

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(概要版)**

平成27年3月

第1章 確証試験の概要

1.1 確証試験の背景・目的

背景

これまでに余裕深度処分低レベル放射性廃棄物については以下の取り組みが進められてきた。

原子力委員会	・「現行の政令濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物処分の基本的考え方について(平成10年10月16日)」を公表 ・一般的であると考えられる地下利用に十分余裕を持った深度(50~100m)に処分、放射性核種の移行抑制機能の高い地中
電気事業者等の取り組み	・余裕深度処分に関する調査 地下環境の調査(地下100m程度の深さの地質状況、地下水の状況や地下100m程度の深さに大きな空洞(試験空洞)の掘削が可能なことなどの調査・試験)を実施
	・余裕深度処分の施設概念(廃棄体、充填材(低拡散層)、コンクリートピット、ベントナイト(低透水層)、埋戻し材)の提示
学会等の取り組み	・原子力学会、土木学会において、「基本安全機能を満足させるための技術要件や品質確保のための検査項目、検査方法について原子力学会標準や土木学会の技術文書を発刊」

土木学会エネルギー委員会低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会

「余裕深度処分における地下施設の設計、品質管理および検査の考え方」

長期的安全確保の考え方として、

- 埋め戻し完了以降は、その時間的スケール及び離隔された状態であることをふまえれば、人工バリアに対して人手による維持・管理は現実的には困難である
- 建設・操業段階の過程において人工バリアの長期的な性能・状態は概ね決まってしまうということであり、当該過程における設計、品質管理および検査などの工学的対応が非常に重要である



- 人工バリアの材料、性能や施工方法などの成立可能性については、基本的な検討がなされているが、実事業は地下空間の狭隘な空間での高品質な人工バリアの構築である。
- 実際の処分施設に近い制約条件を持つ地下空洞内での各種試験を行い、施工機械、施工方法、人工バリアの品質などの確認および確認方法の確立が重要である。

目的

- 本事業は、**原子力発電所廃棄物等の余裕深度処分に係る共通的な基盤技術の確立を目的**として、実際の地下環境下において余裕深度処分に想定されている実規模大の処分施設の模擬施設を構築し、地下空間で適用可能な機械や工法の選定と確認及び構築されたバリアの品質を確認する。



実施内容

- 「管理型処分技術調査等委託費地下空洞型処分施設性能確認試験(平成19年度～24年度)」、「閉鎖技術確認試験(平成25年度～26年度)」により、日本原燃の試験空洞を利用して現地での確認試験を行い、**適用可能な施工方法の確認と品質データの取得**を実施した。

1.2 試験計画

【確証試験とその経過の概要】

表1.2-1 確証試験の構成と各試験の目的

確証試験を構成する試験	各試験の目的
1. 処分施設施工確認試験	実際の地下空洞環境下において実規模の施設を施工することにより、施工技術、施工手順、施工方法等の実施への適用性を確認する。また、処分施設を構成する構成要素ごとに、複数の施工技術、施工方法等を適用するとともに、施工の精度、効率を考慮して総合的な施設の施工性を確認する。
2. 初期性能確認試験	施工された施設について、力学的安定性、核種閉じ込め性等の安全評価において要求される初期性能に関わる品質について、その達成度やバラツキ等を確認する。
3. 施設/岩盤挙動計測	施工された施設の力学的安定性や周辺岩盤に与える影響等を評価するために、施設や周辺岩盤の力学・水理挙動を計測する。

表1.2-2 主な確証試験項目(地下空洞内)

年度	確証試験項目
平成19年度	底部・側部埋戻し材試験、底部緩衝材試験(第1層)、試験空洞内滴水対策工、岩盤挙動計測器設置、計測システム設置、地中無線の適用性検討
平成20年度	ベントナイト含水比調整、底部緩衝材試験(第2～10層)、底部低拡散材試験、底部・奥部・側部コンクリートピット試験
平成21年度	手前部コンクリートピット試験、側部低拡散材試験、廃棄体間充填材試験、上部充填材試験、側部緩衝材試験
平成22年度	廃棄体間充填材試験、上部充填材試験、側部緩衝材試験
平成23年度	側部緩衝材試験、上部充填材試験
平成24年度	側部緩衝材試験、上部コンクリートピット試験、上部低拡散材試験
平成25年度	側部緩衝材隅角部試験、上部緩衝材試験、上部埋戻し材試験
平成26年度	上部緩衝材試験、上部埋戻し材試験

※各部材の試験では、施工確認試験、初期性能確認試験、挙動計測器・計測システム設置を実施

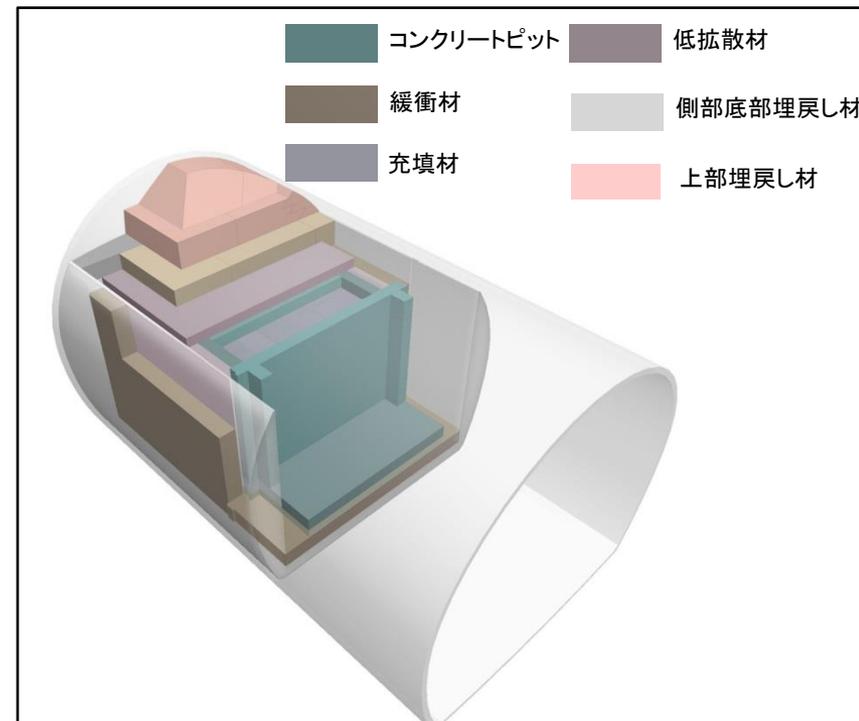


図1.2-1 確証試験施設構築状況(平成26年度施工終了時)

1.2 試験計画

【人工バリアの要求機能】

- 人工バリアの要求機能は、既往の知見を参照しつつ、設計段階から考慮する主に期待する機能(下表の●)を定めた。
- 主に期待する機能について特性値を取得し、期待する機能を発揮し得る目標値を満足することを確認した。
- 主に期待する機能の他、本確認試験では、主な機能としては考慮しないが、物性値のデータ取得を目的とした機能(下表の○)を設定した。

