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

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 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の成果を取りまとめたものです。

はじめに

地下 50m 以深の大断面の地下空洞に構築されたコンクリートの処分ピットと、その周囲を覆うベントナイトの緩衝材等から構成される地下空洞型処分施設は、低レベル放射性廃棄物に区分される発電所廃棄物や TRU 廃棄物（地層処分相当の廃棄物を除く）の処分施設として、各種の検討がなされている。地下空洞型処分施設は、低レベル放射性廃棄物のうち、比較的放射能レベルの高い廃棄物を対象としていることや、地下 50m 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 28 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 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 28 年度の実施概要 1-3
1.3.1 検討委員会 1-3
1.3.2 平成 28 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 1-4
(2) 機能確認の実現性確認 1-7
(3) 既設実規模施設の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 1-17
第 1 章 参考文献 1-20

第 2 章 具体的な機能確認試験計画の策定 2-1
2.1 具体的な機能確認試験計画の策定方針 2-1
2.1.1 概説 2-1
2.1.2 規制要求事項の整理 2-3
(1) 規制要求を検討する上での前提 2-3
(2) 中深度処分事業の各段階と各段階における規制等 2-3
(3) 設計要求の考え方 2-3
(4) 管理要求の考え方 2-4
2.2 新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画 2-7
2.2.1 概説 2-7
2.2.2 試験計画案 2-8
(1) 試験計画案1 2-8
(2) 試験計画案2 2-10
2.3 新規試験施設（地下模擬施設）を製作・設置する試験計画 2-16
2.3.1 概説 2-16
2.3.2 試験計画案 2-17
(1) 試験計画案1 2-17
2.4 既存の実規模模擬試験施設をそのまま活用する試験計画 2-22
2.4.1 概説 2-22

2.4.2 試験計画案 2-22
(1) 試験計画案1 2-22
(2) 試験計画案2 2-23
(3) 試験計画案3 2-30
2.5 既存の実規模模擬試験施設を一部改造して活用する試験計画 2-33
2.5.1 概説 2-33
2.5.2 試験計画案 2-33
(1) 試験計画案1 2-33
(2) 試験計画案2 2-36
(3) 試験計画案3 2-38
2.6 既存施設の計測機器類及びデータの活用 2-42
2.6.1 既設計測機器の現状 2-42
(1) 計測機器設置 2-42
(2) 既往の挙動計測結果 2-53
(3) 耐久性および計測可能範囲 2-64
2.6.2 既設計測機器の活用方法 2-91
第 2 章 参考文献 2-92

第 3 章 機能確認の実現性確認 3-1
3.1 実施設挙動のシミュレーション解析による想定し得る事象の整理 3-1
3.1.1 検討概要 3-1
3.1.2 検討対象となる事象の選定 3-1
(1) 目的及び検討概要 3-1
(2) 施設の状態設定 3-2
(3) 起因事象と影響の整理 3-4
(4) 検討対象となる事象を引き起こす要因の選定 3-5
(5) 偏膨潤に関する検討 3-9
3.1.3 処分坑道横断面方向の解析的検討 3-13
(1) 目的及び検討概要 3-13
(2) 解析概要 3-13
(3) 解析結果 3-42
3.1.4 処分坑道縦断面方向の解析的検討 3-79
(1) 検討方法 3-79
(2) 検討ケース 3-88
(3) 検討結果 3-94
(4) 処分坑道縦断面方向の解析的検討のまとめ 3-99
3.2 光ファイバセンサー技術の耐久性評価 3-180
3.2.1 耐久性評価の概要 3-180

3.2.2 評価試験方法 3-181
(1) 光ファイバ 3-181
(2) 劣化促進 3-184
(3) 機械的評価 3-186
(4) 光学的評価 3-189
3.2.3 光ファイバセンサーによる圧力測定に向けた予備検討 3-192
3.2.4 光ファイバセンサーの設置方法の検討 3-194
3.3 低濃度硫酸塩によるセメント系材料の化学的変質のシミュレーション解析 3-196
3.3.1 はじめに 3-196
3.3.2 解析方針 3-197
3.3.3 LIFE D.N.A.について 3-198
(1) モデルの概要 3-198
(2) 物質移行特性のモデル化 3-198
(3) セメント系材料の化学的変質のモデル化 3-200
(4) ベントナイトの変質のモデル化 3-204
(5) 変質に伴う物質移動特性の変化のモデル化 3-204
3.3.4 解析概要 3-204
(1) 解析条件 3-204
(2) 入力条件 3-209
(3) 解析手法 3-213
(4) アウトプット項目 3-213
3.3.5 解析結果 3-214
(1) 降水系地下水が接しEDZ等を考慮しないケース（Case1） 3-214
(2) 硫酸イオンおよびEDZ等を考慮したケース（Case2） 3-226
(3) Case1およびCase2の比較と考察 3-236
(4) まとめと残された課題 3-239
(5) 解析結果一覧 3-242
3.4 解析精度向上に資するセメント系材料の早期変質データの取得 3-302
3.4.1 背景・目的 3-302
3.4.2 コア採取および分析計画 3-303
(1) コアの採取 3-303
(2) 分析計画 3-308
3.4.3 分析結果 3-312
(1) 圧縮強度 3-312
(2) 静弾性係数 3-314
(3) 中性化深さ 3-315
(4) XRD（粉末X線回折） 3-317
(5) EPMA 3-323
(6) 空隙率 3-335

(7)　ビッカース硬度 3-340
3.4.4 まとめと解析精度の向上に向けた考察 3-342
第 3 章　参考文献 3-343

第 4 章 既設施設のデータ取得と評価 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 4-4
(4)　ひび割れ調査 4-14
4.1.2 計測データの整理 4-43
4.1.3 計測システムの保守･点検 4-52
(1)　既設静的設備の保守・点検 4-52
(2)　間隙水圧計他点検 4-53
(3)　計測システム構築（変更）、システム保守・点検 4-72
4.1.4 現場計測室の維持管理 4-73
(1)　百葉箱、温湿度計の復旧 4-73
(2)　計測器室の空調機の取替え 4-76
(3)　計測システムの漏電調査 4-78
(4)　動作確認 4-80
4.1.5 まとめ 4-80
4.2 既存施設の計測調査データの評価 4-81
4.2.1 施設･岩盤挙動計測データの分析･評価 4-81
(1)　坑内環境計測結果の分析評価 4-81
(2)　上部埋戻し材の計測結果の分析評価 4-84
(3)　底部低透水層の計測結果の分析評価 4-87
(4)　セメント系材料の計測結果の分析評価 4-100
(5)　ひび割れ調査の分析評価 4-108
(6)　周辺岩盤挙動計測結果の分析評価 4-140
4.2.2 地震計の観測データの整理と挙動分析 4-146
(1)　検討フロー 4-146
(2)　観測データの分析・評価 4-147
(3)　解析による地震時の挙動の評価 4-200
4.3 まとめ 4-276
4.3.1 今年度の成果 4-276

(1)　施設・岩盤挙動計測データの分析・評価 4-276
(2)　地震計の観測データの整理と挙動分析 4-276
4.3.2 今後の課題 4-277
(1)　底部低拡散層のボーリング孔内の水溜まりの分析 4-277
(2)　地震観測の拡充 4-277
(3)　当該サイトの地質構造および地盤物性値の設定 4-277
第 4 章　参考文献 4-278

第 5 章 まとめ 5-1
5.1 本事業のまとめ 5-1

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　解析・試験と機能確認試験との関係 1-7
図 1.3-2　低透水層の飽和度経時変化 1-8
図 1.3-3　コンクリートピット（左図）、低拡散層（右図）の最大有効主応力の経時変化 1-9
図 1.3-4　低透水層の飽和度経時変化 1-9
図 1.3-5　コンクリートピット（左図）、低拡散層（右図）の最大有効主応力の経時変化 1-10
図 1.3-6　セメント系バリアの沈下量（参照ケース：左図、比較ケース：右図） 1-10
図 1.3-7　膨潤範囲と最大引張応力の関係（左：底部膨潤、右：側部膨潤） 1-11
図 1.3-8　膨潤範囲と施工目地目開き量（上面）の関係（底部膨潤） 1-11
図 1.3-9　固相 Ca 濃度の推移(1,000 年経過後) 1-12
図 1.3-10　吹付けコンクリートのコアの XRD 測定結果 1-13
図 1.3-11　吹付けコンクリートのコアの EPMA 測定結果 1-14
図 1.3-12　光ファイバセンサーの機能確認試験に向けた開発のステップ（案） 1-15
図 1.3-13　動的疲労試験（初期データ）及び放射線影響試験の結果 1-16
図 1.3-14　試験装置及びベントナイト膨潤圧の計測結果 1-17
図 1.3-15　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） 1-18
図 1.3-16　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） 1-19
図 1.3-17　試験施設の応力の地震時増分（水平方向） 1-19

【第 2 章】

図 2.2-1　新規地上解体施設での機能確認試験のイメージ 2-8
図 2.2-2　新規地上解体施設での機能確認試験のイメージ（複合バリアシステムの長期浸漬試験） 2-11
図 2.2-3　複合供試体の構成（案） 2-12
図 2.2-4　試験土槽（案） 2-13
図 2.2-5　複合供試体を用いた原位置類似環境下の試験オプション（案） 2-16
図 2.3-1　地下模擬施設でのセンサーによる機能確認試験のイメージ 2-17
図 2.3-2　地下模擬施設 3 次元モデルイメージ 2-18
図 2.3-3　機能確認試験のイメージ 2-21
図 2.4-1　既存の実規模模擬施設の状況（2016 年 10 月時点） 2-22
図 2.4-2　側部低拡散層（左側）の露出範囲（側面図） 2-24
図 2.4-3　上部低拡散層の露出範囲（平面図） 2-25
図 2.4-4　手前コンクリートピットの露出範囲（正面図） 2-25
図 2.4-5　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 2-26
図 2.4-6　側部低拡散層（左側）の光ファイバセンサー設置位置（案）（側面図） 2-26

図 2.4-7　上部低拡散層の光ファイバセンサー設置位置（案）（平面図） 2-27
図 2.4-8　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 2-28
図 2.4-9　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（案）（正面図） 2-28
図 2.4-10　温度計測のための光ファイバセンサーの配置 2-31
図 2.4-11　光ファイバセンサーの配置イメージ 2-31
図 2.5-1　既存施設に水理場制御機能を増築して活用する場合のイメージ 2-34
図 2.5-2　既存施設に増築する際の周辺岩盤の性能評価イメージ 2-34
図 2.5-3　既存施設に水理場制御機能のみを増築する場合のイメージ（1） 2-36
図 2.5-4　既存施設に水理場制御機能のみを増築する場合のイメージ（2） 2-36
図 2.5-5　上部埋戻し材、上部・側部低透水層を撤去する試験計画のイメージ 2-38
図 2.5-6　側部低拡散層（左側）の光ファイバセンサー設置位置（案）（側面図） 2-39
図 2.5-7　側部低拡散層（右側）の光ファイバセンサー設置位置（案）（側面図） 2-39
図 2.5-8　上部低拡散層の光ファイバセンサー設置位置（案）（平面図） 2-39
図 2.6-1　設置計器数量および計測器配置（その 1） 2-45
図 2.6-2　設置計器数量および計測器配置（その 2） 2-46
図 2.6-3　設置計器数量および計測器配置（その 3） 2-47
図 2.6-4　岩盤変位計測結果 2-53
図 2.6-5　間隙水圧計測結果 2-54
図 2.6-6　大気圧計測結果（試験空洞） 2-54
図 2.6-7　底部低透水層の沈下量計測結果 2-55
図 2.6-8　底部低透水層の土圧計測結果 2-56
図 2.6-9　底部低拡散層の応力計測結果 2-57
図 2.6-10　底部コンクリートピットの応力計測結果 2-58
図 2.6-11　側部コンクリートピットの応力計測結果 2-59
図 2.6-12　側部低拡散層の応力計測結果 2-60
図 2.6-13　上部コンクリートピットの応力計測結果 2-61
図 2.6-14　上部低拡散層の応力計測結果 2-62
図 2.6-15　上部埋戻し材の沈下量計測結果 2-63
図 2.6-16　坑内環境の正常計器の割合 2-81
図 2.6-17　周辺岩盤の正常計器の割合 2-81
図 2.6-18　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 2-81
図 2.6-19　底部埋戻し材の正常計器の割合 2-82
図 2.6-20　側部埋戻し材の正常計器の割合 2-82
図 2.6-21　奥部埋戻し材の正常計器の割合 2-82
図 2.6-22　上部埋戻し材の正常計器の割合 2-82
図 2.6-23　埋戻し材の計器種類毎の異常計器数量変遷 2-83
図 2.6-24　底部低透水層の正常計器の割合 2-84
図 2.6-25　側部低透水層の正常計器の割合 2-84
図 2.6-26　上部低透水層の正常計器の割合 2-84

図 2.6-27　低透水層の計器種類毎の異常計器数量変遷 2-85
図 2.6-28　底部低拡散層の正常計器の割合 2-86
図 2.6-29　側部低拡散層の正常計器の割合 2-86
図 2.6-30　上部低拡散層の正常計器の割合 2-86
図 2.6-31　低拡散層の計器種類毎の異常計器数量変遷 2-87
図 2.6-32　底部コンクリートピットの正常計器の割合 2-88
図 2.6-33　側部コンクリートピットの正常計器の割合 2-88
図 2.6-34　手前部コンクリートピットの正常計器の割合 2-88
図 2.6-35　上部コンクリートピットの正常計器の割合 2-88
図 2.6-36　低拡散層の計器種類毎の異常計器数量変遷 2-89
図 2.6-37　区画内充てん材および上部充てん材の正常計器の割合 2-90
図 2.6-38　充てん材の計器種類毎の異常計器数量変遷 2-90

【第 3 章】

図 3.1-1　検討概要フロー 3-2
図 3.1-2　人工バリアに着目した施設状態の設定イメージ 3-3
図 3.1-3　Bow-tie ダイヤグラムによる起因事象と影響の整理[] 3-4
図 3.1-4　膨潤変形および金属材料の腐食に関する検討 3-5
図 3.1-5　活断層および火山の影響に関する検討[] 3-6
図 3.1-6　地震活動の影響に関する検討[5] 3-7
図 3.1-7　人為事象の影響に関する検討 3-8
図 3.1-8　偏膨潤に関する FTA 3-10
図 3.1-9　偏膨潤に関する ETA 3-11
図 3.1-10　解析ケース設定例 3-12
図 3.1-11　熱、力学（応力変形）、二相流の相互影響 3-14
図 3.1-12　不飽和多孔質体の概念 3-15
図 3.1-13　間隙比と平均有効応力の関係 3-18
図 3.1-14　サクションと間隙比の関係 3-19
図 3.1-15　（p、 q）面、（p、 s）面および（p、 q、 s）面での降伏曲面 3-21
図 3.1-16　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 3-21
図 3.1-17　試験空洞および人工バリアの断面図 3-24
図 3.1-18　解析モデル 3-24
図 3.1-19　解析ステップ 3-25
図 3.1-20　低透水層の 2 相流曲線（左：毛細管圧力、右：相対浸透率） 3-31
図 3.1-21　コンクリートピットの 2 相流曲線（左：毛細管圧力、右：相対浸透率） 3-31
図 3.1-22　低拡散層の 2 相流曲線（左：毛細管圧力、右：相対浸透率） 3-31
図 3.1-23　廃棄体間及び上部充てん材の 2 相流曲線（左：毛細管圧力、右：相対浸透率） 3-32
図 3.1-24　上部埋戻し材（土質系）の 2 相流曲線（左：毛細管圧力、右：相対浸透率）

..... 3-32
図 3.1-25　支保工及び側部埋戻し材（セメント系）の 2 相流曲線 3-32
図 3.1-26　クニゲル GX の乾燥密度と膨潤圧の関係..... 3-34
図 3.1-27　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..... 3-35
図 3.1-28　構築時飽和度分布（－）（全体） 3-43
図 3.1-29　構築時飽和度分布（－）（内部）（変形倍率：1 倍） 3-44
図 3.1-30　構築時鉛直応力分布（MPa） 3-45
図 3.1-31　境界条件..... 3-46
図 3.1-32　人工バリア内部の初期飽和状態 3-47
図 3.1-33　不飽和時の透水・透気係数 3-47
図 3.1-34　飽和度分布（－）①（変形：3 倍） 3-48
図 3.1-35　飽和度分布（－）②（変形：3 倍） 3-49
図 3.1-36　出力点 3-50
図 3.1-37　低透水層の飽和度経時変化 3-50
図 3.1-38　低透水層の平均有効応力（MPa）（変形：3 倍） 3-51
図 3.1-39　出力点 3-52
図 3.1-40　低透水層の平均有効応力経時変化 3-52
図 3.1-41　低透水層の乾燥密度分布（Mg/m^3）（変形：3 倍） 3-53
図 3.1-42　クニゲル GX の透水係数と乾燥密度の関係 3-54
図 3.1-43　出力点 3-55
図 3.1-44　低透水層の乾燥密度経時変化..... 3-55
図 3.1-45　低透水層の相対変位出力点 3-56
図 3.1-46　低透水層の水平方向相対変位経時変化 3-57
図 3.1-47　低透水層の鉛直方向相対変位経時変化 3-57
図 3.1-48　セメント系人工バリアの最大有効主応力（MPa） 3-58
図 3.1-49　セメント系人工バリアの最小有効主応力（MPa） 3-59
図 3.1-50　セメント系人工バリアの有効主応力方向①..... 3-60
図 3.1-51　セメント系人工バリアの有効主応力方向②（最大圧縮方向） 3-61
図 3.1-52　最大・最小有効主応力出力点（赤：RC ピット、黄：低拡散層） 3-62
図 3.1-53　コンクリートピットの最大有効主応力の経時変化..... 3-63
図 3.1-54　コンクリートピットの最小有効主応力の経時変化..... 3-63
図 3.1-55　低拡散層の最大有効主応力の経時変化 3-64
図 3.1-56　低拡散層の最小有効主応力の経時変化 3-64
図 3.1-57　コンクリート系人工バリアの沈下量出力点..... 3-65
図 3.1-58　コンクリート系人工バリアの沈下量経時変化 3-65
図 3.1-59　境界条件..... 3-67
図 3.1-60　膨潤圧の設定 3-68
図 3.1-61　透水係数の設定..... 3-68
図 3.1-62　飽和度分布（－）①（変形：3 倍） 3-69

図 3.1-63　飽和度分布（－）②（変形：3 倍）..... 3-70
図 3.1-64　出力点..... 3-71
図 3.1-65　低透水層の飽和度経時変化..... 3-71
図 3.1-66　セメント系人工バリアの最大有効主応力（MPa）..... 3-72
図 3.1-67　セメント系人工バリアの最小有効主応力（MPa）..... 3-73
図 3.1-68　最大・最小有効主応力出力点（赤：RC ピット、黄：低拡散層）..... 3-74
図 3.1-69　コンクリートピットの最大有効主応力の経時変化..... 3-75
図 3.1-70　低拡散層の最大有効主応力の経時変化..... 3-75
図 3.1-71　コンクリートピットの最小有効主応力の経時変化..... 3-76
図 3.1-72　低拡散層の最小有効主応力の経時変化..... 3-76
図 3.1-73　セメント系人工バリアの沈下量出力点..... 3-77
図 3.1-74　セメント系人工バリアの沈下量経時変化..... 3-77
図 3.1-75 セメント系人工バリアの沈下量比較図..... 3-78
図 3.1-76　地盤バネ付き梁モデルの概念図..... 3-79
図 3.1-77　処分坑道平面形状[35]..... 3-80
図 3.1-78　コンクリートピットの施工[36]..... 3-80
図 3.1-79　既存の実規模模擬施設断面図..... 3-81
図 3.1-80　低透水層の膨潤圧と乾燥密度の関係[5]..... 3-83
図 3.1-81　低透水層の変形係数と乾燥密度の関係[5]..... 3-84
図 3.1-82　低拡散層の圧縮強度と弾性係数の関係[33]..... 3-84
図 3.1-83　コンクリートピットの圧縮強度と弾性係数の関係[33]..... 3-85
図 3.1-84　廃棄体間充てん材の圧縮強度と弾性係数の関係[33]..... 3-85
図 3.1-85　低拡散層の圧縮強度と引張強度の関係[33]..... 3-86
図 3.1-86　低拡散層の施工目地の目開き算定の概念図..... 3-87
図 3.1-87　荷重図（case-1～case-8）..... 3-90
図 3.1-88　荷重図（case-9～case-16）..... 3-91
図 3.1-89　荷重図（case-17～case-24）..... 3-92
図 3.1-90　荷重図（case-25～case-32）..... 3-93
図 3.1-91　膨潤範囲と最大モーメントの関係（case-1～case-16：底部膨潤）..... 3-95
図 3.1-92　膨潤範囲と最大モーメントの関係（case-17～case-32：側部膨潤）..... 3-96
図 3.1-93　膨潤範囲と最大引張応力の関係（case-1～case-16：底部膨潤）..... 3-96
図 3.1-94　膨潤範囲と最大引張応力の関係（case-17～case-32：側部膨潤）..... 3-97
図 3.1-95　膨潤範囲と施工目地目開き量（上面）の関係（case-1～case-16：底部膨潤）
..... 3-97
図 3.1-96　膨潤範囲と施工目地目開き量（底面）の関係（case-1～case-16：底部膨潤）
..... 3-98
図 3.1-97　膨潤範囲と施工目地目開き量（右面）の関係（case-17～case-32：側部膨潤）
..... 3-98
図 3.1-98　膨潤範囲と施工目地目開き量（左面）の関係（case-17～case-32：側部膨潤）

..... 3-98
図 3.1-99　変形図（case-1）..... 3-99
図 3.1-100　モーメント図（case-1）..... 3-100
図 3.1-101　せん断力図（case-1）..... 3-100
図 3.1-102　変形図（case-2）..... 3-101
図 3.1-103　モーメント図（case-2）..... 3-101
図 3.1-104　せん断力図（case-2）..... 3-102
図 3.1-105　変形図（case-3）..... 3-102
図 3.1-106　モーメント図（case-3）..... 3-103
図 3.1-107　せん断力図（case-3）..... 3-103
図 3.1-108　変形図（case-4）..... 3-104
図 3.1-109　モーメント図（case-4）..... 3-104
図 3.1-110　せん断力図（case-4）..... 3-105
図 3.1-111　変形図（case-5）..... 3-105
図 3.1-112　モーメント図（case-5）..... 3-106
図 3.1-113　せん断力図（case-5）..... 3-106
図 3.1-114　変形図（case-6）..... 3-107
図 3.1-115　モーメント図（case-6）..... 3-107
図 3.1-116　せん断力図（case-6）..... 3-108
図 3.1-117　変形図（case-7）..... 3-108
図 3.1-118　モーメント図（case-7）..... 3-109
図 3.1-119　せん断力図（case-7）..... 3-109
図 3.1-120　変形図（case-8）..... 3-110
図 3.1-121　モーメント図（case-8）..... 3-110
図 3.1-122　せん断力図（case-8）..... 3-111
図 3.1-123　変形図（case-9）..... 3-111
図 3.1-124　モーメント図（case-9）..... 3-112
図 3.1-125　せん断力図（case-9）..... 3-112
図 3.1-126　変形図（case-10）..... 3-113
図 3.1-127　モーメント図（case-10）..... 3-113
図 3.1-128　せん断力図（case-10）..... 3-114
図 3.1-129　変形図（case-11）..... 3-114
図 3.1-130　モーメント図（case-11）..... 3-115
図 3.1-131　せん断力図（case-11）..... 3-115
図 3.1-132　変形図（case-12）..... 3-116
図 3.1-133　モーメント図（case-12）..... 3-116
図 3.1-134　せん断力図（case-12）..... 3-117
図 3.1-135　変形図（case-13）..... 3-117
図 3.1-136　モーメント図（case-13）..... 3-118

図 3.1-137　せん断力図（case-13） 3-118
図 3.1-138　変形図（case-14） 3-119
図 3.1-139　モーメント図（case-14） 3-119
図 3.1-140　せん断力図（case-14） 3-120
図 3.1-141　変形図（case-15） 3-120
図 3.1-142　モーメント図（case-15） 3-121
図 3.1-143　せん断力図（case-15） 3-121
図 3.1-144　変形図（case-16） 3-122
図 3.1-145　モーメント図（case-16） 3-122
図 3.1-146　せん断力図（case-16） 3-123
図 3.1-147　変形図（case-17） 3-123
図 3.1-148　モーメント図（case-17） 3-124
図 3.1-149　せん断力図（case-17） 3-124
図 3.1-150　変形図（case-18） 3-125
図 3.1-151　モーメント図（case-18） 3-125
図 3.1-152　せん断力図（case-18） 3-126
図 3.1-153　変形図（case-19） 3-126
図 3.1-154　モーメント図（case-19） 3-127
図 3.1-155　せん断力図（case-19） 3-127
図 3.1-156　変形図（case-20） 3-128
図 3.1-157　モーメント図（case-20） 3-128
図 3.1-158　せん断力図（case-20） 3-129
図 3.1-159　変形図（case-21） 3-129
図 3.1-160　モーメント図（case-21） 3-130
図 3.1-161　せん断力図（case-21） 3-130
図 3.1-162　変形図（case-22） 3-131
図 3.1-163　モーメント図（case-22） 3-131
図 3.1-164　せん断力図（case-22） 3-132
図 3.1-165　変形図（case-23） 3-132
図 3.1-166　モーメント図（case-23） 3-133
図 3.1-167　せん断力図（case-23） 3-133
図 3.1-168　変形図（case-24） 3-134
図 3.1-169　モーメント図（case-24） 3-134
図 3.1-170　せん断力図（case-24） 3-135
図 3.1-171　変形図（case-25） 3-135
図 3.1-172　モーメント図（case-25） 3-136
図 3.1-173　せん断力図（case-25） 3-136
図 3.1-174　変形図（case-26） 3-137
図 3.1-175　モーメント図（case-26） 3-137

図 3.1-176　せん断力図（case-26） 3-138
図 3.1-177　変形図（case-27） 3-138
図 3.1-178　モーメント図（case-27） 3-139
図 3.1-179　せん断力図（case-27） 3-139
図 3.1-180　変形図（case-28） 3-140
図 3.1-181　モーメント図（case-28） 3-140
図 3.1-182　せん断力図（case-28） 3-141
図 3.1-183　変形図（case-29） 3-141
図 3.1-184　モーメント図（case-29） 3-142
図 3.1-185　せん断力図（case-29） 3-142
図 3.1-186　変形図（case-30） 3-143
図 3.1-187　モーメント図（case-30） 3-143
図 3.1-188　せん断力図（case-30） 3-144
図 3.1-189　変形図（case-31） 3-144
図 3.1-190　モーメント図（case-31） 3-145
図 3.1-191　せん断力図（case-31） 3-145
図 3.1-192　変形図（case-32） 3-146
図 3.1-193　モーメント図（case-32） 3-146
図 3.1-194　せん断力図（case-32） 3-147
図 3.2-1　光ファイバの構成例 3-180
図 3.2-2　評価試験のフロー 3-181
図 3.2-3　各タイプの光ファイバ構成イメージ 3-182
図 3.2-4　光ファイバサンプル No.1 3-182
図 3.2-5　光ファイバサンプル No.2 3-182
図 3.2-6　光ファイバサンプル No.3 3-182
図 3.2-7　恒温槽 3-185
図 3.2-8　線源からの距離と線量値 3-186
図 3.2-9　ガンマ線照射装置 3-186
図 3.2-10　引張による静的疲労係数測定 3-187
図 3.2-11　引張による動的疲労係数測定 3-187
図 3.2-12　静的疲労のデータ構成 3-187
図 3.2-13　動的疲労のデータ構成 3-188
図 3.2-14　試験状況と引張試験機 3-188
図 3.2-15　動的疲労試験結果（初期データ） 3-189
図 3.2-16　光ファイバの損失定義 3-190
図 3.2-17　OTDR の構成図 3-190
図 3.2-18　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 3-191
図 3.2-19　試験状況と OTDR 画面 3-191
図 3.2-20　損失測定結果（放射線照射中） 3-192

図 3.2-21　ベントナイト膨潤圧計測装置 3-193
図 3.2-22　ベントナイト膨潤圧計測状況 3-193
図 3.2-23　圧力計測結果 3-194
図 3.2-24　固定方法の検証試験イメージ 3-195
図 3.3-1　腐食性地盤（硫酸塩含有土壌）の分布[58] 3-196
図 3.3-2　余裕深度処分施設を構成する人工バリアの状態設定（例）[59] 3-197
図 3.3-3　W/C と空隙率の関係[61] 3-200
図 3.3-4　溶解平衡関係の概念図[63] 3-200
図 3.3-5　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[63] 3-201
図 3.3-6　C_{pCa}/C_{p0Ca} と Na^+濃度の関係[63] 3-203
図 3.3-7　C_{pCa}/C_{p0Ca} と K^+濃度の関係[63] 3-203
図 3.3-8　試験空洞内の様子（平成 28 年 10 月撮影） 3-205
図 3.3-9　解析モデル（Case1、全体） 3-206
図 3.3-10　解析モデル（Case1、拡大） 3-206
図 3.3-11　各部材の寸法 3-207
図 3.3-12　解析モデル（Case2、全体） 3-208
図 3.3-13　解析モデル（Case2、拡大） 3-208
図 3.3-14　Case2 におけるひび割れ要素の設定位置 3-209
図 3.3-15　固相 Ca 濃度（mol/L）の推移（Case1） 3-215
図 3.3-16　水和物濃度(mol/L)の推移（Case1） 3-217
図 3.3-17　モデル全体の pH 分布（Case1） 3-218
図 3.3-18　pH 分布と Ca イオン(mmol/L)分布（Case1） 3-220
図 3.3-19　SO_4 イオン(mmol/)分布（Case1） 3-221
図 3.3-20　空隙率の推移（Case1） 3-222
図 3.3-21　透水係数および拡散係数の出力箇所（Case1） 3-223
図 3.3-22　吹付けコンクリートの透水係数（Case1） 3-224
図 3.3-23　吹付けコンクリートの拡散係数（Case1） 3-224
図 3.3-24　固相 Ca 濃度(mol/L)の推移（Case2） 3-226
図 3.3-25　水和物濃度（mol/L）の推移（Case2） 3-228
図 3.3-26　モデル全体の pH 分布（Case2） 3-229
図 3.3-27　pH 分布と Ca イオン(mmol/L)分布（Case2） 3-230
図 3.3-28　SO_4 イオン(mmol/L)分布（Case2） 3-231
図 3.3-29　空隙率の推移（Case2） 3-232
図 3.3-30　透水係数および拡散係数の出力箇所（Case2） 3-233
図 3.3-31　吹付けコンクリートの透水係数（Case2） 3-234
図 3.3-32　吹付けコンクリートの拡散係数（Case2） 3-234
図 3.3-33　固相 Ca 濃度(mol/)の比較 3-236
図 3.3-34　$Ca(OH)_2$ の比較 3-237
図 3.3-35　pH 推移の比較 3-238

図 3.3-36　固相 Ca 濃度（Case1、0 年後）..... 3-242
図 3.3-37　固相 Ca 濃度（Case1、12 年後）..... 3-242
図 3.3-38　固相 Ca 濃度（Case1、100 年後）..... 3-243
図 3.3-39　固相 Ca 濃度（Case1、300 年後）..... 3-243
図 3.3-40　固相 Ca 濃度（Case1、600 年後）..... 3-244
図 3.3-41　固相 Ca 濃度（Case1、1,000 年後）..... 3-244
図 3.3-42　モデル全体の pH 分布（Case1、0 年後）..... 3-245
図 3.3-43　モデル全体の pH 分布（Case1、12 年後）..... 3-245
図 3.3-44　モデル全体の pH 分布（Case1、100 年後）..... 3-246
図 3.3-45　モデル全体の pH 分布（Case1、300 年後）..... 3-246
図 3.3-46　モデル全体の pH 分布（Case1、600 年後）..... 3-247
図 3.3-47　モデル全体の pH 分布（Case1、1,000 年後）..... 3-247
図 3.3-48　人工バリアの pH 分布（Case1、0 年後）..... 3-248
図 3.3-49　人工バリアの pH 分布（Case1、12 年後）..... 3-248
図 3.3-50　人工バリアの pH 分布（Case1、100 年後）..... 3-249
図 3.3-51　人工バリアの pH 分布（Case1、300 年後）..... 3-249
図 3.3-52　人工バリアの pH 分布（Case1、600 年後）..... 3-250
図 3.3-53　人工バリアの pH 分布（Case1、1,000 年後）..... 3-250
図 3.3-54　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、0 年後）..... 3-251
図 3.3-55　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、12 年後）..... 3-251
図 3.3-56　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、100 年後）..... 3-252
図 3.3-57　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、300 年後）..... 3-252
図 3.3-58　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、600 年後）..... 3-253
図 3.3-59　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、1,000 年後）..... 3-253
図 3.3-60　CSH 濃度（Case1、0 年後）..... 3-254
図 3.3-61　CSH 濃度（Case1、12 年後）..... 3-254
図 3.3-62　CSH 濃度（Case1、100 年後）..... 3-255
図 3.3-63　CSH 濃度（Case1、300 年後）..... 3-255
図 3.3-64　CSH 濃度（Case1、600 年後）..... 3-256
図 3.3-65　CSH 濃度（Case1、1,000 年後）..... 3-256
図 3.3-66　CAH 濃度（Case1、0 年後）..... 3-257
図 3.3-67　CAH 濃度（Case1、12 年後）..... 3-257
図 3.3-68　CAH 濃度（Case1、100 年後）..... 3-258
図 3.3-69　CAH 濃度（Case1、300 年後）..... 3-258
図 3.3-70　CAH 濃度（Case1、600 年後）..... 3-259
図 3.3-71　CAH 濃度（Case1、1,000 年後）..... 3-259
図 3.3-72　エトリンガイト濃度（Case1、0 年後）..... 3-260
図 3.3-73　エトリンガイト濃度（Case1、12 年後）..... 3-260
図 3.3-74　エトリンガイト濃度（Case1、100 年後）..... 3-261

図 3.3-75　エトリンガイト濃度（Case1、300 年後）..... 3-261
図 3.3-76　エトリンガイト濃度（Case1、600 年後）..... 3-262
図 3.3-77　エトリンガイト濃度（Case1、1,000 年後）..... 3-262
図 3.3-78　液相 Ca イオン濃度（Case1、0 年後）..... 3-263
図 3.3-79　液相 Ca イオン濃度（Case1、12 年後）..... 3-263
図 3.3-80　液相 Ca イオン濃度（Case1、100 年後）..... 3-264
図 3.3-81　液相 Ca イオン濃度（Case1、300 年後）..... 3-264
図 3.3-82　液相 Ca イオン濃度（Case1、600 年後）..... 3-265
図 3.3-83　液相 Ca イオン濃度（Case1、1,000 年後）..... 3-265
図 3.3-84　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、0 年後）..... 3-266
図 3.3-85　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、12 年後）..... 3-266
図 3.3-86　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、100 年後）..... 3-267
図 3.3-87　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、300 年後）..... 3-267
図 3.3-88　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、600 年後）..... 3-268
図 3.3-89　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、1,000 年後）..... 3-268
図 3.3-90　空隙率変化（Case1、0 年後）..... 3-269
図 3.3-91　空隙率変化（Case1、12 年後）..... 3-269
図 3.3-92　空隙率変化（Case1、100 年後）..... 3-270
図 3.3-93　空隙率変化（Case1、300 年後）..... 3-270
図 3.3-94　空隙率変化（Case1、600 年後）..... 3-271
図 3.3-95　空隙率変化（Case1、1,000 年後）..... 3-271
図 3.3-96　固相 Ca 濃度（Case2、0 年後）..... 3-272
図 3.3-97　固相 Ca 濃度（Case2、12 年後）..... 3-272
図 3.3-98　固相 Ca 濃度（Case2、100 年後）..... 3-273
図 3.3-99　固相 Ca 濃度（Case2、300 年後）..... 3-273
図 3.3-100　固相 Ca 濃度（Case2、600 年後）..... 3-274
図 3.3-101　固相 Ca 濃度（Case2、1,000 年後）..... 3-274
図 3.3-102　モデル全体の pH 分布（Case2、0 年後）..... 3-275
図 3.3-103　モデル全体の pH 分布（Case2、12 年後）..... 3-275
図 3.3-104　モデル全体の pH 分布（Case2、100 年後）..... 3-276
図 3.3-105　モデル全体の pH 分布（Case2、300 年後）..... 3-276
図 3.3-106　モデル全体の pH 分布（Case2、600 年後）..... 3-277
図 3.3-107　モデル全体の pH 分布（Case2、1,000 年後）..... 3-277
図 3.3-108　人工バリアの pH 分布（Case2、0 年後）..... 3-278
図 3.3-109　人工バリアの pH 分布（Case2、12 年後）..... 3-278
図 3.3-110　人工バリアの pH 分布（Case2、100 年後）..... 3-279
図 3.3-111　人工バリアの pH 分布（Case2、300 年後）..... 3-279
図 3.3-112　人工バリアの pH 分布（Case2、600 年後）..... 3-280
図 3.3-113　人工バリアの pH 分布（Case2、1,000 年後）..... 3-280

図 3.3-114　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、0 年後）..... 3-281
図 3.3-115　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、12 年後）..... 3-281
図 3.3-116　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、100 年後）..... 3-282
図 3.3-117　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、300 年後）..... 3-282
図 3.3-118　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、600 年後）..... 3-283
図 3.3-119　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、1,000 年後）..... 3-283
図 3.3-120　CSH 濃度（Case2、0 年後）..... 3-284
図 3.3-121　CSH 濃度（Case2、12 年後）..... 3-284
図 3.3-122　CSH 濃度（Case2、100 年後）..... 3-285
図 3.3-123　CSH 濃度（Case2、300 年後）..... 3-285
図 3.3-124　CSH 濃度（Case2、600 年後）..... 3-286
図 3.3-125　CSH 濃度（Case2、1,000 年後）..... 3-286
図 3.3-126　CAH 濃度（Case2、0 年後）..... 3-287
図 3.3-127　CAH 濃度（Case2、12 年後）..... 3-287
図 3.3-128　CAH 濃度（Case2、100 年後）..... 3-288
図 3.3-129　CAH 濃度（Case2、300 年後）..... 3-288
図 3.3-130　CAH 濃度（Case2、600 年後）..... 3-289
図 3.3-131　CAH 濃度（Case2、1,000 年後）..... 3-289
図 3.3-132　エトリンガイト濃度（Case2、0 年後）..... 3-290
図 3.3-133　エトリンガイト濃度（Case2、12 年後）..... 3-290
図 3.3-134　エトリンガイト濃度（Case2、100 年後）..... 3-291
図 3.3-135　エトリンガイト濃度（Case2、300 年後）..... 3-291
図 3.3-136　エトリンガイト濃度（Case2、600 年後）..... 3-292
図 3.3-137　エトリンガイト濃度（Case2、1,000 年後）..... 3-292
図 3.3-138　液相 Ca イオン濃度（Case2、0 年後）..... 3-293
図 3.3-139　液相 Ca イオン濃度（Case2、12 年後）..... 3-293
図 3.3-140　液相 Ca イオン濃度（Case2、100 年後）..... 3-294
図 3.3-141　液相 Ca イオン濃度（Case2、300 年後）..... 3-294
図 3.3-142　液相 Ca イオン濃度（Case2、600 年後）..... 3-295
図 3.3-143　液相 Ca イオン濃度（Case2、1,000 年後）..... 3-295
図 3.3-144　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、0 年後）..... 3-296
図 3.3-145　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、12 年後）..... 3-296
図 3.3-146　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、100 年後）..... 3-297
図 3.3-147　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、300 年後）..... 3-297
図 3.3-148　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、600 年後）..... 3-298
図 3.3-149　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、1,000 年後）..... 3-298
図 3.3-150　空隙率変化（Case2、0 年後）..... 3-299
図 3.3-151　空隙率変化（Case2、12 年後）..... 3-299
図 3.3-152　空隙率変化（Case2、100 年後）..... 3-300

図 3.3-153　空隙率変化（Case2、300 年後） 3-300
図 3.3-154　空隙率変化（Case2、600 年後） 3-301
図 3.3-155　空隙率変化（Case2、1,000 年後） 3-301
図 3.4-1　試験空洞内におけるエフロレッセンスの発生状況 3-302
図 3.4-2　試験空洞の状況 3-303
図 3.4-3　支保パターン図[76] 3-304
図 3.4-4　コア採取位置（平面図） 3-305
図 3.4-5　コア採取位置（断面図） 3-305
図 3.4-6　コア採取位置（詳細） 3-306
図 3.4-7　分析用コアの概要 3-307
図 3.4-8　コア採取状況 3-307
図 3.4-9　メッシュ筋の位置 3-310
図 3.4-10　コアの縦割り 3-310
図 3.4-11　空隙率の測定箇所 3-310
図 3.4-12　化学分析の試料採取位置（中性化、ビッカース硬度） 3-311
図 3.4-13　化学分析用の試料採取箇所（XRD、EPMA） 3-311
図 3.4-14　吹付けコンクリートの圧縮強度 3-312
図 3.4-15　圧縮強度と静弾性係数の相関関係 3-314
図 3.4-16　フェノールフタレイン噴霧直後の試験体（L-4） 3-315
図 3.4-17　フェノールフタレイン噴霧直後の試験体（R-5） 3-316
図 3.4-18　フェノールフタレイン噴霧から 1 日後の試験体（R-5） 3-316
図 3.4-19　XRD の分析位置（L-4） 3-318
図 3.4-20　XRD 測定結果（L-4：吹付けコンクリート） 3-318
図 3.4-21　XRD 測定結果（L-4：岩盤） 3-319
図 3.4-22　XRD の分析位置（R-5） 3-320
図 3.4-23　XRD 測定結果（R-5：吹付けコンクリート） 3-321
図 3.4-24　XRD 測定結果（R-5：岩盤） 3-322
図 3.4-25　EPMA の分析位置（L-4） 3-323
図 3.4-26　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（L-4 の CaO、SiO_2、Al_2O_3） 3-324
図 3.4-27　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（L-4 の SO_3、MgO） 3-324
図 3.4-28　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（L-4 の NaO、K_2O、Cl） 3-325
図 3.4-29　EPMA 分析結果（L-4 の CaO、SiO_2、SO_3） 3-326
図 3.4-30　EPMA 分析結果（L-4 の Al_2O_3、K_2O、MgO） 3-327
図 3.4-31　EPMA 分析結果（L-4 の Na_2O、Fe_2O_3、Cl） 3-328
図 3.4-32　EPMA の分析位置（R-5） 3-329
図 3.4-33　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（R-5 の CaO、SiO_2、Al2O_3） 3-330
図 3.4-34　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（R-5 の SO_3、MgO） 3-330

図 3.4-35　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（R-5 の NaO、K_2O、Cl）... 3-331
図 3.4-36　EPMA 分析結果（R-5 の CaO、SiO_2、SO_3）... 3-332
図 3.4-37　EPMA 分析結果（R-5 の Al_2O_3、K_2O、MgO）... 3-333
図 3.4-38　EPMA 分析結果（R-5 の Na_2O、Fe_2O_3、Cl）... 3-334
図 3.4-39　水銀圧入法による空隙率の測定位置（L-4、R-5）... 3-335
図 3.4-40　水銀圧入法による細孔径分布（R-5　界面から 20mm）... 3-335
図 3.4-41　水銀圧入法による細孔径分布（R-5　界面から 200mm）... 3-335
図 3.4-42　水銀圧入法による細孔径分布（L-4　界面から 20mm）... 3-336
図 3.4-43　水銀圧入法による細孔径分布（L-4　界面から 200mm）... 3-336
図 3.4-44　アルキメデス法による空隙率の測定位置（L-4）... 3-337
図 3.4-45　アルキメデス法による空隙率の測定位置（R-5）... 3-337
図 3.4-46　空隙率の測定結果（L-4）... 3-338
図 3.4-47　空隙率の測定結果（R-5）... 3-338
図 3.4-48　空隙と思われる箇所の分布図（EPMA 分析結果　R-5-2）... 3-339
図 3.4-49　ビッカース硬度の測定位置（L-4）... 3-340
図 3.4-50　ビッカース硬度の測定位置（R-5）... 3-340
図 3.4-51　ビッカース硬度の測定結果（L-4）... 3-341
図 3.4-52　ビッカース硬度の測定結果（R-5）... 3-341

【第 4 章】

図 4.1-1　B-①孔の配置（試験空洞沿い縦断面図）... 4-5
図 4.1-2　計測坑 B の間隙水圧計の概要図... 4-5
図 4.1-3　手ばかり水位計による水位測定状況... 4-6
図 4.1-4　計測作業方法の概要... 4-6
図 4.1-5　間隙水圧経時変化（計測坑 C、2014/10/1～2015/11/11）... 4-8
図 4.1-6　計測坑 B-1 孔の間隙水圧経時変化（2015/12/1～2016/10/12）... 4-9
図 4.1-7　計測坑 C-1 孔の間隙水圧経時変化（2015/12/1～2016/10/14）... 4-10
図 4.1-8　間隙水圧経時変化（試験空洞 D、2015/12/1～2016/10/13）... 4-13
図 4.1-9　間隙水圧経時変化（試験空洞 E、2015/12/1～2016/10/13）... 4-13
図 4.1-10　調査対象範囲... 4-14
図 4.1-11　ひび割れ幅の測定状況... 4-15
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 1）.. 4-18
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 2）.. 4-19
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 3）.. 4-20
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 4-21
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 4-22
図 4.1-17　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 1）... 4-24
図 4.1-18　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 2）... 4-25
図 4.1-19　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 3）... 4-26

図 4.1-20　側部低拡散層のひび割れ履歴図（その 4）..... 4-27
図 4.1-21　平成 28 年度第 1 回側部低拡散層の調査結果..... 4-28
図 4.1-22　平成 28 年度第 2 回側部低拡散層の調査結果 4-29
図 4.1-23　BTV 観察孔水平位置図 4-30
図 4.1-24　BTV 観察孔鉛直位置図 4-31
図 4.1-25　BTV 観察装置..... 4-31
図 4.1-26　BTV 観察レイアウト 4-32
図 4.1-27　BTV 観察状況..... 4-32
図 4.1-28　深度 5.772m付近の割れ目 4-34
図 4.1-29　深度 5.772m付近の割れ目（トレース） 4-34
図 4.1-30　深度 8.646m付近の割れ目 4-35
図 4.1-31　深度 8.646m付近の割れ目（トレース） 4-35
図 4.1-32　深度 11.295m付近の割れ目 4-36
図 4.1-33　深度 11.295m付近の割れ目（トレース） 4-36
図 4.1-34　割れ目の発生位置および方向性と水溜まりの確認区間..... 4-37
図 4.1-35　観察孔鉄板養生後 4-38
図 4.1-36　観察孔鉄板養生後（拡大） 4-38
図 4.1-37　無線通信装置で測定中の低透水層中の温度と間隙水圧..... 4-39
図 4.1-38　地中無線全体システム..... 4-40
図 4.1-39　送信装置..... 4-40
図 4.1-40　地中無線データ回収状況 4-41
図 4.1-41　地中無線計器および有線計器の設置位置 4-42
図 4.1-42　地中無線計器と有線計器の温度データ回収結果..... 4-42
図 4.1-43　地中無線計器と有線計器の間隙水圧データ回収結果 4-42
図 4.1-44　百葉箱温湿度計測結果..... 4-44
図 4.1-45　上部埋戻し材の沈下計測結果..... 4-45
図 4.1-46　上部埋戻し材の温度計測結果..... 4-45
図 4.1-47　岩盤変位計測結果..... 4-46
図 4.1-48　岩盤内間隙水圧計測結果（1／2） 4-47
図 4.1-49　岩盤内間隙水圧計測結果（2／2） 4-48
図 4.1-50　地震計①の加速度時刻歴（2016 年 9 月 26 日） 4-49
図 4.1-51　地震計②の加速度時刻歴（2016 年 9 月 26 日） 4-50
図 4.1-52　地震計③の加速度時刻歴（2016 年 9 月 26 日） 4-51
図 4.1-53　絶縁抵抗検査の概要図..... 4-53
図 4.1-54　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） 4-54
図 4.1-55　出力特性検査結果の評価 4-55
図 4.1-56　間隙水圧計の基本特性（長期安定性の定義） 4-56
図 4.1-57　補正定格出力の算出 4-56
図 4.1-58　出力特性検査の結果（計測坑 A） 4-59

図 4.1-59　出力特性検査の結果（計測坑 C）..... 4-59
図 4.1-60　出力特性検査の結果（試験空洞（D-1 孔））..... 4-60
図 4.1-61　出力特性検査の結果（試験空洞（E-1 孔））..... 4-60
図 4.1-62　出力特性検査の結果（計測坑 B）..... 4-61
図 4.1-63　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 A〕..... 4-62
図 4.1-64　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 C〕..... 4-63
図 4.1-65　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔試験空洞 D-1 孔〕..... 4-63
図 4.1-66　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔試験空洞 E-1 孔〕..... 4-64
図 4.1-67　基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 B〕..... 4-64
図 4.1-68　計測坑 A における間隙水圧継時変化..... 4-65
図 4.1-69　計測坑 B における間隙水圧継時変化..... 4-66
図 4.1-70　計測坑 C における間隙水圧継時変化..... 4-66
図 4.1-71　試験空洞（D-1 孔）における間隙水圧継時変化..... 4-66
図 4.1-72　試験空洞（E-1 孔）における間隙水圧継時変化..... 4-67
図 4.1-73　センサケーブルの点検状況..... 4-67
図 4.1-74　センサケーブルの内部状況..... 4-68
図 4.1-75　スイッチボックスでの模擬入力状況..... 4-72
図 4.1-76　百葉箱破損状況..... 4-73
図 4.1-77　検査状況..... 4-74
図 4.1-78　百葉箱および温湿度計設置状況..... 4-75
図 4.1-79　復旧後の温湿度計の計測データ..... 4-76
図 4.1-80　空調機設置状況..... 4-77
図 4.1-81　電源系統図..... 4-78
図 4.1-82　作業状況..... 4-80
図 4.2-1　坑内気温・湿度の経時変化（百葉箱温湿度計 A-①）..... 4-82
図 4.2-2　坑内気温・湿度の経時変化（分散型温湿度計 B-①）..... 4-83
図 4.2-3　沈下計計測結果..... 4-85
図 4.2-4　温度計計測結果..... 4-85
図 4.2-5　沈下量と温度の関係..... 4-86
図 4.2-6　底部低透水層の沈下計計測結果..... 4-86
図 4.2-7　土圧計・沈下計設置位置図（平面図）..... 4-88
図 4.2-8　土圧計・沈下計設置位置図（横断面図、縦断面図）..... 4-88
図 4.2-9　底部低透水層　土圧計計測結果（鉛直方向）..... 4-91
図 4.2-10　底部低透水層　土圧計計測結果（水平方向）..... 4-92
図 4.2-11　土圧計測値と温度計計測値の関係（H28 年 2 月 1 日～H28 年 11 月 24 日）4-93
図 4.2-12　土圧計経年変化（A断面左右、H20 年 2 月 15 日～H28 年 11 月 24 日）..... 4-93
図 4.2-13　底部低透水層　沈下計計測結果..... 4-95
図 4.2-14　底部低透水層の沈下量分布（空洞軸方向）..... 4-96
図 4.2-15　沈下計計測値と温度計計測値の関係（H28 年 2 月 1 日～H28 年 11 月 24 日）

.....4-96
図 4.2-16　沈下計経年変化（A断面中央）.....4-97
図 4.2-17　底部低透水層沈下量の計測値と解析値の比較（A断面）.....4-97
図 4.2-18　温度計設置位置.....4-98
図 4.2-19　底部低透水層の温度経年変化.....4-98
図 4.2-20　底部低透水層の温度経時変化.....4-99
図 4.2-21　底部低透水層の間隙水圧経時変化.....4-99
図 4.2-22　底部低拡散層の計測結果（部材中央）.....4-101
図 4.2-23　側部低拡散層の計測結果（部材中央）.....4-102
図 4.2-24　上部低拡散層の計測結果（部材中央）.....4-103
図 4.2-25　底部コンクリートピットの計測結果（部材中央）.....4-104
図 4.2-26　側部コンクリートピットの計測結果（部材中央）.....4-105
図 4.2-27　手前部コンクリートピットの計測結果（部材中央）.....4-106
図 4.2-28　上部コンクリートピットの計測結果（部材中央）.....4-107
図 4.2-29　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）
.....4-110
図 4.2-30　左側側部低拡散層ひび割れ調査結果（正面図）.....4-111
図 4.2-31　BTV 観察孔水平位置図.....4-112
図 4.2-32　BTV 観察孔鉛直位置図.....4-112
図 4.2-33　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 5.772m 付近の割れ目）.....4-113
図 4.2-34　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 8.646m 付近の割れ目）.....4-113
図 4.2-35　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 11.295m 付近の割れ目）.....4-114
図 4.2-36　底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 10m～15m）.....4-115
図 4.2-37　BTV 観察結果展開図.....4-116
図 4.2-38　概算水位と実際の水位の違い.....4-117
図 4.2-39　BTV 観察結果.....4-118
図 4.2-40　上部低拡散層の温度計測結果.....4-120
図 4.2-41　上部低拡散層のモルタル応力計測結果.....4-121
図 4.2-42　上部コンクリートピットの温度計測結果.....4-122
図 4.2-43　上部コンクリートピットの応力計測結果.....4-123
図 4.2-44　側部低拡散層の温度計測結果.....4-124
図 4.2-45　側部低拡散層の応力計測結果.....4-125
図 4.2-46　底部低拡散層の温度計測結果（1／2）.....4-127
図 4.2-47　底部低拡散層の温度計測結果（2／2）.....4-128
図 4.2-48　底部低拡散層のひずみ（空洞軸方向）計測結果.....4-129
図 4.2-49　底部低拡散層の応力計測結果.....4-130
図 4.2-50　BTV 観察の既存ひび割れと応力計設置位置の関係.....4-131
図 4.2-51　底部低透水層の間隙水圧計測結果.....4-133
図 4.2-52　地下水が浸入する場合の想定経路.....4-135

図 4.2-53　結露水が侵入する場合の想定経路 4-137
図 4.2-54　D 孔岩盤変位計位置図 4-140
図 4.2-55　間隙水圧計位置図 4-141
図 4.2-56　D孔岩盤変位計経時変化図 4-143
図 4.2-57　D 孔岩盤変位計経時分布 4-143
図 4.2-58　間隙水圧経時変化（A、B 孔） 4-144
図 4.2-59　間隙水圧経時変化（C、D、E 孔） 4-145
図 4.2-60　検討フロー 4-146
図 4.2-61　地震計設置位置 4-148
図 4.2-62　地震計設置状況 4-149
図 4.2-63　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 ... 4-153
図 4.2-64　x 方向の最大加速度比較 4-155
図 4.2-65　y 方向の最大加速度比較 4-155
図 4.2-66　z 方向の最大加速度比較 4-155
図 4.2-67　鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率（地震計①） 4-156
図 4.2-68　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） ... 4-156
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（2016 年 5 月 3 日）
..... 4-158
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（2016 年 5 月 24 日）
..... 4-159
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（2016 年 5 月 25 日）
..... 4-160
図 4.2-72　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（2016 年 7 月 16 日）
..... 4-161
図 4.2-73　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（2016 年 7 月 19 日）
..... 4-162
図 4.2-74　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（2016 年 7 月 24 日）
..... 4-163
図 4.2-75　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（2016 年 8 月 17 日）
..... 4-164
図 4.2-76　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（2016 年 9 月 26 日）
..... 4-165
図 4.2-77　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（2016 年 10 月 3 日）
..... 4-166
図 4.2-78　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(2016 年 11 月 12 日）
..... 4-167
図 4.2-79　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(2016 年 11 月 22 日）
..... 4-168
図 4.2-80　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(2016 年 11 月 23 日）

..... 4-169
図 4.2-81　コンクリート重力ダムの固有周期と堤高の関係[6] 4-170
図 4.2-82　試験空洞と KiK-net 六ヶ所の位置関係 4-171
図 4.2-83　KiK-net 六ヶ所のボーリング柱状図[7] 4-172
図 4.2-84　KiK-net 六ヶ所と試験空洞の方位 4-173
図 4.2-85　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 5 月 3 日） 4-174
図 4.2-86　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 5 月 24 日） 4-175
図 4.2-87　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 5 月 25 日） 4-176
図 4.2-88　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 7 月 16 日） 4-177
図 4.2-89　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 7 月 19 日） 4-178
図 4.2-90　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 7 月 24 日） 4-179
図 4.2-91　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 8 月 17 日） 4-180
図 4.2-92　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 9 月 26 日） 4-181
図 4.2-93　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 10 月 3 日） 4-182
図 4.2-94　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 11 月 12 日） 4-183
図 4.2-95　KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016 年 11 月 22 日） 4-184
図 4.2-96　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） 4-186
図 4.2-97　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） 4-187
図 4.2-98　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 5 月 3 日） 4-189
図 4.2-99　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 5 月 24 日） 4-190
図 4.2-100　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 5 月 25 日） 4-191
図 4.2-101　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 7 月 16 日） 4-192
図 4.2-102　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 7 月 19 日） 4-193
図 4.2-103　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 7 月 24 日） 4-194
図 4.2-104　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 8 月 17 日） 4-195
図 4.2-105　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 9 月 26 日） 4-196
図 4.2-106　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 10 月 3 日） 4-197
図 4.2-107　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 11 月 12 日） 4-198
図 4.2-108　加速度のフーリエスペクトル（2016 年 11 月 22 日） 4-199
図 4.2-109　地震計①の y 方向の卓越振動数および最大加速度 4-202
図 4.2-110　地震諸元（上から震源距離、震源深さ、マグニチュード） 4-203
図 4.2-111　地震計①の y 方向のフーリエスペクトル 4-204
図 4.2-112　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） 4-206
図 4.2-113　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） 4-207
図 4.2-114　試験空洞および人工バリアの断面図 4-208
図 4.2-115　地震応答解析モデル（全体） 4-209
図 4.2-116　地震応答解析モデル（試験施設） 4-209
図 4.2-117　試験空洞近傍の地質構造（試験空洞縦断面） 4-210
図 4.2-118　地層分割図 4-214

図 4.2-119　埋戻し材（セメント系）の静弾性係数と材齢の関係 4-216
図 4.2-120　G/G_0～γとh～γの関係（埋戻し材（土質系））..... 4-217
図 4.2-121　G/G_0～γとh～γの関係（低透水層）..... 4-218
図 4.2-122　低拡散層の静弾性係数と材齢の関係..... 4-219
図 4.2-123　コンクリートピットの静弾性係数と材齢の関係..... 4-220
図 4.2-124　充填材の静弾性係数と材齢の関係 4-221
図 4.2-125　上部充填材の静弾性係数と材齢の関係 4-222
図 4.2-126　引戻し解析モデル..... 4-223
図 4.2-127　フィルタ処理（水平方向）..... 4-225
図 4.2-128　フィルタ処理（鉛直方向）..... 4-226
図 4.2-129　引戻し解析結果（水平方向）..... 4-228
図 4.2-130　引戻し解析結果（鉛直方向）..... 4-229
図 4.2-131　レーリー減衰の減衰定数と振動数の関係 4-231
図 4.2-132　試験施設の応答加速度（水平方向）..... 4-234
図 4.2-133　試験施設の応答加速度（鉛直方向）..... 4-235
図 4.2-134　ロッキングの影響を除いた相対変位の算出..... 4-236
図 4.2-135　試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）..... 4-237
図 4.2-136　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）
..... 4-238
図 4.2-137　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）
..... 4-238
図 4.2-138　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）
..... 4-239
図 4.2-139　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）
..... 4-239
図 4.2-140　コンクリートピットのせん断応力地震時増分（履歴最大）..... 4-240
図 4.2-141　コンクリートピットのせん断応力地震時増分（履歴最小）..... 4-240
図 4.2-142　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）
..... 4-241
図 4.2-143　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）
..... 4-241
図 4.2-144　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）
..... 4-242
図 4.2-145　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）
..... 4-242
図 4.2-146　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）..... 4-243
図 4.2-147　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）..... 4-243
図 4.2-148　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）..... 4-244
図 4.2-149　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）..... 4-244

図 4.2-150　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）..... 4-245
図 4.2-151　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）..... 4-245
図 4.2-152　低拡散層のせん断応力地震時増分（履歴最大）..... 4-246
図 4.2-153　低拡散層のせん断応力地震時増分（履歴最小）..... 4-246
図 4.2-154　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）..... 4-247
図 4.2-155　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）..... 4-247
図 4.2-156　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）..... 4-248
図 4.2-157　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）..... 4-248
図 4.2-158　低拡散層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 4-249
図 4.2-159　低拡散層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）..... 4-249
図 4.2-160　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）..... 4-250
図 4.2-161　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）..... 4-250
図 4.2-162　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）..... 4-251
図 4.2-163　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）..... 4-251
図 4.2-164　低透水層のせん断応力地震時増分（履歴最大）..... 4-252
図 4.2-165　低透水層のせん断応力地震時増分（履歴最小）..... 4-252
図 4.2-166　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）..... 4-253
図 4.2-167　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）..... 4-253
図 4.2-168　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）..... 4-254
図 4.2-169　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）..... 4-254
図 4.2-170　低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 4-255
図 4.2-171　低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）..... 4-255
図 4.2-172　低透水層の最大せん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 4-256
図 4.2-173　低透水層の最大せん断ひずみレベル..... 4-256
図 4.2-174　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）..... 4-257
図 4.2-175　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）..... 4-257
図 4.2-176　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）..... 4-258
図 4.2-177　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）..... 4-258
図 4.2-178　埋戻し材のせん断応力地震時増分（履歴最大）..... 4-259
図 4.2-179　埋戻し材のせん断応力地震時増分（履歴最小）..... 4-259
図 4.2-180　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）..... 4-260
図 4.2-181　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）..... 4-260
図 4.2-182　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）..... 4-261
図 4.2-183　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）..... 4-261
図 4.2-184　埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 4-262
図 4.2-185　埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）..... 4-262
図 4.2-186　埋戻し材の最大せん断ひずみの地震時増分（履歴最大）..... 4-263
図 4.2-187　埋戻し材の最大せん断ひずみレベル..... 4-263
図 4.2-188　試験施設の最大加速度分布の比較 4-265

図 4.2-189　フーリエスペクトル比較（水平方向） 4-266
図 4.2-190　フーリエスペクトル比較（鉛直方向） 4-267
図 4.2-191　試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）【再掲】 4-269
図 4.2-192　水平方向の相対変位最大時刻の変形図（変形倍率 10000 倍） 4-270
図 4.2-193　入力地震動のフーリエスペクトル 4-271
図 4.2-194　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） 4-273
図 4.2-195　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） 4-273
図 4.2-196　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） 4-274
図 4.2-197　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） 4-274
図 4.2-198　試験施設のせん断応力地震時増分（履歴最大） 4-275
図 4.2-199　試験施設のせん断応力地震時増分（履歴最小） 4-275

表目次

【第 1 章】

表 1.3-1　平成 28 年度検討委員会実施経緯 1-3
表 1.3-2　平成 28 年度の実施工程表 1-4
表 1.3-3　機能確認試験計の前提条件の整理 1-5
表 1.3-4　光ファイバセンサーを用いた機能確認試験計画（案） 1-6
表 1.3-5　既設計測機器の活用方法 1-6
表 1.3-6　光ファイバの劣化促進条件 1-15
表 1.3-7　光ファイバの供試体 1-16

【第 2 章】

表 2.1-1　試験施設と技術課題との関係 2-2
表 2.2-1　計測項目案（新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画①） 2-9
表 2.2-2　試験工程案（新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画①） 2-9
表 2.2-3　計測項目案（新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画②） 2-14
表 2.2-4　計測項目案（新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画②） 2-14
表 2.2-5　試験工程案（新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画②） 2-15
表 2.3-1　計測項目案（新規試験施設（地下模擬処分施設）を製作・設置する試験計画） 2-19
表 2.3-2　試験工程案（新規試験施設（地下模擬処分施設）を製作・設置する試験計画） 2-20
表 2.4-1　試験工程案（既存の実規模模擬施設をそのまま活用①） 2-23
表 2.4-2　計測項目案（既存の実規模模擬施設をそのまま活用②） 2-29
表 2.4-3　試験工程案（既存の実規模模擬施設をそのまま活用②） 2-29
表 2.4-4　計測項目一覧（既存の実規模模擬施設をそのまま活用③） 2-31
表 2.4-5　試験工程（既存の実規模模擬施設をそのまま活用③） 2-32
表 2.5-1　計測項目案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用①） 2-35
表 2.5-2　試験工程案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用①） 2-35
表 2.5-3　計測項目案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用②） 2-37
表 2.5-4　試験工程案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用②） 2-37
表 2.5-5　計測項目案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用③） 2-40
表 2.5-6　試験工程案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用③） 2-40
表 2.6-1　既設計測機器一覧（H19 年度～H26 年度） 2-43
表 2.6-2　試験施設構成部材の計測項目と計測方法 2-44
表 2.6-3　坑内環境および周辺岩盤の計測機器仕様 2-48
表 2.6-4　埋戻し材の計測機器仕様 2-49
表 2.6-5　低透水層の計測機器仕様 2-50
表 2.6-6　低拡散層の計測機器仕様 2-51

表 2.6-7　コンクリートピットの計測機器仕様 2-52
表 2.6-8　充てん材の計測機器仕様 2-52
表 2.6-9　グラフ中のイベント名称 2-53
表 2.6-10　計測機器の現状の整理項目 2-64
表 2.6-11　各部材の計測機器の現状整理図表の対応 2-65
表 2.6-12　坑内環境の計測機器の現状一覧 2-66
表 2.6-13　周辺岩盤内の岩盤変位計の現状一覧 2-66
表 2.6-14　周辺岩盤内の間隙水圧計の現状一覧 2-67
表 2.6-15　底部埋戻し材の計測機器の現状一覧 2-68
表 2.6-16　側部埋戻し材の計測機器の現状一覧（1/2） 2-69
表 2.6-17　側部埋戻し材の計測機器の現状一覧（2/2） 2-70
表 2.6-18　奥部埋戻し材の計測機器の現状一覧 2-71
表 2.6-19　上部埋戻し材の計測機器の現状一覧 2-71
表 2.6-20　底部低透水層の計測機器の現状一覧 2-72
表 2.6-21　側部低透水層の計測機器の現状一覧 2-72
表 2.6-22　上部低透水層の計測機器の現状一覧 2-72
表 2.6-23　底部低拡散層の計測機器の現状一覧 2-73
表 2.6-24　側部低拡散層の計測機器の現状一覧 2-74
表 2.6-25　上部低拡散層の計測機器の現状一覧 2-75
表 2.6-26　底部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 2-76
表 2.6-27　側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧（1/2） 2-77
表 2.6-28　側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧（2/2） 2-78
表 2.6-29　手前部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 2-79
表 2.6-30　上部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 2-80
表 2.6-31　充てん材の計測機器の現状一覧 2-80
表 2.6-32　既設計測機器の活用方法 2-91

【第 3 章】

表 3.1-1　CODE_BRIGHT の主な適用プロジェクト 3-14
表 3.1-2　適用される構成則、平衡則と適用範囲 3-16
表 3.1-3　B 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 3-23
表 3.1-4　2 相流パラメータ（その１） 3-29
表 3.1-5　2 相流パラメータ（その２） 3-30
表 3.1-6　低透水層に用いる力学物性値 3-33
表 3.1-7　廃棄体間充てん材の諸元 3-36
表 3.1-8　廃棄体間充てん材に用いる力学物性値 3-36
表 3.1-9　上部充てん材に用いる力学物性値 3-36
表 3.1-10　コンクリートピットに用いる力学物性値 3-37
表 3.1-11　低拡散層に用いる力学物性値 3-37

表 3.1-12　埋め戻し材（土質系材料）に用いる力学物性値 3-38
表 3.1-13　埋め戻し材（セメント系材料）に用いる力学物性値 3-38
表 3.1-14　支保工の諸元および物性値 3-39
表 3.1-15　均しコンクリートの力学物性値 3-39
表 3.1-16　力学物性値一覧（セメント系部材） 3-40
表 3.1-17　解析ケース一覧 3-41
表 3.1-18　低透水層の物性（変更値） 3-68
表 3.1-19　解析用物性値一覧 3-82
表 3.1-20　検討ケース一覧 3-89
表 3.1-21　検討結果一覧 3-94
表 3.1-22　施工目地の目開き量算出結果（case-1） 3-148
表 3.1-23　施工目地の目開き量算出結果（case-2） 3-149
表 3.1-24　施工目地の目開き量算出結果（case-3） 3-150
表 3.1-25　施工目地の目開き量算出結果（case-4） 3-151
表 3.1-26　施工目地の目開き量算出結果（case-5） 3-152
表 3.1-27　施工目地の目開き量算出結果（case-6） 3-153
表 3.1-28　施工目地の目開き量算出結果（case-7） 3-154
表 3.1-29　施工目地の目開き量算出結果（case-8） 3-155
表 3.1-30　施工目地の目開き量算出結果（case-9） 3-156
表 3.1-31　施工目地の目開き量算出結果（case-10） 3-157
表 3.1-32　施工目地の目開き量算出結果（case-11） 3-158
表 3.1-33　施工目地の目開き量算出結果（case-12） 3-159
表 3.1-34　施工目地の目開き量算出結果（case-13） 3-160
表 3.1-35　施工目地の目開き量算出結果（case-14） 3-161
表 3.1-36　施工目地の目開き量算出結果（case-15） 3-162
表 3.1-37　施工目地の目開き量算出結果（case-16） 3-163
表 3.1-38　施工目地の目開き量算出結果（case-17） 3-164
表 3.1-39　施工目地の目開き量算出結果（case-18） 3-165
表 3.1-40　施工目地の目開き量算出結果（case-19） 3-166
表 3.1-41　施工目地の目開き量算出結果（case-20） 3-167
表 3.1-42　施工目地の目開き量算出結果（case-21） 3-168
表 3.1-43　施工目地の目開き量算出結果（case-22） 3-169
表 3.1-44　施工目地の目開き量算出結果（case-23） 3-170
表 3.1-45　施工目地の目開き量算出結果（case-24） 3-171
表 3.1-46　施工目地の目開き量算出結果（case-25） 3-172
表 3.1-47　施工目地の目開き量算出結果（case-26） 3-173
表 3.1-48　施工目地の目開き量算出結果（case-27） 3-174
表 3.1-49　施工目地の目開き量算出結果（case-28） 3-175
表 3.1-50　施工目地の目開き量算出結果（case-29） 3-176

表 3.1-51　施工目地の目開き量算出結果（case-30） 3-177
表 3.1-52　施工目地の目開き量算出結果（case-31） 3-178
表 3.1-53　施工目地の目開き量算出結果（case-32） 3-179
表 3.2-1　光ファイバのサンプル 3-181
表 3.2-2　各タイプの光ファイバ仕様 3-183
表 3.2-3　劣化促進パラメータ 3-184
表 3.2-4　恒温槽仕様 3-185
表 3.2-5　ガンマ線照射装置仕様 3-186
表 3.2-6　光ファイバセンサー仕様 3-193
表 3.2-7　検証パラメーター一覧 3-195
表 3.3-1　A_{cp1}、C_{1ca}、n の入力値 3-201
表 3.3-2　解析ケース 3-205
表 3.3-3　地下水組成 3-209
表 3.3-4　岩盤に関する物性値 3-210
表 3.3-5　セメント系人工バリアの概要一覧 3-210
表 3.3-6　セメント系人工バリアの構成材料 3-211
表 3.3-7　セメントおよびフライアッシュの化学成分 3-211
表 3.3-8　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） 3-211
表 3.3-9　コンクリートの配合（吹付けコンクリート） 3-211
表 3.3-10　モルタルの配合（低拡散層） 3-212
表 3.3-11　セメント系材料の設定値 3-212
表 3.3-12　ベントナイト間隙水のイオン組成 3-212
表 3.3-13　ベントナイト系材料の設定値 3-212
表 3.3-14　アウトプット項目 3-213
表 3.3-15　透水係数および拡散係数の出力接点（Case1） 3-223
表 3.3-16　各部材の解析結果（透水係数、Case1） 3-225
表 3.3-17　各部材の解析結果（拡散係数、Case1） 3-225
表 3.3-18　透水係数および拡散係数の出力接点（Case2） 3-233
表 3.3-19　各部材の解析結果（透水係数、Case2） 3-235
表 3.3-20　各部材の解析結果（拡散係数、Case2） 3-235
表 3.3-21　Case1 における施設の状態の検討結果 3-240
表 3.3-22　Case2 における施設の状態の検討結果 3-241
表 3.4-1　吹付けコンクリートの材料一覧 3-303
表 3.4-2　吹付けコンクリートの配合 3-304
表 3.4-3　吹付けコンクリートの配合（鋼繊維入り） 3-304
表 3.4-4　分析項目 3-308
表 3.4-5　各コアの分析項目 3-309
表 3.4-6　吹付けコンクリートの圧縮強度 3-312
表 3.4-7　施工時における圧縮強度試験の結果 3-313

表 3.4-8　吹付けコンクリートの静弾性係数 3-314
表 3.4-9　同定された物質の一覧（L-4） 3-317
表 3.4-10　同定された物質の一覧（R-5） 3-320
表 3.4-11　試験結果一覧 3-342

【第 4 章】

表 4.1-1　既設計器一覧 4-1
表 4.1-2　回収データの仕様 4-3
表 4.1-3　使用機器一覧 4-7
表 4.1-4　計測坑 A の計測作業結果 4-7
表 4.1-5　計測坑 B-1 孔②、④区間の測定結果 4-8
表 4.1-6　計測坑 C-1 孔の測定結果 4-10
表 4.1-7　試験空洞（D-①、D-④、D-⑥、E-①、E-④、E-⑤）の計測作業結果 4-12
表 4.1-8　調査方法の概要 4-15
表 4.1-9　対象部位のひび割れ調査履歴 4-16
表 4.1-10　センサの仕様 4-40
表 4.1-11　計測データ整理対象項目 4-43
表 4.1-12　静的計測計器点検判定基準一覧表 4-52
表 4.1-13　間隙水圧計の仕様（計測坑 A、C および試験空洞 D、E） 4-54
表 4.1-14　間隙水圧計の仕様（計測坑 B） 4-54
表 4.1-15　圧力校正器の仕様 4-55
表 4.1-16　現地点検作業の実施状況 4-57
表 4.1-17　間隙水圧計の点検結果まとめ 4-70
表 4.1-18　平成 27 年度の換算係数 4-71
表 4.1-19　データ模擬入力による点検結果 4-73
表 4.1-20　設置機器数量 4-74
表 4.1-21　計測器の仕様 4-74
表 4.1-22　絶縁抵抗値測定結果（現場計測室） 4-79
表 4.1-23　絶縁抵抗値測定結果（スイッチボックス） 4-79
表 4.2-1　底部低透水層の上載荷重一覧 4-89
表 4.2-2　最大土圧一覧（H27 年 2 月 1 日～H28 年 2 月 10 日） 4-93
表 4.2-3　最大沈下量一覧（H28 年 2 月 1 日～H28 年 11 月 24 日） 4-96
表 4.2-4　概算結果 4-116
表 4.2-5　水の溜まりの原因・侵入経路（推定） 4-138
表 4.2-6　間隙水圧計計測区間一覧 4-141
表 4.2-7　設置位置選定根拠 4-148
表 4.2-8　地震計の仕様 4-149
表 4.2-9　回収データの仕様 4-150
表 4.2-10　地震動一覧 4-151

表 4.2-11　観測地震動の最大加速度一覧 4-154
表 4.2-12　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） ... 4-156
表 4.2-13　試験施設の 3 次元的構造の特徴 4-170
表 4.2-14　KiK-net 六ヶ所の詳細[7] 4-171
表 4.2-15　地震計①と KiK-net 六ヶ所の観測地震動の最大加速度一覧 4-185
表 4.2-16　地震諸元および観測データ（地震計①の y 方向）の整理 4-201
表 4.2-17　部材ごとの材料モデル 4-208
表 4.2-18　解析物性値一覧 4-211
表 4.2-19　引戻し解析に用いる地盤物性値 4-212
表 4.2-20　地盤物性値（修正 R-O モデルのパラメータ） 4-213
表 4.2-21　地震応答解析に用いる地盤物性値 4-214
表 4.2-22　支保工の諸元および物性値 4-215
表 4.2-23　解析に用いる支保工の物性値 4-215
表 4.2-24　埋戻し材（セメント系）の物性値 4-216
表 4.2-25　埋戻し材（土質系）の物性値 4-217
表 4.2-26　低透水層の物性値 4-218
表 4.2-27　低拡散層の物性値 4-219
表 4.2-28　コンクリートピットの物性値 4-220
表 4.2-29　充填材の物性値 4-221
表 4.2-30　上部充填材の物性値 4-222
表 4.2-31　均しコンクリートの物性値 4-222
表 4.2-32　固有値解析モデル 4-230
表 4.2-33　固有値解析結果 4-230
表 4.2-34　質量比例係数 α と剛性比例係数 β 4-231
表 4.2-35　図化項目一覧 4-232
表 4.2-36　解析結果一覧 4-233
表 4.2-37　最大加速度一覧 4-265

第１章　全体概要

第1章　全体概要

1.1　本事業の背景と目的

1.1.1　試験の背景

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

このため、これら廃棄物については、廃棄物と公衆の離隔距離を確保し、かつ、長期にわたり放射性物質の移行抑制を図るための処分方法として、地下 50m 以深の地下空洞に内に圧縮ベントナイト等の人工バリアを備えた処分施設（以下、「地下空洞型処分施設」という。）を設置し、そこに埋設する方法が検討されてきている。

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

1.1.2　試験の目的

我が国においては、これまでの原子力発電の利用に伴って既に放射性廃棄物が発生しており、その処理処分対策を着実に進める必要がある。発電所廃棄物や TRU 廃棄物（地層処分相当の廃棄物を除く）等の低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分は、地下 50m 以深の大断面の地下空洞型処分施設における処分を概念とした検討が行われてきている。

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

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

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

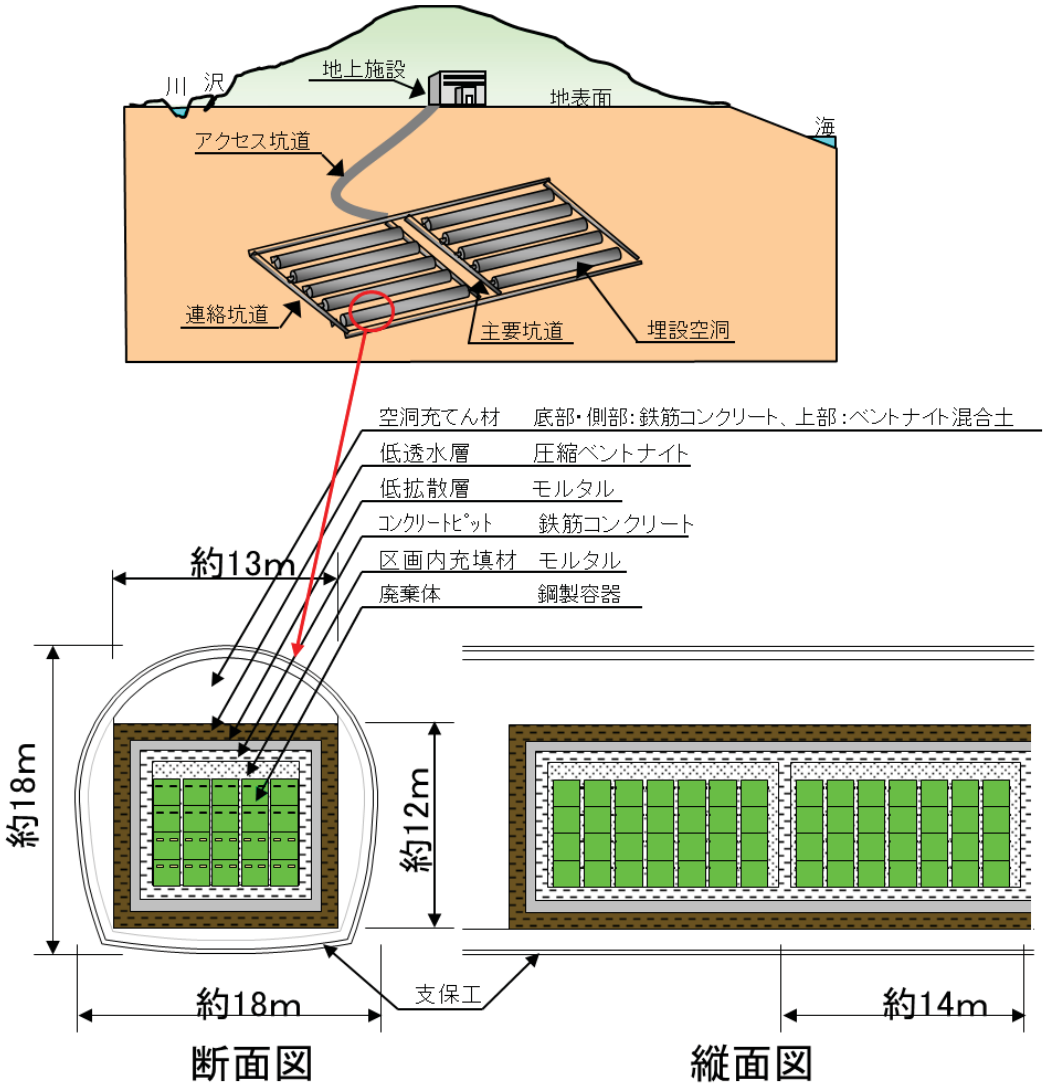


図 1.1-1　地下空洞型処分施設の概念図[2]

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の見通しを得るためのモニタリング技術やその方法論の確立に向けた試験を実施するものである。

本事業では、国内外の既往研究成果等の調査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、機能確認試験に係わ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 28 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 28 年度の検討の経緯は表 1.3-1 に示す。

表 1.3-1　平成 28 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 28 年 7 月 7 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	● H28 年度実施計画のレビュー ・前提条件の整理 ・モニタリングすべき項目の抽出 ・技術開発課題　等
第 2 回 平成 28 年 11 月 17 日	同上	● H28 年度中間成果のレビュー ・実施設挙動の評価 ・セメント系材料の化学的変質予測解析 ・セメント系材料の早期変質データ取得 ・光ファイバ耐久性評価
第 3 回 平成 29 年 2 月 23 日	同上	● H28 年度成果のレビュー

1.3.2　平成 28 年度の成果の概要

平成 28 年度の実施工程を表 1.3-2 に示す。平成 28 年度は、機能確認試験計画や機能確認試験設備の設計に資するため、既設の実規模施設での挙動計測では得られない、人工バリア（周辺岩盤を含む）の安全機能の変遷について、予察的な解析やラボ試験を検討・実施した。また、それらの検討結果も踏まえて、既設の実規模施設も活用した具体的な機能確認試験計画の詳細検討を実施した。さらに、過年度からの継続として、既設の実規模施設を等の挙動計測、地震観測及びコンクリートピット等のひび割れ観察を実施した。

以下に、平成 28 年度の成果の概要を紹介する。

表 1.3-2　平成 28 年度の実施工程表

試験項目等	平成 28 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				詳細計画・設備設計に資するラボ試験等の検討・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（連続）								
				ひび割れ観察 ▼			ひび割れ観察/BTV 観察 ▼					
				地震観測（連続），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

モニタリングの位置付けを踏まえ、モニタリングの前提条件、モニタリング項目及び技術開発課題について検討し、機能確認試験計画を策定した。また、既存施設の計測機器類及びデータの活用について検討した。

1) 機能確認試験計画の策定

埋設段階と保全段階期間中の埋設施設の主な状態変化は、埋設段階で不飽和状態となっていた岩盤が、埋設施設が埋戻されることで再び地下水で飽和し、地下水が徐々に埋設施設内に侵入すること（再冠水過程）である。余裕深度処分施設の閉鎖後の長期的な安定性の見通しを得るには、この状態変化の過程で、埋設施設の構造的安定性の想定外の早期低下や施設浸入水量の想定外の増加に繋がる兆候がないことを確認することが重要である。そこで、機能確認試験では、表 1.3-3 に示す前提条件の下、人工バリアのうち、再冠水過程で最も特性

が変化する低透水層に着目し、その特性変化が埋設施設へ与える可能性のある以下の事象の確認方法を確立することを目標とした。

- 低透水層の偏膨潤に伴う低拡散層・コンクリートピットのひび割れへの影響
- 低透水層の偏膨潤、密度低下に伴う埋設施設の構造的安定性への影響

表 1.3-3　機能確認試験計画の前提条件の整理

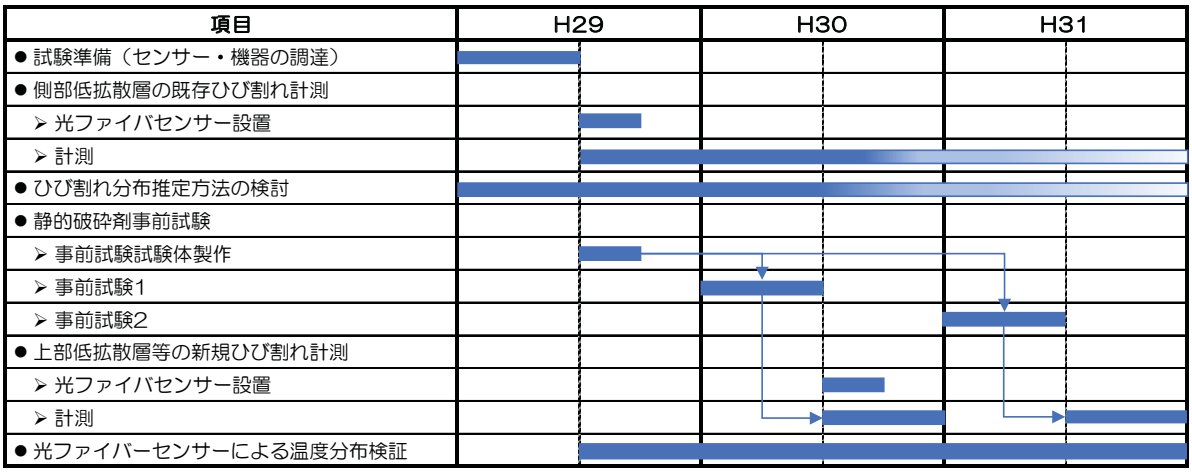
条件項目	内容
機能確認の目的	● 人工バリア等が設計通りに機能していることを確認する⇔異常の兆候を早期に検知する ● 人工バリア等の性能を評価するためのデータを提供する⇒安全評価の更新
時間軸	● 本業務では事業許可後、建設前後に開始するものを対象とする ● 主は「埋設段階」であり、可能であれば一部「保全段階」も実施する（最長 100 年程度）
対象部位	● 人工バリア（人工バリアの評価に必要であれば周辺岩盤）
適用施設	（これまでに十分な検討がされていない地下施設を対象） ● 実処分施設 ● 地下模擬処分施設
その他	● モニタリングにより、人工バリア等の性能/機能を阻害しないこと ● 人工バリア等の性能/機能に関わる主要/副次パラメータが直接/間接的に（リアルタイムで）取得できること

次に、前提条件や試験目標を達成するための技術としては、以下の観点に着目して、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。

- 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）

また、機能確認試験の実施施設としては、新規試験施設（地上施設）、新規試験施設（地下模擬施設）、既存の実規模施設（そのまま活用）及び既存の実規模施設（一部改造して活用）を想定した上で、個々について、技術課題解決に向けた取り組みが可能なこと、実処分施設/地下模擬処分施設での機能確認の見通しを直接的に確認できること、限られた試験期間の中で効率的に実施できること等を勘案し、実規模施設をそのまま活用することを前提に機能確認試験計画を策定した。（表 1.3-4 参照）

表 1.3-4　光ファイバセンサーを用いた機能確認試験計画（案）



2）既存施設の計測機器類及びデータの活用

既設計測機器の活用方法を表 1.3-5 に整理した。今年度の点検により、平成 19 年度～26 年度に設置した計測機器の 9 割以上が現在正常に稼働していることを確認した。現在稼働している計測機器に関しては、今後も計測を継続することにより、データの蓄積、計測機器の耐久性確認、新規計測機器設置時に周辺に与える影響確認及び既存の実規模施設を活用した試験におけるデータ取得に利用できると考えられる。

表 1.3-5　既設計測機器の活用方法

目　的	内　　容
データの蓄積	・ 実規模大の人工バリア施設における挙動計測の事例は少なく、取得されるデータは今後の研究開発にとって貴重なデータとなるため、計測を継続して行う。
計測機器の耐久性確認	・ 既設計測機器の耐久性を、稼働実績等により確認する。
新規計測機器設置時に周辺に与える影響確認	・ 新規計測機器を設置する際、場の乱れ等の影響を既設計測機器の計測値により確認する。
既存の実規模模擬試験施設を活用した試験におけるデータ取得	・ 現在計画している実規模模擬試験施設を活用した試験において、試験施設の挙動を既設計測機器で計測する。 ・ 新設する計測機器によって取得される計測結果と比較して、整合性の確認を行う。

(2) 機能確認の実現性確認

操業段階の埋設施設の主要な状態変化のシミュレーション解析、機能確認試験で利用を計画している光ファイバセンサー技術の耐久性試験、埋設施設浸入水量の増加要因となるセメント系材料の変質に関する解析・試験を実施した。これら解析・試験と機能確認試験との関係を図 1.3-1 に示す。

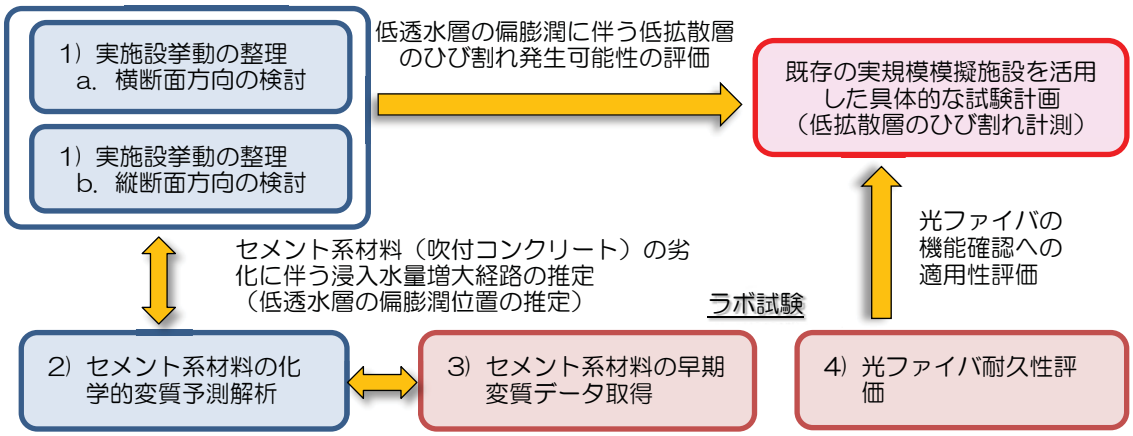


図 1.3-1　解析・試験と機能確認試験との関係

1）実施設挙動の整理

操業期間中（埋設段階及び保全段階）、埋設施設の構造的安定性の早期低下を引き起こす可能性のある事象として、再冠水に伴う低透水層の膨潤変形および膨潤圧によるセメント系材料への影響に着目し、以下のシミュレーション解析を実施した。

a．処分坑道横断面方向の解析的検討

再冠水時の低透水層の膨潤変形・膨潤圧挙動等について、全周から地下水が均等に施設に侵入するケース（参照ケース）、低透水層までの距離が短い埋設施設の底部１か所からのみ地下水が侵入し低透水層が偏膨潤するケース（比較ケース）について、施設に残留する気相の影響を考慮した解析を実施した。

参照ケースでは、上部と底部の低透水層では 20 年程度で飽和し、側部の低透水層では水の浸透距離が大きいため、上部や底部よりも時間的差異が確認されたが、数百年程度以内には低透水層全体が概ね飽和に至った（図 1.3-2 参照）。低透水層の乾燥密度分布は、上部については埋戻し材側へ膨張することから、初期よりも若干乾燥密度が低下する。ただし、低透水層を貫く形での乾燥密度の低下は見られない。底部については圧密の効果により乾燥密度は上昇することを確認した。

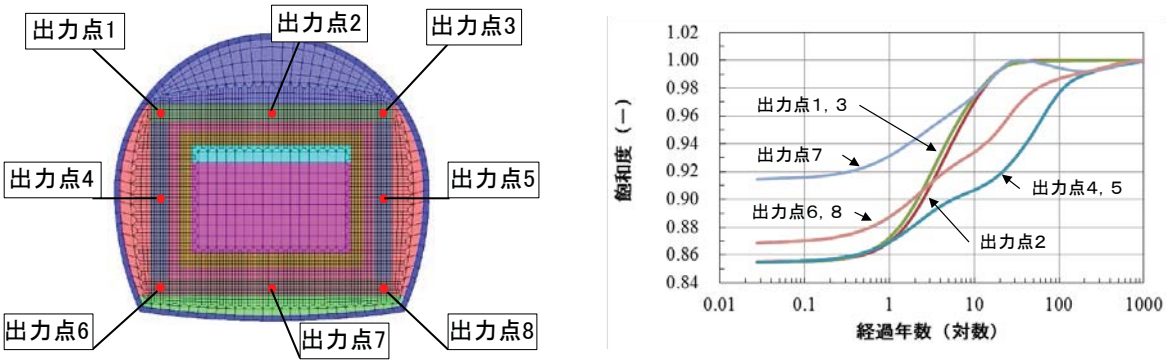
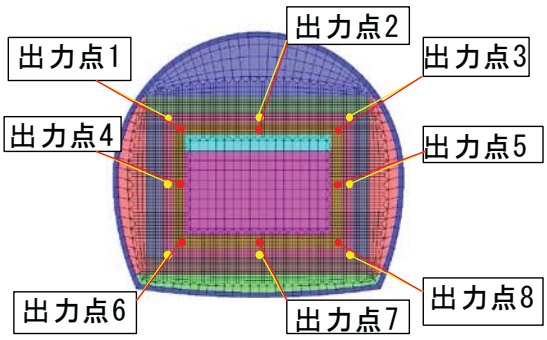


図 1.3-2　低透水層の飽和度経時変化

また、セメント系バリア（低拡散層、コンクリートピット）は、低透水層の膨潤に伴い全圧縮状態となり（図 1.3-3 参照）、引張応力状態となる部分は生じないこと、セメント系バリアにかかる圧縮応力（最大で 1.9MPa 程度）はセメント系バリアの圧縮強度（約 60MPa）に比べ十分小さいこと、セメント系バリアは不等沈下しないこと等を確認した。これらより、参照ケースでは、バリア性能が低下するような事象は生じないものと判断した。



（赤線：RC ピット出力点、黄線：低拡散層出力点）

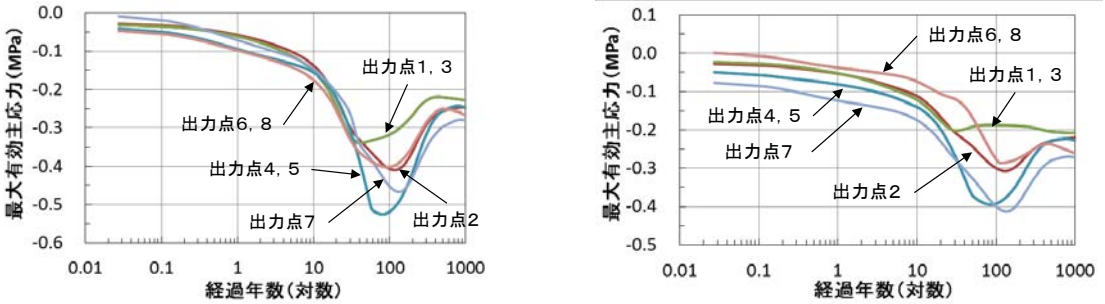


図 1.3-3　コンクリートピット（左図）、低拡散層（右図）の最大有効主応力の経時変化

比較ケースでは，低透水層の部位毎の膨潤圧の差が顕著となるよう、低透水層の乾燥密度を、管理値 1.6±0.1Mg/m³ の範囲内で、それぞれ上部 1.5Mg/m³、側部 1.6Mg/m³ 及び底部 1.7Mg/m³ と設定した。低透水層の飽和度の解析結果を図 1.3-4 に示す。参照ケースと同様、最終的に低透水層全体はほぼ飽和に至るが、低透水層上部は、上部埋戻し材とのサクション差が大きいため、低透水層底部より早く飽和する結果となった。なお、解析は、施設底部の地下水流入箇所の水圧（ガス圧）を 1.0MPa、それ以外の部分を不透水境界として取扱い、低透水層の長期間経過後の最終的な状態を解として求めているため、解析に時間の概念はないため、図中には、解析タイムの中で状況を切り抜いたコンターをそれぞれ「状態～」と言う名目で表示している。

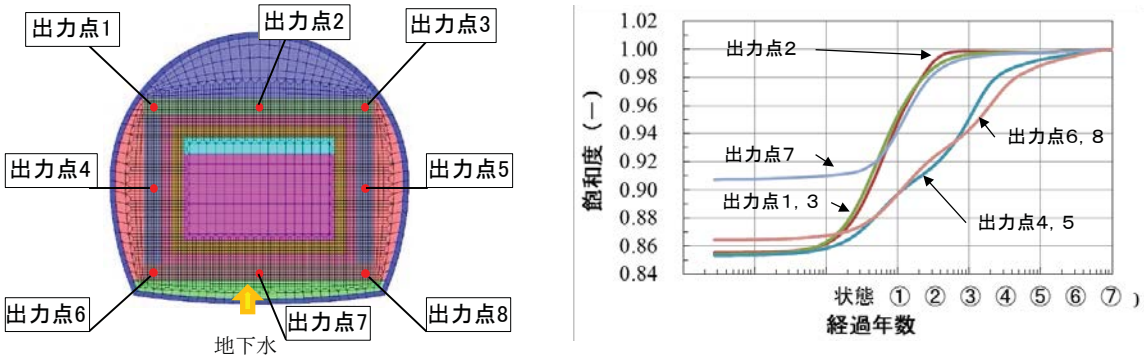
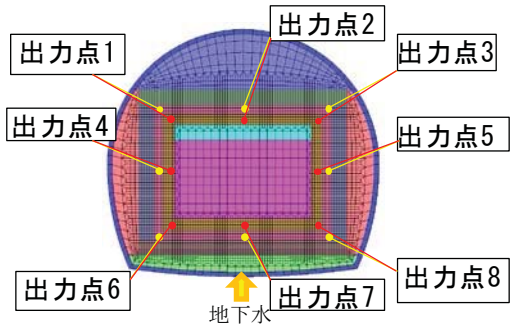


図 1.3-4　低透水層の飽和度経時変化

また、セメント系バリア（低拡散層、コンクリートピット）は、参照ケースと同様、低透水層の膨潤に伴い全圧縮状態となるが、セメント系部材が破壊に至るような応力変化は起こらないことを確認した。なお、比較ケースの参照ケースとの差異は、状態②③付近で偏膨潤による最大有効主応力の上昇が現れること（図 1.3-5）、底部低透水層の飽和により、セメント系バリアが、上方に 5cm 程度変位する可能性があること（図 1.3-6）である。



（赤線：RC ピット出力点，黄線：低拡散層出力点）

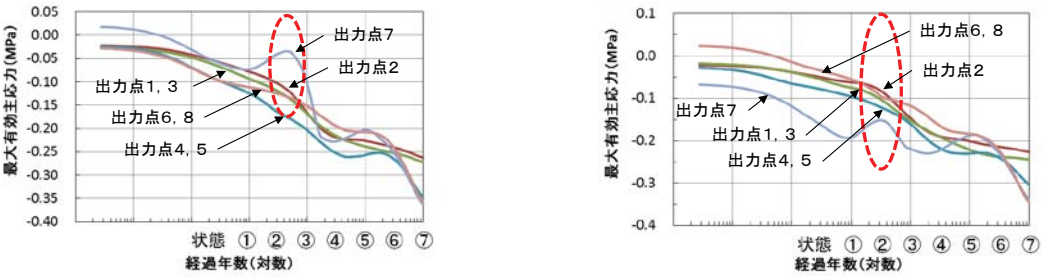


図 1.3-5　コンクリートピット（左図）、低拡散層（右図）の最大有効主応力の経時変化

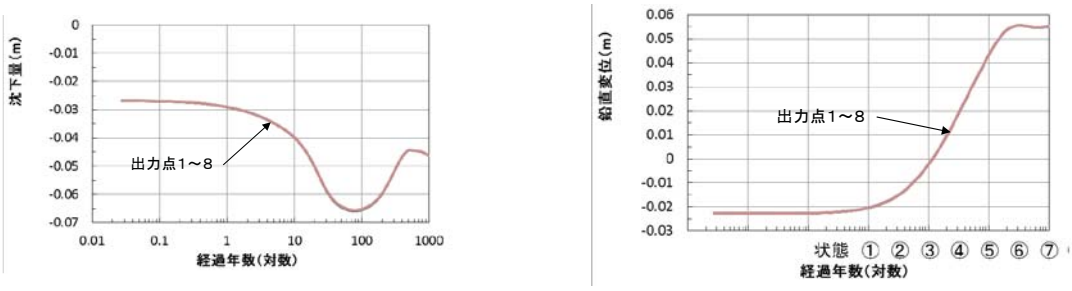


図 1.3-6　セメント系バリアの沈下量（参照ケース：左図、比較ケース：右図）

以上、処分坑道横断面方向の解析的検討では、参照ケース、比較ケース共に、バリア性能の低下に繋がる可能性のある挙動は確認されなかった。ただし、比較ケースでは、低透水層底部の膨潤によりセメント系バリアが上方に 5cm 程度変位する可能性が示唆されたことから、次項で、処分坑道縦断面方向の解析的検討により、低透水層の偏膨潤によるセメント系バリアへの影響を評価した。

b．処分坑道縦断面方向の解析的検討

1 区画（15m）毎に分割打設され、施工目地を有する総延長 120m のセメント系バリア（低拡散層、コンクリートピット）を対象に、前述の処分坑道横断面方向の解析的検討結

果や後述のセメント系材料の化学的変質のシミュレーション解析結果を踏まえ、二次元骨組み解析により、底部低透水層または側部低透水層（片側のみ）が局所的に膨潤した場合の低拡散層に生じる引張応力、施工目地の目開き量を評価した。

その結果、引張応力については、偏膨潤する低透水層の乾燥密度が管理値（1.6±0.1Mg/m³）の上限値の 1.7Mg/m³、偏膨潤に抵抗する側の低透水層の地盤反力係数を算定する変形係数が試験値の最小値の 30MN/m²、偏膨潤位置が処分坑道中心の場合には、偏膨潤する範囲が 10m であっても普通コンクリートに適用可能な引張強度算定式で算出した低拡散層の引張強度（3.53N/mm²）を上回る場合があり、さらに、30m、60m の場合には、確証試験で得られた低拡散層の引張強度（4.44N/mm²）を超える引張応力度が発生し、ひび割れが発生する可能性があることが確認された（図 1.3-7 参照）。

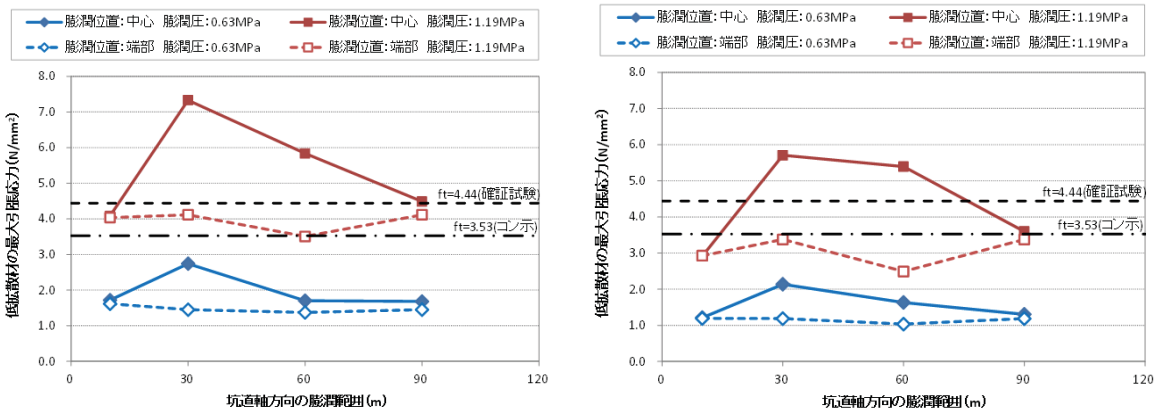


図 1.3-7　膨潤範囲と最大引張応力の関係（左：底部膨潤、右：側部膨潤）

また、施工目地の目開き量については、低透水層の乾燥密度が 1.7Mg/m³、偏膨潤圧に抵抗する側の低透水層の変形係数が 30MN/m²、底部低透水層の偏膨潤位置が処分坑道中心の場合に、上面の目開き量の合計が 12mm 程度（膨潤範囲 90m）、1 目地当たりの最大目開き量が 3mm 程度（膨潤範囲 30～60m）生じる可能性があることが確認された（図 1.3-8 参照）。

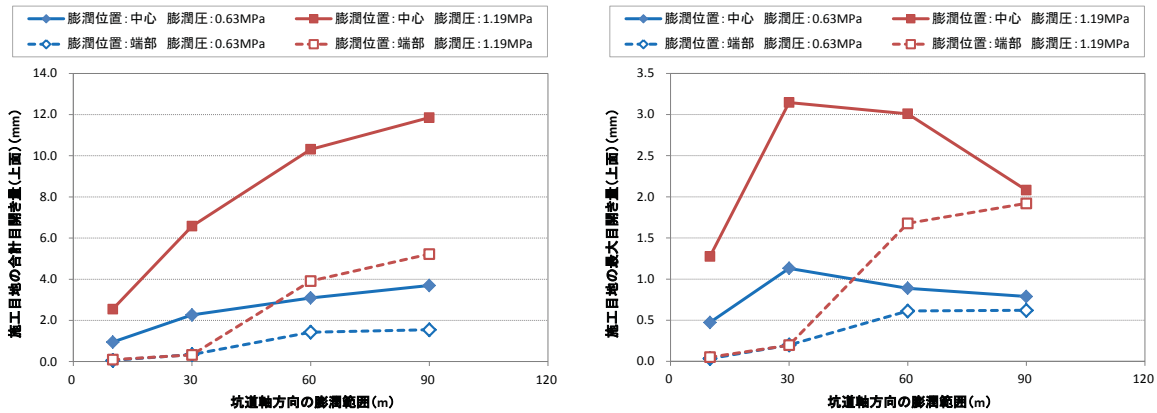


図 1.3-8　膨潤範囲と施工目地目開き量（上面）の関係（底部膨潤）

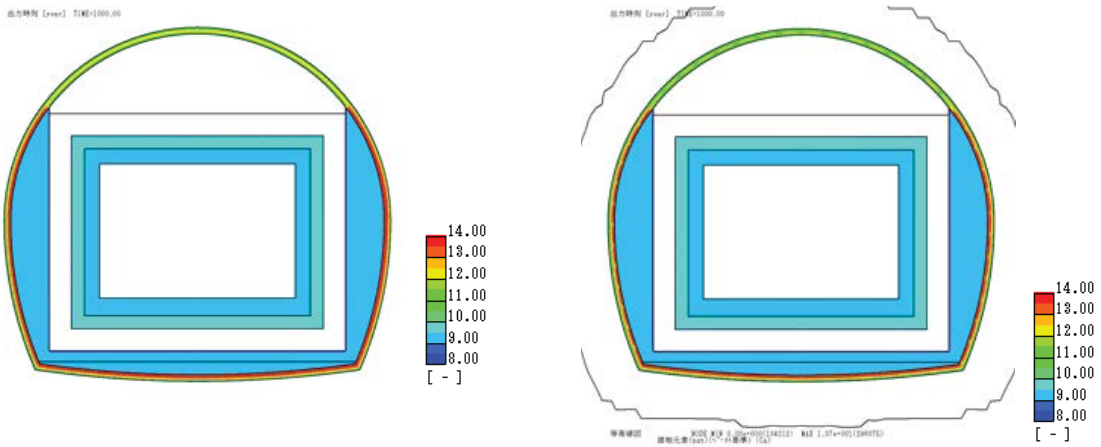
2）低濃度硫酸塩によるセメント系材料の化学的変質のシミュレーション解析

低透水層の偏膨潤や埋設施設浸入水量の増加等に繋がる、吹付けコンクリートの強度低下や空隙増大の可能性等を確認するため、吹付けコンクリートを含むセメント系材料について、埋設及び保全段階を含む 1,000 年程度の期間を対象に、その特性変化について解析を実施した。解析では、EDZ、吹付けコンクリートの水みち（ひび割れ）及び高硫酸イオン濃度の地下水を考慮しないケース（ケース 1）とそれらを考慮するケース（ケース 2）について実施した。

その結果、ケース 1 では、側部埋戻し材と比較し、Ca 濃度が低く、かつ、拡散係数・透水係数の大きい上部埋戻し材（土質系材料）と接しているアーチ部の吹付けコンクリートで、Ca の拡散・移行が相対的に促進され、300 年時点以降、固相 Ca 濃度の低下が見られ、1,000 年時点で初期の透水係数（1.0×10^{-12}m/s）、拡散係数（5.0×10^{-12}m^2/s）がそれぞれ 2 倍程度まで増加することが確認された。しかし、1,000 年時点においても、セメント系材料と接する側部および底部の吹付けコンクリートでは顕著な固相 Ca 濃度低下はなく、側部埋戻し材、底部埋戻し材、低透水材の内側に位置する低拡散材およびコンクリートピットでは固相 Ca 濃度の低下は確認されなかった。

また、ケース 2 では、EDZ、ひび割れを考慮したことで、上部埋戻し材と接する吹付けコンクリートの固相 Ca 濃度はケース 1 以上に低下し、1,000 年時点で初期の透水係数、拡散係数がそれぞれ 3 倍程度まで増加することが確認された。しかし、ケース 1 と同じく、1,000 年後の時点においても、側部埋戻し材、底部埋戻し材、低透水材の内側に位置する低拡散材およびコンクリートピットについては、固相 Ca 濃度の低下は確認されなかった。なお、吹付けコンクリートのひび割れに沿ってエトリンガイトが沈殿すること、低拡散材の隅角部で硫酸イオンの浸透深さが大きくなることを確認した（図 1.3-9 参照）。

以上より、上部埋戻し材と接する吹付けコンクリート部で地下水が卓越して浸入し、変質が進行すると考えられることから、偏膨潤は低透水層の上部隅角部で比較的生じやすいと考えられる。



ケース 1　　ケース 2

図 1.3-9　固相 Ca 濃度の推移(1,000 年経過後)

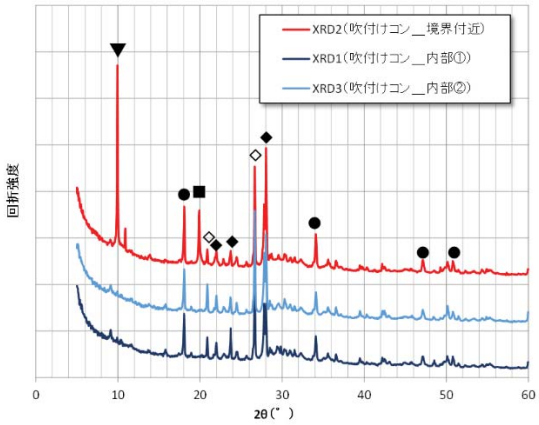
3）解析精度向上に資するセメント系材料の早期変質データの取得

試験空洞の吹付けコンクリートは、施工から 12 年程度経過しており、地下水との接触により化学的変質が進行し、性能が低下している可能性がある。このため、セメント系材料の低透水性及び低拡散性の評価に資するデータ取得等を目的に、吹付けコンクリートのコアを採取し、その分析を実施した。

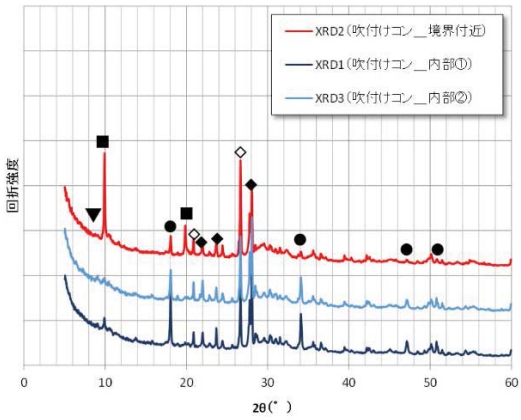
その結果、吹付けコンクリートの圧縮強度は、コア 6 本の平均で 58MPa 以上を示し、設計基準強度の 36MPa を十分担保していることを確認した。また、吹付けコンクリートの化学的変質は、吹付けコンクリートと岩盤の XRD、EPMA 分析等から、接触する岩盤の拡散係数に依存する可能性があるものと考えられた。（図 1.3-10、図 1.3-11 参照）

- ✧ 実規模施設の左側サンプル：Ca イオンの溶脱範囲は狭く（約 20mm）、硫酸イオンが界面で濃縮されることで、エトリンガイトやモノサルフェートが生成される。（岩盤の拡散係数が相対的に小さい）
- ✧ 実規模施設の右側サンプル Ca イオンの溶脱範囲が広く（約 60mm）、硫酸イオンは界面で濃縮されず、岩盤内まで到達し、エトリンガイトの生成は見られない。（岩盤の拡散係数が相対的に大きい）

また、吹付けコンクリートの空隙率変化については、実規模施設の左側サンプルでは、溶脱範囲と内部で空隙率の差は認められなかったが、実規模施設の右側サンプルでは、溶脱範囲の空隙率の増加が認められた。



コアサンプル（実規模施設の左側）



コアサンプル（実規模施設の右側）

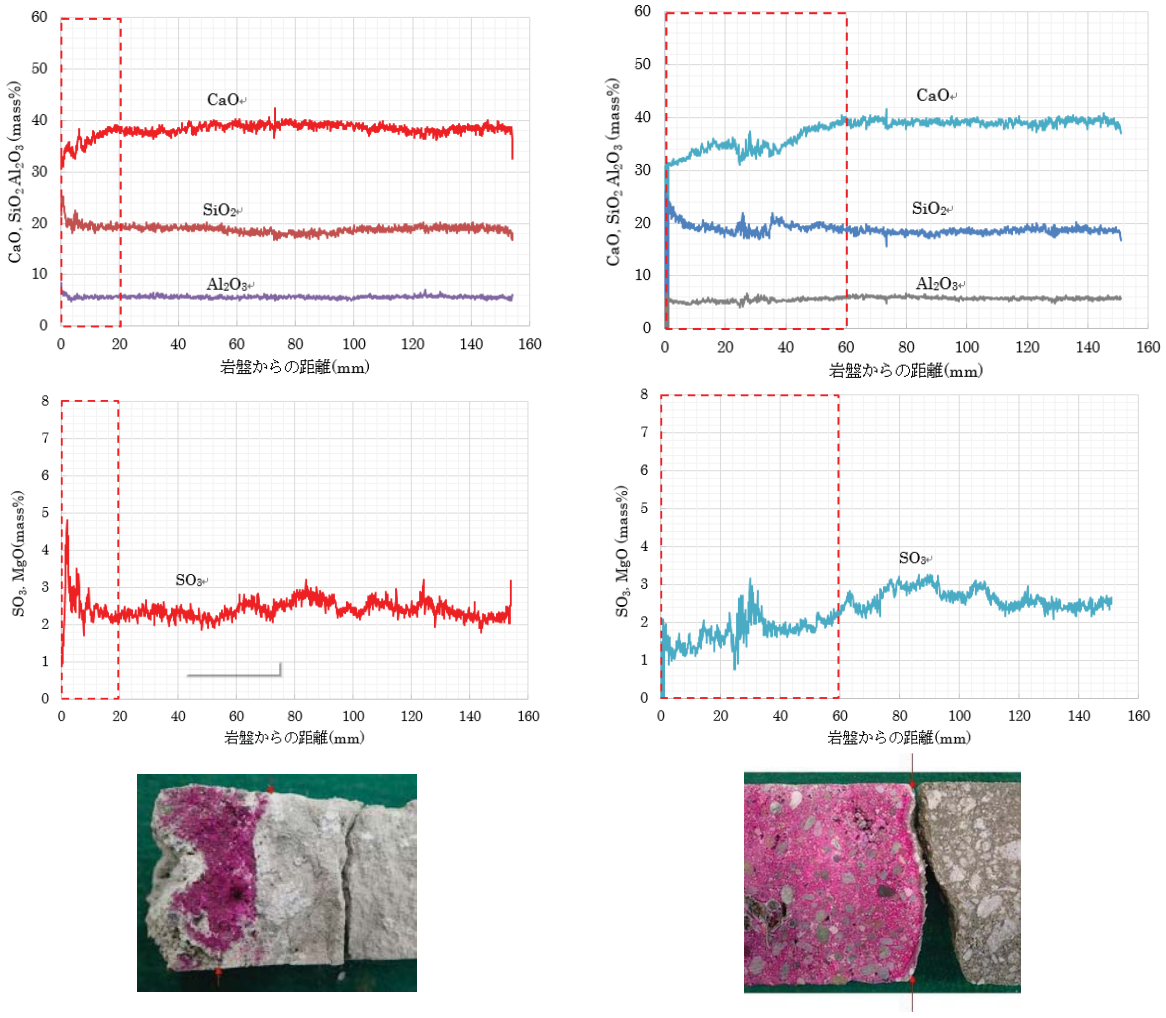
凡例

◇：石英、◆：長石類

●：ポルトランダイト（$Ca(OH)_2$）、▼：エトリンガイト、■：モノサルフェート、

Mc：モノカーボネート、CC：カルサイト（$CaCO_3$）

図 1.3-10　吹付けコンクリートのコアの XRD 測定結果



コアサンプル（実規模施設の左側）　　コアサンプル（実規模施設の右側）

図 1.3-11　吹付けコンクリートのコアの EPMA 測定結果

なお、12 年後の Ca 溶脱深さについてはコア分析結果と解析結果間である程度の一致が見られたが、岩盤の状態に応じて溶脱の進行状況に差が認められたため、解析精度向上には、岩盤の拡散係数や地下水の流れに関して、さらに精緻化する必要があることを確認した。

4）光ファイバセンサー技術の耐久性評価

光ファイバセンサーの機能確認試験に向けた開発のステップ（案）を図 1.3-12 に示す。今年度は、このうち、光ファイバセンサーの耐久性試験に着手するとともに、光ファイバセンサーによる圧力測定に向けた予備検討を実施した。

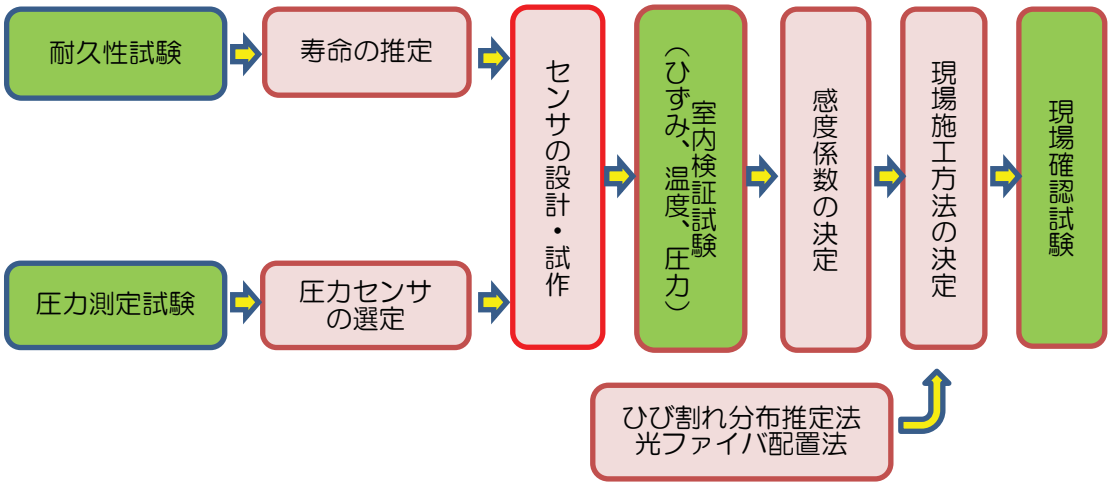


図 1.3-12　光ファイバセンサーの機能確認試験に向けた開発のステップ（案）

a. 光ファイバセンサーの耐久性試験

光ファイバセンサーの埋設施設への適用を検討するため、表 1.3-6 に示す、埋設施設で想定される塩分・高 pH・放射線の各環境下で光ファイバセンサーの劣化を促進させ、その機械的・光学的特性の変化を評価するための試験計画を立案した。ここで、試験に供する光ファイバは、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ものを市販品の中から選定した（表 1.3-7 参照）。

表 1.3-6　光ファイバの劣化促進条件

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（pH12～13）に浸漬（60℃）	10 日	50 日	100 日
放射線	200Gy/h を照射	5h	25h	50h

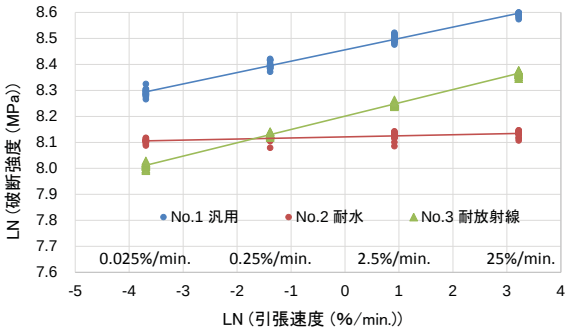
表 1.3-7　光ファイバの供試体

No.	タイプ	メーカ	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

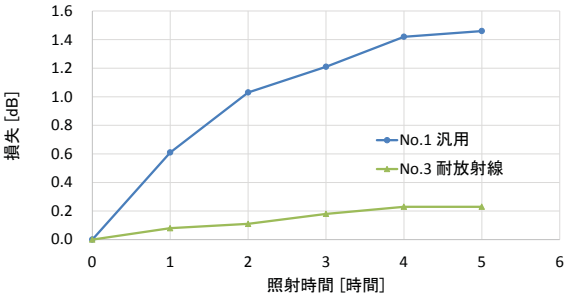
劣化促進前における動的疲労試験結果（各サンプルとも合計 70 回程度の試験を実施）を図 1.3-13 に示す。光ファイバを構成する石英ガラス表面に対する処理が最低限に抑えられていることから、No.1（汎用）の光ファイバが最も機械的強度に優れる結果であった。

一方、引張速度の変化に伴う破断強度の変化は No.2（耐水）が最も小さく（線形近似の傾きが小さく）、石英ガラス表面の微小な傷の拡大度合いが小さいことが示唆された。

また、放射線による光ファイバ内での光パワーの減少の尺度を見る損失試験については、図 1.3-13 に示すように、No.1（汎用）よりも No.3（耐放射線）の光ファイバの方が、損失が少ないことを確認した。なお、損失は、照射を停止すると徐々に復帰していくことが知られているため、損失試験は、放射線を照射した状態で実施した。



動的疲労試験結果（初期データ）

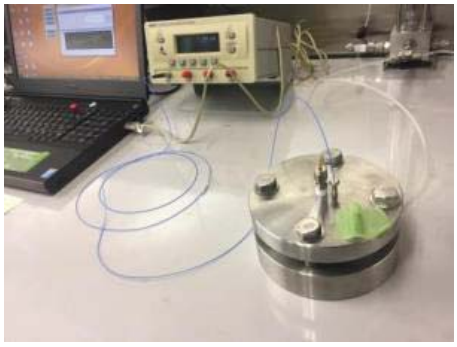


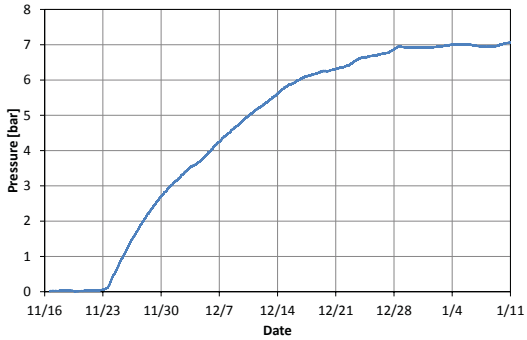
損失測定結果（放射線照射中）

図 1.3-13　動的疲労試験（初期データ）及び放射線影響試験の結果

b. 光ファイバセンサーによる圧力測定に向けた予備検討

処分施設の構造的安定性を評価する上で、ひずみ、温度に加え、圧力は重要なパラメータである。このため、光ファイバセンサーによる圧力計測の予備検討として、光ファイバの端部に加工されたダイアフラムを介して、圧力を端面で感知できる圧力センサー（FISO 社製 FOP-M-BA）を用いて、ベントナイト膨潤圧を計測した。計測結果を図 1.3-14 に示す。本検討により、ポイント計測ではあるが、光ファイバ端部での圧力計測の適用可能性が確認できた。





ベントナイト膨潤圧計測状況　　圧力計測結果

図 1.3-14　試験装置及びベントナイト膨潤圧の計測結果

(3) 既設実規模施設の地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察

過年度から継続して、実規模施設及び周辺岩盤に設置した計測器を用いた施設等の挙動計測、セメント系材料（低拡散層及びコンクリートピット）のひび割れ観察、及び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。概要は以下の通り。

1) 施設等の挙動計測

実規模施設部材のうち、上部埋戻し材については、計測を開始した 2014 年 9 月から 2015 年 5 月の間に、自重により最大 5.4mm 沈下したが、それ以降は温度変化に伴う沈下量の変動（約 0.12mm/℃）が支配的となっている。底部低透水層については、計測を開始した 2008 年 10 月から 2016 年 11 月の間に最大 1.5mm 沈下したが、今年度の沈下量増分は計測位置により異なるものの 0.01～0.05mm と極僅かであり、沈下量は収束傾向にあるものと考えられる。セメント系材料（低拡散層及びコンクリートピット）のひずみについては、今年度の計測期間中、不連続な挙動や、過大なひずみ発生はなく、温度の季節変化に対応したひずみ変化しか認められないことから、その状態変化はほとんどないものと考えられる。

また、実規模施設底部の岩盤変位は、計測を開始した 2007 年 9 月から実規模施設施工終了時の 2014 年度までほぼ収束しており、その変化量は 2016 年 11 月時点で最大 1.13mm（深度 0.5m、BTV で確認された岩盤内の割れ目近傍）、今年度（2016 年 2 月から 2016 年 11 月）の変化量は最大で 0.08mm（深度 1.0m）であり、計器の測定精度（±0.50mm）以下で変化はほとんど無いと考えられる。なお、間隙水圧計の計測値（全水頭）についても、1 年を通して上昇傾向は認められず、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。

2) セメント系材料（低拡散層及びコンクリートピット）のひび割れ観察

上部低拡散層、上部コンクリートピット及び左側側部低拡散層について、ひび割れ観察を 2 回実施した（2016 年 8 月 4 日、12 月 14 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。

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。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。

3）地震観測等

今年度は、2016 年 11 月までに 12 回の地震を観測、その個々について、地震の分類（活断層型、海溝型）、最大加速度等観測データ整理（2016 年 9 月 26 日観測の地震で、地下空洞底盤上の地震計が最大 6.3gal（y 方向）を記録）、フーリエスペクトル解析およびフーリエスペクトル比の算定、観測結果と KiK-net データとの比較を実施した。

また、地震応答解析については、昨年度の解析で、実規模施設の固有振動数（15Hz 以上）に比較的近い卓越振動数を持つ地震動（10.6Hz）と卓越振動数の小さい地震動（3.5Hz）を用いて実規模施設の応答を比較した。その結果、実規模施設の固有振動数に近い卓越振動数持った地震が観測されない状況では、実規模施設は、周辺岩盤の固有振動数（数 Hz)に近い地震による周辺岩盤の変形に追従した動きをすることが確認された。このため、今年度は、観測された地震の中から、昨年度よりさらに卓越振動数が小さい、2016 年 11 月 22 日観測の地震動(0.4Hz)を選定して、卓越振動数 3.5Hz と 0.4Hz の違いが実規模施設に与える影響を比較検討した。なお、解析にあたっては、振動数に着目するため、両者の地震動の最大加速度が一致するように増幅処理を行った。（図 1.3-15 参照）

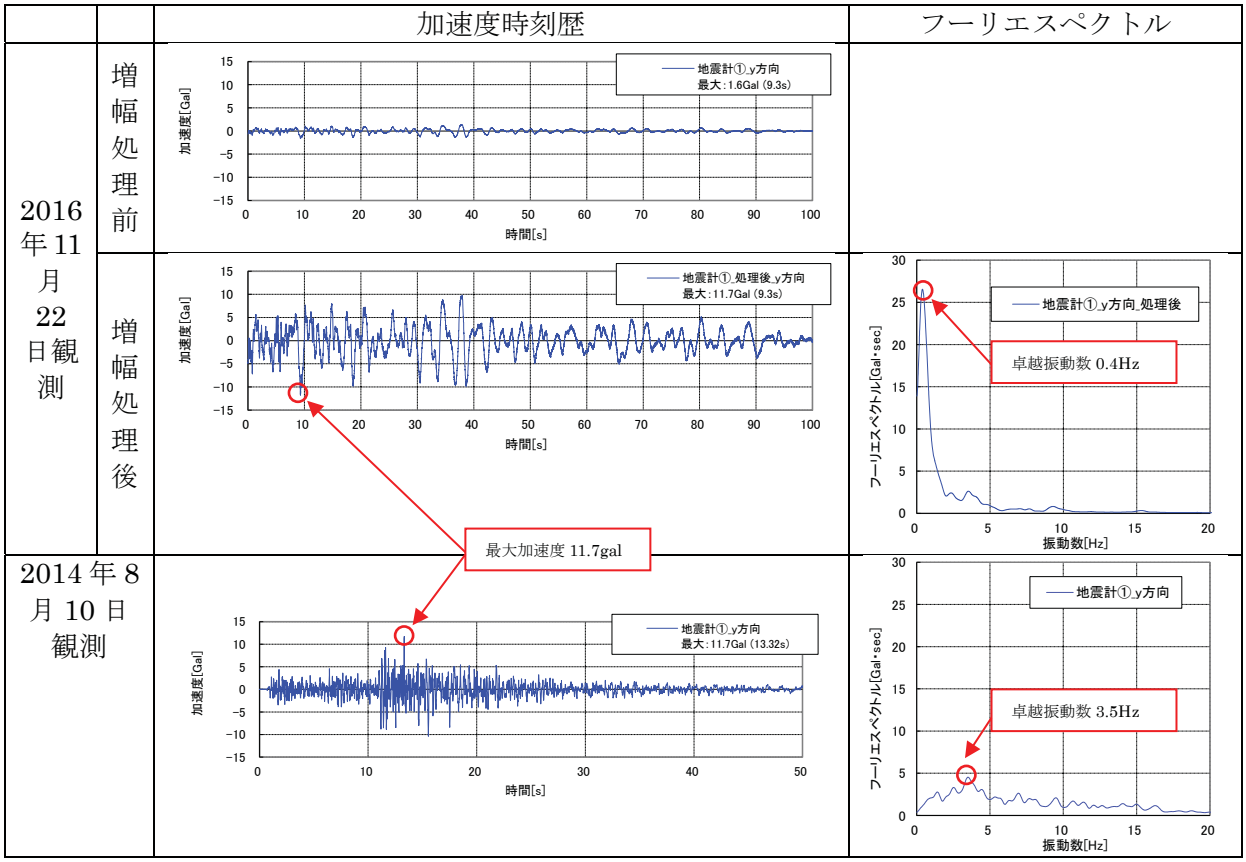


図 1.3-15　地震動の加速度の増幅処理（地下空洞底盤上の地震計、y 方向）

その結果、より卓越振動数が小さく、地盤の固有振動数に近い入力地震動のほうが、実規模施設の変形特性（図 1.3-16 参照）、左右・上下部の隅角部の発生応力（図 1.3-17 参照）が大きくなる傾向にはあるが、何れの地震動も実規模施設の振動特性に与える影響は小さいことを確認した。

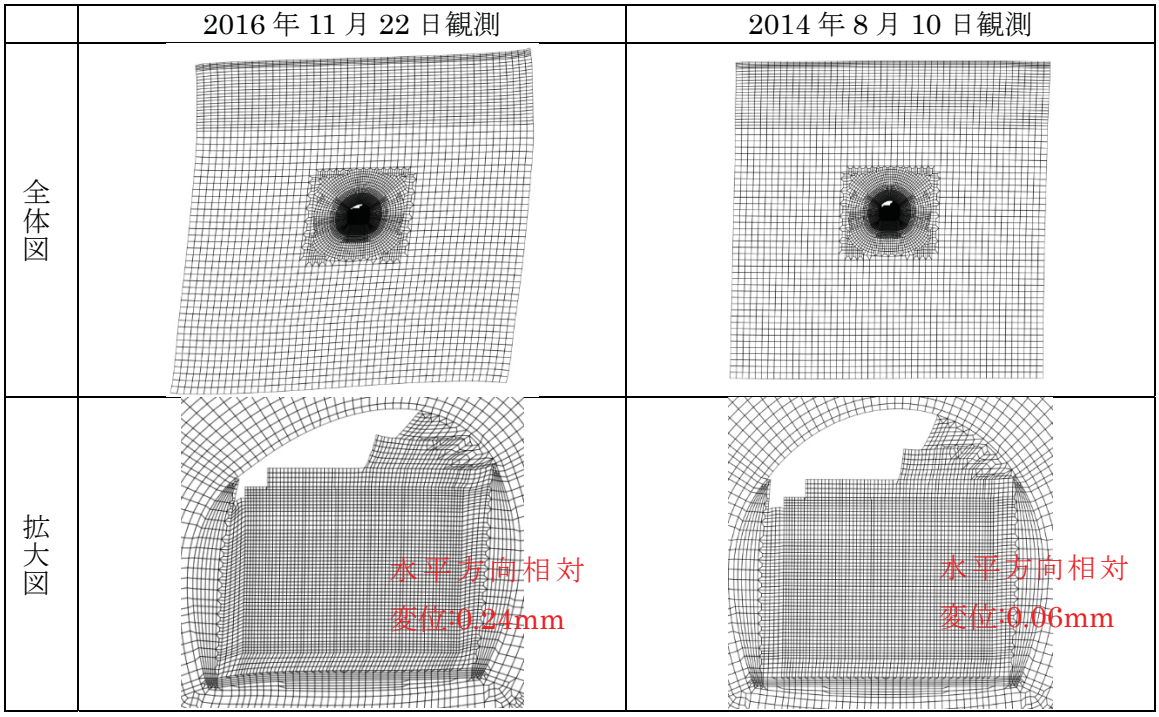


図 1.3-16　水平方向の相対変位最大時刻の変形図（変形倍率を 10000 倍で描画）

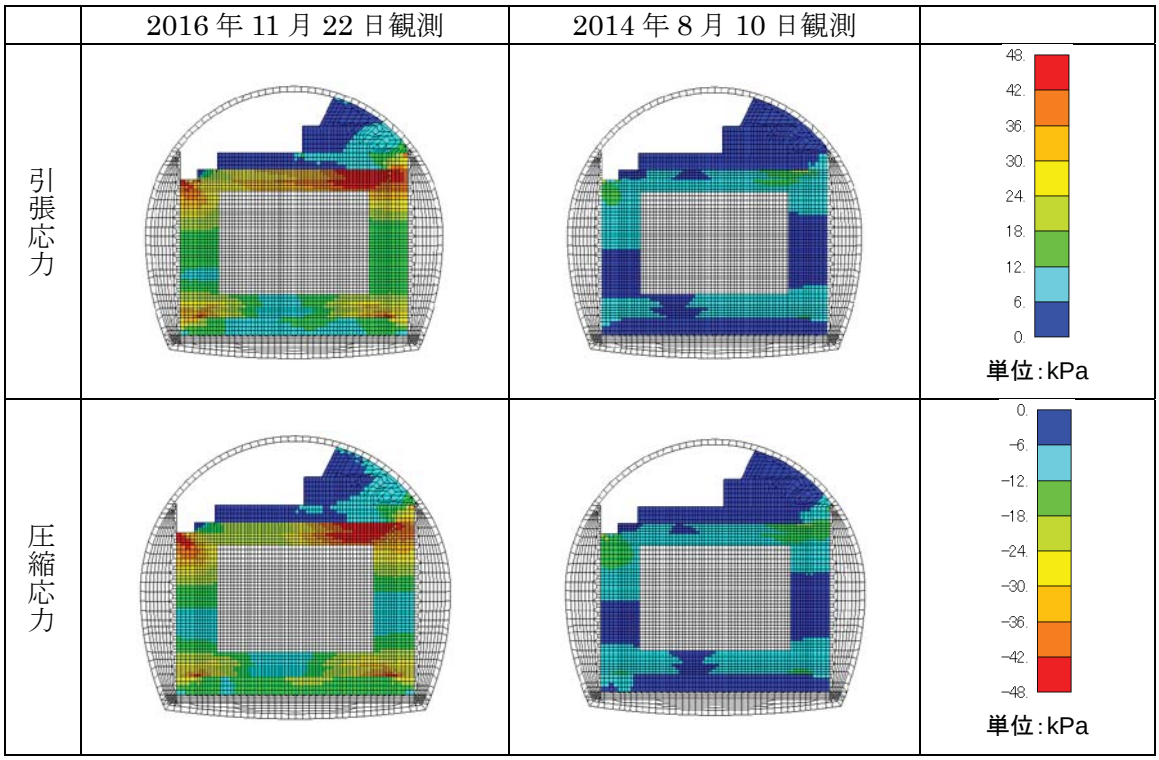


図 1.3-17　試験施設の応力の地震時増分（水平方向）

第 1 章　参考文献

[1] 原子力規制委員会 :「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（案)」に対する意見募集の結果及び今後の検討の進め方等について（案)，第 29 回原子力規制委員会 資料 1，平成 28 年 8 月 31 日 (2016).

[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).

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　具体的な機能確認試験計画の策定方針

2.1.1　概説

本章では、平成 27 年度の検討結果を踏まえ、人工バリアを主なモニタリング対象として具体的な機能確認試験計画を策定する。機能確認試験の対象施設は、以下の 4 施設とする。機能確認試験計画の策定に際しては、試験施設の規模や構造、試験手順、測定項目、試験工程を詳細化する。また、コストや規制要件への適応性についても検討する。

・新規試験施設（地上施設）
・新規試験施設（地下模擬施設）
・既存の実規模模擬施設（そのまま活用）
・既存の実規模模擬施設（一部改造して活用）

平成 27 年度は、本事業で対象とするモニタリング施設の特徴とモニタリング方法の特徴を踏まえ、機能確認に向けた技術課題を整理した。また、既存の実規模模施設、地上および地下の新規施設、地中無線技術に着目した試験施設を対象として、技術課題との関係を整理した（表 2.1-1）。平成 28 年度は、平成 27 年度に概略検討した機能確認試験計画を具体化する。

表 2.1-1　試験施設と技術課題との関係[1]

確認方法	技術課題	機能確認試験計画（案）									
		既存の実規模模擬施設				新規施設				地中無線技術	
		既存のままで活用	増築して活用	水理制御機能を付与①	水理制御機能を付与②	地上サンプル施設①	地上サンプル施設②	地下サンプル施設	地下模擬施設	無線伝送技術	無線給電技術
センサ	センサによって計測できる物理量と機能の相関性	△	○	○	○	○	－	－	△	－	－
	センサによって計測できる物理量を用いた全体的な機能確認（解析）	△	○	○	○	○	－	－	△	－	－
	センサの耐久性評価、および高性能・高耐久化検討（光ファイバ）	△	○	△	△	○	－	－	△	－	－
	機能の経時変化の計測計画への反映（時間間隔、頻度）	○	○	△	△	○	－	－	△	○	○
	センサの無線伝送・給電技術	○	○	○	○	△	－	－	△	○	○
	センサの設置方法	○	○	○	○	△	－	－	△	○	○
	センサの交換方法	○	○	○	○	△	－	－	△	○	○
サンプリング	施工のばらつき、サンプリングに伴う機能の低下、試験自体のばらつきの評価	○	○	○	○	○	○	○	○	－	－
	計測したい機能に応じたサンプリング施設や供試体の適切な大きさ	○	○	○	－	○	－	－	－	－	－
	実処分施設と異なるサンプリング施設における材料構成割合の差異の評価（地上、地下）	△	△	△	△	○	○	○	○	－	－
	実処分施設と異なる規模のサンプリング施設における地下水浸潤状況の差異の評価	△	○	○	○	○	○	○	○	－	－
	サンプリング時に計測できる物理量を用いた施設全体の評価（解析）	○	○	○	○	○	○	○	○	－	－
	保全段階の環境を人為的に模擬する方法	△	△	○	○	○	○	○	○	－	－

○：技術課題に対する検討が可能
△：技術課題に対する検討ができる可能性がある
－：技術課題に対する検討が不可

2.1.2　規制要求事項の整理

後述する機能確認試験計画の規制要求への適応性を検討するため、現在検討が進められている規制要求について整理する。

平成 28 年 8 月に「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（案）」[2]（以降、「規制の考え方」と称する）が公開された。ここでは、本業務で検討対象とする人工バリアの機能確認に関連する内容を整理する。なお、「規制の考え方」においては、従来、余裕深度処分と呼ばれていた処分概念を中深度処分と称している。

また、「規制の考え方」は、規制基準等の整備の前段階として規制の考え方について検討したものであり、規制基準等の検討の基礎となるものではあるが、あくまで検討の途中段階にあるものである点に留意が必要である。なお、本項において斜体で記載した箇所は、「規制の考え方」から抜粋した内容である。

(1) 規制要求を検討する上での前提

1) 規制終了までの期間

規制終了までの期間について、以下のように記載されている。

規制終了までの期間としては、事業者による離隔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。

(2) 中深度処分事業の各段階と各段階における規制等

1) 中深度処分事業の各段階

中深度処分事業は、以下の段階に分けられ、現行の法令に基づいて事業者が規制を受けるのは審査段階から廃止措置段階までであるとしている。

- 立地段階（立地場所の調査～事業申請）
- 審査段階（事業申請～事業許可）
- 建設段階（事業許可～廃棄物の受入れ開始）
- 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）
- 坑道の埋戻し段階（廃棄物埋設地の埋戻し終了～坑道の埋戻し終了）
- 保全段階（坑道の埋戻し終了～廃止措置の開始）
- 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

(3) 設計要求の考え方

1) 放射性核種の閉じ込めに係る要求（人工バリアに係る要求）

放射性核種の閉じ込めについては、天然バリアにより生活圏への放射性核種の移行が抑制できればよいとしているが、リスク低減の観点から人工バリアの中でできるだけ多くの放射

性核種を減衰され、人工バリアから天然バリアへの漏出を抑えることが適切であるとしており、人工バリアに対して以下のような要求が記載されている。

人工バリアには、漏出抑制機能を求めることとする。具体的には、少なくとも廃止措置の開始までの期間は、人工バリアによって廃棄物埋設地※からの放射性核種の漏出を抑制することを要求する。

※廃棄物埋設地：放射性廃棄物を埋設する場所（人工バリアを含む）のこと

2) 放射性核種の閉じ込めに係る要求（モニタリング設備に係る要求）

中深度処分事業の事業者には、廃棄物の埋設作業等に係る保安のためのための活動や、埋設の開始後に実際に閉じ込め等が確保されていることを確認するためのモニタリング、設計や監理の方法の妥当性の再評価を定期的に行うなどの管理(能動的管理)が求められており、そのうち、モニタリングに関する設計要求として以下のように記載されている。

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や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な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係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。

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の擾乱など、放射性核種の移行の促進をもたらすことがないよう、適切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。

(4) 管理要求の考え方

1) 放射性核種の閉じ込め機能の確認に係る要求

上述の放射線モニタリング、地下水等モニタリングの実施に係る要求として以下のように記載されている。

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や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

定期的な評価等の実施頻度や評価結果について、以下のように記載されている。

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及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事業者が行うことや、定期的な評価の結果を踏まえて廃棄物埋設施設の保全のために必要な措置を講じることが既往の事業規則で要求されている。

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) 坑道の埋戻しに係る要求

坑道の埋戻し終了後は、廃棄物埋設地へのアクセスが原則不可能となるため、以下のような要求が記載されている。

坑道の埋戻しに当たっては、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、埋め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、坑道の埋戻し後は、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、事業者が坑道の埋戻し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

モニタリングを実施した結果、放射性核種の漏えい等の異常が確認された場合の措置について、以下のような要求が記載されている。

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。

5）規制期間終了後の要求

規制期間終了後は、事業者の存続が保証できず、事業者により能動的管理が行われることは期待できない。このため、能動的管理を要することなく長期にわたってリスクが低く保たれ、防護上の問題を生じるような状態に至ることは合理的に想定し得ないことを確認する必要があるとしており、廃止措置計画の認可の条件として以下を要求している。

- *廃止措置の開始までの間の放射線モニタリングによって、廃棄物埋設地からの放射性核種の異常な漏えい等の徴候が確認されていないこと。*
- *廃止措置の開始までの間に実施した最新の定期的な評価によって、廃棄物埋設地の離隔に係る措置に問題がないこと、閉じ込めに影響を及ぼす要素や徴候が確認されていないこと、事前事象に係るシナリオの評価結果が線量基準に適合していることが確認されていること。*
- *廃止措置の終了確認までの間にモニタリング用に設置した観測孔が、水みちが生じないように適切に埋戻されていること。*

2.2　新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画

2.2.1　概説

地上施設を新規に製作・設置する場合には、人工バリア部材の機能を経時的にモニタリングするために、定期的にサンプリング可能な施設を検討対象とする。

地上施設を製作・設置して機能確認試験を実施する場合、管理された理想的な試験系を実現できる点、人工バリア部材の機能を直接計測することができる点に利点がある。その一方で、埋設・保全段階の長期間に渡るモニタリングを実施することを勘案すると、モニタリング可能な機能は、その経時変化が地上施設で再現可能な特定の環境のみに依存する場合に限られる。例えば、原位置の地下水組成にのみ依存する事象であれば、原位置の地下水を使用した機能確認試験を実施することにより、その経時変化をモニタリング可能である。しかし、原位置の地圧に依存する事象に対しては、地下数十 m に相当する圧力を作用し続ける必要が生じ、容易に実現することはできない等、原位置の環境条件を地上施設で再現することが難しい場合がある。

また、地上のサンプリング施設でモニタリングを実施する場合、試験体の材料構成割合を実処分施設と同等にすることが難しい点に留意する必要がある。地上のサンプリング施設で得られたモニタリング結果が、必ずしも実処分施設の環境における事象と同等とは限らないため、実処分施設の環境条件を可能な限り模擬することに加えて、地上サンプリング施設と実処分施設の環境条件の違いを把握し、得られたモニタリング結果を補正する手法を検討することも必要となる。これに対しては、地上サンプリング施設の環境条件が、実処分施設における環境条件に対して少なくとも保守側の設定であることを示すという対応も考えらえる。

2.2.2　試験計画案

(1) 試験計画案 1

1) 試験計画

図 2.2-1 に地上施設内での機能確認試験のイメージを示す。解体する供試体寸法は要素試験レベルである。予備検討や既存施設による機能確認試験との比較を行うことで、計測したい機能に応じた解体施設や供試体の適切な大きさ、実処分施設と異なる解体施設における材料構成割合の差異の評価、実処分施設と異なる規模の解体施設における地下水浸潤状況の差異の評価が可能となれば、供試体寸法は要素試験レベルであっても機能確認可能であると考えた。この試験計画案では、実処分施設の地下水を模擬することで、人工バリア部材の変質を地上部で把握することが可能となる。

低拡散層やコンクリートと鉄筋で作られたコンクリートピットの供試体を配置し、周囲をベントナイトで充てんし、地下水が低拡散層からコンクリートピット側へ流れるようにしている。供試体は前面から順番に採取できるようにすることで、1 つの試験系で時間経過をパラメータにできるように工夫している。供試体がベントナイトと接している比表面積が実際の低拡散層よりも大きいため、Ca 溶出に対しては保守側の設定と言える。コンクリートピットに対しては、拘束条件が実際と異なるが、鉄筋がベントナイトと直接接するように供試体を作製し、鉄筋腐食によってコンクリートにひび割れが発生するように工夫している。この際、地下水が大気と接しないように工夫するなど、還元環境とすることが重要と考えられる。

また、排水を採水し分析することで近傍ボーリング孔など採水施設による影響事象の有無の推定に関する検討も実施可能である。

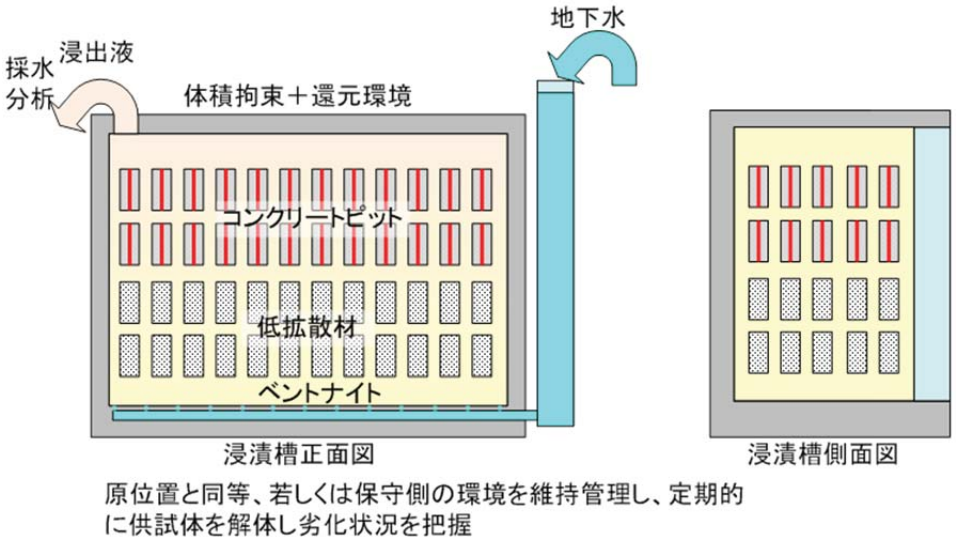


図 2.2-1　新規地上解体施設での機能確認試験のイメージ

コンクリートピット、低拡散層の供試体は、いずれも φ10×20cm の円柱供試体とし、コンクリートピットの供試体には、D6 鉄筋を供試体中心に配置する。セメント系材料の供試体周辺に配置するベントナイトの厚さを 10cm とする。通水する地下水は、実処分施設周辺の

地下水を採取して使用すること、実処分施設周辺の地下水組成を調査した上で、人工バリア部材の機能変化を促進する組成に調整した模擬地下水を使用すること等が考えられる。

供試体は、時間経過に合わせて準備解体・採取して試験を実施するが、1 回当たりのコンクリートピットおよび低拡散層供試体の採取数を 5 体とすれば、図 2.2-1 に示した浸漬槽の場合、24 回の採取が可能であり、この場合、浸漬槽の寸法は、内側寸法で幅 2.5m×奥行 1.1m×高さ 1.3m 程度となる。

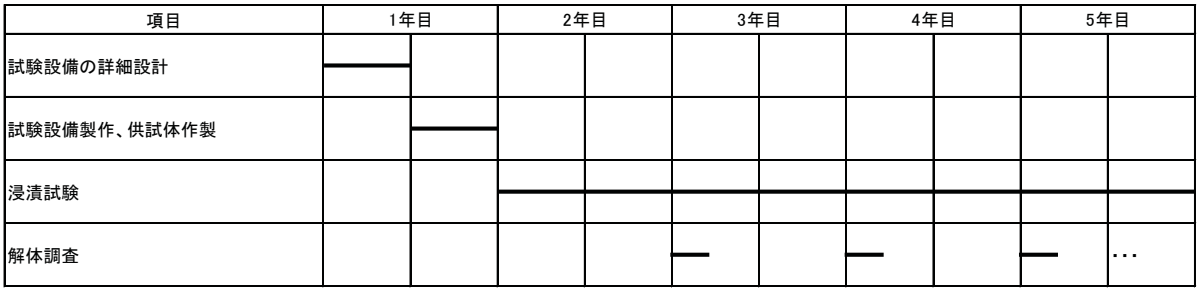
本試験における計測項目を表 2.2-1 に示す。計測項目は、人工バリア部材の化学的変質を把握するためのものとし、それに伴う浸出水の水質変化を計測することとした。

表 2.2-1　計測項目案（新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画①）

	計測・分析対象	計測項目	備考
浸出試験	浸出水	間隙水の水質・組成	pH、イオン濃度等
解体調査	低透水層	飽和度（密度・間隙率）	
		強度	
		透水係数	
		Ca 化、二次鉱物生成	
	セメント系材料	強度、空隙率	
		ひび割れ状況	
		水和の程度	
		変質深さ	
		Ca 溶出、二次鉱物	
	鉄筋	腐食・劣化状況	

試験工程を表 2.2-2 に示す。

表 2.2-2　試験工程案（新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画①）



2）評価

本試験計画は、実処分施設内の地上施設や、実処分施設と別の場所に設けられる試験施設内で実施することを想定しており、後述する地下模擬処分施設を新規設置する試験や既存の実規模模擬施設を一部改造して水理場制御機能を付与する試験計画と比較すると試験費用は低く抑えることが可能となる。ただし、前述のとおり、地上での試験では、実処分施設の環境を全て再現することが困難である点に留意する必要がある。

規制要求では、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に定期的な

評価を行うことが要求されており、本試験の供試体解体分析を、人工バリア部材の機能変化が大きい期間や、定期的な評価のタイミングに合わせることで、事前に予測された機能の変遷と比較検討することが可能であり、定期的な評価に資するデータを提供することが可能であると考えらえる。

(2) 試験計画案 2

1) 試験計画

a. 試験概念

試験計画案 1 と同様に、比較的長期にわたる人工バリア（試験計画案 1 のバリア材単体系に対して、ここでは複合系とする）の機能変化を評価するためのモニタリング及び試験体解体調査を目的とした、地上（室内）の浸漬槽を用いた機能確認試験の実施案を図 2.2-2 に示す。

供試体として、人工バリアシステム（コンクリートピット、低拡散層、低透水層）を模擬した小型複合供試体を用いることにより、バリア構成要素の長期的な相互影響についての評価を目指す。各供試体をブロック形状のユニット形式で構築することで、順次解体・分析が可能な試験構成とし、経時的な状態変化を直接評価することができる。また、試験計画案 1 と同様に、地下水の注水に伴う施設からの浸出液についても採水・分析が可能であるが、地下水の取扱い環境等についての留意点については試験計画案 1 と同様である。

試験設備や供試体の構成、地下水条件等は試験目的に応じて設定可能であり、例えば、注水系統を複数配置することにより、地下水条件を系統ごとに変更することが可能になり、試験の促進や、地下水組成を変化させる等、比較試験を実施することもできる。

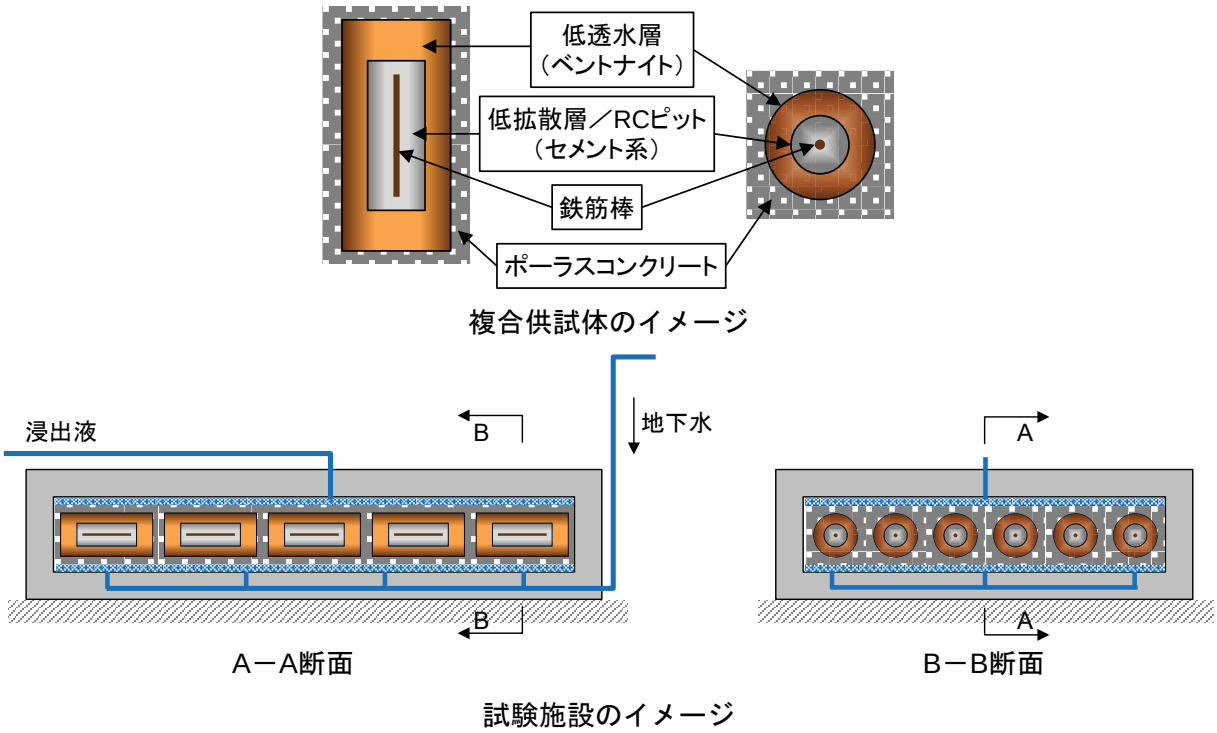
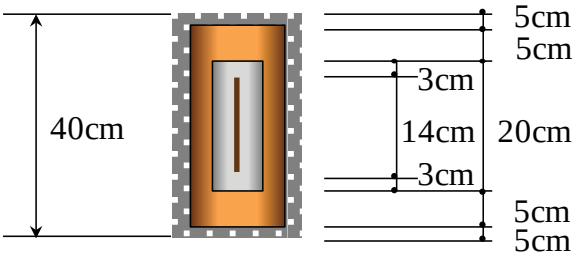


図 2.2-2　新規地上解体施設での機能確認試験のイメージ（複合バリアシステムの長期浸漬試験）

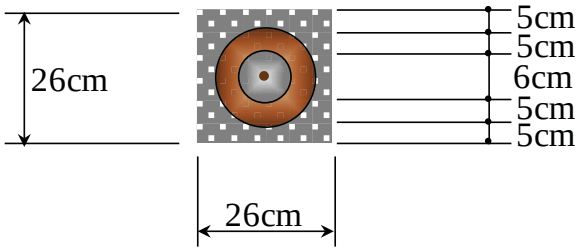
b．試験土槽および供試体

人工バリア構成を模擬した複合供試体は要素レベルであり、実際の取り扱いを考慮して実施設の 1/20 程度のスケールを計画する。全体の物量の構成比は再現することは難しいが、低透水層（ベントナイト）厚さを 5cm、中心に鉄筋棒を配置したセメント系材料（円筒形）は、低拡散層の厚さと RC ピット部の被りを考慮してΦ6cm（2 x 3cm≒(60+5)/20）で計画する。供試体は土槽の各区画の大きさに合わせて、低透水層の外側を、例えばセメント系材料等を用いてブロック状に成型する。低透水層の外側の部材は供試体の飽和を妨げないような透過性の材料を適用し、透過特性は、例えば岩盤相当に設定する等、実施設の環境を可能な限り反映することとする。上記を踏まえた供試体の諸元を図 2.2-3 に示す。

試験土槽は、模擬地下水の注水系統、試験工程、および解体頻度によって柔軟に構成可能であるが、注水系統を 3 系統、各回 2 供試体×5 回の解体を想定して計 30 体の供試体を設置可能な規模を設定する。土槽は上部に蓋を配置して密閉し、内部は解体対象の供試体毎に区画で仕切も設けそれぞれ独立して注水可能な構造とする。



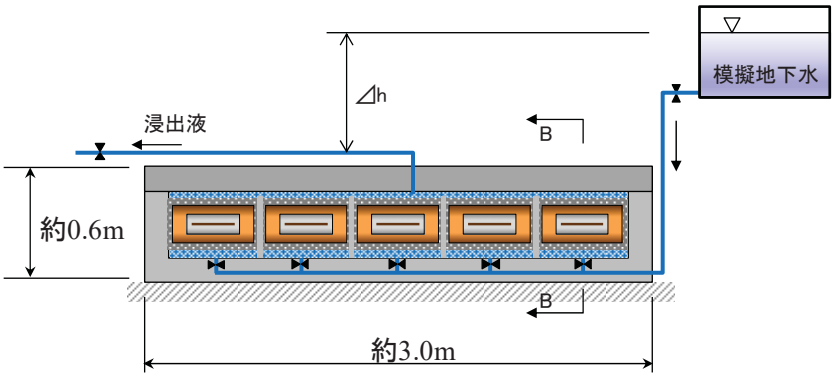
縦断面図



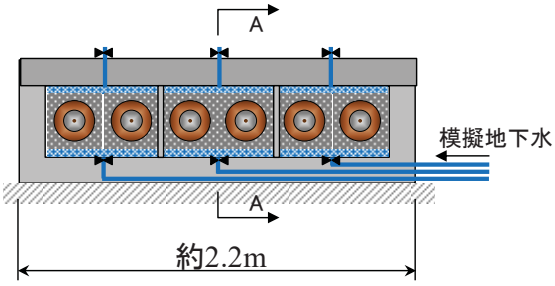
横断面図

図 2.2-3　複合供試体の構成（案）

模擬地下水はタンク等に貯水した上で、注水管より供試体を横にした状態で下部より注水する。この際、原位置の動水勾配を考慮したタンク位置の設定を基本とするが、必要な場合には施設深度を考慮した水圧を作用させる装置とすることも可能である。模擬地下水を 3 種類用い、1 回の解体調査で 2 供試体を解体し、試験全体で 5 回の解体調査を計画した場合、複合供試体の必要数は 30 体となる。このような条件に対する試験土槽の規模は、図 2.2-4 に示すように、幅(W)：2.2m×長さ：(L)3.0m×高さ：(H)0.6m 程度となる。



Ａ－Ａ断面図



Ｂ－Ｂ断面図

図 2.2-4　試験土槽（案）

c．試験の実施

試験の実施に際して、試験初期段階における浸出水の成分の想定や、供試体の飽和挙動の確認等を目的として、予備確認試験を実施する。予備確認試験を通じて、試験開始初期の段階で得られる初期のモニタリングデータ、供試体の飽和の進展等に対する予察を実施し、必要に応じて解析等と比較することにより、時間経過に伴う試験供試体の状態変遷を評価する上での基礎データを整備しておく。

予備確認試験で注水試験試験に用いる模擬地下水としては、例えば、原位置で採取した地下水、原位置採取地下水の分析を踏まえて化学的劣化の促進を考慮した地下水、施設の機能に影響を及ぼす因子を保守側に変動させた地下水、等を設定する。

試験土槽の個別の区画に供試体を設置し、原位置での動水勾配等を考慮した上で、模擬地下水の注入を開始する。浸出液の定期的なモニタリングを実施しつつ模擬地下水の注入を継続する。供試体が飽和に至った後、経過時間と対応する施設の状態変遷より判断して、計測・分析可能な人工バリアの状態変化が見込まれるタイミングで、供試体を土槽より取り出して解体し、人工バリアの各構成要素の状態について評価を行う。この際、注入する地下水組成の相違による変化の程度についても考察を行う。以降は、定期的に解体・調査を繰り返し、人工バリア機能の経時的な変化について評価を実施する。

安全評価上、重要度の高いパラメータと関連項目を検討し、モニタリング期間において実処分施設でのパラメータの変化の可能性について表 2.2-3 に整理し、実処分施設を対象として計測手法の候補も併記した。今回、提案する試験計画においては、これらの項目

にて重要度の高いパラメータを主に、実処分施設以外を対象として、センサー埋込みによる計測、近傍ボーリング孔での水質調査、サンプリングによるデータ取得等でも測定できる可能性も検討する。

以上の考え方に基づいて本試験(後述のオプション試験も含む)における計測項目案を、重要な現象との対応を基に表 2.4-4 に示す。

表 2.2-3　計測項目案（新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画②）

部　位	基本安全機能	状態変化	影響因子	機能確認ポイント	実処分施設における変化の可能性		実処分施設における計測項目 ⇒ 計測方法例
					建設～埋め戻し終了	埋め戻し終了～保全段階終了	
低拡散層 & コンクリートピット (セメント系)	核種収着性	収着性	地下水 溶脱 塩影響	分配係数	低	高	Caイオン濃度 ⇒ 水質調査 pH ⇒ 水質調査 透水係数 ⇒ 透水試験 ひび割れ幅・位置 ⇒ 目視調査、光ファイバーによるひずみ計測
	低拡散性 透水性	低拡散性、 透水性		実効拡散係数			
				透水係数			
		ひび割れ	大気影響	開口面積	高	高	
			地下水 溶脱 塩影響	腐食速度			
				腐食膨張倍率			
				鋼材弾性係数			
				弾性係数	低	低	
				強度		高	
				膨張圧		低	
低透水層 (ベントナイト系)	低透水性	低透水性	地下水 溶脱 塩影響	透水係数	低	低	飽和度 ⇒ 水質調査 透水係数 ⇒ 透水試験 層別沈下 ⇒ レベル測定 Ca/Naイオン濃度、 pH ⇒ 水質調査

表 2.2-4　計測項目案（新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画②）

安全機能	関連部位	安全レビュー項目	影響を及ぼす重要現象	モニタリング対象項目	モニタリング		
					地上	地下	
					長期浸漬	ボーリング孔EB	原位置EBS
低透水性	ベントナイト系 (緩衝材)	透水係数	飽和の進展	飽和度，水圧，温度			○
			変形，流出・膨出	変形量，水圧，ガス圧，全応力，飽和度，温度			○
			化学的劣化の進展	間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分，温度	○		
			ガス移行・破過	ガス圧，水圧，全応力，飽和度，温度，変形量			○
			（その他共通）	透水係数，密度	○		○
		厚さ	変形，流出・膨出	変形量，水圧，ガス圧，全応力，飽和度，温度			○
低拡散性	セメント系	実行拡散係数	化学的劣化の進展	間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分，温度	○		
		ひび割れ 開口面積	化学的劣化の進展	間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分，温度	○		
			鉄筋等の腐食膨張等による変形	変形	○		
		厚さ					
収着性	ベントナイト系 (緩衝材)	収着分配係数	化学的劣化の進展	間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分，温度	○		
		体積			○		
	セメント系 (吹付け支保工)	収着分配係数	化学的劣化の進展	間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分，温度	○		
		体積			○		
二次的因子	支保工 (鋼製支保工)	---	腐食膨張	腐食速度，腐食膨張量	○		
		---	嫌気性腐食ガス発生	ガス発生速度	○		
	EDZ，支保，空洞	---	支保の劣化	変形・ひずみ，ひび割れ，間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分	○		○
		---	空洞の変形	空洞内空変位			○
		---	再飽和の進展	地圧，水圧，飽和度，間隙率，透水係数，間隙水の水質・組成（pH, Eh,イオン濃度）			○
		---	EDZの進展	地圧，水圧，飽和度，間隙率，透水係数，間隙水の水質・組成（pH, Eh,イオン濃度）			○

d. 試験工程

全体の試験工程は、地下水の浸漬期間、供試体の解体数・回数等によって異なるが、詳細試験計画（0.5 年）、詳細設計（0.7 年）、予備確認試験（1 年）、機器調達（0.5 年）、装置製作（0.5 年）、および再冠水期間（1 年）を考慮し、1 回／年の解体を想定した場合、表 2.2-5 のようになる。

表 2.2-5　試験工程案（新規試験施設（地上施設）を製作・設置する試験計画②）

項目	1年目		2年目		3年目		4年目		5年目		・・・	
詳細試験計画												
試験設備の詳細設計												
予備確認試験												
装置・供試体製作			機器調達	装置・供試体製作								
浸漬試験												
解体調査												…

e. 試験実施上の技術的課題

実際の試験実施に際しては、現状で以下の課題が見込まれ、事前検討（詳細設計や予備試験）を通じて解決を図る必要があると考える。

- ブロック供試体外周部の透水性材料の選定（周辺岩盤相当の透水性が望ましい）
- ベントナイト膨潤圧に対する外周部構成部材の力学的安定性の確保
- 供試体解体時の作業の独立性の確保（他の供試体への影響を最低限に抑える方策）
- 長期試験時における試験設備の維持・補修方法（機器の更新等）

2) 評価

本試験は、浸出液の分析と供試体の解体調査を主体としており、センサーの配置は予定していない。注水装置についても、土槽とは独立した構成であり、万一不具合が生じた際には交換可能な構造とすることができる。したがって、比較的長期に亘って浸漬試験を継続することができ、規制要求のうち、「定期的な評価に係る要求」で求められる、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の実施において、人工バリア構成材料の相互影響に起因する機能の変化や想定したシナリオに基づく状態変化の妥当性に関する有益な情報を提供することができると考える。

3) 試験実施条件のオプション

本試験の概念は、土槽により地上で試験を実施する代わりに、ボーリング孔を利用した地下での解体施設を利用した試験における供試体として適用することもでき、その場合は、実処分施設と類似の環境下における機能の変化を供試体の解体により直接計測することができ

る（図 2.2-5）。また、地上と地下で同様の試験を実施し、双方の試験環境下での事象の変化の相違を比較することにより、地上試験全般における試験の境界条件の影響を把握することも可能である。

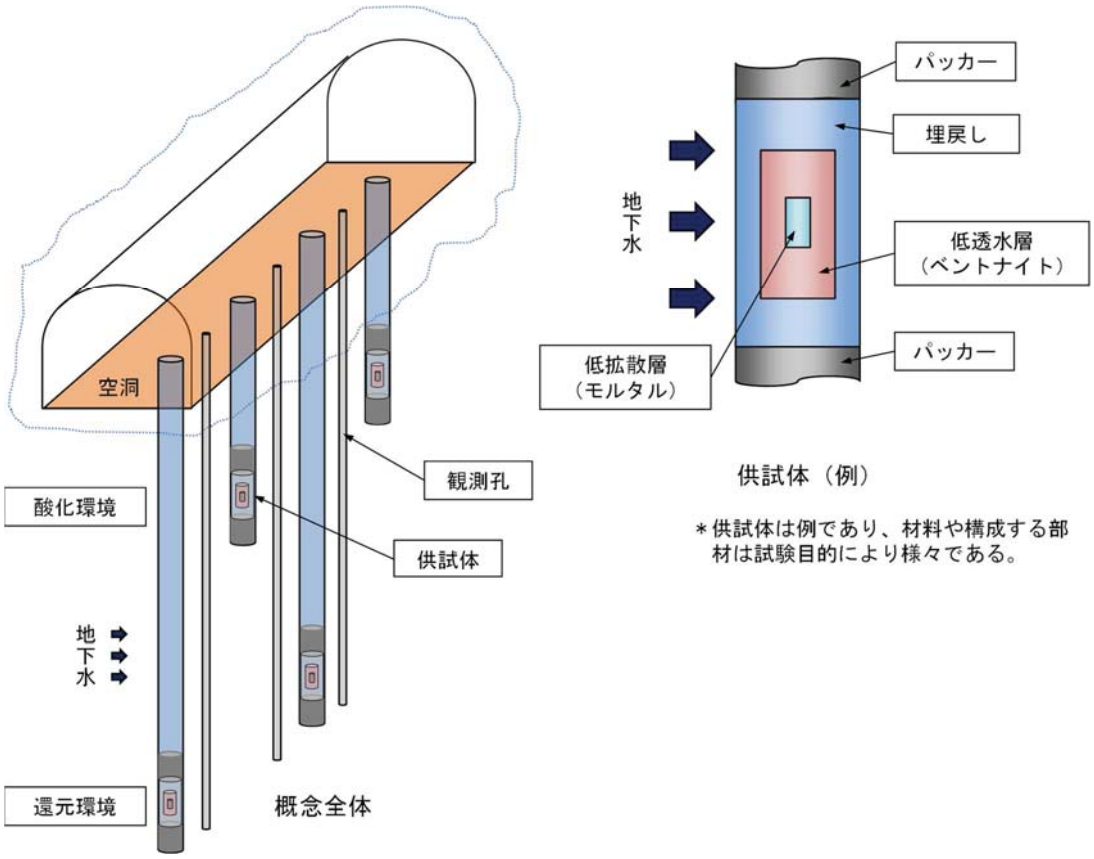


図 2.2-5　複合供試体を用いた原位置類似環境下の試験オプション（案）

2.3　新規試験施設（地下模擬施設）を製作・設置する試験計画

2.3.1　概説

本節で考える新規の地下模擬施設は、実処分施設の健全性を損なわないことに配慮し、実処分施設から一定の距離をおいて、または、実処分施設と地質環境特性が同等の別の区域に設置することを前提とする。また、地下模擬施設では、実処分施設でモニタリングを実施する場合に比べて、より直接的な機能確認を実現することを目的として、ケーブルを有するセンサーの設置を許容することとする。ただし、地下模擬施設でのモニタリングを計画する場合には、あらかじめその結果の実処分施設への適用性を実証する必要があると考えられる。

2.3.2　試験計画案

（1）試験計画案 1

1）試験計画

a．試験概念

地下模擬施設は、地上の施設に比べ制御できる試験条件が限られる代わりに、地下水の供給や地圧など、実処分施設と類似の環境で機能確認試験が実施可能である。また、地下模擬施設は、地下解体施設よりも試験規模を大きくする代わりに、解体ではなくセンサーで機能確認を行う試験施設として構築する。構築に当たっては、予備試験での検討結果を反映したセンサーの配置を行い、無線伝送や無線給電が実施可能なものとする。計測間隔や頻度についても、予備試験での検討結果を反映する。

図 2.3-1 には地下模擬施設での機能確認試験のイメージを示す。施設は、プラグによって保全段階の還元環境を模擬し、材料構成割合をなるべく実施設と同等にする。プラグの下端から脱気地下水を給水し、プラグの上端から排水するものとして、この排水を採水し分析することで近傍ボーリング孔など採水施設による影響事象の有無の推定に関する検討も実施可能である。

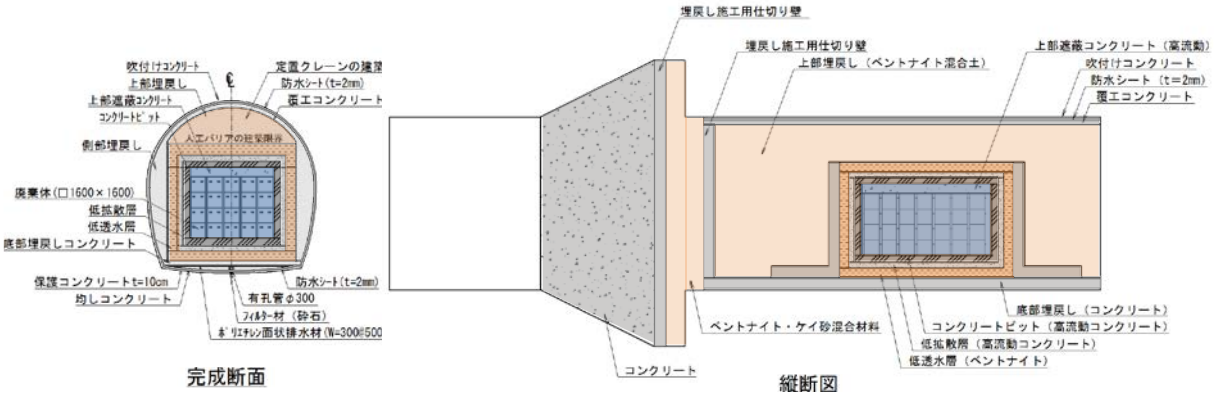


図 2.3-1　地下模擬施設でのセンサーによる機能確認試験のイメージ

b．模擬施設要素の形状寸法

原則として、全ての要素を実施設に対して同じスケールで縮小する。縮小の目安として以下に示す要件を考慮する。

・ 過去の実験実績から、必要に応じて比較検討が可能であること。

・ 施工性が現実的であること。

過去の実績では地上実験施設内模擬検討（1/5）や、スイスのグリムゼル岩盤試験場での原位置試験ガス移行試験での施工（約 1/2）の検討実績がある。また、施工性の面において、幌延深地層研究施設での試験坑道寸法（幅、高さとも約 4m）で実施している実績から、実施設での坑道規模（幅、高さとも約 16m）の約 1/4 と想定された。以上より、今回の検討では 1/4 を縮小の目安とし、各構成要素の寸法を以下の通り設定した。

なお、処分坑道の端部にある建設用および操業用アクセス坑道は処分坑道より小径の坑

道が計画されているが、ここでは処分坑道と同じ坑道径でモデル化した。また、実際には建設用および操業用アクセス坑道への水理プラグ設置は不要と考えられるが、施設全体（例えば周辺坑道）では設置の必要性もあることを考慮して、本研究施設に導入することとする（力学プラグは水圧 1MPa＋膨潤圧 1MPa で設計したもの）。

模擬施設の３次元イメージモデルを図 2.3-2 に示す。

① 低透水層：直方体、458.25cm×303.25cm×303.25cm、厚さ 25cm

② 低拡散層：直方体、408.25cm×253.25cm×253.25cm、厚さ 15cm

③ コンクリートピット：直方体 378.25cm×223.25cm×223.25cm、厚さ 17.5m（底版 20cm）

④ 廃棄体容器：立方体、40cm×40cm×40cm、140 個

⑤ 廃棄体：立方体、寸法未定

⑥ 上部遮蔽コンクリート：長方形、343.25cm×185.75cm×185.75cm、厚さ 25cm

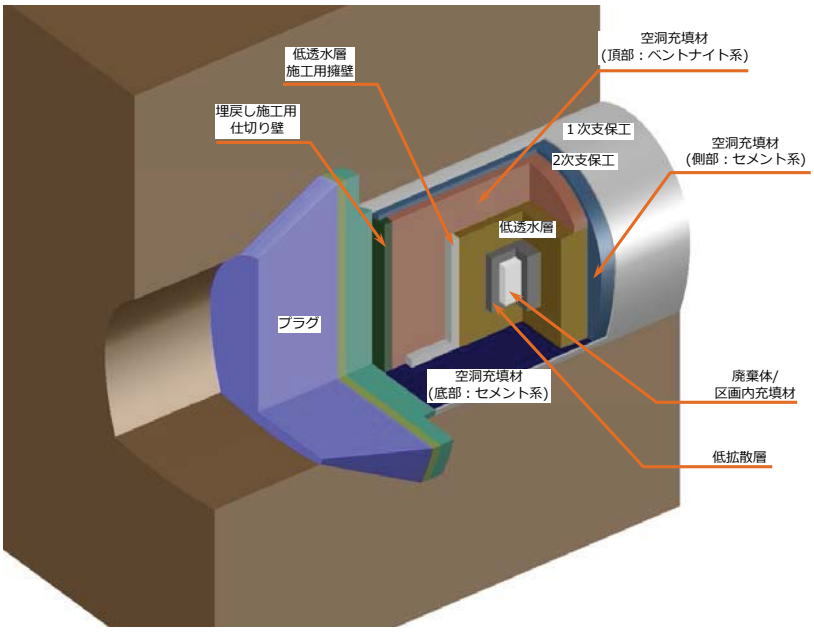


図 2.3-2　地下模擬施設３次元モデルイメージ

c．施工と試験の実施

施工方法は実施設同様のものを採用するが、スケール的に困難な場合は別の方法を適用する。また、覆工コンクリートにより地下水の流入が阻害されて試験に支障が生じることを考慮し、プラグ下端から脱気地下水を給水し、プラグの上端から排水する。この排水を採水し、分析することで近傍ボーリング孔など採水施設による影響事象の有無の推定に関する検討も可能となる。

本試験（後述のオプション試験も含む）における計測項目案を、重要な現象との対応を基に表 2.3-1 に示す。

各種計測に使用する多数のケーブルが、人工バリアシステムの止水性に与える影響を小さくするために、計測ケーブル類は一部を除き専用のボーリング孔を使用して、アクセス坑道まで引き出す。

その他、地下水採水のためのボーリング孔を試験坑道と並行に、孔間トモグラフィ用として試験坑道を挟むように平行に 2 本施工する。

原位置計測方法として、以下の項目を計画する。

- 飽和度（TDR 等）、間隙水圧（間隙水圧計）、温度（熱電対）、地圧膨潤圧（土圧計）、コンクリートの歪（歪計）、コンクリートの応力（応力計）、ひび割れ（AE センサー）などを対象バリアに設置、ケーブルをアクセス坑道まで引き出す。
- 長期的に安定した計測結果を得るためには、光ファイバを用いた計測も提案できる。
- 人工バリア中に採水管を設置して、地下水到達の確認と、長期的な採水を行う。

表 2.3-1　計測項目案（新規試験施設（地下模擬処分施設）を製作・設置する試験計画）

安全機能	関連部位	安全レビュー項目	影響を及ぼす重要現象	モニタリング対象項目	モニタンリング		
					地上	地下	
					長期浸漬	ボーリング孔EB	原位置EBS
低透水性	ベントナイト系（緩衝材）	透水係数	飽和の進展	飽和度，水圧，温度			○
			変形，流出・膨出	変形量，水圧，ガス圧，全応力，飽和度，温度			○
			化学的劣化の進展	間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分，温度	○		
			ガス移行・破過	ガス圧，水圧，全応力，飽和度，温度，変形量			○
			（その他共通）	透水係数，密度	○		○
		厚さ	変形，流出・膨出	変形量，水圧，ガス圧，全応力，飽和度，温度			○
低拡散性	セメント系	実行拡散係数	化学的劣化の進展	間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分，温度	○		
		ひび割れ開口面積	化学的劣化の進展	間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分，温度	○		
			鉄筋等の腐食膨張等による変形	変形	○		
		厚さ					
収着性	ベントナイト系（緩衝材）	収着分配係数	化学的劣化の進展	間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分，温度	○		
		体積			○		
	セメント系（吹付け支保工）	収着分配係数	化学的劣化の進展	間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分，温度	○		
		体積			○		
二次的因子	支保工（鋼製支保工）	---	腐食膨張	腐食速度，腐食膨張量	○		
		---	嫌気性腐食ガス発生	ガス発生速度	○		
	EDZ，支保，空洞	---	支保の劣化	変形・ひずみ，ひび割れ，間隙水の水質・組成（pH, Eh, イオン濃度），固相成分	○		○
		---	空洞の変形	空洞内空変位			○
		---	再飽和の進展	地圧，水圧，飽和度，間隙率，透水係数，間隙水の水質・組成（pH, Eh,イオン濃度）			○
		---	EDZの進展	地圧，水圧，飽和度，間隙率，透水係数，間隙水の水質・組成（pH, Eh,イオン濃度）			○

d．試験工程

全体の試験工程は、地下水の浸漬期間、供試体の解体数・回数等によって異なるが、詳細試験計画（0.5 年）、詳細設計（1.0 年）、試験坑道施工（1 年）、予備確認試験（1 年）、

機器調達（0.5 年）、装置製作（0.5 年）、および再冠水期間（1 年）を考慮し、1 回／年の解体を想定した場合、表 2.3-2 のようになる。

表 2.3-2　試験工程案（新規試験施設（地下模擬処分施設）を製作・設置する試験計画）

項目	1年目		2年目		3年目		4年目		5年目		…	
詳細試験計画												
試験坑道施工												
予備確認試験												
地下模擬施設試験設備製作設置			機器調達		装置・供試体製作・計器設置							
給水・排水・計測												
採水・分析・計測												…

e. 施工・試験実施上の技術的課題

本施工・試験を実施するにあたって以下の課題を事前、あるいは事後に確認しておく必要がある。

- 層内部への計測センサー設置が困難なため、飽和の進展を空間的に把握しにくく、構成要素の応力変化や変形との関連を評価するのに工夫を要する。
- 計測センサーおよび施工に関する予備試験を予め実施する必要がある。
- 打継目の取り扱いに関して予め検討しておく必要がある。
- 今回設定した縮小寸法は、過去の実績や施工性などから仮に設定したものであり、実際に適切な縮小目安は予め検討して設定する必要がある。

2）評価

類似環境下での人工バリアシステムモニタリングは実規模で行うのが望ましいが、少なくとも実験研究としては現実的な実現性が乏しいと考えられる。そこで、今回の計画では相似形に縮小された人工バリアシステム試験施設によりモニタリングすることを想定する。本施設でモニタリングする現象、項目は表 2.3-1 に示す主なモニタリング欄に対応するものである。

なお、縮小模型では、材料は本物で間隙や粒のサイズは縮小されず部材としてのサイズだけが縮小されているので、現象の相似性が保たれている。したがって、相似率で換算できる部分と、実際とは異なっている現象とがあり、規模を縮小することで相似則が不整合となる現象があることに注意が必要である。また、部材の応力やひずみは実規模と異なるため、その再現に関する必要性や再現方法などを事前に詰めておく必要がある。

また、今回設定した縮小寸法は、過去の試験実績や坑道や計測の施工性、飽和進展ならびに膨潤圧発生に伴う他の構成要素との相互作用のモニタリングの実施可能性などからモニタリング施設の規模は実規模の 1/4 スケール程度とするのが合理的と考えて、仮に設定したものである。したがって、上記課題にも記した通り、実際の縮小目安は予め要素試験、解析等

による間接的な手法の併用から検討して適切に設定する必要がある。

実施過程として、以下のような流れが案として考えられる。

① 要素試験により得られたパラメータにより、実規模大による検証解析を実施する。

② その結果、想定内の挙動評価が得られているか否かで各パラメータ、特に部材内の応力ーひずみ関係における相似則との関係を把握する。

③ この解析的検討結果を用いて実規模試験における管理値を試験設計に反映させる。

3) 試験実施条件のオプション

本試験を長期試験として考える場合、途中のある時期に一式解体調査を可能にするよう、試験体を2体設置する試験構成とすることも視野に入れる。その場合の試験概要案を図 2.3-3 の左図に示す。

また、以下の理由より坑道より深い位置（鉛直下向き）に図 2.3-3 の右図のように設置する試験方法も検討する。なお、本設置方法は実施設の設置状況を再現するものではない。

・ 外気による影響を受けていないオリジナルに近い地下水環境を得ることが出来る。

・ 模擬施設全周囲のモニタンリング計測が可能となる。

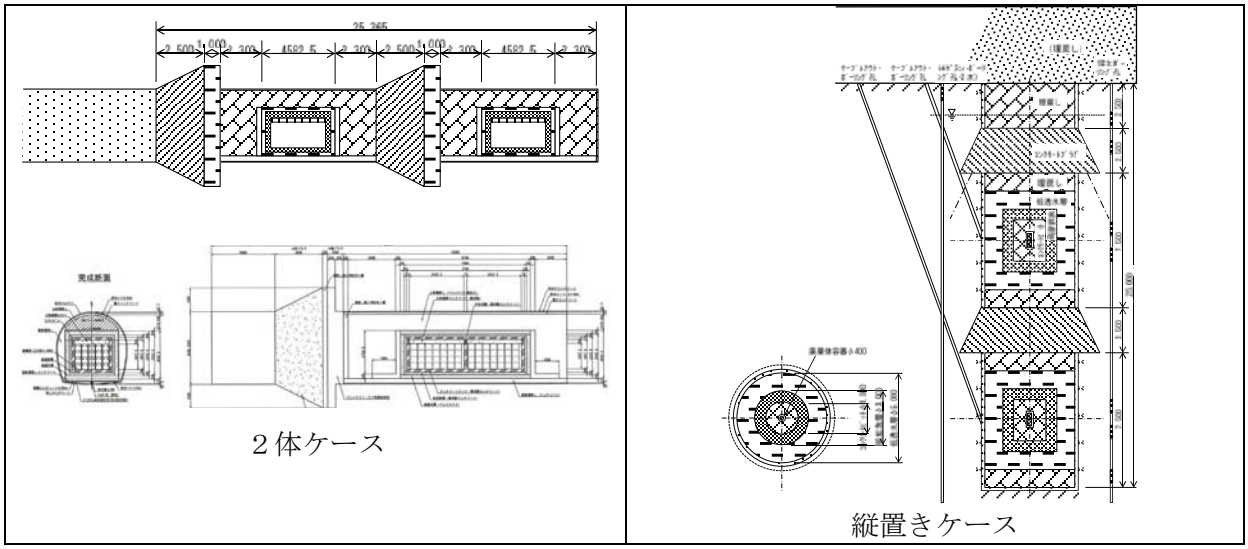


図 2.3-3　機能確認試験のイメージ

2.4　既存の実規模模擬試験施設をそのまま活用する試験計画

2.4.1　概説

日本原燃（株）敷地内の試験空洞にある既存の実規模模擬施設は、施設の施工技術の実現性について確認することを目的に構築されたものである。この際、図 2.4-1 に示すように、施工エリアが湧水によって湿潤状態となり、施工品質が損なわれることを排除するために、一次覆工の表面に防水シートを敷設して施工エリア全体をドライな状態に維持している。この状態で、側部埋戻し材、上部埋戻し材の施工を行っているため、防水シートを撤去して積極的に地下水を浸潤させることは実質不可能な状況であり、水理場を制御することが困難である。

現状の実規模模擬施設は、埋設段階の状態を模擬していると見なすことも可能であり、地下水が浸潤しなければ、多くの化学的変質は進行しない、あるいはその進行速度が極めて緩慢であると考えられる。したがって、ここでは力学挙動に着目した機能確認としての活用を考えることとする。

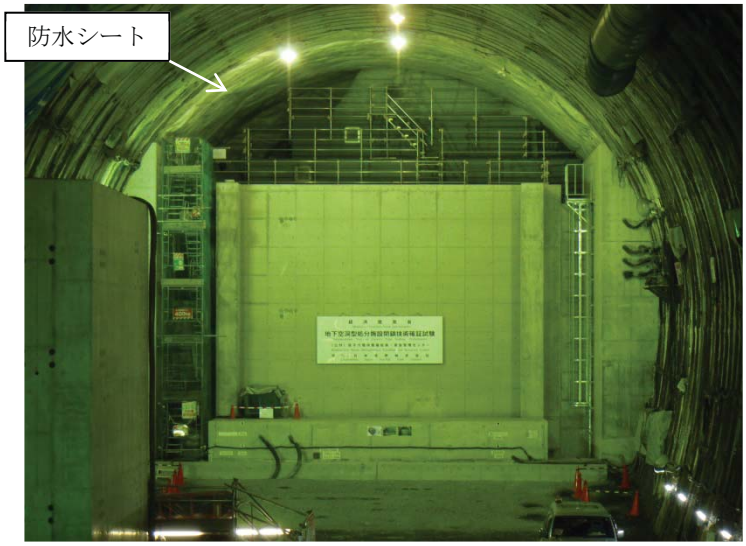


図 2.4-1　既存の実規模模擬施設の状況（2016 年 10 月時点）

2.4.2　試験計画案

(1) 試験計画案 1

1) 試験計画

既存の実規模模擬施設には、後述のとおり、様々な計測器が設置されている。既存の計測器による継続的なデータ取得により、埋設段階における人工バリア部材の機能変化が化学的にも力学的にも小さいことを実証することが可能である。また、既存の計測機器は、設置から最長で 10 年程度経過しており、計測器の耐久性を評価することが可能である。一部の故障した計測機器については、取り出して故障の原因を調査・分析することで、計測機器の長

寿命化に資する知見が入手できる可能性もあるが、後述のとおり、データ異常、点検異常と判定された計測器は、その多くが底部低透水層、側部コンクリートピットに埋設されたものである。これらの計測器を取り出すには、既存の実規模模擬施設の大部分を解体・撤去する必要が生じるため、本事業において、異常が確認された計測器を取り出すことは困難であると考えられる。

以上より、本試験計画では、埋設段階における人工バリア部材の機能変化が小さいことの実証と計測器の耐久性評価に主眼を置くこととする。

本試験における計測項目は、後述する既設の計測器の計測項目を踏襲する。

試験工程を表 2.4-1 に示す。

表 2.4-1　試験工程案（既存の実規模模擬施設をそのまま活用①）

項目	1年目		2年目		3年目	
既設の計測器によるデータ取得 （埋設段階における人工バリア部材の機能変化が小さいことの実証）						
既設の計測器を対象とした耐久性評価						

2）評価

本試験は、既設の計測器による計測データ取得を継続するものであり、新たな試験設備等を必要としないことから、試験にかかるコストは低く抑えることが可能である。しかし、前述のとおり、既存の実規模模擬施設をそのまま活用する場合には、処分坑道埋戻し後の地下水浸潤過程を模擬することができないため、あくまで埋設段階における人工バリア部材の機能変化が小さいことを実証することにのみ着眼した試験とならざるを得ない。

規制要求では、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に定期的な評価を行うことが要求されており、埋設段階が数十年に及ぶ可能性を鑑みると、本試験計画が、少なくとも埋設段階における定期的な評価に資するデータを取得することが可能であると考えられる。

(2) 試験計画案 2

1）試験計画

既存の実規模模擬施設は、手前コンクリートピット前面、側部低拡散層の一部、上部低拡散層の一部が露出した状態となっている。ここでは、一般的な計測機器に比べて高耐久で、ケーブル量を最小化した上で分布計測が可能という特徴を有する光ファイバセンサーに着目し、セメント系材料のひび割れ計測を行う。3.1.4 項で後述するように、埋設段階から保全段階に至る過程で、不均一に地下水が浸潤し、低透水層が局所的に膨潤した場合には、低拡散層に引張強度を超える引張応力度が発生し、曲げひび割れが発生する可能性が示唆されている。

また、既存の実規模模擬施設の低拡散層には、打設後 1 ヶ月程度経過した段階でひび割れが発生しており、実処分施設においても同様の事象が発生する可能性が十分にある。仮に低透水層の施工前にひび割れを充てんする等の補修が行われたとしても、埋設段階から保全段階に移行した後にひび割れ幅が変動する可能性があるため、特に低拡散層のひび割れ発生状況をモニタリングすることは有意であると考えた。

3.1.4 項で後述するような低透水層の偏膨潤による曲げひび割れに関しては、ひび割れ発生方向がある程度予測可能である一方、無筋モルタル部材である低拡散層においては、乾燥収縮等、他のひび割れ発生要因に起因するひび割れの発生方向を事前に予測することが難しい。

そこで、本試験では、ひび割れの発生方向によらずひび割れ発生状況をモニタリングする方法として、セメント系材料の表面に光ファイバセンサーを格子状に設置して、ひび割れ発生状況をモニタリングするとともに、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手法を検討する。

既存の実規模模擬施設において、コンクリートピット、低拡散層が面的に露出している範囲を図 2.4-2～図 2.4-4 に赤枠で示した。なお、図 2.4-2、図 2.4-3 には既存のひび割れ発生状況を青線で示した。本試験では、側部低拡散層の一部、上部低拡散層の一部および手前コンクリートピット前面に光ファイバセンサーを設置する。

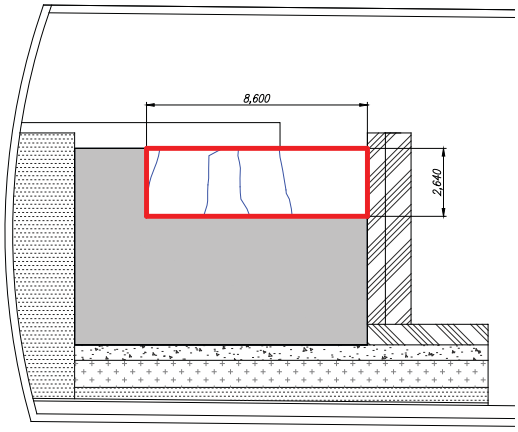


図 2.4-2　側部低拡散層（左側）の露出範囲（側面図）

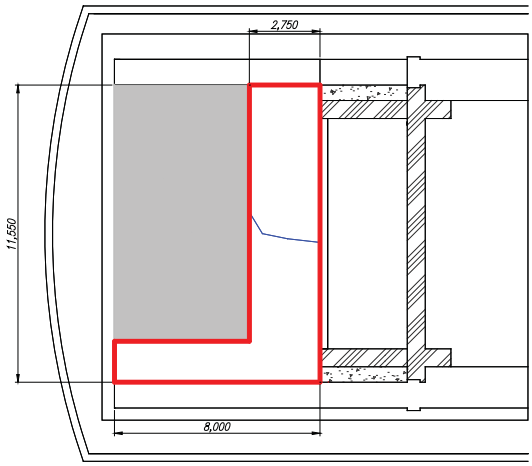


図 2.4-3　上部低拡散層の露出範囲（平面図）

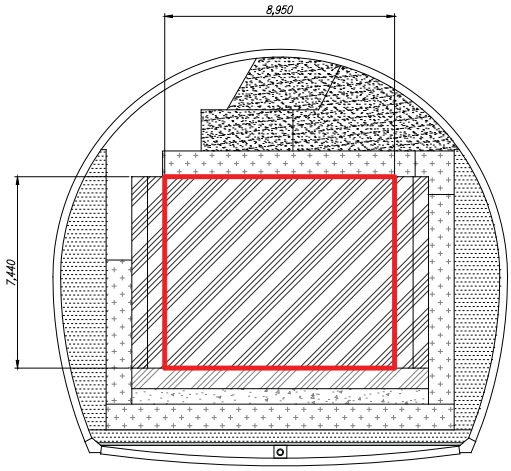


図 2.4-4　手前コンクリートピットの露出範囲（正面図）

既存の実規模模擬施設は、坑道軸方向の延長が 12m 程度であり、3.1.4 項で後述するような低透水層の偏膨潤による曲げひび割れを発生させることは不可能である。光ファイバセンサーを設置した低拡散層、コンクリートピットには、静的破砕剤等により人為的にひび割れを発生させることとする。そして、光ファイバセンサーによる計測結果からひび割れ発生状況を推定する手法を検討する。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を図 2.4-5 に示す。

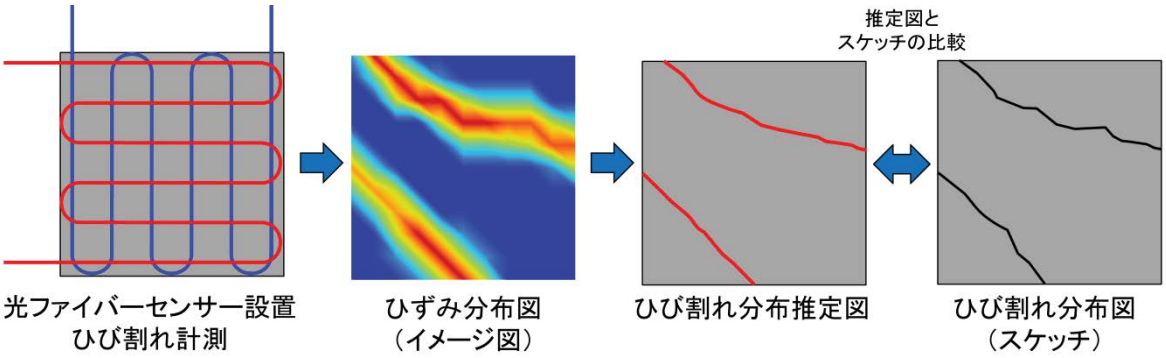


図 2.4-5　光ファイバセンサーの計測結果からひび割れ発生状況を推定するイメージ

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 2.4-6 に示す。

側部低拡散層（左側）では、坑内温度・湿度の変動に伴うひび割れ幅の変動は極小さいと想定されるため、光ファイバセンサーを用いたひび割れ計測の計測精度を確認する。このため、既存のひび割れ幅計測技術（例：パイ型ゲージ）による計測を併用し、両者の計測値を比較する。

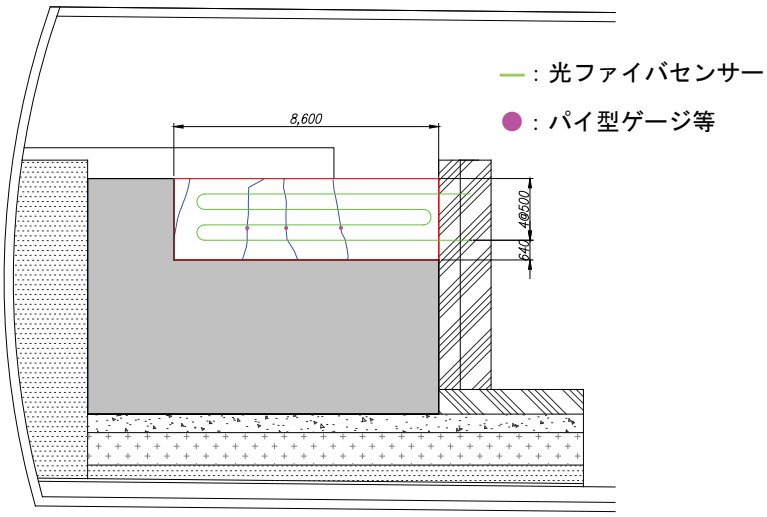


図 2.4-6　側部低拡散層（左側）の光ファイバセンサー設置位置（案）（側面図）

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し、人為的にひび割れを発生させることにより、ひび割れ計測試験を実施する。上部低拡散層の光ファイバセンサー設置位置を図 2.4-7 に示す。

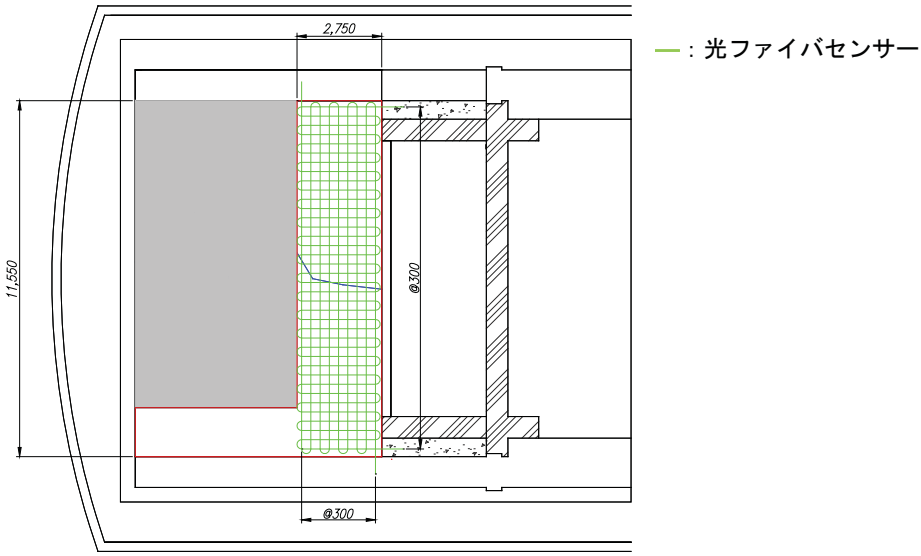


図 2.4-7　上部低拡散層の光ファイバセンサー設置位置（案）（平面図）

人為的なひび割れ発生方法としては、例えば静的破砕剤の使用が考えられる。静的破砕剤は、岩石や鉄筋コンクリート等の破砕に使用されている材料で、これまでに多数の適用実績を有するものである。光ファイバセンサーを設置後に、上部低拡散層に直径 40mm 程度、深さ 50cm 程度のコアを削孔し、削孔した孔内に静的破砕剤を充てんする。孔内で静的破砕剤が膨張することにより、引張応力を発生させ亀裂を発生させるものである。静的破砕剤の充てん孔を適切に配置することにより、ある程度意図した位置にひび割れを発生させることが可能である。ただし、静的破砕剤は主に解体を目的に使用されるものであるため、発生させるひび割れのひび割れ幅を制御することが難しい。そこで、事前に地上部で側部および上部低拡散層と部材厚が等しい試験体を作製し、静的破砕剤の適用試験を実施する。

光ファイバセンサーによるひび割れ計測を行った後、図 2.4-5 に示したように、上部低拡散層のひずみ分布図を作成し、そこからひび割れ分布を推定する。本試験においては、実際のひび割れ発生状況を目視確認することが可能であるため、推定したひび割れ分布とひび割れスケッチを比較することにより、より高い精度でひび割れ分布を推定する手法を検討する。また、ひずみ分布図作成からひび割れ分布推定においては、光ファイバセンサーの設置密度が、ひび割れ分布推定精度に影響すると考えられる。そのため、300mm 間隔で計測したデータを全て用いる場合、600mm 間隔の測定データのみを使用する場合、900mm 間隔で計測したデータのみを使用する場合等、使用するデータの密度を変化させることにより、光ファイバセンサーの設置密度がひび割れ分布推定精度に与える影響を確認する。

また、人為的なひび割れを発生させるひび割れ計測試験は、段階的にひび割れ幅を増大させる。これにより、光ファイバセンサーにより計測可能なひび割れ幅の上限値を同定することが可能であると考えており、光ファイバセンサーの固定方法（全線接着、数 cm ピッチでの固定等）が計測可能なひび割れ幅の上限値に及ぼす影響を確認する。

手前コンクリートピットでは、上述の上部低拡散層と同様の試験を実施する。手前コンクリートは、上部低拡散層に比べて、広範囲に露出しているため、分岐を有するひび割れなど、

より複雑な形状のひび割れを発生させることが可能であると考えらえる。

ただし、手前コンクリートピット前面は、KK シート工法[3]による打継ぎ処理がなされているため、表面には図 2.4-8 に示すような凹凸が形成されている。また、手前コンクリートは鉄筋コンクリートであり、鉛直・水平ともに 150mm 間隔で鉄筋が配筋されている。静的破砕剤を使用する際には、コア削孔する必要があり、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。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 2.4-9 に示す。

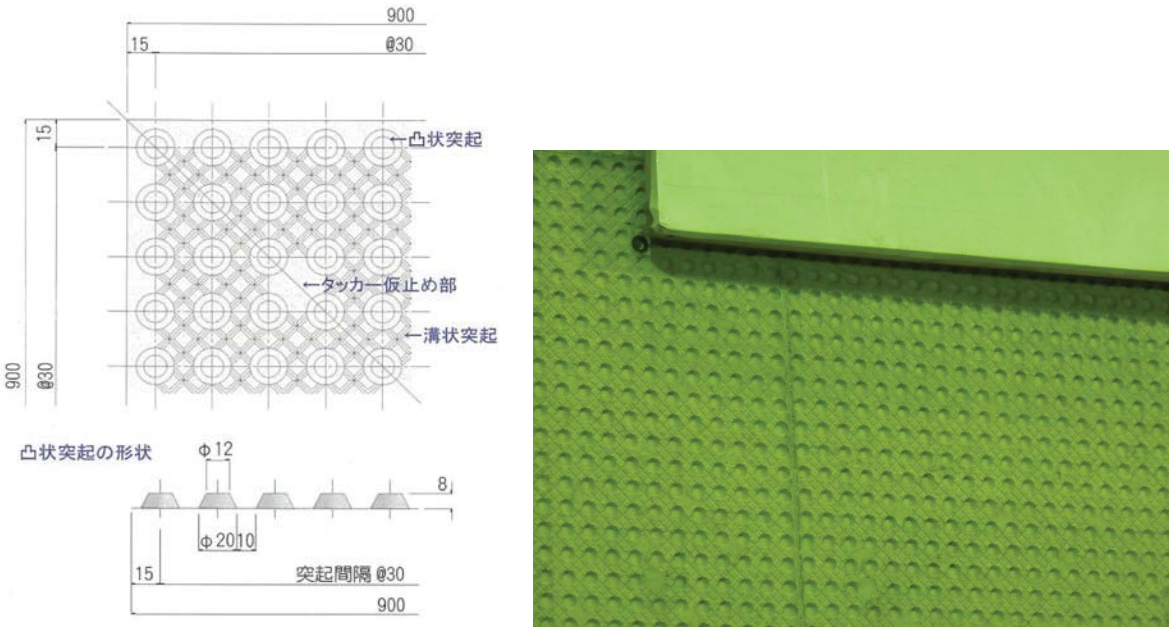


図 2.4-8　KK シートの凹凸形状[4]と手前コンクリートピット表面の状況

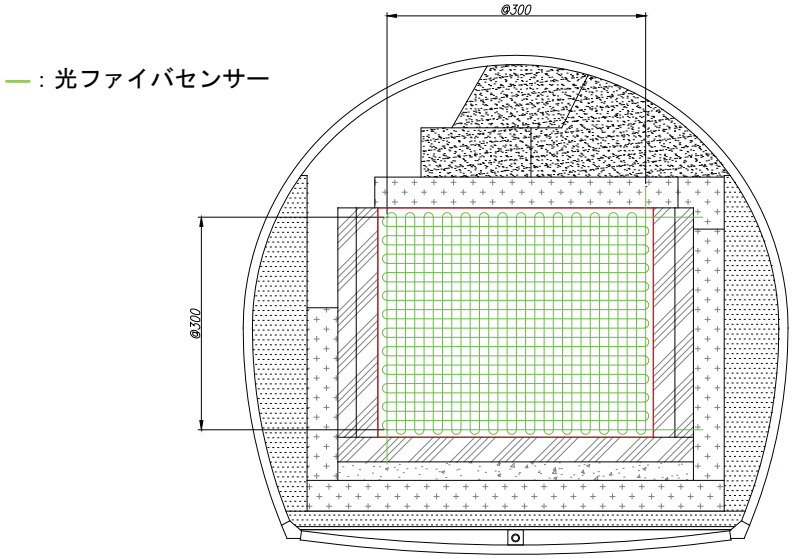


図 2.4-9　手前コンクリートピットの光ファイバセンサー設置位置（案）（正面図）

本試験における計測項目を表 2.4-2 に示す。

表 2.4-2　計測項目案（既存の実規模模擬施設をそのまま活用②）

部　位	計測項目	備　考
側部低拡散層 （左側）	ひび割れ幅	
	ひび割れ幅	パイ型ゲージ等既存技術
	温度	
	湿度	
上部低拡散層	ひび割れ幅	
	温度	
	湿度	
手前コンクリート ピット	ひび割れ幅	
	温度	
	湿度	

試験工程を表 2.4-3 に示す。

表 2.4-3　試験工程案（既存の実規模模擬施設をそのまま活用②）

項目	1年目		2年目		3年目	
試験準備 （光ファイバーセンサー、計測機器調達）						
光ファイバーセンサー設置 （側部・上部低拡散層、手前コンクリートピット）						
既存ひび割れのひび割れ幅計測 （側部低拡散層）						
ひび割れ分布推定方法の検討						
静的破砕剤の事前試験試験体製作						
静的破砕剤の事前試験（1）						
ひび割れ計測試験 （上部低拡散層、手前コンクリートピット）						
静的破砕剤の事前試験（2）						
ひび割れ計測試験（ひび割れ幅増大） （上部低拡散層、手前コンクリートピット）						

2）評価

本試験は、既存の実規模模擬施設をそのまま活用する試験計画であるため、前述の新規地下模擬施設を設置する試験計画や後述の既存の実規模模擬施設を一部改造して活用する試験計画と比較すると、試験にかかるコストを低く抑えることが可能である。

低拡散層のひび割れは、平成 27 年度の検討において、安全評価結果への感度が高く、モ

ニタリングの対象期間内に変化が起こりうる事象として抽出した機能確認ポイントである。この底拡散層のひび割れ発生状況を計測し、ひび割れ分布を推定することができれば、規制要求にある、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に実施する定期的な評価に資するデータを取得することができる。また、実処分事業において、模擬処分施設や実処分処分施設の一部で本試験と同様の計測を実施し、万が一、低拡散層のひび割れが想定以上に進展・拡大した場合、これを確認・把握できれば、規制要求に明示された「廃棄物埋設地からの放射性核種の異常な漏えいの徴候」を確認することになり、漏出箇所の推定や補修等の必要な対策を講じるための重要なデータとなる。

一方、後述する「処分坑道縦断方向の解析的検討」において、低透水層の物性値を保守的に設定し、低透水層の一部が局所的に膨潤することを想定すると、低拡散層に引張強度を超える引張応力度が生じることを示したが、仮に低透水層の一部が局所的に膨潤した場合でも、低透水層の物性が均質であれば、低拡散層にひび割れが発生する可能性が低いことも同時に示している。したがって、実処分事業において、模擬処分施設や実処分処分施設の一部で本試験と同様の計測を実施した場合、規制要求にある「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機能を発揮しつつあること」を確認することも可能である。

(3) 試験計画案 3

1) 試験計画

埋設段階から保全段階における処分空洞内の応力分布などが、シナリオ通りに推移しているかどうかを確認する手段として、施設の温度変化を把握することは重要である。また、懸念される不均質な地下水の浸潤などについても、網羅的な多点計測結果を用いれば、それらの温度変化を通じて浸潤位置や程度を検知できる可能性がある。ここでは、前項同様に、ケーブル量を最小化した上で分布計測が可能という特徴を有する光ファイバセンサーに着目し、坑内温度の分布計測を行う。

試験実施場所として、既存の実規模模擬施設付近だけでは季節変化などによる環境温度変化が生じにくく、また強制的に温度変化を与えることも安全管理上などの理由で困難なため、坑道全体を利用することとする。つまり、実規模模擬施設から坑道を経由して坑口までの全長にわたる温度分布を計測する。地下深度が深いほど年間を通した環境温度変化が小さく、浅いほど環境温度変化が大きいことを利用すれば、位置的にも時間的にも温度差が生じる状態下での試験が可能と考えらえる。

そこで、本試験では、光ファイバセンサーを坑道に沿って設置して、実規模模擬施設から地表までの全長における網羅的な温度状況をモニタリングする手法を検討する。

既存の実規模模擬施設付近から、坑道を通じて坑口まで敷設する温度分布計測用光ファイバセンサーの設置イメージを図 2.4-10～図 2.4-11 に示す。定期的な温度分布計測に加えて、安全管理上支障のない場所において、局所的な温度変化を与え、その前後における温度分布計測結果をもとに熱源位置を特定することを試みる。

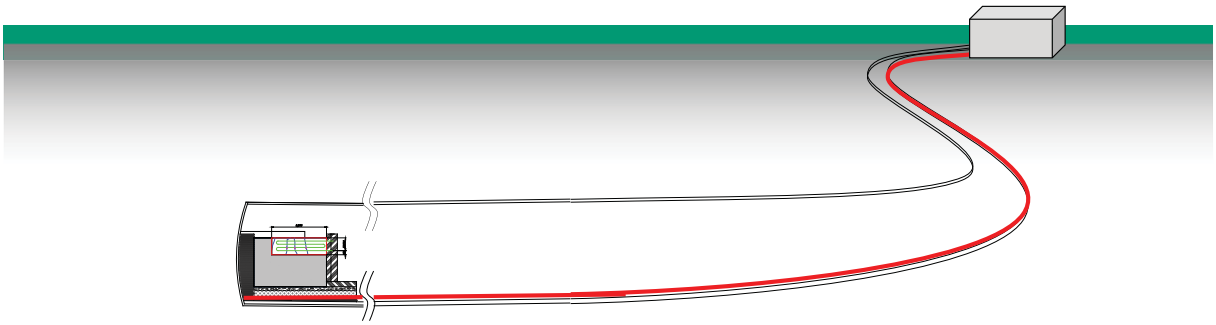


図 2.4-10　温度計測のための光ファイバセンサーの配置

図 2.4-11　光ファイバセンサーの配置イメージ

本試験における計測項目を表 2.4-4 に示す。

表 2.4-4　計測項目一覧（既存の実規模模擬施設をそのまま活用③）

部　位	計測項目	備　考
実規模模擬施設	温度分布	光ファイバセンサー
	温度	熱電対
坑道 A	温度分布	光ファイバセンサー
	温度	熱電対
坑道 B	温度分布	光ファイバセンサー
	温度	熱電対
坑道 C	温度分布	光ファイバセンサー
	温度	熱電対
坑口	温度分布	光ファイバセンサー
	温度	熱電対

試験工程を表 2.4-5 に示す。

表 2.4-5　試験工程（既存の実規模模擬施設をそのまま活用③）

	1年目		2年目		3年目	
試験準備 （光ファイバセンサー、計測機器調達）	━━					
光ファイバセンサー設置		━				
温度分布連続計測		━━	━━	━━	━━	
局所加温		━	━	━	━	
温度分布からの熱源位置推定方法の検討			━━	━━	━━	

2）評価

本試験は、既存の実規模模擬施設をそのまま活用する試験計画であるため、後述の新規地下模擬施設を設置する試験計画や後述の既存の実規模模擬施設を一部改造して活用する試験計画と比較すると、試験にかかるコストを低く抑えることが可能である。

本試験を通じた現地環境下における精度検証と、長距離伝送における課題抽出を主な目的とする。そのために定期的な温度分布計測を行う。さらに、得られた温度分布と坑道沿いの湧水状況の比較を行うことで、単なる温度計測だけに留まらず、水理地質構造などに関するモニタリング手段としての可能性検証についても試みたい。

本試験の結果、光ファイバセンサーにより面的なひずみの分布を得られることで、事前解析などで推定されるシナリオ通りに推移しているかどうかを、空間的にも時間的にも連続したものとして確認することができる。また、不均質な地下水の浸潤などについても、温度変化を通じてその位置や程度を検知できる可能性がある。さらに、一本の光ファイバを用いてひずみと温度の計測を行うことで、前述のひび割れ検知のためのひずみ計測結果と温度分布結果をともに考慮することによって、複合的なモニタリングを確認することができる。

また、上述の試験計画案 2 と同様に、実処分事業において、模擬処分施設や実処分処分施設の一部で本試験と同様の計測を実施した場合、規制要求にある「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機能を発揮しつつあること」の確認が可能だと考えられる。

なお、「(2) 試験計画案 2」および「(3) 試験計画案 3」で示した光ファイバセンサーを用いた機能確認を行うに当たり、現状では技術が確立されていない光ファイバセンサーによる圧力測定に向けた検討および光ファイバセンサーの設置方法の検討について、第 3 章にラボ試験計画を記載した。

2.5　既存の実規模模擬試験施設を一部改造して活用する試験計画

2.5.1　概説

前述のとおり、既存の実規模模擬施設は水理場を制御することが困難な状況であるが、埋設段階から保全段階に移行した際の実処分施設と同等の環境条件を模擬する場合、水理場の制御は不可欠である。そこで、本節では、既存の実規模模擬施設に水理場制御機能を付加し、化学的変質に伴う人工バリア部材の機能変化をモニタリング可能な試験計画を検討する。

また、前述の実規模模擬施設を現状のまま活用する試験計画案を拡張した試験計画を検討する。

2.5.2　試験計画案

(1) 試験計画案 1

1) 試験計画

図 2.5-1 に示すように、既存の実規模模擬施設に連続する施設を増築し、その増築部分に水理場を制御する機能を付与する。また、図 2.5-2 に示すように、増築する際に周辺岩盤にセンサーを設置して、周辺岩盤が緩んだ状態から施設の建設～埋設～保全段階に至る過程で掘削前の状態に戻る状況をモニタリング可能とする。ただし、この場合は、実規模模擬施設前面に止水壁を構築する必要が生じる。

本業務において機能確認する主な対象は人工バリアであるが、天然バリアの機能が、保全段階で向上することが確認できれば、実際の処分事業におけるモニタリングでも、天然バリアに関しては埋設段階までのモニタリングで十分であることを示すことができる可能性がある。(岩盤の計測方法、機能確認方法については、最終報告書までに対応予定)

なお、地下水場を制御する方法としては、側部埋戻し材と底部のインバート部に比較的ポーラスなパネルを設置し、そのポーラスコンクリートパネルから低透水層に給水する方法とする。このような給水方法は、実処分施設への浸潤状況と比較すると促進試験に位置付けられるため、実際の処分施設の評価に適用する場合には、3.1.3 項に示す解析的検討における浸潤時間と比較することにより、促進試験の影響を考慮する。

また、増築する部分には、新規に計測機器を設置することも可能である。既存の実規模模擬施設には、有線型の計測機器が埋設されており、一部の故障した計測器を除いてはデータ取得を継続しているが、増築部分には、新たに無線伝送装置を設置して、計測データの無線伝送を実証することが可能となる。また、浸潤過程は実処分施設に比べて促進されているため、埋設段階から保全段階に移行する過程で、人工バリア部材の機能変化が大きい時期を同定することが可能となる。

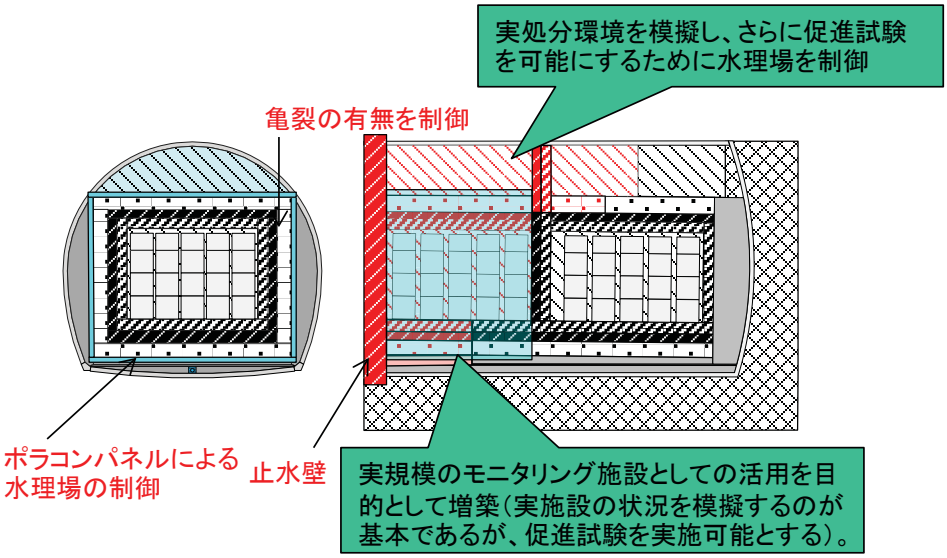


図 2.5-1　既存施設に水理場制御機能を増築して活用する場合のイメージ

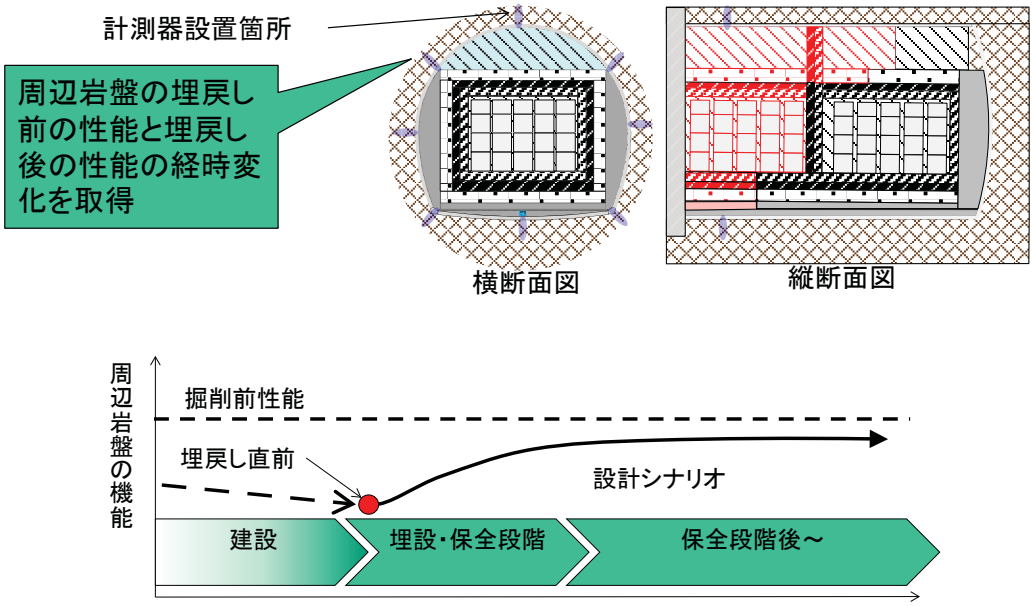


図 2.5-2　既存施設に増築する際の周辺岩盤の性能評価イメージ

本試験における計測項目を表 2.5-1 に示す。

表 2.5-1　計測項目案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用①）

部　位	計測項目	備　考
周辺岩盤	間隙水圧	既設計測器による
	岩盤変位	〃
セメント系埋戻し材	ひずみ	〃
	応力	〃
低透水層	体積含水率	〃
	膨潤圧	〃
	間隙水圧	〃
	変位	〃
低拡散層	ひずみ	〃
	応力	〃
コンクリートピット	ひずみ	〃
	応力	〃
周辺岩盤 （増設部）	間隙水圧	新規計測器（無線伝送）
	岩盤変位	〃
低透水層 （増設部）	体積含水率	新規計測器 既設計測器のうち底部低透水層に設置した水分計の故障が多いため、増設部に新規設置

試験工程を表 2.5-2 に示す。

表 2.5-2　試験工程案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用①）

項目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	・・・
詳細試験計画・増築部施設設計											
増築部施設構築											
冠水試験											
データ計測											

2）評価

本試験計画は、既存の実規模模擬施設にコンクリートピット 1 区画分を増築するため、増築工事に地下空洞型処分施設性能確証試験相当の費用を要する。また、既存の実規模模擬施設は平成 19 年度から平成 26 年度に渡り構築したものであるため、既存施設の手前にコンクリートピット 1 区画分の施設を増築する工事に 5 年程度の工程を要すると想定される。

規制要求への適応性については、埋設段階から保全段階に至る過程で実処分施設に生じる事象を模擬することができるため、埋設段階から保全段階にかけて「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機能を発揮しつつあること」を確認することが可能である。

(2) 試験計画案 2

1) 試験計画

上述の水理場制御機能を付与する増築案では、埋設段階から保全段階に至る過程で実処分施設に生じる事象を模擬することができる一方で、非常に大掛かりな増築工事が必要となる。そこで、既存の実規模模擬施設に水理場制御機能のみを付与する試験計画案を考えた。

既存の施設に水理場制御機能のみを追加する方法としては、図 2.5-3 に示すように、埋戻し材と低透水層の間にボーリング孔を設置し、パッカーを用いて加圧給水する。あるいは、図 2.5-4 に示すように、既存施設の模擬廃棄体と充てん材を撤去して、コンクリートピットの内側からボーリングを行い加圧給水する方法も考えられる。この場合、圧入する地下水は、試験空洞の防水シートを敷設していないエリアの湧水を集水して使用する。

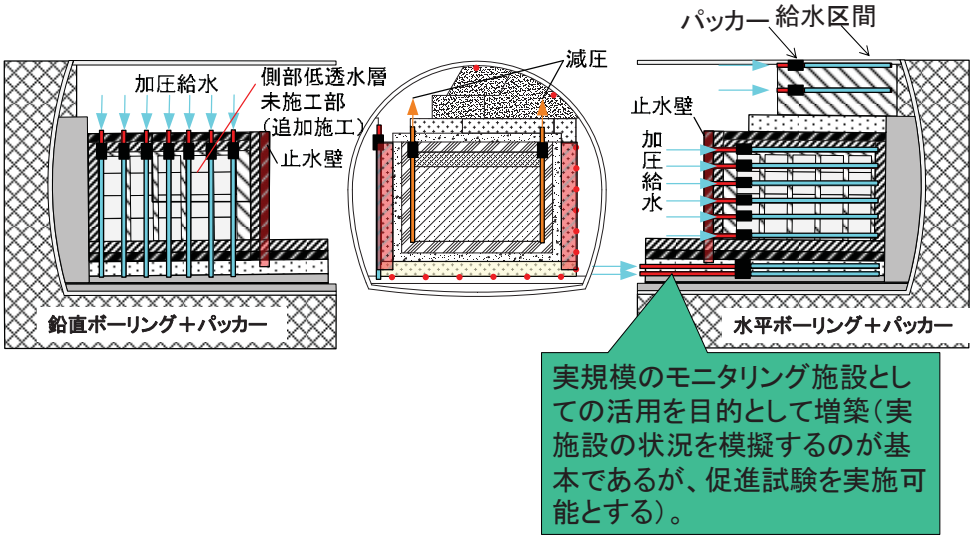


図 2.5-3 既存施設に水理場制御機能のみを増築する場合のイメージ (1)

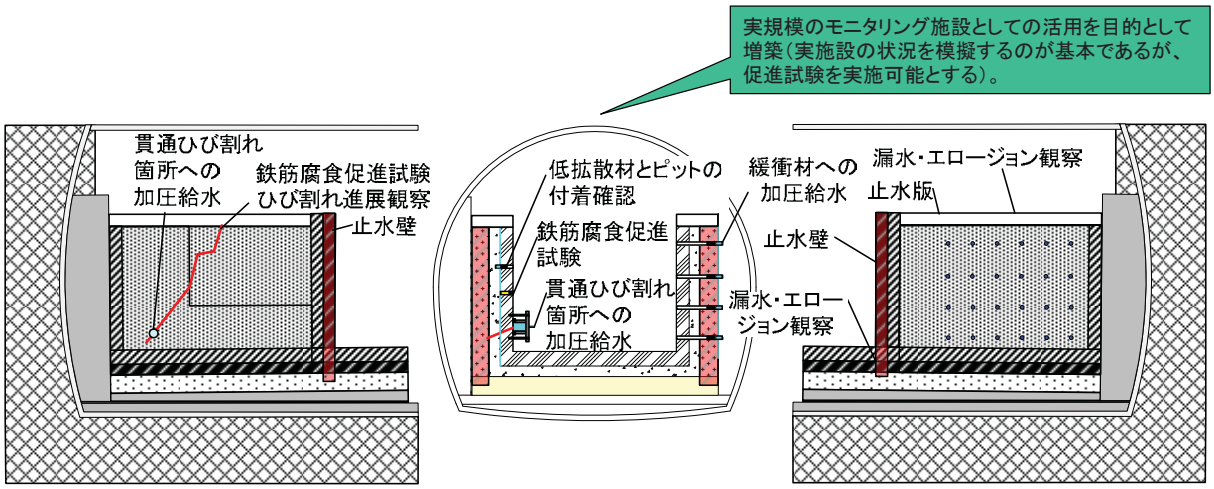


図 2.5-4 既存施設に水理場制御機能のみを増築する場合のイメージ (2)

本試験における計測項目を表 2.5-3 に示す。

表 2.5-3　計測項目案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用②）

部　位	計測項目	備　考
低透水層	体積含水率	既設計測器による
	膨潤圧	〃
	間隙水圧	〃
	変位	〃
低拡散層	ひずみ	〃
	応力	〃
コンクリートピット	ひずみ	〃
	応力	〃

試験工程を表 2.5-4 に示す。

表 2.5-4　試験工程案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用②）

コンクリートピット内部を撤去しない場合

項目	1年目		2年目		3年目		4年目		5年目	
詳細試験計画										
試験設備詳細設計										
給水孔設置・止水版設置										
給水試験										
データ計測										

コンクリートピット内部を撤去する場合

項目	1年目		2年目		3年目		4年目		5年目	
詳細試験計画										
試験設備詳細設計										
コンクリートピット内部撤去										
給水孔設置・止水版設置										
給水試験										
データ計測										

2）評価

本試験計画は、既存の実規模模擬施設に強制的に給水し、地下水浸潤過程を模擬した環境条件を付与するものであり、前述の増築案と比較すると試験費用は抑制できるものの、地上試験施設を新規設置する試験計画や既存の実規模模擬施設をそのまま活用する試験計画と比較すると多くの試験費用を要する。

規制要求への適応性については、埋設段階から保全段階に至る過程で実処分施設に生じる

事象を模擬することができるため、埋設段階から保全段階にかけて「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機能を発揮しつつあること」を確認することが可能である。また、規制要件では、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には、漏出箇所の確認や補修等の必要な対策を講ずることが要求されており、補修等の必要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とされている。本試験計画のうち、コンクリートピット内部を撤去する試験計画では、地下空洞型処分施設性能確証試験で設置・構築した人工バリア部材や模擬廃棄体を撤去するため、その際に、万が一の場合に要求される可能性がある回収に係る実証試験を兼ねることも可能であると考えられる。ただし、実処分施設における廃棄物の回収は、遠隔操作で行わることが想定されるため、本試験で回収に係る実証を行う場合には、別途、遠隔操作による回収技術の開発が必要となる。

(3) 試験計画案 3

1) 試験計画

2.4　節で策定した既存の実規模模擬施設をそのまま活用した試験計画を拡張した試験として、図 2.5-5 に示すように、上部埋戻し材、上部・側部低透水層を一旦撤去し、露出させた側部・上部低拡散層表面に光ファイバセンサーを格子状に設置する。その後、側部低拡散層（左側）と上部低拡散層において、2.4　節と同様にひび割れ計測試験を実施する。ひび割れ計測試験後は、側部低拡散層（左側）においては、ひび割れ幅の計測を継続することを目的として、低拡散層が露出した状態を維持する。上部および側部（右側）においては、光ファイバセンサー設置後に低透水層の施工を行った場合に光ファイバセンサーに与える影響を確認することを目的として、低透水層を再度施工する。その際、施工性能確証試験と同様に、転圧工法、吹付工法の両方を実施する。

