

圧縮粒状ベントナイトのせん断強度特性

名城大学大学院 学生会員 ○元山泰久
名城大学 正会員 小高猛司

1. はじめに

余剰深度処分において低透水層として施工されるベントナイトは建設・作業時に最も厳しい荷重履歴を受けることが想定されるため、その時点の不飽和状態における力学特性を把握しておくことが重要となる¹⁾。千々松らは粒状ベントナイト・クニゲル GX を用いて一連の一軸圧縮試験を実施し、供試体の乾燥密度と飽和度が、一軸圧縮強さと変形係数に及ぼす影響について詳細に検討している²⁾。本報では、クニゲル GX を用いて、一面せん断試験によって低透水層の力学特性を評価することを試みる。

2. 試験方法

千々松ら²⁾にならい、クニゲル GX (初期含水比 $w_0=8.3\%$) を最大粒径 2.0mm に調整した上で、図 1 に示す高圧一面せん断試験装置³⁾の垂直圧によって圧縮成型することにより供試体を作製する。供試体の乾燥密度は、1.50, 1.55, 1.60 および 1.65 Mg/m^3 である。供試体寸法は、50mm×50mm の正方形断面、厚さ 20mm の矩形供試体を基本とするが、乾燥密度 1.60 Mg/m^3 については厚さ 40mm の供試体も作製し、供試体厚さによる影響を検討した。供試体の飽和度 S_r は、初期含水比のまま圧縮成型した場合の $S_r=33\%$ と、飽和状態となるように含水比に調整してから圧縮成型した場合の $S_r=94\%$ の両極端を採用した。本報では便宜上、前者を不飽和供試体、後者を飽和供試体と呼ぶ。ただし、飽和度をさらに上昇させるために、後者の飽和供試体については、圧縮成型後に 1 日水浸させた場合の試験も実施した。一面せん断は、せん断箱間隔 1mm、せん断速度 0.4mm/min、水平変位 6.0mm まで定体積条件で行った。

3. 試験結果

図 2 に不飽和供試体の一面せん断試験結果を示す。凡例の数字は供試体の乾燥密度である。

図 2(a)のせん断応力～変位関係より、どの乾燥密度であっても水平変位 3.0mm 程度まで緩やかにせん断応力が増加しつづけていることがわかる。クニゲル V1 と珪砂を混合して圧縮成型した、珪砂ベントナイト混合体による試験では、水平変位 1.0mm 程度の小さな変位で最大せん断応力に到達する^{3),4)}のに比べて、若干延性的な材料であると考えられる。

また乾燥密度 1.60 Mg/m^3 の試験結果より、供試体厚さによっては、試験結果に有意な差は認められない。

図 2(b)は応力経路である。高い乾燥密度の供試体ほど圧縮成型時に高い垂直応力を要するため、せん断初期の垂直応力に違いがある。どの乾燥密度においてもせん断が進むにつれて、負のダイレイタンスの発現に

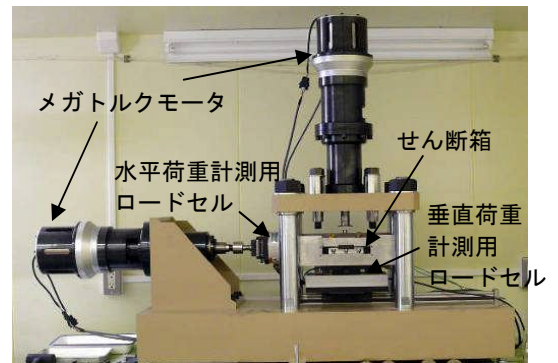
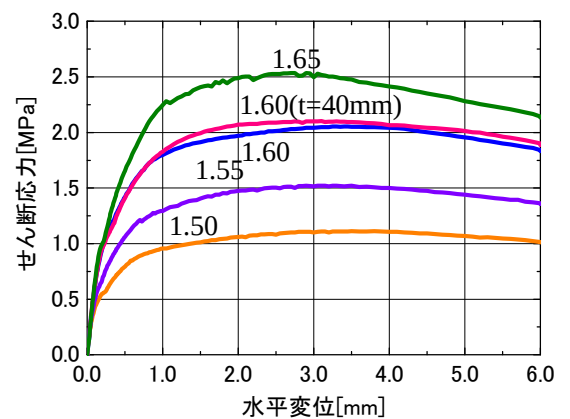
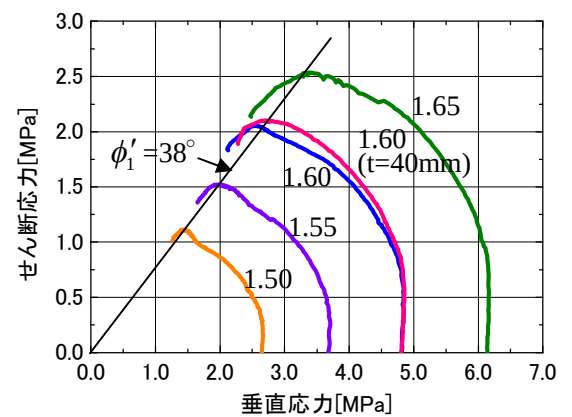


