ベントナイト粒子の膨潤が不飽和力学特性に与える影響

名城大学　学生会員　○竹内啓介
名城大学　正会員　小高猛司・崔 瑛
名城大学大学院　学生会員　古山翔悟

１．はじめに

現在わが国では，高レベル放射性廃棄物を安全かつ恒久的に処分することが重要な課題となっている。この放射性廃棄物の地下処分において緩衝材や遮水材として用いられるベントナイト･珪砂混合体は処分場建設時の不飽和状態から地下水環境下にて数十年を経て飽和状態へと遷移する。そのため，合理的に処分場の設計を行うためにはベントナイト・珪砂混合体の不飽和力学特性を把握する必要がある。特に，飽和度が比較的高い時，ベントナイト粒子が間隙の水を吸収して，粒子が膨潤することで構造が変化し，不飽和力学特性に影響を及ぼす可能性を否定できない。本報では，膨潤後の力学特性が試験結果に及ぼす影響を検討するため，ベントナイト・珪砂混合体の供試体を用い非排気・非排水条件下で三軸試験を実施した。

２．試験方法

試験試料は，粉末ベントナイト（クニゲル V1，初期含水比 5.8%）に三河珪砂 6 号を乾燥質量比 30%で混合したものとした。バットに試料を拡げ，所定の飽和度となるようにベントナイト・珪砂混合体に霧吹きによる加水で含水比調整を行い，その後含水比が変化しないよう調整した試料をラップで包み，光が当たらないようラップの上に布を被せ，恒温室で保存した。保存時間の有無による比較を行うため，同様に含水比調整を行い，保存時間を設けずに圧縮成型をしたものを 0 時間供試体とした。その後，試料を油圧ジャッキにより圧縮成型し，乾燥密度 1.60 Mg/m^3，供試体寸法直径 35mm，高さ 70mm のベントナイト・珪砂混合体の供試体を作製した。作製した供試体は図 1 に示す二重セル構造の三軸試験装置を用いて，拘束圧 0.5MPa を載荷した上で，載荷速度 0.5%/min で軸ひずみ 15%まで非排気非排水条件でせん断を行った。

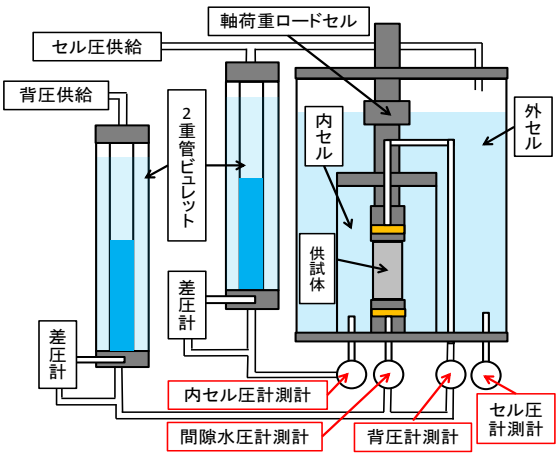
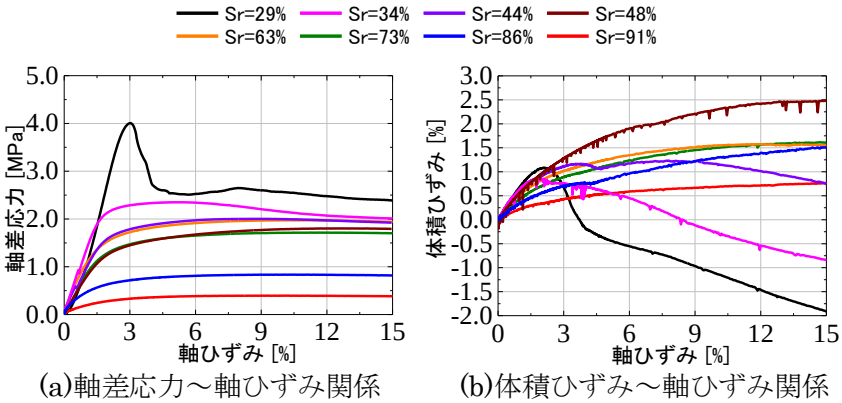


図 1　二重セル構造の三軸試験機

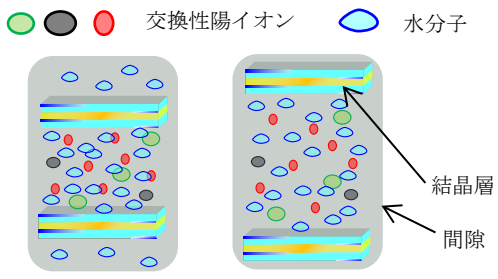
３．試験結果

図 2 に不飽和状態から飽和状態のベントナイト・珪砂混合体を用いて三軸試験を行った試験結果を示す。凡例は各飽和度を示している。図 2(a)軸差応力～軸ひずみ関係より，飽和度が高くなるにつれて最大軸差応力が小さい値となった。Sr＝29%は 3%付近で最大軸差応力に到達し，その後減少する挙動を示しているが，飽和度の高いものは単調な増加を示している。図 2 (b)体積ひずみ～軸ひずみ関係では Sr＝29%では最大軸差応力



