

河川堤防礫混じり砂の供試体密度が力学特性に及ぼす影響

名城大学大学院 学生会員 中島康介・岸 賢吾
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

1. はじめに

河川堤防の詳細点検における浸透時のすべり破壊に対する安全性検討は、飽和 - 不飽和浸透流解析で設定した浸潤面を基準に全応力法の円弧すべり解析を用いて行われる。この解析の強度定数の設定には、砂や砂礫材料であれば全応力法を前提とした CU 三軸試験が用いられる。その際の供試体は、現地堤防の乾燥密度に合わせて作製されることが一般的であるが、その密度のわずかな違いで変形・強度特性が異なることが知られている。本研究では、供試体密度が力学特性に及ぼす感度を調べるべく、島根県の江の川の河川堤防から採取した礫混じり砂試料を用いて、締固め度 90%と 80%の 2 種類の供試体で三軸試験を実施した。試験条件は、CU および CD の 2 種とし、排水条件の違いによる力学特性の差異についても検討を行った。

2. 試験手順

図 1 に現地堤防で採取した礫混じり砂の原粒度分布を示す。この土から粒径 9.5mm を超える礫を除外し、含水比 14%に水分調整した後に、2 つ割モールドを用いて 5 層に突き固めて供試体を作製した。突固め試験の結果より、締固め度 90%および 80%での乾燥密度は、それぞれ $1.78\text{g}/\text{cm}^3$ および $1.56\text{g}/\text{cm}^3$ である。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に、載荷速度 $0.1\%/\text{min}$ で CU, CD 三軸試験を実施した。表 1 に試験条件を示す。以下の試験結果においては、この表で示す略号で試験条件を区別する。

3. 試験結果

図 2 および 3 は、全試験の応力～ひずみ関係および有効応力経路をそれぞれ示す。図 2 からわかるように、締固め度 90%の供試体においては、CD 試験においてはピーク強度を示しているのに対し、CU 試験では軸差応力はだだらと単調に増加しつづける。一方、締固め度 80%の供試体においては、CD 試験においてはだだらと軸差応力が増加するのに対して、CU 試験では軸差応力は小さいながらもピーク強度を示していることがわかる。図 3 の有効応力経路に着目すると、(a)に示す締固め度 90%の供試体の CU 試験においては、せん断の半ばから塑性膨張を伴うひずみ硬化を示し、典型的な密詰めめの砂の挙動を呈していることがわかる。どの初期有効拘束圧の試験においても、最終的な軸差応力の差はほとんどない。CU90-50 ならびに CU90-100 は、CD 試験で得られる破壊線（破壊応力比 1.58）に漸近してゆくが、CU90-200 は破壊線から離れたまま最終状態となった。一方、図 3(b)の締固め度 80%の試験結果を見ると、CU 試験においては、ピーク強度を示した後は塑性圧縮を伴うひずみ軟化を示しており、典型的なゆる詰め砂の挙動を呈していることがわかる。CD 試験における破壊応力比は 1.38 となり、締固め度 90%での破壊応力比 1.58 に比べて非常に小さくなった。さらに、締固め度 80%においては、CU 試験での破壊応力比は CD 試験に比べてさらに小さくなり 1.04 となった。これは後述するように、ゆる詰め砂になると CU 試験での ϕ' と CD 試験での ϕ_d

表 1 試験条件

締め固め度	90%(乾燥密度 $1.78\text{g}/\text{cm}^3$)					
試験条件	CU			CD		
実験case	CU90-50	CU90-100	CU90-200	CD90-50	CD90-100	CD90-200
有効拘束(kPa)	50	100	200	50	100	200

締め固め度	80%(乾燥密度 $1.56\text{g}/\text{cm}^3$)					
試験条件	CU			CD		
実験case	CU80-50	CU80-100	CU80-200	CD80-50	CD80-100	CD80-200
有効拘束(kPa)	50	100	200	50	100	200