表1.2-3 確認試験における人工バリアの部材と要求機能の対応

要求機能	段階	機能の内容	部材					
			緩衝材	低拡散材	コンクリートピット	充てん材	埋戻し材	
基本安全機能	閉じ込め	建設作業	放射線物質の埋設施設外の環境への有意な漏洩を防止すること	●	—	—	—	—
			廃棄体を線源とする放射線に対して、十分な遮へいを有する環境を保つこと	—	○	○	●	—
	移行抑制	埋戻し後	放射性核種に拡散による移動を抑制すること	—	●	—	—	—
			放射性核種を収着すること	—	○	○	●	—
			低透水性により、処分施設を通過する地下水流量の抑制を行うこと	●	—	—	—	○※
			連続した地下水移行経路を形成しないこと 周辺岩盤よりも低い透水性を有すること※※ 隙間なく充てんされること※※※	—	—	—	—	●
	離隔		離隔距離を確保すること	—	—	—	—	—
容易な侵入を防止すること			—	—	—	—	○	
作業上の機能	建設作業	確実な建設、作業が行われる空間、力学的安定性が確保されること	● (底部緩衝材)	—	●	—	—	
		坑道の形状を維持すること	—	—	—	—	—	

※;埋戻し材の「低透水性により、処分施設を通過する地下水流量の抑制を行うこと」は、「埋戻し後以降の長期にわたり緩衝材の膨潤変形を十分小さい水準に抑制すること(力学特性)」である。

※※;「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」に示された機能に加え、本確認試験で追加した機能。

※※※;「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」に示された機能に加え、「余裕深度処分施設の施設検査方法:2010」を参考にして、本確認試験で追加した機能

1.2 試験計画

【初期性能】

初期性能の定義

本確認試験における要求機能を満たすための初期的な性能(以下、初期性能)は、試験施設の建設完了時点(上部空間の埋戻しまで終了した時点)の性能と定義する。

初期性能は安全評価において要求される施設の長期経過後の性能に対して以下のような考慮が払われた上で設定されるものとしている。したがって、実際に長期劣化や不確実性を評価した上で設定した安全裕度ではないことに注意されたい。

- 人工バリアの化学的劣化や力学的要因による劣化等、現状の知見において長期間経過後において生じるであろうと考えられる事象への考慮。
- 長期の不確実性を見込んだ安全裕度(余裕度)

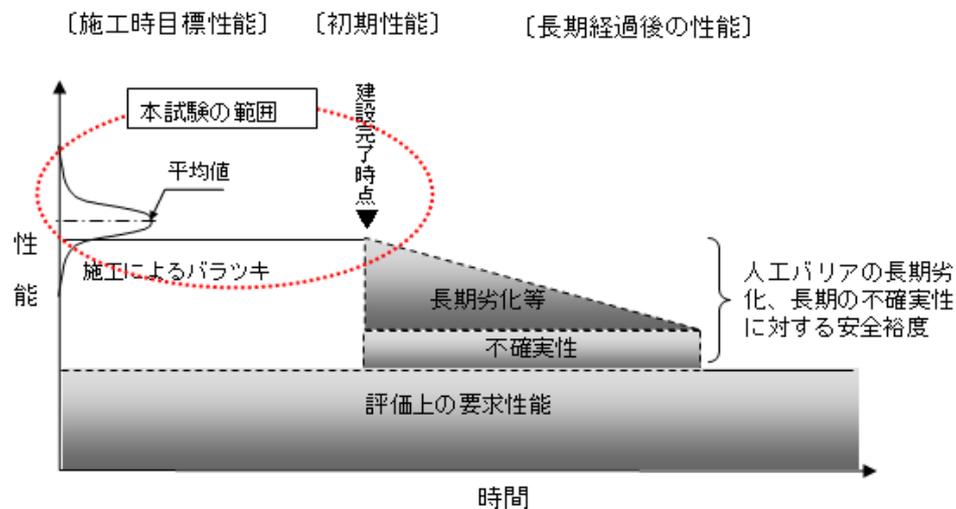


図1.2-2 人工バリア性能の経時変化のイメージ

本確認試験における初期性能の目標値	緩衝材: 透水係数 $5.0 \times 10^{-11} \text{m/s}$
	低拡散材: 拡散係数 $1.0 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$

第2章 確証試験の内容と成果

- ◆ 第2章においては、余裕深度処分施設を対象とした実規模の施工に関わる試験の内容とその成果について人工バリア部材ごとに取りまとめた。
- ◆ これまでに余裕深度処分施設を対象として実施されてきた試験は、室内の試験や部材ごとの試験が主であった。本確証試験は、大断面の地下空洞を利用した処分施設を模擬した日本で初めての実規模施工に関わる試験である。実際の地下空間で適用可能な施工機械や工法を選定し、一連の人工バリア構築の手順を踏まえた施工試験を実施することで、実規模での施工の成立性の確認と施工後の品質を確認した。

【第2章の構成】

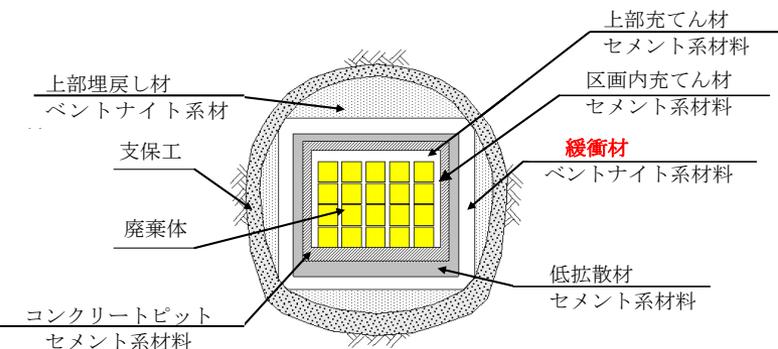
- 2.1 緩衝材
- 2.2 低拡散材
- 2.3 コンクリートピット
- 2.4 充てん材
- 2.5 埋戻し材
- 2.6 挙動計測・地震影響

- 2.1節～2.5節では、各部材を対象とした確証試験の内容と成果を取りまとめた。
(各部材の使用材料と施工方法の一覧を表2-1に示す)
- 2.6節では、施工時および施工後の施設の力学的安定性や周辺岩盤に与える影響を評価するための施設／岩盤挙動計測の結果と、施設の地震時の挙動に関する検討の結果を提示した。

表2-1 各部材の使用材料と施工方法一覧

部材/部位		使用材料	施工方法
緩衝材	底部	ベントナイト(クニゲルGX100%)	転圧工法(大型、小型振動ローラ)
	側部・上部	ベントナイト(クニゲルGX100%)	転圧工法(小型振動ローラ) 吹付け工法
低拡散材	底部・側部・上部	LPC+FA30%、W/B=45% 高流動モルタル	ポンプ圧送による打込み
コンクリートピット	底部・側部・奥部 手前部・上部	LPC+FA30%、W/B=45% 高流動コンクリート	ポンプ圧送による打込み
充てん材	区画内	LPC+FA30%、W/B=45% 高流動モルタル	ポンプ圧送による打込み 移動式バケットを模擬した打込み
	上部	LPC+FA30%、W/B=45% 高流動コンクリート	ポンプ圧送による打込み 移動式バケットを模擬した打込み
埋戻し材	底部・側部・奥部	LPC+FA30%、W/B=45% コンクリート(スランプ型、高流動型)	ポンプ圧送による打込み
	上部	ベントナイト混合土 (ベントナイト15%、砂85%)	転圧工法(小型転圧機械) 吹付け工法

2.1 緩衝材



基本条件の設定

- **主たる要求機能**
 - 建設・操業期間中の「閉じ込め」と、埋戻し後の「移行抑制」を設定
- **材料**
 - これまでの研究で緩衝材の主要材料として期待されていた粉末ベントナイト（クニゲルV1）と比較して低い締固めエネルギーで高密度を達成可能な粒状ベントナイト（クニゲルGX）を緩衝材材料として選定
- **管理目標値**
 - 透水係数： $5.0 \times 10^{-13} \text{m/s}$ 以下
 - 乾燥密度： $1.6 \pm 0.1 \text{Mg/m}^3$
 - 含水比： $21 \pm 2\%$

