

塩水環境下における緩衝材の膨潤挙動に対する寸法効果確認試験およびX線CT装置の適用

(財) 産業創造研究所 非会員 鈴木 寛
日揮 ○正会員 高尾 肇
日揮 正会員 竹々原 竜大

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、緩衝材や廃棄体の定置作業においては、緩衝材と廃棄体、あるいは岩盤との間に施工上の隙間が生ずる可能性がある。これまで、海水等を起源とする塩水系地下水は緩衝材の膨潤性を低下させることが分かっているが¹⁾、隙間充填に関する既往研究²⁻⁸⁾において、地下水が塩水条件での膨潤・透水特性の報告例は少なかった。そこで、筆者らは、塩水および蒸留水条件下におけるベントナイトブロックの隙間充填性能と透水特性の関係について試験を行った⁹⁾¹⁰⁾。試験に用いた供試体の寸法は、膨潤圧力測定で $\phi 60\text{mm} \times h20\text{mm}$ 、通水試験で $\square 50\text{mm} \times h20\text{mm}$ であった。実規模のベントナイトブロックの寸法は、例えば第2次取りまとめでは厚さ 700mm であり、供試体の寸法の違いによる自己シールおよび通水挙動への影響が懸念される(図1)。そこで本研究では、塩水環境下における緩衝材の自己シール・透水挙動に対する寸法効果について研究した。また、X線CT装置を用いた

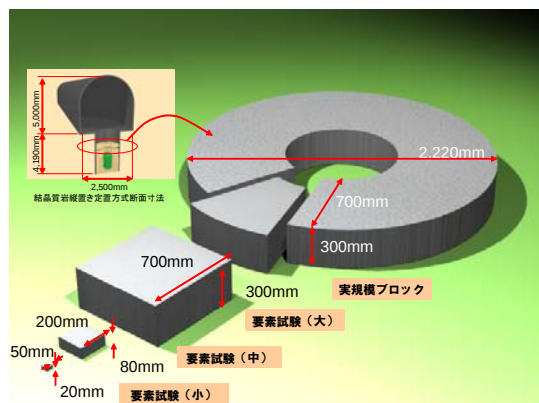


図1 実規模緩衝材と供試体寸法の関係

2. 試験方法

寸法の異なる 2 つのアクリル製の透水カラム（□50mm×h20mm と □200mm×h80mm）を用意した。□50mm×h20mm のカラムを用いたケースを試験 A、□200mm×h80mm のカラムを用いた試験をケース B とした。なお、試験 A と試験 B でのカラム容積の比は 1:64 である。供試体はベントナイトにクニゲル V1、ケイ砂に瓢屋 7 号ケイ砂を用いて、ベントナイト配合率を 70%、50%、40%とした粉末材料を金型内に投入しピストンを油圧プレスで加圧することにより作成した。作成した供試体の寸法は試験 A で 50mm×45mm×h20mm、試験 B で 200mm×180mm×h80mm である。この場合、隙間の寸法はそれぞれ、50mm×5mm×h20mm および 200mm×20mm×h80mm となり、それぞれカラム容積の 10%に相当する。供試体の乾燥密度は隙間充填後に 1.6Mg/m³ となるように設定した。表 1 に試験条件を示す。

供試体を隙間ができるように透水カラムに設置したのち、下側から通水液を水頭差により注入した。試験終了時の注入圧力は全てのケースで0.02MPaであった。試験期間中の人工海水の注入圧力、通水量、通水時間から、単位時間、単位面積、単位時間あたりの通水量（以下、通水フラックス（単位 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}=\text{m/s}$ ）とする）を計算した。図 2 に隙間を考慮した通水試験の概念図を示す。また、試験期間中の供試体の様子を X 線 CT 装置で撮影した。X 線 CT 装置を用いることにより、供試体の密度分布を計算により求めることができ、また、未充填の隙間を視覚的に表すことが可能になる。撮影に用いた X 線 CT 装置は日立製作所の HiXCT-1M であり、X 線のエネルギーは 1MeV である。

3. 試験結果および考察

表2に通水試験結果を示す。表中の括弧内の日数は試験終了時までの通水日数である。有効粘土密度は、砂の体積を除いてベントナイトの乾燥密度を計算した値であり、乾燥密度やベントナイトの配合率にかかわらず、単位体積あたりのベントナイト量を統一的に評価できる指標である。図3に有効粘土密度と通水フラックスの関係を示す。図3から試

