

ベントナイト系材料を対象とした流体的除去技術（ウォータージェット方式）の整備

(公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 ○小林 正人

(公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 白瀬 光泰

大成建設（株） 正会員 磯 さち恵

大成建設（株） 正会員 本島 貴之

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の定置概念の1つとして示されている処分坑道横置き・PEM方式では、定置作業で生じる処分坑道と PEM の間の隙間に対してベントナイト系材料を混合した充填剤を用いて充填することが検討されている<sup>1)</sup>。現在提案されている処分坑道横置き・PEM方式は幅5m程度の大断面坑道に PEM を定置するものであり、定置された状態から PEM を回収するためには、隙間に施工された大量の充填材を除去する必要がある。充填材の除去は回収する PEM への影響を抑えつつも効率の良い除去方法が求められるため、PEM から離れた部分には効率性を重視した機械的除去技術、PEM 近傍には流体的除去技術の2つの技術を組み合わせた除去工程を検討した。

図1に示すように、流体的除去は使用する流体の特性、除去対象への作用で区分することが出来る。過年度に実施された処分孔縦置き定置方式に対する緩衝材の除去試験は、模擬処分孔内で塩水を低圧で噴射し、緩衝材を塩水で浸漬することによる電解質溶液のベントナイトへの化学的作用（崩壊効果）を利用している<sup>2)</sup>。一方、処分坑道横置き・PEM方式は、処分孔縦置き方式に比べそのままでは塩水を貯留しにくく化学的作用を期待しにくい、またベントナイト系土質材料に対し、淡水の使用、高圧水による切削の事例が少ない。

これらの現状を踏まえ、本検討では処分坑道横置き・PEM方式の概念に対する除去技術の一つとして、淡水を高圧で噴射するウォータージェット方式によるベントナイト系充填材の切削・除去技術の整備を進めた<sup>3)</sup>。

2. 除去の対象とする充填材性状と流体除去適用箇所

本検討（技術実証）は、日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センターの地下350m試験坑道2で実施される。図2に試験坑道2の断面形状、及び機械的除去／流体的除去それぞれを適用する箇所、表1に各部位の充填材の性状を示す。

3. 流体的除去装置（ウォータージェット方式）の製作

図2の流体的除去対象に対する除去試験に向け、流体的除去装置（ウォータージェット方式）の製作、及び除去装置を用いた充填材の除去に係る地上試験を行い技術の整備に資するデータを取得した。製作した流体的除去装置（ウォータージェット方式）は、PEM近傍の充填材の除去を行うため、円筒形状の PEM に沿って、圧力水を噴射するノズルが円弧状および前後に運動する仕組みとした（図3、図4）。なお、噴射後に流動化した充填材を連続的に捕集するため、吸引に

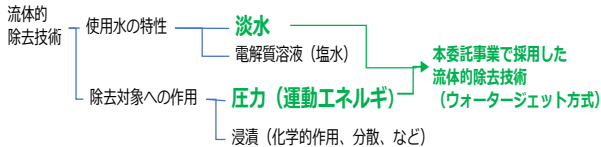


図 1 本事業で採用した流体的除去技術

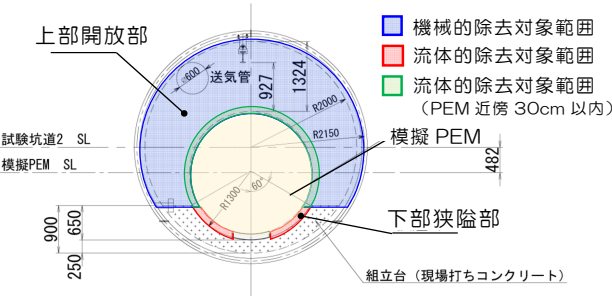


図 2 機械的除去／流体的除去技術の適用箇所  
上記の内、赤・緑ハッチ部が流体的除去技術の対象

表 1 除去対象とする充填材 仕様<sup>※1</sup>

|       | 配合比                  | 乾燥密度                                                   | 含水比  |
|-------|----------------------|--------------------------------------------------------|------|
| 上部開放部 | ベントナイト<br>：ケイ砂=50:50 | 1.66 Mg/m <sup>3</sup>                                 | 17%  |
| 下部狭隘部 | ベントナイト<br>ペレット       | 左 1.378 Mg/m <sup>3</sup><br>右 1.401 Mg/m <sup>3</sup> | 6.5% |

