

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 ○梅村逸遊
 名城大学 正会員 小高猛司
 建設技術研究所 正会員 李 圭太

1. はじめに

大粒径の石まで含む礫質土堤防は、礫当たりなどによってN値のばらつきも大きいことなどから、力学特性の評価は非常に難しい。一方でN値が小さく評価されることも多く、被災履歴が無いにも拘わらず、浸透すべりがOUTと評価されている堤防も少なくない。このような問題に対し、筆者らは堤体の浸透耐性を適切に評価するため、新たに吸水軟化試験¹⁾を提案し、検討を行っている。本報では、実河川堤防より採取した礫質堤防土と屋外堤体模型による湛水実験²⁾の結果、高い耐越水性能を示した堤体模型材料の礫質土を対象に、直径20cm、高さ40cmの大型三軸試験装置を用いて吸水軟化試験を実施し、礫質土の浸透耐性を含めた力学特性について検討を行った。

2. 試験の概要

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、堤防法面は有効応力低下による主動破壊であるため、大きな前兆もなく一気に崩壊する。通常のCUB試験では、変相状態を用いて破壊の閾値を評価することはある程度可能だが、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、自ずと限界がある。そのため、有効応力経路を精密に制御することで、対象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、岡山県小田川、高知県物部川の実堤防から採取した試料および上記の屋外模型堤体の試料である。模型堤体試料は湛水実験の際に越水させても容易に破堤に至らなかった実績があり、詳細は文献²⁾を参照されたい。各試料は実験室に搬入し自然乾燥後に4分法を用いて均等に小分けを行い、図1に示す粒度分布を求めた。また、大型三軸試験では最大粒径53mmに調整した試料を用いるためその粒度分布も図中に示す。供試体について、小田川試料は現地の乾燥密度が計測できなかったため締固め試験より求めた最大乾燥密度より締固め度90%となるように作製した。物部川試料はおよそ1m³の原粒度試料採取時に水置換法によって正確な乾燥密度を計測していることから、53mm以下の試料のみで

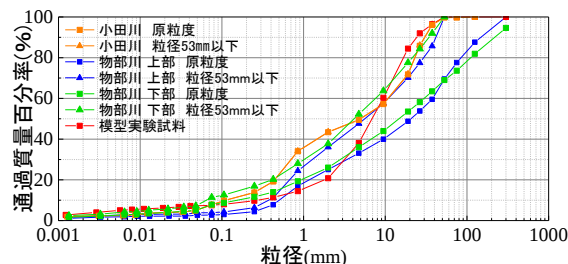


図1 各試料の粒度分布

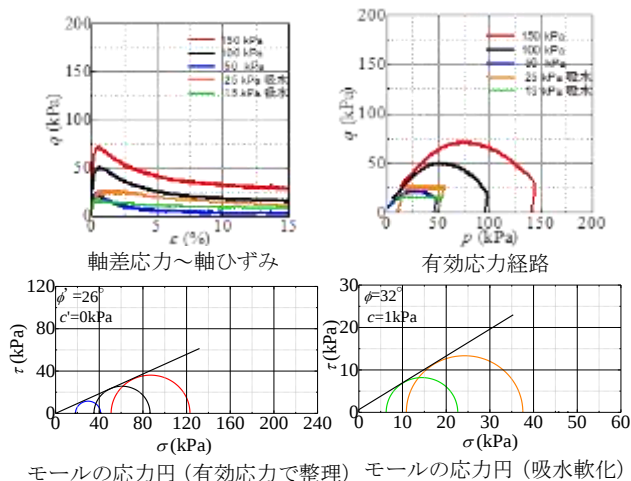


図2 小田川試料 試験結果

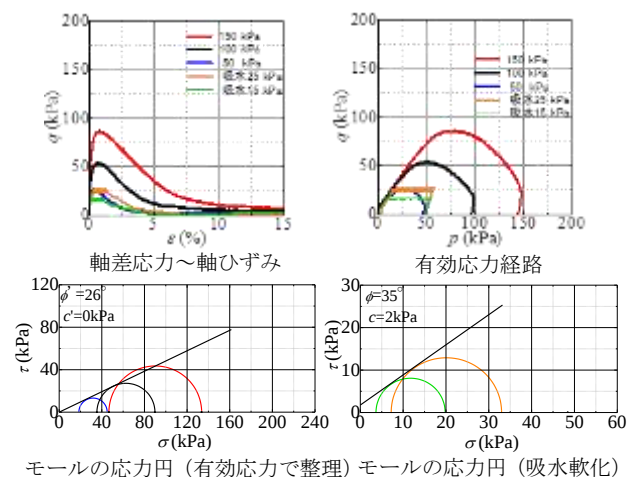


図3 物部川上部試料 試験結果

キーワード：河川堤防，礫質土，三軸圧縮試験

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 Tel 052-838-2347

構成するマトリックス部分のみの乾燥密度に補正した乾燥密度を用いて作製した。模型堤体試料では、礫分が 8 割を占めていたため締固め試験は困難と判断し、礫の最大・最小密度試験を実施した。室内試験で得られた最大乾燥密度と湛水実験の際の堤体乾燥密度を参考に、相対密度 60%となるように作製した。小田川試料、物部川試料は含水比 5%，模型堤体試料は湛水実験の際に測定した堤体部分の含水比に近い 8%に調整した後、5 層に分けて慎重に密度管理を行いながら締め固めた。本報では、比較のため載荷速度 0.1%/min の単調載荷で行った圧密非排水せん断（CUB）試験の結果と上記の方法で初期せん断として 15kPa と 25kPa の応力を与えて実施した吸水軟化試験の結果を示す。

