

各種含水条件下での圧縮ベントナイトのせん断強度

ベントナイト，一面せん断試験，飽和度

名城大学

国際会員 小高猛司

名城大学大学院

学生会員 ○元山泰久

浅沼組（元名城大院生）

正会員 平手寿大

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分の緩衝材に用いられる圧縮ベントナイトは，地下 300m 以深の岩盤中に施工された後，再冠水による地下水の浸潤によって，完全飽和状態となるまで，長期間不飽和状態にある。著者らは，不飽和および飽和状態における圧縮ベントナイト緩衝材に対して，高圧一面せん断試験を実施しており，その試験結果から，不飽和状態と飽和状態とは，せん断強度に大きな差が生じることを示した^{1), 2)}。地層処分場を合理的かつ安全に施工するためには，不飽和から飽和に至るまでの遷移領域における圧縮ベントナイトの力学特性を把握することが急務である。そこで本報では，不飽和から飽和に遷移する各種の含水状態における圧縮ベントナイト緩衝材のせん断強度について検討する。

2. 供試体作製方法および試験方法

試料には，粉末状ベントナイト（クニゲル V1，初期含水比 10%）に三河珪砂 6 号を乾燥質量比 30%混合したものを用いる。別途で加水法と砕氷混合法の 2 種類の含水比調整方法の比較検討した結果³⁾，今回は簡易に供試体が作製可能な加水法を採用した。図 1 のようにバット内に試料を均等に広げ，霧吹きによって蒸留水を少量ずつ吹き付けながら，スプーンで十分に攪拌した。その際，目標含水比より 2%高く調整した後，図 2 のように団粒化してしまった部分を取り除いて試験試料とした。この試料をせん断箱に詰め，縦 5cm×横 5cm×厚さ 2cm の直方体に圧縮成型する。なお，本報の試験では乾燥密度を 1.60Mg/m^3 に限定し，目標含水比を 15%，20%，25%，30%と設定した。緩衝材は高圧で圧縮成型され，かつ硬質であるために，せん断試験機にも高圧性能が必要とされる。そのため本研究では，図 3 に示す高拘束圧一面せん断試験装置を用いている。圧縮成型後，水平変位 6.0mm まで定体積条件で一面せん断試験を実施した。

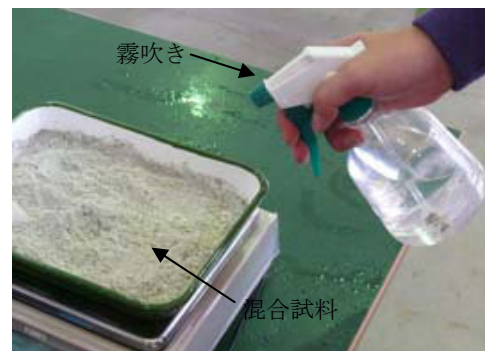


図 1 加水法



図 2 含水比調整後の試料

3. 高圧一面せん断試験結果

図 4 に各種含水条件下における圧縮ベントナイトの高圧一面せん断試験結果を示す。凡例の数字は，一面せん断後の供試体の含水比より算定した飽和度を示している。

図 4(a)のせん断応力～変位関係より，飽和度が低い供試体ほど最大せん断応力に達するのが遅く，その値は大きくなっている。また最大せん断応力に達した後は緩やかにひずみ軟化する挙動を示している。図 4(b)の応力経路を見ると，いずれの供試体においても，初期の垂直応力に違いはあるが，せん断開始とともに急激にせん断応力が上昇し，最大せん断応力に達した後，負のダイレイタンスの発現により，垂直応力が減少している。粘性土の一面せん断試験結果の整理法にならい，各供試体の最大せん断応力を示す応力状態と原点を結んでせん断抵抗角を求めると， $S_r=49\%$ ， 62% では $\phi_1=34^\circ$ ， $S_r=84\%$ では $\phi_1=24^\circ$ ， $S_r=88\%$ では $\phi_1=19^\circ$ となる。このことから，飽和度が高くなると，せん断抵抗角が小さくなることを示している。文献 1)，2)における不飽和および飽和圧縮ベントナイト供試体の一面せん断試験結果から求めたせん断抵抗角はそれぞれ $\phi_1=34^\circ$ および 18° であった。今回の試験結果と比較すると， $S_r=49\%$ ， 62% では不飽和供試体， $S_r=90\%$ では飽和供試体と類似するせん断抵抗角を示した。図 5 に今回実施した一面せん断試験におけるせん断抵抗角と飽和度の関係を整理したものを示す。これを見ると，飽和度が

