

河川堤防礫混じり砂の大型三軸試験

大型三軸試験 礫混じり砂 河川堤防

名城大学大学院 国際会員 小高猛司・板橋一雄
建設技術研究所 国際会員 李 圭太
名城大学大学院 学生会員 ○岸 賢吾・中島康介
元名城大学生 天野留実
ジオ・ラボ中部 正会員 坪田邦治・加藤雅也

1. はじめに

堤防は現地発生土で築造されている場合が多く、礫分から細粒分までの広範な粒度の土で構成されていることが多い。大きな礫を含有している原粒度のままの土の強度定数を求めるには、大型三軸試験を行うのが理想であるが、現実には大きな礫を除外して粒度調整した試料を用いて室内試験を実施し、強度定数を求めることになる。本報では、現地堤防で採取した礫混じり砂に対して、大型三軸試験を実施し、大きな礫分を除外して実施した小型供試体の三軸試験との比較を行うことにより、礫を除外する粒度調整が礫混じり砂の力学挙動に及ぼす影響について検討を行った。

2. 供試体の作製方法および試験手順

実験で用いた試料は某河川で採取したものである。河川調査の原則から、ひとつの地点から採取できる量は限られており、大型三軸試験を実施するだけの量を一箇所の採取試料で確保することは困難であった。本報での大型三軸試験では、比較的採取地点も近く、また構成も類似している採取土を混合して用いた。それでも大型三軸試験1回分の試料を確保することが精一杯であったことから、一連の大型三軸試験は、この試料を繰返し用いて実施した。試料採取時の現場湿潤密度は 1.7Mg/m^3 であり、その際の含水比が約 8.3% であったことから、今回の試験供試体は、乾燥密度 1.57Mg/m^3 になるように再構成した。具体的には、含水比 1.3% 程度まで自然乾燥させたのち、規定の乾燥密度となるように 5 層ずつ密度管理をしながら作製した。なお、今回の乾燥密度では、ほとんど突き固めることなく供試体を作製することができ、比較的ゆる詰め供試体となった。

図 1 に各供試体の粒度分布を示し、表 1 に各実験ケースにおける供試体の諸元を示す。供試体はセルに設置した後、

二酸化炭素を用いて供試体の飽和化を行い、その後、所定の有効拘束圧(50, 100, 200kPa)で 18 時間程度圧密してから、ひずみ速度 $0.1\%/min$ で非排水せん断を行った。比較のために行った小型三軸試験では、粒径 9.5mm 超の礫をあらかじめフルイによって除外した試料を用いて供試体を作製した。作製した供試体を三軸セルに設置して二重負圧法により飽和化を行った後、所定の有効拘束圧(50, 100, 200kPa)で圧密してから、ひずみ速度 $0.1\%/min$ で非排水せん断を行った。

3. 試験結果

図 2 および図 3 はそれぞれ、大型および小型三軸試験での破壊時のモールの応力円ならびに破壊基準を示したものである。同図からそれぞれ求められる全応力ならびに有効応力での内部摩擦角は、大型三軸試験では $\phi_{cu}=13.2^\circ$ ならびに $\phi'=25.6^\circ$ 、小型三軸試験では $\phi_{cu}=15.7^\circ$ ならびに $\phi'=33.5^\circ$ となる。全応力で整理した内部摩擦角はいずれもかなり小さく、比較的ゆる詰め砂であることがわかる。また、小型三軸試験の粘着力 c_{cu} は、いずれも大型三軸試験の粘着力より大きくなるが、内部摩擦角 ϕ_{cu} の値は大型および小型ではほとんど差がないことがわかる。一方、有効応力で整理した内部摩擦角 ϕ' の値には大きな差が表れた。

図 4 および図 5 にそれぞれの実験ケースでの軸差応力～軸ひずみ関係および有効応力経路を示す。図 4 の応力～ひずみ関係からわかるように、大型三軸試験、小型三軸試験ともに、どの拘束圧においても明確なピーク強度は示しておらず、軸ひずみの増加に応じて軸差応力は単調に増加し続けている。図 5 の有効応力経路において、大きな礫を含んだ大型三軸試験の実験ケースから、Case A (有効拘束圧 50kPa) では比較的軸差応力が大きくなるまで平均有効応力 p' が一定となり、その後正のダイレイタンスにより塑性膨張する傾向が見られ、過圧密土的な挙動を示している。一方、Case

