

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2016.3.NO.117

目 次

センターの活動状況	①
余裕深度処分施設の施工技術の確証―地下環境下、実規模大の地下空洞型処分施設の構築を例に―	③

センターの活動状況

I 運営状況

第18回理事会の開催

平成28年3月2日開催の第18回理事会において、平成28年度事業計画及び収支予算等について付議し、それぞれ原案のとおり承認されました。

第13回評議員会の開催

平成28年3月11日開催の第13回評議員会において、平成28年度事業計画及び収支予算、監事の選任等について付議し、それぞれ原案のとおり承認されました。今回の選任により、次の方が交代されました。

(敬称略)

区 分	退 任 者	新 任 者	新任者所属・役職
監事	濱田 康男	村松 衛	日本原子力発電株式会社 取締役社長

Ⅱ 成果等普及活動の実施状況

平成27年度 第3回原環センター講演会の開催

平成27年度第3回原環センター講演会を以下のとおり開催しました。

開催日時：平成28年2月26日（金）15:30～17:00

会 場：公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター 第1、2会議室

演 題：福島第一原子力発電所事故廃棄物の処理・処分技術開発の概要

講 演 者：国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
福島研究開発部門 廃炉国際共同研究センター
研究推進室室長代理
技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
開発計画部 副部長
宮本 泰明 氏



東京電力㈱福島第一原子力発電所の廃炉に向けた廃棄物対策に関わる今後の対応が、2015年4月に技術戦略プラン2015として原子力損害賠償・廃炉等支援機構から発行された。また、2015年6月に中長期ロードマップが改訂され、その中で2017年度に設定されている廃棄物の処理・処分に關する基本的な考え方を取りまとめることが示されています。これらの方針を踏まえ、実施されている、廃棄物のインベントリ評価などによる性状把握、処理・処分まで安定に管理するための長期保管方策の検討、処理・廃棄体化技術に関する調査や基礎試験、既存の処分概念や安全評価手法の特性の調査・整理など、福島第一原発事故廃棄物の安全な処理・処分技術の開発の状況について概説していただきました。

平成27年度 第4回原環センター講演会の開催

平成27年度第4回原環センター講演会を以下のとおり開催しました。

開催日時：平成28年3月30日（水）15:00～16:30

会 場：日本交通協会 大会議室

演 題：地層処分の記録と記憶

講 演 者：技術情報調査プロジェクト
プロジェクト・リーダー
江藤 次郎



放射性廃棄物の地層処分は、人間による制度的な管理に頼ることなく長期間にわたり廃棄物を人間の生活環境から安全に隔離する処分概念である。一方で、将来世代の意思決定への手助けや、意図しない人間侵入の回避などのため、放射性廃棄物の地層処分に關しても、その記録や記憶を保存するための取り組みが国際機関や諸外国等において進められている。本講演では、これまでの原環センターにおける記録保存に関する取り組みやOECD/NEAにおいて行われている検討を中心として紹介しました。

余裕深度処分施設の施工技術の確証 —地下環境下、実規模大の地下空洞型処分施設の構築を例に—

基準規格・L1プロジェクト 秋山 吉弘

1. はじめに

地下50m以深の大断面の地下空洞の中に構築する地下空洞型処分施設は、低レベルの発電所廃棄物等の余裕深度処分の処分施設として、具体的な検討が行われている(図-1)。これまで、小規模試験等において、人工バリアごとに必要とされる性能が得られることは確認されているが、今後の地下空洞型処分施設の設計・建設に当たっては、現実に即した試験条件下で実施する確証的な試験が必要とされている。特に、処分施設の施工技術を確立し、その施工技術によって構築された施設の性能が、施設に要求される性能を満たしているかどうか、実際の地下環境において確認しておくことが重要である。現在、具体化が検討されている発電所廃棄物等の余裕深度処分においては、人工バリアの建設時における初期性能として、浅地中処分と比較してより高い核種移行抑制機能が必要とされている。