確証試験の目的

実際の地下空間の環境下において実規模の施工が実現可能であることを実証するため、ベントナイト材料の含水比を適切に調整できることの確認、低透水性を損なうような欠陥を生じさせず、所定の密度で部材を構築するための施工が可能であることの確認、および施工された緩衝材の品質のばらつきの評価を目的とする。

検討上の課題

- 材料の含水比が可能な限り均一となる含水比調整方法の確認
- 実際の地下環境条件における適切な施工機械・施工方法の選定と密度の達成度の確認
- 施工後の緩衝材の初期性能の評価

確証試験の成果

- **比較的大量な材料の含水比調整の施工実現性を実証**
 - ペレガイヤミキサやアイリッヒミキサ等の高性能のバッチ式ミキサにより所定の品質（目標含水比 $21 \pm 2\%$ ）で含水比調整が実施できることを明らかにした（図2.1-2～3）。
 - 吹付け工法への適用を想定した凍結混合法でも水添加混合法と同等の品質が確保できることを確認した。

表2.1-1 含水比調整機械

ペレガイヤ	パン型強制混合造粒型
アイリッヒ	攪拌付回転容器型

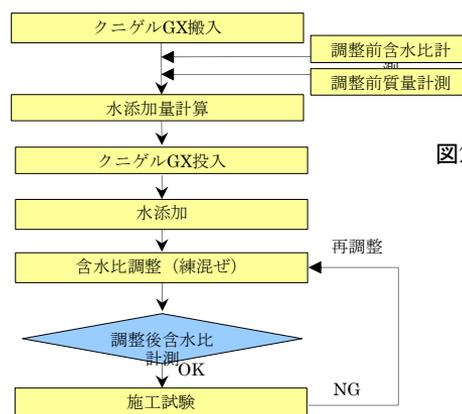


図2.1-1 ベントナイト含水比調整作業フロー

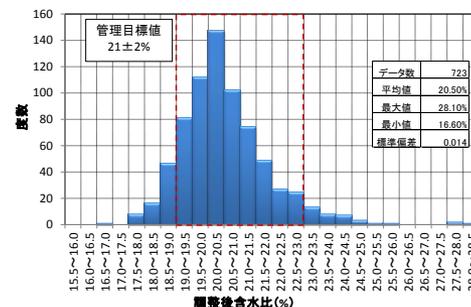


図2.1-2 ペレガイヤによる調整後の含水比分布（全体）

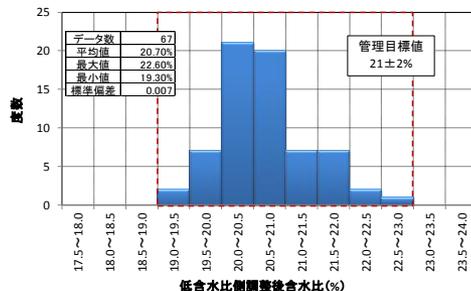


図2.1-3 ペレガイヤによる再調整後の含水比分布（低含水比側（19%未満））

確証試験の成果

● 施工部位ごとの施工機械・施工方法の選定

- 既存の施工方法のうち施工性に優れ、施工の成立性を実証しておく必要のある転圧工法および吹付け工法を選定した。
- 空間的な制約など施工条件を踏まえて底部、側部、上部の各部位に対して適切な施工機械・施工方法を設定した(図2.1-4~7)。

● 転圧工法の施工実現性を提示

- 転圧機械に応じた敷均し厚さと転圧回数を規定し、その敷き均し厚さと転圧回数を満足すれば、目標とする乾燥密度($1.6 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$)で緩衝材を構築可能であることを確認した(例えば図2.1-8)。
- 実規模レベルでの施工による仕上り厚さ、不陸の程度に関する知見を取得した。

● 吹付け工法の施工実現性を提示

- 吹付時の含水比と材料供給量の関係を施工時に管理すれば、目標とする乾燥密度($1.6 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$)を達成することを確認

● 実規模で構築した部材の初期性能の評価

- 転圧工法、吹付け工法のいずれにおいても透水係数は必要な初期性能を満足することを明らかにした。
- 透水係数、膨潤圧、一軸圧縮強度、変形係数と乾燥密度との相関性を確認した。
- 現場採取試料と室内で作成した供試体との間で試験結果に差異が無いことを確認した。



図2.1-4 大型フィニッシャ

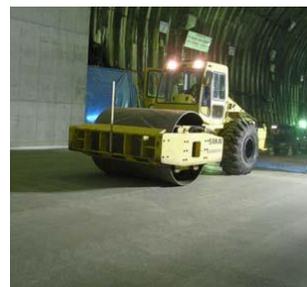


図2.1-5 大型振動ローラ



図2.1-6 小型振動ローラ

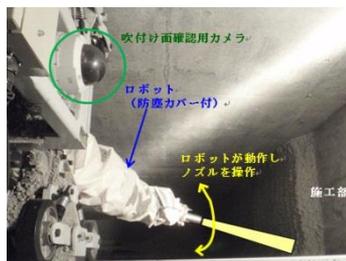


図2.1-7 吹付け工法

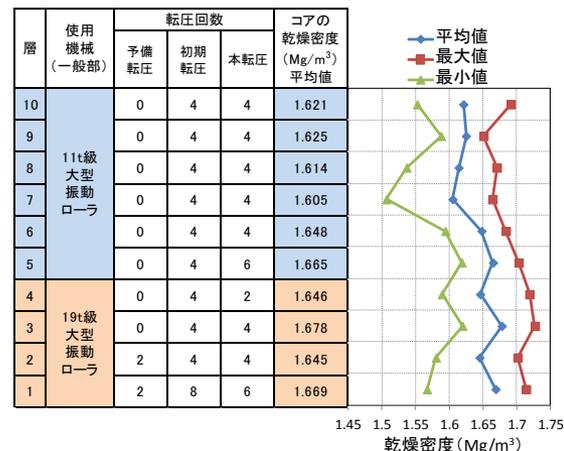


図2.1-8 乾燥密度と転圧回数の関係(底部緩衝材)

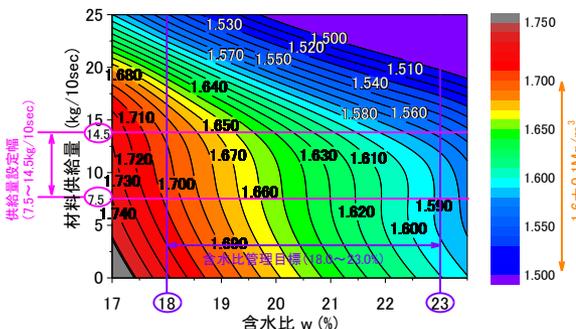


図2.1-9 吹付け工法の材料供給量と含水比による施工管理図

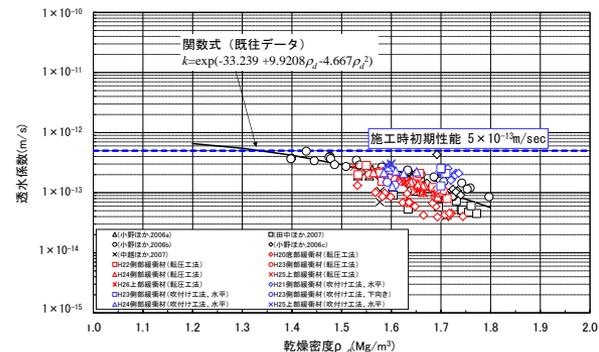
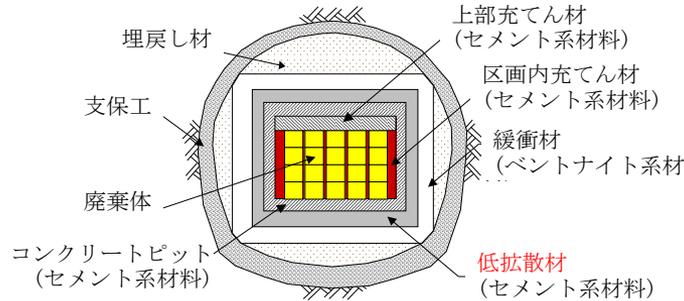


