

各種ベントナイトの透水係数に対する透水係数理論評価式の適用性

茨城大学 正会員 ○小峯秀雄

1. 背景と目的

ベントナイト系緩衝材の透水係数の調査は、高レベル放射性廃棄物の処分技術の構築において重要とされている¹⁾。図1には、高レベル放射性廃棄物地層処分施設におけるベントナイト系緩衝材の透水係数評価の必要性を模式的に示した。このような背景から、数多くの研究機関でベントナイト系材料の透水係数の測定が行われている^{2), 3)}。著者の研究グループにおいても、最大圧密圧力 10MPa の高圧圧密試験装置を用い、信頼性の高い透水係数データを取得するための試験方法の高度化を行うとともに、乾燥密度 1.4~2.0Mg/m³ の範囲にある各種ベントナイトの透水係数を測定した^{4), 5), 6)}。また、低透水性のベントナイト系材料の透水試験には非常に長時間を要することから、データ取得以前におおよその透水係数を予測することを目的として、著者は、モンモリロナイト結晶層間層流モデルに基づく「ベントナイト系緩衝材・埋戻し材の透水係数理論評価式」を開発し、理論的に透水係数を算出できる方法を提案している^{7), 8)}。本研究では上記の透水係数理論評価式の適用性を調査した。

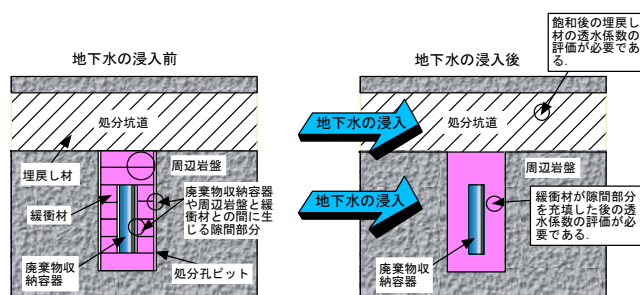


図1 高レベル放射性廃棄物地層処分施設におけるベントナイト系緩衝材の透水係数評価の必要性

2. 既往研究における透水係数データの概要

参考文献4)~6)では、Na型ベントナイト3種類(ベントナイトA:クニゲルV1・クニミネ工業, ベントナイトB:ボルクレイ・日商岩井ベントナイト株式会社, ベントナイトE:MX-80・日商岩井ベントナイト株式会社)およびベントナイトAを用いて製造された粒状ベントナイトの透水係数データを報告した。これらのデータは、陸水系地下水を想定し蒸留水を用い、高圧圧密試験により測定した。詳細は、参考文献4)~6)を参照されたい。

3. 透水係数理論評価式とパラメータ設定

著者の提案する「ベントナイト系緩衝材・埋戻し材の透水係数理論評価式」の概念を図2に示す^{7), 8)}。著者は、パラメータ「モンモリロナイトの膨潤体積ひずみ ε_{sv}^* 」を提案した。上記パラメータは、ベントナイトに含まれるモンモリロナイトの膨潤変形前後の体積比率を意味し、モンモリロナイトの結晶レベルでの膨潤挙動と緩衝材・埋戻し材の膨潤挙動を結ぶパラメータである(図2左上参照)。また図2左下に示すモンモリロナイトの結晶レベルの膨潤挙動を考え、モンモリロナイトの膨潤体積ひずみと平行配列した2枚のモンモリロナイト結晶層間の距離を

