

Ⅲ－B 372

各種ベントナイトの膨潤特性に関する実験的研究

（財）電力中央研究所 正会員○小峯秀雄、緒方信英
（株）シー・アール・エス 田代勝浩

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地中処分場の操業開始は 2030 年代から遅くとも 2040 年代半ばを目途としている¹⁾。現在、これを目指して諸機関において技術開発が進められている。（財）電力中央研究所においても、放射性廃棄物と周辺地盤との間を埋め戻す土質材料（緩衝材）の研究を進めている。この土質材料には、止水性、膨潤性およびそれによるシール性、核種吸着性などが求められ、高压で締固めたベントナイトもしくは砂・ベントナイト混合材料の利用が有望視されている。特に、膨潤性およびそれによるシール性には、緩衝材と廃棄物収納容器や周辺地盤との間の隙間部分を充填する役割（自己シール性）が期待されている。このような観点から、著者らはベントナイトの膨潤特性について実験および理論的な考察を行ってきた²⁻⁴⁾。これらの研究では、国産のベントナイトの一つであるクニゲル V1 を用いてきた。このベントナイトは、日本の高レベル放射性廃棄物処分技術に関する研究・開発において、頻繁に実験などで利用されている材料である。しかし、先述のように処分場の操業開始は約 30 年後であるため、先に行ってきた実験で用いたベントナイトが実際の緩衝材の材料として利用されるとは限らない。経済性の観点から比較的安価で大量に供給が可能であれば、海外産のベントナイト等を利用することも考えられる。そこで、今まで実験に用いられなかったベントナイトについて、その膨潤特性を把握しておくことは有意義である。また、ベントナイトの膨潤特性に大きく影響する指標を把握しておけば、実際の処分で用いられるベントナイトの種類や品質が異なっても、既往のデータを有効に利用できるものと思われる。そこで、本研究では、海外産のベントナイト 1 種類と、国産のベントナイトで異なる性質を有するもの 3 種類に対して膨潤圧実験と膨潤変形実験を実施し、それぞれの膨潤特性の特徴を把握した。

2. 各種ベントナイトの膨潤特性

(1) 試料

試料は、山形県月布産のベントナイト A（クニミネ工業製、クニゲル V1）、アメリカ・ワイオミング産のベントナイト B（日商岩井ベントナイト株式会社、ボルクレイ）、宮城県土浮山鉱床産のベントナイト C（クニミネ工業製、クニボンド）および宮城県川崎町産のベントナイト D（クニミネ工業製、ネオクニボンド）の 4 種類である。表 1 に使用した各種ベントナイトの基本的な性質を示す。なお、モンモリロナイト含有率は、純モンモリロナイトのメチレンブルー吸着量（140 mequiv./100g）を基準に、各ベントナイトのメチレンブルー吸着量から算出した⁵⁾。各交換性陽イオン量は、1N 酢酸アンモニウム（ $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ）溶液を用いて抽出操作⁶⁾をし、プラズマ（ICP）発光分析装置により測定した。陽イオン交換容量は、Na, Ca, K, Mg の各交換性陽イオン量の総和とした。使用したベントナイトは温度が $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度が 70～80%となる室内で保存しており、このときの含水比はそれぞれ、ベン

表 1 各種ベントナイトの基本的な性質

試料	ベントナイト A	ベントナイト B	ベントナイト C	ベントナイト D
タイプ	Na 型ベントナイト	Na 型ベントナイト	Ca 型ベントナイト	Na 交換ベントナイト
土粒子の密度	2.79 Mg/m ³	2.84 Mg/m ³	2.71 Mg/m ³	2.68 Mg/m ³
液性限界	473.9 %	628.2 %	144.5 %	607.5 %
塑性限界	26.61 %	44.80 %	63.87 %	50.69 %
粘土分含有率	64.5 %	91.9 %	18.5 %	71.5 %
モンモリロナイト含有率	48 %	69 %	80 %	76 %
陽イオン交換容量	0.732 mequiv./g	1.007 mequiv./g	0.796 mequiv./g	1.035 mequiv./g
交換性 Na イオン量	0.405 mequiv./g	0.566 mequiv./g	0.119 mequiv./g	0.620 mequiv./g
交換性 Ca イオン量	0.287 mequiv./g	0.293 mequiv./g	0.585 mequiv./g	0.333 mequiv./g
交換性 K イオン量	0.009 mequiv./g	0.016 mequiv./g	0.019 mequiv./g	0.019 mequiv./g
交換性 Mg イオン量	0.030 mequiv./g	0.132 mequiv./g	0.072 mequiv./g	0.063 mequiv./g

キーワード：ベントナイト、原子力、廃棄物、膨潤、室内試験

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

トナイト A が 6.5～10.0%の範囲に、ベントナイト B が 11.1～15.1%の範囲に、ベントナイト C が 15.0～17.2%の範囲に、ベントナイト D が 11.3～12.3%の範囲にあった。

(2)実験の概要

本研究では、各種ベントナイトの膨潤特性を把握するため、各試料を締固めて供試体を作製し、膨潤変形しないよう拘束した状態で鉛直方向の膨潤圧を測定する膨潤圧実験と、一定の鉛直圧下における一次元膨潤変形量を測定する膨潤変形実験の 2 種類を行った。締固め圧力は 3.0～51.0MPa の範囲で実施した。膨潤圧実験および膨潤変形実験は文献 2)～4)で行った実験と同様であり、その手順についてはこれらの文献を参照されたい。

