

河川堤防の安定性照査に用いるべき強度定数を求めるための三軸試験条件

河川堤防, 三軸試験, 強度定数

名城大学 国際会員 小高猛司・崔 瑛  
 名城大学大学院 学生会員 ○小林芳樹  
 セントラル C(元名城大院) 正会員 兼松祐志  
 (株)建設技術研究所 国際会員 李 圭太

1. はじめに

河川堤防の安定性照査の実務では、「河川堤防の構造検討の手引き」<sup>1)</sup> (以下、「手引き」) にしたがって浸透時のすべり破壊の照査には全応力法の円弧すべり解析が実施されることが多い。その場合の強度定数は主に三軸試験で求められるが、従来の「手引き」では砂や砂礫は CU 試験の強度定数を用いることが明記されていたが、平成 24 年 2 月の「手引き」改訂によって CU 試験や CD 試験の強度定数が推奨されるように変更された。このように試験条件の幅は広がったが、適切な試験条件は必ずしも明確ではない。筆者らは、実堤防からボーリングによって乱れの少ない試料を採取し、各種の排水条件で三軸試験を実施し、適切な試験条件の検討を行ってきた<sup>2)</sup>。本報では、開削時の砂質土堤体で手掘採取した不攪乱試料を用いて各種排水条件の三軸試験を実施した結果を示す。

2. 試験の概要

排水機場建設に伴い開削工事している比較的均質な砂質土堤体内部に、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。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、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。なお、載荷速度は 0.1%/min である。

3. 試験結果

表 1 に各試験ケースの供試体の諸元を示す。乾燥密度も初期間隙比も所定の拘束圧での圧密後の値であるが、同条件でも試験ケースによって供試体のばらつき度合いが異なる。

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 <sup>3</sup> )	初期間隙比 e <sub>0</sub>
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

図 1 に CU 試験の試験結果を示す。軸差応力～軸ひずみ関係より、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試験を終了している。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。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動に大きな差は見られない。有効拘束圧 50kPa の試験では、供試体の乾燥密度が大きく異なっており、密度の高い CASE1 の方が CASE2 よりも大きな軸差応力が見られる。一方、供試体の乾燥密度に大きな差がない有効拘束圧 200kPa の試験においては、せん断挙動もほぼ同様である。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スが発現している。また、乾燥密度が最も高い有効拘束圧 50kPa\_CASE1 の試験が、変相後の軸差応力の増加も一番大きいことがわかる。

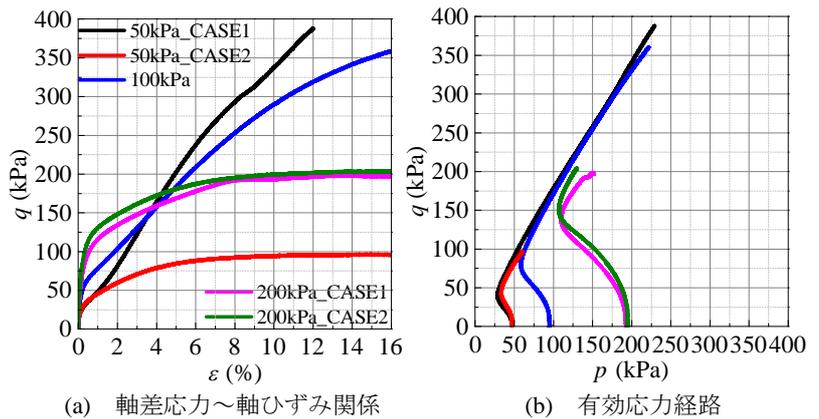


図 1 CU 試験の試験結果

図 2 に CD 試験の試験結果を示す。軸差応力～軸ひずみ関係より、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、有効拘束圧 50kPa の試験では軸ひずみ 3%程度、有効拘束圧 100kPa の試験では軸ひずみ 5%程度まで圧縮し、その後膨張に転じており、膨張度合いはいずれの供試体もほぼ同様になっている。

Triaxial test conditions to obtain the appropriate strength coefficients for stability inspection of river levee:

T. Kodaka, Y. Cui, Y.Kobayashi, S. Y. Kanematsu (Meijo University), K.-T.Lee (CTI Engg. Co., Ltd.)

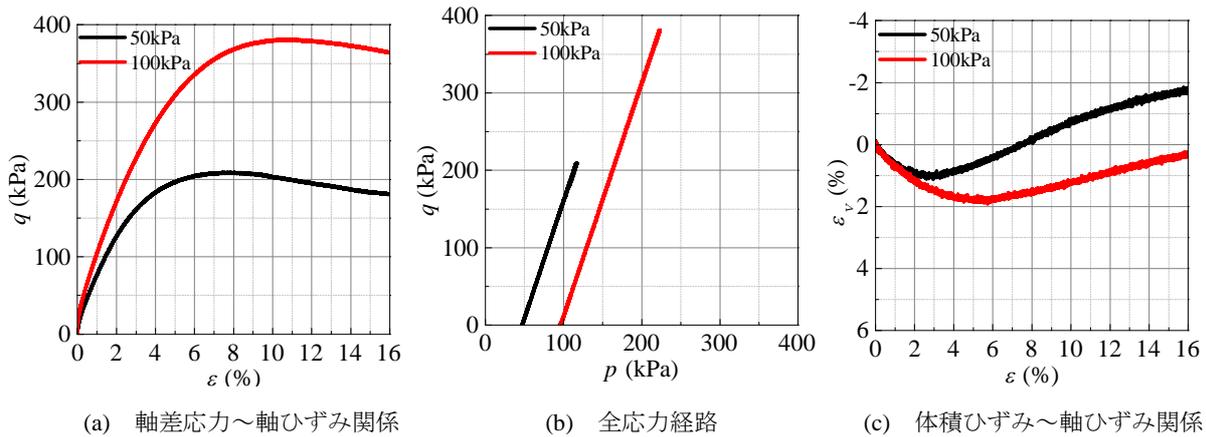


図2 CD試験の試験結果

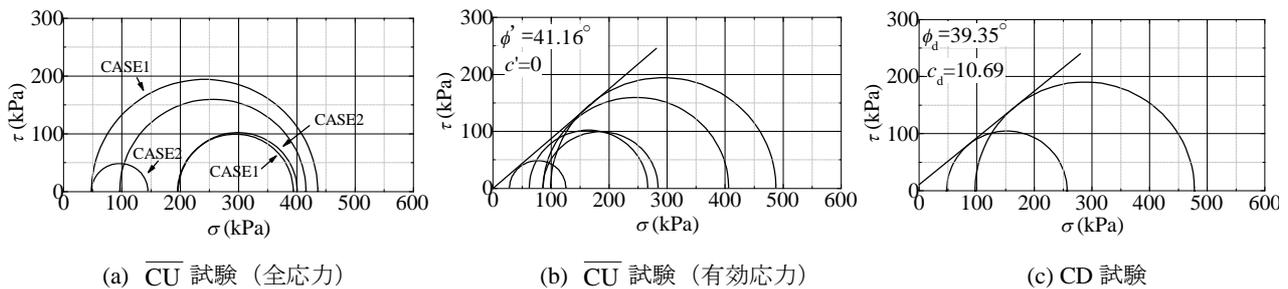


図3 破壊時のモールの応力円と破壊規準

図3に破壊時のモールの応力円と破壊規準を示す。 $\overline{CU}$ 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の円が得られなかった。また、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の円の逆転現象が見られる。 $\overline{CU}$ 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の円が得られた。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ス特性がモールの応力円に反映されているためであると考えられる。例えば、全く同条件の50kPa\_CASE1およびCASE2では、非排水せん断強さが全く異なっているが全応力で整理すると、最小主応力は同じ50kPaとなるが、有効応力で整理すると密詰め挙動のCASE1のモールの円は負の過剰間隙水圧によって右にずれ、ゆる詰め傾向のCASE1のモールの円は正の過剰間隙水圧によって左にずれ、結果として同じ原点を通る破壊規準線が得られる。

図4に試験後の全供試体の粒径分布である。多少のばらつきは見られるが、細粒分を20%程度含む同粒径の試料であることがわかる。したがって、供試体による試験結果の不統一性は、全く同じ土質材料でできた堤防盛土の同深度で採取した場合であっても、わずかに採取した水平位置が異なることによって密度が異なったことが考えられる。あるいは、慎重にサンプリング作業は実施したものの、その作業過程において、また現場から試験室までの運搬過程において、さらには供試体成形のために一旦凍結したこと、その凍結試料をトリミングしたことなど、試験前に様々なプロセスを経ていることによって乱れが生じたことも十分に考えられる。

#### 4. まとめ

筆者らはボーリングで採取した堤防土においても同じ検討をしているが<sup>2)</sup>、今回の結果とほぼ同様であった。堤防のような盛土材料の「不攪乱試料」では、CU試験は供試体のバラツキを直接反映するために強度定数の設定が困難である。一方、 $\overline{CU}$ 試験やCD試験では強度定数の設定が容易であるため設計定数として有用であるが、堤防の安定性評価に用いる際には、全応力円弧すべり解析で評価する安全率の位置づけ、堤防のすべり破壊が生じる際の堤防土の応力・ひずみのレベルなど、理論的に明確にした上で強度定数として使用することが必要である。なお、試料採取にあたり、土木研究所の石原雅規氏および高知大学の原忠氏にご尽力賜りました。記して謝意を表します。

参考文献：1) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き，初版2002，改訂版2012. 2) 小高ら：三軸試験の試験条件が河川堤防土の強度定数に及ぼす影響，河川技術論文集，19, 2013.

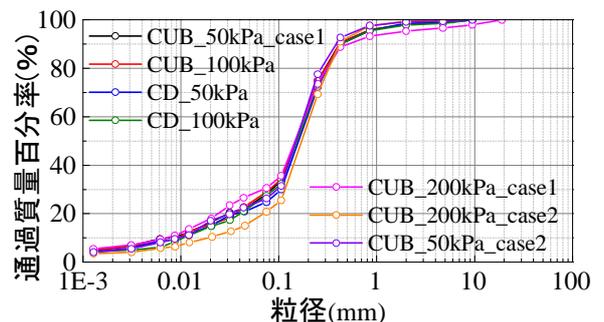


図4 各試料の粒度分布