吸水軟化試験による礫質実堤防の浸透耐性の評価

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

礫質土堤防は，ボーリングによる地盤調査では原粒度試料の採取が困難であるだけではなく，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が非常に難しい。実際に，N値が比較的小さいことも多く，被災経験が無いにも拘わらず，現行の照査法で浸透耐性が低く判定されている堤防も少なくない。このような問題に対して筆者らは，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),2)]を提案し，検討を行っている。本報では，実河川堤防から採取した礫質土を対象に，直径20cm，高さ40cm の大型三軸試験機を用いて吸水軟化試験を実施し，礫質土堤防の適切な浸透耐性の評価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軸差応力になるまで排水せん断を行い，その後は軸差応力を一定に保ちながら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)]。今回は，岡山県小田川[3)]と高知県物部川[4),5)]の実堤防から採取した試料を用いて試験を実施した。採取試料は大型土嚢で実験室に搬入後，自然乾燥させた後に4分法を用いて均等に小分けを行った。図1にそれぞれの試料の粒度分布を示す。また，大型三軸試験には最大粒径53mmに調整した試料を用いたが，その粒度分布も図中に示している。小田川堤防では現地の礫質土の乾燥密度が計測できていなかったため，締固め試験より求めた最大乾燥密度を基準に締固め度90%となるように供試体を作製した。物部川堤防では，およそ1m^{3}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供試体を作製した。いずれの試料も含水比5%に調整した後に所定の乾燥密度になるように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（$\overline{\mathrm{CU}}$）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。

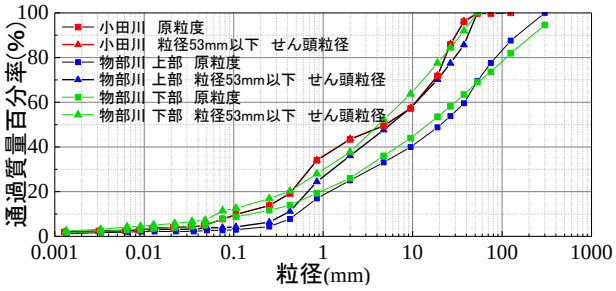
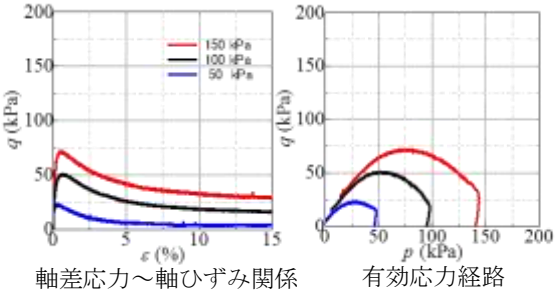
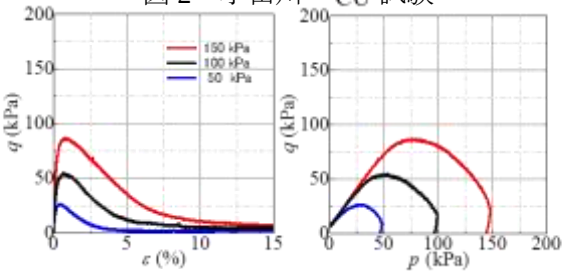


図 1　試験試料の粒度分布



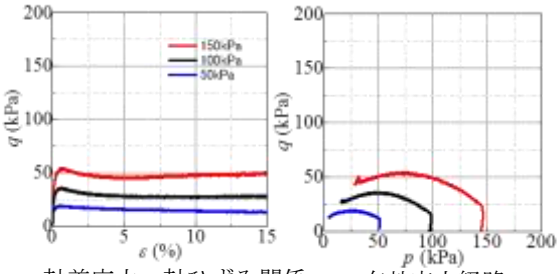
軸差応力～軸ひずみ関係　有効応力経路

図 2　小田川　$\overline{\mathrm{CU}}$ 試験



軸差応力～軸ひずみ関係　有効応力経路

図 3　物部川上部　$\overline{\mathrm{CU}}$ 試験



軸差応力～軸ひずみ関係　有効応力経路

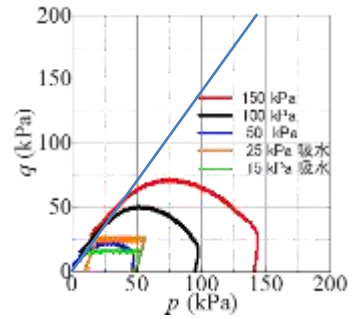
図 4　物部川下部　$\overline{\mathrm{CU}}$ 試験

3. 試験結果

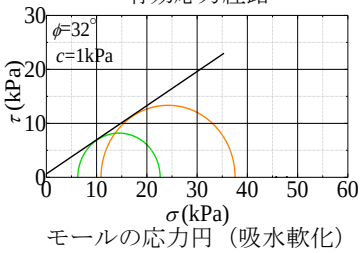
図 2 に小田川試料，図 3 に物部川上部試料，図 4 に物部川下部試料の $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験結果を示す。現場の密度を正確に把握して実施した物部川の $\overline{\mathrm{CU}}$ 試験結果は上部，下部ともにゆる詰め傾向

