

圧縮ベントナイト緩衝材の破壊挙動の解明

名城大学[院] ○寺本優子 名城大学 小高猛司, 平手寿大, 松村竜樹

Shear failure behavior of compacted bentonite

Yuko TERAMOTO, Takeshi KODAKA, Toshio HIRATE and Tatsuki MATSUMURA

1 緒 言

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、安定した岩盤内に緩衝材を介して廃棄物を埋設する計画である。しかし、急激な地殻変動や岩盤の長期的なクリープ破壊によって、周辺岩盤のみならず緩衝材にも破壊が伝播した場合に、遮蔽性などの緩衝材の性能が維持されるのかについて検討しておく必要がある。本研究では、緩衝材として有力な圧縮ベントナイトを対象に、高拘束圧一面せん断試験によって基本的な力学特性を把握するとともに、その際に生成・発達するせん断帯を観察した結果を示す。

2 試験方法

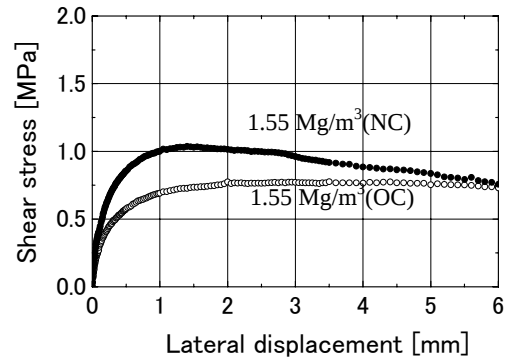
2.1 不飽和供試体 供試体の乾燥密度は 1.55 Mg/m^3 とし、粉末状の Na 型ベントナイトと三河珪砂 6 号を質量比 30% で配合したものを、高拘束圧一面せん断試験機本体で圧縮成型して供試体を作製した。垂直荷重を加圧したままの正規圧密供試体と一旦加圧した後に垂直応力を 0MPa まで除荷した過圧密供試体を、定体積条件で変位速度 0.4mm/min でのせん断を行った。さらに、任意の水平変位までせん断した供試体を対象として、X 線 CT 装置を用いてせん断帯生成過程の観察を行った。

2.2 飽和供試体 2.1 節と同様の配合で乾燥密度 1.55, 1.6, 1.7Mg/m^3 となるように質量を決定した不飽和試料を高剛性圧縮リングに詰め、油圧ジャッキを用いて圧縮ベントナイトを作製する。その後、鉛直変位を拘束したまま両面注水し、3 ヶ月間浸潤・飽和させた。その後、断面 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 、厚さ 20mm に成形した供試体を一面せん断試験機に設置して、膨潤圧と同等の垂直荷重を作用させ、定体積ならびに等圧条件でせん断した。

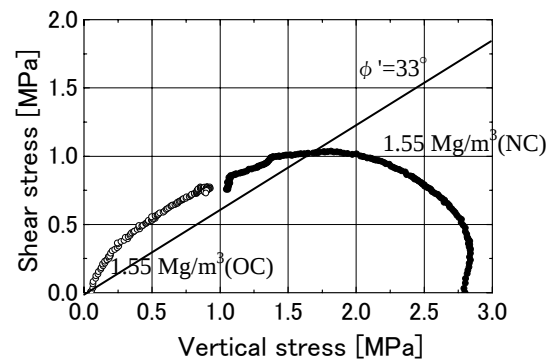
3 一面せん断試験および観察結果

3.1 不飽和供試体 Fig.1 に一面せん断試験結果を示す。応力経路を見ると、正規圧密供試体ではせん断の進行とともに負のダイレイタンスにより塑性圧縮を伴う顕著なひずみ軟化を示しており、軟化後の最終状態は原点を通る直線となり、ピーク時のせん断抵抗角を求めると $\phi' = 33^\circ$ となった。一方、過圧密供試体では载荷初期から正のダイレイタンスによる垂直応力の増加に伴ってせん断応力も増加している。このように、同じ乾燥密度の供試体であっても正規圧密、過圧密といった応力履歴の違いにより、せん断挙動が大きく異なる。

次に、せん断に伴う供試体内部のせん断帯の発達状況をマイクロフォーカス X 線 CT で観察した。正規圧密、過圧密供試体のそれぞれについて、水平変位 1.5mm と

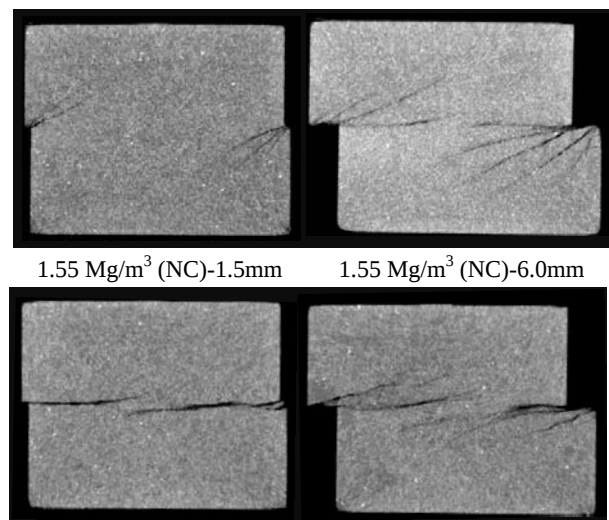


(a) Shear stress – lateral displacement relations



(b) Stress paths

Fig.1 Shear test results of over-consolidated (OC) specimen and normally consolidated (NC) specimen.



