

水頭差と初期流量が緩衝材の流出挙動に及ぼす影響

鹿島建設(株) 正会員 ○石井健嗣 小林一三

原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 林 大介 菊池広人 宇田俊秋

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の処分概念のうち、堅置き・ブロック方式を対象とした場合、緩衝材ブロックと処分孔壁の隙間を流れる湧水によって緩衝材の一部が流出し、緩衝材の密度が低下することにより安全機能に影響を及ぼす可能性が指摘されている。既往の研究¹⁾では、緩衝材の定置後から処分坑道を埋め戻すまでの過渡期を念頭に、処分孔内の湧水環境を模擬した定流量条件（強制注水）による室内試験結果をベースとして緩衝材の流出量を評価していることから、実環境条件（定水位条件）で実施した原位置試験の流出挙動に即した評価となっていない。また、この評価手法は、緩衝材が隙間を充填することを前提として、その間の緩衝材の総流出量を評価しており、湧水量によっては使用できない処分孔が発生する。そのため、処分孔の利用率を高められる流出抑制対策となる施工技術オプションを整備する必要があり、そのためにはより信頼性の高い評価手法を構築する必要がある。

本検討では、緩衝材ブロックと孔壁との隙間の処理に関して、現時点で考え得る緩衝材の施工技術オプション²⁾のうち、“隙間未充填オプション（以下、隙間未充填）”と“ケイ砂充填オプション（以下、ケイ砂充填）”を先行検討対象として、閉鎖前の実処分孔で想定される地下水の水頭差、および初期流量をパラメータとした水位一定条件下（水みち近傍の緩衝材の膨潤に伴って流量が変化）における流出試験を実施し、その後の緩衝材の流出量評価モデルの構築に向けて、水頭差と初期流量が流出挙動に及ぼす影響を評価した。

2. 試験概要

流出試験の対象モデルと試験装置の概要を図-1と図-2に示す。本装置は、試験セル内の水圧差や重力の影響を排除し、緩衝材の浸潤過程における流出挙動を分かりやすくするために試験セルを横置きとし、イオン交換水で満たした給水タンク、給水ポンプ、スタンドパイプで構成した。試験セル内への通水は、オーバーフローで水位を一定にしたスタンドパイプから行い、初期流量は、試験セルの給水口手前に設置したニードルバルブで制御した。緩衝材は、ケイ砂を混合したベントナイト（クニゲル V1：70 wt%，ケイ砂：30 wt%）を乾燥密度 $\rho_d = 1.9 \text{ Mg/m}^3$ となるように試験セル内で静的に締め固めて作製し、緩衝材と岩盤との隙間（図-1 中）を模擬して試験セル内と緩衝材の間に隙間（図-1 右）を設けた。なお、ケイ砂充填の場合には、当該隙間部に青色に着色したケイ砂を乾燥密度 $\rho_d = 1.6 \text{ Mg/m}^3$ となるよう充填した。試験期間中における緩衝材の流出量は、採取した排水のベントナイト濃度と流量計の出力値から算出し、流出量の積算値（累積流出量）として整理した。

本検討では、隙間を未充填とした場合とケイ砂を充填した両オプションについて、水頭差 H (0.5, 1.0, 2.0 m) と初期流量 Q (1, 10, 20 mL/min) を試験パラメータとした全 9 ケースの流出試験をそれぞれ実施した。ケース名の $H \circ Q \Delta$ のうち、 $\circ$ は水頭差を、 Δ は初期流量を表しており、ケイ砂充填の場合はケース名の末尾に-S を付けた。なお、水頭差および初期流量は、幌延深地層研究センターで実施した工学規模スケールの流出試験の環境条件³⁾を参考にして設定した。

