

大型三軸試験による河川堤防土の力学特性の評価

河川堤防，三軸試験，礫混じり砂

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

1. はじめに

河川堤防は比較的大きな礫材料が混入している場合が多く、その力学特性を室内試験で評価するには注意が必要である。原粒度の礫混じり土の力学特性を調べるには大型三軸試験を実施するのが理想であるが、コスト的にも十分な量の試料を確保する面でも、実務での利用は難しい。筆者らは、河川堤防で採取した礫混じり砂を用いて大型三軸試験を実施するとともに¹⁾、大きな礫を取り除いて粒度調整した試料を用いた小型三軸試験との比較を $\overline{\text{CU}}$ 試験により行った²⁾。その結果、同じ現場乾燥密度の供試体であっても、大型三軸の方が小型三軸よりも、ゆる詰め傾向の挙動が顕著に観察されることが示された。しかし、前報では試験に採用した現場乾燥密度がかなり小さい値だったことを考慮し、本報では、比較的大きな乾燥密度の供試体を作製し、礫混じり砂供試体の大型三軸試験を実施した結果を示す。試験条件は $\overline{\text{CU}}$ と 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. 実験に用いた試料

図-1 に実験に用いた礫混じり砂の粒度分布を示す。試料 A が本報の実験で新たに用いたものであり、試料 B は前報の大型三軸試験で用いた試料¹⁾を示している。本報の試料 A の方が、前報の試料 B よりも礫分が若干多いことがわかる。いずれの試料においても、1 カ所から大型三軸試験での必要量(100kg 弱)を採取することは困難であったので、同じ堤防でも数カ所の地点に分けて採取し、粒度組成が近い試料を混合した。また、一連の大型三軸試験では、同一の試料を繰返し用いた。すなわち、三軸試験中に完全飽和させていた試料を、試験後に回収した後、自然乾燥させてから次の試験に用いた。供試体の乾燥密度は、試料 A では 1.80Mg/m^3 であり、試料 B では 1.57Mg/m^3 である。いずれの試料の場合でも、自然乾燥状態にした試料を3つ割モールド内で5層ずつ密度管理をしながら、軽く締め固めて供試体を作製した。供試体は三軸セル内で二酸化炭素を用いた飽和化をして、その後、所定の有効拘束圧(50, 100, 200kPa)で18時間程度等方圧密させてから、載荷速度 $0.1\%/min$ でせん断を行った。試験条件は $\overline{\text{CU}}$ と CD の2種である。

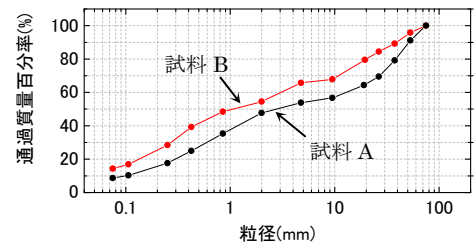


図-1 粒度分布

3. 試験結果

図-2 は全試験の軸差応力 q ～軸ひずみ ε_a 関係をまとめて示したものである。凡例は、試料名－試験条件－せん断開始時の有効拘束圧を順に示し、 $\overline{\text{CU}}$ は CU と表記している。密詰め傾向にある試料 A の CD 試験では、どの拘束圧でも軸ひずみ7～8%付近で増加が止まり一定値となるか、やや減少している。一方、ゆる詰め傾向の試料 B の CD 試験は有効拘束圧100kPaの1ケースのみであるが、試験終了まで軸差応力は単調増加している。また、試料 A の $\overline{\text{CU}}$ 試験では軸差応力は単調増加するのに対し、試料 B の $\overline{\text{CU}}$ 試験では軸差応力はせん断初期に増加するのみで、その後ほぼ一定値となる。

