

吸水軟化試験による密詰め礫質堤防土のせん断強度の評価

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

1. はじめに

礫質土堤防においては、ボーリング調査で得られる N 値は、礫当たりなどでばらつきが大きい一方で比較的小さいことが多い。そのため、被災経験が無いにも拘わらず、浸透耐性が低く評価されている堤防も多い。さらに、大粒径を含むため、通常の三軸試験による評価も難しい。筆者らは、礫質土の堤体の浸透耐性を適切に評価するため、大型三軸試験による堤体土の強度評価や小型三軸試験で同等の評価をするための粒度調整法や密度調整法について検討してきた¹⁾。その一環として、吸水軟化試験^{1),2)}による検討も行った。さらに、ある程度密詰めであれば、礫質土堤防が越水時にも強い粘りを発揮することを現場大型模型実験によっても体験しており、その堤体土のせん断強度評価にも吸水軟化試験が有効であることも示した³⁾。本報では、比較的高い乾燥密度の実河川堤体から採取した礫質土を対象に、せん頭粒度調整並びに密度補正を行った供試体を用いて $\overline{CU}$ 試験と吸水軟化試験を実施し、密詰め礫質堤防土の適正なせん断強度の評価について検討する。

2. 試験概要

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異方応力状態から、軸差応力を一定に保ちつつ間隙水圧を徐々に上昇させることによって土を破壊に至らしめる試験である。実際に、堤防法面での浸透時のすべり破壊は、有効応力の低下に伴い発生する主働破壊に近い現象であるため、大きな前兆もなく一気に崩壊する。したがって、比較的大きな拘束圧条件下で実施する通常の $\overline{CU}$ 試験では、低有効応力条件下にある土の「軟化」の閾値を精度良く見つけることは容易ではなく限界がある。そのため、有効応力経路を精密に制御することで、土の骨格構造が急激に変化し始める有効応力条件を探索することを目的に吸水軟化試験を実施する。

今回対象としたのは、山陰地方の某河川の実堤防から採取した試料である。試料採取時に、現地にて水置換法で乾燥密度を計測した結果、 1.8g/cm^3 と得られ、礫質土堤防としてはかなり高い密度の密詰め堤防であることがわかった。採取した試料は実験室に搬入し、自然乾燥後に四分法を用いて均等に小分けを行った。また、直径 10cm の供試体で試験を実施するために、19.1mm のフルイでせん頭粒度調整を行った。また、原粒度試料の内、19.1mm フルイ残留分の質量割合が約 22%であったため、現地での 19.1mm 以下の土粒子だけで構成されていた部分の乾燥密度を補正乾燥密度とし、本報では 1.7g/cm^3 で供試体を作製することとした。供試体作製時の試料の含水比は、現地で測定した堤体部分の含水比に近い 10%に調整し、所定の密度となるように 5 層に分けて慎重に密度管理を行いながら締め固めを行い、直径 10cm、高さ 20cm の円筒供試体を作製した。

本報では、載荷速度 $0.1\%/min$ の単調載荷で行った圧密非排水せん断 ($\overline{CU}$) 試験と吸水軟化試験を実施した。吸水軟化試験は、所定の有効拘束圧で等方圧密後、排水せん断で所定の軸差応力まで初期せん断を与え、その後、軸差応力を一定に維持したまま、間隙水圧を徐々に上昇させて、破壊に至らしめる。本報では、初期有効拘束圧は 50kPa として、一定軸差応力は 15 と 25kPa の 2 ケースとした。

3. 試験結果

図 1 に試験結果を示す。(a)と(b)の青、黒、赤線が、それぞれ初期有効拘束圧 50, 100, 150kPa の $\overline{CU}$ 試験結果である。いずれも極めて密詰めの傾向を示しており、正のダイレイタンスの拘束によって平均有効応力 p'

キーワード：礫質土、三軸圧縮試験、河川堤防、せん断強度

連絡先：〒46-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部 Tel 052-838-2347

と軸差応力 q が大きく増加している。また、この密詰め傾向は(c)図において大きな負の過剰間隙水圧が発生していることからわかる。

吸水軟化試験の結果は、図1の各図の橙色と緑色の線で表すが、(a)、(b)いずれも $\overline{\text{CU}}$ 試験に比べて有効応力レベルが非常に小さいために、有効応力経路のみ(d)図に拡大して示す。排水せん断によって25および15kPaまで到達させた軸差応力を一定に保ちながら、今度は間隙水圧を上昇させるために、平均有効応力が左側に減少していく。その後、ある閾値を超えると一気に破壊が進展する。(d)図において、黒の実直線は $\overline{\text{CU}}$ 試験の破壊線であり、吸水軟化試験の有効応力経路は、その破壊線を左側まで超えている。すなわち、赤の実直線で示す吸水軟化による破壊時の有効応力比 q/p' の値は極めて大きい。図2は吸水軟化試験中の有効応力比 q/p' ～軸ひずみ関係である。一定軸差応力15kPaの場合、軸ひずみ0.2%弱で破壊応力比は5となり、その後は軸差応力が急激に低下して計測不能となった。一定軸差応力25kPaの場合、破壊応力比は6近くに到達しているが、やはり到達時点での軸ひずみは0.4%程度と非常に小さい。すなわち、この礫質土の場合、浸透時の破壊は平均有効応力の低下の過程では変形の前触れがほとんどなく、限界値に到達した途端に一気に崩壊が進むことを示唆している。ただし、通常であればこのような高い応力比を粒状体は維持できないが、極低拘束圧条件下において極めて密詰め礫質材料であるために到達したと考えられる。

