

## 一面せん断に伴い圧縮ベントナイトに発生するせん断帯について

名城大学大学院 学生会員 ○寺本優子・平手寿大  
 名城大学 正会員 小高猛司  
 京都大学 正会員 岡二三生・肥後陽介

### 1. はじめに

本研究の目的は、急激な地殻変動や長期的なクリープ破壊によって、高レベル放射性廃棄物最終処分場の周辺岩盤に局所的な変形が発生し、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を行うことである。本報では、圧縮ベントナイト供試体を対象に、高拘束圧一面せん断試験を行い、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  $1.55\text{Mg/m}^3$  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、変位速度  $0.4\text{mm/min}$  で定体積せん断を行った。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

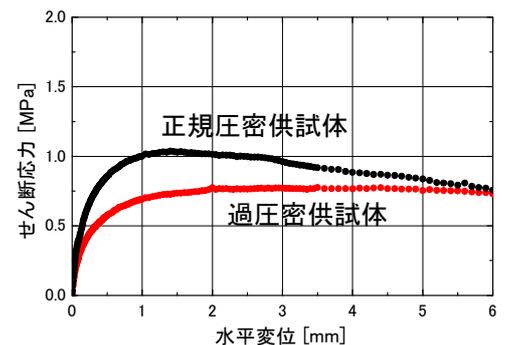
2.1 節と同様の配合で乾燥密度  $1.55$ ,  $1.6$ ,  $1.7\text{Mg/m}^3$  となるように質量を決定した不飽和試料を高剛性圧縮リングに詰め、油圧ジャッキを用いて圧縮ベントナイトを作製する。その後、鉛直変位を拘束したまま両面注水し、3 ヶ月間浸潤・飽和させた。その後、断面  $50\text{mm}\times 50\text{mm}$ 、厚さ  $20\text{mm}$  に成形した供試体を一面せん断試験機に設置して、膨潤圧と同等の垂直荷重を作用させ、定体積せん断を行った。

### 3. 一面せん断試験および観察結果

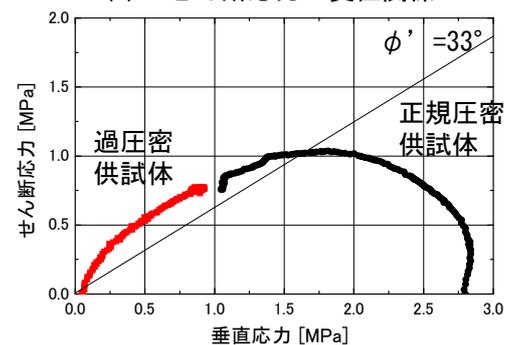
#### 3.1 不飽和供試体

図 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、ピーク時のせん断応力と垂直応力を用いて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



(a) せん断応力～変位関係



(b) 応力経路

図 1 乾燥密度  $1.55\text{Mg/m}^3$  の一面せん断試験結果

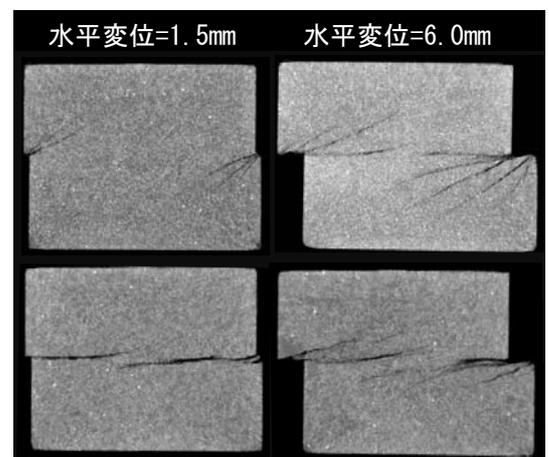


図 2 乾燥密度  $1.55\text{Mg/m}^3$  の X 線 CT 結果；正規圧密供試体(上段)、過圧密供試体(下段)

ベントナイト，一面せん断試験，X 線 CT

名城大学 理工学部 建設システム工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 Tel 052-838-2347)