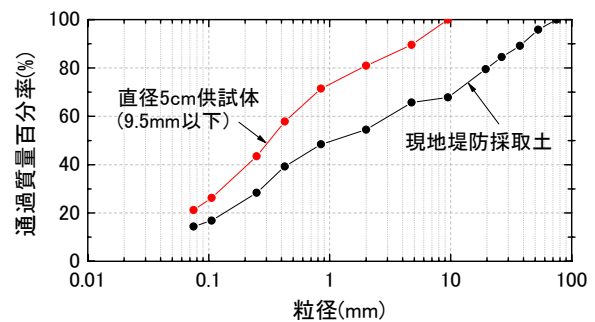


図 1 各供試体の粒度分布

表 1 各実験ケースの供試体の諸元

実験 Case	大型三軸試験			小型三軸試験		
	A	B	C	D	E	F
直径 (cm)	30			5		
高さ (cm)	60			10		
有効拘束圧 (kPa)	50	100	200	50	100	200
乾燥密度 (Mg/m ³)	1.57					

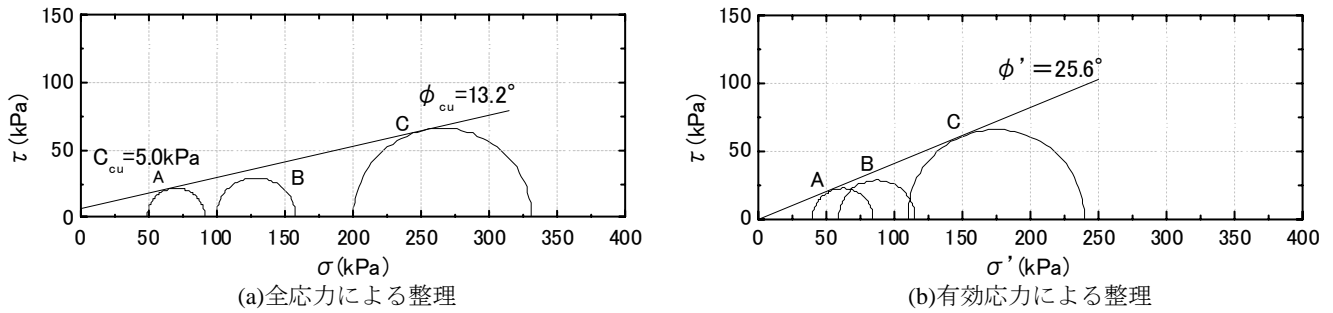


図2 大型三軸試験のモール・クーロンの破壊規準

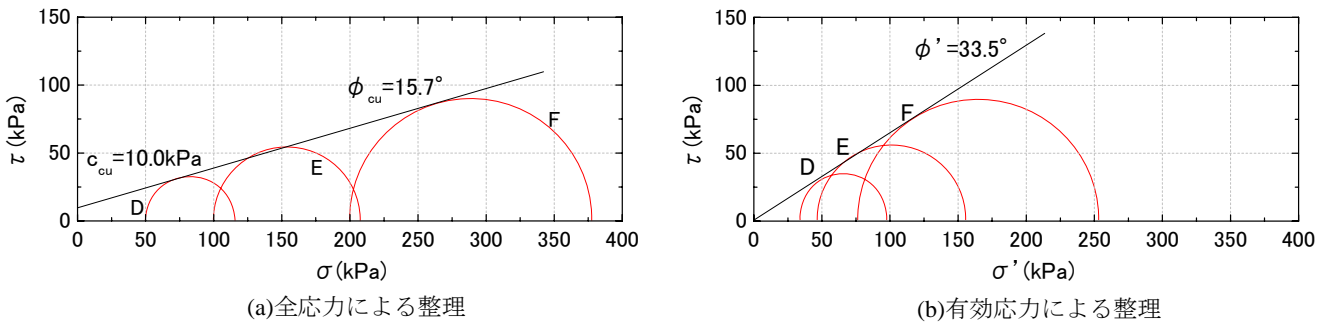


図3 小型三軸試験のモール・クーロンの破壊規準

B (100kPa) ならびに Case C (200kPa) においては、せん断初期には塑性圧縮を示すが、その後変相をして塑性膨張へ転じる。

小型三軸試験の有効応力経路は、途中までの経路は大型三軸試験の結果に比較的類似しているが、大型供試体での変相点を超えて大きく塑性圧縮を続ける。さらに変相後は、正のダイレイタンスの発現に伴い、軸差応力が大きく増加する。それに伴い応力~ひずみ関係において、降伏後の軸差応力の増加が小型三軸では顕著である。なお、小型三軸試験の応力~ひずみ曲線で見られる降伏は、大型三軸の変相線を超えた付近の有効応力状態で発生している。

