堤防開削時に現地採取した乱れの少ない河川堤防砂の三軸試験

名城大学大学院　学生会員　○小林芳樹・武　楊
名城大学　正会員　小高猛司・崔　瑛
建設技術研究所　正会員　李　圭太

１．はじめに

「河川堤防の構造検討の手引き（平成 24 年 2 月改訂版）」では，堤防土の強度定数の決定あたり，CU，$\overline{\text{CU}}$ および CD 試験から適切な試験条件を選定することとしている。本報では，実堤防から採取した乱れの少ない砂質試料を用いて各種排水条件で三軸試験を実施した結果を示す。

２．試験の概要

河川堤防の開削工事時に，比較的均質な砂質土堤体の内部から，塩ビパイプを慎重に打ち込むことによって，乱れの少ない試料を手掘で採取した。同じ河川の 2 カ所の堤防から採取した砂質試料を，ここではそれぞれ試料 1 および試料 2 とする。採取後に凍結し，直径 5cm，高さ 10cm の供試体に成型した。三軸試験機に設置後，二重負圧法による飽和化を行い，B 値 0.95 以上を確保した。なお，二重負圧後に 15 時間程放置し，供試体を解凍させる。初期有効拘束圧は，$\overline{\text{CU}}$ 試験では 50，100 および 200kPa とし，CD 試験では 50 および 100kPa とした。3 時間等方圧密した後に，排水ならびに非排水せん断を実施した。載荷速度は 0.1%/min である。

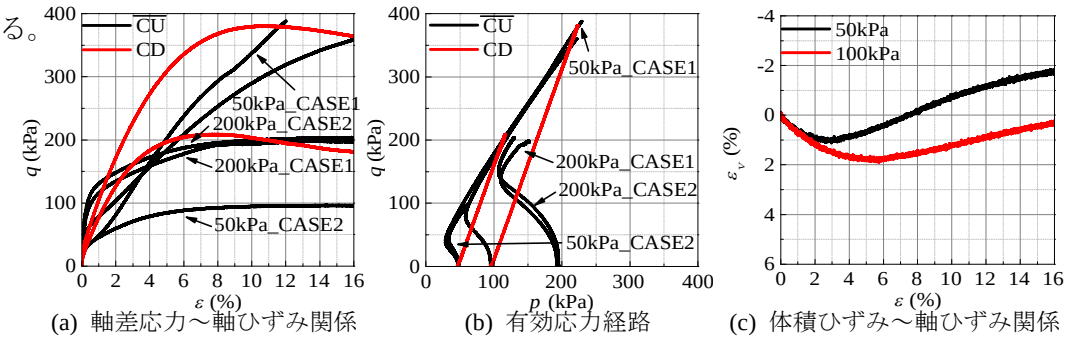
表 1 各試料の供試体情報

	試験条件	拘束圧(kPa)	乾燥密度 (g/cm^3)	初期間隙比 e_0
試料 1	$\overline{\text{CU}}$	50_CASE1	1.416	0.871
		50_CASE2	1.216	0.939
		100	1.367	0.925
		200_CASE1	1.279	0.929
		200_CASE2	1.204	1.072
	CD	50	1.376	1.201
		100	1.374	1.179
試料 2	$\overline{\text{CU}}$	50	1.406	0.885
		100	1.373	0.929
	CD	50	1.205	1.198
		100	計測中	計測中

