

## ベントナイト透水特性に対する間隙水水質の影響に関する一考察

大成建設 正会員 ○本島 貴之, 木ノ村幸士  
 東電設計 正会員 金子 岳夫, 河原 忠弘  
 日本原燃 正会員 庭瀬 一仁, 伊藤 裕紀

## 1. はじめに

低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分では低透水層の材料としてベントナイト, 浅地中処分では難透水性覆土の材料としてベントナイト混合土が検討されている. ベントナイトには主に低透水性が期待されるが, 透水特性に影響を及ぼす要因は物理的, 化学的に様々な事象が想定されている<sup>1,2</sup>. 種々の影響要因事象の中で, 低レベル放射性廃棄物に分類される廃棄物の中には硫酸塩, 硝酸塩等の可溶性塩を含む廃棄物も想定されることから, それらのイオンを含む間隙水がベントナイト系材料を通過する際の透水特性変化についても検討が必要となるものと考えられる. そこで, 本稿では  $\text{Na}^+$ やその他の陽イオンを含む間隙水がベントナイトの透水性に及ぼす影響を既往文献<sup>3,4</sup>に基づいて取りまとめ, ベントナイト系材料を用いる低透水層, 難透水性覆土を設計する上での課題を取りまとめる.

## 2. 収集データの整理手法

本稿では, ベントナイトの透水係数に関する既往検討で報告されている試験結果を再整理する上で, ベントナイトの構成鉱物であるモンモリロナイトの層間陽イオン種類, 間隙水の当量イオン濃度, 試験体の有効モンモリロナイト密度およびプレハイドレーションの有無の4項目に着目して整理を実施した.

ベントナイトの低透水性は一般に, 構成鉱物であるモンモリロナイト層間への吸水によって生じる膨潤性能と, モンモリロナイト層間の拡散電気二重層による電場の影響によって生じるものと考えられている. 間隙水中の陽イオン濃度が高い場合には, 浸透圧により生じるモンモリロナイト層間への吸水現象が阻害されること, 同じくモンモリロナイト層間の拡散電気二重層が縮小することから, 純水を通水させる場合に比べて透水係数が増加する.

この時, 透水係数の増加度合いは陽イオン濃度よりもイオンの価数を取り入れた当量イオン濃度に支配されるとの指摘<sup>5,6</sup>があるため, 本稿でも当量イオン濃度に着目して取りまとめを実施した. また, 密度についても既往検討<sup>7</sup>を参考とした. なお本稿では, 陽イオン濃度が高い間隙水がベントナイトや混合土に浸入する前に, 雨水や陽イオン濃度の低い地下水にて飽和されている現象をプレハイドレーションと呼ぶ. このプレハイドレーションが生じている場合には, 陽イオン濃度が高い間隙水を直接通水するよりも透水係数が低下することが知られているため, 既往検討を整理する上で着目する項目として挙げた.

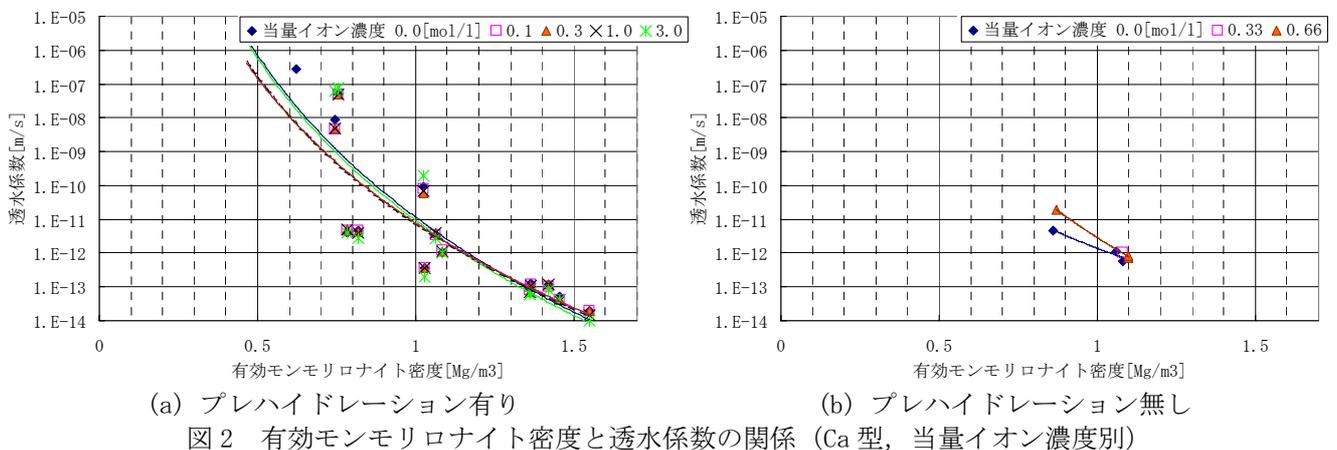
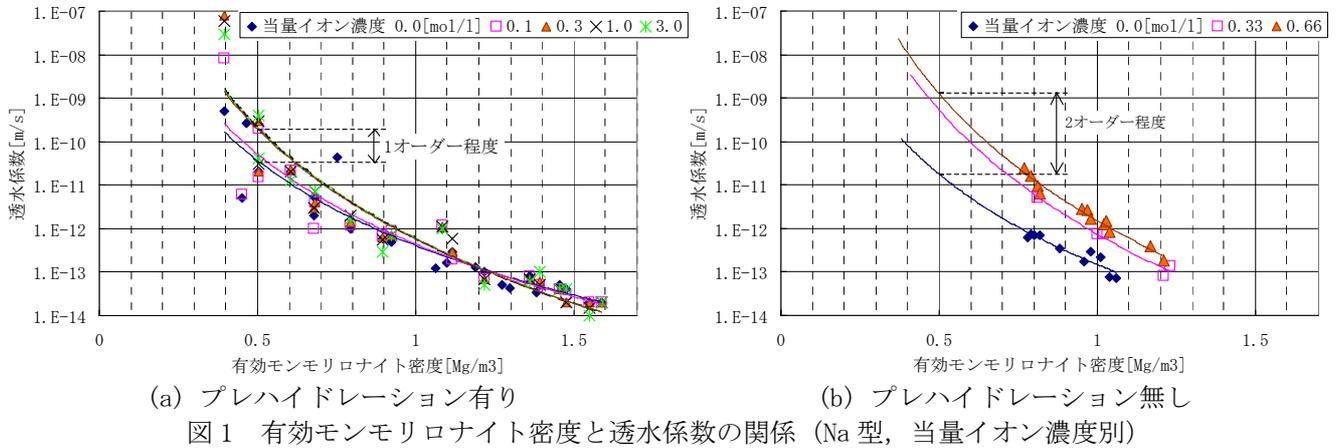
- ・ 当量イオン濃度  $= \sum C_i \cdot z_i$  [eq/L],  $C_i$ : 陽イオン  $i$  の濃度 [mol/l],  $z_i$ : 陽イオン  $i$  の価数.
- ・ 有効モンモリロナイト密度:  $\rho_{em} = \frac{\rho_d C_m}{(1 - \rho_d / \rho_s) + \rho_d C_m / \rho_m}$ ,  $\rho_d$ : 試料の乾燥密度,  $C_m$ : モンモリロナイト含有率,  $\rho_s$ : ベントナイトの土粒子密度,  $\rho_m$ : モンモリロナイトの土粒子密度である.

