

河川堤防の浸透時のすべり耐性を適切に評価する試験法の提案

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・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
JR 東海（元名城大院）		梅村逸遊
名城大学大学院		李 朝暉

1. はじめに

本研究グループではこれまで、礫質土から粘性土まで様々な現地堤体土の力学試験を実施してきた。その結果、被災経験が無くてもせん断強度が低く評価される礫質土や、逆に細粒分を多く含んだ硬質な粘性土であるにも拘わらず湿潤時にすべり破壊した細粒土など、現行の照査や三軸試験では適切な材料特性の評価が難しい堤体土が存在することがわかってきた。本報では、それらの堤体材料について、本研究グループが提案する吸水軟化試験¹⁾によって、適切な浸透すべり耐性が評価可能であることを示す。

2. 試験概要

吸水軟化試験とは、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、有効応力経路を精密に制御することによって、対象土の骨格構造が低拘束圧、低ひずみ条件下で急激に変化しはじめてから急激に破壊に至る時点の有効応力を高精度で探索する試験法である。

本研究で使用する試料は岐阜県の犀川²⁾と青森県の二ツ森川³⁾の細粒堤体土、ならびに岡山県小田川⁴⁾と高知県物部川⁴⁾の礫質堤体土である。図1に細粒堤体土、図2に礫質堤体土の粒径加積曲線を示す。参考までに図1にはこれまで吸水軟化試験を実施した石川県梯川⁴⁾と宮城県渋井川⁴⁾の堤体土も示す。細粒堤体土試料は直径50mm、高さ100mmに成形し、礫質堤体土は最大粒径53mmでせん頭粒度調整した試料を直径200mm、高400mmに作製して試験を実施した。また、梯川、渋井川、二ツ森川、犀川の塑性指数(I_p)はそれぞれ8、NP（非塑性）1.4、15.5であった。

3. 試験結果

犀川堤体土の試験結果を図3に示す。左側の有効応力経路図には、 $\overline{CU}$ 試験と吸水軟化試験の両方の試験結果が示されている。一方、右側は吸水軟化試験中の有効応力比 q/p' ～軸ひずみ関係であり、過剰間隙水圧の増加によって有効応力比が高まり、それに伴い軸ひずみが増加する様子が示されている。最終的な有効応力比 q/p' （破壊応力比と呼ぶ）が高いほど、その堤体土は高い浸透すべり耐性を有すると考えられる。ちなみに過去に実施した梯川堤体土⁴⁾は、低有効応力条件下では破壊応力比3（引張破壊に等しい破壊応力比の最大値）を示す。図3の犀川堤体土の限界応力比は、初期有効拘束圧50kPaの条件では $\overline{CU}$ 試験と同様の1.5程度、25kPaの条件でも1.7程度となり、浸透時のすべり耐性は決して高くない。犀川堤体土は細粒分含有率 F_c が80%以上、一軸圧縮強さ q_u も80kPa以上あり、一見すると高いせん断強度を有する硬質な粘性土であるが、吸水軟化試験での評価はそれと大きく異なる。実際に、犀川堤体土は、豪雨時にすべり破壊を起こした地点で採取したものであるが、通常の試験方法では、その脆弱性は決して評価できないことに注意する必要がある。