この要求性能を満たす実規模の処分施設の建設が、現実の処分環境で可能かどうか、経済性も考慮した実用化された技術によって施工できるかどうかは、発電所廃棄物等の余裕深度処分施設の建設が計画されている現状において、極めて重要な課題である。発電所廃棄物等の余裕深度処分においては、施設を構成する人工バリアに核種閉じ込め性能を期待しており、同時にそれら人工バリアは、緩衝材やコンクリートピット等、施設の主要構造体も構成している。このため、処分施設全体に対する要求性能は、これまで研究・検討されてきた核種の閉じ込め性能の研究成果を主とする処分技術と既存の土木技術等との融合が必要とされている。

本センターでは、平成17年度から平成26年度まで、原子力発電所廃棄物等の低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る共通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、施設の建設に係る施工技術、施設の核種閉じ込めや施設構造体としての初期性能等の評価・検討、人工バリアの施工方法や性能を確認する実規模大の性能確証試験等を実施してきた。

本報告では、性能確証試験で実施した内容を紹介するとともに、実施施設への適用性の観点から考察する。

今回実施した確証試験は、大断面の地下空洞において具体的な処分施設を模擬した実規模の施工に関

わる我が国初の試験となった。

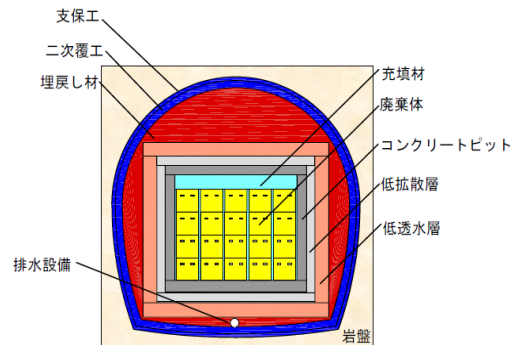


図-1 地下空洞型処分施設の概念の例^[1]

2. 地下空洞型処分施設の確証試験の概要

2.1 試験項目

試験項目として、次の3つの項目を設定した。

- ・処分施設施工確認試験：実規模・実環境下での模擬処分施設の構築を通じて施工手順、施工技術などを確認する。
- ・初期性能確認試験：構築した模擬処分施設の品質を確認する。
- ・施設/岩盤挙動計測：構築した施設や周辺岩盤の力学・水理挙動を計測・評価する。

2.2 処分対象廃棄物

余裕深度処分の対象となる廃棄物は、炉内構造物や制御棒等である。(図-2)

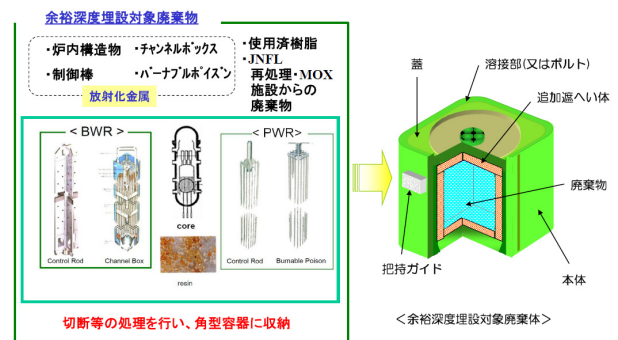


図-2 余裕深度埋設対象廃棄物^[2]

2.3 人工バリアの主な仕様と目標性能

表-1には本試験で設定した試験施設の主な仕様、目標性能を示す。

本試験における初期性能は、試験施設の建設完了時点の性能と定義することとし、この性能は安全評価において要求される施設の長期的な性能の劣化や不確実性を見込んだ安全裕度等を考慮して設定した。本試験は、各人工バリアの施工性と施工に伴う初期性能が満足するかどうか確認することを主目的として実施した。図-3に人工バリア性能の経時変化の模式図を示す。

表-1 試験施設の主な仕様等

主な部位		主な仕様、目標性能
緩衝材		材料：ベントナイト(クニゲルGX) 厚さ：1m 透水係数： 5×10^{-13} m/s
低拡散材		材料：高流動モルタル 厚さ：0.6m トリチウムの実効拡散係数： 1×10^{-12} m ² /s
コンクリートピット		材料：鉄筋コンクリート 幅：10.35m、高さ：7.64m、奥行：12.10m 厚さ：底部0.8m、側・奥・上部0.7m
充填材・上部充填材		材料：高流動モルタル、 高流動コンクリート
埋戻し材	側部・底部、奥部	材料：鉄筋コンクリート
	上部	材料：土質系材料 (砂85%、ベントナイト15%)

