

吸水軟化試験による九頭竜川堤防土の浸透時の力学特性の評価

名城大学大学院 学生会員 ○児玉 直哉
名城大学 正会員 小高 猛司
日本工営/名城大学 正会員 李 圭太
中部土質試験協同組合 正会員 久保 裕一

1. 目的

本研究グループでは、河川堤防土の浸透時のせん断強度を適切に評価する試験法として吸水軟化試験を提案している。この試験法を使うことによって、従来の照査では硬質な粘性土と評価される細粒土が浸透時には十分なせん断強度を発揮しないことや、逆に通常の三軸試験では強度定数が小さく評価される緩詰の礫質土が低有効応力条件下においては比較的高いせん断強度を発揮することなどが確認できている¹⁾。従来の試験法では過大にも過小にも評価しうるため、河川堤防の浸透すべりの照査を適切に評価するために吸水軟化試験²⁾の実施が重要であると考えている。本報では、福井県の九頭竜川右岸 12.0k 付近における樋門の新築に伴う堤防開削調査にて採取した不攪乱試料を用いて通常の $\overline{\text{CU}}$ 三軸試験と吸水軟化試験を実施し、その力学特性について検討する。

2. 試料概要

本研究で用いる九頭竜川堤体土は福井県坂井市の九頭竜川右岸 12.0k 付近での開削箇所にて採取した試料である。試料採取は簡易サンプリングを用いた³⁾。具体的には内径 71mm、長さ 500mm の塩ビ管 VU65 を内管とする特性の 2 重管サンプラーを打ち込む方法である。採取地点は、開削断面の下流側 (A, B, C 地点) と上流側 (D, E 地点) に分けて各地点 2 か所ずつ計 10 か所での採取を行なった (写真 1, 2)。図 1, 2 には各地点にて掘削採取した試料の粒度加積曲線を示す。全地点で細粒分含有率は 70~90%程度であり、シルト分は 50%程度を含んでいる。ただし、下流側は粘土分が多く 40%程度、上流側は砂分が多く 20~30%程度含んでいる。また、下流側は液性限界 $w_L=60\%$ 、塑性指数 $I_p=20$ 程度の高液性限界の砂混じりシルト、上流側

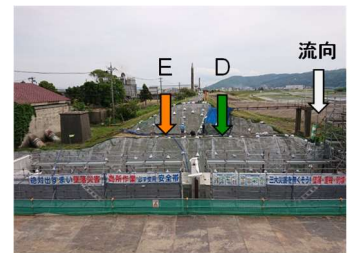
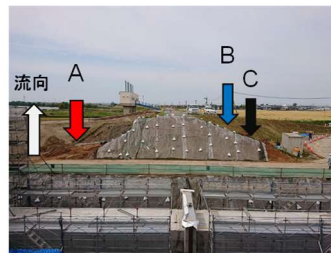


写真 1. 開削断面（下流側） 写真 2. 開削断面（上流側）

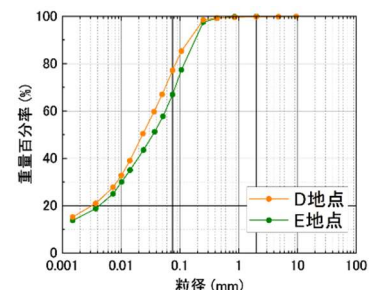
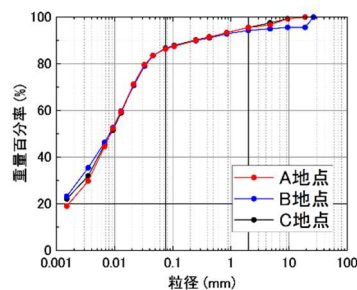


図 1. 粒度分布（下流側） 図 2. 粒度分布（上流側）

は液性限界 $w_L=35\%$ 、塑性指数 $I_p=10$ 程度の低液性限界の砂質粘土であり、下流側と上流側で物理特性が異なっている。それぞれの現場から採取した乱した試料で実施した締固め試験から不攪乱試料の締固め度を評価すると、下流側は 87.5~97.7%、上流側は 92.6~100.8%であり、いずれも比較的高く、特に上流側はより高いことがわかる。

3. 試験概要

吸水軟化試験とは三軸試験機を用いた試験法である。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ことができる。今回、各採取地点でサンプリングした試料を凍結させた上で規定寸法（直径 50mm、高さ 100mm）に成型し、通常の $\overline{\text{CU}}$ 三軸試験と吸水軟化試験を実施した。

キーワード 河川堤防, 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 TEL052-838-2023

4. 試験結果

表1と図3～7に $\overline{CU}$ 試験および吸水軟化試験の試験結果を示す。表1について、変相応力比は $\overline{CU}$ 試験の変相点（過剰間隙水圧のピーク値）、破壊応力比は吸水軟化試験の破壊点で整理した応力比である。図3～7について、左側に有効応力経路、右側に吸水軟化試験の有効応力比～軸ひずみ関係を示す。赤、青、黒色の3線で $\overline{CU}$ 試験、橙、緑色の2線で吸水軟化試験の有効応力経路を示す。また、黒色の点線で $\overline{CU}$ 試験の変相応力比、橙色と緑色の点線で吸水軟化試験の破壊応力比を示す。

