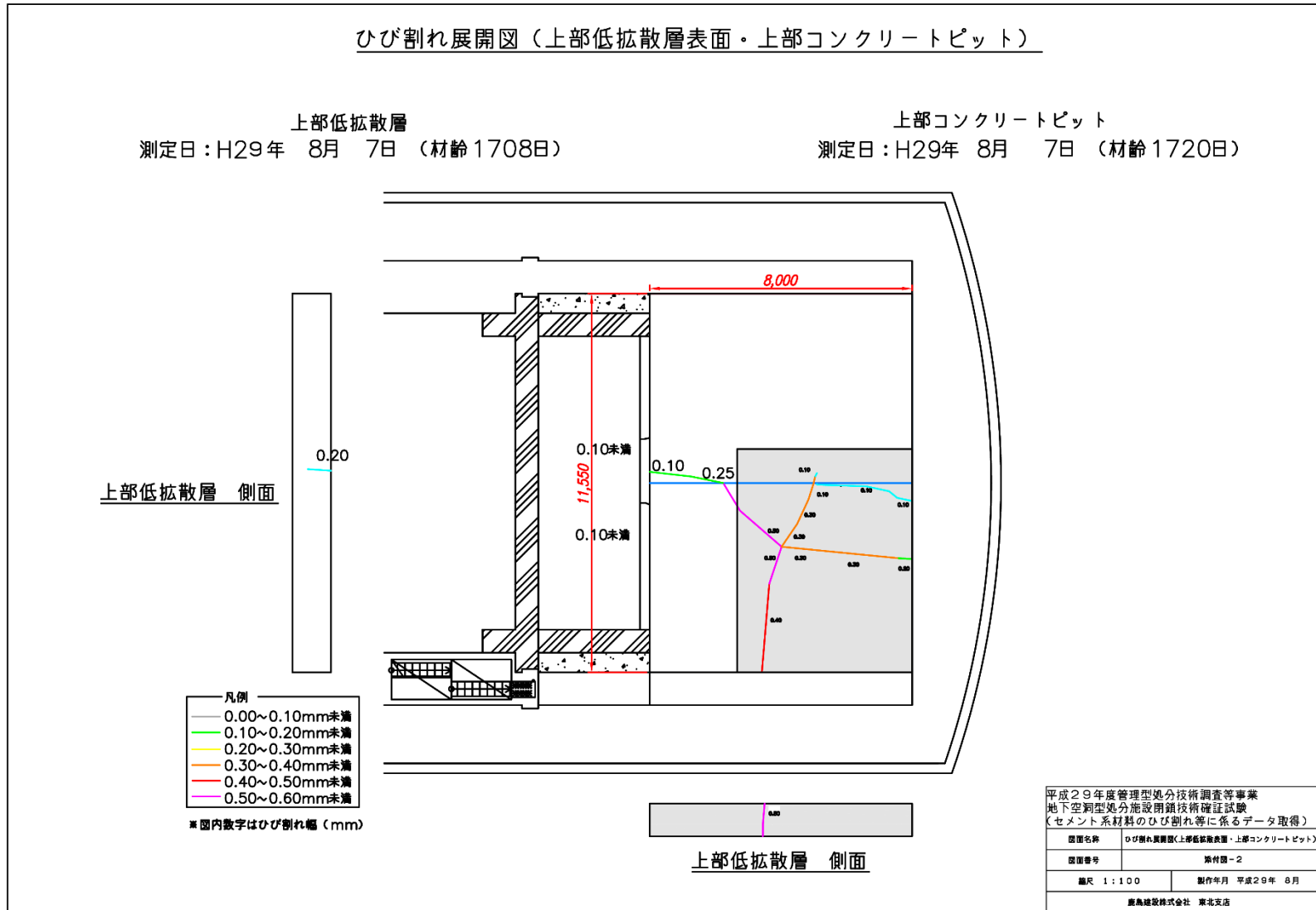


図 4.1-15 平成 28 年度第 1 回上部コンクリートピットおよび上部低拡散層の調査結果

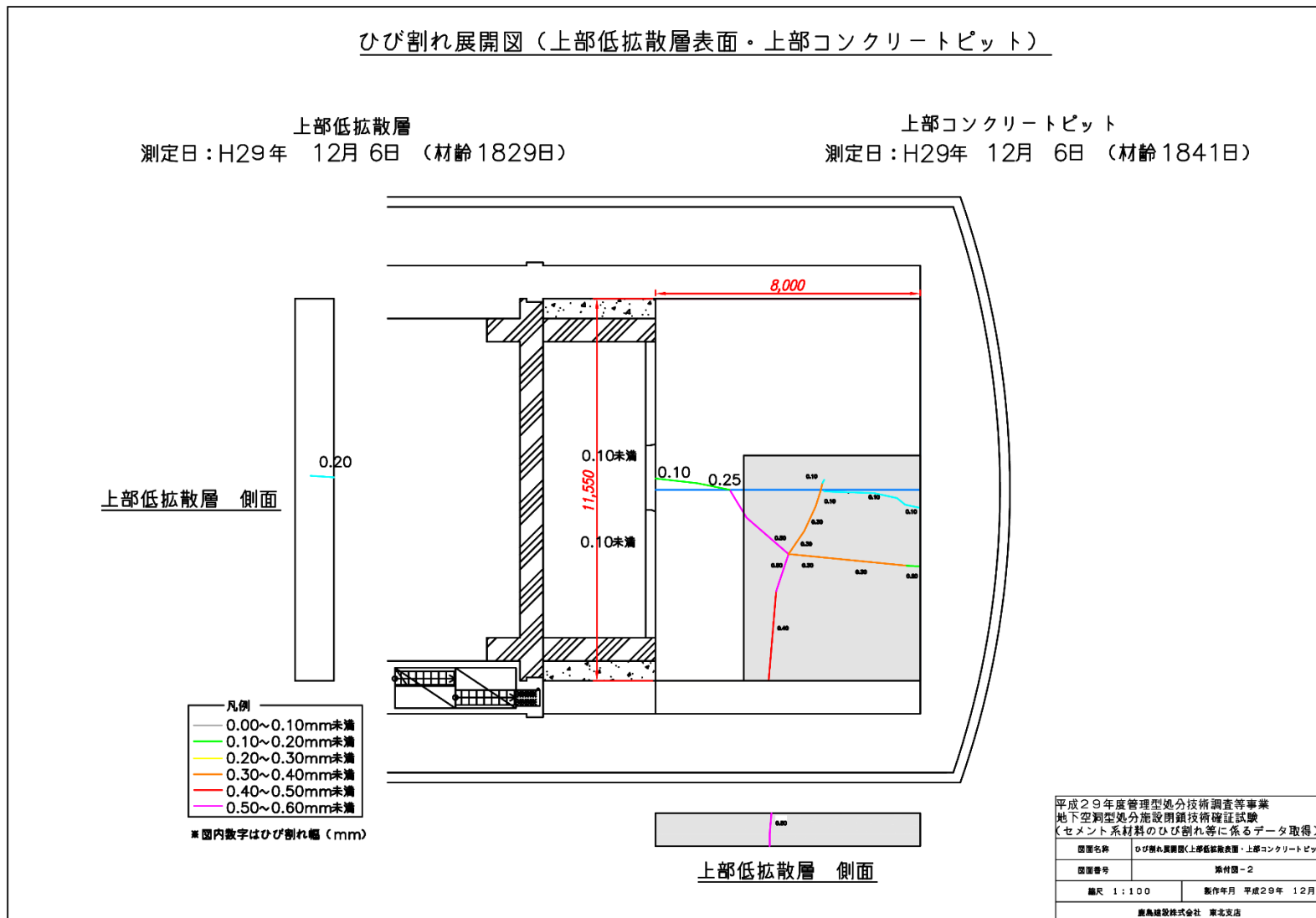
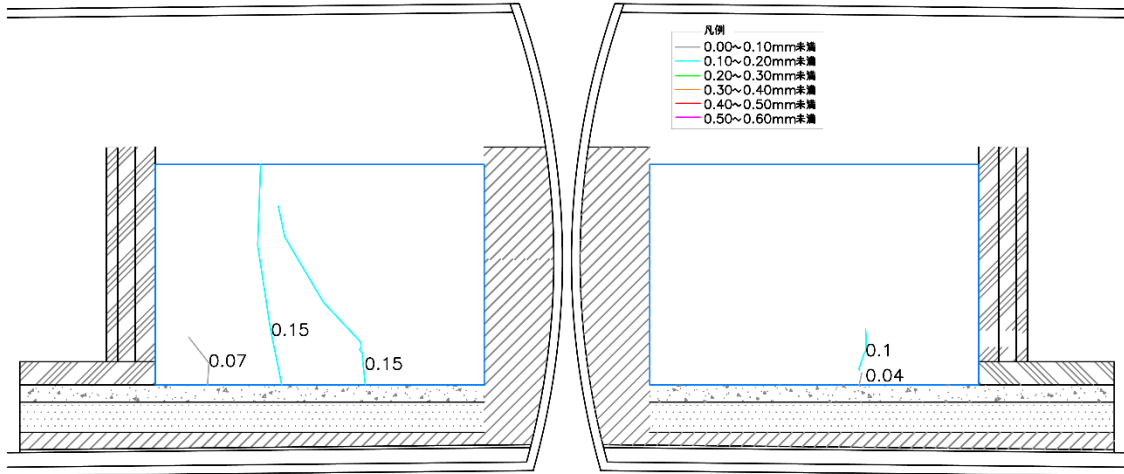


図 4.1-16 平成 28 年度第 2 回上部コンクリートピットおよび上部低拡散層の調査結果

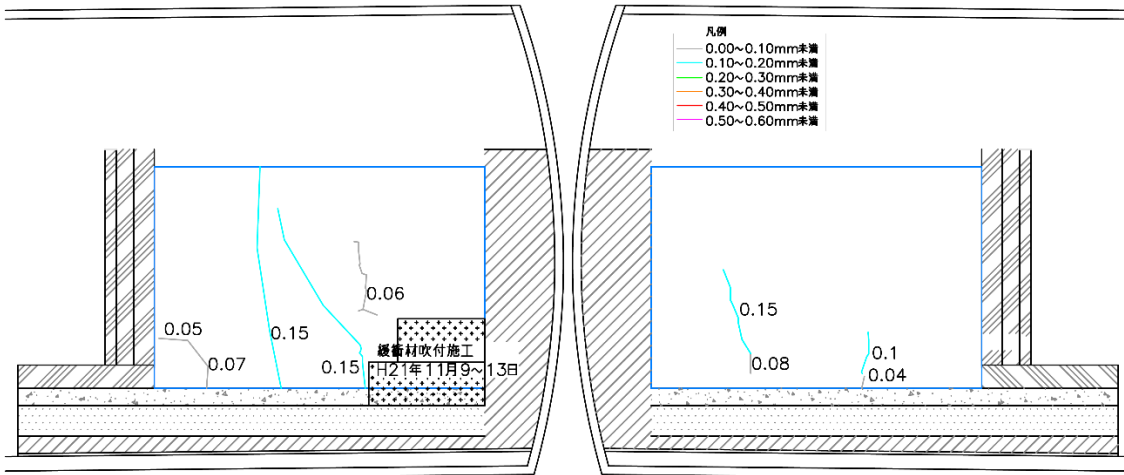
(b) 側部低拡散層左側

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 4.1-17 から図 4.1-21 に、本年度の調査結果を図 4.1-22、図 4.1-23 に示す。

H21年10月23日（材齢37日）



H21年12月14日（材齢89日）



H22年10月23日（材齢402日）

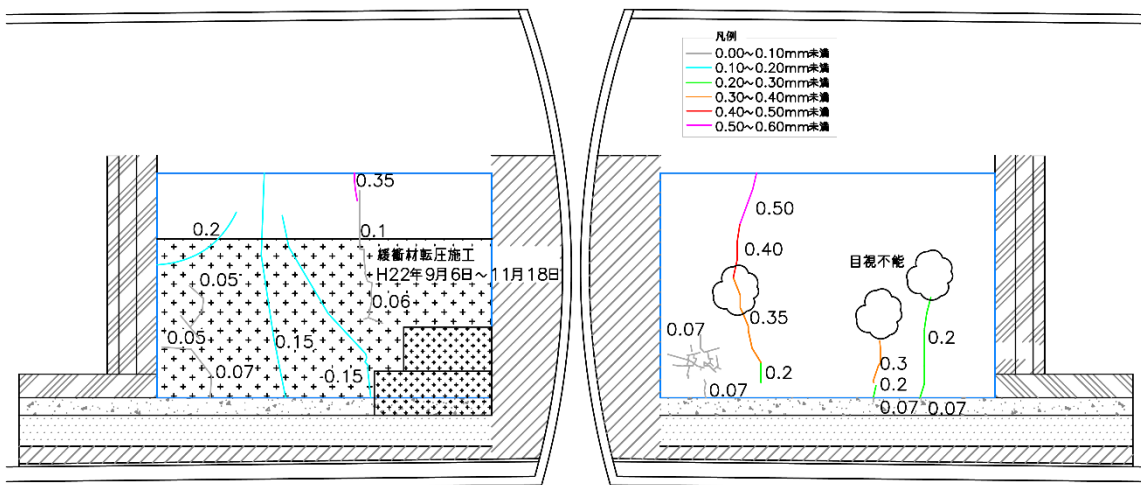
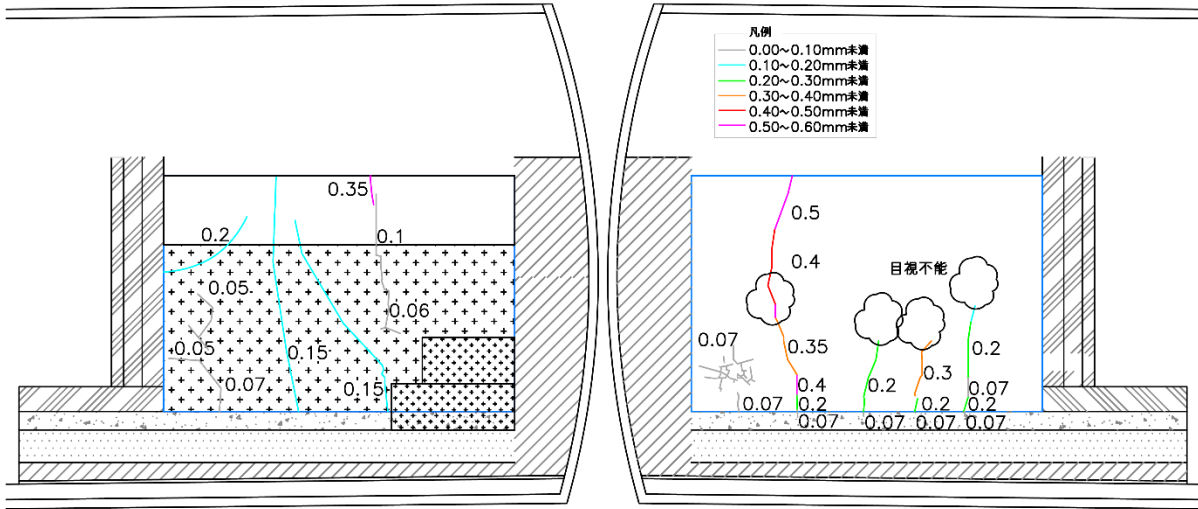
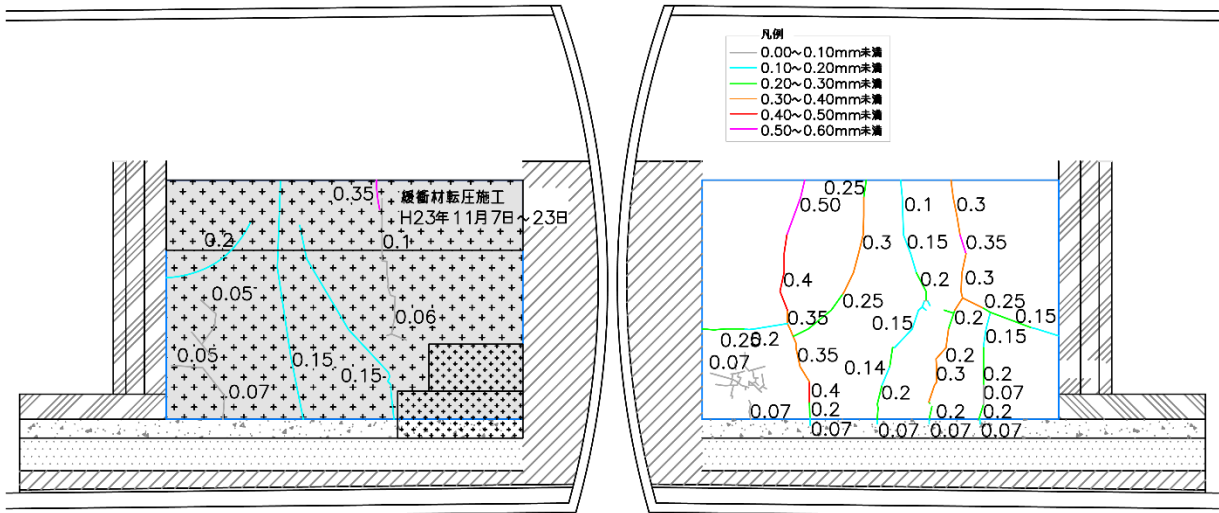


図 4.1-17 側部低拡散層のひび割れ履歴図（その1）

H23年1月5日（材齢476日）



H23年12月7日（材齢812日）



H24年3月13日（材齢909日）

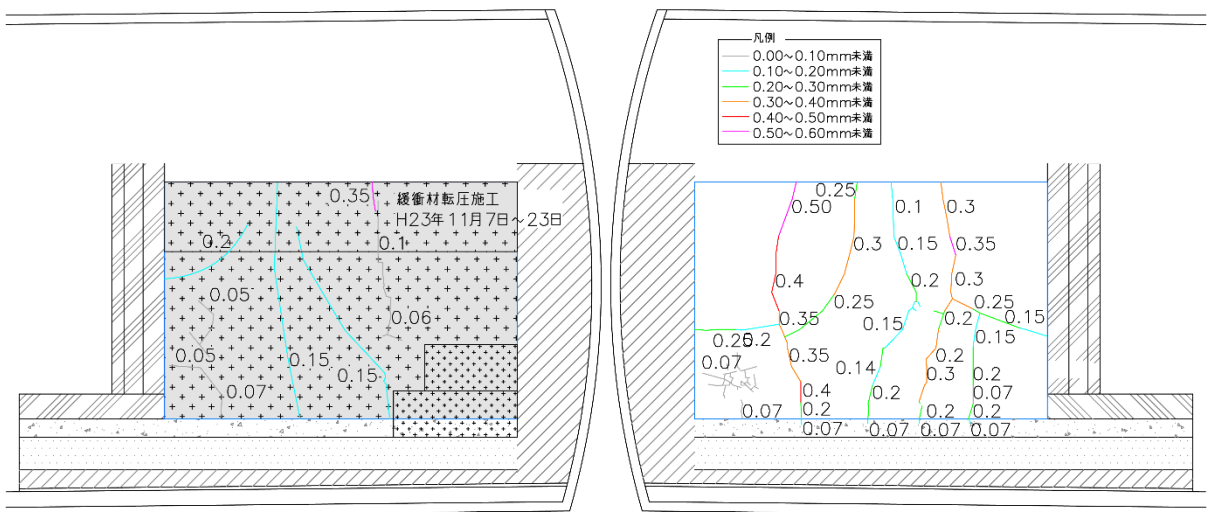


図 4.1-18 側部低拡散層のひび割れ履歴図（その2）

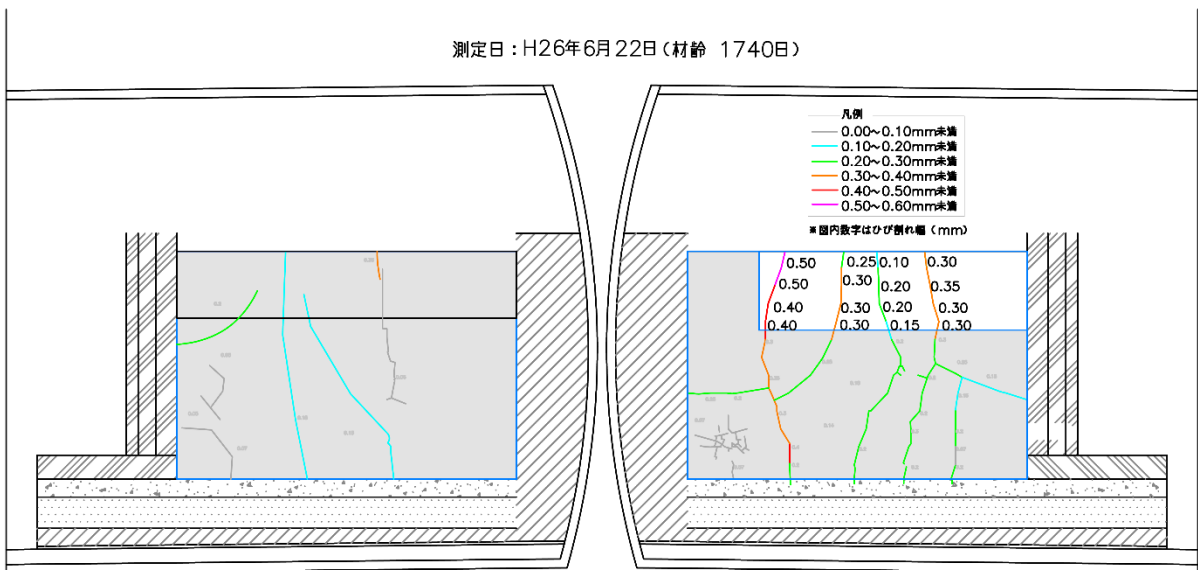
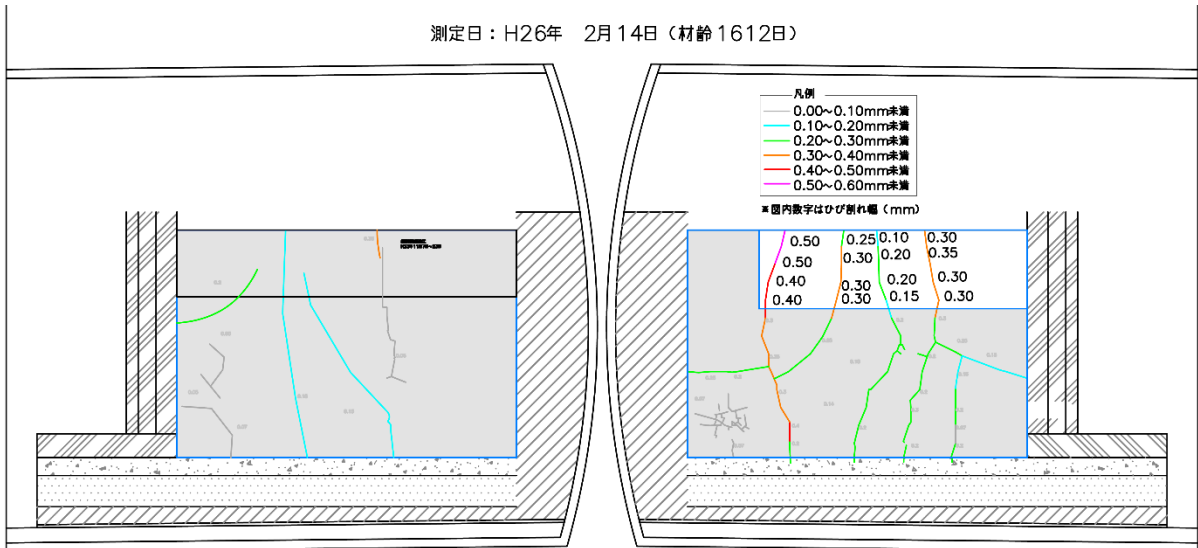
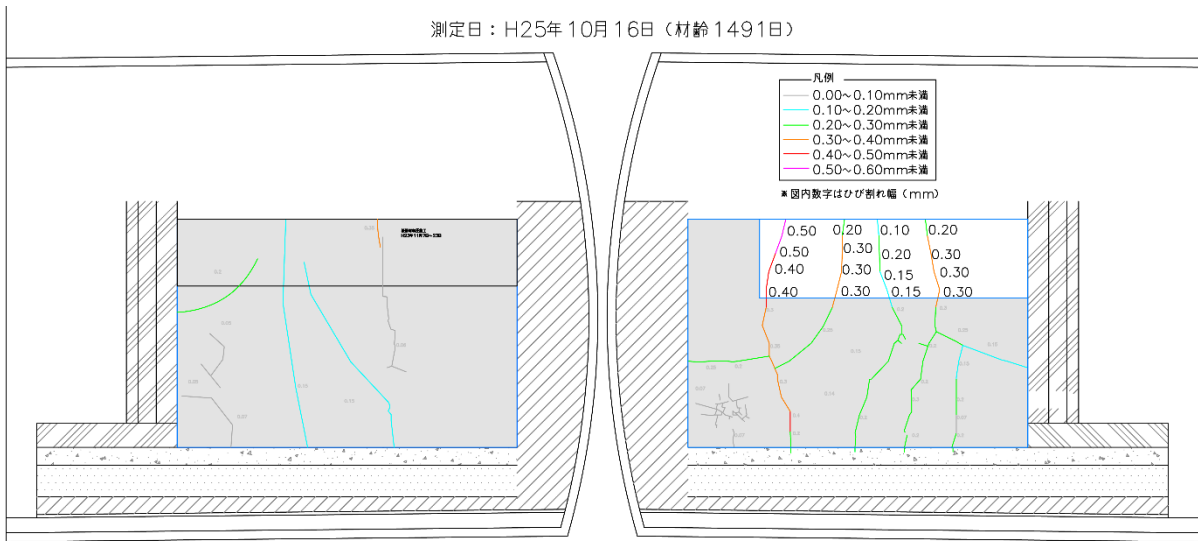


図 4.1-19 側部低拡散層のひび割れ履歴図（その3）



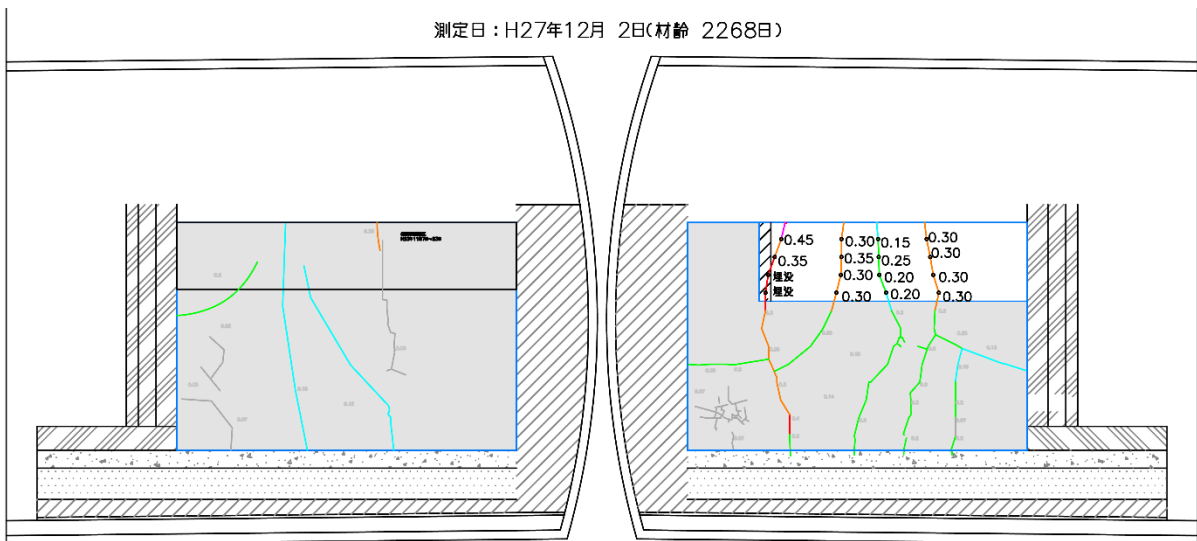
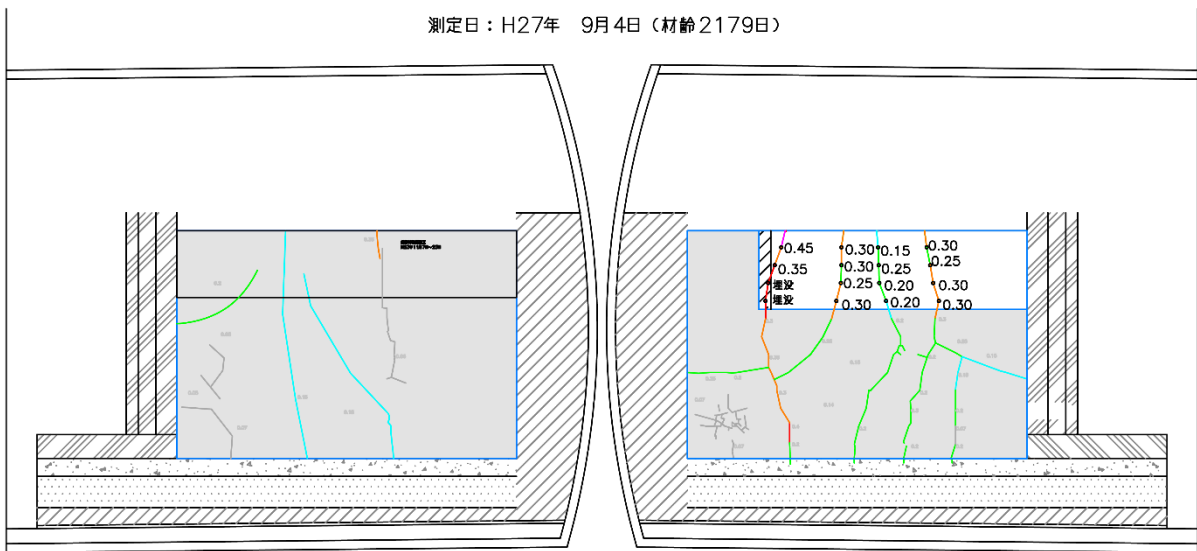
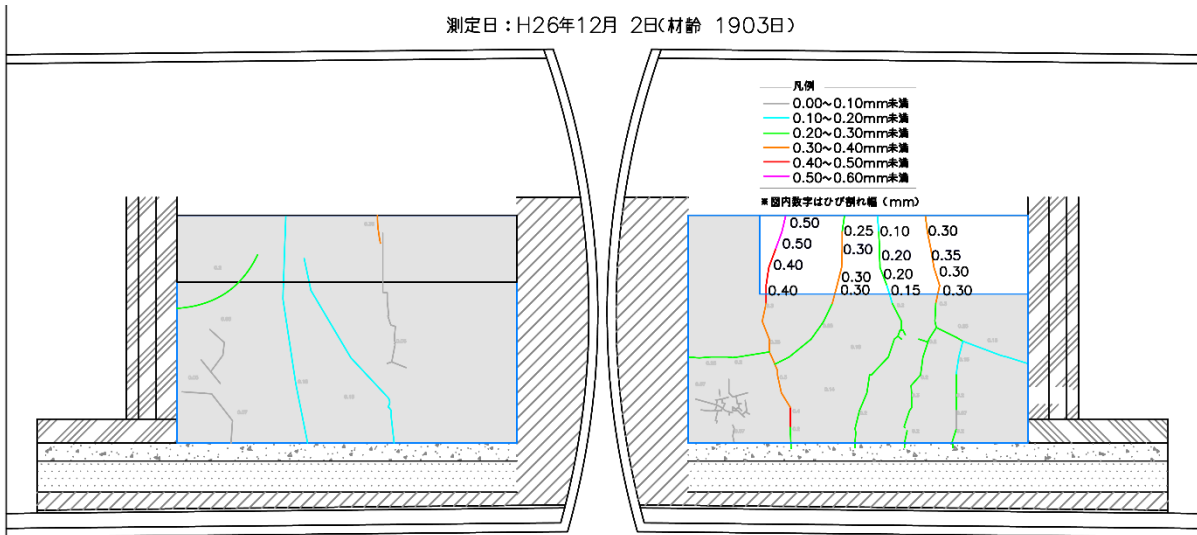


図 4.1-20 側部低拡散層のひび割れ履歴図 (その 4)

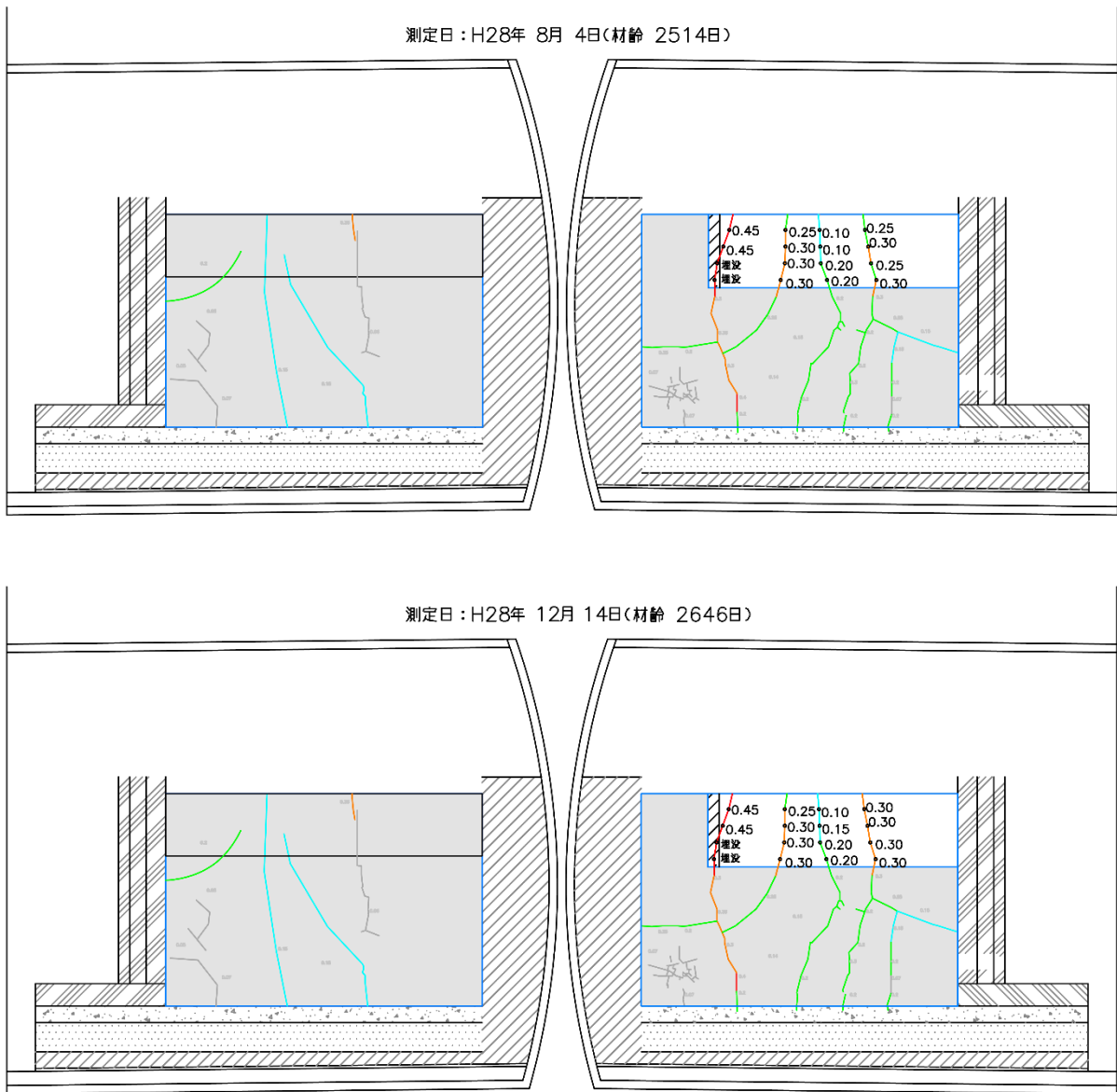


図 4.1-21 側部低拡散層のひび割れ履歴図 (その 5)

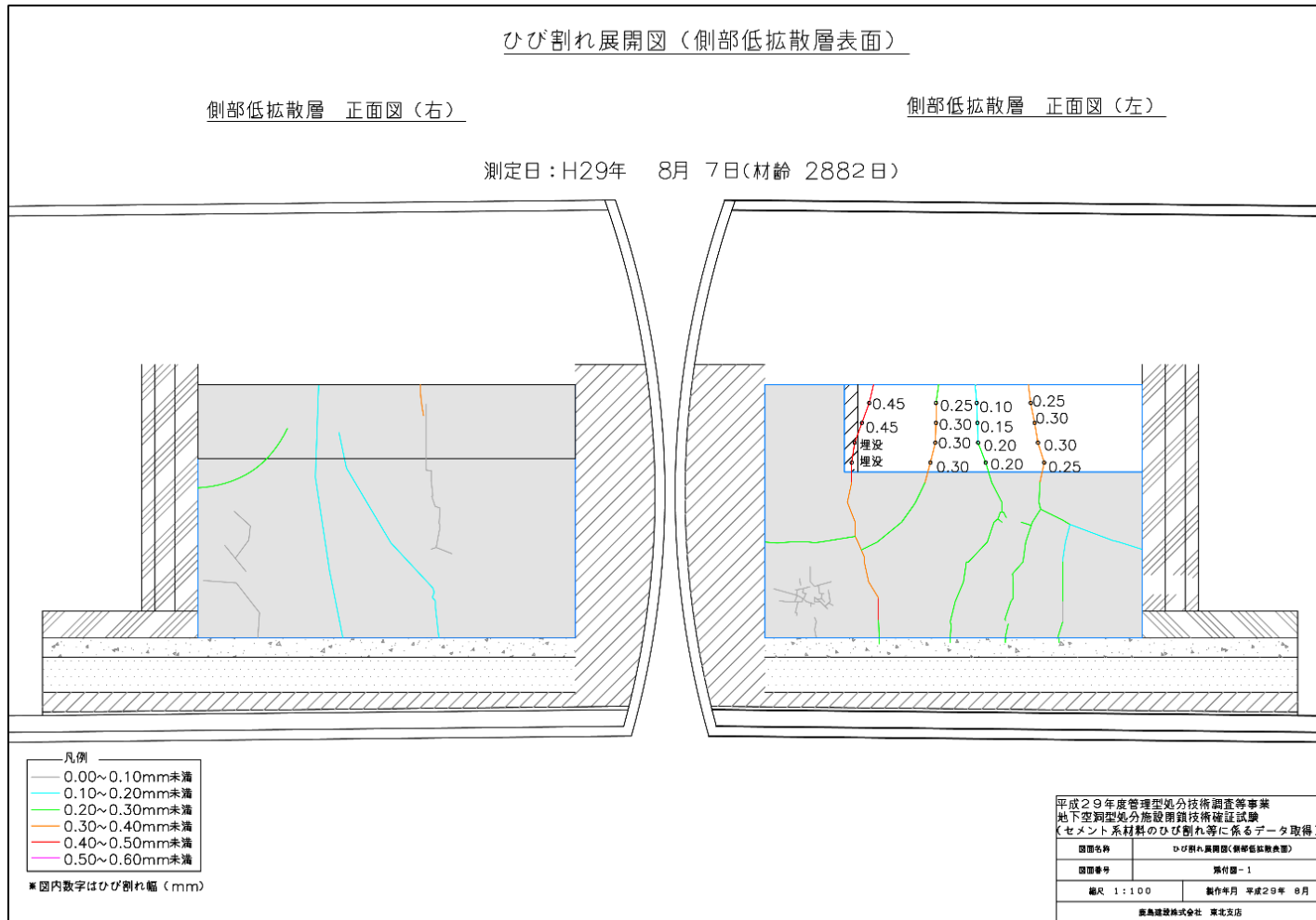


図 4.1-22 平成 29 年度第 1 回側部低拡散層の調査結果

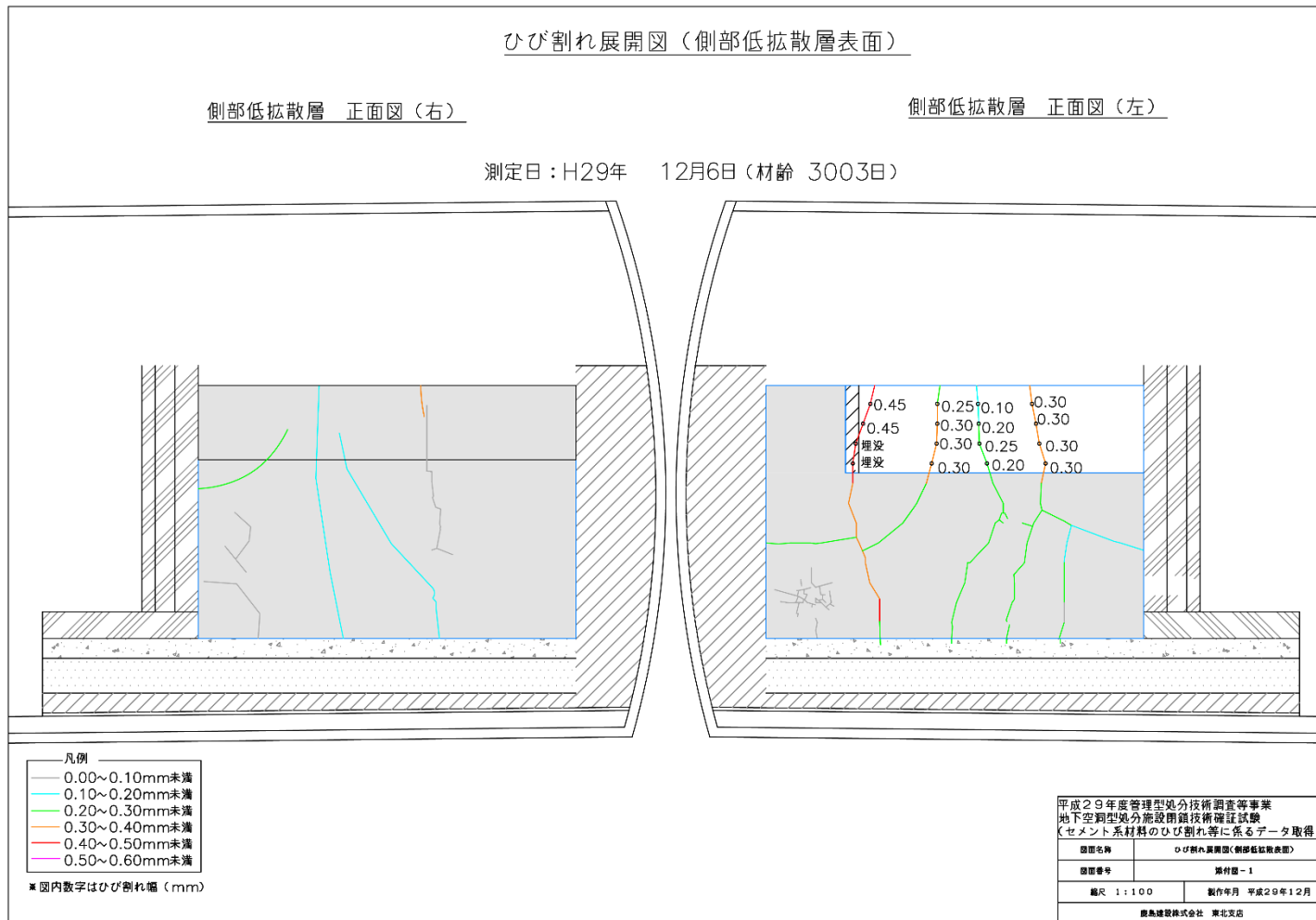


図 4.1-23 平成 29 年度第 2 回側部低拡散層の調査結果

f. まとめ

(a) 上部低拡散層およ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 29 年 12 月 6 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。

(b) 側部低拡散層

上部低拡散層およ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 29 年 12 月 6 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

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。

b. 試験実施日

平成 29 年 12 月 6 日 (水)

c. 試験概要

(a) ひび割れ観察孔位置

ボーリング孔の位置を図 4.1-24、図 4.1-25 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 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 (17cm) を除く、約 15.0m 程度とする。

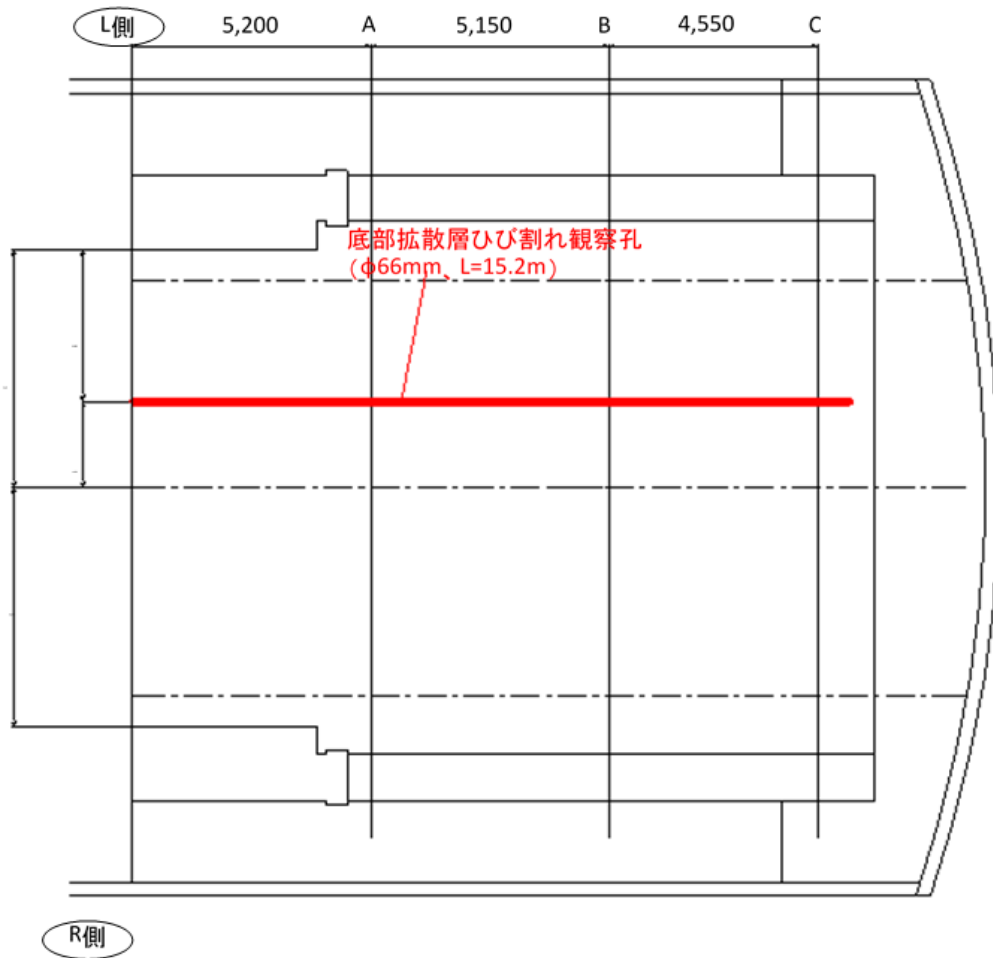


図 4.1-24 BTV 観察孔水平位置図

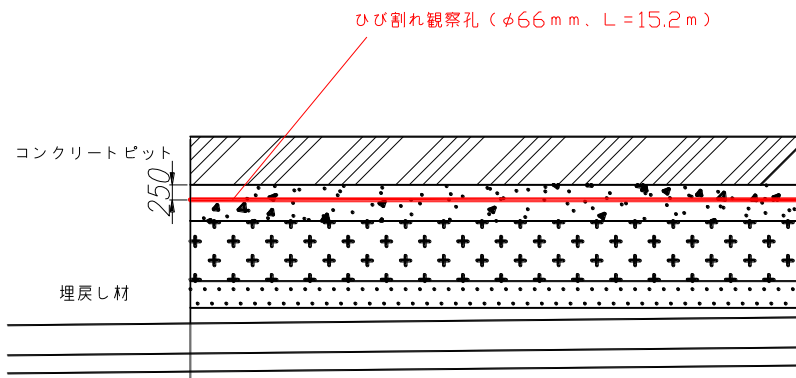


図 4.1-25 BTV 観察孔鉛直位置図

## (b) BTV 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いて行った。BTV 装置による観察後、孔壁展開画像の表示およ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-V システム (レアックス) 概略仕様]

プローブ径：  $\phi 50\text{mm}$

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：27m/時間 (0.45m/分)

測定可能な最小ひび割れ幅 (=1 ピクセルの空間分解能)：0.25mm



図 4.1-26 BTV 観察装置

BIP-V システムは、孔内画像観察記録およ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-V システムの構成図を図 4.1-27 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、ケーブルによる昇降装置 (ウインチ)、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。

- ・  $\sim 1.50\text{cm/s} \rightarrow 0.00 \sim 54.00\text{m/h}$  最大で $72.00\text{m/h}$ )
- ・ 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 $360^\circ$  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、孔壁全周画像および展開画像は、VTRに録画することが可能。
- ・ 必要箇所では、 $180^\circ$  孔壁展開機能により、 $360^\circ$  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イ上に再現可能。また、再現された展開画像はディスプレイ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フロッピー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。



a) 鉛直孔

鉛直下向孔の倍の標準構成図を図 4.1-27 に示す。

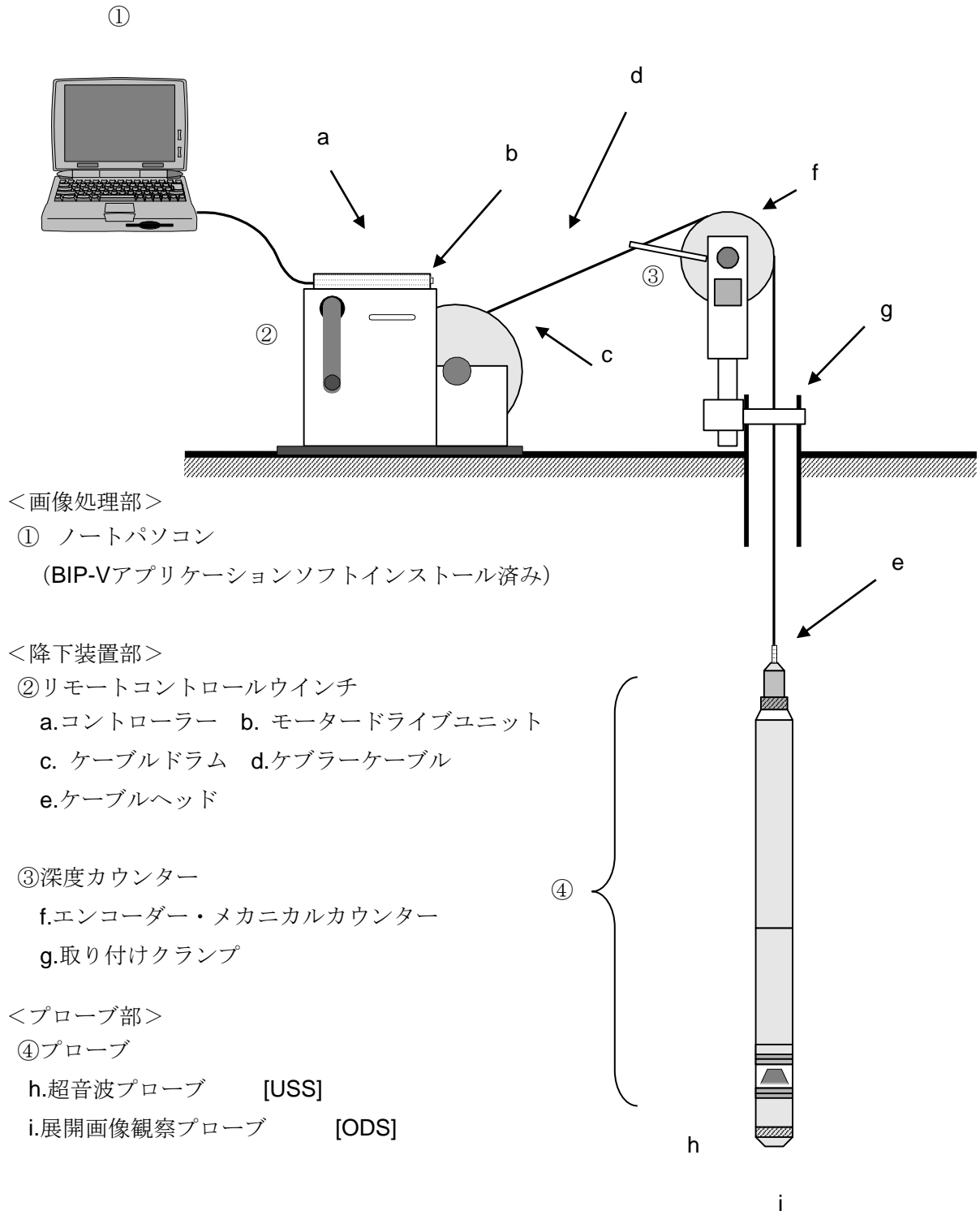


図 4.1-27 BIP-V システムの標準構成図 (現場システム)

b) 斜孔および水平孔の測定方法

ボーリング孔が鉛直から $-60^\circ$ よりも緩やかな斜孔も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 4.1-28 および図 4.1-29 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 4.1-29 の様な押し込み装置を用いる。

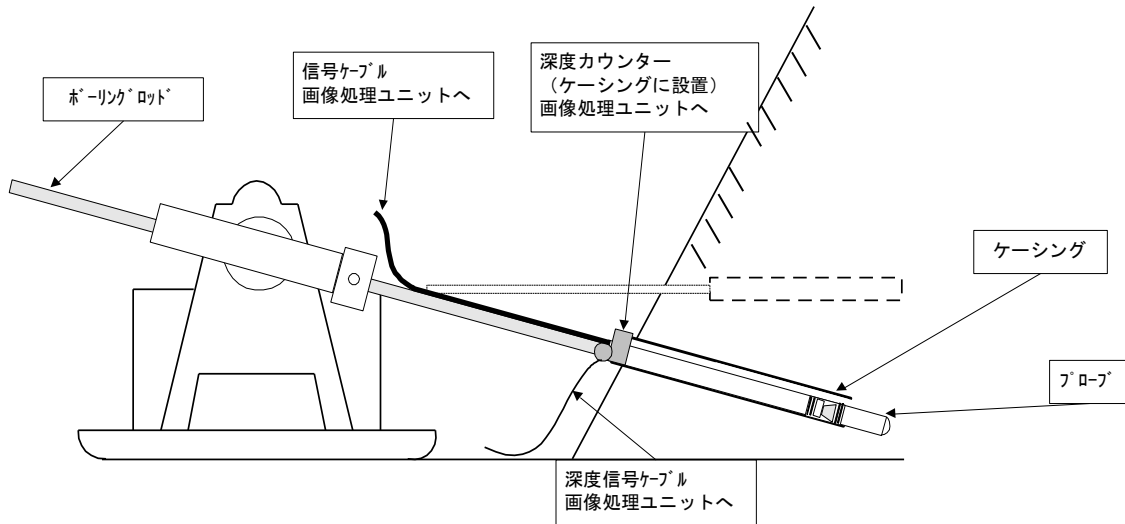


図 4.1-28 ボーリングマシンによる斜孔の計測図

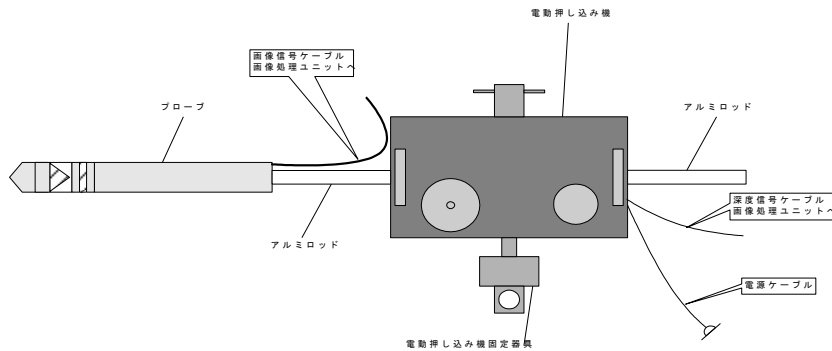


図 4.1-29 押し込み装置概略図

### (c) 孔内画像の分解能

#### <円周方向>

孔内画像は、円周方向に 720 ピクセルで作成される。

φ66 孔の場合、1 ピクセルはおよそ 0.25mm となる。

計算方法については以下に示す。

$$66\pi \text{ (mm)} \div 720 \text{ (ピクセル)} \approx 0.25\text{mm/pixel}$$

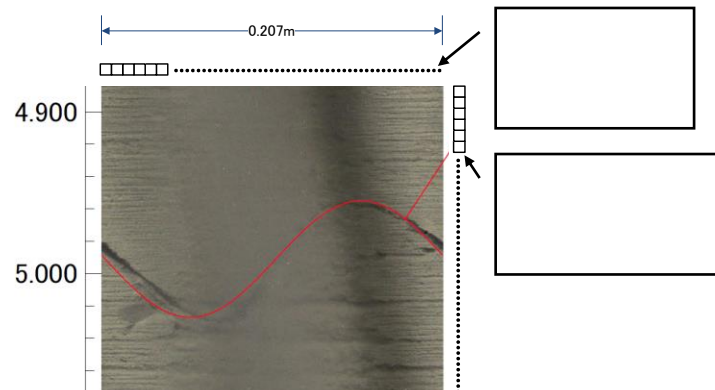


図 4.1-30 円周方向の分解能

#### <深度方向>

深度方向については、エンコーダにより 400 パルス/rpm と設定している。つまり 10cm 進むのに 400 回の信号を返すことになる。従って

$$10 \text{ (cm)} \div 400 \text{ (パルス)} \approx 0.25\text{mm/パルス}$$

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 0.25mm 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 0.25mm 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 30 回が限界となる。

従って、孔壁画像の最高計測速度は、

$$0.25\text{mm} \times 30 \text{ コマ/秒} = 7.5\text{mm/秒}$$

となる。従って、7.5mm/秒を超えない速度で押し込み装置の押し込み速度を調整する。

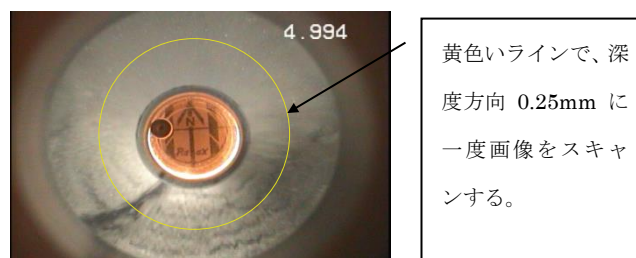


図 4.1-31 画像取得のための円周ライン

### (d) 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 4.1-32 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 (0.25mm) 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「0.25mm 未満」と判定する。

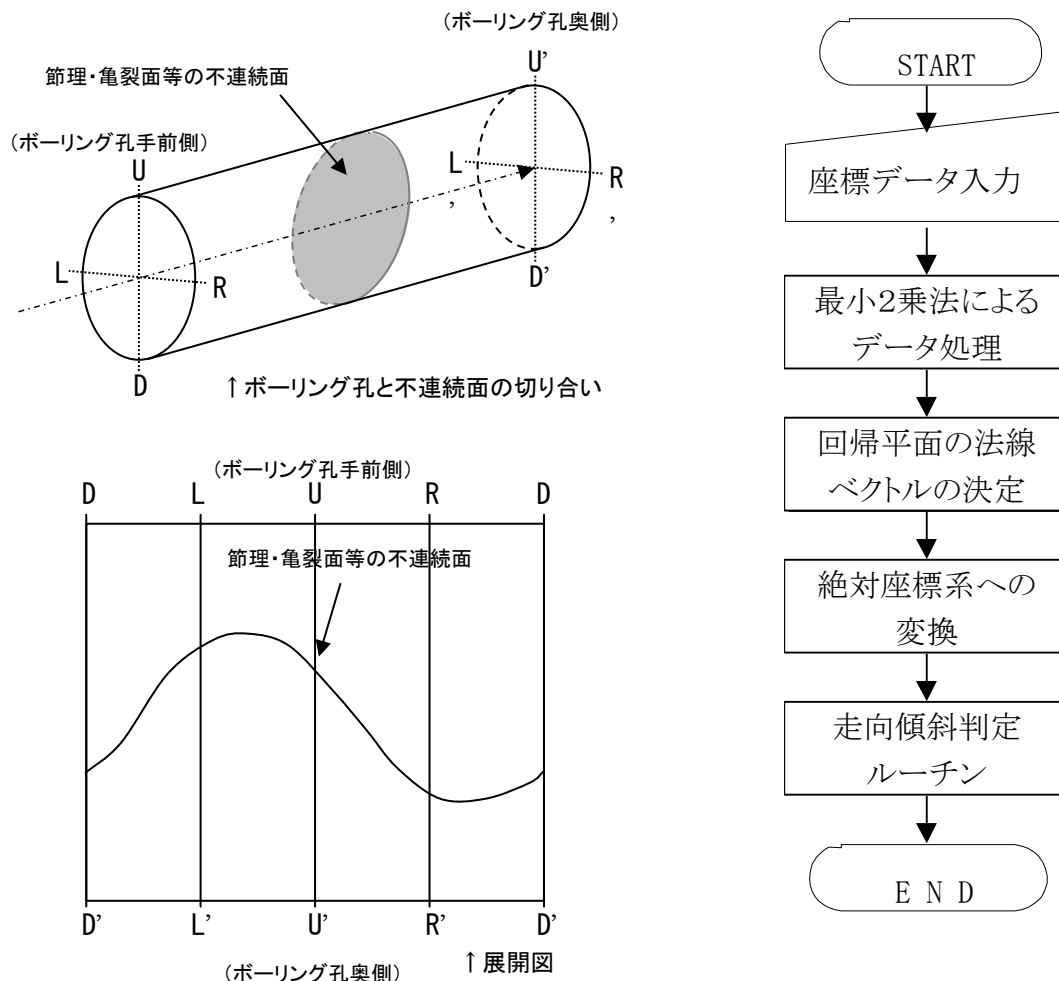


図 4.1-32 走向傾斜計算ルーチン

(e) BTV 観察状況

底部低拡散層妻手前の碎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 4.1-33 に、BTV 観察状況を写真 4.1-2 に示す。

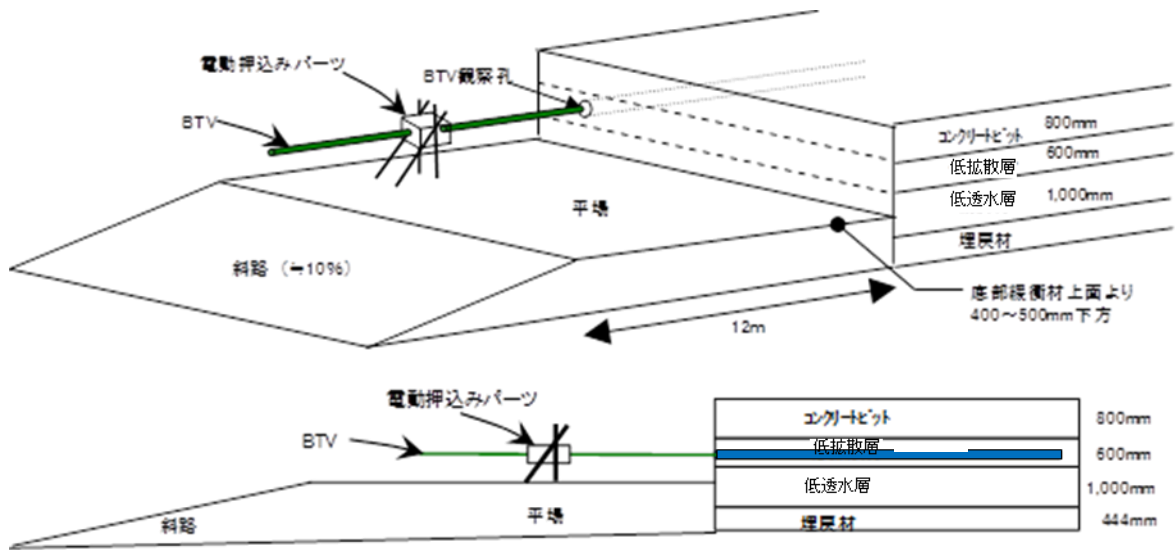


図 4.1-33 BTV 観察レイアウト



写真 4.1-2 BTV 観察状況

#### d. BTV 観察結果

平成 20 年度（第 1 回目）から数えて 11 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、ロッド長およ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0.25mm、円周方向0.25mmとしBTV装置で得られる最高解像度（分解能）720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（展開画像では水平またはスパイラル状の筋）および、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、骨材の剥離また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 4.1-34～図 4.1-39参照）以外に、新規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0.25mm未満であり、過去の調査と比較し開口幅の差異は認められなかった。
- ・ 図 4.1-40に示すようにひび割れの方向は以下の様である。
  - ① 深度5.773m（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、水のし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28年度に、深度11.1m以深で水のしみ出しと深度13.74m以深で溜り水が確認された。本年度の調査では、深度6.26m以深で水のしみ出し、深度9.49m以深で溜り水が確認され、深度13.30m以深はたまり水によって冠水した。平成28年度と比べて、浅い深度から水のしみ出しおよび溜り水が確認された（図 4.1-40参照）。



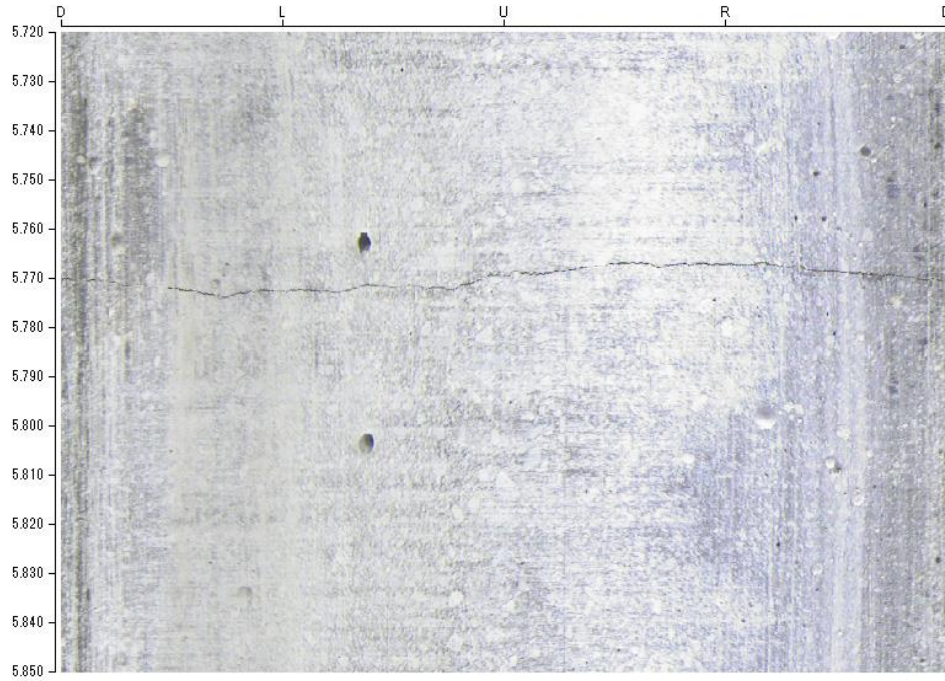
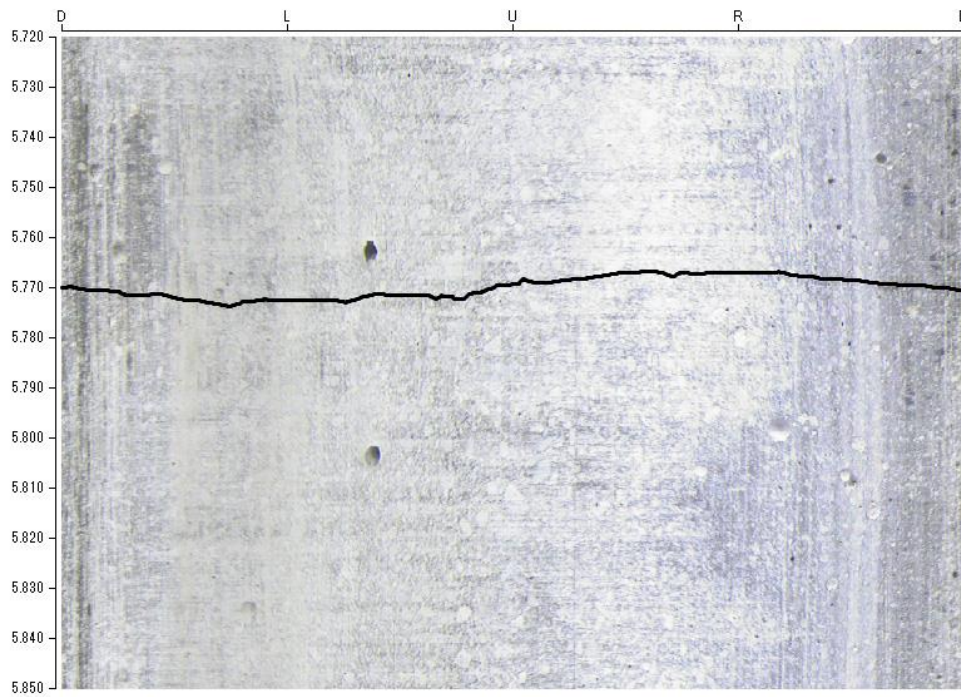


図 4.1-34 深度 5.773m 付近のひび割れ



開口幅は、計測限界の0.25mm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 4.1-35 深度 5.773m 付近のひび割れ (トレース)

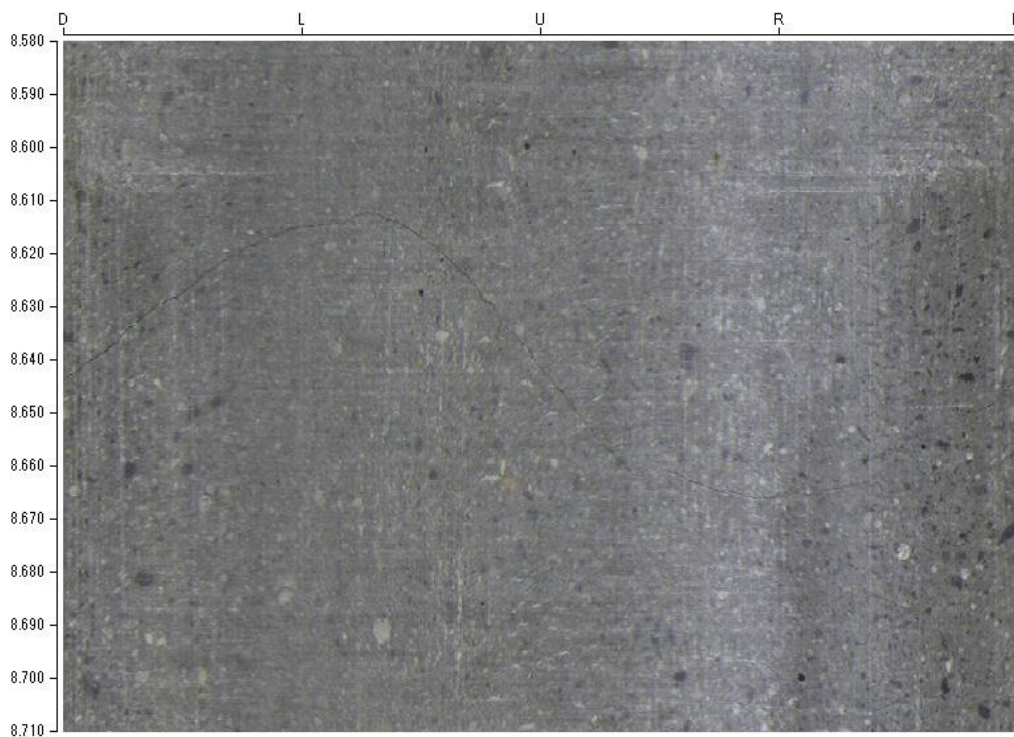
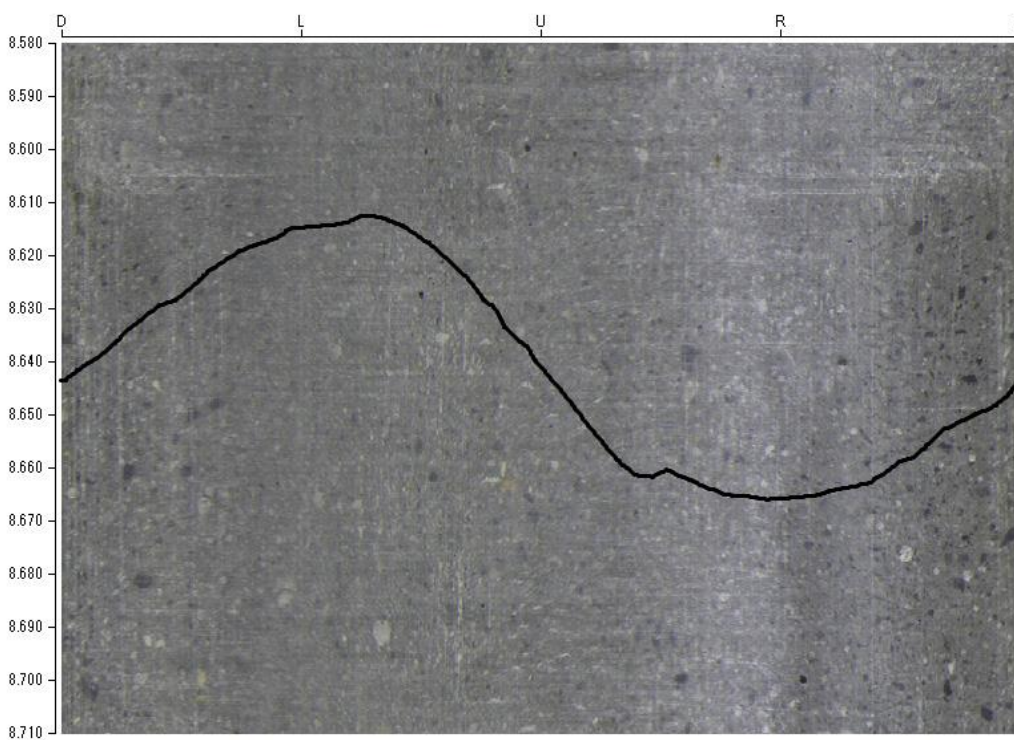


図 4.1-36 深度 8.646m 付近のひび割れ



開口幅は、計測限界の0.25mm未満である。

ひび割れの走向傾斜は、N52E79Nを示す。

図 4.1-37 深度 8.646m 付近のひび割れ (トレース)



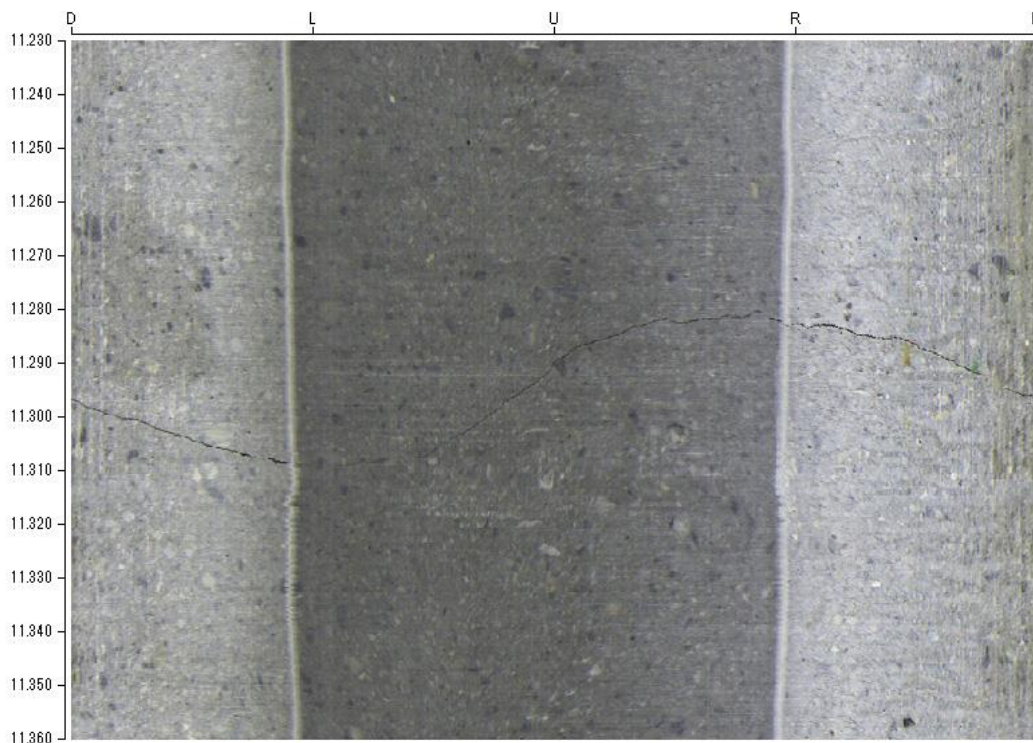
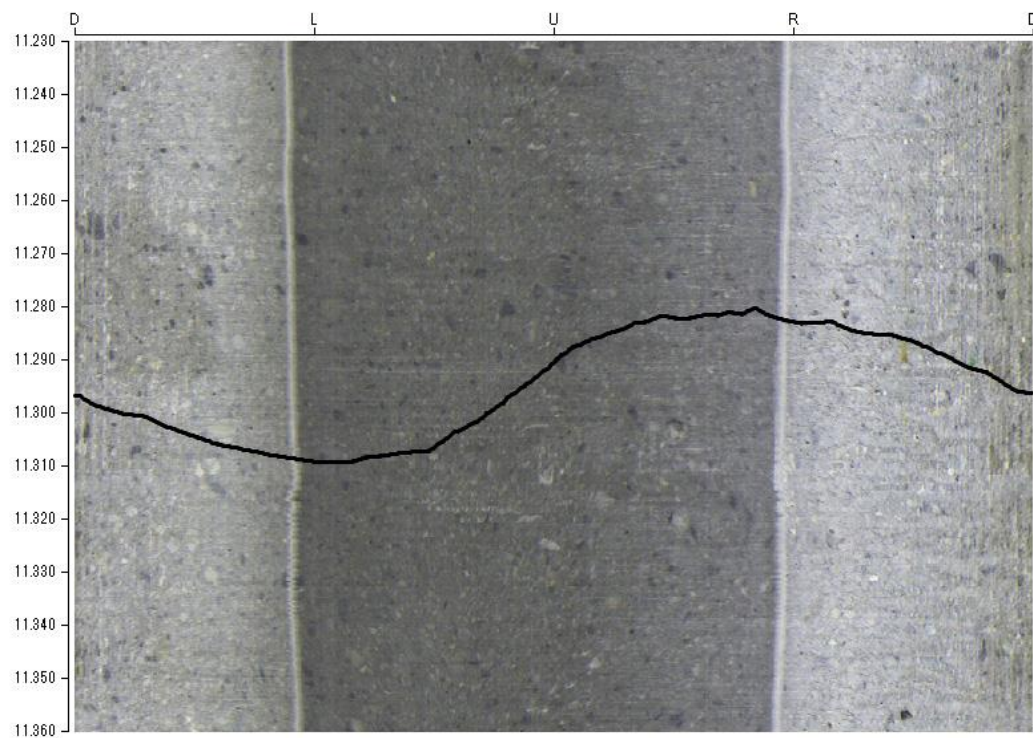


図 4.1-38 深度 11.295m 付近のひび割れ

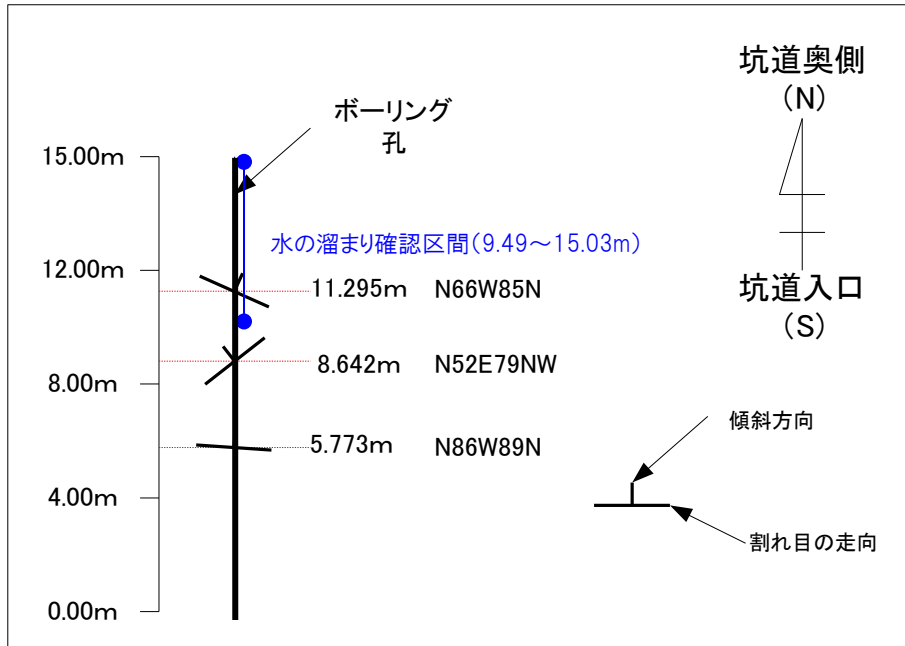


開口幅は、計測限界の0.25mm未満である。

ひび割れの走向傾斜は、N66W85Nを示す。

図 4.1-39 深度 11.295m 付近のひび割れ（トレース）

平面図



断面図

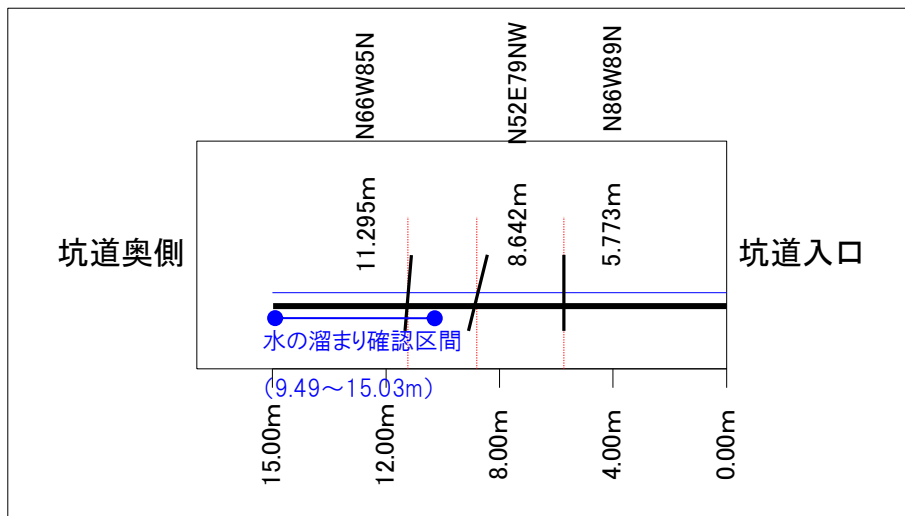


図 4.1-40 ひび割れの発生位置および方向性と水溜まりの確認区間

[0.000m-2.000m]

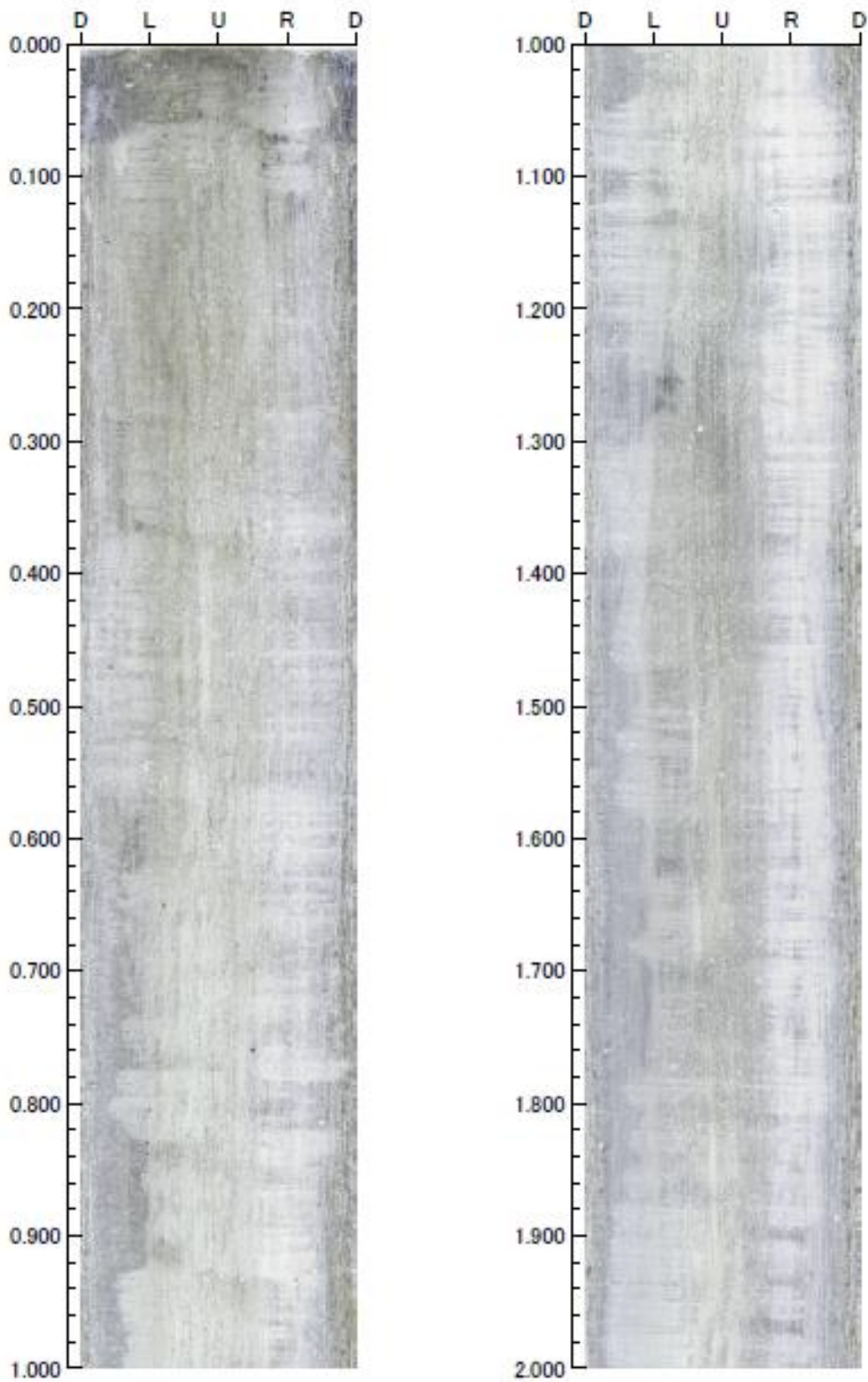


図 4.1-41 BTV 観察結果 (0.000m-2.000m)

[2.000m-4.000m]

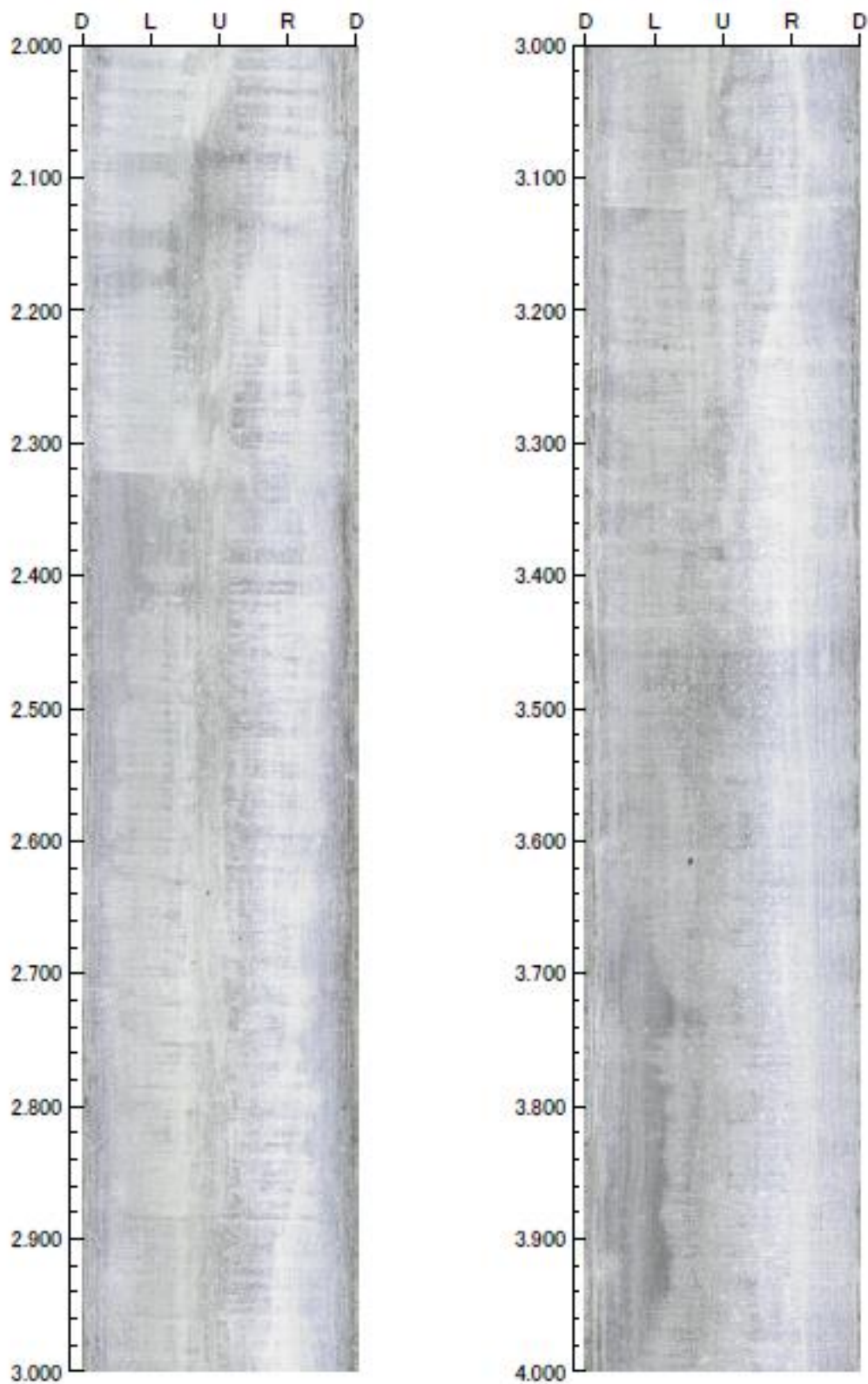


図 4.1-42 BTV 観察結果 (2.000m-4.000m)



[4.000m-6.000m]

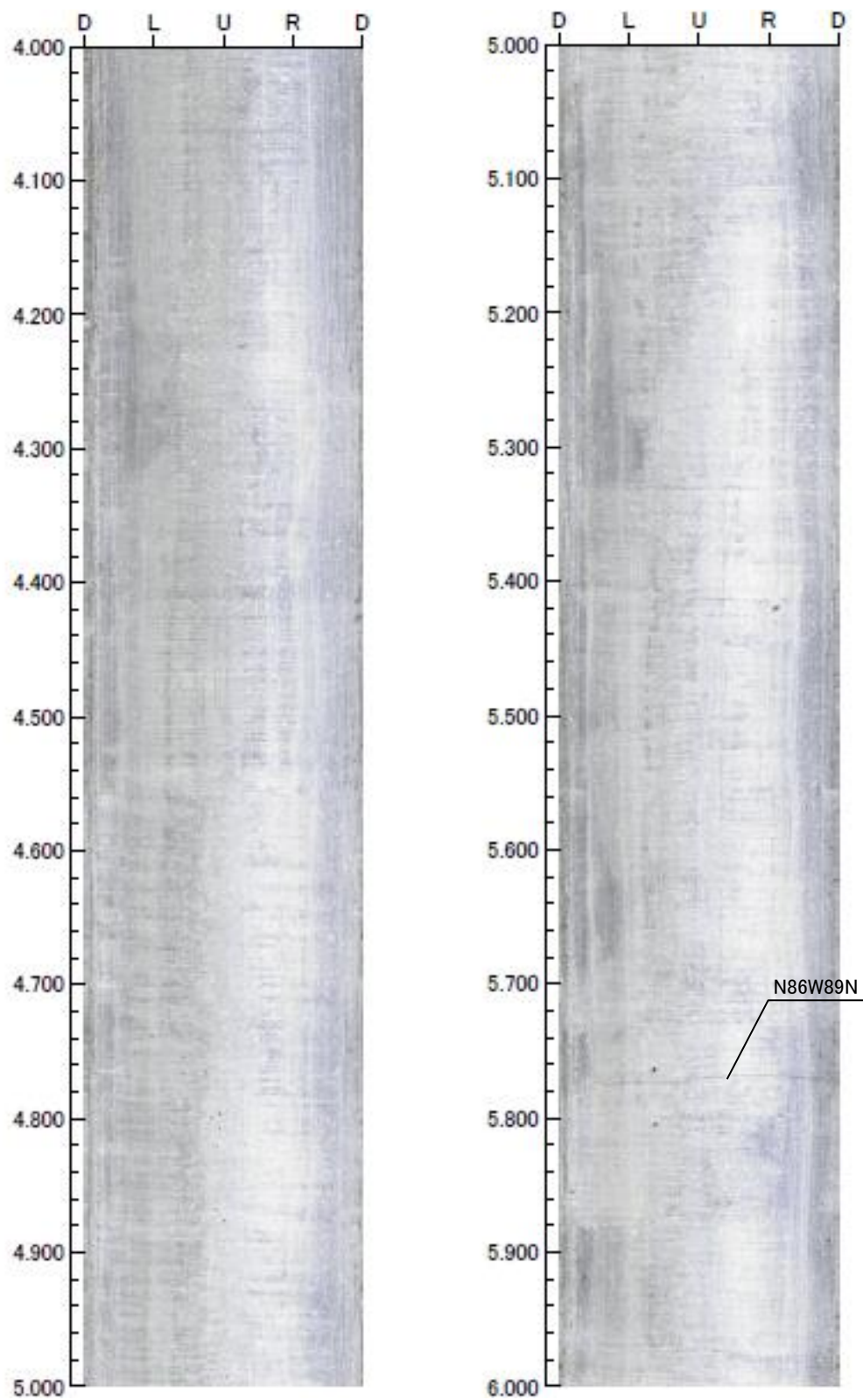


図 4.1-43 BTV 観察結果 (4.000m-6.000m)

[6.000m-8.000m]

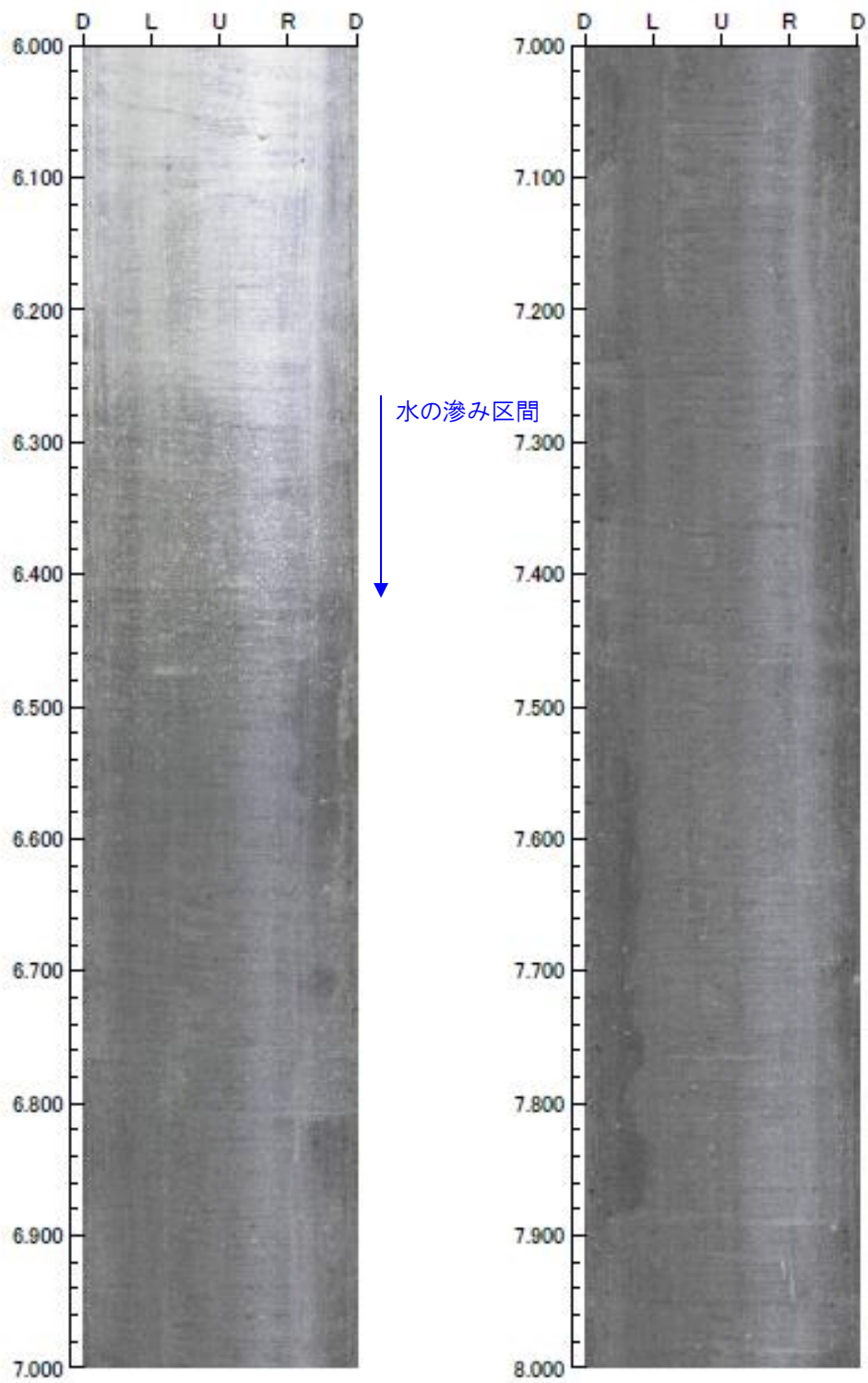


図 4.1-44 BTV 観察結果 (6.000m-8.000m)