表1 試験条件

項目	試験A	試験B
試験材料	ベントナイト:クニゲルV1 混合ケイ砂:瓢屋7号	
試験容器内寸	□50mm×h20mm	□200mm×h80mm
供試体寸法	50mm×45mm×h20mm	200mm×180mm×80mm
ベントナイト配合率	40%, 50%, 70%	
隙間充填後の乾燥密度	1.6Mg/m ³	
通水液	人工海水(ASTM仕様)	

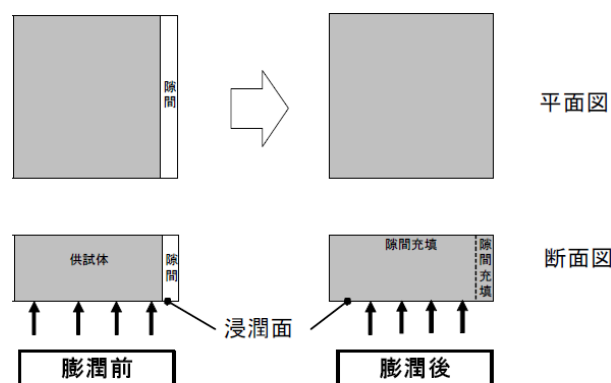


図2 隙間を考慮した通水試験の概念図

表2 通水試驗結果

ベントナイト配合率	有効粘土密度	通水フラックス[m/s]	
[%]	[Mg/m ³]	試験A	試験B
40	1.006	8.47×10^{-8} (60日)	1.39×10^{-7} (97日)
50	1.148	3.60×10^{-8} (85日)	6.06×10^{-8} (97日)
70	1.369	2.06×10^{-11} (108日)	3.84×10^{-11} (98日)

験 B の通水フラックスの値は、試験 A の値より若干大きくなっているものの、有効粘土密度の増加とともに通水フラックスが小さくなっていることが分かる。図 4 には試験 B の通水試験のうち、ベントナイト配合率が 50% および 70% の 1 日目、28 日目、98 日目の様子を示す。図 4 から、試験開始後 1 日目では上部に隙間が残っていることが分かる(図中、赤い楕円で隙間を示した)。一方、28 日目以降ではベントナイト配合率 70% のケースは隙間が充填されているのに対して、ベントナイト配合率 50% のケースでは上部および側部に隙間が残っていることが分かる。図 5 には X 線 CT 装置を用いて撮影した供試体の断面図の一例として、ベントナイト配合率が 50% の場合を示す。図 5 は約 140 日後の高さ 79mm の断面の様子である。図 4 で確認された上部の隙間がそのまま残っていることが分かる。

