

一次元膨潤変形に伴うベントナイトの吸水量測定試験方法の提案と 水分拡散係数の評価

茨城大学 学生会員 ○遠藤さち恵

正会員 小峯秀雄 村上哲

戸田建設 正会員 関口高志 関根一郎

茨城大学 学生会員 小山田拓郎

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるベントナイト系緩衝材には、低透水性による地下水の移動抑制が期待されている¹⁾。再冠水時には、ベントナイト系緩衝材へ地下水が浸入し、不飽和状態から飽和状態へ変遷する。しかし、ベントナイト系緩衝材の透水係数は非常に低く、長期間不飽和状態で存在すると考えられるため、不飽和ベントナイト中の水分移動について把握することが重要とされている。茨城大学では、供試体の体積変化を抑制した状態における吸水量と膨潤圧を同時に測定することが可能な吸水量測定試験装置を提案し、得られた吸水特性から水分拡散係数としての評価を試みてきた²⁾。しかし実際の処分施設において、岩盤とベントナイト系緩衝材には施工上間隙が生じるため、膨潤による変形を考慮した吸水特性および水分拡散係数を評価することは重要である。そこで本研究では、本試験手法を用いて不飽和ベントナイトの一次元膨潤変形における吸水特性に関して考察を行った。

2. 使用した試料および供試体作製方法

本試験では、山形県月布産のベントナイト A (クニミネ工業製・クニゲル V1)を使用した。表 1 に使用したベントナイト A の基本的性質を示す³⁾。供試体は上下二方向からの静的締固めにより直径 60mm、高さ 10mm を目標に作製した。供試体の初期乾燥密度は 1.45~1.74(Mg/m³)、初期含水比は 8.61%であった。ベントナイトは非常に低い透水係数であるため、地盤工学会基準「土の段階載荷による圧密試験方法(JIS A 1217:2009)」⁴⁾で規定されている供試体の高さ 20mm の 1/2 を採用した。

3. 一次元膨潤変形に伴う吸水量測定試験方法

一次元膨潤変形に伴う吸水量測定試験とは、一定鉛直下でベントナイトが吸水し、膨潤変形する際に発生する一次元膨潤変形量と単位時間当たりの吸水量を同時に測定する試験である。膨潤変形量は鉛直圧に依存するため、本試験では比較的低い一定鉛直圧として 19.6kPa を載荷した。変位計(最大容量 25mm、最小目盛 0.002mm)により測定した一次元膨潤変形量 ΔS を初期供試体高さ H_0 で除し、その値を百分率で表示したものを膨潤率 ε_s ($=\Delta S / H_0 \times 100$) と定義した。図 1 に一次元膨潤変形に伴う吸水量測定試験装置の概略図を示す。供試体への給水は、膨潤特性試験装置(図 1 右側の装置)底板の下部給水口に二重管ビュレット(最大容量 100mL、最小目盛 0.5mL)を連結し行った。吸水量の測定は、二重管ビュレットの目視による体積変化測定と同時に、電子天秤(最大容量 6200g、最小目盛 0.01g)による質量変化測定により行った。試験期間は 20 日間とし、水溶液には室温状態の蒸留水(22±3℃)を用いた。

表 1 ベントナイト A の基本的性質³⁾

ベントナイト	A
タイプ	Na 型
土粒子密度(Mg/m ³)	2.79
液性限界(%)	458.1
塑性限界(%)	23.7
塑性指数	434.4
モンモリロナイト含有率(%)	57
陽イオン交換容量(meq./g)	1.166
交換性 Na イオン量(meq./g)	0.631
交換性 Ca イオン量(meq./g)	0.464
交換性 K イオン量(meq./g)	0.03
交換性 Mg イオン量(meq./g)	0.041

モンモリロナイト含有率は、純モンモリロナイトのメチレンブルー吸着量 140(mmol/100g)を基準に算出された値である。

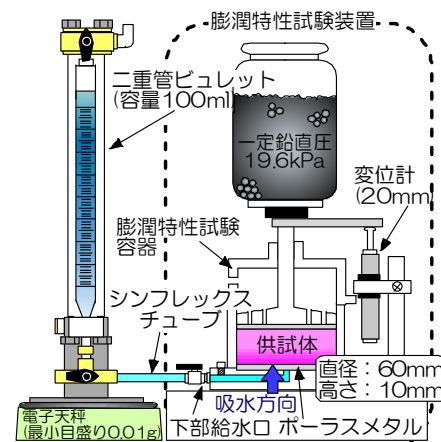


図 1 一次元膨潤変形に伴う
吸水量測定試験装置概略図

キーワード 高レベル放射性廃棄物、不飽和ベントナイト、水分拡散係数、膨潤変形、再冠水、吸水量

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL: 0294-38-5163

4. 膨潤変形による吸水量特性

図2に吸水量と経過時間の関係を示す。各供試体の吸水量は初期乾燥密度にほとんど依存せず、吸水量は52.5～54.5mLの範囲にあった。初期乾燥密度1.45(Mg/m³)、1.64(Mg/m³)および1.74(Mg/m³)の各供試体の試験後乾燥密度は0.56(Mg/m³)、0.62(Mg/m³)、0.64(Mg/m³)となった。試験後の間隙体積は52.6～54.4mLであり吸水量とほぼ一致している。また、初期乾燥密度1.45(Mg/m³)の供試体と比較して、初期乾燥密度1.74(Mg/m³)の供試体は大きく膨潤変形するため、約5000分までの初期の吸水量の増加が大きい。図3に試験により得られた吸水量を経過時間の平方根で整理した図を示す。不飽和状態である初期の吸水量に直線部分が確認でき、このことより、初期乾燥密度の大きい供試体は初期の吸水速度が速いことが分かった。