相対密度を算出したところ、小型の供試体は 36.1% となり、大型の供試体は -26% となり¹⁾、大型の供試体の方が相対的にかなりのゆる詰めであることがわかった。大型の供試体の相対密度を求めるのにあたり、試料の残量の関係で供試体並みの大型モールドを用いることができなかつたために、正確な相対密度を得ることができなかつたが、小型供試体以上にゆる詰めであることが確認できた。

4. まとめ

河川堤防の実務では砂質土の評価には CU 試験が標準であり、それを想定して今回の一連の試験を全応力のみで整理すれば、大型三軸と小型三軸で得られる内部摩擦角 ϕ には大きな差はなかつた。しかしながら、せん断時の変形特性まで評価するために有効応力経路まで見れば、大型三軸と小型三軸の試験結果にはせん断後半の挙動に大きな違いが観察された。したがって、堤防の安定性評価などを有効応力解析を用いることによって、より詳細に検討するためには、実験結果を十分に吟味した上で、地盤材料の特性を正確に把握する必要がある。

参考文献：1) (財)国土技術研究センター：河川構造の構造検討の手引き，2002.，2) 小高ら：三軸試験による河川堤防礫まじり砂の強度評価，第43回地盤工学研究発表会講演概要集，2008.

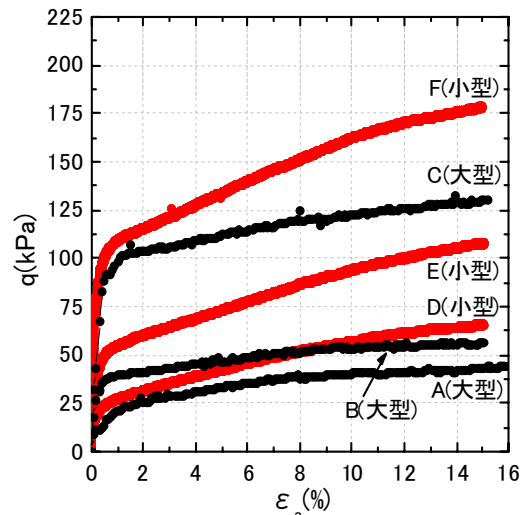


図4 応力~ひずみ関係

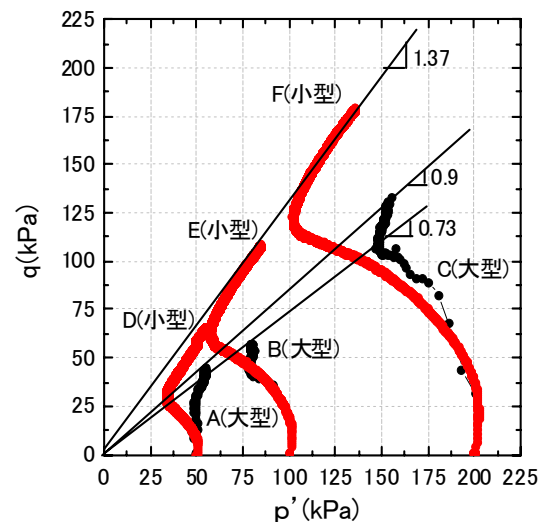


図5 有効応力経路