

余裕深度処分施設の低透水層に対する劣化要因の影響について（その2）

～ 劣化要因の重複を想定したカラム試験 ～

（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

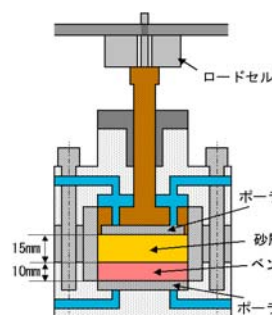
余裕深度処分施設における人工バリアの主要な機能である低透水性に関し、長期的に想定される様々な劣化要因に対する評価が必要であるが、同時にこれらの要因が複数組み合わせる場合も考慮する必要がある。本論では、この劣化要因が組み合わせられた保守的な条件を模擬したカラム試験により、人工バリア材の透水係数と膨潤圧の測定を行った。具体的には、①人工バリア周辺に予定されているセメント系材料の劣化に伴い、拘束力低下によって生じると想定される膨潤・変形によるベントナイトの密度低下、および ②劣化したセメント系材料とベントナイトが十分に混合し密度が低下した低透水層に対して、廃棄体由来の硝酸塩に富んだ間隙水が接触した状態を想定した試験を実施した。

2. 試験概要

上述の状態①を模擬するためにケース CA、②を模擬するためにケース CB を表-1 に示す条件で実施した。このうちケース CA については Na 型ベントナイト（クニゲル GX，クニミネ工業製）の 0.425mm ふり通過分と砂（八戸市松館産石灰砕砂，粗粒率 2.69 程度，JIS A 5005 適合品）の 2 層構造に脱イオン水を通水させた場合，ケース CB については上記②を模擬するために同じ Na 型ベントナイト（2mm ふり通過分）と砂（同上）の混合土に硝酸ナトリウム水溶液を通水させた場合について、透水係数および膨潤圧の測定を行った。図-1 に試験に用いたカラム容器の概要および外観を示す。試験容器は、直径 $\phi 100\text{mm}$ の供試体に対し給・排水側とも加圧可能で、上部のピストンを介してロードセルによる膨潤圧の測定が可能な構造とした。なお、突き固めによる供試体の作成、想定透水係数や膨潤圧を基にした試験開始時および最終的な注水压（差圧）の設定、昇圧方法、および試験終了のための定常判定など別途実施した透水試験¹⁾と同様とした。

表-1 試験ケース

ケース	乾燥密度 (Mg/m^3)	供試体寸法 (mm)	計画差圧 (MPa)	試験水
CA	1.2 (砂層)	$\phi 100 \times h15$	0.8	脱イオン水
	1.6 (ベントナイト層)	$\phi 100 \times h10$		
CB	1.4 (混合土)	$\phi 100 \times h25$	—	5M/L 硝酸ナトリウム水溶液



(a) 概要図



(b) 外観写真

図-1 カラム容器

3. 試験結果

表-2 に試験結果の一覧を示す。このうちケース CA については、2 層構造のうちベントナイト層の膨潤および砂層の圧縮が想定され、ベントナイト層の挙動が供試体としての透水係数に大きく影響することが考えられた。そこで、透水試験後のサンプリングにより密度の空間的な分布の測定を行った。測定は、供試体中央部、外周部および中間部に内径 $\phi 16\text{mm}$ の薄肉パイプ挿入によりサンプリングを行い、マイクロメータを取り付けた脱型治具により高さ 5mm 単位で試料を分取することで行った。結果を図-2 に示す。なお、この測定中は容器の拘束が無くなりベントナイト分の膨潤が進行することが考えられたが、測定作業中において随時スケール

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 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター土木技術研究所 TEL 045-814-7236

による寸法測定を行うなど可能な限りの補正を行っている。その結果、深度方向の密度分布については供試体中央に対し外周部などバラツキは大きいものの、注水側の供試体下部で密度が小さく、図中縦軸の 0.6cm 付近で極大値をとり、その上部では再度密度が小さくなる分布傾向が見られた。膨潤に伴って均一に密度が低下することも想定されたが、供試体下部については注水開始段階の膨潤の影響、層境界付近ではベントナイトの膨潤により砂層を圧縮したなど、今回の試験では不均質な密度の変化が確認された。また、図中にサンプリング時に目視により確認した層境界位置の変化を示す

