

吹付けによる側部緩衝材施工の高度化

鹿島建設 正会員 ○小林一三、石井健嗣、笹倉剛、福田勝美、武地真一
 原環センター 正会員 寺田賢二、秋山吉弘、矢田勤

1. 地下空洞型処分施設性能確証試験の概要

地下空洞型処分施設性能確証試験（以下、本試験と称する）では、低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分などに適用される概念に基づいた地下空洞型処分施設を模擬した試験施設（以下、本施設と称する）を構築することによって、その概念の実現性を施工の観点から評価している¹⁾。本施設（図－1 参照）は廃棄体周囲に設置されるセメント系材料（充填材、コンクリートピット、低拡散材等）とベントナイト系材料（緩衝材）から構成され、これらと空洞周辺の岩盤を合わせた多重バリアが放射性核種の長期に亘る移行を抑制する。本稿では、ベントナイト系人工バリアのうち側部緩衝材吹付けの施工品質の向上や施工の効率化を目的とした検討結果を報告する。

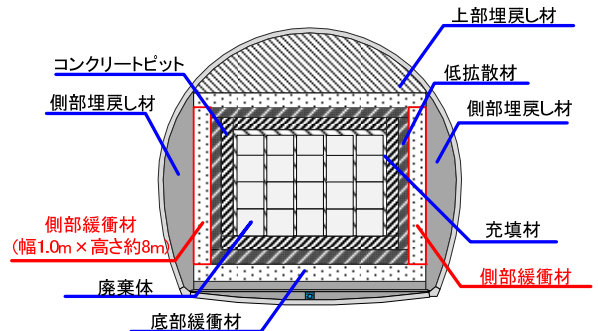
2. 側部緩衝材施工確認試験（吹付け工法）の概要

側部緩衝材の施工には、図－1 に示すように、低拡散材と側部埋戻し材に挟まれた幅 1m、高さ約 8m の狭隙部に乾燥密度 1.6Mg/m^3 程度に締固めたベントナイト層を構築する必要がある、これまでに様々な施工検討がなされてきた。吹付け工法による緩衝材の構築技術は、このような狭隙な箇所でもノズル操作が可能な空間さえあれば、高密度かつ均質な緩衝材を構築できる技術として開発されたもので、本試験においても、H19 年度に底部緩衝材奥部を対象とした適用性を確認し、H21 年度に側部緩衝材構築エリアの一部で人力による吹付け試験を実施した²⁾。更に、H23 年度には、実施工を想定して吹付けロボットを使用し、図－2 に示す範囲で、ノズル操作をロボット化した水平吹付けと、ノズルを下向きにした下向き吹付け技術による施工試験を実施し、その品質、および施工性等を検討した³⁾。

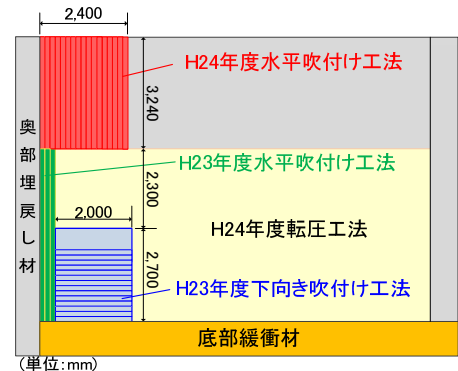
本試験では、緩衝材に期待される低透水性から、施工後の初期性能としての透水係数を $5 \times 10^{-13}\text{m/s}$ 以下とした¹⁾。ただし、透水係数の把握には長時間の測定を要するため、施工管理指標としては、透水係数と相関が認められる乾燥密度（有効粘土密度）を採用し、その範囲を $1.6 \pm 0.1\text{Mg/m}^3$ とした。また、緩衝材は不飽和締固め土であり、締固めエネルギーが一定であれば、その品質に対する含水比の影響は非常に大きい。そこで、既往の知見による含水比と乾燥密度の相関¹⁾から、本試験で使用するベントナイト材料の含水比調整の管理目標を $21 \pm 2\%$ とした。なお、使用したベントナイトは、山形県月布産の粒状材料（クニゲル GX、最大粒径 5mm）である。

3. ロボットによる側部緩衝材の吹付け施工の高度化

H23 年度の試験において幾つかの課題が抽出されたため、これらを改善すべく、H24 年度では以下の対策を行った。(1) 図－3 にノズルの閉塞対策を施した吹付け材料の定量供給機を示す。ノズルの閉塞は、定量供給機から排出される材料の過度な団粒化が原因であったため、供給機内のホッパーの排出口にあるブレードの間



図－1 本施設のレイアウトイメージ（正面図）



図－2 本試験の吹付け施工箇所（施設側面図）
 （図－1 左側の側部緩衝材構築エリア）

キーワード 放射性廃棄物，余裕深度処分施設，緩衝材，吹付け施工

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設株式会社技術研究所 TEL 042-489-6493

隔を広げて、定量供給性を確保しつつ、団粒化を抑制できる機構とした。(2) 図-4にはロボットによる吹付けノズルワークのイメージ図を示している。吹付けは、先行して尾根状（肌色部）に吹付けを行い、その後、先行吹付けでできた谷（水色部）を埋める手順で施工した。H23年度の試験では、この尾根と谷が急峻なため、リバウンド率が増加しことから、H24年度は尾根と谷を緩やかになるような吹付けを行った。(3) 図-5には、リバウンド材料の吸引回収方法を示している。この吸引回収方法は、H23年度に実施したコンテナによる回収と比較して高さ8m程度の揚重作業が不要となり、さらに回収されたリバウンド材は集塵機のサイクロン効果によって、気体と早期に分離できる。このことは、リバウンド材の乾燥抑制による品質および回収効率の向上に寄与する。(4) 図-6には、吹付け材料として、フレッシュ材料とリバウンド材料の混合材料を吹付けるための施工管理チャート⁴⁾を示している。フレッシュ材料に比べてリバウンド材料は吹付け毎に徐々に乾燥するため、一定割合で混合すると混合材料の含水比が低下して吹付けた緩衝材の密度が徐々に高くなる。そこで、図-6に示すように、混合材料の含水比に応じて材料供給量を増減させることによって、吹付けたペントナイトの密度が所定範囲の幅（緑色の範囲）に収まるように管理しながら施工した。