[8.000m-10.000m]

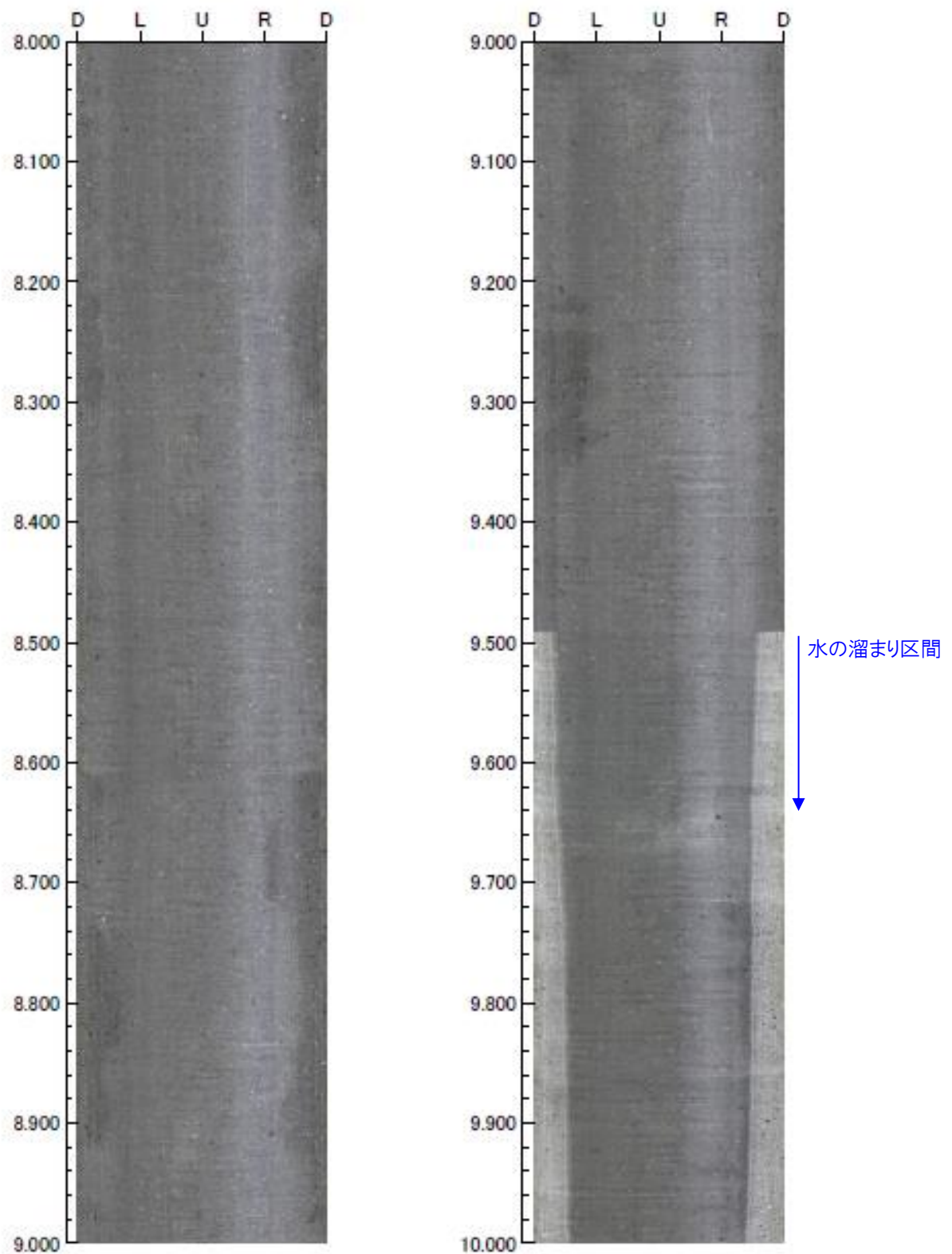


図 4.1-45 BTV 観察結果 (8.000m-10.000m)

[10.000m-12.000m]

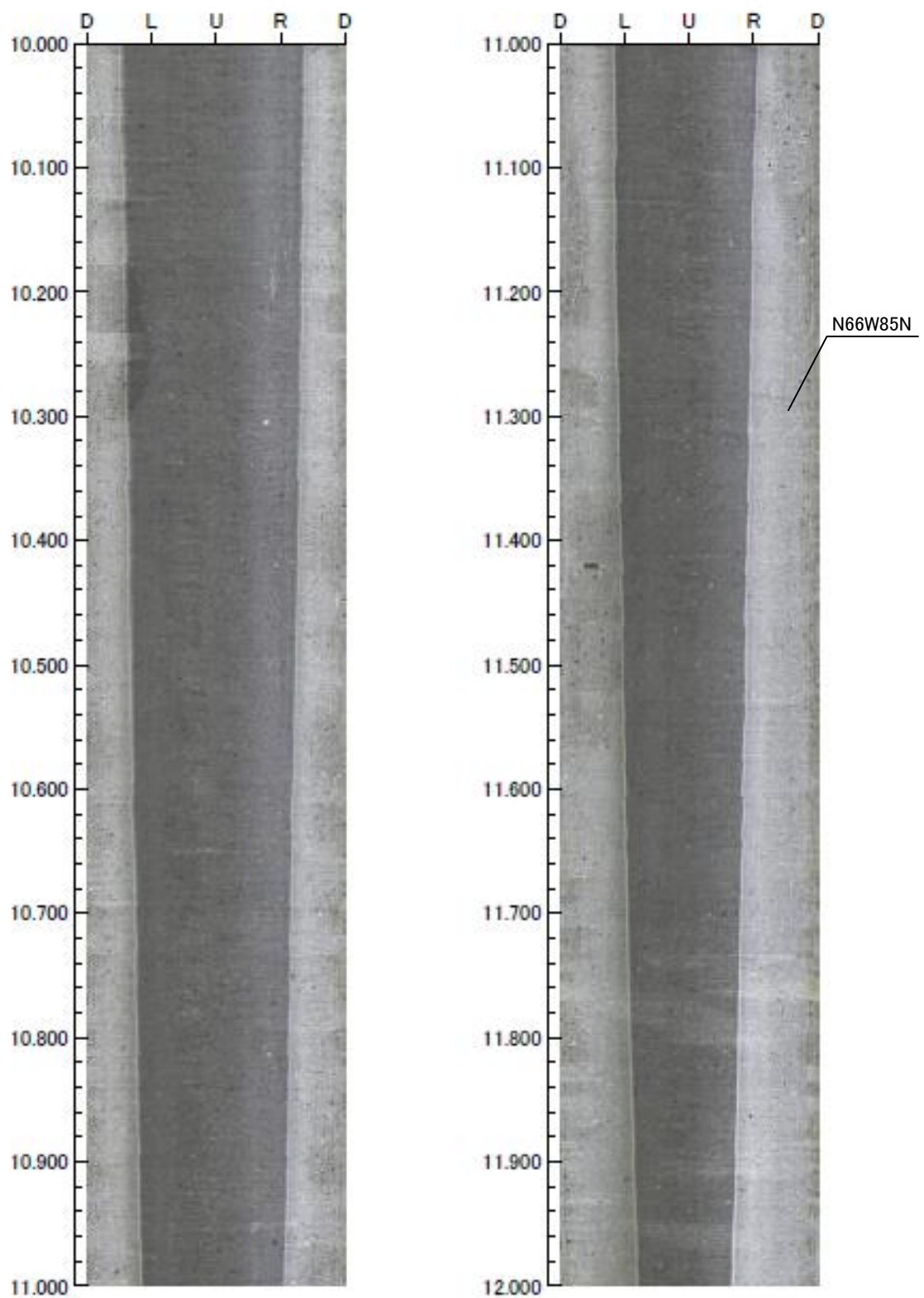


図 4.1-46 BTU 観察結果 (10.000m-12.000m)



[12.000m-14.000m]

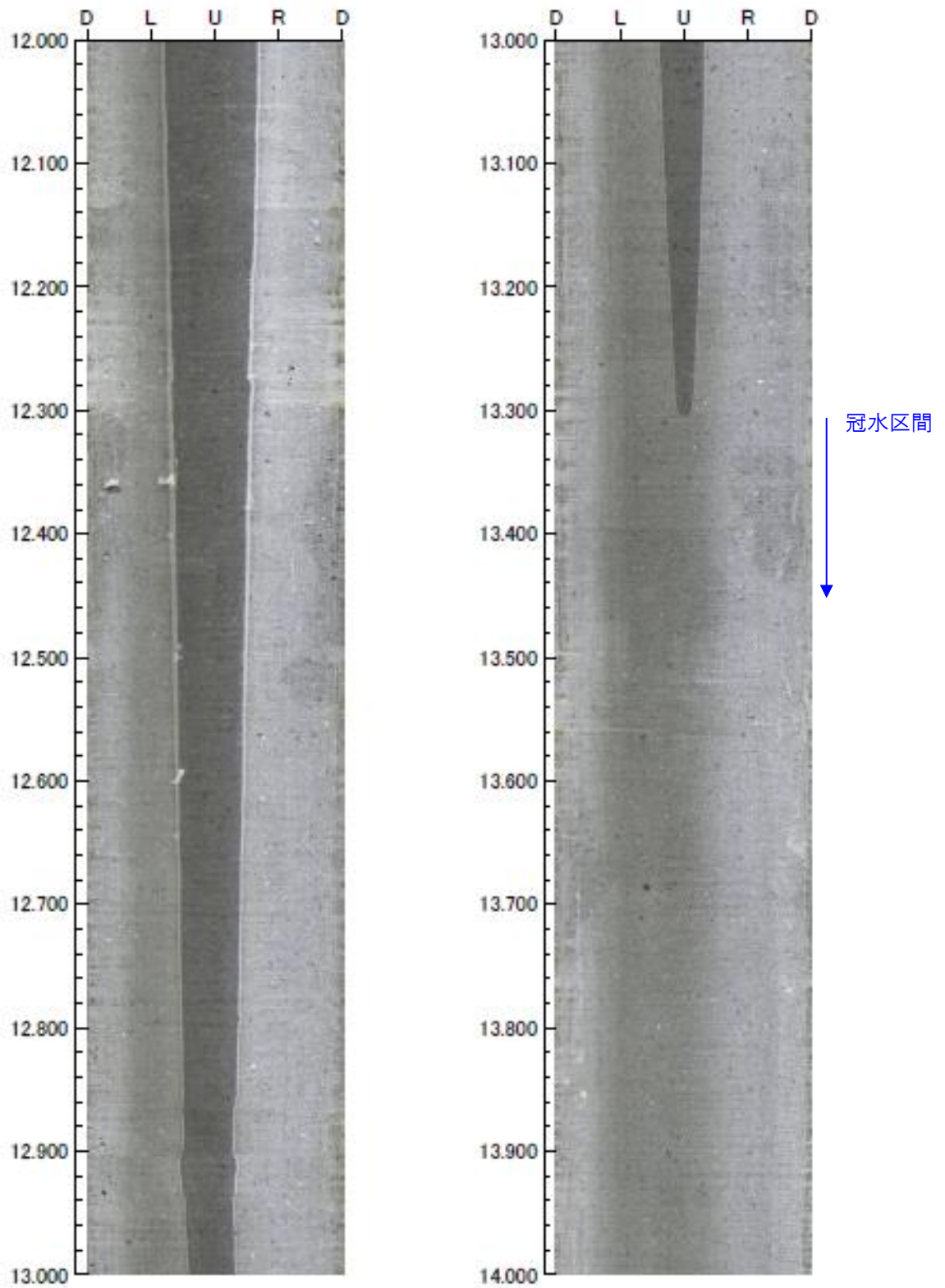


図 4.1-47 BTV 観察結果 (12.000m-14.000m)

[14.000m-15.030m]

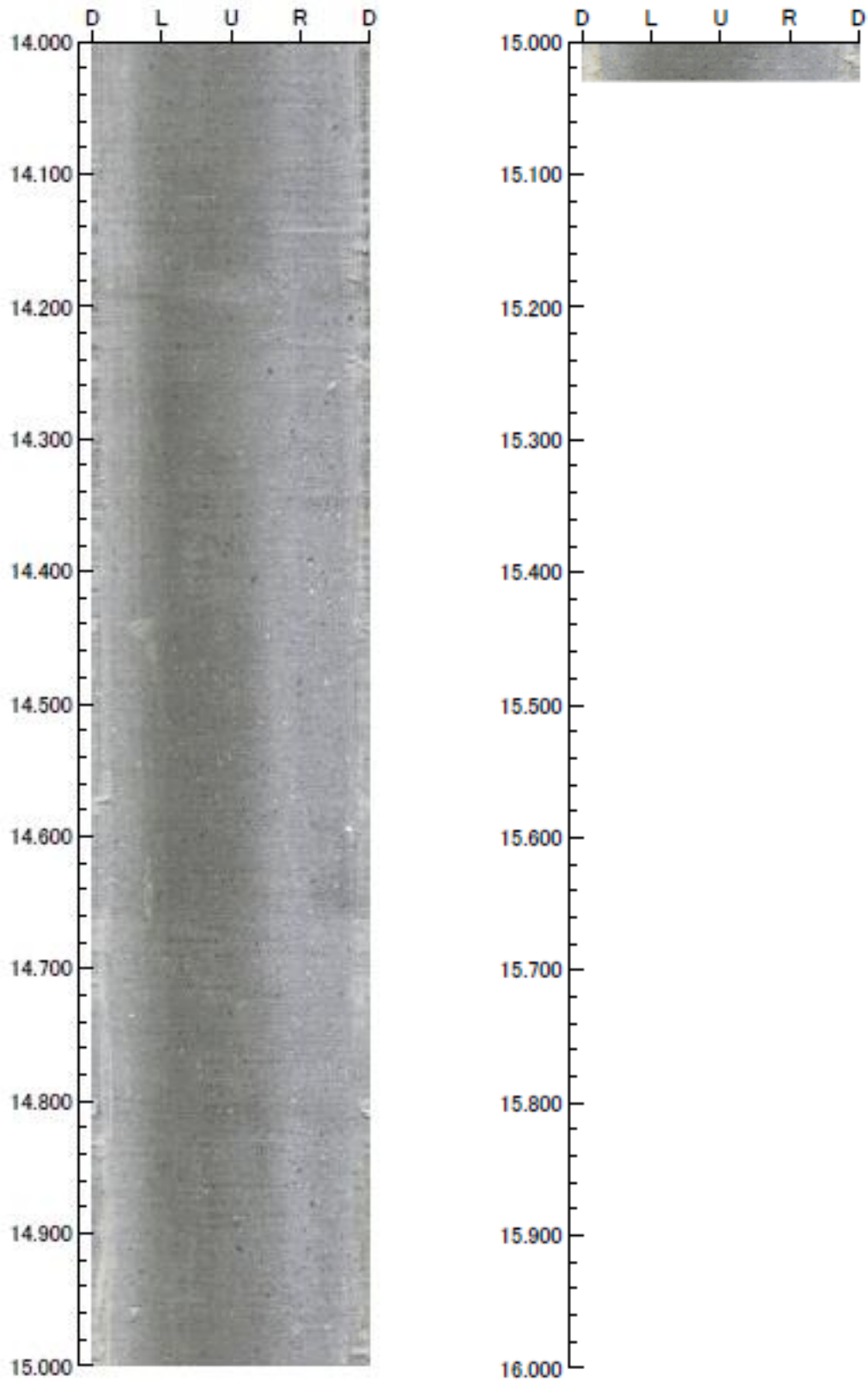


図 4.1-48 BTV 観察結果 (14.000m-15.030m)

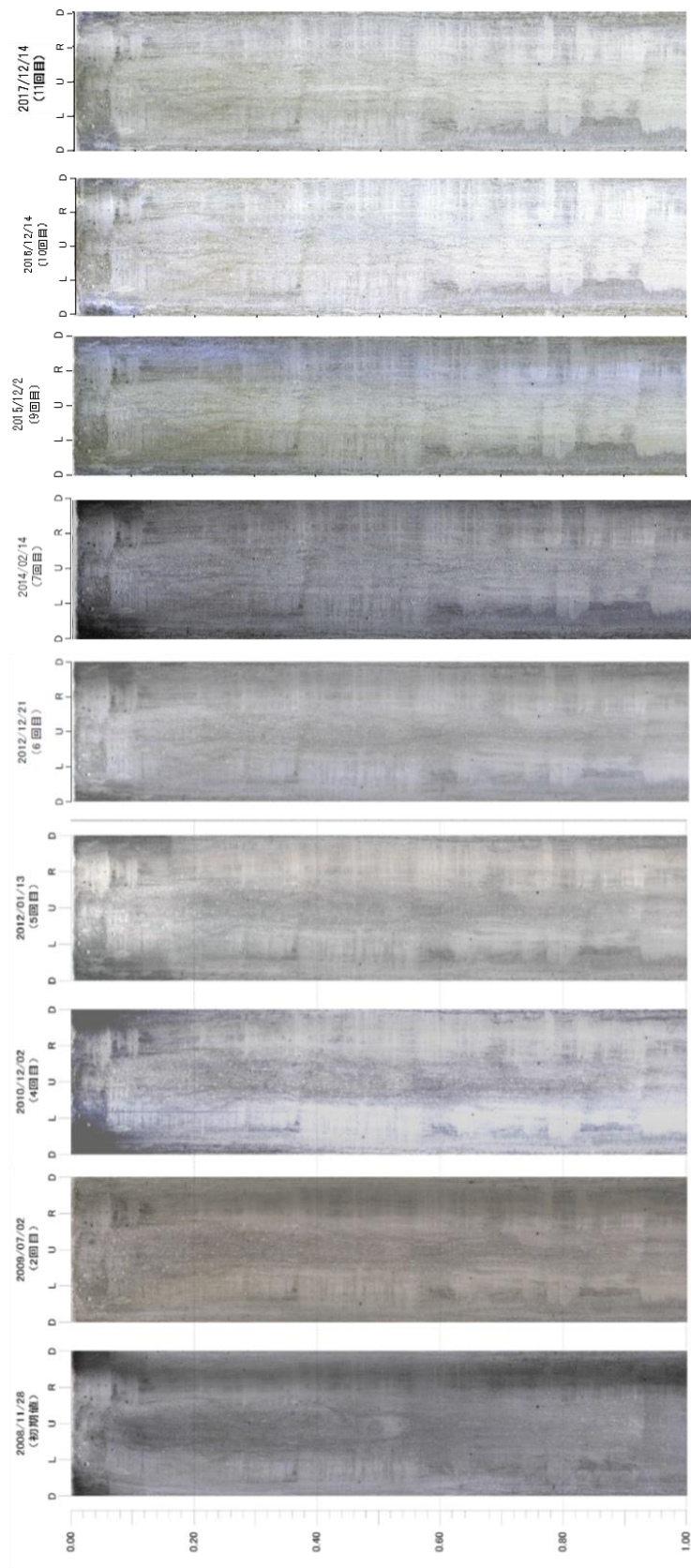


図 4.1-49 前回までの BTV 観察結果との対比 (0.000m-1.000m)

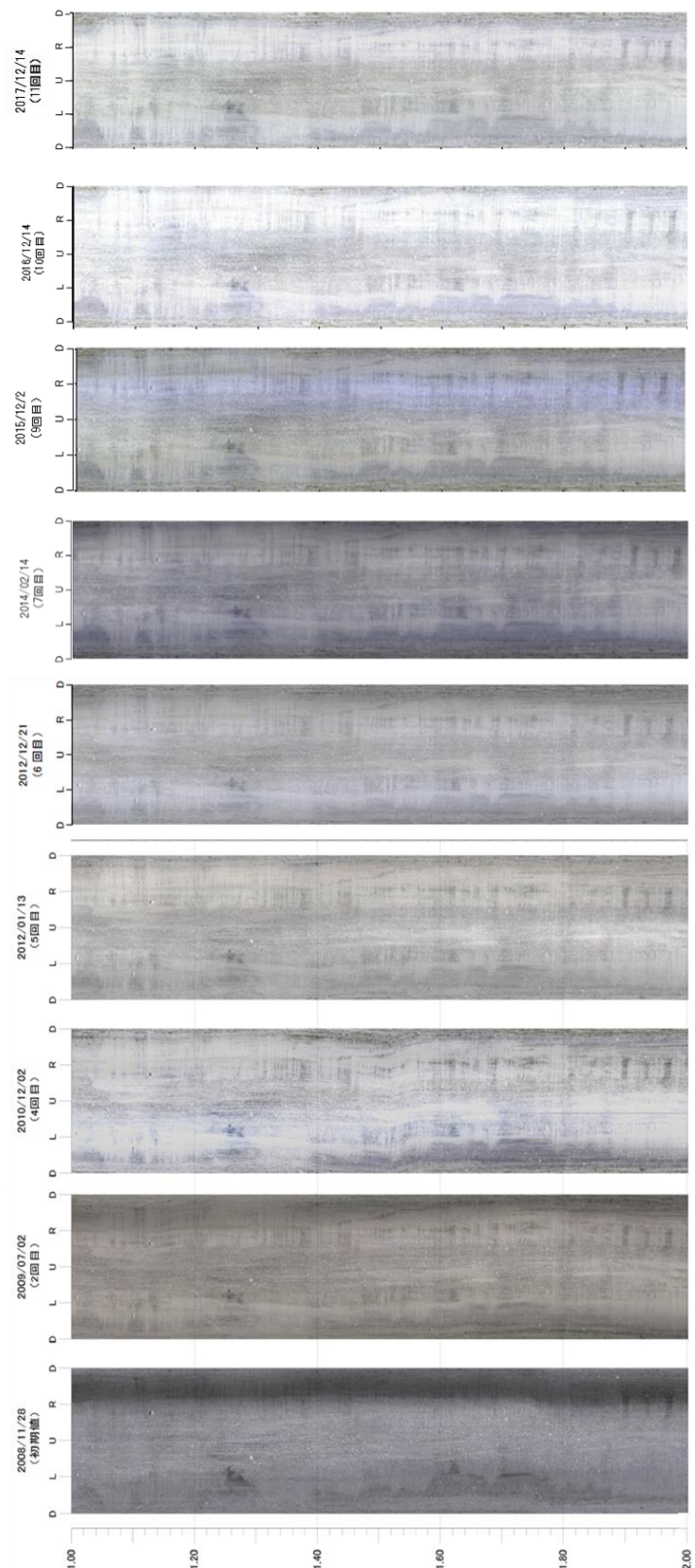


図 4.1-50 前回までの BTV 観察結果との対比 (1.000m-2.000m)



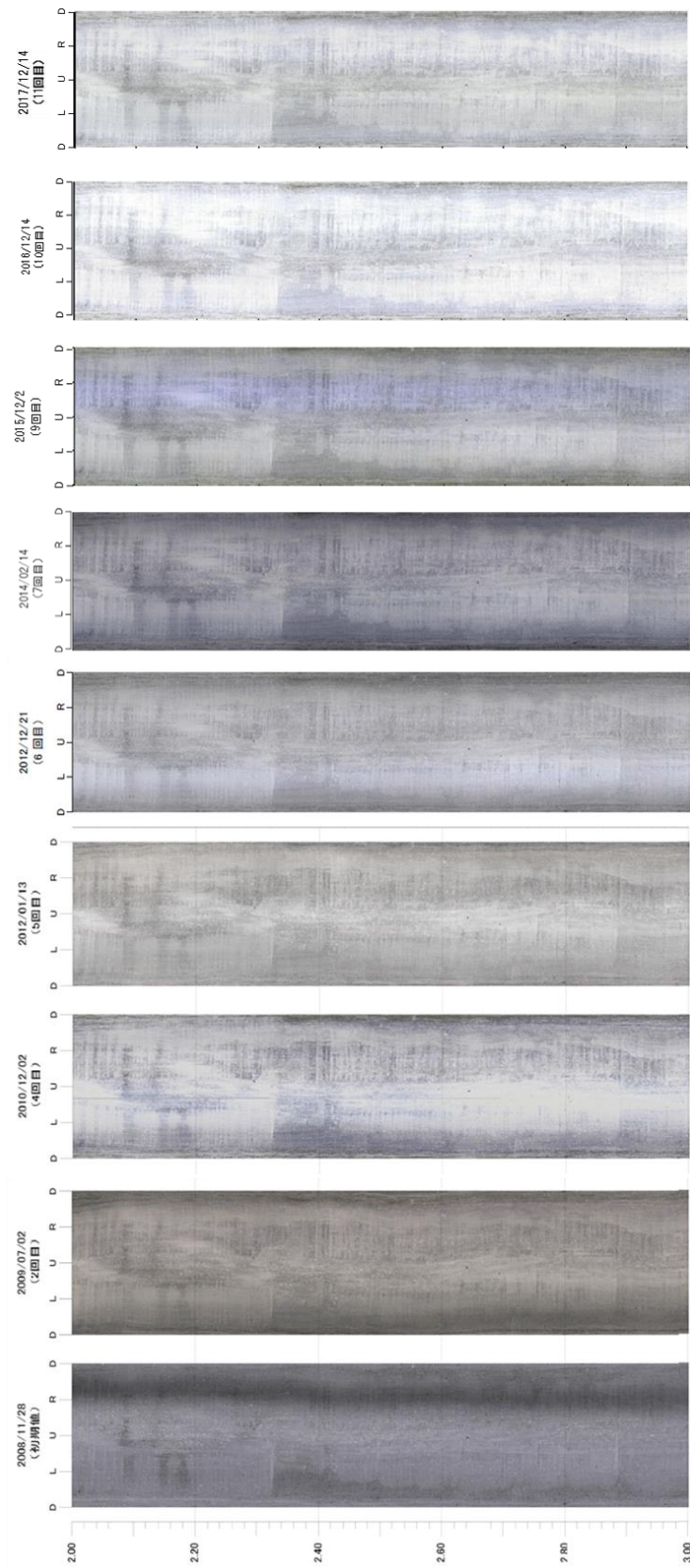


図 4.1-51 前回までの BTV 観察結果との対比 (2.000m-3.000m)

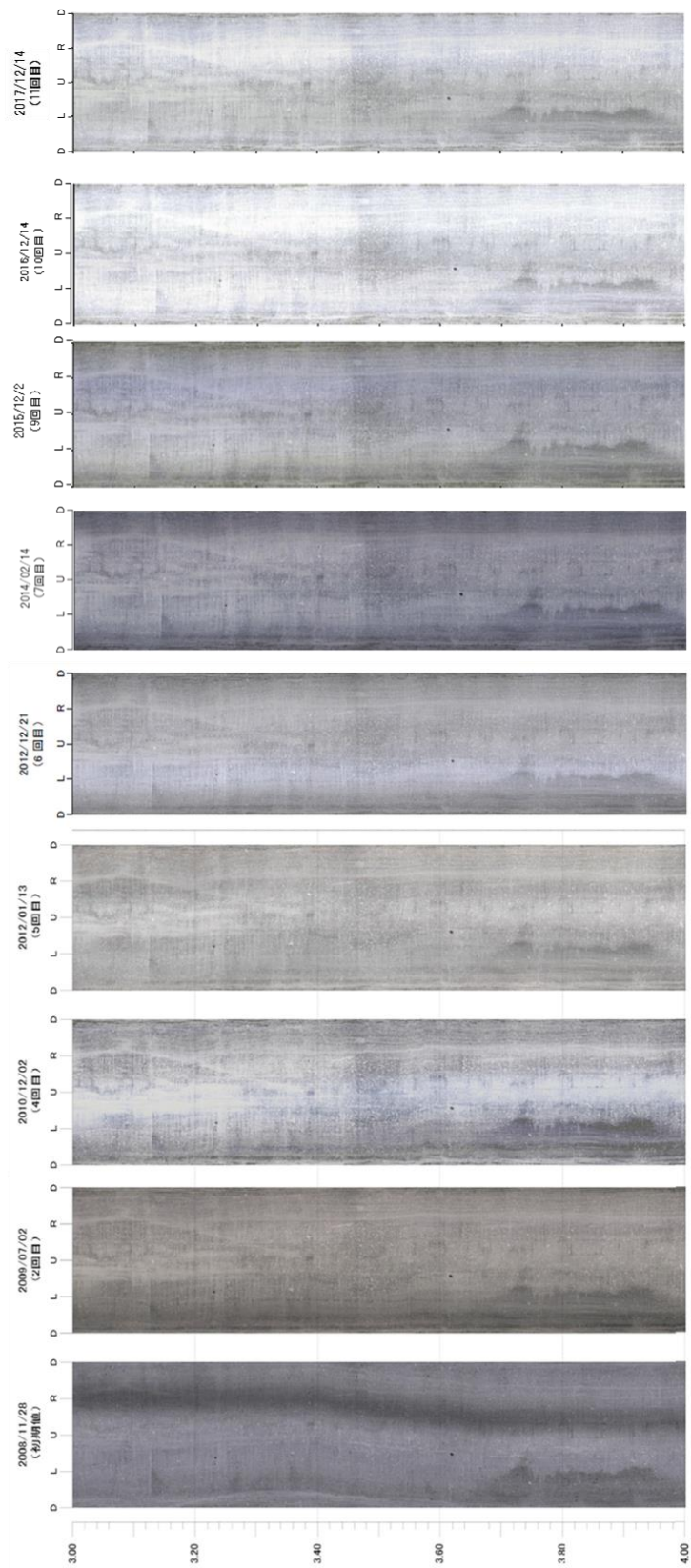


図 4.1-52 前回までの BTV 観察結果との対比 (3.000m-4.000m)

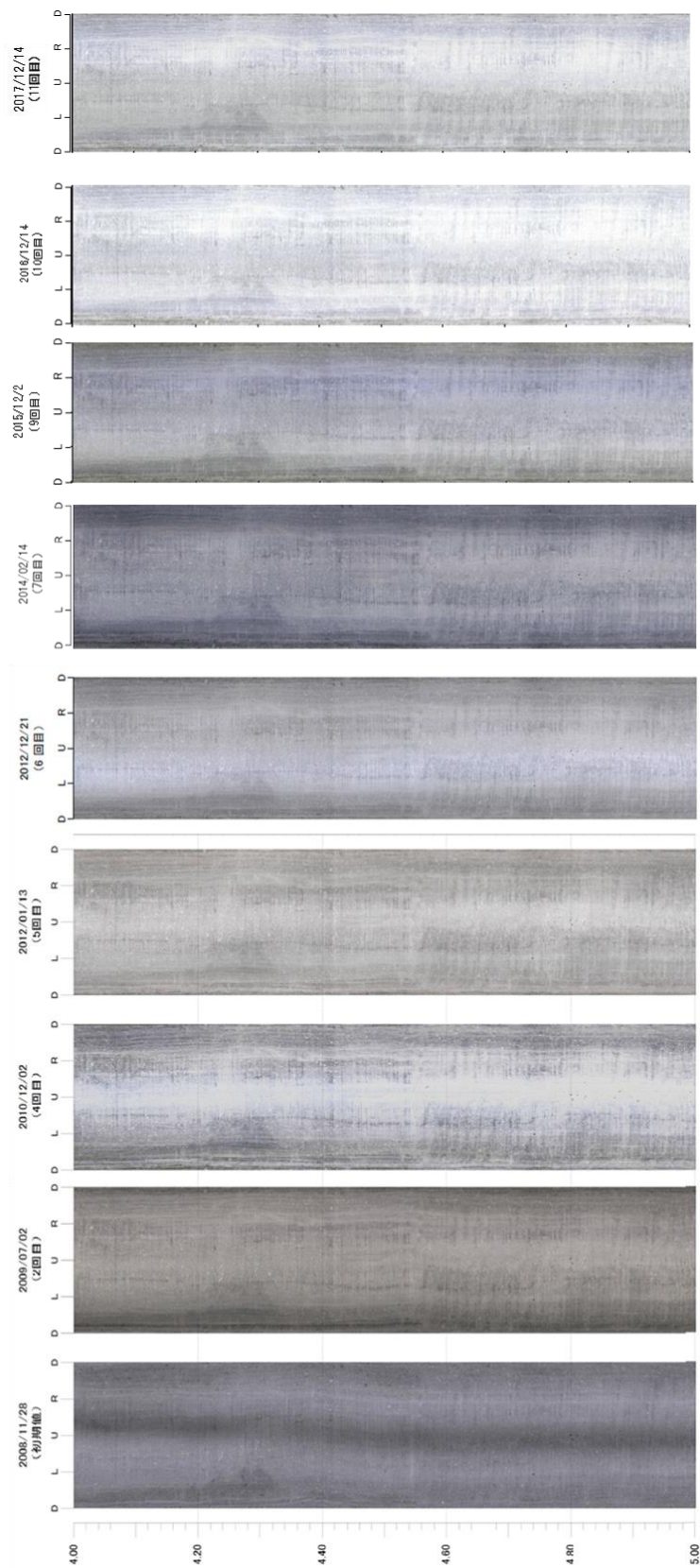


図 4.1-53 前回までの BTV 観察結果との対比 (4.000m-5.000m)



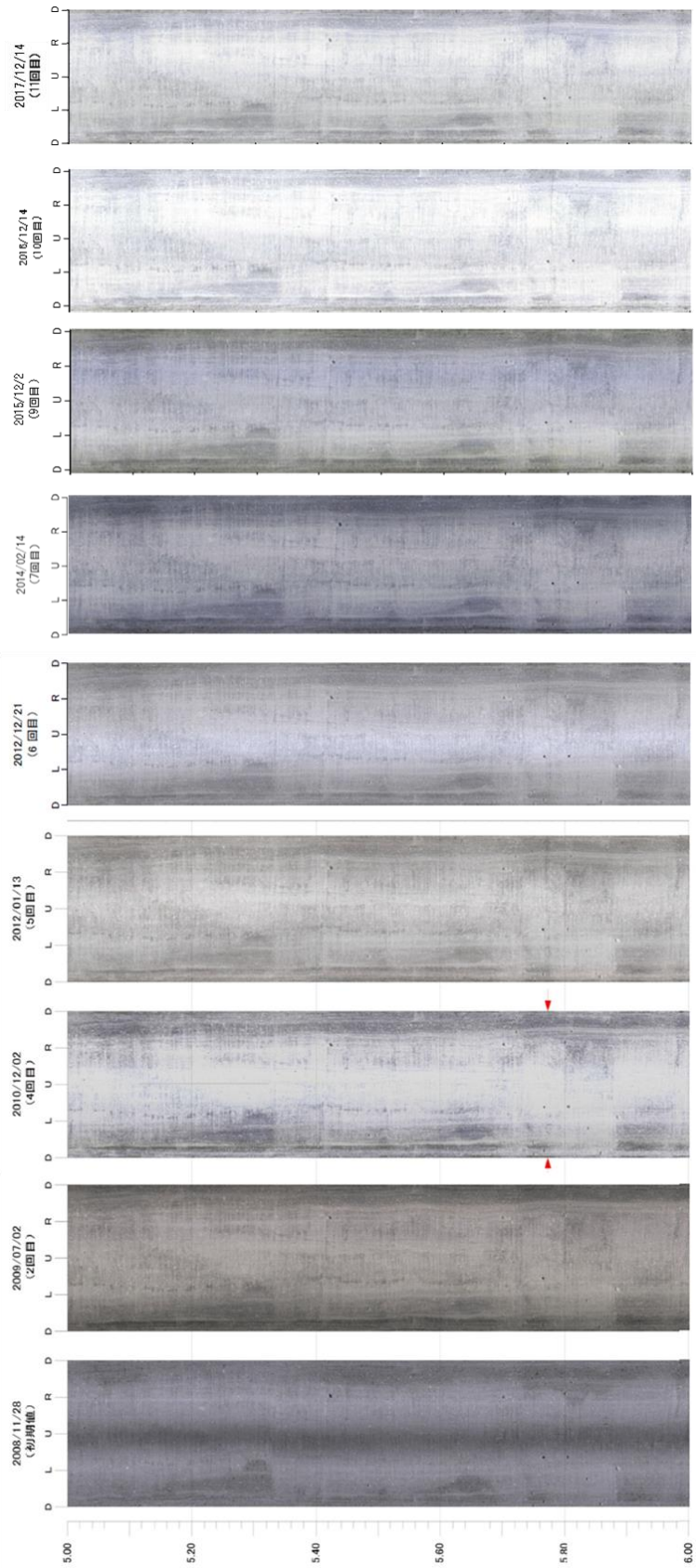


図 4.1-54 前回までの BTV 観察結果との対比 (5.000m-6.000m)



水の滲み区間(平成 29 年度)

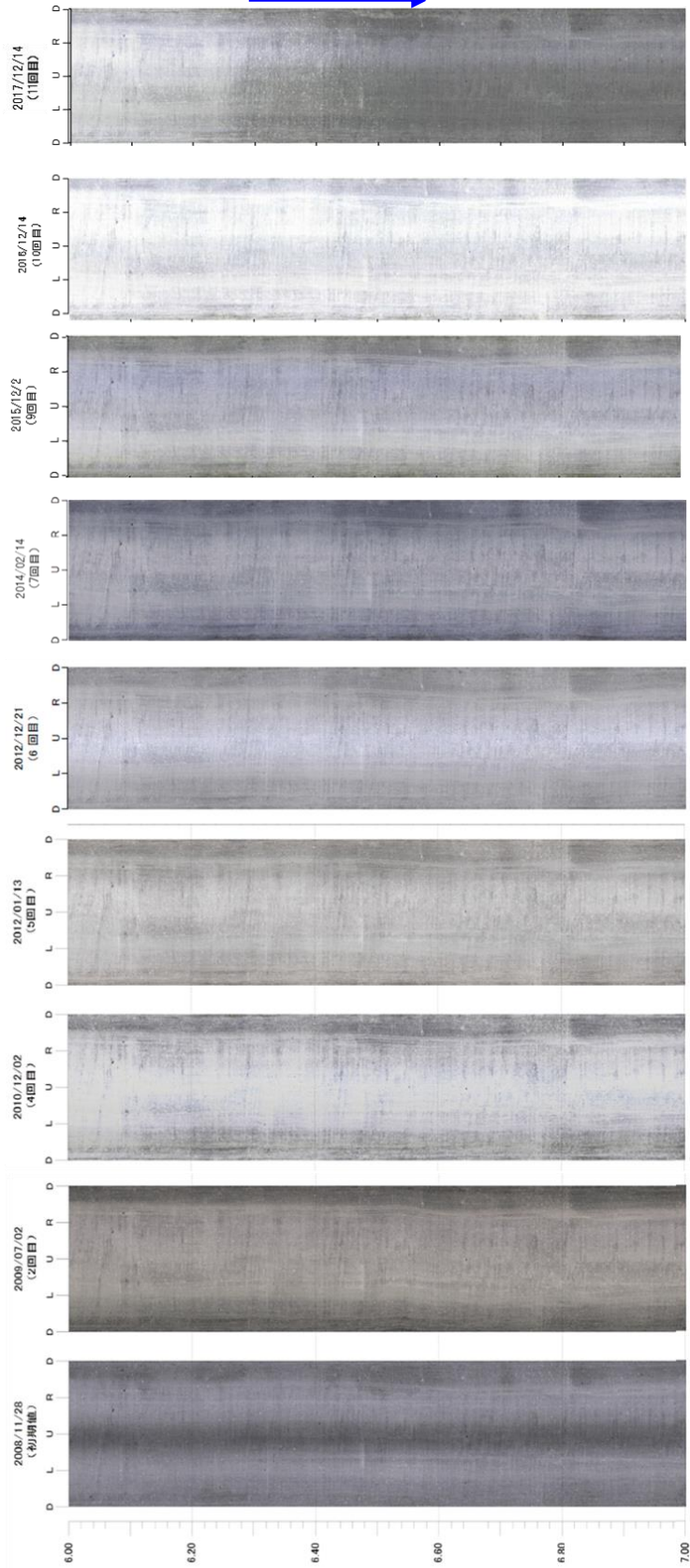


図 4.1-55 前回までの BTV 観察結果との対比 (6.000m-7.000m)

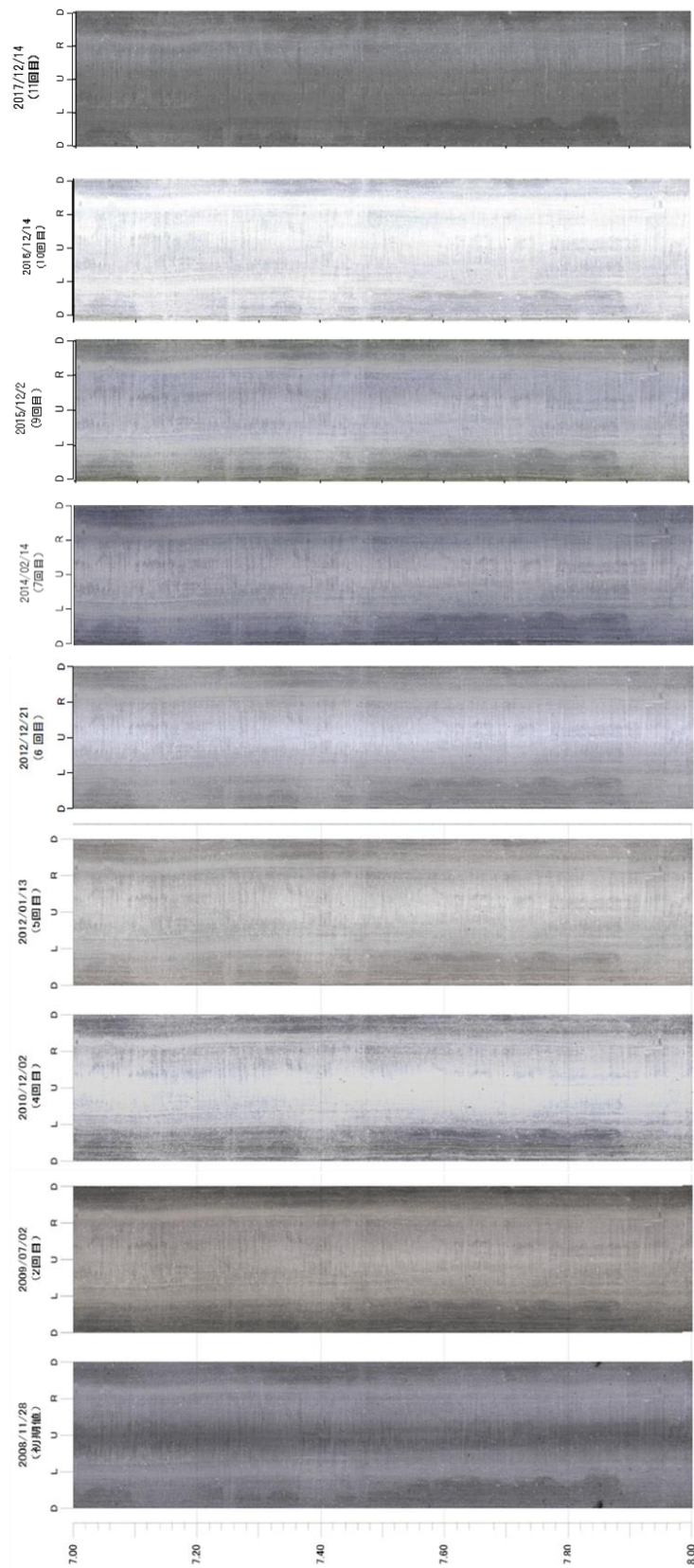


図 4.1-56 前回までの BTV 観察結果との対比 (7.000m-8.000m)

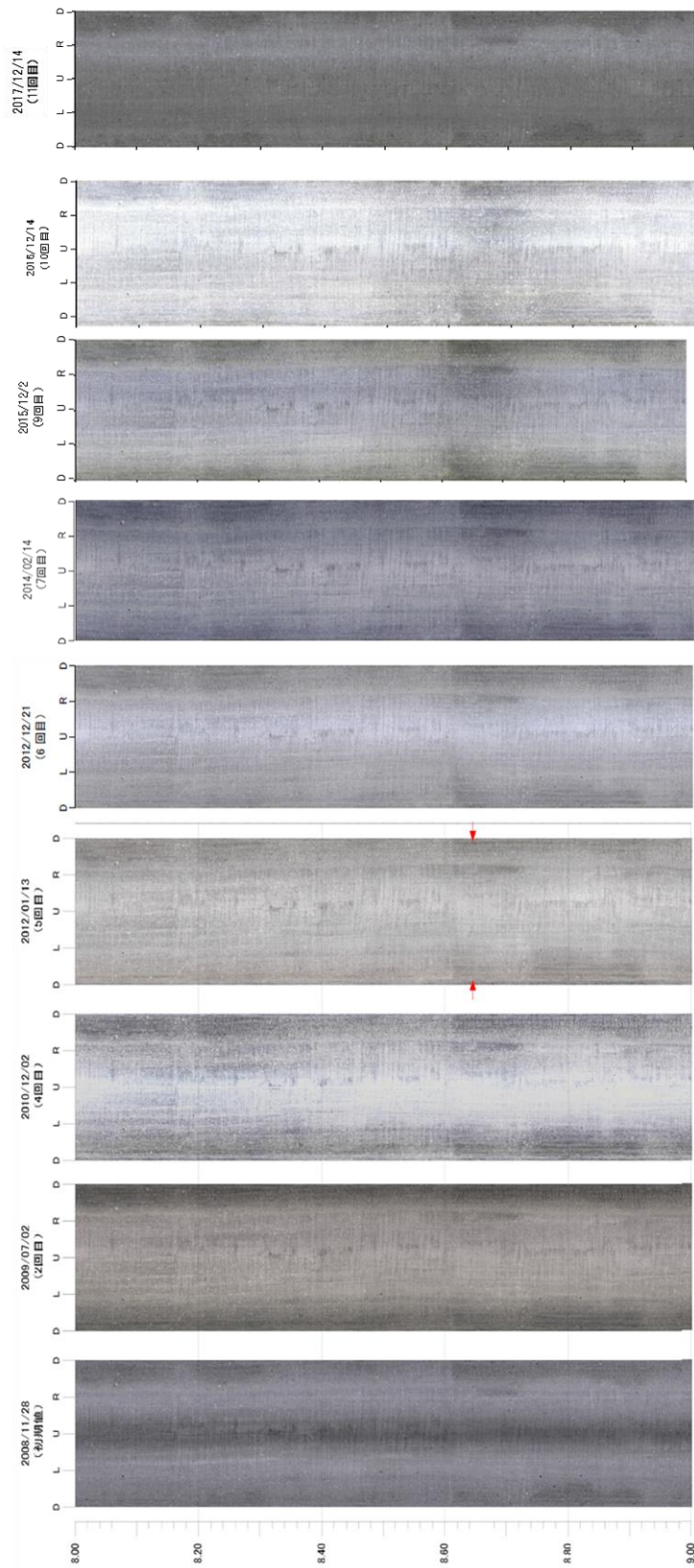


図 4.1-57 前回までの BTV 観察結果との対比 (8.000m-9.000m)



水の溜まり区間(平成 29 年度)

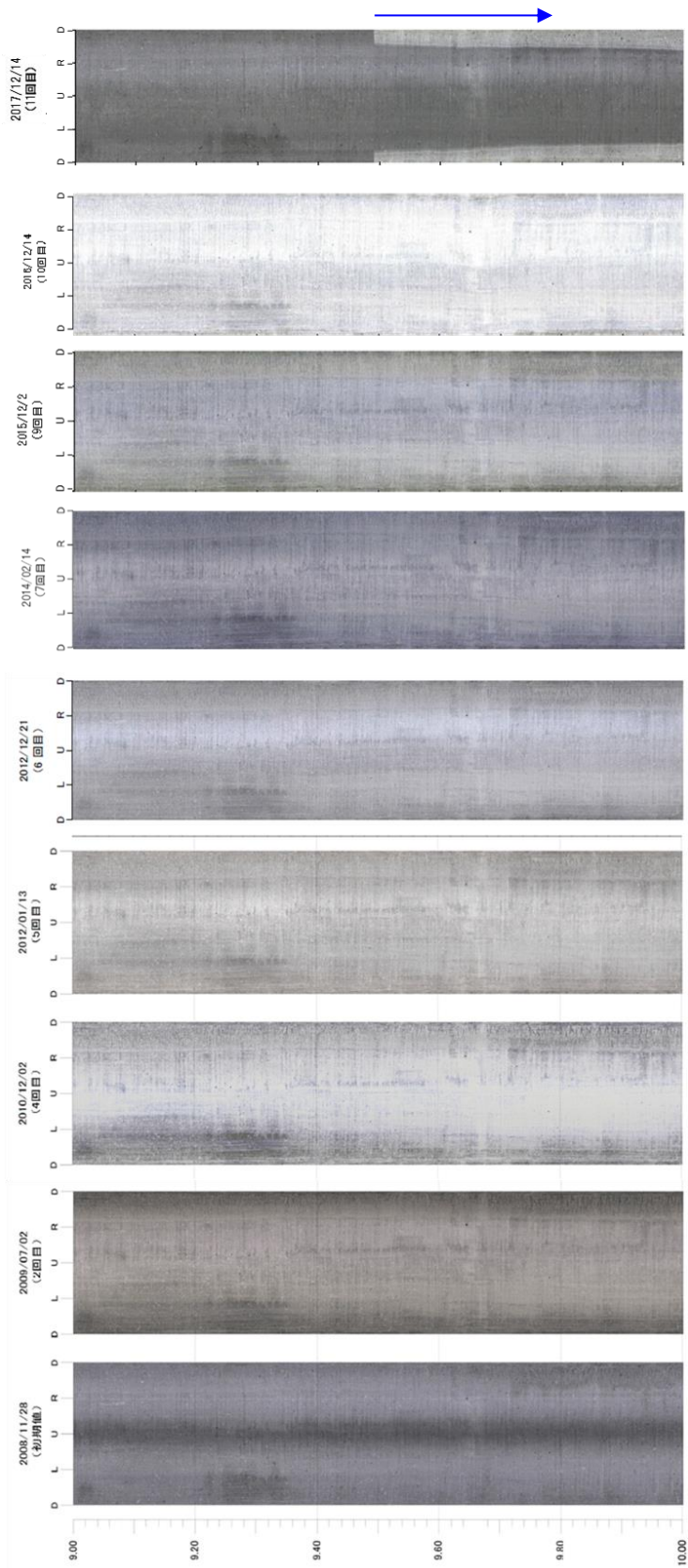


図 4.1-58

前回までの BTV

観察結果との対比 (9.000m-10.000m)

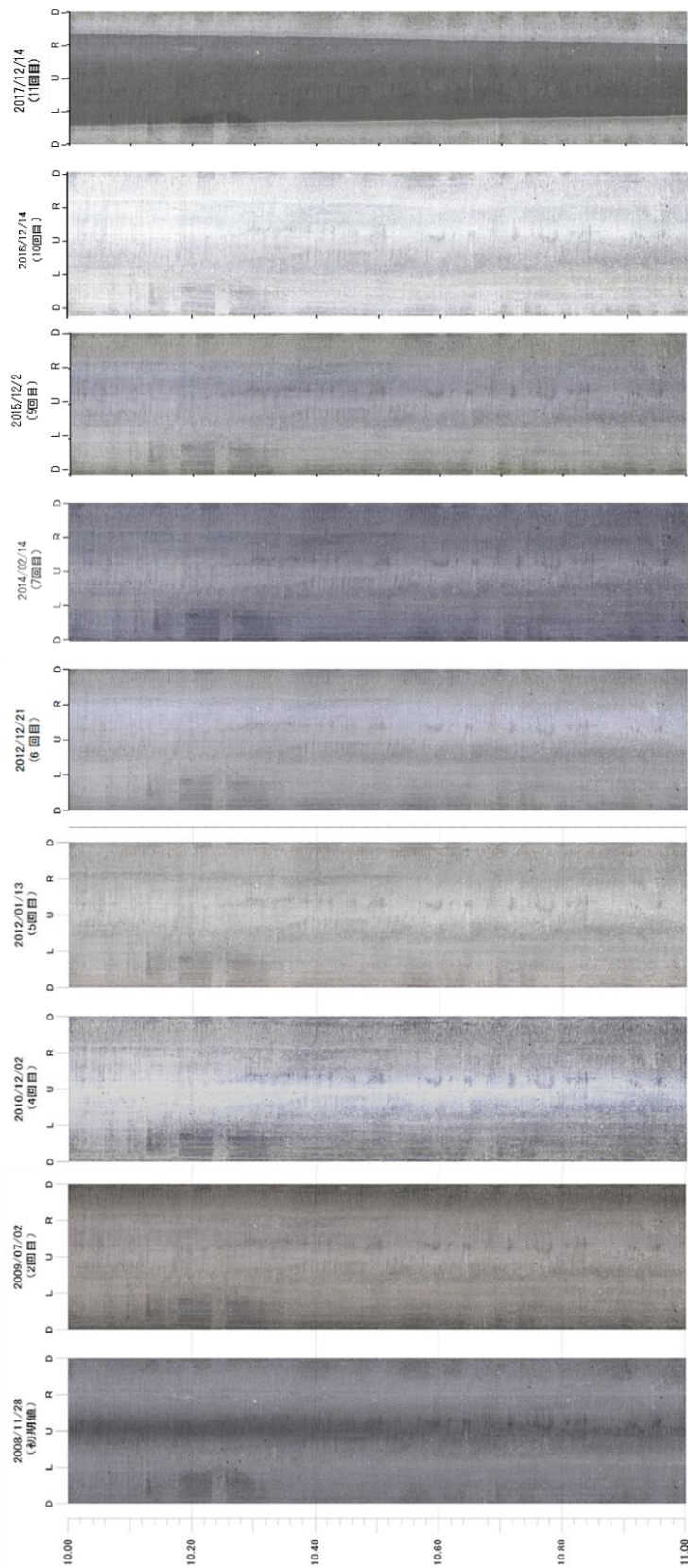


図 4.1-59 前回までの BTV 観察結果との対比 (10.000m-11.000m)

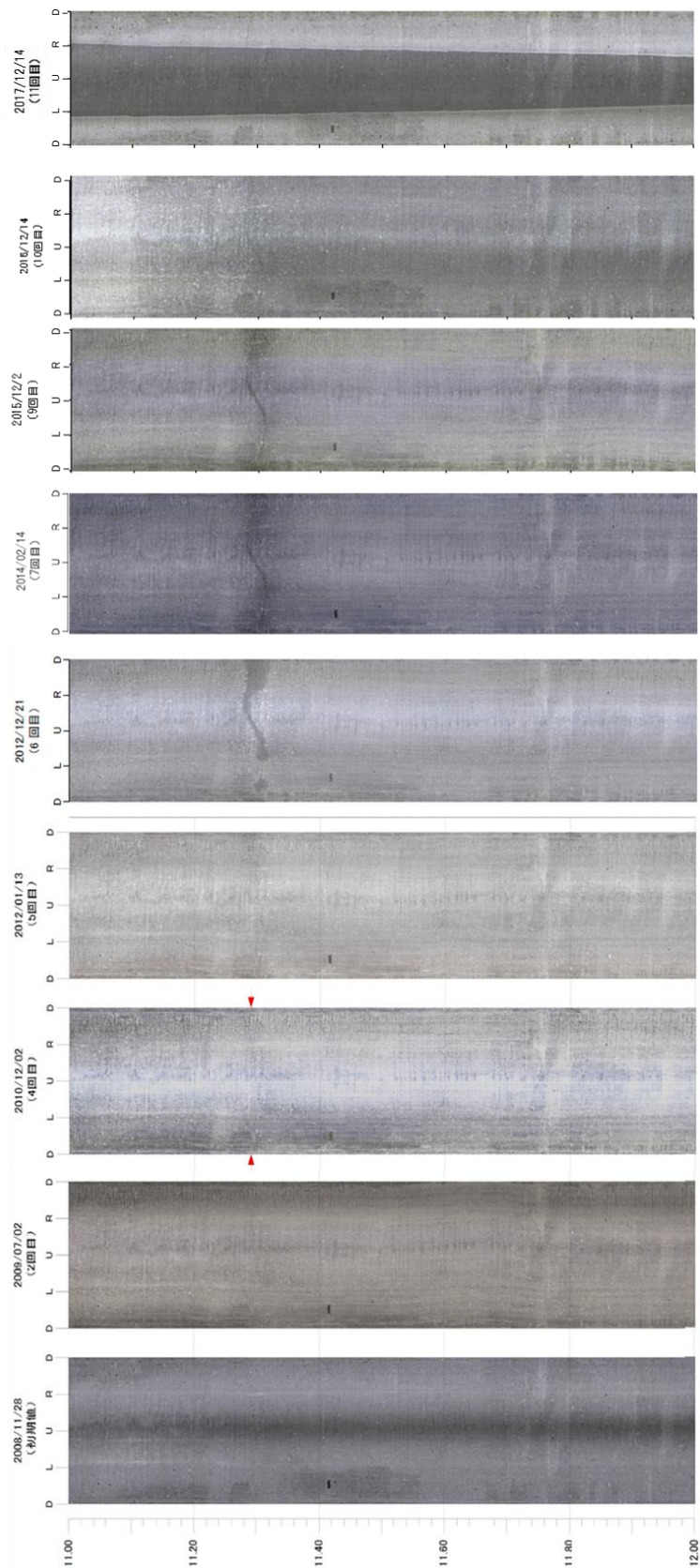


図 4.1-60 前回までの BTV 観察結果との対比 (11.000m-12.000m)



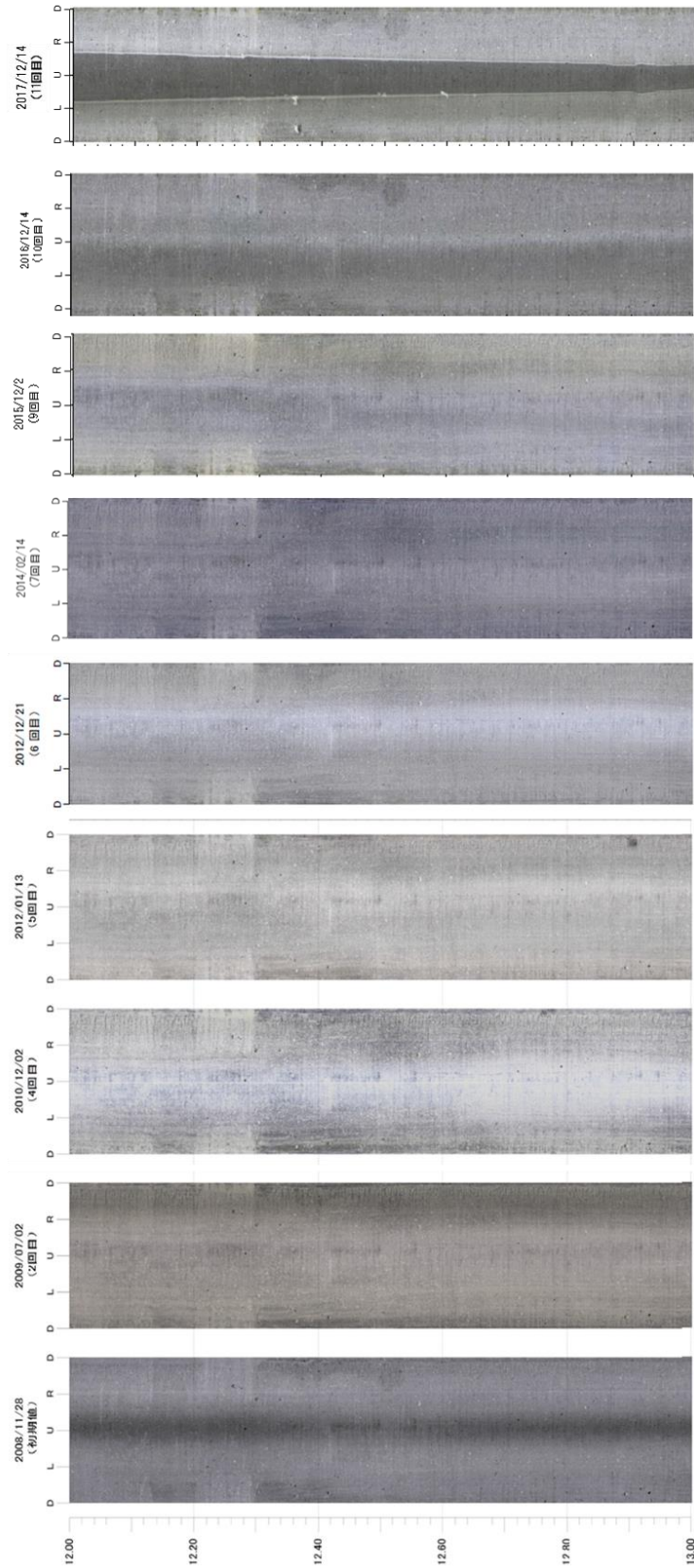


図 4.1-61 前回までの BTV 観察結果との対比 (12.000m-13.000m)

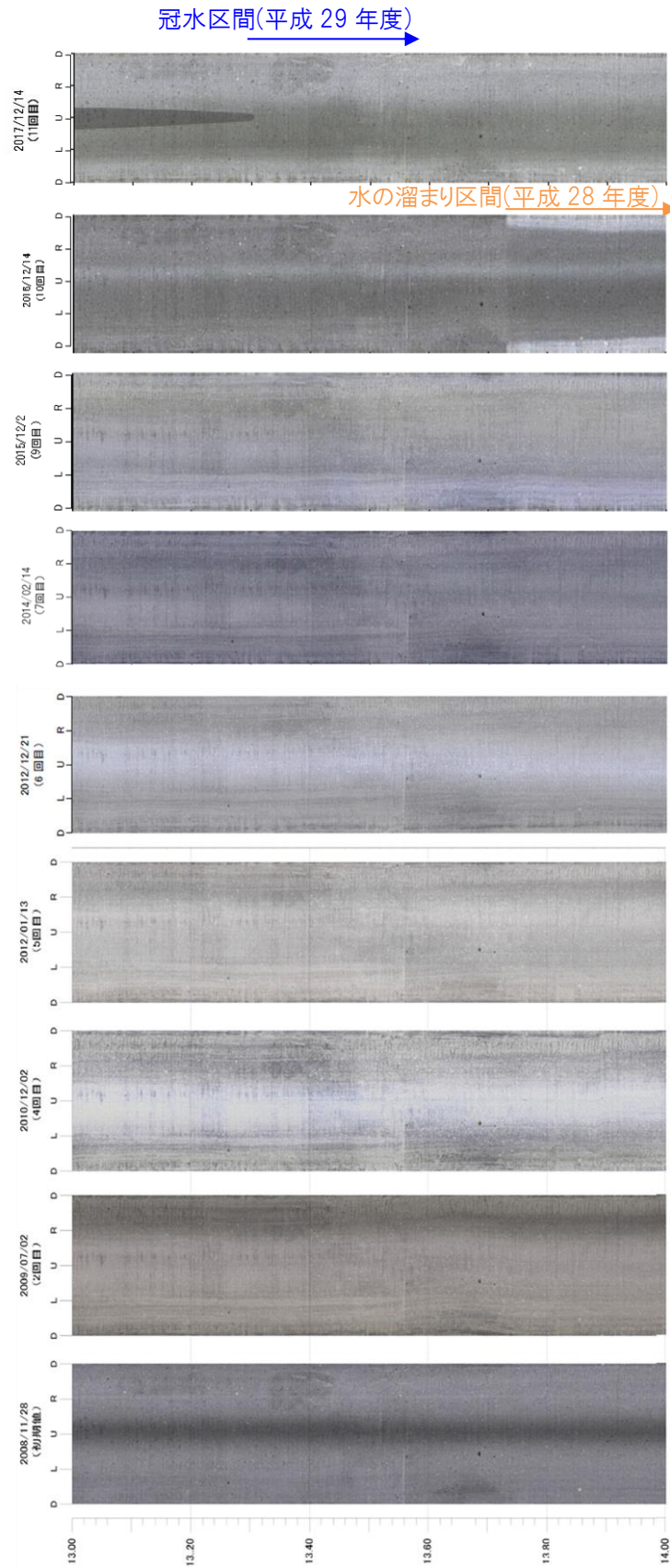


図 4.1-62 前回までの BTV 観察結果との対比 (13.000m-14.000m)



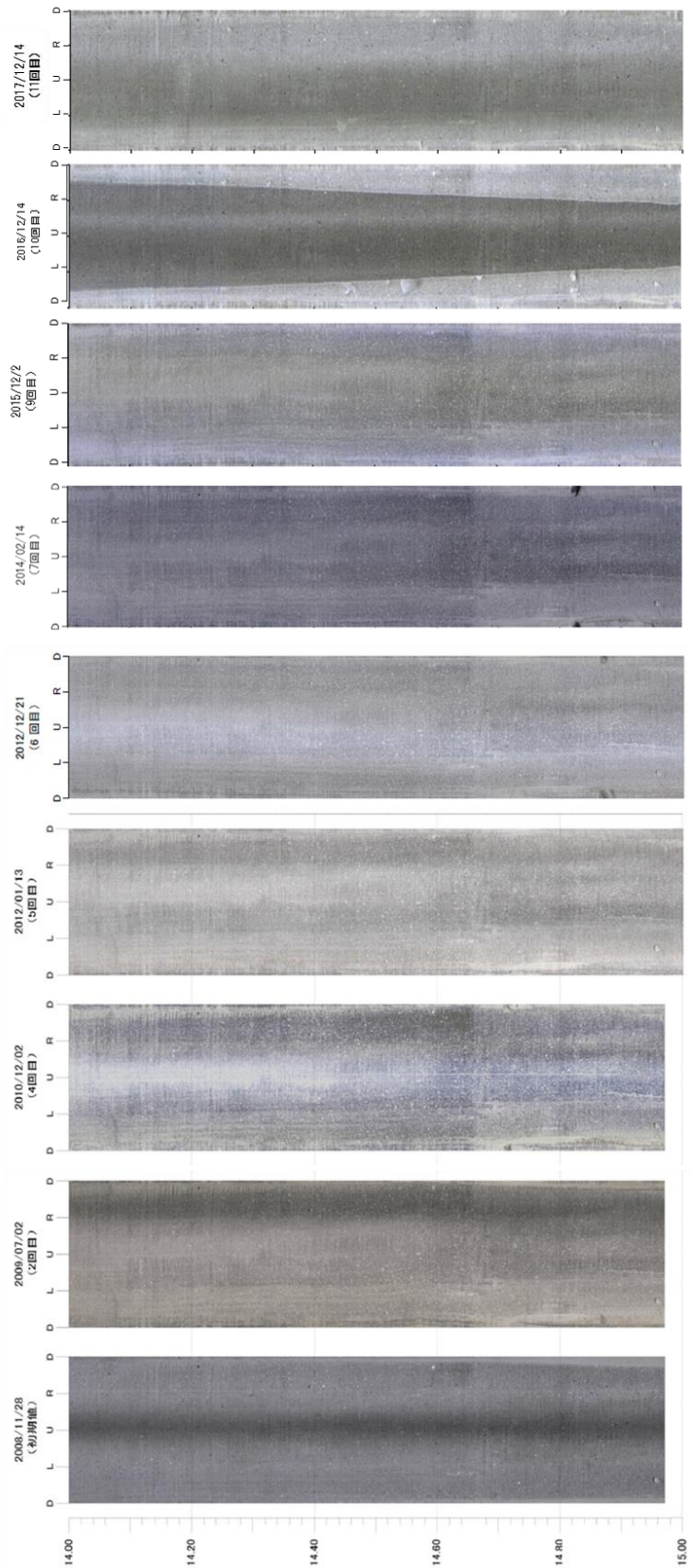


図 4.1-63 前回までの BTV 観察結果との対比 (14.000m-15.000m)

e. 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 4.1-3、写真 4.1-4 に示す。



写真 4.1-3 観察孔鉄板養生後



写真 4.1-4 観察孔鉄板養生後（拡大）

#### (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 4.1-64、送信装置を図 4.1-65、センサーの仕様を表 4.1-14、デ

ータ回収状況を写真 4.1-5 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 時から午後 3 時まで 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 年度において、データ回収を 5 回試みたが、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）のバッテリー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。メーカー（坂田電機）のバッテリー保障期間は 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、バッテリーの消耗が考えられる。そこで本年度は、データ通信時のバッテリー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 3 か月分に分割し、平成 29 年 12 月 6 日 11:30～15:00 の計 8 回で 1 年分のデータ回収を試みた。その結果、1 回の通信のデータ量が 3 ヶ月分の場合では、送受信中に通信不具合が生じ、データ回収ができなかった。このため途中からデータ量を 2 か月分に切り替えたが、3 か月分と同様に送受信中の通信不具合が発生し、データ回収ができなかった。5 回目から 1 ヶ月分のデータ量に切り替えたところ、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。温度と間隙水圧を図 4.1-66 無線通信装置で測定中の低透水層中の温度と間隙水圧にデータを示す。

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。

また、昨年度、無線通信装置の時計には 3 分 30 秒のずれがみられたが、本年度では 2 分 30 秒ほどのずれが確認されている。

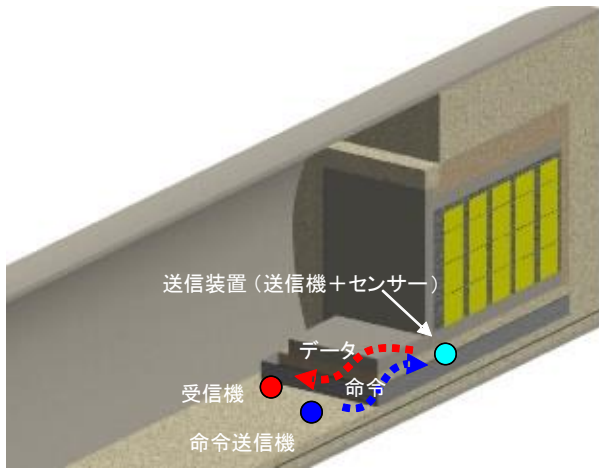


図 4.1-64 地中無線全体システム



- ・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 4.1-65 送信装置

表 4.1-14 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	<p>バッテリー 温度計</p>
間隙水圧計	測定範囲：600kPa 精度：±1kPa	<p>間隙水圧計受圧部</p>



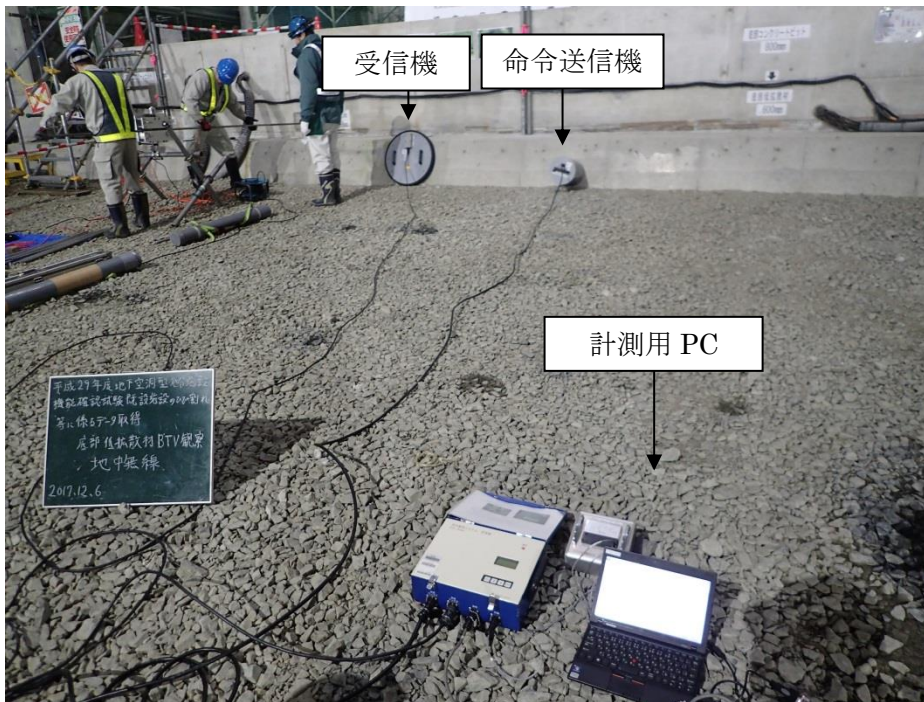


写真 4.1-5 地中無線データ回収状況

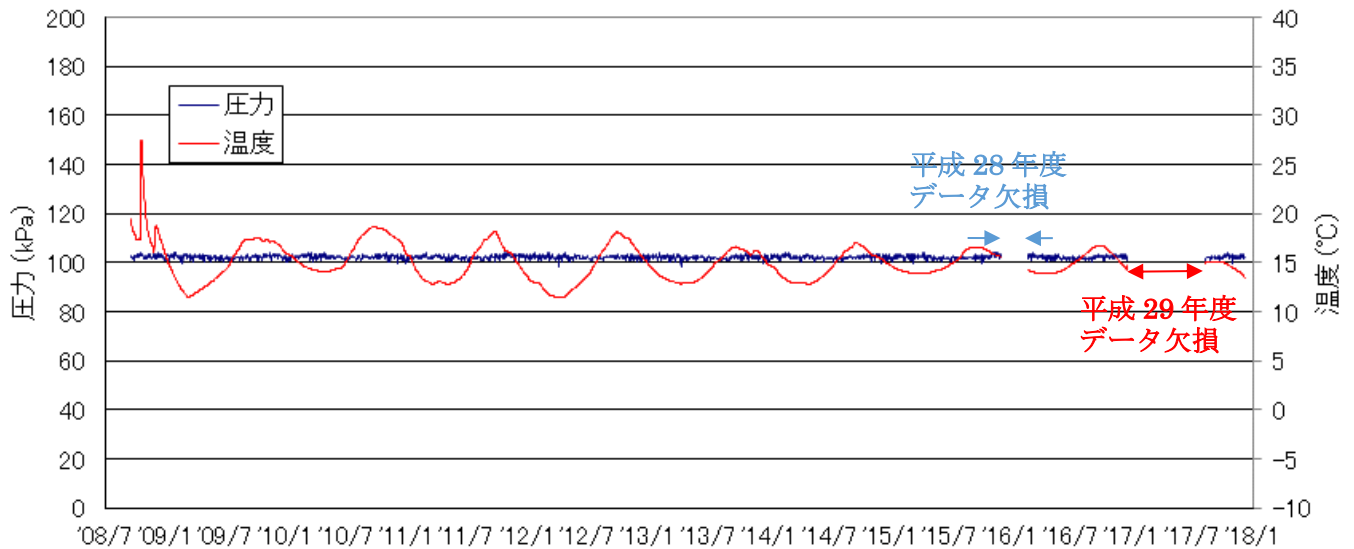


図 4.1-66 無線通信装置で測定中の低透水層中の温度と間隙水圧

また、地中無線計器近傍に有線計器を設置しており、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が妥当な値であるか確認を行った（図 4.1-67）。双方の温度計データを図 4.1-68、間隙水圧計データを図 4.1-69 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。

今後も、地中無線による長期計測の実績確保のため、バッテリーが消耗し停止するまで計測を継続する予定である。

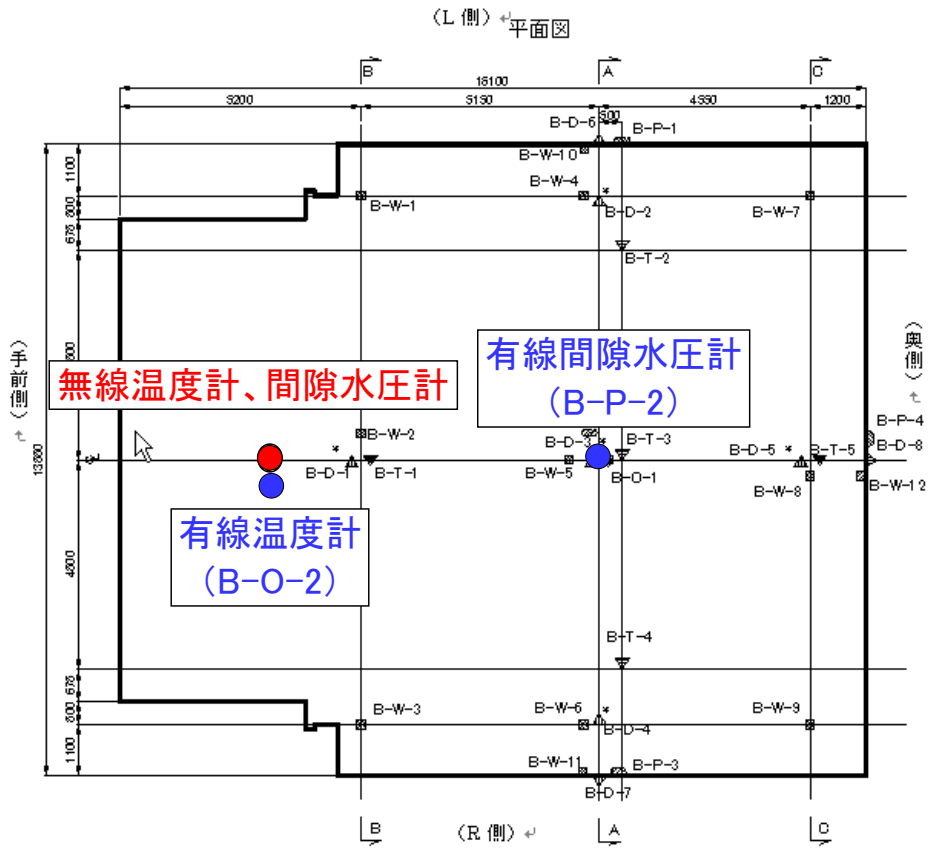


図 4.1-67 地中無線計器および有線計器の設置位置

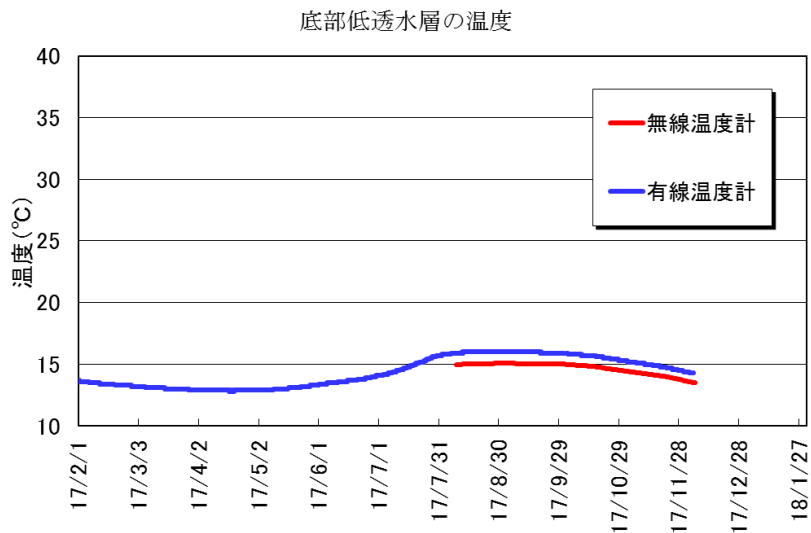


図 4.1-68 地中無線計器と有線計器の温度データ回収結果

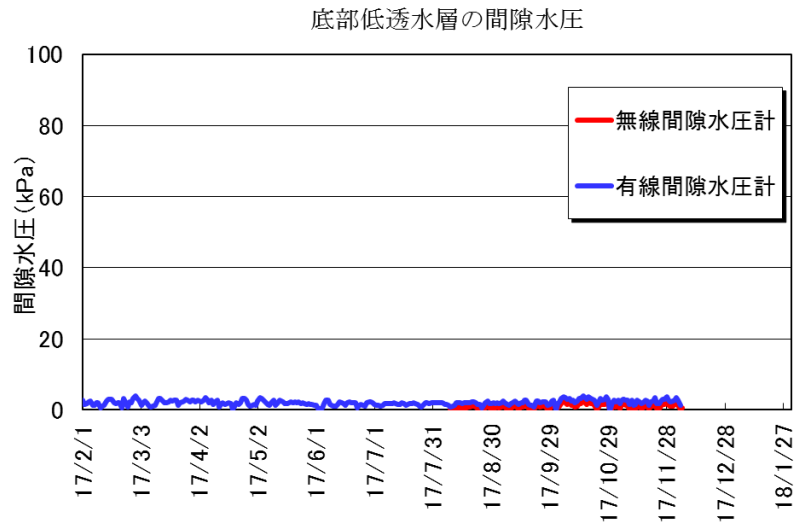


図 4.1-69 地中無線計器と有線計器の間隙水圧データ回収結果

#### 4.1.2 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 4.1-15 に示す。

表 4.1-15 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

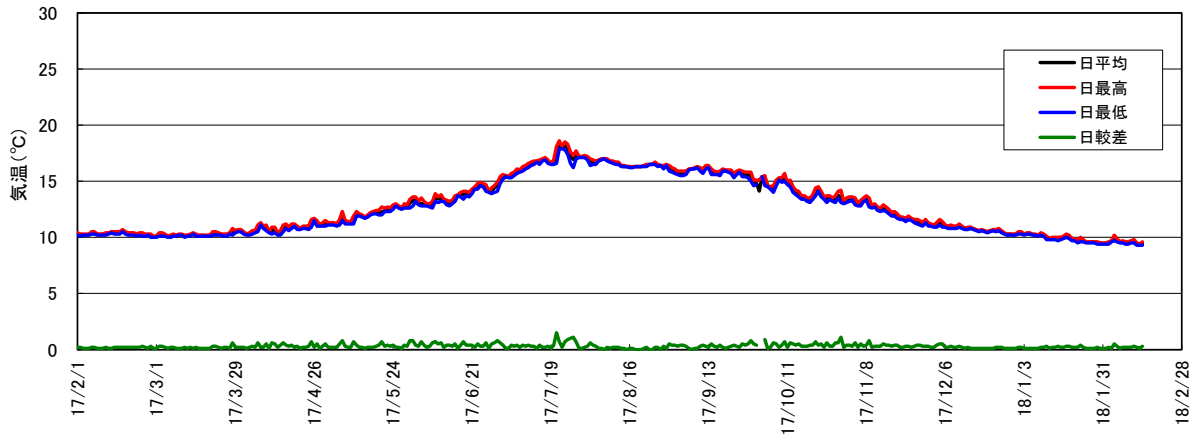
整理した図の例として、坑内環境（百葉箱温湿度計）の経時変化を図 4.1-70、上部埋戻し材の沈下計および温度計の経時変化を図 4.1-71～図 4.1-72、周辺岩盤挙動の岩盤変位計の経時変化を図 4.1-73、間隙水圧計の経時変化を図 4.1-74～図 4.1-75、観測された地震動データのうち最大加速度を記録した 2018 年 1 月 24 日の加速度時刻歴を図 4.1-76～図 4.1-78 に示す。





平面図

百葉箱气温



百葉箱湿度

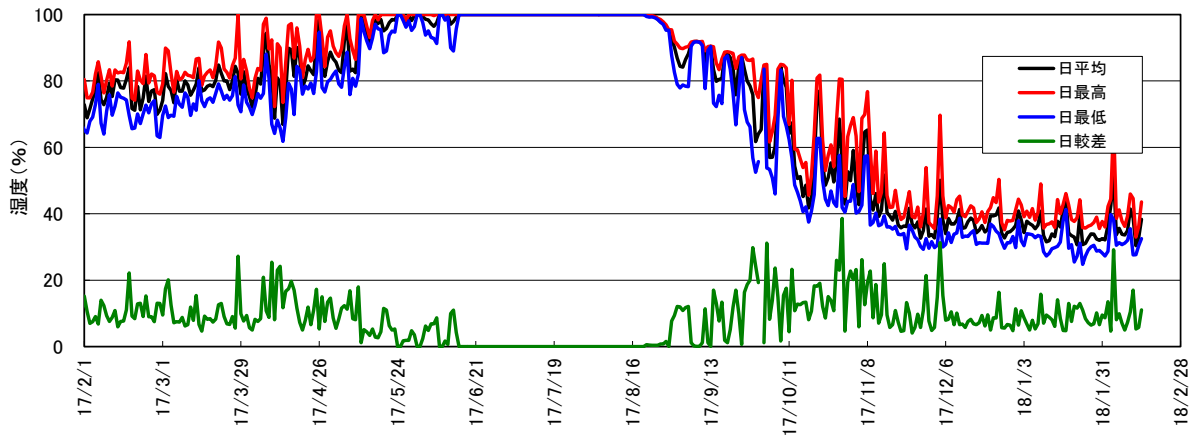
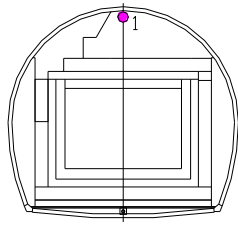


图 4.1-70 百葉箱温湿度計測結果



計測結果の凡例

U-T-x  
↓  
位置

上部埋戻し材の沈下

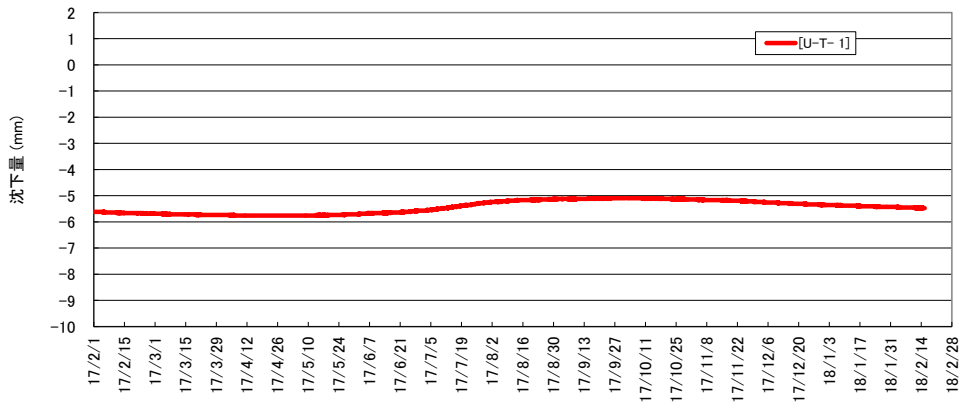
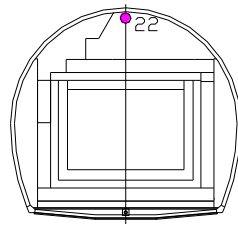


図 4.1-71 上部埋戻し材の沈下計測結果



計測結果の凡例

U-O-x  
↓  
位置

上部埋戻し材の温度

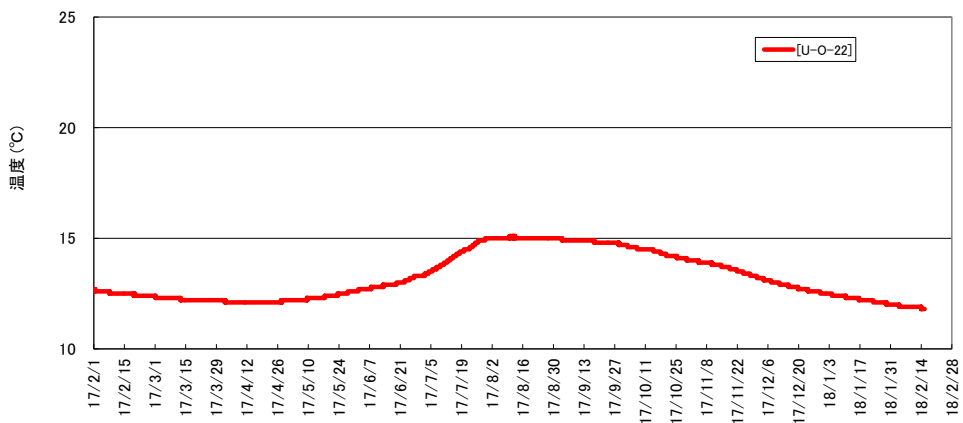
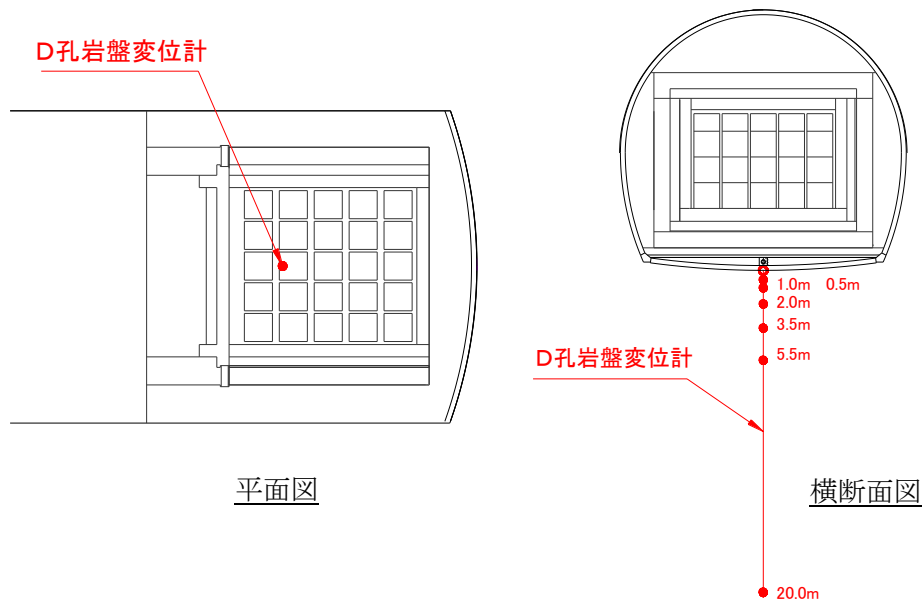


図 4.1-72 上部埋戻し材の温度計測結果



D孔岩盤變位經時變化

+: 上昇 - : 沈下

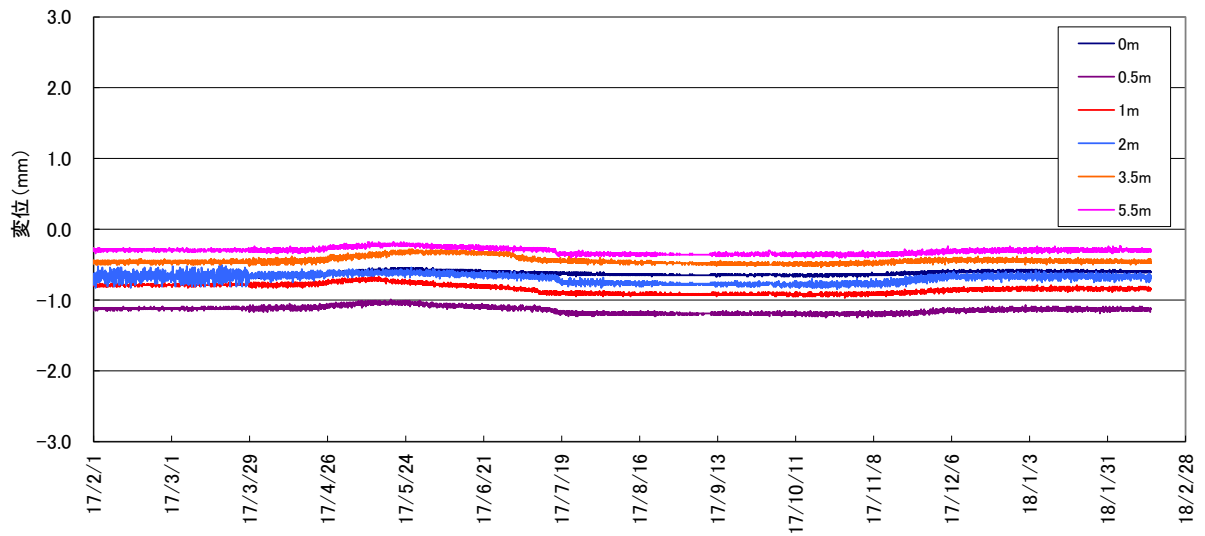
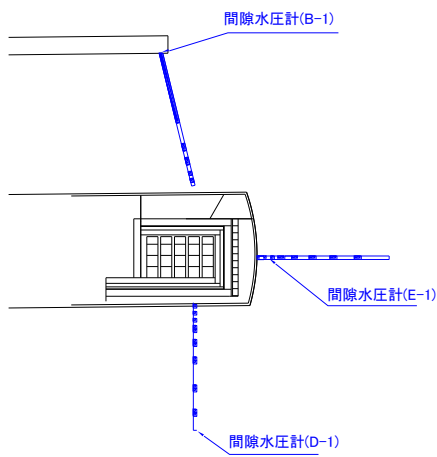
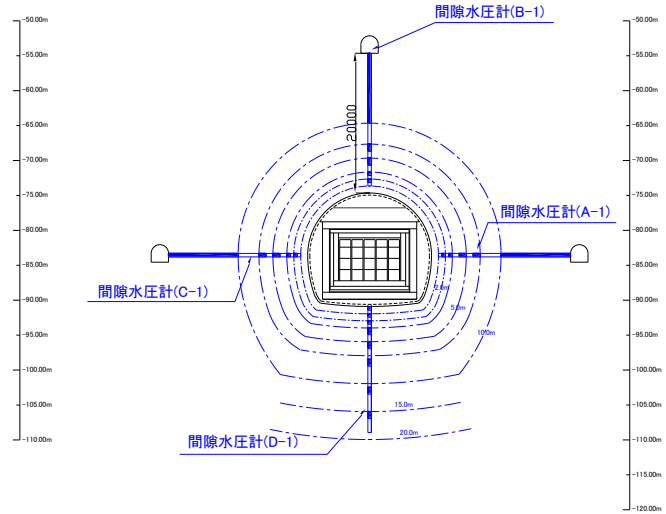


图 4.1-73 岩盤變位計測結果

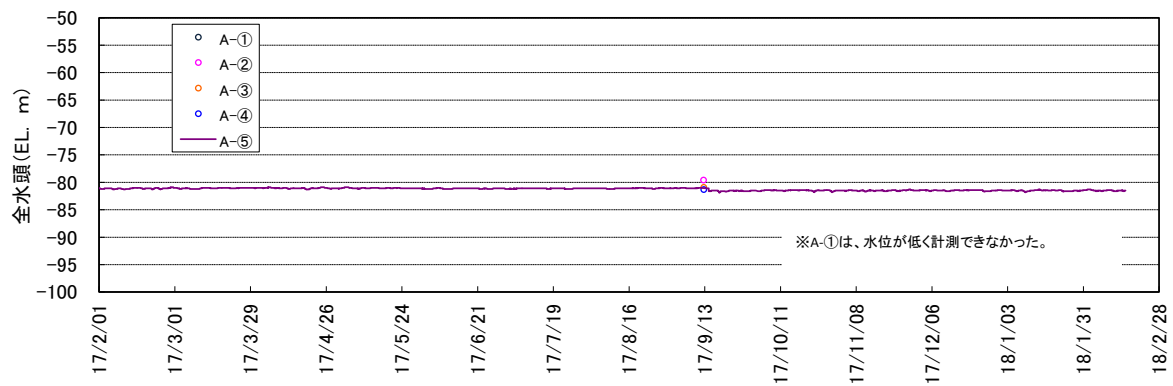


(試験空洞縦断面図)



(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

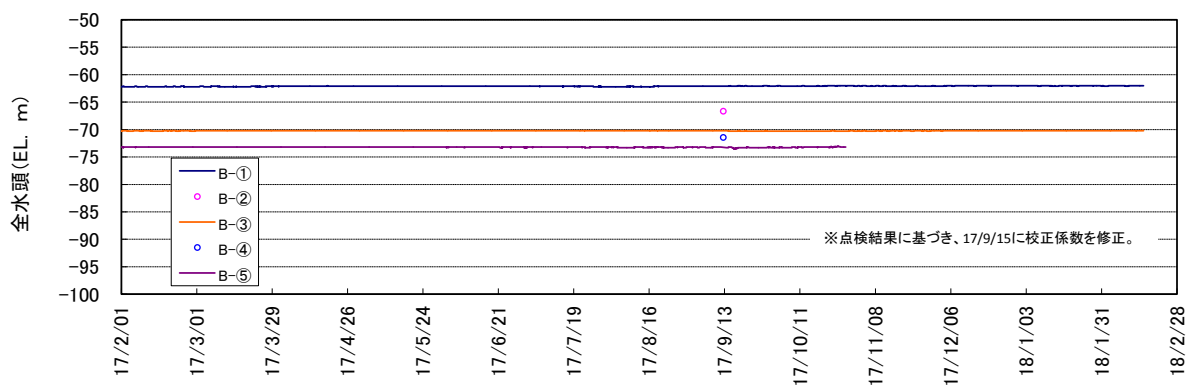
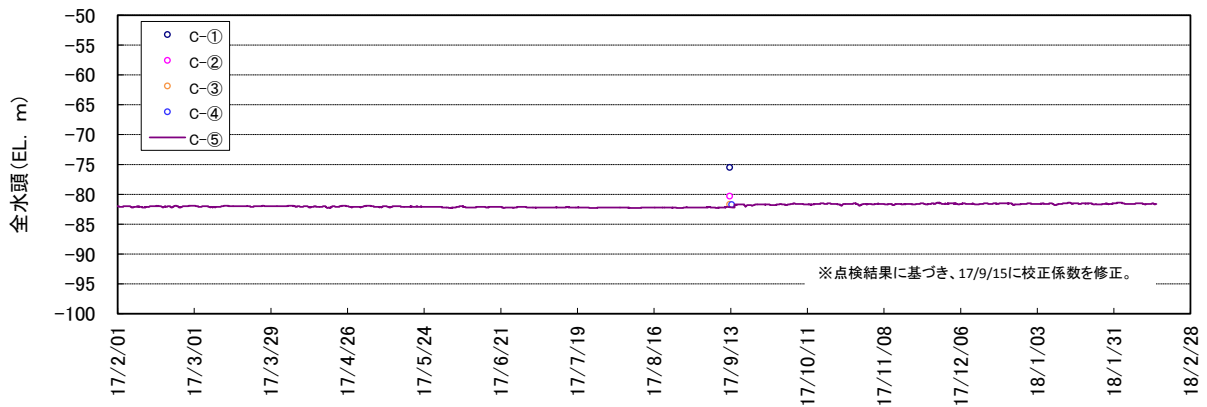
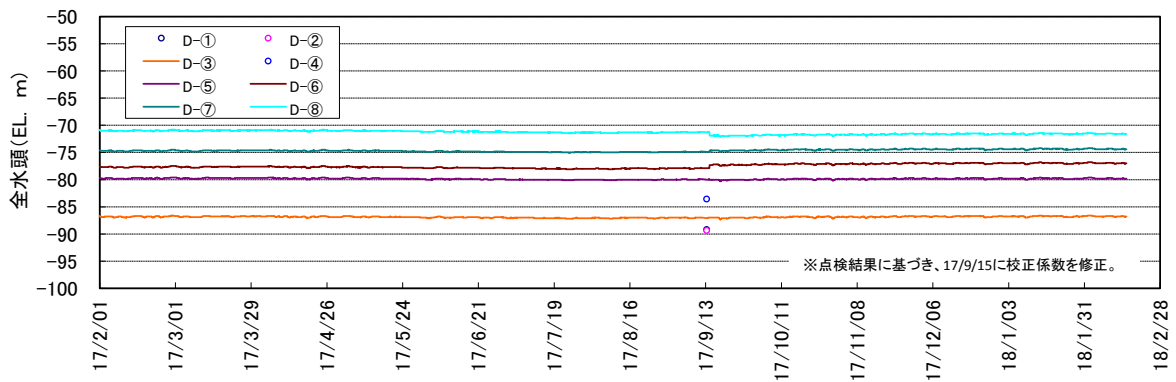


