

飽和圧縮ベントナイトの一面せん断破壊時の力学特性について

名城大学	学生会員	平手寿大
名城大学大学院	学生会員	寺本優子
名城大学	学生会員	松村竜樹
名城大学	正会員	小高猛司

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、ガラス固化した高レベル放射性廃棄物をオーバーパックと呼ばれる金属性容器に封入し、周りを緩衝材で覆い地下 300m 以深の岩盤に埋設させる。その際の緩衝材には、オーバーパックを恒久的に安全に支持しながら、岩盤のクリープ変形や地震などの外力から守ることに加えて、地下水環境内から隔離する機能が求められている。この条件を満たす材料として高压で圧縮されたベントナイトが有力である。圧縮ベントナイトは不飽和状態で締め固められ製造されるが、埋設後地下水の浸潤により飽和状態になり、ベントナイト自身による膨潤圧の上昇やクリープ変形などの外力が長期的に作用することになり、不飽和状態の時と環境が大きく変化する。そこで本研究では、急激な地殻変動や長期的なクリープ破壊によって周辺岩盤に局所的な変形が発生した時に、緩衝材にもせん断帯が形成されることを想定し、その際に緩衝材の基本性能が維持されるか検討する。本報では一面せん断試験を実施して飽和圧縮ベントナイト供試体の強度特性を調べるとともに、せん断帯の観察により基本性能の劣化について検討した。

2. 飽和供試体作製方法および試験手順

圧縮ベントナイトは粉末状のベントナイト（クニゲル V1）を 70%、珪砂 6 号を 30%の質量比で配合させ、乾燥密度 1.55 、 1.6 、 1.7Mg/m^3 となるように質量を決定し、よく攪拌させる。配合した試料を図 1 に示す直径 80mm、高さ 20mm の高剛性圧縮リングに油圧ジャッキを用いて圧縮させ、図 2 に示すように高剛性圧縮リングを飽和供試体作製用モールドにセットする。その後、図 3 に示す 4 連載荷フレームにモールドをセットし、鉛直軸を固定したまま、膨潤圧を計測しながら両面から注水させることにより飽和させた。今回の実験では約 3 ヶ月後にモールドを解体し供試体を取り出し、50mm 角のガイドカッターで 50mm×50mm の正方形断面で厚さ 20mm の直方体に切り抜いた供試体を一面せん断試験機にセットし、膨潤圧と同等の垂直荷重を作用させ、水平変位速度を 0.4mm/min とし、水平変位 6mm になるまで等体積および等圧条件でせん断した。

3. 一面せん断試験結果

飽和過程に計測していた供試体のおおよその膨潤圧は、乾燥密度 1.55Mg/m^3 と 1.6Mg/m^3 では 0.6MPa であり、 1.7Mg/m^3 では 1.2MPa であったため、それぞれの膨潤圧相当の垂直荷重を加圧させた正規圧密供試体と、垂直荷重を 0MPa とした過圧密供試体で試験を行った。

図 4 に飽和供試体の一面せん断試験結果を示す。凡例の数字は供試体の乾燥密度を示し、正規圧密供試体には N、過圧密供試体には O、等圧試験には P で表しており、それ以外は等体積条件で試験実施した。

図 4(a)をみると、いずれの条件においてもせん断開始後にせん断応

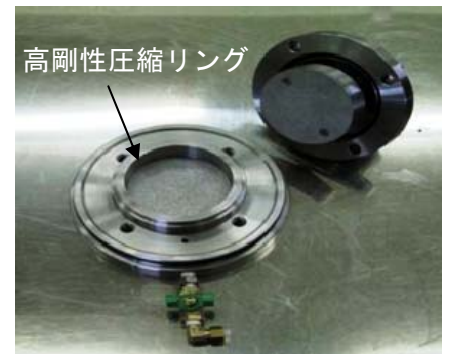


図 1 飽和供試体作製用
モールド組み立て前

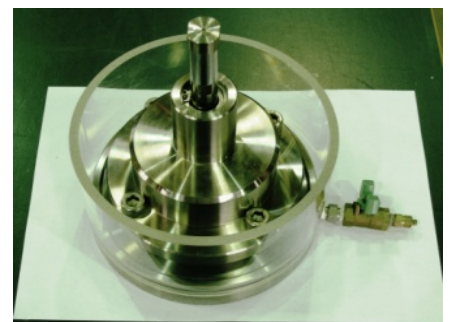


図 2 飽和供試体作製用
モールド組み立て後



図 3 4 連載荷フレーム

力は急激に上昇し、水平変位 1.0mm 前後でピークとなる。その後、せん断応力は緩やかに低下しており、乾燥密度の大きいものほどピーク強度後のせん断応力の低下度合いが大きくなっている。また、等体積条件でも等圧条件でもピーク荷重はほとんど同じであることがわかる。

図 4(b)では、等体積条件の 1.55N, 1.60N, 1.70N は、最終的な残留強度の大きさを超えた辺りから垂直応力が減少し、ピーク強度後は急激にひずみ軟化して残留状態に至る。過圧密供試体の 1.55O は、せん断応力の増加とともに垂直応力も増加してゆくが、ピーク後の残留状態は、正規圧密供試体の 1.55N とほぼ一致している。

