

すべり破壊した犀川堤体土の力学特性の検討

名城大学大学院	学生会員	○中山雄人
名城大学	正 会 員	小高猛司
建設技術研究所	正 会 員	李 圭太
土木研究所	正 会 員	石原雅規
中部土質試験協同組合	正 会 員	久保裕一

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力学特性に大きく影響することを示してきた。本報では、2017 年台風 18 号による大雨によって、大規模な法すべりを起こした犀川堤防の変状箇所において不攪乱試料を採取し、三軸試験（ $\overline{CU}$ 試験）と吸水軟化試験¹⁾を実施し、力学特性と浸透耐性について詳細に考察を行ったので報告する。

2. 試料概要

本研究で用いた犀川堤体土は岐阜県瑞穂市の木曽川水系犀川右岸 1.7km 付近においてサンプリング採取した試料である。図-1 に開削箇所位置図を示す。赤丸は開削調査箇所を、赤矢印は犀川を、青矢印ものは長良川を示す。開削箇所での試料採取は簡易サンプリングを用いた²⁾。具体的には内径 71mm, 長さ 500mm の塩ビ管 VU65 を内管とする特製の 2 重管サンプラーを打ち込む方法である。サンプリング状況を図-2 に示す。被災法面の上段と下段の 2 段で開削し、両断面で採取した不攪乱試料（すべり上方、下方と呼ぶ）を用いて三軸試験を実施した。1/4～4/4 などの数字は各段で 4 本ずつ採取したサンプリングチューブ（1 チューブ 3 供試体）の番号である。試料は細

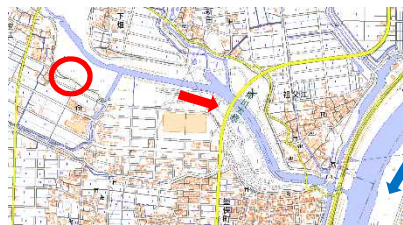


図-1 開削箇所位置図
(地理院地図参照)



図-2 サンプリング状況

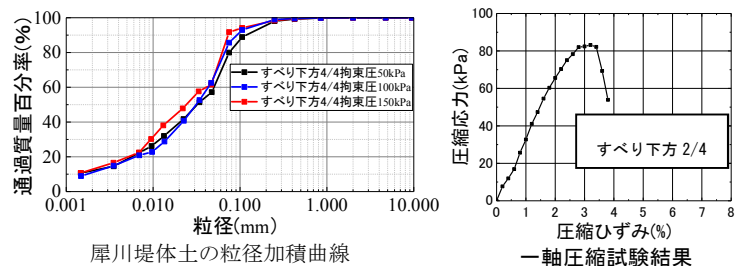


図-3 犀川堤防土の土質特性

粒分を多く含むため、凍結させずに自然状態で直径 50mm, 高さ 100mm の供試体に成形した。図-3 はそれぞれ用いた供試体の粒径加積曲線を示す。細粒分含有率(F_c)80～90%の細粒土であるが、シルト分が 70%程度である。また、液性限界 $w_L=37.5\%$ 、塑性指数 $I_p=15.5$ となり、低液性限界の砂混じり粘土に分類されるが、シルトが卓越した中間土である。図-3 には一軸圧縮試験結果も示すが、80kPa 以上を発揮する大きな q_u と比較的小さな破壊ひずみから、この試験結果だけを見れば、犀川堤体土は乱れの少ない粘性土と評価できる。

3. 三軸試験結果

図-4～6 に $\overline{CU}$ 試験結果を示す。全試料において、変相後に軸差応力が増加し続ける典型的な過圧密粘土の有効応力経路となり、限界応力比は 1.5 程度となった。また、塑性膨張を伴う硬化に転じる変相時の軸ひずみは 1～2%程度と小さいことがわかる。すなわち、この通常の $\overline{CU}$ 試験結果のみで判断すると、犀川堤体土は比較的硬質な過圧密粘土とみるのが自然であり、一軸圧縮試験結果による評価を追認することになる。

本研究グループでは、浸透時のすべり破壊の耐性を適切に評価するため、三軸試験機を用いた吸水軟化試験を提案している^{1),3),4)}。吸水軟化試験は、比較的低い一定軸差応力条件下で、間隙水圧を徐々に増加させることによって、低拘束圧、低ひずみ条件下で破壊に到達する有効応力を高精度で探索する試験法である。これまで複数の現地堤体試料を用いた吸水軟化試験によって、堤体土の浸透すべり破壊に対する耐性をパターン化して評価できることを示しており⁴⁾、本報でもそれを適用する。

