

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

名城大学大学院 学生会員 平手寿大・寺本優子
名城大学 学生会員 元山泰久・小西一規
名城大学 正会員 小高猛司

1. はじめに

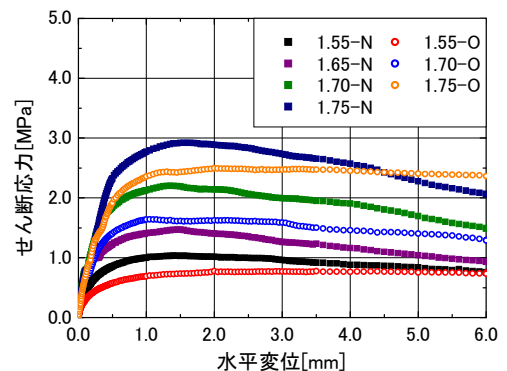
高レベル放射性廃棄物最終処分場で使用する緩衝材には、応力緩衝性、核種遮蔽性等の観点から高密度の珪砂・ベントナイト混合体が有力視されている。本研究では、急激な地殻変動や周辺岩盤のクリープ破壊によって最終処分場が損壊し、緩衝材も損傷を受けた場合を想定し、緩衝材の性能維持について検討を進めている¹⁾。緩衝材は、不飽和および飽和条件によってその力学特性が大きく異なるが、本報では、不飽和条件下での珪砂・ベントナイト混合体のせん断破壊特性に注目する。具体的には、高圧一面せん断試験を実施するが、昨年までの検討は、中密度の供試体に対して珪砂混合率を30%に限定して実施していた。本報では、さらに高密度の供試体や珪砂混合率の異なる供試体を作製して一面せん断試験を実施した結果を示す。

2. 試験方法

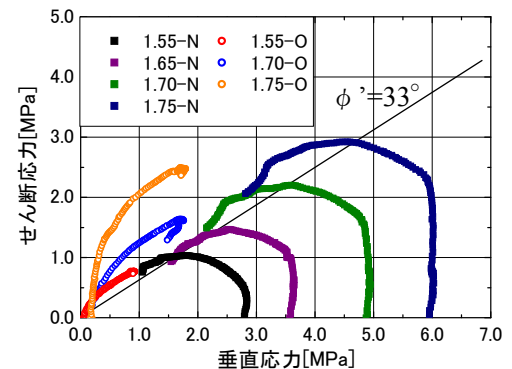
不飽和供試体は、乾燥密度1.55, 1.65, 1.70, 1.75Mg/m³となるように、粉末ベントナイト（クニゲルV1）と三河珪砂6号を質量比7:3で混合した試料（珪砂混合率30%）を一面せん断試験機内で圧縮成型して作製する。そのうち乾燥密度1.55Mg/m³については、珪砂混合率を40%および50%に増加させた供試体も作製した。試験機内で垂直載荷重によって加圧成形した供試体に対して、加圧した状態のままの一面せん断する供試体（以下、正規圧密供試体と呼ぶ）と加圧成形後に一旦、垂直応力を0MPaまで除荷してから一面せん断する供試体（以下、過圧密供試体）の2種類を用いる。せん断の水平変位速度は0.4mm/minであり、水平変位6.0mmになるまで定体積条件でせん断した。また、せん断後の供試体は専用の治具でせん断箱から取り外し、真空パック処理して京都大学に搬入し、マイクロフォーカスX線CT装置KYOTO-GEOμXCT（東芝製TOSCANER-32250μHDK）を用いて供試体内部の観察を行った。

3. 試験結果

珪砂混合率30%の珪砂・ベントナイト混合体について、供試体密度を各種変えて行った実験結果である。凡例の数字は乾燥密度(Mg/m³)を表し、それに続く-Nおよび-Oはそれぞれ、正規圧密および過圧密供試体を示す。高密度になるほど、供試体の加圧成形に高い垂直荷重を要するため、正規圧密供試体では、高密度供試体ほど初期垂直応力が大きくなっている。せん断応力～変位関係を見ると、正規圧密供試体では水平変位1.5mm付近で最大せん断応力に達して減少しているが、過圧密供試体では水平変位1.0mm付近からほぼ一定、もしくはわずかな減少となり明確な最大せん断応力は見られない。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ンタンシーにより塑性圧縮を伴うひずみ軟化を示している。また、供試体乾燥密度が異なるデータであるが、原点と最大せん断応力を直線で結ぶことによってせん断抵抗角を求めると $\phi' = 33^\circ$ となる。一方、過圧密供試体では正のダイレンタンシーによりせん断応力の増加とともに垂直応力も増加



