

OH⁻イオンと Cl⁻イオン環境下における Ca-Mg 型ベントナイトの 膨潤変形特性に関する実験的研究

早稲田大学 学生会員 ○館野 壮平, 伊藤 大知
早稲田大学 正会員 小峯 秀雄, 王海龍,
山田 味佳

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分において、廃棄物周囲に粘土系材料のベントナイトを締め固めて緩衝材として施工することが計画されている。これは、ベントナイトが有する低透水性や膨潤性によって地下水流動が抑制されることが期待できるためである。地層処分の実現に向けて、想定される地下水質における様々なベントナイトの浸潤特性および膨潤特性を把握する必要がある。そこで、研究例が少ない Ca-MG 型ベントナイトと放射性廃棄物の処分地盤における地下水として想定される海水、コンクリート溶脱水^{1),2)}を模した電解液を用いて膨潤変形試験を行い、膨潤変形特性を調査した。Ca-Mg 型ベントナイトは、Ca 型ベントナイトよりも膨潤変形特性が優れており、Na 型ベントナイトよりも耐海水性が期待できるベントナイトである。

2. 使用した試料の基本的性質および供給水として使用した電解液

本研究で使用した試料は Ca-Mg 型ベントナイトのホージュン三川原鉱産（以降 MG と表記）である。表 1 に基本的性質を示す。供給水として使用した電解質溶液は、NaOH 水溶液と NaCl 水溶液である。NaOH 水溶液はコンクリート溶脱水による pH 上昇を想定して選定した。NaCl 水溶液は海水由来の塩分を含む地下水の流入を想定したために選定した。NaOH 水溶液は pH9~13 の範囲に調整した。NaCl 水溶液は、NaOH 水溶液 pH9~13 の範囲に対応したモル濃度の範囲（ 1.0×10^{-5} mol/L~ 1.0×10^{-1} mol/L）を用いた。

表 1 使用した試料の基本的性質

試料	MG	
土粒子密度 (Mg/m ³)	2.54	
液性限界 (%)	100.3	
塑性限界 (%)	32.5	
塑性指数	67.8	
モンモリロナイト含有率 (%)	47.9	
陽イオン交換容量 (cmol(+)/kg) (SFSA 改良版)	Na ⁺	8.1
	K ⁺	1.2
	Ca ⁺	22.7
	Mg ⁺	21.2
	Total	53.3

3. 供試体作製方法

供試体は動的締め固めて高さ 10 mm、直径 60 mm の円筒形を目標として作製した。また、目標乾燥密度は 1.0 Mg/m³とした。全ての供試体は自然含水比で、6.0~8.0 % の条件で作製した。

4. 膨潤変形試験の概要

膨潤変形実験とは、一定鉛直圧下における供試体の一次元変形量を測定する実験である。本実験では鉛直圧として 3.1 kPa を載荷した。使用した実験装置を図 1 に示す。実験期間は 3 日間とした。膨潤変形量は供試体初期高さの影響を受けるため、式 (1) に示す膨潤変形率によって結果を整理した。

$$\varepsilon_s = \frac{\Delta S}{H_0} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 ε_s : 膨潤変形率 (%) , ΔS : 膨潤変形量 (mm) , H_0 : 供試体初期高さ (mm)

また、後述の図 2 および図 3 に示す通り膨潤変形率は実験開始から 2 日程で収束したため、その膨潤変形率を最大膨潤変形率 $\varepsilon_{s \max}$ と定義した。

5. NaOH 水溶液と NaCl 水溶液を用いた Ca-Mg 型ベントナイトの膨潤変形特性

図 2 は膨潤変形率 ε_s と経過時間 t の関係を示し、蒸留水環境と NaOH 水溶液環境の比較を示している。

キーワード ベントナイト 放射性廃棄物処分 膨潤変形試験 膨潤変形特性

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 早稲田大学 地盤工学研究室 TEL 03-5286-2940

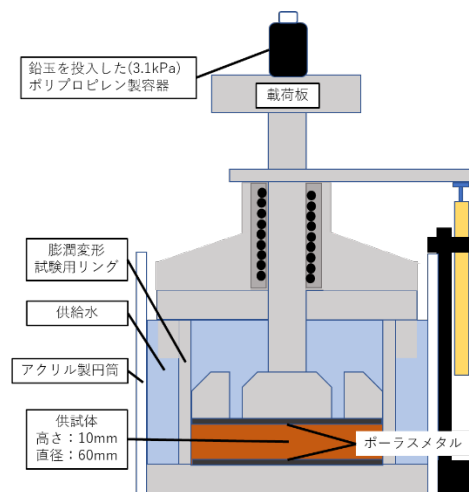


図 1 膨潤変形実験装置

図2に示すように、蒸留水およびNaOH水溶液のいずれの場合においても約1000分経過した後、膨潤変形率は安定しているが、pH9下での膨潤変形率は他の環境下に比べて大きく下回っている。この理由は、蒸留水と各アルカリ環境下におけるモンモリロナイト結晶層間のイオン挙動の違い(図3)から説明することができると考えられる。モンモリロナイトの膨潤現象は、結晶層間とその周辺水溶液のイオン濃度差による浸透圧を駆動力として、結晶層間に水分子が流入することにより層間距離が増大することによって起こると考えられている³⁾。供給水をpH9のNaOH水溶液にすることにより結晶層間とその周辺水溶液のイオン濃度差の減少し浸透圧が減少することによって結晶層間に水分子が流入することが妨げられ、膨潤変形率が減少したと考えられる。図3に蒸留水環境とpH9のNaOH水溶液環境のモンモリロナイト結晶層間の概念を模式的に示す。

