

不飽和珪砂・ベントナイト混合体の飽和度上昇に伴うせん断抵抗角の低下

名城大学	正会員	○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

地層処分の緩衝材に用いられる珪砂・ベントナイト混合体は、再冠水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珪砂・ベントナイト混合体に対して、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では、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緩衝材の力学特性を把握することが必要である。そこで本報では、不飽和状態の珪砂・ベントナイト混合体の飽和度上昇に伴うせん断抵抗角の低下について検討する。

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。別途で加水法と碎氷混合法の 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。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 1 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 2 に示す高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。

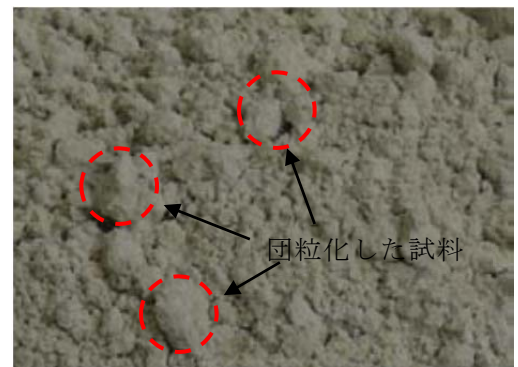


図 1 含水比調整後の試料

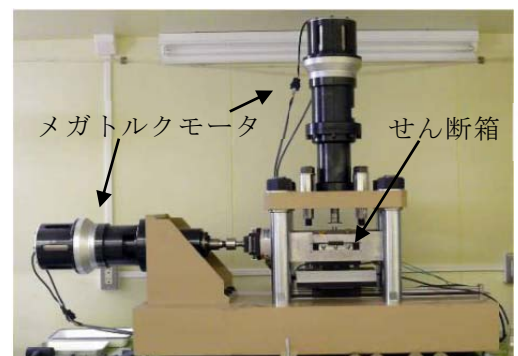


図 2 高圧一面せん断試験装置

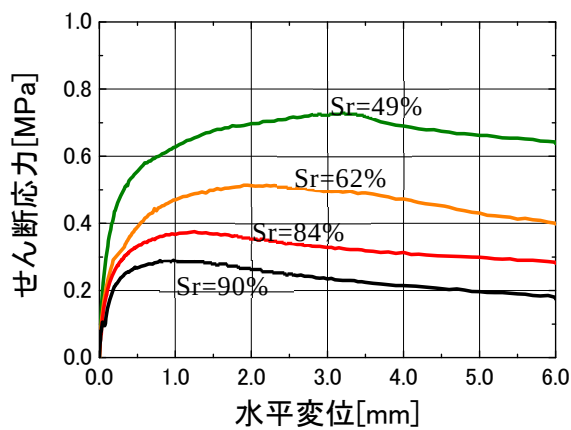
3. 高圧一面せん断試験結果

図 3 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。

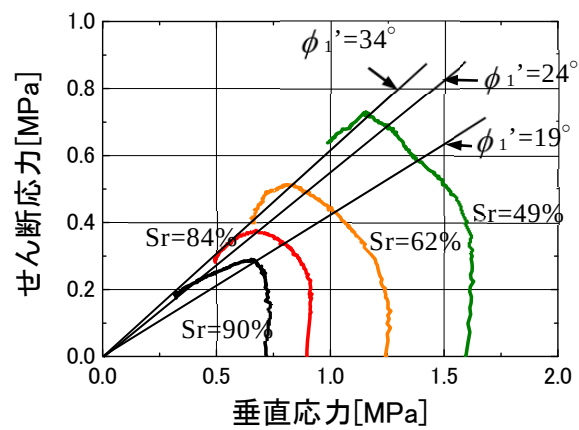
図 3(a)のせん断応力～変位関係より、飽和度が低い供試体ほど最大せん断応力に達するのが遅く、その値は大きくなっている。また最大せん断応力に達した後は緩やかにひずみ軟化する挙動を示している。図 3(b)の応力経路を見ると、いずれの供試体においても、初期の垂直応力に違いはあるが、せん断開始とともに急激にせん断応力が上昇し、最大せん断応力に達した後、負のダイレイタンスの発現により、垂直応力が減少している。粘性土の一面せん断試験結果の整理法にならい、各供試体の最大せん断応力点と原点を結んでせん断抵抗角を求めると、 $S_r=49\%$ 、 62% では $\phi_1'=34^\circ$ 、 $S_r=84\%$ 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

キーワード ベントナイト、飽和度、一面せん断試験、

名城大学 理工学部 建設システム工学科（〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 Tel 052-838-2347）



(a) せん断応力～変位関係



(b) 応力経路

図3 各種飽和度の珪砂・ベントナイト混合体の一面せん断試験結果

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、Sr=49%、62%では不飽和供試体、Sr=90%では飽和供試体と類似するせん断抵抗角を示した。図4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、飽和度が高くなることによって、徐々にせん断強度が低下するのではなく、飽和直前で急激に飽和供試体と同等のせん断強度まで低下することがわかった。

4. 試験後供試体の観察

図5に一面せん断試験後の供試体を示す。Sr=62%や84%では所々に局所的な飽和領域が見られる。下部せん断箱を右方向に強制変位させるため、下部せん断箱と接している部分が圧縮され、特に含水量が増加している。いずれの供試体も右側のせん断箱端部から亀裂が発生している。飽和度が低いSr=62%では、複数の亀裂が斜め下方に発生しているが、飽和度の上昇に伴い卓越した亀裂は1本となり、かつ水平となる。

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Sr=80%~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。今後は、含水比調整した供試体の試験ケースが不足しているので、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。

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.

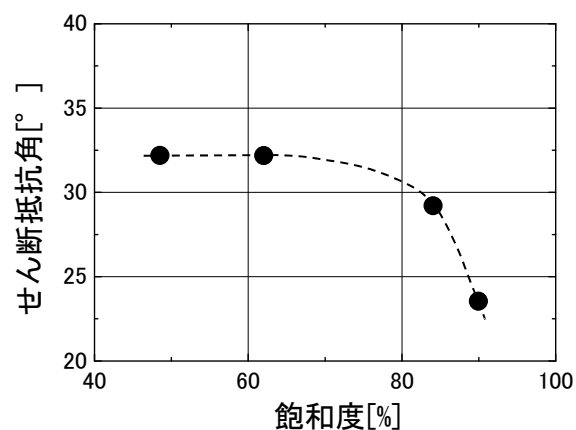
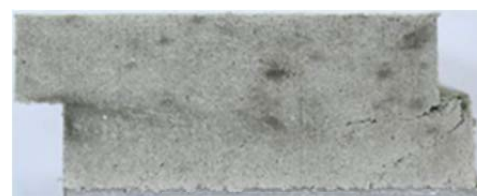
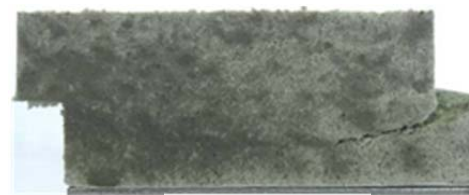


図4 せん断抵抗角と飽和度の関係



(a) Sr=62%



(b) Sr=84%



(c) Sr=90%

図5 各種飽和度の試験後の供試体