

損傷を受けた飽和圧縮ベントナイトの X 線 CT による観察

名城大学大学院	学生会員	○元山泰久・平手寿大
名城大学	正会員	小高猛司
京都大学	フェロー	岡二三生
京都大学	正会員	肥後陽介

1. はじめに

本報では、種々の供試体密度の飽和圧縮ベントナイトに対して、一面せん断試験を実施するとともに、試験後供試体を X 線 CT で観察することにより、損傷を受けた緩衝材の内部構造変化について検討する。

2. 飽和供試体の一面せん断試験

2.1 供試体作製方法

実験には、クニゲル V1 に珪砂 6 号を 30wt% 混合した試料を、乾燥密度 1.55, 1.60, 1.70, 1.75, 1.80Mg/m³ になるように圧縮成型した後に、浸潤飽和させたものであり、以下の 2 種類の作製方法を採用した¹⁾。

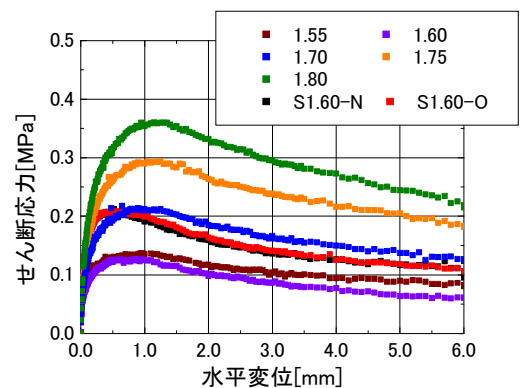
①**飽和モールドを用いる方法**：飽和供試体作製用モールドの高剛性リングに油圧ジャッキで珪砂・ベントナイト混合体を圧縮充填し、軸変位固定条件で浸潤飽和させた。膨潤圧がある程度一定となった時を飽和と判断し、モールドを解体し、ガイドカッターを用いて供試体成型し、一面せん断試験に設置した。

②**一面せん断試験機内で作製する方法**：①の供試体と比較するため、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、飽和供試体を作製した。このケースにおける乾燥密度は 1.60Mg/m³ である。

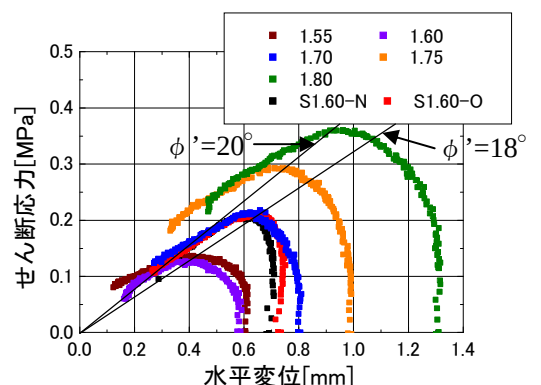
2.2 試験結果

図 1 にせん断速度 0.4mm/min で水平変位 6.0mm まで定体積条件でせん断した結果を示す。なお、初期垂直荷重には飽和した際に計測された各々の乾燥密度における膨潤圧を用いた。凡例の数字は乾燥密度を示しており、試験機内で飽和させた供試体の頭には S をつけ、圧縮成型する際に負荷した垂直応力が負荷された状態を正規圧密と呼び N とし、一旦供試体厚 20mm 以上に加圧圧縮した後、垂直応力を 0MPa まで除荷した状態を過圧密と呼び O とした。

図 1(a) に示すせん断応力～変位関係を見ると、せん断開始直後、急激にせん断応力が上昇し、ピーク後は緩やかにひずみ軟化を示している。また、乾燥密度が高くなるほど、最大せん断応力が大きくなり、ピーク後の減少幅が大きいことがわかる。図 1(b) に示す応力経路を見ると、せん断開始直後、せん断応力が上昇し、負のダイレイタンスの発生により体積収縮するとともに垂直応力が減少している。各々の乾燥密度における最大せん断応力からせん断抵抗角を求めると、乾燥密度が高くなるにつれて、せん断抵抗角が大きくなっている。既往の三軸試験²⁾の結果より求めた内部摩擦角 $\phi' = 16.6^\circ$ と比較すると同等な値であるが、不飽和供試体における一面せん断試験³⁾の結果と比較すると小さい値である。作製方法による比較をすると、挙動に違いが見られたが、せん断抵抗角に有意な差は生じなかった。



(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

キーワード ベントナイト、一面せん断試験、密度、X 線 CT

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)

3. X線CTによる供試体内部の観察結果

図2に示すような一面せん断試験後の飽和圧縮ベントナイト供試体をX線CTで観察した。せん断箱より専用器具を用いて供試体を取り出し、真空パックして京都大学に搬入し、X線CT(KYOTO-GEO μ XCT: 東芝製 TOSCANER-32250 μ HDK)を用いて観察した。CT画像を図3に示す。凡例は一面せん断試験と同様である。X線の透過量が多いところほど黒くなり、低密度である。全体的に密度のばらつきが見られるが、特に、1.75、1.80では上下せん断箱境界の端部より左斜め下に向かって明確な亀裂が生じていることがわかる。S1.60-Oにおいては、上下せん断箱境界の両端部から供試体内側に向かう水平な低密度領域が見られるが、内部に行くほど不明瞭になっている。以上の結果は、乾燥密度が高いほど亀裂が生じやすいことを示唆している。これは、高密度になり供試体内の空隙が小さくなるほど、珪砂同士の間隔も狭くなり、せん断時に局所的なダイレイタンスー特性が大きく発現されやすくなり、亀裂が生じやすくなっていると考えている。しかし、亀裂が発生する試験ケースであっても、供試体中心部では明確な低密度領域は生じていない。

