

各種飽和度の圧縮ベントナイトの非排気非排水三軸試験

ベントナイト, 三軸圧縮試験, 飽和度

名城大学
名城大学大学院

国際会員
学生会員

小高猛司・崔 瑛
○高田英典

1. はじめに

現在我が国は、原子力発電により発生した放射性廃棄物以外にも、原発廃炉などにより、大量の放射性廃棄物が早期に発生する問題に直面している。この放射性廃棄物の地下処分において、緩衝材および遮水材として用いられる高密度ベントナイトは、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に遷移する。そのため、処分場を合理的に設計するためには、不飽和から飽和過程までを含む高密度ベントナイトの力学特性を把握する必要がある。本報では、自然含水状態の粉末ベントナイトを加水調整し、自然含水状態から飽和に近い状態までの各種飽和度の供試体を作製し、非排気非排水条件での三軸試験を実施した。

2. 試験方法

試験試料は、粉末状ベントナイト（クニゲルV1, 初期含水比 11.6%）に三河珪砂 6号を乾燥質量比 30%で混合したものとした。自然含水供試体は、自然含水状態の試験試料を油圧ジャッキにて圧縮成形した後、両端面を成形し作製した。各種不飽和状態および疑似飽和供試体は、供試体が目標の飽和度となるように霧吹きにて含水比調整を行った試験試料を用いて、自然含水供試体と同様の手順で作製した。供試体の乾燥密度は 1.60 Mg/m^3 とし、供試体は直径 35mm, 高さ 70mm の円柱供試体とした。作製した供試体は図 1 に示す 2重セル構造の三軸試験装置にて、拘束圧を 0.1MPa, 0.5MPa とし、非排気非排水三軸試験を実施した。せん断は載荷速度 0.5%/min で軸ひずみ 15%まで行った。

3. 試験結果

図 2 に自然含水供試体の非排気非排水試験の結果を示す。凡例は拘束圧を示している。

図 2 (a) の軸差応力～軸ひずみ関係より、いずれの供試体でも軸ひずみ 3%程度まで軸差応力が急激に増加し、最大軸差応力に到達している。最大軸差応力に到達した後、供試体はひずみ軟化の挙動を示し、軸ひずみ 6%付近から残留状態となっている。図 2 (b) にせん断中の供試体体積変化量～軸ひずみ関係を示す。供試体の体積変化量は正の値では供試体体積の圧縮を示し、負の値では供試体体積の膨張を示している。いずれの供試体においても、軸差応力が最大値を示す少し手前まで体積圧縮し続けている。最大軸差応力を示す軸ひずみにおいては、すでに供試体体積は膨張に転じており、その膨張割合が最大となっている。その後、残留状態に至ってからは、体積膨張の割合は緩やかに変化している。なお拘束圧 0.5MPa の供試体に比べ、拘束圧 0.1MPa の方がせん断終了時の体積膨張量は大きく、より大きな正のダイレイタンスが発現していたことがわかる。図 2 (c) のモールの応力円より、粘着力 c は 0.5MPa, 内部摩擦角 ϕ_u は 42.3° となった。

図 3 に疑似飽和供試体の非排気非排水試験の結果を示す。凡例は供試体の飽和度と拘束圧を示す。ただし、これらの飽和度は供試体成型時の値であり、拘束圧を載荷した後の等方圧縮時の変形量は反映していない。図 3 (a) の軸差応力～軸ひずみ関係より、いずれの供試体でも軸ひずみの増加に伴い軸差応力が増加し続け、軸ひずみ 10%程度で最大軸差応力

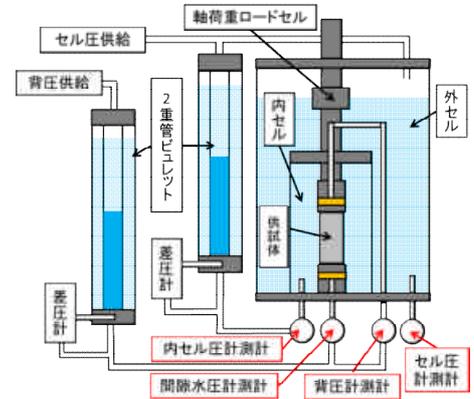
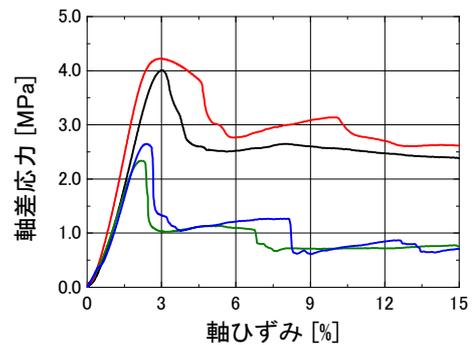
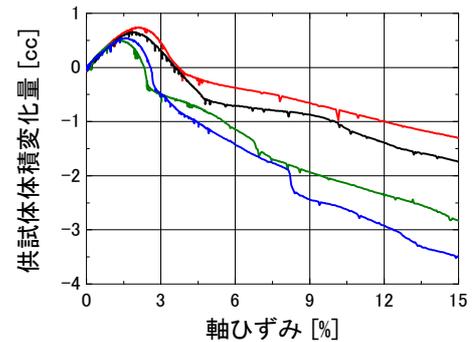


