

軸応力増減を受けた不飽和ベントナイト砂混合体の一軸圧縮強さの変化

足利大学 西村友良

1 まえがき

高レベル放射性廃棄物処分施設に対して長期安全性確保が求められている。、人工バリアの工学的性質解明は多様な外的要因¹⁾との関係性を配慮しなければならない。本研究では不飽和ベントナイト砂混合体に蒸気圧法によってサクシオン（湿度）制御を施し、浸透要因の変化を与えた一軸圧縮強さを測定した。さらに、サクシオン（湿度）制御を受けた不飽和ベントナイト砂混合体に軸圧縮応力の繰返し載荷・除荷を与え、その後の一軸圧縮強さの低下および剛性係数の低下を検証した。繰返し載荷は一軸圧縮強さとの比を 0.3 以上 0.7 未満とした。

2 試料・試験方法

試料にベントナイト（クニゲル V1）と珪砂（山形県西置賜郡飯豊町産）を用い、乾燥質量比 7 : 3 で試料を準備した。締固め含水比は 17%、目標乾燥密度 1.600 Mg/m³ 一定で静的締固めで作製した。供試体サイズは直径 38mm、高さ 76mm であった。供試体に蒸気圧法を用い 2.8MPa から 296MPa のサクシオンを与えた。サクシオン平衡後、供試体を三軸圧縮試験機にセットし、さらに循環型湿度制御システムを連結した。サクシオン制御を受けた供試体を三軸圧縮試験機に静置し、所定のサクシオン・湿度を有する空気を循環した。無側方向応力状態で軸圧縮応力の載荷・除荷を繰り返した。最大軸圧縮応力は繰返し軸圧縮応力の載荷を与える前の測定された一軸圧縮強さの比 0.3 以上 0.7 未満であり供試体によって異なる。一軸圧縮強さ、剛性係数を求めた。比較のためにサクシオンを与え、軸圧縮応力の載荷・除荷の繰り返しの無い場合の一軸圧縮強さを検証した。

3 実験結果

サクシオン制御を受けた後、軸圧縮応力の載荷・除荷の繰返し作用を与えていない場合の一軸圧縮過程における応力-軸ひずみ曲線を図-1 に示す。2.8MPa から 296MPa のサクシオンを与えられたことで供試体の含水比、乾燥密度は大きく変化し、応力-軸ひずみ曲線の形状にも変化が見られる。サクシオンの載荷・増大によって一軸圧縮強さは高まり、増加を維持している（図-2）。また算定した剛性係数の増大もサクシオンの増加に密接していることがわかる（図-3）。さらに剛性係数と一軸圧縮強さの関係を求めると図-4 から一つの直線で示されている。

制御サクシオン値は同じ条件で、軸圧縮応力の載荷・除荷の繰返し作用を与えた場合の応力-軸ひずみ曲線を図-5 に示す。全ての供試体で一軸圧縮強さ付近の応力-軸ひずみ曲線の形状が緩やかである。高いサクシオン値の供試体ほど一軸圧縮強さは大きい傾向が見られるが、軸圧縮応力の載荷・除荷の繰返し作用を受けたことでどのサクシオン値においても一軸圧縮強さは低下している（図-6）。一様性が見られたサクシオンと剛性係数の関係からは剛性係数の増減が見られる（図-7）。また剛性係数と一軸圧縮強さの関係（図-4）が図-8 のように不規則性が伺えるように変化している。プロット点付近の数値はサクシオン値である。

一軸圧縮強さに対して載荷・除荷の繰返し作用時の載荷軸圧縮応力との関係を考察する。横軸に載荷軸圧縮応力の最大値と載荷軸圧縮応力を受けていない一軸圧縮強さの比（ β ）、縦軸に、載荷軸圧縮応力の最大値を受けた

