不飽和ベントナイト砕石の高サクション領域における保水性

一般社団法人 NB 研究所　正会員○成島誠一　佐古田又規
足利工業大学　国際会員　西村友良

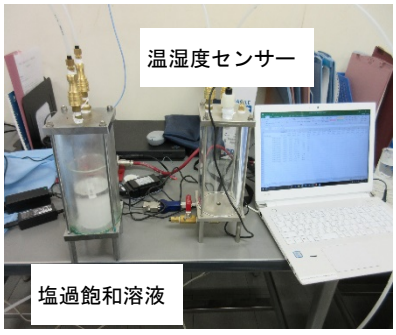
1.まえがき

廃棄物処分施設の遮水構造物に関する長期安全性検証の調査・研究は重要課題である。一般に土質系遮水層にはベントナイト混合土やベントナイト砕石が適用されている。このベントナイト系の膨張性土の飽和状態における基本的特性の解明に対してサクションを考慮した不飽和室内試験[1)2)]の実施ならびに測定結果は限定的である。

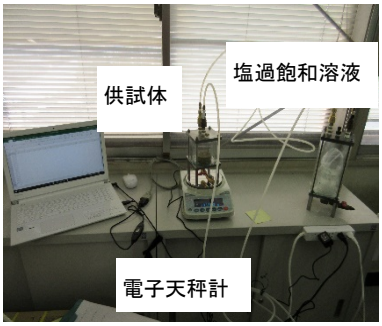
本研究ではベントナイトの長期安定性評価に必要とされる水分保持曲線を高サクション範囲において求める。同時にベントナイト砕石の締固め密度による保水性の相違について検討する。

2.試料・試験方法

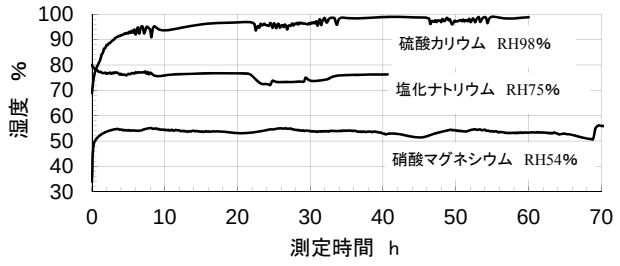
試料としてベントナイト砕石を用いた。試料は礫分 47.6%、砂分 52.3%、粘土分 0.1%の粒度組成を有している。さらに突固めによる土の締固め試験(JIS A 1210)を行い、試料の最大乾燥密度、最適含水比を求めた。突固め方法の呼び名は A-c であった。試料の最大乾燥密度は 1.357g/cm^3、最適含水比は 27.7%であった。供試体作製含水比は最適含水比とし、乾燥密度は最大乾燥密度の 100%（1.357g/cm^3）、90%（1.221g/cm^3）とした。供試体寸法は直径 6.0cm、高さ 2.0cm であった。水分特性曲線のサクション値を均等にするため、7 種類の塩過飽和溶液を用いた蒸気圧法で湿度・サクションを制御した。それぞれの制御範囲は湿度 98%から 11%、サクション 2.8MPa から 296MPa であった。使用した塩過飽和溶液による湿度を図－1 の装置で測定した。空気を循環させながら温湿度変換器 THT-B によって湿度を測定した。図－2 は循環型湿度制御装置を用いた長期質量測定の様子である。いずれも室温 20℃であった。図－3 は塩過飽和溶液の種類によって制御湿度値が異なることがわかる。測定された湿度は土の保水性試験（JGS 0151）に示されている湿度値に一致している。同時に短時間で空間内の湿度はほぼ一定に至っている。なおアクリル性容器の体積は 1500cm^3 であった。サクション制御による供試体水分量の変化・平衡状態の確認するため、図－4 にリン酸二水素アンモニウムと塩化ナトリウムを使用した場合の質量変化から供試体含水比を算出した結果を示す。リン酸二水素アンモニウムは 93%（サクション 9.8MPa）、塩化ナトリウムは 75%（サクション 39MPa）の湿度・サクションを実現し、供試体に作用させた。含水比はサクション作用開始とともに低下を示し、数日で含水比は平衡状態に至り安定している。結果は蒸気圧法における平衡時間設定の目標値となる。



