

温度が異なるベントナイトの湿潤過程の水分特性曲線

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

放射性廃棄物処分施設構造体の一部である人工バリアの詳細な長期安全性検討が進められている¹⁾。性能評価および長期安全性予測に、Hydration-Mechanical-Thermal-Chemical 連成解析が不可欠とされている。ベントナイトの様々な特性の把握を目的とする室内試験、地下空間での大・中規模模型試験実施の必要性は高まっている。西村・古関²⁾は高温環境下を含む乾燥過程のサクシオンと含水比の関係を求め、温度の影響が見出せないことを示した。本研究はサクシオン 296MPa 以下の湿潤過程の水分特性曲線と温度との関係を検討する。

2 試料・試験方法

本実験は締めめあるいは圧縮を施していないベントナイトなど(以後:粉末)を用い、蒸気圧法で保水性試験を実施し水分特性曲線を求めた。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。供試体作製方法、初期条件、試験手順は西村・古関²⁾が報告した内容と同じである。

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。

サクシオン 296MPa までの乾燥過程における水分特性曲線を求めた後、供試体に段階的なサクシオン低下(湿度増加)を作用させた。ただし、ベントナイトクニゲルV1、ベントナイトGXはサクシオン 6.94MPa まで、カオリン、シルト、ケイ砂はサクシオン 9.8MPa までの制御を行った。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。供試体の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種類の粉末試料の湿潤過程のサクシオンと含水比の関係を西村・古関²⁾が報告した乾燥過程の水分特性曲線と合わせて図-2から6に示す。多数の凡例のため、表-1に図中記号と凡例項目をとりまとめた。

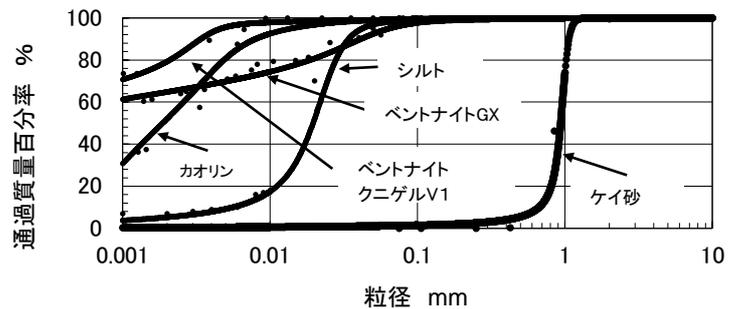


図-1 粒径加積曲線

表-1 記号と凡例

●	温度20℃乾燥過程	□	温度40℃湿潤過程
○	温度20℃湿潤過程	◆	温度50℃乾燥過程
▲	温度30℃乾燥過程	◇	温度50℃湿潤過程
△	温度30℃湿潤過程	×	温度60℃乾燥過程
■	温度40℃乾燥過程	+	温度60℃湿潤過程

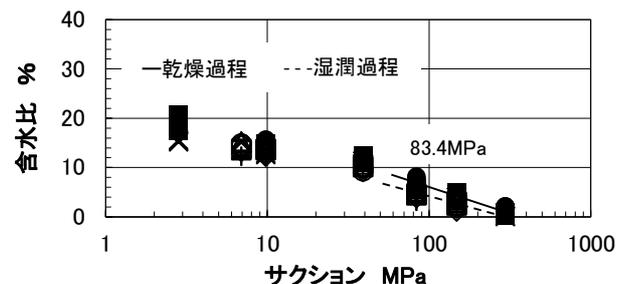


図-2 含水比の変化(ベントナイトクニゲルV1)

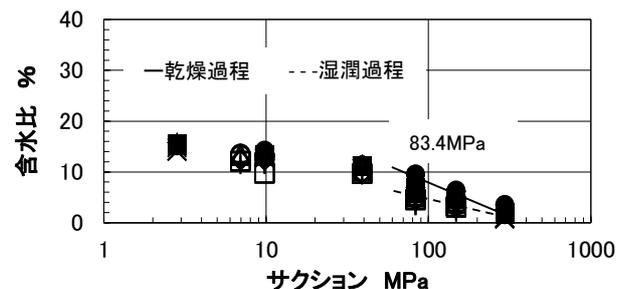


図-3 含水比の変化(ベントナイトGX)

キーワード: ベントナイト, 温度, 水分保持曲線/連絡先: 栃木県足利市大前町 268 TEL 0284-62-0605 tomo@ashitech.ac.jp

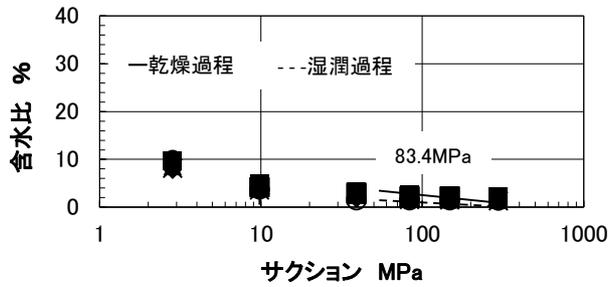


図-4 含水比の変化(カオリン)

