

# モンモリロナイト結晶層間距離の観点からの海水環境下における ベントナイト系緩衝材の透水係数に関する一考察

茨城大学 正会員 ○小峯秀雄

茨城大学 フェロー会員 安原一哉, 正会員 村上哲

栃木県庁 (元茨城大学大学院) 非会員 佛田理恵

## 1. 背景・目的と既報成果<sup>1)</sup>の概要

著者らは、高レベル放射性廃棄物の地層処分施設が沿岸域に建設されることを想定して (図1参照)、施設周辺の地下水として陸水系および海水系を想定した各種ベントナイトの透水係数データについて報告してきた<sup>1)</sup>。本研究では、第一著者が提案しているベントナイト系緩衝材・埋戻し材の透水係数理論評価式<sup>2)</sup>や膨潤特性理論評価式<sup>3), 4)</sup>中のモンモリロナイト結晶層間距離の算出式を利用して、参考文献1)で報告した各種ベントナイトの透水係数データに関して考察すると共に、モンモリロナイト結晶層間による海水成分の濾過機能の可能性について論じる。参考文献1)で報告された成果は次の通りである。すなわち、①ベントナイトA (クニゲルV1・クニミネ工業) では、乾燥密度がおおよそ  $1.8\text{Mg/m}^3$  以下において、人工海水環境下における透水係数が蒸留水環境の場合と比べ、高くなる傾向を示す。乾燥密度が  $1.6\text{Mg/m}^3$  付近では、人工海水環境下における透水係数は、蒸留水環境の場合の2~5倍程度、高くなるものと思われる。②ベントナイトB (ボルクレイ・日商岩井ベントナイト) においては  $1.6\text{Mg/m}^3$  以下、ベントナイトE (MX-80・日商岩井ベントナイト) においては  $1.6\sim 1.7\text{Mg/m}^3$  以下になると人工海水環境下における透水係数は蒸留水環境と比べて、顕著に高くなることが認められる。

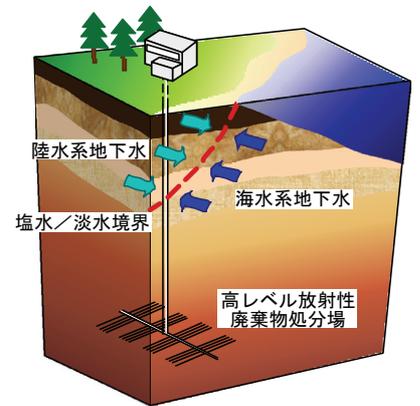


図1 沿岸域における高レベル放射性廃棄物地層処分施設のイメージ

## 2. ベントナイト系緩衝材・埋戻し材の透水係数理論評価式<sup>2)</sup>や膨潤特性理論評価式<sup>3), 4)</sup>中のモンモリロナイト結晶層間距離の算出式

参考文献2)~4)において、第一著者はベントナイト系緩衝材・埋戻し材の透水係数理論評価式と膨潤特性理論評価式を提案した。これらの理論式中の次の4つの理論式(1)~(4)によれば、ベントナイトの種類および乾燥密度に応じて、モンモリロナイトの結晶層間距離を理論的に算出できる (図2参照)。

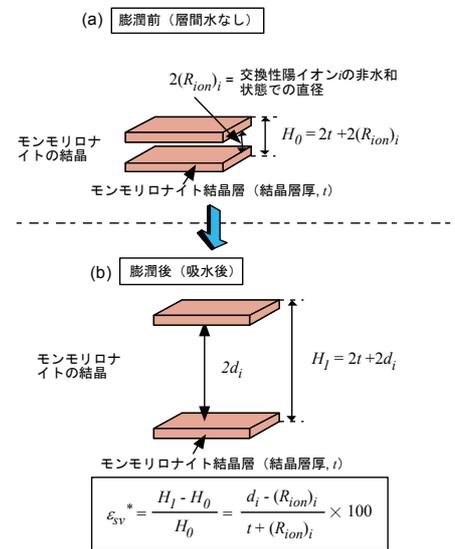
$$d_i = \frac{\varepsilon_{sv}^*}{100} \{t + (R_{ion})_i\} + (R_{ion})_i \quad (1)$$