図-7, 8 に吸水軟化試験の結果を示す。有効応力経路には、図-4 の $\overline{\text{CU}}$ 試験の結果も重ねて再掲する。有効応力が大きく減少して破壊応力比に到達する時の軸ひずみはわずか1~3%であり、到達後に一気に軸ひずみが増加する。図には示していないが、破壊応力比の到達前にはほとんど発生していない体積ひずみも、到達後に軸ひずみの増加とともに急激に増加する。すなわち、吸水軟化試験によって決定される破壊状態は、骨格構造が急激に崩壊する有効応力状態である。さて、初期有効拘束圧50kPa、一定軸差応力25kPaの条件においては、吸水軟化試験で得られる破壊応力比 q/p' は1.5程度となった。本研究グループの分類によれば、低拘束圧下において、 $\overline{\text{CU}}$ 試験と吸水軟化試験の破壊応力比が同程度の値を示す堤体材料は、浸透すべり破壊の耐性は低く、水が浸透することにより、低拘束圧ではせん断強さを発揮できない砂質土に近いせん断特性を有すると判断できる。

4. まとめ

降雨によって法すべりが発生した犀川堤体土は、粒度試験では粘性土と分類され、一軸圧縮試験や $\overline{\text{CU}}$ 試験では過圧密粘土の性状を示した。しかしながら、吸水軟化試験では破壊応力比 q/p' が1.5と小さく、水浸時には脆弱な材料と判断できた。実務においては、粘性土堤体はすべりに対しては安全と評価されることがほとんどであるが、今回の犀川堤体土のように、物理試験で粘性土と判定されても水の浸潤時には砂質土に近い力学挙動を示す中間土が存在することが示された。したがって、粘性土堤体においても吸水軟化試験などによる低応力条件下のせん断特性も十分に検討する必要がある。

参考文献: 1)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。

2)小高ら:砂質堤体土の簡易サンプリングとその力学特性,第3回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム,2015。3)小高ら:吸水軟化試験における河川堤防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。4)小高ら:河川堤防の浸透破壊と堤体材料の土質試験との関連,第6回河川堤防技術シンポジウム,2018。

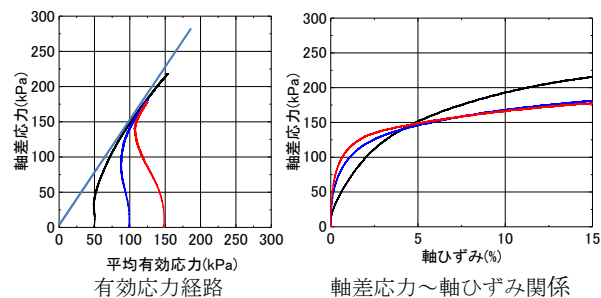


図-4 すべり下方 4/4 $\overline{\text{CU}}$ 試験結果

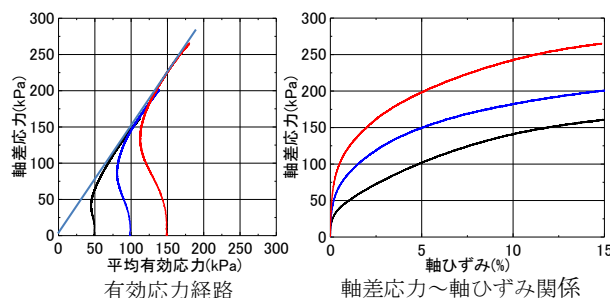


図-5 すべり上方 4/4 $\overline{\text{CU}}$ 試験結果

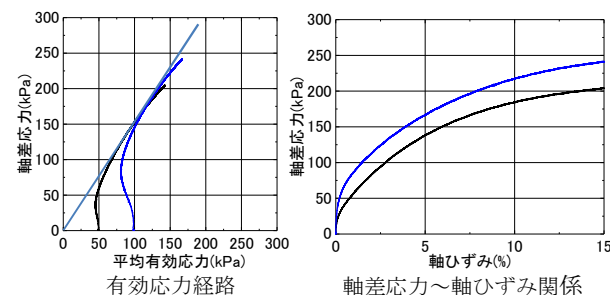


図-6 すべり上方 3/4 $\overline{\text{CU}}$ 試験結果

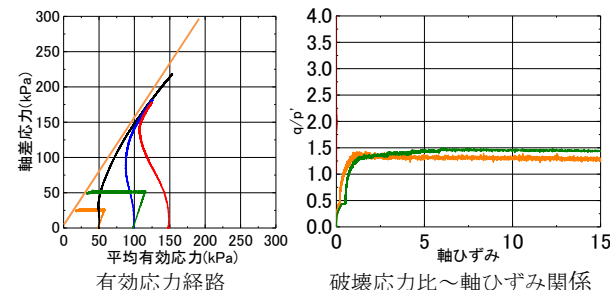


図-7 すべり下方 1/4 吸水軟化試験結果

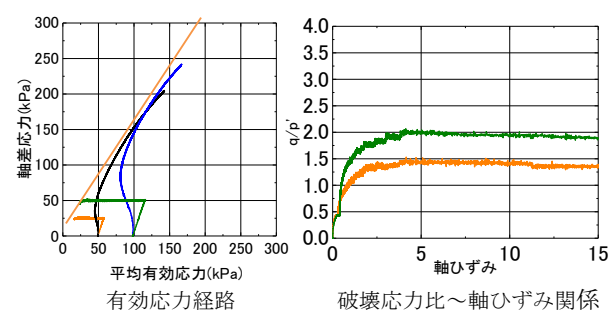


図-8 すべり上方 3/4 吸水軟化試験結果