図2.1-10 透水係数と乾燥密度の関係

2.2 低拡散材



基本条件の設定

- **主たる要求機能**
 - 「移行抑制」のうち“放射性核種の拡散による移行を抑制すること(拡散抑制)”を設定
- **材料**
 - 拡散抑制機能に優れ、長期変質に対しても抵抗性を有することが期待できるセメント系材料を選定
- **部材構造**
 - 異物による水みちの発生を防ぐため鉄筋や骨材を廃し、無筋のモルタル構造
- **管理目標値**
 - 拡散係数の管理目標値は $1.0 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ に設定

確証試験の目的

主な要求機能である拡散抑制を確保する材料・配合を選定すること、低拡散性を損なうような欠陥を生じさせず、緻密で均質な部材を構築するための施工方法を確立すること、構築した部材の施工品質の確認を目的とする。

検討上の課題

- 低拡散性、流動性および材料分離抵抗性、ひび割れ制御効果を満足する配合を選定
- 無筋モルタル構築の施工実現性の確認
- 拡散係数に関する初期性能を確認
- 施工後のひび割れデータの取得

確証試験の成果

- **低拡散材の要求機能を確保するための配合を選定**
 - 選定した低熱ポルトランドセメント、フライアッシュ、石灰石微粉末を使用した高流動モルタル配合(表2.2-1)は、低拡散性に優れ、温度ひび割れ発生の可能性を低減し、かつ制約条件の多い地下空間における施工においても充てん性・流動性に優れた材料・配合であることを確認した。
 - 産地が違いプレーン値も異なる石灰石微粉末を使用した場合、若干の配合調整を行うことで施工可能であることを実証した。

表2.2-1 低拡散材の選定配合

LP/B (%)	W/B (%)	W/P (%)	単体量 (kg/m ³)						SP添加率(P×%)
			W	LPC	FA	LEX	LP	S	
60	45	28.1	230	338	153	20	307	1196	0.61
45		31.0					230	1273	0.68

※結合材量:B=LPC+FA+LEX、粉体量:P=B+LP

確証試験の成果

- **実規模施工での充てん性、流動性を評価**
 - ポンプ圧送時の充てん性を評価し、良好な流動性を有すること、および特別な作業を必要とせず、部材の端部まで充てん可能であることを確認した。
- **無筋モルタル構造で一括打込みにより部材を構築**
 - 処分施設におけるバリア材として水みちを残さないために、型枠セパレータを使用せずに施工することが求められるが、実物大の確証試験において出来型精度に大きな影響を与えることなく施工可能な方法を提示した。
- **構築した部材の拡散係数が小さいことを提示**
 - 地下環境下で施工した部材から採取したコア試料を用いた試験の結果、本試験で選定した配合による拡散係数は、既往材料である普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと比較して、2オーダー程度小さい値であり、非常に小さい拡散係数の材料であることを明らかにした。
 - 比較対象として作製した室内作成供試体と施工した部材から採取したコア試料とが同程度の値で管理目標値 ($1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下)を満し、施工の影響は小さいことを示した
 - 空隙率と拡散係数の関係は、既往の知見とほぼ同等であることを示した。
- **拡散抑制機能を損なうひび割れの発生を制御**
 - 実物大の施工検討におけるひび割れ開口面積について検討した結果、低拡散材の主な要求機能である拡散抑制の観点から求められるひび割れ開口面積比率(0.05%)を長期的にも下回ることが推定された。
 - ひび割れを考慮しても低拡散材という部材全体としての低拡散性が高いことを示した。

表2.2-2 拡散試験の試験結果

供試体種類		試験期間/ 最終材齢 (月)	実効拡散係数 De (m ² /s)
底部低拡散材	現場(前)	23 / 26	1.5×10^{-13}
	現場(中)	23 / 26	1.6×10^{-13}
	現場(奥)	23 / 26	1.6×10^{-13}
	室内製作	24 / 27	1.9×10^{-13}
側部低拡散材	現場(上)	24 / 29	1.3×10^{-13}
	現場(中)	24 / 29	1.1×10^{-13}
	現場(下)	24 / 29	1.6×10^{-13}
上部低拡散材	コアA(表面)	21 / 24	1.1×10^{-13}
	コアA(中間層)	21 / 24	1.2×10^{-13}
	コアB(表面)	21 / 24	1.3×10^{-13}

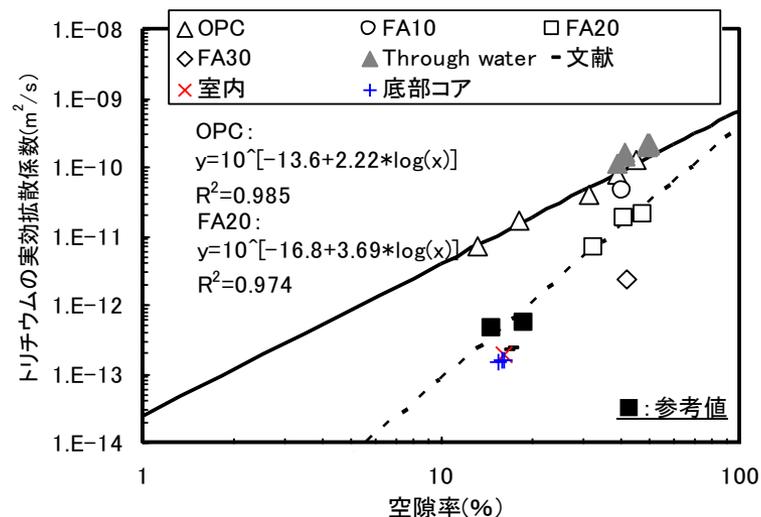
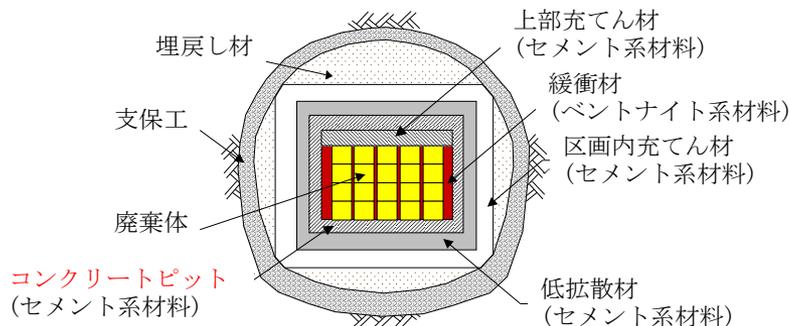


図2.2-1 モルタルの空隙率とトリチウムの実効拡散係数

2.3 コンクリートピット



基本条件の設定

- **主たる要求機能**
 - 空間・力学的安定性を主たる要求機能とし、建設・作業中の安全、作業空間の確保や、自重・外力に対する安定性を確保
- **部材構造**
 - 力学的安定性の確保の観点から鉄筋コンクリート構造を選定
- **管理目標値**
 - 圧縮強度の管理目標値は60N/mm²に設定