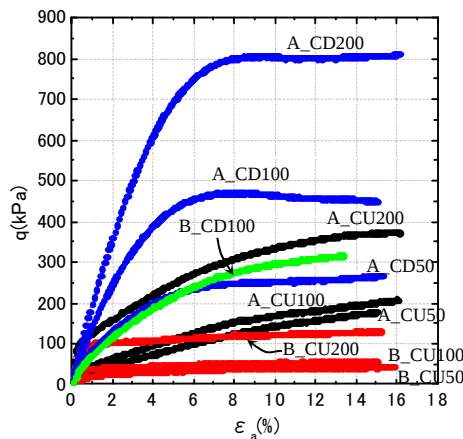


図-2 軸差応力～軸ひずみ関係

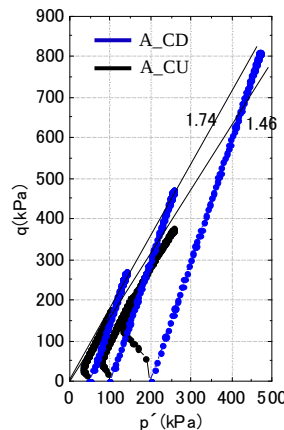


図-3 有効応力経路(試料 A)

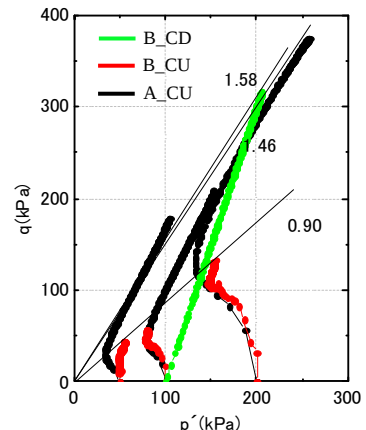
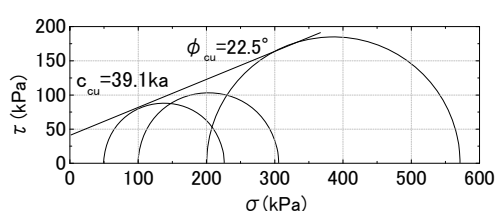


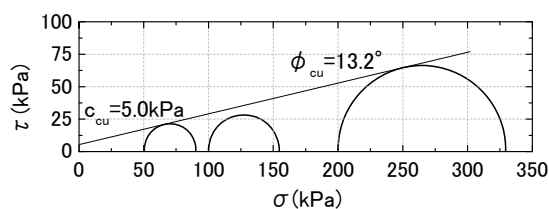
図-4 有効応力経路(試料 B)

図-3 は試料 A の有効応力経路図である。 $\overline{\text{CU}}$ 試験では正のダイレイタンスの発現により、軸差応力が増加していることがわかる。図-4 は試料 B を中心とした有効応力経路図である。比較ため試料 A の $\overline{\text{CU}}$ 試験も再掲した。ゆる詰め傾向の強い試料 B の $\overline{\text{CU}}$ 試験においては、変相後の正のダイレイタンスの発現が見られないことから軸差応力の増加がほとんど無く、破壊応力比は極めて小さい値となった。しかし、変相までは試料 A の経路と非常に近い。一方、CD 試験では、 $\overline{\text{CU}}$ 試験での小さな破壊応力比とは対照的に、せん断中の排水の効果により破壊応力比は非常に大きくなった。

