

吸水軟化試験による細粒分が卓越した堤防土の浸透耐性の評価

河川堤防 浸透破壊 軟化

名城大学	国際会員	小高 猛司
建設技術研究所	国際会員	李 圭太
土木研究所	国際会員	石原 雅規
中部土質試験協同組合	正会員	久保 裕一
名城大学大学院	学生会員	○田中 貴之
横浜国立大学	国際会員	崔 瑛

1. はじめに

河川堤防の築堤材料は地域性などに応じて様々であるが、特に細粒分の含有量は堤体の土質分類に直接影響するとともに、安定性照査に用いる土質定数の設定にも強く関与する。本報では、実堤防から簡易サンプラーで採取した細粒分を多く含む堤防土の力学特性の評価について考察する。具体的には、渋井川²⁾、梯川³⁾、子吉川の堤体で採取した不攪乱試料を用いて、CUB 試験と堤防の浸透条件を模擬した吸水軟化試験^{4) 5)}を実施した。ここで新たに提案する吸水軟化試験とは、三軸試験のせん断過程において所定の軸差応力になるまで排水せん断を行い、その後軸差応力を一定に保ちつつ間隙水圧を上昇させることによって、土が破壊に至るまで有効応力を低下させてゆく試験である。

2. 各試料の粒度試験と CUB 試験結果

図1に梯川堤防土、図2と3に渋井川堤防土の粒度分布を示す。梯川堤体土は、異なる採取箇所の試料も含めて全試料で細粒分含有率 F_c が 50%を上回っている。図2の渋井川堤防土は全採取箇所でのサンプラー先端の試料の粒度分布であるが、 $F_c > 50\%$ の粘性土と判定できる試料もある。図3は図2の No.1 近傍の試料の粒度分布のため F_c が 50%を下回っているが、細粒分を多く含む中間土である。なお、ここに掲載していないが、子吉川堤体土の F_c はさらに大きい。

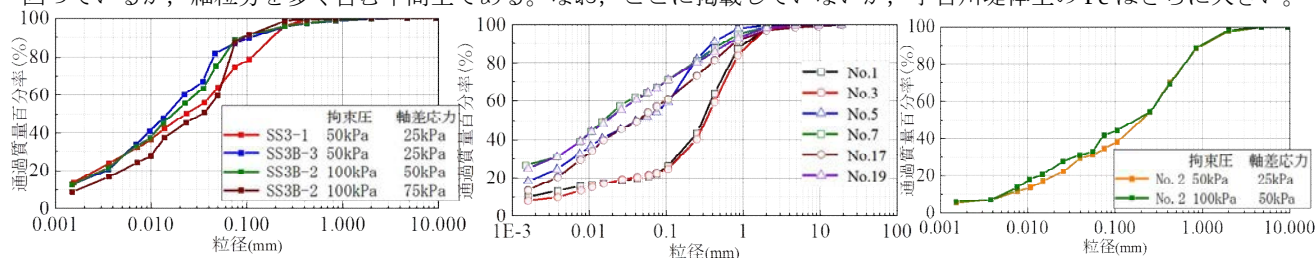
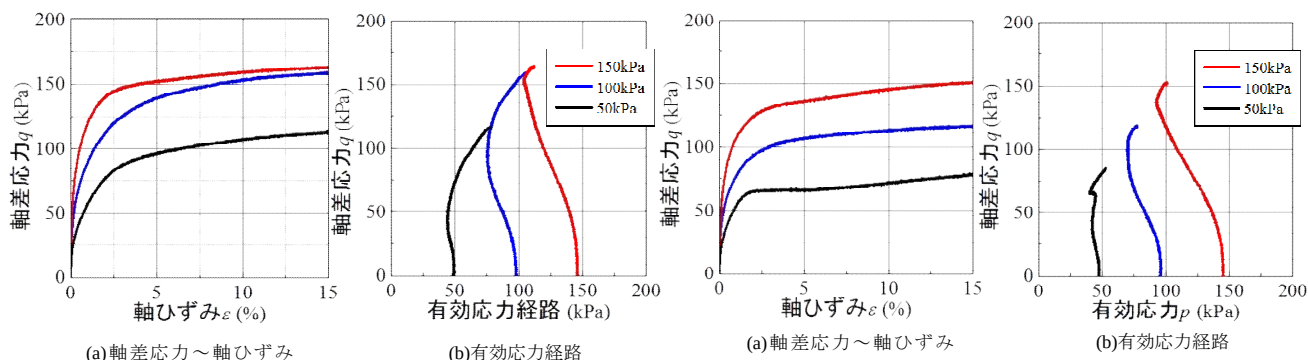


