

Ⅲ-A294

ベントナイトの水分特性曲線

核燃料サイクル開発機構 正会員 鈴木 英明、藤田 朝雄
神戸大学 農学部 正会員 中野 政詩

1)はじめに 高レベル放射性廃棄物の地層処分では、廃棄体の周囲に緩衝材を設置することが考えられている。緩衝材には、止水性、自己シール性、核種吸着遅延性、廃棄体の安定性等の機能が長期にわたり維持されることが期待されている。これらの機能を比較的満足し得る材料として、天然に産する粘土が注目され、中でも圧縮されたベントナイト(以下、圧縮ベントナイト)は、緩衝材として最も有力であると考えられている。処分環境下では、緩衝材は適当な含水比で施工されるため、定置初期における緩衝材内の水分は不飽和状態であり、ある期間経過した後、緩衝材は飽和状態になる。したがって、不飽和状態での水分移動特性を把握する必要がある。本研究では、緩衝材の候補材料であるベントナイトの不飽和状態での水分移動特性の1つである水分特性曲線(水分ポテンシャルと含水比または体積含水率の関係)の特徴について報告する。

2)試験条件 試験で使用したベントナイトの物理特性を表-1に示す¹⁾²⁾³⁾。本研究では、国産のNa型ベントナイトであるクニゲルV1、クニピアFと米国産のMX-80を用いた。水分ポテンシャルの測定は、サイクロメータ法、蒸気圧法で実施した。測定に用いたサイクロメータ(SC-10A: Decagon Device 社製)は熱電対サイクロメータと呼ばれるもので、ナノボルトメータ(NT-3: Decagon Device 社製)に接続された熱電対の接点を湿球として、試料と平衡にある水蒸気の相対湿度を求めるものである。水分ポテンシャル ψ は以下の相対湿度 p/p_0 との関係から算出した⁴⁾。

$$\psi = RT/M \ln(p/p_0) \quad (1) \quad M: \text{水の分子量}, R: \text{気体定数}, T: \text{絶対温度}, p, p_0: \text{水蒸気圧と飽和水蒸気圧}$$

3)計測結果 図-1に粉末ベントナイトと圧縮ベントナイトの吸水過程と脱水過程の水分特性曲線を示す。図中縦軸はサクションで表している。図より、粉末ベントナイトは吸水過程と脱水過程において水分特性曲線に若干のヒステリシスは認められるものの、圧縮ベントナイトには顕著には認められない。また、含水比が5%以上の場合、粉末ベントナイトの脱水過程における水分特性曲線は、圧縮ベントナイトの結果と同様の傾向を示している。図-2に蒸気圧法により圧縮ベントナイトの体積を拘束した場合の水分特性曲線をサイクロメータ法による非拘束の圧縮ベントナイトの結果と共に示す。体積含水率が約25%以下の場合には体積の拘束・非拘束の影響は無いが、飽和体積含水率付近では体積を拘束した場合のサクションは急激に減少する。また、体積を拘束した場合の水分特性曲線は、van Genuchtenの実験式⁵⁾では表現できることが分かる。図-3に各温度における水分特性曲線を示す。温度の上昇にともない、サクションが低下する傾向が見られる。とくに体積含水率が20%以下の不飽和状態で低下の傾向が顕著である。様々なベントナイトの水分ポテンシャルを計測した結果、水分ポテンシャルはクニピアFが最も大きく、次いでMX-80、クニゲルV1、クニゲルV1にケイ砂を混合したものの順であり、これはベントナイトの総量に対する主成分であるモンモリロナイトの含有率に依存するものと考えられる。そこで、ベントナイトの保水が全てモンモリロナイトによるものと仮定し、以下の関係を用いることとした。

$$\omega_{mon} = \omega / R_{mon} \quad (2) \quad \omega_{mon}: \text{モンモリロナイト基準含水比}, \omega: \text{含水比}, R_{mon}: \text{モンモリロナイト含有率}$$

各ベントナイトのモンモリロナイト含有率をクニゲルV1で0.475、クニピアFで0.985、MX-80で0.75とし、モンモリロナイト基準含水比とサクションの関係で整理すると図-4の実線のようになる。これより、水分特性曲線はベントナイトの種類によらず一本の曲線で概ね表せ、ベントナイトのサクションはモンモリロナイト含有量に大きく支配されることが分かる。以上を踏まえ水分特性曲線の温度とモンモリロナイト含有量に着目した実験式は、
キーワード: 高レベル放射性廃棄物、ベントナイト、水分特性曲線

次のようになった。

$$\psi = (-1.25 \times 10^4 T + 1.17 \times 10^6) \exp[-9.45 \times 10^{-3} (\omega_{mon} R_{mon})^2] + 4.03 \times 10^5 (\omega_{mon} R_{mon})^{-0.95} \quad (3)$$