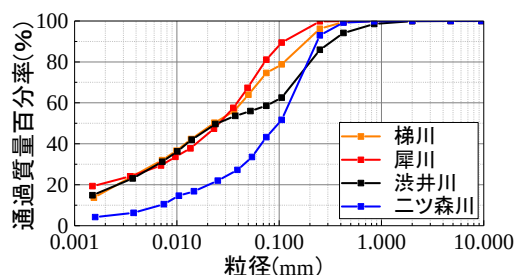


図1 細粒堤体土の粒径加積曲線

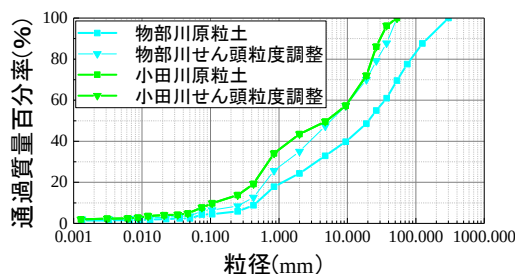


図2 礫質堤体土の粒径加積曲線

キーワード 河川堤防 浸透破壊 三軸試験 吸水軟化試験

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部 TEL052-838-2347

二ツ森川堤体土の試験結果を図4に示す。二ツ森川堤防は、ここでは示していない洪井川堤防と同様に洪水時に浸透のみで破堤したことが確認されているが、両堤防土の $\overline{CU}$ 試験と吸水軟化試験もほぼ同様の結果であった。すなわち、 $\overline{CU}$ 試験による有効応力経路は正規圧密土的な塑性圧縮のみの挙動を示し、吸水軟化試験の破壊応力比は総じて低い結果であり、浸透時のすべり耐性は低いとの評価であった。

次に小田川と物部川の堤防土の試験結果をそれぞれ図5と図6に示す。いずれも $\overline{CU}$ 試験では有効応力経路が原点に向かう静的液状化の挙動を示す。 $\overline{CU}$ 試験結果だけを見ると、礫質土堤防がゆる詰め構造であり礫質土堤防は脆弱であると判断せざるを得ない。一方、吸水軟化試験結果においては、 $\overline{CU}$ 試験と比べて破壊応力比が明らかに大きくなっており、破壊時の有効応力を用いて描いたモールの応力円においても $\overline{CU}$ 試験と比べて内部摩擦角が大きくなり、粘着力も発現する。したがって、低い有効応力条件下においては、礫粒子同士の噛み合わせによるせん断抵抗の発現などの要因によって、礫質土堤体土は高い浸透すべり耐性を有すると考えることができるが、その評価は吸水軟化試験を実施することによって可能となる。