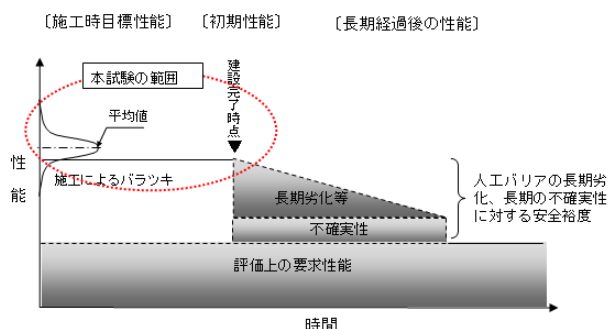


図-3 人工バリア性能の経時変化の模式図

2.4 人工バリア部材、使用材料、施工方法、具体的な試験施設のイメージ

表-2に本試験で施工した部材と材料、施工方法について示す。図-4に試験施設のイメージ図を、図-5に施工試験により構築された試験施設の現状を示す。

表-2 部材・使用材料、施工方法

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%)
	側部・上部	ベントナイト(クニゲルGX100%)
低拡散材	底部・側部・上部	LPC+FA30%、W/B=45% 高流動モルタル
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
充てん材	区画内	LPC+FA30%、W/B=45% 高流動モルタル
	上部	LPC+FA30%、W/B=45% 高流動コンクリート
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)
	上部	ベントナイト混合土 (ベントナイト15%、砂85%)

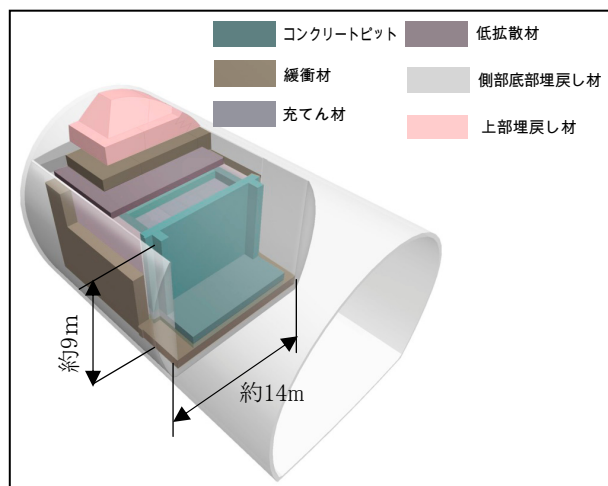


図-4 具体的な試験施設のイメージ



図-5 試験施設の状況（平成27年3月）

3. 施工技術の確証

人工バリアの施工確認試験は、表-2に示す部材・部位で複数の施工方法を適用し、その施工性や品質管理に関する多くのデータを取得し、評価している。ここでは、人工バリアのうち主に緩衝材と低拡散材の検討内容および結果の概要について紹介する。

3.1 緩衝材施工確認

使用材料は、ベントナイト（クニゲルGX（粒径10mm以下の原鉱石）100%）を使用した（図-6）。

緩衝材の施工は、底部緩衝材は、大型振動ローラ等を使用した現場で締固める施工（転圧工法）により、厚さ1m（10層（0.1m/層））の緩衝材を施工した。側部緩衝材は、小型振動ローラ等を使用した転圧工法により狭隘空間（幅1m、高さ9m、90層）の緩衝材を施工した。また、特殊なノズルと吹付け機を使用した現場で吹付ける施工（吹付け工法）により狭隘空間（幅1m、高さ9m、0.15m/層）の緩衝材を施工した。上部緩衝材は、大型振動ローラが使用できない

ため、小型振動ローラ等を使用した転圧工法により厚さ1m（20層（0.05m/層））の緩衝材を施工した。施工試験は、平均乾燥密度を $1.6\text{Mg}/\text{m}^3$ とし、施工手順や品質、出来型等について確認を行った。また、施工が完了した時点で、現地採取コアの透水係数を把握するため初期性能試験を実施した。

施工試験の結果、転圧工法および吹付け工法とも所定の乾燥密度を達成し、各部材が構築できることを確認した。また、初期性能確認試験の結果、緩衝材の透水係数が目標性能を満足していることを確認した。