5. 水分拡散係数としての評価と膨潤変形の影響

図4に後述の式(1)、(2)より算出した水分拡散係数と初期乾燥密度の関係を示す。水分拡散係数は、4章で記述した初期の吸水量の初期直線を用いて算出した式(1)と、拡散方程式より導いた式(2)^{2),5)}を用い、膨潤変形により減少する乾燥密度を補正して算出した。

$$Q = a\sqrt{t} + b \quad \cdots(1), \quad D = \left(\frac{a}{n_e A} \right)^2 \quad \cdots(2)$$

ここで、 a は供試体の吸水量、 b は供試体設置時に生じた間隙への流入量、 n_e は吸水に対する有効間隙率(初期体積含水率と膨潤変形による乾燥密度変化を補正した体積含水率の差)、 A は供試体の断面積である。既往の研究において、供試体の体積変化を抑制した膨潤圧測定条件での水分拡散係数は、初期乾燥密度に依存せず、 $2.81 \times 10^{-10} \sim 4.85 \times 10^{-10} (\text{m}^2/\text{s})$ とほぼ同程度の値を得られている^{2),6)}。しかし本試験において行った、供試体が一次元膨潤変形する状態では、初期乾燥密度の増加に伴い、水分拡散係数が指数関数的に増加していることが分かる。この原因は、上記で示したように、初期乾燥密度1.74(Mg/m³)の供試体では初期の吸水速度が速いため、水分拡散係数が増加したものと考えられる。

6. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 一次元膨潤変形条件において、初期乾燥密度1.45(Mg/m³)の供試体と比較して、初期乾燥密度1.74(Mg/m³)の供試体は大きく膨潤変形するため、初期の吸水量の増加が大きいことが分かった。
- 2) 一次元膨潤変形条件における水分拡散係数は、初期乾燥密度の増加に伴い指数関数的に増加することが分かった。
- 3) 一次元膨潤変形に伴う吸水特性と水分拡散係数を評価出来る試験方法を提案した。

参考文献 1) 核燃料サイクル機構：我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ-分冊2 地層処分の工学技術, JNC TN1400 99-022, 1999. 2) 遠藤さち恵, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 関口高志, 関根一郎：不飽和ベントナイトの吸水量と膨潤圧の同時測定可能な新しい実験手法の提案と水分拡散係数の評価, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010. 3) 直井優, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 百瀬和夫, 坂上武晴：各種ベントナイト系緩衝材の膨潤特性に及ぼす人工海水の影響, 土木学会論文集, No.785/III-70, pp. 39-49, 2005.3. 4) 社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説一 二分冊の1-1, pp462-499. 5) 中野政詩：土の物質移動学, 東大出版会, 1991. 6) 長谷川琢磨：ベントナイトの透水・浸潤特性への海水影響, 電力中央研究所報告, N04005, 2004.

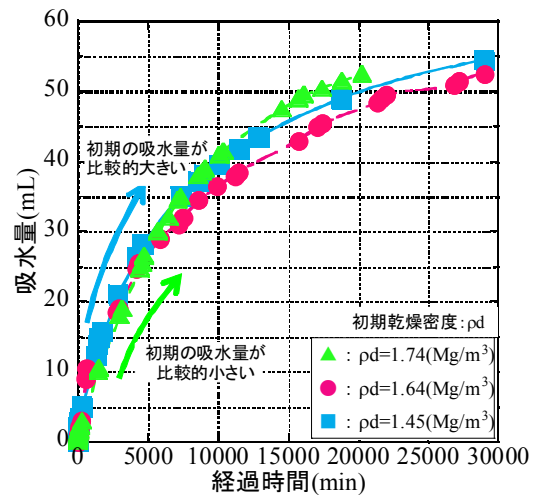


図2 吸水量と経過時間の関係

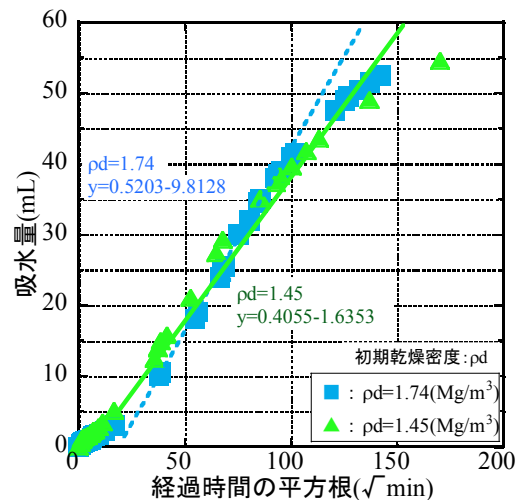


図3 吸水量と経過時間の平方根の関係

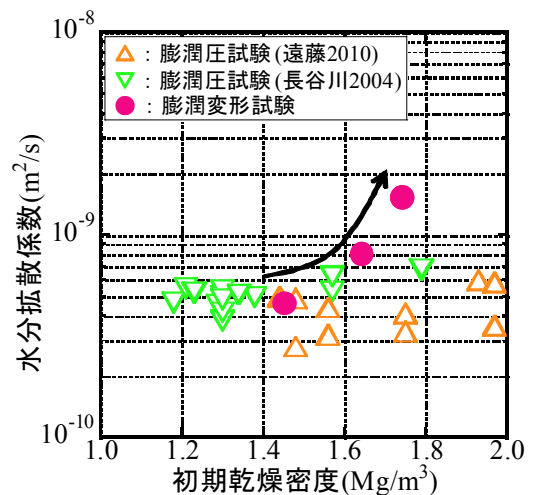


図4 水分拡散係数と初期乾燥密度の関係