

海水環境下におけるベントナイト／モンモリロナイト結晶層間の濾過機能の可能性

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

日本原子力発電（株） 正会員 百瀬和夫，坂上武晴

1. 目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設の建設地点として、廃棄体運搬の利便性等の観点から、沿岸域付近であることが十分に考えられる。このような場合、化石地下水や塩水楔、海水準変動等により、処分施設に流入する地下水には海水起源の塩類が含まれることが予想される。このような背景から、海水環境下におけるベントナイト系緩衝材の膨潤特性に関する実験的研究がいくつか報告される^{1),2)}と共に、著者らは参考文献3)で実施した自己シール性実験を参考に、海水環境下での各種ベントナイトの自己シール性を実験的に調査し報告した⁴⁾。その結果、海水環境下においてもベントナイトの自己シール性が低下しない条件が確認された。本研究では、その原因を追究することを目的として、自己シール性実験後のベントナイト供試体を取り出し、その交換性陽イオンの種類と組成を実験的に調査し、ベントナイト中への海水の浸入状況について考察した。

2. 海水環境下でのベントナイトの自己シール性の概要

図1は、参考文献4)で報告されたベントナイトの自己シール性実験の結果の一例である。ベントナイトA（クニゲルV1）を使用して実施した自己シール性実験の結果を、隙間充填後の発生圧力と乾燥密度との関係に整理したものである。この図から分かるように、充填される隙間量が1.25mm以下の比較的小さい条件において、海水濃度が100%以下の水溶液環境では自己シール性能は低下せず、蒸留水環境とほぼ同等の自己シール性が発揮された。しかし、隙間量を2.50mmと大きくし隙間充填後の乾燥密度が小さくなる場合には、人工海水100%において自己シール性が低下する傾向が確認されている（図1中赤丸で囲った範囲）。

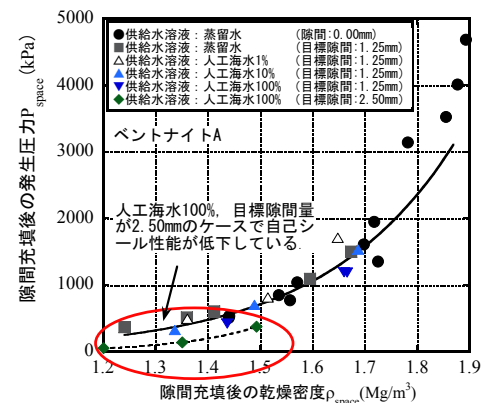


図1 ベントナイトA（クニゲルV1）の自己シール実験結果の例示

3. 自己シール性実験後の供試体の Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} の各交換性陽イオン量測定の結果と考察

(1) 測定概要

前章の自己シール性実験後に、ベントナイト供試体を取り出し、供試体中に残存する海水成分に起因する余剰イオンを除去した後に、各交換性陽イオンの測定を行った。図2に海水成分の除去方法を示す。取り出した供試体を鉛直方向に4分割したものを分析試料とした。各交換性陽イオン量EXCは0.05mol/Lの SrCl_2 溶液を用いて抽出操作を行い、ICP-AESにより定量した。

参考文献4)の自己シール実験において、ベントナイトAを用い、隙間量1.25mm、人工海水1%の条件で初期乾燥密度が 1.873Mg/m^3 と 1.545Mg/m^3 の供試体、および同じ隙間量、人工海水100%の条件で初期乾燥密度 1.881Mg/m^3 、 1.618Mg/m^3 の供試体を対象に、各交換性陽イオン量の測定を行った。

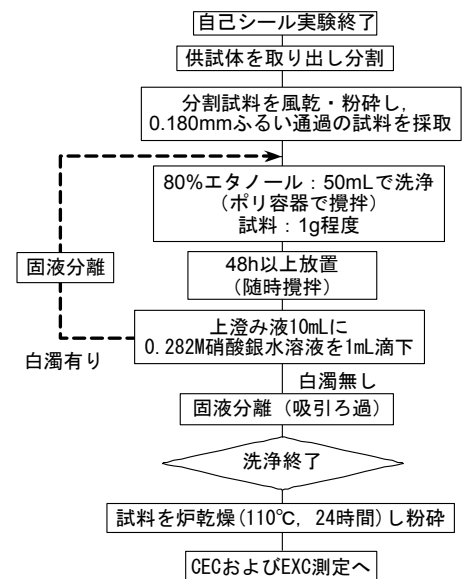


図2 海水成分除去方法

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

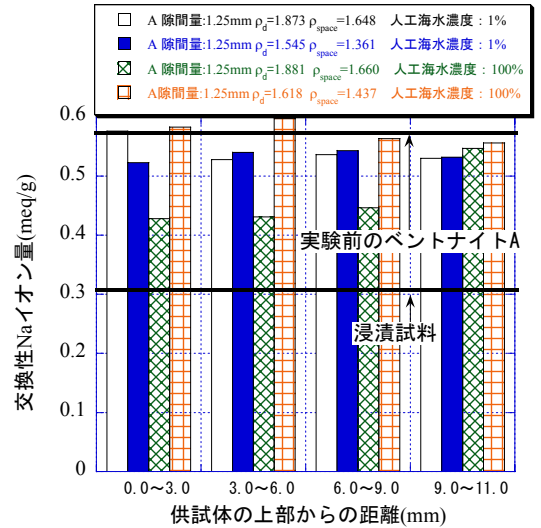
連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL 0294-38-5163