図 4.1-74 岩盤内間隙水圧計測結果 (1/2)

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

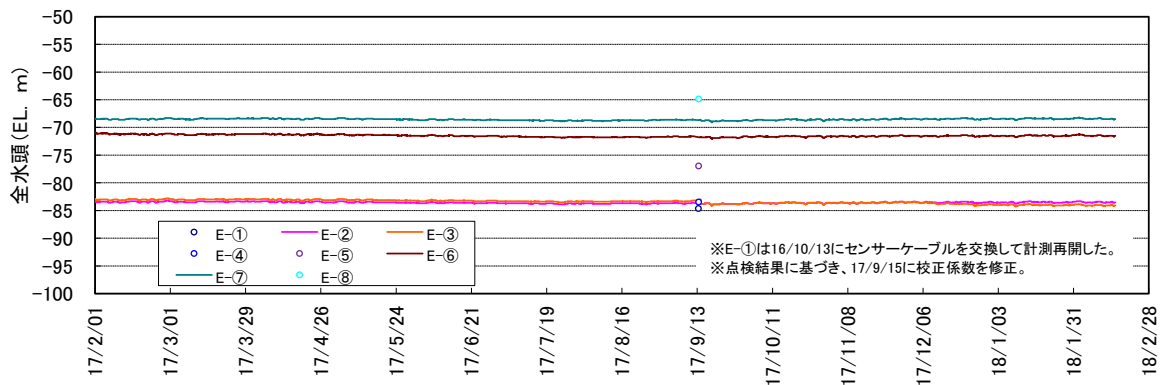
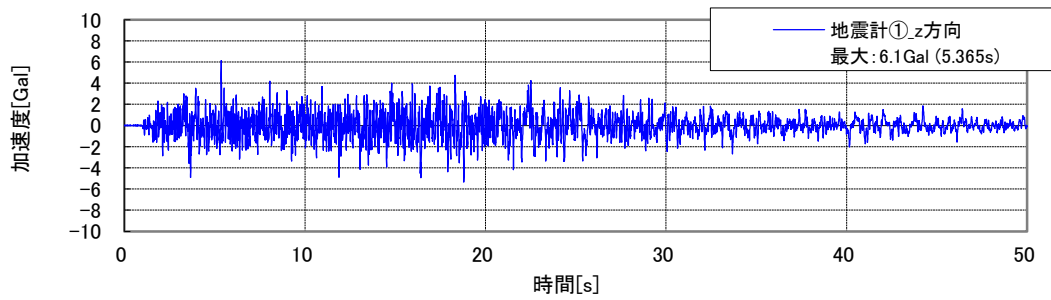
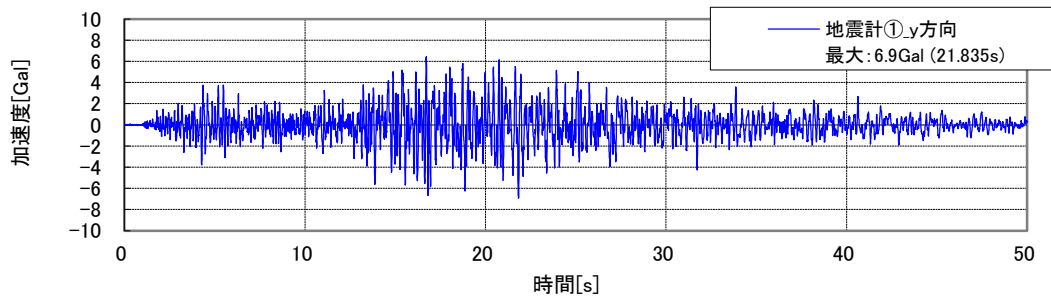
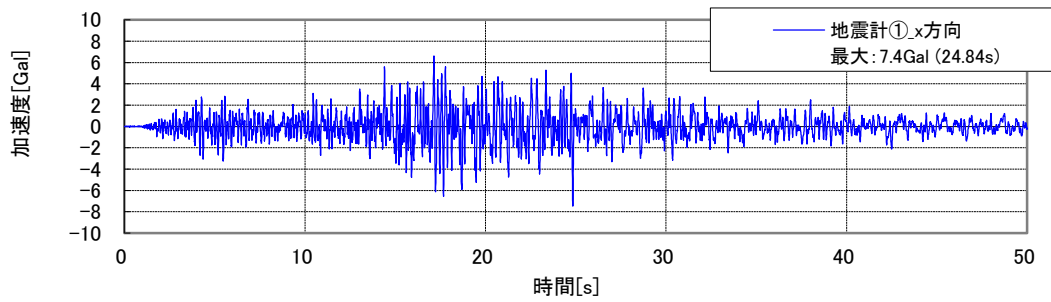
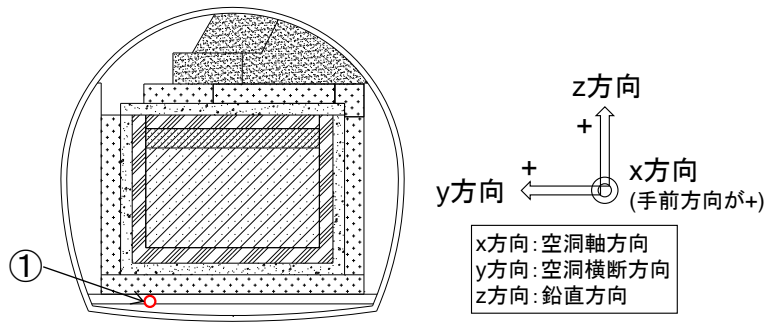
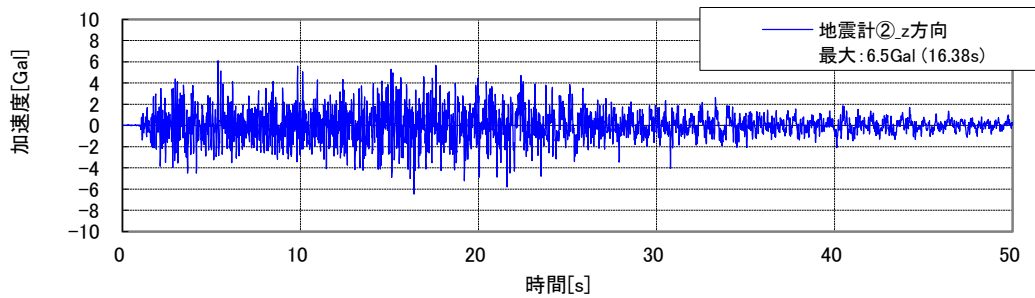
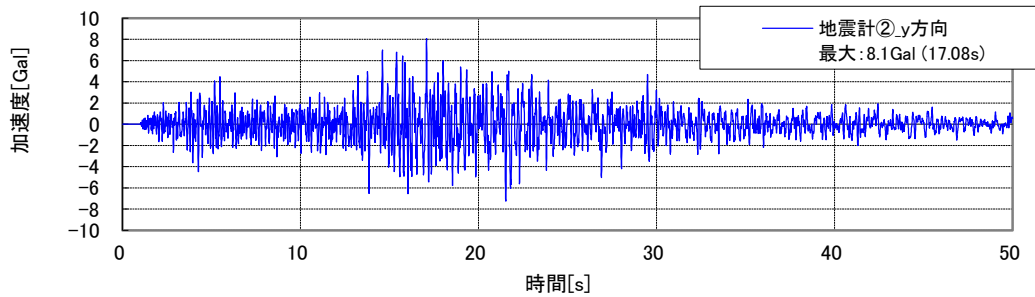
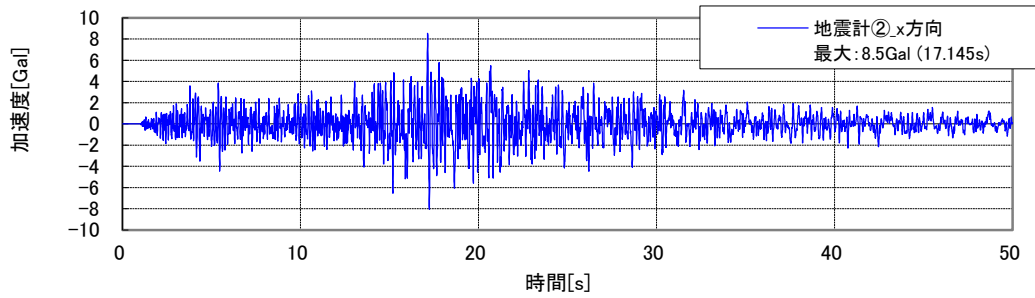
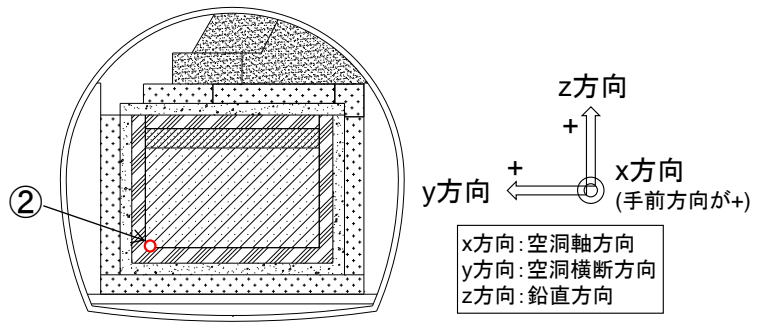


図 4.1-75 岩盤内間隙水圧計測結果 (2/2)



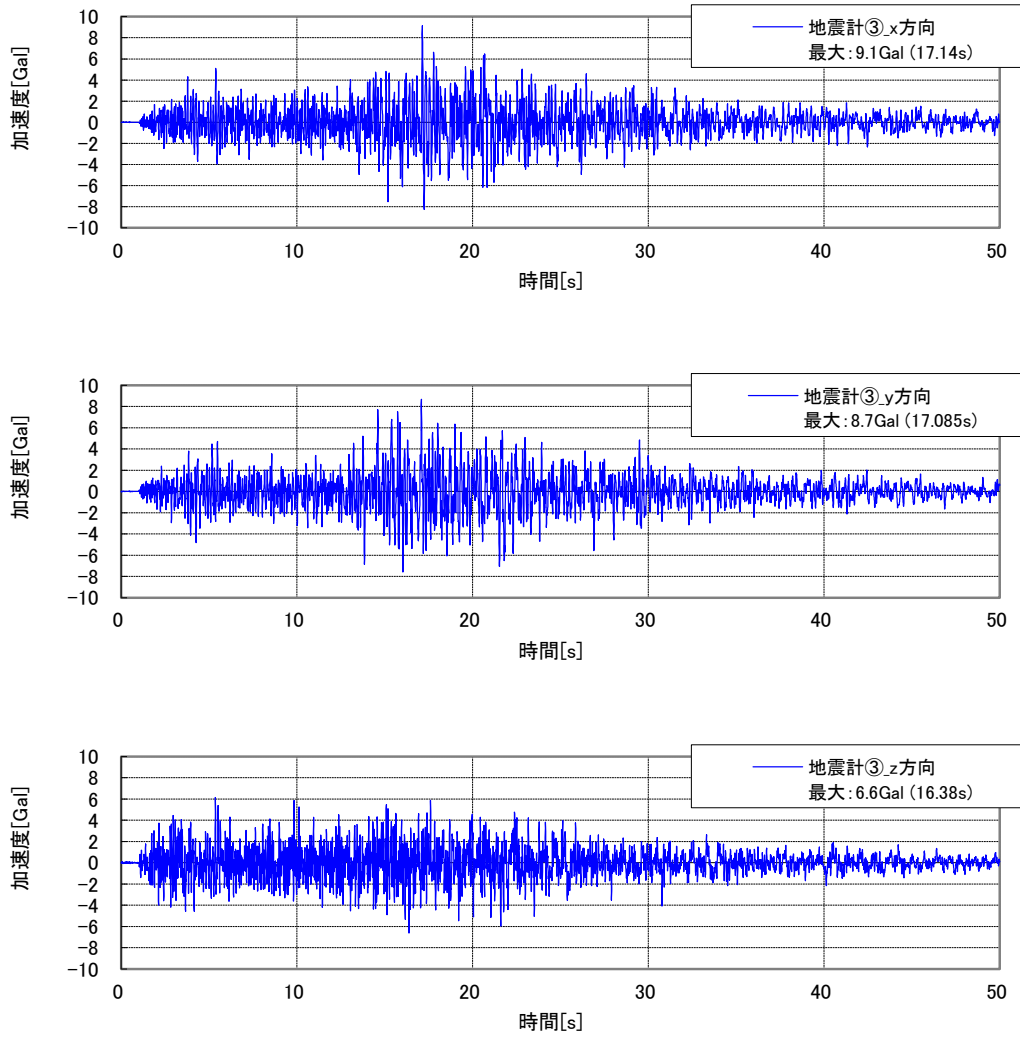
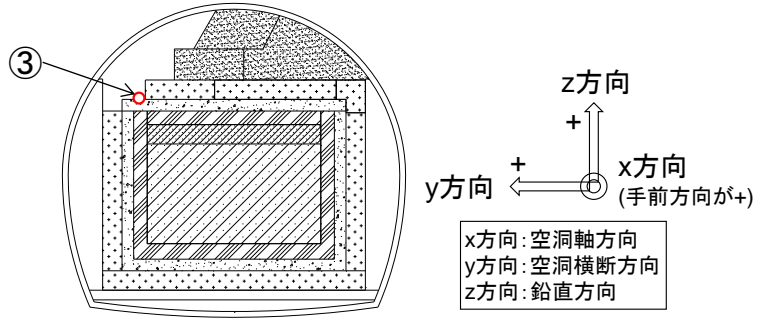
※上から x、y、z 方向

図 4.1-76 地震計①の加速度時刻歴 (2018年1月24日)



※上から x、y、z 方向

図 4.1-77 地震計②の加速度時刻歴 (2018 年 1 月 24 日)



※上から x、y、z 方向

図 4.1-78 地震計③の加速度時刻歴 (2018年1月24日)



### 4.1.3 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 29 年 9 月 11 日～14 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。

静的計測計器点検判定基準を表 4.1-16 に示す。

表 4.1-16 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	5 0 MΩ以上
バラツキ検査	± 5 マイクロ (st) 以内
線間抵抗	赤黒間 350 Ω (±10 Ω 以内) 白緑間 350 Ω (±10 Ω 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) 異常の場合

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)

センサ異常の場合 (異常箇所の記録と報告)

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、正常に動作していることを確認した。



図 4.1-79 分散型温湿度計の点検

(2) 間隙水圧計他点検

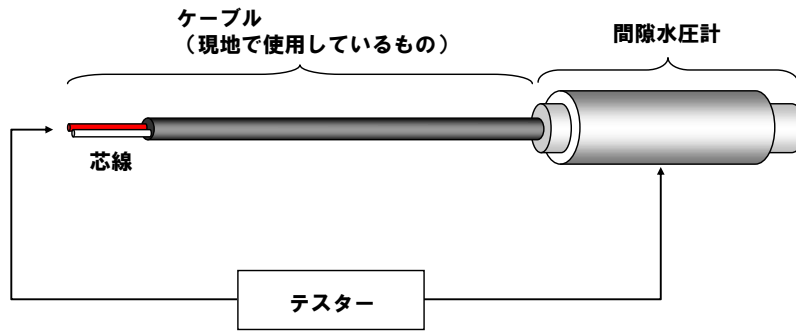
岩盤挙動計測設備の岩盤変位計 (6 個) および間隙水圧計 (31 個) から動作不良な間隙水圧計 12 個を除く 25 個の点検・校正係数の取得 (傾き、大気圧下出力) を実施した。岩盤変位計については「(1) 既設静的設備の保守・点検」で実施した。

実施日：平成 29 年 9 月 11 日～9 月 15 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  $10M\Omega$  とした。絶縁抵抗検査の概要図を図 4.1-80 に示す。



※芯線と間隙水圧計本体との間の抵抗を計測

図 4.1-80 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 4.1-81 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 および試験空洞 D、E の間隙水圧計の仕様を表 4.1-17、計測坑 B の間隙水圧計の仕様を表 4.1-18、使用する圧力校正器の仕様を表 4.1-19 に示す。

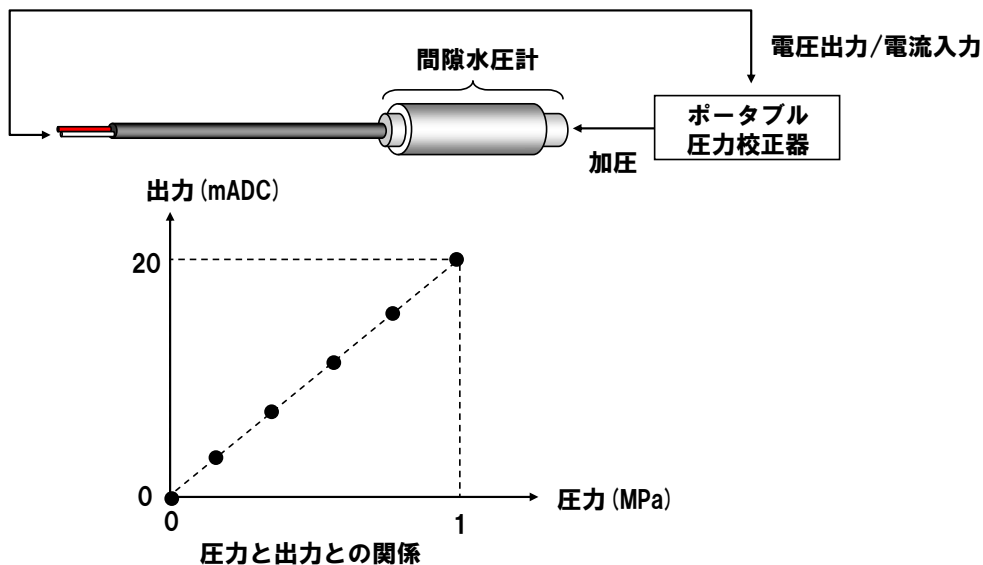


図 4.1-81 出力特性検査の概要図 (計測坑 A、C および試験空洞 D、E の例)

表 4.1-17 間隙水圧計の仕様（計測坑 A、C および試験空洞 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 4.1-18 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 4.1-19 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 4.1-82 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。

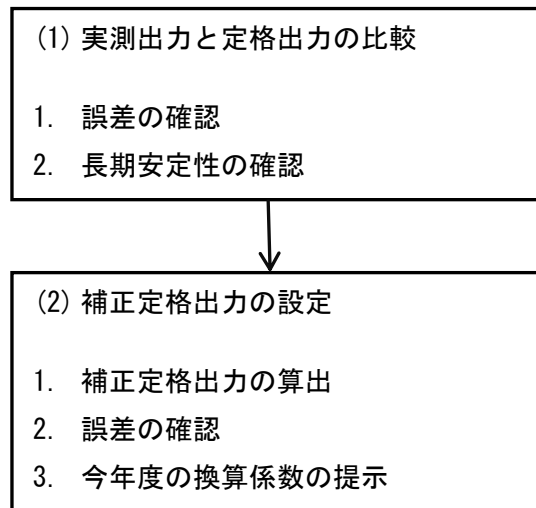


図 4.1-82 出力特性検査結果の評価

まず、(1)実測出力と定格出力の比較では、図 4.1-83 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 4.1-83 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、 $\alpha$ ：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。

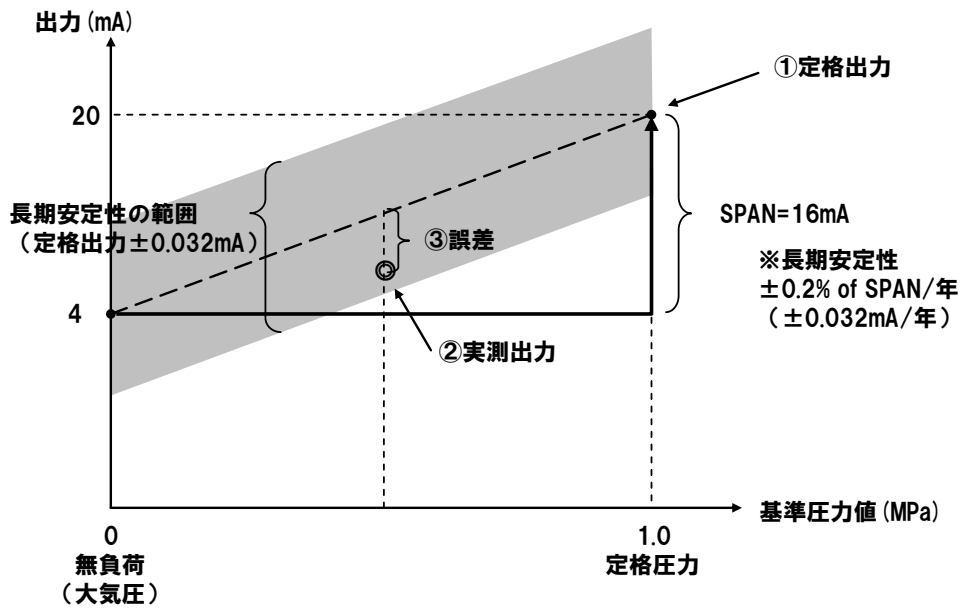


図 4.1-83 間隙水圧計の基本特性 (長期安定性の定義)  
 [計測坑 A、C および試験空洞 D、E の例]

次に(2)補正定格出力の算出では、図 4.1-84 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。

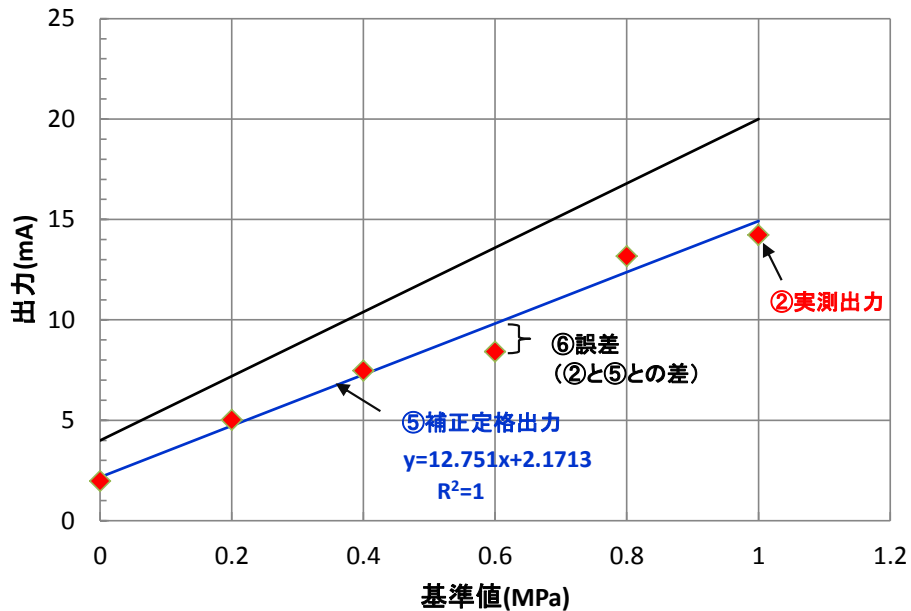


図 4.1-84 補正定格出力の算出

## 2) 点検結果

現地点検作業の実施状況を表 4.1-20 に示す。

原位置の間隙水圧計の取外し時の点検では、ケーブルとの接続部（ねじ部）に乳白色～灰色の細粒物質が付着しており、これが接着剤のような働きをして、ねじが回らず取外しにくい箇所が複数あった。ねじ部から水が浸入し、金属を腐食させたことが要因と考えられた。A-1 孔②区間の間隙水圧計については、これが特に顕著に認められ、端子（ピン）の折れと漏電の跡のような黒色の細粒物質も認められた。端子（ピン）が折れて以後の室内における点検が出来ないこと、および、間隙水圧の経時変化も異常な変動を示していることから、本間隙水圧計は故障とした（図 4.1-85）。

同様に、A-1 孔④区間、⑤区間のケーブルとの接続部についても、図 4.1-86 に示すように乳白色～灰色の細粒物質の付着が認められたが、端子の折れ等の損傷は認められなかったため、本区間については以降の点検を実施した。

表 4.1-20 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	9NA7042001	2009年9月	腐食劣化による 損傷あり	-	-	
			③	-	-	-	-	-	計測対象区間
			④	8NA7063002	2008年8月	腐食劣化あり	異常	検査実施(異常)	
			⑤	8NA7063003	2008年8月	腐食劣化あり	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	正常	検査実施(正常)	
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 (ゼロ出力不安定)	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 (ゼロ出力不安定)	
			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(正常)	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	6NA7091019	2006年11月	正常	正常	検査実施(正常)	
			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	6NA7091026	2006年11月	正常	正常	検査実施 (ゼロ出力不安定)				

※D-1 孔の①区間は、センサーケーブル不良（平成 28 年度の点検）により点検項目から外し、別途計測項目に追加した。

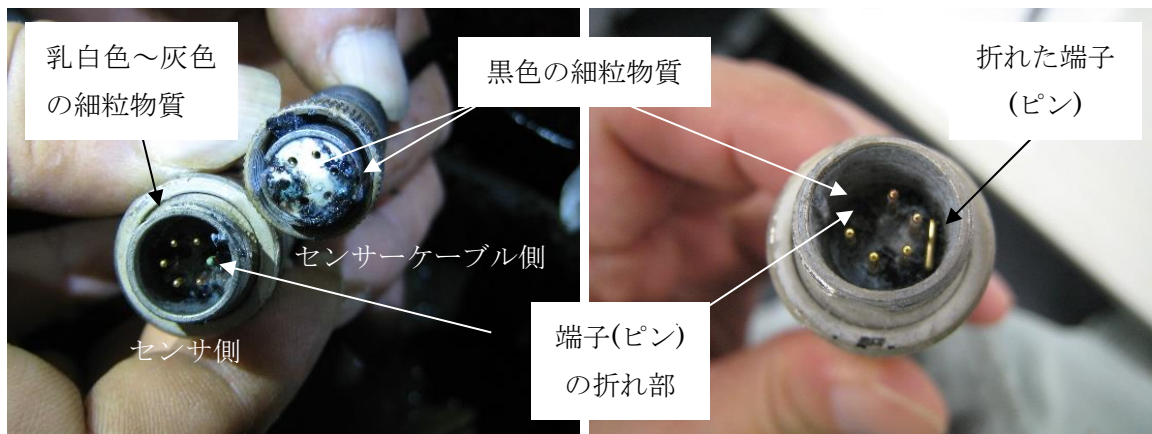


図 4.1-85 間隙水圧計とケーブルの接続部 (A-1 孔②区間)

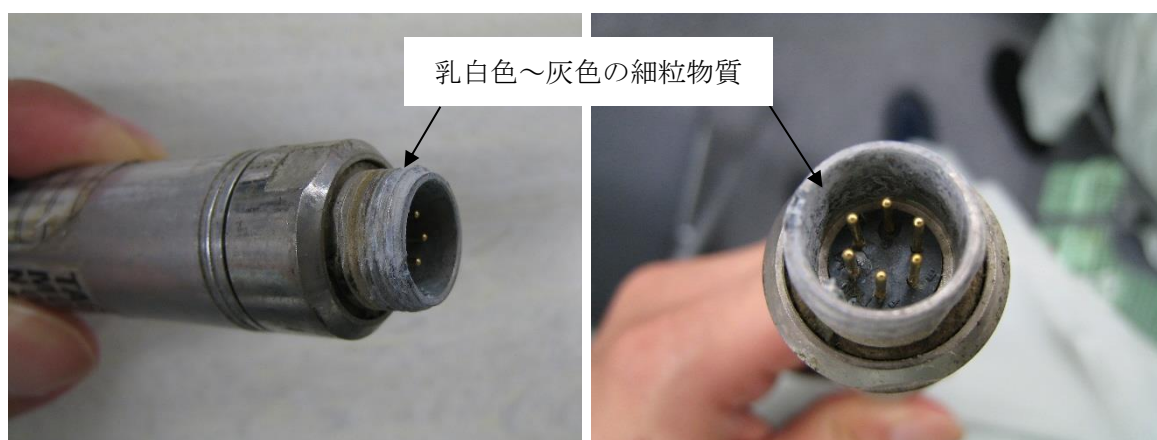


図 4.1-86 間隙水圧計とケーブルの接続部 (A-1 孔④区間)

a. 絶縁抵抗検査

絶縁抵抗検査の結果、A-1 孔④区間の間隙水圧計の絶縁が  $2\text{M}\Omega$  程度以下であり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  $10\text{M}\Omega$  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、A-1 孔②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、A-1 孔の④区間では後述する長期安定性に異常が確認された。また、C-1 孔⑤区間、D-1 孔③区間および E-1 孔⑧区間でゼロ出力が不安定であった。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。



a. 実測出力と定格出力の比較

(a) 計測坑 A、C および試験空洞

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 4.1-87～図 4.1-90 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 ( $\pm 0.2\%FS/\text{年}$ ) 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)

④区間の間隙水圧計は、長期安定性における誤差を超えており異常と認められた。

⑤区間の間隙水圧計においては、基準値(圧力)が高くなるほど誤差がマイナス側に振れるものの、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。

・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、⑥(代替器)、⑦、⑧区間の間隙水圧計については、概ね基準値(圧力)が高くなるほど誤差がマイナス側に振れるものの、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。

・試験空洞 E-1 孔

①、②、③、⑥、⑦、⑧区間の間隙水圧計については、概ね基準値(圧力)が高くなるほど誤差がマイナス側に振れるものの、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。

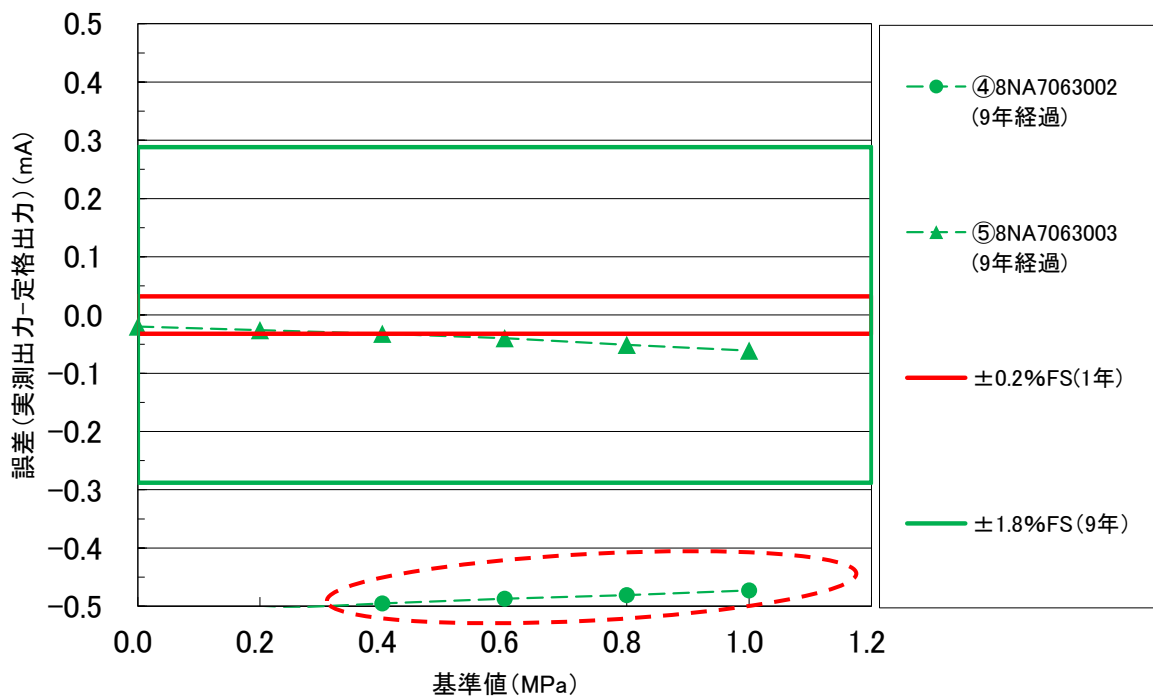


図 4.1-87 出力特性検査の結果 (計測坑 A)

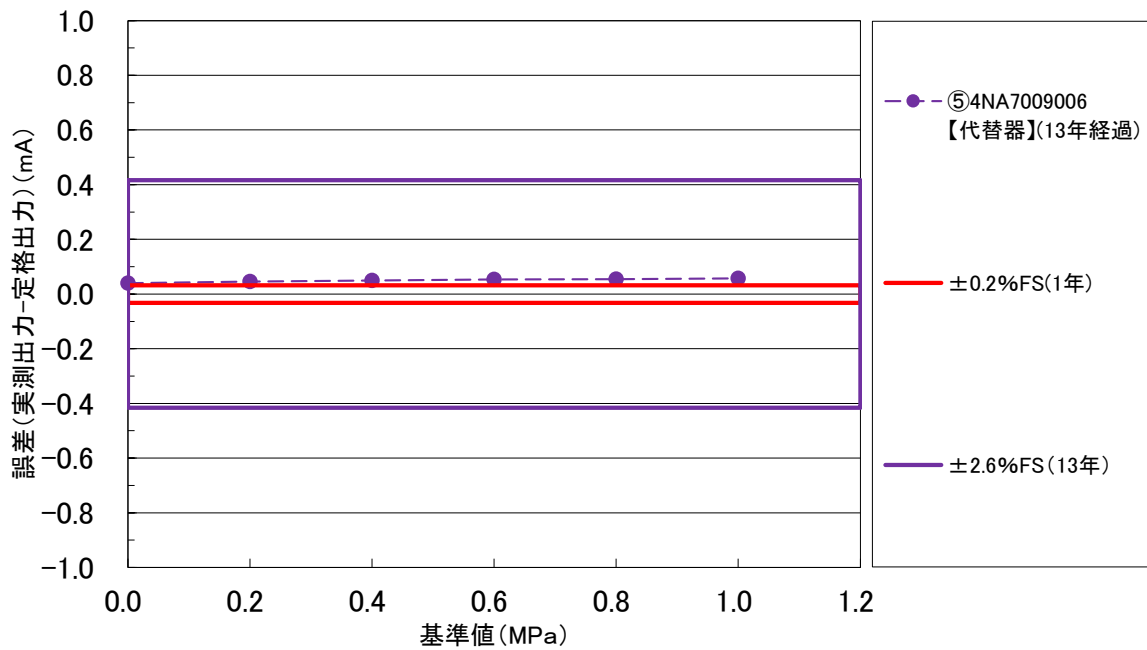


図 4.1-88 出力特性検査の結果 (計測坑 C)

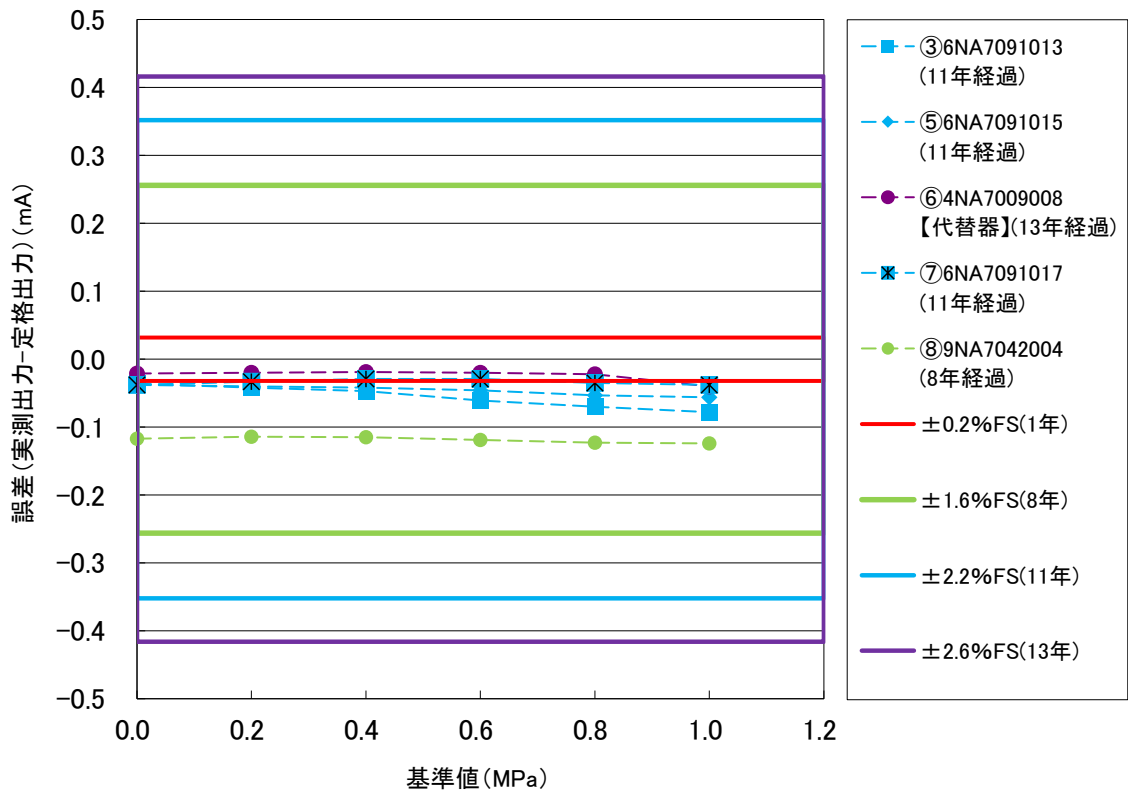


図 4.1-89 出力特性検査の結果（試験空洞（D-1 孔））

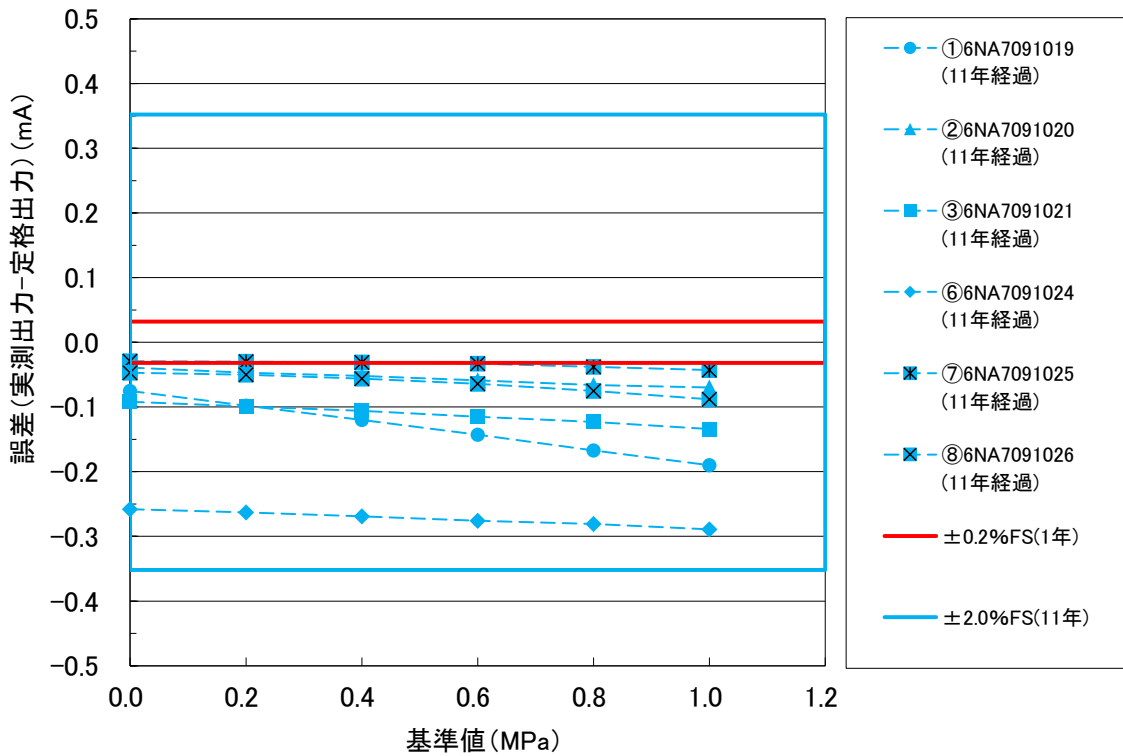


図 4.1-90 出力特性検査の結果（試験空洞（E-1 孔））

(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 4.1-91 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 ( $\pm 0.4\%FS/年$ ) 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 4.1-91 に示すとおり、B-1 孔の①、③、⑤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。

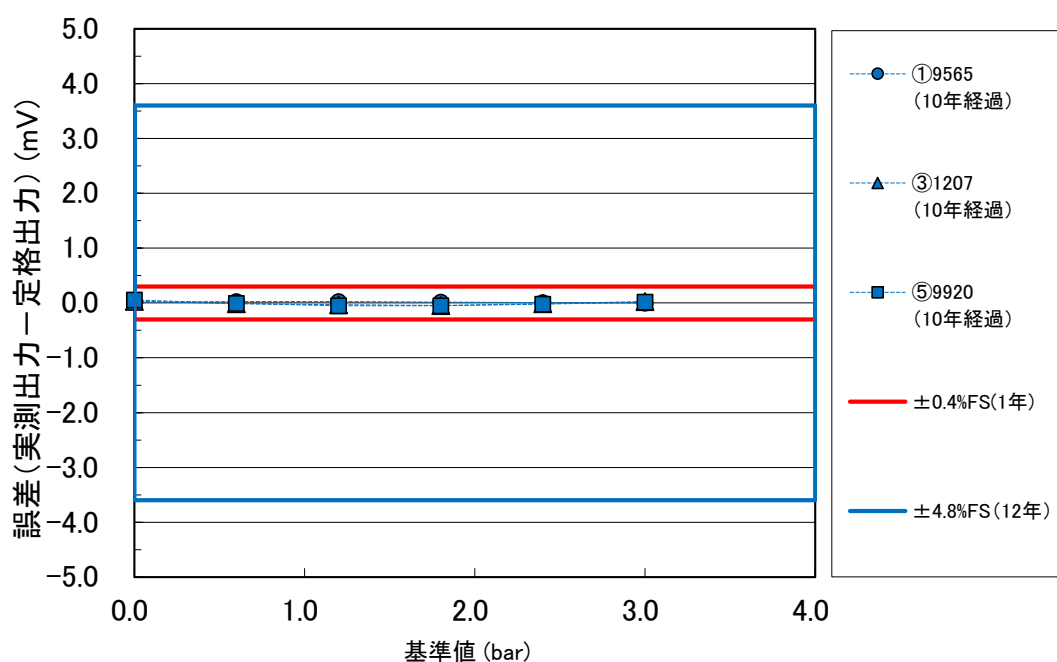


図 4.1-91 出力特性検査の結果 (計測坑 B)

b. 補正定格出力の算出

図 4.1-84 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 4.1-93 から図 4.1-96 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、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。

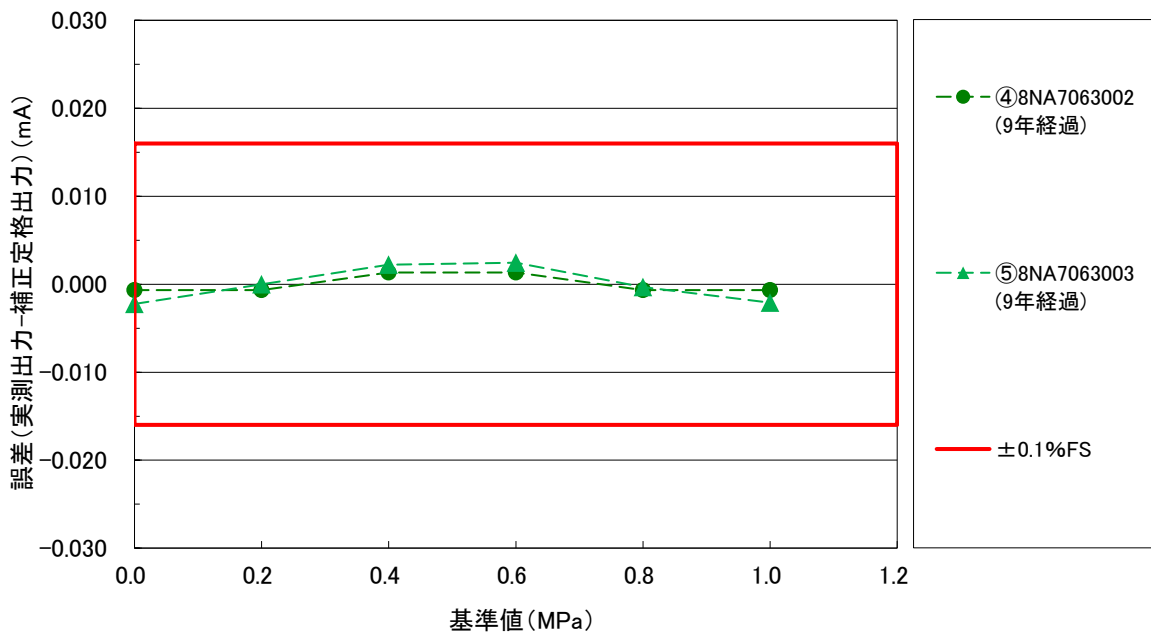


図 4.1-92 基準値と誤差 (実測出力-補正定格出力) [計測坑 A]

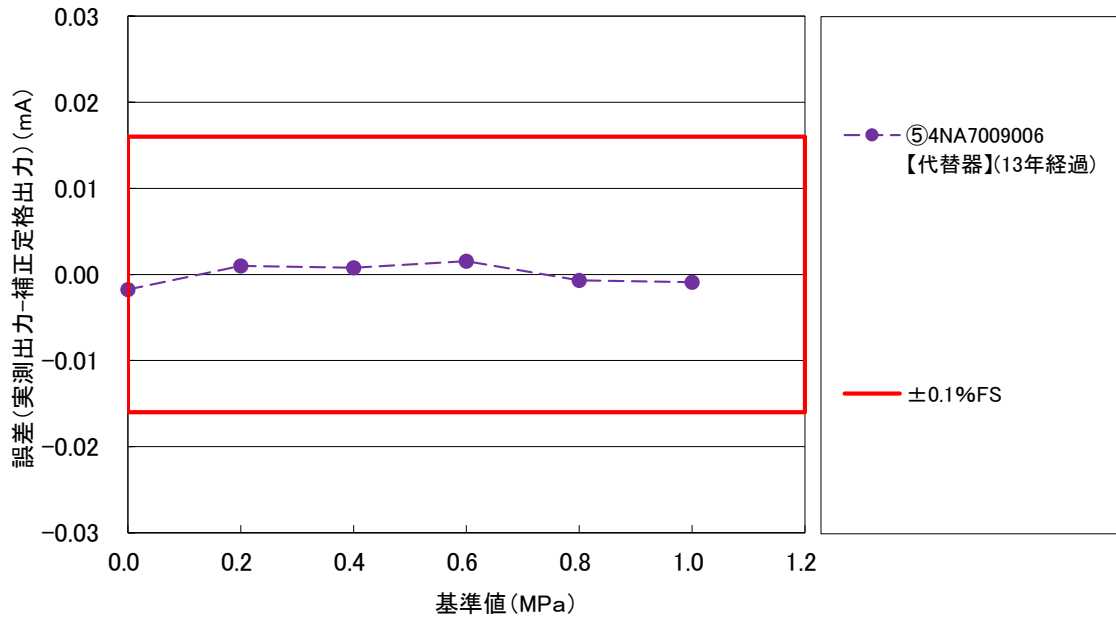


図 4.1-93 基準値と誤差 (実測出力-補正定格出力) [計測坑 C]

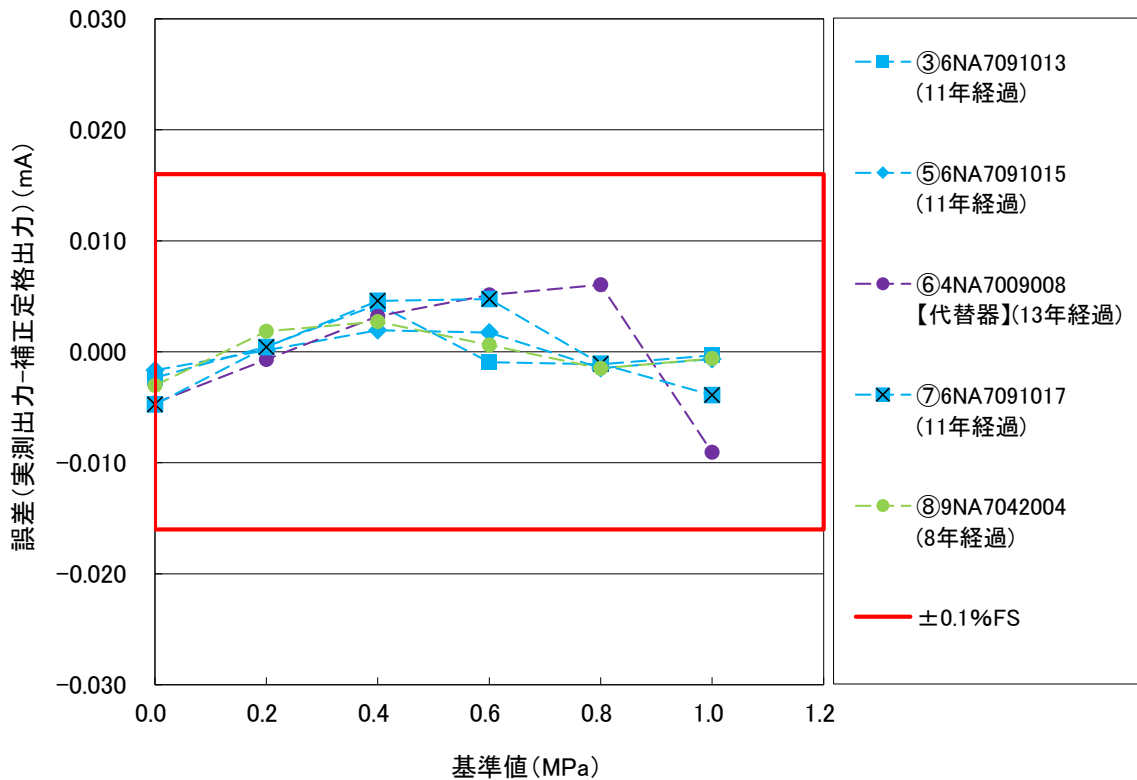


図 4.1-94 基準値と誤差 (実測出力-補正定格出力) [試験空洞 D-1 孔]

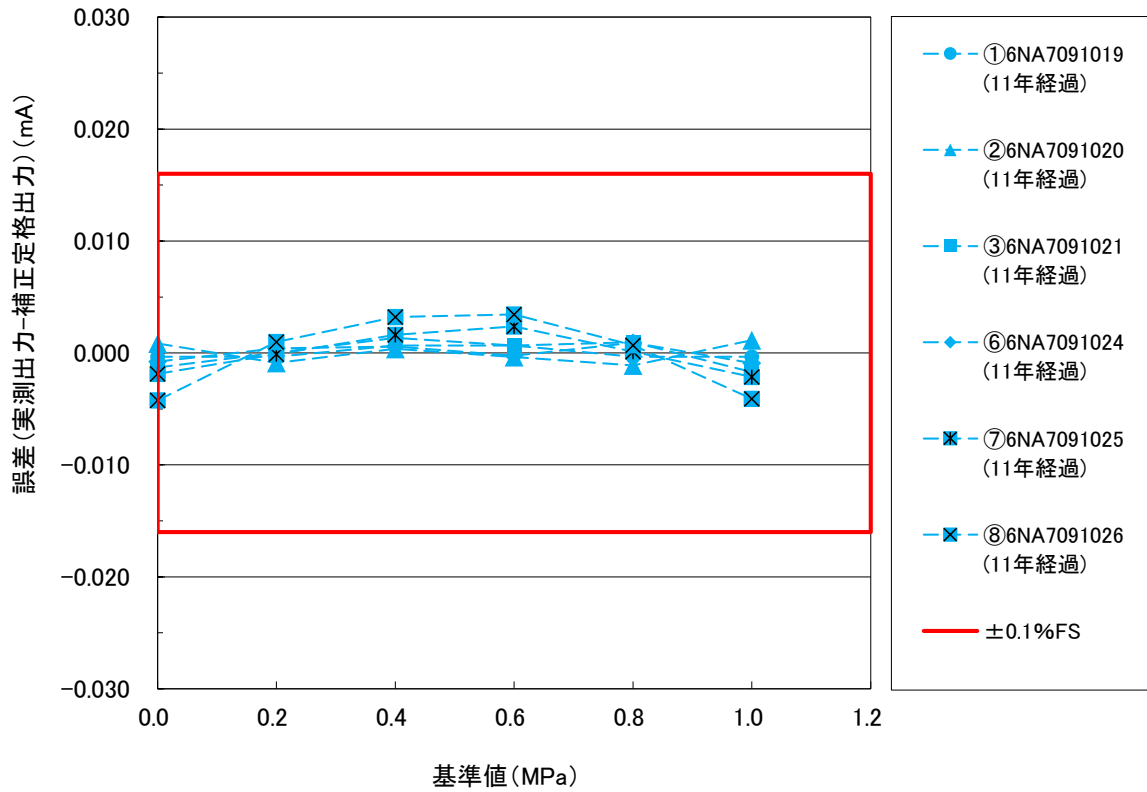


図 4.1-95 基準値と誤差 (実測出力-補正定格出力) [試験空洞 E-1 孔]

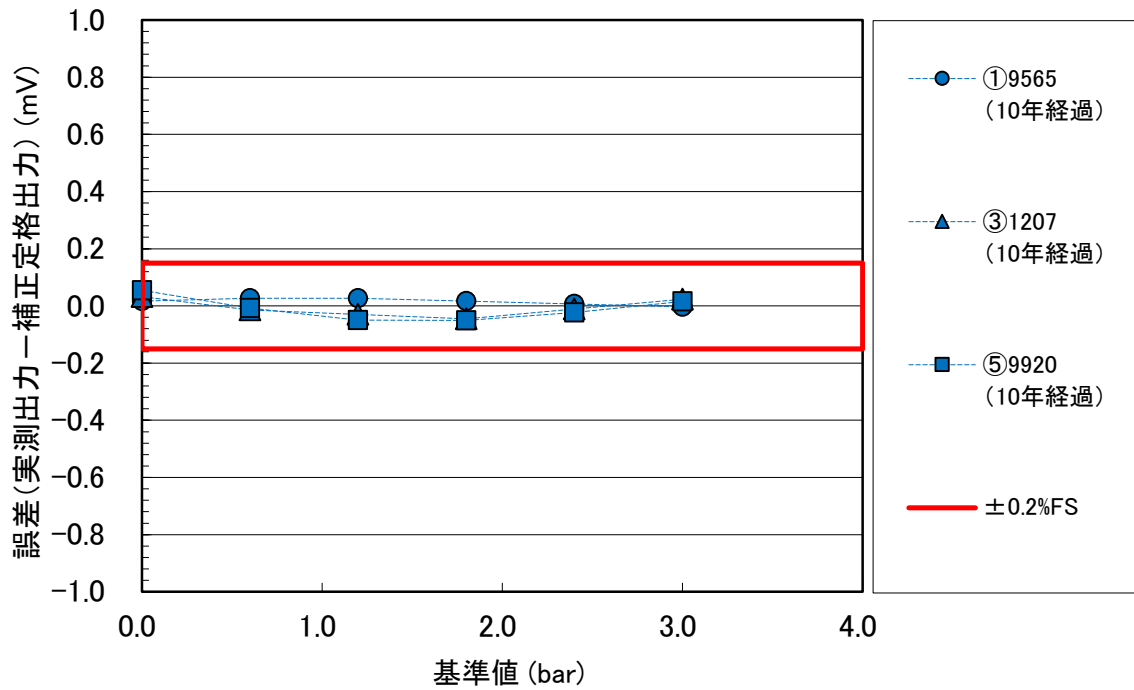


図 4.1-96 基準値と誤差 (実測出力-補正定格出力) [計測坑 B]

#### 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、2016年10月1日～2017年9月12日までの各孔の間隙水圧の経時変化を図 4.1-97～図 4.1-101 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を以下に示す。

- ・ A-1 孔②区間（孔壁から 13.50m～15.00m 区間）

2016年11月頃からデータの安定性が悪く、11月は15～70m程度上昇する乱れが確認された。その後安定したものの、2017年5月以降は5～10m程度上下に乱れながら40m程度上昇し、7月末に一旦低下したが、すぐに70m以上上昇し、平均EL-15m程度付近を中心に上下に30m程度激しく振れた状態で9月に至る。2016年11月の段階で既に間隙水圧計とケーブルの接続部から水が浸入し、損傷に至ったものと考えられる。

- ・ A-1 孔④区間（孔壁から 17.50m～18.00m 区間）

昨年設置直後からデータの安定性が悪く、所々で1～2m程度上下に激しく振れながら大きく乱れたものの、全体に正常な水位から概ね5m程度上昇した水位（EL-75m付近）で落ち着いた傾向を示す。②区間と同様に2016年11月頃から間隙水圧計とケーブルの接続部から水が浸入し、損傷に至ったものと考えられる。

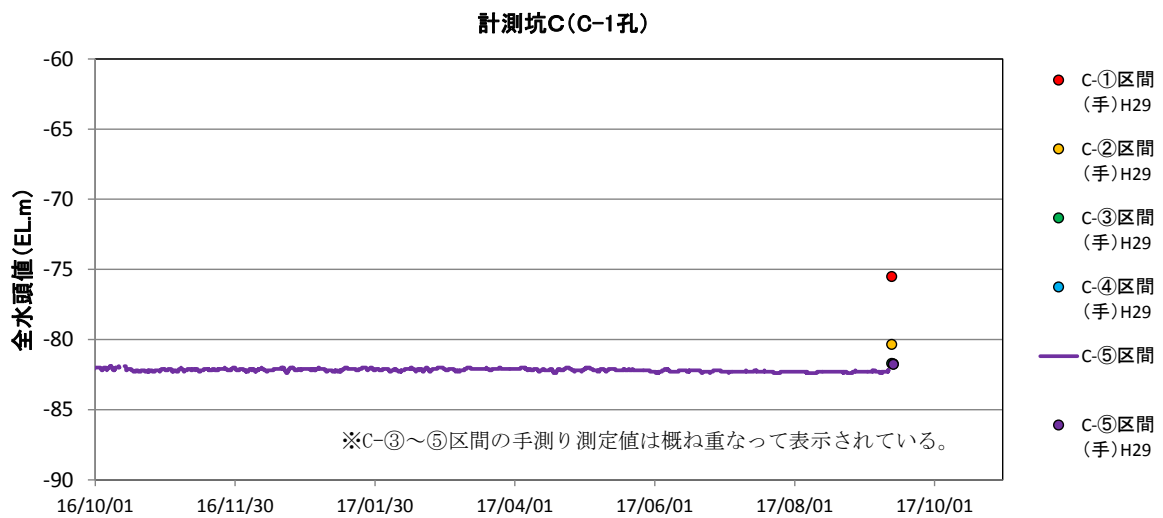
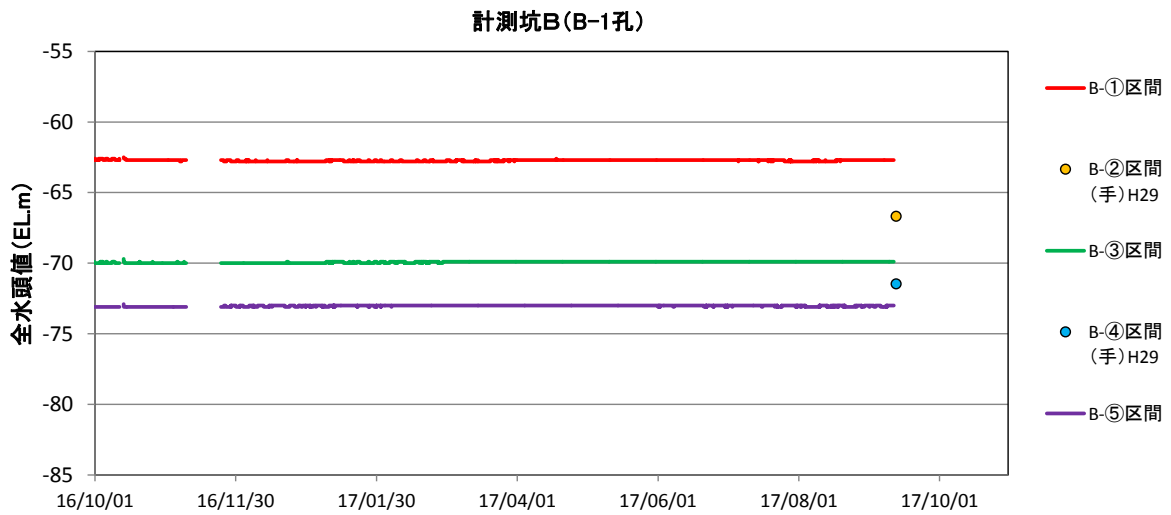
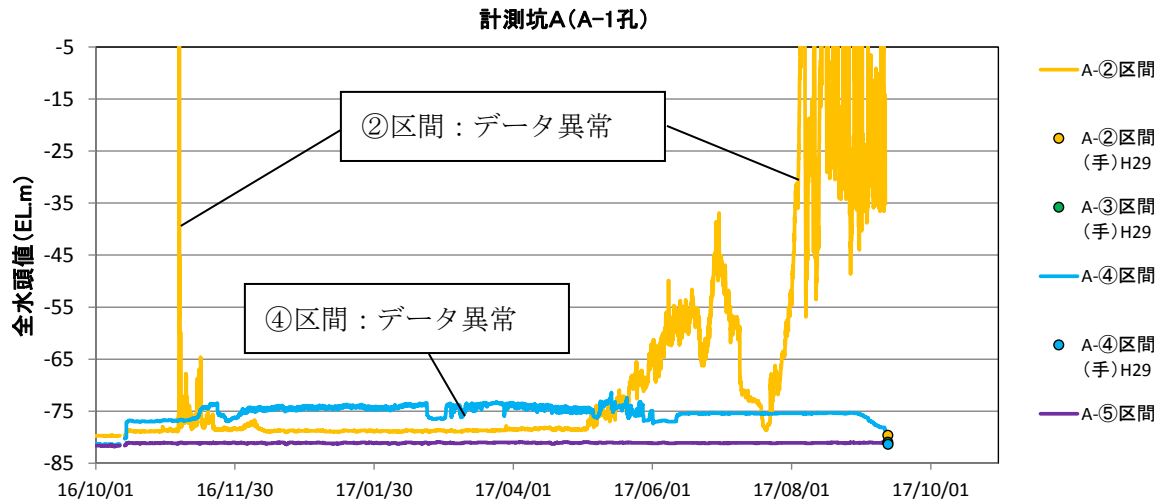
- ・ E-1 孔①区間（妻壁から 0.50m～1.00m 区間）

本区間は一昨年頃からデータの安定性が悪く、所々で1～2m程度上下に激しく振れながら大きく乱れたものの、全体に正常な水位から概ね7m程度上昇した水位（EL-73m付近）で落ち着いている傾向を示した。間隙水圧計自体の点検に異常は認められないことから、ケーブルの不良と考えられる。

- ・ E-1 孔⑧区間（妻壁から 15.00m～19.00m 区間）

2016年10月末から徐々に上昇し始め12月中旬以降はEL-63m程度で推移していたものの2017年7月末以降EL-54mまでさらに上昇した。間隙水圧計の点検では出力特性検査においてゼロ出力値に不安定な傾向が認められ、昨年の設置後すぐにその影響が出現したと考えられる。





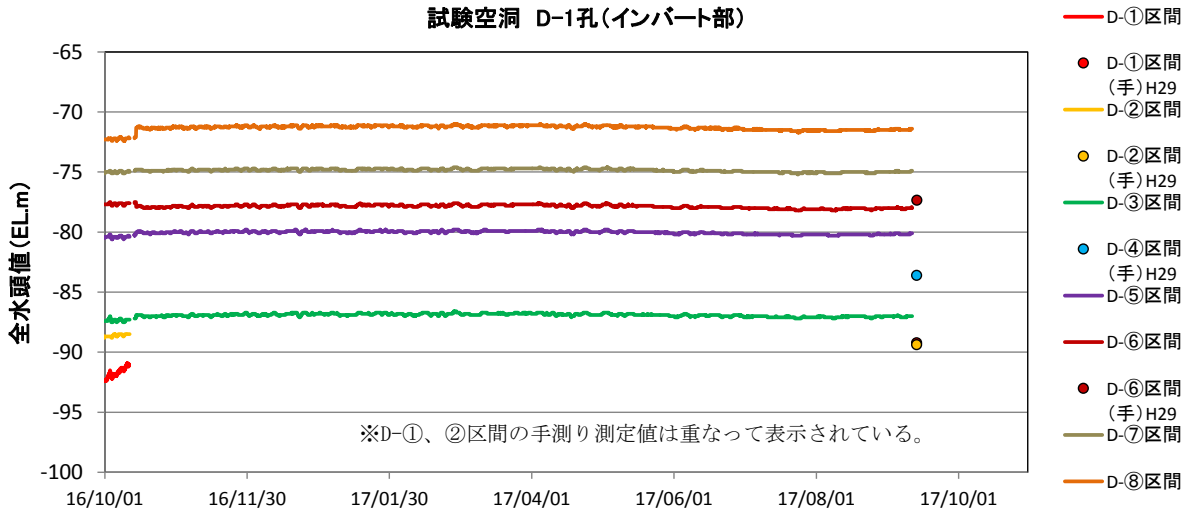


図 4.1-100 試験空洞 (D-1 孔) における間隙水圧継時変化

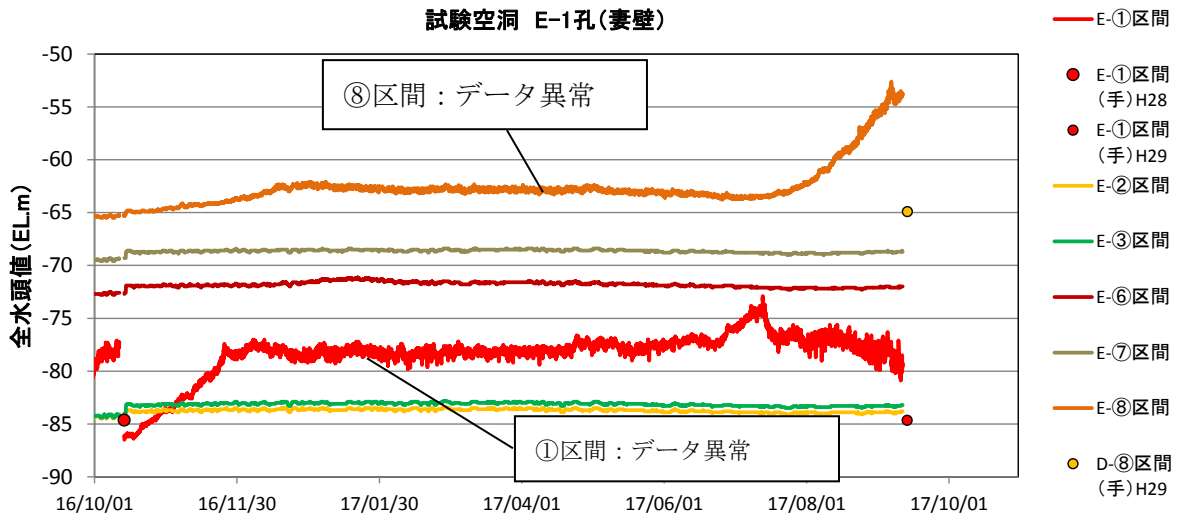


図 4.1-101 試験空洞 (E-1 孔) における間隙水圧継時変化

### 5) センサーケーブルの点検

間隙水圧計の点検で異常が認められず、間隙水圧の経時変化で異常な変動（データ）が認められた E-1 孔①区間については、ケーブル不良の疑いが考えられたため、絶縁抵抗計を用いてケーブルの絶縁状態を確認した（図 4.1-102、図 4.1-103）。

この結果、間隙水圧計（圧力計）から接続ボックス間のケーブルに絶縁不良は認められなかったが、接続ボックスからロガー間のケーブルに絶縁不良が認められた。したがって、E-1 孔①区間で認められたデータ異常は、ケーブルの絶縁不良によって発生しているものと判断された。計測器設置当初に敷設した予備のケーブルについても同様の絶縁不良が確認されたため、監理員の指示により本区間における計測を中止した。

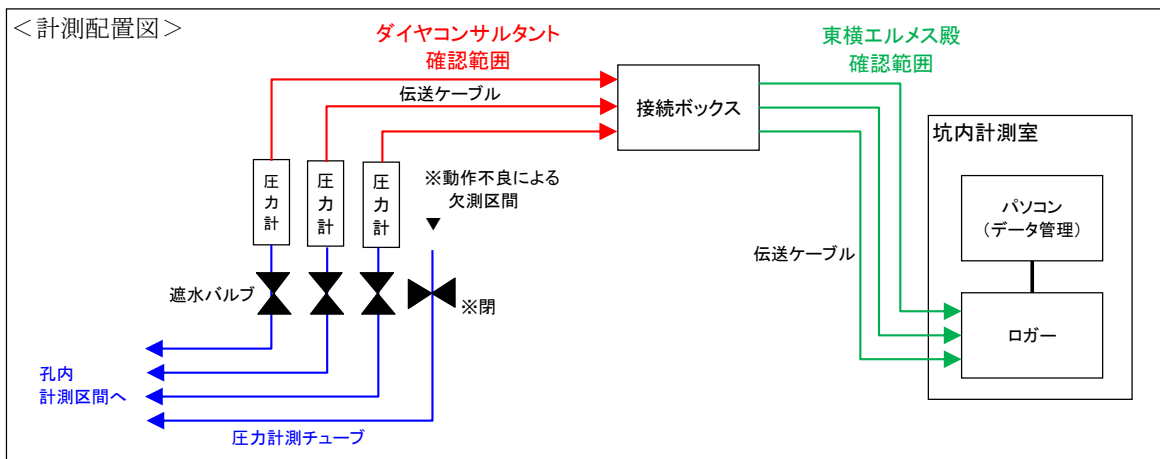


図 4.1-102 計測配置図と点検状況



図 4.1-103 接続ボックス地点におけるケーブル点検状況

## 6) 点検結果のまとめ

現地点検作業結果のまとめを表 4.1-21 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センサの出力特性に劣化がはじまっ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

#### ・ A-1 孔②区間（坑壁から 13.50m～15.00m 区間）

計測データ（間隙水圧の経時変化）の異常、間隙水圧計のケーブル接続部の腐食、および、端子部（ピン）が劣化し、折れていたため、絶縁抵抗検査および出力特性検査の実施が不可であり、故障と判断した。

#### ・ A-1 孔④区間（坑壁から 17.50m～18.00m 区間）

計測データ（間隙水圧の経時変化）の異常および間隙水圧計の絶縁不良（2MΩ程度以下）が認められたことから故障と判断した。

#### ・ E-1 孔⑧区間（妻壁から 15.00m～19.00m 区間）

計測データ（間隙水圧の経時変化）の異常および出力特性検査におけるゼロ出力が不安定（上昇傾向）であったことから、故障と判断した。

### b. 要経過観察

#### ・ C-1 孔⑤区間（坑壁から 18.50m～19.00m 区間）

出力特性検査におけるゼロ出力が不安定（上昇傾向）であったが、計測データ（間隙水圧の経時変化）およびその他の点検における異常は認められなかった。出力が不安定であることは故障または故障の予兆であるものの、現時点で正常に計測できていることもあり要経過観察とした。

#### ・ D-1 孔③区間（底盤から 2.50m～3.00m 区間）

C-1 孔⑤区間と同様に、出力特性検査におけるゼロ出力が不安定（上昇傾向）であったが、計測データ（間隙水圧の経時変化）およびその他の点検における異常は認められなかった。出力が不安定であることは故障または故障の予兆であるものの、現時点で正常に計測できていることもあり要経過観察とした。

### c. 連続計測中止区間

・ E-1 孔①区間（坑壁から 0.50m～1.00m 区間）

間隙水圧計の点検では特に異常は認められなかったものの、計測データ（間隙水圧の経時変化）で異常な変動が認められ、間隙水圧計ケーブルの絶縁不良が認められたこと（予備ケーブルについても絶縁不良が確認されている）から、連続計測を中止した。

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 4.1-22 にまとめた。

表 4.1-21 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 水圧挙動	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					
計測坑A	A-1	-83.55	①	10.00 ~ 12.50	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)		
				13.50 ~ 15.00	9NA7042001	2009年9月	計測不能	計測不能	計測不能	不良	異常あり	故障	撤去		
				16.00 ~ 17.00	0NA8012001	2010年10月	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)
				17.50 ~ 18.00	8NA7063002	2008年8月	異常あり	異常あり	異常なし	不良	異常あり	故障	撤去		
				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		
				13.50 ~ 15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				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		
				17.50 ~ 18.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				18.50 ~ 19.00	9920	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		
計測坑C	C-1	-83.55	①	10.00 ~ 12.50	9NA7042002	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)		
				13.50 ~ 15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				16.00 ~ 17.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				17.50 ~ 18.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				18.50 ~ 19.00	4NA7009006	2004年	異常なし	異常なし	ゼロ出力不安定	良好	異常なし	要経過観察	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	-	-	-	-	-	-	-		
				1.50 ~ 2.00	6NA7091012	2006年11月	-	-	-	-	-	-	-	-	
				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		
				4.00 ~ 5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				6.00 ~ 7.50	6NA7091015	2006年11月	異常なし	異常なし	ゼロ出力不安定	良好	異常なし	要経過観察	現状のまま		
				8.50 ~ 10.50	4NA7009008	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	
				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		
				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	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常あり	異常なし	撤去	ケーブル絶縁不良	
				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)。	
				2.50 ~ 3.00	6NA7091021	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		
				4.00 ~ 5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				6.00 ~ 7.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
			②	8.50 ~ 10.50	6NA7091024	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		
				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		
				15.00 ~ 19.00	6NA7091026	2006年11月	異常なし	異常なし	ゼロ出力不安定	良好	異常あり	故障	撤去		

表 4.1-22 平成 29 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	-	-	-	-	-	-	-	故障	2009年9月	水の浸入跡あり	
			③	16.00 ~ 17.00	-83.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			④	17.50 ~ 18.00	-83.73	-	-	-	-	異常	×	○	故障	2008年8月	水の浸入跡あり	
			⑤	18.50 ~ 19.00	-83.73	8NA7063003	6.390E-02	409.7	正常	○	○	○	○	2008年8月	水の浸入跡あり	
計測坑B	B-1	-54.65	①	10.00 ~ 12.50	-67.08	9565	0.398	1.002	正常	○	○	○	2006年11月	-		
			②	13.50 ~ 15.00	-69.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			③	16.00 ~ 17.00	-71.43	12071	0.390	0.675	正常	○	○	○	○	2006年11月	-	
			④	17.50 ~ 18.00	-72.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			⑤	18.50 ~ 19.00	-73.21	9920	0.405	1.071	正常	○	○	○	○	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】	6.367E-02	415.6	正常	○	△ ゼロ出力不安定	△	要経過 観察	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	6.391E-02	405.7	正常	○	△ ゼロ出力不安定	△	要経過 観察	2006年11月	-	
			④	4.00 ~ 5.00	-89.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			⑤	6.00 ~ 7.50	-89.40	6NA7091015	6.381E-02	405.9	正常	○	○	○	○	2006年11月	-	
			⑥	8.50 ~ 10.50	-89.40	4NA7009008 【代替器】	6.379E-02	407.8	正常	○	○	○	○	2004年	-	
			⑦	11.50 ~ 14.00	-89.40	6NA7091017	6.373E-02	409.4	正常	○	○	○	○	2006年11月	-	
			⑧	15.00 ~ 19.00	-89.40	9NA7042004	6.377E-02	399.7	正常	○	○	○	○	2009年9月	-	
	E-1	-84.40	①	0.50 ~ 1.00	-89.50	6NA7091019	6.419E-02	528.8	正常	○	○	計測中止	2006年11月	サケケーブル絶縁異常		
			②	1.50 ~ 2.00	-89.50	6NA7091020	6.386E-02	406.1	正常	○	○	○	2006年11月	-		
			③	2.50 ~ 3.00	-89.50	6NA7091021	6.390E-02	403.0	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	6.385E-02	382.4	正常	○	○	○	○	2006年11月	-	
⑦	11.50 ~ 14.00	-89.50	6NA7091025	6.379E-02	394.9	正常	○	○	○	○	2006年11月	-				
⑧	15.00 ~ 19.00	-89.50	6NA7091026	-	-	-	-	正常	○	△ ゼロ出力不安定	故障	2006年11月	-			

### (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。

また、試験空洞側壁に設置している、センサーケーブル仮置き用の棚を撤去した。それに伴い、棚に置いているセンサーケーブルについても使用の有無を選別して、使用しないものは撤去した。

#### 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 29 年 9 月 11 日

##### a. スwitchボックス～静的計測用 PC 間

###### (a) 点検機器

スイッチボックス（ひずみ発生器および電流・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する。作業状況を図 4.1-104 に示す。



図 4.1-104 スwitchボックスでの模擬入力状況

###### (c) 点検結果

点検結果を表 4.1-23 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 4.1-23 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
1164	RD-③12-02	$1000 \times 10^{-6}$	$999 \times 10^{-6}$	$(1000 \pm 5) \times 10^{-6}$	○
1277	U-O-9-U	$1000 \times 10^{-6}$	$999 \times 10^{-6}$	$(1000 \pm 5) \times 10^{-6}$	○
1309	T-O-1-O	$1000 \times 10^{-6}$	$999 \times 10^{-6}$	$(1000 \pm 5) \times 10^{-6}$	○
1376	T-H-3-O-V	$1000 \times 10^{-6}$	$999 \times 10^{-6}$	$(1000 \pm 5) \times 10^{-6}$	○

b. 無停電装置

現場計測室の無停電装置のバッテリーを交換した。



図 4.1-105 無停電装置の交換

2) センサーケーブルおよび仮置き用棚の撤去

センサーケーブルおよび仮置き用棚を撤去した。

実施日：平成 29 年 9 月 12 日～15 日

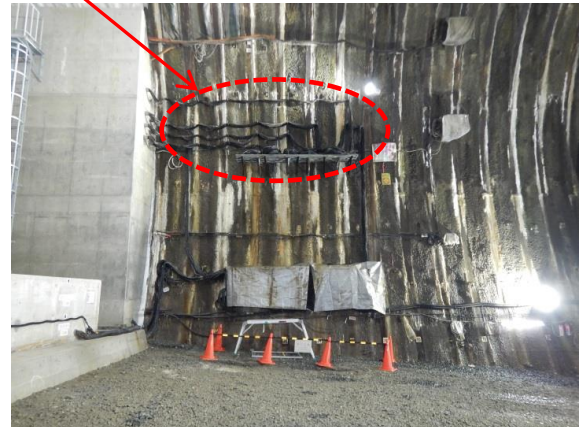
a. 撤去前後の状況

撤去前後の状況を図 4.1-106～図 4.1-107 に示す。

センサーケーブルおよび仮置き用棚

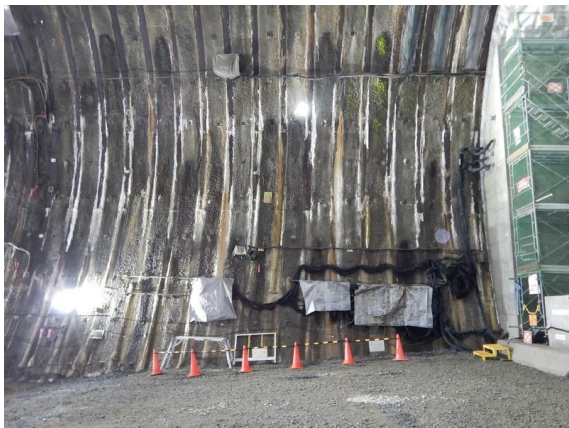


(1) 左側

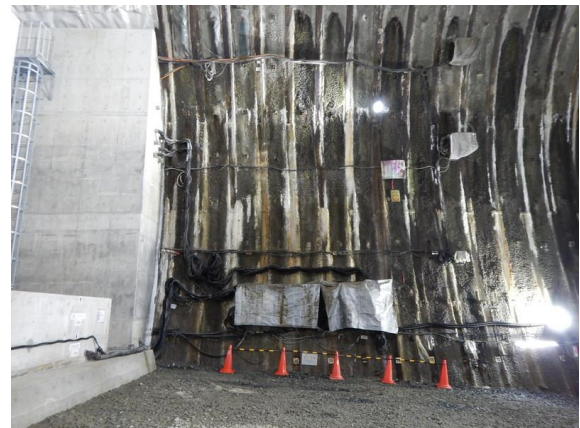


(2) 右側

図 4.1-106 撤去前の状況



(1) 左側



(2) 右側

図 4.1-107 撤去後の状況

#### b. ケーブル先端の養生

撤去したケーブルの先端は、止水処理のため、図 4.1-108 または図 4.1-109 に示す手順で養生を行った。図 4.1-108 は、約 50 本のケーブルの束を全て撤去する場合、図 4.1-109 は、束の内一部だけを撤去する場合である。

養生の状況を図 4.1-110 に示す。

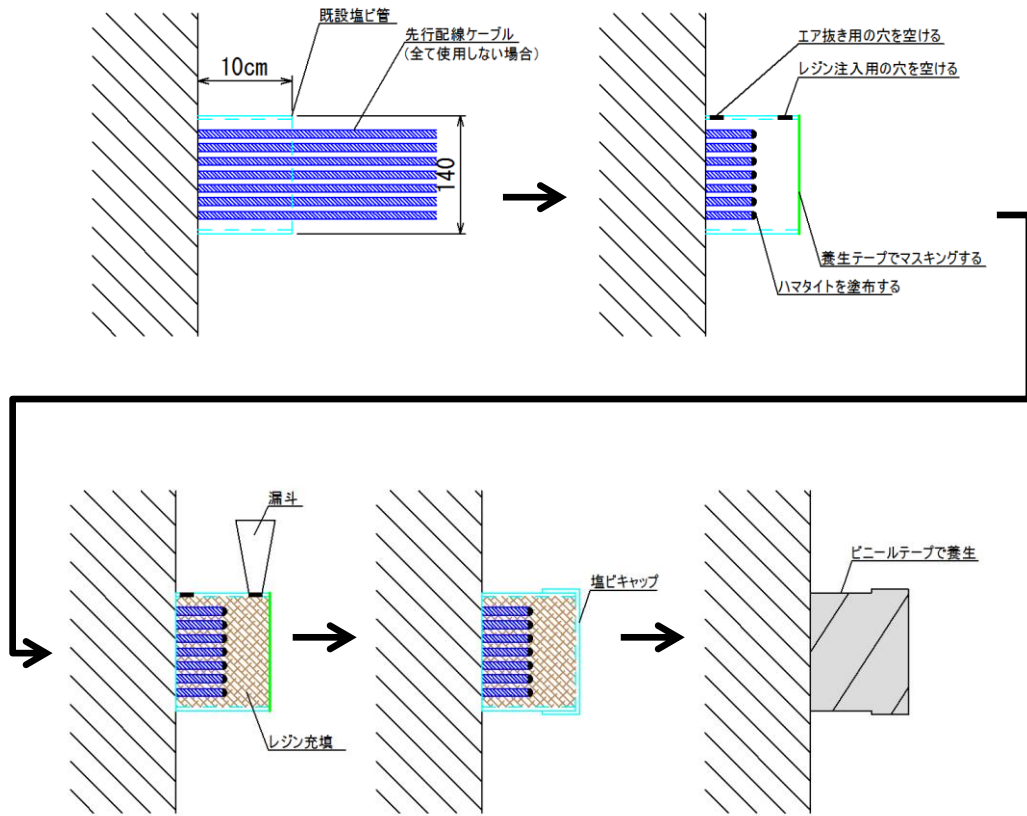


図 4.1-108 ケーブル先端の養生手順 (全て撤去の場合)

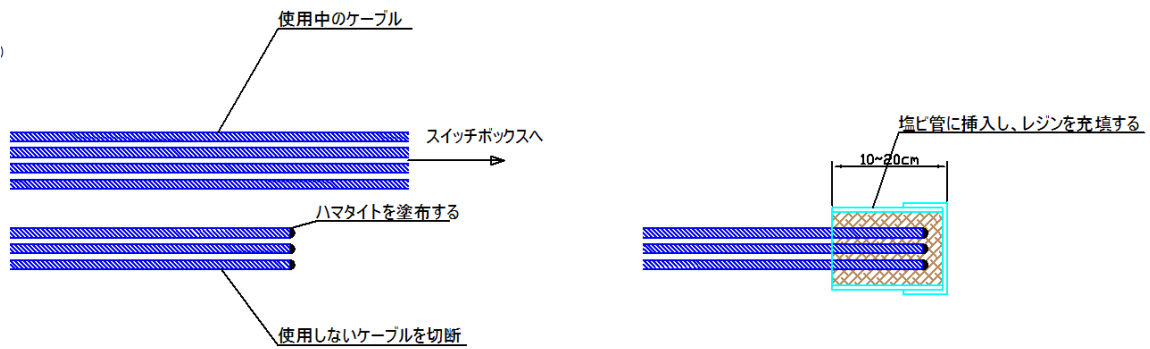


図 4.1-109 ケーブル先端の養生手順 (一部撤去の場合)



図 4.1-110 ケーブル先端の養生状況

#### 4.1.4 まとめ

既設計測器およ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、既設計測器および計測用機器（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。

また、試験空洞側壁に設置していた、センサーケーブル仮置き用の棚を撤去し、それに伴い、棚に置いているセンサーケーブルについても使用の有無を選別して、今後使用しないものは撤去した。

## 4.2 既存施設の計測調査データの評価

### 4.2.1 施設・岩盤挙動計測データの分析・評価

ひずみ計等の実規模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および湿度の経時変化の傾向に着目し分析評価を行う。

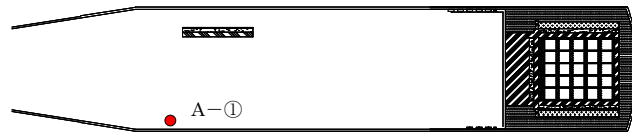
##### 【まとめ】

- ・ 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 29 年 2～3 月の冬季期間では 10.0～10.6℃で、平成 29 年 7～8 月の夏季期間では 15.2～18.3℃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 20%未満であるが、それ以外では日最低湿度が小さく、湿度の差が 30%を越える日が見られる。

#### 1) 坑内の気温および湿度

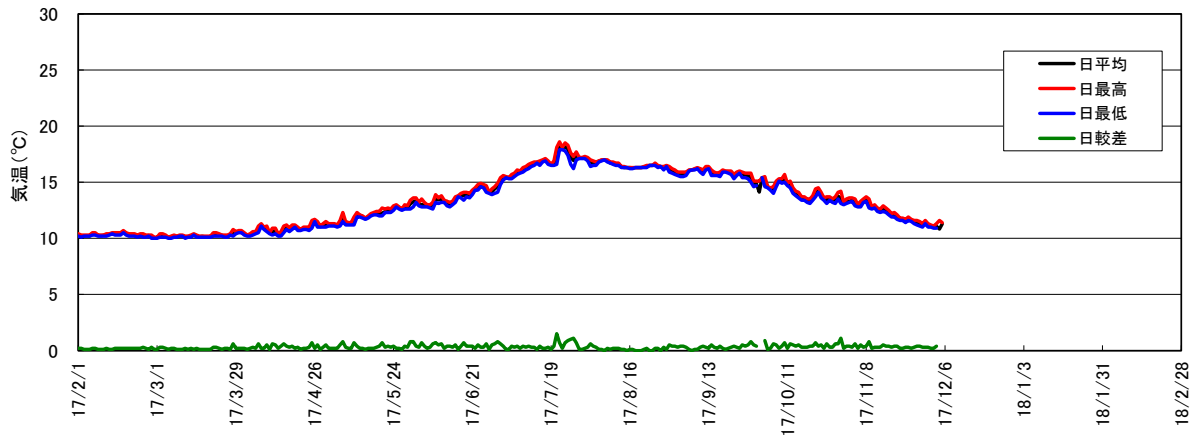
本試験における環境計測は、百葉箱温湿度計 1 基 (A-①) による空洞手前で計測を行っている。以下、平成 29 年 2 月から平成 29 年 12 月までの環境計測結果の分析結果について以下に示す。

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 4.2-1 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 29 年 2～3 月の冬季期間では 10.0～10.6℃で、平成 29 年 7～8 月の夏季期間では 15.2～18.3℃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 20%未満であるが、その他の時期においては日最低湿度が小さく、湿度の差が 30%を越える日が見られる。



平面図

百葉箱気温



百葉箱湿度

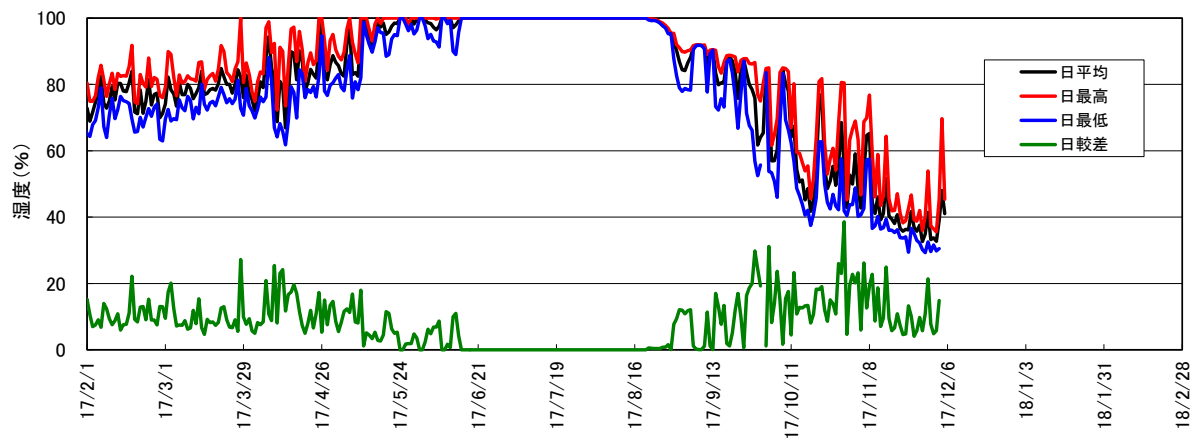


図 4.2-1 坑内気温・湿度の経時変化 (百葉箱温湿度計 A-①)



## (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およ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、上部埋戻し材およ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 0.14 (mm/°C) 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。

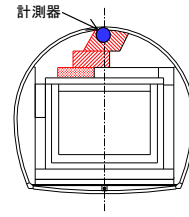
#### 1) 計測結果・分析

計測を開始した平成 26 年 9 月から平成 29 年 12 月までの沈下計および温度計の計測結果を図 4.2-2～図 4.2-3 に示す。

図 4.2-2 に示すように、沈下量は、計測開始後の上部埋戻し材およ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 4.2-2 と図 4.2-3 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 4.2-4 に示す。図 4.2-4 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（緑色、茶色の凡例）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 0.14 (mm/°C) 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 4.2-2 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

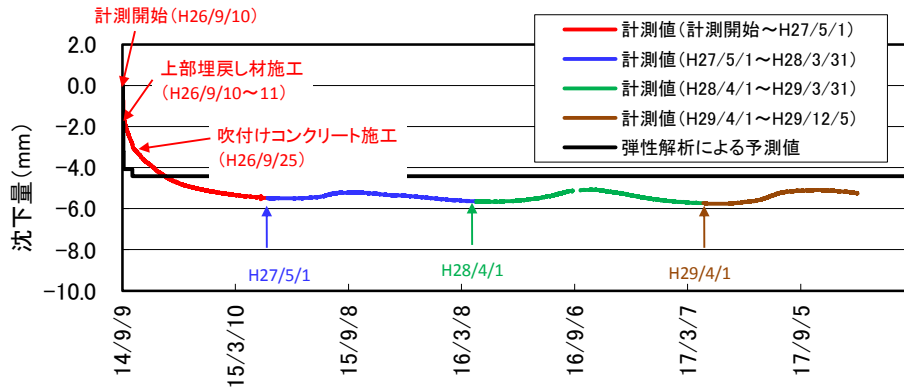


図 4.2-2 沈下計測結果

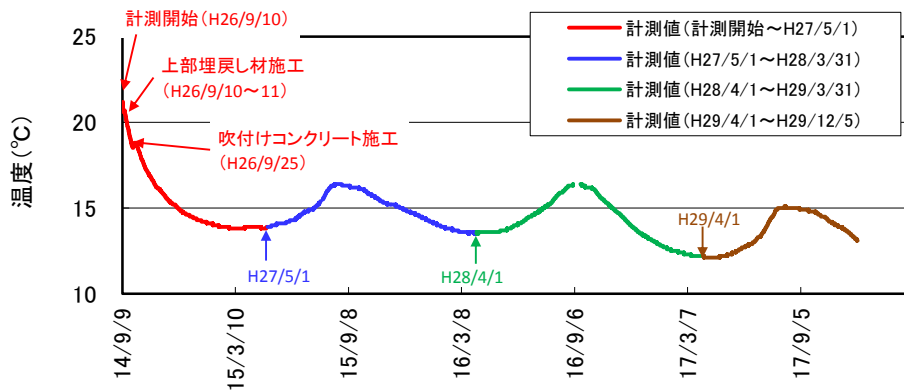


図 4.2-3 温度計測結果



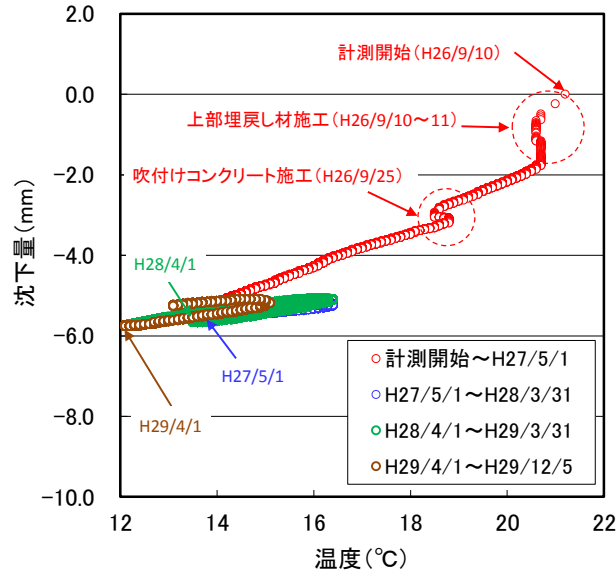


図 4.2-4 沈下量と温度の関係

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 4.2-2 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 4.2-5 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 0.17mm 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。

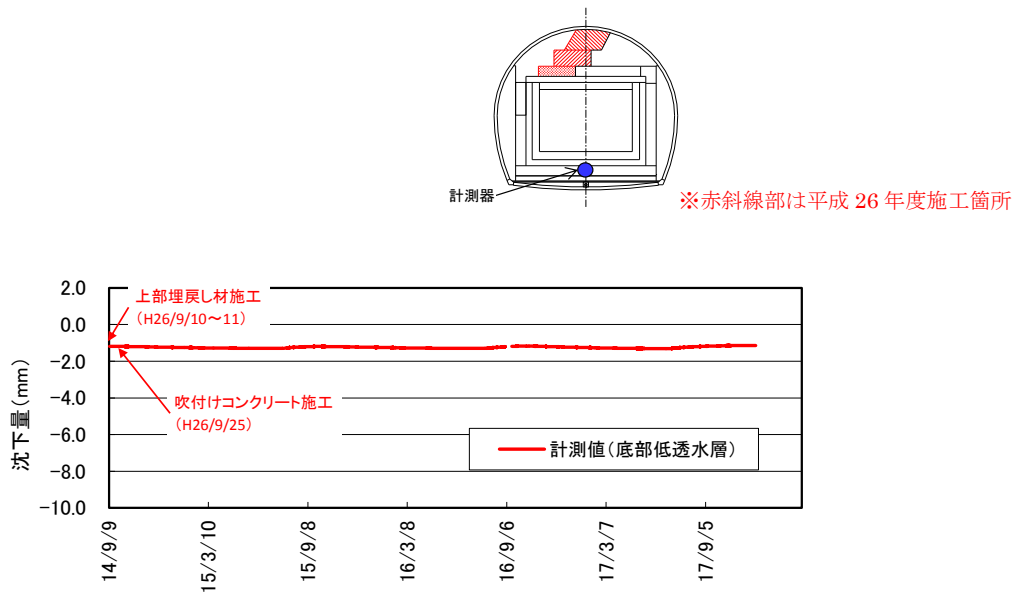


図 4.2-5 底部低透水層の沈下計計測結果

### (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。

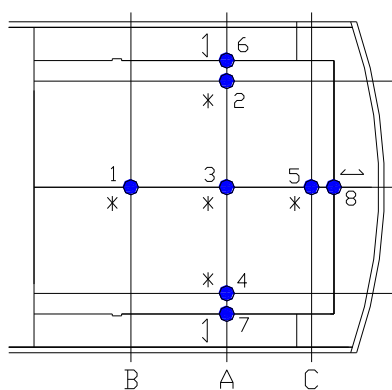
平成 26 年度までで試験施設の施工は終了しており、今年度は施工による上載荷重は変化していないが、低透水層にはクリープ的な挙動もこれまで確認されているため、底部低透水層に作用する土圧や沈下計による計測挙動を分析し、施工終了後の力学的安定性を確認する。