図-6に使用したベントナイト材料を示す。図-7に底部緩衝材の大型振動ローラによる施工状況、図-8に側部緩衝材の小型振動ローラによる施工状況を示す。また、図-9に側部緩衝材の施工に用いた吹付け機他装置、図-10、-11に側部緩衝材の吹付け機による施工状況を示す。図-12に底部緩衝材の3分割コアの乾燥密度の分布図を、図-13に緩衝材の透水試験結果を示す。



図-6 使用したベントナイト材料



図-7 大型振動ローラによる施工（底部）



図-8 小型振動ローラによる施工状況（側部）

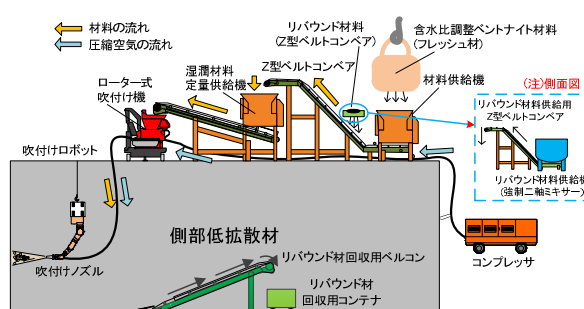


図-9 吹付け機他装置

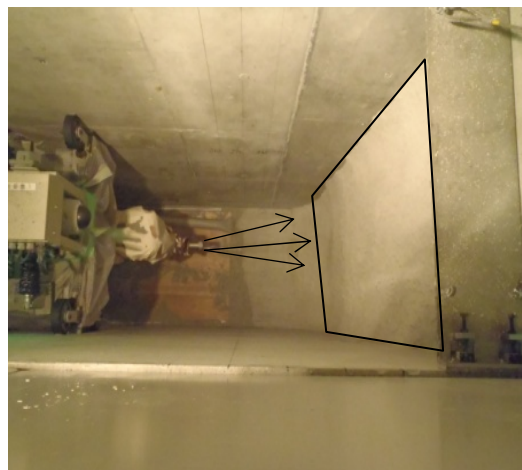


図-10 吹付け機による施工状況（側部）

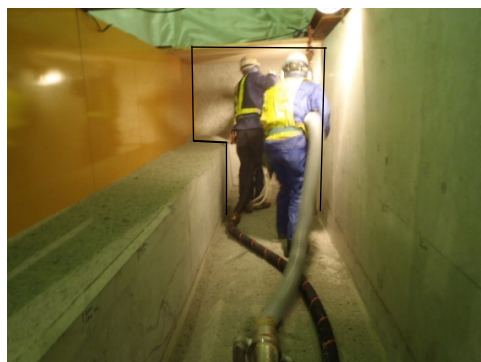


図-11 吹付け機による施工状況（隅角部）

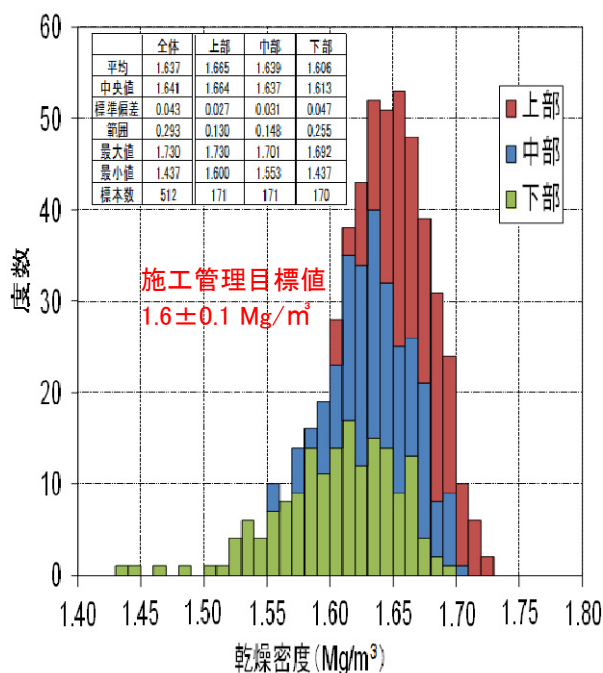


図-12 3分割コアの乾燥密度の分布(底部)