図 3(a), (b)に交換性 Na イオン量および交換性 Ca イオン量の測定結果を示す. 図には, 実験に使用する以前のベントナイト A およびベントナイト A (含水比 6.69%) を人工海水 100%中に 50g : 500mL の固液比で浸漬しその後洗浄した試料 (以降, 浸漬試料と記述する.) の EXC も併記している. 本図より, 全ての供試体に関して, 供試体高さ方向の濃度分布, 人工海水の濃度および隙間充填後の乾燥密度と EXC にはほとんど傾向がないことがわかる. 実験に使用する以前のベントナイト A の各交換性イオン量を 1 としたときの, 浸漬試料および実験後試料の各交換性イオン量は次の通りである. すなわち交換性 Na イオン量については, 浸漬試料は 0.54, 実験後試料は 0.75~1.04, 交換性 Ca イオン量に関して, 浸漬試料は 1.31, 実験後試料は 0.91~1.10 であった. なお, 隙間量 1.25m, 人工海水 100%, 初期乾燥密度 1.618Mg/m³ の供試体上部から 3.0~9.0mm の試料では測定を失敗している可能性があるので先の考察では考慮していない.

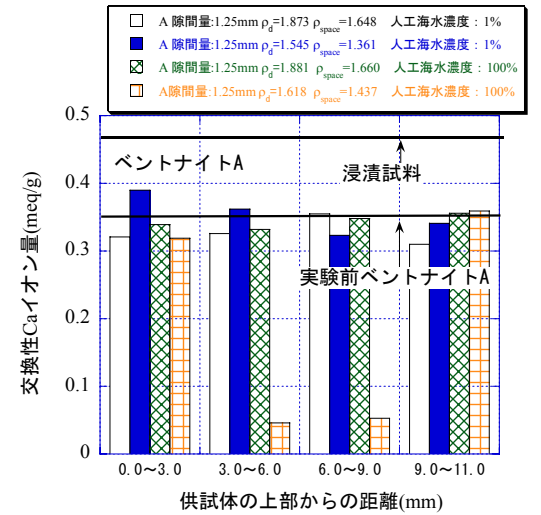
以上のように, 浸漬試料の各交換性陽イオン量は, 実験前のベントナイトと比較し大きく変化するのに対し, 実験後試料は変化が小さいまたはほとんどなかった. 以上から, ベントナイト試料をブロック状に締固めることにより, 海水中に浸漬しても海水成分が供試体中に浸入しないことが考えられる. このため, ベントナイトの自己シール性へ及ぼす人工海水の影響が小さかったと考えられる. 海水成分が供試体中に浸入しない原因の一つとして, ベントナイト中のモンモリロナイト結晶層により人工海水中の陽イオンが濾過されることが考えられる. 図 4 は Komine and Ogata が提案する膨潤特性理論評価式^{5), 6)}により算定したベントナイト A の隙間充填後の乾燥密度とモンモリロナイト結晶層の層間距離の関係を示す. モンモリロナイトの結晶層間距離は, 隙間充填後の乾燥密度が 1.50Mg/m³ のとき Mg イオンの水和イオン直径の 2 倍程度あり, モンモリロナイトによる濾過機能が生じたと考えても不合理ではないと推察される.

参考文献

- 1) 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.
- 2) 田中幸久, 中村邦彦: 海水の濃度と高温履歴がベントナイトの膨潤特性に及ぼす影響とその評価, 土木学会論文集 No.806/III-73, pp.93-111, 2005.12.
- 3) 小峯秀雄, 緒方信英, 中島晃, 高尾肇, 植田浩義, 木元崇宏: 次元模型実験によるベントナイト系緩衝材の自己シール性評価, 土木学会論文集 No.757/III-66, pp.101-112, 2004.03.
- 4) 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 百瀬和夫, 坂上武晴: 人工海水環境下における各種ベントナイトの自己シール挙動に関する実験的研究, 第 41 回地盤工学研究発表会発表論文集, 2006 (投稿中).
- 5) Komine, H., and Ogata, N. : New equations for swelling characteristics of bentonite-based buffer materials. Canadian Geotechnical Journal, 40, No. 2, 460-475, 2003.
- 6) Komine, H. and Ogata, N. : Predicting swelling characteristics of bentonites. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), 130, No. 8, 818-829, 2004.



(a)交換性 Na イオン量



(b)交換性 Ca イオン量

図 3 実験後ベントナイトの EXC の測定結果の一例

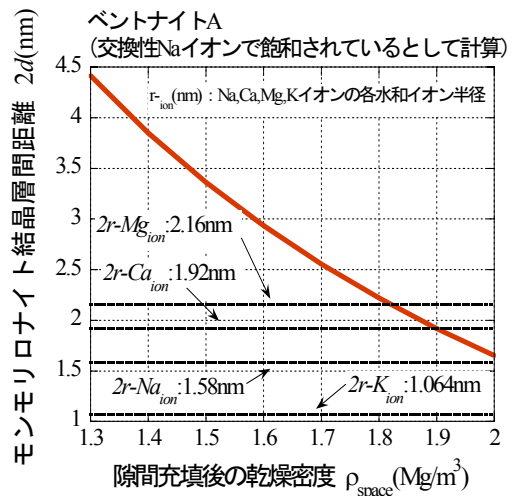


図 4 モンモリロナイト結晶層間距離と各陽イオンの水和イオン直径の関係