(a)軸差応力～軸ひずみ関係　(b)体積ひずみ～軸ひずみ関係

図 2　各種不飽和供試体の非排気非排水三軸試験結果



(a)間隙に水が存在する状態　(b)完全に膨潤した状態

図 3 膨潤のメカニズム　イメージ図

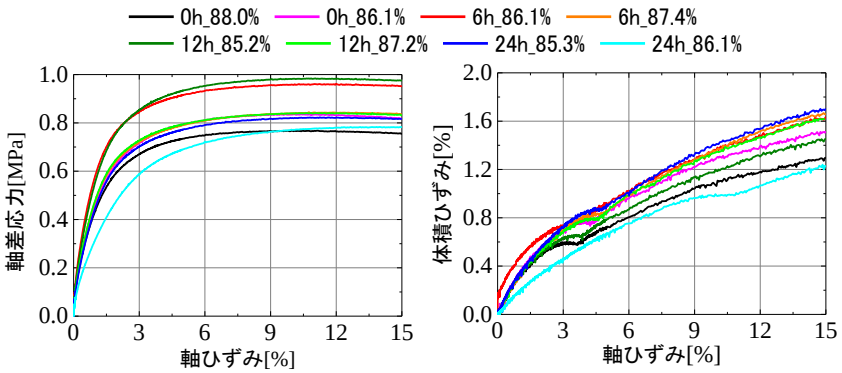
に到達するまで圧縮を続けるがその後は膨張に転じている。飽和度の高いものは圧縮し続ける結果となった。これらの試験結果から，ベントナイト・珪砂混合体の力学特性とダイレイタンシー特性は飽和度によって変化することが示された。

Na 型ベントナイトの主成分であるモンモリロナイトは結晶層が積み重なっている層状の構造をもっている。膨潤のメカニズムは層との間に存在する陽イオンが水分子を吸収し，層と層との間が広がることで粒子が膨潤する。特に飽和度が高い時，図3に示すように同じ飽和度でも粒子内に水が存在する場合と間隙に水が散在している場合があると考えられる。そこで，時間を置くことで粒子内に水が存在している状態を作り出し比較試験を行った。

表1に各試験ケースの情報を示す。今回の試験ではそれぞれの保存時間を置いた試験を各2回ずつ行っている。図4，および図5に非排気非排水試験の試験結果を飽和度ごとに示す。凡例は，飽和度と保存時間を示している。

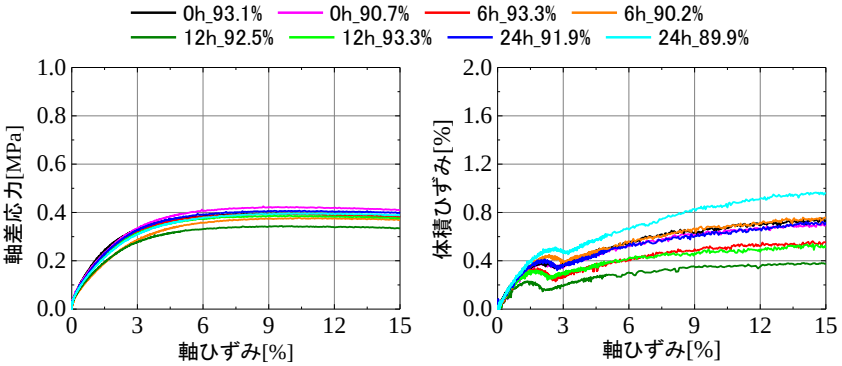
表1　非排気非排水における試験ケース

飽和度(%)	保存時間(h)	拘束圧(MPa)
85，95	0，6，12，24	0.5



(a)軸差応力～軸ひずみ関係　(b)体積ひずみ～軸ひずみ関係

図4　非排気非排水三軸試験結果　飽和度85%



(a)軸差応力～軸ひずみ関係　(b)体積ひずみ～軸ひずみ関係

図5　非排気非排水三軸試験結果　飽和度95%

図3(a)軸差応力～軸ひずみ関係より，飽和度85%の場合，いずれのケースにおいても軸ひずみ3%程度まで軸差応力が急激に増加し，軸ひずみ3%から15%までは非常に緩やかに増加していく傾向が見られる。軸ひずみ15%時の軸差応力は，個別なケースを除いて，多少のバラツキは見られるもののほとんど約0.8MPa付近で収束している。図4(b)の体積ひずみ～軸ひずみ関係よりいずれのケースも類似の挙動を示しているが，軸ひずみ15%時の体積ひずみの値は0.4%程度のばらつきが見られる。図5 (a)の軸差応力～軸ひずみ関係のグラフでは，飽和度85%のグラフと同様に軸ひずみ3%までのあいだに急激な増加が見られる。15%時の軸差応力はほとんどのケースが0.4MPaの値を示しておりほぼ一定の値となる傾向を示している。図 5(b)体積ひずみ～軸ひずみ関係においてはこちらも飽和度85%と同様にケースごと体積ひずみの値にバラツキはあるものの，保存時間による顕著な差は表れなかったと考えられる。なお体積ひずみのばらつきは，二重セル試験装置の特性と考えられる。

飽和度85%の試験結果では，保存時間6および12時間のケースにおいて，それぞれ1本ずつの供試体の軸差応力が突出した値を示した。これが単なるバラツキであるのかどうかは，さらに同条件の試験を実施して検証する必要がある。

4．まとめ

本報では不飽和から飽和状態のベントナイト・珪砂混合体の力学特性と粒子の膨潤が試験に及ぼす影響を検討する為，非排気非排水試験を実施した。不飽和から飽和状態のベントナイト・珪砂混合体は飽和度によって力学特性およびダイレイタンシー特性が変化すると示された。また，ベントナイト粒子の膨潤が試験に及ぼす影響については強度変形特性など保存時間を設けたことが試験結果に及ぼす影響を本報の試験では明確に把握することはできなかった。今後は保存の仕方や保存時間を変えた試験を行っていく予定である。