

ベントナイトの水分保持曲線に与える温度の影響

足利工業大学 創生工学科

正会員

西村 友良

東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻

フェロー会員

古関 潤一

1 まえがき

放射性廃棄物処分は放射能レベルの大きさによって処分深度、処分施設仕様が区別される。人工バリアの長期安全性を詳細に検討するには、力学的要因、環境の変化を想定し試験・調査の精度の向上と結果を踏まえた施工技術への改善対応が求められる¹⁾。高温、湿度がベントナイトの物性に与える影響について詳細な検討は十分であるとはいえない。本研究は 20℃から 60℃のベントナイトが湿度低下を受けた際のサクシオンと含水比の関係（水分保持曲線）を求め、温度の影響について検討を行った。

2 試料・試験方法

本実験は締め固めあるいは圧縮を施していないベントナイト（以後：粉末）を用い、蒸気圧法²⁾で保水性試験を実施し水分保持曲線を求めた。試料はベントナイトクニゲル V1、ベントナイト GX、カオリン、シルト（DL クレイ）、ケイ砂（飯豊 4 号）である。カオリン、シルト、ケイ砂はベントナイトの保水性評価の比較土質材料として使用した。

5 種類の試料の粒径加積曲線を図-1 に示す。特にベントナイトクニゲル V1 の粘土含有率は 95% を超え、他の 4 試料に比べて非常に高い。また、ベントナイトクニゲル V1 と GX の化学組成は以下のとおりである。() 内はベントナイト GX の値である。化学組成は SiO₂ 69.7 (72.4) %, TiO₂ 0.14 (0.13) %, Al₂O₃ 15.8 (14.0) %, Fe₂O₃ 1.69 (1.79) %, MgO 2.19 (1.83) %, CaO 2.00 (1.70) %, Na₂O 2.04 (1.67) %, K₂O 0.24 (0.24) % である。蒸気圧法で制御した湿度は 98% から 11%, サクシオンは 2.83MPa から 296MPa であった。水分保持曲線の測定は、容量が 0.5 リットルの耐熱ガラス性密閉容器に過飽和塩溶液と初期含水比が異なる試料（ベントナイトクニゲル V1 : 5.7%, ベントナイト GX : 5.9%, その他 6.15%）を湿潤質量で 6g ~ 14g 程度入れて行った。初期段階として湿度 98% 環境下に置き、その後湿度を段階的に低下させ、サクシオンを高めた。制御温度は 20℃から 60℃であり、同一条件下での測定期間を少なくとも 1 カ月以上とした。質量の変化から含水比とサクシオンおよび温度との関係を求めた。

3 実験結果

温度が異なる 5 種類の粉末試料の保水性試験の結果を図-2 から 6 に示す。ベントナイトクニゲル V1、ベントナイト GX とともに湿度 98% における含水比は 20% 近くまで増加している。その他の供試体の含水比は、カ

