

人工海水環境下における
不飽和ベントナイトの吸水特性および水分拡散係数

茨城大学 学生会員 ○遠藤さち恵

茨城大学 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

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設は、原子力発電所が臨海部に建設されていることや、廃棄体運搬の利便性の観点から沿岸域付近に建設されることが考えられる¹⁾。沿岸域付近における処分施設を想定した場合、処分施設に流入してくる地下水には、化石地下水や塩水楔等により海水起源の塩類が含有されると考えられており、ベントナイトの透水係数や膨潤特性は周辺の水の影響を受けることが知られている²⁾。一方、ベントナイト系緩衝材の透水係数は非常に低く、長期間にわたり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は肝要である。著者らは、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³⁾。そこで本研究では、人工海水濃度 100%、30%、10%の水溶液を用いて膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験を実施し、人工海水環境下における吸水特性および水分拡散係数について考察を行った。

2. 使用した試料および供給溶液

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) ， 初期含水比 7.22～9.04% の試料を使用した。表-1 に使用したベントナイト A の基本的性質を示す⁴⁾。供給した水溶液は、常温状態の蒸留水と人工海水(MARINE ART SF-II, 大阪薬研株式会社)を用いた。表-2 に ICP 発光分析装置により測定した人工海水 100% の主要な陽イオン濃度の測定結果を示す。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 の円柱状を目標に作製した。

3. 膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験の概要

膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験とは、膨潤する供試体の体積増加を抑制した状態において、単位時間当たりの吸水量と膨潤圧を同時に測定する試験である³⁾。図-1に膨潤に伴う吸水量測定試験装置の概略図を示す。供試体への給水は塩水槽より人工海水を供給し、膨潤特性試験装置(図-1 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 25ml, 最小目盛 0.1ml)を連結し行った。吸水量は二重管ビュレット内の水分減少量とし、それを目視により測定した。試験期間は膨潤圧と吸水量がほぼ定常化する7日間とした。

4. 人工海水環境下における吸水量特性

図-2 に初期乾燥密度 $\rho_d=1.6\text{Mg/m}^3$ 付近における蒸留水環境下と人工海水環境下の吸水量と経過時間の関係を示す。これより約 2000 分まで初期の吸水量は両条件とも同様な挙動を示していることが分かる。しかし約 2000 分以降、蒸留水および人工海水濃度 10%の吸水量は上昇を続けているが、人工海水濃度 100%、30%においては吸水量がやや緩やかな増加と

表-1 ベントナイト A の基本的性質 ⁴⁾

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)を基準に算出した値である。

表-2 ICP 発光分析による陽イオン濃度

各陽イオン濃度(mol/m ³)			
Na イオン	Ca イオン	Mg イオン	K イオン
421.11	11.36	24.39	22.14

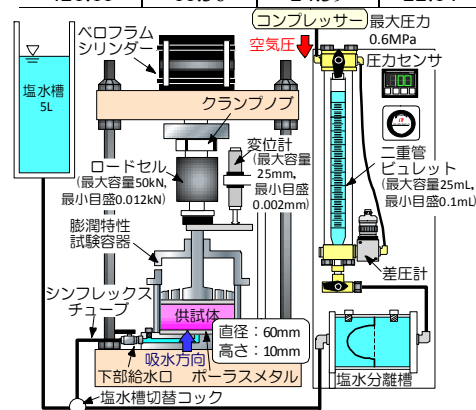


図-1 膨潤圧発生に伴う
吸水量測定試験装置概略図

キーワード 高レベル放射性廃棄物、不飽和ベントナイト、人工海水、水分拡散係数、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

なり、この2ケースにおいては約8000分以降ではほぼ定常化している。ベントナトに含有されるモンモリロナイトの性質として、外部溶液の Na^+ 濃度が十分に低い場合には、モンモリロナイト結晶層間と間隙水の Na^+ 濃度を平衡に保つための浸透圧により吸水され、 Na^+ 濃度が高い場合には濃度が平衡になるため浸透圧が低くなる⁵⁾。図-3に示すように、蒸留水ではモンモリロナイト結晶層間と間隙水の Na^+ 濃度差が大きく浸透圧が高いため、約2000分以降の吸水量が人工海水よりも大きくなり、一方で人工海水ではモンモリロナイト結晶層間と間隙水の浸透圧が低いため、吸水量が定常化したと考えられる。

5. 水分拡散係数としての評価と人工海水の影響

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、吸水量と経過時間 $\sqrt{t}$ の初期直線に基づき算出した式(1)と、拡散方程式より導いた式(2)を用いて算出した⁶⁾。