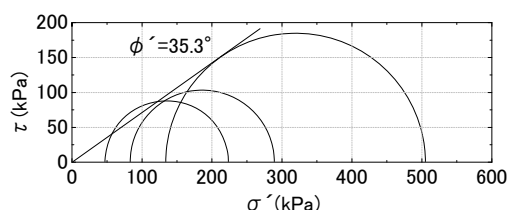
図-5 および図-6 は、それぞれ試料 A および試料 B における破壊時のモールの応力円と破壊規準を示したものである。 $\overline{\text{CU}}$ 試験では全応力でも整理することにより、CU 試験と解釈した強度定数も示している。いずれの試料においても、試験条件別の内部摩擦角の大きさは、 $\phi_{\text{cu}} < \phi' < \phi_{\text{cd}}$ の順になっている。全応力で整理した場合、いずれの試料でも粘着力が現れるが、密詰め傾向の強い試料 A では特に大きな粘着力が見られる。いずれの ϕ_{cu} も小さい値となるが、特にゆる詰め傾向の強い試料 B の ϕ_{cu} は非常に小さい値となる。また、試料 A において、 $\overline{\text{CU}}$ 試験による ϕ' と CD 試験による ϕ_{cd} と比べると、 ϕ_{cd} の方が若干大きくなっている。ただし、 $\overline{\text{CU}}$ 試験結果にばらつきがあるため、初期有効拘束圧 100kPa の結果だけ比較すれば、 ϕ' と ϕ_{cd} にはそれほど大きな差がない。しかし、試料 B においては、明らかに ϕ' と ϕ_{cd} には大きな差があり、ゆる詰め傾向の強い礫混じり砂においては、同じ有効応力で整理した 2 つの内部摩擦角であっても、せん断中の体積変化の有無によって大きな差が生じることがわかった。



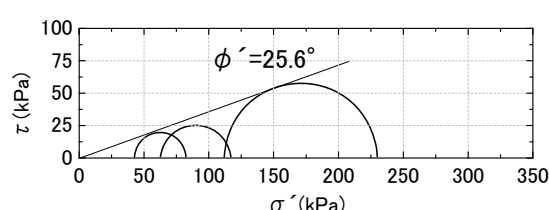
(a) $\overline{\text{CU}}$ 試験 (全応力)



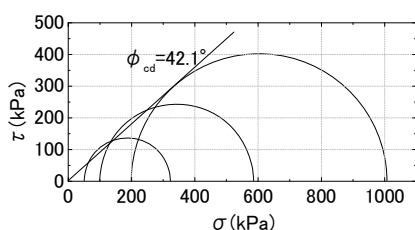
(a) $\overline{\text{CU}}$ 試験 (全応力)



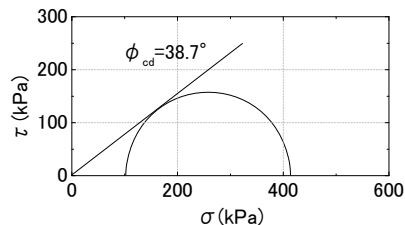
(b) $\overline{\text{CU}}$ 試験 (有効応力)



(b) $\overline{\text{CU}}$ 試験 (有効応力)



(c) CD試験



(c) CD試験

図-5 破壊規準 (試料 A)

図-6 破壊規準 (試料 B)

4. まとめ

河川堤防のすべりに対する安全性検討を行う場合には、全応力法を基本とした安定解析を実施することから、強度定数は CU 試験で得られる ϕ_{cu} を用いることになっている。その際、粘着力は考慮せずに安定計算を行うために、算出される安全率は小さな値となる。安全側ではあるが、特にゆる詰め傾向の試料 B の ϕ_{cu} は非常に小さく、このような値をそのまま用いれば、すべりに対して不適格と過度に判定されることにもつながる。そのような場合、現場の判断で CD 試験で得られる ϕ_{cd} を強度定数として用いる事例もある。しかしながら、本実験結果を見てもわかるように、CD 試験による ϕ_{cd} が大きい場合でも、 $\overline{\text{CU}}$ 試験を見る限り、構造的にも不安定なゆる詰め傾向が強い地盤材料の場合があるので、安易に CD 試験結果を用いるべきではなく、ダイレイタンス特性までよく検討する必要がある。前報の結果より、試験が小型になるほど、同一の乾燥密度の供試体でも密詰め傾向が強く現れる²⁾ことを考慮すると、実際の堤防は予想以上にゆる詰めである可能性もあり、室内試験によって堤防構成土の力学特性を評価する場合には、慎重な検討を要する。

参考文献：1) 小高他：河川堤防礫混じり砂の大型三軸試験，第 43 回地盤工学研究発表会，2008。2) 小高他：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，2008。