３．試験結果

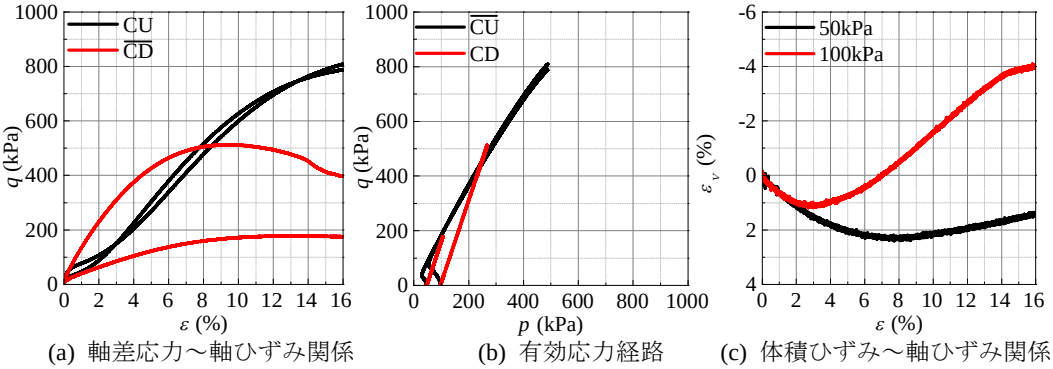
表 1 に各試料の供試体の諸元を示す。表より，同じ堤体から採取した試料でも乾燥密度および初期間隙比が異なり，堤体地盤のばらつきが伺える。

図 1 に試料 1 の試験結果を示す。$\overline{\text{CU}}$ 試験ではいずれの有効拘束圧の試験も，せん断終了まで軸差応力が増加し続けている。有効拘束圧 50kPa および 200kPa の試験に対しては，異なる供試体で同じ試験を 2 回行った。



(a) 軸差応力～軸ひずみ関係　(b) 有効応力経路　(c) 体積ひずみ～軸ひずみ関係

図 1 試料 1 の試験結果



(a) 軸差応力～軸ひずみ関係　(b) 有効応力経路　(c) 体積ひずみ～軸ひずみ関係

図 2 試料 2 の試験結果

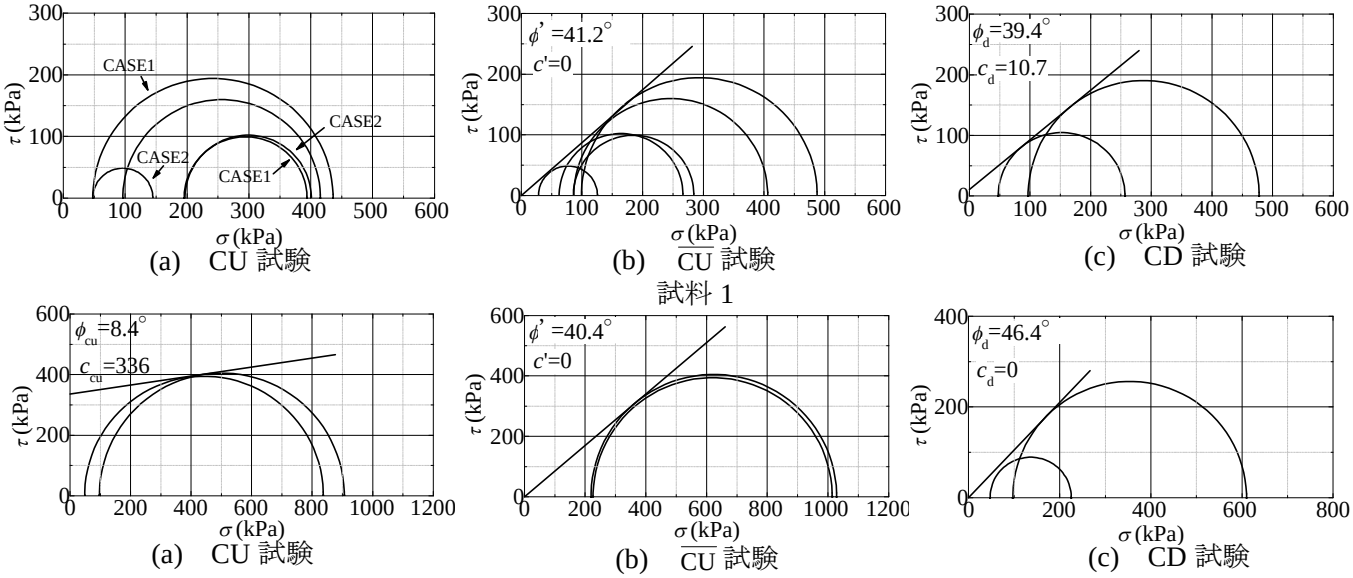
有効拘束圧 50kPa の試験では両者のせん断挙動は大きく異なるが，有効拘束圧 200kPa の試験ではせん断挙

