

飽和圧縮ベントナイトのせん断強度特性に及ぼす供試体密度と供試体作製方法の影響

ベントナイト，一面せん断試験，密度

名城大学 国際会員 小高猛司
名城大学大学院 学生会員 ○元山泰久・平手寿大
元名城大学院生 国際会員 寺本優子

1. はじめに

本研究では，高レベル放射性廃棄物の地層処分の緩衝材に用いる圧縮ベントナイトに対して，一面せん断試験を実施し，せん断特性の把握を試みている。本報では特に，供試体密度と供試体作製方法の影響を検討した。

2. 供試体作製方法

① 専用飽和モールドでの作製：珪砂 6 号を質量比 30%の割合で混合したベントナイト(クニゲル V1)を図 1 に示す直径 80mm，高さ 20mm の高剛性圧縮リングに入れ，油圧ジャッキによりリング高さまで圧縮成型する。そのリングを飽和モールドにセットし，上部载荷ピストンを設置した後に，図 2 に示す剛なフレームによってモールドを体積拘束する。なお，図 3 に示すように供試体の上下部にはポーラスメタルがあり，吸水が可能となっている。アクリル円筒内に蒸留水を入れ，飽和させるが，浸潤初期は片面注水で供試体内の空気の逃げ道を確保しながら実施し，その後両面注水で浸潤させる。その際，ロードセルで膨潤圧を計測して飽和の目安とするが，膨潤圧が一定となり所定時間が経過した後に，モールドを解体してその試料を取り出す。カッターナイフで圧縮リングから取り出した試料を，専用ガイドカッターで 50mm×50mm×20mm 厚の矩形供試体を成型して，一面せん断試験を実施した。



図 1 専用飽和モールド

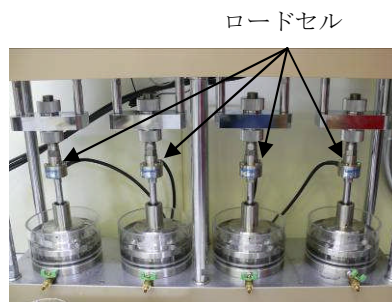


図 2 4 連载荷フレーム

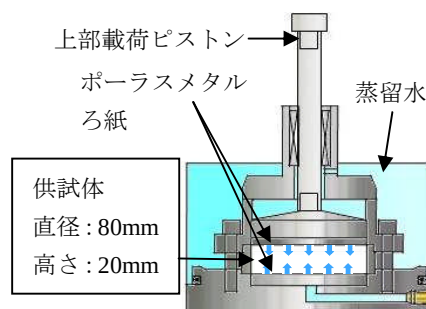


図 3 モールド概略図

② 一面せん断試験機内での作製：飽和モールドでの作製と同様に，配合した試料をせん断箱に入れて，図 4 に示す一面せん断試験機本体にセットし，高剛性ボルトで上部せん断箱を固定する。加圧板により軸圧縮し，50mm×50mm×20mm 厚の不飽和圧縮ベントナイト供試体を作製する。本試験機でも供試体上下にポーラスメタルを設置しており，図 5 に示すように吸水が可能となっている。圧縮成型する際に負荷した垂直応力が負荷された状態を，本報では正規圧密と呼ぶが，それに対して，一旦供試体厚 20mm 以上に加圧圧縮した後，垂直応力を 0 MPa まで除荷した状態を過圧密と呼ぶ。その際，最終的な供試体厚が 20mm にリバウンドするように加圧を制御している。いずれの状態の供試体も，浸潤初期は上下せん断箱間まで蒸留水を入れて空気の逃げ道を確保しながら徐々に飽和させ，その後せん断箱上部まで入れて最終的な飽和化を約 1 ヶ月間行った。なお，本試験装置では，図 6 に示すように浸水飽和過程が観察可能である。また，飽和過程の膨潤圧はせん断箱の下部に設置したロードセルで計測するが，最終的な膨潤圧は正規圧密，過圧密いずれも同じ値となった。飽和過程が終了した後，蒸留水を排水し，そのまま一面せん断試験を実施した。