確証試験の目的

力学的安定性を満足し、ひび割れの制御効果や密実性が期待できる材料・配合を選定すること、安定性を損なうような欠陥が生じない、均質な部材を構築し、所定の出来型・空間を確保する施工方法を確立すること、構築した部材の施工品質を確認することを目的とする。

検討上の課題

- 所定の圧縮強度を確保でき、材料のばらつきや環境温度の影響を受けにくい、充てん性・流動性に優れた材料・配合を選定
- 部位の特徴を踏まえた打込み方法の確立
- ひび割れ制御のための養生・仕上げ方法の検討
- 出来型確保の確認
- 施工後のコア採取、圧縮強度の評価

確証試験の成果

- **コンクリートピットの要求機能を確認するための材料・配合を選定**
 - 低熱ポルトランドセメント、フライアッシュ、石灰石微粉末を使用した高流動コンクリート配合を選定(表2.3-1)した。
 - 環境温度の変動や石灰石微粉末量に対しては混和剤添加率で調整が可能であることを実証した。
 - 本試験で確立したプロセスは、高品質の部材を構築するための知見として実施に反映できる成果である。

表2.3-1 コンクリートピットの選定配合

LP/B (%)	W/B (%)	W/P (%)	単位量 (kg/m ³)								SP添加率(P×%)
			W	LPC	FA	LEX	LP1	LP2	S	G	
70	45.0	26.4	160	229	107	20	249	—	814	780	0.85
50		30.0					—	178	885	780	0.94

※結合材量:B=LPC+FA+LEX、粉体量:P=B+LP

確証試験の成果

- 底部、側部等の部位の特徴を踏まえた打込み方法を提示
 - ポンプ圧送による実物大の施工試験を通じて、打込み箇所の数と場所の設定が重要であること、また、吐出量の調整による流動勾配の調整(図2.3-1)、補助パイプレータの使用が有効な手段であることを明らかにした。
- ひび割れ抑制に有効な養生・仕上げ方法を提案
 - 打込み中のミスト散布、再振動、表面締固めパイプレータによる表面仕上げによる対策がひび割れの制御に有効であることを確認した。
- 収容性を確保するのに十分な精度で施工可能であることを提示
 - いずれの部位の出来形ともJASS5Nに基づいて設定した目標値内で施工でき、収容性が確保されることを確認した(表2.3-2)。
- 所定の圧縮強度を確保できることを提示
 - 室内試験で採取した標準養生供試体、長距離圧送を伴う施工後に採取したコア供試体、出荷プラントでの標準養生供試体、地下環境での現場水中養生での供試体を用いた試験を行った結果、いずれも設定した圧縮強度を満足することを確認した。
 - 設計基準強度 60N/mm^2 の発現には、比較的長期の材齢が必要であることが確認された。コンクリートピットの設計・施工においては、設計基準強度の管理材齢の設定が重要となることから、本試験では、設計基準強度に達する材齢を積算温度で整理した(表2.3-3)。

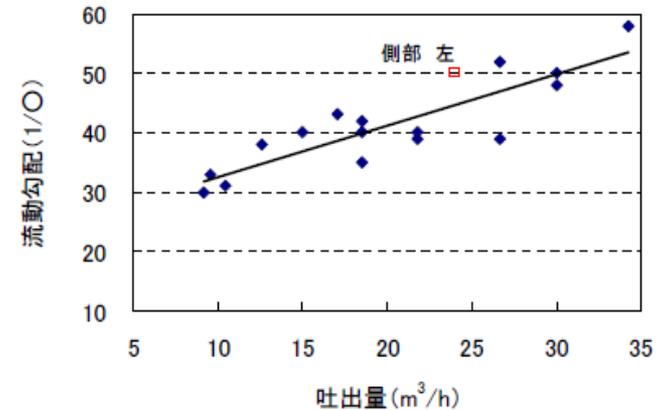


図2.3-1 吐出量と流動勾配の関係

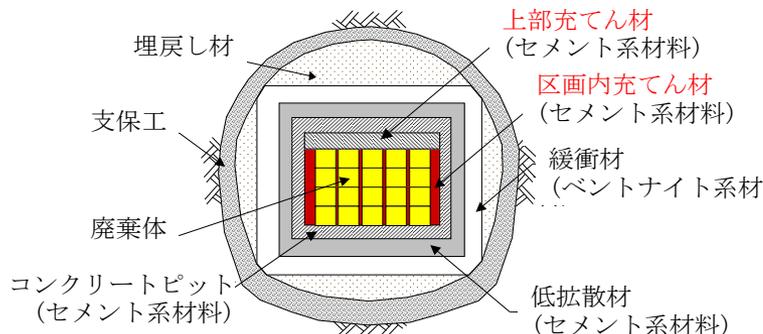
表2.3-2 出来形管理の計測値(底部、側部、上部)

出来形	規格値	計測値の範囲
延長(空洞長軸方向)	設計値 $\pm 20\text{mm}$	-8~+3
基準高	設計値 $\pm 30\text{mm}$	-5~+8
部材厚さ	-5mm以上 15mm以下	+3~+10
鉛直度(部材下端での水平方向のずれ)	設計値 $\pm 20\text{mm}$	-2~+5

表2.3-3 設計基準強度に達する積算温度および材齢

	底部	奥部	側部	手前部
打設日	2008/11/24	2008/12/18	2009/2/4	2009/8/6
積算温度(°C・日)	2,137	1,732	1,802	1,930
材齢(日)	111	92	89	70

2.4 充てん材



基本条件の設定

● 主たる要求機能

- 廃棄体を線源とする放射線に対する遮へいと、放射性核種の収着（核種収着性）を主たる要求機能とし、放射線量を合理的な範囲で極力低くして核種移行の遅延を図る
- **材料・配合**
- 区画内充てん材は廃棄体間（一部上部）の狭隘な空間を確実に充てんできるよう高流動モルタルを基本とした配合を選定。
- 上部充てん材にはより高い遮へい性能が求められることから粗骨材を使用し乾燥単位容積質量を大きくした高流動コンクリートを選定

確証試験の目的

充てん材では、放射線環境下での作業で遠隔操作による無人化施工が前提となり、充てん性や流動性が施工上特に重要となる。充てん材試験は、遮へい性を満足し、施工時の充てん性や流動性が期待できる材料・配合を選定し、実規模の施工試験を行うことにより、適用した施工方法の妥当性や出来形および初期性能を確認することを目的とする。

検討上の課題

- 遮へい性、充てん性および流動性に優れた材料・配合の選定
- 無人化施工による打込み方法の確立
- 長距離ポンプ圧送性の確認
- 上部充てん材の仕上がり精度の確認
- 単位容積質量の確認

確証試験の成果

● 充てん材の要求機能を確保するための材料・配合を選定

- 区画内充てん材では低拡散材の配合を、上部充てん材ではコンクリートピットの配合を基本として配合検討を実施し、所定の充てん性・流動性が確保される材料配合を見出した。
- 廃棄体熱がフレッシュ性状に与える影響が懸念されたが、熱環境を変化させた室内試験を通じて、混和剤に高性能AE減水剤と遅延型の減水剤を使用することで、熱影響による経時変化の少ない配合とすることが可能であることを実証した。

表2.4-1 区画内充てん材の選定配合

W/B (%)	W/P (%)	LP/B (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)					Ad P×%	SP P×%
				W	LPC	FA	LP	S		
45	28.1	60	2.5	230	358	153	307	119 8	0.30	0.85

※結合材量:B=LPC+FA+LEX、粉体量:P=B+LP

表2.4-2 上部充てん材の選定配合

W/B (%)	LP/B (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)							Ad P×%	SP P×%
			W	LPC	FA	LEX	LP	S	G		
45	60	2.5	160	249	107	20	215	849	780	0.20	0.85

