不飽和圧縮ベントナイト緩衝材のせん断帯生成過程の観察

名城大学大学院　学生会員　寺本優子
名城大学　学生会員　平手寿大
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

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，人工バリアの一つである緩衝材にも破壊が伝播してせん断帯が形成されるというシナリオを想定し，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。万が一せん断帯が発生した場合には，緩衝材に求められている遮水性能などを評価するために，そのせん断帯の観察が重要となる。本報では，最終処分場が閉鎖されて再冠水の途上にある緩衝材を対象として，不飽和圧縮ベントナイト供試体の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 PIV 画像解析および X 線 CT によって観察した結果を示す。

2. 試験方法

試験は本研究のために開発した高拘束圧一面せん断試験機を用いて行った。供試体の乾燥密度は 1.55 Mg/m^3 とし，粉末状のベントナイト（クニミネ工業(株)製 Na 型ベントナイト・クニゲル V1）と三河珪砂 6 号を質量比 30%で配合したものを，一面せん断試験機本体で圧縮成型することにより作製する。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水平変位速度 0.4mm/min でせん断した。また最終処分場では岩盤に覆われているため体積は一定であると考え，せん断は等体積条件とした。せん断帯の観察は，せん断箱の前面に設置した硬質アクリル板を通して，せん断箱のエッジの部分から伝播してくるせん断帯を撮影できる箇所にマイクロスコープを設置し，水平変位 6mm までの供試体の表面を撮影した後, 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。また，水平変位 0.25~6mm のせん断後の供試体を X 線 CT 装置で可視化するため，専用の治具を用いてせん断箱から外し, 真空パックで, 京都大学工学研究科に搬入し, KYOTO-GEOmXCT（東芝製 TOSCANER-32250mHDK）を用いてせん断帯生成過程の観察を行った。

3. せん断帯の画像解析結果

図 1，図 2 に正規圧密供試体および過圧密供試体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。

正規圧密供試体では水平変位 1mm，過圧密供試体では水平変位 0.5mm で右下に速度ベクトルが集中し，斜めのせん断面が現れ，せん断面より下側はせん断につれて右方向に移動する。その後，正規圧密供試体では先に現れたせん断面より上側の供試体に亀裂が入り，せん断面を境に供試体は右斜め下方向に崩れ，せん断が進行するにつれ数回繰り返して亀裂が入り，斜めに生じたせん断帯は徐々に水平となる様子が分かる。