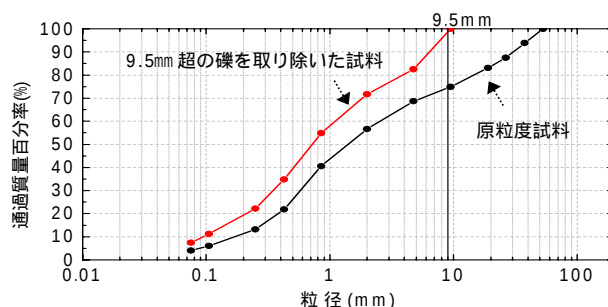


図 1 実験試料の粒度

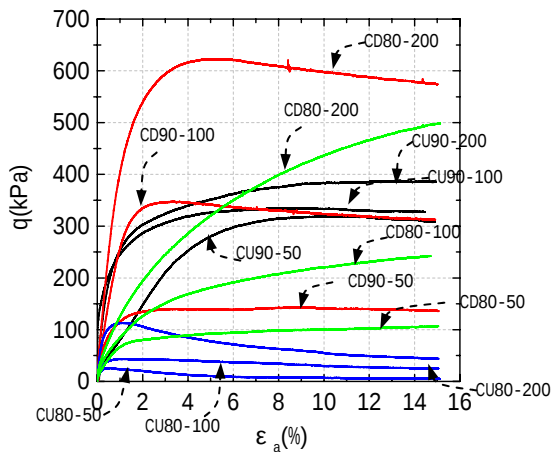
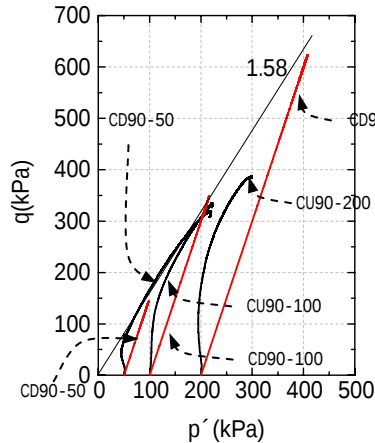
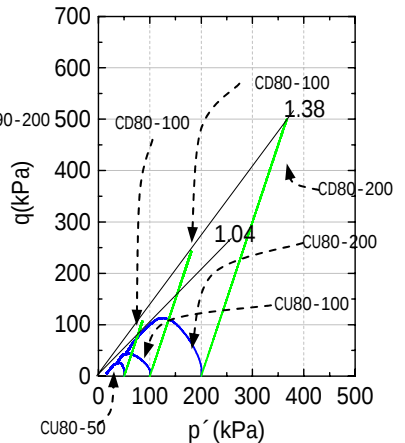


図2 応力～ひずみ関係

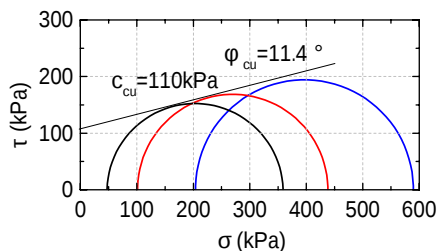


(a) 締め固め度 90%

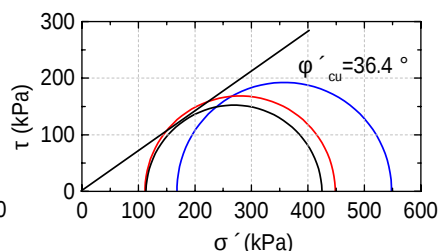


(b) 締め固め度 80%

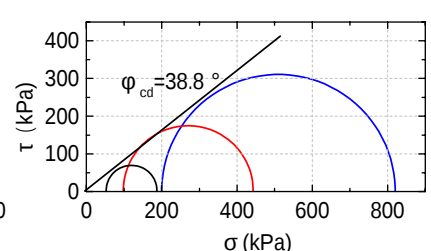
図3 有効応力経路



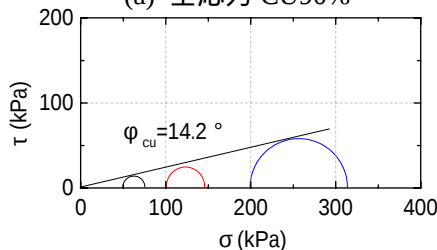
(a) 全応力 CU90%



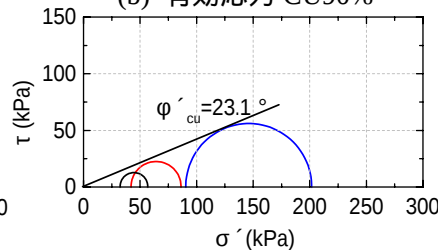
(b) 有効応力 CU90%



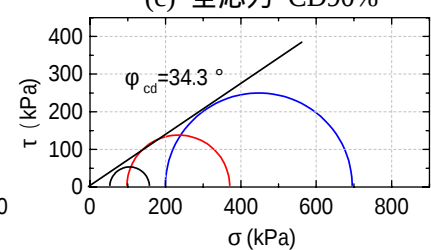
(c) 全応力 CD90%



(d) 全応力 CU80%



(e) 有効応力 CU80%



(f) 全応力 CD80%

図4 全応力および有効応力で整理したモールの応力円

が、同じ有効応力で整理していても異なることを示唆している。

図4はCU試験の結果を全応力で整理したモールの応力円である。締め固め度90%では $c_{cu}=110\text{kPa}$ と非常に大きな粘着力が見られ、逆に締め固め度80%では粘着力が見られないという差があるものの、いずれも内部摩擦角 ϕ_{cu} は非常に小さい値となっている。図5はCU試験の結果を全応力で整理したモールの応力円である。締め固め度の違いにより内部摩擦角も大きく異なる。図6はCD試験の結果を整理したモールの応力円である。締め固め度によって差があるものの、CU試験の有効応力で整理した場合ほどの差は無いことが分かる。一般に、CD試験は基本的に有効応力であることから、CD試験で得られる強度定数は、CU試験で得られる有効応力の強度定数と近いものとなるように考えられる。今回の試験では、締め固め度90%の密詰め供試体であれば、比較的CU試験での ϕ' とCD試験での ϕ_d が近いものであったが、締め固め度80%のゆる詰め供試体の場合には、両者の差は大きいものであった。ゆる詰め砂の場合、排水せん断中に大きく塑性圧縮することが原因の1つと考えられる。

5. まとめ

塑性圧縮を伴う軟化を示すようなゆる詰め供試体の場合には、 ϕ' と ϕ_d は異なることが示された。また、いずれの供試体でも ϕ_{cu} は非常に小さくなることがわかった。慣用安定解析法ではこの値をそのまま用いれば、安全側とはいえ堤防の安全性を極めて低く評価することになる。今後、堤防構成土の力学挙動をより正確に評価できる合理的な安定解析法を開発してゆく必要がある。

参考文献:1) (財)国土技術研究センター: 河川堤防の構造検討の手引き, 2002