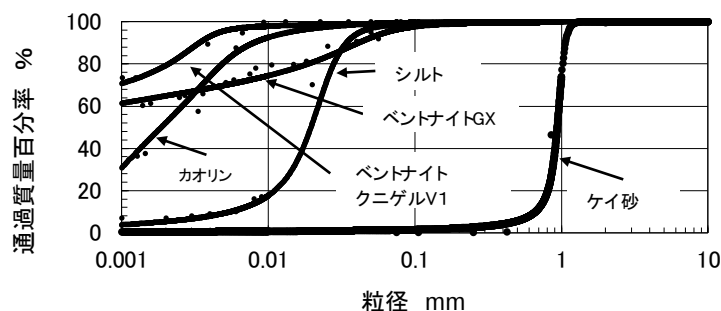


図-1 粒径加積曲線

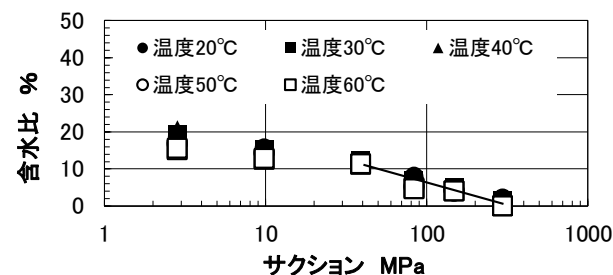


図-2 含水比の変化 クニゲルV1 粉末

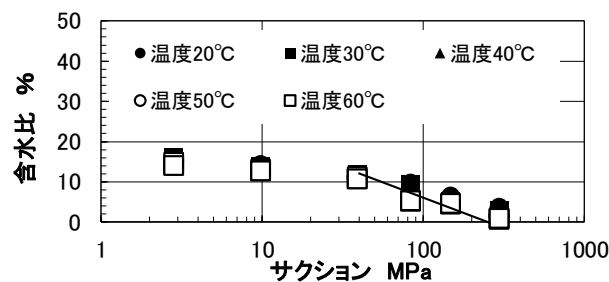


図-3 含水比の変化 GX 粉末

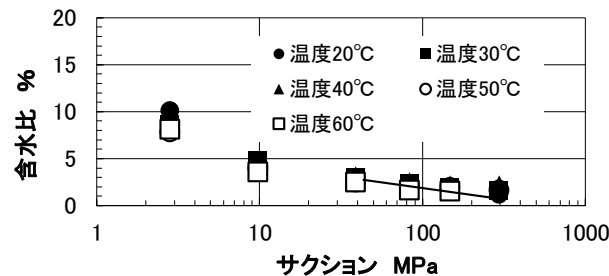


図-4 含水比の変化 カオリン 粉末

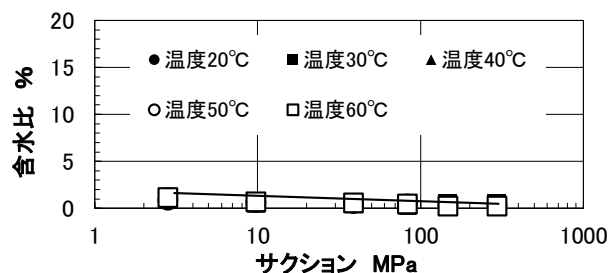


図-5 含水比の変化 シルト 粉末

オリンが 7.8%~10.1%, シルトが 0.9%~1.2%, ケイ砂が 0.8%~1.1%の範囲であった。粘土分が高いベントナイトとカオリンの中でも、ベントナイトの含水比はカオリンの 2 倍近い。モンモリロナイト系粘土鉱物のベントナイトは吸水性が高く、多くの水分量（水分子）を粒子間に取り込む³⁾ことからカオリンよりも吸水量が大きい。しかし、シルトやケイ砂の含水比は非常に小さくかつ両者に明確な違いは見られなかった。また、図-2 から 6 より、サクシオンが増大（湿度低下）すると、全ての試料の含水比は低下する。サクシオンが 39MPa よりも大きくなると片対数座標上でプロットしたサクシオンと含水比の関係を全ての試料で直線近似することが可能となる。勾配を算出する際は、含水比の値を百分率で、またサクシオンは常用対数で取り扱った。得られた勾配を表-1 に示す。ベントナイトクニゲル V1, ベントナイト GX, カオリン, シルト, ケイ砂の順に、それらの勾配は小さくなる。特にベントナイトクニゲル V1 とベントナイト GX が最も大きくカオリンの 14 倍近くもあった。水分保持曲線に与える温度の影響を明確に見出すことはできないが、ベントナイトクニゲル V1、ベントナイト GX、カオリンについて温度と含水比の関係を図-7 から 9 にとりまとめる。サクシオンが同じであれば温度が 20℃から 60℃に増大しても含水比は概ね一定値であることがわかる。

