

高湿度環境下におけるベントナイト原鉱石の含水比変化特性

茨城大学 学生会員 ○ 後藤宣彦 正会員 小峯秀雄
フェロー会員 安原一哉 正会員 村上 哲

1. はじめに

放射性廃棄物処分のうち、余裕深度処分の緊張性が高まっている。余裕深度処分では、緩衝材としてベントナイト原鉱石の利用が考えられており、緩衝材を施工する際、ベントナイト原鉱石の含水比調整を行い、重機を用いた現場締固めによる施工が考えられている。しかし、地下空洞内は相対湿度の高い環境であるため、ベントナイト原鉱石の含水比が変化し、締固め施工後の乾燥密度にばらつきが生じることが懸念されている。そこで、本研究ではベントナイト原鉱石の相対湿度と含水比の関係を実験的に調査することを目的として、蒸気圧法¹⁾を行った。

2. 使用した試料および相対湿度環境

試料はベントナイト A(クニミネ工業製・クニゲル V1)およびベントナイト原鉱石(クニミネ工業製・クニゲル GX (最大粒径 2mm))を用いた。使用した試料の基本的性質を表-1 に示す。ベントナイト A に関して試料は粉末の試料と乾燥密度 1.4Mg/m^3 、 1.6Mg/m^3 、 1.8Mg/m^3 を目標として締固めた供試体を用いた。また、ベントナイト原鉱石に関しては粒状の試料と乾燥密度 1.6Mg/m^3 を目標として締固めた供試体を用いた。締固めた供試体の寸法は直径 28mm、高さ 5mm である。相対湿度を制御するために、溶液は蒸留水および NaCl 飽和水溶液を用いた。蒸留水では相対湿度 100% となり、NaCl 飽和水溶液では相対湿度は 75% となる¹⁾。図-1 に蒸気圧法の概要を示す。試験前のベントナイト A の含水比は 6.88% ~ 7.58% であり、ベントナイト原鉱石の含水比は 5.93% ~ 6.49% であった。なお、実験室は 20 ± 2 に保たれている。

3. 相対湿度と含水比

図-2 にベントナイト A およびベントナイト原鉱石の相対湿度と含水比の関係を示す。ベントナイト A およびベントナイト原鉱石いずれにおいても粉末試料と締固めた供試体では同一の相対湿度環境化においてほぼ同等の含水比を示すことがわかった。また、図-2(a)より、異なる乾燥密度であっても、同一の相対湿度環境化においてほぼ同等の含水比を示しており、乾燥密度に依存しないことがわかった。ベントナイト A およびベントナイト原鉱石で比較を行うと、粉末試料と締固めた供試体のいずれの場合も、同一の相対湿度環境下において、ベントナイト原鉱石はベントナイト A より含水比は低下している。これはベントナイトのモンモリロナイト含有率が影響しているためであると考えられる。参考文献

表-1 ベントナイトの基本的性質

	ベントナイトA ²⁾	ベントナイト原鉱石2mm ³⁾
タイプ	Na型	Na型
土粒子密度(Mg/m^3)	2.79	2.65
液性限界(%)	458.1	355.1
塑性限界(%)	23.7	22.8
塑性指数	434.4	332.3
モンモリロナイト含有率(%)	57	41
陽イオン交換容量 (meq./g)	1.125	0.854
交換性Naイオン量 (meq./g)	0.766	0.521
交換性Caイオン量 (meq./g)	0.325	0.314
交換性Kイオン量 (meq./g)	0.018	0.005
交換性Mgイオン量 (meq./g)	0.015	0.015

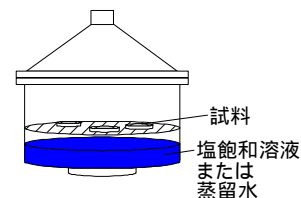
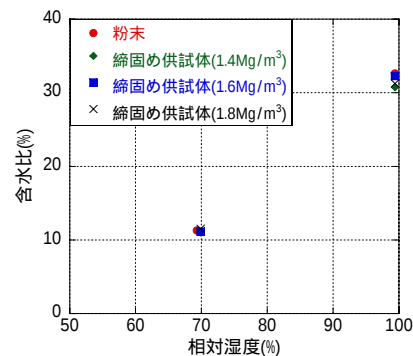
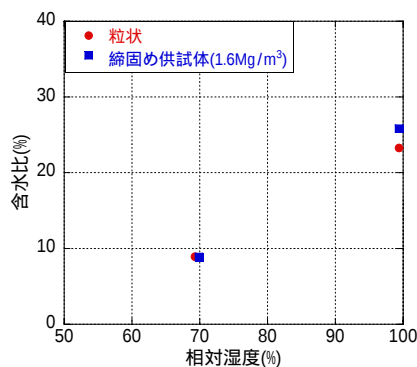


