

各種飽和状態の高密度ベントナイトの力学特性とダイラタンシー特性

名城大学大学院 学生会員 ○高田英典
 名城大学 正会員 小高猛司・崔 瑛

1. はじめに

高密度ベントナイト緩衝材の材料特性として、施工直後の不飽和状態から、地下水の再冠水後の飽和状態に至る遷移過程での力学特性を把握することは、放射性廃棄物処分場の合理的な設計にとって不可欠である。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、不飽和三軸試験装置により非排気非排水条件での三軸圧縮試験を実施した。

2. 試験方法

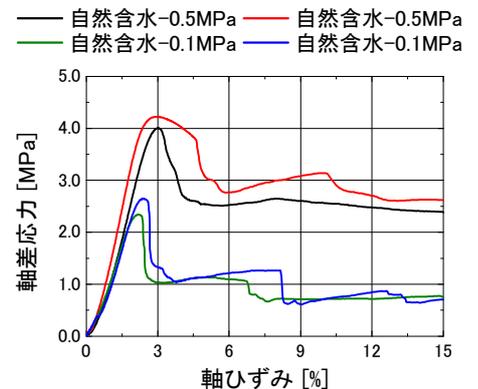
試験試料は、粉末状ベントナイト（クニゲル V1, 初期含水比 11.6%）に三河珪砂 6 号を乾燥質量比 30% で混合したものとした。自然含水供試体は、自然含水状態の試験試料を圧縮成型し作製した。疑似飽和供試体および各種不飽和供試体は、供試体が所定の飽和度となるように、霧吹きにて含水比調整を行った試料を用い、自然含水供試体と同様の手順で作製した。供試体の乾燥密度は 1.60 Mg/m^3 とし、供試体寸法は直径 35mm, 高さ 70mm とした。作製した供試体は 2 重セル構造の三軸試験装置にて、拘束圧を 0.1MPa, 0.5MPa とし、非排気非排水条件で三軸圧縮試験を実施した。せん断は載荷速度 0.5%/min で軸ひずみ 15% まで行った。

3. 試験結果

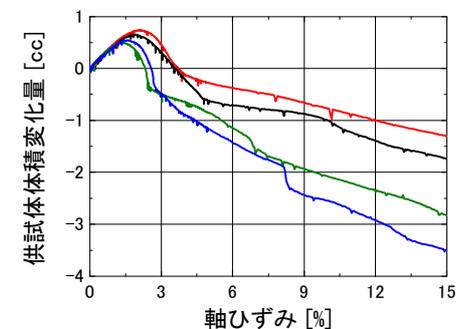
図 1 に自然含水供試体による試験結果を示す。凡例は拘束圧を示す。

図 1 (a) の軸差応力～軸ひずみ関係より、いずれの供試体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、最大軸差応力に到達している。その後、供試体はひずみ軟化挙動を示し、軸ひずみ 6% 付近からは残留状態を示している。図 1 (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、軸差応力が最大となる少し前までは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、供試体体積は膨張に転じており、膨張割合が最大となっている。また拘束圧 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変化量が大きく、正のダイラタンシーが大きく発現していることがわかる。図 1 (c) のモールの応力円より、粘着力 c_u は 0.5MPa, 内部摩擦角 ϕ_u は 42.3° となった。

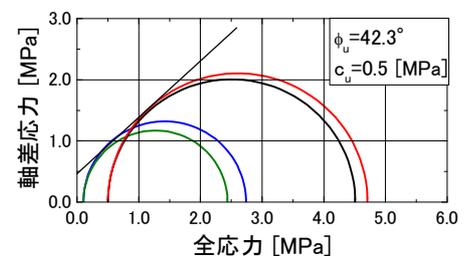
図 2 に疑似飽和供試体による試験結果を示す。凡例は供試体の飽和度と拘束圧を示す。ただし、この飽和度は供試体成型時の値であり、等方圧縮時の体積変化量は反映していない。図 2 (a) の軸差応力～軸ひずみ関係より、いずれの供試体においても軸ひずみの増加に伴い軸差応力が増加し、軸ひずみ 10% 程度で最大軸差応力に到達している。図 2 (b) にせん断中の供試体体積変化量～軸ひずみ関係を示す。いずれの供試体にも



(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 1 自然含水供試体の非排気非排水試験結果

キーワード ベントナイト, 三軸圧縮試験, 飽和度, ダイラタンシー特性

名城大学 理工学部社会基盤デザイン工学科(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 Tel 052-838-2347)

においても軸差応力の増加に伴い、供試体体積は圧縮し続けている。また拘束圧 0.1MPa の供試体に比べ、拘束圧 0.5MPa の方がせん断終了時の体積変化量が小さい値となった。これは等方圧密時に、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 2 (c) のモールの応力円より、粘着力 c_u は 0.12MPa, 内部摩擦角 ϕ_u は 6.1° となり若干の ϕ_u が見られた。