※結合材量:B=LPC+FA+LEX、粉体量:P=B+LP、Air:空気量

確証試験の成果

● 無人化施工に向けての打込み方式の提案

- 放射線管理下での無人化施工を前提とした充てん材の打込み方法として長距離ポンプ圧送と移動式バケット方式(図2.4-1)の2種類を対象として地上ヤード及び地下環境における実物大の試験を実施した。
- それぞれの打込み方式における施工速度や充てん材の品質変動についてのデータ(例えば図2.4-3)を収集し、施工の可能性を確認したうえで、品質管理上の留意点を見出した。

● 長距離ポンプ圧送性の適用性を確認

- 水平換算距離300m程度は圧送可能だが、材料分離や単位容積質量の減少に注意が必要であることが判明した。

● 上部充てん材の仕上り精度の確認

- バケットより排出した充てん材に材料分離は見られず、良好な流動性が得られた。表面均し装置の適用により、管理目標値とした高低差40mm以内を達成した(図2.4-4)。

- コンクリートのバケット運搬と打込み、表面均し装置(図2.4-5)の採用が効果的であることが分かった。

● 区画内充てん材の間隙の評価

- 打込み後、充てん材の水分が他部材へ吸収されることで界面に間隙が発生する可能性が高く、注意が必要であることを明らかにした。間隙の発生が許される程度により、吸水を抑制する散水方法を検討する必要がある。

● 単位容積質量の評価

- 充てん材の要求機能である遮へい性については、地下環境における実物大の試験を通じて、材料の乾燥を考慮してもJASS5Nに示される単位容積質量を確保できることが確認できた。



図2.4-1 移動式バケット方式



図2.4-2 模擬廃棄体

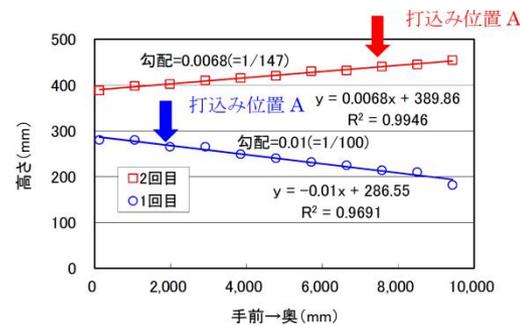


図2.4-3 区画内充てん材 打込み毎の排出位置と勾配

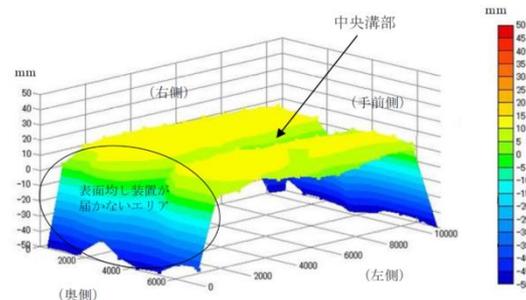
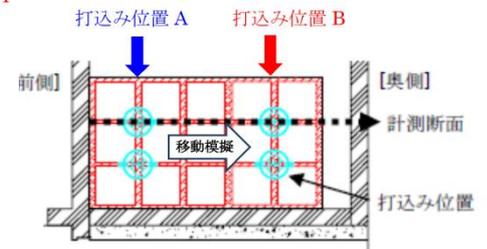
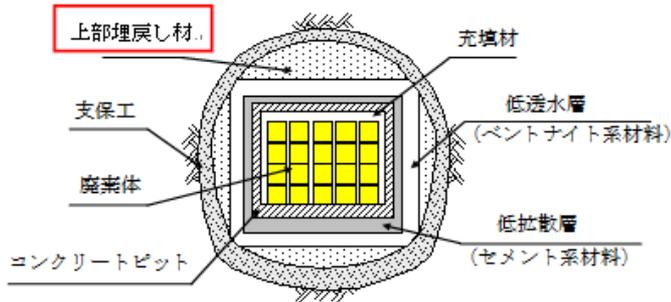


図2.4-4 上部充てん材 仕上がり面の高さ分布図



図2.4-5 表面敷均し装置

2.5 埋戻し材(上部埋戻し材)



基本条件の設定

- **主たる要求機能**
 - 上部埋戻し材の主たる要求機能は「移行抑制」を設定した。本確認試験では、「移行抑制」として、“連続した地下水移行経路を形成しないこと”、“周辺岩盤よりも低い透水性を有すること”、“隙間無く充てんされること”を考慮する。
- **材料**
 - 土質系材料であるベントナイト混合土(砂・ベントナイト)を選定した。
- **管理目標値**
 - 透水係数の管理目標値は $1 \times 10^{-8} \text{m/s}$ に設定(原地盤より小さい値)

確認試験の目的

主たる要求機能である移行抑制に係わり、所定の透水特性を発揮し得る材料を選定して、地下空洞と人工バリアとの隙間を充てん可能で、均質な部材を構築するための施工方法を選定し、十分な品質を確保できるかを確認することを目的とする。

検討上の課題

- 所定の透水係数を満たす材料の選定と配合の検討
- 管理目標値の設定
- 練り混ぜ方法の施工性、製造後の品質確認
- 狭隘な施工区間で適用可能な施工方法の選定と施工性の確認
- 施工後の品質確認

確認試験の成果

- **埋戻し材の要求機能を確保するための材料・配合を選定**
 - 室内試験による透水係数を確認し、ベントナイト混合土の混合率は、ベントナイト15%、砂85%とした(表2.5-1)。
- **施工時の管理目標値を設定**
 - 目標とする透水係数をもとに含水比と乾燥密度の仕様を検討し、施工時の管理目標値を設定した。
 - 含水比: 13.5~15.5% ($\omega_{opt} \sim \omega_{opt} + 2\%$)
 - 乾燥密度: 1.63Mg/m^3 以上(締固め規定値90%以上)

表2.5-1 埋戻し材の材料と配合

分類	項目	概要
材料	ベントナイト	粉末状Na型ベントナイト (クニゲルV1)
	砂	三沢産コンクリート用細骨材
配合 (乾燥質量比)	ベントナイト	15%
	砂	85%

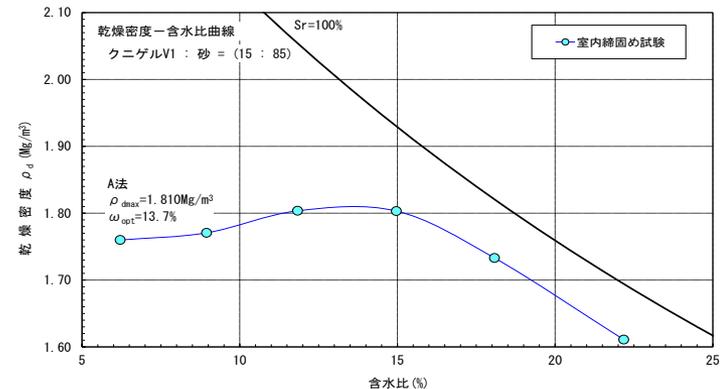


図2.5-1 締固め曲線(クニゲルV1:砂=15:85)

確証試験の成果

● 混合土製造と施工方法の知見を提示

- ベントナイト混合土の製造は、現状で選択し得る方法で実施した(図2.5-2~3)。
- ベントナイト混合土の製造においては、含水比やベントナイトの混合率のばらつきの程度を把握した。また、施工後の上部埋戻し材の乾燥密度やベントナイトの混合率のばらつきの程度を把握できた。