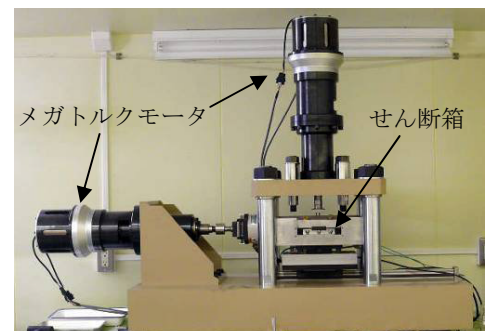


図 3 高拘束圧一面せん断試験装置

Shear strength of compacted bentonite under various moisture conditions

Takeshi KODAKA, Yasuhisa MOTOYAMA, Toshio HIRATE (Meijo University)

高くなることによって、徐々にせん断抵抗角が小さくなるのではなく、飽和直前で急激に飽和供試体と同等のせん断抵抗角まで小さくなるのがわかった。

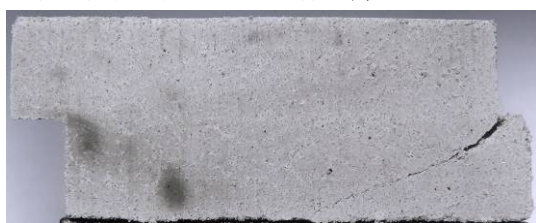
4. 試験後供試体の観察

図6に一面せん断試験後の供試体を示す。せん断箱より専用の器具を用いて、供試体を取り出した。一面せん断後の供試体は損傷を受けており壊れやすいため、すべての工程を慎重に行った。凡例は一面せん断試験と同様である。いずれの供試体も色が濃いほど含水量が高いと考えてよい。 $S_r=49\%$ 、 62% 、 84% では、団粒化した試料を含んでいるため、所々に局所的な飽和が見られるが、 $S_r=90\%$ に関しては、圧縮に伴い全体的に水分が行きわたっているのが見てとれる。また下部せん断箱を右方向に強制変位させることで、せん断箱と接している部分が圧縮され、密度が高くなり、含水量が増加している部分が見られる。いずれの供試体もせん断箱端部という特殊な境界条件下から亀裂が発生している。 $S_r=49\%$ 、 62% では、せん断箱端部より発生した亀裂が供試体の下方まで斜め方向に発達している。しかし飽和度が高くなるにつれて、亀裂が水平に近づくことがわかる。また $S_r=90\%$ では、他のケースに比べて、亀裂が大きく生じていない。

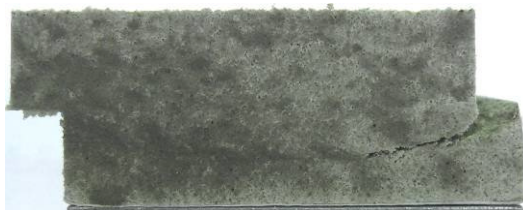
5. まとめ

各種含水比条件で作製した圧縮ベントナイトにおいて、飽和度が高くなることによって、徐々にせん断抵抗角が低下するのではなく、飽和直前の $S_r=80\%\sim 90\%$ で、急激にせん断抵抗角が低下することが示された。また飽和度の違いによって、亀裂の発生の仕方が異なり、飽和度が高くなるほど、亀裂は水平に近づくことがわかった。今後の課題は、含水比調整した供試体の試験ケースが不足しているため、そのデータの蓄積と三軸試験を実施し、より詳細に検討する必要がある。なお本研究は、中部電気利用基礎研究振興財団の特別研究助成の補助を受けて実施した。記して謝意を表します。

