

## ベントナイトの透水係数に対する各種評価指標値の有効性比較

茨城大学 学生会員 ○佛田理恵, 正会員 小峯秀雄  
 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. はじめに

原子力発電所から排出される高レベル放射性廃棄物の有力な処分方法として, 我が国で考えられているのは, 地下 300m 以深の地盤中に収納容器に封入した廃棄物を埋設処分する方法である. 処分施設の建設における緩衝材と呼ばれる材料には, 非常に高い止水性や膨潤性, 熱伝導性等が要求されている. そこで, これらの特性に富むベントナイトを主体とした材料の利用が考えられている<sup>1)</sup>.

現在, ベントナイトの透水係数を評価するため, 指標値が種々提案されている<sup>2)3)</sup>. 本研究では, 今回新たに取得した各種ベントナイトの透水係数と, 乾燥密度, 有効モンモリロナイト密度およびモンモリロナイトの膨潤体積ひずみとの関係を整理することにより, それぞれの有効性を調査することを目的とする.

## 2. 使用した試料および供試体

ベントナイトは水溶液を供給することによって膨潤するという性質をもっている. そこで本研究では, 最大圧密圧力 10MPa の高圧圧密試験を実施し, 透水係数を測定した.

茨城大学では, 諸特性の異なる代表的なベントナイトとして, A (Na 型, クニミネ工業・クニゲル V1), B (Na 型, 日商岩井ベントナイト株式会社・ボルクレイ), C (Ca 型, クニミネ工業・クニボンド), D (Na 交換型, クニミネ工業・ネオクニボンド), E (Na 型, 日商岩井ベントナイト株式会社・MX-80) を選定している. モンモリロナイト含有率と交換性陽イオンの種類・組成に差異が認められる点から, これらを代表的なベントナイトと選定した. 本研究では, 粉末状ベントナイト A, B, C, E を使用した. 表-1 に各ベントナイトの基本的性質を示す.

表-1 各ベントナイトの基本的性質<sup>4)</sup>

ベントナイト	A	B	C	E
名称	クニゲルV1	ボルクレイ	クニボンド	MX-80
タイプ	Na型	Na型	Ca型	Na型
土粒子密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	2.79	2.84	2.71	2.88
液性限界(%)	458.1	565.0	128.7	437.3
塑性限界(%)	23.7	47.2	38.4	38.0
塑性指数	434.4	517.8	90.3	399.3
モンモリロナイト含有率(%)	57	71	84	80
陽イオン交換容量 (meq/g)	0.732	1.007	0.796	1.104
交換性Naイオン量 (meq/g)	0.405	0.556	0.119	0.624
交換性Caイオン量 (meq/g)	0.287	0.293	0.585	0.429
交換性Kイオン量 (meq/g)	0.009	0.016	0.019	0.024
交換性Mgイオン量 (meq/g)	0.030	0.132	0.072	0.027

供試体は直径 60mm, 高さ 10mm を目標とし作製した. 試料の締固めには, 締固め試験機およびランマーを用いた. 締固め試験機では, 締固め圧力を 130kN, 55kN, 26kN とし種々作製した. また, ベントナイト A に関しては, ランマーを用いて締固めたものも作製し, 試験を行った.

## 3. 高圧圧密試験の概要

圧密圧力は 1.96, 3.92, 5.88, 7.84, 9.81MPa と段階的に作用させ, その後, 逆順に除荷させた. 圧密量の測定は, 各圧密圧力を作用させてから, 0~20 分は 15 秒間隔, 20~120 分は 10 分間隔, 120~720 分は 60 分間隔, 720~1440 分は 180 分間隔で経時的に行い, 各ステップごとの載荷時間は 24 時間とした. 試験開始後, 2 日間を供試体の飽和期間とし, 開始から 3 日目以降, すなわち圧密圧力が 5.88MPa 以降のデータをもとに透水係数を算出した. これらの段階において, 圧密圧力が供試体の最大膨潤圧よりも大きいため, 供試体の膨潤変形は生じていない. 試験データは, 日本工業規格「土の段階載荷による圧密試験方法(案)(JIS A 1217:2000)」に準拠し, 結果の整理を行った<sup>5)</sup>. 変位量と時間の関係は  $\sqrt{t}$  法によって整理し, 各荷重段階において圧密係数  $C_v$ (m<sup>2</sup>/sec), 体積圧縮係数  $m_v$ (m<sup>2</sup>/kN) を求め, 式(1)によって透水係数  $k$  (m/sec) を算出した.

$$k = C_v \cdot m_v \cdot \gamma_w \quad (1) \quad \text{ただし, } \gamma_w: \text{水の単位体積重量(kN/m}^3\text{)}$$