#### 【まとめ】

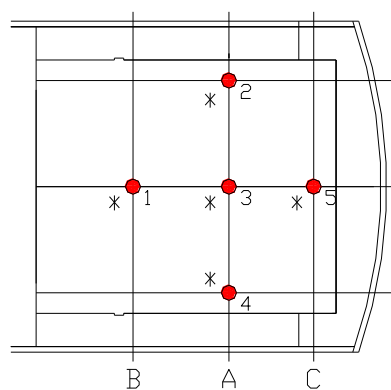
- ・今年度に生じた土圧最大値は  $0.14\text{N/mm}^2$  (A 断面左側) で、平成 22 年度に確認された最大値  $0.21\text{N/mm}^2$  より小さい値であった。また、過年度の最大値  $0.21\text{N/mm}^2$  では、底部低透水層の極限支持力  $1.85\text{N/mm}^2$  と比較して小さい。平成 24 年以降は、施設左側の土圧計は僅かな減少傾向が見られるのに対して、右側は僅かな増加傾向が見られ、これは試験施設の構成が左右対称ではないことにより、底部低透水層に均一に土圧が作用していないためであると推察される。
- ・今年度の沈下量の変動は最大  $0.06\text{mm}$  程度と小さい。
- ・現状の上載荷重に対して、土圧および沈下量の変化は、上載圧から推測される土圧量および 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 4.2-6～図 4.2-7 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-O（○は上記番号）



計器番号：B-T-O（○は上記番号）

1～5：底部埋戻し材との界面

6,7：側部 " 水平

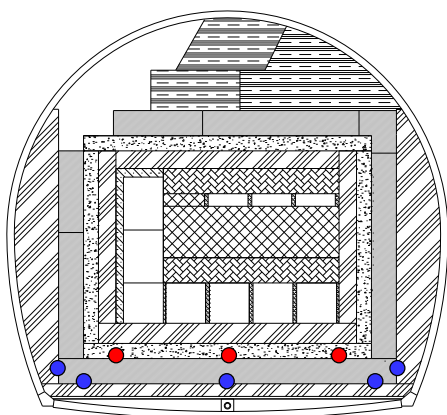
8：奥部 " 鉛直

\*：鉛直

(1) 土圧計

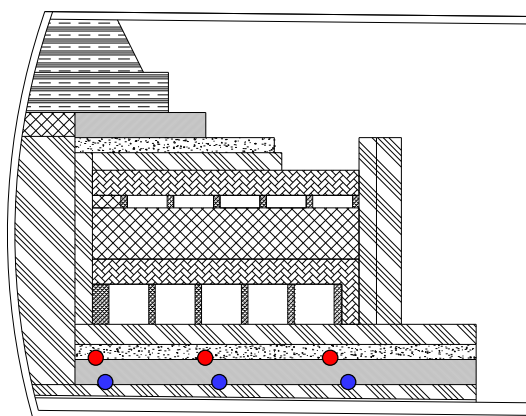
(2) 沈下計

図 4.2-6 土圧計・沈下計設置位置図（平面図）



●：土圧計 ●：沈下計

(1) 横断面図



●：土圧計 ●：沈下計

(2) 縦断面図

図 4.2-7 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 4.2-1 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/mm<sup>2</sup>）である。

表 4.2-1 底部低透水層の上載荷重一覧

施工年度	No.	部材	単位重量 <sup>※3</sup> (tf/m <sup>3</sup> )	寸法			重量 (MN)	累計重量 (MN)	上載圧 <sup>※1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	累計上載圧 (N/mm <sup>2</sup> )	
				幅 (m)	奥行き (m)	高さ (m)					
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 29 年 2 月 1 日～平成 29 年 12 月 5 日の土圧計計測値の経時変化を図 4.2-8、図 4.2-9 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 4.2-10 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 29 年 2 月 1 日からの増分を表 4.2-2 に示す。今年度の増分は最大 0.004N/mm<sup>2</sup> であった。また、A 断面左側の計器で最大値 0.14N/mm<sup>2</sup> 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<sup>2</sup> 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認試験の施設・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<sup>2</sup> と設定[1]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 29 年 12 月 5 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 4.2-11 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 4.2-1 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 29 年 12 月現在で左側（B-D-2）が右側（B-D-4）より  $0.013\text{N/mm}^2$  大きくなっている。

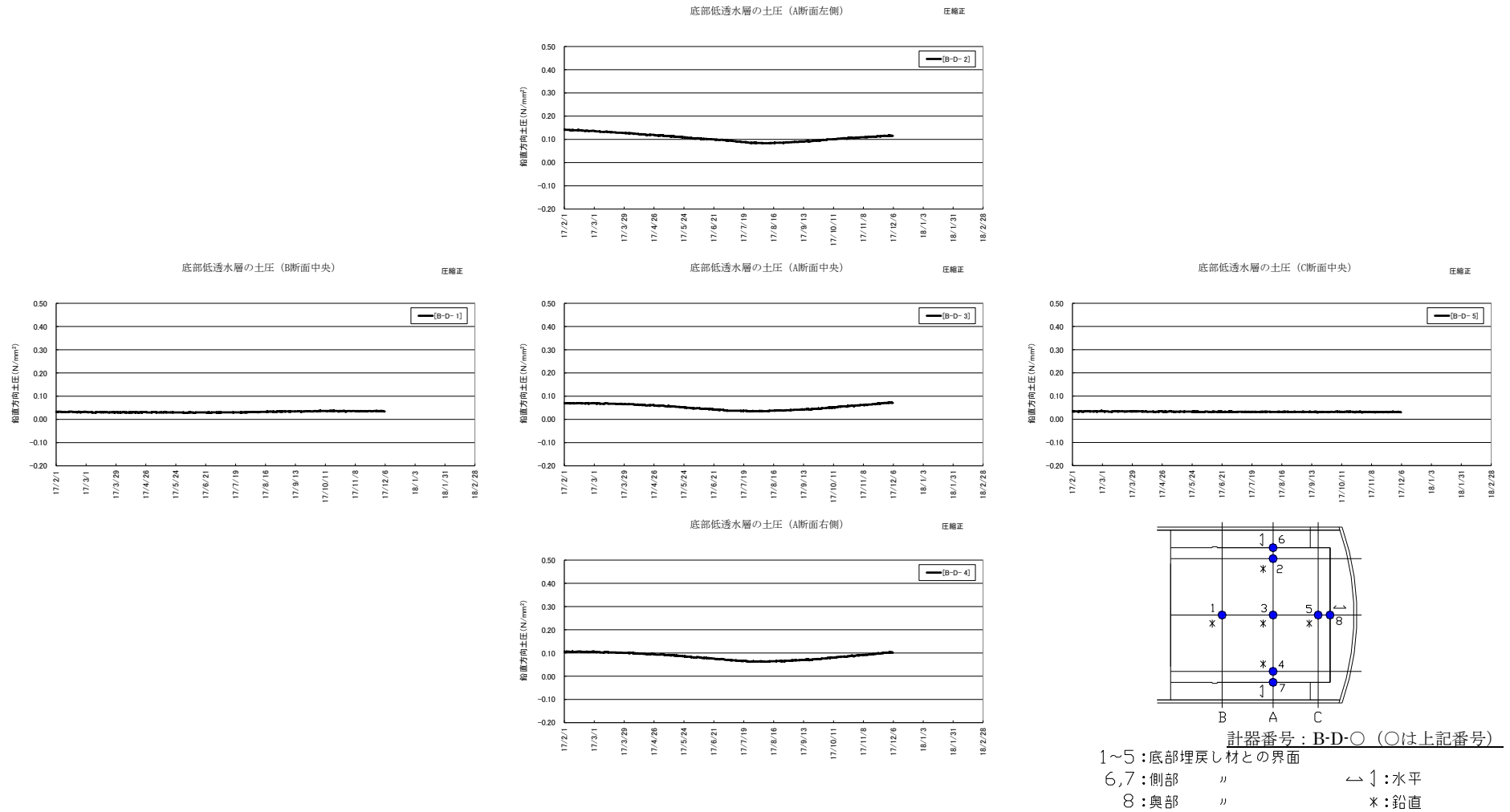
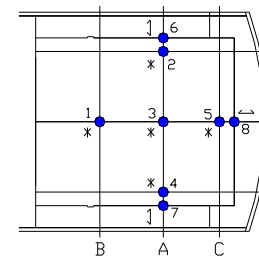
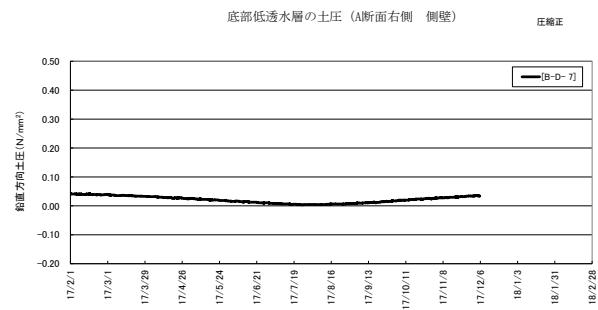
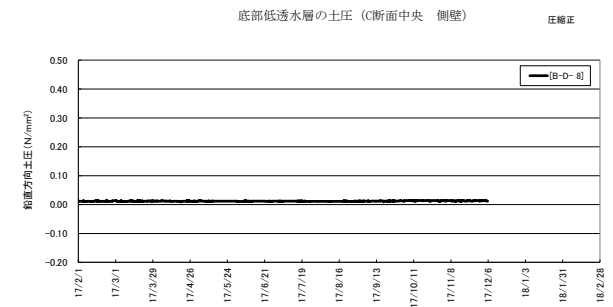
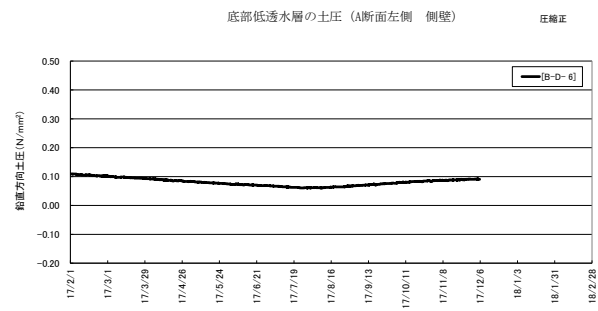


図 4.2-8 底部低透水層 土圧計測結果 (鉛直方向)



計器番号: B-D-○ (○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

図 4.2-9 底部低透水層 土圧計計測結果 (水平方向)

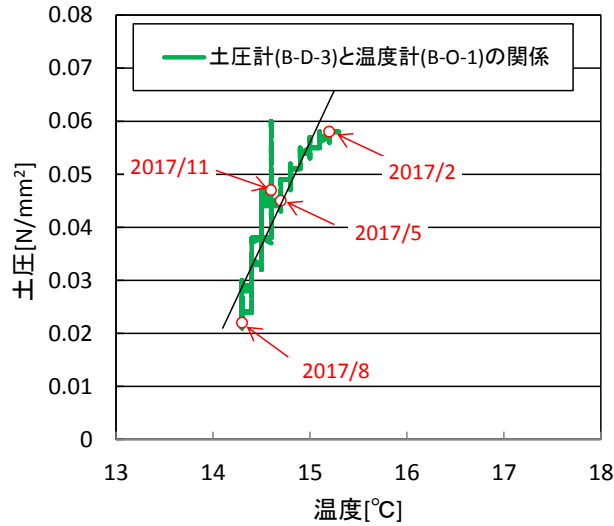


図 4.2-10 土圧計測値と温度計測値の関係 (平成 29 年 2 月 1 日～平成 29 年 12 月 5 日)

表 4.2-2 最大土圧一覧 (平成 29 年 2 月 1 日～平成 29 年 12 月 5 日)

	鉛直土圧					水平土圧		
	B断面中央 [B-D-1]	A断面左側 [B-D-2]	A断面中央 [B-D-3]	A断面右側 [B-D-4]	C断面中央 [B-D-5]	A断面左側壁 [B-D-6]	A断面右側壁 [B-D-7]	C断面中央壁 [B-D-8]
最大土圧(H29/2/1～H29/12/5)	0.037	0.142	0.073	0.106	0.035	0.109	0.042	0.014
H29/2/1の土圧	0.033	0.142	0.070	0.106	0.034	0.109	0.042	0.011
増分	0.004	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.003

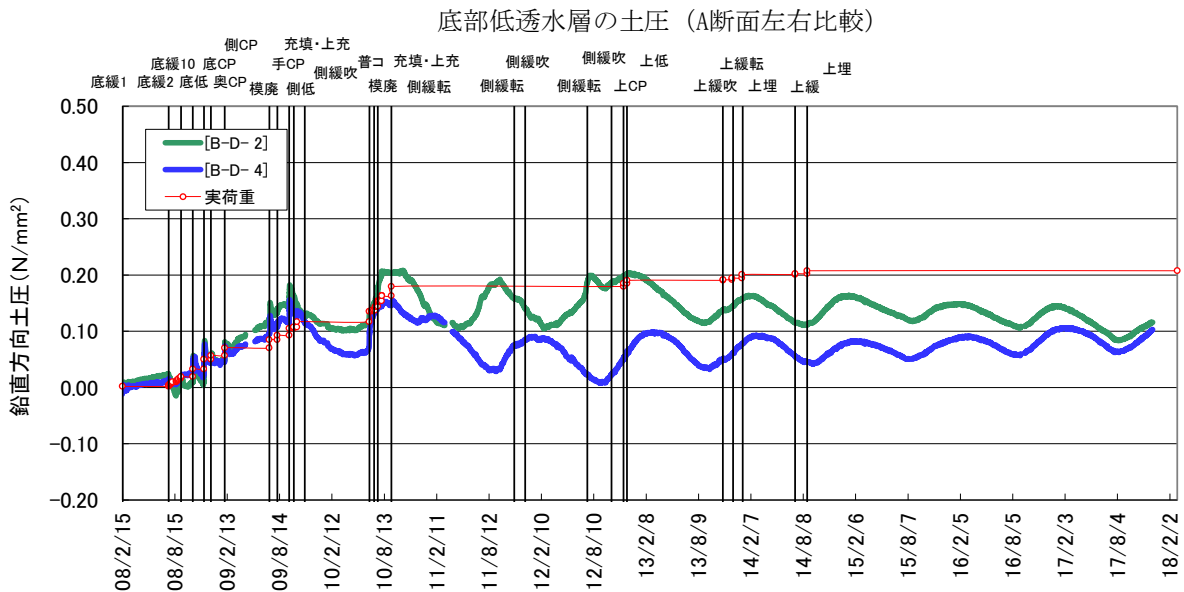


図 4.2-11 土圧計経年変化 (A断面左右、平成 20 年 2 月 15 日～平成 29 年 12 月 5 日)



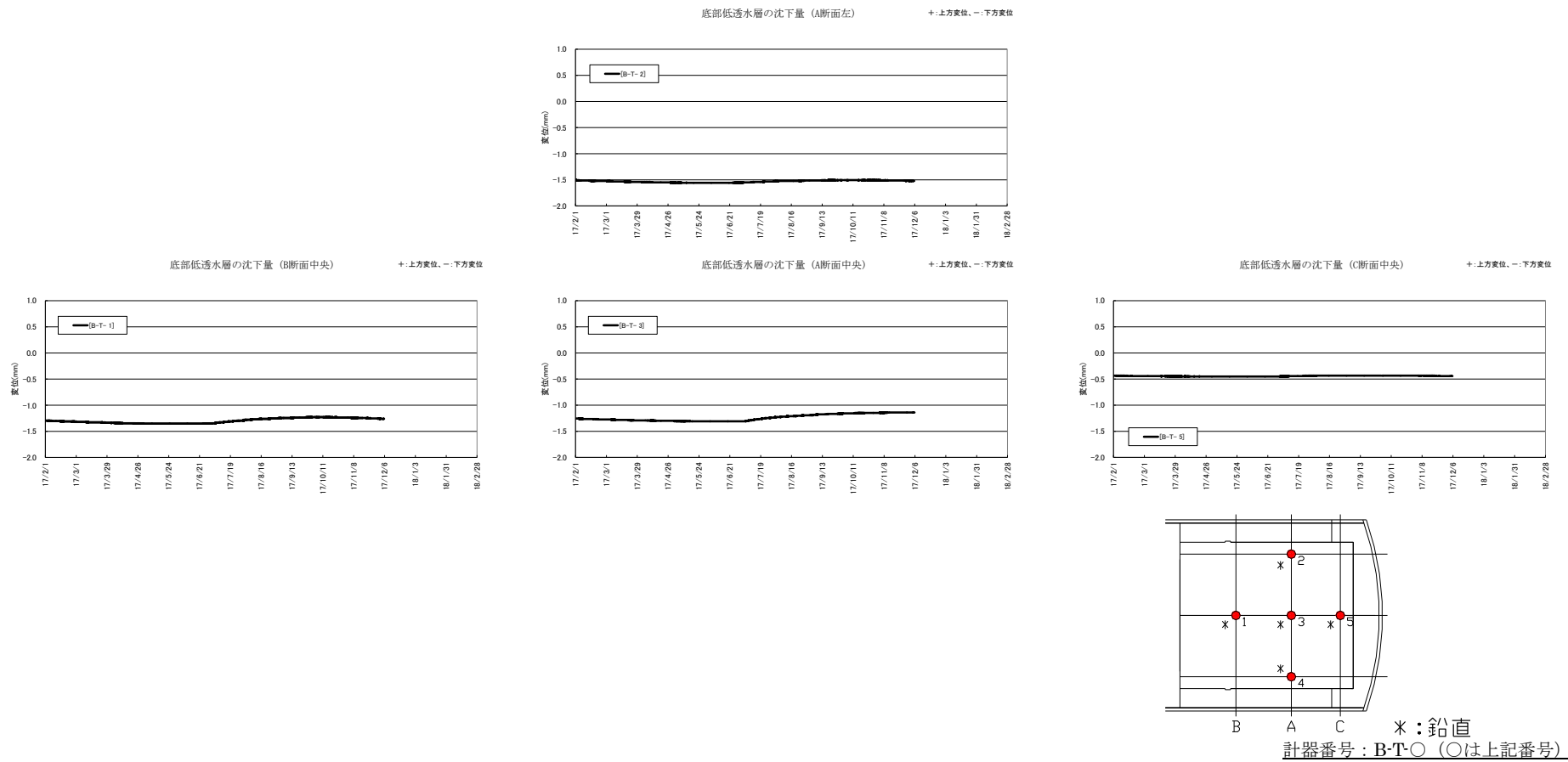
### 3) 沈下挙動

平成 29 年 2 月 1 日～平成 29 年 12 月 5 日の沈下計計測値の経時変化を図 4.2-12 に、今年度の各計器の最大沈下量を表 4.2-3 に示す。

図 4.2-12 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 4.2-3 に示す各位置の沈下量をみると、平成 29 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、0.02～0.06mm 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 4.2-13 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 0.9mm)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 4.2-14 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 29 年 12 月 5 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 4.2-15 に示す。同図には、図 4.2-16 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 4.2-16 に示す。計測値(平成 29 年 12 月 5 日のデータ)は、A 断面左側 1.5mm、A 断面中央 1.1mm 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 4.2-15 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 4.2-12 底部低透水層 沈下計計測結果

表 4.2-3 最大沈下量一覧（平成 29 年 2 月 1 日～平成 29 年 12 月 5 日）

	単位: mm			
	B断面中央 [B-T- 1]	A断面左側 [B-T- 2]	A断面中央 [B-T- 3]	C断面中央 [B-T- 5]
最大沈下量(H29/2/1～H29/12/5)	-1.35	-1.56	-1.31	-0.45
H29/2/1の沈下量	-1.30	-1.51	-1.26	-0.44
増分	-0.06	-0.04	-0.05	-0.02

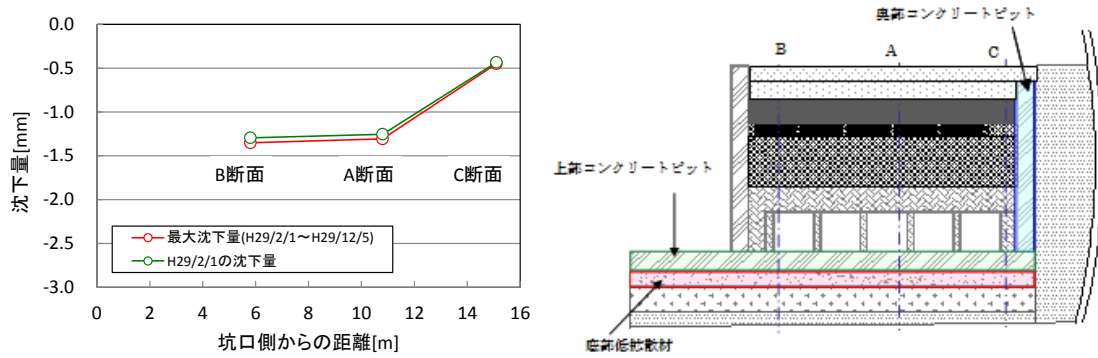


図 4.2-13 底部低透水層の沈下量分布（空洞軸方向）

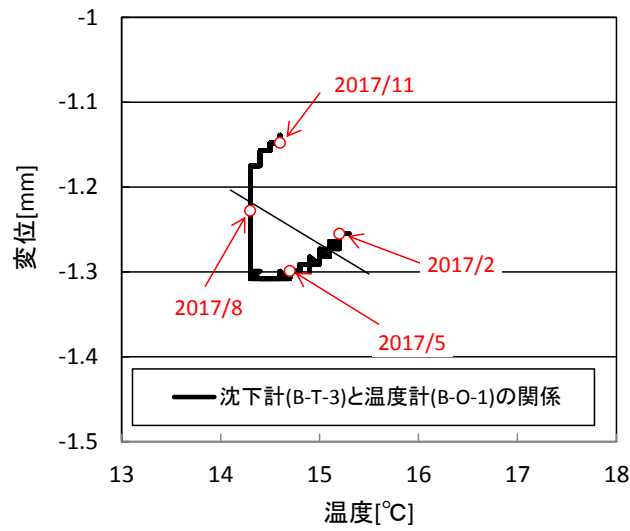


図 4.2-14 沈下計計測値と温度計計測値の関係（平成 29 年 2 月 1 日～平成 29 年 12 月 5 日）

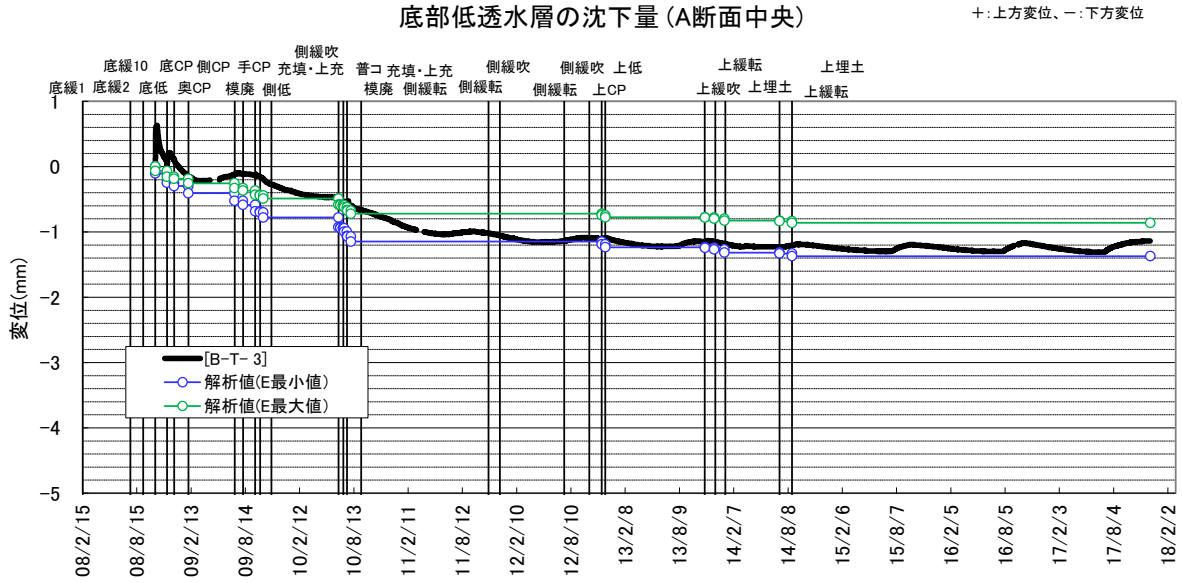


図 4.2-15 沈下計経年変化 (A断面中央)

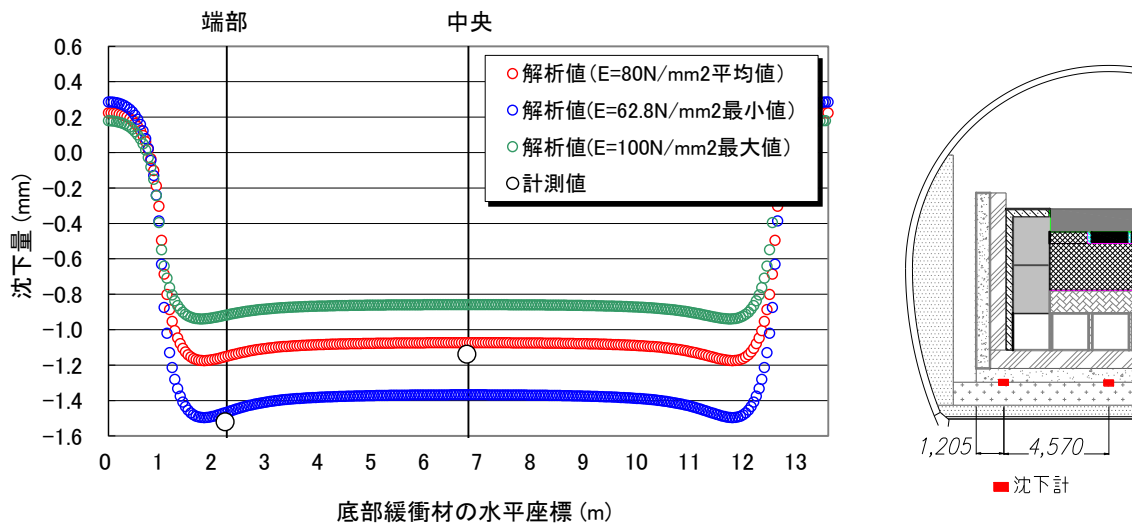


図 4.2-16 底部低透水層沈下量の計測値と解析値の比較 (A断面)

**【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/mm<sup>2</sup>（表 4.2-1 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およ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 ( $\nu=0.39$ )。

変形係数：平均 80.0N/mm<sup>2</sup>、最大値 100.0N/mm<sup>2</sup>、最小値 62.8N/mm<sup>2</sup>

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 4.2-17 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 29 年 12 月 5 日までの経年変化を図 4.2-18 に示す。B-O-1、B-O-2 と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 4.2-19 に示す。坑口側端部に近い B-O-2 は約 12.8℃～16.0℃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 14.3℃～15.2℃であり変動は小さい。

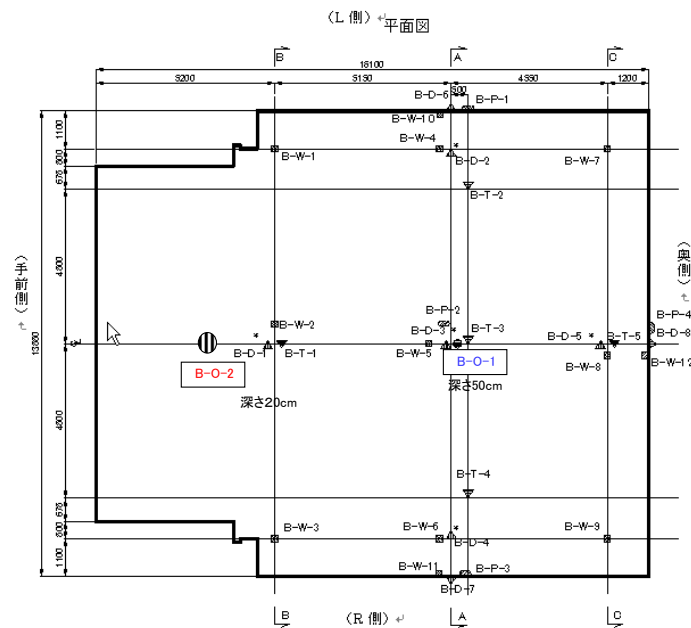


図 4.2-17 温度計設置位置

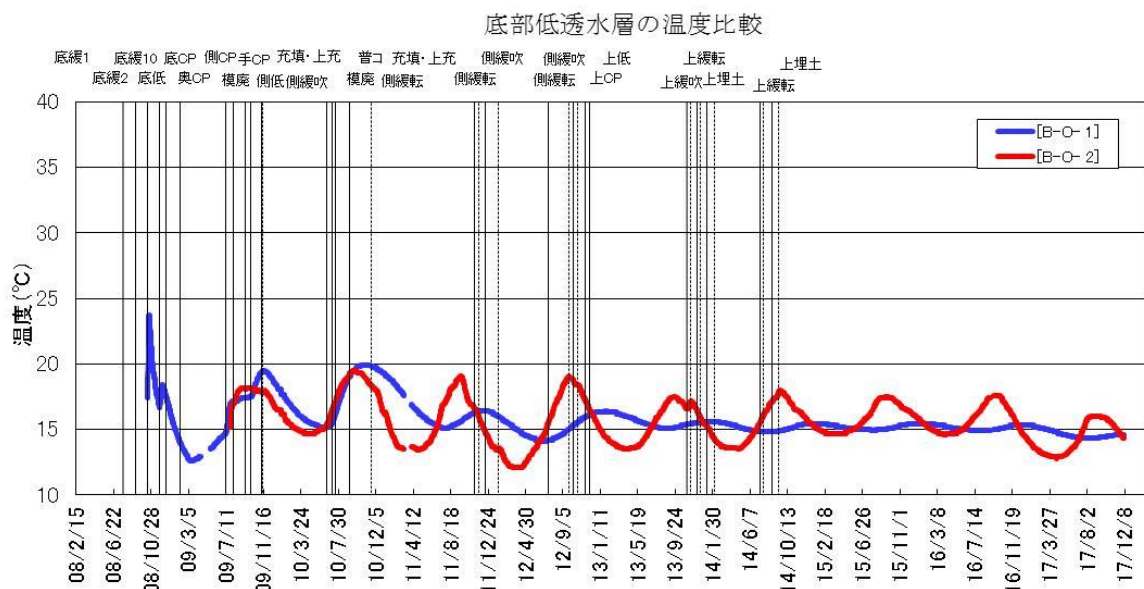


図 4.2-18 底部低透水層の温度経年変化

底部低透水層の温度比較

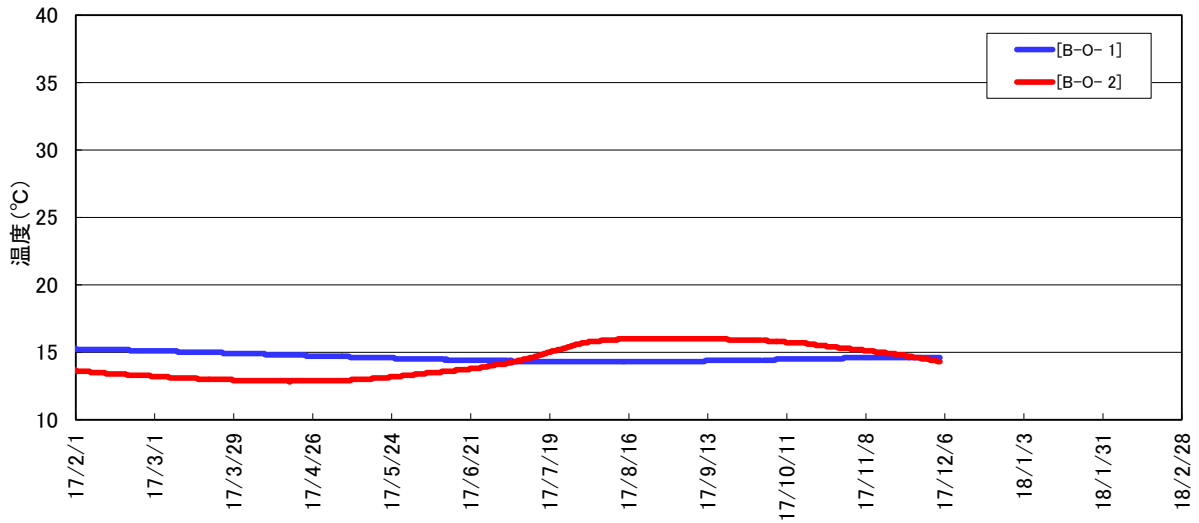
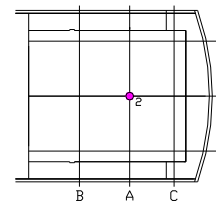


図 4.2-19 底部低透水層の温度経時変化

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 4.2-20 に示す。



底部低透水層の間隙水圧 (A断面中央)

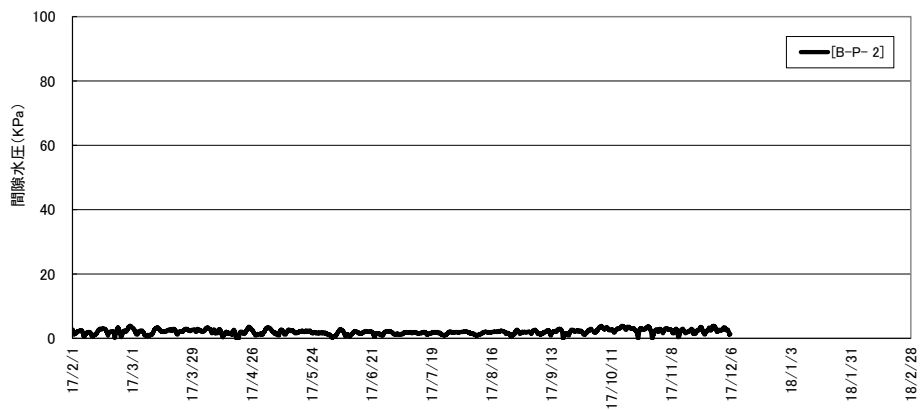


図 4.2-20 底部低透水層の間隙水圧経時変化

#### (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、部材の温度およびひずみ履歴を分析する。

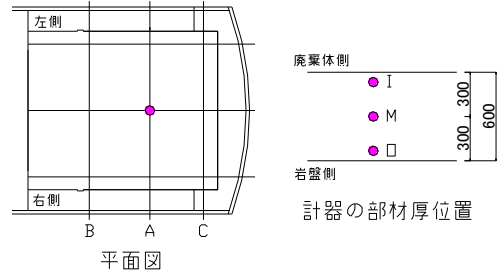
- ・ 底部低拡散層
- ・ 側部低拡散層
- ・ 上部低拡散層
- ・ 底部コンクリートピット
- ・ 側部コンクリートピット
- ・ 手前部コンクリートピット
- ・ 上部コンクリートピット

##### 【まとめ】

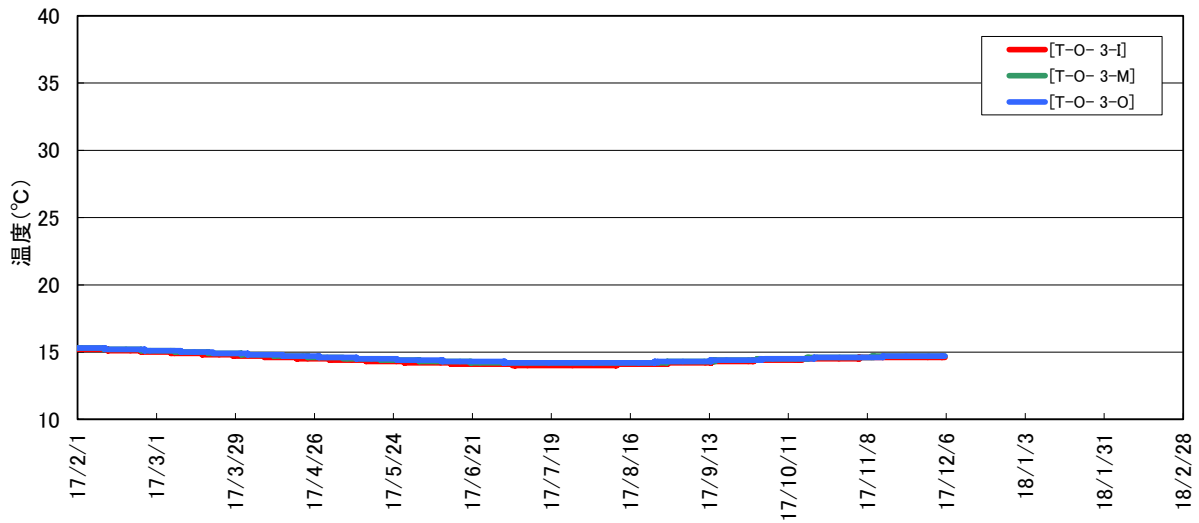
- ・ いずれの対象部材においても、季節の温度変化に対応したひずみ変化しか認められず、今年度の計測期間中におけるセメント系材料の状態変化はほとんどないものと評価される。

##### 1) 温度およびひずみ履歴

対象部材の部材中心位置における温度およびひずみ計測結果を図 4.2-21～図 4.2-27 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。



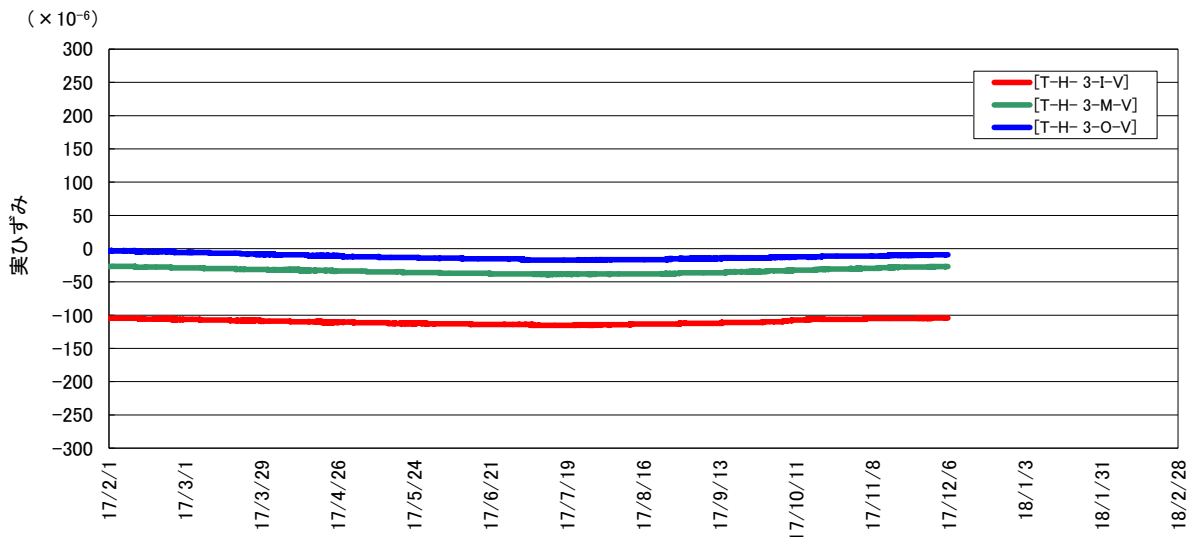
底部低拡散層の温度 (A断面中央)



(1) 温度

底部低拡散層の空洞軸方向実ひずみ (A断面中央)

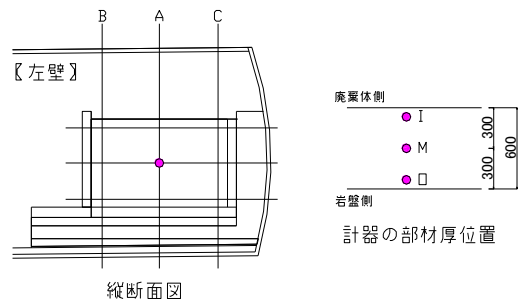
+ : 膨張、- : 収縮



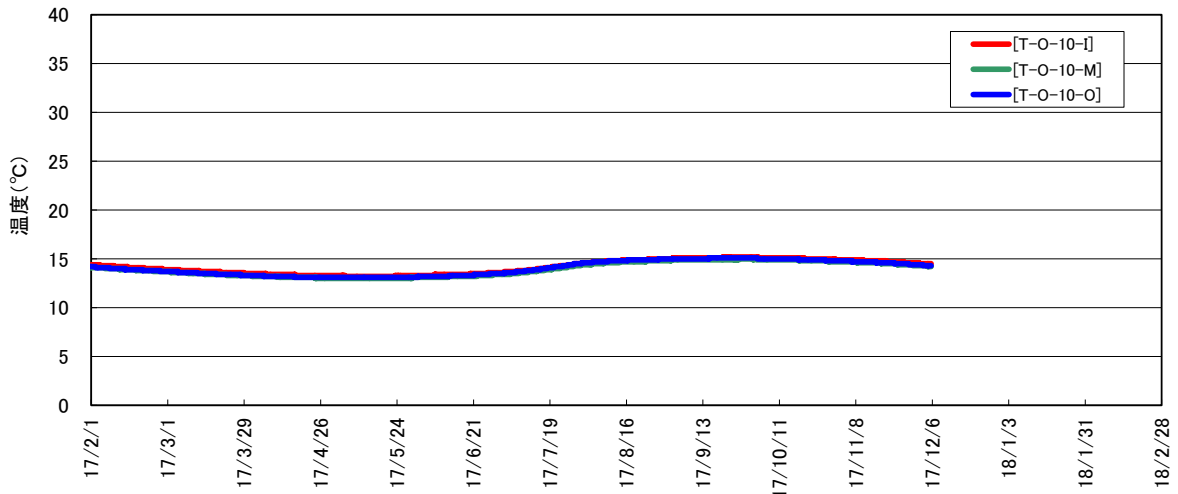
(2) ひずみ

図 4.2-21 底部低拡散層の計測結果 (部材中央)





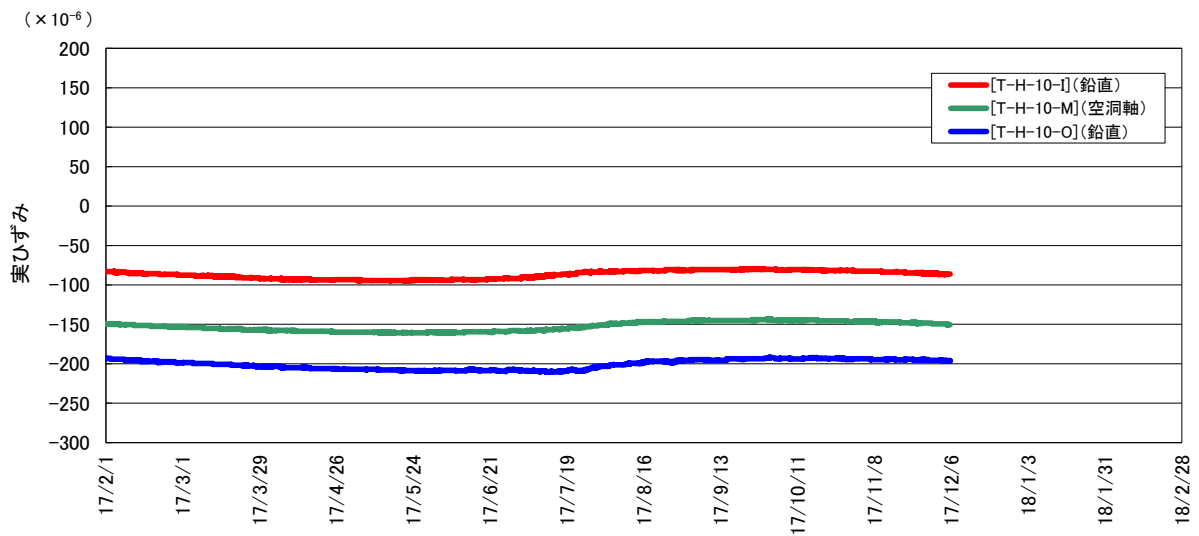
側部低拡散層の温度(A断面中段)



(1) 温度

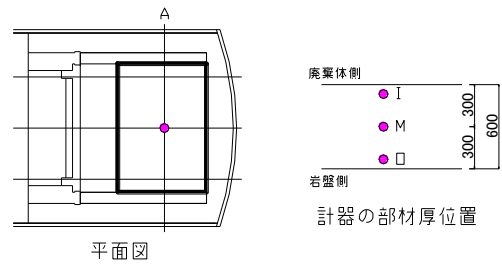
側部低拡散層の実ひずみ (A断面中段)

+ : 膨張、- : 収縮

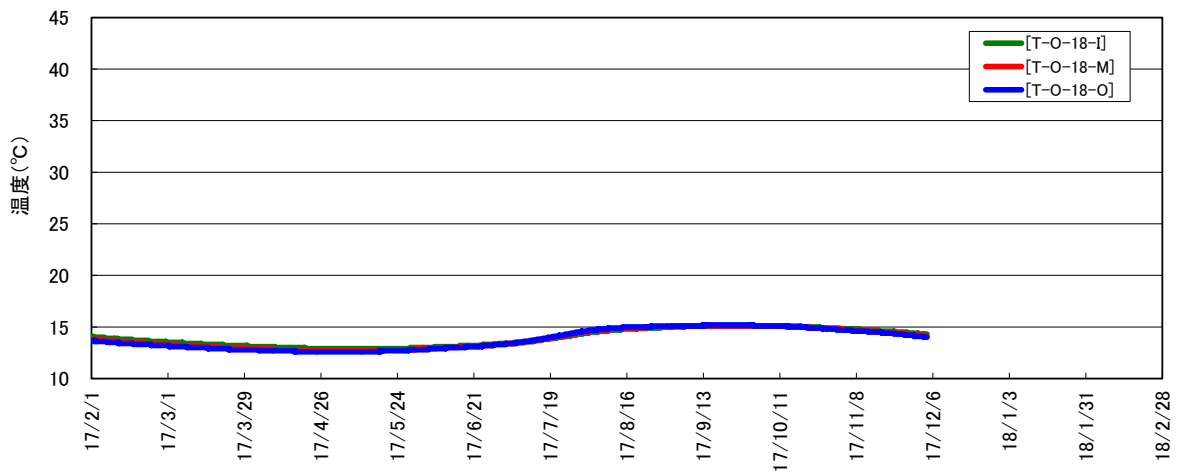


(2) ひずみ

図 4.2-22 側部低拡散層の計測結果 (部材中央)



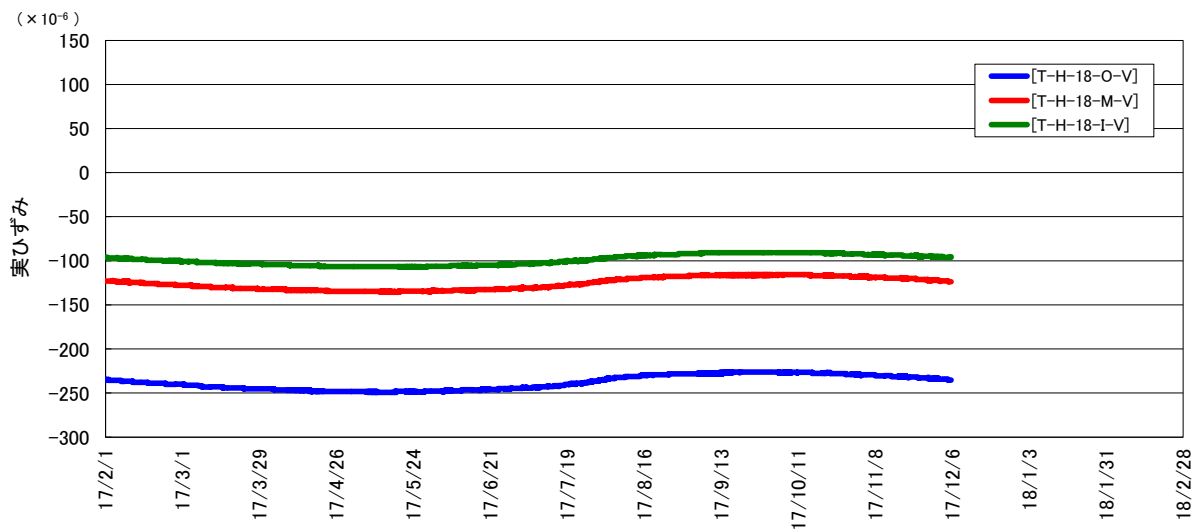
上部低拡散層の温度(中央)



(1) 温度

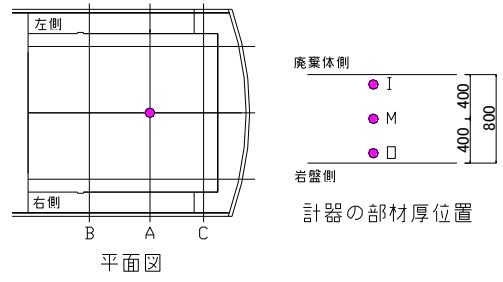
上部低拡散層の実ひずみ (中央、空洞軸方向)

+ : 膨張、- : 収縮

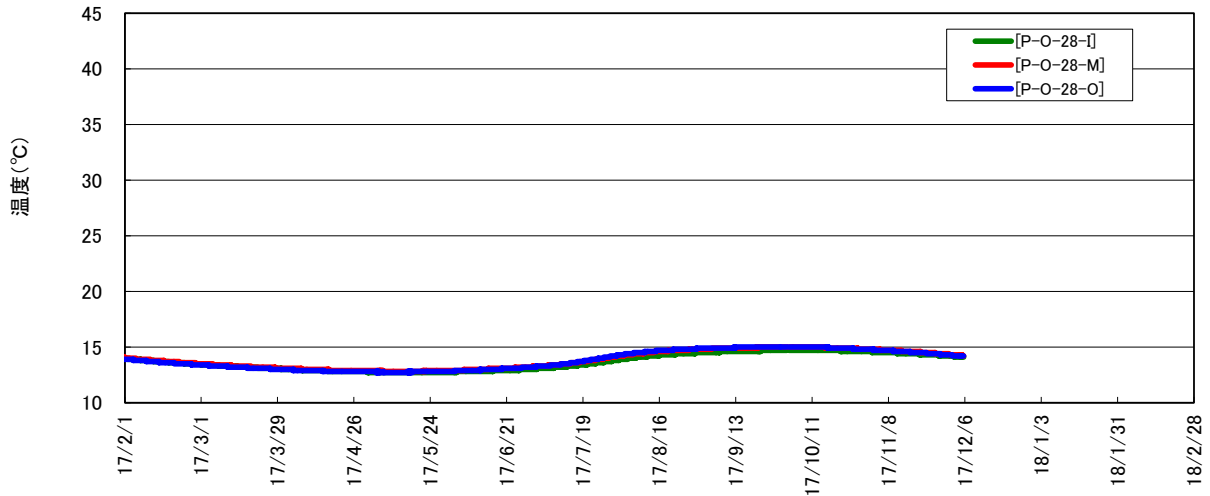


(2) ひずみ

図 4.2-23 上部低拡散層の計測結果 (部材中央)



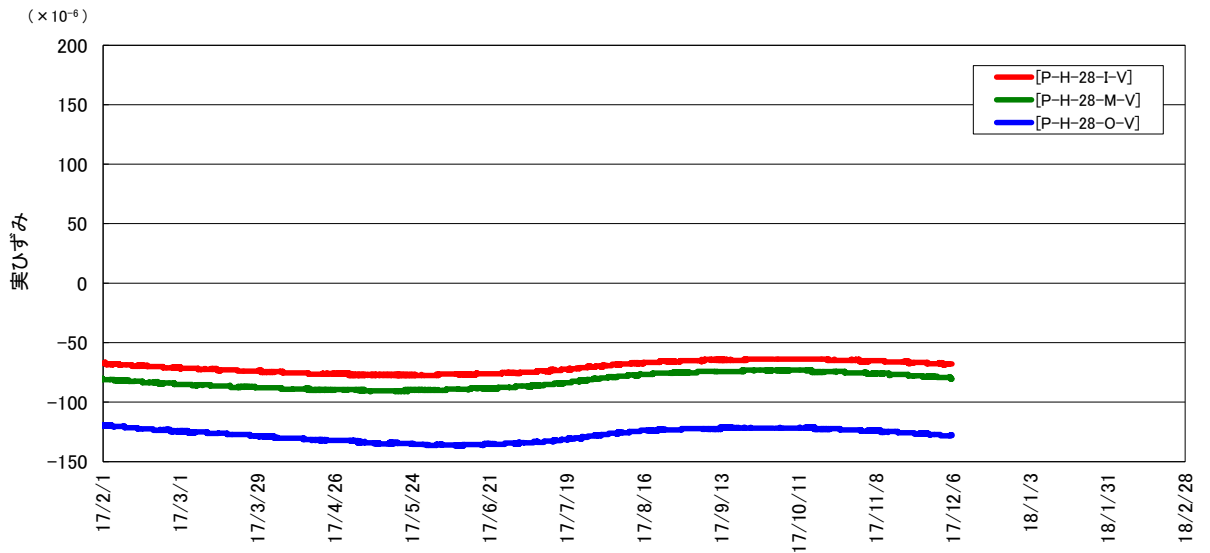
上部コンクリートピットの温度



(1) 温度

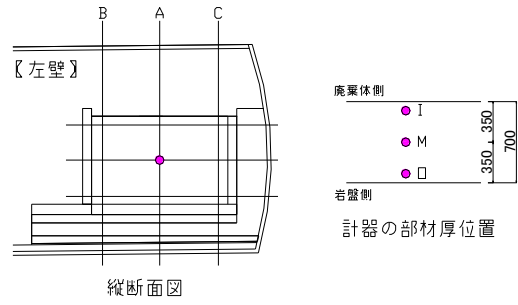
上部コンクリートピットの実ひずみ (中央、空洞軸方向)

+ : 膨張、- : 収縮

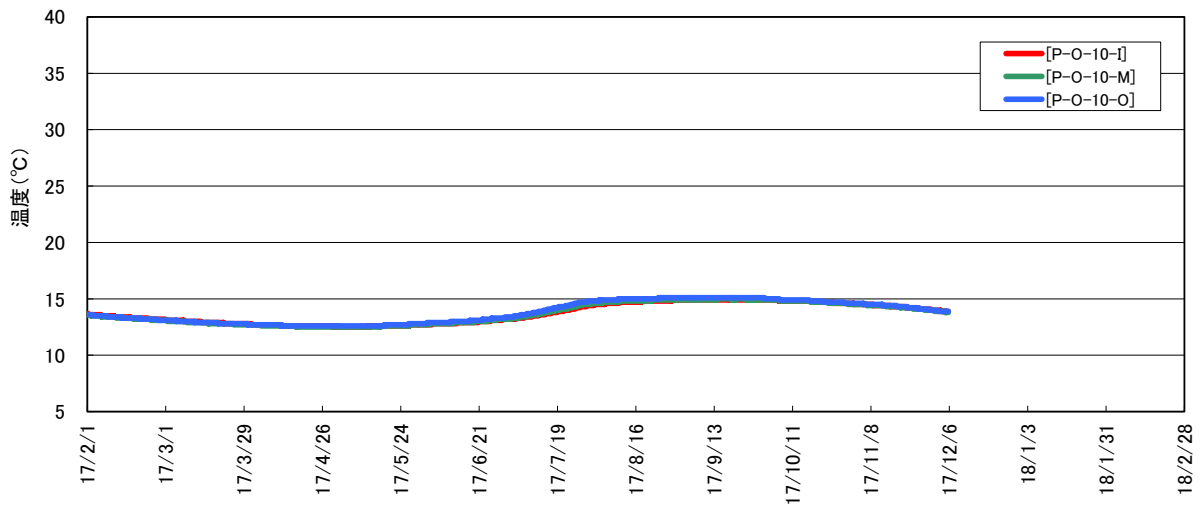


(2) ひずみ

図 4.2-24 底部コンクリートピットの計測結果 (部材中央)



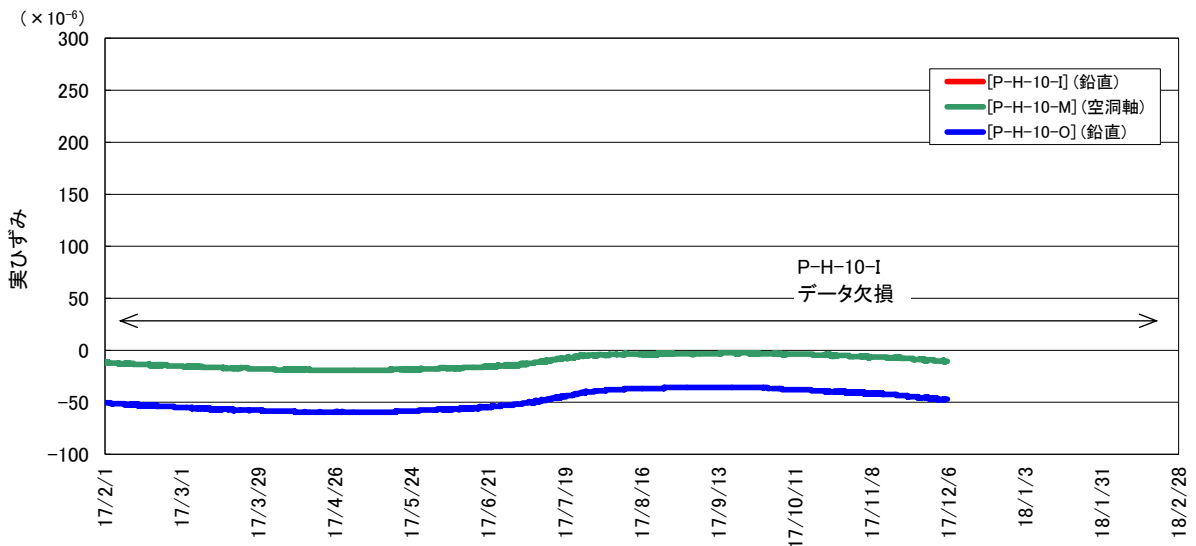
側部コンクリートピットの温度(A断面中段)



(1) 温度

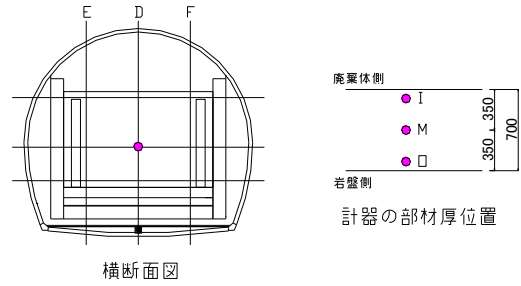
側部コンクリートピットの実ひずみ (A断面中段)

+ : 膨張、- : 収縮

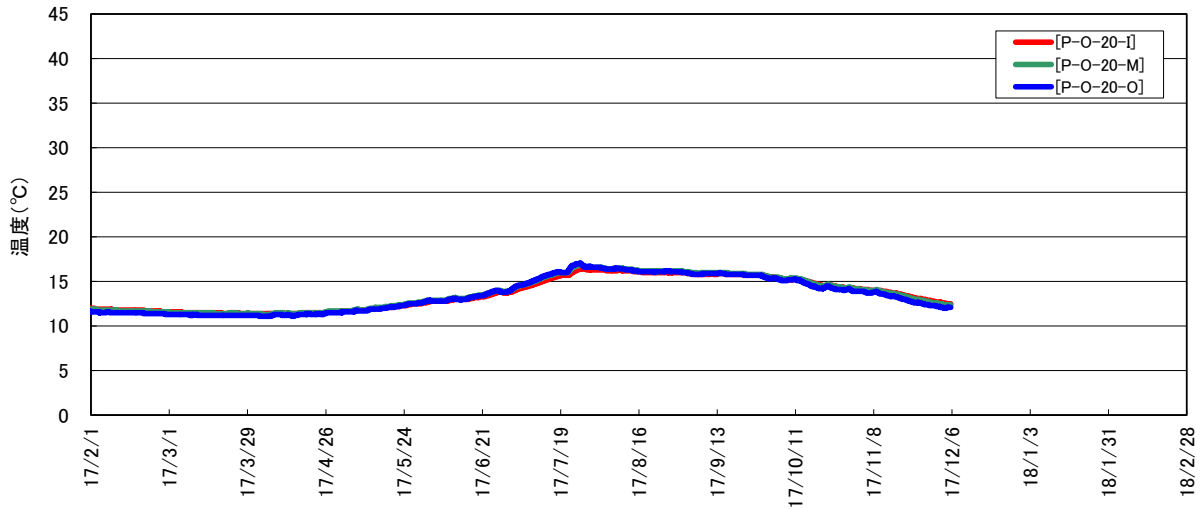


(2) ひずみ

図 4.2-25 側部コンクリートピットの計測結果 (部材中央)



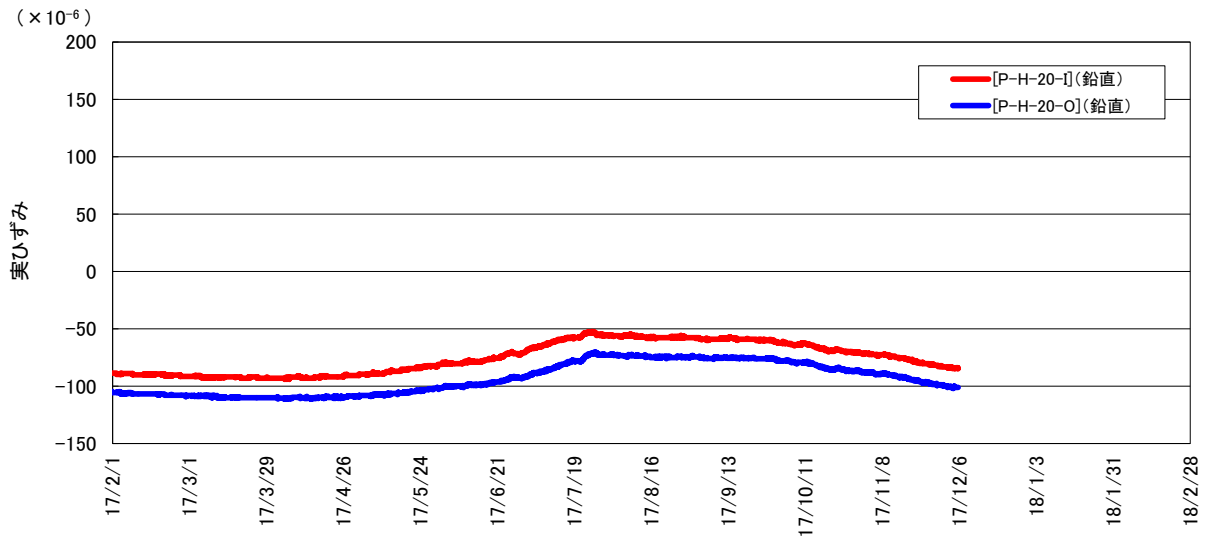
手前部コンクリートピットの温度(中央中段)



(1) 温度

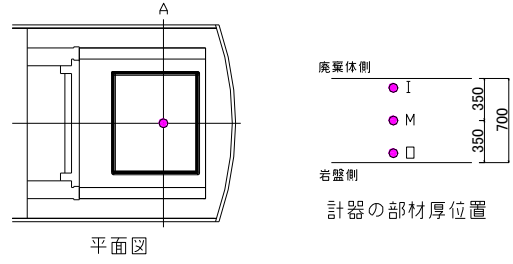
手前部コンクリートピットの実ひずみ(中央中段)

+ : 膨張、- : 収縮

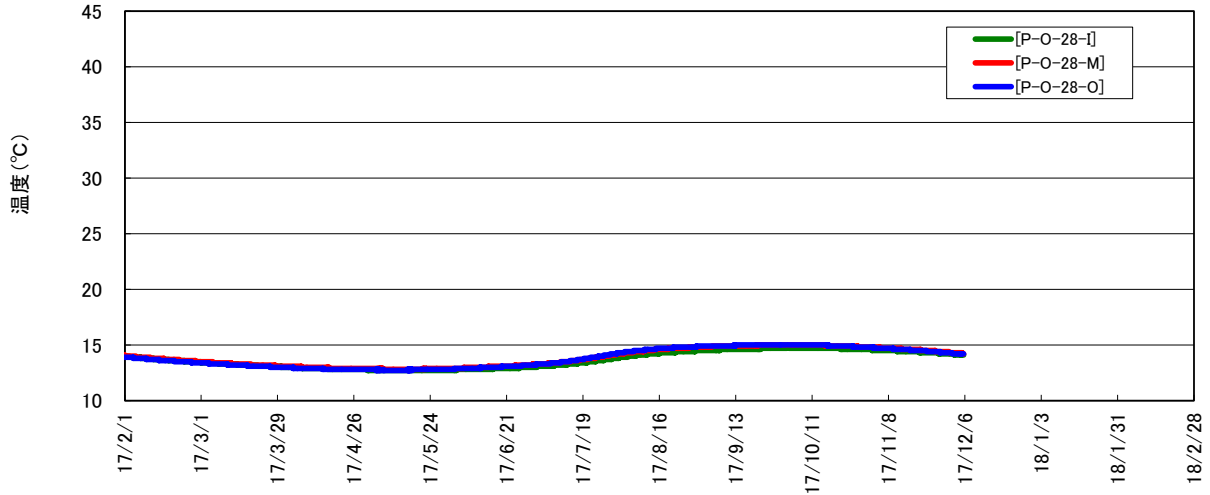


(2) ひずみ

図 4.2-26 手前部コンクリートピットの計測結果(部材中央)



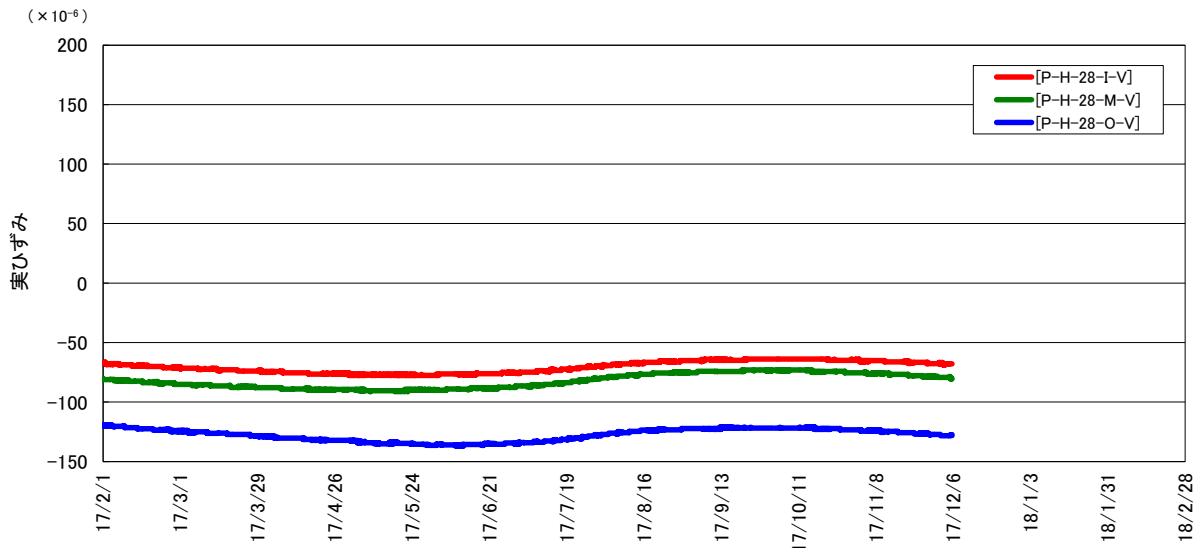
上部コンクリートピットの温度



(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 4.2-27 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、調査実施日平成 29 年 8 月 7 日および平成 29 年 12 月 6 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、調査実施日平成 29 年 12 月 6 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。
- ・ 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が、深度 6.26m 以深で水の滲み出しによる“考えられる”しみ”と、深度 9.49m 以深で“水の溜まり”が確認された。
- ・ 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およ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 29 年 8 月 7 日、12 月 6 日）。

上部低拡散層およ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 4.2-28、左側側部低拡散層のひび割れ調査結果（2 回目）を図 4.2-29 に示す。どの部材においても、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。



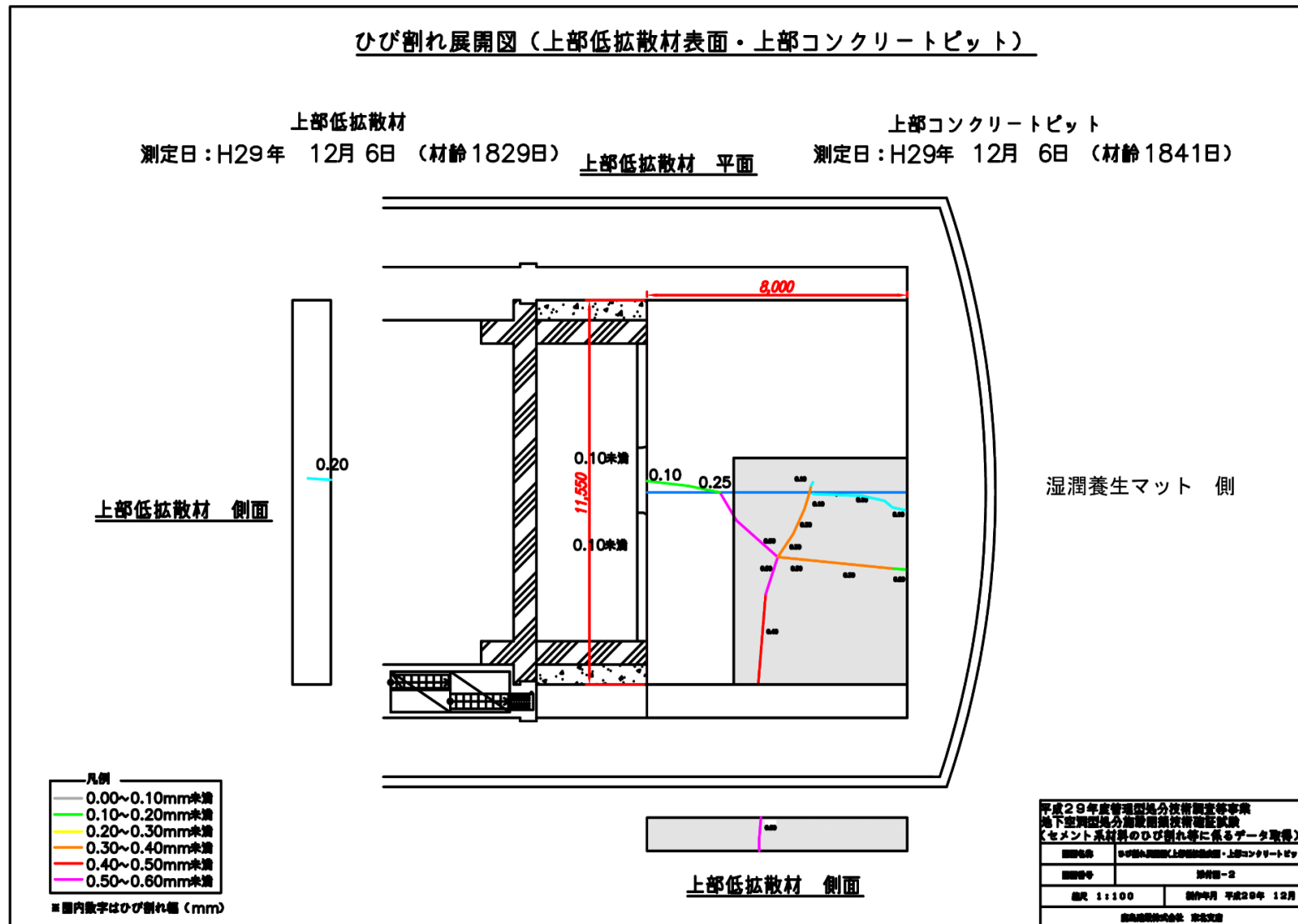


図 4.2-28 上部低拡散層および上部コンクリートピットひび割れ調査結果（平面図、側面図）

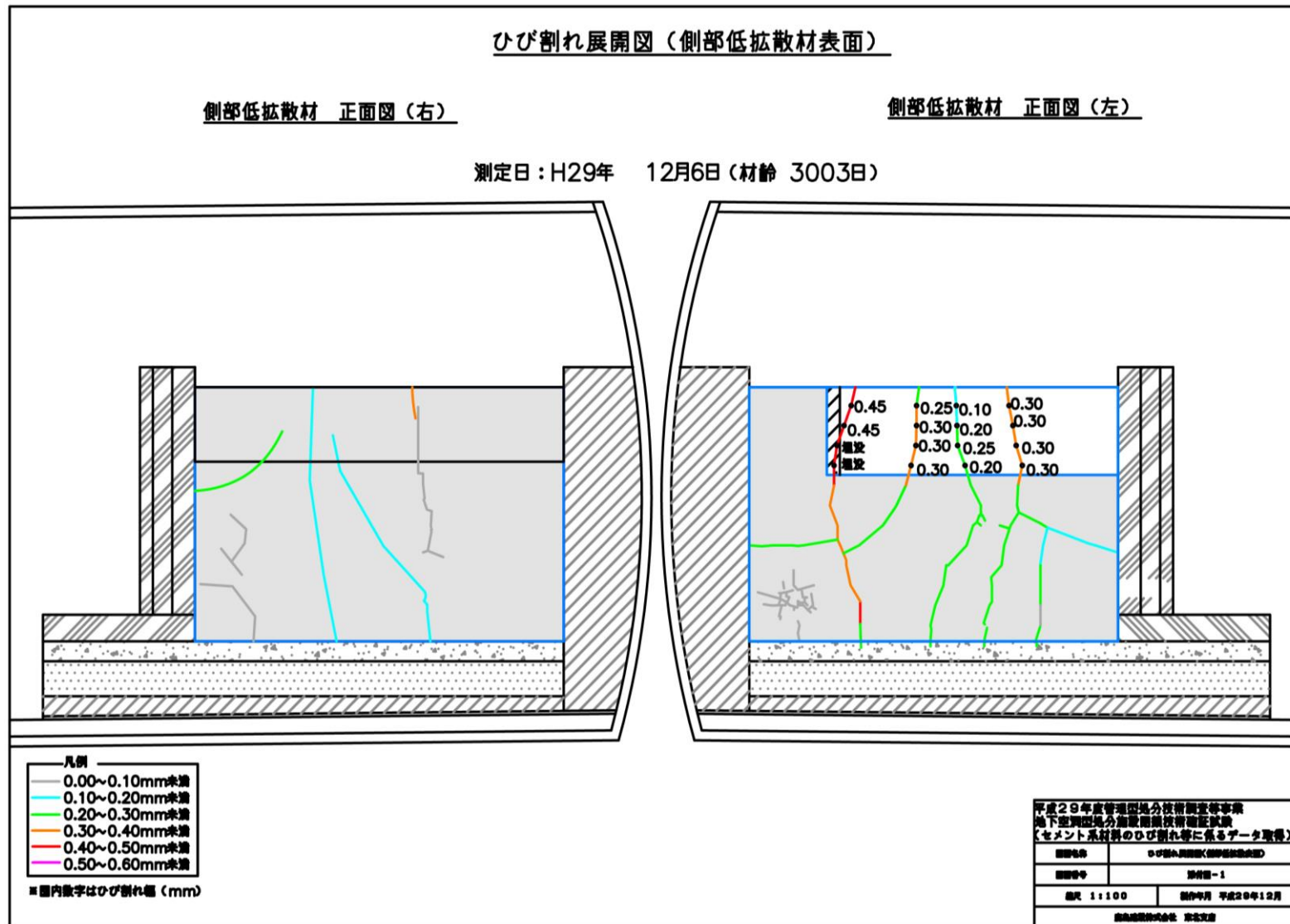


図 4.2-29 左側側部低拡散層ひび割れ調査結果（正面図）

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 4.2-30、図 4.2-31 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 (17cm) を除く、約 15.0m 程度とした。

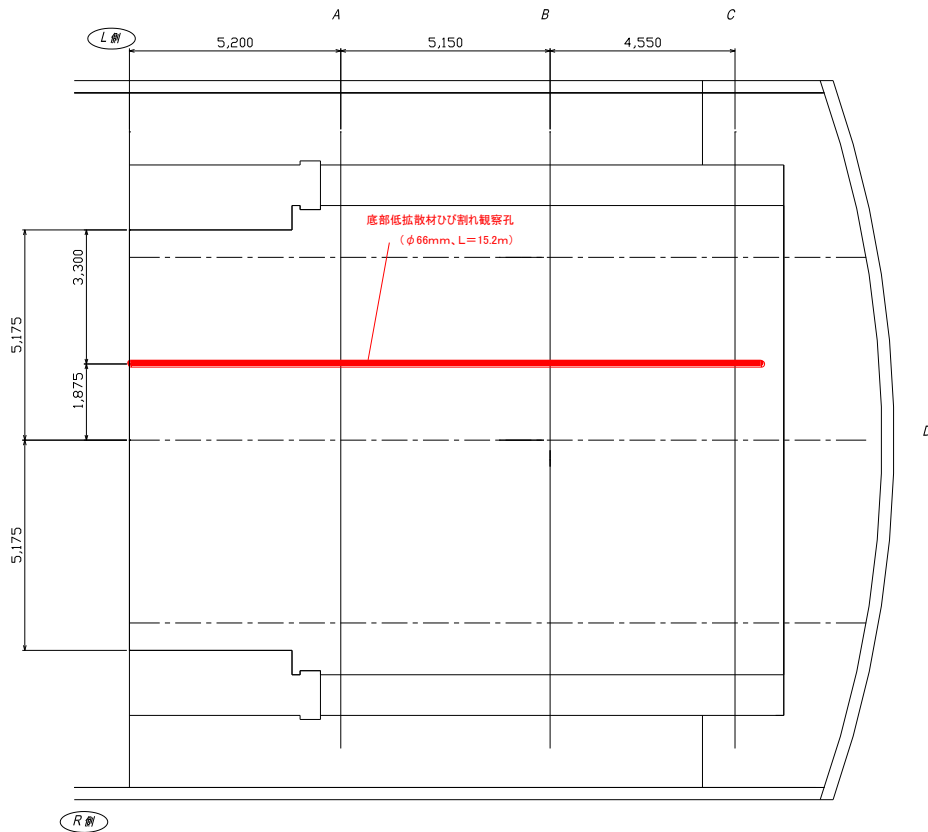


図 4.2-30 BTV 観察孔水平位置図

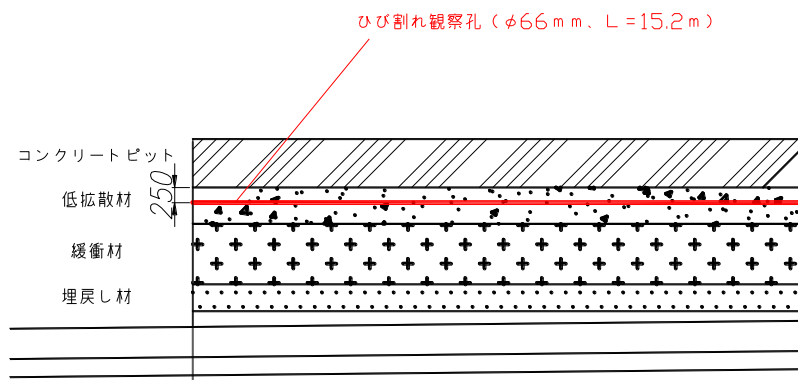


図 4.2-31 BTV 観察孔鉛直位置図

(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 4.2-32～図 4.2-34 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。

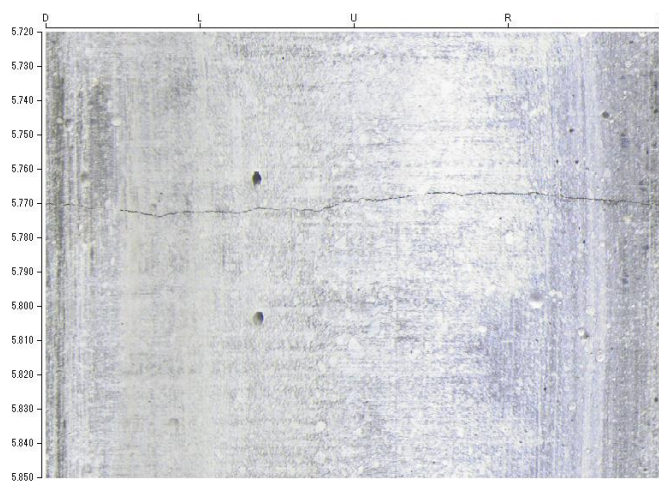


図 4.2-32 底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 5.772m 付近のひび割れ）

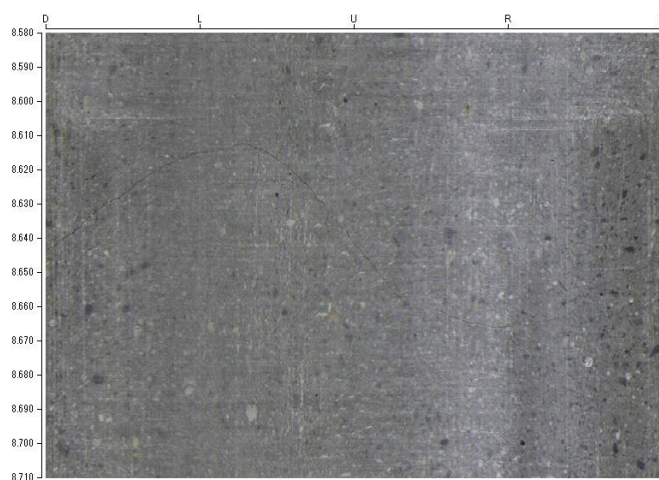


図 4.2-33 底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 8.646m 付近のひび割れ）

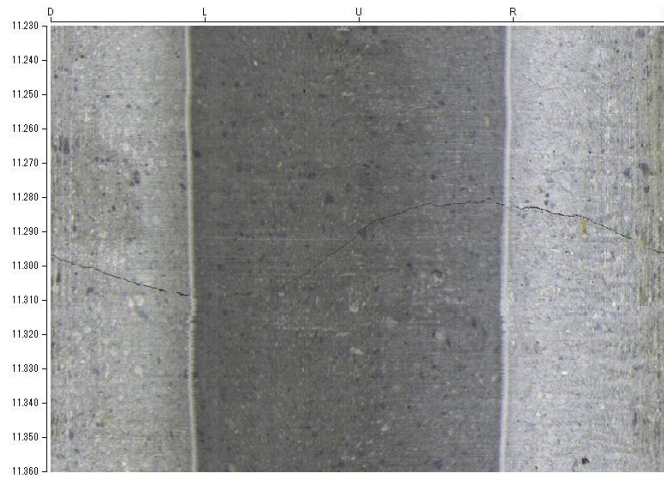


図 4.2-34 底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 11.295m 付近のひび割れ）

(b) 水の溜まり

BTV 観察において、昨年度（平成 28 年度）に引き続き、観察孔内で水の溜まりが確認された。深度 6.26m 以深で水の滲み出しによると思われる“しみ”と深度 9.49m 以深で“水の溜まり”が観察された（図 4.2-35 参照）。



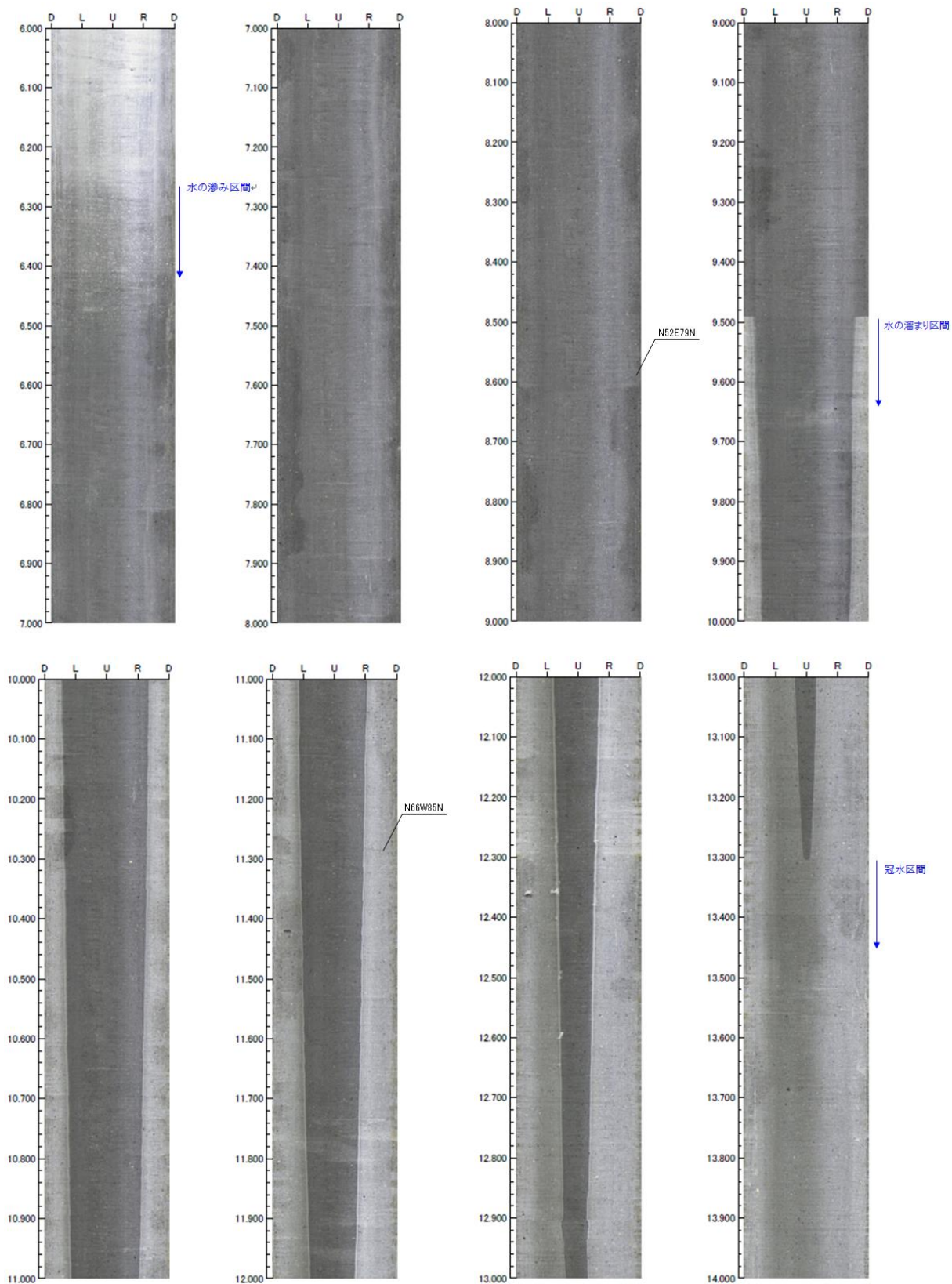


図 4.2-35 底部低拡散層の BTV 観察結果 (深度 6m~14m)

昨年度までの BTV 観察で確認されたひび割れは 3 箇所であり、図 4.2-36 に示すとおりである。図には、水の滲みの区間（深度 6.26m 以深）、溜まり水の確認された区間（深度 9.49m 以深）を示した。

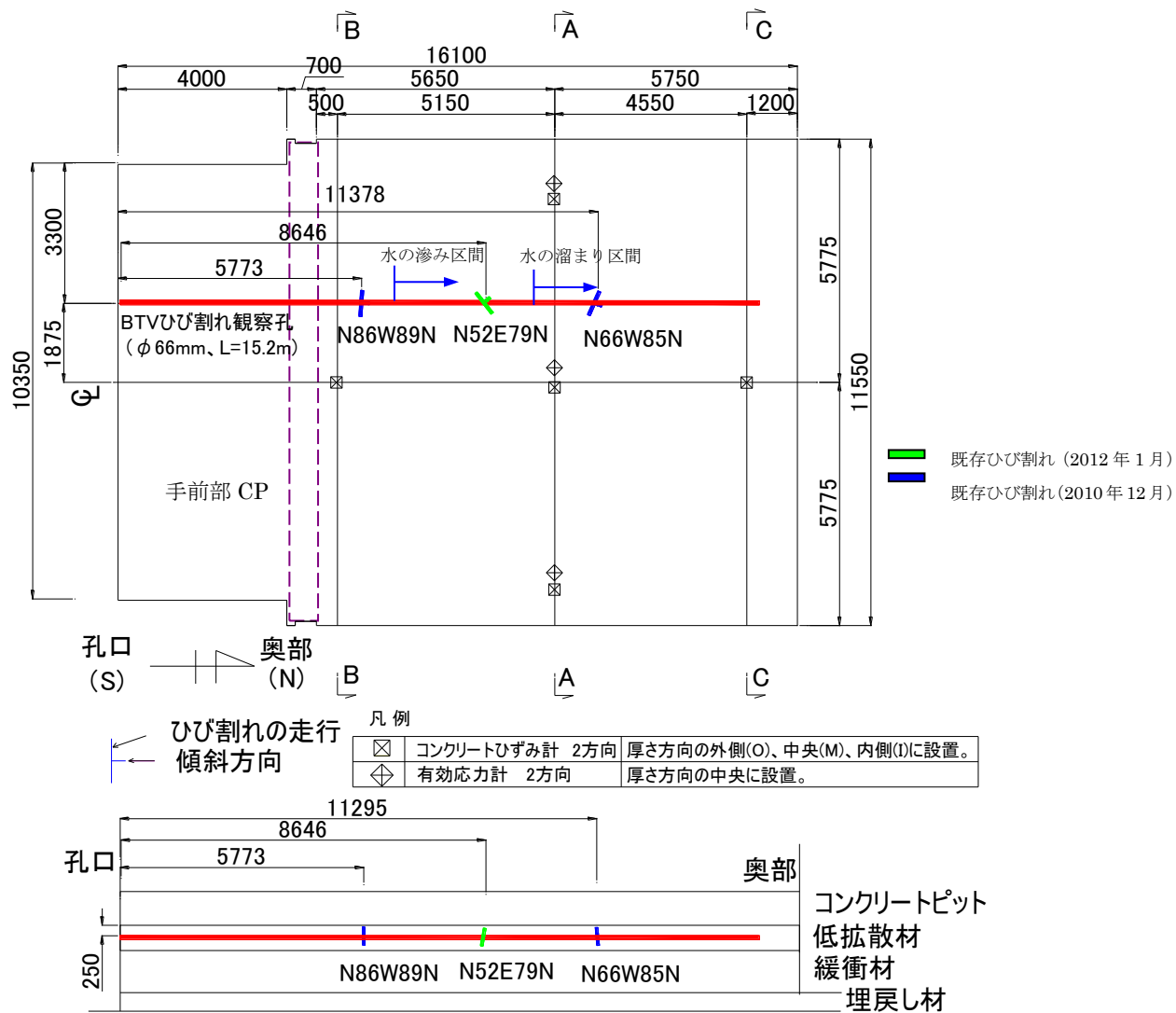


図 4.2-36 BTV 観察結果

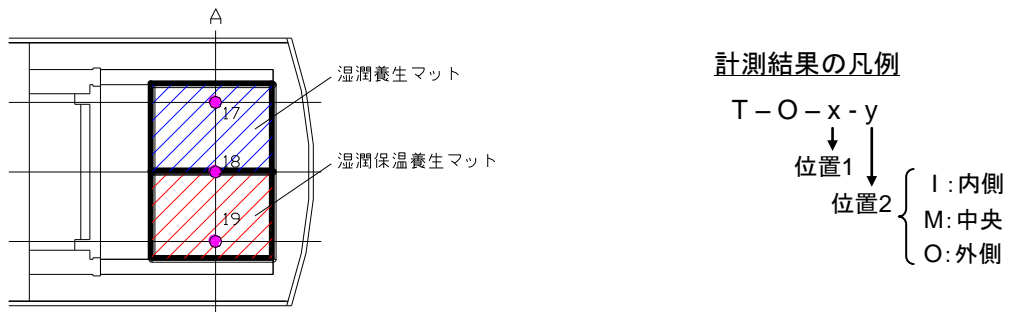
## 2) ひび割れ評価

### a. 上部低拡散層

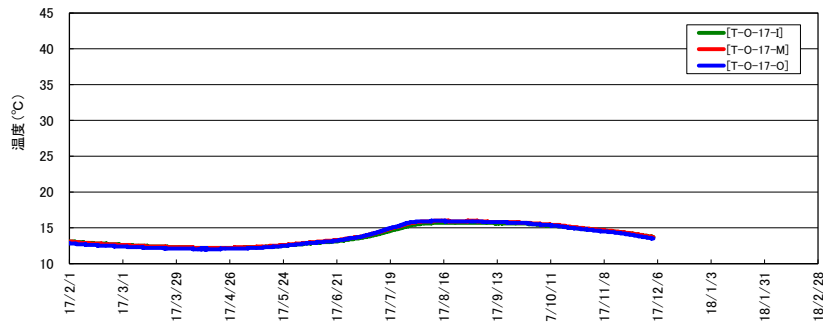
上部低拡散層の温度計測結果を図 4.2-37、応力計測結果を図 4.2-38 に示す。両者ともに、全計測器において年間を通して季節の温度変化に伴う変動をしている。

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。

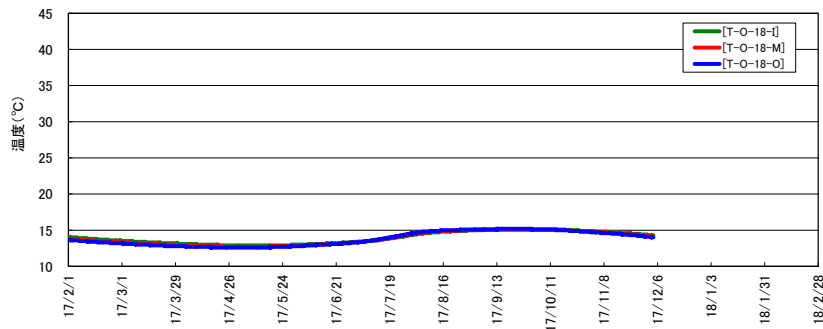




上部低拡散層の温度(左側、湿润養生マット)



上部低拡散層の温度(中央)



上部低拡散層の温度(右側、湿润保温養生マット)

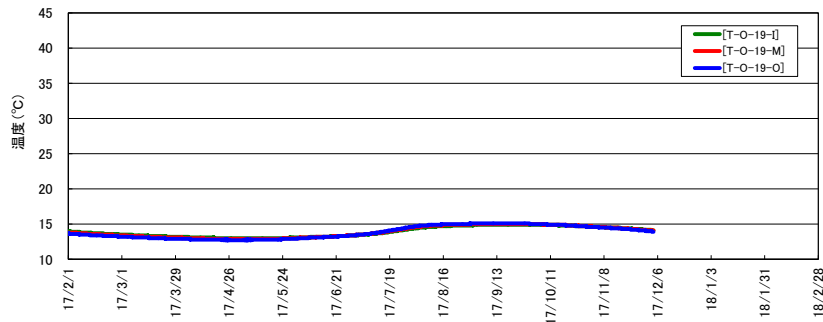
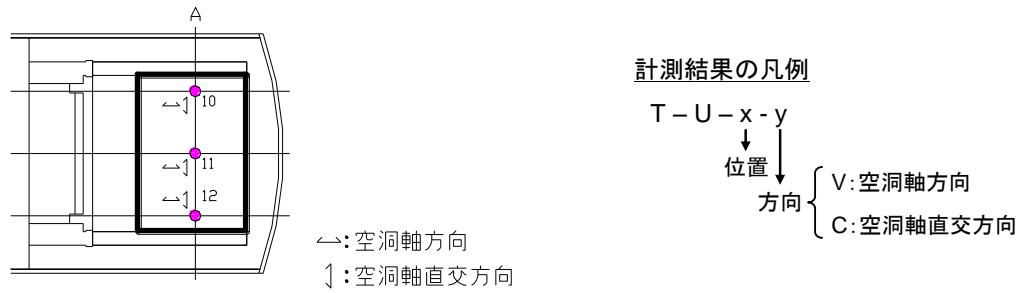
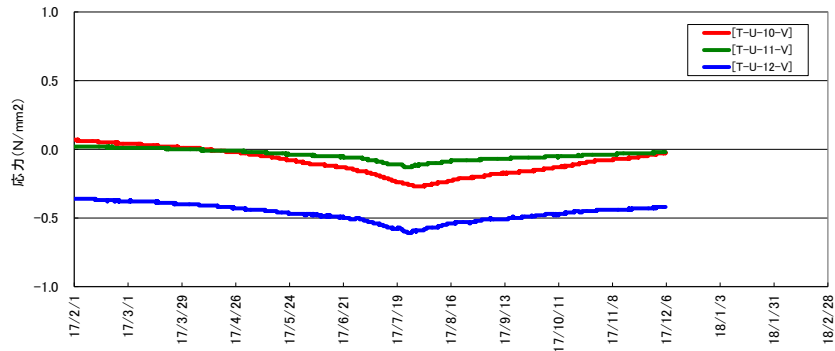


図 4.2-37 上部低拡散層の温度計測結果



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

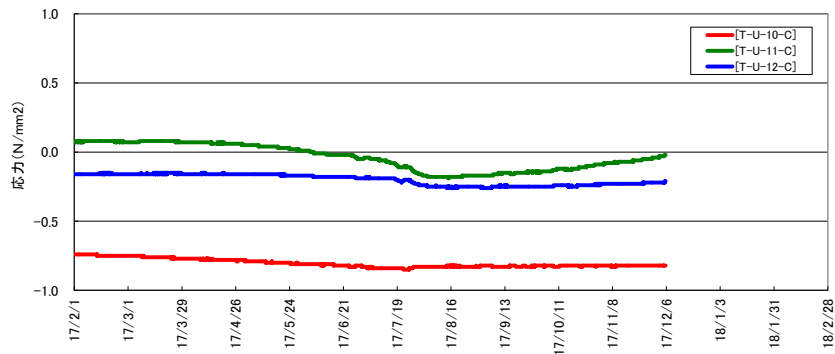


図 4.2-38 上部低拡散層のモルタル応力計測結果

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 4.2-39、応力計測結果を図 4.2-40 に示す。上部低拡散層の挙動と同様に、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。