4. ロボットによる側部緩衝材の吹付け施工の品質向上と効率化

図-6に示した(1)施工管理チャートを適用することによって、吹付けた緩衝材の密度をほぼ一定($1.6 \pm 0.03 \text{ Mg/m}^3$ 程度の範囲)に保つことが出来た。また、吹付け施工後に行った透水試験の結果⁵⁾から、要求される低透水性性能($5 \times 10^{-13} \text{ m/s}$ 以下)を満足していることを確認した。さらに、H23年度に比べ、(2)閉塞対策、および(3)ノズルワークの改良を行ったことにより、 8 m^3 程度の施工において閉塞は一度も発生せず、施工速度は20~30%改善し、(4)リバウンド回収に掛かる時間も大幅に短縮出来た。

5. おわりに

以上の結果から、側部緩衝材の施工方法として、吹付け工法は非常に低透水な緩衝材を構築する上で有効であり、実処分における施工に適用可能な工法であることがわかった。本報告は、経済産業省からの委託である「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」の成果の一部である。

参考文献

1) 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成19年度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証試験報告書, p.1-3, 2008. 2) 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成21年度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証試験報告書, 2010. 3) 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成23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報告書, 2012. 4) 石井健嗣 他：吹付けによる緩衝材構築工法(SHOTCLAY工法)の施工管理方法に関する検討、土木学会第68回年次学術講演会講演概要集、2013.9(投稿中) 5) 原子力環境整備促進・資金管理センター：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 平成19年度~平成24年度の取りまとめ報告書, 2013.

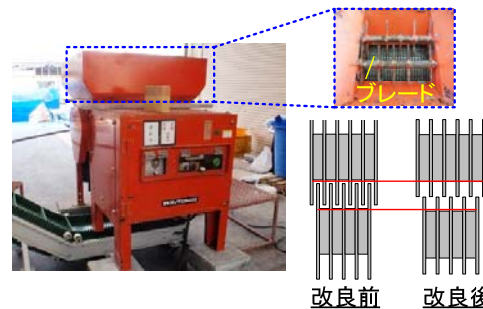


図-3 材料定量供給機とブレードの配置

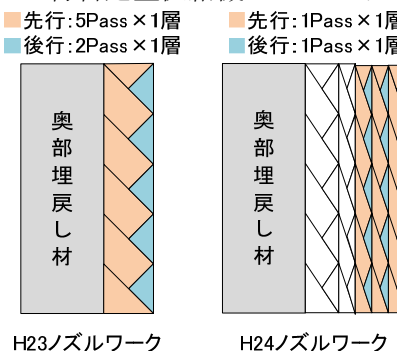


図-4 ロボットによるノズルワーク（側面図）

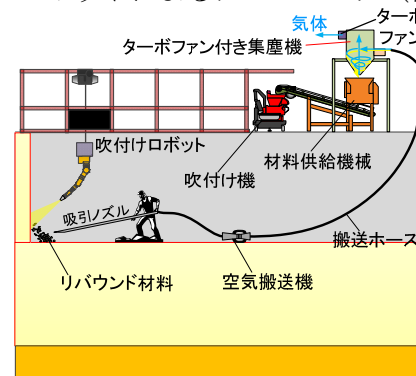


図-5 吸引回収のイメージ

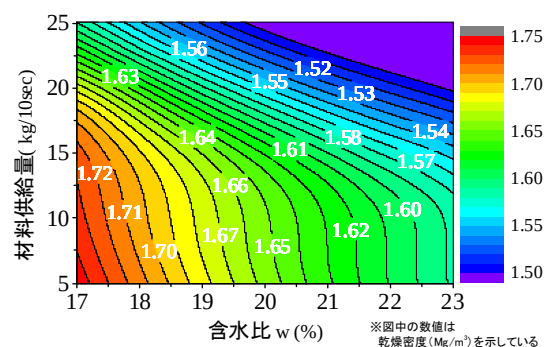


図-6 施工管理チャート 4)

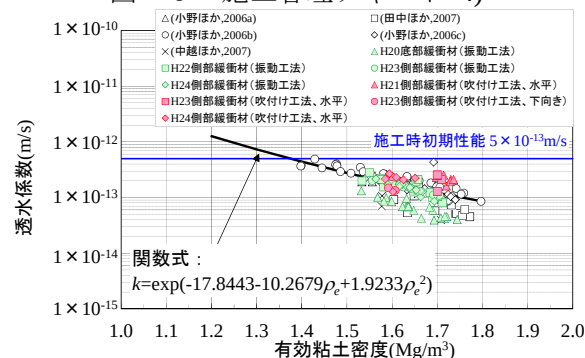


図-7 有効粘土密度と透水係数 5)