

高レベル放射性廃棄物地層処分に關する工学技術の開発状況について

江藤次郎*¹ 小林正人*¹ 川久保政洋*¹ 朝野英一*¹

原環センターでは、多様な処分場概念に対応する技術選択肢を提示することを目的として、平成12年度より地層処分のための人工バリア材料の製作、施工、搬送、定置等の操業に係る工学技術の開発を進めて来た。本稿ではこれらの開発のうち主に平成19年度から平成24年度にかけて実施した実規模の試験装置と人工バリア材料を用いた要素試験、それらを組合せたシステム成立性の確認、そして製作、構築した人工バリアの品質や健全性を評価する試験、定置された人工バリア等を対象としたモニタリング技術の開発について紹介する。

Keywords: 地層処分, 人工バリア, 技術開発

A policy of geological repository has been adopted in Japan in order to isolate high-level radioactive wastes (HLW) from the human environment for tens of thousands of years. One of the important principles of geological disposal is that post-closure long term safety is provided by means of engineered and natural barriers. To realize the long term safety, extensive researches and developments of engineered barrier system has been conducted. This paper introduces some of main results of a six-year development of advanced engineering of the disposal system for HLW repository in Japan. Implementation term of the development was from FY2007 to FY2012. The development included the technologies for repository operation such as transportation and emplacement of waste disposal packages, remote welding technologies for overpack closure and its evaluation method in terms of long term integrity, research of phenomena in bentonite resaturation such as piping and erosion, and development of monitoring technologies such as wireless communication method through the earth.

Keywords: geological repository, engineering barrier system, development of technologies

1 はじめに

我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の概念は、ガラス固化体（ステンレス製容器にガラスが充填されたもの）を金属製の容器（オーバーパック）に封入し、その周囲をベントナイト緩衝材で覆った状態で、地下300mよりも深い安定な地層に埋設するものである。

原環センターでは、平成12年度より地層処分のための人工バリア材料の製作、施工、搬送、定置等の操業に係る工学技術の開発を進めて来た。開発においては多様な処分場概念に対応する技術選択肢を提示することを目的として、実規模の試験装置と人工バリア材料を用いた要素試験、それらを組合せたシステム成立性の確認、そして製作、構築した人工バリアの品質や健全性を評価する試験、定置された人工バリア等を対象としたモニタリング技術の開発などを実施し、平成24年度にそれまでに得られた成果をデータベース（技術メニュー）としてまとめた。本稿は、これらの開発のうち主に平成19年度から平成24年度にかけての開発成果の一部を紹介するものである。

2 オーバーパックの溶接と非破壊検査

第2次取りまとめ[1]では、オーバーパックは内包したガラス固化体と地下水の接触を1,000年間防ぐことを前提として、地下水との接触による腐食に対する耐食性と、埋設状態での外圧に対する構造健全性に留意した機械的強度を有することを基本的な要件としている。オーバーパックの溶接部の組織等の状態はこの溶接時の熱影響を受けて母材

とは異なる状態を呈するが、溶接部にも1,000年間の閉じ込め機能が要求される。

本開発では、炭素鋼製オーバーパック（厚さ190mm）の蓋の遠隔溶接技術と溶接部の非破壊検査技術の適用性確認、溶接部の腐食特性の評価等を実施した。

溶接手法のうちTIG(Tungsten Inert Gas welding)については溶接時間の短縮を狙った高能率化の検討、MAG(Metal Active Gas welding)については溶接材料の改良による品質改善手法の検討、さらに高エネルギービーム溶接であるRPEBW(Reduced Pressure Electron Beam Welding)の溶接試験を実施し、これらの溶接手法について条件を取得するとともに、溶接手法ごとの適用性に係る知見を整備した。

溶接部の機械的特性に影響をおよぼす溶接欠陥については、超音波探傷による検出手法について検討を実施した。溶接全層にわたる欠陥の検出精度の向上のため、エコーシミュレーションにより超音波ビームの収束条件を検討し、その結果より、表層付近はCW(Creeping Wave)法、中層部は横波PhA(Phased Array)法、深層部は縦波PhA法と探傷手法を使い分ける方法を提示した。

