余裕深度処分施設の低透水層に対する劣化要因が及ぼす影響について(その1)

~ 劣化要因が透水係数に及ぼす影響に関する要素試験 ~

(独)原子力安全基盤機構 正会員 ○東原 知広,正会員 下村 雅則 大成建設(株) 正会員 藤原 斉郁,正会員 増岡 健太郎,正会員 青木 智幸

1. はじめに

余裕深度処分施設のうち人工バリアに求められる主な機能としては低透水性が挙げられ、この長期的な機能評価のためには、想定される劣化要因に対する検証が必要である。人工バリアのうち低透水性を担保する主要な構成材料はベントナイトであり、本論ではベントナイトの長期的な遮水性能低下の要因として3点(①低透水層に隣接する部材のセメント成分溶脱に伴う空隙の増大とベントナイトの侵入にともなう密度低下、②硝酸塩や硫酸塩の影響によるベントナイトの膨潤圧低下、③セメント由来のCaイオンの影響によるベントナイトのCa型化)に着目して透水試験を実施した。また、本試験では事後調査として、試験終了後の供試体に対する密度・飽和度等を確認した。

2. 試験概要

試験ケース一覧を表-1 に示す。試験に使用したベントナイトは Na 型 (クニミネ工業製, クニゲル GX)の 2mm ふるい通過分である。密度低下の影響ケース (No. 1) として乾燥密度を表に示す 4 水準を設定した。可溶性塩の影響として硝酸ナトリウム水溶

使用 ベントナイト 供試体寸法 (mm) 着目点 乾燥密度 使用水 密度低下の影響 ϕ 50 × h10 脱イオン水 1. 0, 1. 2, 1. 4, 1. 6 Na型 可溶性塩の影響 $\phi 50 \times h20$ 5M/L硝酸ナトリウム水溶液 (Mg/m^3) Ca型化の影響 Ca型 φ50×h10 脱イオン水

表-1 試験ケース

液を通水させたケース (No. 2), および Ca 型化の影響として Na 型ベントナイトを Ca 型化処理したケース (No. 3) についても乾燥密度は同様の 4 水準とした。ベントナイトの基本物性を表-2 に示す。なお,Ca 型化に当たっては,5M 濃度の CaCl $_2$ 水溶液により 24 時間の撹拌と静置を 4 回繰返し,80%エタノールによる余剰塩の除去, $^{1)}$,蒸留水洗浄によるエタノール分の除去,および乾燥過程を経て試験試料とした。試験供試体の作成は,いずれも初期含水比 21%としたベントナイト試料に対し

は、いずれも初期含水比 21%としたベントナイト試料に対しステンレス製のリング内で突き固めにより所定の密度とし、供試体の上下端にはメンブレンフィルターを配し、ポーラスメタルを介して給・排水が可能な構造とした。図-1 に試験装置の概要図を示す。透水試験時の注水圧(差圧)については有効粘土密度と膨潤圧の関係²⁾から求められる膨潤圧を超えない値とし、所定注水圧に対し 24 時間ごとに 20%ずつ 5 段階に分けて昇圧させた。なお、通水開始時については予備試験により各供試体の透水性に合わせ予め設定した初期注水圧(0.002~0.01MPa)とした状態で 24 時間静置し、昇圧による試料の乱れが無いように配慮した。

表-2 ベントナイトの基本物性

| 項目 | Na型 | Ca型 | |
|----------------------|--------|--------|-------|
| 土粒子密度(g/ | 2. 628 | 2. 589 | |
| メチレンプルー吸着量(mm | 64 | 62 | |
| 膨潤力 (ml/2 | 14 | 4 | |
| 陽付ン交換容量(me | 69. 6 | 61.4 | |
| 浸出陽イオン (meq/100g) | Na | 51.6 | 6. 7 |
| | K | 2. 0 | 2. 4 |
| | Ca | 36. 1 | 76. 9 |
| | Mg | 4. 6 | 2. 4 |
| | 計 | 94. 2 | 88. 5 |

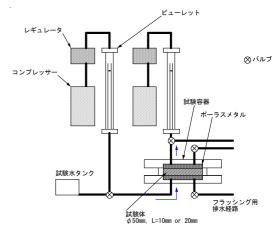


図-1 試験装置概要

3. 試験結果

試験は各ケースにおいて所定の注水圧に到達後,背圧を作用させた状態で定期的に給・排水量を測定しながら定常状態が確認されるまで継続した。なお,定常の判定は1日あたりの給・排水量の差が,給水量に対し

キーワード 余裕深度処分,人工バリア,ベントナイト,透水係数

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 4-3-20 (独) 原子力安全基盤機構 TEL03-4511-1850

±5%以下である状態が3日連続で測定された状態とし、このときの算出された値を最終的な透水係数とした。表-3に試験結果を示す。表中には各供試体の乾燥密度および透水試験時の注水圧(計画差圧)を示している。