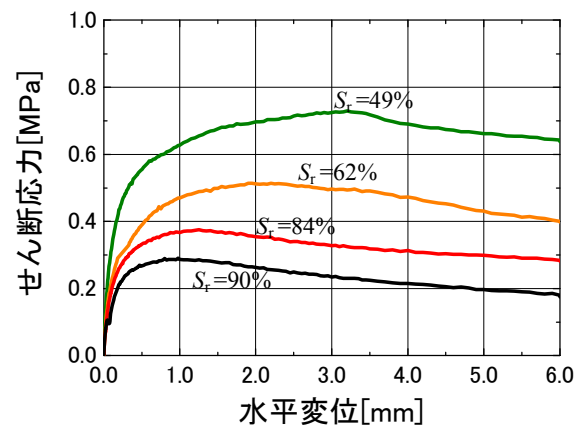
参考文献: 1) 小高ら, 不飽和および飽和条件化での圧縮ベントナイトのせん断破壊特性, 地盤工学ジャーナル, 4(1), 59-69, 2009. 2) 小高ら, 圧縮ベントナイト緩衝材のせん断破壊時の性能評価, 地盤工学ジャーナル, 5(2), 207-218, 2010. 3) 元山ら, 各種飽和度の圧縮ベントナイト供試体の試作, 平成22年度土木学会中部支部研究発表会論文集, 2011.



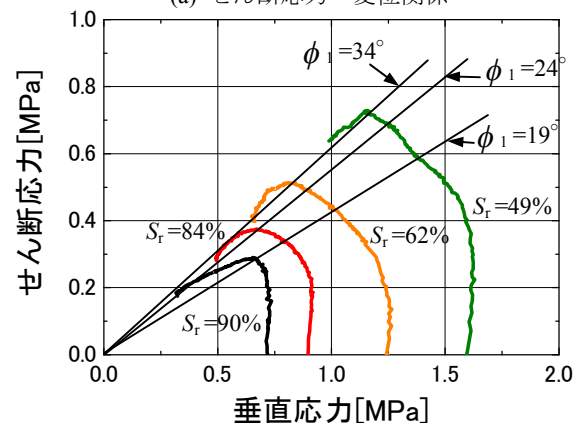
$S_r=49\%$



$S_r=84\%$



(a) せん断応力～変位関係



(a) 応力経路

図4 飽和度の違いによる試験結果

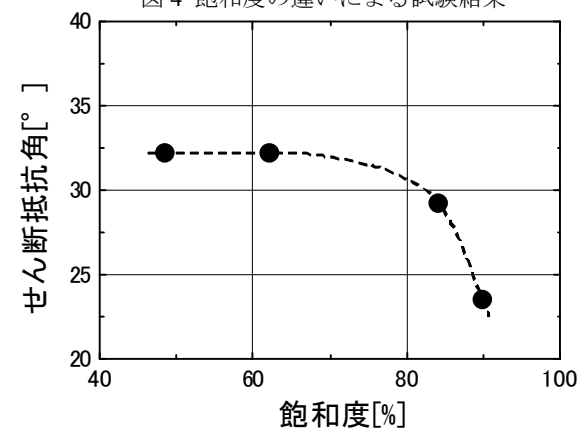
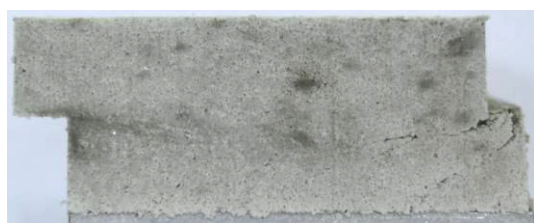


図5 せん断抵抗角と飽和度の関係



$S_r=62\%$



$S_r=90\%$

図6 一面せん断後の供試体