オーバーパック溶接部の腐食特性の評価に関しては、実規模溶接試験体から採取した試験片に対して、全面腐食および局部腐食、応力腐食割れ(Stress Corrosion Cracking, SCC)、水素脆化割れを調査対象とした実験室規模の耐食性評価試験を実施した。オーバーパックの耐食層の設定根拠となっている全面腐食挙動については、溶接部は母材と同等の腐食深さ、腐食速度であることを確認した。一方、局所的な破損であるSCCや水素脆化については、電気化学的手法とSSRT(Slow Strain Rate Test)により感受性を評価した。溶接部の割れ感受性は母材よりも低く、封入方法としての溶接がオーバーパックの局所的な破損の可能性を高めることはないことを確認した。

3 緩衝材の製作、搬送、定置と定置後の品質

緩衝材には放射性核種の移行抑制とオーバーパックの保

Development of advanced engineering of the disposal system for HLW repository by Jiro ETO(eto@rwmc.or.jp), Masato KOBAYASHI, Masahiro KAWAKUBO, Hidekazu ASANO

*1 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター
Radioactive Waste Management Funding and Research Center
〒104-0052 東京都中央区月島1-15-7
(バシフィックマークス月島8階)

†本稿は経済産業省資源エネルギー庁からの委託による平成19~24年度「高レベル放射性廃棄物処分関連：処分システム工学要素技術高度化開発」成果の一部である。

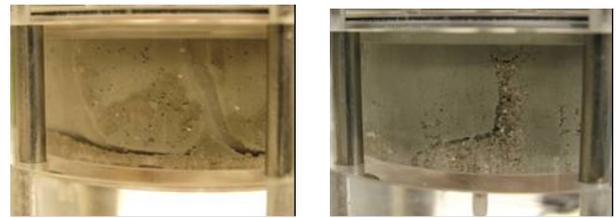
護が求められており、前者に対しては地下水移動抑制のための低透水性、放射性核種に対する収着性などが、後者に対しては力学的に安定な状態を維持する観点から応力緩衝性と強度などが基本的な設計要件として示されている[1].

本開発では、第2次とりまとめに示された緩衝材の仕様例(ケイ砂 30wt%混合クニゲル V1, 乾燥密度 1.6Mg/m³, 厚さ 700mm)を基本とし、処分坑縦置き定置方式, 処分坑道横置き定置方式について、緩衝材を製作・搬送・定置する代表的な技術オプション(ブロック方式, 原位置締固め方式, ペレット充てん方式, 吹付け方式, PEM方式)を対象に実規模スケール試験を実施し、緩衝材の製作・施工, 搬送・定置に関する技術的実現性を確認した。これらの試験では、緩衝材の製作方法による密度分布(乾燥密度)の違いを示すとともに、製作・搬送・定置方法の組合せによっては、緩衝材間に継ぎ目が生じること、オーバーバックと緩衝材間、緩衝材と処分坑・処分坑道間に隙間が生じることを示した。また、この隙間に対してはペレットによる充てん技術の適用性を提示した。

定置後の緩衝材の品質については、ベントナイトが湧水を吸水し膨潤する過渡期における力学、および水理特性に着目して、密度の均質化、パイピング/エロージョンなどについて試験装置のスケールアップを図りながら検討した。

主な成果として、緩衝材は施工時に密度分布を有する場合には、膨潤しても密度分布が残留する可能性があり、これは応力が釣合い状態に至るまでしか膨潤しない、という力学的な解釈で説明できることを示した。また、処分坑と緩衝材の間では、湧水によってパイピング/エロージョンが発生する場合がある。