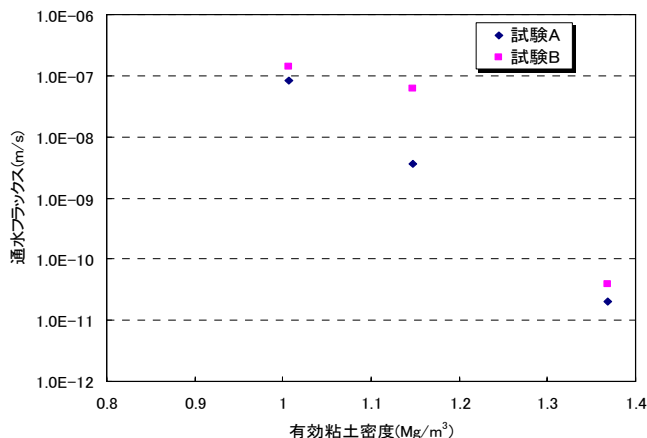


図3 有効粘土密度と通水フラックスの関係

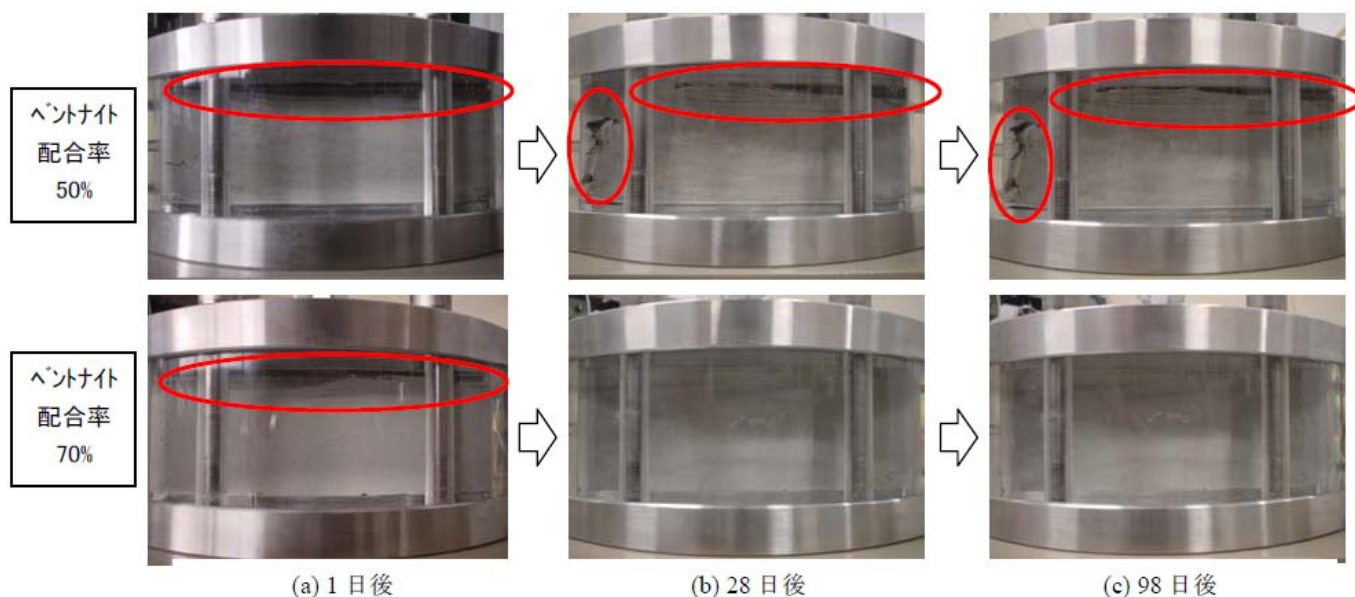


図4 通水試験の様子(試験B)

4. おわりに

寸法の異なる供試体を用いて、有効粘土密度と通水フラックスの関係及び外観観察結果から、緩衝材の膨潤挙動に対する供試体の寸法効果について検討した。通水フラックスの値からは寸法効果はほとんどないと考えられる。今後はより定量的に判断するためにカラム壁面での圧力を計測し、膨潤圧力も指標とする計画である。また、CT スキャンを用いた供試体の断面撮影結果から密度分布測定を試みる。それぞれの試験結果から寸法効果に関する総合的な判断を実施する予定である。

本研究は経済産業省の委託を受けて実施した「地層処分技術調査等(塩水環境下処分技術調査)」の成果の一部である。

参考文献

- 1) 菊池ら(2003): 海水系地下水条件下における埋め戻し材特性に関する基礎試験、JNC TN8430 2003-008
- 2) AECL(1994): The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste: Engineering for a Disposal Facility, AECL-10715
- 3) SKB(1999): Deep repository for spent nuclear fuel SR97 - Post-closure safety, TR-99-06
- 4) 杉田ら(2001): ベントナイトペレットを用いた緩衝材の隙間充填性に関する検討(その1)ベントナイトペレット膨潤後の止水性に関する検討、第56回土木学会年次学術講演会
- 5) 千々松ら(2001): ベントナイトペレットを用いた緩衝材の隙間充填性に関する検討(その2)楔形状の隙間に対する充填性に関する検討、第56回土木学会年次学術講演会
- 6) 杉田ら(2002): 人工バリアにおける緩衝材の隙間充填挙動に関する基礎試験、JNC TN8430 2002-003
- 7) 杉田ら(2003): 人工バリアにおける緩衝材の隙間充填挙動に関する基礎試験(II)、JNC TN8430 2003-007
- 8) 杉田ら(2004): 要素試験結果に基づく隙間共存下におけるブロック緩衝材のバリア性能の評価
- 9) 鈴木ら(2006): 塩水環境下における隙間存在下での緩衝材の膨潤・透水特性、地盤工学会第41回地盤工学研究発表会
- 10) 鈴木ら(2007): 塩水環境下における緩衝材の自己シール・透水挙動に対する寸法効果確認試験、地盤工学会第42回地盤工学研究発表会

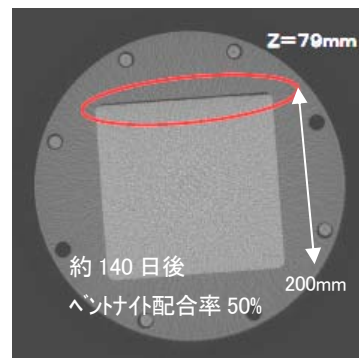


図5 X線CTでの撮影例