まず $\overline{CU}$ 試験結果について見ていく。図3～5の比較的粘土分を多く含む下流側では、変相後に塑性膨張を伴う硬化挙動に転じる典型的な過圧密粘土の挙動を示している。図6～7の比較的砂分を多く含む上流側では、せん断初期の弾性が卓越し、変相後に軸差応力が増加し続ける非常に密詰めな砂の挙動を示している。また、全地点で変相時の軸ひずみは1～2%程度と小さく、変相応力比は1.43～1.55程度と比較的高い値である。

次に吸水軟化試験結果について見ていく。下流側のA,B,C地点では、A地点の拘束圧100kPaを除くと、破壊応力比は1.39～1.68程度であり、 $\overline{CU}$ 試験の変相応力比と同程度あることがわかる。本研究グループの分類によれば、低有効応力条件下において変相応力比と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、浸透時の低有効応力条件下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。上流側のD,E地点では、破壊応力比は1.92～2.15程度であり、 $\overline{CU}$ 試験の変相応力比に比べて明らかに高い値を示している。したがって、浸透時の低有効応力条件下において高いせん断強度を示す堤体材料であり、浸透に対しては比較的強固であると判断できる。

5. まとめ

今回、細粒分を多く含む九頭竜川堤防土を対象として $\overline{CU}$ 試験と吸水軟化試験による力学特性の検討を実施した。その試験結果より、下流側のような粘土分を比較的多く含むものであっても、砂質土のように浸透時にせん断強さを発揮できない特性を有していたことが分かった。それに対して、上流側のような砂分を比較的多く含むものであっても、92.6～100.8%程度の非常に高い締固め度を有していれば浸透に対して強固なせん断特性を有することが分かった。堤体材料を危険側の評価にしないためにも、吸水軟化試験を用いて適正なせん断強さの評価をすることが重要である。

参考文献：1)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 2)小高ら：弾塑性論と吸水軟化試験による砂質土の強度乗数に関する考察，第70回土木学会年次学術講演会，2015.3)小高ら：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.

表1. 応力比

試料	変相応力比 ($\overline{CU}$)	破壊応力比 (吸水軟化)	
		50	100
A	1.46	1.39	1.97
B	1.55	1.68	1.52
C	1.52	1.50	1.43
D	1.46	2.15	2.11
E	1.43	1.92	2.12

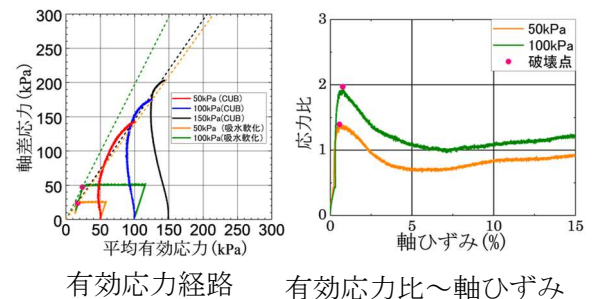


図3. 試験結果 (A 地点)

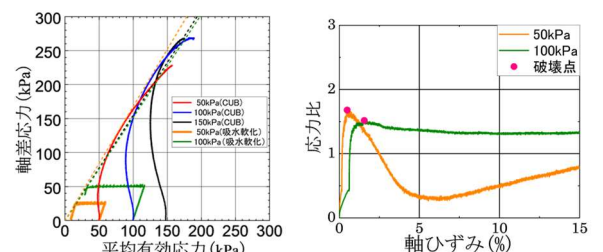


図4. 試験結果 (B 地点)

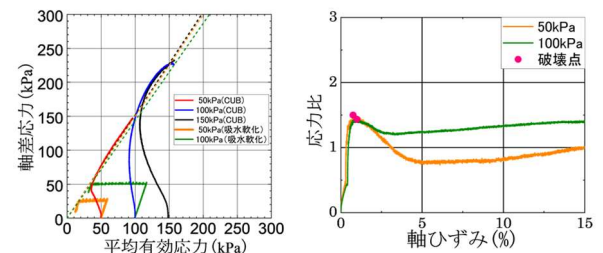


図5. 試験結果 (C 地点)

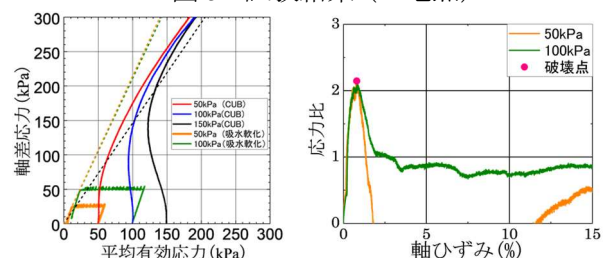


図6. 試験結果 (D 地点)

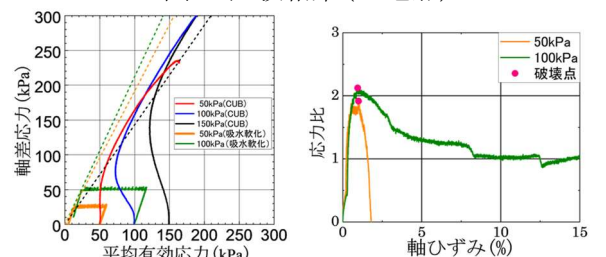


図7. 試験結果 (E 地点)