上部コンクリートピットの温度

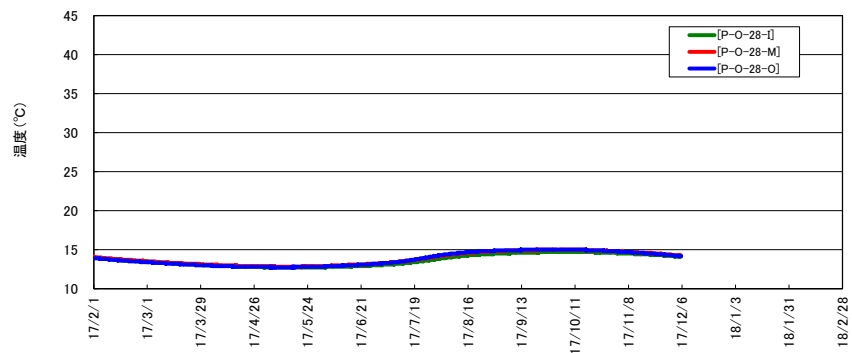


図 4.2-39 上部コンクリートピットの温度計測結果

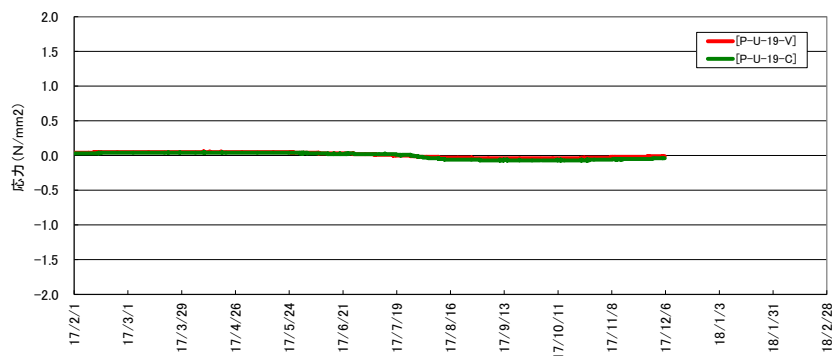
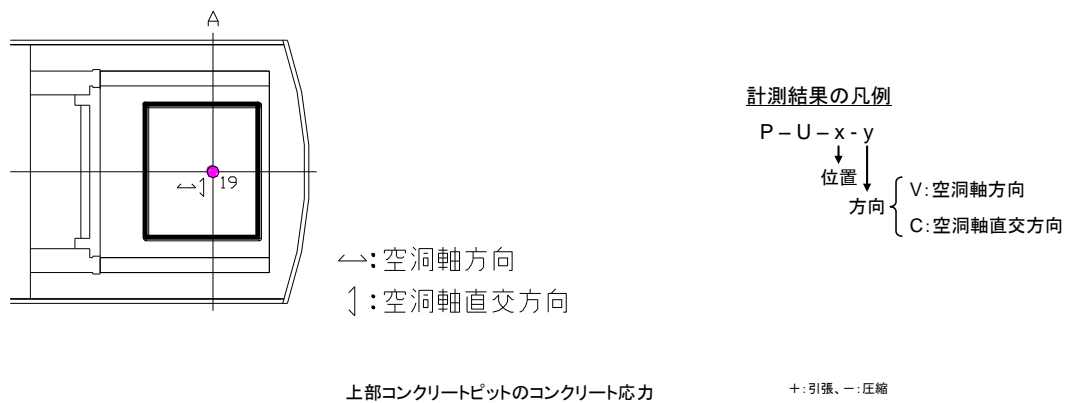
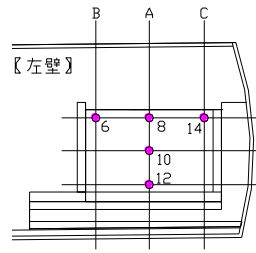


図 4.2-40 上部コンクリートピットの応力計測結果

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 4.2-41、応力計測結果を図 4.2-42 に示す。上部低拡散層および上部コンクリートピットの挙動と同様に、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に示すように、左側の側部低透水路の上部は一部未施工）は、その他の中段およ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-0-x-y

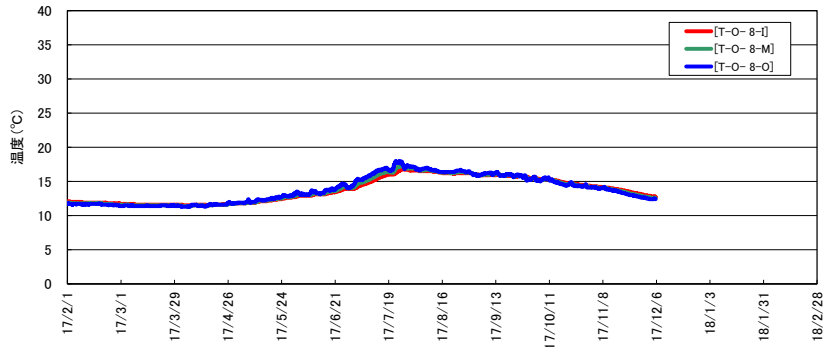
位置1 位置2

I: 模擬廃棄体側

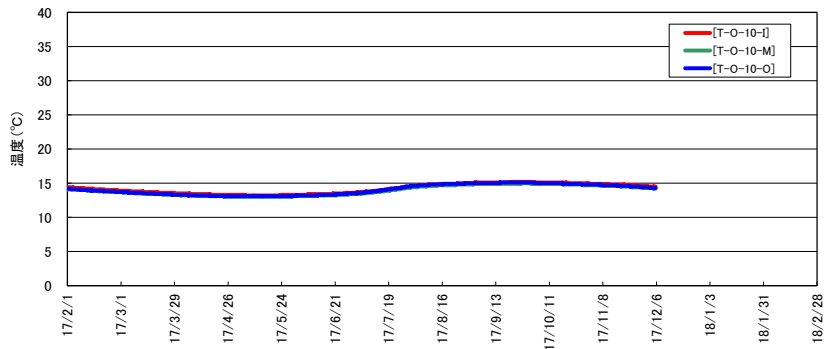
M: 中央

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)

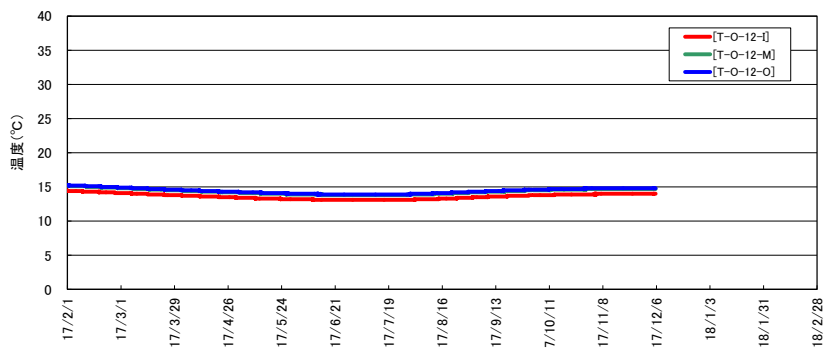


図 4.2-41 側部低拡散層の温度計測結果

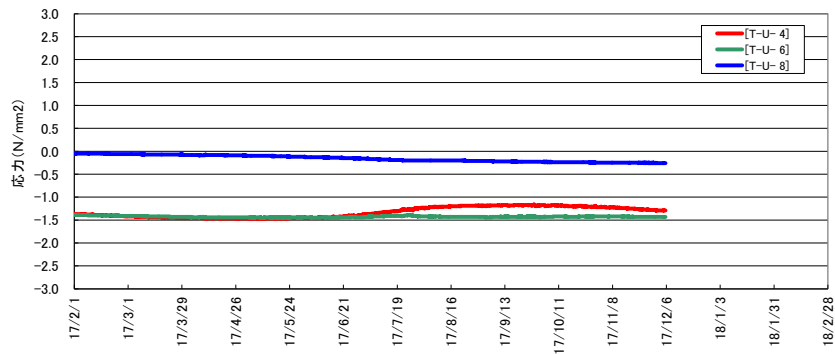
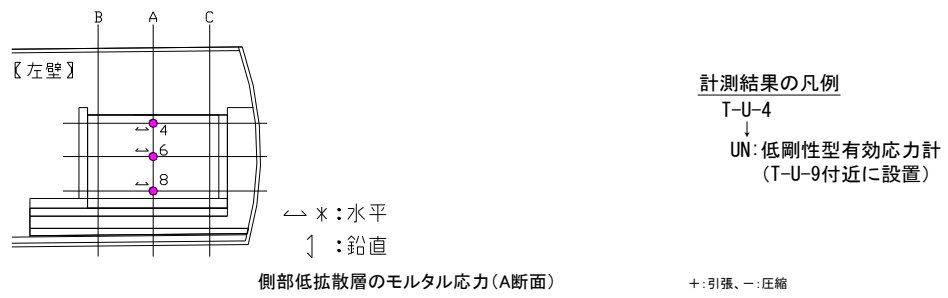


図 4.2-42 側部低拡散層の応力計測結果

#### d. 底部低拡散層

今年度 12 月 6 日に実施した BTV 観察の結果で新規ひび割れの発生、既存ひび割れ幅の拡大、進展は確認されていない。ここでは、底部低拡散層に設置した計器の計測挙動により、ひび割れ発生の有無を分析した。また、昨年度（平成 28 年度）に引き続き、BTV 観察時に観察孔内で水の溜まりが確認されている。底部低透水層側から水が浸入した可能性があることから、底部低透水層の計測挙動も整理した。

#### <計測挙動対象>

- ・ 底部低拡散層：温度、ひずみ、応力
- ・ 底部低透水層：間隙水圧、沈下・土圧

#### 底部低拡散層設置計器

##### 【温度】

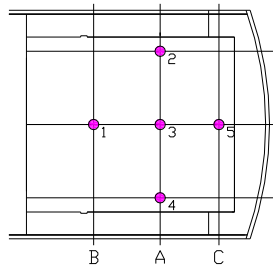
底部低拡散層の温度計測結果を図 4.2-43～図 4.2-44 に示す。年間を通して坑内気温の季節変化に伴う変動をしている。坑口側端部に近い計器（B 断面中央）での温度変化が相対的に大きく、部材中央から奥部に設置した A 断面、C 断面では温度変化が小さい傾向にある。

##### 【ひずみ】

底部低拡散層の空洞軸方向のひずみ計測結果を図 4.2-45 に示す。年間を通じてひずみ変化は小さい。

##### 【応力】

底部低拡散層の応力計測結果を図 4.2-46 に示す。底部低拡散層の右側、中央、左側では新規ひび割れの発生が影響する特徴的な挙動は認められない。



測定結果の凡例

T-0-1-x

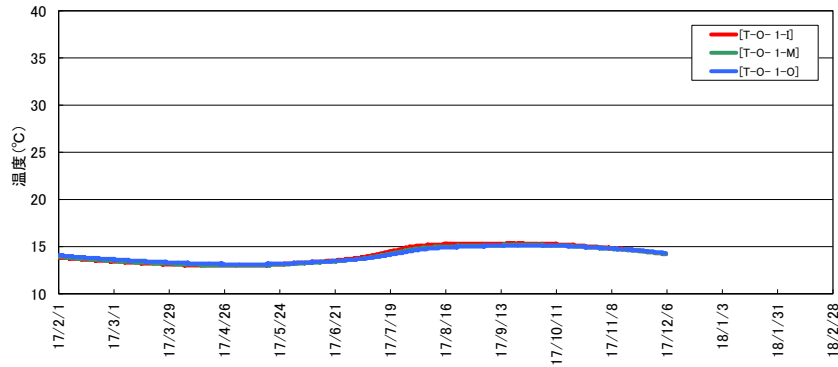
↓  
計器位置

I: 上段

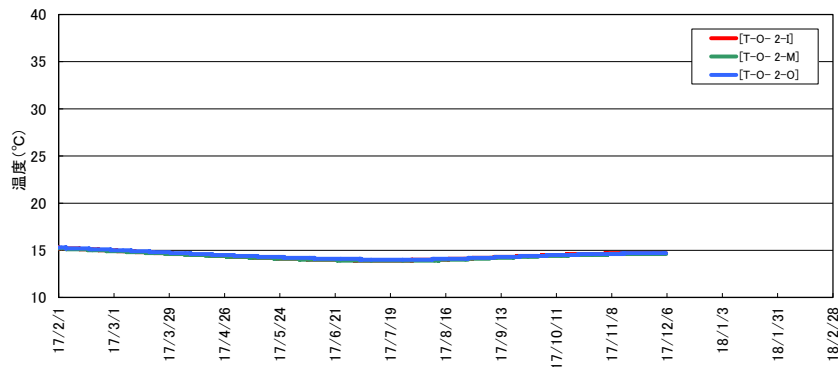
M: 中段

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)

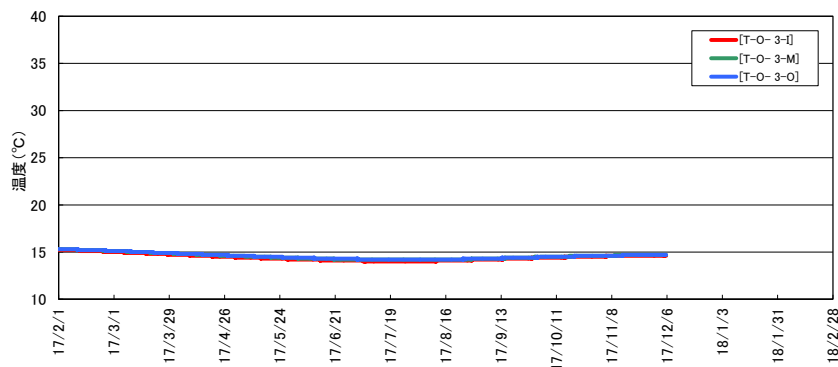
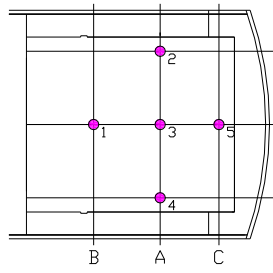


図 4.2-43 底部低拡散層の温度計測結果 (1/2)





測定結果の凡例

T-0-1-x

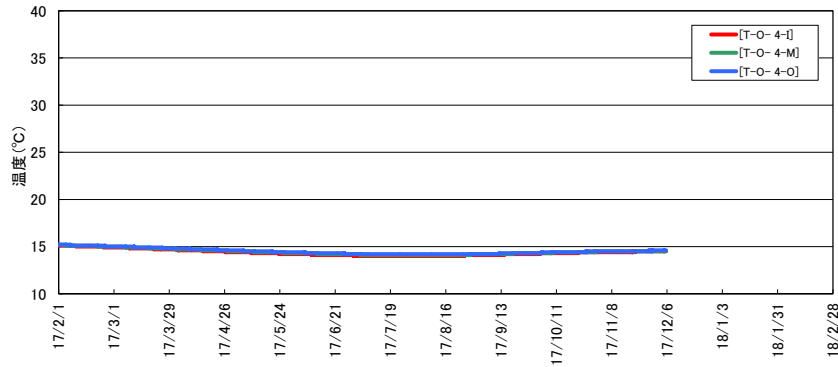
↓  
計器位置

I: 上段

M: 中段

O: 下段

底部低拡散層の温度 (A断面右)



底部低拡散層の温度 (C断面中央)

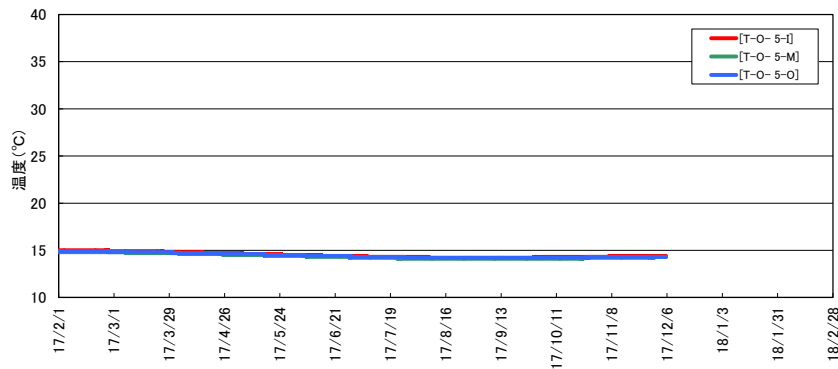
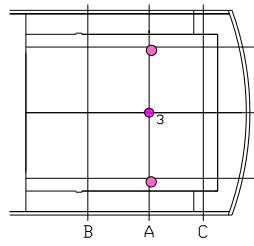


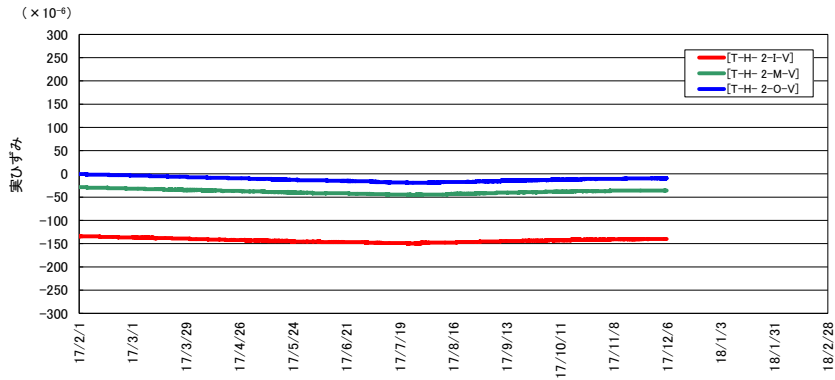
図 4.2-44 底部低拡散層の温度計測結果 (2/2)



測定結果の凡例  
 T-H-1-x-y  
 ↓  
 測定方向  
 V: 空洞軸  
 C: 空洞横断  
 ↓  
 計器位置  
 I: 上段  
 M: 中段  
 O: 下段

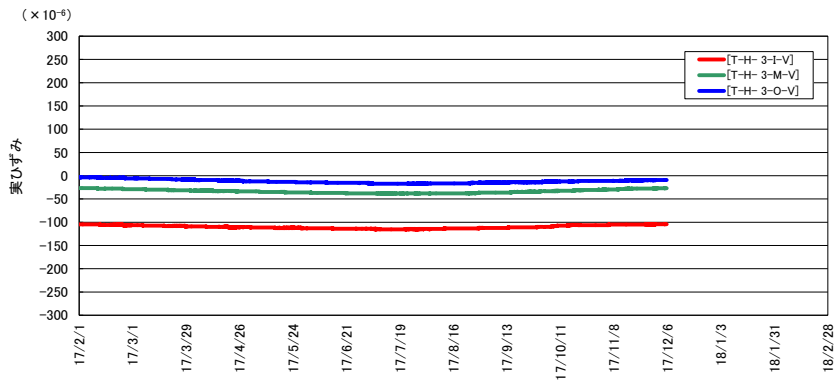
底部低拡散層の空洞軸方向変ひずみ (A断面左)

+ : 膨張、- : 収縮



底部低拡散層の空洞軸方向変ひずみ (A断面中央)

+ : 膨張、- : 収縮



底部低拡散層の空洞軸方向変ひずみ (A断面右)

+ : 膨張、- : 収縮

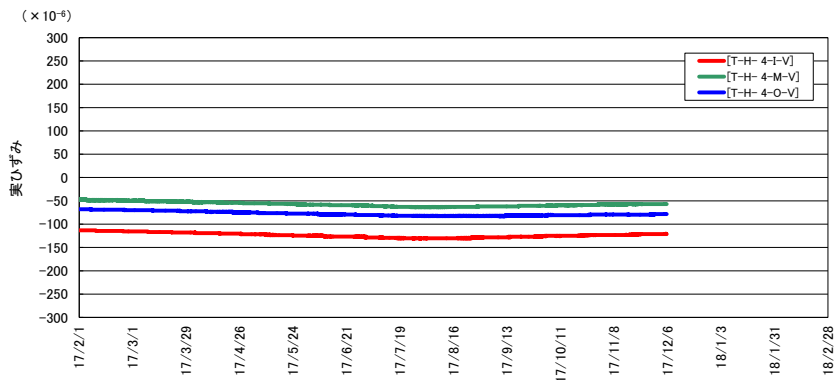
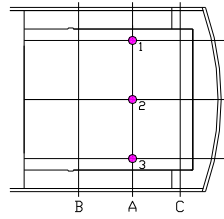


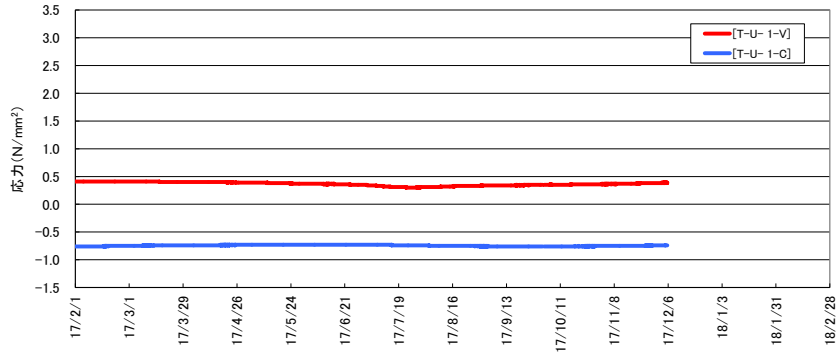
図 4.2-45 底部低拡散層のひずみ (空洞軸方向) 計測結果



測定結果の凡例  
 T-U-1-x  
 ↓  
 測定方向  
 V: 空洞軸  
 C: 空洞横断

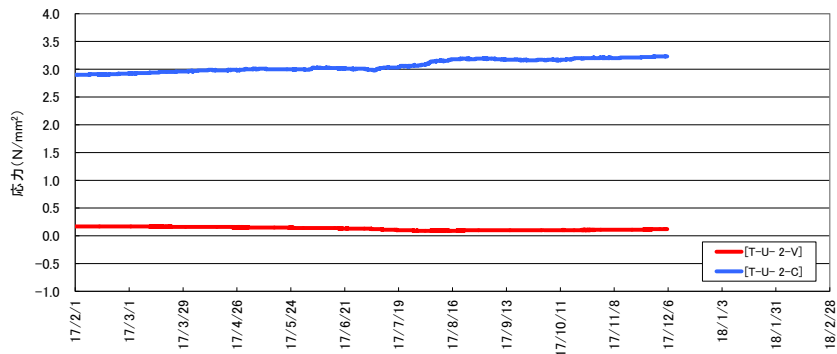
底部低拡散層のモルタル応力 (A断面左)

+ : 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

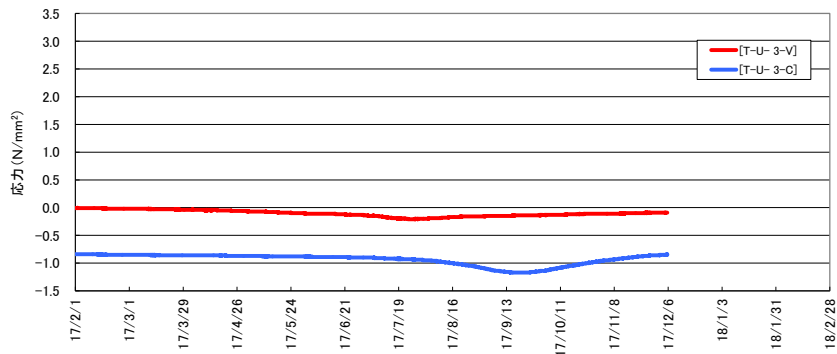


図 4.2-46 底部低拡散層の応力計測結果

## 底部低透水層設置計器

### 【間隙水圧】

底部低透水層と底部埋戻し材の境界に設置した間隙水圧計測結果を図 4.2-47 に示す。間隙水圧に変動は認められないことから、底部低透水層と底部埋戻し材の境界に水が浸入した可能性は小さい。

### 【沈下・土圧】

底部低拡散層のボーリング孔内の溜まり水が底部低透水層側から侵入したと仮定すると、ベントナイトは膨潤するはずである。「(3) 底部低透水層の計測結果の分析評価」で示したように、底部低透水層の沈下、土圧の各挙動に変状は認められないことから、ベントナイトは膨潤しておらず、底部低透水層を侵入経路とした水の浸入の可能性は小さい。

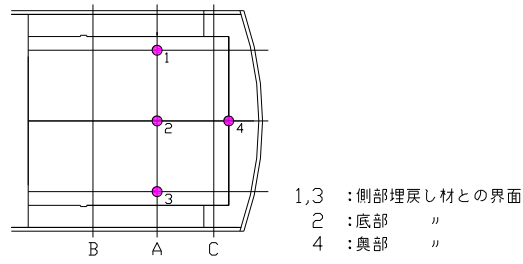
## 底部低拡散層・底部低透水層の計測結果のまとめ

### 底部低拡散層のひび割れ

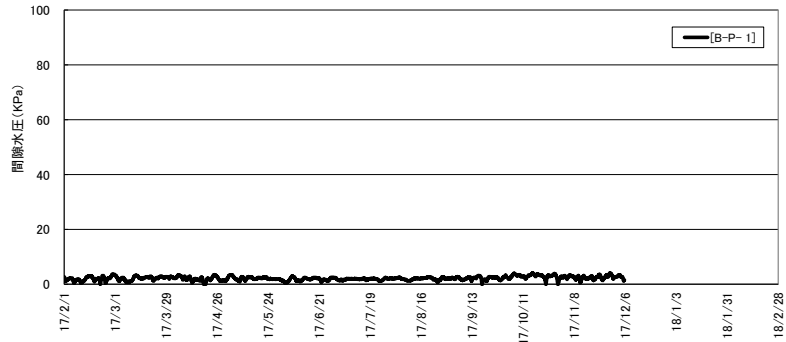
- ・ 底部低拡散層のひずみ、応力の計測結果より、特徴的な挙動は認められない。
- ・ 以上より、底部低拡散層にひび割れは発生していないものと考えられ、BTV 観察の結果と整合する。

### 底部低透水層への水の浸入

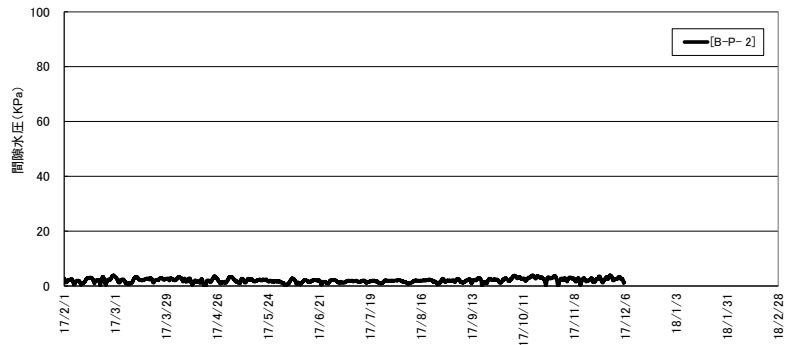
- ・ 底部埋戻し材と底部低透水層の境界において間隙水圧の変化は無く、底部低透水層の下部から水が浸入した痕跡は認められない。
- ・ 沈下計、土圧計の計測挙動は昨年度までと大きくかわらず、特異な挙動を示していないことから外部から底部低透水層に水が浸入してベントナイトが膨潤した可能性は小さい。
- ・ 以上から、底部低透水層を侵入経路として底部低拡散層の観察孔内に水が浸入した可能性は小さい。



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)



底部低透水層の間隙水圧 (C断面中央)

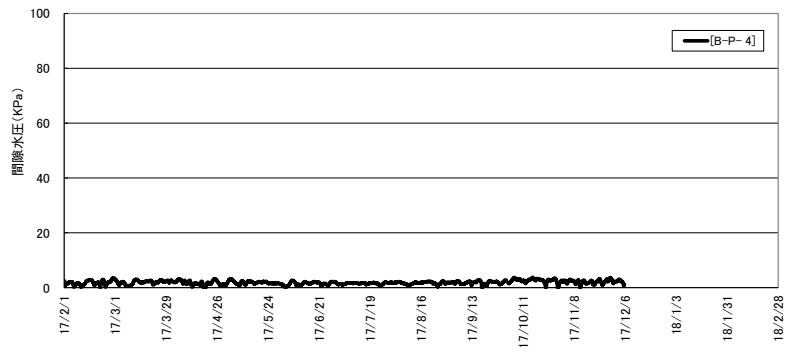


図 4.2-47 底部低透水層の間隙水圧計測結果

## (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およ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 4.2-48 に、間隙水圧計の設置位置および計測区間を図 4.2-49、表 4.2-4 に示す。

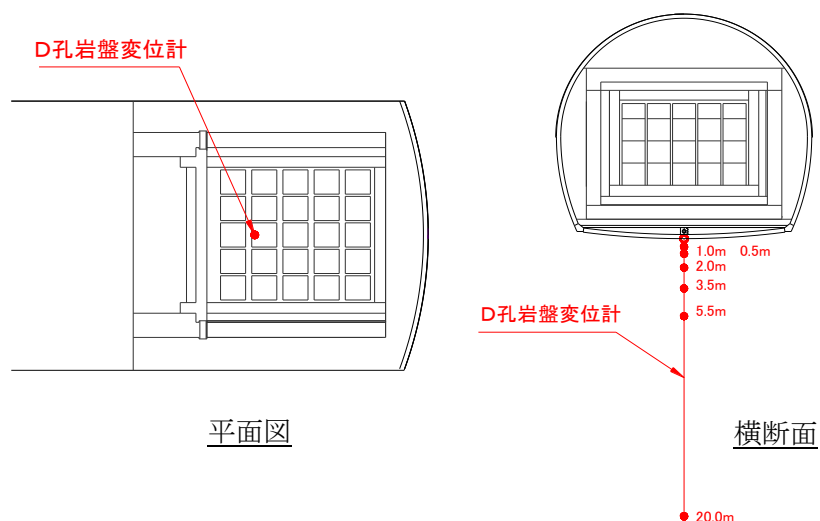
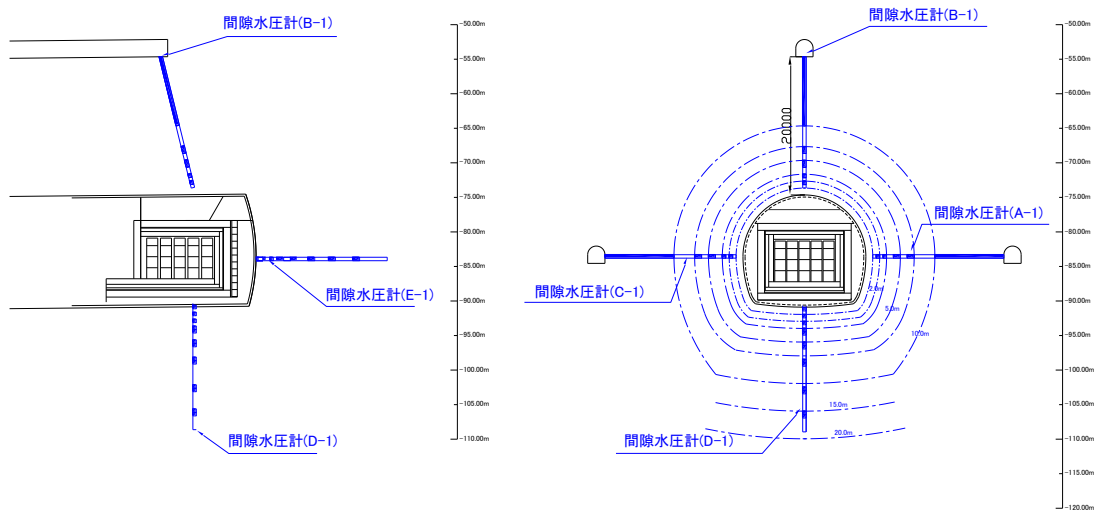


図 4.2-48 D 孔岩盤変位計位置図



(試験空洞縦断面図)

(試験空洞横断面図)

図 4.2-49 間隙水圧計位置図

表 4.2-4 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 29 年 2 月 1 日から平成 29 年 12 月 5 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 4.2-50 に示す。また、両日における岩盤変位分布図を図 4.2-51 に示す。これより、平成 29 年 12 月 5 日時点での岩盤変位は、沈下挙動を呈し、最大 1.13mm (深度 0.5m) であり、BTV で確認された岩盤内のひび割れ近傍で大きくなっている。また、平成 29 年 2 月 1 日から平成 29 年 12 月 5 日の間の岩盤変位の変化は最大で 0.08mm (深度 0.0m) 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 29 年 12 月 5 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(4.2-1) のようになる[2]。

$$E = \frac{\pi a(1-\nu^2)}{2} \frac{\Delta P}{\Delta \delta} \quad (4.2-1)$$

ここに、 $E$ ：岩盤の弾性係数、 $a$ ：載荷板の半径、 $\nu$ ：岩盤のポアソン比、 $\Delta P$ ：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。 $\Delta P$ 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<sup>3</sup>、厚さ：0.444m より算出）および表 4.2-1 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。

$\Delta \delta=1.13\text{mm}$ （平成 29 年 12 月 5 日時点の最大値）、 $\nu=0.47$ （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(4.2-1 より岩盤の弾性係数を計算すると  $E=1800\text{MPa}$  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  $E=2000\text{MPa}$  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。



D孔岩盤変位経時変化

+:上昇 -:沈下

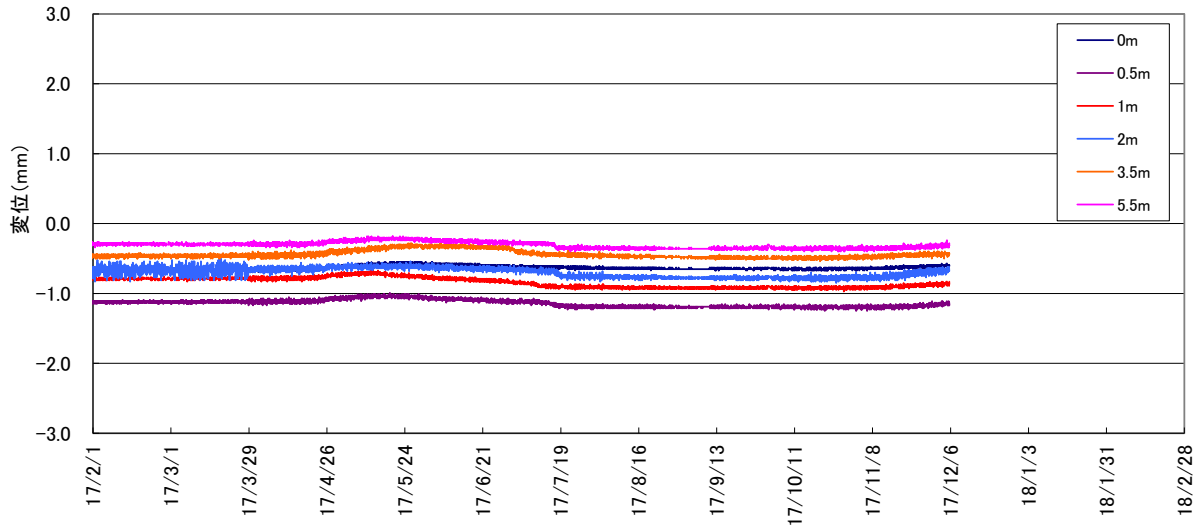


図 4.2-50 D孔岩盤変位計経時変化図

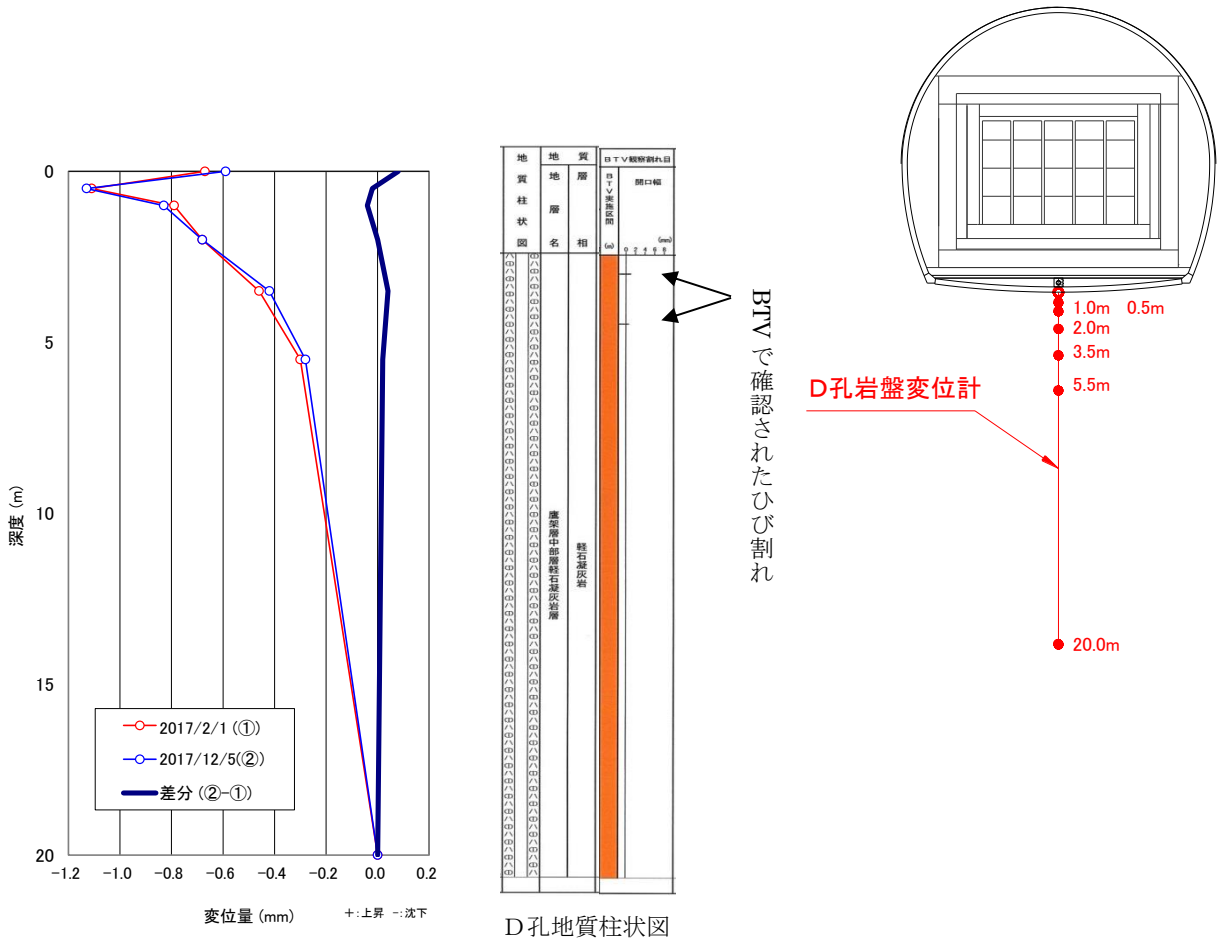


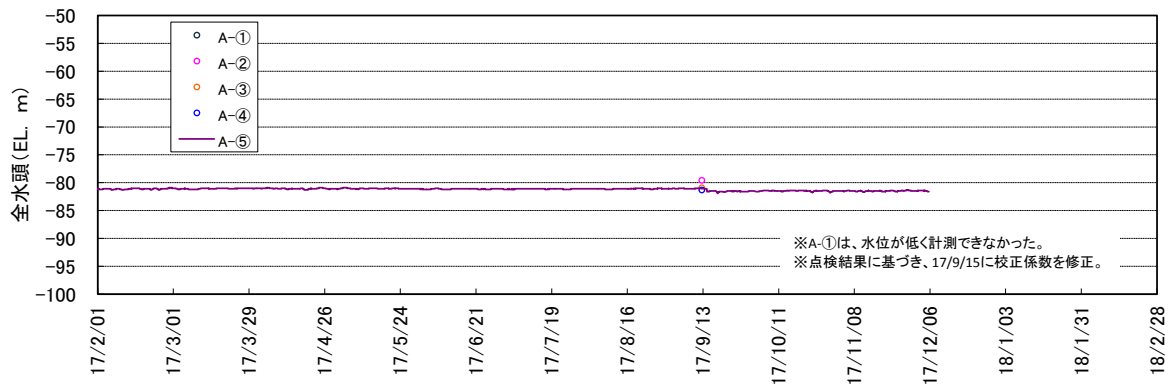
図 4.2-51 D孔岩盤変位計経時分布

## 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 4.2-52～図 4.2-53 に示す。今年度および過年度の点検において故障と判断したセンサについては、別途計測を実施し（2017年9月）、グラフには○印でプロットした。正常に稼働しているセンサは、今年度の点検結果に基づき、2017年9月15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。

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

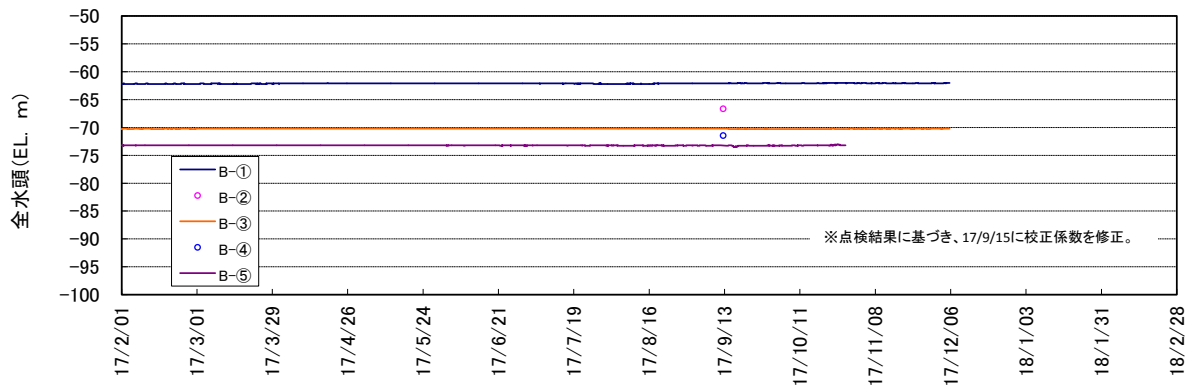
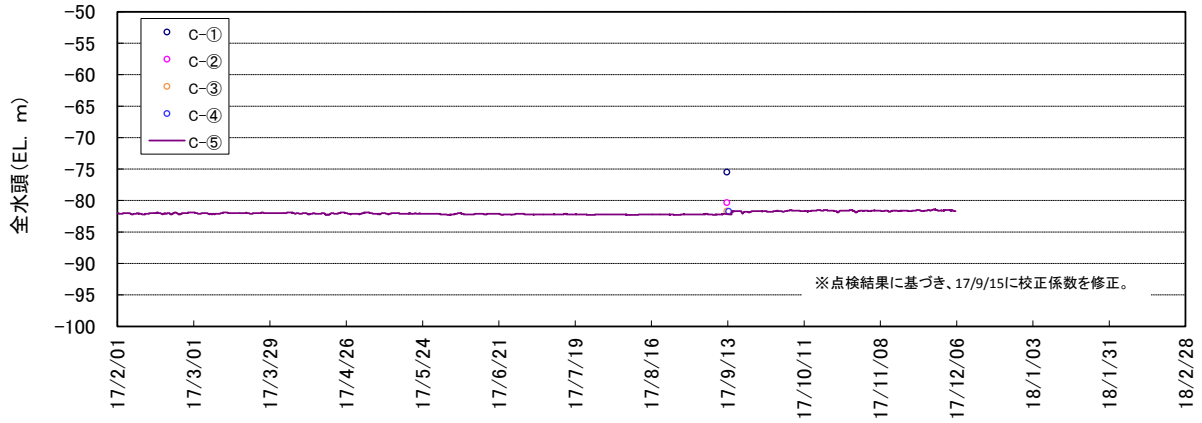
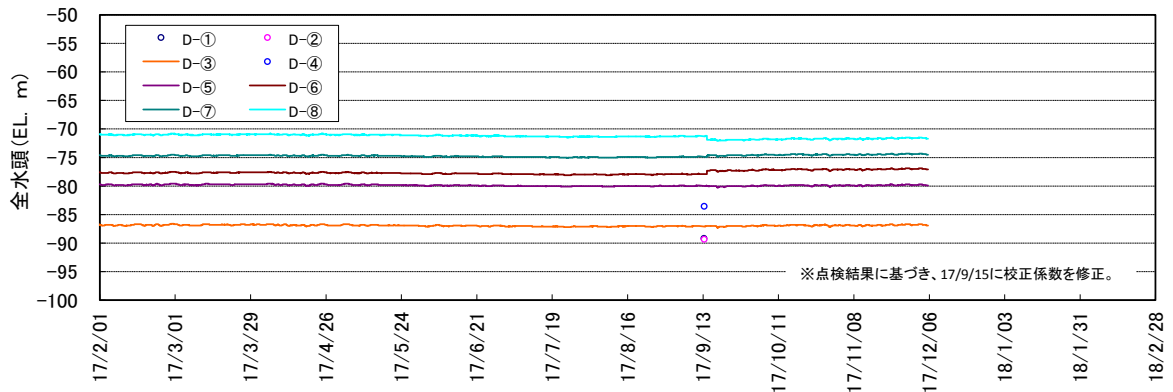


図 4.2-52 間隙水圧経時変化 (A、B 孔)

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

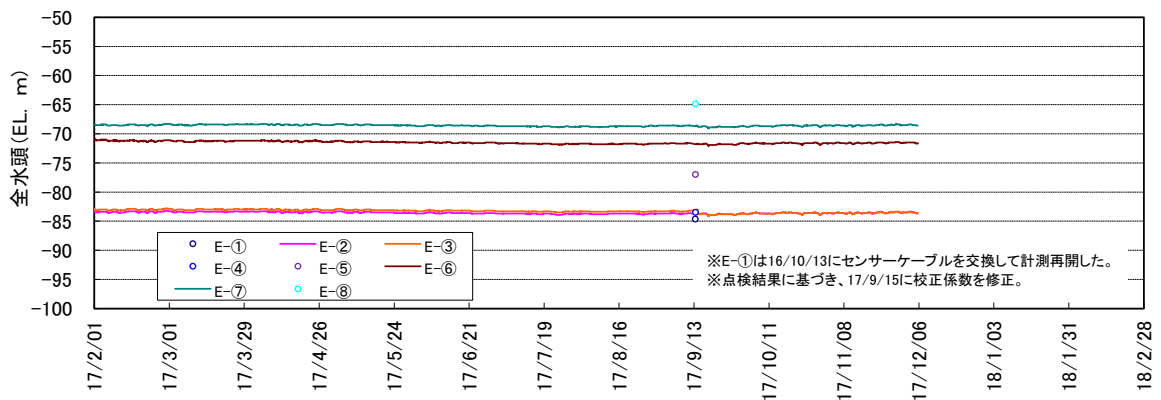


図 4.2-53 間隙水圧経時変化 (C、D、E 孔)

## 4.2.2 地震計の観測データの整理と挙動分析

### (1) 検討フロー

地震計の観測データに基づき、地震時の実規模施設の応答挙動（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、観測データを加工した波形を入力地震動として地震応答解析を実施する。

地震計の観測データの整理・分析およびそのデータを用いた地震応答解析の検討フローを図 4.2-54 に示す。

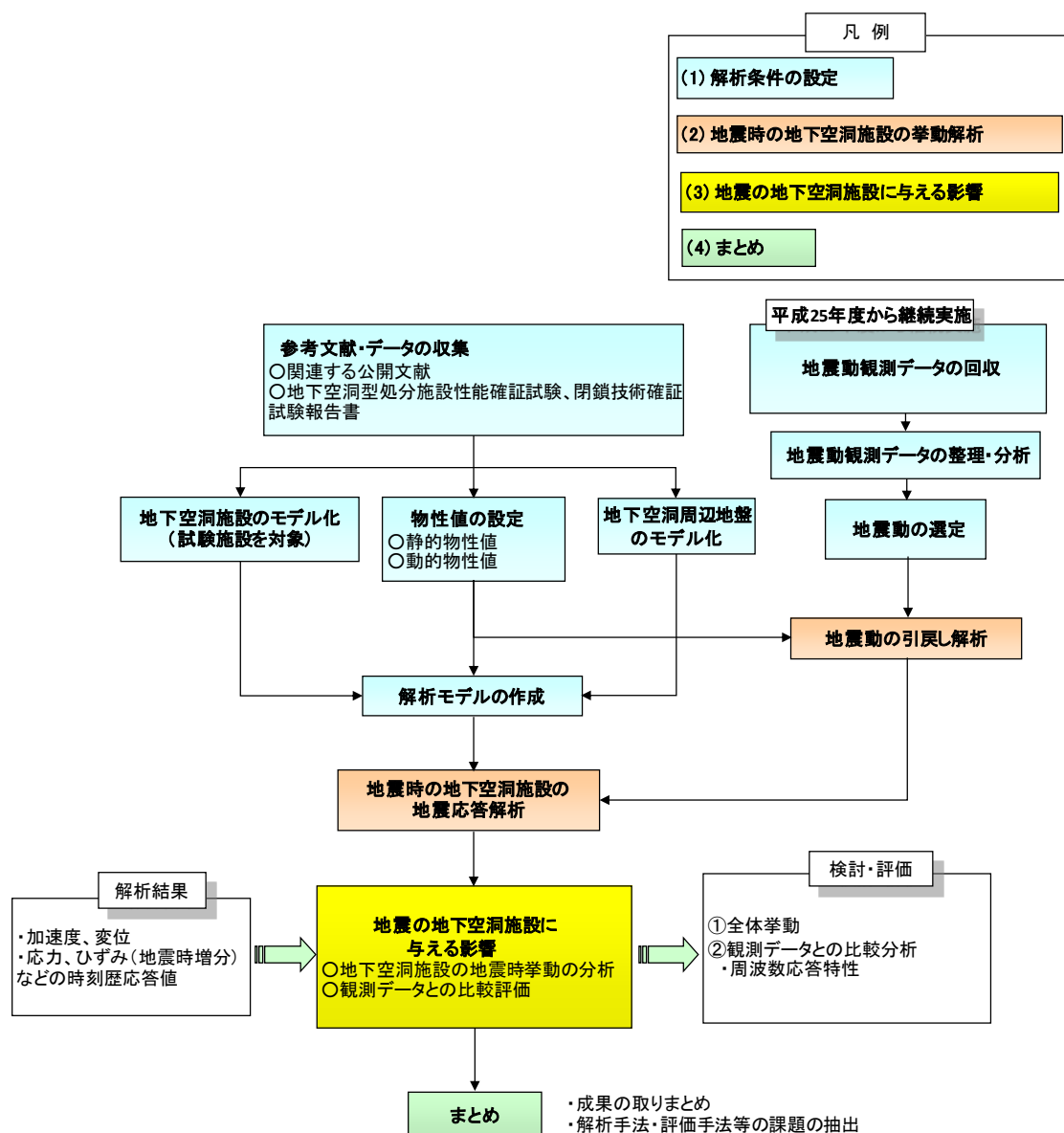


図 4.2-54 検討フロー

## (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】

- ・ 今年度の観測では、計 9 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 1 月 24 日の観測地震動で、地震計① (x 方向) と地震計③ (x, y 方向) が 6.9Gal を記録し最大となった。
- ・ 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

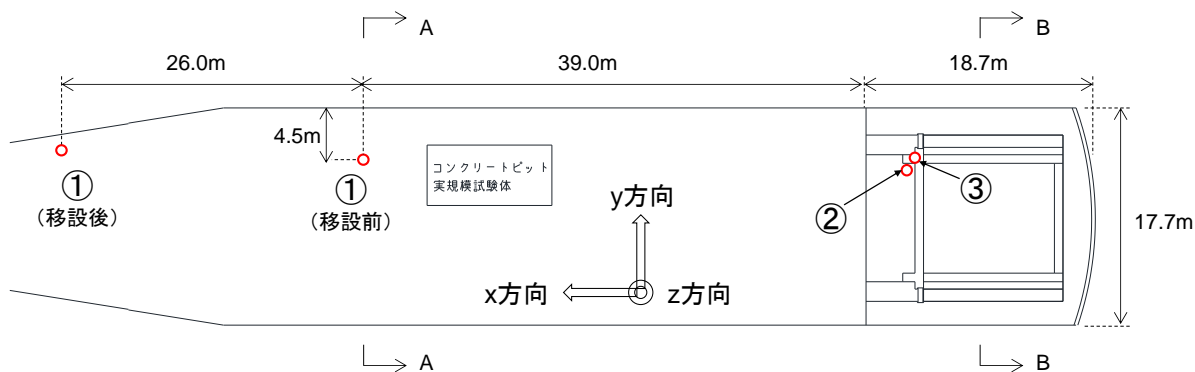
地震計の計器設置について概要を以下に示す。

#### a. 地震計設置位置

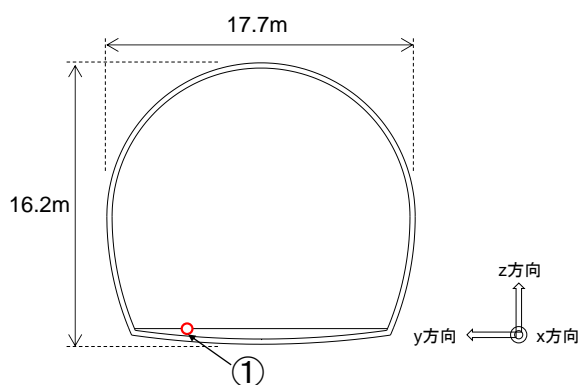
地震計は計 3 台設置し、それぞれ地震計①～③を称することとする。観測を開始した平成 25 年 10 月から平成 27 年 5 月までは、図 4.2-55 のように、地震計①は試験施設から比較的離れた底盤上、地震計②は底部コンクリートピット上、地震計③は手前部コンクリートピット上としていた。しかし、平成 27 年度の観測中に、空洞の停電等により排水ポンプが停止し、空洞底盤部が浸水した際、空洞底盤上にある地震計①が水没し故障する事故が発生した。このことから、今後の運用を考慮して、平成 27 年 10 月に、図 4.2-55 の平面図に示すように地震計①の設置場所を現位置から坑口側に約 26m 移動した。

各地震計の設置位置選定根拠を表 4.2-5 に示す。なお、各地震計の計測方向は以下とする。

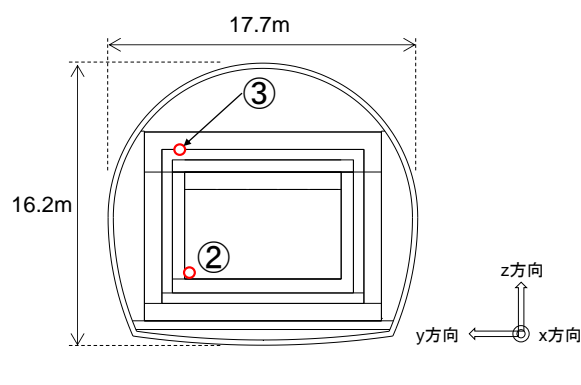
- ・ x 方向：空洞軸方向
- ・ y 方向：空洞横断方向
- ・ z 方向：鉛直方向



(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 4.2-55 地震計設置位置

表 4.2-5 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 4.2-6 に、地震計設置状況を図 4.2-56 に示す。

表 4.2-6 地震計の仕様

名称	仕様	機種
加速度センサ	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 サンプリング周波数：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 GPUKSNSP-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 4.2-56 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 4.2-7 に示す。

表 4.2-7 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（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 2017 年 4 月 1 日以降に観測された地震動一覧を、気象庁発表[3]の六ヶ所村尾駁観測点における情報も併せて表 4.2-8 に示す。なお、2018/1/29 の震度（六ヶ所村尾駁）は、1 未満であった。

観測データは、添付資料 5 に記載する。

表 4.2-8 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 尾駁)	震度 (六ヶ所村 尾駁)
2017/9/10 17:44:24	浦河沖	M5.6	43km	160km	2
2017/9/27 5:22:11	岩手県沖	M6.1	35km	125km	2
2017/11/5 6:5:43	青森県三八上 北地方	M4.3	112km	139km	1
2017/12/2 5:48:1	浦河沖	M4.9	67km	166km	1
2017/12/16 2:58:44	岩手県沖	M5.5	52km	164km	1
2017/12/20 4:49:25	青森県東方沖	M4.1	57km	79km	1
2018/1/24 19:51:19	青森県東方沖	M6.3	34km	97km	3
2018/1/28 4:43:29	岩手県沖	M4.9	35km	134km	1
2018/1/29 12:59:58	青森県東方沖	M4.4	37km	95km	—



### 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[3]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」[4]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および震源深さをプロットした図を図 4.2-57 に示す。今年度観測された地震動は、全て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。

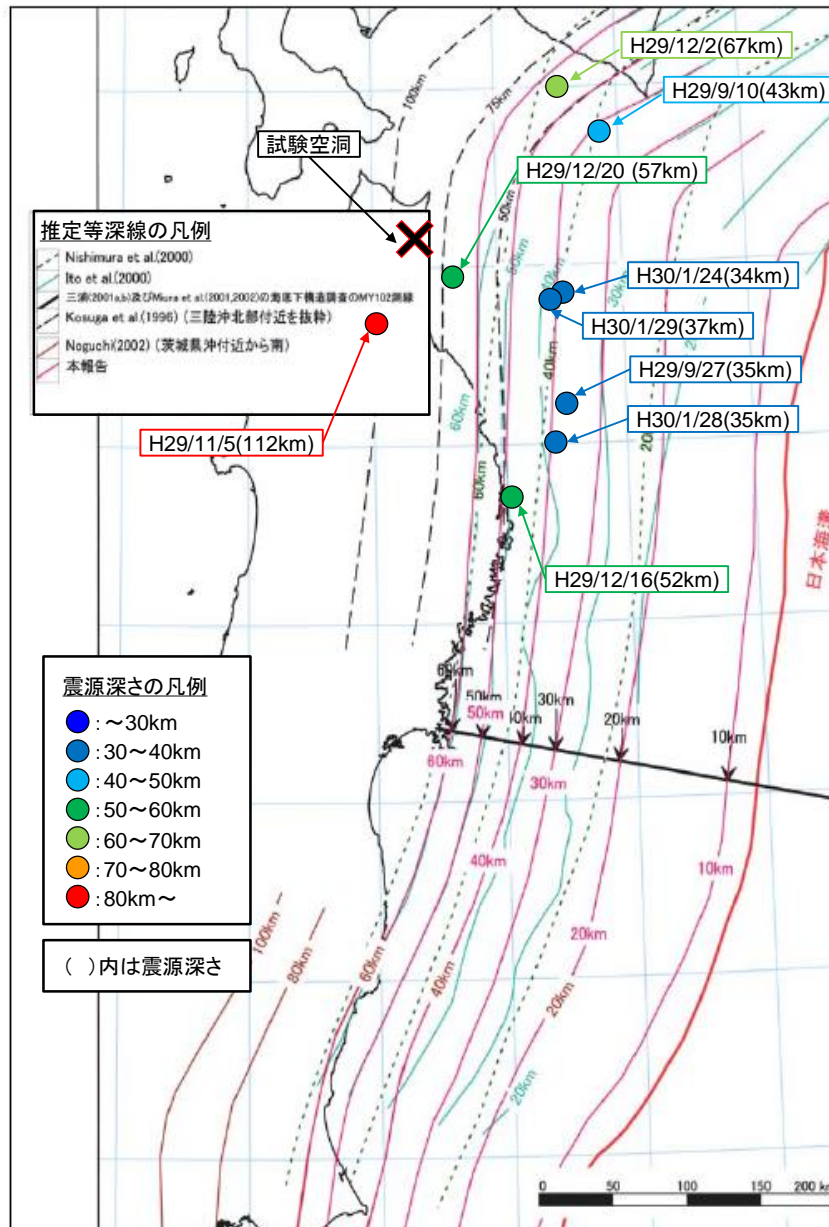


図 4.2-57 今年度観測された地震動の震源深さとプレート境界面推定等深線の関係 ([4]に加筆)

## b. 最大加速度

観測地震動の最大加速度一覧を表 4.2-9 に、計測方向毎の最大加速度比較を図 4.2-58～図 4.2-60 に示す（過去のデータも併記した）。これまで観測した 47 回の地震の中で、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 4.2-61、最大加速度の比率と震源距離の関係を図 4.2-62、また両者のデータを表 4.2-10 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 4.2-62 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 以上となっており、鉛直方向の最大加速度が水平方向より大きくなる傾向が見られる。

表 4.2-9 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						
			11/5	12/2	12/16	12/20	1/24	1/28	1/29
地震計①	0	x	1.8	1.0	2.2	1.2	7.4	1.0	0.7
		y	2.5	1.3	1.8	1.4	6.9	1.4	0.7
		z	1.5	0.8	1.2	1.0	6.1	1.0	1.5
地震計②	2.9	x	2.1	1.0	1.9	1.6	8.5	1.0	0.8
		y	1.8	1.5	2.3	1.5	8.1	1.5	1.0
		z	1.8	0.8	1.4	1.6	6.5	0.8	2.0
地震計③	10.34	x	2.1	1.1	2.0	1.8	9.1	1.1	1.0
		y	1.9	1.6	2.4	1.6	8.7	1.6	1.3
		z	1.8	0.8	1.4	1.6	6.6	0.8	2.0

\*試験空洞底盤高さを基準とした。

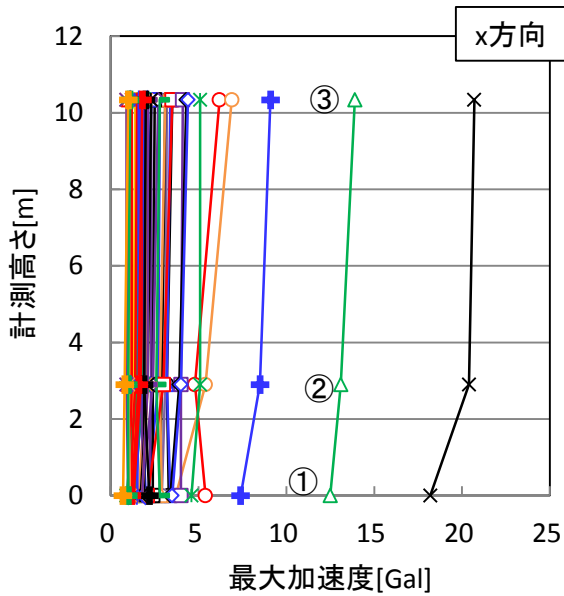
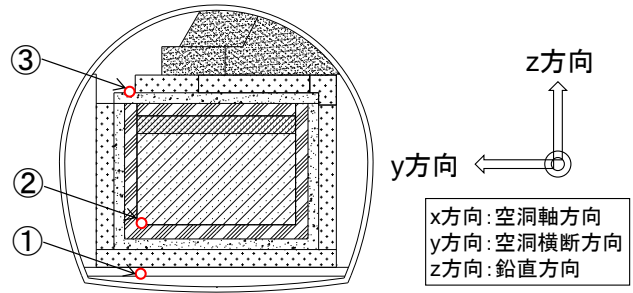


図 4.2-58 x 方向の最大加速度比較

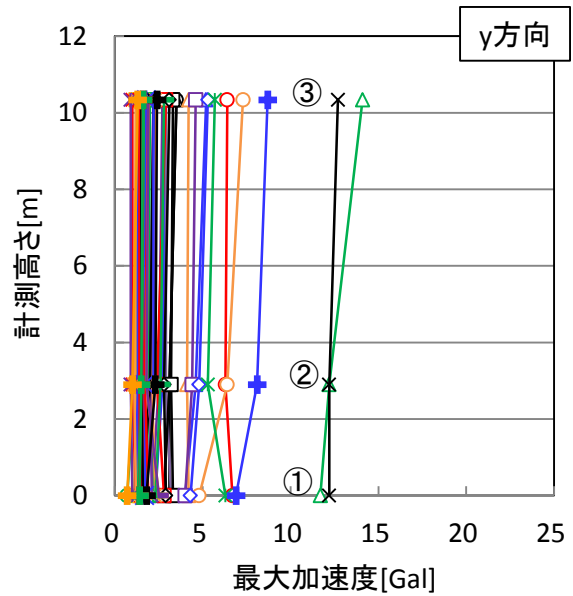


図 4.2-59 y 方向の最大加速度比較

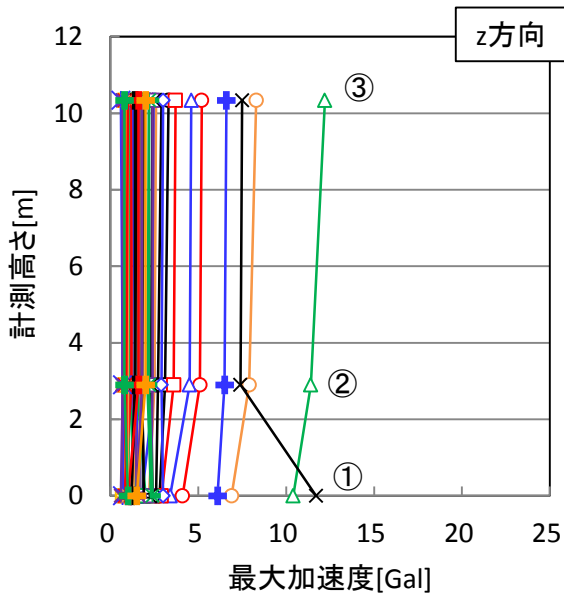


図 4.2-60 z 方向の最大加速度比較

○ 2013/10/26	○ 11/15	○ 12/27
○ 2014/5/19	○ 6/9	○ 6/15
△ 7/5	△ 7/21	△ 7/25
△ 8/10	△ 9/10	△ 10/3
□ 10/11	□ 10/14	□ 10/27
□ 11/2	□ 2015/1/9	□ 2/17(1)
◇ 2/17(2)	◇ 4/30	◇ 11/1
◇ 2016/1/11(1)	◇ 1/11(2)	◇ 1/12
× 1/14	× 2/2	× 5/3
× 5/24	× 5/25	× 7/16
× 7/19	× 7/24	× 8/17
× 9/26	× 10/3	× 11/12
× 11/22	× 11/23	× 2017/9/10
× 9/27	× 11/5	× 12/2
× 12/16	× 12/20	× 1/24
× 1/28	× 1/29	

凡 例

\*計測高さは、試験空洞底盤高さを基準とした。

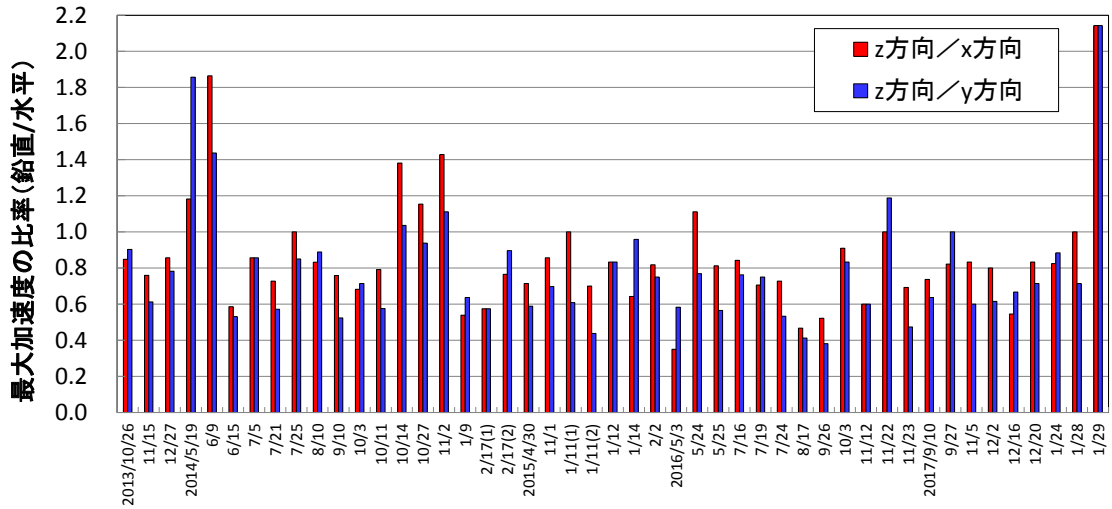


図 4.2-61 鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率（地震計①）

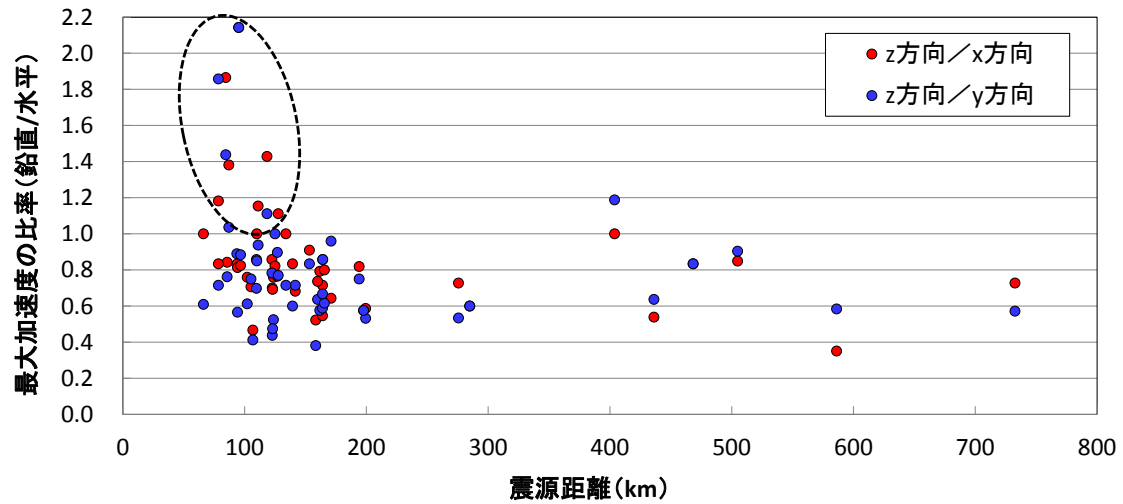


図 4.2-62 鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率と震源距離の関係（地震計①）

表 4.2-10 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						
		11/5	12/2	12/16	12/20	1/24	1/28	1/29
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
	z方向/y方向	0.60	0.62	0.67	0.71	0.88	0.71	2.14
震源距離(km)	-	139	166	164	79	97	134	95

以降では、今年度観測された9回の地震動について、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およ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およ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 4.2-63～図 4.2-71 に示す。図 4.2-63～図 4.2-71 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 4.2-11 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、既往の観測データおよ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 4.2-72 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[5]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。

$$T=0.18/100 \times H \pm 0.05 \quad (T: \text{固有周期}[\text{s}], H: \text{堤高}[\text{m}])$$

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。



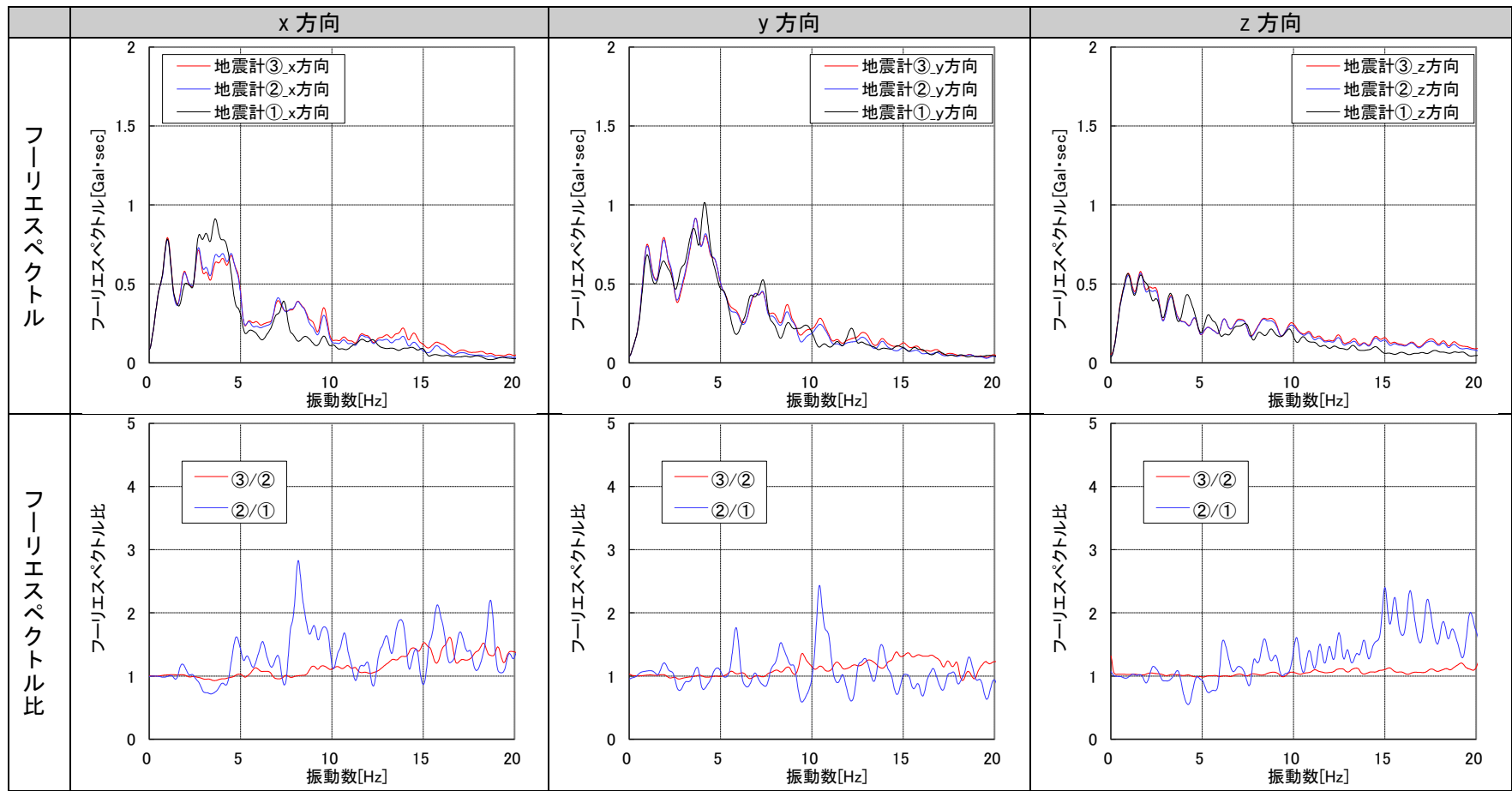
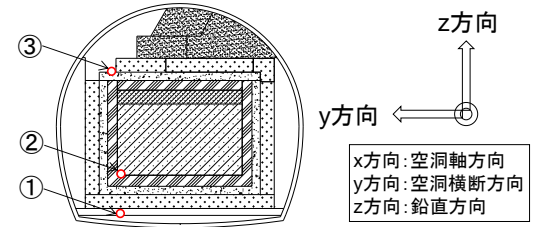


図 4.2-63 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017年9月10日)

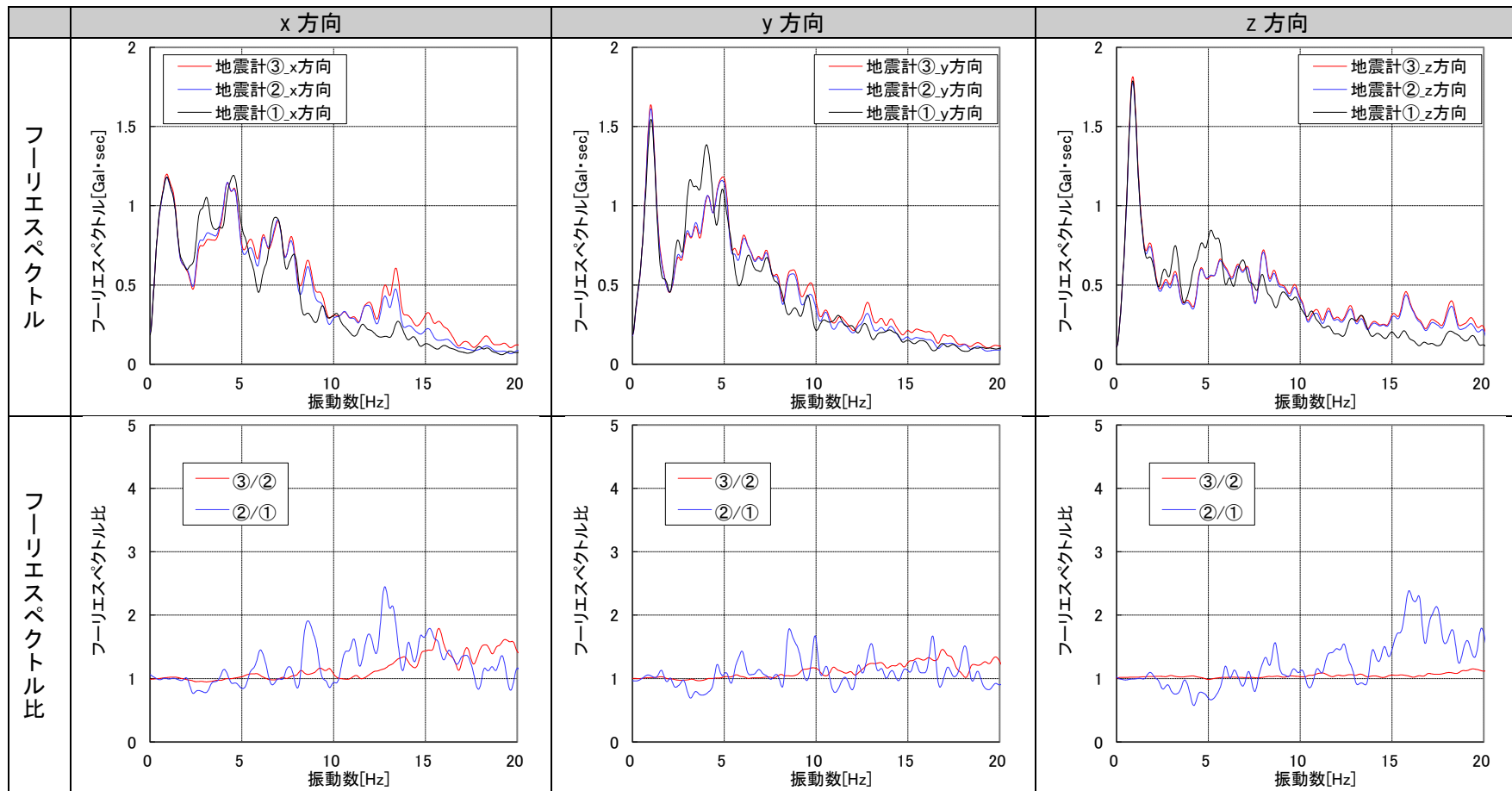
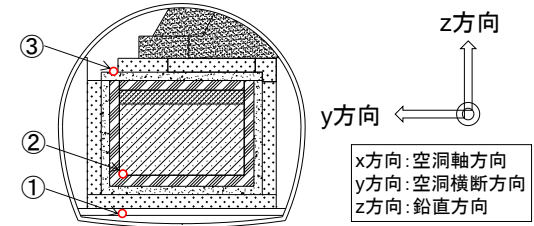


図 4.2-64 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017年9月27日)

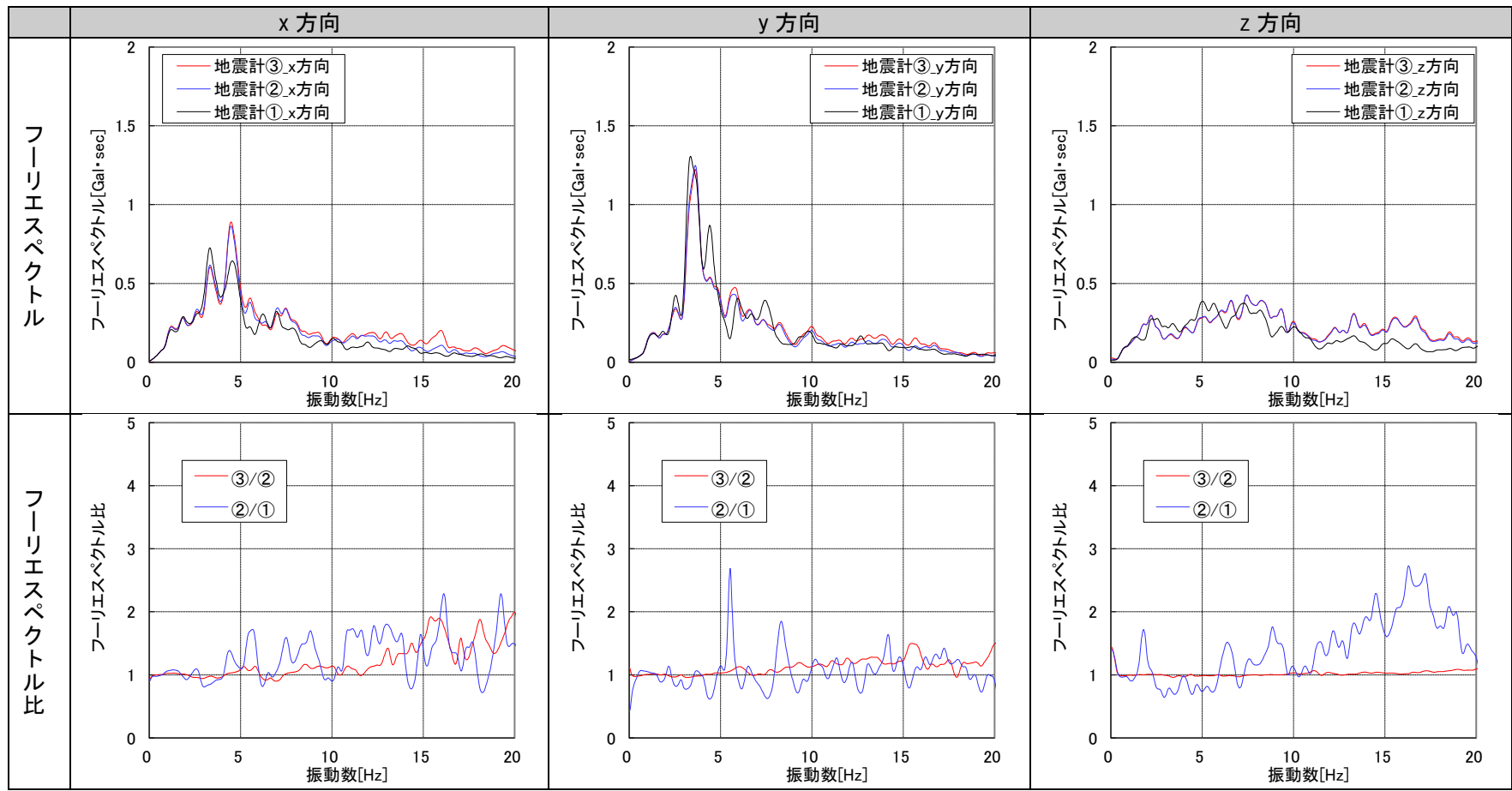
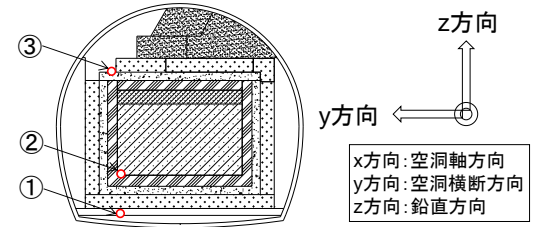


図 4.2-65 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017年11月5日)

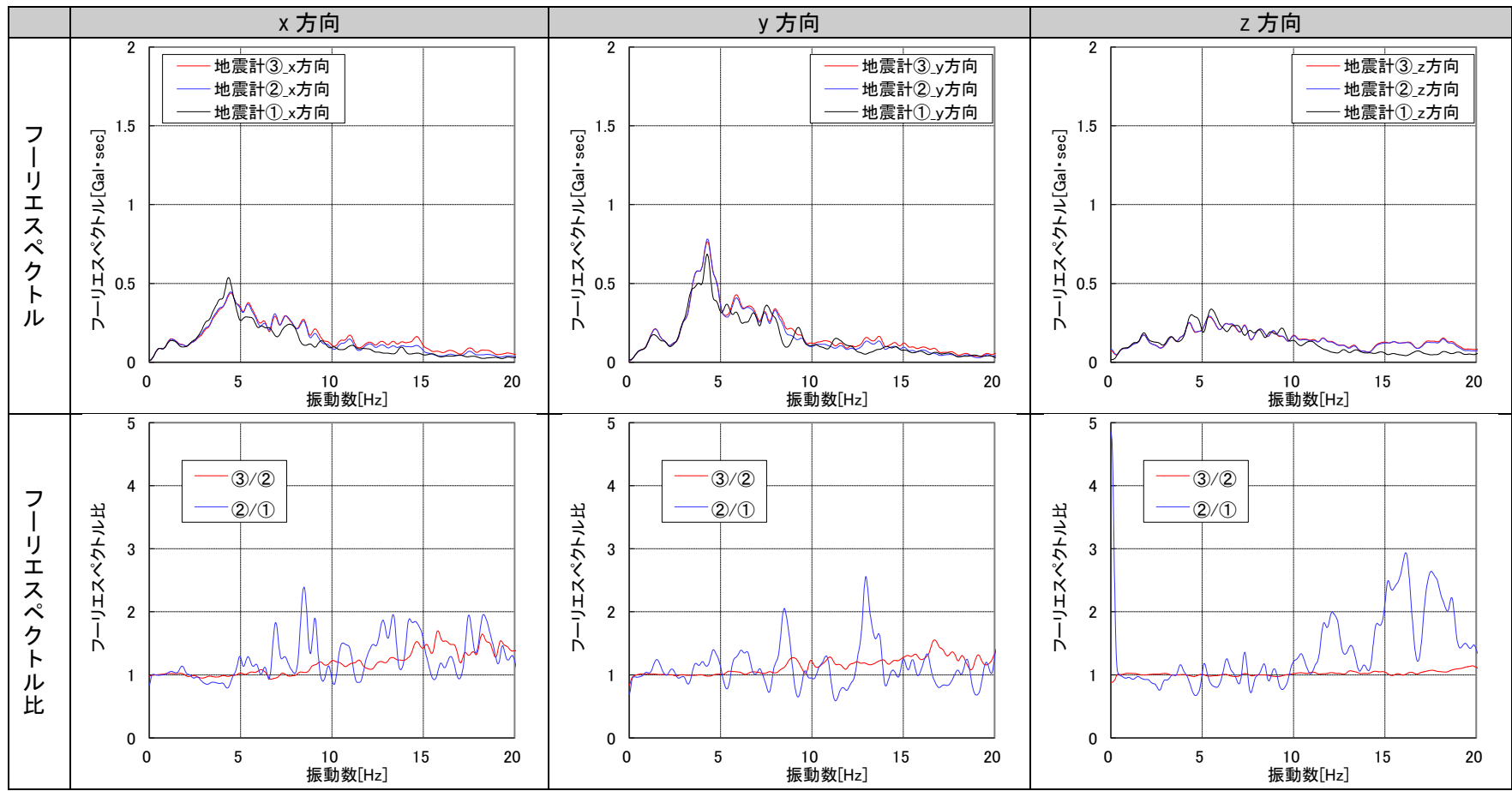
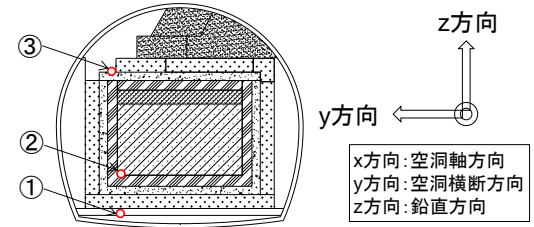


図 4.2-66 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017年12月2日)

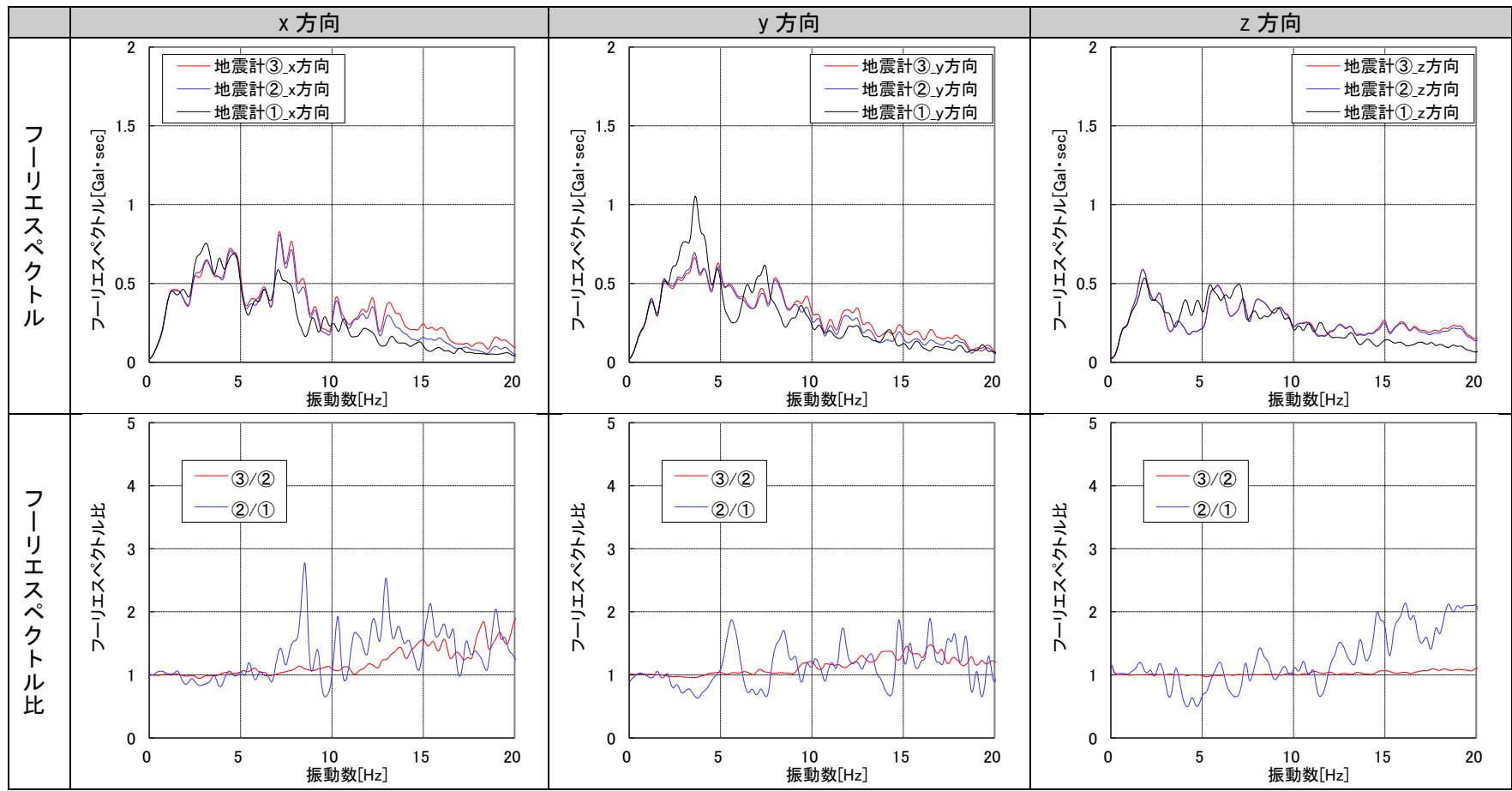
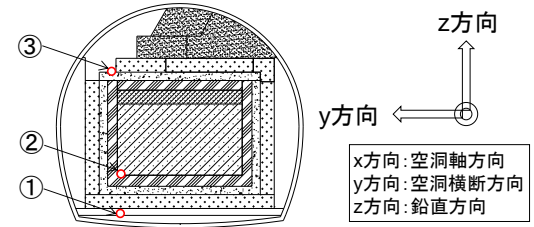


図 4.2-67 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017年12月16日)

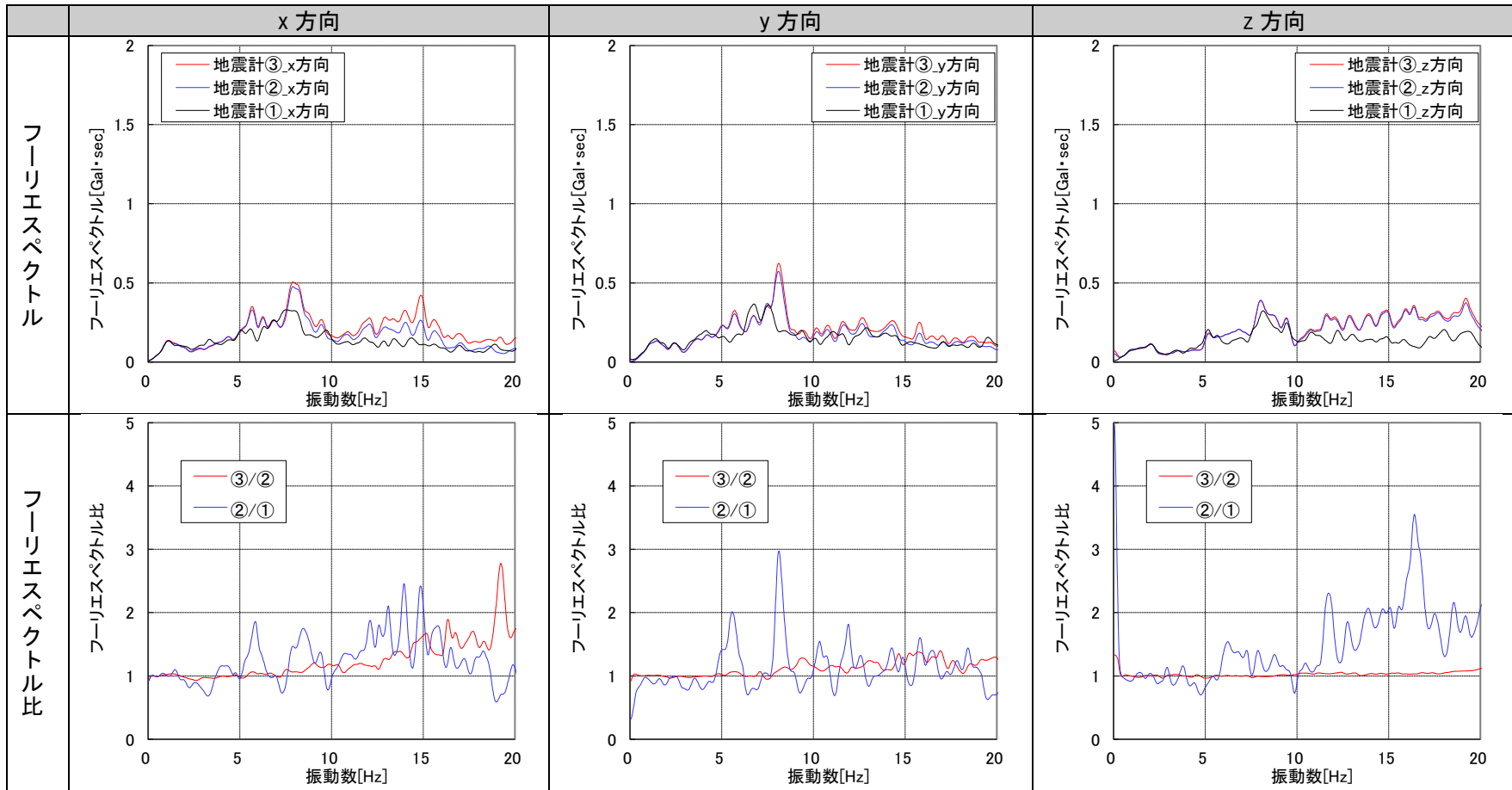
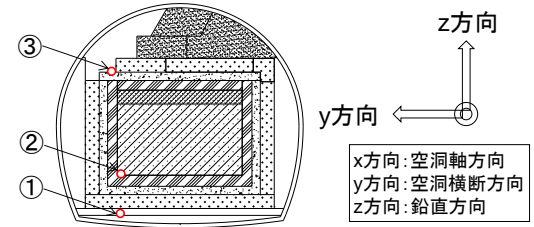


図 4.2-68 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2017年12月20日)

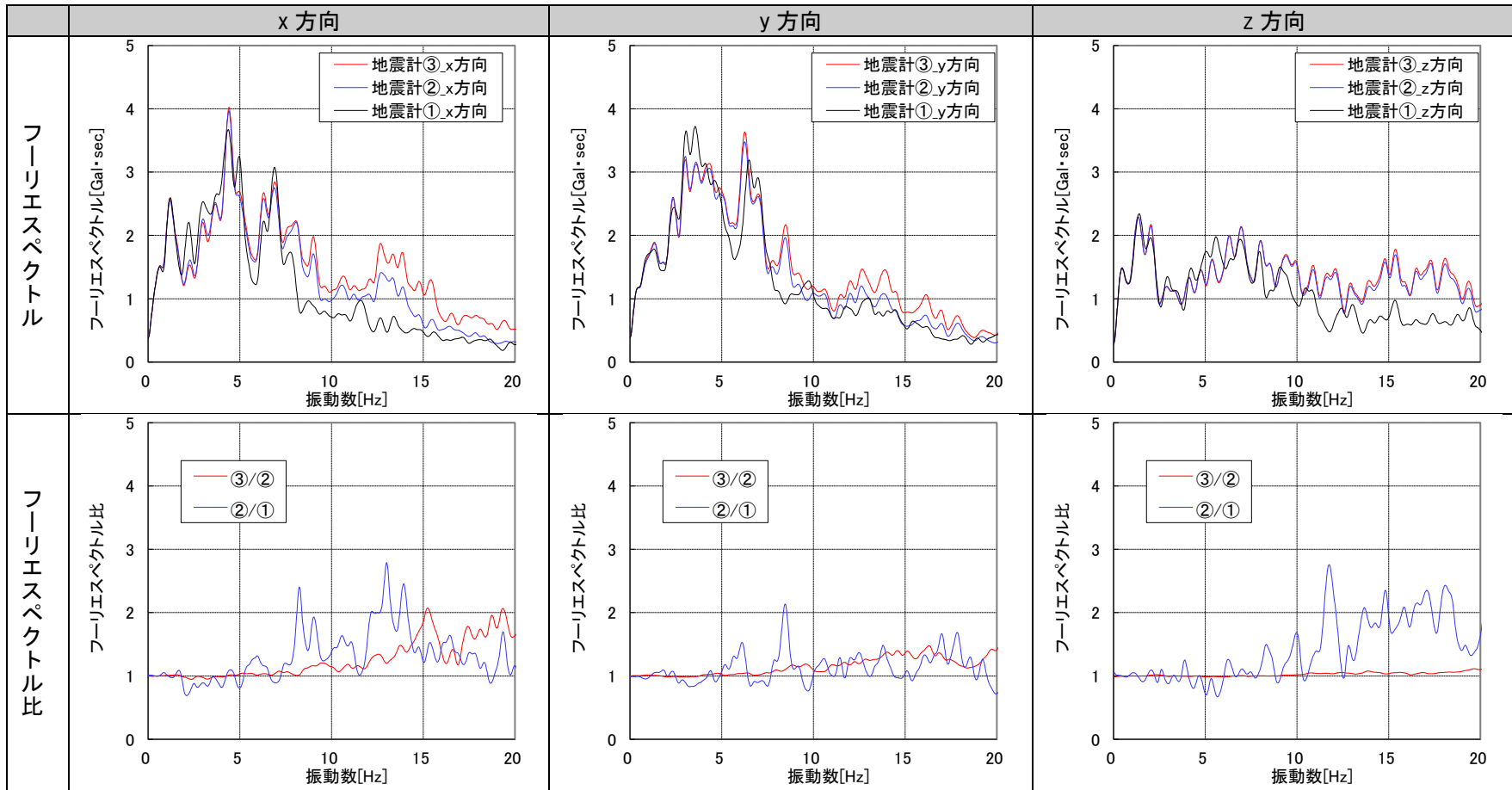
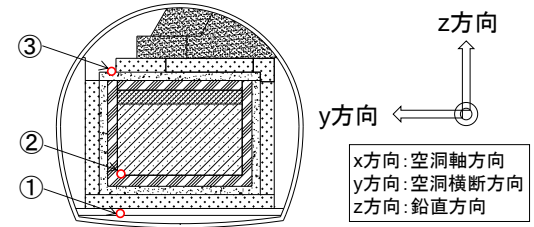


