

不飽和条件下での圧縮ベントナイトのせん断破壊挙動の観察

せん断帯, ベントナイト, 一面せん断試験

名城大学 国際会員 小高猛司
名城大学 学生会員 ○寺本優子
元名城大学生 今場寿幸

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てせん断帯が形成されるといふ最悪のシナリオを想定し、その際に緩衝材の基本性能が維持されるのかについて検討を行うことである。緩衝材に求められる性能は、オーバーパックを外力から守ることに加えて、地下水環境から隔離することが挙げられる。万が一せん断帯が発生した場合の緩衝材の遮水性などを評価するためには、そのせん断帯の観察が重要となる。本報では、不飽和圧縮ベントナイトの高圧一面せん断試験¹⁾を行い、せん断中の供試体中に発生・発達するせん断帯の観察を行った結果を示す。

2. 試験方法

高圧一面せん断試験装置、不飽和圧縮ベントナイト供試体の作製方法ならびに試験方法などは別報¹⁾で示している。供試体はせん断帯の観察が容易なように矩形供試体(50mm角の正方形断面, 40mm厚)であり、図1に示すようにせん断箱の前面に設置した硬質アクリル板を通して、顕微鏡を用いて供試体の表面を観察する。顕微鏡は図1に示すせん断箱右側の枠で囲った部分を撮影するように設置することで、せん断箱のエッジの部分から伝播してくるせん断帯が観察できる。せん断中に撮影したデジタル画像については、PIV画像解析で撮影領域の各点における速度ベクトルを計測するとともに、1次形状関数を用いて4節点で囲まれる正方形要素毎のせん断ひずみを求めて、生成・発達するせん断帯の観察を行った。

3. 高圧一面せん断試験結果

図2に一面せん断試験結果を示す。凡例の数字は供試体乾燥密度を表すが、最終乾燥密度の供試体では、正規圧密供試体にはN、過圧密供試体にはO付けて表記しており、本報ではこれら1.55 Mg/m³の供試体について写真撮影観察を行いながらの一面せん断試験を実施した。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いる。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って垂直応力が増加するためにせん断応力も増加しており、同じ乾燥密度の供試体であっても正規圧密、過圧密の違いによりせん断挙動が異なる。

4. せん断帯の観察結果

図3(a)および図4(a)に正規圧密供試体1.55N-2および過圧密供試体1.55O-2のせん断時における速度ベクトルの分布図を示す。デジタル画像の15ピクセル四方を1要素として、縦31要素×横40要素の合計1240要素を用いて全領域をカバーしており、1ピクセルあたりの実際の長さは約0.01mmとなっている。ベクトルの速度は色表示に最大値12μm/sを赤色、最小値0μm/sを青色として評価した。また、図3(b)および図4(b)は対応するせん断ひずみ分布図である。なお、固定した観測窓で変位速度を計測し続ける解析手法であるため、計測されるひずみ量は、実際の固体の変形から得られる本来のひずみ量とは直接対応していない。

どちらの供試体においても水平変位1mm前後には右下に斜めのせん断面が現れ、せん断が進むにつれてせん断面より下側に速度ベクトルは集中する。その後、正規圧密供試体ではせん断が進行するにつれて、小さな亀裂を伴いながら、少しずつ上側の不動領域を下側の移動領域が巻

