

砂質堤体土からの洪水浸透時の細粒分流出を想定した三軸試験

名城大学 学生会員 ○御手洗翔太
名城大学 正会員 小高猛司・崔 瑛
名城大学大学院 学生会員 高木竜二
建設技術研究所 正会員 李 圭太

1. はじめに

長時間洪水が継続する場合、河川堤防においては基礎地盤のパイピングや堤体法尻での内部侵食を伴う浸透破壊の危険性が高まる。いずれの現象も河川水が堤内地に浸出してくる現象であるが、例えばパイピング現象においては、澄んだ水が滲出してくる間の危険性は低いが、浸出する水が濁ってきた場合には堤体変状の危険性が高いと経験的に考えられている。すなわち、基礎地盤や堤体土の土砂が浸透水に混じることによって、堤体の安定性が失われるという考えである。本報では、浸透過程で発生すると想定される砂質堤体土からの細粒分流出に着目し、その流失が堤防土全体の力学特性に及ぼす影響について三軸試験を通して考察した結果を示す。具体的には、河川堤防砂を模擬した混合砂を用いて、細粒分含有率と供試体密度を各種調整した供試体を用いて三軸試験を実施し、浸透による細粒分流出による堤体土の劣化について検討を行った。

2. 試験条件

本試験試料には、三河珪砂4号と6号、およびシルト分が卓越した野間精配砂を使用し、これらを3:1:3の割合で配合した。図1にその混合砂の粒度試験結果を示す。混合砂の配合割合は、実際の堤防土（千歳川北島堤防）の粒度曲線とほぼ一致するように決定した。表1に三軸試験の供試体として設定した、試験試料の配合割合と間隙比を示す。供試体間隙比は0.6、0.65、0.7の3種であるが、上記3:1:3の配合を基本ケースとする混合砂で供試体を作製した際の間隙比を表している。一方、細粒分流出を模擬した供試体を作製する際には、0.075mmのふるいを用いて、野間精配砂から所定の減少率の細粒分を取り除いてから混合した。そのため、細粒分を減少させたケースにおいては、野間精配砂の混合割合はその減少分だけ低下している。間隙比0.6の場合には細粒分を10%と20%、間隙比0.65の場合には細粒分を5%と10%減少させた供試体を作製した。間隙比0.7の場合には、細粒分を減少させない基本ケースのみである。細粒分を減少させることによって供試体の間隙比は増加し、ゆる詰めになる。そのため、それぞれの細粒分減少率は、供試体作製時に三軸試験装置に設置可能な自立する供試体の作製の可否によって判断し、設定した。供試体作製においては、乾燥状態の試料を所定の配合で十分に混合した後に、含水比10%で蒸留水を加水し、均一になるように十分に攪拌混合した。その混合試料をモールド内で所定の密度となるように5層に分けて締固め、高さ100mm、直径50mmの供試体とした。拘束圧は各供試体一律で100kPaとした。二重負圧法による飽和化後、背圧200kPaで圧密を1時間実施し、その後、载荷速度0.1%/minで軸ひずみが15%に達するまで非排水せん断条件でせん断を行った（CUB試験）。

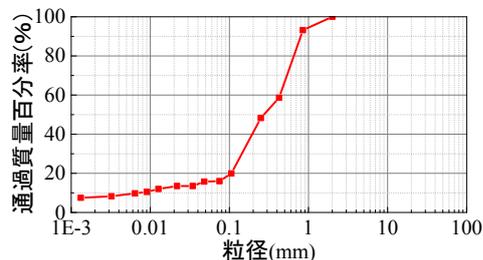


図1 4号6号、および野間精配砂を3:1:3で配合した試験試料の粒度分布

表1 三軸試験に使用した供試体の試験試料の配合条件

試験試料	供試体の間隙比
4号, 6号, 野間精配砂	
3:1:3 (基本ケース)	0.6
基本ケースから細粒分-10%	↓ 0.71
基本ケースから細粒分-20%	↓ 0.83
3:1:3 (基本ケース)	0.65
基本ケースから細粒分-5%	↓ 0.71
基本ケースから細粒分-10%	↓ 0.77
3:1:3 (基本ケース)	0.7

キーワード 河川堤防 パイピング 内部侵食

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

3. 試験結果

図2に各間隙比で作製した基本ケースの供試体による三軸試験結果を示す。軸差応力～軸ひずみ関係に着目すると、間隙比が大きいゆる詰め供試体になるにつれ、軸差応力の値が小さくなっている。また、有効応力経路に着目すると、間隙比の減少に応じて、せん断後半において正のダイレイタンシーが発揮され、塑性膨張を伴う硬化を示す。ただし、 $e=0.65$ の供試体では、一旦硬化した後に急激なひずみ軟化を呈す。最もゆる詰めの間隙比 $e=0.60$ の供試体では、最大軸差応力までほぼ一定の平均有効応力を示す弾性的な挙動を示した後、一転して塑性圧縮を伴う軟化挙動を示す。また、いずれの供試体も変相状態付近まで、有効応力経路はほぼ一致しており、それ以降のダイレイタンシーの発生の仕方が異なることにより、力学挙動に差が出ていることがわかる。