図 4.2-69 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2018年1月24日)

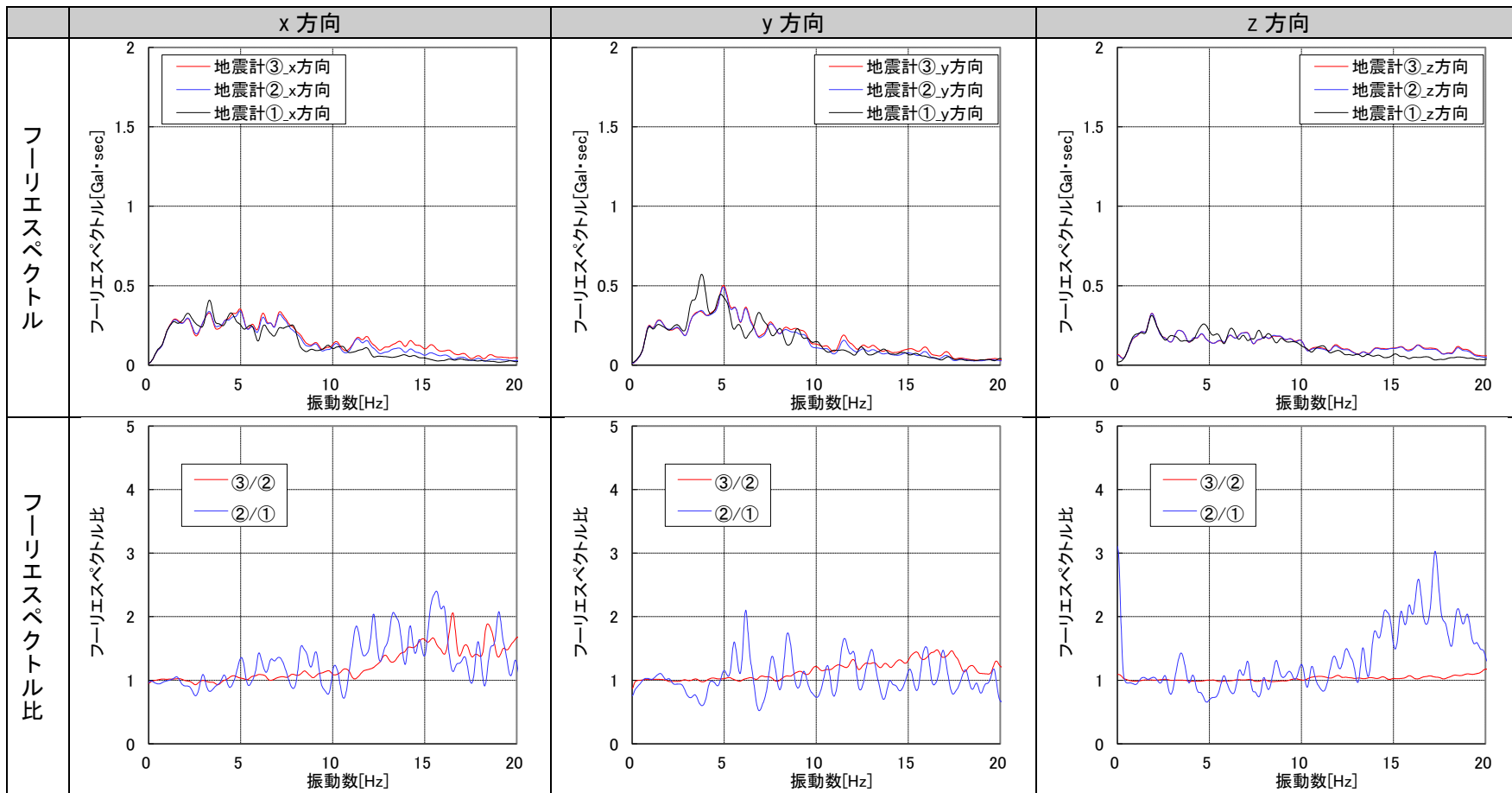
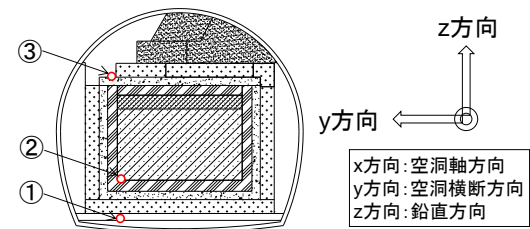


図 4.2-70 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2018年1月28日)



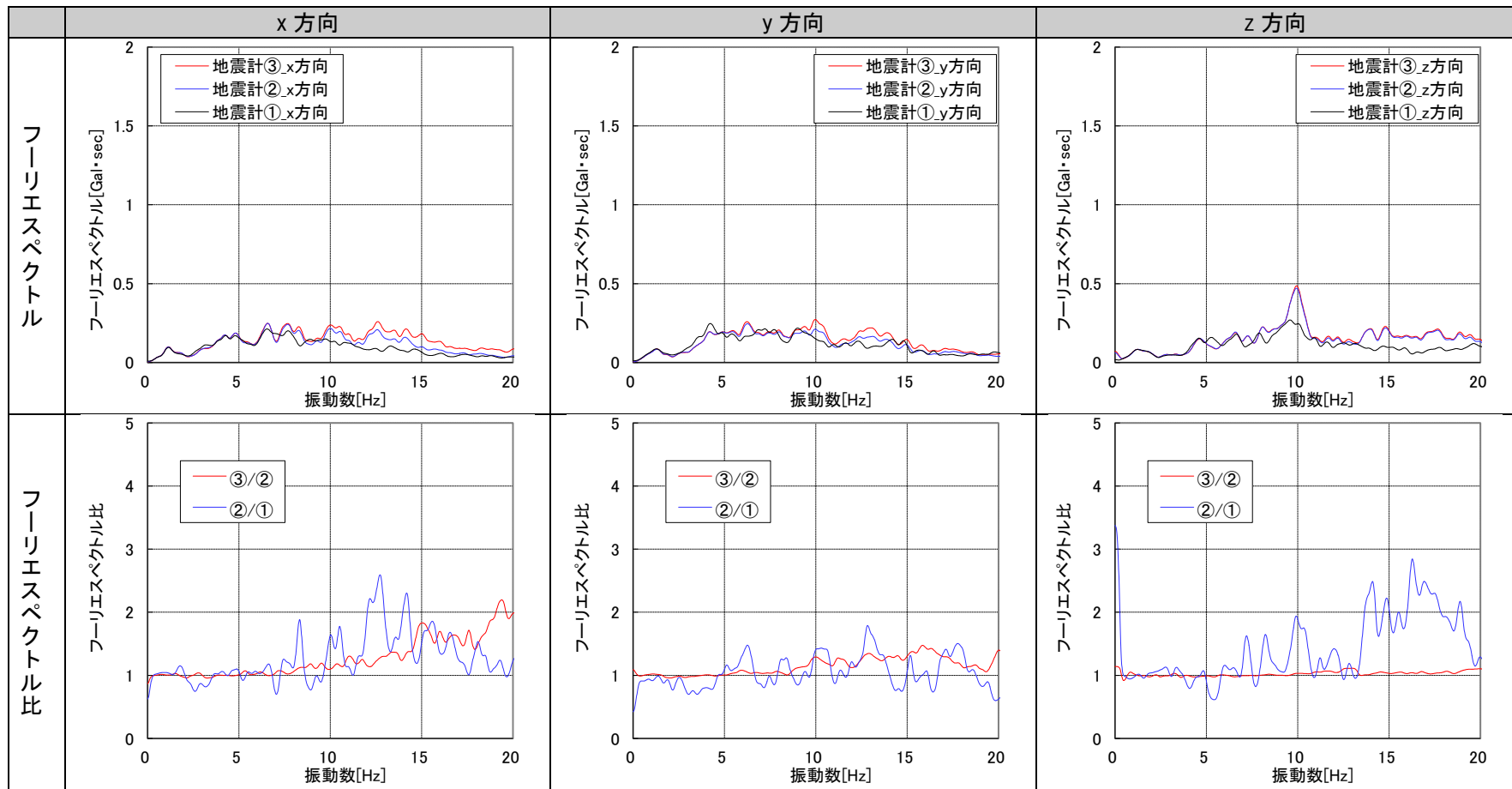
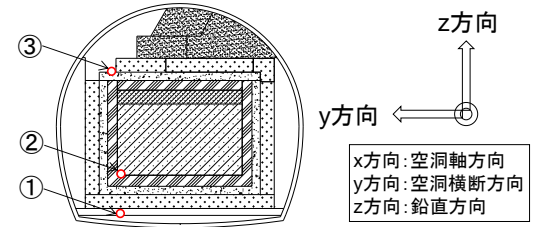


図 4.2-71 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2018年1月29日)

表 4.2-11 試験施設の3次元的構造の特徴

縦断面図	横断面図
<ul style="list-style-type: none"> <li>剛性の小さい低透水層が側壁として構築されていない。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>側部低透水層が左右に構築されている。</li> </ul>

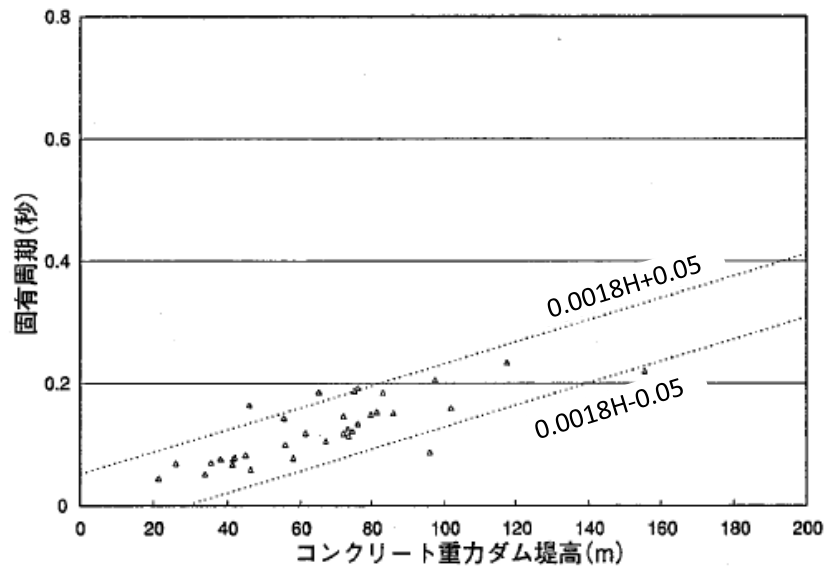


図 4.2-72 コンクリート重力ダムの固有周期と堤高の関係[5]

#### 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[6]で観測されたデータを比較する。

KiK-net 六ヶ所の詳細を表 4.2-12、試験空洞と KiK-net 六ヶ所の位置関係を図 4.2-73、ボーリング柱状図を図 4.2-74 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 4.2-73 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、最大加速度およ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 4.2-12 KiK-net 六ヶ所の詳細[6]

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）および地下（標高-96.54m）
設置方位	北から 5° 時計回りに回転



(C)ZENRIN.CO.LTD (Z17BB 第 1870 号)

図 4.2-73 試験空洞と KiK-net 六ヶ所の位置関係

## ボーリング柱状図

観測点名： 六ヶ所(ろっかしよ)

所在地： 青森県上北郡六ヶ所村大字尾鉾字野附478-1

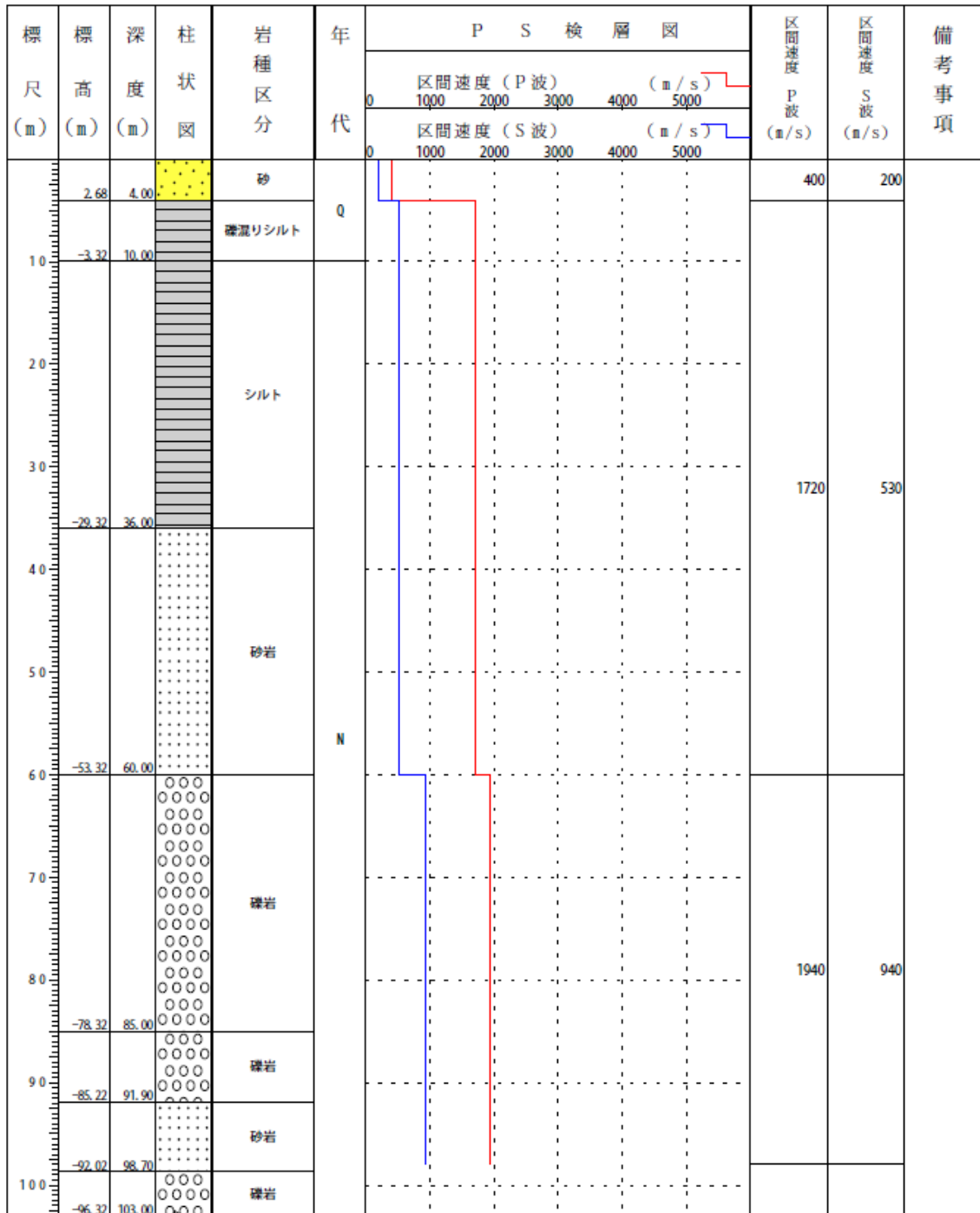
緯度： 40° 57' 50.0"

孔口標高： +7m

観測点コード： A0MH06

経度： 141° 22' 39.0"

総掘進長： 103.00m



NIED 独立行政法人防災科学技術研究所  
Copyright (c) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, All rights Reserved.

図 4.2-74 KiK-net 六ヶ所のボーリング柱状図[6]

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[7]による方法を用いて KiK-net 六ヶ所データの方位補正を行った。

図 4.2-75 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 成分および E-W 成分をそれぞれ  $N(t)$ 、 $E(t)$  とし、補正後の N-S 成分および E-W 成分をそれぞれ  $N'(t)$ 、 $E'(t)$  とする。方位が時計回りに  $\alpha^\circ$  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。

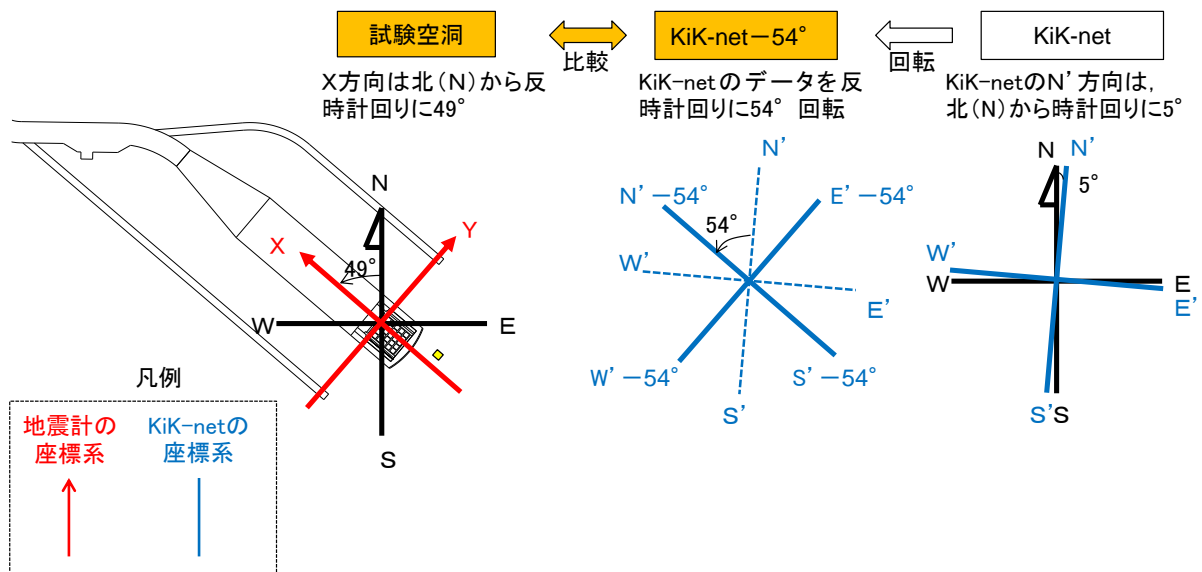
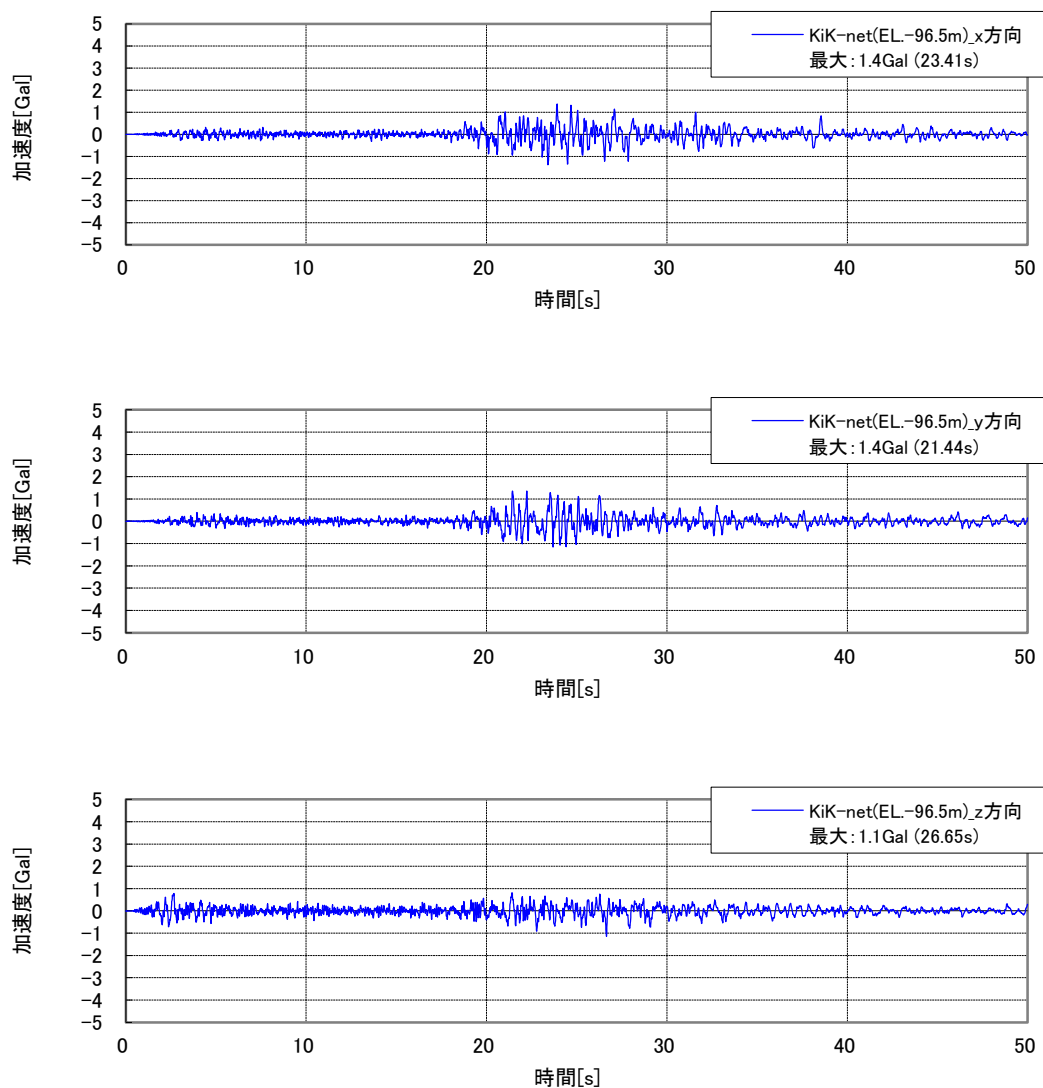


図 4.2-75 KiK-net 六ヶ所と試験空洞の方位

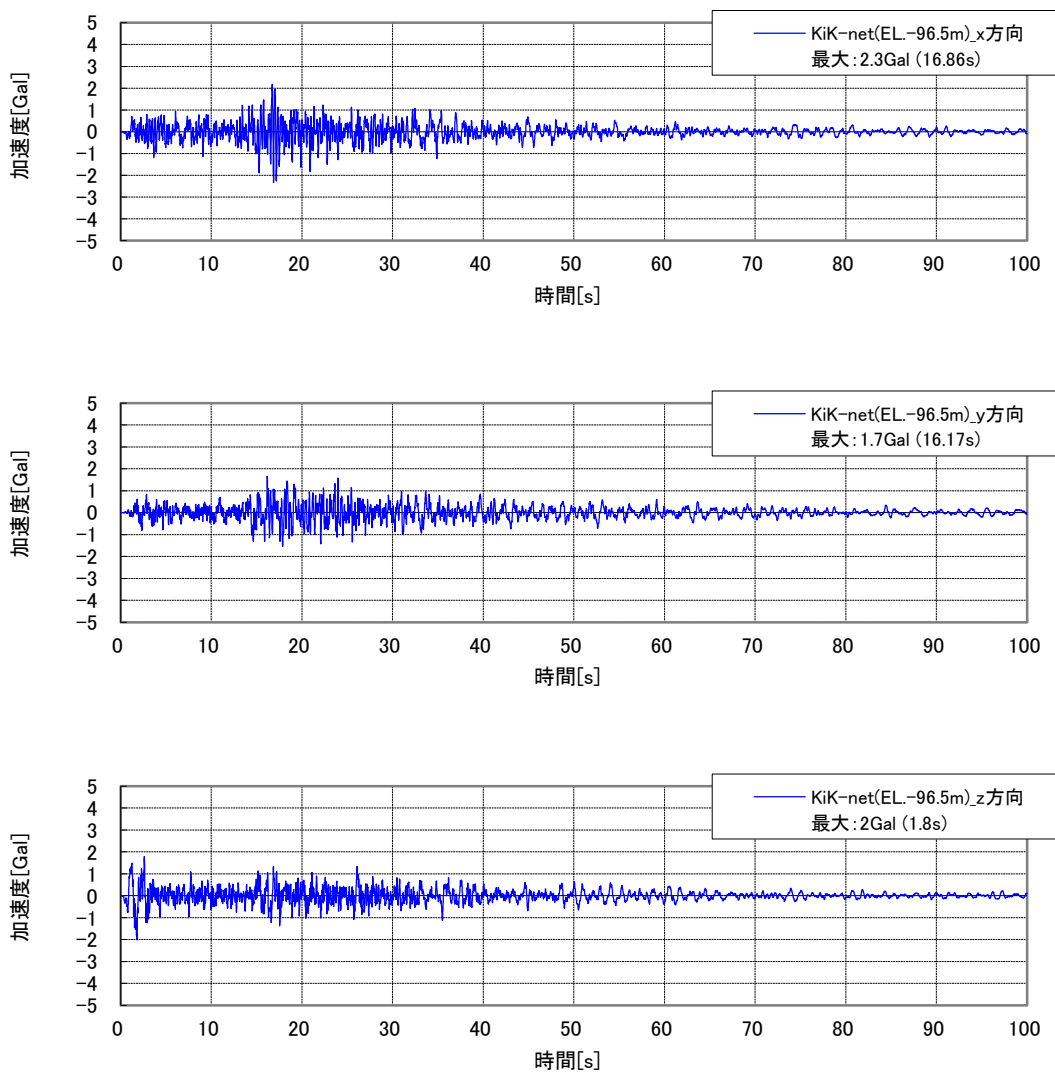
(b) 地震動観測データ

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（2017/9/10、9/27、）を図 4.2-76～図 4.2-83 に示す。なお、2018/1/28 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。



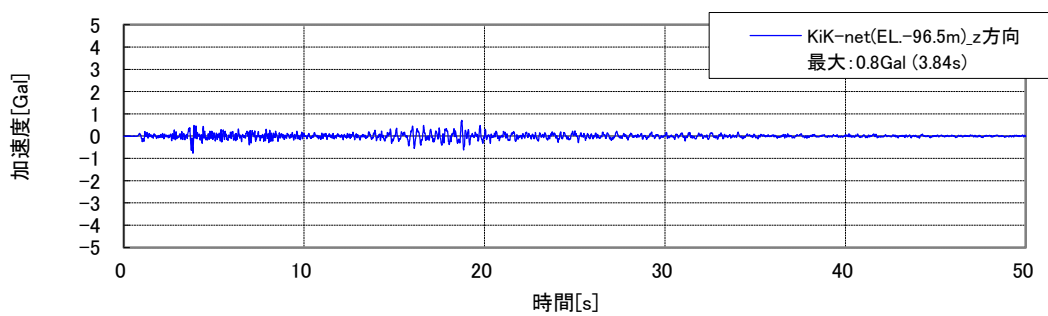
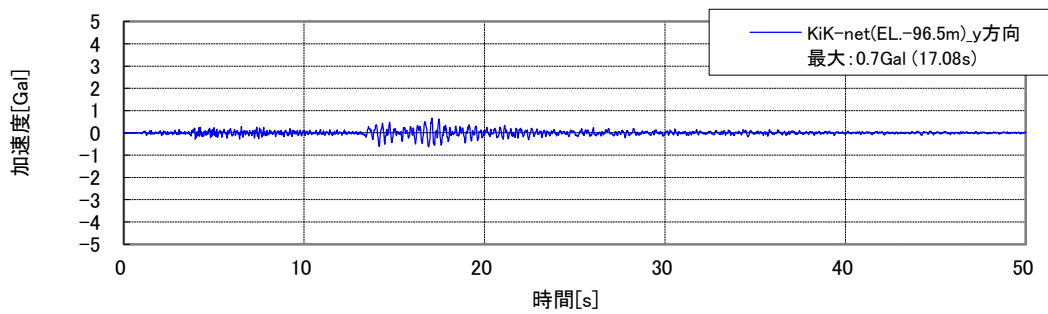
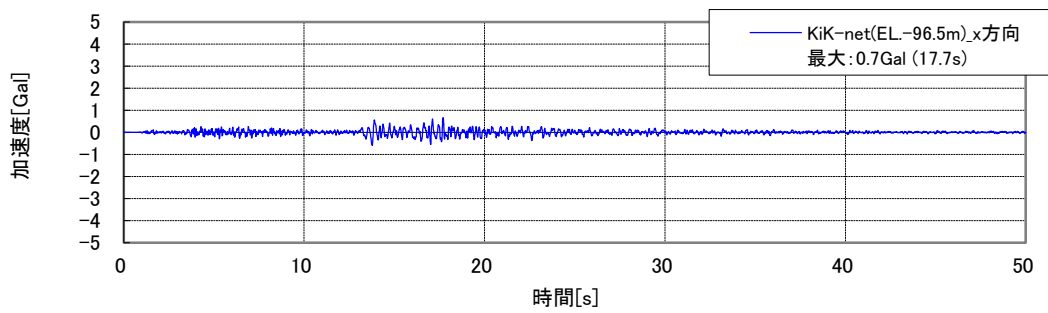
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 4.2-76 KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2017年9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。

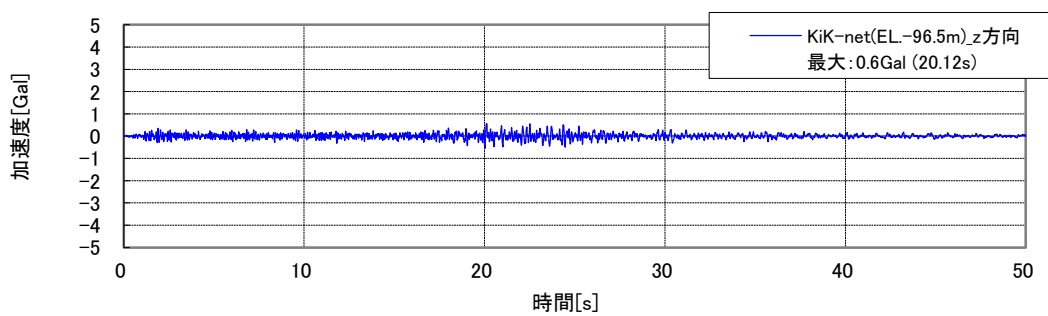
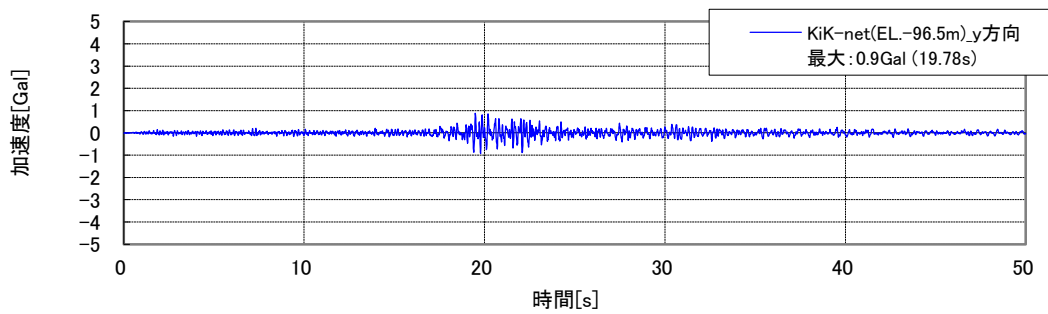
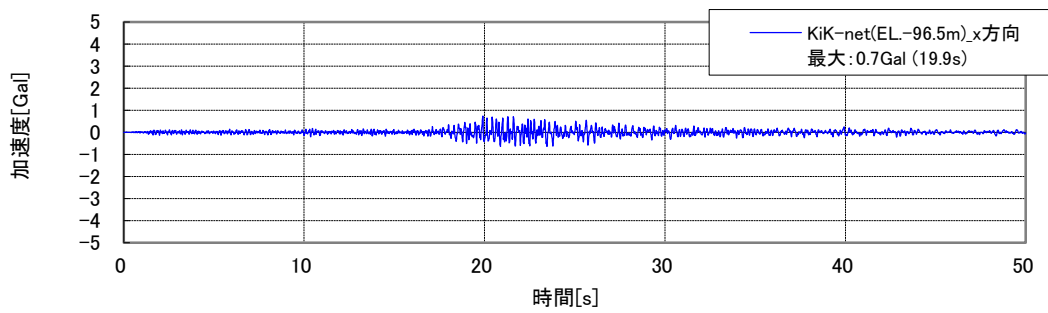
図 4.2-77 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017年9月27日)



※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。

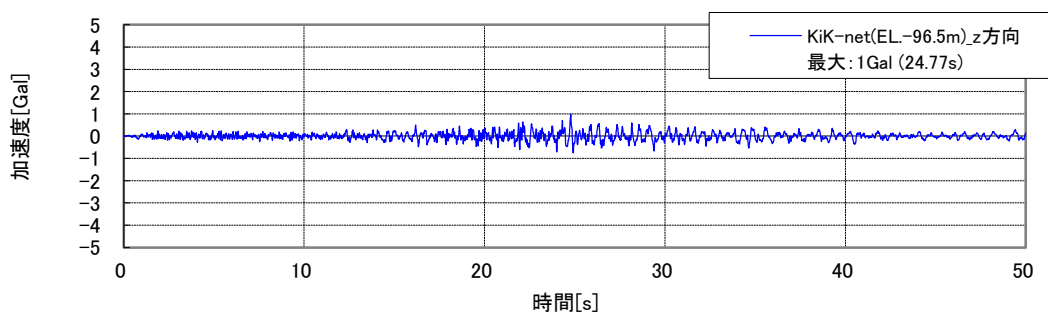
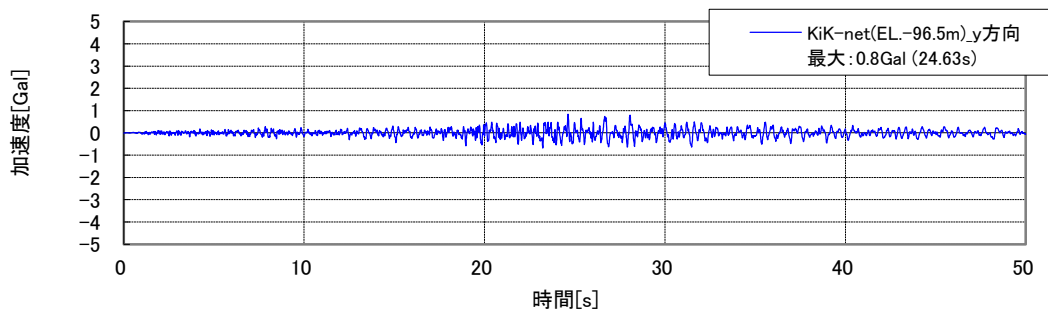
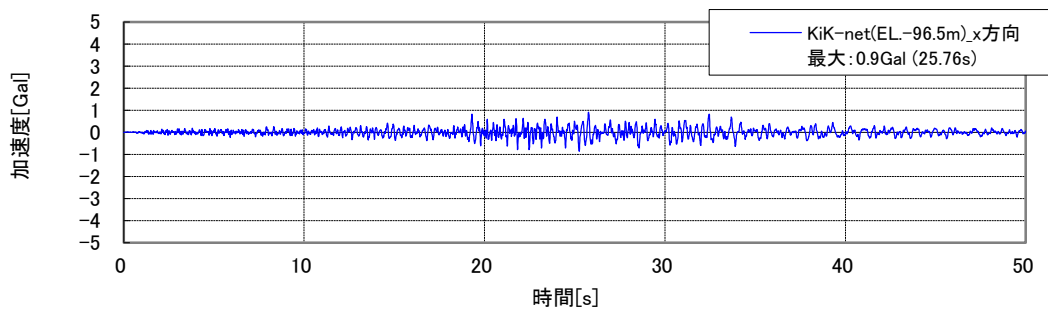
図 4.2-78 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017年11月5日)





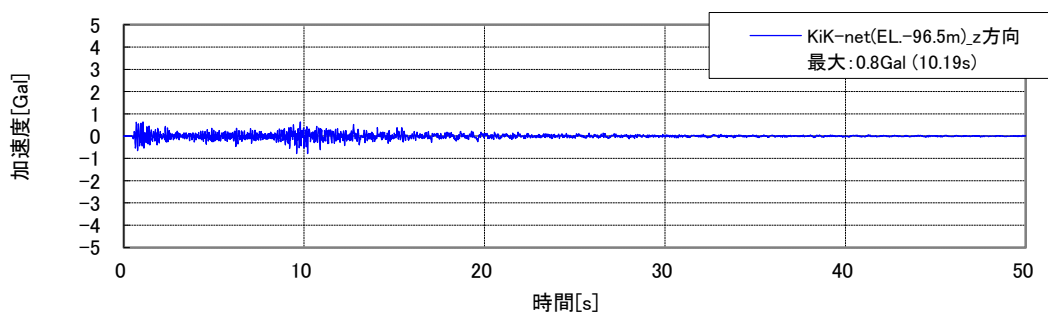
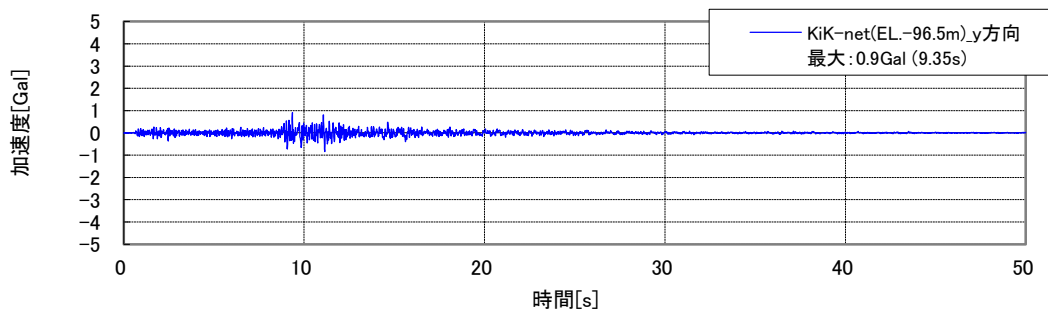
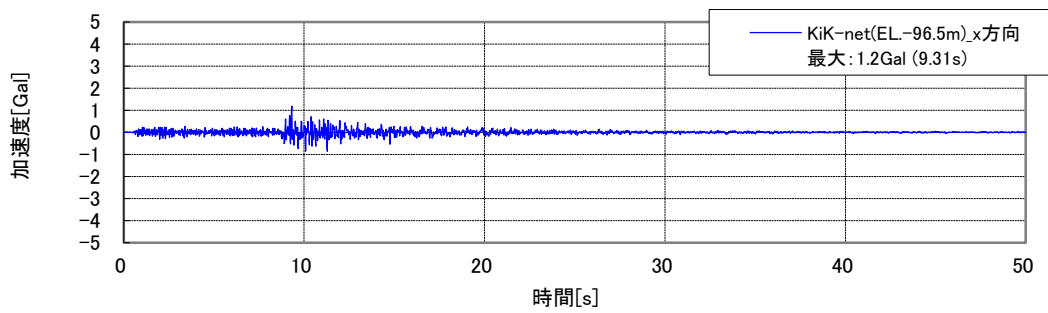
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 4.2-79 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017年12月2日)



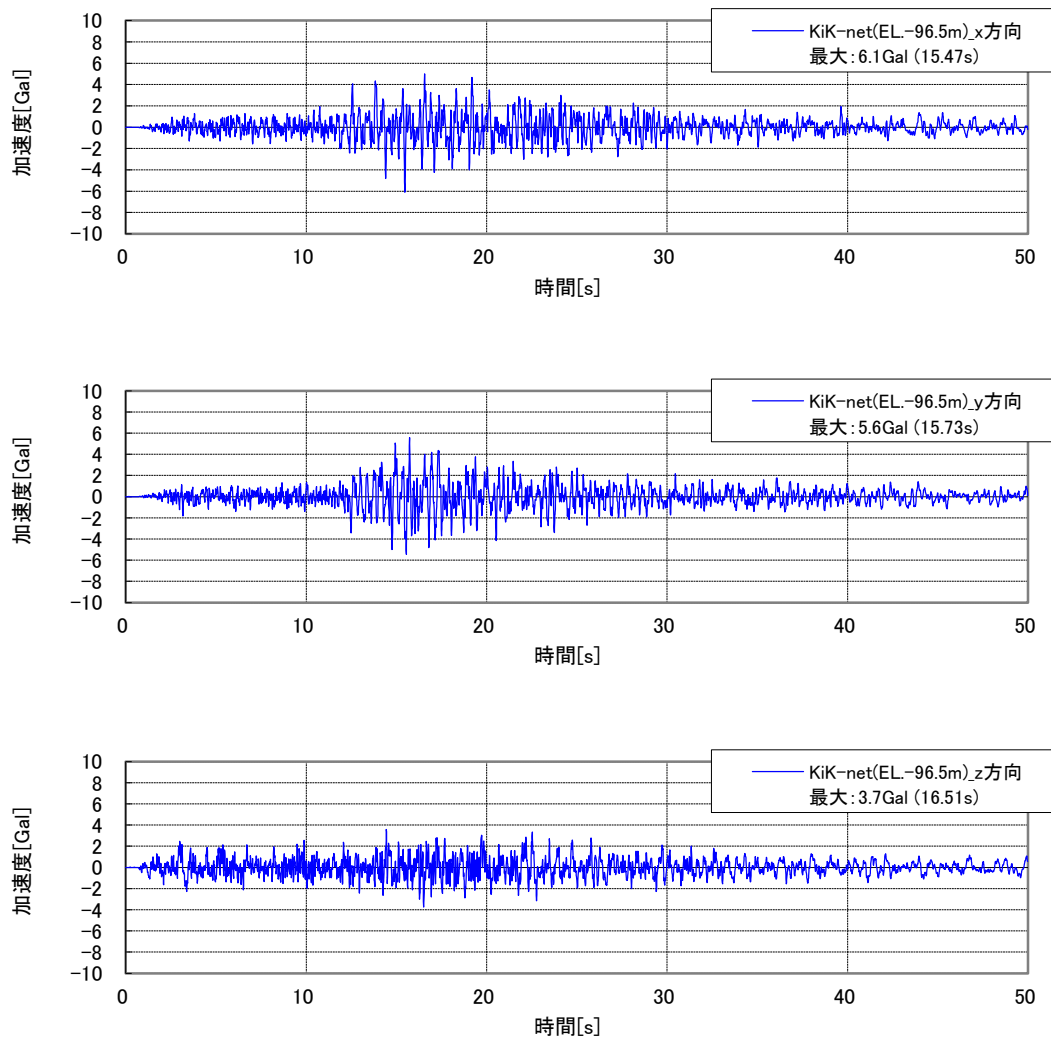
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 4.2-80 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017 年 12 月 16 日)



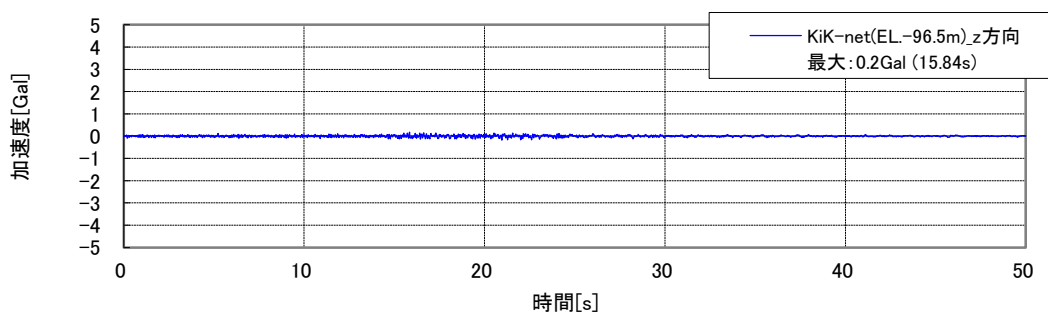
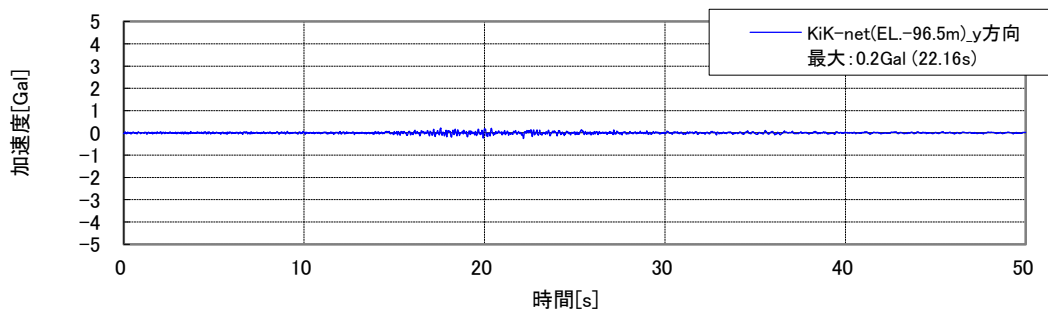
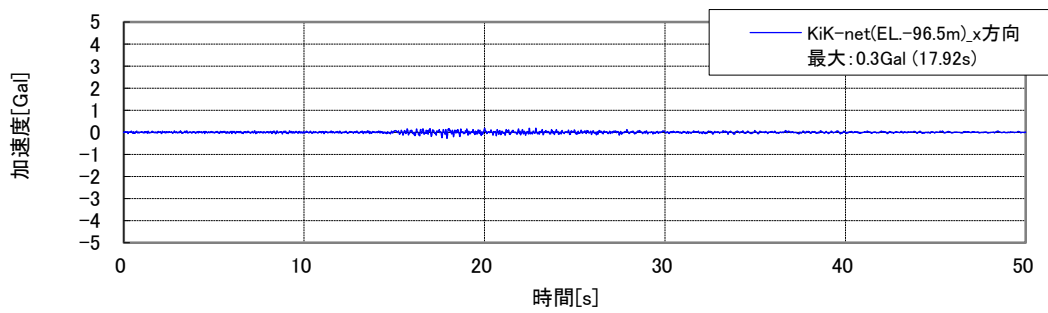
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 4.2-81 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2017 年 12 月 20 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 4.2-82 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2018 年 1 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 4.2-83 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2018 年 1 月 29 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 4.2-13 に、各観測日の最大加速度比較を図 4.2-84、図 4.2-85 に示す。表 4.2-13 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 4.2-84、図 4.2-85 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 4.2-13 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)	
2017/9/10	x	1.9	1.4	0.5
	y	2.2	1.4	0.8
	z	1.4	1.1	0.3
2017/9/27	x	2.8	2.3	0.5
	y	2.3	1.7	0.6
	z	2.3	2.0	0.3
2017/11/5	x	1.8	0.7	1.1
	y	2.5	0.7	1.8
	z	1.5	0.8	0.7
2017/12/2	x	1.0	0.7	0.3
	y	1.3	0.9	0.4
	z	0.8	0.6	0.2
2017/12/16	x	2.2	0.9	1.3
	y	1.8	0.8	1.0
	z	1.2	1.0	0.2
2017/12/20	x	1.2	1.2	0.0
	y	1.4	0.9	0.5
	z	1.0	0.8	0.2
2018/1/24	x	7.4	6.1	1.3
	y	6.9	5.6	1.3
	z	6.1	3.7	2.4
2018/1/29	x	0.7	0.3	0.4
	y	0.7	0.2	0.5
	z	1.5	0.2	1.3

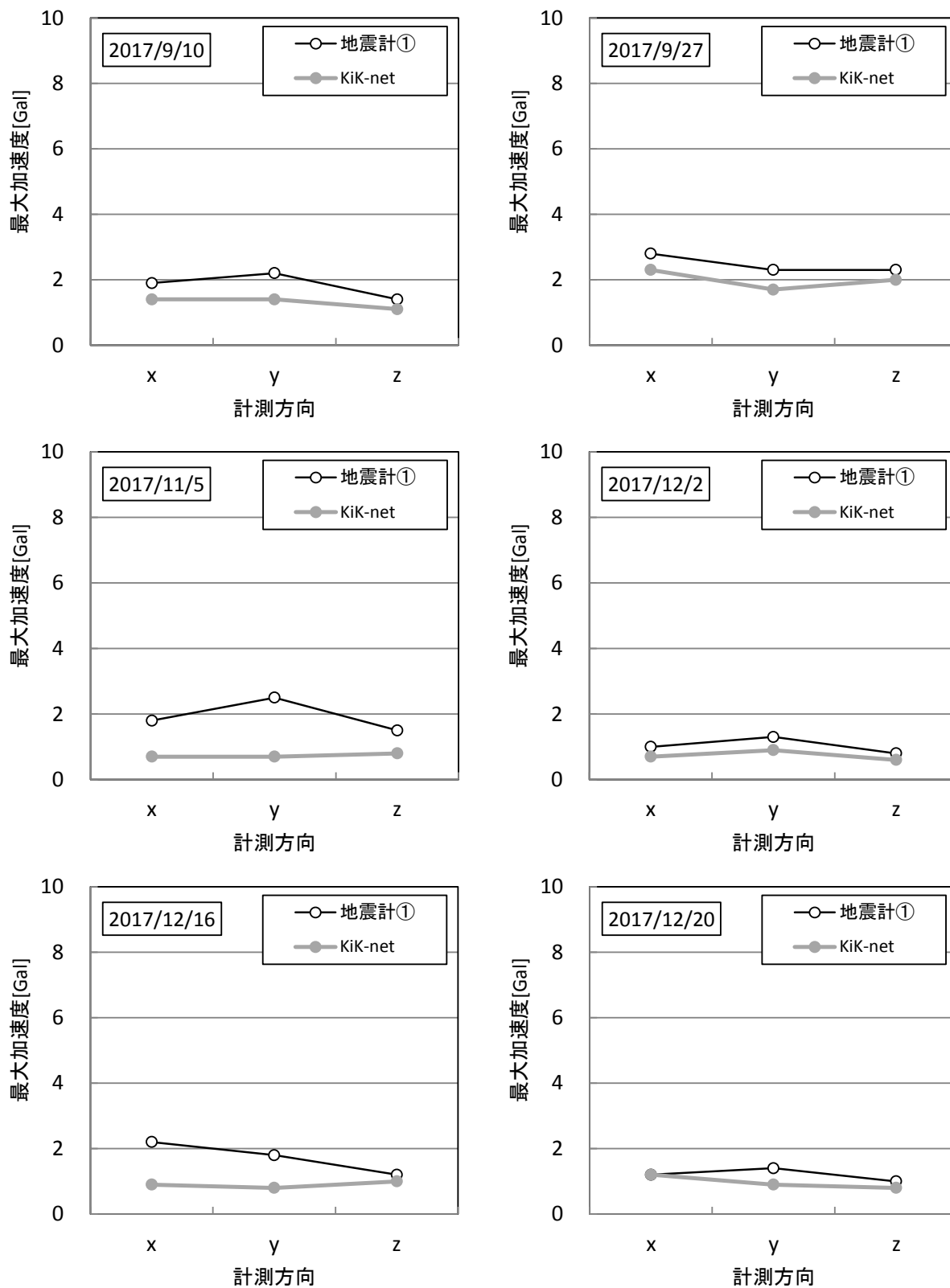


図 4.2-84 地震計①と KiK-net 六ヶ所の観測地震動の最大加速度 (その 1)

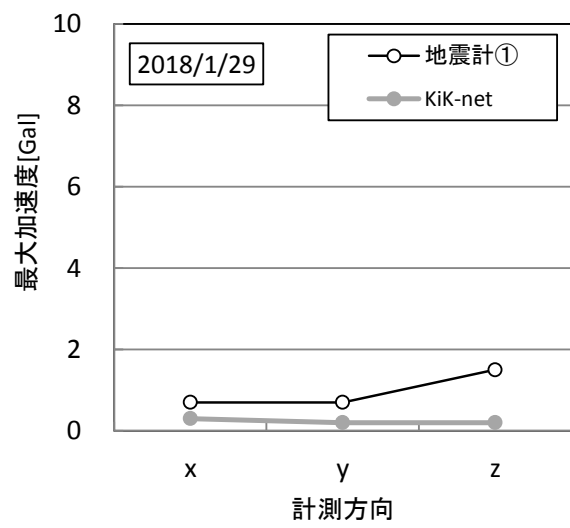
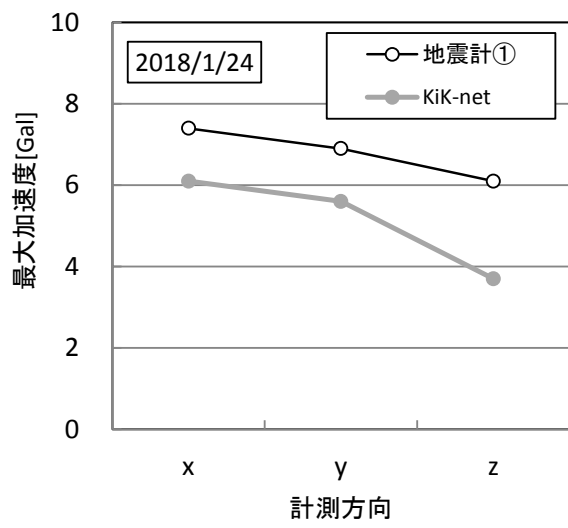


図 4.2-85 地震計①と KiK-net 六ヶ所の観測地震動の最大加速度 (その 2)



(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 4.2-86～図 4.2-93 に示す。

フーリエスペクトルは、いずれの観測日およ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 4.2-73 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。

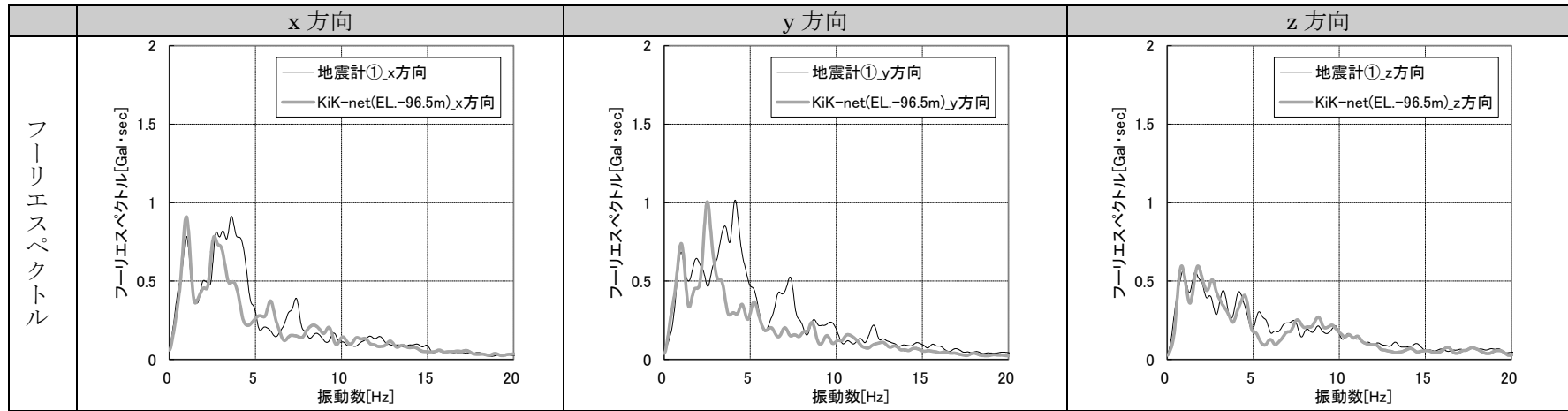
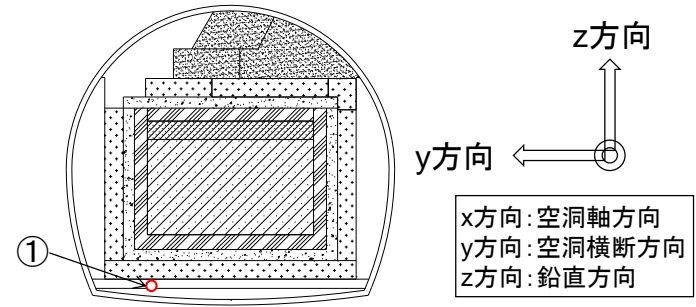


図 4.2-86 加速度のフーリエスペクトル (2017年9月10日)

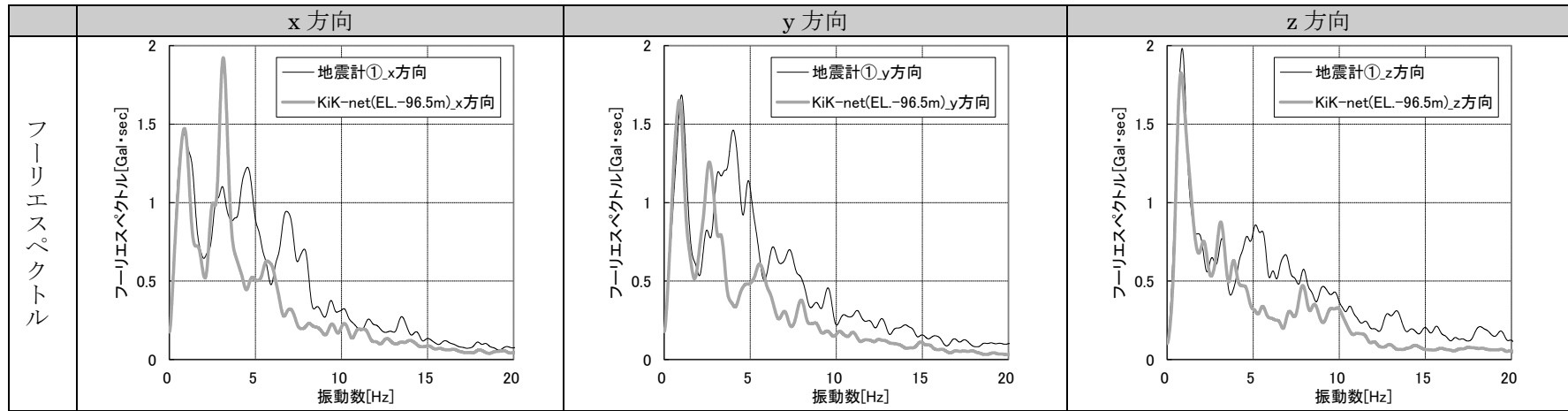
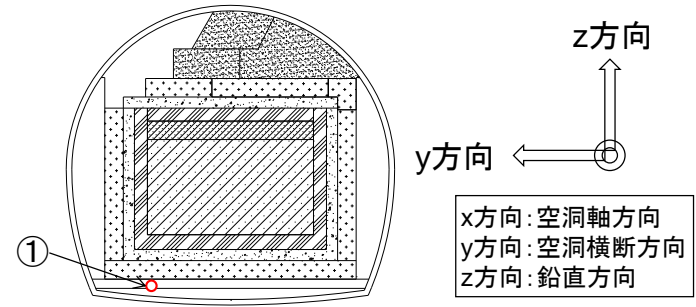


図 4.2-87 加速度のフーリエスペクトル (2017年9月27日)

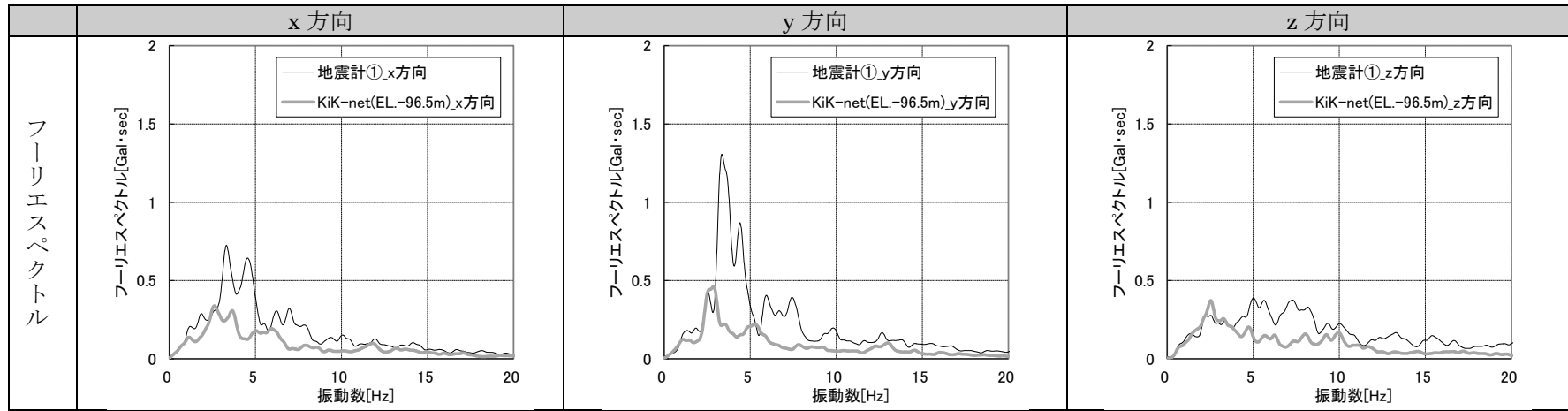
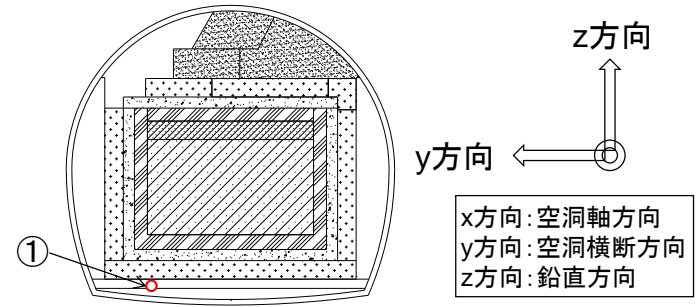


図 4.2-88 加速度のフーリエスペクトル (2017年11月5日)

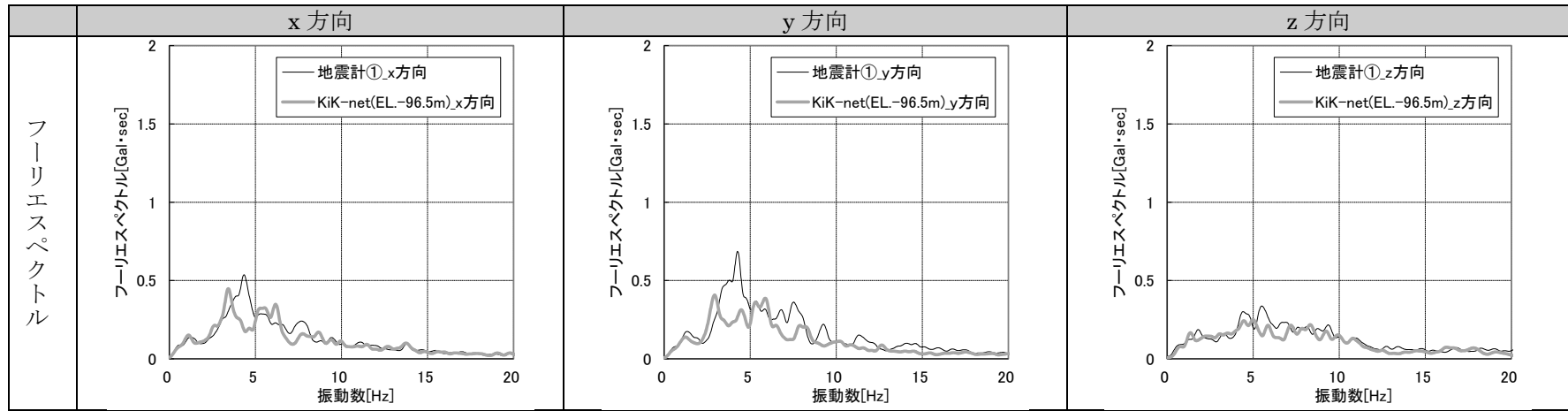
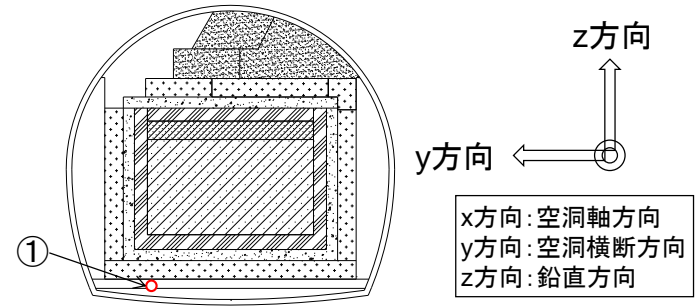


図 4.2-89 加速度のフーリエスペクトル (2017年12月2日)

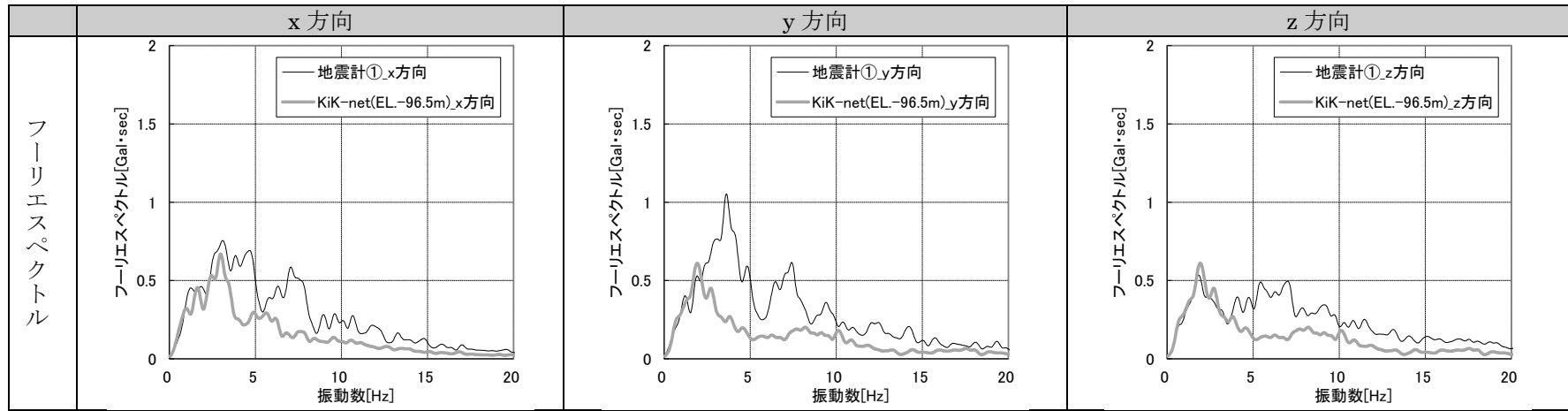
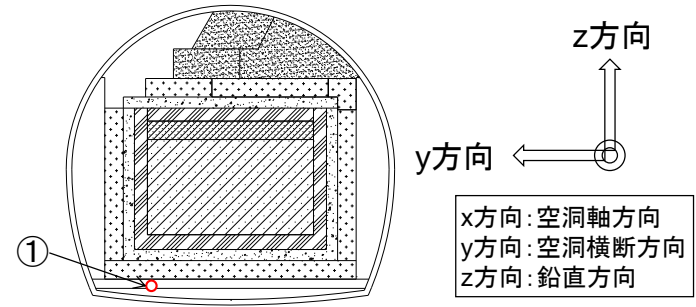


図 4.2-90 加速度のフーリエスペクトル (2017年12月16日)

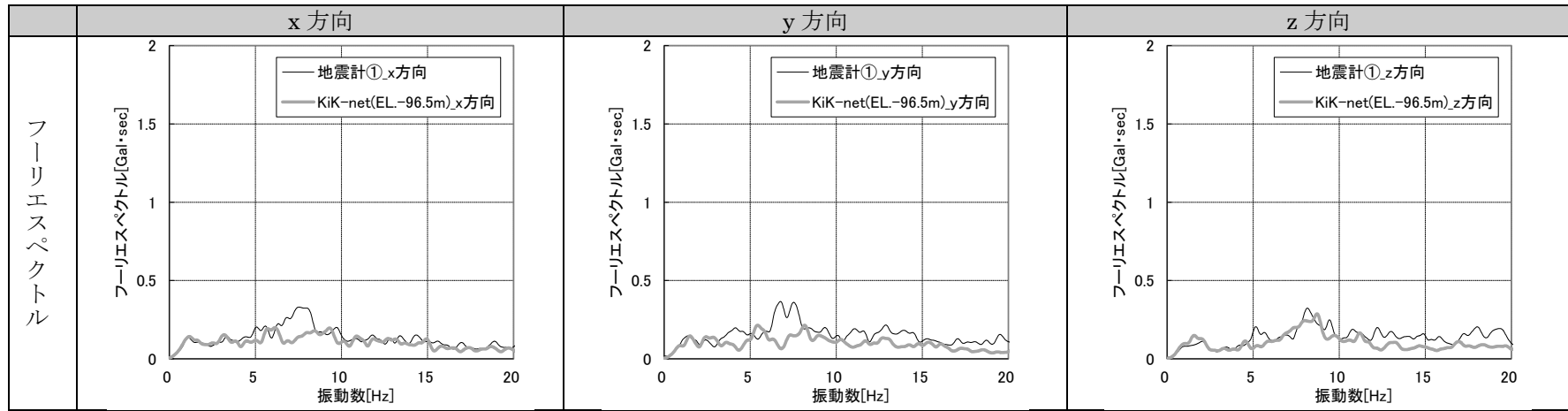
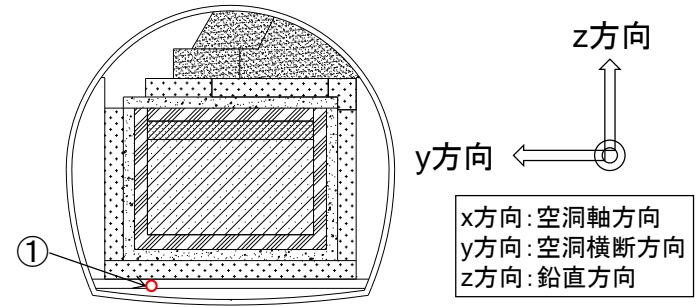


図 4.2-91 加速度のフーリエスペクトル (2017年12月20日)

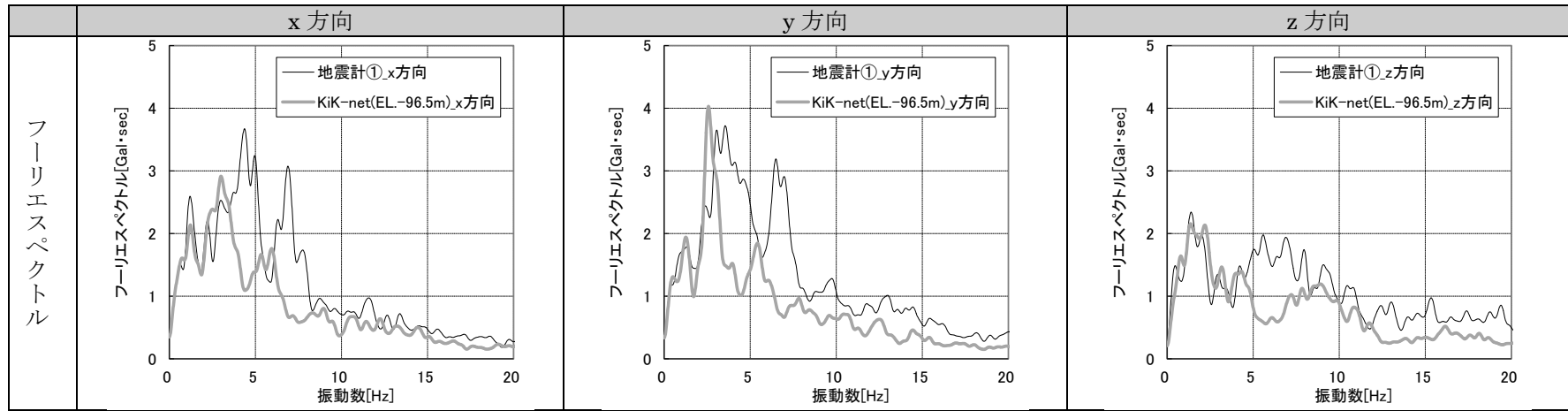
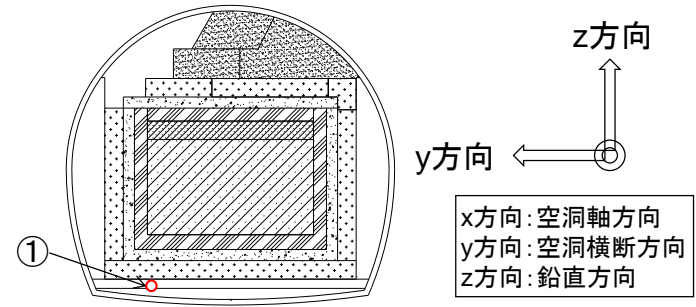


図 4.2-92 加速度のフーリエスペクトル (2018年1月24日)



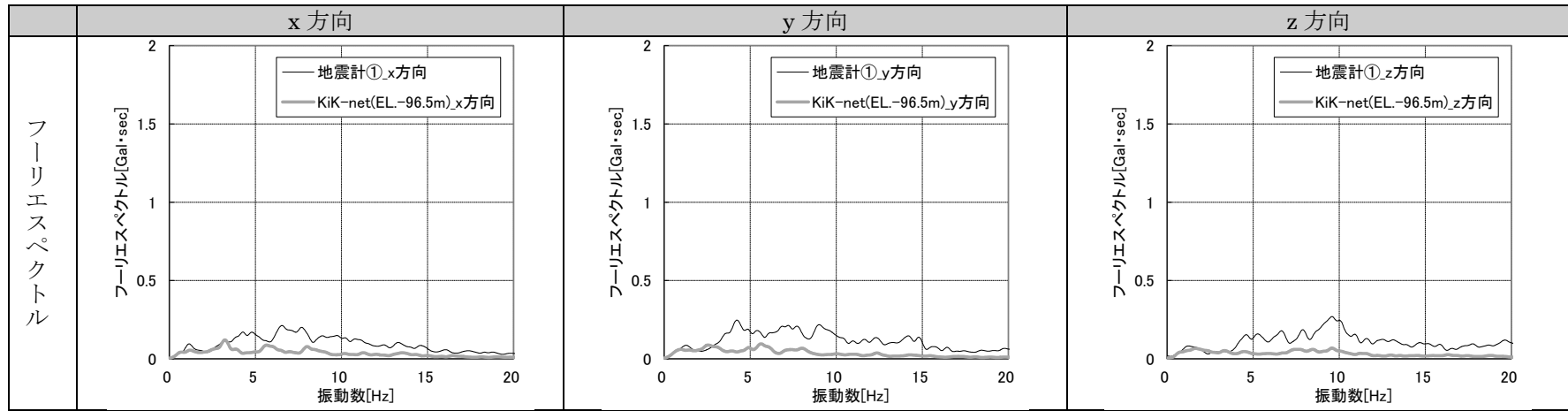
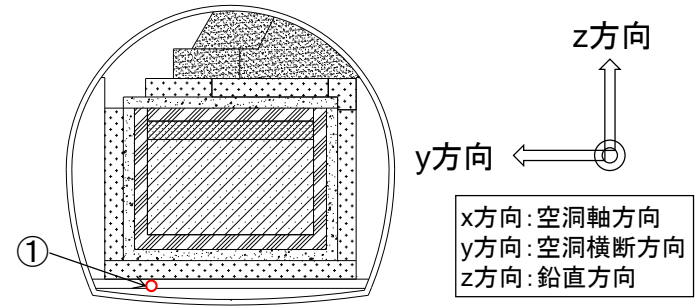


図 4.2-93 加速度のフーリエスペクトル (2018年1月29日)

### (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 29 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およ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 29 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 29 年度の入力地震動は、試験施設の変形特性およ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

昨年度（平成 28 年度）の解析では、周辺地盤の固有振動数に近い卓越振動数を持つ地震動（卓越振動数 0.4Hz）を選定して、平成 26 年度の解析で使用した地震動（卓越振動数 3.5Hz）を用いた場合と比較分析して、施設の応答性状を把握した。その結果、卓越振動数が小さい平成 28 年度の方が、試験施設の変形特性および発生応力に与える影響が大きいことがわかった。

平成 29 年 12 月まで観測された地震動の地震諸元および地震計①の y 方向の卓越振動数と最大加速度を表 4.2-14 に整理した。また、表 4.2-14 の各項目を図化したものを図 4.2-94～図 4.2-95 に示す。

以下の理由により、平成 29 年 9 月 27 日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 4.2-94 より、平成 29 年 9 月 27 日の地震動は、卓越振動数が 1.0Hz と小さく、試験施設の変形特性および発生応力に与える影響が大きいと推察される。
- ・ 図 4.2-96 の地震計①の y 方向フーリエスペクトルの比較より、平成 29 年 9 月 27 日の地震動は、フーリエスペクトルのピークが 2 箇所（卓越振動数が 1.0Hz と 4.0Hz）あり、平成 26 年度の地震動（卓越振動数 3.5Hz）と平成 28 年度の地震動（卓越振動数 0.4Hz）の両者の要素を含んでおり、特殊な地震時挙動になる可能性がある。

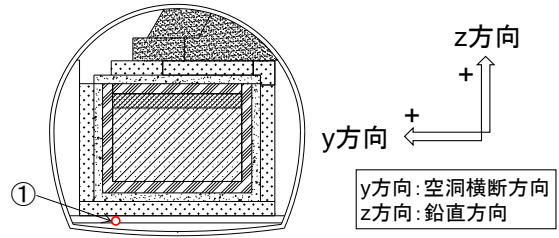


表 4.2-14 地震諸元および観測データ（地震計①の y 方向）の整理

観測日		地震諸元				地震計① y方向		備考
		震源深さ [km]	震央距離 [km]	震源距離 [km]	マグニチュード -	卓越振動数 [Hz]	最大加速度 [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	

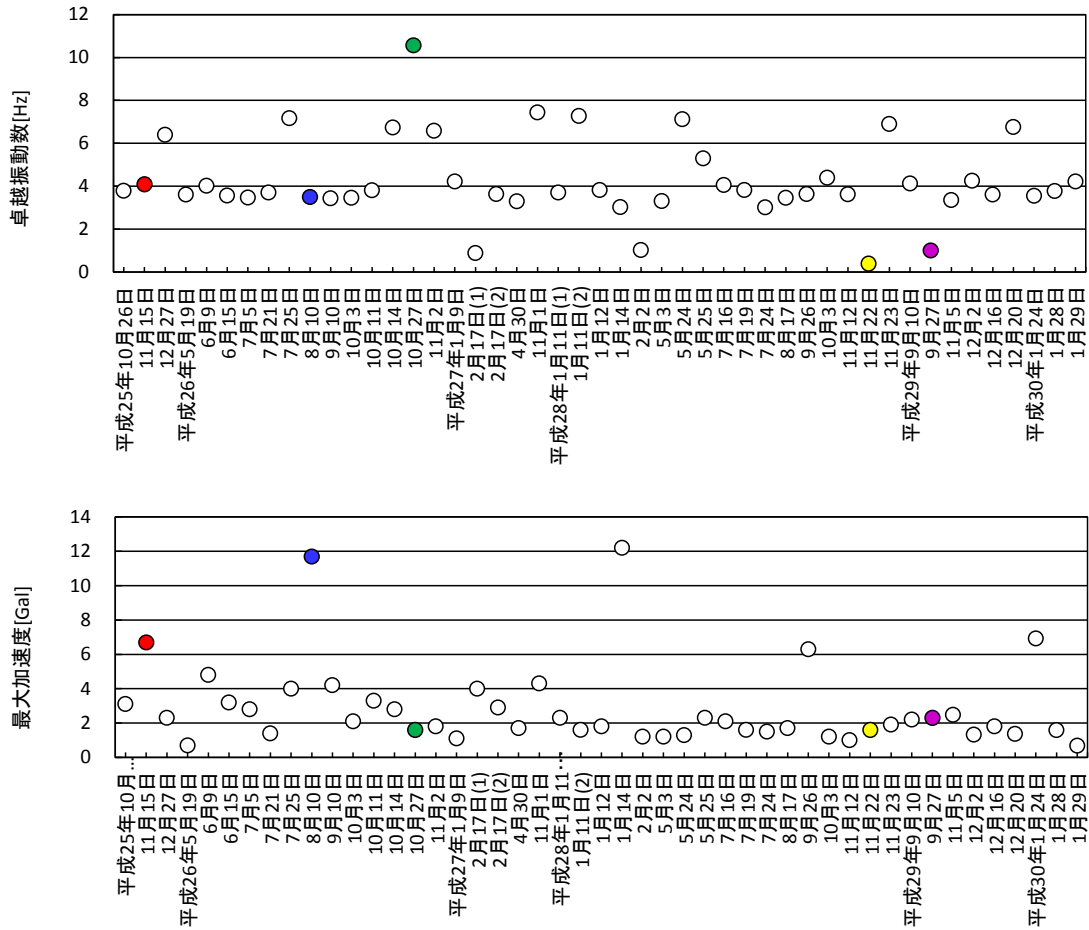
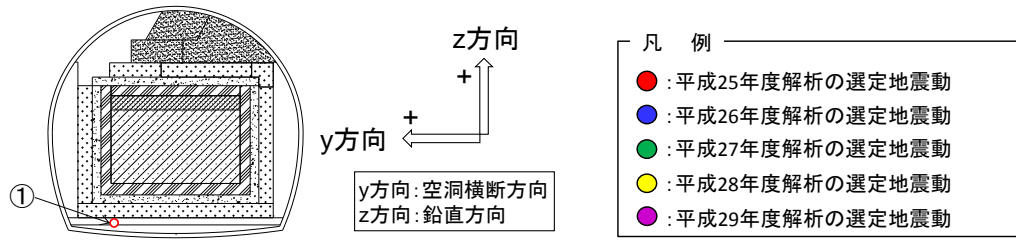


図 4.2-94 地震計①の y 方向の卓越振動数および最大加速度

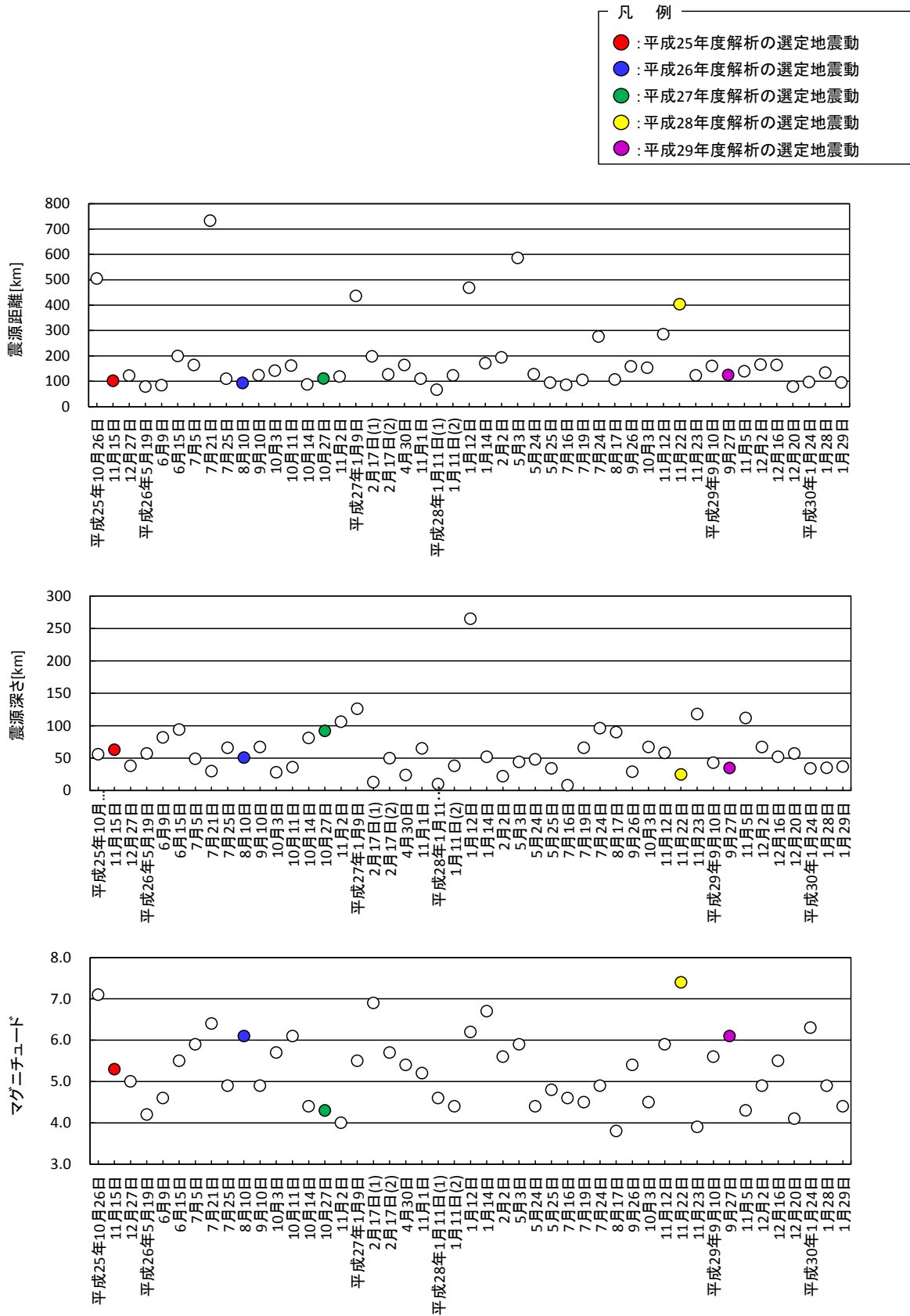
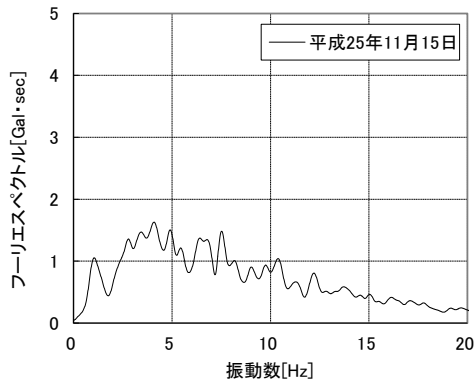
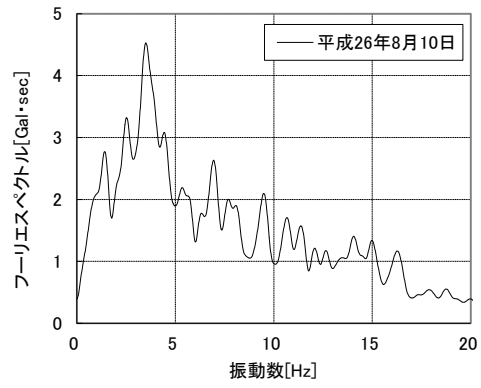


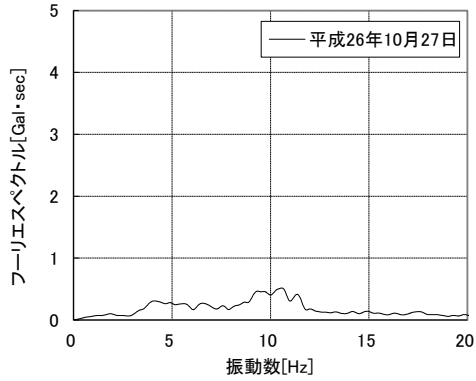
図 4.2-95 地震諸元（上から震源距離、震源深さ、マグニチュード）



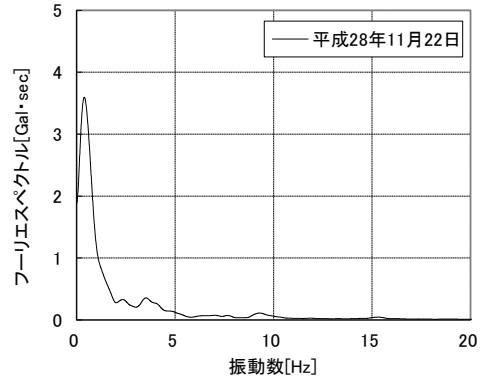
(1) 平成 25 年度の解析で使用



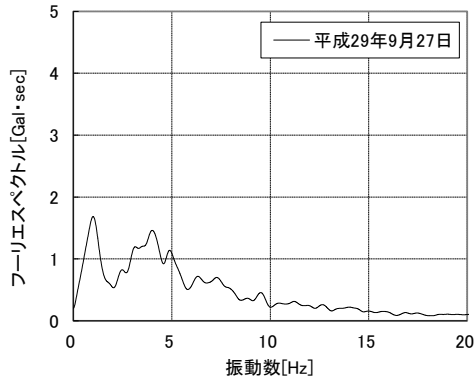
(2) 平成 26 年度の解析で使用



(3) 平成 27 年度の解析で使用



(4) 平成 28 年度の解析で使用



(4) 平成 29 年度の選定地震動

図 4.2-96 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 年度でを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 (2.3Gal) を、平成 26 年度の解析でを使用した地震動の 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 5.1 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 5.1 倍) を用いた。振幅処理の結果 (加速度時刻歴およびフーリエスペクトル) を図 4.2-97～図 4.2-98 に示す。

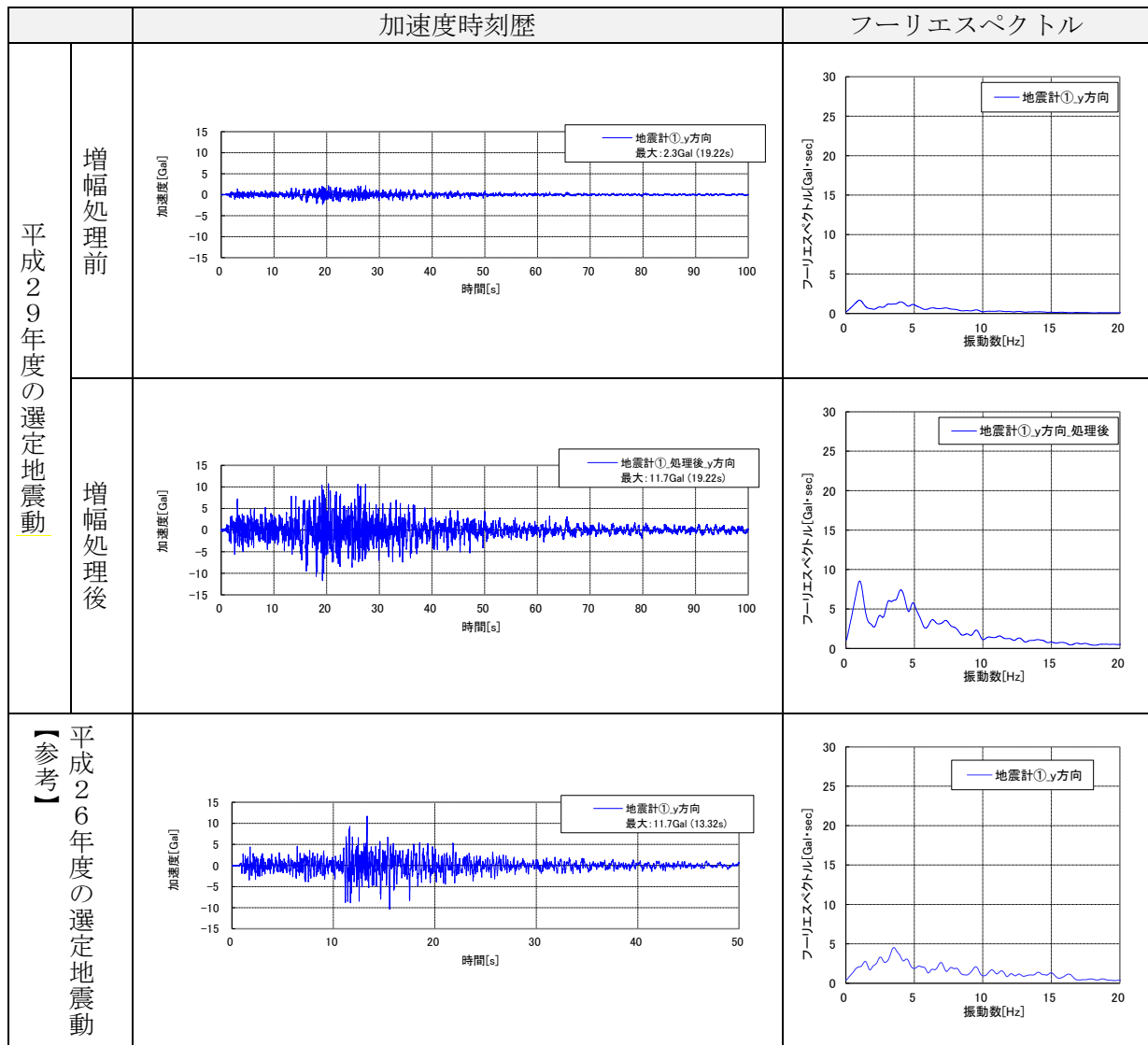
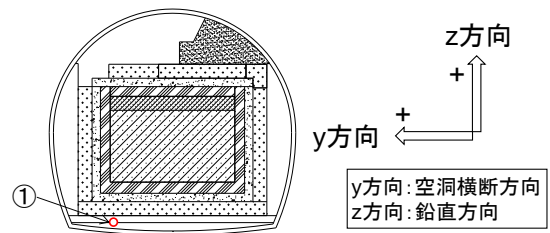


図 4.2-97 今年度選定した地震動の加速度の増幅処理 (地震計①、y 方向)



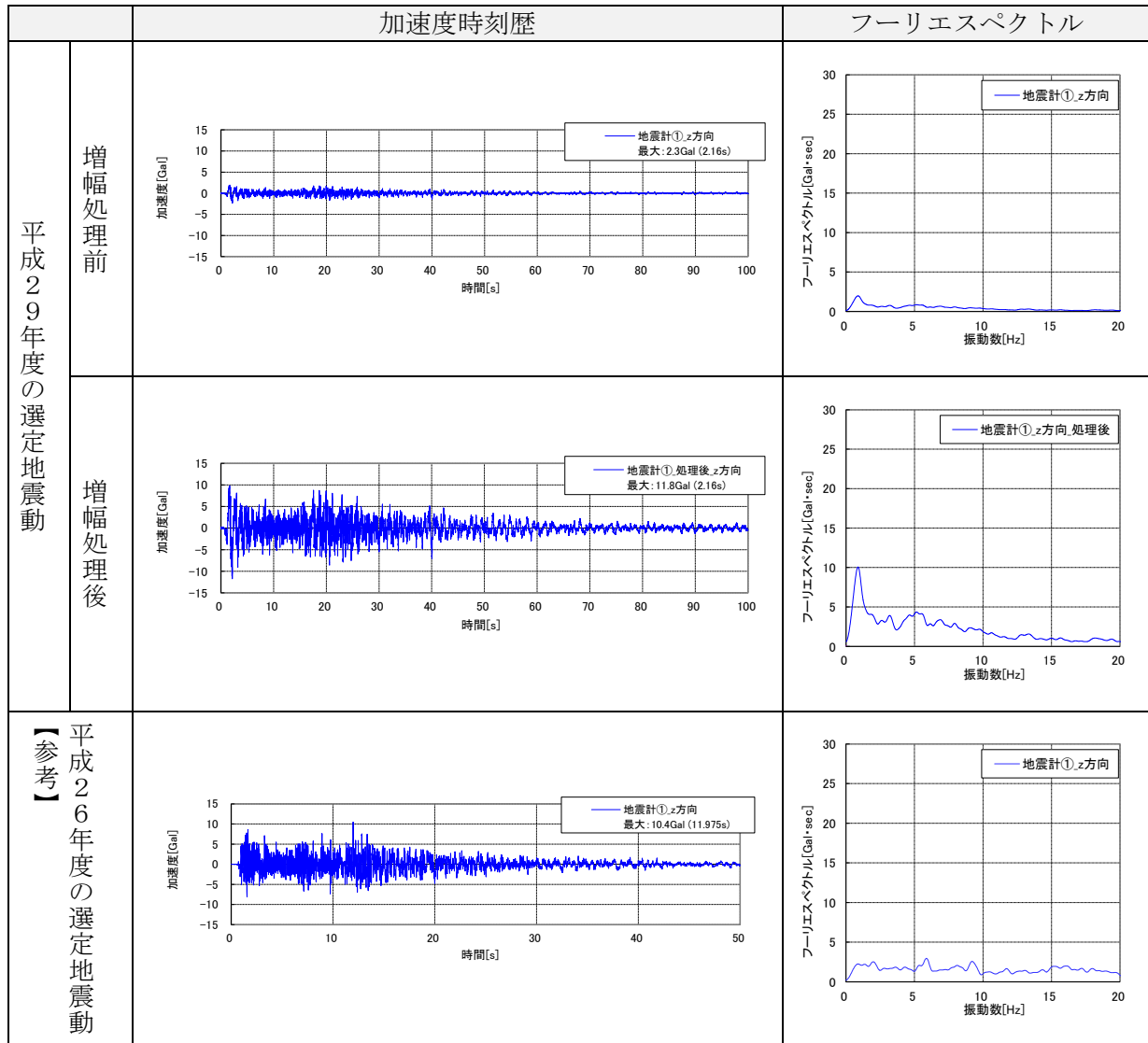
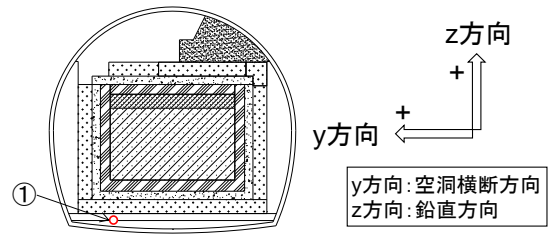


図 4.2-98 今年度選定した地震動の加速度の増幅処理（地震計①、z方向）

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 4.2-99 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 4.2-15 に示す。なお、コンクリートピット内の模擬廃棄体と充填材は、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、その物性は充填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。

