

河川堤防土の力学特性の評価する上での排水条件の検討

名城大学大学院

名城大学

名城大学

建設技術研究所

学生会員 ○兼松祐志・森 涼香

学生会員 小林芳樹・間宮健太

正会員 小高猛司・崔 瑛

正会員 李 圭太

1. はじめに

平成 14 年に発行された「河川堤防構造検討の手引き」では、砂や砂礫の強度定数は CU 試験で求めることとされてきたが、平成 24 年 2 月の改訂時には試験条件が一部見直され、砂や砂礫ならば $\overline{\text{CU}}$ 試験か CD 試験が推奨されるようになった。このように試験条件の選択の幅が広がったことは、現場の技術者自らが、堤防土の粒度組成や密度などを見て適切な試験条件を判断しなければならなくなったことに他ならない。本報では、不攪乱の堤体土を用いて各種排水条件での三軸試験を行い、それぞれの試験条件を検討する。

2. 試験の概要

試験に用いた試料は Y 川堤防の堤体土であり、天端から深度 3~4m の位置からトリプルチューブサンプラーによって乱れの少ない砂質試料を採取した。採取後凍結させて保管し、凍結した状態で直径 5cm 高さ 10cm の供試体に成型し、三軸試験装置に設置した。設置後、2 重負圧法により飽和化した。

実施した試験は、 $\overline{\text{CU}}$ 試験と CD 試験である。いずれも有効拘束圧 50, 100 および 150kPa で 3 時間等方圧密した後、ひずみ速度は 0.1%/min で単調載荷した。

3. 試験結果

図 1 に $\overline{\text{CU}}$ 試験および CD 試験の軸差応力～軸ひずみ関係を示す。 $\overline{\text{CU}}$ 試験の場合、有効拘束圧 50kPa および 100kPa の試験では、それぞれ軸ひずみ 2% および 6% 程度の早い段階で軸差応力がほぼ一定値となっている。また、有効拘束圧 150kPa の試験では、せん断後半まで軸差応力が増加している。一方、CD 試験の場合には、いずれの有効拘束圧の試験においても、軸差応力はせん断終了時まで単調に増加し続けている。

図 2 に $\overline{\text{CU}}$ 試験および CD 試験の有効応力経路を示す。 $\overline{\text{CU}}$ 試験の場合、有効拘束圧 50kPa の試験では、塑性圧縮したまま試験を終了している。一方、有効拘束圧 100kPa および 150kPa の試験では、軸ひずみ 1% 程度までのせん断初期は塑性圧縮しているが、変相後に塑性膨張に転じて正のダイレイタンスーが発現している。その傾向は初期の有効拘束圧が大きいほど顕著となっている。すなわち、圧密過程における有効拘束圧が大きいほど、その後のせん断過程では密詰め傾向が強く顕れていること

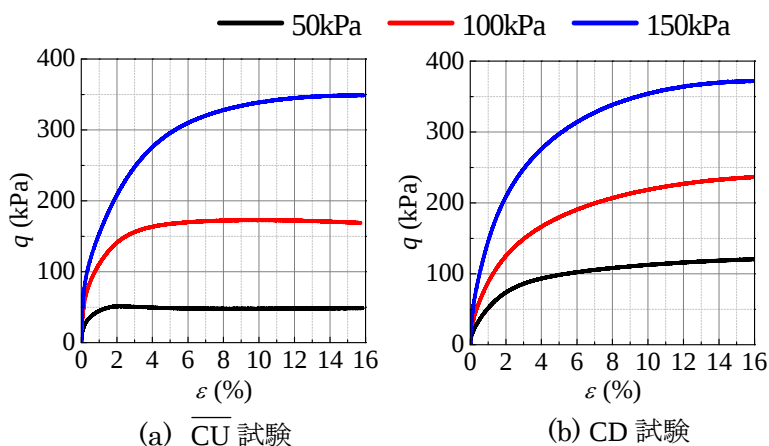


図 1 軸差応力～軸ひずみ関係

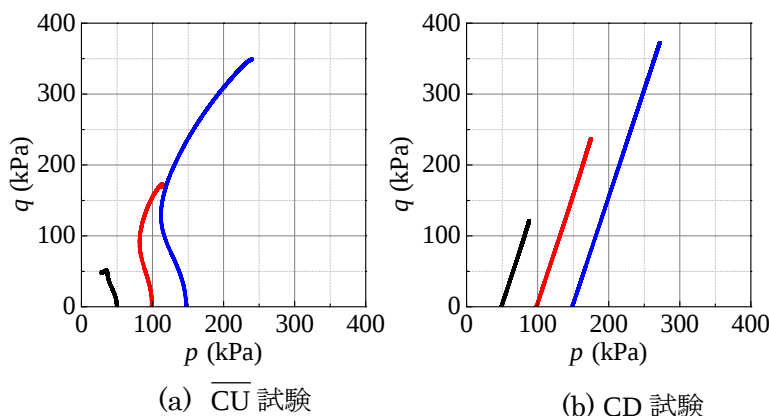


図 2 有効応力経路

から、大きな拘束圧の等方圧密による载荷によって供試体の構造が急激に低位化していることが示唆される。

図 3 は CD 試験における軸ひずみ～体積ひずみ関係である。いずれの有効拘束圧においても、せん断に伴い圧縮し続けて試験が終了している。ただし、体積圧縮の変化率は、有効拘束圧が大きくなるほどせん断後半に小さくなる傾向が見られ、有効拘束圧 150kPa の試験においては、せん断終了時には体積ひずみはほぼ一定に収束している。すなわち、 $\overline{\text{CU}}$ 試験と同様に、有効拘束圧が大きな試験ほど、供試体の構造は低位化しており、せん断中の体積変化は逆に小さくなる。これらの傾向は、構造が低位化しやすい砂質土特有の現象であり、構造が低位化しにくい粘性土とは全く逆の傾向のせん断挙動を示すことになる。