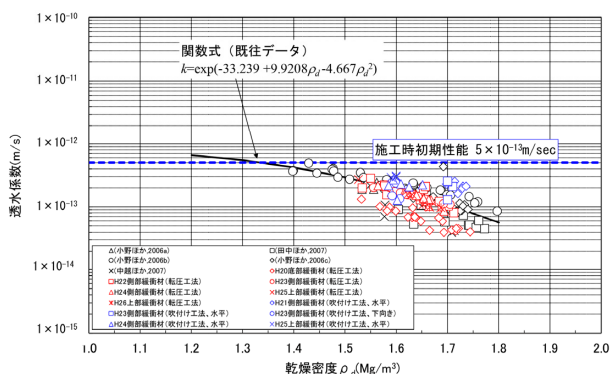


図-13 緩衝材の透水試験結果

以上のことから、各工法の適用性が把握でき、その結果、大型振動ローラ、小型振動ローラ等および吹付け機械による各部位における施工性、品質（乾燥密度や層厚さ等の出来高等）、初期性能（透水係数等）が確認されたことから、採用した施工技術・施工方法が現実の施設の施工においても使用できることを確認した。今回採用した各工法により目標性能を満たす緩衝材の構築が可能であり、施工技術・施工方法が確立できた。また、実施工の施工時の留意点についても把握した。

3.2 低拡散材施工確認

3.2.1 底部・側部・上部低拡散材

使用材料は、高流動モルタル（低熱ポルトランドセメントにフライアッシュを混入したモルタル）を使用した。材料配合は、平成20年度に実施した底部低拡散材施工確認試験に使用された材料配合を基に

し、部材ごとに修正した配合とした。施工方法については、底部・側部・上部低拡散材ともポンプ圧送による打込み工法（ポンプ圧送工法）を適用した。流動性確認、打設位置、補助工法としてのバイブレータの使用の有無の影響などのデータを取得し、採用した施工方法の実施設への使用の可否を試験で検証した。また、拡散係数等を確認するため、初期性能確認試験を実施した。図-14に底部低拡散材の打込み状況、図-15に側部低拡散材の打込み状況、図-16に上部低拡散材の打込み状況を示す。また、表-3に低拡散材の使用材料、配合、打ち込み箇所を示す。

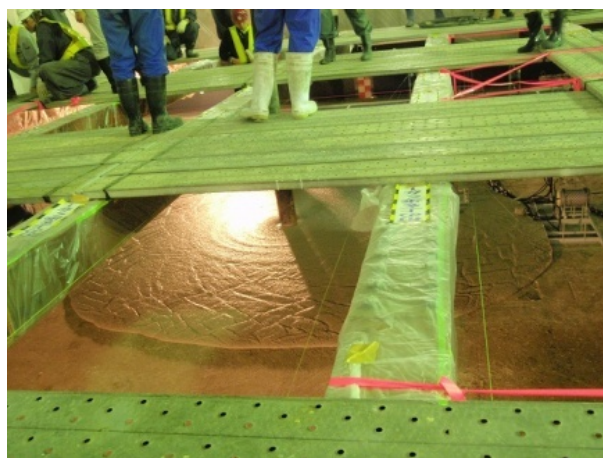


図-14 低拡散材（底部）の打込み状況



図-15 低拡散材（側部）の打込み状況



図-16 低拡散材（上部）の打込み状況

表-3 低拡散の使用材料、配合、打ち込み箇所

低拡散材の使用材料									
材料	記号	概要							
セメント	LPC	低熱ポルトランドセメント、 密度=3.22g/cm ³ 、比表面積=3,640cm ² /g							
混和材	FA	フライアッシュⅡ種、密度=2.18g/cm ³ 、 比表面積=3,820cm ² /g							
	LEX	改良型石灰系膨張材、密度=3.05g/cm ³							
	LP1	石灰石微粉末、秩父産、密度=2.70g/cm ³ 、 比表面積=5,390cm ² /g							
	LP2	石灰石微粉末、宮城産、密度=2.71g/cm ³ 、 比表面積=5,510cm ² /g							
細骨材	S	石灰石砕砂（八戸松館産）、密度=2.66g/cm ³ 、 FM=2.75							
混和剤	SP	高性能AE減水剤： カルボキシル基含有ポリエーテル系化合物							
	AS	空気量調整剤： ポリアルキレングリコール誘導体							

