

人工海水濃度の影響を考慮したベントナイトの膨潤特性の表示方法

(財)電力中央研究所 正会員 田中幸久, 中村邦彦
 茨城大学 正会員 小峯秀雄
 (株)シー・アール・エス 川西光弘

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分において緩衝材として用いられるベントナイトの特性は、主として蒸留水を用いた室内試験により求められてきた。しかし、高レベル放射性廃棄物の設置地点の地下水には海水を含まれている可能性があるため、その影響を調べておく必要がある。そこで、前報にてベントナイトの膨潤性に及ぼす人工海水の濃度の影響を室内実験により調べた結果を報告した¹⁾。本報告では、実験結果を半経験的な方法により表示する方法を検討した。

2. 膨潤圧とモンモリロナイトの膨潤体積ひずみの関係

Na型ベントナイトであるクニゲルV1とボルクレイに対する人工海水を用いた膨潤圧試験結果、膨潤変形試験結果では、人工海水の濃度 C_{sw} (%) が一定であるならば、有効モンモリロナイト乾燥密度 d_{meff} と膨潤圧 P_s の関係、 d_{meff} と最大膨潤率の関係はベントナイトの種類に影響をあまり受けないことを既に報告した¹⁾。ところで、小峯が蒸留水を用いて行った試験結果によれば、膨潤圧試験における膨潤圧または膨潤変形試験における上載圧とモンモリロナイトの膨潤体積ひずみ ϵ_{sv}^* の間にはベントナイトの種類によらない関係があることが報告されている²⁾³⁾。そこで、人工海水を用いた試験結果についても C_{sw} 毎に ϵ_{sv}^* で整理したものが図1(a)~(d)である。縦軸の値が0.01MPa付近にプロットされているデータはいずれも膨潤変形試験の結果であり、それ以外はいずれも膨潤圧試験結果である。ちなみに、小峯の提案する ϵ_{sv}^* ²⁾ は有効モンモリロナイト乾燥密度 d_{meff} とモンモリロナイトの土粒子密度 ρ_m を介して以下に示す関係がある。