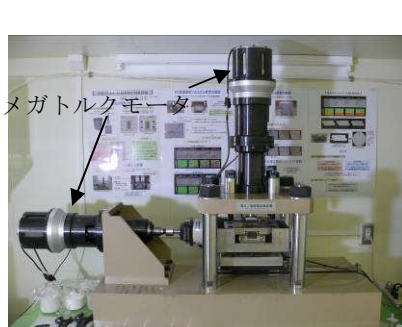


図 4 一面せん断試験機

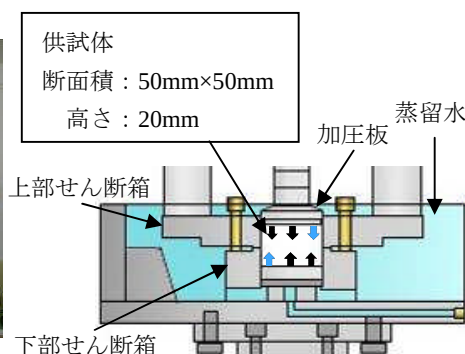


図 5 試験機中心部の概略図

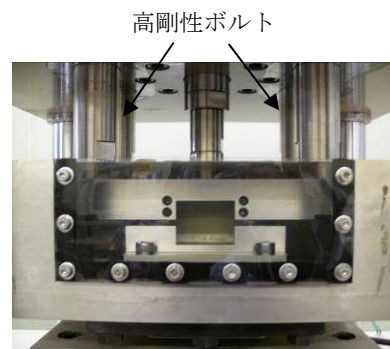


図 6 浸水時の様子

3. 試験結果

図7に飽和モールドで作製した乾燥密度 $1.55 \sim 1.80 \text{ Mg/m}^3$ の供試体を定体積条件で一面せん断した結果を示す。凡例は乾燥密度を示している。また、各供試体の初期垂直荷重は飽和過程で観測した膨潤圧を使用した。

図7(a)に示すせん断応力～変位関係を見ると、せん断開始時より急激にせん断応力が上昇し、ピークに達すると、緩やかにひずみ軟化する挙動を示している。また、乾燥密度が高くなるほど、最大せん断応力が大きく、ピーク後の減少幅が大きいことがわかる。図7(b)に示す応力経路を見ると、せん断開始時よりせん断応力が上昇し、負のダイレイタンスにより供試体体積を収縮するとともに垂直応力が減少している。各供試体の最大せん断応力を示す応力状態と原点を結んでせん断抵抗角を求めると、乾燥密度が高くなるにつれて、せん断抵抗角が高くなる傾向が見られる。既往の三軸試験¹⁾から得られた内部摩擦角と比較すると近い値であるが、不飽和供試体における一面せん断試験^{2,3)}の結果と比較すると小さい値である。

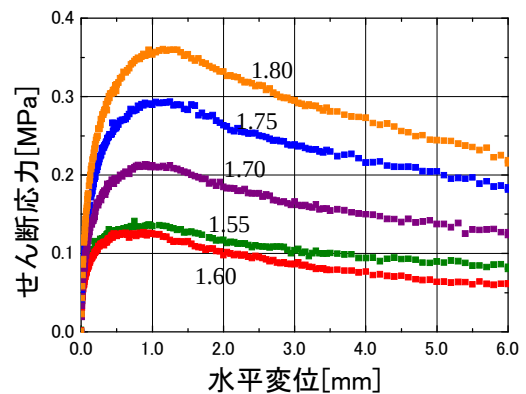
図8に試験機内で飽和させた供試体（乾燥密度 1.60 Mg/m^3 ）を定体積条件で一面せん断した結果を示す。なお、飽和モールド内で作製した供試体の試験結果も掲載した。凡例において試験機内で飽和させた供試体の頭にはSをつけ、浸潤させる前の供試体の状態が正規圧密の場合をN、過圧密の場合をOとした。