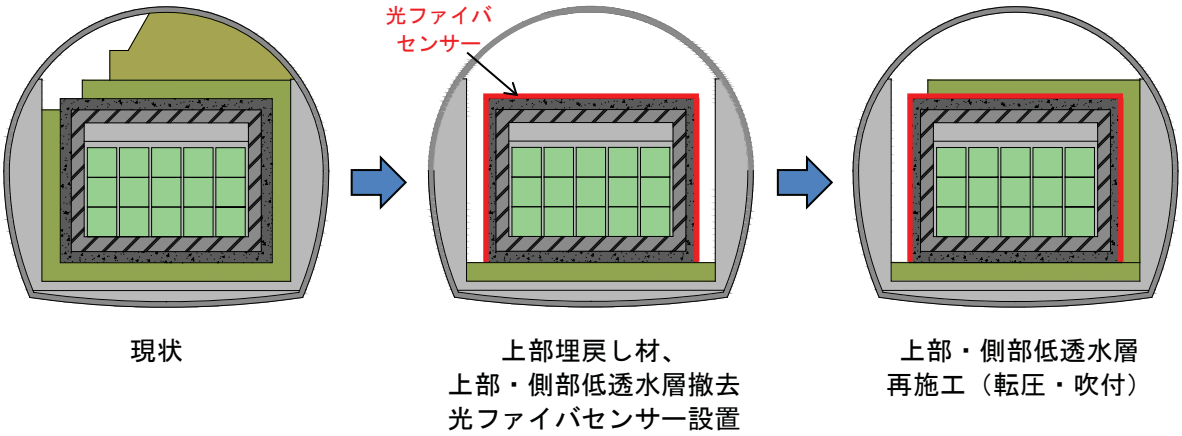


図 2.5-5　上部埋戻し材、上部・側部低透水層を撤去する試験計画のイメージ

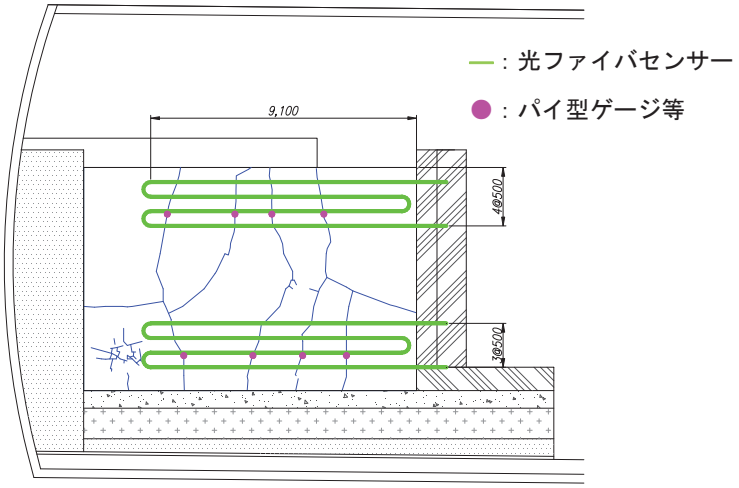


図 2.5-6　側部低拡散層（左側）の光ファイバセンサー設置位置（案）（側面図）

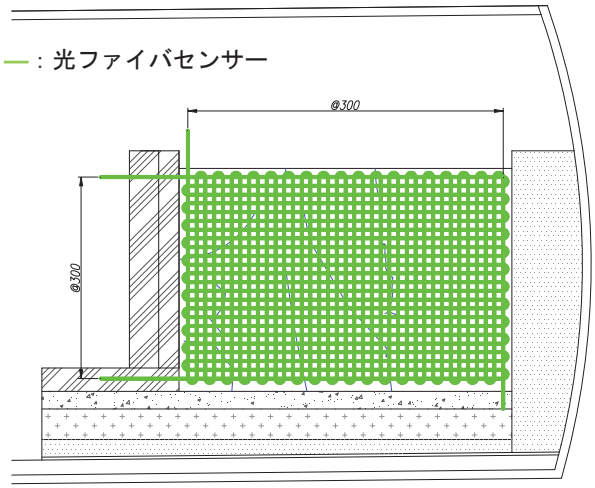


図 2.5-7　側部低拡散層（右側）の光ファイバセンサー設置位置（案）（側面図）

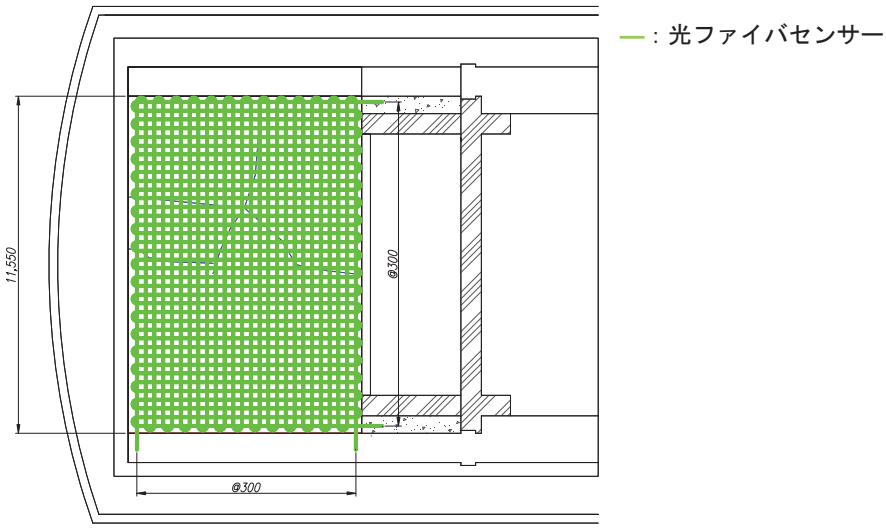


図 2.5-8　上部低拡散層の光ファイバセンサー設置位置（案）（平面図）

本試験における計測項目を表 2.5-5 に示す。

表 2.5-5　計測項目案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用③）

部　位	計測項目	備　考
側部低拡散層 （左側）	ひび割れ幅	
	ひび割れ幅	パイ型ゲージ等既存技術
	温度	
	湿度	
	低透水層施工時の側圧	
上部低拡散層／ 側部低拡散層 （右側）	ひび割れ幅	
	温度	
	湿度	
	低透水層施工時の側圧	

試験工程を表 2.5-6 に示す。

表 2.5-6　試験工程案（既存の実規模模擬施設を一部改造して活用③）

項目	1年目		2年目		3年目		4年目	
上部埋戻し材、上部・側部低透水層撤去	―							
試験準備 （光ファイバーセンサー、計測機器調達）	―							
光ファイバーセンサー設置 （側部・上部低拡散層）		―						
既存ひび割れのひび割れ幅計測 （側部低拡散層（左側））		―	―	―	―	―	―	―
ひび割れ分布推定方法の検討	―	―	―	―	- - -	- - -	- - -	- - -
静的破砕剤の事前試験試験体製作		―						
静的破砕剤の事前試験（1）			―					
ひび割れ計測試験 （上部低拡散層（右側）、上部低拡散層）				―	- - -	- - -		
静的破砕剤の事前試験（2）					―			
ひび割れ計測試験（ひび割れ幅増大） （側部低拡散層（右側）、上部低拡散層）						―		
上部低透水層、側部低透水層（右側）再施工 （転圧方向、吹付工法）							―	―
光ファイバーセンサー設置後の低透水層施工による計測値への影響評価								―

2）評価

本試験は、2.4.2 (2) で示した既存の実規模模擬施設をそのまま活用する試験計画に加えて、低拡散層表面に光ファイバセンサーを設置した後に低透水層を施工した場合の影響を確認するものであるため、上部埋戻し材、上部・側部低透水層の撤去、および再施工にかかる

コストが増額となる。

規制要求への適応性については、2.4.2 (2) で示した既存の実規模模擬施設をそのまま活用する試験計画と同様であり、定期的な評価に資するデータを取得すること、「廃棄物埋設地からの放射性核種の異常な漏えいの徴候」や「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機能を発揮しつつあること」を確認することが可能である。

2.6　既存施設の計測機器類及びデータの活用

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、施工が完了した平成 27 年度以降の計測機器の活用方法を検討することを目的として、既設計測機器の仕様、設置情報、計測結果、稼働実績等を整理した。

2.6.1　既設計測機器の現状

(1) 計測機器設置

既設計測機器一覧を表 2.6-1 に示す。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における、施工による試験施設と周辺岩盤への影響要因と想定される挙動およびその挙動に対して計画した計測項目、計測方法を表 2.6-2 に示す。また、計測機器の配置を図 2.6-1～図 2.6-3、計測機器の仕様を表 2.6-3～表 2.6-8 に示す。

表 2.6-1　既設計測機器一覧（H19 年度～H26 年度）

年度	部材名称	計器種別	数量	計
H19	坑内環境	温湿度（百葉箱）	1	1
	周辺岩盤挙動	間隙水圧計	31	37
		岩盤変位	6	
	埋戻し材	ひずみ計	106	215
		有効応力計	18	
		無応力計	4	
		鉄筋計	34	
		温度計	53	
H20	底部低透水層	土圧計	8	33
		加速度計	1	
		沈下計	5	
		温度計	1	
		水分計	12	
		間隙水圧計	4	
		温度計(無線)	1	
		間隙水圧計(無線)	1	
	底部低拡散層	ひずみ計	30	62
		有効応力計	6	
		無応力計	1	
		温度計	15	
		継目計	5	
		せん断変位計	5	
	底部コンクリートピット	ひずみ計	30	57
		有効応力計	10	
		無応力計	1	
		傾斜計	1	
		温度計	15	
	側部コンクリートピット	ひずみ計	26	80
		有効応力計	6	
		無応力計	2	
		温度計	26	
		鉄筋計	20	
H21	手前部 コンクリートピット	ひずみ計	10	32
		無応力計	1	
		鉄筋計	10	
		温度計	11	
	側部低拡散層	ひずみ計	16	57
		有効応力計	6	
		低剛性型有効応力計	1	
		無応力計	2	
		温度計	16	
		継目計	4	
		せん断変位計	4	
		土圧計	6	
		加速度計	2	
	充てん材	土圧計	1	1
H22	充てん材	土圧計	2	3
		温度計	1	
	上部充てん材	土圧計	1	2
		温度計	1	
	側部低透水層	土圧計	2	3
		加速度計	1	
H24	上部コンクリートピット	ひずみ計	6	12
		無応力計	1	
		温度計	3	
		有効応力計	2	
	上部低拡散層	ひずみ計	18	34
		無応力計	1	
		温度計	9	
		有効応力計	6	
H25	上部低透水層	土圧計	1	2
		加速度計	1	
H26	上部埋戻し材	沈下計	1	2
		温度計	1	
全計器数量				633

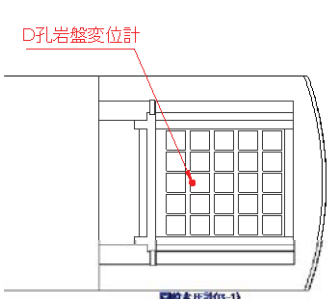
表 2.6-2　試験施設構成部材の計測項目と計測方法

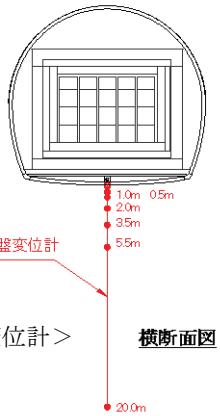
部材	部位	当該部への影響要因		当該部からの影響要因	想定される挙動	計測項目	計測方法
低透水層	底部	構造部材の自重		他構造物への土圧・振動の作用	土圧の変化	土圧	土圧計
		他構造物施工の影響			振動	加速度	加速度計
			上載荷重		沈下	沈下量	沈下計
			温度応力		温度変化	温度	温度計
			施工時の水分流入		間隙水圧、水分変化	間隙水圧、水分	間隙水圧計、水分計
	側部	構造物の自重		他構造物への土圧・振動の作用	土圧の変化	土圧	土圧計
		他構造物施工の影響			振動	加速度	加速度計
	上部	構造物の自重		他構造物への土圧・振動の作用	土圧の変化	土圧	土圧計
		他構造物施工の影響			振動	加速度	加速度計
低拡散層	底部	構造部材の自重		自重 温度応力	部材の変形 応力変化 打継目の開閉 界面のせん断変形	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響				応力	有効応力計
			上載荷重 温度応力			界面せん断変位	せん断変位計
						継目開閉度	継目計
						ひび割れ	BTV観察
				他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計
	側部	構造部材の自重		自重 液圧 温度応力	部材の変形 応力変化 打継目の開閉 界面のせん断変形 低拡散層の液圧 振動	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響				応力	有効応力計
			充てん圧、土圧、 振動、温度応力			界面せん断変位	せん断変位計
						継目開閉度	継目計
						液圧	土圧計
						ひび割れ	ひび割れ観察
						振動	加速度計
			水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計
	上部	構造部材の自重		自重 温度応力	部材の変形 応力変化	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響				応力	有効応力計
			土圧、振動			ひび割れ	ひび割れ観察
				他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計
コンクリート ピット	底部	構造部材の自重		自重 温度応力	低拡散層の変形 応力変化 打継目の開閉 界面のせん断変形 低透水層の不同沈下	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響				応力	有効応力計
			上載荷重 温度応力			界面せん断変位	せん断変位計
						継目開閉度	継目計
						部材の傾き	傾斜計
			水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計
	側部	構造部材の自重		自重 温度応力	部材の変形 応力変化 打継目の開閉 界面のせん断変形	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響				応力	有効応力計
			充てん圧、液圧、土圧、 振動、温度応力			鉄筋応力	鉄筋計
						界面せん断変位	せん断変位計
						継目開閉度	継目計
			水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計
	手前部	構造部材の自重		自重 温度応力	部材の変形 応力変化	ひずみ	ひずみ計、無応力計
			充てん圧、液圧 振動、温度応力			鉄筋応力	鉄筋計
							温度計
			水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計
	上部	構造部材の自重		自重 温度応力	部材の変形 応力変化	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響				応力	有効応力計
			上載荷重、温度応力				
			水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計
区画内充てん材		他構造物施工の影響		充てん圧	充てん材の液圧	液圧	土圧計
			水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計
上部充てん材		他構造物施工の影響		充てん圧	充てん材の液圧	液圧	土圧計
			水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計
埋戻し材 （セメント系）	底部	構造部材の自重		－	部材の変形 応力変化 振動	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響				応力	有効応力計
			上載荷重 振動			鉄筋応力	鉄筋計
						振動	加速度計
			水和熱	－	温度変化	温度	温度計
	側部 奥部	構造部材の自重		温度応力	部材の変形 応力変化 振動	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響				応力	有効応力計
			上載荷重、温度応力 振動			鉄筋応力	鉄筋計
						振動	加速度計
			水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計
埋戻し材 （土質系）	上部	構造部材の自重		自重	沈下	沈下量	沈下計
		他構造物施工の影響			温度変化	温度	温度計
周辺岩盤		構造部材の荷重		－	岩盤変位の進展	岩盤変位	岩盤変位計
		施工の地下水流動への影響		－	間隙水圧の変化	間隙水圧	間隙水圧計

坑内環境および周辺岩盤

周辺岩盤設置計器数量

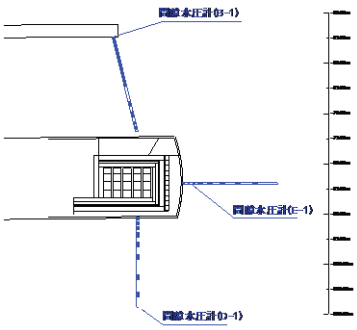
設置箇所	計器	数量	
周辺岩盤	間隙水圧計	31	37
	岩盤変位計	6	
試験空洞内	温湿度計	1	1



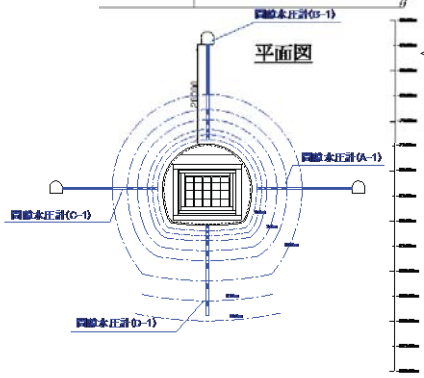


<岩盤変位計>

横断面図



(試験空洞縦断面図)



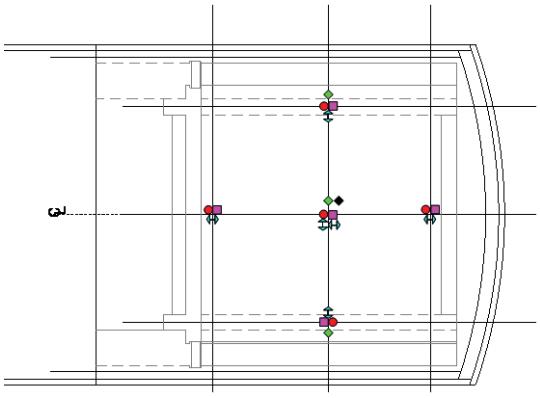
(試験空洞横断面図)

<間隙水圧計>

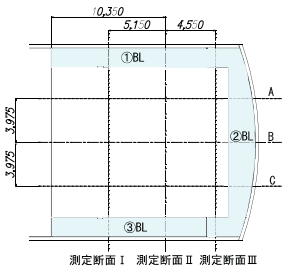
埋戻し材

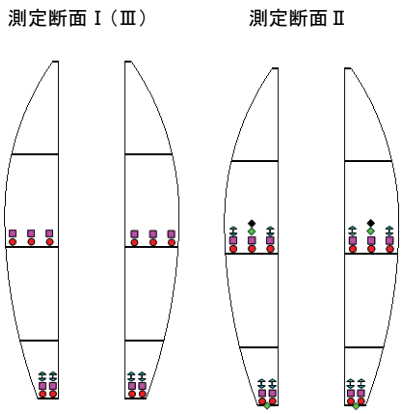
埋戻し材設置計器数量

部材	部位	計器	数量	
埋戻し材 ・底部、側部、奥部はセメント系部材 ・上部は土質系部材	底部	ひずみ計	30	64
		温度計	15	
		無応力計	1	
		有効応力計	6	
		鉄筋計	12	
	側部	ひずみ計	60	116
		温度計	30	
		無応力計	2	
		有効応力計	8	
		鉄筋計	16	
	奥部	ひずみ計	16	35
		温度計	8	
		無応力計	1	
		有効応力計	4	
		鉄筋計	6	
	上部	沈下計	1	2
		温度計	1	

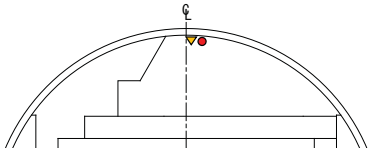


<底部埋戻し材>





<側部埋戻し材>



<上部埋戻し材>

凡 例

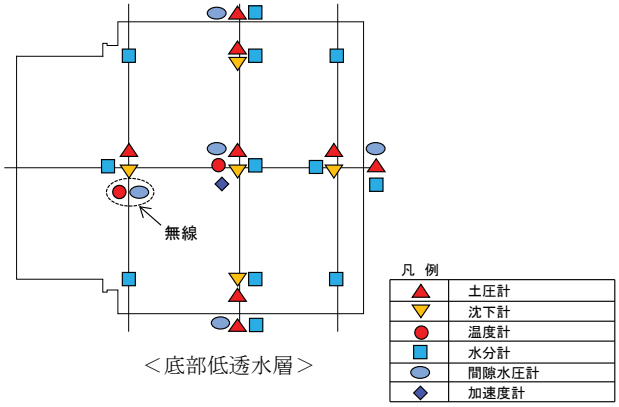
■	コンクリートひずみ計
◆	有効応力計
◆	無応力計
⊕	鉄筋計
●	温度計
▼	沈下計

図 2.6-1　設置計器数量および計測器配置（その 1）

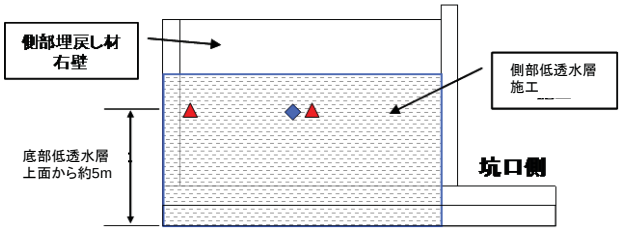
低透水層

低透水層設置計器数量

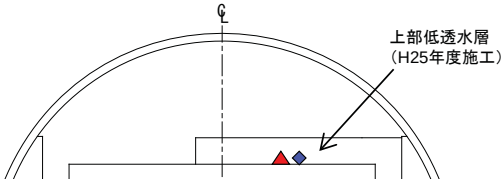
部材	部位	計器	数量	
低透水層	底部	土圧計	8	33
		沈下計	5	
		間隙水圧計	4	
		水分計	12	
		温度計	1	
		加速度計	1	
		温度計（無線）	1	
		間隙水圧計（無線）	1	
	側部	土圧計	2	3
		加速度計	1	
	上部	土圧計	1	2
		加速度計	1	



＜底部低透水層＞



＜側部低透水層＞

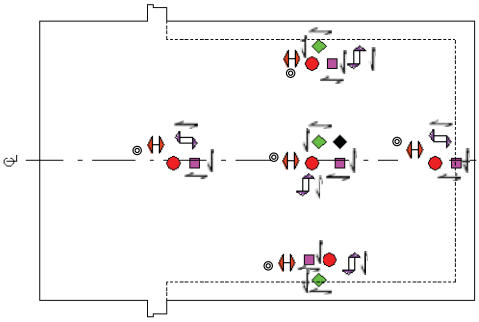


＜上部低透水層＞

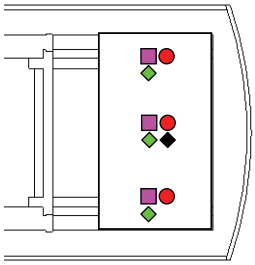
低拡散層

低拡散層設置計器数量

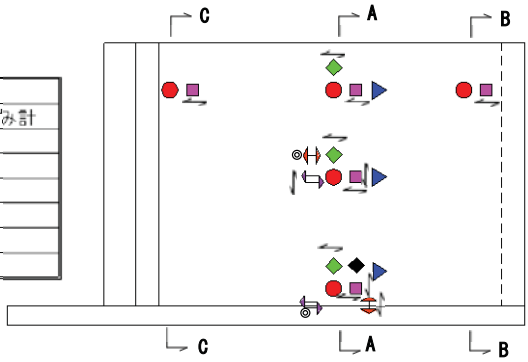
部材	部位	計器	数量	
低拡散層	底部	ひずみ計	30	62
		温度計	15	
		無応力計	1	
		有効応力計	6	
		継目計	5	
		せん断変位計	5	
	側部	ひずみ計	16	57
		温度計	16	
		無応力計	2	
		有効応力計	7	
		継目計	4	
		せん断変位計	4	
		土圧計	6	
		加速度計	2	
	上部	ひずみ計	18	34
		温度計	9	
		無応力計	1	
		有効応力計	6	



＜底部低拡散層＞



＜上部低拡散層＞



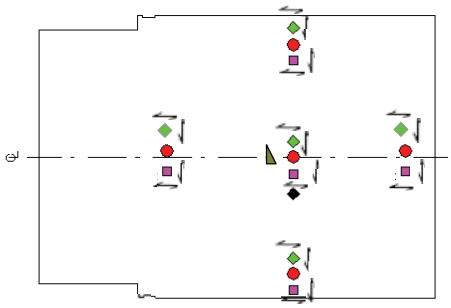
＜側部低拡散層＞

図 2.6-2　設置計器数量および計測器配置（その 2）

コンクリートピット

コンクリートピット設置計器数量

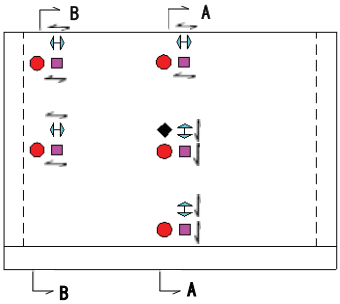
部材	部位	計器	数量	
コンクリートピット	底部	ひずみ計	30	57
		温度計	15	
		無応力計	1	
		有効応力計	10	
		傾斜計	1	
	側部	ひずみ計	26	80
		温度計	26	
		無応力計	2	
		有効応力計	6	
		鉄筋計	20	
	手前部	ひずみ計	10	32
		温度計	11	
		無応力計	1	
		鉄筋計	10	
	上部	ひずみ計	6	12
		温度計	3	
		無応力計	1	
		有効応力計	2	



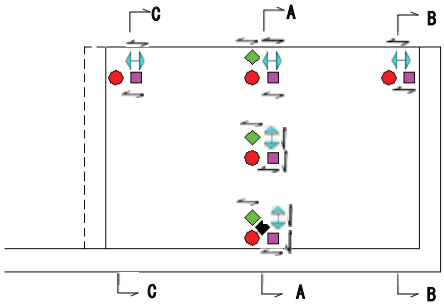
＜底部コンクリートピット＞

凡例

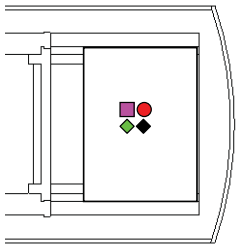
●	温度計
■	コンクリートひずみ計
◆	有効応力計
◆	無応力計
▶	土圧計
⊕	鉄筋計
⊕	継目計
⇆	せん断変位計



＜手前部コンクリートピット＞



＜側部コンクリートピット＞

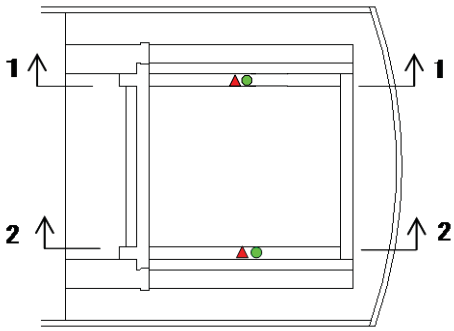


＜上部コンクリートピット＞

充てん材

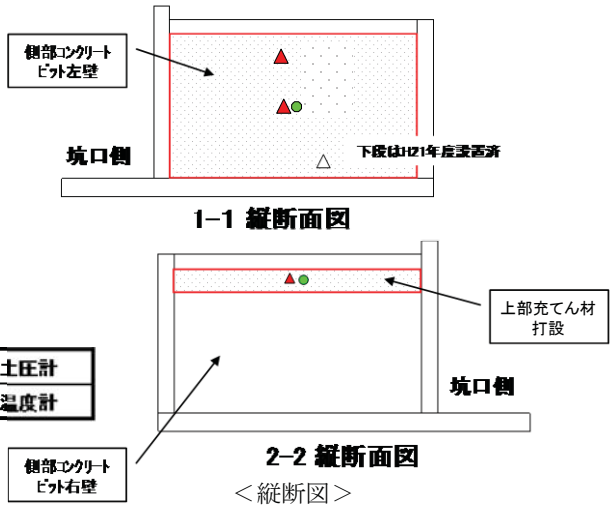
区画内充てん材・上部充てん材設置計器数量

部材	計器	数量	
区画内充てん材	土圧計	3	4
	温度計	1	
上部充てん材	土圧計	1	2
	温度計	1	



＜平面図＞

▲	土圧計
●	温度計



＜縦断図＞

図 2.6-3　設置計器数量および計測器配置（その 3）

表 2.6-3　坑内環境および周辺岩盤の計測機器仕様

<table>
<tr><th>名称</th><th>仕　様</th><th>機　種</th></tr>
<tr><td>温湿度計</td><td>【温度】
測　定　範　囲：－10～＋80℃
精　　度：±0.5℃
分　解　能：0.1℃

【湿度】
測　定　範　囲：20～＋95%RH
精　　度：±3%RH
分　解　能：0.1%RH</td><td>日本シンテック（THT-B121）</td></tr>
<tr><td>岩盤変位計</td><td>測　定　範　囲：0～100mm
定　格　出　力：±1.0mV/V 以上
非　直　線　性：±0.5%RO 以内
許容温度範囲：－10～＋60℃
入　力　抵　抗：350Ω
出　力　抵　抗：350～615Ω</td><td>東横エルメス（PM-100G-6）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">間隙水圧計</td><td>【計測坑 A、C、試験空洞】
測　定　範　囲：0～1MPa
圧　力　基　準：ゲージ圧
定　格　出　力：4～20mADC
電　　源：12～30VDC
精　　度：±0.001MPa
分　解　能：0.0000625MPa

【計測坑 B】
測　定　範　囲：0～3bar
圧　力　基　準：ゲージ圧
定　格　出　力：0～75mVDC
電　　源：5VDC
精　　度：±0.006bar
分　解　能：0.00025bar</td><td>【計測坑 A、C、試験空洞】
大倉電気(株)製（PT3011 シリーズ）

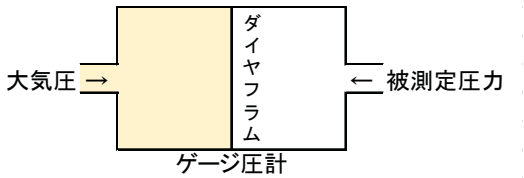
【計測坑 B】
Druck 社製（PDCR81）</td></tr>
<tr><td colspan="2">【間隙水圧計の大気圧の影響について】
間隙水圧計のセンサーは、下図のようなゲージ圧計であるため、大気圧の値を基準として変動を計測している。
 
</td></tr>
</table>

表 2.6-4　埋戻し材の計測機器仕様

名称	仕　様	機　種
ひずみ計	測　定　範　囲：±5000×10^{-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 精　　度：±50×10^{-6}ひずみ 分　解　能：1×10^{-6}ひずみ	東京測器研究所製（KM-100B）
有効 応力計	測　定　範　囲：6N/mm^2 定　格　出　力：0.9mV/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 精　　度：±0.1N/mm^2 分　解　能：0.06N/mm^2	東横エルメス製（GK-6N-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
鉄筋計	測　定　範　囲：±350N/mm^2 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 精　　度：±3.5N/mm^2 分　解　能：0.175N/mm^2	東横エルメス製（GR-13HN）
温度計	測　定　範　囲：－10～＋80℃ 定　格　出　力：2.25mV/v 以上 精　　度：1℃以内 分　解　能：0.02℃	東横エルメス製（RT－100）

表 2.6-5　低透水層の計測機器仕様

名称	仕　様	機　種
土圧計	測　定　範　囲：2.0MPa 定　格　出　力：0.9mV/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 精　　度：±0.02MPa 分　解　能：0.001MPa	東横エルメス製（GE-2.0MPB-B）
沈下計	測　定　範　囲：20mm 定　格　出　力：約 1mV/v 非　直　線　性：1%RO 許容温度範囲：－20～＋80℃ 入出力抵抗：350Ω 精　　度：±0. 2mm 分　解　能：0.01mm	東京測器研究所製（KJA-20A）
温度計	測　定　範　囲：－10～＋80℃ 定　格　出　力：2.25mV/v 以上 精　　度：1℃以内 分　解　能：0.02℃	東横エルメス製（RT－100）
水分計	測　定　範　囲：0～100%体積含水率 E c　範　囲：0～10dS/m 使用温度範囲：－15～＋50℃ 電　源　電　圧：DC9V～DC24V 測　定　精　度：±3%以内 繰り返し精度：±0.5% 分　解　能：0.025%	ドイツ IMKO 社製（代理店：東北電子産業） （TRIME-ITC）
間隙 水圧計	測　定　範　囲：400kPa 定　格　出　力：1.0mV/v 以上 非　直　線　性：±0.5%RO 以内 許容温度範囲：0～＋60℃ 入出力抵抗：350Ω 精　　度：±2kPa 分　解　能：0.2kPa	東横エルメス製（GP-400KPT-B）
加速度計	測定範囲：200m/s^2(20.4G) 定格出力：約 0.5mV/v 非直線性：1.0%RO 許容温度範囲：－10～＋50℃ 入出力抵抗：350Ω 精　　度：±2m/s^2 分　解　能：0.176m/s^2	東京測器研究所（ARH－200A）
温度計 （無線）	測　定　範　囲：70℃ 精　　度：1℃以内 分　解　能：0.02℃	
間隙 水圧計 （無線）	測　定　範　囲：600kPa 精　　度：±1kPa 分　解　能：0.01kPa	

表 2.6-6　低拡散層の計測機器仕様

名称	仕　様	機　種
ひずみ計	測　定　範　囲：±5000×10^{-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 精　　度：±50×10^{-6}ひずみ 分　解　能：1×10^{-6}ひずみ	東京測器研究所製（KM-100B）
有効 応力計	測　定　範　囲：10N/mm^2 定　格　出　力：0.9mV/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 精　　度：±0.1N/mm^2 分　解　能：0.06N/mm^2	東横エルメス製（GK-10N-505） 低剛性型有効応力計も同仕様 東横エルメス製（GK-10N-505E）
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 分　解　能：0.02℃	東横エルメス製（RT－100）
継目計	測　定　範　囲：10mm 定　格　出　力：約 1mV/v 非　直　線　性：1%RO 許容温度範囲：－20～＋80℃ 入出力抵抗：350Ω 精　　度：±0.1mm 分　解　能：0.005mm	東京測器研究所製（KJA-10A）
せん断 変位計	測　定　範　囲：±2.5mm 定　格　出　力：2.5mV/v±0.3% 非　直　線　性：0.3%RO 許容温度範囲：0～＋70℃ 入出力抵抗：350Ω 精　　度：±0.0075mm 分　解　能：0.0005mm	東京測器研究所製（KU-5A）
土圧計	測　定　範　囲：400kPa 定　格　出　力：0.9mV/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 精　　度：±4kPa 分　解　能：0.2kPa	東横エルメス製（GE-400kPB-B）
加速度計	測　定　範　囲：200m/s^2(20.4G) 定　格　出　力：約 0.5mV/v 非　直　線　性：1.0%RO 許容温度範囲：－10～＋50℃ 入出力抵抗：350Ω 精　　度：±2m/s^2 分　解　能：0.176m/s^2	東京測器研究所（ARH－200A）

表 2.6-7　コンクリートピットの計測機器仕様

名称	仕　様	機　種
ひずみ計	測　定　範　囲：±5000×10^{-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 精　　度：±50×10^{-6}ひずみ 分　解　能：1×10^{-6}ひずみ	東京測器研究所製（KM-100B）
有効 応力計	測　定　範　囲：10N/mm^2 定　格　出　力：0.9mV/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 精　　度：±0.1N/mm^2 分　解　能：0.06N/mm^2	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
鉄筋計	測　定　範　囲：±350N/mm^2 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 精　　度：±3.5N/mm^2 分　解　能：0.175N/mm^2	東横エルメス製（GR-13HN）
温度計	測　定　範　囲：－10～＋80℃ 定　格　出　力：2.25mV/v 以上 精　　度：1℃以内 分　解　能：0.02℃	東横エルメス製（RT－100）
傾斜計	測　定　範　囲：±5°　（2 方向） 定　格　出　力：約 1mV/v 非　直　線　性：0.5%RO 許容温度範囲：－20～＋60℃ 入 出 力 抵 抗：入力 175Ω出力 350Ω 精　　度：0.025° 分　解　能：0.0025°	東京測器研究所製（KB-5KE）

表 2.6-8　充てん材の計測機器仕様

名称	仕　様	機　種
土圧計	測　定　範　囲：400kPa 定　格　出　力：0.9mV/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 精　　度：±4kPa 分　解　能：0.2kPa	東横エルメス製（GE-400kPB-B）
温度計	測　定　範　囲：－10～＋80℃ 定　格　出　力：2.25mV/v 以上 精　　度：1℃以内 分　解　能：0.02℃	東横エルメス製（RT－100）

(2) 既往の挙動計測結果

代表計測機器の平成 19 年度～28 年度における挙動計測結果を以下に示す。

なお、グラフ中のイベント名称を表 2.6-9 に示す。

表 2.6-9　グラフ中のイベント名称

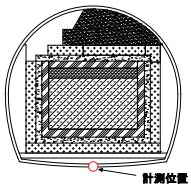
・底埋：底部埋戻し材打設	・手 CP：手前部コンクリートピット打設
・奥埋：奥部埋戻し材打設	・側低：側部低拡散層打設
・側埋：側部埋戻し材打設	・充てん･上充：区画内充てん材、上部充てん材打設
・底緩 1：底部低透水層 1 層目転圧	・側緩吹：側部低透水層（吹付け施工）開始
・底緩 2：底部低透水層 2 層目転圧	・普コ：普通コンクリート打設
・底緩 10：底部低透水層 10 層目転圧	・側緩転：側部低透水層（転圧施工）開始
・底低：底部低拡散層打設	・上 CP：上部コンクリートピット打設
・底 CP：底部コンクリートピット打設	・上低：上部低拡散層打設
・奥 CP：奥部コンクリートピット打設	・上緩吹：上部低透水層（吹付け施工）開始
・側 CP：側部コンクリートピット打設	・上緩転：上部低透水層（転圧施工）開始
・模廃：廃棄体中詰めコンクリート打設	・上埋土：上部埋戻し材（吹付け、転圧施工）開始

1) 周辺岩盤の変位

試験施設下部に設置した岩盤変位計の挙動計測結果を図 2.6-4 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

・ 底部埋戻し材下の岩盤内に設置した岩盤変位計による岩盤変位は、上載荷重の増加に伴い微増する。平成 28 年度最終計測時の壁面変位は約 0.7mm である。

・ 計測値から推定した岩盤の弾性係数は E≒1,800MPa となり、確証試験着手時の検討に採用した値（E=2,000MPa）と同等であることから、施設建設が周辺岩盤に与える影響は想定範囲内である。



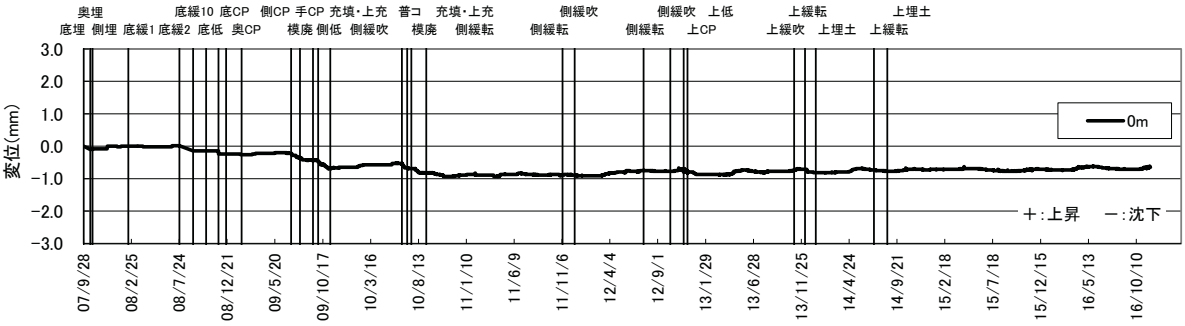


図 2.6-4　岩盤変位計測結果

2）周辺岩盤の間隙水圧

計測坑 A に設置した間隙水圧計の挙動計測結果（全水頭に換算）を図 2.6-5 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

・ 試験期間中の全水頭の変動は小さく（最大 3m 程度）、施設構築の周辺岩盤の地下水流動への影響は小さいと考えられる。

・ 平成 21 年度に試験空洞内で計測した大気圧計測結果を図 2.6-6 に示す。大気圧は約 1000～1040hPa の範囲で変動しているが、水柱による高さに変換すれば約 0.4m の変動であり、図 2.6-5 に示すように全水頭の変動に大気圧の影響は見られない。

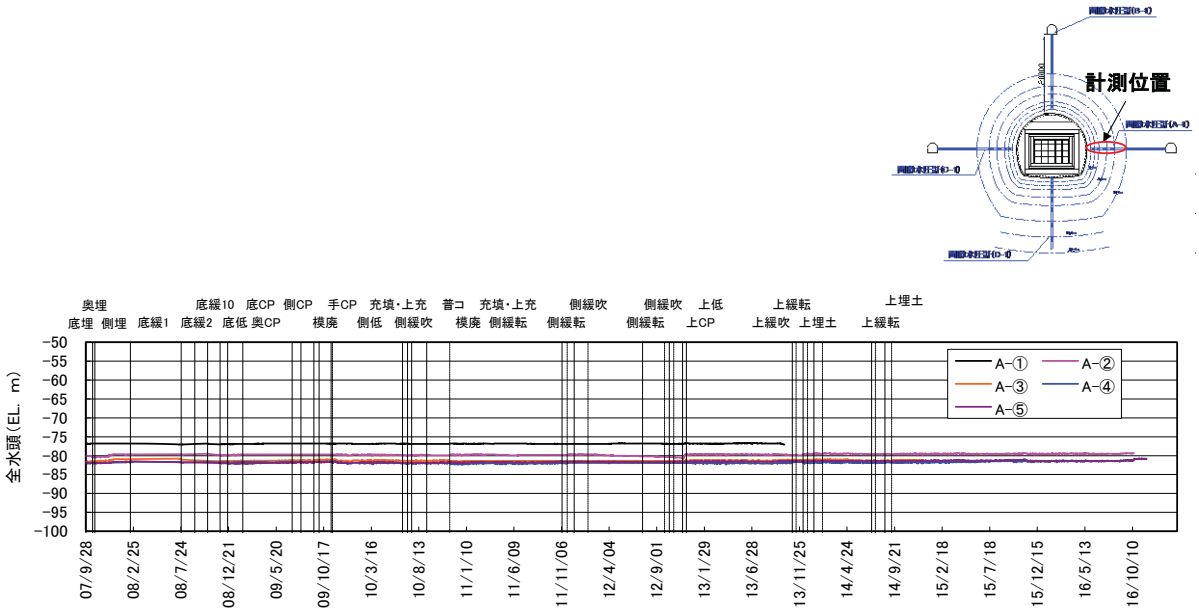


図 2.6-5　間隙水圧計測結果

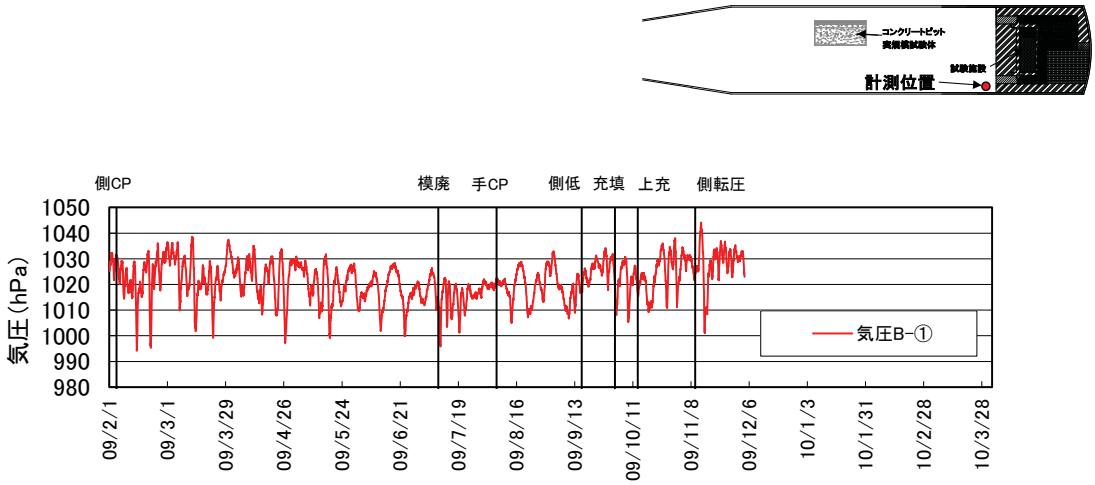


図 2.6-6　大気圧計測結果（試験空洞）

3）底部低透水層の沈下

底部低透水層に設置した沈下計の挙動計測結果を図 2.6-7 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

・ 平成 26 年度上部埋戻し材施工終了時の沈下量は 0.4～1.3mm 程度である。上載荷重の増加が少ない 2011 年以降の沈下量は小さい。
・ 空洞軸方向の沈下量分布は、手前側（B 断面）、施設中央（A 断面）の沈下量は 1mm を超えるが、施設奥側（C 断面）の沈下量は約 0.4mm と小さい。奥部埋戻し材と奥部コンクリートピットのセパレータ同士は、ナットで接続されており、その拘束の影響が沈下量分布の差異に現れているものと推察される。
・ 計測値は 2 次元 FEM 解析から推定される上載荷重に対する沈下量と同等な値が生じている。過大な沈下はなく、底部低透水層の健全性は現時点で保たれていると考えられる。

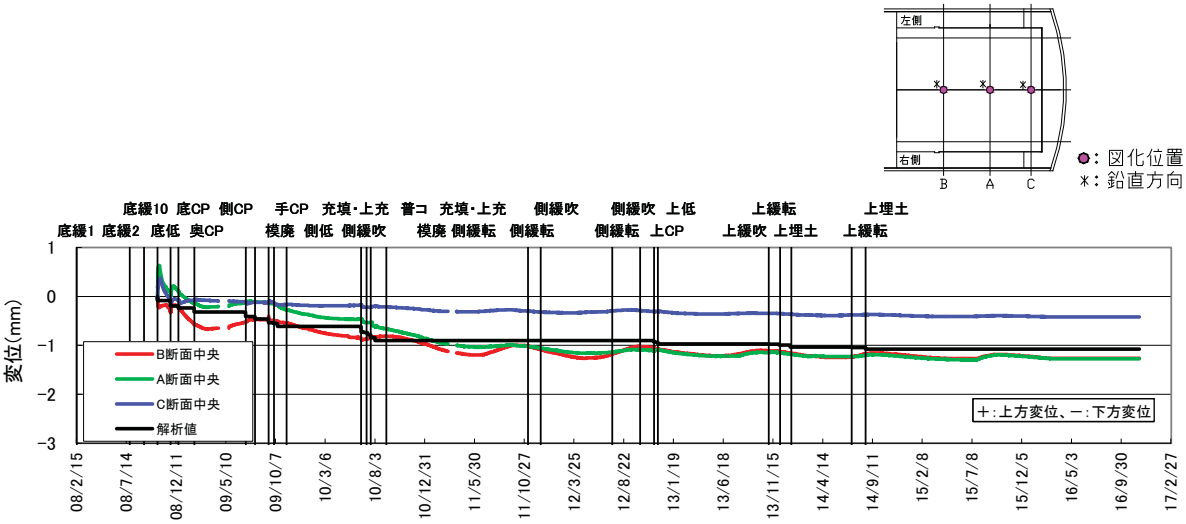


図 2.6-7　底部低透水層の沈下量計測結果

4）底部低透水層の土圧

底部低透水層に設置した土圧計の挙動計測結果を図 2.6-8 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

・ 土圧は季節変動を伴いながら上昇し、平成 22 年度（2010 年度）施工期間中にピーク（約 0.2MPa）を示す。土圧は上載圧相当の値であり底部低透水層に過大な土圧は作用していない。
・ 部材中央と比べて、端部では側部埋戻し材の温度変化に伴う膨張収縮による拘束の影響を受けて相対的に土圧は大きいが、2011 年以降その差は小さい。

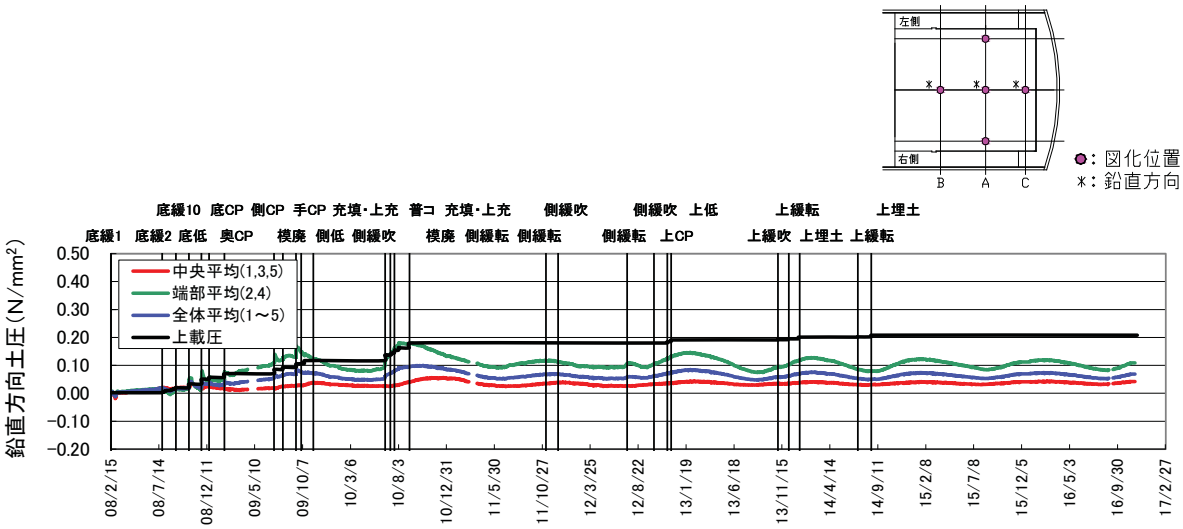


図 2.6-8　底部低透水層の土圧計測結果

5）底部低拡散層の応力

底部低拡散層に設置した応力計の挙動計測結果を図 2.6-9 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- 平成 22 年度（2010 年度）充てん材施工終了後に空洞軸方向応力で圧縮応力が増加した。直前の普通コンクリートおよび充てん材打設による水和発熱等の影響を受け引張応力が増加した後の、ひび割れ発生に伴う応力解放を捉えた挙動であると推察される。同時期には、BTV 観察によりひび割れの発生が確認されている。
- また、同年 12 月に空洞横断方向で引張応力が増加した。図 2.6-12 に示すように、側部低拡散層のひび割れ発生に伴う応力解放に伴い、周辺部材である底部低拡散層には引張応力が発生したものと推察される。引張応力は、その後も残留している。
- 平成 21 年度（2009 年度）施工終了後の休止期間中に空洞軸方向の引張応力が約 0.4N/mm² 増加している。同時期に下部部材である底部低透水層の沈下量が微増していること、また「底部低透水層の沈下」の項で述べたように、奥部部材の拘束により底部低拡散層が上に凸の変形をしやすい状態であることが、空洞軸方向に引張応力が発生した原因であると推察される。
- 上載荷重、水和熱等の施工の影響では、平成 21 年度（2009 年度）模擬廃棄体定置時、平成 22 年度（2010 年度）充てん材打込み時に、空洞軸・横断方向ともに引張応力の増加が認められる。
- BTV 観察により、底部低拡散層ではひび割れが 3 箇所発生したものの、局所的なものであり、ひび割れ幅は 0.25mm（カメラの検知可能幅）以下である。また、発生応力は引張強度（5.51N/mm²）以下であることから、全体として健全性は確保されていると考えられる。

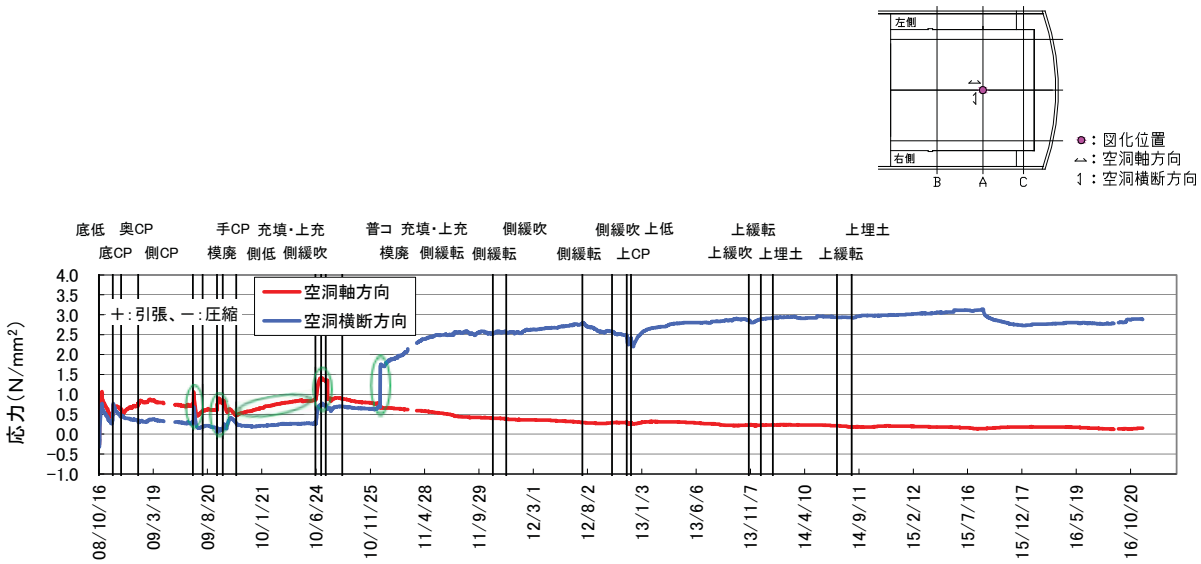


図 2.6-9　底部低拡散層の応力計測結果

6）底部コンクリートピットの応力

底部コンクリートピットに設置した応力計の挙動計測結果を図 2.6-10 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

・ 底部低拡散層と同様に、平成 21 年度（2009 年度）施工終了後の休止期間中に空洞軸方向の引張応力が増加している。底部コンクリートピットでは、平成 22 年度（2010 年度）施工終了後も同様な傾向が示されている。部材温度の低下に伴い部材は収縮するが、空洞軸方向では奥側で拘束が大きいため引張側に進展したものと考えられる。
・ 上載荷重の影響では、平成 21 年度（2009 年度）模擬廃棄体定置時、平成 22 年度（2010 年度）充てん材打込み時に影響を受けている。模擬廃棄体定置時では、圧縮応力が増加している。底部低拡散層では、同時期に引張応力が増加していることから、模擬廃棄体内へのコンクリート打込みの水和熱による温度応力で内部拘束が作用したものと考えられる。

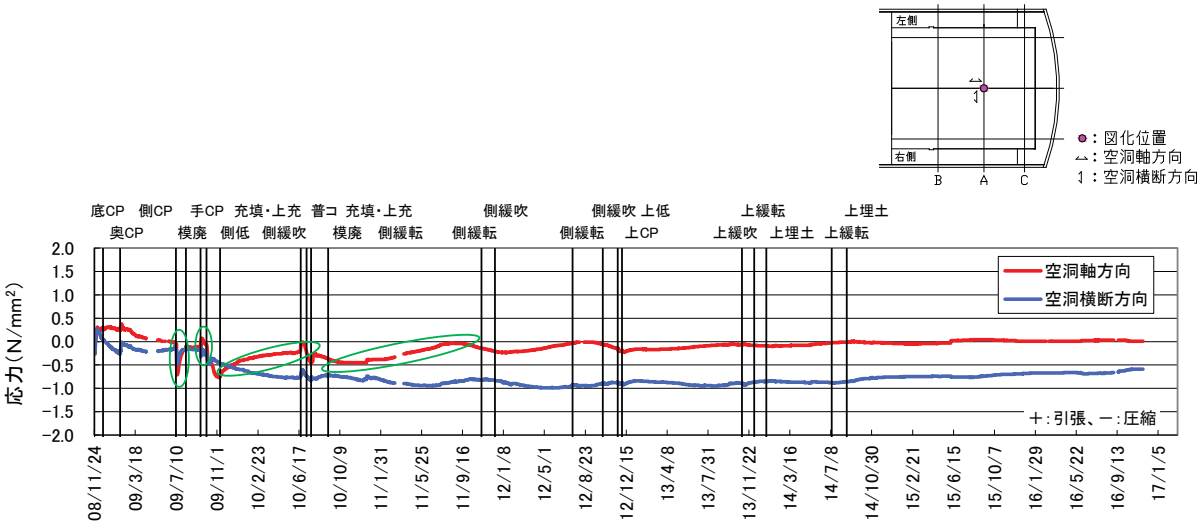


図 2.6-10　底部コンクリートピットの応力計測結果

7）側部コンクリートピットの応力

左側の側部コンクリートピットに設置した応力計の挙動計測結果を図 2.6-11 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

・ 平成 21 年度（2009 年度）の側部低拡散層、平成 22 年度（2010 年度）の充てん材の打込み時および打込み終了後に液圧、温度応力、水和熱の影響を受け、応力の出現は高さ方向で異なる挙動を示すが、引張応力の増加は概ね 1N/mm² 以下であり、引張強度（5.49N/mm²）に達することはない。

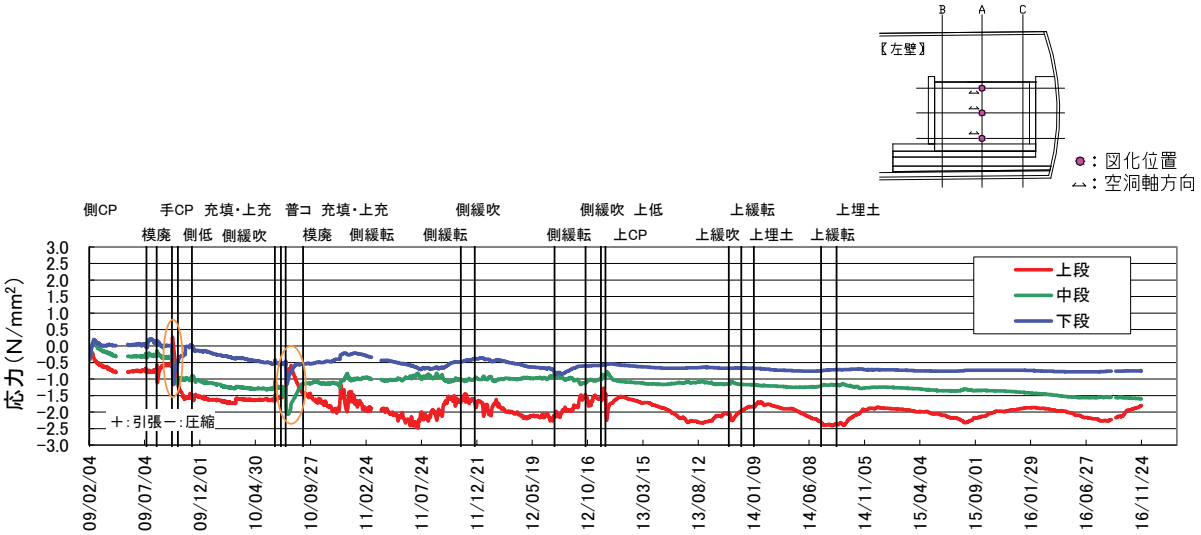


図 2.6-11　側部コンクリートピットの応力計測結果

8）側部低拡散層の応力

左側の側部低拡散層に設置した応力計の挙動計測結果を図 2.6-12 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

・ 平成 22 年度（2010 年度）の充てん材の打込み時および打込み終了後に液圧、温度応力、水和熱の影響を受け、応力の出現は高さ方向で異なるが、引張応力の増加は概ね 1N/mm² 以下であり、引張強度（5.51N/mm²）に達することはない。
・ 下段において引張側の増分応力が打込み終了後に残留する。2010 年 12 月に引張応力の急激な低下があり、壁面観察でもひび割れが確認されている。
・ ひび割れ幅は 0.5mm 以下である（ひび割れ調査結果）。

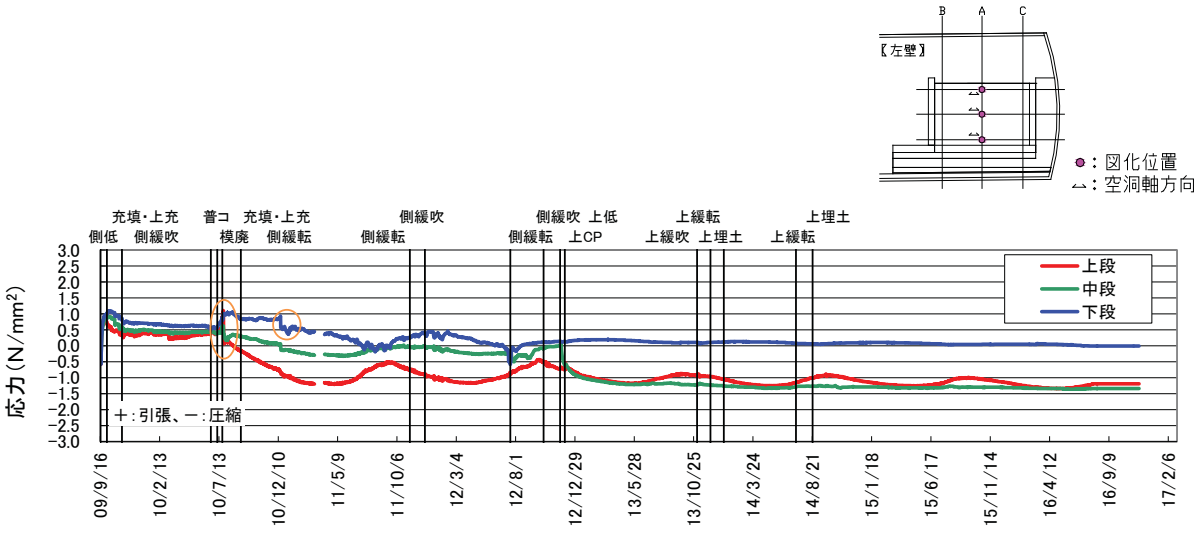


図 2.6-12　側部低拡散層の応力計測結果

9）上部コンクリートピットの応力

上部コンクリートピットに設置した応力計の挙動計測結果を図 2.6-13 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

・ 打込み後圧縮側へ変化し、その後引張側へ推移している。上部低拡散層打込み後には、上部低拡散層の温度上昇および温度下降に伴い、下部部材である上部コンクリートピットは圧縮および引張へ推移する。
・ 上部低拡散層打設時の影響が収まった 2013 年 2 月以降は、応力の変動は小さく、引張応力の増加は概ね 1N/mm² 以下であり、引張強度（5.49N/mm²）に達することはない。

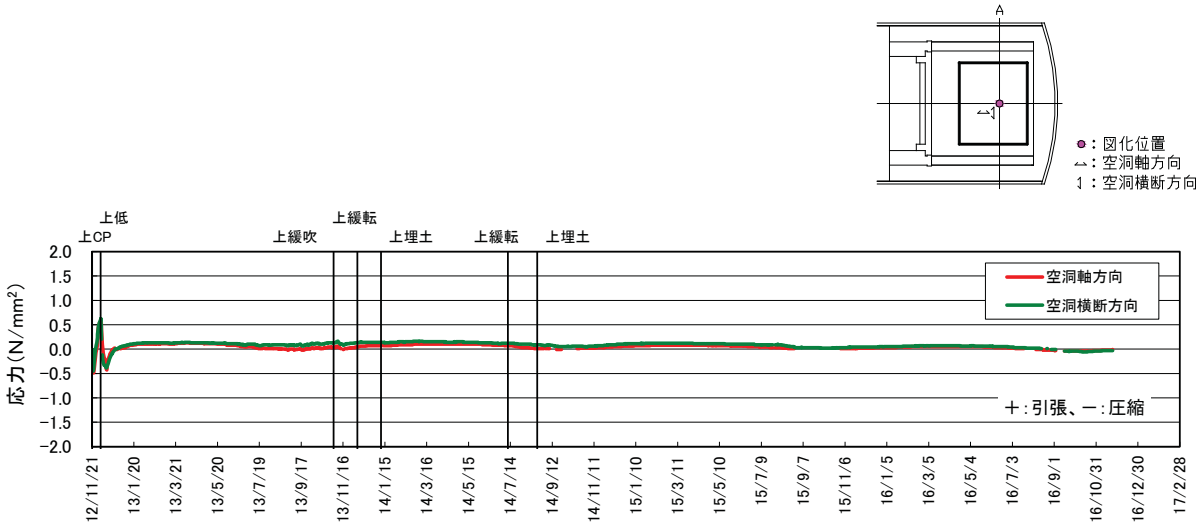


図 2.6-13　上部コンクリートピットの応力計測結果

10）上部低拡散層の応力

上部低拡散層に設置した応力計の挙動計測結果を図 2.6-14 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

・ 上部低拡散層打込み終了後のひび割れ観察において、部材右側でひび割れが確認された。
・ 部材右側は、打込み後に、湿潤・保温養生マットを用いて養生を行った。養生終了後に部材温度が急激に低下し、それに伴い応力は引張側へ大きく進展した。その後ひび割れ発生とともに引張応力の低下が確認された。
・ ひび割れ幅は 0.5mm 以下である（ひび割れ調査結果）。

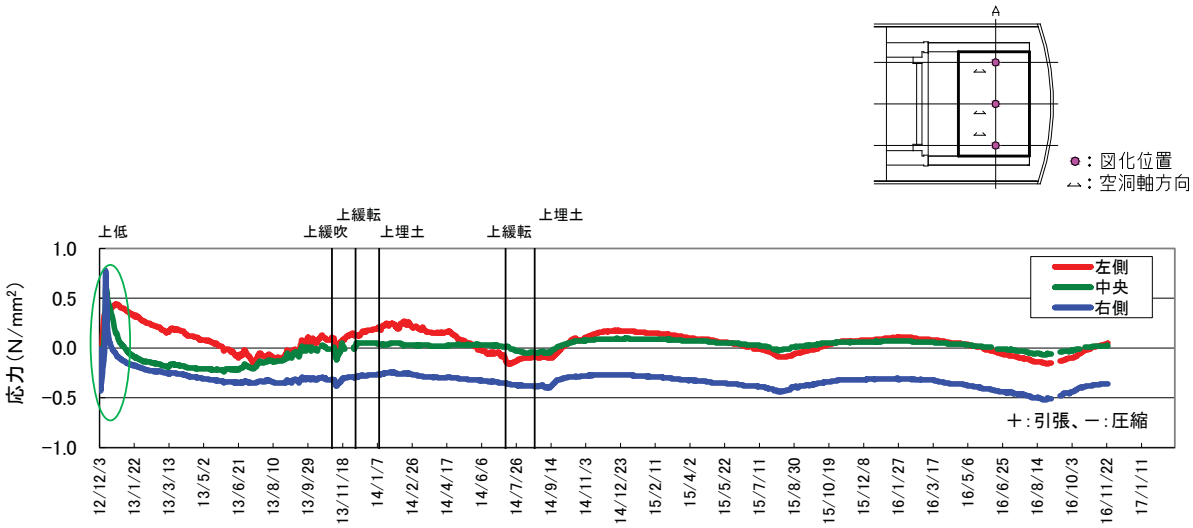
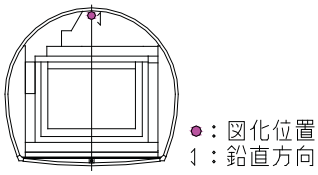


図 2.6-14　上部低拡散層の応力計測結果

11）上部埋戻し材の沈下

上部埋戻し材に設置した沈下計の挙動計測結果を図 2.6-15 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

・ 平成 28 年度最終計測時の沈下量は 5mm 程度である。
・ 計測器設置後の埋戻し材吹付け施工時および表面保護コンクリート吹付け施工時に沈下量が急増しており、施工後には粘性的な沈下挙動および収束傾向が確認できる。
・ 施工ステップを考慮した 3 次元弾性 FEM 解析から推定される沈下量と計測の収束値は概ね整合していることから、沈下の主要因は施工材料の追加に伴う自重沈下であると考えられる。



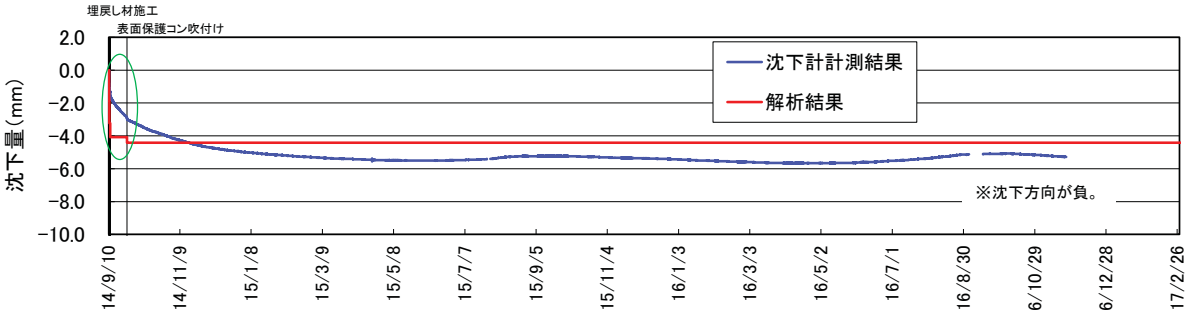


図 2.6-15　上部埋戻し材の沈下量計測結果

(3) 耐久性および計測可能範囲

上述の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 2.6-10 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 2.6-11 に示す。

なお、以降の整理における計測機器の情報は、平成 28 年（2016 年）10 月 14 日現在のものとした。

表 2.6-10　計測機器の現状の整理項目

整理項目	内　　容	備　　考
計器情報	・設置部材・部位 ・計器種別 ・設置位置（計測断面、界面の部材等） ・計測方向 ・計測開始日	
正常異常判定	・判定結果 ・異常計器の判定根拠および確認日	異常計器の判定方法は以下とした （1）岩盤内の間隙水圧計のみ ・点検異常 →抵抗値が 10MΩ以下または出力特性に異常 （2）その他の計測機器 ・点検異常 →抵抗値が 50MΩ 以下またはばらつきが±5μ以上 （3）全計器共通 ・上記点検で異常がないものの、データ欠損やデータ異常が見られる計器
耐久性	・設置数量 ・正常計器数量 ・正常計器の割合 ・稼働実績	異常計器の稼働実績は、計測開始日～異常確認日の期間とした。
計測範囲までの余裕値	・計測項目 ・計測単位 ・現在の計測値 ・計測範囲 ・計測範囲までの余裕値	計測範囲までの余裕値は、現在の計測値から、残りどの程度計測が可能であるかの指標であり、計測範囲と現在の計測値の差分値とした。
その他	・精度 ・分解能	

表 2.6-11　各部材の計測機器の現状整理図表の対応

<table>
<tr><th>部　材</th><th>部位</th><th>計測開始
年度</th><th>計測機器の
現状一覧</th><th>正常計器の
割合</th><th>異常計器の
数量変遷</th></tr>
<tr><td>坑内環境</td><td>－</td><td rowspan="4">H19</td><td>表 2.6-12</td><td>図 2.6-16</td><td rowspan="2">図 2.6-18</td></tr>
<tr><td>周辺岩盤</td><td>－</td><td>表 2.6-13～表 2.6-14</td><td>図 2.6-17</td></tr>
<tr><td rowspan="4">埋戻し材</td><td>底部</td><td>表 2.6-15</td><td>図 2.6-19</td><td rowspan="4">図 2.6-23</td></tr>
<tr><td>側部</td><td>表 2.6-16～表 2.6-17</td><td>図 2.6-20</td></tr>
<tr><td>奥部</td><td>表 2.6-18</td><td>図 2.6-21</td></tr>
<tr><td>上部</td><td>H26</td><td>表 2.6-19</td><td>図 2.6-22</td></tr>
<tr><td rowspan="3">低透水層</td><td>底部</td><td>H20</td><td>表 2.6-20</td><td>図 2.6-24</td><td rowspan="3">図 2.6-27</td></tr>
<tr><td>側部</td><td>H22</td><td>表 2.6-21</td><td>図 2.6-25</td></tr>
<tr><td>上部</td><td>H25</td><td>表 2.6-22</td><td>図 2.6-26</td></tr>
<tr><td rowspan="3">低拡散層</td><td>底部</td><td>H20</td><td>表 2.6-23</td><td>図 2.6-28</td><td rowspan="3">図 2.6-31</td></tr>
<tr><td>側部</td><td>H21</td><td>表 2.6-24</td><td>図 2.6-29</td></tr>
<tr><td>上部</td><td>H24</td><td>表 2.6-25</td><td>図 2.6-30</td></tr>
<tr><td rowspan="4">コンクリート
ピット</td><td>底部</td><td rowspan="2">H20</td><td>表 2.6-26</td><td>図 2.6-32</td><td rowspan="4">図 2.6-36</td></tr>
<tr><td>側部</td><td>表 2.6-27～表 2.6-28</td><td>図 2.6-33</td></tr>
<tr><td>手前部</td><td>H21</td><td>表 2.6-29</td><td>図 2.6-34</td></tr>
<tr><td>上部</td><td>H24</td><td>表 2.6-30</td><td>図 2.6-35</td></tr>
<tr><td rowspan="2">充てん材</td><td>区画内</td><td rowspan="2">H22</td><td rowspan="2">表 2.6-31</td><td rowspan="2">図 2.6-37</td><td rowspan="2">図 2.6-38</td></tr>
<tr><td>上部</td></tr>
</table>

各部材における正常計器の割合が低いものでは、図 2.6-17 に示すように岩盤内の間隙水圧計が 55%（17 台／31 台）、図 2.6-24 に示すように底部低透水層の水分計が 67%（8 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 2.6-18 に示すように、稼働期間に対して故障する計器数量が他の計器と比較して多いことがわかる。

しかし、全体では正常計器の割合は 96%（601 台／628 台※）となり、現状では、9 割以上の計測機器が正常に稼働していると言える。

※計測機器の全数量 633 台のうち、加速度計 5 台は除いている（加速度計は、建設時の動的計測に用いており、現在は稼働していない）。

表 2.6-12　坑内環境の計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報			正常異常判定			耐久性					計測範囲までの余裕値					その他	
計器種別	設置位置	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績	交換実績[1]	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
				理由	確認日				期間（年）								
温度計	空洞内百葉箱	2007/9/28	○			1	1	100%	9.1	2016年	温度	℃	15.7	80	64.3	±0.5	0.1
湿度計			○							2016年	湿度	%	86.5	95	8.5	±3	0.1

1）外的要因により、計器が損傷し交換した。

表 2.6-13　周辺岩盤内の岩盤変位計の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報						正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
計器種別	設置位置		計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
	計測坑	深度					理由	確認日				期間（年）							
岩盤変位計	試験施設直下	20m	鉛直	RD_③12_06	2007/9/28	○			6	6	100%	9.1	変位	mm	-0.24	100	100.24	±0.5	0.025
		5.5m		RD_③12_05		○						9.1			0.32		99.68		
		3.5m		RD_③12_04		○						9.1			0.38		99.62		
		2.0m		RD_③12_03		○						9.1			0.48		99.52		
		1.0m		RD_③12_02		○						9.1			0.71		99.29		
		0.5m		RD_③12_01		○						9.1			1.03		98.97		

表 2.6-14　周辺岩盤内の間隙水圧計の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報						正常異常判定			耐久性					計測範囲までの余裕値					その他	
計器種別	設置位置		計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績[2]	交換実績[3]	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
	計測坑	深度					理由	確認日[1]				期間(年)								
間隙水圧計	試験施設右側	10.0-15.0m	-	水圧A- 1	2007/9/2	×	点検異常	2014/9/5	31	16	52%	7.0	2010年	水圧	MPa	-	1	-	±0.001	0.0000625
		13.5-15.0m		水圧A- 2		○						9.1	2011年			0.04		0.96		
		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		○						9.1	2010年			0.06		0.94		
		18.5-19.0m		水圧A- 5		○						9.1	2010年			0.03		0.97		
	試験施設上側	10.0-12.5m		水圧B- 1		○						9.1			bar	0.35	3	2.65	±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		○						9.1	2012年			0.07		2.93		
		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		○						9.1				-0.09		3.09		
	試験施設左側	10.0-15.0m		水圧C- 1		×	点検異常	2015/11/9				8.2	2011年		MPa	-	1	-	±0.001	0.0000625
		13.5-15.0m		水圧C- 2		×	点検異常	2013/12/3				6.3	2010年			-		-		
		16.0-17.0m		水圧C- 3		×	点検異常	2014/9/5				7.0	2012年			-		-		
		17.5-18.0m		水圧C- 4		×	点検異常	2013/12/3				6.3	2011年			-		-		
		18.5-19.0m		水圧C- 5		×	点検異常	2011/11/25				4.2				-		-		
	試験施設下側	0.5-1.0m		水圧D- 1		×	ケーブル異常	2016/10/14				9.1				-0.25		1.25		
		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		○						9.1				0.03		0.97		
		4.0-5.0m		水圧D- 4		×	点検異常	2010/11/16				3.2				-		-		
		6.0-7.5m		水圧D- 5		○						9.1				0.09		0.91		
		8.5-10.5m		水圧D- 6		×	点検異常	2011/11/25				4.2				-		-		
		11.5-14.0m		水圧D- 7		○						9.1				0.15		0.85		
		15.0-19.0m		水圧D- 8		○						9.1	2011年			0.17		0.83		
	試験施設奥側	0.5-1.0m		水圧E- 1		○						9.1				0.07		0.93		
		1.5-2.0m		水圧E- 2		○						9.1				0.06		0.94		
		2.5-3.0m		水圧E- 3		○						9.1				0.06		0.94		
		4.0-5.0m		水圧E- 4		×	点検異常	2010/11/16				3.2				-		-		
		6.0-7.5m		水圧E- 5		×	点検異常	2013/12/3				6.3				-		-		
		8.5-10.5m		水圧E- 6		○						9.1				0.16		0.84		
		11.5-14.0m		水圧E- 7		○						9.1				0.20		0.80		
		15.0-19.0m		水圧E- 8		○						9.1				0.24		0.76		

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 2.6-15　底部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日											
埋戻し材	底部	ひずみ計	B	中央	内側	空洞軸	U-H- 1-U-V	2007/9/28	○			30	30	100%	9.1	ひずみ	μ	96	±5000	4904	±50	1
			A	左			U-H- 2-U-V		○						9.1			98		4902		
				中央			U-H- 3-U-V		○						9.1			171		4829		
				右			U-H- 4-U-V		○						9.1			-3		4997		
			C	中央			U-H- 5-U-V		○						9.1			155		4845		
			B	中央		空洞横断	U-H- 1-U-C		○						9.1			84		4916		
			A	左			U-H- 2-U-C		○						9.1			102		4898		
				中央			U-H- 3-U-C		○						9.1			48		4952		
				右			U-H- 4-U-C		○						9.1			188		4812		
			C	中央			U-H- 5-U-C		○						9.1			80		4921		
			B	中央	中央	空洞軸	U-H- 1-M-V		○						9.1			89		4911		
			A	左			U-H- 2-M-V		○						9.1			137		4863		
				中央			U-H- 3-M-V		○						9.1			105		4896		
				右			U-H- 4-M-V		○						9.1			108		4892		
			C	中央			U-H- 5-M-V		○						9.1			117		4883		
			B	中央		空洞横断	U-H- 1-M-C		○						9.1			106		4895		
			A	左			U-H- 2-M-C		○						9.1			162		4838		
				中央			U-H- 3-M-C		○						9.1			79		4921		
				右			U-H- 4-M-C		○						9.1			172		4829		
			C	中央			U-H- 5-M-C		○						9.1			114		4886		
			B	中央	外側	空洞軸	U-H- 1-L-V		○						9.1			88		4912		
			A	左			U-H- 2-L-V		○						9.1			133		4867		
				中央			U-H- 3-L-V		○						9.1			53		4947		
				右			U-H- 4-L-V		○						9.1			27		4974		
			C	中央			U-H- 5-L-V		○						9.1			35		4965		
			B	中央		空洞横断	U-H- 1-L-C		○						9.1			42		4958		
			A	左			U-H- 2-L-C		○						9.1			82		4918		
				中央			U-H- 3-L-C		○						9.1			32		4968		
				右			U-H- 4-L-C		○						9.1			-22		4978		
			C	中央			U-H- 5-L-C		○						9.1			38		4963		
		有効応力計	A	左	中央	空洞軸	U-U- 1-M-V		○			6	6	100%	9.1	応力	N/mm²	-0.19	10	10.2	±0.1	0.06
				中央			U-U- 2-M-V		○						9.1			-0.12		10.1		
				右			U-U- 3-M-V		○						9.1			-0.62		10.6		
				左		空洞横断	U-U- 1-M-C		○						9.1			-0.07		10.1		
				中央			U-U- 2-M-C		○						9.1			-0.45		10.5		
				右			U-U- 3-M-C		○						9.1			-0.26		10.3		
		無応力計	A	中央	中央	－	U-M- 1		○			1	1	100%	9.1	自由ひずみ	μ	600	±5000	4400	±50	1
		鉄筋計	B	中央	内側	空洞軸	U-R- 1-U-V		○			12	12	100%	9.1	応力	N/mm²	-8.85	±350	341.2	±3.5	0.175
			A				U-R- 3-U-V		○						9.1			1.87		348.1		
			C				U-R- 5-U-V		○						9.1			-1.31		348.7		
			A	左		空洞横断	U-R- 2-U-C		○						9.1			-7.79		342.2		
				中央			U-R- 3-U-C		○						9.1			-6.05		343.9		
				右			U-R- 4-U-C		○						9.1			-1.88		348.1		
			B	中央	外側	空洞軸	U-R- 1-L-V		○						9.1			5.39		344.6		
			A				U-R- 3-L-V		○						9.1			-5.81		344.2		
			C				U-R- 5-L-V		○						9.1			-2.35		347.7		
			A	左		空洞横断	U-R- 2-L-C		○						9.1			-0.24		349.8		
				中央			U-R- 3-L-C		○						9.1			-6.19		343.8		
				右			U-R- 4-L-C		○						9.1			-10.50		339.5		
		温度計	B	中央	内側	－	U-O- 1-U		○			15	15	100%	9.1	温度	℃	16.0	80	64.0	±1.0	0.02
			A	左			U-O- 2-U		○						9.1			15.3		64.7		
				中央			U-O- 3-U		○						9.1			15.0		65.0		
				右			U-O- 4-U		○						9.1			15.4		64.6		
			C	中央			U-O- 5-U		○						9.1			15.1		64.9		
			B	中央	中央	－	U-O- 1-M		○						9.1			16.0		64.0		
			A	左			U-O- 2-M		○						9.1			15.2		64.8		
				中央			U-O- 3-M		○						9.1			15.6		64.4		
				右			U-O- 4-M		○						9.1			15.5		64.5		
			C	中央			U-O- 5-M		○						9.1			15.1		64.9		
			B	中央	外側	－	U-O- 1-L		○						9.1			16.0		64.0		
			A	左			U-O- 2-L		○						9.1			15.3		64.7		
				中央			U-O- 3-L		○						9.1			15.6		64.4		
				右			U-O- 4-L		○						9.1			15.5		64.5		
			C	中央			U-O- 5-L		○						9.1			15.2		64.8		

表 2.6-16　側部埋戻し材の計測機器の現状一覧（1/2）

（2016/10/14現在）

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
埋戻し材	側部	ひずみ計	B	1ﾘﾌﾄ	外側	空洞軸	U-H- 6-U-H	2007/10/26	○			60	59	98%	9.0	ひずみ	μ	-3	±5000	4997	±50	1
			E				U-H- 7-U-H		○						9.0			17		4983		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-U-H	2008/1/11	○						8.8			-30		4970		
			E				U-H- 9-U-H		○						8.8			-138		4862		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-U-H	2007/10/26	○						9.0			-54		4946		
			D				U-H-11-U-H		○						9.0			-36		4964		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-U-H	2008/1/11	○						8.8			-44		4956		
			D				U-H-13-U-H		×	データ異常	2012/11/28				4.9			－		－		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-U-H	2007/10/26	○						9.0			-31		4969		
			F				U-H-15-U-H		○						9.0			-25		4975		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-U-H	2008/1/11	○						8.8			47		4953		
			F				U-H-17-U-H		○						8.8			-41		4959		
			B	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H- 6-U-P	2007/10/26	○						9.0			-62		4938		
			E				U-H- 7-U-P		○						9.0			-71		4929		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-U-P	2008/1/11	○						8.8			-2350		2650		
			E				U-H- 9-U-P		○						8.8			-337		4664		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-U-P	2007/10/26	○						9.0			-164		4836		
			D				U-H-11-U-P		○						9.0			-55		4945		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-U-P	2008/1/11	○						8.8			-336		4664		
			D				U-H-13-U-P		○						8.8			-321		4679		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-U-P	2007/10/26	○						9.0			-95		4906		
			F				U-H-15-U-P		○						9.0			-228		4772		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-U-P	2008/1/11	○						8.8			-769		4231		
			F				U-H-17-U-P		○						8.8			-650		4350		
			B	3ﾘﾌﾄ	中央	空洞軸	U-H- 8-M-H	2008/1/11	○						8.8			-129		4871		
			E				U-H- 9-M-H		○						8.8			680		4320		
			A				U-H-12-M-H		○						8.8			45		4955		
			D				U-H-13-M-H		○						8.8			-76		4924		
			C				U-H-16-M-H		○						8.8			0		5000		
			F				U-H-17-M-H		○						8.8			-114		4886		
			B			鉛直	U-H- 8-M-P		○						8.8			-342		4658		
			E				U-H- 9-M-P		○						8.8			-110		4891		
			A				U-H-12-M-P		○						8.8			-333		4667		
			D				U-H-13-M-P		○						8.8			-288		4712		
			C				U-H-16-M-P		○						8.8			-393		4607		
			F				U-H-17-M-P		○						8.8			398		4602		
			B	1ﾘﾌﾄ	内側	空洞軸	U-H- 6-L-H	2007/10/26	○						9.0			-135		4866		
			E				U-H- 7-L-H		○						9.0			-168		4832		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-L-H	2008/1/11	○						8.8			-69		4932		
			E				U-H- 9-L-H		○						8.8			-146		4855		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-L-H	2007/10/26	○						9.0			-177		4823		
			D				U-H-11-L-H		○						9.0			-226		4774		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-L-H	2008/1/11	○						8.8			-129		4871		
			D				U-H-13-L-H		○						8.8			-130		4870		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-L-H	2007/10/26	○						9.0			-164		4837		
			F				U-H-15-L-H		○						9.0			-81		4919		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-L-H	2008/1/11	○						8.8			-232		4768		
			F				U-H-17-L-H		○						8.8			-240		4760		
			B	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H- 6-L-P	2007/10/26	○						9.0			-166		4834		
			E				U-H- 7-L-P		○						9.0			-97		4903		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-H- 8-L-P	2008/1/11	○						8.8			-551		4449		
			E				U-H- 9-L-P		○						8.8			-454		4547		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-H-10-L-P	2007/10/26	○						9.0			-370		4630		
			D				U-H-11-L-P		○						9.0			-158		4842		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-H-12-L-P	2008/1/11	○						8.8			-401		4599		
			D				U-H-13-L-P		○						8.8			-309		4691		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-H-14-L-P	2007/10/26	○						9.0			-384		4616		
			F				U-H-15-L-P		○						9.0			-306		4694		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-H-16-L-P	2008/1/11	○						8.8			-242		4758		
			F				U-H-17-L-P		○						8.8			-1267		3733		

表 2.6-17　側部埋戻し材の計測機器の現状一覧（2/2）

（2016/10/14現在）

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
埋戻し材	側部	有効応力計	A	1ﾘﾌﾄ	中央	空洞軸	U-U- 4-M-H	2007/10/26	○			8	8	100%	9.0	応力	N/mm^2	-0.87	10	10.9	±0.1	0.06
			D				U-U- 5-M-H		○						9.0			-0.96		11.0		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-U- 6-M-H	2008/1/11	○						8.8			-0.23		10.2		
			D				U-U- 7-M-H		○						8.8			0.44		9.6		
			A	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-U- 4-M-P	2007/10/26	○						9.0			-2.14		12.1		
			D				U-U- 5-M-P		○						9.0			0.31		9.7		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-U- 6-M-P	2008/1/11	○						8.8			-1.46		11.5		
			D				U-U- 7-M-P		○						8.8			-0.52		10.5		
		無応力計	A	3ﾘﾌﾄ	中央	―	U-M- 2	2008/1/11	○			2	2	100%	8.8	自由ひずみ	μ	31	±5000	4969	±50	1
			D				U-M- 3		○						8.8			-54		4946		
		鉄筋計	B	1ﾘﾌﾄ	外側	鉛直	U-R- 6-U-P	2007/10/26	○			16	16	100%	9.0	応力	N/mm^2	-3.26	±350	346.7	±3.5	0.175
			E				U-R- 7-U-P		○						9.0			-1.85		348.1		
			A				U-R- 8-U-P		○						9.0			0.78		349.2		
			D				U-R- 9-U-P		○						9.0			-6.07		343.9		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-R- 10-U-P	2008/1/11	○						8.8			-9.42		340.6		
			D				U-R- 11-U-P		○						8.8			-19.60		330.4		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-R- 12-U-P	2007/10/26	○						9.0			-13.68		336.3		
			F				U-R- 13-U-P		○						9.0			-13.28		336.7		
			B	1ﾘﾌﾄ	内側		U-R- 6-L-P	2007/10/26	○						9.0			-0.83		349.2		
			E				U-R- 7-L-P		○						9.0			-23.33		326.7		
			A				U-R- 8-L-P		○						9.0			-38.45		311.6		
			D				U-R- 9-L-P		○						9.0			-27.82		322.2		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-R- 10-L-P	2008/1/11	○						8.8			-19.94		330.1		
			D				U-R- 11-L-P		○						8.8			-10.82		339.2		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-R- 12-L-P	2007/10/26	○						9.0			-33.15		316.9		
			F				U-R- 13-L-P		○						9.0			-28.87		321.1		
		温度計	B	1ﾘﾌﾄ	外側	―	U-O- 6-U	2007/10/26	○			30	30	100%	9.0	温度	℃	16.5	80	63.5	±1.0	0.02
			E				U-O- 7-U		○						9.0			16.2		63.8		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-O- 8-U	2008/1/11	○						8.8			16.6		63.4		
			E				U-O- 9-U		○						8.8			16.4		63.6		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-O-10-U	2007/10/26	○						9.0			15.8		64.2		
			D				U-O-11-U		○						9.0			15.2		64.8		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-O-12-U	2008/1/11	○						8.8			16.4		63.6		
			D				U-O-13-U		○						8.8			15.3		64.7		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-O-14-U	2007/10/26	○						9.0			15.4		64.6		
			F				U-O-15-U		○						9.0			14.5		65.5		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-O-16-U	2008/1/11	○						8.8			15.6		64.4		
			F				U-O-17-U		○						8.8			14.0		66.0		
			B		中央		U-O- 8-M		○						8.8			16.6		63.4		
			E				U-O- 9-M		○						8.8			16.5		63.5		
			A				U-O-12-M		○						8.8			16.4		63.6		
			D				U-O-13-M		○						8.8			15.3		64.7		
			C				U-O-16-M		○						8.8			15.7		64.3		
			F				U-O-17-M		○						8.8			14.1		65.9		
			B	1ﾘﾌﾄ	内側		U-O- 6-L	2007/10/26	○						9.0			16.3		63.7		
			E				U-O- 7-L		○						9.0			16.0		64.0		
			B	3ﾘﾌﾄ			U-O- 8-L	2008/1/11	○						8.8			16.5		63.5		
			E				U-O- 9-L		○						8.8			16.7		63.3		
			A	1ﾘﾌﾄ			U-O-10-L	2007/10/26	○						9.0			15.7		64.3		
			D				U-O-11-L		○						9.0			15.2		64.8		
			A	3ﾘﾌﾄ			U-O-12-L	2008/1/11	○						8.8			16.2		63.8		
			D				U-O-13-L		○						8.8			15.4		64.6		
			C	1ﾘﾌﾄ			U-O-14-L	2007/10/26	○						9.0			15.2		64.8		
			F				U-O-15-L		○						9.0			14.6		65.4		
			C	3ﾘﾌﾄ			U-O-16-L	2008/1/11	○						8.8			15.7		64.3		
			F				U-O-17-L		○						8.8			14.2		65.8		

表 2.6-18　奥部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置 横断面方向	設置位置 高さ方向	設置位置 厚さ方向	計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器 理由	異常計器 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
埋戻し材	奥部	ひずみ計	M	1ﾘﾌﾄ	外側	空洞横断	U-H-18-U-H	2007/10/19	○			16	16	100%	9.0	ひずみ	μ	-197	±5000	4803	±50	1
			L				U-H-19-U-H		○						9.0			-210		4790		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-U-H	2007/12/27	○						8.8			-356		4644		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-U-H	2007/10/19	○						9.0			-143		4857		
			M	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H-18-U-P	2007/10/19	○						9.0			-423		4577		
			L				U-H-19-U-P		○						9.0			-332		4668		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-U-P	2007/12/27	○						8.8			-507		4493		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-U-P	2007/10/19	○						9.0			-162		4838		
			M	1ﾘﾌﾄ	内側	空洞横断	U-H-18-L-H	2007/10/19	○						9.0			-150		4850		
			L				U-H-19-L-H		○						9.0			-264		4736		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-L-H	2007/12/27	○						8.8			-300		4700		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-L-H	2007/10/19	○						9.0			-75		4925		
			M	1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-H-18-L-P	2007/10/19	○						9.0			-256		4744		
			L				U-H-19-L-P		○						9.0			-304		4696		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-H-20-L-P	2007/12/27	○						8.8			-427		4573		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-H-21-L-P	2007/10/19	○						9.0			-250		4750		
		有効応力計	L	1ﾘﾌﾄ	中央	空洞横断	U-U- 8-M-H	2007/10/19	○			4	4	100%	9.0	応力	N/mm²	0.01	10	10.0	±0.1	0.06
				3ﾘﾌﾄ			U-U- 9-M-H	2007/12/27	○						8.8			-0.52		10.5		
				1ﾘﾌﾄ		鉛直	U-U- 8-M-P	2007/10/19	○						9.0			-2.19		12.2		
				3ﾘﾌﾄ			U-U- 9-M-P	2007/12/27	○						8.8			-1.06		11.1		
		無応力計	L	3ﾘﾌﾄ	中央	―	U-M- 4	2007/12/27	○			1	1	100%	8.8	自由ひずみ	μ	245	±5000	4755	±50	1
		鉄筋計	M	1ﾘﾌﾄ	外側	鉛直	U-R-14-U-P	2007/10/19	○			6	6	100%	9.0	応力	N/mm²	-15.88	±350	334.1	±3.5	0.175
			L				U-R-15-U-P		○						9.0			-19.95		330.1		
			N				U-R-16-U-P		○						9.0			-26.45		323.5		
			M		内側		U-R-14-L-P		○						9.0			-34.24		315.8		
			L				U-R-15-L-P		○						9.0			-34.03		316.0		
			N				U-R-16-L-P		○						9.0			21.08		328.9		
		温度計	M	1ﾘﾌﾄ	外側	―	U-O-18-U	2007/10/19	○			8	8	100%	9.0	温度	℃	14.8	80	65.2	±1.0	0.02
			L				U-O-19-U		○						9.0			14.3		65.7		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-O-20-U	2007/12/27	○						8.8			14.0		66.0		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-O-21-U	2007/10/19	○						9.0			14.2		65.8		
			M	1ﾘﾌﾄ	内側		U-O-18-L	2007/10/19	○						9.0			14.8		65.2		
			L				U-O-19-L		○						9.0			14.5		65.5		
			L	3ﾘﾌﾄ			U-O-20-L	2007/12/27	○						8.8			14.4		65.6		
			N	1ﾘﾌﾄ			U-O-21-L	2007/10/19	○						9.0			14.5		65.5		

表 2.6-19　上部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置 横断面方向	設置位置 高さ方向	設置位置 厚さ方向	計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器 理由	異常計器 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
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%	2.1	変位	mm	5.1	50	44.9	±0.5	0.025
		温度計			-	-	U-O-22		○			1	1	100%	2.1	温度	℃	15.8	80	64	±1	0.02

表 2.6-20　底部低透水層の計測機器の現状一覧

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	界面の部材					理由	確認日											
低透水層	底部	土圧計	B	中央	底部埋戻し材	鉛直	B-D- 1	2008/2/12	○			8	8	100%	8.7	土圧	kPa	39	2000	1961	±20	1.1
			A	L側			B-D- 2	2008/2/12	○						8.7			150		1850		
				中央			B-D- 3	2008/2/12	○						8.7			30		1970		
				R側			B-D- 4	2008/2/12	○						8.7			71		1929		
			C	中央			B-D- 5	2008/2/12	○						8.7			39		1961		
			A	L側	側部埋戻し材	水平	B-D- 6	2008/7/26	○						8.2			147		1853		
				R側			B-D- 7	2008/7/26	○						8.2			95		1905		
			C	中央	奥部埋戻し材		B-D- 8	2008/7/26	○						8.2			7		1993		
		水分計	B	L側	底部埋戻し材	－	B-W- 1	2008/2/26	○			12	7	58%	8.6	体積含水率	%	37	100	64	±3	0.025
				中央			B-W- 2	2008/2/26	○						8.6			30		70		
				R側			B-W- 3	2008/2/26	×	データ異常	2016/4/13				8.1			－		－		
			A	L側			B-W- 4	2008/2/26	○						8.6			38		62		
				中央			B-W- 5	2008/2/26	×	点検異常	2011/2/27				3.0			－		－		
				R側			B-W- 6	2008/2/26	○						8.6			38		62		
			C	L側			B-W- 7	2008/2/26	×	データ異常	2012/5/14				4.2			－		－		
				中央			B-W- 8	2008/2/26	○						8.6			34		66		
				R側			B-W- 9	2008/3/11	○						8.6			35		65		
			A	L側	側部埋戻し材		B-W-10	2008/8/21	×	データ異常	2010/7/5				1.9			－		－		
				R側			B-W-11	2008/8/21	○						8.2			43		57		
			C	中央	奥部埋戻し材		B-W-12	2008/8/21	×	データ異常	2009/11/1				1.2			－		－		
		間隙水圧計	A	L側	側部埋戻し材	－	B-P- 1	2008/8/18	○			4	3	75%	8.2	間隙水圧	kPa	3.0	400	397	±2	0.2
				中央	底部埋戻し材		B-P- 2	2008/2/12	○						8.7			3.2		397		
				R側	側部埋戻し材		B-P- 3	2008/8/18	×	データ異常	2010/3/9				1.6			－		－		
			C	中央	奥部埋戻し材		B-P- 4	2008/8/18	○						8.2			3.0		397		
		沈下計	B	中央	－	鉛直	B-T- 1	2008/10/16	○			5	4	80%	8.0	変位	mm	1.20	20	18.8	±0.2	0.01
			A	L側			B-T- 2	2008/10/16	○						8.0			1.45		18.5		
				中央			B-T- 3	2008/10/16	○						8.0			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	○						8.0			0.41		19.6		
		温度計	A	中央	－	－	B-O- 1	2008/10/16	○			1	1	100%	8.0	温度	℃	15.1	80	65	±1	0.02
		温度計（無線）	B	中央	－	－	－	2008/10/16	○			1	1	100%	8.0	温度	℃	16.5	70	54	±1	0.02
		間隙水圧計（無線）					－	2008/10/16	○			1	1	100%	8.0	間隙水圧	kPa	103.0	600	497	±1	0.01

表 2.6-21　側部低透水層の計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	界面の部材					理由	確認日											
低透水層	側部	土圧計	A	中段	側部埋戻し材	空洞横断	B-D-9	2010/11/11	○			2	2	100%	5.9	土圧	kPa	37	2000	1963	±20	1.111
			C				B-D-10		○						5.9			−10		2010		

表 2.6-22　上部低透水層の計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	界面の部材					理由	確認日											
低透水層	上部	土圧計	中央	中央	上部低拡散層	鉛直	B-D-11	2013/12/6	○			1	1	100%	2.9	土圧	kPa	24.0	2000	1976	±20	1.111

表 2.6-23　底部低拡散層の計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日											
低拡散層	底部	ひずみ計	B	中央	上段	空洞軸	T-H- 1-I-V	2008/10/16	○			30	30	100%	8.0	ひずみ	μ	312	±5000	4688	±50	1
			A	L側			T-H- 2-I-V		○						8.0			184		4816		
				中央			T-H- 3-I-V		○						8.0			207		4793		
				R側			T-H- 4-I-V		○						8.0			177		4823		
			C	中央			T-H- 5-I-V		○						8.0			186		4814		
			B	中央		空洞横断	T-H- 1-I-C		○						8.0			186		4814		
			A	L側			T-H- 2-I-C		○						8.0			211		4789		
				中央			T-H- 3-I-C		○						8.0			98		4902		
				R側			T-H- 4-I-C		○						8.0			261		4739		
			C	中央			T-H- 5-I-C		○						8.0			163		4837		
			B	中央	中段	空洞軸	T-H- 1-M-V		○						8.0			321		4679		
			A	L側			T-H- 2-M-V		○						8.0			183		4817		
				中央			T-H- 3-M-V		○						8.0			216		4784		
				R側			T-H- 4-M-V		○						8.0			237		4763		
			C	中央			T-H- 5-M-V		○						8.0			158		4842		
			B	中央		空洞横断	T-H- 1-M-C		○						8.0			171		4829		
			A	L側			T-H- 2-M-C		○						8.0			165		4835		
				中央			T-H- 3-M-C		○						8.0			138		4862		
				R側			T-H- 4-M-C		○						8.0			177		4823		
			C	中央			T-H- 5-M-C		○						8.0			140		4860		
			B	中央	下段	空洞軸	T-H- 1-O-V		○						8.0			119		4881		
			A	L側			T-H- 2-O-V		○						8.0			136		4864		
				中央			T-H- 3-O-V		○						8.0			148		4852		
				R側			T-H- 4-O-V		○						8.0			82		4918		
			C	中央			T-H- 5-O-V		○						8.0			72		4928		
			B	中央		空洞横断	T-H- 1-O-C		○						8.0			114		4886		
			A	L側			T-H- 2-O-C		○						8.0			59		4941		
				中央			T-H- 3-O-C		○						8.0			93		4907		
				R側			T-H- 4-O-C		○						8.0			43		4957		
			C	中央			T-H- 5-O-C		○						8.0			94		4906		
		有効応力計	A	L側	中段	空洞軸	T-U- 1-V		○			6	6	100%	8.0	応力	N/mm²	0.36	10	9.6	±0.1	0.06
				中央			T-U- 2-V		○						8.0			0.13		9.9		
				R側			T-U- 3-V		○						8.0			2.23		7.8		
				L側		空洞横断	T-U- 1-C		○						8.0			-0.81		10.8		
				中央			T-U- 2-C		○						8.0			2.88		7.1		
				R側			T-U- 3-C		○						8.0			-0.82		10.8		
		無応力計	A	中央	中段	-	T-M- 1		○			1	1	100%	8.0	自由ひずみ	μ	508	±5000	4492	±50	1
		温度計	B	中央	上段	-	T-O- 1-I		○			15	15	100%	8.0	温度	℃	16.7	80	63.3	±1.0	0.02
			A	L側			T-O- 2-I		○						8.0			15.4		64.6		
				中央			T-O- 3-I		○						8.0			15.2		64.8		
				R側			T-O- 4-I		○						8.0			15.0		65.0		
			C	中央			T-O- 5-I		○						8.0			14.8		65.2		
			B	中央	中段		T-O- 1-M		○						8.0			16.5		63.5		
			A	L側			T-O- 2-M		○						8.0			15.2		64.8		
				中央			T-O- 3-M		○						8.0			15.3		64.7		
				R側			T-O- 4-M		○						8.0			15.1		64.9		
			C	中央			T-O- 5-M		○						8.0			14.6		65.4		
			B	中央	下段		T-O- 1-O		○						8.0			16.4		63.6		
			A	L側			T-O- 2-O		○						8.0			15.3		64.7		
				中央			T-O- 3-O		○						8.0			15.2		64.8		
				R側			T-O- 4-O		○						8.0			15.1		64.9		
			C	中央			T-O- 5-O		○						8.0			14.7		65.3		
		継目計	B	中央	―	鉛直	T-J- 1		○			5	5	100%	8.0	変位	mm	-0.175	10	10.175	±0.1	0.005
			A	L側			T-J- 2		○						8.0			-0.071		10.071		
				中央			T-J- 3		○						8.0			-0.029		10.029		
				R側			T-J- 4		○						8.0			-0.010		10.010		
			C	中央			T-J- 5		○						8.0			-0.120		10.120		
		せん断変位計	B	中央	―	空洞横断	T-S- 1		○			5	5	100%	8.0	変位	mm	0.002	±2.5	2.50	±0.0075	0.0005
			A	L側			T-S- 2		○						8.0			0.015		2.49		
				中央			T-S- 3		○						8.0			-0.019		2.48		
				R側			T-S- 4		○						8.0			0.093		2.41		
			C	中央			T-S- 5		○						8.0			-0.051		2.45		

表 2.6-24　側部低拡散層の計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
低拡散層	側部	ひずみ計	B	上段	内側	空洞軸	T-H- 6-I	2009/9/16	○			16	16	100%	7.1	ひずみ	μ	104	±5000	4896	±50	1
			A	上段			T-H- 8-I		○						7.1			75		4925		
				中段		鉛直	T-H-10-I		○						7.1			-512		4488		
				下段			T-H-12-I		○						7.1			-224		4776		
			C	上段		空洞軸	T-H-14-I		○						7.1			-26		4975		
			A	上段	中央	空洞軸	T-H- 8-M		○						7.1			56		4944		
			D				T-H- 9-M		○						7.1			-40		4960		
			A	中段			T-H-10-M		○						7.1			-316		4684		
			D				T-H-11-M		○						7.1			-203		4797		
			A	下段			T-H-12-M		○						7.1			-267		4733		
			D				T-H-13-M		○						7.1			-70		4931		
			B	上段	外側	空洞軸	T-H- 6-O		○						7.1			109		4891		
			A	上段			T-H- 8-O		○						7.1			-60		4940		
				中段		鉛直	T-H-10-O		○						7.1			-905		4095		
				下段			T-H-12-O		○						7.1			-1336		3664		
			C	上段		空洞軸	T-H-14-O		○						7.1			-24		4976		
		無応力計	A	下段	中央	-	T-M- 2		○			2	2	100%	7.1	自由ひずみ	μ	260		4740		
			D				T-M- 3		○						7.1			549		4451		
		温度計	B	上段	内側	-	T-O- 6-I		○			16	16	100%	7.1	温度	℃	16.5	80	63.5	±1.0	0.02
			A	上段			T-O- 8-I		○						7.1			16.8		63.2		
				中段			T-O-10-I		○						7.1			16.5		63.5		
				下段			T-O-12-I		○						7.1			14.7		65.3		
			C	上段			T-O-14-I		○						7.1			16.4		63.6		
			A	上段	中央		T-O- 8-M		○						7.1			16.6		63.4		
			D				T-O- 9-M		○						7.1			16.5		63.5		
			A	中段			T-O-10-M		○						7.1			16.3		63.7		
			D				T-O-11-M		○						7.1			15.4		64.6		
			A	下段			T-O-12-M		○						7.1			15.5		64.5		
			D				T-O-13-M		○						7.1			15.2		64.8		
			B	上段	外側		T-O- 6-O		○						7.1			16.4		63.6		
			A	上段			T-O- 8-O		○						7.1			16.4		63.6		
				中段			T-O-10-O		○						7.1			16.4		63.6		
				下段			T-O-12-O		○						7.1			15.5		64.5		
			C	上段			T-O-14-O		○						7.1			16.3		63.7		
		有効応力計	A	上段	内側	空洞軸	T-U- 4		○			7	7	100%	7.1	応力	N/mm^2	-1.07	10	11.1	±0.1	0.06
			D				T-U- 5		○						7.1			-0.57		10.6		
			A	中段			T-U- 6		○						7.1			-1.34		11.3		
			D				T-U- 7		○						7.1			-1.64		11.6		
			A	下段			T-U- 8		○						7.1			-0.03		10.0		
			D				T-U- 9		○						7.1			0.30		9.7		
			D				T-UN- 9		○						7.1			-0.18		10.2		
		継目計	A	上段	側部CP	空洞横断	T-J- 6		○			4	4	100%	7.1	変位	mm	-0.112	10	10.112	±0.1	0.005
			D				T-J- 7		○						7.1			-0.150		10.150		
			A	下段	底部低拡散層	鉛直	T-J- 8		○						7.1			0.341		9.659		
			D				T-J- 9		○						7.1			0.053		9.947		
		せん断変位計	A	上段	側部CP	鉛直	T-S- 6		○			4	4	100%	7.1	変位	mm	-0.130	±2.5	2.37	±0.0075	0.0005
			D				T-S- 7		○						7.1			-0.003		2.50		
			A	下段	底部低拡散層	空洞横断	T-S- 8		○						7.1			0.076		2.42		
			D				T-S- 9		○						7.1			-0.017		2.48		
		土圧計	A	上段	側部CP	空洞横断	T-D- 1		○			6	6	100%	7.1	土圧	kPa	67.2	400	333	±4	0.2
			D				T-D- 2		○						7.1			59.8		340		
			A	中段			T-D- 3		○						7.1			80.0		320		
			D				T-D- 4		○						7.1			73.7		326		
			A	下段			T-D- 5		○						7.1			106.8		293		
			D				T-D- 6		○						7.1			78.2		322		

表 2.6-25　上部低拡散層の計測機器の現状一覧

（2016/10/14現在）

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日											
低拡散層	上部	ひずみ計	中央	左側	内側	空洞軸直交	T-H-17-I-C	2012/12/3	○			18	18	100%	3.9	ひずみ	μ	-36	±5000	4964	±50	1
						空洞軸	T-H-17-I-V		○						3.9			37		4963		
					中央	空洞軸直交	T-H-17-M-C		○						3.9			100		4900		
						空洞軸	T-H-17-M-V		○						3.9			50		4950		
					外側	空洞軸直交	T-H-17-O-C		○						3.9			-82		4919		
						空洞軸	T-H-17-O-V		○						3.9			-16		4984		
				中央	内側	空洞軸直交	T-H-18-I-C		○						3.9			-51		4949		
						空洞軸	T-H-18-I-V		○						3.9			-2		4998		
					中央	空洞軸直交	T-H-18-M-C		○						3.9			-16		4984		
						空洞軸	T-H-18-M-V		○						3.9			-13		4987		
					外側	空洞軸直交	T-H-18-O-C		○						3.9			-29		4971		
						空洞軸	T-H-18-O-V		○						3.9			-126		4874		
				右側	内側	空洞軸直交	T-H-19-I-C		○						3.9			-103		4897		
						空洞軸	T-H-19-I-V		○						3.9			-139		4861		
					中央	空洞軸直交	T-H-19-M-C		○						3.9			-62		4938		
						空洞軸	T-H-19-M-V		○						3.9			-18		4982		
					外側	空洞軸直交	T-H-19-O-C		○						3.9			-77		4923		
						空洞軸	T-H-19-O-V		○						3.9			-29		4971		
		無応力計		中央	中央	-	T-M- 4		○			1	1	100%	3.9	自由ひずみ	μ	417		4583		
		温度計		左側	内側	-	T-O-17-I		○			9	9	100%	3.9	温度	℃	17.1	80	62.9	±1.0	0.02
					中央	-	T-O-17-M		○						3.9			17.3		62.7		
					外側	-	T-O-17-O		○						3.9			17.1		62.9		
				中央	内側	-	T-O-18-I		○						3.9			16.6		63.4		
					中央	-	T-O-18-M		○						3.9			16.6		63.4		
					外側	-	T-O-18-O		○						3.9			16.6		63.4		
				右側	内側	-	T-O-19-I		○						3.9			16.2		63.8		
					中央	-	T-O-19-M		○						3.9			16.3		63.7		
					外側	-	T-O-19-O		○						3.9			16.4		63.6		
		有効応力計		左側	中央	空洞軸直交	T-U-10-C		○			6	6	100%	3.9	応力	N/mm²	-0.79	10	10.8	±0.1	0.06
						空洞軸	T-U-10-V		○						3.9			-0.06		10.1		
				中央		空洞軸直交	T-U-11-C		○						3.9			-0.19		10.2		
						空洞軸	T-U-11-V		○						3.9			-0.08		10.1		
				左側		空洞軸直交	T-U-12-C		○						3.9			-0.30		10.3		
						空洞軸	T-U-12-V		○						3.9			-0.50		10.5		

表 2.6-26　底部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日				期間（年）							
コンクリートピット	底部	ひずみ計	B	中央	上段	空洞軸	P-H- 1-I-V	2008/11/24	○			30	30	100%	7.9	ひずみ	μ	37	±5000	4963	±50	1
			A	L側			P-H- 2-I-V		○						7.9			-30		4970		
				中央			P-H- 3-I-V		○						7.9			21		4979		
				R側			P-H- 4-I-V		○						7.9			84		4916		
			C	中央			P-H- 5-I-V		○						7.9			166		4834		
			B	中央		空洞横断	P-H- 1-I-C		○						7.9			23		4977		
			A	L側			P-H- 2-I-C		○						7.9			180		4820		
				中央			P-H- 3-I-C		○						7.9			43		4957		
				R側			P-H- 4-I-C		○						7.9			190		4811		
			C	中央			P-H- 5-I-C		○						7.9			187		4813		
			B	中央	中段	空洞軸	P-H- 1-M-V		○						7.9			157		4843		
			A	L側			P-H- 2-M-V		○						7.9			87		4913		
				中央			P-H- 3-M-V		○						7.9			116		4884		
				R側			P-H- 4-M-V		○						7.9			117		4883		
			C	中央			P-H- 5-M-V		○						7.9			173		4827		
			B	中央		空洞横断	P-H- 1-M-C		○						7.9			106		4894		
			A	L側			P-H- 2-M-C		○						7.9			155		4845		
				中央			P-H- 3-M-C		○						7.9			108		4892		
				R側			P-H- 4-M-C		○						7.9			201		4799		
			C	中央			P-H- 5-M-C		○						7.9			68		4932		
			B	中央	下段	空洞軸	P-H- 1-O-V		○						7.9			66		4934		
			A	L側			P-H- 2-O-V		○						7.9			-15		4985		
				中央			P-H- 3-O-V		○						7.9			-38		4962		
				R側			P-H- 4-O-V		○						7.9			-41		4959		
			C	中央			P-H- 5-O-V		○						7.9			45		4955		
			B	中央		空洞横断	P-H- 1-O-C		○						7.9			-33		4967		
			A	L側			P-H- 2-O-C		○						7.9			40		4960		
				中央			P-H- 3-O-C		○						7.9			0		5000		
				R側			P-H- 4-O-C		○						7.9			61		4939		
			C	中央			P-H- 5-O-C		○						7.9			-18		4982		
		有効応力計	B	中央	中段	空洞軸	P-U- 1-V		○			10	10	100%	7.9	応力	N/mm²	-0.58	10	10.6	±0.1	0.06
			A	L側			P-U- 2-V		○						7.9			-0.30		10.3		
				中央			P-U- 3-V		○						7.9			0.01		10.0		
				R側			P-U- 4-V		○						7.9			-0.11		10.1		
			C	中央			P-U- 5-V		○						7.9			-0.53		10.5		
			B	中央		空洞横断	P-U- 1-C		○						7.9			-1.60		11.6		
			A	L側			P-U- 2-C		○						7.9			-1.27		11.3		
				中央			P-U- 3-C		○						7.9			-0.60		10.6		
				R側			P-U- 4-C		○						7.9			-0.94		10.9		
			C	中央			P-U- 5-C		○						7.9			-1.07		11.1		
		無応力計	A	中央	中段	－	P-M- 1		○			1	1	100%	7.9	自由ひずみ	μ	942	±5000	4058	±50	1
		傾斜計	A	中央	－	空洞軸	P-K- 1-I-V		○			1	1	100%	7.9	傾斜角	°	0.28	±5	4.72	±0.025	0.0025
						空洞横断	P-K- 1-I-C											0.16		4.84		
		温度計	B	中央	上段	－	P-O- 1-I		○			15	15	100%	7.9	温度	℃	16.1	80	63.9	±1.0	0.02
			A	L側			P-O- 2-I		○						7.9			14.7		65.3		
				中央			P-O- 3-I		○						7.9			14.6		65.4		
				R側			P-O- 4-I		○						7.9			14.4		65.6		
			C	中央			P-O- 5-I		○						7.9			13.8		66.2		
			B	中央	中段		P-O- 1-M		○						7.9			15.8		64.2		
			A	L側			P-O- 2-M		○						7.9			14.7		65.3		
				中央			P-O- 3-M		○						7.9			14.6		65.4		
				R側			P-O- 4-M		○						7.9			14.4		65.6		
			C	中央			P-O- 5-M		○						7.9			13.9		66.1		
			B	中央	下段		P-O- 1-O		○						7.9			15.9		64.1		
			A	L側			P-O- 2-O		○						7.9			14.7		65.3		
				中央			P-O- 3-O		○						7.9			14.5		65.5		
				R側			P-O- 4-O		○						7.9			14.4		65.6		
			C	中央			P-O- 5-O		○						7.9			13.9		66.1		

※傾斜計は1台で2方向計測している

表 2.6-27　側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧（1/2）

（2016/10/14現在）

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置 縦断面方向	設置位置 高さ方向	設置位置 厚さ方向	計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器 理由	異常計器 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
コンクリートピット	側部	ひずみ計	B	上段	内側	空洞軸	P-H- 6-I	2009/2/4	○			26	24	92%	7.7	ひずみ	μ	128	±5000	4872	±50	1
			E				P-H- 7-I		○						7.7			209		4791		
			A	下段		鉛直	P-H- 8-I		×	データ異常	2014/7/11				5.4			-		-		
			D				P-H- 9-I		○						7.7			-841		4159		
			A	中段			P-H-10-I		×	データ異常	2014/7/11				5.4			-		-		
			D				P-H-11-I		○						7.7			-482		4518		
			A	上段		空洞軸	P-H-12-I		○						7.7			52		4948		
			D				P-H-13-I		○						7.7			97		4903		
			C	上段		空洞軸	P-H-14-I		○						7.7			135		4865		
			F				P-H-15-I		○						7.7			152		4848		
			A	下段	中央	空洞軸	P-H- 8-M		○						7.7			-299		4701		
			D				P-H- 9-M		○						7.7			26		4975		
			A	中段			P-H-10-M		○						7.7			-394		4607		
			D				P-H-11-M		○						7.7			-255		4745		
			A	上段			P-H-12-M		○						7.7			119		4881		
			D				P-H-13-M		○						7.7			109		4892		
			B	上段	外側	空洞軸	P-H- 6-O		○						7.7			113		4887		
			E				P-H- 7-O		○						7.7			184		4816		
			A	下段		鉛直	P-H- 8-O		○						7.7			-452		4548		
			D				P-H- 9-O		○						7.7			-76		4924		
			A	中段			P-H-10-O		○						7.7			-174		4826		
			D				P-H-11-O		○						7.7			-508		4492		
			A	上段		空洞軸	P-H-12-O		○						7.7			60		4941		
			D				P-H-13-O		○						7.7			30		4971		
			C	上段			P-H-14-O		○						7.7			86		4914		
			F				P-H-15-O		○						7.7			128		4872		
		有効応力計	A	下段	中央	空洞軸	P-U- 6		○			6	5	83%	7.7	応力	N/mm^2	-0.75	10	10.8	±0.1	0.06
			D				P-U- 7		○						7.7			-0.48		10.5		
			A	中段			P-U- 8		○						7.7			-1.57		11.6		
			D				P-U- 9		×	データ異常	2009/11/24				0.8			-		-		
			A	上段			P-U-10		○						7.7			-1.97		12.0		
			D				P-U-11		○						7.7			-1.7		11.7		
		無応力計	A	下段	中央	-	P-M- 2		○			2	2	100%	7.7	自由ひずみ	μ	1125	±5000	3875	±50	1
			D				P-M- 3		○						7.7			732		4268		

表 2.6-28　側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧（2/2）

（2016/10/14現在）

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間（年）	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
コンクリートピット	側部	鉄筋計	B	上段	内側	空洞軸	P-R- 6-I	2009/2/4	○			20	19	95%	7.7	応力	N/mm²	6.0	±350	344.0	±3.5	0.175
			E				P-R- 7-I		○						7.7			11.0		339.0		
			A	下段		鉛直	P-R- 8-I		○						7.7			0.5		349.5		
			D				P-R- 9-I		○						7.7			0.0		350.0		
			A	中段			P-R-10-I		○						7.7			7.5		342.5		
			D				P-R-11-I		○						7.7			4.4		345.6		
			A	上段		空洞軸	P-R-12-I		×	データ異常	2014/7/11				5.4			－		－		
			D				P-R-13-I		○						7.7			-2.4		347.6		
			C	上段			P-R-14-I		○						7.7			-1.4		348.6		
			F				P-R-15-I		○						7.7			-0.6		349.4		
			B	上段	外側	空洞軸	P-R- 6-0		○						7.7			2.3		347.7		
			E				P-R- 7-0		○						7.7			5.2		344.8		
			A	下段		鉛直	P-R- 8-0		○						7.7			-3.6		346.4		
			D				P-R- 9-0		○						7.7			-4.2		345.8		
			A	中段			P-R-10-0		○						7.7			-3.3		346.7		
			D				P-R-11-0		○						7.7			-1.2		348.8		
			A	上段		空洞軸	P-R-12-0		○						7.7			-8.1		341.9		
			D				P-R-13-0		○						7.7			-20.7		329.3		
			C	上段			P-R-14-0		○						7.7			-4.6		345.4		
			F				P-R-15-0		○						7.7			-3.4		346.6		
		温度計	B	上段	内側	－	P-0- 6-I		○			26	25	96%	7.7	温度	℃	16.1	80	63.9	±1.0	0.02
			E				P-0- 7-I		○						7.7			16.2		63.8		
			A	下段			P-0- 8-I		×	データ異常	2014/7/11				5.4			－		－		
			D				P-0- 9-I		○						7.7			15.2		64.8		
			A	中段			P-0-10-I		○						7.7			16.3		63.7		
			D				P-0-11-I		○						7.7			15.7		64.3		
			A	上段			P-0-12-I		○						7.7			16.7		63.3		
			D				P-0-13-I		○						7.7			16.5		63.5		
			C	上段			P-0-14-I		○						7.7			16.0		64.0		
			F				P-0-15-I		○						7.7			14.6		65.4		
			A	下段	中央		P-0- 8-M		○						7.7			15.5		64.5		
			D				P-0- 9-M		○						7.7			15.1		64.9		
			A	中段			P-0-10-M		○						7.7			16.3		63.7		
			D				P-0-11-M		○						7.7			15.7		64.3		
			A	上段			P-0-12-M		○						7.7			16.7		63.3		
			D				P-0-13-M		○						7.7			16.5		63.5		
			B	上段	外側		P-0- 6-0		○						7.7			16.2		63.8		
			E				P-0- 7-0		○						7.7			16.4		63.6		
			A	下段			P-0- 8-0		○						7.7			15.6		64.4		
			D				P-0- 9-0		○						7.7			15.1		64.9		
			A	中段			P-0-10-0		○						7.7			16.4		63.6		
			D				P-0-11-0		○						7.7			15.6		64.4		
			A	上段			P-0-12-0		○						7.7			16.6		63.4		
			D				P-0-13-0		○						7.7			13.9		66.1		
			C	上段			P-0-14-0		○						7.7			16.2		63.8		
			F				P-0-15-0		○						7.7			17.2		62.8		

表 2.6-29　手前部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			断面	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日				期間(年)							
コンクリートピット	手前部	ひずみ計	E	上段	内側	空洞横断	P-H-16-I	2009/8/6	○			10	10	100%	7.2	ひずみ	μ	242	±5000	4758	±50	1
			D	下段		鉛直	P-H-18-I		○						7.2			-139		4861		
				中段			P-H-20-I		○						7.2			178		4822		
				上段		空洞横断	P-H-22-I		○						7.2			150		4850		
			E	中段			P-H-24-I		○						7.2			-38		4962		
			E	上段	外側	空洞横断	P-H-16-O		○						7.2			295		4706		
			D	下段		鉛直	P-H-18-O		○						7.2			-271		4729		
				中段			P-H-20-O		○						7.2			229		4771		
				上段		空洞横断	P-H-22-O		○						7.2			299		4702		
			E	中段			P-H-24-O		○						7.2			-29		4971		
		無応力計	D	中段	中央	-	P-M- 4		○			1	1	100%	7.2	自由ひずみ	μ	493		4507		
		温度計	E	上段	内側	-	P-O-16-I		○			11	11	100%	7.2	温度	℃	16.0	80	64.0	±1.0	0.02
			D	下段			P-O-18-I		○						7.2			16.6		63.4		
				中段			P-O-20-I		○						7.2			16.9		63.1		
				上段			P-O-22-I		○						7.2			16.0		64.0		
			E	中段			P-O-24-I		○						7.2			16.8		63.2		
			D	中段	中央		P-O-20-M		○						7.2			16.8		63.2		
			E	上段	外側		P-O-16-O		○						7.2			16.0		64.0		
			D	下段			P-O-18-O		○						7.2			16.4		63.6		
				中段			P-O-20-O		○						7.2			16.6		63.4		
				上段			P-O-22-O		○						7.2			15.9		64.1		
			E	中段			P-O-24-O		○						7.2			16.4		63.6		
		鉄筋計	E	上段	内側	空洞横断	P-R-16-I		○			10	10	100%	7.2	応力	N/mm²	32.9	±350	317.1	±3.5	0.175
			D	下段		鉛直	P-R-18-I		○						7.2			29.8		320.2		
				中段			P-R-20-I		○						7.2			25.1		324.9		
				上段		空洞横断	P-R-22-I		○						7.2			29.3		320.7		
			E	中段			P-R-24-I		○						7.2			7.8		342.2		
			E	上段	外側	空洞横断	P-R-16-O		○						7.2			29.4		320.6		
			D	下段		鉛直	P-R-18-O		○						7.2			17.2		332.8		
				中段			P-R-20-O		○						7.2			26.1		324.0		
				上段		空洞横断	P-R-22-O		○						7.2			39.3		310.7		
			E	中段			P-R-24-O		○						7.2			24.3		325.7		

表 2.6-30　上部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

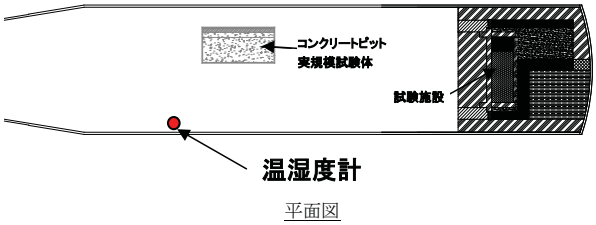
(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日											
コンクリートピット	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%	3.9	ひずみ	μ	-7	±5000	4993	±50	1
						空洞軸	P-H-28-I-V		○						3.9			-47		4953		
					中央	空洞軸直交	P-H-28-M-C		○						3.9			-3		4997		
						空洞軸	P-H-28-M-V		○						3.9			-27		4973		
					外側	空洞軸直交	P-H-28-O-C		○						3.9			52		4948		
						空洞軸	P-H-28-O-V		○						3.9			83		4917		
		無応力計			中央	-	P-M- 6		○			1	1	100%	3.9	自由ひずみ	μ	389		4611		
		温度計				-	P-O-28-I		○			3	3	100%	3.9	温度	℃	16.1	80	63.9	±1.0	0.02
						-	P-O-28-M		○						3.9			16.4		63.6		
						-	P-O-28-O		○						3.9			16.5		63.5		
		有効応力計				空洞軸直交	P-U-19-C		○			2	2	100%	3.9	応力	N/mm^2	-0.11	10	10.1	±0.1	0.06
						空洞軸	P-U-19-V		○						3.9			-0.08		10.1		

表 2.6-31　充てん材の計測機器の現状一覧

(2016/10/14現在)

計器情報									正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値					その他	
部材	部位	計器種別	設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
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%	6.2	土圧	kPa	32	400	368	±4	0.2
			中央	中段	-	水平	F-D-2		○						6.2			14		386		
				上段	-	水平	F-D-1		○						6.2			4		396		
		温度計		中段	-	-	F-O-1		○			1	1	100%	6.2	温度	℃	16.2	80	63.8	±1.0	0.02
	上部	土圧計	中央	下段	-	水平	F-D-4	2010/8/3	○			1	1	100%	6.2	土圧	kPa	23	2000	1977	±20	1.111
		温度計			-	-	F-O-2		○			1	1	100%	6.2	温度	℃	16.1	80	63.9	±1.0	0.02



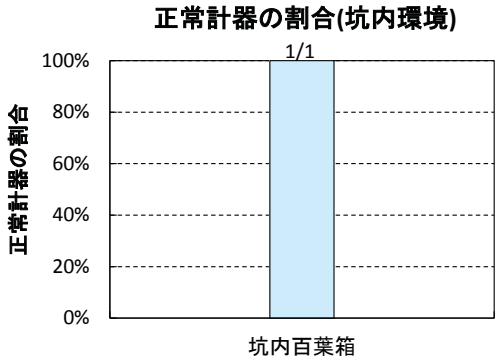
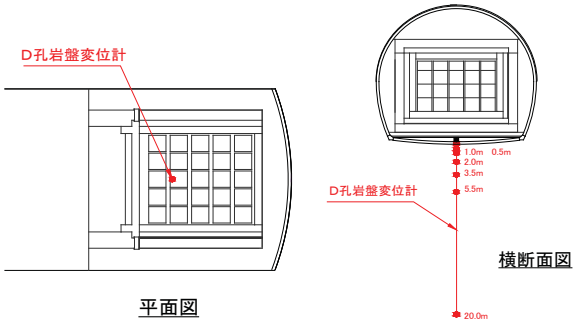
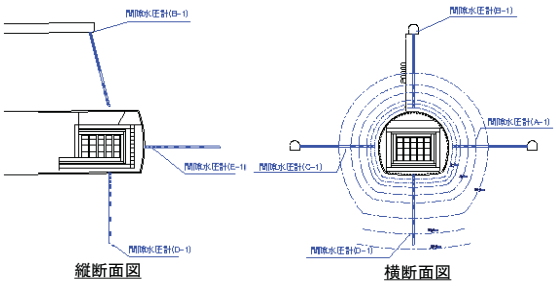


図 2.6-16　坑内環境の正常計器の割合



(1)岩盤変位計



(2)間隙水圧計

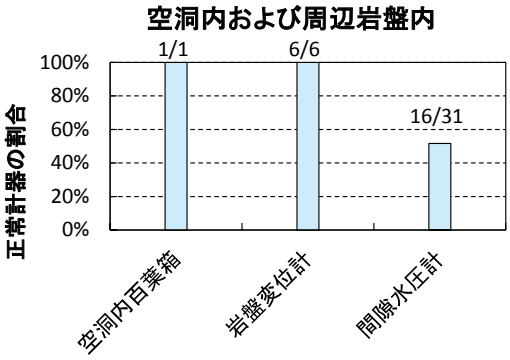


図 2.6-17　周辺岩盤の正常計器の割合

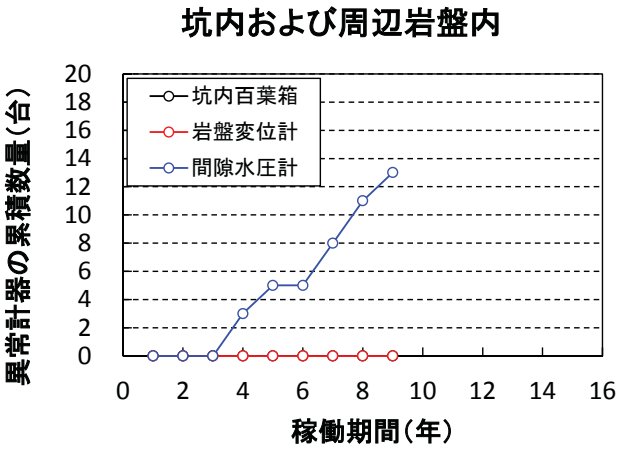
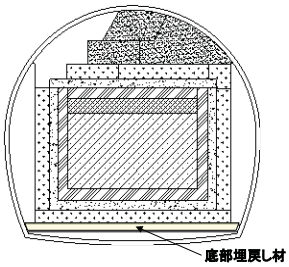


図 2.6-18　坑内環境および周辺岩盤の計器種類毎の異常計器数量変遷



横断図

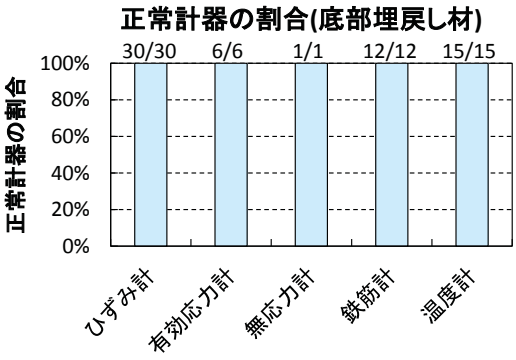
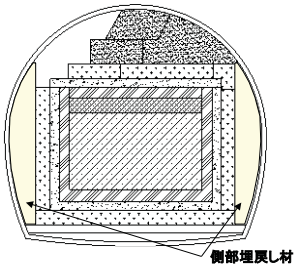


図 2.6-19　底部埋戻し材の正常計器の割合



横断図

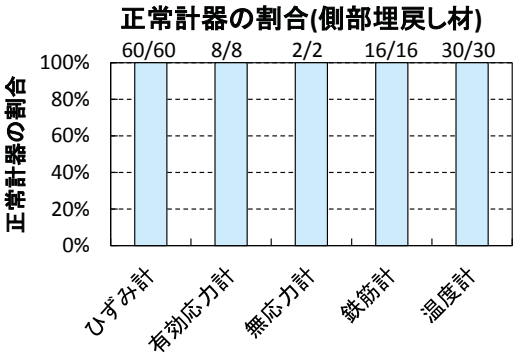
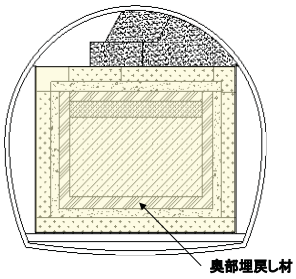


図 2.6-20　側部埋戻し材の正常計器の割合



横断図

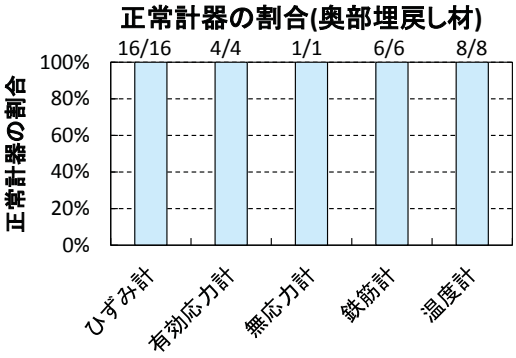
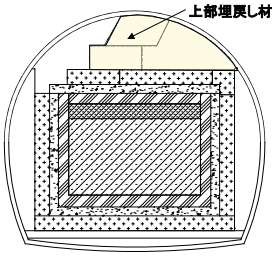


図 2.6-21　奥部埋戻し材の正常計器の割合



横断図

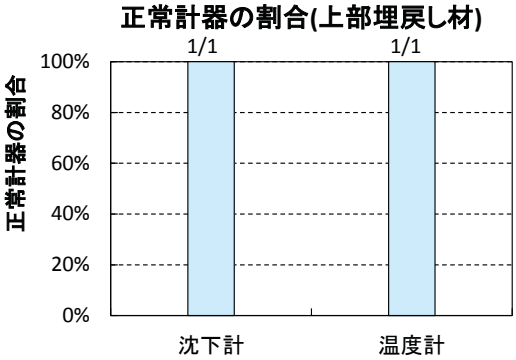


図 2.6-22　上部埋戻し材の正常計器の割合

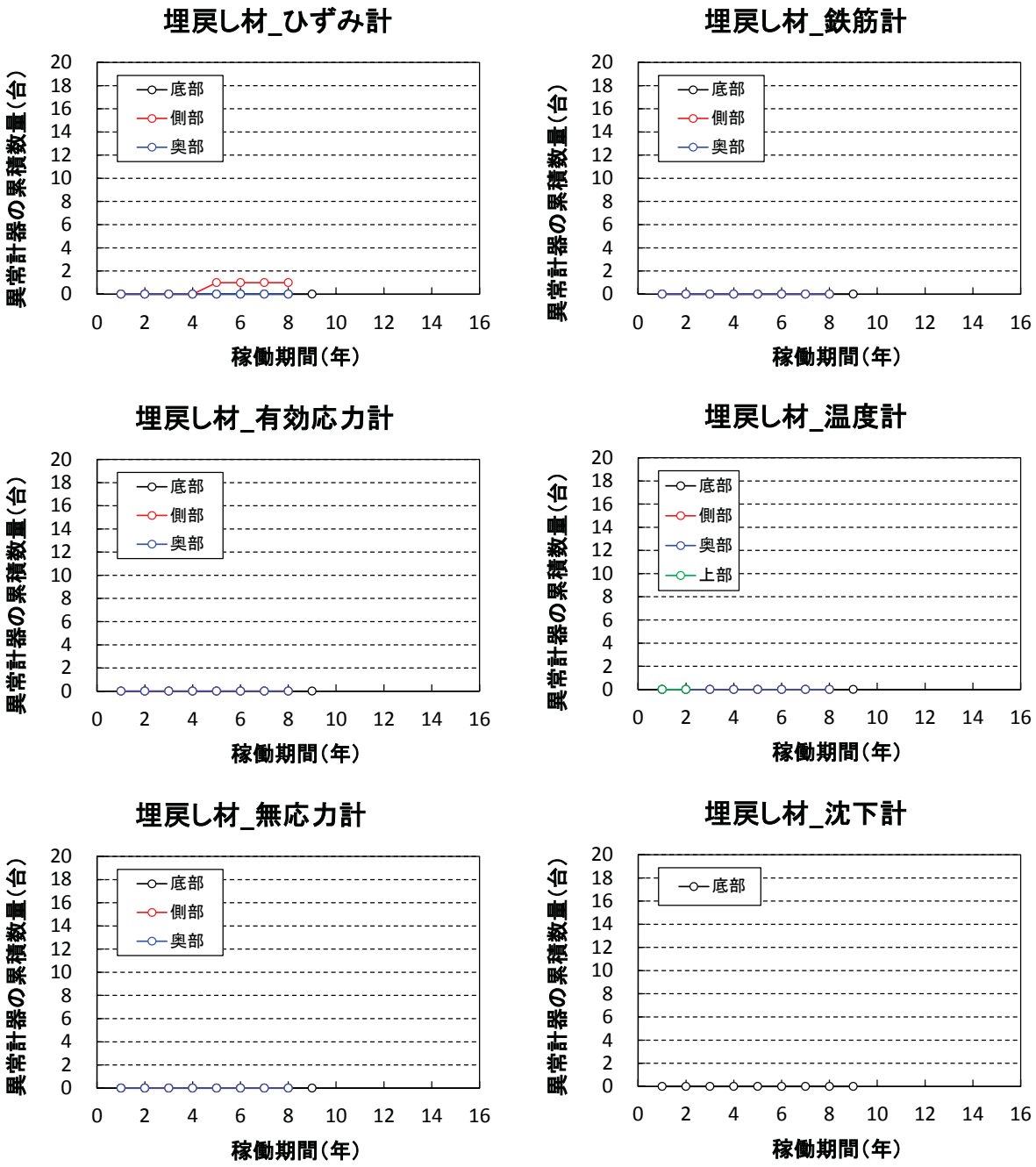


図 2.6-23　埋戻し材の計器種類毎の異常計器数量変遷

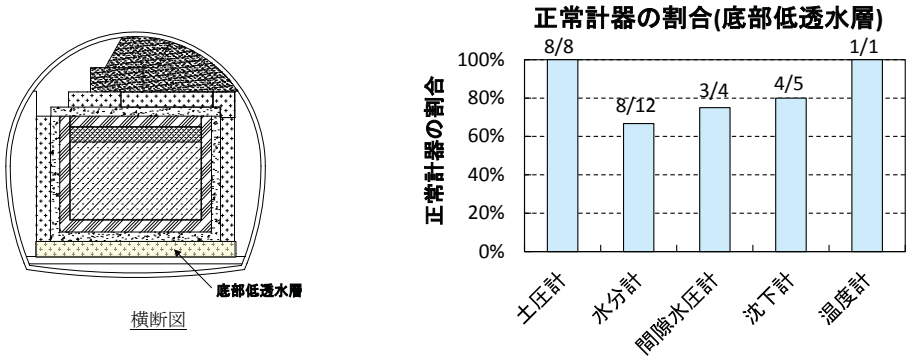


図 2.6-24　底部低透水層の正常計器の割合

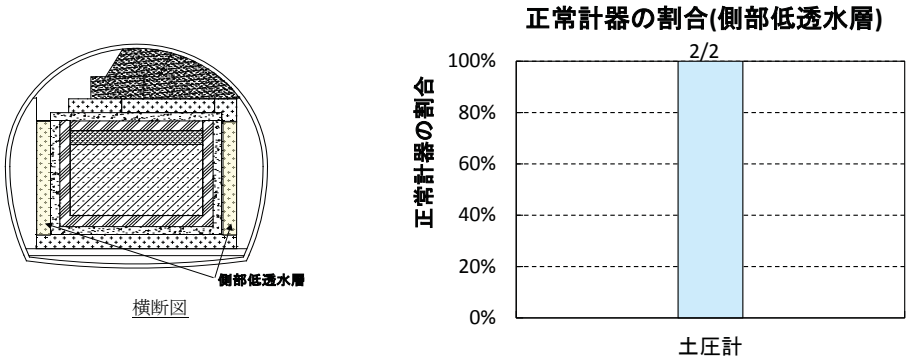


図 2.6-25　側部低透水層の正常計器の割合

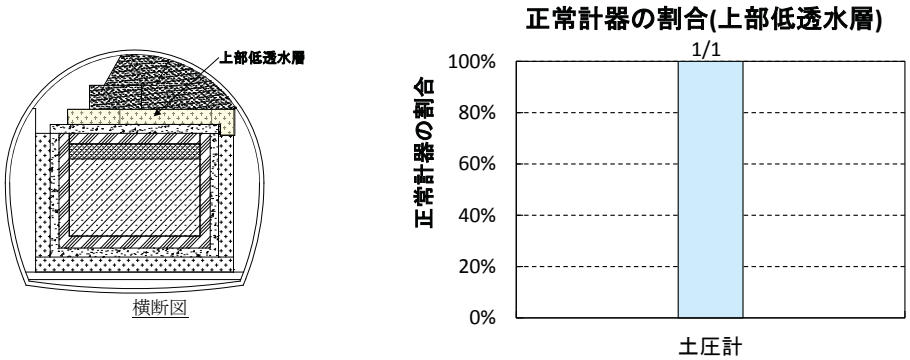


図 2.6-26　上部低透水層の正常計器の割合

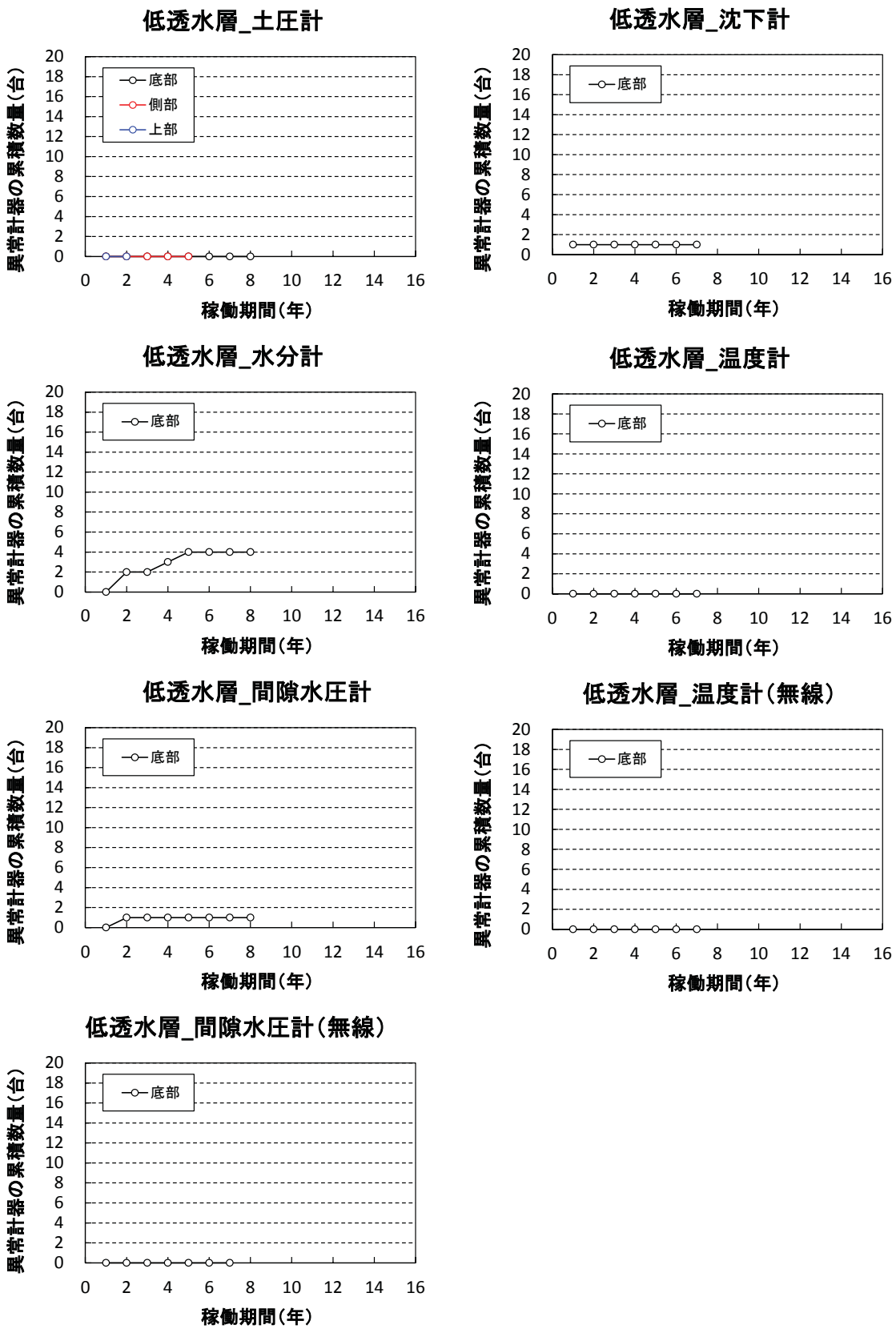
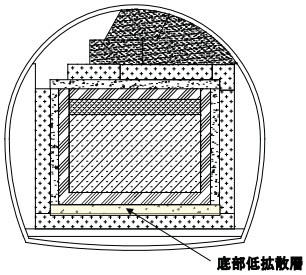


図 2.6-27　低透水層の計器種類毎の異常計器数量変遷



横断図

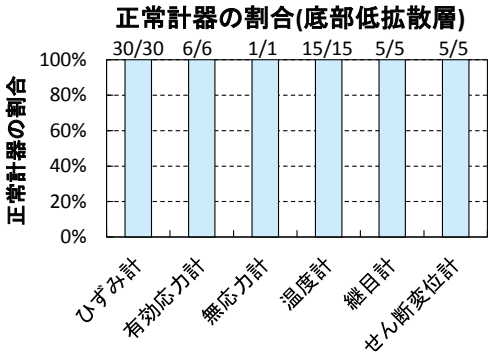
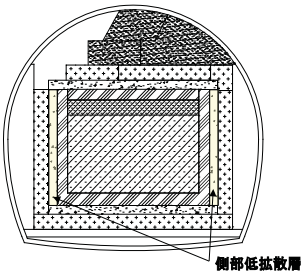


図 2.6-28　底部低拡散層の正常計器の割合



横断図

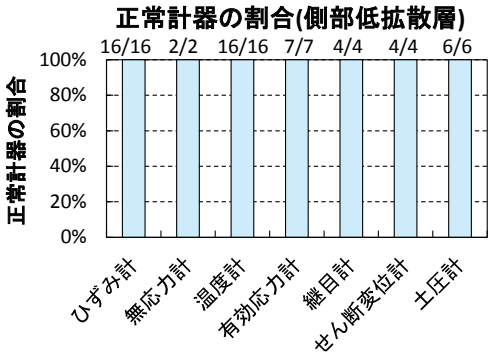
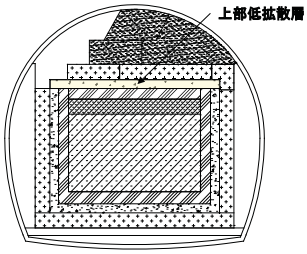


図 2.6-29　側部低拡散層の正常計器の割合



横断図

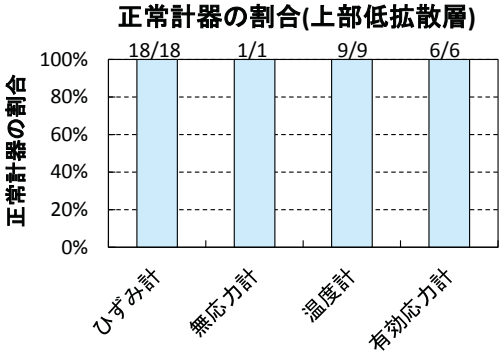


図 2.6-30　上部低拡散層の正常計器の割合

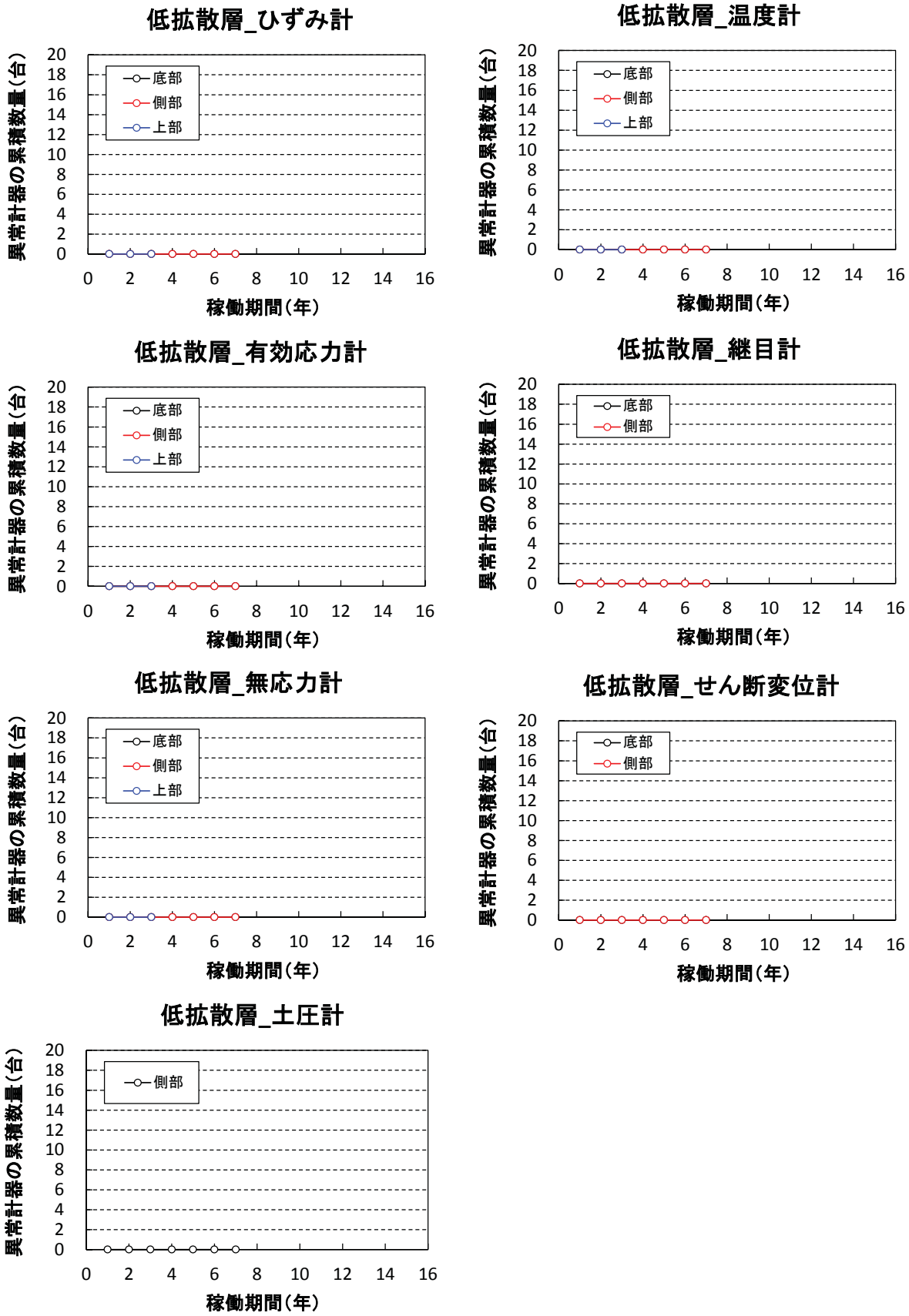


図 2.6-31　低拡散層の計器種類毎の異常計器数量変遷

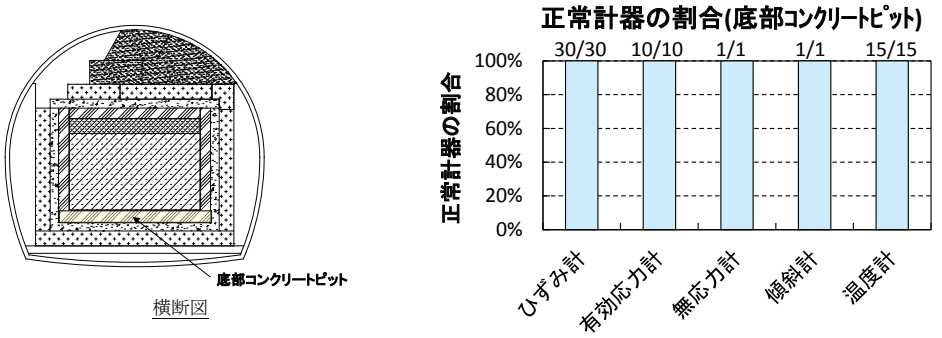


図 2.6-32　底部コンクリートピットの正常計器の割合

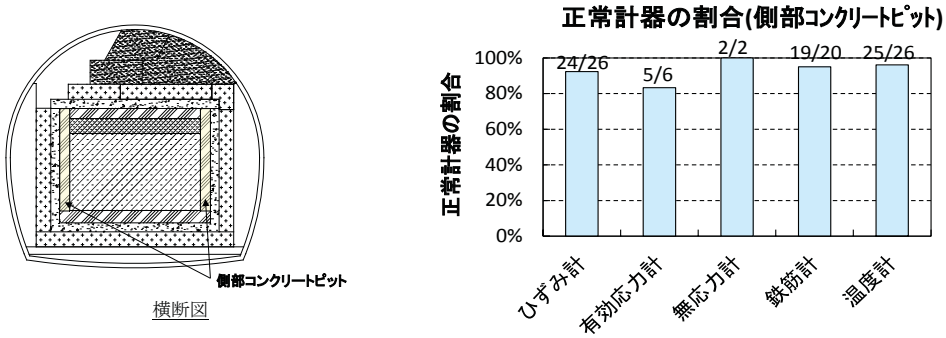


図 2.6-33　側部コンクリートピットの正常計器の割合

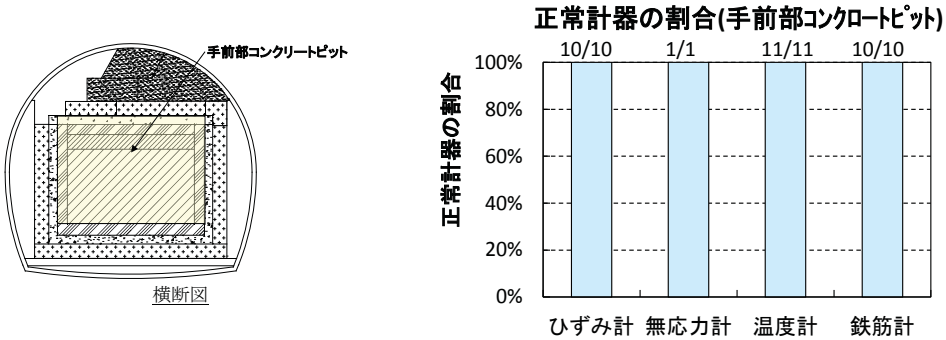


図 2.6-34　手前部コンクリートピットの正常計器の割合

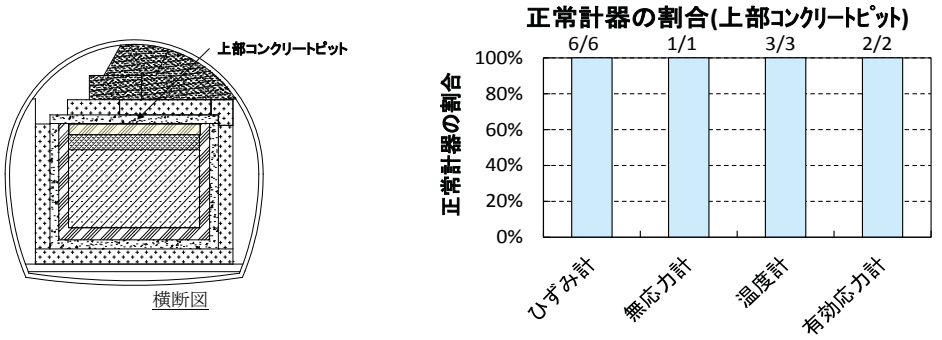


図 2.6-35　上部コンクリートピットの正常計器の割合

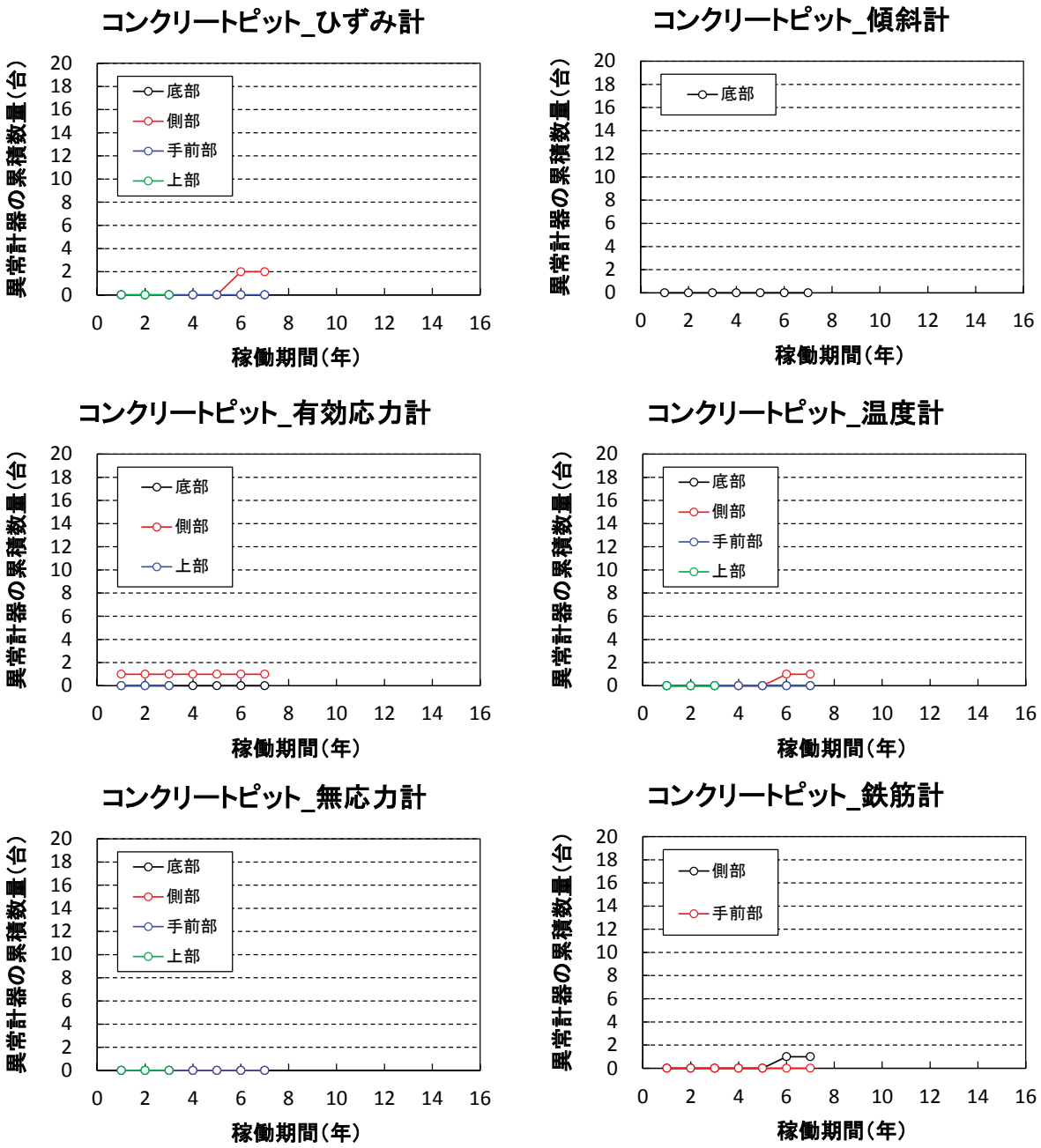
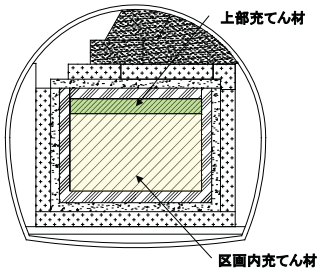


図 2.6-36　低拡散層の計器種類毎の異常計器数量変遷



横断図

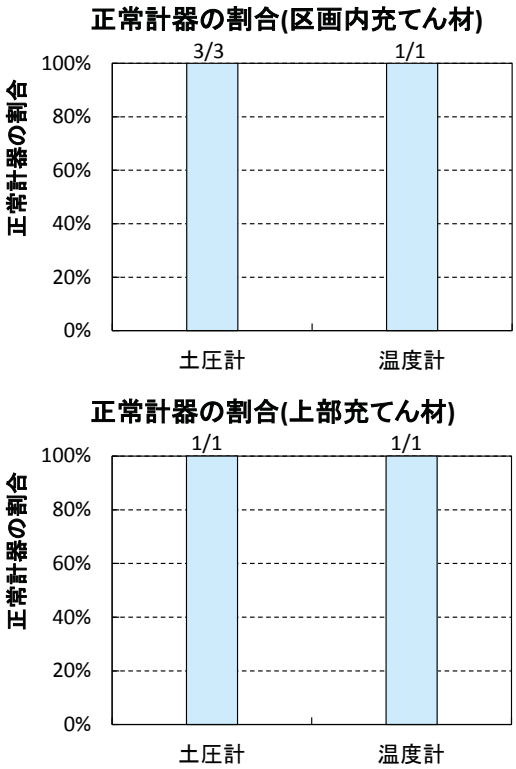


図 2.6-37　区画内充てん材および上部充てん材の正常計器の割合

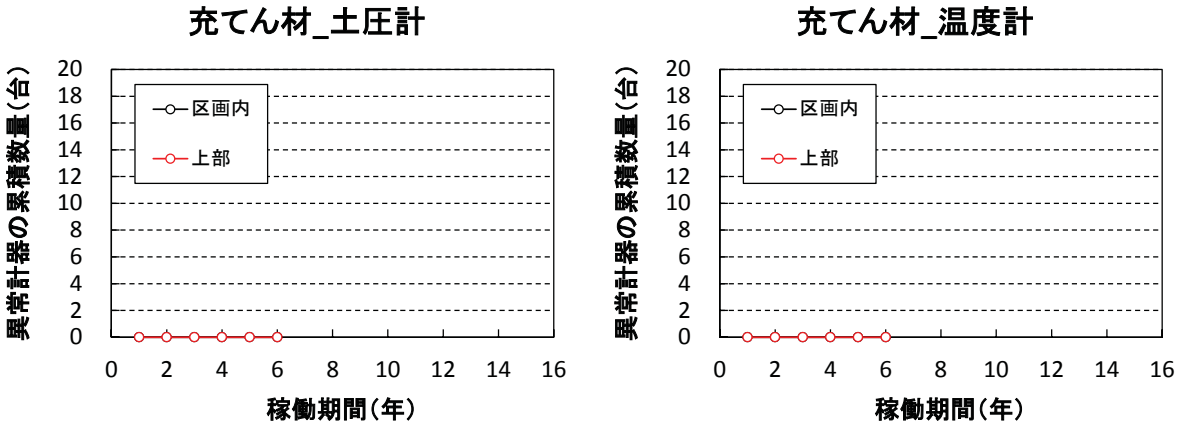


図 2.6-38　充てん材の計器種類毎の異常計器数量変遷

2.6.2　既設計測機器の活用方法

今年度の点検により、平成 19 年度～26 年度に設置した計測機器の 9 割以上が現在正常に稼働していることを確認した。現在稼働している計測機器に関しては、今後も計測を継続することにより、①データの蓄積、②計測機器の耐久性確認、③新規計測機器設置時に周辺に与える影響確認、④既存の実規模模擬試験施設を活用した試験におけるデータ取得に利用できると考えられる。既設計測機器の活用方法を表 2.6-32 に整理した。

表 2.6-32　既設計測機器の活用方法

目　的	内　　容
データの蓄積	・　実規模大の人工バリア施設における挙動計測の事例は少なく、取得されるデータは今後の研究開発にとって貴重なデータとなるため、計測を継続して行う。
計測機器の耐久性確認	・　既設計測機器の耐久性を、稼働実績等により確認する。
新規計測機器設置時に周辺に与える影響確認	・　新規計測機器を設置する際、場の乱れ等の影響を既設計測機器の計測値により確認する。
既存の実規模模擬試験施設を活用した試験におけるデータ取得	・　現在計画している実規模模擬試験施設を活用した試験において、試験施設の挙動を既設計測機器で計測する。 ・　新設する計測機器によって取得される計測結果と比較して、整合性の確認を行う。

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 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).

[2] 原子力規制委員会：「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（案）」に対する意見募集の結果及び今後の検討の進め方等について（案），第 29 回原子力規制委員会 資料 1，平成 28 年 8 月 31 日（2016).

[3] 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

[4] 協立エンジ株式会社：KK シート工法カタログ

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　実施設挙動のシミュレーション解析による想定し得る事象の整理

3.1.1　検討概要

機能確認試験の詳細計画や機能確認試験設備の設計に資するため、既設の実規模施設での挙動計測では得られない人工バリアの安全機能の変遷について確認することを目的として、施設の時間的な変遷を踏まえたうえで対象となる事象の選定を行い、当該事象の実施設における挙動を把握するための予察的な解析を実施した。予察的な解析では、処分坑道の埋め戻し完了から管理期間終了までの比較的現実的な時間枠の中で、施設の機能確認として、人工バリア等において着目すべき事象が生じる可能性に着目して解析結果について評価を行った。

3.1.2　検討対象となる事象の選定

(1) 目的及び検討概要

埋設・保全段階における現実的な時間枠で見込まれる実施設の状態変遷（人工バリア構成部材等の機能の変化）について機能確認試験において押さえておくべき事項を抽出し、予察的な解析を実施することにより、具体的な機能確認試験計画の策定に反映することを全体計画として進めている。

本年度は、これら成果に基づき、最も注視すべき事象を引き起こす要因を選定し、想定される範囲内における異状なケース（以降、比較ケースと称する）とそれに対してシンプルな均質ケース（以降、参照ケースと称する）を設定して、実施設挙動のシミュレーション解析を実施した。本節では、最も注視すべき検討事象の選定結果を示し、挙動解析シナリオの構築を行った。

本プロジェクトの主幹となる機能確認試験計画の策定までの流れを図 3.1-1 のフロー図に示す。計画初年度となる平成 27 年度は、機能に影響を及ぼす、着目すべき要因について検討・抽出作業を行った。

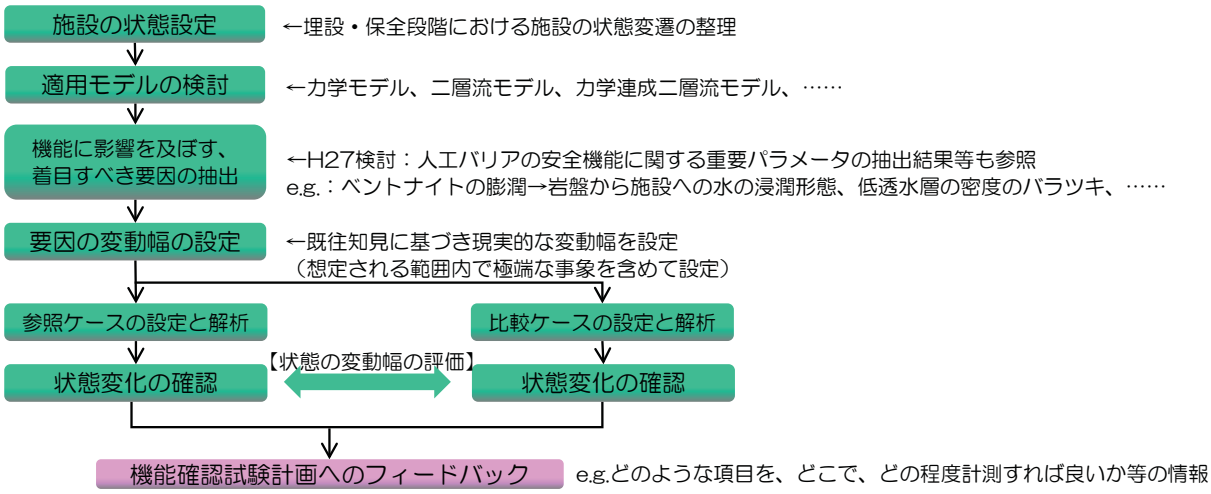


図 3.1-1　検討概要フロー

(2) 施設の状態設定

埋設施設の閉鎖の判断やその後の長期の安全性の見通しを得るためには、操業（埋設及び保全）段階で想定外の施設浸入水量の増加に繋がる兆候がないことの確認が重要である。

そこで本節では、人工バリアに着目して予察解析による挙動検討を行った。施設の状態と事象を引き起こす要因を図 3.1-2 に整理して示す。検討対象は、操業開始（0 年）から保全段階終了（300 年～400 年）までの期間とした。

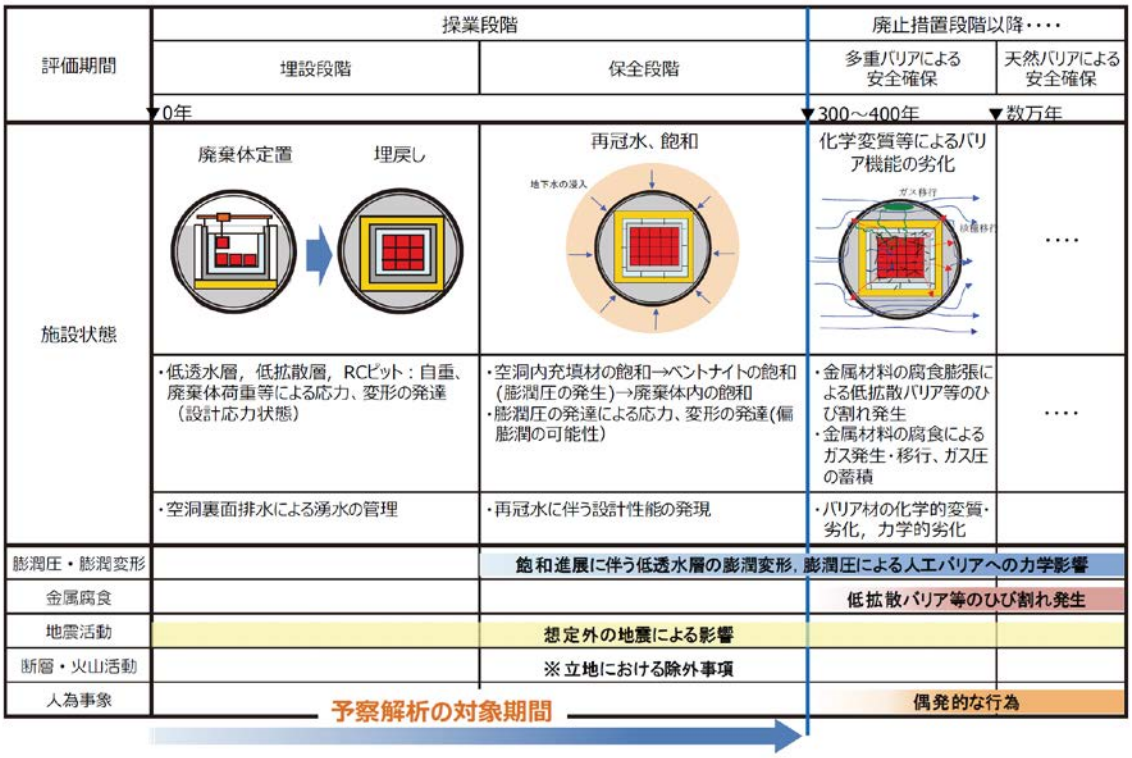


図 3.1-2　人工バリアに着目した施設状態の設定イメージ

(3) 起因事象と影響の整理

地下施設の構造的安定性の早期低下を引き起こす主な要因（状態の変化）として、「金属材料の腐食」「膨潤圧・膨潤変形」「断層、火山活動」「地震活動」「人為事象」を考えた。これらの要因を基本に、操業期間中の数百年に着目し、その発生が科学的に最も合理的と考えられる事象（施設侵入水量の想定外の増加）を引き起こす要因について検討した。

検討手法として Bow-tie ダイヤグラム手法を用いて、科学的に合理的な想定外事象を引き起こす要因（FTA:Fault Tree Analysis）とその結末（ETA:Event Tree Analysis）を策定し、その後、主検討要因に対する FTA より、解析シナリオを選定し、その結果を ETA から最終状況を参照しながら評価した。「施設侵入水量の想定外の増加」を発生事象とした Bow-tie ダイヤグラムを図 3.1-3 に示す。

これらの各要因について、過去の文献や調査結果を参照し吟味した結果、操業段階の埋設施設の主要な状態変化は、再冠水に伴う低透水層の膨潤であると考え、「膨潤圧・膨潤変形」を選定した。

以下、過去の文献や調査結果を参照、活用して各要因の取捨選択について検討した結果を後述の(4) 1) ～4) において示す。

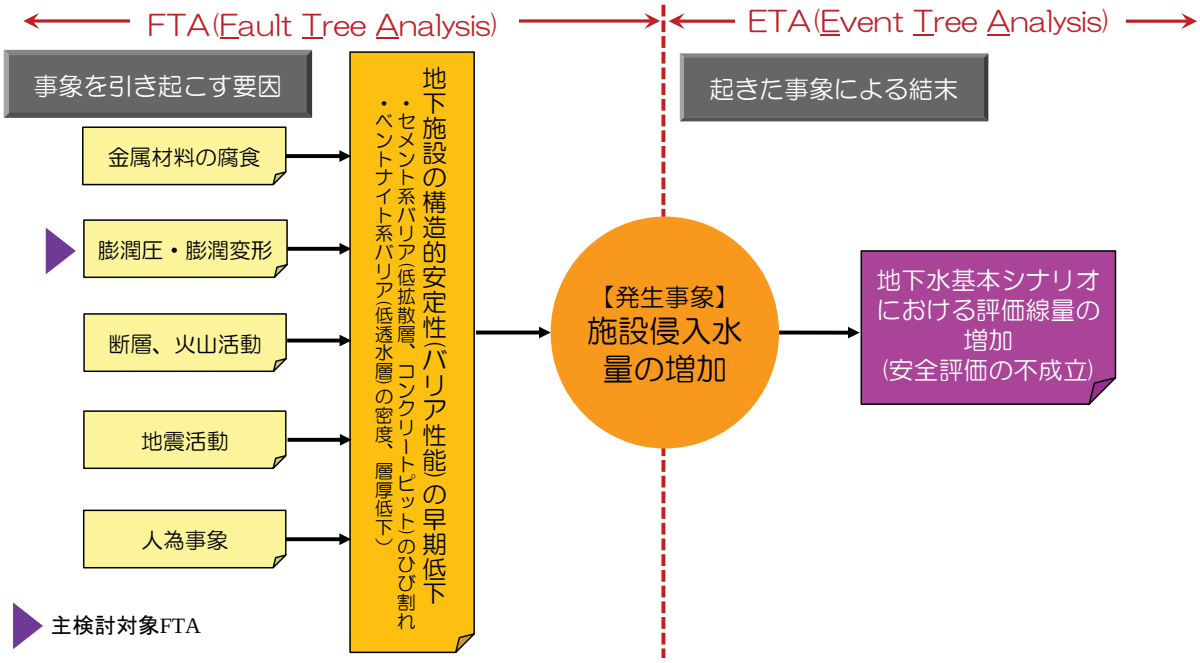


図 3.1-3 Bow-tie ダイヤグラムによる起因事象と影響の整理[1]

(4) 検討対象となる事象を引き起こす要因の選定

1) 低透水層の膨潤変形および金属材料の腐食

類似施設を対象として既往の検討事例での挙動解析による坑道閉鎖直後からの処分モデル中央部における各部材の飽和度経時変化を図 3.1-4 に示す[2]。

解析結果より、ベントナイト低透水層は 50 年程度でほぼ飽和状態に達するのに対し、RC ピットについては、鉄筋かぶり分が飽和するまで概ね 500 年はかかるものと推定される。これより、低透水層の膨潤を検討対象のシナリオ（変動ケース）として抽出することは有意であると考えた。一方、鉄筋の腐食やガス発生は保全期間において起きる可能性は低いものと考えた。

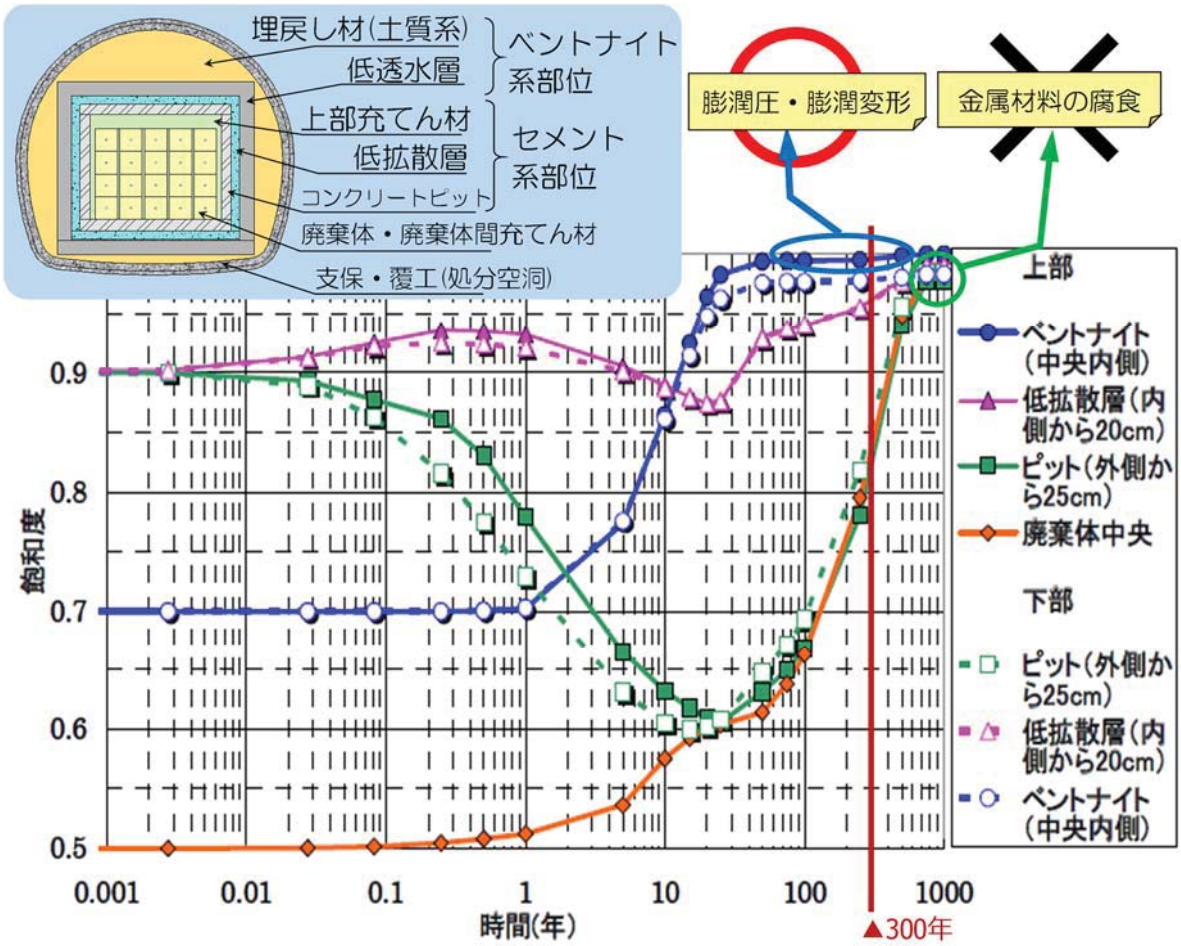


図 3.1-4 膨潤変形および金属材料の腐食に関する検討

（挙動解析による処分モデル中央部における各部材の飽和度経時変化[2]）

2）活断層、火山の影響

余裕深度処分の候補地を選定する過程においては、詳細な地質環境調査を事前に実施することにより、立地段階で既に除外されていることを前提条件として要求されているため、火山活動や断層活動等による放射性影響を評価するための具体的なシナリオを設定する必要はない、とされている[3]。したがって、本検討においても、活断層、火山の影響は検討の対象外とした。

候補地に対する地質調査フロー例と地質環境が施設に与える影響例を図 3.1-5 に示す。

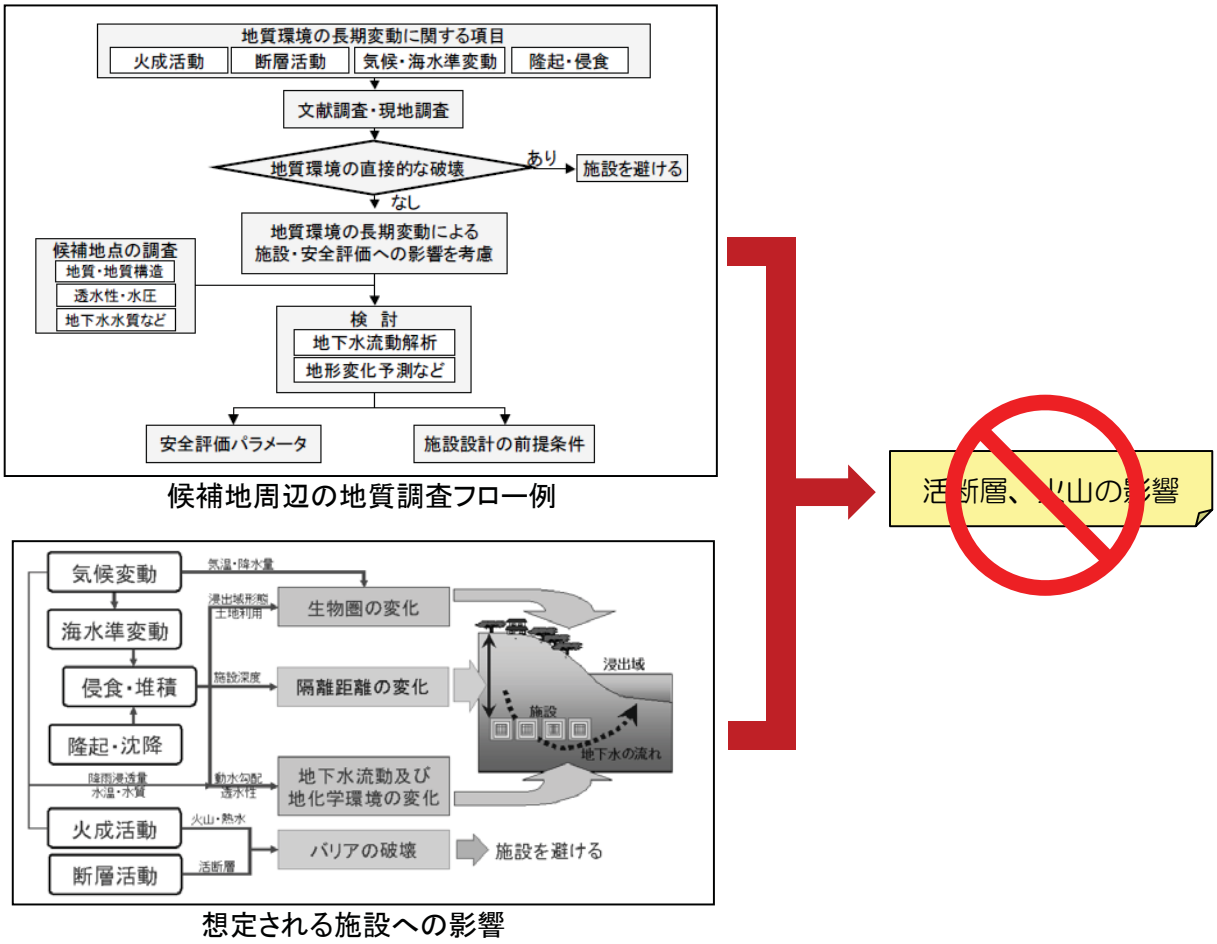


図 3.1-5　活断層および火山の影響に関する検討[4]

3）地震活動の影響

過去の別案件の検討[5]では、巨大地震（900Gal）が建設～操業（埋戻し直後）段階の地下空洞処分施設に与える影響を把握するための地震応答解析を実施し検討している（図 3.1-6 参照）。その結果として、以下のように評価されている。

・コンクリートピットおよび低拡散層は、大きな地震動に対しても部材の耐力は十分であることがわかった。

・低透水層（図中、低透水層と表記）は、一部で塑性化する領域が発生するものの、体積ひずみ増分（最大 0.019%）から換算される透水係数の増分は小さく（最大 0.131%）、巨大地震が低透水層に与える影響は小さいことがわかった。

以上から、地震活動によって懸念される影響が「バリア性能の早期低下」に繋がる重要な要因となる可能性は低いと判断した。

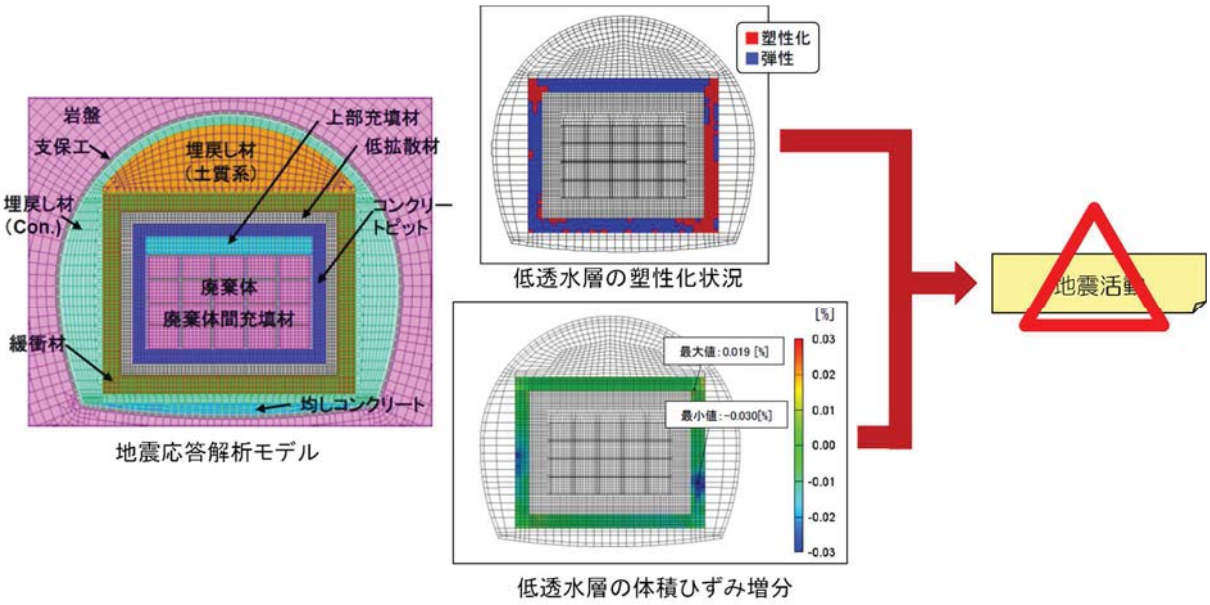


図 3.1-6　地震活動の影響に関する検討[5]

4）人為事象

人為事象シナリオにおいて、原子力規制委員会による報告[3]では、その設定として「埋設施設のバリア機能に影響を与える行為」を対象としており、「埋設施設（廃棄体と人工バリア）及び埋設施設近傍の天然バリアに擾乱を与える行為（人間侵入）」とその結果生じる影響の評価とされている。

以上を踏まえると、図 3.1-7 に示す通り、人為事象については「意図的な行為」と「偶発的な行為」に分類され、それぞれに関する報告書内コメントから、いずれも今回の検討対象には当たらないと考えた。

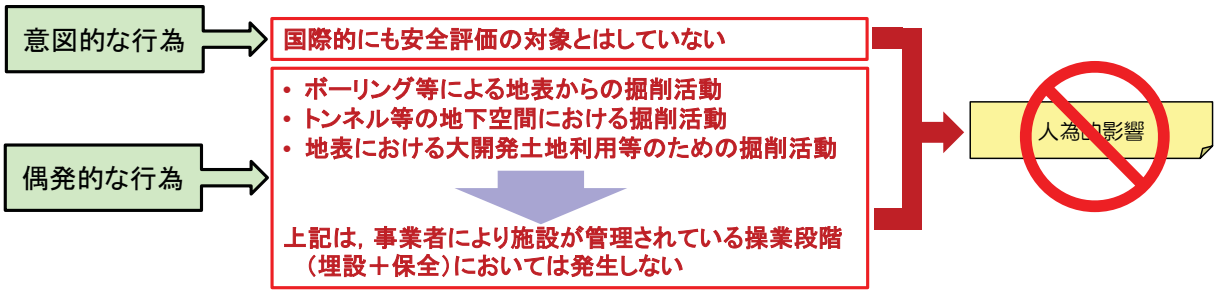


図 3.1-7　人為事象の影響に関する検討

(5) 偏膨潤に関する検討

1) 偏膨潤に関する FTA および ETA の検討

以上の各要因に対する過去の事例を中心に行った取捨選択検討により、「膨潤圧・膨潤変形」を、施設侵入水量の増加という発生事象を引き起こす主検討要因として選択した。

以下に示すように、その発生がもっとも科学的に合理的と考えられる事象を、解析シナリオとして選定し（FTA)、その解析結果について評価を行った（ETA)。

【FTA】

FTA では、偏湿潤（地下水流入)、偏膨潤のシナリオを広く検討して検討対象のシナリオ（変動ケース）を抽出した。抽出方針を以下に列挙する。

・抽出した偏膨潤シナリオは、「それをおさえておけばあとは大丈夫＝それが起こっていないことモニタリングすれば大丈夫」というストーリーを選定する。

・上記のやり方で、解析する変動ケース決めの説明性の高いストーリーを作る。

考えられる大項目と詳細項目を以下に列挙する。これらを整理し、まとめてツリー状に表したものを図 3.1-8 に示す。

A. 低透水層への局所的な、あるいは、不均質な地下水の浸潤

a_支保および側部埋戻しの局所的あるいは偏在的ひび割れ

b_上部埋戻し材の相対的な高透水性

c_支保、上部・側部埋戻し材の施工時不均質性（水理学的）

d_周辺岩盤の水理学的不均質性（亀裂、水圧、透水性）

B. 低透水層の施工時不均質性

a_施工時施設確認で許容される密度のバラツキの範囲内で特異的な分布

b_許容外の密度分布

c_モンモリロナイト含有量の不均質性

C. ベントナイトの流出による低透水層の不均質性

a_ベントナイトの上部埋戻しへの流出

b_ベントナイトの側部埋戻しや底部インバートのひび割れへの流出

D. その他、低透水層および周辺構成要素の変状に起因する低透水層の不均質性

a_地震に起因する変形・破壊

b_支保や上部・側部埋戻し材の早期劣化（力学的・化学的）

c_想定外の岩盤地圧の発達

これらより適当なストーリーを組み立てた一例として、「上部埋戻しの流出、上部ベントナイトのエロージョンあるいはパイピングにより体積減少影響（密度低下）が起き、周囲の低拡散層等やその機能を間接的に支持する部位に偏応力（応力集中など）が発生して、ひび割れや大きな変形が発生して機能低下が起こる（初期性能喪失)。」などが考えられる。

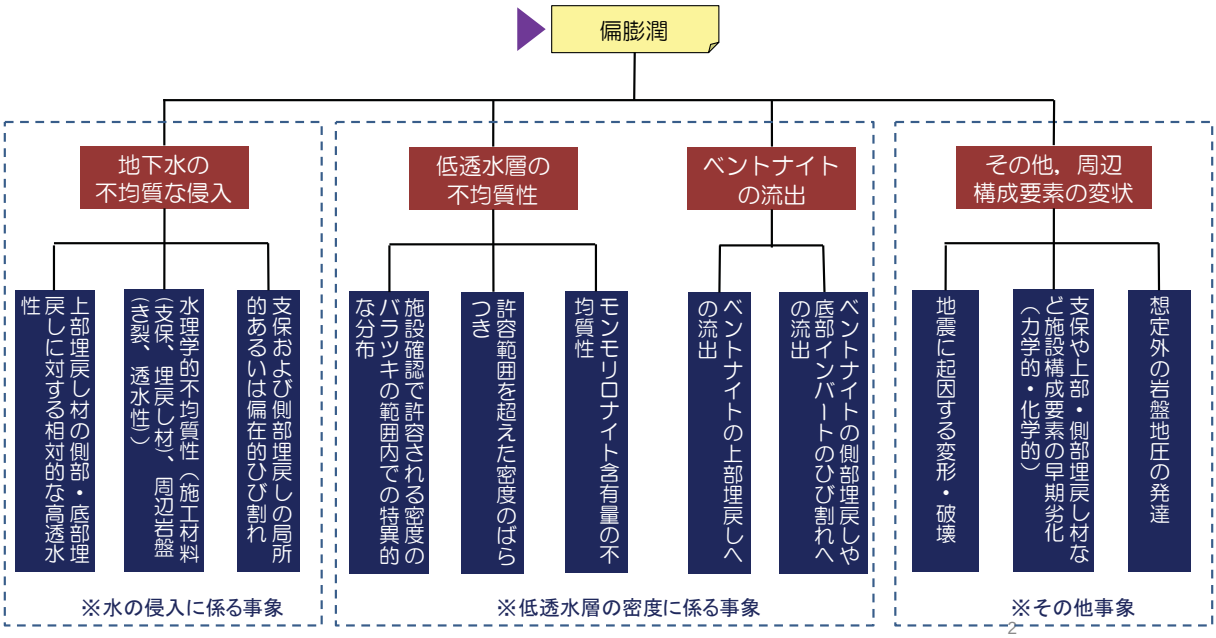


図 3.1-8　偏膨潤に関する FTA

【ETA】

FTA により組み立てたシナリオについて解析した結果（起きた事象による結末）を、“最終状況”を参照して ETA にて評価する。整理した ETA を図 3.1-9 に示す。

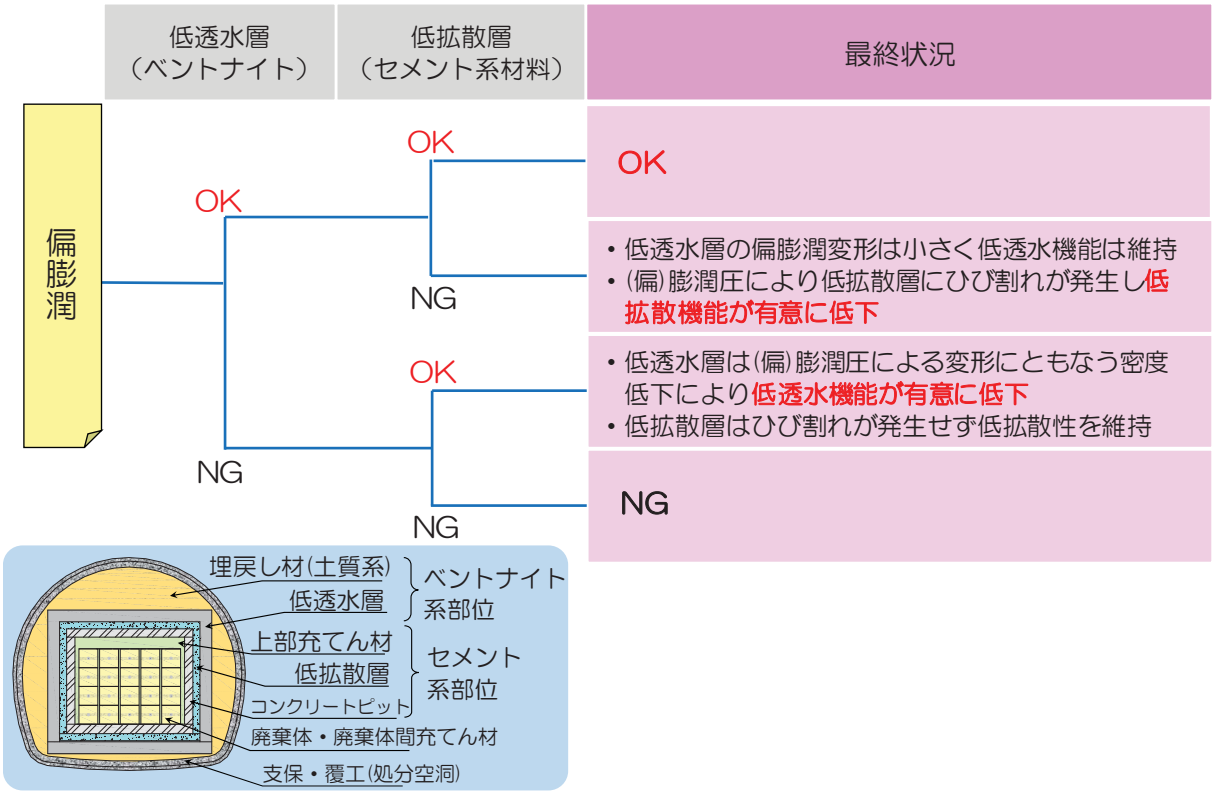


図 3.1-9　偏膨潤に関する ETA

2）ベントナイトの膨潤に着目した挙動解析

以上の結果として得られた膨潤（偏膨潤）を影響因子として、予察解析を実施するものとする。解析方法として、図 3.1-10 に示すように周辺岩盤から均質に水が侵入するケース（以降、参照ケースと称する）の結果から偏った膨潤圧が発生するようなクリティカルな状態を設定し（以降、比較ケースと称する）、解析することによってベントナイト層の密度と厚みの評価、低透水層の応力、及びひび割れを評価し、機能確認試験計画の策定へ反映する。

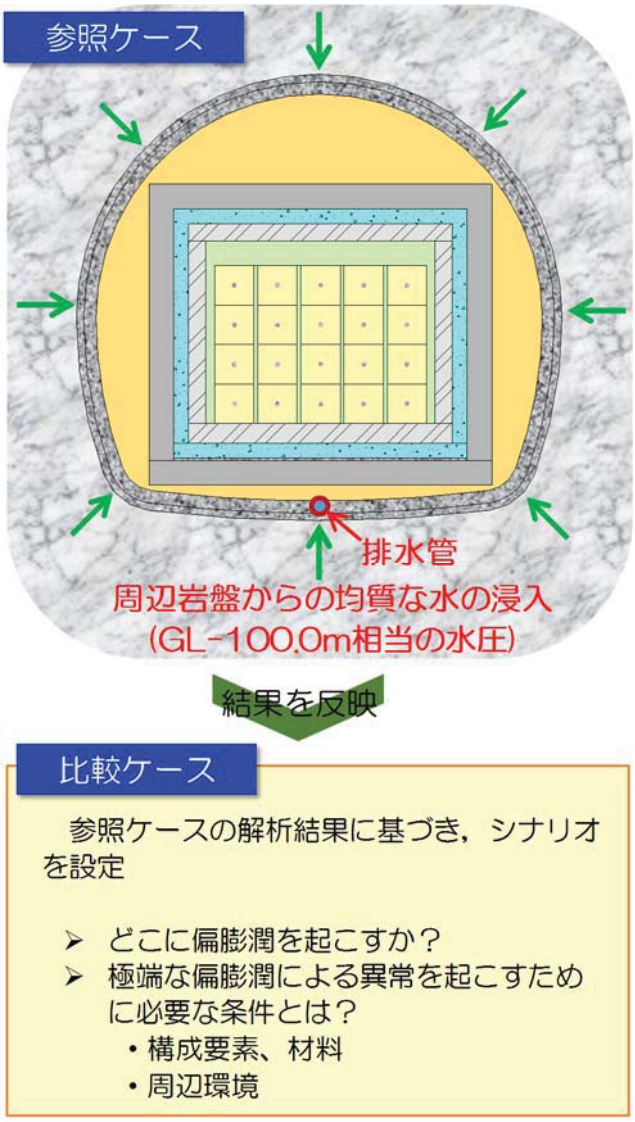


図 3.1-10　解析ケース設定例

3.1.3　処分坑道横断面方向の解析的検討

(1) 目的及び検討概要

処分坑道の一部埋戻し完了から管理期間終了に至る比較的現実的な時間枠において、人バリアの挙動として着目すべき事象が生じる可能性やその確認方法の検討に資するために、施設の飽和の進展に伴う力学的応答を評価可能な予察解析を実施した。

本検討で実施した力学連成二層流解析では、現実的な実施設の状態変遷の予察に加えて、想定される極端な事象を考慮したケースを設定し、当該期間における状態変化の定量的な把握の可能性について考察を行った。

(2) 解析概要

1) 具体的な解析条件

a. 使用する解析コード

本検討ではカタルーニャ工科大で開発された CODE_BRIGHT を用いるものとする。

(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 3.1-1 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[6]。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[7]。

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

1) 膨潤性粘土を含む不飽和土の弾塑性構成モデルが導入されている

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

1)により、再冠水時のベントナイトの吸水（不飽和から飽和）に伴う膨潤変形挙動が表現可能であり、1)、2)により閉鎖系施設の再冠水時に生じる残留する気相の影響を考慮することや、ガス移行時の力学連成挙動が表現可能である。このとき、熱対流や湿潤・乾燥による熱特性の変化も考慮される。図 3.1-11 に熱、力学（応力・変形）、二相流の相互影響関係を示す。

表 3.1-1　CODE_BRIGHT の主な適用プロジェクト

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

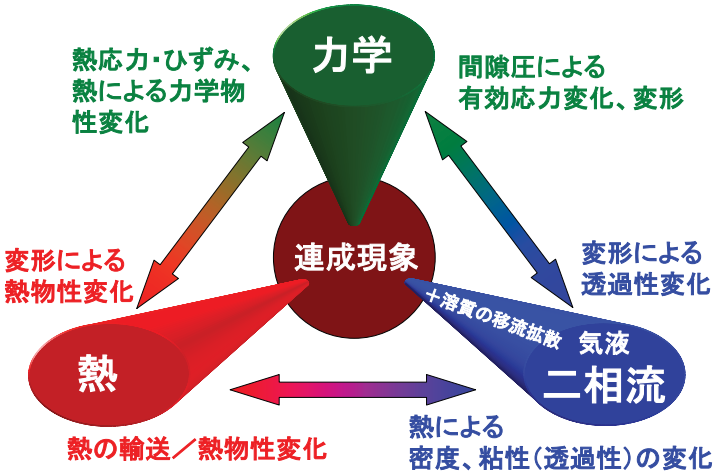


図 3.1-11　熱、力学（応力変形）、二相流の相互影響

(b) 基本的な考え方

多孔質体は、図 3.1-12 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。

＜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

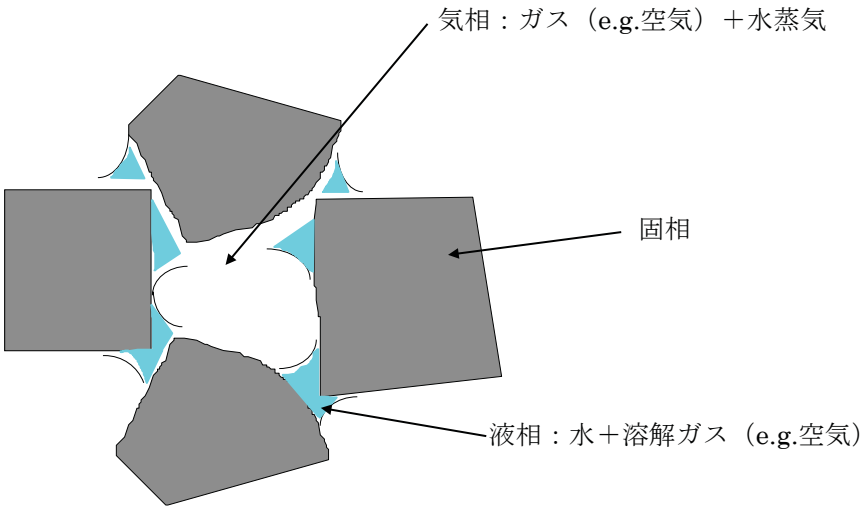


図 3.1-12　不飽和多孔質体の概念

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。
・微少ひずみ、微少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）。

(c) 支配方程式

多孔質体は、図 3.1-12 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 3.1-2 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、平衡則は次の通りである。

・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：飽和率とサクションの関係（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）はサクションと温度により規定される（相対湿度とサクションの log が比例する）

表 3.1-2　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	飽和率とサクションの関係（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

(d) 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[8]は、修正Cam -Clayモデルを不飽和粘土に拡張した弾塑性構成モデルであり、ベントナイトのような膨潤性粘土に対しても適用できるよう拡張されている。なお、飽和時の挙動は修正カム・クレイモデルと一致する。

BBモデルで考慮される不飽和粘土の一般的な力学特性を以下に示す。

・サクションの増加（飽和率の低下）による降伏圧密応力の増加

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

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

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

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

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（3.1-1）で表される（表 3.1-13 参照）。

$$de = -\lambda(s)\frac{dp'}{p'} \qquad (3.1\text{-}1)$$

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

$$p' = p - \max(p_g, p_l) \qquad (3.1\text{-}2)$$

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

式（3.1-1）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。

$$d\varepsilon_v = \frac{\lambda(s)}{1+e_0}\frac{dp'}{p'} \qquad (3.1\text{-}3)$$

ここに、

e_0：初期間隙比

例えば、サクション s 一定（飽和率一定）条件下では$\lambda(s)$一定なので式（3.1-3）より次式が成り立つ。

$$e = e_0 - \lambda(s)\ln\frac{p'}{p_0'} \qquad (3.1\text{-}4)$$

ここに、p_0'は初期平均有効応力

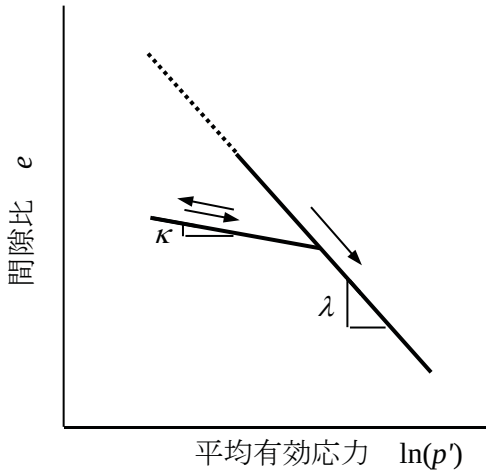


図 3.1-13　間隙比と平均有効応力の関係

$$de = -\kappa(s)\frac{dp'}{p'} \tag{3.1-5}$$

ここに、

$\kappa(s)$：サクション s に依存する膨潤指数

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

$$d\varepsilon_v = \frac{\kappa(s)}{1+e_0}\frac{dp'}{p'} \tag{3.1-6}$$

例えば、サクション s 一定（飽和率一定）条件下では次式が成り立つ。

$$e = e_0 - \kappa(s)\ln\frac{p'}{p_0'} \tag{3.1-7}$$

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

$$\lambda(s) = \lambda_0\left[(1-\gamma)\exp(\beta\cdot s)+\gamma\right] \tag{3.1-8}$$

$$\kappa(s) = \kappa_0(1+\alpha\cdot s) \tag{3.1-9}$$

ここに、

λ_0：飽和時の圧縮指数=$\lambda(0)$

κ_0：飽和時の膨潤指数= $\kappa(0)$

α, β, γ：モデルパラメータ

飽和、不飽和に係わらず間隙比と平均有効応力の関係は式(3.1-1)、(3.1-5)および表 3.1-13 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(3.1-6)より次式のようになる。

$$E = 3(1-2\nu)\frac{dp'}{d\varepsilon_v} = 3(1-2\nu)\cdot(1+e_0)\cdot\frac{p'}{\kappa(s)} \tag{3.1-10}$$

ここに、νはポアソン比である。ヤング率 E は平均有効応力 p'に比例し、膨潤指数$\kappa(s)$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ョン（以下、降伏サクションと呼ぶ）を超えてサクションが増加（乾燥）する場合には次式で示される塑性的な体積減少が起こるとしている（表 3.1-14 参照）。

$$de = -\lambda_s \frac{ds}{s + p_{atm}} \tag{3.1-11}$$

ここに、

s：サクション

p_{atm}：大気圧

λ_s：乾燥による圧縮指数（定数）

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

$$de = -\kappa_s \frac{ds}{s + p_{atm}} \tag{3.1-12}$$

ここに、

κ_s：湿潤による膨潤指数

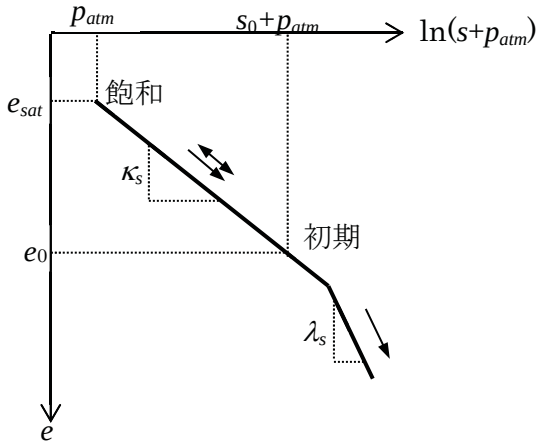


図 3.1-14　サクションと間隙比の関係

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

$$\kappa_s(p') = \kappa_{s0}\left(1 + \alpha_{sp} \ln \frac{p'}{p'_{ref}}\right) \tag{3.1-13}$$

ここに、

κ_{s0}：p'_{ref}での湿潤膨潤指数

p'_{ref}：参照平均有効応力

α_{sp}：湿潤膨潤指数の有効応力依存性の度合いを表すモデルパラメータ

式(3.1-13)を用いれば、湿潤膨潤（サクション減少）による体積ひずみ増分 $d\varepsilon_s$ は次式で表される。

$$d\varepsilon_s = \frac{\kappa_s(p')}{1+e_0}\frac{ds}{s+p_{atm}} = \frac{1}{1+e_0}\kappa_{s0}\left(1+\alpha_{sp}\ln\frac{p'}{p'_{ref}}\right)\frac{ds}{s+p_{atm}} \tag{3.1-14}$$

従って、平均有効応力 p'一定の場合の体積ひずみは、

$$\varepsilon_s = \frac{1}{1+e_0}\kappa_{s0}\left(1+\alpha_{sp}\ln\frac{p'}{p'_{ref}}\right)\cdot\ln\frac{s+p_{atm}}{s_0+p_{atm}} \tag{3.1-15}$$

ここで、式(3.1-15)で s=0（飽和）とすれば、一定有効応力下で湿潤飽和させた時の飽和時の膨潤ひずみε_{smax}が得られる（ε_{smax}は便宜上、膨張を正、他の体積ひずみε_v、ε_sは圧縮を正としていることに注意）

$$\varepsilon_{s\max} = \frac{1}{1+e_0}\kappa_{s0}\left(1+\alpha_{sp}\ln\frac{p'}{p'_{ref}}\right)\ln\frac{p_{atm}}{s_0+p_{atm}} \tag{3.1-16}$$

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（表 3.1-15 参照）。

$$p_0 = p^c\left(\frac{p_0^*}{p^c}\right)^{\frac{\lambda(0)-\kappa(0)}{\lambda(s)-\kappa(0)}} \tag{3.1-17}$$

ここに、

p_0^*：サクション s=0（飽和時）の圧密降伏応力

p^c：モデルパラメータ（参照応力）

式(3.1-17)で定義される降伏面は LC（Loading Collapse）降伏面と呼ばれている。一方、過去に受けた最大のサクション（降伏サクション）で規定される降伏面は SI（Suction Increase）降伏面と呼ばれている。

内部摩擦角ϕはサクションの影響受けず、従って、限界状態応力比パラメータ M（M=6sinϕ/(3–sinϕ)）も一定値をとるが、粘着力はサクションに比例して増大する。従って、引張り強度 p_s も比例的に増加し、次式で定義されている（表 3.1-15 参照）。

$$p_s = \kappa\cdot s \tag{3.1-18}$$

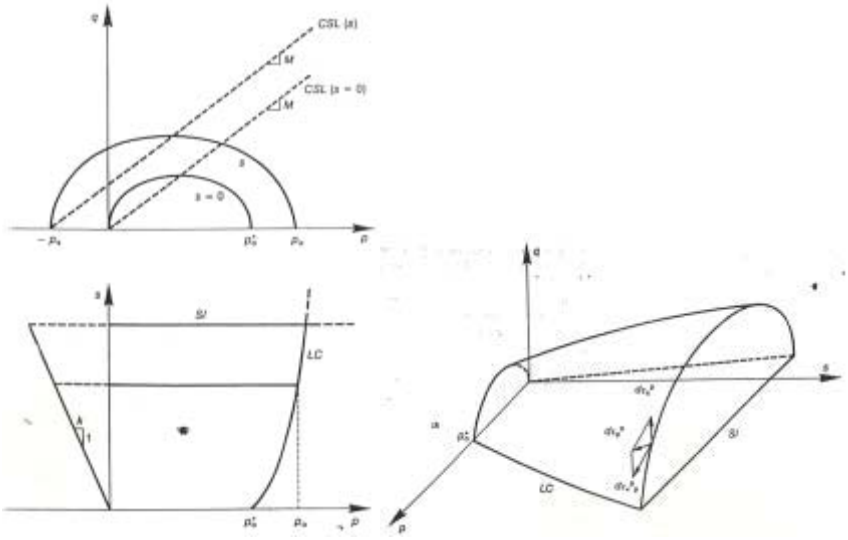


図 3.1-15　（p、 q）面、（p、 s）面および（p、 q、 s）面での降伏曲面

有効応力およびサクションの変化による体積ひずみ挙動を規定する線（$\lambda(s)$、$\kappa(s)$、λ_s、κ_s）と降伏曲面を（e、p'、s）空間で示すと表 3.1-16 のようになる。

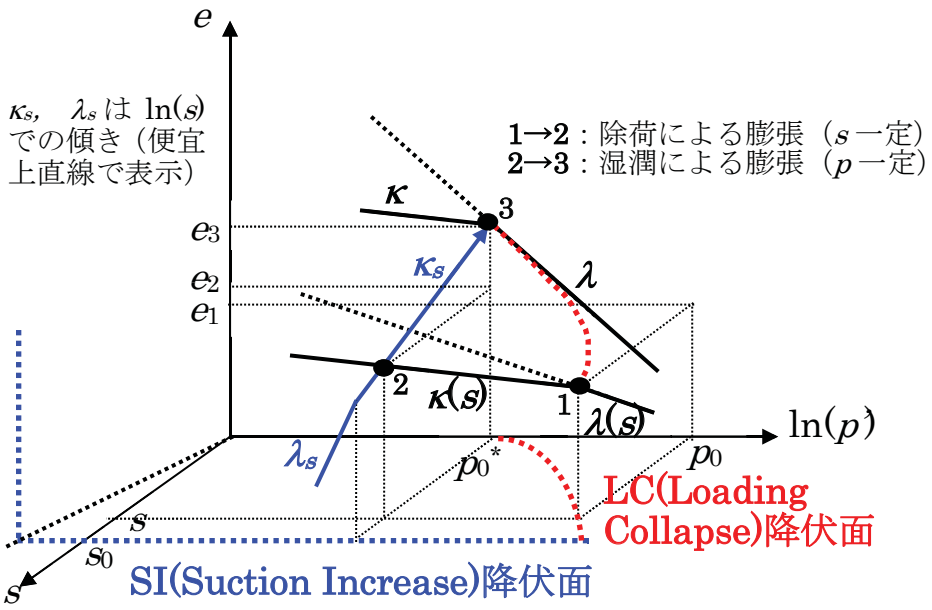


図 3.1-16　有効応力およびサクションの変化による体積ひずみ挙動と降伏曲面

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。

$$k = k_0 \frac{n^3}{(1-n)^2} \frac{(1-n_0)^2}{{n_0}^3} \qquad (3.1\text{-}19)$$

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）

(e) 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通りである。

・飽和圧密特性

圧縮指数λ_0、膨潤指数κ_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（サクション）依存性を表すパラメータα

圧縮指数の飽和率（サクション）依存性を表すパラメータβ,γ

・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κ_{s0}、 α_{sp}

初期（施工時）のサクションを超えるサクションが作用したとき（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λ_s

・飽和せん断強度特性

内部摩擦角ϕ、粘着力 c

・飽和率に依存するせん断特性

粘着力の飽和率（サクション）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（サクション）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λ_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 3.1-3 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 3.1-3　B 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	λ_0, κ_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	α	サクション制御圧密試験 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)	サクショ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	κ_{s0}, α_{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	ϕ, 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	サクショ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

b．解析方針

始めに、人工バリアの構築ステップを考慮した解析を実施し初期応力状態を作成する。続いて､ベントナイトの飽和膨潤挙動を考慮した解析を実施して廃棄体を含めたコンクリート系人工バリアの支持力評価を実施する。

c．考慮する事象

本検討では以下の事象を考慮する。

1) 人工バリアの構築

2) ベントナイトの飽和・不飽和膨潤挙動

d. 低透水層解析モデル、初期条件、境界条件

(a) 解析モデル

検討断面は、図 3.1-17 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の地震時挙動評価[9]で用いられた検討断面と同様とした。

本解析に用いる解析モデルを図 3.1-18 に示す。低透水層の偏膨潤による変形を表現可能にするため、坑道横断面をモデル化した。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[9]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 4350、節点数は 4401 である。

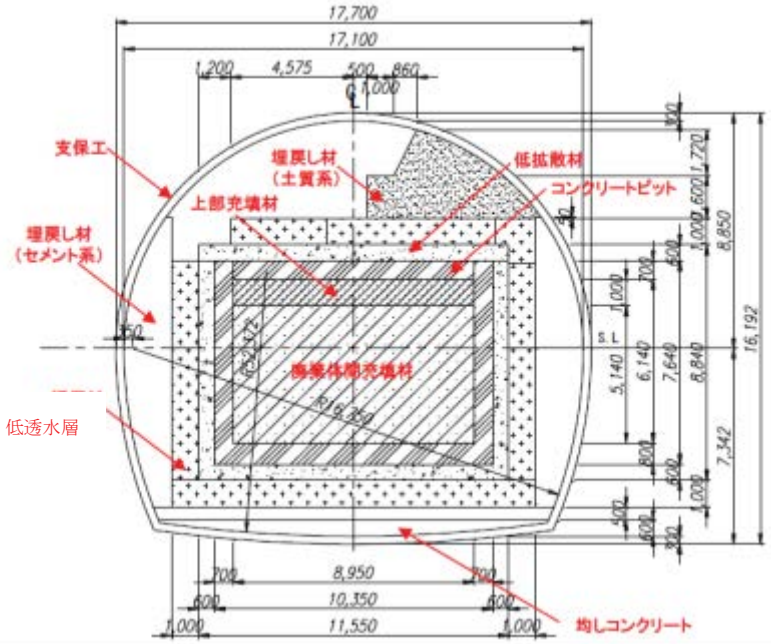


図 3.1-17　試験空洞および人工バリアの断面図

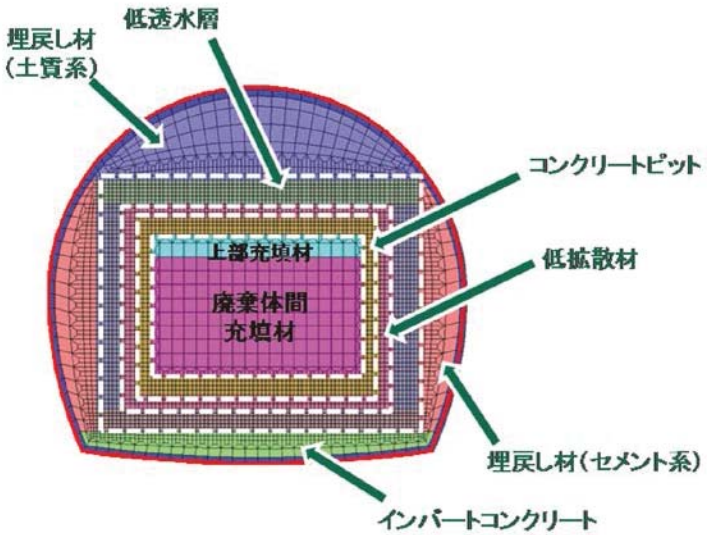


図 3.1-18　解析モデル

(b) 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 3.1-19 に示す。なお、構築時についても、応力の釣合いのみならず、液相及び気相の釣合い計算も行っている。本検討の場合は、初期が不飽和であることから、ネット応力下の釣合い計算を行っている。

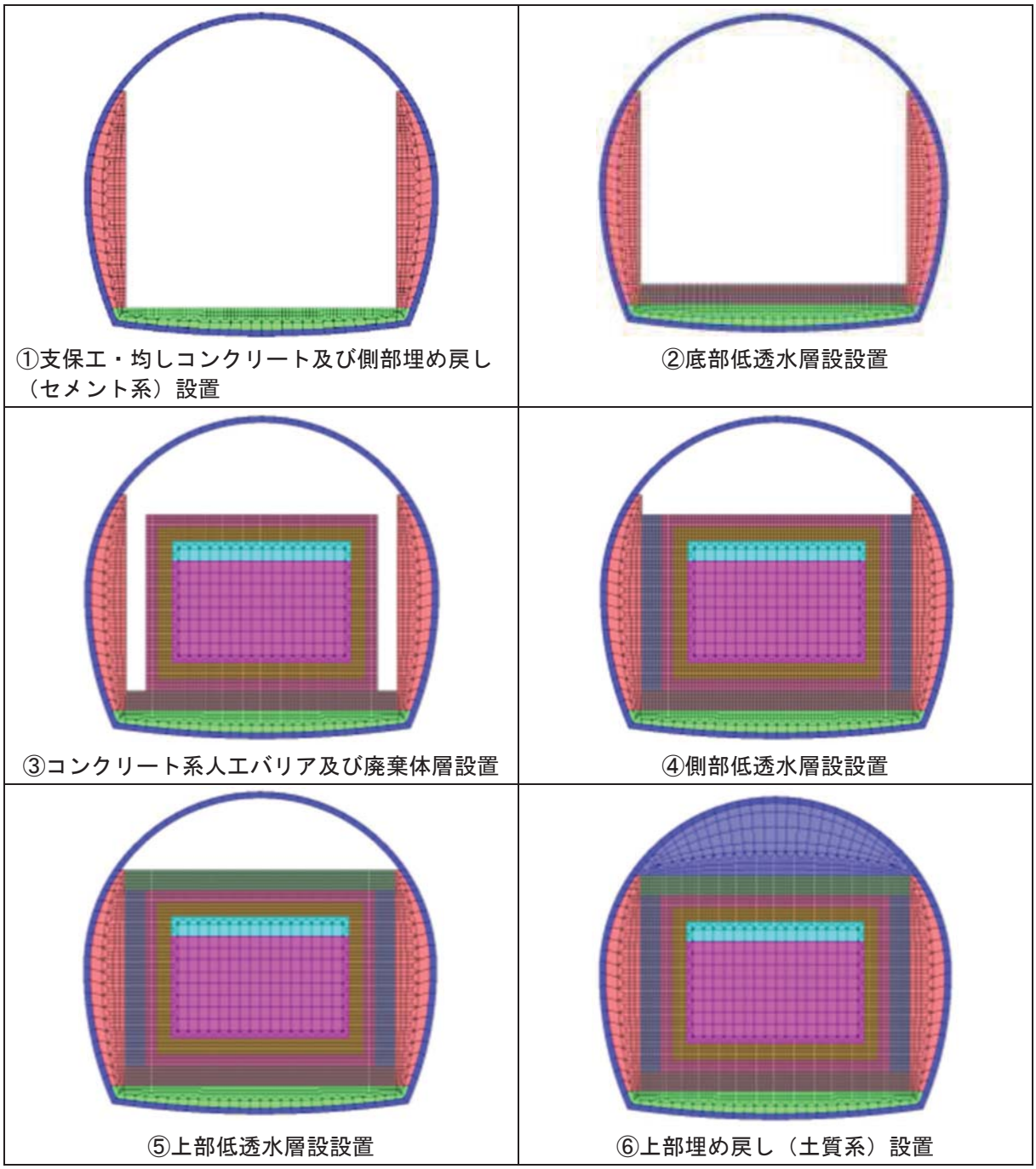


図 3.1-19　解析ステップ

e．材料物性値

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

解析で用いる材料物性値は基本的に機能確認試験で得られた値を採用する。ただし、に層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。

a）低透水層（ベントナイト）

林ら[10]が低透水層に適用した乾燥密度 ρ_d=1.6Mg/m^3 のクニゲル GX、100%を対象とした室内試験結果から設定したパラメータを用いる。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。

b）低拡散層

Kumagai et. al.[11]における低拡散層のパラメータを用いる。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[12]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[13]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、廃棄体間充てん材、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.[11]におけるコンクリート材のパラメータを用いる。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.[14]のパラメータである。空隙率については田中ら[13]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。

d) 上部埋戻し材（土質系材料）

Kumagai et. al.[11]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。ここで用いられている 2 相流パラメータは RWMC 報告書[15]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（最終報告書までに追記対応予定）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。また、表 3.1-4、表 3.1-5 に用いたパラメータをまとめ、図 3.1-20～図 3.1-25 に各部材に用いる二相流特性曲線を示す。

① Corey モデル（相対浸透率）

$$k_{rg} = (1 - S_e)^2 (1 - S_e^2) \tag{3.1-20}$$

$$k_{rl} = S_e^4 \tag{3.1-21}$$

$$S_e = (S_l - S_{lr}) / (1 - S_{lr} - S_{gr}) \tag{3.1-22}$$

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 Power モデル（相対浸透率）

$$k_{lr} = S_e^{\ m} \tag{3.1-23}$$

$$k_{rg} = A(1 - S_e)^n \tag{3.1-24}$$

$$S_e = (S_l - S_{lr}) / (1 - S_{lr} - S_{rg}) \tag{3.1-25}$$

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 及び m は間隙径分布パラメータを示す。

③ Grant モデル（相対浸透率）

$$K_{rg} = 1 - K_{lr} \tag{3.1-26}$$

④ van Genuchten モデル（相対浸透率）（水相のみ）

$$K_{rl} = \sqrt{S_e} \left(1 - \left(1 - S_e^{\ 1/\lambda} \right)^{\lambda} \right)^2 \tag{3.1-27}$$

$$S_e = (S_l - S_{lr}) / (1 - S_{lr} - S_{rg}) \tag{3.1-28}$$

ここで、λ は空隙率分布パラメータを示す。

⑤ Narasimhan モデル（毛細管）

$$P_c = P_e - P_m\left[\left(1 - S_l\right)/\left(S_l - S_{lr}\right)\right]^{1-n} \tag{3.1-29}$$

ここで、P_c は毛管圧、Pe は毛管排除圧（ガス侵入圧）、Pm は Narasimhan モデル係数を示す。

⑥ van Genuchten モデル（毛管圧）

$$P_c = P_0\left(S_e^{-1/\lambda} - 1\right)^{1-\lambda} \tag{3.1-30}$$

$$S_e = \left(S_l - S_{lr}\right)/\left(1 - S_{lr} - S_{rg}\right) \tag{3.1-31}$$

ここで、P_c は毛管圧、P_0 はガス侵入圧を示す。

表 3.1-4　2 相流パラメータ（その 1）

材料	相	絶対浸透率 (m^2)	相対浸透率				毛細管圧力					空隙率	初期飽和率
			近似モデル	残留飽和度		モデル係数	近似モデル	残留飽和度		モデル係数			
				S_{wr}	S_{gr}	n		S_{wr}	S_{gr}	P_0 (MPa)	n		
低透水層	水	5.58×10^{-20}	*Power*	0	0	2.00	*vG*	0	0	3.27	1.7	0.40	0.850
	ガス	5.58×10^{-20}	*Power*	0	0	2.63							
コンクリートピット	水	5.58×10^{-20}	*Power*	0.30	0.18	4.0	*vG*	0	0	0.70	1.90	0.11	0.9
	ガス	4.65×10^{-18}	*Power*	0.30	0.18	2.5							
低拡散層	水	1.12×10^{-20}	*Power*	0.15	0.075	25	*vG*	0.15	0	1.20	1.4	0.15	0.9
	ガス	8.14×10^{-18}	*Power*	0.15	0.075	2.8							
廃棄体間充てん材	水	5.58×10^{-20}	*Power*	0.30	0.18	4.0	*vG*	0	0	0.70	1.90	0.19	0.9
	ガス	4.65×10^{-18}	*Power*	0.30	0.18	2.5							
上部充てん材	水	5.58×10^{-20}	*Power*	0.30	0.18	4.0	*vG*	0	0	0.70	1.90	0.19	0.9
	ガス	4.65×10^{-18}	*Power*	0.30	0.18	2.5							
上部埋戻し材（土質系）	水	5.58×10^{-18}	*Power*	0.30	0.01	4.0	*vG*	0.58	0.01	0.04	2.50	0.30	0.758
	ガス	5.58×10^{-18}	*Grant*	－	－	－							

ここで、Power は Power モデル、Grant は Grant モデル、vG は van Genuchten モデルを示す。
絶対浸透率は機能確認試験で得られた透水係数と、既往の文献での水とガスの絶対浸透率の比から設定した。

表 3.1-5　2 相流パラメータ（その 2）

材料	相	絶対浸透率 (m^2)	相対浸透率				毛細管圧力					空隙率	初期飽和率
			近似モデル	残留飽和度		モデル係数	近似モデル	残留飽和度		モデル係数			
				S_{wr}	S_{gr}	n		S_{wr}	S_{gr}	P_0 (MPa)	n		
側部埋戻し材（セメント系）	水	5.58×10^{-21}	*Power*	0.30	0.18	4.0	*vG*	0	0	0.70	1.90	0.13	0.9
	ガス	4.65×10^{-19}	*Power*	0.30	0.18	2.5							
支保工コンクリート	水	1.12×10^{-19}	*Power*	0.30	0.18	4.0	*vG*	0	0	0.70	1.90	0.13	0.9
	ガス	9.29×10^{-18}	*Power*	0.30	0.18	2.5							

ここで、Power は Power モデル、Grant は Grant モデル、vG は van Genuchten モデルを示す。
絶対浸透率は機能確認試験で得られた透水係数と、既往の文献での水とガスの絶対浸透率の比から設定した。

コンクリートピット、低拡散層、廃棄体層および上部充てん材の空隙率に関しては確証試験[16]、[17]、[18]、[19]、[20]、[21]、[22]、[23]で取得された値を参照して設定した。

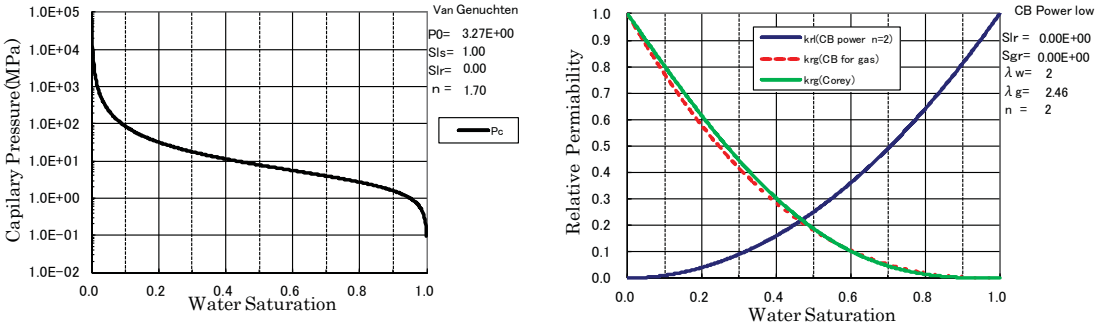


図 3.1-20　低透水層の 2 相流曲線（左：毛細管圧力、右：相対浸透率）

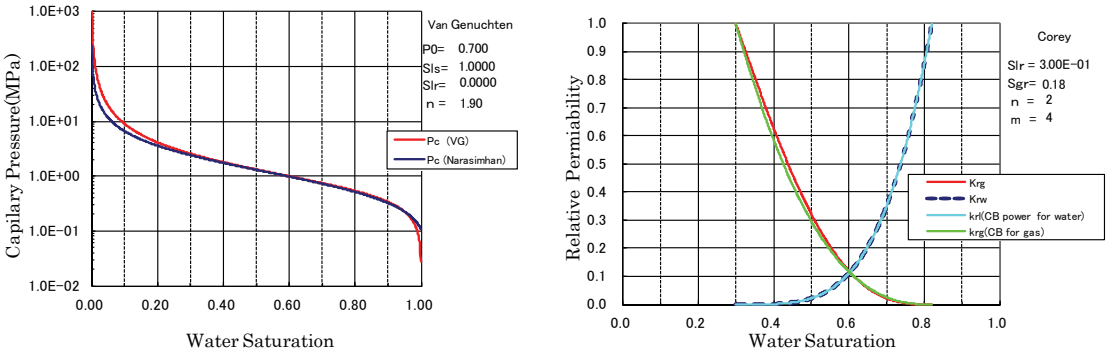


図 3.1-21　コンクリートピットの 2 相流曲線（左：毛細管圧力、右：相対浸透率）

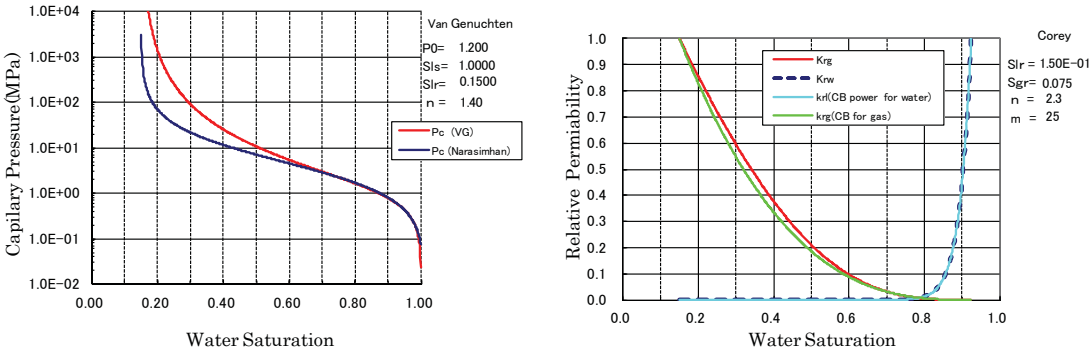


図 3.1-22　低拡散層の 2 相流曲線（左：毛細管圧力、右：相対浸透率）

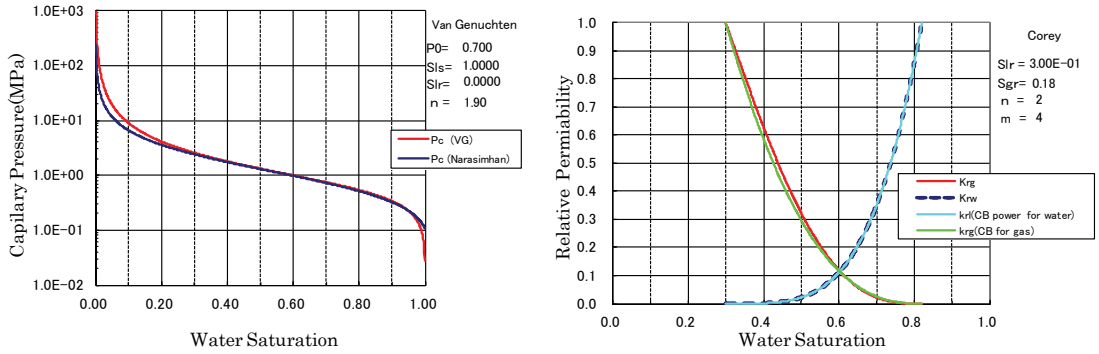


図 3.1-23　廃棄体間及び上部充てん材の 2 相流曲線（左：毛細管圧力、右：相対浸透率）

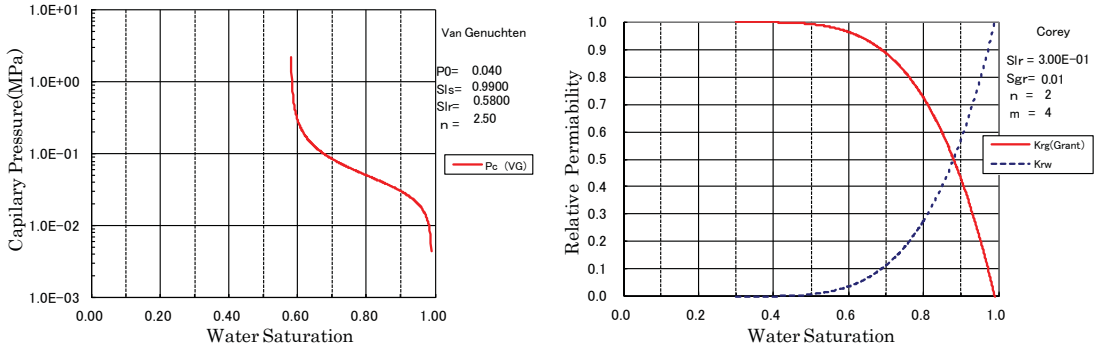


図 3.1-24　上部埋戻し材（土質系）の 2 相流曲線（左：毛細管圧力、右：相対浸透率）

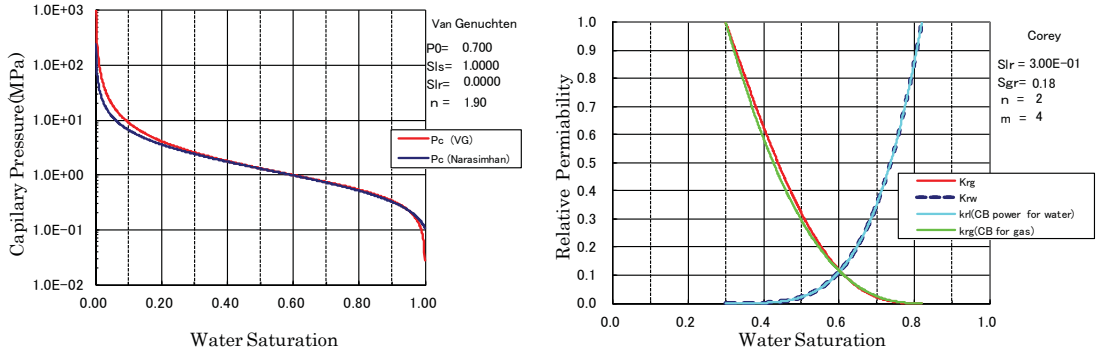


図 3.1-25　支保工及び側部埋戻し材（セメント系）の 2 相流曲線
（左：毛細管圧力、右：相対浸透率）

(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）[24]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 3.1-6 に低透水層に用いる力学パラメータを示す。