$$d_{meff} = \rho_m / (1 + \epsilon_{sv}^* / 100) \quad (1)$$

3. 実験結果の表示方法の検討

キーワード：放射性廃棄物処分，ベントナイト，膨潤性，人工海水

連絡先（〒270-1194，千葉県我孫子市我孫子 1646，TEL:0471-82-1181，FAX:0471-84-2941）

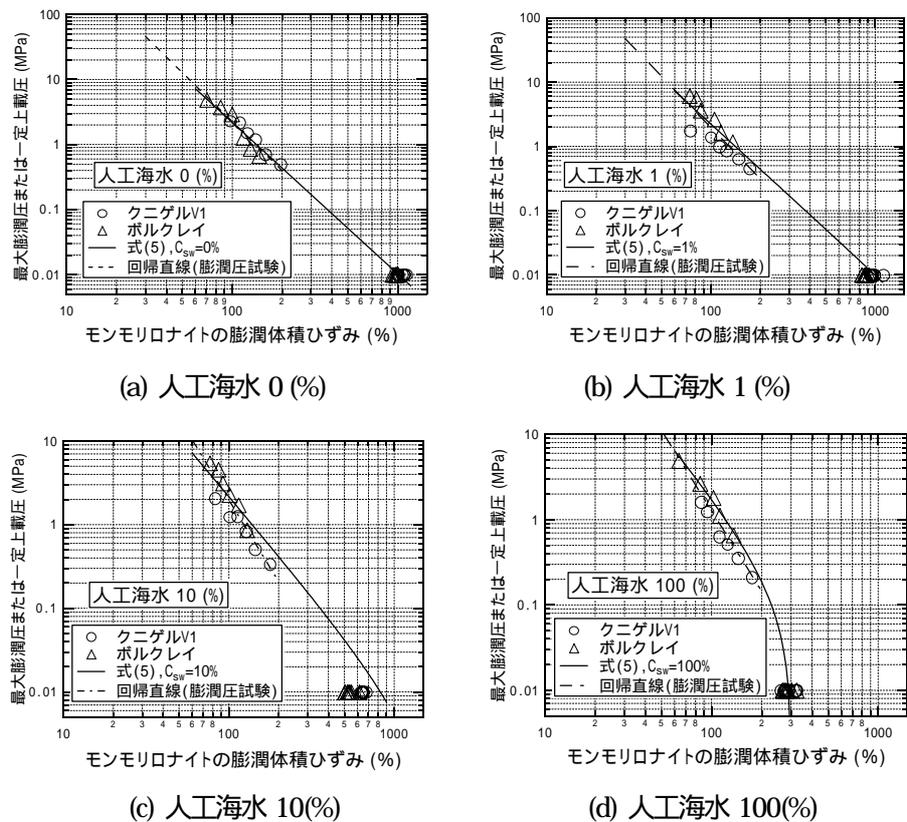


図1 膨潤圧とモンモリロナイトの膨潤体積ひずみの関係

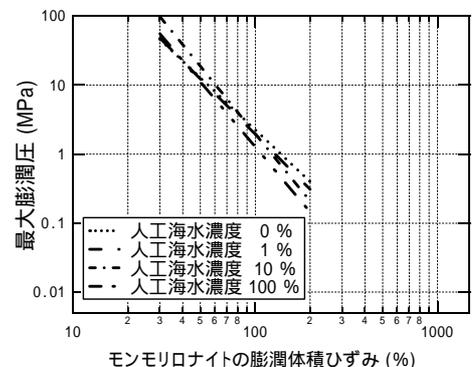


図2 膨潤圧とモンモリロナイトの膨潤体積ひずみの関係

塩濃度の影響を考慮して膨潤圧 P_s を計算する方法として、モンモリロナイト結晶層間と周辺の水溶液における陽イオン濃度の差から生じる浸透圧に膨潤圧が等しいとして van't Hoff の法則による次式から求める方法が提案されている⁴⁾。

$$P_s = RTC_c - 2RTC_0 \quad (2)$$

ここで、 R ：気体定数、 T ：絶対温度(°K)、 C_0 ：膨潤試験に用いる水溶液中の塩濃度(mol/l)であり、更に C_c はモンモリロナイト結晶層間中央における水溶液の陽イオン濃度(mol/l)であり、 d (粒子間距離の 1/2) が大きい場合には次式で表せられる。

$$C_c = \pi^2 \cdot (z^2 B d^2 \cdot 10^{-16})^{-1} \quad (3)$$

ここで、 z ：陽イオンの原子価、 B ：温度と誘電率による定数(=10¹⁵(cm/m・mol))

ところで、 ϵ_{sv}^* は式(1)からわかるように、モンモリロナイト部分の間隙比を表している。ここで、モンモリロナイト結晶が一次的に重なっているモデルを考えると、モンモリロナイト結晶の板厚は一定であるので、 ϵ_{sv}^* は式(3)中の d に比例している可能性がある。そこで、図1(a)に示す蒸留水を用いた結果から最小二乗法により次式を得た。

$$P_s = A_1 \cdot (\epsilon_{sv}^*)^{-n} \quad (4)$$

ここで、 P_s (MPa)、 ϵ_{sv}^* (%), $A_1=1.01 \times 10^5$ (MPa), $n=2.33$

式(4)は、式(2)において $C_0=0$ の時の関係を表すことから、式(2)中の右辺第1項は式(4)の右辺の式で置き換えられる。

次に式(2)について考察する。膨潤変形試験においては、膨潤が進行し ϵ_{sv}^* の値が大きくなるに従い、ベントナイト結晶間に人工海水が入り込み、遂にはベントナイト結晶間と外でのイオン濃度差がほとんどなくなり、膨潤圧がほとんど0になる。しかし、式(3)または式(4)によれば膨潤が進行すると C_c が0に近づくのに対して、式(2)中の C_0 は一定値であるため、式(2)による膨潤圧 P_s の計算値は遂には負の値となってしまう不合理な計算結果となる。これは、式(2)の適用範囲が C_0 の値の小さい範囲に限られているため⁴⁾である。そこで、上記の点を考慮し得るような表示方法を検討する。