また、No. 2 および No. 3 の一部については、比較的透水係数が大きいため変水位透水試験(JIS A 1218)とした。図-2 に有効粘土密度と透水係数の関係を示す。図から、いずれのケースにおいても有効粘土密度が大きいほど透水係数は小さくなる傾向を示し、No. 1 における最小値で 10^{-13} (m/s) オーダーであった。また、図中には関連する既往の知見の結果を示しているが、No. 1 では既往の知見とほぼ一致した結果 $^{3)4}$ であるのに対し、No. 3 については今回の試験結果の方が約 $1\sim2$ オーダー大きな透水係数 7 であった。また No. 2 に関しては、既往の知見の硝酸濃度が今回の条件とは異なり($0.6\sim6$ M)、さらにベントナイトの粒度も異なることから直接的な比較はできないが、ベン

トナイトの膨潤が抑制され高い透水係数を示した。これを受け、透水試験後にローダミン水溶液を用いて供試体中の通水経路の確認を行った結果、いずれのケースにおいても水みち等の形成は確認されなかった。また、透水試験終了後の供試体に対するサンプリングを実施し、密度および飽和度の確認も行った。紙面の都合上、測定の詳細は割愛するが、先端を鋭利とした内径 φ 9mm、肉厚 0.25mm パイプを平面的な分布が分かるように配し、供試体高さ方向についてはマイクロメーターによる位置管理など可能な限りサンプリングの影響のない形とした。その結果、脱型から測定過程に

表-3 試験結果一覧

| No. | 乾燥密度 (Mg/m³) | 計画差圧 (MPa) | 透水係数 (m/s) | 備考 |
|-----|-----------------|---------------|-----------------------|---------|
| 1 | 1. 047 | 0.05 | 2.8×10^{-12} | |
| | 1. 238 | 0.10 | 1.1×10^{-12} | |
| | 1. 516 | 0.30 | 4.3×10^{-13} | |
| | 1. 695 | 0.68 | 1.6×10^{-13} | |
| 2 | 1. 103 | 1 | 6. 1×10^{-5} | 変水位透水試験 |
| | 1. 281 | 1 | 1.3×10^{-5} | 変水位透水試験 |
| | 1. 464 | I | 1.9×10^{-8} | 変水位透水試験 |
| | 1. 572 | 0. 15 | 1.8×10^{-11} | |
| 3 | 1. 171 | ı | 3.6×10^{-9} | 変水位透水試験 |
| | 1. 314 | 0.01 | 7.8×10^{-10} | |
| | 1. 510 | 0.06 | 3.6×10^{-11} | |
| | 1. 625 | 0. 32 | 2.7×10^{-12} | |

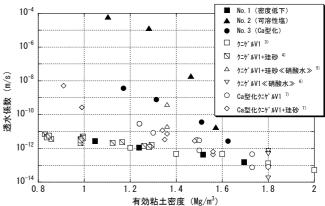


図-2 有効粘土密度と透水係数の関係

おける供試体の膨潤の影響などを考慮すると、供試体の飽和状況などは均一とみなせることが確認された。したがって、今回の試験結果の原因として、従来のクニゲル V1 に比べて大きな粒子のベントナイトに対し Ca 型化を行ったことや高濃度の硝酸ナトリウム水溶液を通液したことによる膨潤能力の低下が考えられる。

4. おわりに

本試験では、想定される劣化要因に対する透水係数を算出した。また、試験後の供試体に対する事後調査と して通水状況の確認および飽和度等の確認を行った。その結果、試験の妥当性が確認され、今後の人工バリア 性能の評価の参考となるデータが取得できたものと考える。

参考文献

- 1) 小峯, 安原, 村上: 人工海水環境下におけるベントナイトの一次元自己シール性, 土木学会論文集 C, Vol. 65, No. 2, pp. 389-400, 2009.
- 2) 伊藤, 庭瀬, 鈴木, 千々松: ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験 (その1) 膨潤挙動に関する検討, 土木学会第63回年次学術講演会, CS05-14, pp. 195-196, 2008.
- 3) 鈴木, 柴田, 山形, 広瀬, 寺門:緩衝材の特性試験 (I), 動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所, PNC TN8410 92-057,
- 4) 小峯、緒方:高レベル放射性廃棄物処分のための緩衝材・埋戻し材の透水特性、電力中央研究所報告、U00041、2001、
- 5) 田島,緒方,新村,久保,藤井:放射性廃棄物処分施設のベントナイト系緩衝材に関する研究,大林組技術研究所報,No. 69, 2005.
- 6) 三原、小林: 圧縮成型ベントナイトの透水係数に及ぼす NaNO3 濃度の影響、JAEA-Research、2007-020、2007.
- 7) 前田,棚井,伊藤,三原,田中:カルシウム型化及びカルシウム型ベントナイトの基本特性―膨潤圧,透水係数,一軸圧縮 強度及び弾性係数―,動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所,PNC TN8410 98-021, 1998.