図8(a)に示すせん断応力～変位関係を見ると、試験機内で飽和させた供試体の方がピークに達する水平変位が若干小さく、最大せん断応力に大きな差が見られ、ピーク後のせん断応力の減少幅が大きいことがわかる。図8(b)に示す応力経路を見ると、膨潤圧に差が見られ、モールド内と試験機内で飽和させた供試体とではせん断開始時の立ち上がりに違いが生じている。これはせん断開始前に、上下せん断箱間隔を空けるために上部せん断箱を引き上げた際に、供試体とせん断箱壁面の間の摩擦力により、供試体に負荷していた垂直応力が減少したために、供試体が過圧密挙動を示したと考えている。ただし、試験機内で作製した供試体のせん断抵抗角は、飽和モールドで作製した供試体のせん断抵抗角と同じとなり、作製方法による違いは生じなかった。

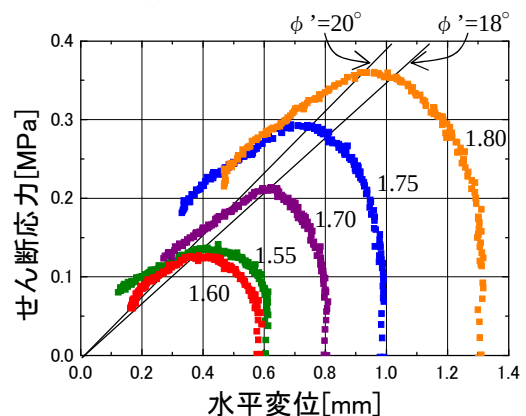
4. まとめ

本報の飽和圧縮ベントナイトの一面せん断試験の結果、供試体密度が高くなるほど、せん断抵抗角が大きくなることがわかった。別途実施している不飽和供試体の一面せん断試験結果と比較すると、浸水によるベントナイトの膨潤がせん断抵抗角を小さくすると考えられる。また、飽和供試体の作製方法の違いによって、最大せん断応力および応力経路の違いが見られたが、せん断抵抗角には大きな差が生じないことがわかった。また、試験機内で作製した供試体において、飽和させる前の状態に正規圧密と過圧密の違いがあっても、せん断試験結果に差がないことが明らかになった。今後の課題は、一面せん断試験機内で飽和させた供試体の試験データの蓄積、膨潤圧の詳細な把握が挙げられる。本研究は、中部電力基礎研究所の研究助成を受けて実施した。記して謝意を示します。

参考文献: 1) 高治・鈴木: 緩衝材の静的力学特性, JNC TN8400 99-041, 1999. 2) 小高・寺本: 不飽和および飽和条件下での圧縮ベントナイトのせん断破壊特性, 地盤工学ジャーナル, 4(1), 2009. 3) 小高・平手・元山・寺本: 不飽和圧縮ベントナイトのせん断破壊挙動に及ぼす供試体密度の影響, 第45回地盤工学研究発表会概要集, 2010.

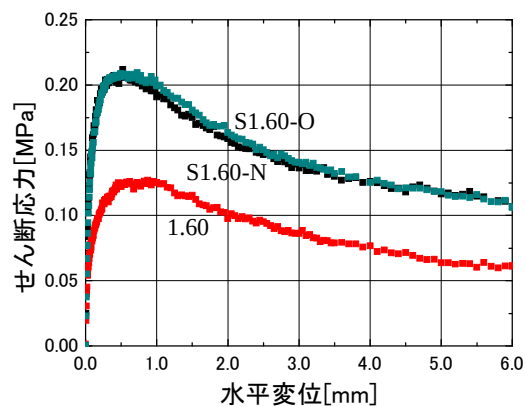


(a) せん断応力～変位関係

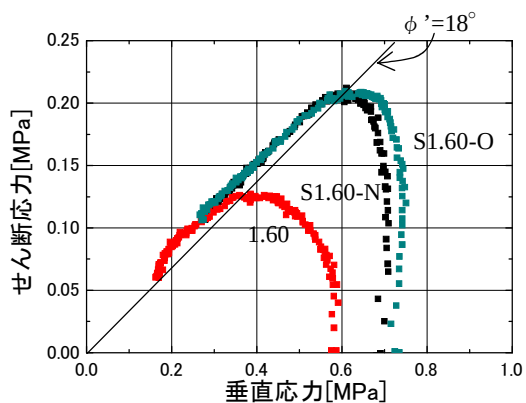


(b) 応力経路

図7 供試体の乾燥密度による比較



(a) せん断応力～変位関係



(b) 応力経路

図8 供試体の作製方法による比較