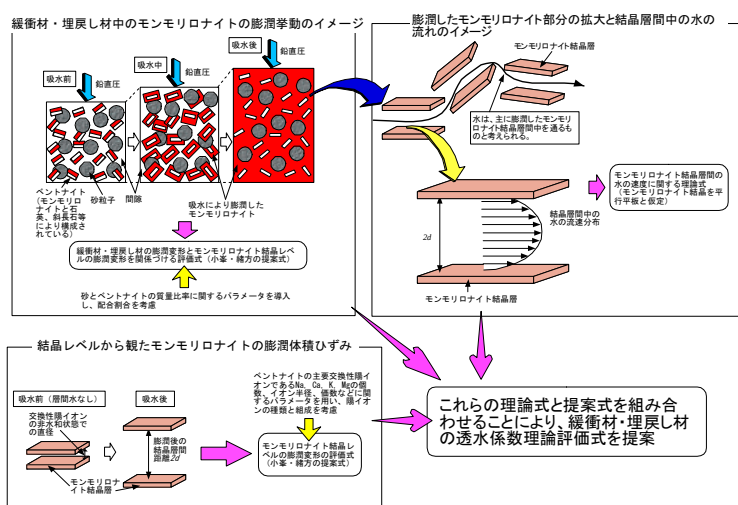


図2 ベントナイト系緩衝材・埋戻し材の透水係数理論評価式の概要

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, モンモリロナイト, 粘土鉱物

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

関係づける式を提案した。さらに緩衝材や埋戻し材の透水係数がモンモリロナイトの結晶層間を主に流れる水の速度に支配されるものと考え、図2右上に模式的に示すようにモンモリロナイト結晶層間の水の流れを二次元的な平行平板間を流れる定常で非圧縮性流体の層流と仮定した条件の下で Navier-Stokes の方程式を解くことにより導かれる式と上記のパラメータ群を組み合わせることにより、ベントナイト系緩衝材・埋戻し材の透水係数理論評価式を提案した^{7), 8)}。この理論評価式により計算する上で必要となるパラメータの設定は表1に示す通りである。これらのデータは、基本的には実測データに基づき設定した。設定根拠などの詳細は、参考文献7), 8)を参照されたい。

表1 透水係数理論評価式において設定したパラメータの値

ベントナイト	A	B	E
$\rho_m : \text{Mg/m}^3$	2.77	2.77	2.77
$\rho_{nm} : \text{Mg/m}^3$	2.82	3.03	3.42
$C_m : \%$	57	71	80
$CEC : \text{meq/g}$	0.971	1.054	1.348
$EXC_{Na}^+ : \text{meq/g}$	0.573	0.572	0.646
$EXC_{Ca}^{2+} : \text{meq/g}$	0.352	0.328	0.522
$EXC_{K}^+ : \text{meq/g}$	0.030	0.026	0.038
$EXC_{Mg}^{2+} : \text{meq/g}$	0.016	0.128	0.142
$(R_{ion})_{Na} : \text{nm}$	0.098		
$(R_{ion})_{Ca} : \text{nm}$	0.1115		
$(R_{ion})_{K} : \text{nm}$	0.133		
$(R_{ion})_{Mg} : \text{nm}$	0.0835		
$t : \text{m}$	9.60×10^{-10}		
$\gamma_{fw} : \text{Pa/m}$	9783.8		
$\mu_{fw} : \text{Pa} \cdot \text{sec}$	0.000963		
R	14, 79		

4. 各種ベントナイトの透水係数と理論評価式による透水係数の計算値との比較

図3は、各種ベントナイトの透水係数を乾燥密度との関係で整理したものである。黒塗りのプロットは参考文献4)において、白抜きのプロットは参考文献6)において報告した透水係数の測定結果である。これに対し、実線および破線で示した曲線が理論評価式による透水係数と乾燥密度の関係である。図3から、次のことが明らかとなった。すなわち、①本研究で対象としたNa型ベントナイトに対して、「ベントナイト系緩衝材・埋戻し材の透水係数理論評価式」によれば、比較的良好な精度を有して、透水係数の予測ができる。②モンモリロナイト含有率が比較的高いベントナイトB, Eにおいては、モンモリロナイト結晶層間水と自由水との密度および粘性係数の比に関するパラメータRの値が高い79の計算結果の方が整合性が高いと考えられる。③粒状ベントナイトに関しても②と同様のことが言える。