図1 梯川粒度試験 試験試料

図2 渋井川粒度試験 サンプリング

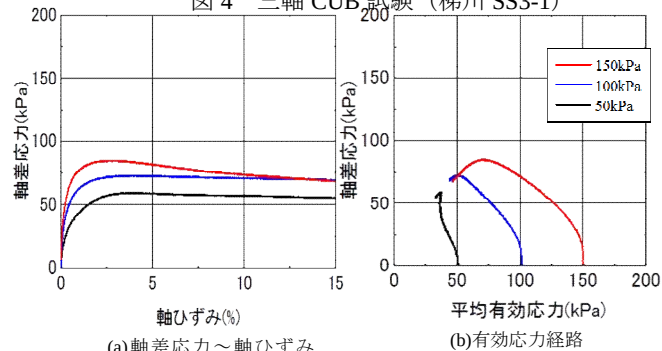
図3 渋井川粒度試験 試験試料



(a) 軸差応力～軸ひずみ

(b) 有効応力経路

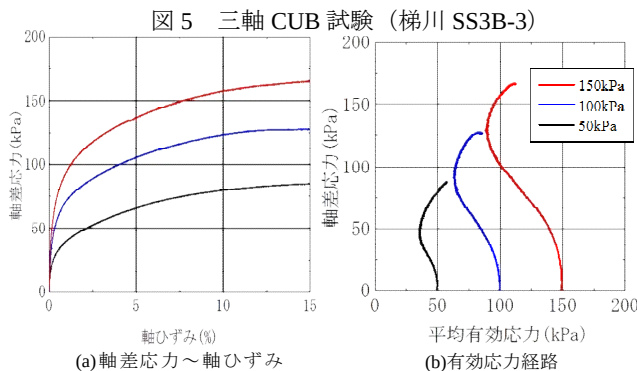
図4 三軸 CUB 試験 (梯川 SS3-1)



(a) 軸差応力～軸ひずみ

(b) 平均有効応力

図5 三軸 CUB 試験 (梯川 SS3B-3)



(a) 軸差応力～軸ひずみ

(b) 平均有効応力

図6 三軸 CUB 試験 (渋井川 No.1)

図 4~7 に CUB 試験の結果を示す。図 4 および 5 に示す梯川試料は、せん断後半に正のダイレイタンスーを示す過圧密粘土的な挙動を示している。限界応力比は 1.5 程度である。図 6 の渋井川試料は、低拘束圧ではやや過圧密粘土的であるものの、拘束圧が大きくなると正規圧密粘性的となる。限界応力比は 1.7 程度である。図 7 の子吉川試料は、図 4 と 5 の梯川堤防土と同様に過圧密粘土的な挙動を示し、限界応力比は 1.6 程度である。

3. 吸水軟化試験による細粒分含有率による湿潤時の強度の検討

図 8~11 に吸水軟化試験の結果を示す。参考のため吸水軟化試験の結果には CUB 試験の結果も示す。排水せん断で所定の軸差応力に到達した後、軸差応力を一定に保持しながら有効応力を低下させる。図 8 の梯川堤防土の応力比 q/p' ~軸ひずみ関係を見ると、CUB 試験で得られる限界応力比を大きく超えて $q/p'=3$ に到達するまで軸ひずみは 1%程度しか発生しておらず、到達して以降は軸ひずみが急激に発生することがわかる。この $q/p'=3$ の値は有効拘束圧がゼロとなったことを表している。したがって、この梯川堤防土は浸水に伴って有効拘束圧が急激に低下しても、一定のせん断強度を保持することを示唆している。図 9 の軸差応力 25kPa の吸水軟化試験でも梯川堤防土は $q/p'=2.8$ 程度まで到達しているが、軸差応力が大きくなるにしたがい、到達する q/p' の値は 2 以下となり、徐々に限界応力比に近づいている。

図 10 の渋井川堤防土の場合、CUB 試験の限界応力比とほぼ同じ q/p' に到達した時点で軸ひずみが急激に発生しはじめて一気に破壊した。平成 27 年関東・東北豪雨時の渋井川堤防の破堤は堤体のパイピング破壊が疑われているが、本実験の結果からも渋井川堤防土が浸潤に伴い弱化する懸念のある材料であることが示された。図 11 の子吉川堤防土の場合、どの軸差応力であっても q/p' は 3 に近い値を維持しており、梯川堤防土以上に浸透耐性が高いことがわかる。