等体積ならびに等圧試験のピーク強度を用いて、この飽和圧縮ベントナイトのせん断抵抗角を求めると $\phi' = 14^\circ$ となる。JAEA が公開している過去の飽和圧縮ベントナイト供試体での三軸試験による内部摩擦角 $\phi' = 16.6^\circ$ ¹⁾ と比べると、今回のせん断抵抗角は非常に近い値となっている。

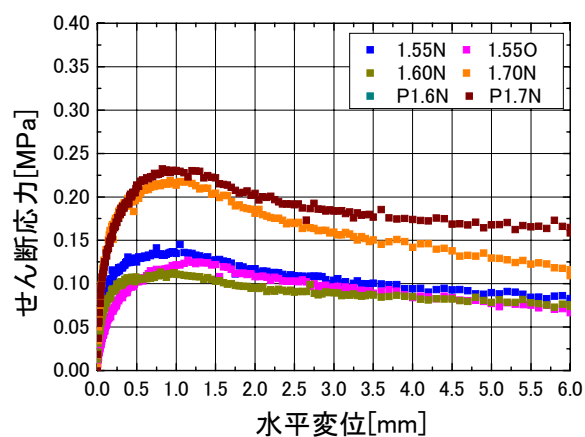
4. せん断後の観察

図 5 は乾燥密度 1.55 Mg/m^3 のせん断後の正規圧密供試体をマイクロスコップで撮影したものである。撮影場所はせん断箱の左側の端部であり、写真左下には下部せん断箱が写っている。赤線で挟まれている部分にはせん断に伴い大変位が生じていると想定されるが、写真では観測不可能である。また、内部破壊を観察するために同じ供試体を X 線 CT で観察した。装置は、京都大学工学研究科が所蔵する KYOTO-GEOmXCT（東芝製 TOSCANER-32250mHDK）を用いている。名城大学において一面せん断試験を実施した後に、専用の治具によりせん断箱から慎重に外した供試体を真空パックで封入し、京都大学に搬入し観察を実施した。図 6 に X 線 CT の結果を示す。白い斑点は珪砂の粒であるが、これだけ拡大して撮影しても供試体内にはせん断帯に伴う密度変化は全く確認できなかった。すなわち、飽和後であればせん断帯が発生しても遮水性は維持される可能性が高いと考えられる。

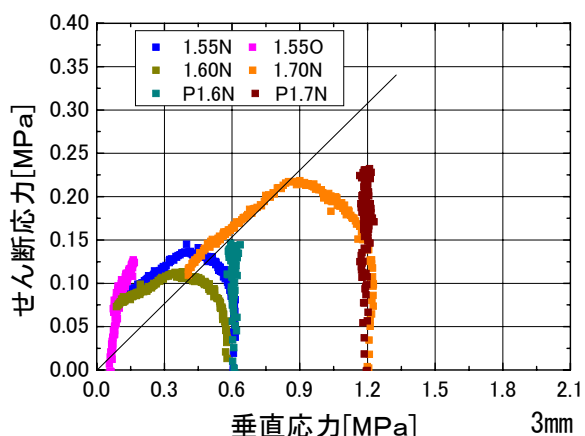
5. まとめ

飽和圧縮ベントナイト供試体ではせん断強度は小さいが、大変位を伴うせん断帯の領域であっても密度変化が発生せず、遮水性機能については維持される可能性が高いことが確認された。今後は、さらに試験データを増やしていくとともに、実際に遮水性機能が維持されるかを確かめるために、せん断後の供試体を用いて透水試験を行い、遮水性について検討していく必要がある。なお、本研究は(財)原子力環境整備促進・資金管理センターによる地層処分重要基礎技術研究調査として実施しているものである。

参考文献：1) 核燃料サイクル開発機構，緩衝材の静的力学特性，JNC TN8400 99-041, 1999.



(a) せん断応力～変位関係



(b) 応力経路

図 4 一面せん断試験結果

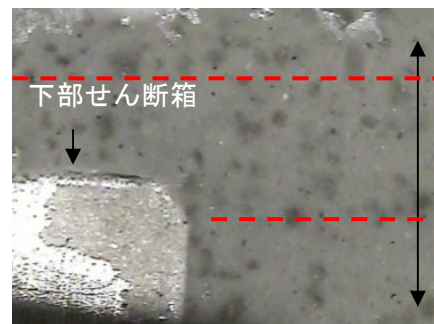


図 5 せん断後の写真

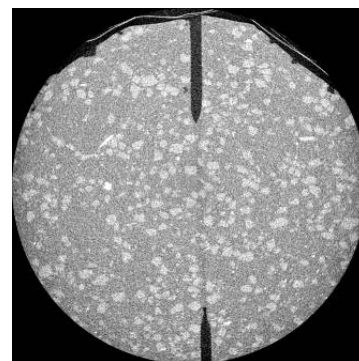


図 6 X 線 CT 結果