表 3.1-6　低透水層に用いる力学物性値

項目	記号	単位	設定値	出典
初期乾燥密度	ρ_d	Mg/m^3	1.60	
真密度	ρ_s	Mg/m^3	2.65	
初期間隙比	e	－	0.656	
ポアソン比	v		0.45	
膨潤指数（飽和時）	κ_0	－	0.087	[25]
圧縮指数（飽和時）	λ_0	－	0.117	[25]
サクション依存膨潤指数パラメータ	α_i	－	-0.165	[26]
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 [27]）	κ_{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 [27]）	α_{sp}	－	-0.544	
限界応力比	M		0.580	[25]
非関連流れ則パラメータ	α	－	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	[28]

膨潤圧については 8 年取りまとめ報告書[5]を基に設定した。報告書[5]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 3.1-26 に示すように整理している。また、図に示す近似式（3.1-28）は既往データより同定している。

$$\sigma_w = \exp(6.1893{\rho_d}^2 - 1.40472\rho_d + 6.1677) \qquad (3.1\text{-}32)$$

ここで、σ_w は膨潤圧、ρ_d は有効粘土密度を示す。よって、式（3.1-32）より膨潤圧は $\sigma_w = 0.629\text{MPa}$ となる。

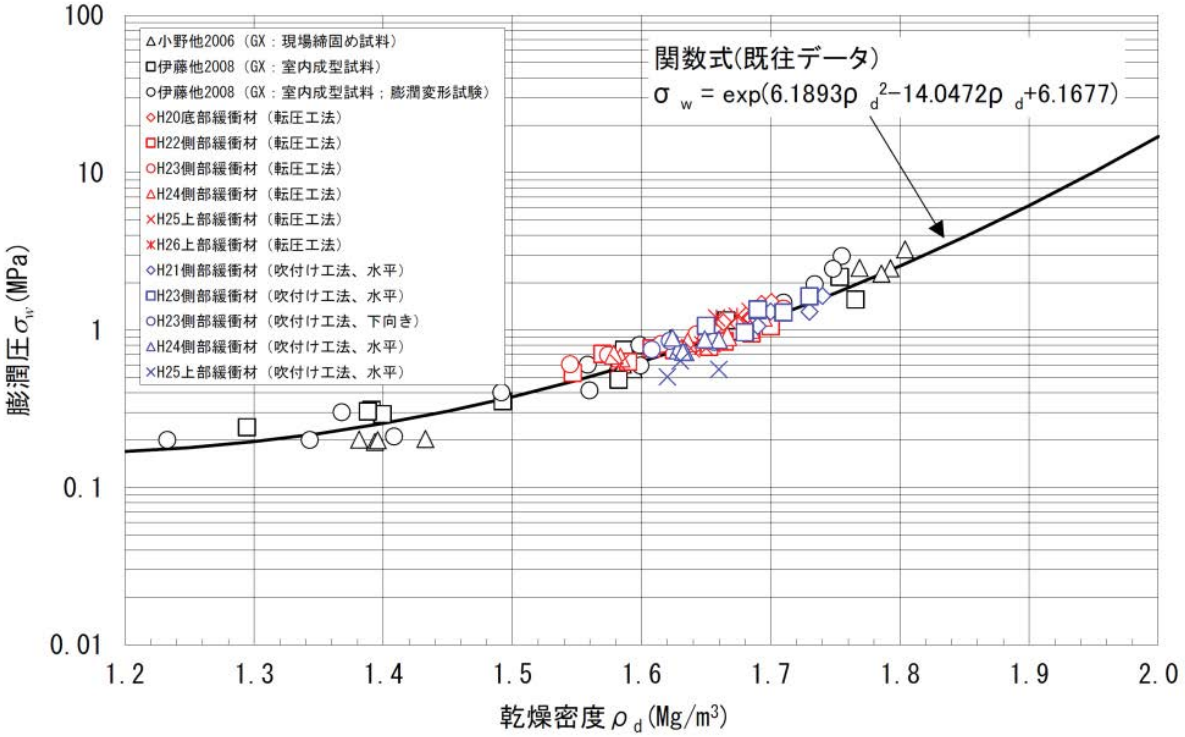


図 3.1-26　クニゲル GX の乾燥密度と膨潤圧の関係

膨潤特性に関するパラメータの設定については山本ら[29]の方法を基に設定する。BB モデルでは、湿潤に伴う膨潤や乾燥に伴う収縮量を規定する湿潤膨潤指数κ_sは式(3.1-33)で表わされる。

$$\kappa_s(p',s)=\kappa_{s0}\left(1+\alpha_{sp}\ln\frac{p'}{p'_{ref}}\right)\exp(\alpha_{ss},s) \qquad (3.1\text{-}33)$$

ここに、κ_{s0}はp'_{ref}での湿潤による膨潤指数、p'_{ref}は参照平均ネット応力、α_{sp}は湿潤による膨潤指数の応力依存性の度合いを表すモデルパラメータ、p'は平均ネット応力（$=p-p_g$、pは平均応力、p_gは間隙空気圧)、α_{ss}はサクション依存の湿潤膨潤指数を表わすモデルパラメータ、s はサクションを示す。山本ら[29]はサクショ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[30]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（3.1-34）でフィッティングすることで BB モデルのパラメータ（κ_{s0}、α_{sp}）を同定している。

$$d\varepsilon_s=\frac{\kappa_s(p')}{1+e_0}\frac{ds}{s_0+p_{atm}}=\frac{1}{1+e_0}\kappa_{s0}\left(1+\alpha_{sp}\ln\frac{p'}{p'_{ref}}\right)\frac{ds}{s_0+p_{atm}} \qquad (3.1\text{-}34)$$

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 3.1-27 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。

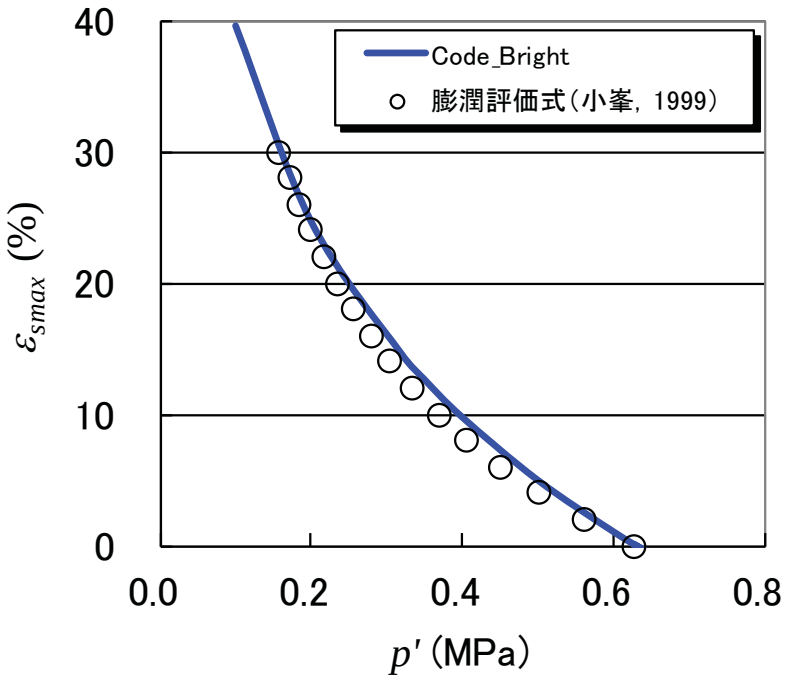


図 3.1-27　小峯らの膨潤評価式に基づく飽和膨潤ひずみと有効拘束応力の関係

Alonso, et. al [24]では、塑性ひずみ増分方向は非関連流れ則を考慮できるよう式（3.1-34）に示す Ohmaki[31]の提案するパラメータ α を導入している。

$$\frac{d\varepsilon_s^p}{d\varepsilon_{vp}^p} = \frac{2q\alpha}{\mathrm{M}^2(2q + p_s - p_0)} \tag{3.1-35}$$

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

非関連流れ則に関するパラメータ α は横ひずみが 0 の条件から設定することができ、弾性せん断ひずみを無視し、横ひずみを 0 とすると式（3.1-35）となる。

$$\frac{d\varepsilon_s^p}{d\varepsilon_{vp}^p} = \frac{2}{3}\frac{1}{1-\kappa/\lambda(0)} \tag{3.1-36}$$

また、静水圧状態 K_0 では、式（3.1-36）が成り立つ。

$$p/q + p_s = 3(1-K_0)/1+2K_0 \tag{3.1-37}$$

式（3.1-34）、式（3.1-35）式（3.1-36）より、非関連流れ則に関するパラメータ α が式（3.1-37）により導かれる。

$$\alpha = \frac{\mathrm{M}(\mathrm{M}-9)(\mathrm{M}-3)}{9(6-\mathrm{M})}\frac{1}{1-\kappa/\lambda(0)} \tag{3.1-38}$$

式（3.1-37）より、α ＝0.727 となる。

b）廃棄体間充てん材

廃棄体間充てん材の諸元を表 3.1-7 に、力学物性値を表 3.1-8 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[9]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 3.1-7　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		[32]
廃棄体全重量	W	t	28.0		[32]
単位体積重量	γ	kN/m³	67.0		[32]

表 3.1-8　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/mm²	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/mm²	18.4	－	26.8	6 年取りまとめ報告書[33]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/m³	23.0	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	－	0.2	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値
廃棄体込みの単位体積重量	kN/m³	52.4	－	－	

c）上部充てん材

上部充てん材の物性値を表 3.1-9 に示す。

表 3.1-9　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/mm²	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/mm²	19.1	－	33.0	6 年取りまとめ報告書[33]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/m³	24.5	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	－	0.2	－	－	H26 報告書[23]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 3.1-10 に示す。

表 3.1-10　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/mm²	60.0	－	70.0	標準値：設計基準強度（σ91）、変動値：6年取りまとめ報告書[33]p.2-151 より σ91 の最大値
静弾性係数	kN/mm²	36.9	－	39.4	6 年取りまとめ報告書[33]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/mm²	4.6	－	5.2	6 年取りまとめ報告書[33]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/m³	24.5	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	－	0.2	－	－	H26 報告書[23]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 3.1-11 に示す。

表 3.1-11　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/mm²	60	－	75.0	標準値：設計基準強度（σ91）、変動値：6年取りまとめ報告書[33]p.2-114 より σ91 の最大値
静弾性係数	kN/mm²	28.4	－	31.2	6 年取りまとめ報告書[33]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/mm²	4.4	－	5.2	6 年取りまとめ報告書[33]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/m³	23.0	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	－	0.2	－	－	H26 報告書[23]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 3.1-12 に示す。

表 3.1-12　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^3	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	H26 報告書[23]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^2	4.9	4.0	6.3	H26 報告書[23]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	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値
単位体積重量	kN/m^3	19.10	－	－	H26 報告書[23]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 3.1-13 に示す。

表 3.1-13　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^2	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^2	27.6	－	36.7	H19 報告書[16]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^3	24.5	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	－	0.2	－	－	H26 報告書[23]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 3.1-14 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 3.1-14　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/mm²	36.0	－	－	文献※より
静弾性係数	kN/mm²	27.9	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値（支保工）
単位体積重量	kN/m³	24.5	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値（支保工）
ポアソン比	－	0.2	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値（支保工）

※冨田ほか[34]：地下深部約 100m の堆積軟岩申に大規模試験空洞を掘削－余裕深度処分埋設施設本格調査のうち試験空洞掘削工事－、2006 年 11 月

i）均しコンクリート

均しコンクリートの物性値を表 3.1-15 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 3.1-15　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/mm²	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/mm²	27.6	－	36.7	H19 報告書[16]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/m³	24.5	－	－	H26 報告書[23]p.7-61 で使用している値
ポアソン比	－	0.2	－	－	H26 報告書[23]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 3.1-16 に示す。

表 3.1-16　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/mm²	30.0	－	60.0	
	静弾性係数	kN/mm²	18.4	－	26.8	[33]
	単位体積重量（充てん材）	kN/m³	23.0	－	－	[23]
	ポアソン比	－	0.2	－	－	[23]
	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/mm²	30.0	－	60.0	
	静弾性係数	kN/mm²	19.1	－	33.0	[33]
	単位体積重量	kN/m³	24.5	－	－	[23]
	ポアソン比	－	0.2	－	－	[23]
コンクリートピット	圧縮強度	N/mm²	60.0	－	70.0	[33]
	静弾性係数	kN/mm²	36.9	－	39.4	[33]
	引張強度	N/mm²	4.6	－	5.2	[33]
	単位体積重量	kN/m³	24.5	－	－	[23]
	ポアソン比	－	0.2	－	－	[23]
低拡散層	圧縮強度	N/mm²	60	－	75.0	[33]
	静弾性係数	kN/mm²	28.4	－	31.2	[33]
	引張強度	N/mm²	4.4	－	5.2	[33]
	単位体積重量	kN/m³	23.0	－	－	[23]
	ポアソン比	－	0.2	－	－	[23]
埋戻し材(セメント系)	圧縮強度	N/mm²	30.0	－	60.0	
	静弾性係数	kN/mm²	27.6	－	36.7	[16]
	単位体積重量	kN/m³	24.5	－	－	[23]
	ポアソン比	－	0.2	－	－	[23]
支保工コンクリート	圧縮強度	N/mm²	36.0	－	－	[34]
	静弾性係数	kN/mm²	27.9	－	－	[23]
	単位体積重量	kN/m³	24.5	－	－	[23]
	ポアソン比	－	0.2	－	－	[23]
均しコンクリート	圧縮強度	N/mm²	30.0	－	60.0	
	静弾性係数	kN/mm²	27.6	－	36.7	[16]
	単位体積重量	kN/m³	24.5	－	－	[23]
	ポアソン比	－	0.2	－	－	[23]

2）解析ケース

解析ケースは、全体を一つの系として考えた場合、シンプルに周辺岩盤から均質に水が侵入する参照ケース（図 3.1-10）。それに対して、偏った膨潤圧が発生するようなクリティカルな箇所から侵入する比較ケースの 2 ケースを考える（図 3.1-10）（表 3.1-17）。

参照ケースは、空洞内各部材間におけるサクションの差異を解消するために水の行き来があり、かつ GL-100m相当の水圧が空洞外周部に均質に掛かることにより、動水勾配により空洞内部へ向かって水が移動する。この合わせ技にしたがって、セメント系部材において均質に飽和に向かう状況を確認する。

一方、比較ケースにおける侵入箇所は、上記、参照ケースの解析結果から偏膨潤の発生が想定される箇所を考慮して決定する。

なお、これら両ケースの呼称は、あくまで本検討プロジェクト内のみに限定してこれらの状態を表現したものであり、公式な用語として定義されたものではない。

表 3.1-17　解析ケース一覧

ケース	施設施工	地下水の浸入位置	着目点
参照ケース	設計通り	周辺岩盤から均質に侵入	低透水層の膨潤による変形及び発生応力
比較ケース	施工不良 （低透水層密度のバラツキ）	偏った膨潤圧の発生箇所	低透水層の偏膨潤による変形及び発生応力

3）評価方法

解析結果の評価については以下に着目する。

【着目点】

・低透水層の応力状態
・低透水層の塑性化の有無
・低透水層の乾燥密度分布
・セメント系人工バリアの沈下量
・セメント系人工バリアの発生応力度

ベントナイトの飽和状態では引張強度が 0 となることから、応力の照査については引張に達しているか否かに着目する。また、圧縮側については圧密降伏応力に達しているか否かに着目する。また、せん断によっても塑性化することから、再冠水過程における塑性化の有無についても照査を行う。

低透水層に要求される性能としては飽和後の低透水性であるため、飽和時の乾燥密度分布を算出することによって極端に乾燥密度が低下している箇所の有無を照査する。

セメント系人工バリアはかなりの重量があり、飽和によって剛性が低下するベントナイト上に設置されることから、セメント系人工バリアの沈下量が問題となる。そこで、セメント系人工バリアの沈下量を照査項目とする。また、低透水層の沈下や膨潤圧の発生によって、セメント系人工バリアに有害な応力が発生するか否かの照査も合わせて実施する。

(3) 解析結果

1) 構築時

a. 構築時飽和度分布

処分坑道全体の構築解析において、施工順序の影響による飽和度分布を図 3.1-28 に示す。①～⑥は解析におけるステップも合わせて示しており、構築対象となる部材はステップ終了時に 100%の荷重となるように自重を段階載荷している。なお、施設は不飽和状態であるため、ネット応力下（平均応力から空気圧を差し引いた応力）における釣合い計算を行っている。ただし、各々の部材が不飽和状態であるためサクションの差が生じており、水圧及びガス圧が定常状態に至るまでの計算は実施していない。よって、構築時のステップでは圧密による体積変化と段階構築による応力変化を考慮することを主目的としている。低透水層については、BB モデルを適用しており、圧密によるサクション低下（水飽和度の上昇）が生じるため、膨潤による体積ひずみが発生（体積拘束下では膨潤圧の発現）する。この時、圧密による体積変化が生じるため、e-logp 関係に起因する剛性変化は考慮される。

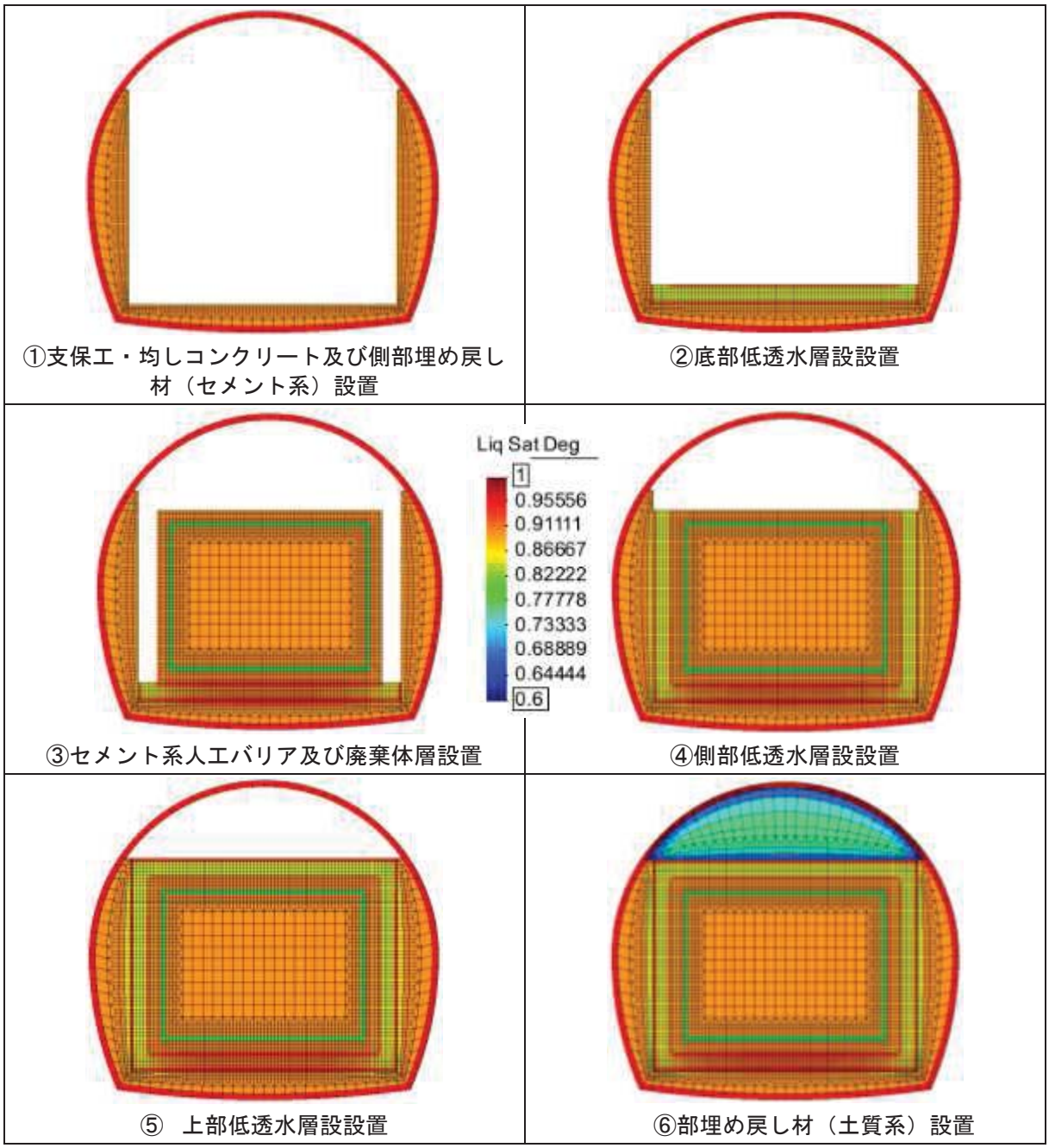


図 3.1-28　構築時飽和度分布（－）（全体）

図 3.1-28 中、廃棄体および人工バリア部分の構築時における飽和度分布を図 3.1-29 に示す。

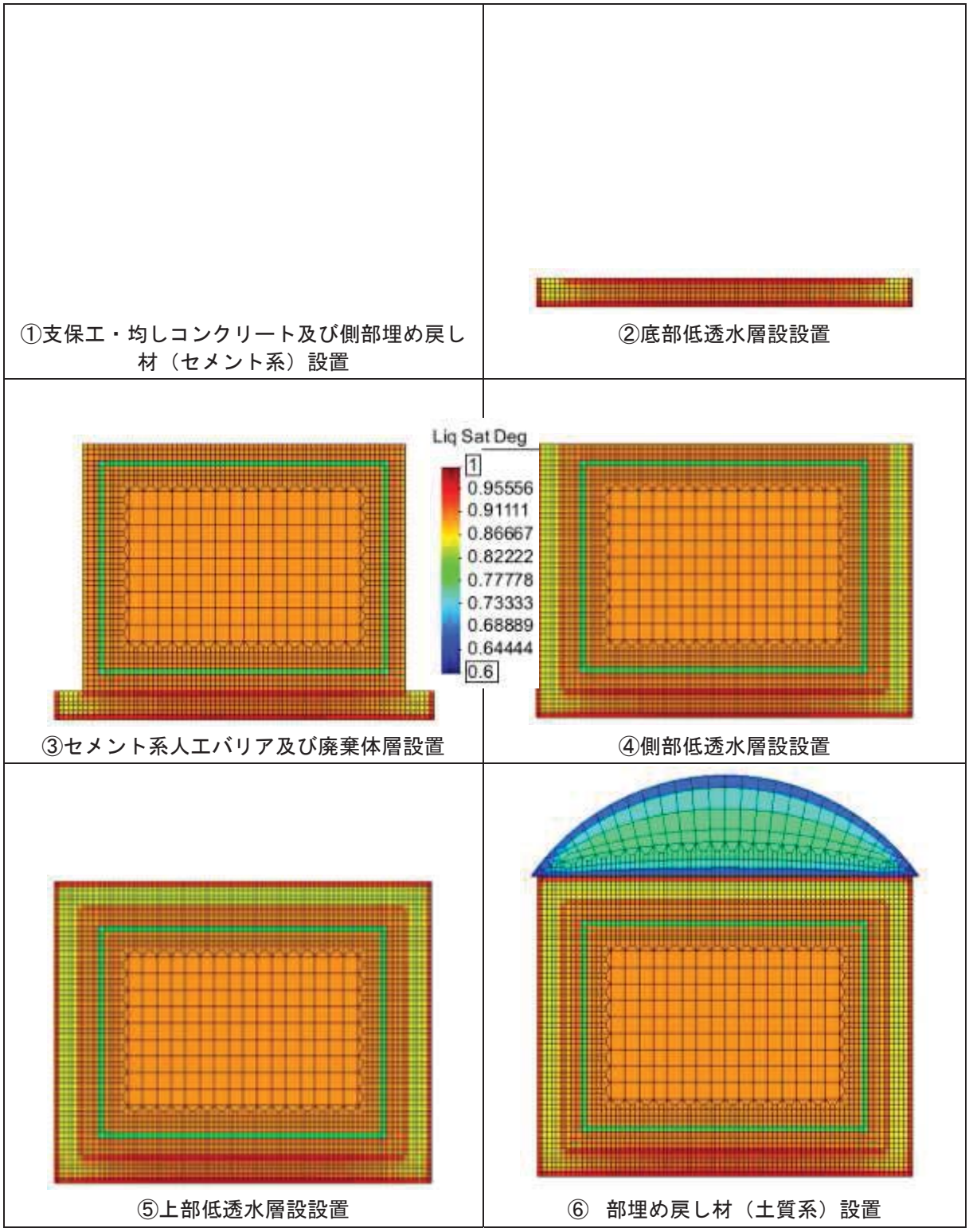


図 3.1-29 構築時飽和度分布（－）（内部）（変形倍率：1 倍）

b．構築時鉛直応力分布

処分坑道全体の構築解析において、施工順序の影響による鉛直応力の分布を図 3.1-30 に示す。

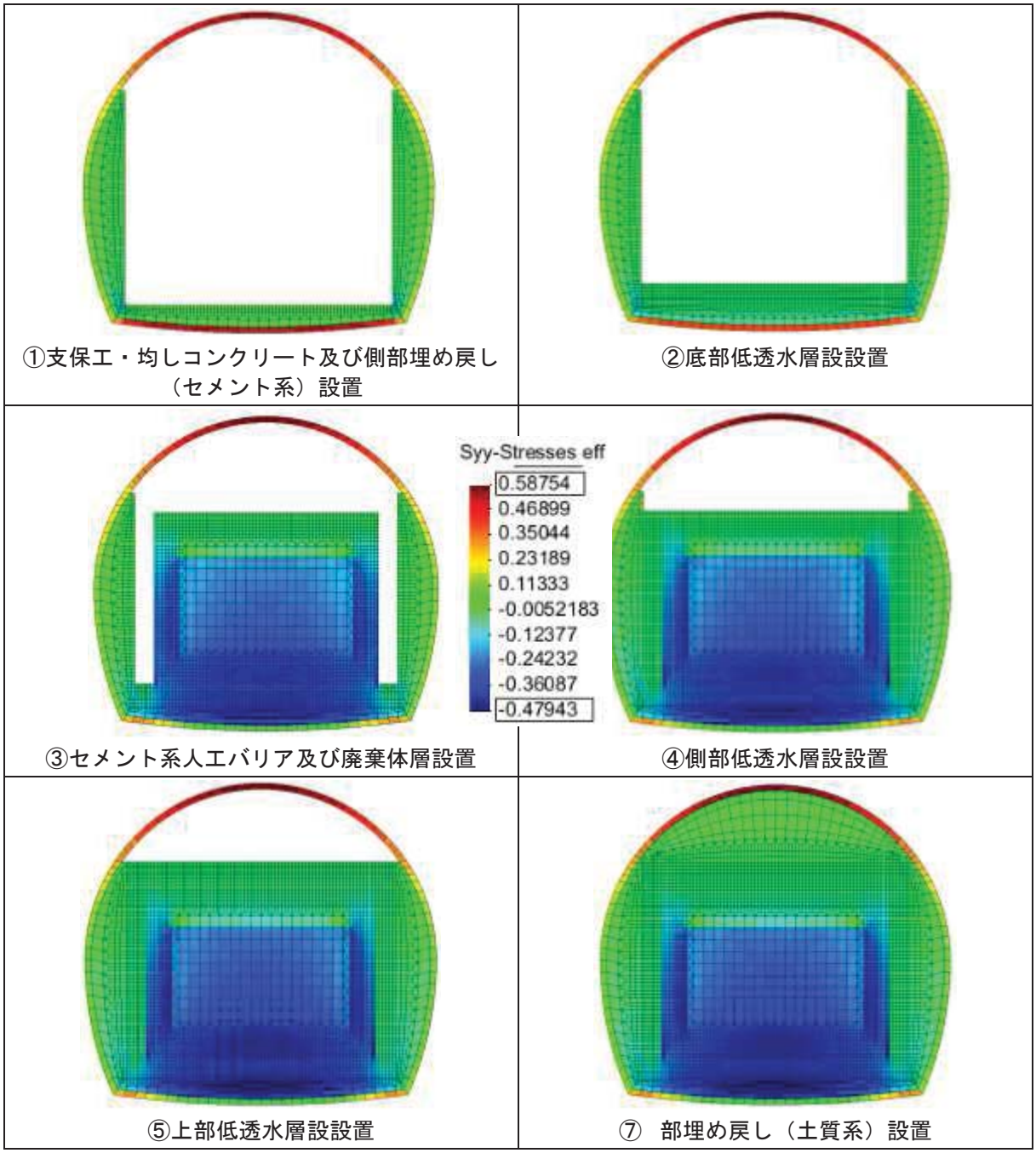


図 3.1-30　構築時鉛直応力分布（MPa）

2) 参照ケース

設計通りに施工が完了した地下施設の空洞周辺に深度相当の水圧が全周囲にかかり、均等に浸水・膨潤していくケース。

a. 解析条件

力学に関する境界条件は、モデル境界を鉛直水平ともに拘束条件とする。また、水理に関する境界条件は、施設の深度を GL-100.0m と仮定して、GL-100.0m 相当の水圧として全周に PL=PG=1.0（MPa）の水圧とガス圧を規定する。境界条件を図 3.1-31 に示す。

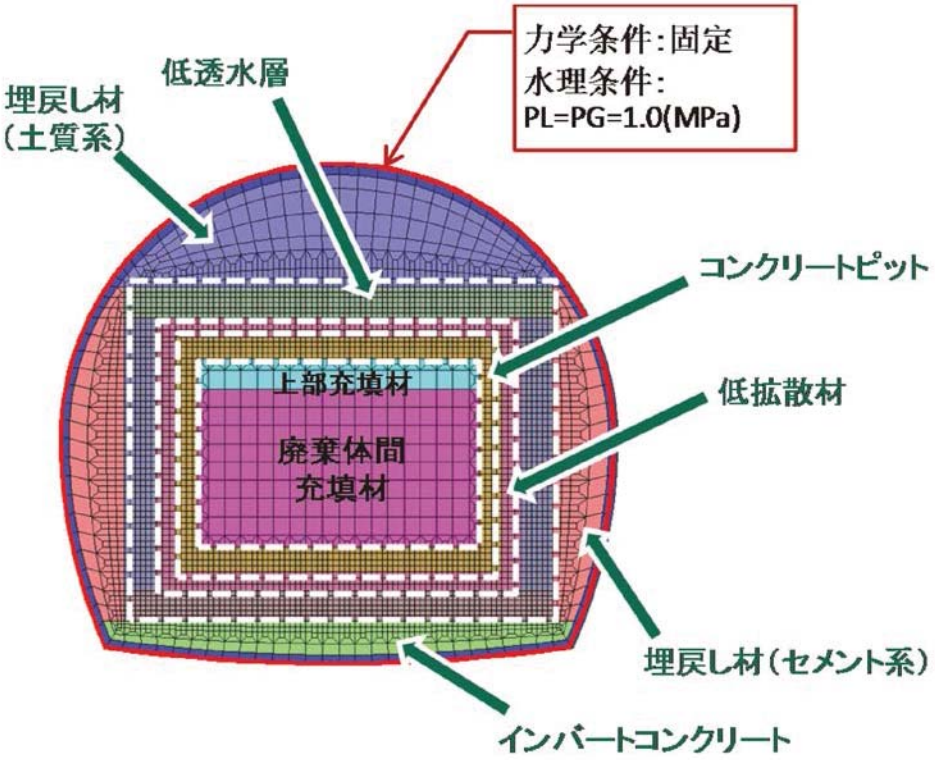


図 3.1-31　境界条件

b. 冠水・飽和過程で起こっている現象

【人工バリア内部の初期状態】

・構築時のガス圧は大気圧相当と見なし、PG=0.1 MPa とする。

・初期飽和度に応じたサクション PC=PG-PL が作用し、間隙水圧は PL=PG-PC となるよう設定する（図 3.1-32 参照）。

・溶存ガスは圧力に応じた溶解量（大気圧相当）が含まれている。

【冠水時の現象】

・モデル外周に深度に応じた圧力境界を規定する。

（飽和境界条件 PL=PG=1.1 MPa）

・境界から侵入した流体は不飽和透水・透気係数に応じて内側へ移行する（図 3.1-33 参照）。

・計算で扱う範囲の飽和度では透気係数は小さく、ガスはほとんど動かずに、水のみが内側に入っていく。
・水圧の上昇とともに、動けないガスが圧縮されることからガス圧も上昇し、全体として飽和に向かう。

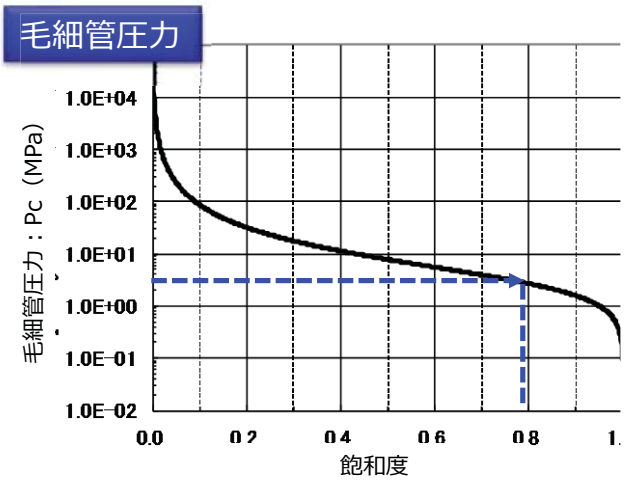


図 3.1-32　人工バリア内部の初期飽和状態

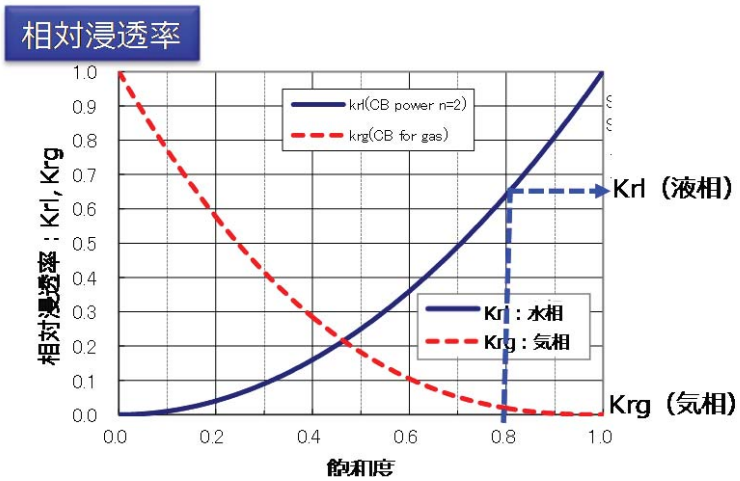


図 3.1-33　不飽和時の透水・透気係数

c．飽和度

(a) 飽和度分布

飽和度分布を図 3.1-34 と図 3.1-35 に示す。施設が概ね飽和するまでに数百年経過している。ただし、内部の空気の影響で 1000 年後でも施設は完全飽和に至らない。

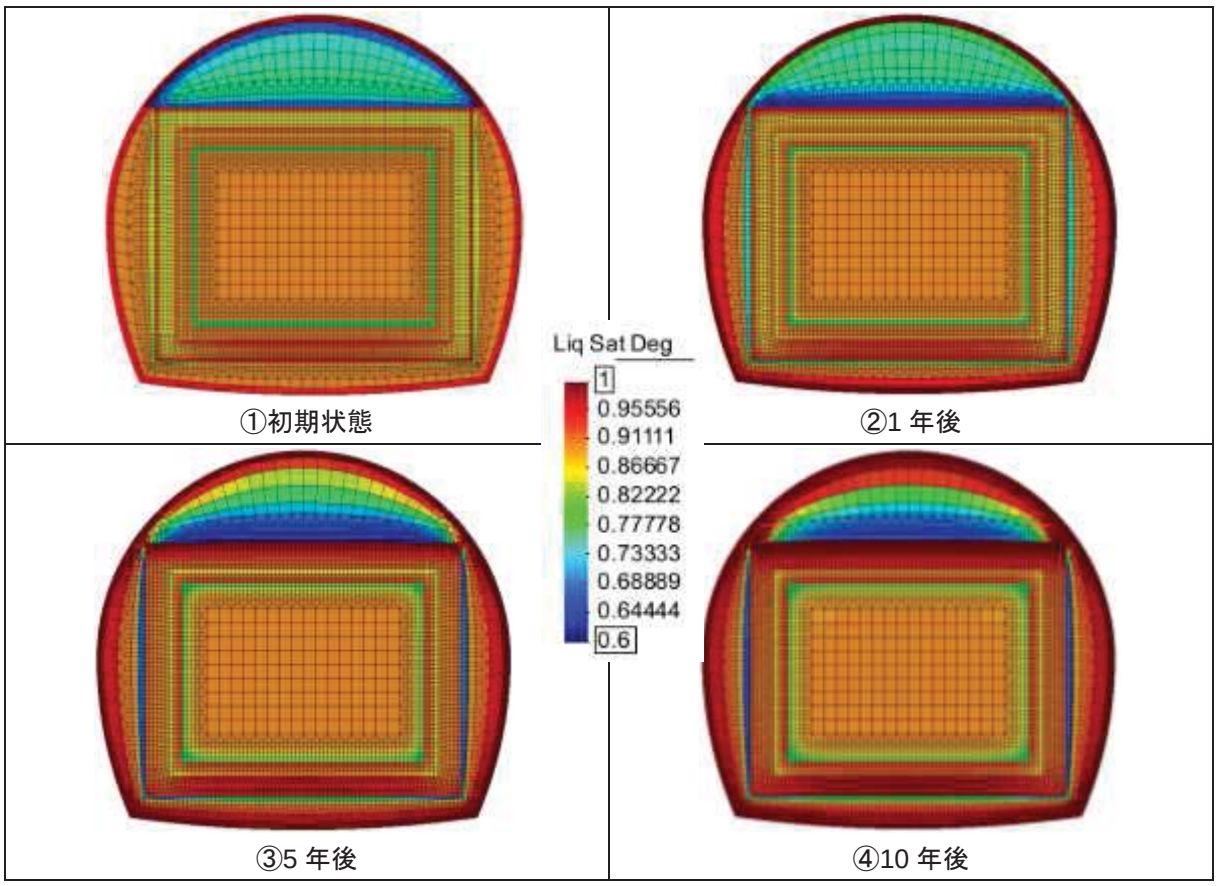


図 3.1-34　飽和度分布（－）①（変形：3 倍）

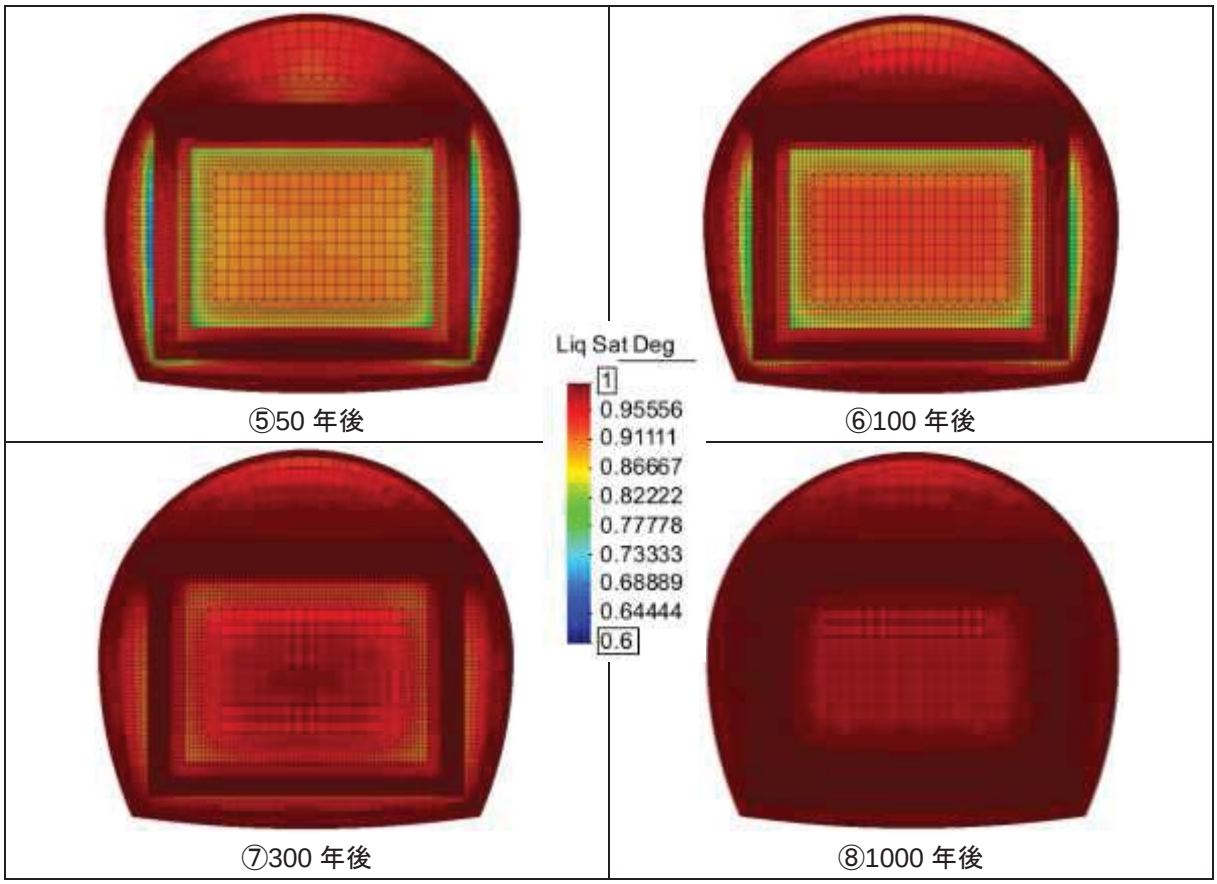


図 3.1-35　飽和度分布（－）②（変形：3 倍）

(b) 経時変化

低透水層の飽和度経時変化の出力点と結果を、それぞれ図 3.1-36 と図 3.1-37 に示す。出力点は初期低透水層厚さの中心とした。ここで，上部低透水層および下部中央は 20 年程度で飽和に至る。下部隅角、側部中央の順に飽和に至る。数百年で低透水層全体が概ね飽和する。

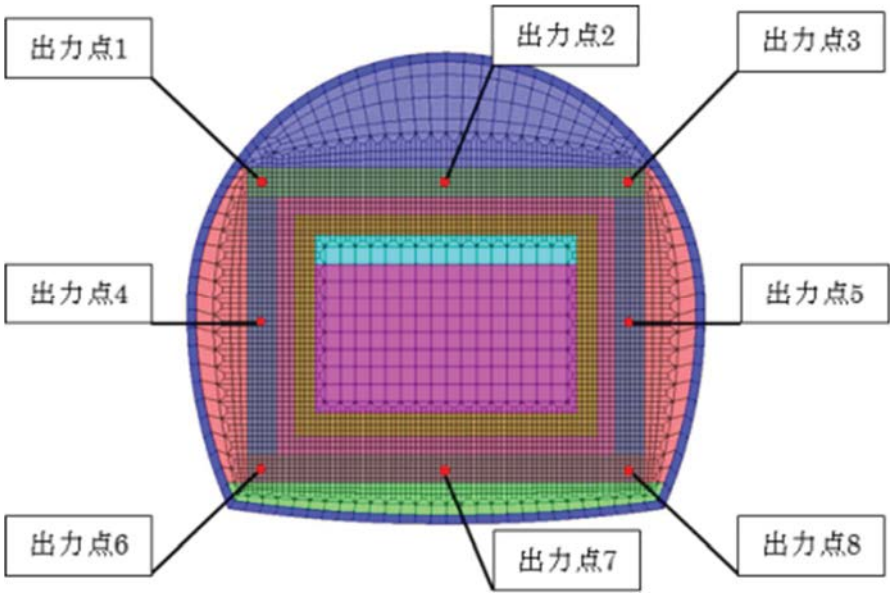


図 3.1-36　出力点

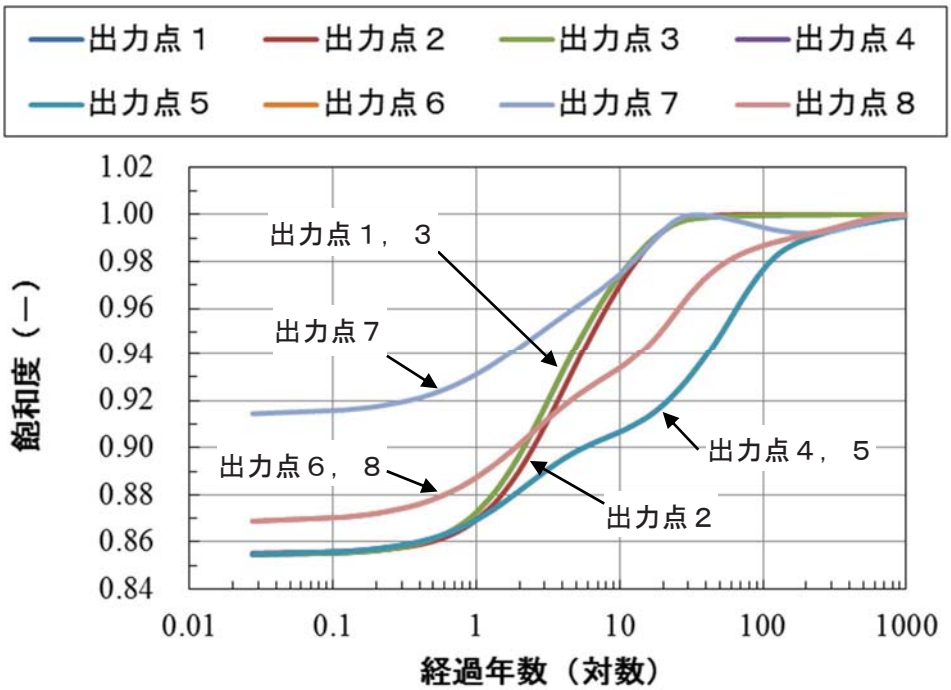


図 3.1-37　低透水層の飽和度経時変化

d. 低透水層の応力状態

(a) 平均有効応力分布

低透水層の平均有効応力を、図 3.1-38 に示す（圧縮：正）。圧密の効果によって、底部から平均有効応力が発現する。また水が到達する順に膨潤圧が発生し平均有効応力が上昇する。

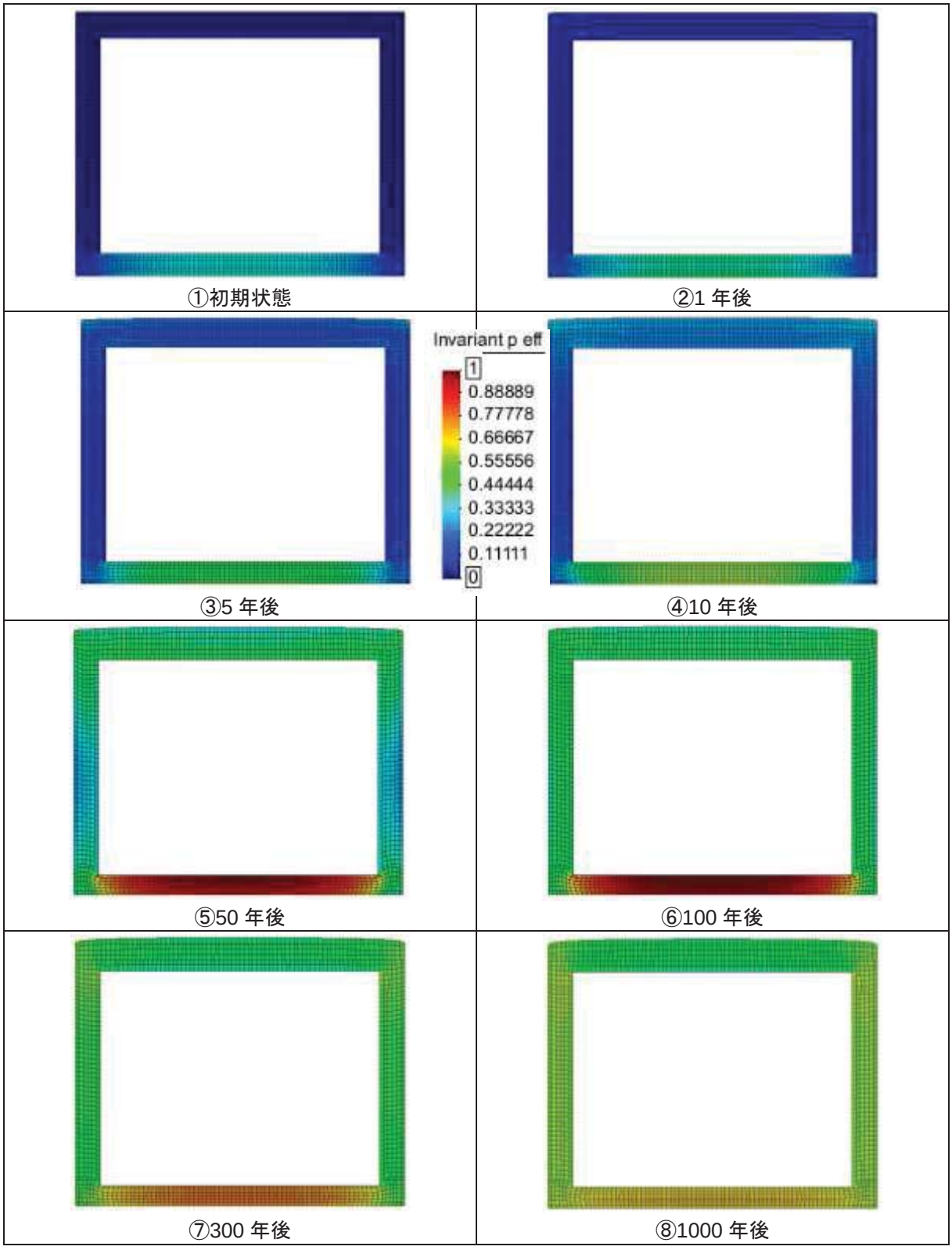


図 3.1-38　低透水層の平均有効応力（MPa）（変形：3 倍）

(b) 経時変化

低透水層の平均有効応力経時変化の出力点と結果を、それぞれ図 3.1-39 と図 3.1-40 に示す。底部については、圧密に伴い平均有効応力は増加するのの、膨潤範囲の浸透に伴って 100 年後以降は反対に減少する。

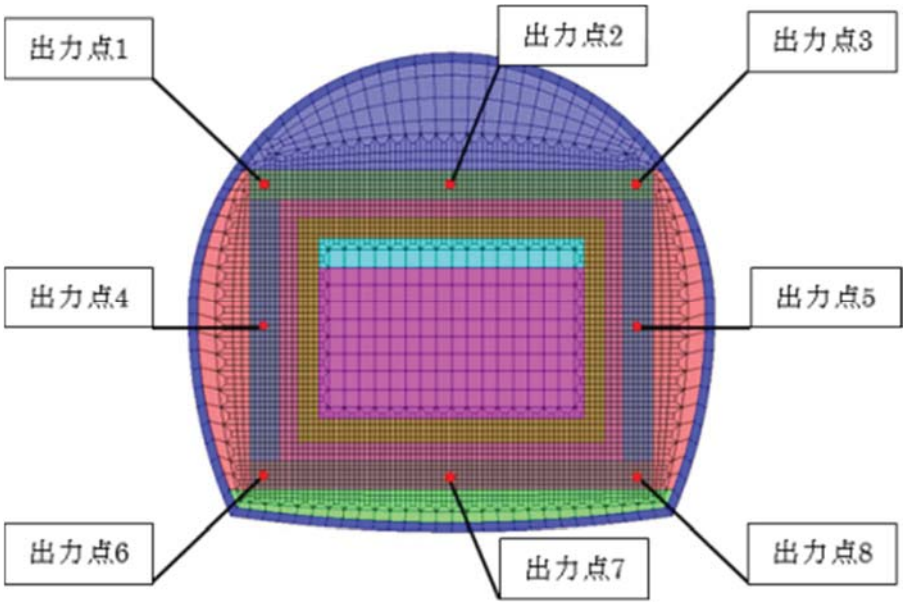


図 3.1-39　出力点

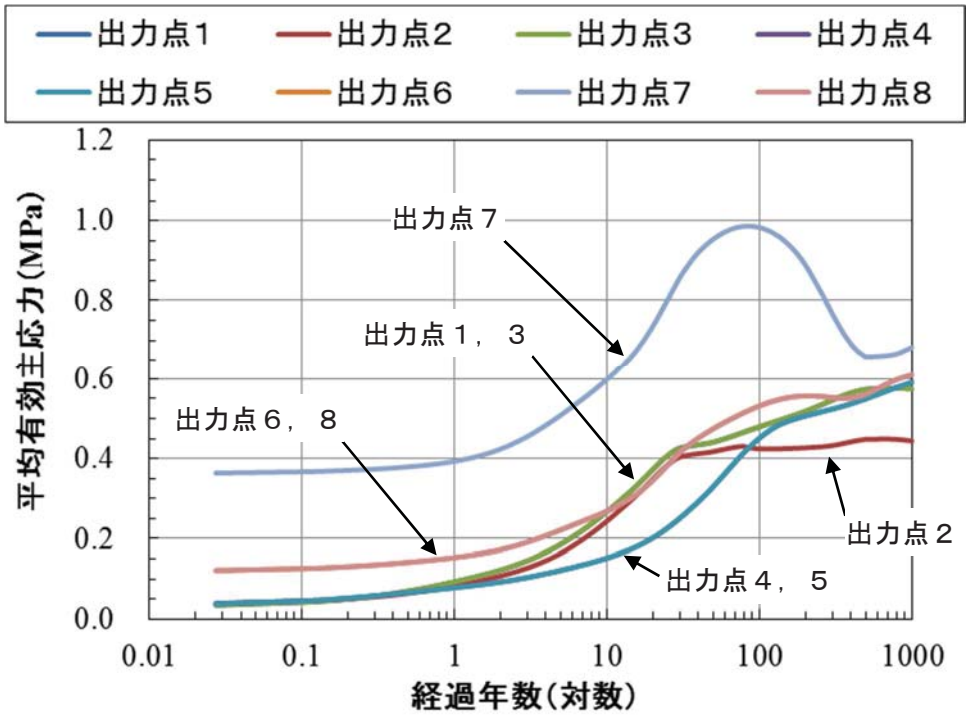


図 3.1-40　低透水層の平均有効応力経時変化

e．低透水層の乾燥密度

(a) 乾燥密度分布

低透水層の乾燥密度を、図 3.1-41 に示す（圧縮：正）。上部については上部埋戻し材側へ膨張することから、初期よりも若干乾燥密度が低下する。ただし、低透水層を貫く形での乾燥密度の低下は見られない。底部については圧密の効果により乾燥密度は上昇する。

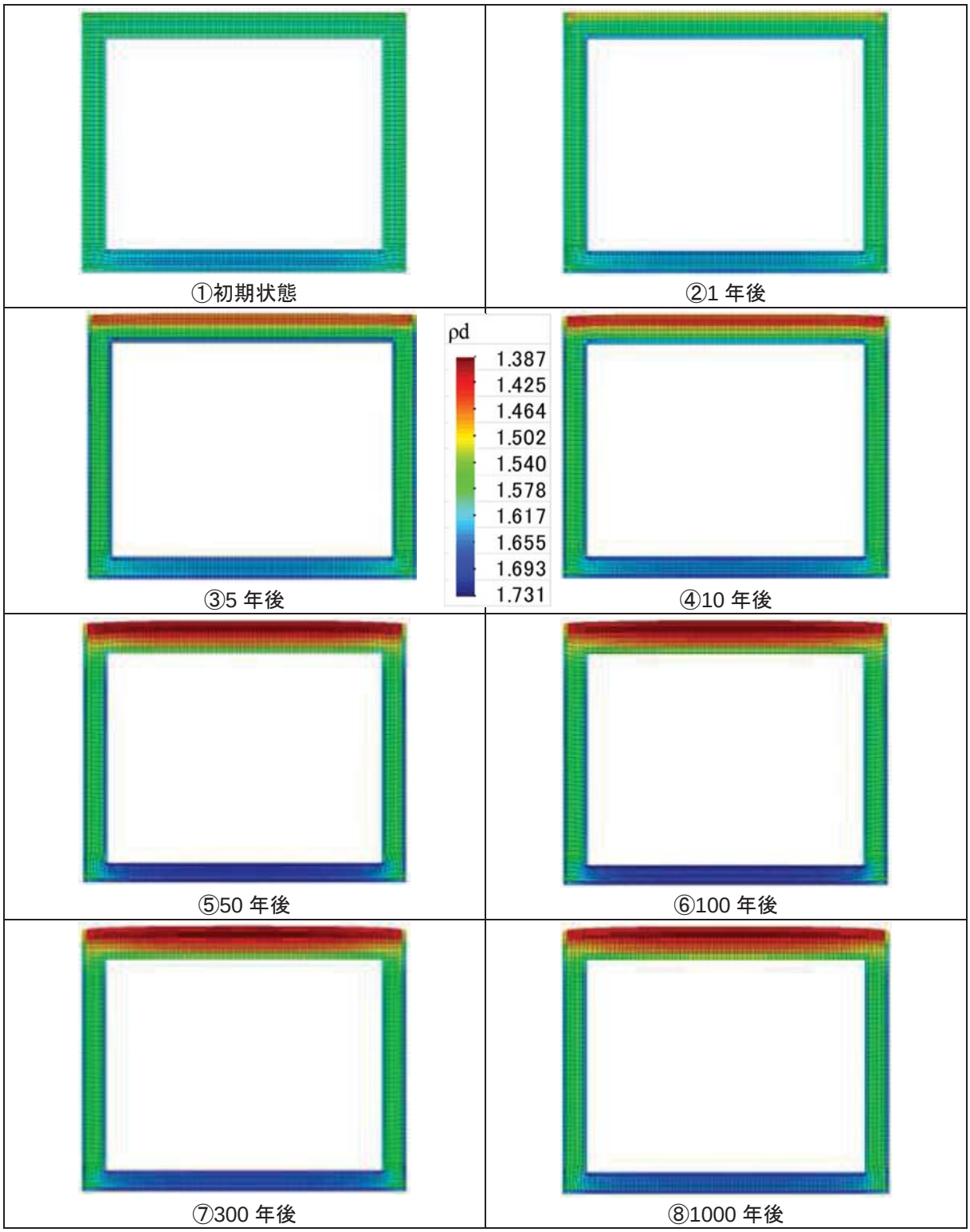


図 3.1-41　低透水層の乾燥密度分布（Mg/m³）（変形：3 倍）

(b) 低透水性能の確認

8 年取りまとめ報告書[5]で整理された、クニゲル GX の透水係数と乾燥密度の関係を図 3.1-42 に示す。

図 3.1-41 に示した低透水層の乾燥密度分布は、上部低透水層では乾燥密度が 1.387 Mg/m³ まで低下する要素が存在することを示している。一方、図 3.1-42 から乾燥密度 1.34 Mg/m³ 以上で施工時初期性能（透水係数 5×10⁻¹³ m/sec）を満たすことがわかる。従って、飽和後も層の低透水性能は保たれている。

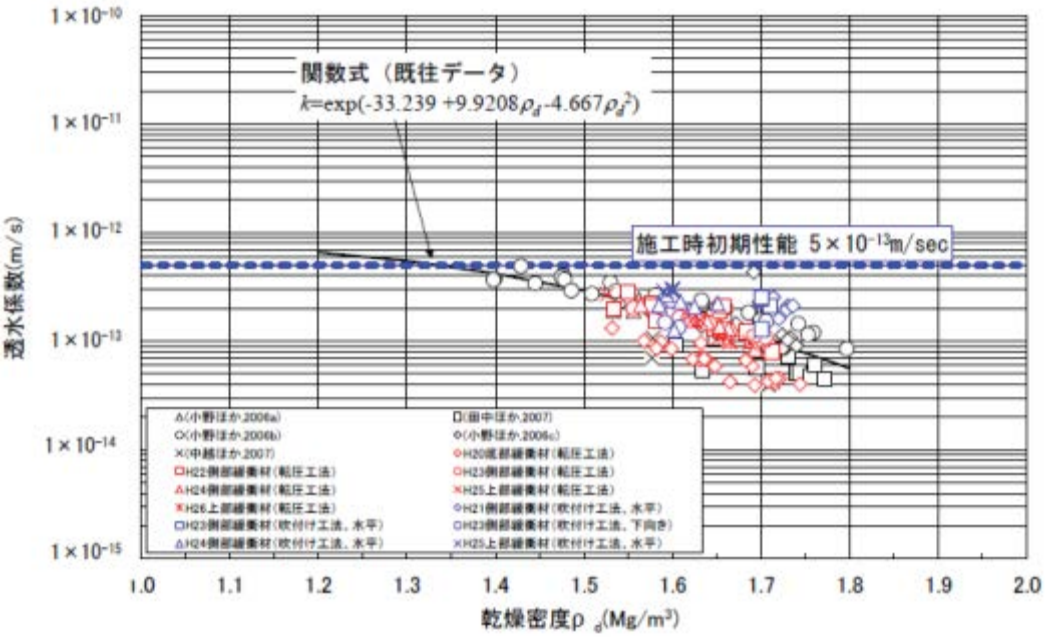


図 3.1-42　クニゲル GX の透水係数と乾燥密度の関係

(c) 経時変化

低透水層の乾燥密度経時変化の出力点と結果を、それぞれ図 3.1-43 と図 3.1-44 に示す。上部と側部（出力点 1～出力点 5）の乾燥密度が低いのは施工順序を追う際に、設置時に若干膨張することによる。反対に底部は圧縮されることから、初期の乾燥密度が高い。底部については圧密に伴い、層中間部分の出力点では、始めに圧縮されるものの、膨潤範囲の浸透に伴って 100 年後以降は反対に膨張する。

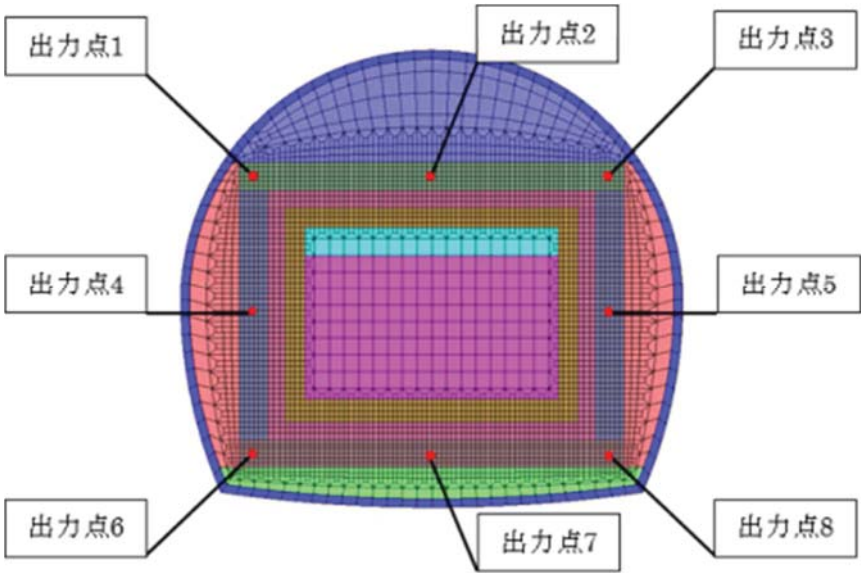


図 3.1-43　出力点

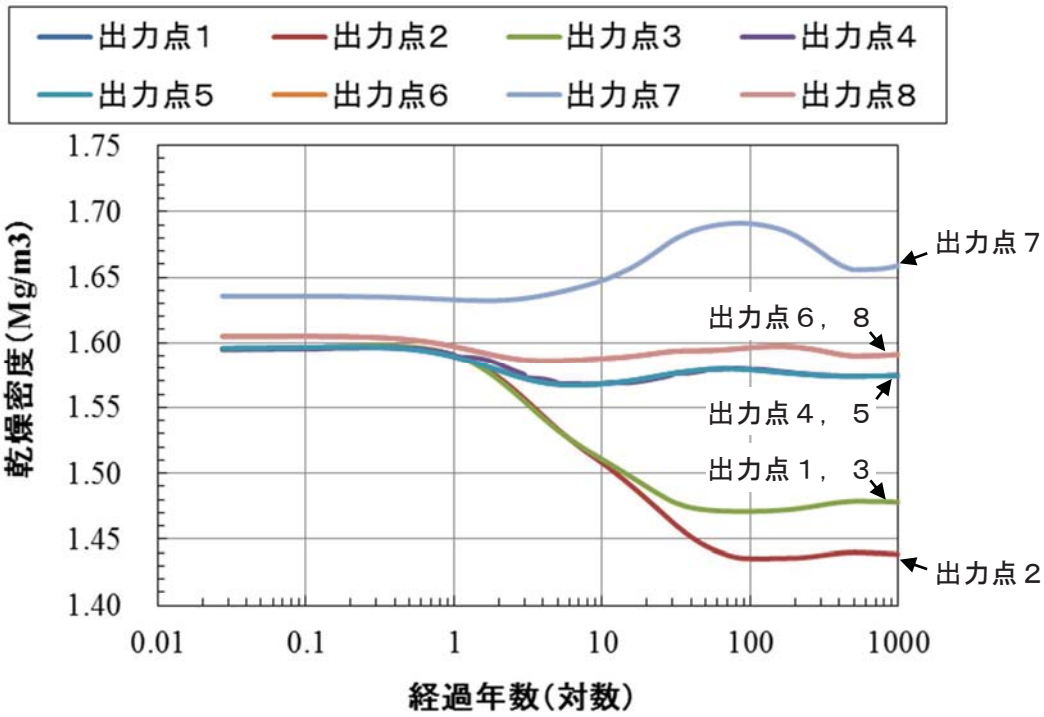


図 3.1-44　低透水層の乾燥密度経時変化

f．低透水層の相対変位

低透水層の相対変位の経時変化の出力点を図 3.1-45 に、また水平方向と鉛直方向の相対変位の経時変化を、それぞれ図 3.1-46 と図 3.1-47 に示す。ただし、相対変位の基準は上部埋戻し材設置時点の座標とした。

水平方向の相対変位については、上部埋戻し材が比較的に柔らかい設定となっていることから、上部埋戻し側へ膨張することにより上部の相対変位（出力点 1、出力点 3）は底部の相対変位（出力点 6、出力点 8）よりも大きくなっている。

水平・鉛直方向とも左右対称な相対変位となっている。

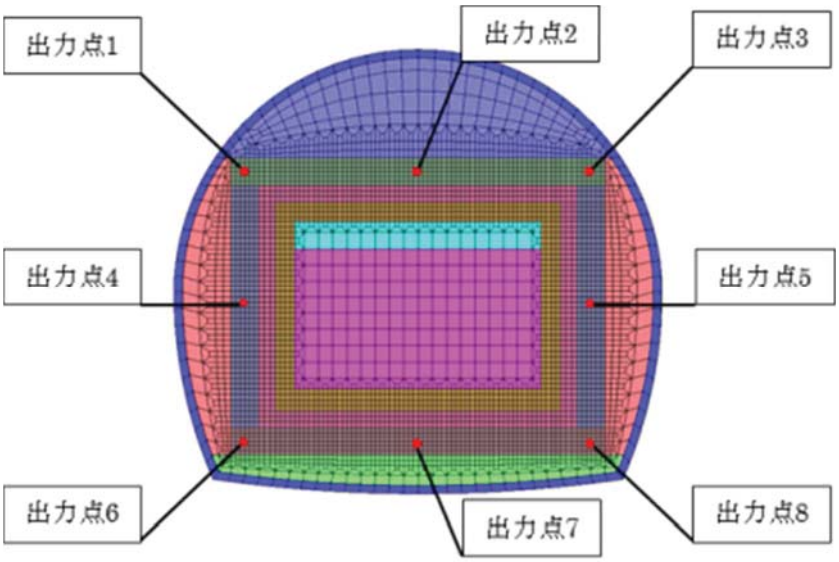


図 3.1-45　低透水層の相対変位出力点

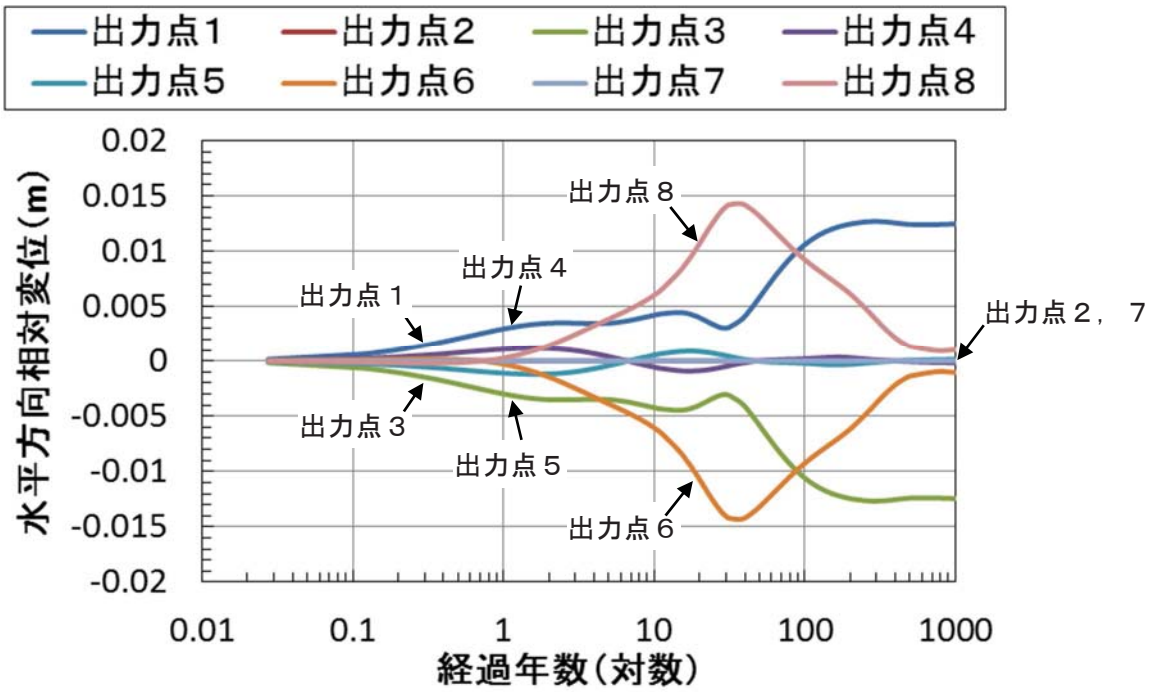


図 3.1-46　低透水層の水平方向相対変位経時変化

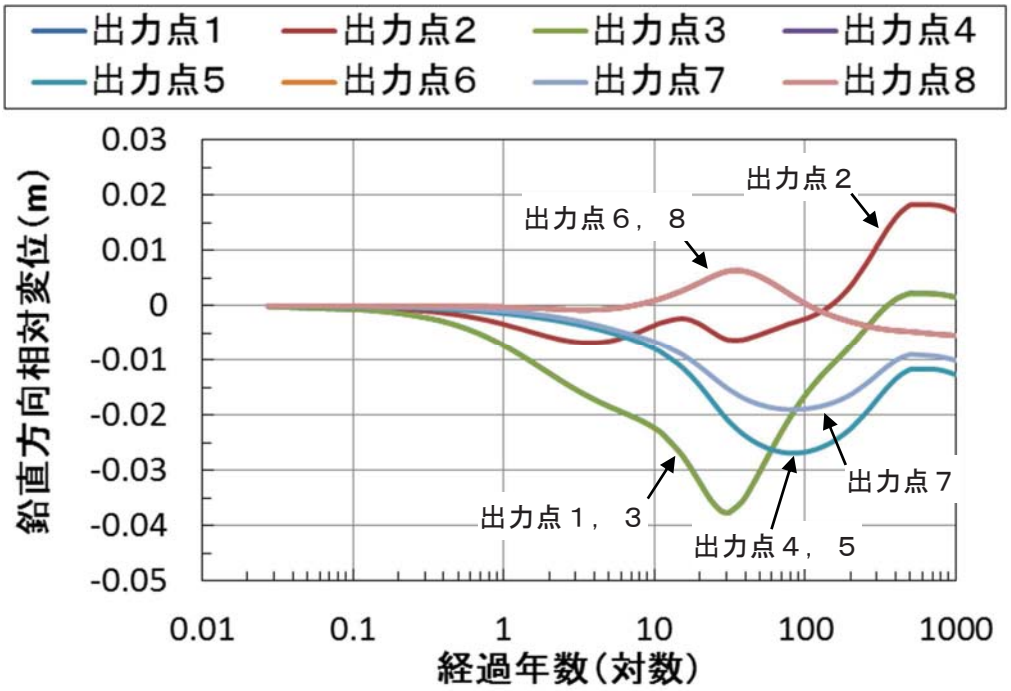


図 3.1-47　低透水層の鉛直方向相対変位経時変化

g. コンクリート系人工バリアの応力状態

（主応力分布図追加を最終報告書までに対応予定）

(a) 最大・最小有効主応力分布

セメント系人工バリアの最大・最小有効主応力分布を、それぞれ図 3.1-48 と図 3.1-49 に示す（圧縮：負）。低透水層の膨潤に伴い、セメント系人工バリアは全圧縮状態となる。よって、膨潤により引張応力になる部分はない。

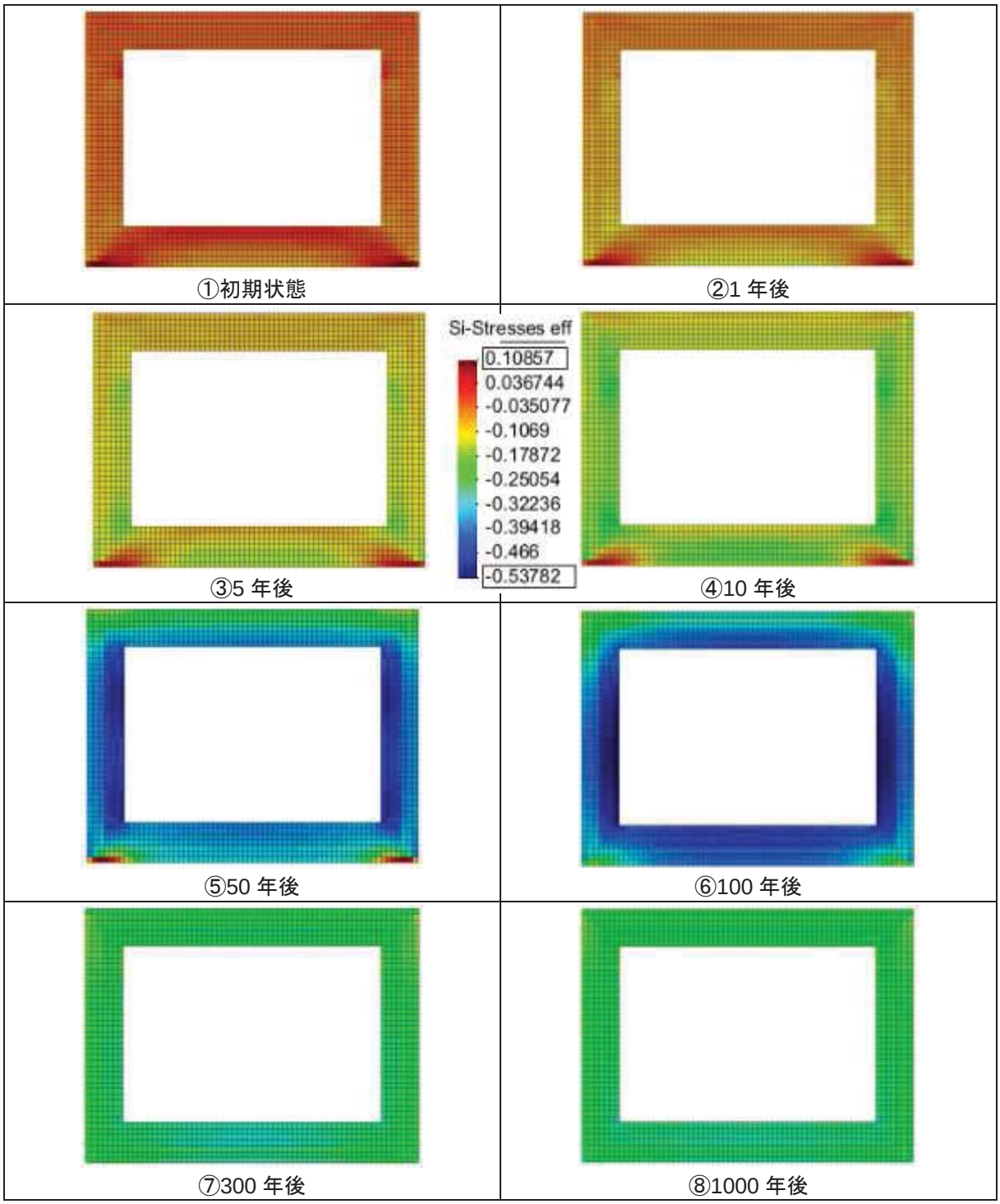


図 3.1-48　セメント系人工バリアの最大有効主応力（MPa）

低透水層の膨潤に伴い、セメント系人工バリアは全圧縮状態となる。最大圧縮応力は σc=2.12MPa 程度であることから、圧縮強度に対して十分な裕度がある。

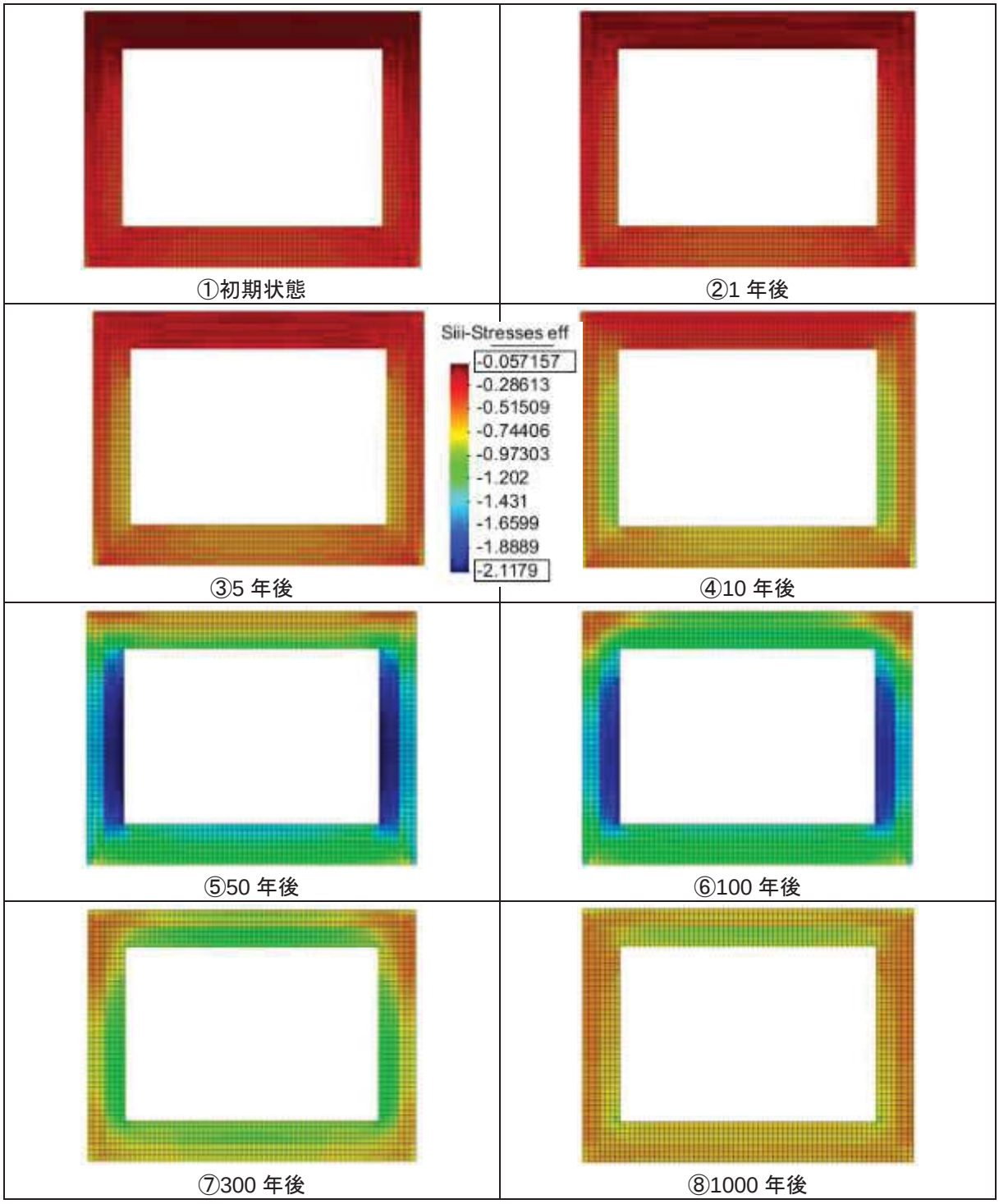


図 3.1-49　セメント系人工バリアの最小有効主応力（MPa）

(b) 坑道横断面内の主応力方向

セメント系人工バリアの坑道横断面内の有効主応力の方向を、それぞれ図 3.1-50 と図 3.1-51 に示す。

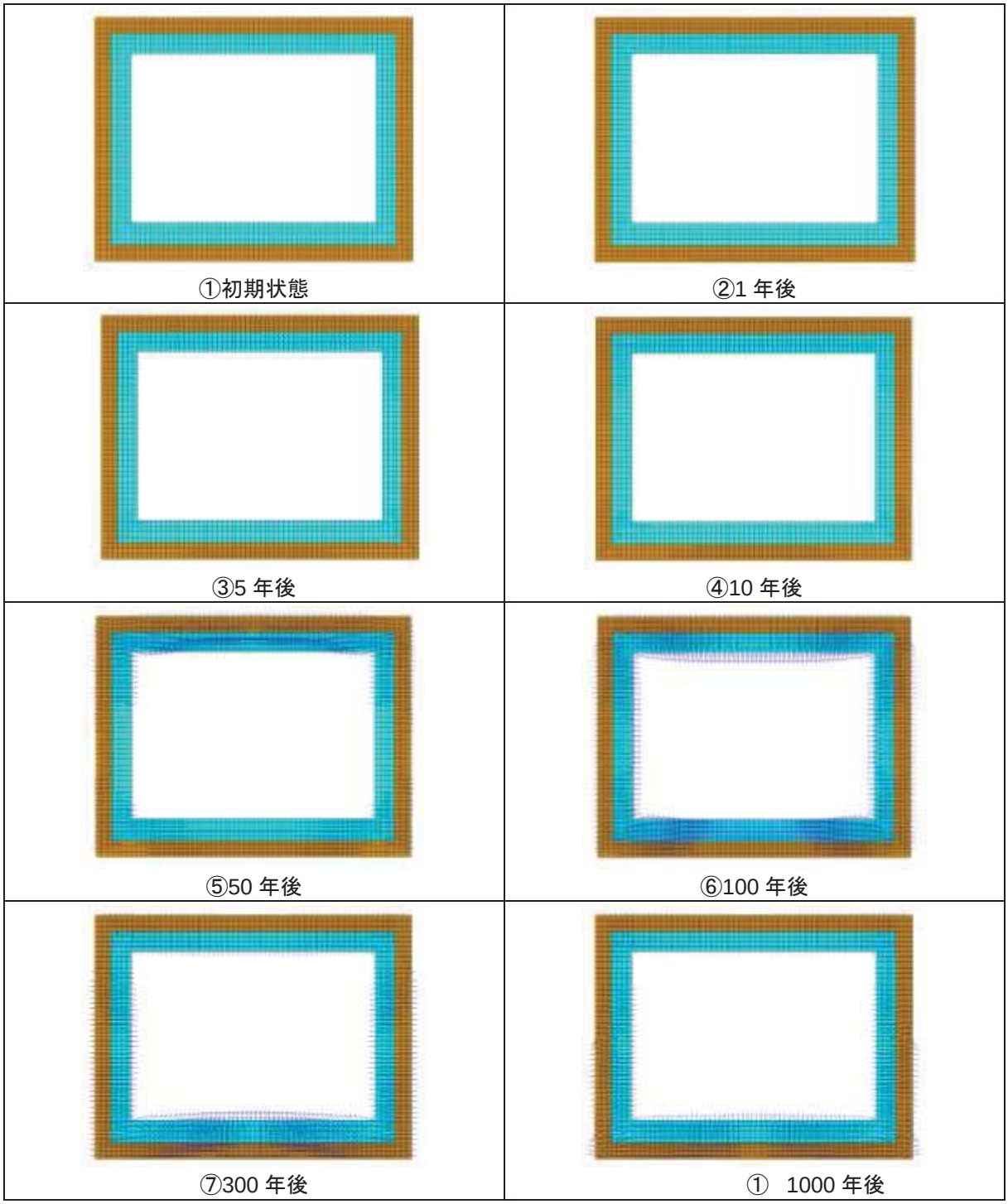


図 3.1-50　セメント系人工バリアの有効主応力方向①

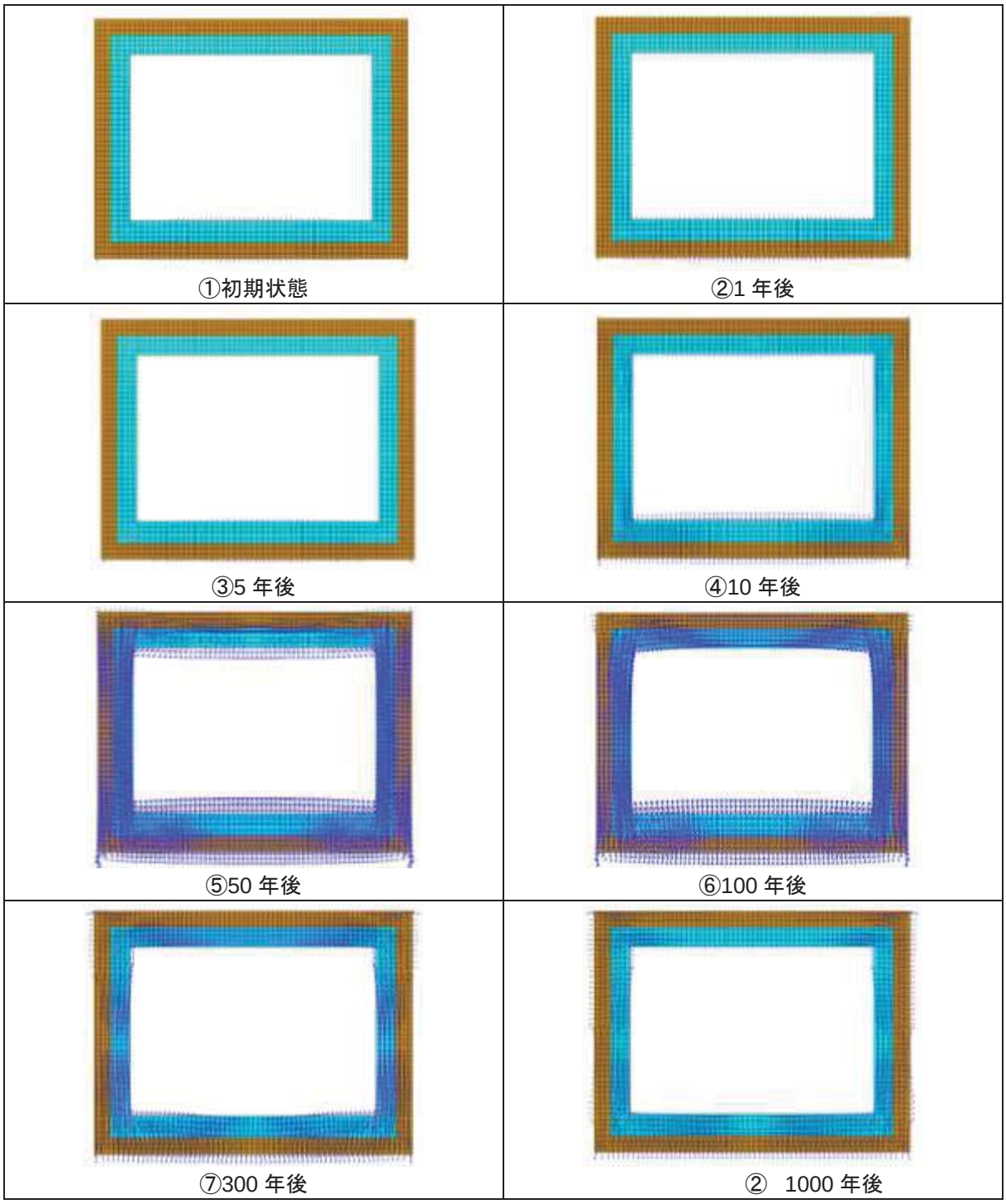


図 3.1-51　セメント系人工バリアの有効主応力方向②（最大圧縮方向）

(c) 経時変化

a) 出力点

コンクリート系人工バリアの最大･最小有効主応力出力点を図 3.1-52 に示す。ただし、赤点はコンクリートピットの出力点、黄点は低拡散層の出力点をそれぞれ示す。

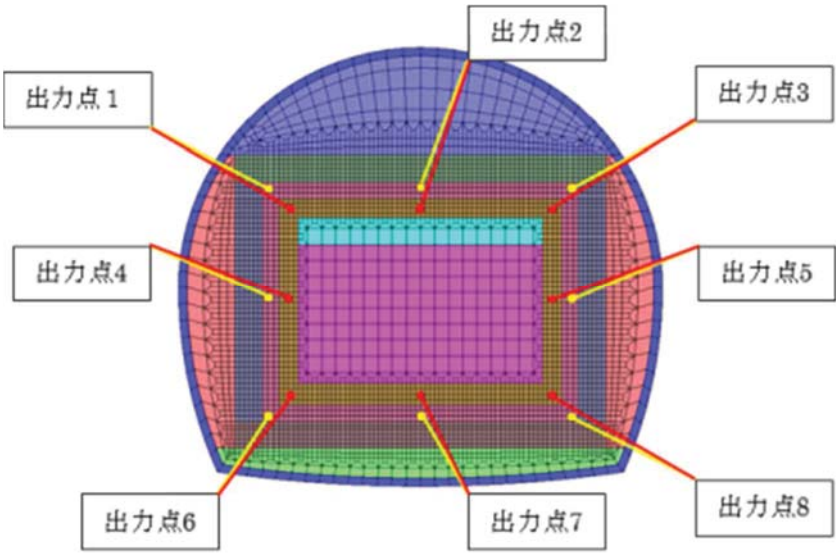


図 3.1-52　最大・最小有効主応力出力点（赤：RC ピット、黄：低拡散層）

b) コンクリートピットの最大・最小有効主応力の経時変化

コンクリートピットの最大・最小有効主応力の経時変化を、それぞれ図 3.1-53 と図 3.1-54 に示す。セメント系部材の最大有効主応力は低透水層の膨潤圧の発現とともに圧縮側の応力が増大する。50 年前後からコンクリート部材への水の侵入に伴い、間隙圧力が上昇することにより、有効応力が低下する。

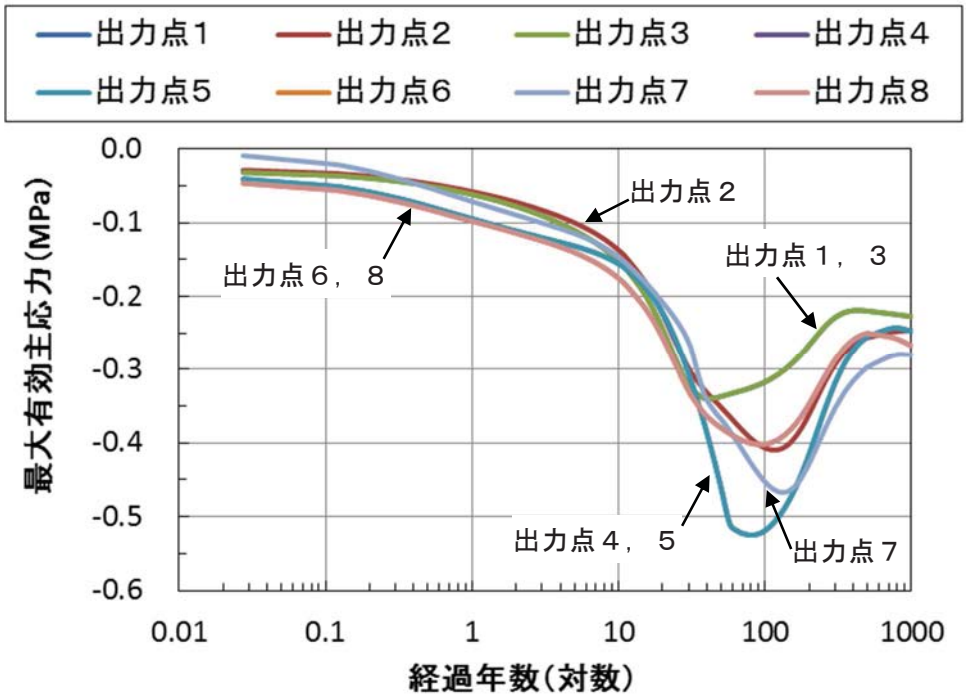


図 3.1-53　コンクリートピットの最大有効主応力の経時変化

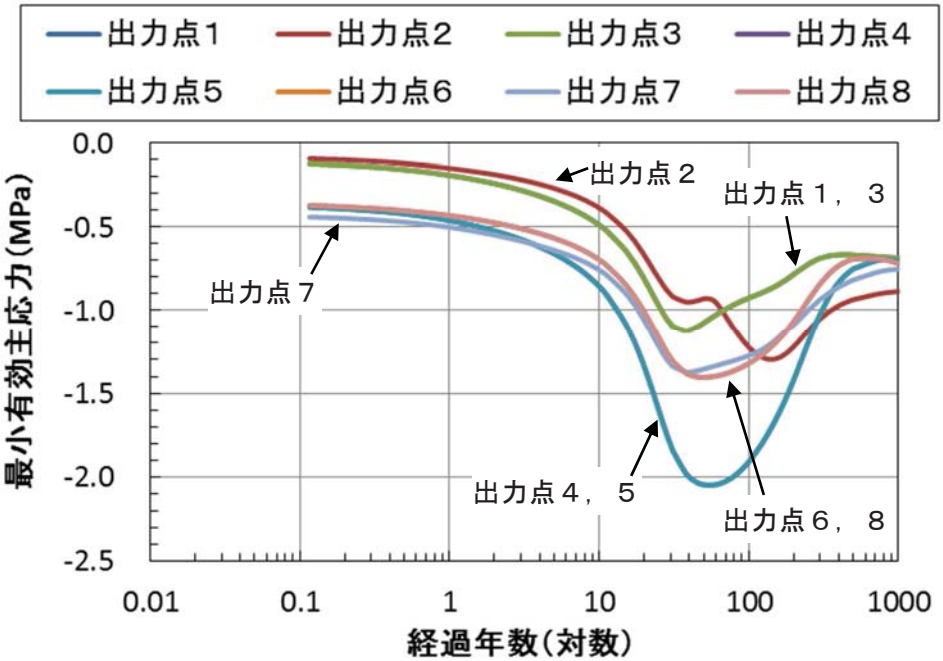


図 3.1-54　コンクリートピットの最小有効主応力の経時変化

c）低拡散層の最大・最小有効主応力の経時変化

低拡散層の最大・最小有効主応力の経時変化を、それぞれ図 3.1-55 と図 3.1-56 に示す。

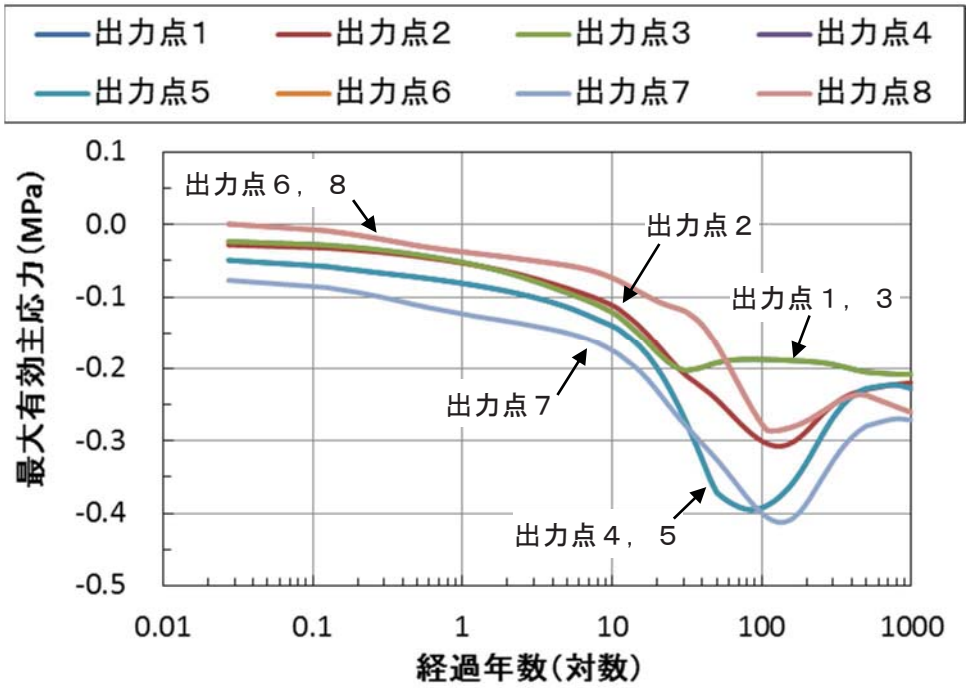


図 3.1-55　低拡散層の最大有効主応力の経時変化

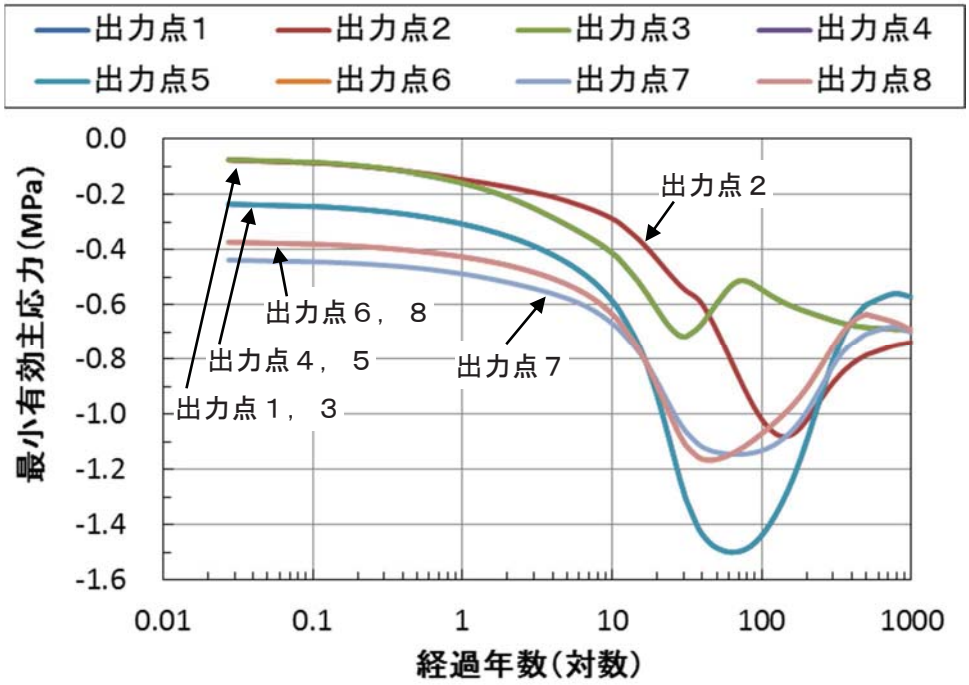


図 3.1-56　低拡散層の最小有効主応力の経時変化

h. コンクリート系人工バリアの沈下量

コンクリート系人工バリアの沈下量経時変化の出力点と結果を、それぞれ図 3.1-57 と図 3.1-58 に示す。全出力点の沈下量は等しく、施設は傾きなく沈下している。

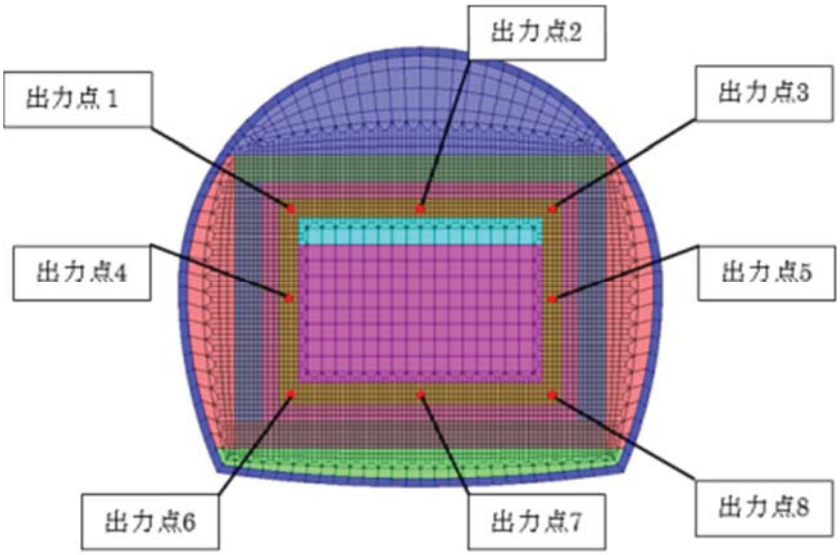


図 3.1-57　コンクリート系人工バリアの沈下量出力点

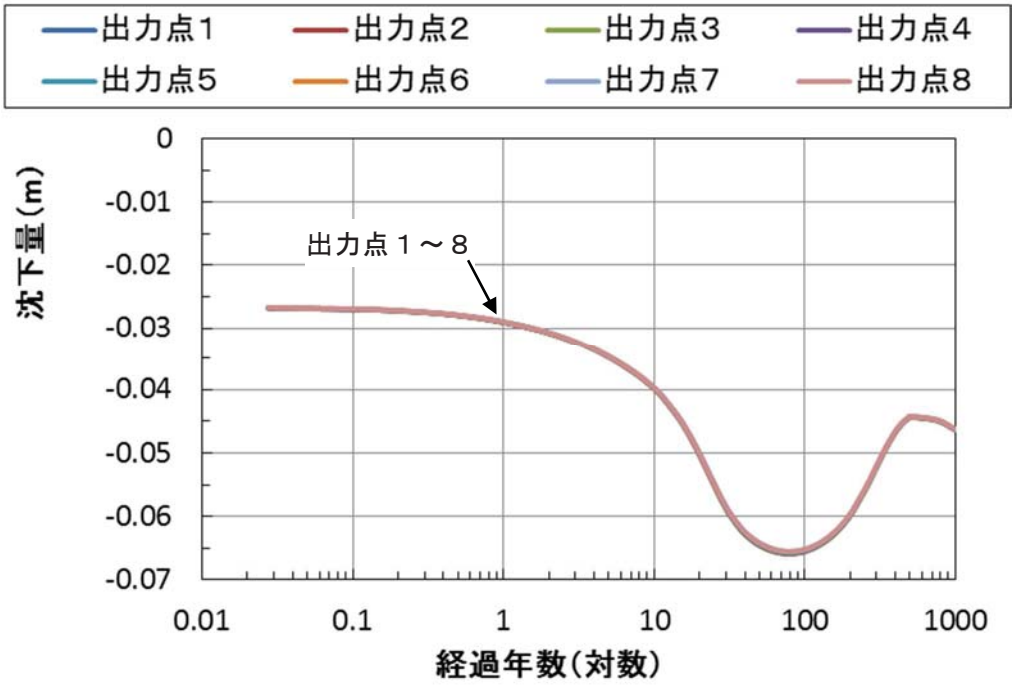


図 3.1-58　コンクリート系人工バリアの沈下量経時変化

i．参照ケースまとめ

埋戻し材設置より数百年程度で低透水層は概ね飽和する。上部と底部の低透水層では20 年程度で飽和し、側部の低透水層では水の浸透距離が大きいため、上部や底部よりも時間的差異が確認されたが、数百年程度以内には低透水層全体が概ね飽和に至った。

低透水層の膨潤圧は、底部については、圧密に伴い平均有効応力は増加するものの、膨潤範囲の浸透に伴って 100 年後以降は反対に減少する。

低透水層の乾燥密度分布は、上部については埋戻し材側へ膨張することから、初期よりも若干乾燥密度が低下する。ただし、低透水層を貫く形での乾燥密度の低下は見られない。底部については圧密の効果により乾燥密度は上昇する。

セメント系人工バリアについては、低透水層の膨潤に伴って圧縮場になる。ただし、セメント系材料への水の侵入とともに有効応力は若干低下する。また、セメント系人工バリアは圧縮場になるものの、圧縮強度に対しては十分な裕度を示した。

以上から、参照ケースについて、特にバリア性能が低下するような事象には至らないことが示唆された。

本解析結果を参考に、比較ケースを設定し解析を実施することにより、人工バリアへの影響を確認する。

4）比較ケース

比較ケースは、参照ケース結果を参考に、低透水層の偏膨潤による施設への影響の検討を行う。状態のシナリオとして、設計通りに施工できなかった地下施設の空洞の底部（排水孔付近）のみに GL-100m相当の水圧が局所的に掛かることにより、当該箇所で部分的に水が侵入するケース。

a．解析条件

力学に関する境界条件は、モデル境界を鉛直水平ともに拘束条件とする。また、水理に関する境界条件は、施設の深度を GL-100.0m と仮定して、GL-100.0m 相当の水圧として PL=PG=1.0（MPa） の水圧とガス圧を、施設底部（排水孔付近）に設定した地下水侵入エリアに規定する。地下水侵入エリアは幅 0.7m で外周から低透水層までを貫く範囲とする。また、その他の部分は不透水境界とする。境界条件を図 3.1-59 に示す。

低透水層の状態として ρ d=1.6±0.1Mg/m³ の管理値の範囲内で、膨潤の観点から極端な状態（上部の乾燥密度 1.5Mg/m³、側部 1.6Mg/m³、底部 1.7Mg/m³）を想定する。また、乾燥密度ごとの低透水層の物性値を表 3.1-18 に、その根拠となるグラフを図 3.1-60 および図 3.1-61 に示す。乾燥密度に依存しないパラメータに関しては基本ケースと同じ値を用いた。

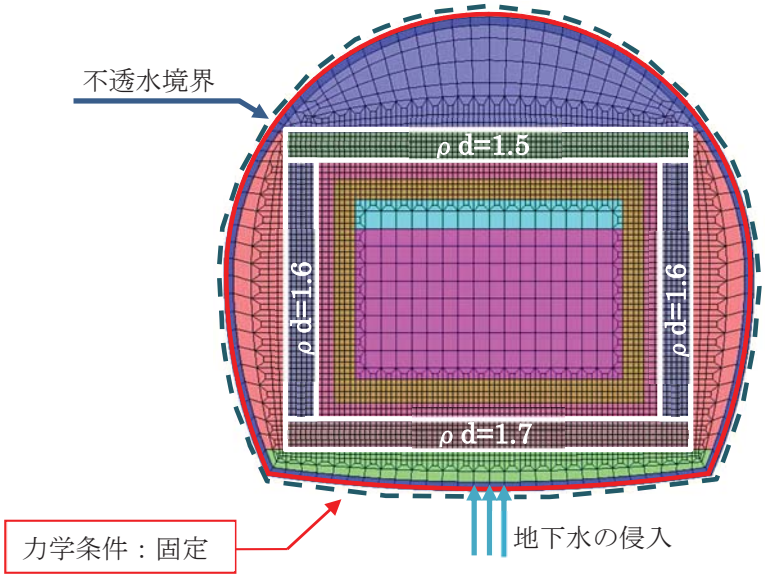


図 3.1-59　境界条件

表 3.1-18　低透水層の物性（変更値）

項目	記号	単位	上部	側部	底部	備考
初期乾燥密度	ρ_d	Mg/m^3	1.5	1.6	1.7	管理値 ρ_d =1.6±0.1
膨潤圧	σ_w	(MPa)	0.38	0.63	1.19	文献[5]
透水係数	k	(m/s)	3.00E-13	2.00E-13	1.00E-13	文献[5]
参照有効応力時の 湿潤膨潤指数（飽和時）	κ_{s0}	－	0.1534	0.2108	0.2839	
有効応力依存 湿潤膨潤指数パラメータ	α_{sp}	－	-0.747	-0.544	-0.404	

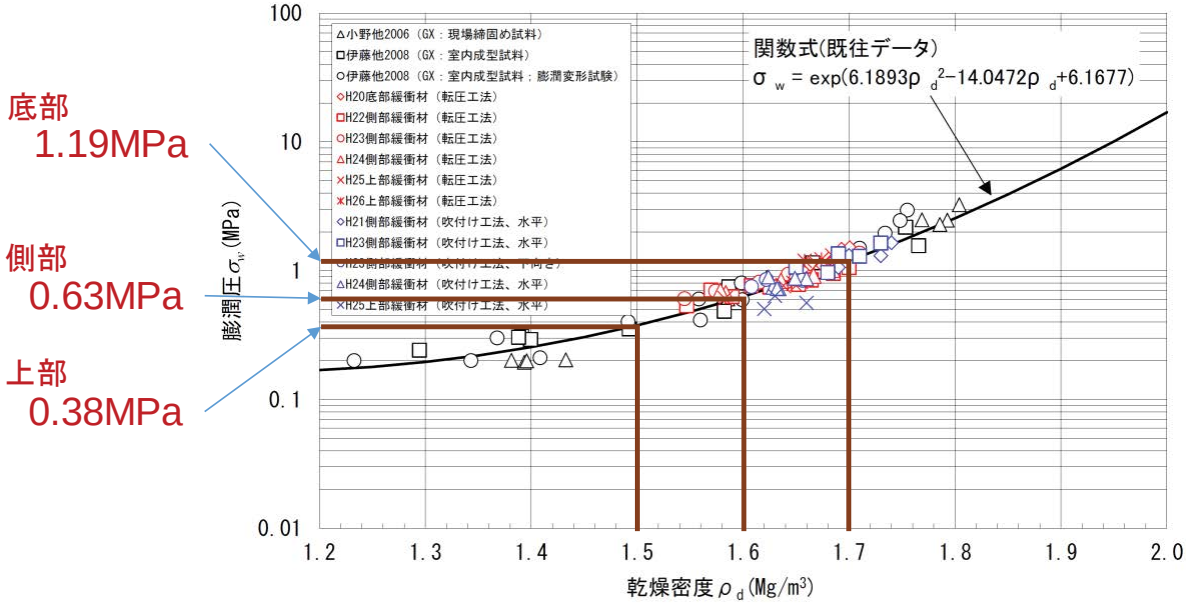


図 3.1-60　膨潤圧の設定

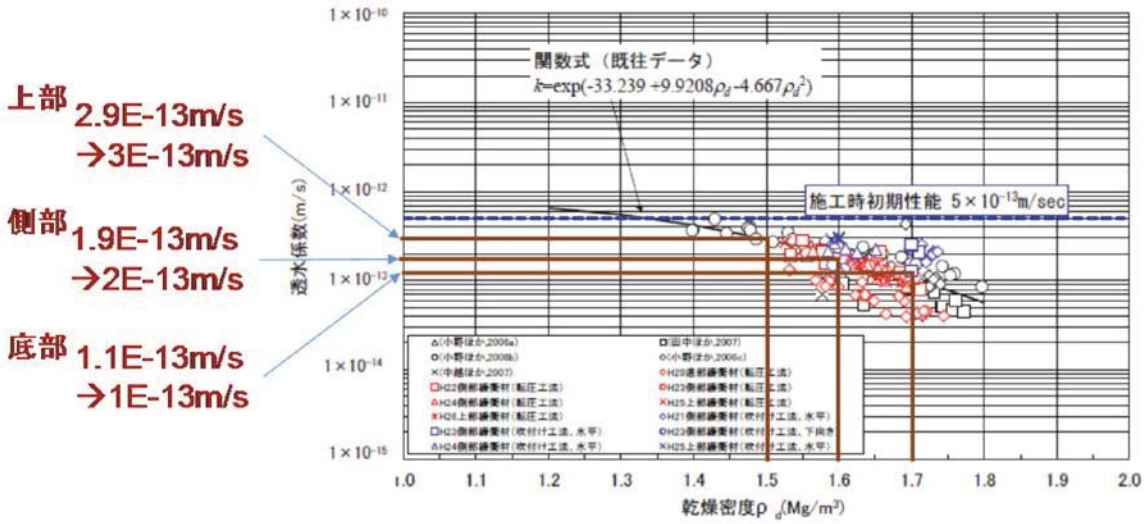


図 3.1-61　透水係数の設定

b. 飽和度

(a) 飽和度分布

飽和度分布を図 3.1-62 と図 3.1-63 に示す。低透水層と埋戻し材のサクション差が大きいことや、入流する面積が異なることから注水による底部の飽和よりも、上部低透水層が早く飽和する。

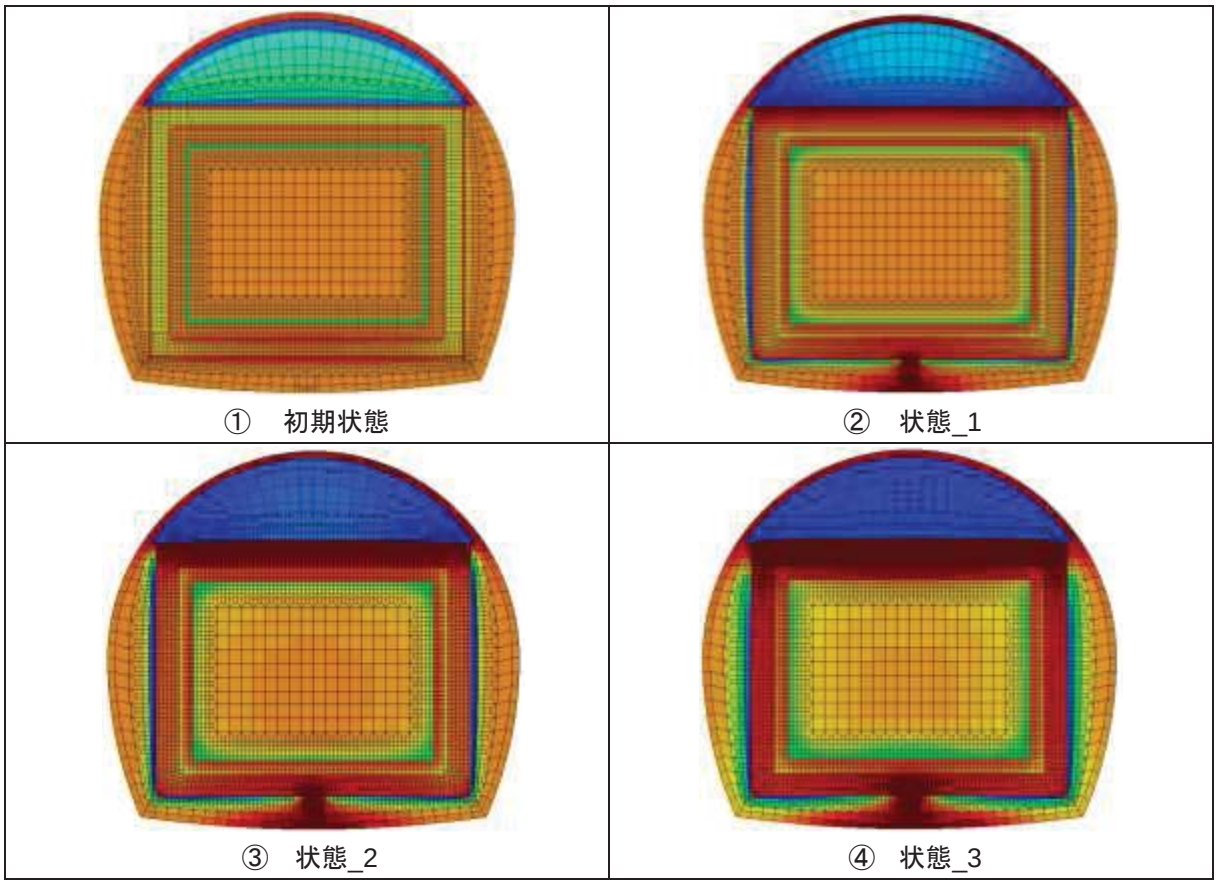


図 3.1-62 飽和度分布（－）①（変形：3 倍）

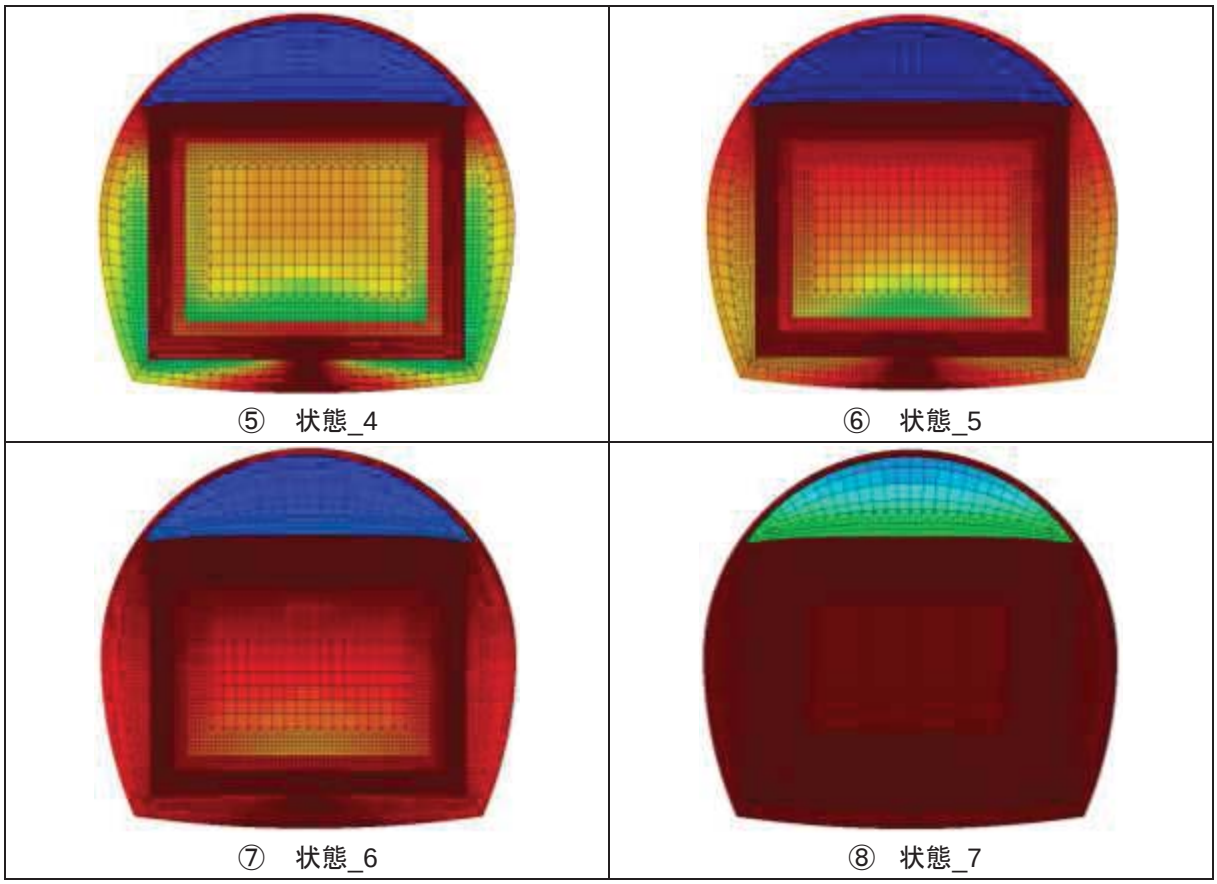


図 3.1-63　飽和度分布（－）②（変形：3 倍）

(b) 経時変化

低透水層の飽和度経時変化の出力点と結果を、それぞれ図 3.1-64 と図 3.1-65 に示す。出力点は初期低透水層厚さの中心とした。

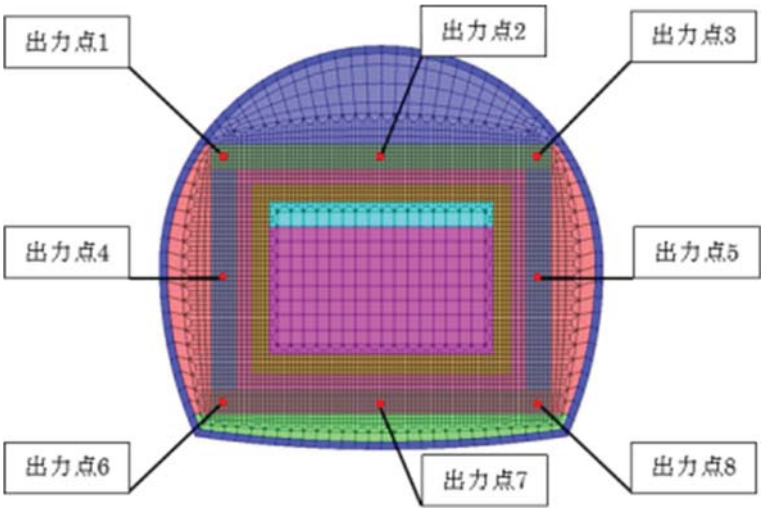


図 3.1-64　出力点

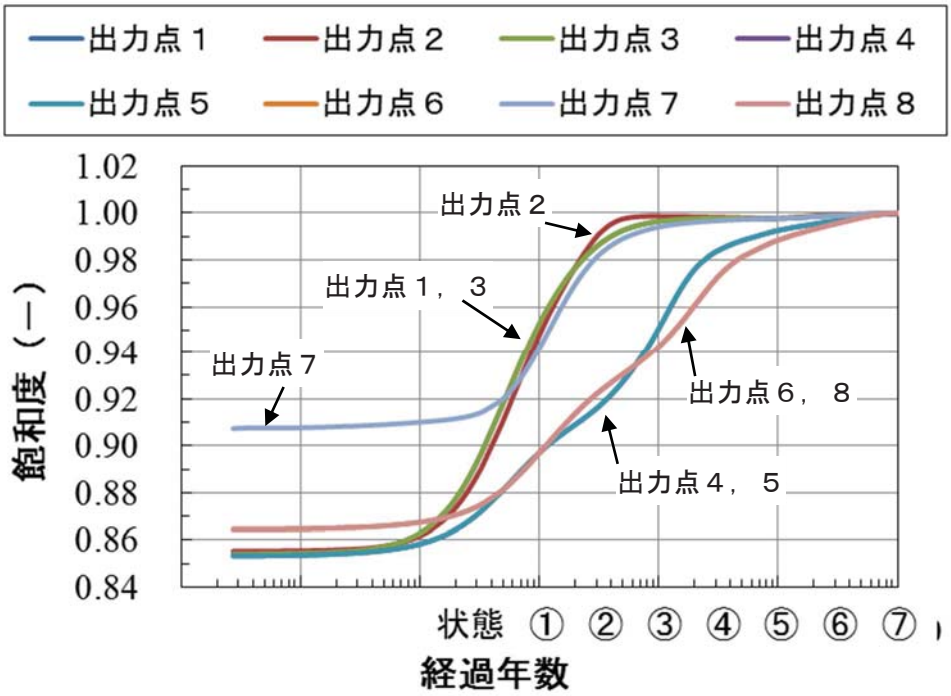


図 3.1-65　低透水層の飽和度経時変化

c．セメント系人工バリアの応力状態

(a) 最大・最小有効主応力分布

セメント系人工バリアの最大・最小有効主応力分布を、それぞれ図 3.1-66 と図 3.1-67 に示す（圧縮：負）。偏膨潤に伴い、セメント系人工バリア底部で最大有効応力の上昇が生じる。低透水層全体が膨潤することにより、最大有効応力の上昇部分は消失し、セメント系人工バリアは全圧縮状態になる。

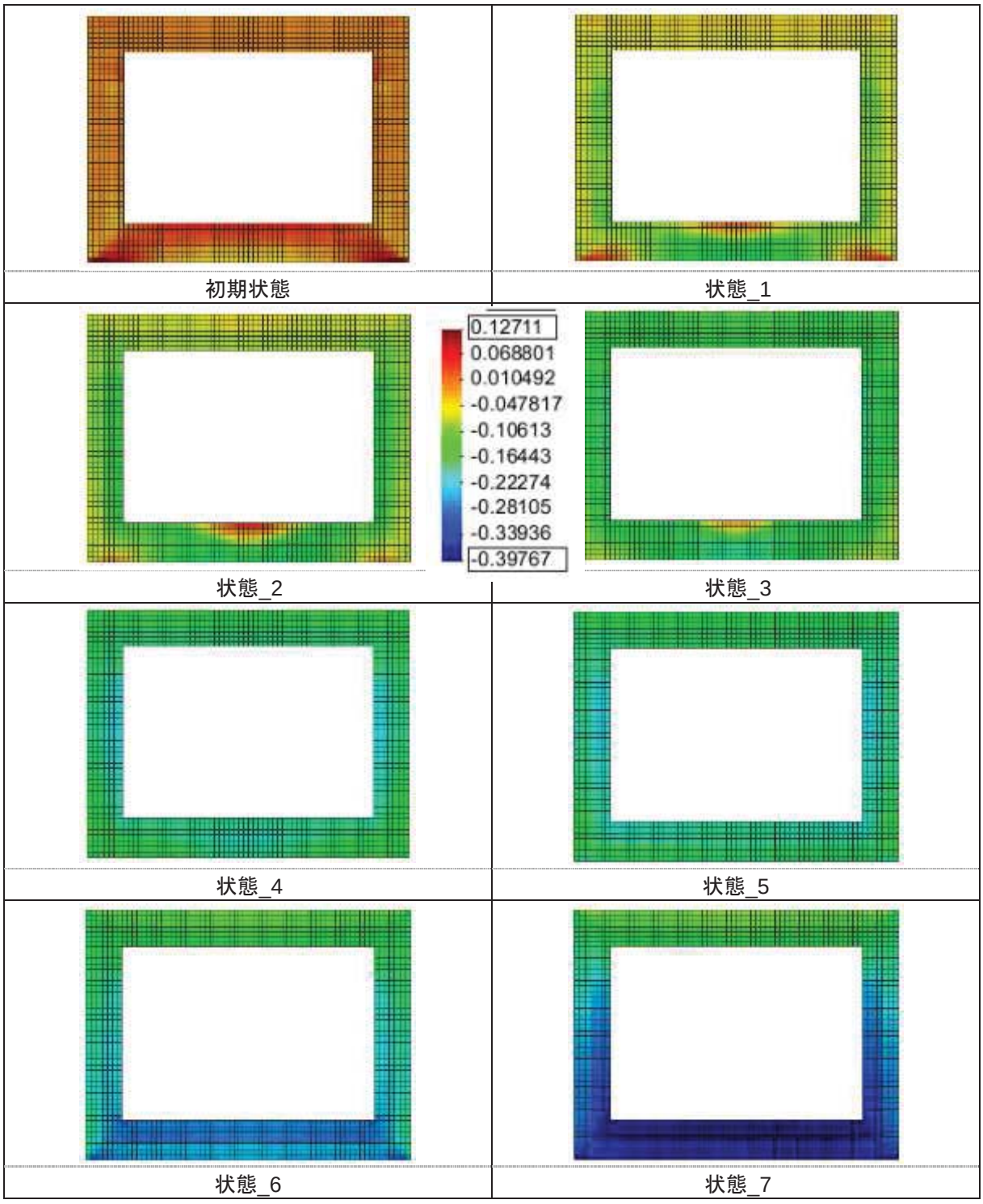


図 3.1-66　セメント系人工バリアの最大有効主応力（MPa）

状態②③のセメント系人工バリア底部に、偏膨潤による圧縮がみられる。偏膨潤による圧縮は 0.7MPa 程度であり、圧縮強度に比べて十分に小さい。

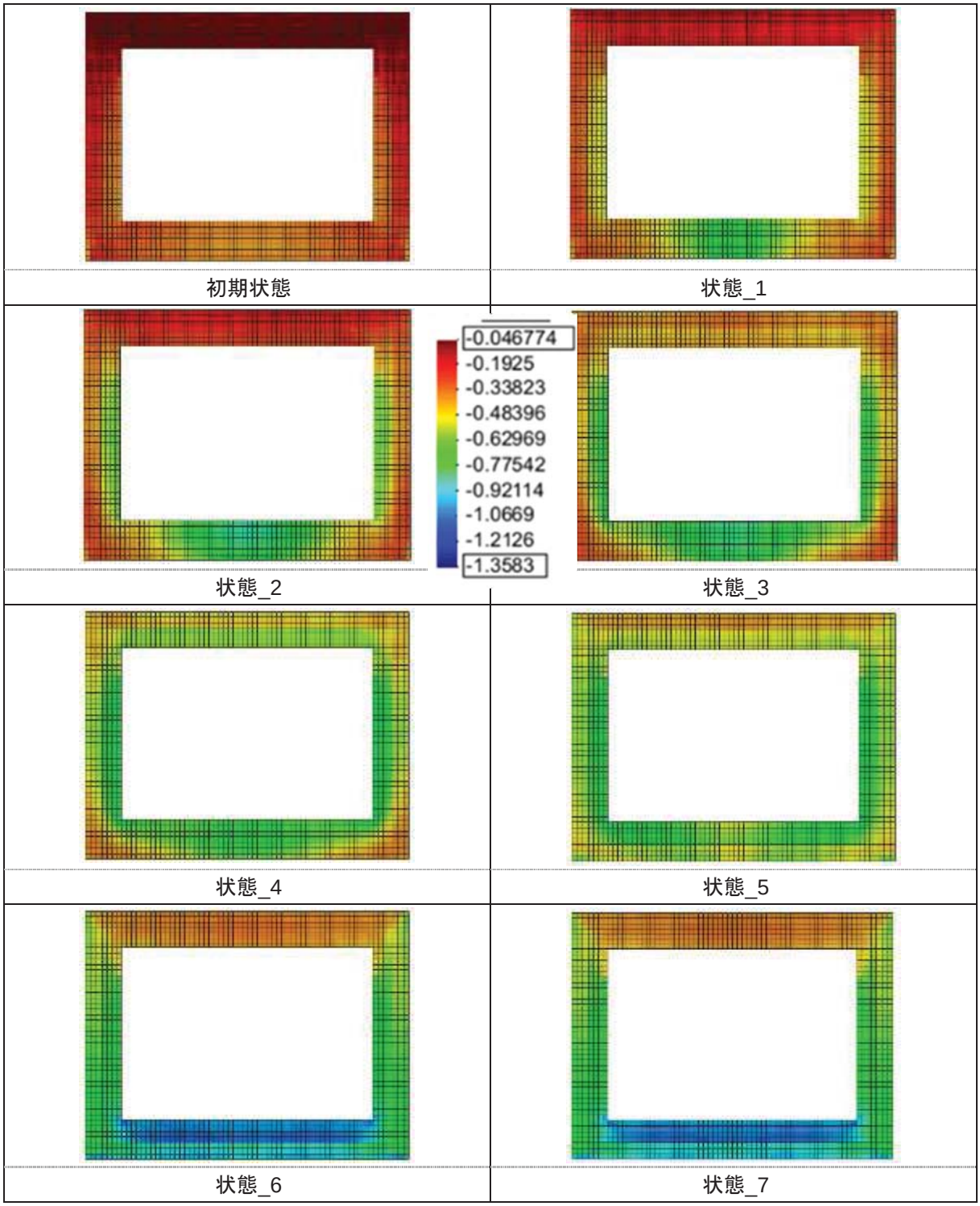


図 3.1-67　セメント系人工バリアの最小有効主応力（MPa）

(b) 経時変化

a) 出力点

セメント系人工バリアの最大・最小有効主応力出力点を図 3.1-68 に示す。ただし、赤点はコンクリートピットの出力点、黄点は低拡散層の出力点をそれぞれ示す。

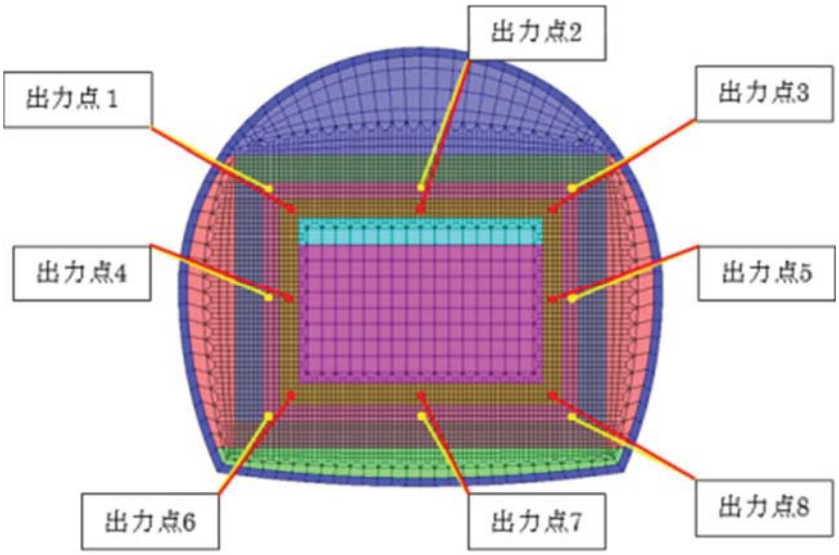


図 3.1-68　最大・最小有効主応力出力点（赤：RC ピット、黄：低拡散層）

b）セメント系人工バリアの最大有効主応力の経時変化

コンクリートピットと低拡散層の最大有効主応力の経時変化を、それぞれ図 3.1-69 と図 3.1-70 に示す。状態②③付近では、セメント系部材底部に偏膨潤による最大有効主応力の上昇が現れる。ただし、セメント系部材が破壊に至るような応力変化は起こらない

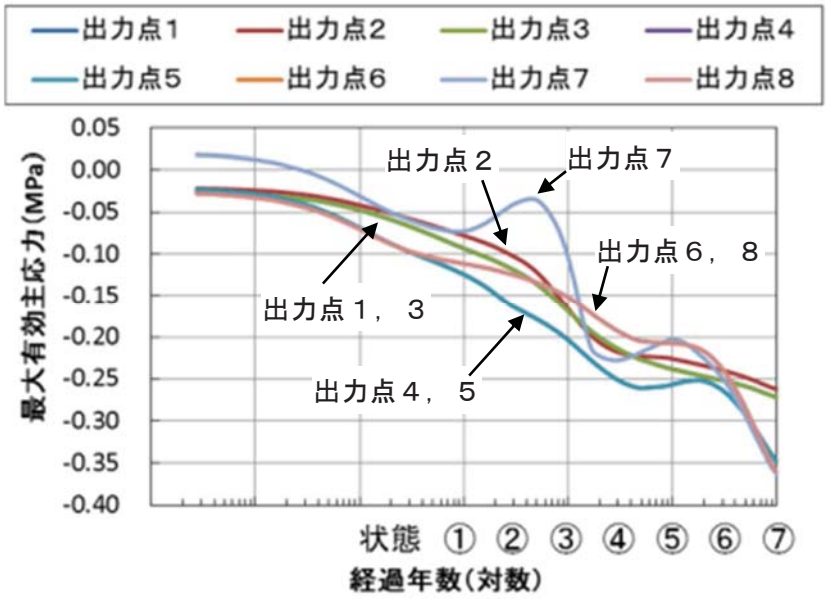


図 3.1-69　コンクリートピットの最大有効主応力の経時変化

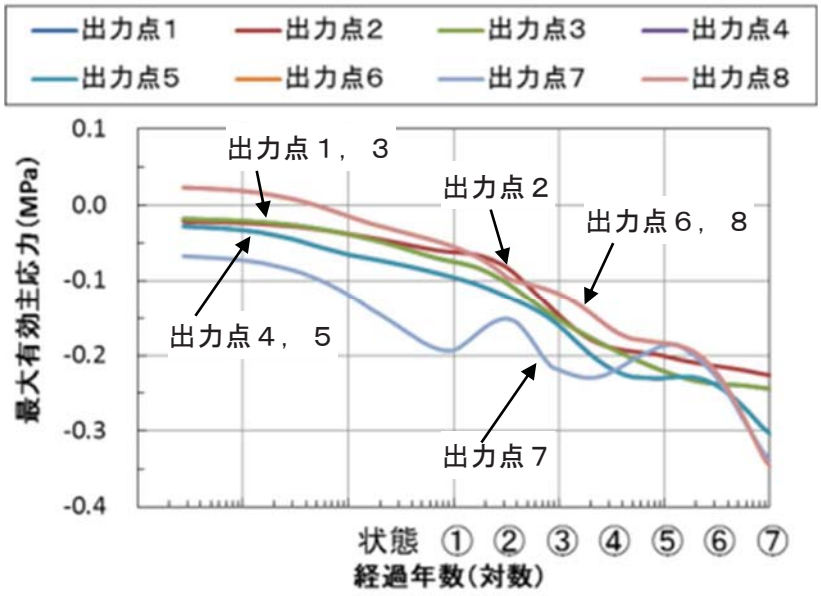


図 3.1-70　低拡散層の最大有効主応力の経時変化

c）セメント系人工バリアの最小有効主応力の経時変化

コンクリートピットと低拡散層の最小有効主応力の経時変化を、それぞれ図 3.1-71 と図 3.1-72 に示す。偏膨潤によって、セメント系部材底部の最小主応力は状態②③付近でピークを持つ。ただし、最大主応力と同様に、セメント系部材が破壊に至るような応力変化は起こらない

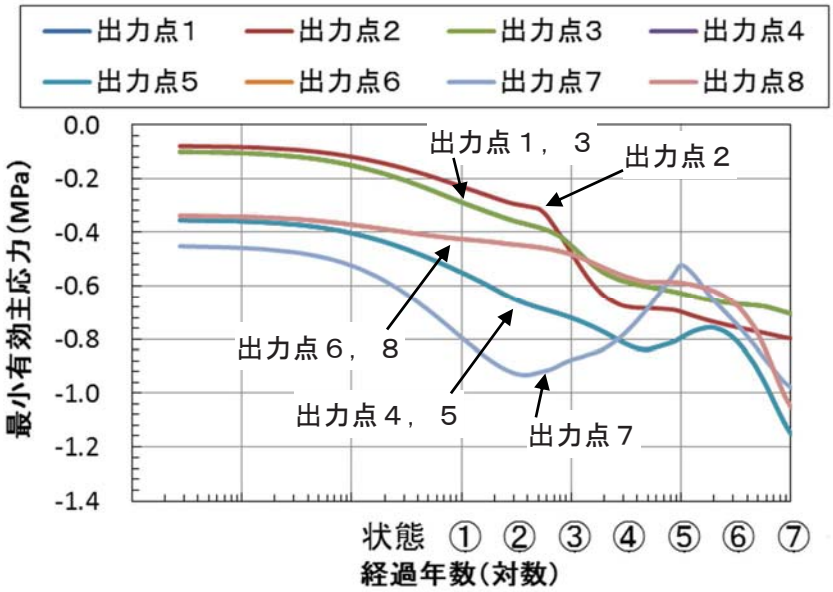


図 3.1-71　コンクリートピットの最小有効主応力の経時変化

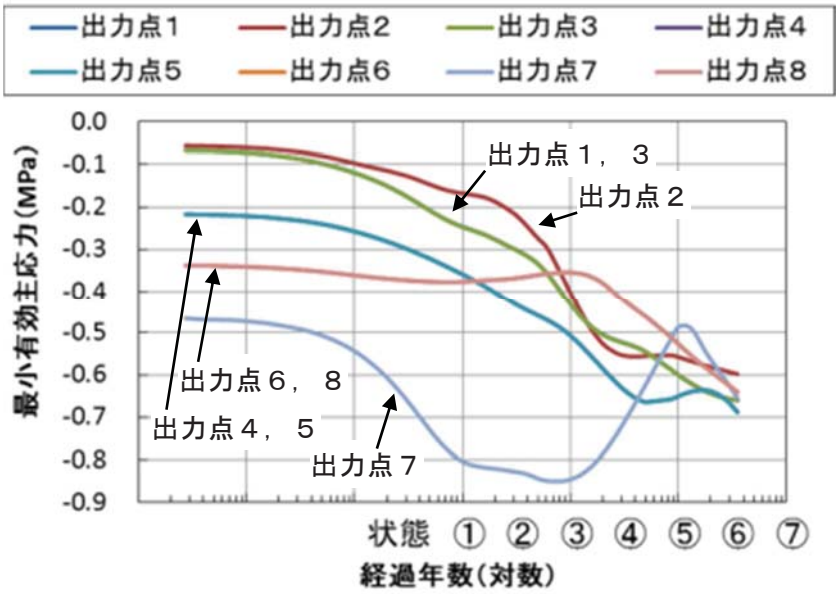


図 3.1-72　低拡散層の最小有効主応力の経時変化

d. セメント系人工バリアの沈下量

セメント系人工バリアの沈下量経時変化の出力点と結果を、それぞれ図 3.1-73 と図 3.1-74 に示す。変動ケースでは下部低透水層の飽和によって、上方に 5cm 程度変位する。

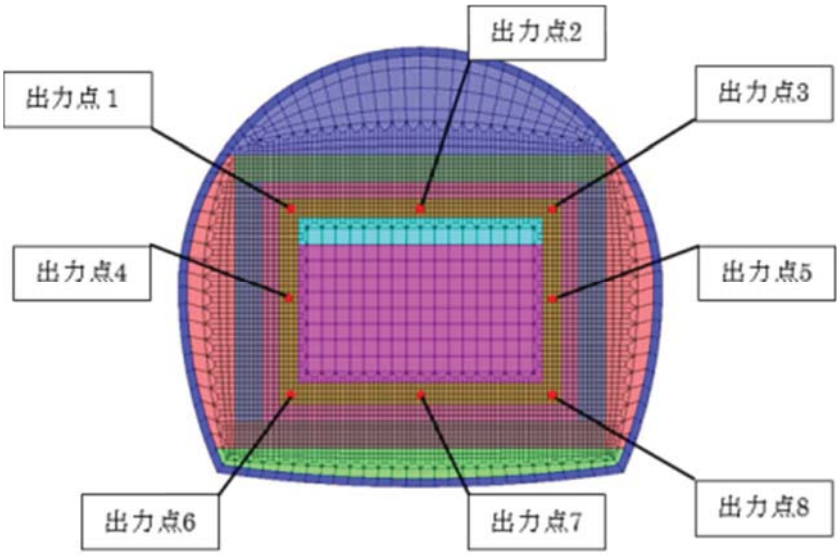


図 3.1-73　セメント系人工バリアの沈下量出力点

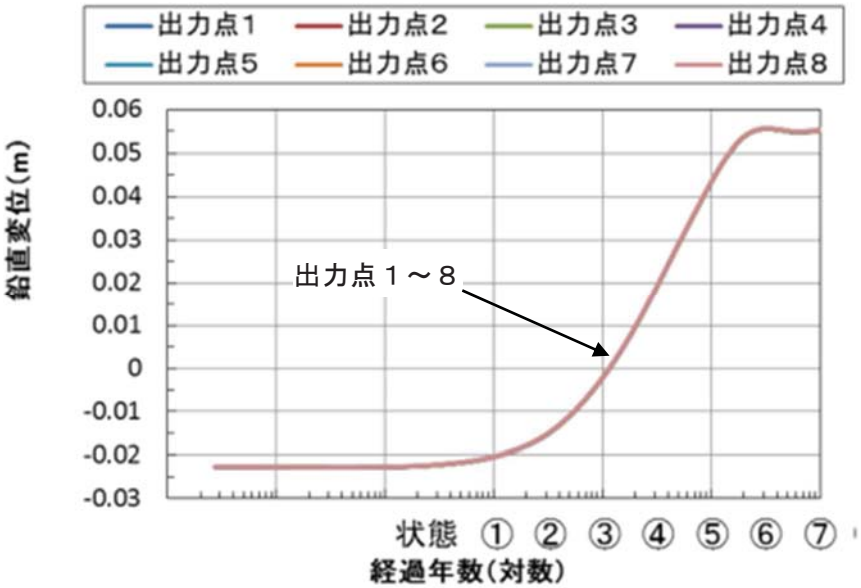


図 3.1-74　セメント系人工バリアの沈下量経時変化

図 3.1-75 に参照ケースと比較ケースでのセメント系人工バリアの沈下量の比較図を示す。参照ケースでは沈下傾向で定常状態になるが、比較ケースでは上方への挙動で定常状態となる。

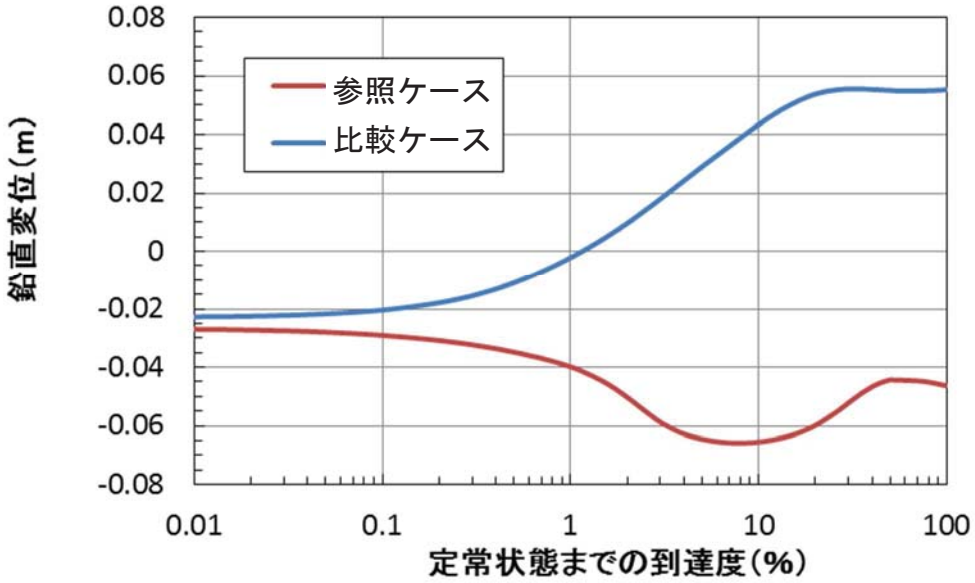


図 3.1-75 セメント系人工バリアの沈下量比較図

e. 比較ケースまとめ

比較ケースによる解析によって、以下の点について確認することが出来た。

- 低透水層と埋戻し材のサクション差が大きいため、注水による底部の飽和よりも、低透水層の上部が早く飽和する。
- セメント系部材底部に偏膨潤による有効主応力の変化が見られる。ただし、セメント系部材が破壊に至るような応力変化は起こらない。

したがって、処分坑道横断面に関しては、参照ケースと同様に比較ケースについても特にバリア性能が低下するようなほどの挙動は確認されなかった。

ただし、挙動モードとして上方へ施設全体が変位する挙動が示唆されており、参照ケースにおける沈下挙動モードとは異なる。よって、坑道縦断方向における挙動を確認し、バリア性能を評価する必要があると考えられる。

3.1.4　処分坑道縦断面方向の解析的検討

3.1.3　では、処分坑道の横断面方向の挙動を二次元 FEM 解析により検討した。ここでは、処分坑道縦断方向の挙動を予測するため、セメント系人工バリア部材（低拡散層、コンクリートピット、上部充てん材、廃棄体間充てん材）を梁モデルで、低透水層を地盤バネでモデル化した二次元骨組み解析を実施する。二次元骨組み解析により、低透水層が局所的に膨潤した場合に低拡散層に発生する断面力、変形を算定し、ひび割れおよび施工目地の目開きの発生可能性を評価する。なお、本検討で算定する各部材の応力度や変形量は、処分坑道埋戻し時点からの増分であり、建設段階および操業段階で生じた各部材の応力度、変形量は考慮しないものとする。

(1) 検討方法

1) 部材のモデル化

a. モデル化の基本方針

検討モデルは、セメント系人工バリア部材（低拡散層、コンクリートピット、上部充てん材、廃棄体間充てん材（以降、コンクリートピットの内側の領域を廃棄体層と称する））を梁モデルでモデル化し、低透水層を地盤バネでモデル化する。

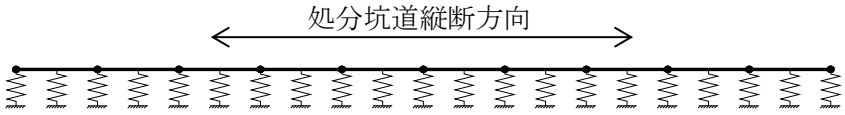


図 3.1-76　地盤バネ付き梁モデルの概念図

b. 梁モデル

既往の検討結果[35]に示された図 3.1-77 より、コンクリートピットは 8 区画で構成されており、セメント系バリア部材の総延長は 120m 程度である。

また、既往の文献[36]に示された施工ステップによると、図 3.1-78 に示すように、側部コンクリートピットの施工は 1 区画おきにコンクリート打設が行われることを想定しており、施工目地が設けられる。しかし、コンクリートピットの処分坑道縦断方向の鉄筋が連続していない場合、施工目地部で相対変位が生じ、核種の漏えいにつながることが懸念されるため、本検討では、コンクリートピットの処分坑道縦断方向鉄筋は連続していると考える。

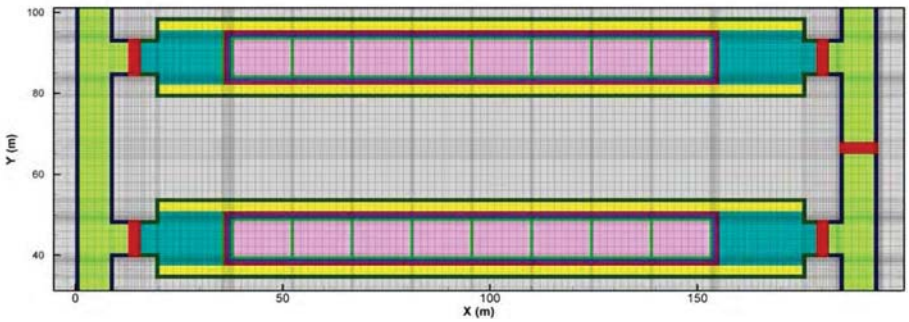


図 3.1-77　処分坑道平面形状[35]

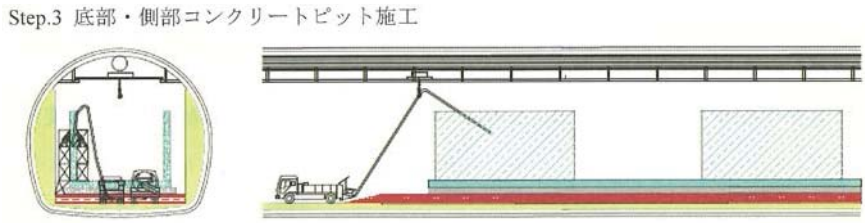


図 3.1-78　コンクリートピットの施工[36]

低拡散層は、コンクリートピットと同様に 1 区画毎（15m 毎）に分割して打設し、施工目地を設けるものとする。ただし、コンクリートピット、低拡散層の施工目地は地盤バネ付き梁モデルではモデル化しないこととする。

廃棄体層は、廃棄体と廃棄体間充てん材、および上部充てん材の複合体であるが、保守的に弾性係数が最も小さい廃棄体間充てん材のモルタルで代表させてモデル化する。また、コンクリートピット内部の仕切り壁は、梁モデルの剛性に対する寄与が小さく、処分坑道縦断方向の挙動に対する影響が小さいと考えられるためモデル化しないこととする。

以上をまとめてセメント系人工バリア部材のモデル化方法を以下に示す。

- セメント系人工バリア部材の延長を 120m とする
- コンクリートピット、低拡散層は 15m 間隔で施工目地が設置される
- 梁モデルでは施工目地をモデル化しない
- 廃棄体層は廃棄体間充てん材としてモデル化する
- コンクリートピットの仕切り壁はモデル化しない

c．断面剛性

処分坑道断面方向の形状は、図 3.1-79 に示す既存の実規模模擬施設の断面形状を用いる。梁モデルの等価弾性係数は次式により算定する。

$$E = (E_1I_1+E_2I_2+E_3I_3) / (I_1+I_2+I_3) \quad (3.1\text{-}39)$$

ここに、

E　：　セメント系人工バリア部材の等価弾性係数（kN/m²）

E_1　：　低拡散層の弾性係数（kN/m²）

E_2　:　コンクリートピットの弾性係数（kN/m²）

E_3　:　廃棄体層の弾性係数（kN/m²）

I_1　:　低拡散層の断面二次モーメント（m⁴）

I_2　:　コンクリートピットの断面二次モーメント（m⁴）

I_3　:　廃棄体層の断面二次モーメント（m⁴）

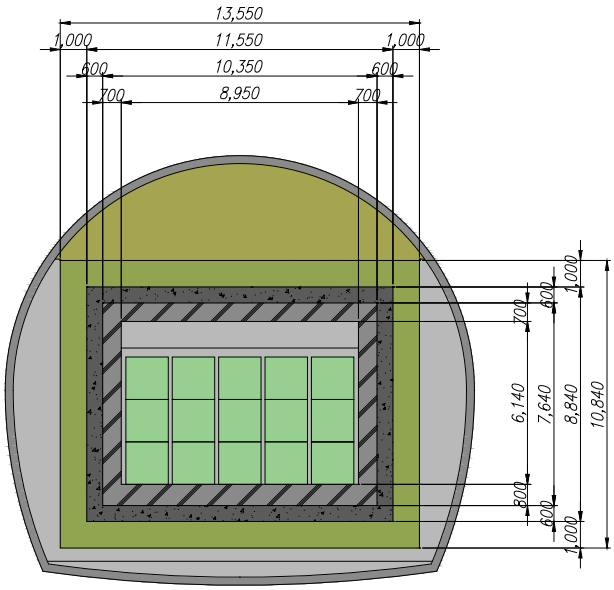


図 3.1-79　既存の実規模模擬施設断面図

d. 地盤バネ

低透水層の地盤反力係数は、道路橋示方書[37]に準拠して次式により算出する。

$$k_V = k_{V0}\left(\frac{B_V}{0.3}\right)^{-3/4} \qquad k_{V0} = \frac{1}{0.3}\alpha E_0 \tag{3.1-40}$$

ここに、

k_V　:　鉛直方向地盤反力係数（kN/m³）

k_{V0}　:　直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する鉛直方向地盤反力係数（kN/m³）

B_V　:　セメント系人工バリア部材の幅（m）

E_0　:　低透水層の変形係数（kN/m²）

α　:　地盤反力係数の換算係数で、変形係数を供試体の一軸圧縮試験または三軸圧縮試験から求めた場合は α=4

3）解析用物性値

本検討で使用する、低拡散層、コンクリートピット、廃棄体間充てん材、低透水層の物性値は、地下空洞型処分施設性能確証試験の各年度報告書[16]～[21]および平成 19 年度～平成 24 年度の取りまとめ報告書[33]、地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験平成 19 年度～平成 26 年度の取りまとめ報告書[5]に記載の数値を使用する。なお、低透水層の物性値は、施工上のばらつき等を考慮して変動させることとする。

本検討で使用する解析用物性値を表 3.1-19 に示し、設定根拠を次頁以降に示す。

表 3.1-19　解析用物性値一覧

部位	物性	単位	設定値		出典・備考
			標準値	変動値	
低透水層	乾燥密度	Mg/m^3	1.60	1.70	管理値 1.6±0.1Mg/m^3 の中央値と上限値
	膨潤圧	MPa	0.63	1.19	平成 19 年度～平成 26 年度の取りまとめ報告書[5]より
	変形係数	MN/m^2	60	30	平成 19 年度～平成 26 年度の取りまとめ報告書[5]より
低拡散層	圧縮強度	N/mm^2	60	－	設計基準強度
	静弾性係数	kN/mm^2	28.4	－	平成 19 年度～平成 24 年度の取りまとめ報告書[33]より
	引張強度	N/mm^2	4.44	－	平成 19 年度～平成 24 年度の取りまとめ報告書[33]より
コンクリートピット	圧縮強度	N/mm^2	60	－	平成 19 年度～平成 24 年度の取りまとめ報告書[33]より
	静弾性係数	kN/mm^2	36.9	－	平成 19 年度～平成 24 年度の取りまとめ報告書[33]より
廃棄体間充てん材	圧縮強度	N/mm^2	30	－	配合設計における目標強度の目安
	静弾性係数	kN/mm^2	18.4	－	平成 19 年度～平成 24 年度の取りまとめ報告書[33]より

a．低透水層の膨潤圧

低透水層の膨潤圧は、乾燥密度との関係式が平成 19 年度から平成 26 年度の取りまとめ報告書[5]に記載されている。この算定式を用いて、乾燥密度が 1.6Mg/m³ および 1.7Mg/m³ に対応する膨潤圧を算定すると以下のようになる。

乾燥密度 ρ_d＝1.6Mg/m³：σ_w＝0.63 MPa

乾燥密度 ρ_d＝1.7Mg/m³：σ_w＝1.19 MPa

なお、低透水層の偏膨潤によりセメント系人工バリア部材に変形が生じた場合は、膨潤圧が低下することが想定されるが、本検討では、セメント系人工バリア部材の変形に伴う膨潤圧の低下は考慮しないこととした。

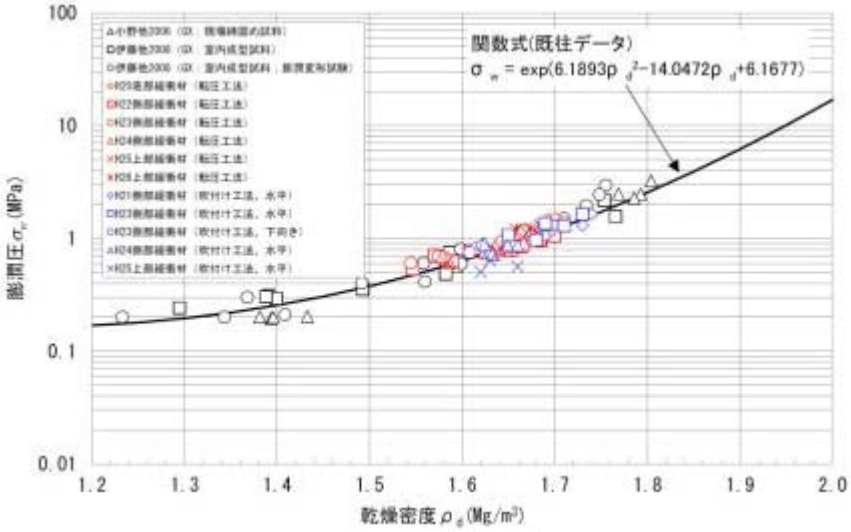


図 3.1-80　低透水層の膨潤圧と乾燥密度の関係[5]

b．低透水層の変形係数

低透水層の変形係数は、乾燥密度との関係が平成 19 年度から平成 26 年度の取りまとめ報告書[5]に記載されているが、乾燥密度から変形係数を算出する関係式は示されていない。膨潤圧に比べ、乾燥密度との相関が小さく、30 MN/m²～90 MN/m² 程度の範囲でばらついている。本検討では、低透水層の地盤反力係数を算定する際に変形係数を使用するが、標準値としては、30 MN/m²～90 MN/m² 程度のばらつきの中での平均的な値として 60 MN/m² を、地盤反力係数が小さく算定される保守的な値として 30 MN/m² を使用することとした。

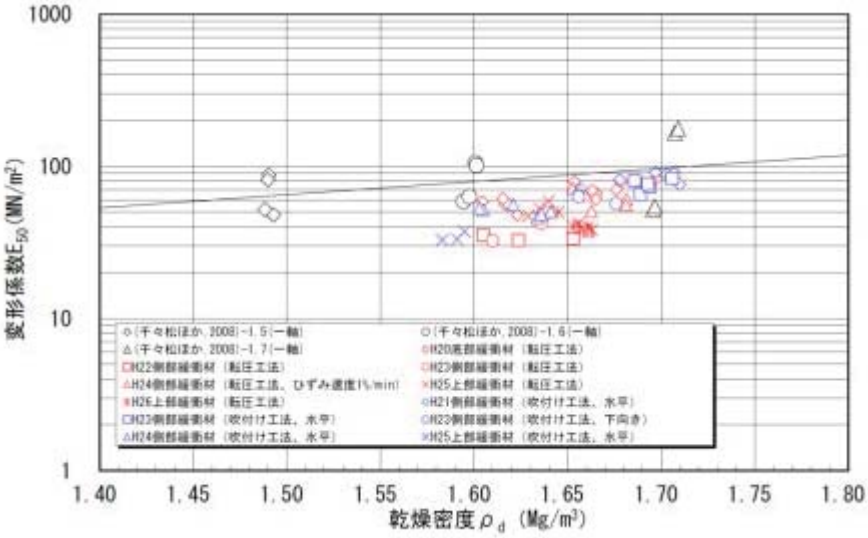


図 3.1-81　低透水層の変形係数と乾燥密度の関係[5]

c．セメント系材料の弾性係数

低拡散層の弾性係数は、圧縮強度との関係式が平成 19 年度から平成 24 年度の取りまとめ報告書[33]に記載されている。この算定式を用いて、圧縮強度が設計基準強度である 60 N/mm² に対応する弾性係数を算定すると以下のようになる。

E ＝ 28.4 kN/m²

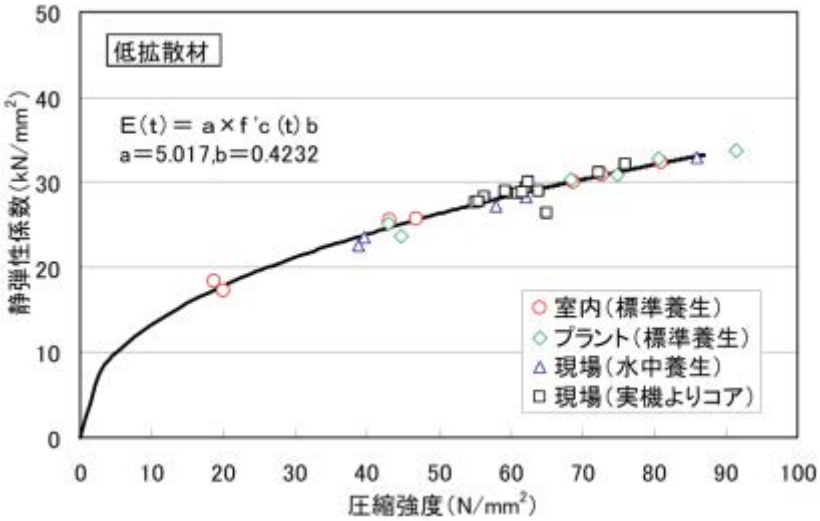


図 3.1-82　低拡散層の圧縮強度と弾性係数の関係[33]

コンクリートピットの弾性係数は、圧縮強度との関係式が平成 19 年度から平成 24 年度の取りまとめ報告書[33]に記載されている。この算定式を用いて、圧縮強度が設計基準強度である 60 N/mm² に対応する弾性係数を算定すると以下のようになる。

E ＝ 36.9 kN/m²

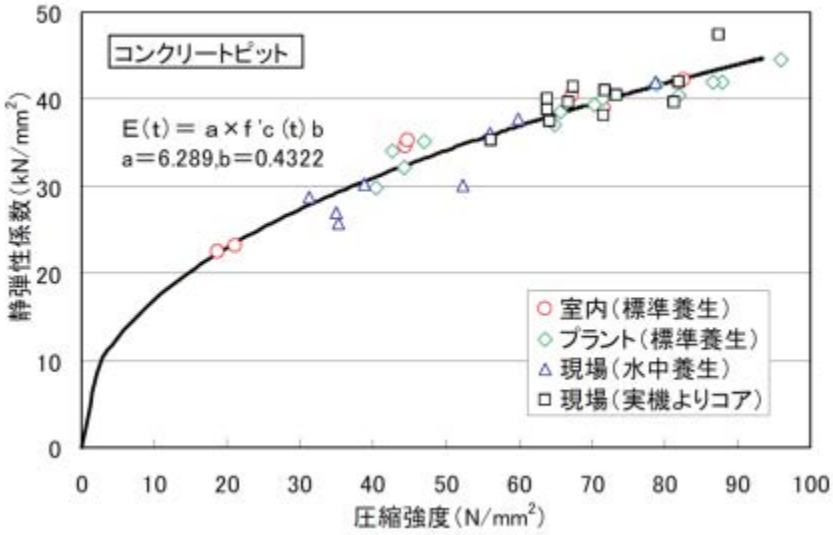


図 3.1-83　コンクリートピットの圧縮強度と弾性係数の関係[33]

廃棄体間充てん材の弾性係数は、圧縮強度との関係式が平成 19 年度から平成 24 年度の取りまとめ報告書[33]に記載されている。この算定式を用いて、圧縮強度が配合設計時の目標強度の目安である 30 N/mm² に対応する弾性係数を算定すると以下のようになる。

E ＝ 18.4 kN/m²

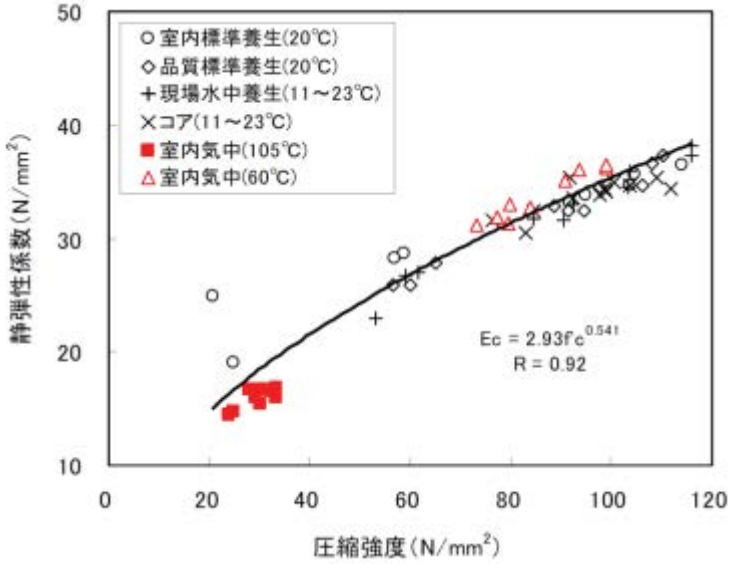


図 3.1-84　廃棄体間充てん材の圧縮強度と弾性係数の関係[33]

e．低拡散層の引張強度

ひび割れ発生の可能性評価に用いる低拡散層の引張強度は、圧縮強度との関係式が平成19年度から平成24年度の取りまとめ報告書[33]に記載されている。この算定式を用いて、圧縮強度が設計基準強度である 60 N/mm² に対応する引張強度を算定すると以下のようになる。

f_{tk} ＝ 4.44 N/mm²

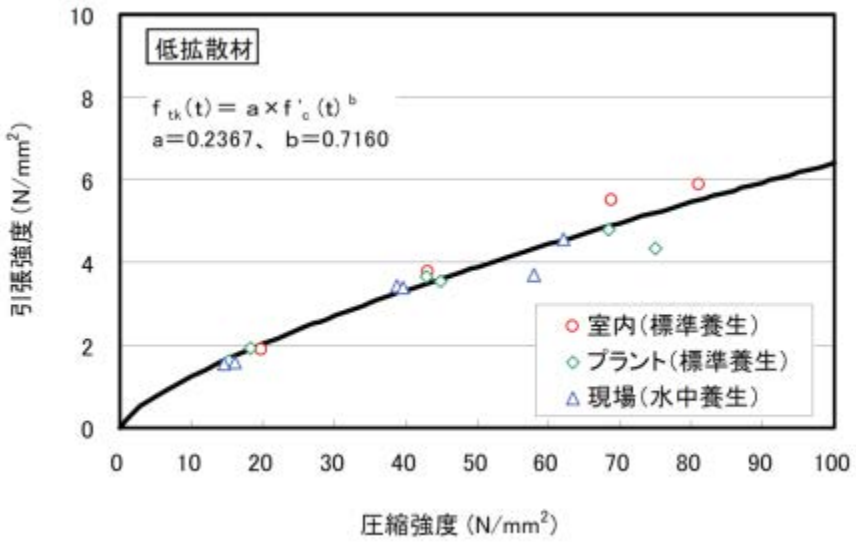


図 3.1-85　低拡散層の圧縮強度と引張強度の関係[33]

4）セメント系人工バリア部材の断面力と変形の算定方法

本検討では、平面骨組計算システム「FREMING」（FUJITSU 建設ソリューション製）を用いて梁モデルに発生する断面力と変形を算出する。

5）低拡散層のひび割れ発生可能性の評価方法

二次元骨組み解析により算定した曲げモーメント M から、低拡散層最外縁での引張応力度 σ_t を次式により算定し、引張強度 σ_{ta} と比較することによりひび割れ発生の可能性を評価する。なお、この場合は、施工目地の目開きは発生しないとしてひび割れ発生の可能性を評価する。

$$\sigma_t = M / Z \tag{3.1-41}$$

ここに、

M　：　発生曲げモーメント（kN・m）

Z　：　セメント系人工バリア部材の断面係数（m³）

7）低拡散層の施工目地の目開きの算定方法

膨潤圧により部材に曲げモーメントが発生し、引張側の低拡散層施工目地が目開きすることが想定される。二次元骨組み解析では、梁モデル上の任意の位置における回転角 ϕ が算定可能であるため、回転角 ϕ を用いて変形後の低拡散層最外縁寸法 L を算定する。L と変形前の寸法 L_0 の差を施工目地の目開きとして評価する。なお、この場合は、ひび割れは発生しないとして施工目地の目開きを評価する。

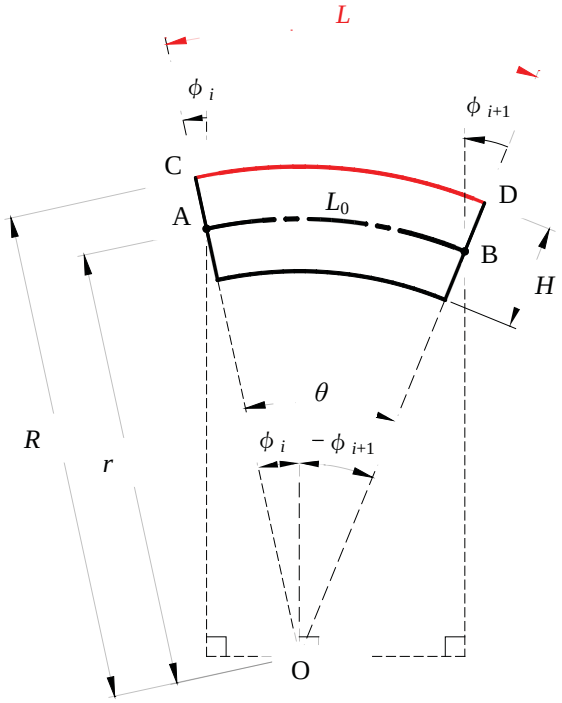


図 3.1-86　低拡散層の施工目地の目開き算定の概念図

低拡散層の施工目地の目開き量算定方法の概念図を図 3.1-86 に示す。

各節点 i における回転角 ϕ_i（ϕ_i は反時計回りが正）が二次元骨組み解析から算出される。変形後の梁モデル（弧 AB）がなす扇形の頂点を O とすると、次式が成立する。

$$\theta = \angle \mathrm{AOB} = \phi_i - \phi_{i+1} \tag{3.1-42}$$

変形前後で梁モデルの長さ L_0 に変化が無いと仮定すると、扇形 OAB の半径 r と L_0 の関係は次式のようになる。

$$2\pi r \times \theta / 2\pi = L_0$$

$$\Leftrightarrow r = L_0 / \theta \tag{3.1-43}$$

図 3.1-86 に赤線で示した変形後における低拡散層の最外縁（弧 CD）がなす扇形 OCD の半径 R と部材高さ H の関係は次式のようになる。

$$R = r + H/2$$

$$= L_0/\theta + H/2 \tag{3.1-44}$$

したがって、変形後における低拡散層の最外縁部材長 L は次式により算定される。

$$L = 2\pi R \times \theta / 2\pi$$

$$= R \times \theta$$

$$= (L_0 / \theta + H / 2) \times (\phi_i - \phi_{i+1}) \quad (3.1\text{-}45)$$

以上より、低拡散層の施工目地の目開き量 ΔL は、次式により算定される。

$$\Delta L = L - L_0 \quad (3.1\text{-}46)$$

(2) 検討ケース

検討ケースを表 3.1-20 に示す。本検討におけるパラメータは以下の 5 項目である。

- 偏膨潤する部位（処分坑道の横断面内における膨潤部位）
- 偏膨潤する位置（処分坑道の軸方向における位置）
- 膨潤範囲（処分坑道の軸方向における範囲）
- 膨潤圧
- 低透水層の変形係数

偏膨潤する部位は、3.1.3 項および後述の 3.3 節の検討結果を反映して、底部低透水層および側部低透水層とした。

偏膨潤する位置は、梁部材の変形、梁部材に発生する断面力を網羅的に検討するため、処分坑道中心部と処分坑道端部とした。

膨潤範囲は、セメント系人工バリア部材の幅と同等程度の 10m を最小として、セメント系人工バリア部材総延長 120m の 1/4、1/2、3/4 に相当する 30m、60m、90m を設定した。

膨潤圧を算出するパラメータとなる低透水層の乾燥密度は、施工管理値の中心値である 1.6Mg/m^3 と上限値である 1.7Mg/m^3 とし、乾燥密度から算出される膨潤圧はそれぞれ 0.63 および 1.19MPa である。

偏膨潤圧に抵抗する地盤バネの地盤反力係数を算定するパラメータとなる低透水層の変形係数は、平均的な 60MN/m^2 と地盤反力係数が小さく算定される保守的な値として 30MN/m^2 を設定した。

表 3.1-20　検討ケース一覧

<table>
<tr><th rowspan="2">case</th><th colspan="5">膨潤圧</th><th rowspan="2">地盤バネ算定用
変形係数
(kN/m²)</th></tr>
<tr><th>膨潤部位</th><th>膨潤位置</th><th>膨潤範囲
(m)</th><th>乾燥密度
(Mg/m³)</th><th>膨潤圧
(MPa)</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="16">底部
低透水層</td><td rowspan="8">処分坑道
中心</td><td>10</td><td rowspan="4">1.60</td><td rowspan="4">0.63</td><td rowspan="4">60,000</td></tr>
<tr><td>2</td><td>30</td></tr>
<tr><td>3</td><td>60</td></tr>
<tr><td>4</td><td>90</td></tr>
<tr><td>5</td><td>10</td><td rowspan="4">1.70</td><td rowspan="4">1.19</td><td rowspan="4">30,000</td></tr>
<tr><td>6</td><td>30</td></tr>
<tr><td>7</td><td>60</td></tr>
<tr><td>8</td><td>90</td></tr>
<tr><td>9</td><td rowspan="8">処分坑道
端部</td><td>10</td><td rowspan="4">1.60</td><td rowspan="4">0.63</td><td rowspan="4">60,000</td></tr>
<tr><td>10</td><td>30</td></tr>
<tr><td>11</td><td>60</td></tr>
<tr><td>12</td><td>90</td></tr>
<tr><td>13</td><td>10</td><td rowspan="4">1.70</td><td rowspan="4">1.19</td><td rowspan="4">30,000</td></tr>
<tr><td>14</td><td>30</td></tr>
<tr><td>15</td><td>60</td></tr>
<tr><td>16</td><td>90</td></tr>
<tr><td>17</td><td rowspan="16">側部
抵透水層
(左側)</td><td rowspan="8">処分坑道
中心</td><td>10</td><td rowspan="4">1.60</td><td rowspan="4">0.63</td><td rowspan="4">60,000</td></tr>
<tr><td>18</td><td>30</td></tr>
<tr><td>19</td><td>60</td></tr>
<tr><td>20</td><td>90</td></tr>
<tr><td>21</td><td>10</td><td rowspan="4">1.70</td><td rowspan="4">1.19</td><td rowspan="4">30,000</td></tr>
<tr><td>22</td><td>30</td></tr>
<tr><td>23</td><td>60</td></tr>
<tr><td>24</td><td>90</td></tr>
<tr><td>25</td><td rowspan="8">処分坑道
端部</td><td>10</td><td rowspan="4">1.60</td><td rowspan="4">0.63</td><td rowspan="4">60,000</td></tr>
<tr><td>26</td><td>30</td></tr>
<tr><td>27</td><td>60</td></tr>
<tr><td>28</td><td>90</td></tr>
<tr><td>29</td><td>10</td><td rowspan="4">1.70</td><td rowspan="4">1.19</td><td rowspan="4">30,000</td></tr>
<tr><td>30</td><td>30</td></tr>
<tr><td>31</td><td>60</td></tr>
<tr><td>32</td><td>90</td></tr>
</table>

各検討ケースの荷重図を図 3.1-87～図 3.1-90 に示す。なお、図 3.1-87～図 3.1-90 に示した荷重図は、底部低透水層の偏膨潤を模擬した case-1～case-16 においては処分坑道縦断図、側部低透水層の偏膨潤を模擬した case-17～case-32 においては処分坑道平面図に相当するものである。

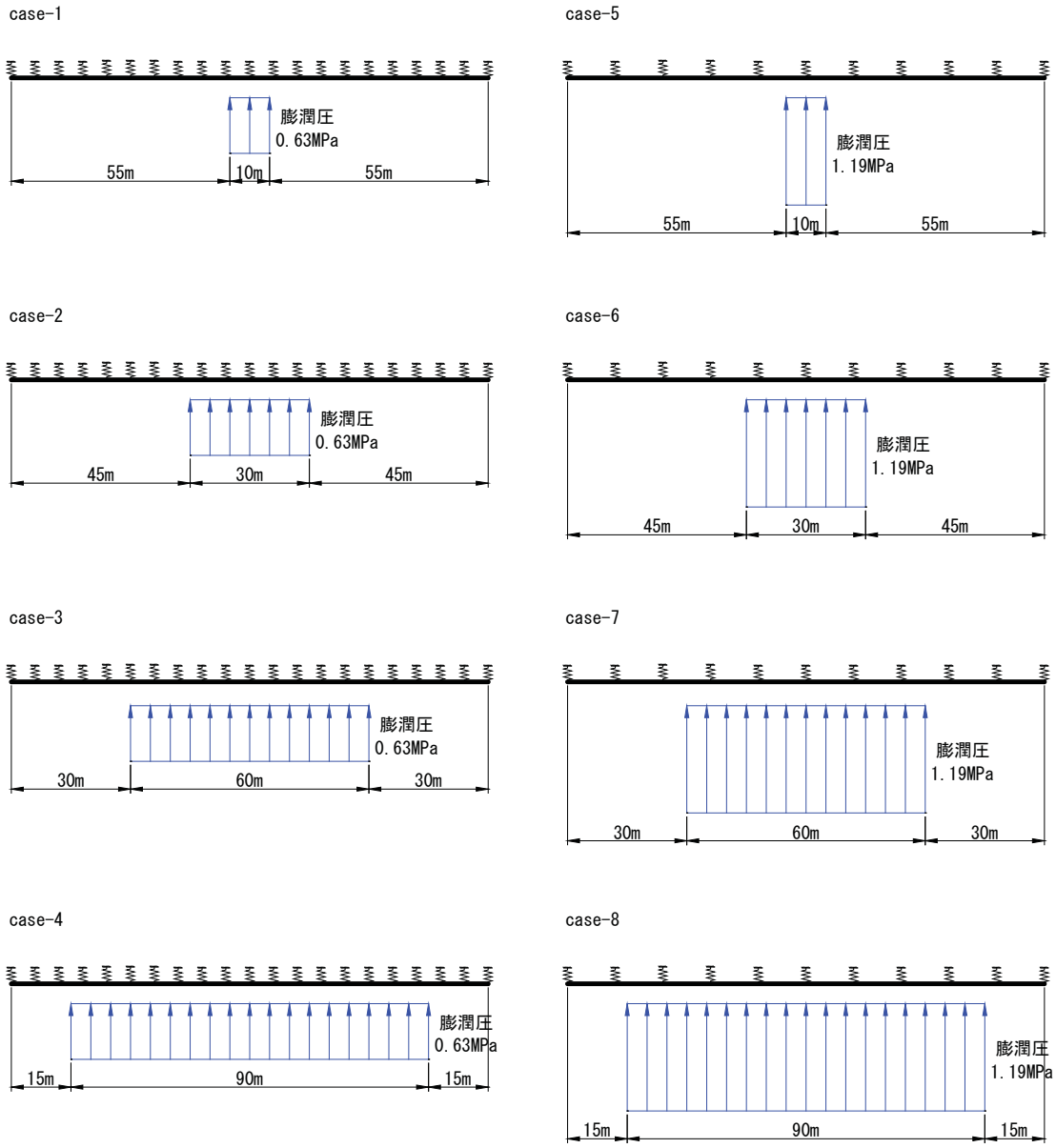
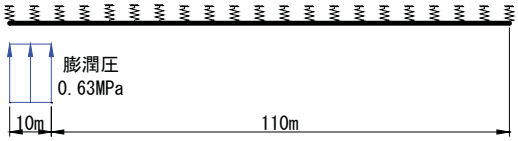
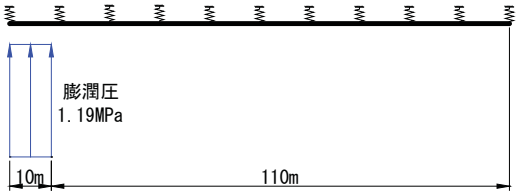


図 3.1-87　荷重図（case-1～case-8）

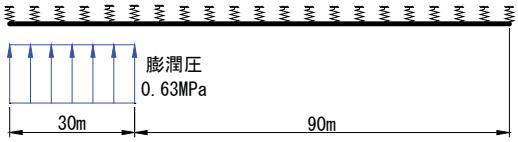
case-9



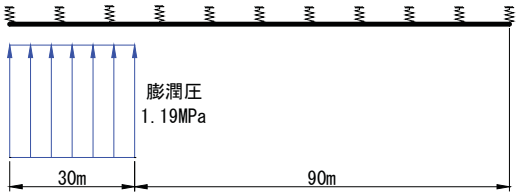
case-13



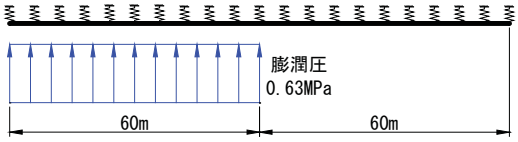
case-10



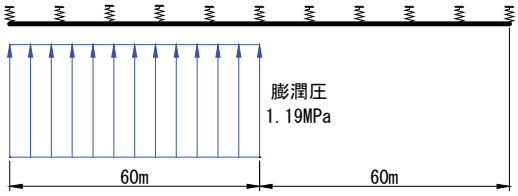
case-14



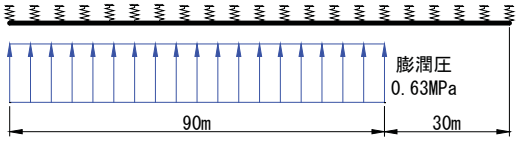
case-11



case-15



case-12



case-16

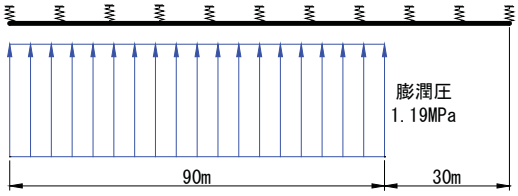
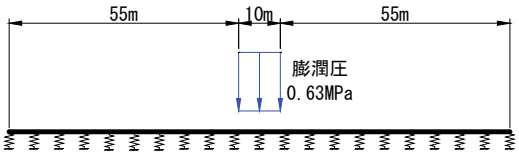
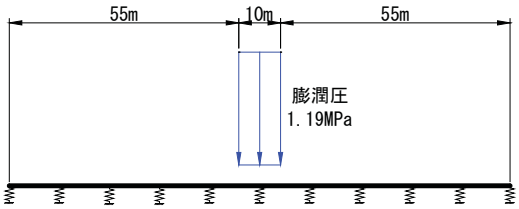


図 3.1-88　荷重図（case-9～case-16）

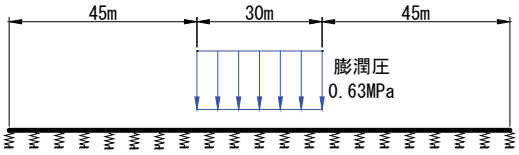
case-17



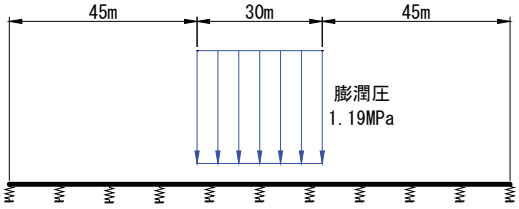
case-21



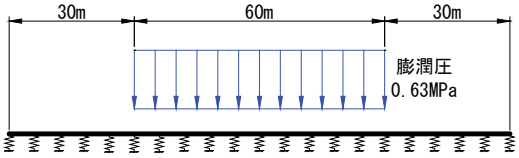
case-18



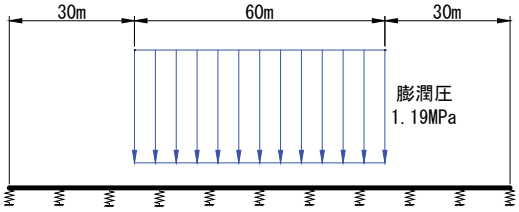
case-22



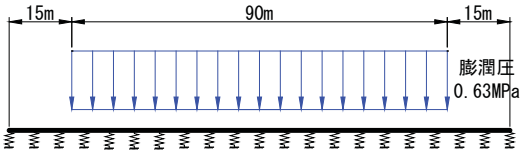
case-19



case-23



case-20



case-24

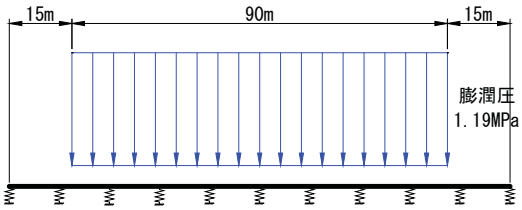


図 3.1-89　荷重図（case-17～case-24）

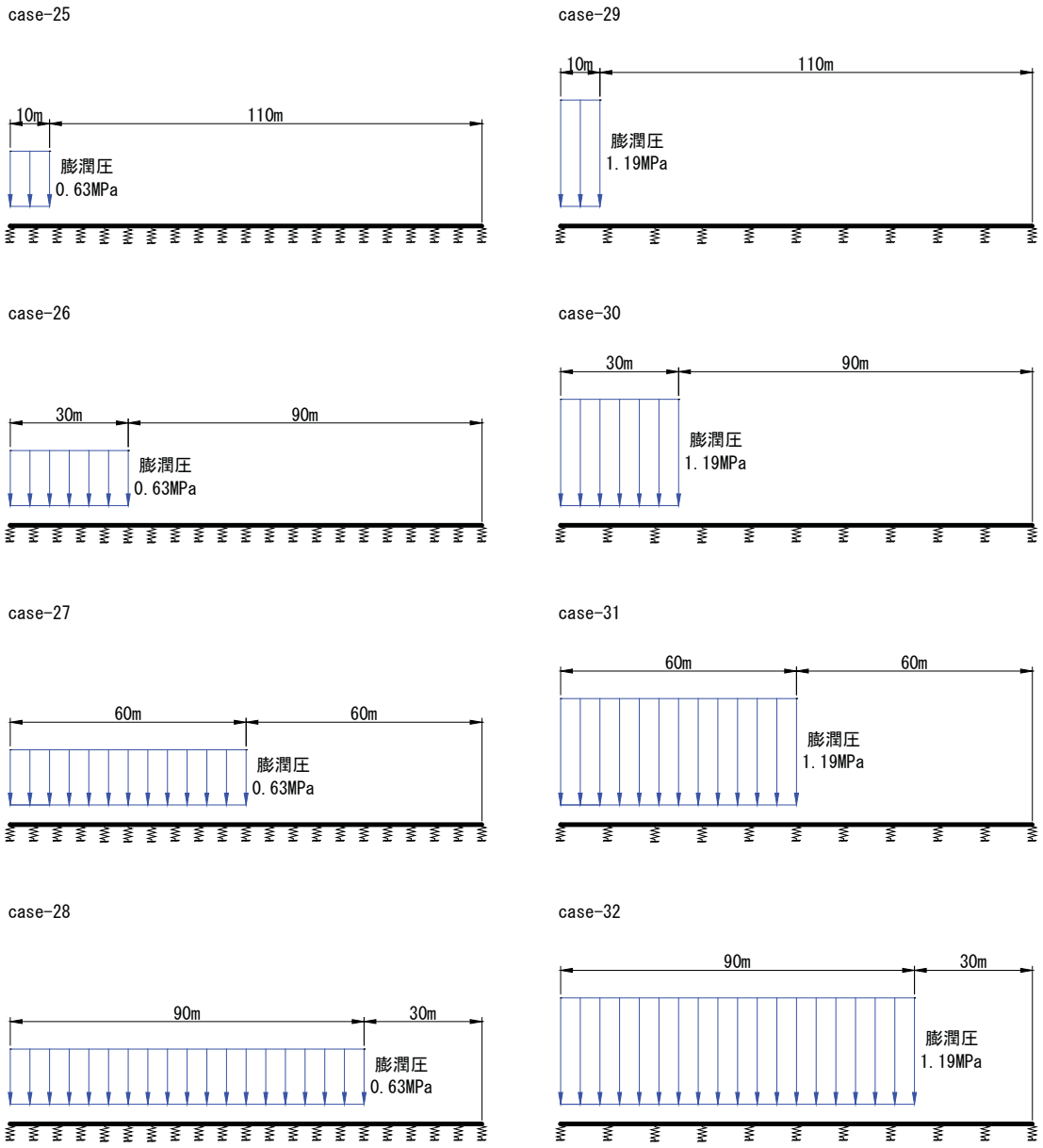


図 3.1-90　荷重図（case-25～case-32）

(3) 検討結果

各ケースの最大モーメント、低拡散層最外縁で発生する最大引張応力度、施工目地の目開き量をまとめて表 3.1-21 に示す。なお、施工目地の目開き量は、低透水層が偏膨潤した面（底面/左面）が引張側となる場合、逆に偏膨潤した面と逆の面（上面/右面）が引張側となる場合が存在するため、上面/右面、底面/左面それぞれの合計目開き量、および 15m 間隔で設置される各施工目地の最大値を示している。

表 3.1-21　検討結果一覧

case	最大モーメント（kN・m）	最大引張応力度（N/mm²）	目地の目開き（合計）		目地の目開き（最大）	
			上面・右面（mm）	底面・左面（mm）	上面・右面（mm）	底面・左面（mm）
1	258,686	1.72	0.95	0.70	0.47	0.15
2	412,564	2.74	2.26	1.39	1.13	0.42
3	256,138	1.70	3.09	0.68	0.89	0.21
4	253,149	1.68	3.69	0.00	0.79	0.00
5	613,858	4.08	2.55	1.03	1.27	0.31
6	1,102,657	7.33	6.58	1.87	3.15	0.74
7	877,787	5.84	10.31	0.51	3.01	0.20
8	674,753	4.49	11.85	0.00	2.08	0.00
9	243,406	1.62	0.06	1.76	0.03	0.81
10	218,250	1.45	0.34	1.55	0.20	0.62
11	206,597	1.37	1.43	1.43	0.61	0.61
12	218,250	1.45	1.55	0.34	0.62	0.20
13	607,044	4.04	0.09	5.21	0.05	2.03
14	618,919	4.11	0.32	5.22	0.20	1.92
15	527,389	3.51	3.91	3.91	1.68	1.68
16	618,919	4.11	5.22	0.32	1.92	0.20
17	238,554	1.21	0.76	0.36	0.38	0.10
18	420,248	2.14	1.89	0.61	0.94	0.24
19	320,932	1.63	2.98	0.22	0.87	0.07
20	256,749	1.31	3.45	0.00	0.62	0.00
21	572,827	2.91	2.20	0.36	1.03	0.14
22	1,121,568	5.71	6.26	0.78	2.60	0.29
23	1,059,546	5.39	10.29	0.14	2.83	0.07
24	707,037	3.60	10.82	0.00	1.66	0.00
25	234,359	1.19	0.04	1.54	0.02	0.62
26	233,249	1.19	0.12	1.50	0.07	0.56
27	203,441	1.04	1.18	1.18	0.51	0.51
28	233,249	1.19	1.50	0.12	0.56	0.07
29	575,253	2.93	0.01	4.51	0.00	1.49
30	663,782	3.38	0.09	5.16	0.09	1.70
31	489,474	2.49	2.94	2.94	1.26	1.26
32	663,782	3.38	5.16	0.09	1.70	0.09

最大モーメントおよび最大引張応力と膨潤範囲の関係を図 3.1-91～図 3.1-94 に示す。なお、図 3.1-93、図 3.1-94 には、表 3.1-19 に示した低拡散層の引張強度に加え、2012 年制定 コンクリート標準示方書［設計編］[38]に示された 80N/mm² 程度までの圧縮強度を有する普通コンクリートに適用可能な引張強度算定式（以降、コン示式と称する）を用いて算出した引張強度を併記した。

底部低透水層の偏膨潤を模擬した case-1～case-16 と側部低透水層の偏膨潤を模擬した case-17～case-32 を比較すると、低拡散層に発生する最大モーメントは、同等程度から 20% 程度 case-17～case-32 の方が大きい。一方で、低拡散層最外縁に発生する最大引張応力度は、5～30% 程度 case-1～case-16 の方が大きい。これは、セメント系人工バリア部材の断面形状が長方形であり、梁モデルの曲げ剛性は case-17～case-32 の方が大きく、曲げモーメントから引張応力度を算出する際に用いる断面係数は case-1～case-16 の方が小さいためである。

図 3.1-93、図 3.1-94 に示したように、偏膨潤する低透水層の乾燥密度が管理値の中央値である 1.6Mg/m³、偏膨潤圧に抵抗する側の低透水層の地盤反力係数を算定する変形係数が試験値の平均的な値である 60MN/m² の場合は、低拡散層に発生する最大引張応力が 2.7N/mm² 程度以下であり、ひび割れ発生の可能性は低いと考えられる。一方、偏膨潤する低透水層の乾燥密度が管理値の上限値である 1.7Mg/m³、偏膨潤に抵抗する側の低透水層の地盤反力係数を算定する変形係数が試験値の最小値である 30MN/m²、偏膨潤位置が処分坑道中心の場合には、偏膨潤する範囲が 10m であってもコン示式で算出した引張強度を上回る場合があり、30m、60m の場合には、いずれも低拡散層の引張強度（4.44N/mm²）を超える引張応力度が発生することが確認された。

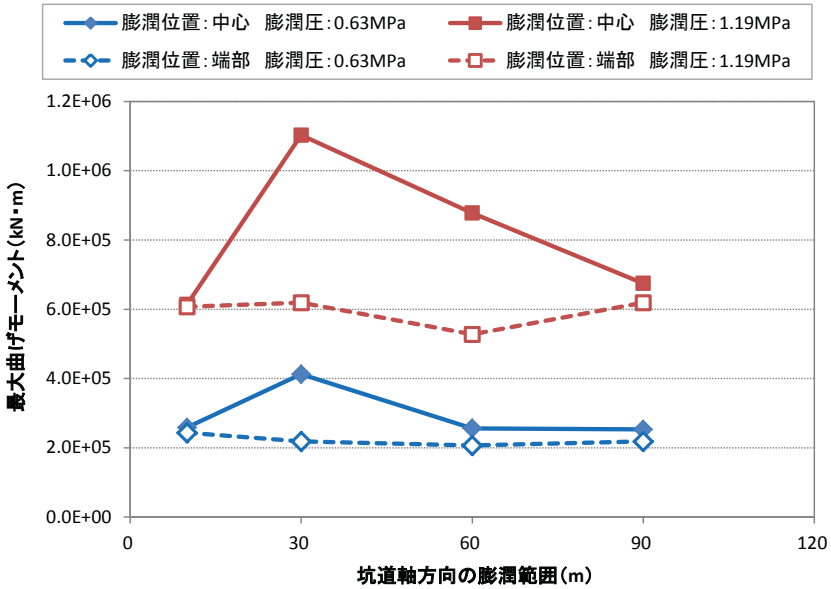


図 3.1-91　膨潤範囲と最大モーメントの関係（case-1～case-16：底部膨潤）

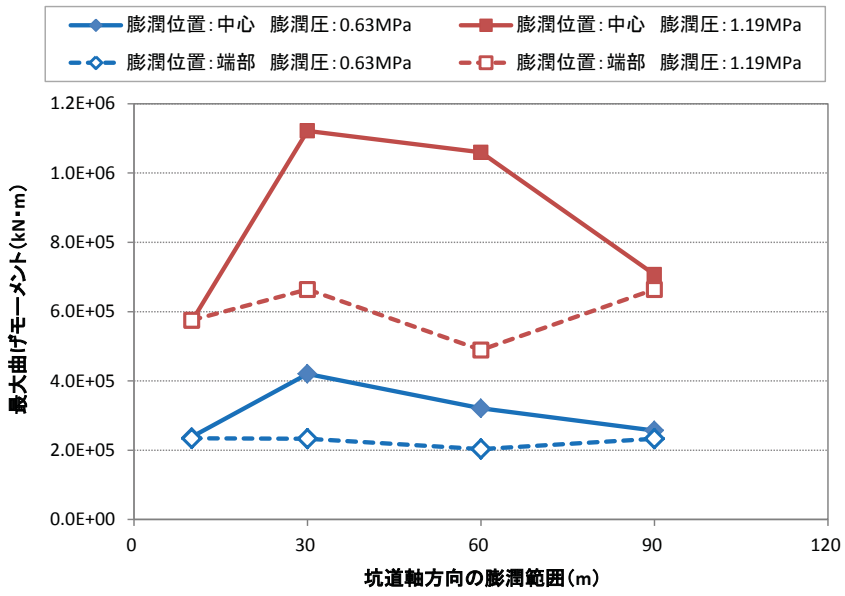


図 3.1-92　膨潤範囲と最大モーメントの関係（case-17～case-32：側部膨潤）

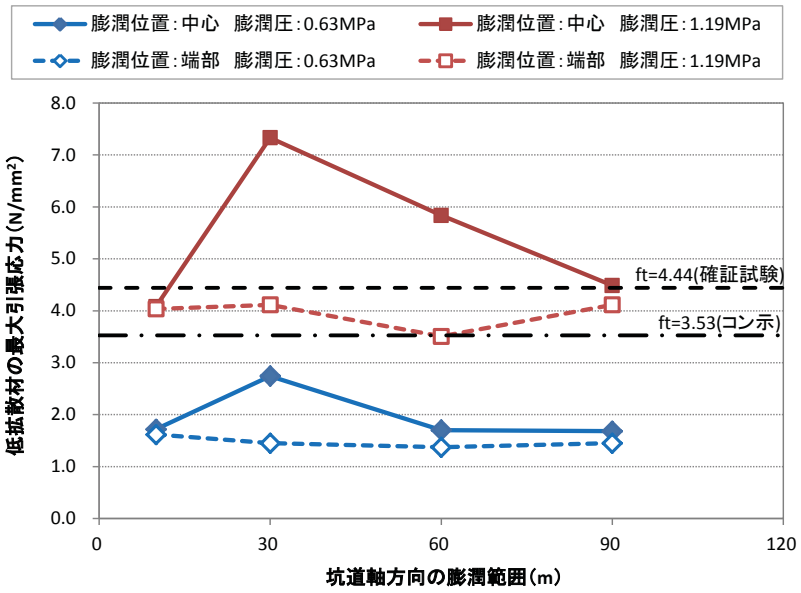


図 3.1-93　膨潤範囲と最大引張応力の関係（case-1～case-16：底部膨潤）

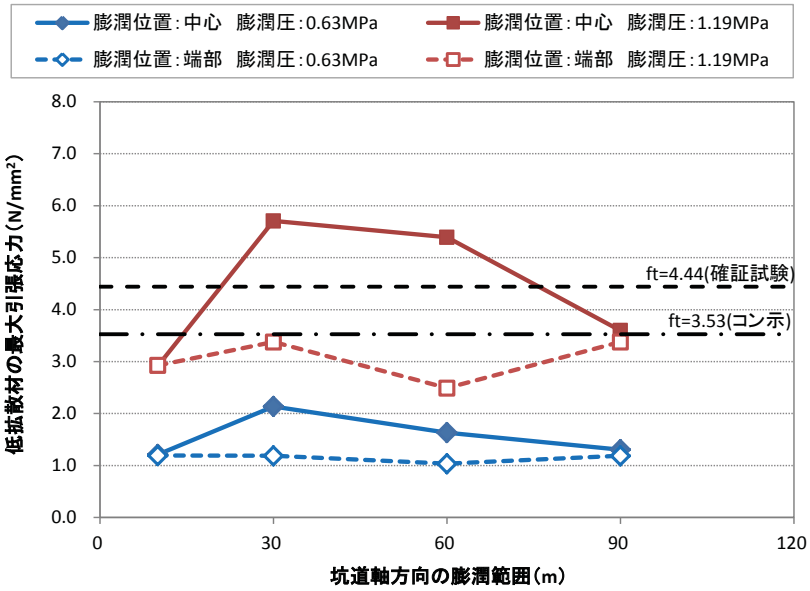


図 3.1-94　膨潤範囲と最大引張応力の関係（case-17～case-32：側部膨潤）

次に、低拡散層の施工目地目開き量と膨潤範囲の関係を図 3.1-95～図 3.1-98 に示す。図 3.1-95～図 3.1-98 には、15m 間隔で設置されると設定した施工目地の目開き量の合計（各図左）、および最も目開き量が大きくなる目地の目開き量（各図右）を示している。偏膨潤する低透水層の乾燥密度が管理値の上限値である 1.7Mg/m³、偏膨潤圧に抵抗する側の低透水層の地盤反力係数を算定する変形係数が試験値の最小値である 30MN/m²、偏膨潤位置が処分坑道中心の場合には、上面の目開き量が大きい傾向が見られ、膨潤範囲が 90m の場合には、目開き量が合計で 12mm 程度まで増大することが確認された。また、最も目開き量が大きくなる目地の目開き量は 3mm 程度であると推定される。

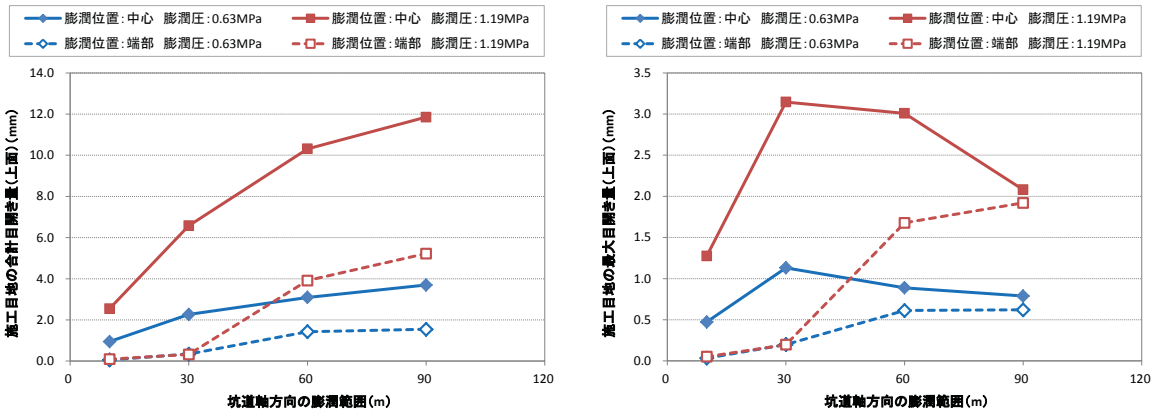


図 3.1-95　膨潤範囲と施工目地目開き量（上面）の関係（case-1～case-16：底部膨潤）

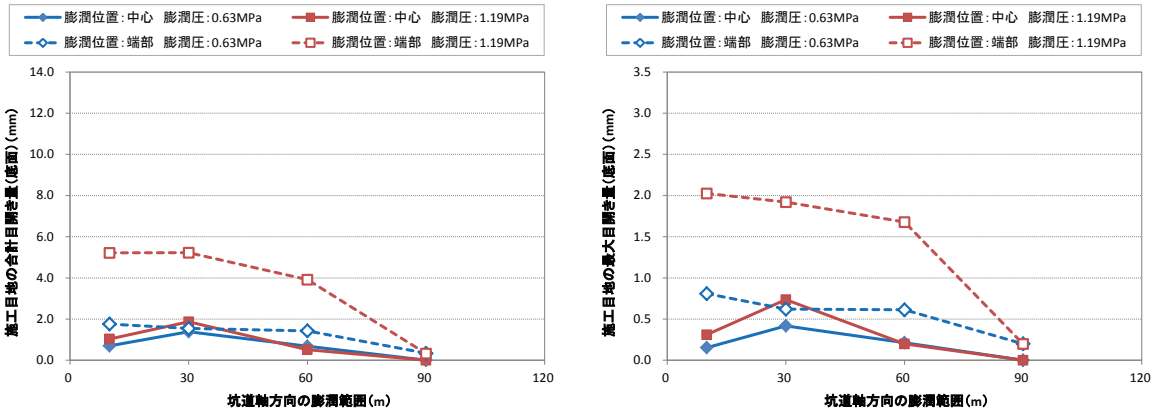


図 3.1-96　膨潤範囲と施工目地目開き量（底面）の関係（case-1～case-16：底部膨潤）

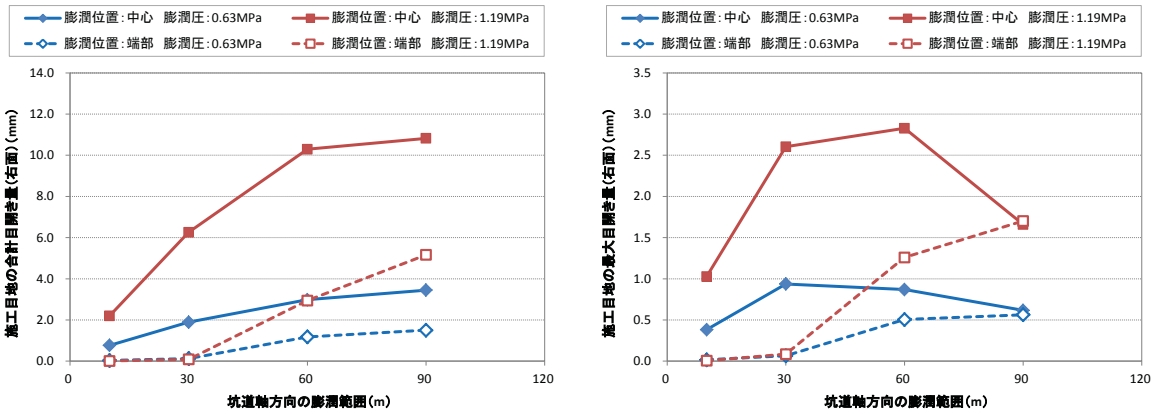


図 3.1-97　膨潤範囲と施工目地目開き量（右面）の関係（case-17～case-32：側部膨潤）

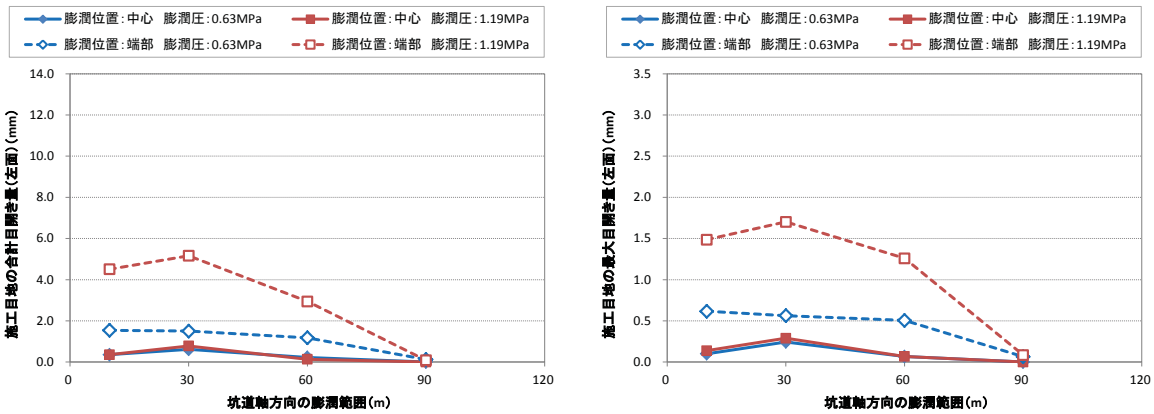


図 3.1-98　膨潤範囲と施工目地目開き量（左面）の関係（case-17～case-32：側部膨潤）

(4) 処分坑道縦断面方向の解析的検討のまとめ

二次元骨組み解析を用いて、低透水層が局所的に膨潤した場合に低拡散層に生じる引張応力、施工目地の目開き量を評価した。その結果、低透水層の膨潤により低拡散層には引張強度を超える引張応力が生じ、ひび割れが発生する可能性があること、施工目地の目開きが合計で 12mm 程度、目地一箇所当たりでは最大 3mm 程度生じる可能性があることが確認された。

二次元骨組み解析から得られた変形図、モーメント図、せん断力図を以降に示す。なお、処分坑道縦断方向の荷重は作用させていないため、軸力は生じないことから軸力図は省略する。