キーワード ベントナイト, 高レベル放射性廃棄物, 透水係数, モンモリロナイト

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 0294-38-5177

#### 4. ベントナイトの透水係数を評価するための各種指標値

ベントナイトが低透水性であることの一因として、ベントナイト中の鉱物の一つであるモンモリロナイトが水溶液の供給によって膨潤するという特性を有していることが挙げられる。ベントナイトの膨潤挙動はモンモリロナイト結晶層間の吸水挙動に起因する膨潤が支配的であると考えられている。ベントナイトにおけるモンモリロナイトの含有率は、種類によって異なっており、それらを定量的に評価するため、本研究で得られた透水係数データを整理するにあたって、用いる指標値の比較を行った。ここで用いた指標値は乾燥密度 $\rho_d$ 、有効モンモリロナイト密度 $\rho_{em}$ <sup>2)</sup>、モンモリロナイトの膨潤体積ひずみ $\varepsilon_{sv}$ <sup>3)</sup>の3種である。本試験において、乾燥密度は各載荷段階における平均乾燥密度を用いた。有効モンモリロナイト密度は式(2)、(3)を用いて算出した。

$$\rho_{em} = \frac{C_m \rho_{solid}}{\left(100 - (100 - C_m) \frac{\rho_{solid}}{\rho_{nm}}\right)} \quad (2) \quad \rho_{solid} = \frac{100}{C_m} \rho_m \quad (3)$$

$$\left\{1 + \left(\frac{100}{C_m} - 1\right) \frac{\rho_m}{\rho_{nm}}\right\}$$

ここで、 $\rho_{em}$  : 有効モンモリロナイト密度 (Mg/m<sup>3</sup>)、 $C_m$  : モンモリロナイト含有率 (%)、 $\rho_{solid}$  : ベントナイトの土粒子密度 (Mg/m<sup>3</sup>)、 $\rho_m$  : ベントナイトに含まれるモンモリロナイトの土粒子密度、 $\rho_{nm}$  : ベントナイトに含まれるモンモリロナイト以外の鉱物の土粒子密度 (Mg/m<sup>3</sup>) である。また、モンモリロナイトの膨潤体積ひずみの算出は、参考文献3)を参照されたい。

#### 5. 透水係数データの整理方法の比較

図-1～3に前述の各パラメータで整理した試験結果を示す。図-1より、 $\rho_d$ で整理すると、ベントナイトの種類によってやや相関関係が変化する傾向にあることがわかる。図-1と図-2,3を比較すると、 $\rho_{em}$ および $\varepsilon_{sv}$ で整理すると、ばらつきがおさえられ、ベントナイトの種類によらず、透水係数との関係がほぼ一意的であることがわかる。このことにより、ベントナイトの透水係数を統一的に評価するには、有効モンモリロナイト密度もしくはモンモリロナイトの膨潤体積ひずみを指標値として用いることが有効であると考えられる。

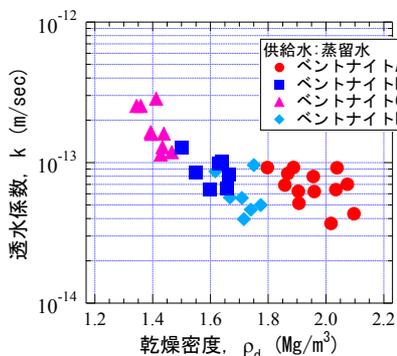


図-1 透水係数-乾燥密度関係

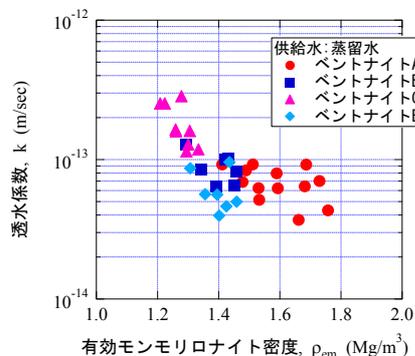


図2 透水係数有効モンモリロナイト密度関係

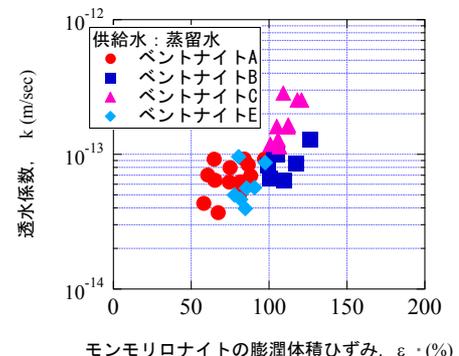


図3 透水係数モンモリロナイトの膨潤体積ひずみ関係

#### 6. まとめ

本研究の結果から、透水係数を有効モンモリロナイト密度およびモンモリロナイトの膨潤体積ひずみの指標値との関係において整理すると、比較的良好な相関関係が得られるということがわかった。また、この整理方法において、透水係数はベントナイトの種類によらず有効モンモリロナイト密度およびモンモリロナイト膨潤体積ひずみとほぼ一意的な関係にあると考えられる。このことから、高レベル放射背廃棄物処分施設におけるベントナイト系緩衝材の仕様設計に際し、これらの指標値から透水係数の予測が可能であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 核燃料サイクル機構: わが国における高レベル放射性廃棄物処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ一分冊2地層処分の工学的技術, JNC TN1400 99-22. 2) 高尾肇, 増田良一, 雨宮清, 千々松正和, 竹ヶ原竜大(2002): ベントナイトペレットの特性試験(その2)-ベントナイトペレットの熱物性及び膨潤特性-, 土木学会第57回年次学術講演会 3) 小峯秀雄, 緒方信英: 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 No.701/III-58, 373-385, 2002.3 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および人工海水の影響, 土木学会論文集, 投稿中. 5) 地盤工学会: 土質試験の方法と解説-第一回改訂版-