(a) せん断応力～変位関係



(b) 応力経路

図1 乾燥密度の異なる供試体の試験結果

する挙動となっている。このように正規圧密供試体と過圧密供試体では、明確に異なる挙動を示す。

図2に珪砂混合率が異なる供試体（乾燥密度 1.55Mg/m^3 ）の試験結果を示す。凡例には正規圧密N、過圧密Oの別と珪砂混合率を示している。珪砂混合率が高いほど高压成形を要する粉末ベントナイトの割合が小さくなるために、正規圧密供試体においては、せん断時の初期垂直応力は小さくなる。それを反映して、珪砂混合率が高いほど最大せん断応力も小さくなっている。また、最大せん断応力を過ぎた後の軟化の度合いも小さい。過圧密供試体O-40%およびO-50%においては、せん断開始直後に増加したせん断応力が、若干減少した後、再び増加する挙動が観察された。応力経路を見ると、正規圧密供試体N-40%およびN-50%では、N-30%よりせん断抵抗角が増加し $\phi' = 37^\circ$ となり、珪砂混合率が高くなるとせん断抵抗角が増加することを示唆している。

4. X線CTによる観察

図3にX線CTの結果を示す。供試体名は図1および図2と同様である。図3(a)を見ると、乾燥密度の違いによって供試体内の低密度領域の発生状況に大きな違いは見られない。しかしながら、1.75-Nと1.75-Oの中心部においては、水平方向に連続した低密度領域が確認できる。また、図3(b)を見ると、珪砂混合率が高くなると、明確な亀裂の本数が減る傾向がある。

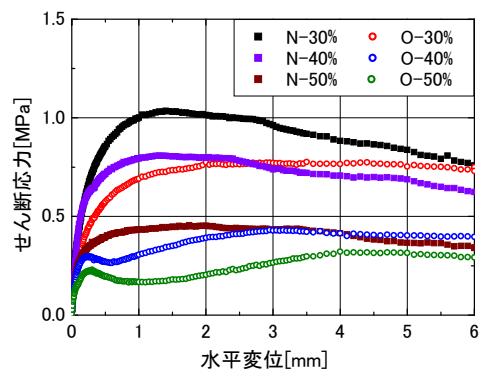
5. まとめ

今回の一面せん断試験により、供試体密度が変わってもせん断抵抗角は変化しないが、珪砂混合率が高くなるとせん断抵抗角が大きくなることが示唆された。今後、より高密度な供試体により珪砂混合率の違いの影響を検討するとともに、有効粘土密度を考慮して評価する必要がある。

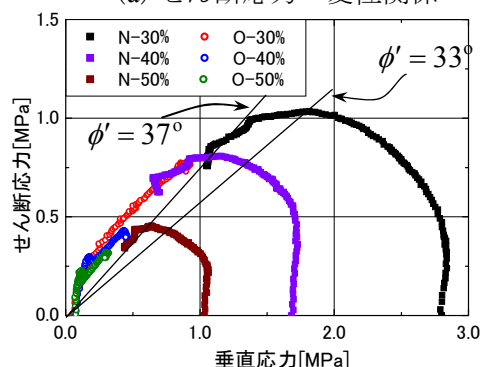
また、本報では不飽和条件での緩衝材の力学特性について検討を行ったが、飽和条件下での珪砂・ベントナイト混合供試体の一面せん断試験やX線CT観察、さらに透水試験による遮水性能評価を実施している²⁾ことを付記する。

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、また一部は、中部電力基礎研究所の研究助成により実施したものである。記して謝意を示します。

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，4(1)，2009. 2)元山ら：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，平成21年度土木学会中部支部研究発表会概要集，2010.

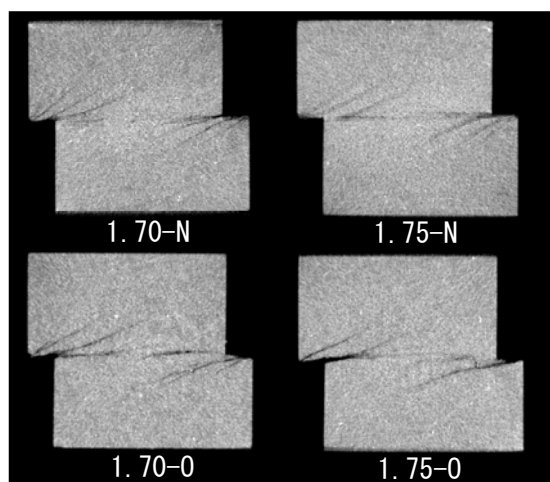


(a) せん断応力～変位関係

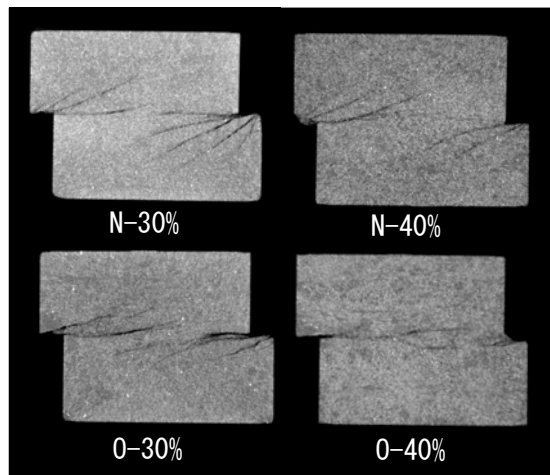


(b) 応力経路

図2 珪砂混合率の異なる供試体の試験結果



(a) 密度を変化させた供試体



(b) 珪砂混合率を変化させた供試体

図3 X線CT結果