1.55 Mg/m³ (OC)-1.5mm 1.55 Mg/m³ (OC)-6.0mm

Fig.2 X-ray CT images of normally consolidated and over-consolidated unsaturated specimens.

6.0mm の時点での観察結果を Fig.2 に示す. 正規圧密供試体では, せん断箱の端部からの応力解放に伴い, 斜めの亀裂が供試体内部に向かって生じており, せん断の進行とともにその数は増える. しかし, 最終状態においても供試体の中心部では連続した低密度領域は確認できない. 一方, 過圧密供試体では, せん断初期にせん断箱の端部から中心部に向かって水平な亀裂が生じているが, 最終的には供試体の中心部では正規圧密供試体と同様に低密度領域が観察できなくなる. Fig.1 の応力経路に示すように, 最終状態の応力状態は, 正規圧密, 過圧密のいずれの供試体においてもほぼ同じであるために, 供試体内の亀裂やそれに伴う低密度領域の分布も類似したものになっている.

3.2 飽和供試体 飽和過程中に計測していた供試体の膨潤圧は, 乾燥密度 1.55 Mg/m^3 および 1.6 Mg/m^3 では 0.6 MPa であり, 1.7 Mg/m^3 では 1.2 MPa 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 0 MPa とした過圧密供試体で試験を行った. Fig.3 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 を付記している. また, P は等圧せん断, それ以外は等体積せん断である.

応力経路を見ると, 等体積せん断の 1.55N, 1.60N, 1.70N は, 最終的な残留強度の大きさを越えた辺りから垂直応力が減少しはじめ, ピーク強度後は急激にひずみ軟化して残留状態に至る. 一方, 過圧密供試体 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 $\phi' = 14^\circ$ となり, JAEA による飽和圧縮ベントナイト供試体の三軸試験結果 $\phi' = 16.6^\circ$ 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.

さらに不飽和供試体と同様に, 乾燥密度 1.55 Mg/m^3 のせん断後の正規圧密供試体の X 線 CT 結果を Fig.4 に示す. 供試体全体に密度のばらつきは多少見られるが, 特に密度の高低が明確に現れるなどの変化は観察できない. さらに, 供試体中央部のみを拡大して観察を行った. その結果を Fig.5 に示すが, 画像内で白く分布した斑点状のものが珪砂であり, 最大粒径は約 0.4 mm である. これだけ解像度を高くして観察しても, せん断帯に伴う密度変化は全く確認することができない. したがって, もし飽和後であればせん断帯が発生しても遮水性能は維持される可能性が高いと考えられる.

4 結言

再冠水の途上にある不飽和圧縮ベントナイト緩衝材は応力履歴に拘らず, 垂直応力が大きくなれば連続した低密度領域がなくなるために緩衝材の遮水機能は維持されることが考えられる. 一方, 飽和していれば不飽和状態に比

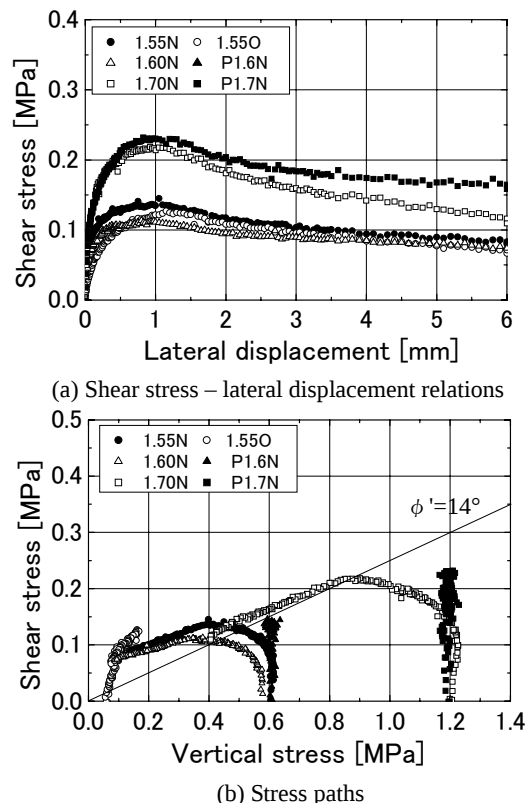


Fig.3 Test results of saturated normally consolidated (NC) and over-consolidated (OC) specimens.

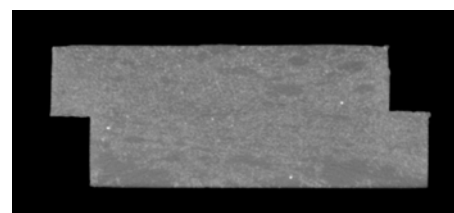


Fig.4 X-ray CT image of saturated normally consolidated specimen.

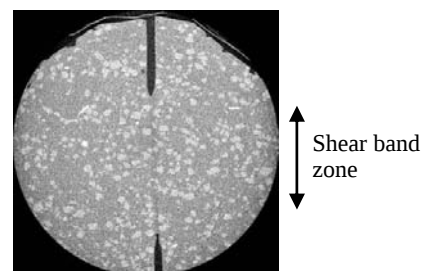


Fig.5 X-ray CT image of the saturated cylindrical specimen.

べて, せん断強度は小さくなるものの, 大変位を伴うせん断帯の領域であっても低密度領域は観察できず, 遮水性能の低下の大きな懸念がないことが確認できた.

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. 記して謝意を表します.

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).