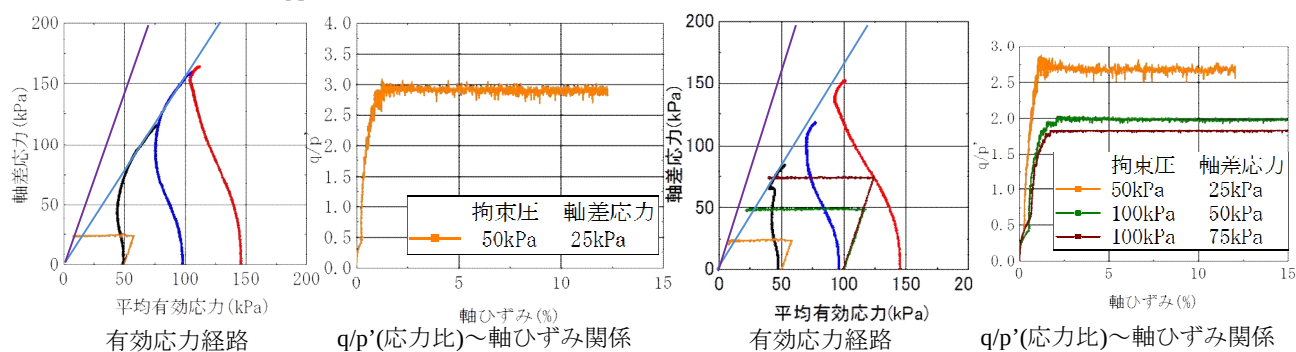


図 8 吸水軟化試験 (梯川 SS3-1)

図 9 吸水軟化試験 (梯川 SS3B-3)

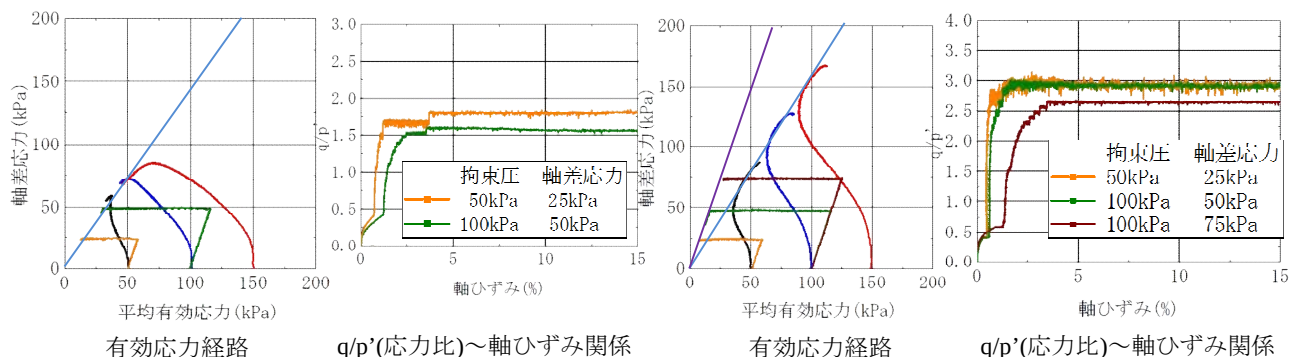


図 10 吸水軟化試験 (渋井川 No.2)

図 11 吸水軟化試験 (子吉川 S-1)

4. まとめ

堤防土の浸透耐性を知るための吸水軟化試験を提案した。図 12 に示すように、堤体土によって、応力比 $q/p'=3$ まで到達できるもの (①) から、CUB 試験の限界応力比で破壊するもの (③) がある。さらに、軸差応力が小さい場合には $q/p'=3$ となるが、軸差応力の増加につれて低下するもの (②) もある。渋井川堤防土は最も浸透耐性が低い③であるが、粒度分布からは粘性土と判定される場合もあり、その際には堤防の安定性を危険側に判定する可能性がある。吸水軟化で得られる最大応力比は、堤体土の F_c やその I_p などの物理性質に加え、堤防土の構造や過圧密性などの力学特性に左右されると考えられ、現在詳細に検討している。また、吸水軟化試験による、低拘束圧下の強度定数設定法についても検討中である。

参考文献: 1)小高ら：砂質堤体土の簡易サンプリングとその強度特性の評価，第 3 回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム，2015. 2) 高木ら：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨で破堤した渋井川堤防土の三軸試験，第 71 回土木学会年次学術講演会，2016. 3) 石原ら：梯川旧堤で実施した現地堤防地盤調査，第 4 回河川堤防技術シンポジウム，2016. 4)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. 5)小高ら：「粘性土」堤体土の浸透時の力学特性の評価，第 4 回 河川堤防技術シンポジウム，2016.

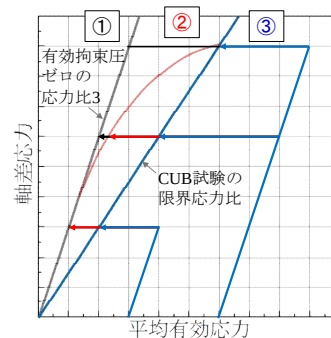


図 12 吸水軟化の 3 パターン