キーワード: ベントナイト, 一軸圧縮強さ, サクシオン, 不飽和土

連絡先: 〒326-8558 栃木県足利市大前町 268 足利大学

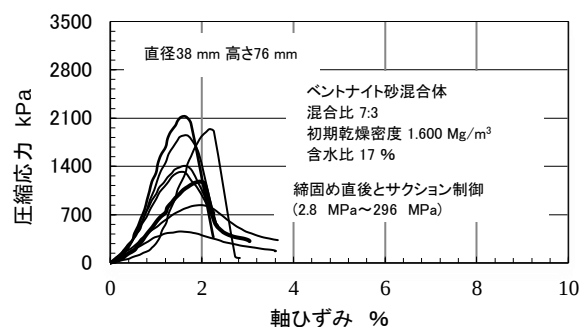


図-1 応力-ひずみ曲線(クリープ応力載荷前)

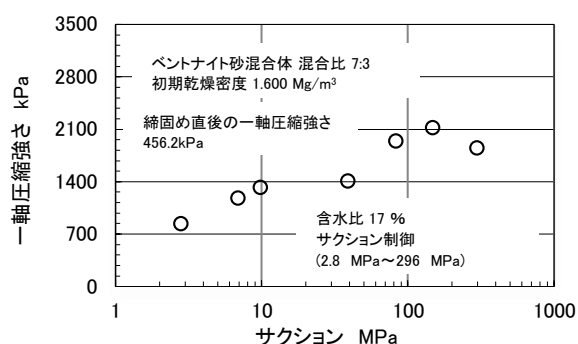


図-2 サクシオンと一軸圧縮強さの関係(クリープ応力載荷前)

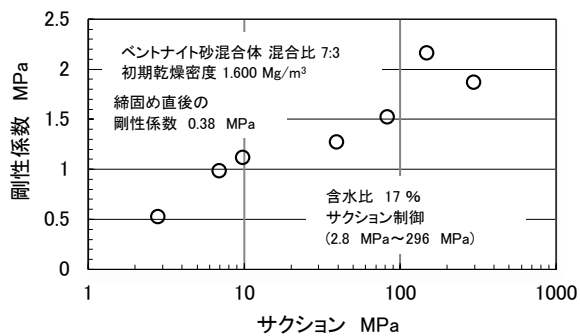


図-3 サクションと剛性係数の関係(クリープ応力載荷前)

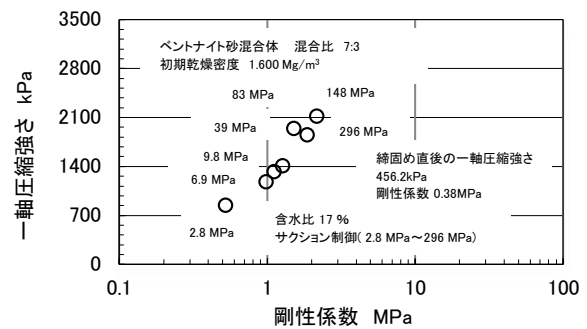


図-4 剛性係数と一軸圧縮強さの関係(クリープ応力載荷前)

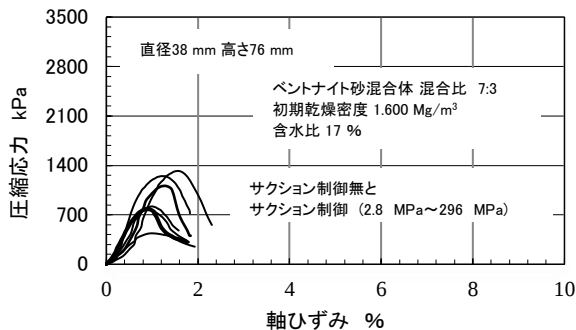


図-5 応力-ひずみ曲線(クリープ応力載荷後)

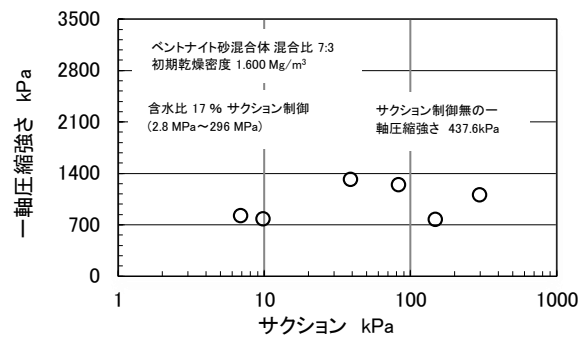


図-6 サクションと一軸圧縮強さの関係(クリープ応力載荷後)

