

一面せん断試験と透水性試験による飽和圧縮ベントナイトの性能評価

名城大学	学生会員	元山泰久
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

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分に用いられる緩衝材に求められる機能には、地下水の浸水を防ぐ止水性やオーバーパックへの応力緩衝性等があり、それらの工学的機能を有している材料として高压で圧縮されたベントナイトが有力視されている。圧縮ベントナイトは、埋設時の不飽和状態から、再冠水後の飽和状態になるにしたがい、その力学特性は大きく変化する^{1),2)}。本報では、飽和圧縮ベントナイトを用いて一面せん断試験¹⁾を実施することにより、供試体密度とせん断強度特性の関係を示すとともに、一面せん断によって損傷を受けた供試体の遮水性能についても検討した。

2. 飽和供試体の一面せん断試験

2.1 飽和供試体作製方法

飽和供試体は圧縮成形した不飽和供試体に蒸留水を浸潤させることにより作製したが、専用モールドを用いて浸潤させる方法を基本とするが、比較のため一面せん断試験機本体で浸潤させる方法も用いた。

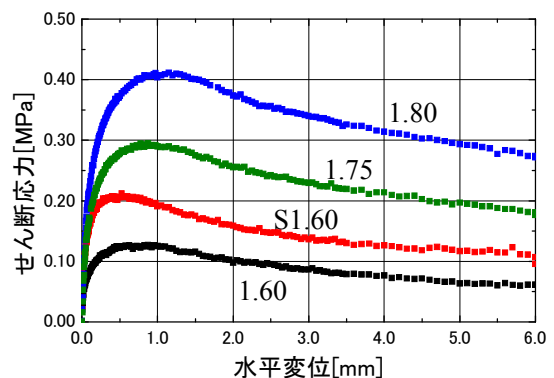
①モールド内での飽和供試体作製方法：直径 80mm、高さ 20mm の高剛性圧縮リングに粉末状のベントナイト(クニゲルV 1)を 70%、珪砂 6 号を 30%の割合で配合した試料を乾燥密度 1.60, 1.75, 1.80Mg/m³になるように油圧ジャッキを用いて、リング高さまで圧縮成型した。圧縮リングごとベントナイト供試体を飽和供試体作製用モールドに設置し、軸変位固定条件で、蒸留水を入れ、約 3 ヶ月間かけて飽和させた。飽和後、モールドを解体し、ガイドカッターを用いて 50mm×50mm×20mm 厚の供試体に成型し、一面せん断試験機に設置した後、せん断試験を行った。

②一面せん断試験機内での飽和供試体作製方法：①に示す方法では、飽和供試体を一旦モールドから取り出す作業を伴うことから、実際の現場の緩衝材の状態を模擬していないことが懸念される。そのため、一面せん断試験機内で圧縮成型し、そのまま蒸留水を浸潤させ、約 1 ヶ月かけて飽和供試体を作製した。その後、膨潤圧が作用したまま一面せん断を実施した。このケースの飽和供試体の乾燥密度は 1.60Mg/m³である。

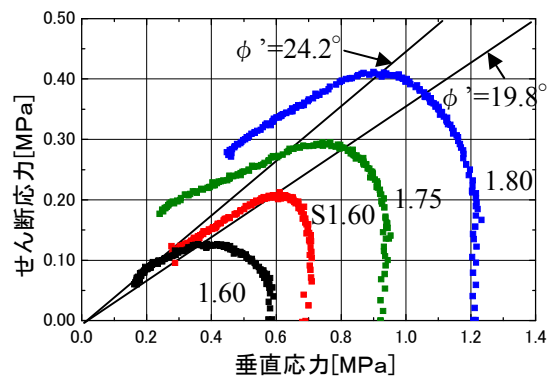
2.2 試験結果

図 1 に、せん断速度 0.4mm/min で水平変位 6mm まで定体積条件で一面せん断した結果を示す。なお、モールド内の飽和時に計測していた膨潤圧は、乾燥密度 1.60 Mg/m³では 0.6MPa, 1.75 Mg/m³では 0.9MPa, 1.80 Mg/m³では 1.2MPa であったので、各々の供試体に膨潤圧相当の垂直荷重を載荷して行った。凡例の数字は乾燥密度を示しており、一面せん断試験機内で飽和させた供試体は S1.60 と表している。

図 1(a)に示すせん断応力～変位関係を見ると、せん断開始後、急激にせん断応力が上昇しピークに達すると、緩やかにひずみ軟化している傾向がある。乾燥密度が大きくな



(a) せん断応力～変位関係



(b) 応力経路

図 1 一面せん断試験結果

るほど、最大せん断応力が大きくなり、ピークに達した後の減少幅が大きいことが分かる。また、モールド内で飽和させた供試体よりも試験機内で飽和させた供試体の方の最大せん断応力が大きくなっていると同時に、ピーク強度に達する水平変位が若干小さい。

