堤防	三軸圧縮試験	浸透

名城大学	国際会員	小高猛司	
日本工営	国際会員	李 圭太	(名城大非常勤)
中部土質協同組合	国際会員	久保裕一	(名城大非常勤)
土木研究所	国際会員	石原雅規	
建設技術研究所	正会員()中山雄人	(元名城大院生)

1. はじめに

近年,集中豪雨などにより河川堤防の浸透破壊やすべり破壊による被災が多数報告されている。本研究グループではこれまで模型実験や現地堤体土を用いた室内試験を実施し,河川堤防の堤体崩壊は強度特性が大きく影響することを示してきた。本報では,平成 30 年 7 月豪雨で被災した小田川堤防で実施した開削調査 ¹⁾において,堤体から直接採取した乱れの少ない試料を用いてCU試験と吸水軟化試験²⁾を実施し,浸透時の強度特性について検討した結果を示す。

2. 試験概要

吸水軟化試験は三軸試験を用いた試験法である。初期せん断を受けた堤体の浸透すべり耐性を評価することができ, 降雨や河川水の浸透時の有効応力状態を探索することを目的とする²⁾。圧密過程まで三軸試験と同様の手順で実施し, せん断時に軸差応力を一定に保ちながら,間隙水圧を1kPa ずつ徐々に上昇させ供試体を破壊に至らしめる。この試験は 有効応力を精密に制御することによって対象土の骨格構造が急激に変化し始める有効応力状態を探索し,浸透条件下で の破壊条件を正確に把握できる。なお,破壊に至る直前まで間隙水圧を上昇させても供試体内への吸水は起こらず,軸 ひずみもほとんど変化しないが,ある有効応力状態に到達した途端に急激に軸ひずみが発生して破壊に至る。従来の非 排水せん断試験では完全非排水条件下で無理矢理に軸圧縮載荷するため,最大軸差応力に到達した時点で相当量のひず みが発生,すなわち土の骨格構造が変化した後の状態であるが,吸水軟化試験では破壊時の有効応力状態まで土の骨格 構造がほとんど変化しないため,初期状態の堤体が有するせん断強度の評価が可能となる。

小田川の開削調査については文献1)を参考にされたい。また、本報の試験で用いた試料は、法すべりが発生した右岸 0.6kと左岸4.2k、越水によって決壊した左岸3.4k地点での開削断面から採取した試料を用いた。右岸0.6kでは開削下流 断面の上段と下段、左岸3.4kでは開削下流断面下段の堤内側の礫混じり砂層(下流 B2 層),左岸4.2kでは開削下流断

面上段の試料であり,現場透水 試験³⁾の近傍で採取した。図1に 試験後試料のそれぞれの粒径加 積曲線を示す。図1(a)と(b)の右岸 0.6k下流試料では,ばらつきはあ るが細粒分含有率が 50%以上

(最大 82%)の細粒土である。 ただし数%の 2mm 以上の礫も含 む場合もある。左岸 3.4k と 4.2k においては砂質土主体である が,左岸 3.4k の方が細粒分は少 なく,礫分は多い。

3. 試験結果

図 2~5 に三軸試験結果を示 す。左側の図の有効応力経路に はCU試験と吸水軟化試験の両方 の試験結果を示し,右側の図に は吸水軟化試験中の有効応力比



図1 小田川堤防土の粒径加積曲線

q/p'と軸ひずみの関係を示す。図 2(a)に示す右岸 0.6k 下流上段試料のCU試験では,変相後に軸差応力が増加し続ける典型的な過圧密土の挙動を示した。図 3(b)の右岸 0.6k 下流下段試料においても同様の挙動を示した。一方,吸水軟化試験に着目する。それぞれの(a)図において,軸差応力一定で平均有効応力が水平に推移する有効経路が吸水軟化試験結果である。すなわち,軸差応力を一定に維持したまま過剰間隙水圧を徐々に上昇させることによって,平均有効応力 p'が減少し,やがて破壊する。その破壊時の有効応力比 q/p' を破壊応力比と呼ぶ。一方,有効応力比 q/p' と軸ひずみの関係図(b)に着目すると,ある時点まで軸ひずみの発生量は小さいものの,q/p'がある閾値を超えると軸ひずみが一気に発生