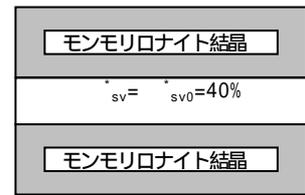
図1(a)~(d)中のそれぞれ点線、破線、一点鎖線、二点鎖線は、膨潤圧試験結果のみから最小二乗法により得られたものであり、図2はそれらを同一グラフ上に描いたものである。 $C_{sw}=10\%$ のデータを除けば、 C_{sw} が大きくなるほど回帰直線の勾配は大きくなる傾向があるため、 $\epsilon_{sv0}^*=40\%$ 付近で収束しているように見える。この ϵ_{sv}^* を ϵ_{sv0}^* と定義する。従って、 $\epsilon_{sv}^* = \epsilon_{sv0}^*$ では見かけ上、 C_{sw} の影響がない。更に、図3に示すモデルを考えた。図3(a)に示す $\epsilon_{sv}^* = \epsilon_{sv0}^*$ では結晶間に全く人工海水は侵入しないが、 $\epsilon_{sv}^* > \epsilon_{sv0}^*$ では $\epsilon_{sv}^* - \epsilon_{sv0}^*$ の体積の人工海水が侵入すると考えた。結晶間に膨潤前からあるイオンと人工海水中のイオンがそれぞれ ϵ_{sv}^* の広がりを持つ結晶間に広がった場合のイオン濃度の和から結晶間外の溶液のイオン濃度を引いたものが膨潤圧に比例するものと考えた。このように考えると次式が得られる。

$$P_s = \left\{ \frac{A_1}{(\epsilon_{sv}^*)^n} + A_2 \cdot \frac{\epsilon_{sv}^* - \epsilon_{sv0}^*}{\epsilon_{sv}^*} \cdot C_{sw} \right\} - A_2 \cdot C_{sw} = \frac{A_1}{(\epsilon_{sv}^*)^n} - A_2 \cdot \frac{\epsilon_{sv0}^*}{\epsilon_{sv}^*} \cdot C_{sw} \quad (5)$$

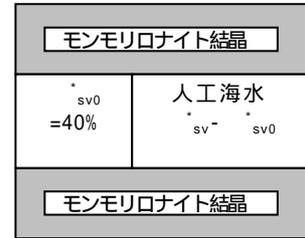
ここで、 A_2 ：定数、 C_{sw} ：人工海水濃度(%), $\epsilon_{sv0}^* = 40$ (%)

式(5)中の定数 A_2 の値は、 $C_{sw}=100\%$ の実験結果に対するフィッティングにより 0.0127 と定めた。式(5)による計算結果をプロットしたものが、図1(a)~(d)中の実線である。式(5)により実験結果はほぼ表されているものと思われる。

参考文献：1)田中幸久ほか(2002)：ベントナイトの膨潤性に及ぼす人工海水濃度の影響，土木学会第58回年講共通セッション，CS10-037，2)小峯秀雄・緒方信英(1997)：高レベル放射性廃棄物処分のための砂・ベントナイト混合材料の膨潤特性とその評価法，電力中央研究所研究報告 U96029。3)小峯秀雄・緒方信英(2002)：砂・ベントナイト混合材料および各種ベントナイトの膨潤特性，土木学会論文集 N0.701/111-58, pp.373 - 385。4) Yongほか(1995)：地盤と地下水汚染の原理，東海大学出版会



(a) $\epsilon_{sv}^* = \epsilon_{sv0}^*$ の時



(b) $\epsilon_{sv}^* > \epsilon_{sv0}^*$ の時

図3 モンモリロナイト結晶間の状態に関する仮定