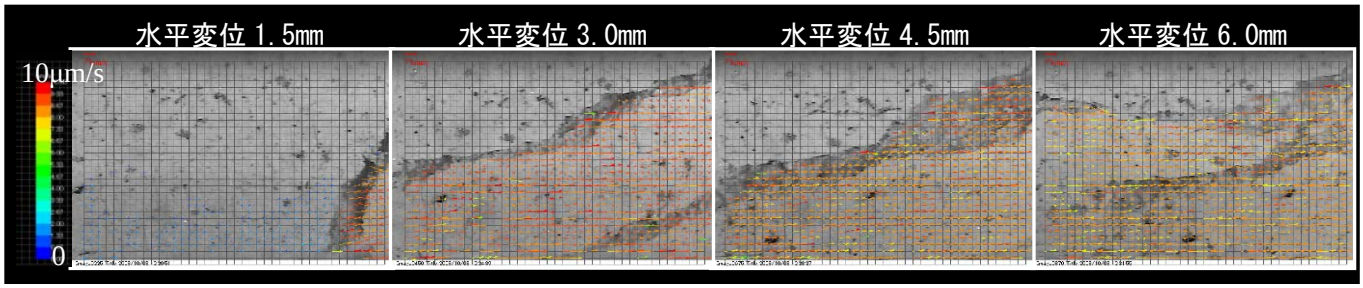

図 1　正規圧密供試体のせん断過程における速度ベクトル

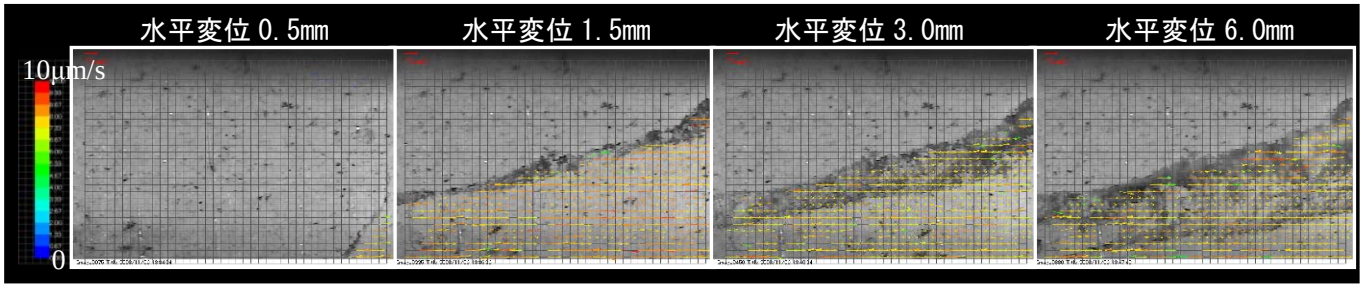

図 2　過圧密供試体のせん断過程における速度ベクトル

しかし，過圧密供試体では水平変位 1mm で再びせん断面が現れた後，せん断終了時までせん断面より下側に正規圧密供試体よりやや遅い速度ベクトルが発達し右方向に移動しているのみであるため，領域の中央で大きな空洞が生じている。

4.　X 線 CT による観察結果

せん断に伴う供試体内部のせん断帯の発達状況を確認するため，任意の水平変位までせん断させた供試体を X 線 CT によって可視化することを試みた。図 3 に結果を示すが，供試体の中央断面を撮影しており，黒く見えるほど X 線の透過量が大きい低密度領域を表している。なお，①から⑦は正規圧密供試体であり，⑧から⑪は過圧密供試体である。

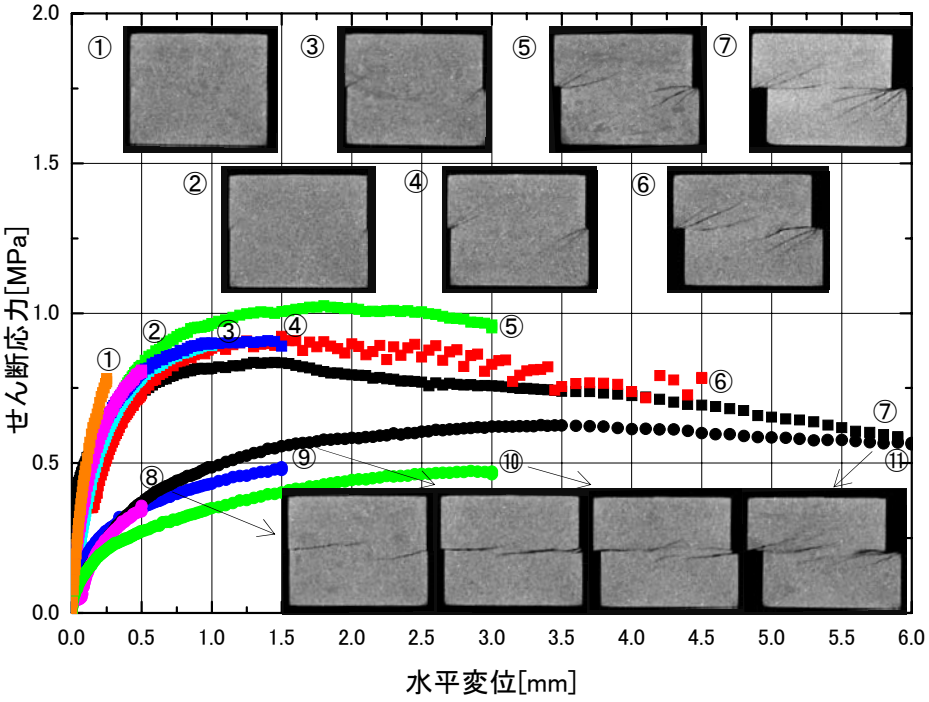

図 3　水平変位毎の X 線 CT 画像結果

正規圧密供試体では大きな垂直応力によって亀裂が生じにくいが，せん断箱の端部からの応力解放に伴い，斜めのせん断帯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亀裂の本数が増える。しかし，最終状態において供試体の中心部ではせん断帯は連続していない。一方，過圧密供試体はせん断開始時には垂直応力が作用していないためせん断初期から亀裂は生じやすく，せん断箱の端部から中心部に向かって，ほぼ水平状に生じており，せん断初期から連続な面と考えられる。しかし，せん断に伴い垂直応力が上昇するため，最終的には供試体の中心部では連続面がみられない正規圧密供試体と類似した状態となることがわかる。

5.　まとめ

画像解析および X 線 CT によって，過圧密供試体は正規圧密供試体よりも早い段階でせん断帯が現れ，せん断初期から連続な面が生じていることが分かった。しかしながらせん断終了時にはせん断帯は不連続となっており，正規圧密供試体とせん断帯の生成過程は異なるものの，せん断終了時の CT 画像ではどちらの供試体においても中心部では低密度領域がないことが確認できた。よって，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，端部ではせん断帯が生成されるため容易に水が入ってしまうが，中心部では連続なせん断面が生じないため緩衝材の遮水機能は保持されると考えられる。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るものである。記して謝意を表します。