# 河川堤防砂の不撹乱ならびに再構成供試体の三軸試験手法の比較

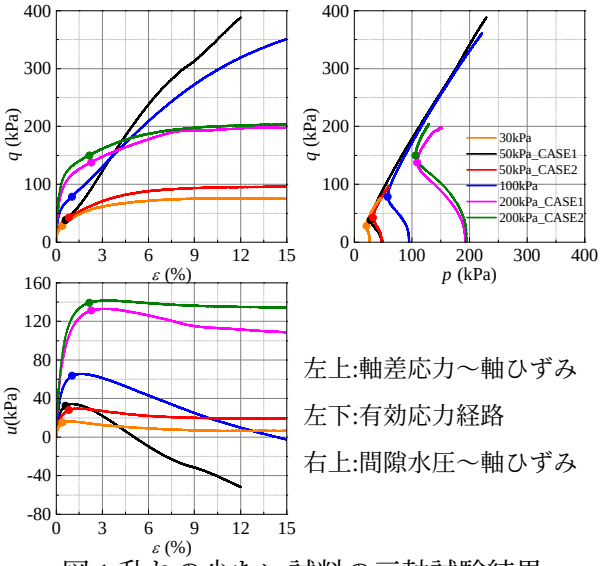
名城大学大学院　学生会員　○武　楊・小林芳樹
名城大学　学生会員　田村　太郎
名城大学　正会員　小高猛司・崔　瑛
建設技術研究所　正会員　李　圭太

## １．はじめに

河川堤防の安定性照査に用いて強度定数を求めるために三軸試験を行う際には，再構成試料が用いられることもあるが，再構成試料の作製方法によっては現地堤防土の強度定数を適切に評価できない場合がある。本報では，同河川から採取した乱れの少ない砂質試料と再構成供試体を用いて非排水三軸試験を実施し，CU および $\overline{\mathrm{CU}}$ により得られる強度定数の違いと，再構成供試体を用いる際の適切な強度定数の決定方法について議論する。

## ２．試験の概要

不撹乱試料は開削工事を行っている均質な砂質土の河川堤防に塩ビパイプを小槌で慎重に打ち込み，乱れの少ない試料を採取した。採取した試料を凍結させて供試体に成型する。なお，不撹乱試料の採取場所直近から撹乱試料を採取し，9.5mm フルイで粒度調整を行った後，再構成供試体を作製した。再構成供試体の乾燥密度は 1.38，1.47 g/cm$^3$(それぞれ，締固め度 85%，90%に相当)とした。試料を含水比 18%(最適含水比 18.5%)の含水調整にしてから供試体を作製した。成型した供試体を三軸試験装置に設置後，二重負圧法による完全飽和化を行う。凍結供試体は 15 時間程度静置し，供試体を完全に解凍した。その後，圧密を行い，非排水せん断試験を実施した。なお，載荷速度は 0.1%/min である。