$$\varepsilon_{sv}^* = \left\{ e_o + \frac{\varepsilon_{smax}}{100} (e_o + 1) \right\} \times \left\{ 1 + \left( \frac{100}{C_m} - 1 \right) \frac{\rho_m}{\rho_{nm}} + \left( \frac{100}{\alpha} - 1 \right) \frac{100}{C_m} \frac{\rho_m}{\rho_{sand}} \right\} \times 100 \quad (2)$$

$$e_o = \frac{\rho_{solid}}{\rho_{d0}} - 1 \quad (3) \quad \rho_{solid} = \frac{100}{C_m} \frac{100}{\alpha} \rho_m \quad (4)$$

$$\left\{ 1 + \left( \frac{100}{C_m} - 1 \right) \frac{\rho_m}{\rho_{nm}} + \left( \frac{100}{\alpha} - 1 \right) \frac{100}{C_m} \frac{\rho_m}{\rho_{sand}} \right\}$$

ここに、 $d_i$ : 交換性陽イオン  $i$  のときのモンモリロナイト結晶層間距離



$H_0$ : 層間水が存在しない状態におけるモンモリロナイト結晶の厚さ  
 $H_1$ : 層間距離が $2d_i$ の状態におけるモンモリロナイト結晶の厚さ  
 $d_i$ : 結晶層間距離の1/2  
 $(R_{ion})_i$ : 層間に存在する交換性陽イオン交換性 $i$ の非水半径  
 $t$ : 結晶層厚  
 なお、 $i$ は $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ のいずれかの交換性陽イオンを示す。

図2 モンモリロナイト結晶層間の算出式の概念

キーワード ベントナイト, 放射性廃棄物地層処分, 透水係数, 海水環境, モンモリロナイト

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL 0294-38-5163

離の  $1/2$  (m) ( $i$  は  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  のいずれかの交換性陽イオンを示す. 以下に記述される  $i$  はこれと同様の意味を示す.),  $\varepsilon_{sv}^*$ : モンモリロナイトの膨潤体積ひずみ (%),  $t$ : モンモリロナイトの結晶層厚 (m),  $(R_{ion})_i$ : モンモリロナイト結晶層間中の交換性陽イオン  $i$  の非水和イオン半径 (m),  $e_0$ : 緩衝材・埋戻し材の間隙比,  $\varepsilon_{smax}$ : 緩衝材・埋戻し材の最大膨潤率 (%),  $C_m$ : ベントナイトのモンモリロナイト含有率(%),  $\rho_m$ : モンモリロナイトの土粒子の密度 ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ ),  $\rho_{nm}$ : モンモリロナイト以外の鉱物の土粒子の密度 ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ ),  $\alpha$ : ベントナイト配合率 (%),  $\rho_{sand}$ : 混合した砂の土粒子の密度( $\text{Mg}/\text{m}^3$ ),  $\rho_{d0}$ : 緩衝材・埋戻し材の乾燥密度 ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ )

### 3. モンモリロナイト結晶層間距離の算出結果と海水成分濾過の可能性

本研究では先のベントナイト A, B および E を対象とし, 式(1)~(4)により, モンモリロナイトの結晶層間距離を算出した. 対象としたベントナイトの基本的性質は, 既往の論文<sup>5)</sup>などを参照されたい. モンモリロナイトの結晶層間距離を算出する際, 必要となる各ベントナイトの材料パラメータを表 1 に示す. また計算するに当たり, 交換性陽イオンがすべて Na イオンで飽和されている状態を仮定し計算した. 図 3 に, 各ベントナイトにおけるモンモリロナイトの結晶層間距離と乾燥密度の関係の計算結果を示す. 図中には, Na, Ca, K, Mg の水和イオン半径の 2 倍, すなわち各水和イオンの直径の値<sup>6)</sup>を示した. 図 3 より, ベントナイト A では, 乾燥密度  $1.8\text{Mg}/\text{m}^3$  以上において, モンモリロナイト結晶層間距離は水和した Mg イオンの直径よりも短くなり, さらには乾燥密度が  $1.9\text{Mg}/\text{m}^3$