また、図2に示すようにpH10~13の膨潤変形率はpH9の膨潤変形率と比べると上昇した。この理由は次のように考えられる。モンモリロナイト粒子端面の電荷はpH依存しており、周囲のpHが上昇することで負電荷量が增大することが知られている⁴⁾。これをpH依存荷電とよぶ。モンモリロナイト粒子端面の負電荷量の増大により、電気的に引き付けられた周囲のNaOH水溶液由来のNa⁺イオンがモンモリロナイト結晶層間に取り込まれたため、膨潤変形特性が上昇したと考えられる。図3にpH10~13のNaOH水溶液環境のモンモリロナイト結晶層間の概念を模式的に示す。

図4は膨潤変形率 ε_s と経過時間 t の関係を示し、蒸留水環境とNaCl水溶液環境の比較を示している。図4に示すようにNaCl水溶液環境の場合、モル濃度 1.0×10^{-1} mol/Lのみ膨潤変形率の減少が見られた。Ca-Mg型ベントナイトはNaCl水溶液のモル濃度 1.0×10^{-5} mol/L~ 1.0×10^{-2} mol/L範囲において膨潤変形特性に及ぼす影響は小さいと考えられる。

6. まとめ

本研究では、膨潤変形試験によって、Ca-Mg型ベントナイトのモル濃度 1.0×10^{-5} mol/L~ 1.0×10^{-1} mol/LのNaCl水溶液とNaOH水溶液を供給した場合の膨潤変形特性を明らかにした。本研究で得られた知見は以下の通りである。1) Ca-Mg型ベントナイトにおいて周囲の水溶液のpHが上昇すると膨潤変形率が増加する傾向を示した。2) Ca-Mg型ベントナイトにおいて周囲のNaCl水溶液のモル濃度が 1.0×10^{-1} mol/Lになると著しく膨潤変形特性が低下した。

謝辞: 本研究はJSPS科研費21K04260の成果の一部である。

参考文献: 1) 核燃料サイクル開発機構東海事業所: 幌延地下水を用いた緩衝材・埋め戻し材の基本特性試験(試験報告), JNC TNC8430 2004-005, p.52 2) 大和田仁, 三原守弘, 入矢桂史郎, 松井淳: 放射性廃棄物地層処分システムにおけるセメント系材料の検討, 核燃料サイクル開発機構公開技術資料, JNCTN8400 99-057, 2000. 3) 日本粘土学会: 粘土ハンドブック(第二版), 技報堂出版, p.132, 1982. 4) 佐藤努: 粘土の特性と利用, 粘土科学第41巻第1号26-33(2001)

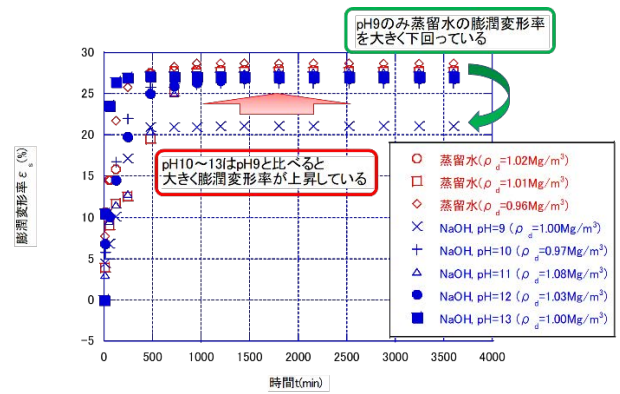


図2 膨潤変形率 ε_s と経過時間 t の関係(蒸留水とNaOH水溶液)

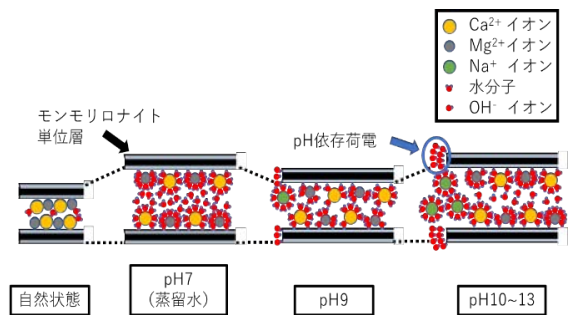


図3 各水溶液環境のモンモリロナイト結晶層間の模式図

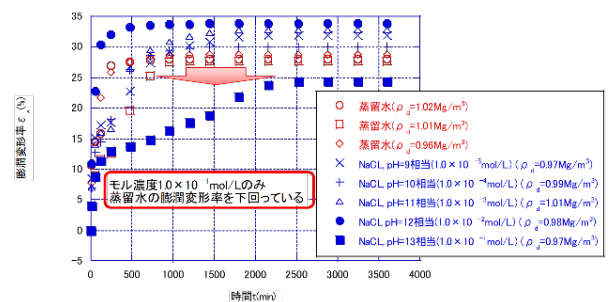


図4 膨潤変形率 ε_s と経過時間 t の関係(蒸留水とNaCl水溶液)