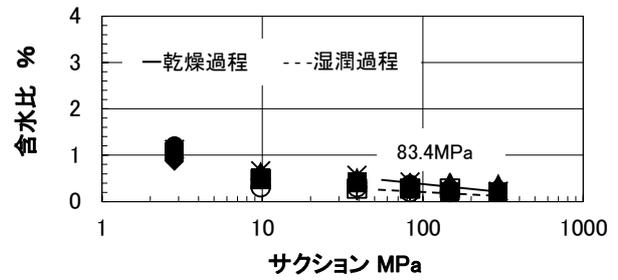


図-5 含水比の変化(シルト)

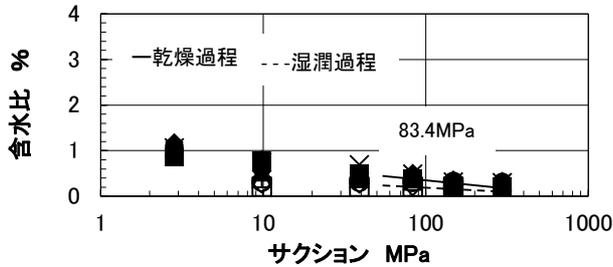


図-6 含水比の変化(ケイ砂)

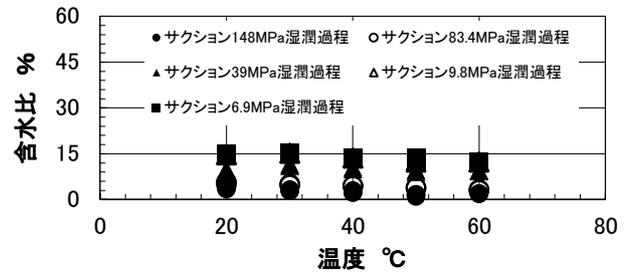


図-7 含水比の変化(ベントナイトクニゲルV1)

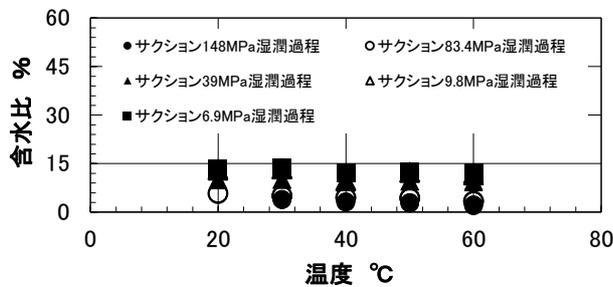


図-8 含水比の変化(ベントナイトGX)

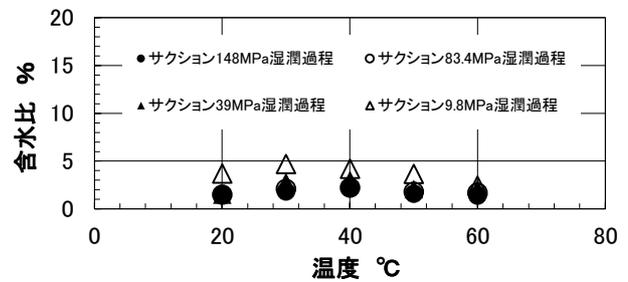


図-9 含水比の変化(カオリン)

含水比の差異が極めて小さいため全ての記号を区別・見極めるのは難しい。サクシオン 296MPa から 83.4MPa の含水比に対して湿潤・乾燥過程ともに補助直線を加え、水分特性曲線の相違を示している。クニゲル V1、GX は 296MPa から 83.4MPa にサクシオンが低下する間に 5% 近くまで含水比の増加が確認された。同一のサクシオンに対応する湿潤過程での含水比は乾燥過程の水分特性曲線の下に位置しヒステリシスが存在している。また湿潤過程の補助直線の傾きは乾燥過程よりも緩やかである。また 20°C から 60°C の範囲では温度が含水比測定値に及ぼす明確な影響は見受けられない。カオリン、シルト、ケイ砂の 83.4MPa までの湿潤過程における含水比の増分はベントナイトに比べ小さい。特にシルト、ケイ砂は 296MPa の含水比からの増分が極めて小さい。これらの補助直線の傾きは乾燥過程に比べて小さく、サクシオン軸に平行に近い。83.4MPa から 6.94MPa または 9.8MPa までサクシオンを低下させると、ベントナイト、他 3 種類の試料ともに、含水比の増加が見られるが、乾燥過程の水分特性曲線よりも含水比が下方にプロットされている。

図-7 から 9 にベントナイトとカオリンの温度と含水比の関係を示す。温度 20°C から 60°C の範囲であればサクシオンが同一であれば、含水比は概ね同じであり温度の影響を見出せない。この見解は西村・古関²⁾が報告した乾燥過程の水分特性曲線と温度の関係に一致する。

4 まとめ

湿潤過程における水分特性曲線に与える温度の影響について、サクシオン 296MPa から 6.9MPa の範囲で検討を行った。ベントナイトはサクシオン低下にともなう含水比の増大が他の試料よりも顕著である。20°C から 60°C 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) 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) 西村友良・古関潤一：ベントナイトの水分特性曲線に与える温度の影響，平成 27 年度第 70 回土木学全国大会，岡山，2015 年。