4 まとめ

蒸気圧法によって 5 種類の試料の保水性の違いを明確

に示すことができた。圧縮を施していない状態のベントナイトクニゲル V1, ベントナイト GX と同様にカオリン, シルト, ケイ砂も湿度が低下（サクシオンが増大）すると、含水比は減少する。しかし、ベントナイトの保水性は他の土質材料に比べて高い。20℃から 60℃の範囲で水分保持曲線に与える温度の影響を見出すことはできない。

参考文献 1) 独立行政法人日本原子力研究開発機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術研究開発及び使用済燃料の直接処分研究開発の今後の課題，日本原子力研究開発機構の改革計画に基づく「地層処分技術に関する研究開発」報告書，pp.21-22, 2014. 2) Delage, P., Howat, M.D. and Cui, Y.J.: The relationship between suction and swelling properties in a heavily compacted unsaturated clay, *Engineering Geology*, 50, pp.31-48, 1998. 3) Morodome, S. and Kawamura, Swelling behavior of Na- and Ca-montmorillonite up to 150℃ by In situ X-ray diffraction experiments, *Clays and clay minerals*, Vol.57, No.2, pp.150-160, 2009.

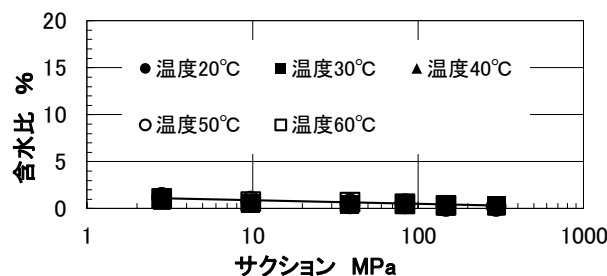


図-6 含水比の変化 ケイ砂 粉末

表-1 水分保持曲線の直線勾配

	ベントナイト クニゲルV1	ベントナイト GX	カオリン	シルト	ケイ砂
勾配	2.36	2.36	0.17	0.14	0.12

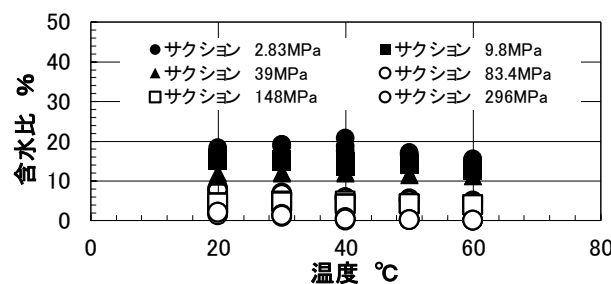


図-7 温度と含水比の関係 クニゲルV1 粉末

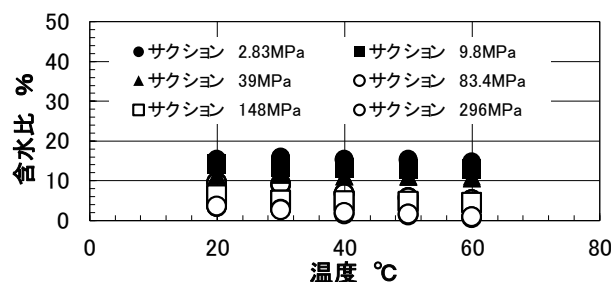


図-8 温度と含水比の変化 GX 粉末

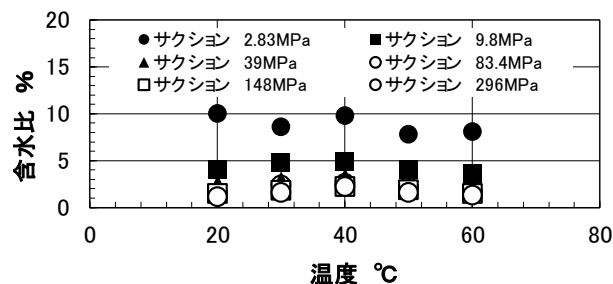


図-9 温度と含水比の変化 カオリン