4) まとめ ベントナイトの水分特性曲線の温度依存性、モンモリロナイト含有率依存性についてのデータを取得した。その結果、次の知見が得られた。(1) 粉末ベントナイトは吸水過程と脱水過程における水分特性曲線のヒステリシスは、圧縮ベントナイトよりも粉末ベントナイトの方が顕著である。(2) 圧縮ベントナイトの体積を拘束した条件でサクシオンを蒸気圧法により測定した結果、サクシオンは飽和体積含水率付近で急激に減少し、van Genuchten の実験式では表現できることが分かった。(3) 温度の上昇とともにサクシオンが低下し、水分特性曲線の温度依存性が確認された。(4) サクシオンをモンモリロナイト含有率で整理した結果、ベントナイトのサクシオンはモンモリロナイト含有率に大きく支配されていることが分かった。(5) 上述の結果より、サクシオンのモンモリロナイト基準含水比依存性および温度依存性を表わす実験式を得ることができた。

参考文献) 1) Ishikawa, H. et.al (1990) : Comparison of Fundamental Properties of Japanese Bentonite as Buffer Material for Waste Disposal, Proc.of the 9th International Conference, Sci. Géol., Mém., 87, pp107-115
2) 伊藤雅和 等 (1993) : ベントナイトの鉱物組成分析、動燃技術資料 PNC TN 8430 93-003 3) Lajudie, A. et.al. (1996) : Clay-based Materials for Engineered Barriers : a Review, MRS Scientific Basis for Nuclear Waste Management XVIII, Vol.353, 221-229 4) 塩沢昌 (1991) : サイクロメータによる土壌水のポテンシャル測定、「土壌の物理性」、Vol.62, pp53-61 5) van Genuchten, M.T. (1980) : A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil. Sci. Soc. Am. J., Vol.44, pp.892-898

表-1 物理特性

	クニゲルV1 ⁽¹⁾	クニピアF ⁽¹⁾	MX-80 ⁽³⁾
真比重(-)	2.7	2.7	2.7
液性限界(%)	416	993	400
塑性限界(%)	21	42	70
塑性指数(-)	395	951	330
陽イオン交換量 (meg/100g)	52	117	79
浸出陽イオン (meg/100g)			
Na+	54.6	114.9	56
K+	1.3	1.1	2.3
Ca2+	41.9	20.6	30.1
Mg2+	6.6	2.6	15.6
Na+/Ca2+ ratio	1.3	5.58	1.86

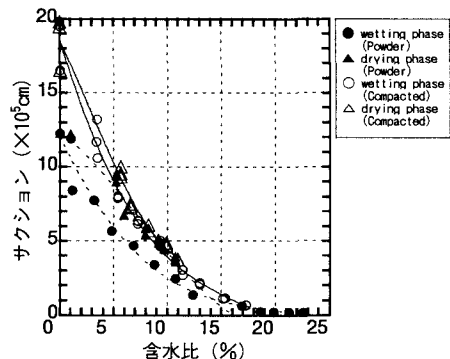


図-1 ベントナイトの吸水・脱水過程の水分特性曲線

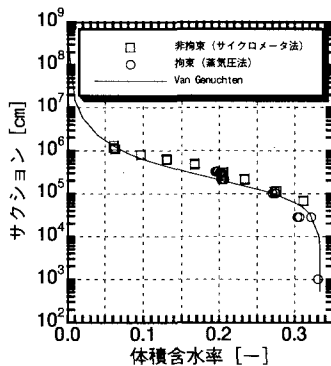


図-2 拘束・非拘束状態の圧縮ベントナイトの水分特性曲線

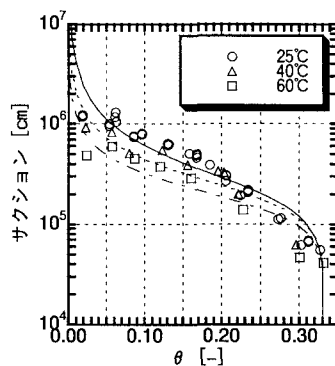


図-3 各温度における水分特性曲線

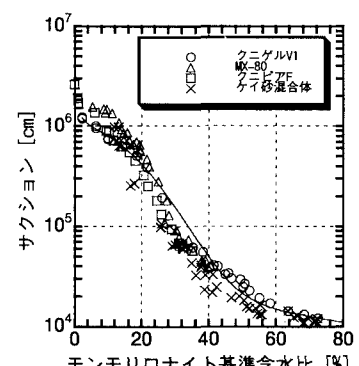


図-4 モンモリロナイト基準含水比とサクシオンの関係