



高レベル放射性廃棄物の地層処分実現に向けての一研究
 -せん断帯生成に伴う圧縮ベントナイト緩衝材の性能評価-

名城大学 理工学部 建設システム工学科
 教授 小高猛司

1. はじめに

原子力発電に伴い発生する高レベル放射性廃棄物は、地下 300m 以深への埋設、いわゆる地層処分されることが決まっている。地層処分の実現に向けて最も重要なのは、最終処分地の選定とそれに対する住民・国民の合意形成であることは疑いようがないが、保守主義と呼ばれるほど最悪の事態を想定した膨大な技術課題をリストアップし、将来の地層処分の実施に備えておくことも必要不可欠となっている。我が国は、高レベル放射性廃棄物を今後数万年以上に亘って守ってゆく天然バリアとなる岩盤層の地質年代が欧州に比べて若く、また環太平洋造山帯に位置するために地震大国でもあるため、地層処分の実施に向けて解決すべき検討課題も多い。今回紹介する名城大学で実施している研究なども、地層処分実現に向けて我が国の諸機関で粛々と進められている膨大な研究課題の中のごく小さな一研究である。

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、圧縮ベントナイト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最悪のシナリオを想定している。緩衝材に求められる性能は、ガラス固化した高レベル放射性廃棄物を格納した金属製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。本レポートでは、万が一せん断帯が発生した場合の圧縮ベントナイト緩衝材の基本性能などを評価するための第一段階として、緩衝材の高圧一面せん断試験を行い、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紹介する。

2. 圧縮ベントナイト用高圧一面せん断試験装置

地層処分は 300m 以深の超深地層を対象としており、また水浸飽和後のベントナイト自身の膨潤圧も大きいことから、緩衝材の力学特性を正確に評価するためには高拘束圧で実験を行う必要がある。本研究では、高圧三軸試験では観察できないせん断帯を強制的に発生させるために、高圧一面せん断試験機を製作した。図 1 に示すように垂直・せん断ともに荷重機構にはメガトルクモータを使用しており、荷重容量が 10MPa と大きいながらも、5 ミクロン単位の高分解能で変位制御が可能である。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 2 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、マイクروسコープを用いて供試体の表面を観察する。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ならびにせん断ひずみを求めて、生成・発達するせん断帯の様子を定量的に計測した。

3. 試験結果

図 3 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し、正規圧密供試体には N、過圧密供試体には O 付けている。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、荷重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するというメカニズムでせん断強度を発揮しており、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大きく異なる。

図 4 および図 5 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およびせん断ひずみの分布図をそれぞれ示す。図 2 中の赤い四角で囲まれた部分をマイクروسコープで観察し、デジタル画像処理したものである。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帯が現れ、せん断が進むにつれてせん断帯よ

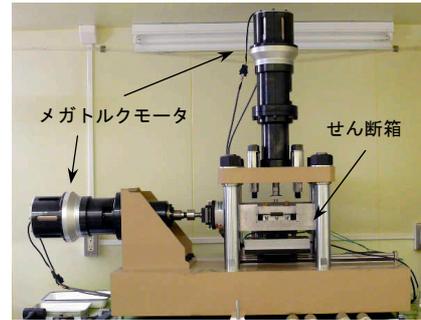


図 1 高圧一面せん断試験装置 (全景)

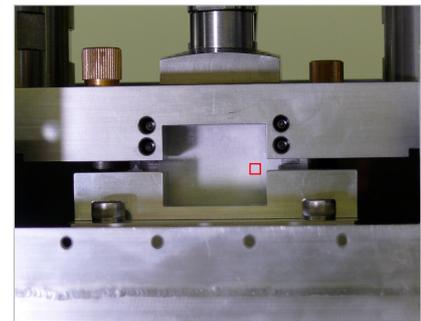
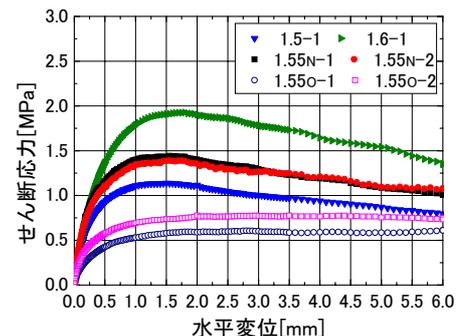
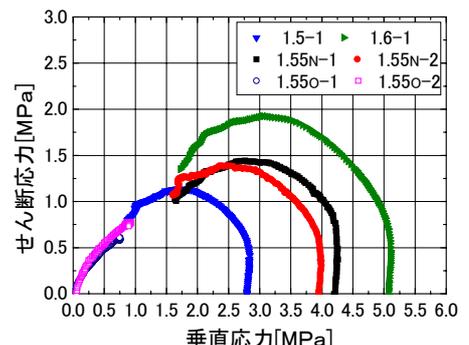


