

地下空洞型処分施設性能確証試験の実施状況について

DEMONSTRATION TEST OF CAVERN TYPE DISPOSAL FACILITY

秋山 吉弘¹・大沼 和弘²・松村 勝秀³・寺田 賢二¹

Yoshihiro Akiyama・Kazuhiro Onuma・Katsuhide Matsumura・Kenji Terada

In Japan, some studies concerning cavern type disposal facility have been carried out for disposal of low level radioactive waste mainly generated by power plant decommissioning. The disposal facility is composed of an engineered barrier system with concrete pit and bentonite buffer, and planned to be constructed in sub-surface 50 – 100 meters depth. Though the previous studies have been mainly examined by laboratory tests and mock-up test, we newly start demonstration test in a full-size cavern. The main objectives of the test are to study the construction methodology and to confirm the quality of the engineered barrier system. The outline of demonstration test is introduced and present state of the construction is described.

Key Words: Low level radioactive waste, Demonstration test, Sub-surface disposal, Cavern type disposal, Engineered barrier system

1. まえがき

地下空洞型処分施設は、地下50m以深の大断面地下空洞に、コンクリートの処分ピットを構築し、その周囲をベントナイト系材料で覆うものであり、図-1のような発電所廃棄物やTRU廃棄物処分等の余裕深度処分のための処分施設として具体的な検討が行われている。

こうした地下空洞型処分施設を建設するための基礎となる試験データ等の取得に関しては、これまで発電所廃棄物の余裕深度処分やTRU廃棄物処分等の試験・研究において、主に実験室規模での要素試験が行われている。しかし、余裕深度処分では、放射能レベルの比較的高い低レベル放射性廃棄物の処分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に、浅地中ピット処分等の処分施設とは、異なる設計や施工技術等が必要とされている。

「地下空洞型処分施設性能確証試験」は実規模・実環境下における人工バリア施工技術等の実証試験であり、平成17年度より開始している。

これまでに基本計画検討および詳細計画検討を実施した後、平成19年度より青森県上北郡六ヶ所村にある日本原燃(株)の試験空洞内において現地試験を開始している。本論では、これまでの検討の概要と現地試験の実施状況を報告する。

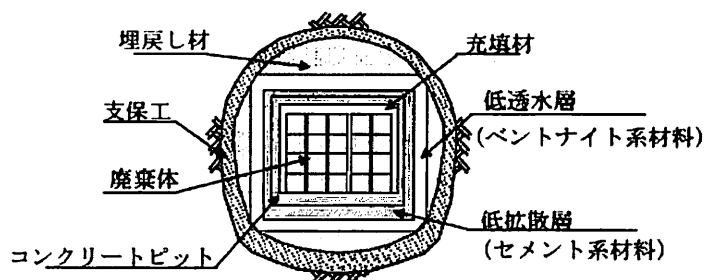


図-1 余裕深度処分施設の概念図²⁾

キーワード：低レベル放射性廃棄物、模擬試験、余裕深度処分、地下空洞型処分、人工バリア

- 1 正会員 財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター
- 2 正会員 株式会社間組（前職：財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター）
- 3 非会員 財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター

2. 地下空洞型処分施設性能確証試験の概要

(1) 試験の目的

「地下空洞型処分施設性能確証試験」の目的は、図-2に示すように、大断面の地下空洞に原位置で実規模の人工バリア施工試験を実施することを通じ、人工バリアの施工性と施工に伴う品質を確認することを目的としている。ここで、施工直後における核種閉じ込めの性能を確保するうえで重要と思われるパラメータを人工バリアの施工時に取得するとともに、施工中および施工直後における人工バリアや空洞周辺岩盤の挙動を観測し、地下空洞型処分施設の設計・施工に関するデータを収得する。

このような試験を通じて得られる成果については、発電所廃棄物や TRU 廃棄物等の地下空洞型処分に共通する技術としての反映とともに、地下空洞型処分施設の安全確保に関わる幅広い基盤技術へ反映することできるものと考えられる。