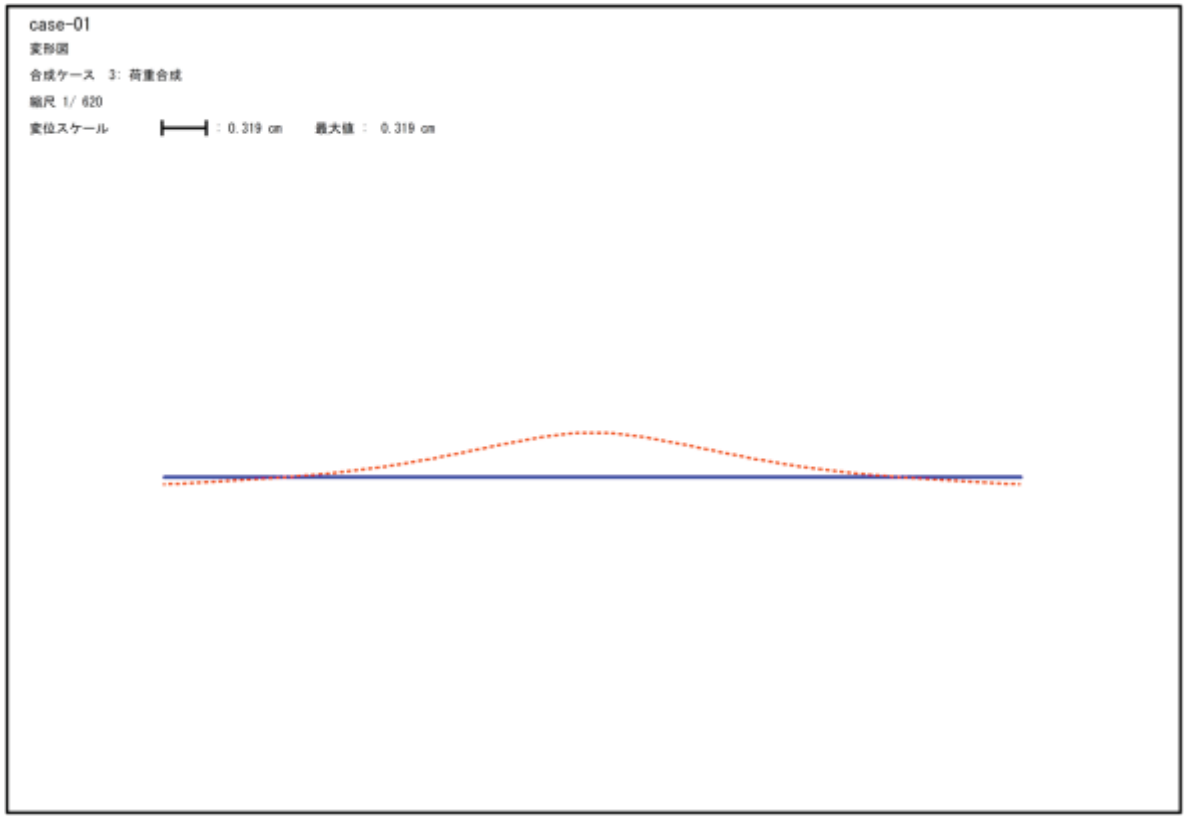


図 3.1-99 変形図（case-1）

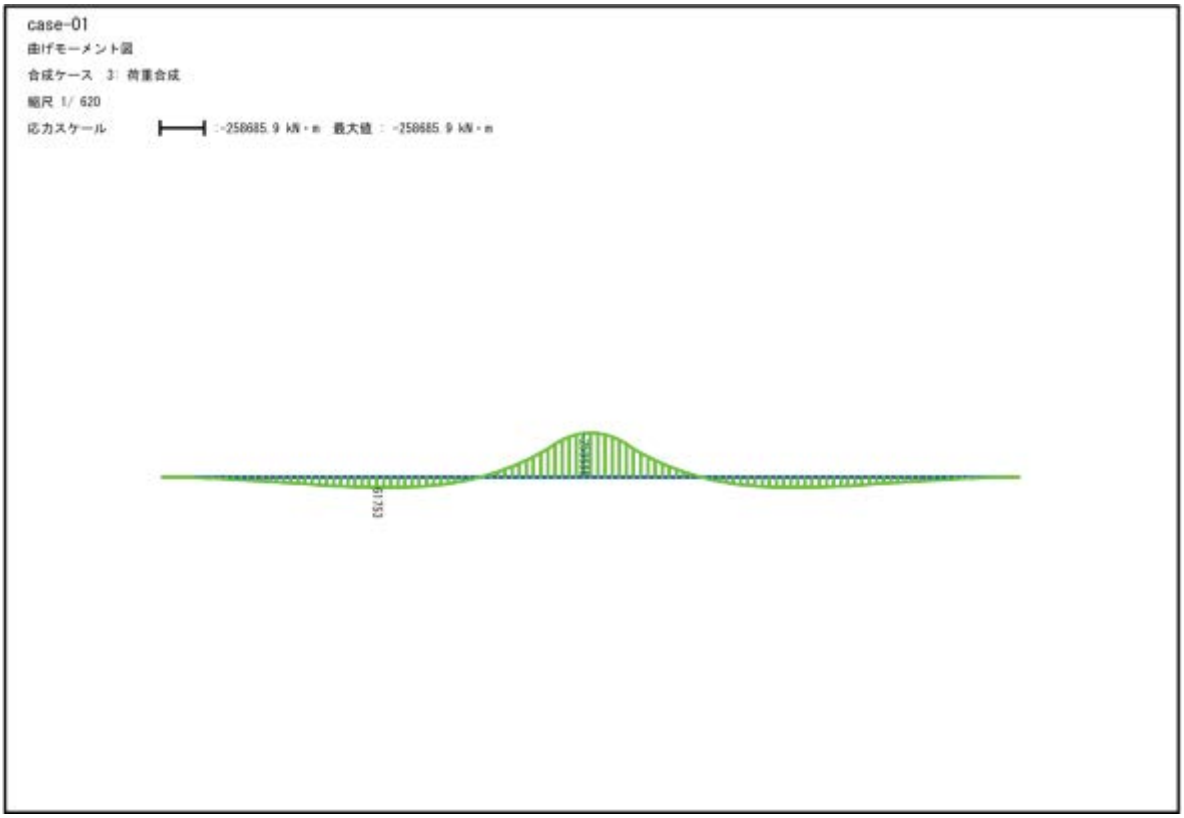


図 3.1-100　モーメント図（case-1）

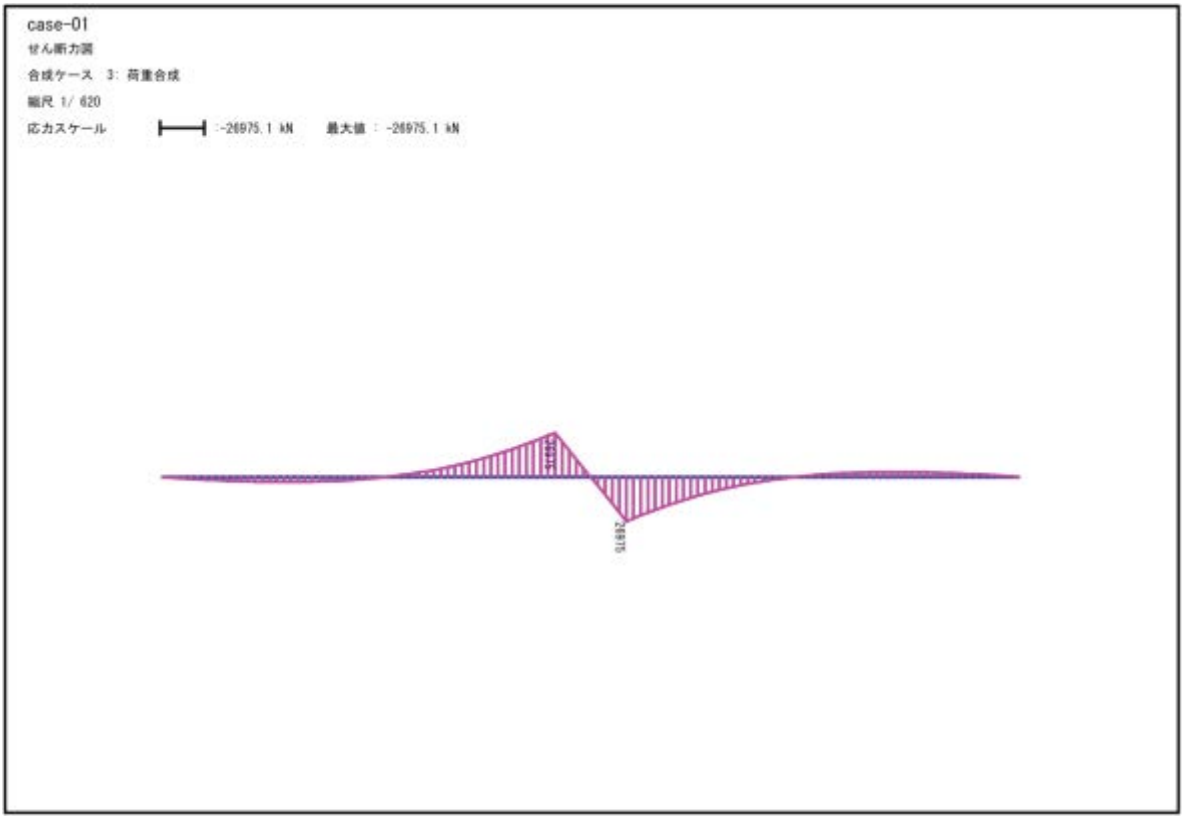


図 3.1-101　せん断力図（case-1）

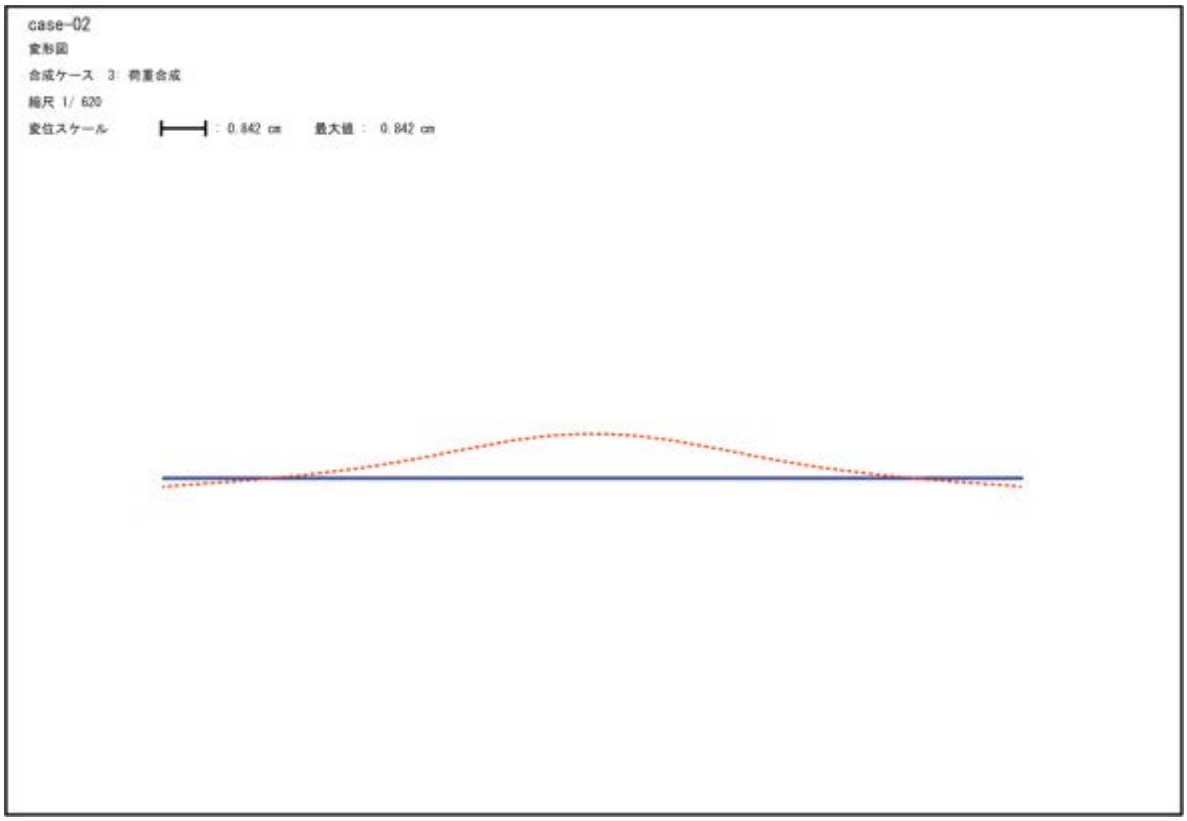


図 3.1-102　変形図（case-2）

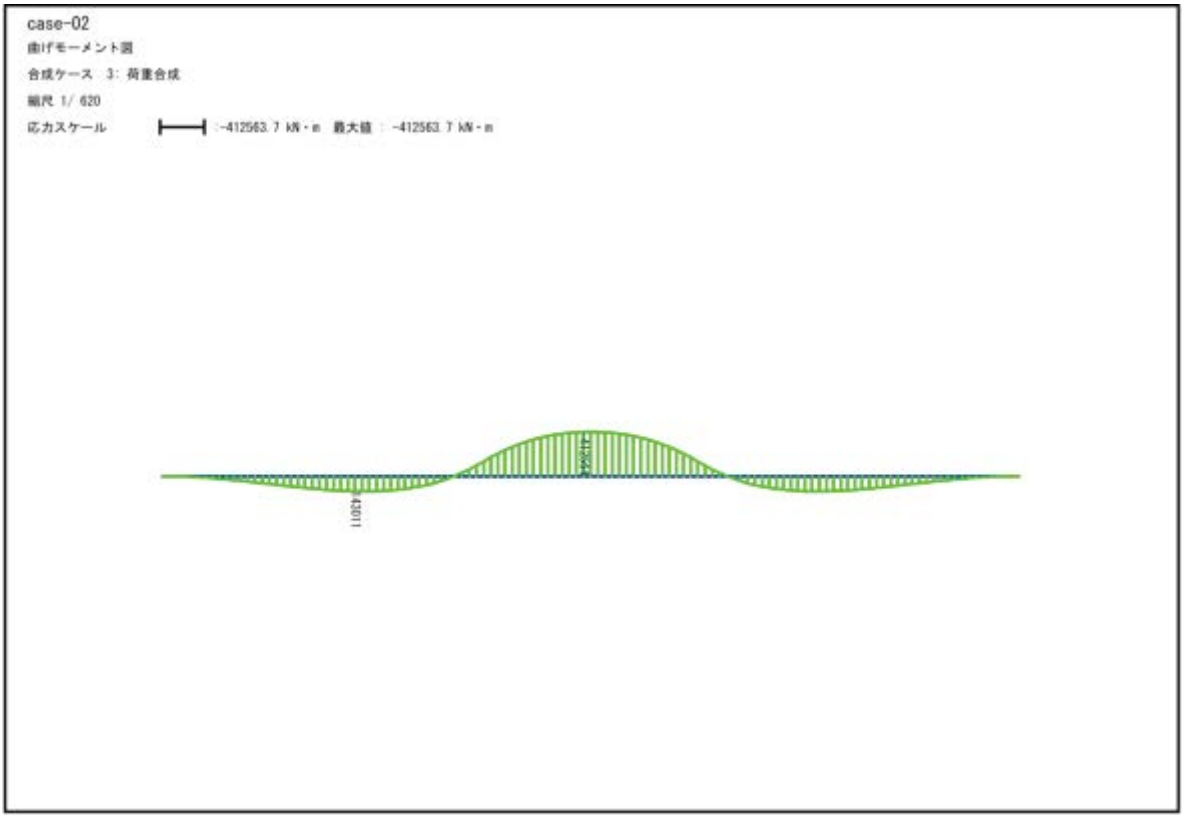


図 3.1-103　モーメント図（case-2）

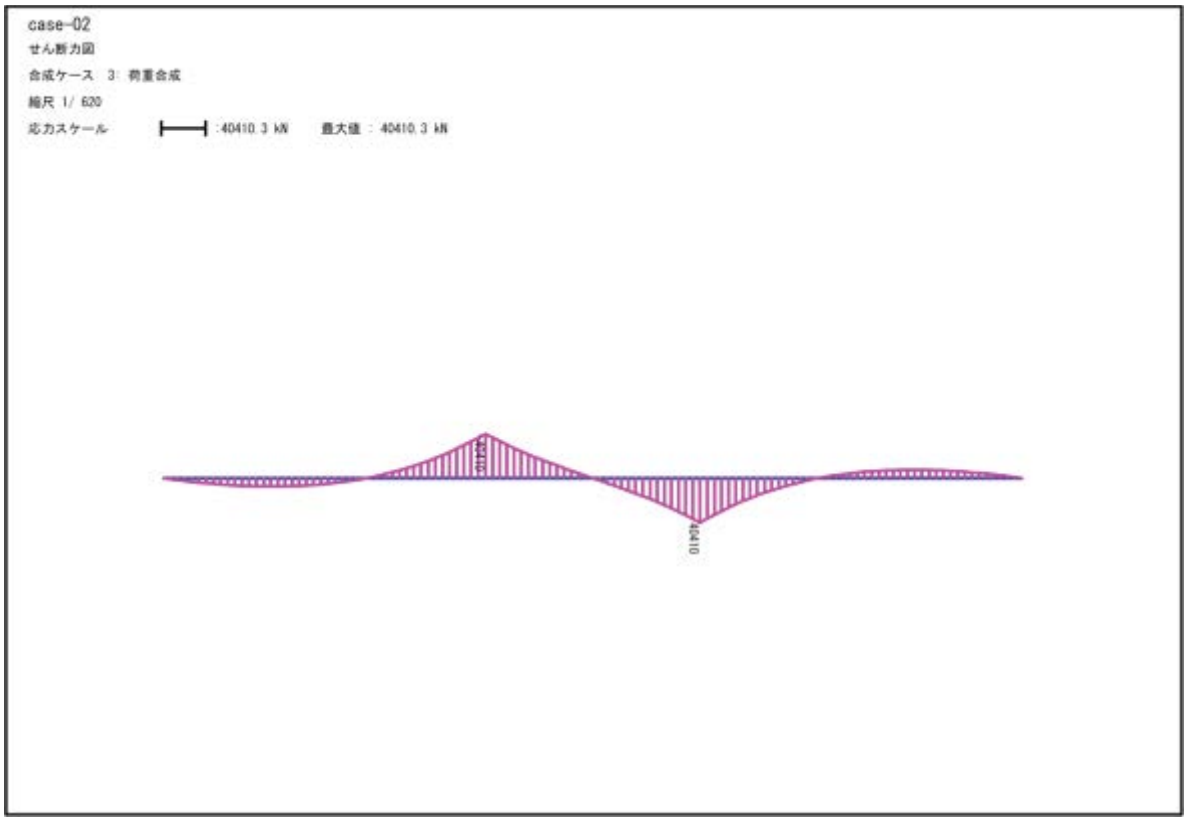


図 3.1-104　せん断力図（case-2）

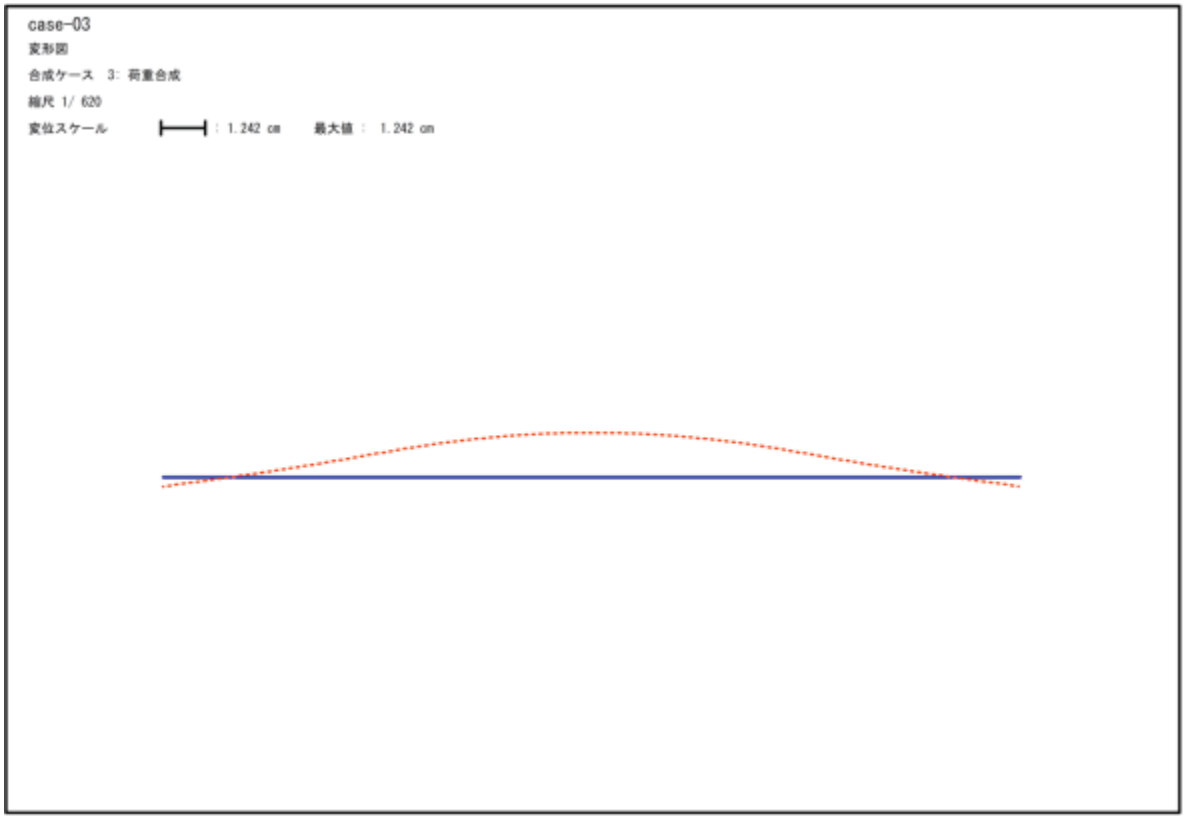


図 3.1-105　変形図（case-3）

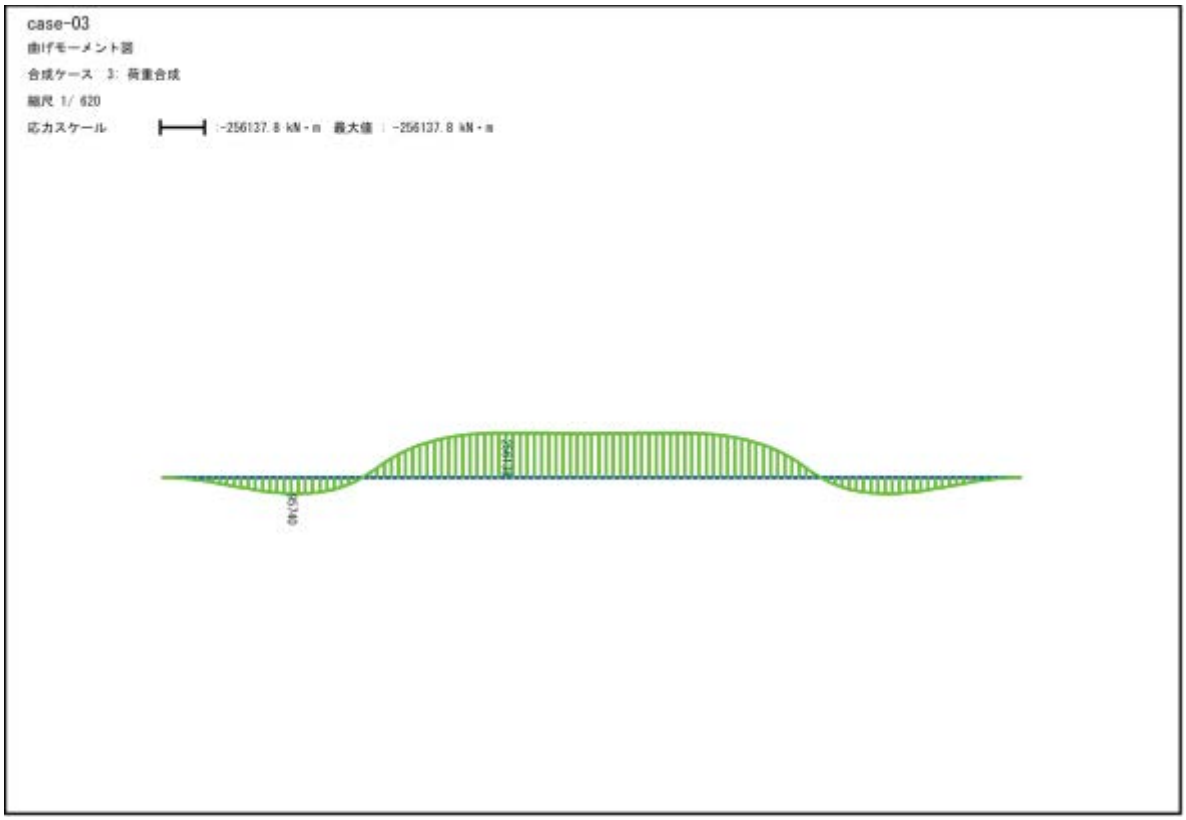


図 3.1-106　モーメント図（case-3）

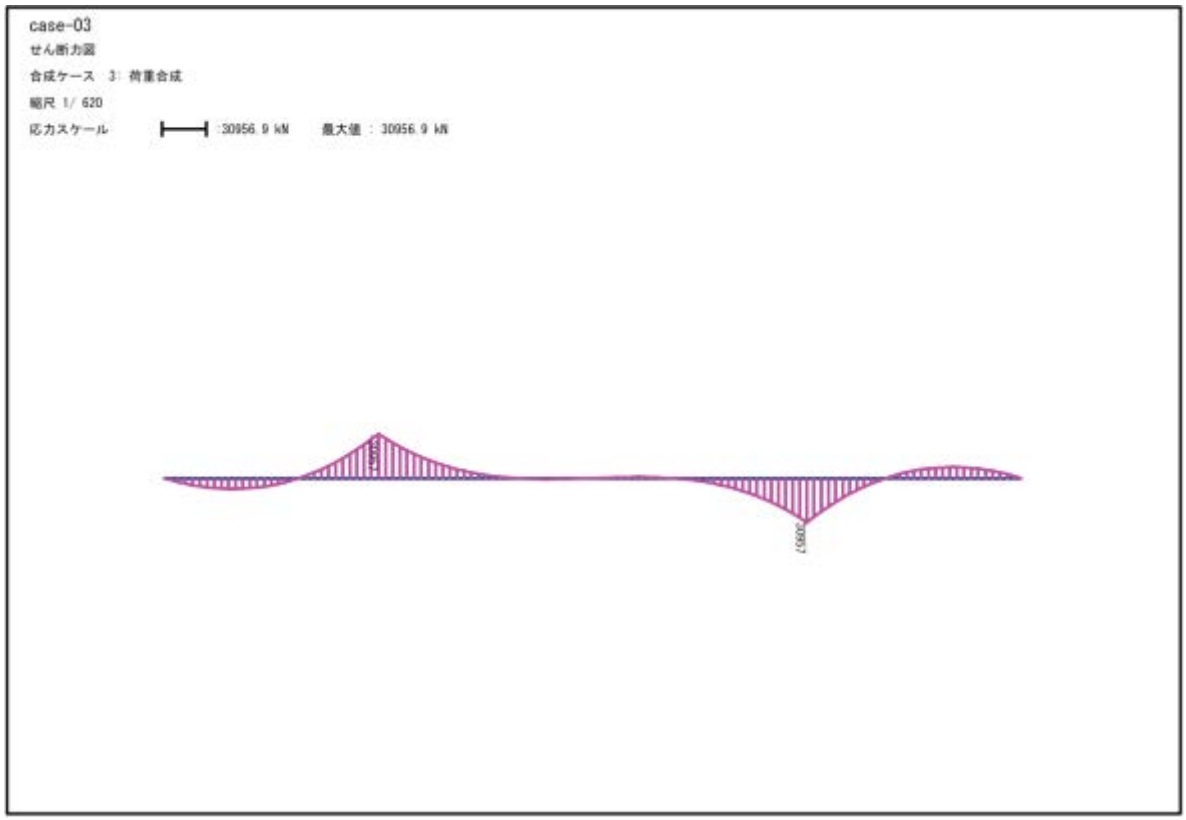


図 3.1-107　せん断力図（case-3）

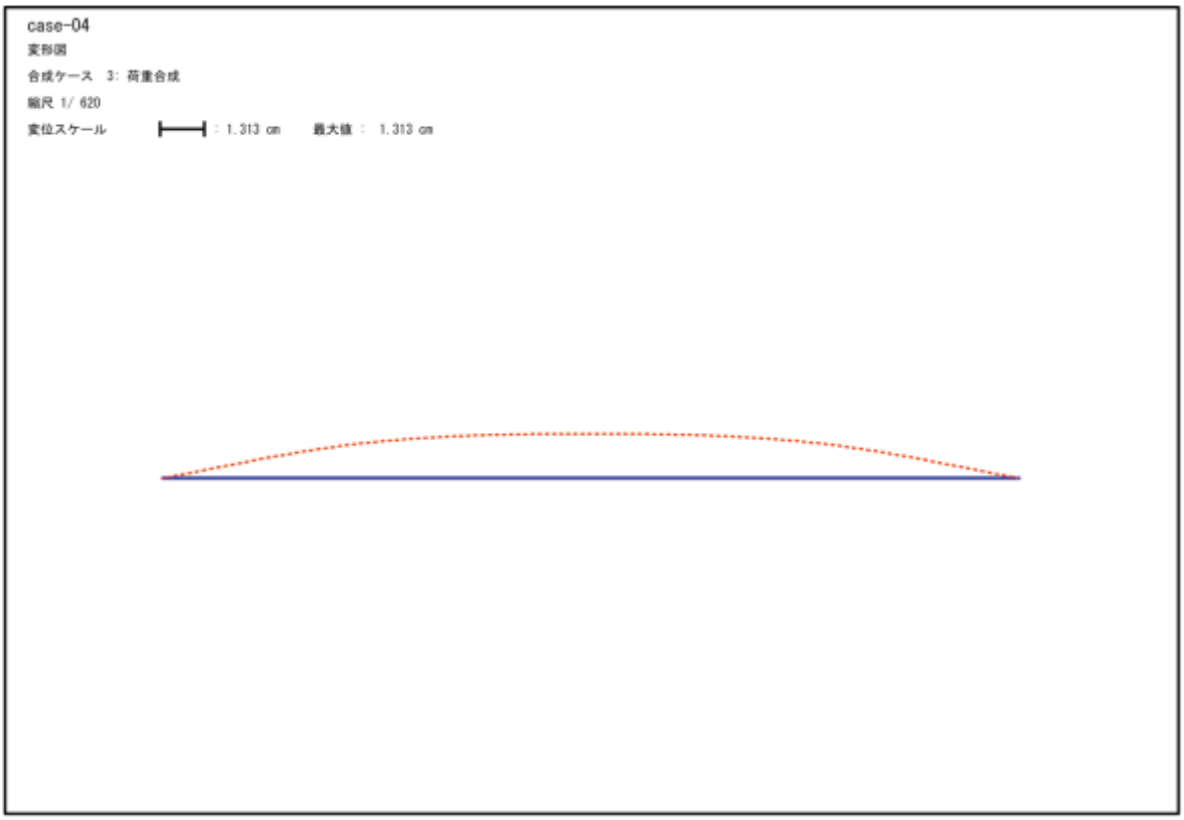


図 3.1-108　変形図（case-4）

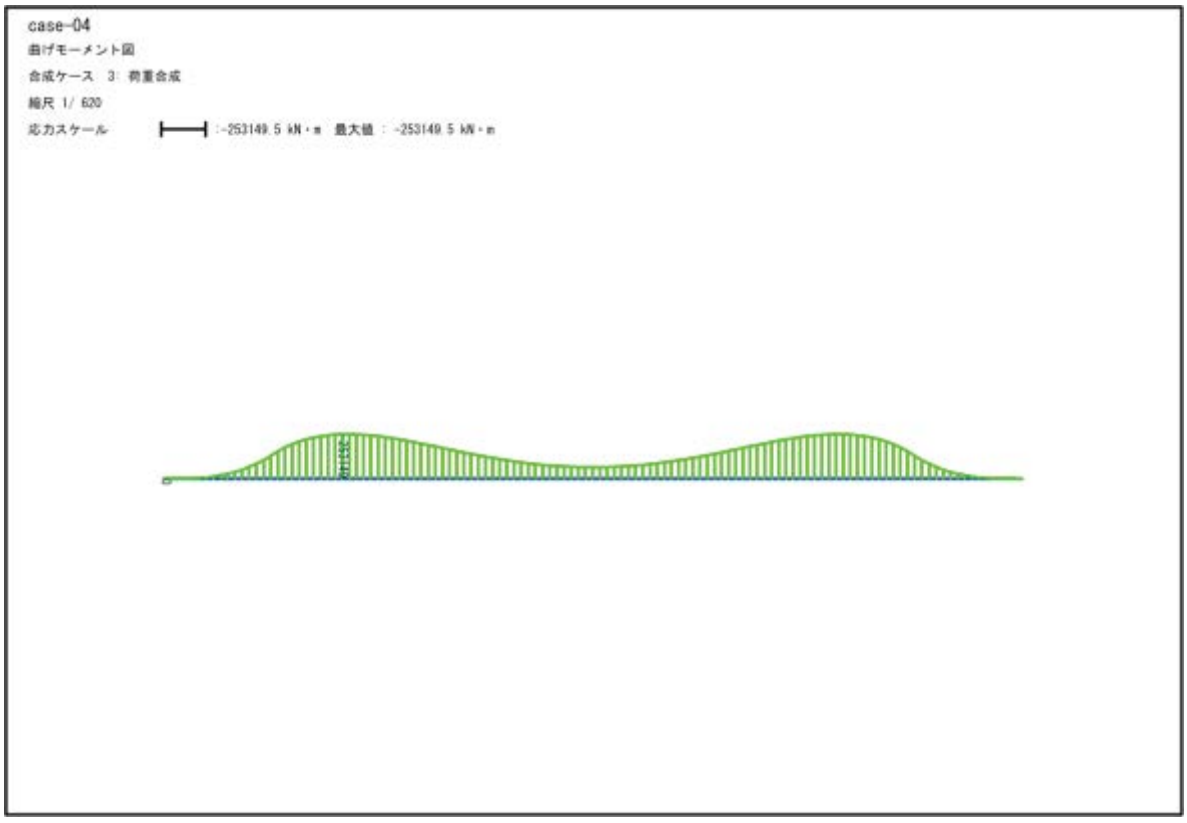


図 3.1-109　モーメント図（case-4）

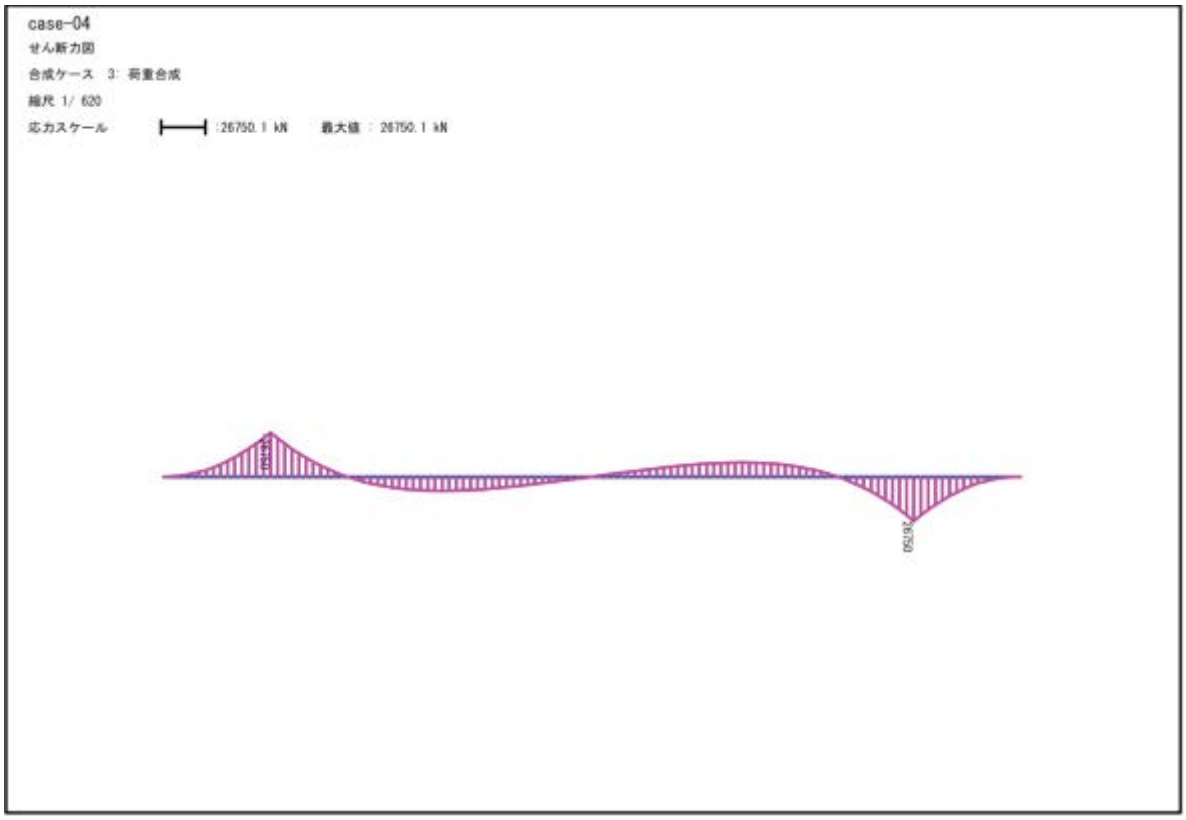


図 3.1-110　せん断力図（case-4）

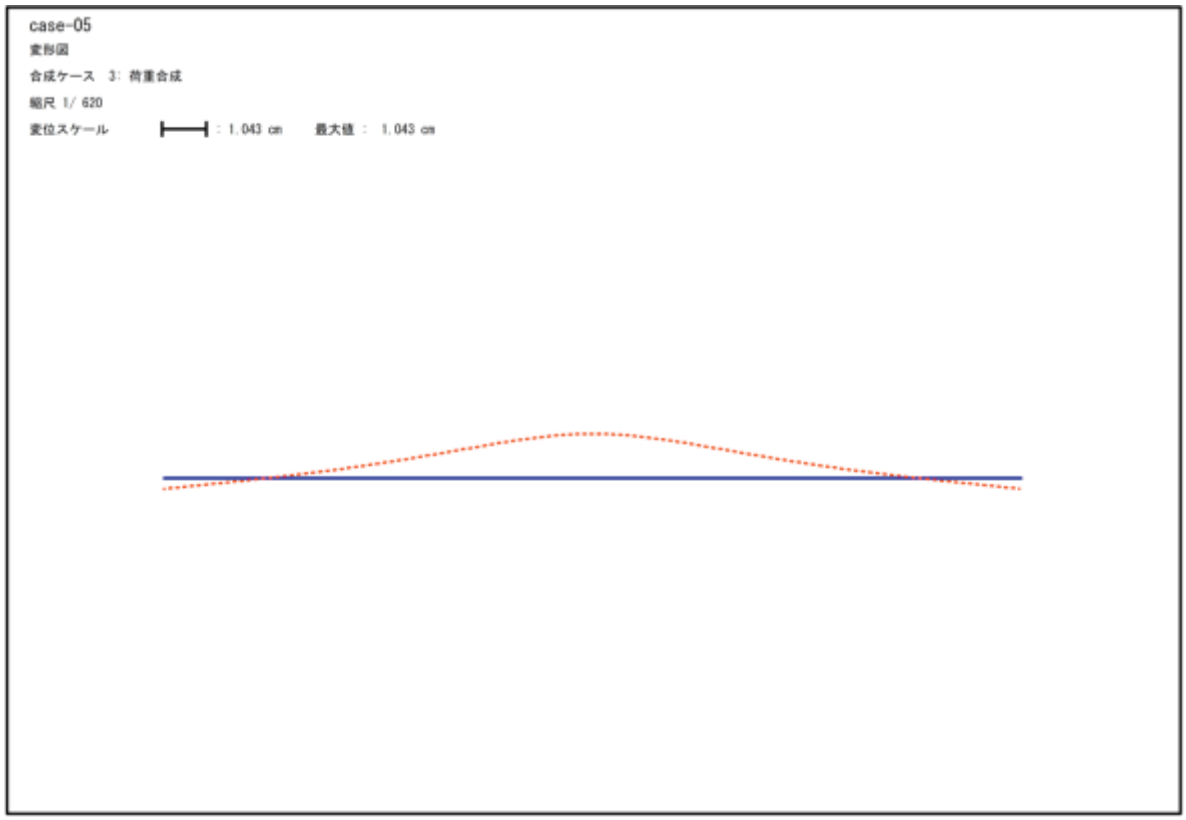


図 3.1-111　変形図（case-5）

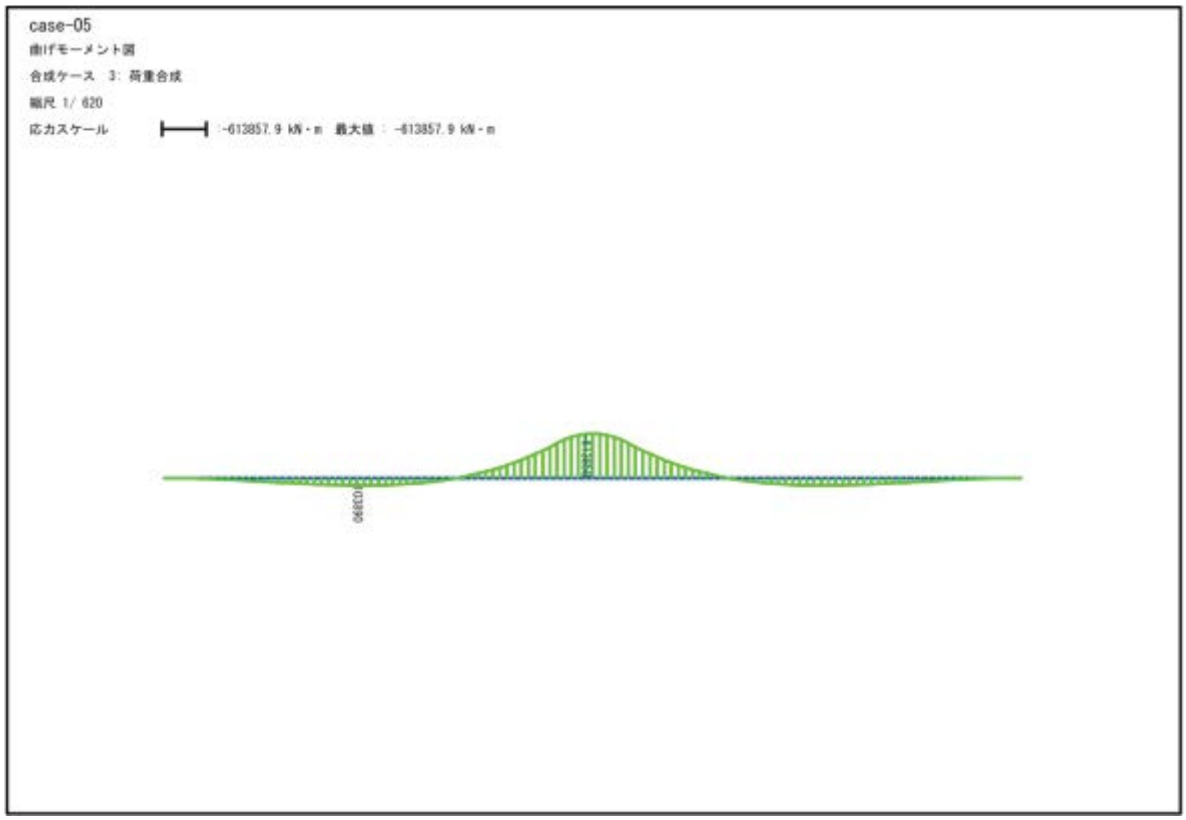


図 3.1-112　モーメント図（case-5）

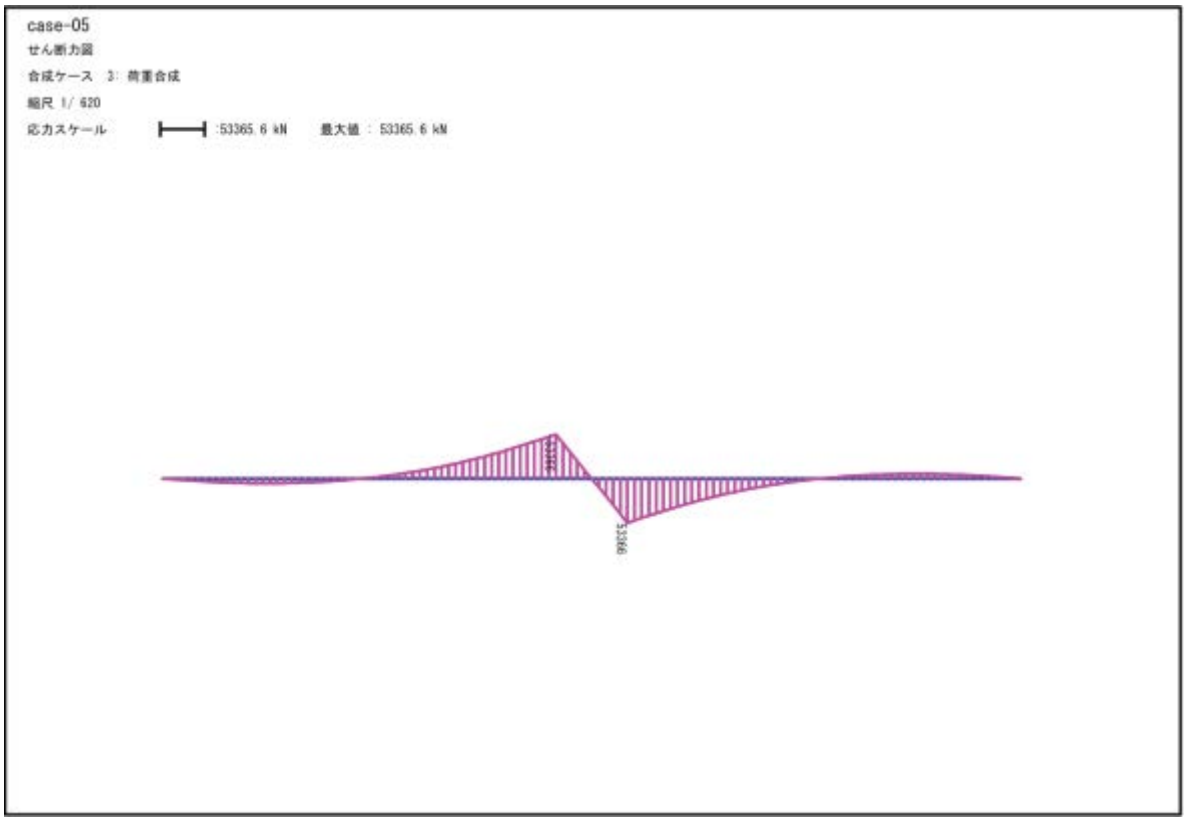


図 3.1-113　せん断力図（case-5）

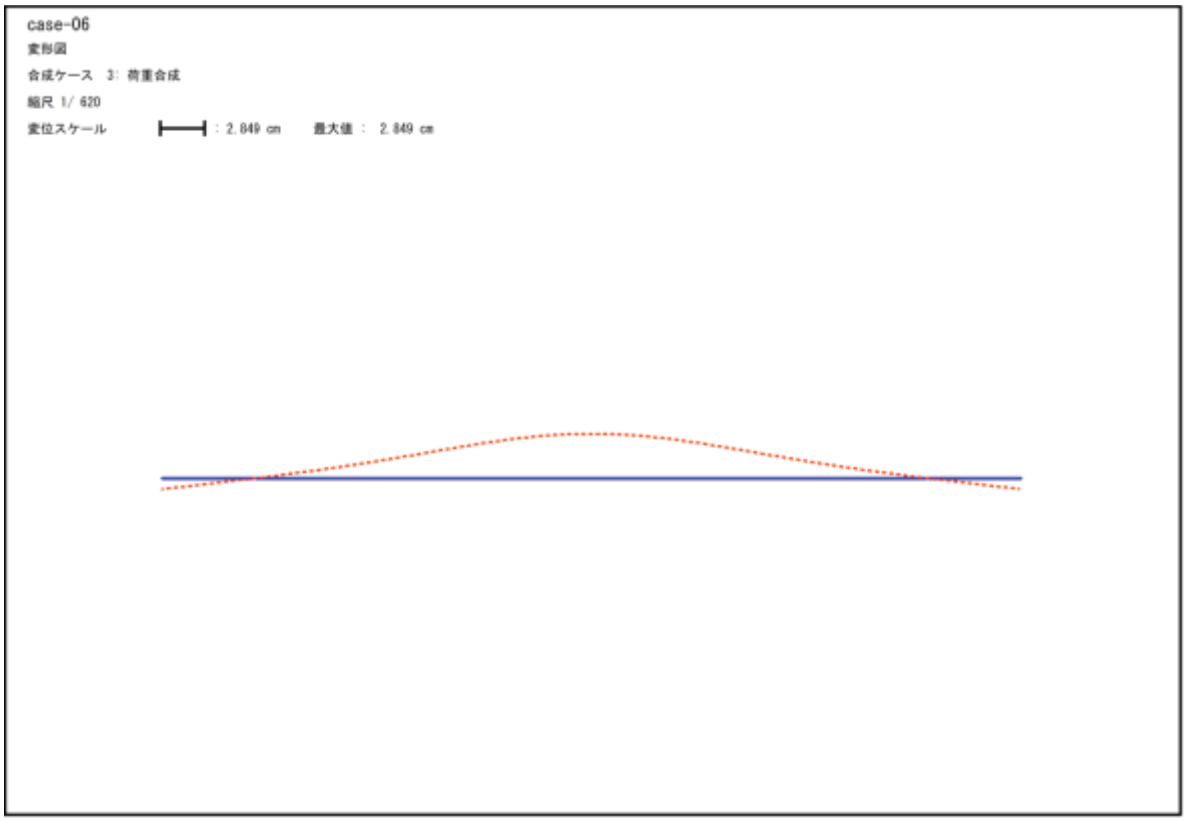


図 3.1-114　変形図（case-6）

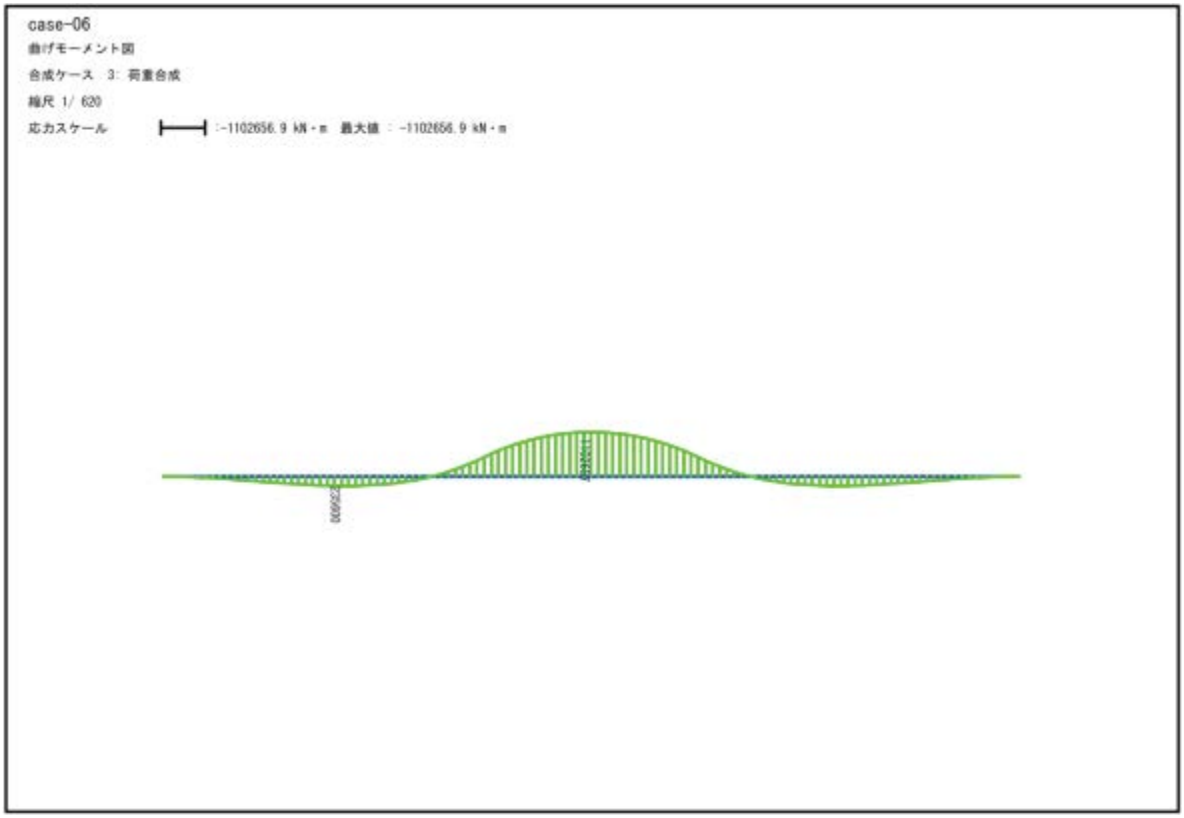


図 3.1-115　モーメント図（case-6）

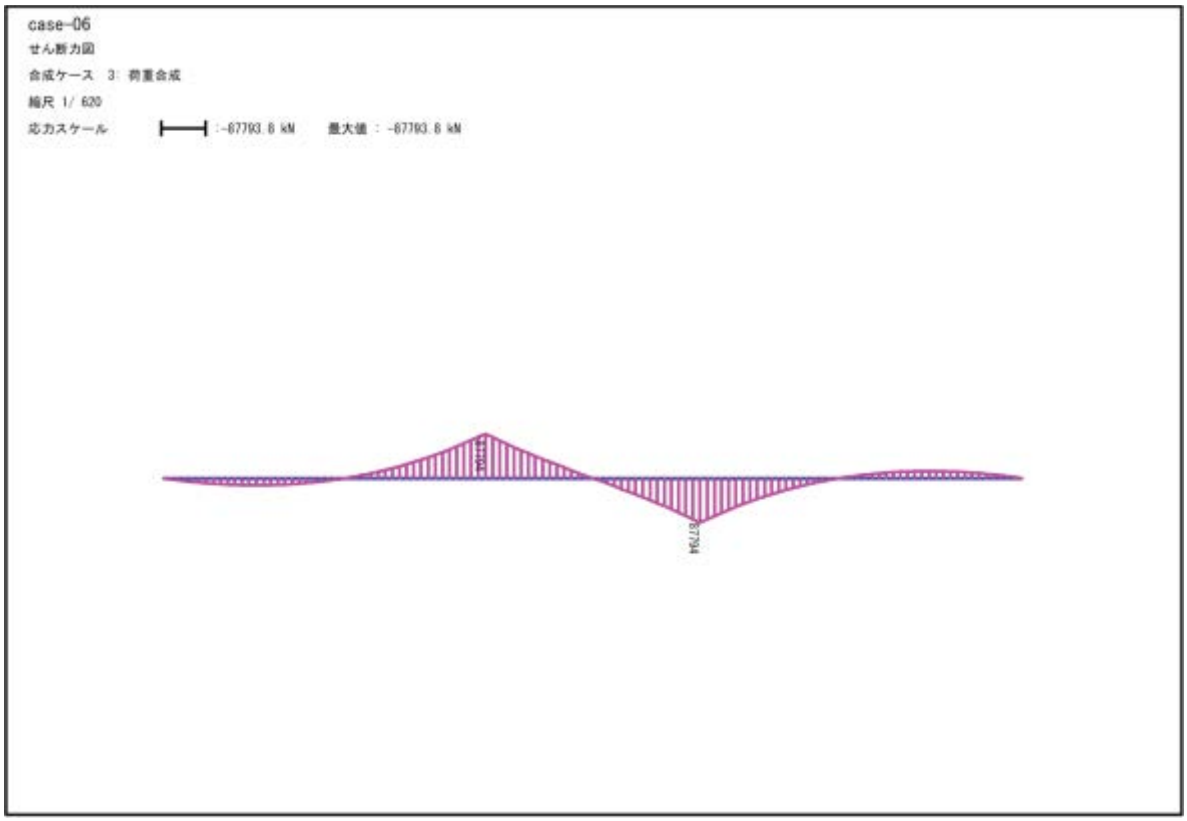


図 3.1-116　せん断力図（case-6）

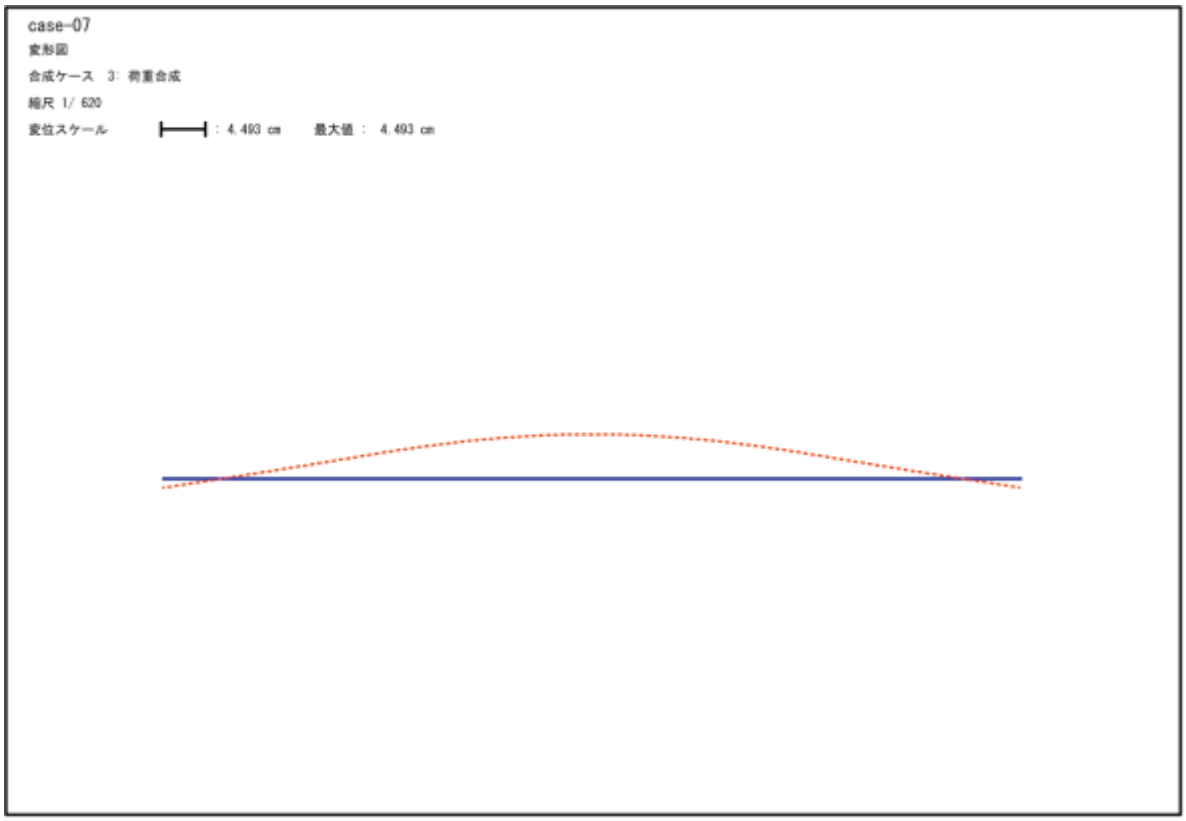


図 3.1-117　変形図（case-7）

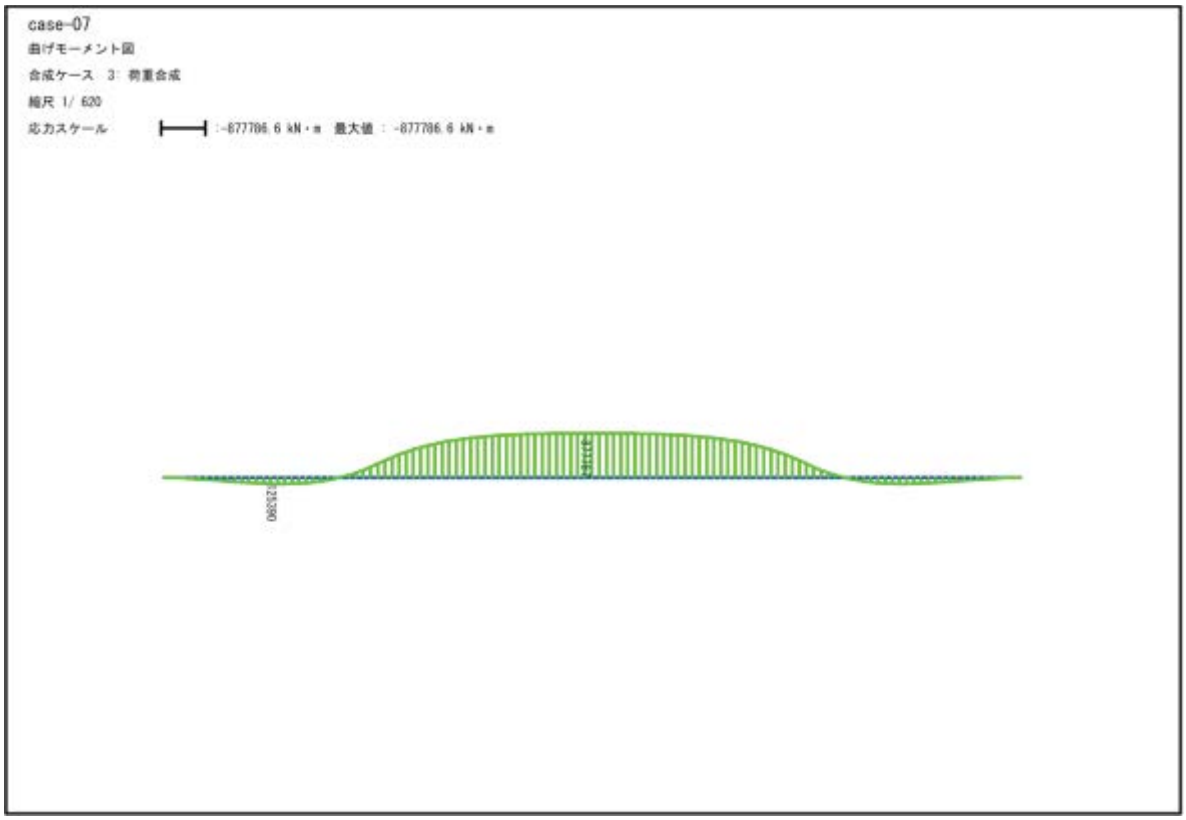


図 3.1-118　モーメント図（case-7）

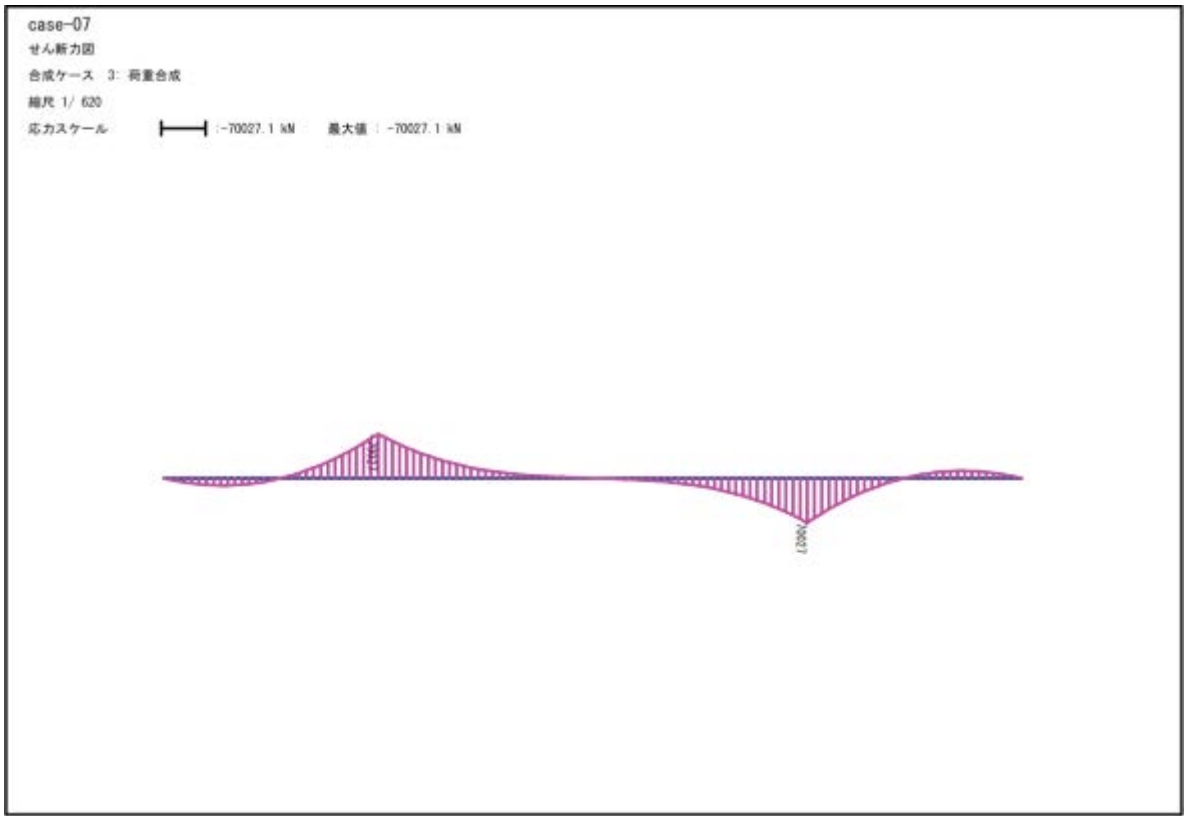


図 3.1-119　せん断力図（case-7）

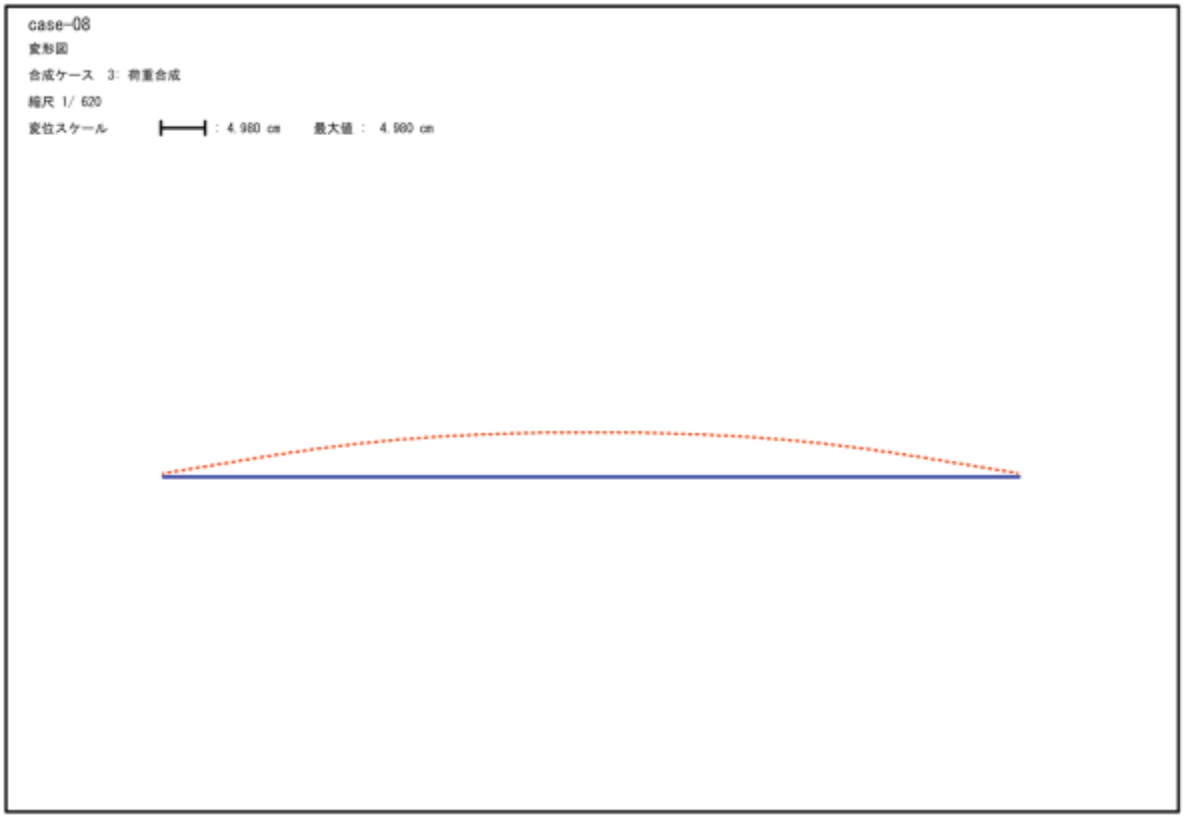


図 3.1-120　変形図（case-8）

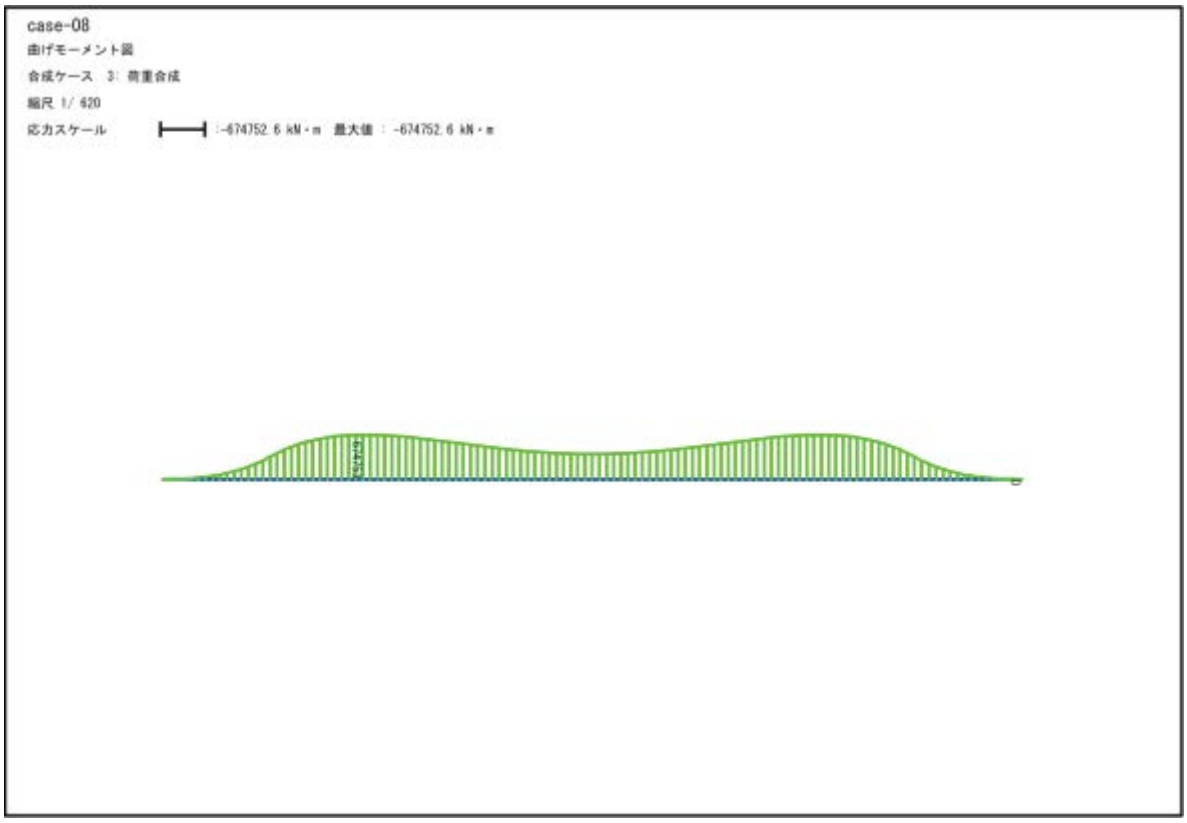


図 3.1-121　モーメント図（case-8）

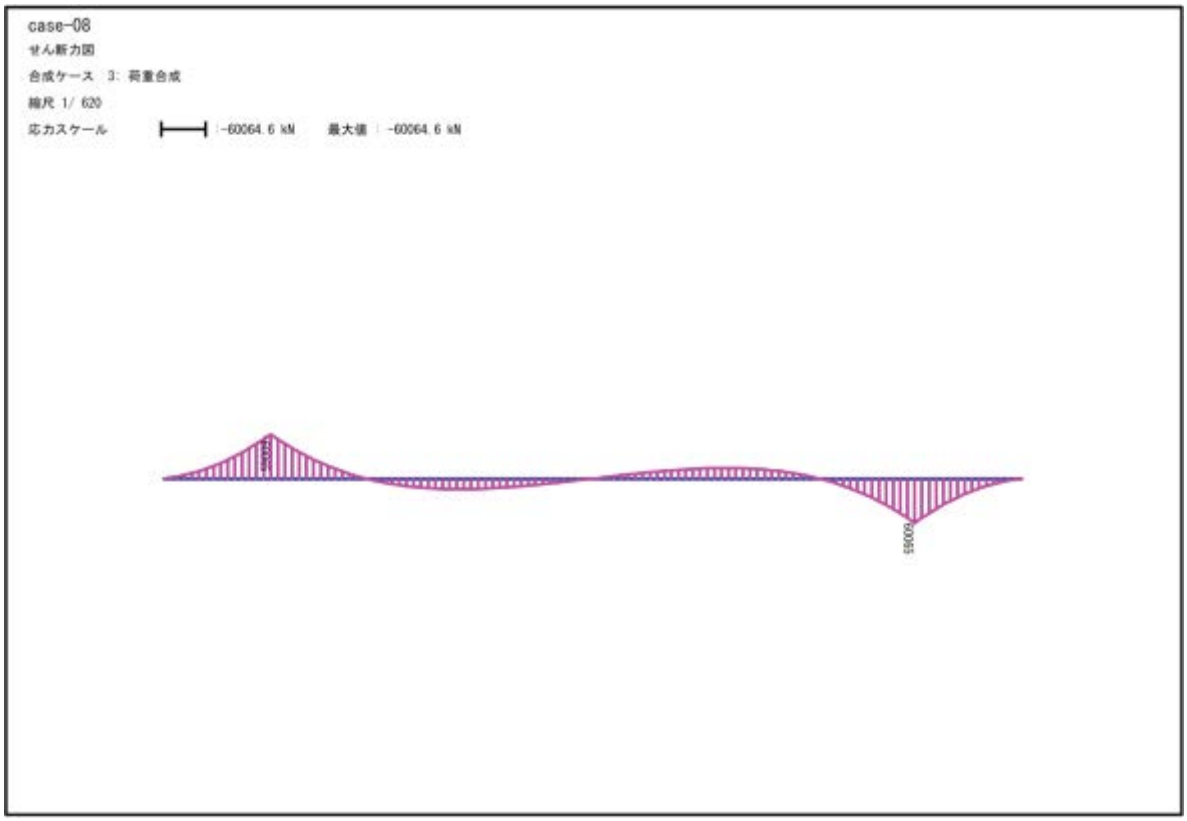


図 3.1-122　せん断力図（case-8）

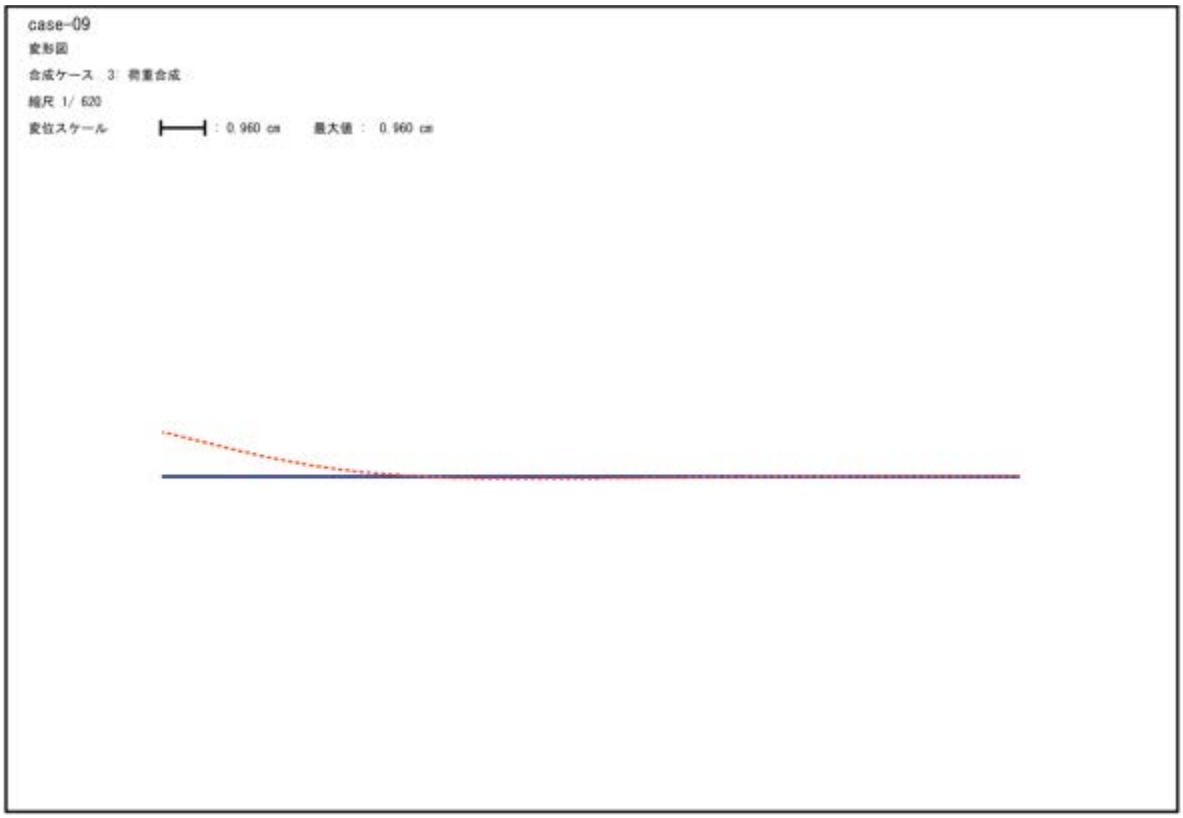


図 3.1-123　変形図（case-9）

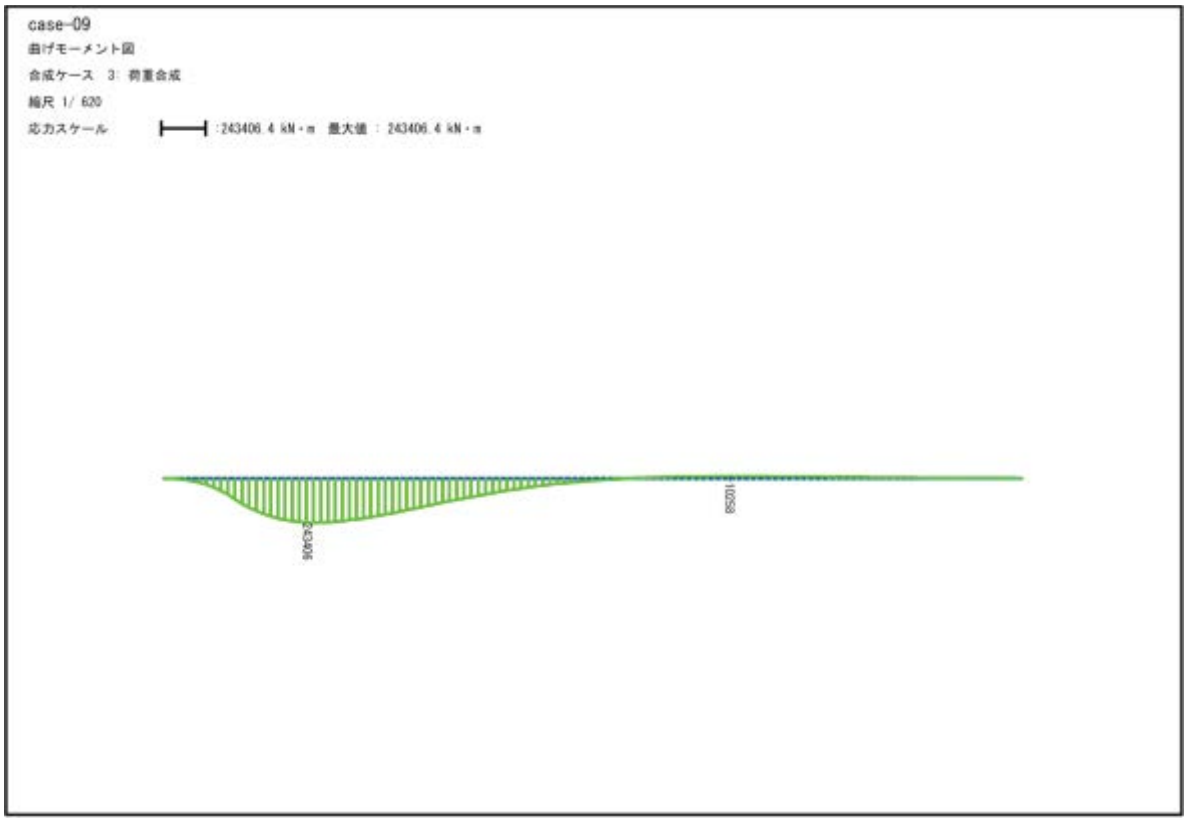


図 3.1-124　モーメント図（case-9）

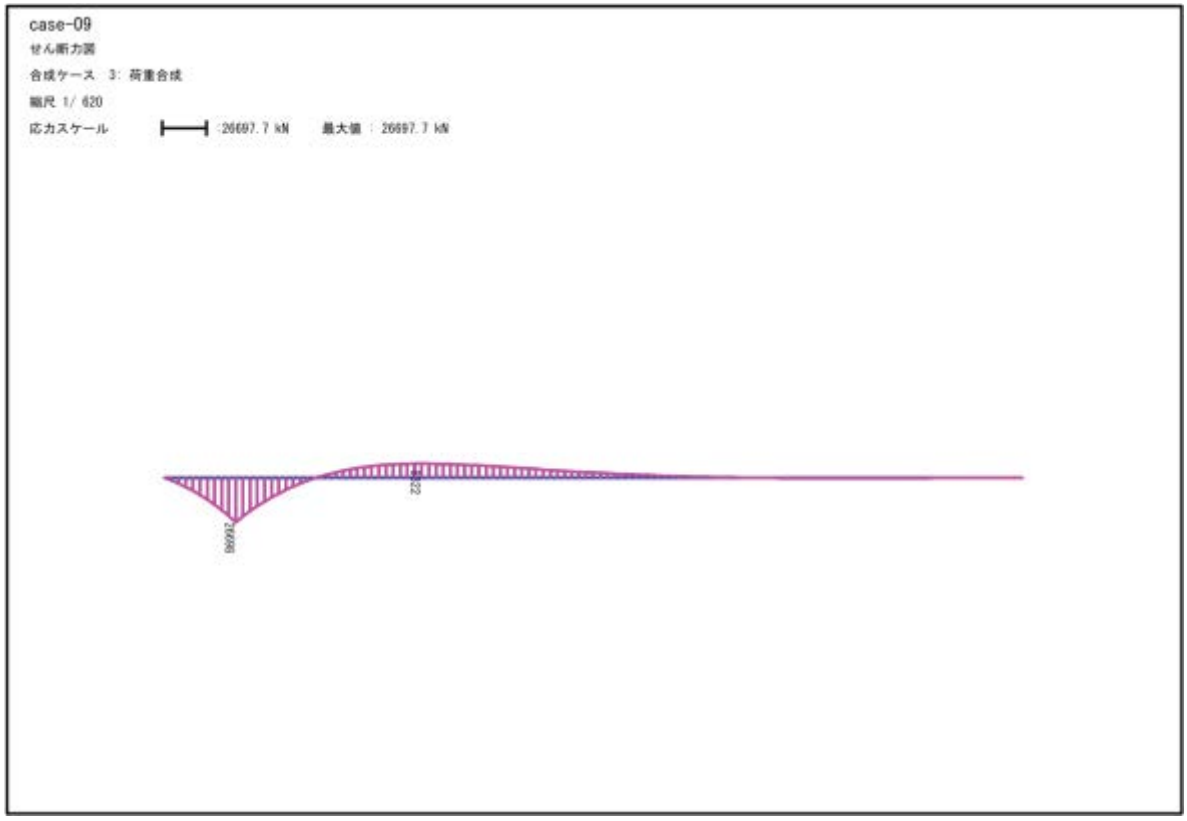


図 3.1-125　せん断力図（case-9）

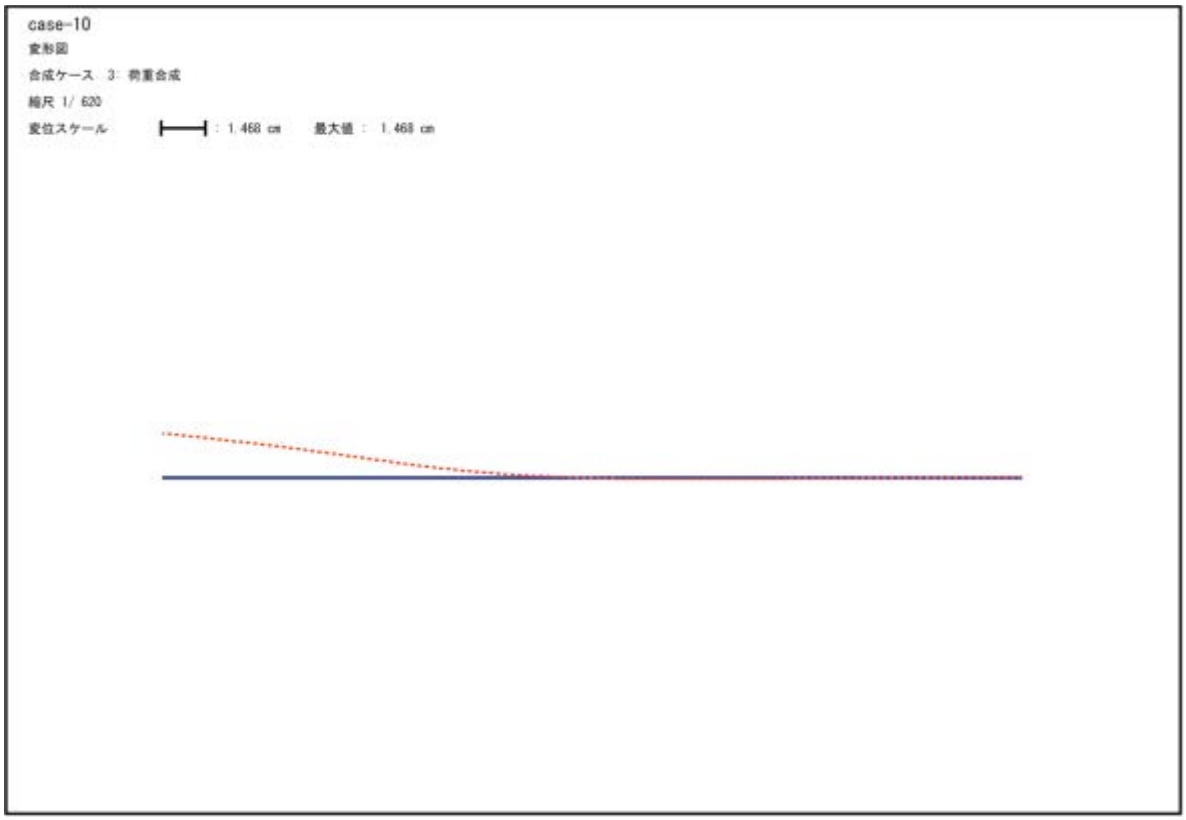


図 3.1-126　変形図（case-10）

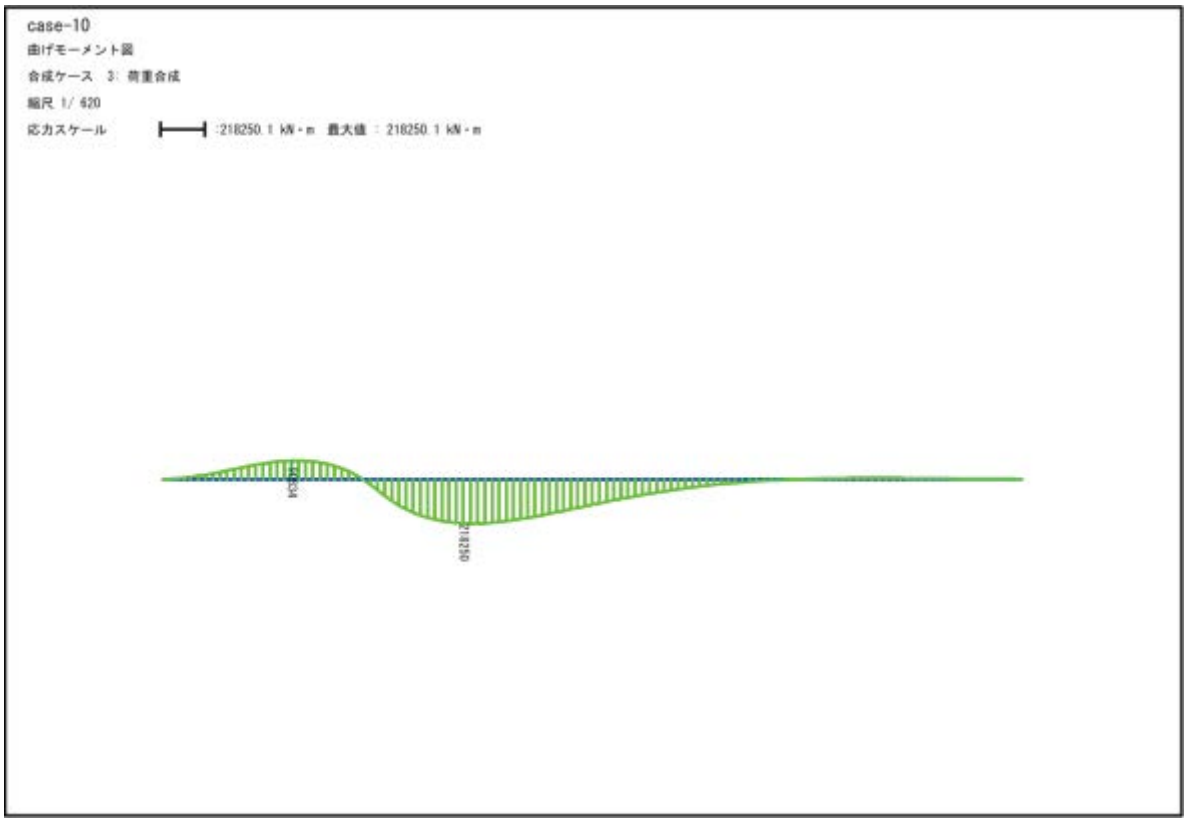


図 3.1-127　モーメント図（case-10）

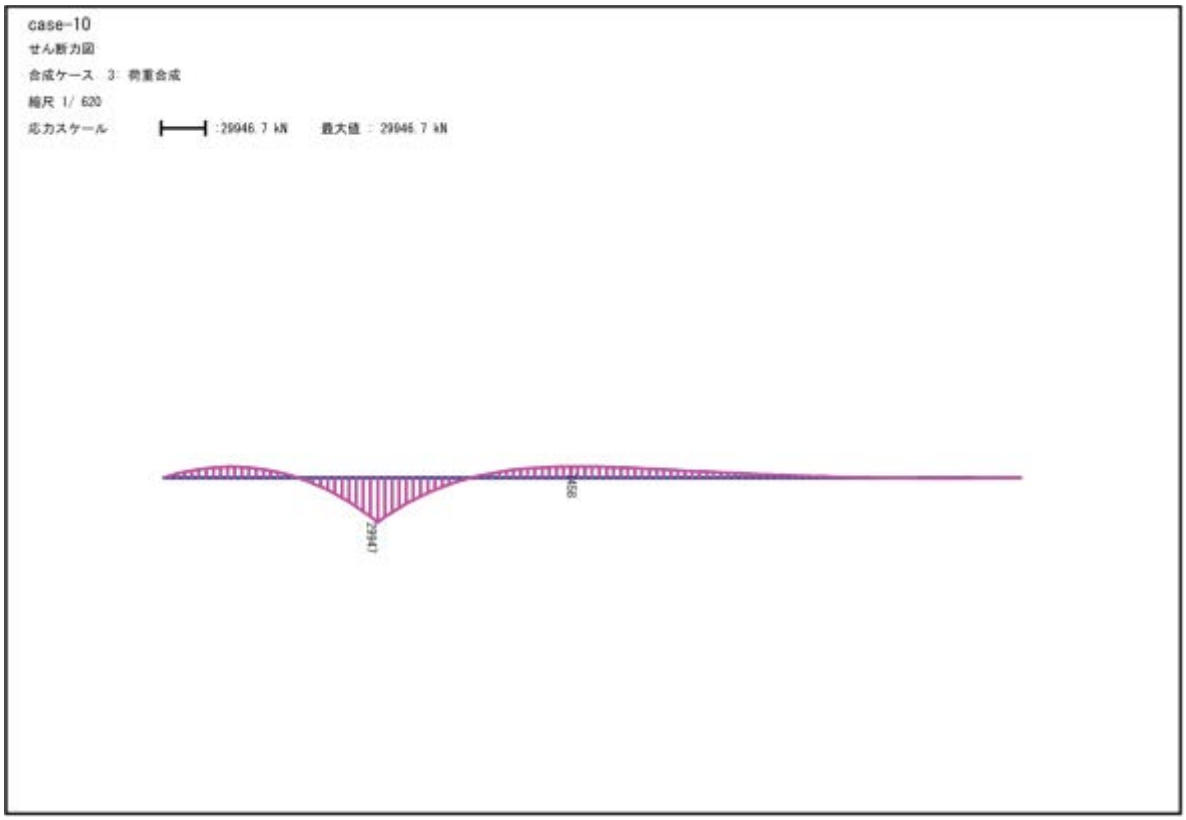


図 3.1-128　せん断力図（case-10）

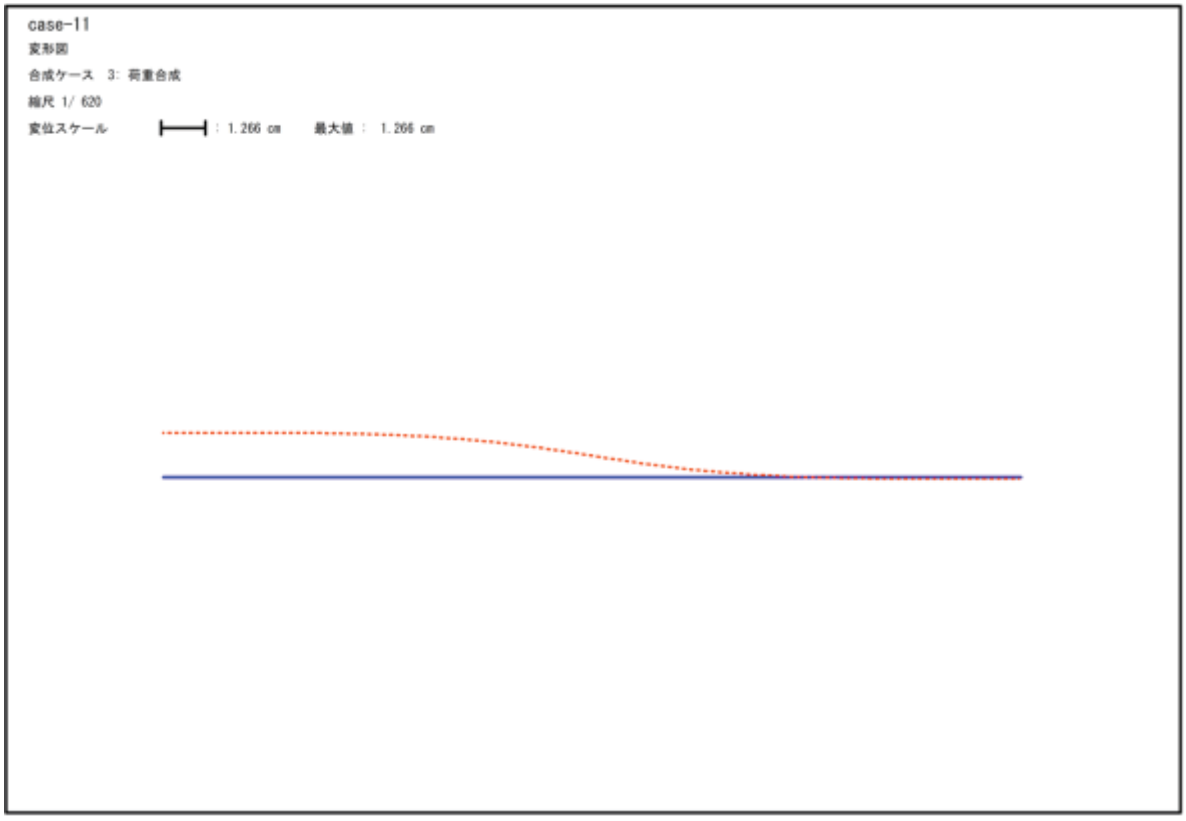


図 3.1-129　変形図（case-11）

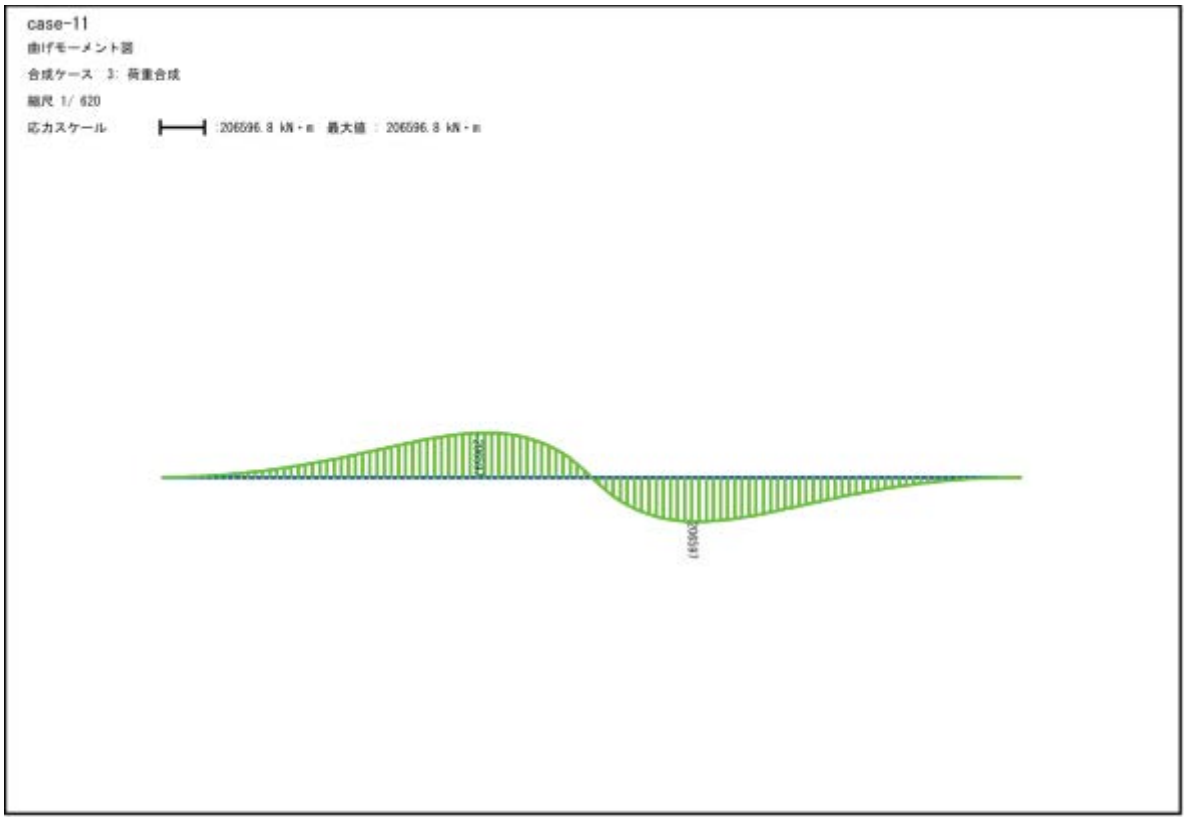


図 3.1-130　モーメント図（case-11）

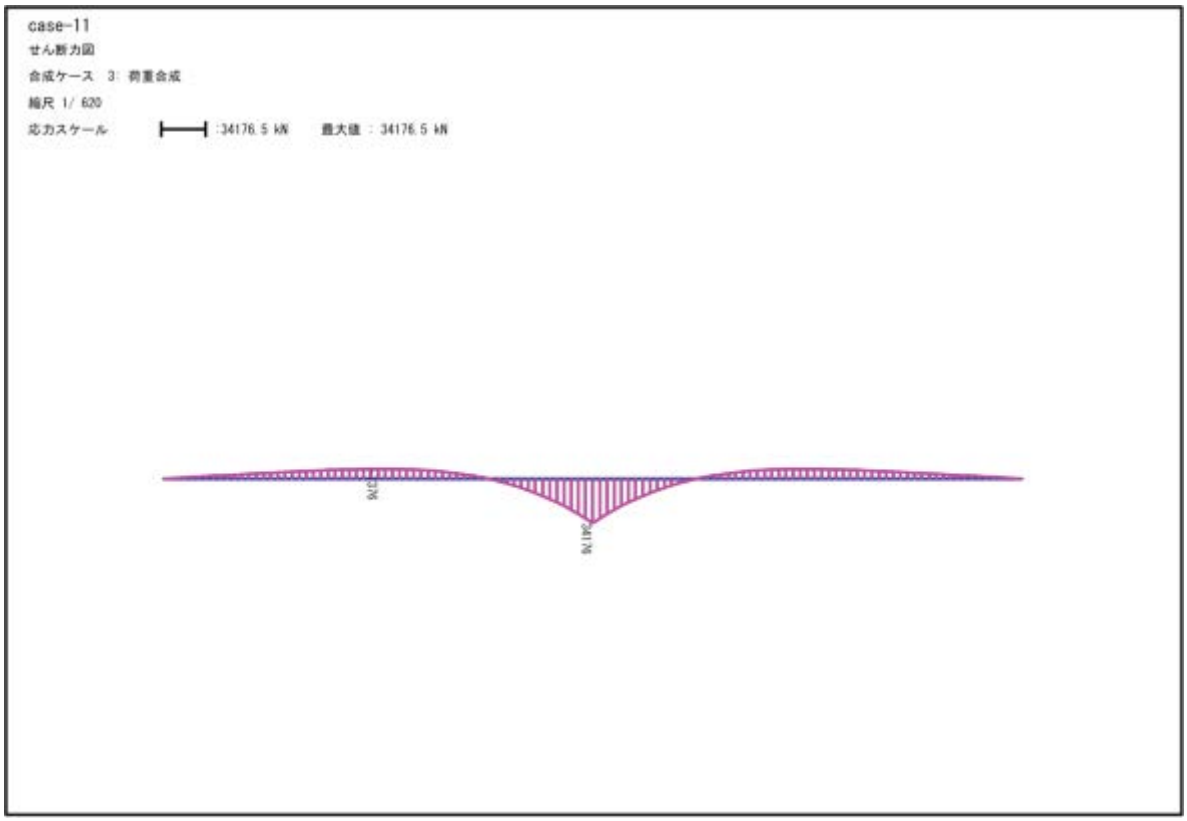


図 3.1-131　せん断力図（case-11）

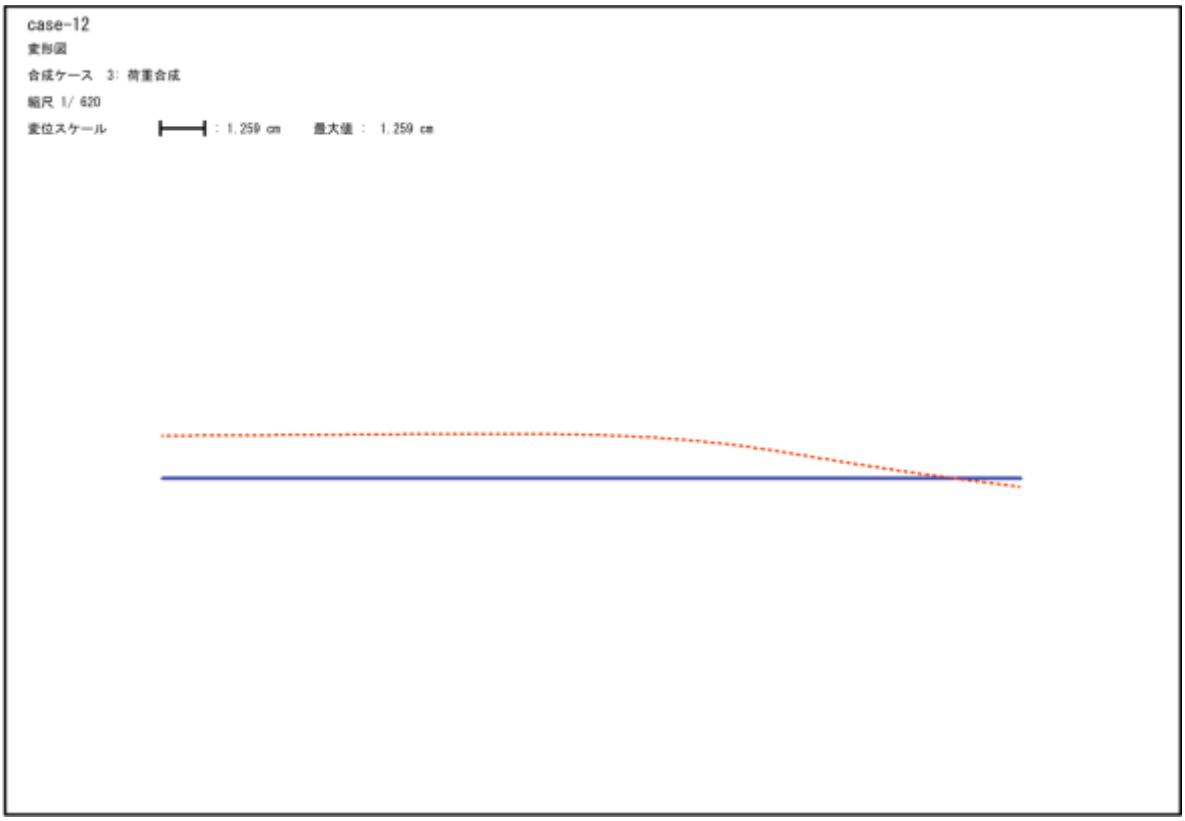


図 3.1-132　変形図（case-12）

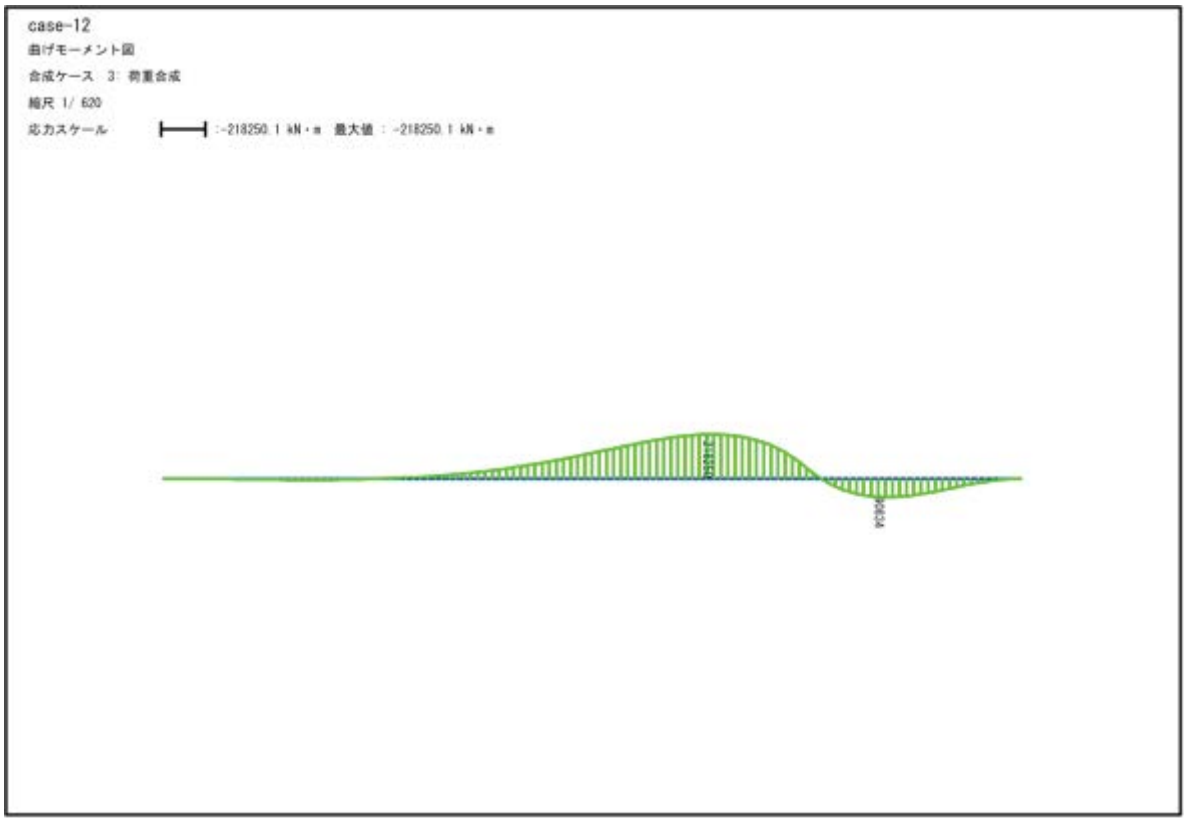


図 3.1-133　モーメント図（case-12）

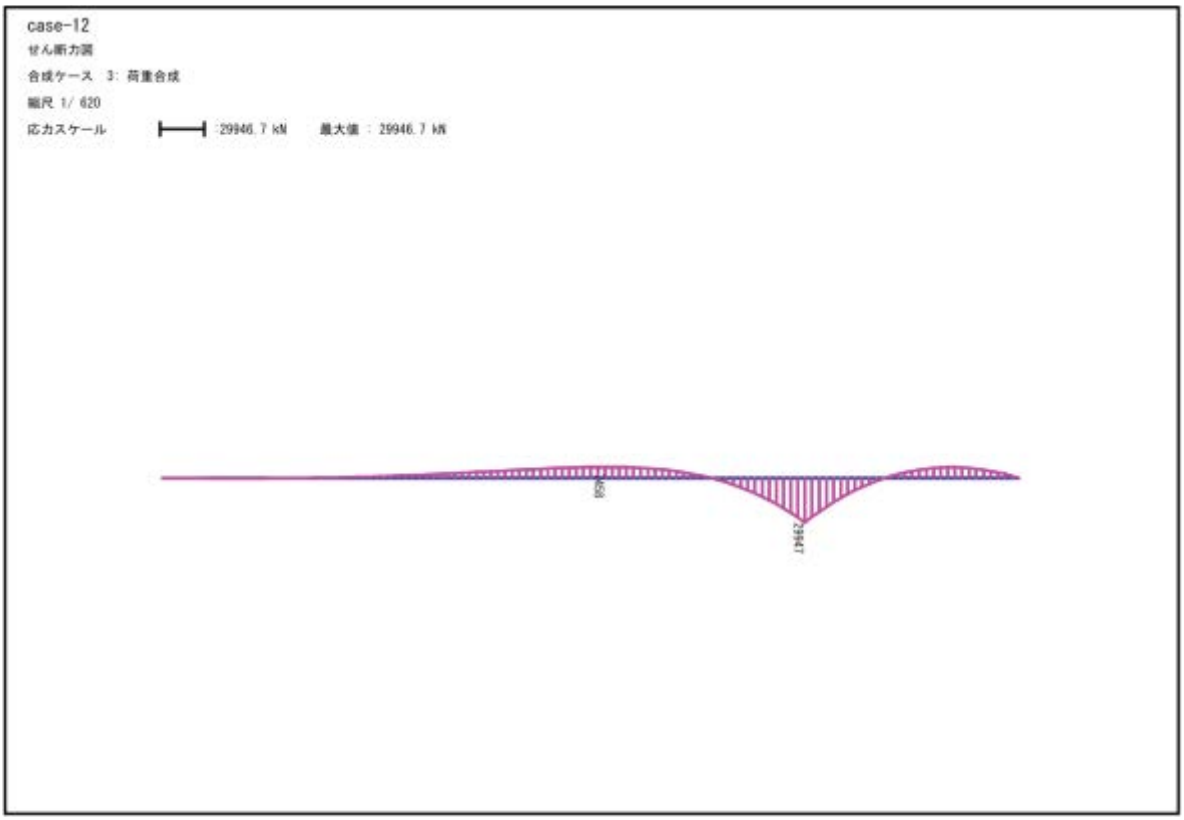


図 3.1-134　せん断力図（case-12）

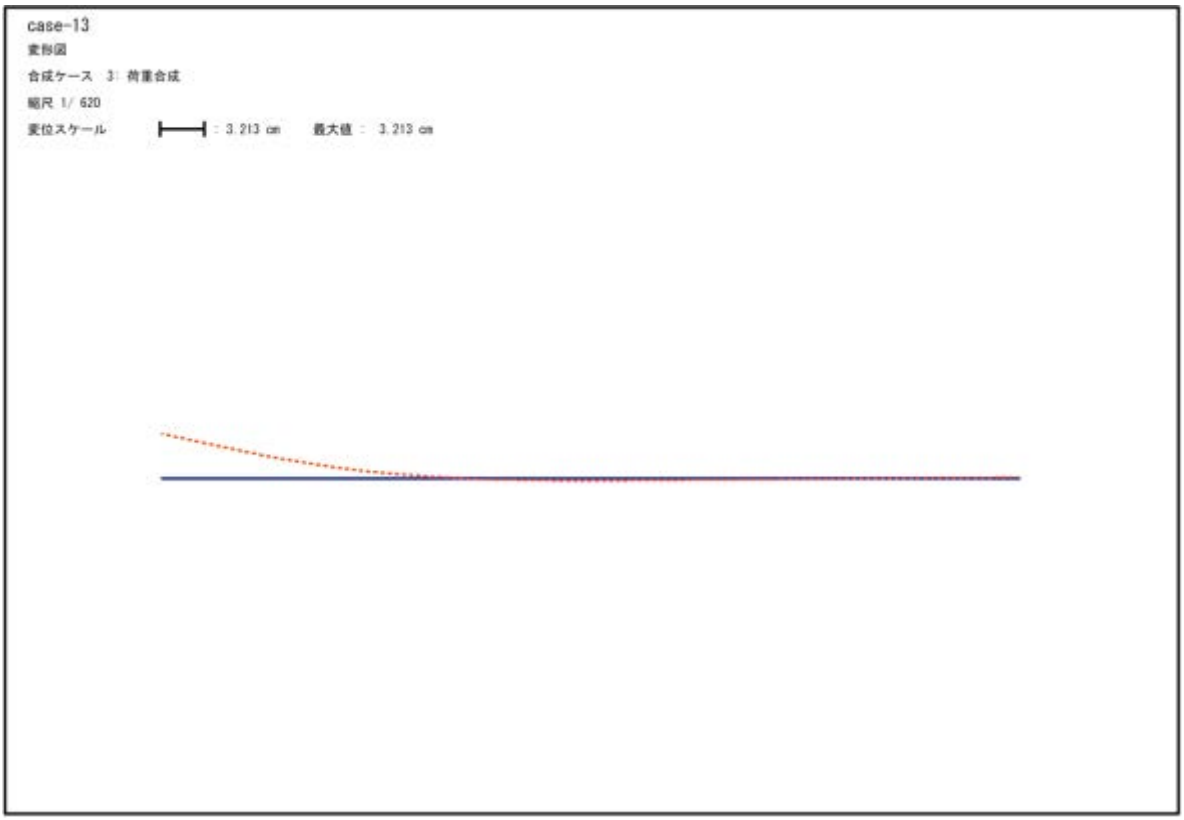


図 3.1-135　変形図（case-13）

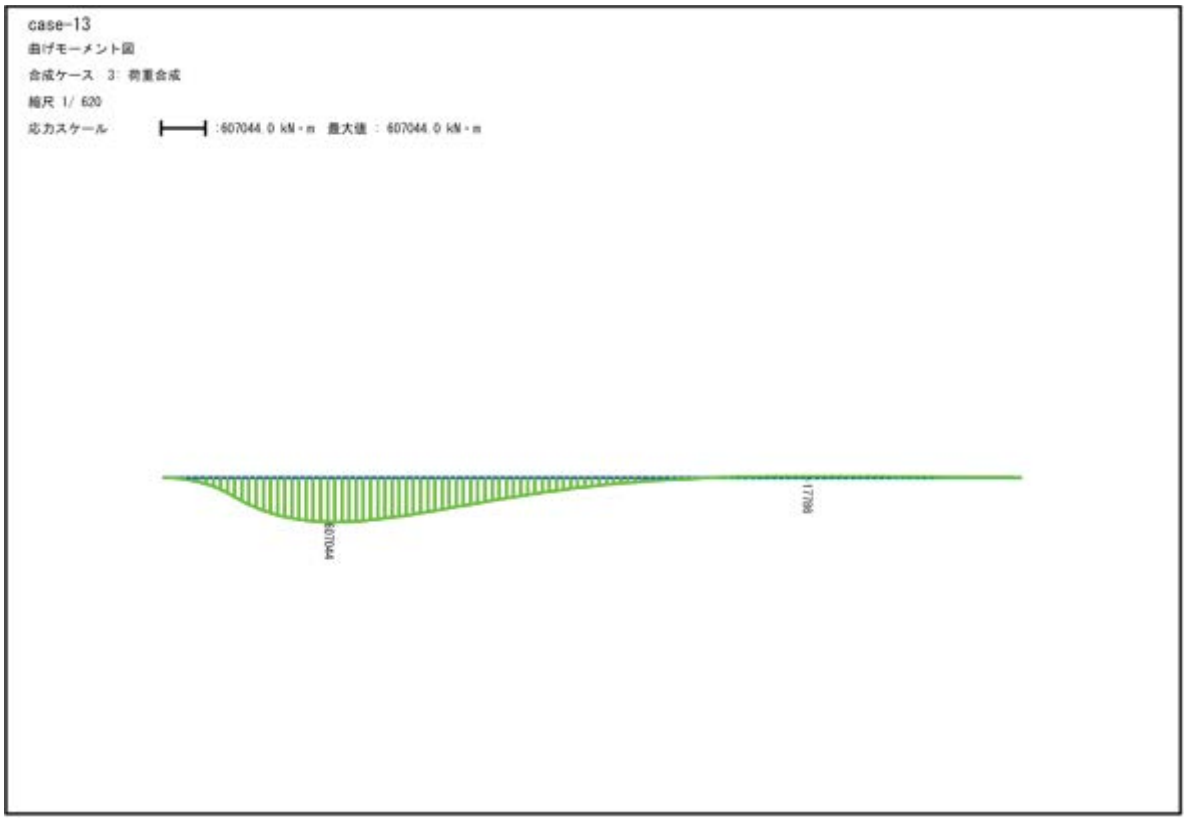


図 3.1-136　モーメント図（case-13）

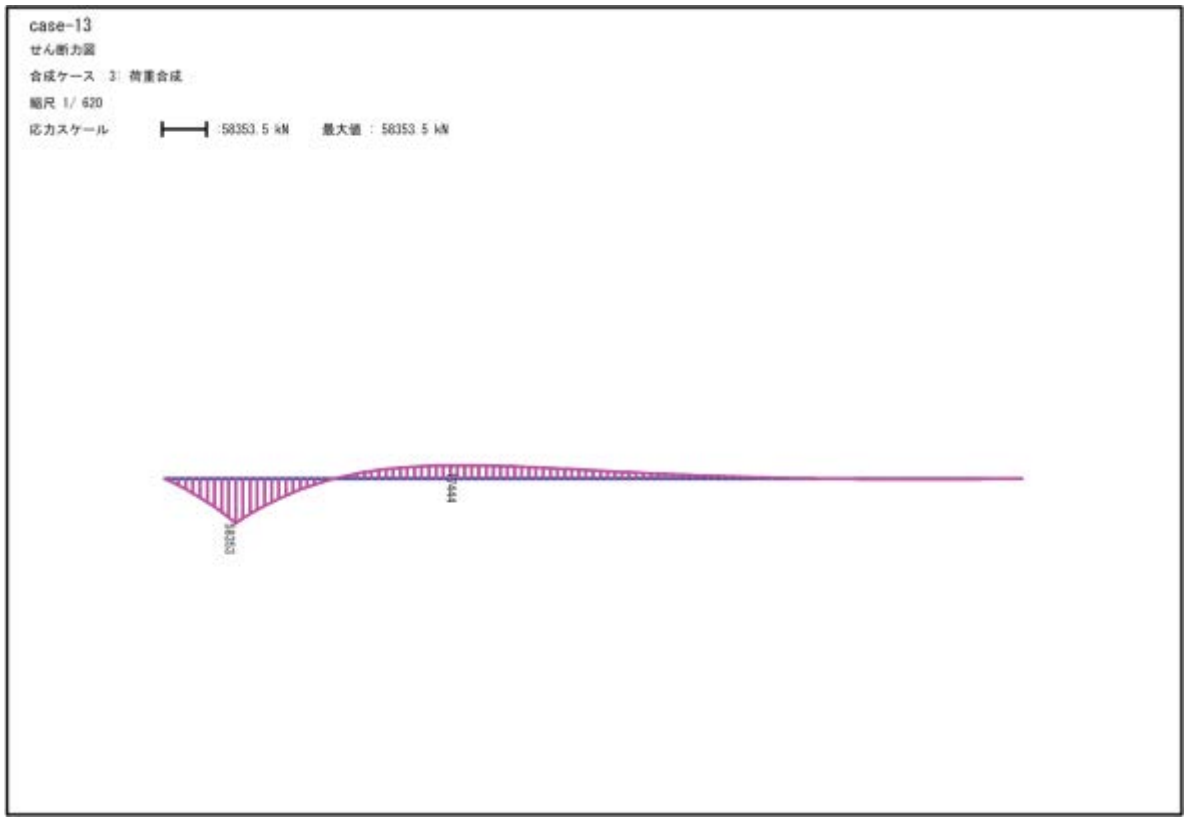


図 3.1-137　せん断力図（case-13）

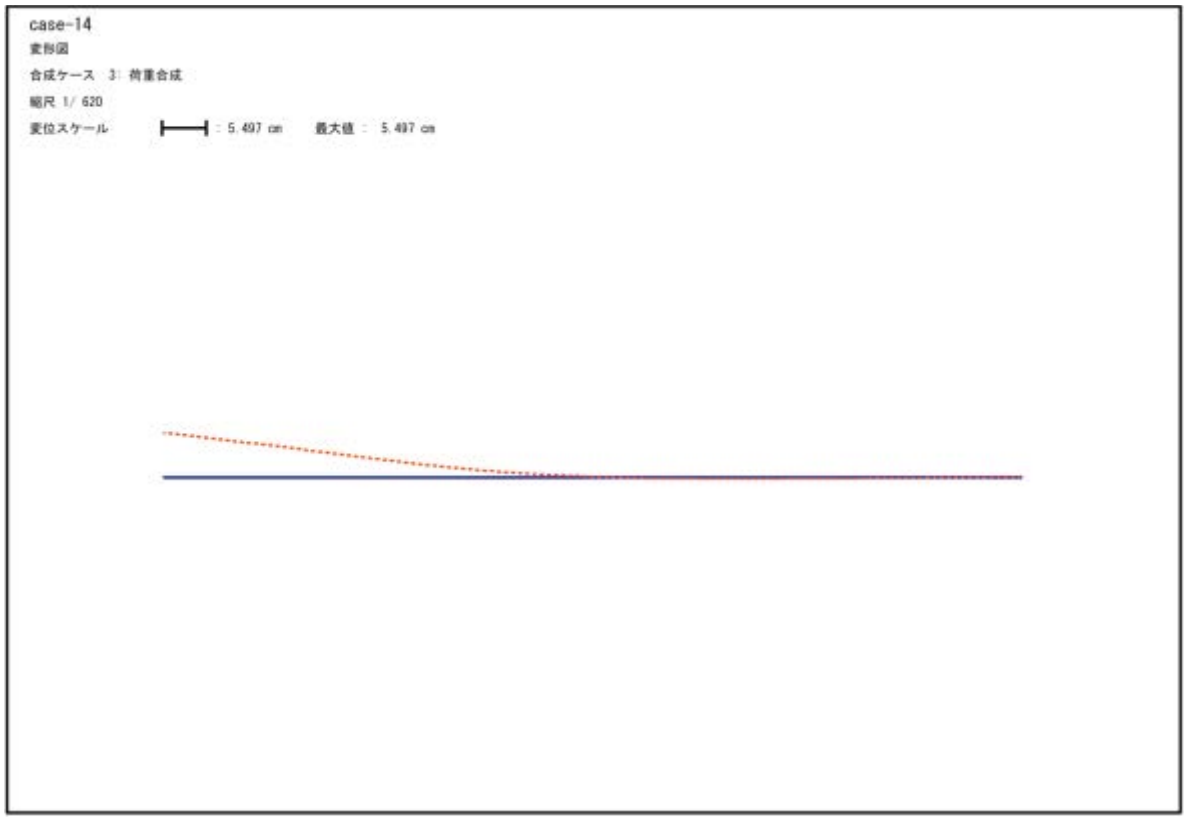


図 3.1-138　変形図（case-14）

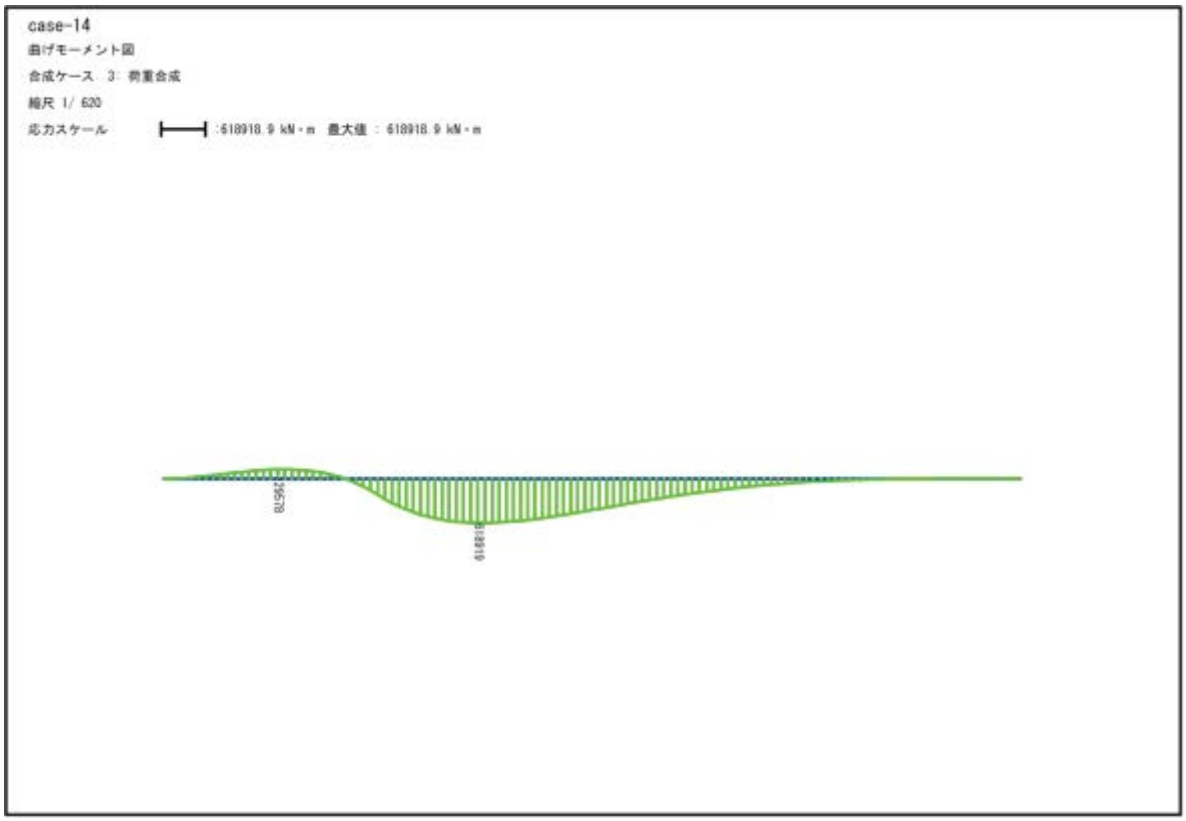


図 3.1-139　モーメント図（case-14）

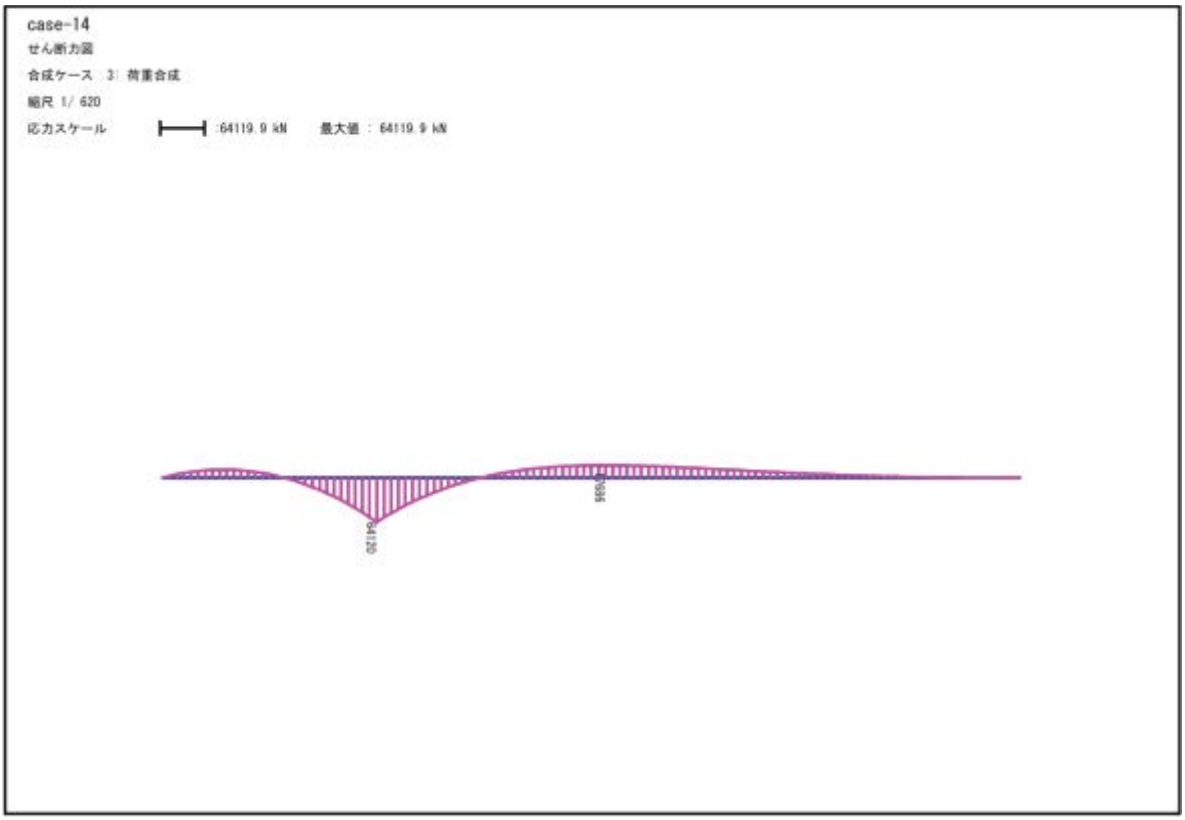


図 3.1-140　せん断力図（case-14）

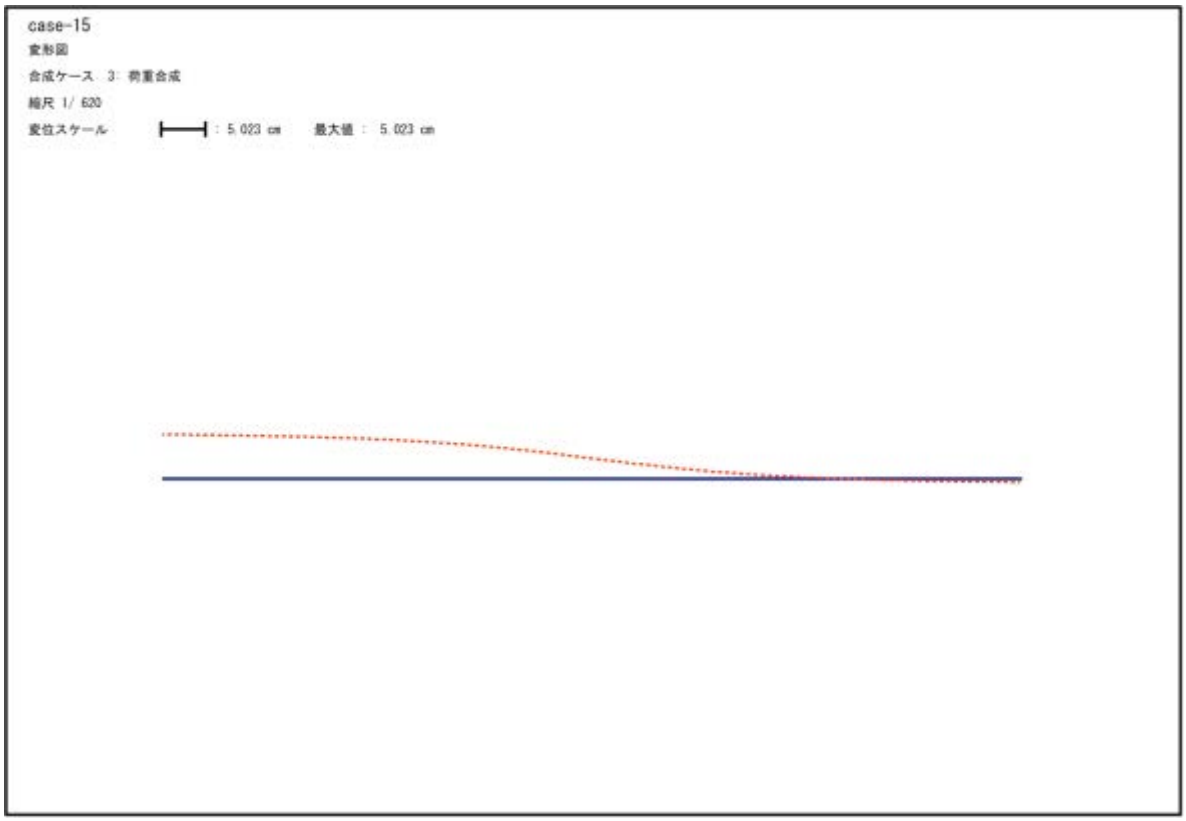


図 3.1-141　変形図（case-15）

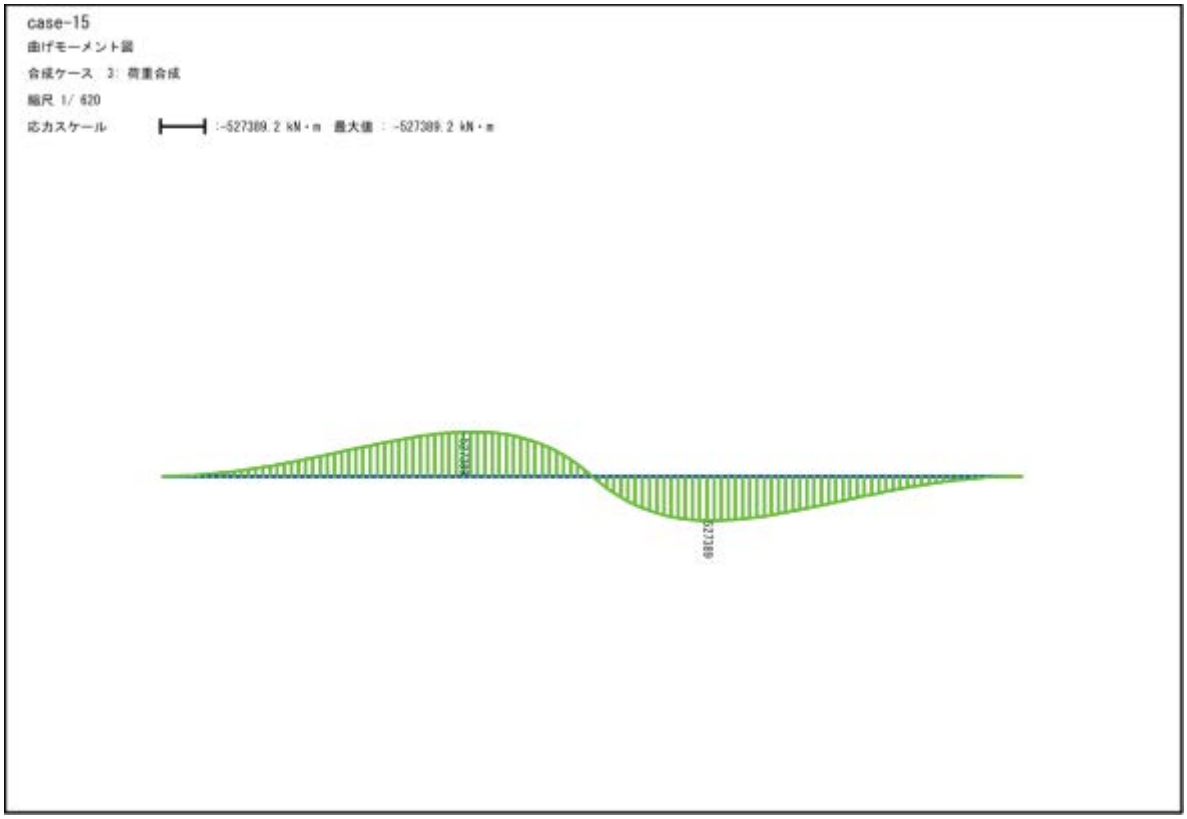


図 3.1-142　モーメント図（case-15）

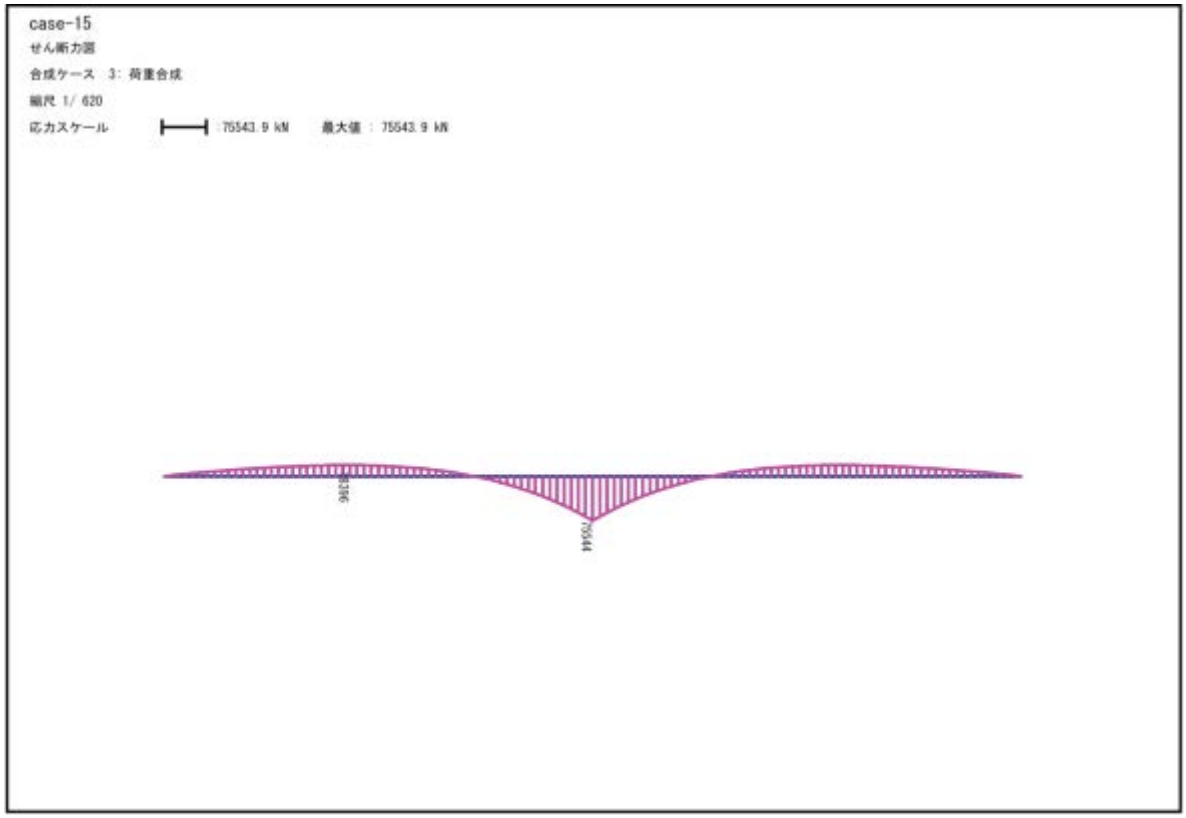


図 3.1-143　せん断力図（case-15）

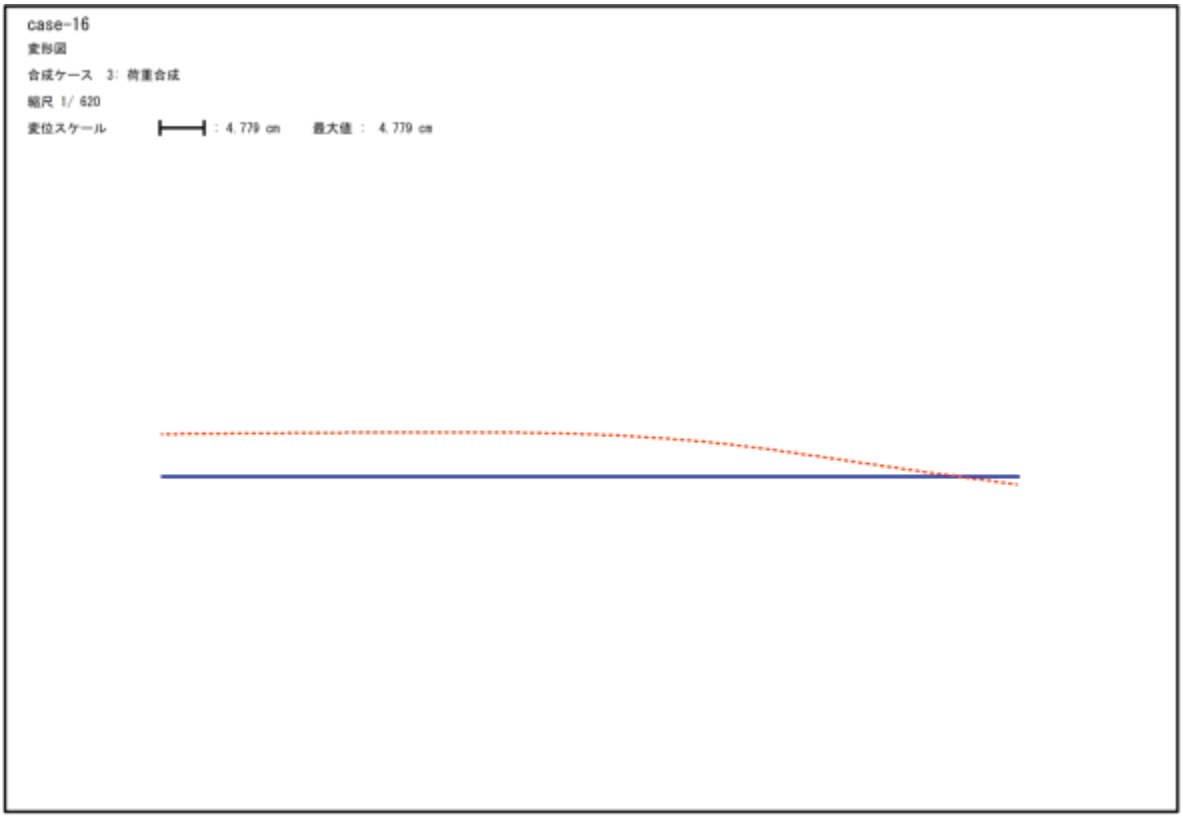


図 3.1-144　変形図（case-16）

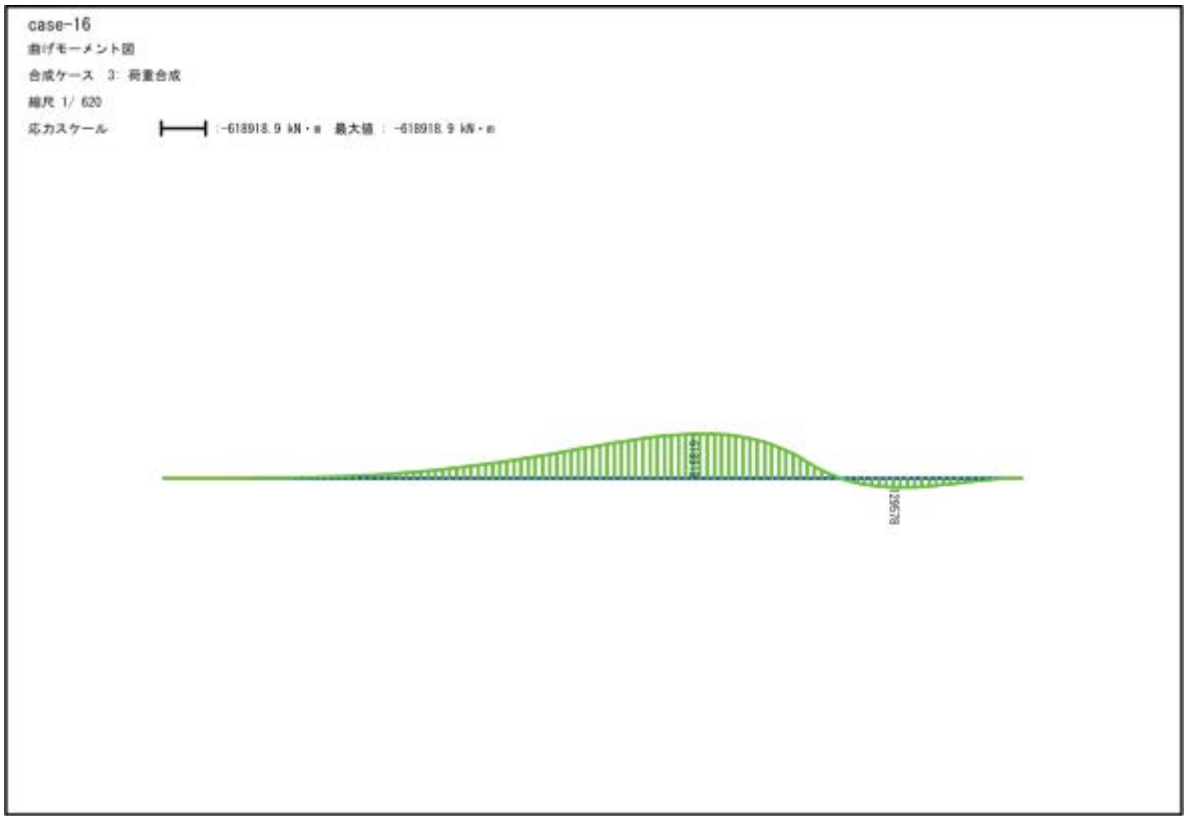


図 3.1-145　モーメント図（case-16）

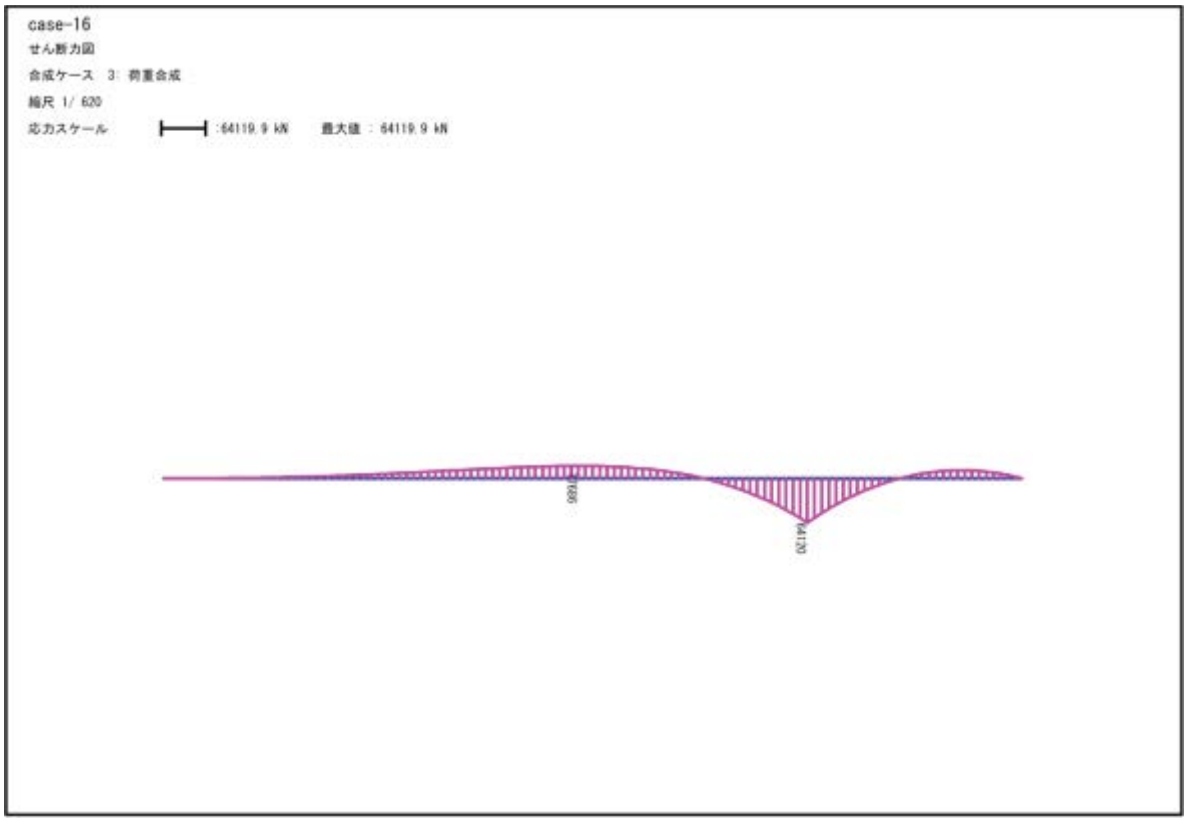


図 3.1-146　せん断力図（case-16）

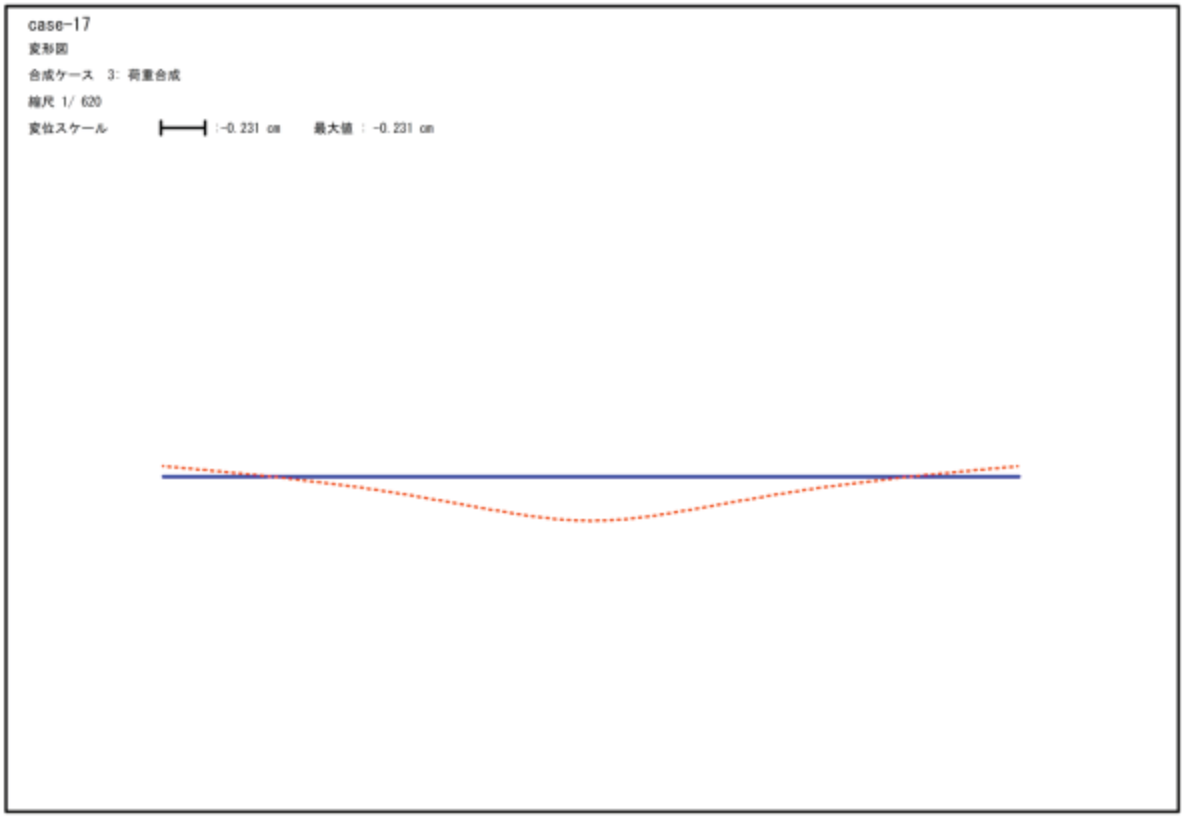


図 3.1-147　変形図（case-17）

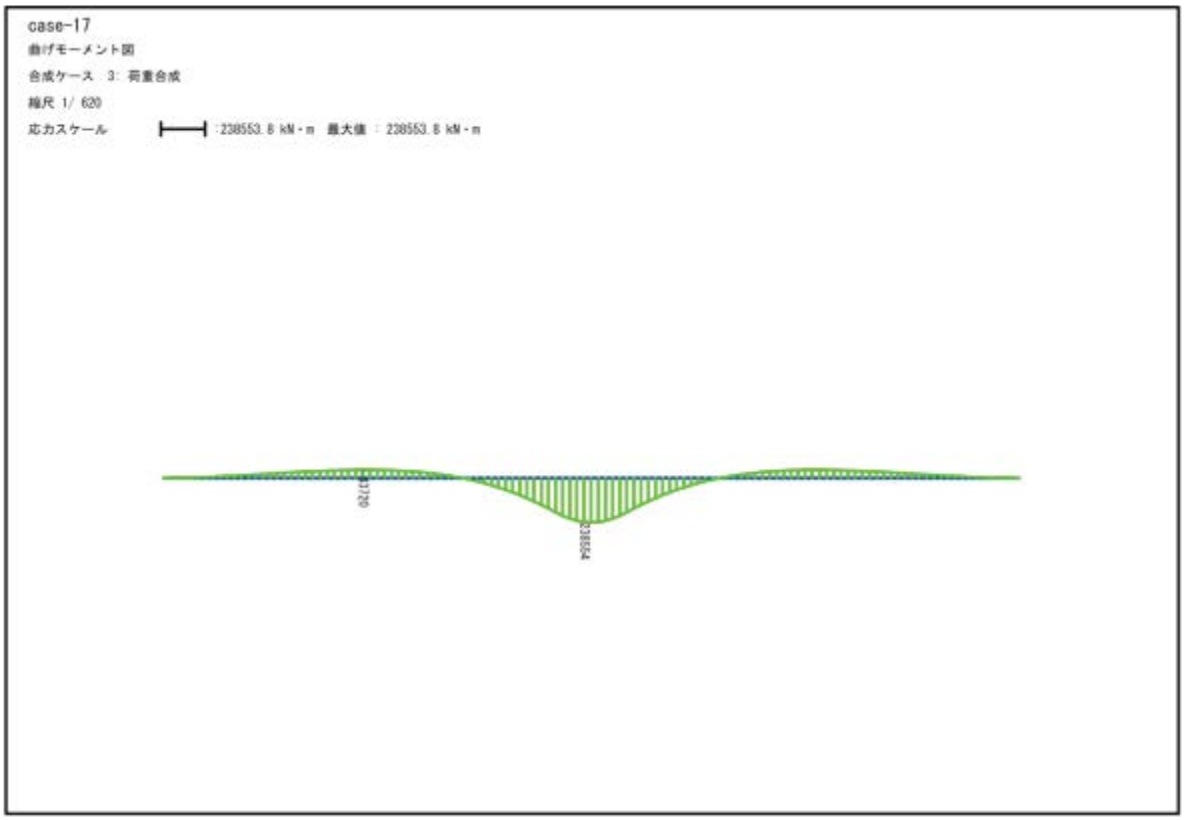


図 3.1-148　モーメント図（case-17）

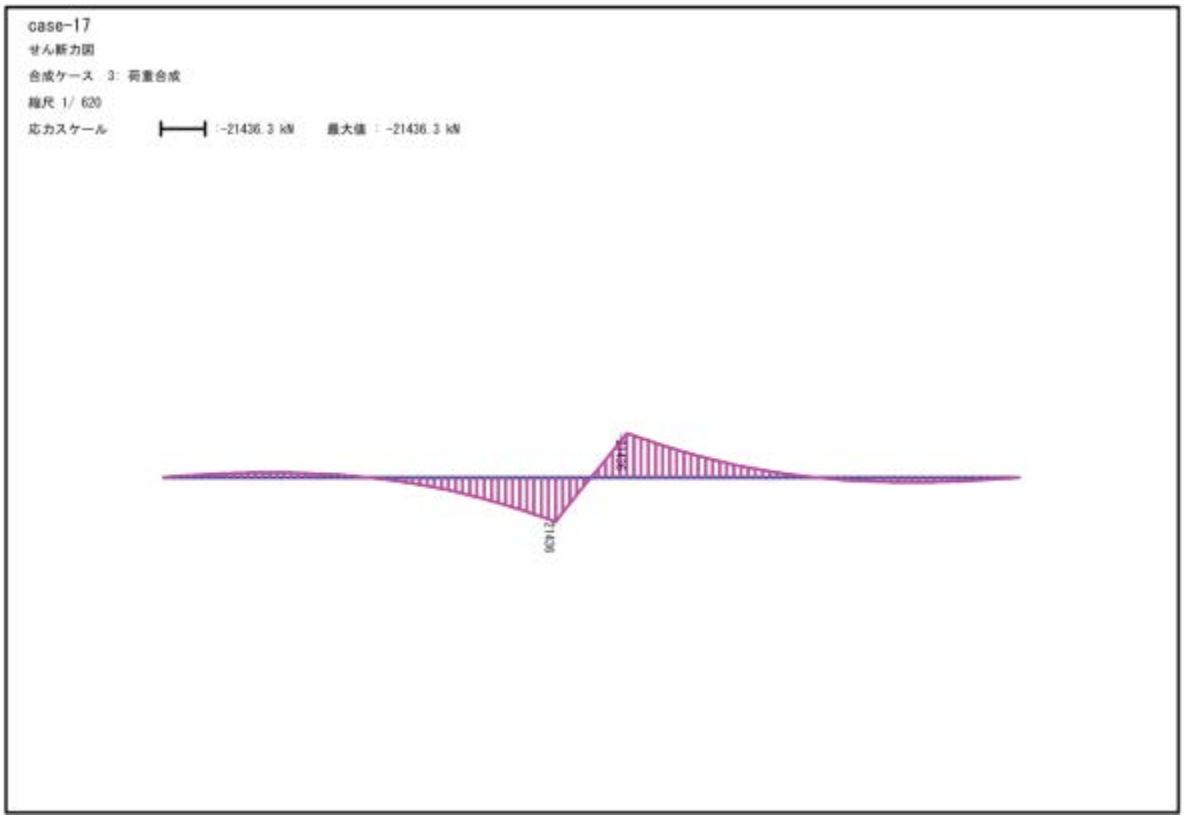


図 3.1-149　せん断力図（case-17）

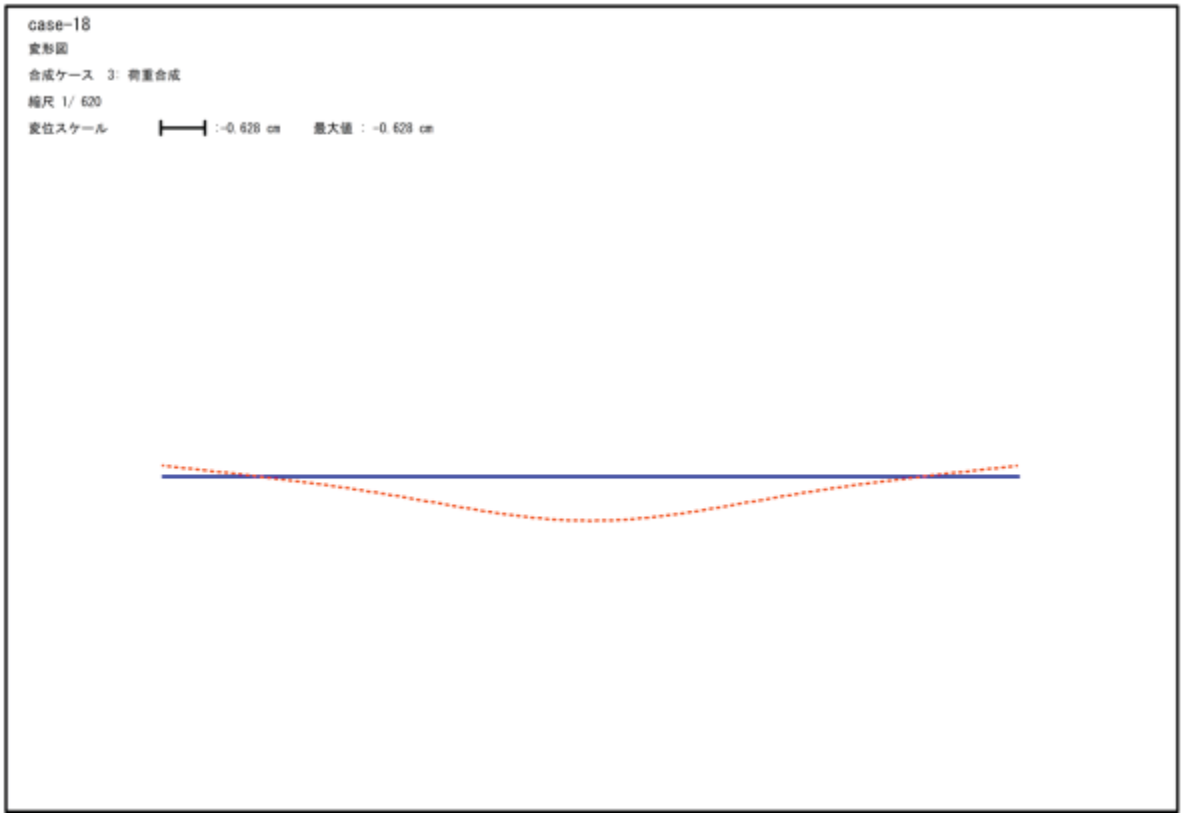


図 3.1-150　変形図（case-18）

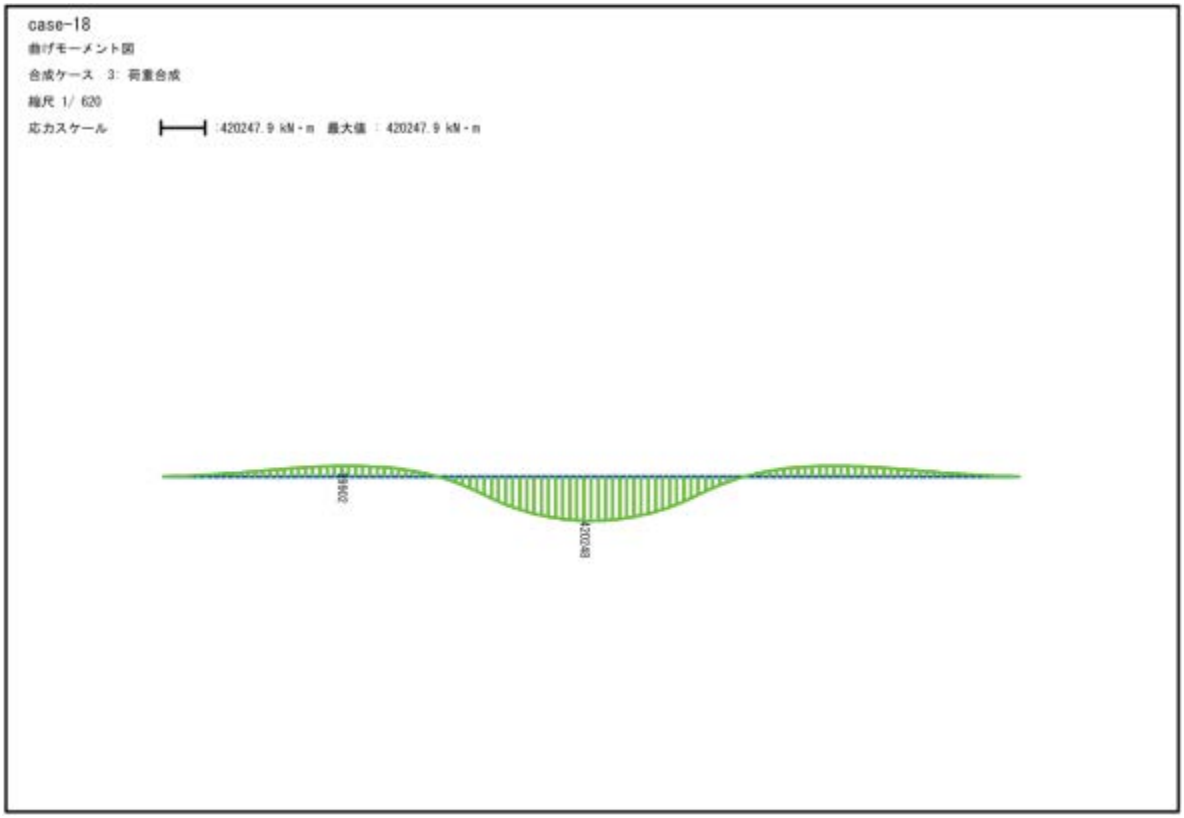


図 3.1-151　モーメント図（case-18）

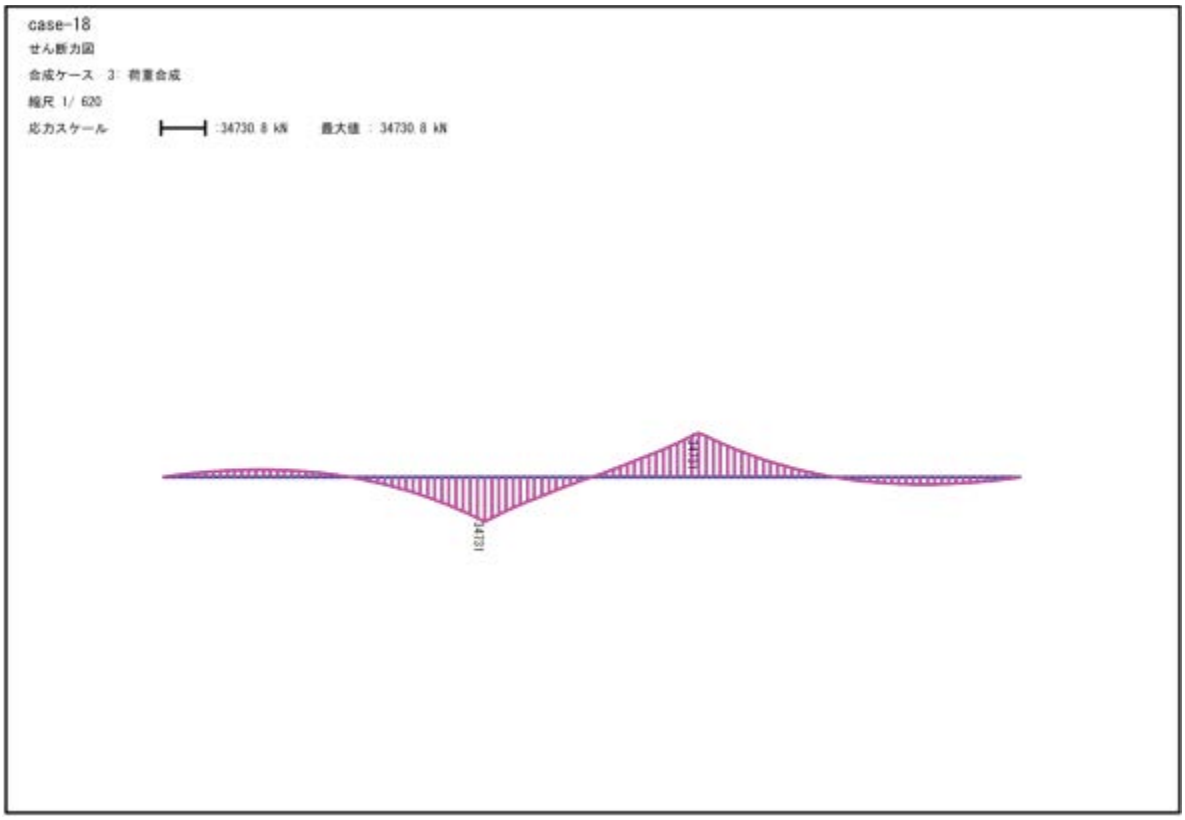


図 3.1-152　せん断力図（case-18）

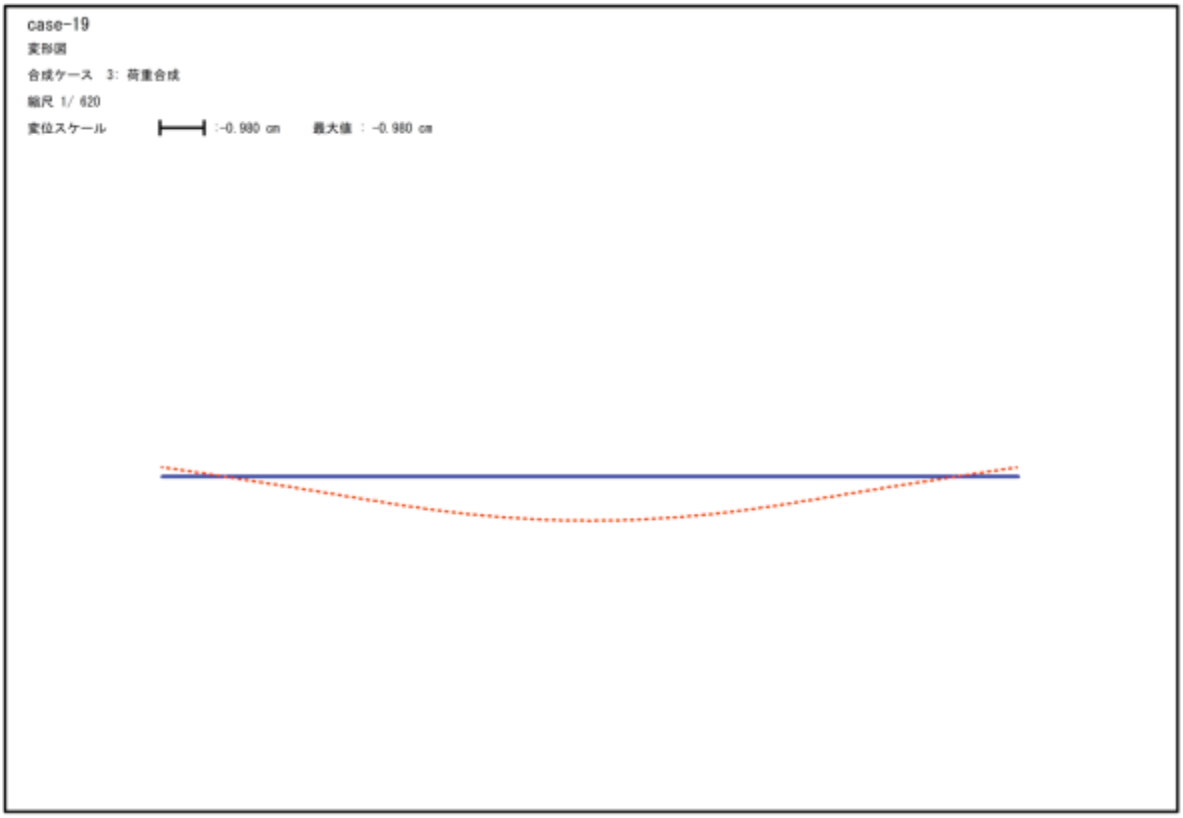


図 3.1-153　変形図（case-19）

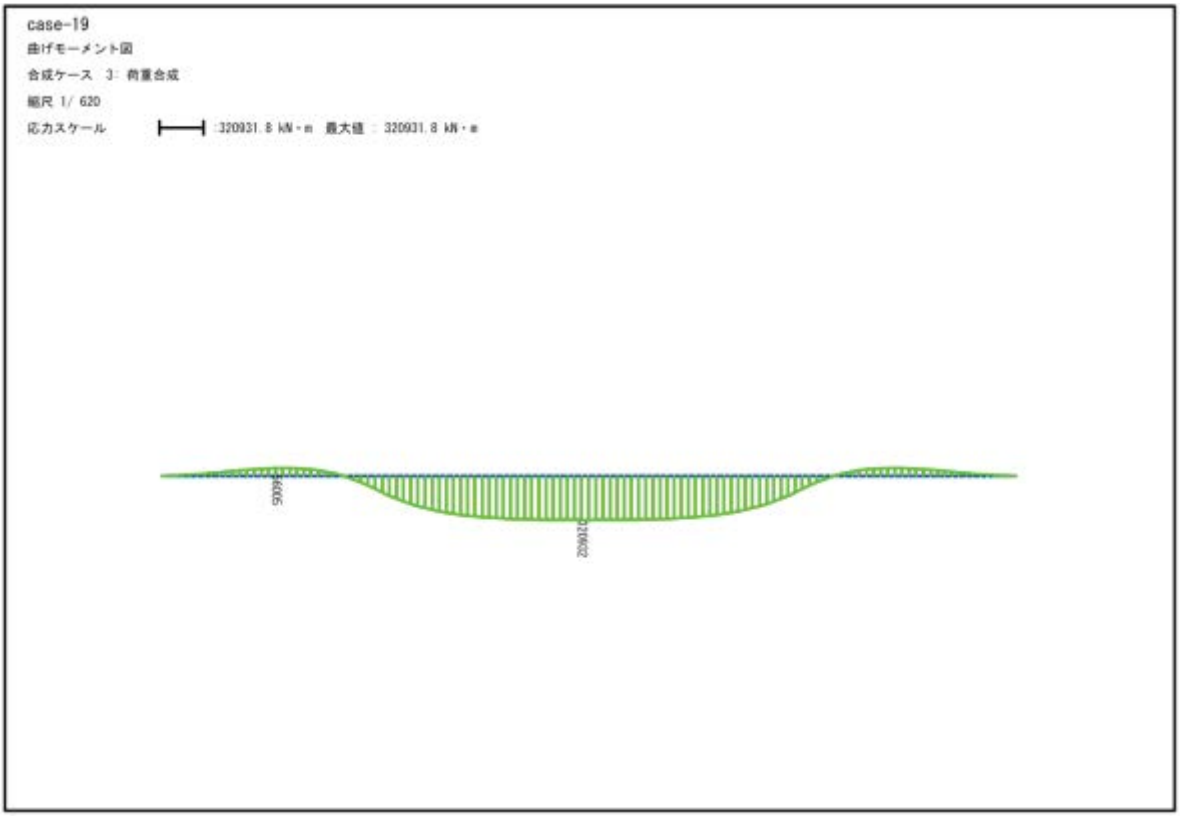


図 3.1-154　モーメント図（case-19）

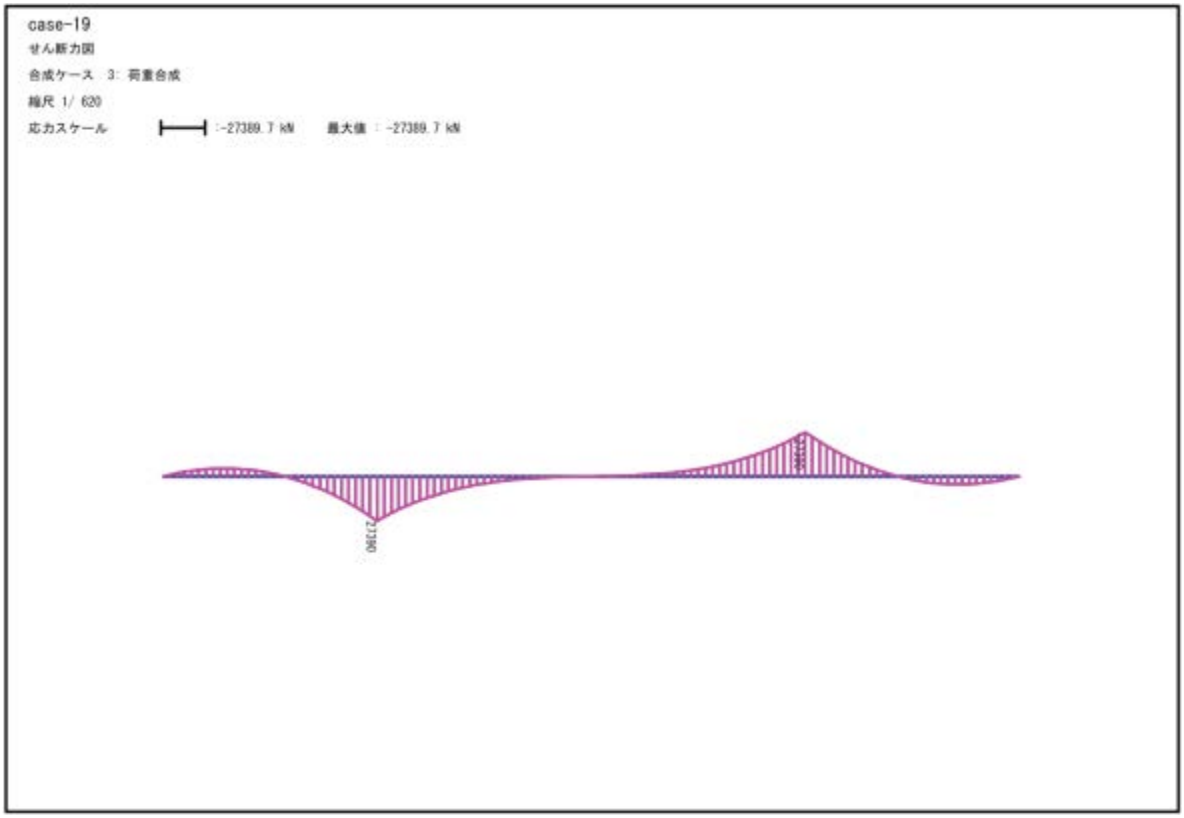


図 3.1-155　せん断力図（case-19）

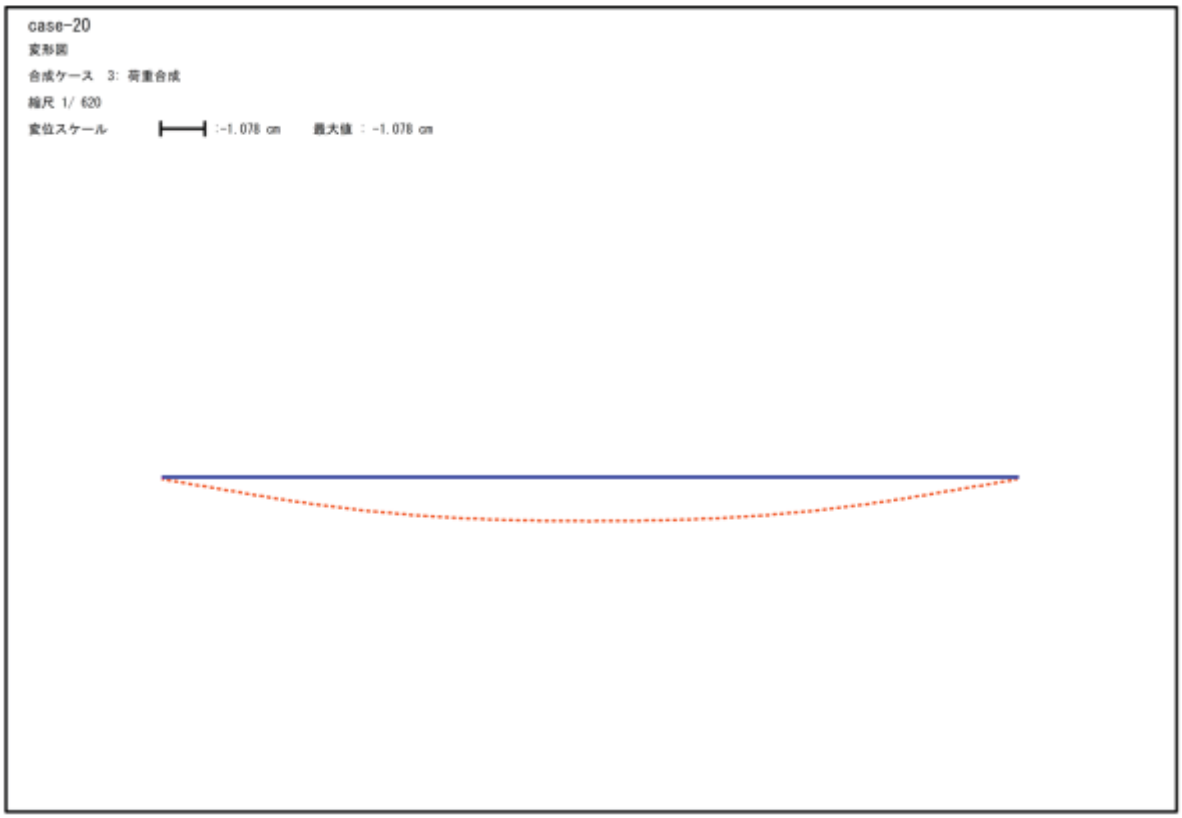


図 3.1-156　変形図（case-20）

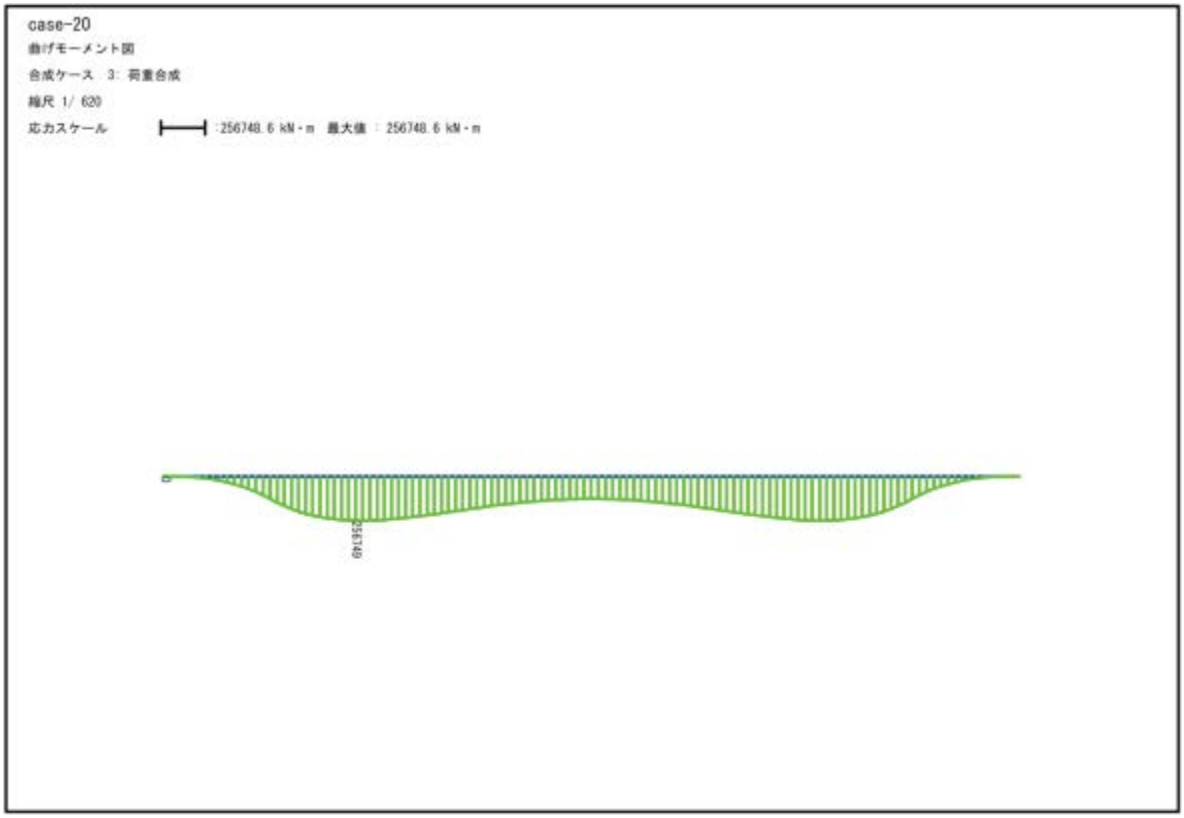


図 3.1-157　モーメント図（case-20）

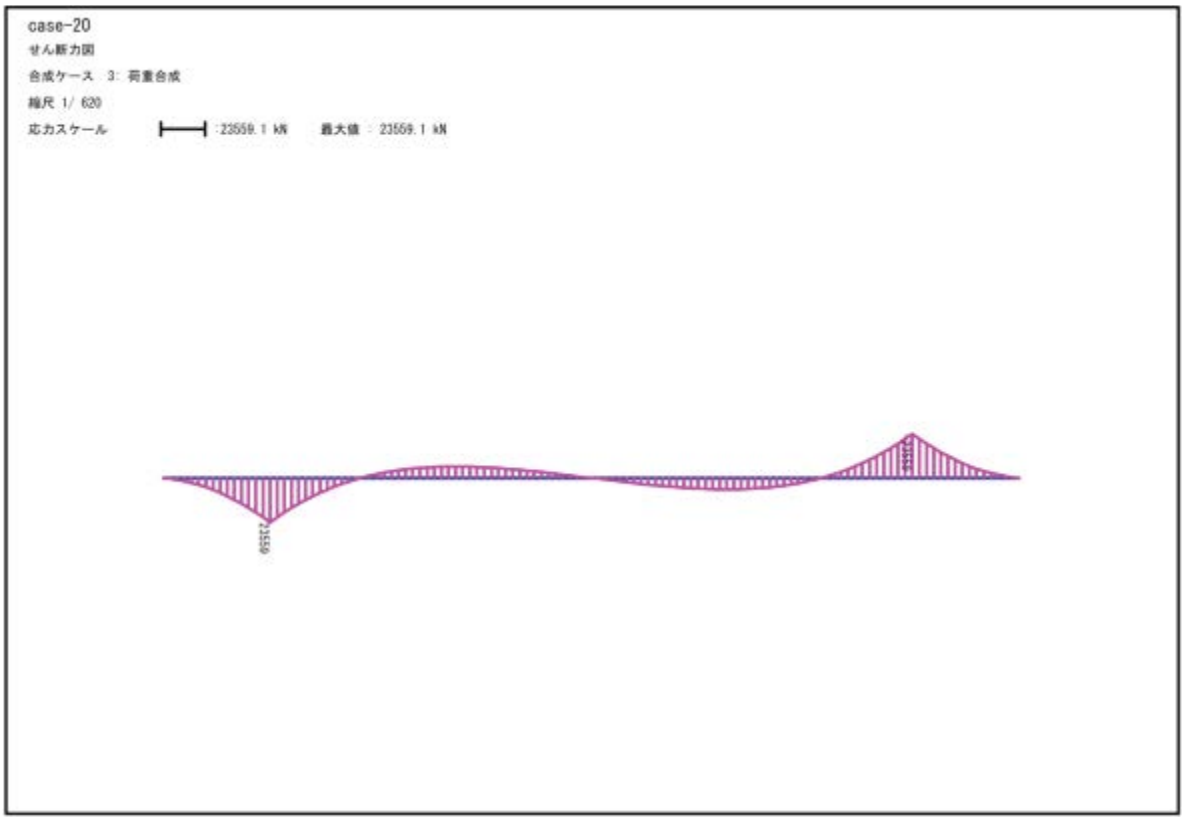


図 3.1-158　せん断力図（case-20）

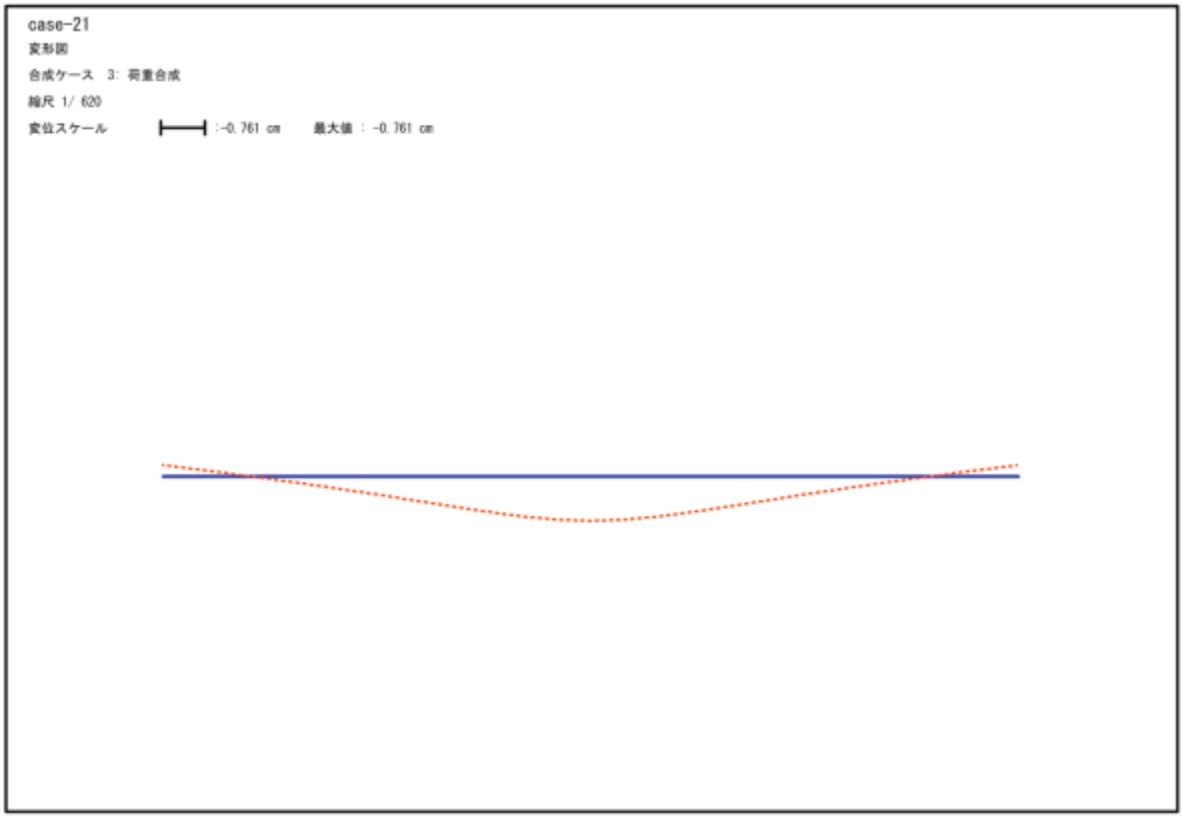


図 3.1-159　変形図（case-21）

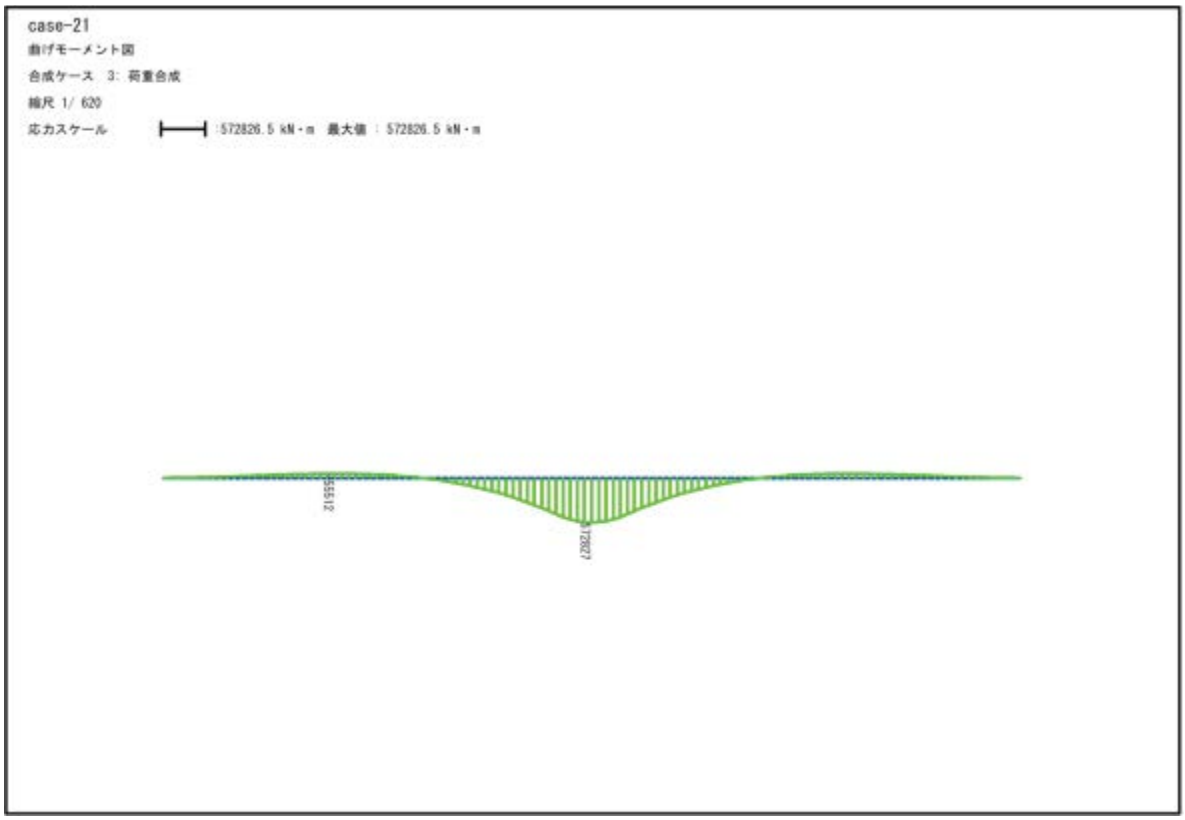


図 3.1-160　モーメント図（case-21）

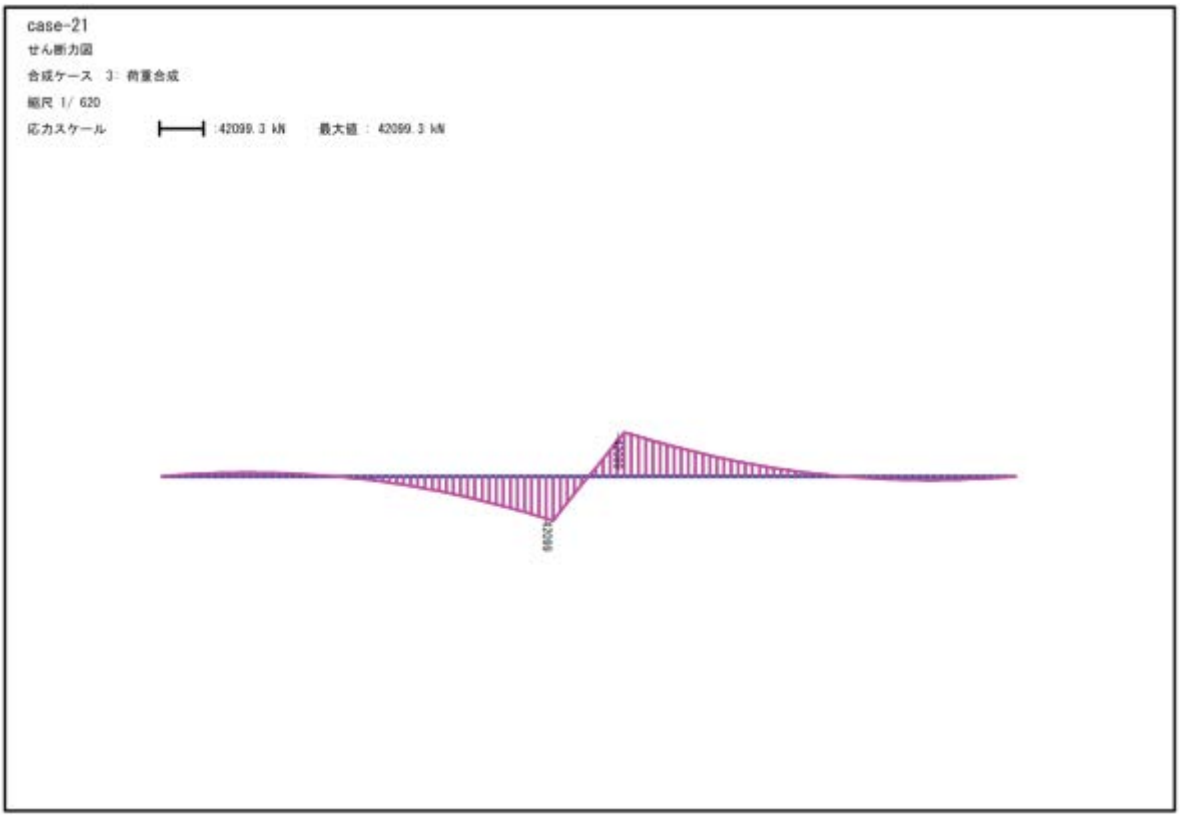


図 3.1-161　せん断力図（case-21）

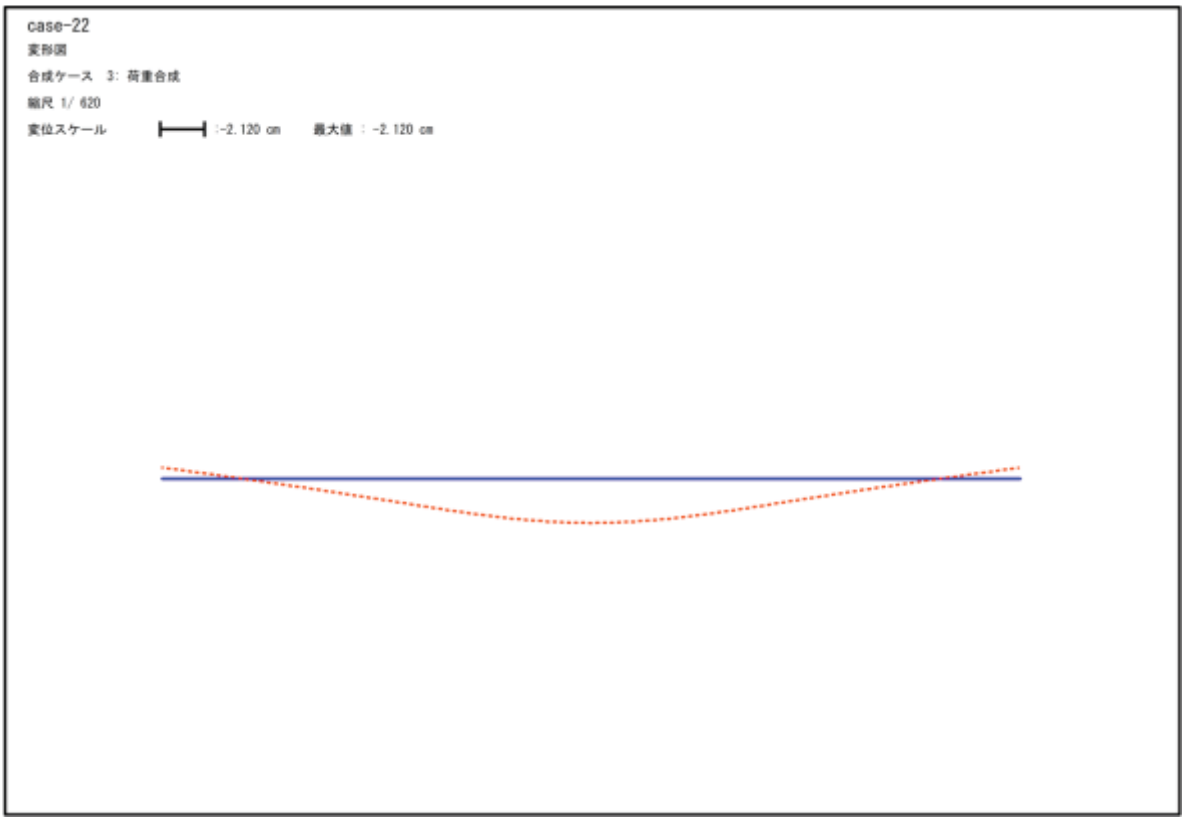


図 3.1-162　変形図（case-22）

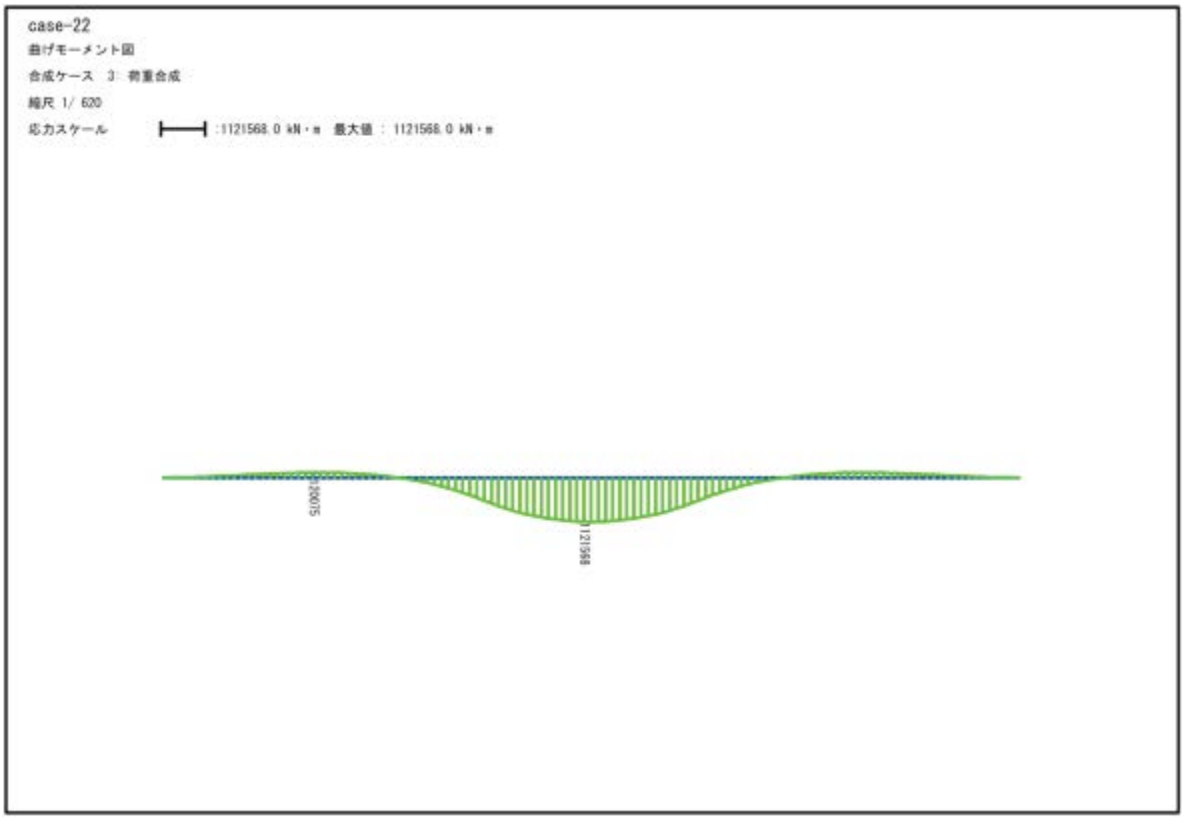


図 3.1-163　モーメント図（case-22）

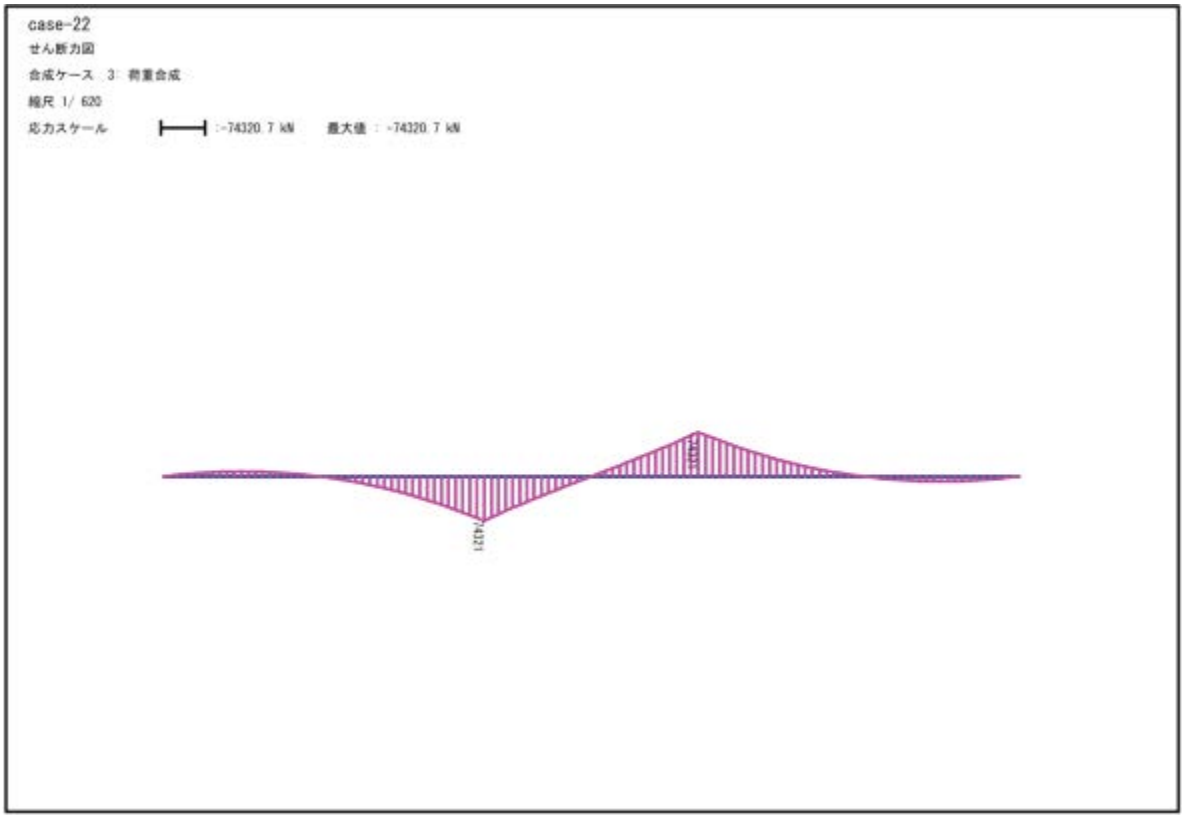


図 3.1-164　せん断力図（case-22）

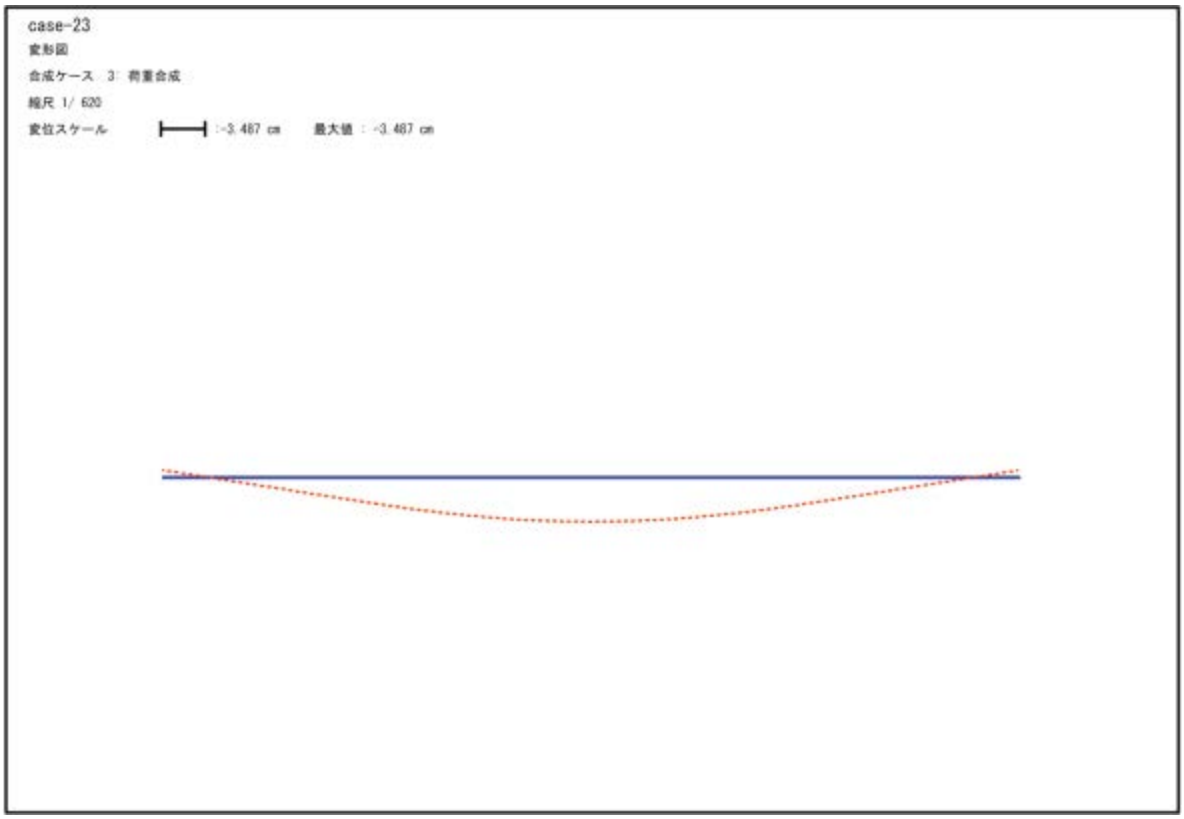


図 3.1-165　変形図（case-23）

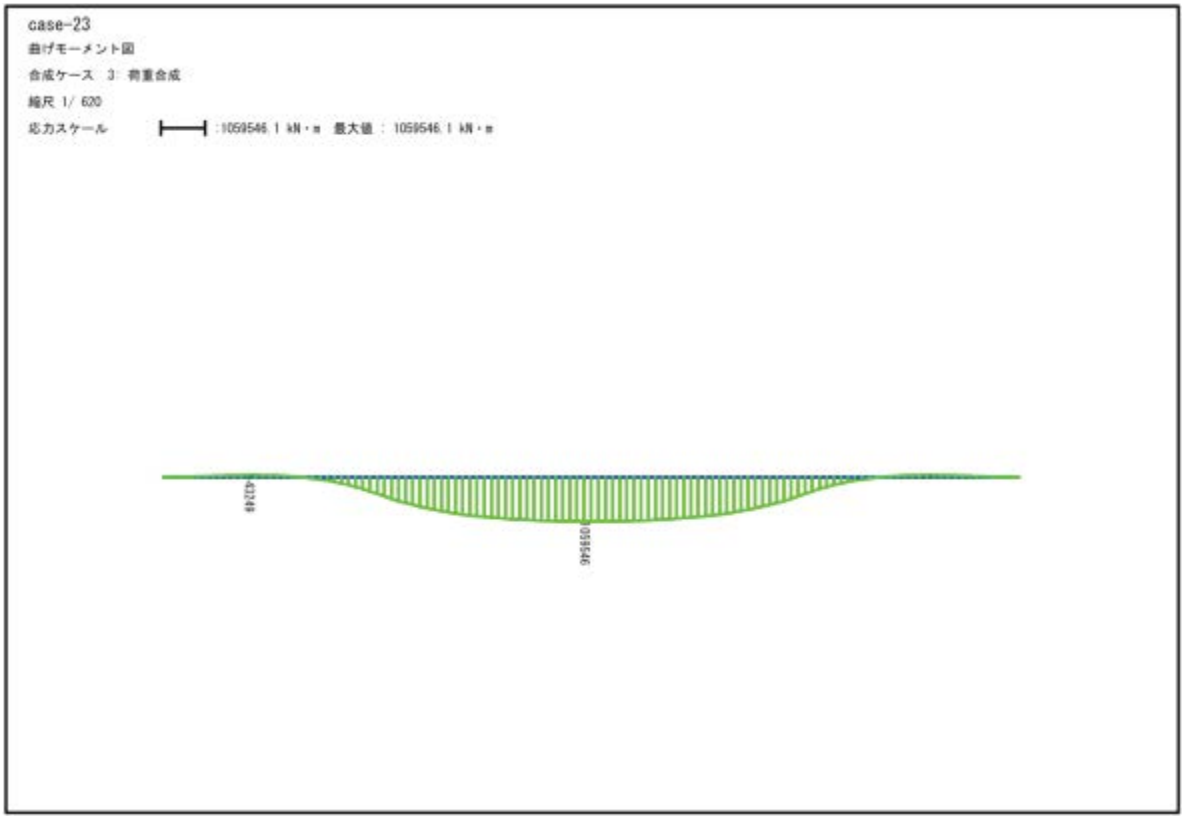


図 3.1-166　モーメント図（case-23）

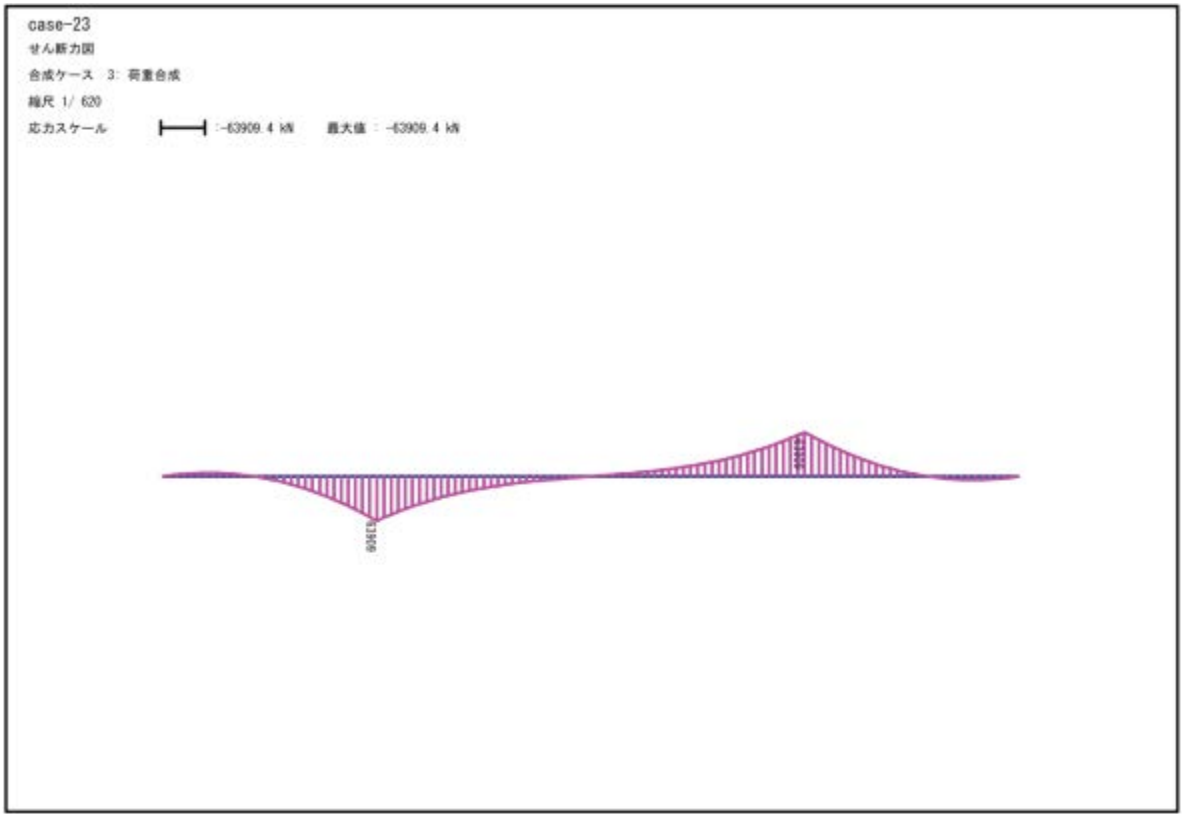


図 3.1-167　せん断力図（case-23）

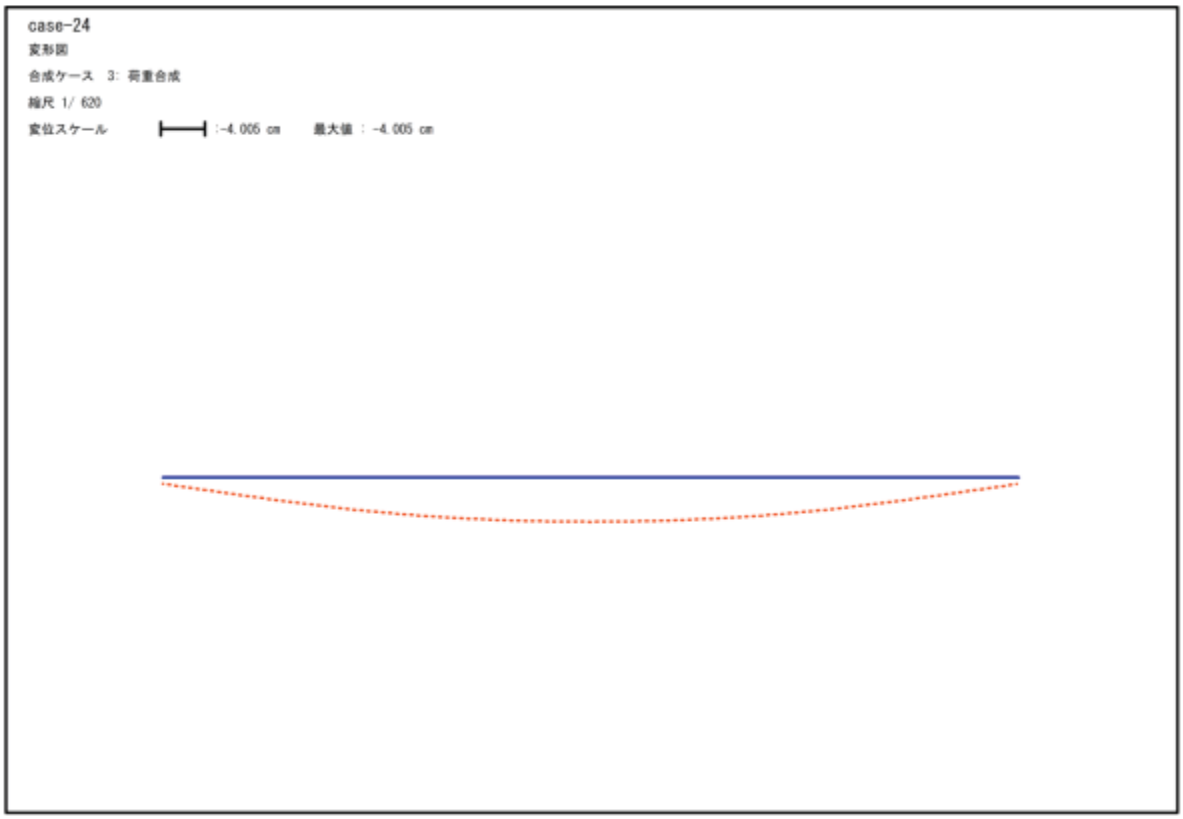


図 3.1-168　変形図（case-24）

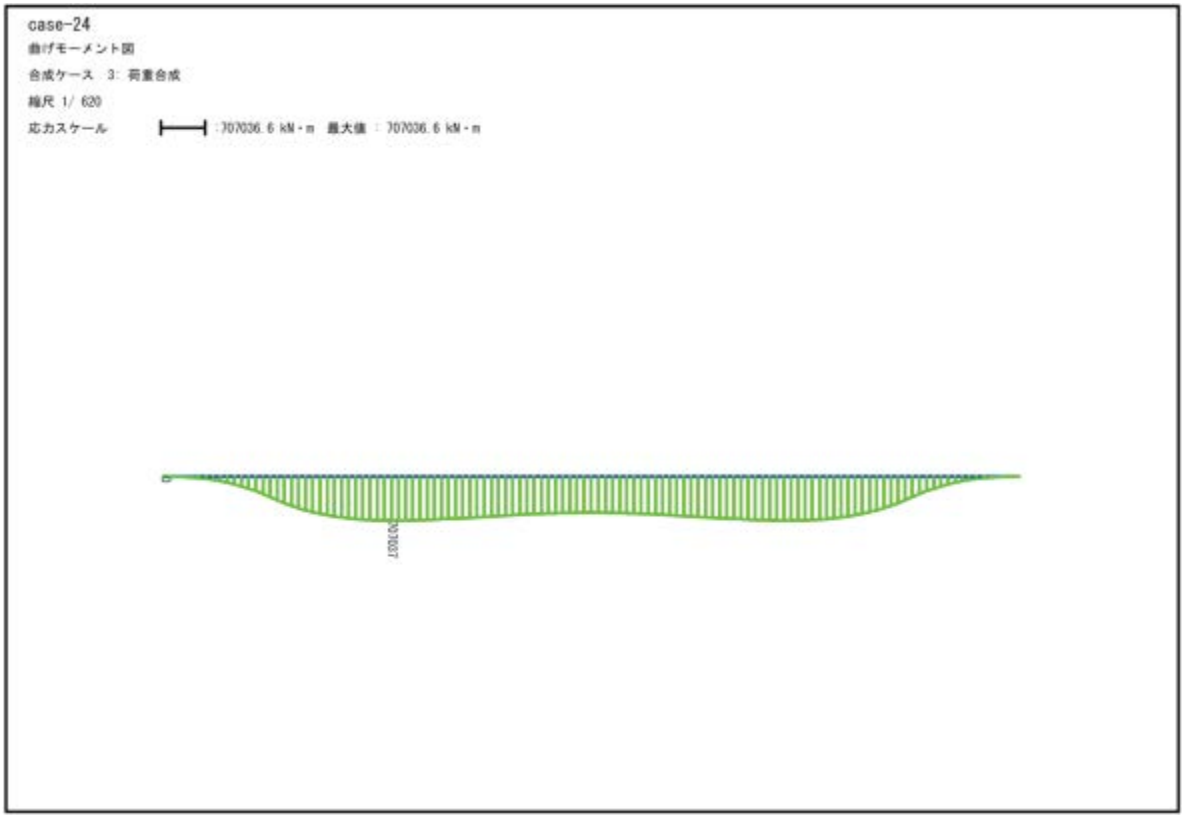


図 3.1-169　モーメント図（case-24）

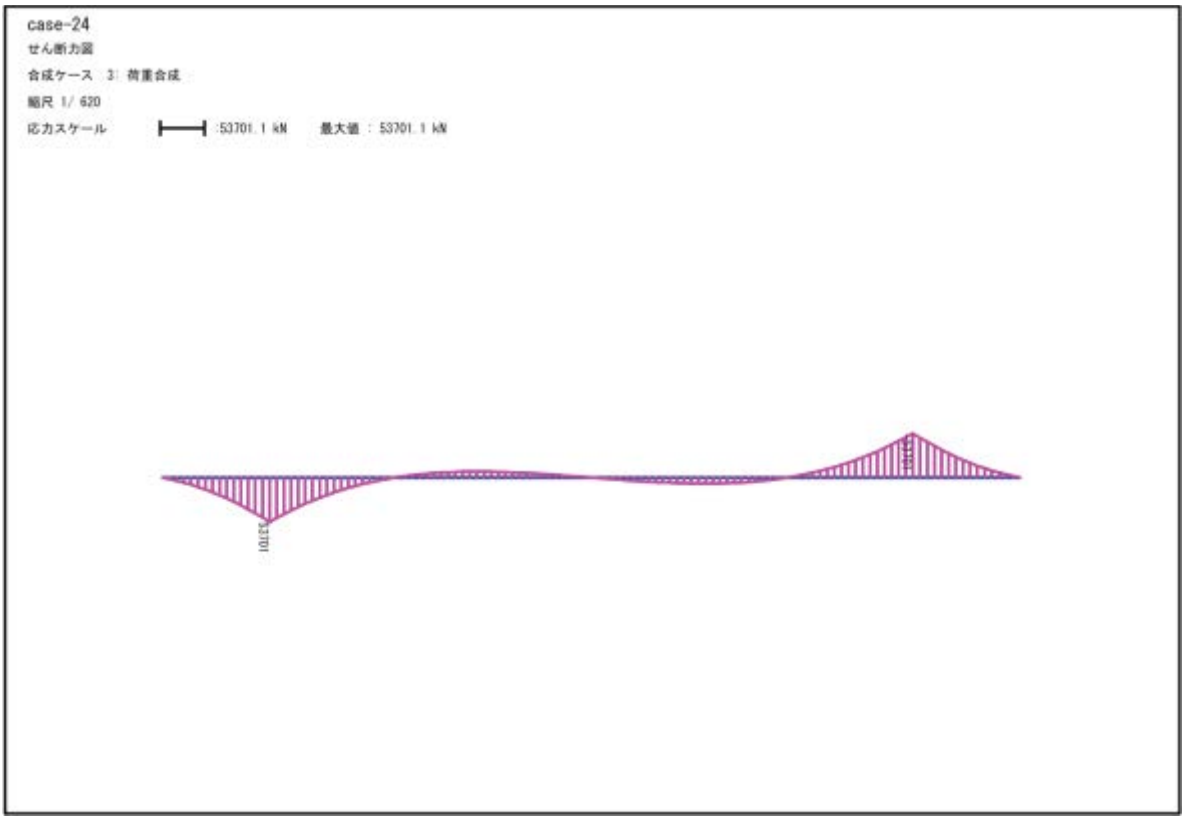


図 3.1-170　せん断力図（case-24）

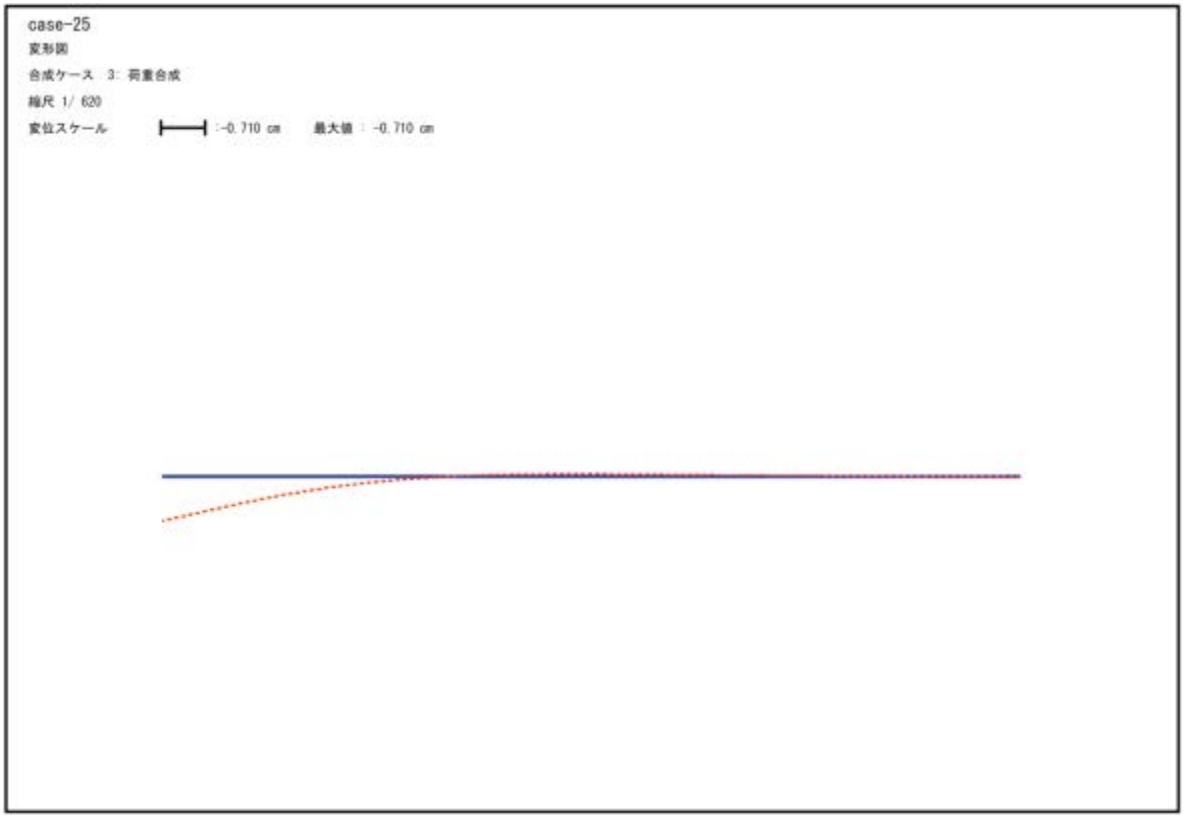


図 3.1-171　変形図（case-25）

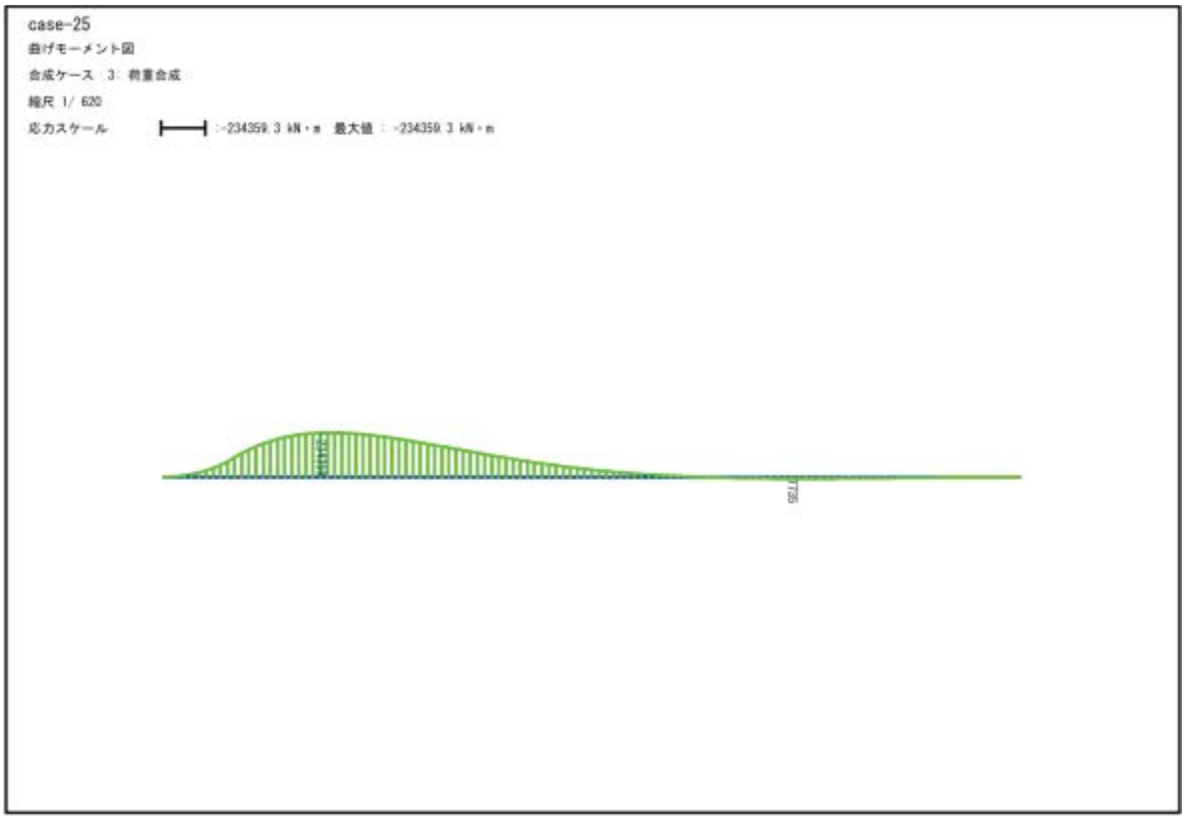


図 3.1-172　モーメント図（case-25）

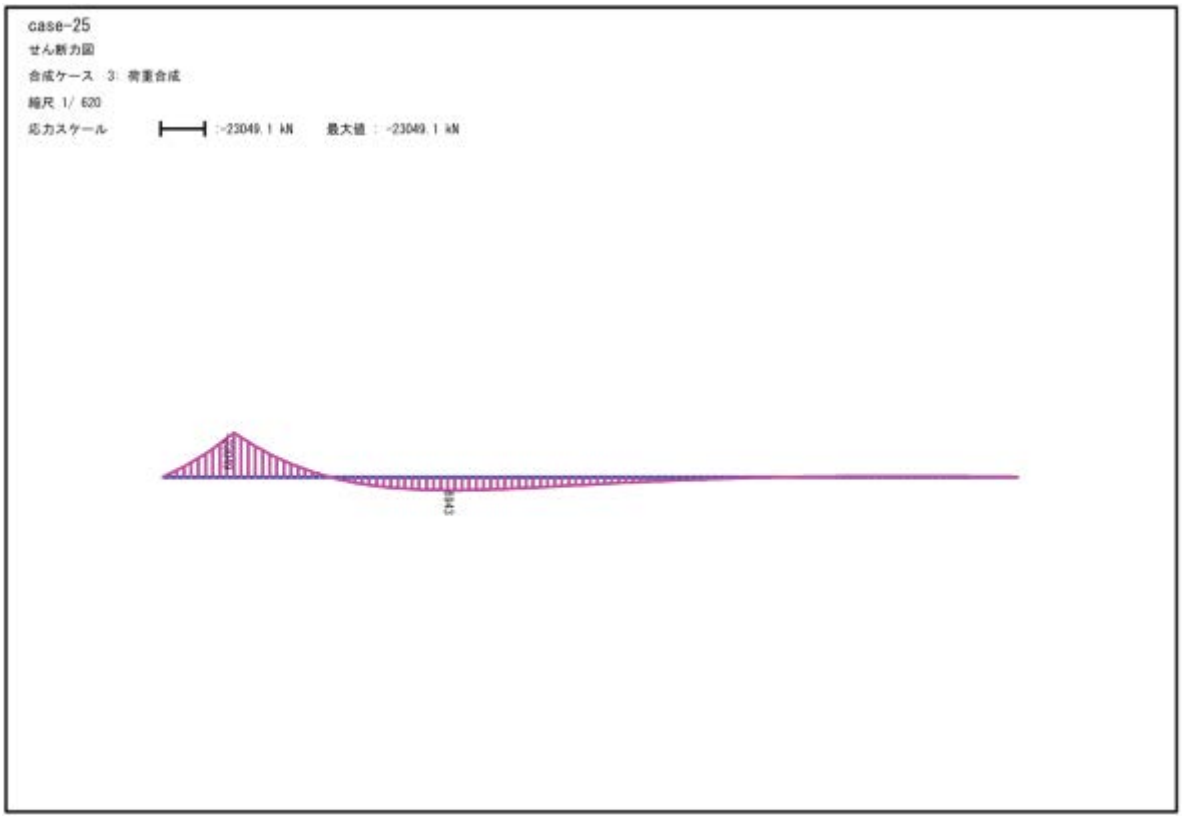


図 3.1-173　せん断力図（case-25）

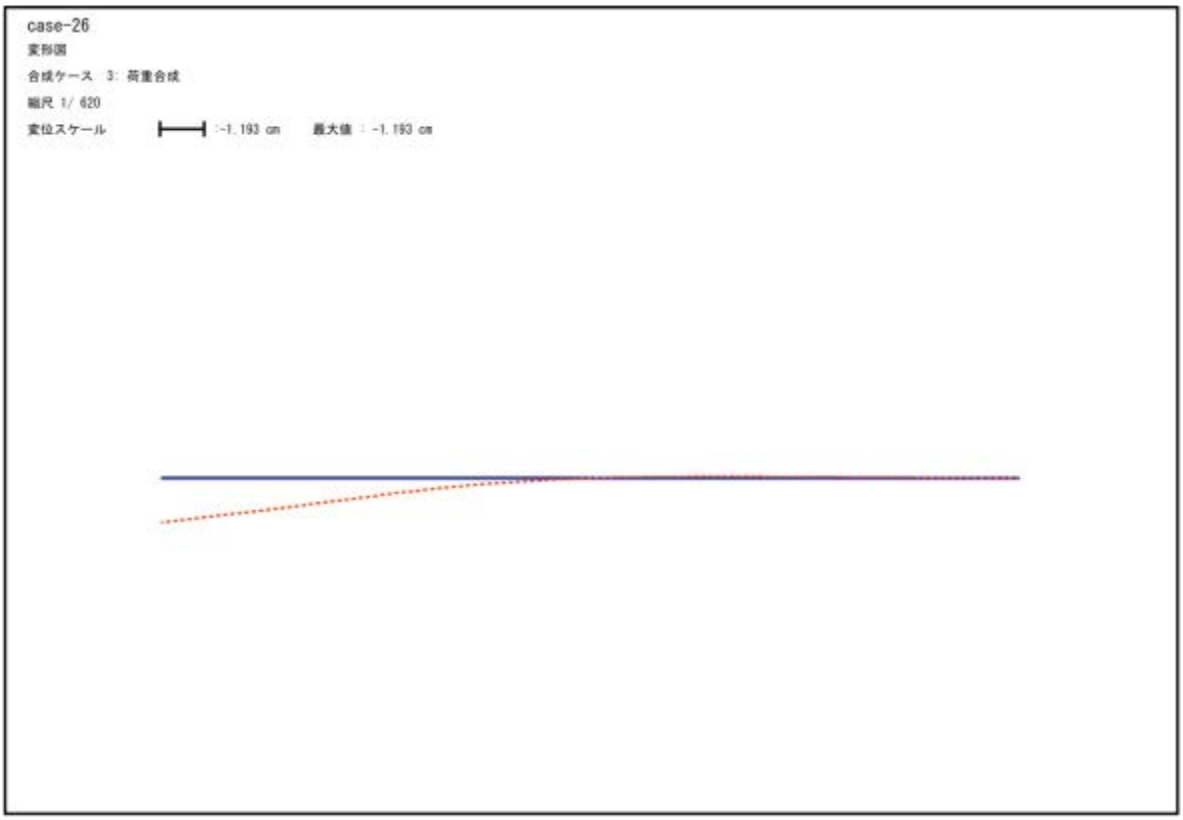


図 3.1-174　変形図（case-26）

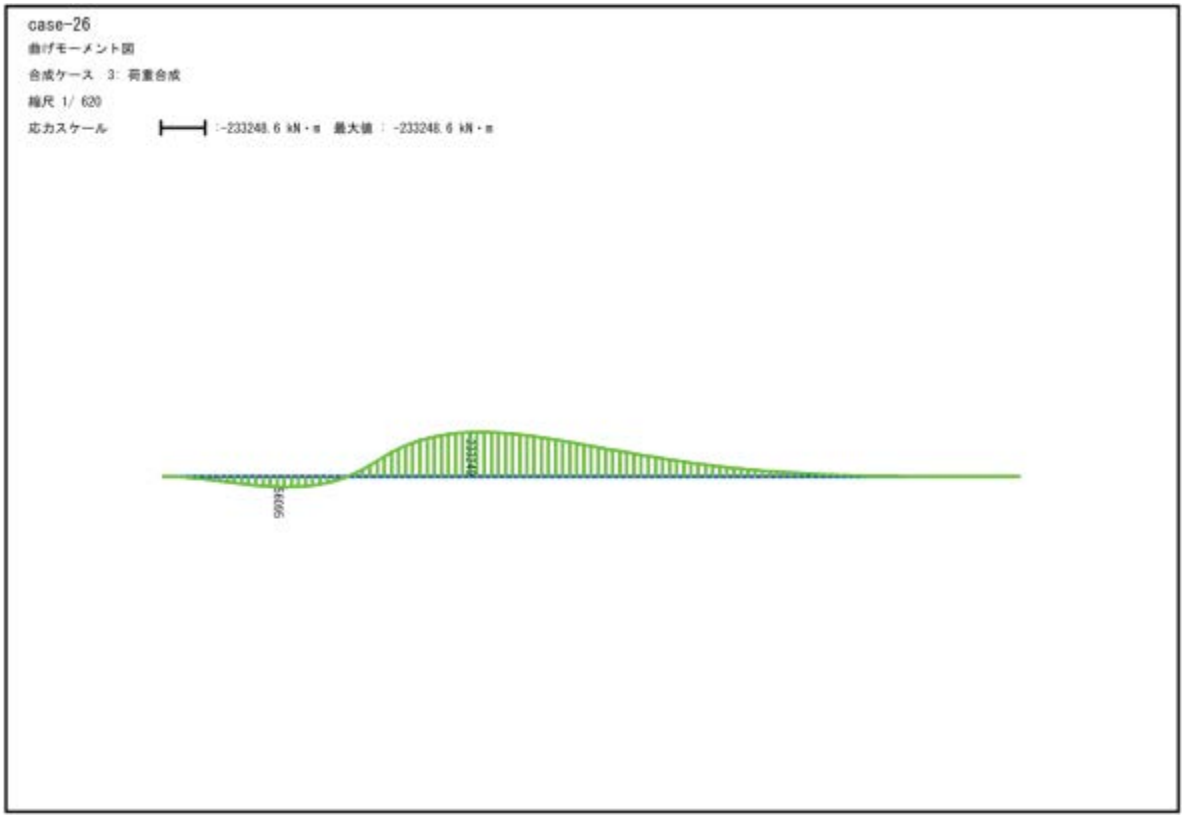


図 3.1-175　モーメント図（case-26）

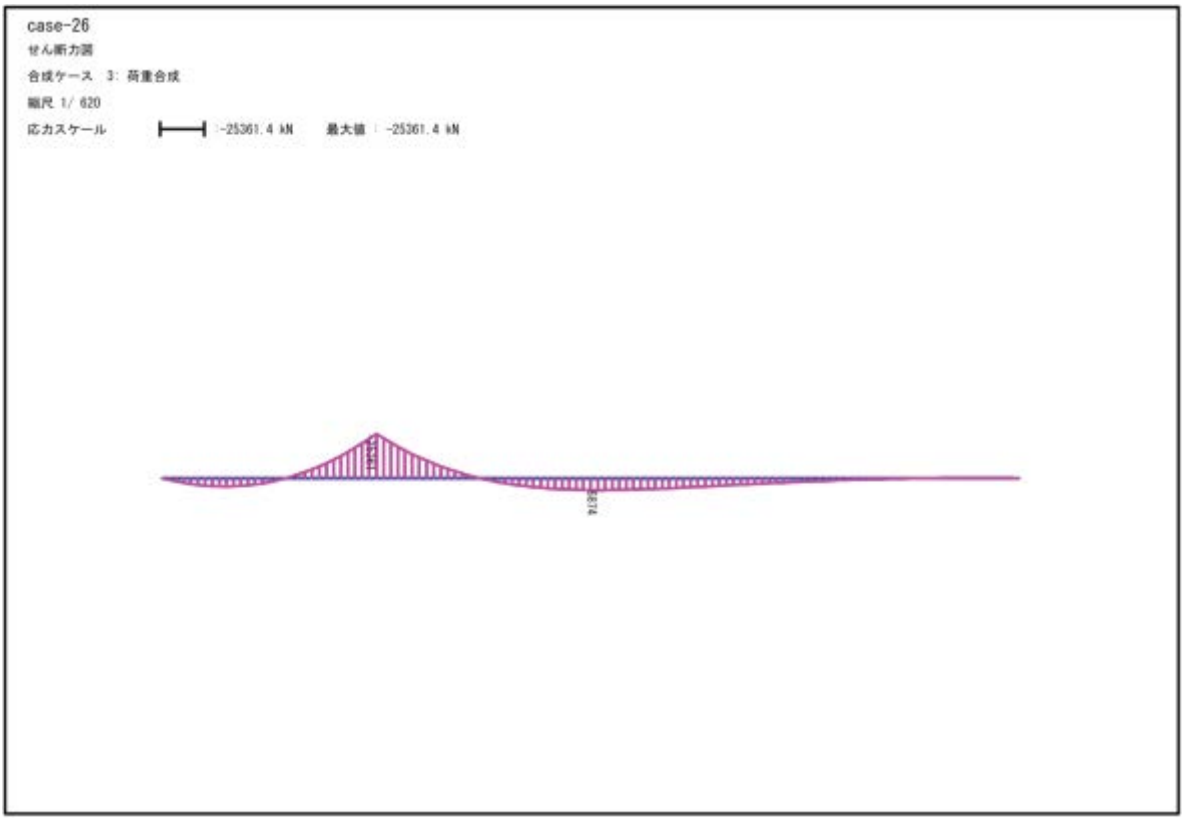


図 3.1-176　せん断力図（case-26）

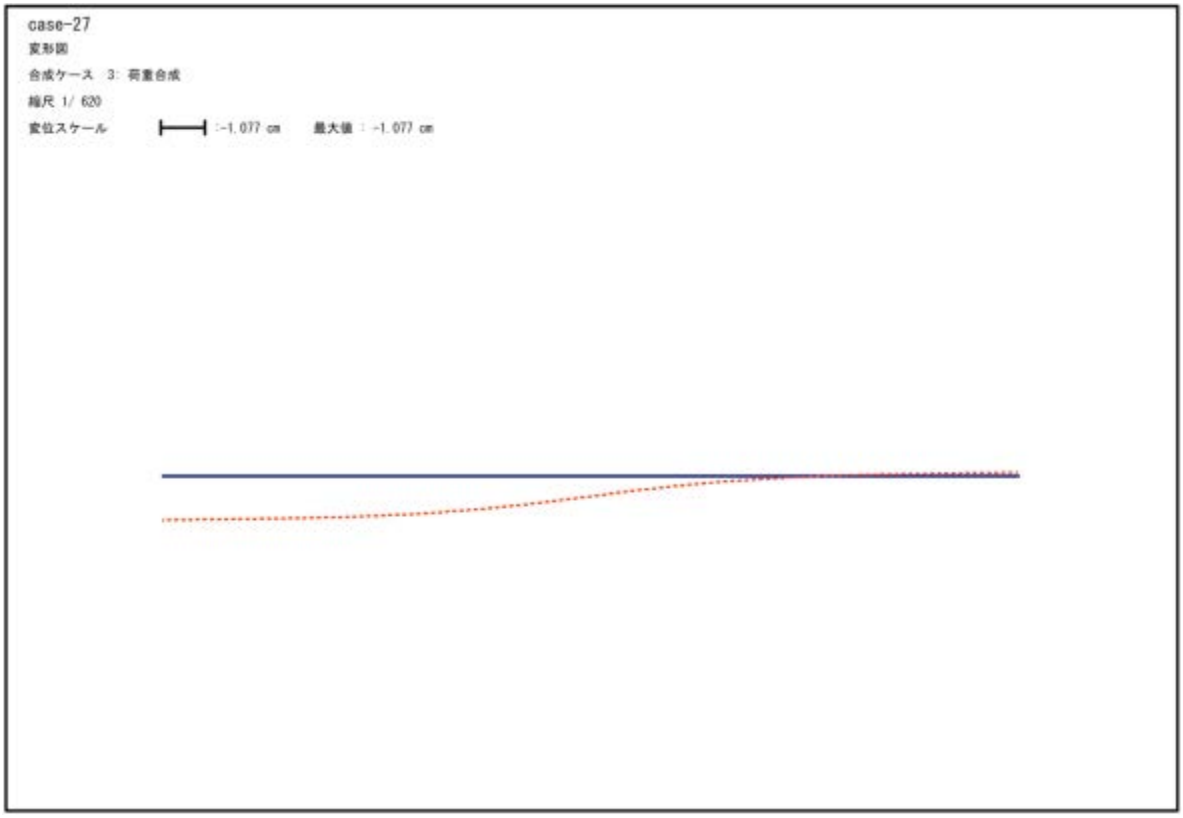


図 3.1-177　変形図（case-27）

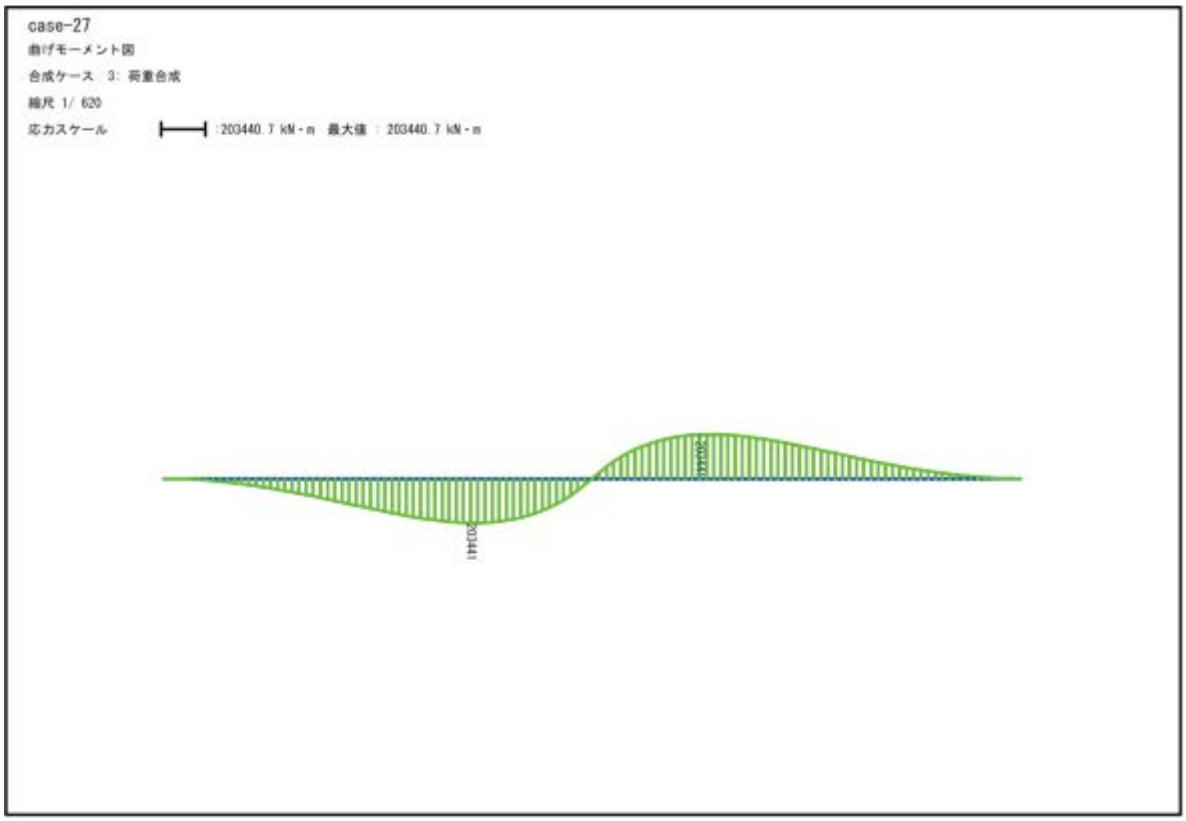


図 3.1-178　モーメント図（case-27）

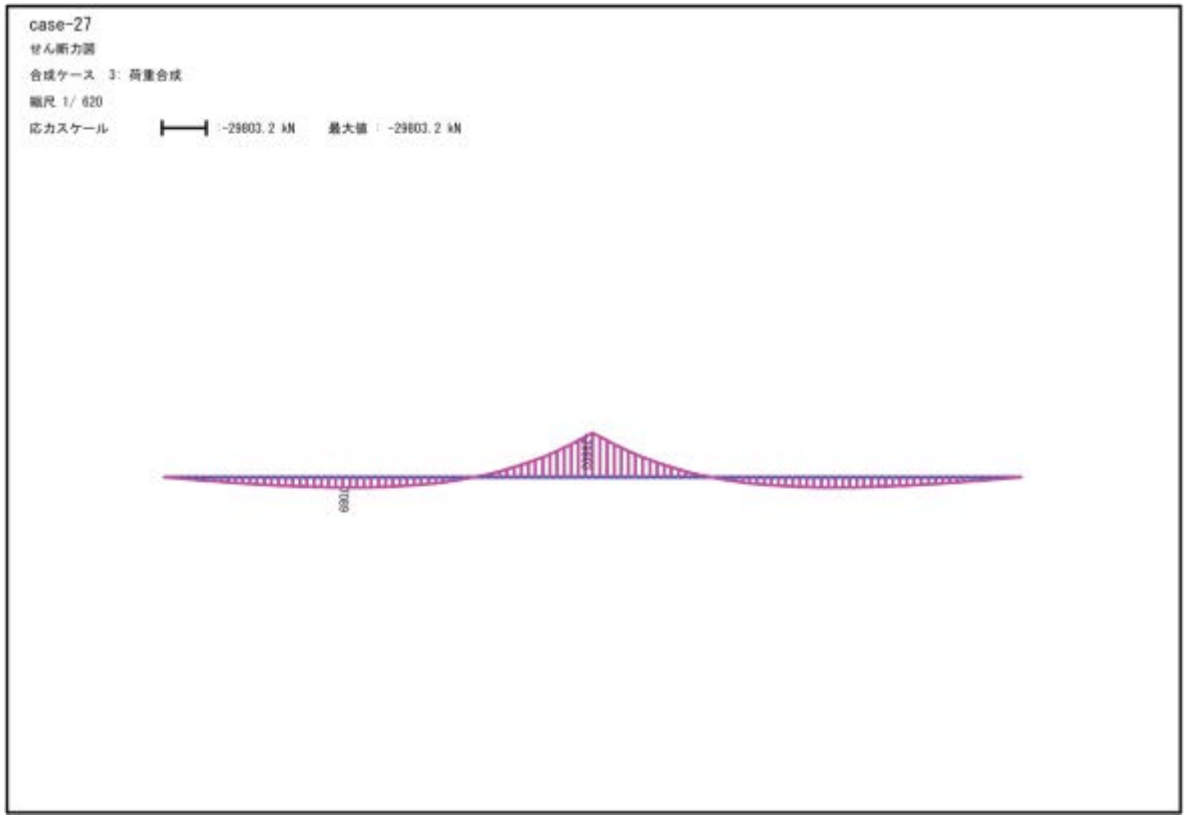


図 3.1-179　せん断力図（case-27）

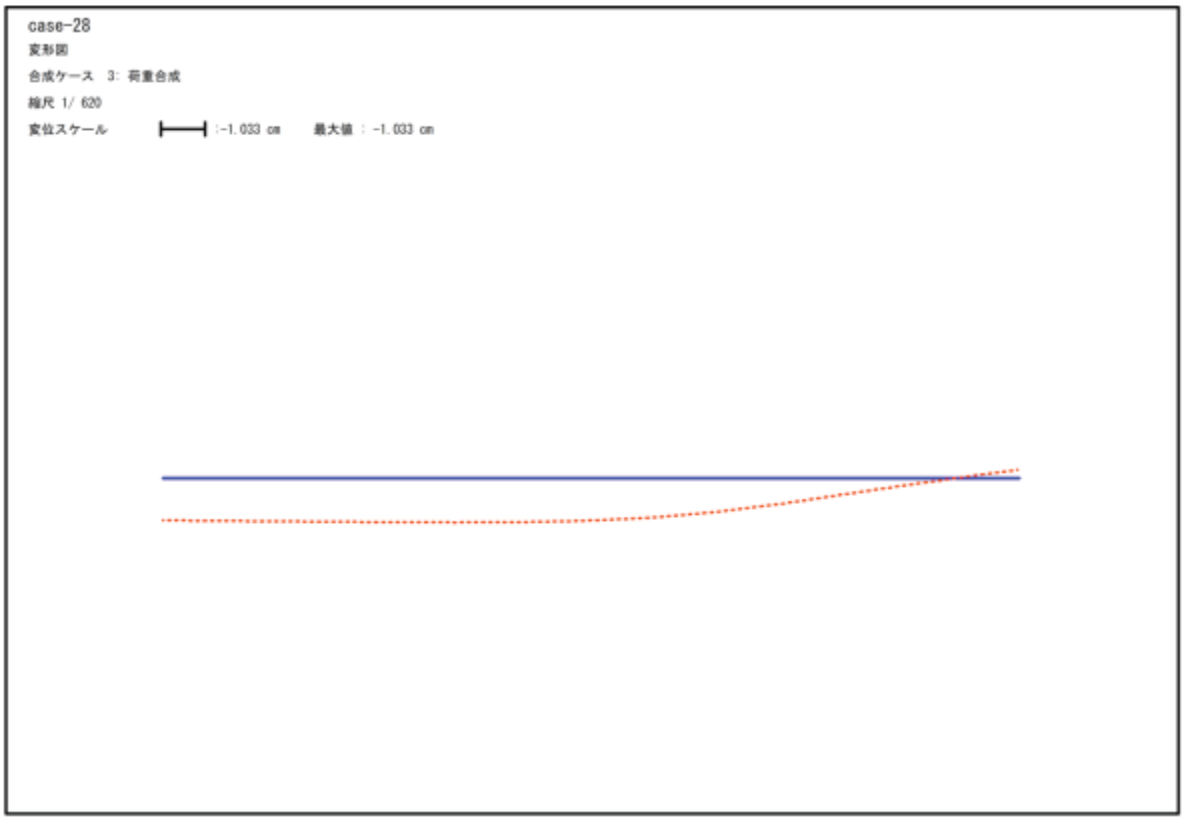


図 3.1-180　変形図（case-28）

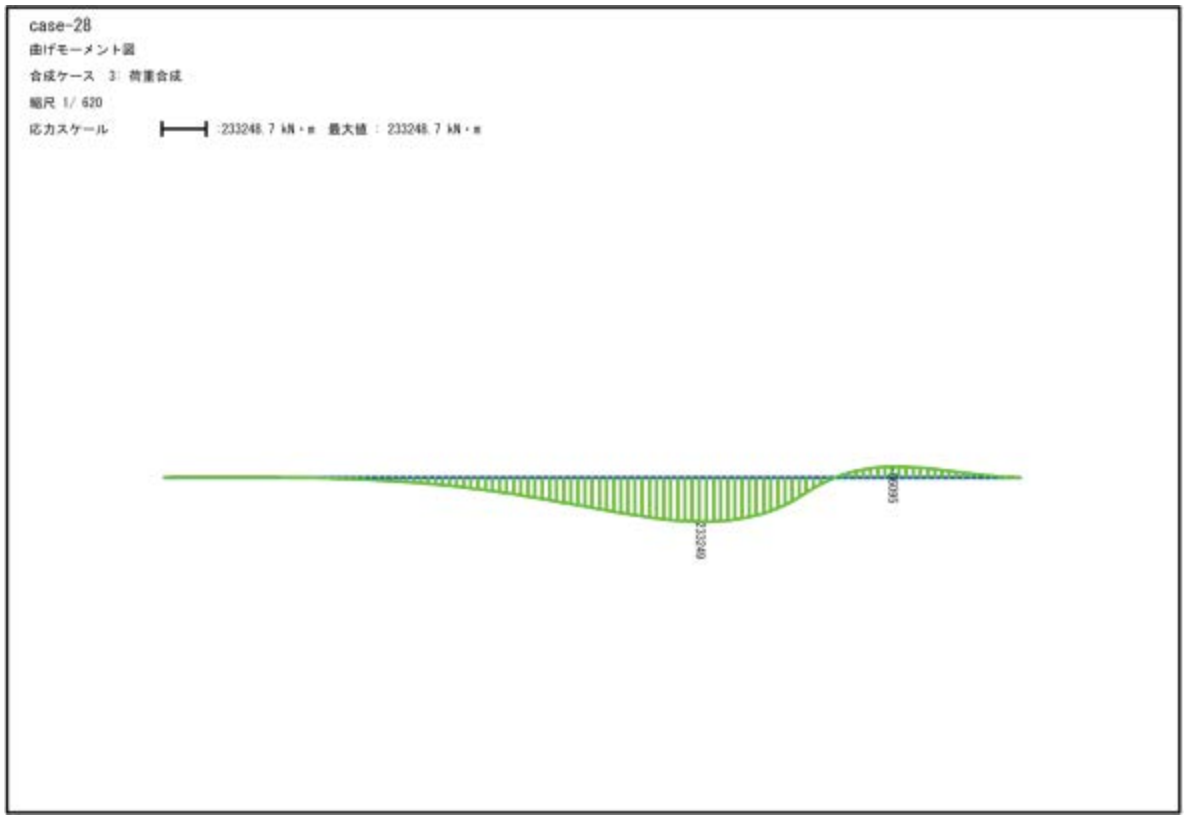


図 3.1-181　モーメント図（case-28）

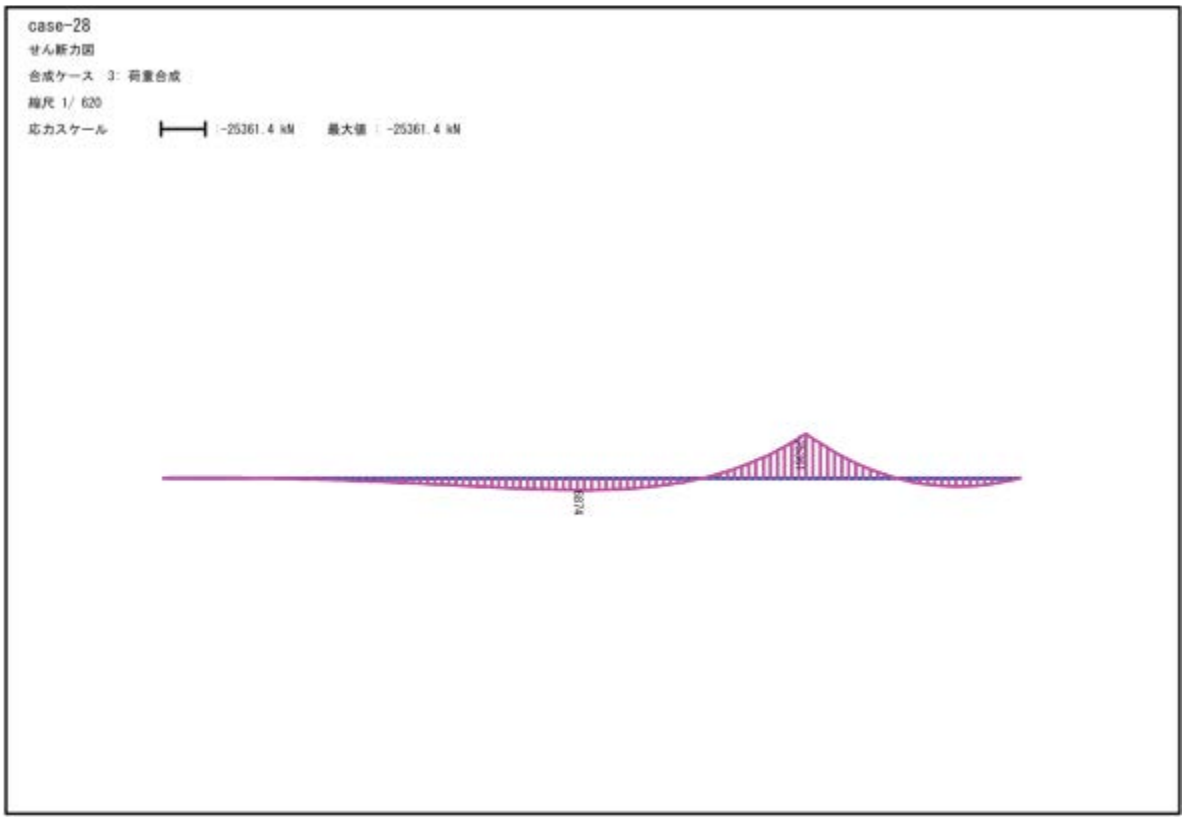


図 3.1-182　せん断力図（case-28）

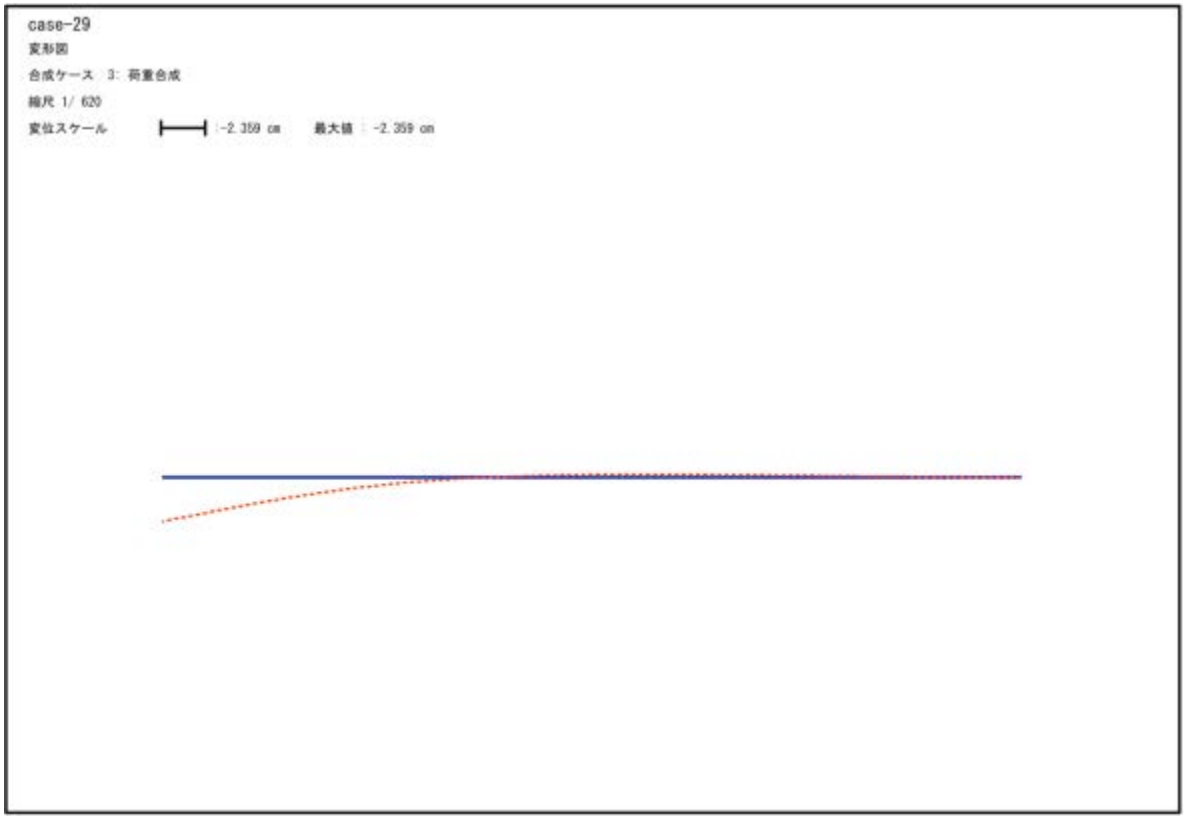


図 3.1-183　変形図（case-29）

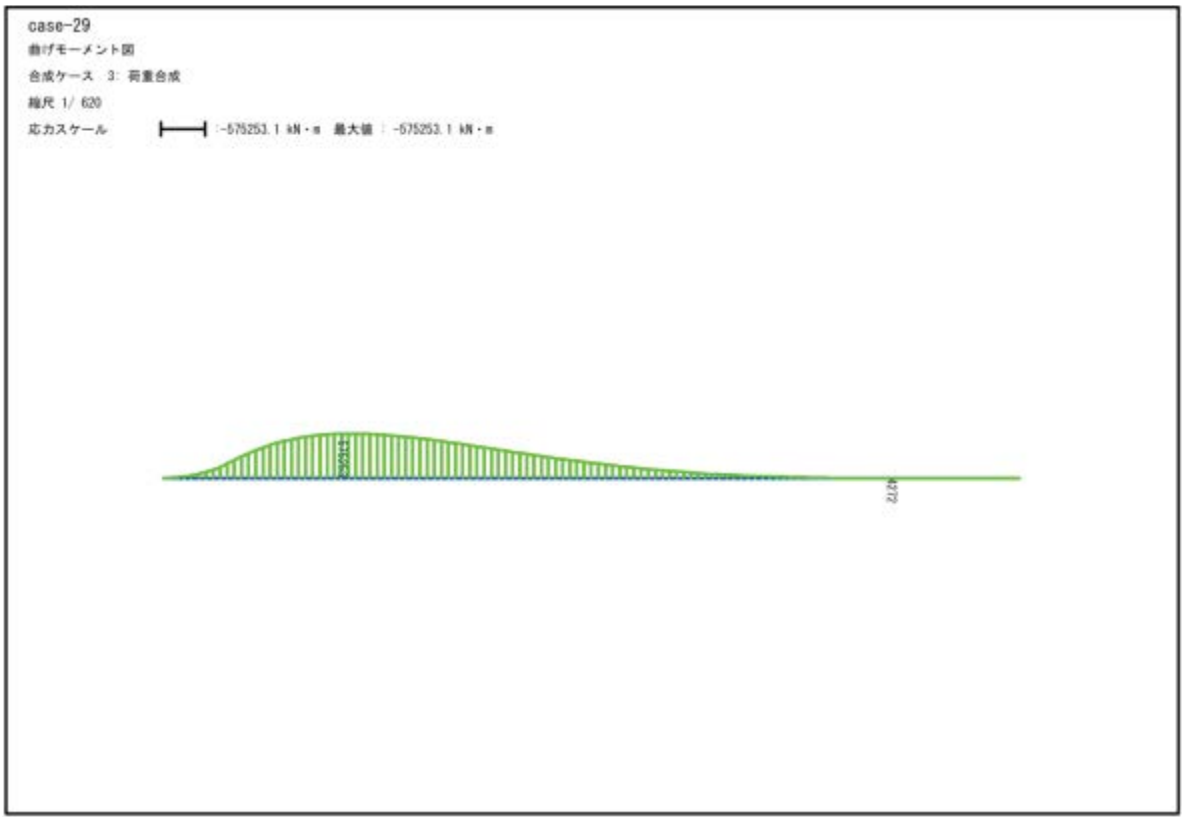


図 3.1-184　モーメント図（case-29）

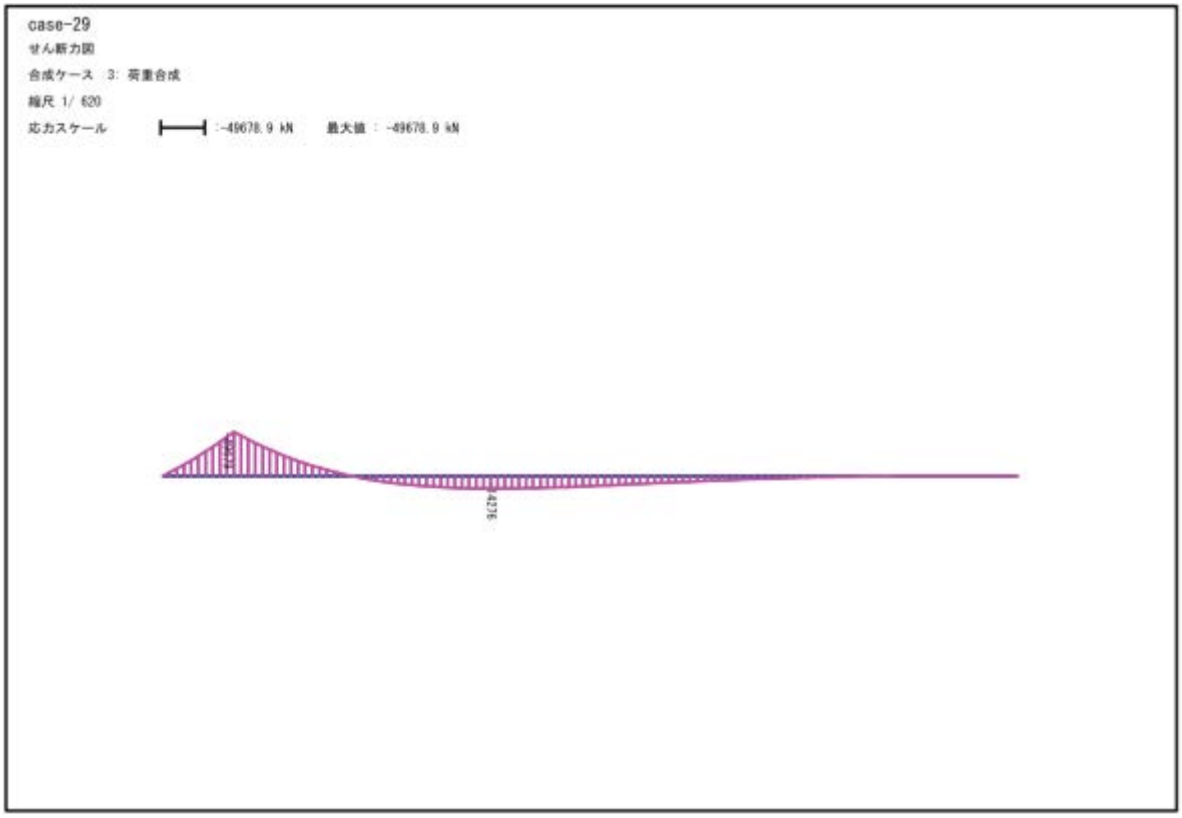


図 3.1-185　せん断力図（case-29）

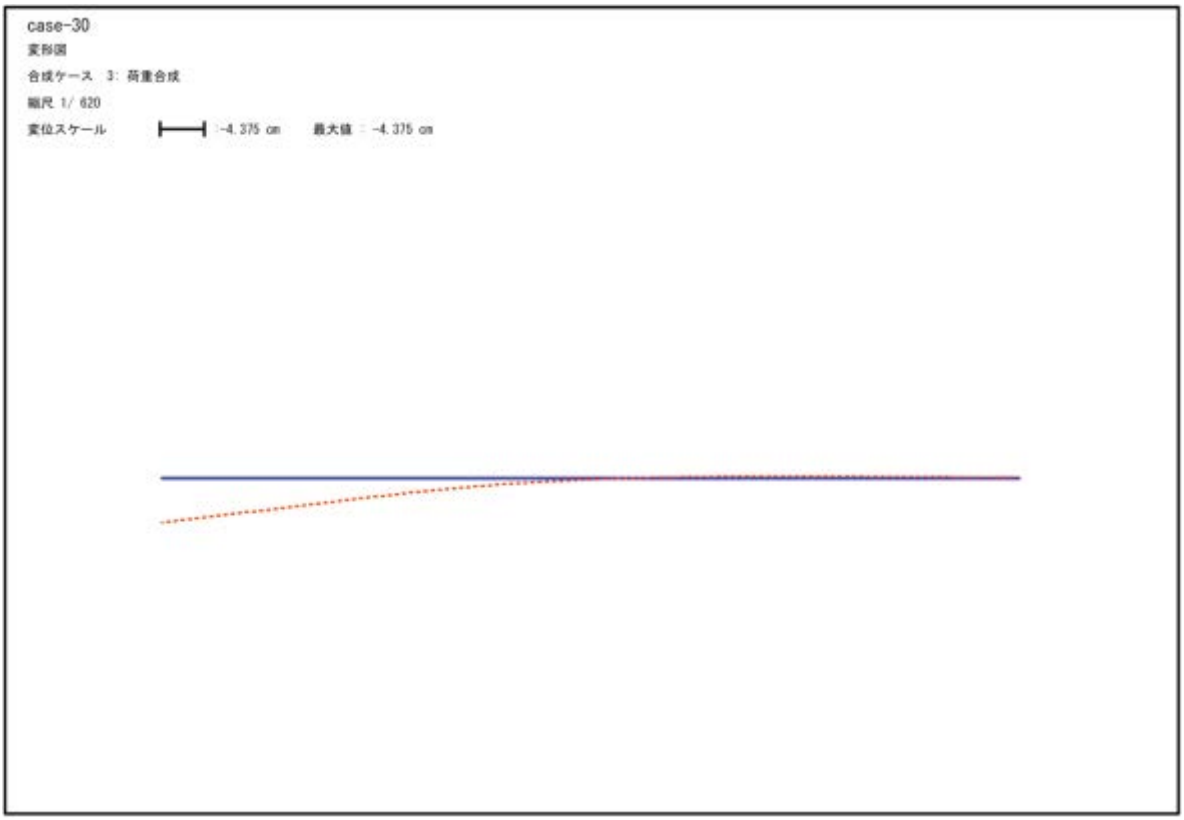


図 3.1-186　変形図（case-30）

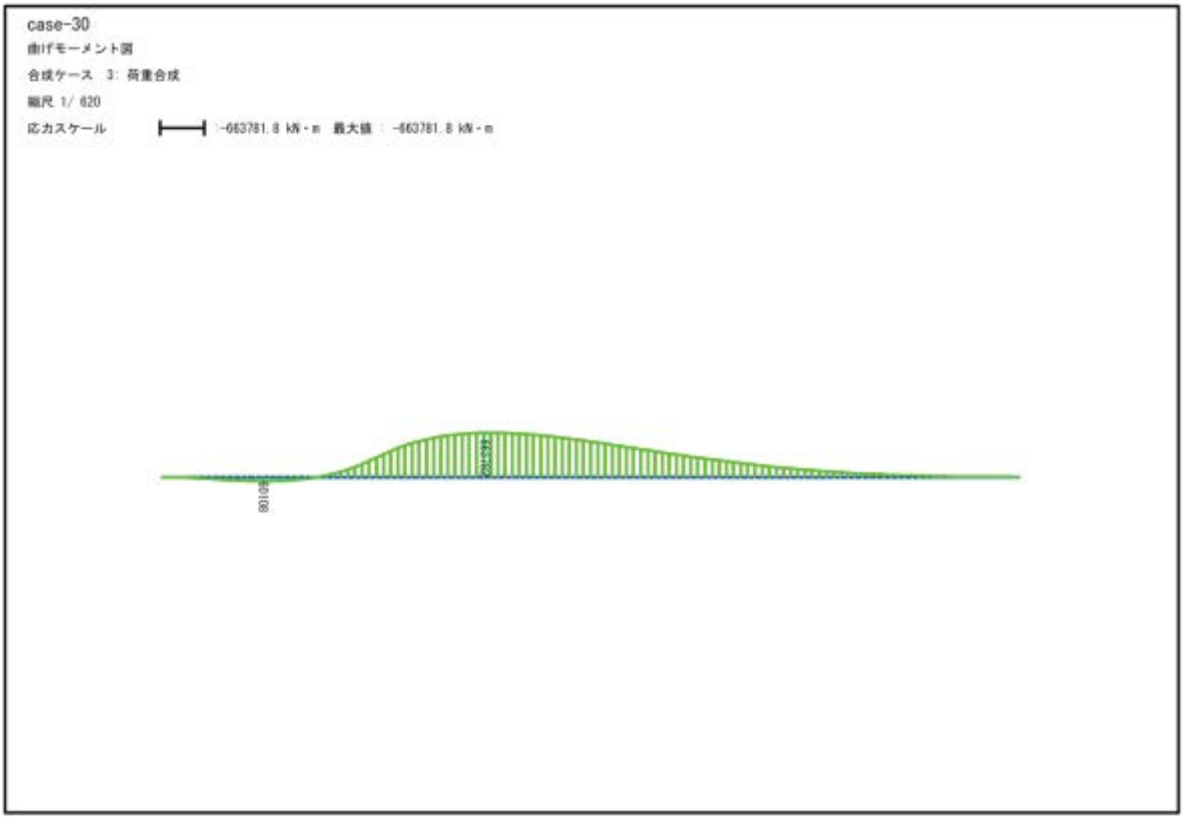


図 3.1-187　モーメント図（case-30）

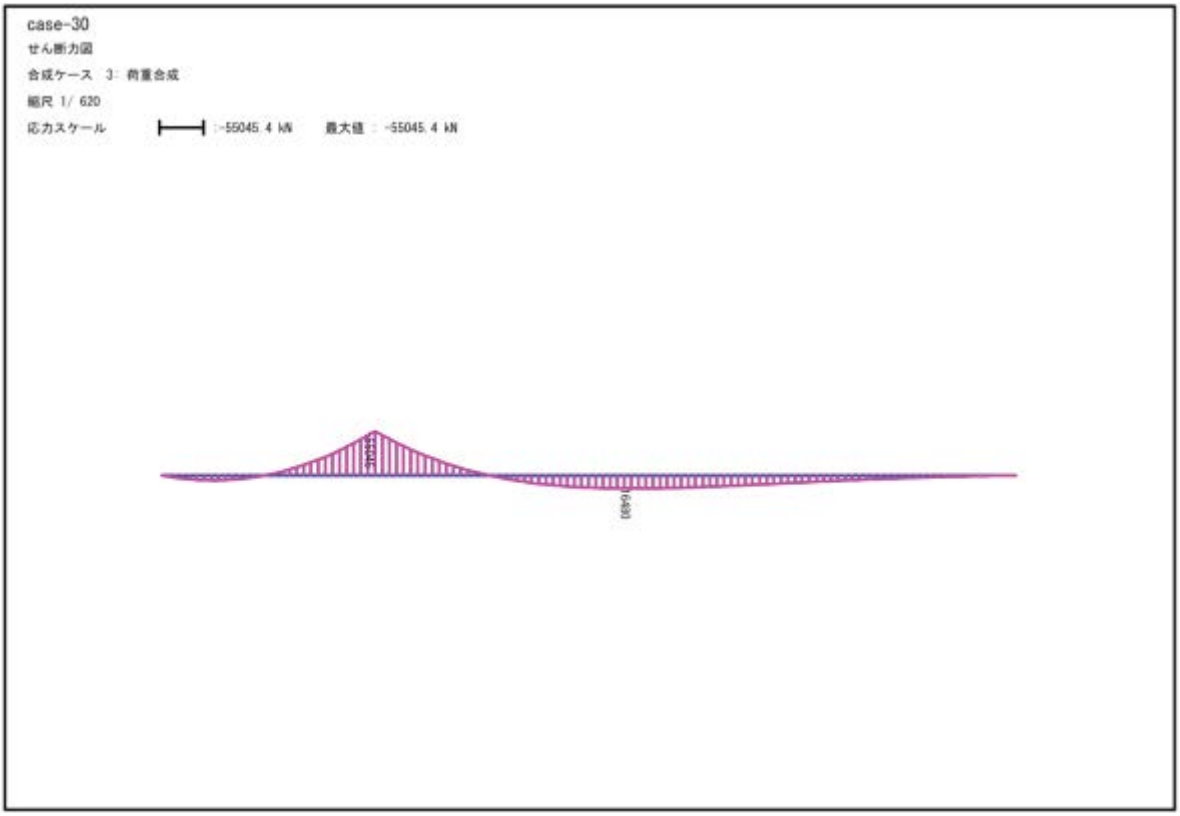


図 3.1-188　せん断力図（case-30）

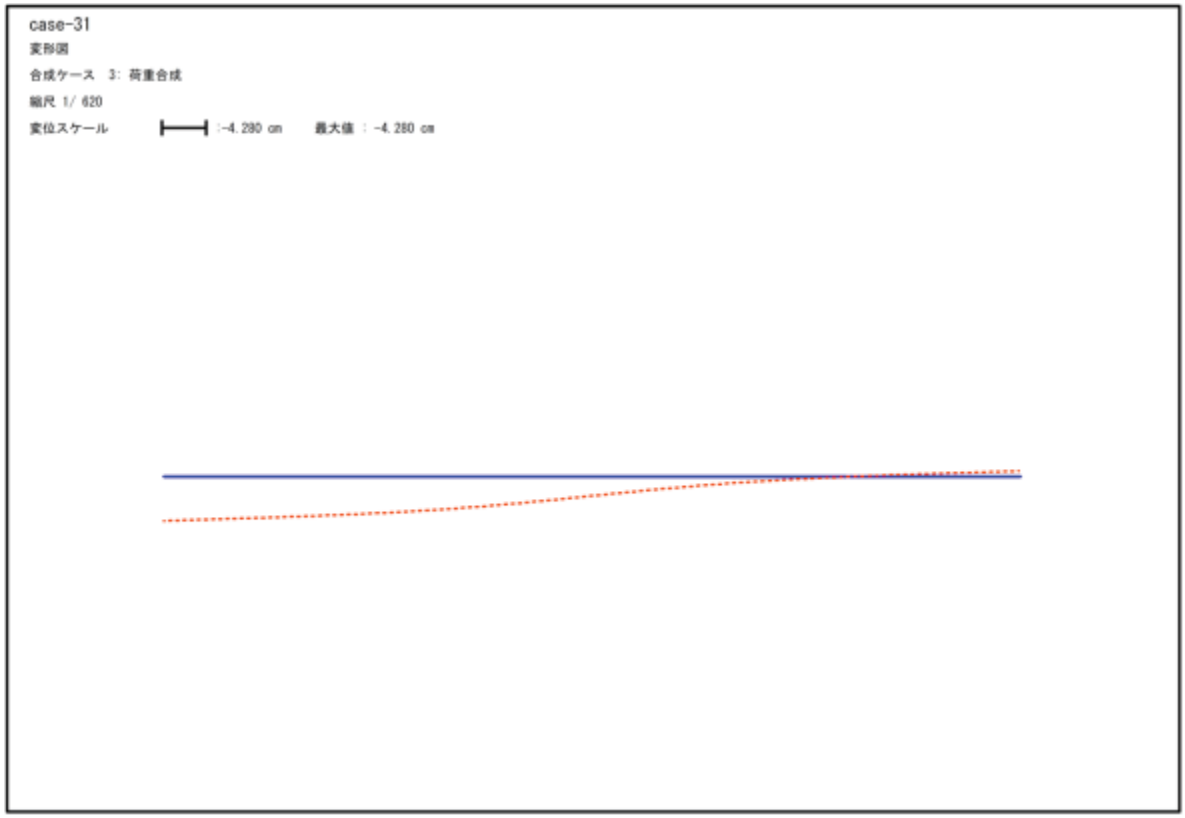


図 3.1-189　変形図（case-31）

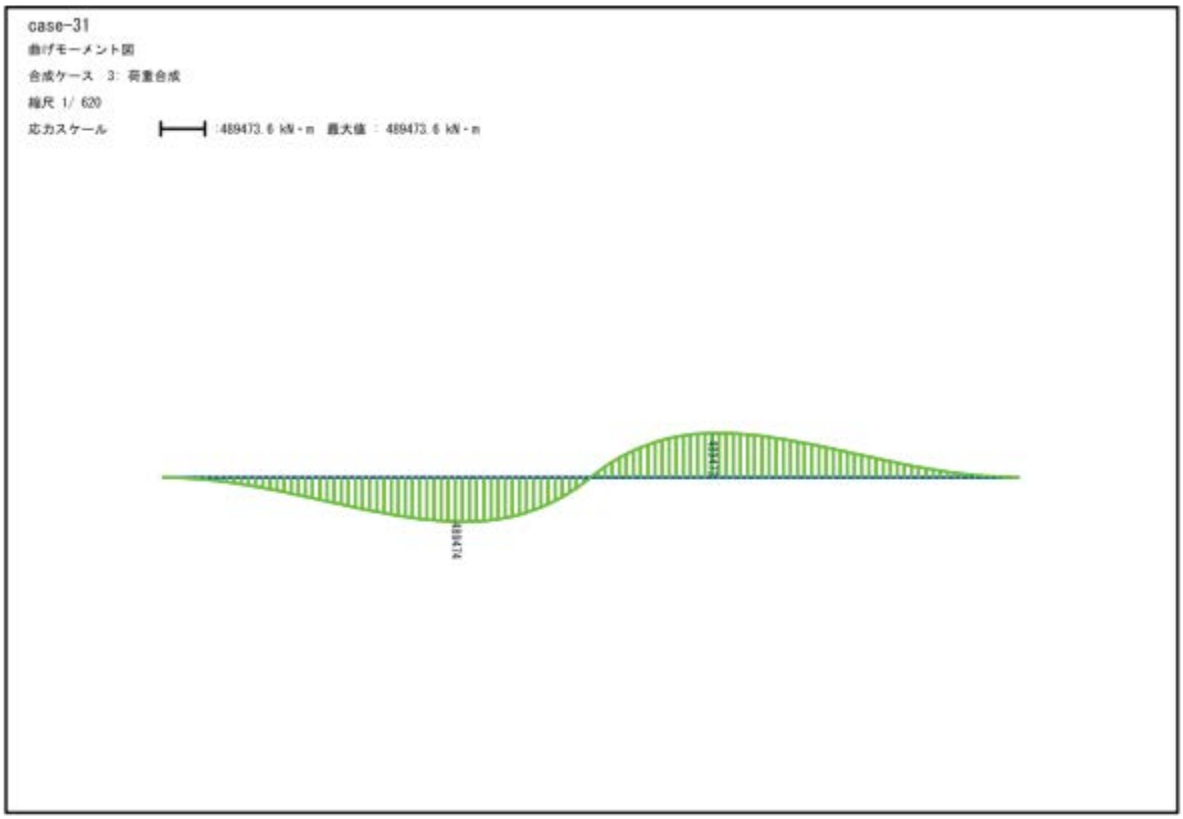


図 3.1-190　モーメント図（case-31）

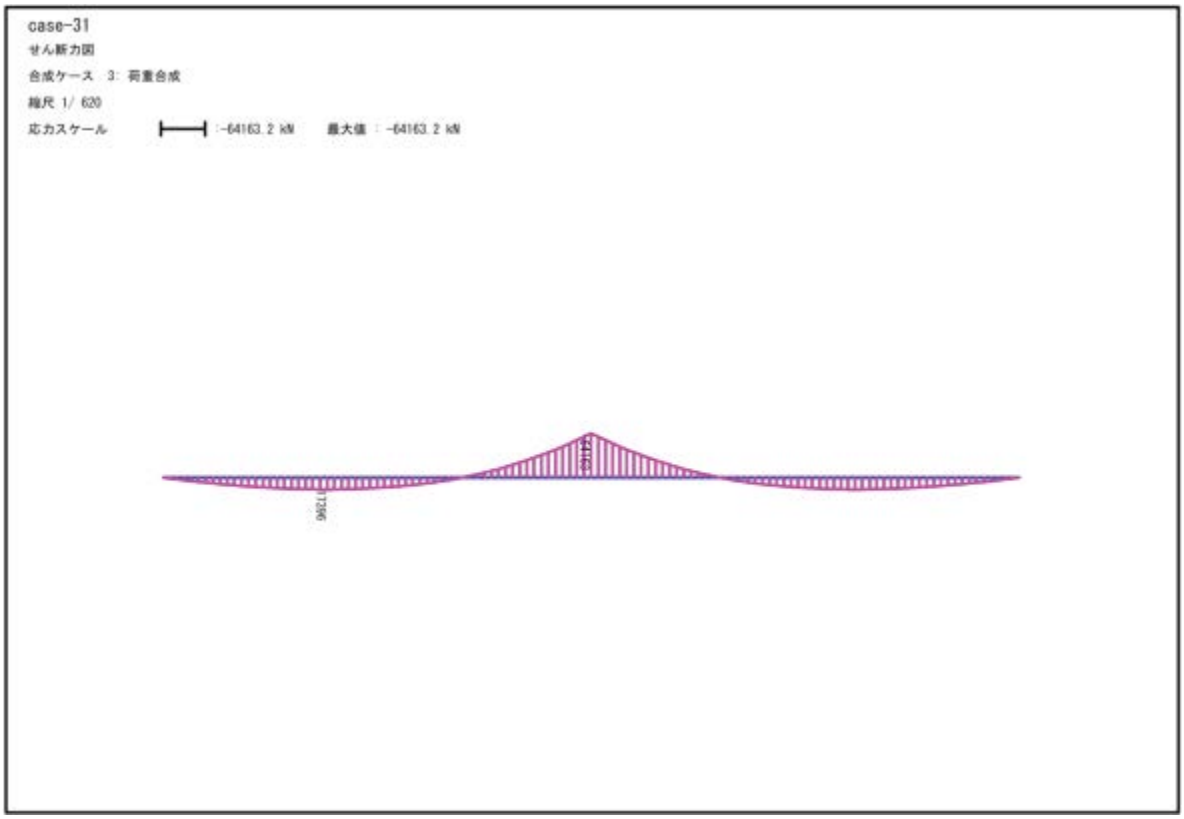


図 3.1-191　せん断力図（case-31）

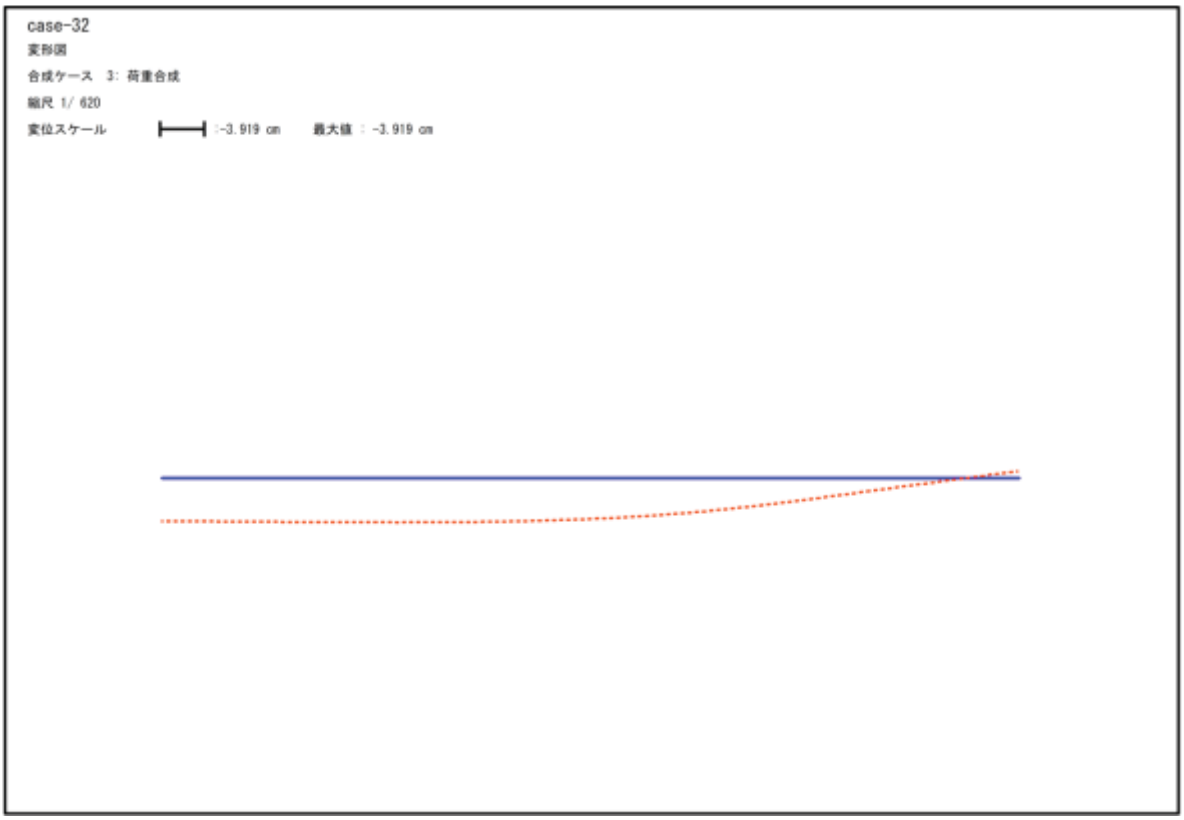


図 3.1-192　変形図（case-32）

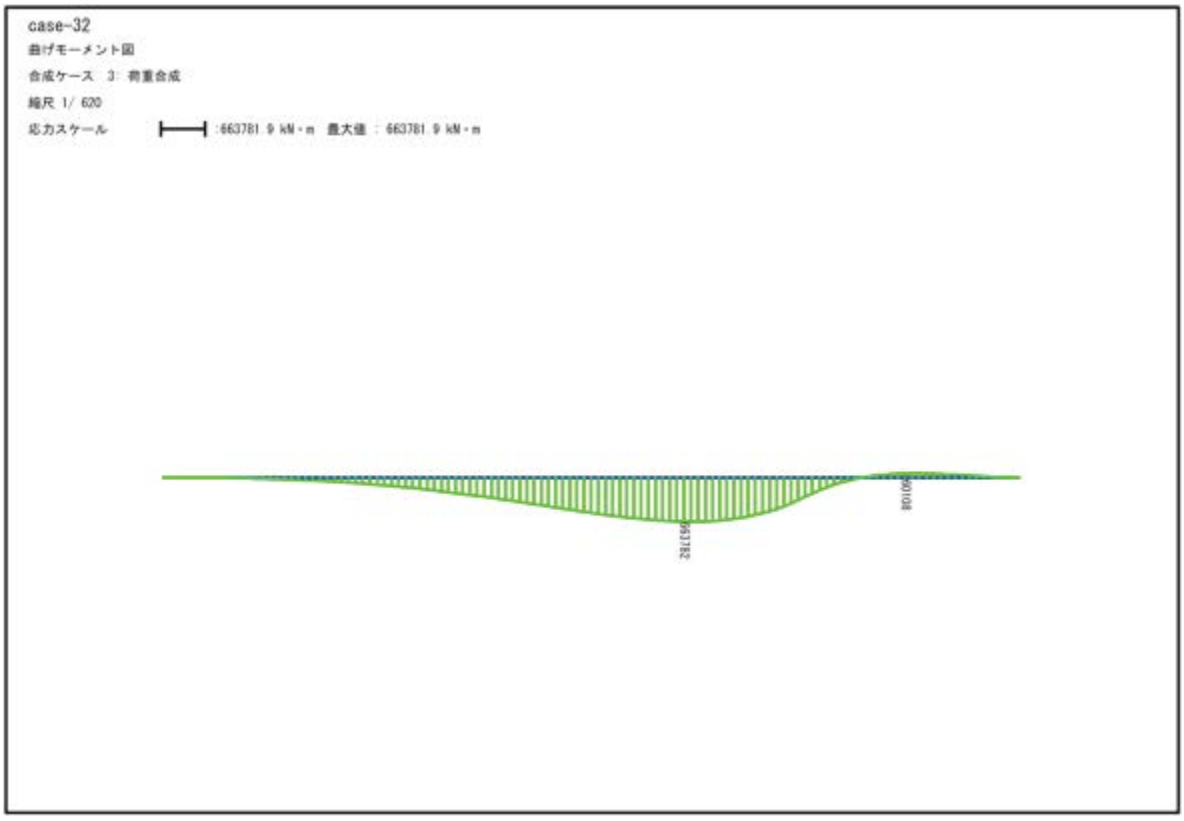


図 3.1-193　モーメント図（case-32）

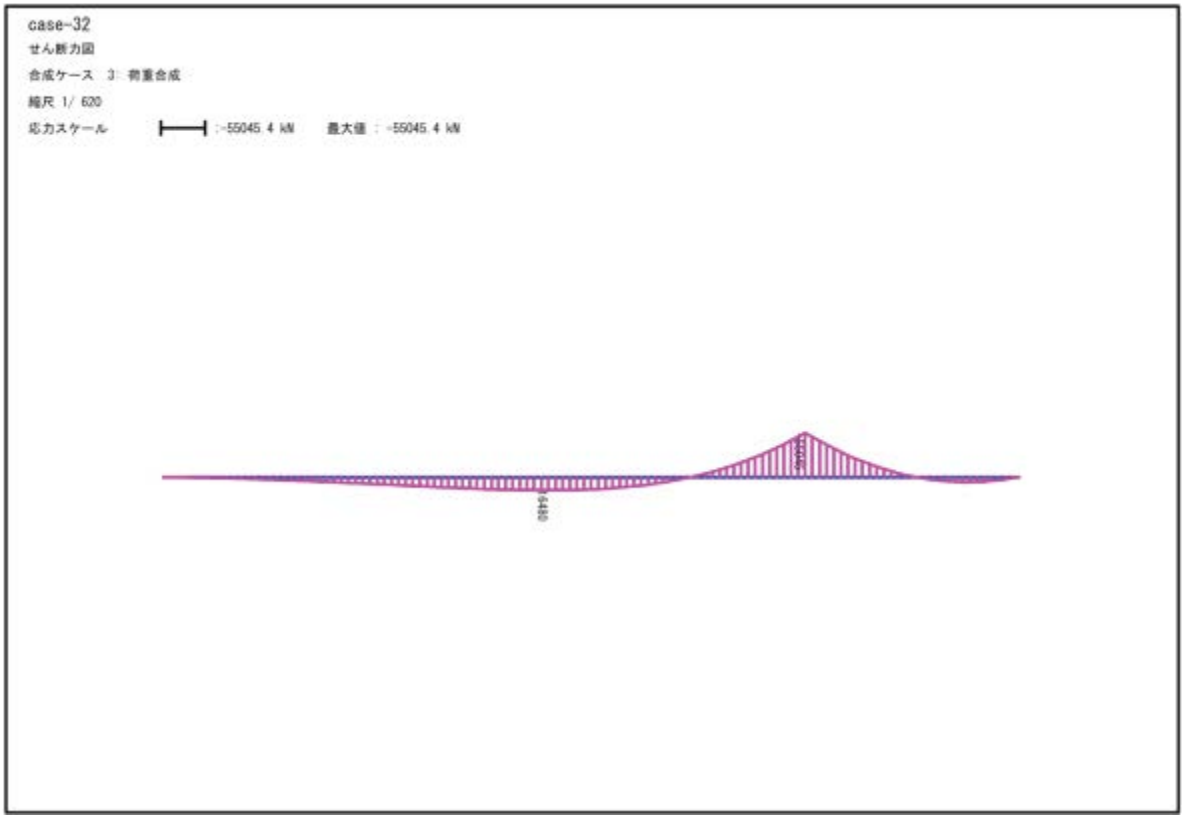


図 3.1-194　せん断力図（case-32）

二次元骨組み解析の各節点における回転角 ϕi から算出した変形後の低拡散層上面および右面の寸法 L（図 3.1-85 の L）の算出結果を以降に示す。なお、二次元骨組み解析では、節点間隔を 1.0m としているため、回転角は 1.0m 間隔で算出される。また、底面および左面引張となる場合には、変形後の低拡散層上面および右面の寸法 L が 15.0m 未満の数値として算出される。

表 3.1-22　施工目地の目開き量算出結果（case-1）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00002793					
2	0.00002793	0.00000000	1.000	8.840	−359,130,899	1.0000
3	0.00002795	−0.00000002	1.000	8.840	−52,067,058	1.0000
4	0.00002800	−0.00000005	1.000	8.840	−19,515,656	1.0000
5	0.00002810	−0.00000010	1.000	8.840	−10,203,296	1.0000
6	0.00002826	−0.00000016	1.000	8.840	−6,304,303	1.0000
7	0.00002849	−0.00000023	1.000	8.840	−4,306,685	1.0000
8	0.00002881	−0.00000032	1.000	8.840	−3,146,222	1.0000
9	0.00002923	−0.00000041	1.000	8.840	−2,411,639	1.0000
10	0.00002975	−0.00000052	1.000	8.840	−1,916,700	1.0000
11	0.00003038	−0.00000064	1.000	8.840	−1,567,048	1.0000
12	0.00003115	−0.00000076	1.000	8.840	−1,310,696	1.0000
13	0.00003204	−0.00000090	1.000	8.840	−1,117,064	1.0000
14	0.00003308	−0.00000103	1.000	8.840	−967,202	1.0000
15	0.00003426	−0.00000118	1.000	8.840	−848,852	1.0000
16	0.00003558	−0.00000133	1.000	8.840	−753,799	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00003558					
17	0.00003706	−0.00000148	1.000	8.840	−676,369	1.0000
18	0.00003869	−0.00000163	1.000	8.840	−612,539	1.0000
19	0.00004048	−0.00000179	1.000	8.840	−559,396	1.0000
20	0.00004242	−0.00000194	1.000	8.840	−514,791	1.0000
21	0.00004452	−0.00000210	1.000	8.840	−477,109	1.0000
22	0.00004677	−0.00000225	1.000	8.840	−445,124	1.0000
23	0.00004916	−0.00000239	1.000	8.840	−417,893	1.0000
24	0.00005169	−0.00000253	1.000	8.840	−394,687	1.0000
25	0.00005436	−0.00000267	1.000	8.840	−374,939	1.0000
26	0.00005715	−0.00000279	1.000	8.840	−358,208	1.0000
27	0.00006006	−0.00000291	1.000	8.840	−344,157	1.0000
28	0.00006306	−0.00000301	1.000	8.840	−332,532	1.0000
29	0.00006616	−0.00000309	1.000	8.840	−323,152	1.0000
30	0.00006932	−0.00000317	1.000	8.840	−315,904	1.0000
31	0.00007254	−0.00000322	1.000	8.840	−310,737	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00007254					
32	0.00007579	−0.00000325	1.000	8.840	−307,670	1.0000
33	0.00007905	−0.00000326	1.000	8.840	−306,799	1.0000
34	0.00008229	−0.00000324	1.000	8.840	−308,313	1.0000
35	0.00008549	−0.00000320	1.000	8.840	−312,527	1.0000
36	0.00008862	−0.00000313	1.000	8.840	−319,933	1.0000
37	0.00009164	−0.00000302	1.000	8.840	−331,283	1.0000
38	0.00009451	−0.00000288	1.000	8.840	−347,746	1.0000
39	0.00009721	−0.00000269	1.000	8.840	−371,189	1.0000
40	0.00009968	−0.00000247	1.000	8.840	−404,738	1.0000
41	0.00010188	−0.00000220	1.000	8.840	−453,995	1.0000
42	0.00010377	−0.00000189	1.000	8.840	−530,025	1.0000
43	0.00010529	−0.00000152	1.000	8.840	−658,054	1.0000
44	0.00010639	−0.00000110	1.000	8.840	−910,602	1.0000
45	0.00010700	−0.00000062	1.000	8.840	−1,615,463	1.0000
46	0.00010708	−0.00000008	1.000	8.840	−12,689,385	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00010708					
47	0.00010656	0.00000053	1.000	8.840	1,901,749	1.0000
48	0.00010536	0.00000120	1.000	8.840	834,537	1.0000
49	0.00010342	0.00000194	1.000	8.840	514,969	1.0000
50	0.00010066	0.00000276	1.000	8.840	362,327	1.0000
51	0.00009700	0.00000366	1.000	8.840	273,543	1.0000
52	0.00009237	0.00000463	1.000	8.840	215,869	1.0000
53	0.00008668	0.00000569	1.000	8.840	175,651	1.0000
54	0.00007984	0.00000684	1.000	8.840	146,186	1.0000
55	0.00007176	0.00000808	1.000	8.840	123,797	1.0000
56	0.00006235	0.00000941	1.000	8.840	106,305	1.0000
57	0.00005158	0.00001077	1.000	8.840	92,880	1.0000
58	0.00003968	0.00001190	1.000	8.840	84,013	1.0001
59	0.00002692	0.00001275	1.000	8.840	78,409	1.0001
60	0.00001360	0.00001332	1.000	8.840	75,074	1.0001
61	0.00000000	0.00001360	1.000	8.840	73,512	1.0001
合計			15.000			**15.0005**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	−0.00001360	0.00001360	1.000	8.840	73,512	1.0001
63	−0.00002692	0.00001332	1.000	8.840	75,074	1.0001
64	−0.00003968	0.00001275	1.000	8.840	78,409	1.0001
65	−0.00005158	0.00001190	1.000	8.840	84,013	1.0001
66	−0.00006235	0.00001077	1.000	8.840	92,880	1.0000
67	−0.00007176	0.00000941	1.000	8.840	106,305	1.0000
68	−0.00007984	0.00000808	1.000	8.840	123,797	1.0000
69	−0.00008668	0.00000684	1.000	8.840	146,186	1.0000
70	−0.00009237	0.00000569	1.000	8.840	175,651	1.0000
71	−0.00009700	0.00000463	1.000	8.840	215,869	1.0000
72	−0.00010066	0.00000366	1.000	8.840	273,543	1.0000
73	−0.00010342	0.00000276	1.000	8.840	362,327	1.0000
74	−0.00010536	0.00000194	1.000	8.840	514,969	1.0000
75	−0.00010656	0.00000120	1.000	8.840	834,537	1.0000
76	−0.00010708	0.00000053	1.000	8.840	1,901,749	1.0000
合計			15.000			**15.0005**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00010708					
77	−0.00010700	−0.00000008	1.000	8.840	−12,689,385	1.0000
78	−0.00010639	−0.00000062	1.000	8.840	−1,615,463	1.0000
79	−0.00010529	−0.00000110	1.000	8.840	−910,602	1.0000
80	−0.00010377	−0.00000152	1.000	8.840	−658,054	1.0000
81	−0.00010188	−0.00000189	1.000	8.840	−530,025	1.0000
82	−0.00009968	−0.00000220	1.000	8.840	−453,995	1.0000
83	−0.00009721	−0.00000247	1.000	8.840	−404,738	1.0000
84	−0.00009451	−0.00000269	1.000	8.840	−371,189	1.0000
85	−0.00009164	−0.00000288	1.000	8.840	−347,746	1.0000
86	−0.00008862	−0.00000302	1.000	8.840	−331,283	1.0000
87	−0.00008549	−0.00000313	1.000	8.840	−319,933	1.0000
88	−0.00008229	−0.00000320	1.000	8.840	−312,527	1.0000
89	−0.00007905	−0.00000324	1.000	8.840	−308,313	1.0000
90	−0.00007579	−0.00000326	1.000	8.840	−306,799	1.0000
91	−0.00007254	−0.00000325	1.000	8.840	−307,670	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00007254					
92	−0.00006932	−0.00000322	1.000	8.840	−310,737	1.0000
93	−0.00006616	−0.00000317	1.000	8.840	−315,904	1.0000
94	−0.00006306	−0.00000309	1.000	8.840	−323,152	1.0000
95	−0.00006006	−0.00000301	1.000	8.840	−332,532	1.0000
96	−0.00005715	−0.00000291	1.000	8.840	−344,157	1.0000
97	−0.00005436	−0.00000279	1.000	8.840	−358,208	1.0000
98	−0.00005169	−0.00000267	1.000	8.840	−374,939	1.0000
99	−0.00004916	−0.00000253	1.000	8.840	−394,687	1.0000
100	−0.00004677	−0.00000239	1.000	8.840	−417,893	1.0000
101	−0.00004452	−0.00000225	1.000	8.840	−445,124	1.0000
102	−0.00004242	−0.00000210	1.000	8.840	−477,109	1.0000
103	−0.00004048	−0.00000194	1.000	8.840	−514,791	1.0000
104	−0.00003869	−0.00000179	1.000	8.840	−559,396	1.0000
105	−0.00003706	−0.00000163	1.000	8.840	−612,539	1.0000
106	−0.00003558	−0.00000148	1.000	8.840	−676,369	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00003558					
107	−0.00003426	−0.00000133	1.000	8.840	−753,799	1.0000
108	−0.00003308	−0.00000118	1.000	8.840	−848,852	1.0000
109	−0.00003204	−0.00000103	1.000	8.840	−967,202	1.0000
110	−0.00003115	−0.00000090	1.000	8.840	−1,117,064	1.0000
111	−0.00003038	−0.00000076	1.000	8.840	−1,310,696	1.0000
112	−0.00002975	−0.00000064	1.000	8.840	−1,567,048	1.0000
113	−0.00002923	−0.00000052	1.000	8.840	−1,916,700	1.0000
114	−0.00002881	−0.00000041	1.000	8.840	−2,411,639	1.0000
115	−0.00002849	−0.00000032	1.000	8.840	−3,146,222	1.0000
116	−0.00002826	−0.00000023	1.000	8.840	−4,306,685	1.0000
117	−0.00002810	−0.00000016	1.000	8.840	−6,304,303	1.0000
118	−0.00002800	−0.00000010	1.000	8.840	−10,203,296	1.0000
119	−0.00002795	−0.00000005	1.000	8.840	−19,515,656	1.0000
120	−0.00002793	−0.00000002	1.000	8.840	−52,067,058	1.0000
121	−0.00002793	0.00000000	1.000	8.840	−359,130,899	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-23　施工目地の目開き量算出結果（case-2）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00009920					
2	0.00009921	−0.00000001	1.000	8.840	−120,704,427	1.0000
3	0.00009927	−0.00000006	1.000	8.840	−17,556,699	1.0000
4	0.00009942	−0.00000015	1.000	8.840	−6,603,441	1.0000
5	0.00009971	−0.00000029	1.000	8.840	−3,465,166	1.0000
6	0.00010017	−0.00000047	1.000	8.840	−2,149,282	1.0000
7	0.00010085	−0.00000068	1.000	8.840	−1,474,174	1.0000
8	0.00010178	−0.00000092	1.000	8.840	−1,081,493	1.0000
9	0.00010298	−0.00000120	1.000	8.840	−832,643	1.0000
10	0.00010448	−0.00000150	1.000	8.840	−664,817	1.0000
11	0.00010631	−0.00000183	1.000	8.840	−546,169	1.0000
12	0.00010849	−0.00000218	1.000	8.840	−459,141	1.0000
13	0.00011103	−0.00000254	1.000	8.840	−393,398	1.0000
14	0.00011395	−0.00000292	1.000	8.840	−342,532	1.0000
15	0.00011726	−0.00000331	1.000	8.840	−302,396	1.0000
16	0.00012096	−0.00000370	1.000	8.840	−270,212	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00012096					
17	0.00012506	−0.00000410	1.000	8.840	−244,058	1.0000
18	0.00012955	−0.00000449	1.000	8.840	−222,576	1.0000
19	0.00013443	−0.00000488	1.000	8.840	−204,781	1.0000
20	0.00013970	−0.00000526	1.000	8.840	−189,951	1.0000
21	0.00014533	−0.00000563	1.000	8.840	−177,546	1.0000
22	0.00015131	−0.00000598	1.000	8.840	−167,157	1.0000
23	0.00015762	−0.00000631	1.000	8.840	−158,477	1.0000
24	0.00016423	−0.00000661	1.000	8.840	−151,274	1.0000
25	0.00017111	−0.00000688	1.000	8.840	−145,373	1.0000
26	0.00017822	−0.00000711	1.000	8.840	−140,649	1.0000
27	0.00018552	−0.00000730	1.000	8.840	−137,021	1.0000
28	0.00019296	−0.00000744	1.000	8.840	−134,443	1.0000
29	0.00020048	−0.00000752	1.000	8.840	−132,911	1.0000
30	0.00020803	−0.00000755	1.000	8.840	−132,463	1.0000
31	0.00021554	−0.00000751	1.000	8.840	−133,190	1.0000
合計			15.000			**14.9996**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00021554					
32	0.00022293	−0.00000739	1.000	8.840	−135,250	1.0000
33	0.00023013	−0.00000720	1.000	8.840	−138,901	1.0000
34	0.00023705	−0.00000692	1.000	8.840	−144,550	1.0000
35	0.00024359	−0.00000654	1.000	8.840	−152,850	1.0000
36	0.00024965	−0.00000606	1.000	8.840	−164,881	1.0000
37	0.00025513	−0.00000548	1.000	8.840	−182,543	1.0000
38	0.00025991	−0.00000477	1.000	8.840	−209,465	1.0000
39	0.00026385	−0.00000394	1.000	8.840	−253,511	1.0000
40	0.00026683	−0.00000298	1.000	8.840	−335,389	1.0000
41	0.00026871	−0.00000188	1.000	8.840	−532,832	1.0000
42	0.00026933	−0.00000062	1.000	8.840	−1,608,597	1.0000
43	0.00026854	0.00000079	1.000	8.840	1,262,352	1.0000
44	0.00026616	0.00000237	1.000	8.840	421,370	1.0000
45	0.00026203	0.00000413	1.000	8.840	242,136	1.0000
46	0.00025596	0.00000607	1.000	8.840	164,726	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00025596					
47	0.00024782	0.00000814	1.000	8.840	122,853	1.0000
48	0.00023773	0.00001009	1.000	8.840	99,111	1.0000
49	0.00022587	0.00001186	1.000	8.840	84,287	1.0001
50	0.00021240	0.00001347	1.000	8.840	74,234	1.0001
51	0.00019748	0.00001492	1.000	8.840	67,038	1.0001
52	0.00018127	0.00001621	1.000	8.840	61,695	1.0001
53	0.00016391	0.00001735	1.000	8.840	57,627	1.0001
54	0.00014556	0.00001836	1.000	8.840	54,481	1.0001
55	0.00012634	0.00001922	1.000	8.840	52,028	1.0001
56	0.00010638	0.00001995	1.000	8.840	50,117	1.0001
57	0.00008582	0.00002056	1.000	8.840	48,644	1.0001
58	0.00006478	0.00002104	1.000	8.840	47,535	1.0001
59	0.00004339	0.00002140	1.000	8.840	46,741	1.0001
60	0.00002175	0.00002163	1.000	8.840	46,229	1.0001
61	0.00000000	0.00002175	1.000	8.840	45,978	1.0001
合計			15.000			**15.0011**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	−0.00002175	0.00002175	1.000	8.840	45,978	1.0001
63	−0.00004339	0.00002163	1.000	8.840	46,229	1.0001
64	−0.00006478	0.00002140	1.000	8.840	46,741	1.0001
65	−0.00008582	0.00002104	1.000	8.840	47,535	1.0001
66	−0.00010638	0.00002056	1.000	8.840	48,644	1.0001
67	−0.00012634	0.00001995	1.000	8.840	50,117	1.0001
68	−0.00014556	0.00001922	1.000	8.840	52,028	1.0001
69	−0.00016391	0.00001836	1.000	8.840	54,481	1.0001
70	−0.00018127	0.00001735	1.000	8.840	57,627	1.0001
71	−0.00019748	0.00001621	1.000	8.840	61,695	1.0001
72	−0.00021240	0.00001492	1.000	8.840	67,038	1.0001
73	−0.00022587	0.00001347	1.000	8.840	74,234	1.0001
74	−0.00023773	0.00001186	1.000	8.840	84,287	1.0001
75	−0.00024782	0.00001009	1.000	8.840	99,111	1.0000
76	−0.00025596	0.00000814	1.000	8.840	122,853	1.0000
合計			15.000			**15.0011**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00025596					
77	−0.00026203	0.00000607	1.000	8.840	164,726	1.0000
78	−0.00026616	0.00000413	1.000	8.840	242,136	1.0000
79	−0.00026854	0.00000237	1.000	8.840	421,370	1.0000
80	−0.00026933	0.00000079	1.000	8.840	1,262,352	1.0000
81	−0.00026871	−0.00000062	1.000	8.840	−1,608,597	1.0000
82	−0.00026683	−0.00000188	1.000	8.840	−532,832	1.0000
83	−0.00026385	−0.00000298	1.000	8.840	−335,389	1.0000
84	−0.00025991	−0.00000394	1.000	8.840	−253,511	1.0000
85	−0.00025513	−0.00000477	1.000	8.840	−209,465	1.0000
86	−0.00024965	−0.00000548	1.000	8.840	−182,543	1.0000
87	−0.00024359	−0.00000606	1.000	8.840	−164,881	1.0000
88	−0.00023705	−0.00000654	1.000	8.840	−152,850	1.0000
89	−0.00023013	−0.00000692	1.000	8.840	−144,550	1.0000
90	−0.00022293	−0.00000720	1.000	8.840	−138,901	1.0000
91	−0.00021554	−0.00000739	1.000	8.840	−135,250	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00021554					
92	−0.00020803	−0.00000751	1.000	8.840	−133,190	1.0000
93	−0.00020048	−0.00000755	1.000	8.840	−132,463	1.0000
94	−0.00019296	−0.00000752	1.000	8.840	−132,911	1.0000
95	−0.00018552	−0.00000744	1.000	8.840	−134,443	1.0000
96	−0.00017822	−0.00000730	1.000	8.840	−137,021	1.0000
97	−0.00017111	−0.00000711	1.000	8.840	−140,649	1.0000
98	−0.00016423	−0.00000688	1.000	8.840	−145,373	1.0000
99	−0.00015762	−0.00000661	1.000	8.840	−151,274	1.0000
100	−0.00015131	−0.00000631	1.000	8.840	−158,477	1.0000
101	−0.00014533	−0.00000598	1.000	8.840	−167,157	1.0000
102	−0.00013970	−0.00000563	1.000	8.840	−177,546	1.0000
103	−0.00013443	−0.00000526	1.000	8.840	−189,951	1.0000
104	−0.00012955	−0.00000488	1.000	8.840	−204,781	1.0000
105	−0.00012506	−0.00000449	1.000	8.840	−222,576	1.0000
106	−0.00012096	−0.00000410	1.000	8.840	−244,058	1.0000
合計			15.000			**14.9996**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00012096					
107	−0.00011726	−0.00000370	1.000	8.840	−270,212	1.0000
108	−0.00011395	−0.00000331	1.000	8.840	−302,396	1.0000
109	−0.00011103	−0.00000292	1.000	8.840	−342,532	1.0000
110	−0.00010849	−0.00000254	1.000	8.840	−393,398	1.0000
111	−0.00010631	−0.00000218	1.000	8.840	−459,141	1.0000
112	−0.00010448	−0.00000183	1.000	8.840	−546,169	1.0000
113	−0.00010298	−0.00000150	1.000	8.840	−664,817	1.0000
114	−0.00010178	−0.00000120	1.000	8.840	−832,643	1.0000
115	−0.00010085	−0.00000092	1.000	8.840	−1,081,493	1.0000
116	−0.00010017	−0.00000068	1.000	8.840	−1,474,174	1.0000
117	−0.00009971	−0.00000047	1.000	8.840	−2,149,282	1.0000
118	−0.00009942	−0.00000029	1.000	8.840	−3,465,166	1.0000
119	−0.00009927	−0.00000015	1.000	8.840	−6,603,441	1.0000
120	−0.00009921	−0.00000006	1.000	8.840	−17,556,699	1.0000
121	−0.00009920	−0.00000001	1.000	8.840	−120,704,427	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

表 3.1-24　施工目地の目開き量算出結果（case-3）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00027313					
2	0.00027314	−0.00000001	1.000	8.840	−74,002,808	1.0000
3	0.00027324	−0.00000009	1.000	8.840	−10,901,079	1.0000
4	0.00027348	−0.00000024	1.000	8.840	−4,161,876	1.0000
5	0.00027393	−0.00000045	1.000	8.840	−2,219,673	1.0000
6	0.00027464	−0.00000071	1.000	8.840	−1,400,895	1.0000
7	0.00027566	−0.00000102	1.000	8.840	−978,884	1.0000
8	0.00027703	−0.00000137	1.000	8.840	−732,559	1.0000
9	0.00027876	−0.00000174	1.000	8.840	−576,154	1.0000
10	0.00028089	−0.00000212	1.000	8.840	−470,690	1.0000
11	0.00028341	−0.00000252	1.000	8.840	−396,360	1.0000
12	0.00028633	−0.00000292	1.000	8.840	−342,227	1.0000
13	0.00028965	−0.00000331	1.000	8.840	−301,856	1.0000
14	0.00029333	−0.00000369	1.000	8.840	−271,273	1.0000
15	0.00029737	−0.00000403	1.000	8.840	−247,932	1.0000
16	0.00030171	−0.00000434	1.000	8.840	−230,167	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00030171					
17	0.00030632	−0.00000461	1.000	8.840	−216,878	1.0000
18	0.00031114	−0.00000482	1.000	8.840	−207,362	1.0000
19	0.00031611	−0.00000497	1.000	8.840	−201,215	1.0000
20	0.00032116	−0.00000504	1.000	8.840	−198,293	1.0000
21	0.00032619	−0.00000503	1.000	8.840	−198,721	1.0000
22	0.00033111	−0.00000493	1.000	8.840	−202,958	1.0000
23	0.00033583	−0.00000472	1.000	8.840	−211,974	1.0000
24	0.00034023	−0.00000439	1.000	8.840	−227,632	1.0000
25	0.00034417	−0.00000394	1.000	8.840	−253,612	1.0000
26	0.00034752	−0.00000336	1.000	8.840	−297,909	1.0000
27	0.00035015	−0.00000262	1.000	8.840	−381,196	1.0000
28	0.00035188	−0.00000173	1.000	8.840	−577,423	1.0000
29	0.00035255	−0.00000067	1.000	8.840	−1,489,793	1.0000
30	0.00035198	0.00000057	1.000	8.840	1,755,718	1.0000
31	0.00034998	0.00000200	1.000	8.840	499,580	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00034998					
32	0.00034641	0.00000357	1.000	8.840	279,934	1.0000
33	0.00034137	0.00000504	1.000	8.840	198,543	1.0000
34	0.00033503	0.00000634	1.000	8.840	157,680	1.0000
35	0.00032753	0.00000750	1.000	8.840	133,354	1.0000
36	0.00031901	0.00000852	1.000	8.840	117,401	1.0000
37	0.00030960	0.00000941	1.000	8.840	106,277	1.0000
38	0.00029942	0.00001018	1.000	8.840	98,199	1.0000
39	0.00028857	0.00001085	1.000	8.840	92,167	1.0000
40	0.00027715	0.00001142	1.000	8.840	87,581	1.0001
41	0.00026525	0.00001190	1.000	8.840	84,054	1.0001
42	0.00025295	0.00001230	1.000	8.840	81,329	1.0001
43	0.00024033	0.00001262	1.000	8.840	79,224	1.0001
44	0.00022745	0.00001289	1.000	8.840	77,610	1.0001
45	0.00021435	0.00001309	1.000	8.840	76,388	1.0001
46	0.00020111	0.00001325	1.000	8.840	75,483	1.0001
合計			15.000			**15.0007**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00020111					
47	0.00018774	0.00001336	1.000	8.840	74,838	1.0001
48	0.00017430	0.00001344	1.000	8.840	74,403	1.0001
49	0.00016081	0.00001349	1.000	8.840	74,139	1.0001
50	0.00014730	0.00001351	1.000	8.840	74,012	1.0001
51	0.00013378	0.00001352	1.000	8.840	73,993	1.0001
52	0.00012028	0.00001350	1.000	8.840	74,057	1.0001
53	0.00010680	0.00001348	1.000	8.840	74,181	1.0001
54	0.00009335	0.00001345	1.000	8.840	74,343	1.0001
55	0.00007993	0.00001342	1.000	8.840	74,527	1.0001
56	0.00006654	0.00001338	1.000	8.840	74,716	1.0001
57	0.00005319	0.00001335	1.000	8.840	74,895	1.0001
58	0.00003987	0.00001332	1.000	8.840	75,054	1.0001
59	0.00002656	0.00001330	1.000	8.840	75,181	1.0001
60	0.00001328	0.00001329	1.000	8.840	75,271	1.0001
61	0.00000000	0.00001328	1.000	8.840	75,317	1.0001
合計			15.000			**15.0009**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	−0.00001328	0.00001328	1.000	8.840	75,317	1.0001
63	−0.00002656	0.00001329	1.000	8.840	75,271	1.0001
64	−0.00003987	0.00001330	1.000	8.840	75,181	1.0001
65	−0.00005319	0.00001332	1.000	8.840	75,054	1.0001
66	−0.00006654	0.00001335	1.000	8.840	74,895	1.0001
67	−0.00007993	0.00001338	1.000	8.840	74,716	1.0001
68	−0.00009335	0.00001342	1.000	8.840	74,527	1.0001
69	−0.00010680	0.00001345	1.000	8.840	74,343	1.0001
70	−0.00012028	0.00001348	1.000	8.840	74,181	1.0001
71	−0.00013378	0.00001350	1.000	8.840	74,057	1.0001
72	−0.00014730	0.00001352	1.000	8.840	73,993	1.0001
73	−0.00016081	0.00001351	1.000	8.840	74,012	1.0001
74	−0.00017430	0.00001349	1.000	8.840	74,139	1.0001
75	−0.00018774	0.00001344	1.000	8.840	74,403	1.0001
76	−0.00020111	0.00001336	1.000	8.840	74,838	1.0001
合計			15.000			**15.0009**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00020111					
77	−0.00021435	0.00001325	1.000	8.840	75,483	1.0001
78	−0.00022745	0.00001309	1.000	8.840	76,388	1.0001
79	−0.00024033	0.00001289	1.000	8.840	77,610	1.0001
80	−0.00025295	0.00001262	1.000	8.840	79,224	1.0001
81	−0.00026525	0.00001230	1.000	8.840	81,329	1.0001
82	−0.00027715	0.00001190	1.000	8.840	84,054	1.0001
83	−0.00028857	0.00001142	1.000	8.840	87,581	1.0001
84	−0.00029942	0.00001085	1.000	8.840	92,167	1.0000
85	−0.00030960	0.00001018	1.000	8.840	98,199	1.0000
86	−0.00031901	0.00000941	1.000	8.840	106,277	1.0000
87	−0.00032753	0.00000852	1.000	8.840	117,401	1.0000
88	−0.00033503	0.00000750	1.000	8.840	133,354	1.0000
89	−0.00034137	0.00000634	1.000	8.840	157,680	1.0000
90	−0.00034641	0.00000504	1.000	8.840	198,543	1.0000
91	−0.00034998	0.00000357	1.000	8.840	279,934	1.0000
合計			15.000			**15.0007**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00034998					
92	−0.00035198	0.00000200	1.000	8.840	499,580	1.0000
93	−0.00035255	0.00000057	1.000	8.840	1,755,718	1.0000
94	−0.00035188	−0.00000067	1.000	8.840	−1,489,793	1.0000
95	−0.00035015	−0.00000173	1.000	8.840	−577,423	1.0000
96	−0.00034752	−0.00000262	1.000	8.840	−381,196	1.0000
97	−0.00034417	−0.00000336	1.000	8.840	−297,909	1.0000
98	−0.00034023	−0.00000394	1.000	8.840	−253,612	1.0000
99	−0.00033583	−0.00000439	1.000	8.840	−227,632	1.0000
100	−0.00033111	−0.00000472	1.000	8.840	−211,974	1.0000
101	−0.00032619	−0.00000493	1.000	8.840	−202,958	1.0000
102	−0.00032116	−0.00000503	1.000	8.840	−198,721	1.0000
103	−0.00031611	−0.00000504	1.000	8.840	−198,293	1.0000
104	−0.00031114	−0.00000497	1.000	8.840	−201,215	1.0000
105	−0.00030632	−0.00000482	1.000	8.840	−207,362	1.0000
106	−0.00030171	−0.00000461	1.000	8.840	−216,878	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00030171					
107	−0.00029737	−0.00000434	1.000	8.840	−230,167	1.0000
108	−0.00029333	−0.00000403	1.000	8.840	−247,932	1.0000
109	−0.00028965	−0.00000369	1.000	8.840	−271,273	1.0000
110	−0.00028633	−0.00000331	1.000	8.840	−301,856	1.0000
111	−0.00028341	−0.00000292	1.000	8.840	−342,227	1.0000
112	−0.00028089	−0.00000252	1.000	8.840	−396,360	1.0000
113	−0.00027876	−0.00000212	1.000	8.840	−470,690	1.0000
114	−0.00027703	−0.00000174	1.000	8.840	−576,154	1.0000
115	−0.00027566	−0.00000137	1.000	8.840	−732,559	1.0000
116	−0.00027464	−0.00000102	1.000	8.840	−978,884	1.0000
117	−0.00027393	−0.00000071	1.000	8.840	−1,400,895	1.0000
118	−0.00027348	−0.00000045	1.000	8.840	−2,219,673	1.0000
119	−0.00027324	−0.00000024	1.000	8.840	−4,161,876	1.0000
120	−0.00027314	−0.00000009	1.000	8.840	−10,901,079	1.0000
121	−0.00027313	−0.00000001	1.000	8.840	−74,002,808	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

表 3.1-25　施工目地の目開き量算出結果（case-4）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00041785					
2	0.00041785	0.00000000	1.000	8.840	###########	1.0000
3	0.00041785	0.00000000	1.000	8.840	319,284,806	1.0000
4	0.00041783	0.00000002	1.000	8.840	45,795,938	1.0000
5	0.00041776	0.00000007	1.000	8.840	14,467,597	1.0000
6	0.00041760	0.00000016	1.000	8.840	6,322,676	1.0000
7	0.00041730	0.00000030	1.000	8.840	3,309,750	1.0000
8	0.00041678	0.00000051	1.000	8.840	1,944,663	1.0000
9	0.00041597	0.00000081	1.000	8.840	1,238,253	1.0000
10	0.00041478	0.00000120	1.000	8.840	836,559	1.0000
11	0.00041309	0.00000169	1.000	8.840	591,472	1.0000
12	0.00041078	0.00000231	1.000	8.840	433,531	1.0000
13	0.00040773	0.00000306	1.000	8.840	327,200	1.0000
14	0.00040377	0.00000395	1.000	8.840	253,009	1.0000
15	0.00039877	0.00000501	1.000	8.840	199,677	1.0000
16	0.00039253	0.00000624	1.000	8.840	160,362	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00039253					
17	0.00038494	0.00000758	1.000	8.840	131,847	1.0000
18	0.00037613	0.00000881	1.000	8.840	113,498	1.0000
19	0.00036627	0.00000986	1.000	8.840	101,392	1.0000
20	0.00035552	0.00001075	1.000	8.840	93,004	1.0000
21	0.00034403	0.00001149	1.000	8.840	87,024	1.0001
22	0.00033193	0.00001209	1.000	8.840	82,712	1.0001
23	0.00031937	0.00001256	1.000	8.840	79,615	1.0001
24	0.00030646	0.00001291	1.000	8.840	77,444	1.0001
25	0.00029330	0.00001316	1.000	8.840	76,008	1.0001
26	0.00028000	0.00001330	1.000	8.840	75,178	1.0001
27	0.00026664	0.00001336	1.000	8.840	74,863	1.0001
28	0.00025331	0.00001333	1.000	8.840	75,000	1.0001
29	0.00024007	0.00001324	1.000	8.840	75,547	1.0001
30	0.00022699	0.00001308	1.000	8.840	76,475	1.0001
31	0.00021413	0.00001286	1.000	8.840	77,766	1.0001
合計			15.000			**15.0008**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00021413					
32	0.00020154	0.00001259	1.000	8.840	79,411	1.0001
33	0.00018926	0.00001228	1.000	8.840	81,409	1.0001
34	0.00017732	0.00001194	1.000	8.840	83,762	1.0001
35	0.00016575	0.00001156	1.000	8.840	86,482	1.0001
36	0.00015459	0.00001116	1.000	8.840	89,582	1.0000
37	0.00014385	0.00001074	1.000	8.840	93,080	1.0000
38	0.00013354	0.00001031	1.000	8.840	96,999	1.0000
39	0.00012367	0.00000987	1.000	8.840	101,365	1.0000
40	0.00011425	0.00000942	1.000	8.840	106,208	1.0000
41	0.00010529	0.00000896	1.000	8.840	111,560	1.0000
42	0.00009678	0.00000851	1.000	8.840	117,457	1.0000
43	0.00008871	0.00000807	1.000	8.840	123,934	1.0000
44	0.00008107	0.00000763	1.000	8.840	131,028	1.0000
45	0.00007387	0.00000721	1.000	8.840	138,773	1.0000
46	0.00006707	0.00000679	1.000	8.840	147,199	1.0000
合計			15.000			**15.0007**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00006707					
47	0.00006068	0.00000640	1.000	8.840	156,327	1.0000
48	0.00005466	0.00000602	1.000	8.840	166,166	1.0000
49	0.00004900	0.00000566	1.000	8.840	176,706	1.0000
50	0.00004368	0.00000532	1.000	8.840	187,908	1.0000
51	0.00003867	0.00000501	1.000	8.840	199,702	1.0000
52	0.00003395	0.00000472	1.000	8.840	211,969	1.0000
53	0.00002950	0.00000445	1.000	8.840	224,539	1.0000
54	0.00002528	0.00000422	1.000	8.840	237,177	1.0000
55	0.00002128	0.00000401	1.000	8.840	249,585	1.0000
56	0.00001745	0.00000383	1.000	8.840	261,399	1.0000
57	0.00001378	0.00000367	1.000	8.840	272,209	1.0000
58	0.00001022	0.00000355	1.000	8.840	281,573	1.0000
59	0.00000677	0.00000346	1.000	8.840	289,062	1.0000
60	0.00000337	0.00000340	1.000	8.840	294,295	1.0000
61	0.00000000	0.00000337	1.000	8.840	296,988	1.0000
合計			15.000			**15.0003**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	−0.00000337	0.00000337	1.000	8.840	296,988	1.0000
63	−0.00000677	0.00000340	1.000	8.840	294,295	1.0000
64	−0.00001022	0.00000346	1.000	8.840	289,062	1.0000
65	−0.00001378	0.00000355	1.000	8.840	281,573	1.0000
66	−0.00001745	0.00000367	1.000	8.840	272,209	1.0000
67	−0.00002128	0.00000383	1.000	8.840	261,399	1.0000
68	−0.00002528	0.00000401	1.000	8.840	249,585	1.0000
69	−0.00002950	0.00000422	1.000	8.840	237,177	1.0000
70	−0.00003395	0.00000445	1.000	8.840	224,539	1.0000
71	−0.00003867	0.00000472	1.000	8.840	211,969	1.0000
72	−0.00004368	0.00000501	1.000	8.840	199,702	1.0000
73	−0.00004900	0.00000532	1.000	8.840	187,908	1.0000
74	−0.00005466	0.00000566	1.000	8.840	176,706	1.0000
75	−0.00006068	0.00000602	1.000	8.840	166,166	1.0000
76	−0.00006707	0.00000640	1.000	8.840	156,327	1.0000
合計			15.000			**15.0003**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00006707					
77	−0.00007387	0.00000679	1.000	8.840	147,199	1.0000
78	−0.00008107	0.00000721	1.000	8.840	138,773	1.0000
79	−0.00008871	0.00000763	1.000	8.840	131,028	1.0000
80	−0.00009678	0.00000807	1.000	8.840	123,934	1.0000
81	−0.00010529	0.00000851	1.000	8.840	117,457	1.0000
82	−0.00011425	0.00000896	1.000	8.840	111,560	1.0000
83	−0.00012367	0.00000942	1.000	8.840	106,208	1.0000
84	−0.00013354	0.00000987	1.000	8.840	101,365	1.0000
85	−0.00014385	0.00001031	1.000	8.840	96,999	1.0000
86	−0.00015459	0.00001074	1.000	8.840	93,080	1.0000
87	−0.00016575	0.00001116	1.000	8.840	89,582	1.0000
88	−0.00017732	0.00001156	1.000	8.840	86,482	1.0001
89	−0.00018926	0.00001194	1.000	8.840	83,762	1.0001
90	−0.00020154	0.00001228	1.000	8.840	81,409	1.0001
91	−0.00021413	0.00001259	1.000	8.840	79,411	1.0001
合計			15.000			**15.0007**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00021413					
92	−0.00022699	0.00001286	1.000	8.840	77,766	1.0001
93	−0.00024007	0.00001308	1.000	8.840	76,475	1.0001
94	−0.00025331	0.00001324	1.000	8.840	75,547	1.0001
95	−0.00026664	0.00001333	1.000	8.840	75,000	1.0001
96	−0.00028000	0.00001336	1.000	8.840	74,863	1.0001
97	−0.00029330	0.00001330	1.000	8.840	75,178	1.0001
98	−0.00030646	0.00001316	1.000	8.840	76,008	1.0001
99	−0.00031937	0.00001291	1.000	8.840	77,444	1.0001
100	−0.00033193	0.00001256	1.000	8.840	79,615	1.0001
101	−0.00034403	0.00001209	1.000	8.840	82,712	1.0001
102	−0.00035552	0.00001149	1.000	8.840	87,024	1.0001
103	−0.00036627	0.00001075	1.000	8.840	93,004	1.0000
104	−0.00037613	0.00000986	1.000	8.840	101,392	1.0000
105	−0.00038494	0.00000881	1.000	8.840	113,498	1.0000
106	−0.00039253	0.00000758	1.000	8.840	131,847	1.0000
合計			15.000			**15.0008**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00039253					
107	−0.00039877	0.00000624	1.000	8.840	160,362	1.0000
108	−0.00040377	0.00000501	1.000	8.840	199,677	1.0000
109	−0.00040773	0.00000395	1.000	8.840	253,009	1.0000
110	−0.00041078	0.00000306	1.000	8.840	327,200	1.0000
111	−0.00041309	0.00000231	1.000	8.840	433,531	1.0000
112	−0.00041478	0.00000169	1.000	8.840	591,472	1.0000
113	−0.00041597	0.00000120	1.000	8.840	836,559	1.0000
114	−0.00041678	0.00000081	1.000	8.840	1,238,253	1.0000
115	−0.00041730	0.00000051	1.000	8.840	1,944,663	1.0000
116	−0.00041760	0.00000030	1.000	8.840	3,309,750	1.0000
117	−0.00041776	0.00000016	1.000	8.840	6,322,676	1.0000
118	−0.00041783	0.00000007	1.000	8.840	14,467,597	1.0000
119	−0.00041785	0.00000002	1.000	8.840	45,793,841	1.0000
120	−0.00041785	0.00000000	1.000	8.840	319,386,782	1.0000
121	−0.00041785	0.00000000	1.000	8.840	###########	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

表 3.1-26　施工目地の目開き量算出結果（case-5）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00017132					
2	0.00017133	−0.00000001	1.000	8.840	−152,648,446	1.0000
3	0.00017137	−0.00000004	1.000	8.840	−22,238,526	1.0000
4	0.00017149	−0.00000012	1.000	8.840	−8,380,680	1.0000
5	0.00017172	−0.00000023	1.000	8.840	−4,407,010	1.0000
6	0.00017208	−0.00000037	1.000	8.840	−2,739,481	1.0000
7	0.00017261	−0.00000053	1.000	8.840	−1,883,338	1.0000
8	0.00017334	−0.00000072	1.000	8.840	−1,385,001	1.0000
9	0.00017427	−0.00000094	1.000	8.840	−1,069,003	1.0000
10	0.00017544	−0.00000117	1.000	8.840	−855,776	1.0000
11	0.00017686	−0.00000142	1.000	8.840	−704,966	1.0000
12	0.00017854	−0.00000168	1.000	8.840	−594,312	1.0000
13	0.00018050	−0.00000196	1.000	8.840	−510,708	1.0000
14	0.00018274	−0.00000224	1.000	8.840	−446,023	1.0000
15	0.00018527	−0.00000253	1.000	8.840	−394,993	1.0000
16	0.00018810	−0.00000282	1.000	8.840	−354,092	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00018810					
17	0.00019121	−0.00000312	1.000	8.840	−320,879	1.0000
18	0.00019462	−0.00000341	1.000	8.840	−293,630	1.0000
19	0.00019831	−0.00000369	1.000	8.840	−271,095	1.0000
20	0.00020227	−0.00000396	1.000	8.840	−252,356	1.0000
21	0.00020649	−0.00000422	1.000	8.840	−236,729	1.0000
22	0.00021096	−0.00000447	1.000	8.840	−223,697	1.0000
23	0.00021566	−0.00000470	1.000	8.840	−212,873	1.0000
24	0.00022056	−0.00000490	1.000	8.840	−203,962	1.0000
25	0.00022565	−0.00000508	1.000	8.840	−196,750	1.0000
26	0.00023088	−0.00000523	1.000	8.840	−191,082	1.0000
27	0.00023623	−0.00000535	1.000	8.840	−186,861	1.0000
28	0.00024167	−0.00000543	1.000	8.840	−184,040	1.0000
29	0.00024714	−0.00000548	1.000	8.840	−182,624	1.0000
30	0.00025261	−0.00000547	1.000	8.840	−182,677	1.0000
31	0.00025804	−0.00000542	1.000	8.840	−184,334	1.0000
合計			15.000			**14.9997**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00025804					
32	0.00026336	−0.00000532	1.000	8.840	−187,825	1.0000
33	0.00026853	−0.00000517	1.000	8.840	−193,512	1.0000
34	0.00027348	−0.00000495	1.000	8.840	−201,966	1.0000
35	0.00027815	−0.00000467	1.000	8.840	−214,089	1.0000
36	0.00028248	−0.00000432	1.000	8.840	−231,363	1.0000
37	0.00028638	−0.00000390	1.000	8.840	−256,364	1.0000
38	0.00028978	−0.00000340	1.000	8.840	−293,945	1.0000
39	0.00029260	−0.00000282	1.000	8.840	−354,416	1.0000
40	0.00029475	−0.00000215	1.000	8.840	−464,079	1.0000
41	0.00029615	−0.00000140	1.000	8.840	−715,743	1.0000
42	0.00029670	−0.00000054	1.000	8.840	−1,838,434	1.0000
43	0.00029629	0.00000041	1.000	8.840	2,442,061	1.0000
44	0.00029482	0.00000147	1.000	8.840	681,283	1.0000
45	0.00029218	0.00000264	1.000	8.840	379,404	1.0000
46	0.00028826	0.00000392	1.000	8.840	255,244	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00028826					
47	0.00028295	0.00000532	1.000	8.840	188,015	1.0000
48	0.00027610	0.00000684	1.000	8.840	146,135	1.0000
49	0.00026761	0.00000850	1.000	8.840	117,715	1.0000
50	0.00025733	0.00001028	1.000	8.840	97,283	1.0000
51	0.00024513	0.00001220	1.000	8.840	81,968	1.0001
52	0.00023086	0.00001426	1.000	8.840	70,122	1.0001
53	0.00021440	0.00001647	1.000	8.840	60,731	1.0001
54	0.00019558	0.00001882	1.000	8.840	53,137	1.0001
55	0.00017425	0.00002133	1.000	8.840	46,897	1.0001
56	0.00015027	0.00002398	1.000	8.840	41,698	1.0001
57	0.00012359	0.00002668	1.000	8.840	37,485	1.0001
58	0.00009466	0.00002893	1.000	8.840	34,570	1.0001
59	0.00006404	0.00003062	1.000	8.840	32,667	1.0001
60	0.00003230	0.00003174	1.000	8.840	31,511	1.0001
61	0.00000000	0.00003230	1.000	8.840	30,964	1.0001
合計			15.000			**15.0013**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	−0.00003230	0.00003230	1.000	8.840	30,964	1.0001
63	−0.00006404	0.00003174	1.000	8.840	31,511	1.0001
64	−0.00009466	0.00003062	1.000	8.840	32,667	1.0001
65	−0.00012359	0.00002893	1.000	8.840	34,570	1.0001
66	−0.00015027	0.00002668	1.000	8.840	37,485	1.0001
67	−0.00017425	0.00002398	1.000	8.840	41,698	1.0001
68	−0.00019558	0.00002133	1.000	8.840	46,897	1.0001
69	−0.00021440	0.00001882	1.000	8.840	53,137	1.0001
70	−0.00023086	0.00001647	1.000	8.840	60,731	1.0001
71	−0.00024513	0.00001426	1.000	8.840	70,122	1.0001
72	−0.00025733	0.00001220	1.000	8.840	81,968	1.0001
73	−0.00026761	0.00001028	1.000	8.840	97,283	1.0000
74	−0.00027610	0.00000850	1.000	8.840	117,715	1.0000
75	−0.00028295	0.00000684	1.000	8.840	146,135	1.0000
76	−0.00028826	0.00000532	1.000	8.840	188,015	1.0000
合計			15.000			**15.0013**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00028826					
77	−0.00029218	0.00000392	1.000	8.840	255,244	1.0000
78	−0.00029482	0.00000264	1.000	8.840	379,404	1.0000
79	−0.00029629	0.00000147	1.000	8.840	681,283	1.0000
80	−0.00029670	0.00000041	1.000	8.840	2,442,061	1.0000
81	−0.00029615	−0.00000054	1.000	8.840	−1,838,434	1.0000
82	−0.00029475	−0.00000140	1.000	8.840	−715,743	1.0000
83	−0.00029260	−0.00000215	1.000	8.840	−464,079	1.0000
84	−0.00028978	−0.00000282	1.000	8.840	−354,416	1.0000
85	−0.00028638	−0.00000340	1.000	8.840	−293,945	1.0000
86	−0.00028248	−0.00000390	1.000	8.840	−256,364	1.0000
87	−0.00027815	−0.00000432	1.000	8.840	−231,363	1.0000
88	−0.00027348	−0.00000467	1.000	8.840	−214,089	1.0000
89	−0.00026853	−0.00000495	1.000	8.840	−201,966	1.0000
90	−0.00026336	−0.00000517	1.000	8.840	−193,512	1.0000
91	−0.00025804	−0.00000532	1.000	8.840	−187,825	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00025804					
92	−0.00025261	−0.00000542	1.000	8.840	−184,334	1.0000
93	−0.00024714	−0.00000547	1.000	8.840	−182,677	1.0000
94	−0.00024167	−0.00000548	1.000	8.840	−182,624	1.0000
95	−0.00023623	−0.00000543	1.000	8.840	−184,040	1.0000
96	−0.00023088	−0.00000535	1.000	8.840	−186,861	1.0000
97	−0.00022565	−0.00000523	1.000	8.840	−191,082	1.0000
98	−0.00022056	−0.00000508	1.000	8.840	−196,750	1.0000
99	−0.00021566	−0.00000490	1.000	8.840	−203,962	1.0000
100	−0.00021096	−0.00000470	1.000	8.840	−212,873	1.0000
101	−0.00020649	−0.00000447	1.000	8.840	−223,697	1.0000
102	−0.00020227	−0.00000422	1.000	8.840	−236,729	1.0000
103	−0.00019831	−0.00000396	1.000	8.840	−252,356	1.0000
104	−0.00019462	−0.00000369	1.000	8.840	−271,095	1.0000
105	−0.00019121	−0.00000341	1.000	8.840	−293,630	1.0000
106	−0.00018810	−0.00000312	1.000	8.840	−320,879	1.0000
合計			15.000			**14.9997**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00018810					
107	−0.00018527	−0.00000282	1.000	8.840	−354,092	1.0000
108	−0.00018274	−0.00000253	1.000	8.840	−394,993	1.0000
109	−0.00018050	−0.00000224	1.000	8.840	−446,023	1.0000
110	−0.00017854	−0.00000196	1.000	8.840	−510,708	1.0000
111	−0.00017686	−0.00000168	1.000	8.840	−594,312	1.0000
112	−0.00017544	−0.00000142	1.000	8.840	−704,966	1.0000
113	−0.00017427	−0.00000117	1.000	8.840	−855,776	1.0000
114	−0.00017334	−0.00000094	1.000	8.840	−1,069,003	1.0000
115	−0.00017261	−0.00000072	1.000	8.840	−1,385,001	1.0000
116	−0.00017208	−0.00000053	1.000	8.840	−1,883,338	1.0000
117	−0.00017172	−0.00000037	1.000	8.840	−2,739,481	1.0000
118	−0.00017149	−0.00000023	1.000	8.840	−4,407,010	1.0000
119	−0.00017137	−0.00000012	1.000	8.840	−8,380,680	1.0000
120	−0.00017133	−0.00000004	1.000	8.840	−22,238,526	1.0000
121	−0.00017132	−0.00000001	1.000	8.840	−152,648,446	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

表 3.1-27　施工目地の目開き量算出結果（case-6）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00053254					
2	0.00053255	−0.00000002	1.000	8.840	−55,014.574	1.0000
3	0.00053268	−0.00000012	1.000	8.840	−8,035.287	1.0000
4	0.00053301	−0.00000033	1.000	8.840	−3,036.740	1.0000
5	0.00053363	−0.00000062	1.000	8.840	−1,601.738	1.0000
6	0.00053463	−0.00000100	1.000	8.840	−998.896	1.0000
7	0.00053608	−0.00000145	1.000	8.840	−689.068	1.0000
8	0.00053805	−0.00000197	1.000	8.840	−508.575	1.0000
9	0.00054059	−0.00000254	1.000	8.840	−394.046	1.0000
10	0.00054375	−0.00000316	1.000	8.840	−316.732	1.0000
11	0.00054756	−0.00000382	1.000	8.840	−262.045	1.0000
12	0.00055207	−0.00000451	1.000	8.840	−221.931	1.0000
13	0.00055729	−0.00000522	1.000	8.840	−191.648	1.0000
14	0.00056323	−0.00000594	1.000	8.840	−168.254	1.0000
15	0.00056990	−0.00000667	1.000	8.840	−149.844	1.0000
16	0.00057730	−0.00000740	1.000	8.840	−135.142	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00057730					
17	0.00058541	−0.00000811	1.000	8.840	−123.266	1.0000
18	0.00059422	−0.00000880	1.000	8.840	−113.596	1.0000
19	0.00060368	−0.00000946	1.000	8.840	−105.683	1.0000
20	0.00061376	−0.00001008	1.000	8.840	−99.202	1.0000
21	0.00062441	−0.00001065	1.000	8.840	−93.912	1.0000
22	0.00063556	−0.00001116	1.000	8.840	−89.638	1.0000
23	0.00064715	−0.00001159	1.000	8.840	−86.253	0.9999
24	0.00065911	−0.00001195	1.000	8.840	−83.671	0.9999
25	0.00067132	−0.00001222	1.000	8.840	−81.838	0.9999
26	0.00068371	−0.00001239	1.000	8.840	−80.735	0.9999
27	0.00069615	−0.00001244	1.000	8.840	−80.372	0.9999
28	0.00070853	−0.00001238	1.000	8.840	−80.802	0.9999
29	0.00072070	−0.00001218	1.000	8.840	−82.123	0.9999
30	0.00073254	−0.00001183	1.000	8.840	−84.504	0.9999
31	0.00074387	−0.00001133	1.000	8.840	−88.222	0.9999
合計			15.000			**14.9993**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00074387					
32	0.00075454	−0.00001067	1.000	8.840	−93.727	1.0000
33	0.00076436	−0.00000982	1.000	8.840	−101.783	1.0000
34	0.00077315	−0.00000879	1.000	8.840	−113.770	1.0000
35	0.00078070	−0.00000755	1.000	8.840	−132.418	1.0000
36	0.00078680	−0.00000610	1.000	8.840	−163.960	1.0000
37	0.00079122	−0.00000442	1.000	8.840	−226.292	1.0000
38	0.00079372	−0.00000250	1.000	8.840	−400.084	1.0000
39	0.00079405	−0.00000033	1.000	8.840	−3,050.497	1.0000
40	0.00079194	0.00000211	1.000	8.840	474.290	1.0000
41	0.00078712	0.00000482	1.000	8.840	207.395	1.0000
42	0.00077929	0.00000782	1.000	8.840	127.803	1.0000
43	0.00076816	0.00001113	1.000	8.840	89.853	1.0000
44	0.00075342	0.00001475	1.000	8.840	67.805	1.0001
45	0.00073472	0.00001869	1.000	8.840	53.495	1.0001
46	0.00071174	0.00002298	1.000	8.840	43.522	1.0001
合計			15.000			**15.0001**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00071174					
47	0.00068425	0.00002749	1.000	8.840	36.379	1.0001
48	0.00065249	0.00003176	1.000	8.840	31.489	1.0001
49	0.00061681	0.00003568	1.000	8.840	28.034	1.0002
50	0.00057756	0.00003925	1.000	8.840	25.483	1.0002
51	0.00053508	0.00004249	1.000	8.840	23.541	1.0002
52	0.00048968	0.00004540	1.000	8.840	22.031	1.0002
53	0.00044168	0.00004800	1.000	8.840	20.839	1.0002
54	0.00039140	0.00005028	1.000	8.840	19.891	1.0002
55	0.00033912	0.00005227	1.000	8.840	19.135	1.0002
56	0.00028516	0.00005396	1.000	8.840	18.536	1.0002
57	0.00022980	0.00005536	1.000	8.840	18.067	1.0002
58	0.00017332	0.00005648	1.000	8.840	17.710	1.0002
59	0.00011601	0.00005731	1.000	8.840	17.453	1.0003
60	0.00005814	0.00005787	1.000	8.840	17.286	1.0003
61	0.00000000	0.00005814	1.000	8.840	17.204	1.0003
合計			15.000			**15.0031**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	−0.00005814	0.00005814	1.000	8.840	17.204	1.0003
63	−0.00011601	0.00005787	1.000	8.840	17.286	1.0003
64	−0.00017332	0.00005731	1.000	8.840	17.453	1.0003
65	−0.00022980	0.00005648	1.000	8.840	17.710	1.0002
66	−0.00028516	0.00005536	1.000	8.840	18.067	1.0002
67	−0.00033912	0.00005396	1.000	8.840	18.536	1.0002
68	−0.00039140	0.00005227	1.000	8.840	19.135	1.0002
69	−0.00044168	0.00005028	1.000	8.840	19.891	1.0002
70	−0.00048968	0.00004800	1.000	8.840	20.839	1.0002
71	−0.00053508	0.00004540	1.000	8.840	22.031	1.0002
72	−0.00057756	0.00004249	1.000	8.840	23.541	1.0002
73	−0.00061681	0.00003925	1.000	8.840	25.483	1.0002
74	−0.00065249	0.00003568	1.000	8.840	28.034	1.0002
75	−0.00068425	0.00003176	1.000	8.840	31.489	1.0001
76	−0.00071174	0.00002749	1.000	8.840	36.379	1.0001
合計			15.000			**15.0031**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00071174					
77	−0.00073472	0.00002298	1.000	8.840	43.522	1.0001
78	−0.00075342	0.00001869	1.000	8.840	53.495	1.0001
79	−0.00076816	0.00001475	1.000	8.840	67.805	1.0001
80	−0.00077929	0.00001113	1.000	8.840	89.853	1.0000
81	−0.00078712	0.00000782	1.000	8.840	127.803	1.0000
82	−0.00079194	0.00000482	1.000	8.840	207.395	1.0000
83	−0.00079405	0.00000211	1.000	8.840	474.290	1.0000
84	−0.00079372	−0.00000033	1.000	8.840	−3,050.497	1.0000
85	−0.00079122	−0.00000250	1.000	8.840	−400.084	1.0000
86	−0.00078680	−0.00000442	1.000	8.840	−226.292	1.0000
87	−0.00078070	−0.00000610	1.000	8.840	−163.960	1.0000
88	−0.00077315	−0.00000755	1.000	8.840	−132.418	1.0000
89	−0.00076436	−0.00000879	1.000	8.840	−113.770	1.0000
90	−0.00075454	−0.00000982	1.000	8.840	−101.783	1.0000
91	−0.00074387	−0.00001067	1.000	8.840	−93.727	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00074387					
92	−0.00073254	−0.00001133	1.000	8.840	−88.222	0.9999
93	−0.00072070	−0.00001183	1.000	8.840	−84.504	0.9999
94	−0.00070853	−0.00001218	1.000	8.840	−82.123	0.9999
95	−0.00069615	−0.00001238	1.000	8.840	−80.802	0.9999
96	−0.00068371	−0.00001244	1.000	8.840	−80.372	0.9999
97	−0.00067132	−0.00001239	1.000	8.840	−80.735	0.9999
98	−0.00065911	−0.00001222	1.000	8.840	−81.838	0.9999
99	−0.00064715	−0.00001195	1.000	8.840	−83.671	0.9999
100	−0.00063556	−0.00001159	1.000	8.840	−86.253	0.9999
101	−0.00062441	−0.00001116	1.000	8.840	−89.638	1.0000
102	−0.00061376	−0.00001065	1.000	8.840	−93.912	1.0000
103	−0.00060368	−0.00001008	1.000	8.840	−99.202	1.0000
104	−0.00059422	−0.00000946	1.000	8.840	−105.683	1.0000
105	−0.00058541	−0.00000880	1.000	8.840	−113.596	1.0000
106	−0.00057730	−0.00000811	1.000	8.840	−123.266	1.0000
合計			15.000			**14.9993**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00057730					
107	−0.00056990	−0.00000740	1.000	8.840	−135.142	1.0000
108	−0.00056323	−0.00000667	1.000	8.840	−149.844	1.0000
109	−0.00055729	−0.00000594	1.000	8.840	−168.254	1.0000
110	−0.00055207	−0.00000522	1.000	8.840	−191.648	1.0000
111	−0.00054756	−0.00000451	1.000	8.840	−221.931	1.0000
112	−0.00054375	−0.00000382	1.000	8.840	−262.045	1.0000
113	−0.00054059	−0.00000316	1.000	8.840	−316.732	1.0000
114	−0.00053805	−0.00000254	1.000	8.840	−394.046	1.0000
115	−0.00053608	−0.00000197	1.000	8.840	−508.575	1.0000
116	−0.00053463	−0.00000145	1.000	8.840	−689.068	1.0000
117	−0.00053363	−0.00000100	1.000	8.840	−998.896	1.0000
118	−0.00053301	−0.00000062	1.000	8.840	−1,601.738	1.0000
119	−0.00053268	−0.00000033	1.000	8.840	−3,036.740	1.0000
120	−0.00053255	−0.00000012	1.000	8.840	−8,035.287	1.0000
121	−0.00053254	−0.00000002	1.000	8.840	−55,014.574	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

表 3.1-28　施工目地の目開き量算出結果（case-7）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00110873					
2	0.00110876	−0.00000002	1.000	8.840	−42,589,433	1.0000
3	0.00110892	−0.00000016	1.000	8.840	−6,306,756	1.0000
4	0.00110933	−0.00000041	1.000	8.840	−2,423,298	1.0000
5	0.00111010	−0.00000077	1.000	8.840	−1,301,537	1.0000
6	0.00111130	−0.00000121	1.000	8.840	−827,796	1.0000
7	0.00111302	−0.00000171	1.000	8.840	−583,341	1.0000
8	0.00111529	−0.00000227	1.000	8.840	−440,621	1.0000
9	0.00111814	−0.00000286	1.000	8.840	−350,114	1.0000
10	0.00112160	−0.00000346	1.000	8.840	−289,287	1.0000
11	0.00112565	−0.00000405	1.000	8.840	−246,698	1.0000
12	0.00113028	−0.00000463	1.000	8.840	−216,038	1.0000
13	0.00113545	−0.00000516	1.000	8.840	−193,616	1.0000
14	0.00114109	−0.00000564	1.000	8.840	−177,184	1.0000
15	0.00114714	−0.00000605	1.000	8.840	−165,348	1.0000
16	0.00115350	−0.00000636	1.000	8.840	−157,261	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00115350					
17	0.00116006	−0.00000656	1.000	8.840	−152,467	1.0000
18	0.00116669	−0.00000663	1.000	8.840	−150,843	1.0000
19	0.00117324	−0.00000655	1.000	8.840	−152,614	1.0000
20	0.00117955	−0.00000631	1.000	8.840	−158,490	1.0000
21	0.00118543	−0.00000588	1.000	8.840	−170,007	1.0000
22	0.00119068	−0.00000525	1.000	8.840	−190,418	1.0000
23	0.00119508	−0.00000440	1.000	8.840	−227,309	1.0000
24	0.00119839	−0.00000331	1.000	8.840	−302,442	1.0000
25	0.00120034	−0.00000195	1.000	8.840	−511,735	1.0000
26	0.00120066	−0.00000032	1.000	8.840	−3,090,612	1.0000
27	0.00119906	0.00000160	1.000	8.840	623,349	1.0000
28	0.00119521	0.00000385	1.000	8.840	259,864	1.0000
29	0.00118878	0.00000643	1.000	8.840	155,591	1.0000
30	0.00117942	0.00000936	1.000	8.840	106,838	1.0000
31	0.00116676	0.00001267	1.000	8.840	78,956	1.0001
合計			15.000			**14.9999**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00116676					
32	0.00115052	0.00001624	1.000	8.840	61,573	1.0001
33	0.00113089	0.00001962	1.000	8.840	50,965	1.0001
34	0.00110819	0.00002271	1.000	8.840	44,046	1.0001
35	0.00108268	0.00002551	1.000	8.840	39,207	1.0001
36	0.00105463	0.00002805	1.000	8.840	35,656	1.0001
37	0.00102429	0.00003034	1.000	8.840	32,960	1.0001
38	0.00099188	0.00003241	1.000	8.840	30,860	1.0001
39	0.00095761	0.00003426	1.000	8.840	29,191	1.0002
40	0.00092170	0.00003592	1.000	8.840	27,845	1.0002
41	0.00088430	0.00003739	1.000	8.840	26,748	1.0002
42	0.00084561	0.00003870	1.000	8.840	25,845	1.0002
43	0.00080575	0.00003985	1.000	8.840	25,098	1.0002
44	0.00076489	0.00004086	1.000	8.840	24,476	1.0002
45	0.00072314	0.00004175	1.000	8.840	23,957	1.0002
46	0.00068062	0.00004252	1.000	8.840	23,524	1.0002
合計			15.000			**15.0021**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00068062					
47	0.00063744	0.00004318	1.000	8.840	23,161	1.0002
48	0.00059368	0.00004376	1.000	8.840	22,858	1.0002
49	0.00054944	0.00004425	1.000	8.840	22,606	1.0002
50	0.00050478	0.00004466	1.000	8.840	22,396	1.0002
51	0.00045977	0.00004501	1.000	8.840	22,222	1.0002
52	0.00041447	0.00004530	1.000	8.840	22,078	1.0002
53	0.00036892	0.00004555	1.000	8.840	21,961	1.0002
54	0.00032318	0.00004574	1.000	8.840	21,865	1.0002
55	0.00027727	0.00004591	1.000	8.840	21,788	1.0002
56	0.00023124	0.00004604	1.000	8.840	21,727	1.0002
57	0.00018510	0.00004614	1.000	8.840	21,680	1.0002
58	0.00013889	0.00004621	1.000	8.840	21,644	1.0002
59	0.00009262	0.00004627	1.000	8.840	21,618	1.0002
60	0.00004632	0.00004630	1.000	8.840	21,602	1.0002
61	0.00000000	0.00004632	1.000	8.840	21,594	1.0002
合計			15.000			**15.0030**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	−0.00004632	0.00004632	1.000	8.840	21,594	1.0002
63	−0.00009262	0.00004630	1.000	8.840	21,602	1.0002
64	−0.00013889	0.00004627	1.000	8.840	21,618	1.0002
65	−0.00018510	0.00004621	1.000	8.840	21,644	1.0002
66	−0.00023124	0.00004614	1.000	8.840	21,680	1.0002
67	−0.00027727	0.00004604	1.000	8.840	21,727	1.0002
68	−0.00032318	0.00004591	1.000	8.840	21,788	1.0002
69	−0.00036892	0.00004574	1.000	8.840	21,865	1.0002
70	−0.00041447	0.00004555	1.000	8.840	21,961	1.0002
71	−0.00045977	0.00004530	1.000	8.840	22,078	1.0002
72	−0.00050478	0.00004501	1.000	8.840	22,222	1.0002
73	−0.00054944	0.00004466	1.000	8.840	22,396	1.0002
74	−0.00059368	0.00004425	1.000	8.840	22,606	1.0002
75	−0.00063744	0.00004376	1.000	8.840	22,858	1.0002
76	−0.00068062	0.00004318	1.000	8.840	23,161	1.0002
合計			15.000			**15.0030**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00068062					
77	−0.00072314	0.00004252	1.000	8.840	23,524	1.0002
78	−0.00076489	0.00004175	1.000	8.840	23,957	1.0002
79	−0.00080575	0.00004086	1.000	8.840	24,476	1.0002
80	−0.00084561	0.00003985	1.000	8.840	25,098	1.0002
81	−0.00088430	0.00003870	1.000	8.840	25,845	1.0002
82	−0.00092170	0.00003739	1.000	8.840	26,748	1.0002
83	−0.00095761	0.00003592	1.000	8.840	27,845	1.0002
84	−0.00099188	0.00003426	1.000	8.840	29,191	1.0002
85	−0.00102429	0.00003241	1.000	8.840	30,860	1.0001
86	−0.00105463	0.00003034	1.000	8.840	32,960	1.0001
87	−0.00108268	0.00002805	1.000	8.840	35,656	1.0001
88	−0.00110819	0.00002551	1.000	8.840	39,207	1.0001
89	−0.00113089	0.00002271	1.000	8.840	44,046	1.0001
90	−0.00115052	0.00001962	1.000	8.840	50,965	1.0001
91	−0.00116676	0.00001624	1.000	8.840	61,573	1.0001
合計			15.000			**15.0021**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00116676					
92	−0.00117942	0.00001267	1.000	8.840	78,956	1.0001
93	−0.00118878	0.00000936	1.000	8.840	106,838	1.0000
94	−0.00119521	0.00000643	1.000	8.840	155,591	1.0000
95	−0.00119906	0.00000385	1.000	8.840	259,864	1.0000
96	−0.00120066	0.00000160	1.000	8.840	623,349	1.0000
97	−0.00120034	−0.00000032	1.000	8.840	−3,090,612	1.0000
98	−0.00119839	−0.00000195	1.000	8.840	−511,735	1.0000
99	−0.00119508	−0.00000331	1.000	8.840	−302,442	1.0000
100	−0.00119068	−0.00000440	1.000	8.840	−227,309	1.0000
101	−0.00118543	−0.00000525	1.000	8.840	−190,418	1.0000
102	−0.00117955	−0.00000588	1.000	8.840	−170,007	1.0000
103	−0.00117324	−0.00000631	1.000	8.840	−158,490	1.0000
104	−0.00116669	−0.00000655	1.000	8.840	−152,614	1.0000
105	−0.00116006	−0.00000663	1.000	8.840	−150,843	1.0000
106	−0.00115350	−0.00000656	1.000	8.840	−152,467	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00115350					
107	−0.00114714	−0.00000636	1.000	8.840	−157,261	1.0000
108	−0.00114109	−0.00000605	1.000	8.840	−165,348	1.0000
109	−0.00113545	−0.00000564	1.000	8.840	−177,184	1.0000
110	−0.00113028	−0.00000516	1.000	8.840	−193,616	1.0000
111	−0.00112565	−0.00000463	1.000	8.840	−216,038	1.0000
112	−0.00112160	−0.00000405	1.000	8.840	−246,698	1.0000
113	−0.00111814	−0.00000346	1.000	8.840	−289,287	1.0000
114	−0.00111529	−0.00000286	1.000	8.840	−350,114	1.0000
115	−0.00111302	−0.00000227	1.000	8.840	−440,621	1.0000
116	−0.00111130	−0.00000171	1.000	8.840	−583,341	1.0000
117	−0.00111010	−0.00000121	1.000	8.840	−827,796	1.0000
118	−0.00110933	−0.00000077	1.000	8.840	−1,301,537	1.0000
119	−0.00110892	−0.00000041	1.000	8.840	−2,423,298	1.0000
120	−0.00110876	−0.00000016	1.000	8.840	−6,306,756	1.0000
121	−0.00110873	−0.00000002	1.000	8.840	−42,589,433	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

表 3.1-29　施工目地の目開き量算出結果（case-8）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00134071					
2	0.00134070	0.00000001	1.000	8.840	102,249,493	1.0000
3	0.00134062	0.00000008	1.000	8.840	13,239,777	1.0000
4	0.00134040	0.00000023	1.000	8.840	4,416,966	1.0000
5	0.00133991	0.00000048	1.000	8.840	2,068,086	1.0000
6	0.00133905	0.00000087	1.000	8.840	1,151,932	1.0000
7	0.00133764	0.00000140	1.000	8.840	713,668	1.0000
8	0.00133554	0.00000210	1.000	8.840	475,285	1.0000
9	0.00133254	0.00000300	1.000	8.840	333,608	1.0000
10	0.00132844	0.00000410	1.000	8.840	243,730	1.0000
11	0.00132300	0.00000544	1.000	8.840	183,786	1.0000
12	0.00131597	0.00000703	1.000	8.840	142,185	1.0000
13	0.00130707	0.00000890	1.000	8.840	112,364	1.0000
14	0.00129600	0.00001106	1.000	8.840	90,403	1.0000
15	0.00128246	0.00001354	1.000	8.840	73,858	1.0001
16	0.00126611	0.00001636	1.000	8.840	61,148	1.0001
合計			15.000			**15.0003**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00126611					
17	0.00124670	0.00001941	1.000	8.840	51,536	1.0001
18	0.00122448	0.00002223	1.000	8.840	44,993	1.0001
19	0.00119975	0.00002472	1.000	8.840	40,457	1.0001
20	0.00117285	0.00002690	1.000	8.840	37,175	1.0001
21	0.00114406	0.00002879	1.000	8.840	34,733	1.0001
22	0.00111364	0.00003041	1.000	8.840	32,884	1.0001
23	0.00108187	0.00003178	1.000	8.840	31,473	1.0001
24	0.00104896	0.00003290	1.000	8.840	30,395	1.0001
25	0.00101515	0.00003381	1.000	8.840	29,580	1.0001
26	0.00098063	0.00003452	1.000	8.840	28,977	1.0002
27	0.00094560	0.00003503	1.000	8.840	28,550	1.0002
28	0.00091023	0.00003538	1.000	8.840	28,272	1.0002
29	0.00087466	0.00003556	1.000	8.840	28,124	1.0002
30	0.00083906	0.00003561	1.000	8.840	28,089	1.0002
31	0.00080353	0.00003552	1.000	8.840	28,156	1.0002
合計			15.000			**15.0020**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00080353					
32	0.00076821	0.00003532	1.000	8.840	28,315	1.0002
33	0.00073319	0.00003502	1.000	8.840	28,561	1.0002
34	0.00069857	0.00003462	1.000	8.840	28,886	1.0002
35	0.00066442	0.00003415	1.000	8.840	29,286	1.0002
36	0.00063081	0.00003361	1.000	8.840	29,759	1.0001
37	0.00059780	0.00003301	1.000	8.840	30,299	1.0001
38	0.00056544	0.00003236	1.000	8.840	30,906	1.0001
39	0.00053376	0.00003168	1.000	8.840	31,575	1.0001
40	0.00050280	0.00003096	1.000	8.840	32,305	1.0001
41	0.00047258	0.00003022	1.000	8.840	33,092	1.0001
42	0.00044311	0.00002947	1.000	8.840	33,934	1.0001
43	0.00041439	0.00002872	1.000	8.840	34,827	1.0001
44	0.00038643	0.00002796	1.000	8.840	35,767	1.0001
45	0.00035921	0.00002722	1.000	8.840	36,748	1.0001
46	0.00033273	0.00002648	1.000	8.840	37,764	1.0001
合計			15.000			**15.0021**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00033273					
47	0.00030696	0.00002577	1.000	8.840	38,809	1.0001
48	0.00028188	0.00002508	1.000	8.840	39,874	1.0001
49	0.00025746	0.00002442	1.000	8.840	40,950	1.0001
50	0.00023366	0.00002380	1.000	8.840	42,024	1.0001
51	0.00021045	0.00002321	1.000	8.840	43,086	1.0001
52	0.00018778	0.00002267	1.000	8.840	44,121	1.0001
53	0.00016561	0.00002217	1.000	8.840	45,114	1.0001
54	0.00014389	0.00002172	1.000	8.840	46,051	1.0001
55	0.00012258	0.00002132	1.000	8.840	46,916	1.0001
56	0.00010161	0.00002097	1.000	8.840	47,694	1.0001
57	0.00008093	0.00002068	1.000	8.840	48,368	1.0001
58	0.00006049	0.00002044	1.000	8.840	48,926	1.0001
59	0.00004023	0.00002026	1.000	8.840	49,356	1.0001
60	0.00002008	0.00002014	1.000	8.840	49,648	1.0001
61	0.00000000	0.00002008	1.000	8.840	49,795	1.0001
合計			15.000			**15.0015**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	−0.00002008	0.00002008	1.000	8.840	49,795	1.0001
63	−0.00004023	0.00002014	1.000	8.840	49,648	1.0001
64	−0.00006049	0.00002026	1.000	8.840	49,356	1.0001
65	−0.00008093	0.00002044	1.000	8.840	48,926	1.0001
66	−0.00010161	0.00002068	1.000	8.840	48,368	1.0001
67	−0.00012258	0.00002097	1.000	8.840	47,694	1.0001
68	−0.00014389	0.00002132	1.000	8.840	46,916	1.0001
69	−0.00016561	0.00002172	1.000	8.840	46,051	1.0001
70	−0.00018778	0.00002217	1.000	8.840	45,114	1.0001
71	−0.00021045	0.00002267	1.000	8.840	44,121	1.0001
72	−0.00023366	0.00002321	1.000	8.840	43,086	1.0001
73	−0.00025746	0.00002380	1.000	8.840	42,024	1.0001
74	−0.00028188	0.00002442	1.000	8.840	40,950	1.0001
75	−0.00030696	0.00002508	1.000	8.840	39,874	1.0001
76	−0.00033273	0.00002577	1.000	8.840	38,809	1.0001
合計			15.000			**15.0015**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00033273					
77	−0.00035921	0.00002648	1.000	8.840	37,764	1.0001
78	−0.00038643	0.00002722	1.000	8.840	36,748	1.0001
79	−0.00041439	0.00002796	1.000	8.840	35,767	1.0001
80	−0.00044311	0.00002872	1.000	8.840	34,827	1.0001
81	−0.00047258	0.00002947	1.000	8.840	33,934	1.0001
82	−0.00050280	0.00003022	1.000	8.840	33,092	1.0001
83	−0.00053376	0.00003096	1.000	8.840	32,305	1.0001
84	−0.00056544	0.00003168	1.000	8.840	31,575	1.0001
85	−0.00059780	0.00003236	1.000	8.840	30,906	1.0001
86	−0.00063081	0.00003301	1.000	8.840	30,299	1.0001
87	−0.00066442	0.00003361	1.000	8.840	29,759	1.0001
88	−0.00069857	0.00003415	1.000	8.840	29,286	1.0002
89	−0.00073319	0.00003462	1.000	8.840	28,886	1.0002
90	−0.00076821	0.00003502	1.000	8.840	28,561	1.0002
91	−0.00080353	0.00003532	1.000	8.840	28,315	1.0002
合計			15.000			**15.0021**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00080353					
92	−0.00083906	0.00003552	1.000	8.840	28,156	1.0002
93	−0.00087466	0.00003561	1.000	8.840	28,089	1.0002
94	−0.00091023	0.00003556	1.000	8.840	28,124	1.0002
95	−0.00094560	0.00003538	1.000	8.840	28,272	1.0002
96	−0.00098063	0.00003503	1.000	8.840	28,550	1.0002
97	−0.00101515	0.00003452	1.000	8.840	28,977	1.0002
98	−0.00104896	0.00003381	1.000	8.840	29,580	1.0001
99	−0.00108187	0.00003290	1.000	8.840	30,395	1.0001
100	−0.00111364	0.00003178	1.000	8.840	31,473	1.0001
101	−0.00114406	0.00003041	1.000	8.840	32,884	1.0001
102	−0.00117285	0.00002879	1.000	8.840	34,733	1.0001
103	−0.00119975	0.00002690	1.000	8.840	37,175	1.0001
104	−0.00122448	0.00002472	1.000	8.840	40,457	1.0001
105	−0.00124670	0.00002223	1.000	8.840	44,993	1.0001
106	−0.00126611	0.00001941	1.000	8.840	51,536	1.0001
合計			15.000			**15.0020**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00126611					
107	−0.00128246	0.00001636	1.000	8.840	61,148	1.0001
108	−0.00129600	0.00001354	1.000	8.840	73,858	1.0001
109	−0.00130707	0.00001106	1.000	8.840	90,403	1.0000
110	−0.00131597	0.00000890	1.000	8.840	112,364	1.0000
111	−0.00132300	0.00000703	1.000	8.840	142,185	1.0000
112	−0.00132844	0.00000544	1.000	8.840	183,786	1.0000
113	−0.00133254	0.00000410	1.000	8.840	243,730	1.0000
114	−0.00133554	0.00000300	1.000	8.840	333,608	1.0000
115	−0.00133764	0.00000210	1.000	8.840	475,285	1.0000
116	−0.00133905	0.00000140	1.000	8.840	713,668	1.0000
117	−0.00133991	0.00000087	1.000	8.840	1,151,932	1.0000
118	−0.00134040	0.00000048	1.000	8.840	2,068,086	1.0000
119	−0.00134062	0.00000023	1.000	8.840	4,416,966	1.0000
120	−0.00134070	0.00000008	1.000	8.840	13,239,777	1.0000
121	−0.00134071	0.00000001	1.000	8.840	102,249,493	1.0000
合計			15.000			**15.0003**

表 3.1-30　施工目地の目開き量算出結果（case-9）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00038339					
2	−0.00038338	−0.00000001	1.000	8.840	−71,684,583	1.0000
3	−0.00038328	−0.00000010	1.000	8.840	−9,834,675	1.0000
4	−0.00038299	−0.00000029	1.000	8.840	−3,469,459	1.0000
5	−0.00038240	−0.00000059	1.000	8.840	−1,707,392	1.0000
6	−0.00038140	−0.00000101	1.000	8.840	−993,901	1.0000
7	−0.00037984	−0.00000156	1.000	8.840	−640,352	1.0000
8	−0.00037757	−0.00000226	1.000	8.840	−441,651	1.0000
9	−0.00037445	−0.00000313	1.000	8.840	−319,909	1.0000
10	−0.00037029	−0.00000416	1.000	8.840	−240,470	1.0000
11	−0.00036491	−0.00000537	1.000	8.840	−186,083	1.0000
12	−0.00035819	−0.00000672	1.000	8.840	−148,811	1.0000
13	−0.00035024	−0.00000795	1.000	8.840	−125,750	1.0000
14	−0.00034122	−0.00000902	1.000	8.840	−110,886	1.0000
15	−0.00033130	−0.00000993	1.000	8.840	−100,714	1.0000
16	−0.00032060	−0.00001069	1.000	8.840	−93,498	1.0000
合計			15.000			**14.9997**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00032060					
17	−0.00030927	−0.00001133	1.000	8.840	−88,279	0.9999
18	−0.00029744	−0.00001184	1.000	8.840	−84,488	0.9999
19	−0.00028521	−0.00001223	1.000	8.840	−81,765	0.9999
20	−0.00027269	−0.00001252	1.000	8.840	−79,875	0.9999
21	−0.00025998	−0.00001271	1.000	8.840	−78,659	0.9999
22	−0.00024716	−0.00001282	1.000	8.840	−78,007	0.9999
23	−0.00023431	−0.00001285	1.000	8.840	−77,841	0.9999
24	−0.00022151	−0.00001280	1.000	8.840	−78,107	0.9999
25	−0.00020882	−0.00001269	1.000	8.840	−78,770	0.9999
26	−0.00019629	−0.00001253	1.000	8.840	−79,803	0.9999
27	−0.00018397	−0.00001232	1.000	8.840	−81,195	0.9999
28	−0.00017191	−0.00001206	1.000	8.840	−82,937	0.9999
29	−0.00016015	−0.00001176	1.000	8.840	−85,031	0.9999
30	−0.00014872	−0.00001143	1.000	8.840	−87,484	0.9999
31	−0.00013765	−0.00001107	1.000	8.840	−90,308	1.0000
合計			15.000			**14.9992**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00013765					
32	−0.00012696	−0.00001069	1.000	8.840	−93,523	1.0000
33	−0.00011667	−0.00001029	1.000	8.840	−97,150	1.0000
34	−0.00010679	−0.00000988	1.000	8.840	−101,221	1.0000
35	−0.00009733	−0.00000945	1.000	8.840	−105,771	1.0000
36	−0.00008831	−0.00000902	1.000	8.840	−110,843	1.0000
37	−0.00007973	−0.00000858	1.000	8.840	−116,487	1.0000
38	−0.00007158	−0.00000815	1.000	8.840	−122,765	1.0000
39	−0.00006387	−0.00000771	1.000	8.840	−129,745	1.0000
40	−0.00005660	−0.00000727	1.000	8.840	−137,510	1.0000
41	−0.00004976	−0.00000684	1.000	8.840	−146,156	1.0000
42	−0.00004334	−0.00000642	1.000	8.840	−155,798	1.0000
43	−0.00003734	−0.00000600	1.000	8.840	−166,568	1.0000
44	−0.00003174	−0.00000560	1.000	8.840	−178,627	1.0000
45	−0.00002654	−0.00000520	1.000	8.840	−192,164	1.0000
46	−0.00002172	−0.00000482	1.000	8.840	−207,407	1.0000
合計			15.000			**14.9995**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00002172					
47	−0.00001726	−0.00000445	1.000	8.840	−224,629	1.0000
48	−0.00001317	−0.00000410	1.000	8.840	−244,167	1.0000
49	−0.00000942	−0.00000375	1.000	8.840	−266,429	1.0000
50	−0.00000599	−0.00000343	1.000	8.840	−291,924	1.0000
51	−0.00000288	−0.00000311	1.000	8.840	−321,289	1.0000
52	−0.00000006	−0.00000281	1.000	8.840	−355,330	1.0000
53	0.00000247	−0.00000253	1.000	8.840	−395,083	1.0000
54	0.00000473	−0.00000226	1.000	8.840	−441,904	1.0000
55	0.00000674	−0.00000201	1.000	8.840	−497,590	1.0000
56	0.00000851	−0.00000177	1.000	8.840	−564,583	1.0000
57	0.00001006	−0.00000155	1.000	8.840	−646,281	1.0000
58	0.00001140	−0.00000134	1.000	8.840	−747,547	1.0000
59	0.00001254	−0.00000114	1.000	8.840	−875,590	1.0000
60	0.00001350	−0.00000096	1.000	8.840	−1,041,571	1.0000
61	0.00001429	−0.00000079	1.000	8.840	−1,263,713	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00001429					
62	0.00001493	−0.00000064	1.000	8.840	−1,573,927	1.0000
63	0.00001542	−0.00000049	1.000	8.840	−2,033,583	1.0000
64	0.00001578	−0.00000036	1.000	8.840	−2,777,653	1.0000
65	0.00001602	−0.00000024	1.000	8.840	−4,172,095	1.0000
66	0.00001615	−0.00000013	1.000	8.840	−7,676,926	1.0000
67	0.00001618	−0.00000003	1.000	8.840	−32,021,001	1.0000
68	0.00001612	0.00000006	1.000	8.840	17,267,046	1.0000
69	0.00001598	0.00000014	1.000	8.840	7,263,234	1.0000
70	0.00001577	0.00000021	1.000	8.840	4,794,411	1.0000
71	0.00001550	0.00000027	1.000	8.840	3,688,577	1.0000
72	0.00001518	0.00000033	1.000	8.840	3,069,648	1.0000
73	0.00001480	0.00000037	1.000	8.840	2,680,579	1.0000
74	0.00001439	0.00000041	1.000	8.840	2,418,750	1.0000
75	0.00001394	0.00000045	1.000	8.840	2,235,208	1.0000
76	0.00001347	0.00000048	1.000	8.840	2,103,693	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00001347					
77	0.00001297	0.00000050	1.000	8.840	2,008,907	1.0000
78	0.00001246	0.00000052	1.000	8.840	1,941,385	1.0000
79	0.00001193	0.00000053	1.000	8.840	1,895,007	1.0000
80	0.00001139	0.00000054	1.000	8.840	1,865,686	1.0000
81	0.00001085	0.00000054	1.000	8.840	1,850,647	1.0000
82	0.00001031	0.00000054	1.000	8.840	1,847,987	1.0000
83	0.00000977	0.00000054	1.000	8.840	1,856,419	1.0000
84	0.00000924	0.00000053	1.000	8.840	1,875,106	1.0000
85	0.00000871	0.00000053	1.000	8.840	1,903,555	1.0000
86	0.00000820	0.00000052	1.000	8.840	1,941,551	1.0000
87	0.00000770	0.00000050	1.000	8.840	1,989,116	1.0000
88	0.00000721	0.00000049	1.000	8.840	2,046,486	1.0000
89	0.00000673	0.00000047	1.000	8.840	2,114,098	1.0000
90	0.00000628	0.00000046	1.000	8.840	2,192,594	1.0000
91	0.00000584	0.00000044	1.000	8.840	2,282,832	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00000584					
92	0.00000542	0.00000042	1.000	8.840	2,385,906	1.0000
93	0.00000502	0.00000040	1.000	8.840	2,503,180	1.0000
94	0.00000464	0.00000038	1.000	8.840	2,636,331	1.0000
95	0.00000428	0.00000036	1.000	8.840	2,787,409	1.0000
96	0.00000394	0.00000034	1.000	8.840	2,958,916	1.0000
97	0.00000363	0.00000032	1.000	8.840	3,153,910	1.0000
98	0.00000333	0.00000030	1.000	8.840	3,376,142	1.0000
99	0.00000306	0.00000028	1.000	8.840	3,630,238	1.0000
100	0.00000280	0.00000025	1.000	8.840	3,921,939	1.0000
101	0.00000257	0.00000023	1.000	8.840	4,258,431	1.0000
102	0.00000235	0.00000022	1.000	8.840	4,648,795	1.0000
103	0.00000216	0.00000020	1.000	8.840	5,104,626	1.0000
104	0.00000198	0.00000018	1.000	8.840	5,640,917	1.0000
105	0.00000182	0.00000016	1.000	8.840	6,277,310	1.0000
106	0.00000168	0.00000014	1.000	8.840	7,039,951	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00000168					
107	0.00000155	0.00000013	1.000	8.840	7,964,241	1.0000
108	0.00000144	0.00000011	1.000	8.840	9,099,075	1.0000
109	0.00000135	0.00000010	1.000	8.840	10,513,526	1.0000
110	0.00000126	0.00000008	1.000	8.840	12,307,750	1.0000
111	0.00000120	0.00000007	1.000	8.840	14,631,434	1.0000
112	0.00000114	0.00000006	1.000	8.840	17,716,472	1.0000
113	0.00000109	0.00000005	1.000	8.840	21,937,830	1.0000
114	0.00000106	0.00000004	1.000	8.840	27,934,378	1.0000
115	0.00000103	0.00000003	1.000	8.840	36,868,185	1.0000
116	0.00000101	0.00000002	1.000	8.840	51,038,015	1.0000
117	0.00000100	0.00000001	1.000	8.840	75,531,632	1.0000
118	0.00000099	0.00000001	1.000	8.840	123,542,802	1.0000
119	0.00000099	0.00000000	1.000	8.840	238,698,525	1.0000
120	0.00000098	0.00000000	1.000	8.840	642,746,228	1.0000
121	0.00000098	0.00000000	1.000	8.840	4,448,339,217	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-31　施工目地の目開き量算出結果（case-10）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00026274					
2	−0.00026275	0.00000001	1.000	8.840	77,291,703	1.0000
3	−0.00026284	0.00000009	1.000	8.840	11,388,488	1.0000
4	−0.00026307	0.00000023	1.000	8.840	4,348,757	1.0000
5	−0.00026350	0.00000043	1.000	8.840	2,319,813	1.0000
6	−0.00026418	0.00000068	1.000	8.840	1,464,412	1.0000
7	−0.00026516	0.00000098	1.000	8.840	1,023,513	1.0000
8	−0.00026647	0.00000131	1.000	8.840	766,158	1.0000
9	−0.00026813	0.00000166	1.000	8.840	602,751	1.0000
10	−0.00027016	0.00000203	1.000	8.840	492,573	1.0000
11	−0.00027257	0.00000241	1.000	8.840	414,930	1.0000
12	−0.00027536	0.00000279	1.000	8.840	358,398	1.0000
13	−0.00027852	0.00000316	1.000	8.840	316,254	1.0000