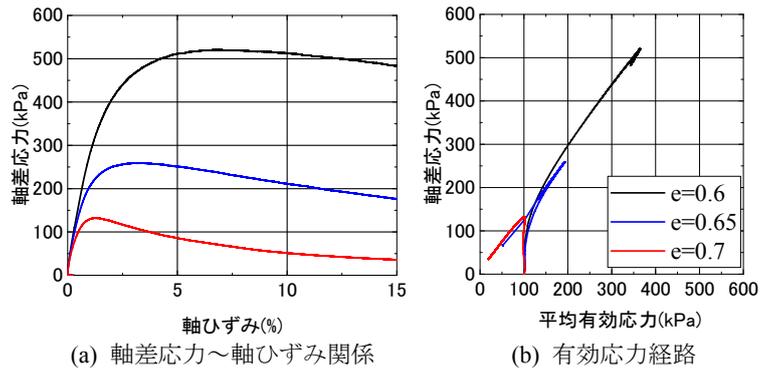


図2 異なる間隙比の供試体による三軸試験結果

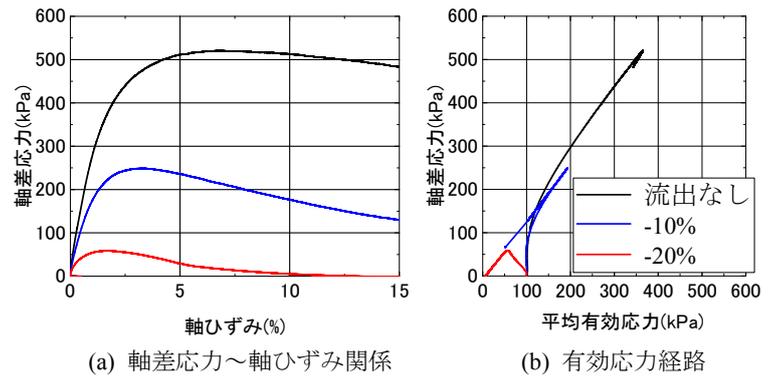


図3 間隙比0.6（基本ケース）の三軸試験結果

図3は基本ケースの間隙比が $e=0.6$ の供試体から、細粒分の割合を変えた場合の三軸試験結果である。軸差応力～軸ひずみ関係に着目すると、細粒分を20%減少させた供試体は、最終状態が原点に到達し、ほぼ静的液状化に至ったものと判断できる。細粒分を10%低下させた供試体は、図2に示す基本ケースの間隙比が $e=0.65$ の供試体のせん断挙動とほぼ一致している。ただし、この供試体の実質的な間隙比は $e=0.71$ であり、基本ケースの配合の間隙比と直接的には一致していない。今後相対密度などでの比較が必要である。図4は基本ケースの間隙比が $e=0.65$ の供試体の三軸試験結果である。細粒分の減少によっていずれも最大軸差応力が低下するとともに、ひずみ軟化の度合いも大きくなる。細粒分を10%減少させた供試体は、図2に示す基本ケースの間隙比が $e=0.70$ の供試体のせん断挙動と途中まで類似しているが、最終状態は原点に到達し、ほぼ静的液状化に至っている。

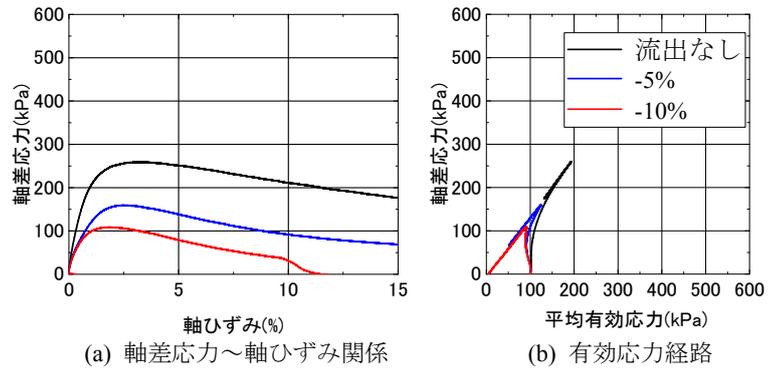


図4 間隙比0.65（基本ケース）の三軸試験結果

4. まとめ

今回の試験では、 0.075mm 以下の粒径の細粒分を所定の割合で一律にカットした供試体を用いて細粒分の流失（低下）を表現することを試みた。浸透による細粒分の流失は、限界流速の考え方からも細かいほど流失しやすいことが想定されるため、今後は細粒分の粒子に応じて削減の割合を変える必要がある。また、細粒分の流失によって、せん断強度が低下することが示されたが、弾塑性構成モデルによって、細粒分流失による力学挙動の変化についても検討し、堤防法先の材料劣化が堤体全体の安定性のどれだけの影響を与えるかについても、数値解析を用いて詳細に検討してゆく予定である。

なお、本研究は、国交省河川砂防技術研究開発助成「パイピングに伴う堤防劣化を考慮した河川堤防評価技術の開発」の一環で実施している。記して謝意を表す。