

浸透条件下での砂質土のせん断に伴う細粒分移動の観察

名城大学大学院	学生会員	○御手洗翔太
名城大学	正会員	小高猛司
建設技術研究所	正会員	李 圭太
中部土質試験協同組合	正会員	久保裕一

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ことがあり、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。

2. 試験装置概要

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。図に示すように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。試験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にグリスで止水する。その上で、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する。また、試験中に供試体中の細粒分の移動を観察するため、せん断箱の前側面には透明なアクリル板を設けている。

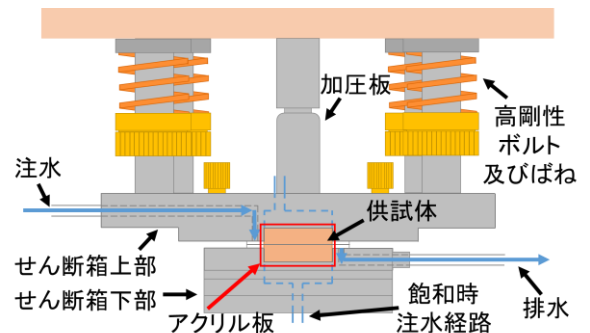


図1 一面せん断試験機

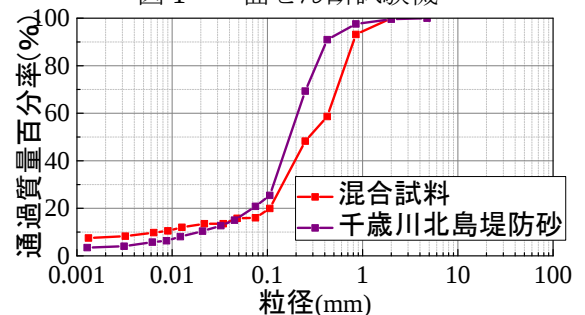


図2 試験試料の粒度分布

3. 試験条件

試験試料は、三河珪砂4号と6号、およびシルト分に富む野間精配砂を3:1:3の質量比で混合したものである。この混合割合は、実堤防砂（千歳川北島堤防）の粒度に合わせるように設定した。図2にそれぞれの粒度分布を示す。供試体作製においては、乾燥試料を先述の所定の割合で十分に混合した後に、含水比10%となるように蒸留水を加水し、均一になるように十分に攪拌混合した。この混合試料を間隙比0.8となるように締め固めて、高さ20mm、一辺50mmの直方体の供試体を作製した。図1に示す供試体上下面の注水経路を用いて供試体を疑似飽和させた後、鉛直応力20kPaとなるまで圧密载荷を行った。圧密終了後、注水槽と排水槽で圧力差を設けて動水勾配を作用させた浸透条件下でせん断を行い、その様子を撮影した。本研究では、2条件の動水勾配を設定した。低動水勾配の場合、初期水頭差を5cm（初期動水勾配1）として7分間脱気水を浸透させ、その後浸透を継続させながら一面せん断を実施した。一方、高動水勾配の場合、注水槽を4分かけて段階的に加圧して最大60cmの水頭差（初期動水勾配12）として3分間保ち（計7分間）、その後せん断を実施した。せん断速度は0.5mm/minで変位が6mmに達するまでせん断を実施し、圧密終了後の水圧の上昇からせん断終了までの供試体内の細粒分の移動を、アクリル板を介してマイクロスコープで観察した。

キーワード 河川堤防, 浸透, 内部侵食, 一面せん断, パイピング

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501 名城大学理工学部 TEL: 052-838-2347

4. 試験結果

図3と4にアクリル板を介して撮影した試験中の供試体の様子を示す。写真中央の水平線は、上下のせん断箱の界面である。両ケースにおいて、浸透開始からせん断開始までの7分間、アクリル板表面に付着している気泡が微量ではあるが減少していることが確認できた。しかし大きな細粒分の移動は確認できなかった。一方、せん断開始後は主に供試体上部にて細粒分の移動が確認できた。図3の初期動水勾配1の条件では、せん断開始335秒後（せん断変位2.8mm）にて、砂粒子の間から一瞬にして間隙空気と浸透水が移動し、その時のみ、細粒分の移動が確認できた（着色部分が間隙空気と浸透水が移動した領域）。図4の初期動水勾配12の条件では、せん断開始440秒後（せん断変位約3.7mm）にて、気泡が一瞬にして消失する事象が確認できた（着色部分が消失した気泡の領域）。初期動水勾配1の条件と比べ、細粒分の移動を多く確認することができた。試験終了時（せん断変位6.0mm）の図では試験開始時の気泡を枠線で表している。初期動水勾配1の条件ではせん断面付近の気泡のみ消失しているが、初期動水勾配12の条件では、アクリル表面の微細な気泡が全体的に消失している。間隙水は流れやすい部分を選択的に流れると考えられるが、せん断に伴う粒子配列の変化によって間隙水が複雑に流路を変更することによって、アクリル表面付近の微細気泡や細粒子の移動が促進されたと考えられる。高い動水勾配作用下では、特にその現象が顕著に観察できたと考えている。