14	−0.00028203	0.00000352	1.000	8.840	284,349	1.0000
15	−0.00028588	0.00000385	1.000	8.840	260,025	1.0000
16	−0.00029002	0.00000414	1.000	8.840	241,542	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00029002					
17	−0.00029441	0.00000439	1.000	8.840	227,759	1.0000
18	−0.00029900	0.00000459	1.000	8.840	217,948	1.0000
19	−0.00030372	0.00000472	1.000	8.840	211,696	1.0000
20	−0.00030851	0.00000479	1.000	8.840	208,872	1.0000
21	−0.00031328	0.00000477	1.000	8.840	209,629	1.0000
22	−0.00031794	0.00000466	1.000	8.840	214,495	1.0000
23	−0.00032240	0.00000445	1.000	8.840	224,563	1.0000
24	−0.00032653	0.00000413	1.000	8.840	241,940	1.0000
25	−0.00033022	0.00000369	1.000	8.840	270,825	1.0000
26	−0.00033334	0.00000312	1.000	8.840	320,485	1.0000
27	−0.00033575	0.00000241	1.000	8.840	415,556	1.0000
28	−0.00033729	0.00000154	1.000	8.840	649,214	1.0000
29	−0.00033780	0.00000051	1.000	8.840	1,955,375	1.0000
30	−0.00033711	−0.00000069	1.000	8.840	−1,447,255	1.0000
31	−0.00033503	−0.00000208	1.000	8.840	−481,357	1.0000
合計			15.000			**15.0002**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00033503					
32	−0.00033144	−0.00000359	1.000	8.840	−278,181	1.0000
33	−0.00032644	−0.00000500	1.000	8.840	−200,088	1.0000
34	−0.00032021	−0.00000623	1.000	8.840	−160,436	1.0000
35	−0.00031290	−0.00000731	1.000	8.840	−136,785	1.0000
36	−0.00030466	−0.00000824	1.000	8.840	−121,343	1.0000
37	−0.00029562	−0.00000903	1.000	8.840	−110,695	1.0000
38	−0.00028592	−0.00000970	1.000	8.840	−103,107	1.0000
39	−0.00027568	−0.00001024	1.000	8.840	−97,609	1.0000
40	−0.00026500	−0.00001068	1.000	8.840	−93,619	1.0000
41	−0.00025398	−0.00001102	1.000	8.840	−90,767	1.0000
42	−0.00024272	−0.00001126	1.000	8.840	−88,807	1.0000
43	−0.00023130	−0.00001142	1.000	8.840	−87,573	0.9999
44	−0.00021980	−0.00001150	1.000	8.840	−86,950	0.9999
45	−0.00020829	−0.00001151	1.000	8.840	−86,858	0.9999
46	−0.00019683	−0.00001146	1.000	8.840	−87,241	0.9999
合計			15.000			**14.9994**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00019683					
47	−0.00018547	−0.00001136	1.000	8.840	−88,059	0.9999
48	−0.00017428	−0.00001120	1.000	8.840	−89,289	1.0000
49	−0.00016328	−0.00001100	1.000	8.840	−90,916	1.0000
50	−0.00015252	−0.00001076	1.000	8.840	−92,935	1.0000
51	−0.00014203	−0.00001049	1.000	8.840	−95,348	1.0000
52	−0.00013184	−0.00001019	1.000	8.840	−98,163	1.0000
53	−0.00012198	−0.00000986	1.000	8.840	−101,397	1.0000
54	−0.00011246	−0.00000952	1.000	8.840	−105,071	1.0000
55	−0.00010331	−0.00000916	1.000	8.840	−109,211	1.0000
56	−0.00009452	−0.00000878	1.000	8.840	−113,853	1.0000
57	−0.00008612	−0.00000840	1.000	8.840	−119,038	1.0000
58	−0.00007811	−0.00000801	1.000	8.840	−124,815	1.0000
59	−0.00007049	−0.00000762	1.000	8.840	−131,243	1.0000
60	−0.00006327	−0.00000723	1.000	8.840	−138,388	1.0000
61	−0.00005643	−0.00000683	1.000	8.840	−146,332	1.0000
合計			15.000			**14.9994**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	−0.00005643					
62	−0.00004999	−0.00000644	1.000	8.840	−155,167	1.0000
63	−0.00004393	−0.00000606	1.000	8.840	−165,003	1.0000
64	−0.00003825	−0.00000568	1.000	8.840	−175,968	1.0000
65	−0.00003293	−0.00000531	1.000	8.840	−188,214	1.0000
66	−0.00002798	−0.00000495	1.000	8.840	−201,919	1.0000
67	−0.00002338	−0.00000460	1.000	8.840	−217,296	1.0000
68	−0.00001912	−0.00000426	1.000	8.840	−234,599	1.0000
69	−0.00001518	−0.00000393	1.000	8.840	−254,133	1.0000
70	−0.00001156	−0.00000362	1.000	8.840	−276,267	1.0000
71	−0.00000825	−0.00000332	1.000	8.840	−301,451	1.0000
72	−0.00000522	−0.00000303	1.000	8.840	−330,237	1.0000
73	−0.00000246	−0.00000275	1.000	8.840	−363,311	1.0000
74	0.00000003	−0.00000249	1.000	8.840	−401,533	1.0000
75	0.00000227	−0.00000224	1.000	8.840	−445,994	1.0000
76	0.00000428	−0.00000201	1.000	8.840	−498,094	1.0000
合計			15.000			**14.9997**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00000428					
77	0.00000606	−0.00000179	1.000	8.840	−559,663	1.0000
78	0.00000764	−0.00000158	1.000	8.840	−633,126	1.0000
79	0.00000903	−0.00000139	1.000	8.840	−721,771	1.0000
80	0.00001023	−0.00000120	1.000	8.840	−830,148	1.0000
81	0.00001127	−0.00000104	1.000	8.840	−964,742	1.0000
82	0.00001215	−0.00000088	1.000	8.840	−1,135,089	1.0000
83	0.00001289	−0.00000074	1.000	8.840	−1,355,796	1.0000
84	0.00001349	−0.00000061	1.000	8.840	−1,650,379	1.0000
85	0.00001398	−0.00000049	1.000	8.840	−2,059,206	1.0000
86	0.00001435	−0.00000038	1.000	8.840	−2,657,758	1.0000
87	0.00001463	−0.00000028	1.000	8.840	−3,605,162	1.0000
88	0.00001482	−0.00000019	1.000	8.840	−5,303,901	1.0000
89	0.00001493	−0.00000011	1.000	8.840	−9,151,019	1.0000
90	0.00001497	−0.00000004	1.000	8.840	−25,560,016	1.0000
91	0.00001495	0.00000002	1.000	8.840	44,659,609	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00001495					
92	0.00001487	0.00000008	1.000	8.840	13,203,015	1.0000
93	0.00001475	0.00000012	1.000	8.840	8,237,678	1.0000
94	0.00001459	0.00000016	1.000	8.840	6,257,028	1.0000
95	0.00001440	0.00000019	1.000	8.840	5,222,324	1.0000
96	0.00001418	0.00000022	1.000	8.840	4,611,483	1.0000
97	0.00001395	0.00000024	1.000	8.840	4,230,706	1.0000
98	0.00001369	0.00000025	1.000	8.840	3,992,264	1.0000
99	0.00001343	0.00000026	1.000	8.840	3,851,458	1.0000
100	0.00001317	0.00000026	1.000	8.840	3,783,989	1.0000
101	0.00001291	0.00000026	1.000	8.840	3,776,481	1.0000
102	0.00001264	0.00000026	1.000	8.840	3,822,141	1.0000
103	0.00001239	0.00000026	1.000	8.840	3,918,667	1.0000
104	0.00001214	0.00000025	1.000	8.840	4,067,330	1.0000
105	0.00001191	0.00000023	1.000	8.840	4,272,722	1.0000
106	0.00001169	0.00000022	1.000	8.840	4,543,070	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00001169					
107	0.00001148	0.00000020	1.000	8.840	4,891,039	1.0000
108	0.00001130	0.00000019	1.000	8.840	5,335,276	1.0000
109	0.00001113	0.00000017	1.000	8.840	5,902,962	1.0000
110	0.00001098	0.00000015	1.000	8.840	6,634,098	1.0000
111	0.00001085	0.00000013	1.000	8.840	7,588,835	1.0000
112	0.00001073	0.00000011	1.000	8.840	8,860,438	1.0000
113	0.00001064	0.00000009	1.000	8.840	10,599,423	1.0000
114	0.00001056	0.00000008	1.000	8.840	13,061,314	1.0000
115	0.00001050	0.00000006	1.000	8.840	16,708,889	1.0000
116	0.00001046	0.00000004	1.000	8.840	22,453,094	1.0000
117	0.00001043	0.00000003	1.000	8.840	32,299,537	1.0000
118	0.00001041	0.00000002	1.000	8.840	51,421,818	1.0000
119	0.00001040	0.00000001	1.000	8.840	96,837,298	1.0000
120	0.00001039	0.00000000	1.000	8.840	254,608,417	1.0000
121	0.00001039	0.00000000	1.000	8.840	1,730,702,670	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-32　施工目地の目開き量算出結果（case-11）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00000204					
2	0.00000203	0.00000000	1.000	8.840	391,561,080	1.0000
3	0.00000202	0.00000002	1.000	8.840	55,855,754	1.0000
4	0.00000197	0.00000005	1.000	8.840	20,550,440	1.0000
5	0.00000187	0.00000009	1.000	8.840	10,538,538	1.0000
6	0.00000172	0.00000016	1.000	8.840	6,383,566	1.0000
7	0.00000148	0.00000023	1.000	8.840	4,273,381	1.0000
8	0.00000115	0.00000033	1.000	8.840	3,058,038	1.0000
9	0.00000072	0.00000044	1.000	8.840	2,295,161	1.0000
10	0.00000016	0.00000056	1.000	8.840	1,785,334	1.0000
11	−0.00000054	0.00000070	1.000	8.840	1,427,981	1.0000
12	−0.00000140	0.00000086	1.000	8.840	1,167,933	1.0000
13	−0.00000243	0.00000103	1.000	8.840	972,882	1.0000
14	−0.00000364	0.00000122	1.000	8.840	822,893	1.0000
15	−0.00000506	0.00000142	1.000	8.840	705,125	1.0000
16	−0.00000670	0.00000164	1.000	8.840	611,004	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00000670					
17	−0.00000857	0.00000187	1.000	8.840	534,631	1.0000
18	−0.00001069	0.00000212	1.000	8.840	471,838	1.0000
19	−0.00001307	0.00000238	1.000	8.840	419,613	1.0000
20	−0.00001573	0.00000266	1.000	8.840	375,737	1.0000
21	−0.00001868	0.00000295	1.000	8.840	338,544	1.0000
22	−0.00002194	0.00000326	1.000	8.840	306,766	1.0000
23	−0.00002552	0.00000358	1.000	8.840	279,422	1.0000
24	−0.00002943	0.00000391	1.000	8.840	255,746	1.0000
25	−0.00003369	0.00000425	1.000	8.840	235,130	1.0000
26	−0.00003829	0.00000461	1.000	8.840	217,090	1.0000
27	−0.00004326	0.00000497	1.000	8.840	201,236	1.0000
28	−0.00004860	0.00000534	1.000	8.840	187,247	1.0000
29	−0.00005432	0.00000572	1.000	8.840	174,865	1.0000
30	−0.00006042	0.00000610	1.000	8.840	163,874	1.0000
31	−0.00006691	0.00000649	1.000	8.840	154,095	1.0000
合計			15.000			**15.0003**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00006691					
32	−0.00007379	0.00000688	1.000	8.840	145,379	1.0000
33	−0.00008106	0.00000727	1.000	8.840	137,604	1.0000
34	−0.00008871	0.00000765	1.000	8.840	130,663	1.0000
35	−0.00009675	0.00000803	1.000	8.840	124,469	1.0000
36	−0.00010515	0.00000841	1.000	8.840	118,950	1.0000
37	−0.00011392	0.00000877	1.000	8.840	114,043	1.0000
38	−0.00012304	0.00000912	1.000	8.840	109,698	1.0000
39	−0.00013249	0.00000945	1.000	8.840	105,873	1.0000
40	−0.00014224	0.00000975	1.000	8.840	102,536	1.0000
41	−0.00015227	0.00001003	1.000	8.840	99,660	1.0000
42	−0.00016256	0.00001029	1.000	8.840	97,229	1.0000
43	−0.00017306	0.00001050	1.000	8.840	95,234	1.0000
44	−0.00018374	0.00001068	1.000	8.840	93,673	1.0000
45	−0.00019454	0.00001081	1.000	8.840	92,553	1.0000
46	−0.00020542	0.00001088	1.000	8.840	91,895	1.0000
合計			15.000			**15.0006**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00020542					
47	−0.00021633	0.00001090	1.000	8.840	91,731	1.0000
48	−0.00022718	0.00001086	1.000	8.840	92,110	1.0000
49	−0.00023792	0.00001074	1.000	8.840	93,105	1.0000
50	−0.00024847	0.00001055	1.000	8.840	94,821	1.0000
51	−0.00025874	0.00001027	1.000	8.840	97,410	1.0000
52	−0.00026863	0.00000989	1.000	8.840	101,092	1.0000
53	−0.00027805	0.00000942	1.000	8.840	106,199	1.0000
54	−0.00028688	0.00000883	1.000	8.840	113,248	1.0000
55	−0.00029500	0.00000813	1.000	8.840	123,077	1.0000
56	−0.00030229	0.00000729	1.000	8.840	137,142	1.0000
57	−0.00030861	0.00000632	1.000	8.840	158,203	1.0000
58	−0.00031382	0.00000520	1.000	8.840	192,186	1.0000
59	−0.00031775	0.00000393	1.000	8.840	254,525	1.0000
60	−0.00032023	0.00000249	1.000	8.840	401,950	1.0000
61	−0.00032110	0.00000087	1.000	8.840	1,149,127	1.0000
合計			15.000			**15.0005**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	−0.00032110					
62	−0.00032023	−0.00000087	1.000	8.840	−1,149,118	1.0000
63	−0.00031775	−0.00000249	1.000	8.840	−401,941	1.0000
64	−0.00031382	−0.00000393	1.000	8.840	−254,516	1.0000
65	−0.00030861	−0.00000520	1.000	8.840	−192,177	1.0000
66	−0.00030229	−0.00000632	1.000	8.840	−158,194	1.0000
67	−0.00029500	−0.00000729	1.000	8.840	−137,133	1.0000
68	−0.00028688	−0.00000813	1.000	8.840	−123,068	1.0000
69	−0.00027805	−0.00000883	1.000	8.840	−113,239	1.0000
70	−0.00026863	−0.00000942	1.000	8.840	−106,191	1.0000
71	−0.00025874	−0.00000989	1.000	8.840	−101,083	1.0000
72	−0.00024847	−0.00001027	1.000	8.840	−97,401	1.0000
73	−0.00023792	−0.00001055	1.000	8.840	−94,813	1.0000
74	−0.00022718	−0.00001074	1.000	8.840	−93,097	1.0000
75	−0.00021633	−0.00001086	1.000	8.840	−92,101	1.0000
76	−0.00020542	−0.00001090	1.000	8.840	−91,722	1.0000
合計			15.000			**14.9995**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00020542					
77	−0.00019454	−0.00001088	1.000	8.840	−91,887	1.0000
78	−0.00018374	−0.00001081	1.000	8.840	−92,545	1.0000
79	−0.00017306	−0.00001068	1.000	8.840	−93,664	1.0000
80	−0.00016256	−0.00001050	1.000	8.840	−95,225	1.0000
81	−0.00015227	−0.00001029	1.000	8.840	−97,221	1.0000
82	−0.00014224	−0.00001003	1.000	8.840	−99,651	1.0000
83	−0.00013249	−0.00000975	1.000	8.840	−102,527	1.0000
84	−0.00012304	−0.00000945	1.000	8.840	−105,864	1.0000
85	−0.00011392	−0.00000912	1.000	8.840	−109,689	1.0000
86	−0.00010515	−0.00000877	1.000	8.840	−114,034	1.0000
87	−0.00009675	−0.00000841	1.000	8.840	−118,941	1.0000
88	−0.00008871	−0.00000803	1.000	8.840	−124,461	1.0000
89	−0.00008106	−0.00000765	1.000	8.840	−130,654	1.0000
90	−0.00007379	−0.00000727	1.000	8.840	−137,595	1.0000
91	−0.00006691	−0.00000688	1.000	8.840	−145,371	1.0000
合計			15.000			**14.9994**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00006691					
92	−0.00006042	−0.00000649	1.000	8.840	−154,086	1.0000
93	−0.00005432	−0.00000610	1.000	8.840	−163,865	1.0000
94	−0.00004860	−0.00000572	1.000	8.840	−174,856	1.0000
95	−0.00004326	−0.00000534	1.000	8.840	−187,239	1.0000
96	−0.00003829	−0.00000497	1.000	8.840	−201,227	1.0000
97	−0.00003369	−0.00000461	1.000	8.840	−217,082	1.0000
98	−0.00002943	−0.00000425	1.000	8.840	−235,121	1.0000
99	−0.00002552	−0.00000391	1.000	8.840	−255,737	1.0000
100	−0.00002194	−0.00000358	1.000	8.840	−279,413	1.0000
101	−0.00001868	−0.00000326	1.000	8.840	−306,757	1.0000
102	−0.00001573	−0.00000295	1.000	8.840	−338,535	1.0000
103	−0.00001307	−0.00000266	1.000	8.840	−375,728	1.0000
104	−0.00001069	−0.00000238	1.000	8.840	−419,604	1.0000
105	−0.00000857	−0.00000212	1.000	8.840	−471,829	1.0000
106	−0.00000670	−0.00000187	1.000	8.840	−534,622	1.0000
合計			15.000			**14.9997**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00000670					
107	−0.00000506	−0.00000164	1.000	8.840	−610,995	1.0000
108	−0.00000364	−0.00000142	1.000	8.840	−705,116	1.0000
109	−0.00000243	−0.00000122	1.000	8.840	−822,885	1.0000
110	−0.00000140	−0.00000103	1.000	8.840	−972,874	1.0000
111	−0.00000054	−0.00000086	1.000	8.840	−1,167,925	1.0000
112	0.00000016	−0.00000070	1.000	8.840	−1,427,973	1.0000
113	0.00000072	−0.00000056	1.000	8.840	−1,785,326	1.0000
114	0.00000115	−0.00000044	1.000	8.840	−2,295,155	1.0000
115	0.00000148	−0.00000033	1.000	8.840	−3,058,034	1.0000
116	0.00000172	−0.00000023	1.000	8.840	−4,273,382	1.0000
117	0.00000187	−0.00000016	1.000	8.840	−6,383,579	1.0000
118	0.00000197	−0.00000009	1.000	8.840	−10,538,587	1.0000
119	0.00000202	−0.00000005	1.000	8.840	−20,550,650	1.0000
120	0.00000203	−0.00000002	1.000	8.840	−55,857,398	1.0000
121	0.00000204	0.00000000	1.000	8.840	−391,643,882	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-33　施工目地の目開き量算出結果（case-12）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00001039					
2	0.00001039	0.00000000	1.000	8.840	###########	1.0000
3	0.00001040	0.00000000	1.000	8.840	−254,640,825	1.0000
4	0.00001041	−0.00000001	1.000	8.840	−96,841,979	1.0000
5	0.00001043	−0.00000002	1.000	8.840	−51,423,131	1.0000
6	0.00001046	−0.00000003	1.000	8.840	−32,300,050	1.0000
7	0.00001050	−0.00000004	1.000	8.840	−22,453,338	1.0000
8	0.00001056	−0.00000006	1.000	8.840	−16,709,020	1.0000
9	0.00001064	−0.00000008	1.000	8.840	−13,061,391	1.0000
10	0.00001073	−0.00000009	1.000	8.840	−10,599,459	1.0000
11	0.00001085	−0.00000011	1.000	8.840	−8,860,468	1.0000
12	0.00001098	−0.00000013	1.000	8.840	−7,588,855	1.0000
13	0.00001113	−0.00000015	1.000	8.840	−6,634,106	1.0000
14	0.00001130	−0.00000017	1.000	8.840	−5,902,964	1.0000
15	0.00001148	−0.00000019	1.000	8.840	−5,335,278	1.0000
16	0.00001169	−0.00000020	1.000	8.840	−4,891,038	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00001169					
17	0.00001191	−0.00000022	1.000	8.840	−4,543,067	1.0000
18	0.00001214	−0.00000023	1.000	8.840	−4,272,720	1.0000
19	0.00001239	−0.00000025	1.000	8.840	−4,067,326	1.0000
20	0.00001264	−0.00000026	1.000	8.840	−3,918,663	1.0000
21	0.00001291	−0.00000026	1.000	8.840	−3,822,135	1.0000
22	0.00001317	−0.00000026	1.000	8.840	−3,776,476	1.0000
23	0.00001343	−0.00000026	1.000	8.840	−3,783,983	1.0000
24	0.00001369	−0.00000026	1.000	8.840	−3,851,453	1.0000
25	0.00001395	−0.00000025	1.000	8.840	−3,992,257	1.0000
26	0.00001418	−0.00000024	1.000	8.840	−4,230,703	1.0000
27	0.00001440	−0.00000022	1.000	8.840	−4,611,478	1.0000
28	0.00001459	−0.00000019	1.000	8.840	−5,222,315	1.0000
29	0.00001475	−0.00000016	1.000	8.840	−6,257,027	1.0000
30	0.00001487	−0.00000012	1.000	8.840	−8,237,676	1.0000
31	0.00001495	−0.00000008	1.000	8.840	−13,203,041	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00001495					
32	0.00001497	−0.00000002	1.000	8.840	−44,659,800	1.0000
33	0.00001493	0.00000004	1.000	8.840	25,559,959	1.0000
34	0.00001482	0.00000011	1.000	8.840	9,151,027	1.0000
35	0.00001463	0.00000019	1.000	8.840	5,303,907	1.0000
36	0.00001435	0.00000028	1.000	8.840	3,605,171	1.0000
37	0.00001398	0.00000038	1.000	8.840	2,657,767	1.0000
38	0.00001349	0.00000049	1.000	8.840	2,059,215	1.0000
39	0.00001289	0.00000061	1.000	8.840	1,650,388	1.0000
40	0.00001215	0.00000074	1.000	8.840	1,355,804	1.0000
41	0.00001127	0.00000088	1.000	8.840	1,135,097	1.0000
42	0.00001023	0.00000104	1.000	8.840	964,751	1.0000
43	0.00000903	0.00000120	1.000	8.840	830,157	1.0000
44	0.00000764	0.00000139	1.000	8.840	721,780	1.0000
45	0.00000606	0.00000158	1.000	8.840	633,135	1.0000
46	0.00000428	0.00000179	1.000	8.840	559,671	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00000428					
47	0.00000227	0.00000201	1.000	8.840	498,103	1.0000
48	0.00000003	0.00000224	1.000	8.840	446,003	1.0000
49	−0.00000246	0.00000249	1.000	8.840	401,542	1.0000
50	−0.00000522	0.00000275	1.000	8.840	363,320	1.0000
51	−0.00000825	0.00000303	1.000	8.840	330,246	1.0000
52	−0.00001156	0.00000332	1.000	8.840	301,459	1.0000
53	−0.00001518	0.00000362	1.000	8.840	276,276	1.0000
54	−0.00001912	0.00000393	1.000	8.840	254,142	1.0000
55	−0.00002338	0.00000426	1.000	8.840	234,608	1.0000
56	−0.00002798	0.00000460	1.000	8.840	217,305	1.0000
57	−0.00003293	0.00000495	1.000	8.840	201,928	1.0000
58	−0.00003825	0.00000531	1.000	8.840	188,222	1.0000
59	−0.00004393	0.00000568	1.000	8.840	175,977	1.0000
60	−0.00004999	0.00000606	1.000	8.840	165,012	1.0000
61	−0.00005643	0.00000644	1.000	8.840	155,176	1.0000
合計			15.000			**15.0003**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	−0.00005643					
62	−0.00006327	0.00000683	1.000	8.840	146,341	1.0000
63	−0.00007049	0.00000723	1.000	8.840	138,397	1.0000
64	−0.00007811	0.00000762	1.000	8.840	131,251	1.0000
65	−0.00008612	0.00000801	1.000	8.840	124,824	1.0000
66	−0.00009452	0.00000840	1.000	8.840	119,047	1.0000
67	−0.00010331	0.00000878	1.000	8.840	113,862	1.0000
68	−0.00011246	0.00000916	1.000	8.840	109,220	1.0000
69	−0.00012198	0.00000952	1.000	8.840	105,079	1.0000
70	−0.00013184	0.00000986	1.000	8.840	101,406	1.0000
71	−0.00014203	0.00001019	1.000	8.840	98,172	1.0000
72	−0.00015252	0.00001049	1.000	8.840	95,357	1.0000
73	−0.00016328	0.00001076	1.000	8.840	92,944	1.0000
74	−0.00017428	0.00001100	1.000	8.840	90,925	1.0000
75	−0.00018547	0.00001120	1.000	8.840	89,298	1.0000
76	−0.00019683	0.00001136	1.000	8.840	88,068	1.0001
合計			15.000			**15.0006**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00019683					
77	−0.00020829	0.00001146	1.000	8.840	87,250	1.0001
78	−0.00021980	0.00001151	1.000	8.840	86,867	1.0001
79	−0.00023130	0.00001150	1.000	8.840	86,959	1.0001
80	−0.00024272	0.00001142	1.000	8.840	87,582	1.0001
81	−0.00025398	0.00001126	1.000	8.840	88,815	1.0000
82	−0.00026500	0.00001102	1.000	8.840	90,775	1.0000
83	−0.00027568	0.00001068	1.000	8.840	93,628	1.0000
84	−0.00028592	0.00001024	1.000	8.840	97,618	1.0000
85	−0.00029562	0.00000970	1.000	8.840	103,115	1.0000
86	−0.00030466	0.00000903	1.000	8.840	110,703	1.0000
87	−0.00031290	0.00000824	1.000	8.840	121,352	1.0000
88	−0.00032021	0.00000731	1.000	8.840	136,794	1.0000
89	−0.00032644	0.00000623	1.000	8.840	160,445	1.0000
90	−0.00033144	0.00000500	1.000	8.840	200,097	1.0000
91	−0.00033503	0.00000359	1.000	8.840	278,190	1.0000
合計			15.000			**15.0006**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00033503					
92	−0.00033711	0.00000208	1.000	8.840	481,366	1.0000
93	−0.00033780	0.00000069	1.000	8.840	1,447,264	1.0000
94	−0.00033729	−0.00000051	1.000	8.840	−1,955,366	1.0000
95	−0.00033575	−0.00000154	1.000	8.840	−649,205	1.0000
96	−0.00033334	−0.00000241	1.000	8.840	−415,547	1.0000
97	−0.00033022	−0.00000312	1.000	8.840	−320,476	1.0000
98	−0.00032653	−0.00000369	1.000	8.840	−270,817	1.0000
99	−0.00032240	−0.00000413	1.000	8.840	−241,931	1.0000
100	−0.00031794	−0.00000445	1.000	8.840	−224,554	1.0000
101	−0.00031328	−0.00000466	1.000	8.840	−214,486	1.0000
102	−0.00030851	−0.00000477	1.000	8.840	−209,620	1.0000
103	−0.00030372	−0.00000479	1.000	8.840	−208,863	1.0000
104	−0.00029900	−0.00000472	1.000	8.840	−211,688	1.0000
105	−0.00029441	−0.00000459	1.000	8.840	−217,939	1.0000
106	−0.00029002	−0.00000439	1.000	8.840	−227,751	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00029002					
107	−0.00028588	−0.00000414	1.000	8.840	−241,534	1.0000
108	−0.00028203	−0.00000385	1.000	8.840	−260,016	1.0000
109	−0.00027852	−0.00000352	1.000	8.840	−284,340	1.0000
110	−0.00027536	−0.00000316	1.000	8.840	−316,245	1.0000
111	−0.00027257	−0.00000279	1.000	8.840	−358,389	1.0000
112	−0.00027016	−0.00000241	1.000	8.840	−414,921	1.0000
113	−0.00026813	−0.00000203	1.000	8.840	−492,564	1.0000
114	−0.00026647	−0.00000166	1.000	8.840	−602,742	1.0000
115	−0.00026516	−0.00000131	1.000	8.840	−766,149	1.0000
116	−0.00026418	−0.00000098	1.000	8.840	−1,023,505	1.0000
117	−0.00026350	−0.00000068	1.000	8.840	−1,464,405	1.0000
118	−0.00026307	−0.00000043	1.000	8.840	−2,319,804	1.0000
119	−0.00026284	−0.00000023	1.000	8.840	−4,348,767	1.0000
120	−0.00026275	−0.00000009	1.000	8.840	−11,388,609	1.0000
121	−0.00026274	−0.00000001	1.000	8.840	−77,291,694	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

表 3.1-34　施工目地の目開き量算出結果（case-13）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00113205					
2	−0.00113202	−0.00000004	1.000	8.840	−26,852,842	1.0000
3	−0.00113175	−0.00000027	1.000	8.840	−3,750,371	1.0000
4	−0.00113101	−0.00000074	1.000	8.840	−1,348,068	1.0000
5	−0.00112953	−0.00000148	1.000	8.840	−675,407	1.0000
6	−0.00112703	−0.00000250	1.000	8.840	−399,868	1.0000
7	−0.00112321	−0.00000382	1.000	8.840	−261,754	1.0000
8	−0.00111775	−0.00000546	1.000	8.840	−183,251	1.0000
9	−0.00111032	−0.00000743	1.000	8.840	−134,619	1.0000
10	−0.00110057	−0.00000975	1.000	8.840	−102,540	1.0000
11	−0.00108812	−0.00001245	1.000	8.840	−80,347	0.9999
12	−0.00107272	−0.00001541	1.000	8.840	−64,908	0.9999
13	−0.00105455	−0.00001816	1.000	8.840	−55,047	0.9999
14	−0.00103393	−0.00002062	1.000	8.840	−48,493	0.9999
15	−0.00101115	−0.00002279	1.000	8.840	−43,880	0.9999
16	−0.00098646	−0.00002468	1.000	8.840	−40,510	0.9999
合計			15.000			**14.9994**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00098646					
17	−0.00096014	−0.00002632	1.000	8.840	−37,985	0.9999
18	−0.00093242	−0.00002772	1.000	8.840	−36,066	0.9999
19	−0.00090352	−0.00002890	1.000	8.840	−34,599	0.9999
20	−0.00087366	−0.00002986	1.000	8.840	−33,481	0.9999
21	−0.00084302	−0.00003063	1.000	8.840	−32,640	0.9999
22	−0.00081180	−0.00003122	1.000	8.840	−32,026	0.9999
23	−0.00078016	−0.00003164	1.000	8.840	−31,602	0.9999
24	−0.00074826	−0.00003190	1.000	8.840	−31,342	0.9999
25	−0.00071624	−0.00003202	1.000	8.840	−31,226	0.9999
26	−0.00068423	−0.00003201	1.000	8.840	−31,239	0.9999
27	−0.00065236	−0.00003187	1.000	8.840	−31,370	0.9999
28	−0.00062073	−0.00003163	1.000	8.840	−31,612	0.9999
29	−0.00058945	−0.00003129	1.000	8.840	−31,958	0.9999
30	−0.00055859	−0.00003085	1.000	8.840	−32,407	0.9999
31	−0.00052825	−0.00003034	1.000	8.840	−32,955	0.9999
合計			15.000			**14.9980**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00052825					
32	−0.00049850	−0.00002976	1.000	8.840	−33,603	0.9999
33	−0.00046939	−0.00002911	1.000	8.840	−34,352	0.9999
34	−0.00044099	−0.00002840	1.000	8.840	−35,203	0.9999
35	−0.00041334	−0.00002765	1.000	8.840	−36,160	0.9999
36	−0.00038648	−0.00002686	1.000	8.840	−37,227	0.9999
37	−0.00036044	−0.00002603	1.000	8.840	−38,410	0.9999
38	−0.00033527	−0.00002518	1.000	8.840	−39,716	0.9999
39	−0.00031097	−0.00002430	1.000	8.840	−41,152	0.9999
40	−0.00028757	−0.00002340	1.000	8.840	−42,727	0.9999
41	−0.00026508	−0.00002249	1.000	8.840	−44,453	0.9999
42	−0.00024350	−0.00002158	1.000	8.840	−46,341	0.9999
43	−0.00022284	−0.00002066	1.000	8.840	−48,406	0.9999
44	−0.00020311	−0.00001974	1.000	8.840	−50,663	0.9999
45	−0.00018429	−0.00001882	1.000	8.840	−53,131	0.9999
46	−0.00016638	−0.00001791	1.000	8.840	−55,831	0.9999
合計			15.000			**14.9984**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00016638					
47	−0.00014937	−0.00001701	1.000	8.840	−58,786	0.9999
48	−0.00013324	−0.00001612	1.000	8.840	−62,024	0.9999
49	−0.00011800	−0.00001525	1.000	8.840	−65,577	0.9999
50	−0.00010361	−0.00001439	1.000	8.840	−69,481	0.9999
51	−0.00009005	−0.00001355	1.000	8.840	−73,778	0.9999
52	−0.00007732	−0.00001274	1.000	8.840	−78,515	0.9999
53	−0.00006538	−0.00001194	1.000	8.840	−83,751	0.9999
54	−0.00005421	−0.00001117	1.000	8.840	−89,551	1.0000
55	−0.00004379	−0.00001042	1.000	8.840	−95,993	1.0000
56	−0.00003410	−0.00000969	1.000	8.840	−103,170	1.0000
57	−0.00002511	−0.00000899	1.000	8.840	−111,190	1.0000
58	−0.00001679	−0.00000832	1.000	8.840	−120,185	1.0000
59	−0.00000911	−0.00000767	1.000	8.840	−130,314	1.0000
60	−0.00000206	−0.00000705	1.000	8.840	−141,770	1.0000
61	0.00000440	−0.00000646	1.000	8.840	−154,788	1.0000
合計			15.000			**14.9992**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000440					
62	0.00001029	−0.00000589	1.000	8.840	−169,661	1.0000
63	0.00001565	−0.00000535	1.000	8.840	−186,758	1.0000
64	0.00002049	−0.00000484	1.000	8.840	−206,545	1.0000
65	0.00002484	−0.00000435	1.000	8.840	−229,623	1.0000
66	0.00002874	−0.00000389	1.000	8.840	−256,776	1.0000
67	0.00003220	−0.00000346	1.000	8.840	−289,051	1.0000
68	0.00003525	−0.00000305	1.000	8.840	−327,873	1.0000
69	0.00003791	−0.00000266	1.000	8.840	−375,231	1.0000
70	0.00004022	−0.00000230	1.000	8.840	−433,981	1.0000
71	0.00004218	−0.00000197	1.000	8.840	−508,383	1.0000
72	0.00004384	−0.00000165	1.000	8.840	−605,064	1.0000
73	0.00004520	−0.00000136	1.000	8.840	−734,932	1.0000
74	0.00004629	−0.00000109	1.000	8.840	−917,273	1.0000
75	0.00004713	−0.00000084	1.000	8.840	−1,189,686	1.0000
76	0.00004774	−0.00000061	1.000	8.840	−1,636,523	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00004774					
77	0.00004814	−0.00000040	1.000	8.840	−2,494,226	1.0000
78	0.00004835	−0.00000021	1.000	8.840	−4,774,911	1.0000
79	0.00004839	−0.00000004	1.000	8.840	−27,933,893	1.0000
80	0.00004826	0.00000012	1.000	8.840	8,283,368	1.0000
81	0.00004800	0.00000026	1.000	8.840	3,832,845	1.0000
82	0.00004762	0.00000039	1.000	8.840	2,594,039	1.0000
83	0.00004712	0.00000050	1.000	8.840	2,019,101	1.0000
84	0.00004653	0.00000059	1.000	8.840	1,692,145	1.0000
85	0.00004586	0.00000067	1.000	8.840	1,485,155	1.0000
86	0.00004512	0.00000074	1.000	8.840	1,345,720	1.0000
87	0.00004431	0.00000080	1.000	8.840	1,248,457	1.0000
88	0.00004347	0.00000085	1.000	8.840	1,179,639	1.0000
89	0.00004258	0.00000088	1.000	8.840	1,131,245	1.0000
90	0.00004167	0.00000091	1.000	8.840	1,098,337	1.0000
91	0.00004074	0.00000093	1.000	8.840	1,077,765	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00004074					
92	0.00003981	0.00000094	1.000	8.840	1,067,492	1.0000
93	0.00003887	0.00000094	1.000	8.840	1,066,215	1.0000
94	0.00003794	0.00000093	1.000	8.840	1,073,145	1.0000
95	0.00003702	0.00000092	1.000	8.840	1,087,882	1.0000
96	0.00003612	0.00000090	1.000	8.840	1,110,337	1.0000
97	0.00003524	0.00000088	1.000	8.840	1,140,702	1.0000
98	0.00003439	0.00000085	1.000	8.840	1,179,432	1.0000
99	0.00003358	0.00000081	1.000	8.840	1,227,264	1.0000
100	0.00003280	0.00000078	1.000	8.840	1,285,248	1.0000
101	0.00003206	0.00000074	1.000	8.840	1,354,804	1.0000
102	0.00003137	0.00000070	1.000	8.840	1,437,813	1.0000
103	0.00003072	0.00000065	1.000	8.840	1,536,748	1.0000
104	0.00003011	0.00000060	1.000	8.840	1,654,855	1.0000
105	0.00002956	0.00000056	1.000	8.840	1,796,437	1.0000
106	0.00002905	0.00000051	1.000	8.840	1,967,245	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00002905					
107	0.00002859	0.00000046	1.000	8.840	2,175,087	1.0000
108	0.00002818	0.00000041	1.000	8.840	2,430,749	1.0000
109	0.00002781	0.00000036	1.000	8.840	2,749,457	1.0000
110	0.00002750	0.00000032	1.000	8.840	3,153,243	1.0000
111	0.00002722	0.00000027	1.000	8.840	3,674,969	1.0000
112	0.00002699	0.00000023	1.000	8.840	4,365,398	1.0000
113	0.00002681	0.00000019	1.000	8.840	5,306,376	1.0000
114	0.00002666	0.00000015	1.000	8.840	6,636,933	1.0000
115	0.00002654	0.00000012	1.000	8.840	8,609,153	1.0000
116	0.00002645	0.00000009	1.000	8.840	11,720,091	1.0000
117	0.00002640	0.00000006	1.000	8.840	17,066,278	1.0000
118	0.00002636	0.00000004	1.000	8.840	27,482,120	1.0000
119	0.00002634	0.00000002	1.000	8.840	52,310,288	1.0000
120	0.00002633	0.00000001	1.000	8.840	138,910,116	1.0000
121	0.00002633	0.00000000	1.000	8.840	952,653,143	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-35　施工目地の目開き量算出結果（case-14）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00104787					
2	−0.00104789	0.00000002	1.000	8.840	43,725,409	1.0000
3	−0.00104804	0.00000015	1.000	8.840	6,469,147	1.0000
4	−0.00104845	0.00000040	1.000	8.840	2,482,256	1.0000
5	−0.00104920	0.00000075	1.000	8.840	1,331,261	1.0000
6	−0.00105038	0.00000118	1.000	8.840	845,334	1.0000
7	−0.00105206	0.00000168	1.000	8.840	594,641	1.0000
8	−0.00105429	0.00000223	1.000	8.840	448,270	1.0000
9	−0.00105711	0.00000281	1.000	8.840	355,408	1.0000
10	−0.00106052	0.00000341	1.000	8.840	292,940	1.0000
11	−0.00106454	0.00000401	1.000	8.840	249,120	1.0000
12	−0.00106913	0.00000460	1.000	8.840	217,470	1.0000
13	−0.00107428	0.00000515	1.000	8.840	194,195	1.0000
14	−0.00107993	0.00000565	1.000	8.840	176,970	1.0000
15	−0.00108602	0.00000609	1.000	8.840	164,338	1.0000
16	−0.00109245	0.00000644	1.000	8.840	155,389	1.0000
合計			15.000			**15.0002**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00109245					
17	−0.00109914	0.00000669	1.000	8.840	149,592	1.0000
18	−0.00110596	0.00000682	1.000	8.840	146,714	1.0000
19	−0.00111277	0.00000681	1.000	8.840	146,810	1.0000
20	−0.00111942	0.00000665	1.000	8.840	150,285	1.0000
21	−0.00112575	0.00000633	1.000	8.840	158,081	1.0000
22	−0.00113156	0.00000581	1.000	8.840	172,132	1.0000
23	−0.00113664	0.00000509	1.000	8.840	196,575	1.0000
24	−0.00114079	0.00000414	1.000	8.840	241,497	1.0000
25	−0.00114374	0.00000295	1.000	8.840	338,663	1.0000
26	−0.00114524	0.00000150	1.000	8.840	664,478	1.0000
27	−0.00114502	−0.00000022	1.000	8.840	−4,529,597	1.0000
28	−0.00114278	−0.00000224	1.000	8.840	−445,952	1.0000
29	−0.00113820	−0.00000458	1.000	8.840	−218,436	1.0000
30	−0.00113096	−0.00000725	1.000	8.840	−138,014	1.0000
31	−0.00112069	−0.00001026	1.000	8.840	−97,434	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00112069					
32	−0.00110717	−0.00001353	1.000	8.840	−73,922	0.9999
33	−0.00109060	−0.00001657	1.000	8.840	−60,339	0.9999
34	−0.00107130	−0.00001929	1.000	8.840	−51,826	0.9999
35	−0.00104959	−0.00002171	1.000	8.840	−46,057	0.9999
36	−0.00102575	−0.00002384	1.000	8.840	−41,946	0.9999
37	−0.00100006	−0.00002569	1.000	8.840	−38,917	0.9999
38	−0.00097277	−0.00002729	1.000	8.840	−36,636	0.9999
39	−0.00094412	−0.00002865	1.000	8.840	−34,898	0.9999
40	−0.00091433	−0.00002979	1.000	8.840	−33,569	0.9999
41	−0.00088362	−0.00003071	1.000	8.840	−32,559	0.9999
42	−0.00085219	−0.00003144	1.000	8.840	−31,805	0.9999
43	−0.00082020	−0.00003198	1.000	8.840	−31,261	0.9999
44	−0.00078784	−0.00003236	1.000	8.840	−30,896	0.9999
45	−0.00075525	−0.00003259	1.000	8.840	−30,684	0.9999
46	−0.00072259	−0.00003267	1.000	8.840	−30,609	0.9999
合計			15.000			**14.9982**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00072259					
47	−0.00068997	−0.00003261	1.000	8.840	−30,656	0.9999
48	−0.00065753	−0.00003244	1.000	8.840	−30,817	0.9999
49	−0.00062536	−0.00003217	1.000	8.840	−31,085	0.9999
50	−0.00059358	−0.00003179	1.000	8.840	−31,454	0.9999
51	−0.00056225	−0.00003132	1.000	8.840	−31,922	0.9999
52	−0.00053148	−0.00003078	1.000	8.840	−32,487	0.9999
53	−0.00050131	−0.00003016	1.000	8.840	−33,150	0.9999
54	−0.00047183	−0.00002948	1.000	8.840	−33,911	0.9999
55	−0.00044307	−0.00002875	1.000	8.840	−34,773	0.9999
56	−0.00041510	−0.00002798	1.000	8.840	−35,740	0.9999
57	−0.00038794	−0.00002716	1.000	8.840	−36,815	0.9999
58	−0.00036163	−0.00002631	1.000	8.840	−38,004	0.9999
59	−0.00033620	−0.00002543	1.000	8.840	−39,314	0.9999
60	−0.00031166	−0.00002454	1.000	8.840	−40,753	0.9999
61	−0.00028804	−0.00002362	1.000	8.840	−42,329	0.9999
合計			15.000			**14.9981**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	−0.00028804					
62	−0.00026534	−0.00002270	1.000	8.840	−44,054	0.9999
63	−0.00024357	−0.00002177	1.000	8.840	−45,938	0.9999
64	−0.00022274	−0.00002083	1.000	8.840	−47,995	0.9999
65	−0.00020284	−0.00001990	1.000	8.840	−50,241	0.9999
66	−0.00018386	−0.00001898	1.000	8.840	−52,694	0.9999
67	−0.00016580	−0.00001806	1.000	8.840	−55,372	0.9999
68	−0.00014865	−0.00001715	1.000	8.840	−58,298	0.9999
69	−0.00013239	−0.00001626	1.000	8.840	−61,498	0.9999
70	−0.00011701	−0.00001538	1.000	8.840	−65,001	0.9999
71	−0.00010248	−0.00001453	1.000	8.840	−68,840	0.9999
72	−0.00008880	−0.00001369	1.000	8.840	−73,052	0.9999
73	−0.00007592	−0.00001287	1.000	8.840	−77,682	0.9999
74	−0.00006384	−0.00001208	1.000	8.840	−82,779	0.9999
75	−0.00005253	−0.00001131	1.000	8.840	−88,400	1.0000
76	−0.00004196	−0.00001057	1.000	8.840	−94,612	1.0000
合計			15.000			**14.9989**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00004196					
77	−0.00003211	−0.00000985	1.000	8.840	−101,492	1.0000
78	−0.00002295	−0.00000916	1.000	8.840	−109,128	1.0000
79	−0.00001445	−0.00000850	1.000	8.840	−117,626	1.0000
80	−0.00000658	−0.00000787	1.000	8.840	−127,109	1.0000
81	0.00000068	−0.00000726	1.000	8.840	−137,720	1.0000
82	0.00000736	−0.00000668	1.000	8.840	−149,632	1.0000
83	0.00001350	−0.00000613	1.000	8.840	−163,048	1.0000
84	0.00001911	−0.00000561	1.000	8.840	−178,212	1.0000
85	0.00002423	−0.00000512	1.000	8.840	−195,417	1.0000
86	0.00002888	−0.00000465	1.000	8.840	−215,020	1.0000
87	0.00003309	−0.00000421	1.000	8.840	−237,455	1.0000
88	0.00003689	−0.00000380	1.000	8.840	−263,255	1.0000
89	0.00004030	−0.00000341	1.000	8.840	−293,081	1.0000
90	0.00004335	−0.00000305	1.000	8.840	−327,758	1.0000
91	0.00004606	−0.00000271	1.000	8.840	−368,327	1.0000
合計			15.000			**14.9996**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00004606					
92	0.00004847	−0.00000240	1.000	8.840	−416,116	1.0000
93	0.00005058	−0.00000211	1.000	8.840	−472,833	1.0000
94	0.00005243	−0.00000185	1.000	8.840	−540,713	1.0000
95	0.00005404	−0.00000161	1.000	8.840	−622,712	1.0000
96	0.00005542	−0.00000138	1.000	8.840	−722,810	1.0000
97	0.00005660	−0.00000118	1.000	8.840	−846,459	1.0000
98	0.00005760	−0.00000100	1.000	8.840	−1,001,289	1.0000
99	0.00005844	−0.00000083	1.000	8.840	−1,198,241	1.0000
100	0.00005912	−0.00000069	1.000	8.840	−1,453,451	1.0000
101	0.00005968	−0.00000056	1.000	8.840	−1,791,556	1.0000
102	0.00006013	−0.00000044	1.000	8.840	−2,251,782	1.0000
103	0.00006047	−0.00000034	1.000	8.840	−2,899,953	1.0000
104	0.00006073	−0.00000026	1.000	8.840	−3,854,355	1.0000
105	0.00006092	−0.00000019	1.000	8.840	−5,348,158	1.0000
106	0.00006104	−0.00000013	1.000	8.840	−7,906,672	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00006104					
107	0.00006112	−0.00000008	1.000	8.840	−12,991,767	1.0000
108	0.00006116	−0.00000004	1.000	8.840	−26,661,970	1.0000
109	0.00006116	−0.00000001	1.000	8.840	−140,536,282	1.0000
110	0.00006115	0.00000002	1.000	8.840	65,938,273	1.0000
111	0.00006112	0.00000003	1.000	8.840	33,001,126	1.0000
112	0.00006108	0.00000004	1.000	8.840	25,472,520	1.0000
113	0.00006104	0.00000004	1.000	8.840	23,257,062	1.0000
114	0.00006099	0.00000004	1.000	8.840	23,538,056	1.0000
115	0.00006096	0.00000004	1.000	8.840	25,852,290	1.0000
116	0.00006092	0.00000003	1.000	8.840	30,721,876	1.0000
117	0.00006090	0.00000003	1.000	8.840	39,916,021	1.0000
118	0.00006088	0.00000002	1.000	8.840	58,309,722	1.0000
119	0.00006087	0.00000001	1.000	8.840	102,017,919	1.0000
120	0.00006087	0.00000000	1.000	8.840	251,857,453	1.0000
121	0.00006087	0.00000000	1.000	8.840	1,627,604,171	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-36　施工目地の目開き量算出結果（case-15）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00012601					
2	−0.00012602	0.00000001	1.000	8.840	90,719,409	1.0000
3	−0.00012609	0.00000008	1.000	8.840	13,068,825	1.0000
4	−0.00012630	0.00000021	1.000	8.840	4,861,760	1.0000
5	−0.00012670	0.00000040	1.000	8.840	2,521,824	1.0000
6	−0.00012734	0.00000065	1.000	8.840	1,545,401	1.0000
7	−0.00012830	0.00000096	1.000	8.840	1,046,775	1.0000
8	−0.00012962	0.00000132	1.000	8.840	758,018	1.0000
9	−0.00013135	0.00000174	1.000	8.840	575,772	1.0000
10	−0.00013356	0.00000221	1.000	8.840	453,313	1.0000
11	−0.00013629	0.00000272	1.000	8.840	367,014	1.0000
12	−0.00013958	0.00000329	1.000	8.840	303,874	1.0000
13	−0.00014348	0.00000390	1.000	8.840	256,262	1.0000
14	−0.00014804	0.00000456	1.000	8.840	219,455	1.0000
15	−0.00015329	0.00000525	1.000	8.840	190,402	1.0000
16	−0.00015927	0.00000599	1.000	8.840	167,062	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00015927					
17	−0.00016603	0.00000676	1.000	8.840	148,025	1.0000
18	−0.00017359	0.00000756	1.000	8.840	132,294	1.0000
19	−0.00018198	0.00000839	1.000	8.840	119,144	1.0000
20	−0.00019124	0.00000926	1.000	8.840	108,043	1.0000
21	−0.00020138	0.00001014	1.000	8.840	98,587	1.0000
22	−0.00021244	0.00001105	1.000	8.840	90,470	1.0000
23	−0.00022442	0.00001198	1.000	8.840	83,456	1.0001
24	−0.00023735	0.00001293	1.000	8.840	77,356	1.0001
25	−0.00025123	0.00001389	1.000	8.840	72,024	1.0001
26	−0.00026608	0.00001485	1.000	8.840	67,341	1.0001
27	−0.00028190	0.00001582	1.000	8.840	63,212	1.0001
28	−0.00029869	0.00001679	1.000	8.840	59,559	1.0001
29	−0.00031645	0.00001776	1.000	8.840	56,318	1.0001
30	−0.00033517	0.00001871	1.000	8.840	53,438	1.0001
31	−0.00035483	0.00001966	1.000	8.840	50,873	1.0001
合計			15.000			**15.0009**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00035483					
32	−0.00037541	0.00002058	1.000	8.840	48,588	1.0001
33	−0.00039689	0.00002148	1.000	8.840	46,554	1.0001
34	−0.00041924	0.00002235	1.000	8.840	44,744	1.0001
35	−0.00044243	0.00002318	1.000	8.840	43,138	1.0001
36	−0.00046640	0.00002397	1.000	8.840	41,720	1.0001
37	−0.00049111	0.00002471	1.000	8.840	40,474	1.0001
38	−0.00051650	0.00002539	1.000	8.840	39,390	1.0001
39	−0.00054250	0.00002600	1.000	8.840	38,459	1.0001
40	−0.00056905	0.00002655	1.000	8.840	37,676	1.0001
41	−0.00059605	0.00002700	1.000	8.840	37,037	1.0001
42	−0.00062342	0.00002737	1.000	8.840	36,540	1.0001
43	−0.00065106	0.00002764	1.000	8.840	36,188	1.0001
44	−0.00067885	0.00002779	1.000	8.840	35,985	1.0001
45	−0.00070668	0.00002783	1.000	8.840	35,940	1.0001
46	−0.00073441	0.00002773	1.000	8.840	36,065	1.0001
合計			15.000			**15.0017**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00073441					
47	−0.00076190	0.00002749	1.000	8.840	36,379	1.0001
48	−0.00078900	0.00002710	1.000	8.840	36,908	1.0001
49	−0.00081554	0.00002654	1.000	8.840	37,686	1.0001
50	−0.00084134	0.00002580	1.000	8.840	38,765	1.0001
51	−0.00086621	0.00002487	1.000	8.840	40,215	1.0001
52	−0.00088994	0.00002373	1.000	8.840	42,138	1.0001
53	−0.00091232	0.00002238	1.000	8.840	44,687	1.0001
54	−0.00093311	0.00002079	1.000	8.840	48,095	1.0001
55	−0.00095207	0.00001896	1.000	8.840	52,744	1.0001
56	−0.00096894	0.00001687	1.000	8.840	59,295	1.0001
57	−0.00098344	0.00001449	1.000	8.840	68,995	1.0001
58	−0.00099527	0.00001183	1.000	8.840	84,526	1.0001
59	−0.00100413	0.00000886	1.000	8.840	112,865	1.0000
60	−0.00100969	0.00000557	1.000	8.840	179,652	1.0000
61	−0.00101163	0.00000193	1.000	8.840	517,212	1.0000
合計			15.000			**15.0012**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	−0.00101163					
62	−0.00100969	−0.00000193	1.000	8.840	−517,203	1.0000
63	−0.00100413	−0.00000557	1.000	8.840	−179,643	1.0000
64	−0.00099527	−0.00000886	1.000	8.840	−112,857	1.0000
65	−0.00098344	−0.00001183	1.000	8.840	−84,517	0.9999
66	−0.00096894	−0.00001449	1.000	8.840	−68,986	0.9999
67	−0.00095207	−0.00001687	1.000	8.840	−59,286	0.9999
68	−0.00093311	−0.00001896	1.000	8.840	−52,736	0.9999
69	−0.00091232	−0.00002079	1.000	8.840	−48,086	0.9999
70	−0.00088994	−0.00002238	1.000	8.840	−44,678	0.9999
71	−0.00086621	−0.00002373	1.000	8.840	−42,129	0.9999
72	−0.00084134	−0.00002487	1.000	8.840	−40,206	0.9999
73	−0.00081554	−0.00002580	1.000	8.840	−38,756	0.9999
74	−0.00078900	−0.00002654	1.000	8.840	−37,678	0.9999
75	−0.00076190	−0.00002710	1.000	8.840	−36,899	0.9999
76	−0.00073441	−0.00002749	1.000	8.840	−36,371	0.9999
合計			15.000			**14.9988**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00073441					
77	−0.00070668	−0.00002773	1.000	8.840	−36,057	0.9999
78	−0.00067885	−0.00002783	1.000	8.840	−35,931	0.9999
79	−0.00065106	−0.00002779	1.000	8.840	−35,976	0.9999
80	−0.00062342	−0.00002764	1.000	8.840	−36,179	0.9999
81	−0.00059605	−0.00002737	1.000	8.840	−36,531	0.9999
82	−0.00056905	−0.00002700	1.000	8.840	−37,028	0.9999
83	−0.00054250	−0.00002655	1.000	8.840	−37,667	0.9999
84	−0.00051650	−0.00002600	1.000	8.840	−38,450	0.9999
85	−0.00049111	−0.00002539	1.000	8.840	−39,381	0.9999
86	−0.00046640	−0.00002471	1.000	8.840	−40,465	0.9999
87	−0.00044243	−0.00002397	1.000	8.840	−41,711	0.9999
88	−0.00041924	−0.00002318	1.000	8.840	−43,129	0.9999
89	−0.00039689	−0.00002235	1.000	8.840	−44,735	0.9999
90	−0.00037541	−0.00002148	1.000	8.840	−46,545	0.9999
91	−0.00035483	−0.00002058	1.000	8.840	−48,580	0.9999
合計			15.000			**14.9983**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00035483					
92	−0.00033517	−0.00001966	1.000	8.840	−50,864	0.9999
93	−0.00031645	−0.00001871	1.000	8.840	−53,429	0.9999
94	−0.00029869	−0.00001776	1.000	8.840	−56,310	0.9999
95	−0.00028190	−0.00001679	1.000	8.840	−59,550	0.9999
96	−0.00026608	−0.00001582	1.000	8.840	−63,203	0.9999
97	−0.00025123	−0.00001485	1.000	8.840	−67,332	0.9999
98	−0.00023735	−0.00001389	1.000	8.840	−72,015	0.9999
99	−0.00022442	−0.00001293	1.000	8.840	−77,347	0.9999
100	−0.00021244	−0.00001198	1.000	8.840	−83,447	0.9999
101	−0.00020138	−0.00001105	1.000	8.840	−90,462	1.0000
102	−0.00019124	−0.00001014	1.000	8.840	−98,578	1.0000
103	−0.00018198	−0.00000926	1.000	8.840	−108,034	1.0000
104	−0.00017359	−0.00000839	1.000	8.840	−119,135	1.0000
105	−0.00016603	−0.00000756	1.000	8.840	−132,285	1.0000
106	−0.00015927	−0.00000676	1.000	8.840	−148,016	1.0000
合計			15.000			**14.9991**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00015927					
107	−0.00015329	−0.00000599	1.000	8.840	−167,053	1.0000
108	−0.00014804	−0.00000525	1.000	8.840	−190,394	1.0000
109	−0.00014348	−0.00000456	1.000	8.840	−219,446	1.0000
110	−0.00013958	−0.00000390	1.000	8.840	−256,253	1.0000
111	−0.00013629	−0.00000329	1.000	8.840	−303,865	1.0000
112	−0.00013356	−0.00000272	1.000	8.840	−367,005	1.0000
113	−0.00013135	−0.00000221	1.000	8.840	−453,304	1.0000
114	−0.00012962	−0.00000174	1.000	8.840	−575,762	1.0000
115	−0.00012830	−0.00000132	1.000	8.840	−758,009	1.0000
116	−0.00012734	−0.00000096	1.000	8.840	−1,046,764	1.0000
117	−0.00012670	−0.00000065	1.000	8.840	−1,545,388	1.0000
118	−0.00012630	−0.00000040	1.000	8.840	−2,521,803	1.0000
119	−0.00012609	−0.00000021	1.000	8.840	−4,861,728	1.0000
120	−0.00012602	−0.00000008	1.000	8.840	−13,068,474	1.0000
121	−0.00012601	−0.00000001	1.000	8.840	−90,711,171	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

表 3.1-37　施工目地の目開き量算出結果（case-16）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00006087					
2	0.00006087	0.00000000	1.000	8.840	###########	1.0000
3	0.00006087	0.00000000	1.000	8.840	−251,755,994	1.0000
4	0.00006088	−0.00000001	1.000	8.840	−101,999,180	1.0000
5	0.00006090	−0.00000002	1.000	8.840	−58,303,934	1.0000
6	0.00006092	−0.00000003	1.000	8.840	−39,913,463	1.0000
7	0.00006096	−0.00000003	1.000	8.840	−30,720,263	1.0000
8	0.00006099	−0.00000004	1.000	8.840	−25,851,278	1.0000
9	0.00006104	−0.00000004	1.000	8.840	−23,537,161	1.0000
10	0.00006108	−0.00000004	1.000	8.840	−23,256,242	1.0000
11	0.00006112	−0.00000004	1.000	8.840	−25,471,537	1.0000
12	0.00006115	−0.00000003	1.000	8.840	−32,999,593	1.0000
13	0.00006116	−0.00000002	1.000	8.840	−65,932,178	1.0000
14	0.00006116	0.00000001	1.000	8.840	140,561,971	1.0000
15	0.00006112	0.00000004	1.000	8.840	26,662,974	1.0000
16	0.00006104	0.00000008	1.000	8.840	12,991,978	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00006104					
17	0.00006092	0.00000013	1.000	8.840	7,906,755	1.0000
18	0.00006073	0.00000019	1.000	8.840	5,348,201	1.0000
19	0.00006047	0.00000026	1.000	8.840	3,854,380	1.0000
20	0.00006013	0.00000034	1.000	8.840	2,899,971	1.0000
21	0.00005968	0.00000044	1.000	8.840	2,251,796	1.0000
22	0.00005912	0.00000056	1.000	8.840	1,791,568	1.0000
23	0.00005844	0.00000069	1.000	8.840	1,453,462	1.0000
24	0.00005760	0.00000083	1.000	8.840	1,198,251	1.0000
25	0.00005660	0.00000100	1.000	8.840	1,001,299	1.0000
26	0.00005542	0.00000118	1.000	8.840	846,468	1.0000
27	0.00005404	0.00000138	1.000	8.840	722,819	1.0000
28	0.00005243	0.00000161	1.000	8.840	622,721	1.0000
29	0.00005058	0.00000185	1.000	8.840	540,722	1.0000
30	0.00004847	0.00000211	1.000	8.840	472,842	1.0000
31	0.00004606	0.00000240	1.000	8.840	416,125	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00004606					
32	0.00004335	0.00000271	1.000	8.840	368,336	1.0000
33	0.00004030	0.00000305	1.000	8.840	327,767	1.0000
34	0.00003689	0.00000341	1.000	8.840	293,090	1.0000
35	0.00003309	0.00000380	1.000	8.840	263,264	1.0000
36	0.00002888	0.00000421	1.000	8.840	237,464	1.0000
37	0.00002423	0.00000465	1.000	8.840	215,029	1.0000
38	0.00001911	0.00000512	1.000	8.840	195,426	1.0000
39	0.00001350	0.00000561	1.000	8.840	178,220	1.0000
40	0.00000736	0.00000613	1.000	8.840	163,057	1.0000
41	0.00000068	0.00000668	1.000	8.840	149,641	1.0000
42	−0.00000658	0.00000726	1.000	8.840	137,729	1.0000
43	−0.00001445	0.00000787	1.000	8.840	127,118	1.0000
44	−0.00002295	0.00000850	1.000	8.840	117,635	1.0000
45	−0.00003211	0.00000916	1.000	8.840	109,137	1.0000
46	−0.00004196	0.00000985	1.000	8.840	101,501	1.0000
合計			15.000			**15.0004**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00004196					
47	−0.00005253	0.00001057	1.000	8.840	94,621	1.0000
48	−0.00006384	0.00001131	1.000	8.840	88,409	1.0000
49	−0.00007592	0.00001208	1.000	8.840	82,788	1.0001
50	−0.00008880	0.00001287	1.000	8.840	77,691	1.0001
51	−0.00010248	0.00001369	1.000	8.840	73,061	1.0001
52	−0.00011701	0.00001453	1.000	8.840	68,848	1.0001
53	−0.00013239	0.00001538	1.000	8.840	65,010	1.0001
54	−0.00014865	0.00001626	1.000	8.840	61,507	1.0001
55	−0.00016580	0.00001715	1.000	8.840	58,307	1.0001
56	−0.00018386	0.00001806	1.000	8.840	55,380	1.0001
57	−0.00020284	0.00001898	1.000	8.840	52,702	1.0001
58	−0.00022274	0.00001990	1.000	8.840	50,250	1.0001
59	−0.00024357	0.00002083	1.000	8.840	48,004	1.0001
60	−0.00026534	0.00002177	1.000	8.840	45,947	1.0001
61	−0.00028804	0.00002270	1.000	8.840	44,063	1.0001
合計			15.000			**15.0011**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	−0.00028804					
62	−0.00031166	0.00002362	1.000	8.840	42,338	1.0001
63	−0.00033620	0.00002454	1.000	8.840	40,762	1.0001
64	−0.00036163	0.00002543	1.000	8.840	39,323	1.0001
65	−0.00038794	0.00002631	1.000	8.840	38,013	1.0001
66	−0.00041510	0.00002716	1.000	8.840	36,824	1.0001
67	−0.00044307	0.00002798	1.000	8.840	35,749	1.0001
68	−0.00047183	0.00002875	1.000	8.840	34,782	1.0001
69	−0.00050131	0.00002948	1.000	8.840	33,920	1.0001
70	−0.00053148	0.00003016	1.000	8.840	33,159	1.0001
71	−0.00056225	0.00003078	1.000	8.840	32,496	1.0001
72	−0.00059358	0.00003132	1.000	8.840	31,931	1.0001
73	−0.00062536	0.00003179	1.000	8.840	31,463	1.0001
74	−0.00065753	0.00003217	1.000	8.840	31,094	1.0001
75	−0.00068997	0.00003244	1.000	8.840	30,826	1.0001
76	−0.00072259	0.00003261	1.000	8.840	30,665	1.0001
合計			15.000			**15.0019**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00072259					
77	−0.00075525	0.00003267	1.000	8.840	30,618	1.0001
78	−0.00078784	0.00003259	1.000	8.840	30,693	1.0001
79	−0.00082020	0.00003236	1.000	8.840	30,904	1.0001
80	−0.00085219	0.00003198	1.000	8.840	31,270	1.0001
81	−0.00088362	0.00003144	1.000	8.840	31,814	1.0001
82	−0.00091433	0.00003071	1.000	8.840	32,568	1.0001
83	−0.00094412	0.00002979	1.000	8.840	33,578	1.0001
84	−0.00097277	0.00002865	1.000	8.840	34,907	1.0001
85	−0.00100006	0.00002729	1.000	8.840	36,645	1.0001
86	−0.00102575	0.00002569	1.000	8.840	38,926	1.0001
87	−0.00104959	0.00002384	1.000	8.840	41,955	1.0001
88	−0.00107130	0.00002171	1.000	8.840	46,066	1.0001
89	−0.00109060	0.00001929	1.000	8.840	51,834	1.0001
90	−0.00110717	0.00001657	1.000	8.840	60,348	1.0001
91	−0.00112069	0.00001353	1.000	8.840	73,930	1.0001
合計			15.000			**15.0018**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00112069					
92	−0.00113096	0.00001026	1.000	8.840	97,443	1.0000
93	−0.00113820	0.00000725	1.000	8.840	138,023	1.0000
94	−0.00114278	0.00000458	1.000	8.840	218,445	1.0000
95	−0.00114502	0.00000224	1.000	8.840	445,961	1.0000
96	−0.00114524	0.00000022	1.000	8.840	4,529,811	1.0000
97	−0.00114374	−0.00000150	1.000	8.840	−664,474	1.0000
98	−0.00114079	−0.00000295	1.000	8.840	−338,654	1.0000
99	−0.00113664	−0.00000414	1.000	8.840	−241,487	1.0000
100	−0.00113156	−0.00000509	1.000	8.840	−196,566	1.0000
101	−0.00112575	−0.00000581	1.000	8.840	−172,123	1.0000
102	−0.00111942	−0.00000633	1.000	8.840	−158,072	1.0000
103	−0.00111277	−0.00000665	1.000	8.840	−150,277	1.0000
104	−0.00110596	−0.00000681	1.000	8.840	−146,801	1.0000
105	−0.00109914	−0.00000682	1.000	8.840	−146,705	1.0000
106	−0.00109245	−0.00000669	1.000	8.840	−149,583	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00109245					
107	−0.00108602	−0.00000644	1.000	8.840	−155,380	1.0000
108	−0.00107993	−0.00000609	1.000	8.840	−164,329	1.0000
109	−0.00107428	−0.00000565	1.000	8.840	−176,961	1.0000
110	−0.00106913	−0.00000515	1.000	8.840	−194,186	1.0000
111	−0.00106454	−0.00000460	1.000	8.840	−217,461	1.0000
112	−0.00106052	−0.00000401	1.000	8.840	−249,111	1.0000
113	−0.00105711	−0.00000341	1.000	8.840	−292,931	1.0000
114	−0.00105429	−0.00000281	1.000	8.840	−355,399	1.0000
115	−0.00105206	−0.00000223	1.000	8.840	−448,261	1.0000
116	−0.00105038	−0.00000168	1.000	8.840	−594,628	1.0000
117	−0.00104920	−0.00000118	1.000	8.840	−845,333	1.0000
118	−0.00104845	−0.00000075	1.000	8.840	−1,331,252	1.0000
119	−0.00104804	−0.00000040	1.000	8.840	−2,482,186	1.0000
120	−0.00104789	−0.00000015	1.000	8.840	−6,469,138	1.0000
121	−0.00104787	−0.00000002	1.000	8.840	−43,725,400	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

表 3.1-38　施工目地の目開き量算出結果（case-17）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00003516					
2	−0.00003516	0.00000000	1.000	11.550	635,647,095	1.0000
3	−0.00003517	0.00000001	1.000	11.550	92,555,747	1.0000
4	−0.00003520	0.00000003	1.000	11.550	34,851,590	1.0000
5	−0.00003526	0.00000005	1.000	11.550	18,310,229	1.0000
6	−0.00003535	0.00000009	1.000	11.550	11,371,227	1.0000
7	−0.00003547	0.00000013	1.000	11.550	7,809,614	1.0000
8	−0.00003565	0.00000017	1.000	11.550	5,737,125	1.0000
9	−0.00003587	0.00000023	1.000	11.550	4,423,242	1.0000
10	−0.00003616	0.00000028	1.000	11.550	3,536,834	1.0000
11	−0.00003650	0.00000034	1.000	11.550	2,909,974	1.0000
12	−0.00003691	0.00000041	1.000	11.550	2,450,042	1.0000
13	−0.00003738	0.00000048	1.000	11.550	2,102,514	1.0000
14	−0.00003793	0.00000055	1.000	11.550	1,833,573	1.0000
15	−0.00003855	0.00000062	1.000	11.550	1,621,328	1.0000
16	−0.00003924	0.00000069	1.000	11.550	1,451,103	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00003924					
17	−0.00004000	0.00000076	1.000	11.550	1,312,756	1.0000
18	−0.00004083	0.00000083	1.000	11.550	1,199,106	1.0000
19	−0.00004174	0.00000091	1.000	11.550	1,104,953	1.0000
20	−0.00004271	0.00000097	1.000	11.550	1,026,469	1.0000
21	−0.00004375	0.00000104	1.000	11.550	960,795	1.0000
22	−0.00004485	0.00000110	1.000	11.550	905,772	1.0000
23	−0.00004602	0.00000116	1.000	11.550	859,763	1.0000
24	−0.00004724	0.00000122	1.000	11.550	821,524	1.0000
25	−0.00004850	0.00000127	1.000	11.550	790,122	1.0000
26	−0.00004981	0.00000131	1.000	11.550	764,874	1.0000
27	−0.00005115	0.00000134	1.000	11.550	745,313	1.0000
28	−0.00005252	0.00000137	1.000	11.550	731,165	1.0000
29	−0.00005390	0.00000138	1.000	11.550	722,342	1.0000
30	−0.00005529	0.00000139	1.000	11.550	718,961	1.0000
31	−0.00005668	0.00000139	1.000	11.550	721,368	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00005668					
32	−0.00005805	0.00000137	1.000	11.550	730,205	1.0000
33	−0.00005939	0.00000134	1.000	11.550	746,514	1.0000
34	−0.00006068	0.00000130	1.000	11.550	771,924	1.0000
35	−0.00006192	0.00000124	1.000	11.550	808,972	1.0000
36	−0.00006308	0.00000116	1.000	11.550	861,698	1.0000
37	−0.00006415	0.00000107	1.000	11.550	936,812	1.0000
38	−0.00006510	0.00000096	1.000	11.550	1,046,171	1.0000
39	−0.00006593	0.00000082	1.000	11.550	1,212,694	1.0000
40	−0.00006660	0.00000067	1.000	11.550	1,486,941	1.0000
41	−0.00006710	0.00000050	1.000	11.550	2,006,302	1.0000
42	−0.00006740	0.00000030	1.000	11.550	3,320,613	1.0000
43	−0.00006748	0.00000008	1.000	11.550	12,580,442	1.0000
44	−0.00006731	−0.00000017	1.000	11.550	−5,961,203	1.0000
45	−0.00006687	−0.00000044	1.000	11.550	−2,263,623	1.0000
46	−0.00006613	−0.00000074	1.000	11.550	−1,344,514	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00006613					
47	−0.00006505	−0.00000107	1.000	11.550	−930,301	1.0000
48	−0.00006362	−0.00000144	1.000	11.550	−696,177	1.0000
49	−0.00006179	−0.00000183	1.000	11.550	−546,624	1.0000
50	−0.00005953	−0.00000225	1.000	11.550	−443,453	1.0000
51	−0.00005682	−0.00000271	1.000	11.550	−368,409	1.0000
52	−0.00005361	−0.00000321	1.000	11.550	−311,673	1.0000
53	−0.00004987	−0.00000374	1.000	11.550	−267,493	1.0000
54	−0.00004557	−0.00000430	1.000	11.550	−232,284	1.0000
55	−0.00004066	−0.00000491	1.000	11.550	−203,692	1.0000
56	−0.00003510	−0.00000555	1.000	11.550	−180,112	1.0000
57	−0.00002890	−0.00000620	1.000	11.550	−161,173	1.0000
58	−0.00002215	−0.00000675	1.000	11.550	−148,165	1.0000
59	−0.00001499	−0.00000716	1.000	11.550	−139,717	1.0000
60	−0.00000756	−0.00000743	1.000	11.550	−134,604	1.0000
61	0.00000000	−0.00000756	1.000	11.550	−132,187	1.0000
合計			15.000			**14.9996**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	0.00000756	−0.00000756	1.000	11.550	−132,187	1.0000
63	0.00001499	−0.00000743	1.000	11.550	−134,604	1.0000
64	0.00002215	−0.00000716	1.000	11.550	−139,717	1.0000
65	0.00002890	−0.00000675	1.000	11.550	−148,165	1.0000
66	0.00003510	−0.00000620	1.000	11.550	−161,173	1.0000
67	0.00004066	−0.00000555	1.000	11.550	−180,112	1.0000
68	0.00004557	−0.00000491	1.000	11.550	−203,692	1.0000
69	0.00004987	−0.00000430	1.000	11.550	−232,284	1.0000
70	0.00005361	−0.00000374	1.000	11.550	−267,493	1.0000
71	0.00005682	−0.00000321	1.000	11.550	−311,673	1.0000
72	0.00005953	−0.00000271	1.000	11.550	−368,409	1.0000
73	0.00006179	−0.00000225	1.000	11.550	−443,453	1.0000
74	0.00006362	−0.00000183	1.000	11.550	−546,624	1.0000
75	0.00006505	−0.00000144	1.000	11.550	−696,177	1.0000
76	0.00006613	−0.00000107	1.000	11.550	−930,301	1.0000
合計			15.000			**14.9996**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00006613					
77	0.00006687	−0.00000074	1.000	11.550	−1,344,514	1.0000
78	0.00006731	−0.00000044	1.000	11.550	−2,263,623	1.0000
79	0.00006748	−0.00000017	1.000	11.550	−5,961,203	1.0000
80	0.00006740	0.00000008	1.000	11.550	12,580,442	1.0000
81	0.00006710	0.00000030	1.000	11.550	3,320,613	1.0000
82	0.00006660	0.00000050	1.000	11.550	2,006,302	1.0000
83	0.00006593	0.00000067	1.000	11.550	1,486,941	1.0000
84	0.00006510	0.00000082	1.000	11.550	1,212,694	1.0000
85	0.00006415	0.00000096	1.000	11.550	1,046,171	1.0000
86	0.00006308	0.00000107	1.000	11.550	936,812	1.0000
87	0.00006192	0.00000116	1.000	11.550	861,698	1.0000
88	0.00006068	0.00000124	1.000	11.550	808,972	1.0000
89	0.00005939	0.00000130	1.000	11.550	771,924	1.0000
90	0.00005805	0.00000134	1.000	11.550	746,514	1.0000
91	0.00005668	0.00000137	1.000	11.550	730,205	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00005668					
92	0.00005529	0.00000139	1.000	11.550	721,368	1.0000
93	0.00005390	0.00000139	1.000	11.550	718,961	1.0000
94	0.00005252	0.00000138	1.000	11.550	722,342	1.0000
95	0.00005115	0.00000137	1.000	11.550	731,165	1.0000
96	0.00004981	0.00000134	1.000	11.550	745,313	1.0000
97	0.00004850	0.00000131	1.000	11.550	764,874	1.0000
98	0.00004724	0.00000127	1.000	11.550	790,122	1.0000
99	0.00004602	0.00000122	1.000	11.550	821,524	1.0000
100	0.00004485	0.00000116	1.000	11.550	859,763	1.0000
101	0.00004375	0.00000110	1.000	11.550	905,772	1.0000
102	0.00004271	0.00000104	1.000	11.550	960,795	1.0000
103	0.00004174	0.00000097	1.000	11.550	1,026,469	1.0000
104	0.00004083	0.00000091	1.000	11.550	1,104,953	1.0000
105	0.00004000	0.00000083	1.000	11.550	1,199,106	1.0000
106	0.00003924	0.00000076	1.000	11.550	1,312,756	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00003924					
107	0.00003855	0.00000069	1.000	11.550	1,451,103	1.0000
108	0.00003793	0.00000062	1.000	11.550	1,621,328	1.0000
109	0.00003738	0.00000055	1.000	11.550	1,833,573	1.0000
110	0.00003691	0.00000048	1.000	11.550	2,102,514	1.0000
111	0.00003650	0.00000041	1.000	11.550	2,450,042	1.0000
112	0.00003616	0.00000034	1.000	11.550	2,909,974	1.0000
113	0.00003587	0.00000028	1.000	11.550	3,536,834	1.0000
114	0.00003565	0.00000023	1.000	11.550	4,423,242	1.0000
115	0.00003547	0.00000017	1.000	11.550	5,737,125	1.0000
116	0.00003535	0.00000013	1.000	11.550	7,809,614	1.0000
117	0.00003526	0.00000009	1.000	11.550	11,371,227	1.0000
118	0.00003520	0.00000005	1.000	11.550	18,310,229	1.0000
119	0.00003517	0.00000003	1.000	11.550	34,851,590	1.0000
120	0.00003516	0.00000001	1.000	11.550	92,555,747	1.0000
121	0.00003516	0.00000000	1.000	11.550	635,647,095	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-39　施工目地の目開き量算出結果（case-18）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00011086					
2	−0.00011086	0.00000000	1.000	11.550	226,963,238	1.0000
3	−0.00011089	0.00000003	1.000	11.550	33,129,043	1.0000
4	−0.00011097	0.00000008	1.000	11.550	12,509,857	1.0000
5	−0.00011113	0.00000015	1.000	11.550	6,592,442	1.0000
6	−0.00011137	0.00000024	1.000	11.550	4,107,355	1.0000
7	−0.00011172	0.00000035	1.000	11.550	2,830,518	1.0000
8	−0.00011220	0.00000048	1.000	11.550	2,086,874	1.0000
9	−0.00011282	0.00000062	1.000	11.550	1,615,087	1.0000
10	−0.00011359	0.00000077	1.000	11.550	1,296,644	1.0000
11	−0.00011452	0.00000093	1.000	11.550	1,071,399	1.0000
12	−0.00011563	0.00000110	1.000	11.550	906,164	1.0000
13	−0.00011691	0.00000128	1.000	11.550	781,391	1.0000
14	−0.00011837	0.00000146	1.000	11.550	684,957	1.0000
15	−0.00012001	0.00000164	1.000	11.550	609,011	1.0000
16	−0.00012183	0.00000182	1.000	11.550	548,292	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00012183					
17	−0.00012384	0.00000200	1.000	11.550	499,170	1.0000
18	−0.00012602	0.00000218	1.000	11.550	459,077	1.0000
19	−0.00012836	0.00000235	1.000	11.550	426,165	1.0000
20	−0.00013087	0.00000251	1.000	11.550	399,079	1.0000
21	−0.00013352	0.00000265	1.000	11.550	376,821	1.0000
22	−0.00013631	0.00000279	1.000	11.550	358,654	1.0000
23	−0.00013922	0.00000291	1.000	11.550	344,035	1.0000
24	−0.00014222	0.00000301	1.000	11.550	332,583	1.0000
25	−0.00014531	0.00000309	1.000	11.550	324,043	1.0000
26	−0.00014845	0.00000314	1.000	11.550	318,283	1.0000
27	−0.00015162	0.00000317	1.000	11.550	315,284	1.0000
28	−0.00015480	0.00000317	1.000	11.550	315,157	1.0000
29	−0.00015794	0.00000314	1.000	11.550	318,168	1.0000
30	−0.00016102	0.00000308	1.000	11.550	324,791	1.0000
31	−0.00016400	0.00000298	1.000	11.550	335,802	1.0000
合計			15.000			**15.0002**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00016400					
32	−0.00016683	0.00000284	1.000	11.550	352,453	1.0000
33	−0.00016949	0.00000265	1.000	11.550	376,801	1.0000
34	−0.00017191	0.00000243	1.000	11.550	412,376	1.0000
35	−0.00017406	0.00000215	1.000	11.550	465,681	1.0000
36	−0.00017588	0.00000182	1.000	11.550	550,015	1.0000
37	−0.00017731	0.00000143	1.000	11.550	697,306	1.0000
38	−0.00017830	0.00000099	1.000	11.550	1,007,920	1.0000
39	−0.00017879	0.00000049	1.000	11.550	2,044,435	1.0000
40	−0.00017872	−0.00000008	1.000	11.550	−12,802,780	1.0000
41	−0.00017800	−0.00000071	1.000	11.550	−1,402,999	1.0000
42	−0.00017658	−0.00000142	1.000	11.550	−705,220	1.0000
43	−0.00017439	−0.00000220	1.000	11.550	−455,168	1.0000
44	−0.00017134	−0.00000305	1.000	11.550	−327,560	1.0000
45	−0.00016735	−0.00000399	1.000	11.550	−250,704	1.0000
46	−0.00016234	−0.00000501	1.000	11.550	−199,693	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00016234					
47	−0.00015626	−0.00000608	1.000	11.550	−164,389	1.0000
48	−0.00014916	−0.00000710	1.000	11.550	−140,844	1.0000
49	−0.00014112	−0.00000803	1.000	11.550	−124,506	1.0000
50	−0.00013224	−0.00000888	1.000	11.550	−112,603	0.9999
51	−0.00012260	−0.00000965	1.000	11.550	−103,630	0.9999
52	−0.00011226	−0.00001034	1.000	11.550	−96,704	0.9999
53	−0.00010130	−0.00001096	1.000	11.550	−91,270	0.9999
54	−0.00008980	−0.00001150	1.000	11.550	−86,968	0.9999
55	−0.00007783	−0.00001197	1.000	11.550	−83,552	0.9999
56	−0.00006547	−0.00001237	1.000	11.550	−80,849	0.9999
57	−0.00005277	−0.00001270	1.000	11.550	−78,741	0.9999
58	−0.00003980	−0.00001296	1.000	11.550	−77,140	0.9999
59	−0.00002665	−0.00001316	1.000	11.550	−75,986	0.9999
60	−0.00001336	−0.00001329	1.000	11.550	−75,238	0.9999
61	0.00000000	−0.00001336	1.000	11.550	−74,871	0.9999
合計			15.000			**14.9991**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	0.00001336	−0.00001336	1.000	11.550	−74,871	0.9999
63	0.00002665	−0.00001329	1.000	11.550	−75,238	0.9999
64	0.00003980	−0.00001316	1.000	11.550	−75,986	0.9999
65	0.00005277	−0.00001296	1.000	11.550	−77,140	0.9999
66	0.00006547	−0.00001270	1.000	11.550	−78,741	0.9999
67	0.00007783	−0.00001237	1.000	11.550	−80,849	0.9999
68	0.00008980	−0.00001197	1.000	11.550	−83,552	0.9999
69	0.00010130	−0.00001150	1.000	11.550	−86,968	0.9999
70	0.00011226	−0.00001096	1.000	11.550	−91,270	0.9999
71	0.00012260	−0.00001034	1.000	11.550	−96,704	0.9999
72	0.00013224	−0.00000965	1.000	11.550	−103,630	0.9999
73	0.00014112	−0.00000888	1.000	11.550	−112,603	0.9999
74	0.00014916	−0.00000803	1.000	11.550	−124,506	1.0000
75	0.00015626	−0.00000710	1.000	11.550	−140,844	1.0000
76	0.00016234	−0.00000608	1.000	11.550	−164,389	1.0000
合計			15.000			**14.9991**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00016234					
77	0.00016735	−0.00000501	1.000	11.550	−199,693	1.0000
78	0.00017134	−0.00000399	1.000	11.550	−250,704	1.0000
79	0.00017439	−0.00000305	1.000	11.550	−327,560	1.0000
80	0.00017658	−0.00000220	1.000	11.550	−455,168	1.0000
81	0.00017800	−0.00000142	1.000	11.550	−705,220	1.0000
82	0.00017872	−0.00000071	1.000	11.550	−1,402,999	1.0000
83	0.00017879	−0.00000008	1.000	11.550	−12,802,780	1.0000
84	0.00017830	0.00000049	1.000	11.550	2,044,435	1.0000
85	0.00017731	0.00000099	1.000	11.550	1,007,920	1.0000
86	0.00017588	0.00000143	1.000	11.550	697,306	1.0000
87	0.00017406	0.00000182	1.000	11.550	550,015	1.0000
88	0.00017191	0.00000215	1.000	11.550	465,681	1.0000
89	0.00016949	0.00000243	1.000	11.550	412,376	1.0000
90	0.00016683	0.00000265	1.000	11.550	376,801	1.0000
91	0.00016400	0.00000284	1.000	11.550	352,453	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00016400					
92	0.00016102	0.00000298	1.000	11.550	335,802	1.0000
93	0.00015794	0.00000308	1.000	11.550	324,791	1.0000
94	0.00015480	0.00000314	1.000	11.550	318,168	1.0000
95	0.00015162	0.00000317	1.000	11.550	315,157	1.0000
96	0.00014845	0.00000317	1.000	11.550	315,284	1.0000
97	0.00014531	0.00000314	1.000	11.550	318,283	1.0000
98	0.00014222	0.00000309	1.000	11.550	324,043	1.0000
99	0.00013922	0.00000301	1.000	11.550	332,583	1.0000
100	0.00013631	0.00000291	1.000	11.550	344,035	1.0000
101	0.00013352	0.00000279	1.000	11.550	358,654	1.0000
102	0.00013087	0.00000265	1.000	11.550	376,821	1.0000
103	0.00012836	0.00000251	1.000	11.550	399,079	1.0000
104	0.00012602	0.00000235	1.000	11.550	426,165	1.0000
105	0.00012384	0.00000218	1.000	11.550	459,077	1.0000
106	0.00012183	0.00000200	1.000	11.550	499,170	1.0000
合計			15.000			**15.0002**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00012183					
107	0.00012001	0.00000182	1.000	11.550	548,292	1.0000
108	0.00011837	0.00000164	1.000	11.550	609,011	1.0000
109	0.00011691	0.00000146	1.000	11.550	684,957	1.0000
110	0.00011563	0.00000128	1.000	11.550	781,391	1.0000
111	0.00011452	0.00000110	1.000	11.550	906,164	1.0000
112	0.00011359	0.00000093	1.000	11.550	1,071,399	1.0000
113	0.00011282	0.00000077	1.000	11.550	1,296,644	1.0000
114	0.00011220	0.00000062	1.000	11.550	1,615,087	1.0000
115	0.00011172	0.00000048	1.000	11.550	2,086,874	1.0000
116	0.00011137	0.00000035	1.000	11.550	2,830,518	1.0000
117	0.00011113	0.00000024	1.000	11.550	4,107,355	1.0000
118	0.00011097	0.00000015	1.000	11.550	6,592,442	1.0000
119	0.00011089	0.00000008	1.000	11.550	12,509,857	1.0000
120	0.00011086	0.00000003	1.000	11.550	33,129,043	1.0000
121	0.00011086	0.00000000	1.000	11.550	226,963,238	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

表 3.1-40　施工目地の目開き量算出結果（case-19）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00023889					
2	−0.00023890	0.00000001	1.000	11.550	169,262,023	1.0000
3	−0.00023894	0.00000004	1.000	11.550	25,037,562	1.0000
4	−0.00023904	0.00000010	1.000	11.550	9,605,231	1.0000
5	−0.00023924	0.00000019	1.000	11.550	5,150,185	1.0000
6	−0.00023954	0.00000031	1.000	11.550	3,269,454	1.0000
7	−0.00023998	0.00000043	1.000	11.550	2,299,184	1.0000
8	−0.00024055	0.00000058	1.000	11.550	1,732,709	1.0000
9	−0.00024128	0.00000073	1.000	11.550	1,373,289	1.0000
10	−0.00024217	0.00000088	1.000	11.550	1,131,478	1.0000
11	−0.00024321	0.00000104	1.000	11.550	961,815	1.0000
12	−0.00024440	0.00000119	1.000	11.550	839,223	1.0000
13	−0.00024573	0.00000134	1.000	11.550	749,005	1.0000
14	−0.00024720	0.00000147	1.000	11.550	682,161	1.0000
15	−0.00024878	0.00000158	1.000	11.550	633,036	1.0000
16	−0.00025045	0.00000167	1.000	11.550	598,092	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00025045					
17	−0.00025219	0.00000174	1.000	11.550	575,246	1.0000
18	−0.00025396	0.00000177	1.000	11.550	563,557	1.0000
19	−0.00025574	0.00000178	1.000	11.550	563,166	1.0000
20	−0.00025748	0.00000174	1.000	11.550	575,519	1.0000
21	−0.00025913	0.00000166	1.000	11.550	604,028	1.0000
22	−0.00026066	0.00000153	1.000	11.550	655,708	1.0000
23	−0.00026200	0.00000134	1.000	11.550	745,431	1.0000
24	−0.00026310	0.00000110	1.000	11.550	908,903	1.0000
25	−0.00026390	0.00000080	1.000	11.550	1,255,380	1.0000
26	−0.00026432	0.00000043	1.000	11.550	2,348,190	1.0000
27	−0.00026431	−0.00000002	1.000	11.550	−60,248,217	1.0000
28	−0.00026377	−0.00000054	1.000	11.550	−1,867,397	1.0000
29	−0.00026263	−0.00000114	1.000	11.550	−880,622	1.0000
30	−0.00026081	−0.00000182	1.000	11.550	−549,011	1.0000
31	−0.00025821	−0.00000260	1.000	11.550	−384,932	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00025821					
32	−0.00025477	−0.00000344	1.000	11.550	−290,703	1.0000
33	−0.00025054	−0.00000423	1.000	11.550	−236,167	1.0000
34	−0.00024558	−0.00000496	1.000	11.550	−201,776	1.0000
35	−0.00023998	−0.00000561	1.000	11.550	−178,269	1.0000
36	−0.00023378	−0.00000620	1.000	11.550	−161,313	1.0000
37	−0.00022705	−0.00000673	1.000	11.550	−148,606	1.0000
38	−0.00021984	−0.00000720	1.000	11.550	−138,815	1.0000
39	−0.00021222	−0.00000763	1.000	11.550	−131,112	1.0000
40	−0.00020422	−0.00000800	1.000	11.550	−124,956	1.0000
41	−0.00019588	−0.00000833	1.000	11.550	−119,978	1.0000
42	−0.00018725	−0.00000863	1.000	11.550	−115,917	1.0000
43	−0.00017837	−0.00000888	1.000	11.550	−112,584	0.9999
44	−0.00016927	−0.00000910	1.000	11.550	−109,838	0.9999
45	−0.00015997	−0.00000930	1.000	11.550	−107,569	0.9999
46	−0.00015051	−0.00000946	1.000	11.550	−105,694	0.9999
合計			15.000			**14.9994**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00015051					
47	−0.00014091	−0.00000960	1.000	11.550	−104,145	0.9999
48	−0.00013119	−0.00000972	1.000	11.550	−102,869	0.9999
49	−0.00012137	−0.00000982	1.000	11.550	−101,821	0.9999
50	−0.00011147	−0.00000990	1.000	11.550	−100,964	0.9999
51	−0.00010149	−0.00000997	1.000	11.550	−100,268	0.9999
52	−0.00009146	−0.00001003	1.000	11.550	−99,706	0.9999
53	−0.00008139	−0.00001007	1.000	11.550	−99,257	0.9999
54	−0.00007128	−0.00001011	1.000	11.550	−98,901	0.9999
55	−0.00006114	−0.00001014	1.000	11.550	−98,622	0.9999
56	−0.00005098	−0.00001016	1.000	11.550	−98,408	0.9999
57	−0.00004080	−0.00001018	1.000	11.550	−98,245	0.9999
58	−0.00003061	−0.00001019	1.000	11.550	−98,127	0.9999
59	−0.00002041	−0.00001020	1.000	11.550	−98,044	0.9999
60	−0.00001021	−0.00001020	1.000	11.550	−97,992	0.9999
61	0.00000000	−0.00001021	1.000	11.550	−97,966	0.9999
合計			15.000			**14.9991**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	0.00001021	−0.00001021	1.000	11.550	−97,966	0.9999
63	0.00002041	−0.00001020	1.000	11.550	−97,992	0.9999
64	0.00003061	−0.00001020	1.000	11.550	−98,044	0.9999
65	0.00004080	−0.00001019	1.000	11.550	−98,127	0.9999
66	0.00005098	−0.00001018	1.000	11.550	−98,245	0.9999
67	0.00006114	−0.00001016	1.000	11.550	−98,408	0.9999
68	0.00007128	−0.00001014	1.000	11.550	−98,622	0.9999
69	0.00008139	−0.00001011	1.000	11.550	−98,901	0.9999
70	0.00009146	−0.00001007	1.000	11.550	−99,257	0.9999
71	0.00010149	−0.00001003	1.000	11.550	−99,706	0.9999
72	0.00011147	−0.00000997	1.000	11.550	−100,268	0.9999
73	0.00012137	−0.00000990	1.000	11.550	−100,964	0.9999
74	0.00013119	−0.00000982	1.000	11.550	−101,821	0.9999
75	0.00014091	−0.00000972	1.000	11.550	−102,869	0.9999
76	0.00015051	−0.00000960	1.000	11.550	−104,145	0.9999
合計			15.000			**14.9991**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00015051					
77	0.00015997	−0.00000946	1.000	11.550	−105,694	0.9999
78	0.00016927	−0.00000930	1.000	11.550	−107,569	0.9999
79	0.00017837	−0.00000910	1.000	11.550	−109,838	0.9999
80	0.00018725	−0.00000888	1.000	11.550	−112,584	0.9999
81	0.00019588	−0.00000863	1.000	11.550	−115,917	1.0000
82	0.00020422	−0.00000833	1.000	11.550	−119,978	1.0000
83	0.00021222	−0.00000800	1.000	11.550	−124,956	1.0000
84	0.00021984	−0.00000763	1.000	11.550	−131,112	1.0000
85	0.00022705	−0.00000720	1.000	11.550	−138,815	1.0000
86	0.00023378	−0.00000673	1.000	11.550	−148,606	1.0000
87	0.00023998	−0.00000620	1.000	11.550	−161,313	1.0000
88	0.00024558	−0.00000561	1.000	11.550	−178,269	1.0000
89	0.00025054	−0.00000496	1.000	11.550	−201,776	1.0000
90	0.00025477	−0.00000423	1.000	11.550	−236,167	1.0000
91	0.00025821	−0.00000344	1.000	11.550	−290,703	1.0000
合計			15.000			**14.9994**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00025821					
92	0.00026081	−0.00000260	1.000	11.550	−384,932	1.0000
93	0.00026263	−0.00000182	1.000	11.550	−549,011	1.0000
94	0.00026377	−0.00000114	1.000	11.550	−880,622	1.0000
95	0.00026431	−0.00000054	1.000	11.550	−1,867,397	1.0000
96	0.00026432	−0.00000002	1.000	11.550	−60,248,217	1.0000
97	0.00026390	0.00000043	1.000	11.550	2,348,190	1.0000
98	0.00026310	0.00000080	1.000	11.550	1,255,380	1.0000
99	0.00026200	0.00000110	1.000	11.550	908,903	1.0000
100	0.00026066	0.00000134	1.000	11.550	745,431	1.0000
101	0.00025913	0.00000153	1.000	11.550	655,708	1.0000
102	0.00025748	0.00000166	1.000	11.550	604,028	1.0000
103	0.00025574	0.00000174	1.000	11.550	575,519	1.0000
104	0.00025396	0.00000178	1.000	11.550	563,166	1.0000
105	0.00025219	0.00000177	1.000	11.550	563,557	1.0000
106	0.00025045	0.00000174	1.000	11.550	575,246	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00025045					
107	0.00024878	0.00000167	1.000	11.550	598,092	1.0000
108	0.00024720	0.00000158	1.000	11.550	633,036	1.0000
109	0.00024573	0.00000147	1.000	11.550	682,161	1.0000
110	0.00024440	0.00000134	1.000	11.550	749,005	1.0000
111	0.00024321	0.00000119	1.000	11.550	839,223	1.0000
112	0.00024217	0.00000104	1.000	11.550	961,815	1.0000
113	0.00024128	0.00000088	1.000	11.550	1,131,478	1.0000
114	0.00024055	0.00000073	1.000	11.550	1,373,289	1.0000
115	0.00023998	0.00000058	1.000	11.550	1,732,709	1.0000
116	0.00023954	0.00000043	1.000	11.550	2,299,184	1.0000
117	0.00023924	0.00000031	1.000	11.550	3,269,454	1.0000
118	0.00023904	0.00000019	1.000	11.550	5,150,185	1.0000
119	0.00023894	0.00000010	1.000	11.550	9,605,231	1.0000
120	0.00023890	0.00000004	1.000	11.550	25,037,562	1.0000
121	0.00023889	0.00000001	1.000	11.550	169,262,023	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