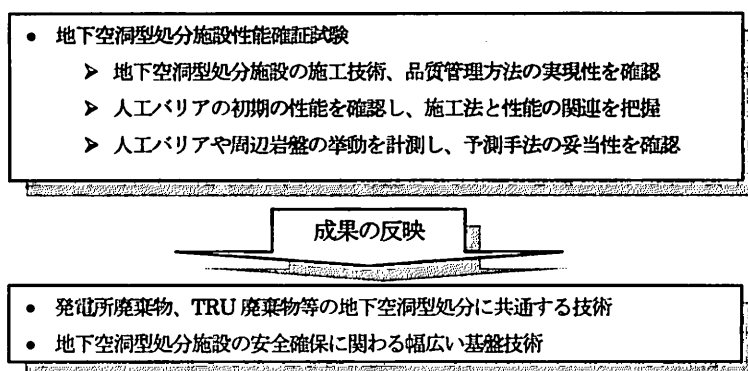


図-2 地下空洞型処分施設確証試験の位置付け³⁾

(2) 試験項目

地下空洞型処分施設性能確証試験では、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
- 初期性能確認試験
- 施設／岩盤挙動計測試験

処分施設施工確認試験では、表-1に示すように実規模・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。さらに、初期性能確認試験では、構築した模擬処分施設の品質を確認するとともに、施設／岩盤挙動計測試験として、計測を実施する。特に、施工確認試験では、人工バリアの施工段階により、緩衝材施工試験、ピット・低拡散材施工試験、定置・充填試験、埋戻し施工試験に区分し、実施する。

(3) 人工バリアの構成要素と主な試験条件

地下空洞型処分施設性能確証試験の人工バリアは、ベントナイト材料からなる緩衝材、セメント系材料からなる低拡散材、コンクリートピット、模擬廃棄体及び充填材等からなる構成要素を組み合わせることにより、図-3に示す施設形態とした。また、これらの人工バリア周囲の試験空洞内部は、セメント系材料等による埋戻しを行うものとした。

ここで、緩衝材および低拡散材については、試験施設建設完了時の性能を定め、それぞれの試験条件の下、試験の実施内容を定めている。本確証試験における初期性能は、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経過後の性能に対し、人工バリアの化学的劣化や力学的要因による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。人工バリアの経時変化の模式図を図-4に、主な初期性能設定値、試験条件に対する実施内容を表-2に示す。

表-1 試験項目と目的³⁾

試験項目	目 的
1. 処分施設施工確認試験 ①緩衝材施工試験 ②ピット・低拡散材施工試験 ③定置・充填試験 ④埋戻し施工試験	・実際の地下空洞環境下において実規模の人工バリア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。 ・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。 ・施工の精度、効率を考慮した総合的な施設施工を確認する。
2. 初期性能確認試験	・施工された人工バリアについて、力学的安定性を確認する。 ・核種閉じ込め性等の安全評価において要求される施工直後の性能（初期性能）等を確認する。
3. 施設/岩盤挙動計測試験	・施工された人工バリアの力学的安定性に関する計測を行う。 ・周辺岩盤の力学特性・水理挙動に関する計測を行う。