図 2 前面ガラス面を持つせん断箱



(a) せん断応力～変位関係



(b) 応力経路

図 3 一面せん断試験結果

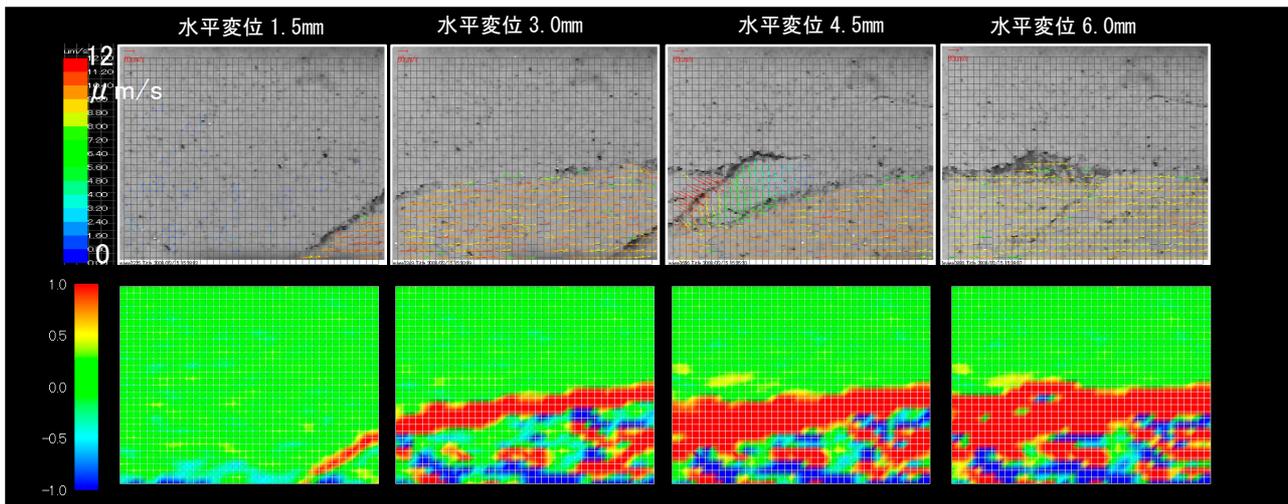


図4 正規圧密供試体のせん断過程におけるせん断帯の観察： (a)速度ベクトル（上図），(b)せん断ひずみ（下図）

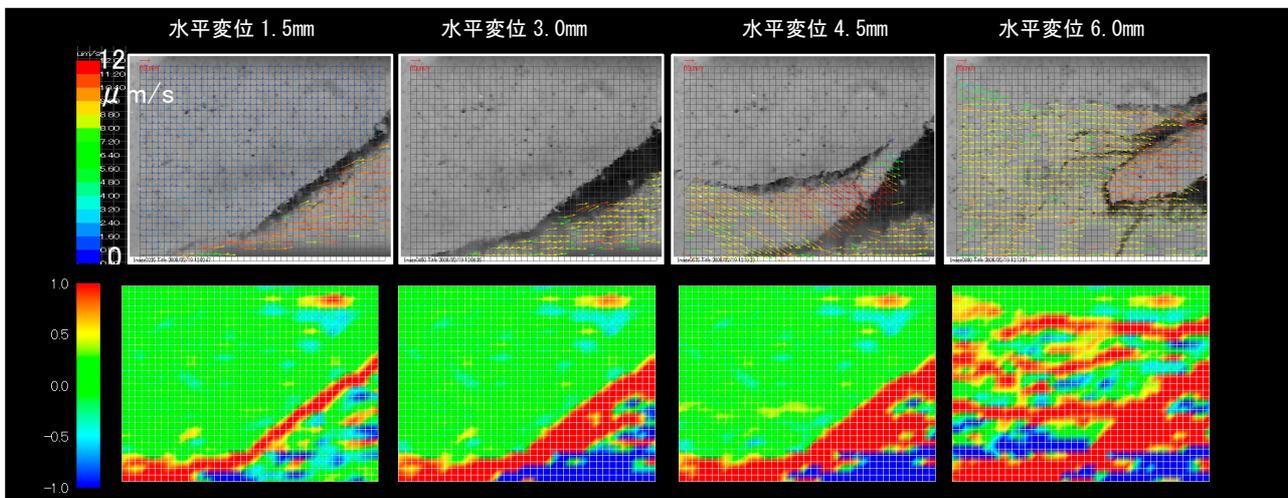


図5 過圧密供試体のせん断過程におけるせん断帯の観察： (a)速度ベクトル（上図），(b)せん断ひずみ（下図）

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。過圧密供試体では、せん断開始直後からせん断帯が発生し、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非常に大きい。せん断ひずみ分布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。このようにせん断帯の発生に伴い大きな亀裂が生成されることから、遮水性能は低下することが予見される。

4. まとめ

高レベル放射性廃棄物の最終処分場が満杯になって閉鎖されてから百年近くかかると予測されている再冠水の途上にある圧縮ベントナイト緩衝材は、不飽和、過圧密の状態におかれるために、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ことが本実験結果から示唆された。現段階では研究途上にあるため、本レポートでは不飽和圧縮ベントナイトの実験結果のみを示したが、現在、飽和供試体による実験も進行中であり、緩衝材にせん断帯が発生した後の遮水性能の評価なども今年度中に実施する計画である。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。記して謝意を表す。

5. おわりに

本レポートでは、紙面の関係により地層処分関連の研究報告のみとしたが、名城大学ではハイテク・リサーチ・センター整備事業が採択され「高度制震実験・解析研究センター（略称：ARCSEC）」がこの度発足した。本研究室においても、中空ねじりせん断試験装置、単純せん断試験装置などの動的試験装置を配備し、「海溝型巨大地震時の地盤挙動を考慮した土構造物の耐震設計法の開発」に向けて鋭意研究を開始している。また、その他にも中部ジオ・ラボ殿との共同研究により、大型三軸試験を用いた河川堤防土の強度の再評価などの研究も実施中である。それぞれの研究の詳細は、本研究室 HP (<http://civil.meijo-u.ac.jp/lab/kodaka/>) をご覧いただきたい。