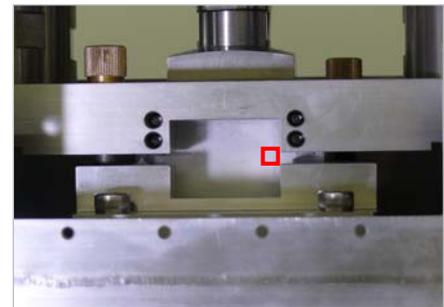
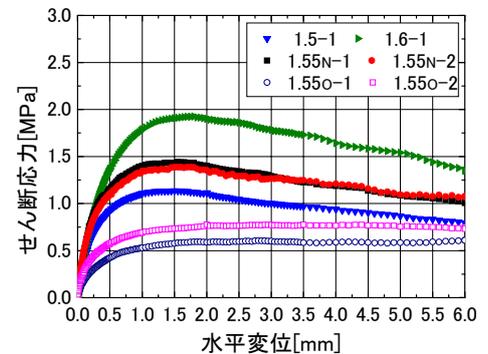
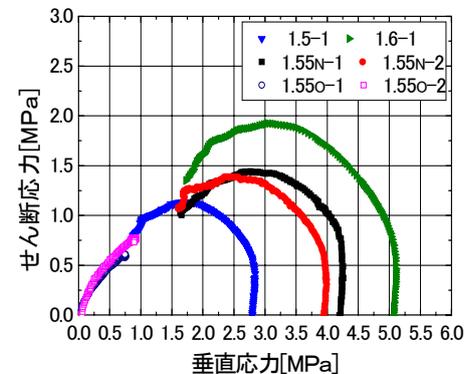


図1 せん断帯観察用せん断箱
(赤枠部分は顕微鏡で観察する領域)