図-1 蒸気圧法の概要



(a) ベントナイト A



(b) ベントナイト原鉱石

図-2 相対湿度と含水比

キーワード ベントナイト原鉱石、蒸気圧法、相対湿度、含水比、余裕深度処分

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:0294-38-5162

4)では水分特性曲線のモンモリロナイト含有率の依存性を確認し、式(1)に示す実験式を得ている。

$$\psi = (-1.37 \times 10^4 T + 1.23 \times 10^6) \times \exp \left(-9.5 \times 10^{-3} \times \left(w_{mon} \frac{C_m}{100} \right)^2 \right) + 3.5 \times 10^5 \left(w_{mon} \frac{C_m}{100} \right)^{-0.95} \quad (1)$$

ここで、 ψ は水分ポテンシャル(cm)、 T は温度(°C)、 w_{mon} はモンモリロナイト基準含水比(%), C_m はモンモリロナイト含有率(%)である。ここで、モンモリロナイト基準含水比は式(2)により定義される。なお、これはベントナイトの保水が全てモンモリロナイトに依存すると仮定している。

$$w_{mon} = \frac{M_w}{M_{mon}} \times 100 = \frac{\frac{w}{100} M_s}{M_s \frac{C_m}{100}} \times 100 = \frac{w}{C_m} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 w は含水比(%), M_w は水分量(Mg), M_{mon} はモンモリロナイトの質量(Mg), M_s はベントナイトの質量(Mg)である。また、水分ポテンシャルと温度、相対湿度の関係は式(3)によって与えられる。

$$\psi = \rho_w \frac{RT}{M} \ln \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (3)$$

ここで、 ψ は水分ポテンシャル(kPa)、 ρ_w は水の密度(Mg/m³)、 R は気体定数(JK⁻¹mol⁻¹)、 T は絶対温度(K)、 M は水の分子量(kg/mol)、 p/p_0 は相対湿度(-)である。そこで本研究では、式(1)および式(3)からベントナイト原鉱石における大気温度、相対湿度とポテンシャルが平衡する含水比を算出した。なお、計算に用いたパラメータの設定値を表-2に示す。図-3に計算値およびベントナイト原鉱石における本研究での実験結果を示す。計算値では相対湿度70%で含水比は9.0%となり、実験値では相対湿度70%で含水比は8.9%であった。以上から計算値と実験結果に高い整合性があることがわかり、ベントナイト原鉱石において、式(1)および式(3)を用いて大気温度、相対湿度とポテンシャルが平衡する含水比を算出することが可能であることがわかった。余裕深度処分では、締固め密度のばらつきを小さくするための含水比を21%に設定することが考えられる⁵⁾。図-3から含水比を21%に保持するためには、温度20°Cでは空洞内の相対湿度を約97%に保持する必要があると考えられる。

4. 結論

ベントナイトAおよびベントナイト原鉱石では粉末および粒状と締固めた供試体では同一の相対湿度環境化において同等の含水比を示し、相対湿度と含水比の関係は乾燥密度に依存しないことがわかった。また、ベントナイト原鉱石はベントナイトAと比べ、同一の相対湿度環境下では含水比は低くなる。

ベントナイト原鉱石において、式(1)の実験式と式(3)を用いることで、大気温度、相対湿度とポテンシャルが平衡する含水比を算出することが可能であり、ベントナイト原鉱石で含水比を21%に保持するためには、温度20°Cで相対湿度を約97%に保持する必要がある。

表-2 計算に使用した
パラメータの設定値

モンモリロナイト含有率 C	41 (%)
水の密度 ρ_w	0.998 (Mg/m ³)
気体定数 R	8.31 (JK ⁻¹ mol ⁻¹)
水の分子量 M	0.018 (kgmol ⁻¹)
温度 T	20 (°C)
絶対温度 T	293 (K)

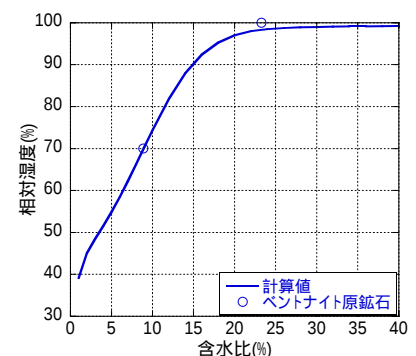


図-3 ベントナイト原鉱石における
大気温度、相対湿度とポテンシャルが平衡する含水比

参考文献 1)地盤工学会：「土質試験の方法と解説」改訂編集委員会：土質試験の方法と解説(第一回改訂版)，地盤工学会，pp.128-129，2000. 2)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. 3)杉浦航，小峯秀雄，安原一哉，村上哲，後藤宣彦：ベントナイト原鉱石の膨潤挙動調査，第35回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，CD-ROM，2008. 4)動力炉・核燃料開発事業団：緩衝材の水分ポテンシャルと水分拡散係数，PNC TN8410 96-117，pp.2-23，1996. 5)伊藤裕紀，谷智之，千々松正和，山本卓也：ベントナイトの含水調整に関する検討，第62回年次学術講演会講演集概要集，CD-ROM，2007.