

マクロレベルで観察した浸透条件下でのせん断に伴う細粒分の流出

中部土質試験協同組合 正会員 ○久保裕一
名城大学 正会員 小高猛司
日本工営 正会員 李 圭太
元名城大学学生 井上 司

1. はじめに

出水時の河川堤防の漏水において、浸出水が濁り、土粒子が流失してきた場合には極めて危険性が高い。堤体と基礎地盤、あるいは基礎地盤が複層であればそれら基礎地盤間の透水性に大きなギャップがある場合には、境界面で水みちが形成され、その水みちを流れる高流速の非ダルシー流れによって土粒子が流れ出る場合があり、それが継続する場合には堤体の大変状に繋がり極めて危険であることは模型実験からも明らかである(例えば¹⁾)。一方、明確な水みちの存在がない段階においても、細粒分の流出が議論される場合も多く、その場合には、土粒子と流路、ならびに流速などの流出条件が議論となる。しかし、細粒分の流出は、発生し始めたせん断変形に起因する、あるいは促進される現象と本研究では考え、浸透流場でのせん断過程を土粒子レベルで観察した。本報では、浸透条件下の一面せん断試験を実施することにより、砂質土の力学特性の変化と細粒分の移動、流出との因果関係について検証した。

2. 試験装置

新たに開発した一面せん断試験機の模式図を図1に示す。供試体の寸法は、高さ2cm、縦、横5cmの直方体である。上部せん断箱の注水経路から下部せん断箱の排水経路まで、供試体の左から右へ浸透水を流すことが可能である。せん断中に供試体への浸透水が外部に漏出しないように、鏡面仕上げの上下せん断箱の接触面をグリスで止水した上で、上部せん断箱を固定する高剛性ボルトに設置したばねで力を調整しながら、上下せん断箱を漏水しない程度に圧着している。せん断箱前面には透明なアクリル板が設置されており、せん断中の土粒子の動きを観察することが可能である。

3. 試験条件

試験試料は、三河珪砂4号と6号、および野間精配砂を3:1:3の乾燥質量比で、千歳川北島堤防砂の粒度に近づけるように調整して配合した(図2参照)。供試体作製においては、含水比10%となるように蒸留水を加えてよく混合し、間隙比0.8となるように締め固めた。そして、初期垂直応力を载荷した状態で、浸透流を発生させるため、初期水頭差を20cmとした水槽から供試体に水を流し1分間放置、レギュレータを用いて1分1kPaの割合で4kPaまで上昇させ、3分間放置した後にせん断を開始した。初期鉛直応力は100、150、200および400kPaとし、定体積条件でせん断速度0.5mm/minでせん断した。また、供試体前面のアクリル板を介して、マイクロSCOPEによってせん断面の直上部分を狙い、浸透開始からせん断終了まで、細粒分の移動の観察を行った。図3に示すように、任意に設けた基準線を越えて流れる細粒分の個数を5秒間隔で目視により計測した。