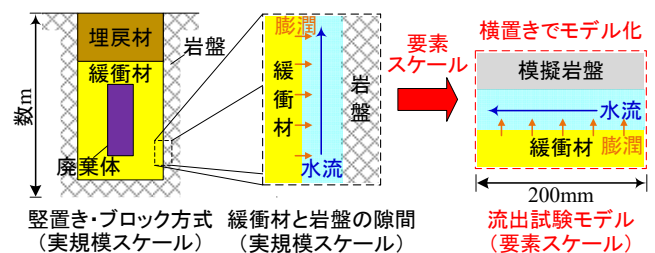


図-1 流出試験の対象モデル

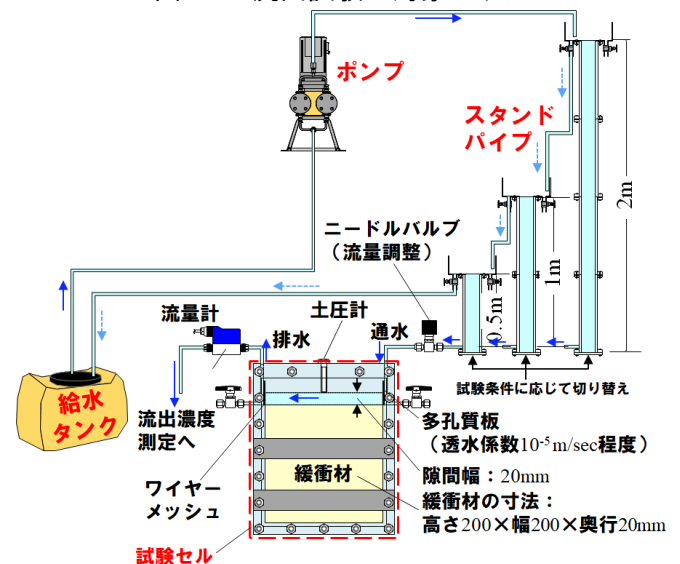


図-2 流出試験装置の概要

キーワード 放射性廃棄物処分、堅置き・ブロック方式、緩衝材、流出現象

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL 042-485-1111

3. 試験結果・考察

緩衝材の累積流出量の経時変化を図-3に示す。両オプションともに、全ケースにおいて累積流出量は単調増加の傾向を示した後、定常に至っており、同一ケースにおける累積流出量を比較すると、例えば、ケースH2Q20の累積流出量の最大値は隙間未充填で30g程度に対して、ケイ砂充填では6g程度であり、ケイ砂充填の方が隙間未充填よりも流出量が少なくなっている。緩衝材が流出する要因として、膨潤部の乾燥密度、即ちせん断強さが通水溶液の粘性抵抗を下回ることが挙げられる。写真-1の各試験段階における隙間部の状態(例として、水頭差 $H = 2\text{ m}$ で初期流量 $Q = 10\text{ mL/min}$ のケース H2Q10、ケース H2Q10-Sの結果を記載)から、隙間未充填と比較して、ケイ砂充填の膨潤範囲は、充填したケイ砂によって抑制されており、これによって、膨潤部のせん断強さの低下領域も限定的となったため、流出量が少なくなったと推測できる。次に、水頭差と初期流量が累積流出量に及ぼす影響に着目すると、隙間未充填のケース H2Q20において結果に違いがあるものの全体的な傾向としては、初期流量が大きくなると累積流出量も多くなる傾向が確認できる。一方、水頭差の影響は、今回設定した水頭差の範囲(0.5~2m)においては、初期流量ほど顕著には確認されなかった。このことから、本試験の条件においては、緩衝材の累積流出量に関して水頭差よりも初期流量の影響が大きいと言える。

4. おわりに

緩衝材の流出量評価モデルを構築するために、実処分孔で想定される地下水の水頭差と初期流量をパラメータとした、水位一定条件での室内流出試験を実施し、両パラメータが緩衝材の流出挙動に及ぼす影響を評価した。その結果、隙間未充填とケイ砂充填の隙間処理技術オプションにおいて、緩衝材の累積流出量は、水頭差よりも初期流量に依存することが分かった。また、緩衝材の流出抑制対策として、ケイ砂充填の有効性も確認できた。本報告は、経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業「高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発事業ニアフィールドシステム評価確証技術開発(令和3年度及び4年度)」(JPJ007597)の成果の一部である。

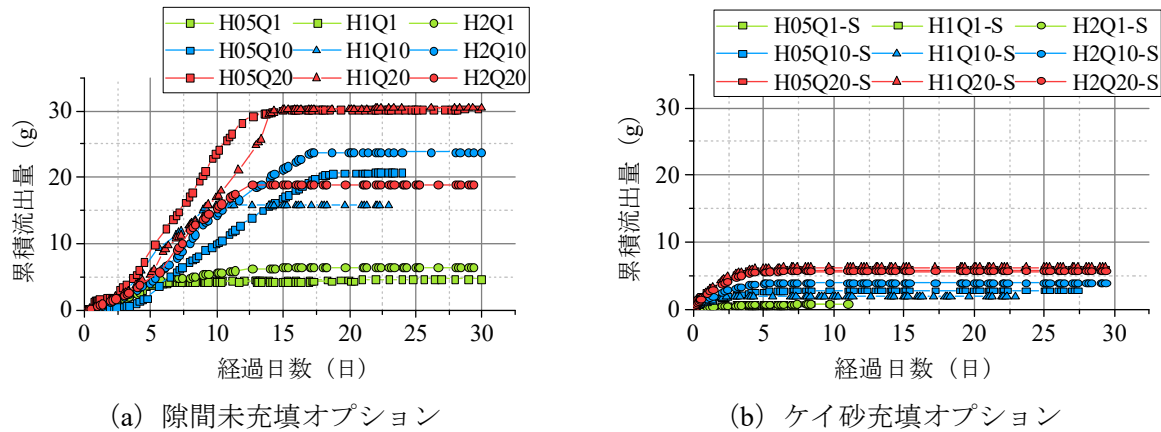


図-3 累積流出量の経時変化

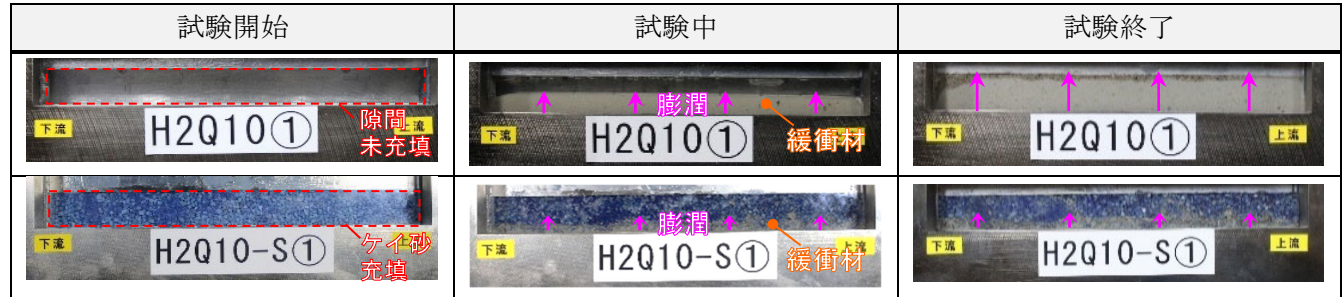


写真-1 各段階における隙間部の状態(上: 隙間未充填, 下: ケイ砂充填)

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ー適切なサイト選定に向けたセーフティケースの構築ー, NUMO-TR-20-03, p.4-109, 2021.

2) 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター: 原環センター 2018 年度 技術年報, p10, 2018.

3) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構, 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター: 令和 2 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発事業 ニアフィールドシステム評価確証技術開発 報告書, p155, 2021.