キーワード:河川堤防，排水条件，不攪乱試料
連絡先:〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 Tel 052-838-2347

動に大きな差は見られない。有効応力経路を見るといずれの供試体でもせん断初期に塑性圧縮し，その後正のダイレイタンシーが発現している。CD 試験では有効拘束圧 50kPa の試験では軸ひずみ 7%程度，有効拘束圧 100kPa の試験では軸ひずみ 10%程度まで軸差応力が増加し，その後ひずみ軟化挙動が見られる。体積ひずみ～軸ひずみ関係より，いずれも初期に圧縮が見られ，その後膨張に転じている。

図 2 に試料 2 の試験結果を示す。$\overline{CU}$ 試験では有効拘束圧にかかわらずせん断終了時まで軸差応力が増加し続けている。有効応力経路は，試料 1 と同様にせん断初期に塑性圧縮し，その後正のダイレイタンシーが発現している。CD 試験では，有効拘束圧 50kPa の試験ではせん断終了時まで軸差応力が増加し続けているが，有効拘束圧 100kPa の試験では軸ひずみ 9%程度まで増加しその後ひずみ軟化の挙動を示している。また，CD 試験における体積ひずみ～軸ひずみ関係より，いずれも一旦圧縮した後に膨張に転じているが，その膨張度合いは有効拘束圧 100kPa の試験の方が大きい。

図 3 に破壊時のモールの応力円と破壊規準を示す。試料 1 に着目すると，$\overline{CU}$ 試験を全応力で整理した場合（すなわち CU 試験とほぼ同様），拘束圧に整合したモール円が得られなかった。特に，有効拘束圧 50kPa_CASE1 および有効拘束圧 100kPa の試験結果において，有効拘束圧 200kPa の試験よりも大きな軸差応力が得られたことによってモール円の大きさが不整合になっている。一方，$\overline{CU}$ 試験（有効応力）や CD 試験では試験結果は拘束圧に整合したモール円が得られた。これらの試験条件においては，供試体ごとに発揮されているせん断中のダイレイタンシー特性がモールの応力円の大きさに反映されているためである。他方，試料 2 に着目すると，CU 試験では大きな粘着力が見られた。$\overline{CU}$ 試験では有効拘束圧 100kPa の試験よりも有効拘束圧 50kPa の試験の方が若干大きな軸差応力が得られたが，負の過剰間隙水圧の効果でモール円はほぼ同一の位置となっている。CD 試験では拘束圧に整合したモール円が得られている。



(a) CU 試験　(b) $\overline{CU}$ 試験　(c) CD 試験

試料 1

(a) CU 試験　(b) $\overline{CU}$ 試験　(c) CD 試験

試料 2

図 3　破壊時のモールの応力円と破壊基準

4．まとめ

開削時の堤体内部から極力乱れを生じさせないように良質な砂質堤体試料の採取を試み，三軸試験を行った。しかしながら，同一の試験条件でも決して同じ試験結果とはならず，試験の困難さが浮き彫りとなった。特に，CU 試験は供試体由来のバラツキを反映し強度定数の設定が困難である。一方，$\overline{CU}$ 試験や CD 試験ではせん断中のダイレイタンシー特性が反映され，試験結果に供試体由来のバラツキが出ても，強度定数の設定は容易に行えることが示された。今後は，全応力円弧すべり解析で用いる強度定数の設定にあたり，堤体土の粒度，透水性などの土質特性から，堤体にすべり破壊が生じる際の応力・ひずみのレベルなども検証し，強度定数設定に適した三軸試験条件を理論的に明確にしていく予定である。

試料採取にあたり，土木研究所の石原雅規主任研究員と高知大学原忠教授には実際のサンプリング作業まで共著者の小高・李ともにしていただくなど，多大なご協力をいただきました。記して謝意を表します。