参考文献

- 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—分冊2 地層処分の工学的技術, JNC TN1400 99-22, 1999.
- Kenney, T. C., van Veen, W. A., Swallow, M. A., and Sungaila, M. A. : Hydraulic conductivity of compacted bentonite-sand mixtures. Canadian Geotechnical Journal, 29, 364-374, 1992.
- Sivapullaiah, P.V., Sridharan, A. and Stalin, V.K. : Hydraulic conductivity of bentonite-sand mixtures, Canadian Geotechnical Journal, 37, 406-413, 2000.
- 佛田理恵, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲 : 高圧圧密試験装置を用いたベントナイトの透水係数算出における試験方法の高度化, 土木学会論文集 Vol. 62, No.3, pp.573-578, 2006.08.
- 小峯秀雄, 緒方信英 : ベントナイト緩衝材・埋戻し材の透水特性と簡易評価法の提案, 土木学会論文集, No.708 号/III-59, pp.133-144, 2002.06.
- 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 佛田理恵, 山口憲治, 竹内靖典 : 広範囲な乾燥密度における各種ベントナイトの透水係数測定, 第42回地盤工学研究発表会発表論文集, 2007.07.
- 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.
- Komine, H. : Theoretical equations for evaluating hydraulic conductivities of bentonite based buffer and backfill. Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 4, pp.2289-2292, 2005.09.

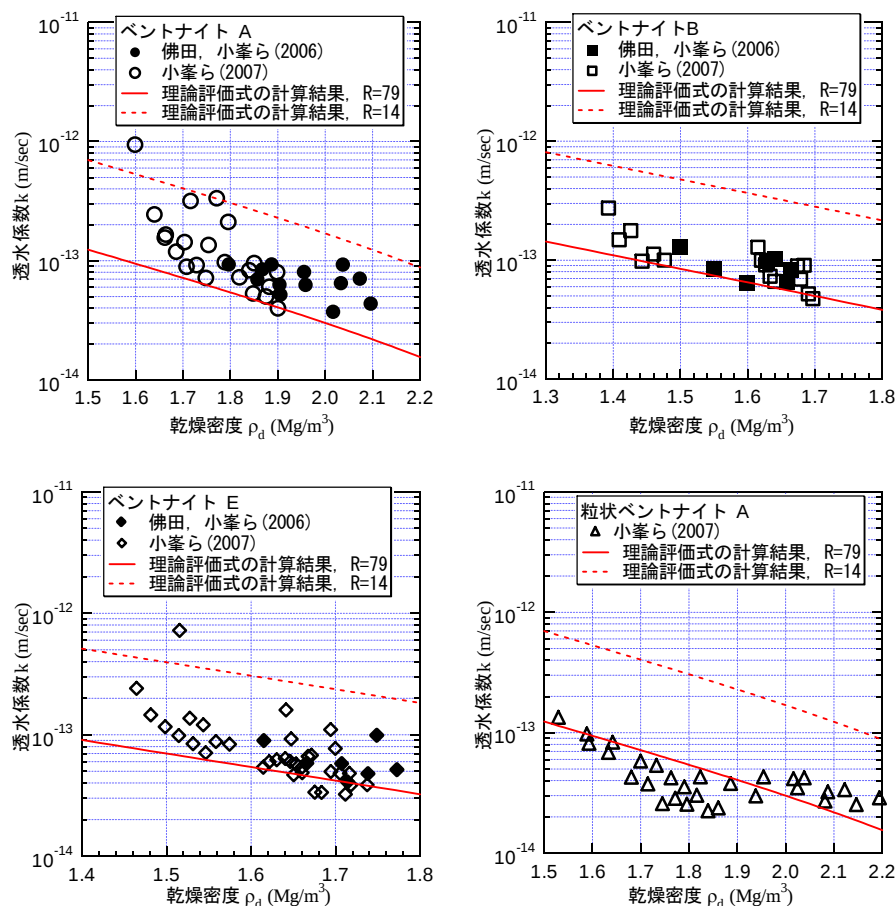


図3 各種ベントナイトの透水係数と理論評価式による透水係数の計算値との比較