図 1 2重セル構造の三軸試験装置

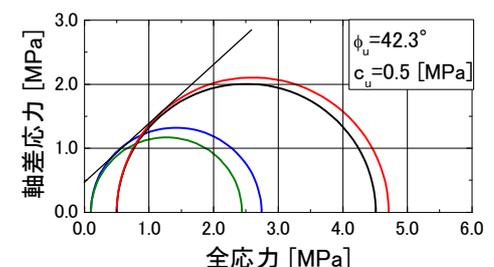
— 自然含水-500kPa — 自然含水-500kPa
— 自然含水-100kPa — 自然含水-100kPa



(a) 軸差応力～軸ひずみ関係



(b) 供試体体積変化量～軸ひずみ関係



(c) モールの応力円

図 2 自然含水供試体の非排気非排水試験結果

に到達している。最大軸差応力到達後の軸差応力の低下はほとんど見られなかった。図3 (b) にせん断中の供試体体積変化量～軸ひずみ関係を示す。いずれの供試体においても軸差応力の増加に伴い、供試体体積は圧縮している。せん断終了時の体積変化量は拘束圧0.1MPaの供試体に比べ、拘束圧0.5MPaの方が小さい値となった。これは等方圧密時に拘束圧が高い方が供試体内の気相の体積が減少している可能性が考えられる。図3 (c) のモールの応力円より、粘着力 c は0.12MPa、内部摩擦角 ϕ_u は 6.1° となり若干の ϕ_u が見られる。

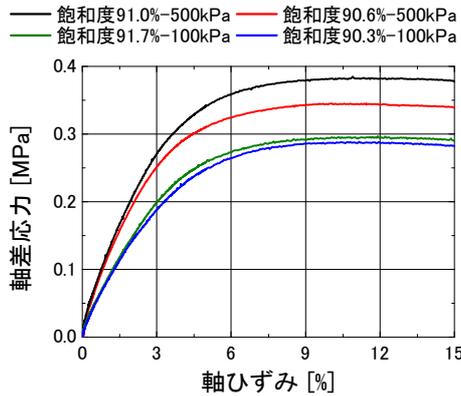
図4に各種不飽和状態の供試体による非排気非排水試験の結果を示す。凡例は供試体の飽和度と拘束圧を示す。

図4 (a) の軸差応力～軸ひずみ関係より、いずれの供試体でもせん断開始と共に軸差応力が増加している。拘束圧0.5MPaの場合では、疑似飽和供試体と同様に軸差応力は増加し続け、軸差応力10%程度で最大軸差応力に到達している。しかし拘束圧0.1MPaでは自然含水供試体と同様に最大軸差応力に到達した後、ひずみ軟化の挙動を示している。ただし、拘束圧0.1MPaの自然含水供試体と比較すると、最大軸差応力に到達する軸ひずみが大きく、その後の軟化の度合は小さくなっている。図4 (b) にせん断中の供試体体積変化量～軸ひずみ関係を示す。拘束圧0.5MPaでは疑似飽和供試体と同様に軸差応力が増加に伴い、供試体体積は圧縮し続けている。拘束圧0.1MPaでは自然含水供試体と同様の挙動を示しており、軸差応力が増加している軸ひずみ3%程度まで供試体体積は圧縮し続けている。最大軸差応力となる軸ひずみ5%では供試体体積は膨張に転じ、その後軸差応力の急激な減少に伴い、供試体は膨張している。残留状態となってからは、供試体体積は緩やかに膨張している。図4 (c) のモールの応力円より、粘着力 c は0.27MPa、内部摩擦角 ϕ_u は 31.0° となった。