それぞれについて、水平変位 1.5mm と 6.0mm の時点での観察結果を図 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低密度領域は確認できない。一方、過圧密供試体では、垂直応力が小さいため、せん断のごく初期からせん断箱の端部から中心部に向かって、ほぼ水平な亀裂が生じている。しかし、せん断の進行に伴い、正のダイレイタンスによって垂直応力が上昇し、低密度領域は徐々に閉合され、最終状態においては正規圧密供試体と同様に供試体の中心部では低密度領域が顕著に見られない。また、図 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

飽和過程に計測していた供試体の膨潤圧は、乾燥密度  $1.55\text{Mg/m}^3$  および  $1.6\text{Mg/m}^3$  の供試体では  $0.6\text{MPa}$  であり、 $1.7\text{Mg/m}^3$  の供試体では  $1.2\text{MPa}$  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、垂直応力を  $0\text{MPa}$  とした過圧密供試体で試験を行った。図 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。

応力経路を見ると、正規圧密供試体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。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  $\phi' = 16.6^\circ$ <sup>1)</sup> と比べると、今回のせん断抵抗角は不飽和供試体の  $\phi'$  と比べて非常に近い値となる。

さらに不飽和供試体と同様に、乾燥密度  $1.55\text{Mg/m}^3$  のせん断後の正規圧密供試体の X 線 CT 結果を図 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、供試体中心部のみを拡大して観察を行った。その結果を図 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  $0.4\text{mm}$  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はできない。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. まとめ

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、垂直応力が大きければ顕著な低密度領域は観察されず緩衝材の遮水性能は大きく低下しないと考えられる。一方、飽和していれば不飽和状態に比べて、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、遮水性能の低下については大きな懸念がないと考えられる。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たものである。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)。

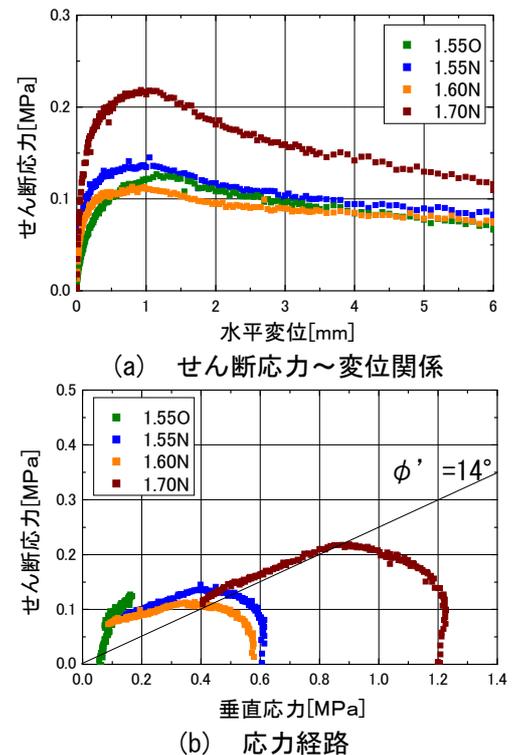


図 3 飽和供試体の一面せん断試験結果

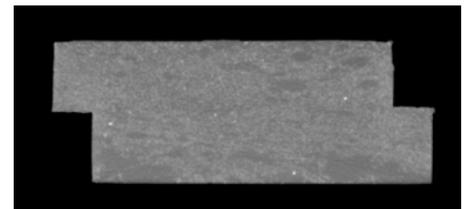


図 4 飽和供試体 1.55N の X 線 CT 結果

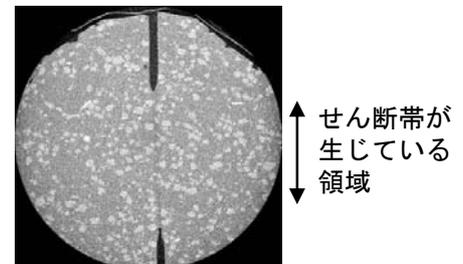


図 5 拡大観察した CT 結果