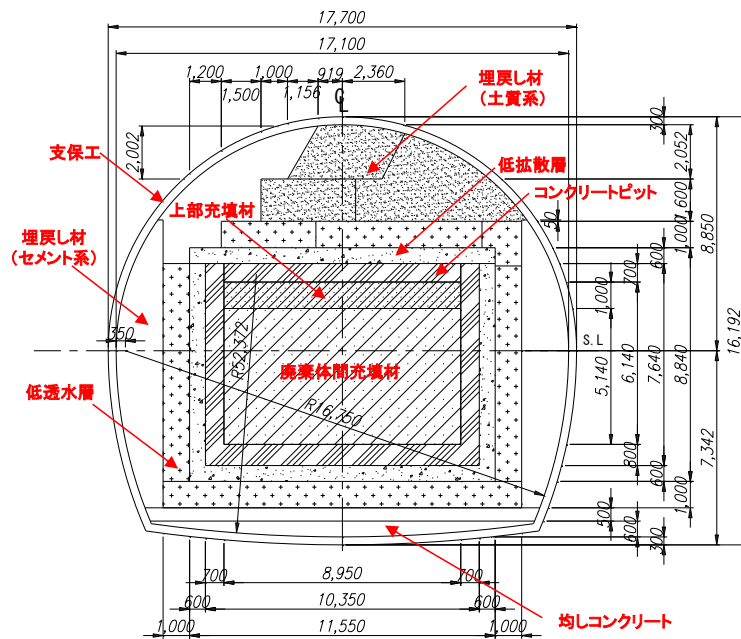


図 4.2-99 試験空洞および人工バリアの断面図

表 4.2-15 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	
廃棄体間充填材	
上部充填材	
均しコンクリート	

地震応答解析モデルを図 4.2-100 および図 4.2-101 に示す。周辺地盤の地層構成については、図 4.2-102 に示す試験空洞縦断面が示されている参考文献[8]を参考に設定した。

なお、解析には 2 次元/3 次元地盤・構造物連成動的耐震解析ソフトウェア (Soil Plus Dynamic 2016) を用いた。

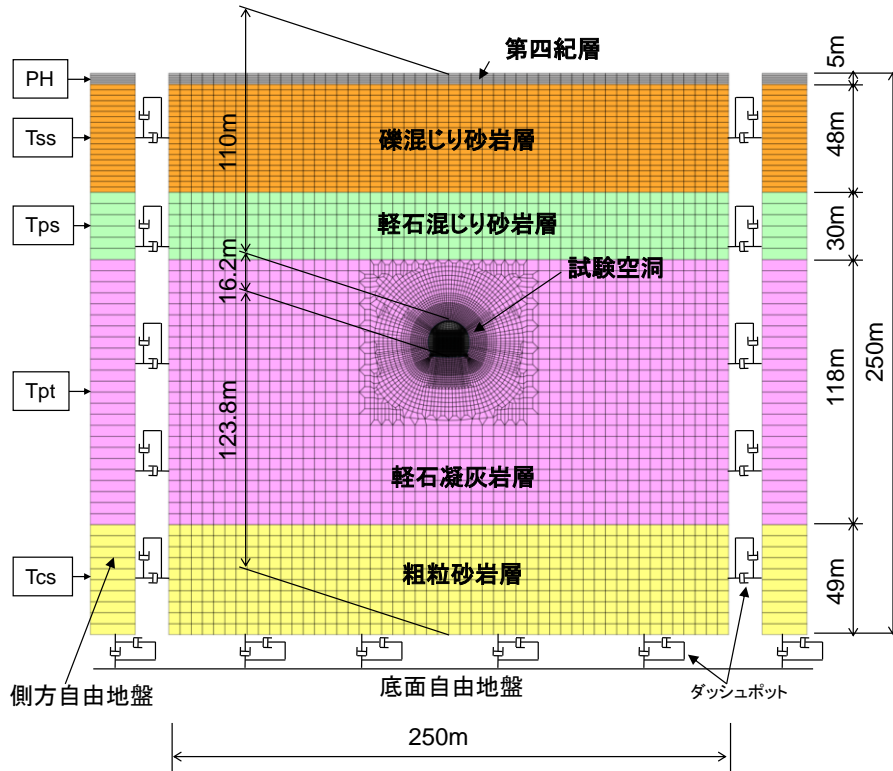


図 4.2-100 地震応答解析モデル (全体)

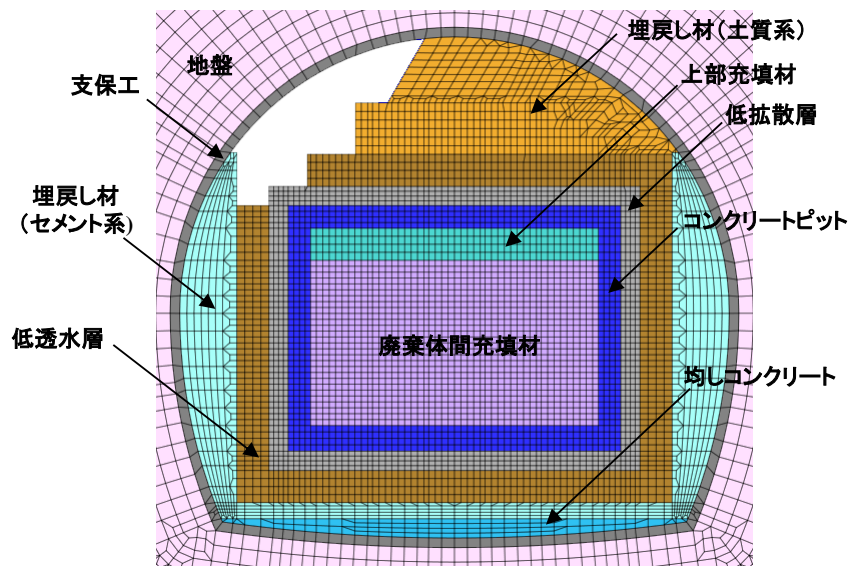


図 4.2-101 地震応答解析モデル (試験施設)

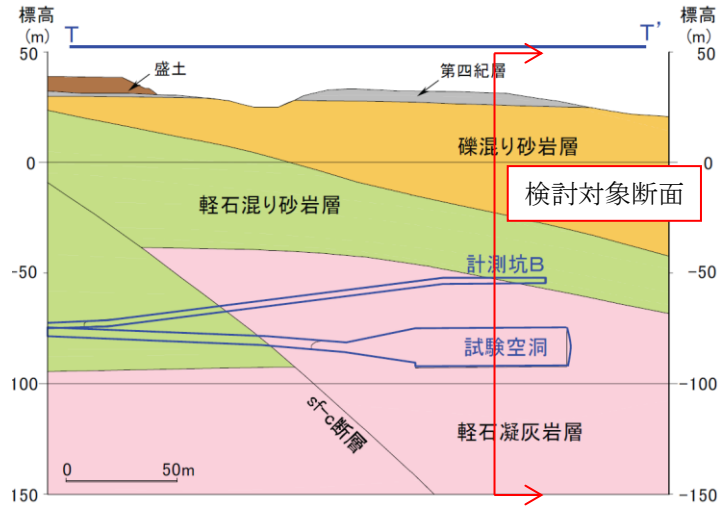


図 4.2-102 試験空洞近傍の地質構造（試験空洞縦断面）

d. 物性値の設定

解析に用いた物性値一覧を表 4.2-16 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およ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[9]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填材は、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、その物性は充填材で代表させることとした。

表 4.2-16 解析物性値一覧

種類	区分	単位体積重量 $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	ヤング率 E[MPa]	初期せん断剛性 G <sub>0</sub> [MPa]	ポアソン比 $\nu$	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	
						G/G <sub>0</sub> ~ $\gamma$	h~ $\gamma$	$\alpha$	$\beta$
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[9]を参考に表 4.2-17 に示すとおり設定した。

表 4.2-17 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 $\nu$	剛性比 $G/G_0 \sim \gamma$	減衰定数 $h \sim \gamma$
	[g/cm <sup>3</sup> ]	[MPa]		[\(\gamma : \%\)]	[h, \(\gamma : \%\)]
PH	1.94	139	0.47	$1/(1+8.73 \cdot \gamma^{0.690})$	$14.0 \cdot \gamma^{0.576}+2.05$
Tss	$1.83-8.10 \times 10^{-4} \cdot z$	$660-7.72 \cdot z$	$0.44+5.51 \times 10^{-4} \cdot z$	$1/(1+4.41 \cdot \gamma^{0.895})$	$14.7 \cdot \gamma^{0.381}-1.34$
Tps	$1.65-1.86 \times 10^{-3} \cdot z$	$927-2.56 \cdot z$	$0.42+3.28 \times 10^{-4} \cdot z$	$1/(1+6.51 \cdot \gamma^{0.980})$	$10.3 \cdot \gamma^{0.564}+1.63$
Tpt	1.55	$834-2.56 \cdot z$	$0.41+2.15 \times 10^{-4} \cdot z$	$1/(1+3.93 \cdot \gamma^{0.974})$	$11.5 \cdot \gamma^{0.513}+0.733$
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[10]を用いた。

$$\gamma = \frac{\tau}{G_0} \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{\tau}{\tau_f} \right)^{\beta-1} \right\}$$

ここに、 $\tau_f$  はせん断強度で、

$$\tau_f = G_0 \gamma_r$$

であり、 $\gamma_r$  は  $G/G_0 = 0.5$  となるときのせん断ひずみである。また、 $\alpha$  と  $\beta$  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、 $G/G_0 \sim \gamma$  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 4.2-17 に示した地盤物性値を用いて評価したパラメータを表 4.2-18 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[9]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) および Tpt 層 (118m) は図 4.2-103 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 4.2-19 に示す。

表 4.2-18 地盤物性値 (修正 R-O モデルのパラメータ)

地層	$\gamma_r$	$h_{\max}$	$\alpha$	$\beta$
	[%]	[%]	-	-
PH	$4.327 \times 10^{-2}$	19	1.804	1.851
Tss	$1.905 \times 10^{-1}$	23	2.191	2.131
Tps	$1.478 \times 10^{-1}$	25	2.451	2.293
Tpt	$2.453 \times 10^{-1}$	25	2.451	2.293
Tcs	$1.600 \times 10^{-1}$	18	1.727	1.788

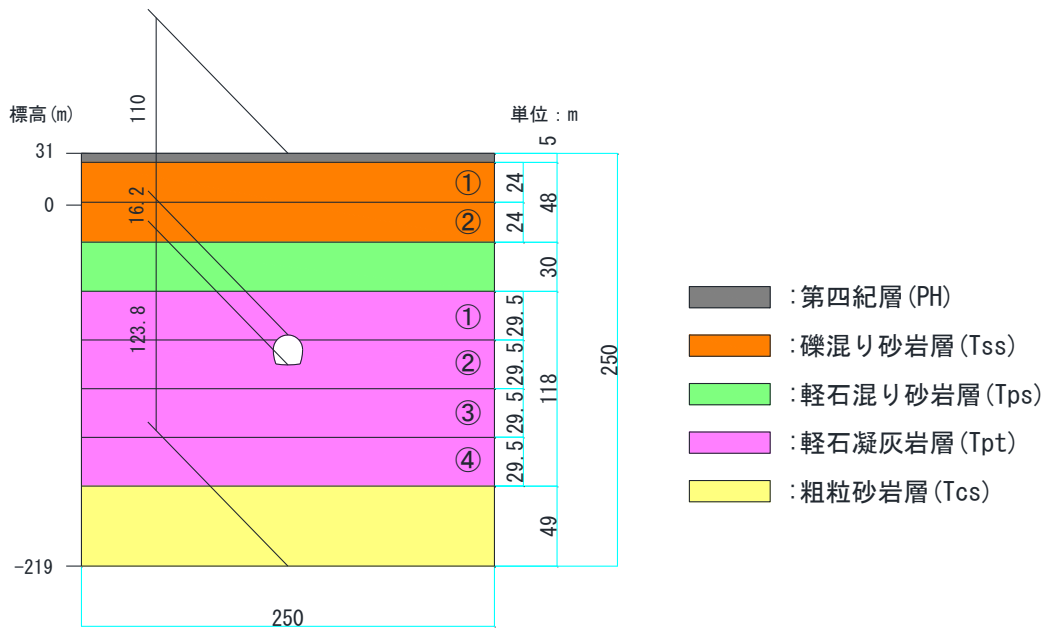


図 4.2-103 地層分割図

表 4.2-19 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 $\nu$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[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 4.2-20 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 4.2-21 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 4.2-20 支保工の諸元および物性値

解析条件項目		諸元および物性値	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
	単位体積重量	$\gamma_c$ (kN/m <sup>3</sup> )	23
	弾性係数	硬化後(MPa)	24,200
	断面積	Ac(m <sup>2</sup> )	0.2936
鋼製 支保工	使用鋼材	—	H-250
	規格	—	SS540
	降伏点	Fyk(MPa)	400
	建込間隔	@(m)	1.0
	単位体積重量	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	77
	等価断面積	As(m <sup>2</sup> )	6.35×10 <sup>-3</sup>
	弾性係数	Es(MPa)	200,000

表 4.2-21 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 <sup>2</sup>	27.9	$E = \frac{E_c A_c + E_s A_s}{A}$ Ac : コンクリートの断面積 As : 鋼製支保工の断面積 A = Ac + As	
単位体積重量	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	24.5		[12]
ポアソン比	$\nu$	—	0.2		[12]

(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 4.2-22 に示す。弾性係数は、図 4.2-104 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 4.2-22 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	$E$	$\text{kN/mm}^2$	38.9	91 日	[13]
単位体積重量	$\gamma$	$\text{kN/m}^3$	24.5		[12]
ポアソン比	$\nu$	—	0.2		[12]

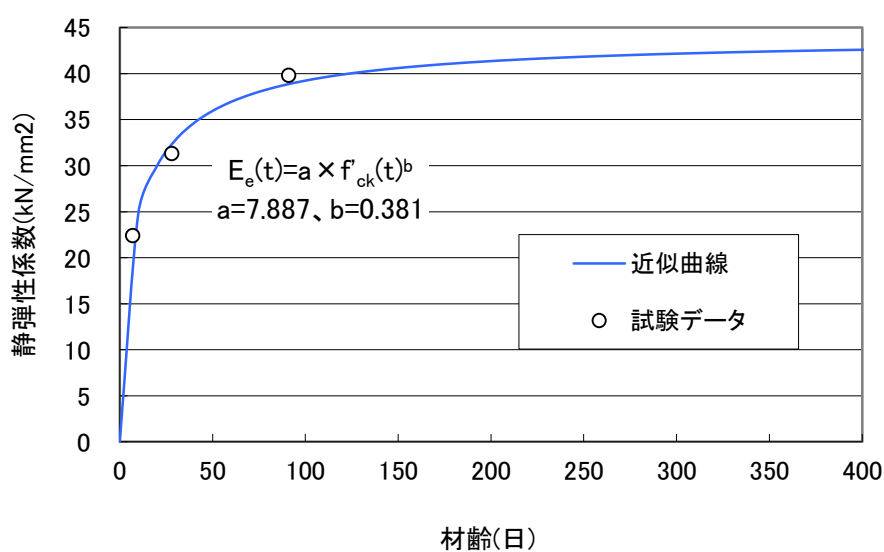


図 4.2-104 埋戻し材（セメント系）の静弾性係数と材齢の関係

(d) 埋戻し材（土質系）

埋戻し材（土質系）の物性値を表 4.2-23 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 4.2-105 に示す。

表 4.2-23 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 <sup>2</sup>	0.0923		[14]
単位体積重量	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19.1		[14]
ポアソン比			0.427		[14]
修正 R-O モデル パラメータ	$\tau f$	MPa	0.086	$0.066 \times (92.3/71.178)$	[14]
	$\gamma r$	%	$9.273 \times 10^{-4}$	$0.086 / 92.3 \times 100$	
	$h_{\max}$	%	20		[14]
	$\alpha$	—	2.046		[14]
	$\beta$	—	1.916		[14]

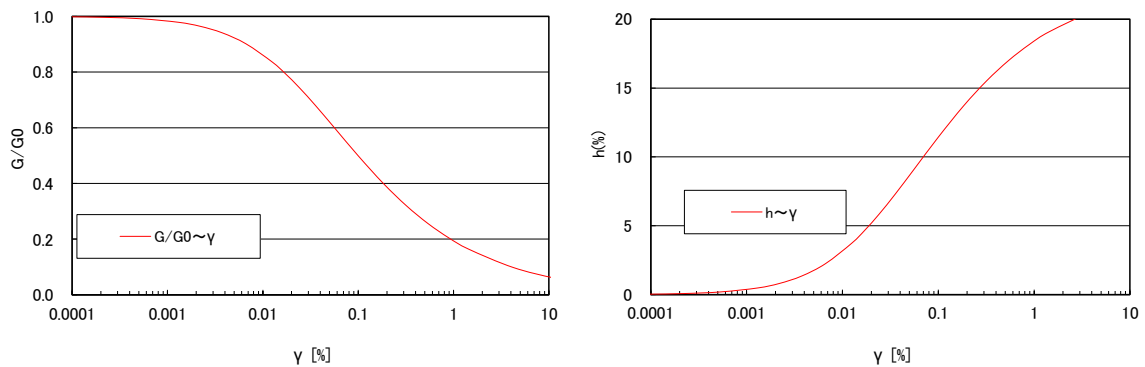


図 4.2-105  $G/G_0 \sim \gamma$  と  $h \sim \gamma$  の関係（埋戻し材（土質系））

(e) 低透水層

低透水層の物性値を表 4.2-24 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 4.2-106 に示す。

表 4.2-24 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 <sup>2</sup>	0.3		[15]
単位体積重量	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19.0		[15]
ポアソン比			0.41		[15]
修正 R-O モデル パラメータ	$\tau f$	MPa	1.114	$0.296 \times (300/79.68)$	[15]
	$\gamma r$	%	$3.715 \times 10^{-1}$	$1.114 / 300 \times 100$	
	$h_{max}$	%	25		[15]
	$\alpha$	—	3.346		[15]
	$\beta$	—	2.293		[15]

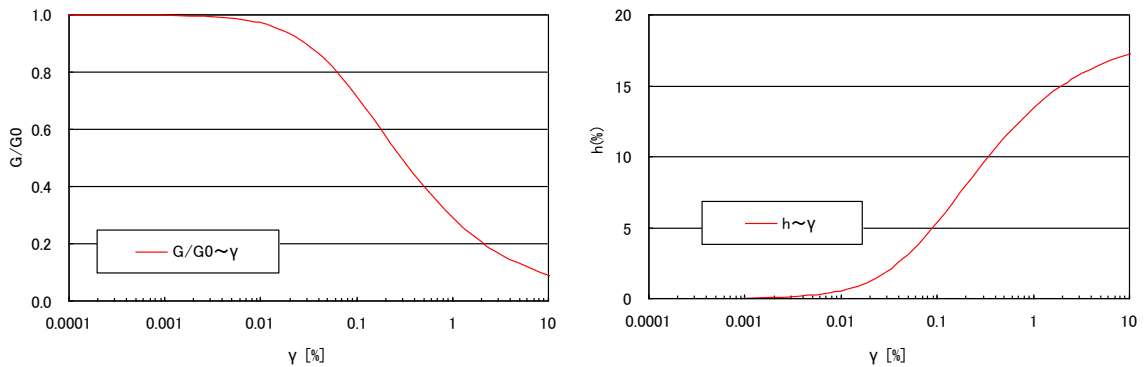


図 4.2-106  $G/G_0 \sim \gamma$  と  $h \sim \gamma$  の関係 (低透水層)

(f) 低拡散層

低拡散層の物性値を表 4.2-25 に示す。弾性係数は、図 4.2-107 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 4.2-25 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	$E$	$\text{kN/mm}^2$	29.3	91 日	[13]
単位体積重量	$\gamma$	$\text{kN/m}^3$	23.0		[13]
ポアソン比	$\nu$	—	0.2		[13]

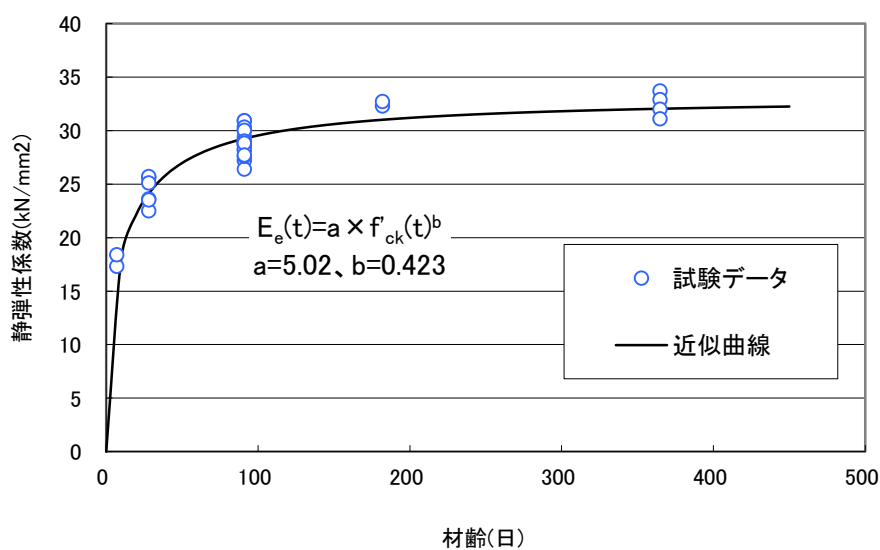


図 4.2-107 低拡散層の静弾性係数と材齢の関係

(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 4.2-26 に示す。弾性係数は、図 4.2-108 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 4.2-26 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	$E$	$\text{kN/mm}^2$	37.9	91 日	[13]
単位体積重量	$\gamma$	$\text{kN/m}^3$	24.5		[13]
ポアソン比	$\nu$	—	0.2		[13]

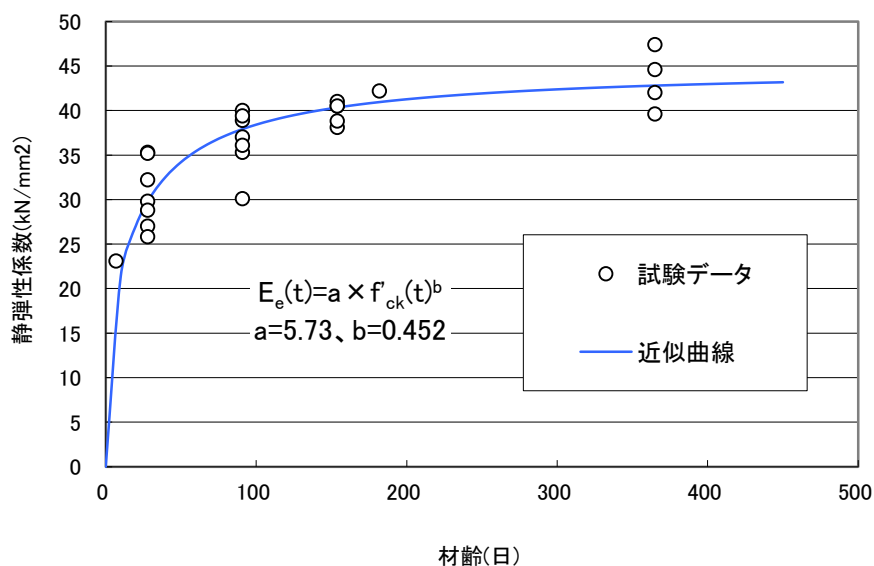


図 4.2-108 コンクリートピットの静弾性係数と材齢の関係

(h) 充填材

充填材の物性値を表 4.2-27 に示す。弾性係数は、図 4.2-109 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、充填材の養生温度を廃棄体の熱を想定して 3 ケース (20°C、60°C、105°C) 実施しているが、60°C と 105°C はバラツキが大きいことおよびサンプル数が少ないことより、本検討では 20°C の値を採用した。

表 4.2-27 充填材の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	$E$	$\text{kN/mm}^2$	33.1	室内試験(20°C)および実機の 91 日	[13]
単位体積重量	$\gamma$	$\text{kN/m}^3$	23.0		[13]
ポアソン比	$\nu$	—	0.2		[13]

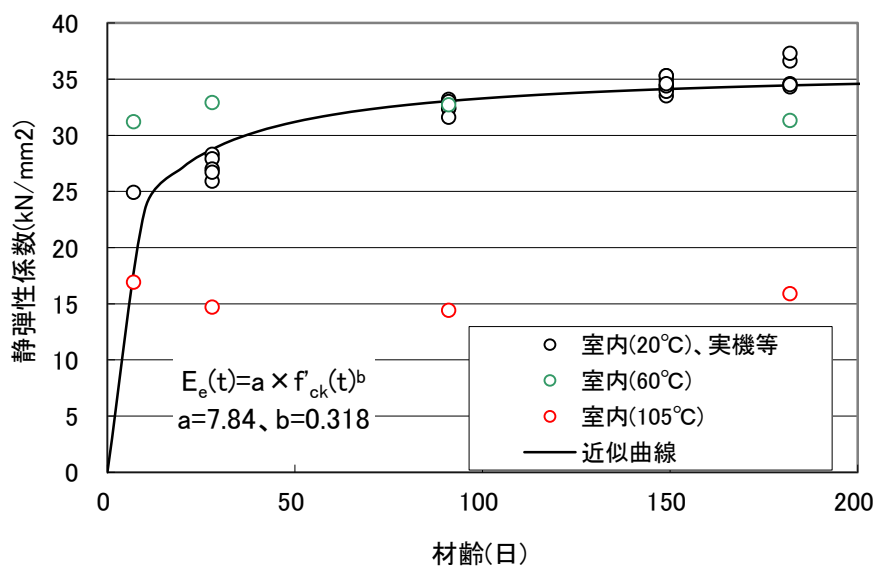


図 4.2-109 充填材の静弾性係数と材齢の関係

(i) 上部充填材

上部充填材の物性値を表 4.2-28 に示す。弾性係数は、図 4.2-110 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、上部充填材の養生温度を廃棄体の熱を想定して 3 ケース (20°C、60°C、105°C) 実施しているが、60°C と 105°C はバラツキが大きいことおよびサンプル数が少ないことより本検討では除外した。

表 4.2-28 上部充填材の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	$E$	kN/mm <sup>2</sup>	39.1	室内試験(20°C)および実機の 91 日	[13]
単位体積重量	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	24.5		[13]
ポアソン比	$\nu$	—	0.2		[13]

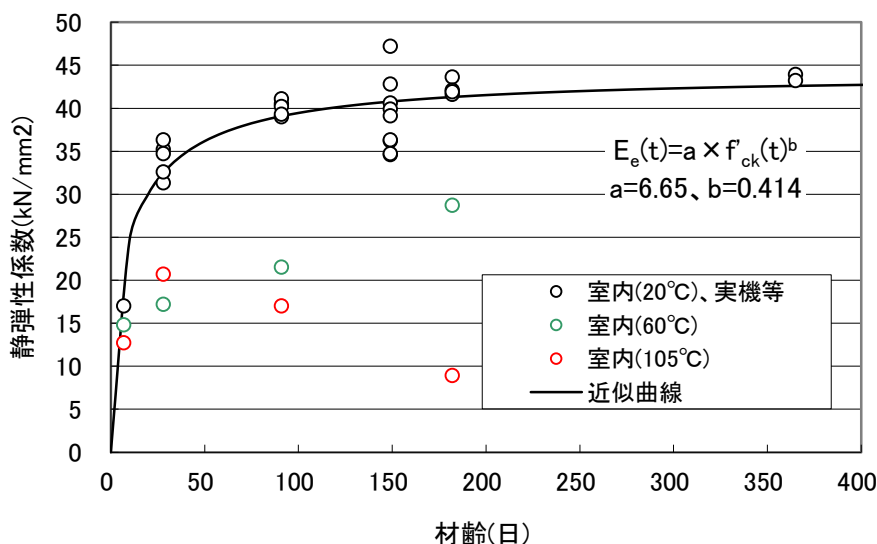


図 4.2-110 上部充填材の静弾性係数と材齢の関係

(j) 均しコンクリート

均しコンクリートの物性値を表 4.2-29 に示す。

表 4.2-29 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 <sup>2</sup>	22.0		[13]
単位体積重量	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	23.0		[13]
ポアソン比	$\nu$	—	0.2		[13]



e. 入力地震動

本検討では、図 4.2-97～図 4.2-98 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。一次元重複反射理論に基づく地盤の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 4.2-111 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。

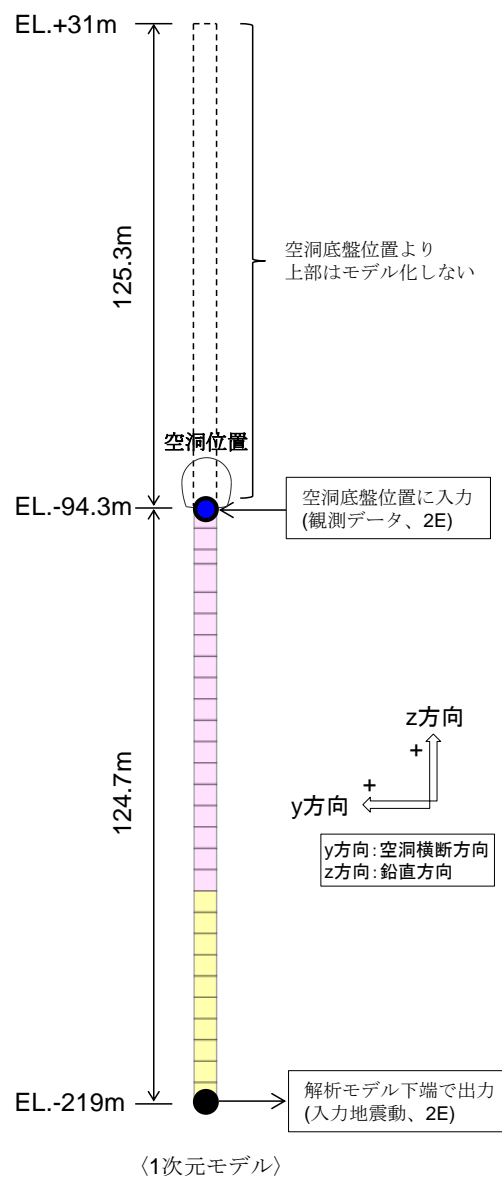


図 4.2-111 引戻し解析モデル

#### (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 29 年度および平成 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およびフーリエスペクトルを図 4.2-112～図 4.2-113 に示す。

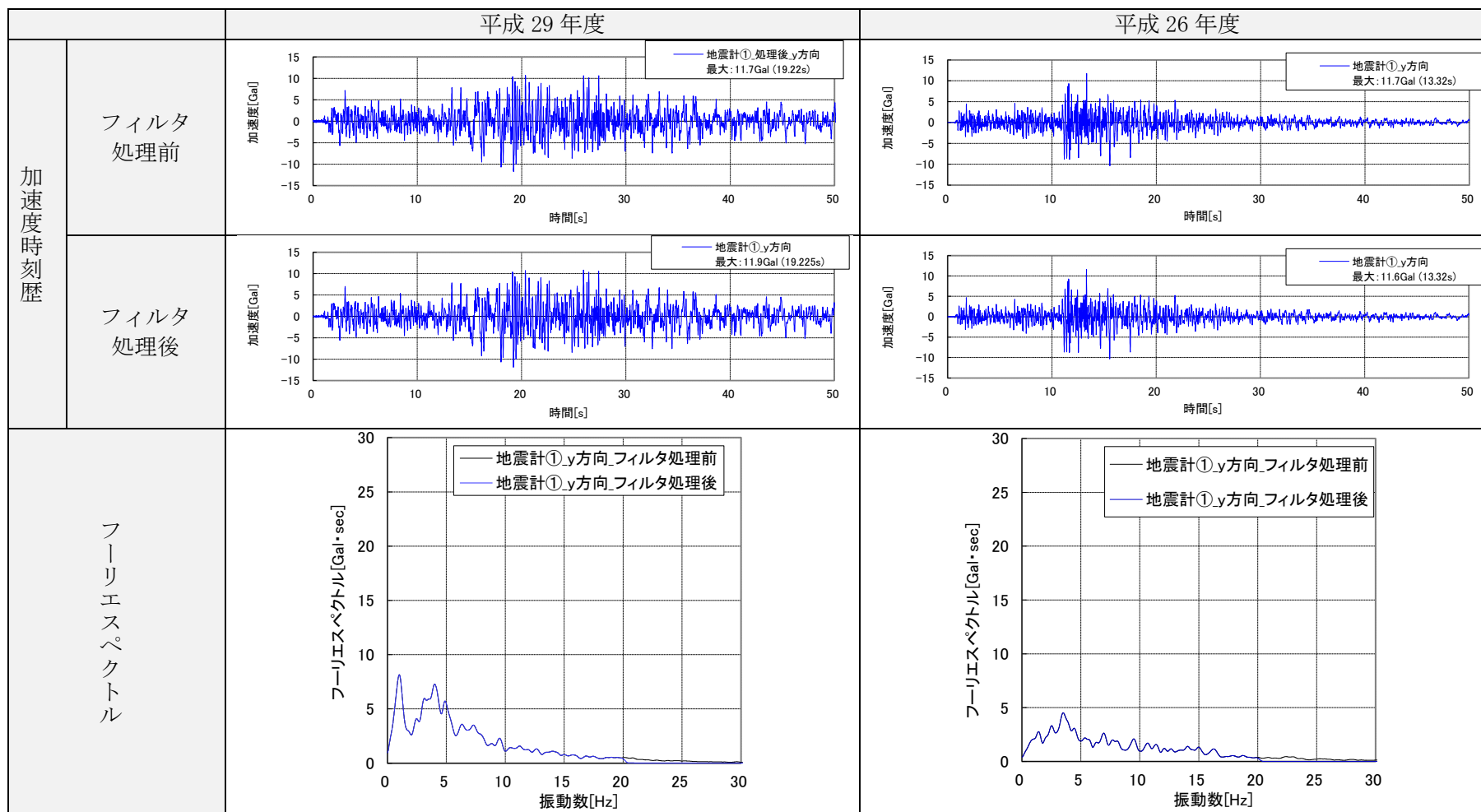


図 4.2-112 フィルタ処理（水平方向）

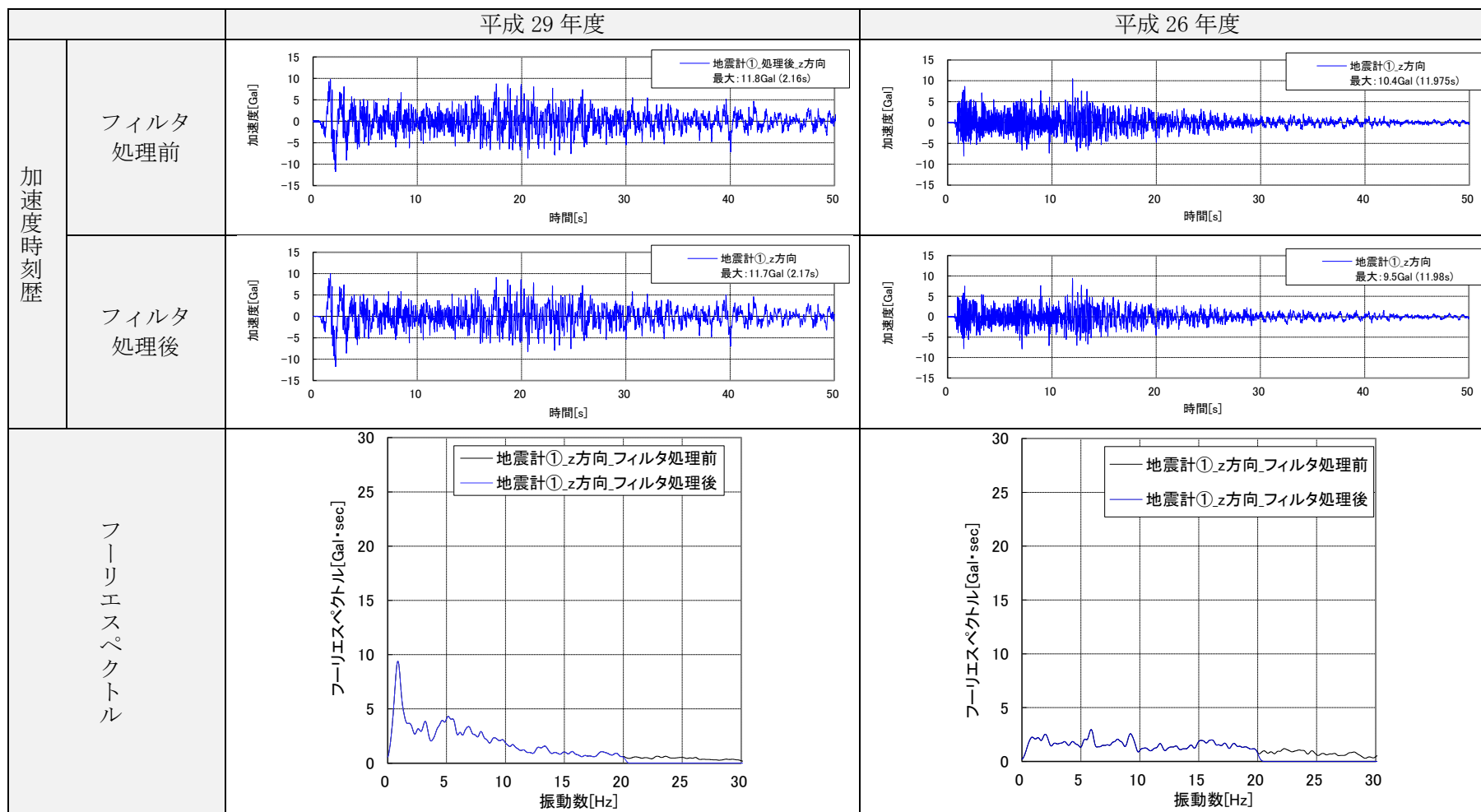


図 4.2-113 フィルタ処理（鉛直方向）

### (c) 解析結果

平成 29 年度および平成 26 年度の選定地震動の引戻し解析結果（加速度時刻歴およびフーリエスペクトル）を、図 4.2-114～図 4.2-115 に示す。

平成 29 年度の引戻し解析では、図 4.2-114 に示すように y、z 方向ともに、入力地震動と観測地震動の加速度時刻歴およびフーリエスペクトルに大きな違いは見られない。y 方向の入力地震動の最大加速度は 10.5Gal であり、観測地震動（同 11.9Gal）から 1.4Gal 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 11.5Gal であり、観測地震動（同 11.7Gal）から 0.2Gal 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、図 4.2-115 に示す平成 26 年度の引戻し解析結果と同様である。

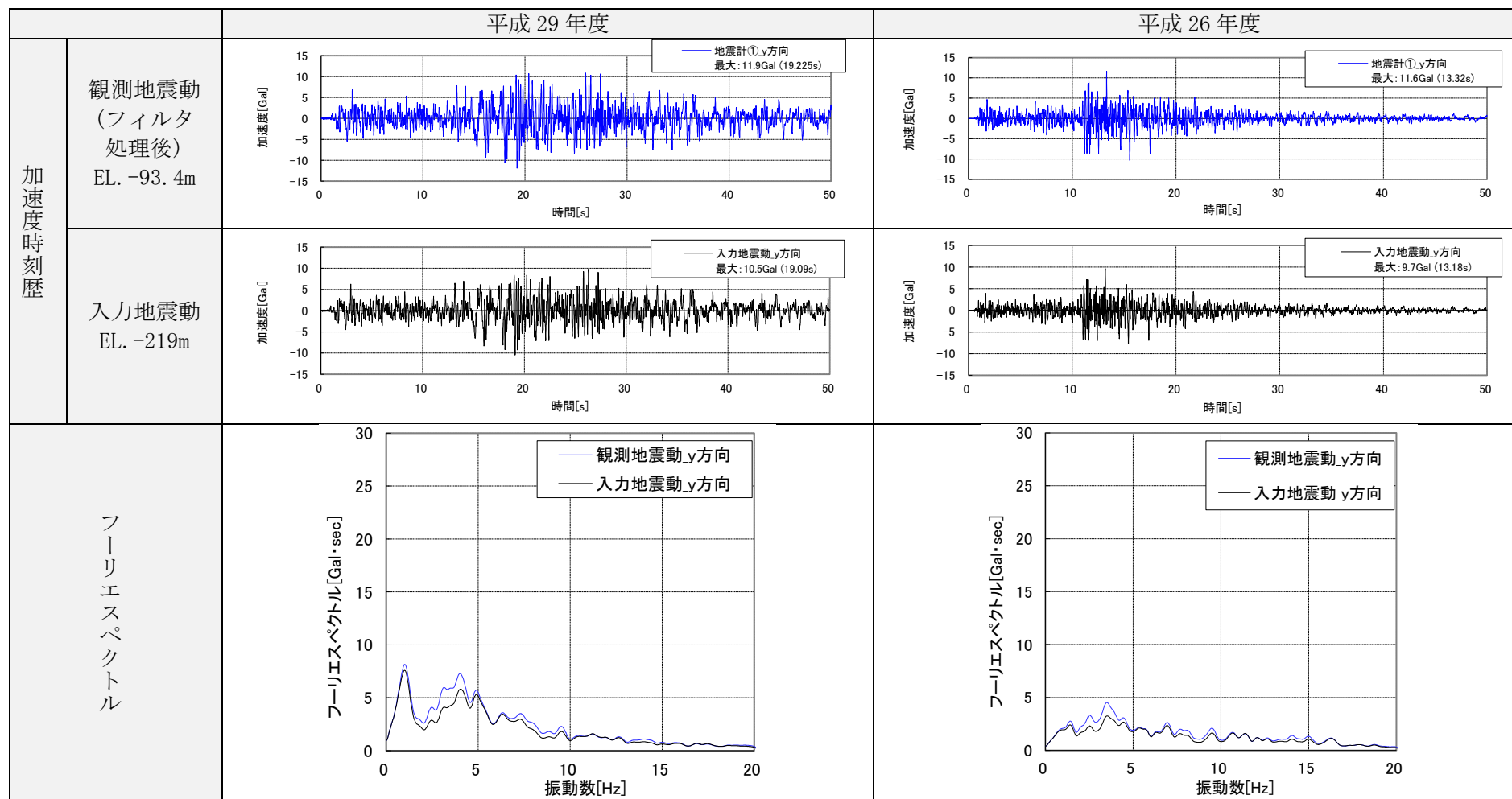


図 4.2-114 引戻し解析結果 (水平方向)

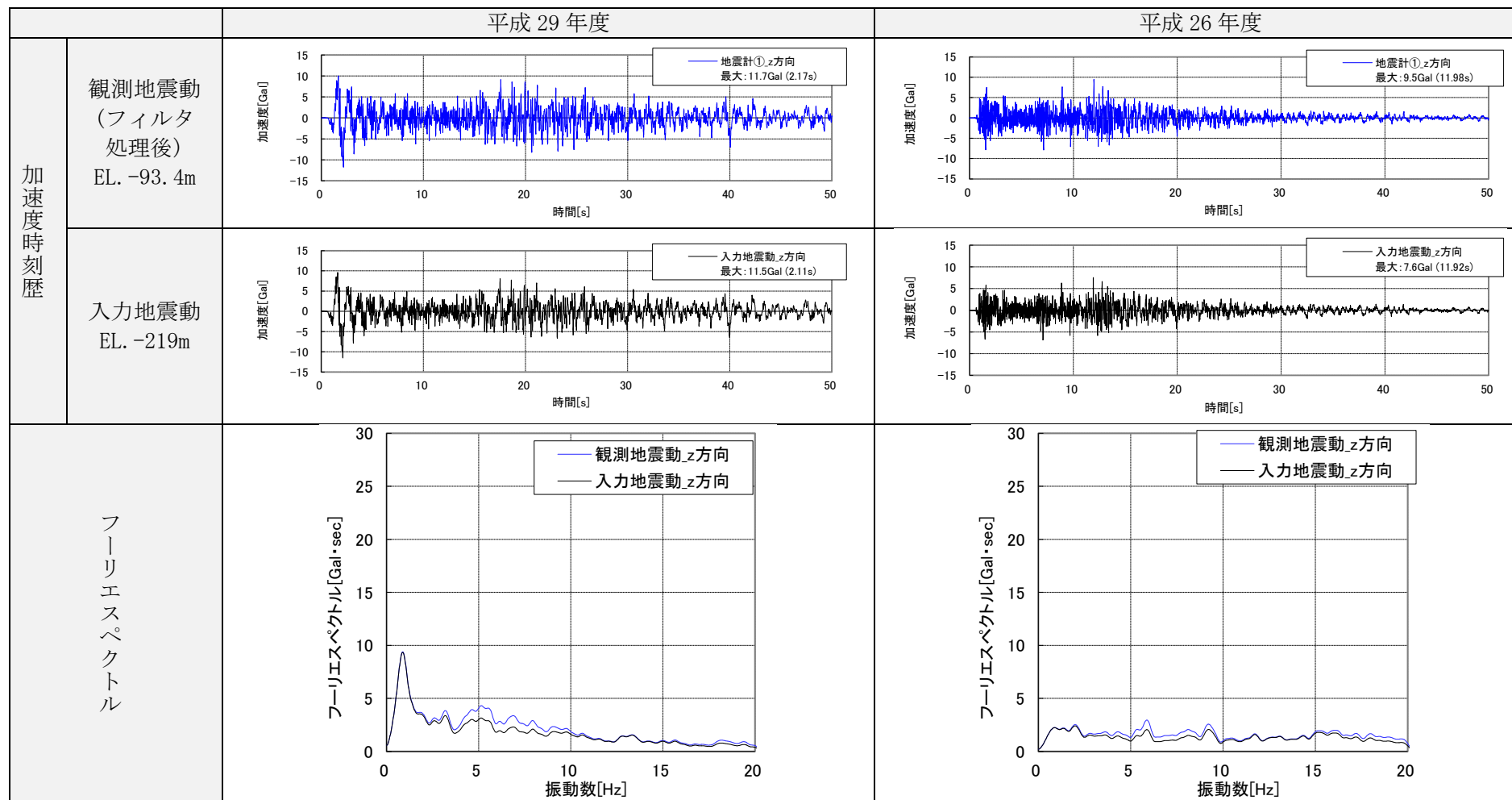


図 4.2-115 引戻し解析結果 (鉛直方向)

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。

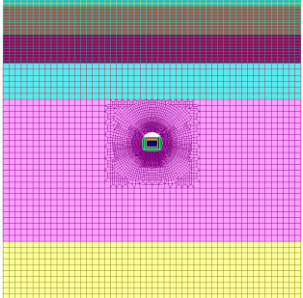
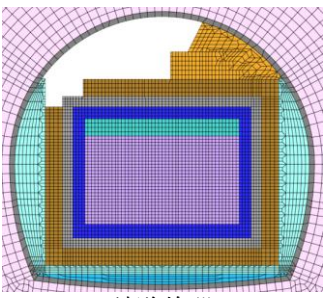
$$C = \alpha M + \beta K$$

係数  $\alpha$  と  $\beta$  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 4.2-30 に示すように試験施設と周辺地盤を解析対象とした。

表 4.2-30 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 4.2-31 に示す。

表 4.2-31 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 4.2-31 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



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、地盤およ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 $\alpha$ と剛性比例項の係数 $\beta$ を設定した。本検討で設定した係数 $\alpha$ と $\beta$ を表4.2-32に、減衰定数と振動数の関係を図4.2-116に示す。

表 4.2-32 質量比例係数 $\alpha$ と剛性比例係数 $\beta$

	減衰率	$\alpha$	$\beta$
地盤および低透水層	2%	$2.173 \times 10^{-1}$	$1.251 \times 10^{-4}$
上記以外	5%	$5.434 \times 10^{-1}$	$3.128 \times 10^{-4}$

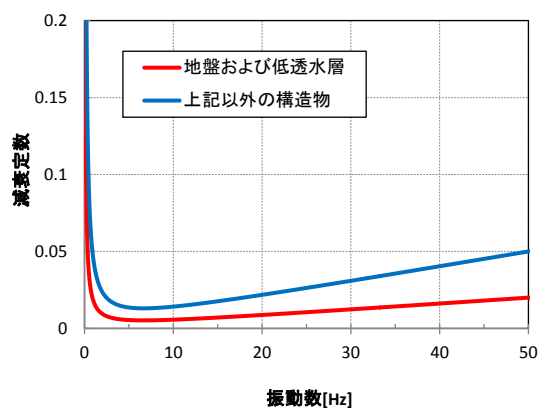


図 4.2-116 レーリー減衰の減衰定数と振動数の関係

## 2) 解析結果

前項で設定した入力地震動 2 波（平成 29 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。

以下の位置およ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 4.2-33 に示す。

表 4.2-33 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	最大・最小応力のコンタ	時刻歴最大・最小値
・ 低拡散層	最大・最小ひずみのコンタ	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	時刻歴最大・最小値
	最大・最小ひずみのコンタ	時刻歴最大・最小値
	最大せん断ひずみのコンタ	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 4.2-34 に示す。なお、応力およびひずみは地震時増分値である。

表 4.2-34 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 4.2-117～図 4.2-118
空洞上下端位置	相対変位	図 4.2-120
コンクリートピット	直応力（水平方向）分布	図 4.2-121～図 4.2-122
	直応力（鉛直方向）分布	図 4.2-123～図 4.2-124
	せん断応力分布	図 4.2-125～図 4.2-126
	直ひずみ（水平方向）分布	図 4.2-127～図 4.2-128
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 4.2-129～図 4.2-130
	せん断ひずみ分布	図 4.2-131～図 4.2-132
低拡散層	直応力（水平方向）分布	図 4.2-133～図 4.2-134
	直応力（鉛直方向）分布	図 4.2-135～図 4.2-136
	せん断応力分布	図 4.2-137～図 4.2-138
	直ひずみ（水平方向）分布	図 4.2-139～図 4.2-140
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 4.2-141～図 4.2-142
	せん断ひずみ分布	図 4.2-143～図 4.2-144
低透水層	直応力（水平方向）分布	図 4.2-145～図 4.2-146
	直応力（鉛直方向）分布	図 4.2-147～図 4.2-148
	せん断応力分布	図 4.2-149～図 4.2-150
	直ひずみ（水平方向）分布	図 4.2-151～図 4.2-152
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 4.2-153～図 4.2-154
	せん断ひずみ分布 最大せん断ひずみの分布	図 4.2-155～図 4.2-156 図 4.2-157
埋戻し材	直応力（水平方向）分布	図 4.2-159～図 4.2-160
	直応力（鉛直方向）分布	図 4.2-161～図 4.2-162
	せん断応力分布	図 4.2-163～図 4.2-164
	直ひずみ（水平方向）分布	図 4.2-165～図 4.2-166
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 4.2-167～図 4.2-168
	せん断ひずみ分布 最大せん断ひずみの分布	図 4.2-169～図 4.2-170 図 4.2-171

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 4.2-117～図 4.2-118 に示す。

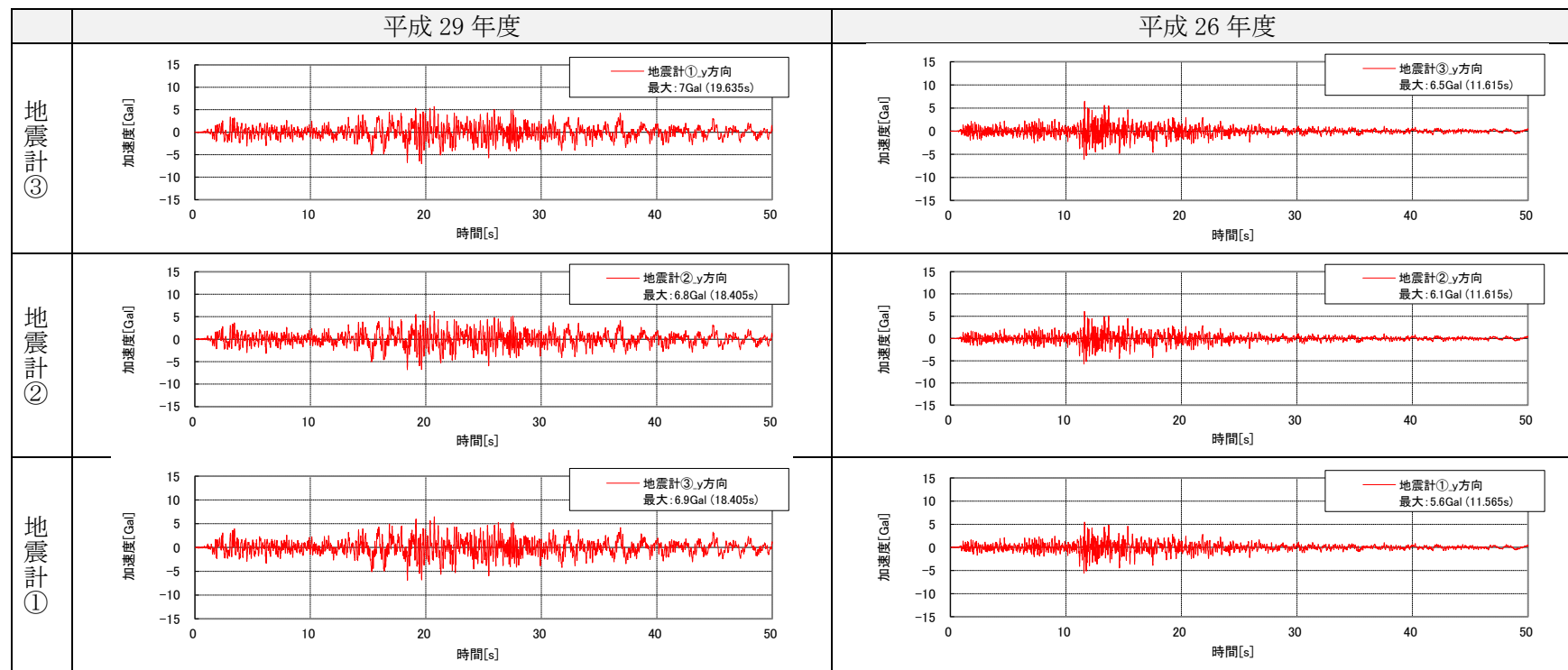
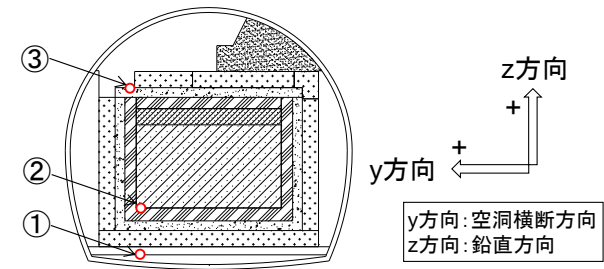


図 4.2-117 試験施設の応答加速度 (水平方向)

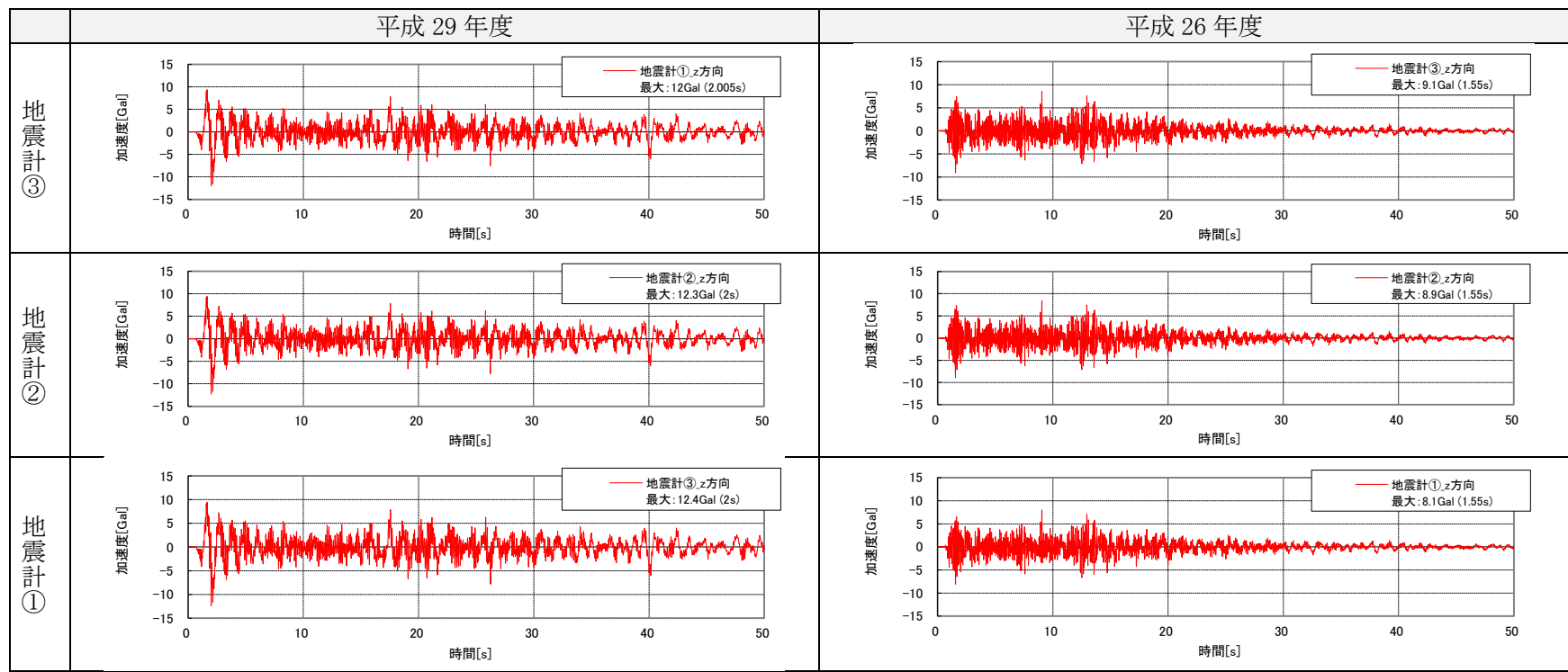
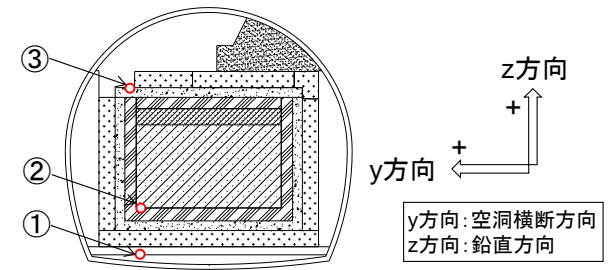


図 4.2-118 試験施設の応答加速度 (鉛直方向)

b. 着目位置の応答変位

試験空洞の上下端位置の相対変位の時刻歴を図 4.2-120 に示す。

平成 29 年度のような卓越振動数が小さい地震動を入力した場合、図 4.2-120 に示すように試験空洞全体がロックする挙動が確認された。そこで、図 4.2-120 に示すように、底部埋戻し材の左右端を基準としてロック角を求め、ロックの影響を除いて空洞上下端の相対変位を算出した。

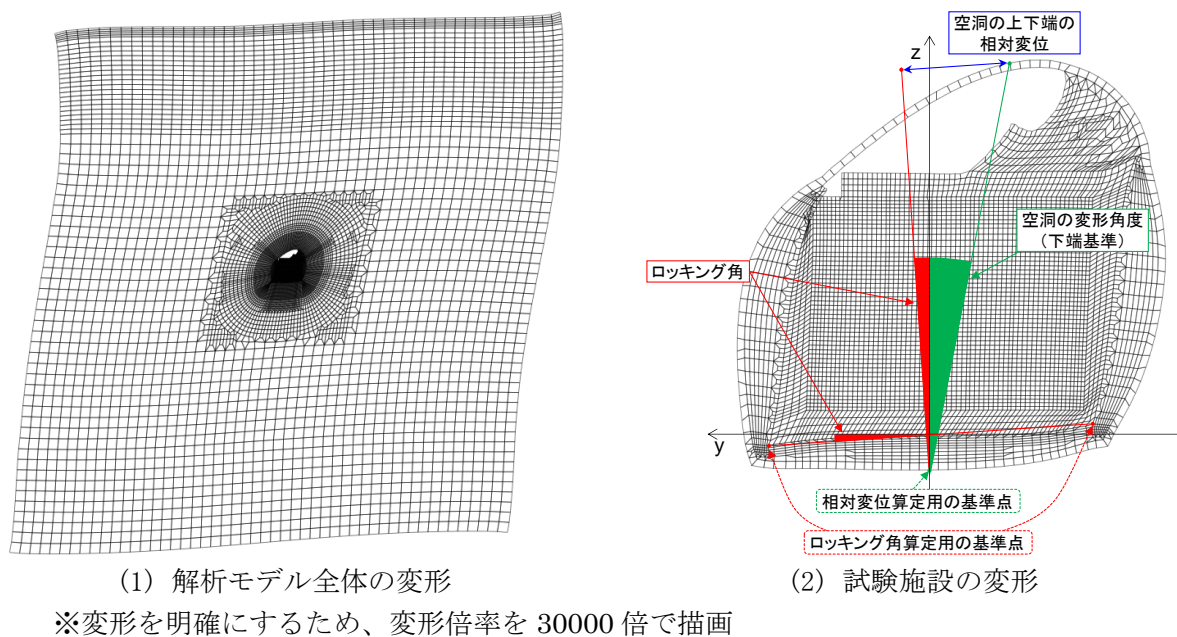


図 4.2-119 ロッキングの影響を除いた相対変位の算出

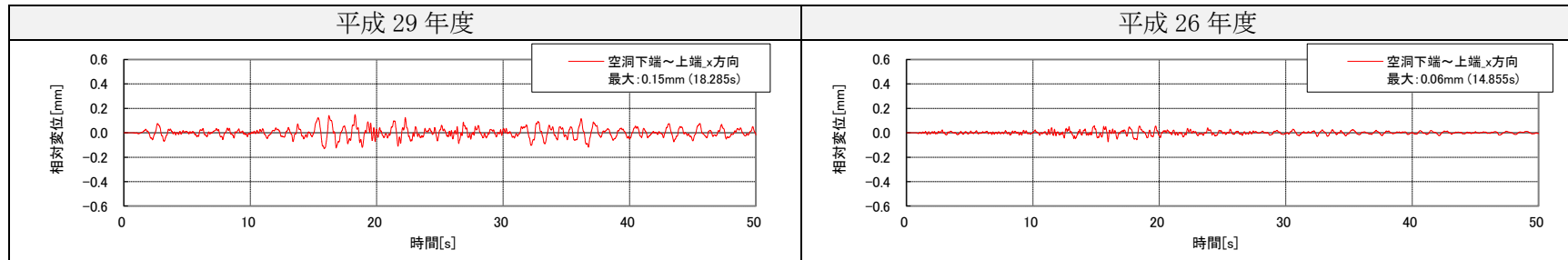
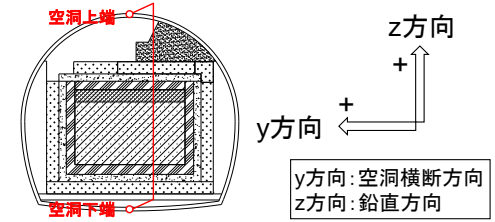


図 4.2-120 試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）

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およびせん断応力分布を図 4.2-121～図 4.2-126、直ひずみ分布およびせん断ひずみ分布を図 4.2-127～図 4.2-132 に示す。

(a) 直応力（水平方向）分布

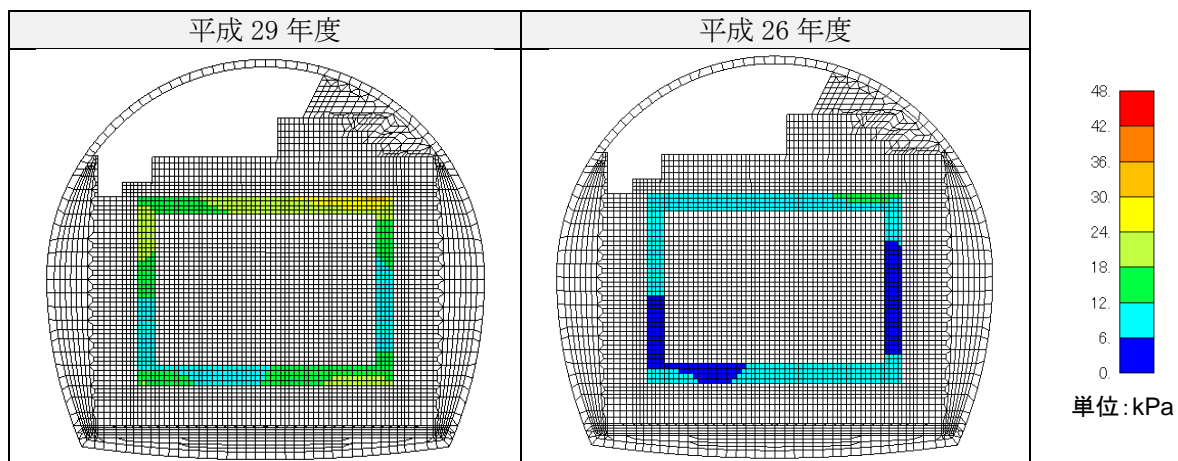


図 4.2-121 コンクリートピットの引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

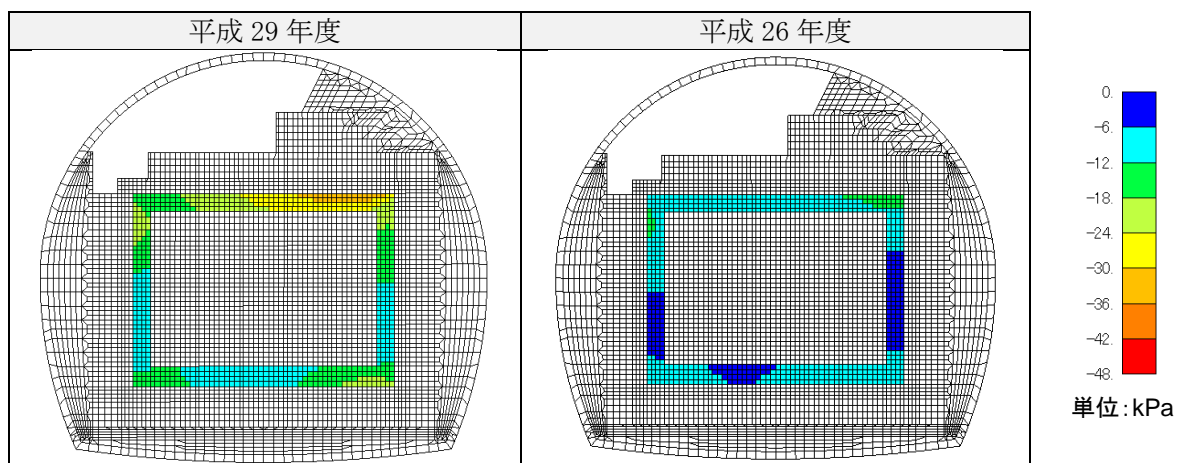


図 4.2-122 コンクリートピットの圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）



(b) 直応力（鉛直方向）分布

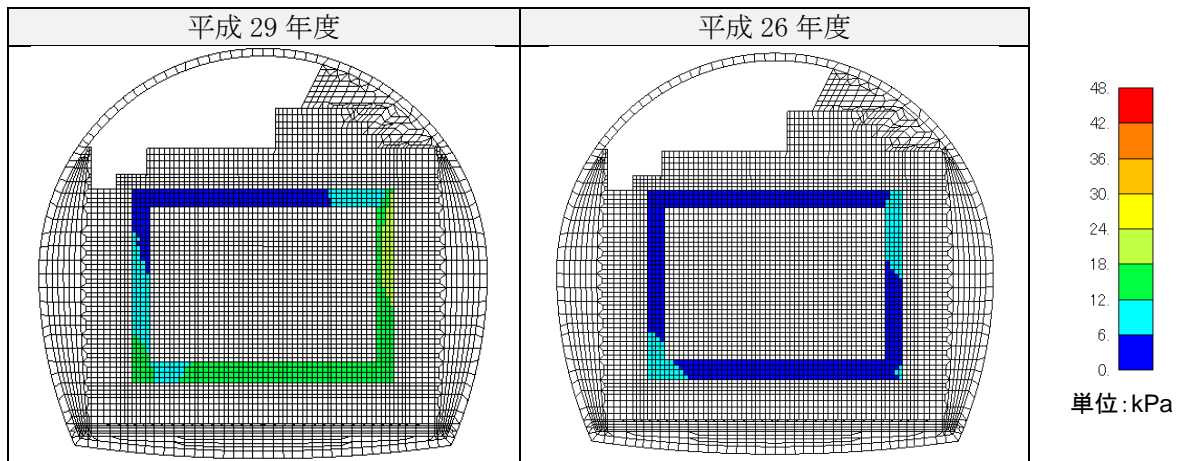


図 4.2-123 コンクリートピットの引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

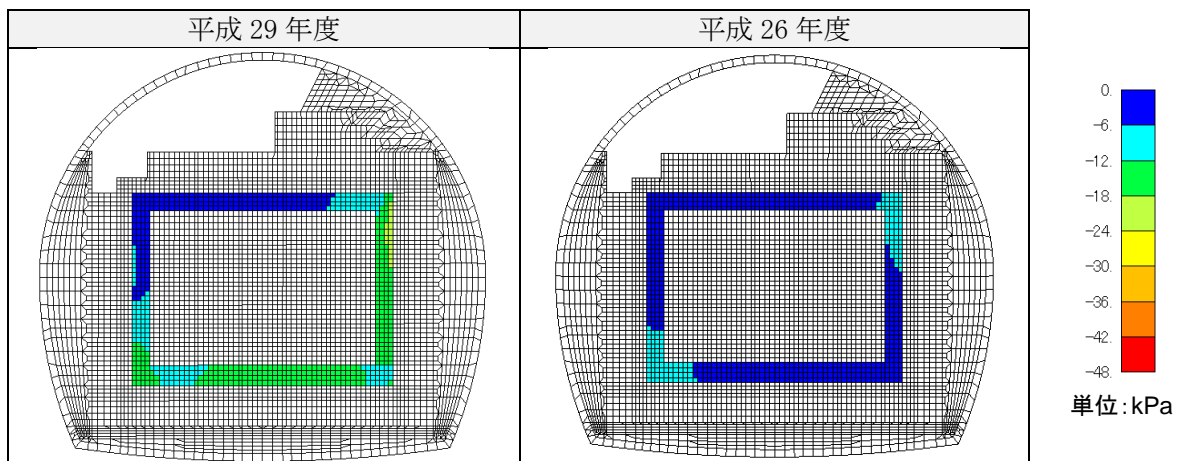


図 4.2-124 コンクリートピットの圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(c) せん断応力分布

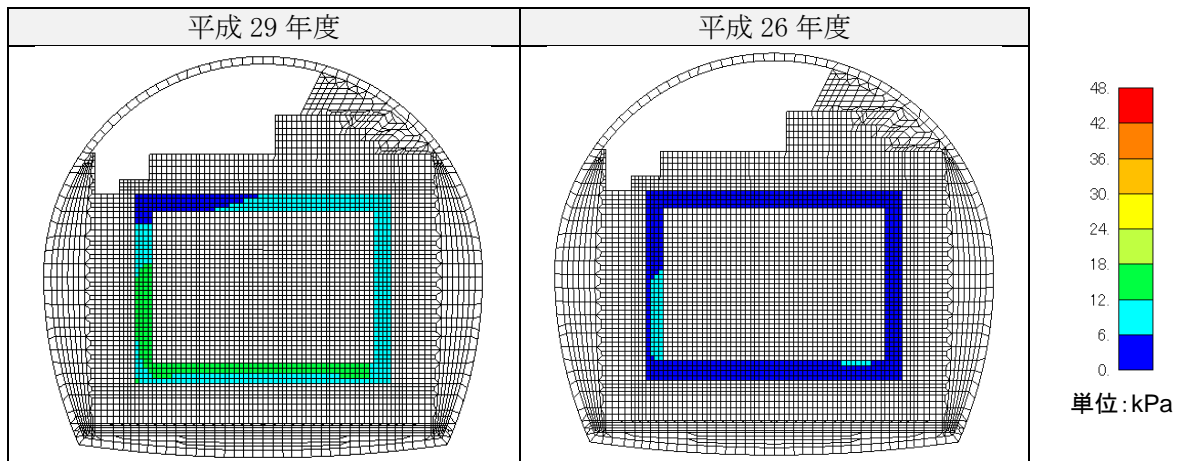


図 4.2-125 コンクリートピットのせん断応力地震時増分 (履歴最大)

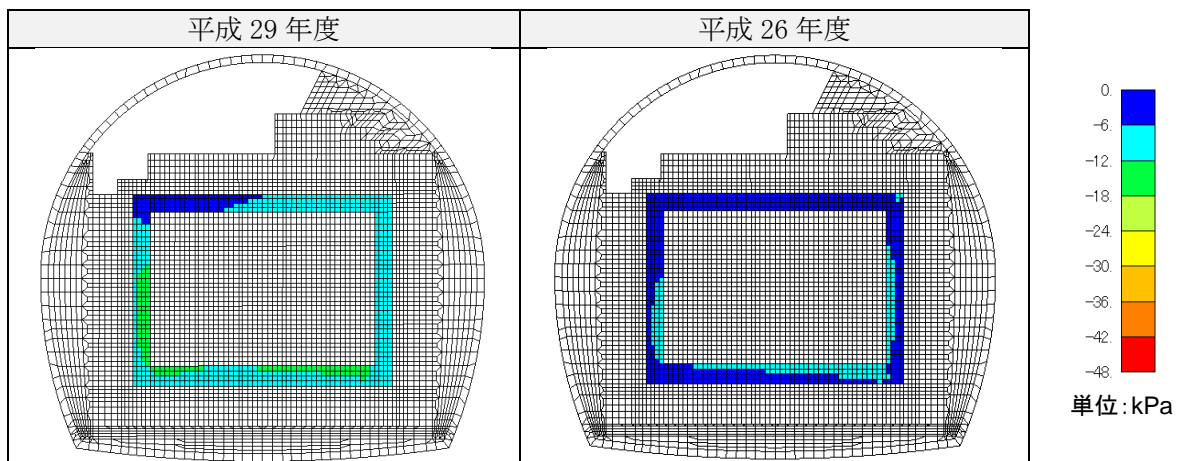


図 4.2-126 コンクリートピットのせん断応力地震時増分 (履歴最小)

(d) 直ひずみ（水平方向）分布

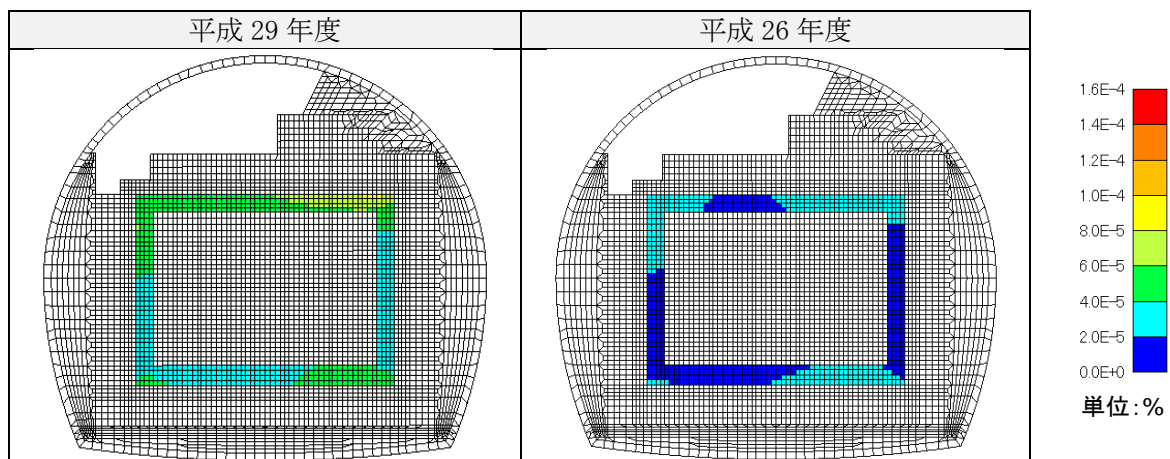


図 4.2-127 コンクリートピットの引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

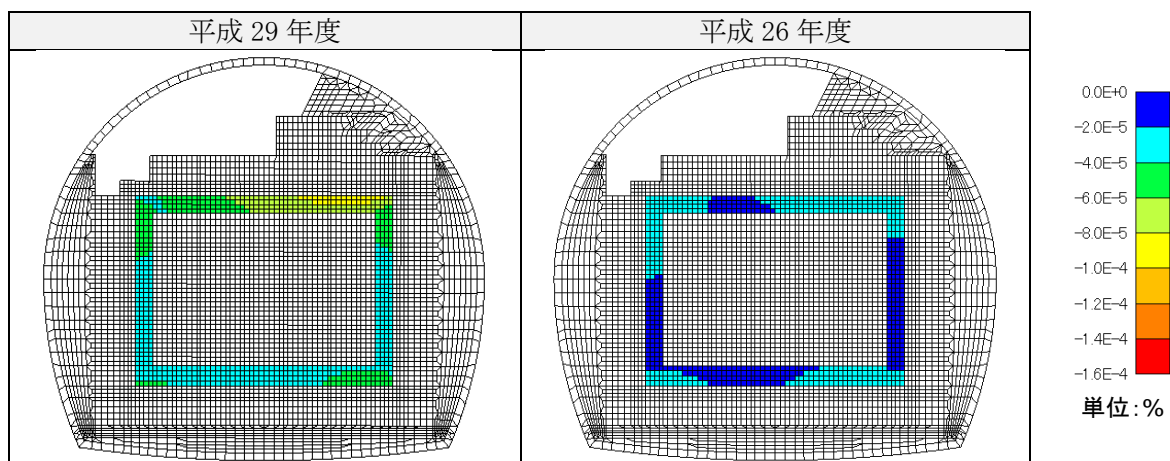


図 4.2-128 コンクリートピットの圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(e) 直ひずみ（鉛直方向）分布

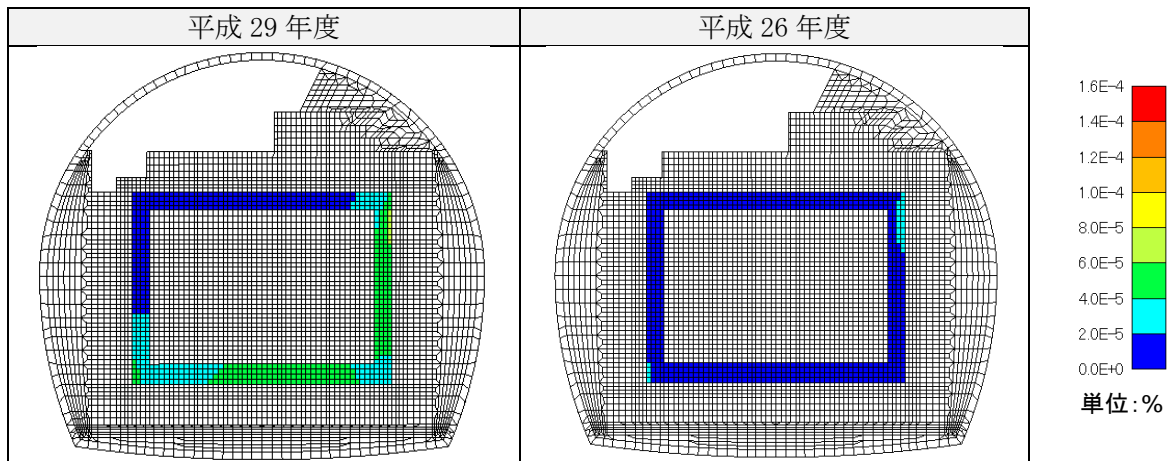


図 4.2-129 コンクリートピットの引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

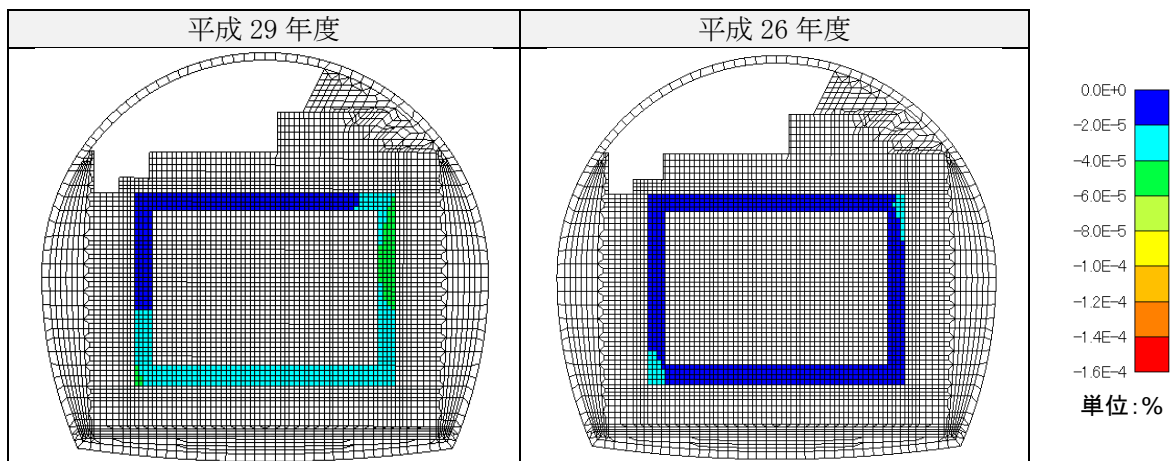


図 4.2-130 コンクリートピットの圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(f) せん断ひずみ分布

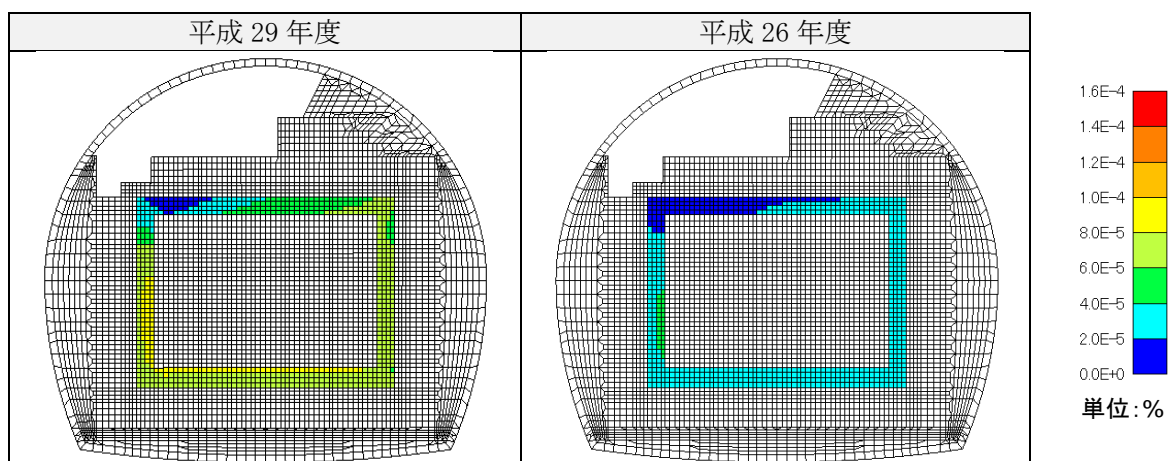


図 4.2-131 コンクリートピットのせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

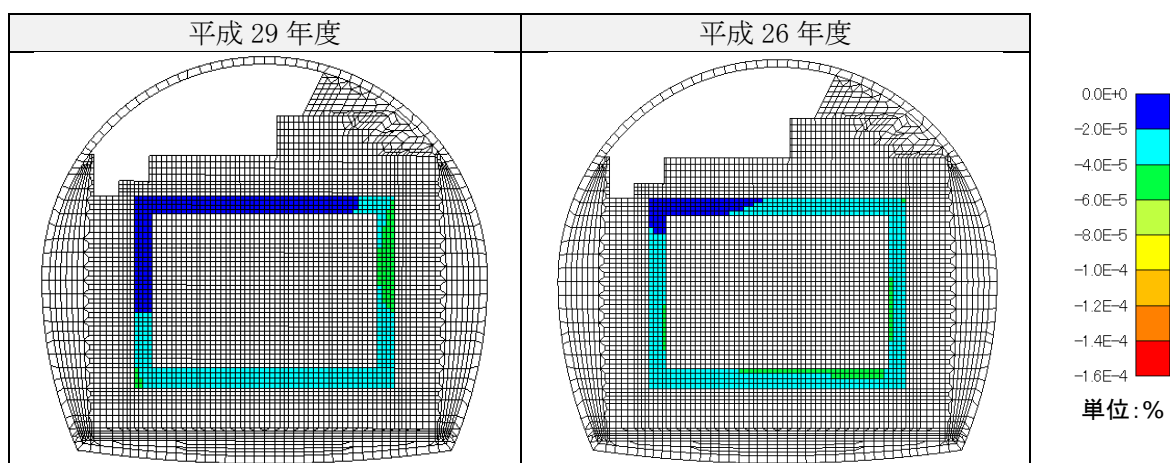


図 4.2-132 コンクリートピットのせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

d. 低拡散層

低拡散層の直応力分布およびせん断応力分布を図 4.2-133～図 4.2-138、直ひずみ分布およびせん断ひずみ分布を図 4.2-139～図 4.2-144 に示す。

(a) 直応力（水平方向）分布

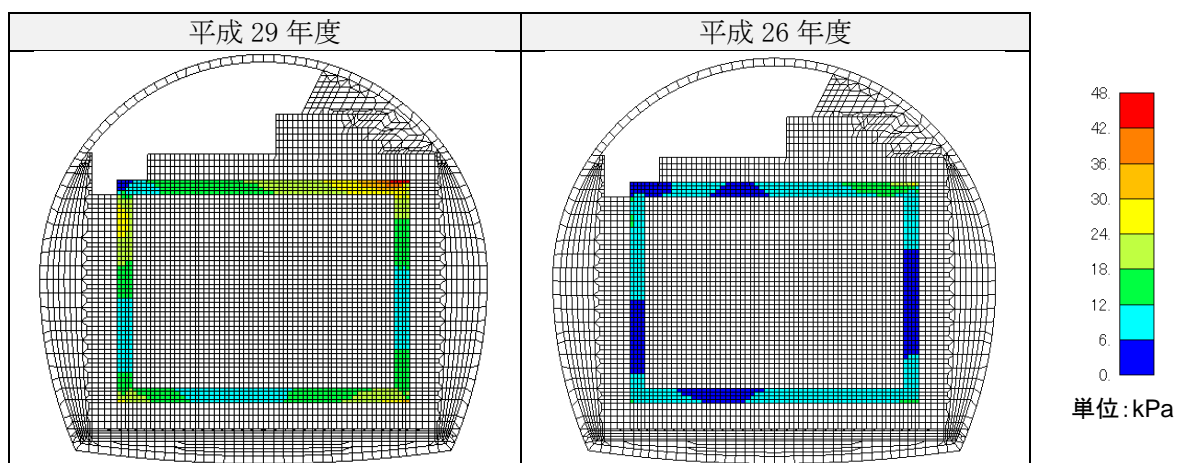


図 4.2-133 低拡散層の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

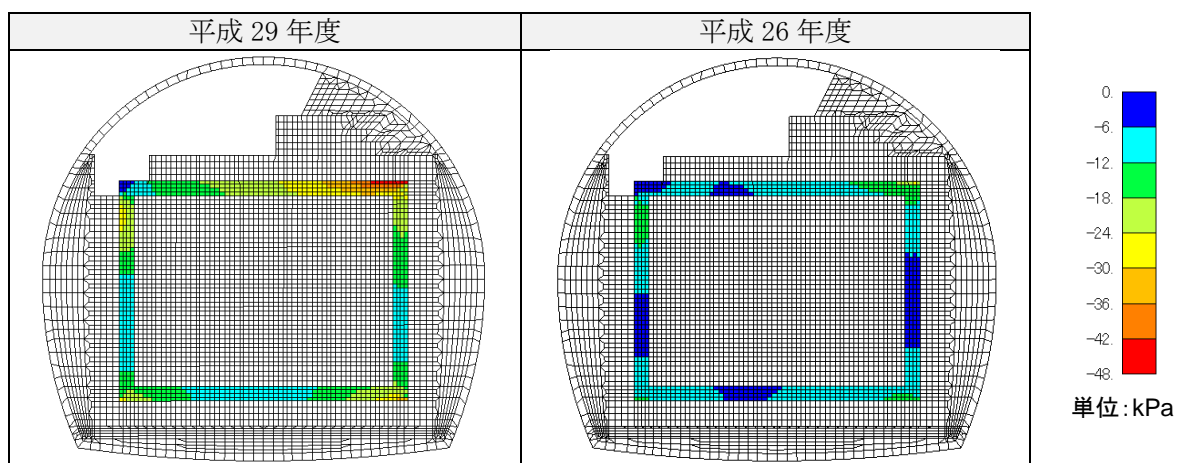


図 4.2-134 低拡散層の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）



(b) 直応力（鉛直方向）分布

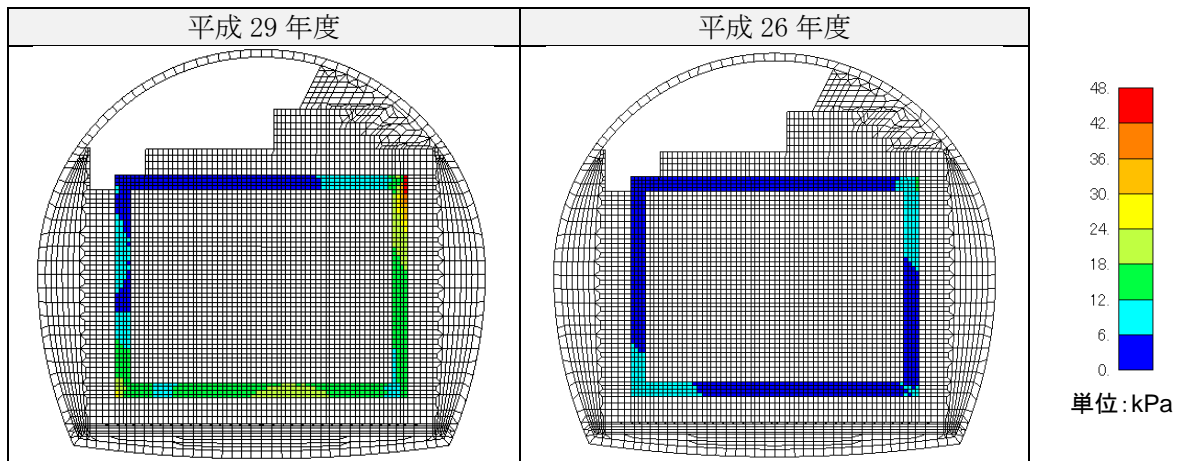


図 4.2-135 低拡散層の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

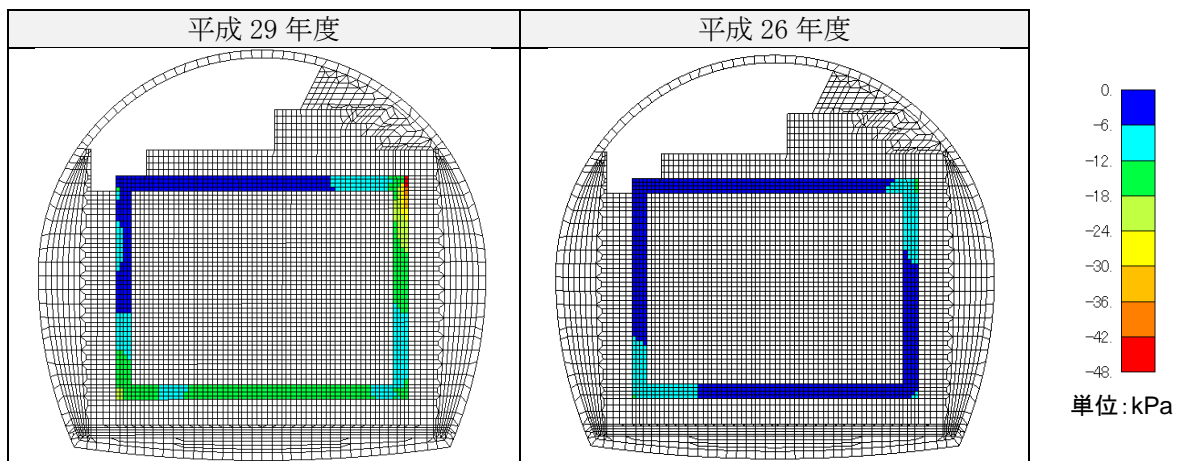


図 4.2-136 低拡散層の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(c) せん断応力分布

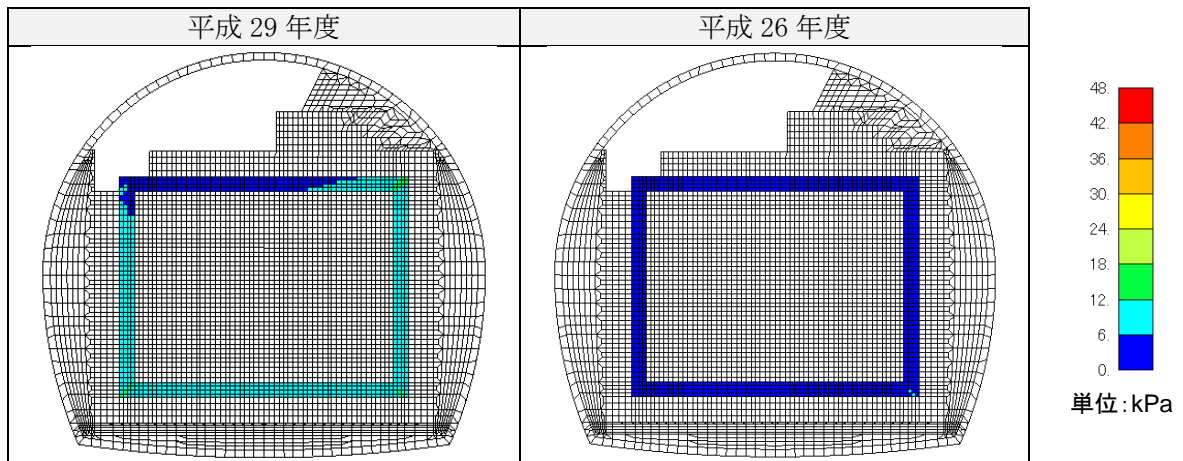


図 4.2-137 低拡散層のせん断応力地震時増分（履歴最大）

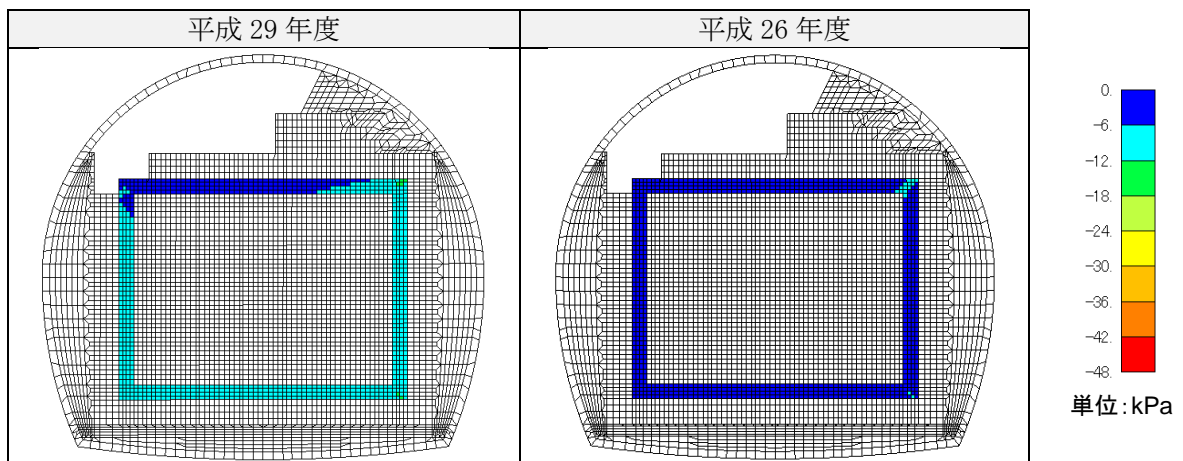


図 4.2-138 低拡散層のせん断応力地震時増分（履歴最小）



(d) 直ひずみ（水平方向）分布

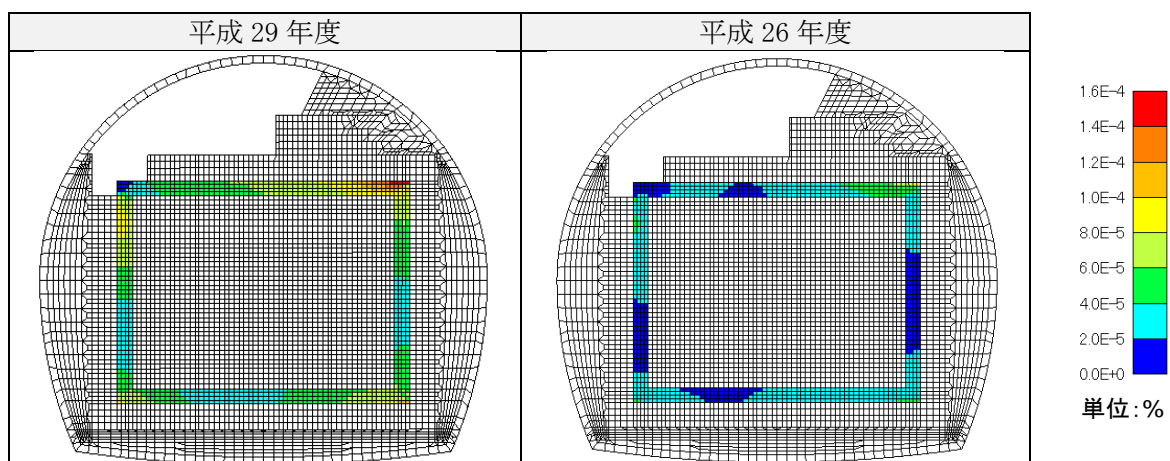


図 4.2-139 低拡散層の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

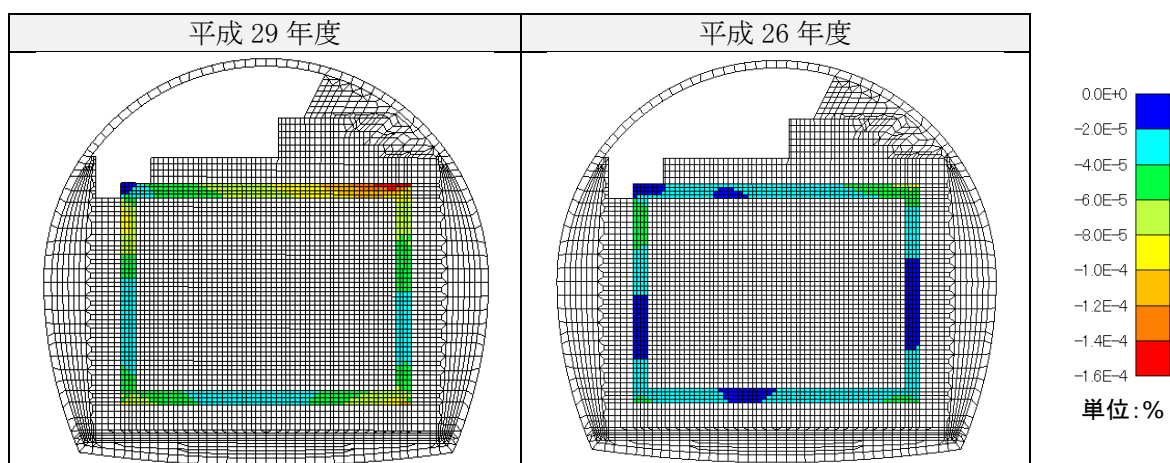


図 4.2-140 低拡散層の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(e) 直ひずみ（鉛直方向）分布