Seepage induced shear strength properties of Oda riverT. Kodaka, (Meijo Univ.), K.-T.Lee (Nippon Koei), Y. Kubo (Geolabo-
enbankment soilsembankment soilschubu), M. Ishihara (PWRI) and Y.Nakayama (CTi Engineering)



することがわかる。既往の研究 4では、十分な粘性を有する浸透すべり耐性が高 い試料においては、低有効応力条件下では破壊応力比は3(有効拘束圧0でせん 断強さを保持)に近い値を示すが、浸透すべり耐性が低い試料はCU試験で得ら れる限界応力比と同等の値を示すことが明らかとされている。右岸 0.6k 試料は 細粒分含有率が 50%以上あり、土質分類上は粘性土であるが、吸水軟化試験で 得られる破壊応力比は下流上段の有効拘束圧 50kPaの試料で2程度であり、それ 以外ではCU試験の応力比と同程度の1.2~1.5を示している。これは、細粒分含 有率が高くても浸透時には粘性を発揮せず、摩擦力以上のせん断強度を発揮し ない典型的な砂質土の性質を有するためであると考えられる。開削調査によっ 写真1 浸透時の粘性堤体土の崩壊



て、右岸 0.6k の堤体内には筋状の礫層が多数確認されており、この透水性が高い礫層の存在が大規模な法すべりにつな がったものと想定している り。さらに、本報の吸水軟化試験結果から明らかなように、礫層周囲の堤体粘性土において も浸透時に脆弱化することから、これが法すべりの発生を助長した可能性もある。実際、写真 1 に示すように、現場透 水試験において、下流上段の試験では砂礫層への浸透に伴い、周囲の粘性堤体土が崩壊する現象も確認されている。砂 質土系の左岸 3.4k, 4.2k の試料においては、CU試験では密詰め傾向の砂質土の挙動を示すが、吸水軟化試験によって も比較的小さな破壊応力比であることが判明し、平均有効応力の低下に伴い、せん断強度が低下することがわかる。特 に左岸 4.2k の試料においては、吸水軟化試験における破壊応力比は、CU試験で得られる破壊応力比以下の場合もあり、 浸透に対して脆弱であると考えられ、それが法すべり発生要因の一つとなっていると考えられる。

4. まとめ

豪雨で被災した小田川堤防土を採取して、三軸試験による強度特性の検討を実施した。開削調査では、右岸 0.6k は粘 性土主体で構成されており、砂礫層が挟在しているものの堤体土自身は強固であるように見えた。しかしながら、本報 での吸水軟化試験の結果、粘性土でありながらも浸透時に脆弱化する堤体土であることが判明した。我々の研究グルー プでは、このような擬似粘性土堤体の被災例を複数確認している 5が、そのような堤防に対して粘性土としてせん断強 度を評価すると危険側の評価につながることから、適正なせん断強さの評価をすることが非常に重要である。一方、砂 質土が主体となっている法すべりが発生した L4.2k 地点や越水で決壊した L3.4k 地点においても、本報の吸水軟化試験に よって、浸透に脆弱な堤体材料であることも併せて確認された。本研究を実施するにあたっては、中国地方整備局に多 大なる協力を頂いた。この場を借りて謝意を表する。

参考文献:1) 杉山ら:法すべり等が生じた小田川堤防における開削調査,第55回地盤工学研究発表会,2020.2)小高ら:弾塑性論と 吸水軟化試験による砂質土の強度定数に関する考察,第70回土木学会年次学術講演会,2015. 3)小高ら:小田川堤防における開削調 査時の現場透水試験,第 55 回地盤工学研究発表会,2020. 4)小高ら:吸水軟化試験による河川堤防土の低拘束圧下のせん断強度の評 価、第5回河川堤防技術シンポジウム、2017.5)小高ら:細粒分が卓越した疑似粘性土堤防の強度評価の注意、第54回地盤工学研究発 表会, 2019.