表-2 試験結果一覧

ケース	透水係数 (m/s)	膨潤圧 (MPa)	計画差圧 (MPa)	備考
CA	6.9×10^{-13}	0.27	0.8	
CB	1.4×10^{-5}	—	—	変水位透水試験
追加①	—	0.81	0.7	乾燥密度1.60Mg/m ³
追加②	—	0.42	0.2	乾燥密度1.29Mg/m ³

が、ベントナイトの一部が砂層内に侵入しており特定は難しいものの、矢印で示すような変化が見られた。なお、同時に測定した含水比により、ベントナイト部分はほぼ 100%の飽和度が確認された。一方、砂部分はサンプリング時の間隙水の保持が難しく飽和状況は確認できなかったものの、透水性が高いことから飽和されていたものと考えられた。また、ケース CB については透水性が高く、特徴的な密度分布性状などは見られなかった。これは硝酸ナトリウム水溶液による通水で混合土中のベントナイトの膨潤が抑制されたことが原因と考えられる。

本試験では、供試体下部より所定の注水圧による給水を行うことによる透水係数の測定と、ピストンを介したロードセルによる膨潤圧の測定を同時に実施している。この機構は、供試体上下両端面による給水よりも供試体の飽和の面で有利とされているものの²⁾、ロードセルの測定値に注水圧の影響やピストン止水部 (O-リング) の影響が含まれる。そこで、透水係数測定後の供試体および追加試験として所定密度のベントナイト単体に対し、注水圧の変化とロードセル測定値の関係の確認を行った。その結果、注水圧変化に依存しない成分を分離することにより膨潤圧を評価した。既往の有効粘土密度と膨潤圧の関係³⁾に今回の結果をプロットした結果を図-3 に示す。その結果、両者はよく一致しており、ベントナイトの膨潤圧はその膨潤・変形過程に依存することなく膨潤圧測定時の有効粘土密度で評価可能であることが示唆される結果が得られた。

4. おわりに

本試験では、人工バリア性能に影響すると考えられる複数の要因を想定したカラム試験を実施した。その結果、ベントナイト層の膨潤・劣化を模擬した影響が確認され、そのときの透水係数や膨潤圧の結果を取得した。なお、膨潤圧については、ベントナイトの膨潤による変形を許容した場合においても、膨潤圧測定時の有効粘土密度により評価できることが確認された。

参考文献

- 1) 東原, 藤原, 増岡, 青木: 余裕深度処分施設の人工バリア性能に対する劣化要因の影響について (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, 土木学会第 66 回年次学術講演会, 2011 (投稿中)。
- 2) 棚井, 菊池, 中村, 田中, 廣永: ベントナイト系材料の標準的室内試験法構築に向けての試験法の現状調査と試験による検討, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research-2010-025。
- 3) 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。

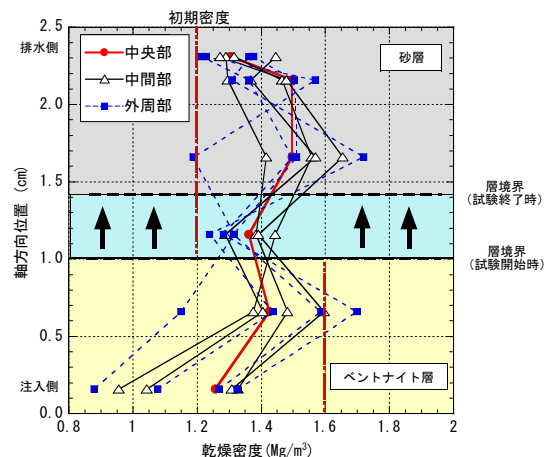


図-2 密度分布 (ケース CA)

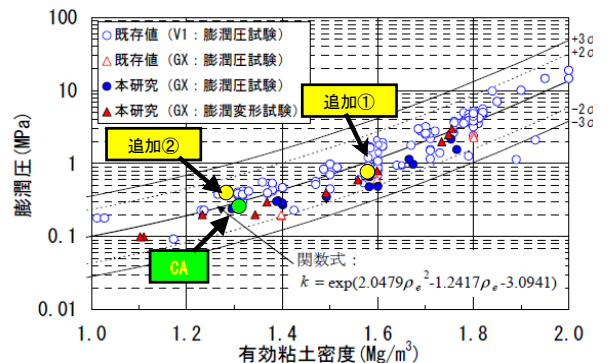


図-3 有効粘土密度と膨潤圧の関係
(文献³⁾に今回の結果を加筆)