● 狭隘部への適用性を踏まえた施工方法の組合せを提示

- 既往の検討より、転圧工法と吹付け工法を組み合わせる方法抽出した(図2.5-4~5)。
- 転圧工法と吹付け工法の組み合わせによって、狭隘でかつ隅角部を有する上部埋戻し材の構築が可能であることを明らかにした。

● 転圧工法による施工管理手法の整備

- 転圧工法においては、事前に敷均し厚さと転圧回数との関係性を把握し、施工時の管理目標である乾燥密度に到達する転圧回数を設定した(図2.5-6~7)。
- 試験空洞内での施工では、この敷き均し厚さ、転圧回数で施工し、所定の敷均し厚さ、転圧回数で施工しているかを管理する施工管理手法で実施した。
- その結果、管理目標値を満足する(含水比と乾燥密度の目標の達成)ことを確認できた。

● 吹付け工法の施工の成立性を確認

- 室内締め固め試験A法に対する締め固め度が90%以上を概ね達成し、平均で94%を満足することが分かった。施工時の材料のリバウンド率は、12~13%程度であった。

● 施工後の埋戻し材の透水係数を評価

- 施工後の上部埋戻し材から採取した試料を用いて、透水試験等の室内試験を実施し、初期的な性能の確認を行った。
- 透水係数は 1.0×10^{-11} m/s程度であり、試験空洞周辺岩盤の透水係数の最低値である 7.8×10^{-8} m/sよりも3桁程度小さい。



図2.5-2 自走式土質改良機SR-2000G



図2.5-3 連続式二軸強制ミキサ(Geo-Tom)



図2.5-4 転圧工法による施工状況



図2.5-5 吹付け工法による施工状況

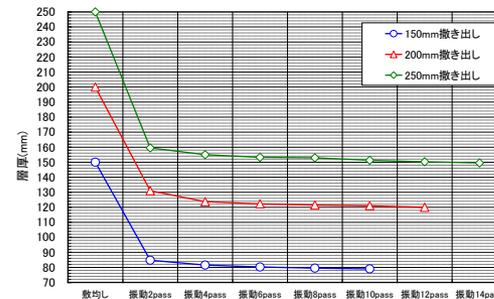


図2.5-6 各敷均し厚さでの転圧段階と層厚の関係

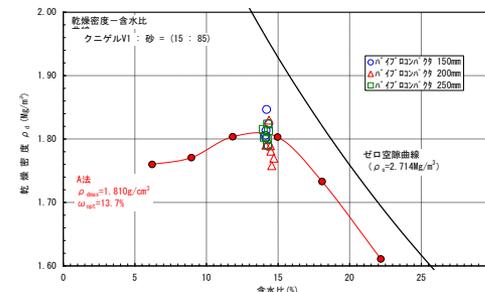


図2.5-7 各敷均し厚さでの仕上がり密度

2.6 挙動計測・地震影響

【挙動計測】

目的

試験施設の施工時および施工後における、施設の力学挙動と周辺岩盤への影響を把握し、施設の健全性を評価するために、平成19年度～26年度にわたり、施設に温度計やひずみ計等の計測器(631台)を設置し、挙動計測を行った(図2.6-1～図2.6-5)。周辺岩盤には、間隙水圧計および岩盤変位計(37台)を設置して、施設構築に伴う挙動を計測した。

また、コンクリートピットや低拡散材等のセメント系部材の初期性能(施設の建設完了時点の性能)を評価するために、打込み時に得られた計測結果を用いて、表2.6-1に示す各種データを取得した。

成果

取得された挙動計測結果より、試験施設構築が施設および周辺岩盤に与える影響は、それらの健全性を損なうものではなく、現時点で施設および周辺岩盤の健全性は確保されていると評価された。

表2.6-1 初期性能に関する取得データ

取得データ	初期性能関連項目	計測項目
打込み時温度上昇量	温度特性	温度
弱材齢時のコンクリート剛性	コンクリートの剛性	応力、ひずみ
線膨張係数	線膨張係数	温度、ひずみ
自己収縮ひずみ・膨張ひずみ	自己収縮ひずみ・膨張ひずみ	温度、ひずみ
ひび割れ指数	ひび割れ特性	有効応力

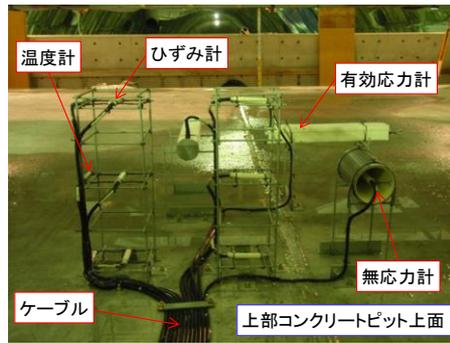


図2.6-1 上部低拡散材の計測器 (平成24年度)

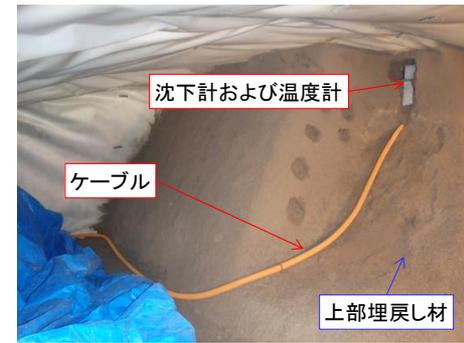


図2.6-2 上部埋戻し材の計測器 (平成26年度)

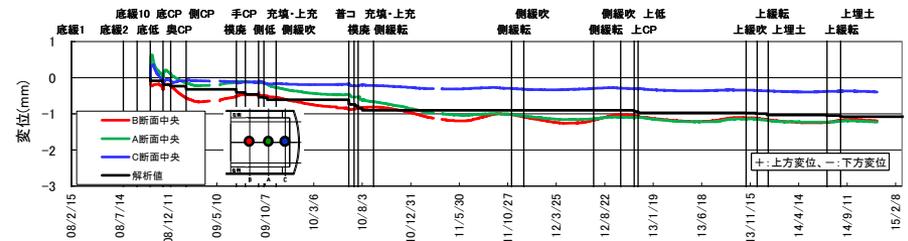


図2.6-3 底部緩衝材の沈下量計測結果

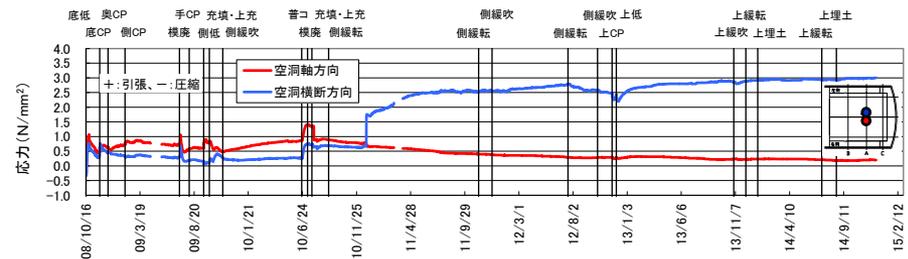


図2.6-4 底部低拡散材の応力計測結果

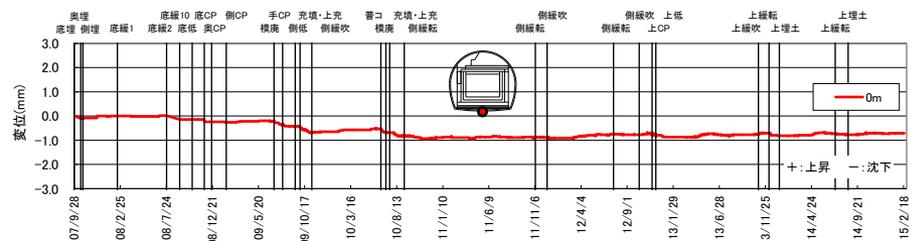


図2.6-5 岩盤変位計測結果

2.6 挙動計測・地震影響

【地震影響】

目的

巨大地震が建設・操業段階の地下空洞型処分施設に与える影響を把握するために、仮想的に設定した巨大地震動を用いて2次元有限要素法(FEM)による地震応答解析を実施した(図2.6-6～図2.6-7)。