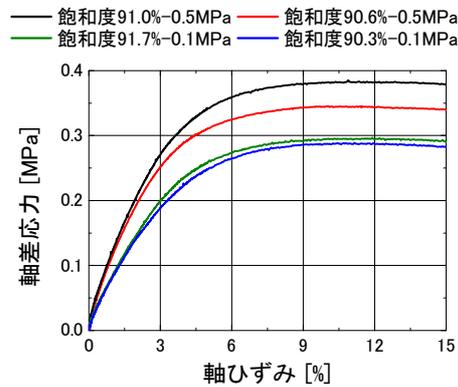
図 3 に各種不飽和供試体による試験結果を示す。凡例は供試体の飽和度と拘束圧を示す。

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せん断開始と共に軸差応力が急激に増加している。拘束圧 0.5MPa の場合では、せん断が進むと共に軸差応力が増加し続け、軸ひずみ 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 の場合では軸ひずみ 5%程度で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。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。拘束圧 0.5MPa では軸差応力の増加に伴い、供試体体積が圧縮し続けている。拘束圧 0.1MPa では軸ひずみ 3%程度まで供試体は体積圧縮し続け、最大軸差応力となる軸ひずみ 5%では体積膨張に転じている。残留状態からは、供試体体積の膨張は緩やかになっている。図 3 (c) のモールの応力円より、粘着力 c_u は 0.27MPa, 内部摩擦角 ϕ_u は 31.0° となった。

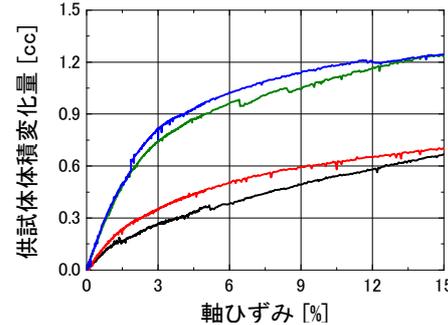
これらの供試体について比較を行う。軸差応力～軸ひずみ関係では、供試体の飽和度が高くなるほど最大軸差応力は小さい値となった。自然含水供試体ではひずみ軟化挙動が見られたのに対し、疑似飽和供試体では見られなかった。各種不飽和供試体では、拘束圧によっていずれかの傾向となった。供試体の体積変化については、自然含水供試体は最大軸差応力の手前まで圧縮を続け、その後膨張に転じるのに対し、疑似飽和供試体は圧縮し続けた。各種不飽和供試体については、拘束圧によって体積変化の挙動が異なる結果となった。モールの応力円については、供試体の飽和度が高くなるにつれて粘着力と内部摩擦角は小さくなった。

4. まとめ

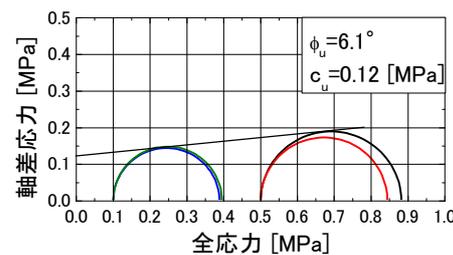
不飽和から飽和過程までを含む高密度ベントナイトの力学特性を把握するために、自然含水状態から飽和に近い状態までの各種飽和度の供試体を作製し、非排気非排水条件での三軸試験を実施した。試験結果から、飽和化に伴いせん断強度が急激に低下することが示されたとともに、せん断時の供試体の体積変化を観察したところ、供試体の飽和度に応じてダイラタンシー特性が大きく異なることが示された。



(a) 軸差応力～軸ひずみ関係

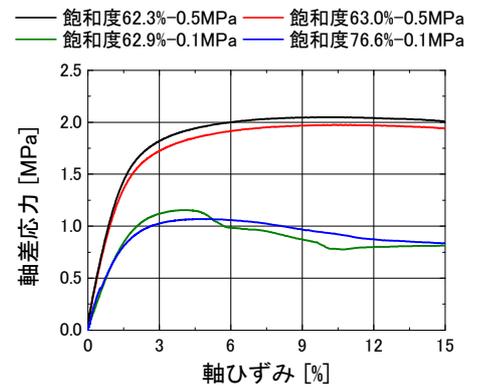


(b) 供試体体積変化量～軸ひずみ関係

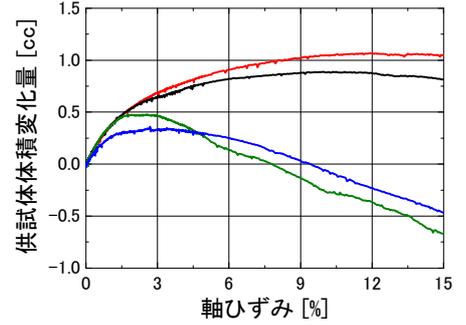


(c) モールの応力円

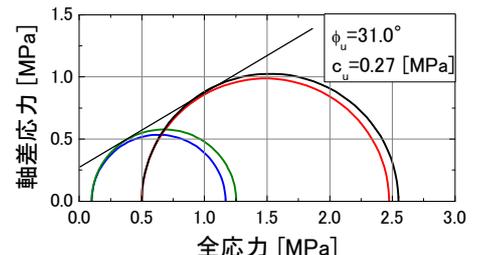
図 2 疑似飽和供試体の非排気非排水試験結果



(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 3 各種不飽和供試体の非排気非排水試験結果