表 3.1-41　施工目地の目開き量算出結果（case-20）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00029876					
2	−0.00029876	0.00000000	1.000	11.550	−516,795,860	1.0000
3	−0.00029875	−0.00000002	1.000	11.550	−65,299,720	1.0000
4	−0.00029870	−0.00000005	1.000	11.550	−21,302,425	1.0000
5	−0.00029860	−0.00000010	1.000	11.550	−9,790,765	1.0000
6	−0.00029841	−0.00000019	1.000	11.550	−5,370,448	1.0000
7	−0.00029811	−0.00000030	1.000	11.550	−3,284,520	1.0000
8	−0.00029764	−0.00000046	1.000	11.550	−2,163,546	1.0000
9	−0.00029698	−0.00000066	1.000	11.550	−1,504,335	1.0000
10	−0.00029606	−0.00000092	1.000	11.550	−1,090,068	1.0000
11	−0.00029484	−0.00000123	1.000	11.550	−816,080	1.0000
12	−0.00029324	−0.00000159	1.000	11.550	−627,352	1.0000
13	−0.00029121	−0.00000203	1.000	11.550	−492,972	1.0000
14	−0.00028868	−0.00000253	1.000	11.550	−394,616	1.0000
15	−0.00028556	−0.00000312	1.000	11.550	−320,926	1.0000
16	−0.00028179	−0.00000378	1.000	11.550	−264,602	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00028179					
17	−0.00027729	−0.00000450	1.000	11.550	−222,245	1.0000
18	−0.00027212	−0.00000516	1.000	11.550	−193,654	1.0000
19	−0.00026637	−0.00000575	1.000	11.550	−173,983	1.0000
20	−0.00026012	−0.00000626	1.000	11.550	−159,851	1.0000
21	−0.00025343	−0.00000669	1.000	11.550	−149,410	1.0000
22	−0.00024636	−0.00000706	1.000	11.550	−141,565	1.0000
23	−0.00023899	−0.00000737	1.000	11.550	−135,631	1.0000
24	−0.00023137	−0.00000762	1.000	11.550	−131,154	1.0000
25	−0.00022354	−0.00000782	1.000	11.550	−127,827	1.0000
26	−0.00021557	−0.00000797	1.000	11.550	−125,432	1.0000
27	−0.00020749	−0.00000808	1.000	11.550	−123,812	1.0000
28	−0.00019936	−0.00000814	1.000	11.550	−122,853	1.0000
29	−0.00019119	−0.00000816	1.000	11.550	−122,469	1.0000
30	−0.00018303	−0.00000816	1.000	11.550	−122,598	1.0000
31	−0.00017492	−0.00000812	1.000	11.550	−123,189	1.0000
合計			15.000			**14.9994**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00017492					
32	−0.00016687	−0.00000805	1.000	11.550	−124,207	1.0000
33	−0.00015891	−0.00000796	1.000	11.550	−125,623	1.0000
34	−0.00015106	−0.00000785	1.000	11.550	−127,417	1.0000
35	−0.00014334	−0.00000772	1.000	11.550	−129,572	1.0000
36	−0.00013577	−0.00000757	1.000	11.550	−132,075	1.0000
37	−0.00012836	−0.00000741	1.000	11.550	−134,918	1.0000
38	−0.00012112	−0.00000724	1.000	11.550	−138,091	1.0000
39	−0.00011405	−0.00000706	1.000	11.550	−141,587	1.0000
40	−0.00010718	−0.00000688	1.000	11.550	−145,400	1.0000
41	−0.00010049	−0.00000669	1.000	11.550	−149,521	1.0000
42	−0.00009399	−0.00000650	1.000	11.550	−153,940	1.0000
43	−0.00008769	−0.00000630	1.000	11.550	−158,644	1.0000
44	−0.00008158	−0.00000611	1.000	11.550	−163,617	1.0000
45	−0.00007566	−0.00000592	1.000	11.550	−168,838	1.0000
46	−0.00006992	−0.00000574	1.000	11.550	−174,280	1.0000
合計			15.000			**14.9994**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00006992					
47	−0.00006436	−0.00000556	1.000	11.550	−179,911	1.0000
48	−0.00005897	−0.00000539	1.000	11.550	−185,688	1.0000
49	−0.00005375	−0.00000522	1.000	11.550	−191,564	1.0000
50	−0.00004869	−0.00000506	1.000	11.550	−197,478	1.0000
51	−0.00004377	−0.00000492	1.000	11.550	−203,364	1.0000
52	−0.00003899	−0.00000478	1.000	11.550	−209,144	1.0000
53	−0.00003434	−0.00000466	1.000	11.550	−214,735	1.0000
54	−0.00002979	−0.00000454	1.000	11.550	−220,044	1.0000
55	−0.00002535	−0.00000444	1.000	11.550	−224,977	1.0000
56	−0.00002099	−0.00000436	1.000	11.550	−229,435	1.0000
57	−0.00001670	−0.00000429	1.000	11.550	−233,324	1.0000
58	−0.00001248	−0.00000423	1.000	11.550	−236,557	1.0000
59	−0.00000829	−0.00000418	1.000	11.550	−239,056	1.0000
60	−0.00000414	−0.00000415	1.000	11.550	−240,758	1.0000
61	0.00000000	−0.00000414	1.000	11.550	−241,621	1.0000
合計			15.000			**14.9996**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	0.00000414	−0.00000414	1.000	11.550	−241,621	1.0000
63	0.00000829	−0.00000415	1.000	11.550	−240,758	1.0000
64	0.00001248	−0.00000418	1.000	11.550	−239,056	1.0000
65	0.00001670	−0.00000423	1.000	11.550	−236,557	1.0000
66	0.00002099	−0.00000429	1.000	11.550	−233,324	1.0000
67	0.00002535	−0.00000436	1.000	11.550	−229,435	1.0000
68	0.00002979	−0.00000444	1.000	11.550	−224,977	1.0000
69	0.00003434	−0.00000454	1.000	11.550	−220,044	1.0000
70	0.00003899	−0.00000466	1.000	11.550	−214,735	1.0000
71	0.00004377	−0.00000478	1.000	11.550	−209,144	1.0000
72	0.00004869	−0.00000492	1.000	11.550	−203,364	1.0000
73	0.00005375	−0.00000506	1.000	11.550	−197,478	1.0000
74	0.00005897	−0.00000522	1.000	11.550	−191,564	1.0000
75	0.00006436	−0.00000539	1.000	11.550	−185,688	1.0000
76	0.00006992	−0.00000556	1.000	11.550	−179,911	1.0000
合計			15.000			**14.9996**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00006992					
77	0.00007566	−0.00000574	1.000	11.550	−174,280	1.0000
78	0.00008158	−0.00000592	1.000	11.550	−168,838	1.0000
79	0.00008769	−0.00000611	1.000	11.550	−163,617	1.0000
80	0.00009399	−0.00000630	1.000	11.550	−158,644	1.0000
81	0.00010049	−0.00000650	1.000	11.550	−153,940	1.0000
82	0.00010718	−0.00000669	1.000	11.550	−149,521	1.0000
83	0.00011405	−0.00000688	1.000	11.550	−145,400	1.0000
84	0.00012112	−0.00000706	1.000	11.550	−141,587	1.0000
85	0.00012836	−0.00000724	1.000	11.550	−138,091	1.0000
86	0.00013577	−0.00000741	1.000	11.550	−134,918	1.0000
87	0.00014334	−0.00000757	1.000	11.550	−132,075	1.0000
88	0.00015106	−0.00000772	1.000	11.550	−129,572	1.0000
89	0.00015891	−0.00000785	1.000	11.550	−127,417	1.0000
90	0.00016687	−0.00000796	1.000	11.550	−125,623	1.0000
91	0.00017492	−0.00000805	1.000	11.550	−124,207	1.0000
合計			15.000			**14.9994**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00017492					
92	0.00018303	−0.00000812	1.000	11.550	−123,189	1.0000
93	0.00019119	−0.00000816	1.000	11.550	−122,598	1.0000
94	0.00019936	−0.00000816	1.000	11.550	−122,469	1.0000
95	0.00020749	−0.00000814	1.000	11.550	−122,853	1.0000
96	0.00021557	−0.00000808	1.000	11.550	−123,812	1.0000
97	0.00022354	−0.00000797	1.000	11.550	−125,432	1.0000
98	0.00023137	−0.00000782	1.000	11.550	−127,827	1.0000
99	0.00023899	−0.00000762	1.000	11.550	−131,154	1.0000
100	0.00024636	−0.00000737	1.000	11.550	−135,631	1.0000
101	0.00025343	−0.00000706	1.000	11.550	−141,565	1.0000
102	0.00026012	−0.00000669	1.000	11.550	−149,410	1.0000
103	0.00026637	−0.00000626	1.000	11.550	−159,851	1.0000
104	0.00027212	−0.00000575	1.000	11.550	−173,983	1.0000
105	0.00027729	−0.00000516	1.000	11.550	−193,654	1.0000
106	0.00028179	−0.00000450	1.000	11.550	−222,245	1.0000
合計			15.000			**14.9994**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00028179					
107	0.00028556	−0.00000378	1.000	11.550	−264,602	1.0000
108	0.00028868	−0.00000312	1.000	11.550	−320,926	1.0000
109	0.00029121	−0.00000253	1.000	11.550	−394,616	1.0000
110	0.00029324	−0.00000203	1.000	11.550	−492,972	1.0000
111	0.00029484	−0.00000159	1.000	11.550	−627,352	1.0000
112	0.00029606	−0.00000123	1.000	11.550	−816,080	1.0000
113	0.00029698	−0.00000092	1.000	11.550	−1,090,068	1.0000
114	0.00029764	−0.00000066	1.000	11.550	−1,504,335	1.0000
115	0.00029811	−0.00000046	1.000	11.550	−2,163,546	1.0000
116	0.00029841	−0.00000030	1.000	11.550	−3,284,520	1.0000
117	0.00029860	−0.00000019	1.000	11.550	−5,370,448	1.0000
118	0.00029870	−0.00000010	1.000	11.550	−9,790,765	1.0000
119	0.00029875	−0.00000005	1.000	11.550	−21,302,425	1.0000
120	0.00029876	−0.00000002	1.000	11.550	−65,299,720	1.0000
121	0.00029876	0.00000000	1.000	11.550	−516,795,860	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

表 3.1-42　施工目地の目開き量算出結果（case-21）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00015947					
2	−0.00015947	0.00000000	1.000	11.550	348,310,699	1.0000
3	−0.00015949	0.00000002	1.000	11.550	50,963,210	1.0000
4	−0.00015954	0.00000005	1.000	11.550	19,295,340	1.0000
5	−0.00015964	0.00000010	1.000	11.550	10,197,636	1.0000
6	−0.00015980	0.00000016	1.000	11.550	6,372,883	1.0000
7	−0.00016002	0.00000023	1.000	11.550	4,406,049	1.0000
8	−0.00016033	0.00000031	1.000	11.550	3,259,649	1.0000
9	−0.00016072	0.00000039	1.000	11.550	2,531,946	1.0000
10	−0.00016121	0.00000049	1.000	11.550	2,040,614	1.0000
11	−0.00016180	0.00000059	1.000	11.550	1,693,076	1.0000
12	−0.00016250	0.00000070	1.000	11.550	1,438,238	1.0000
13	−0.00016330	0.00000080	1.000	11.550	1,245,995	1.0000
14	−0.00016421	0.00000091	1.000	11.550	1,097,663	1.0000
15	−0.00016523	0.00000102	1.000	11.550	981,155	1.0000
16	−0.00016636	0.00000113	1.000	11.550	888,375	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00016636					
17	−0.00016759	0.00000123	1.000	11.550	813,742	1.0000
18	−0.00016891	0.00000133	1.000	11.550	753,325	1.0000
19	−0.00017033	0.00000142	1.000	11.550	704,309	1.0000
20	−0.00017184	0.00000150	1.000	11.550	664,656	1.0000
21	−0.00017342	0.00000158	1.000	11.550	632,890	1.0000
22	−0.00017506	0.00000164	1.000	11.550	607,959	1.0000
23	−0.00017676	0.00000170	1.000	11.550	589,142	1.0000
24	−0.00017850	0.00000174	1.000	11.550	576,003	1.0000
25	−0.00018026	0.00000176	1.000	11.550	568,367	1.0000
26	−0.00018202	0.00000177	1.000	11.550	566,323	1.0000
27	−0.00018378	0.00000175	1.000	11.550	570,273	1.0000
28	−0.00018550	0.00000172	1.000	11.550	581,018	1.0000
29	−0.00018716	0.00000167	1.000	11.550	599,932	1.0000
30	−0.00018875	0.00000159	1.000	11.550	629,282	1.0000
31	−0.00019024	0.00000149	1.000	11.550	672,847	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00019024					
32	−0.00019160	0.00000136	1.000	11.550	737,188	1.0000
33	−0.00019279	0.00000120	1.000	11.550	834,532	1.0000
34	−0.00019380	0.00000101	1.000	11.550	990,272	1.0000
35	−0.00019459	0.00000079	1.000	11.550	1,266,725	1.0000
36	−0.00019513	0.00000054	1.000	11.550	1,867,786	1.0000
37	−0.00019537	0.00000025	1.000	11.550	4,065,658	1.0000
38	−0.00019529	−0.00000008	1.000	11.550	−12,408,020	1.0000
39	−0.00019485	−0.00000045	1.000	11.550	−2,242,117	1.0000
40	−0.00019400	−0.00000085	1.000	11.550	−1,173,682	1.0000
41	−0.00019270	−0.00000130	1.000	11.550	−769,017	1.0000
42	−0.00019090	−0.00000179	1.000	11.550	−557,800	1.0000
43	−0.00018857	−0.00000233	1.000	11.550	−429,015	1.0000
44	−0.00018566	−0.00000292	1.000	11.550	−342,871	1.0000
45	−0.00018210	−0.00000355	1.000	11.550	−281,585	1.0000
46	−0.00017787	−0.00000424	1.000	11.550	−236,022	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00017787					
47	−0.00017289	−0.00000497	1.000	11.550	−201,010	1.0000
48	−0.00016713	−0.00000577	1.000	11.550	−173,405	1.0000
49	−0.00016051	−0.00000661	1.000	11.550	−151,186	1.0000
50	−0.00015299	−0.00000752	1.000	11.550	−132,998	1.0000
51	−0.00014451	−0.00000848	1.000	11.550	−117,899	1.0000
52	−0.00013501	−0.00000950	1.000	11.550	−105,212	0.9999
53	−0.00012442	−0.00001059	1.000	11.550	−94,442	0.9999
54	−0.00011269	−0.00001173	1.000	11.550	−85,217	0.9999
55	−0.00009974	−0.00001294	1.000	11.550	−77,254	0.9999
56	−0.00008553	−0.00001422	1.000	11.550	−70,332	0.9999
57	−0.00007003	−0.00001550	1.000	11.550	−64,509	0.9999
58	−0.00005345	−0.00001657	1.000	11.550	−60,342	0.9999
59	−0.00003608	−0.00001737	1.000	11.550	−57,555	0.9999
60	−0.00001817	−0.00001791	1.000	11.550	−55,837	0.9999
61	0.00000000	−0.00001817	1.000	11.550	−55,016	0.9999
合計			15.000			**14.9990**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	0.00001817	−0.00001817	1.000	11.550	−55,016	0.9999
63	0.00003608	−0.00001791	1.000	11.550	−55,837	0.9999
64	0.00005345	−0.00001737	1.000	11.550	−57,555	0.9999
65	0.00007003	−0.00001657	1.000	11.550	−60,342	0.9999
66	0.00008553	−0.00001550	1.000	11.550	−64,509	0.9999
67	0.00009974	−0.00001422	1.000	11.550	−70,332	0.9999
68	0.00011269	−0.00001294	1.000	11.550	−77,254	0.9999
69	0.00012442	−0.00001173	1.000	11.550	−85,217	0.9999
70	0.00013501	−0.00001059	1.000	11.550	−94,442	0.9999
71	0.00014451	−0.00000950	1.000	11.550	−105,212	0.9999
72	0.00015299	−0.00000848	1.000	11.550	−117,899	1.0000
73	0.00016051	−0.00000752	1.000	11.550	−132,998	1.0000
74	0.00016713	−0.00000661	1.000	11.550	−151,186	1.0000
75	0.00017289	−0.00000577	1.000	11.550	−173,405	1.0000
76	0.00017787	−0.00000497	1.000	11.550	−201,010	1.0000
合計			15.000			**14.9990**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00017787					
77	0.00018210	−0.00000424	1.000	11.550	−236,022	1.0000
78	0.00018566	−0.00000355	1.000	11.550	−281,585	1.0000
79	0.00018857	−0.00000292	1.000	11.550	−342,871	1.0000
80	0.00019090	−0.00000233	1.000	11.550	−429,015	1.0000
81	0.00019270	−0.00000179	1.000	11.550	−557,800	1.0000
82	0.00019400	−0.00000130	1.000	11.550	−769,017	1.0000
83	0.00019485	−0.00000085	1.000	11.550	−1,173,682	1.0000
84	0.00019529	−0.00000045	1.000	11.550	−2,242,117	1.0000
85	0.00019537	−0.00000008	1.000	11.550	−12,408,020	1.0000
86	0.00019513	0.00000025	1.000	11.550	4,065,658	1.0000
87	0.00019459	0.00000054	1.000	11.550	1,867,786	1.0000
88	0.00019380	0.00000079	1.000	11.550	1,266,725	1.0000
89	0.00019279	0.00000101	1.000	11.550	990,272	1.0000
90	0.00019160	0.00000120	1.000	11.550	834,532	1.0000
91	0.00019024	0.00000136	1.000	11.550	737,188	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00019024					
92	0.00018875	0.00000149	1.000	11.550	672,847	1.0000
93	0.00018716	0.00000159	1.000	11.550	629,282	1.0000
94	0.00018550	0.00000167	1.000	11.550	599,932	1.0000
95	0.00018378	0.00000172	1.000	11.550	581,018	1.0000
96	0.00018202	0.00000175	1.000	11.550	570,273	1.0000
97	0.00018026	0.00000177	1.000	11.550	566,323	1.0000
98	0.00017850	0.00000176	1.000	11.550	568,367	1.0000
99	0.00017676	0.00000174	1.000	11.550	576,003	1.0000
100	0.00017506	0.00000170	1.000	11.550	589,142	1.0000
101	0.00017342	0.00000164	1.000	11.550	607,959	1.0000
102	0.00017184	0.00000158	1.000	11.550	632,890	1.0000
103	0.00017033	0.00000150	1.000	11.550	664,656	1.0000
104	0.00016891	0.00000142	1.000	11.550	704,309	1.0000
105	0.00016759	0.00000133	1.000	11.550	753,325	1.0000
106	0.00016636	0.00000123	1.000	11.550	813,742	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00016636					
107	0.00016523	0.00000113	1.000	11.550	888,375	1.0000
108	0.00016421	0.00000102	1.000	11.550	981,155	1.0000
109	0.00016330	0.00000091	1.000	11.550	1,097,663	1.0000
110	0.00016250	0.00000080	1.000	11.550	1,245,995	1.0000
111	0.00016180	0.00000070	1.000	11.550	1,438,238	1.0000
112	0.00016121	0.00000059	1.000	11.550	1,693,076	1.0000
113	0.00016072	0.00000049	1.000	11.550	2,040,614	1.0000
114	0.00016033	0.00000039	1.000	11.550	2,531,946	1.0000
115	0.00016002	0.00000031	1.000	11.550	3,259,649	1.0000
116	0.00015980	0.00000023	1.000	11.550	4,406,049	1.0000
117	0.00015964	0.00000016	1.000	11.550	6,372,883	1.0000
118	0.00015954	0.00000010	1.000	11.550	10,197,636	1.0000
119	0.00015949	0.00000005	1.000	11.550	19,295,340	1.0000
120	0.00015947	0.00000002	1.000	11.550	50,963,210	1.0000
121	0.00015947	0.00000000	1.000	11.550	348,310,699	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-43　施工目地の目開き量算出結果（case-22）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00047429					
2	−0.00047430	0.00000001	1.000	11.550	130,872,928	1.0000
3	−0.00047435	0.00000005	1.000	11.550	19,199,023	1.0000
4	−0.00047449	0.00000014	1.000	11.550	7,293,526	1.0000
5	−0.00047474	0.00000026	1.000	11.550	3,868,627	1.0000
6	−0.00047516	0.00000041	1.000	11.550	2,427,114	1.0000
7	−0.00047575	0.00000059	1.000	11.550	1,685,056	1.0000
8	−0.00047655	0.00000080	1.000	11.550	1,252,216	1.0000
9	−0.00047757	0.00000102	1.000	11.550	977,347	1.0000
10	−0.00047883	0.00000126	1.000	11.550	791,768	1.0000
11	−0.00048035	0.00000151	1.000	11.550	660,594	1.0000
12	−0.00048212	0.00000177	1.000	11.550	564,557	1.0000
13	−0.00048415	0.00000203	1.000	11.550	492,306	1.0000
14	−0.00048644	0.00000229	1.000	11.550	436,800	1.0000
15	−0.00048898	0.00000254	1.000	11.550	393,493	1.0000
16	−0.00049176	0.00000278	1.000	11.550	359,345	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00049176					
17	−0.00049477	0.00000301	1.000	11.550	332,279	1.0000
18	−0.00049799	0.00000322	1.000	11.550	310,849	1.0000
19	−0.00050139	0.00000340	1.000	11.550	294,041	1.0000
20	−0.00050495	0.00000356	1.000	11.550	281,155	1.0000
21	−0.00050863	0.00000368	1.000	11.550	271,729	1.0000
22	−0.00051240	0.00000377	1.000	11.550	265,495	1.0000
23	−0.00051621	0.00000381	1.000	11.550	262,365	1.0000
24	−0.00052002	0.00000381	1.000	11.550	262,443	1.0000
25	−0.00052378	0.00000376	1.000	11.550	266,057	1.0000
26	−0.00052743	0.00000365	1.000	11.550	273,856	1.0000
27	−0.00053091	0.00000348	1.000	11.550	286,977	1.0000
28	−0.00053417	0.00000325	1.000	11.550	307,404	1.0000
29	−0.00053712	0.00000295	1.000	11.550	338,736	1.0000
30	−0.00053969	0.00000258	1.000	11.550	388,022	1.0000
31	−0.00054182	0.00000212	1.000	11.550	470,955	1.0000
合計			15.000			**15.0003**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00054182					
32	−0.00054340	0.00000159	1.000	11.550	630,576	1.0000
33	−0.00054436	0.00000096	1.000	11.550	1,041,795	1.0000
34	−0.00054460	0.00000024	1.000	11.550	4,156,213	1.0000
35	−0.00054403	−0.00000058	1.000	11.550	−1,733,616	1.0000
36	−0.00054253	−0.00000150	1.000	11.550	−667,888	1.0000
37	−0.00054001	−0.00000253	1.000	11.550	−395,958	1.0000
38	−0.00053634	−0.00000367	1.000	11.550	−272,744	1.0000
39	−0.00053141	−0.00000492	1.000	11.550	−203,052	1.0000
40	−0.00052511	−0.00000631	1.000	11.550	−158,592	1.0000
41	−0.00051730	−0.00000781	1.000	11.550	−127,990	1.0000
42	−0.00050784	−0.00000945	1.000	11.550	−105,794	0.9999
43	−0.00049662	−0.00001123	1.000	11.550	−89,064	0.9999
44	−0.00048347	−0.00001314	1.000	11.550	−76,080	0.9999
45	−0.00046827	−0.00001520	1.000	11.550	−65,765	0.9999
46	−0.00045085	−0.00001741	1.000	11.550	−57,417	0.9999
合計			15.000			**14.9995**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00045085					
47	−0.00043113	−0.00001972	1.000	11.550	−50,696	0.9999
48	−0.00040922	−0.00002191	1.000	11.550	−45,635	0.9999
49	−0.00038530	−0.00002392	1.000	11.550	−41,794	0.9999
50	−0.00035953	−0.00002577	1.000	11.550	−38,803	0.9999
51	−0.00033208	−0.00002745	1.000	11.550	−36,430	0.9998
52	−0.00030313	−0.00002896	1.000	11.550	−34,525	0.9998
53	−0.00027281	−0.00003031	1.000	11.550	−32,982	0.9998
54	−0.00024130	−0.00003151	1.000	11.550	−31,729	0.9998
55	−0.00020875	−0.00003255	1.000	11.550	−30,714	0.9998
56	−0.00017531	−0.00003344	1.000	11.550	−29,897	0.9998
57	−0.00014113	−0.00003418	1.000	11.550	−29,251	0.9998
58	−0.00010636	−0.00003477	1.000	11.550	−28,756	0.9998
59	−0.00007115	−0.00003521	1.000	11.550	−28,396	0.9998
60	−0.00003565	−0.00003550	1.000	11.550	−28,162	0.9998
61	0.00000000	−0.00003565	1.000	11.550	−28,046	0.9998
合計			15.000			**14.9974**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	0.00003565	−0.00003565	1.000	11.550	−28,046	0.9998
63	0.00007115	−0.00003550	1.000	11.550	−28,162	0.9998
64	0.00010636	−0.00003521	1.000	11.550	−28,396	0.9998
65	0.00014113	−0.00003477	1.000	11.550	−28,756	0.9998
66	0.00017531	−0.00003418	1.000	11.550	−29,251	0.9998
67	0.00020875	−0.00003344	1.000	11.550	−29,897	0.9998
68	0.00024130	−0.00003255	1.000	11.550	−30,714	0.9998
69	0.00027281	−0.00003151	1.000	11.550	−31,729	0.9998
70	0.00030313	−0.00003031	1.000	11.550	−32,982	0.9998
71	0.00033208	−0.00002896	1.000	11.550	−34,525	0.9998
72	0.00035953	−0.00002745	1.000	11.550	−36,430	0.9998
73	0.00038530	−0.00002577	1.000	11.550	−38,803	0.9999
74	0.00040922	−0.00002392	1.000	11.550	−41,794	0.9999
75	0.00043113	−0.00002191	1.000	11.550	−45,635	0.9999
76	0.00045085	−0.00001972	1.000	11.550	−50,696	0.9999
合計			15.000			**14.9974**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00045085					
77	0.00046827	−0.00001741	1.000	11.550	−57,417	0.9999
78	0.00048347	−0.00001520	1.000	11.550	−65,765	0.9999
79	0.00049662	−0.00001314	1.000	11.550	−76,080	0.9999
80	0.00050784	−0.00001123	1.000	11.550	−89,064	0.9999
81	0.00051730	−0.00000945	1.000	11.550	−105,794	0.9999
82	0.00052511	−0.00000781	1.000	11.550	−127,990	1.0000
83	0.00053141	−0.00000631	1.000	11.550	−158,592	1.0000
84	0.00053634	−0.00000492	1.000	11.550	−203,052	1.0000
85	0.00054001	−0.00000367	1.000	11.550	−272,744	1.0000
86	0.00054253	−0.00000253	1.000	11.550	−395,958	1.0000
87	0.00054403	−0.00000150	1.000	11.550	−667,888	1.0000
88	0.00054460	−0.00000058	1.000	11.550	−1,733,616	1.0000
89	0.00054436	0.00000024	1.000	11.550	4,156,213	1.0000
90	0.00054340	0.00000096	1.000	11.550	1,041,795	1.0000
91	0.00054182	0.00000159	1.000	11.550	630,576	1.0000
合計			15.000			**14.9995**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00054182					
92	0.00053969	0.00000212	1.000	11.550	470,955	1.0000
93	0.00053712	0.00000258	1.000	11.550	388,022	1.0000
94	0.00053417	0.00000295	1.000	11.550	338,736	1.0000
95	0.00053091	0.00000325	1.000	11.550	307,404	1.0000
96	0.00052743	0.00000348	1.000	11.550	286,977	1.0000
97	0.00052378	0.00000365	1.000	11.550	273,856	1.0000
98	0.00052002	0.00000376	1.000	11.550	266,057	1.0000
99	0.00051621	0.00000381	1.000	11.550	262,443	1.0000
100	0.00051240	0.00000381	1.000	11.550	262,365	1.0000
101	0.00050863	0.00000377	1.000	11.550	265,495	1.0000
102	0.00050495	0.00000368	1.000	11.550	271,729	1.0000
103	0.00050139	0.00000356	1.000	11.550	281,155	1.0000
104	0.00049799	0.00000340	1.000	11.550	294,041	1.0000
105	0.00049477	0.00000322	1.000	11.550	310,849	1.0000
106	0.00049176	0.00000301	1.000	11.550	332,279	1.0000
合計			15.000			**15.0003**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00049176					
107	0.00048898	0.00000278	1.000	11.550	359,345	1.0000
108	0.00048644	0.00000254	1.000	11.550	393,493	1.0000
109	0.00048415	0.00000229	1.000	11.550	436,800	1.0000
110	0.00048212	0.00000203	1.000	11.550	492,306	1.0000
111	0.00048035	0.00000177	1.000	11.550	564,557	1.0000
112	0.00047883	0.00000151	1.000	11.550	660,594	1.0000
113	0.00047757	0.00000126	1.000	11.550	791,768	1.0000
114	0.00047655	0.00000102	1.000	11.550	977,347	1.0000
115	0.00047575	0.00000080	1.000	11.550	1,252,216	1.0000
116	0.00047516	0.00000059	1.000	11.550	1,685,056	1.0000
117	0.00047474	0.00000041	1.000	11.550	2,427,114	1.0000
118	0.00047449	0.00000026	1.000	11.550	3,868,627	1.0000
119	0.00047435	0.00000014	1.000	11.550	7,293,526	1.0000
120	0.00047430	0.00000005	1.000	11.550	19,199,023	1.0000
121	0.00047429	0.00000001	1.000	11.550	130,872,928	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

表 3.1-44　施工目地の目開き量算出結果（case-23）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00087924					
2	−0.00087925	0.00000001	1.000	11.550	124,409,063	1.0000
3	−0.00087930	0.00000005	1.000	11.550	18,635,514	1.0000
4	−0.00087944	0.00000014	1.000	11.550	7,259,956	1.0000
5	−0.00087969	0.00000025	1.000	11.550	3,961,061	1.0000
6	−0.00088008	0.00000039	1.000	11.550	2,564,161	1.0000
7	−0.00088063	0.00000054	1.000	11.550	1,843,256	1.0000
8	−0.00088133	0.00000070	1.000	11.550	1,424,071	1.0000
9	−0.00088219	0.00000086	1.000	11.550	1,161,114	1.0000
10	−0.00088320	0.00000101	1.000	11.550	988,366	1.0000
11	−0.00088435	0.00000115	1.000	11.550	872,634	1.0000
12	−0.00088560	0.00000126	1.000	11.550	796,218	1.0000
13	−0.00088694	0.00000133	1.000	11.550	749,705	1.0000
14	−0.00088831	0.00000137	1.000	11.550	728,948	1.0000
15	−0.00088967	0.00000136	1.000	11.550	734,216	1.0000
16	−0.00089097	0.00000130	1.000	11.550	771,350	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00089097					
17	−0.00089214	0.00000117	1.000	11.550	856,733	1.0000
18	−0.00089310	0.00000097	1.000	11.550	1,034,702	1.0000
19	−0.00089379	0.00000069	1.000	11.550	1,457,283	1.0000
20	−0.00089411	0.00000032	1.000	11.550	3,139,516	1.0000
21	−0.00089396	−0.00000014	1.000	11.550	−6,918,016	1.0000
22	−0.00089325	−0.00000071	1.000	11.550	−1,406,561	1.0000
23	−0.00089186	−0.00000139	1.000	11.550	−720,127	1.0000
24	−0.00088968	−0.00000219	1.000	11.550	−457,548	1.0000
25	−0.00088657	−0.00000311	1.000	11.550	−321,580	1.0000
26	−0.00088240	−0.00000417	1.000	11.550	−239,877	1.0000
27	−0.00087703	−0.00000537	1.000	11.550	−186,188	1.0000
28	−0.00087030	−0.00000672	1.000	11.550	−148,724	1.0000
29	−0.00086207	−0.00000824	1.000	11.550	−121,427	1.0000
30	−0.00085216	−0.00000991	1.000	11.550	−100,874	0.9999
31	−0.00084039	−0.00001176	1.000	11.550	−84,996	0.9999
合計			15.000			**14.9997**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00084039					
32	−0.00082665	−0.00001374	1.000	11.550	−72,764	0.9999
33	−0.00081102	−0.00001563	1.000	11.550	−63,975	0.9999
34	−0.00079364	−0.00001738	1.000	11.550	−57,536	0.9999
35	−0.00077464	−0.00001900	1.000	11.550	−52,635	0.9999
36	−0.00075415	−0.00002049	1.000	11.550	−48,797	0.9999
37	−0.00073229	−0.00002187	1.000	11.550	−45,725	0.9999
38	−0.00070915	−0.00002313	1.000	11.550	−43,222	0.9999
39	−0.00068486	−0.00002430	1.000	11.550	−41,155	0.9999
40	−0.00065950	−0.00002536	1.000	11.550	−39,427	0.9999
41	−0.00063317	−0.00002633	1.000	11.550	−37,971	0.9998
42	−0.00060595	−0.00002722	1.000	11.550	−36,733	0.9998
43	−0.00057792	−0.00002803	1.000	11.550	−35,676	0.9998
44	−0.00054917	−0.00002876	1.000	11.550	−34,768	0.9998
45	−0.00051975	−0.00002942	1.000	11.550	−33,985	0.9998
46	−0.00048973	−0.00003002	1.000	11.550	−33,308	0.9998
合計			15.000			**14.9980**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00048973					
47	−0.00045917	−0.00003055	1.000	11.550	−32,722	0.9998
48	−0.00042814	−0.00003104	1.000	11.550	−32,214	0.9998
49	−0.00039667	−0.00003147	1.000	11.550	−31,774	0.9998
50	−0.00036482	−0.00003185	1.000	11.550	−31,393	0.9998
51	−0.00033263	−0.00003219	1.000	11.550	−31,063	0.9998
52	−0.00030015	−0.00003248	1.000	11.550	−30,779	0.9998
53	−0.00026741	−0.00003274	1.000	11.550	−30,536	0.9998
54	−0.00023444	−0.00003296	1.000	11.550	−30,330	0.9998
55	−0.00020129	−0.00003315	1.000	11.550	−30,156	0.9998
56	−0.00016798	−0.00003331	1.000	11.550	−30,012	0.9998
57	−0.00013453	−0.00003344	1.000	11.550	−29,895	0.9998
58	−0.00010099	−0.00003355	1.000	11.550	−29,805	0.9998
59	−0.00006737	−0.00003362	1.000	11.550	−29,738	0.9998
60	−0.00003370	−0.00003367	1.000	11.550	−29,694	0.9998
61	0.00000000	−0.00003370	1.000	11.550	−29,672	0.9998
合計			15.000			**14.9972**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	0.00003370	−0.00003370	1.000	11.550	−29,672	0.9998
63	0.00006737	−0.00003367	1.000	11.550	−29,694	0.9998
64	0.00010099	−0.00003362	1.000	11.550	−29,738	0.9998
65	0.00013453	−0.00003355	1.000	11.550	−29,805	0.9998
66	0.00016798	−0.00003344	1.000	11.550	−29,895	0.9998
67	0.00020129	−0.00003331	1.000	11.550	−30,012	0.9998
68	0.00023444	−0.00003315	1.000	11.550	−30,156	0.9998
69	0.00026741	−0.00003296	1.000	11.550	−30,330	0.9998
70	0.00030015	−0.00003274	1.000	11.550	−30,536	0.9998
71	0.00033263	−0.00003248	1.000	11.550	−30,779	0.9998
72	0.00036482	−0.00003219	1.000	11.550	−31,063	0.9998
73	0.00039667	−0.00003185	1.000	11.550	−31,393	0.9998
74	0.00042814	−0.00003147	1.000	11.550	−31,774	0.9998
75	0.00045917	−0.00003104	1.000	11.550	−32,214	0.9998
76	0.00048973	−0.00003055	1.000	11.550	−32,722	0.9998
合計			15.000			**14.9972**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00048973					
77	0.00051975	−0.00003002	1.000	11.550	−33,308	0.9998
78	0.00054917	−0.00002942	1.000	11.550	−33,985	0.9998
79	0.00057792	−0.00002876	1.000	11.550	−34,768	0.9998
80	0.00060595	−0.00002803	1.000	11.550	−35,676	0.9998
81	0.00063317	−0.00002722	1.000	11.550	−36,733	0.9998
82	0.00065950	−0.00002633	1.000	11.550	−37,971	0.9998
83	0.00068486	−0.00002536	1.000	11.550	−39,427	0.9999
84	0.00070915	−0.00002430	1.000	11.550	−41,155	0.9999
85	0.00073229	−0.00002313	1.000	11.550	−43,222	0.9999
86	0.00075415	−0.00002187	1.000	11.550	−45,725	0.9999
87	0.00077464	−0.00002049	1.000	11.550	−48,797	0.9999
88	0.00079364	−0.00001900	1.000	11.550	−52,635	0.9999
89	0.00081102	−0.00001738	1.000	11.550	−57,536	0.9999
90	0.00082665	−0.00001563	1.000	11.550	−63,975	0.9999
91	0.00084039	−0.00001374	1.000	11.550	−72,764	0.9999
合計			15.000			**14.9980**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00084039					
92	0.00085216	−0.00001176	1.000	11.550	−84,996	0.9999
93	0.00086207	−0.00000991	1.000	11.550	−100,874	0.9999
94	0.00087030	−0.00000824	1.000	11.550	−121,427	1.0000
95	0.00087703	−0.00000672	1.000	11.550	−148,724	1.0000
96	0.00088240	−0.00000537	1.000	11.550	−186,188	1.0000
97	0.00088657	−0.00000417	1.000	11.550	−239,877	1.0000
98	0.00088968	−0.00000311	1.000	11.550	−321,580	1.0000
99	0.00089186	−0.00000219	1.000	11.550	−457,548	1.0000
100	0.00089325	−0.00000139	1.000	11.550	−720,127	1.0000
101	0.00089396	−0.00000071	1.000	11.550	−1,406,561	1.0000
102	0.00089411	−0.00000014	1.000	11.550	−6,918,016	1.0000
103	0.00089379	0.00000032	1.000	11.550	3,139,516	1.0000
104	0.00089310	0.00000069	1.000	11.550	1,457,283	1.0000
105	0.00089214	0.00000097	1.000	11.550	1,034,702	1.0000
106	0.00089097	0.00000117	1.000	11.550	856,733	1.0000
合計			15.000			**14.9997**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00089097					
107	0.00088967	0.00000130	1.000	11.550	771,350	1.0000
108	0.00088831	0.00000136	1.000	11.550	734,216	1.0000
109	0.00088694	0.00000137	1.000	11.550	728,948	1.0000
110	0.00088560	0.00000133	1.000	11.550	749,705	1.0000
111	0.00088435	0.00000126	1.000	11.550	796,218	1.0000
112	0.00088320	0.00000115	1.000	11.550	872,634	1.0000
113	0.00088219	0.00000101	1.000	11.550	988,366	1.0000
114	0.00088133	0.00000086	1.000	11.550	1,161,114	1.0000
115	0.00088063	0.00000070	1.000	11.550	1,424,071	1.0000
116	0.00088008	0.00000054	1.000	11.550	1,843,256	1.0000
117	0.00087969	0.00000039	1.000	11.550	2,564,161	1.0000
118	0.00087944	0.00000025	1.000	11.550	3,961,061	1.0000
119	0.00087930	0.00000014	1.000	11.550	7,259,956	1.0000
120	0.00087925	0.00000005	1.000	11.550	18,635,514	1.0000
121	0.00087924	0.00000001	1.000	11.550	124,409,063	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

表 3.1-45　施工目地の目開き量算出結果（case-24）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00093708					
2	−0.00093707	−0.00000001	1.000	11.550	−111,681,924	1.0000
3	−0.00093701	−0.00000007	1.000	11.550	−15,277,433	1.0000
4	−0.00093682	−0.00000019	1.000	11.550	−5,373,478	1.0000
5	−0.00093644	−0.00000038	1.000	11.550	−2,637,028	1.0000
6	−0.00093579	−0.00000065	1.000	11.550	−1,531,076	1.0000
7	−0.00093477	−0.00000102	1.000	11.550	−984,071	1.0000
8	−0.00093330	−0.00000148	1.000	11.550	−677,189	1.0000
9	−0.00093125	−0.00000204	1.000	11.550	−489,485	1.0000
10	−0.00092853	−0.00000272	1.000	11.550	−367,201	1.0000
11	−0.00092500	−0.00000353	1.000	11.550	−283,608	1.0000
12	−0.00092054	−0.00000446	1.000	11.550	−224,250	1.0000
13	−0.00091501	−0.00000553	1.000	11.550	−180,785	1.0000
14	−0.00090826	−0.00000675	1.000	11.550	−148,135	1.0000
15	−0.00090014	−0.00000812	1.000	11.550	−123,078	1.0000
16	−0.00089048	−0.00000966	1.000	11.550	−103,492	0.9999
合計			15.000			**14.9997**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00089048					
17	−0.00087916	−0.00001131	1.000	11.550	−88,374	0.9999
18	−0.00086629	−0.00001287	1.000	11.550	−77,707	0.9999
19	−0.00085202	−0.00001427	1.000	11.550	−70,056	0.9999
20	−0.00083648	−0.00001554	1.000	11.550	−64,352	0.9999
21	−0.00081981	−0.00001667	1.000	11.550	−59,980	0.9999
22	−0.00080213	−0.00001768	1.000	11.550	−56,562	0.9999
23	−0.00078357	−0.00001857	1.000	11.550	−53,852	0.9999
24	−0.00076422	−0.00001935	1.000	11.550	−51,683	0.9999
25	−0.00074420	−0.00002002	1.000	11.550	−49,940	0.9999
26	−0.00072360	−0.00002060	1.000	11.550	−48,539	0.9999
27	−0.00070251	−0.00002109	1.000	11.550	−47,415	0.9999
28	−0.00068102	−0.00002149	1.000	11.550	−46,524	0.9999
29	−0.00065920	−0.00002182	1.000	11.550	−45,828	0.9999
30	−0.00063713	−0.00002207	1.000	11.550	−45,299	0.9999
31	−0.00061487	−0.00002226	1.000	11.550	−44,914	0.9999
合計			15.000			**14.9984**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00061487					
32	−0.00059248	−0.00002239	1.000	11.550	−44,655	0.9999
33	−0.00057001	−0.00002247	1.000	11.550	−44,507	0.9999
34	−0.00054752	−0.00002249	1.000	11.550	−44,458	0.9999
35	−0.00052505	−0.00002247	1.000	11.550	−44,496	0.9999
36	−0.00050264	−0.00002241	1.000	11.550	−44,612	0.9999
37	−0.00048032	−0.00002232	1.000	11.550	−44,798	0.9999
38	−0.00045812	−0.00002220	1.000	11.550	−45,048	0.9999
39	−0.00043607	−0.00002205	1.000	11.550	−45,353	0.9999
40	−0.00041420	−0.00002188	1.000	11.550	−45,708	0.9999
41	−0.00039251	−0.00002169	1.000	11.550	−46,108	0.9999
42	−0.00037103	−0.00002148	1.000	11.550	−46,545	0.9999
43	−0.00034976	−0.00002127	1.000	11.550	−47,015	0.9999
44	−0.00032872	−0.00002105	1.000	11.550	−47,511	0.9999
45	−0.00030790	−0.00002082	1.000	11.550	−48,028	0.9999
46	−0.00028731	−0.00002059	1.000	11.550	−48,560	0.9999
合計			15.000			**14.9981**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	−0.00028731					
47	−0.00026695	−0.00002036	1.000	11.550	−49,101	0.9999
48	−0.00024681	−0.00002014	1.000	11.550	−49,645	0.9999
49	−0.00022688	−0.00001992	1.000	11.550	−50,185	0.9999
50	−0.00020717	−0.00001972	1.000	11.550	−50,716	0.9999
51	−0.00018765	−0.00001952	1.000	11.550	−51,231	0.9999
52	−0.00016832	−0.00001933	1.000	11.550	−51,724	0.9999
53	−0.00014916	−0.00001916	1.000	11.550	−52,189	0.9999
54	−0.00013016	−0.00001900	1.000	11.550	−52,619	0.9999
55	−0.00011129	−0.00001886	1.000	11.550	−53,010	0.9999
56	−0.00009255	−0.00001874	1.000	11.550	−53,355	0.9999
57	−0.00007392	−0.00001864	1.000	11.550	−53,651	0.9999
58	−0.00005536	−0.00001855	1.000	11.550	−53,893	0.9999
59	−0.00003687	−0.00001849	1.000	11.550	−54,078	0.9999
60	−0.00001843	−0.00001845	1.000	11.550	−54,202	0.9999
61	0.00000000	−0.00001843	1.000	11.550	−54,265	0.9999
合計			15.000			**14.9983**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00000000					
62	0.00001843	−0.00001843	1.000	11.550	−54,265	0.9999
63	0.00003687	−0.00001845	1.000	11.550	−54,202	0.9999
64	0.00005536	−0.00001849	1.000	11.550	−54,078	0.9999
65	0.00007392	−0.00001855	1.000	11.550	−53,893	0.9999
66	0.00009255	−0.00001864	1.000	11.550	−53,651	0.9999
67	0.00011129	−0.00001874	1.000	11.550	−53,355	0.9999
68	0.00013016	−0.00001886	1.000	11.550	−53,010	0.9999
69	0.00014916	−0.00001900	1.000	11.550	−52,619	0.9999
70	0.00016832	−0.00001916	1.000	11.550	−52,189	0.9999
71	0.00018765	−0.00001933	1.000	11.550	−51,724	0.9999
72	0.00020717	−0.00001952	1.000	11.550	−51,231	0.9999
73	0.00022688	−0.00001972	1.000	11.550	−50,716	0.9999
74	0.00024681	−0.00001992	1.000	11.550	−50,185	0.9999
75	0.00026695	−0.00002014	1.000	11.550	−49,645	0.9999
76	0.00028731	−0.00002036	1.000	11.550	−49,101	0.9999
合計			15.000			**14.9983**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00028731					
77	0.00030790	−0.00002059	1.000	11.550	−48,560	0.9999
78	0.00032872	−0.00002082	1.000	11.550	−48,028	0.9999
79	0.00034976	−0.00002105	1.000	11.550	−47,511	0.9999
80	0.00037103	−0.00002127	1.000	11.550	−47,015	0.9999
81	0.00039251	−0.00002148	1.000	11.550	−46,545	0.9999
82	0.00041420	−0.00002169	1.000	11.550	−46,108	0.9999
83	0.00043607	−0.00002188	1.000	11.550	−45,708	0.9999
84	0.00045812	−0.00002205	1.000	11.550	−45,353	0.9999
85	0.00048032	−0.00002220	1.000	11.550	−45,048	0.9999
86	0.00050264	−0.00002232	1.000	11.550	−44,798	0.9999
87	0.00052505	−0.00002241	1.000	11.550	−44,612	0.9999
88	0.00054752	−0.00002247	1.000	11.550	−44,496	0.9999
89	0.00057001	−0.00002249	1.000	11.550	−44,458	0.9999
90	0.00059248	−0.00002247	1.000	11.550	−44,507	0.9999
91	0.00061487	−0.00002239	1.000	11.550	−44,655	0.9999
合計			15.000			**14.9981**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00061487					
92	0.00063713	−0.00002226	1.000	11.550	−44,914	0.9999
93	0.00065920	−0.00002207	1.000	11.550	−45,299	0.9999
94	0.00068102	−0.00002182	1.000	11.550	−45,828	0.9999
95	0.00070251	−0.00002149	1.000	11.550	−46,524	0.9999
96	0.00072360	−0.00002109	1.000	11.550	−47,415	0.9999
97	0.00074420	−0.00002060	1.000	11.550	−48,539	0.9999
98	0.00076422	−0.00002002	1.000	11.550	−49,940	0.9999
99	0.00078357	−0.00001935	1.000	11.550	−51,683	0.9999
100	0.00080213	−0.00001857	1.000	11.550	−53,852	0.9999
101	0.00081981	−0.00001768	1.000	11.550	−56,562	0.9999
102	0.00083648	−0.00001667	1.000	11.550	−59,980	0.9999
103	0.00085202	−0.00001554	1.000	11.550	−64,352	0.9999
104	0.00086629	−0.00001427	1.000	11.550	−70,056	0.9999
105	0.00087916	−0.00001287	1.000	11.550	−77,707	0.9999
106	0.00089048	−0.00001131	1.000	11.550	−88,374	0.9999
合計			15.000			**14.9984**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00089048					
107	0.00090014	−0.00000966	1.000	11.550	−103,492	0.9999
108	0.00090826	−0.00000812	1.000	11.550	−123,078	1.0000
109	0.00091501	−0.00000675	1.000	11.550	−148,135	1.0000
110	0.00092054	−0.00000553	1.000	11.550	−180,785	1.0000
111	0.00092500	−0.00000446	1.000	11.550	−224,250	1.0000
112	0.00092853	−0.00000353	1.000	11.550	−283,608	1.0000
113	0.00093125	−0.00000272	1.000	11.550	−367,201	1.0000
114	0.00093330	−0.00000204	1.000	11.550	−489,485	1.0000
115	0.00093477	−0.00000148	1.000	11.550	−677,189	1.0000
116	0.00093579	−0.00000102	1.000	11.550	−984,071	1.0000
117	0.00093644	−0.00000065	1.000	11.550	−1,531,076	1.0000
118	0.00093682	−0.00000038	1.000	11.550	−2,637,028	1.0000
119	0.00093701	−0.00000019	1.000	11.550	−5,373,478	1.0000
120	0.00093707	−0.00000007	1.000	11.550	−15,277,433	1.0000
121	0.00093708	−0.00000001	1.000	11.550	−111,681,924	1.0000
合計			15.000			**14.9997**

表 3.1-46　施工目地の目開き量算出結果（case-25）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00025586					
2	0.00025585	0.00000001	1.000	11.550	115,861,436	1.0000
3	0.00025579	0.00000006	1.000	11.550	16,147,790	1.0000
4	0.00025562	0.00000017	1.000	11.550	5,790,561	1.0000
5	0.00025527	0.00000035	1.000	11.550	2,894,538	1.0000
6	0.00025469	0.00000058	1.000	11.550	1,709,919	1.0000
7	0.00025379	0.00000090	1.000	11.550	1,116,981	1.0000
8	0.00025251	0.00000128	1.000	11.550	780,430	1.0000
9	0.00025076	0.00000175	1.000	11.550	572,227	1.0000
10	0.00024846	0.00000230	1.000	11.550	435,085	1.0000
11	0.00024553	0.00000294	1.000	11.550	340,329	1.0000
12	0.00024188	0.00000364	1.000	11.550	274,554	1.0000
13	0.00023759	0.00000430	1.000	11.550	232,740	1.0000
14	0.00023271	0.00000488	1.000	11.550	205,075	1.0000
15	0.00022732	0.00000539	1.000	11.550	185,689	1.0000
16	0.00022150	0.00000583	1.000	11.550	171,584	1.0000
合計			15.000			**15.0002**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00022150					
17	0.00021529	0.00000621	1.000	11.550	161,072	1.0000
18	0.00020876	0.00000653	1.000	11.550	153,131	1.0000
19	0.00020196	0.00000680	1.000	11.550	147,108	1.0000
20	0.00019495	0.00000701	1.000	11.550	142,568	1.0000
21	0.00018776	0.00000718	1.000	11.550	139,209	1.0000
22	0.00018045	0.00000731	1.000	11.550	136,821	1.0000
23	0.00017306	0.00000739	1.000	11.550	135,249	1.0000
24	0.00016562	0.00000744	1.000	11.550	134,383	1.0000
25	0.00015816	0.00000746	1.000	11.550	134,140	1.0000
26	0.00015072	0.00000744	1.000	11.550	134,460	1.0000
27	0.00014333	0.00000739	1.000	11.550	135,300	1.0000
28	0.00013601	0.00000732	1.000	11.550	136,630	1.0000
29	0.00012879	0.00000722	1.000	11.550	138,429	1.0000
30	0.00012168	0.00000711	1.000	11.550	140,687	1.0000
31	0.00011471	0.00000697	1.000	11.550	143,398	1.0000
合計			15.000			**15.0006**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00011471					
32	0.00010788	0.00000682	1.000	11.550	146,566	1.0000
33	0.00010123	0.00000666	1.000	11.550	150,199	1.0000
34	0.00009474	0.00000648	1.000	11.550	154,310	1.0000
35	0.00008845	0.00000629	1.000	11.550	158,919	1.0000
36	0.00008236	0.00000610	1.000	11.550	164,050	1.0000
37	0.00007646	0.00000589	1.000	11.550	169,734	1.0000
38	0.00007078	0.00000568	1.000	11.550	176,007	1.0000
39	0.00006532	0.00000547	1.000	11.550	182,911	1.0000
40	0.00006007	0.00000525	1.000	11.550	190,495	1.0000
41	0.00005504	0.00000503	1.000	11.550	198,817	1.0000
42	0.00005023	0.00000481	1.000	11.550	207,942	1.0000
43	0.00004564	0.00000459	1.000	11.550	217,946	1.0000
44	0.00004127	0.00000437	1.000	11.550	228,914	1.0000
45	0.00003712	0.00000415	1.000	11.550	240,947	1.0000
46	0.00003318	0.00000393	1.000	11.550	254,158	1.0000
合計			15.000			**15.0005**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00003318					
47	0.00002946	0.00000372	1.000	11.550	268,678	1.0000
48	0.00002595	0.00000351	1.000	11.550	284,659	1.0000
49	0.00002264	0.00000331	1.000	11.550	302,276	1.0000
50	0.00001953	0.00000311	1.000	11.550	321,734	1.0000
51	0.00001662	0.00000291	1.000	11.550	343,271	1.0000
52	0.00001390	0.00000272	1.000	11.550	367,167	1.0000
53	0.00001136	0.00000254	1.000	11.550	393,749	1.0000
54	0.00000899	0.00000236	1.000	11.550	423,410	1.0000
55	0.00000680	0.00000219	1.000	11.550	456,614	1.0000
56	0.00000478	0.00000202	1.000	11.550	493,921	1.0000
57	0.00000291	0.00000187	1.000	11.550	536,008	1.0000
58	0.00000120	0.00000171	1.000	11.550	583,700	1.0000
59	−0.00000037	0.00000157	1.000	11.550	638,016	1.0000
60	−0.00000179	0.00000143	1.000	11.550	700,224	1.0000
61	−0.00000309	0.00000130	1.000	11.550	771,920	1.0000
合計			15.000			**15.0002**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	−0.00000309					
62	−0.00000426	0.00000117	1.000	11.550	855,140	1.0000
63	−0.00000531	0.00000105	1.000	11.550	952,524	1.0000
64	−0.00000625	0.00000094	1.000	11.550	1,067,549	1.0000
65	−0.00000708	0.00000083	1.000	11.550	1,204,886	1.0000
66	−0.00000781	0.00000073	1.000	11.550	1,370,956	1.0000
67	−0.00000844	0.00000063	1.000	11.550	1,574,824	1.0000
68	−0.00000899	0.00000055	1.000	11.550	1,829,705	1.0000
69	−0.00000945	0.00000046	1.000	11.550	2,155,627	1.0000
70	−0.00000984	0.00000039	1.000	11.550	2,584,448	1.0000
71	−0.00001015	0.00000032	1.000	11.550	3,170,061	1.0000
72	−0.00001040	0.00000025	1.000	11.550	4,011,361	1.0000
73	−0.00001059	0.00000019	1.000	11.550	5,311,479	1.0000
74	−0.00001072	0.00000013	1.000	11.550	7,564,022	1.0000
75	−0.00001080	0.00000008	1.000	11.550	12,360,334	1.0000
76	−0.00001084	0.00000003	1.000	11.550	29,258,251	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00001084					
77	−0.00001083	−0.00000001	1.000	11.550	−122,488,970	1.0000
78	−0.00001078	−0.00000005	1.000	11.550	−21,590,945	1.0000
79	−0.00001070	−0.00000008	1.000	11.550	−12,427,094	1.0000
80	−0.00001059	−0.00000011	1.000	11.550	−9,023,929	1.0000
81	−0.00001045	−0.00000014	1.000	11.550	−7,270,226	1.0000
82	−0.00001029	−0.00000016	1.000	11.550	−6,216,955	1.0000
83	−0.00001011	−0.00000018	1.000	11.550	−5,527,568	1.0000
84	−0.00000992	−0.00000020	1.000	11.550	−5,052,716	1.0000
85	−0.00000970	−0.00000021	1.000	11.550	−4,716,178	1.0000
86	−0.00000948	−0.00000022	1.000	11.550	−4,475,156	1.0000
87	−0.00000925	−0.00000023	1.000	11.550	−4,303,939	1.0000
88	−0.00000901	−0.00000024	1.000	11.550	−4,186,328	1.0000
89	−0.00000877	−0.00000024	1.000	11.550	−4,111,791	1.0000
90	−0.00000852	−0.00000025	1.000	11.550	−4,073,386	1.0000
91	−0.00000827	−0.00000025	1.000	11.550	−4,066,568	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00000827					
92	−0.00000803	−0.00000024	1.000	11.550	−4,088,484	1.0000
93	−0.00000779	−0.00000024	1.000	11.550	−4,137,555	1.0000
94	−0.00000755	−0.00000024	1.000	11.550	−4,213,223	1.0000
95	−0.00000732	−0.00000023	1.000	11.550	−4,315,815	1.0000
96	−0.00000709	−0.00000022	1.000	11.550	−4,446,481	1.0000
97	−0.00000688	−0.00000022	1.000	11.550	−4,607,212	1.0000
98	−0.00000667	−0.00000021	1.000	11.550	−4,800,897	1.0000
99	−0.00000647	−0.00000020	1.000	11.550	−5,031,460	1.0000
100	−0.00000628	−0.00000019	1.000	11.550	−5,304,062	1.0000
101	−0.00000610	−0.00000018	1.000	11.550	−5,625,393	1.0000
102	−0.00000594	−0.00000017	1.000	11.550	−6,004,092	1.0000
103	−0.00000578	−0.00000016	1.000	11.550	−6,451,345	1.0000
104	−0.00000564	−0.00000014	1.000	11.550	−6,981,726	1.0000
105	−0.00000551	−0.00000013	1.000	11.550	−7,614,417	1.0000
106	−0.00000539	−0.00000012	1.000	11.550	−8,375,000	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00000539					
107	−0.00000528	−0.00000011	1.000	11.550	−9,298,124	1.0000
108	−0.00000518	−0.00000010	1.000	11.550	−10,431,615	1.0000
109	−0.00000510	−0.00000008	1.000	11.550	−11,842,940	1.0000
110	−0.00000503	−0.00000007	1.000	11.550	−13,629,738	1.0000
111	−0.00000496	−0.00000006	1.000	11.550	−15,937,618	1.0000
112	−0.00000491	−0.00000005	1.000	11.550	−18,991,597	1.0000
113	−0.00000487	−0.00000004	1.000	11.550	−23,154,580	1.0000
114	−0.00000483	−0.00000003	1.000	11.550	−29,043,260	1.0000
115	−0.00000481	−0.00000003	1.000	11.550	−37,776,271	1.0000
116	−0.00000479	−0.00000002	1.000	11.550	−51,560,366	1.0000
117	−0.00000477	−0.00000001	1.000	11.550	−75,266,230	1.0000
118	−0.00000477	−0.00000001	1.000	11.550	−121,489,849	1.0000
119	−0.00000476	0.00000000	1.000	11.550	−231,775,487	1.0000
120	−0.00000476	0.00000000	1.000	11.550	−616,861,281	1.0000
121	−0.00000476	0.00000000	1.000	11.550	###########	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-47　施工目地の目開き量算出結果（case-26）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00022614					
2	0.00022614	−0.00000001	1.000	11.550	−175,284,832	1.0000
3	0.00022618	−0.00000004	1.000	11.550	−25,906,730	1.0000
4	0.00022628	−0.00000010	1.000	11.550	−9,929,889	1.0000
5	0.00022647	−0.00000019	1.000	11.550	−5,319,228	1.0000
6	0.00022676	−0.00000030	1.000	11.550	−3,373,244	1.0000
7	0.00022719	−0.00000042	1.000	11.550	−2,369,455	1.0000
8	0.00022775	−0.00000056	1.000	11.550	−1,783,403	1.0000
9	0.00022846	−0.00000071	1.000	11.550	−1,411,485	1.0000
10	0.00022932	−0.00000086	1.000	11.550	−1,161,128	1.0000
11	0.00023033	−0.00000101	1.000	11.550	−985,287	1.0000
12	0.00023150	−0.00000117	1.000	11.550	−857,999	1.0000
13	0.00023281	−0.00000131	1.000	11.550	−764,034	1.0000
14	0.00023425	−0.00000144	1.000	11.550	−694,043	1.0000
15	0.00023580	−0.00000156	1.000	11.550	−642,123	1.0000
16	0.00023746	−0.00000165	1.000	11.550	−604,528	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00023746					
17	0.00023919	−0.00000173	1.000	11.550	−578,979	1.0000
18	0.00024096	−0.00000177	1.000	11.550	−564,301	1.0000
19	0.00024274	−0.00000178	1.000	11.550	−560,318	1.0000
20	0.00024450	−0.00000176	1.000	11.550	−567,960	1.0000
21	0.00024620	−0.00000170	1.000	11.550	−589,713	1.0000
22	0.00024778	−0.00000159	1.000	11.550	−630,708	1.0000
23	0.00024921	−0.00000143	1.000	11.550	−701,439	1.0000
24	0.00025042	−0.00000121	1.000	11.550	−825,287	1.0000
25	0.00025136	−0.00000094	1.000	11.550	−1,064,663	1.0000
26	0.00025196	−0.00000060	1.000	11.550	−1,655,947	1.0000
27	0.00025217	−0.00000020	1.000	11.550	−4,972,892	1.0000
28	0.00025189	0.00000027	1.000	11.550	3,655,017	1.0000
29	0.00025107	0.00000082	1.000	11.550	1,212,621	1.0000
30	0.00024961	0.00000146	1.000	11.550	686,542	1.0000
31	0.00024744	0.00000217	1.000	11.550	460,023	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00024744					
32	0.00024449	0.00000295	1.000	11.550	338,834	1.0000
33	0.00024081	0.00000368	1.000	11.550	272,072	1.0000
34	0.00023649	0.00000432	1.000	11.550	231,413	1.0000
35	0.00023160	0.00000489	1.000	11.550	204,377	1.0000
36	0.00022620	0.00000539	1.000	11.550	185,370	1.0000
37	0.00022037	0.00000583	1.000	11.550	171,512	1.0000
38	0.00021417	0.00000620	1.000	11.550	161,172	1.0000
39	0.00020764	0.00000652	1.000	11.550	153,356	1.0000
40	0.00020086	0.00000678	1.000	11.550	147,430	1.0000
41	0.00019387	0.00000699	1.000	11.550	142,966	1.0000
42	0.00018671	0.00000716	1.000	11.550	139,672	1.0000
43	0.00017943	0.00000728	1.000	11.550	137,340	1.0000
44	0.00017206	0.00000736	1.000	11.550	135,819	1.0000
45	0.00016465	0.00000741	1.000	11.550	134,999	1.0000
46	0.00015724	0.00000742	1.000	11.550	134,801	1.0000
合計			15.000			**15.0005**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00015724					
47	0.00014984	0.00000740	1.000	11.550	135,164	1.0000
48	0.00014249	0.00000735	1.000	11.550	136,047	1.0000
49	0.00013521	0.00000728	1.000	11.550	137,419	1.0000
50	0.00012803	0.00000718	1.000	11.550	139,262	1.0000
51	0.00012096	0.00000706	1.000	11.550	141,563	1.0000
52	0.00011403	0.00000693	1.000	11.550	144,319	1.0000
53	0.00010726	0.00000678	1.000	11.550	147,533	1.0000
54	0.00010064	0.00000661	1.000	11.550	151,213	1.0000
55	0.00009421	0.00000644	1.000	11.550	155,373	1.0000
56	0.00008796	0.00000625	1.000	11.550	160,032	1.0000
57	0.00008190	0.00000605	1.000	11.550	165,213	1.0000
58	0.00007605	0.00000585	1.000	11.550	170,948	1.0000
59	0.00007041	0.00000564	1.000	11.550	177,272	1.0000
60	0.00006498	0.00000543	1.000	11.550	184,225	1.0000
61	0.00005977	0.00000521	1.000	11.550	191,857	1.0000
合計			15.000			**15.0006**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00005977					
62	0.00005478	0.00000499	1.000	11.550	200,222	1.0000
63	0.00005000	0.00000478	1.000	11.550	209,384	1.0000
64	0.00004544	0.00000456	1.000	11.550	219,416	1.0000
65	0.00004110	0.00000434	1.000	11.550	230,399	1.0000
66	0.00003698	0.00000413	1.000	11.550	242,430	1.0000
67	0.00003307	0.00000391	1.000	11.550	255,614	1.0000
68	0.00002936	0.00000370	1.000	11.550	270,075	1.0000
69	0.00002587	0.00000350	1.000	11.550	285,954	1.0000
70	0.00002257	0.00000330	1.000	11.550	303,412	1.0000
71	0.00001947	0.00000310	1.000	11.550	322,635	1.0000
72	0.00001656	0.00000291	1.000	11.550	343,835	1.0000
73	0.00001384	0.00000272	1.000	11.550	367,260	1.0000
74	0.00001130	0.00000254	1.000	11.550	393,197	1.0000
75	0.00000893	0.00000237	1.000	11.550	421,978	1.0000
76	0.00000672	0.00000220	1.000	11.550	453,994	1.0000
合計			15.000			**15.0003**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00000672					
77	0.00000468	0.00000204	1.000	11.550	489,703	1.0000
78	0.00000279	0.00000189	1.000	11.550	529,643	1.0000
79	0.00000105	0.00000174	1.000	11.550	574,455	1.0000
80	−0.00000055	0.00000160	1.000	11.550	624,900	1.0000
81	−0.00000201	0.00000147	1.000	11.550	681,891	1.0000
82	−0.00000335	0.00000134	1.000	11.550	746,530	1.0000
83	−0.00000457	0.00000122	1.000	11.550	820,153	1.0000
84	−0.00000568	0.00000111	1.000	11.550	904,394	1.0000
85	−0.00000668	0.00000100	1.000	11.550	1,001,268	1.0000
86	−0.00000758	0.00000090	1.000	11.550	1,113,281	1.0000
87	−0.00000838	0.00000080	1.000	11.550	1,243,577	1.0000
88	−0.00000910	0.00000072	1.000	11.550	1,396,145	1.0000
89	−0.00000973	0.00000063	1.000	11.550	1,576,110	1.0000
90	−0.00001029	0.00000056	1.000	11.550	1,790,130	1.0000
91	−0.00001078	0.00000049	1.000	11.550	2,047,002	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00001078					
92	−0.00001120	0.00000042	1.000	11.550	2,358,525	1.0000
93	−0.00001157	0.00000036	1.000	11.550	2,740,853	1.0000
94	−0.00001188	0.00000031	1.000	11.550	3,216,581	1.0000
95	−0.00001214	0.00000026	1.000	11.550	3,818,172	1.0000
96	−0.00001236	0.00000022	1.000	11.550	4,593,728	1.0000
97	−0.00001253	0.00000018	1.000	11.550	5,617,311	1.0000
98	−0.00001268	0.00000014	1.000	11.550	7,008,436	1.0000
99	−0.00001279	0.00000011	1.000	11.550	8,972,060	1.0000
100	−0.00001287	0.00000008	1.000	11.550	11,888,944	1.0000
101	−0.00001293	0.00000006	1.000	11.550	16,550,351	1.0000
102	−0.00001297	0.00000004	1.000	11.550	24,901,582	1.0000
103	−0.00001300	0.00000002	1.000	11.550	43,307,109	1.0000
104	−0.00001301	0.00000001	1.000	11.550	111,242,135	1.0000
105	−0.00001300	0.00000000	1.000	11.550	−420,662,959	1.0000
106	−0.00001299	−0.00000001	1.000	11.550	−88,963,217	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00001299					
107	−0.00001297	−0.00000002	1.000	11.550	−56,079,897	1.0000
108	−0.00001295	−0.00000002	1.000	11.550	−44,679,353	1.0000
109	−0.00001293	−0.00000003	1.000	11.550	−39,806,851	1.0000
110	−0.00001290	−0.00000003	1.000	11.550	−38,050,442	1.0000
111	−0.00001287	−0.00000003	1.000	11.550	−38,328,415	1.0000
112	−0.00001285	−0.00000002	1.000	11.550	−40,356,911	1.0000
113	−0.00001283	−0.00000002	1.000	11.550	−44,295,017	1.0000
114	−0.00001281	−0.00000002	1.000	11.550	−50,736,948	1.0000
115	−0.00001279	−0.00000002	1.000	11.550	−60,945,503	1.0000
116	−0.00001278	−0.00000001	1.000	11.550	−77,522,980	1.0000
117	−0.00001277	−0.00000001	1.000	11.550	−106,258,628	1.0000
118	−0.00001276	−0.00000001	1.000	11.550	−162,079,802	1.0000
119	−0.00001276	0.00000000	1.000	11.550	−293,823,817	1.0000
120	−0.00001276	0.00000000	1.000	11.550	−747,104,962	1.0000
121	−0.00001276	0.00000000	1.000	11.550	###########	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-48　施工目地の目開き量算出結果（case-27）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00002169					
2	0.00002169	0.00000000	1.000	11.550	−415,161,700	1.0000
3	0.00002171	−0.00000002	1.000	11.550	−59,737,864	1.0000
4	0.00002175	−0.00000005	1.000	11.550	−22,198,341	1.0000
5	0.00002184	−0.00000009	1.000	11.550	−11,501,068	1.0000
6	0.00002198	−0.00000014	1.000	11.550	−7,039,630	1.0000
7	0.00002219	−0.00000021	1.000	11.550	−4,762,514	1.0000
8	0.00002248	−0.00000029	1.000	11.550	−3,444,497	1.0000
9	0.00002286	−0.00000038	1.000	11.550	−2,613,060	1.0000
10	0.00002335	−0.00000049	1.000	11.550	−2,054,662	1.0000
11	0.00002395	−0.00000060	1.000	11.550	−1,661,335	1.0000
12	0.00002468	−0.00000073	1.000	11.550	−1,373,700	1.0000
13	0.00002555	−0.00000086	1.000	11.550	−1,156,903	1.0000
14	0.00002656	−0.00000101	1.000	11.550	−989,379	1.0000
15	0.00002772	−0.00000117	1.000	11.550	−857,207	1.0000
16	0.00002905	−0.00000133	1.000	11.550	−751,067	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00002905					
17	0.00003056	−0.00000150	1.000	11.550	−664,532	1.0000
18	0.00003224	−0.00000169	1.000	11.550	−593,049	1.0000
19	0.00003412	−0.00000188	1.000	11.550	−533,320	1.0000
20	0.00003619	−0.00000207	1.000	11.550	−482,911	1.0000
21	0.00003846	−0.00000227	1.000	11.550	−439,989	1.0000
22	0.00004094	−0.00000248	1.000	11.550	−403,157	1.0000
23	0.00004364	−0.00000269	1.000	11.550	−371,331	1.0000
24	0.00004655	−0.00000291	1.000	11.550	−343,663	1.0000
25	0.00004968	−0.00000313	1.000	11.550	−319,481	1.0000
26	0.00005303	−0.00000335	1.000	11.550	−298,245	1.0000
27	0.00005661	−0.00000358	1.000	11.550	−279,521	1.0000
28	0.00006041	−0.00000380	1.000	11.550	−262,954	1.0000
29	0.00006444	−0.00000403	1.000	11.550	−248,255	1.0000
30	0.00006869	−0.00000425	1.000	11.550	−235,184	1.0000
31	0.00007316	−0.00000447	1.000	11.550	−223,543	1.0000
合計			15.000			**14.9997**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00007316					
32	0.00007785	−0.00000469	1.000	11.550	−213,165	1.0000
33	0.00008276	−0.00000490	1.000	11.550	−203,915	1.0000
34	0.00008787	−0.00000511	1.000	11.550	−195,678	1.0000
35	0.00009318	−0.00000531	1.000	11.550	−188,357	1.0000
36	0.00009868	−0.00000550	1.000	11.550	−181,874	1.0000
37	0.00010435	−0.00000568	1.000	11.550	−176,165	1.0000
38	0.00011019	−0.00000584	1.000	11.550	−171,177	1.0000
39	0.00011619	−0.00000599	1.000	11.550	−166,871	1.0000
40	0.00012231	−0.00000613	1.000	11.550	−163,218	1.0000
41	0.00012855	−0.00000624	1.000	11.550	−160,200	1.0000
42	0.00013489	−0.00000634	1.000	11.550	−157,809	1.0000
43	0.00014130	−0.00000641	1.000	11.550	−156,050	1.0000
44	0.00014775	−0.00000645	1.000	11.550	−154,941	1.0000
45	0.00015422	−0.00000647	1.000	11.550	−154,514	1.0000
46	0.00016068	−0.00000646	1.000	11.550	−154,822	1.0000
合計			15.000			**14.9995**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00016068					
47	0.00016710	−0.00000641	1.000	11.550	−155,940	1.0000
48	0.00017343	−0.00000633	1.000	11.550	−157,975	1.0000
49	0.00017963	−0.00000621	1.000	11.550	−161,075	1.0000
50	0.00018568	−0.00000604	1.000	11.550	−165,451	1.0000
51	0.00019151	−0.00000583	1.000	11.550	−171,399	1.0000
52	0.00019709	−0.00000558	1.000	11.550	−179,348	1.0000
53	0.00020235	−0.00000526	1.000	11.550	−189,935	1.0000
54	0.00020725	−0.00000490	1.000	11.550	−204,149	1.0000
55	0.00021172	−0.00000447	1.000	11.550	−223,591	1.0000
56	0.00021571	−0.00000398	1.000	11.550	−251,035	1.0000
57	0.00021913	−0.00000343	1.000	11.550	−291,734	1.0000
58	0.00022193	−0.00000280	1.000	11.550	−356,963	1.0000
59	0.00022404	−0.00000210	1.000	11.550	−476,072	1.0000
60	0.00022536	−0.00000132	1.000	11.550	−756,904	1.0000
61	0.00022582	−0.00000046	1.000	11.550	−2,176,855	1.0000
合計			15.000			**14.9996**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00022582					
62	0.00022536	0.00000046	1.000	11.550	2,176,872	1.0000
63	0.00022404	0.00000132	1.000	11.550	756,915	1.0000
64	0.00022193	0.00000210	1.000	11.550	476,083	1.0000
65	0.00021913	0.00000280	1.000	11.550	356,975	1.0000
66	0.00021571	0.00000343	1.000	11.550	291,746	1.0000
67	0.00021172	0.00000398	1.000	11.550	251,046	1.0000
68	0.00020725	0.00000447	1.000	11.550	223,602	1.0000
69	0.00020235	0.00000490	1.000	11.550	204,161	1.0000
70	0.00019709	0.00000526	1.000	11.550	189,947	1.0000
71	0.00019151	0.00000558	1.000	11.550	179,359	1.0000
72	0.00018568	0.00000583	1.000	11.550	171,410	1.0000
73	0.00017963	0.00000604	1.000	11.550	165,463	1.0000
74	0.00017343	0.00000621	1.000	11.550	161,087	1.0000
75	0.00016710	0.00000633	1.000	11.550	157,986	1.0000
76	0.00016068	0.00000641	1.000	11.550	155,952	1.0000
合計			15.000			**15.0004**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00016068					
77	0.00015422	0.00000646	1.000	11.550	154,834	1.0000
78	0.00014775	0.00000647	1.000	11.550	154,526	1.0000
79	0.00014130	0.00000645	1.000	11.550	154,953	1.0000
80	0.00013489	0.00000641	1.000	11.550	156,062	1.0000
81	0.00012855	0.00000634	1.000	11.550	157,821	1.0000
82	0.00012231	0.00000624	1.000	11.550	160,212	1.0000
83	0.00011619	0.00000613	1.000	11.550	163,230	1.0000
84	0.00011019	0.00000599	1.000	11.550	166,883	1.0000
85	0.00010435	0.00000584	1.000	11.550	171,189	1.0000
86	0.00009868	0.00000568	1.000	11.550	176,176	1.0000
87	0.00009318	0.00000550	1.000	11.550	181,885	1.0000
88	0.00008787	0.00000531	1.000	11.550	188,368	1.0000
89	0.00008276	0.00000511	1.000	11.550	195,689	1.0000
90	0.00007785	0.00000490	1.000	11.550	203,927	1.0000
91	0.00007316	0.00000469	1.000	11.550	213,177	1.0000
合計			15.000			**15.0005**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00007316					
92	0.00006869	0.00000447	1.000	11.550	223,554	1.0000
93	0.00006444	0.00000425	1.000	11.550	235,196	1.0000
94	0.00006041	0.00000403	1.000	11.550	248,267	1.0000
95	0.00005661	0.00000380	1.000	11.550	262,966	1.0000
96	0.00005303	0.00000358	1.000	11.550	279,532	1.0000
97	0.00004968	0.00000335	1.000	11.550	298,256	1.0000
98	0.00004655	0.00000313	1.000	11.550	319,492	1.0000
99	0.00004364	0.00000291	1.000	11.550	343,675	1.0000
100	0.00004094	0.00000269	1.000	11.550	371,343	1.0000
101	0.00003846	0.00000248	1.000	11.550	403,168	1.0000
102	0.00003619	0.00000227	1.000	11.550	440,001	1.0000
103	0.00003412	0.00000207	1.000	11.550	482,922	1.0000
104	0.00003224	0.00000188	1.000	11.550	533,332	1.0000
105	0.00003056	0.00000169	1.000	11.550	593,060	1.0000
106	0.00002905	0.00000150	1.000	11.550	664,543	1.0000
合計			15.000			**15.0003**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00002905					
107	0.00002772	0.00000133	1.000	11.550	751,078	1.0000
108	0.00002656	0.00000117	1.000	11.550	857,218	1.0000
109	0.00002555	0.00000101	1.000	11.550	989,390	1.0000
110	0.00002468	0.00000086	1.000	11.550	1,156,913	1.0000
111	0.00002395	0.00000073	1.000	11.550	1,373,710	1.0000
112	0.00002335	0.00000060	1.000	11.550	1,661,343	1.0000
113	0.00002286	0.00000049	1.000	11.550	2,054,669	1.0000
114	0.00002248	0.00000038	1.000	11.550	2,613,064	1.0000
115	0.00002219	0.00000029	1.000	11.550	3,444,494	1.0000
116	0.00002198	0.00000021	1.000	11.550	4,762,500	1.0000
117	0.00002184	0.00000014	1.000	11.550	7,039,587	1.0000
118	0.00002175	0.00000009	1.000	11.550	11,500,921	1.0000
119	0.00002171	0.00000005	1.000	11.550	22,197,761	1.0000
120	0.00002169	0.00000002	1.000	11.550	59,733,594	1.0000
121	0.00002169	0.00000000	1.000	11.550	414,954,983	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-49　施工目地の目開き量算出結果（case-28）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00001276					
2	−0.00001276	0.00000000	1.000	11.550	4,921,259,848	1.0000
3	−0.00001276	0.00000000	1.000	11.550	746,491,496	1.0000
4	−0.00001276	0.00000000	1.000	11.550	293,720,267	1.0000
5	−0.00001277	0.00000001	1.000	11.550	162,045,670	1.0000
6	−0.00001278	0.00000001	1.000	11.550	106,246,221	1.0000
7	−0.00001279	0.00000001	1.000	11.550	77,516,381	1.0000
8	−0.00001281	0.00000002	1.000	11.550	60,941,057	1.0000
9	−0.00001283	0.00000002	1.000	11.550	50,734,129	1.0000
10	−0.00001285	0.00000002	1.000	11.550	44,293,066	1.0000
11	−0.00001287	0.00000002	1.000	11.550	40,355,294	1.0000
12	−0.00001290	0.00000003	1.000	11.550	38,326,958	1.0000
13	−0.00001293	0.00000003	1.000	11.550	38,049,005	1.0000
14	−0.00001295	0.00000003	1.000	11.550	39,805,437	1.0000
15	−0.00001297	0.00000002	1.000	11.550	44,677,568	1.0000
16	−0.00001299	0.00000002	1.000	11.550	56,077,078	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00001299					
17	−0.00001300	0.00000001	1.000	11.550	88,956,897	1.0000
18	−0.00001301	0.00000000	1.000	11.550	420,503,769	1.0000
19	−0.00001300	−0.00000001	1.000	11.550	−111,249,549	1.0000
20	−0.00001297	−0.00000002	1.000	11.550	−43,308,598	1.0000
21	−0.00001293	−0.00000004	1.000	11.550	−24,902,005	1.0000
22	−0.00001287	−0.00000006	1.000	11.550	−16,550,504	1.0000
23	−0.00001279	−0.00000008	1.000	11.550	−11,889,017	1.0000
24	−0.00001268	−0.00000011	1.000	11.550	−8,972,096	1.0000
25	−0.00001253	−0.00000014	1.000	11.550	−7,008,454	1.0000
26	−0.00001236	−0.00000018	1.000	11.550	−5,617,312	1.0000
27	−0.00001214	−0.00000022	1.000	11.550	−4,593,727	1.0000
28	−0.00001188	−0.00000026	1.000	11.550	−3,818,167	1.0000
29	−0.00001157	−0.00000031	1.000	11.550	−3,216,574	1.0000
30	−0.00001120	−0.00000036	1.000	11.550	−2,740,844	1.0000
31	−0.00001078	−0.00000042	1.000	11.550	−2,358,515	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00001078					
32	−0.00001029	−0.00000049	1.000	11.550	−2,046,991	1.0000
33	−0.00000973	−0.00000056	1.000	11.550	−1,790,120	1.0000
34	−0.00000910	−0.00000063	1.000	11.550	−1,576,099	1.0000
35	−0.00000838	−0.00000072	1.000	11.550	−1,396,134	1.0000
36	−0.00000758	−0.00000080	1.000	11.550	−1,243,565	1.0000
37	−0.00000668	−0.00000090	1.000	11.550	−1,113,270	1.0000
38	−0.00000568	−0.00000100	1.000	11.550	−1,001,257	1.0000
39	−0.00000457	−0.00000111	1.000	11.550	−904,383	1.0000
40	−0.00000335	−0.00000122	1.000	11.550	−820,142	1.0000
41	−0.00000201	−0.00000134	1.000	11.550	−746,519	1.0000
42	−0.00000055	−0.00000147	1.000	11.550	−681,880	1.0000
43	0.00000105	−0.00000160	1.000	11.550	−624,888	1.0000
44	0.00000279	−0.00000174	1.000	11.550	−574,443	1.0000
45	0.00000468	−0.00000189	1.000	11.550	−529,632	1.0000
46	0.00000672	−0.00000204	1.000	11.550	−489,691	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00000672					
47	0.00000893	−0.00000220	1.000	11.550	−453,983	1.0000
48	0.00001130	−0.00000237	1.000	11.550	−421,966	1.0000
49	0.00001384	−0.00000254	1.000	11.550	−393,185	1.0000
50	0.00001656	−0.00000272	1.000	11.550	−367,248	1.0000
51	0.00001947	−0.00000291	1.000	11.550	−343,823	1.0000
52	0.00002257	−0.00000310	1.000	11.550	−322,623	1.0000
53	0.00002587	−0.00000330	1.000	11.550	−303,401	1.0000
54	0.00002936	−0.00000350	1.000	11.550	−285,943	1.0000
55	0.00003307	−0.00000370	1.000	11.550	−270,064	1.0000
56	0.00003698	−0.00000391	1.000	11.550	−255,603	1.0000
57	0.00004110	−0.00000413	1.000	11.550	−242,418	1.0000
58	0.00004544	−0.00000434	1.000	11.550	−230,388	1.0000
59	0.00005000	−0.00000456	1.000	11.550	−219,404	1.0000
60	0.00005478	−0.00000478	1.000	11.550	−209,372	1.0000
61	0.00005977	−0.00000499	1.000	11.550	−200,210	1.0000
合計			15.000			**14.9997**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00005977					
62	0.00006498	−0.00000521	1.000	11.550	−191,845	1.0000
63	0.00007041	−0.00000543	1.000	11.550	−184,213	1.0000
64	0.00007605	−0.00000564	1.000	11.550	−177,260	1.0000
65	0.00008190	−0.00000585	1.000	11.550	−170,937	1.0000
66	0.00008796	−0.00000605	1.000	11.550	−165,202	1.0000
67	0.00009421	−0.00000625	1.000	11.550	−160,020	1.0000
68	0.00010064	−0.00000644	1.000	11.550	−155,362	1.0000
69	0.00010726	−0.00000661	1.000	11.550	−151,202	1.0000
70	0.00011403	−0.00000678	1.000	11.550	−147,522	1.0000
71	0.00012096	−0.00000693	1.000	11.550	−144,308	1.0000
72	0.00012803	−0.00000706	1.000	11.550	−141,551	1.0000
73	0.00013521	−0.00000718	1.000	11.550	−139,250	1.0000
74	0.00014249	−0.00000728	1.000	11.550	−137,408	1.0000
75	0.00014984	−0.00000735	1.000	11.550	−136,035	1.0000
76	0.00015724	−0.00000740	1.000	11.550	−135,152	1.0000
合計			15.000			**14.9994**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00015724					
77	0.00016465	−0.00000742	1.000	11.550	−134,789	1.0000
78	0.00017206	−0.00000741	1.000	11.550	−134,988	1.0000
79	0.00017943	−0.00000736	1.000	11.550	−135,807	1.0000
80	0.00018671	−0.00000728	1.000	11.550	−137,329	1.0000
81	0.00019387	−0.00000716	1.000	11.550	−139,661	1.0000
82	0.00020086	−0.00000699	1.000	11.550	−142,955	1.0000
83	0.00020764	−0.00000678	1.000	11.550	−147,418	1.0000
84	0.00021417	−0.00000652	1.000	11.550	−153,345	1.0000
85	0.00022037	−0.00000620	1.000	11.550	−161,160	1.0000
86	0.00022620	−0.00000583	1.000	11.550	−171,501	1.0000
87	0.00023160	−0.00000539	1.000	11.550	−185,359	1.0000
88	0.00023649	−0.00000489	1.000	11.550	−204,366	1.0000
89	0.00024081	−0.00000432	1.000	11.550	−231,402	1.0000
90	0.00024449	−0.00000368	1.000	11.550	−272,061	1.0000
91	0.00024744	−0.00000295	1.000	11.550	−338,823	1.0000
合計			15.000			**14.9995**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00024744					
92	0.00024961	−0.00000217	1.000	11.550	−460,012	1.0000
93	0.00025107	−0.00000146	1.000	11.550	−686,531	1.0000
94	0.00025189	−0.00000082	1.000	11.550	−1,212,609	1.0000
95	0.00025217	−0.00000027	1.000	11.550	−3,655,005	1.0000
96	0.00025196	0.00000020	1.000	11.550	4,972,903	1.0000
97	0.00025136	0.00000060	1.000	11.550	1,655,956	1.0000
98	0.00025042	0.00000094	1.000	11.550	1,064,674	1.0000
99	0.00024921	0.00000121	1.000	11.550	825,299	1.0000
100	0.00024778	0.00000143	1.000	11.550	701,451	1.0000
101	0.00024620	0.00000159	1.000	11.550	630,720	1.0000
102	0.00024450	0.00000170	1.000	11.550	589,724	1.0000
103	0.00024274	0.00000176	1.000	11.550	567,972	1.0000
104	0.00024096	0.00000178	1.000	11.550	560,329	1.0000
105	0.00023919	0.00000177	1.000	11.550	564,312	1.0000
106	0.00023746	0.00000173	1.000	11.550	578,990	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00023746					
107	0.00023580	0.00000165	1.000	11.550	604,540	1.0000
108	0.00023425	0.00000156	1.000	11.550	642,134	1.0000
109	0.00023281	0.00000144	1.000	11.550	694,054	1.0000
110	0.00023150	0.00000131	1.000	11.550	764,045	1.0000
111	0.00023033	0.00000117	1.000	11.550	858,010	1.0000
112	0.00022932	0.00000101	1.000	11.550	985,296	1.0000
113	0.00022846	0.00000086	1.000	11.550	1,161,138	1.0000
114	0.00022775	0.00000071	1.000	11.550	1,411,494	1.0000
115	0.00022719	0.00000056	1.000	11.550	1,783,411	1.0000
116	0.00022676	0.00000042	1.000	11.550	2,369,461	1.0000
117	0.00022647	0.00000030	1.000	11.550	3,373,233	1.0000
118	0.00022628	0.00000019	1.000	11.550	5,319,211	1.0000
119	0.00022618	0.00000010	1.000	11.550	9,929,901	1.0000
120	0.00022614	0.00000004	1.000	11.550	25,905,399	1.0000
121	0.00022614	0.00000001	1.000	11.550	175,254,124	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

表 3.1-50　施工目地の目開き量算出結果（case-29）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00074481					
2	0.00074479	0.00000002	1.000	11.550	47,370,920	1.0000
3	0.00074464	0.00000015	1.000	11.550	6,668,228	1.0000
4	0.00074422	0.00000041	1.000	11.550	2,416,948	1.0000
5	0.00074340	0.00000082	1.000	11.550	1,220,895	1.0000
6	0.00074203	0.00000137	1.000	11.550	728,567	1.0000
7	0.00073995	0.00000208	1.000	11.550	480,582	1.0000
8	0.00073700	0.00000295	1.000	11.550	338,934	1.0000
9	0.00073301	0.00000399	1.000	11.550	250,754	1.0000
10	0.00072781	0.00000520	1.000	11.550	192,308	1.0000
11	0.00072122	0.00000659	1.000	11.550	151,676	1.0000
12	0.00071310	0.00000812	1.000	11.550	123,188	1.0000
13	0.00070354	0.00000956	1.000	11.550	104,632	1.0001
14	0.00069268	0.00001086	1.000	11.550	92,062	1.0001
15	0.00068064	0.00001204	1.000	11.550	83,063	1.0001
16	0.00066755	0.00001309	1.000	11.550	76,373	1.0001
合計			15.000			**15.0004**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00066755					
17	0.00065351	0.00001403	1.000	11.550	71,264	1.0001
18	0.00063865	0.00001486	1.000	11.550	67,292	1.0001
19	0.00062306	0.00001559	1.000	11.550	64,165	1.0001
20	0.00060685	0.00001621	1.000	11.550	61,689	1.0001
21	0.00059011	0.00001674	1.000	11.550	59,728	1.0001
22	0.00057292	0.00001719	1.000	11.550	58,183	1.0001
23	0.00055537	0.00001755	1.000	11.550	56,982	1.0001
24	0.00053753	0.00001784	1.000	11.550	56,072	1.0001
25	0.00051948	0.00001805	1.000	11.550	55,412	1.0001
26	0.00050129	0.00001819	1.000	11.550	54,971	1.0001
27	0.00048301	0.00001828	1.000	11.550	54,725	1.0001
28	0.00046472	0.00001830	1.000	11.550	54,655	1.0001
29	0.00044645	0.00001827	1.000	11.550	54,748	1.0001
30	0.00042826	0.00001819	1.000	11.550	54,993	1.0001
31	0.00041020	0.00001806	1.000	11.550	55,381	1.0001
合計			15.000			**15.0015**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00041020					
32	0.00039231	0.00001789	1.000	11.550	55,906	1.0001
33	0.00037463	0.00001768	1.000	11.550	56,566	1.0001
34	0.00035720	0.00001744	1.000	11.550	57,356	1.0001
35	0.00034004	0.00001716	1.000	11.550	58,278	1.0001
36	0.00032318	0.00001686	1.000	11.550	59,330	1.0001
37	0.00030665	0.00001653	1.000	11.550	60,515	1.0001
38	0.00029048	0.00001617	1.000	11.550	61,835	1.0001
39	0.00027468	0.00001580	1.000	11.550	63,295	1.0001
40	0.00025927	0.00001541	1.000	11.550	64,899	1.0001
41	0.00024427	0.00001500	1.000	11.550	66,653	1.0001
42	0.00022968	0.00001459	1.000	11.550	68,565	1.0001
43	0.00021552	0.00001416	1.000	11.550	70,643	1.0001
44	0.00020180	0.00001372	1.000	11.550	72,896	1.0001
45	0.00018853	0.00001328	1.000	11.550	75,335	1.0001
46	0.00017570	0.00001283	1.000	11.550	77,972	1.0001
合計			15.000			**15.0014**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00017570					
47	0.00016333	0.00001237	1.000	11.550	80,821	1.0001
48	0.00015141	0.00001192	1.000	11.550	83,898	1.0001
49	0.00013994	0.00001147	1.000	11.550	87,219	1.0001
50	0.00012893	0.00001101	1.000	11.550	90,805	1.0001
51	0.00011837	0.00001056	1.000	11.550	94,676	1.0001
52	0.00010825	0.00001012	1.000	11.550	98,856	1.0001
53	0.00009858	0.00000967	1.000	11.550	103,373	1.0001
54	0.00008934	0.00000924	1.000	11.550	108,257	1.0001
55	0.00008053	0.00000881	1.000	11.550	113,542	1.0001
56	0.00007214	0.00000839	1.000	11.550	119,266	1.0000
57	0.00006417	0.00000797	1.000	11.550	125,471	1.0000
58	0.00005661	0.00000756	1.000	11.550	132,207	1.0000
59	0.00004944	0.00000717	1.000	11.550	139,527	1.0000
60	0.00004266	0.00000678	1.000	11.550	147,494	1.0000
61	0.00003626	0.00000640	1.000	11.550	156,177	1.0000
合計			15.000			**15.0008**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00003626					
62	0.00003022	0.00000604	1.000	11.550	165,658	1.0000
63	0.00002454	0.00000568	1.000	11.550	176,027	1.0000
64	0.00001920	0.00000534	1.000	11.550	187,390	1.0000
65	0.00001420	0.00000500	1.000	11.550	199,866	1.0000
66	0.00000952	0.00000468	1.000	11.550	213,596	1.0000
67	0.00000515	0.00000437	1.000	11.550	228,741	1.0000
68	0.00000107	0.00000407	1.000	11.550	245,489	1.0000
69	−0.00000271	0.00000379	1.000	11.550	264,059	1.0000
70	−0.00000623	0.00000351	1.000	11.550	284,711	1.0000
71	−0.00000947	0.00000325	1.000	11.550	307,749	1.0000
72	−0.00001247	0.00000300	1.000	11.550	333,537	1.0000
73	−0.00001523	0.00000276	1.000	11.550	362,509	1.0000
74	−0.00001776	0.00000253	1.000	11.550	395,186	1.0000
75	−0.00002008	0.00000231	1.000	11.550	432,204	1.0000
76	−0.00002218	0.00000211	1.000	11.550	474,336	1.0000
合計			15.000			**15.0003**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	−0.00002218					
77	−0.00002410	0.00000191	1.000	11.550	522,538	1.0000
78	−0.00002583	0.00000173	1.000	11.550	578,000	1.0000
79	−0.00002739	0.00000156	1.000	11.550	642,220	1.0000
80	−0.00002878	0.00000139	1.000	11.550	717,107	1.0000
81	−0.00003002	0.00000124	1.000	11.550	805,127	1.0000
82	−0.00003112	0.00000110	1.000	11.550	909,513	1.0000
83	−0.00003209	0.00000097	1.000	11.550	1,034,586	1.0000
84	−0.00003293	0.00000084	1.000	11.550	1,186,229	1.0000
85	−0.00003366	0.00000073	1.000	11.550	1,372,654	1.0000
86	−0.00003428	0.00000062	1.000	11.550	1,605,645	1.0000
87	−0.00003481	0.00000053	1.000	11.550	1,902,699	1.0000
88	−0.00003524	0.00000044	1.000	11.550	2,290,896	1.0000
89	−0.00003560	0.00000036	1.000	11.550	2,814,388	1.0000
90	−0.00003588	0.00000028	1.000	11.550	3,550,181	1.0000
91	−0.00003610	0.00000022	1.000	11.550	4,645,324	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00003610					
92	−0.00003625	0.00000016	1.000	11.550	6,419,253	1.0000
93	−0.00003636	0.00000010	1.000	11.550	9,719,256	1.0000
94	−0.00003641	0.00000006	1.000	11.550	17,771,717	1.0000
95	−0.00003643	0.00000002	1.000	11.550	64,101,748	1.0000
96	−0.00003641	−0.00000002	1.000	11.550	−51,435,032	1.0000
97	−0.00003636	−0.00000005	1.000	11.550	−20,332,843	1.0000
98	−0.00003628	−0.00000007	1.000	11.550	−13,524,126	1.0000
99	−0.00003619	−0.00000009	1.000	11.550	−10,633,043	1.0000
100	−0.00003608	−0.00000011	1.000	11.550	−9,106,003	1.0000
101	−0.00003596	−0.00000012	1.000	11.550	−8,225,194	1.0000
102	−0.00003583	−0.00000013	1.000	11.550	−7,713,258	1.0000
103	−0.00003570	−0.00000013	1.000	11.550	−7,443,500	1.0000
104	−0.00003556	−0.00000014	1.000	11.550	−7,353,395	1.0000
105	−0.00003542	−0.00000013	1.000	11.550	−7,412,733	1.0000
106	−0.00003529	−0.00000013	1.000	11.550	−7,610,599	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00003529					
107	−0.00003517	−0.00000013	1.000	11.550	−7,950,087	1.0000
108	−0.00003505	−0.00000012	1.000	11.550	−8,447,075	1.0000
109	−0.00003494	−0.00000011	1.000	11.550	−9,131,881	1.0000
110	−0.00003484	−0.00000010	1.000	11.550	−10,053,944	1.0000
111	−0.00003475	−0.00000009	1.000	11.550	−11,291,047	1.0000
112	−0.00003467	−0.00000008	1.000	11.550	−12,966,278	1.0000
113	−0.00003461	−0.00000007	1.000	11.550	−15,280,070	1.0000
114	−0.00003455	−0.00000005	1.000	11.550	−18,573,890	1.0000
115	−0.00003451	−0.00000004	1.000	11.550	−23,466,736	1.0000
116	−0.00003448	−0.00000003	1.000	11.550	−31,176,340	1.0000
117	−0.00003446	−0.00000002	1.000	11.550	−44,380,925	1.0000
118	−0.00003444	−0.00000001	1.000	11.550	−69,979,001	1.0000
119	−0.00003444	−0.00000001	1.000	11.550	−130,628,448	1.0000
120	−0.00003443	0.00000000	1.000	11.550	−340,761,938	1.0000
121	−0.00003443	0.00000000	1.000	11.550	###########	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-51　施工目地の目開き量算出結果（case-30）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00083646					
2	0.00083647	−0.00000001	1.000	11.550	−114,613,175	1.0000
3	0.00083653	−0.00000006	1.000	11.550	−17,059,309	1.0000
4	0.00083668	−0.00000015	1.000	11.550	−6,596,953	1.0000
5	0.00083696	−0.00000028	1.000	11.550	−3,569,001	1.0000
6	0.00083740	−0.00000044	1.000	11.550	−2,288,387	1.0000
7	0.00083801	−0.00000061	1.000	11.550	−1,627,230	1.0000
8	0.00083882	−0.00000081	1.000	11.550	−1,241,618	1.0000
9	0.00083982	−0.00000100	1.000	11.550	−997,891	1.0000
10	0.00084102	−0.00000120	1.000	11.550	−835,267	1.0000
11	0.00084240	−0.00000138	1.000	11.550	−722,932	1.0000
12	0.00084395	−0.00000155	1.000	11.550	−644,024	1.0000
13	0.00084565	−0.00000170	1.000	11.550	−588,868	1.0000
14	0.00084746	−0.00000181	1.000	11.550	−551,858	1.0000
15	0.00084935	−0.00000189	1.000	11.550	−529,976	1.0000
16	0.00085127	−0.00000192	1.000	11.550	−522,168	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00085127					
17	0.00085316	−0.00000189	1.000	11.550	−529,340	1.0000
18	0.00085496	−0.00000180	1.000	11.550	−555,103	1.0000
19	0.00085660	−0.00000164	1.000	11.550	−608,096	1.0000
20	0.00085801	−0.00000141	1.000	11.550	−708,934	1.0000
21	0.00085910	−0.00000109	1.000	11.550	−915,645	1.0000
22	0.00085979	−0.00000068	1.000	11.550	−1,467,303	1.0000
23	0.00085996	−0.00000017	1.000	11.550	−5,843,949	1.0000
24	0.00085951	0.00000045	1.000	11.550	2,238,494	1.0000
25	0.00085833	0.00000118	1.000	11.550	847,700	1.0000
26	0.00085629	0.00000204	1.000	11.550	491,323	1.0000
27	0.00085327	0.00000302	1.000	11.550	330,980	1.0000
28	0.00084913	0.00000415	1.000	11.550	241,237	1.0000
29	0.00084371	0.00000541	1.000	11.550	184,678	1.0000
30	0.00083688	0.00000684	1.000	11.550	146,254	1.0000
31	0.00082845	0.00000842	1.000	11.550	118,757	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00082845					
32	0.00081834	0.00001012	1.000	11.550	98,854	1.0001
33	0.00080663	0.00001171	1.000	11.550	85,413	1.0001
34	0.00079348	0.00001315	1.000	11.550	76,060	1.0001
35	0.00077904	0.00001444	1.000	11.550	69,241	1.0001
36	0.00076344	0.00001560	1.000	11.550	64,106	1.0001
37	0.00074681	0.00001663	1.000	11.550	60,149	1.0001
38	0.00072928	0.00001753	1.000	11.550	57,054	1.0001
39	0.00071097	0.00001831	1.000	11.550	54,610	1.0001
40	0.00069198	0.00001899	1.000	11.550	52,673	1.0001
41	0.00067242	0.00001956	1.000	11.550	51,141	1.0001
42	0.00065240	0.00002003	1.000	11.550	49,940	1.0001
43	0.00063199	0.00002040	1.000	11.550	49,016	1.0001
44	0.00061130	0.00002069	1.000	11.550	48,327	1.0001
45	0.00059039	0.00002090	1.000	11.550	47,842	1.0001
46	0.00056936	0.00002104	1.000	11.550	47,537	1.0001
合計			15.000			**15.0015**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00056936					
47	0.00054825	0.00002110	1.000	11.550	47,394	1.0001
48	0.00052715	0.00002110	1.000	11.550	47,398	1.0001
49	0.00050611	0.00002104	1.000	11.550	47,538	1.0001
50	0.00048519	0.00002092	1.000	11.550	47,807	1.0001
51	0.00046444	0.00002075	1.000	11.550	48,197	1.0001
52	0.00044391	0.00002053	1.000	11.550	48,705	1.0001
53	0.00042363	0.00002027	1.000	11.550	49,328	1.0001
54	0.00040366	0.00001998	1.000	11.550	50,065	1.0001
55	0.00038402	0.00001964	1.000	11.550	50,915	1.0001
56	0.00036474	0.00001928	1.000	11.550	51,879	1.0001
57	0.00034585	0.00001888	1.000	11.550	52,959	1.0001
58	0.00032739	0.00001847	1.000	11.550	54,158	1.0001
59	0.00030936	0.00001803	1.000	11.550	55,480	1.0001
60	0.00029179	0.00001757	1.000	11.550	56,930	1.0001
61	0.00027470	0.00001709	1.000	11.550	58,512	1.0001
合計			15.000			**15.0017**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00027470					
62	0.00025810	0.00001660	1.000	11.550	60,235	1.0001
63	0.00024199	0.00001610	1.000	11.550	62,105	1.0001
64	0.00022640	0.00001559	1.000	11.550	64,131	1.0001
65	0.00021132	0.00001508	1.000	11.550	66,323	1.0001
66	0.00019676	0.00001456	1.000	11.550	68,692	1.0001
67	0.00018273	0.00001404	1.000	11.550	71,251	1.0001
68	0.00016921	0.00001351	1.000	11.550	74,015	1.0001
69	0.00015623	0.00001299	1.000	11.550	76,997	1.0001
70	0.00014376	0.00001247	1.000	11.550	80,217	1.0001
71	0.00013181	0.00001195	1.000	11.550	83,694	1.0001
72	0.00012037	0.00001144	1.000	11.550	87,449	1.0001
73	0.00010944	0.00001093	1.000	11.550	91,508	1.0001
74	0.00009902	0.00001043	1.000	11.550	95,898	1.0001
75	0.00008908	0.00000994	1.000	11.550	100,649	1.0001
76	0.00007963	0.00000945	1.000	11.550	105,797	1.0001
合計			15.000			**15.0011**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00007963					
77	0.00007065	0.00000898	1.000	11.550	111,380	1.0001
78	0.00006213	0.00000852	1.000	11.550	117,442	1.0000
79	0.00005407	0.00000806	1.000	11.550	124,033	1.0000
80	0.00004645	0.00000762	1.000	11.550	131,209	1.0000
81	0.00003926	0.00000719	1.000	11.550	139,035	1.0000
82	0.00003248	0.00000678	1.000	11.550	147,581	1.0000
83	0.00002611	0.00000637	1.000	11.550	156,933	1.0000
84	0.00002013	0.00000598	1.000	11.550	167,184	1.0000
85	0.00001452	0.00000560	1.000	11.550	178,443	1.0000
86	0.00000928	0.00000524	1.000	11.550	190,837	1.0000
87	0.00000439	0.00000489	1.000	11.550	204,510	1.0000
88	−0.00000016	0.00000455	1.000	11.550	219,632	1.0000
89	−0.00000439	0.00000423	1.000	11.550	236,399	1.0000
90	−0.00000831	0.00000392	1.000	11.550	255,042	1.0000
91	−0.00001194	0.00000363	1.000	11.550	275,832	1.0000
合計			15.000			**15.0005**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	−0.00001194					
92	−0.00001528	0.00000334	1.000	11.550	299,091	1.0000
93	−0.00001836	0.00000308	1.000	11.550	325,198	1.0000
94	−0.00002118	0.00000282	1.000	11.550	354,609	1.0000
95	−0.00002375	0.00000258	1.000	11.550	387,873	1.0000
96	−0.00002610	0.00000235	1.000	11.550	425,651	1.0000
97	−0.00002824	0.00000213	1.000	11.550	468,750	1.0000
98	−0.00003017	0.00000193	1.000	11.550	518,162	1.0000
99	−0.00003191	0.00000174	1.000	11.550	575,113	1.0000
100	−0.00003347	0.00000156	1.000	11.550	641,133	1.0000
101	−0.00003486	0.00000139	1.000	11.550	718,153	1.0000
102	−0.00003610	0.00000124	1.000	11.550	808,628	1.0000
103	−0.00003719	0.00000109	1.000	11.550	915,724	1.0000
104	−0.00003815	0.00000096	1.000	11.550	1,043,571	1.0000
105	−0.00003898	0.00000083	1.000	11.550	1,197,632	1.0000
106	−0.00003970	0.00000072	1.000	11.550	1,385,250	1.0000
合計			15.000			**15.0002**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	−0.00003970					
107	−0.00004032	0.00000062	1.000	11.550	1,616,467	1.0000
108	−0.00004085	0.00000052	1.000	11.550	1,905,294	1.0000
109	−0.00004129	0.00000044	1.000	11.550	2,271,728	1.0000
110	−0.00004165	0.00000036	1.000	11.550	2,745,059	1.0000
111	−0.00004195	0.00000030	1.000	11.550	3,369,522	1.0000
112	−0.00004218	0.00000024	1.000	11.550	4,214,342	1.0000
113	−0.00004237	0.00000019	1.000	11.550	5,392,618	1.0000
114	−0.00004251	0.00000014	1.000	11.550	7,099,032	1.0000
115	−0.00004261	0.00000010	1.000	11.550	9,691,327	1.0000
116	−0.00004269	0.00000007	1.000	11.550	13,884,479	1.0000
117	−0.00004273	0.00000005	1.000	11.550	21,277,054	1.0000
118	−0.00004276	0.00000003	1.000	11.550	36,056,831	1.0000
119	−0.00004277	0.00000001	1.000	11.550	72,214,686	1.0000
120	−0.00004278	0.00000000	1.000	11.550	201,612,909	1.0000
121	−0.00004278	0.00000000	1.000	11.550	1,448,435,695	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

表 3.1-52　施工目地の目開き量算出結果（case-31）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	0.00020451					
2	0.00020452	−0.00000001	1.000	11.550	−132,450,325	1.0000
3	0.00020457	−0.00000005	1.000	11.550	−19,133,990	1.0000
4	0.00020471	−0.00000014	1.000	11.550	−7,141,627	1.0000
5	0.00020498	−0.00000027	1.000	11.550	−3,717,301	1.0000
6	0.00020542	−0.00000044	1.000	11.550	−2,286,200	1.0000
7	0.00020606	−0.00000064	1.000	11.550	−1,554,274	1.0000
8	0.00020695	−0.00000089	1.000	11.550	−1,129,786	1.0000
9	0.00020811	−0.00000116	1.000	11.550	−861,485	1.0000
10	0.00020958	−0.00000147	1.000	11.550	−680,951	1.0000
11	0.00021138	−0.00000181	1.000	11.550	−553,552	1.0000
12	0.00021356	−0.00000217	1.000	11.550	−460,222	1.0000
13	0.00021612	−0.00000257	1.000	11.550	−389,756	1.0000
14	0.00021911	−0.00000298	1.000	11.550	−335,217	1.0000
15	0.00022253	−0.00000342	1.000	11.550	−292,121	1.0000
16	0.00022641	−0.00000388	1.000	11.550	−257,463	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	0.00022641					
17	0.00023078	−0.00000436	1.000	11.550	−229,167	1.0000
18	0.00023564	−0.00000486	1.000	11.550	−205,765	1.0000
19	0.00024101	−0.00000537	1.000	11.550	−186,190	1.0000
20	0.00024690	−0.00000589	1.000	11.550	−169,652	1.0000
21	0.00025333	−0.00000643	1.000	11.550	−155,560	1.0000
22	0.00026030	−0.00000697	1.000	11.550	−143,460	1.0000
23	0.00026782	−0.00000752	1.000	11.550	−133,000	1.0000
24	0.00027589	−0.00000807	1.000	11.550	−123,906	1.0000
25	0.00028451	−0.00000862	1.000	11.550	−115,958	1.0000
26	0.00029369	−0.00000918	1.000	11.550	−108,982	0.9999
27	0.00030341	−0.00000972	1.000	11.550	−102,837	0.9999
28	0.00031368	−0.00001027	1.000	11.550	−97,408	0.9999
29	0.00032448	−0.00001080	1.000	11.550	−92,601	0.9999
30	0.00033579	−0.00001132	1.000	11.550	−88,338	0.9999
31	0.00034762	−0.00001183	1.000	11.550	−84,555	0.9999
合計			15.000			**14.9993**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	0.00034762					
32	0.00035993	−0.00001231	1.000	11.550	−81,199	0.9999
33	0.00037272	−0.00001278	1.000	11.550	−78,226	0.9999
34	0.00038594	−0.00001323	1.000	11.550	−75,600	0.9999
35	0.00039959	−0.00001364	1.000	11.550	−73,291	0.9999
36	0.00041362	−0.00001403	1.000	11.550	−71,274	0.9999
37	0.00042800	−0.00001438	1.000	11.550	−69,531	0.9999
38	0.00044269	−0.00001469	1.000	11.550	−68,046	0.9999
39	0.00045766	−0.00001497	1.000	11.550	−66,809	0.9999
40	0.00047285	−0.00001519	1.000	11.550	−65,814	0.9999
41	0.00048822	−0.00001537	1.000	11.550	−65,058	0.9999
42	0.00050371	−0.00001549	1.000	11.550	−64,543	0.9999
43	0.00051927	−0.00001556	1.000	11.550	−64,276	0.9999
44	0.00053483	−0.00001556	1.000	11.550	−64,270	0.9999
45	0.00055032	−0.00001549	1.000	11.550	−64,544	0.9999
46	0.00056567	−0.00001535	1.000	11.550	−65,124	0.9999
合計			15.000			**14.9987**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00056567					
47	0.00058081	−0.00001514	1.000	11.550	−66,050	0.9999
48	0.00059565	−0.00001484	1.000	11.550	−67,373	0.9999
49	0.00061011	−0.00001446	1.000	11.550	−69,165	0.9999
50	0.00062409	−0.00001398	1.000	11.550	−71,525	0.9999
51	0.00063750	−0.00001341	1.000	11.550	−74,593	0.9999
52	0.00065022	−0.00001273	1.000	11.550	−78,570	0.9999
53	0.00066216	−0.00001194	1.000	11.550	−83,755	0.9999
54	0.00067320	−0.00001104	1.000	11.550	−90,606	0.9999
55	0.00068321	−0.00001001	1.000	11.550	−99,868	0.9999
56	0.00069207	−0.00000886	1.000	11.550	−112,832	0.9999
57	0.00069965	−0.00000758	1.000	11.550	−131,938	1.0000
58	0.00070581	−0.00000616	1.000	11.550	−162,421	1.0000
59	0.00071040	−0.00000459	1.000	11.550	−217,907	1.0000
60	0.00071327	−0.00000287	1.000	11.550	−348,450	1.0000
61	0.00071426	−0.00000099	1.000	11.550	−1,007,306	1.0000
合計			15.000			**14.9991**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00071426					
62	0.00071327	0.00000099	1.000	11.550	1,007,318	1.0000
63	0.00071040	0.00000287	1.000	11.550	348,462	1.0000
64	0.00070581	0.00000459	1.000	11.550	217,919	1.0000
65	0.00069965	0.00000616	1.000	11.550	162,433	1.0000
66	0.00069207	0.00000758	1.000	11.550	131,950	1.0000
67	0.00068321	0.00000886	1.000	11.550	112,844	1.0001
68	0.00067320	0.00001001	1.000	11.550	99,880	1.0001
69	0.00066216	0.00001104	1.000	11.550	90,617	1.0001
70	0.00065022	0.00001194	1.000	11.550	83,766	1.0001
71	0.00063750	0.00001273	1.000	11.550	78,582	1.0001
72	0.00062409	0.00001341	1.000	11.550	74,605	1.0001
73	0.00061011	0.00001398	1.000	11.550	71,536	1.0001
74	0.00059565	0.00001446	1.000	11.550	69,176	1.0001
75	0.00058081	0.00001484	1.000	11.550	67,384	1.0001
76	0.00056567	0.00001514	1.000	11.550	66,061	1.0001
合計			15.000			**15.0009**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00056567					
77	0.00055032	0.00001535	1.000	11.550	65,136	1.0001
78	0.00053483	0.00001549	1.000	11.550	64,555	1.0001
79	0.00051927	0.00001556	1.000	11.550	64,282	1.0001
80	0.00050371	0.00001556	1.000	11.550	64,288	1.0001
81	0.00048822	0.00001549	1.000	11.550	64,555	1.0001
82	0.00047285	0.00001537	1.000	11.550	65,070	1.0001
83	0.00045766	0.00001519	1.000	11.550	65,826	1.0001
84	0.00044269	0.00001497	1.000	11.550	66,821	1.0001
85	0.00042800	0.00001469	1.000	11.550	68,058	1.0001
86	0.00041362	0.00001438	1.000	11.550	69,542	1.0001
87	0.00039959	0.00001403	1.000	11.550	71,286	1.0001
88	0.00038594	0.00001364	1.000	11.550	73,302	1.0001
89	0.00037272	0.00001323	1.000	11.550	75,612	1.0001
90	0.00035993	0.00001278	1.000	11.550	78,238	1.0001
91	0.00034762	0.00001231	1.000	11.550	81,210	1.0001
合計			15.000			**15.0013**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00034762					
92	0.00033579	0.00001183	1.000	11.550	84,566	1.0001
93	0.00032448	0.00001132	1.000	11.550	88,349	1.0001
94	0.00031368	0.00001080	1.000	11.550	92,613	1.0001
95	0.00030341	0.00001027	1.000	11.550	97,420	1.0001
96	0.00029369	0.00000972	1.000	11.550	102,849	1.0001
97	0.00028451	0.00000918	1.000	11.550	108,994	1.0001
98	0.00027589	0.00000862	1.000	11.550	115,970	1.0000
99	0.00026782	0.00000807	1.000	11.550	123,917	1.0000
100	0.00026030	0.00000752	1.000	11.550	133,012	1.0000
101	0.00025333	0.00000697	1.000	11.550	143,471	1.0000
102	0.00024690	0.00000643	1.000	11.550	155,572	1.0000
103	0.00024101	0.00000589	1.000	11.550	169,664	1.0000
104	0.00023564	0.00000537	1.000	11.550	186,201	1.0000
105	0.00023078	0.00000486	1.000	11.550	205,777	1.0000
106	0.00022641	0.00000436	1.000	11.550	229,179	1.0000
合計			15.000			**15.0007**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00022641					
107	0.00022253	0.00000388	1.000	11.550	257,474	1.0000
108	0.00021911	0.00000342	1.000	11.550	292,132	1.0000
109	0.00021612	0.00000298	1.000	11.550	335,229	1.0000
110	0.00021356	0.00000257	1.000	11.550	389,767	1.0000
111	0.00021138	0.00000217	1.000	11.550	460,233	1.0000
112	0.00020958	0.00000181	1.000	11.550	553,563	1.0000
113	0.00020811	0.00000147	1.000	11.550	680,962	1.0000
114	0.00020695	0.00000116	1.000	11.550	861,494	1.0000
115	0.00020606	0.00000089	1.000	11.550	1,129,794	1.0000
116	0.00020542	0.00000064	1.000	11.550	1,554,278	1.0000
117	0.00020498	0.00000044	1.000	11.550	2,286,196	1.0000
118	0.00020471	0.00000027	1.000	11.550	3,717,271	1.0000
119	0.00020457	0.00000014	1.000	11.550	7,141,435	1.0000
120	0.00020452	0.00000005	1.000	11.550	19,132,903	1.0000
121	0.00020451	0.00000001	1.000	11.550	132,397,729	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

表 3.1-53　施工目地の目開き量算出結果（case-32）

0～15m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
1	−0.00004278					
2	−0.00004278	0.00000000	1.000	11.550	###########	1.0000
3	−0.00004277	0.00000000	1.000	11.550	−201,747.124	1.0000
4	−0.00004276	−0.00000001	1.000	11.550	−72,231.366	1.0000
5	−0.00004273	−0.00000003	1.000	11.550	−36,060.981	1.0000
6	−0.00004269	−0.00000005	1.000	11.550	−21,278.446	1.0000
7	−0.00004261	−0.00000007	1.000	11.550	−13,885.045	1.0000
8	−0.00004251	−0.00000010	1.000	11.550	−9,691.607	1.0000
9	−0.00004237	−0.00000014	1.000	11.550	−7,099.171	1.0000
10	−0.00004218	−0.00000019	1.000	11.550	−5,392.690	1.0000
11	−0.00004195	−0.00000024	1.000	11.550	−4,214.382	1.0000
12	−0.00004165	−0.00000030	1.000	11.550	−3,369.542	1.0000
13	−0.00004129	−0.00000036	1.000	11.550	−2,745.069	1.0000
14	−0.00004085	−0.00000044	1.000	11.550	−2,271.730	1.0000
15	−0.00004032	−0.00000052	1.000	11.550	−1,905.292	1.0000
16	−0.00003970	−0.00000062	1.000	11.550	−1,616.462	1.0000
合計			15.000			**15.0000**

15～30m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
16	−0.00003970					
17	−0.00003898	−0.00000072	1.000	11.550	−1,385.243	1.0000
18	−0.00003815	−0.00000083	1.000	11.550	−1,197.624	1.0000
19	−0.00003719	−0.00000096	1.000	11.550	−1,043.562	1.0000
20	−0.00003610	−0.00000109	1.000	11.550	−915.714	1.0000
21	−0.00003486	−0.00000124	1.000	11.550	−808.618	1.0000
22	−0.00003347	−0.00000139	1.000	11.550	−718.142	1.0000
23	−0.00003191	−0.00000156	1.000	11.550	−641.123	1.0000
24	−0.00003017	−0.00000174	1.000	11.550	−575.102	1.0000
25	−0.00002824	−0.00000193	1.000	11.550	−518.151	1.0000
26	−0.00002610	−0.00000213	1.000	11.550	−468.739	1.0000
27	−0.00002375	−0.00000235	1.000	11.550	−425.639	1.0000
28	−0.00002118	−0.00000258	1.000	11.550	−387.861	1.0000
29	−0.00001836	−0.00000282	1.000	11.550	−354.598	1.0000
30	−0.00001528	−0.00000308	1.000	11.550	−325.186	1.0000
31	−0.00001194	−0.00000334	1.000	11.550	−299.079	1.0000
合計			15.000			**14.9998**

30～45m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
31	−0.00001194					
32	−0.00000831	−0.00000363	1.000	11.550	−275.821	1.0000
33	−0.00000439	−0.00000392	1.000	11.550	−255.031	1.0000
34	−0.00000016	−0.00000423	1.000	11.550	−236.387	1.0000
35	0.00000439	−0.00000455	1.000	11.550	−219.620	1.0000
36	0.00000928	−0.00000489	1.000	11.550	−204.498	1.0000
37	0.00001452	−0.00000524	1.000	11.550	−190.825	1.0000
38	0.00002013	−0.00000560	1.000	11.550	−178.432	1.0000
39	0.00002611	−0.00000598	1.000	11.550	−167.172	1.0000
40	0.00003248	−0.00000637	1.000	11.550	−156.921	1.0000
41	0.00003926	−0.00000678	1.000	11.550	−147.570	1.0000
42	0.00004645	−0.00000719	1.000	11.550	−139.023	1.0000
43	0.00005407	−0.00000762	1.000	11.550	−131.198	1.0000
44	0.00006213	−0.00000806	1.000	11.550	−124.022	1.0000
45	0.00007065	−0.00000852	1.000	11.550	−117.430	1.0000
46	0.00007963	−0.00000898	1.000	11.550	−111.368	0.9999
合計			15.000			**14.9995**

45～60m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
46	0.00007963					
47	0.00008908	−0.00000945	1.000	11.550	−105.785	0.9999
48	0.00009902	−0.00000994	1.000	11.550	−100.638	0.9999
49	0.00010944	−0.00001043	1.000	11.550	−95.886	0.9999
50	0.00012037	−0.00001093	1.000	11.550	−91.497	0.9999
51	0.00013181	−0.00001144	1.000	11.550	−87.438	0.9999
52	0.00014376	−0.00001195	1.000	11.550	−83.682	0.9999
53	0.00015623	−0.00001247	1.000	11.550	−80.206	0.9999
54	0.00016921	−0.00001299	1.000	11.550	−76.986	0.9999
55	0.00018273	−0.00001351	1.000	11.550	−74.003	0.9999
56	0.00019676	−0.00001404	1.000	11.550	−71.240	0.9999
57	0.00021132	−0.00001456	1.000	11.550	−68.681	0.9999
58	0.00022640	−0.00001508	1.000	11.550	−66.311	0.9999
59	0.00024199	−0.00001559	1.000	11.550	−64.119	0.9999
60	0.00025810	−0.00001610	1.000	11.550	−62.093	0.9999
61	0.00027470	−0.00001660	1.000	11.550	−60.223	0.9999
合計			15.000			**14.9989**

60～75m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
61	0.00027470					
62	0.00029179	−0.00001709	1.000	11.550	−58,501	0.9999
63	0.00030936	−0.00001757	1.000	11.550	−56,918	0.9999
64	0.00032739	−0.00001803	1.000	11.550	−55,469	0.9999
65	0.00034585	−0.00001847	1.000	11.550	−54,147	0.9999
66	0.00036474	−0.00001888	1.000	11.550	−52,948	0.9999
67	0.00038402	−0.00001928	1.000	11.550	−51,867	0.9999
68	0.00040366	−0.00001964	1.000	11.550	−50,903	0.9999
69	0.00042363	−0.00001998	1.000	11.550	−50,053	0.9999
70	0.00044391	−0.00002027	1.000	11.550	−49,317	0.9999
71	0.00046444	−0.00002053	1.000	11.550	−48,694	0.9999
72	0.00048519	−0.00002075	1.000	11.550	−48,185	0.9999
73	0.00050611	−0.00002092	1.000	11.550	−47,795	0.9999
74	0.00052715	−0.00002104	1.000	11.550	−47,527	0.9999
75	0.00054825	−0.00002110	1.000	11.550	−47,386	0.9999
76	0.00056936	−0.00002110	1.000	11.550	−47,382	0.9999
合計			15.000			**14.9983**

75～90m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
76	0.00056936					
77	0.00059039	−0.00002104	1.000	11.550	−47,526	0.9999
78	0.00061130	−0.00002090	1.000	11.550	−47,830	0.9999
79	0.00063199	−0.00002069	1.000	11.550	−48,315	0.9999
80	0.00065240	−0.00002040	1.000	11.550	−49,004	0.9999
81	0.00067242	−0.00002003	1.000	11.550	−49,929	0.9999
82	0.00069198	−0.00001956	1.000	11.550	−51,130	0.9999
83	0.00071097	−0.00001899	1.000	11.550	−52,662	0.9999
84	0.00072928	−0.00001831	1.000	11.550	−54,599	0.9999
85	0.00074681	−0.00001753	1.000	11.550	−57,043	0.9999
86	0.00076344	−0.00001663	1.000	11.550	−60,138	0.9999
87	0.00077904	−0.00001560	1.000	11.550	−64,094	0.9999
88	0.00079348	−0.00001444	1.000	11.550	−69,230	0.9999
89	0.00080663	−0.00001315	1.000	11.550	−76,049	0.9999
90	0.00081834	−0.00001171	1.000	11.550	−85,402	0.9999
91	0.00082845	−0.00001012	1.000	11.550	−98,842	0.9999
合計			15.000			**14.9985**

90～105m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
91	0.00082845					
92	0.00083688	−0.00000842	1.000	11.550	−118,745	1.0000
93	0.00084371	−0.00000684	1.000	11.550	−146,243	1.0000
94	0.00084913	−0.00000541	1.000	11.550	−184,667	1.0000
95	0.00085327	−0.00000415	1.000	11.550	−241,225	1.0000
96	0.00085629	−0.00000302	1.000	11.550	−330,968	1.0000
97	0.00085833	−0.00000204	1.000	11.550	−491,312	1.0000
98	0.00085951	−0.00000118	1.000	11.550	−847,690	1.0000
99	0.00085996	−0.00000045	1.000	11.550	−2,238,488	1.0000
100	0.00085979	0.00000017	1.000	11.550	5,843,858	1.0000
101	0.00085910	0.00000068	1.000	11.550	1,467,310	1.0000
102	0.00085801	0.00000109	1.000	11.550	915,654	1.0000
103	0.00085660	0.00000141	1.000	11.550	708,944	1.0000
104	0.00085496	0.00000164	1.000	11.550	608,107	1.0000
105	0.00085316	0.00000180	1.000	11.550	555,113	1.0000
106	0.00085127	0.00000189	1.000	11.550	529,351	1.0000
合計			15.000			**14.9999**

105～120m

節点番号	回転角φ (rad)	θ＝φi－φi+1 (rad)	要素長 L0(m)	躯体高さ H(m)	扇形の半径R (m)	扇形の弧長L (m)
106	0.00085127					
107	0.00084935	0.00000192	1.000	11.550	522,179	1.0000
108	0.00084746	0.00000189	1.000	11.550	529,986	1.0000
109	0.00084565	0.00000181	1.000	11.550	551,868	1.0000
110	0.00084395	0.00000170	1.000	11.550	588,878	1.0000
111	0.00084240	0.00000155	1.000	11.550	644,034	1.0000
112	0.00084102	0.00000138	1.000	11.550	722,942	1.0000
113	0.00083982	0.00000120	1.000	11.550	835,277	1.0000
114	0.00083882	0.00000100	1.000	11.550	997,899	1.0000
115	0.00083801	0.00000081	1.000	11.550	1,241,625	1.0000
116	0.00083740	0.00000061	1.000	11.550	1,627,234	1.0000
117	0.00083696	0.00000044	1.000	11.550	2,288,377	1.0000
118	0.00083668	0.00000028	1.000	11.550	3,568,987	1.0000
119	0.00083653	0.00000015	1.000	11.550	6,596,791	1.0000
120	0.00083647	0.00000006	1.000	11.550	17,058,448	1.0000
121	0.00083646	0.00000001	1.000	11.550	114,573,791	1.0000
合計			15.000			**15.0001**

3.2　光ファイバセンサー技術の耐久性評価

光ファイバセンサー技術は、ひずみゲージなどの電気式センサー技術と異なり、センサー部に電気供給が不要なこと、錆びないことなどから、長期計測に資する高い耐久性が期待される。しかし、光ファイバの用途は通信が主であるため、これまでに架空線利用などを想定した温度・湿度（水分）・応力に対する耐久性の検討は数多くあるものの、センサー用途を対象とした耐久性の検討については充分なされていなかった。

そこで、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試験的に得ることとした。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）[39]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、光ファイバセンサー技術の耐久性評価のための試験に着手したので、その詳細について記載する。

3.2.1　耐久性評価の概要

通信用光ファイバにおいては、ケーブル（二次被覆、シース含む）の耐久性に加えて、光ファイバの破断確率による設計寿命も加味されている[40]。ケーブルの劣化はその使用環境に左右され、シース材料（ポリエチレン、耐燃性ポリエチレン、ビニル、ラミネートシースなど）によっても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素線（外径 250μm）で耐久性を評価することとした。一般的な通信用光ファイバ（単芯）の構成例を図 3.2-1 に示す。

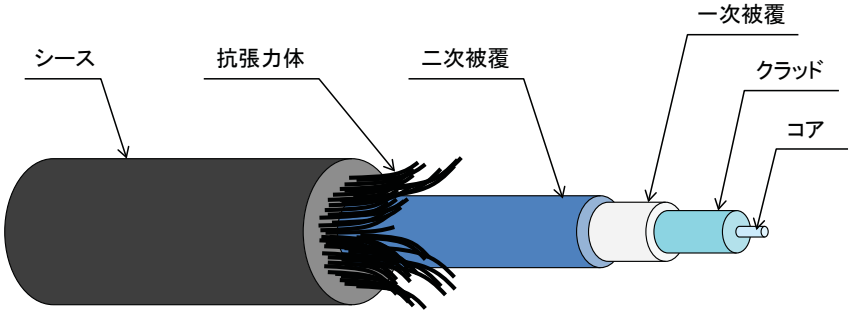


図 3.2-1　光ファイバの構成例

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 3.2-2 に示す。

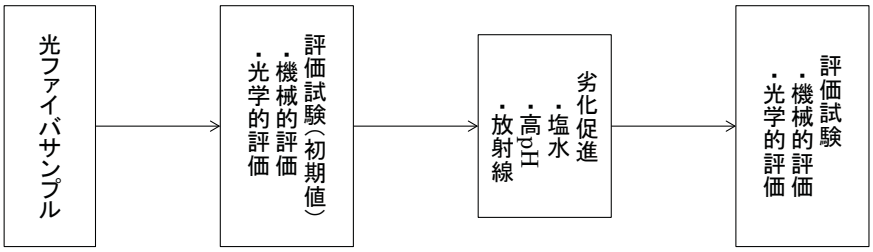


図 3.2-2　評価試験のフロー

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。

3.2.2　評価試験方法

(1) 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 3.2-1 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[41]、[42]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[43]、[44]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 250μm）で行う。各タイプの光ファイバの構成イメージを図 3.2-3 に、サンプルの外観を図 3.2-4～図 3.2-6 にそれぞれ示す。

表 3.2-1　光ファイバのサンプル

No.	タイプ	メーカ	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 3.2-3　各タイプの光ファイバ構成イメージ

図 3.2-4　光ファイバサンプル No.1

図 3.2-5　光ファイバサンプル No.2

図 3.2-6　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 3.2-2 に示す。

表 3.2-2　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±0.4μm @1310nm 10.4±0.5μm @1550nm	8.9±0.5μm @1310nm 10.0±0.5μm @1550nm	8.6±0.7μm @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±0.7μm	125±1μm	125±2μm
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±5μm	250±10μm	245±10μm
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℃

(2) 劣化促進

劣化促進パラメータを表 3.2-3 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 3.2-3　劣化促進パラメータ

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℃）	10 日	50 日	100 日
放射線	200Gy/h を照射	5h	25h	50h

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[45]。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[46]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[47]などから本条件とする。使用する恒温槽の外観と仕様を図 3.2-7 と表 3.2-4 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[48]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[49]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。

$$0.3\mathrm{M\ KOH} + 0.2\mathrm{M\ NaOH} + 0.0005\mathrm{M}(0.5\mathrm{mM})\ \mathrm{Ca(OH)^2} \qquad (3.2\text{-}1)$$

図 3.2-7　恒温槽

表 3.2-4　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[45]。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[43]、[44]、[50]と図 3.2-8 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）によれば放射線の減衰が 2×10^{-3} 程度期待される[51]（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 3（照射 50 時間）は、約 1000 年に相当すると考えらえる。

使用するガンマ線照射装置の外観と仕様を図 3.2-9 と表 3.2-5 にそれぞれ示す。

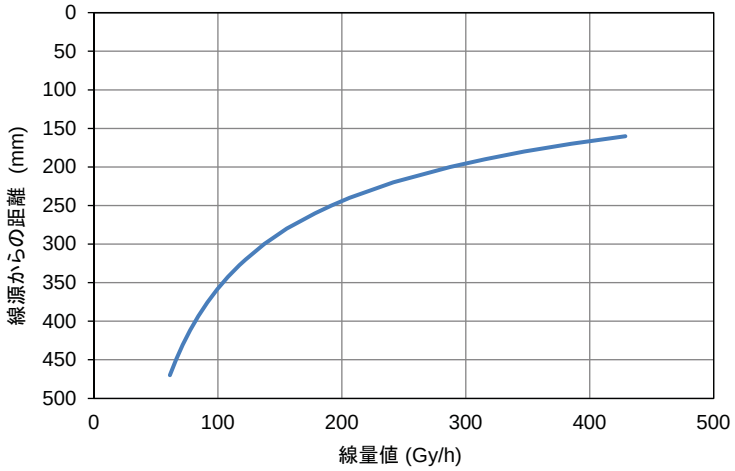


図 3.2-8　線源からの距離と線量値

図 3.2-9　ガンマ線照射装置

表 3.2-5　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	φ338×600mm
照射台	φ300mm
照射線量率範囲	4.8～1500Gy/h

(3) 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[52]に規定される静疲労試験（図 3.2-10）や動疲労試験（図 3.2-11）によって、破断評価に必要な疲労係数（n）を求めることができる。

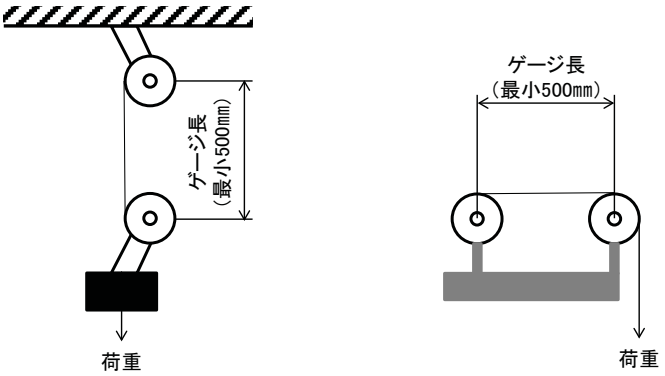


図 3.2-10　引張による静的疲労係数測定

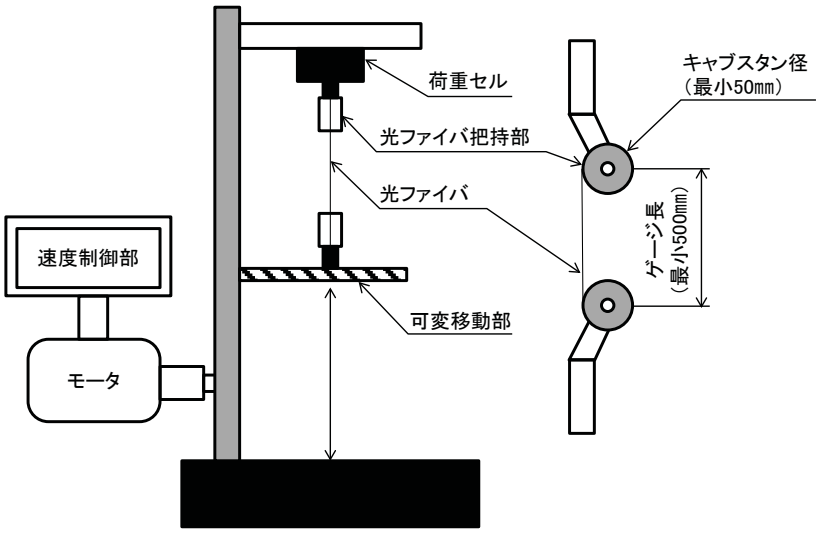


図 3.2-11　引張による動的疲労係数測定

静疲労試験では、光ファイバに一定なひずみ（引張や曲げによる）を加え、破断までに至る時間を計測し、疲労係数（n_s）を決定する（図 3.2-12 参照）。一方、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 3.2-13 参照）。実際の本検討における試験状況と引張試験機を図 3.2-14 に示す。

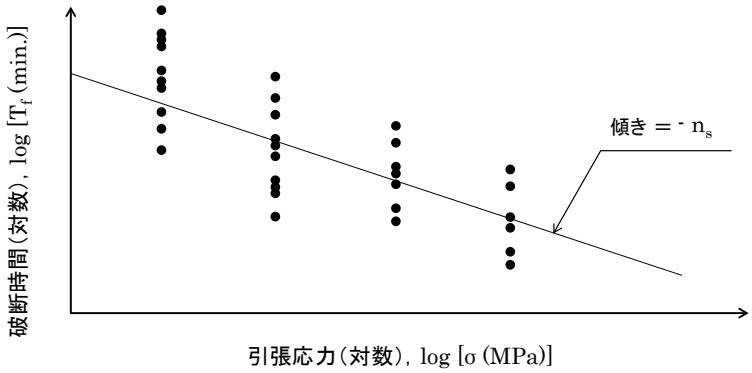


図 3.2-12　静的疲労のデータ構成

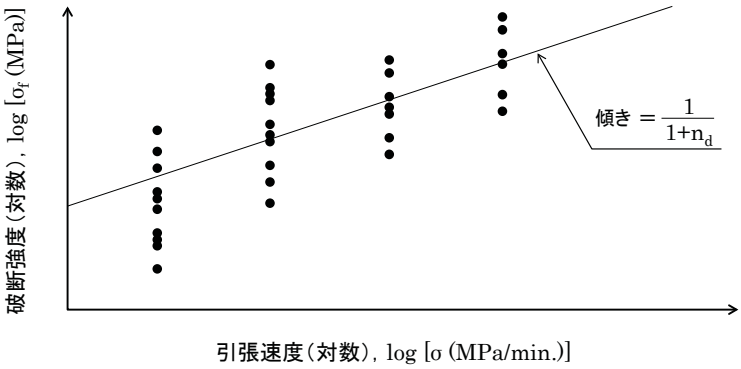


図 3.2-13　動的疲労のデータ構成

図 3.2-14　試験状況と引張試験機

劣化促進前における動的疲労試験結果（各サンプルとも合計 70 回程度の試験を実施）を図 3.2-15 に示す。光ファイバを構成する石英ガラス表面に対する処理が最低限に抑えられていることから、No.1（汎用）の光ファイバが最も機械的強度に優れる結果であった。一方、引張速度の変化に伴う破断強度の変化は No.2（耐水）が最も小さく（線形近似の傾きが小さく）、石英ガラス表面の微小な傷の拡大度合いが小さいこと（疲労係数 n が大きいこと）を示唆している。今後、劣化促進後の光ファイバに対して同様の試験を行うが、各サンプルともに破断強度が低下しつつ、引張速度の変化に伴う破断強度の変化が大きくなることが予測される。

因みに、下図で結果が分布している縦軸の値（8.0～8.5）は破断強度で 3～5GPa に相当し、今回のサンプル（ファイバ径 125μm）の場合、ひずみ換算で約 4.4～7.3%に相当する。

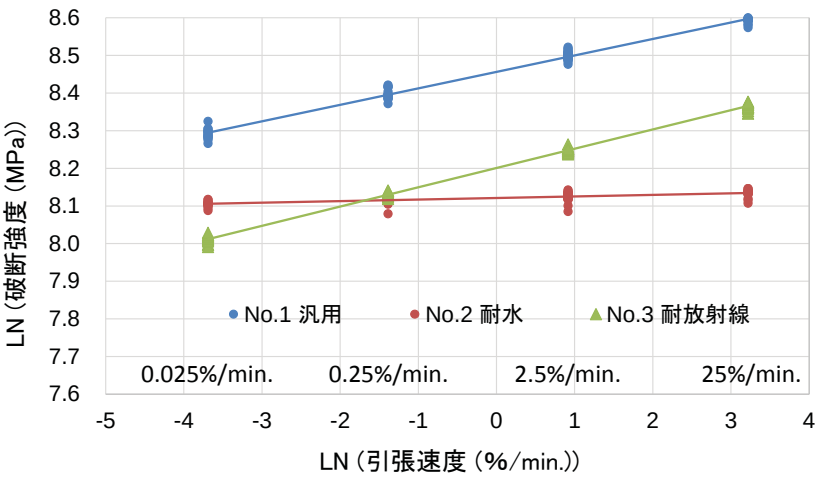


図 3.2-15　動的疲労試験結果（初期データ）

光ファイバに付加される応力 σ_1、σ_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[53]。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（σ_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（σ_2）下で $T_2=1.05\times10^6$ 秒（≒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[52]。

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)^n = \frac{T_2}{T_1} \tag{3.2-2}$$

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[54]、[55]。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、ひずみが加わる期間など）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。

(4) 光学的評価 [56]

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 λ 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 3.2-16 参照）。

$$A(\lambda) = 10\log_{10}\left|\frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)}\right| \tag{3.2-3}$$

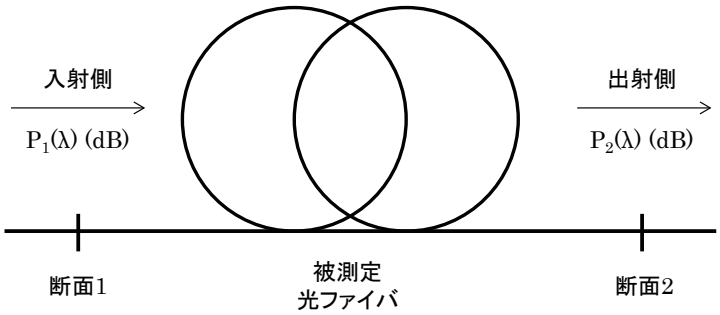


図 3.2-16　光ファイバの損失定義

光ファイバの単位長さ当たりの損失係数α(λ)は下式によって求められる。ここで、A(λ)は波長λでの損失、L は長さである。

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \tag{3.2-4}$$

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及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 3.2-17 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 3.2-18 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 3.2-19 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、α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。

$$\alpha(\lambda) = \frac{P_1(\lambda) - P_2(\lambda)}{Z_1 - Z_2} \tag{3.2-5}$$

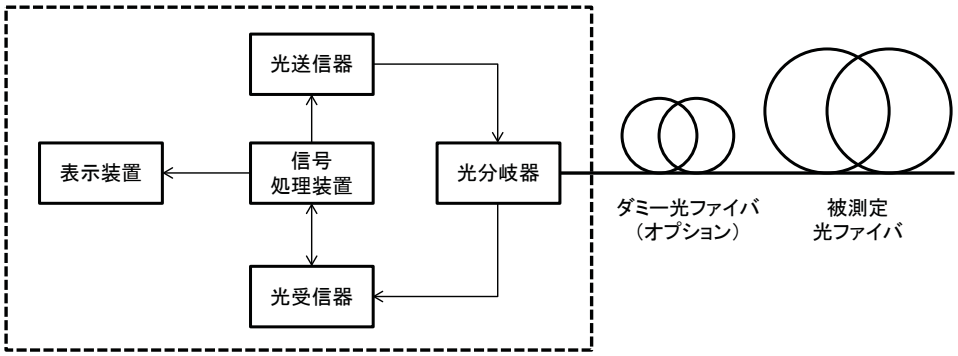


図 3.2-17　OTDR の構成図

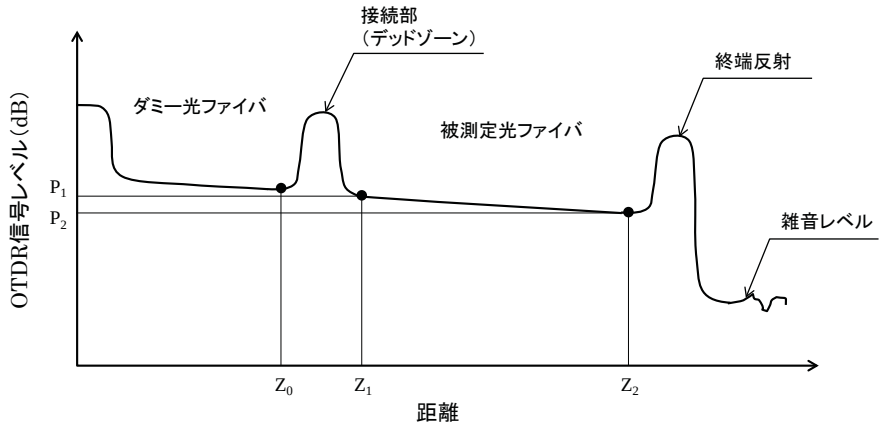


図 3.2-18　ダミー光ファイバを使用した均一な試料の OTDR 概略波形の例

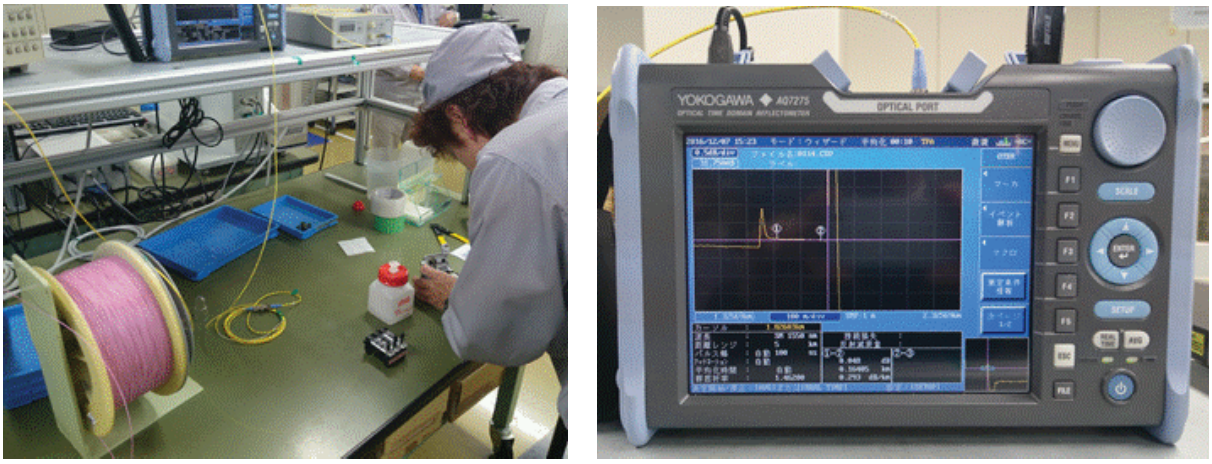


図 3.2-19　試験状況と OTDR 画面

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[43]。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。

放射線照射中の 1550nm 波長帯での損失試験結果を図 3.2-20 に示す。このときの光ファイバ長（L）は約 150m である。両者ともに照射時間に応じて損失（A(1550nm)）が増加しているが、No.1（汎用）よりも No.3（耐放射線）の光ファイバの方が、損失が少ない様子が確認できた。

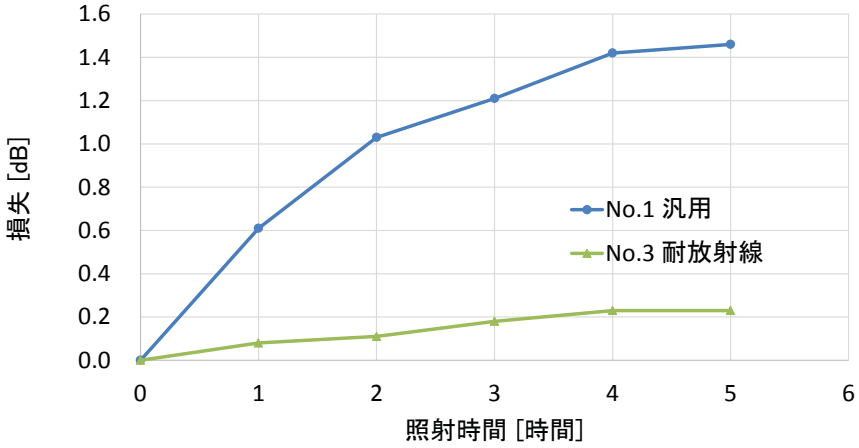


図 3.2-20　損失測定結果（放射線照射中）

損失の許容値は、センサー側の要求性能、特に計測器のダイナミックレンジ（扱うことのできる最大の信号レベルと最小の信号レベルとの比）で決定される。本評価で得られる結果とセンサー要求性能、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（塩分濃度、pH、線量など）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。（初期データは取得完了、２月末に水準１データ取得予定）

3.2.3　光ファイバセンサーによる圧力測定に向けた予備検討

光ファイバセンサーの利点を最大限活用できる技術として、散乱光を利用した分布計測技術が挙げられる。光ファイバそのものをセンサーとして利用し、光ファイバ全長にわたる情報を得ることができるためである。その代表例として、ブリルアン散乱光を利用した「ひずみ」分布計測の適用が想定される。一方、埋設段階から保全段階における処分空洞内の挙動が、想定されたシナリオ通りに推移していることを確認するうえで、「温度」や「圧力」は重要項目である。これらを計測できれば、構造物に発生する変位やひずみの原因を推察できる可能性がある。なかでも、ラマン散乱光を利用した「温度」分布計測技術については一定の実績があるが、「圧力」分布計測については実績が稀有である。そこで、「圧力」分布計測を実現するための第一歩として、予備的な試験を行った。

光ファイバの端部に加工されたダイアフラムを介して、圧力を端面で感知できる圧力センサー（FISO 社製 FOP-M-BA）を用いた試験を行った。圧力センサーの仕様を表 3.2-6 に、また、ベントナイトの膨潤圧を測定するための試験装置を図 3.2-21 に、試験状況を図 3.2-22 にそれぞれ示す。

表 3.2-6　光ファイバセンサー仕様

項目	仕様
計測レンジ	0～1MPa
コネクタ	ST コネクタ
加工治具	M5 ネジ、30mm 長

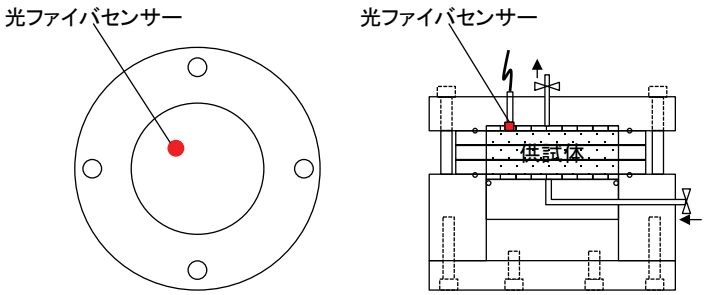


図 3.2-21　ベントナイト膨潤圧計測装置

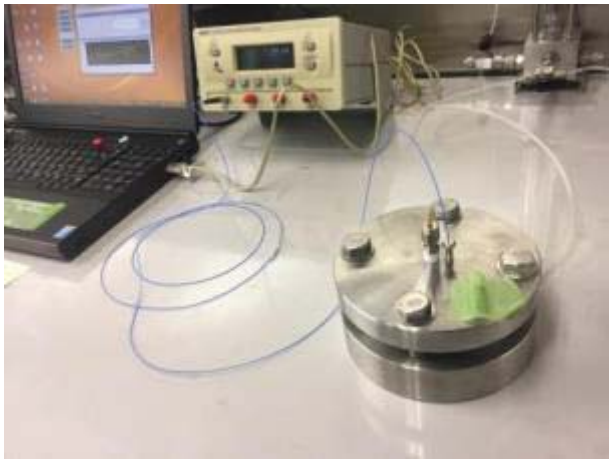


図 3.2-22　ベントナイト膨潤圧計測状況

およそ二カ月間にわたって、ベントナイト膨潤圧を計測した結果を図 3.2-23 に示す。今回は予備試験の位置づけで、その他に参照とすべきデータを計測していないが、妥当な計測結果が得られ、一定程度その実用性を確認することができた。

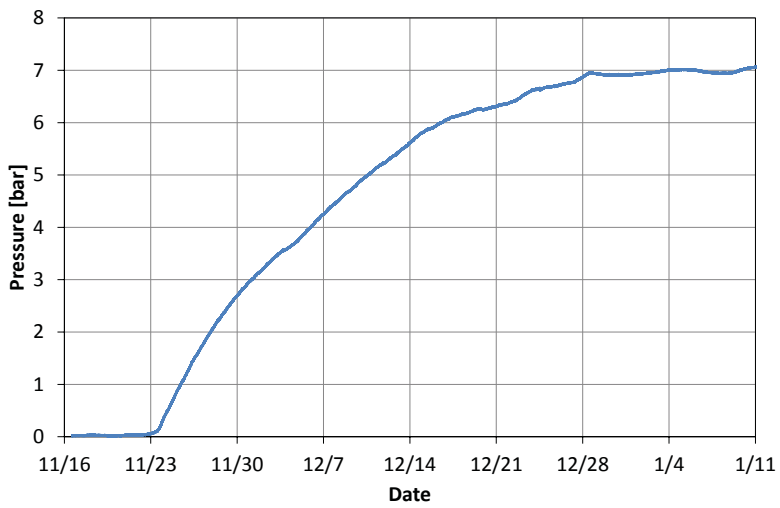


図 3.2-23　圧力計測結果

分布計測に向けた第一歩として、光ファイバの端部での圧力計測が可能であることを確認した。計測位置の観点でみれば、光ファイバ全長における分布での計測に対して、本計測技術はポイントでの計測と言える。一方、光ファイバの特長のひとつとして、波長分割や時分割による多重化が容易であることが挙げられる。そのため、本計測技術を多重化すれば、原理上、一本の光ファイバによって多点での圧力計測が実現できる。光ファイバ全長での圧力分布計測に向けた継続的な研究開発が望まれるが、その善後策として、本計測技術は有用であると考えられる。

3.2.4　光ファイバセンサーの設置方法の検討

光ファイバセンサーを用いて低拡散層のひび割れ挙動を測るうえで、その固定方法を決定する必要がある。具体的には、光ファイバセンサーの固定間隔（全長固定か、一定間隔で離散的に固定か）が大きなパラメータのひとつである。合わせて、今後検討すべき光ファイバセンサーの二次被覆に求められる計測性能を把握するために、固定方法の検証試験を行う。本試験では、二次被覆を模擬したシート状材料を光ファイバセンサーと計測対象のあいだに配置する。固定間隔ともに、配置された模擬材料の材質（硬さ）と厚さもパラメータとして試験を行う。検証試験の実験イメージを図 3.2-24 に示す。

試験はラボ内で行い、ひび割れを模擬した隙間をまたぐように光ファイバセンサーを固定する。段階的に隙間をひろげながら、光ファイバセンサーによるひずみ分布計測を行う。これらを固定間隔、被覆材質、被覆厚を変化させながら繰り返す。

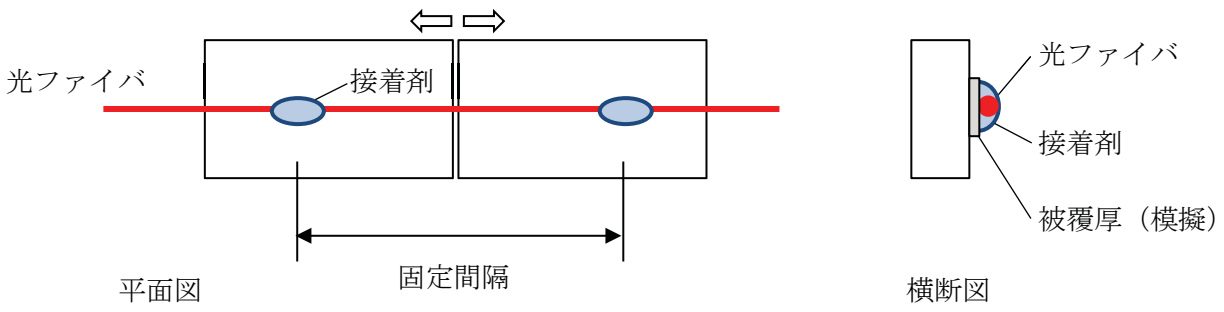


図 3.2-24　固定方法の検証試験イメージ

本試験における検証パラメータを表 3.2-7 に示す。

表 3.2-7　検証パラメータ一覧

固定間隔	被覆材質	被覆厚
全長固定	柔らかい	なし（一次被覆のみ）
		t
		2t
	硬い	なし（一次被覆のみ）
		t
		2t
50mm	柔らかい	なし（一次被覆のみ）
		t
		2t
	硬い	なし（一次被覆のみ）
		t
		2t
150mm	柔らかい	なし（一次被覆のみ）
		t
		2t
	硬い	なし（一次被覆のみ）
		t
		2t
300mm	柔らかい	なし（一次被覆のみ）
		t
		2t
	硬い	なし（一次被覆のみ）
		t
		2t

分布型光ファイバセンサーによるひずみ計測結果は、被覆材料の物性（剛性など）と被覆厚で決まることが知られている[57]。本試験では、これらに加えて固定間隔をパラメータとする。光ファイバセンサーの固定間隔を広げ、柔らかい材質で厚い二次被覆を施せば、光ファイバが切断する危険性は低減するが、計測感度が損なうこととなる。本試験では、両者のトレードオフの関係を定量的に把握し、最適な光ファイバセンサーの固定方法を決定する。また、固定間隔をひろげた後に元に戻すことを何度か行い、ヒシテリシスについてもバックデータを蓄積することとする。

3.3　低濃度硫酸塩によるセメント系材料の化学的変質のシミュレーション解析

3.3.1　はじめに

地盤中に含まれる黄鉄鉱（パイライト）は、掘削等の影響によって酸化すると、硫酸塩（硫酸イオン）を地盤中に放出する。我が国においては、図 3.3-1 に示すように黄鉄鉱を含有する地盤が広く分布している[58]。したがって、余裕深度処分施設の周辺地盤においても、黄鉄鉱が存在する可能性は否定できない。黄鉄鉱が存在する場合には、掘削・埋戻しに伴い硫酸イオンが放出され、人工バリアの化学的変質を招く可能性がある。また、施設の建設から埋戻しまでの間に、地下水と接する覆工（吹付けコンクリート）の背面等において、溶脱等が進行する可能性もある。さらに、黄鉄鉱以外にも、海水由来や温泉水由来の低濃度の硫酸イオンが処分施設に作用することも考えられる。

そこで、解析的評価を実施し、操業段階（埋設～保全段階）における人工バリア等の化学的変質の状況を把握する。その後、結果に応じて、次年度の実験実施計画等に反映する。

図 3.3-1　腐食性地盤（硫酸塩含有土壌）の分布[58]

3.3.2　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 3.3-2 埋戻し前（再冠水前）の期間である[59]ため、人工バリアの化学的変質は限定的であると考えられる。一方で、空洞周辺に施工されている吹付けコンクリートは、施工当初から地下水と接しているため、埋設段階であっても化学的変質（溶脱）が生じる可能性がある。

仮に吹付けコンクリートの溶脱が進行した場合、吹付けコンクリートの強度低下やセメント成分の溶出に伴う空隙の増大によって、将来的な埋戻し材（土質系）の偏膨潤等に繋がることが懸念される。さらに、地下水に硫酸イオン（黄鉄鉱由来）などが含まれた場合には、化学的変質がさらに進行する可能性がある。

そこで、埋設段階を主な対象として溶脱解析を行い、吹付けコンクリートおよび人工バリアの化学的変質を把握する。また、地下水イオン組成を解析要因として、硫酸イオンの有無による影響についても評価を行う。

図 3.3-2　余裕深度処分施設を構成する人工バリアの状態設定（例）[59]

3.3.3　LIFE D.N.A.について

(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[60]。モデルの詳細を以下に示す。

(2) 物質移行特性のモデル化

1) 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。

$$\frac{\partial(\phi \cdot C_i)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D_{eff}^{i} \cdot \frac{\partial C_i}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial x}(u_i \cdot C_i) - \frac{\partial}{\partial x}(u_d \cdot C_i) + Q_i \qquad (3.3\text{-}1)$$

C_i : 細孔溶液中のイオン種 i の濃度、ϕ ：空隙率、D_{eff}^{i} ：イオン種 i の有効拡散係数(m²/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)、

Qi : イオン種 i の単位時間・単位体積あたりの溶出量

2) 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式（3.3-2）に示す有効拡散係数 D_{eff}^{i} によって算出している。

$$D_{eff}^{i} = \eta \cdot \beta \cdot f(\phi) \cdot D_0^{i} \qquad (3.3\text{-}2)$$

η ：吸着などによる低減係数、β ：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(m²/s)

$$\beta = \frac{1 - c \cdot G_{vol}}{1 - d \cdot S_{vol}} \cdot P_{vol} \qquad (3.3\text{-}3)$$

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

$$f(\phi)=0.001+0.07\phi^2 \quad (\phi \leq 0.18) \qquad (3.3\text{-}4)$$

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

$$D_0^i = a^i \cdot \exp\left(-b^i \cdot \frac{1}{T}\right) \tag{3.3-5}$$

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 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 LPC+FA が適用されている部材もある。安田らの検討[61]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。

3）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。

$$\phi_{total} = \phi_{gel} + \phi_{cap} + \phi_{leach} \tag{3.3-6}$$

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

φ_{gel}については、T.C.Powers の提唱したモデル[62]を参考に以下の式によって求めた。

$$\phi_{gel} = \frac{0.19 \cdot F}{W/C + 0.32} \tag{3.3-7}$$

F：水和度、W/C：水セメント比（－）

ϕ_{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[61]を、水セメント比とモルタル空隙率の関係に整理した式（3.3-8）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、ϕ_{cap}を算出している。

$$\phi_{cap} = 0.758 \cdot W/C - 4.670 \tag{3.3-8}$$

ここで、W/C：水セメント比（%）

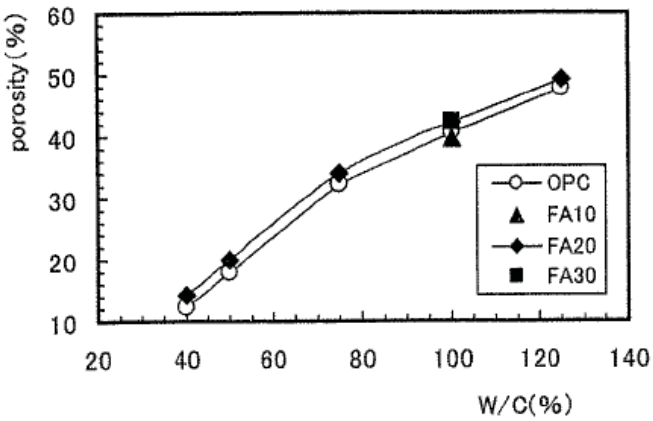


図 3.3-3　W/C と空隙率の関係[61]

(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 3.3-4 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 3.3-4 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[63]。OPC および LPC+FA を用いたときの与条件となる物性値を表 3.3-1 に示す。

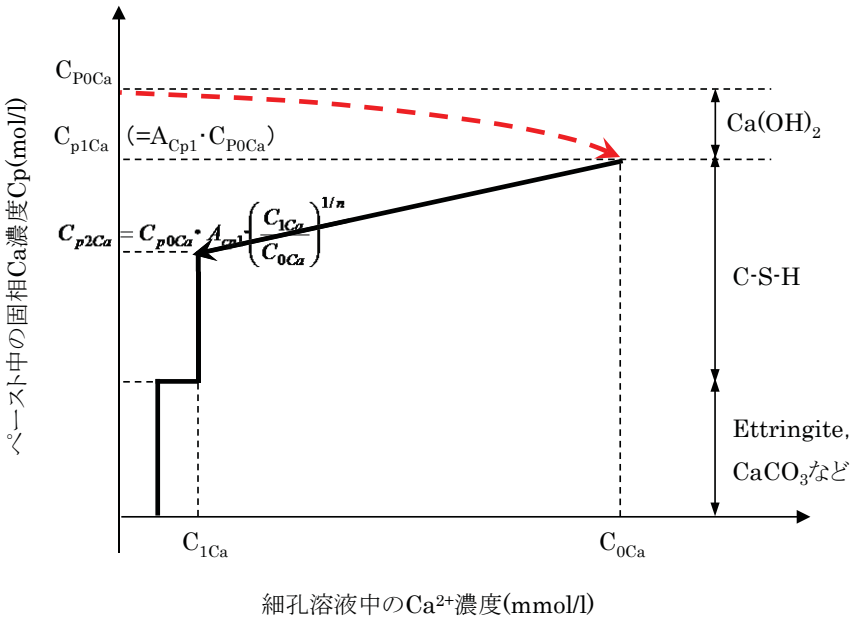


図 3.3-4　溶解平衡関係の概念図[63]

表 3.3-1　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[63]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 3.3-5 に示す。

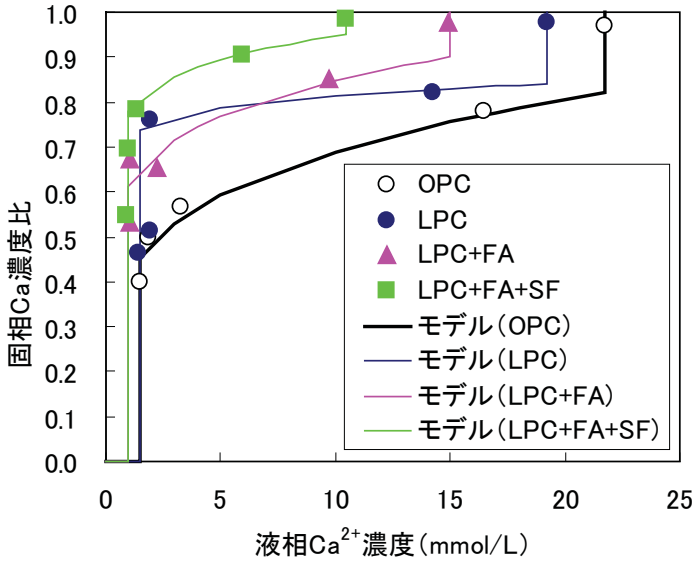


図 3.3-5　複数のセメント種類による固液平衡関係に関する実験データ[63]

1）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 $Ca(OH)_2$ 中の Ca が溶解する状態

② $Ca(OH)_2$ の溶解が終了し、C-S-H が溶解する状態

③ C-S-H がシリカゲルになり、急激に Ca が溶解する状態

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 $Ca(OH)_2$ が溶解するとモデル化しているため、図 3.3-4 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。

$$C_{p2Ca} = C_{p0Ca} \cdot A_{cp1} \cdot \left(\frac{C_{1Ca}}{C_{0Ca}} \right)^{1/n} \qquad (3.3\text{-}9)$$

C_{p2Ca}：C-S-H 溶出が急激に進行する固相カルシウム濃度、C_{p0Ca}：単位ペースト当たりの初期固相カルシウム濃度(mol/L-paste)、C_{p1Ca}：C-S-H 溶出開始時の固相 Ca 濃度（＝A_{cp1}・C_{p0Ca}）、A_{cp1}：C-S-H 溶出に関する係数（－）、C_{0Ca}：$Ca(OH)_2$ 溶出時の液相 Ca 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 3.3-1 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。

2）Na、K の溶解平衡関係

図 3.3-6 および図 3.3-7 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[63]。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 ≦1 のとき

$$[Na^+]^* = \frac{\left(C_{0Na} - 6.43 \cdot 10^{-4}\right) r + \left(6.43 \cdot 10^{-4} - 0.97 \cdot C_{0Na}\right)}{0.03}$$
$$[K^+]^* = \frac{\left(C_{0K} - 8.94 \cdot 10^{-4}\right) r + \left(8.94 \cdot 10^{-4} - 0.97 \cdot C_{0K}\right)}{0.03} \qquad (3.3\text{-}10)$$

r ≦0.97 のとき

$$[Na^+]^* = 10^{-7} \cdot \exp(9.04r)$$
$$[K^+]^* = 10^{-7} \cdot \exp(9.38r) \qquad (3.3\text{-}11)$$

$[Na^+]^*$：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)

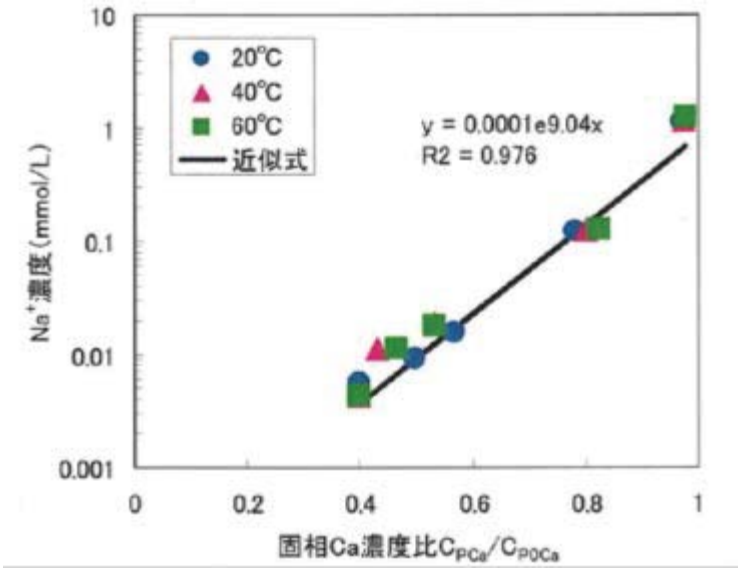


図 3.3-6　C_{pCa}/C_{p0Ca} と Na^+濃度の関係[63]

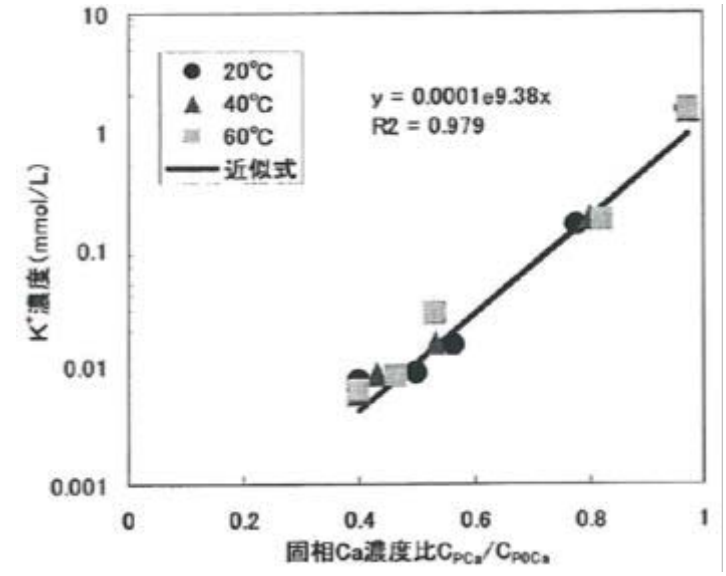


図 3.3-7　C_{pCa}/C_{p0Ca} と K^+濃度の関係[63]

3）硫酸塩による反応の考慮

LIFE D.N.A.では、硫酸塩（硫酸イオン）による化学反応としてエトリンガイトの沈殿およびミラビライトの沈殿を考慮している。エトリンガイトおよびミラビライトが沈殿する場合には、両鉱物のモル体積分だけの空隙変化を考慮している。

① ミラビライトの沈殿

$2Na^+ + SO_4^{2-} + 10H_2O \Rightarrow Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$

② エトリンガイトの沈殿

$6Ca^{2+} + 2Al(OH)_4^- + 3SO_4^{2-} + 4OH^- + 26H_2O \Rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$

(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[64]から 412mmol/L と設定した。

① Na^{+}、Ca^{2+}の交換反応

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

② Na^{+}、OH^{-}の消費反応

pH がある値（ここでは 11）を超えた場合、モンモリロナイトがアナルサイムへと変質することによる液相中の Na^{+}、OH^{-}の消費反応が起きる[65]。

$$Na_2Mg_2Al_{10}Si_{24}O_{60}(OH)_{12}+8Na^{+}+8OH^{-}\rightarrow 10NaAlSiH_2O_7+2Mg^{2+}+4Si(OH)_5^{-}-10H_2O \quad (3.3\text{-}12)$$

なお、この反応によって液相中の Mg^{2+}、$Si(OH)_5^{-}$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。

$$\phi_{leach}=\sum_{i=1}^{nsol}Vh_i\cdot\left(C_{p0i}-C_{pi}\right) \quad (3.3\text{-}13)$$

$nsol$：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)

3.3.4 解析概要

(1) 解析条件

1) 解析ケース

前述のとおり、埋設段階においても、余裕深度処分施設は地下水および地下水中に含まれる硫酸イオンによって化学的変質を生じる可能性がある。そこで、ここでは、表 3.3-2 に示すとおり地下水組成をパラメータとし、通常の地下水が接する場合（Case1）と、周辺岩盤に含まれる黄鉄鉱由来の硫酸イオンが地下水中に含有される場合（Case2）の 2 ケースについて評価を行うこととした。また、平成 18 年度から平成 25 年度にかけて実施

した“管理型処分技術調査事業　地下空洞型処分施設性能確証試験（以下、前フェーズと称する）”にて構築した試験空洞内では、吹付けコンクリートと支保鋼材の界面で水みちが卓越していることが確認されている（図 3.3-8）。そこで、Case2 ではこの水みちを考慮することとした。さらに、Case2 では EDZ の存在も考慮することとした。

表 3.3-2　解析ケース

No.	解析概要	硫酸 イオン量	EDZ・吹付けコンクリートの水みち	解析期間
Case1	降水系地下水が接し、EDZ 等を考慮しないケース	少ない	無考慮	1,000 年後まで
Case2	硫酸イオンおよび EDZ 等を考慮したケース	多い	考慮	

図 3.3-8　試験空洞内の様子（平成 28 年 10 月撮影）

2）解析モデル

Case1 で用いた解析モデルを図 3.3-9 および図 3.3-10 に示す。Case1 では、EDZ および吹付けコンクリートにおける水みちは考慮しないこととした。なお、均しコンクリートおよび底部埋戻し材は、側部埋戻し材（セメント系）と同一材料とした。

各部材における寸法を図 3.3-11 に示す。各部材の寸法は、前フェーズにおいて構築した部材寸法とした。周辺岩盤のモデル化範囲は処分空洞の外縁から施設の約 2 倍の距離として、25.0m の範囲とした。これは、後述する Case2 のモデルも同様である。

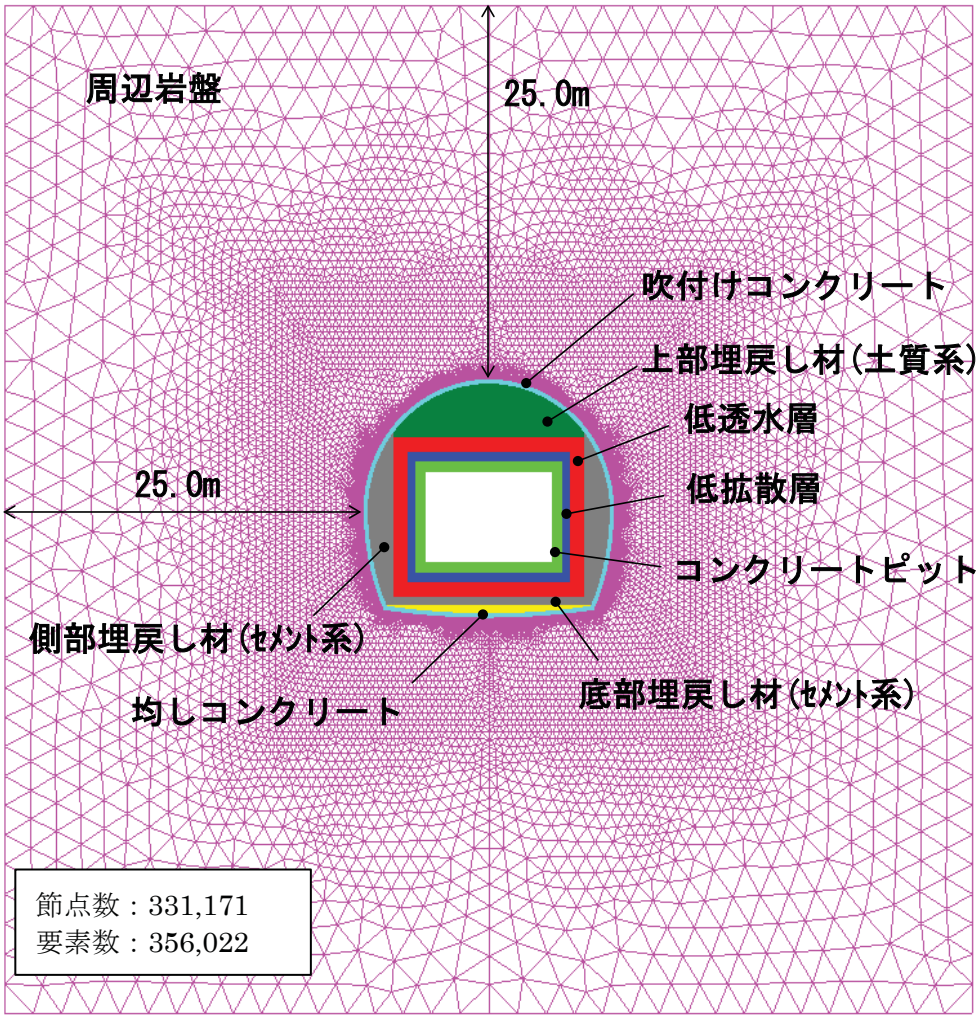


図 3.3-9　解析モデル（Case1、全体）

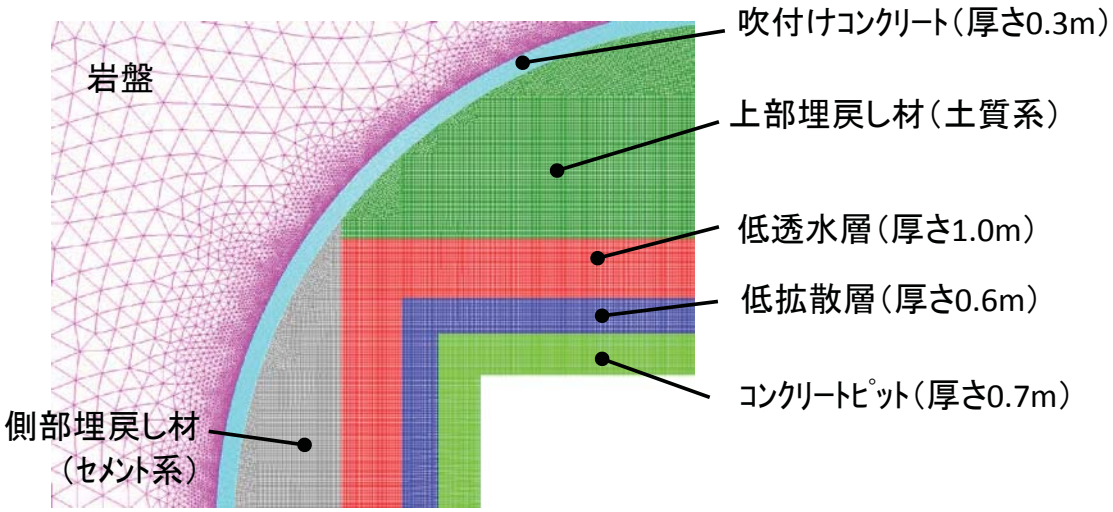


図 3.3-10　解析モデル（Case1、拡大）

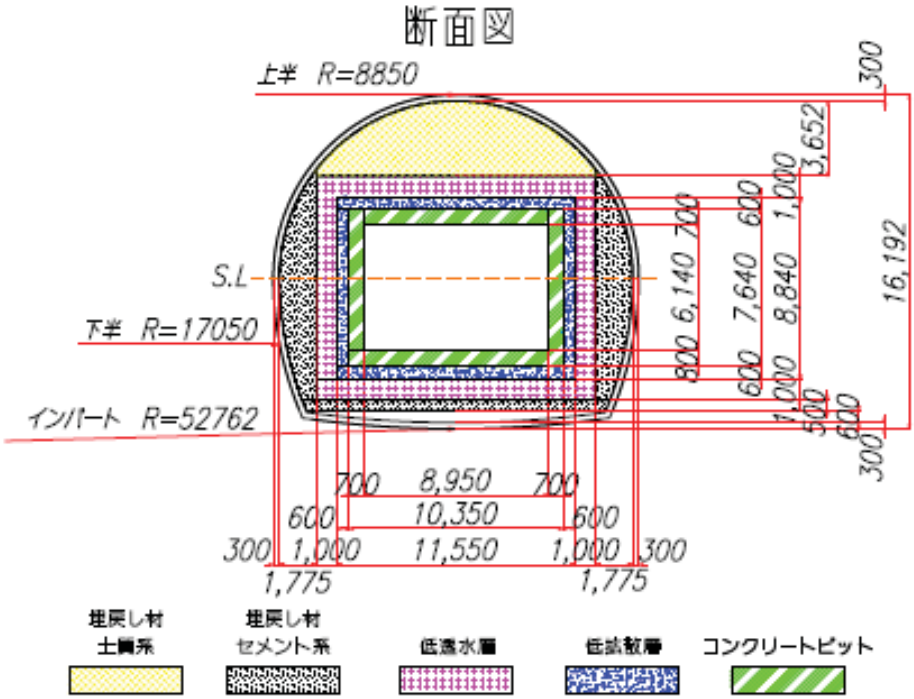


図 3.3-11　各部材の寸法

Case2 で用いた解析モデルを図 3.3-12 および図 3.3-13 に示す。Case2 では、EDZ および吹付けコンクリートにおける水みちを考慮することとした。EDZ の範囲については、文献[66]を参考に吹付けコンクリートの外側 2.0m の領域とした。

吹付けコンクリートにおける水みちについては、ひび割れ要素を与えることで考慮することとした。ひび割れ要素については、ひび割れ幅 1.5mm（一定）のひび割れが吹付けコンクリートを貫通しているものとし、ひび割れ間隔は 1.0m として設定した（図 3.3-13）。なお、吹付けコンクリートの水みちは、先述のとおり吹付けコンクリートと支保鋼材の界面に起因しているものと想定されるため、アーチ部分のみに存在するものとした（図 3.3-14）。

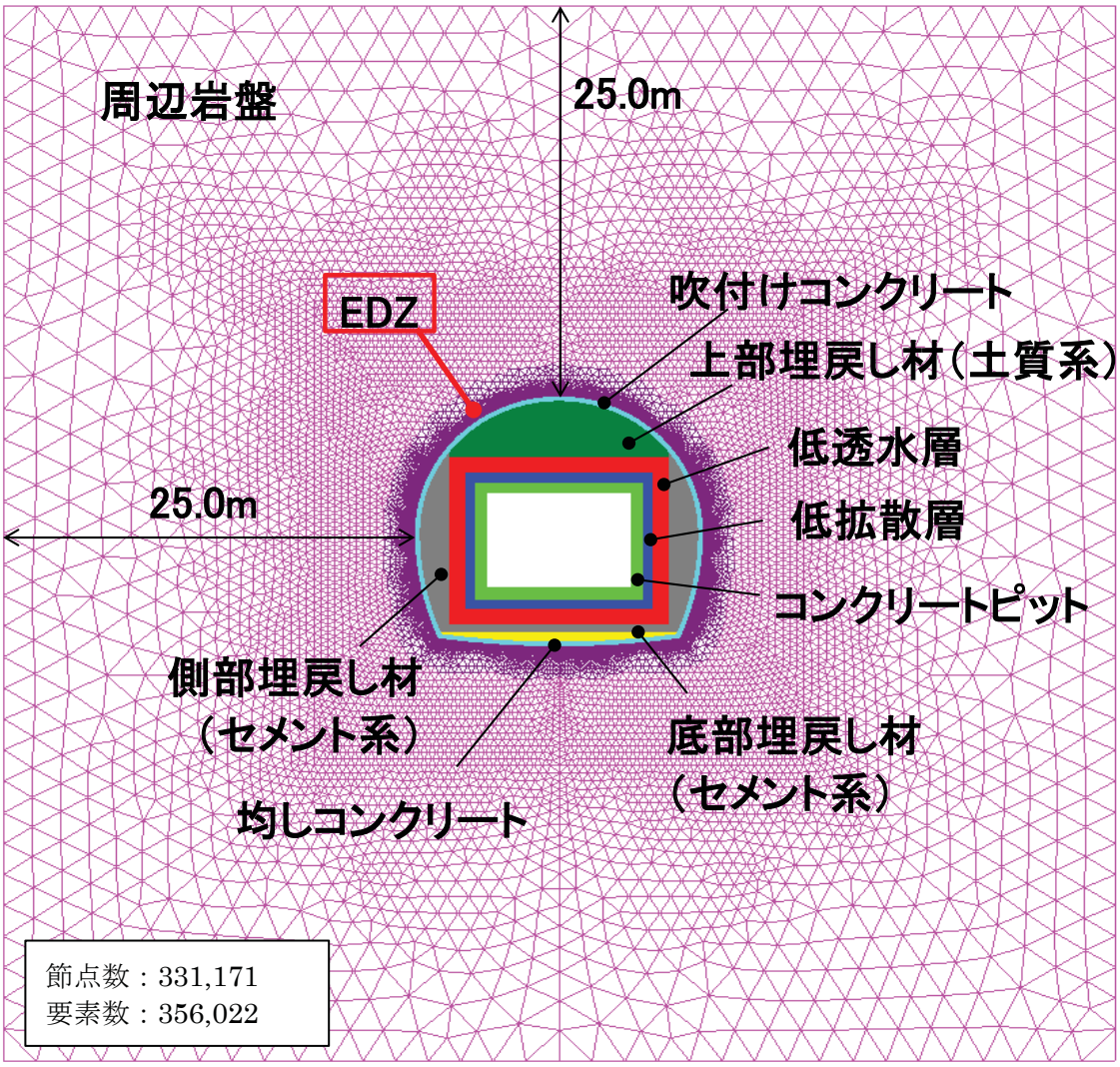


図 3.3-12　解析モデル（Case2、全体）

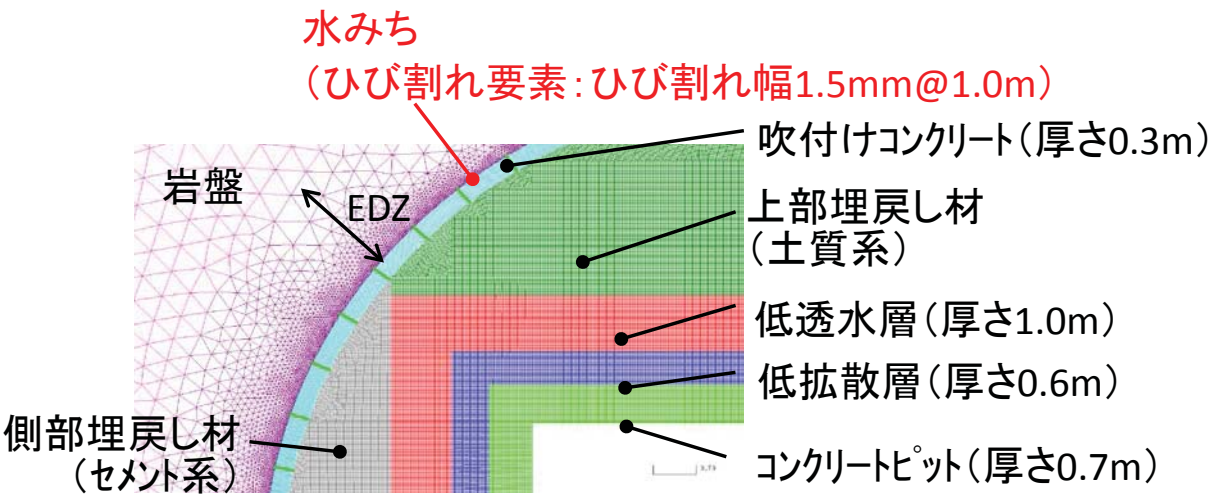


図 3.3-13　解析モデル（Case2、拡大）

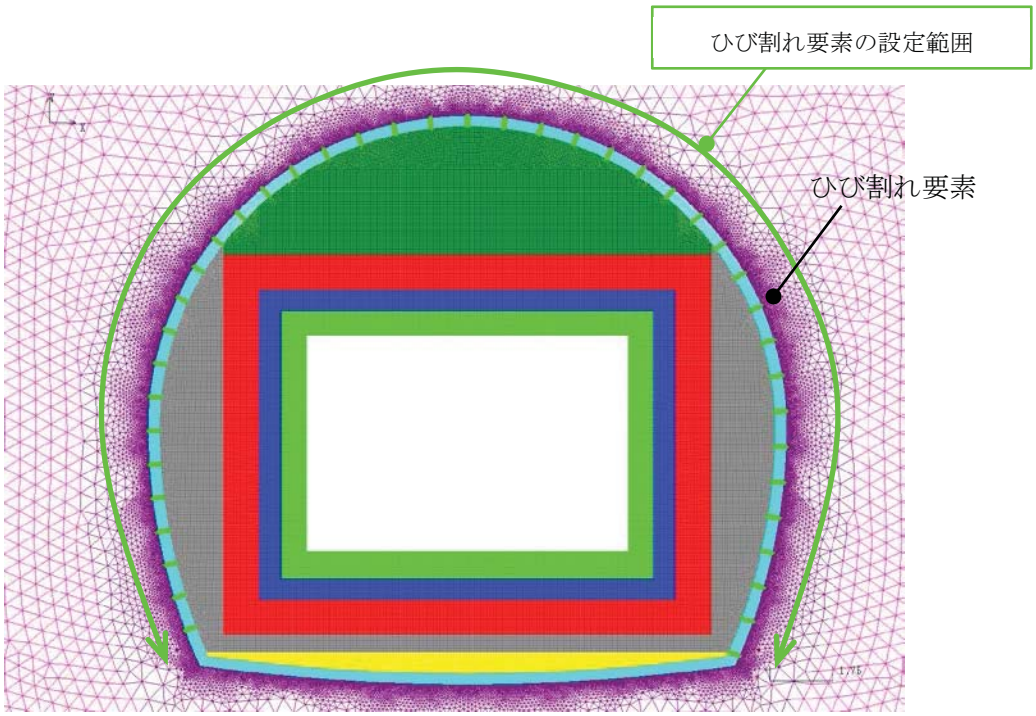


図 3.3-14　Case2 におけるひび割れ要素の設定位置

(2) 入力条件

1) 地下水組成

各ケースにおける岩盤中の地下水組成を表 3.3-3 に示す。Case1 は降水系地下水とし、既往の文献[67]を参考に設定した。一方で、Case2 は Case1 と比較して硫酸イオン濃度が高くなった場合を想定した検討を行うこととした。ここで、我が国において、地下水中の硫酸イオン濃度に影響を及ぼす要因としては、黄鉄鉱の存在の他にも海水系地下水の存在、温泉水の存在等が考えられる。文献調査の結果によると、硫酸イオン濃度は pH が酸性（温泉水）の場合において最も高い結果であった[68]、[69]、[70]、[71]が、処分施設周辺の pH が酸性環境であることは考えにくいため、本検討では pH が酸性である温泉水は除外することとした。pH が中性環境の場合において最も高い硫酸イオン濃度は、海水における 28.94 mmol/L であった[71]。そこで、本検討では、この結果を用いることとした。

表 3.3-3　地下水組成

No.	pH	イオン濃度（mmol/L）			
		Na^+	K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}
Case1	8.5	0.77	0.03	0.125	0.14
Case2					28.94

2）岩盤物性および動水勾配

岩盤に関する物性値を表 3.3-4 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 1.0×10^{-10}（m^2/s）が存在するが、ここでは凝灰岩の間隙率 50%を考慮して 2.0×10^{-9}（m^2/s）とした。動水勾配は、既往の文献[72]を参考に 0.07m/m とした。

Case2 における EDZ の透水係数については、既往の文献[66]を参考に、岩盤部分の透水係数を 10^4 倍とした 3.0×10^{-4} とした。

表 3.3-4　岩盤に関する物性値

項目	単位	岩盤	EDZ
間隙率	%	50.0	60.0
拡散係数	m^2/s	2.0×10^{-9}	
透水係数	m/s	3.0×10^{-8}	3.0×10^{-4}
動水勾配 （流れの向き）	m/m	0.07 （図 3.3-9 および図 3.3-12 において左から右へ）	

3）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 3.3-5 に、検討に用いた使用材料の条件を表 3.3-6 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 3.3-7 に示すとおりとした。

表 3.3-5　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 3.3-6　セメント系人工バリアの構成材料

材料	記号	摘要
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント、密度=3.16g/cm^3
	LPC	低熱ポルトランドセメント、密度=3.22g/cm^3
細骨材	S	石灰細砂、密度=2.68g/cm^3
粗骨材	G	石灰砕石、密度=2.71g/cm^3
混和材	LEX	膨張材、密度=3.15g/cm^3
	LS	石灰石微粉末、密度=2.71g/cm^3
	FA	フライアッシュⅡ種、密度=2.25g/cm^3

表 3.3-7　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_2O	K_2O
OPC	OPC	64.17	0.28	0.42
LPC+FA	LPC	63.54	0.13	0.35
	FA	3.72	0.83	1.64

b．配合

コンクリートピットおよびセメント系埋戻し材の配合を表 3.3-8 に、吹付けコンクリートの配合を表 3.3-9 に、低拡散層の配合を表 3.3-10 にそれぞれ示す。

表 3.3-8　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^3）						
			W	B			LS	S	G
				LPC	FA	LEX			
45.0	51.5	2.5	160	229	107	20	249	832	786

表 3.3-9　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^3）			
			W	OPC	S	G
45.0	60.0	3.0	202	449	972	643

表 3.3-10　モルタルの配合（低拡散層）

W/B (%)	空気量 (%)	単位量（kg/m³）					
		W	B			LS	S
			LPC	FA	LEX		
45.0	2.5	230	338	153	20	307	1223

c．解析における設定値

セメント系材料における設定値を表 3.3-11 に示す。

表 3.3-11　セメント系材料の設定値

部材名	吹付け コンクリート	セメント系 埋戻し材	低拡散層	コンクリート ピット
初期拡散係数 (m^2/s)	5.0×10^{-12}	5.0×10^{-13}	1.0×10^{-13}	5.0×10^{-13}
初期透水係数 (m/s)	1.0×10^{-12}	5.0×10^{-13}	1.0×10^{-13}	5.0×10^{-13}
初期 pH	13.5	13.3		

4）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 3.3-12 のとおり設定した。

表 3.3-12　ベントナイト間隙水のイオン組成

種類	イオン濃度（mmol/L）			
	Na^+	K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}
ベントナイト間隙水	28.0	0.12	0.053	0.10

ベントナイト系材料の設定値を表 3.3-13 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 3.3-13　ベントナイト系材料の設定値

部材名	低透水層	上部埋戻し材
初期拡散係数 (m^2/s)	1.0×10^{-10}	1.7×10^{-9}
初期透水係数 (m/s)	5.0×10^{-13}	5.0×10^{-11}

5）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 3.3-14 に示す。解析期間は 1,000 年後までとした。

表 3.3-14　アウトプット項目

項目	時刻
Ca 溶出率	0 年、12 年、100 年、300 年、600 年、1000 年
固相水和物濃度	
液相イオン濃度	
pH	
拡散係数（m^2/s）	
透水係数（m/s）	
空隙率（%）	

3.3.5 解析結果

Case1 および Case2 における解析結果を図 3.3-36～図 3.3-155 に示す。以降は、これらの結果に基づき評価を行う。

(1) 降水系地下水が接し EDZ 等を考慮しないケース（Case1）

1) 施設の状態評価

a. 固相 Ca 濃度

Case1 における固相 Ca 濃度の推移を図 3.3-15 に示す。固相 Ca 濃度は、100 年後の時点ではいずれの部材においても目立った変化は確認されない結果であった。一方、300 年後の時点では、吹付けコンクリートにおいて Ca 濃度の低下が認められた。特に、上部埋戻し材と接しているアーチ上部の吹付けコンクリートで Ca 濃度が 13.0mol/L 程度まで低下する結果であった。これは、側部埋戻し材、底部埋戻し材および均しコンクリートがいずれも固相 Ca 濃度の高いセメント系材料であるのに対し、上部埋戻し材はベントナイト混合率 15%で Ca 濃度の低い土質系材料であるために、吹付けコンクリート内空側においても Ca の濃度拡散が生じたものと考えられる。さらに、上部埋戻し材は、側部埋戻し材と比較して拡散係数・透水係数ともに大きいため、拡散・移流が相対的に進行しやすかったものと考えられる。

1,000 年後の時点では、上部埋戻し材と接する吹付けコンクリートは、全断面の Ca 濃度が 10～12mol/L 程度まで低下した。一方、セメント系材料と接する側部および底部の吹付けコンクリートは、岩盤側では固相 Ca 濃度の低下が認められるものの、内空側では 13mol/L 程度の Ca が存在する結果であった。また、右側の吹付けコンクリートに比べて左側は固層 Ca 濃度の低下量が大きかった。これは、地下水流動の上流側に位置する左側の吹付けコンクリートは右側と比べて移流の影響が大きいことが要因であると考えられる。

なお、側部埋戻し材、底部埋戻し材、低透水層の内側に位置する低拡散層およびコンクリートピットについては、1,000 年後の時点においても固相 Ca 濃度の低下は確認されなかった。

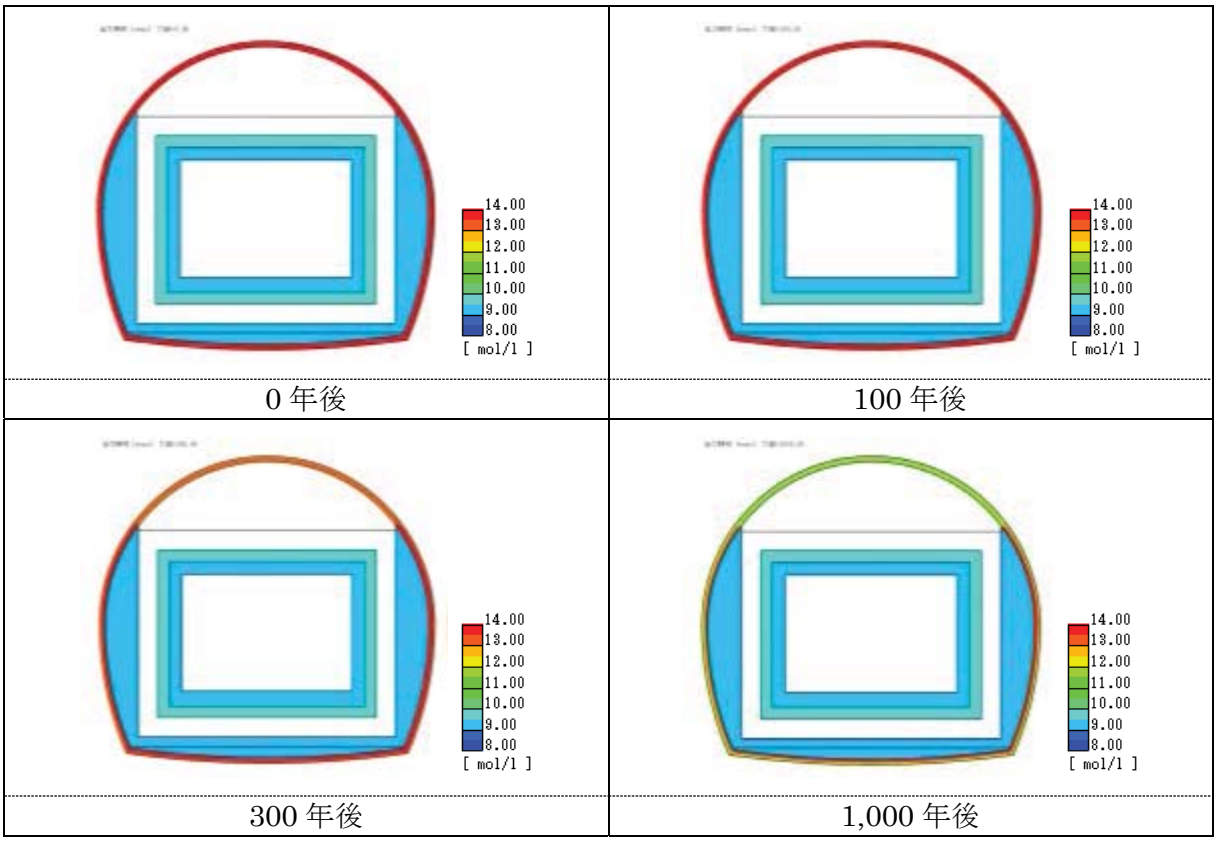


図 3.3-15　固相 Ca 濃度（mol/L）の推移（Case1）

b．水和物濃度

Case1 における水和物濃度の推移を図 3.3-16 に示す。100 年後の時点では、CSH、エトリンガイトについてはいずれの部材においても変質は認められなかったものの、$Ca(OH)_2$ については、吹付けコンクリートにおいて濃度低下が生じた。固相 Ca 濃度の結果と同様に、特に吹付けコンクリート上部において $Ca(OH)_2$ の低下が進行しており、岩盤側・内空側の両側から $Ca(OH)_2$ の溶出が確認された。300 年後の時点では、吹付けコンクリートの $Ca(OH)_2$ が 3 割程度溶出する結果であったものの、CSH およびエトリンガイトについてはいずれの部材も溶出は認められなかった。1,000 年後の時点では、吹付けコンクリート上部の $Ca(OH)_2$ が 7～9 割程度溶出する箇所も生じているものの、CSH およびエトリンガイトの溶出は認められなかった。

なお、前述した固相 Ca 濃度の結果と同様に、側部埋戻し材、底部埋戻し材、低透水層の内側に位置する低拡散層およびコンクリートピットについては、1,000 年後の時点においても $Ca(OH)_2$、CSH およびエトリンガイトのいずれも濃度低下は確認されなかった。

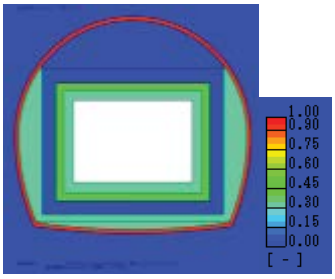
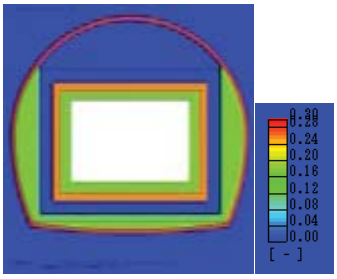
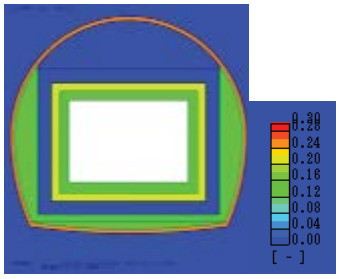
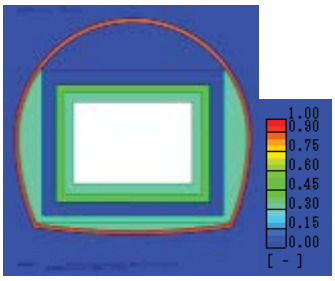
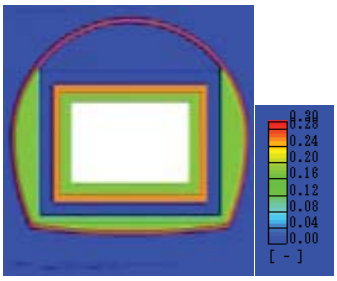
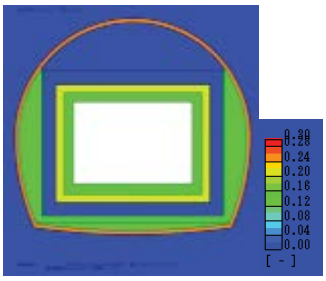
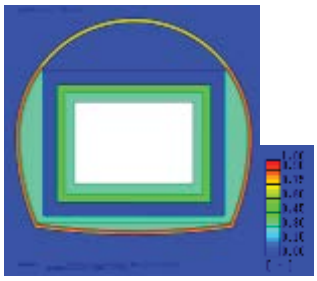
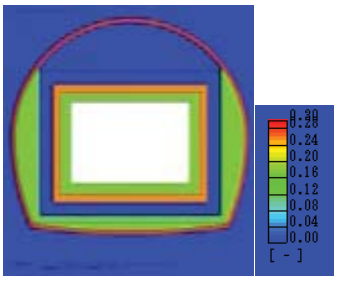
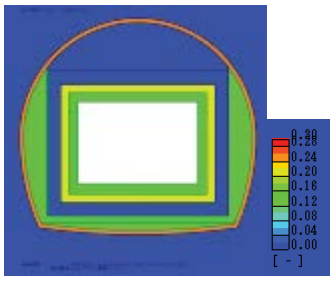
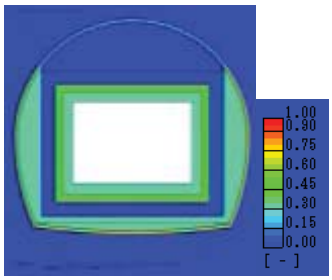
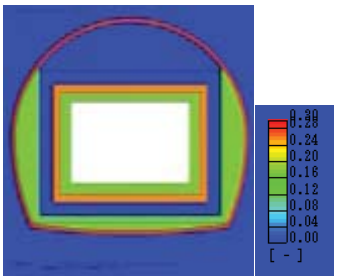
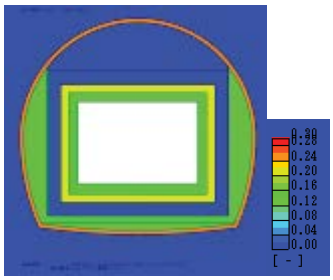
	$Ca(OH)_2$	CSH	エトリンガイト
0 年後			
100 年後			
300 年後			
1,000 年後			

図 3.3-16　水和物濃度(mol/L)の推移（Case1）

c．pH および液相 Ca イオン濃度

Case1 におけるモデル全体の pH 分布の推移を図 3.3-17 に示す。地層処分では、アルカリ金属やカルシウム溶出によって pH の高くなったセメント間隙水が岩盤中に浸出すること（高 pH プルーム）によって、周辺岩盤の変質が生じるものと考えられている[73]。そこで、図 3.3-17 では周辺岩盤に着目することとした。

100 年後の時点では、アルカリ金属の溶出に起因すると考えられる pH=12.5 以上の範囲は下流側 3m 程度であり、$Ca(OH)_2$ の溶出に起因すると考えられる pH=12.0～12.5 程度の範囲は処分施設から下流側 10m 程度であった。300 年後以降も、pH 分布は全体として下流側方向に拡大する結果であった。上流側については、pH=12.0～12.5 の範囲が 2m 程度存在しているものの、pH=12.5 以上の範囲は存在せず、これは 100 年後から 1,000 年後にかけて大きな変化はなかった。

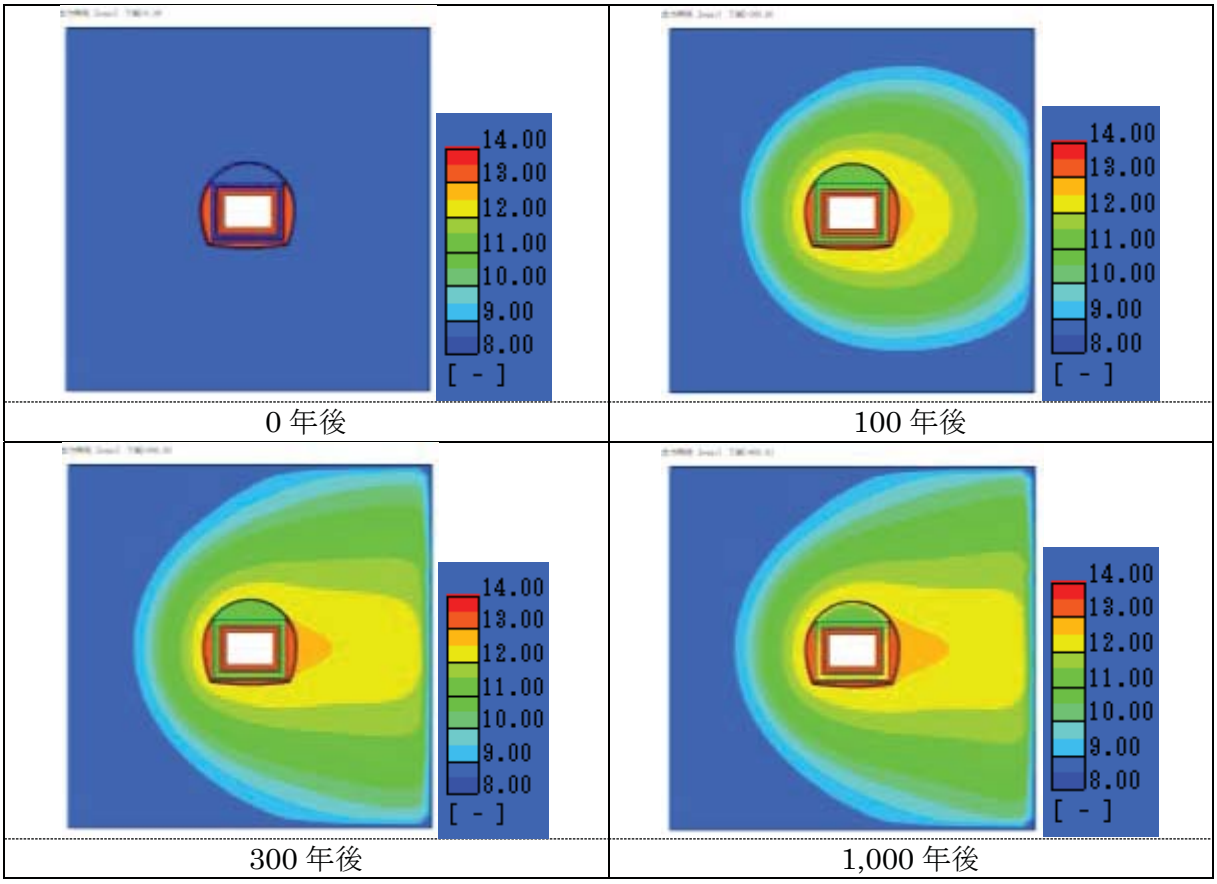


図 3.3-17　モデル全体の pH 分布（Case1）

次に、Case1 の pH 分布について処分施設周辺を拡大したものおよび Ca イオン濃度の分布を図 3.3-18 に示す。

文献によると、ベントナイトは高 pH 環境にさらされるとスメクタイトが溶解し、二次鉱物として CSH ゲルやゼオライトなどが生成することが室内試験において認められており、この変質は pH=11 以上で生じるとされている[74]。本検討では、100 年後の時点で上部埋戻し材および低透水層が pH=11 に達する結果となった。Ca イオン濃度については、上部埋戻し材と接する吹付けコンクリート上部で濃度が上昇するとともに、それ以外の吹付コンクリートでも、岩盤側で濃度上昇が確認された。これは、図 3.3-15 で示したとおり、$Ca(OH)_2$ の溶出に伴い、Ca イオン濃度が上昇したものと考えられる。

300 年後の時点では、上部埋戻し材および低透水層の pH 変化は認められなかったものの、Ca イオン濃度については、吹付けコンクリート全体でさらに濃度上昇するだけでなく、セメント系埋戻し材の端部においても、やや濃度が上昇する結果であった。また、低透水層と低拡散層の界面でも、Ca イオン濃度がやや上昇した。

1,000 年後になると、吹付けコンクリートと接する上部埋戻し材が pH=12.0 以上になるとともに、低透水層も上部を除いた底部と側部で pH=12.0 以上となった。なお、1,000 年後の時点でも、低拡散層およびコンクリートピットは pH=13.0 以上を保つ結果であった。Ca イオン濃度については、吹付けコンクリート全体でさらに濃度が上昇し、セメント系埋戻し材との界面でも濃度上昇が確認された。低透水層と低拡散層との界面も、300 年後の時点からさらに濃度上昇する結果であった。これは、吹付けコンクリート中の Ca イオンが液相に溶脱した影響であると考えられる。

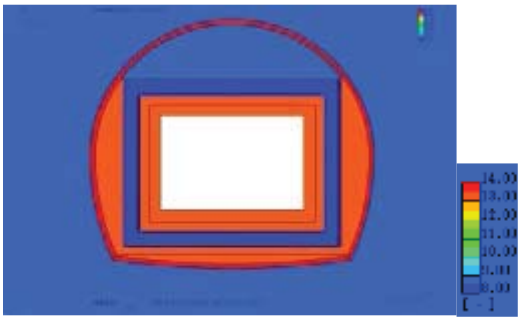
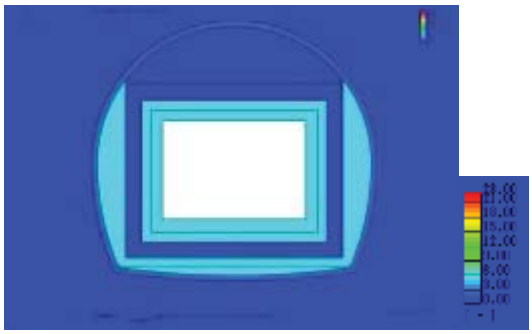
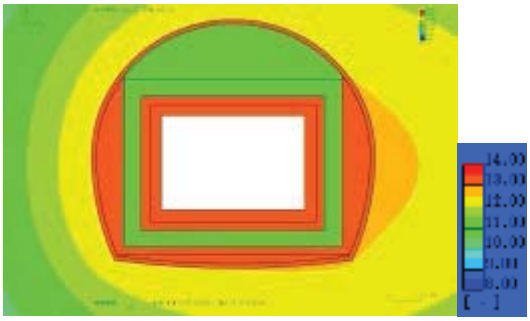
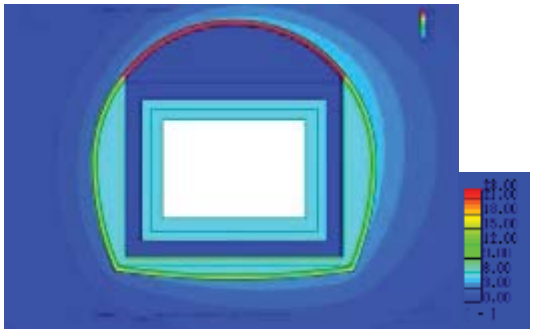
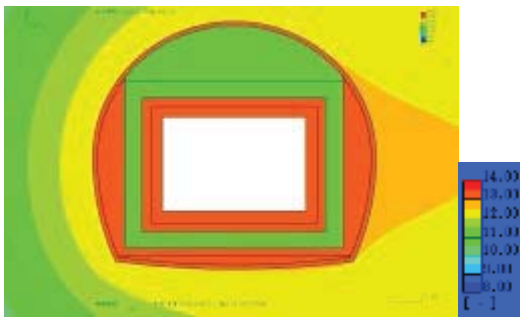
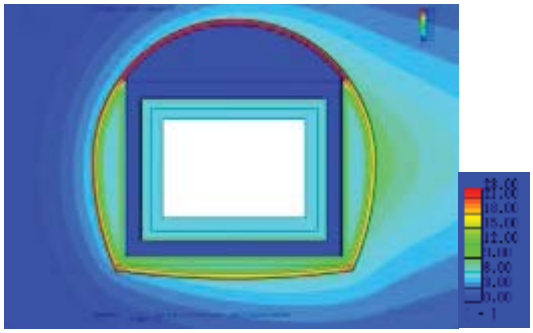
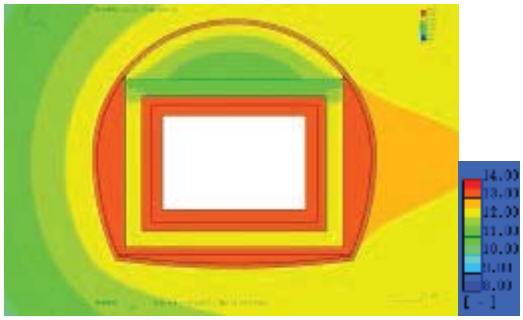
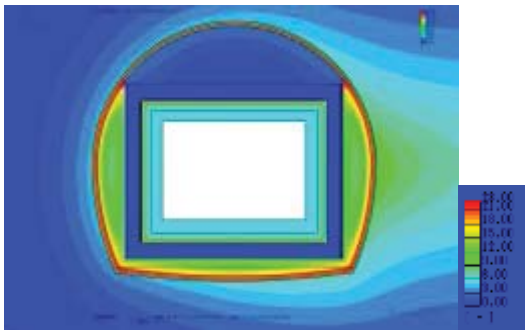
	pH（施設拡大）	Ca イオン濃度
0 年後		
100 年後		
300 年後		
1,000 年後		

図 3.3-18　pH 分布と Ca イオン(mmol/L)分布（Case1）

Case1 における SO_4 イオン濃度の分布を図 3.3-19 に示す。Case1 では、周辺岩盤中地下水中の SO_4 イオン濃度が低いため、解析期間を通じて大きな変化はなかった。

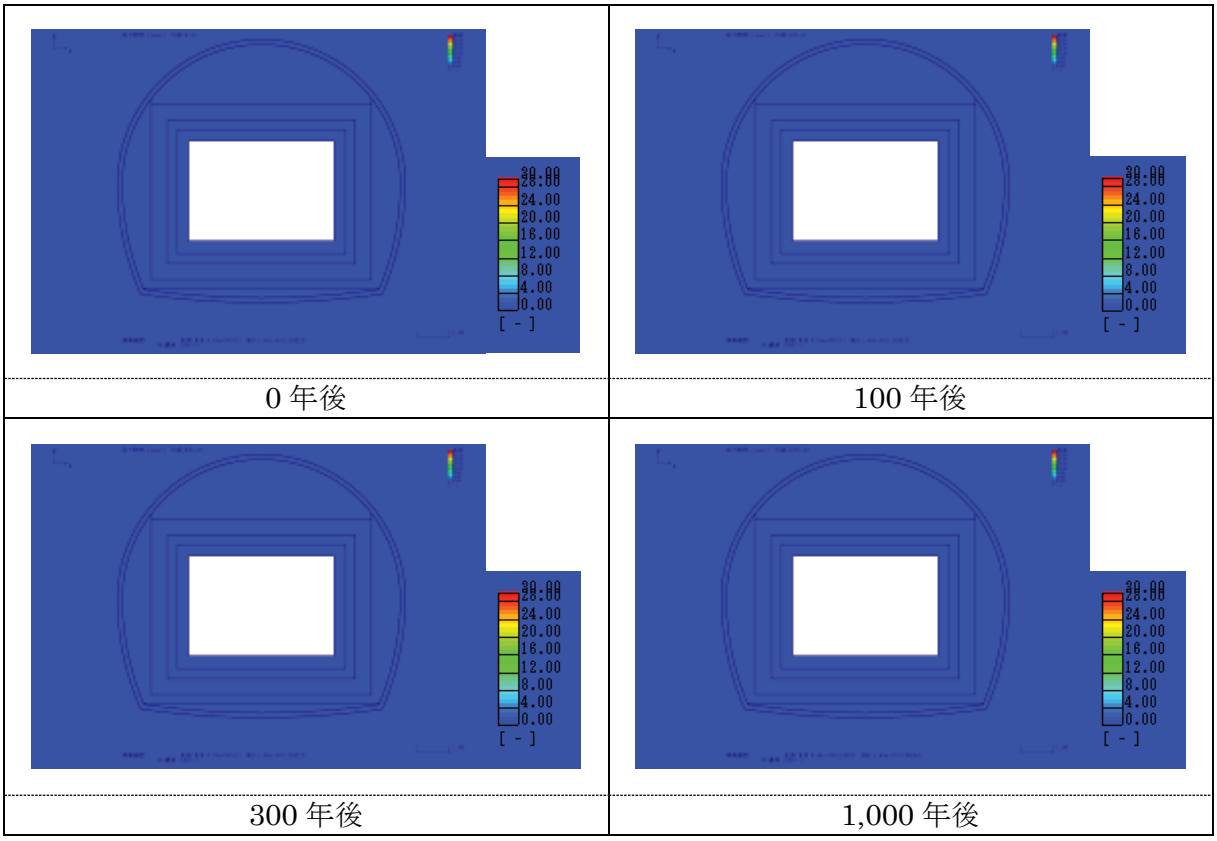


図 3.3-19　SO_4 イオン(mmol/)分布（Case1）

d. 空隙率

Case1 における Ca 溶出あるいは二次鉱物の沈殿により空隙率の変化量を図 3.3-20 に示す。100 年後の時点では、上部埋戻し材の一部で空隙率の増加が確認された。これは、吹付けコンクリートから溶出した Ca イオンによって上部埋戻し材に含まれるベントナイトの Ca 型化が進んだことによる。

300 年後の時点では吹付けコンクリートの岩盤側で空隙率が増大する結果であり、特にアーチ上部で顕著であった。これは、図 3.3-16 に示したとおり $Ca(OH)_2$ の溶出によるものと推察される。また、上部埋戻し材でもベントナイトの Ca 型化によって空隙率が増大した。また、低透水層とセメント系埋戻し材との界面でも同様にベントナイトの Ca 型化によってやや空隙率が増加した。

1,000 年後の時点では空隙の変化はさらに進行し、Ca 溶出による吹付けコンクリートの空隙率増加が全体として進行するとともに、上部埋戻し材と吹付けコンクリートとの界面およびセメント系埋戻し材と低透水層との界面においても、ベントナイトの Ca 型化による空隙率の増加が確認された。

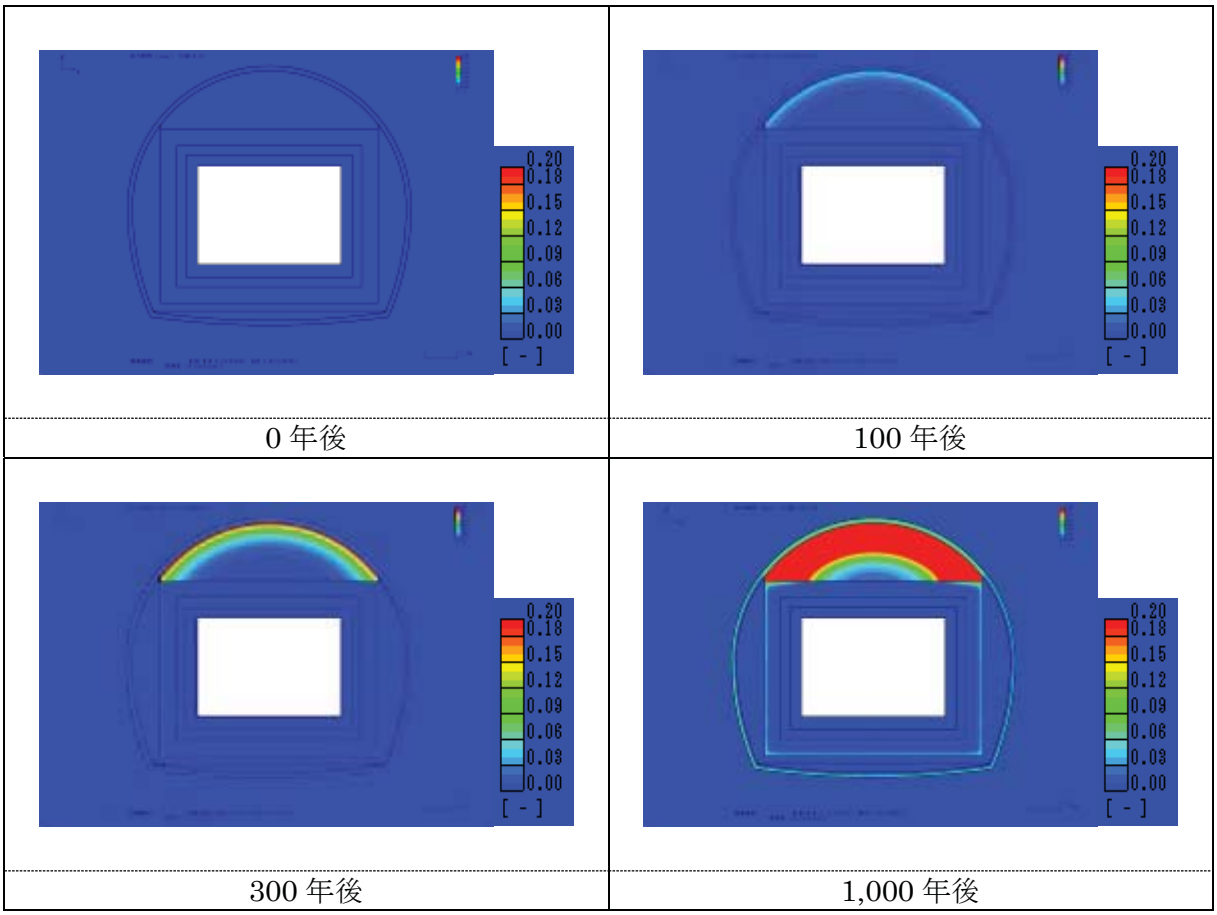


図 3.3-20　空隙率の推移（Case1）

e．透水係数および拡散係数

Case1 における透水係数および拡散係数の推移を、表 3.3-15 および図 3.3-21 に示す位置について評価した。

表 3.3-15　透水係数および拡散係数の出力接点（Case1）

部材	位置	プロット No.	出力項目
吹付け コンクリート	左上	1	・ 透水係数 ・ 拡散係数
	中央上	2	
	右上	3	
	中央左	4	
	中央右	5	
	中央下	6	
低透水層	左上	7	
	中央上	8	
	右上	9	
	左下	10	
	右下	11	
低拡散層	左上	12	
	右上	13	
	左下	14	
	右下	15	
コンクリート ピット	左上	16	
	右上	17	
	左下	18	
	右下	19	

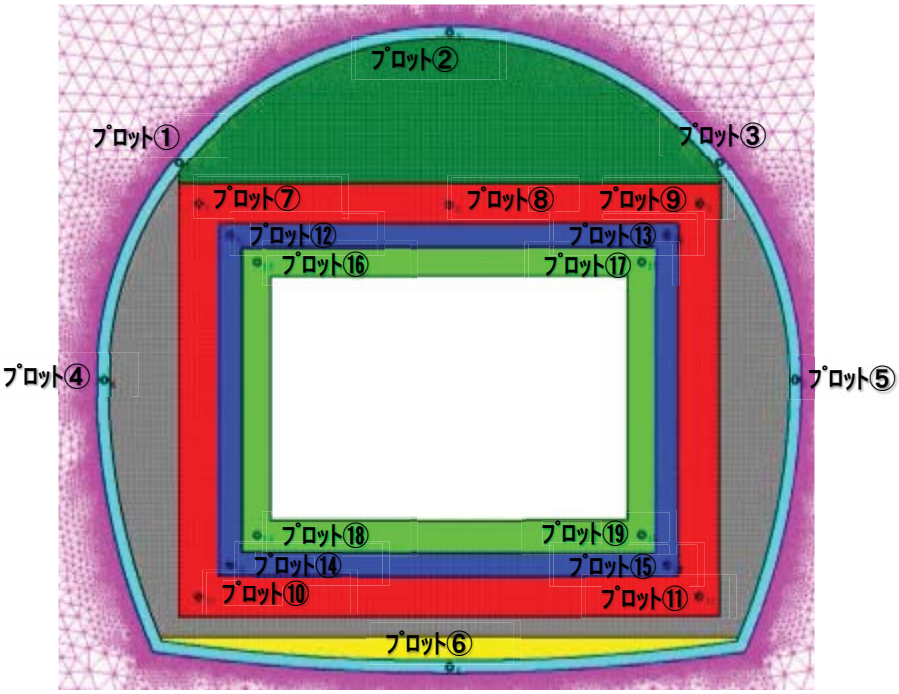


図 3.3-21　透水係数および拡散係数の出力箇所（Case1）

Case1 の吹付けコンクリートにおける透水係数の推移を図 3.3-22 に、拡散係数の推移を図 3.3-23 にそれぞれ示す。上部埋戻し材と接する部位に位置する部位（No.1、No.2 および No.3）については、他の部位と比較して透水係数および拡散係数の増加が大きい結果であった。これは、図 3.3-16 に示したとおり、他の部位と比較してセメント水和物の溶出が顕著であったためと考えられる。また、No.1、No.2 および No.3 で比較すると、上流側および天端に位置する No.1 および No.2 が、下流側に位置する No.3 と比較して若干大きくなる結果であった。この要因として、上流側および天端から溶出した Ca イオンの影響により、下流側の Ca イオンが相対的に大きくなり、Ca 溶出が抑制されたためと考えられる。No.4（上流側側部）、No.5（下流側側部）および No.6（底部）で比較すると、下流側側部に位置する No.5 で最も変化が小さかった。

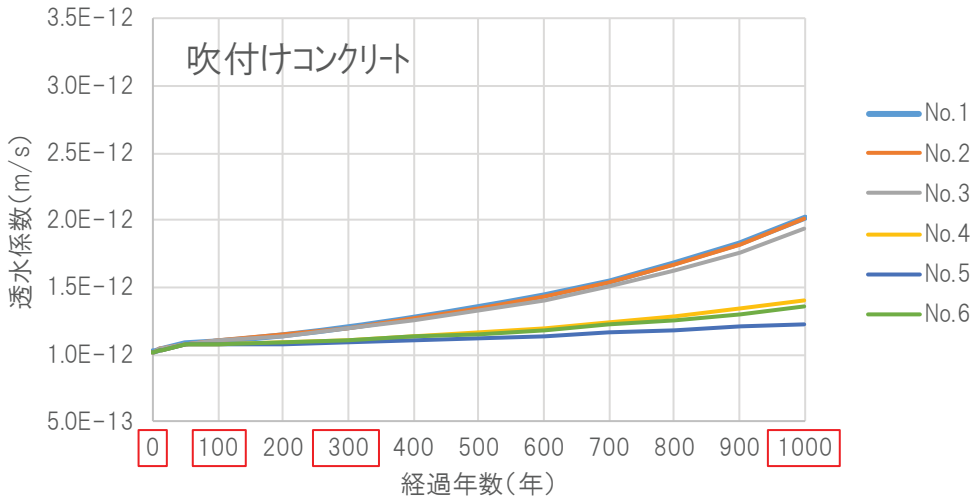


図 3.3-22　吹付けコンクリートの透水係数（Case1）

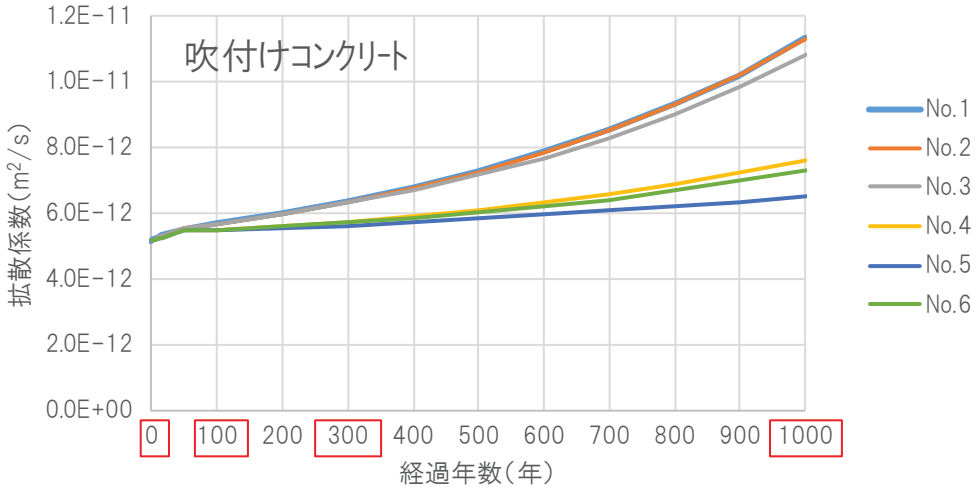


図 3.3-23　吹付けコンクリートの拡散係数（Case1）

Case1 の各部材における透水係数および拡散係数の解析結果を表 3.3-16 および表 3.3-17 にそれぞれ示す。

低透水層については、1,000 年後の時点において、透水係数で 10%程度、拡散係数で 5%程度それぞれ増大する結果であった。これは先述のとおり、ベントナイトの Ca 型化に伴う空隙率の変化に起因するものと考えられる。

一方で、低透水層の内側に位置する低拡散層およびコンクリートピットについては、1,000 年後までの期間においては、透水係数および拡散係数ともに変化なく、初期状態を維持する結果であった。

表 3.3-16　各部材の解析結果（透水係数、Case1）

部材	位置	ﾌﾟﾛｯﾄ No.	透水係数（m/s）			
			初期値 (0 年後)	100 年後	300 年後	1,000 年後
低透水層	左上	7	5.0×10^{-13}	5.0×10^{-13}	5.1×10^{-13}	5.5×10^{-13}
	中央上	8			5.0×10^{-13}	5.1×10^{-13}
	右上	9			5.1×10^{-13}	5.5×10^{-13}
	左下	10			5.1×10^{-13}	5.4×10^{-13}
	右下	11			5.1×10^{-13}	5.4×10^{-13}
低拡散層	左上	12	1.0×10^{-13} (解析期間において変化なし)			
	右上	13				
	左下	14				
	右下	15				
ｺﾝｸﾘｰﾄ ﾋﾟｯﾄ	左上	16	5.0×10^{-13} (解析期間において変化なし)			
	右上	17				
	左下	18				
	右下	19				

表 3.3-17　各部材の解析結果（拡散係数、Case1）

部材	位置	ﾌﾟﾛｯﾄ No.	拡散係数（m²/s）			
			初期値 (0 年後)	100 年後	300 年後	1,000 年後
低透水層	左上	7	1.00×10^{-10}	1.00×10^{-10}	1.01×10^{-10}	1.04×10^{-10}
	中央上	8			1.00×10^{-10}	1.01×10^{-10}
	右上	9			1.01×10^{-10}	1.04×10^{-10}
	左下	10			1.01×10^{-10}	1.03×10^{-10}
	右下	11			1.01×10^{-10}	1.03×10^{-10}
低拡散層	左上	12	1.0×10^{-13} (解析期間において変化なし)			
	右上	13				
	左下	14				
	右下	15				
ｺﾝｸﾘｰﾄ ﾋﾟｯﾄ	左上	16	5.0×10^{-13} (解析期間において変化なし)			
	右上	17				
	左下	18				
	右下	19				

(2) 硫酸イオンおよび EDZ 等を考慮したケース（Case2）

1) 固相 Ca 濃度

Case2 における固相 Ca 濃度の推移を図 3.3-24 に示す。100 年後の時点ではいずれの部材においても変化は確認されなかった。

300 年後の時点では、吹付けコンクリートにおいて Ca 濃度の低下が認められ、特にひび割れ要素に沿って Ca 濃度の低下が確認された。これは、ひび割れ要素中では地下水流量が増加するため、Ca 溶出が進行したものと考えられる。

1,000 年後の時点では、上部埋戻し材と接する吹付けコンクリートは、ほぼ全断面で Ca 濃度が 10mol/L 程度まで低下した。

なお、側部埋戻し材、底部埋戻し材、低透水層の内側に位置する低拡散層およびコンクリートピットについては、1,000 年後の時点においても固相 Ca 濃度の低下は確認されなかった。

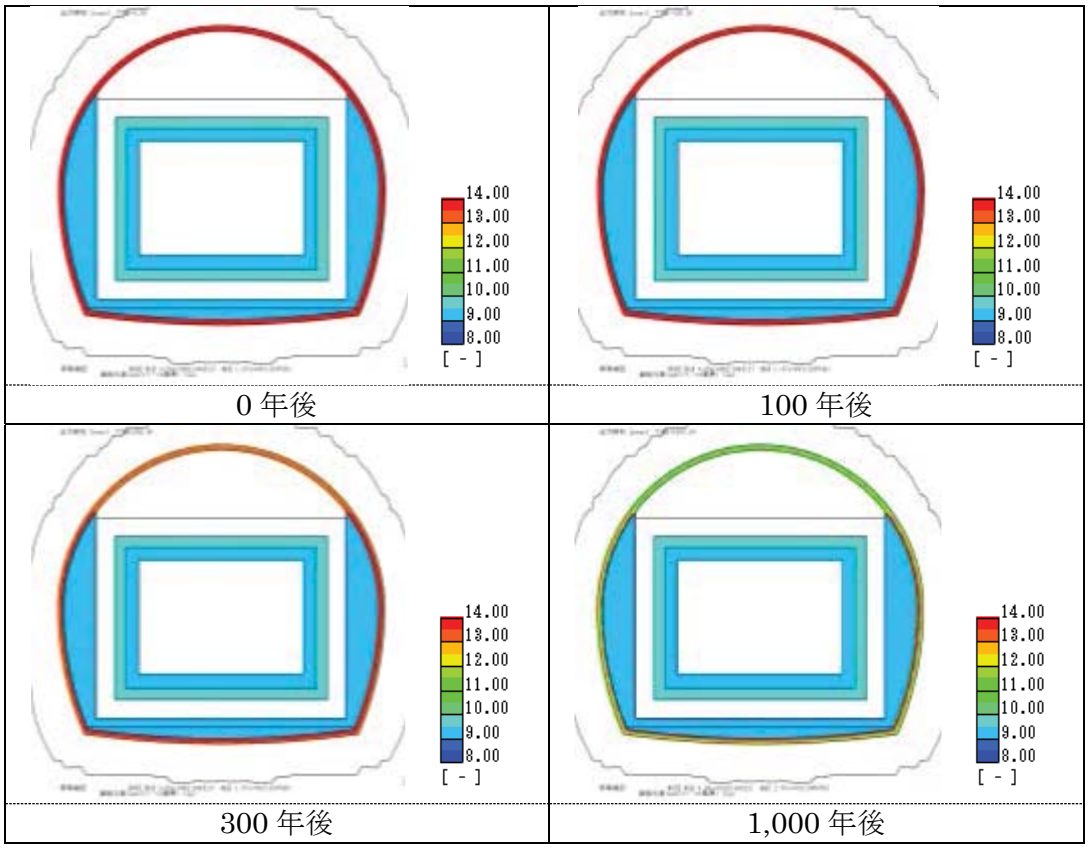


図 3.3-24　固相 Ca 濃度(mol/L)の推移（Case2）

2）水和物濃度

Case2 における水和物濃度の推移を図 3.3-25 に示す。図より、100 年後の時点では、吹付けコンクリートの岩盤側で $Ca(OH)_2$ の低下が確認され、特に吹付けコンクリート中のひび割れに沿って $Ca(OH)_2$ の低下が顕著であった。これは、ひび割れに沿って吹付けコンクリートと接触する地下水流量が増加したためと考えられる。なお。CSH およびエトリンガイトに変化は見られなかった。

300 年後の時点では、吹付けコンクリートにおける $Ca(OH)_2$ の濃度低下はさらに進行した。ただし、$Ca(OH)_2$ が完全に消失する箇所は生じなかった。CSH およびエトリンガイトについては、変化は確認されなかった。