(3)膨潤圧・膨潤変形実験の結果と考察

ベントナイトの膨潤特性には、含有されるモンモリロナイトの量と交換性陽イオンの組成が大きく影響するとされている⁷⁾。本節では、膨潤圧および膨潤変形に対し、上記の物性の影響程度の観点から考察する。

図 1 に最大膨潤圧と初期乾燥密度の関係をベントナイトの種類ごとに示す。この図から、ベントナイト C および D は、他のベントナイトと比べて大きい膨潤圧を発現することが分かる。表 1 に示すように、ベントナイト C、D は交換性陽イオンの組成は異なるものの、そのモンモリロナイト含有率は 80 %程度と他の 2 種類と比べて大きいことから、この高いモンモリロナイト含有率に起因して高い膨潤圧を発生したものと考えられる。したがって、最大膨潤圧に対しては交換性陽イオンの種類よりもベントナイトのモンモリロナイト含有率の方が大きく影響するものと考えられる。

図 2 に最大膨潤率と初期乾燥密度の関係をベントナイトの種類ごとに示す。この図から、図 1 において高い膨潤圧を発現した Ca 型のベントナイト C の最大膨潤率が、他の 3 種類と比べて著しく小さいことが分かる。また、Na 型ベントナイトであるベントナイト A、B、D においては、表 1 に示すようにモンモリロナイトの含有率が大きく異なるにも係わらず、比較的鉛直圧の小さい条件（例えば、鉛直圧 σ_v ＝約 6.0 kPa の場合）での最大膨潤率は、初期乾燥密度が同程度であれば、ほぼ同じ値となっている。以上から、膨潤変形に対しては、ベントナイトのモンモリロナイト含有率よりもむしろ、ベントナイトの保有する交換性陽イオンの組成が大きく影響を及ぼすものと考えられる。Na イオン量が多いベントナイトの方が、より大きく膨潤変形でき、Ca 型ベントナイトでは膨潤変形量が著しく小さくなると考えられる。

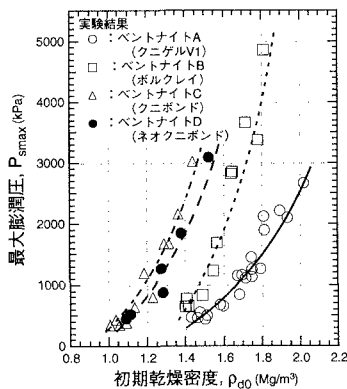


図 1 最大膨潤圧と初期乾燥密度の関係

3. まとめ

ベントナイトに含有されるモンモリロナイト量および交換性陽イオンの組成は、膨潤圧・膨潤変形に大きく影響するが、それぞれの影響程度が実験条件により異なることが分かった。今後は、この点を踏まえたベントナイトの膨潤評価法の構築を図る。

参考文献

- 1) 稲村実：高レベル放射性廃棄物処分事業のスケジュール，土と基礎，Vol. 46，No. 10，pp. 5-6，1998.
- 2) Komine, H. and Ogata, N.: Experimental study on swelling characteristics of compacted bentonite, Canadian Geotechnical J., Vol. 31, pp.478-490, 1994.
- 3) Komine, H. and Ogata, N.: Prediction for swelling characteristics of compacted bentonite, Canadian Geotechnical J., Vol. 33, No. 1, pp.11-22, 1996.
- 4) Komine, H. and Ogata, N.: Experimental Study on Swelling Characteristics of Sand-Bentonite Mixture for Nuclear Waste Disposal, Soils and Foundations, Vol. 39, No. 2, 1999.
- 5) 日本ベントナイト工業会標準試験法：ベントナイト（粉状）のメチレンブルー吸着量測定方法，JBAS-107-91.
- 6) 五十嵐敏文、馬原保典：自然環境中の安定同位元素を用いた放射性核種分配係数測定方法の提案，電中研報告 U95025, 1996.
- 7) 日本粘土学会編：粘土ハンドブック（第 2 版），技報堂出版，1987.

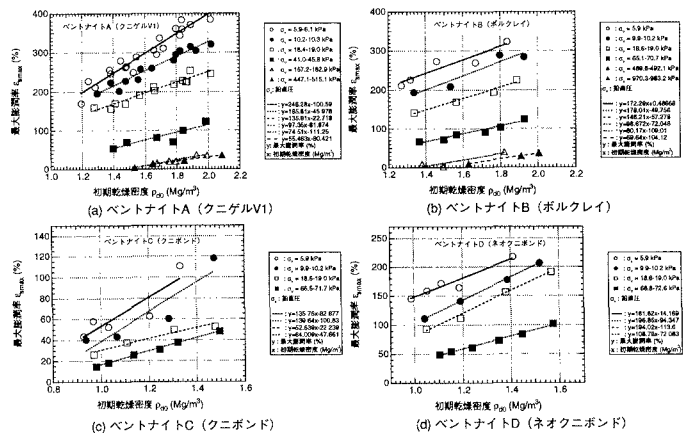


図 2 最大膨潤率と初期乾燥密度の関係