

大型ならびに小型三軸試験による河川堤防砂礫の力学特性の評価

名城大学大学院 学生会員 牧田祐輝・中島康介
名城大学 正会員 小高猛司・板橋一雄
(株)建設技術研究所 正会員 李 圭太・上村俊英
中部土質試験協同組合 正会員 坪田邦治・加藤雅也

1. はじめに

河川堤防は礫分から細粒分までの広範な粒度の土で構成されており、大きな礫を含有した原粒度の土の強度定数を求めるには大型三軸試験を行うのが望ましいが、実務では粒度調整した試料を用いた小型三軸試験により強度定数を求める。筆者らは、河川堤防砂礫を用いて大型三軸試験と小型三軸試験との比較を $\overline{\text{CU}}$ 試験により実施した結果、同じ現場乾燥密度で作製した供試体であっても、大型三軸試験の方が小型三軸試験よりも、緩詰め傾向の試験結果が得られることを示した¹⁾。しかし、既報では、乾燥密度が小さいゆる詰め供試体で、しかも $\overline{\text{CU}}$ 試験のみの実施だったため、本報では、大型、小型三軸ともに締固め度 90 および 85% の供試体を準備し、 $\overline{\text{CU}}$ と CD の 2 種の排水条件での試験結果を用いて、供試体寸法の効果を検討する。

2. 試験手順

図 1 に実験試料の粒度分布を示す。詳細点検が実施された小鴨川の河川堤防で採取した試料である。大型三軸試験では、原粒度のままの乾燥試料を、三軸セル上に組み立てた 3 つ割モールド内で 5 層ずつ密度管理をしながら、軽く締固めて供試体を作製した。小型三軸試験では、図 1 に示す粒径 9.5mm を超える礫を除外した粒度調整試料を用いた。供試体は含水比 14% に湿潤させて 2 つ割モールド内で 5 層に突き固めて円柱供試体を作製した後に三軸セルに設置した。大型三軸試験、小型三軸試験ともに、所定の有効拘束圧 (50,100,200kPa) で等方圧密し、載荷速度 0.1%/min でせん断を行った。試験条件は $\overline{\text{CU}}$ あるいは CD とした。

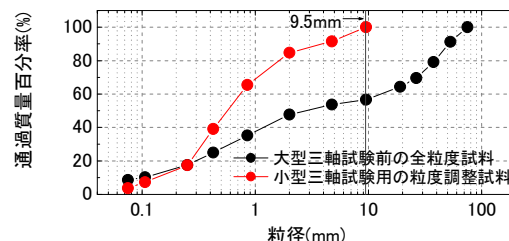


図 1 実験試料の粒度分布

表 1 各実験における供試体の諸元

	大型三軸		小型三軸	
直径(cm)	30		5	
高さ(cm)	60		10	
乾燥密度(g/cm ³)	1.80	1.70	1.80	1.70
締固め度(%)	(90)	(85)	(90)	(85)

表 1 に各実験における供試体の諸元を示す。

3. 試験結果

図 2 および図 3 は、締固め度 90% の応力～ひずみ関係および有効応力経路をそれぞれ示す。図 3 の有効応力経路に着目すると、 $\overline{\text{CU}}$ 試験では、大型、小型ともに、せん断初期に塑性圧縮を示し、その後正のダイレタンシーの発現により塑性膨張に転じて軸差応力が増加するが、小型の方がより軸差応力は増大するとともに、破壊応力比も大きくなる。一方、CD 試験では、破壊応力比に大きな差は見られない。図 4 および図 5 は、締固め度 85% の応力～ひずみ関係および有効応力経路をそれぞれ示す。図 5 の有効応力経路に着目すると、 $\overline{\text{CU}}$ 試験の場合、大型では、せん断初期から大きく塑性圧縮したままであるのに対して、小型では、せん断後半に塑性膨張に転じていることが分かる。また、大型の破壊応力比は小型よりもかなり小さな値を示し、大型三軸試験では比較的緩詰め砂の挙動を示す。一方、CD 試験では破壊応力比に大きな差は生じない。

表 2 はすべての実験ケースにおいて、破壊時のモールの応力円と破壊規準から得られた内部摩擦角と粘着力をまとめたものである。なお、 $\overline{\text{CU}}$ 試験を全応力で整理して c_{cu} と ϕ_{cu} を算出している。また、 $\overline{\text{CU}}$ 試験ならびに CD 試験で得られる粘着力 c' および c_d はいずれもゼロである。締固め度 90% では、大型、小型ともに見かけの粘着力 c_{cu} が現れるのに対し、締固め度 85% では粘着力は現れない。また、締固め度 90% の場合において、粘着力 c_{cu} は大型よりも小型の方が大きく現れる。一方、内部摩擦角 ϕ_{cu} に着目すると、締固め度 90%

