

同一名称ベントナイトの産出年度による違いと膨潤特性理論評価式の適用性

茨城大学 正会員 ○小峯秀雄

1. 目的

高レベル放射性廃棄物をはじめとする各種放射性廃棄物の処分技術の開発研究において、ベントナイト系緩衝材・埋戻し材は重要な役割を期待され、近年非常に多くの研究成果が報告されている。ベントナイトは非常に数多くの種類が世界各国に存在し、上記のような研究を進める上で、我が国および諸外国の研究機関では数多くのベントナイトから、いくつかの種類のベントナイトを選定し、実験材料として用いている。

日本における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術開発研究においては、クニミネ工業製のクニゲル V1 と称されるベントナイトが使用される例が多い。著者も 1987 年から進めているベントナイトに関する一連の研究において、上記ベントナイトを使用してきた。しかし、横山らの粘土鉱物学的研究¹⁾によれば、同一名称のベントナイトであっても、産出年度によって採掘時期や採掘箇所が異なり、その性質が変化することが指摘されている。そこで本論文では、クニゲル V1 と称されるベントナイトに対して、1987～2005 年までに著者の取得してきた膨潤圧特性実験データを整理し、同一名称のベントナイトの産出年度による膨潤圧特性の変化について考察する。また著者の提案する「ベントナイト系緩衝材・埋戻し材の膨潤特性理論評価式」^{2),3)}（以下、膨潤特性理論評価式と記述する）の観点から、この産出年度による膨潤圧特性の変化の要因を検討する。

2. 産出年度の異なるクニゲル V1 の基本的性質の変化

著者が 1987 年～2000 年までに実施した研究で用いたクニゲル V1 の基本的性質と 2001 年以降に著者が新たに入手したクニゲル V1 に対して測定した基本的性質を表 1 に示す。表 1 の比較結果から、モンモリロナイト含有率の変化が顕著である。また、モンモリロナイト含有率の変化に伴い、陽イオン交換容量や交換性陽イオン量も変化しており、これらの変化から膨潤圧特性の変化が予想される。

表 1 産出年度の異なるクニゲル V1 の基本的性質

ベントナイト	Old	New
タイプ	Na 型	Na 型
土粒子密度 (Mg/m ³)	2.79	2.79
液性限界(%)	473.9	458.1
塑性限界(%)	26.61	23.7
塑性指数	447.3	434.4
モンモリロナイト含有率(%)	48	57
陽イオン交換容量(meq./g)	0.732	1.166
交換性 Na イオン量(meq./g)	0.405	0.631
交換性 Ca イオン量(meq./g)	0.287	0.464
交換性 K イオン量(meq./g)	0.009	0.030
交換性 Mg イオン量(meq./g)	0.030	0.041

ベントナイトの欄：

Old は 1987 年～2000 年までに測定されたクニゲル V1 のこと。

New は 2001 年以降に新たに入手したクニゲル V1 のこと。

3. 産出年度の異なるクニゲル V1 の膨潤圧特性と膨潤特性理論評価式の適用性

1987 年～2000 年までに測定されたクニゲル V1 の膨潤圧特性データ^{2),3)}と 2001 年以降に直井ら⁴⁾により報告されたデータを比較してプロットで図 1 に示す。図 1 に示す実験データより、2001 年以降のクニゲル V1 の方が高い膨潤圧を示し、特に乾燥密度が 1.7 Mg/m³ 以上において両者の差異が顕著になる。この差異の原因として、前章で述べたモンモリロナイト含有率および陽イオン交換容量等の変化によるものと考えられる。

著者は、モンモリロナイト含有率や陽イオン交換容量、交換性陽イオン量などをパラメータとする膨潤特性理論評価式を提案している^{2),3)}。そこで本理論評価式を適用することにより、図 1 に示す膨潤圧特性の差異の要因を検討する。

著者は参考文献 2), 3)において、粘土鉱物結晶層間の反発力を評価できる Gouy-Chapman の拡散二重層理論式と結晶層間の引力である van der Waals 力を評価できる理論式を、著者の提案するパラメータ「モンモリロナイトの膨潤体積ひずみ」の算出式と組み合わせることにより、膨潤特性理論評価式を提案した。この理論評価式では、砂とベントナイトの質量比率に関するパラメータを導入することにより配合割合を考慮している。また、ベントナイトに含有される主要陽イオンの Na⁺、Ca²⁺、K⁺、Mg²⁺に起因する反発力と引力を算定し、各

キーワード ベントナイト，放射性廃棄物地層処分，膨潤，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

表2 使用した各パラメータの値

ベントナイト	Old	New
ρ_m (Mg/m ³)		2.77
ρ_{nm} (Mg/m ³)	2.81	2.82
S_m (m ² /g)		810
S_{nm} (m ² /g)		0
C_m (%)	48	57
CEC (meq/g)	0.732	1.166
EXC_{Na}^+ (meq/g)	0.405	0.631
EXC_{Ca}^{2+} (meq/g)	0.287	0.464
EXC_{K}^+ (meq/g)	0.009	0.030
EXC_{Mg}^{2+} (meq/g)	0.030	0.041
$(Rion)_{Na}$ (nm)		0.098
$(Rion)_{Ca}$ (nm)		0.1115
$(Rion)_K$ (nm)		0.133
$(Rion)_{Mg}$ (nm)		0.0835
U_{Na}		1
U_{Ca}		2
U_K		1
U_{Mg}		2
t (m)		9.60×10^{-10}