表 1 設定した材料パラメータの値

ベントナイト	A	B	E
$\rho_{nm}$ ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ )	2.81	3.03	3.42
$\rho_m$ ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ )	2.77		
$(R_{ion})_{\text{Na}^+}$ (nm)	0.098		
$t$ (m)	$9.60 \times 10^{-10}$		

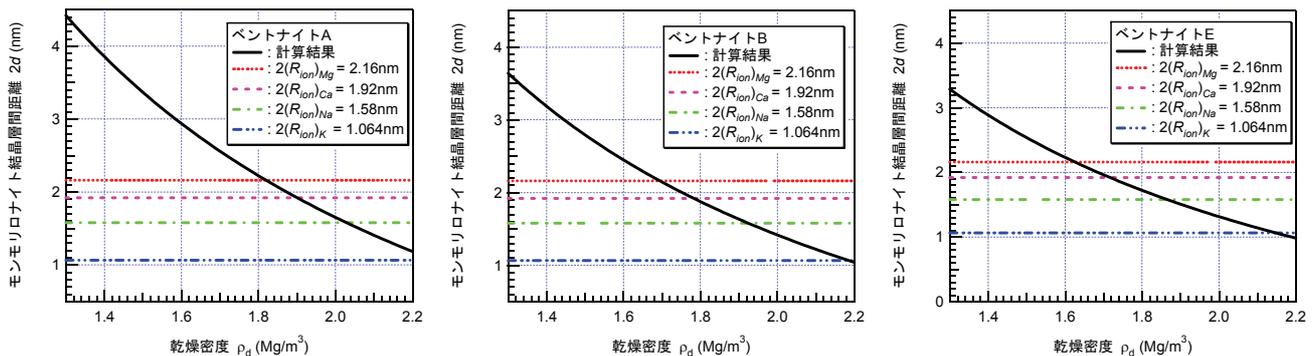


図 3 モンモリロナイトの結晶層間距離と乾燥密度の関係

以上において, 水和 Ca イオン直径よりもモンモリロナイト結晶層間距離は短くなる. ベントナイト B および E では, 乾燥密度  $1.6 \sim 1.7\text{Mg}/\text{m}^3$  程度以上において, モンモリロナイトの結晶層間距離は水和した Mg イオンの直径よりも短くなり, さらには乾燥密度が  $1.8\text{Mg}/\text{m}^3$  以上では水和 Ca イオン直径よりもモンモリロナイト結晶層間距離は短くなると推察された. すなわち, ベントナイト A では  $1.8 \sim 1.9\text{Mg}/\text{m}^3$  以上, ベントナイト B および E においては  $1.6 \sim 1.7\text{Mg}/\text{m}^3$  以上の乾燥密度に締固めると, 水和した Mg や Ca イオンはモンモリロナイト結晶層間内に侵入することができず, 濾過されるものと推察される. 上述のモンモリロナイト結晶層間距離の計算結果に基づく考察は, 1章で述べた参考文献1)の実験的調査により得られた結果とほぼ整合している.

### 参考文献

- 1) 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 佛田理恵, 山口憲治, 竹内靖典: 人工海水環境下における各種ベントナイトの透水係数に関する実験的研究, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集, 2007/09.
- 2) Komine, H.: Theoretical equations on hydraulic conductivities of bentonite based buffer and backfill for underground disposal of radioactive wastes, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 134, No. 4, pp. 497-508, 2008.04.
- 3) Komine, H. and Ogata, N.: Predicting swelling characteristics of bentonites, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 130, No. 8, pp. 818-829, 2004.08.
- 4) Komine, H. and Ogata, N., New equations for swelling characteristics of bentonite-based buffer materials, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 40, No. 2, pp. 460-475, 2003.04.
- 5) 例えば, Komine, H., Yasuhara, K. and Murakami, S.: Swelling characteristics of bentonites in artificial seawater, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 46(2), pp. 177-189, doi: 10.1139/T08-120, 2009.02.
- 6) Mitchell, J. K.: Fundamentals of soil behavior (Second Edition), John Wiley & Sons, Inc., p. 40, 1993.