図 1 高圧一面せん断試験装置



(a) せん断応力～変位関係



(b) 応力経路

図 2 不飽和供試体の試験結果

キーワード ベントナイト, 一面せん断試験, 密度, 飽和度

より、塑性圧縮を伴うひずみ軟化の挙動を示している。原点と最大せん断応力を直線で結ぶことでせん断抵抗角を求めると、いずれの乾燥密度の供試体も同じ $\phi'_1=38^\circ$ となる。不飽和状態の珪砂ベントナイト混合体のせん断抵抗角は、 $\phi'_1=33^\circ$ 程度である^{3,4)}ことが示されており、クニゲル GX の粒状ベントナイトを用いた供試体の方が、せん断抵抗角が若干大きい。図 3 は圧縮成型した不飽和供試体の初期状態をマイクロフォーカス X 線 CT 装置 (KYOTO-GEO μ XCT・東芝製 TOSCANER-32250 μ HDK) で撮影した CT 画像である。圧縮成型後も供試体内には高密度な粒状ベントナイトが分布していることがわかる。逆に大きな粒径以外のマトリックス部分では、比較的低密度となっている。供試体乾燥密度は平均化した数字であるため、供試体内の多くの領域ではその乾燥密度 (有効粘土密度) を満たしていない部分が多くあることを示唆している。また、不飽和状態の珪砂ベントナイト混合体は均質に固結した人工材料であったため、脆性的な破壊が特徴であったが、今回の粒状ベントナイトによる供試体は、より砂質土 (粒状体) としての性質が強く現れており、比較的延性的な性質を呈したものと考えられる。

図 4 は乾燥密度 1.60 Mg/m^3 の飽和供試体の一面せん断試験結果である。圧縮成型後に 1 日浸水させた供試体では、浸水無しの供試体の飽和度 94%よりは 100%に近づいていると考えている。図 4(a)のせん断応力～変位関係を見ると、いずれの供試体においても水平変位 2.0mm 付近で最大せん断応力に達しており、両者の差はほとんど見られない。図 4(b)の応力経路における初期垂直応力は、圧縮成型時に計測された垂直圧をそのまま採用しているが、伊藤らの示したクニゲル GX の膨潤圧⁵⁾とはほぼ同レベルの値となっている。いずれの供試体のせん断抵抗角も、不飽和供試体と比較して 10 度以上小さくなっているが、浸水なしでは $\phi'_1=29^\circ$ 、浸水ありでは $\phi'_1=25^\circ$ であり、浸水なしの供試体の方がせん断抵抗角の値から見ても、応力経路の形状においても、不飽和供試体に近いと考えられる。千々松らは乾燥密度 1.60 Mg/m^3 の飽和供試体の一軸圧縮強さが 0.5 MPa 前後である²⁾ことを示しており、本試験の最大せん断応力 (せん断強さ) の値と整合している。

4. まとめ

不飽和と飽和の両極端の条件において、クニゲル GX の一面せん断試験を実施し、力学特性の評価を行った。粒状ベントナイトであるクニゲル GX を用いた試験では、不飽和状態において、粉末のクニゲル V1 による試験と比べて、より粒状体としての性質が現れることがわかった。なお、本試験に用いたクニゲル GX は間組の千々松正和氏にご提供いただいた。記して謝意を表します。

参考文献：1)土木学会：余裕深度処分における地下施設の設計，品質管理および検査の考え方，2009. 2)千々松ら：ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験 (その 2)，第 63 回土木年講，CS05-15, 2008. 3)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. 4)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)，2010. 5)伊藤ら：ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験 (その 1)，第 63 回土木年講，CS05-14, 2008.

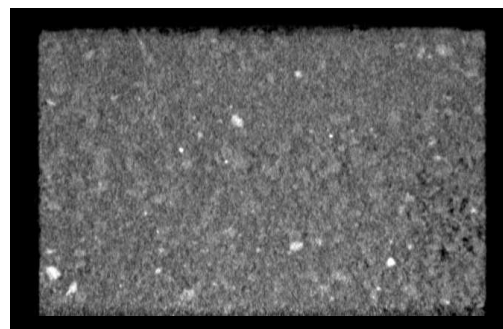
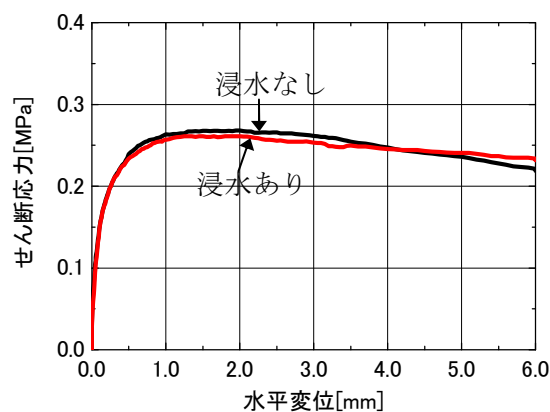
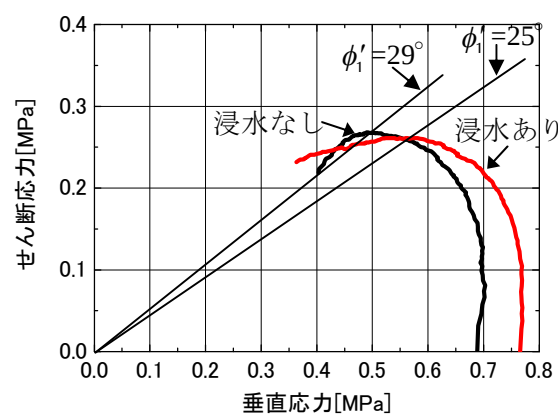


図 3 不飽和供試体の CT 画像
(乾燥密度 1.60 Mg/m^3)



(a) せん断応力～変位関係



(b) 応力経路

図 4 含水比調整した供試体の試験結果