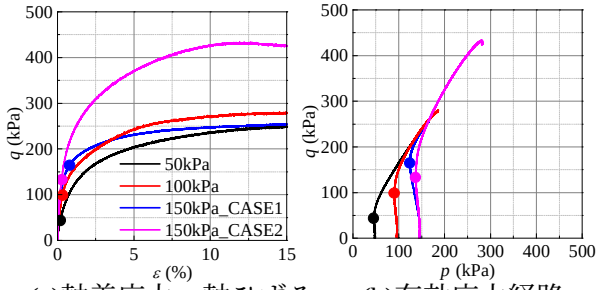



左上:軸差応力～軸ひずみ
左下:有効応力経路
右上:間隙水圧～軸ひずみ

図 1 乱れの少ない試料の三軸試験結果

## ３．三軸試験結果および強度定数の決定方法

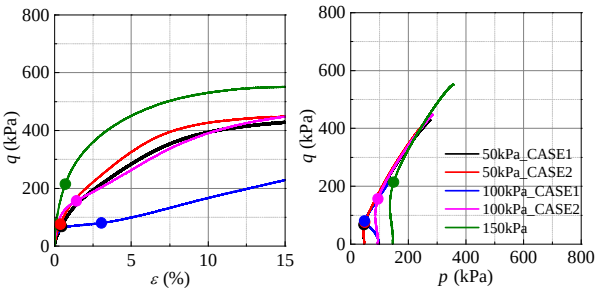
図 1 に乱れの少ない試料の三軸試験結果を示す。軸差応力～軸ひずみ関係より，　試験ではいずれの有効拘束圧の試験も，せん断終了まで軸差応力が増加し続けて試験を終了している。有効拘束圧 50kPa と 200kPa 対しては，異なる供試体で同じ試験を 2 回行った。有効拘束圧 50kPa の場合，両試験のせん断挙動は大きく異なるが，200kPa の試験ではほとんど差が見られない。以上より，慎重に採取した乱れが少ない試料でも，採取や運搬時の乱れ，または，元々の地盤の締固め履歴等の影響等によって，供試体に密度や間隙比の差が生じ，その影響が三軸試験結果に顕著に現れることが分かった。




(a)軸差応力～軸ひずみ　(b)有効応力経路

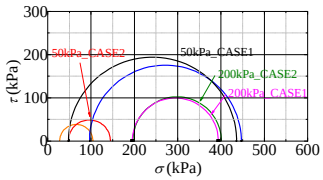
図 2 締固め度 85%再構成試料の試験結果

図 2 に締固め度 85%の再構成供試体を用いた $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験結果を示す。有効拘束圧 150kPa に対しては二つの供試体を作製して試験を行った。応力～ひずみ関係より，有効拘束圧 50kPa，100kPa および 150kPa_CASE1 では，軸差応力はせん断終了時まで増加し続けているが，150kPa_CASE2 では軸ひずみ

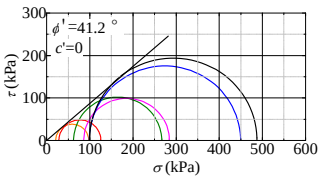



(a)軸差応力～軸ひずみ　(b)有効応力経路

図 3 締固め度 90%再構成試料の試験結果

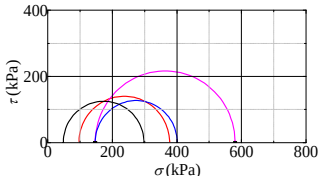



(a) CU 試験

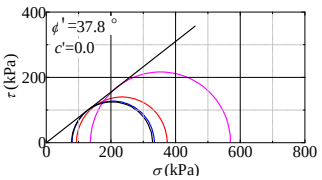



(b) $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験

図 4 乱れの少ない試料のモールの応力円と破壊規準

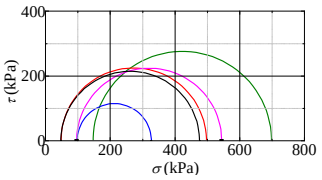



(a) CU 試験

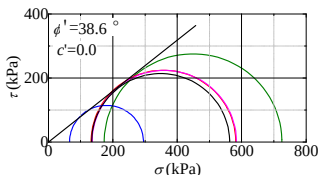



(b) $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験

図 5 モールの応力円と破壊規準(Dc=85%)

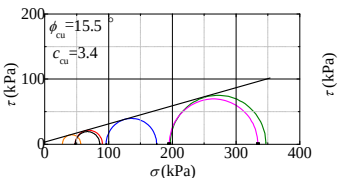



(a) CU 試験

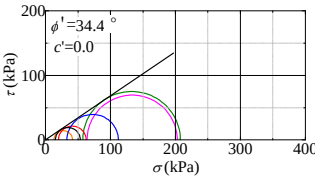



(b) $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験

図 6 モールの応力円と破壊規準(Dc=90%)