※1：実施した充填に係る実証試験結果

よる捕集方式を採用した。

#### 4. 地上試験概要と得られた知見

図 2 に示した実証試験における除去対象のうち、下部狭隘部のスケールを模擬した地上試験ヤードにおいて、製作した流体的除去装置による充填材の除去試験を実施した。除去装置に取付けて使用する噴射ノズルを数種類準備し、切削性・切削範囲等を確認した(図 5)。試験は、噴射ノズルの選定、ノズルの動きと(円弧運動、前後運動の組合せ)による充填材の切削状況の確認、地上施設における実寸大の下部狭隘部を対象とした除去手順の確認の順番で進めた。

噴射ノズルの選定の結果、PEM と周辺の縁切りのための「切削」にはトルネードノズルが適しており、噴射圧 20MPa までは、坑道面(コンクリート面)を傷めないことを確認した。PEM の回収装置が要求する動作環境の実現のための「仕上げ洗浄」には、配管洗浄用ノズルが適するとの結果を得た。ウォータージェットで切削した充填材は、スラリー化したものを吸引により連続的に捕集する方式を採用した。吸引捕集の観点からトルネードノズルの前進速度を設定するための試験の結果、10cm/min では除去対象物の流動化が不十分となり吸引できない事象が発生した。一方 5cm/min では、切削および吸引が順調に実施できる見通しを得た。これはベントナイト(クニゲル V1)の液性限界 416% に対し、前進速度 5cm/min の場合では除去対象物の含水比は 484% となり、ベントナイト(クニゲル V1)の液性限界以上となるが、前進速度 10cm/min の場合では、ベントナイト(クニゲル V1)の液性限界以下となることで説明できる。流体的除去技術のうち吸引捕集の観点からは充填材の液性限界に対応する量の切削水を使用して充填材を十分に流動化させることで効率的な吸引捕集が可能となるとの見通しを得た。これらの地上試験の結果より得た除去手順を具体化し、エラー! 参照元が見つかりません。地下での充填材除去試験の計画に反映する。

#### 5. まとめ

ベントナイト系材料を対象とした流体的除去技術(ウォータージェット方式)について地上試験を実施し、その技術の適用の見込みを得た。今後、来年度実施する除去に係る地下坑道での実証試験に向け、詳細な実証試験計画の策定を進めて行く。

本報告は、経済産業省からの委託事業「高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関わる技術開発事業(可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発)」の成果の一部である<sup>5)</sup>。

**参考文献:**1) 原子力発電環境整備機構、包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—(レビュー版)【本編・付属書】、NUMO-TR-2018-03, 2018. 2) 原環センター、平成 26 年度地層処分技術調査等事業(地層処分回収技術高度化開発)報告書、2016,3. 3) 原環センター、平成 29 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発)報告書(第 2 分冊)、2018,3. 5) 原環センター、平成 30 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発)報告書(第 2 分冊)、2019,3.

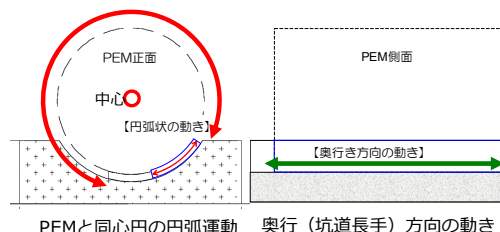


図 3 流体的除去装置 ノズルの動き

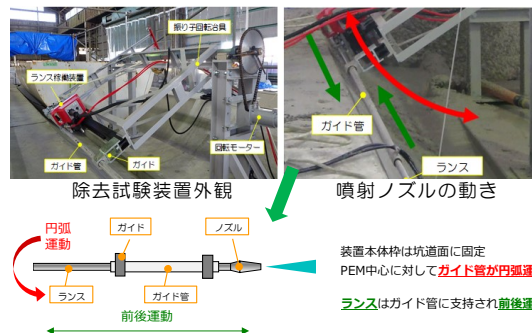


図 4 流体的除去装置  
(ウォータージェット方式)

| ノズル種類           | 直射                                            | トルネード   | 扇射      | 配管洗浄①<br>前後横 3 方向                       | 配管洗浄②<br>前後 2 方向 |
|-----------------|-----------------------------------------------|---------|---------|-----------------------------------------|------------------|
| 写真              |                                               |         |         |                                         |                  |
| 切削形状            |                                               |         |         |                                         |                  |
| 切削断面            |                                               |         |         |                                         |                  |
| 切削軌跡            |                                               |         |         |                                         |                  |
| 20MPa 時<br>使用水量 | 54L/min                                       | 30L/min | 20L/min | 74L/min                                 | 74L/min          |
| 坑道面への影響         | 長手方向へのウォータージェット噴射の場合<br>噴射圧 20MPa まで坑道面を傷つけない |         |         | 坑道面に垂直入射しない場合、<br>噴射圧 20MPa まで坑道面を傷つけない |                  |

図 5 噴射ノズルの種類と特徴