(a) せん断応力～変位関係



(b) 応力経路

図2 一面せん断試験結果

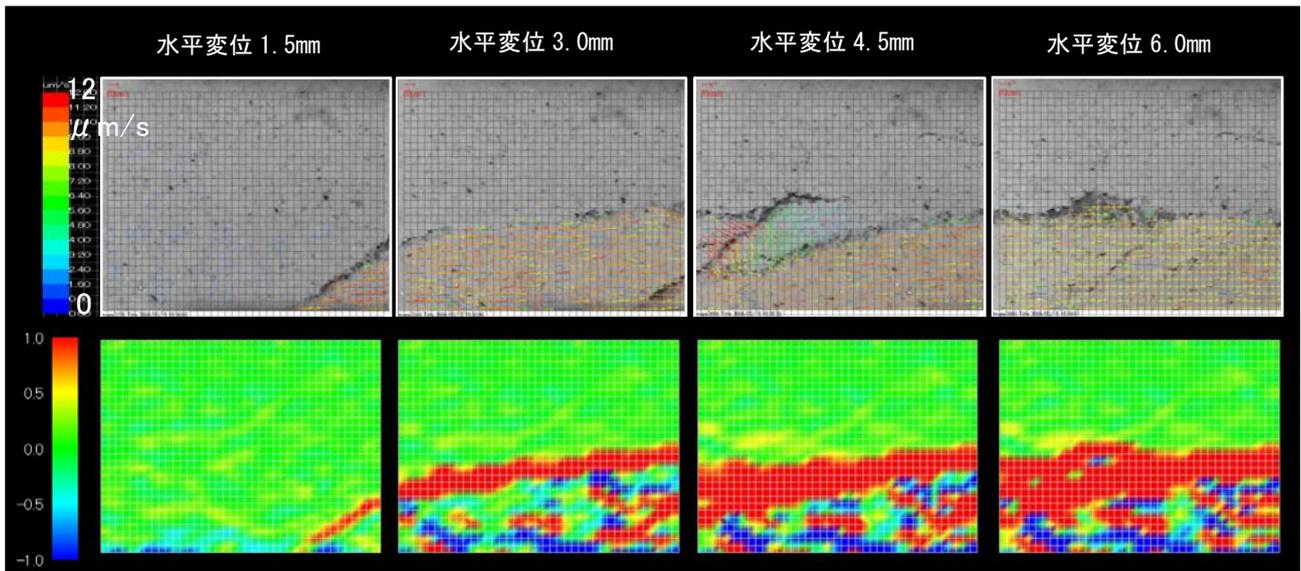


図3 正規圧密供試体のせん断過程におけるせん断帯の観察： (a)速度ベクトル（上図），(b)せん断ひずみ（下図）

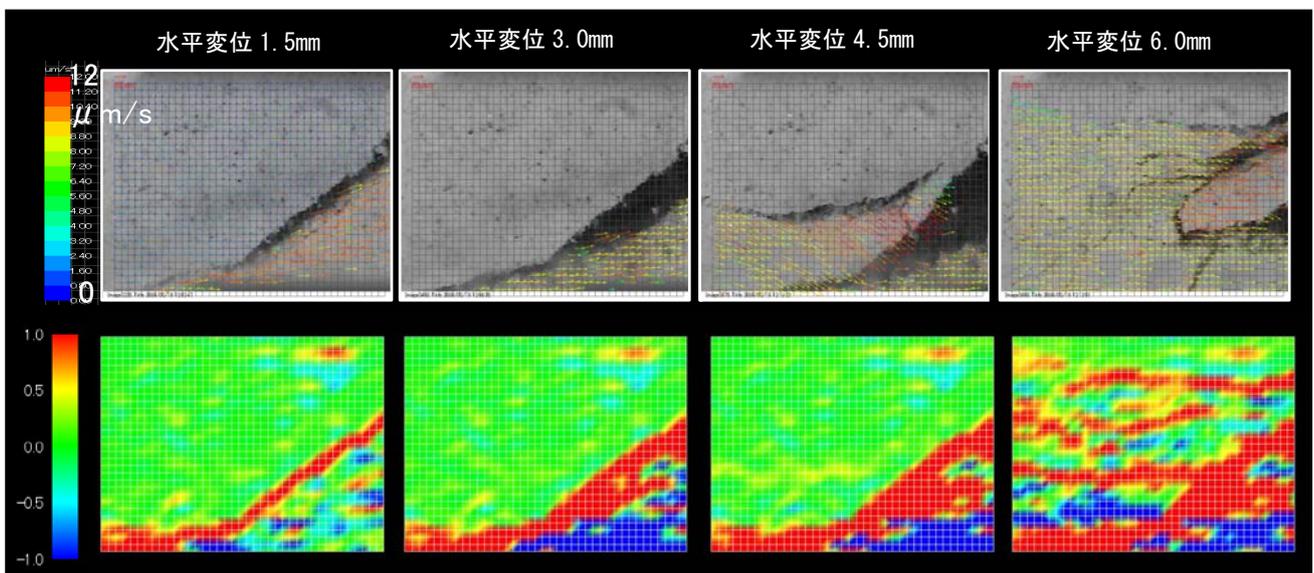


図4 過圧密供試体のせん断過程におけるせん断帯の観察： (a)速度ベクトル（上図），(b)せん断ひずみ（下図）

き込む形となり、斜めに生じたせん断帯は徐々に水平となる。図 3(b)からもせん断帯が領域中央に水平方向に生じている様子が分かり、その下側にはひずみが集中するが、上側にはあまりひずみは見られない。

一方、過圧密供試体は正規圧密供試体と異なりせん断開始直後からせん断帯が発生し、しばらくはせん断帯の下側のみが移動するために、水平変位 3mm を過ぎるまでせん断帯を境界にして徐々に大きな空洞が生じる。水平変位 4mm を超えると上部の領域にも大きな亀裂が入り、一気に次々と塊状の崩壊が始まる。塊状の崩壊によって速度ベクトルは大きな値をとり、破壊が伝播する領域は正規圧密供試体に比べて格段に大きい。図 4(b)を見ても領域全体にひずみが生じており、細かい亀裂が集合してできた大きな破壊領域が構成されていることが分かる。

5. まとめ

乾燥密度や初期の応力状態によってせん断強度は異なり、せん断帯生成過程にも応力履歴によってそれぞれの特徴が確認できた。過圧密状態にある不飽和圧縮ベントナイトは、せん断に伴ってせん断強度はある程度大きくなるものの、せん断初期からせん断帯が生成し、比較的大きな亀裂を伴いながら進行的な破壊挙動を示すことがわかった。再冠水の途上にある緩衝材は、最終処分場では不飽和、過圧密の状態におかれる場合が多いと考えられるため、本試験の結果も踏まえて、その取扱いには材料の特性を理解した上での十分な注意が必要である。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) 小高・寺本・今場：不飽和条件下での圧縮ベントナイトの高圧一面せん断試験，第 43 回地盤工学研究発表会概要集，2008。