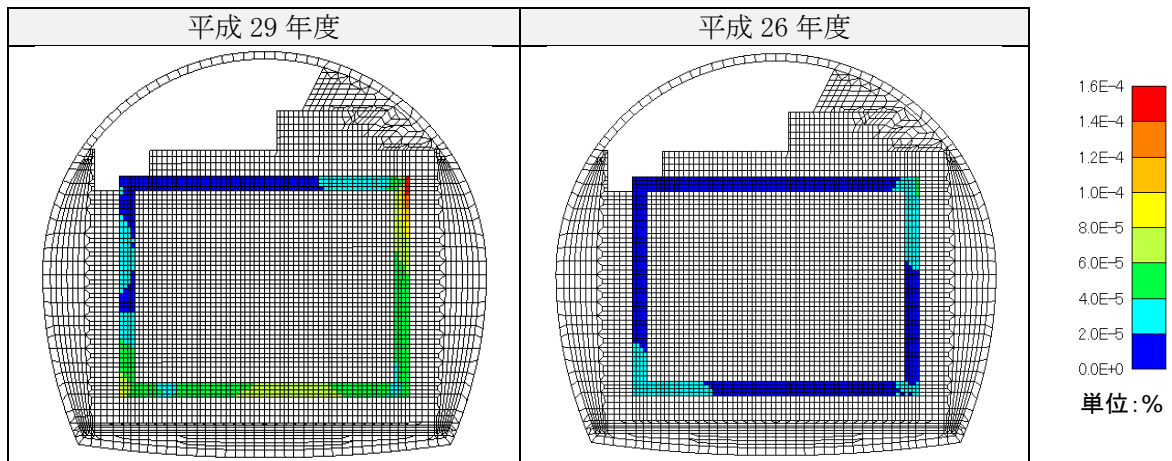


図 4.2-141 低拡散層の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

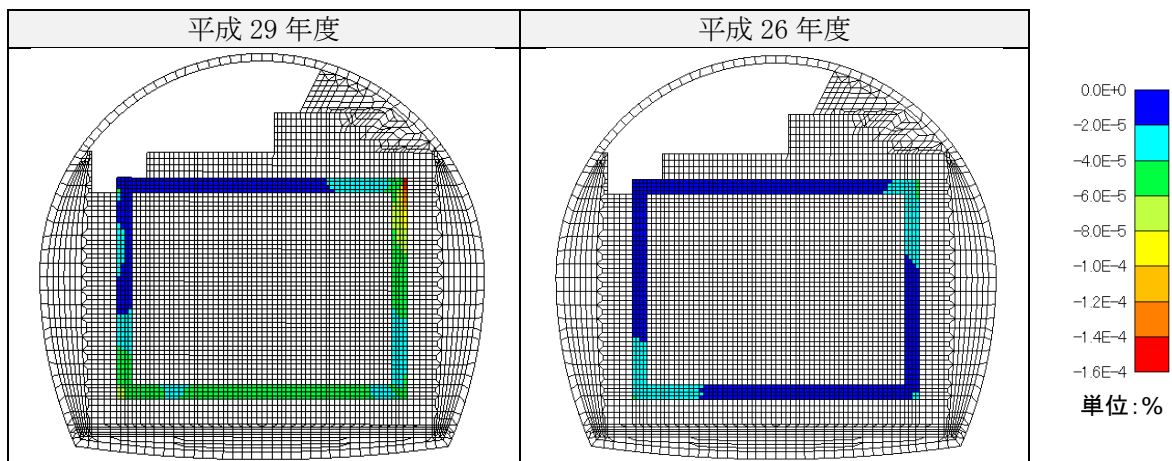


図 4.2-142 低拡散層の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(f) せん断ひずみ分布

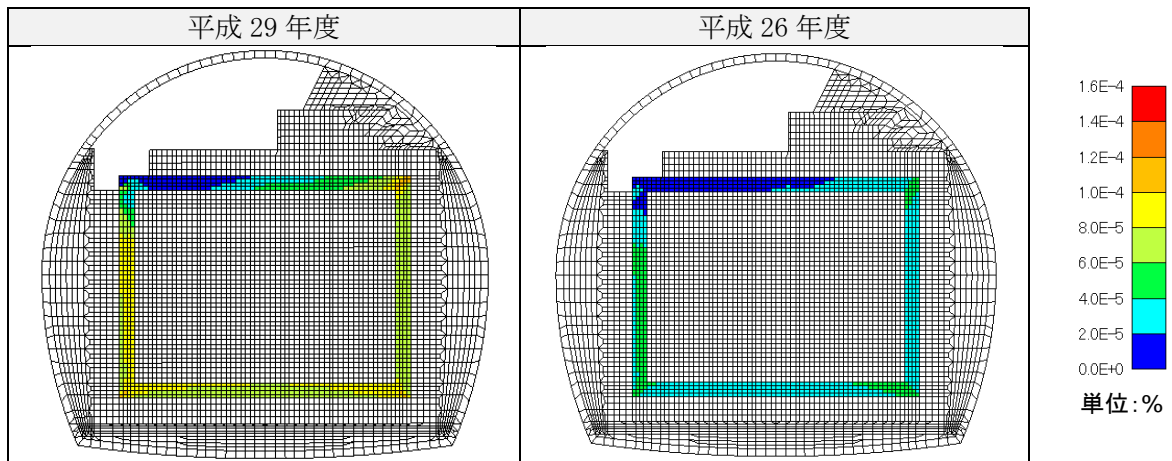


図 4.2-143 低拡散層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

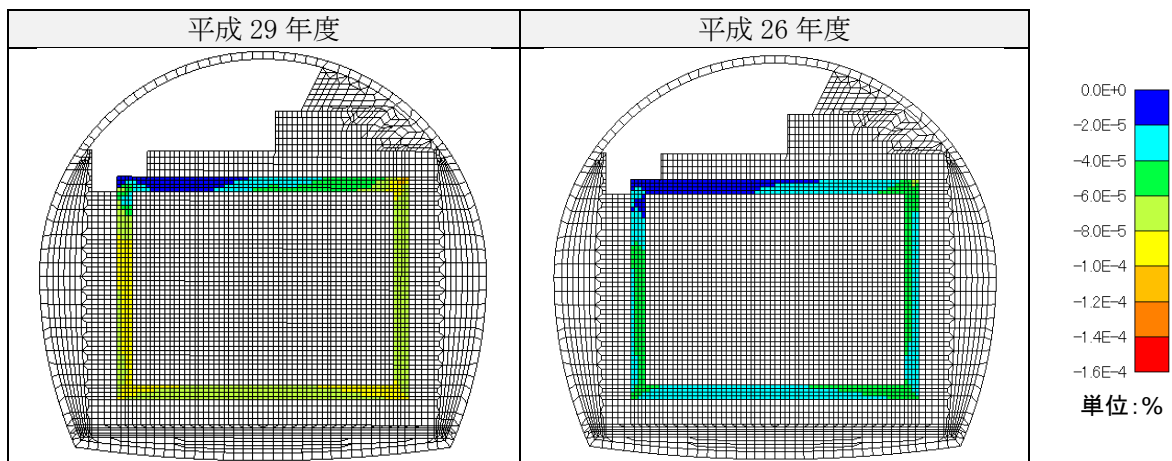


図 4.2-144 低拡散層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

e. 低透水層

低透水層の直応力分布およびせん断応力分布を図 4.2-145～図 4.2-150、直ひずみ分布およびせん断ひずみ分布を図 4.2-151～図 4.2-156、最大せん断ひずみ（主ひずみ差）分布を図 4.2-157 に示す。

(a) 直応力（水平方向）分布

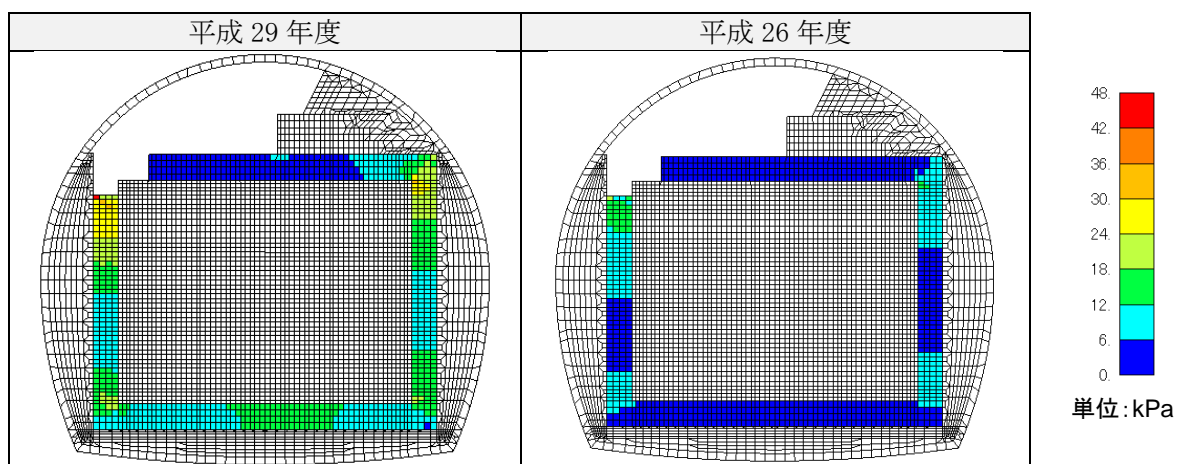


図 4.2-145 低透水層の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

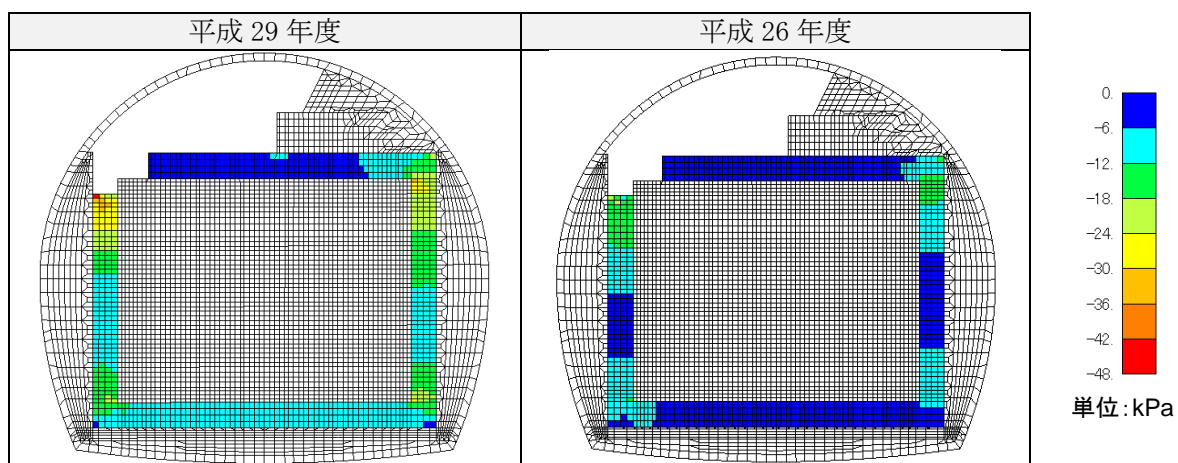


図 4.2-146 低透水層の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(b) 直応力（鉛直方向）分布

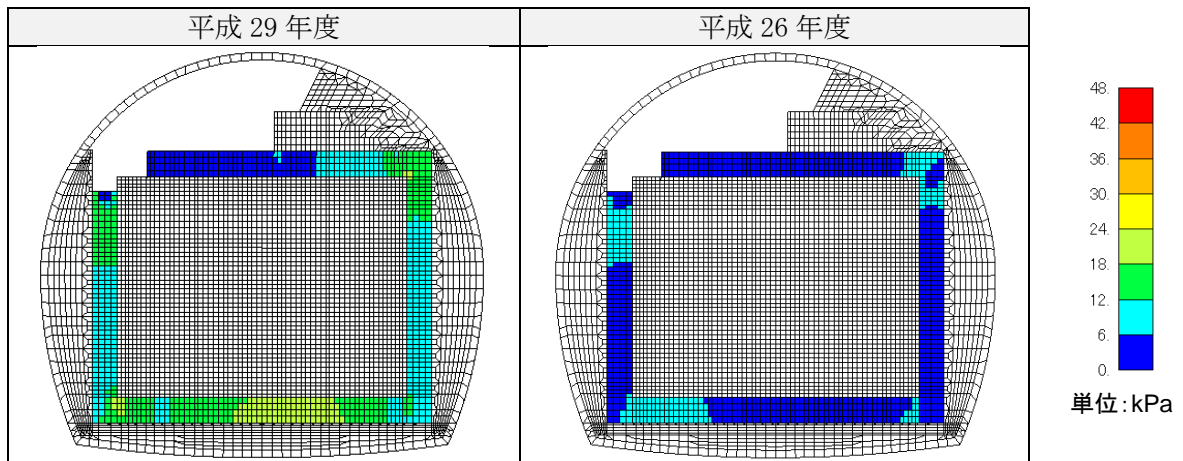


図 4.2-147 低透水性層の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

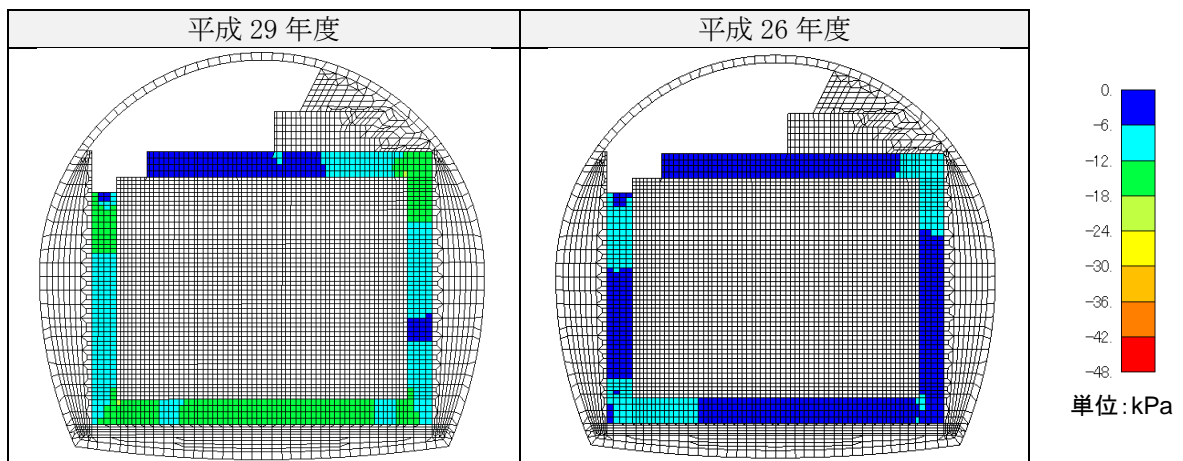


図 4.2-148 低透水性層の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(c) せん断応力分布

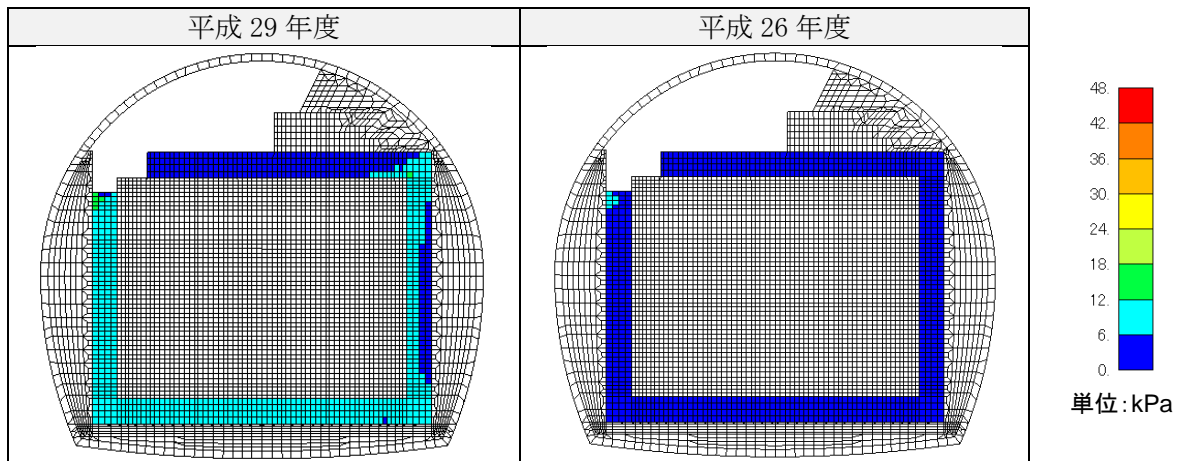


図 4.2-149 低透水層のせん断応力地震時増分（履歴最大）

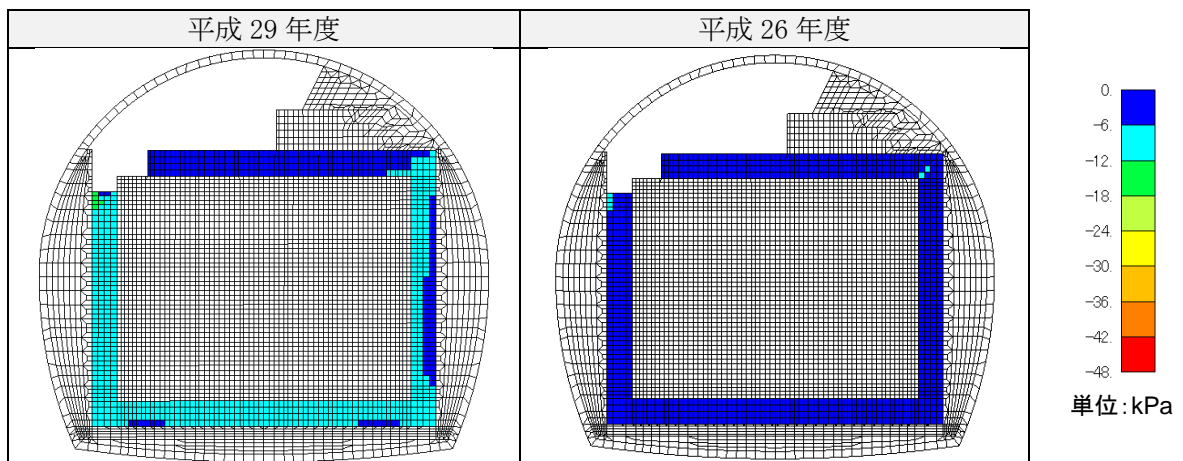


図 4.2-150 低透水層のせん断応力地震時増分（履歴最小）



(d) 直ひずみ（水平方向）分布

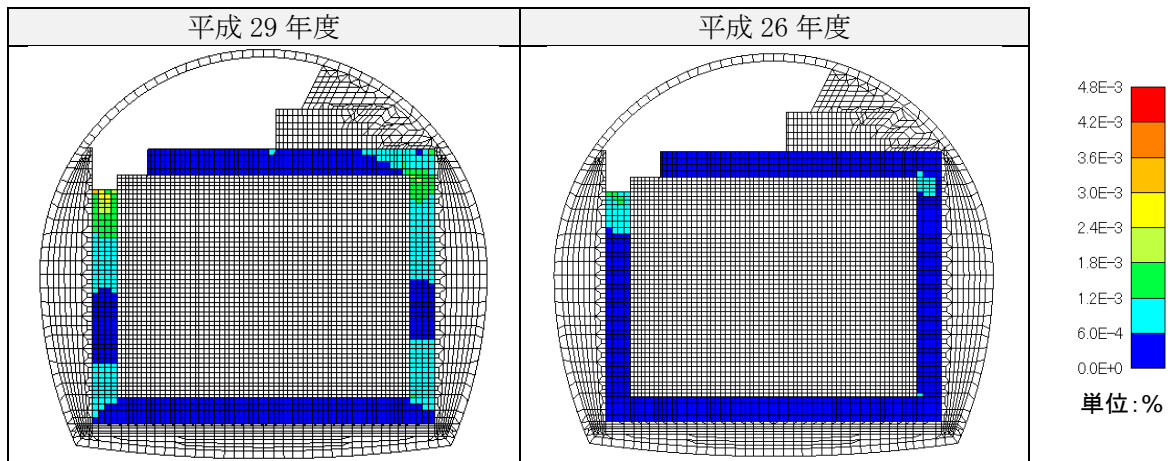


図 4.2-151 低透水層の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

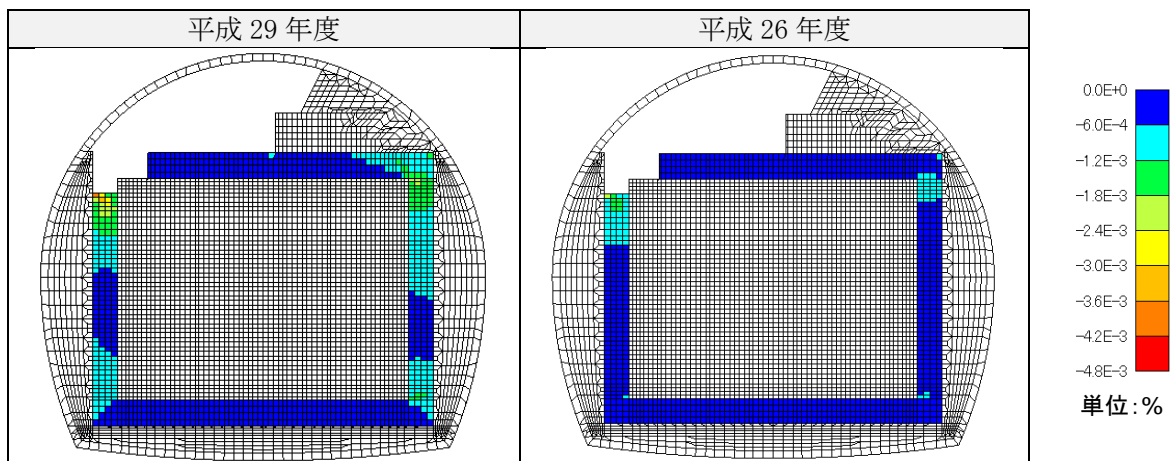


図 4.2-152 低透水層の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(e) 直ひずみ（鉛直方向）分布

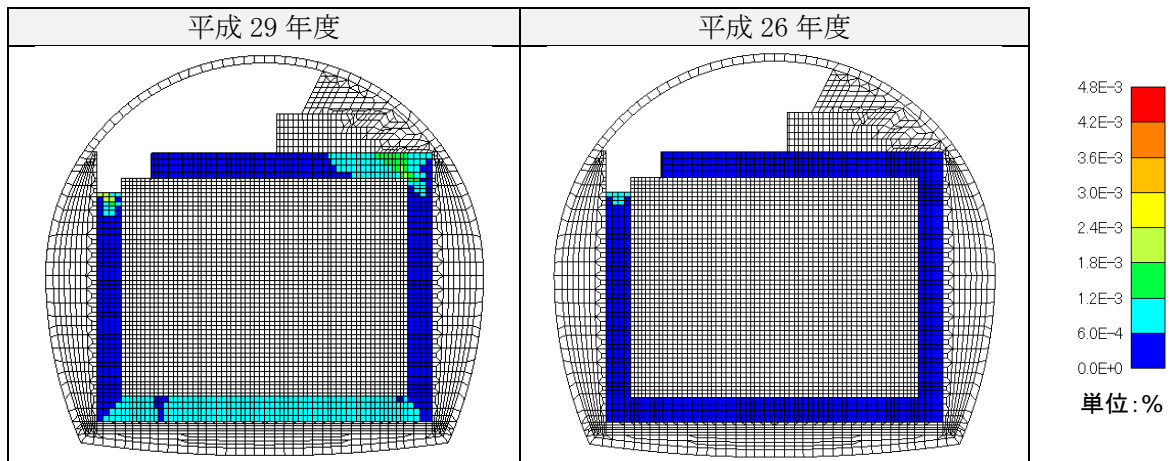


図 4.2-153 低透水層の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

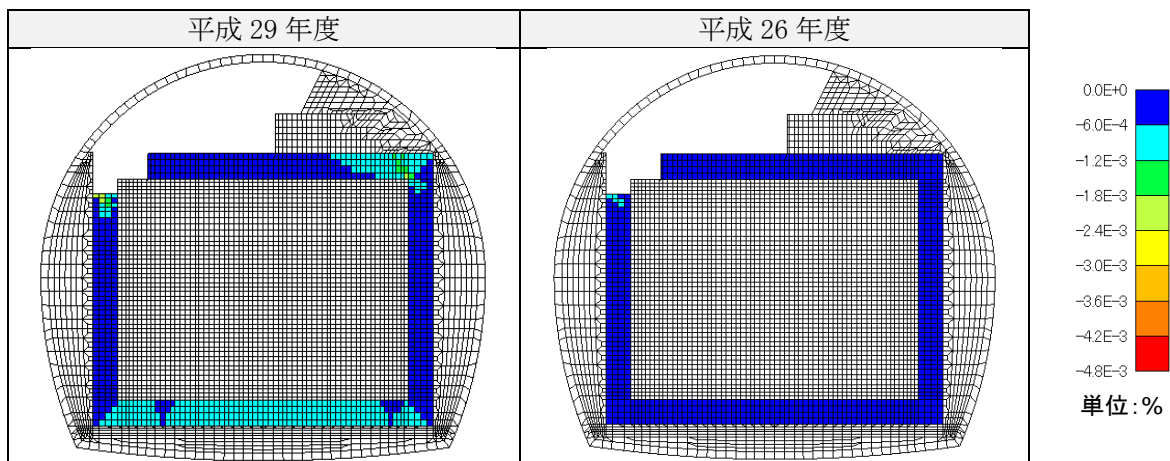


図 4.2-154 低透水層の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）



(f) せん断ひずみ分布

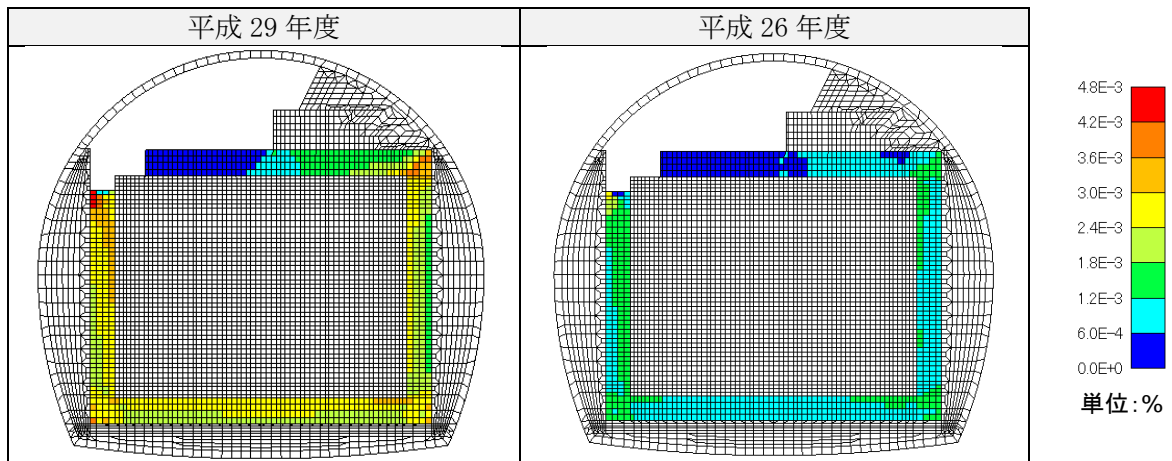


図 4.2-155 低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

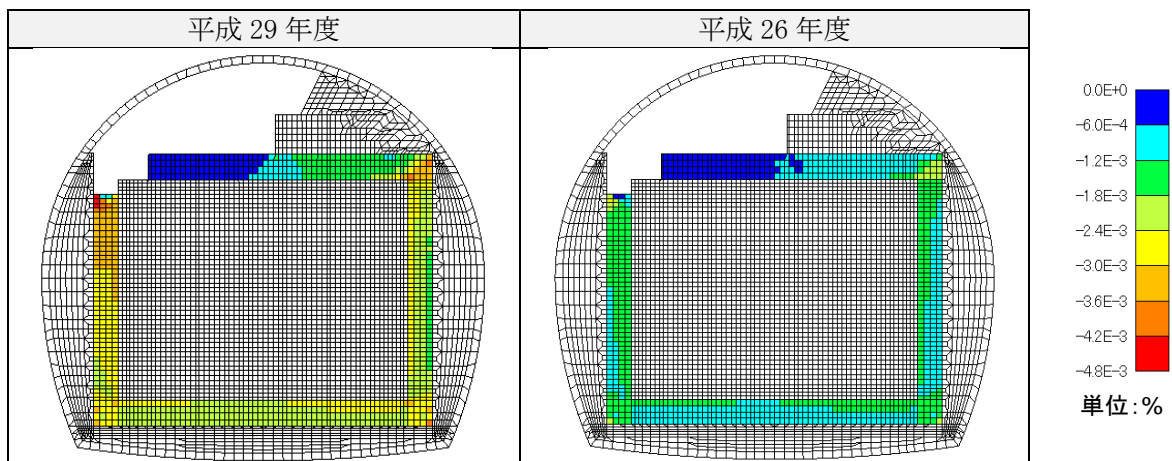


図 4.2-156 低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

(g) 最大せん断ひずみ分布

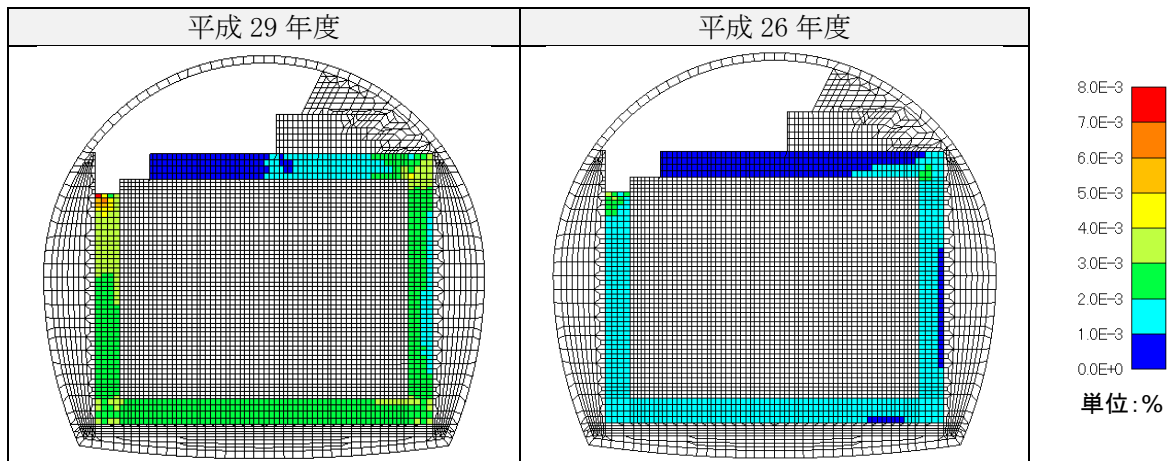


図 4.2-157 低透水層の最大せん断ひずみの地震時増分 (履歴最大)

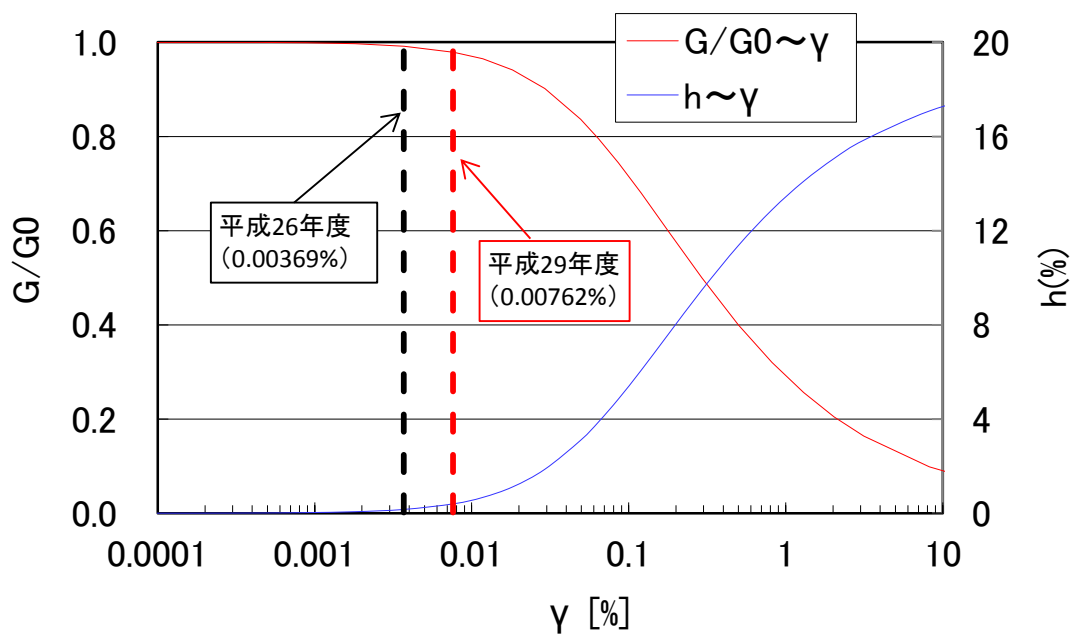


図 4.2-158 低透水層の最大せん断ひずみレベル

f. 埋戻し材

埋戻し材の直応力分布およびせん断応力分布を図 4.2-159～図 4.2-164、直ひずみ分布およびせん断ひずみ分布を図 4.2-165～図 4.2-170、最大せん断ひずみ（主ひずみ差）分布を図 4.2-171 に示す。

(a) 直応力（水平方向）分布

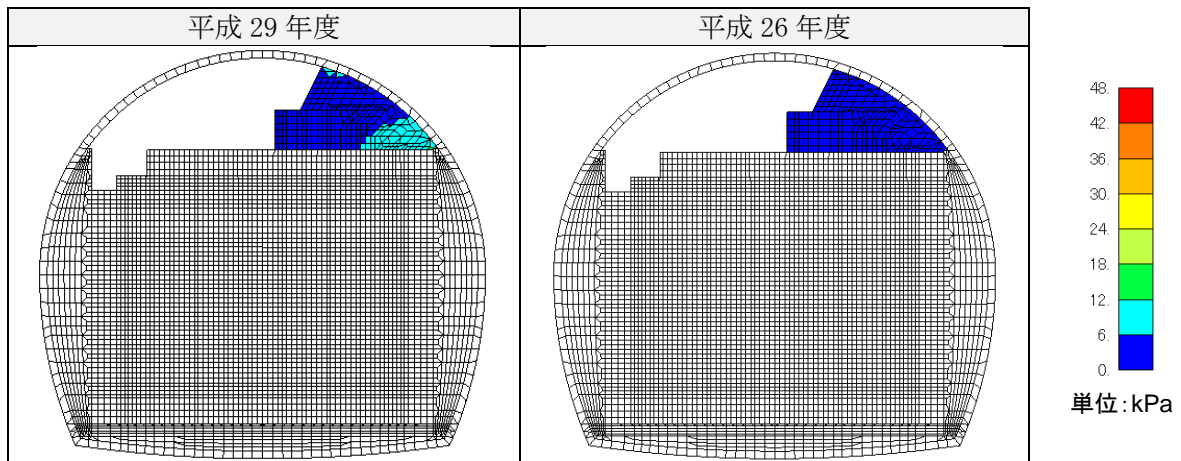


図 4.2-159 埋戻し材の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

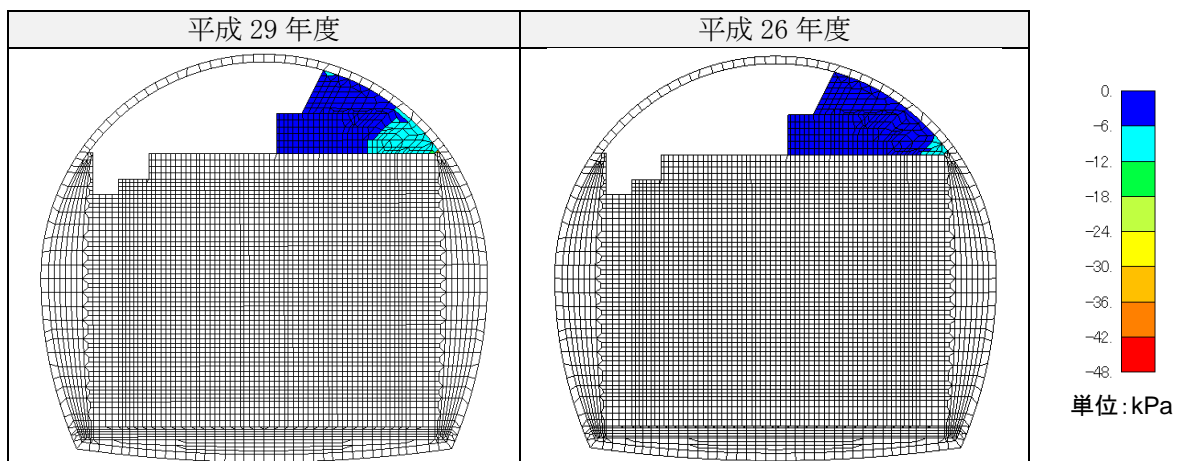


図 4.2-160 埋戻し材の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

(b) 直応力（鉛直方向）分布

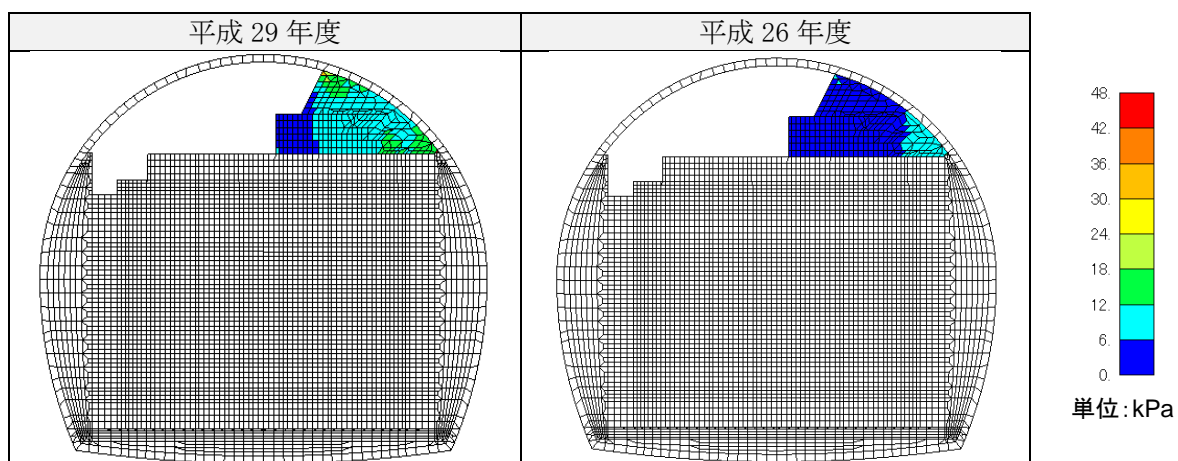


図 4.2-161 埋戻し材の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

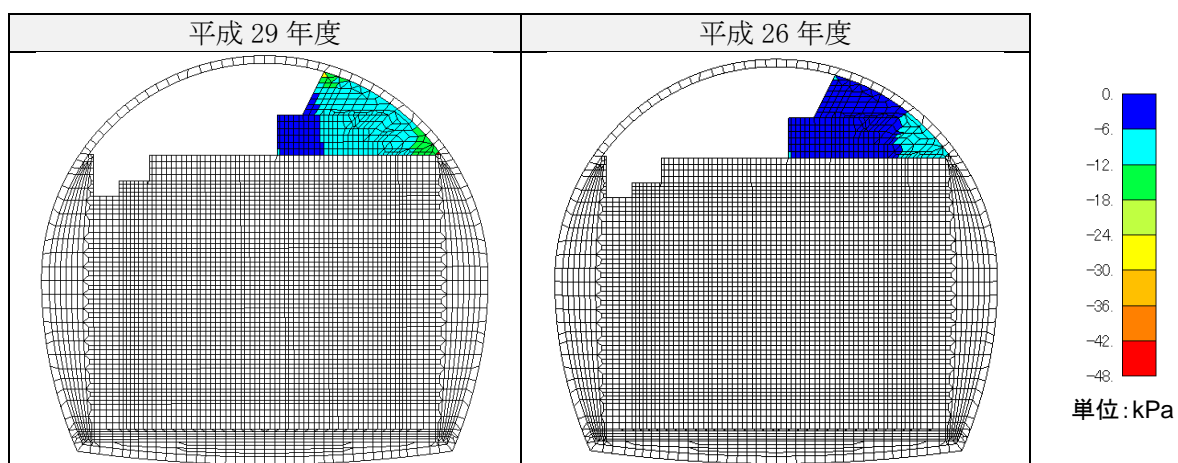


図 4.2-162 埋戻し材の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(c) せん断応力分布

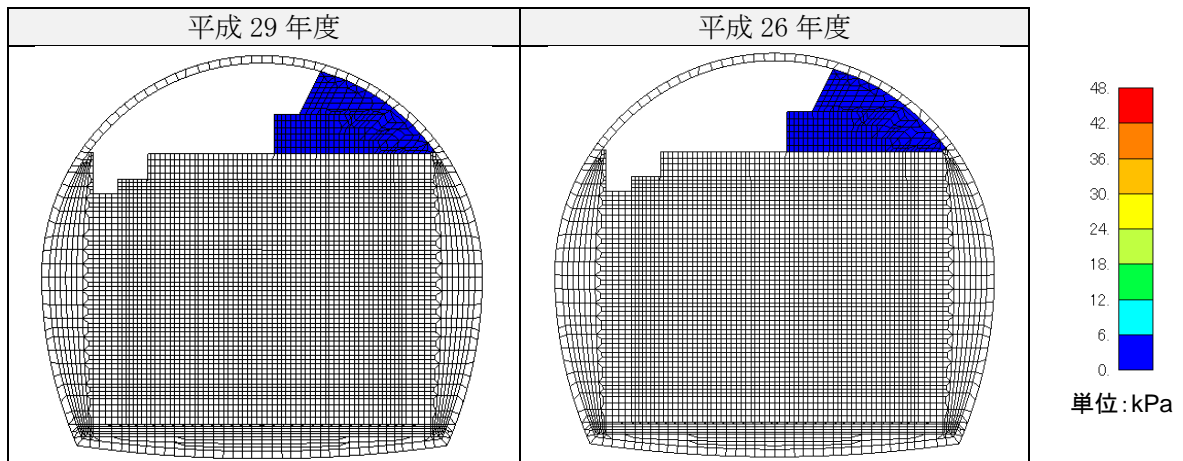


図 4.2-163 埋戻し材のせん断応力地震時増分（履歴最大）

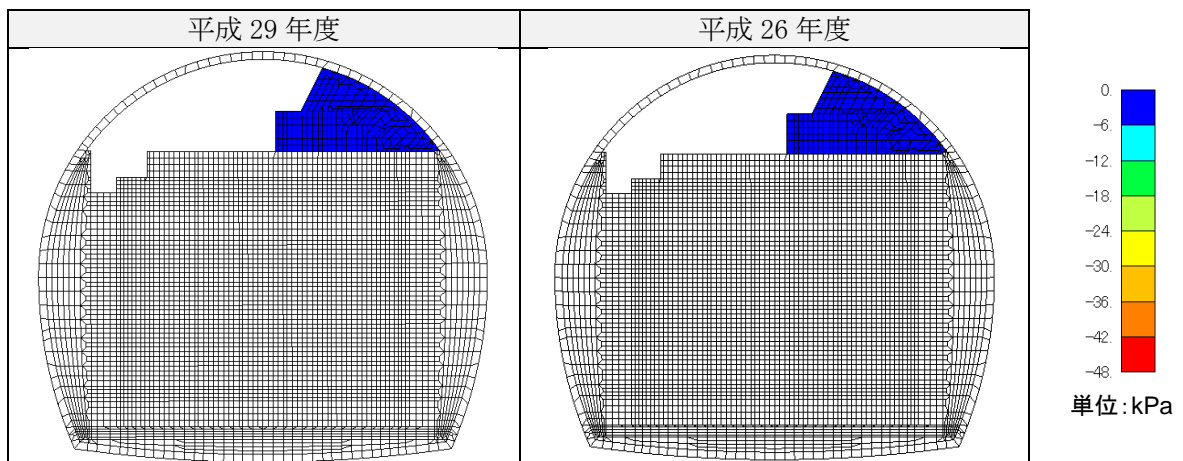


図 4.2-164 埋戻し材のせん断応力地震時増分（履歴最小）

(d) 直ひずみ（水平方向）分布

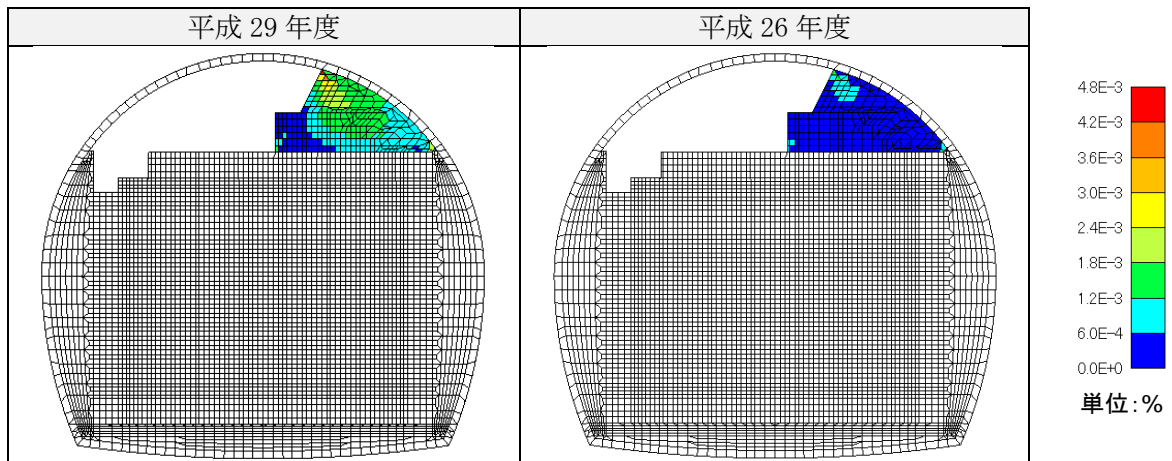


図 4.2-165 埋戻し材の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

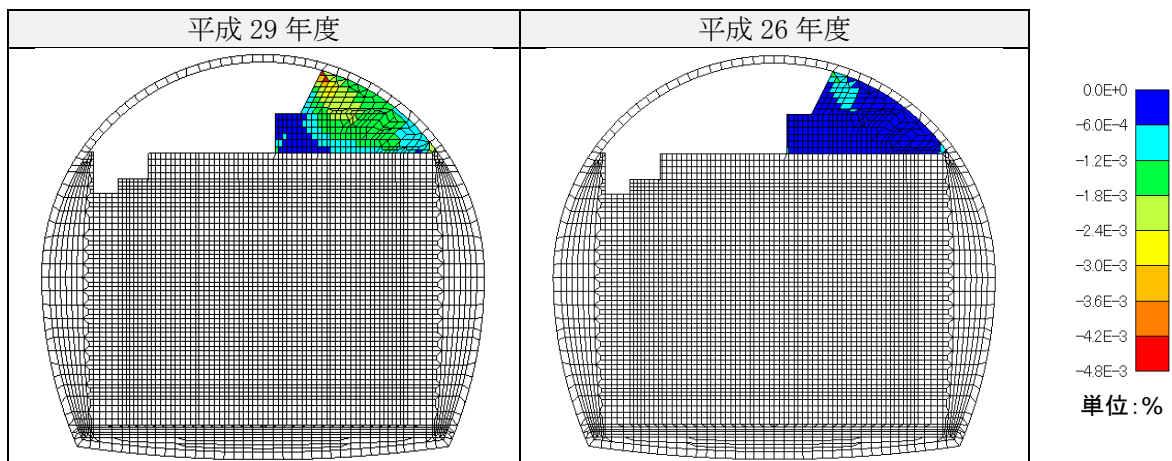


図 4.2-166 埋戻し材の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）



(e) 直ひずみ（鉛直方向）分布

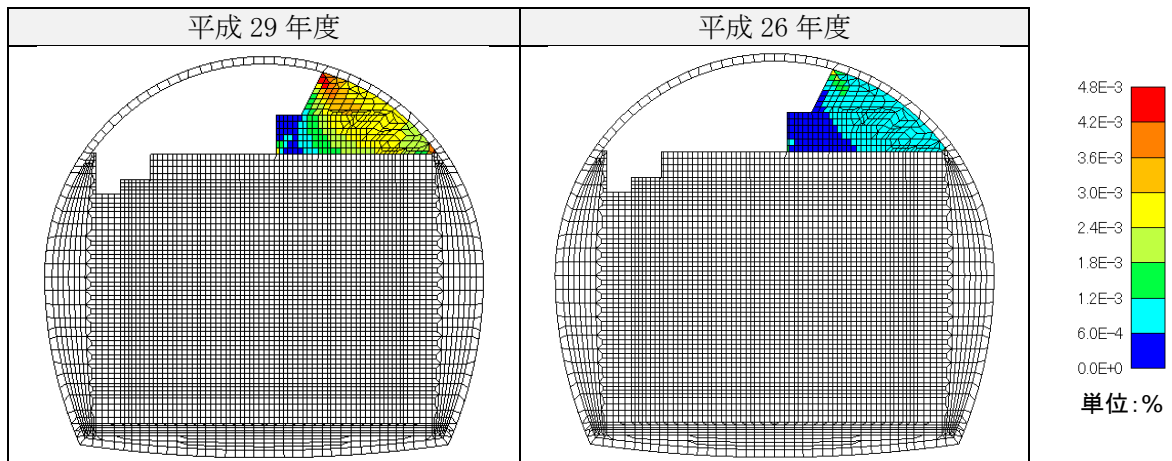


図 4.2-167 埋戻し材の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

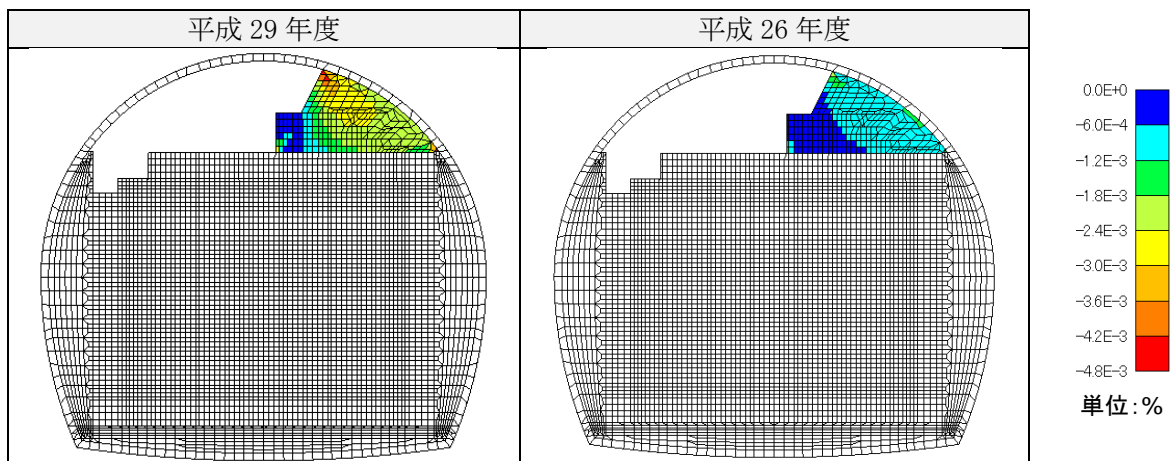


図 4.2-168 埋戻し材の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

(f) せん断ひずみ分布

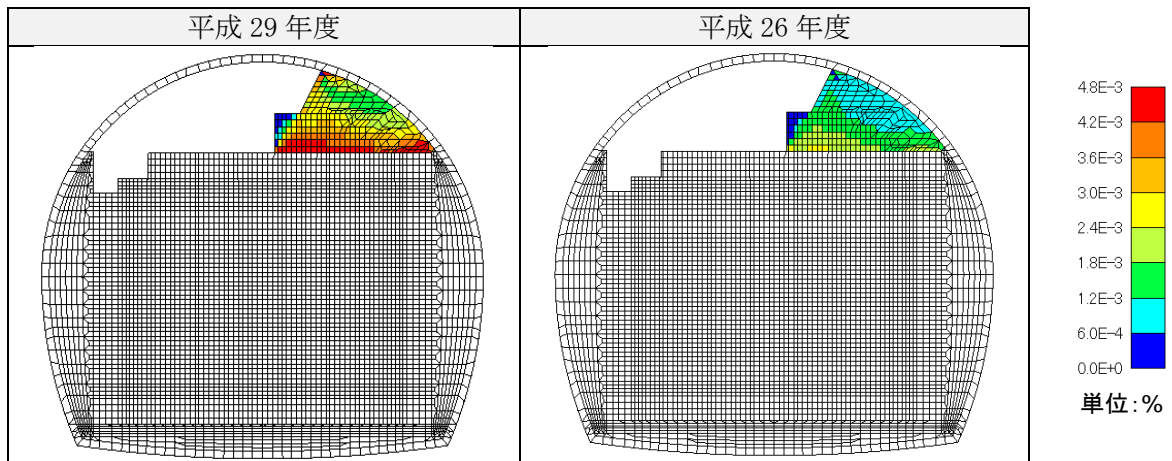


図 4.2-169 埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

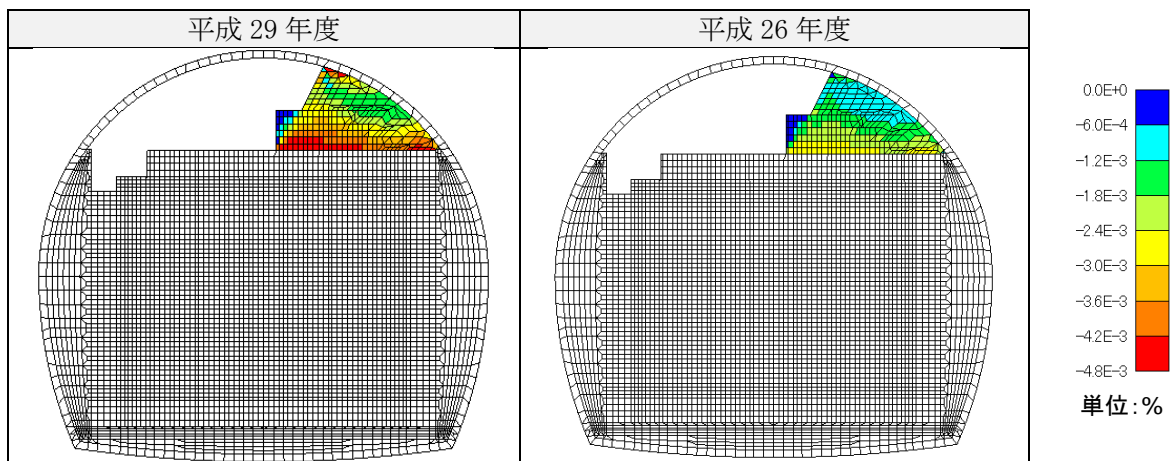


図 4.2-170 埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）



(g) 最大せん断ひずみ分布

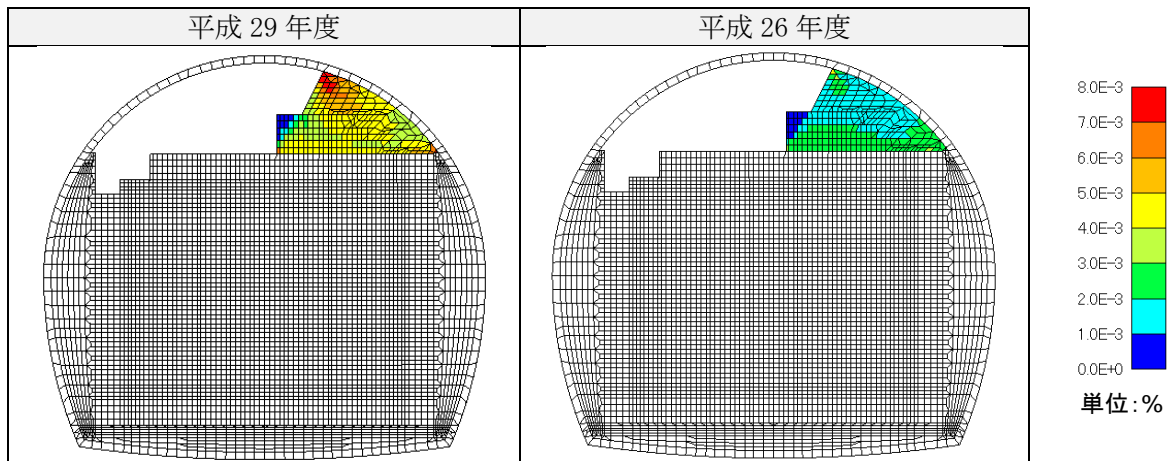


図 4.2-171 埋戻し材の最大せん断ひずみの地震時増分 (履歴最大)

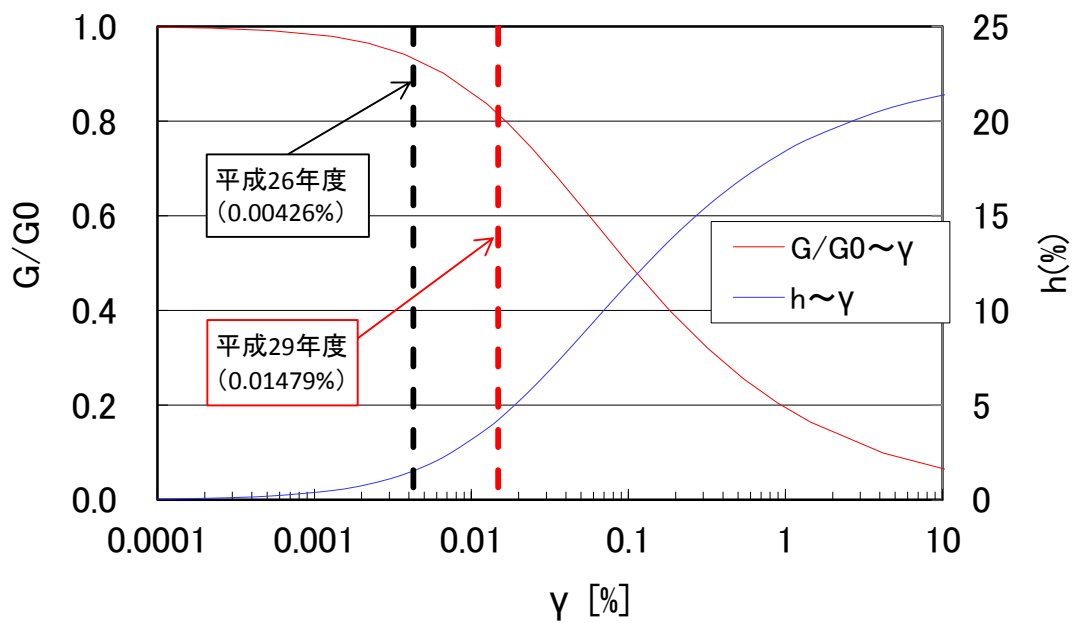


図 4.2-172 埋戻し材の最大せん断ひずみレベル

### 3) 分析評価

以下では、平成 29 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および分布を表 4.2-35、図 4.2-173、フーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比を図 4.2-174～図 4.2-175 に示す。図 4.2-173 に示すように、水平方向 (y 方向)、鉛直方向 (z 方向) とともに、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 4.2-174 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 29 年度では 1Hz 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 4.2-175 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 29 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。

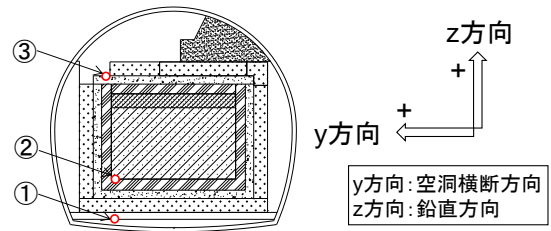


表 4.2-35 最大加速度一覧

位置	高さ* [m]	最大加速度[Gal]					
		y方向			z方向		
		平成29年度:(a)	平成26年度:(b)	(a)/(b)	平成29年度:(a)	平成26年度:(b)	(a)/(b)
地震計③	10.34	6.9	6.5	1.1	12.4	9.1	1.4
地震計②	2.9	6.8	6.1	1.1	12.3	8.9	1.4
地震計①	0	7.0	5.6	1.3	12.0	8.1	1.5

\*地震計①の高さを基準とした。

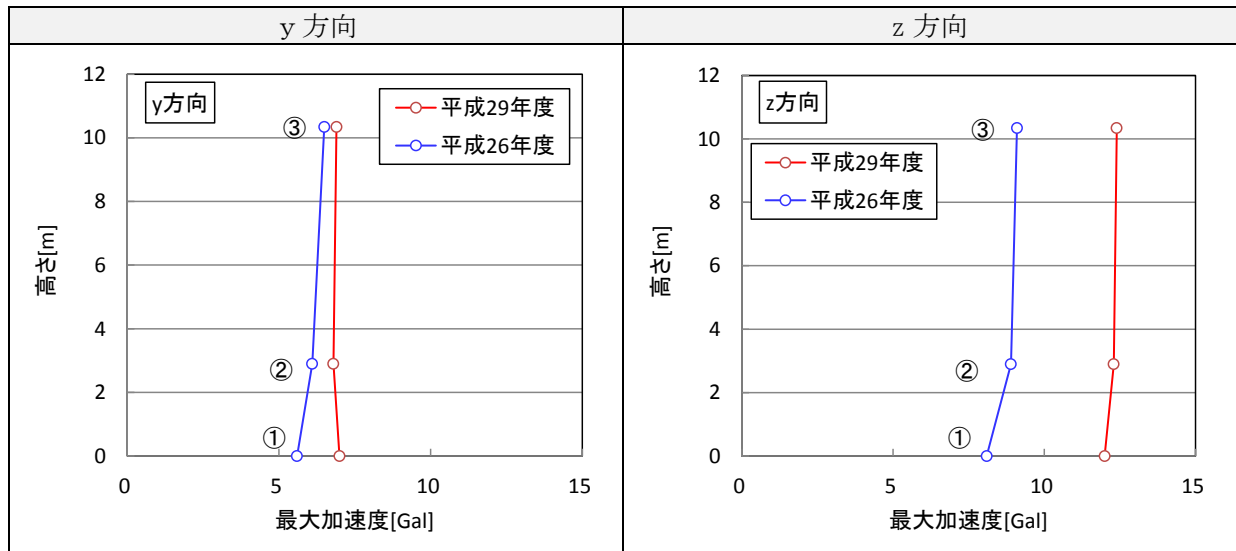


図 4.2-173 試験施設の最大加速度分布の比較

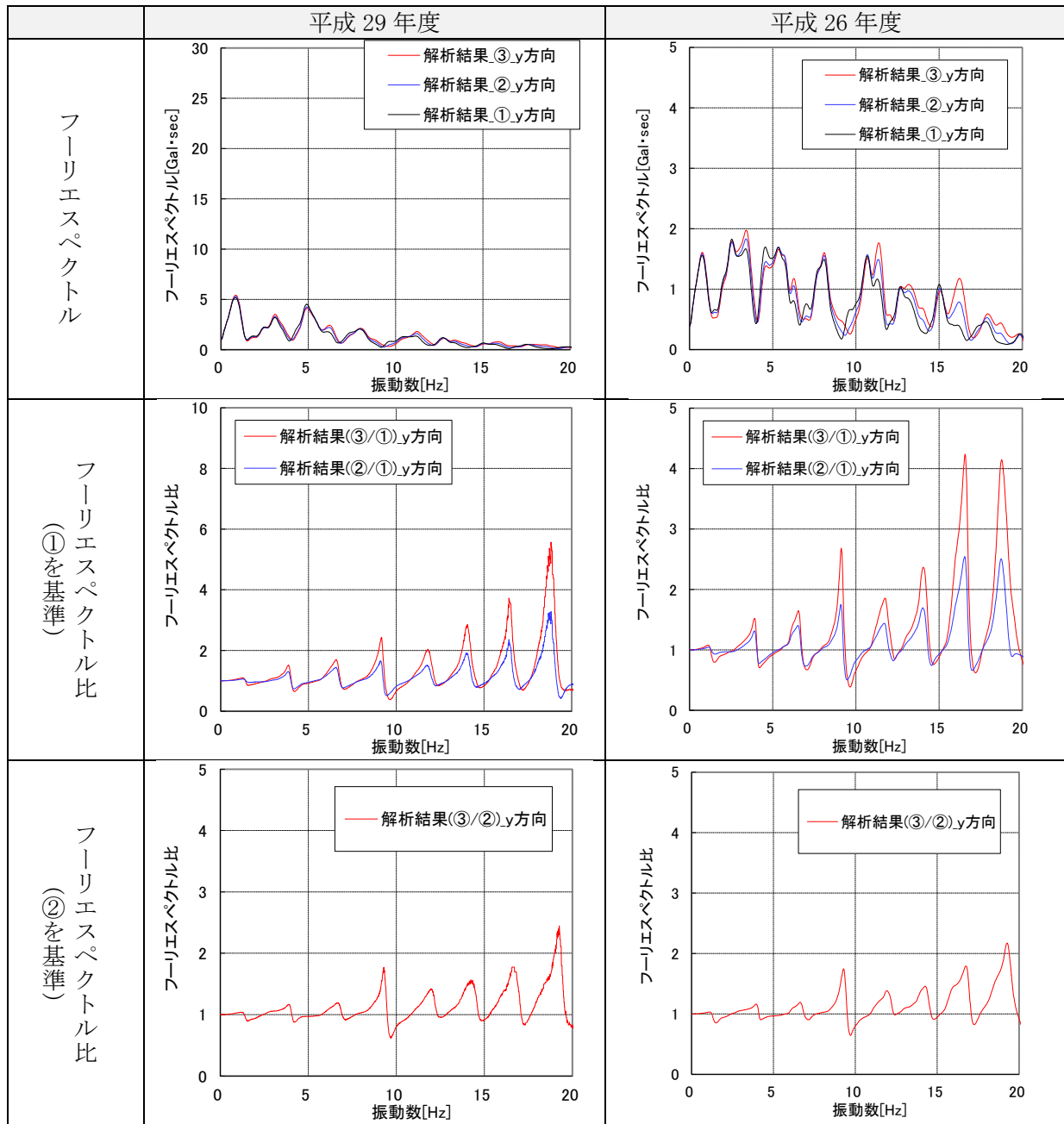
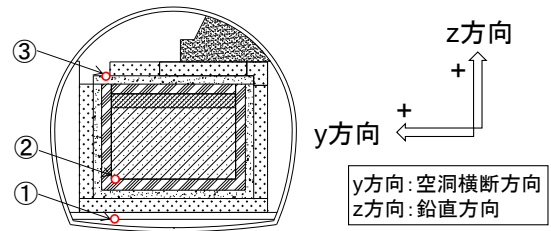


図 4.2-174 フーリエスペクトル比較 (水平方向)

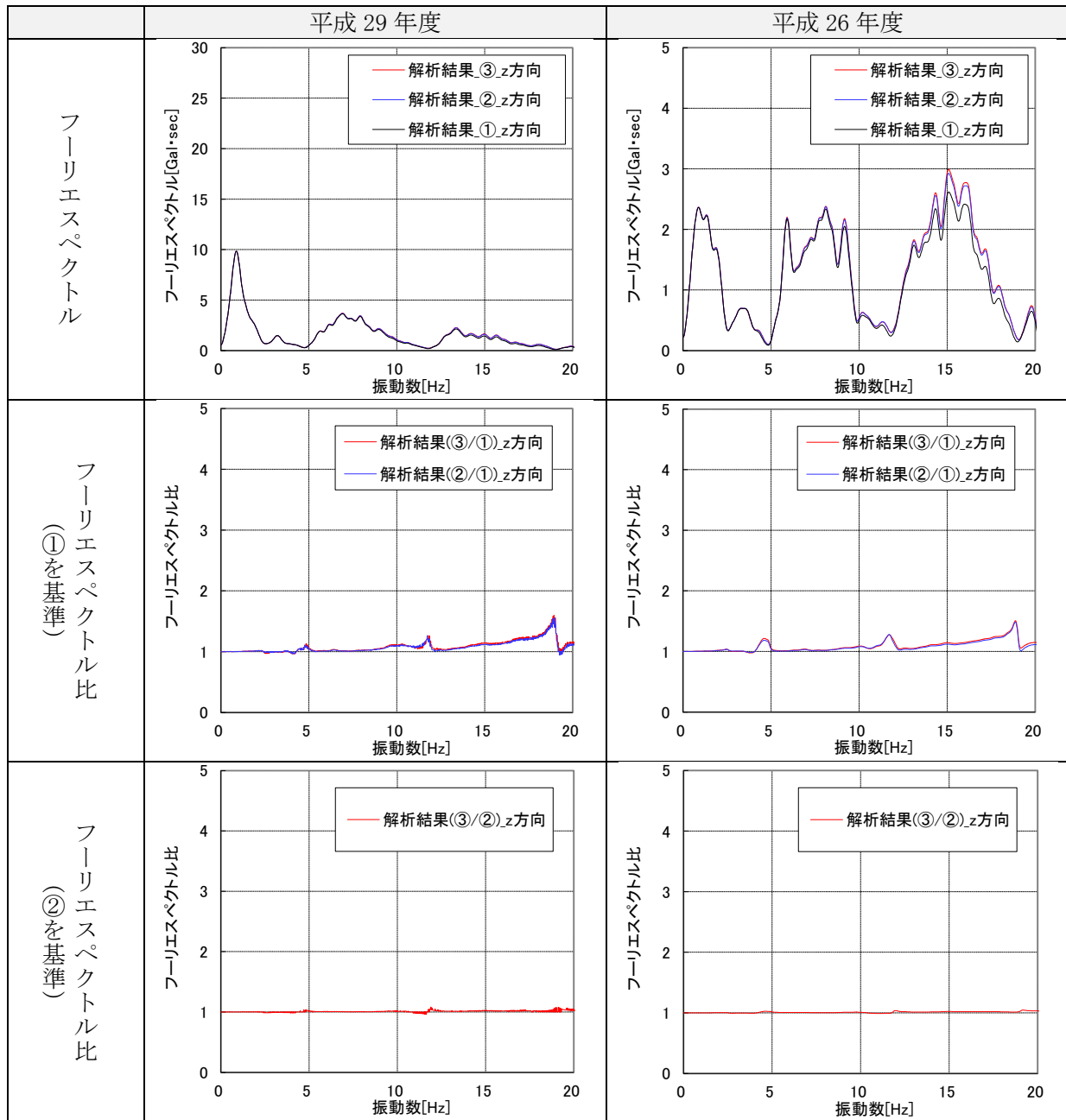
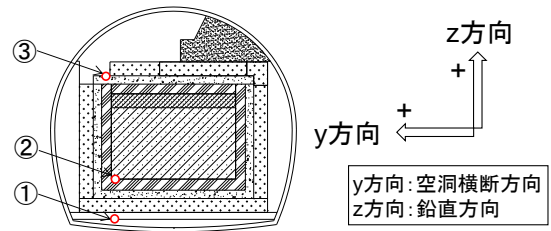


図 4.2-175 フーリエスペクトル比較 (鉛直方向)

#### 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 4.2-176、相対変位最大時刻の変形図を図 4.2-177 に示す（変形を明確にするため、変形倍率を 10000 倍で描画）。

図 4.2-176 に示すように、平成 29 年度は 0.15mm、平成 26 年度は 0.06mm であり、2.5 倍大きくなっている。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 4.2-31 参照）であり、図 4.2-178 に示すように、平成 29 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 4.2-177 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、地盤の変形量が多い平成 29 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 29 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 29 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。

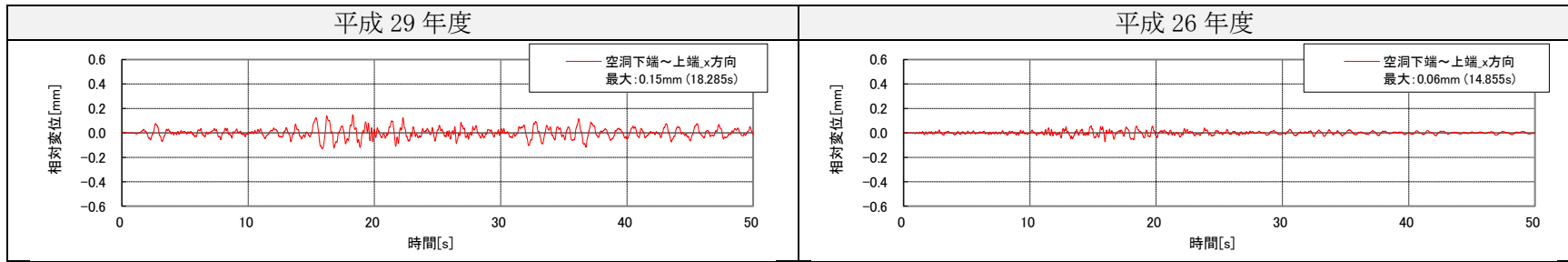
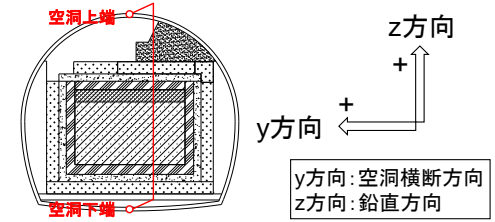
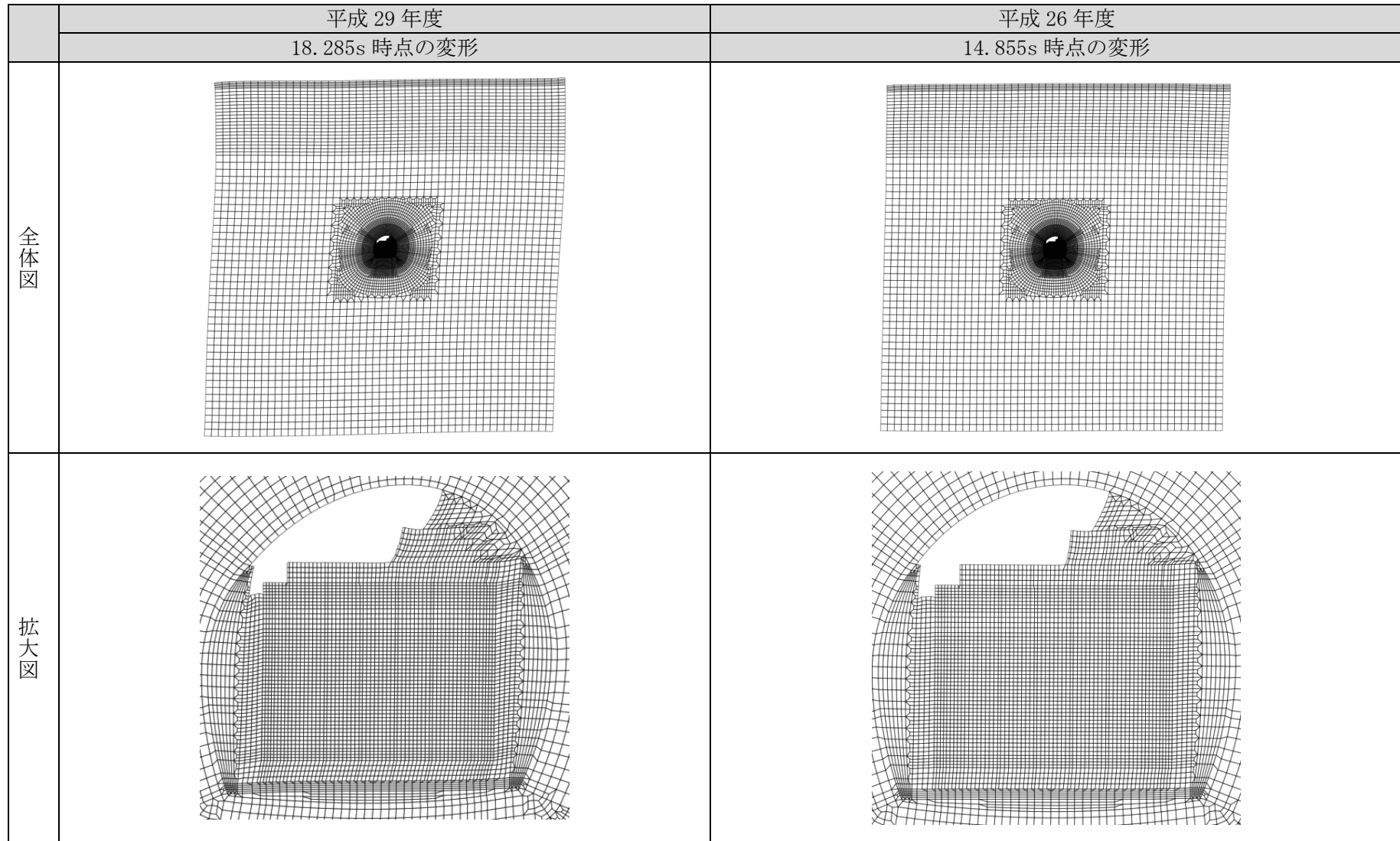


図 4.2-176 試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）【再掲】



※変形を明確にするため、変形倍率を 10000 倍で描画

図 4.2-177 水平方向の相対変位最大時刻の変形図 (変形倍率 10000 倍)



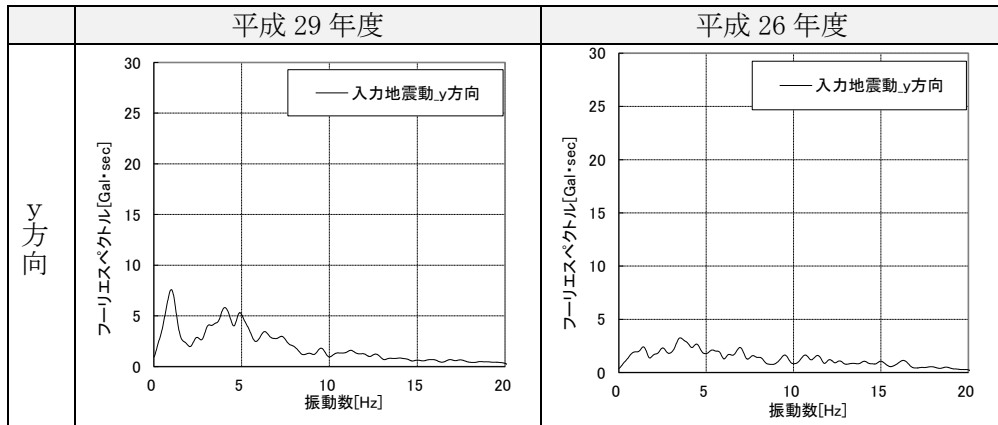
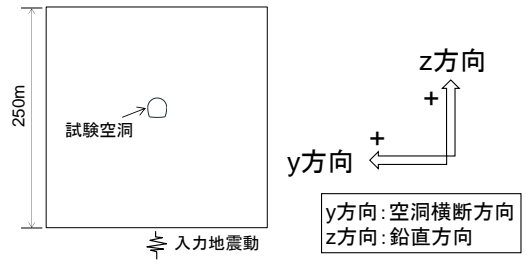


図 4.2-178 入力地震動のフーリエスペクトル

c. 試験施設の発生応力

試験施設の地震時発生応力（直応力およびせん断応力）を図 4.2-179～図 4.2-184 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 4.2-179～図 4.2-182 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 4.2-183～図 4.2-184 に示すように、せん断応力は廃棄体間充填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 29 年度、平成 26 年度の両方で共通している。

また、図 4.2-179～図 4.2-184 に示すように、いずれの応力成分においても平成 29 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 29 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 29 年度と平成 26 年度の入力地震動では、平成 29 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。

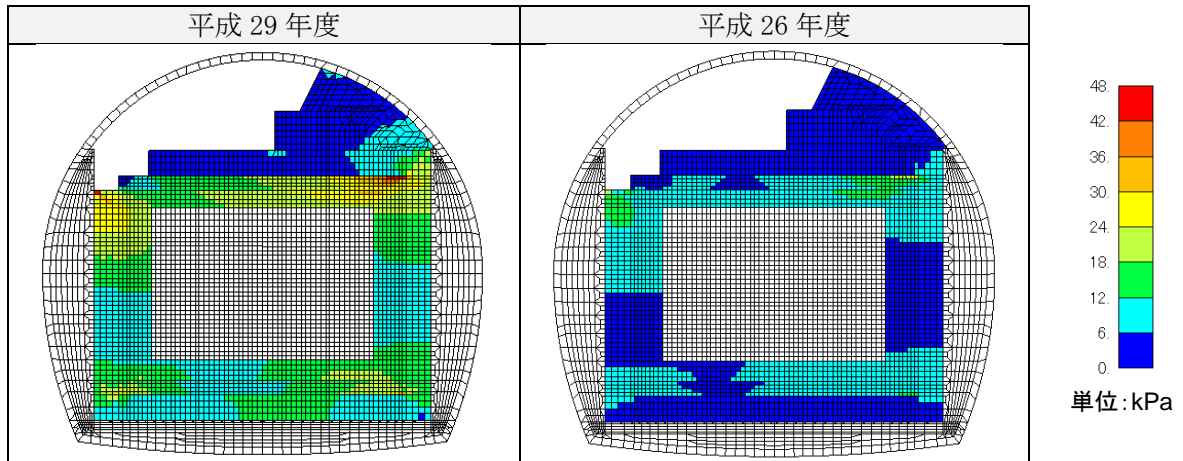
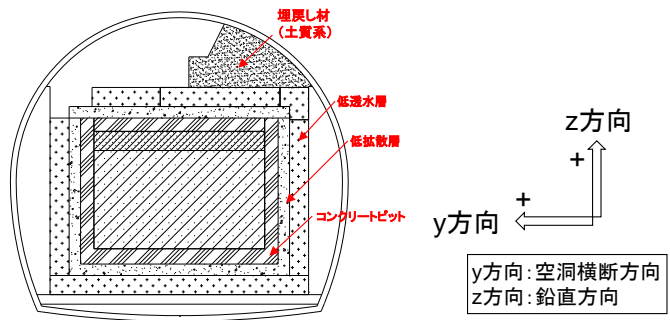


図 4.2-179 試験施設の引張応力の地震時増分 (y 方向、引張正、履歴最大)

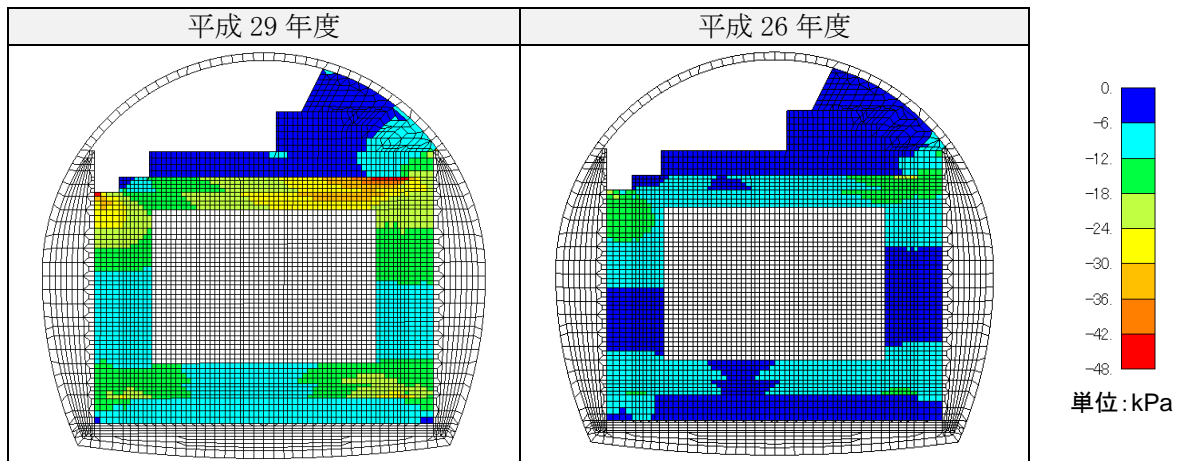


図 4.2-180 試験施設の圧縮応力の地震時増分 (y 方向、圧縮負、履歴最小)

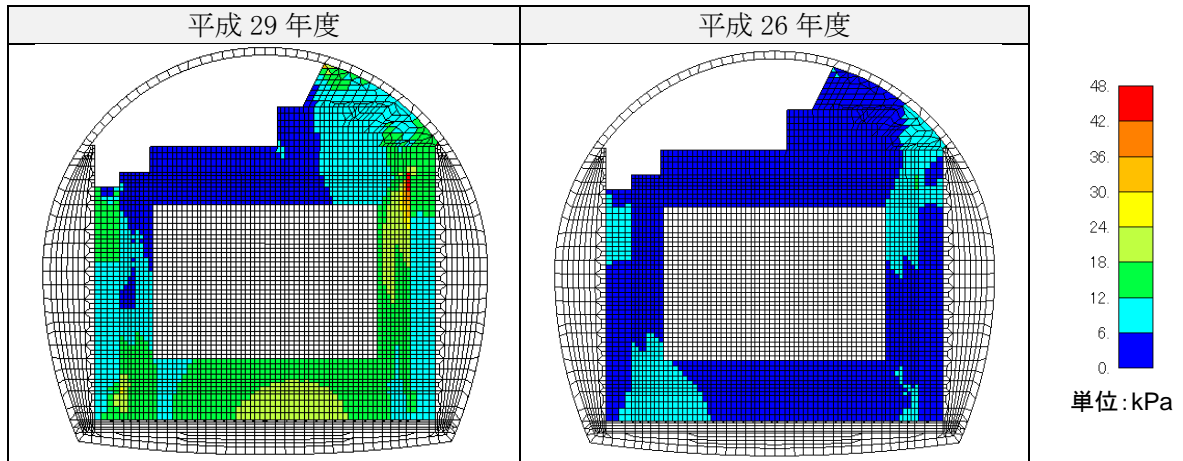
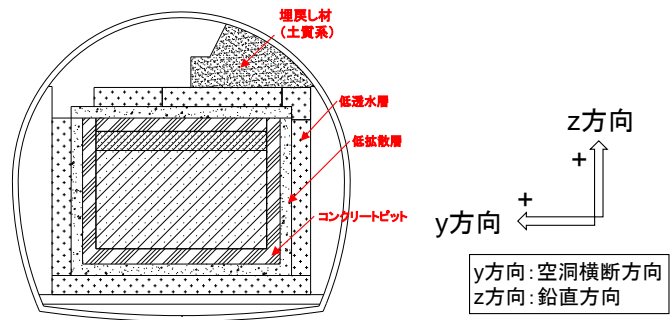


図 4.2-181 試験施設の引張応力の地震時増分 (z 方向、引張正、履歴最大)

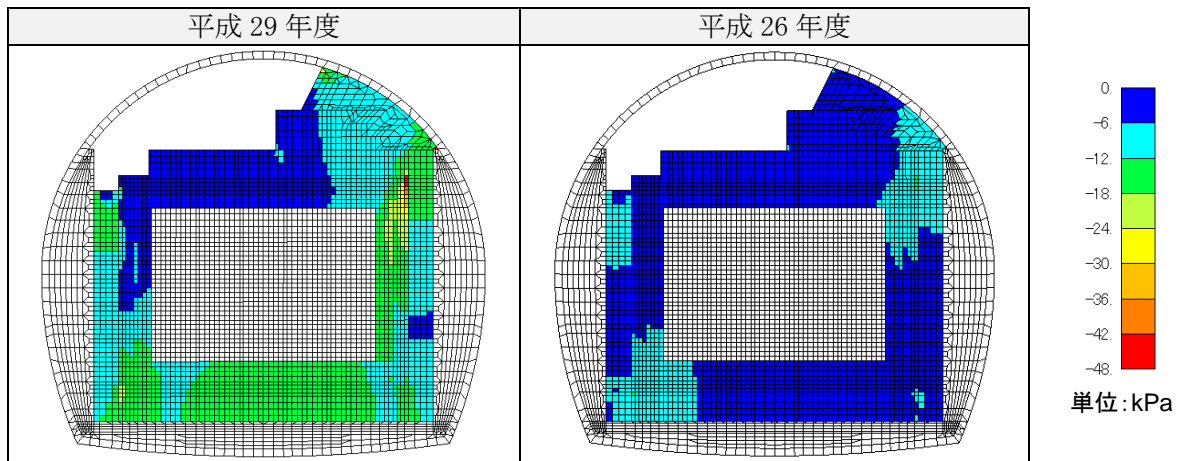


図 4.2-182 試験施設の圧縮応力の地震時増分 (z 方向、圧縮負、履歴最小)

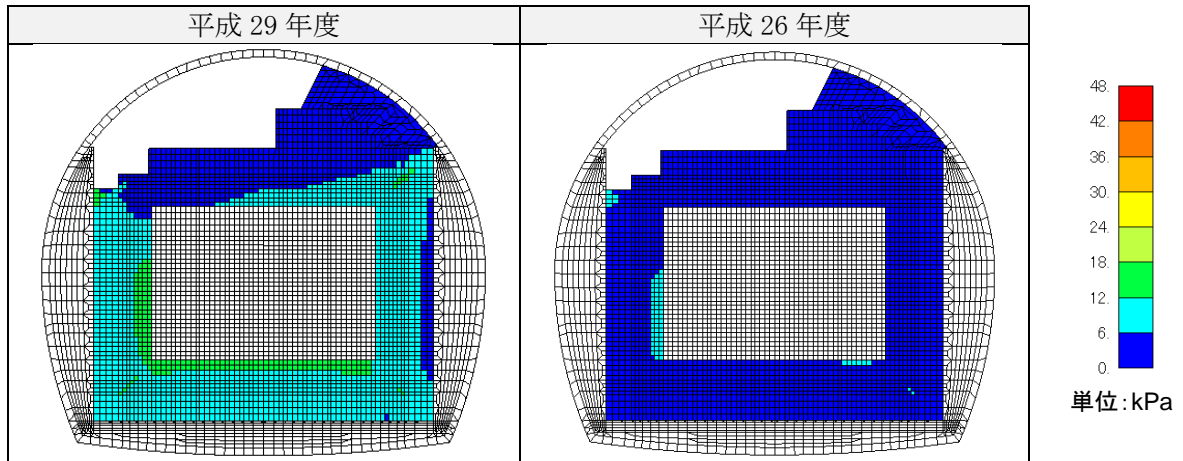
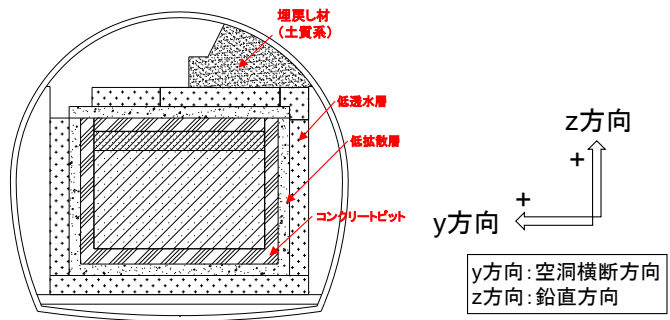


図 4.2-183 試験施設のせん断応力地震時増分 (履歴最大)

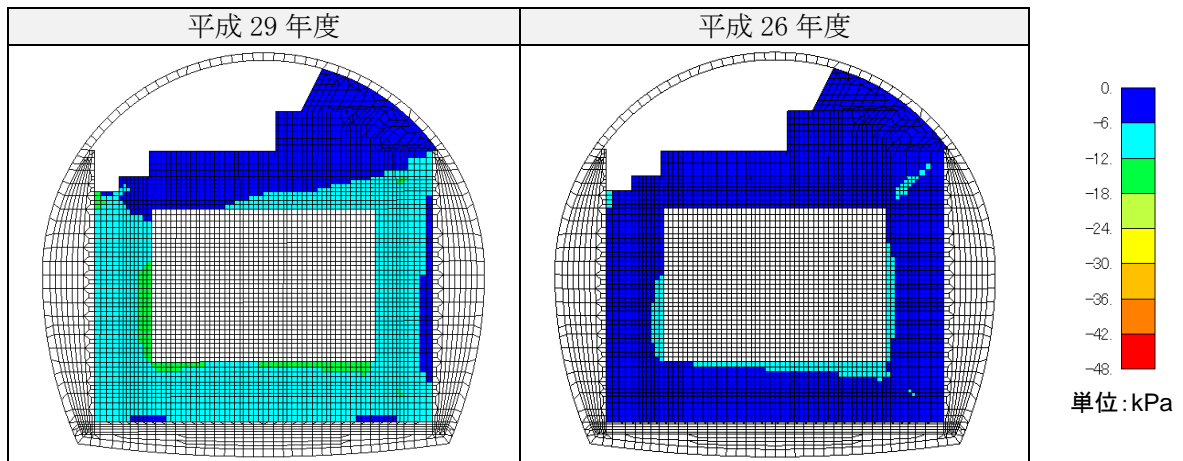


図 4.2-184 試験施設のせん断応力地震時増分 (履歴最小)

## 4.3 まとめ

### 4.3.1 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。

「4.2 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。

「4.2.2 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2回の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、フーリエスペクトルのピークが2箇所（卓越振動数が1.0Hzと4.0Hz）ある地震動を選定し、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

今年度は試験施設の追加施工がなかったため、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および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。また、底部低拡散層のBTV観察孔の深度6.26m以深で水の滲み出しによると考えられる”しみ”と、深度9.49m以深で“水の溜まり”が確認された。

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。

#### (2) 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9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1月24日の観測地震動で、地震計①（x方向）と地震計③（x、y方向）が6.9Galを記録し最大となった。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ピークが2箇所（卓越振動数が1.0Hzと4.0Hz）あり、平成26年度の地震動（卓越振動数3.5Hz）と平成28年度の地震動（卓越振動数0.4Hz）の両者の要素を含んでいる地震動を選定した。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29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29年度と平成26年度に選定した地震動は、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29年度の入力地震動は、試験施設の変形特性および発生応力に与える影響は大きいことがわ

かった。

#### 4.3.2 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およ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、試験空洞および試験施設の影響を受けない当該サイトの岩盤中およ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およ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およ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4章 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 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).
- [2] 土木学会：原位置岩盤試験法の指針、pp.16 (2000).
- [3] 気象庁：震度データベース検索 (<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/>)
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 独立行政法人防災科学技術研究所：(<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>)
- [7] 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).
- [8] 富田敦紀・岩見忠輝・鈴木康正：余裕深度処分埋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
- [9] 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）」
- [10] 地盤工学会：地盤の動的解析－基礎理論から応用まで－、2007
- [11] 富田敦紀他：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
- [12] 土木学会：【2007年制定】コンクリート標準示方書 [設計編]、2007
- [13] 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
- [14] 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
- [15] 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5章 まとめ



## 第5章 まとめ

### 5.1 本事業のまとめ

#### 5.1.1 具体的な機能確認試験計画の策定

現在検討が進められている中深度処分に対する規制の内容を整理した。その上で、平成 28 年度までの検討で抽出した「低拡散層のひび割れ」以外に確認対象項目（モニタリング項目）になり得る項目を抽出した。確認対象項目（モニタリング項目）の候補の抽出に際しては、中深度処分施設に要求される基本安全機能と施設を構成する各部位の技術津要件や仕様・管理項目との関係性を整理し、確認対象項目（モニタリング項目）と施設に求められる機能との関連を明確化した。

機能確認試験の実施に向けて、

- ・ 実規模施設に設置する光ファイバセンサーの種類、設置位置、設置方法
- ・ 実規模施設のセメント系材料に人為的なひび割れを発生させる方法

について検討し、機能確認試験計画を策定した。

また、既設の計測機器類のデータ活用方法について検討を加えた。

#### 5.1.2 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に定量化することを試みた。熱・水・力学に着目した施設挙動として、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。化学に着目した施設挙動として、防水シート裏面の排水分析をイメージしたケースと処分施設近傍のボーリング孔からの地下水組成モニタリングをイメージした 2 ケースの解析を実施し、モニタリングに適したイオン種とその濃度、モニタリング時期や頻度等のモニタリング計画に資する情報が整理できた。なお、この解析的検討の精度向上を目的に、セメント系材料の化学的変質、溶解特性に関するデータの取得試験も実施した。

これを受けて、既存計測技術を利用した実処分施設で実施可能なモニタリング計画の具体化として、処分場開発の各段階（建設段階、廃棄物の埋設段階、閉鎖措置段階、保全段階）における処分施設の機能確認方法の確立に資するため、各段階で取得可能な情報とその取得方法、それらを踏まえた処分施設状態を推定するための方法論を検討した。計画の具体化を検討した項目は、処分施設の変形、低拡散層のひび割れ観測、地震動計測、処分施設の裏面排水分析、近傍ボーリング孔による地下水分析である。

加えて、現状ではその適用性について課題等があるものの、放射性廃棄物処分におけるモニタリングの一手法として期待されている光ファイバセンサーを対象に、耐久性評価等のラボ試験を

実施するとともに、実規模施設に光ファイバセンサーを設置しひずみ等の計測を開始した。想定される劣化因子（塩水・高 pH・放射線）に対して、各種の光ファイバのサンプルの耐久性に関する貴重なデータを得ることができた。

さらに、次年度に実施予定であるひび割れ誘発手法に係る事前試験用の鉄筋コンクリート造の試験体の製作も実施した。

### 5.1.3 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、実規模施設およ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（低拡散層およびコンクリートピット）のひび割れ観察を実施し、施設等の挙動が安定していることを確認した。

また、地震計の観測では今年度は計 9 回の地震動データを記録し、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、設計や円滑な建設および操業には、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およ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 29 年度は本事業の位置付けをより明確にした上で、試験方法等の具体化について検討するとともに既設の実規模施設における機能確認試験を開始した。

