ベントナイト,一面せん断試験,X線CT

 名城大学
 国際会員 小高猛司

 名城大学大学院
 学生会員〇平手寿大・寺本優子

 元名城大学学生
 松村竜樹

 京都大学大学院
 国際会員 岡二三生・肥後陽介

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の最終処分場では、閉鎖後の再冠水に伴い不飽和圧縮ベントナイト緩衝材は時間をかけて徐々 に飽和化してゆく。本研究では、断層変位や周辺岩盤のクリープ破壊によって緩衝材にせん断帯が形成されるシナリオ を想定し一連の検討を進めている¹⁾。本報では、前報の不飽和供試体での検討²⁾に続き、飽和供試体を用いた高圧一面 せん断試験によって飽和圧縮ベントナイトのせん断強度特性を調べるとともに、その際発生するせん断帯を画像解析な らびにマイクロフォーカス X 線 CT を用いて観察した結果を示す。

2. 飽和供試体作製方法

粉末状のベントナイト (クニゲル V1) と三河珪砂 6 号を質量比 7:3 の割合で配合した試料を,目標乾燥密度 1.55, 1.6, 1.7Mg/m³となるように直径 80mm,高さ 20mmの圧縮リングにて油圧ジャッキで圧縮成形する。圧縮リングを圧密容器 にセットし、剛なフレームで膨潤を拘束したまま両面注水により約 3 ヶ月間かけて飽和させる。その際、膨潤圧を計測 し、飽和化判定の目安とする。飽和後の試料を 50×50mmの正方形断面,高さ 20mmの直方体供試体に成形し、一面せん断試験を実施する。

3. 一面せん断試験

水平変位速度を 0.4mm/min とし、水平変位 6mm に達するまで定体 積および定圧条件せん断試験を実施した。図1にせん断応力~水平変 位関係、図2に応力経路を示す。凡例の数字は乾燥密度を示し、正規 圧密供試体は N、過圧密供試は O と表し、さらに定圧せん断試験は P と表しており、それ以外はすべて定体積せん断試験である。正規圧密 供試体とは、飽和膨潤過程での計測された膨潤圧を初期鉛直荷重とし て与えているものであり、過圧密供試体とは初期鉛直荷重をほとんど 与えずに試験を実施したものである。なお、乾燥密度 1.55 と 1.6Mg/m³ の供試体の膨潤圧はともに 0.6MPa であり、乾燥密度 1.55Mg/m³ につい ては、比較のため 1.3MPa の初期垂直荷重を与えた試験も実施した。

図1より、いずれの試験条件でも水平変位1mm前後で最大せん断応力に達し、その後緩やかに軟化している。乾燥密度が大きいほど軟化の度合が大きい。定体積条件でも定圧条件でも最大せん断応力はほぼ同じである。膨潤圧の倍以上の垂直応力を負荷して実施した試験1.55N-2は、最大せん断応力に達した後、最終的な残留強度は0MPaまで減少した。これは供試体内の膨潤圧以上の過剰間隙水圧がせん断強度の低下の要因になっていると考えられる。一方、図2の応力経路より、定体積せん断試験の1.55N-1、1.55N-2、1.6N、1.7Nにおける最大せん断応力到達後の軟化挙動がよくわかる。過圧密供試体1.55Oは、正のダイレイタンシーの発現により、せん断応力の増加とともに垂直



応力も増加しているが、最大せん断応力は正規圧密供試体とほぼ同じ値に達する。

定体積せん断試験 1.55N-1, 1.6N および 1.7N の最大せん断応力から求められるせん断抵抗角はそれぞれ (*=17° および 14° である。これは JAEA が公開している三軸試験による内部摩擦角 (*=16.6°³)と比べると非常に近い値であり、今回の 定体積一面せん断試験で得られたせん断抵抗角が妥当な値であると判断できる。

4. せん断帯の観察

図3は、マイクロスコープを用いた PIV 画像解析によって得られた1.55N-1の一面せん断中のせん断ひずみ分布である。領域下部に大きなせん断ひずみが集中している。図4は水平変位6mmの最終状態のマイクロスコープによる画像である。せん断に伴う大変位が発生しているはずであるが、画像からは判別できない。

Shear failure behavior of saturated compacted bentonite; Takeshi KODAKA, Toshio HIRATE, Yuko TERAMOTO, Tatsuki MATSUMURA (Meijo University), Fusao OKA and Yosuke HIGO (Kyoto University)



図3 せん断ひずみ分布

次に、供試体内部の破壊状況を観察するために、せん断試験後の供試体 を京都大学に搬入し、マイクロフォーカスX線CT装置・KYOTO-GEOµXCT (東芝製 TOSCANER-32250µHDK)を用いて観察を行った。図5にX線 CT 画像を示す。多少の密度のばらつきが見られるが、せん断帯が存在す るはずの部分には特に密度の高低は見られない。したがって、大変位のせ ん断帯が発生しても密度変化は生じないと推察される。さらに詳細に観察 するために、1.55Nの供試体について、図6のように供試体の中央部から 円柱供試体を切り出し、観察領域を小さくすることによって解像度を高く して観察を行った。図7に結果を示す。上下に入っている黒い溝は、せん 断方向が分かるようにカッターナイフで付けた溝であり、白い斑点は最大



図4 せん断後の写真

粒径約0.4mmの珪砂である。大変位が生じたと想定される部分において、これだけ拡大して撮影を行っても、せん断帯 に伴う密度変化は確認できない。よって、飽和後に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。



図5 飽和供試体の一面せん断試験後のX線CT画像



図6 観察用供試体の切り出し



図7 観察用供試体によるX線CTの結果

5. まとめ

飽和圧縮ベントナイトのせん断抵抗角は小さいものの,大変位のせん断帯が発生しても密度変化が確認できなかった ことから,遮水性は維持される可能性が高いことが分かった。現在,せん断後の供試体の透水試験を実施し,直接的な 遮水性能の評価を実施している。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(研究代表者:小高猛司)として実施したものである。記して謝意を表します。

参考文献:1)小高・寺本:不飽和および飽和条件下での圧縮ベントナイトのせん断破壊特性,地盤工学ジャーナル, Vol.4, No.1, 2009. 2)小高・寺本・平手・松村・岡・肥後:不飽和圧縮ベントナイトのせん断破壊挙動,第44回地盤工学研究 発表会, 2009.3)高治・鈴木:緩衝材の静的力学特性,核燃料サイクル開発機構報告書, JNC TN8400 99-041, 1999.