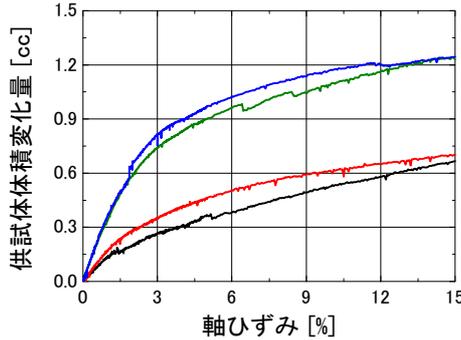
以上の3種類の供試体について比較を行う。軸差応力～軸ひずみ関係では、供試体の飽和度が高くなるほど最大軸差応力は小さい値となった。また、自然含水供試体ではひずみ軟化挙動が見られたのに対し、疑似飽和供試体ではひずみ軟化挙動は見られなかった。各種不飽和供試体では、拘束圧の大きさにより、自然含水状態および疑似飽和状態のいずれかの傾向となった。供試体の体積変化については、自然含水供試体は最大軸差応力の手前まで供試体は圧縮を続け、その後は膨張に転じるのに対し、疑似飽和供試体は圧縮し続けている。各種不飽和状態の供試体については、拘束圧によりせん断時の供試体の体積変化の挙動は大きく異なる結果となった。モールの応力円では、供試体の飽和度が高くなるにつれて粘着力と内部摩擦角は小さくなった。

4. まとめ

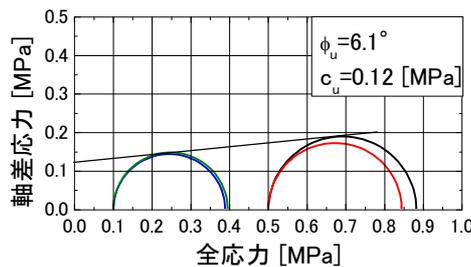
不飽和から飽和過程までを含む高密度ベントナイトの力学特性を把握するために、自然含水状態から飽和に近い状態までの各種の飽和度の供試体を作製し、非排気非排水条件での三軸試験を実施した。試験結果から、飽和化に伴いせん断強度が急激に低下することが示された。また、2重セルによりせん断時の供試体体積の変化について検討した結果、供試体の飽和度により高密度ベントナイトのダイレイタンス特性が大きく異なることが示された。



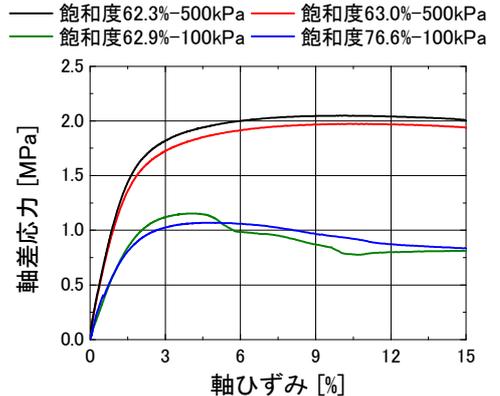
(a) 軸差応力～軸ひずみ関係



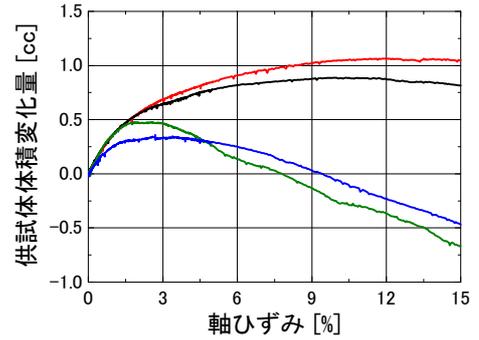
(b) 供試体体積変化量～軸ひずみ



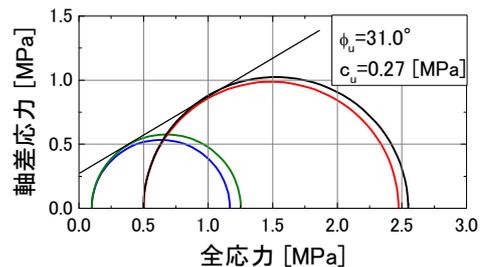
(c) モールの応力円



(a) 軸差応力～軸ひずみ関係



(b) 供試体体積変化量～軸ひずみ



(c) モールの応力円

図3 疑似飽和供試体の非排気非排水試験結果 図4 各種不飽和供試体の非排気非排水試験結果