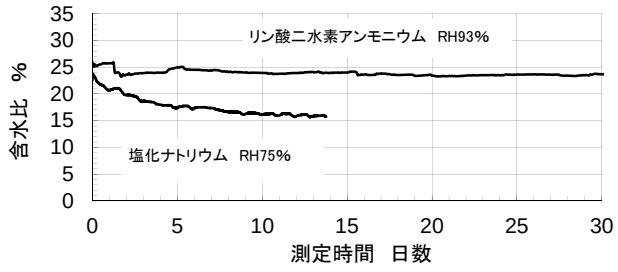
図－1　循環型湿度測定装置



図－2　循環型湿度環境一定質量計測

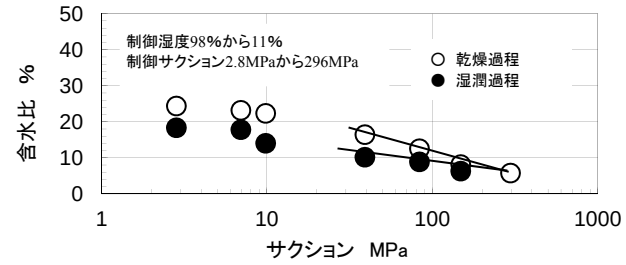


図－3　湿度測定（温度20℃）

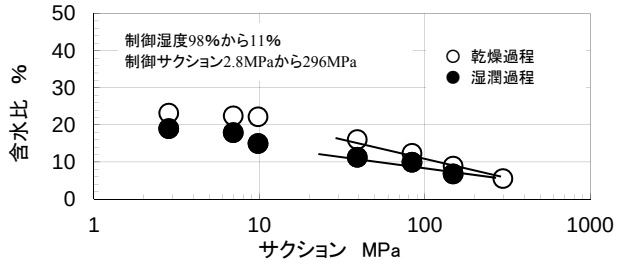


図－4　一定湿度環境下の含水比変化（温度20℃）

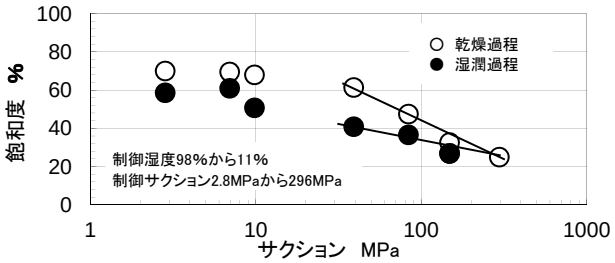
キーワード: ベントナイト,蒸気圧法，水分保持曲線
連絡先: 〒105-0004　東京都港区新橋 1-18-14 新橋 MM ビル 4F　(一社) NB 研究所　TEL 03-3503-4861



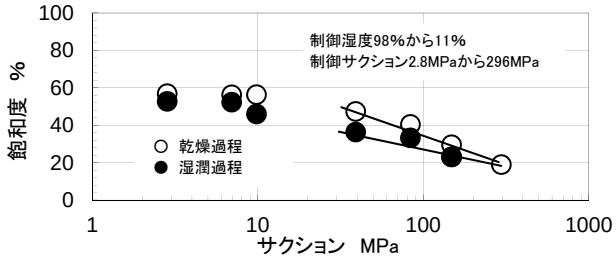
図－5 含水比の変化（最大乾燥密度100%）



図－6 含水比の変化（最大乾燥密度90%）



図－7 飽和度の変化（最大乾燥密度100%）



図－8 飽和度の変化（最大乾燥密度90%）

3.実験結果

図－5 と 6 は最大乾燥密度の 100%および 90%で締固めた供試体のサクションと含水比の関係を示す。記号○は乾燥過程（サクション増大）、記号●は湿潤過程（サクション低下）を意味する。サクション増加（湿度低下）を受けた供試体は含水比を低下させる。対数軸上で見ると含水比の変化は直線的な部分が確認される。サクション 296MPa に平衡した後、サクションを減少させると、記号●のように緩やかな含水比増加を示している。しかし、乾燥過程の含水比に一致することなく、ヒステリシスが見られる。乾燥過程、湿潤過程ともに直線的な部分はサクションが 39MPa から 296MPa の範囲である。一方サクションが 2.8MPa から 6.9MPa の範囲では小さな含水比変化にとどまっている。乾燥密度の違いと含水比の関係は初期乾燥密度（1.221g/cm^3：最大乾燥密度 90%）と初期乾燥密度（1.357g/cm^3：最大乾燥密度 100%）に制御サクション範囲に限り含水比の値に明確な差異は確認されなかった。図－7 と 8 にサクションと飽和度の関係を示す。両者の供試体の初期飽和度は、74.6%（最大乾燥密度 100%）と 61.1%（最大乾燥密度 90%）であった。初期飽和度の相違の影響も予想され、乾燥過程のサクション 2.8MPa と平衡の段階で飽和度に 70.1%と 56.9%という差異が見られる。以降、サクション増大につれて飽和度の減少が見られる。成島ら [3)]は同一試料の乾燥過程における乾燥密度の増加を示しており、本研究においても乾燥過程における乾燥密度の増加は確認された。乾燥密度の増加に対して含水比低下が生じているので、結果的に飽和度は減少している。サクション 296MPa 平衡後、湿潤過程に至った。飽和度は増加を緩やかな増加を示した。本論文では示さなかったが乾燥密度はサクション低下とともに減少を示した。一方含水比は前述のように増加していたので、飽和度の増大が示された。初期乾燥密度（1.221g/cm^3：最大乾燥密度 90%）と初期乾燥密度（1.357g/cm^3：最大乾燥密度 100%）、乾燥過程・湿潤過程のサクション範囲が 39MPa から 296MPa において直線的な部分を確認出来た。一方、初期乾燥密度（1.221g/cm^3：最大乾燥密度 90%）の方が初期乾燥密度（1.357g/cm^3：最大乾燥密度 100%）に比べて湿潤過程における飽和度のヒステリシスが小さい傾向が見られる。

4.まとめ

本論では、締固め度が異なる不飽和ベントナイト砕石の乾燥過程・湿潤過程を含む水分特性曲線を高サクション領域において求めた。締固め度の影響が飽和度において見られたが、含水比については差異が小さい挙動傾向を示した。今後さらに超長期安定性について解析を進め再現性のある土質系遮水層の提供を目指したい。

参考文献 1) Blatz,L.A., Cui, Y.J. and Oldecop, L., Vapour equilibrium and osmotic technique for suction control, Geotech Geol Eng, Vol.26, pp.661-673, 2008, DOI 10.1007/s10706-008-9196-1. 2) Dueck, A., Laboratory results from hydro-mechanical tests on a water unsaturated bentonite, Engineering Geology, 97(1-2), pp.15-24, 2008, do:10.1016/j.enggeo.2007.11.001. 3) 成島誠一・新井靖典・佐古田又規・西村友良：不飽和ベントナイト砕石の膨潤圧と透水性に関する基本的特性の把握，第 53 回地盤工学研究発表会 香川・高松，2018 年.（投稿中）