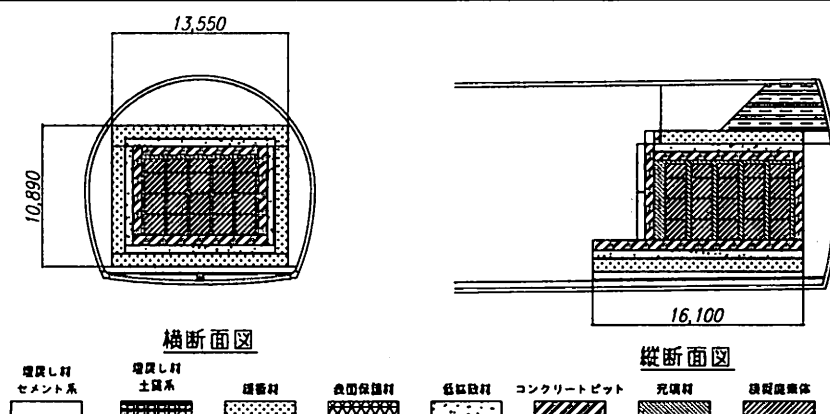


図-3 人工バリア構成要素

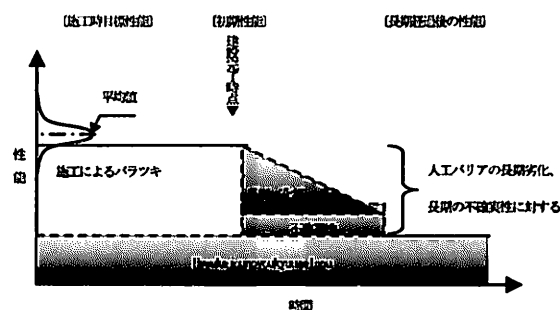


図-4 人工バリア性能の経時変化の模式図

表-2 主な試験条件

構成要素	本試験における 初期性能設定値	試験条件	主な実施内容
緩衝材	透水係数： $5 \times 10^{-13} \text{ m/s}$	・材料：クニゲル GX (100%) ・有効乾燥粘土密度：1.6 Mg/m^3	・施工空間条件を考慮した施工方法： （底部）大型振動ローラーによる現場振動締め施工 （側部、上部）小型振動ローラーによる現場振動締め施工、およびベントナイトブロック施工等 ・品質管理項目：材料特性、出来型 ・初期性能：施工完了時の物性 ・施工時の計測：振動等
低拡散材	拡散係数： $1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	・現場打設 ・結合材：低熱ポルトランドセメント+フライアッシュⅡ種 ・水結合材比 (W/B) =45%	・ひび割れ抑制 ・品質管理項目：材料特性、出来型 ・初期性能：施工完了時の物性 ・施工時の計測：温度、応力等

3. 平成 19 年度の現場試験内容

地下空洞型処分施設性能確認試験では基本計画検討および詳細計画検討を実施した後、平成 19 年度より現地試験を開始している。平成 19 年度は、試験空洞内で底部・側部埋戻し材および底部緩衝材の一部の施工を実施した。さらに、施工確認試験の評価に必要な材料特性試験や挙動計測データの収集、データ管理システムの構築などを実施した。

(1) 底部・側部埋戻し材施工確認試験

底部・側部埋戻し材は緩衝材などの外側に位置し、底部および側部については、人工バリア構築前に鉄筋コンクリートによる埋め戻しを行った。ここで、試験箇所坑壁に防水シートを設置している。

底部・側部埋戻し施工確認試験はコンクリートによる人工バリアの施工確認試験に対する予備的な試験と位置づけられ、コンクリート配合等の検討を実施している。底部・側部埋戻し材に用いたコンクリートの配合では、低熱ポルトランドセメントとフライアッシュⅡ種の質量比 7:3、水結合材比 (W/B) を 45% とし、骨材として石灰石を使用するとともに、石灰石微粉末を添加したものとした。

施工性確認として、コンクリートのフレッシュ性状、鉄筋加工・組立て等の施工性、型枠に作用する荷重、出来型精度などの確認を行った。底部・側部埋戻し材のコンクリート打設状況を図-5 に、完成状況を図-6 に示す。初期性能確認として、強度・変形特性、ひび割れ特性、化学的安定性等の確認を行った。また、温度計、ひずみ計、応力計などの計測器を設置し、施工中、施工後の挙動計測を行った。これらの結果を用い、施工前に実施したひび割れ解析などの結果を評価し、予測精度の向上を図った。

(2) 底部緩衝材施工確認試験

底部緩衝材施工確認試験は、ベントナイト(クニゲル GX: 粒径 10mm 以下のクニゲル V1 原鉱石、100%) を使用し、大型振動ローラー等を使用した現場締固め施工により、厚さ 1m の緩衝材を施工するものである。緩衝材の平均乾燥密度を 1.6Mg/m^3 とし、施工手順や品質、出来型等について確認を行うものである。平成 19 年度は第 1 層(厚さ: 10cm) の施工を実施し、品質確認等を実施した。ベントナイト材料はアスファルトフィニッシャーにより撒き出し後、大型振動ローラーなどによる転圧を行っている。施工状況を図-7~8 に示す。