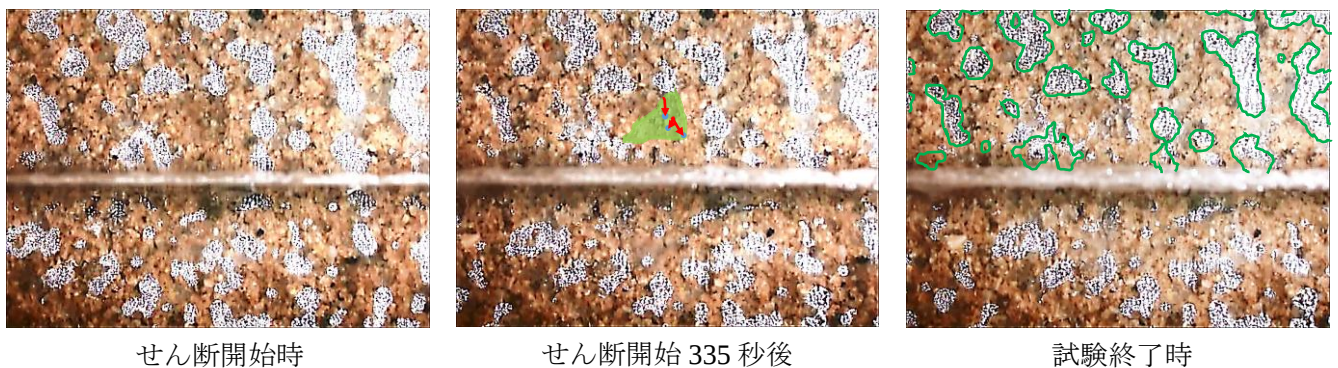


図3 初期水頭差 5cm+圧力なし

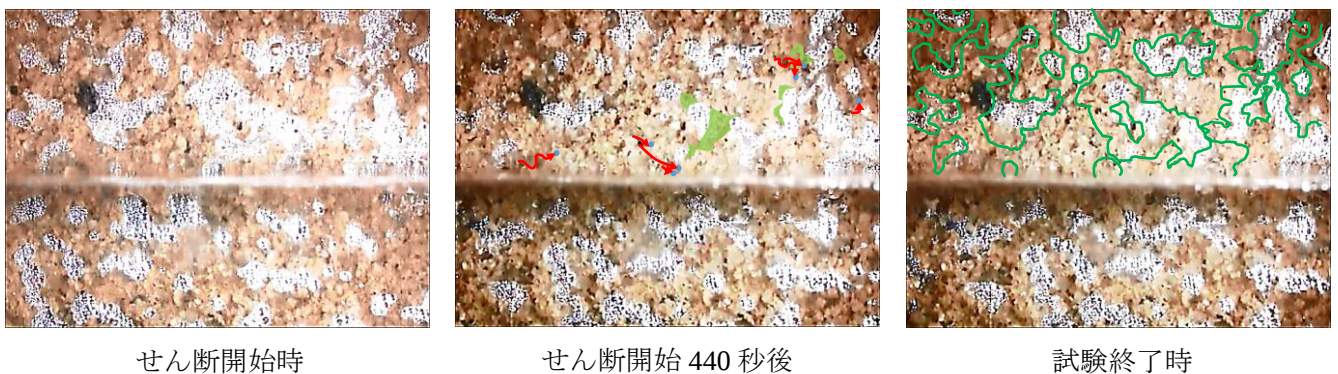


図4 初期水頭差 20cm+圧力あり

5. まとめ

浸透条件下におけるせん断時の供試体の観察から、高い動水勾配が作用し、かつ、せん断変形を伴う場合に多くの細粒分の移動が確認できた。その一方で、移動しない粒子や移動しても目詰まりする粒子も観察された。今回の実験では、大きな動水勾配を作用させた場合のみ細粒分の移動が観察できたが、これはダルシー流れでは堤体内の土粒子流失は発生しないことを示唆している。しかし、巨視的に平均的な動水勾配が小さい場合であっても、土粒子間を流れる微視的な間隙流は高速である場合も考えられ、微視的な流速の計測も含めて、より詳細な観察を行う必要がある。また、今回は割愛した力学特性との関連についても検討を進める必要がある。

参考文献 1) 例えば、小高ら：浸透に伴う基礎地盤の弱化に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，pp.55-58, 2017.