1,000 年後の時点では、吹付けコンクリートにおける $Ca(OH)_2$ の溶出がさらに進行し、上部のひび割れ周辺においては完全に $Ca(OH)_2$ が消失する箇所が生じた。また、$Ca(OH)_2$ の消失に伴い、CSH および CAH の溶解が開始した。さらに、ひび割れに沿って、エトリンガイトの沈殿が確認された。これは、CAH の溶解に伴い Al^{2+} が放出され、SO_4^{2-} と反応してエトリンガイトが生じたものと考えられる。

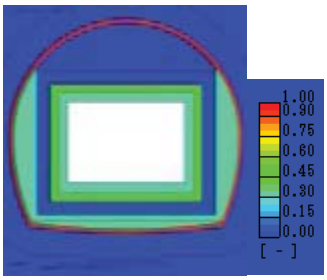
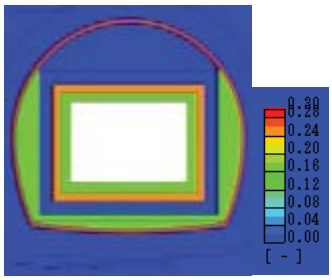
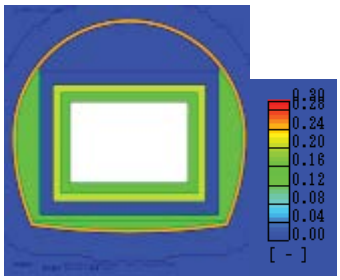
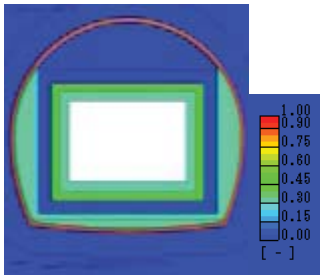
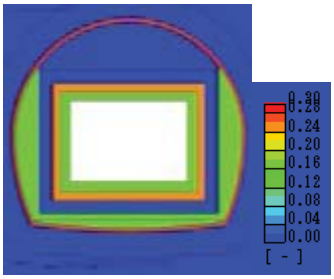
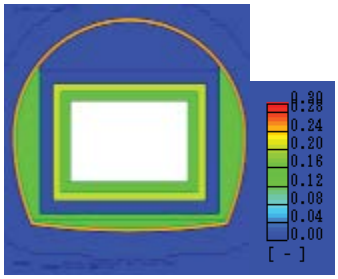
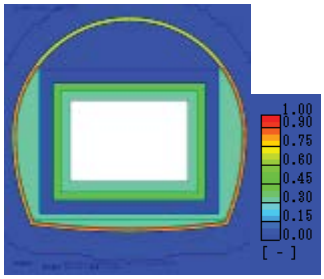
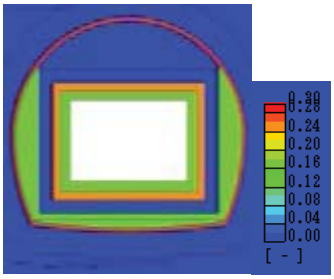
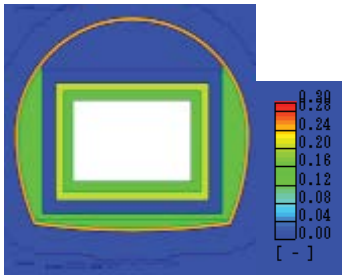
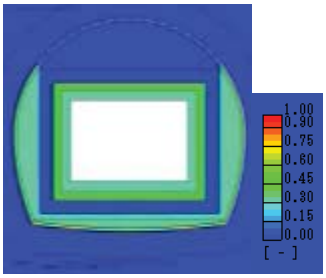
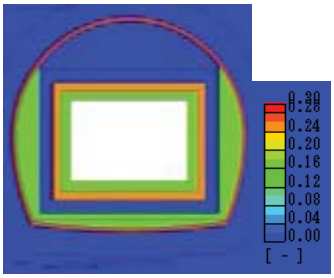
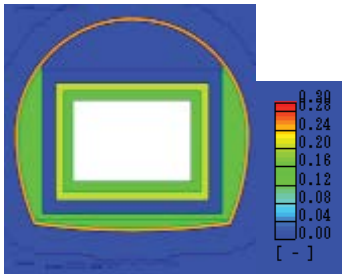
	$Ca(OH)_2$	CSH	エトリンガイト
0 年後			
100 年後			
300 年後			
1,000 年後			

図 3.3-25　水和物濃度（mol/L）の推移（Case2）

3）pH および液相イオン濃度

Case2 におけるモデル全体の pH 分布の推移を図 3.3-26 に示す。100 年後の時点では下流側において pH=12.0 以上となる箇所が生じたものの、上流側については、pH=12.0 未満であった。300 年後および 1,000 年後も傾向は変わらなかった。EDZ の透水係数が周辺岩盤と比較して大きいため、下流側の pH が上昇したものと考えられる。

Case1 と比較すると、pH=12.0~12.5 の範囲が生じなかった。これも、EDZ の透水係数が大きく、移流が卓越したためと考えられる。

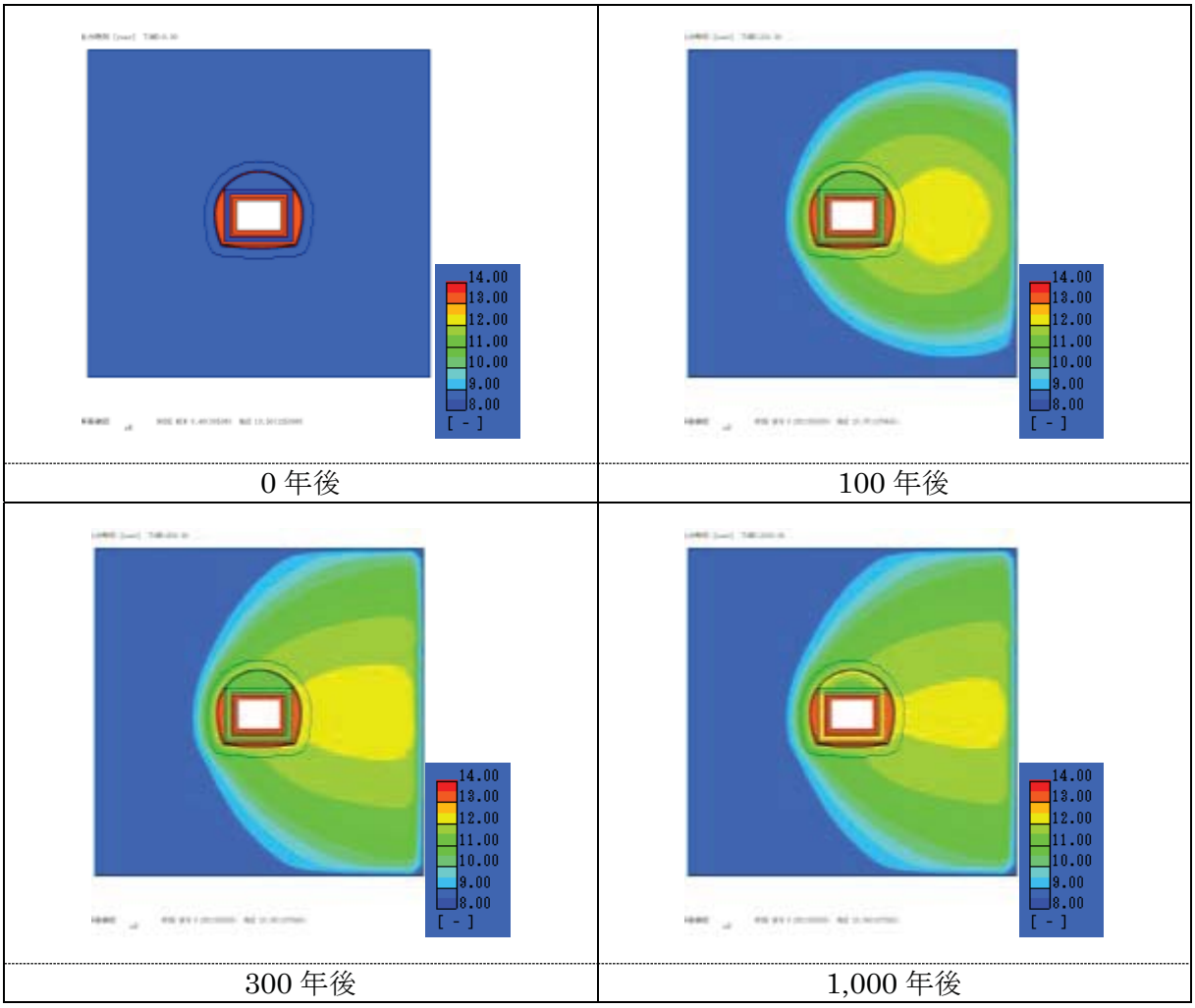


図 3.3-26　モデル全体の pH 分布（Case2）

次に、Case2 の pH 分布について処分施設周辺を拡大したものおよび Ca イオン濃度の分布を図 3.3-27 に示す。100 年後の時点では、Case1 と同様に上部埋戻し材および低透水層の pH が上昇する結果となった。また、吹付けコンクリートにおいて Ca イオン濃度の上昇が認められた。

300 年後の時点では、100 年後と比較して全体として pH 変化は少なかったものの、吹付けコンクリートのひび割れに沿ってやや pH が低下した。同様に、Ca イオンについても、吹

付コンクリートのひび割れに沿って低下した。Case1 と比較すると、低透水層の pH 上昇が抑制される結果であった。

1,000 年度の時点では、吹付けコンクリートのひび割れに沿って pH および Ca イオン濃度の低下が確認された。

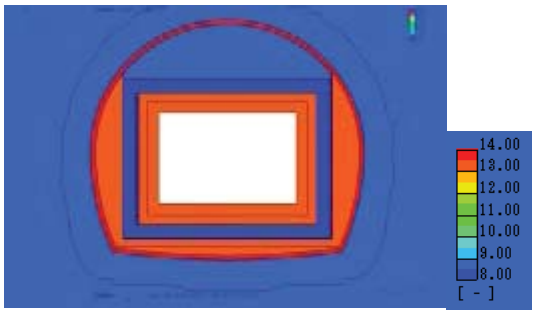
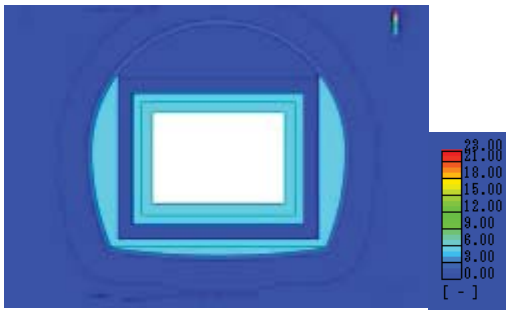
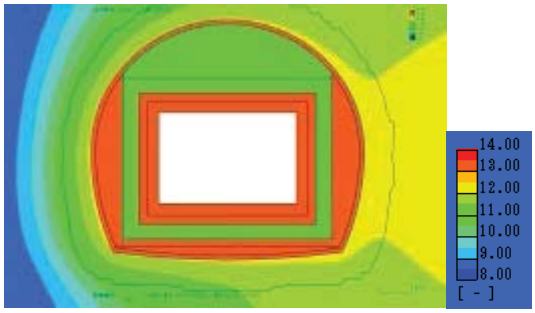
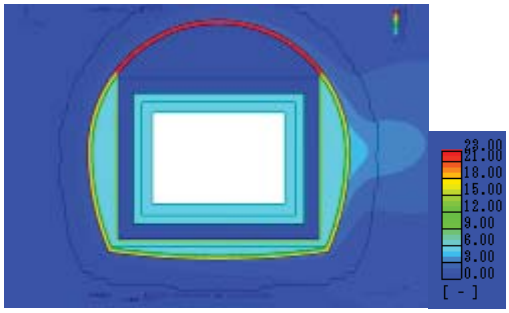
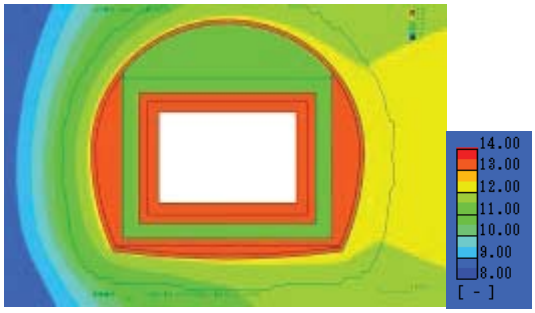
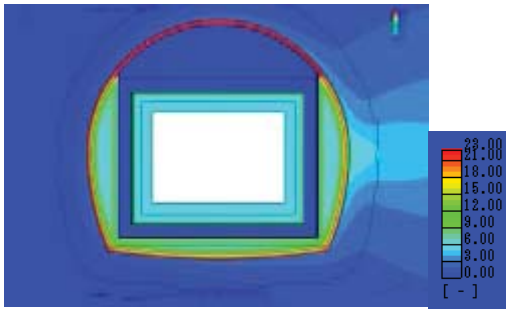
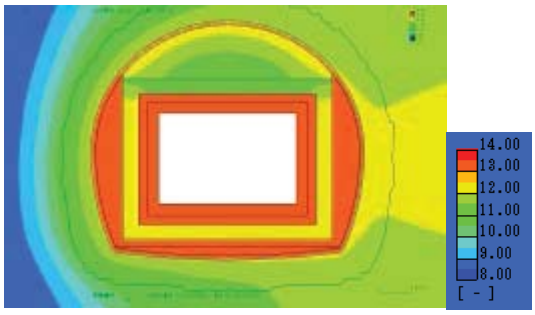
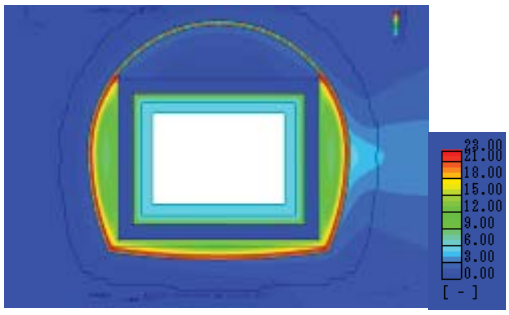
	pH（施設拡大）	Ca イオン濃度
0 年後		
100 年後		
300 年後		
1,000 年後		

図 3.3-27　pH 分布と Ca イオン(mmol/L)分布（Case2）

Case2 における SO_4 イオン濃度の分布を図 3.3-28 に示す。100 年後の時点では、吹付けコンクリートおよび上部埋戻し材中に SO_4 イオンが浸透した。特に、低透水層の上部については、この時点で SO_4 イオン濃度が上昇しており、地下水が到達したものと考えられる。低拡散層の隅角部では SO_4 イオンの浸透深さが他と比較して大きくなっており、地下水が最も早期に到達したと考えられる。このことから、低透水層の偏膨潤は、上部の隅角部において生じやすいと考えられる。

300 年後および 1,000 年後についても同様の傾向であり、上部埋戻し材および低透水層の上部において濃度が上昇する傾向であった。

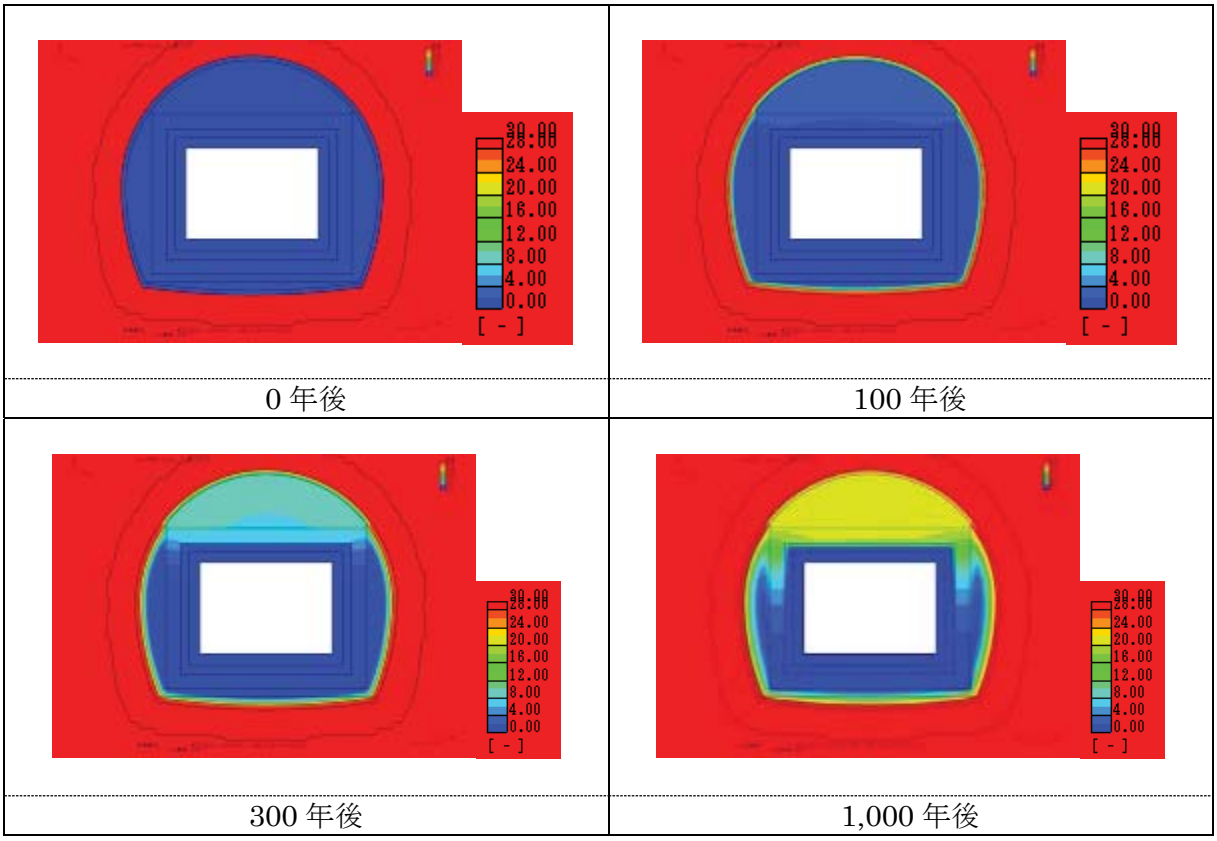


図 3.3-28　SO_4 イオン(mmol/L)分布（Case2）

4）空隙率

Case2 における Ca 溶出あるいは二次鉱物の沈殿により空隙率の変化を図 3.3-29 に示す。100 年後の時点において、Case1 ではいずれの部材でも空隙率の変化は確認されなかったが、吹付けコンクリート上部のひび割れに沿って空隙率がやや増加した。これは、図 3.3-25 に示したとおり、ひび割れに沿って $Ca(OH)_2$ の溶出が進行したためと考えられる。また、上部埋戻し材と吹付けコンクリートの界面でも、含有されるベントナイトの Ca 型化による空隙増加が確認された。

300 年後の時点では、空隙率の増加はさらに顕著となり、吹付けコンクリート全体でひび割れに沿って空隙率が増加した。また、上部埋戻し材と吹付けコンクリートとの界面および

セメント系埋戻し材と低透水層との界面においても空隙率が増大した。

1,000 年後の時点では、上部埋戻し材の大部分およびセメント系埋戻し材と低透水層との界面において、ベントナイトの Ca 型化による空隙率の増加が進行した。吹付けコンクリートにおいては、図 3.3-25 に示したとおり吹付けコンクリートの上部のひび割れに沿ってエトリンガイトの沈殿が確認されたものの、空隙率の減少は認められなかった。

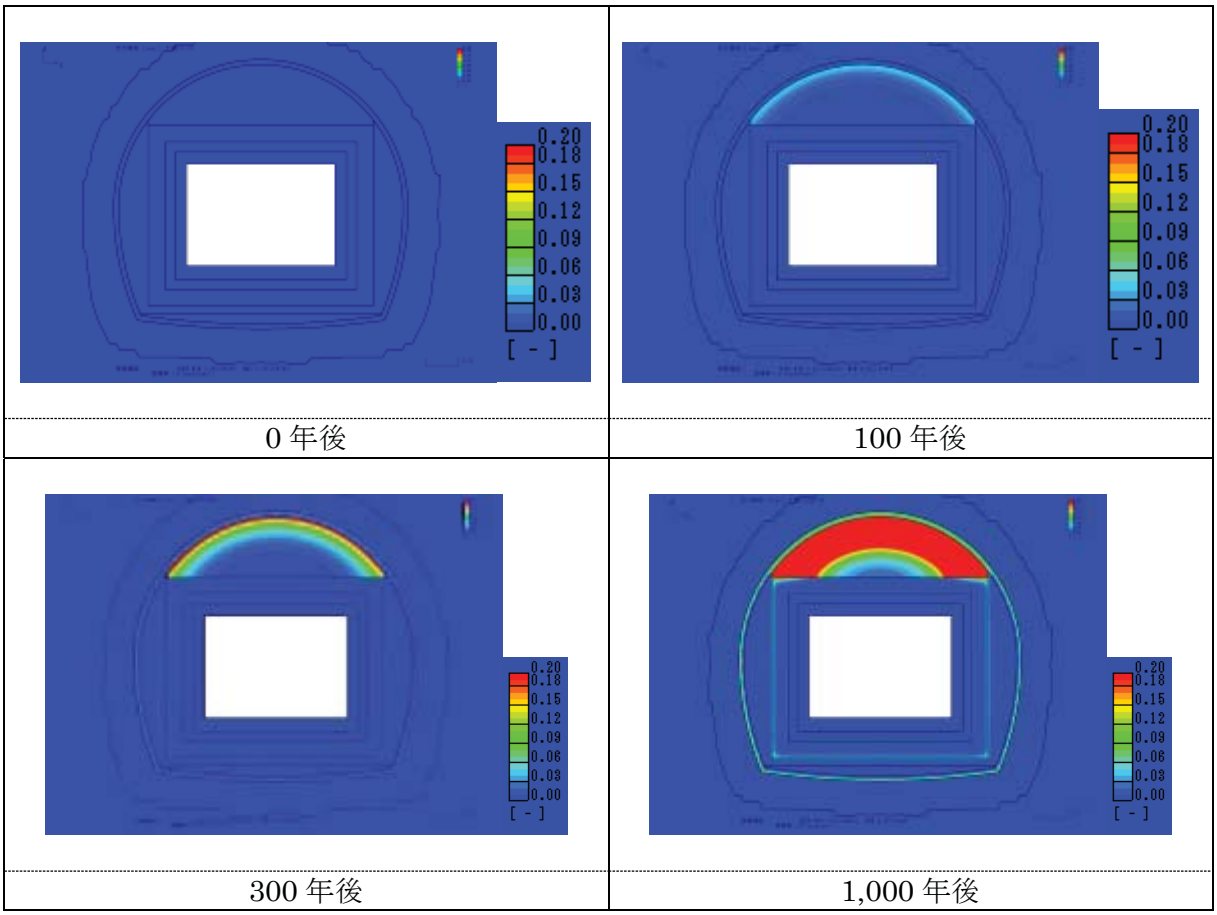


図 3.3-29　空隙率の推移（Case2）

5）透水係数および拡散係数

Case2 における透水係数および拡散係数の推移を、表 3.3-15 および図 3.3-30 に示す位置について評価した。プロット No.2 については、ひび割れ要素の直上であったため、ひび割れ要素を避けた No.20 を加えることとした。

表 3.3-18　透水係数および拡散係数の出力接点（Case2）

部材	位置	ﾌﾟﾛｯﾄ No.	ひび割れ要素	出力項目
吹付け ｺﾝｸﾘｰﾄ	左上	1	なし	・ 透水係数 ・ 拡散係数
	中央上	2	有り	
		20	なし	
	右上	3		
	中央左	4		
	中央右	5		
	中央下	6		
低透水層	左上	7		
	中央上	8		
	右上	9		
	左下	10		
	右下	11		
低拡散層	左上	12		
	右上	13		
	左下	14		
	右下	15		
ｺﾝｸﾘｰﾄ ﾋﾟｯﾄ	左上	16		
	右上	17		
	左下	18		
	右下	19		

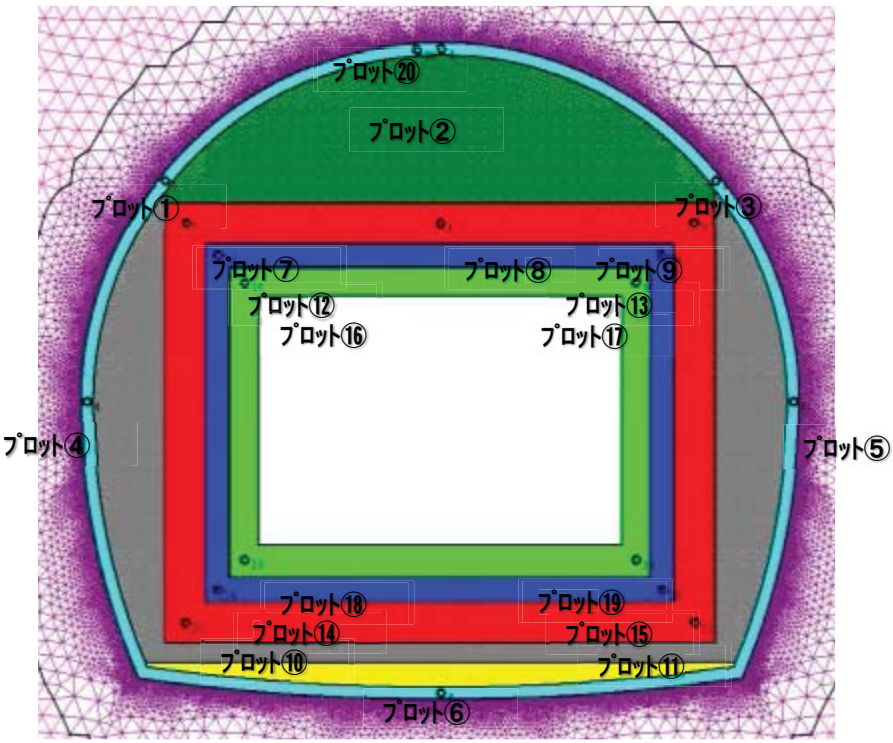


図 3.3-30　透水係数および拡散係数の出力箇所（Case2）

Case2 の吹付けコンクリートにおける透水係数の推移を図 3.3-31 に、拡散係数の推移を図 3.3-32 にそれぞれ示す。上部埋戻し材と接する部位に位置する No.1、No.3 および No.20 については、他の部位と比較して透水係数および拡散係数の増加が大きい結果であった。これは、Case1 と同様に、他の部位と比較してセメント水和物の溶出が顕著であったためと考えられる。また、No.1、No.3 および No.20 で比較すると、上流側および天端に位置する No.1 および No.20 が、下流側に位置する No.3 と比較して若干大きくなる結果であった。No.4（上流側側部）、No.5（下流側側部）および No.6（底部）で比較すると、Case1 と同様に、下流側側部に位置する No.5 で最も変化が小さかった。

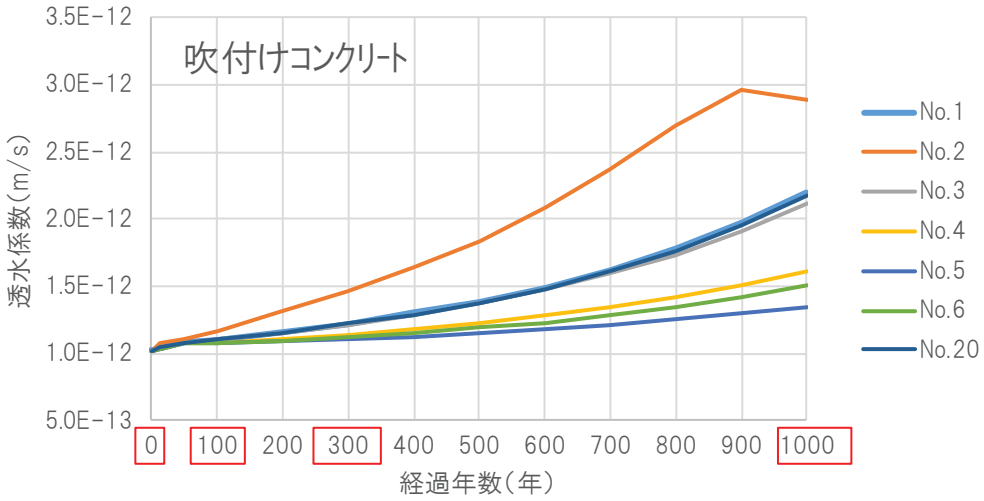


図 3.3-31　吹付けコンクリートの透水係数（Case2）

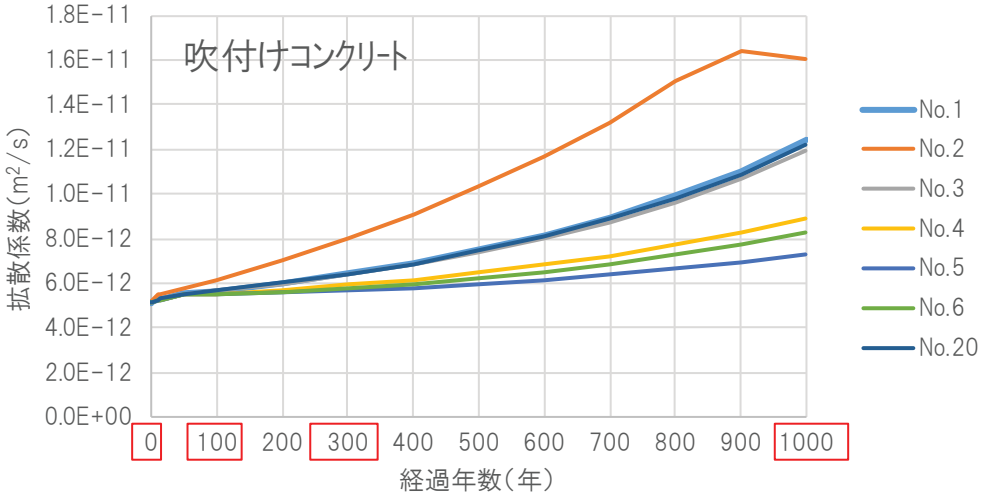


図 3.3-32　吹付けコンクリートの拡散係数（Case2）

Case2 の各部材における透水係数および拡散係数の解析結果を表 3.3-19 および表 3.3-20 にそれぞれ示す。

低透水層については、1,000 年後の時点において、透水係数で 10～20%程度、拡散係数で数%程度それぞれ増大する結果であった。これは Case1 と同様に、ベントナイトの Ca 型化に伴う空隙率の変化に起因すると考えられる。低拡散層およびコンクリートピットについては、Case1 と同様に、1,000 年後までの期間において透水係数および拡散係数ともに変化は認められなかった。

表 3.3-19　各部材の解析結果（透水係数、Case2）

部材	位置	ﾌﾟﾛｯﾄ No.	透水係数（m/s）			
			初期値 (0 年後)	100 年後	300 年後	1,000 年後
低透水層	左上	7	5.0×10^{-13}	5.0×10^{-13}	5.1×10^{-13}	6.1×10^{-13}
	中央上	8			5.0×10^{-13}	5.1×10^{-13}
	右上	9			5.1×10^{-13}	6.1×10^{-13}
	左下	10			5.2×10^{-13}	5.5×10^{-13}
	右下	11			5.2×10^{-13}	5.5×10^{-13}
低拡散層	左上	12	1.0×10^{-13} (解析期間において変化なし)			
	右上	13				
	左下	14				
	右下	15				
ｺﾝｸﾘｰﾄ ﾋﾟｯﾄ	左上	16	5.0×10^{-13} (解析期間において変化なし)			
	右上	17				
	左下	18				
	右下	19				

表 3.3-20　各部材の解析結果（拡散係数、Case2）

部材	位置	ﾌﾟﾛｯﾄ No.	拡散係数（m^2/s）			
			初期値 (0 年後)	100 年後	300 年後	1,000 年後
低透水層	左上	7	1.00×10^{-10}	1.00×10^{-10}	1.01×10^{-10}	1.08×10^{-10}
	中央上	8			1.00×10^{-10}	1.01×10^{-10}
	右上	9			1.01×10^{-10}	1.08×10^{-10}
	左下	10			1.02×10^{-10}	1.04×10^{-10}
	右下	11			1.02×10^{-10}	1.04×10^{-10}
低拡散層	左上	12	1.0×10^{-13} (解析期間において変化なし)			
	右上	13				
	左下	14				
	右下	15				
ｺﾝｸﾘｰﾄ ﾋﾟｯﾄ	左上	16	5.0×10^{-13} (解析期間において変化なし)			
	右上	17				
	左下	18				
	右下	19				

(3) Case1 および Case2 の比較と考察

ここでは、Case1 と Case2 の解析結果について、代表的な項目の比較考察を行った。

1) 固相 Ca 濃度

固相 Ca 濃度についての比較を図 3.3-33 に示す。図より、固相 Ca 濃度については、Case1 と Case2 で 300 年後までは大きな差異はなかった。300 年後になると、Case2 のひび割れ要素内においても固相 Ca 濃度の低下が生じはじめ、その差は 1,000 年後になるとさらに顕著となった。

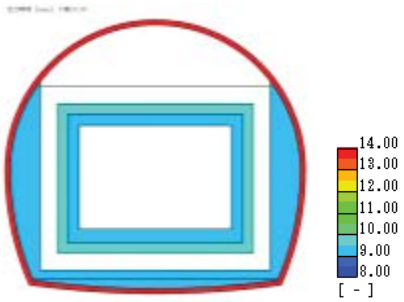
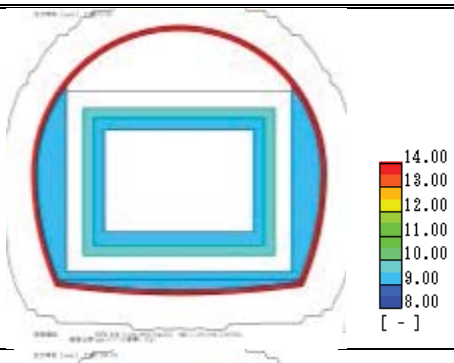
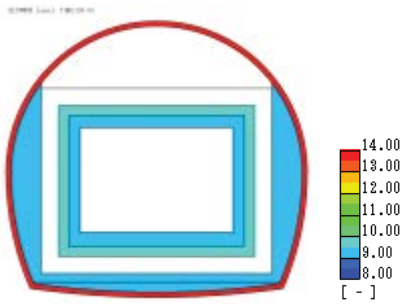
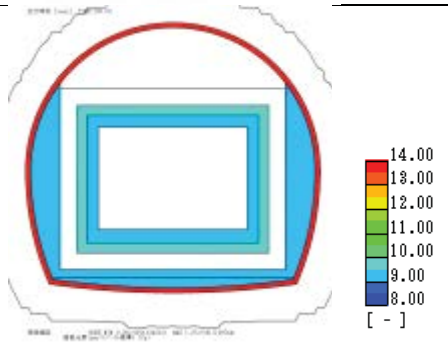
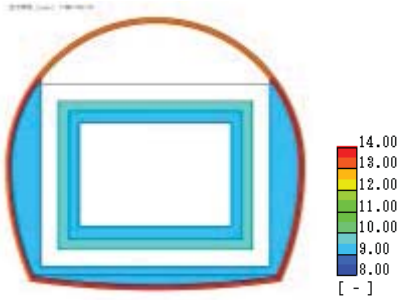
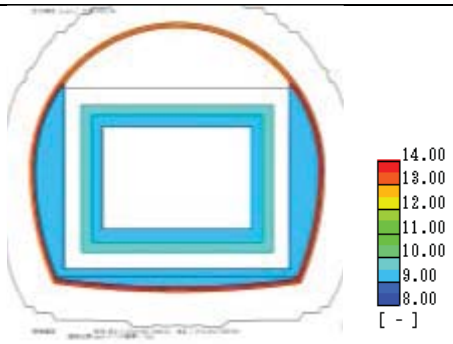
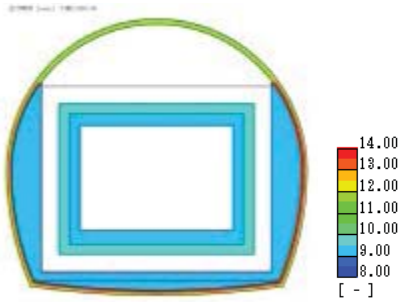
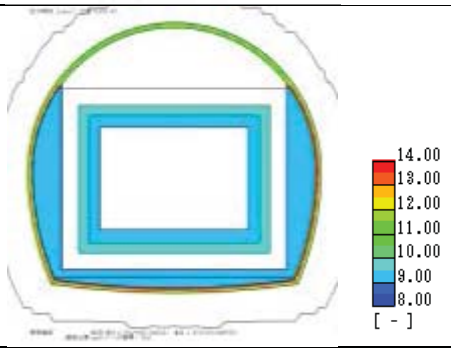
	Case1	Case2
0 年後		
100 年後		
300 年後		
1,000 年後		

図 3.3-33 固相 Ca 濃度(mol/)の比較

2）水和物濃度

水和物濃度の比較を図 3.3-34 に示す。図より、Case2 については、100 年後の時点で吹付けコンクリートのひび割れから $Ca(OH)_2$ の溶出が進行していることが分かる。その結果、1,000 年後の時点では、吹付けコンクリート上部において、大部分の $Ca(OH)_2$ が消失していることが分かる。

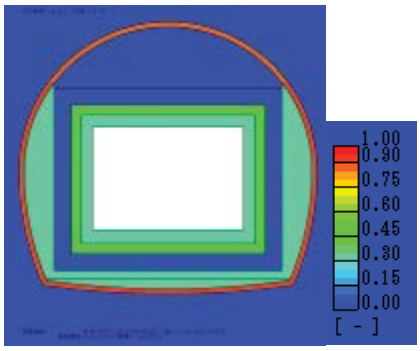
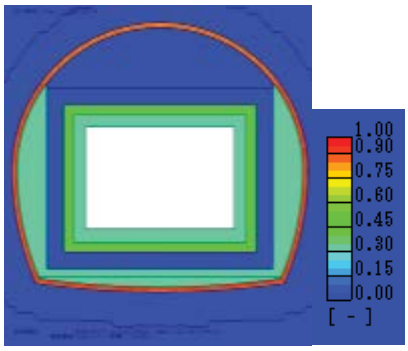
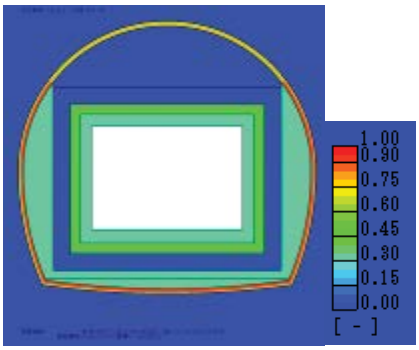
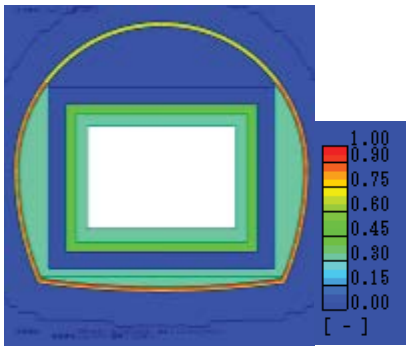
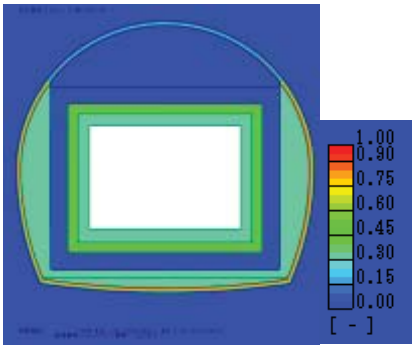
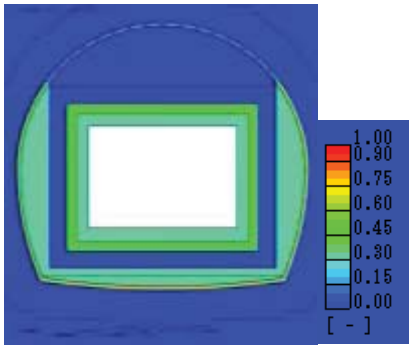
	Case1	Case2
100 年後		
300 年後		
1,000 年後		

図 3.3-34　$Ca(OH)_2$ の比較

3）pH の推移

pH 推移の比較を図 3.3-35 に示す。周辺岩盤では、Case1 および Case2 の差が顕著に表れていたものの、施設内においては Case2 のひび割れ要素に沿って差が生じたものの、全体の傾向としては大きな差は生じなかった。特に、低透水層より内側に位置する低拡散層およびコンクリートピットにおいては、いずれの結果でも変質は生じない結果であった。

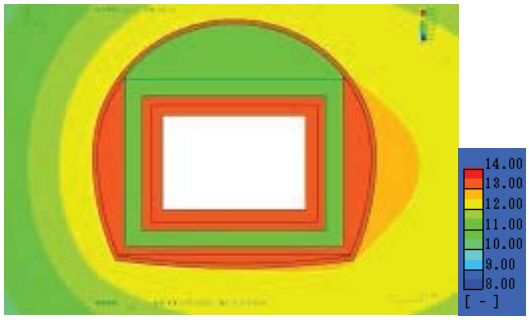
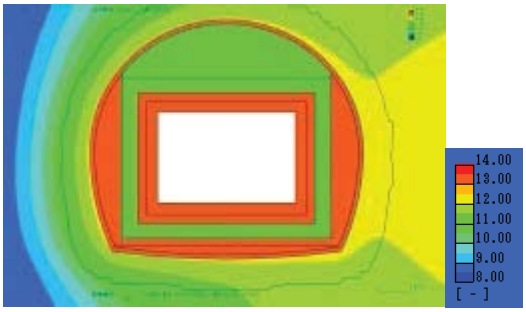
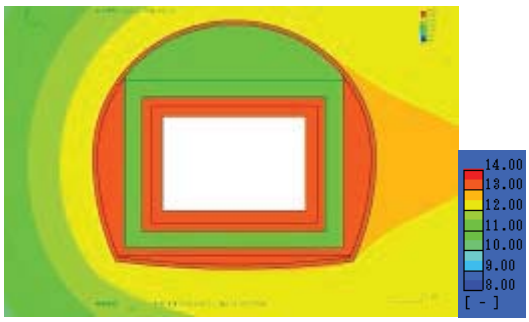
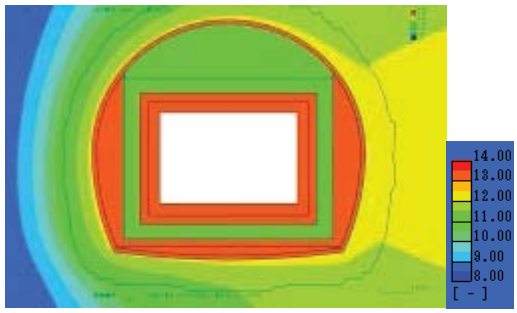
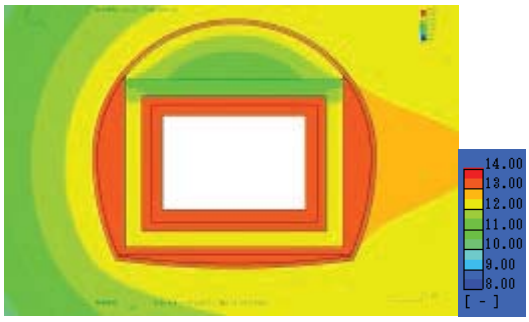
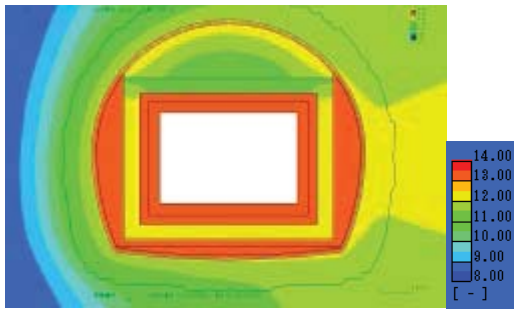
	Case1	Case2
100 年後		
300 年後		
1,000 年後		

図 3.3-35　pH 推移の比較

(4) まとめと残された課題

本検討で得られた人工バリアの各部材における状態を表 3.3-21 および表 3.3-22 に示す。本検討で実施した Case1 および Case2 の範囲においては、主として吹付けコンクリートおよび上部埋戻し材において変質が進行する結果であり、低透水層の変質はわずかであった。また、低拡散層およびコンクリートピットの変質は認められなかった。

低透水層に浸透する水量という観点では、空洞のアーチ上部における吹付コンクリートの変質が大きく、それに伴ってアーチ上部の透水係数が増加することから、低透水層全体としては、底部や側部よりも上部のほうが浸透する水量が多くなる。また、隅角部は埋戻し材の量（厚さ）が少なく、周辺岩盤との距離が近くなることから、低透水層に浸透する水量は必然的に多くなる。以上のことを踏まえて、低透水層全体をマクロにとらえると、上部の低透水層の隅角部が他に比べて浸透水量が多く、場合によっては偏膨潤が生じる可能性がある。

残された課題として、以下を列挙する。

① 数万年後から数十万年後程度までを検討期間とした施設の状態評価
② 不飽和浸透流解析による変質評価
③ 偏膨潤によって低拡散層のバリア性能が低下した場合の評価
④ セメント系人工バリアおよび低拡散層に初期ひび割れが生じていた場合の評価

表 3.3-21　Case1 における施設の状態の検討結果

部材	分類	100 年後	300 年後	1,000 年後
吹付けコンクリート	化学的状態	・ CH の溶出 （特にアーチ上部で顕著）	・ CH の溶出が進行 （特にアーチ上部で顕著）	・ さらに CH の溶出が進行 （特にアーチ上部で顕著）
	物理的状態	・ ほぼ変化なし	・ 空隙の増大	・ さらに空隙の増大
	水理的状態 (透水・拡散係数)	・ やや増大	・ アーチ上部でさらに増大	・ アーチ上部で 2 倍程度に増大
低透水層	化学的状態	・ 変化なし	・ やや Ca 型化が進行 （セメント系部材との界面）	・ Ca 型化の進行 （主にセメント系部材との界面）
	物理的状態	・ 変化なし	・ やや空隙率が増大 （セメント系部材との界面）	・ 空隙率の増大 （主にセメント系部材との界面）
	水理的状態 (透水・拡散係数)	・ 変化なし	・ 僅かに増大	・ 透水係数は 10%程度増加 ・ 拡散係数は 5%増加
低拡散層	化学的状態	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし
	物理的状態	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし
	水理的状態 (透水・拡散係数)	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし
コンクリートピット	化学的状態	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし
	物理的状態	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし
	水理的状態 (透水・拡散係数)	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし

表 3.3-22　Case2 における施設の状態の検討結果

部材	分類	100 年後	300 年後	1,000 年後
吹付けコンクリート	化学的状態	・ CH の溶出 （アーチ上部、ひび割れで顕著）	・ CH の溶出が進行 （アーチ上部、ひび割れで顕著）	・ CH 溶出し一部消失 ・ ひび割れに沿って CSH および CAH の溶解しエトリンガイトが沈殿
	物理的状態	・ ほぼ変化なし	・ 空隙の増大	・ さらに空隙増大するものの、ひび割れはエトリンガイト沈殿で空隙増大が緩和
	水理的状態 (透水・拡散係数)	・ やや増大	・ アーチ上部でさらに増大	・ アーチ上部で 2 倍程度に増大
低透水層	化学的状態	・ 変化なし	・ やや Ca 型化が進行 （セメント系部材との界面）	・ Ca 型化の進行 （主にセメント系部材との界面）
	物理的状態	・ 変化なし	・ やや空隙率が増大 （セメント系部材との界面）	・ 空隙率の増大 （主にセメント系部材との界面）
	水理的状態 (透水・拡散係数)	・ 変化なし	・ 僅かに増大	・ 透水係数は 20%程度増加 ・ 拡散係数は数%増加
低拡散層	化学的状態	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし
	物理的状態	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし
	水理的状態 (透水・拡散係数)	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし
コンクリートピット	化学的状態	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし
	物理的状態	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし
	水理的状態 (透水・拡散係数)	・ 変化なし	・ 変化なし	・ 変化なし