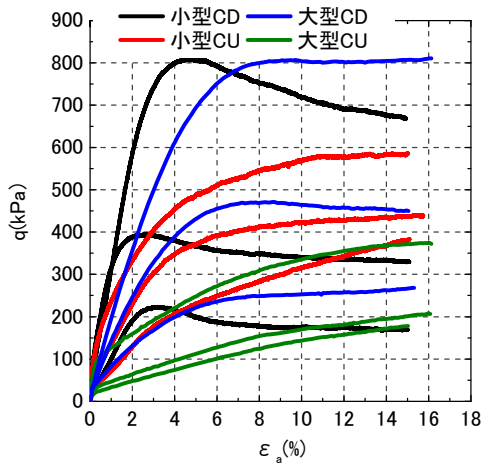
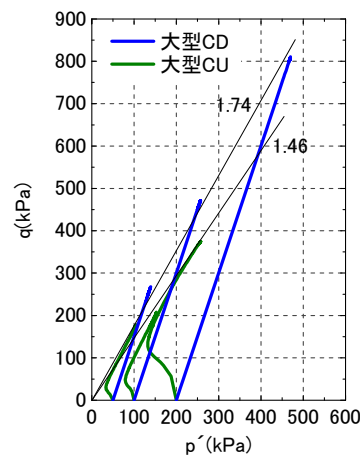
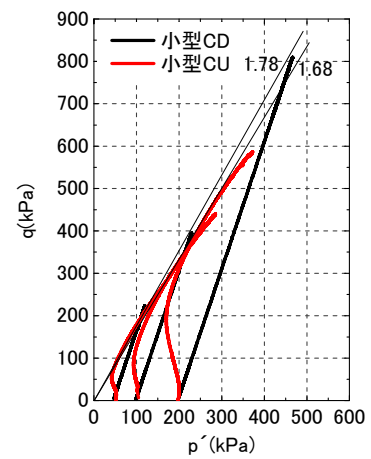


図2 応力～ひずみ関係（締固め度 90%）



(a) 大型三軸試験



(b) 小型三軸試験

図3 有効応力経路（締固め度 90%）

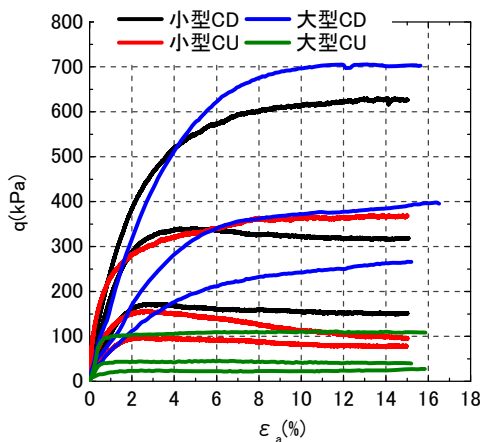
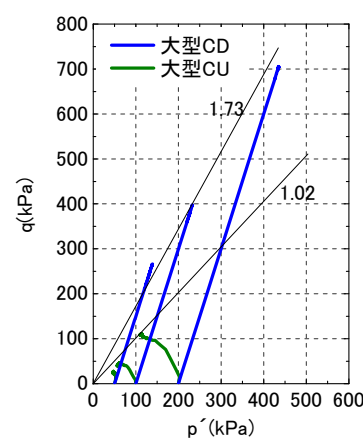
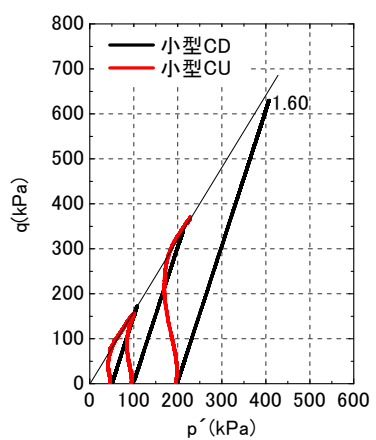


図4 応力～ひずみ関係（締固め度 85%）



(c) 大型三軸試験



(d) 小型三軸試験

図5 有効応力経路（締固め度 85%）

では、大型と小型ではほとんど差はないのに対し、締固め度 85%では、大型の ϕ_{cu} の値は小型よりも小さい。次に、有効応力で整理し、大型と小型の ϕ' を比較すると、締固め度 90%では、 ϕ' にそれほど差はないが、締固め度 85%では、大型の ϕ' は小型よりもかなり小さい。また、締固め度の違いで比較すると、小型は締固め度によって ϕ' の差がないのに対し、大型では ϕ' が大きく異なる。最後に、CD 試験による ϕ_d に着目すると、いずれの実験ケースにおいてもほとんど差は見られない。そのため、 ϕ' と ϕ_d を比較すると、大型では両者の差が大きく、特に締固め度が小さいケースではその差は顕著に現れる。

4. まとめ

同じ乾燥密度で供試体を作製しても、小型三軸試験で得られる力学挙動は、大型三軸試験よりも密詰めの傾向となる。これは、通常業務の室内試験の結果では、原位置の力学特性を過大評価することを示唆している。また、円弧すべり解析による河川堤防の安定性評価において、実務上 ϕ' や ϕ_d が ϕ_{cu} の代用として用いられることがあるが、現地堤防は予想以上に緩詰めと評価すべき地盤材料である可能性が高く、その際には、特に ϕ_d は強度定数を過大評価することになるため、その取り扱いには十分な注意が必要である。

参考文献：1)中島・牧田・小高・板橋・李・坪田・加藤：河川堤防砂礫の変形・強度特性の適正な評価，第54回地盤工学シンポジウム平成21年度論文集，2009。

表2 内部摩擦角と粘着力

締固め度	試験	ϕ_{cu}	c_{cu} (kPa)	ϕ'	ϕ_d
90%	大型	22.5°	39.1	35.3°	42.1°
	小型	24.5°	115.0	41.1°	41.7°
85%	大型	12.1°	0	24.7°	40.9°
	小型	30.6°	0	40.6°	39.0°