図-5 側部埋戻し材コンクリート打設状況



図-6 底部・側部埋戻し材完了状況



図-7 アスファルトフィニッシャーによるベントナイト撒き出し



図-8 大型振動ローラーによる転圧

4. 詳細設計における検討

地下空洞型処分施設性能確認試験は、試験空洞内の環境下での一連の施工を行う初めての試みであり、設計・施工手法も一般の土木構造物と異なるものも少なくない。このため、これまでに、計画立案に必要なデータ取得を取得するとともに、設計・評価手法を確立することを目的に、事前解析等の検討を行った。

(1) セメント系材料の拡散特性

低拡散材に使用するセメント系材料については、放射性核種の移行抑制機能を期待している。これは、セメント系材料が水和により緻密な構造となることによるものであるが、セメント硬化体の拡散性能は水セメント比の配合等により変化することが考えられる。

このため、拡散抑制を期待される放射性廃棄物の地下空洞型処分施設におけるセメント系材料に関し、配合条件と拡散係数との関係を把握し、さらに、拡散係数と空隙率との相関性について検討を行い、拡散抑制性能の達成度を施工段階で予測するための品質管理方法についての検討を行った。

拡散抑制を期待するセメント系材料として、低熱ポルトランドセメントとフライアッシュⅡ種の質量比7:3、水結合材比（W/B）を45%とし、骨材として石灰石を使用するとともに、石灰石微粉末を添加した高流動モルタルを基本配合とした。

配合条件が拡散特性や空隙特性に与える影響を調査するため、基本配合に対して水結合材比、石灰石微粉末量、空気量、スランプフローを変動させた配合で供試体を作成し、拡散係数及び空隙率等の測定を行った。

基本配合及び変動配合に対して実施した空隙率とトリチウムの実効拡散係数の測定結果を図-9に示す。既往の研究で報告されているように、セメント硬化体の実効拡散係数と空隙率との間には相関性が認められる。また、実効拡散係数として $1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 程度を目標性能とした場合には、空隙率として17%程度以下であれば良いことが分かった（図-9）。

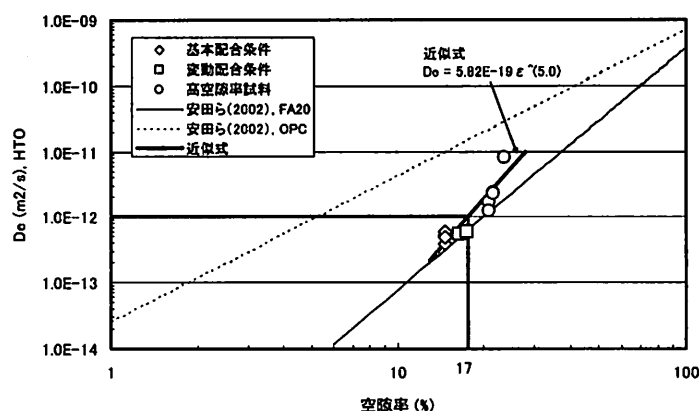


図-9 トリチウム実効拡散係数と空隙率の関係 ④

(2) ひび割れ解析

地下空洞型処分施設に用いるセメント系材料は、緻密化やひび割れ抑止を指向した材料の選定が行われることから、これらのセメント系材料のひび割れ予測・評価は、施設の核種閉じこめなどに係わる重要な検討項目となる。このため、実規模でのひび割れ性状確認を行い、この結果をフィードバックしひび割れ予測・評価手法をさらに高度化することを試みた。検討では、実際の施設における核種閉じこめ性能などの検討に資することを目的に、次の事項に着目した。

- ・ ひび割れ予測・評価手法の高度化に向けた検討
- ・ 底部・側部埋戻し材等の施工確認試験計画に反映
- ・ 低拡散材等のひび割れ評価に必要な今後の材料物性の取得試験計画への反映

ひび割れ予測においては、3次元モデルを用いた有限要素法による非定常熱伝導解析と応力解析を組み合わせた解析を行い、解析結果の応力からひび割れ指数を求め、ひび割れ発生の確率を予測した。挙動計測試験の測定結果および施工後のひび割れ観察結果を照査することで、予測精度に関する検討を行った④。