各パラメータの詳細は、参考文献 2), 3) を参照のこと。

イオンの個数に応じて加重平均することにより、陽イオンの種類と組成を考慮できるようにしている。

膨潤特性理論評価式を図2に示す。計算に用いた各パラメータは表2に示す通りである。また理論評価式においては間隙水のイオン濃度 n_0 というパラメータの設定が必要になるが、これについては実験により採取したベントナイト供試体周辺の水溶液の水質分析結果から推定し、 $n_0=40\text{mol/m}^3$ と 50mol/m^3 と設定し計算した。

膨潤特性理論評価式による計算結果は図1に実線と点線で示した。図1の計算結果とそれぞれの膨潤圧データはほぼ整合している。このことから、産出年度の違いによるクニゲル V1 の膨潤圧特性の変化は、モンモリロナイト含有率、陽イオン交換容量や交換性陽イオン量の変化に起因すると言える。また、膨潤特性理論評価式においては、このような産出年度の違いもモンモリロナイト含有率、陽イオン交換容量や交換性陽イオン量などのパラメータの変化として定量的に考慮されており、産出年度が異なるベントナイトに対しても、膨潤特性理論評価式は高い適用性を有していると言える。

参考文献

- 1) 横山信吾・黒田真人・筒井政則・佐藤努・鈴木啓三・榎戸洋之：月布ベントナイト鉱床における川向坑産ベントナイトと梅ノ木田坑産ベントナイトの鉱物学的比較，粘土科学，第44巻，第2号，2004。
- 2) 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.
- 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, Issue 8, pp. 818-829, 2004.08.
- 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, 2005.03.

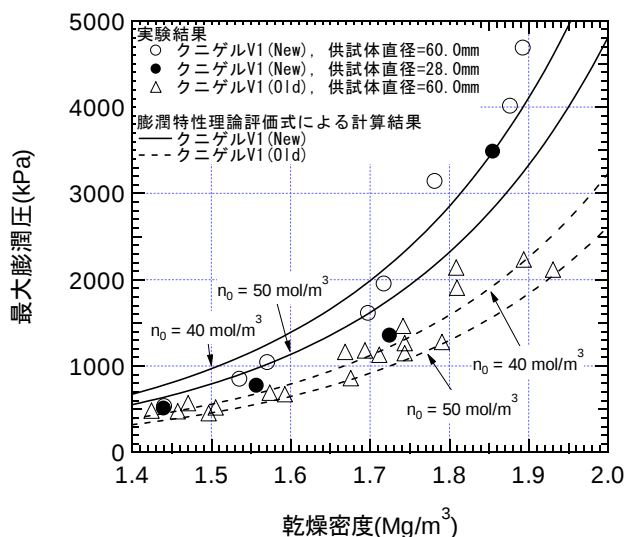


図1 産出年度の異なるクニゲル V1 の膨潤圧特性と膨潤特性理論評価式による計算結果

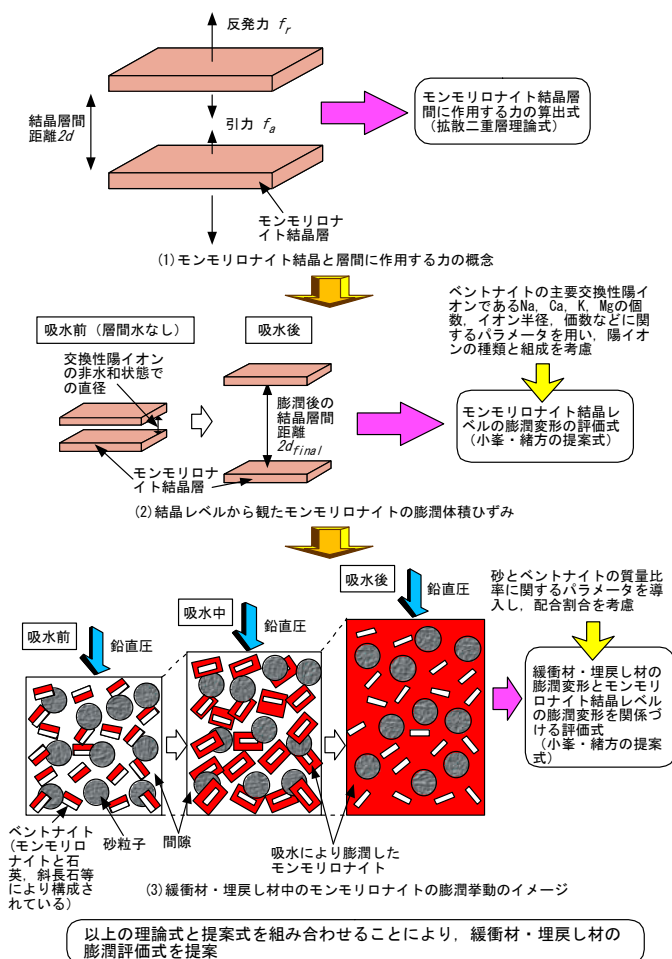


図2 ベントナイト系緩衝材・埋戻し材の膨潤特性理論評価式の概念 2), 3)