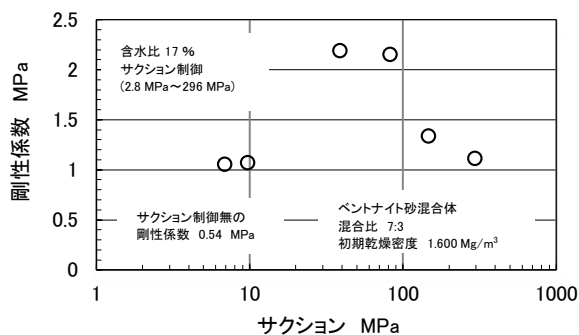


図-7 サクションと剛性係数の関係(クリープ応力載荷後)

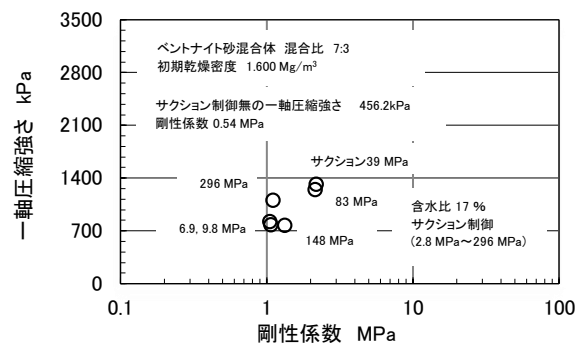


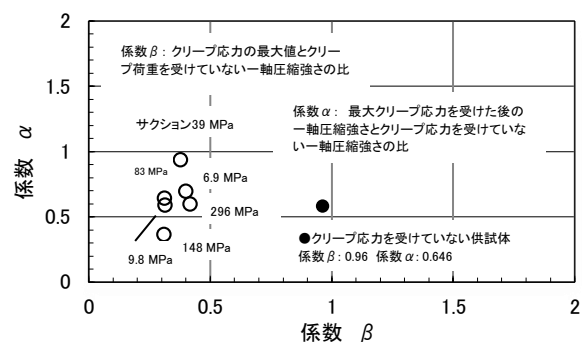
図-8 剛性係数と一軸圧縮強さの関係(クリープ応力載荷後)

後の一軸圧縮強さと载荷軸圧縮応力を受けていない一軸圧縮強さの比 (α) を図-9 に示す。载荷・除荷の繰り返し作用を受けることで一軸圧縮強さは減少する。一方、载荷軸圧縮応力を受けていない一軸圧縮強さに対し大きな载荷軸圧縮応力を受けた場合 (β) でも必ずしも、一軸圧縮強さは減少するが、一軸圧縮強さ低下の度合いは顕著に発生するとはいえず、他の要因も考えられる。

4 まとめ

不飽和ベントナイト砂混合体の一軸圧縮強さおよび剛性係数はサクション値と密接な関係がある。一方軸圧縮応力の繰り返し载荷・除荷を受けることによって一軸圧縮強さは明確に低下し、剛性も劣化する。繰り返し载荷応力との一軸圧縮強さとの比がパラメータになる。今後は繰り返し载荷・除荷時のひずみ特性を求め、弾性ひずみ・塑性ひずみの拡大特性を検証する。今後は繰り返し载荷・除荷時のひずみの変化と供試体の関係を求め、弾性ひずみ・塑性ひずみの蓄積などについて検証し、降伏状態面の考察を進める。

参考文献 1) Villar, M.V., Carbonell, B., Martín, P.L. and Gutiérrez-Álvarez, C., 2021. The role of interfaces in the 509 bentonite barrier of a nuclear waste repository on gas transport. Engineering Geology, 286.

図-9 係数 β と係数 α の関係