この発生条件について流量(0.1~100cc/min)や液組成(蒸留水と塩水)を種々変えた試験を実施した。ブロック供試体を用いた試験(Fig. 1)では、流量 100cc/min では純水、塩水共に通水初期に複数のパイピングが生じた後、徐々に1つの水みちに収束すること、蒸留水の場合、流量が減少すると緩衝材の膨潤により水みちが閉じることを確認した。これらの成果を踏まえ、緩衝材の乾燥密度、および緩衝材設置場所の湧水の流量等を条件とした緩衝材の設計・施工仕様設定のプロセス案(Fig. 2)を提示した。



(a)蒸留水(給水後 6 時間) (b)塩水(給水後 12 時間)

Fig. 1 Occurrence of piping/erosion on bentonite block [2]

4 モニタリング

地層処分に關するモニタリングについては、処分事業に独自のモニタリング目的である、処分場閉鎖後のバリア性能の確認のためのモニタリングについて、モニタリング機器の設置によるバリア機能の阻害(水みちの形成)を考慮したモニタリングのあり方や、モニタリングパラメータの選定方法案を提示した。また、モニタリング機器の設置による水みちの形成を最小限に抑える技術として、地中無線通信技術の開発を行った。緩衝材等の限られた空間に設置可能な小型地中無線送信装置(Fig. 3)やボーリング孔対応型の受信アンテナ、通信距離拡大のための中継装置等を開発するとともに、フランスの放射性廃棄物管理機関(Andra)との共同研究として Meuse / Haute-Marne 地下研究所における通信試験を実施した。このうち小型地中無線送信装置については、堆積岩中で 23m の通信が可能であることを確認した。



Fig. 3 Wireless transmitter with strain sensor [2]

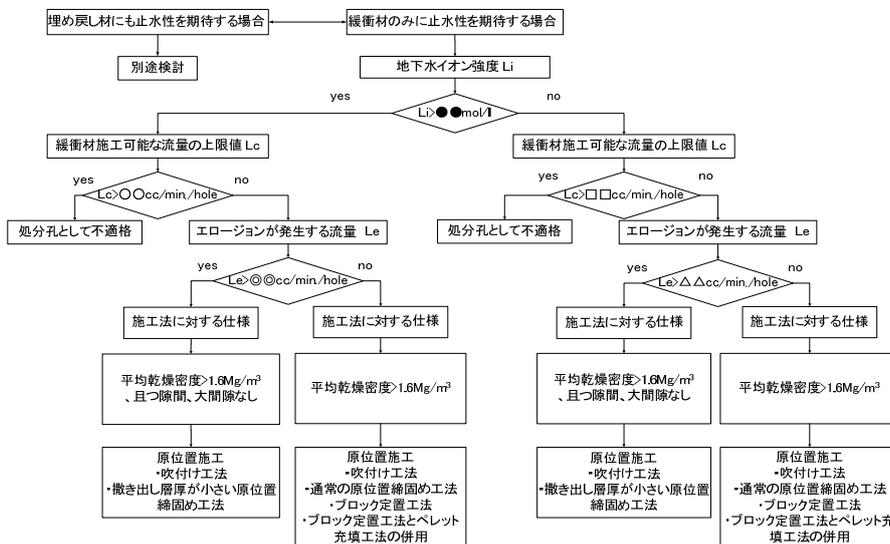


Fig. 2 Selection flow of buffer construction [2]

5 まとめ

原環センターでは、多様な処分場概念に対応する技術選択肢を提示することを目的として、人工バリア材料の製作、施工、搬送、定置等の操業に係る工学技術の開発を進めて来た。実規模の試験装置と人工バリア材料を用いた要素試験を実施するとともに、それらを組合せたシステム成立性を確認した。これに加え、人工バリアの品質や健全性を評価する試験、定置された人工バリア等を対象としたモニタリング技術の開発などを実施した。今後は人工バリアの施工品質等に関する定量的な指標の提示を目指した研究を進めていく予定である。

参考文献

- [1] 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 (1999)
- [2] 原環センター：平成24年度高レベル放射性廃棄物処分関連：処分システム工学要素技術高度化開発(2013)