低拡散材の配合

LP/B (%)	W/B (%)	W/P (%)	単位量 (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

各配合の打ち込み箇所

部材 (低拡散材)	配合	
	LP/B=60%	LP/B=45%
底部	○ (LP1)	—
側部	左側	—
	右側	○ (LP2)
上部	—	○ (LP2)

施工試験の結果、流動性については、側部低拡散材では、今回使用した材料配合であれば、筒先1箇所固定（中央部）の打設方法でも、補助工法のバイブレータを使用しなくてもモルタルは流動し、良好な施工ができることが確認した。なお、底部・上部低拡散材では、バイブレータの使用と筒先を移動させた打込みにより施工ができることを確認した。硬化後の側部低拡散材のひび割れについては、打設後1

ヶ月頃から0.15mm以下の微細なひび割れが表面で見られた。このひび割れの原因は、温度と乾燥による収縮であった。調査は、5年間継続して行われ、低拡散材のひび割れがどの程度のものを示唆する貴重なデータが試験で得られた。また、側部低拡散材と側部コンクリートピットの層間にひび割れは発生しておらず、層間に設置した伸縮計の計測データに変化は無く、付着は確保されている。側部低拡散材打設時の側部コンクリートピットの変形は、数mm程度であり、ピットの内空寸法等の出来形に大きな影響を与えないことが分かった。また、初期性能確認試験の結果、拡散係数が目標性能を満足していることを確認した。

表-4に低拡散材の拡散係数試験結果、図-17にモルタルの空隙率とトリチウムの実効拡散係数を示す。

表-4 低拡散の拡散係数試験結果

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

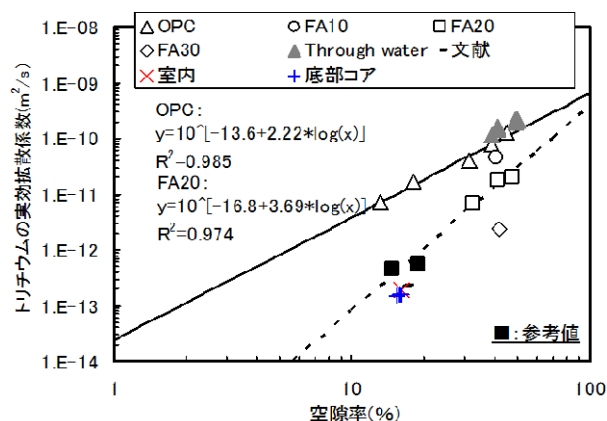


図-17 モルタルの空隙率とトリチウムの実効拡散係数 ([3]に追記)

以上のことから、今回採用した施工方法の適用性が把握でき、その結果、良好な施工性（モルタルの流動性、狭隘部の作業等）、品質（フレッシュなモルタルの材料特性・部材の厚さ等の出来形）、初期性能（拡散係数等）が確認されたことから、採用した施工技術・施工方法が現実の施設の施工においても実現できることを確認した。今回採用した工法により目標性能を満たす低拡散材の構築が可能であり、施

工技術・施工法が確立できた。また、実施工の施工時の留意点についても把握した。

4. まとめ

地下空洞型処分施設性能確証試験は平成17、18年度に試験計画の検討、詳細設計、予備試験などを実施した。これらの検討に基づき、平成19年度から平成26年度は、埋戻し材、緩衝材、低拡散材、コンクリートピットの底部・側部・上部における施工確認試験および区画内・上部の充てん材の施工確認試験や各部材の初期性能確認試験等を実施した。

なお、本報告は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業である平成19年度～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」と平成25～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」の成果の一部である。

参考文献

- [1] 原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止措置専門部会 第二種廃棄物埋設分科会（第1回）資料「余裕深度処分の安全確保の考え方」（平成19年11月15日 電気事業連合会）
- [2] 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会第6回埋設処分技術WG配布資料（平成23年1月19日 電気事業連合会）
- [3] 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.56，492-498(2002)．

編集発行

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

〒104-0052 東京都中央区月島1丁目15番7号（パシフィックマークス月島8階）

TEL 03-3534-4511（代表） FAX 03-3534-4567

ホームページ <http://www.rwmc.or.jp/>