解析結果を図-110 に示す。部材の薄い底部の最高温度は 28℃であり、部材の厚い奥部・側部では 40℃に達している。ひび割れ指数は概ね 1.45 以上となり、ひび割れ発生確率は 25%以下と評価される。施工後のひび割れ観察の結果においても温度応力に起因すると考えられるひび割れは確認されておらず、解析結果と整合的であった。しかし、解析温度の経時変化は概ね測定値の傾向を表現できているものの、コンクリート打設時の温度上昇の点で乖離が見られた。また、コンクリート応力の点で、解析結果は測定値よりかなり大きく、ひび割れに関して保守的な評価を与える結果となっていることが判明した。応力解析の精度を向上させるため、弱材齢時の有効ヤング係数等を適切に設定することが必要と考えられた。

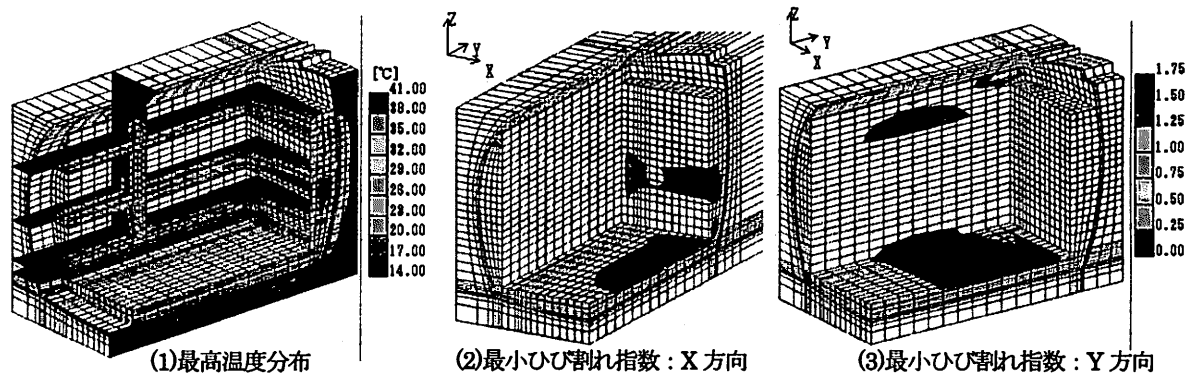


図-10 解析結果⁶⁾

5. まとめ

地下空洞型処分施設性能確証試験は平成 17 年度より開始し、これまで基本計画作成および詳細設計等を実施し、施工空間や周辺構造物への影響等を考慮した各部位の施工方法等を検討するとともに、品質を確認するための試験方法および計測方法を検討した。また、詳細設計に必要となる予備試験を実施した。

平成 19 年度から、これらの検討に基づき、底部・側部における埋戻し材施工確認試験、底部緩衝材施工確認試験等を開始し、今後、4～5 年間にわたり、試験を実施する予定である。

なお、本報告は経済産業省からの委託による「管理型処分技術調査等」の成果の一部である。

参考文献

- 1) 大西有三他：低レベル放射線廃棄物の余裕深度処分に関する技術の現状について、土木学会平成 18 年度全国大会研究討論会、研-14 資料、2006
- 2) 庭瀬一仁、廣永道彦、辻幸和：低レベル放射性廃棄物処分に用いるコンクリートの設計について、コンクリート工学、Vol.44、No.2、pp.3-8、2006
- 3) 坪谷隆夫、寺田賢二、松村勝秀、大沼和弘、窪田茂：地下空洞型処分施設性能確証試験－計画概要一、土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集、CS5-073、2007
- 4) 鈴木康正、新井慶将、小山俊博、窪田茂、石橋勝彦、寺田賢二、小林裕、武知真一、根木政広、杉橋直行：地下空洞型処分施設性能確証試験における底部・側部埋戻し材施工確認試験に関する検討（その 4）－コンクリートのひび割れ予測評価に関する検討一、土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集、CS5-027、2008
- 5) 窪田茂、寺田賢二、坂本浩幸、枝松良展、加藤博康：拡散抑制が期待されるセメント系材料の管理方法に関する研究、土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集、CS5-040、2007