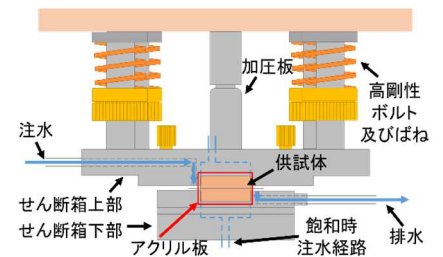


図1 開発した一面せん断試験機

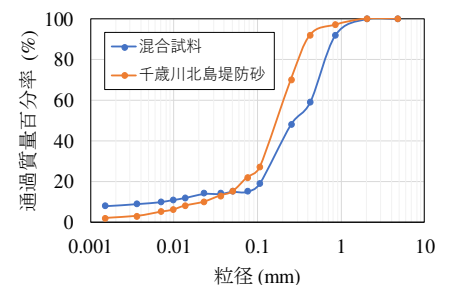


図2 試験試料の粒径加積曲線

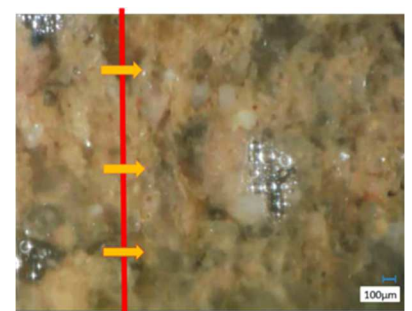


図3 マイクロSCOPEによる観察

キーワード 一面せん断試験, 浸透, 細粒分

連絡先 〒463-0009 愛知県名古屋守山区緑が丘804 中部土質試験協同組合 TEL 052-758-1500

4. 試験結果

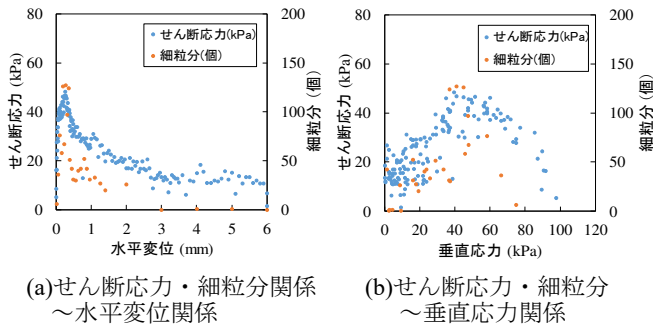


図 4 初期垂直応力 100kPa の試験結果

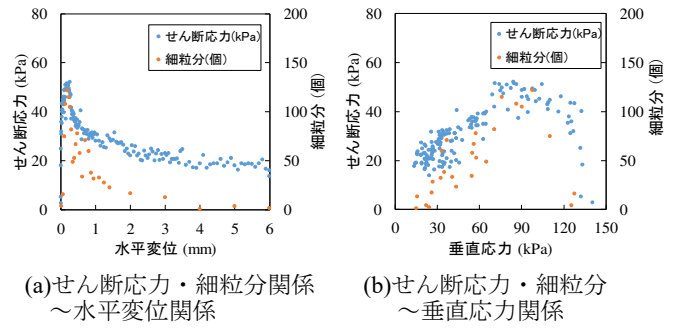


図 5 初期垂直応力 150kPa の試験結果

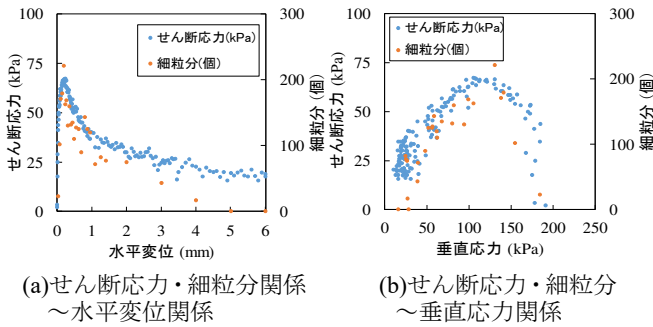


図 6 初期垂直応力 200kPa の試験結果

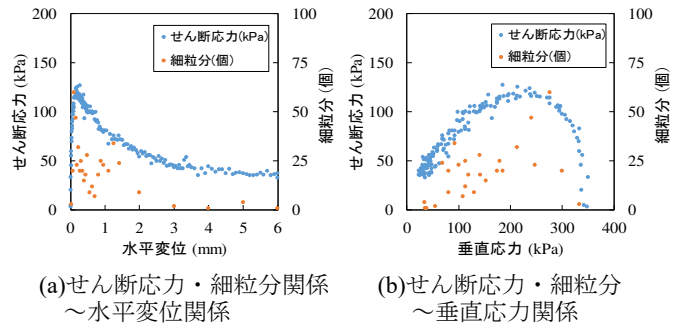


図 7 初期垂直応力 400kPa の試験結果

図 4～7 に、それぞれ 100～400kPa の試験結果を示す。4 つの図に共通して、青色のプロットは、一般的な定体積一面せん断で得られる(a)せん断応力～水平変位関係と(b)せん断応力～垂直応力関係である。これらの図より、この供試体は、せん断応力がピーク値を超えた後は、塑性圧縮を伴う軟化を示しており、典型的なゆる詰め砂の挙動を呈することがわかる。図 8 は、これら 4 つの一面せん断試験のせん断応力がピーク値を示す時をそれぞれ選んで、せん断応力～垂直応力関係図にプロットして、破壊規準線を描いたものである。せん断抵抗角はゆる詰め砂としては妥当な値であるが、粘着力が過大である。これは、止水のためにせん断箱に隙間を空けずに、グリースを充填して試験をしているためである。

一方、図 4～7 のオレンジ色のプロットは、図 3 に示したように、マイクロ스코プの観察領域内の縦の赤線を横切って流れた細粒分の個数を 5 秒間隔でカウントし、計測時刻によって一面せん断試験のそれぞれの計測値と紐付けした関係図である。図より、全ての拘束圧において、驚くほど、青色のプロットとオレンジ色のプロットの傾向が一致していることがわかる。すなわち、細粒分が流れる個数は、せん断直後から水平応力とともに増加し、水平応力がピーク値を超えた直後に急激に減少している。この試験結果より、砂質土の中に含まれる細粒分は、通常は様々な大きさの土粒子の中で固定化されているものの、せん断変形が進行し、細粒分を捕捉している粗粒分の構造が変化する際に、細粒分が一気に移動を始めると考えられる。表 1 には、流失した細粒分の総数を示している。流失した細粒分の総数は 200kPa が最多となり、400kPa が最少であった。垂直応力が大きくなると密実化が顕著になり、細粒分の流失を阻害している可能性がある。

5. まとめ

浸透条件下の一面せん断試験を実施し、砂質試料からの細粒分の顕著な流失は、せん断変形が発生した結果として現れる現象であることが示された。

5. まとめ

浸透条件下の一面せん断試験を実施し、砂質試料からの細粒分の顕著な流失は、せん断変形が発生した結果として現れる現象であることが示された。

参考文献 1) 小高ら: 浸透に伴う基礎地盤の弱화에起因する堤防法すべり崩壊に関する考察, 第 5 回 河川堤防技術シンポジウム論文集, 2017.

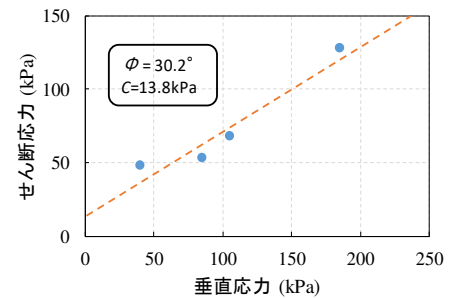


図 8 ピーク時の応力値のプロット

表 1 基準線を通じた細粒分の個数と圧密後の間隙比

圧密応力			
100kPa	150kPa	200kPa	400kPa
1185個	1288個	2791個	500個
0.661	0.601	0.666	0.616