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

ここで、 Q は供試体の吸水量(mL)、 a は単位時間 $\sqrt{t}$ 当たりの供試体への吸水量(mL/ $\sqrt{\text{min}}$)、 b は供試体設置時に生じた間隙への流入量(mL)、 D は水分拡散係数(m^2/s)、 n_e は吸水に対する有効間隙率(-)(初期体積含水率と飽和状態の体積含水率の差)、 A は供試体の断面積(m^2)である。蒸留水環境下において水分拡散係数は初期乾燥密度にほとんど依存せず、 $2.81 \times 10^{-10} \sim 4.85 \times 10^{-10} (\text{m}^2/\text{s})$ とほぼ同程度の値を得られている^{3), 7)}。また、既往の研究において、供給溶液を人工海水とした場合の水分拡散係数には乾燥密度の依存性が確認されている⁷⁾。本試験において、人工海水環境下では $\rho_d = 1.5 \text{Mg}/\text{m}^3$ 以下の水分拡散係数は $1.14 \times 10^{-9} \sim 6.56 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ と ρ_d が低くなるほど大きい値となり、 $\rho_d = 1.5 \text{Mg}/\text{m}^3$ 以上の領域では蒸留水環境下の水分拡散係数と概ね同程度で定常的な値となる知見を新たに得た。

6. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 蒸留水環境下ではモンモリロナイト結晶層間と間隙水の Na^+ 濃度差が大きく浸透圧が高いため、約2000分以降の吸水量が人工海水よりも多くなり、一方で人工海水環境下では浸透圧が低いため、吸水量が定常化したと考えられる。
- 2) 人工海水環境下において、 $\rho_d = 1.5 \text{Mg}/\text{m}^3$ 以下の水分拡散係数は $1.14 \times 10^{-9} \sim 6.56 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ と ρ_d が低くなるほど大きい値となり、 $\rho_d = 1.5 \text{Mg}/\text{m}^3$ 以上の領域では蒸留水環境下の水分拡散係数と概ね同程度で定常的な値となる知見を新たに得た。

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) 田中幸久, 中村邦彦：海水の濃度と高温履歴がベントナイトの膨潤特性に及ぼす影響とその評価, 土木学会論文集, No.806/III-73, pp.93-111, 2005. 3) 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. 4) 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. 5) 日本粘土学会：粘土ハンドブック(第三版), pp.113-123, 145-147, 2009. 6) 中野政詩：土の物質移動学, 東大出版会, 1991. 7) 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.

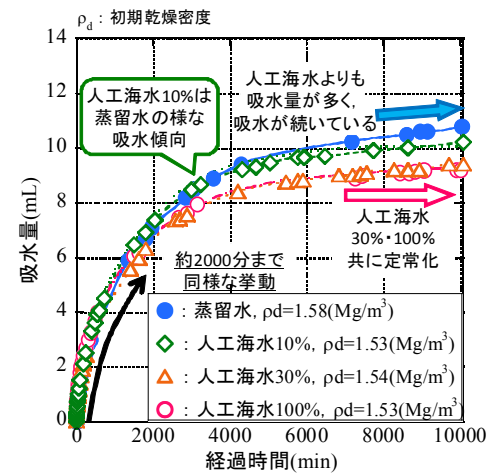


図-2 初期乾燥密度 $1.6 \text{Mg}/\text{m}^3$ 付近における吸水量と経過時間の関係

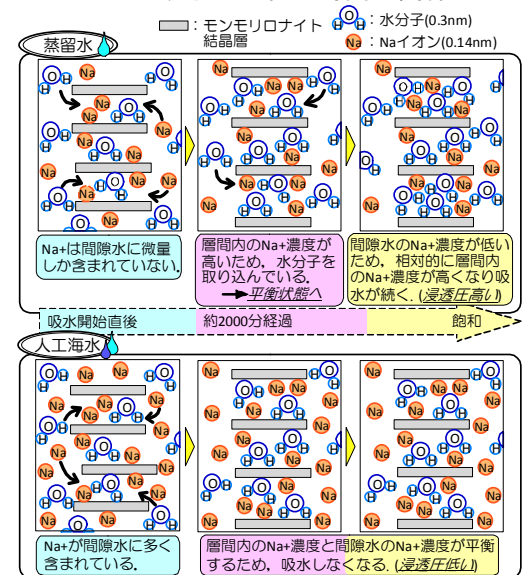


図-3 供給溶液の違いによる吸水メカニズムの推察

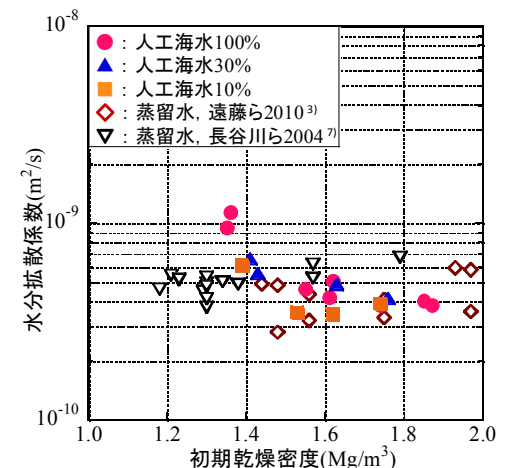


図-4 水分拡散係数と初期乾燥密度の関係