図 1(b)に示す応力経路を見ると、せん断開始後、せん断応力が急激に上昇しているが、垂直応力は変化せず、変位が進むと急激に減少し、ピークに達した後は緩やかに減少していくことが分かる。供試体作製方法が異なる 1.60 と S1.60 を見比べると、せん断初期の立ち上がりは異なり、最大せん断応力にも差があるが、せん断抵抗角には大きな違いは見られない。一方、供試体乾燥密度が大きくなるにしたがい、せん断抵抗角が若干大きくなる傾向が見られる。いずれにしても、不飽和供試体のせん断抵抗角²⁾に比べると小さい。

3 X線CTによる観察

図 2 に試験機内で作製した乾燥密度 1.60 Mg/m³の飽和供試体をせん断後、京都大学の KYOTO-GEOμXCT(東芝製 TOSCANER- 32250μHDK)を用いて X 線 CT 観察を行った結果を示す。供試体の内部では、せん断箱の端部より水平にわずかにせん断帯が生成しているが、供試体の中心部では見られず、低密度領域も確認できないことが分かった。

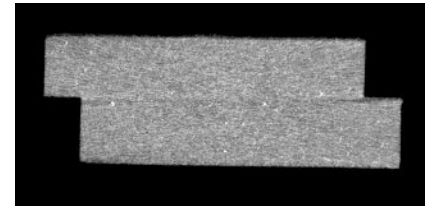


図 2 X線CT結果

4 損傷を受けた供試体の遮水性能の評価

4.1 透水試験方法

一面せん断試験によって損傷を受けた供試体を用いて透水試験を実施することにより、マクロ的な遮水性低下の有無について検討した。具体的には、一面せん断試験後の飽和供試体を図 3 のようにくり抜き、せん断面を含む供試体と含まない供試体の 2 種類を用いて透水試験を実施した。供試体厚さ 3mm、供試体直径 15mm の超小型供試体を用い、最大 300kPa の水圧を作用させて透水量を計測した。

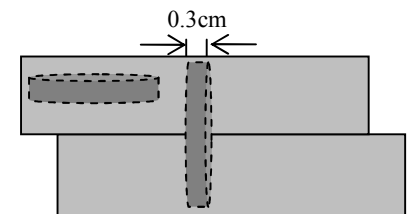


図 3 供試体のくり抜き箇所

4.2 試験結果

図 4 に透水試験結果を示す。なお、凡例には、試験時作用水圧とともに、せん断帯の有無も示している。どの試験条件でも試験開始直後の透水係数はばらついているものの、時間が経過するにつれほぼ収束していくのが見てとれる。結果として、定常状態に達した状態での値を透水係数として評価した。全ての試験条件において、透水係数は $1.30 \sim 1.70 \times 10^{-12} \text{m/s}$ になっており、せん断面の有無によって透水係数に有意な差は生じないことが示された。

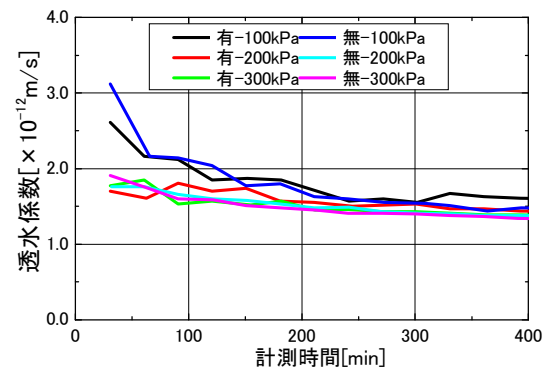


図 4 透水試験結果

5 まとめ

一面せん断試験の結果より、飽和供試体は高密度になるほどせん断抵抗角が増加する傾向が示された。また、供試体作製方法によって、せん断抵抗角は大きく変わらないものの、応力経路には若干差が現れた。一方、X 線 CT を用いて、一面せん断試験後の飽和供試体を観察した結果、大きなせん断変位が加わり損傷を受けた部分においても、目立った低密度領域は確認されなかった。さらに、せん断帯の有無によって透水係数にも変化が見られず、遮水性能低下の懸念は少ないことが示された。今後の課題として、一面せん断試験機内で飽和させた供試体の試験データの蓄積、透水試験の改良等が挙げられる。なお、本研究は、(財)原子力環境整備・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たものであり、一部は中部電力基礎研究所の研究助成の補助も受けて実施した。記して謝意を示します。

参考文献：1)寺本ら：圧縮ベントナイト緩衝材のせん断破壊時の性能評価，第 54 回地盤工学シンポジウム論文集，pp.17-24，2009. 2)平手ら：不飽和条件下での珪砂・ベントナイト混合体のせん断破壊特性，平成 21 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，2009.