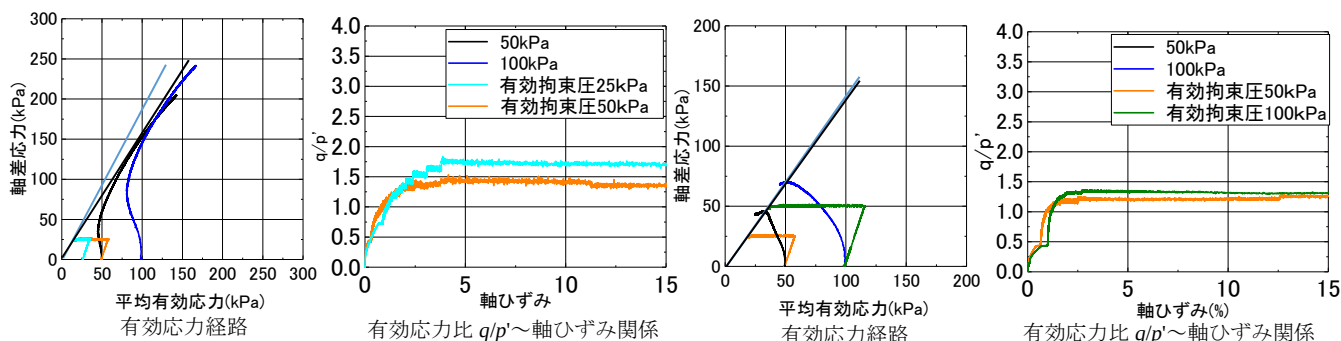


図3 犀川堤体土の試験結果

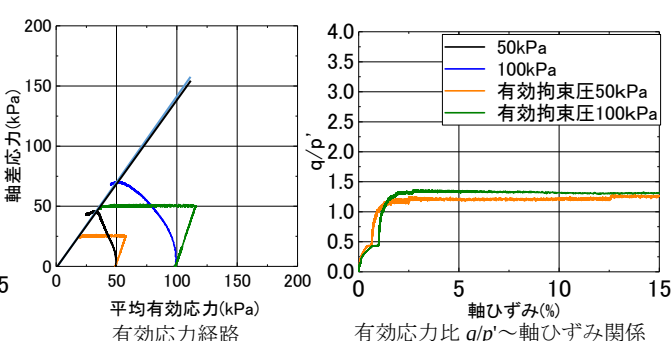


図4 二ツ森川堤体土の試験結果

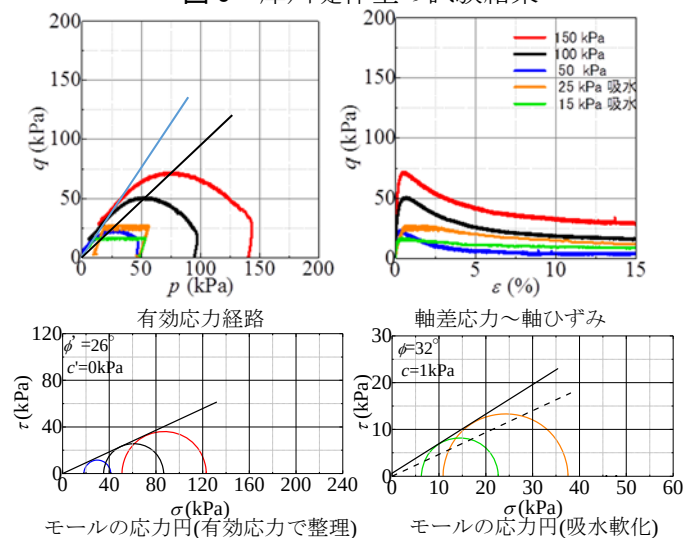


図5 小田川堤体土の試験結果

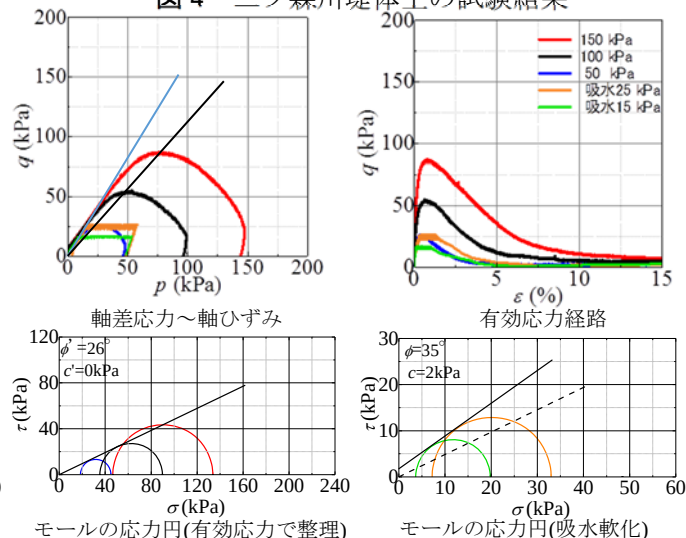


図6 物部川堤体土の試験結果

4. まとめ

通常の照査手法で定められた試験法だけからは、高いせん断強度を有する硬質粘性土と判断される犀川堤体土でも、吸水軟化試験を実施することによって、浸透時のすべり耐性は低いことが示された。一方、逆に通常の照査では、低いせん断強度しか評価できない礫質土堤防土においては、吸水軟化試験によって低有効応力条件下では、比較的高いせん断強度を発揮し、浸透すべり耐性が高いことも示された。このように通常の三軸試験では過大にも過小にも評価しうるため、吸水軟化試験による堤体土の浸透すべり耐性の評価は重要である。

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：細粒分が卓越した疑似粘性土堤防の強度評価の注意点, 第54回地盤工学研究発表会, 2019. 3) 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. 4) 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.