図 4 に破壊時のモールの応力円と破壊規準を示し、表 1 にそれぞれから得られた内部摩擦角を示す。 $\overline{\text{CU}}$ 試験は全応力で整理することにより $\overline{\text{CU}}$ 試験と見なしして解釈できる。試験基準では、 $\overline{\text{CU}}$ 試験と CU 試験の载荷速度は大きく異なるが、試験試料が砂質土であることからその影響は小さい。 CU 試験の場合、拘束圧の増加とともにモールの円が急激に大きくなる。これは、図 2 で見られたように、等方圧密過程で供試体の構造を低位化させてしまうためであり、必ずしも 3 つのモールの包絡線で強度定数を設定することが適当ではない。ここで示す ϕ_{cu} は、仮に拘束圧 100kPa の試験結果を採用した場合の値である。一方、 $\overline{\text{CU}}$ 試験や CD 試験では、3 つの拘束圧の試験結果が整合している。その理由は、これらの試験条件においては、等方圧密中の体積圧縮の履歴を反映してせん断中に発生するダイレイタンシー特性を考慮しているためと考えられる。この試験試料における各試験条件の内部摩擦角を比較すれば、 $\phi_{\text{cu}} < \phi_{\text{d}} < \phi'$ の順となる。

4. まとめ

CU 試験では、有効拘束圧が大きくなるほど内部摩擦角が大きくなる。これは、等方圧密時の履歴により供試体の構造が低位化するためと考えられる。すなわち、河川堤防の現場での有効応力を上回る有効拘束圧下で試験をした場合には、強度定数を過大評価することに繋がる。一方、 $\overline{\text{CU}}$ 試験や CD 試験では、等方圧密過程とせん断過程のいずれの履歴も反映した試験結果を導き出すことから、拘束圧の選択は試験結果に大きく影響しない。しかし、せん断中のダイレイタンシーの効果を含んだせん断強度を表していることには注意しなければならない。

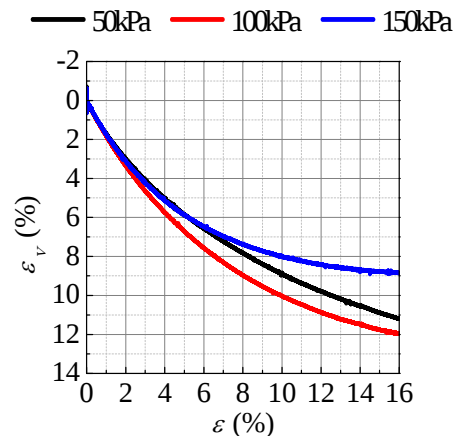
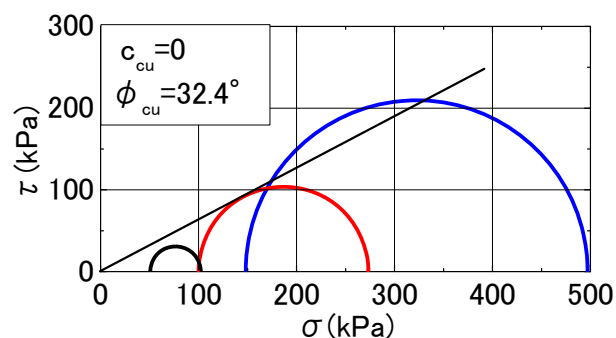
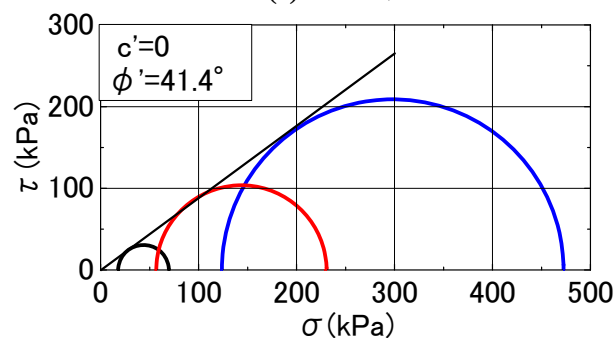


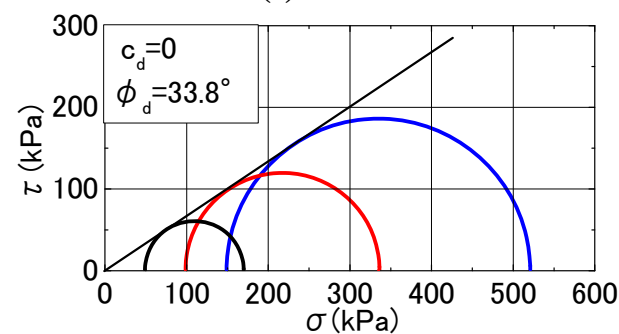
図 3 CD 試験における軸ひずみ～体積ひずみ関係



(a) CU 試験



(b) $\overline{\text{CU}}$ 試験



(c) CD 試験

図 4 全応力と有効応力のモールの応力円

表 1 内部摩擦角

$\phi_{\text{cu}}(^{\circ})$	$\phi'(^{\circ})$	$\phi_{\text{d}}(^{\circ})$
32.4	41.4	33.8