(5) 解析結果一覧

1) Case1

a. 固相 Ca 濃度（Case1、施設拡大）

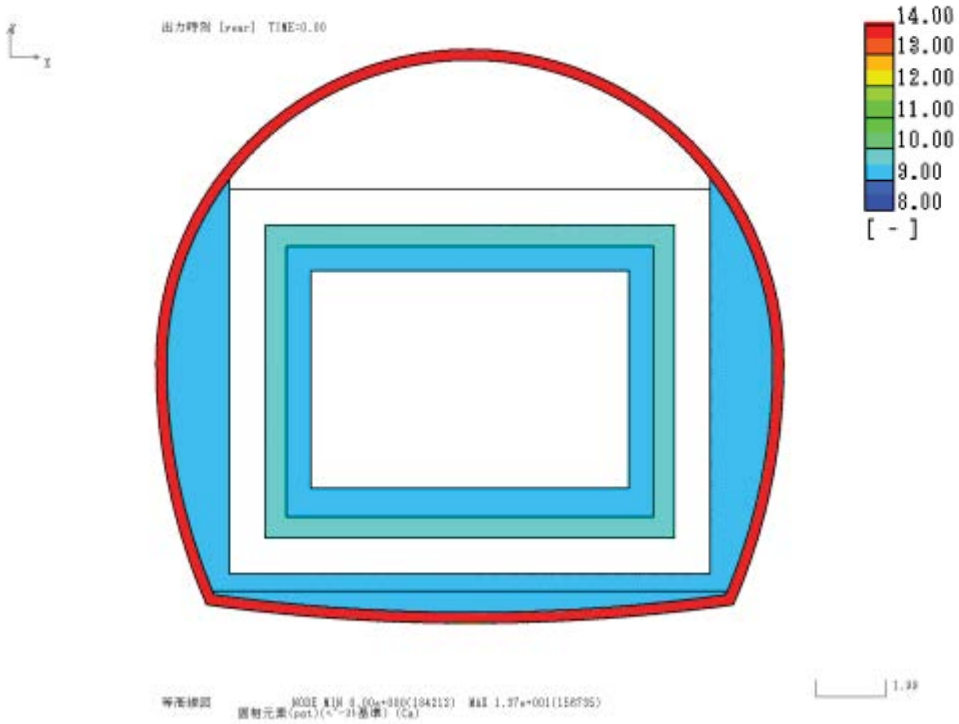


図 3.3-36　固相 Ca 濃度（Case1、0 年後）

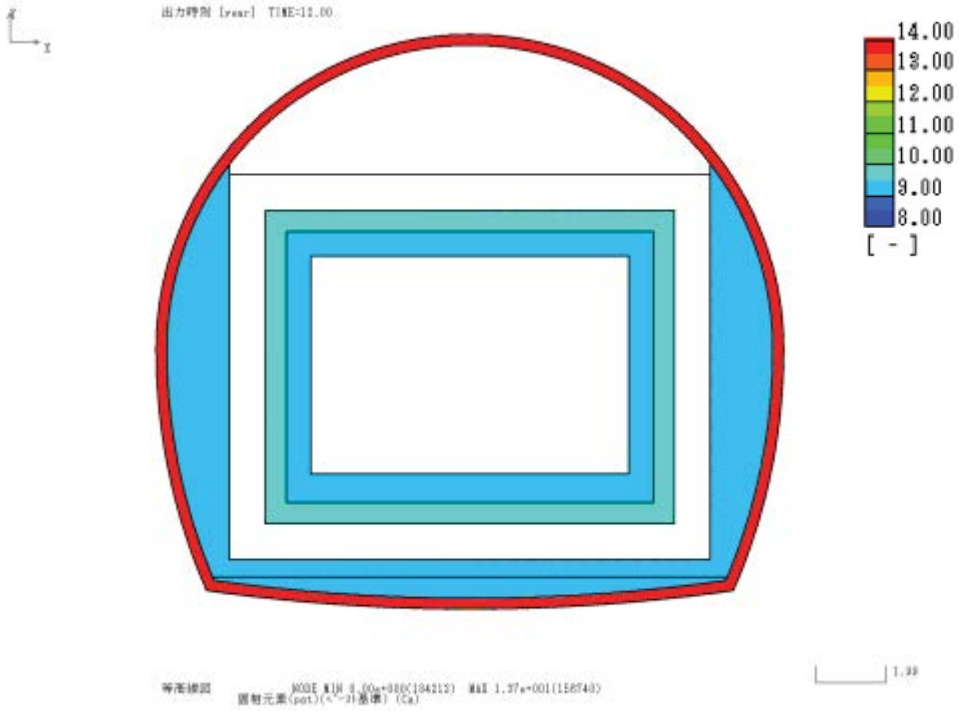


図 3.3-37　固相 Ca 濃度（Case1、12 年後）

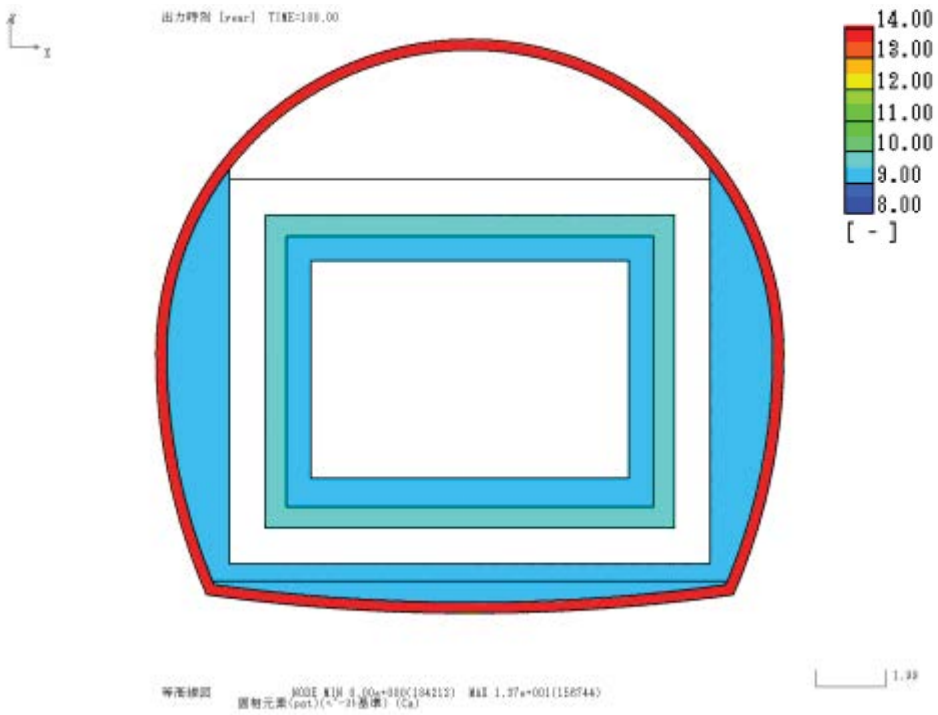


図 3.3-38　固相 Ca 濃度（Case1、100 年後）

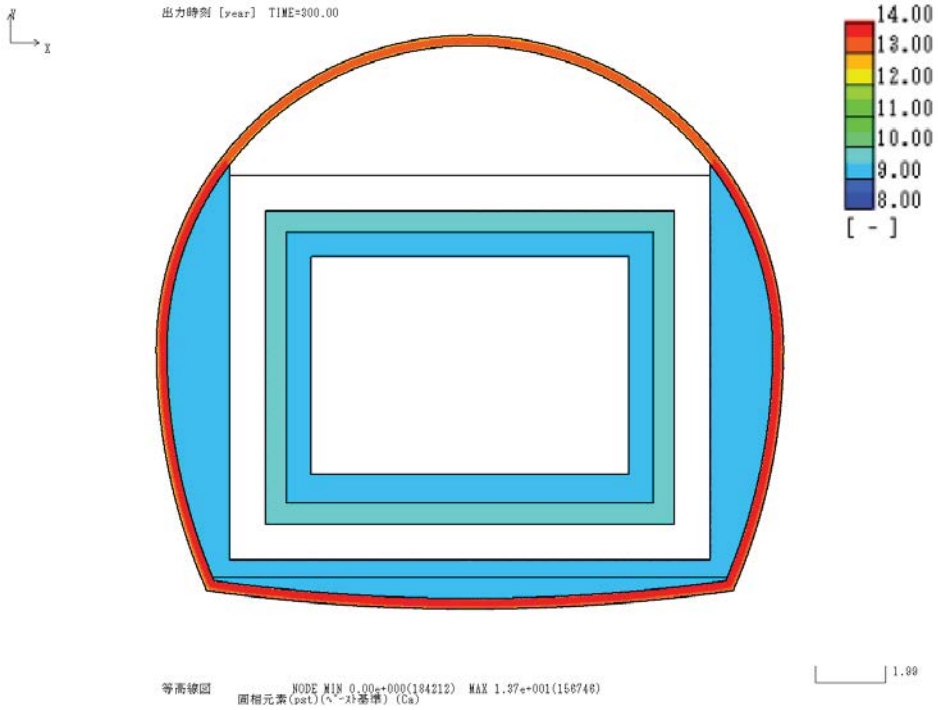


図 3.3-39　固相 Ca 濃度（Case1、300 年後）

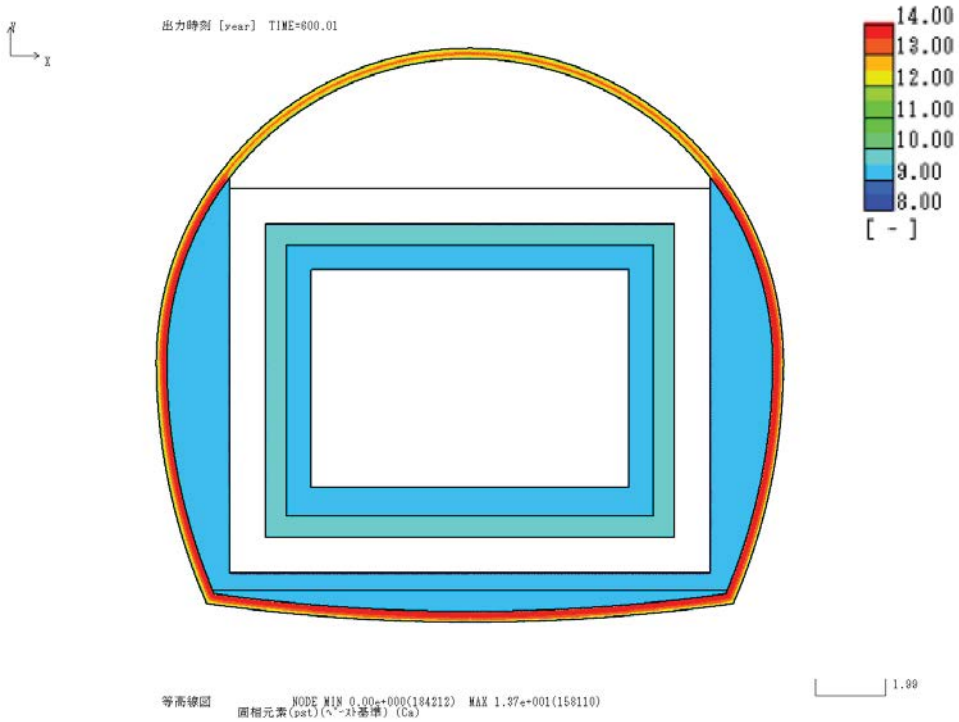


図 3.3-40　固相 Ca 濃度（Case1、600 年後）

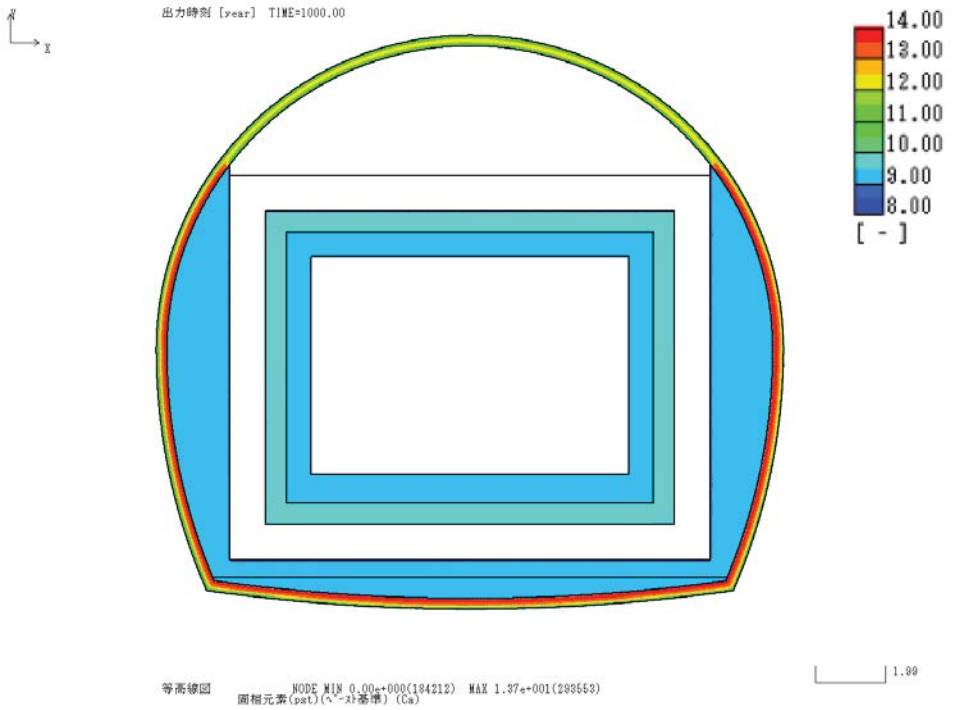


図 3.3-41　固相 Ca 濃度（Case1、1,000 年後）

b. pH の分布（Case1、全体）

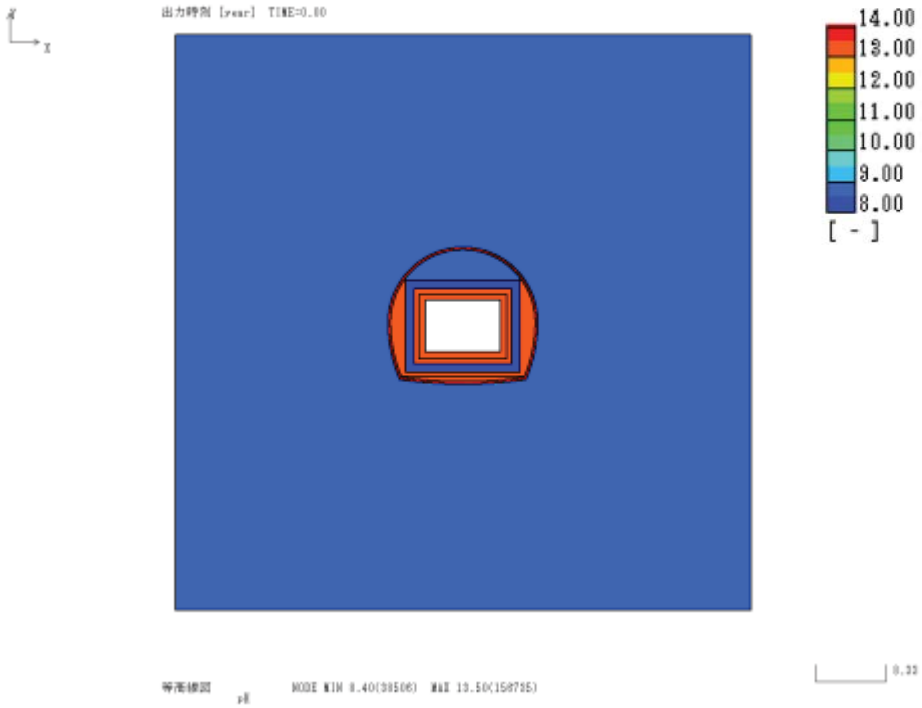


図 3.3-42　モデル全体の pH 分布（Case1、0 年後）

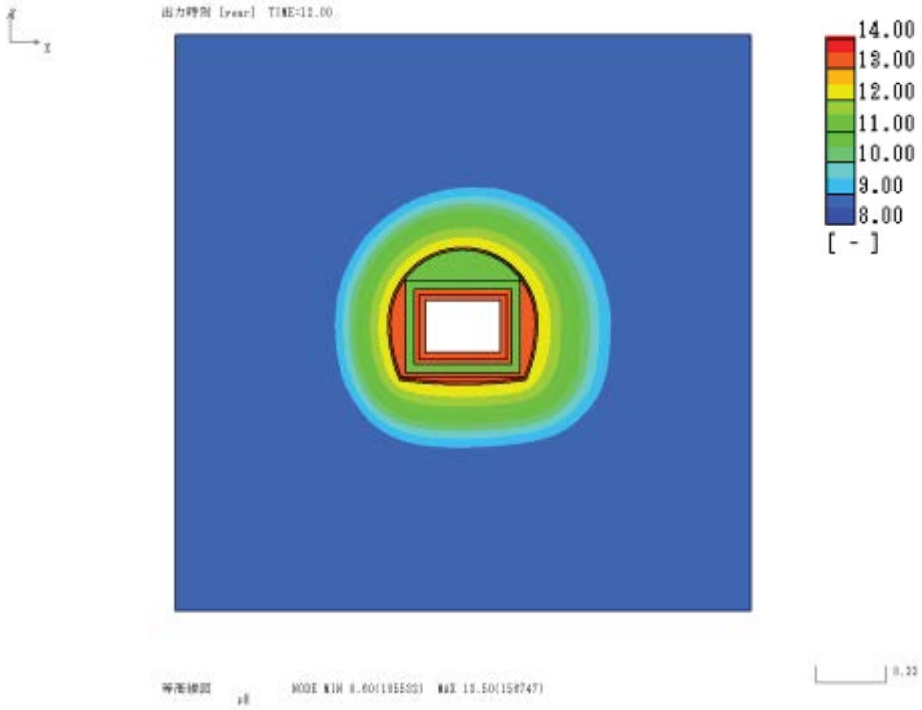


図 3.3-43　モデル全体の pH 分布（Case1、12 年後）

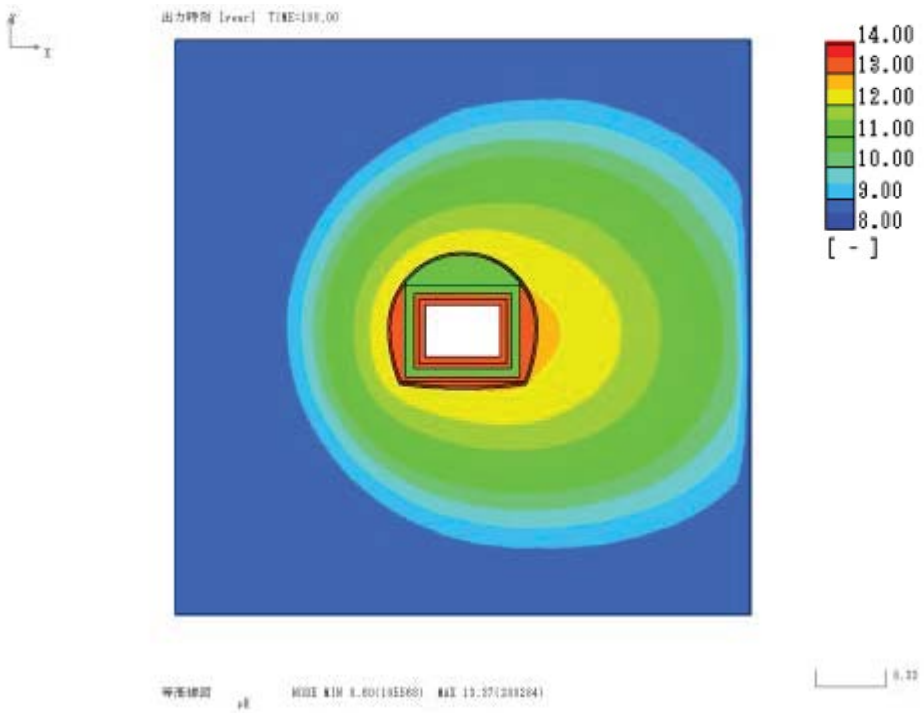


図 3.3-44　モデル全体の pH 分布（Case1、100 年後）

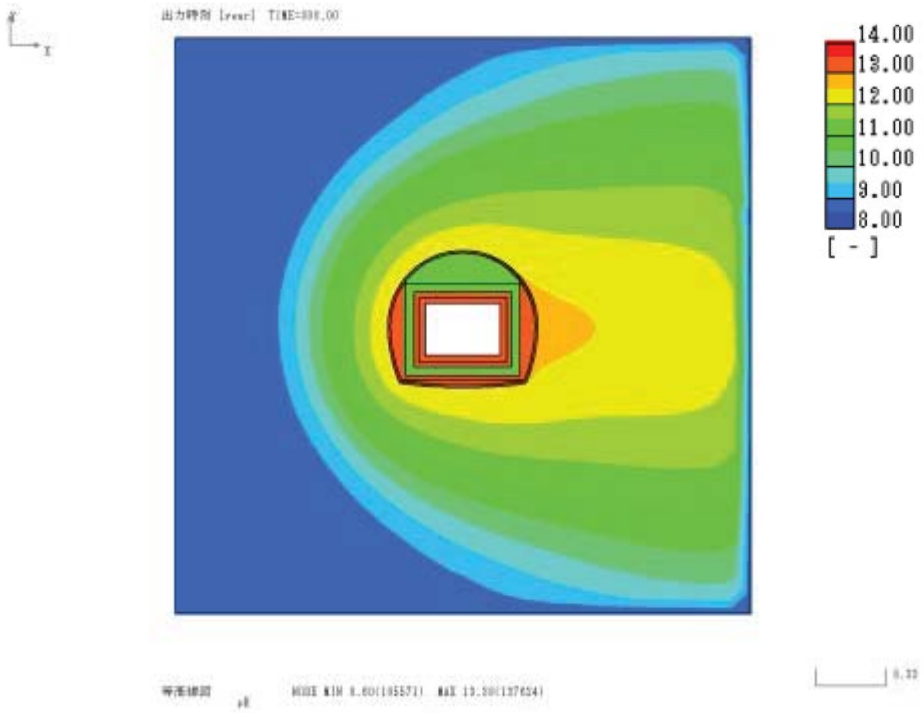


図 3.3-45　モデル全体の pH 分布（Case1、300 年後）

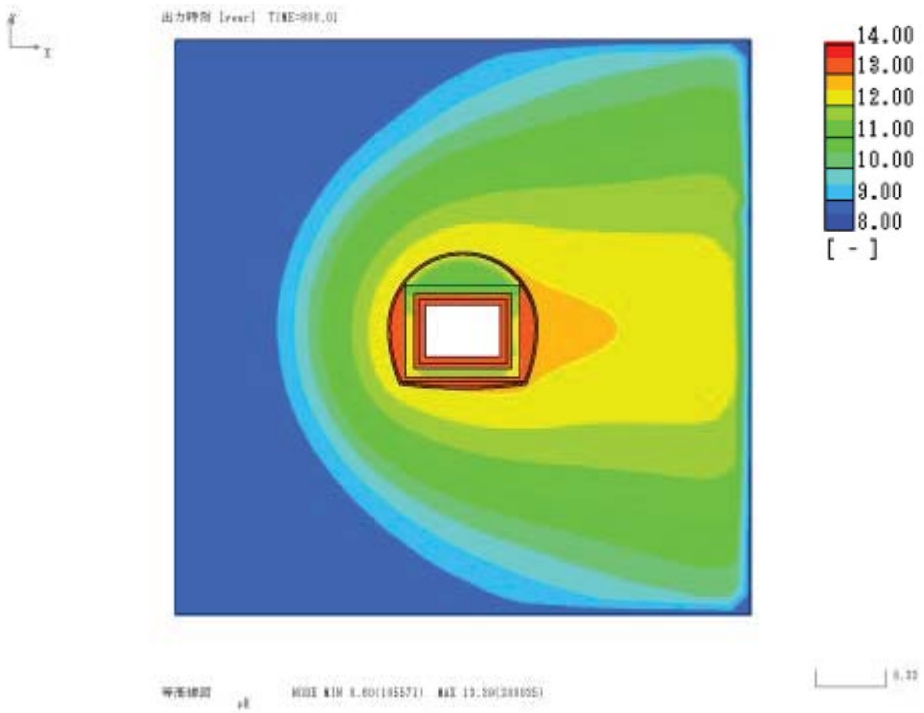


図 3.3-46　モデル全体の pH 分布（Case1、600 年後）

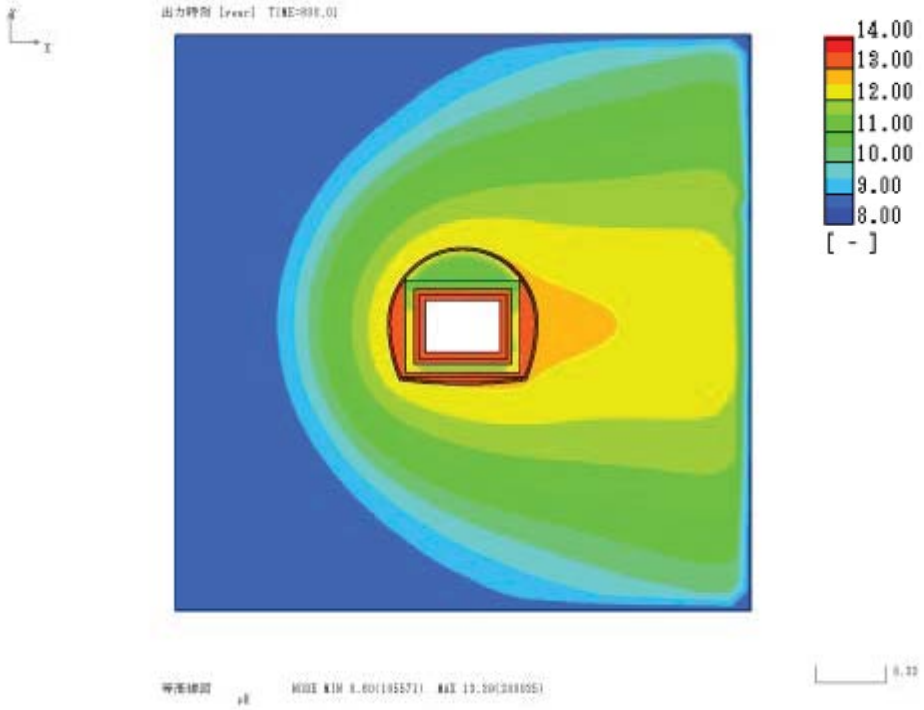


図 3.3-47　モデル全体の pH 分布（Case1、1,000 年後）

c．pH の分布（Case1、施設拡大）

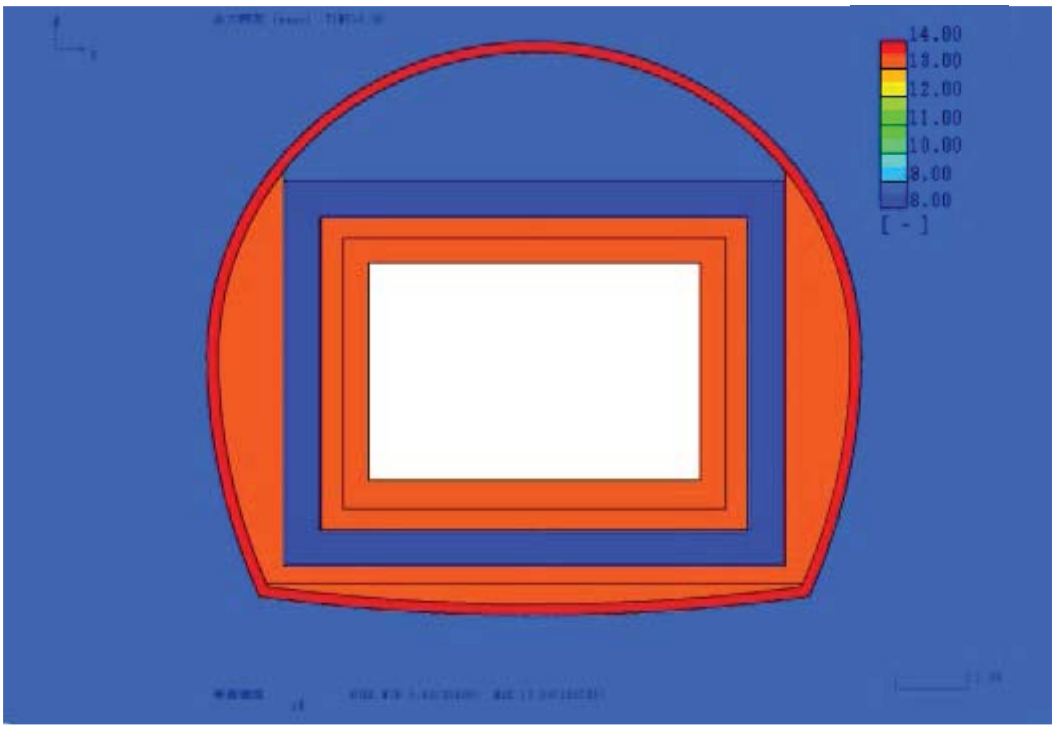


図 3.3-48　人工バリアの pH 分布（Case1、0 年後）

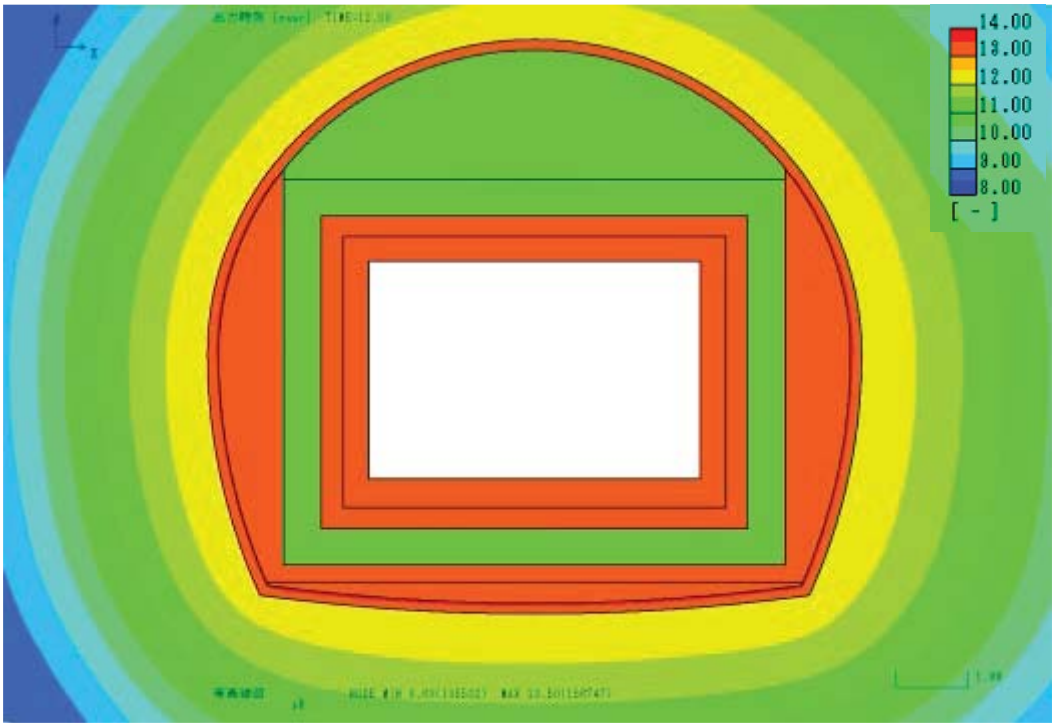


図 3.3-49　人工バリアの pH 分布（Case1、12 年後）

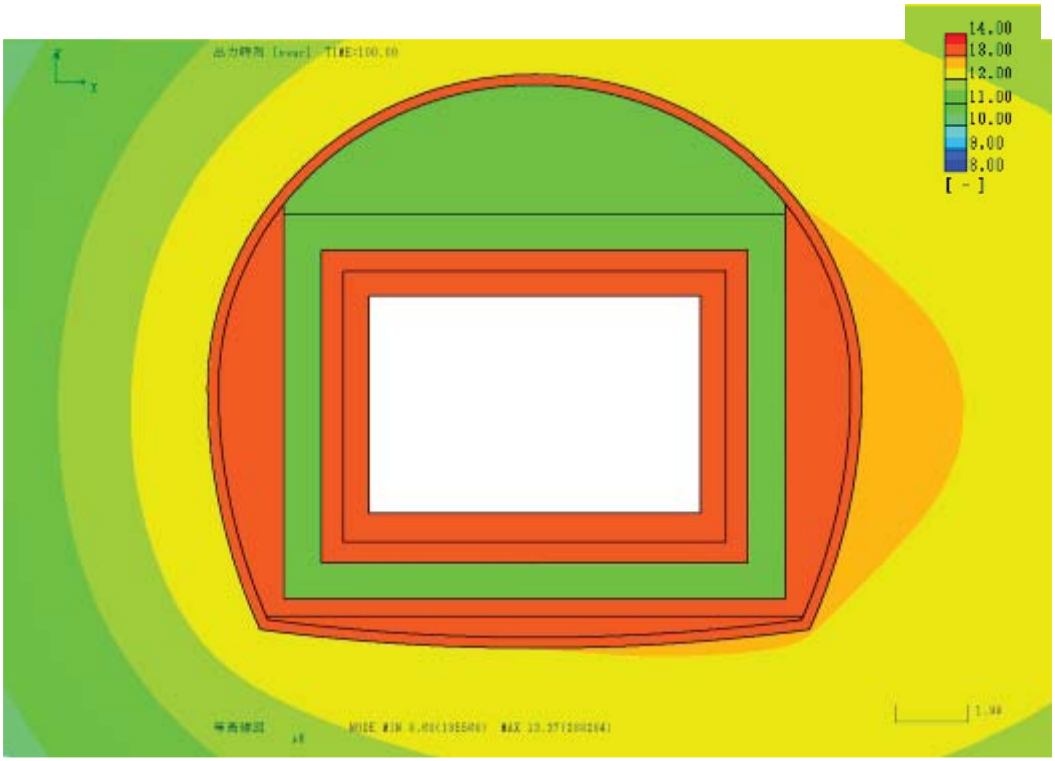


図 3.3-50　人工バリアの pH 分布（Case1、100 年後）

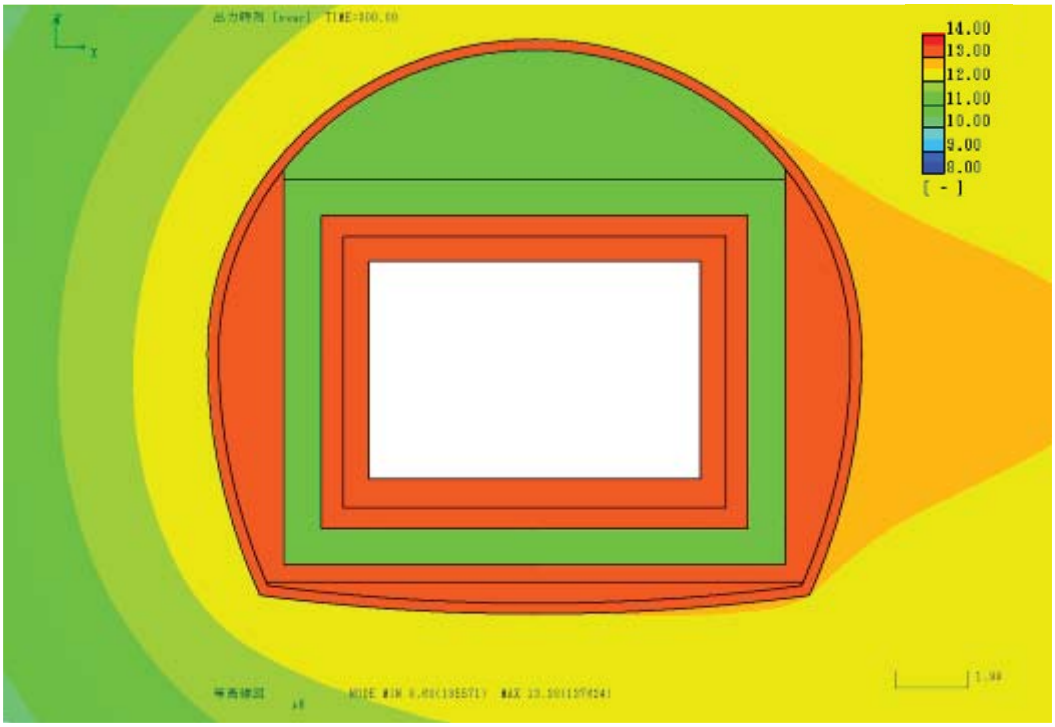


図 3.3-51　人工バリアの pH 分布（Case1、300 年後）

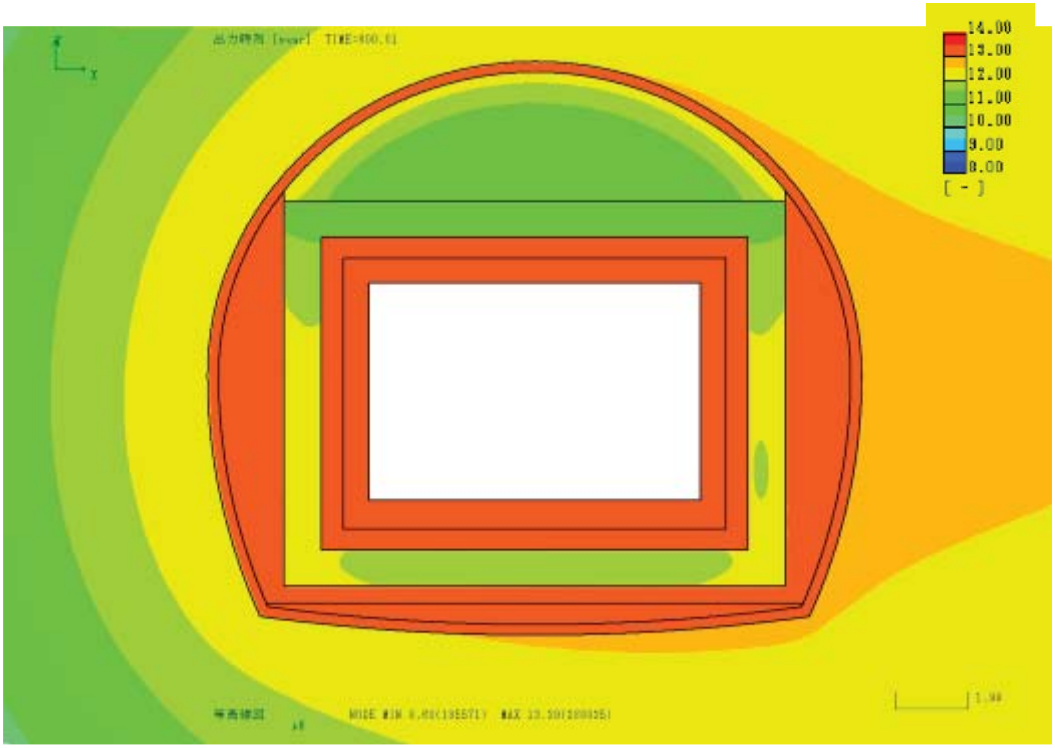


図 3.3-52　人工バリアの pH 分布（Case1、600 年後）

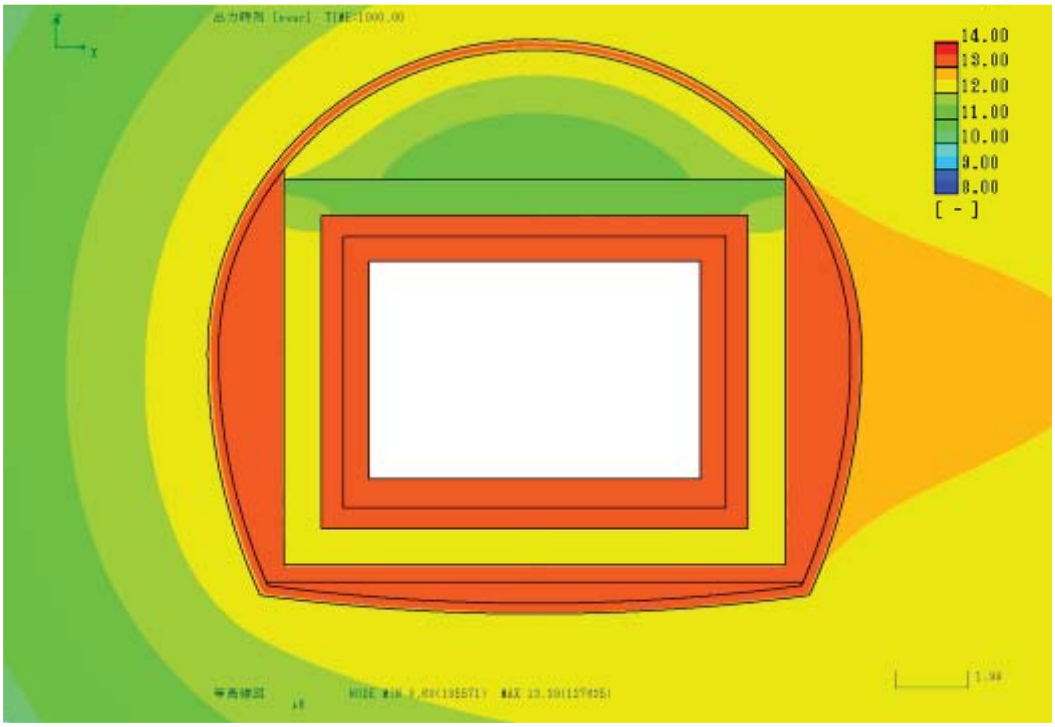


図 3.3-53　人工バリアの pH 分布（Case1、1,000 年後）

d. 水和物濃度（Case1、施設拡大、$Ca(OH)_2$）

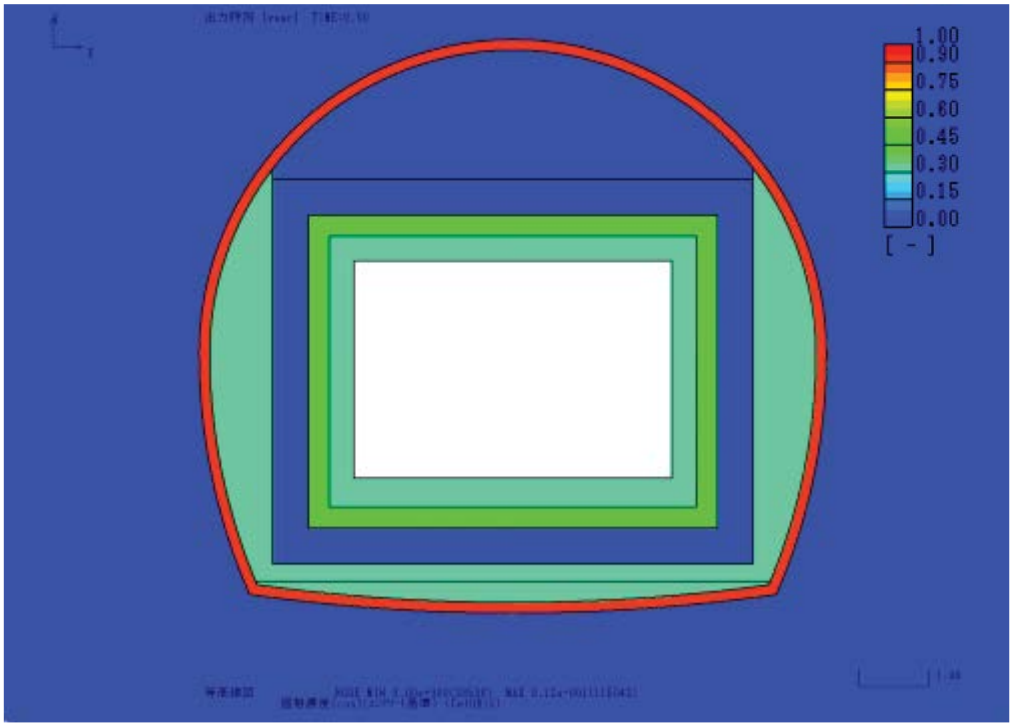


図 3.3-54　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、0 年後）

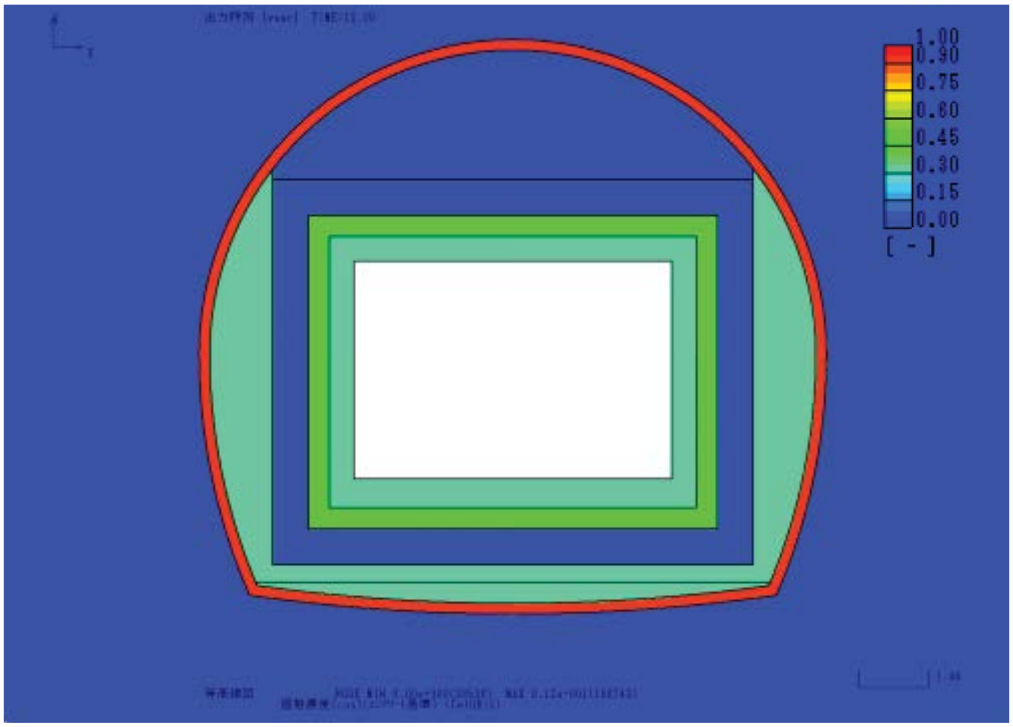


図 3.3-55　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、12 年後）

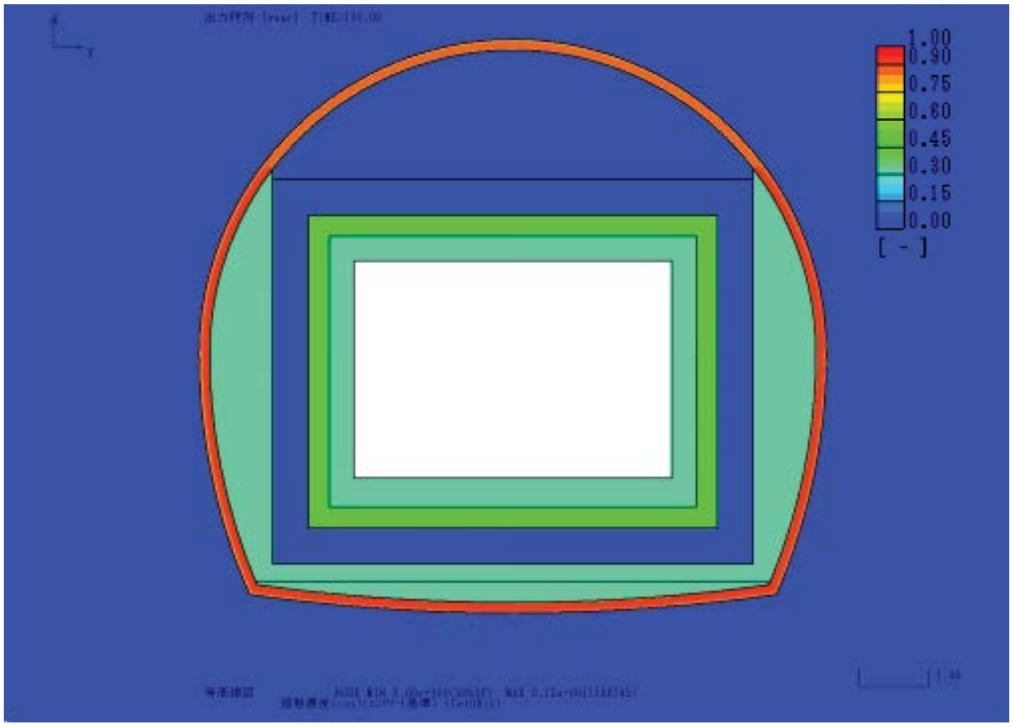


図 3.3-56　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、100 年後）

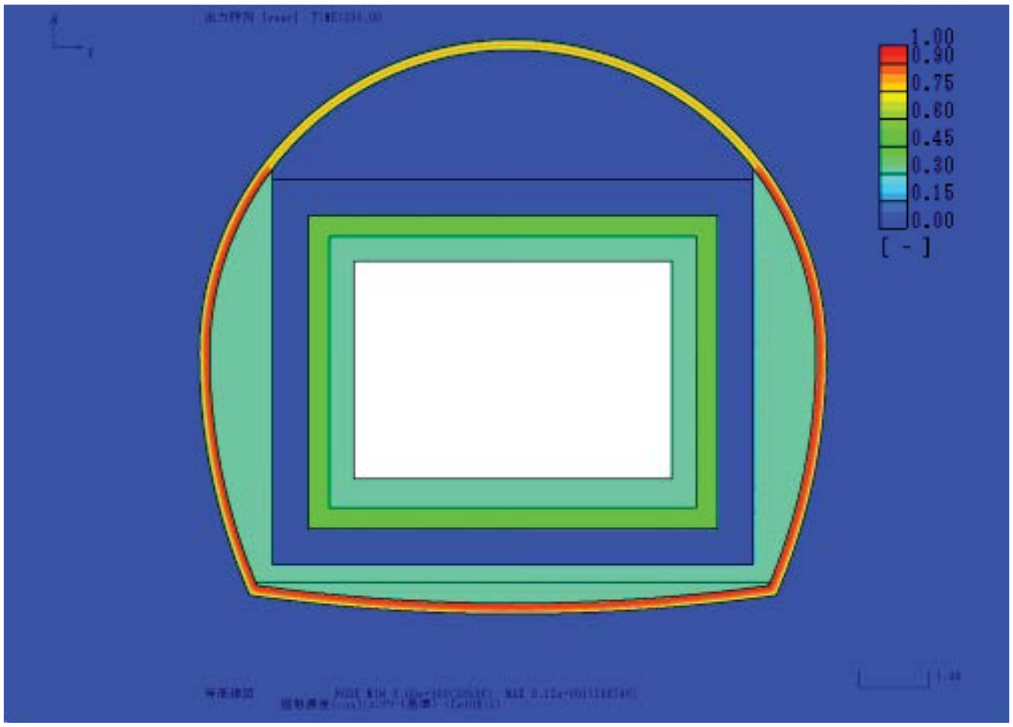


図 3.3-57　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、300 年後）

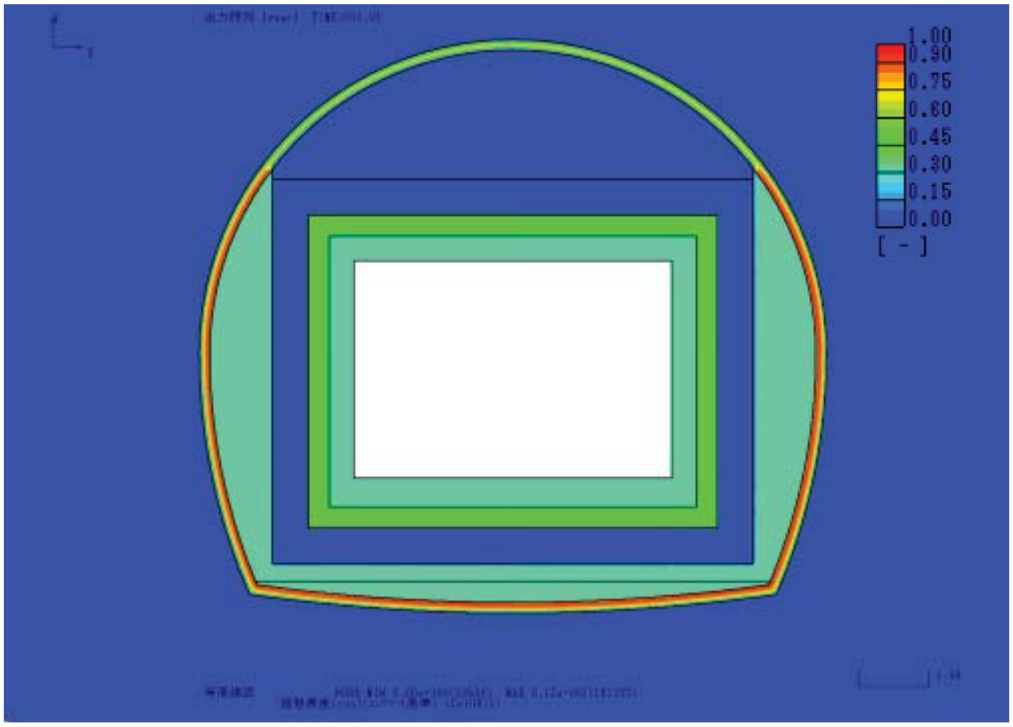


図 3.3-58　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、600 年後）

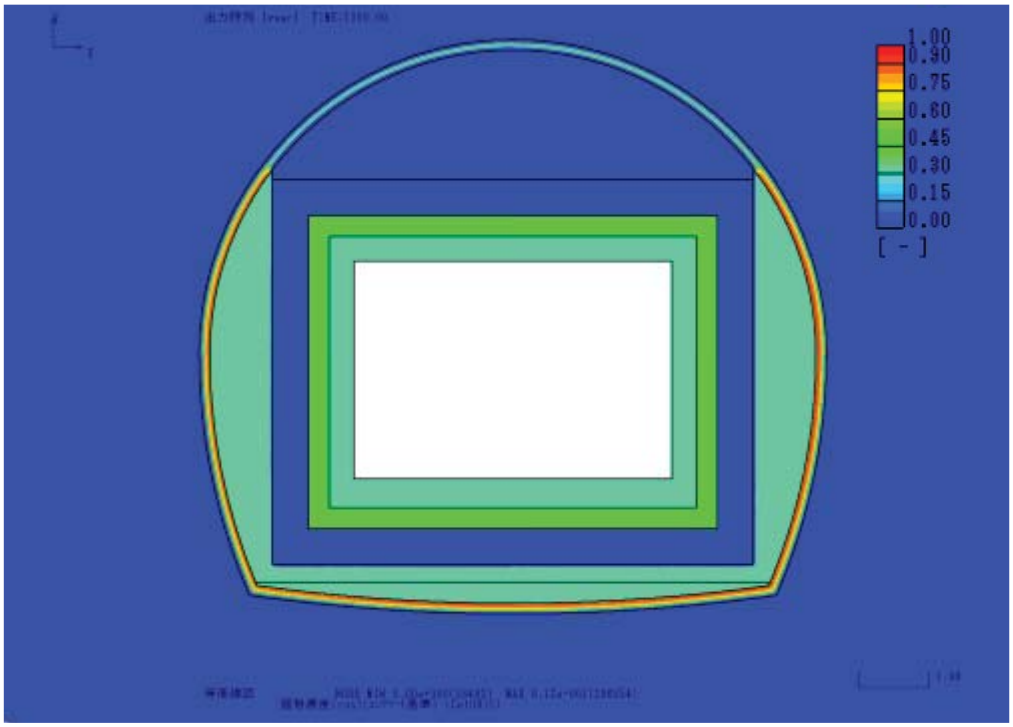


図 3.3-59　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case1、1,000 年後）

e．水和物濃度（Case1、施設拡大、CSH）

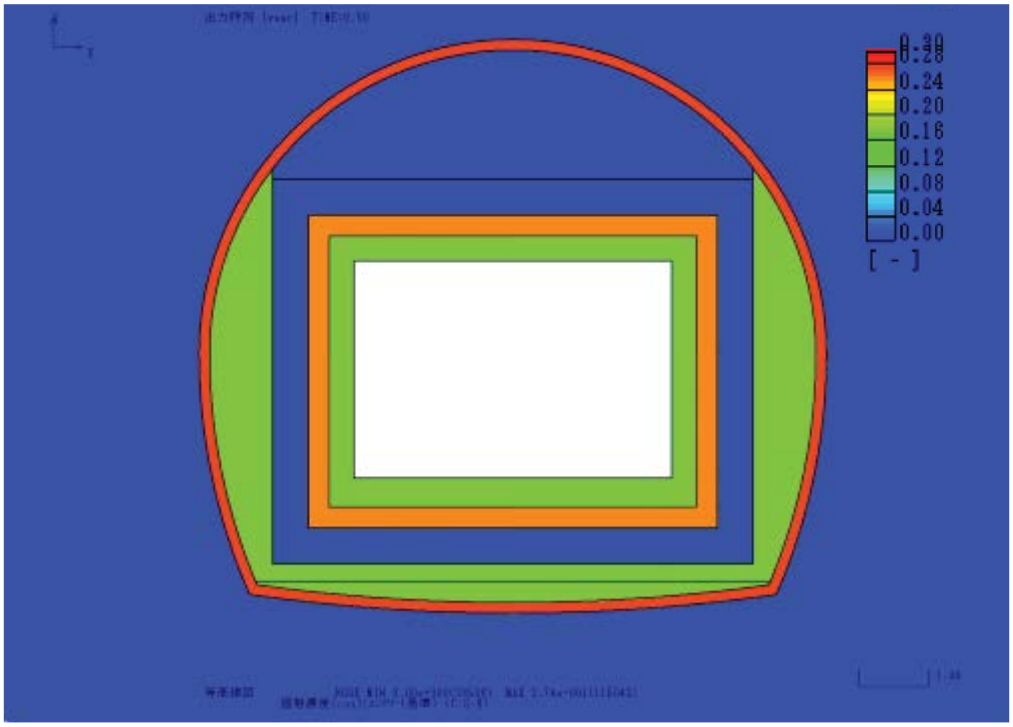


図 3.3-60　CSH 濃度（Case1、0 年後）

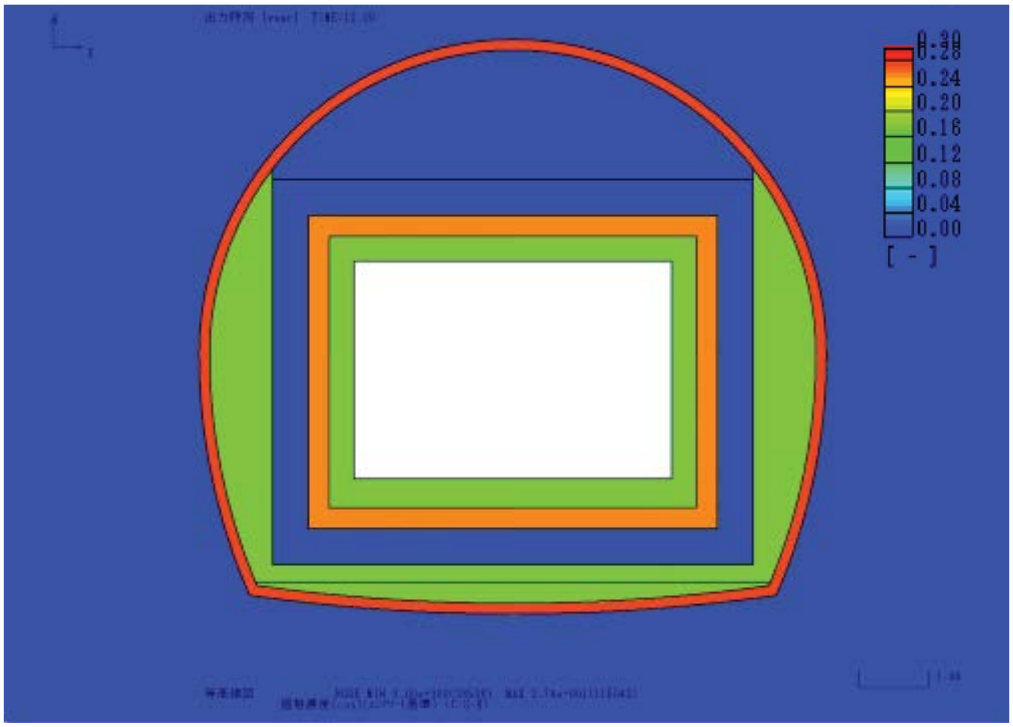


図 3.3-61　CSH 濃度（Case1、12 年後）

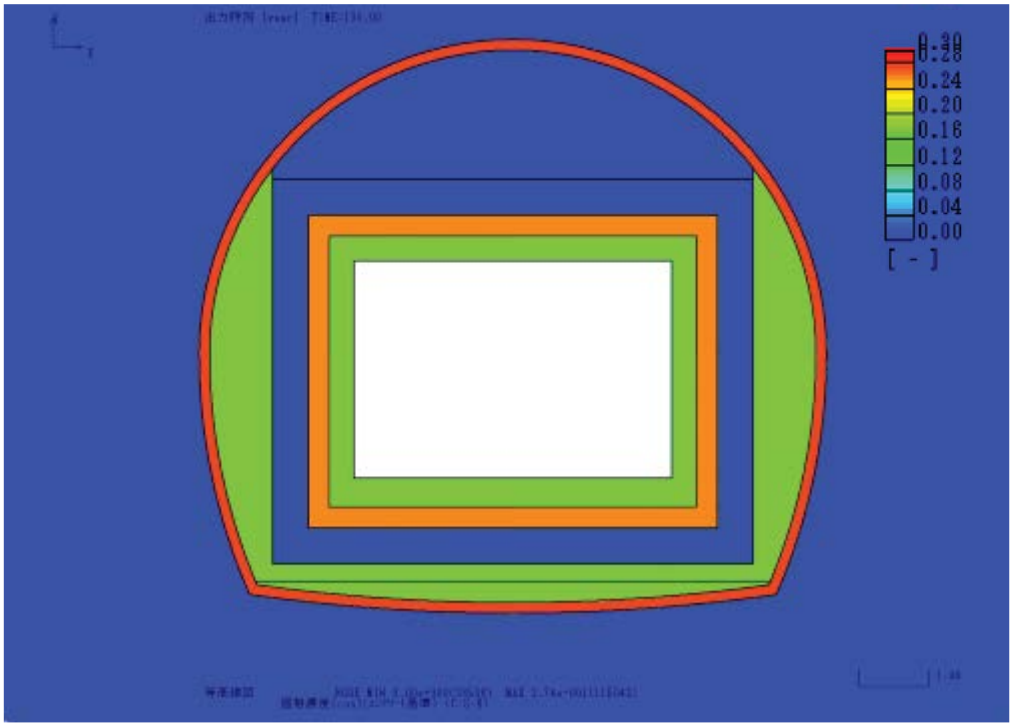


図 3.3-62　CSH 濃度（Case1、100 年後）

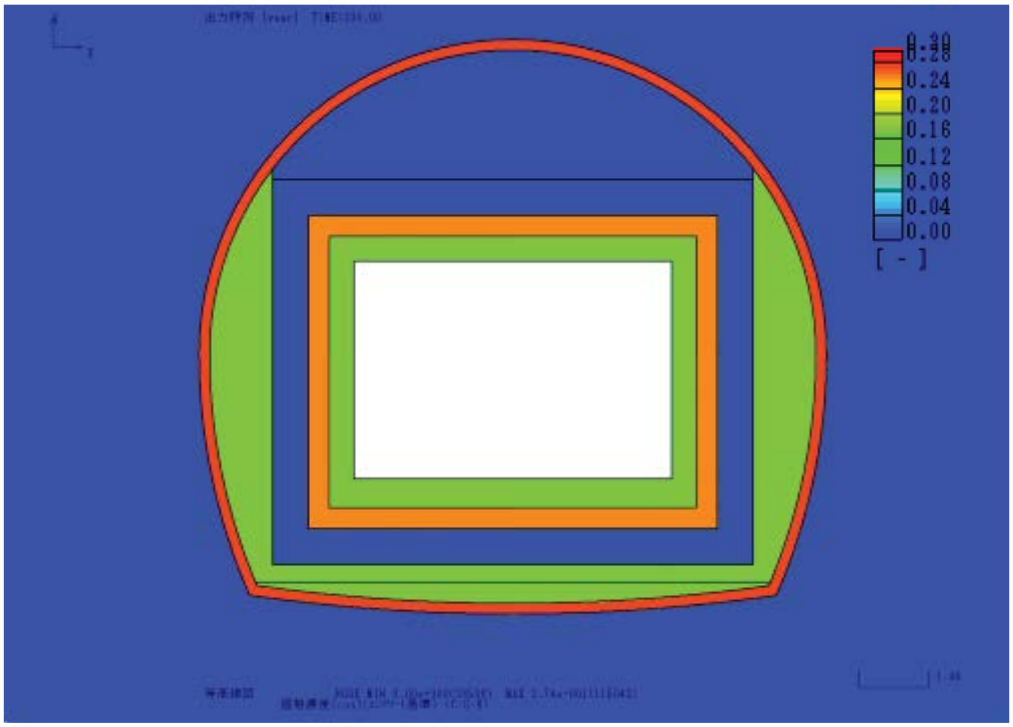


図 3.3-63　CSH 濃度（Case1、300 年後）

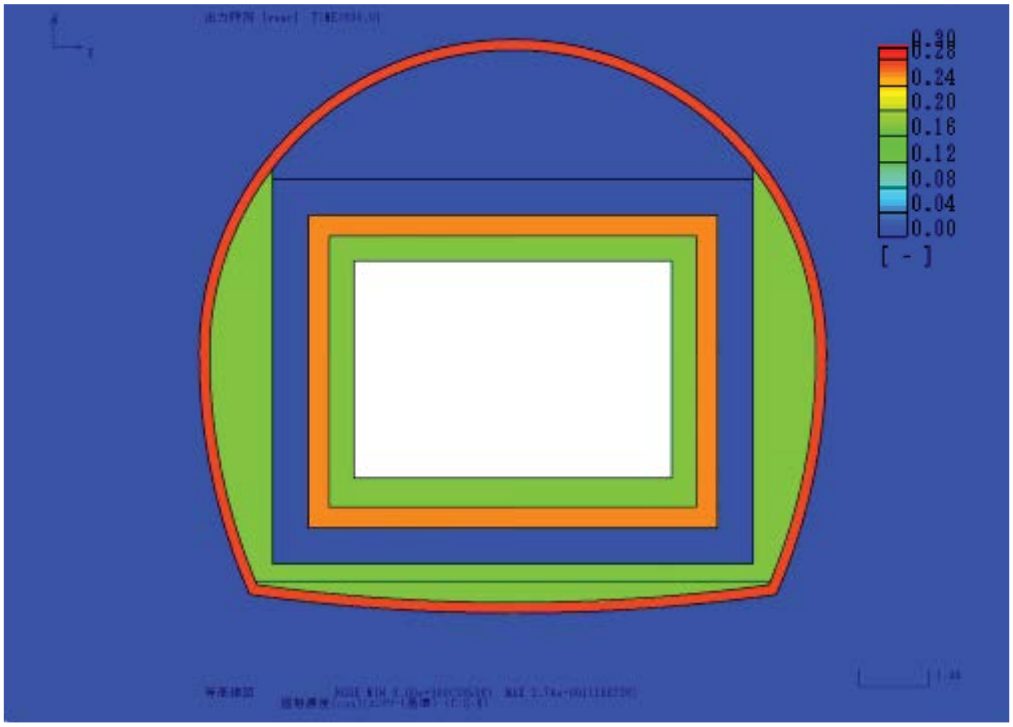


図 3.3-64　CSH 濃度（Case1、600 年後）

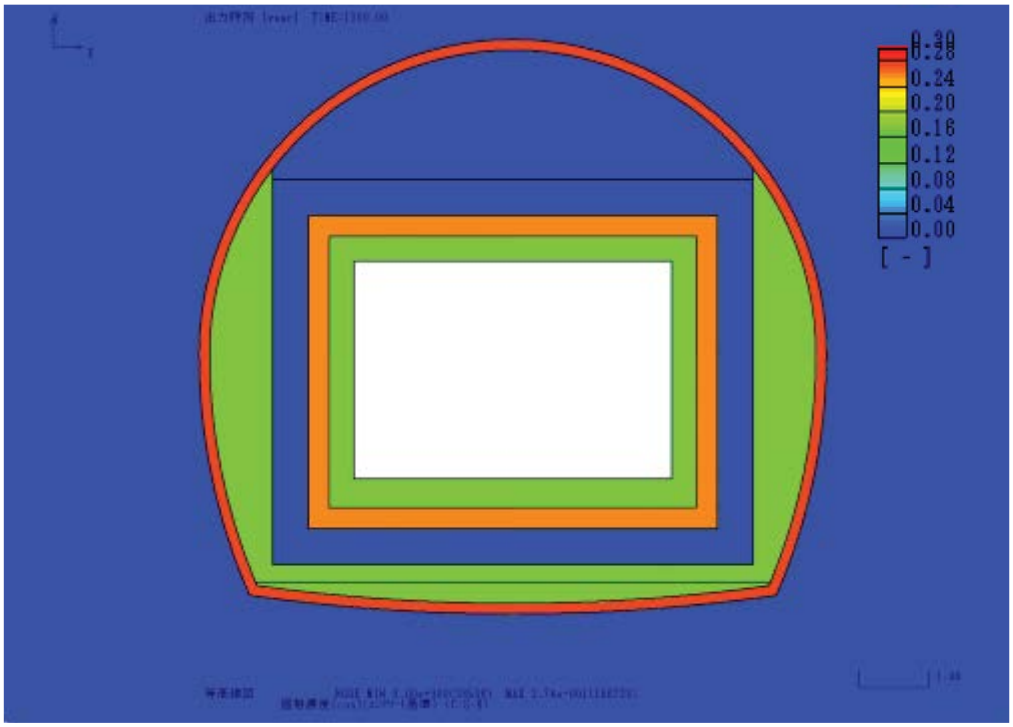


図 3.3-65　CSH 濃度（Case1、1,000 年後）

f．水和物濃度（Case1、施設拡大、CAH）

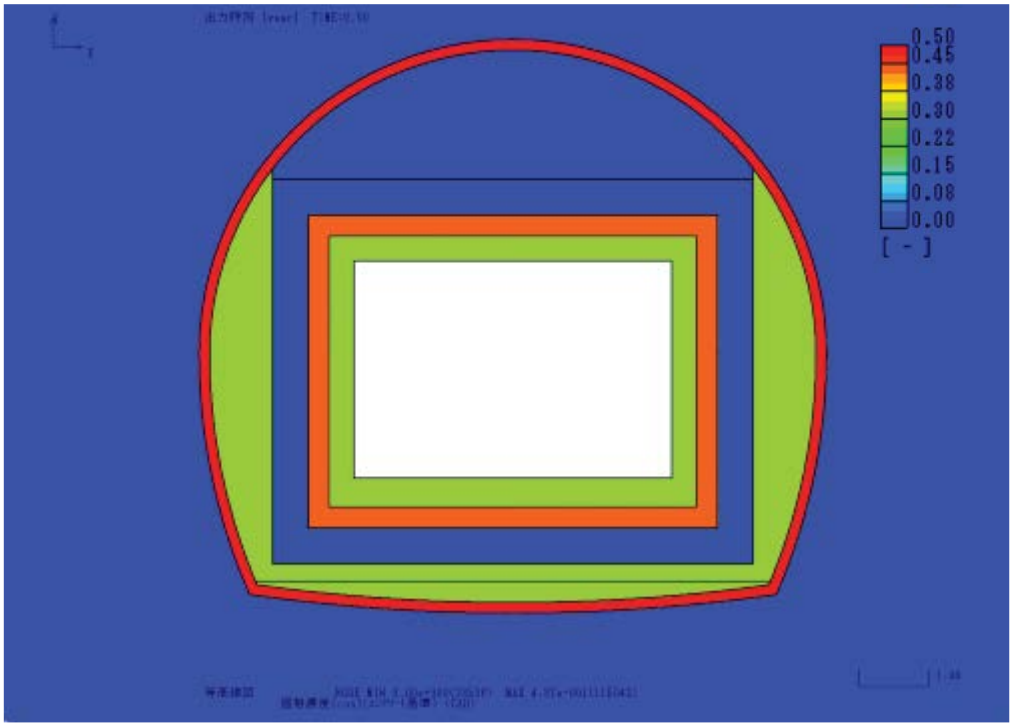


図 3.3-66　CAH 濃度（Case1、0 年後）

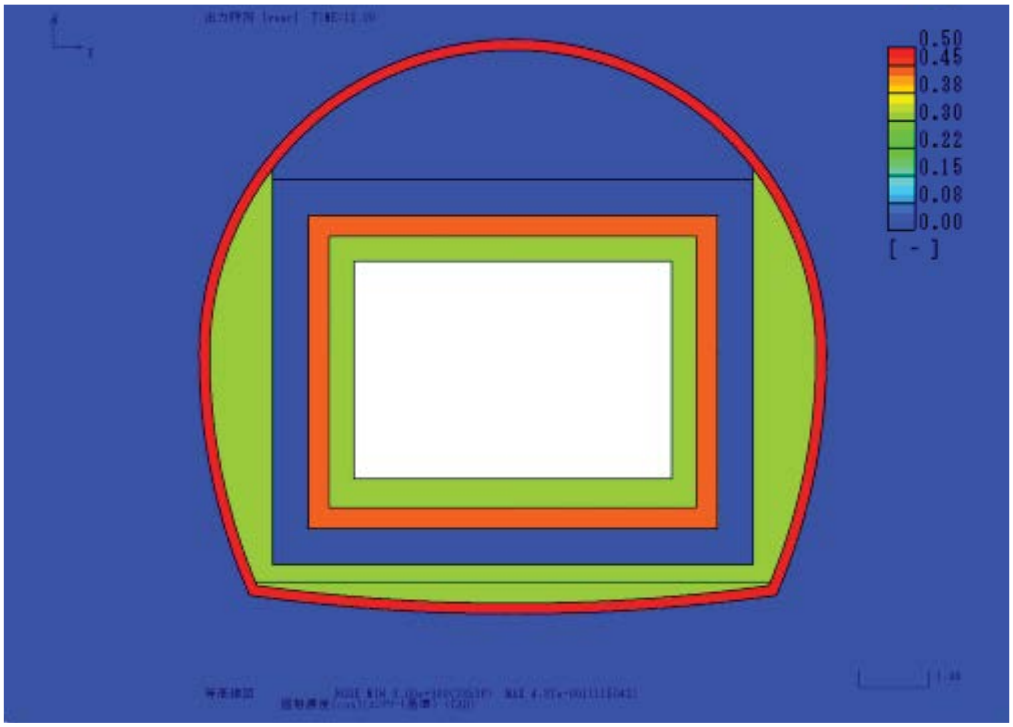


図 3.3-67　CAH 濃度（Case1、12 年後）

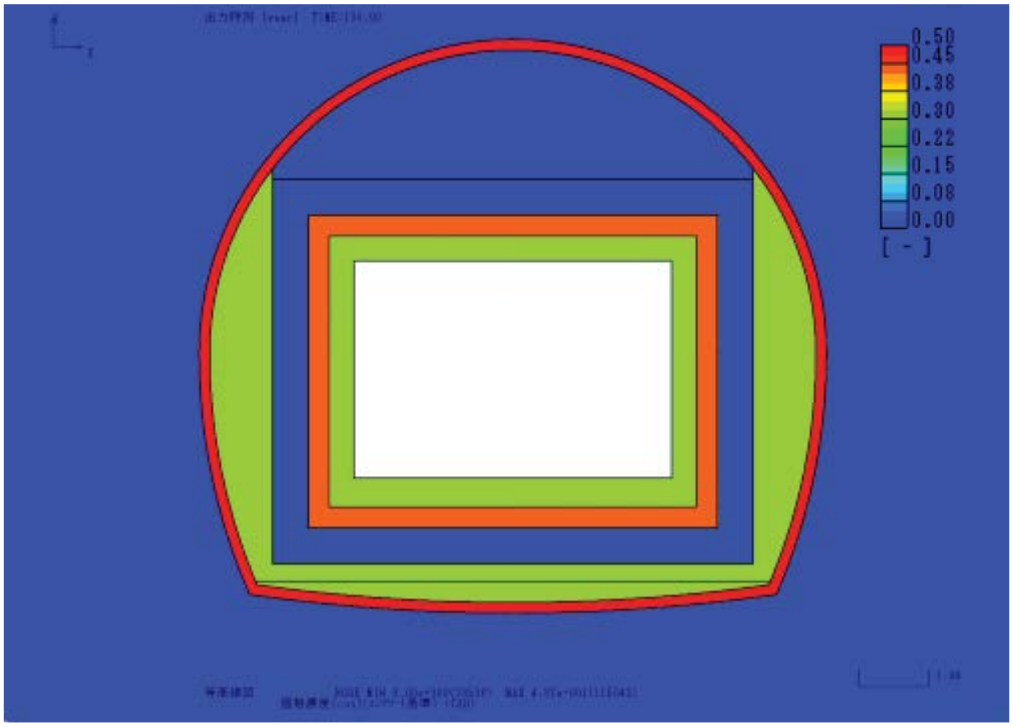


図 3.3-68　CAH 濃度（Case1、100 年後）

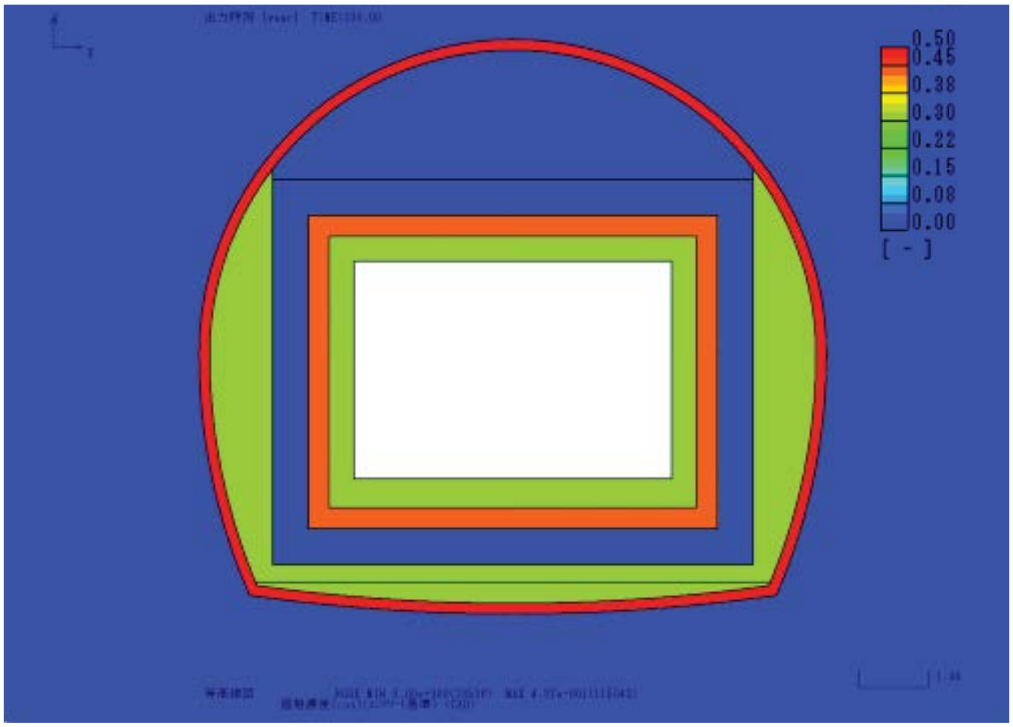


図 3.3-69　CAH 濃度（Case1、300 年後）

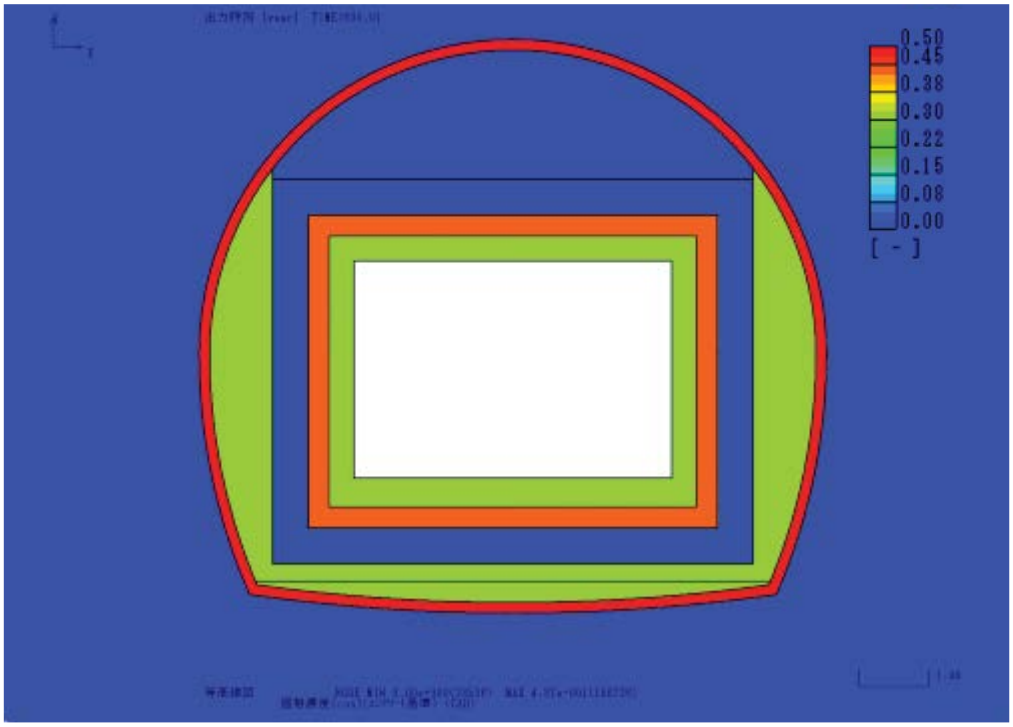


図 3.3-70　CAH 濃度（Case1、600 年後）

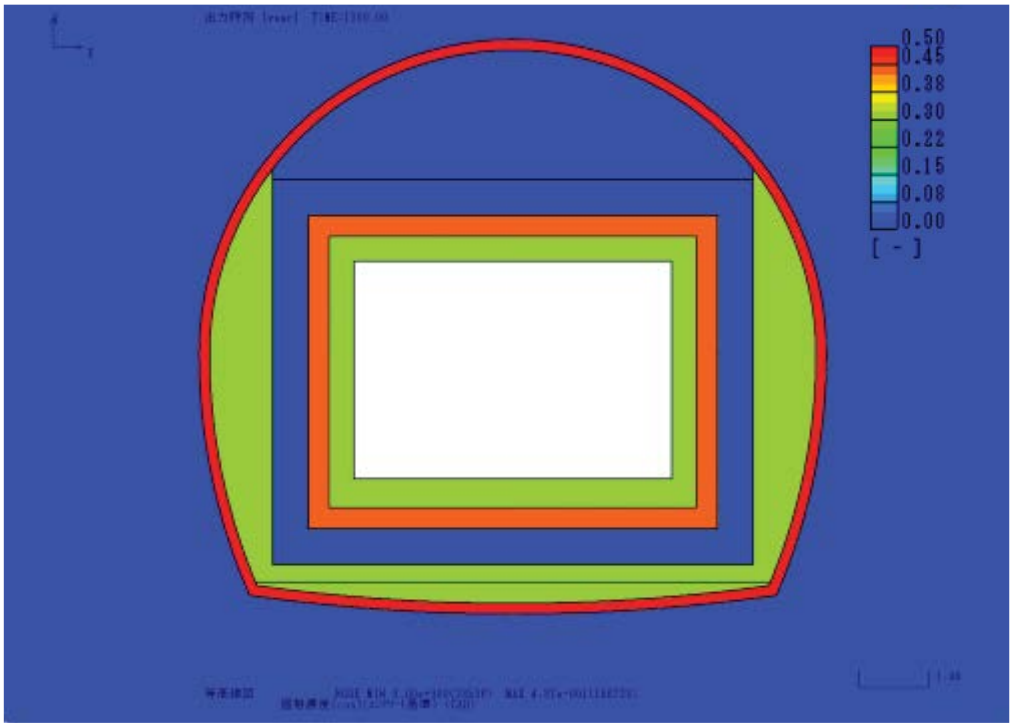


図 3.3-71　CAH 濃度（Case1、1,000 年後）

g．水和物濃度（Case1、施設拡大、エトリンガイト）

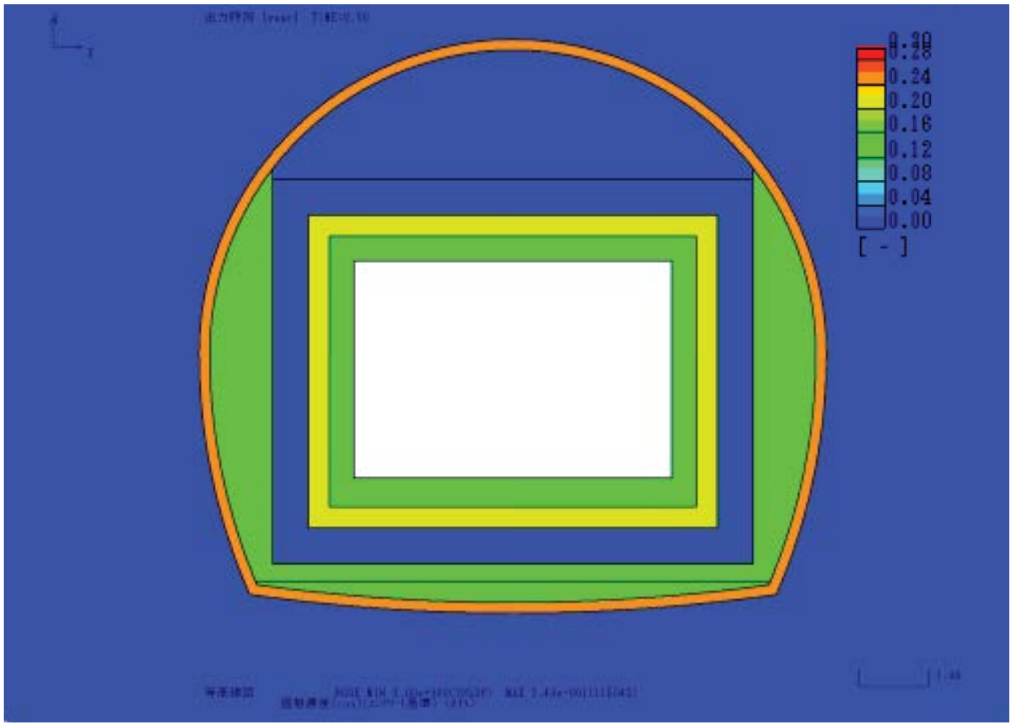


図 3.3-72　エトリンガイト濃度（Case1、0 年後）

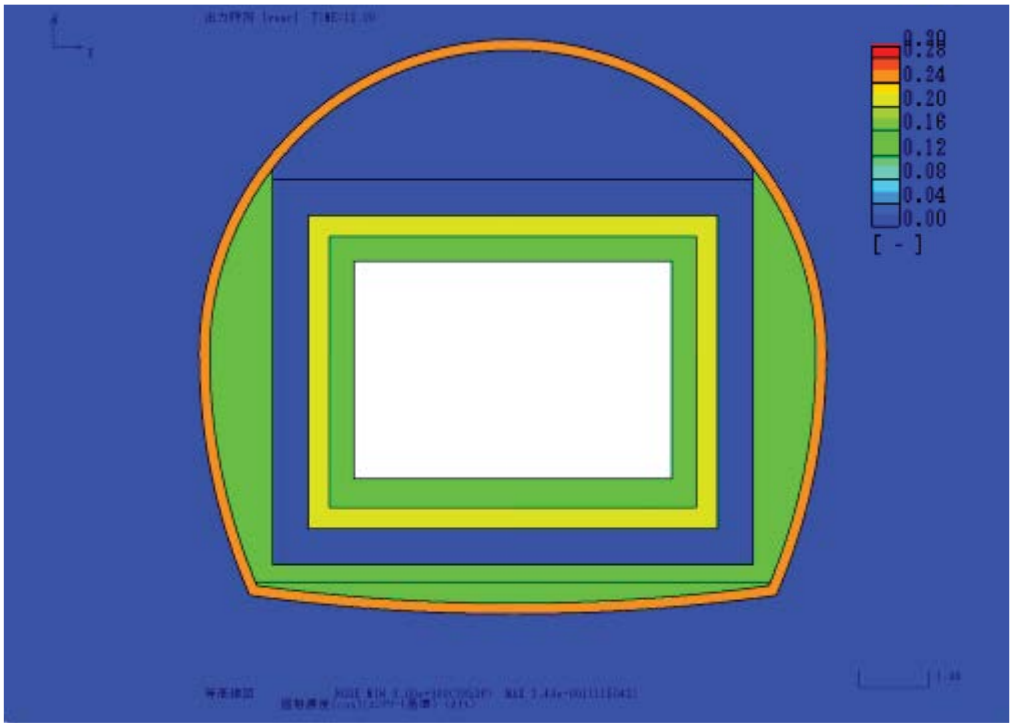


図 3.3-73　エトリンガイト濃度（Case1、12 年後）

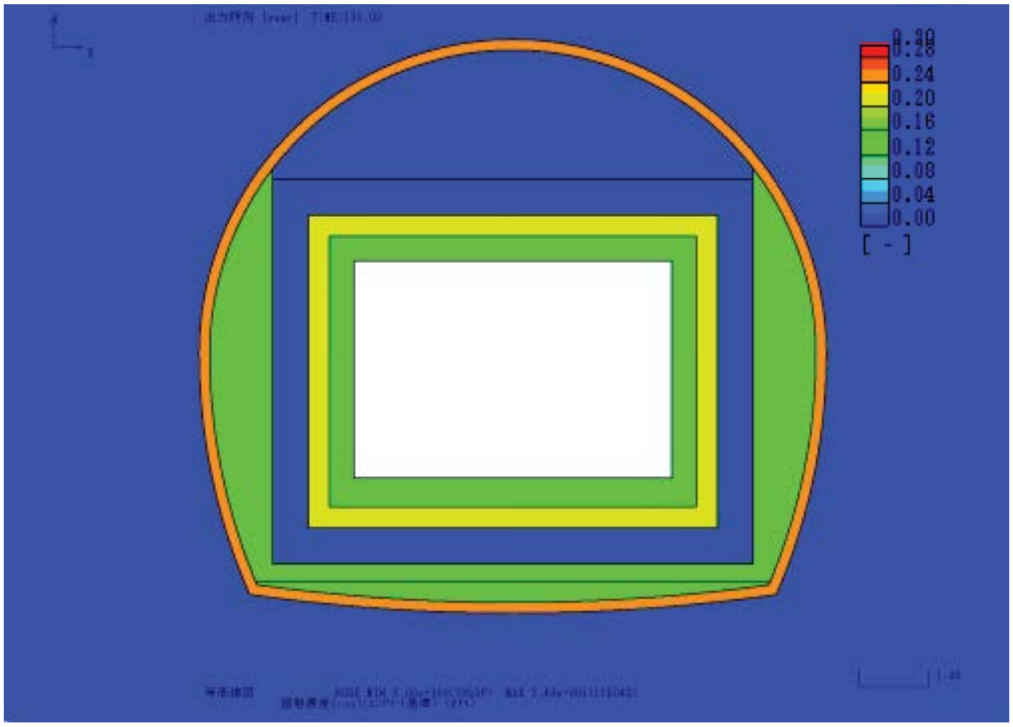


図 3.3-74　エトリンガイト濃度（Case1、100 年後）

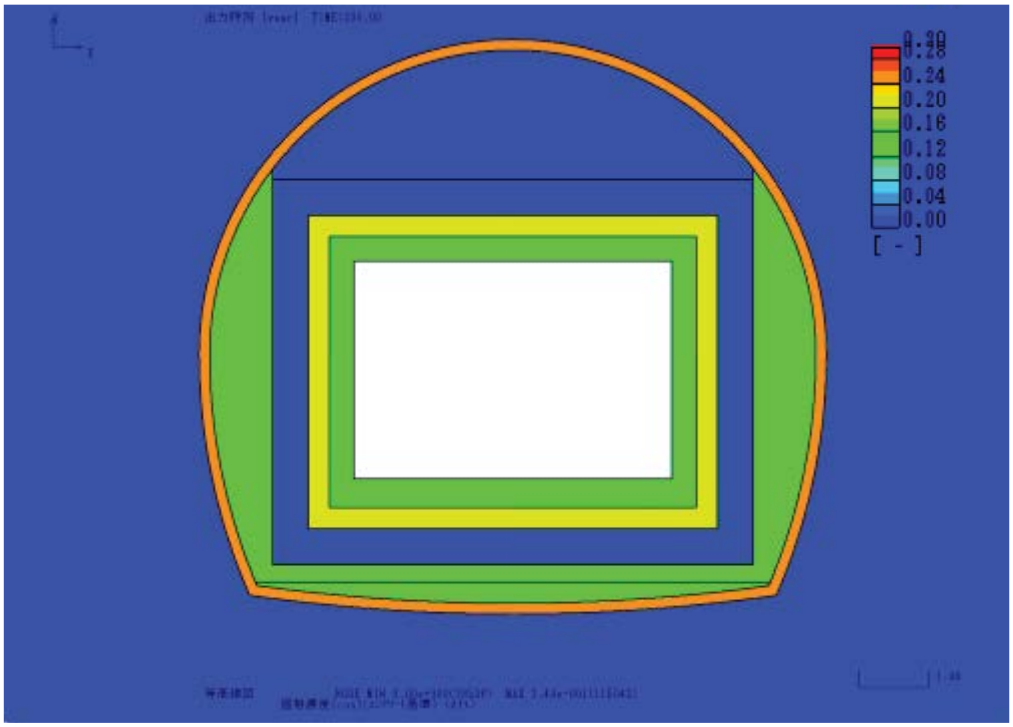


図 3.3-75　エトリンガイト濃度（Case1、300 年後）

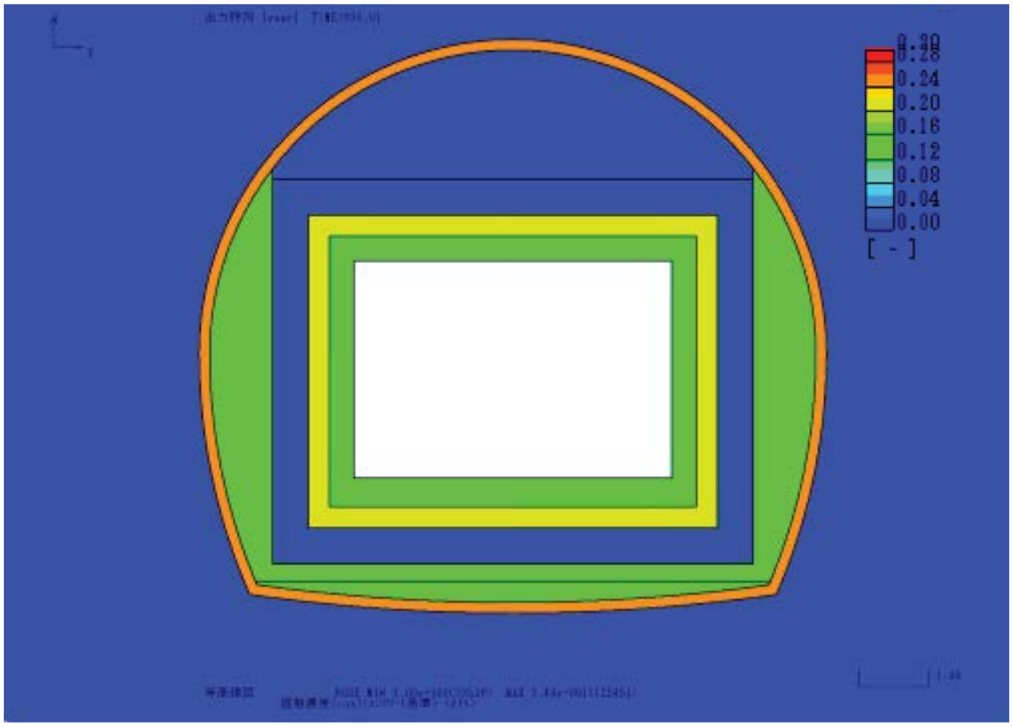


図 3.3-76　エトリンガイト濃度（Case1、600 年後）

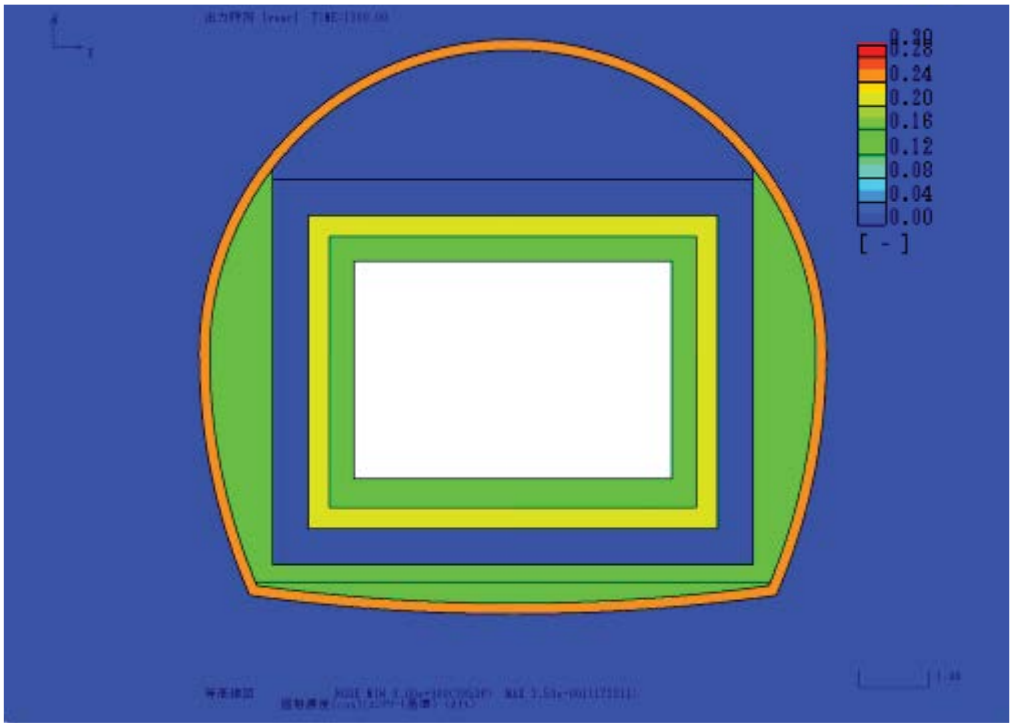


図 3.3-77　エトリンガイト濃度（Case1、1,000 年後）

h. 液相 Ca イオン濃度（Case1、施設拡大）

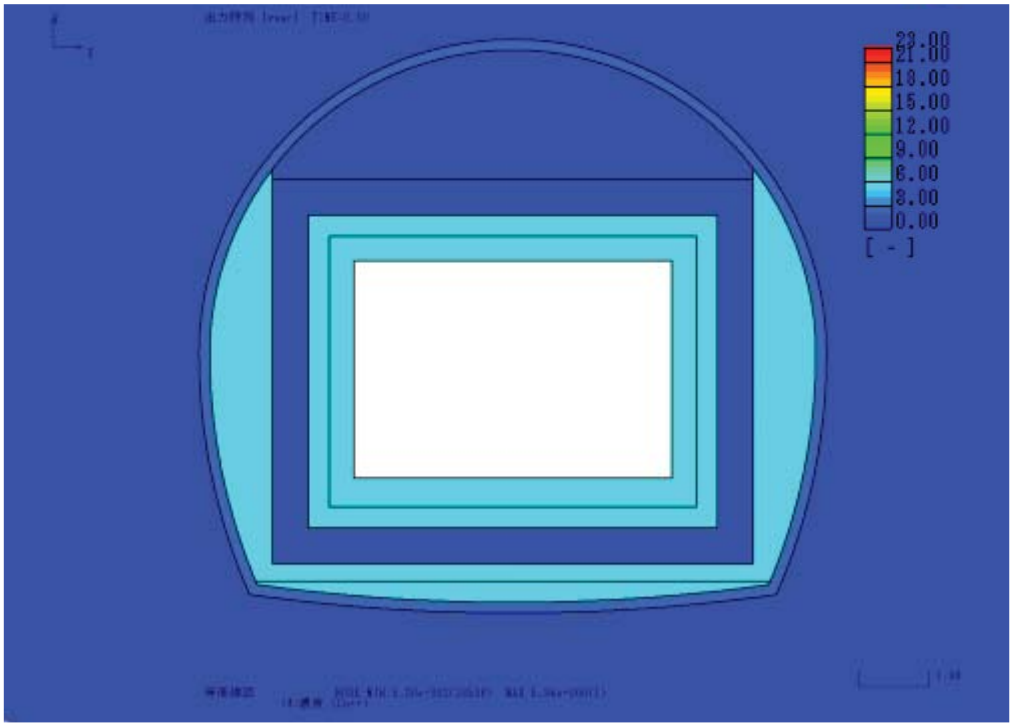


図 3.3-78　液相 Ca イオン濃度（Case1、0 年後）

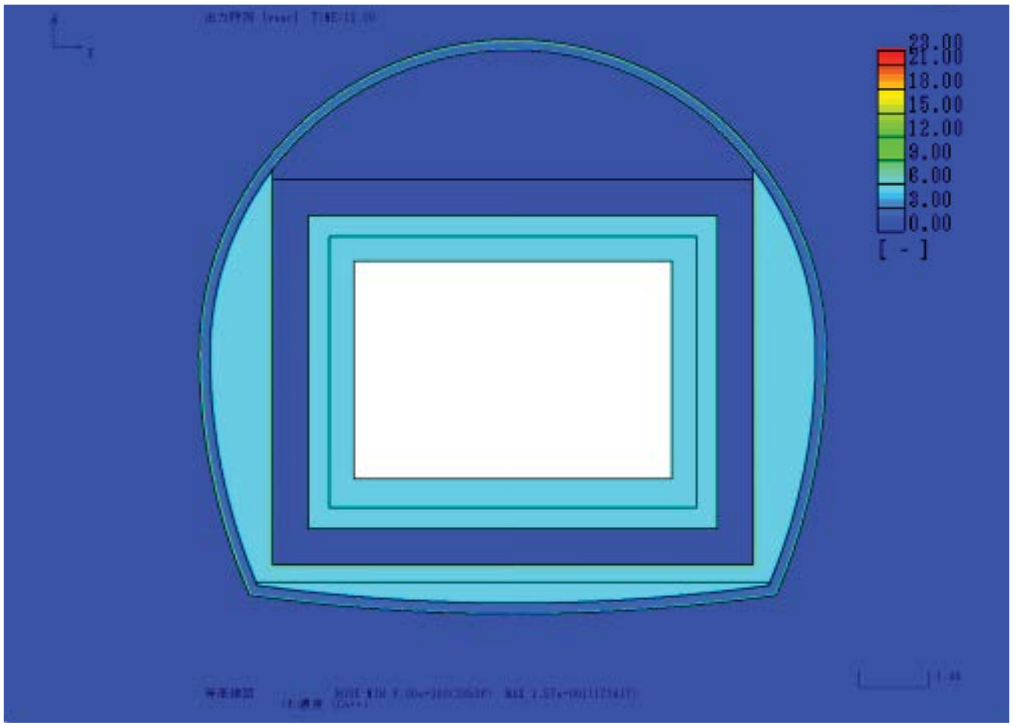


図 3.3-79　液相 Ca イオン濃度（Case1、12 年後）

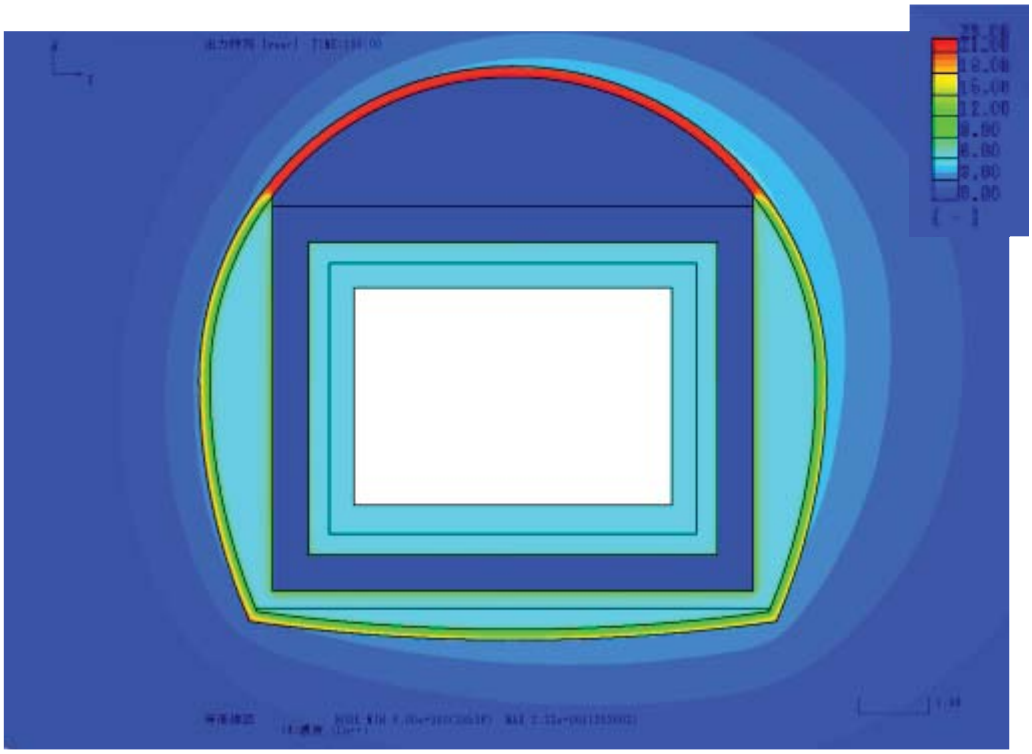


図 3.3-80　液相 Ca イオン濃度（Case1、100 年後）

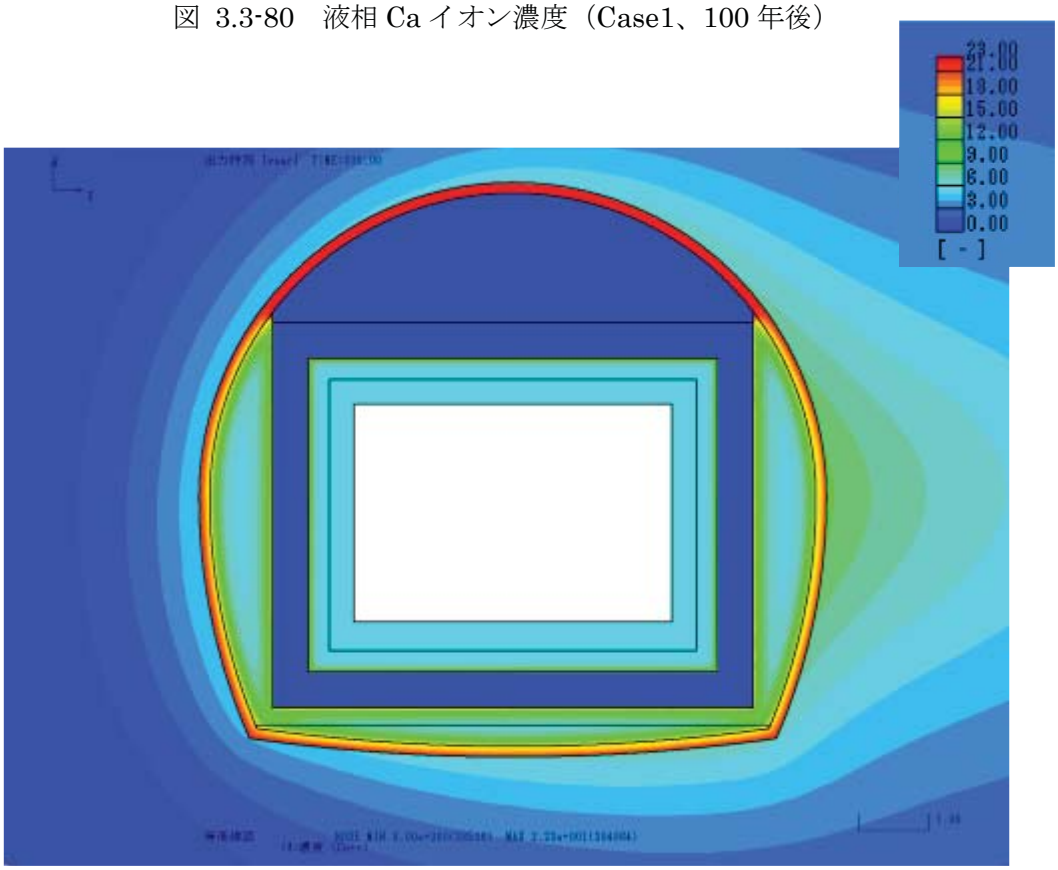


図 3.3-81　液相 Ca イオン濃度（Case1、300 年後）

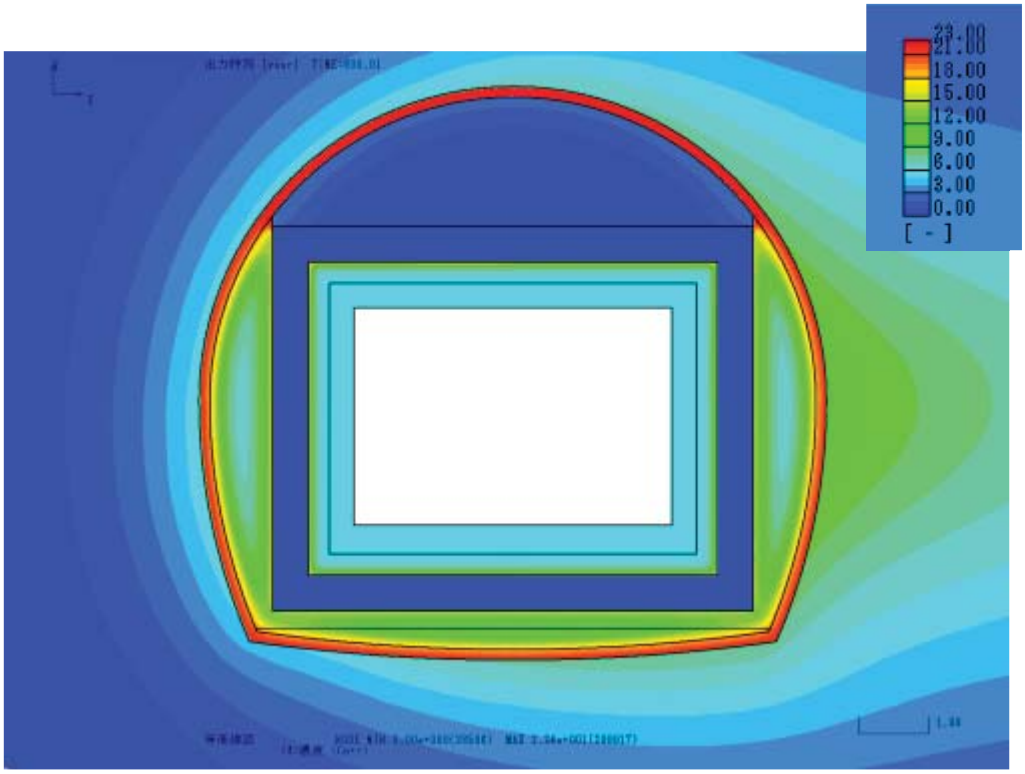


図 3.3-82　液相 Ca イオン濃度（Case1、600 年後）

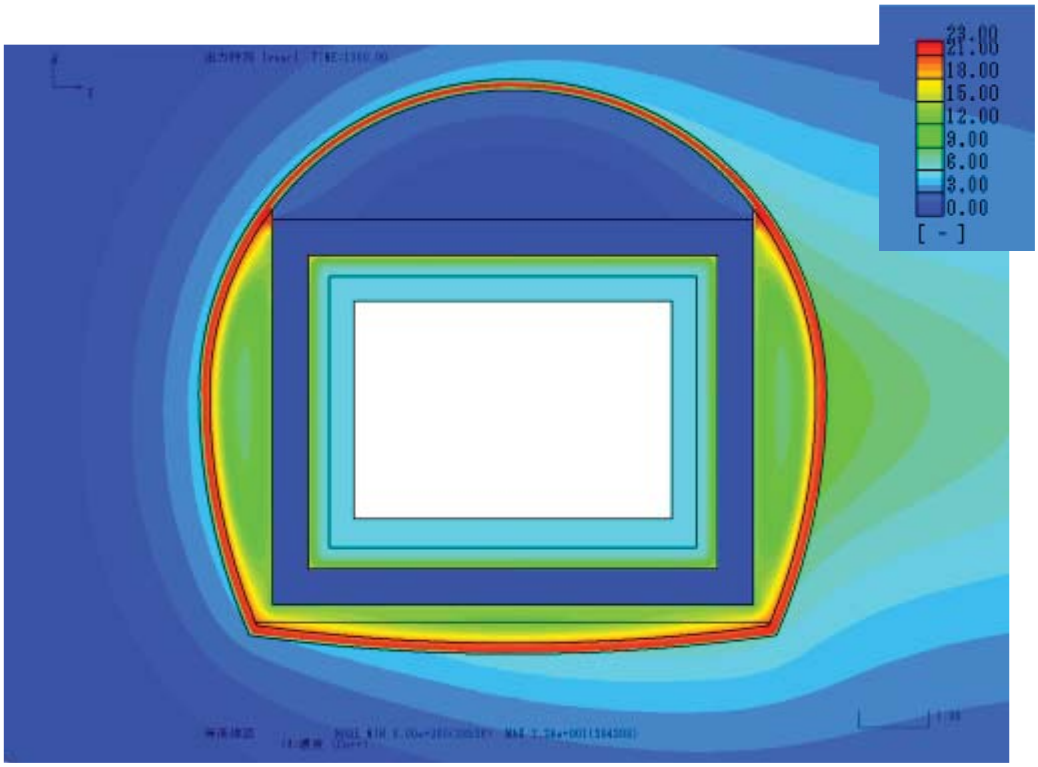


図 3.3-83　液相 Ca イオン濃度（Case1、1,000 年後）

i. 液相 SO_4 イオン濃度（Case1、施設拡大）

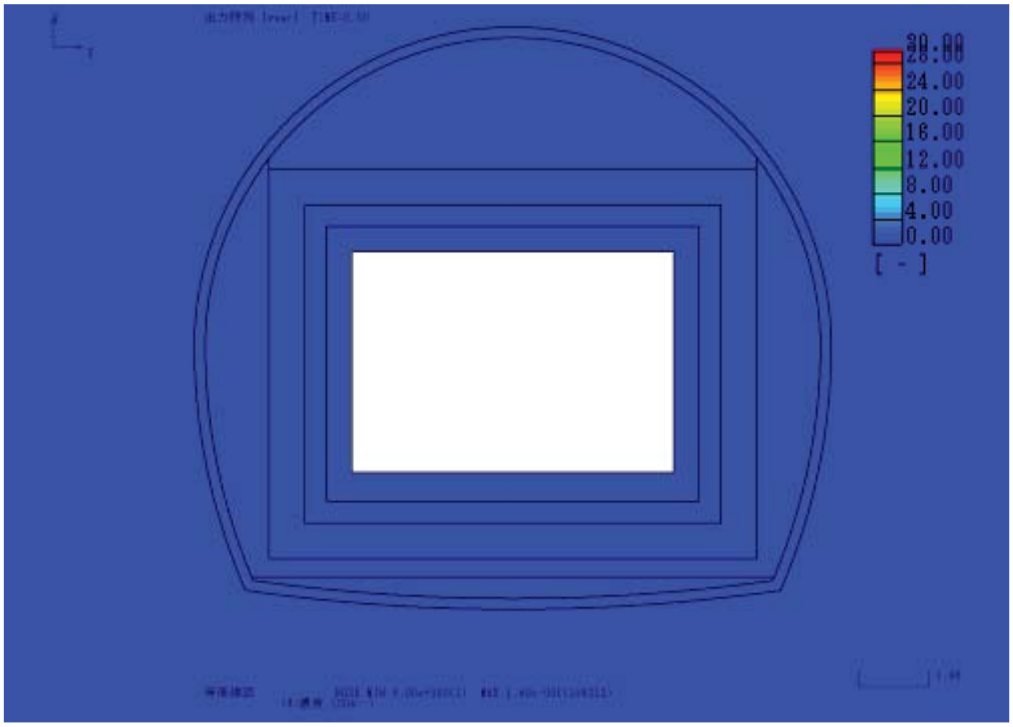


図 3.3-84　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、0 年後）

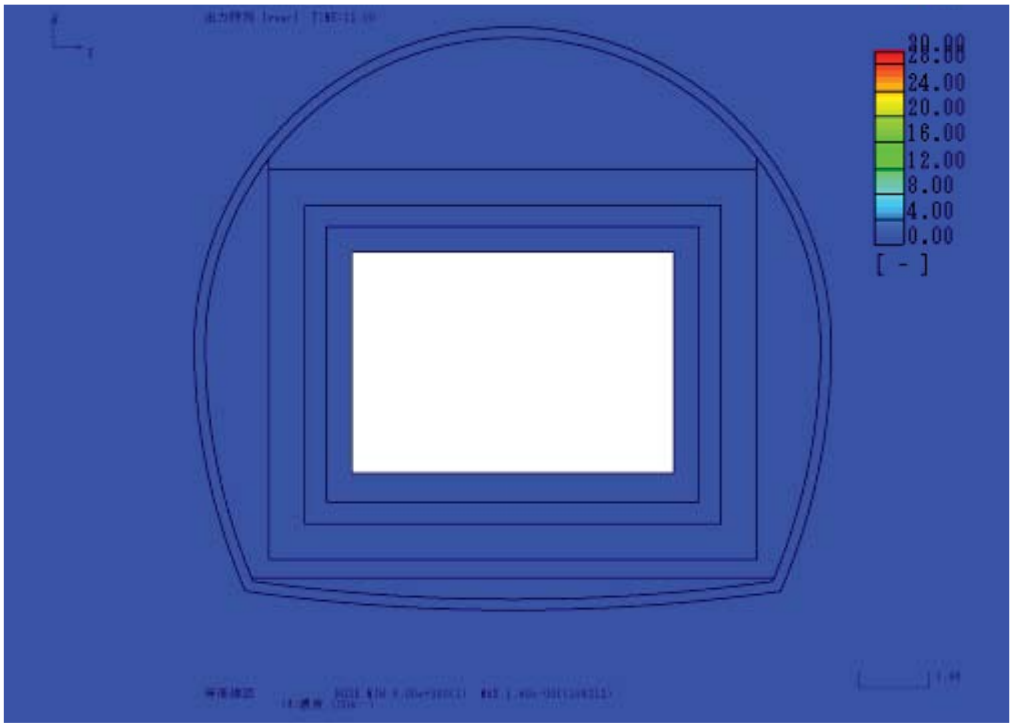


図 3.3-85　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、12 年後）

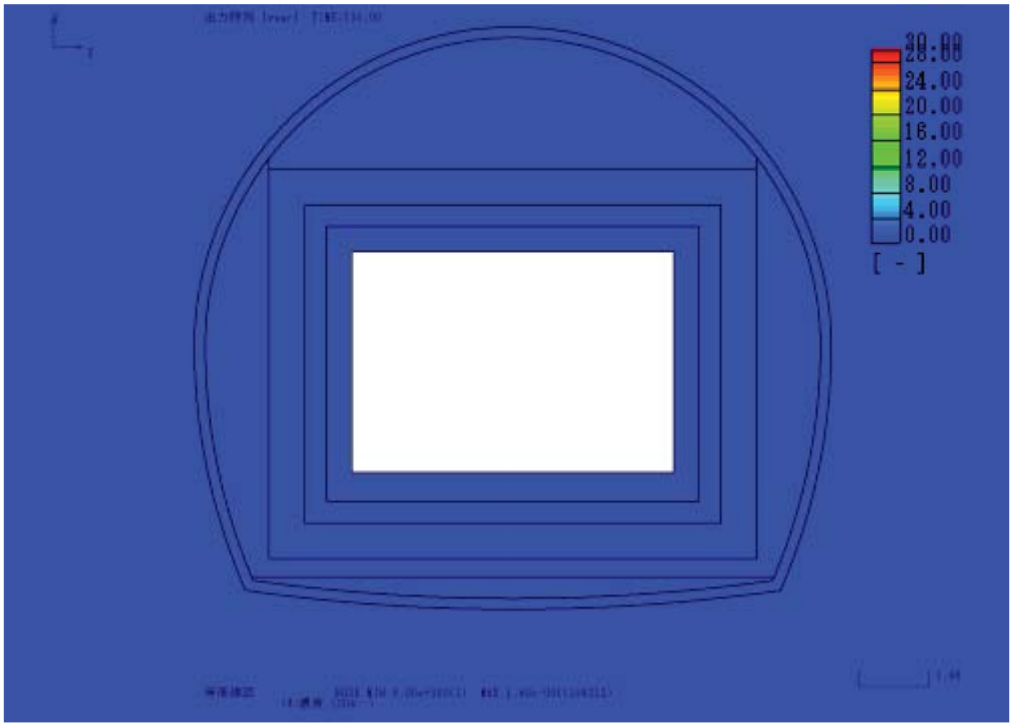


図 3.3-86　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、100 年後）

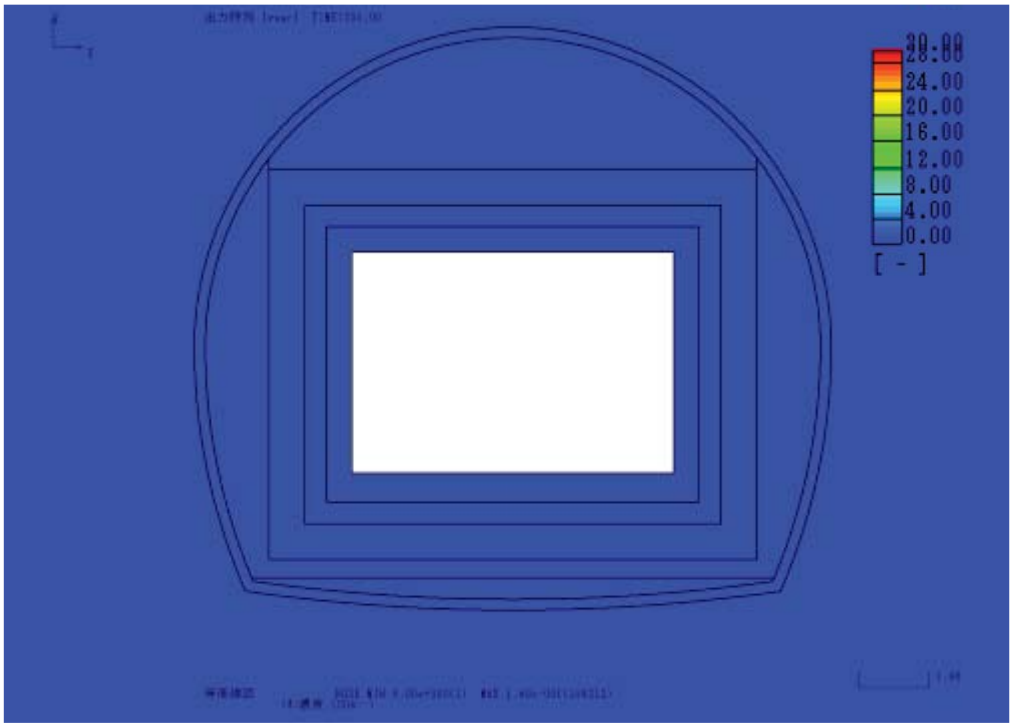


図 3.3-87　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、300 年後）

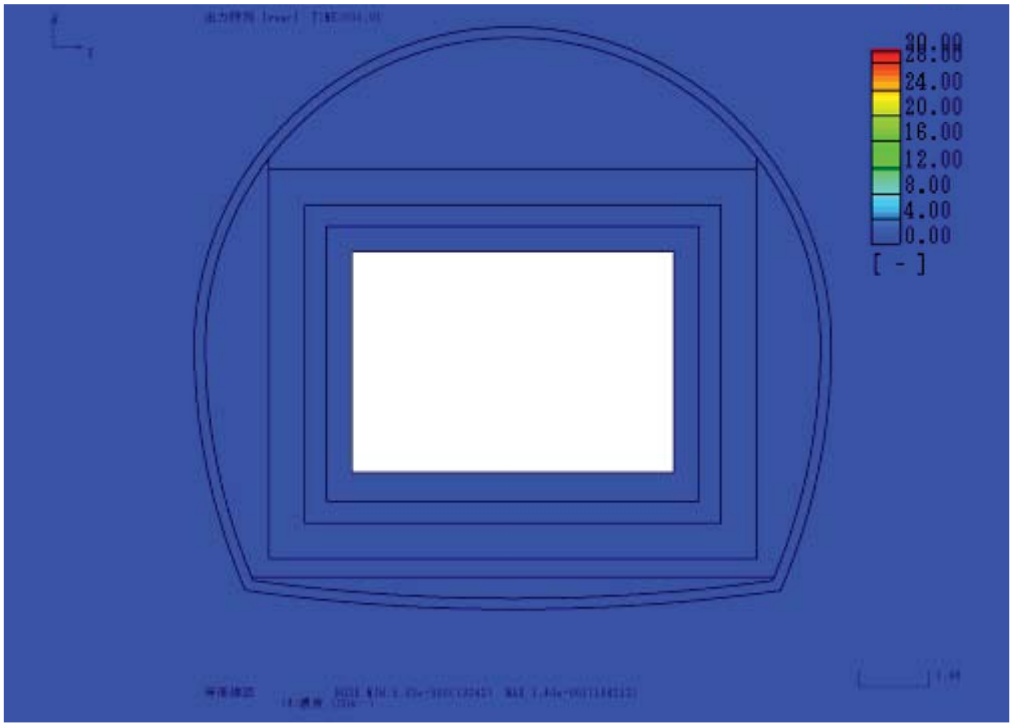


図 3.3-88　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、600 年後）

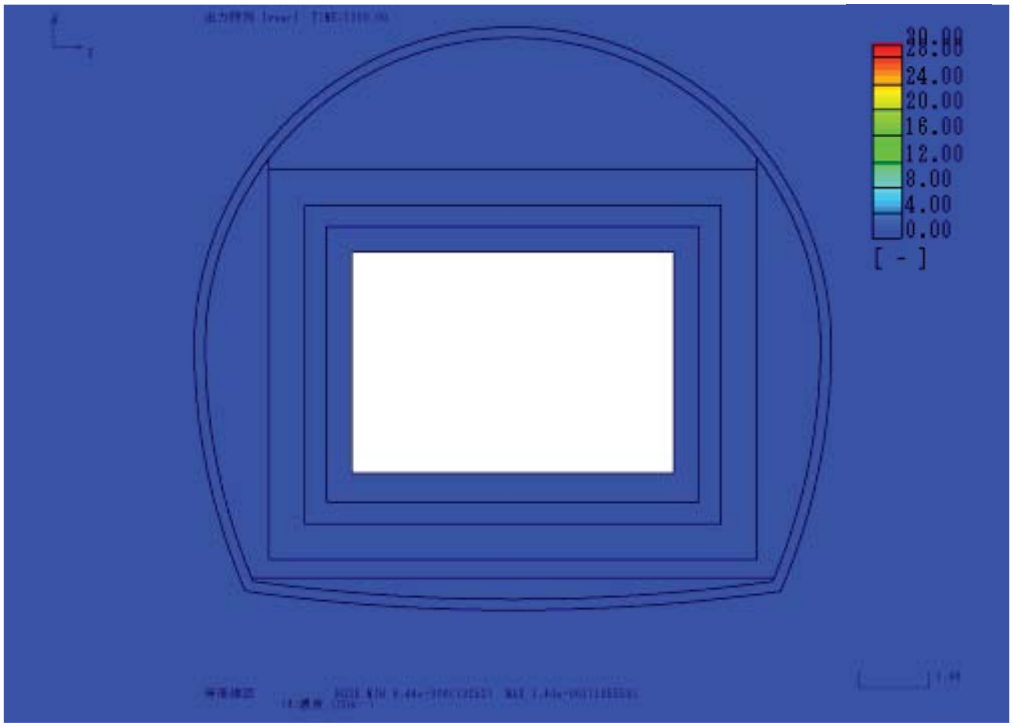


図 3.3-89　液相 SO_4 イオン濃度（Case1、1,000 年後）

j. 溶脱・沈殿による空隙率変化（Case1、施設拡大）

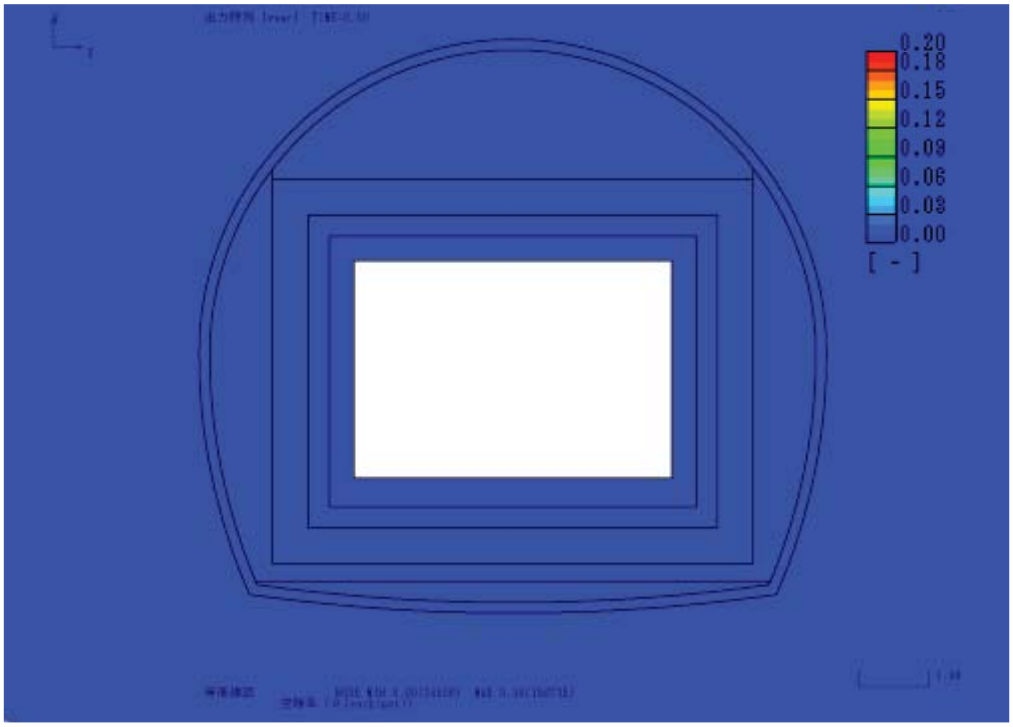


図 3.3-90　空隙率変化（Case1、0 年後）

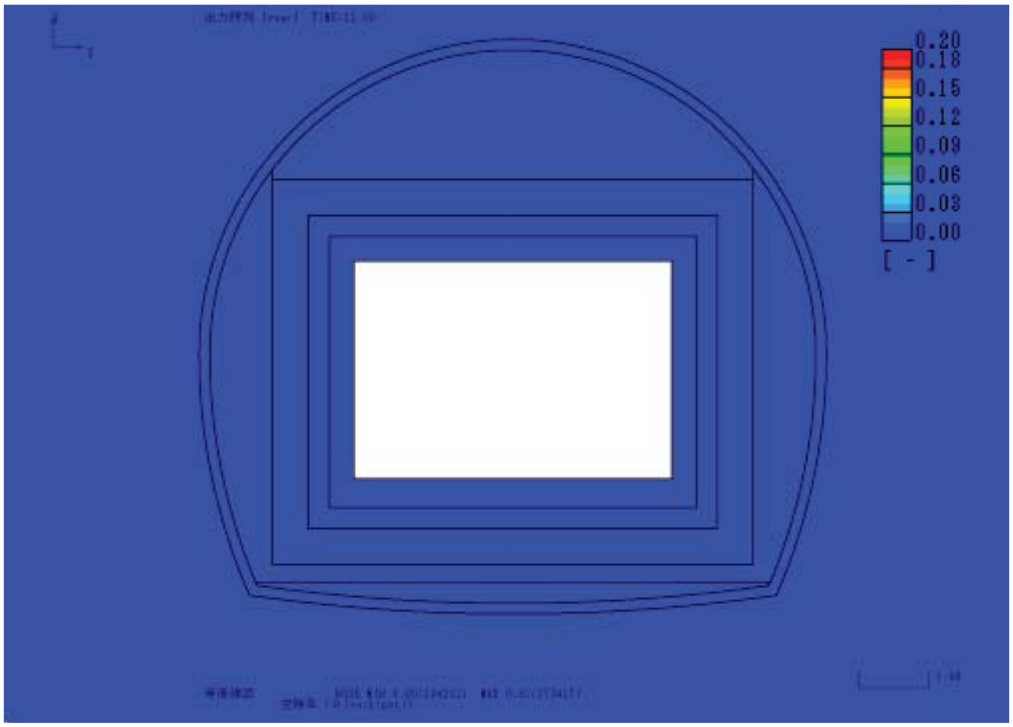


図 3.3-91　空隙率変化（Case1、12 年後）

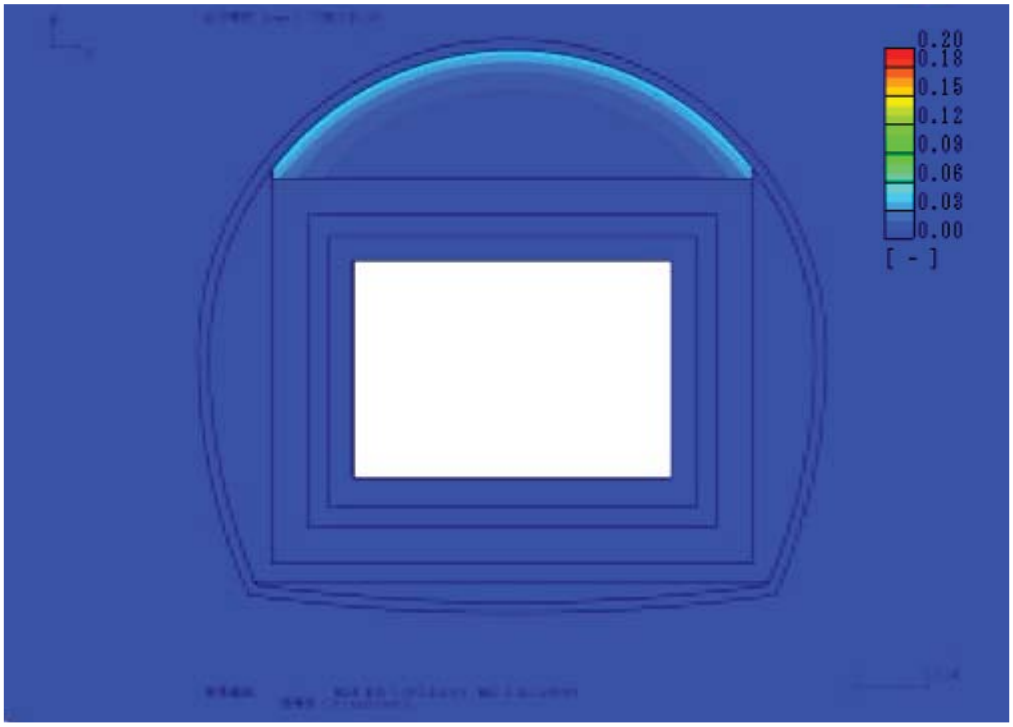


図 3.3-92　空隙率変化（Case1、100 年後）

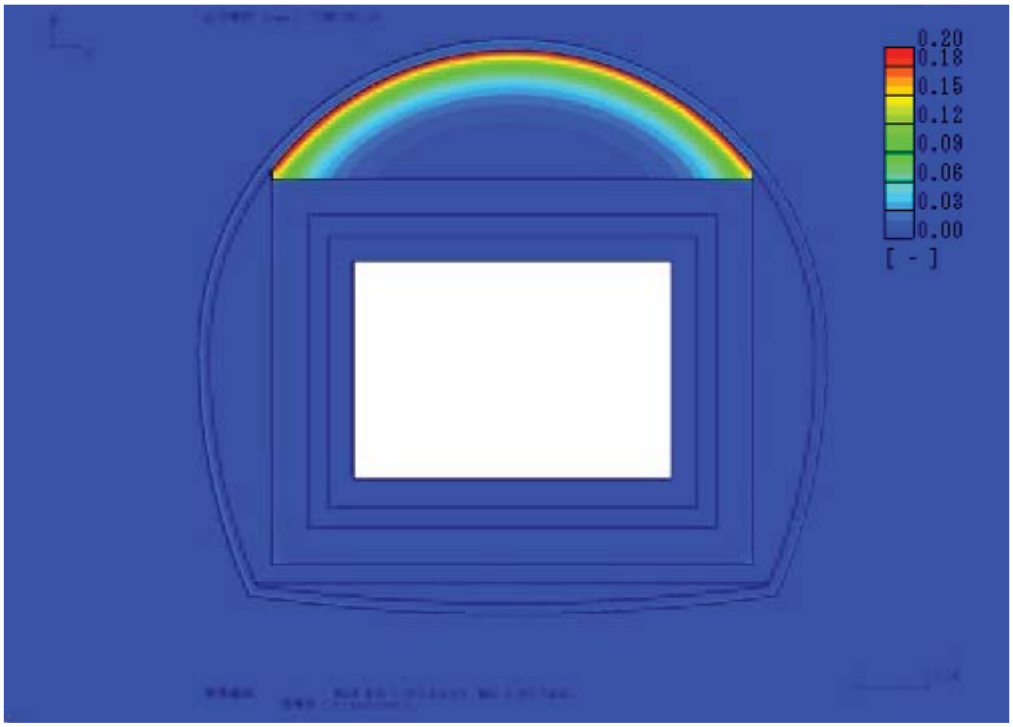


図 3.3-93　空隙率変化（Case1、300 年後）

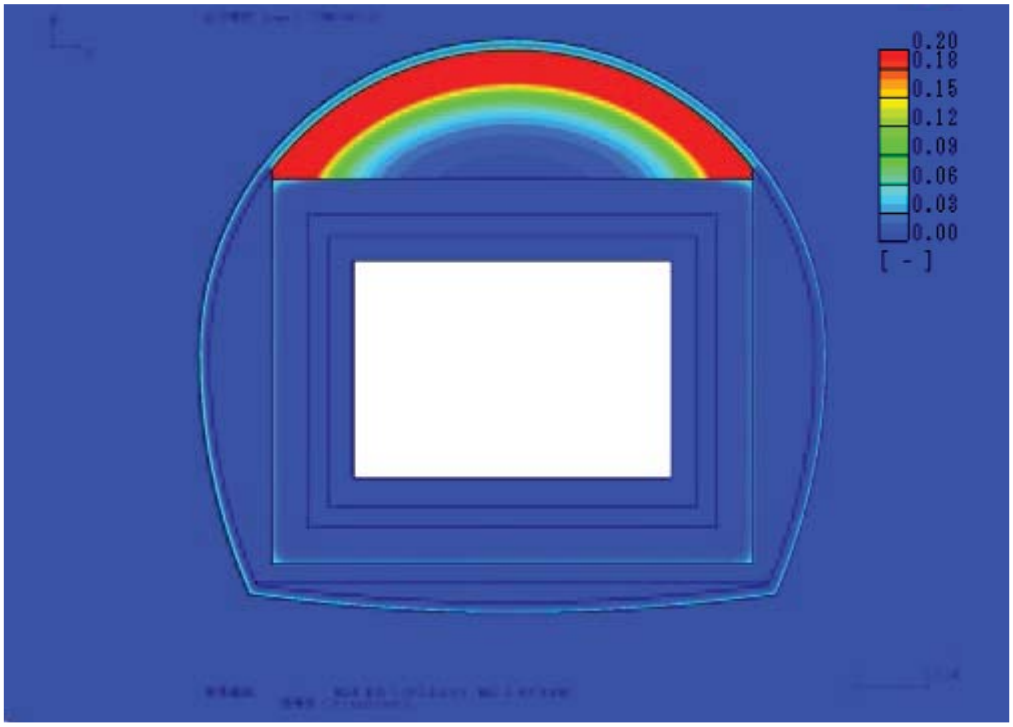


図 3.3-94　空隙率変化（Case1、600 年後）

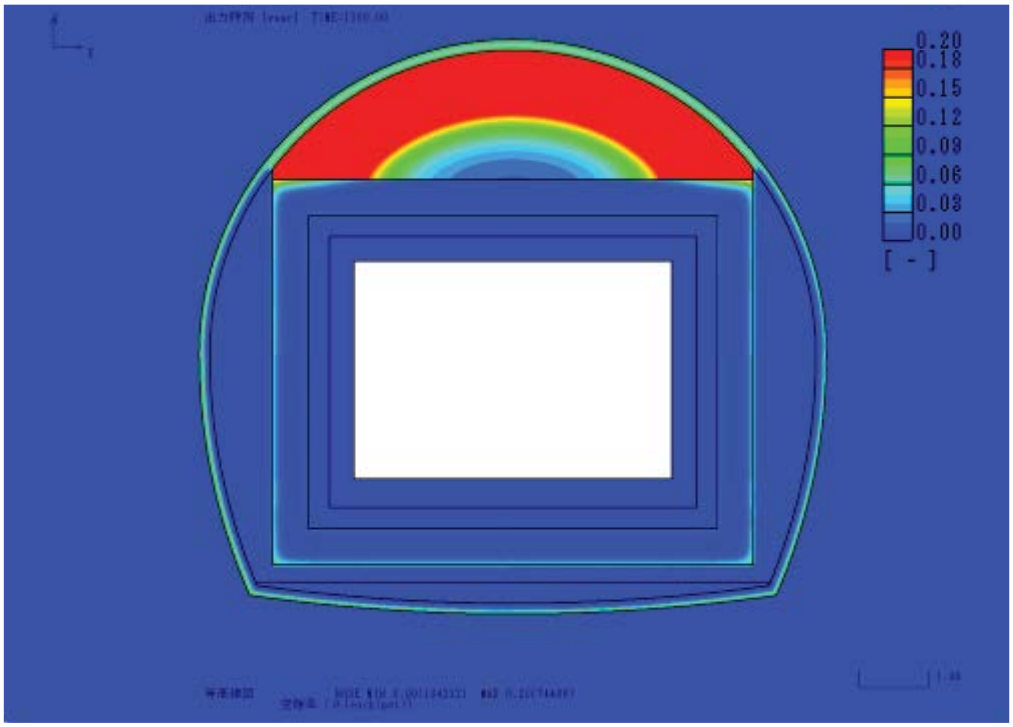


図 3.3-95　空隙率変化（Case1、1,000 年後）

2）Case2

a．固相 Ca 濃度（Case2、施設拡大）

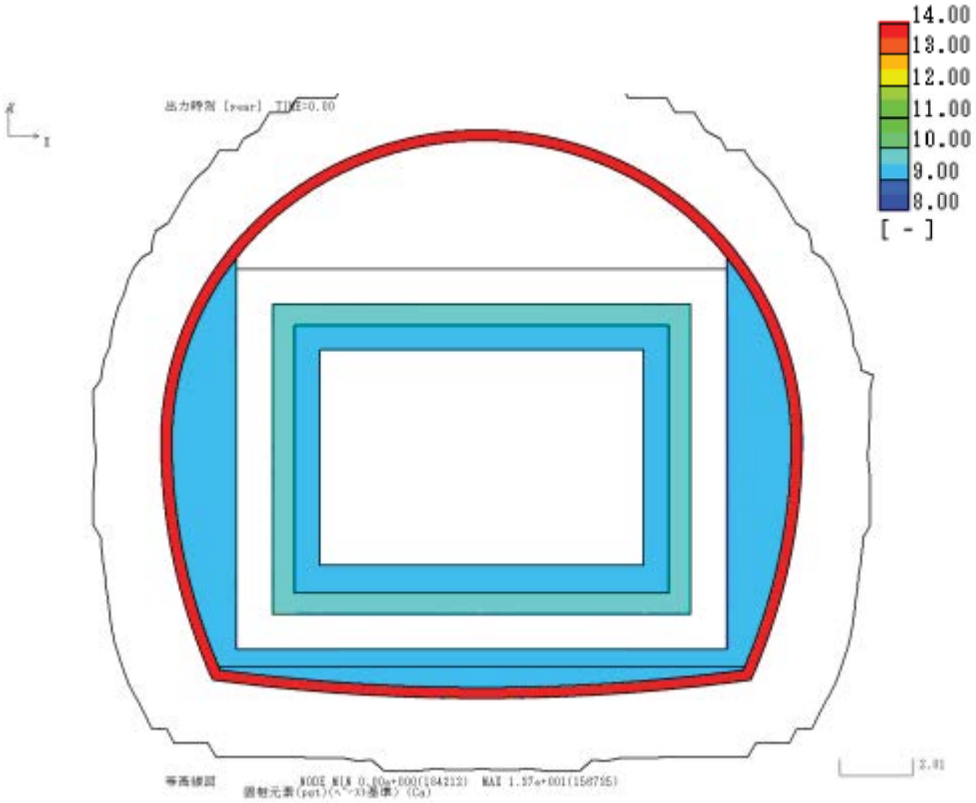


図 3.3-96　固相 Ca 濃度（Case2、0 年後）

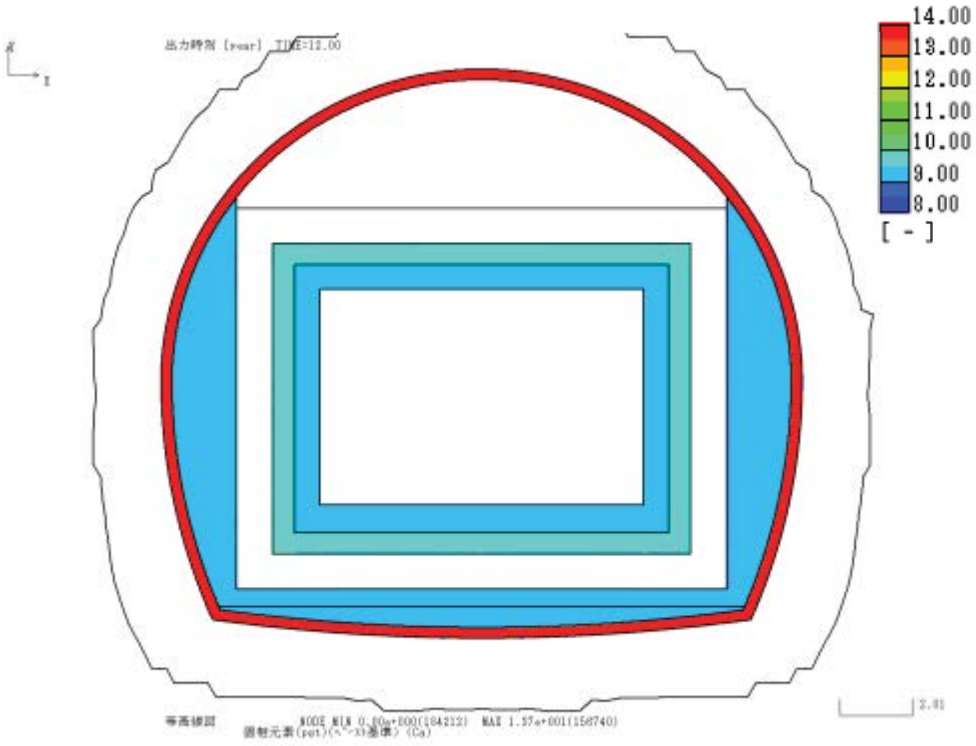


図 3.3-97　固相 Ca 濃度（Case2、12 年後）

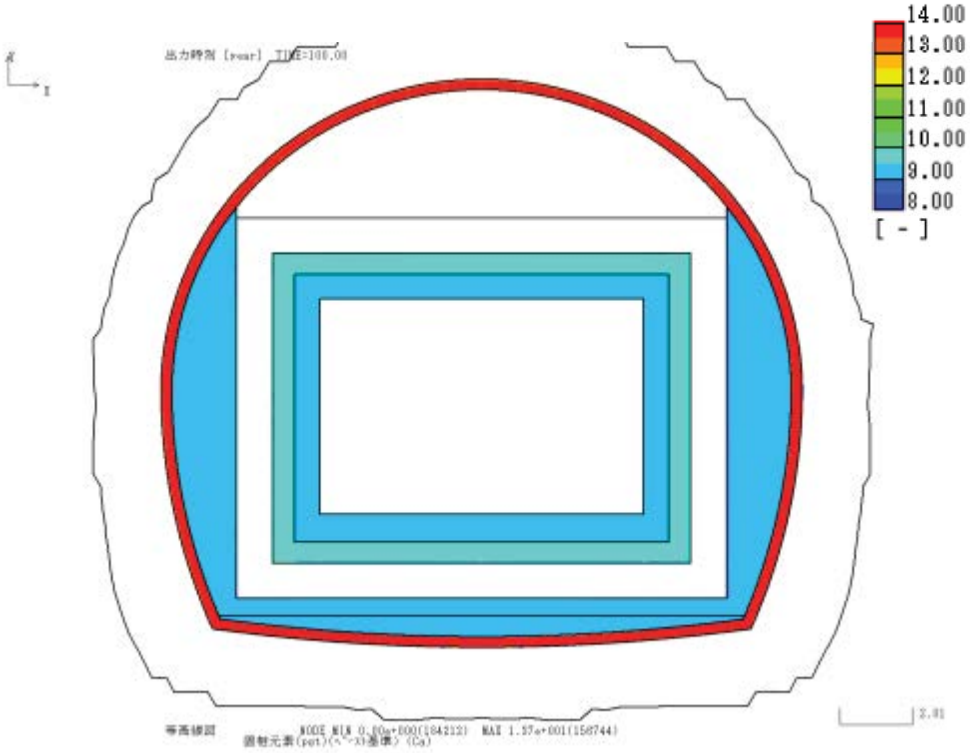


図 3.3-98　固相 Ca 濃度（Case2、100 年後）

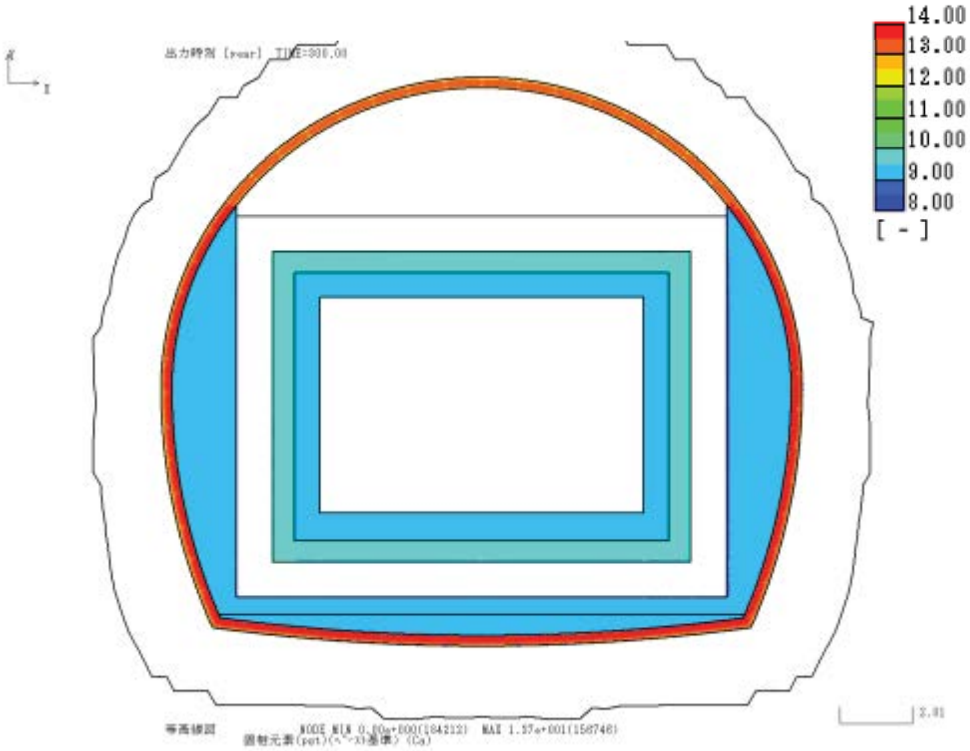


図 3.3-99　固相 Ca 濃度（Case2、300 年後）

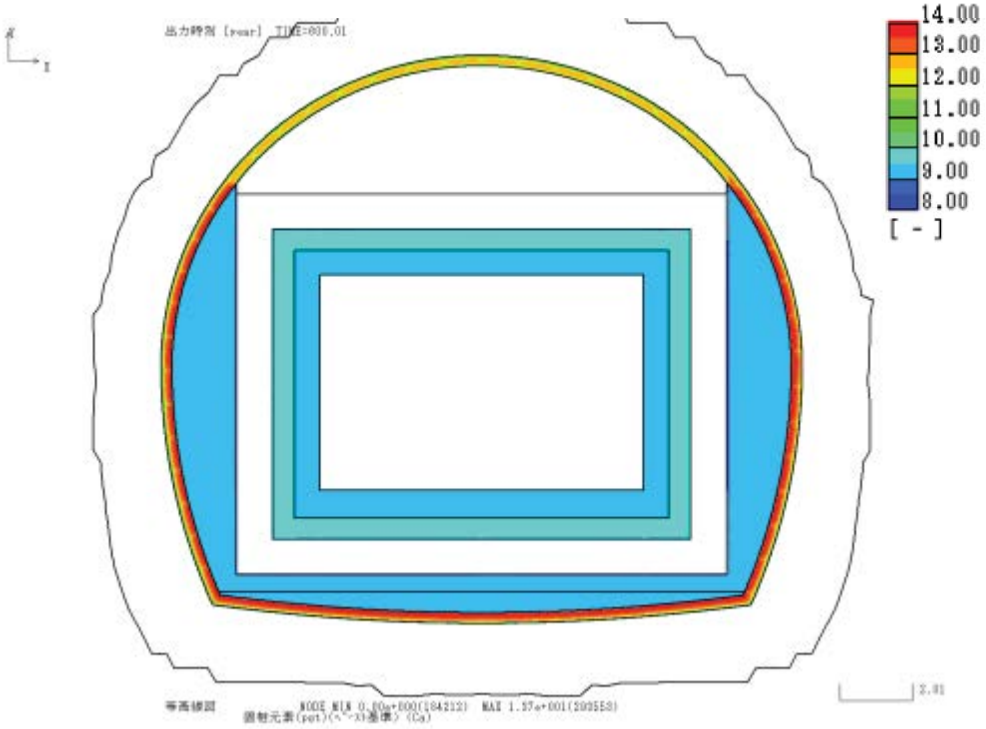


図 3.3-100　固相 Ca 濃度（Case2、600 年後）

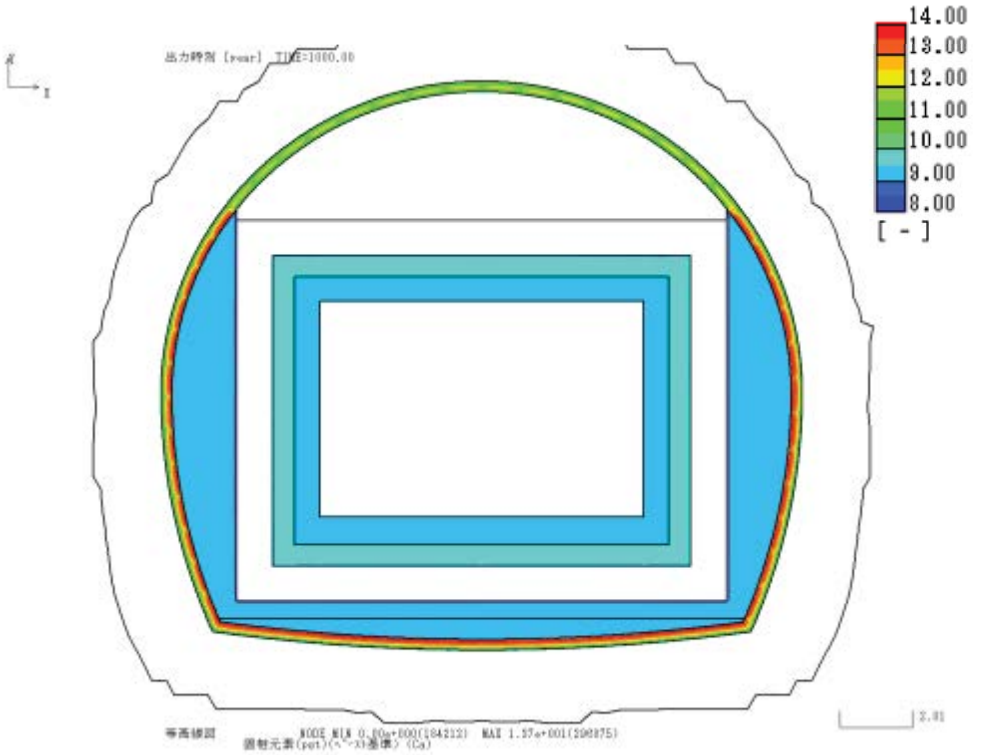


図 3.3-101　固相 Ca 濃度（Case2、1,000 年後）

b. pH の分布（Case2、全体）

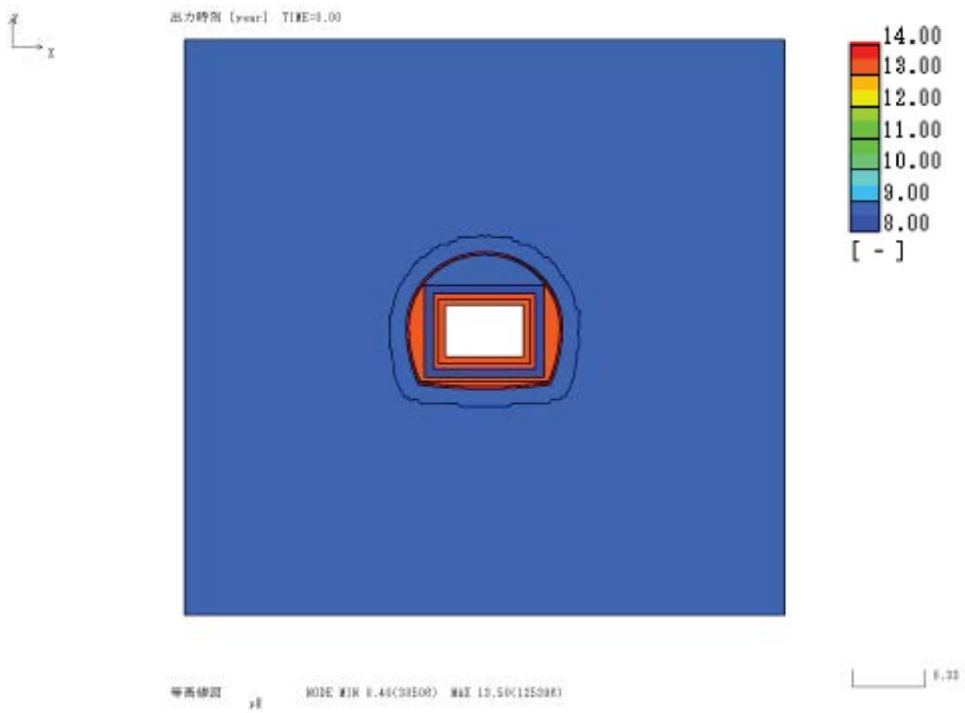


図 3.3-102　モデル全体の pH 分布（Case2、0 年後）

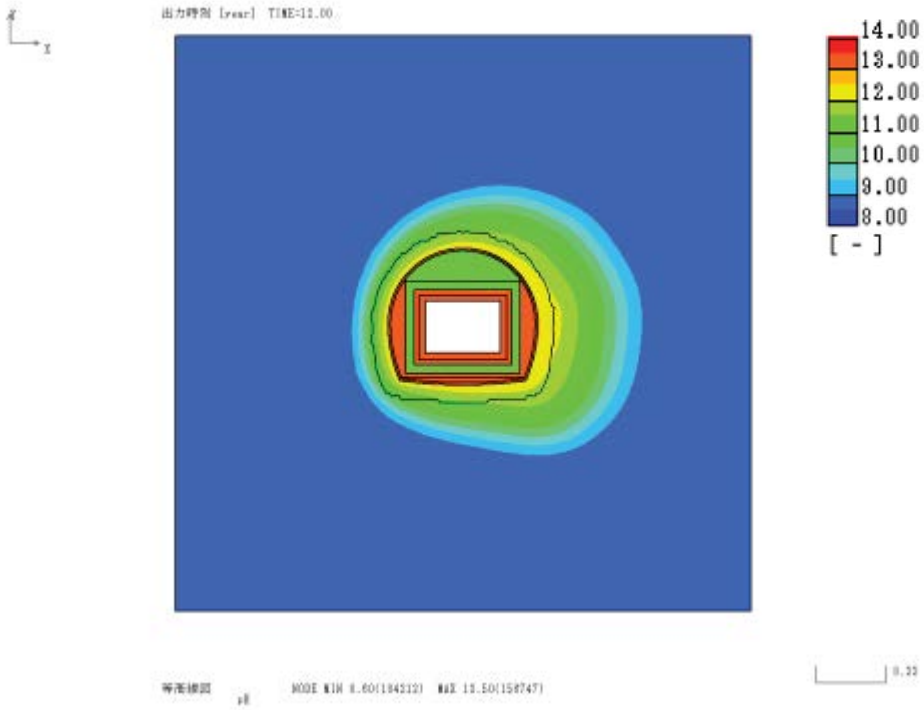


図 3.3-103　モデル全体の pH 分布（Case2、12 年後）

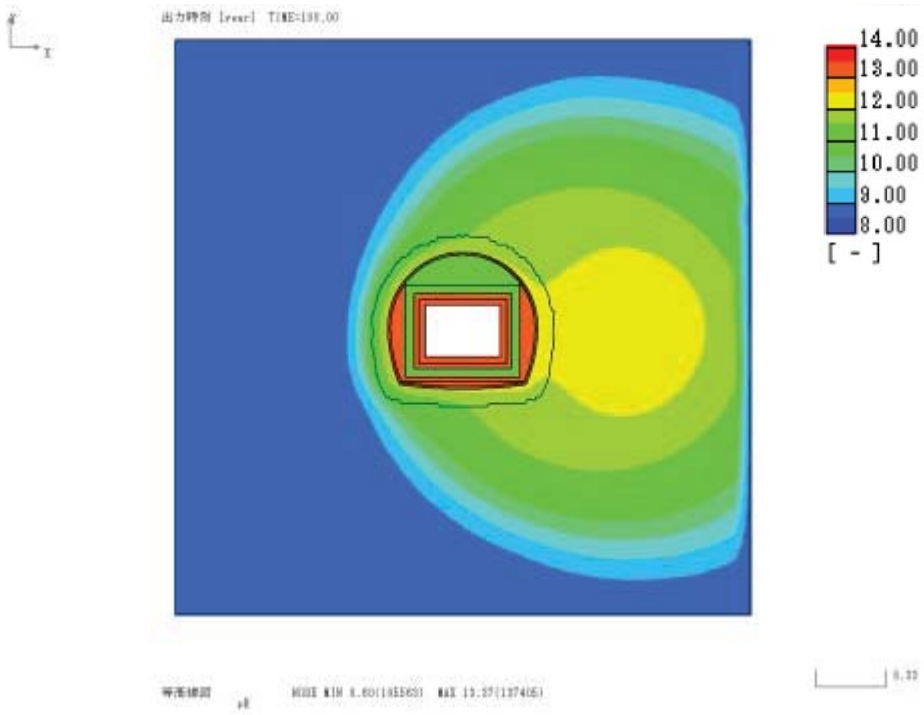


図 3.3-104　モデル全体の pH 分布（Case2、100 年後）

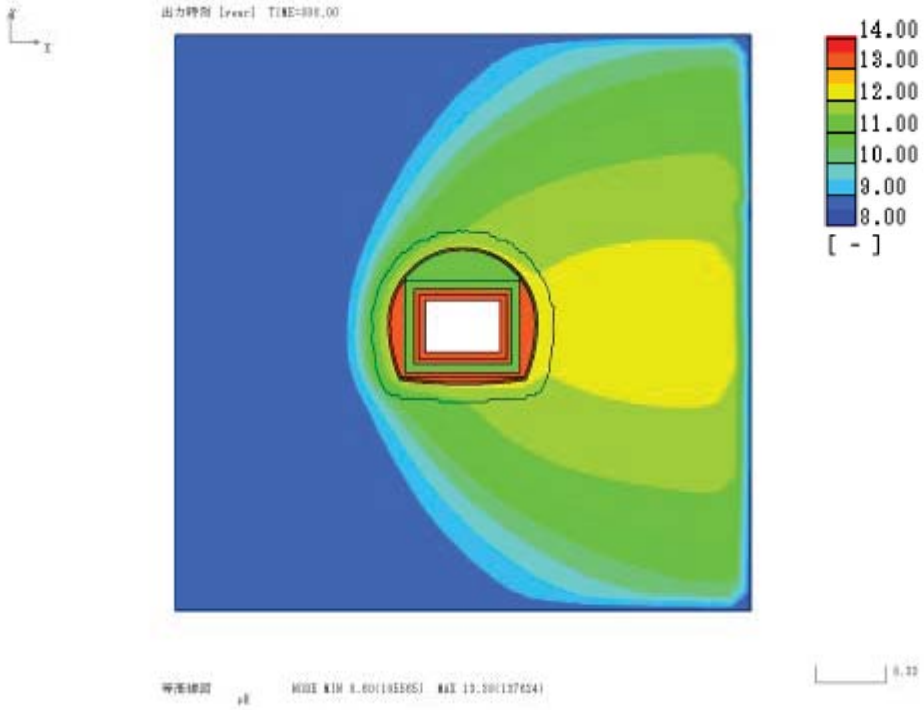


図 3.3-105　モデル全体の pH 分布（Case2、300 年後）

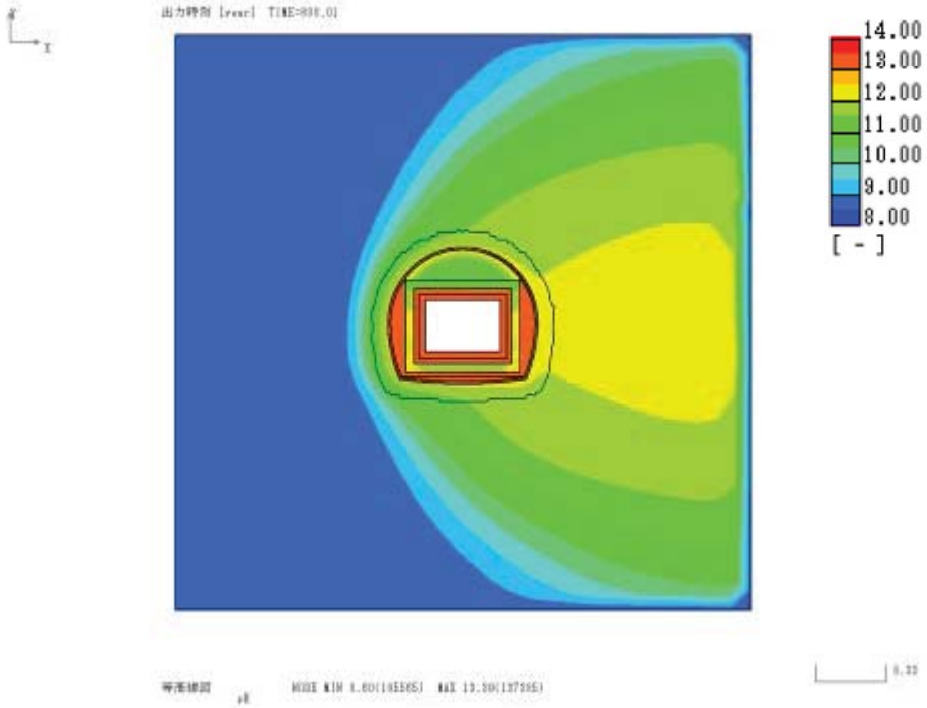


図 3.3-106　モデル全体の pH 分布（Case2、600 年後）

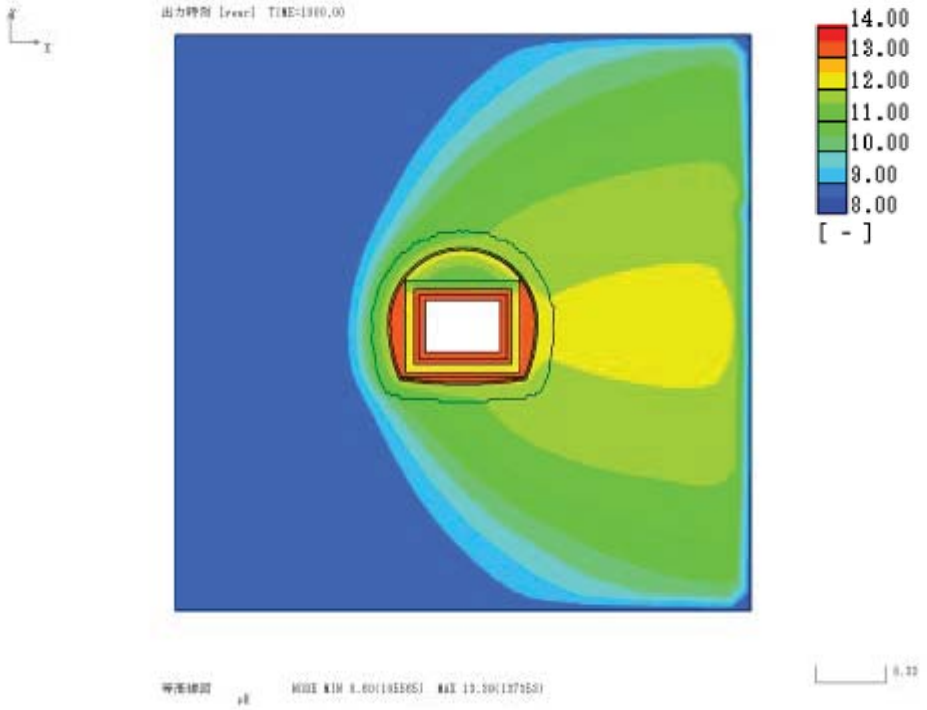


図 3.3-107　モデル全体の pH 分布（Case2、1,000 年後）

c．pH の分布（Case2、施設拡大）

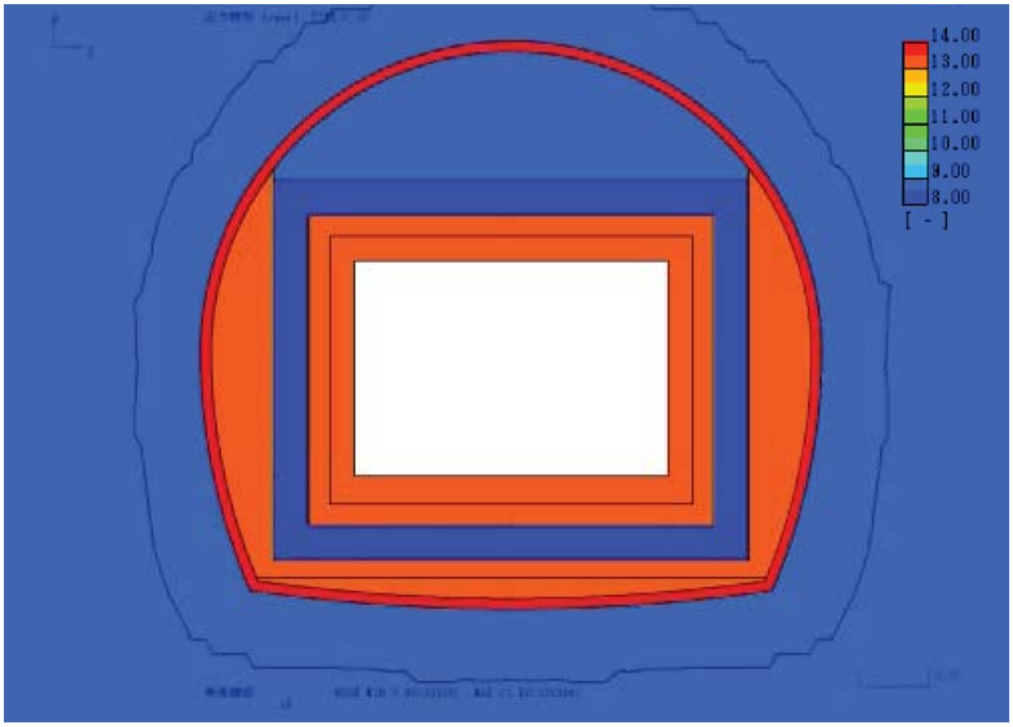


図 3.3-108　人工バリアの pH 分布（Case2、0 年後）

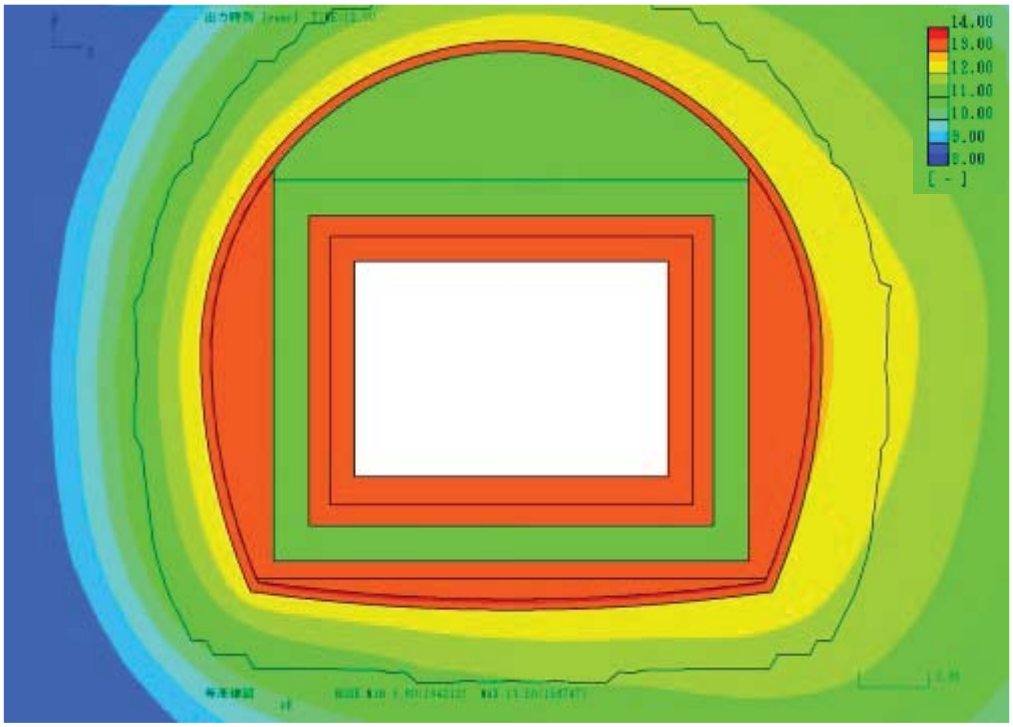


図 3.3-109　人工バリアの pH 分布（Case2、12 年後）

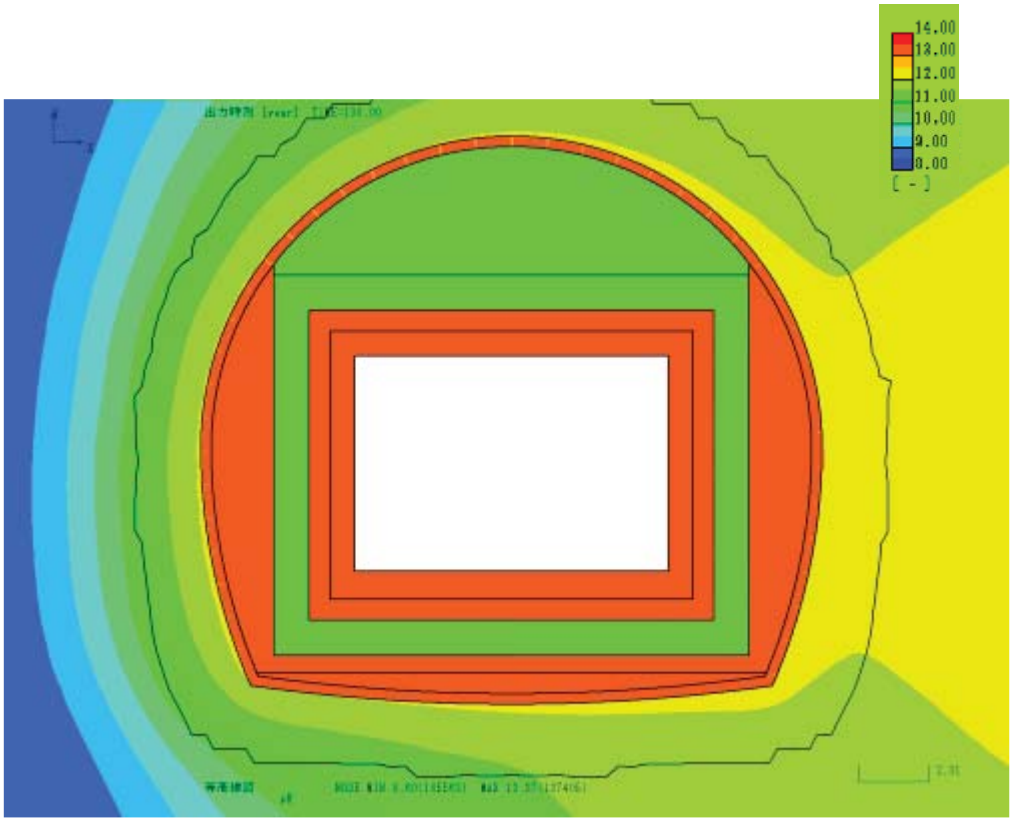


図 3.3-110　人工バリアの pH 分布（Case2、100 年後）

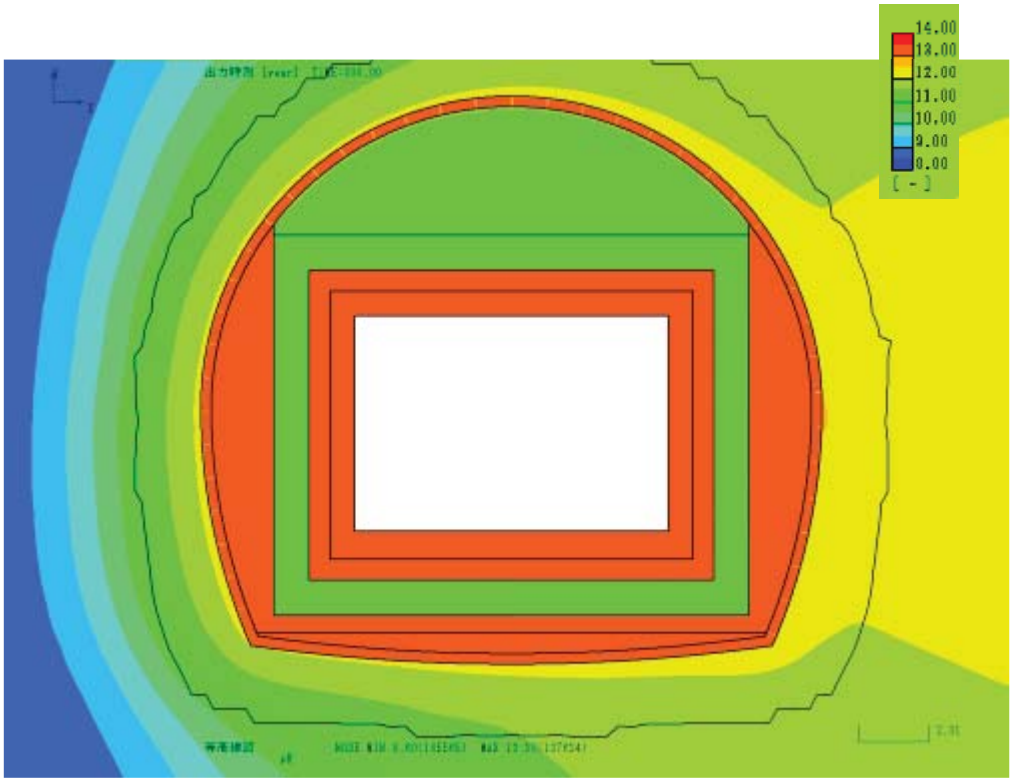


図 3.3-111　人工バリアの pH 分布（Case2、300 年後）

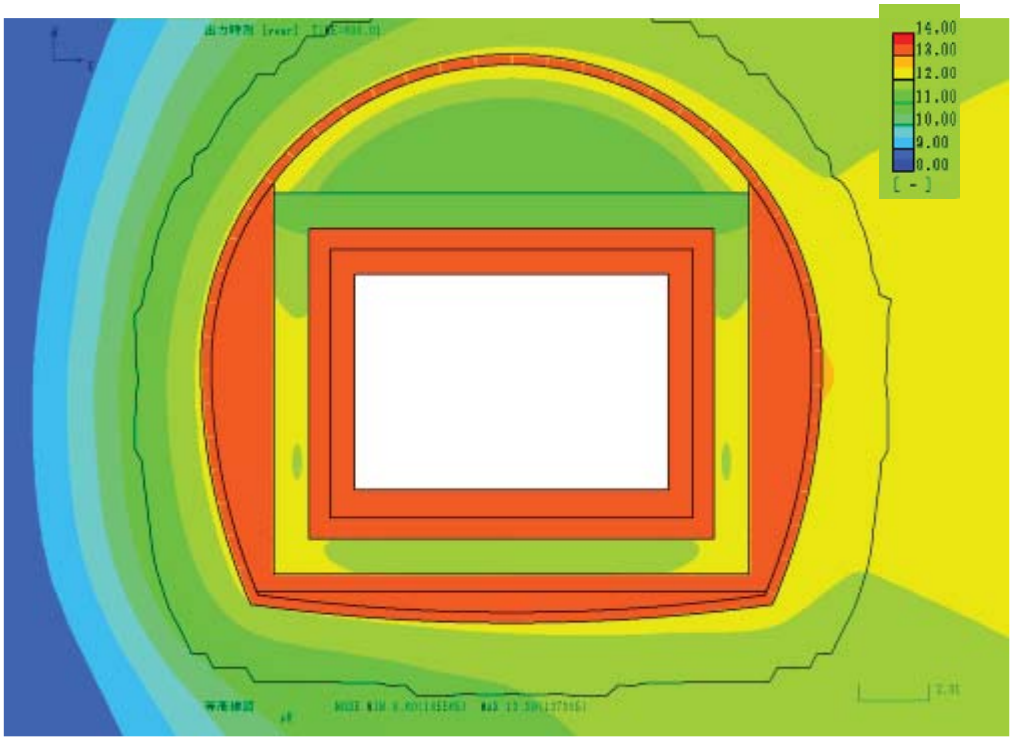


図 3.3-112　人工バリアの pH 分布（Case2、600 年後）

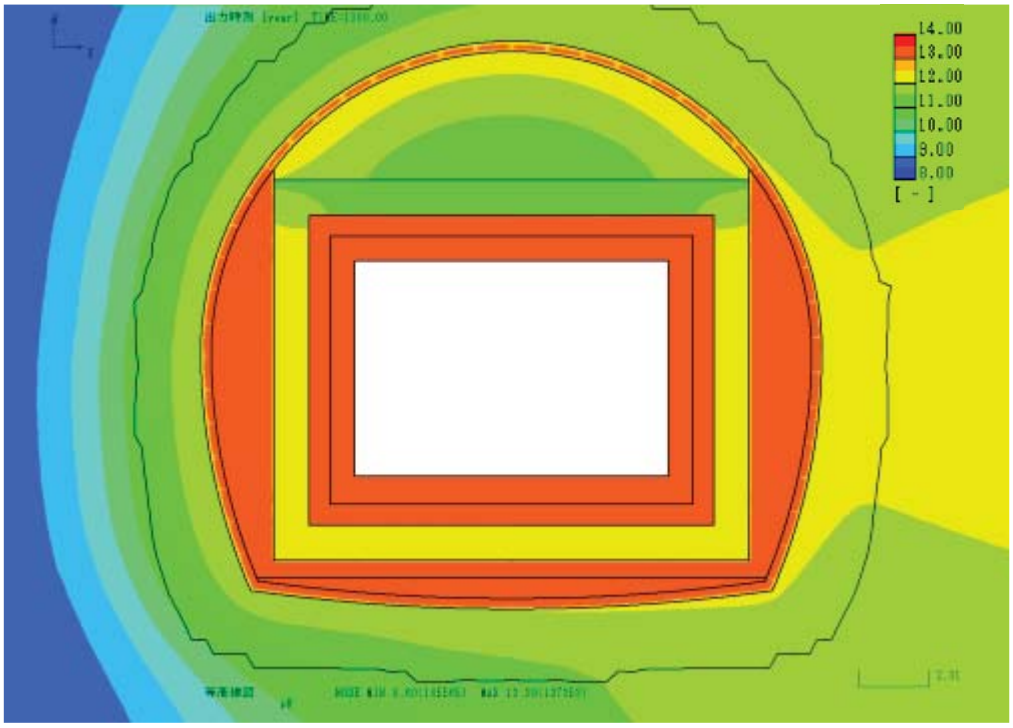


図 3.3-113　人工バリアの pH 分布（Case2、1,000 年後）

d. 水和物濃度（Case2、施設拡大、$Ca(OH)_2$）

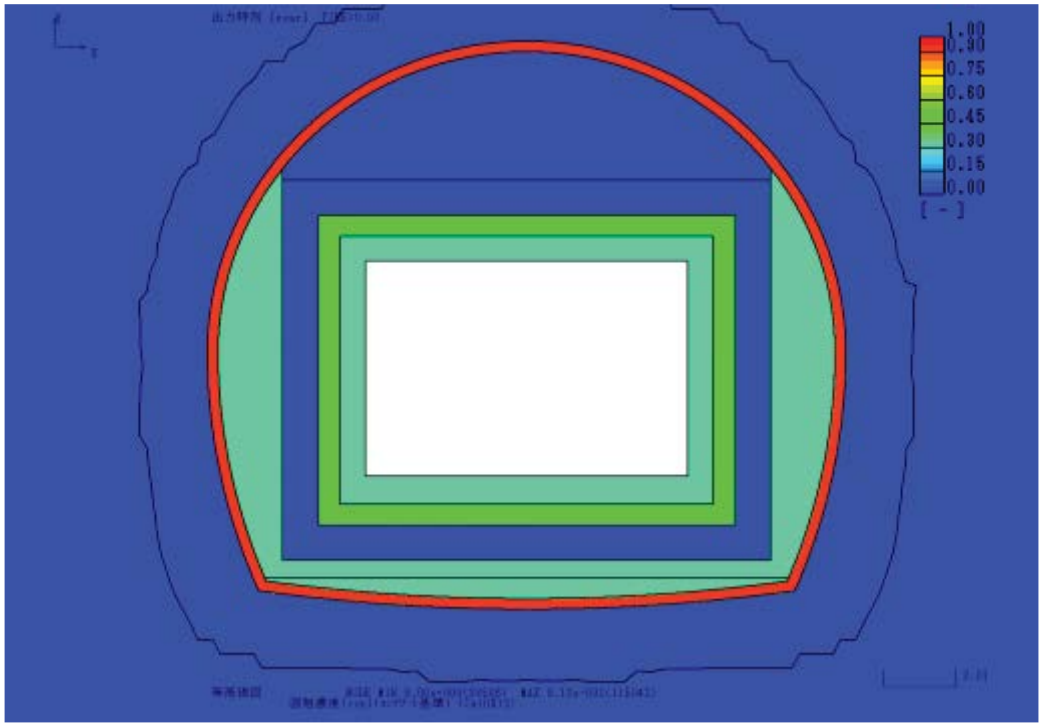


図 3.3-114　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、0 年後）

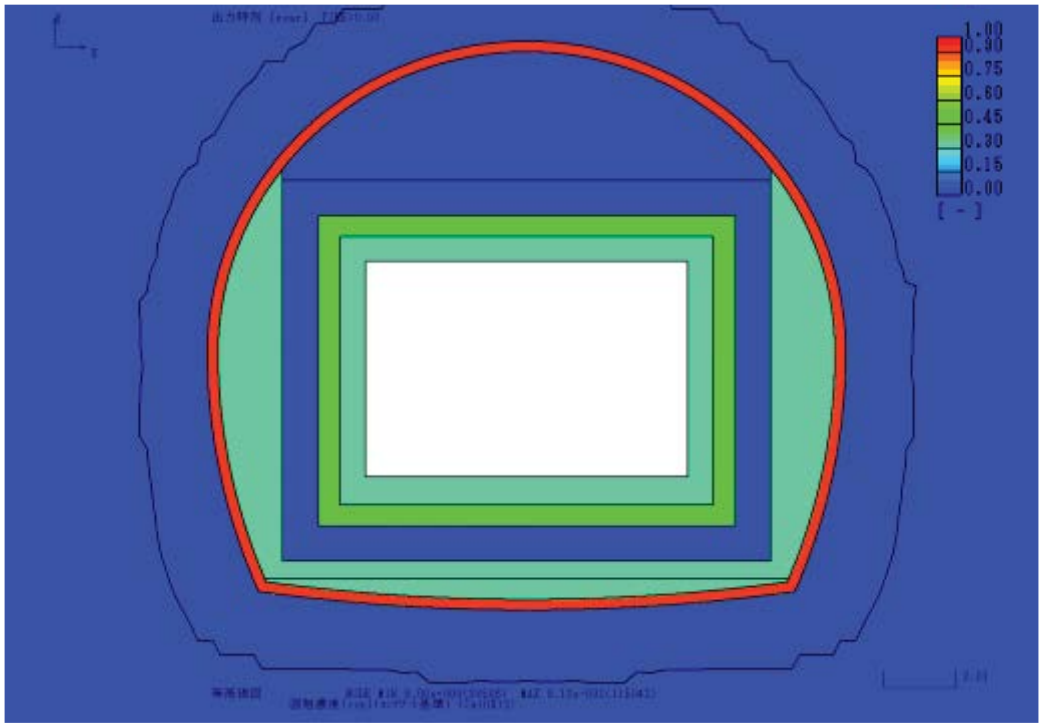


図 3.3-115　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、12 年後）

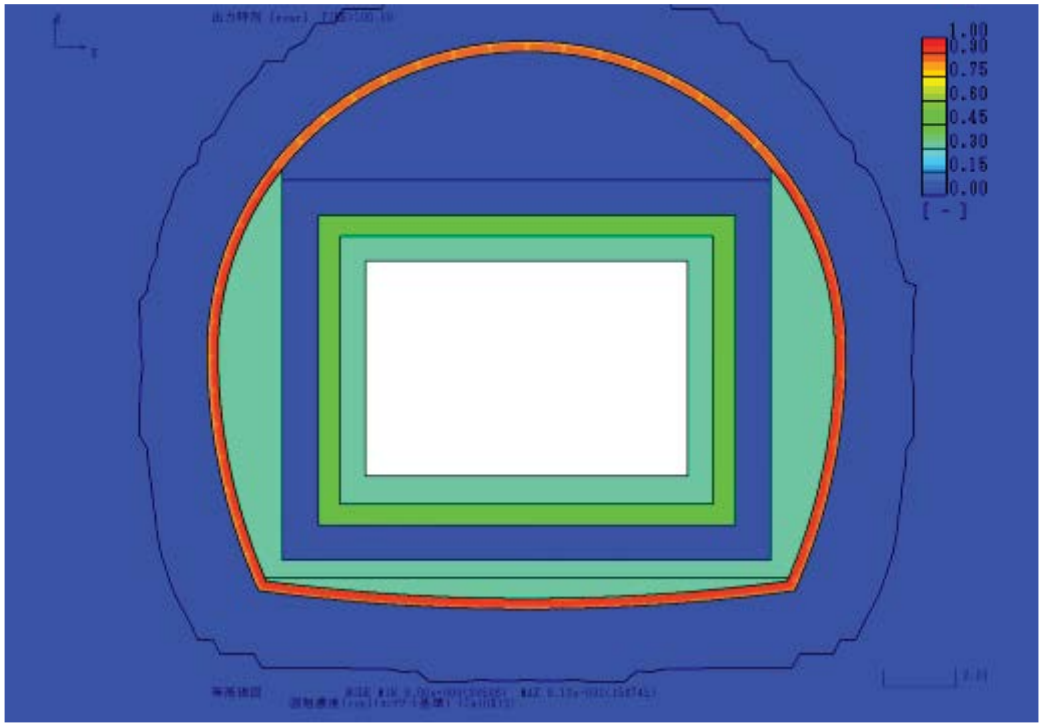


図 3.3-116　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、100 年後）

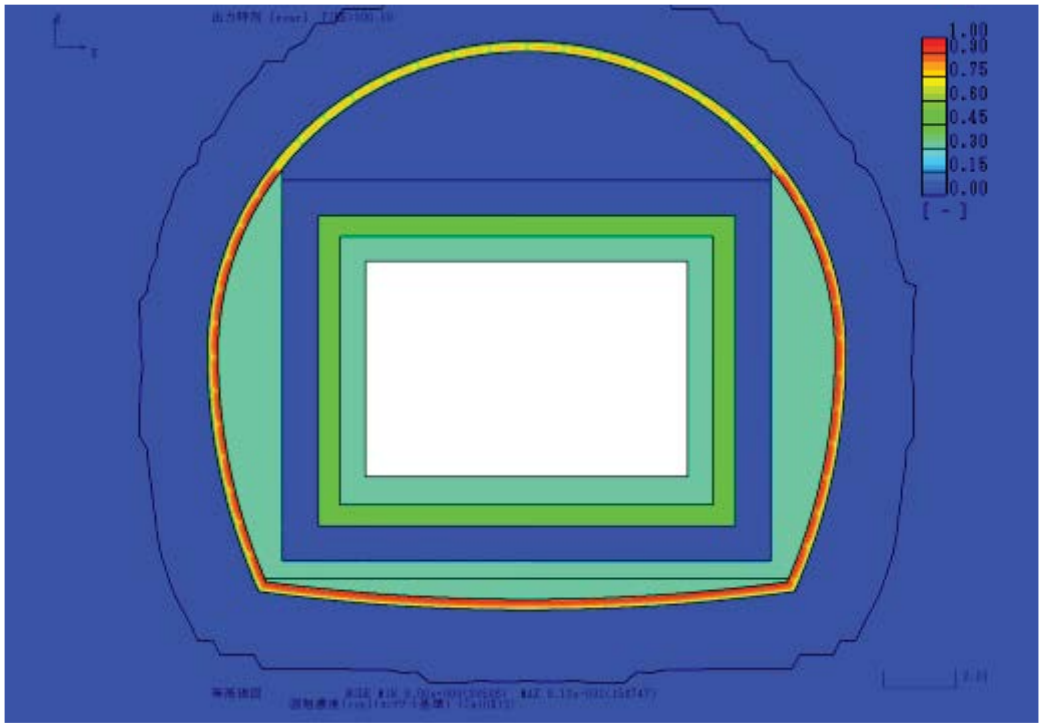


図 3.3-117　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、300 年後）

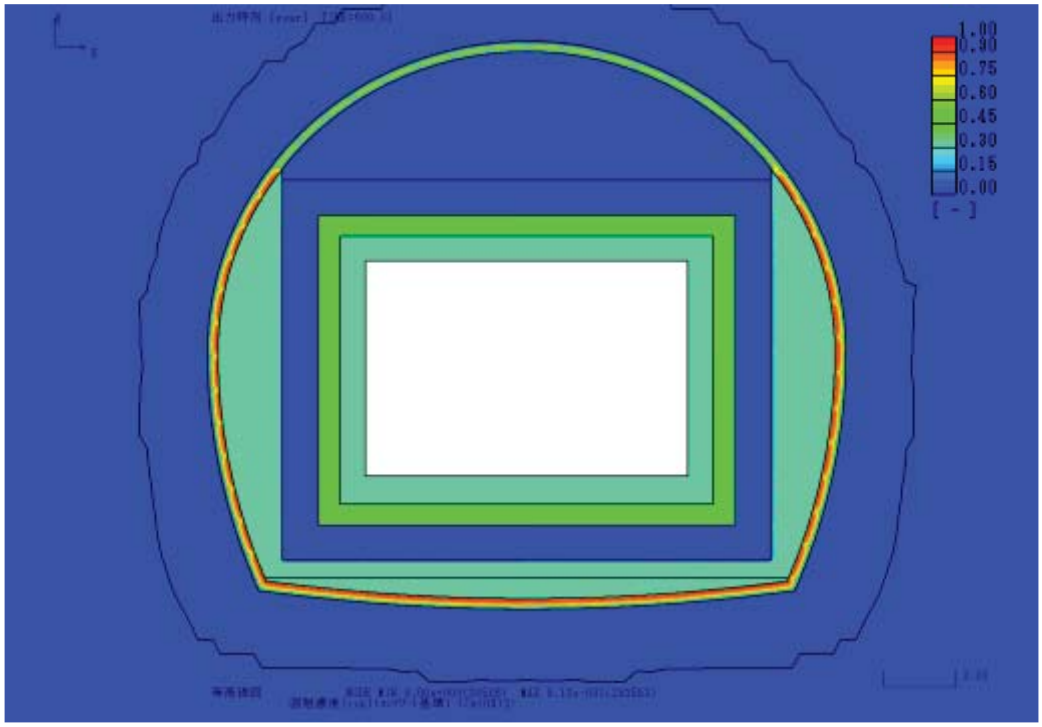


図 3.3-118　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、600 年後）

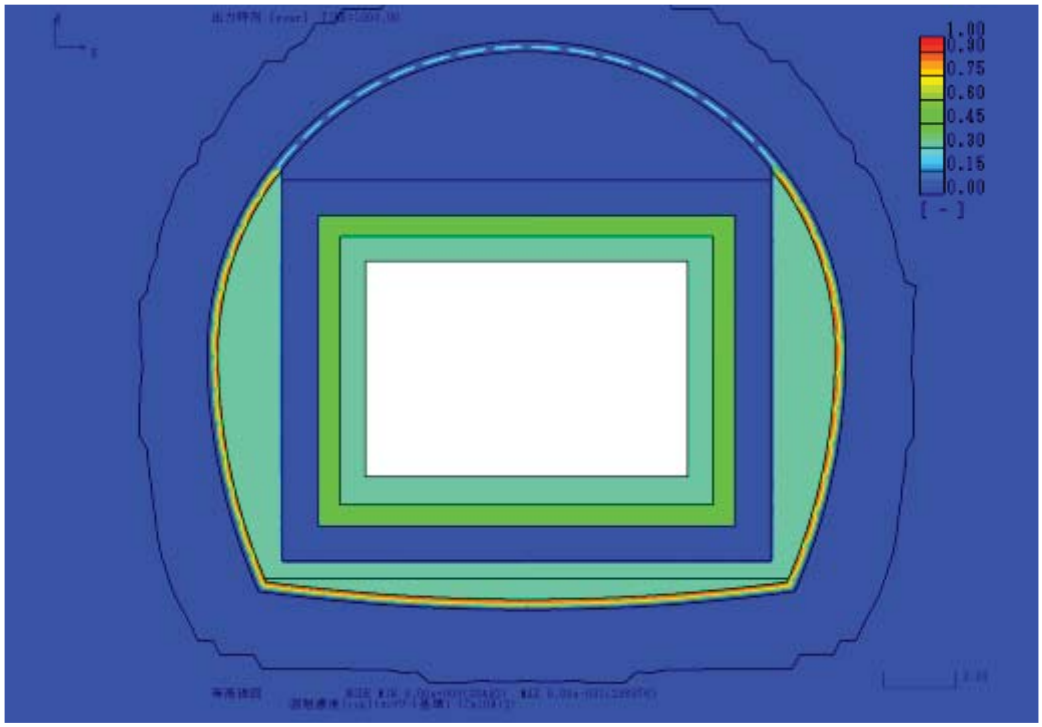


図 3.3-119　$Ca(OH)_2$ 濃度（Case2、1,000 年後）

e．水和物濃度（Case2、施設拡大、CSH）

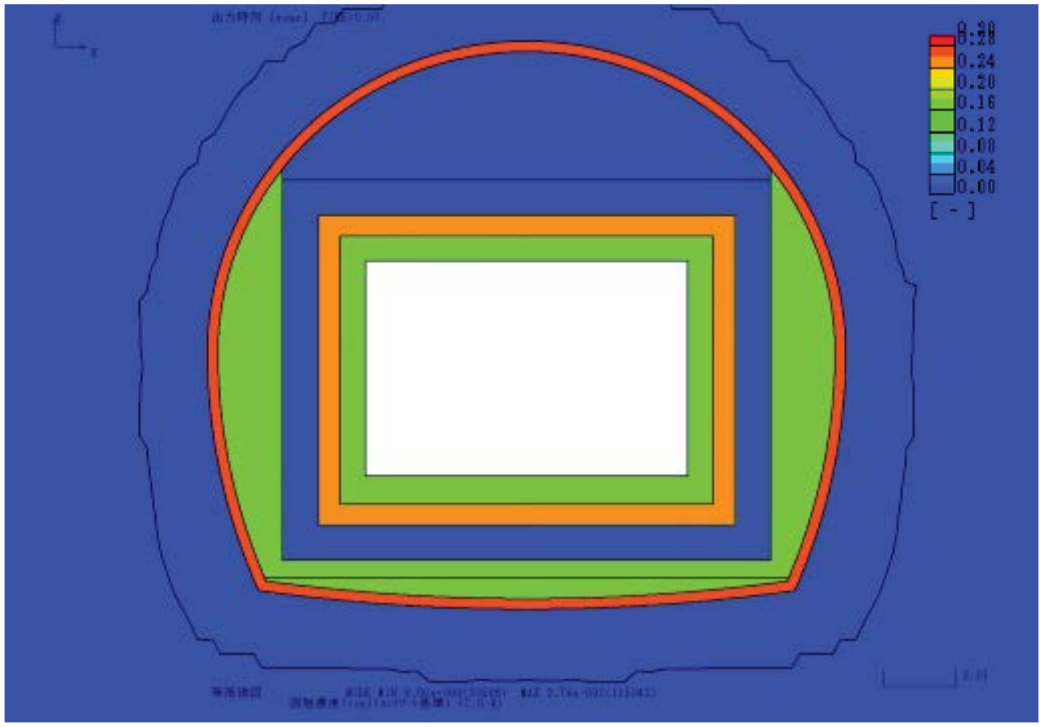


図 3.3-120　CSH 濃度（Case2、0 年後）

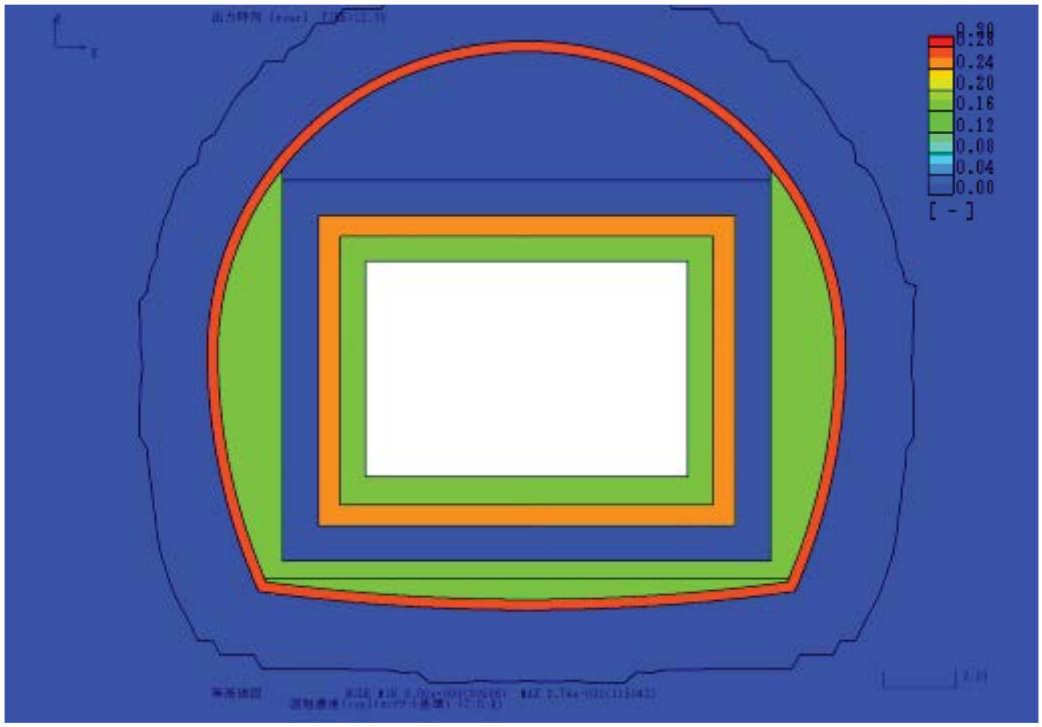


図 3.3-121　CSH 濃度（Case2、12 年後）

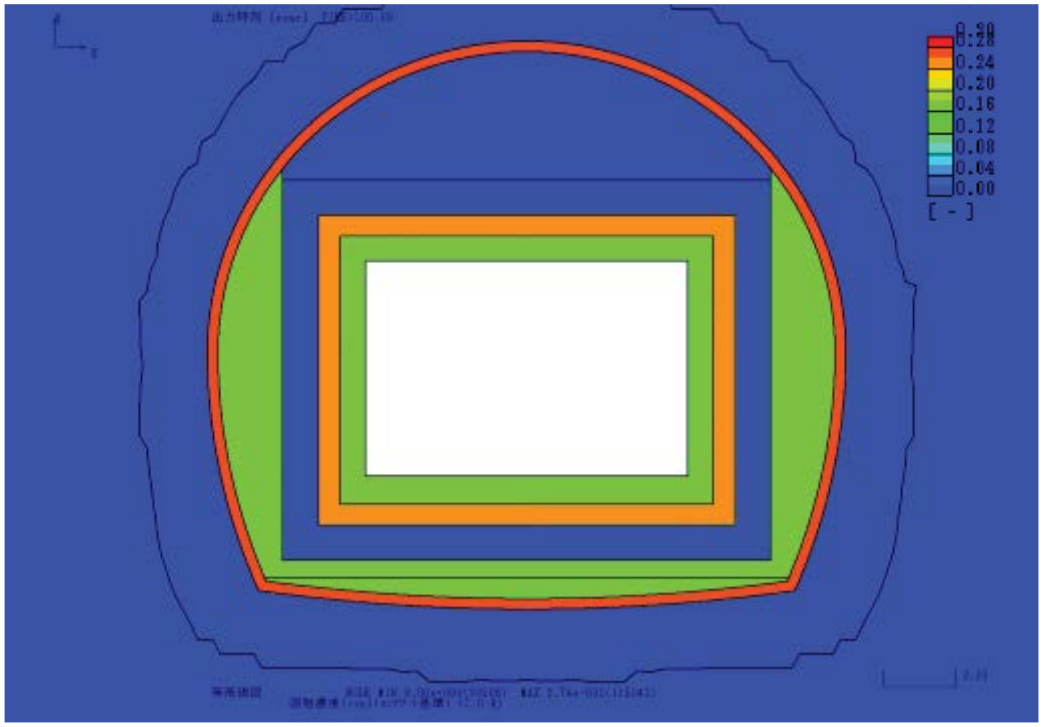


図 3.3-122　CSH 濃度（Case2、100 年後）

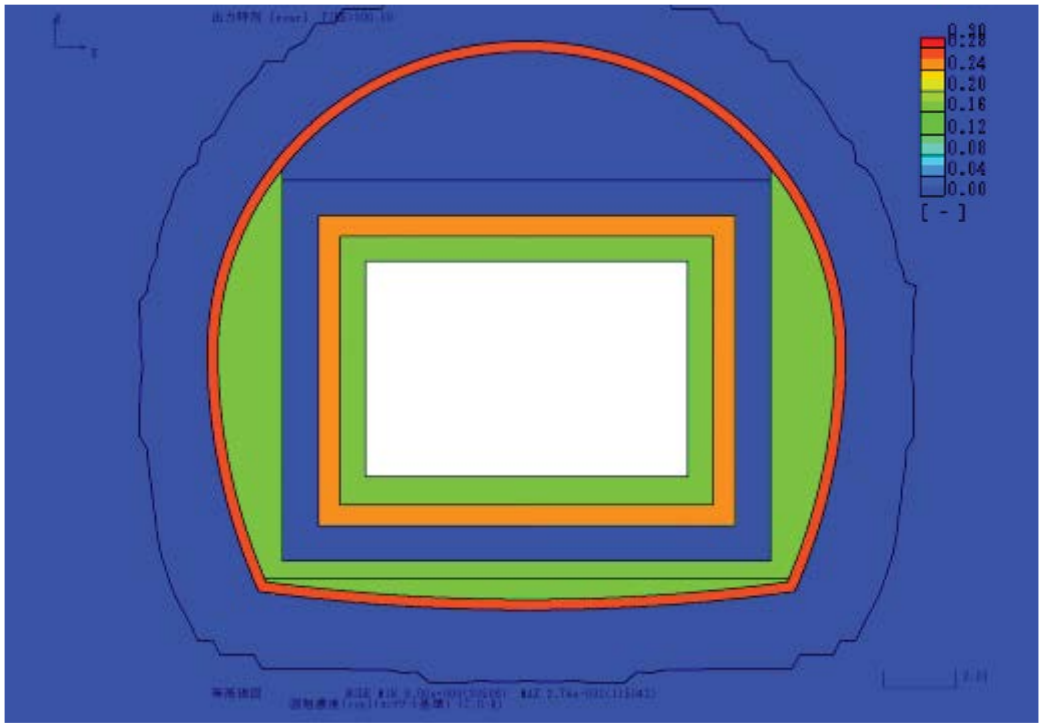


図 3.3-123　CSH 濃度（Case2、300 年後）

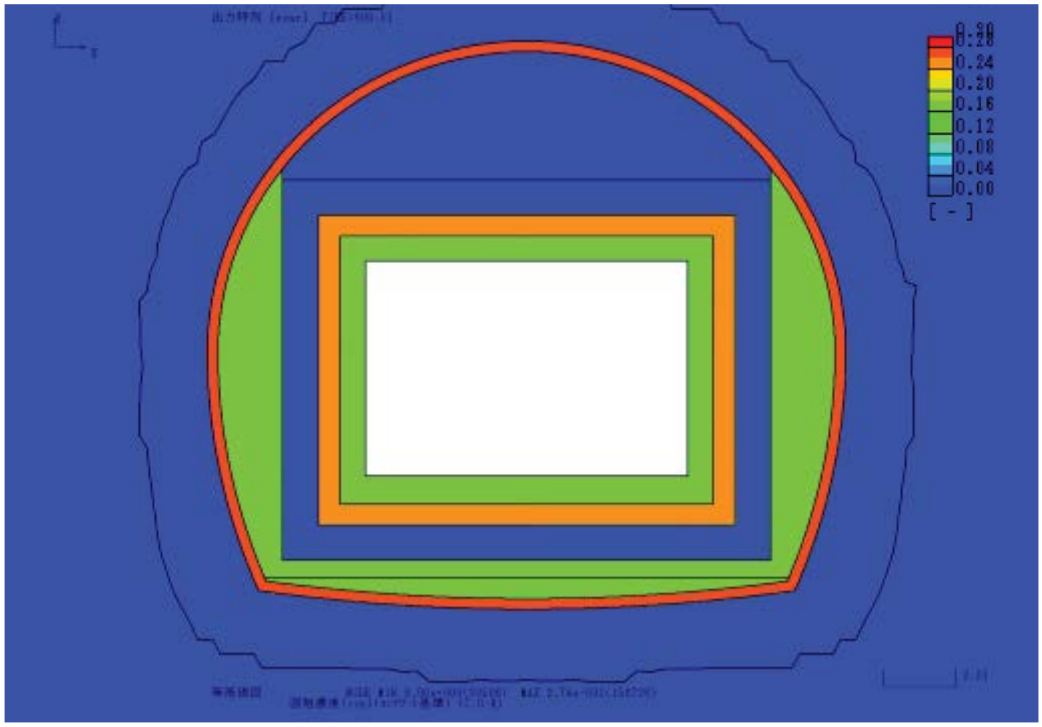


図 3.3-124　CSH 濃度（Case2、600 年後）

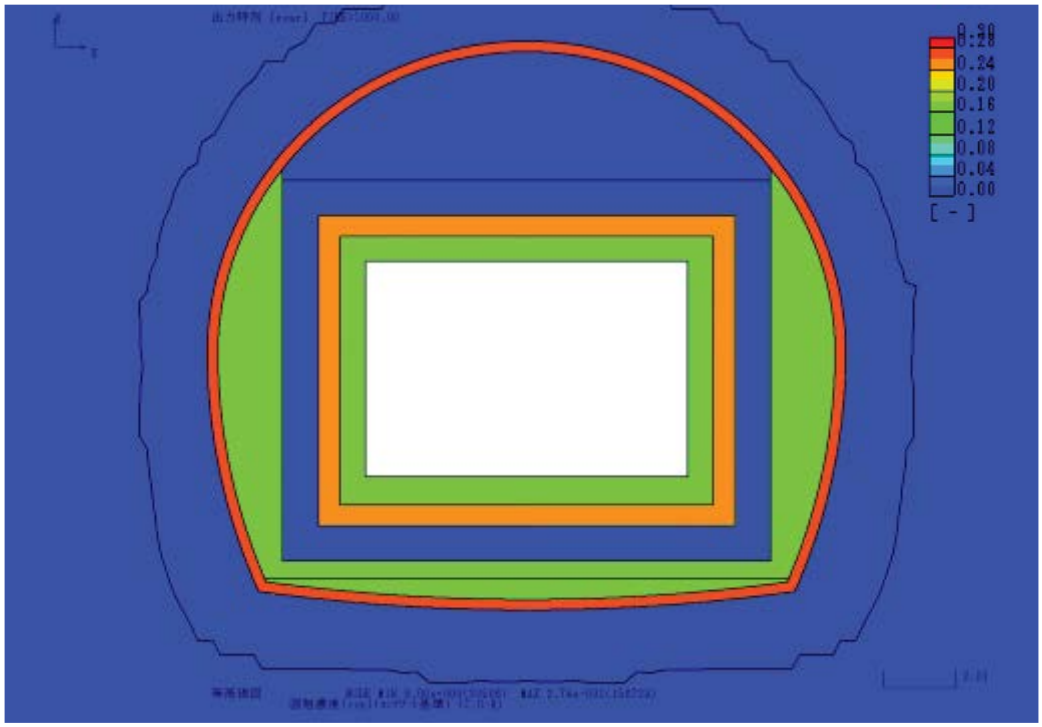


図 3.3-125　CSH 濃度（Case2、1,000 年後）

f. 水和物濃度（Case2、施設拡大、CAH）

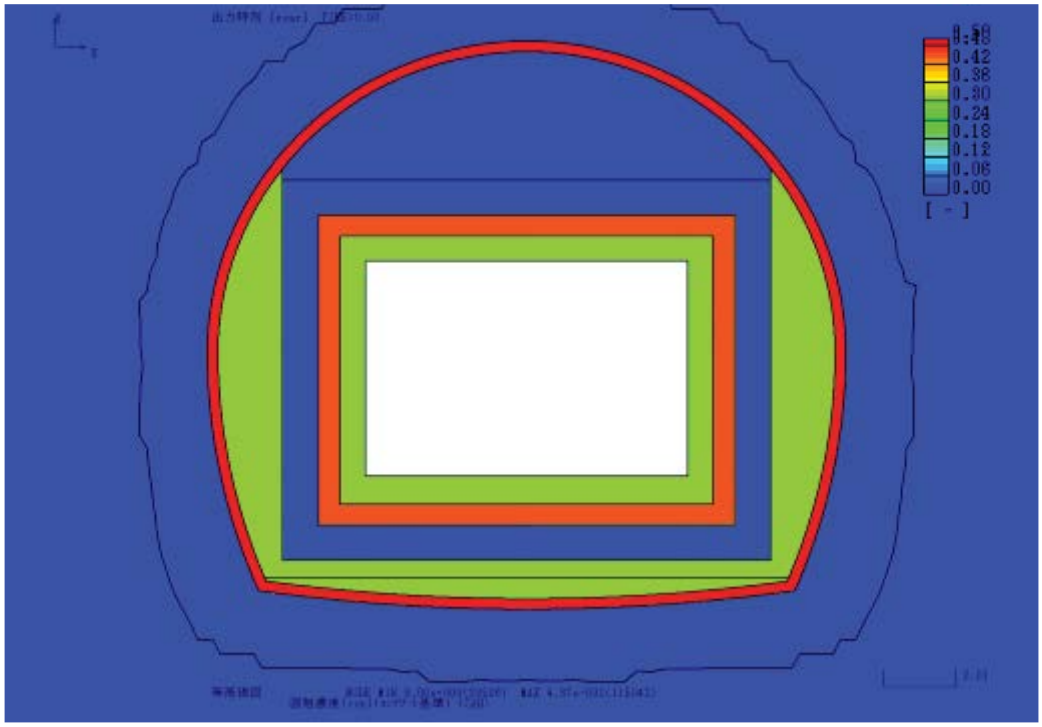


図 3.3-126　CAH 濃度（Case2、0 年後）

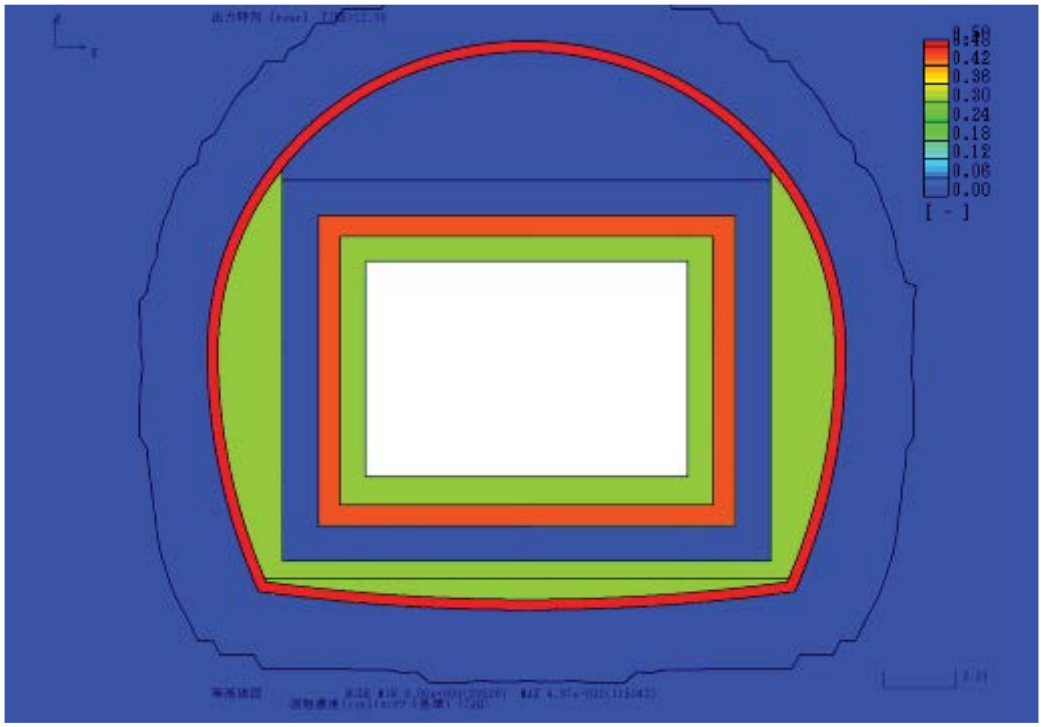


図 3.3-127　CAH 濃度（Case2、12 年後）

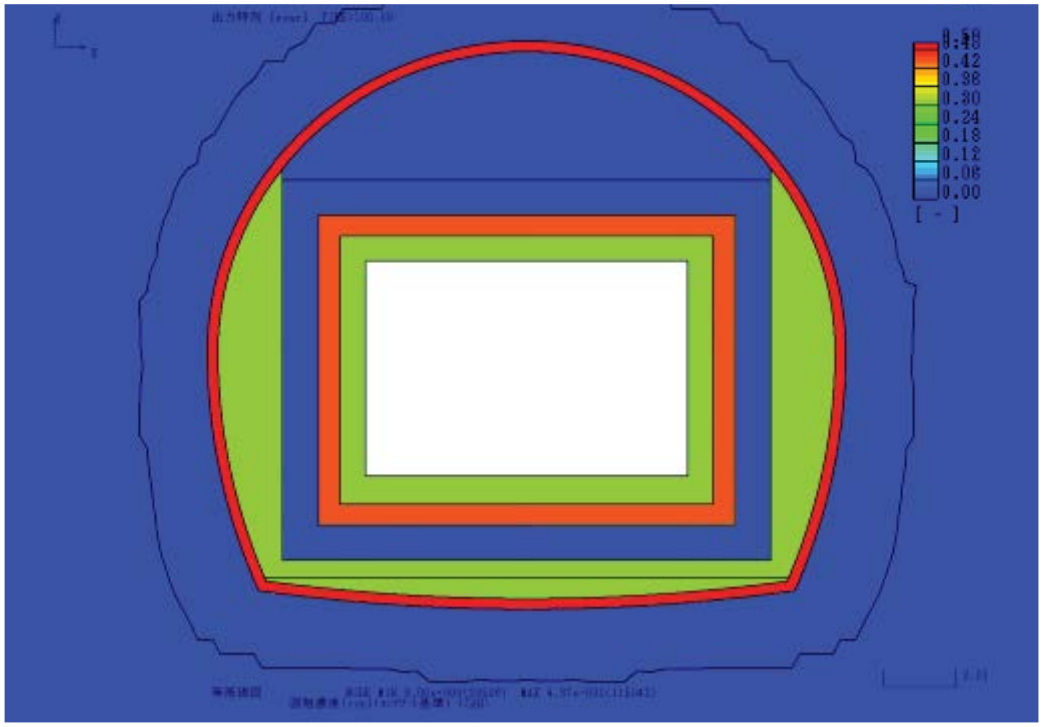


図 3.3-128　CAH 濃度（Case2、100 年後）

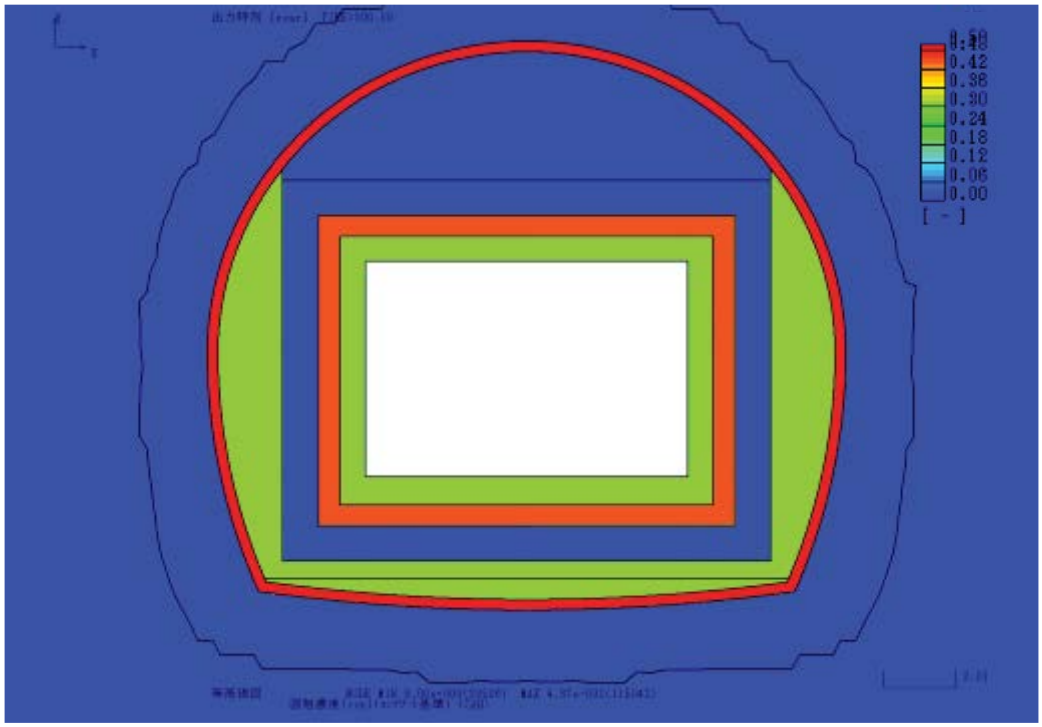


図 3.3-129　CAH 濃度（Case2、300 年後）

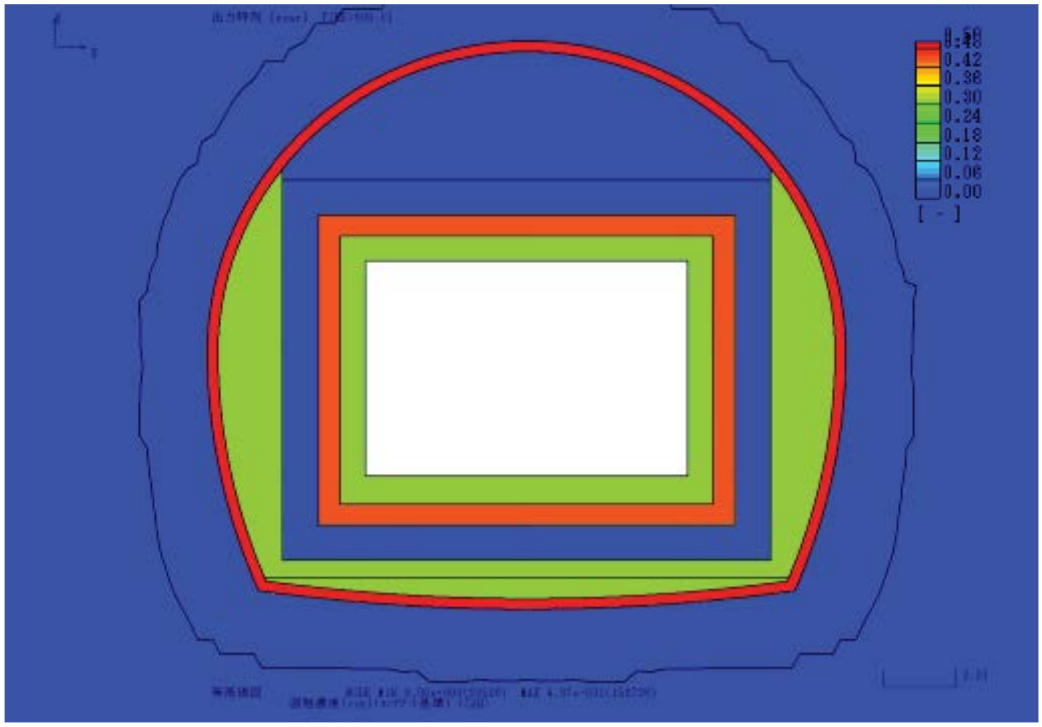


図 3.3-130　CAH 濃度（Case2、600 年後）

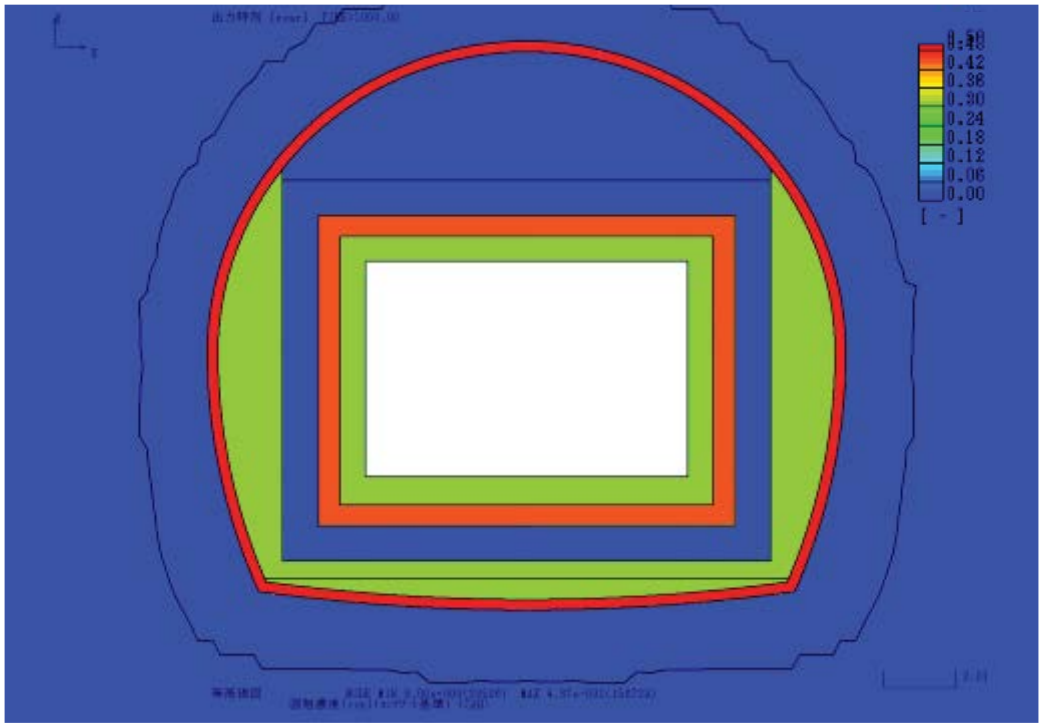


図 3.3-131　CAH 濃度（Case2、1,000 年後）

g．水和物濃度（Case2、施設拡大、エトリンガイト）

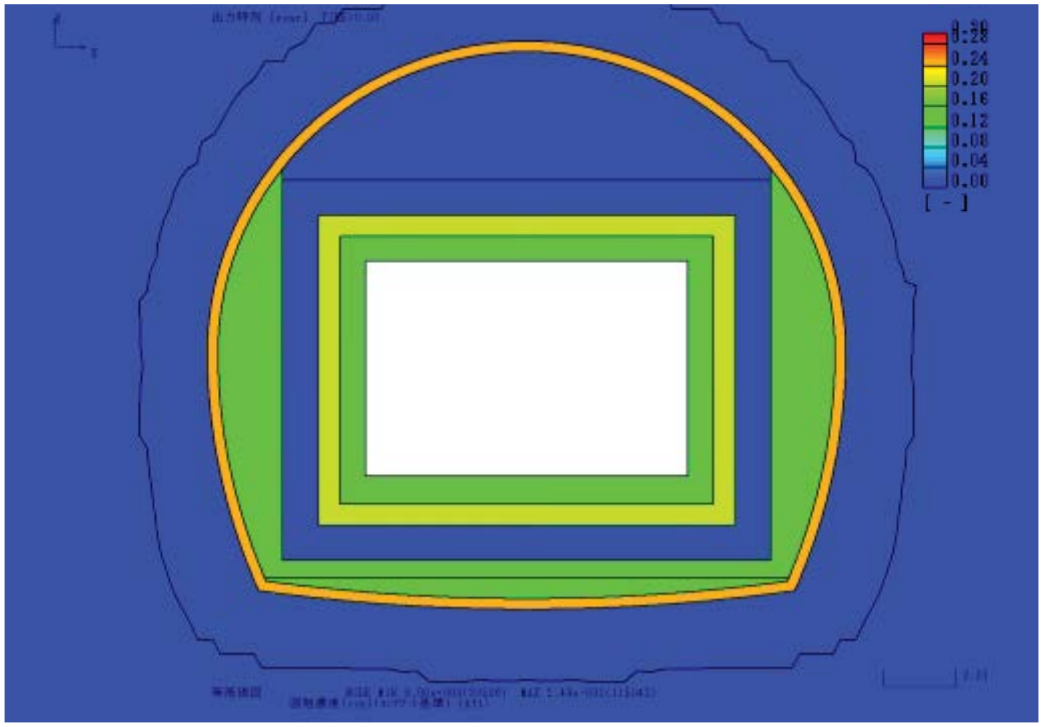


図 3.3-132　エトリンガイト濃度（Case2、0 年後）

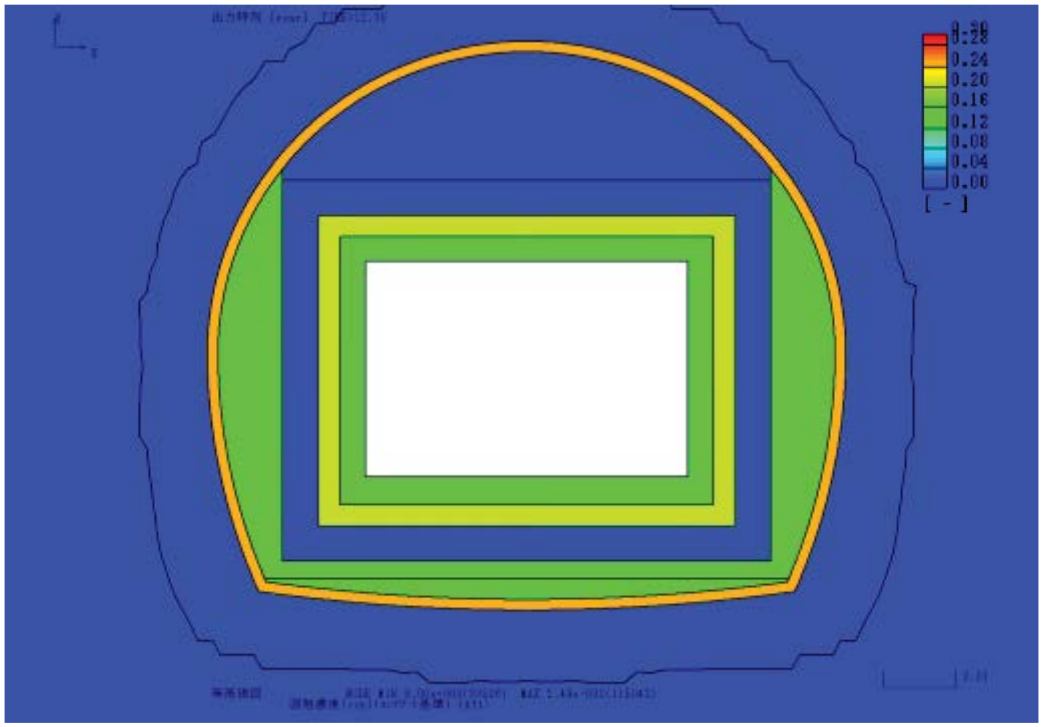


図 3.3-133　エトリンガイト濃度（Case2、12 年後）

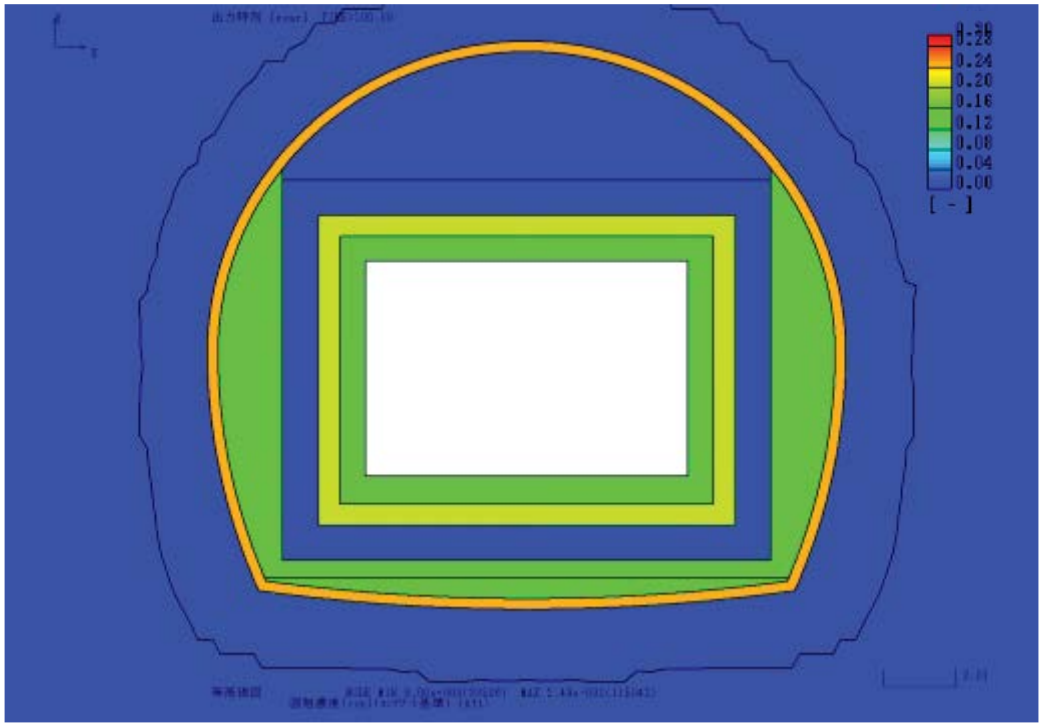


図 3.3-134　エトリンガイト濃度（Case2、100 年後）

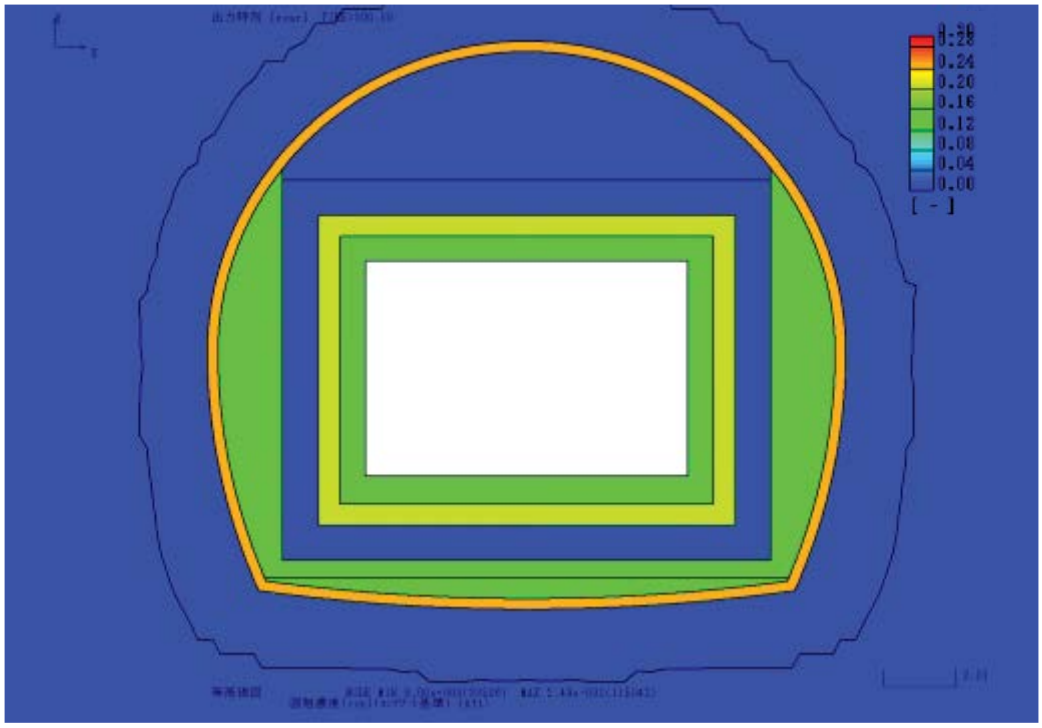


図 3.3-135　エトリンガイト濃度（Case2、300 年後）

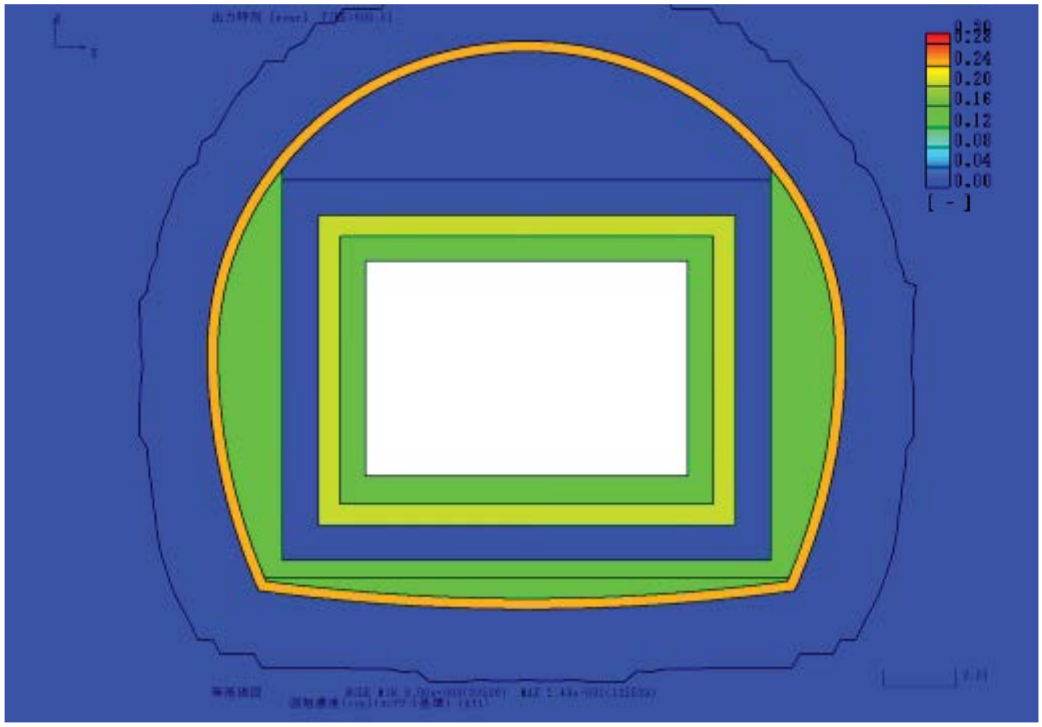


図 3.3-136　エトリンガイト濃度（Case2、600 年後）

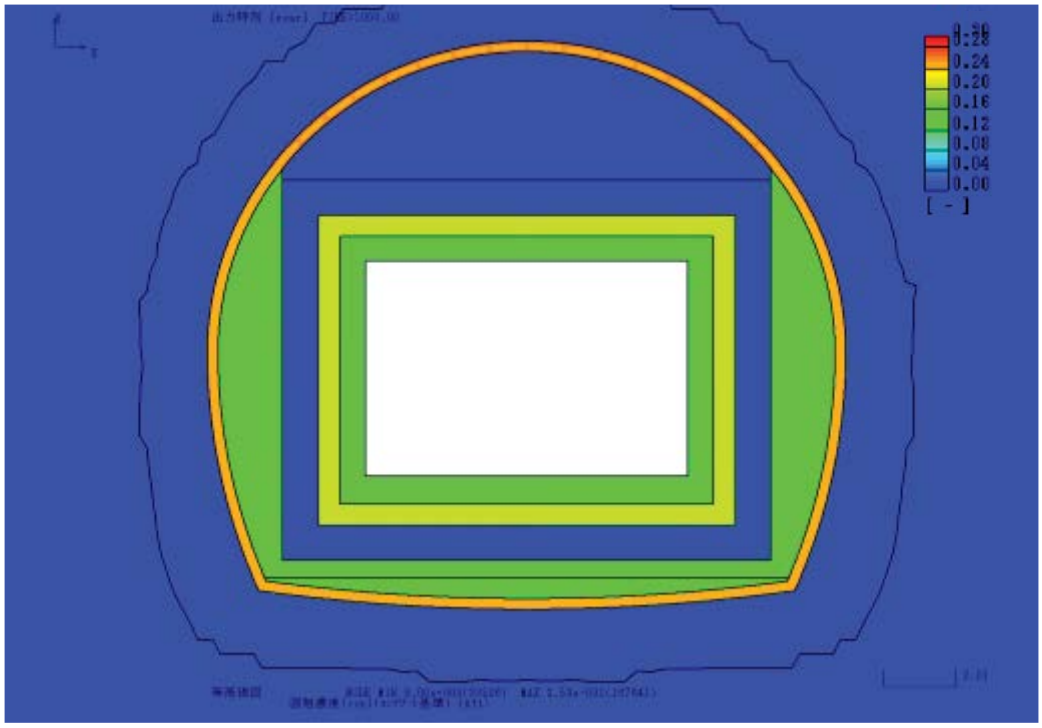


図 3.3-137　エトリンガイト濃度（Case2、1,000 年後）

h. 液相 Ca イオン濃度（Case2、施設拡大）

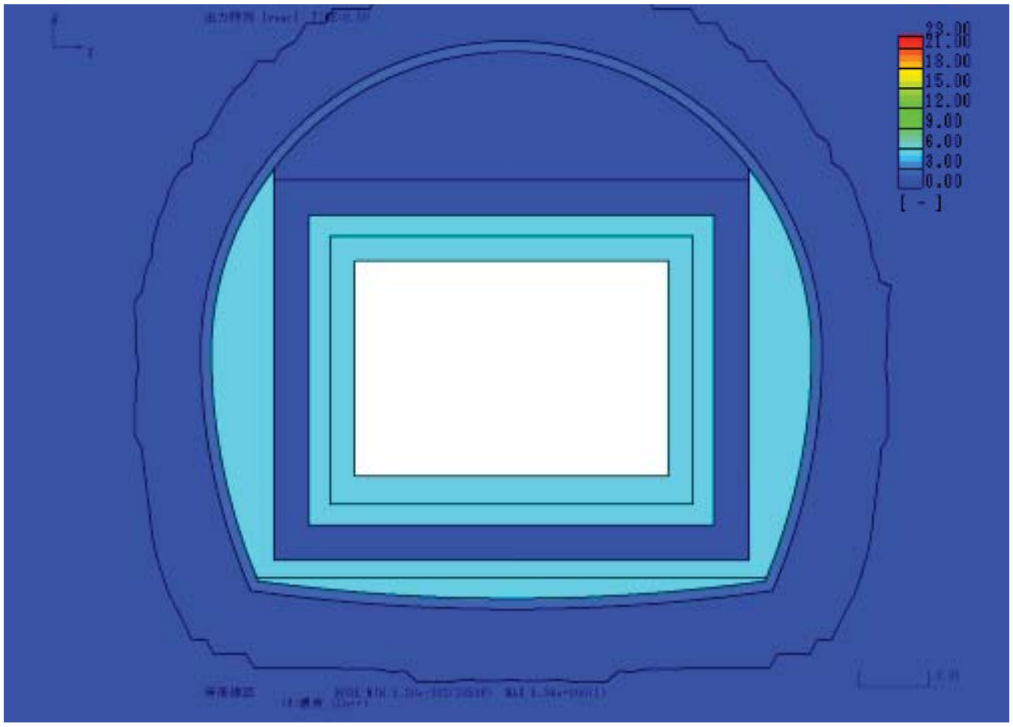


図 3.3-138　液相 Ca イオン濃度（Case2、0 年後）

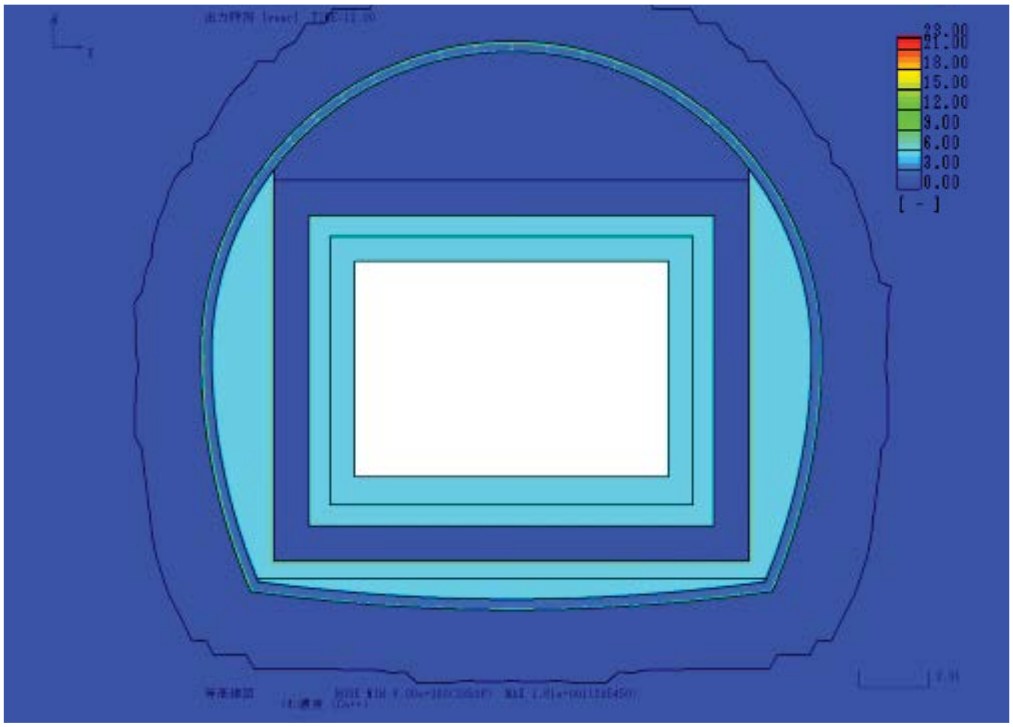


図 3.3-139　液相 Ca イオン濃度（Case2、12 年後）

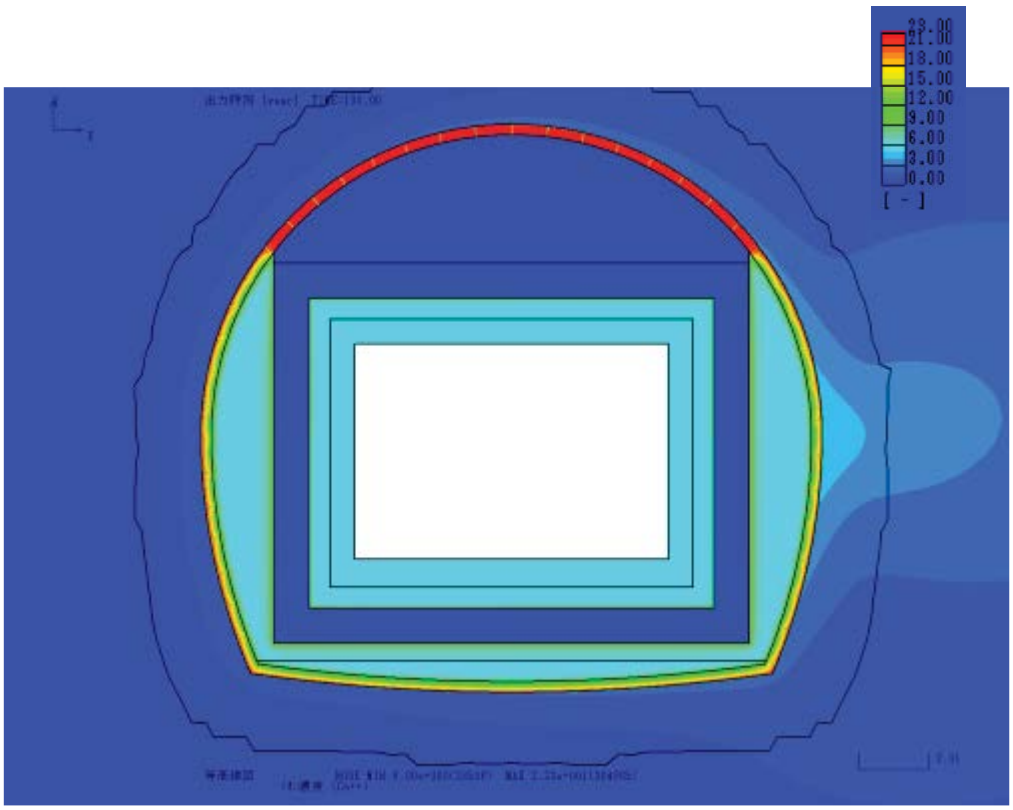


図 3.3-140　液相 Ca イオン濃度（Case2、100 年後）

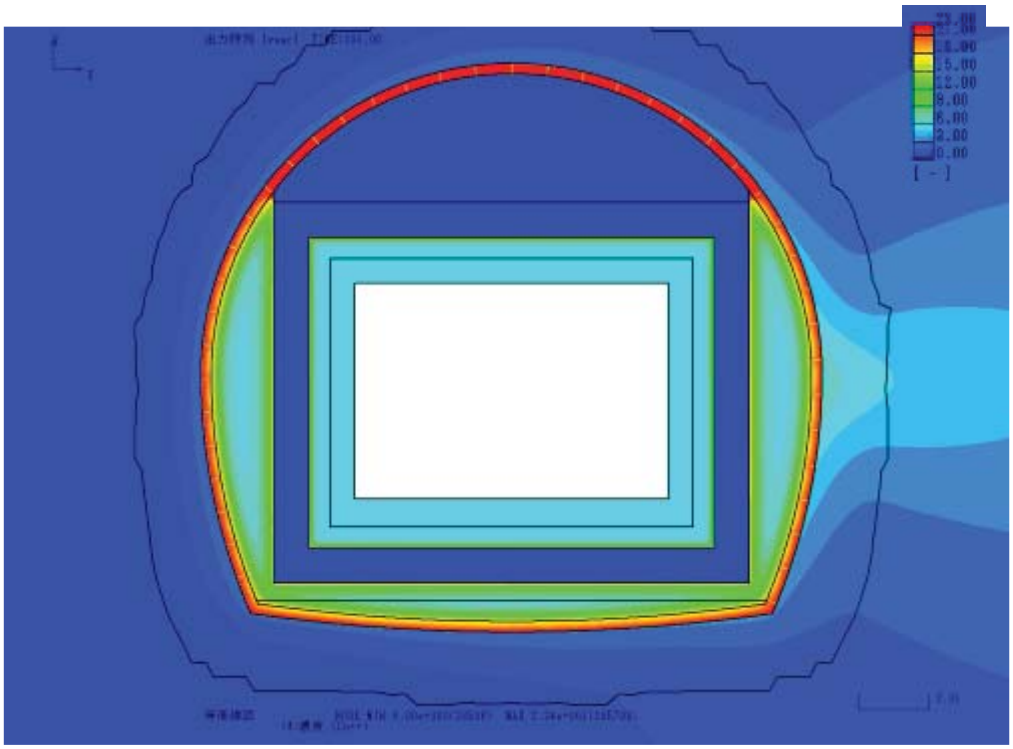


図 3.3-141　液相 Ca イオン濃度（Case2、300 年後）

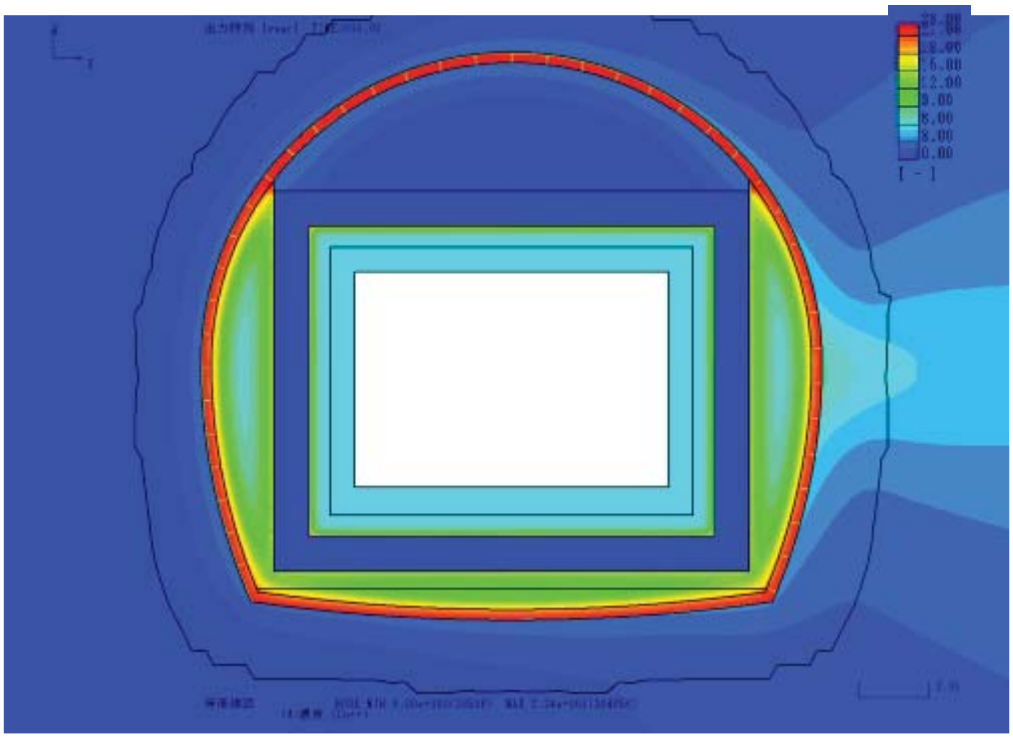


図 3.3-142　液相 Ca イオン濃度（Case2、600 年後）

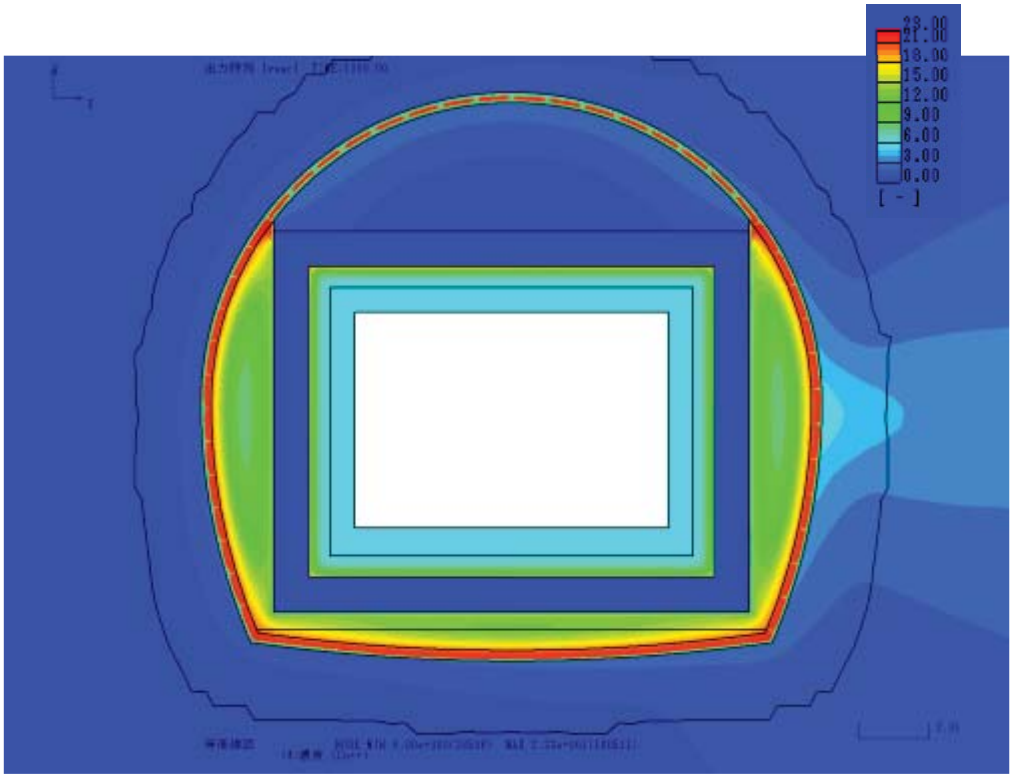


図 3.3-143　液相 Ca イオン濃度（Case2、1,000 年後）

i．液相 SO_4 イオン濃度（Case2、施設拡大）

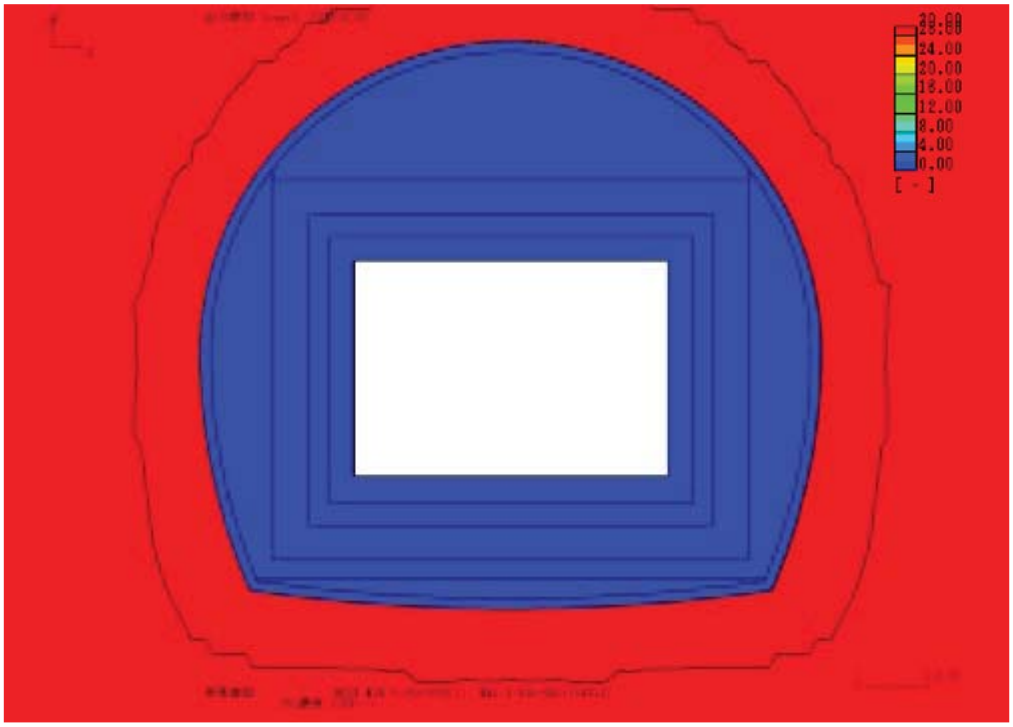


図 3.3-144　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、0 年後）

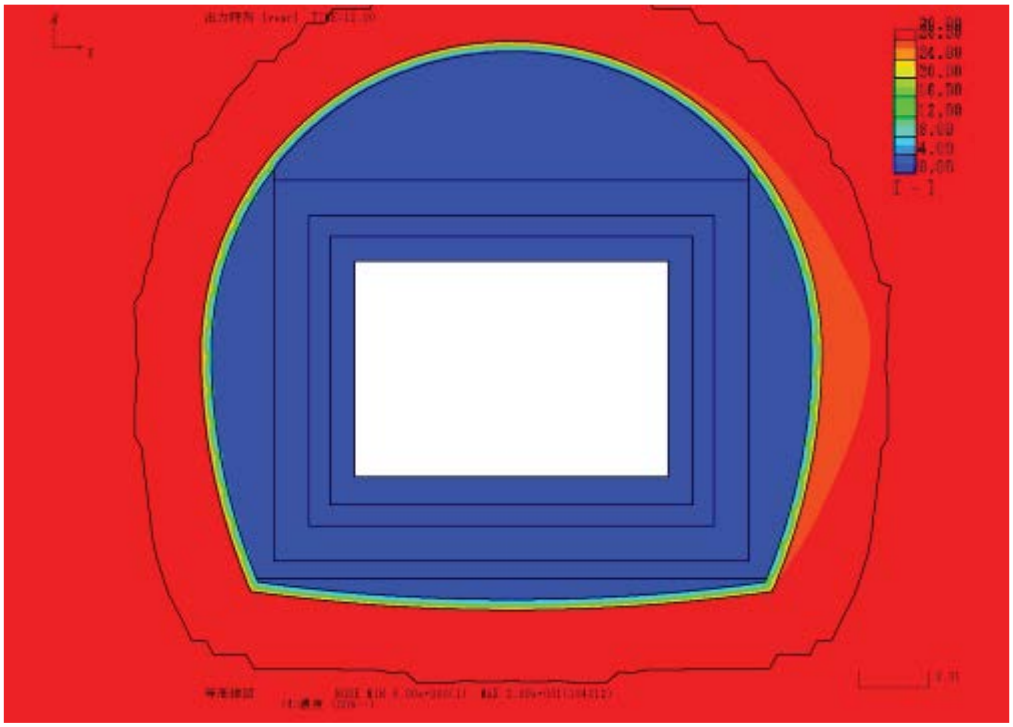


図 3.3-145　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、12 年後）

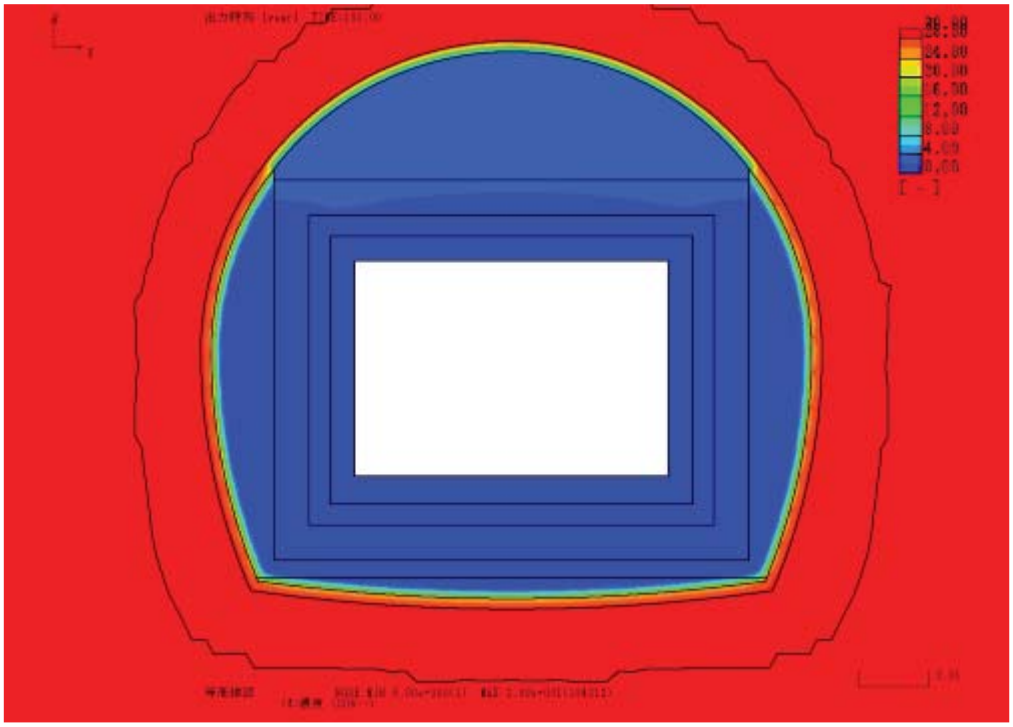


図 3.3-146　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、100 年後）

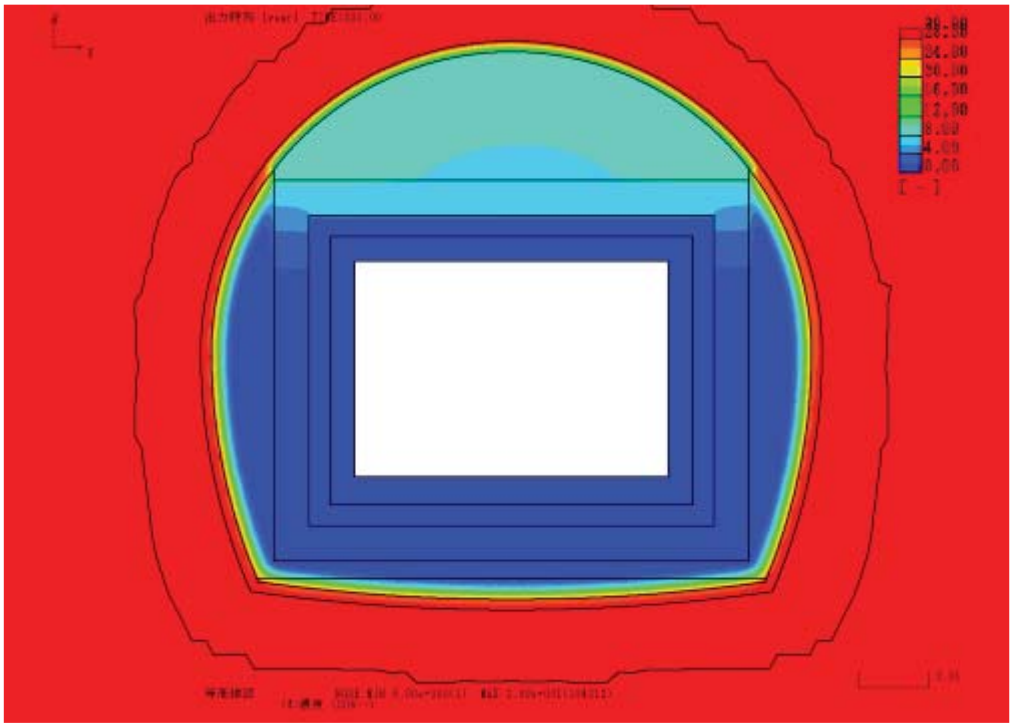


図 3.3-147　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、300 年後）

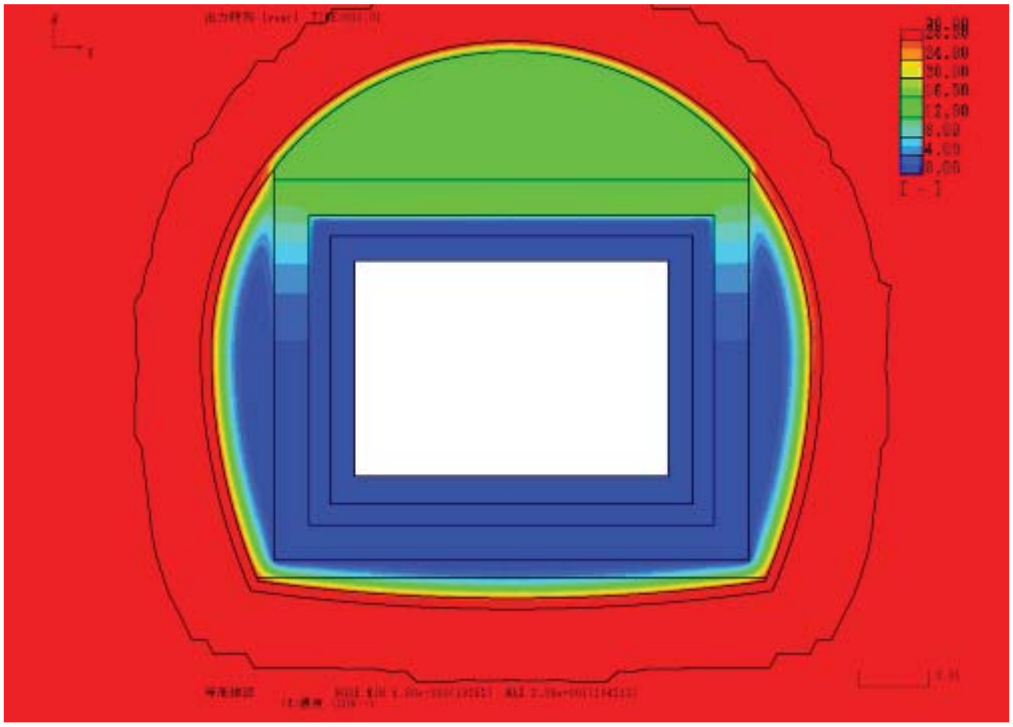


図 3.3-148　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、600 年後）

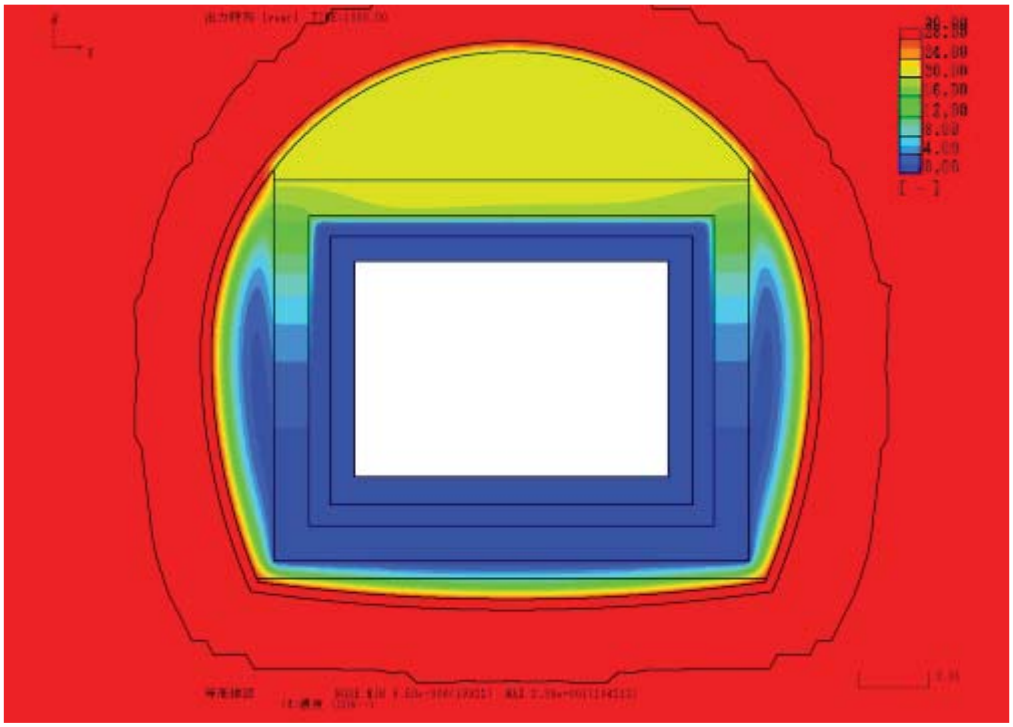


図 3.3-149　液相 SO_4 イオン濃度（Case2、1,000 年後）

j. 溶脱・沈殿による空隙率変化（Case2、施設拡大）

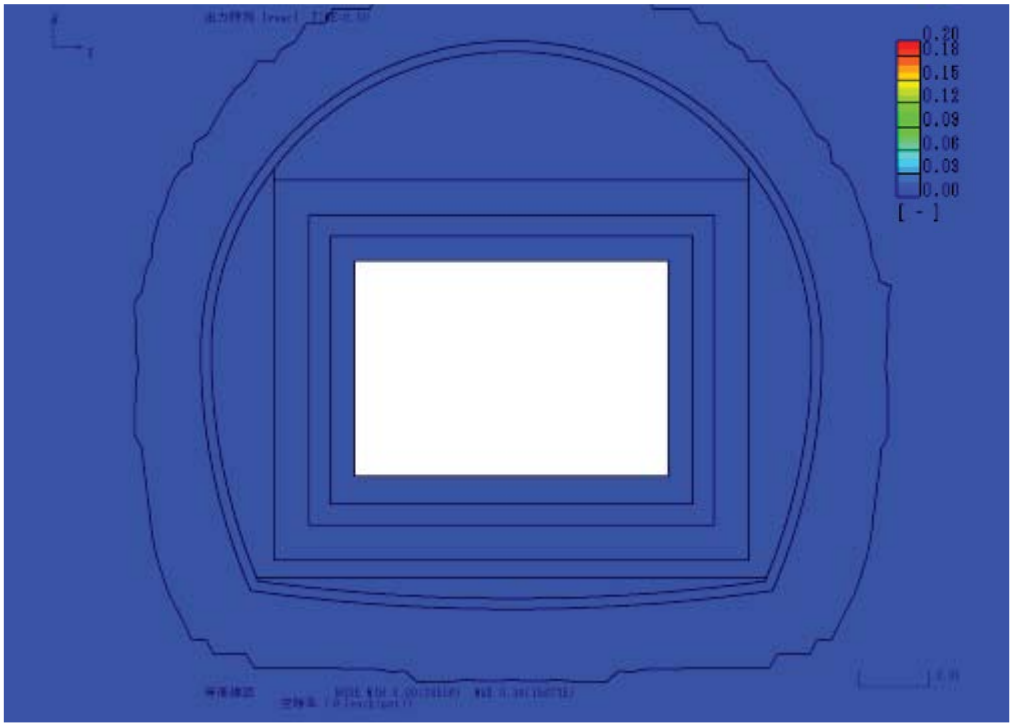


図 3.3-150　空隙率変化（Case2、0 年後）

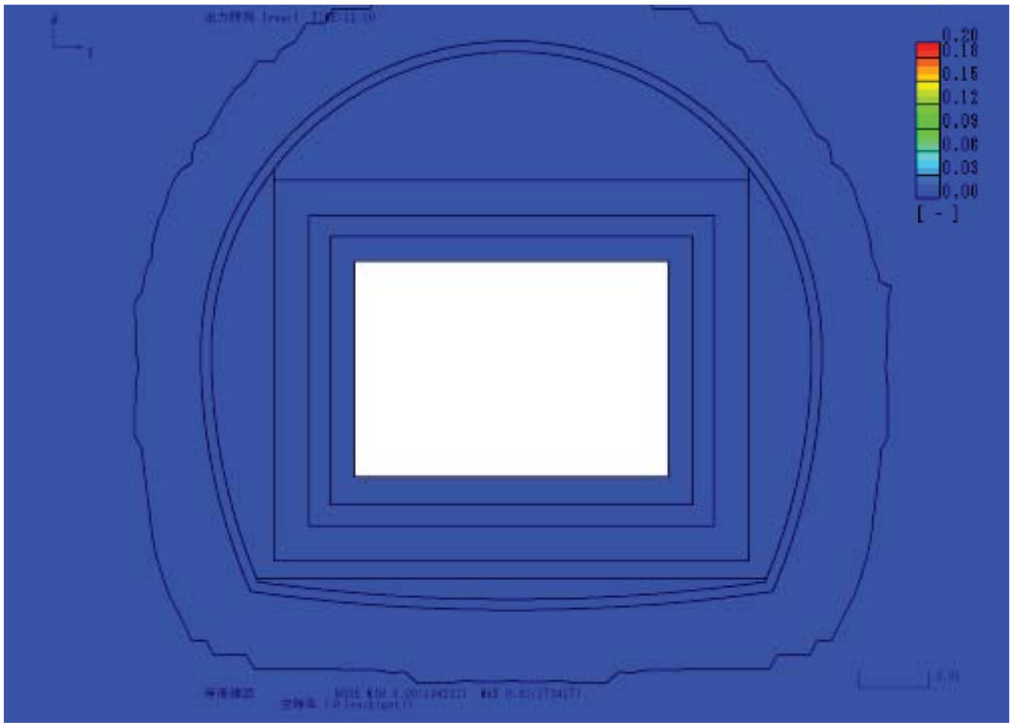


図 3.3-151　空隙率変化（Case2、12 年後）

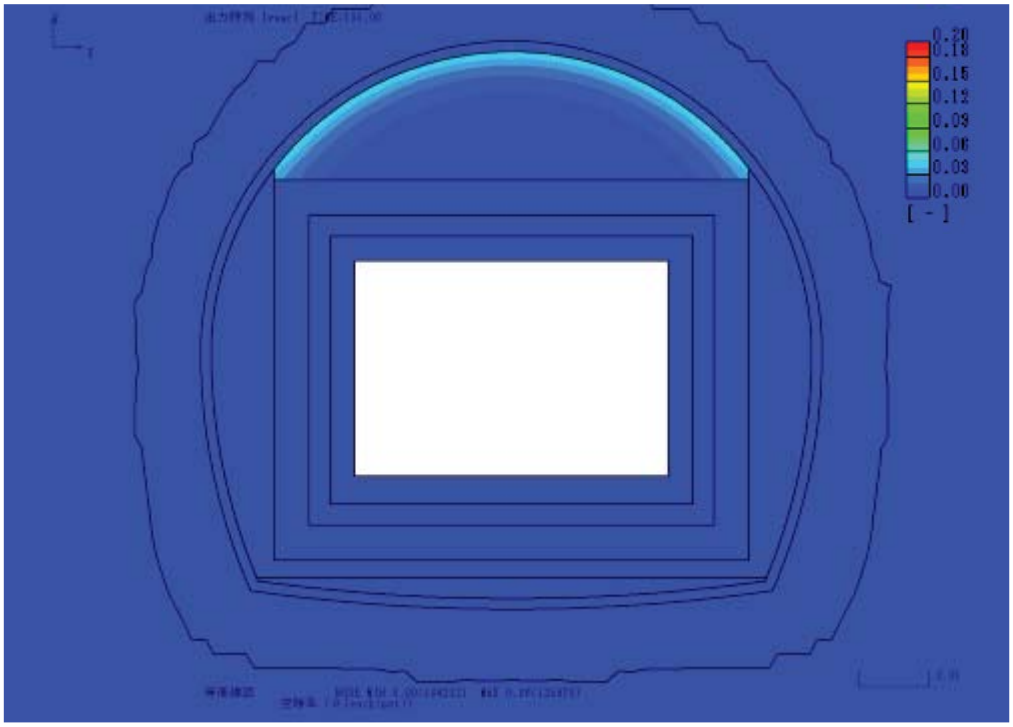


図 3.3-152　空隙率変化（Case2、100 年後）

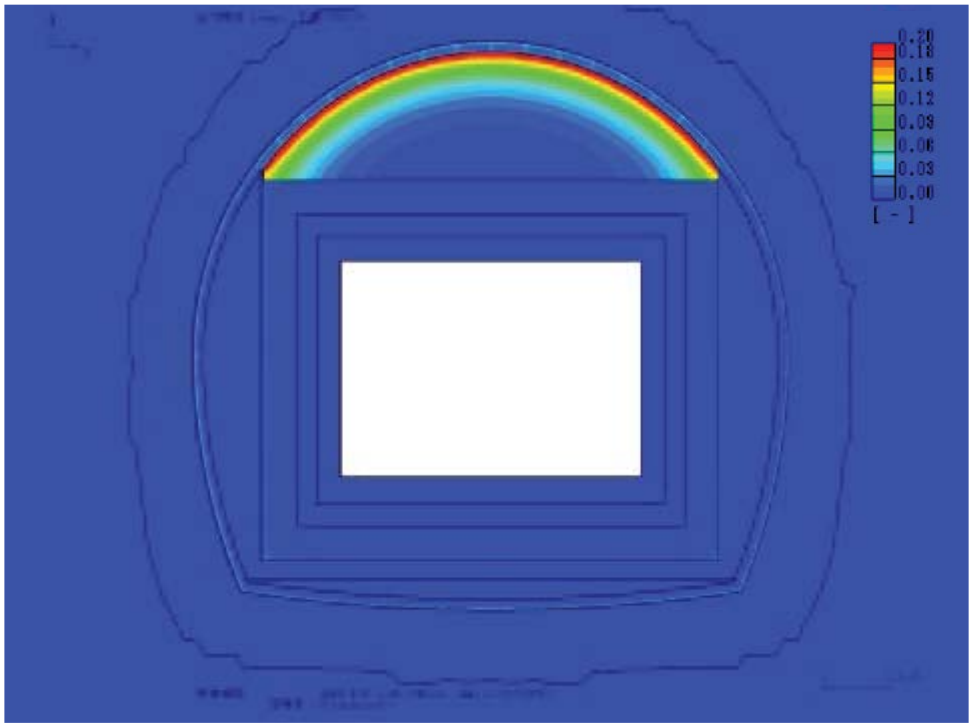


図 3.3-153　空隙率変化（Case2、300 年後）

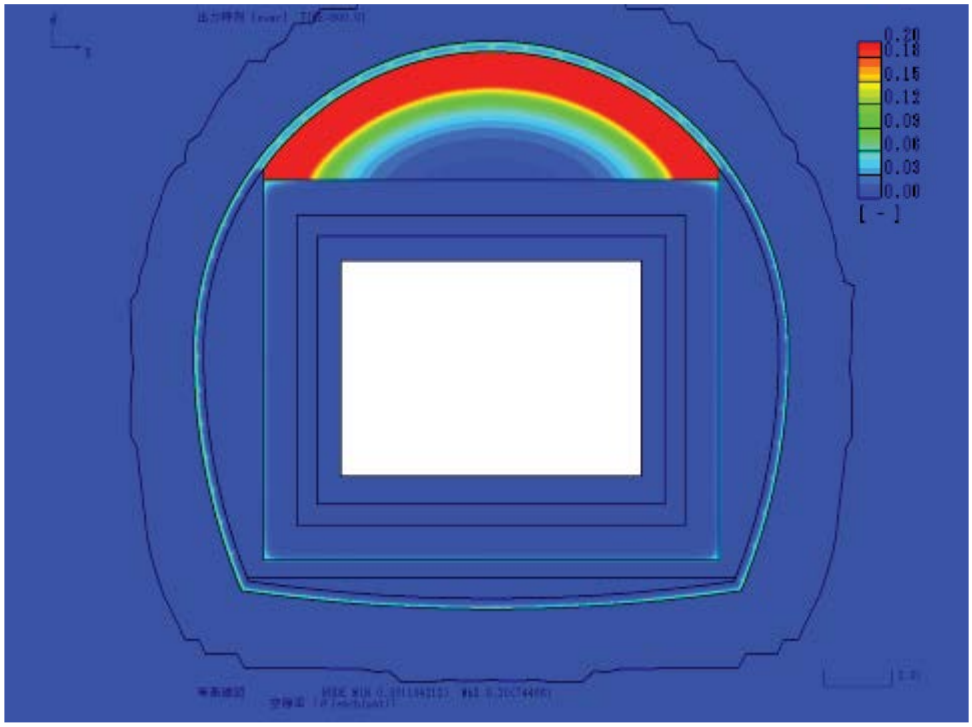


図 3.3-154　空隙率変化（Case2、600 年後）

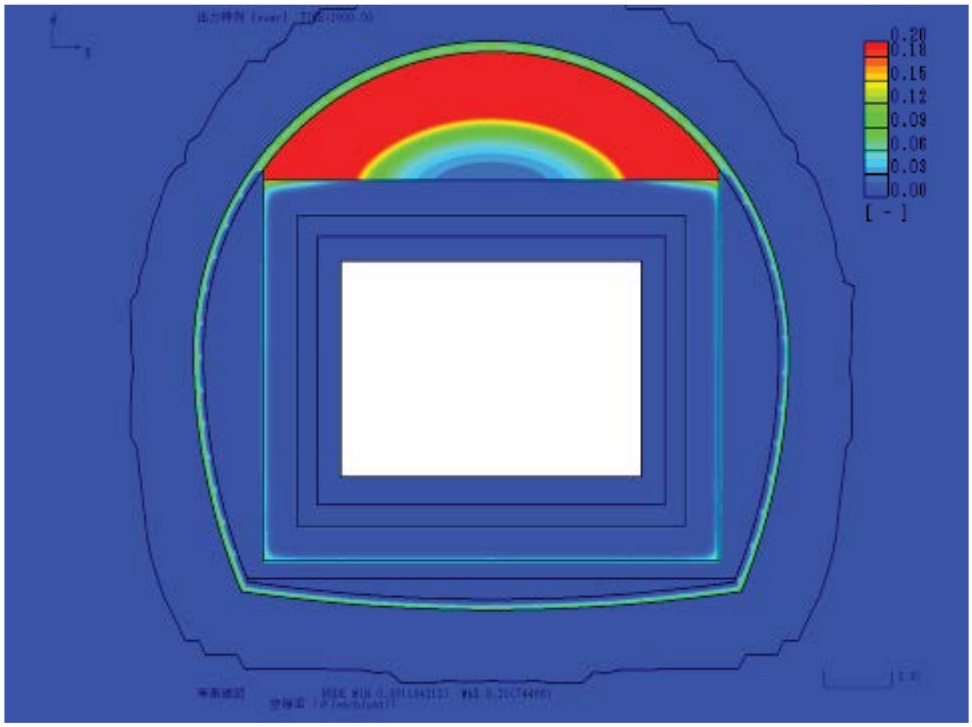


図 3.3-155　空隙率変化（Case2、1,000 年後）

3.4　解析精度向上に資するセメント系材料の早期変質データの取得

3.4.1　背景・目的

人工バリアの長期健全性を評価するためには、シミュレーション技術が不可欠となる。たとえば構造物の劣化シミュレーションを高い精度で行うためには、実際の構造物における長期的な劣化状況を把握し、そのメカニズムを把握することが重要となる。地下 100m に建設された余裕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を実施している。

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 年ほど経過し、現在までに顕著な劣化は見られていないが、吹付けコンクリートについては、建設から 10 数年経過しており、図 3.4-1 に示すようにエフロレッセンスの発生が確認されている。さらに、既往の文献[75]では、試験空洞の岩盤に含まれている黄鉄鉱（FeS_2）が酸化し、硫酸イオンを発生することで、吹付けコンクリート中の C-S-H に化学的変質が生じる可能性があることが示唆されている。すなわち、現在の吹付けコンクリートでは化学的変質が進行しており、性能が低下している可能性が考えられる。

以上の背景を踏まえて本検討では、試験空洞の吹付けコンクリートについて、低透水性および低拡散性の評価に資するデータの取得と健全性の評価を行うことを目的としてコアの分析を行った。

図 3.4-1　試験空洞内におけるエフロレッセンスの発生状況

3.4.2　コア採取および分析計画

(1) コアの採取

1) 概要

今回の分析で使用する吹付けコンクリートのコアは、平成 20 年度から原子力環境整備促進・資金管理センターが機能確証試験を実施している試験空洞から採取したものとした。この試験空洞は 2004 年 4 月に掘削作業が開始され、2005 年 6 月に掘削作業が完了した[76]。今回分析に供したコアは 2016 年 10 月に採取し、試験時における吹付けコンクリートの材齢は 11 年と 4 ヶ月～12 年 6 ヶ月の間である。試験空洞内の支保パターンを図 3.4-3 に示す。吹付けコンクリートは厚さ 300mm のうちベンチ部では内空 100mm、アーチ部では全範囲で鋼繊維を加える仕様となっている。吹付けコンクリートの配合は表 3.4-2 に示すように水セメント比は 45%で細骨材率は 60%であり、一般的な普通コンクリートと比較して、細骨材率が大きい配合となっている。

図 3.4-2　試験空洞の状況

表 3.4-1　吹付けコンクリートの材料一覧

使用材料	記号	摘要
セメント	C	普通ポルトランドセメント（宇部三菱セメント） 密度：3.16g/cm^3
細骨材	S	陸砂 密度：2.59g/cm^3、F.M.：2.70
粗骨材	G	砂利 粗骨材最大寸法 10mm、密度：2.57g/cm^3
混和剤	SP	高性能減水剤　FTN-30（グレースケミカルズ）
	－	急結剤　デンカナトミック TYPE10
繊維	－	鋼繊維　シンコーファイバ　φ0.6mm×30mm

表 3.4-2　吹付けコンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					
		W	C	S	G	SP	急結剤
45	60	202	450	979	648	3.60	45

表 3.4-3　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/m³)						
		W	C	S	G	SP	急結剤	繊維
45	60	202	450	969	640	4.95	45	58.9

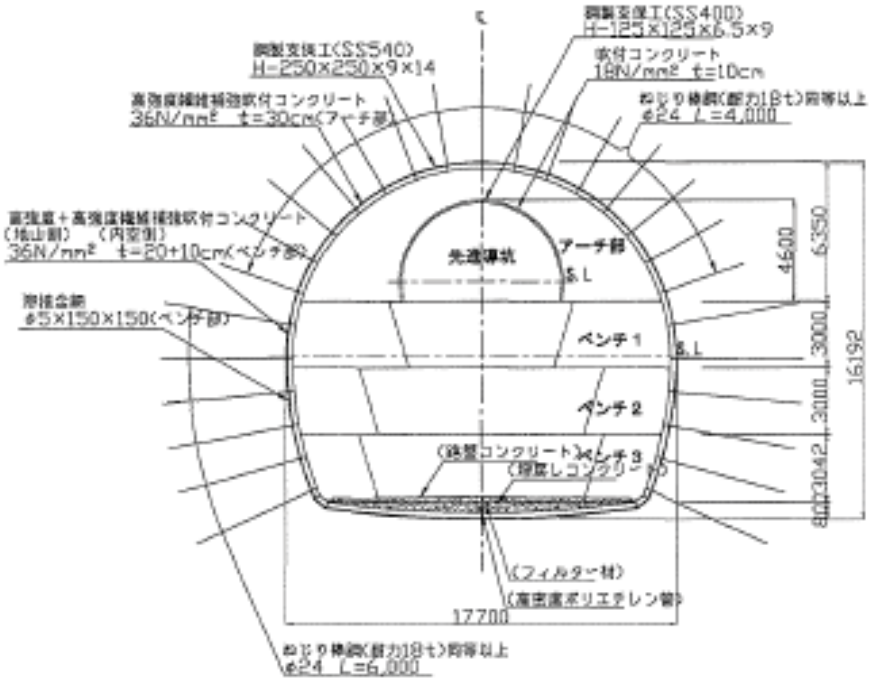


図 3.4-3　支保パターン図[76]

2）削孔位置の選定

コアの削孔位置の選定にあたっては、以下の項目に留意した。

- 作業がコアの品質に影響を与えないこと
- 作業が試験空洞奥に施工されている模擬施設の計測機器に影響を与えないこと
- 断面の左右からコアを採取できること
- 採取する箇所に湧水の発生が認められないこと

以上を考慮した結果、図 3.4-4 および図 3.4-5 に示すように試験空洞の拡幅部の終わりから約 28.5m、高さがインバートの上面から 1.5m の位置からコアを採取した。なお、今回採取するコアの本数は 5 本とし、その配置は図 3.4-6 に示す。

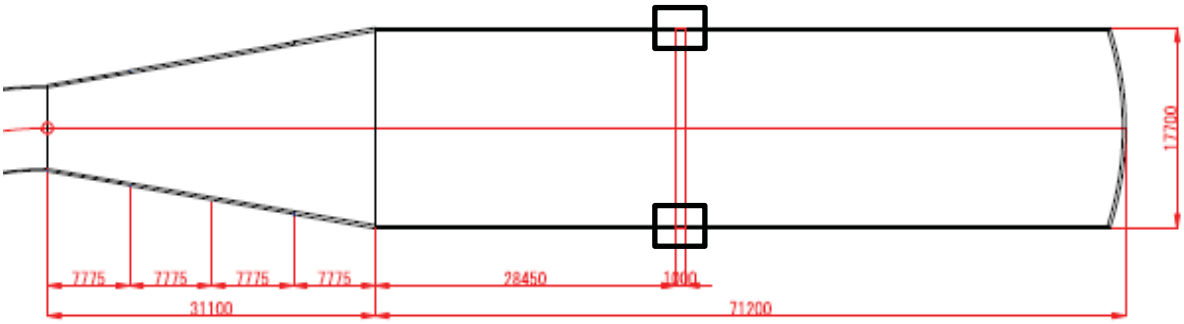


図 3.4-4　コア採取位置（平面図）

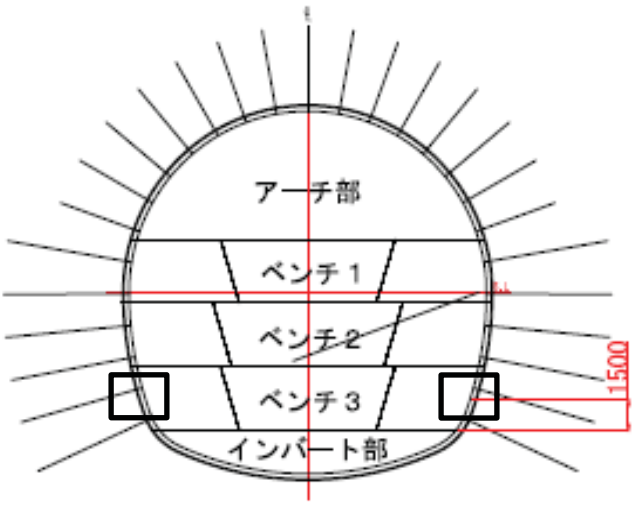
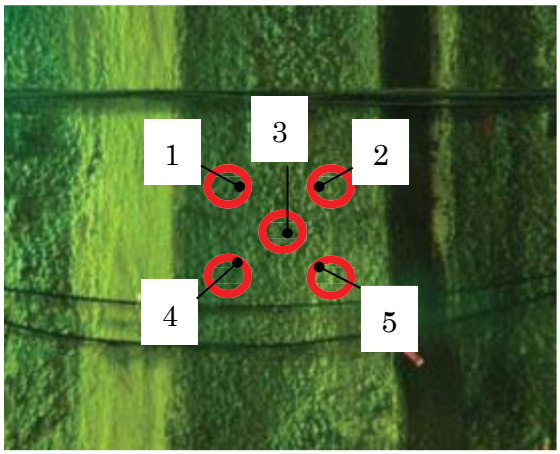
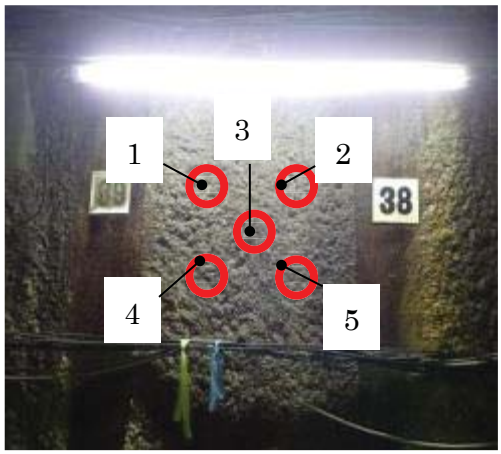


図 3.4-5　コア採取位置（断面図）



試験空洞左側（L）



試験空洞右側（R）

図 3.4-6　コア採取位置（詳細）

3）コアの採取

採取したコアの仕様を図 3.4-7 に示す。黄鉄鉱など岩盤中に存在する成分が吹付けコンクリートに影響を与える可能性があるため、岩盤も 200mm 程度コアを採取し評価対象とした。採取方法は JIS　A　1107 に準じて行った。コアの採取状況を図 3.4-8 に示す。いずれの箇所も突発湧水など、作業に影響を与える現象は確認されず、採取後もにじみ程度の湧水は確認されたものの、コアの部分が水みちとなっている現象は認められず、コア採取箇所の内部でのひび割れも確認されなかった。なお、採取したコアのいずれも吹付コンクリートと岩盤の境界付近で分離しているのは、削孔に用いたコアチューブの長さの関係で、岩着を確認した後コア折りしたためである。

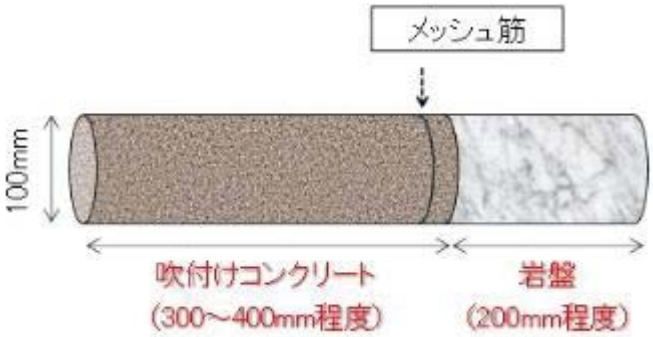


図 3.4-7　分析用コアの概要

図 3.4-8　コア採取状況

(2) 分析計画

1) 分析項目

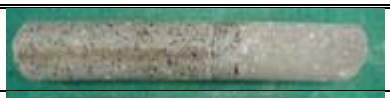
分析項目を表 3.4-4 に示す。対象となる吹付けコンクリートでは、透水性及び低拡散性に関する評価のほかに、化学的変質の程度を評価した。透水性および低拡散性については空隙率で評価した。その他、化学的変質の程度を評価するために、圧縮強度と静弾性係数、中性化深さ、おもに吹付けコンクリート中の元素濃度の分布を把握するための EPMA による面分析、鉱物組成同定のための粉末 X 線回折（以下、XRD)、および表面からの硬度分布を把握するためにビッカース硬度を測定した。

表 3.4-4　分析項目

試料	項目	備考
吹付けコンクリート	空隙率	水銀圧入法で評価
	圧縮強度	JIS A 1107 に準拠
	静弾性係数	JIS A 1149（コンプレッソメータ法）に準拠
	ビッカース硬度	—
	中性化	JIS A 1152 に準拠
	EPMA	対象：Ca、Si、Na、K、S、Cl、Mg、Al、Fe
	XRD	定性分析
岩盤	空隙率	アルキメデス法で評価
	EPMA	対象：Ca、Si、Na、K、S、Cl、Mg、Al、Fe
	XRD	定性分析

各試験体の分析項目を表 3.4-5 に示す。試験体の状態から分析項目を選定した。

表 3.4-5　各コアの分析項目

記号	試料	分析項目	
		吹付けコンクリート	岩盤
R-1		予備	予備
R-2		圧縮強度、静弾性係数	—
R-3			
R-4			
R-5		空隙率、ビッカース硬度、中性化、XRD、EPMA	空隙率、EPMA、XRD
L-1		予備	予備
L-2		圧縮強度、静弾性係数	—
L-3			
L-4		空隙率、ビッカース硬度、中性化、XRD、EPMA	空隙率、EPMA、XRD
L-5		圧縮強度、静弾性係数	—

2）分析方法

a．コア強度試験

強度試験を行うコアは右手側の R-2、R-3、R-4、左手側の L-2、L-3、L-5 とした。強度試験用の試料は図 3.4-9 に示すように溶接金網を避けた岩盤側から 200mm の部分とした。

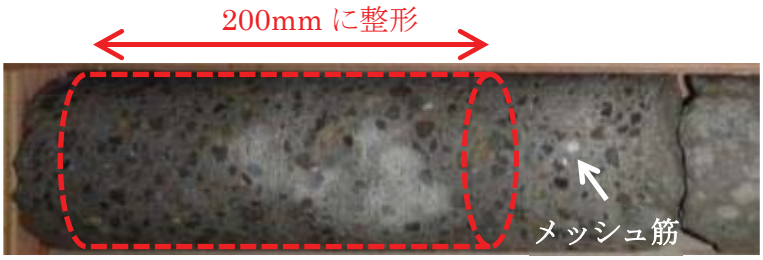


図 3.4-9　メッシュ筋の位置

b．化学分析

使用するコアは右手側の R-5、左手側の L-4 とした。それぞれの試料は図 3.4-10 に示すようにコアをウォーターカットで縦割りにし、分かれたそれぞれのコアについて、図 3.4-11、図 3.4-12、図 3.4-13 に示す位置で各種分析を実施した。

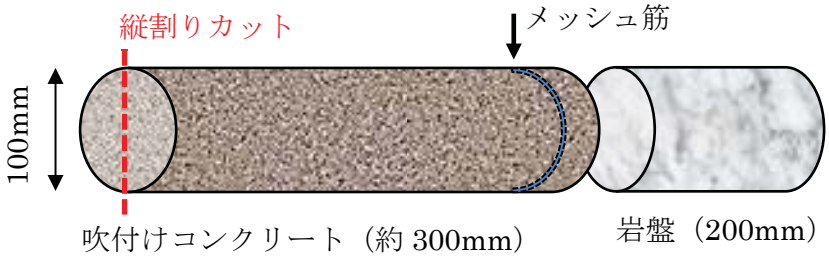


図 3.4-10　コアの縦割り

図 3.4-11　空隙率の測定箇所

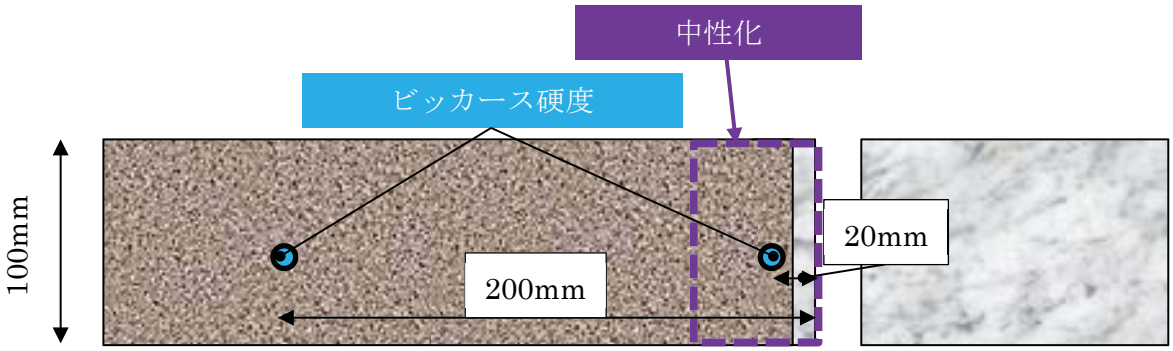


図 3.4-12　化学分析の試料採取位置（中性化、ビッカース硬度）

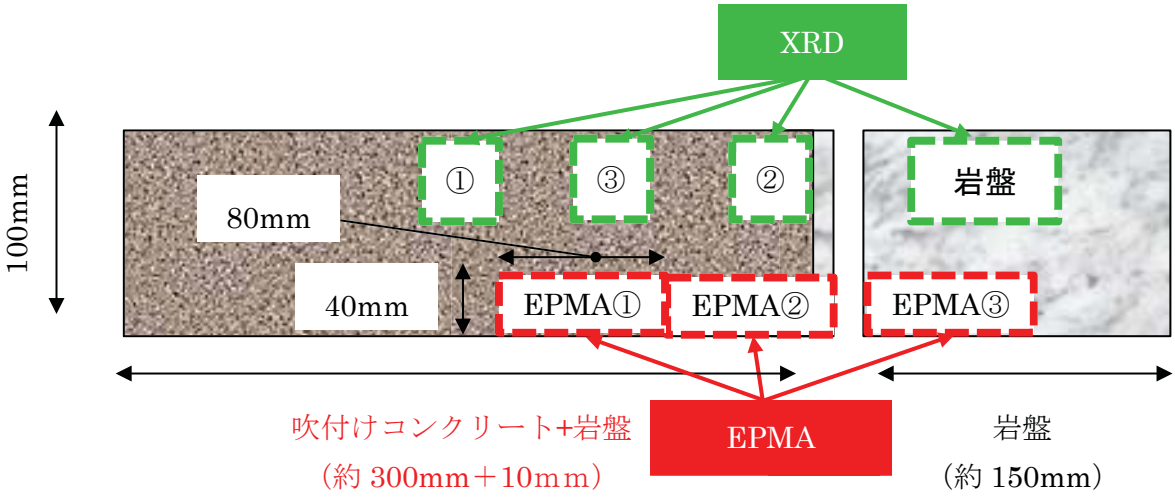


図 3.4-13　化学分析用の試料採取箇所（XRD、EPMA）

3.4.3　分析結果

(1) 圧縮強度

採取したコアの圧縮強度試験の結果を表 3.4-6 に示す。表 3.4-6 のかくコアの結果で使用している No.はコアの No.が小さい順に 1、2、3 としている。試験の結果、コアの強度に多少のばらつきはあるものの、圧縮強度の平均値は右側で 58.4N/mm²、左側で 59.5N/mm² であった。設計基準強度が 36N/mm² であるため、その値と比較すると十分に高い強度であった。

表 3.4-6　吹付けコンクリートの圧縮強度

	No.	圧縮強度（N/mm²）		
		1	2	3
R	各コアの結果	57.9	54.7	62.5
	平均値	58.4		
L	各コアの結果	67.0	51.1	60.5
	平均値	59.5		

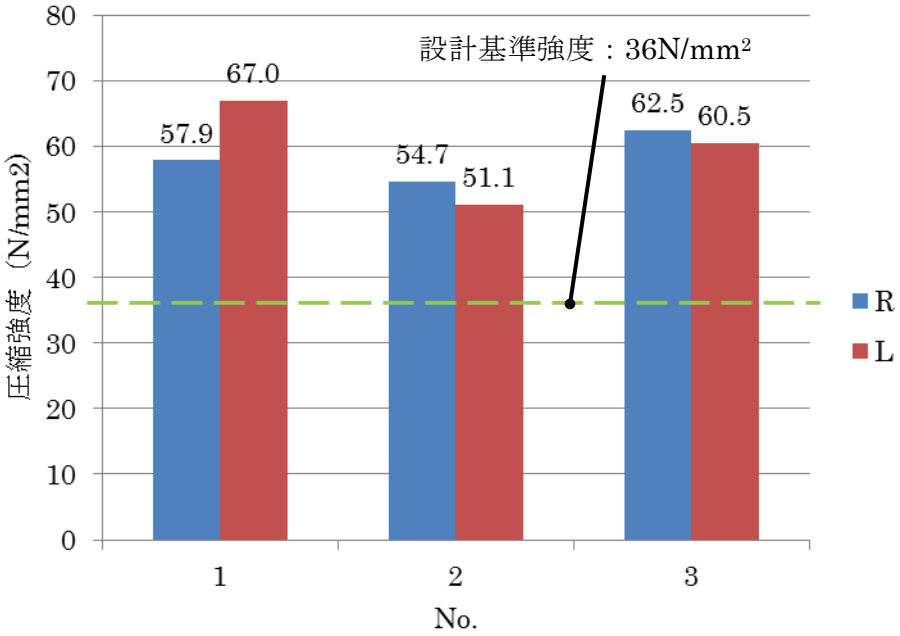


図 3.4-14　吹付けコンクリートの圧縮強度

施工時に現場で品質管理試験として実施された圧縮強度試験の結果を表 3.4-7 に示す。圧縮強度は 39.0N/mm²～51.2N/mm² と設計基準強度は満足していた。今回採取したコアの値と比較すると、コア強度の方が大きい結果となった。この要因として、品質管理試験は材齢 28 日で行われているのに対し、採取したコアは施工から 10 年以上経過していることから、材齢の経過に伴って強度が増加したことが影響していると考えられる。

表 3.4-7　施工時における圧縮強度試験の結果

試験時期	種別	圧縮強度（N/mm²）								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
2005 年 1 月	各試験体	50.1	56.1	47.5	43.7	55.4	45.3	36.6	42.7	40.9
	平均値	51.2			48.2			40.1		
2005 年 3 月	各試験体	50.1	47.5	46.3	44.0	48.0	39.9	40.8	41.8	43.7
	平均値	48.0			44.0			42.1		
2005 年 4 月	各試験体	43.4	45.8	47.0	39.7	42.0	40.1	36.2	37.0	36.9
	平均値	45.4			40.6			36.7		
2005 年 5 月	各試験体	39.1	41.8	39.5	36.4	43.1	37.4	39.4	40.7	38.6
	平均値	40.1			39.0			39.6		
2016 年 10 月 (今回)	各コア	57.9	54.7	62.5	67.0	51.1	60.5	—	—	—
	平均値	58.4			59.5			—		

(2) 静弾性係数

表 3.4-8 に静弾性係数の試験結果を示す。静弾性係数は断面右側で 26.5kN/mm²、断面左側で 27.9kN/mm² であった。鋼繊維を混入した吹付けコンクリートの圧縮強度と静弾性係数について検討された既往の研究[77]によると、吹付けコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係は、図 3.4-15 に示すように、コンクリート標準示方書で示されているコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係と比較すると静弾性係数が小さくなる傾向にあり、その理由について、吹付けコンクリートは普通コンクリートと比較して細骨材率が高く、モルタルに近い配合であることが影響していると考察している。試験空洞で施工された吹付けコンクリートの細骨材率も 60%と普通コンクリートに比べて高いことから、このような結果になったと考える。さらに、同吹付けコンクリートの粗骨材最大寸法は 10mm であり、一般的な吹付けコンクリートの粗骨材最大寸法 15mm よりも小さい。これも静弾性係数が若干小さくなった理由の一つと考える。

表 3.4-8 吹付けコンクリートの静弾性係数

	No.	静弾性係数（kN/mm²）		
		1	2	3
R	各コアの結果	26.3	26.0	27.2
	平均値	26.5		
L	各コアの結果	30.8	25.0	27.9
	平均値	27.9		

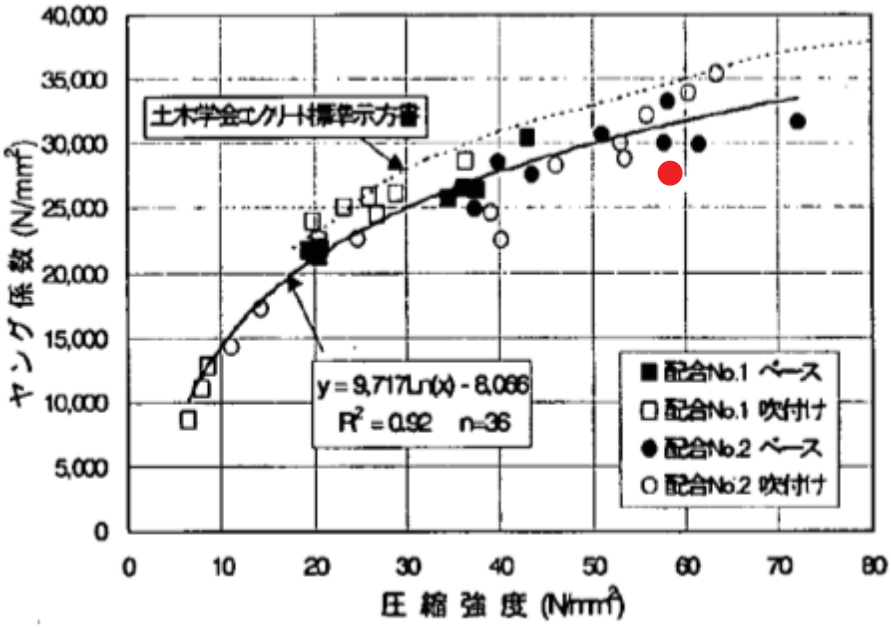


図 3.4-15 圧縮強度と静弾性係数の相関関係

(3) 中性化深さ

フェノールフタレイン溶液噴霧後の吹付けコンクリート表面の写真を図 3.4-16 および図 3.4-17 に示す。同図における赤い矢印は吹付けコンクリートと岩盤の境界を示している。

L-4 については、吹付けコンクリートの中性化は認められなかった。ただし、微量ではあるものの岩盤の方で一部赤色に呈色している箇所が認められる。一般的にフェノールフタレインは高 pH 領域で赤色に呈色するものの、既往文献[78]では pH8.3～10.0 の範囲においても呈色するという実験結果があり、吹付けコンクリートのアルカリ成分が岩盤に浸透した可能性がある。

図 3.4-16　フェノールフタレイン噴霧直後の試験体（L-4）

R-5 については、フェノールフタレイン溶液噴霧直後においては、吹付けコンクリートの中性化は認められずに全面で赤色を呈した。一方、噴霧から 1 日後にコアを再び観察すると、岩盤と接していた境界部から 5～6cm 程度の範囲で、フェノールフタレイン溶液の呈色反応が小さくなった。このことは、R-5 のコアの岩盤から 5～6cm 程度の範囲で、なんらかの化学的な変質が起きている可能性を示唆していると考えられる。

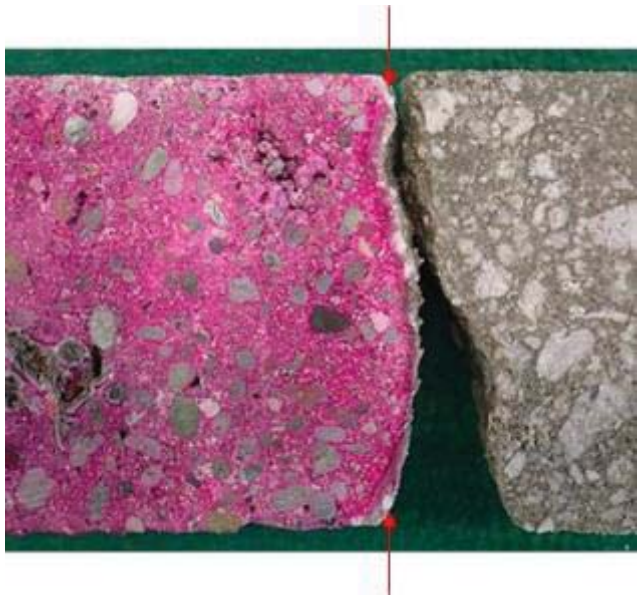


図 3.4-17　フェノールフタレイン噴霧直後の試験体（R-5）

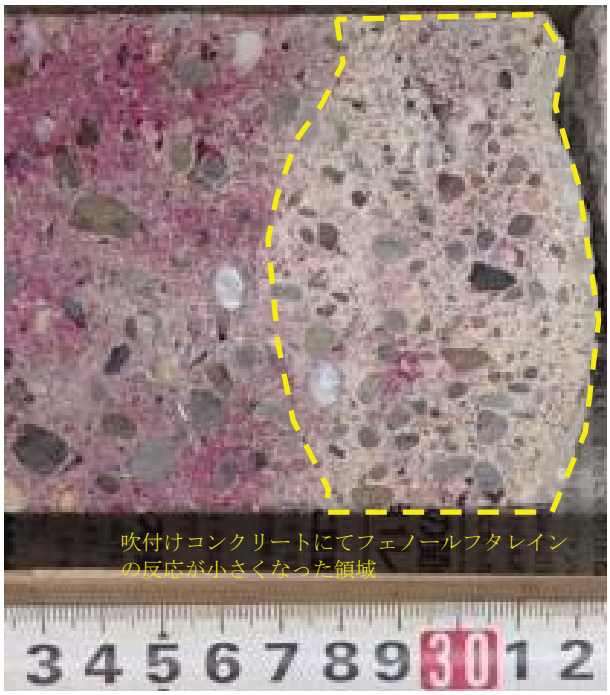


図 3.4-18　フェノールフタレイン噴霧から 1 日後の試験体（R-5）

(4) XRD（粉末 X 線回折）

L-4 において、XRD にて同定された鉱物を表 3.4-9 に一覧で示す。また、XRD の測定位置を図 3.4-19 に示す。さらに、XRD の測定結果を図 3.4-20 および図 3.4-21 に示す。

吹付けコンクリートについて取りまとめた図 3.4-20 によると、吹付けコンクリートのうち、岩盤との境界部に位置する XRD②については、内部には見られないエトリンガイトの高い回折強度のピークが見られた。また、モノサルフェートも内部に比べて高い回折強度を示しており、この試験結果は、エトリンガイトやモノサルフェートが内部に比べて岩盤との境界部に多量に存在することを表している。

エトリンガイト（$3CaO・Al_2O_3・3CaSO_4・32H_2O$）、モノサルフェート（$3CaO・Al_2O_3・CaSO_4・12H_2O$）はともにセメント水和物の一種であり、通常のセメントの反応においても生成されるものであるが、岩盤との境界付近に多量に存在していることから、この原因は 2 つの可能性が考えられる。

①吹付けコンクリート中に存在しているエトリンガイトやモノサルフェートが溶脱し、液相中に溶解した硫酸イオンが岩盤との境界付近に移動し、濃縮して再度エトリンガイトやモノサルフェートとして沈殿する

②岩盤に含まれる FeS_2 起因の硫酸イオンが吹付けコンクリートに浸透[75]し、エトリンガイトやモノサルフェートを生成する

図 3.4-21 に着目すると、岩盤は石英や長石類が存在しているものの、2θ＝20～30° の範囲に非晶質（結晶でないもの）の存在を示すハローが認められた。一般的な岩石ではこのような非晶質を示すハローは認められないことから、堆積岩の中には非晶質の SiO_2 が存在している可能性がうかがえる。

表 3.4-9　同定された物質の一覧（L-4）

試料名		石英	長石類	CH	CC	AFt	Ms	Mc	備考
L-4	XRD①	○	○	○	△	△	△	△	－
	XRD②	○	○	○	－	◎	○	－	－
	XRD③	○	○	○	－	△	△	－	－
	XRD 岩盤	○	○	－	－	－	－	－	非晶質

【凡例】
◎ ：他と比べて多量に検出された物質
○ ：検出された物質
△ ：微量だが検出された物質
－ ：検出されなかった物質
CH：ポルトランダイト（$Ca(OH)_2$）
CC：カルサイト（$CaCO_3$）
Aft：エトリンガイト
Ms：モノサルフェート
Mc：モノカーボネート

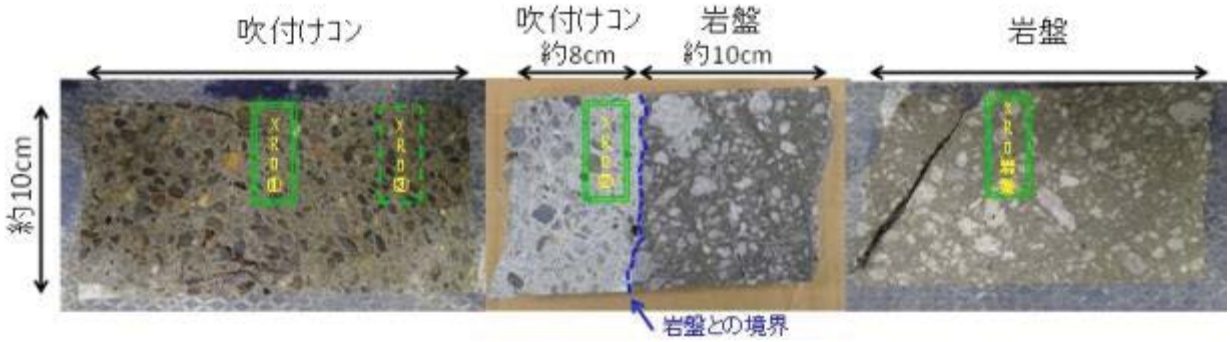


図 3.4-19　XRD の分析位置（L-4）

【凡例】
◇：石英、◆：長石類、●：ポルトランダイト（$Ca(OH)_2$）
▼：エトリンガイト、■：モノサルフェート、
Mc：モノカーボネート、CC：カルサイト（$CaCO_3$）

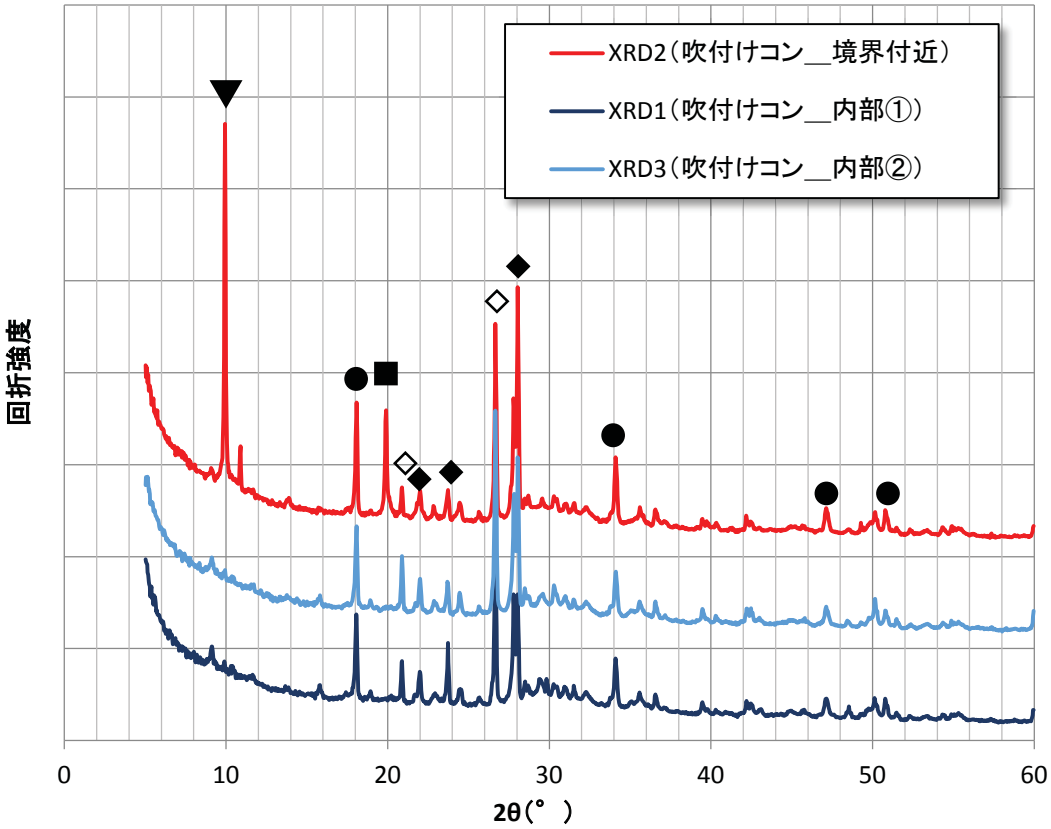


図 3.4-20　XRD 測定結果（L-4：吹付けコンクリート）

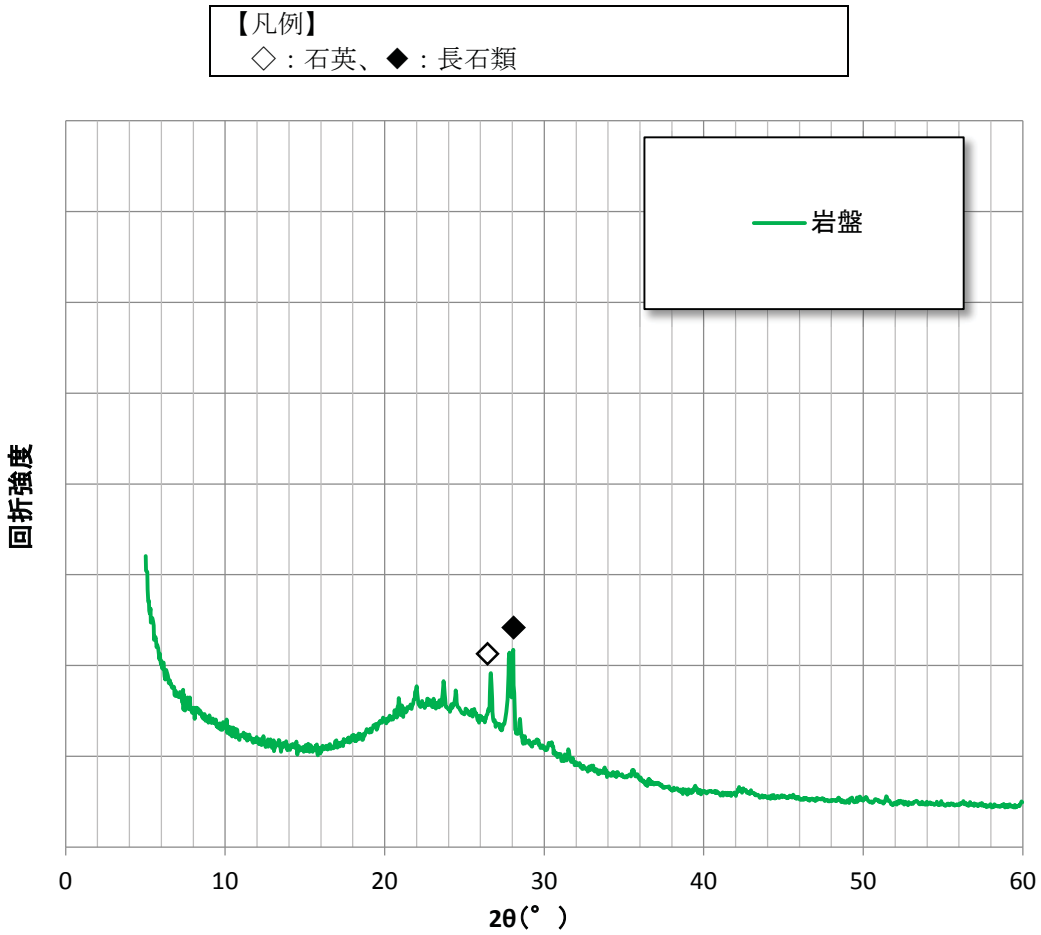


図 3.4-21　XRD 測定結果（L-4：岩盤）

R-5 において、XRD にて同定された鉱物を表 3.4-10 に一覧で示す。また、XRD の測定位置を図 3.4-22 に示す。さらに、XRD の測定結果を図 3.4-23 および図 3.4-24 に示す。

吹付けコンクリートについて取りまとめた図 3.4-23 によると、吹付けコンクリートのうち、岩盤との境界部に位置する XRD②については、内部には見られないモノサルフェートの高い回折強度を示した。これは、前掲のとおり、岩盤起因の硫酸イオンの影響によるものと考えられる。一方、L-4 の分析結果に見られるようなエトリンガイトの生成は確認できなかった。さらに、XRD②については $Ca(OH)_2$ の量が内部に比べて少ない結果となった。エトリンガイトは常温の高アルカリ環境下では安定的に存在するが、多少の幅があるものの、pH が 10.7 以下になると分解し、液相中に硫酸イオンおよびカルシウムイオンを放出する可能性がある。すなわち、吹付けコンクリートからのアルカリの溶脱によって、岩盤付近における pH が低下したことが、エトリンガイトが生成されていない原因となっている可能性がある。山本らの検討[75]では、吹付けコンクリートと岩盤の境界から 20cm ほどの範囲の岩盤で、内部に比べて pH の高い層が見られることが確認されており、この pH は吹付けコンクリートから溶脱した OH^-が移動してきたものと推察している。本試験結果は山本らの推察を裏付ける結果になっているものと考えられ、施工条件や環境条件、部位によっては、岩盤との境界付近

において吹付けコンクリートの溶脱がある程度進んでいる可能性を示すデータであると考える。

図 3.4-24 に着目すると、L-4 と同様に、岩盤は石英や長石類が存在しているものの、2θ＝20～30°の範囲に非晶質（結晶でないもの）の存在を示すハローが認められた。こちらの岩盤も、堆積岩の中には非晶質の SiO_2 が存在している可能性がうかがえる。

表 3.4-10　同定された物質の一覧（R-5）

試料名		石英	長石類	CH	CC	AFt	Ms	Mc	備考
R-5	XRD1	○	○	○	－	△	△	－	－
	XRD2	○	○	○	－	－	◎	－	－
	XRD3	○	○	○	－	△	△	－	－
	XRD 岩盤	○	○	－	－	－	－	－	非晶質

【凡例】
◎ ：他と比べて多量に検出された物質
○ ：検出された物質
△ ：微量だが検出された物質
－ ：検出されなかった物質
CH：ポルトランダイト（$Ca(OH)_2$）
CC：カルサイト（$CaCO_3$）
Aft：エトリンガイト
Ms：モノサルフェート
Mc：モノカーボネート

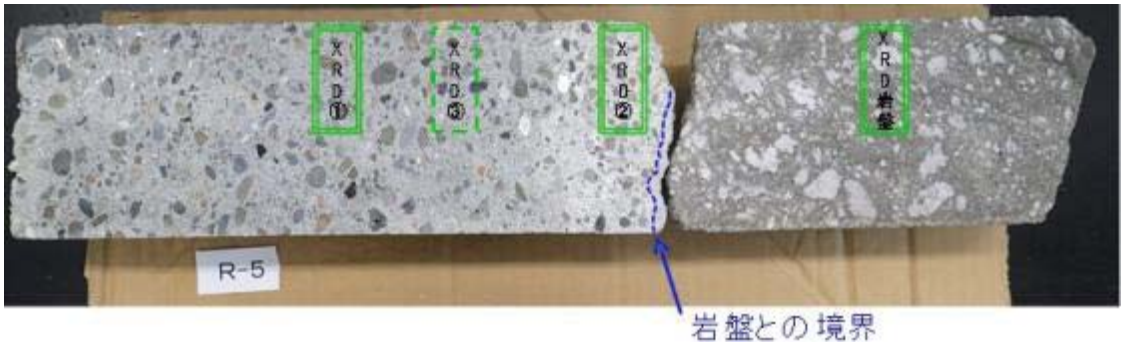


図 3.4-22　XRD の分析位置（R-5）

【凡例】
◇：石英、◆：長石類、●：ポルトランダイト（$Ca(OH)_2$）
▼：エトリンガイト、■：モノサルフェート、
Mc：モノカーボネート、CC：カルサイト（$CaCO_3$）

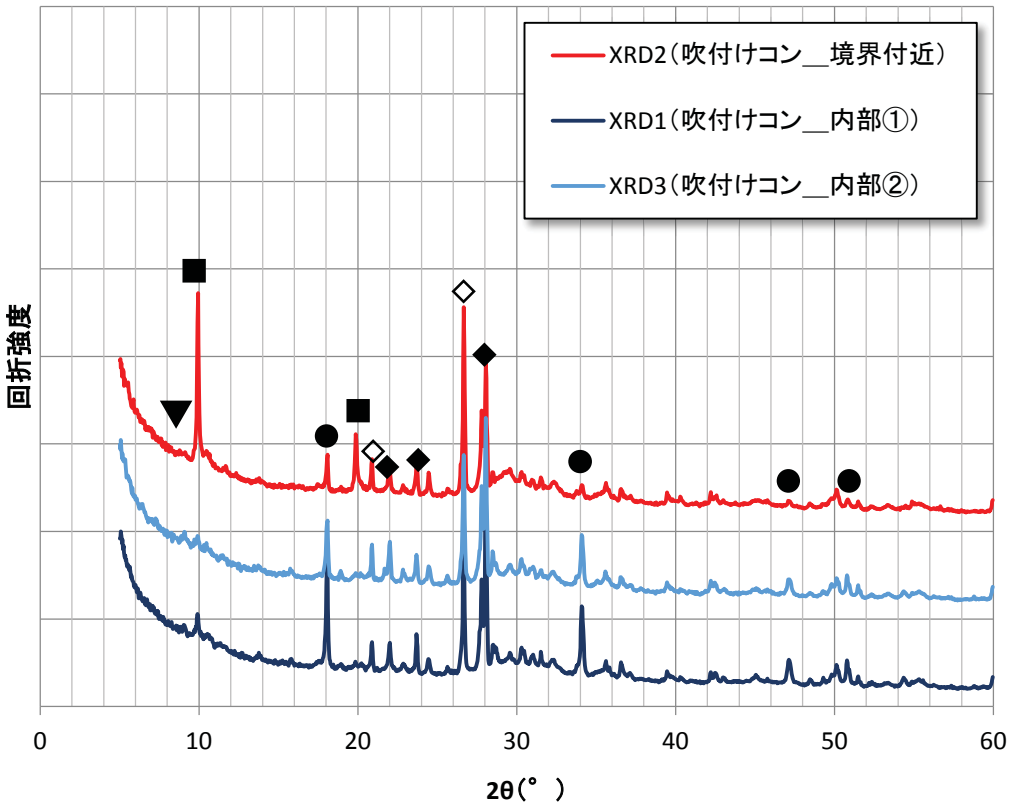


図 3.4-23　XRD 測定結果（R-5：吹付けコンクリート）

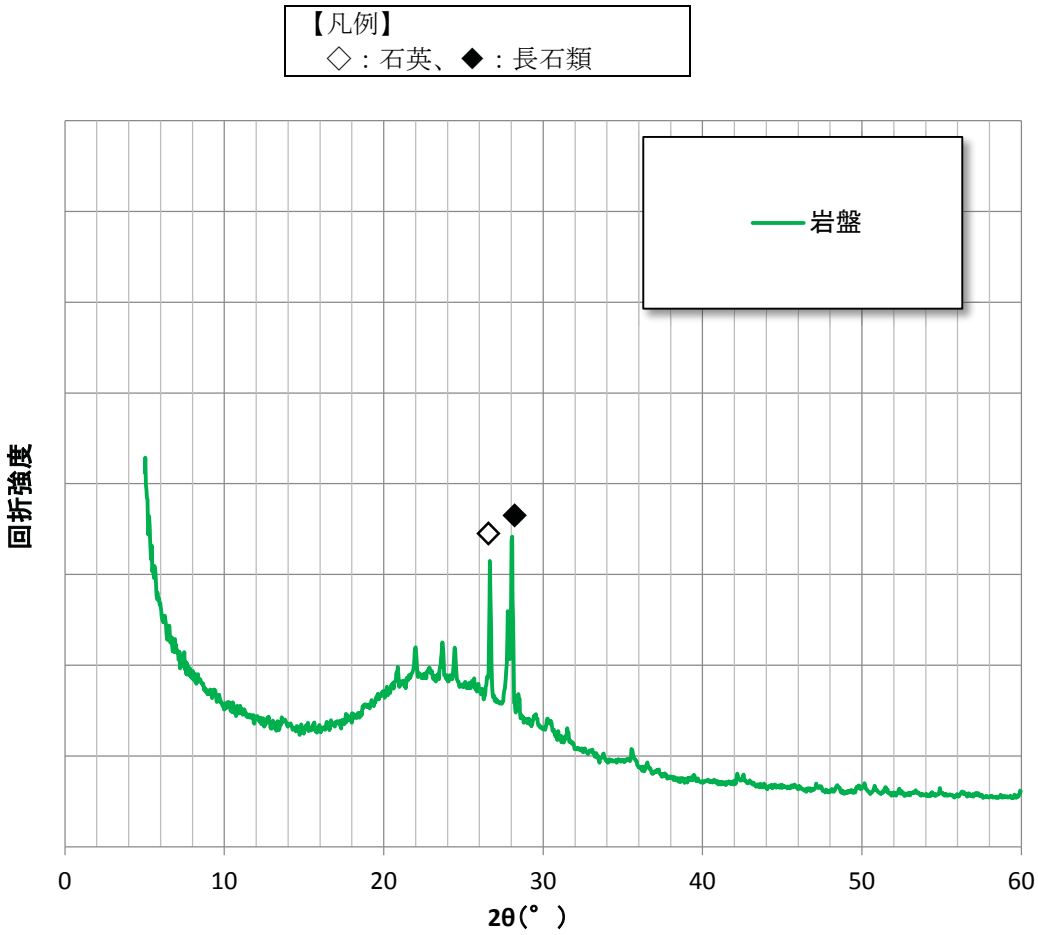


図 3.4-24　XRD 測定結果（R-5：岩盤）

(5) EPMA

1) L-4 の分析結果

L-4 における EPMA 測定位置を図 3.4-25 に示す。EPMA は前掲のとおり、吹付けコンクリートの未変質部（図中の EPMA①）、吹付けコンクリートと岩盤の境界部（図中の EPMA②）、吹付けコンクリートと岩盤の境界からさらに岩盤側（図中の EPMA③）にて測定した。EPMA②には、一部岩盤を含む形で切り出して分析に供した。

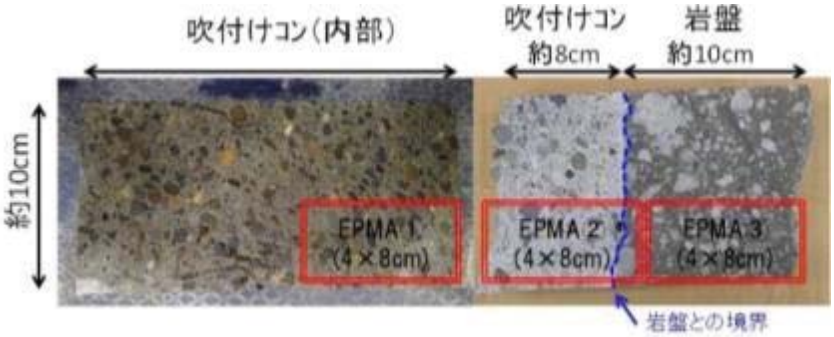


図 3.4-25　EPMA の分析位置（L-4）

吹付けコンクリートにおける各元素の濃度分布を図 3.4-26、図 3.4-27、図 3.4-28 に示す。同図は横軸に岩盤からの距離を示している。また、EPMA のマッピングによる分析結果を図 3.4-29、図 3.4-30、図 3.4-31 に示す。これによると、吹付けコンクリートには、岩盤の表面から 20mm 程度までやや CaO 濃度の低い範囲が見られる。これに対して SO_3 は、岩盤の表面から 20mm 程度の範囲で内部より濃度が高くなっている範囲が見られる。特に表面から 5mm 付近においては、内部に比べて 2 倍以上と高い SO_3 濃度となっている。

CaO 濃度の低い範囲については、セメント水和物が溶脱し、濃度勾配の影響で岩盤の方へ Ca^{2+}が溶脱したことを示していると考える。SO_3 の濃度については、EPMA 分析の結果、岩盤側の SO_3 濃度が吹付けコンクリートに比べて全体として低いことから、セメント水和物の溶脱によって液相中に放出された SO_4^{2-}の濃度拡散による移動は、基本的には Ca^{2+}と同様に吹付けコンクリートから岩盤に向けたものとなる。一方で、本分析箇所では、岩盤の拡散係数が小さく、吹付けコンクリートから溶脱した SO_4^{2-}が境界付近に濃縮し、エトリンガイトやモノサルフェートとして沈殿したものと考えられる。なお、この結果は、前掲の XRD 分析にて述べたエトリンガイト、モノサルフェートの生成にかかる考察のうち、以下の仮説を裏付けるデータであると考える。

①吹付けコンクリート中に存在しているエトリンガイトやモノサルフェートが溶脱し、液相中に溶解した硫酸イオンが岩盤との境界付近に移動し、濃縮して再度エトリンガイトやモノサルフェートとして沈殿する

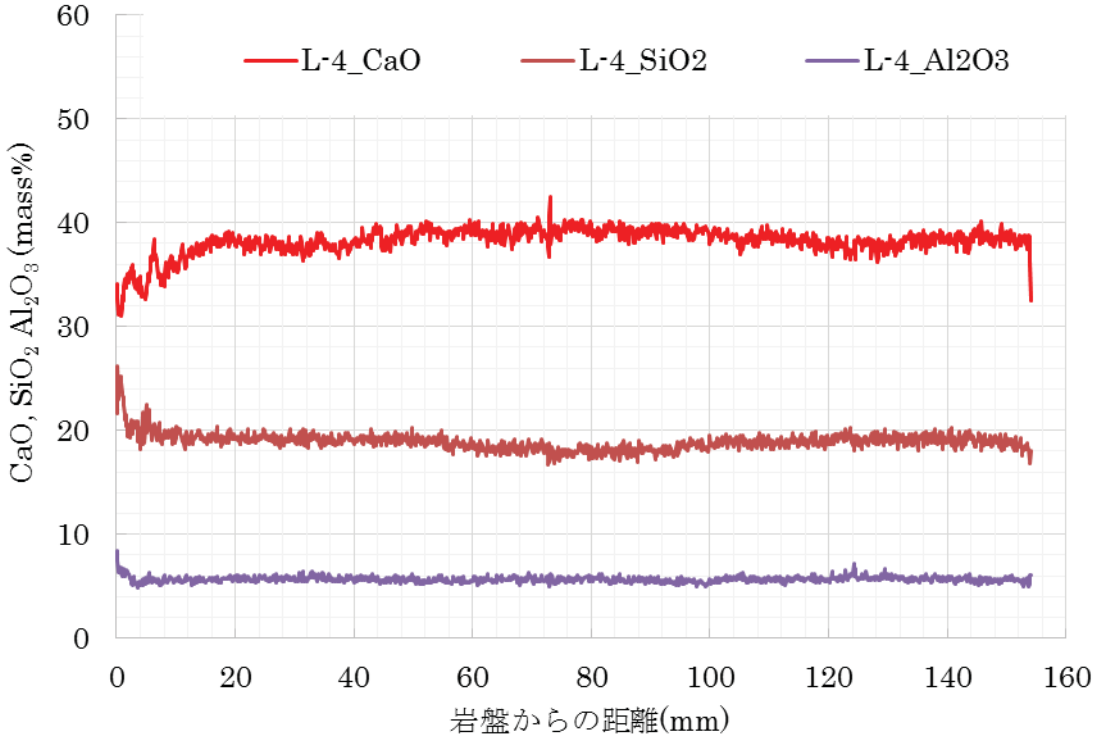


図 3.4-26　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（L-4 の CaO、SiO_2、Al_2O_3）

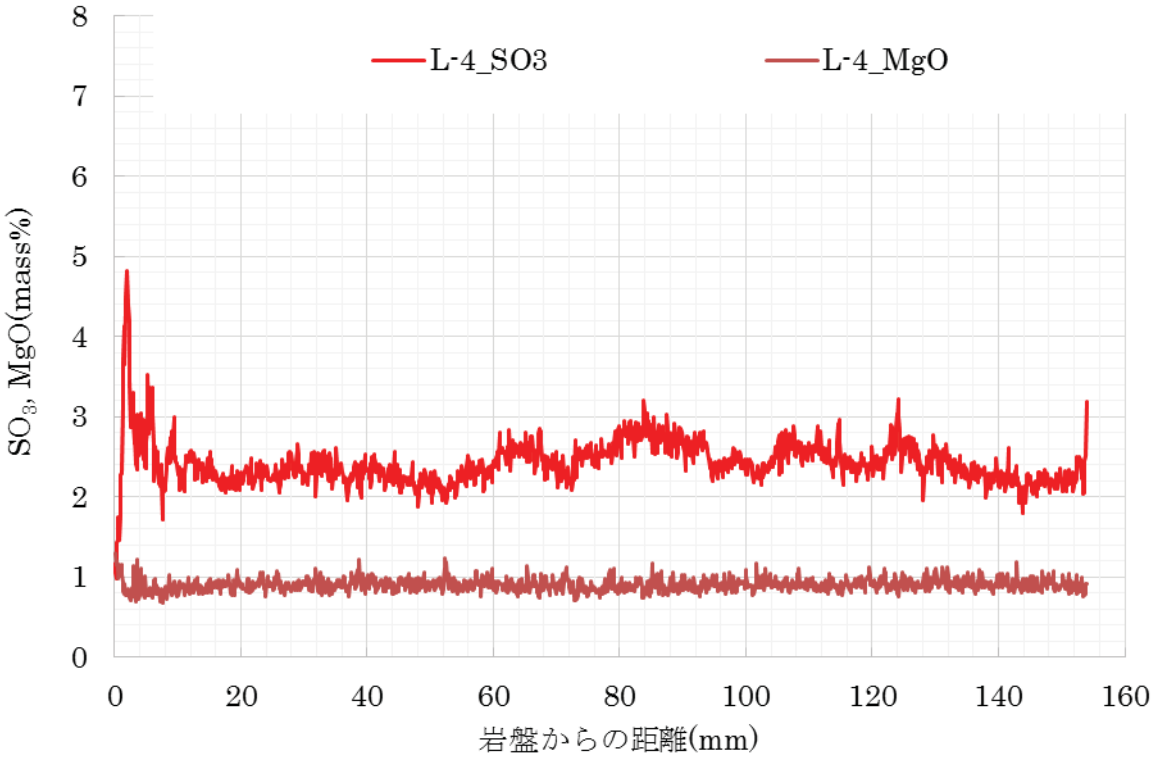


図 3.4-27　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（L-4 の SO_3、MgO）

また、セメント水和物に含まれる成分のうち、比較的溶解度の高い NaOH、KOH の溶脱に着目すると、いずれも少量のため明確ではないが、Na_2O は深さ 20mm ぐらいまで濃度の低い範囲が見られる一方で、K_2O については深さ 20mm ぐらいまで濃度が上昇している。Na_2O の量は岩盤に比べて吹付けコンクリートのほうが多いため、NaOH から溶脱した Na^+ がコンクリートから岩盤に向けて移動する一方で、岩盤の K_2O 量が吹付けコンクリートより多いため、岩盤から溶脱した K^+が吹付けコンクリートに浸透したものと考えられる。

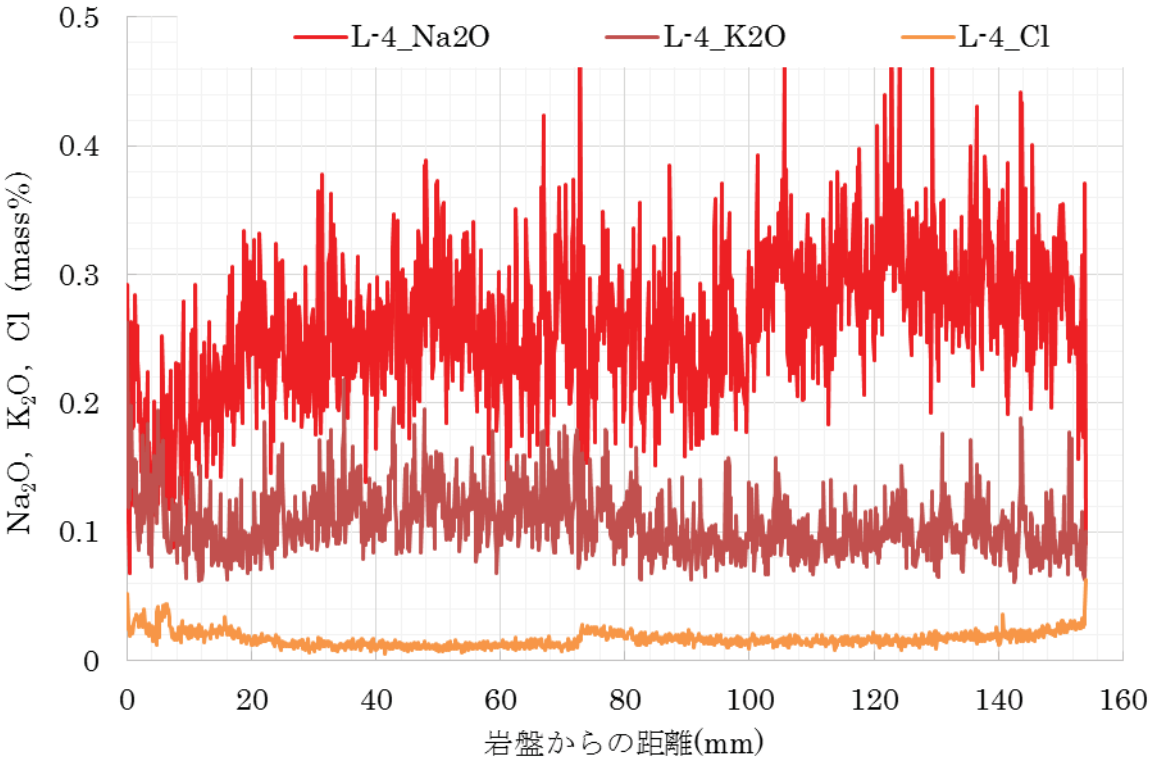
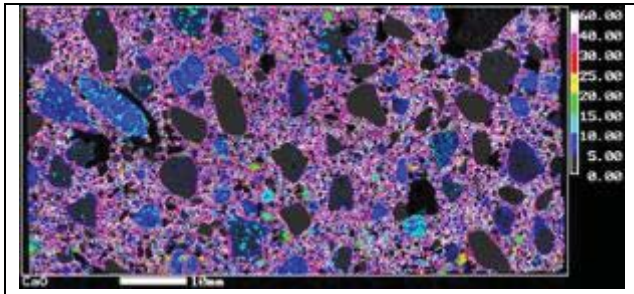
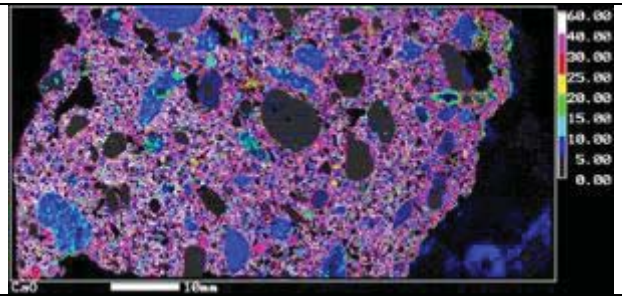


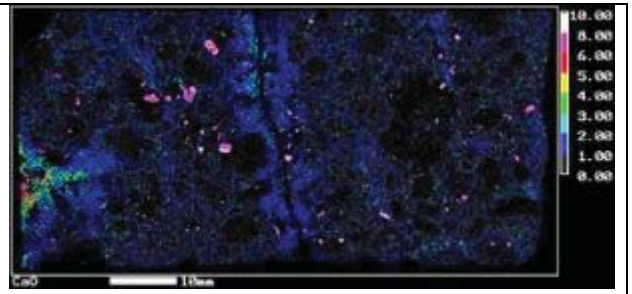
図 3.4-28　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（L-4 の NaO、K_2O、Cl）



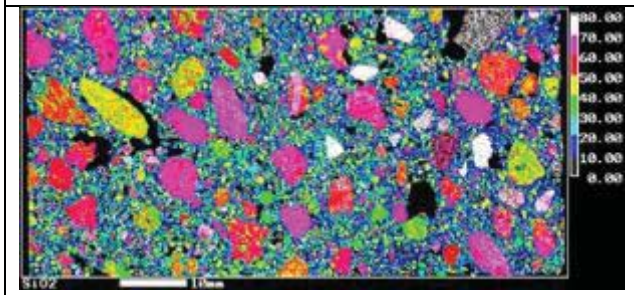
L-4-1　CaO



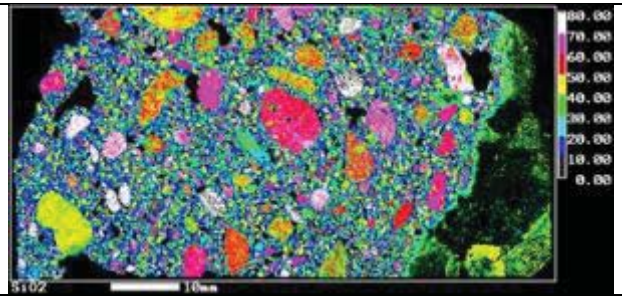
L-4-2　CaO



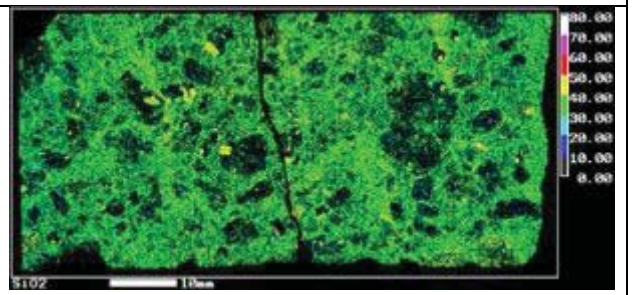
L-4-3　CaO



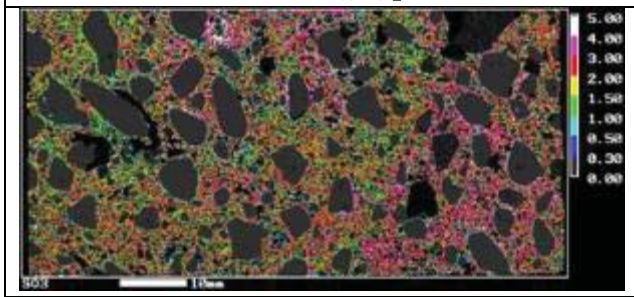
L-4-1　SiO_2



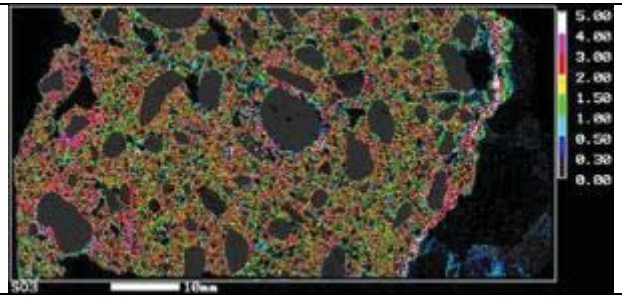
L-4-2　SiO_2



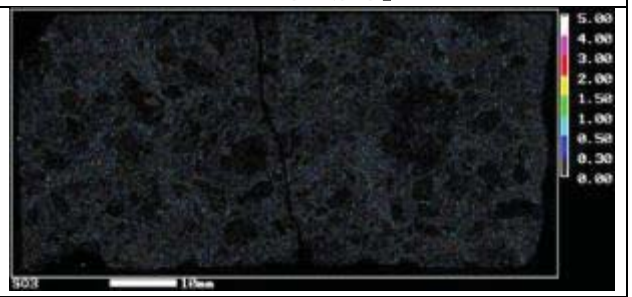
L-4-3　SiO_2



L-4-1　SO_3

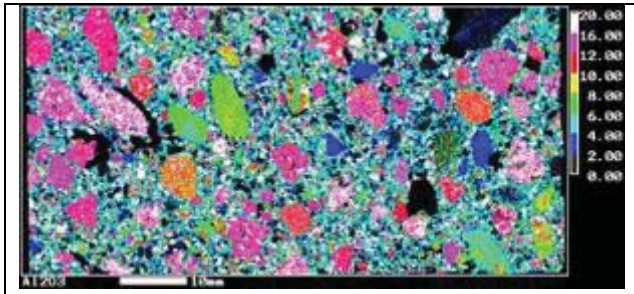


L-4-2　SO_3

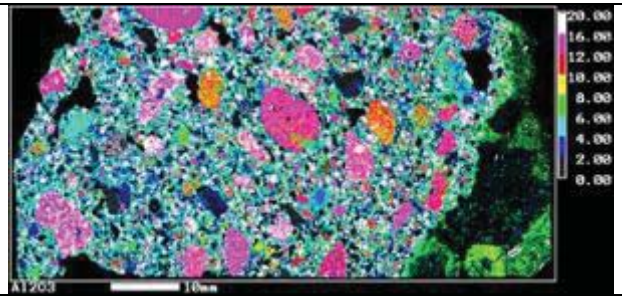


L-4-3　SO_3

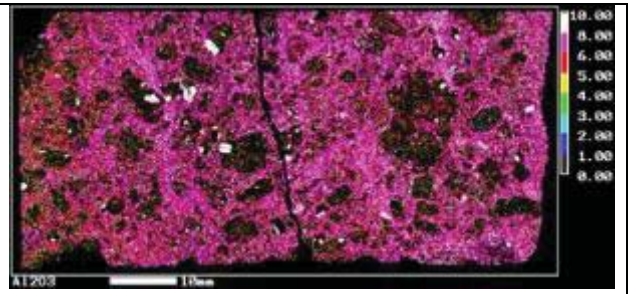
図 3.4-29　EPMA 分析結果（L-4 の CaO、SiO_2、SO_3）



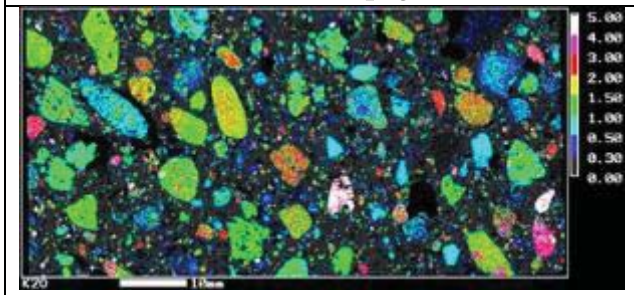
L-4-1　Al_2O_3



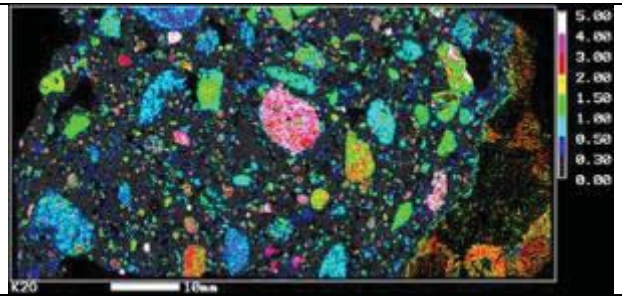
L-4-2　Al_2O_3



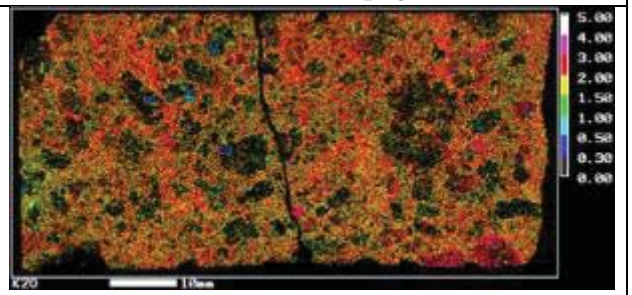
L-4-3　Al_2O_3



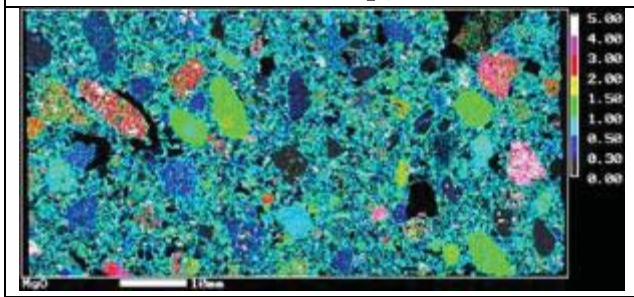
L-4-1　K_2O



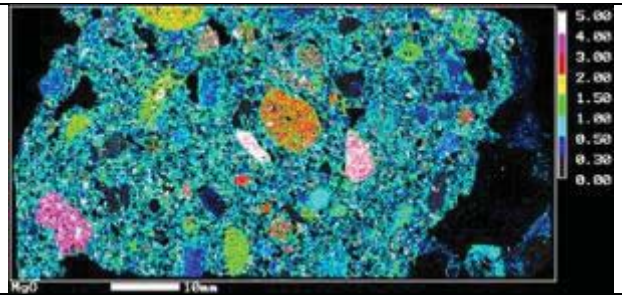
L-4-2　K_2O



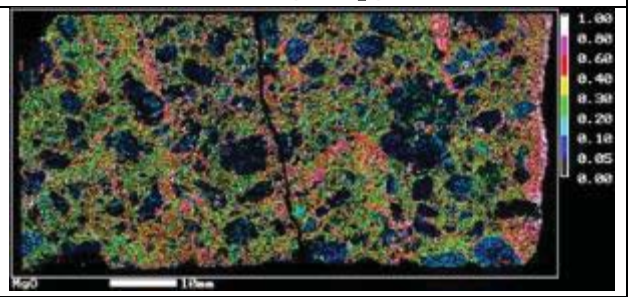
L-4-3　K_2O



L-4-1　MgO



L-4-2　MgO



L-4-3　MgO

図 3.4-30　EPMA 分析結果（L-4 の Al_2O_3、K_2O、MgO）

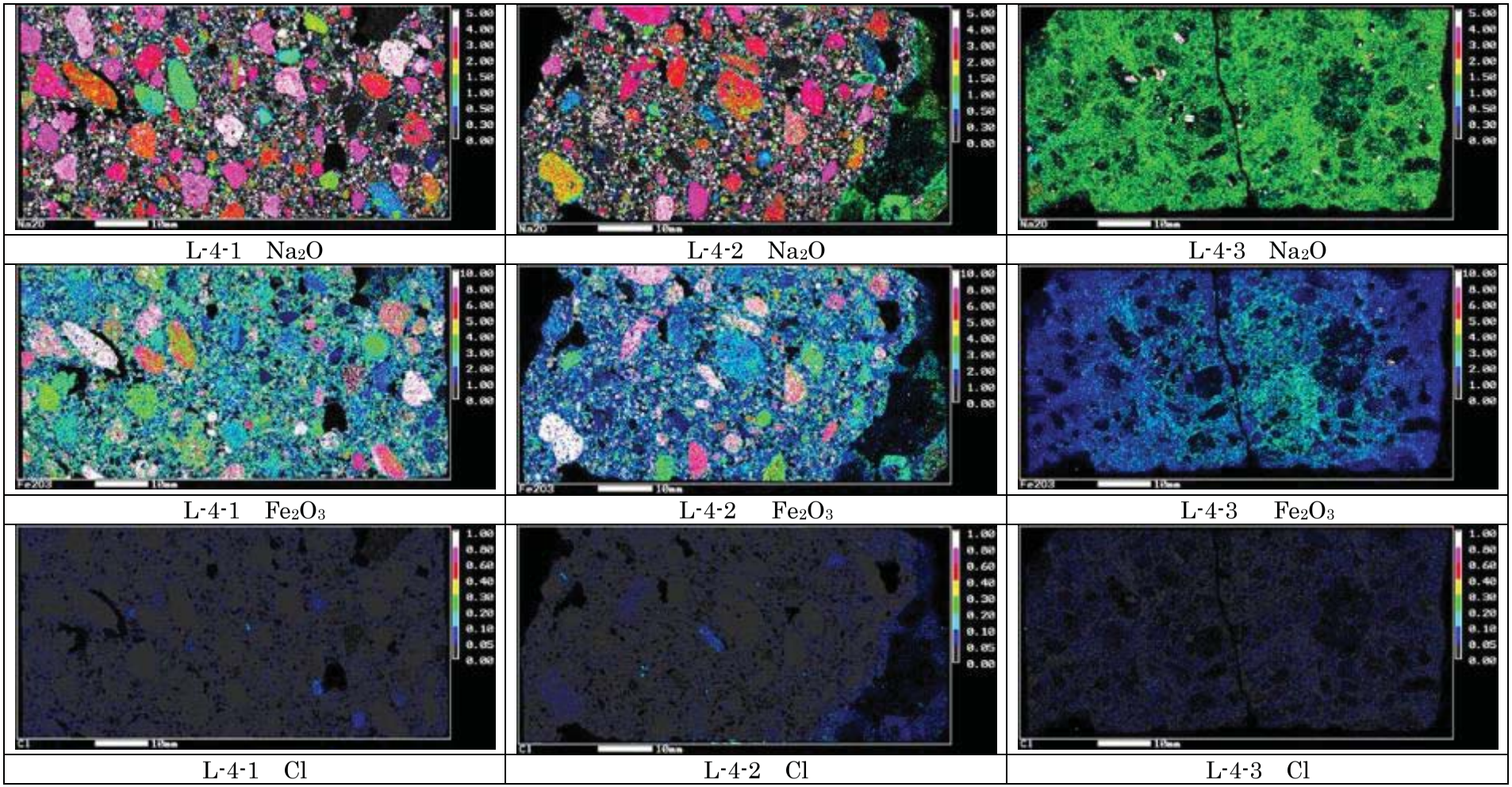


図 3.4-31　EPMA 分析結果（L-4 の Na_2O、Fe_2O_3、Cl）

2）R-5 の分析結果

R-5 における EPMA 測定位置を図 3.4-32 に示す。EPMA は前掲のとおり、吹付けコンクリートの未変質部（図中の EPMA①）、吹付けコンクリートと岩盤の境界部（図中の EPMA②）、吹付けコンクリートと岩盤の境界からさらに岩盤側（図中の EPMA③）にて測定した。EPMA②には、L-4 と同様に、一部岩盤を含む形で切り出して分析に供した。

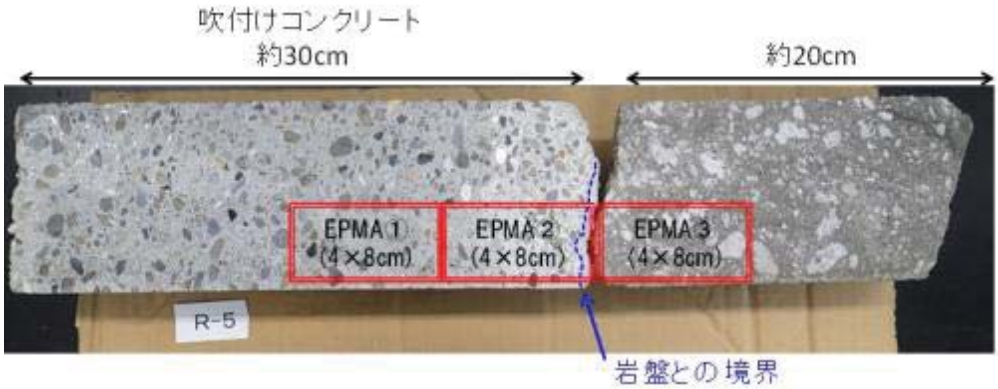


図 3.4-32　EPMA の分析位置（R-5）

吹付けコンクリートにおける各元素の濃度分布を図 3.4-33、図 3.4-34、図 3.4-35 に示す。同図は横軸に岩盤からの距離を示している。また、EPMA のマッピングによる分析結果を図 3.4-36、図 3.4-37、図 3.4-38 に示す。これによると、吹付けコンクリートには、岩盤の表面から 60mm 程度までやや CaO 濃度の低い範囲が見られる。これは L-4 の 3 倍の範囲である。また、L-4 と異なり、深さ 20mm ぐらいまで、内部に比べて SiO_2 の量が多くなっていることも特徴である。さらに、SO_3 については、L-4 では表面に濃縮していたのに対し、R-5 では岩盤の表面から 60mm 程度の範囲で濃度が低下している。この理由について以下のように考察する。

目視観察ではっきりとした劣化は見られなかったものの、コア採取後の運搬時に吹付けコンクリートと岩盤の境界付近でコアが折れてしまったことから、境界付近はやや脆弱化していた可能性がある。EPMA による分析の結果より、岩盤から吹付けコンクリートに SiO_2 が浸透していることから、吹付けコンクリートからの成分溶脱によって岩盤中に浸透したアルカリの影響で、岩盤の SiO_2 が一部溶解し、吹付けコンクリート側へ浸透した可能性がある。なお、岩盤中にアルカリが浸透する速度は、主として岩盤の拡散係数によって決まるものであり、L-4 ではこのような現象まで見られなかったことから、R-5 付近の岩盤は表面の風化が激しかったものと推察する。この風化した岩盤の表面付近においては拡散係数が大きくなり、セメント水和物の溶脱によって液相中に放出された SO_4^{2-} が、図 3.4-36 の SO_3 濃度に示すように岩盤側まで浸透できたため、境界付近での濃縮が起きなかったものと考えられる。この見解は、XRD 分析結果で R-5 の表層付近にエトリンガイトが生成されず、モノサルフェートが多く生成していたことと一致する。

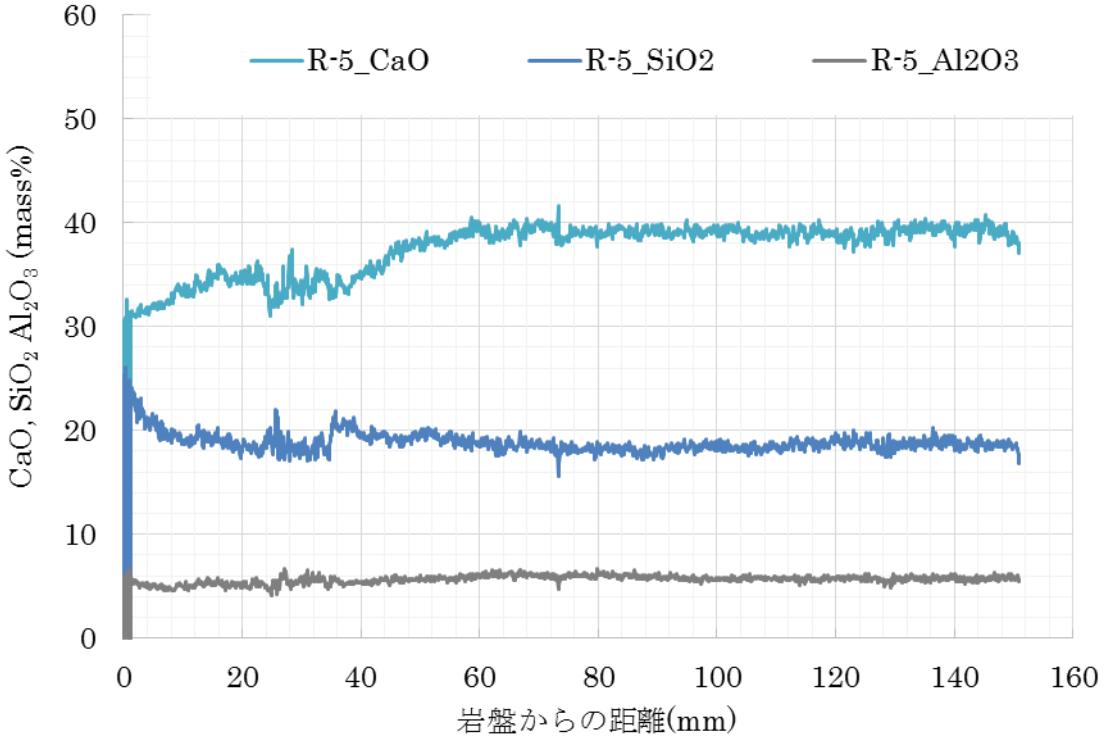


図 3.4-33　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（R-5 の CaO、SiO_2、$Al2O_3$）

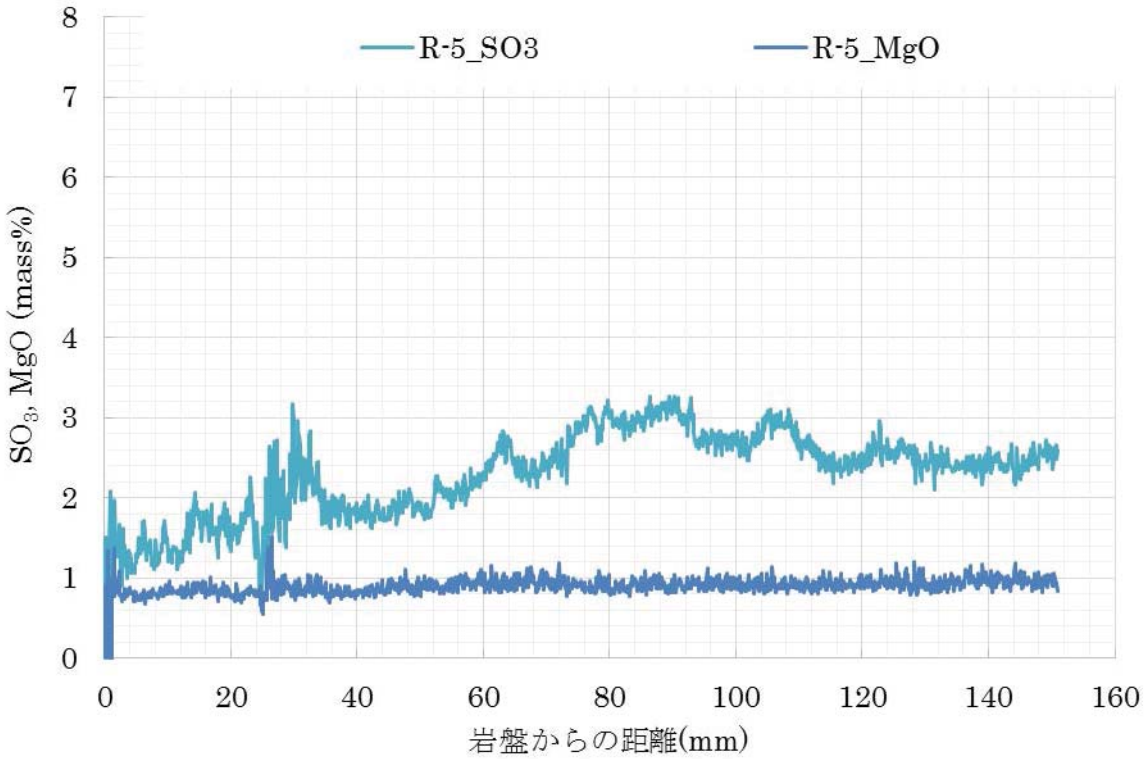


図 3.4-34　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（R-5 の SO_3、MgO）

また、セメント水和物に含まれる成分のうち、比較的溶解度の高い NaOH、KOH の溶脱に着目すると、いずれも少量のため明確ではないが、Na_2O は深さ 60mm ぐらいまで濃度の低い範囲が見られる一方で、K_2O については深さ 60mm ぐらいまで明らかに濃度が上昇している。Na_2O の量は岩盤に比べて吹付けコンクリートのほうが多いため、NaOH から溶脱した Na^+がコンクリートから岩盤に向けて移動する一方で、岩盤の K_2O 量が吹付けコンクリートより多いため、岩盤から溶脱した K^+が吹付けコンクリートに浸透したものと考えられる。

また、EPMA 面分析においていずれの元素も 0%（図中にて黒くなっている部分）は空隙が存在していることを意味しており、岩盤との境界部に大きな空隙が複数存在している。これらの空隙は岩盤面に吹付けコンクリートを施工した際に、コンクリートに巻き込まれた空気が十分に抜けなかったところである可能性があり、これも化学的変質を助長させている可能性がある。

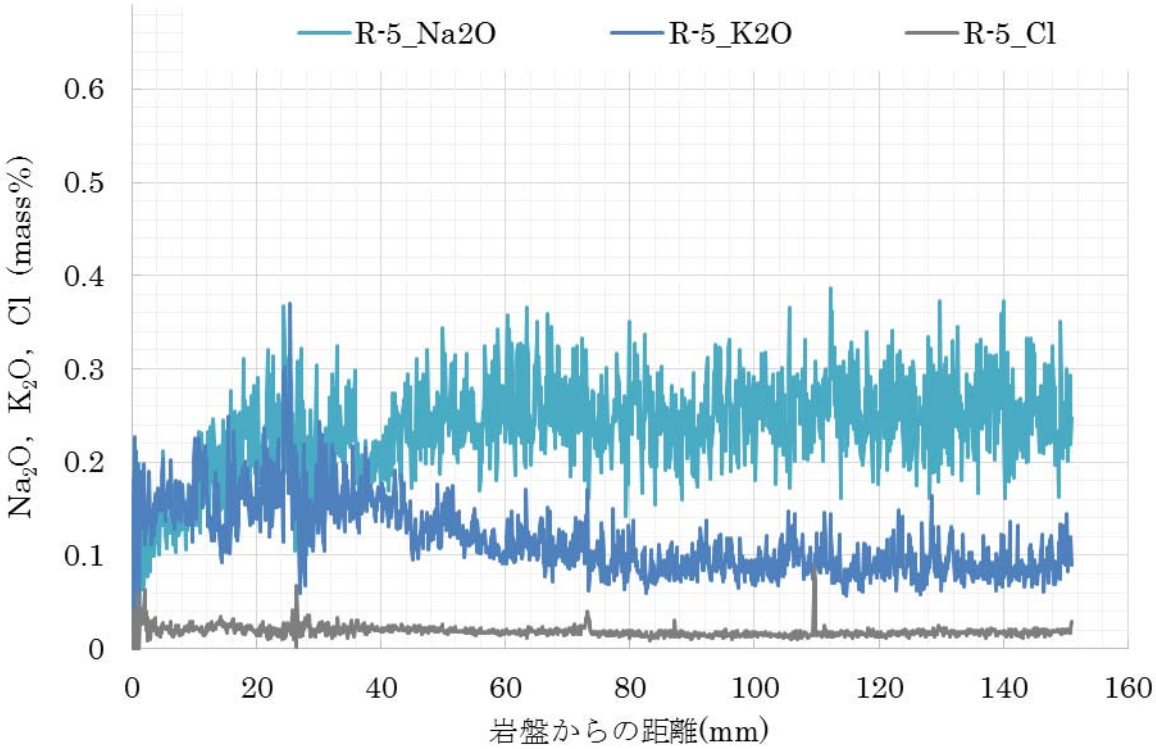


図 3.4-35　吹付けコンクリートにおける各元素濃度分布（R-5 の NaO、K_2O、Cl）

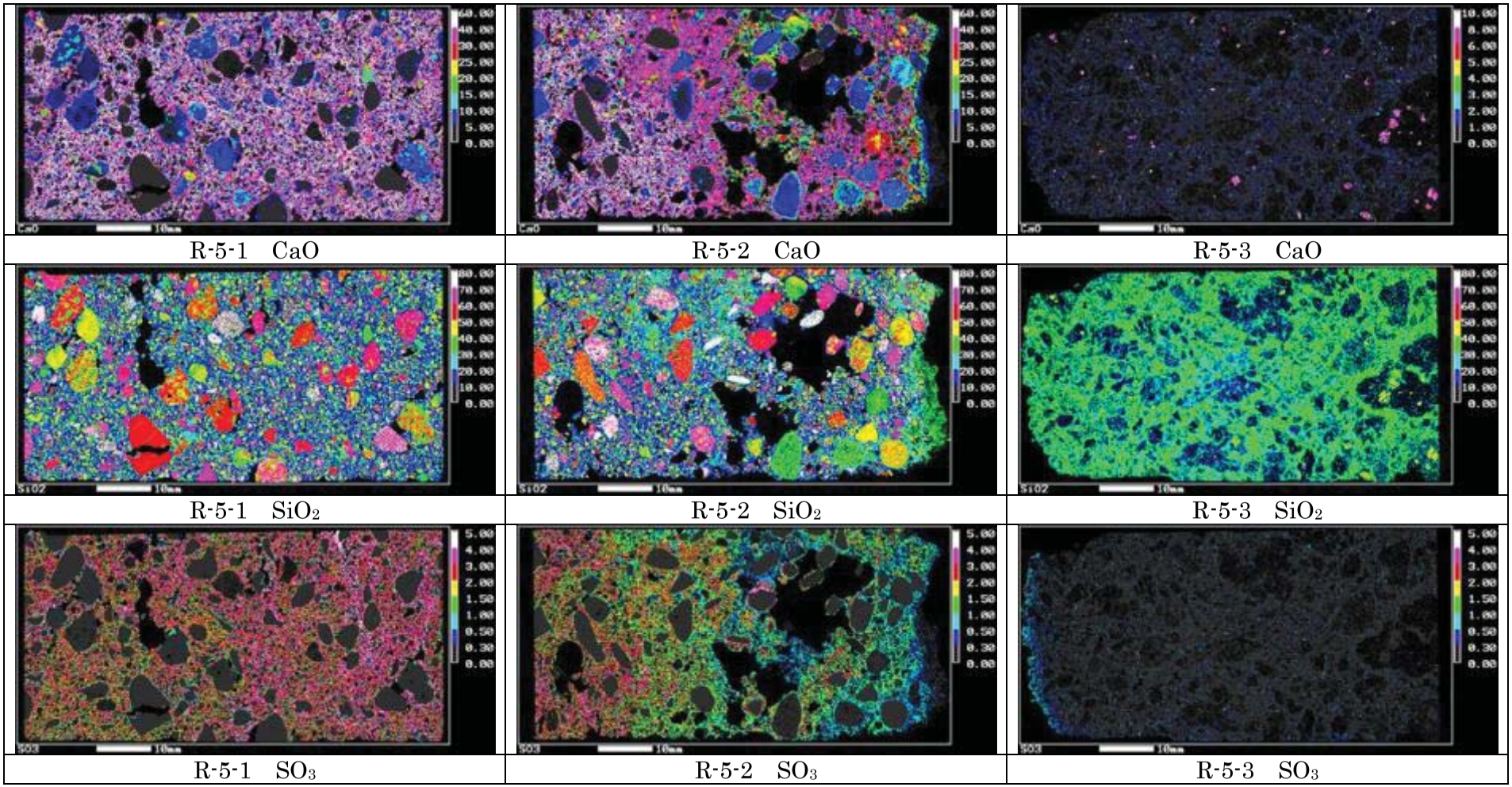


図 3.4-36　EPMA 分析結果（R-5 の CaO、SiO_2、SO_3）

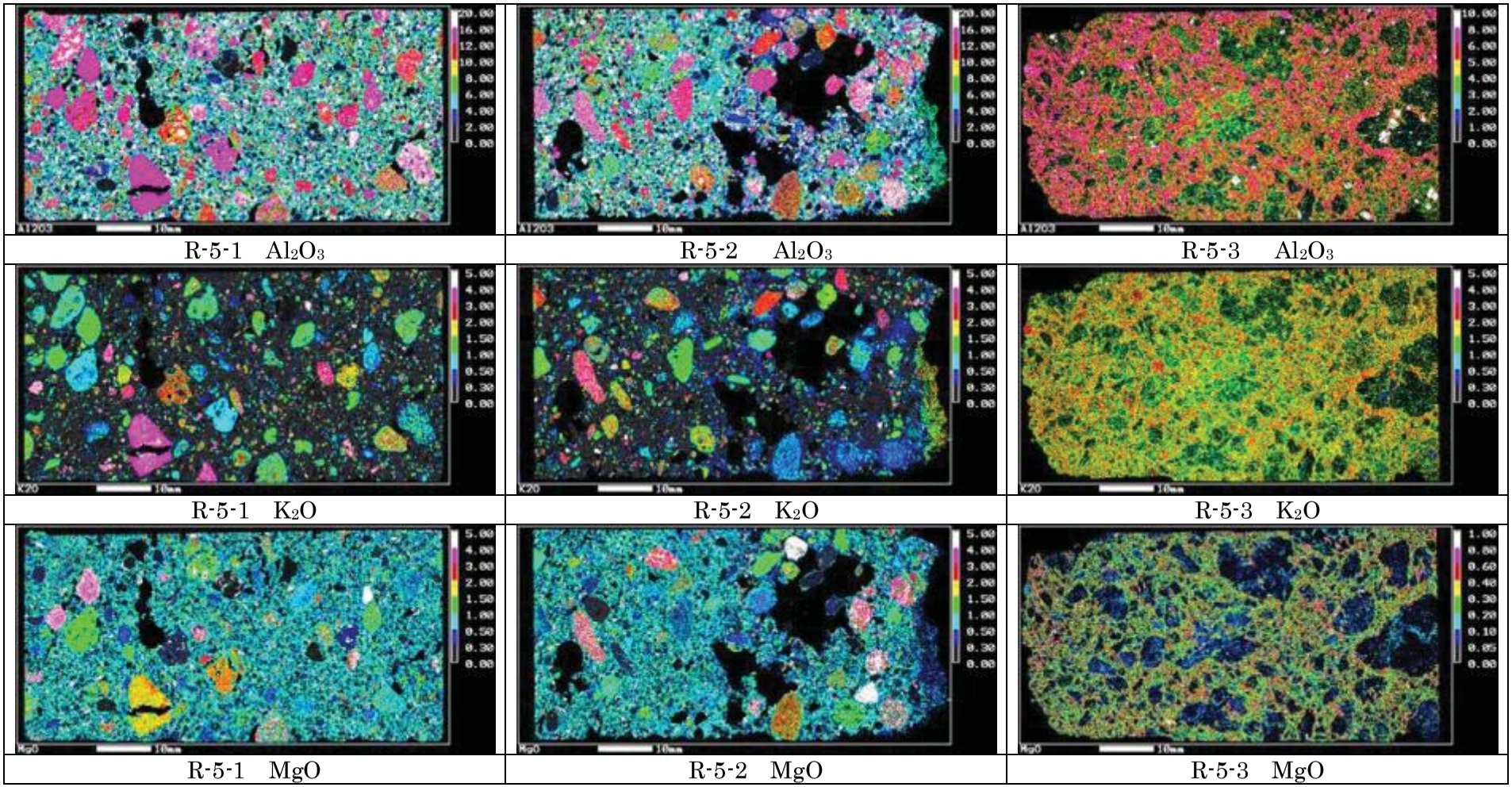


図 3.4-37　EPMA 分析結果（R-5 の Al_2O_3、K_2O、MgO）

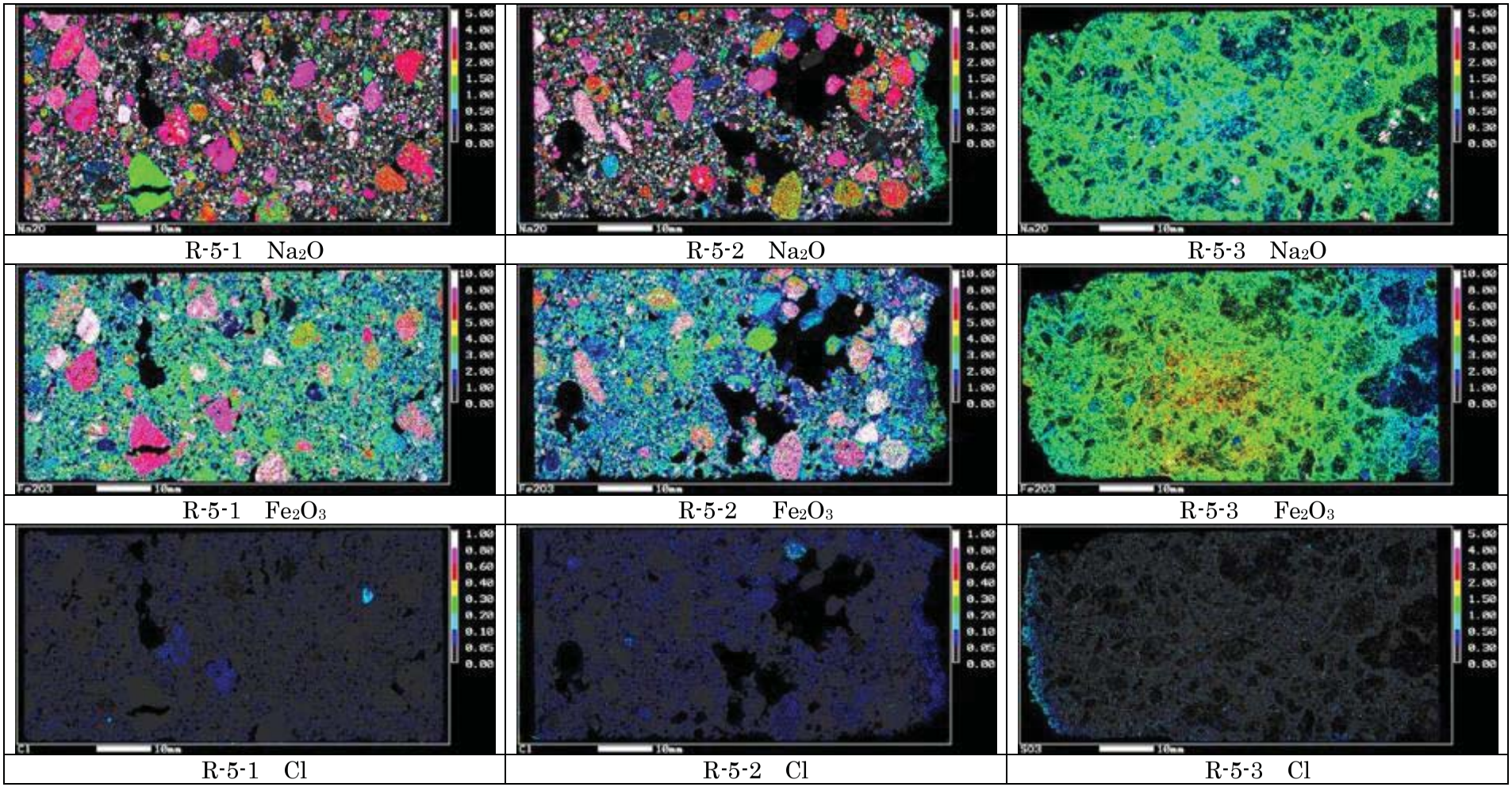


図 3.4-38　EPMA 分析結果（R-5 の Na_2O、Fe_2O_3、Cl）

(6) 空隙率

L-4、R-5 の水銀圧入法による空隙率の測定位置を図 3.4-39 に示す。各測定箇所で前後 10mm の位置から試料を採取し分析を行った。その結果を図 3.4-40、図 3.4-41、図 3.4-42、図 3.4-43 に示す。R-5 の岩盤との界面から 20mm 地点では、図 3.4-40 に示すように比較的大きい径において測定不能箇所が認められた。水銀圧入法では水銀を空隙中に圧入したときの圧入圧力と空隙径の相関関係をもとに細孔径分布を導出しており、今回は比較的大きな径の測定ができていないことから、溶脱が進行し試料が脆弱化したことで、水銀の圧入によって比較的大きい径の空隙が破壊された可能性がある。そのため、今回は岩盤と同じくアルキメデス法によって空隙率を評価した。

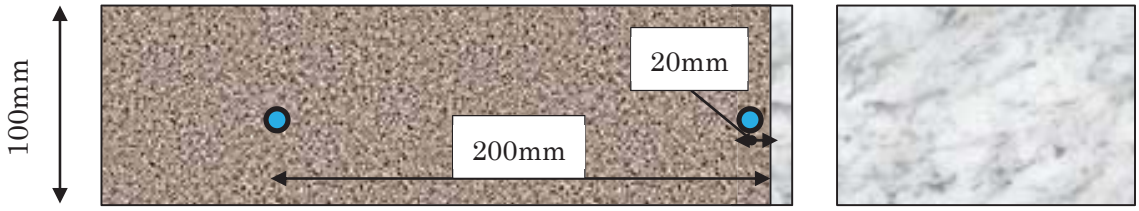


図 3.4-39　水銀圧入法による空隙率の測定位置（L-4、R-5）

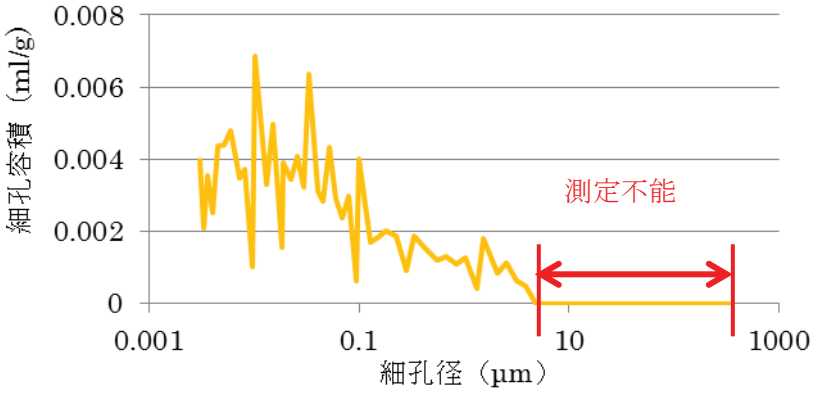


図 3.4-40　水銀圧入法による細孔径分布（R-5　界面から 20mm）

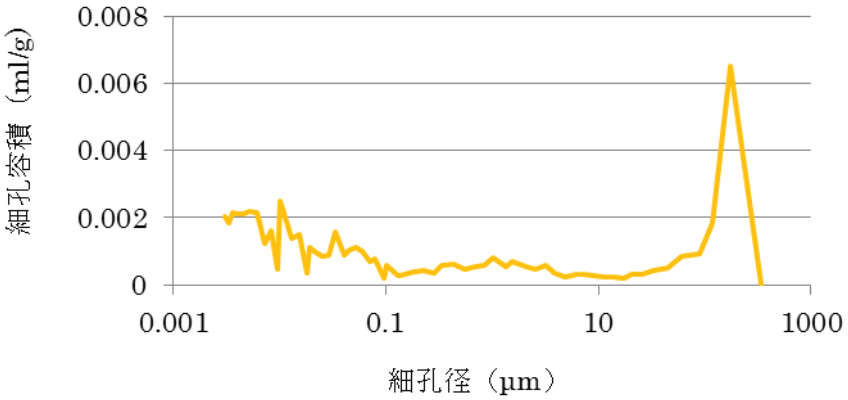


図 3.4-41　水銀圧入法による細孔径分布（R-5　界面から 200mm）

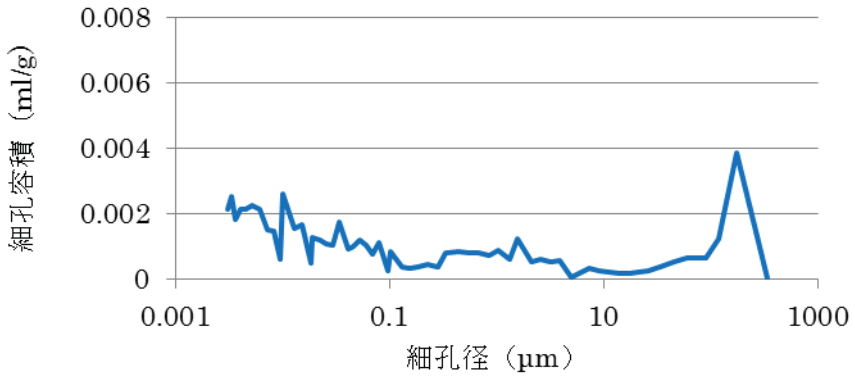


図 3.4-42　水銀圧入法による細孔径分布（L-4　界面から 20mm）

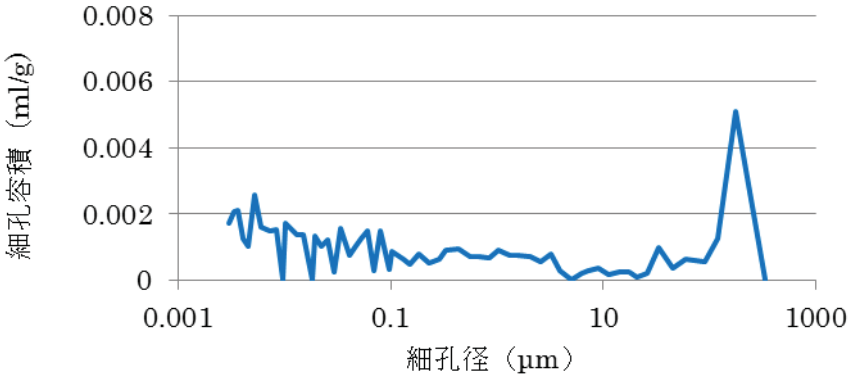


図 3.4-43　水銀圧入法による細孔径分布（L-4　界面から 200mm）

アルキメデス法による空隙率の測定位置を図 3.4-44 および図 3.4-45 に示す。測定位置は EPMA の結果を踏まえて、L-4、R-5 でそれぞれ溶脱が進行していると考えられる箇所と健全であると考えられる内部とした。分析に供した試料は各測定位置の前後 10mm の区間から採取したものとした。

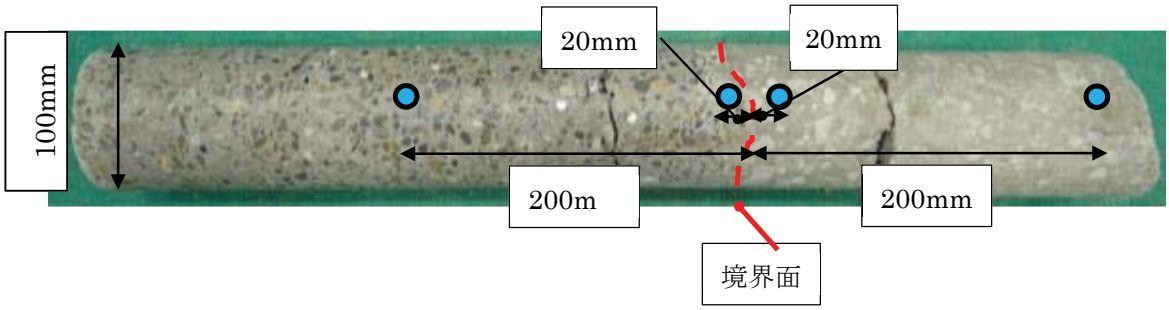


図 3.4-44　アルキメデス法による空隙率の測定位置（L-4）

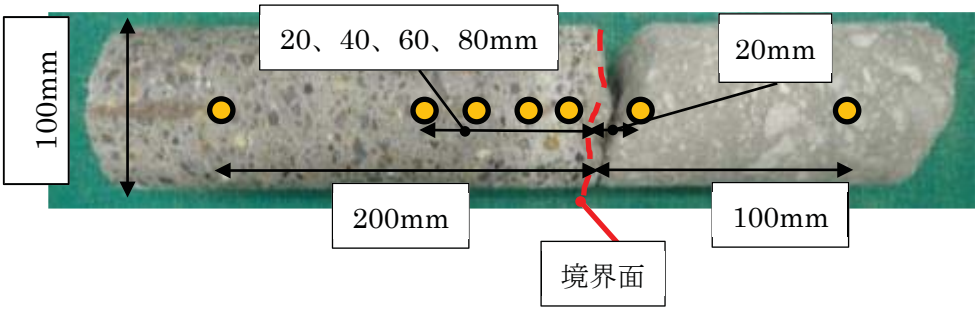


図 3.4-45　アルキメデス法による空隙率の測定位置（R-5）

アルキメデス法による L-4 における空隙率の測定結果を図 3.4-46 に、R-5 における測定結果を図 3.4-47 に示す。L-4 は EPMA で溶脱が認められた範囲である 20mm と、内部に位置する 200mm で空隙率に差は認められなかった。一方で、R-5 は EPMA で溶脱が認められた範囲である 60mm よりさらに深い位置から吹付けコンクリートにおける空隙率の増加が認められた。これは先述のとおり、界面付近における岩盤の状態が異なることで L-4 と R-5 で溶脱の進行度合いに違いが生じた影響だと考えられる。L-4 では界面付近の岩盤が比較的健全であったため、溶脱したイオンが界面付近で濃縮し、コンクリートの細孔構造が大きく変化しなかったことで溶脱の進行が抑えられたが、R-5 では岩盤が脆弱であったため界面付近でコンクリートから溶脱したイオンが岩盤まで流出した影響で L-4 よりも溶脱が進行したと考えられる。また、R-5 に関しては、図 3.4-48 に示すように EPMA における結果の中で一部空洞と思われる部分が認められたことから、施工時における空気の巻込みなどに起因する残存空気も空隙率増加の一因だと考えられる。

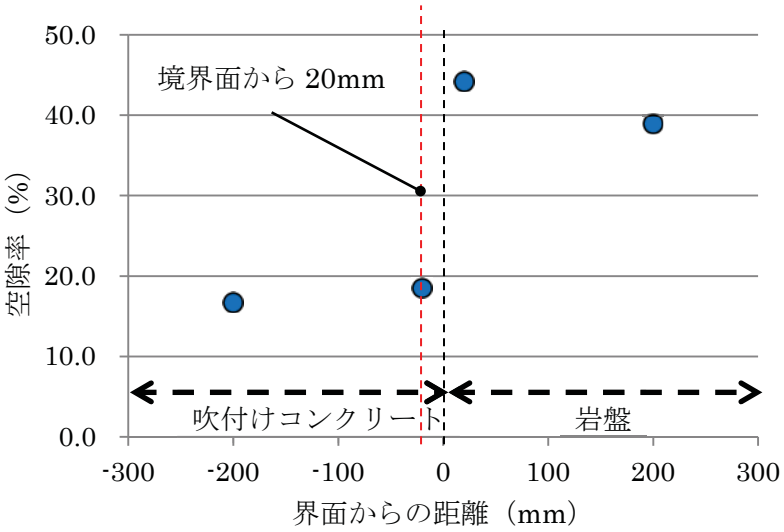


図 3.4-46　空隙率の測定結果（L-4）

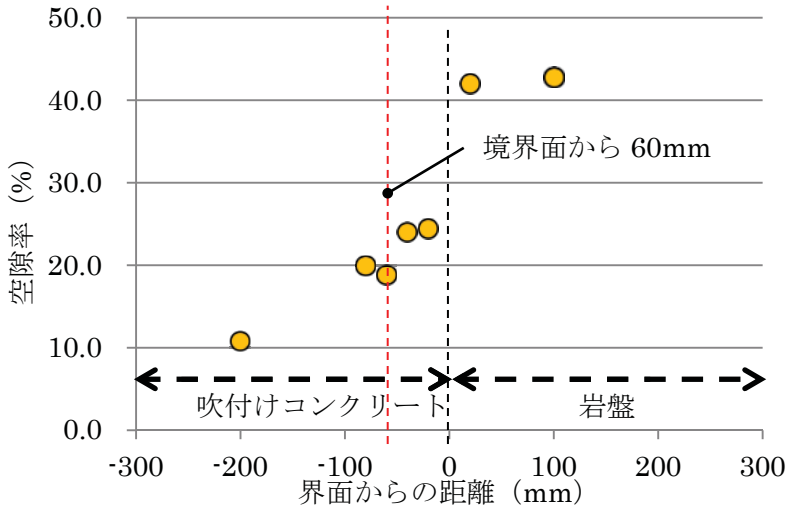


図 3.4-47　空隙率の測定結果（R-5）

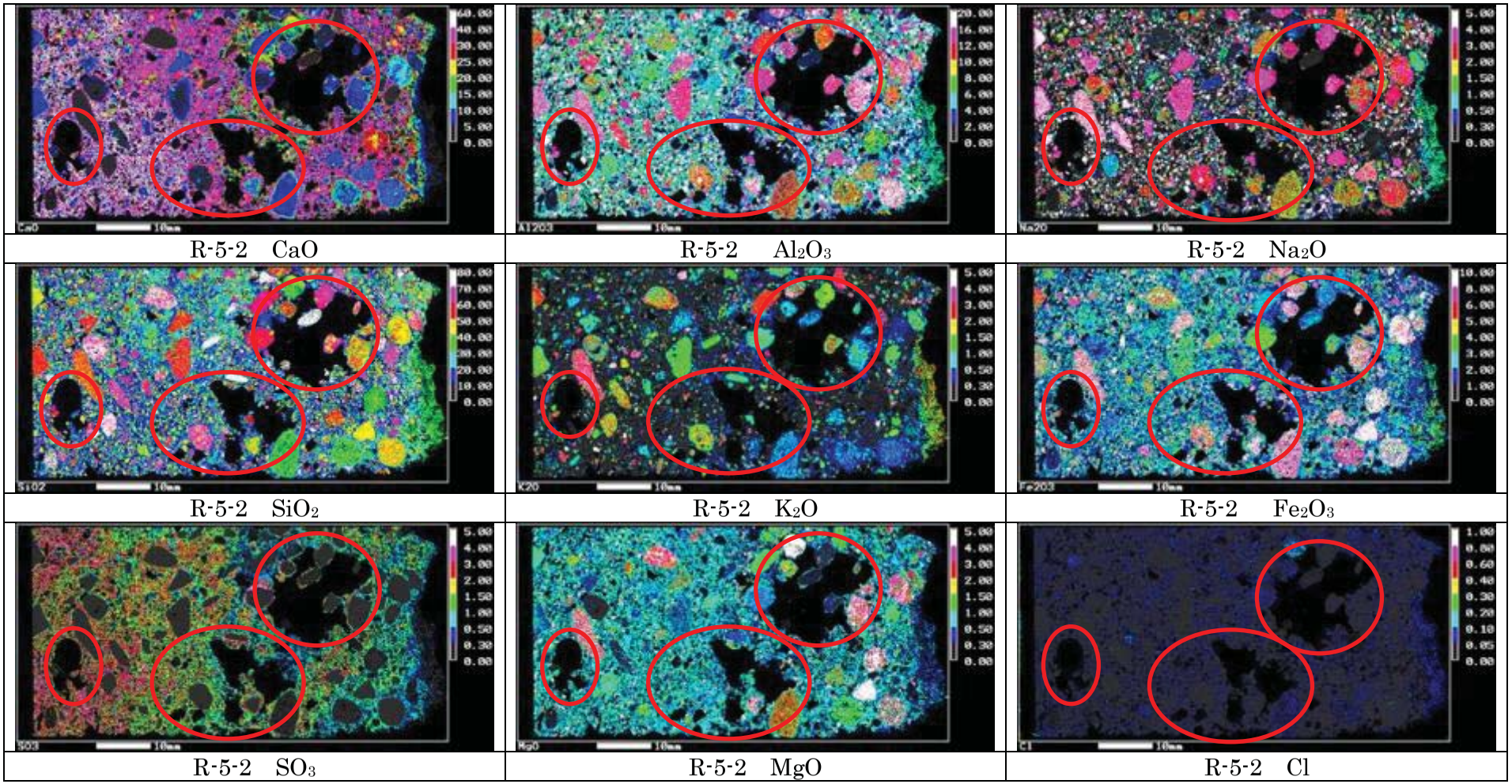


図 3.4-48　空隙と思われる箇所の分布図（EPMA 分析結果　R-5-2）

(7) ビッカース硬度

L-4 および R-5 におけるビッカース硬度の測定位置をそれぞれ図 3.4-49、図 3.4-50 に示す。測定位置は EPMA の結果を踏まえて、L-4、R-5 でそれぞれ溶脱が進行していると考えられる箇所と健全であると考えられる内部で選定した。分析に供した試料は各測定位置の前後 2.5mm の区間から採取したものとし、1 測点につき 25 点測定し、平均値からのかい離が大きい 5 点を除いた 20 点の平均値を測定値とした。

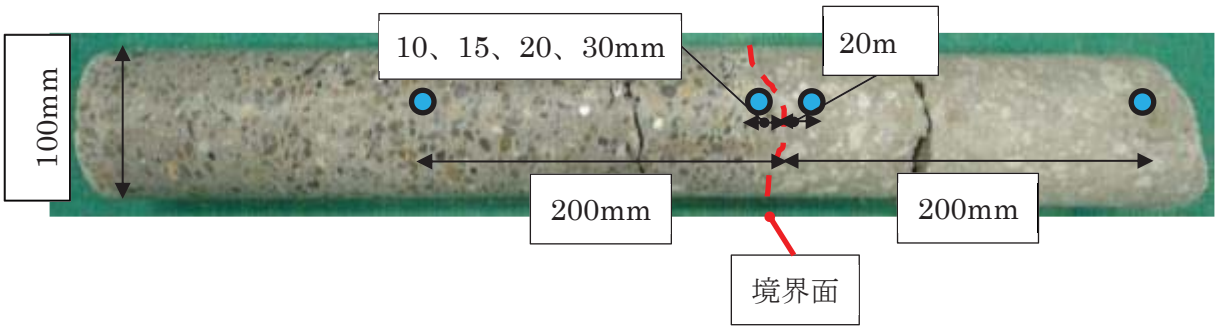


図 3.4-49　ビッカース硬度の測定位置（L-4）

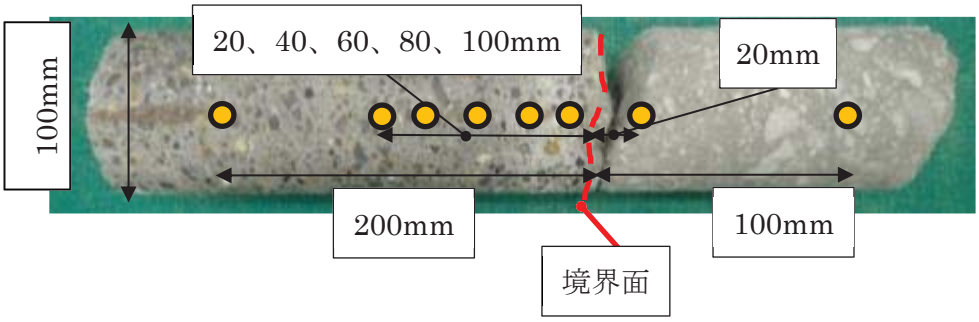


図 3.4-50　ビッカース硬度の測定位置（R-5）

L-4 の分析結果を図 3.4-51 に、R-5 の分析結果を図 3.4-52 に示す。測定結果から上下に伸びているのはばらつきの範囲を示している。L-4 では EPMA で溶脱が認められた範囲である 20mm での値と、内部に位置する 200mm の値で差は認められなかったものの界面から 10mm の箇所ではビッカース硬度の低下が認められた。一方で、R-5 では吹付けコンクリート内部と比較して界面から 100mm 付近までビッカース硬度が低下していた。溶脱が認められた範囲より深い箇所でビッカース硬度の低下は、先述の通り吹付けコンクリート内部に残存した空隙による影響も一因であると考えられる。

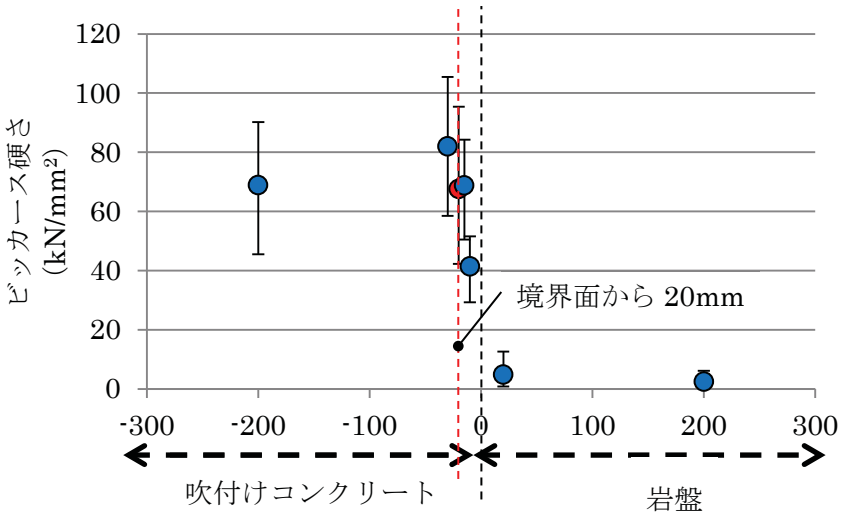


図 3.4-51　ビッカース硬度の測定結果（L-4）

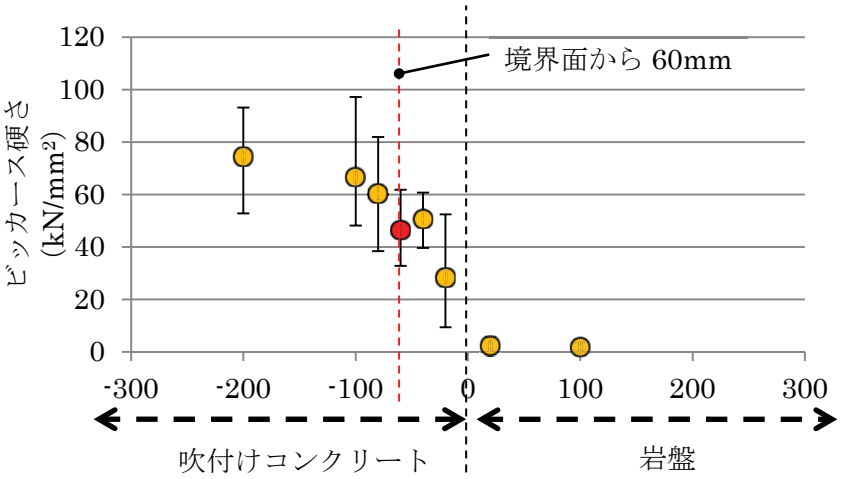


図 3.4-52　ビッカース硬度の測定結果（R-5）

3.4.4　まとめと解析精度の向上に向けた考察

本検討では、建設から十数年が経過した吹付けコンクリートを対象に、低透水性および低拡散性の評価に資するデータの取得と健全性の評価を行うことを目的としてコアの分析を行った。その結果、吹付けコンクリート自体の強度としては十分に担保されているものの、岩盤との界面付近で一部化学的変質が生じていること、また、化学的変質の度合いは施工場所に応じて異なり、主として吹付けコンクリート施工時における岩盤の風化度合に応じた拡散係数の変化が影響している可能性が示唆された。さらに、吹付けコンクリート施工時に巻き込んだ空気が抜けきれていない場合、化学的な変質を助長する可能性があることが示唆された。

今回の結果では、建設から十数年という短い年月であっても、岩盤の状態に応じて溶脱の進行状況に差が認められたため、解析精度向上に向けては岩盤の拡散係数や地下水の流れに関する物性値を精緻することが重要であると考えられる。

表 3.4-11　試験結果一覧

項目	分析位置	
	断面左側（L）	断面右側（R）
圧縮強度	59.5 N/mm²	58.4 N/mm²
静弾性係数	27.9 kN/mm²	26.5 kN/mm²
空隙率	界面付近と内部で大きな変化はなし	内部と比較して界面付近では空隙率が増加
中性化深さ	0mm （一部岩盤側が呈色）	0 mm （翌日に 5cm ほど呈色しなくなる）
ビッカース硬度	界面から 10mm 付近までビッカース硬度が低下	界面から内部 100mm 程度までビッカース硬度が低下（内部の残存空隙による影響の可能性もある）
XRD	吹付けコンクリート中の成分が溶脱し、岩盤との境界部にエトリンガイトやモノサルフェートが生成	吹付けコンクリート中の成分が溶脱し、岩盤との境界よりさらに奥部まで拡散
EPMA		

第 3 章　参考文献

[1] S. David Sevougian: Deep Borehole Emplacement Mode Hazard Analysis (DBEMHA), Sandia National Laboratories, July (2015).

[2] 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).

[3] 原子力規制委員会：炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（案）(2016).

[4] 石田裕樹，守友常雄，佐々木泰：余裕深度処分の成立確認に向けた地質環境調査について，原子力バックエンド研究，Vol.13, No.1 (2006).

[5] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験 平成 19 年度～平成 26 年度の取りまとめ報告書 (2015).

[6]原子力安全基盤機構：平成 19 年度放射性廃棄物処分に関する調査（余裕深度処分に関する調査）報告書 (2008).

[7] 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 地層処分技術調査等委託費 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 2 分冊）―ガス移行挙動の評価― (2007).

[8] E. E. Alonso, A. Gens and A. Josa : A Constitutive model for partially saturated soils, Géotechnique, 40, No.3 (1990).

[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] 林秀朗，武内邦文，山本修一，伊藤裕紀，谷智之：余裕深度処分施設におけるベントナイト層の飽和期間に関する検討，土木学会第 62 回年次学術講演会 (2007).

[11] 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).

[12] 山本幹彦，三原守弘，大井貴夫：地層処分におけるガス移行影響評価－人工バリア内のガス移行解析手法とデータ取得－，原子力バックエンド研究，Vol10 No.1-2，2004.3 (2004).

[13] 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性に関する研究 －気液 2 相流解析コードの選定と適用－，電力中央研究所報告，研究報告：N09003 (2009).

[14] 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).

[15] 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).

[16] 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事業 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書 (2008).
[17] 財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 20 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書 (2009).
[18] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 21 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書 (2010).
[19] 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事業 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書 (2011).
[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 23 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 (2012).
[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 24 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書 (2013).
[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 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 (2014).
[23] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 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 (2015).
[24] E. E. Alonso, A. Gens and A. Josa : A Constitutive model for partially saturated soils, Géotechnique, 40, No.3 (1990).
[25] 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).
[26] 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).
[27] 伊藤裕紀，庭瀬一仁，金子岳夫，千々松正和：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 (2009).
[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] Komine, H., and Ogata, N.: New equations for swelling characteristics of bentonite-based buffer materials. Canadian Geotechnical Journal, 40, No. 2, pp.460-475 (2003).
[31] Ohmaki, S. : Stress- strain behavior of anisotropically, normally consolidated cohesive soil. In: Dungar, R., R., Pande, G.N., Studer, J.A. (Eds), Proc. 1st Int. Symp. On Num. Models in Geomechanics, Balkema, Rotterdam, pp.250-269 (1982).
[32] 電気事業連合会：余裕深度処分に関する検討状況について，原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止措置専門部会（第 17 回）配布資料 放廃第 17-4 号，H19.10.18 (2007).
[33] 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).
[34] 富田敦紀，蛯名孝仁，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).
[35] 独立行政法人 原子力安全基盤機構：平成 21 年度 放射性廃棄物処分に関する調査（余裕深度処分に関する調査）報告書，平成 22 年 9 月 (2010).
[36] 社団法人 土木学会：余裕深度処分における地下施設の設計，品質管理および検査の考え方，2009 年 7 月 (2009).
[37] 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，平成 24 年 3 月 (2012).
[38] 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］，平成 25 年 3 月 (2013).
[39] 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).
[40] 日本電線工業会通信ケーブル専門委員会：通信ケーブルの更新推奨時期について，技資 145 号 A (2014).
[41] 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).
[42] 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).
[43] 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).
[44] 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).
[45] 藤原成利：ガラスの劣化，マテリアルライフ，3(2), 77-81 (1991).
[46] 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).
[47] 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).
[48] 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).
[49] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度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).
[50] 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).
[51] 日本アイソトープ協会: アイソトープ手帳, 148 (2001).
[52] 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).
[53] 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).
[54] 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).
[55] 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).
[56] 日本工業標準調査会：光ファイバ損失試験方法，JIS C 6823 (2010).
[57] Imai, M., and Feng, M.: "Sensing optical fiber installation study for crack identification using a stimulated Brillouin-based strain sensor," Structural Health Monitoring, 11(5), 501-509. (2012).
[58] 佐藤俊幸, 松下博通 : コンクリート腐食性地盤における硫酸イオン濃度, 九州大学工学集報, vol.74，No.6，pp.635-643 (2001).
[59] 土木学会 エネルギー委員会：余裕深度処分における地下施設の設計，品質管理および検査の考え方，p.25 (2009).
[60] 横関ほか：水和反応と温度依存性を考慮したセメント系材料のイオン拡散係数予測モデル，土木学会論文集，No.725/V-58, pp.131-142 (2003).
[61] 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).
[62] Powers.T.C.: Physical Properties of Cement Paste, Proceedings of the Fourth International Conference on the Chemistry of Cement, U.S. National Bureau of Standars Monograph 43, Vol.2, pp.577-613 (1962).
[63] 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).
[64] 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).
[65] 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).
[66] 石田裕樹，守友常雄，佐々木泰：余裕深度処分の成立性確認に向けた地質環境調査について（講演再録），原子力バックエンド研究，Vol.13, No.1, pp.37-47 (2006).
[67] 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 (2006).
[68] 土木学会：コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状，コンクリート技術シリーズ 53，p.39, p.78 (2003).
[69] 岸谷孝一，西澤紀昭：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 化学的腐食，技報堂，p.39,

p.79，p.81 (1986).
[70] 建設産業調査会：改訂地下水ハンドブック，p.131 (1998).
[71] 堀部純男編：海洋科学基礎講座 10 海水の化学，東海大学出版会，p.57 (1970).
[72] 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).
[73] 藤田智成，杉山大輔，塚本政樹：TRU 廃棄物処分環境におけるセメント系材料の化学的変質評価（その 5）―処分施設のセメント変質及び溶出した地下水による周辺岩盤への影響の解析評価―，電力中央研究所報告，p.7 (2003).
[74] 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性―地層処分研究開発第 2 次取りまとめ―分冊 2 地層処分の工学技術，p.Ⅳ-136 (1999).
[75] 山本 他：地下岩盤の地化学環境調査・評価技術の開発（その 4）－坑壁岩盤の風化とコンクリート影響，電力中央研究所研究報告，N14010 (2015).
[76]冨田敦紀、蛯名孝仁、福田勝美、戸井田克：地下深部約 100m の堆積軟岩中に大規模試験空洞を掘削―余裕深度処分埋設施設本格調査のうち試験空洞掘削工事―，トンネルと地下，第 37 巻 11 号，pp.39-47 (2006).
[77] 熊谷 他：NATM における高強度吹付けコンクリートの適用とその支保効果について，トンネル工学研究論文，報告集，Vol.8, pp.181-186 (1998).
[78] 取違 他：炭酸化したコンクリートの CO2 固定量評価方法に関する一考察，土木学会第 68 回年次学術講演会，pp.505-506 (2013).