図3はモールの応力円である。 $\overline{\text{CU}}$ 試験の内部摩擦角は41度と比較的大きい。一方、吸水軟化試験における破壊時の有効応力を用いて描いたモールの応力円は引張側に入っており、低拘束圧下では $\overline{\text{CU}}$ 試験よりも大きなせん断強度を見込めることがわかる。

4. まとめ

吸水軟化試験により、密詰め礫質土は、低有効応力条件下では通常の粒状材料では発現しないせん断強度を発揮することが示された。これは密詰め礫質材料の強固なかみ合いによるものと考えられるが、堤防の「粘り」に結びつくものと評価できる。

参考文献：1) 例えば、小高ら：浸透すべり評価に用いる礫質堤防土の強度定数の決定法，第54回地盤工学研究発表会，2019.2) 例えば、中山ら：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，第74回土木学会年次学術講演会，2019.3)小高ら：越水時に粘りを発揮する礫質堤体土の力学特性，第53回地盤工学研究発表会，2018.

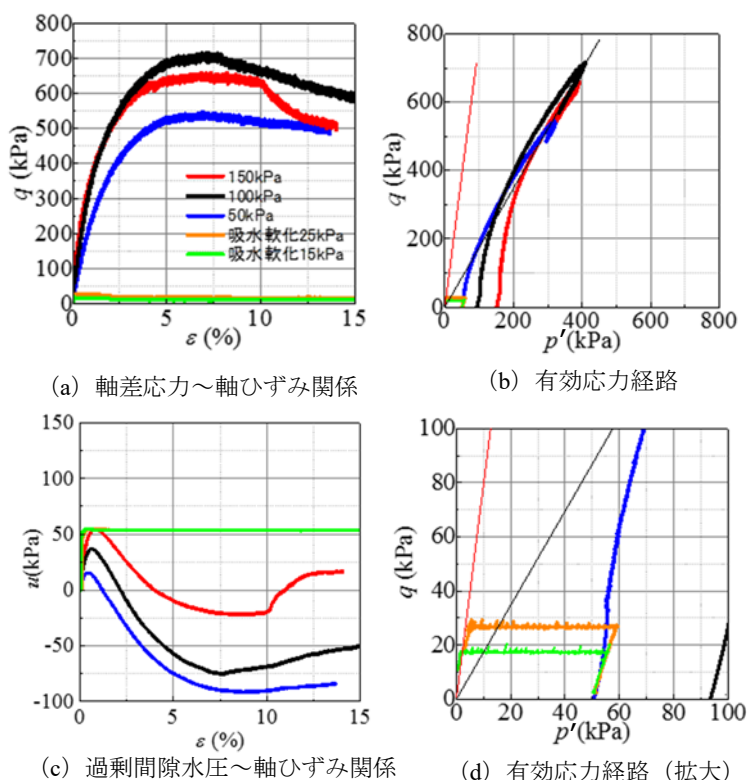


図1 試験結果

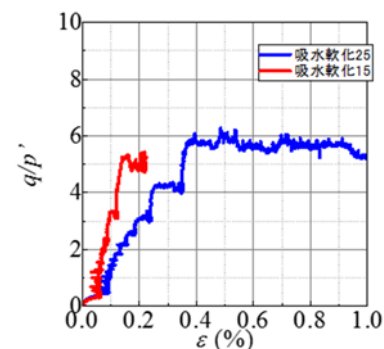
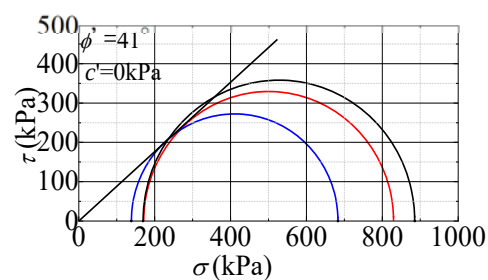
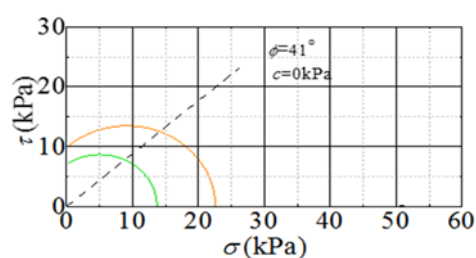


図2 吸水軟化試験における有効応力比 q/p' ～軸ひずみ関係



(a) $\overline{\text{CU}}$ 試験



(b) 吸水軟化試験

図3 モールの応力円