図4は別途実施した数値シミュレーションによって、一面せん断試験後の供試体内部の空隙比変化を調べた結果⁴⁾である。膨張を赤、収縮を青で示している。せん断帯の両端には、応力解放ならびに引張ひずみの発生によって膨張する領域が発生しているが、試験時に亀裂が発生する場所と調和している。これは、今回の亀裂がせん断箱の端部という特殊な境界条件下で発生していることを示している。なお、解析でも試験でも供試体の中央部では低密度領域は見られない。

4. まとめ

飽和圧縮ベントナイトにおいては、供試体密度が高くなるほど、せん断抵抗角は大きくなる。また、X線CTの結果より、乾燥密度が高くなるほど、一面せん断試験時に亀裂が生じやすいことがわかった。しかし、供試体中心部においては、大変位が発生しても亀裂等は生じていなかった。なお、一面せん断試験で損傷を受けた供試体の透水性については文献5)において別途検討している。今後の課題は、最も現実の飽和過程に近い試験機内で作製する供試体の試験ケースが不足しているので、そのデータの蓄積が必要である。本研究は、中部電力基礎研究所の特別研究助成の補助を受けて実施しました。記して謝意を表します。

参考文献: 1) 小高ら: 飽和圧縮ベントナイトのせん断強度特性に及ぼす供試体密度と供試体作製方法の影響, 第45回地盤工学研究発表会, 2010. 2) 高治・鈴木: 緩衝材の静的力学特性, JNC TN8400 99-041, 1999. 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: 飽和圧縮ベントナイトの一面せん断破壊挙動の数値解析, 第45回地盤工学研究発表会講演概要集, 2010. 5) 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.

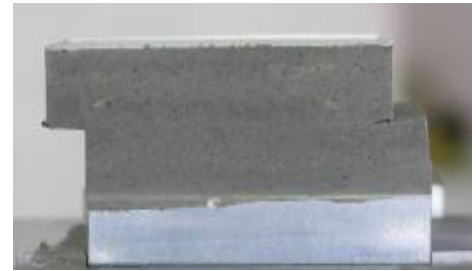


図2 一面せん断後の供試体

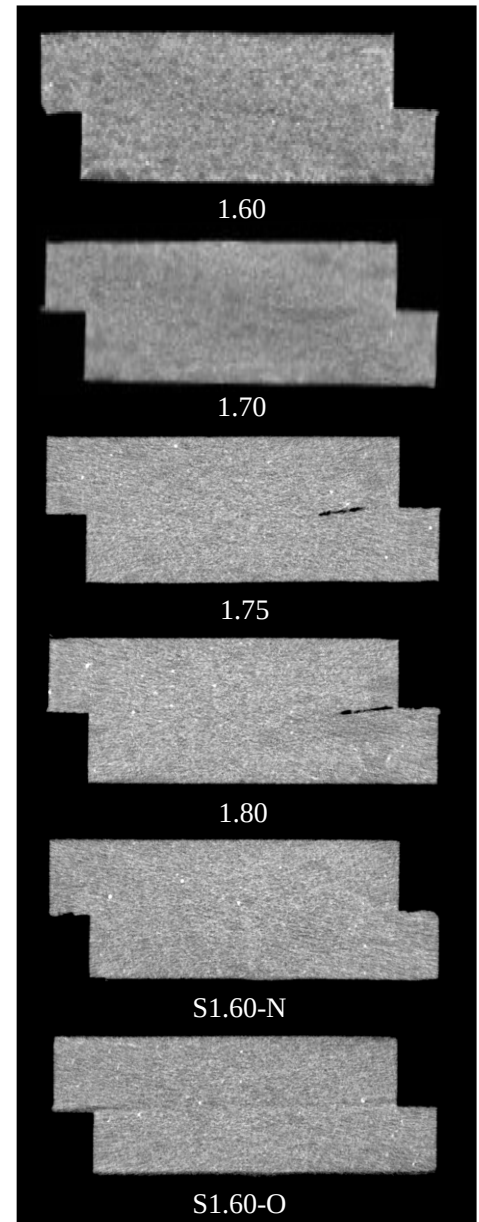


図3 X線CT結果

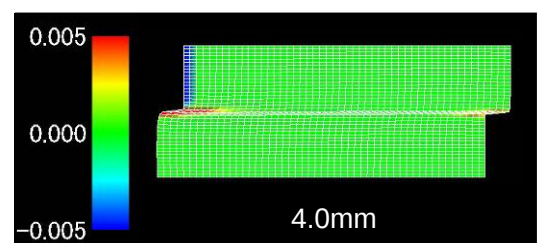


図4 シミュレーション結果(比体積分布)