また、地下空洞型処分施設の地震時の振動特性を把握することを目的として、試験施設の3箇所に地震計を設置して地震動観測を行い(図2.6-10)、観測データを用いた2次元有限要素法(FEM)による地震応答解析を実施した。

成果

巨大地震動を用いた地震応答解析により、コンクリートピットおよび低拡散材は、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。また緩衝材は、一部で塑性化する領域が発生するものの(図2.6-8)、体積ひずみ増分(図2.6-9)から換算される透水係数の増分は小さく(最大0.131%)、巨大地震が緩衝材の透水性に与える影響は小さいことがわかった。

地震動観測では、平成25年10月～平成26年12月の期間で計16波を取得した。観測データを用いた地震応答解析を行い、解析結果と観測データの比較・分析より、試験施設の地震時の振動特性を把握した(図2.6-11)。

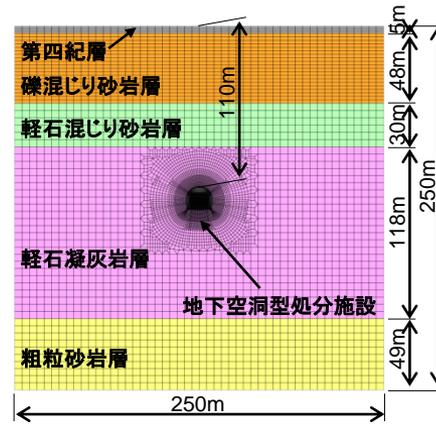


図2.6-6 地震応答解析モデル(全体)

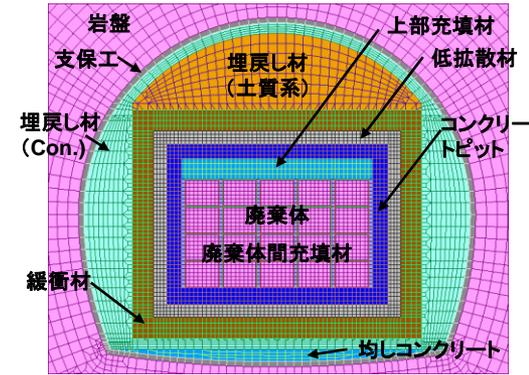


図2.6-7 地震応答解析モデル(施設周辺)

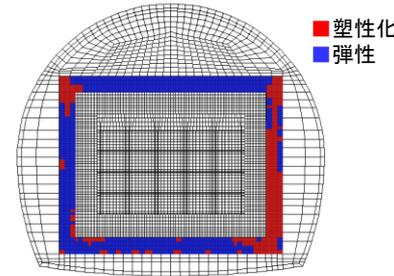


図2.6-8 緩衝材の塑性化状況(解析終了時)

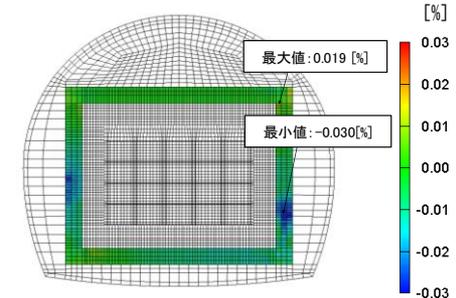


図2.6-9 緩衝材の体積ひずみ増分(解析終了時)

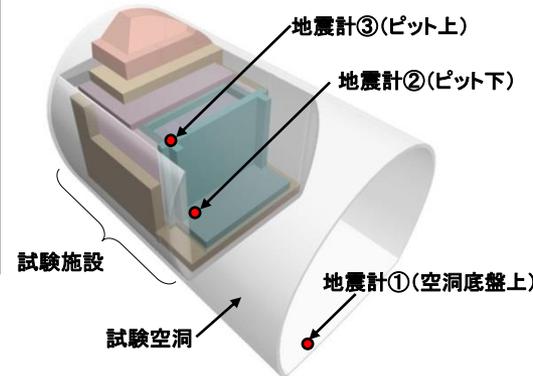


図2.6-10 地震計の配置

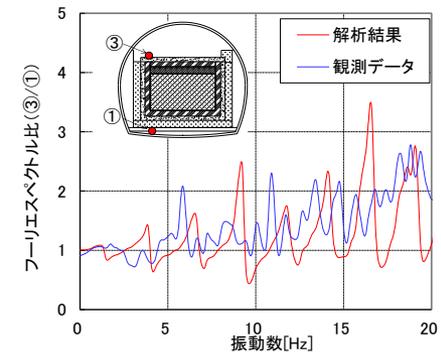


図2.6-11 フーリエスペクトル比の比較

第2章のまとめ

1. 処分施設施工確認試験

実際の地下環境下において余裕深度処分で想定されている実規模大の施設の模擬施設を構築し、施設(緩衝材、コンクリートピット、低拡散材、充てん材、埋戻し材)の建設に係わる施工技術、品質管理方法の実施設での適用性を確認し、施工技術・工法を確立した。

2. 初期性能確認試験

実規模、実環境下において施工された施設が、各部材に要求される初期性能を満足することを確認した。

3. 施設/岩盤挙動計測

取得された挙動計測結果より、試験施設構築が施設および周辺岩盤に与える影響は、それらの健全性を損なうものではなく、現時点で施設および周辺岩盤の健全性は確保されていることを確認した。

その他

巨大地震動がコンクリートピットおよび低拡散材の力学安定性に与える影響は小さく、緩衝材においては、一部で塑性化する領域が発生するものの透水性に与える影響は小さいことがわかった。

施設の地震動観測を行い、平成25年10月～平成26年12月の期間で計16波を取得した。観測データを用いた地震応答解析を行い、解析結果と観測データの比較・分析により、試験施設の地震時の振動特性を把握した。

第3章 まとめ

本確認試験の成果

- 地下空洞型の余裕深度処分施設の建設・操業・埋戻し時における試験施設の各部材の**施工技術・施工方法の確立**および構築した人工バリア等の構築後の部材の**性能確認**。
- 既往の検討で実施されてきた室内試験結果と施工後の試料を用いた品質確認試験との比較により、室内試験結果も設計・施工に反映することができることを確認。

成果の反映

低レベルの発電所廃棄物の余裕深度処分

低レベルのTRU廃棄物の余裕深度処分

地下空洞型処分施設の性能確認に係わる課題

建設・操業・閉鎖時	①既に施工確認試験で構築した低拡散材のひび割れの経時的な調査とその評価および拡散試験による拡散係数のデータ拡充・低拡散材の性能評価。試験施設の挙動(沈下等含む)確認・評価。
	②地震が地下空洞施設に与える影響に関して、地下における地震波観測、試験施設における地震時の挙動測定と挙動分析に基づく解析結果の検証。

上記性能確認試験終了後の人工バリアの長期性能の確認に係わる課題

閉鎖後	人工バリア等の各部材の長期変質確認、長期性能の解析・評価、処分施設の再冠水の影響評価、ガス発生の影響評価および長期モニタリング手法関係等が挙げられるが、高レベル放射性廃棄物地層処分等でも関係する研究開発が実施されているものもあることから、それらの成果を見ながら検討・評価していくことが有効である。
-----	--