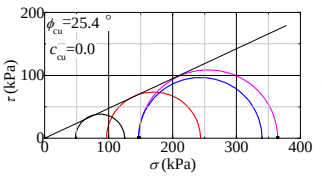



(a) CU 試験

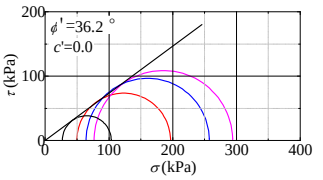



(b) $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験

図 7 乱れの少ない試料の変相時のモールの応力円

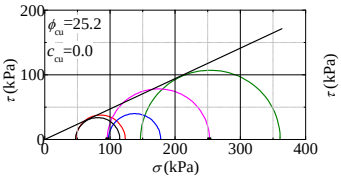



(a) CU 試験

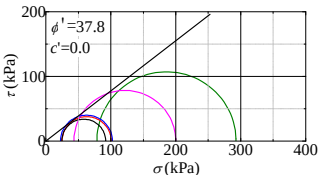



(b) $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験

図 8 変相時のモールの応力円と破壊規準(Dc=85%)




(a) CU 試験




(b) $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験

図 9 変相時のモールの応力円と破壊規準(Dc=90%)

12%程度まで軸差応力が増加し，その後ひずみ軟化挙動を示す。同じ間隙比，締固め度，密度等を有し，同じはずの再構成供試体でも三軸試験結果にバラツキが見られ，これは供試体締固め時の締固めエネルギー等の僅な違いによるものと考えられる。図 3 に締固め度 90%の試料の $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験結果を示す。軸差応力～軸ひずみ関係は，締固め度 85%と同様の挙動を示す。有効拘束圧 50kPa と 100kPa の試験に対して，同条件で試験を 2 回行った結果，有効拘束圧 100kPa の試験で両者のせん断挙動は大きく異なるが，これも図 2 と同じ理由が考えられる。なお，有効応力経路を見るといずれの締固め度および拘束圧においても，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おり，密詰め傾向を示している。

図 4~6 に，各供試体の最大軸差応力時におけるモールの応力円と破壊規準を示す。CU 試験では拘束圧に整合するモール円が得られず，強度定数の決定が困難である。一方，$\overline{\mathrm{CU}}$ 試験ではせん断中のダイレイタンシー特性を反映させるために，拘束圧に整合するモール円が得られた。また，破壊規準線からは再構成試料の方が強度定数を低く見積もる傾向が見られた。図 7~9 は小高ら [1)]により提案された変相時，すなわちここでは過剰間隙水圧最大時の応力をプロットしたモールの応力円を示す。間隙水圧最大となる点は，それぞれ図 1~3 のグラフに併記している。変相時における軸ひずみは有効拘束圧に応じて大きくなるが，高拘束圧条件でも 3%程度，低拘束条件では 2%以下と，比較的小さいひずみレベルを示す。図より，変相時の応力を用いた場合，CU および $\overline{\mathrm{CU}}$ いずれの試験方法においても整合したモールの応力円が得られた。また，強度定数を比較すると CU 試験と $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験いずれの再構成試料のほうが大きな値が得られたが，これは再構成試料の密度が不攪乱試料より高いことを反映したためと考えられる。

## 4. まとめ

乱れの少ない試料の場合でも，採取時や運搬時の乱れ，元々地盤の締固め履歴等の違いによるバラツキが存在し，これらの影響は CU 試験に顕著に表れる。最大軸差応力時におけるモールの応力円により強度定数を求める場合，試験条件や供試体状態によるバラツキが顕著に表れるが，著者ら [1)]により提案された変相時のモールの応力円を導入することで，再構成試料でも原地盤の強度定数を適切に表現できること分かった。

参考文献 1) 小高ら：すべり安定性照査に用いる堤体土の強度定数設定法，「第 2 回 地盤工学から見た堤防技術シンポジウム講演概要集，pp.45-48, 2014.