## 3. 間隙水水質影響の整理

既往検討における試験結果を前述の4項目に着目して整理した結果を図1, 図2に示す. 図1は層間陽イオンとして  $\text{Na}^+$ が支配的なベントナイト (Na型ベントナイト) についてプレハイドレーションの有無で分類し, 有効モンモリロナイト密度と透水係数の関係についてプロットした散布図である. 同図より, 密度が同じ場合には間隙水の当量イオン濃度が高いほど透水係数が高い傾向が読取られるが, 有効モンモリロナイト密度が高いケースでは影響が小さい. また, 密度の低いケース(約  $0.5\text{Mg/m}^3$  周辺)での当量イオン濃度増加時の透水係数の増加度合いは, プレハイドレーション無しの方が大きい. ただし, プレハイドレーション無しの値は近似曲線の外挿値である.

キーワード ベントナイト, 透水係数, 層間陽イオン, 当量イオン濃度, プレハイドレーション, 有効モンモリロナイト密度 連絡先 〒163-6009 東京都新宿区西新宿 6-8-1 大成建設(株)原子力本部 TEL:03-5381-5315

一方、図2は層間陽イオンとして $\text{Ca}^{2+}$ が支配的なベントナイト(Ca型ベントナイト)について、同様に取りまとめた結果である。プレハイドレーションがある場合(図2(a))、透水係数のばらつきが大きいものの、間隙水の当量イオン濃度に応じた透水係数増加の傾向は小さく、同一試料の場合には最大でも2倍程度である。図2(b)のプレハイドレーション効果がない場合についても、データ数が少ないものの、Na型ベントナイトの結果(図1(b))と比較して同一密度での透水係数増加の傾向は小さいことが分かる。



#### 4. 今後の課題

前述の4項目に着目して、間隙水の当量イオン濃度が増加した際の透水係数の増加度合いを整理した結果、Ca型ベントナイトでは当量イオン濃度増加に伴う透水係数増加は最大でも2倍程度であるのに対して、Na型ベントナイトでは有効モンモリロナイト密度が $0.5\text{Mg/m}^3$ の場合には、プレハイドレーション有りの場合には約1オーダー、プレハイドレーションなしの場合には約2オーダーの透水係数増加が予想される結果となった。

一方、今後、低透水層や難透水性覆土の材料設計する上での課題としては、今回外挿値で議論した低密度部分の試験データ、Ca型ベントナイトに関する試験データ、廃棄体成分から予想される当量イオン濃度に対応する試験データ等を拡充すること、放射性廃棄物処分施設の安全評価の時間スケールと整合する長期的な観点でのプレハイドレーション効果の検討等が挙げられる。また本稿は間隙水の当量イオン濃度に起因する透水係数変化のみに着目しているものの、実際には水質変化に起因する変質・溶解や層間陽イオン交換等の他事象と複合して透水係数が変化するため、それぞれの検討を組み合わせ、理論的な観点からの透水性能変化の予測も今後必要となると思われる。

#### 参考文献

- 1) 原子力安全委員会: 二分第23-1号付属資料, 2009.
- 2) 土木学会エネルギー委員会: 余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方, 2008.
- 3) 長谷川: ベントナイトの透水・浸潤特性への海水影響, 電中研報告N04005, 2004.
- 4) Karmland et al.: Mineralogy and sealing properties of various bentonites and smectite-rich clay minerals, SKB TR-06-30, 2006.
- 5) Mitchell and Soga: Fundamentals of soil behavior 3rd ed., 2005.
- 6) Rowe et al.: Barrier systems for waste disposal facilities 2nd ed., 2004.
- 7) 仏田他: ベントナイトの透水係数に対する各種評価指標値の有効性比較, 土木学会第59回年次講演会, 2004.