3. 試験結果

図 2～5 に各試料の試験結果を示す。現場の密度を正確に把握して実施した物部川の CUB 試験は上部、下部ともにゆる詰め傾向を示した。また、締固め度 90%の小田川や堤体模型試料においても同様にゆる詰め傾向を示す結果であった。したがって、礫質土は通常の三軸試験結果からはせん断強度は低いと評価せざるを得ない。一方で吸水軟化試験の結果に着目すると、有効応力経路よりいずれの試料においても CUB 試験より大きな破壊応力比に到達することが分かる。また、吸水軟化試験において、有効応力低下により軸ひずみが急増し供試体の骨格構造が大きく変化する時点での有効応力状態を用

いてモールの応力円を作成した結果、小田川試料、物部川試料においてはいずれもせん断抵抗角は CUB 試験よりも大きい結果を示し、粘着力も新たに確認された。堤防模型試料においては、せん断抵抗角は CUB 試験よりも小さくなったものの粘着力は 6kPa と比較的大きな値を示し、低拘束圧下における破壊基準線は吸水軟化試験時の方が CUB 試験の破壊基準線を上回る結果であった。ここでは、実務を意識して内部摩擦角と粘着力を示しているが個々の値は土が持つ物理的な性質を示すのではなく、せん断強さを規定する破壊基準線のパラメータと考えるべきである。したがって、破壊基準線を必ずしも直線で引く必要はないが、仮に直線とした場合、今回のようなせん断力に大きな切片、すなわち粘着力が評価される結果となる。よって、今回評価された大きな粘着力は、礫材料が低有効拘束圧条件下においても粒子のかみ合わせによって発揮されるせん断強さが評価されたと考えるのが適当である。

以上の結果より、ゆる詰め傾向を示す礫質土であっても、吸水軟化試験を実施することで浸透すべり時を模擬した低い有効拘束圧下においては通常の三軸試験で用いる大きな拘束圧条件下よりも大きなせん断強さを発揮することが示された。それに加え、仮にマトリックス部分の少ない礫質土であっても礫同士のかみ合わせによって発揮されるせん断強さによってある程度の浸透すべりに抵抗する能力を保持しているのではないかと考えられる。

4. まとめ

吸水軟化試験を行うことで、通常の三軸試験では評価できない低拘束圧条件下でのせん断強さを確認することができた。それに加え、礫材料がかみ合うことで発揮される浸透すべりに対する「粘り」も評価することができた。したがって、現行の照査法では、危険側に判定されやすい礫質土堤防においても本報のように材料特性を適正に判断することで、対策優先度を下げることにつながれると考える。

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) 杉井ら：小型堤防による越水から決壊現象における堤体粒度の影響，第 72 回土木学会年次学術講演会，2017。

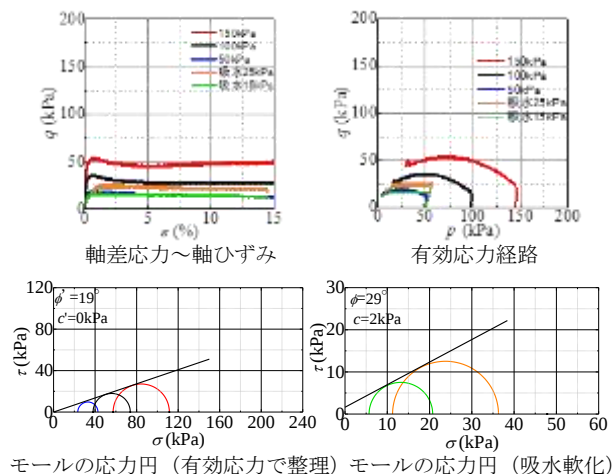


図 4 物部川下部試料 試験結果

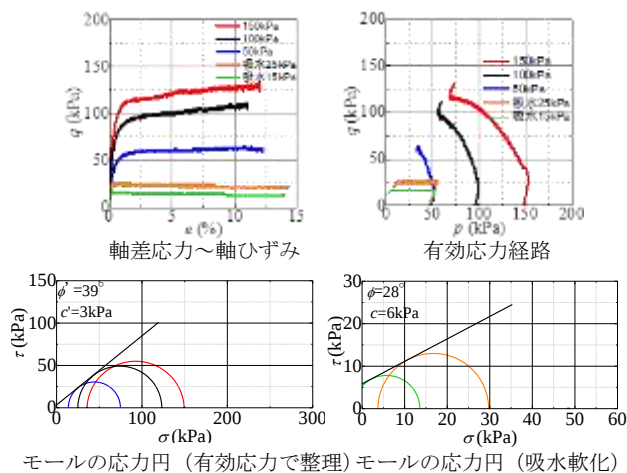


図 5 堤防模型試料 試験結果