を示す結果となった。また，締固め度 90%の小田川であっても，物部川と同様にゆる詰め傾向を示す結果であった。筆者らは，他にも現地礫質堤防土試料を用いて大型三軸試験を実施しているが，締固め度 90%程度の礫質土では，今回のようなゆる詰め傾向を示すことが分かっており，通常の三軸試験結果からは礫質堤防土のせん断強度は低いと評価せざるを得ない。

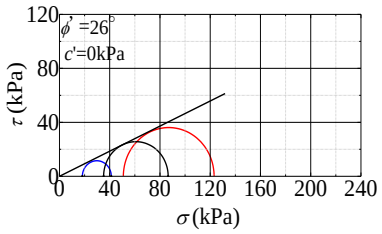
次に，今回提案する吸水軟化試験の結果をそれぞれ図 5，図 6，図 7 に示す。比較のため吸水軟化試験の結果には $\overline{\text{CU}}$ 試験の結果も示している。有効応力経路に着目するといずれの試料においても $\overline{\text{CU}}$ 試験よりも大きな破壊応力比に到達することが分かる。また，間隙水圧上昇の過程において，軸ひずみが急増し供試体の骨格構造が大きく変化する吸水軟化時の有効応力状態を用いてモールの応力円を作成した結果，せん断抵抗角はいずれの試料においても $\overline{\text{CU}}$ 試験のせん断抵抗角より大きい結果を示し，粘着力も確認された。今回の吸水軟化時の有効応力はいずれも非常に小さな値であり，軸ひずみも 3%以下であった。以上の試験結果より，ゆる詰め傾向の礫質堤防土であっても，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。したがって，現行の N 値で評価や通常の三軸試験では，実際の礫質堤防の安定性を過小評価する可能性がある。



有効応力経路

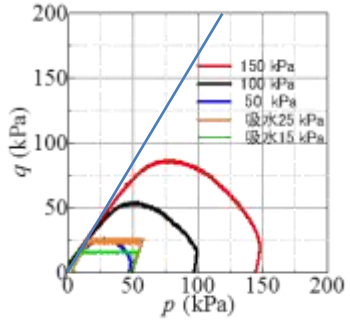


モールの応力円（吸水軟化）

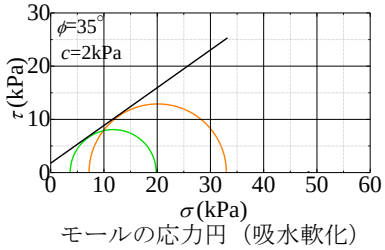


モールの応力円（$\overline{\text{CU}}$ 試験）

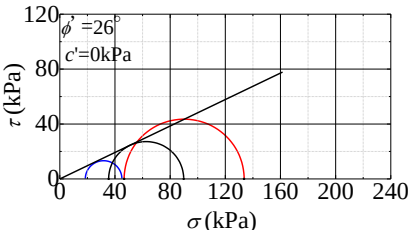
図 5　小田川　吸水軟化試験



有効応力経路

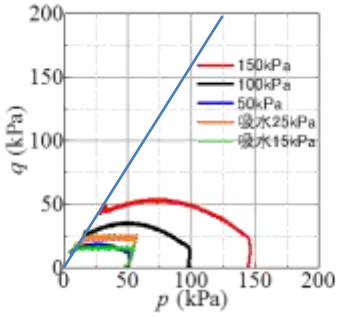


モールの応力円（吸水軟化）

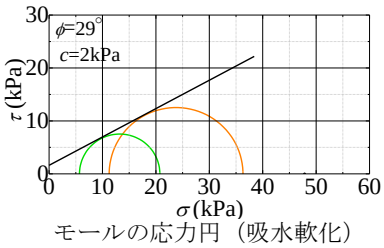


モールの応力円（$\overline{\text{CU}}$ 試験）

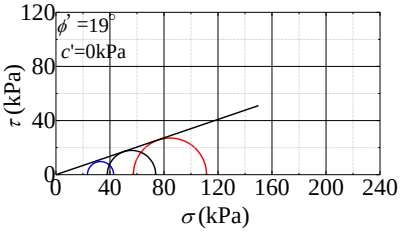
図 6　物部川上部　吸水軟化試験



有効応力経路



モールの応力円（吸水軟化）



モールの応力円（$\overline{\text{CU}}$ 試験）

図 7　物部川下部　吸水軟化試験

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下でのせん断強さを確認することができた。ゆる詰め傾向かつ浸透耐性が低く評価されてしまっている礫質土堤防においても，実際は比較的大きなせん断抵抗を有しており，ある程度の浸透耐性があると予想される。物部川（下部）のせん断抵抗角が若干小さく評価されているが，現場密度評価の精度の影響も考えられる。現場密度計測は今後の課題としたい。

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) 例えば，小高ら：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，第 52 回地盤工学研究発表会，2017. 3) 小高ら：河川堤防の礫質基礎地盤土の力学特性の評価，第 52 回地盤工学研究発表会，2017. 4)梅村ら：三軸試験による礫質土の力学特性の評価における供試体密度の影響，第 72 回土木学会年次学術講演会，2017. 5) 李ら：石混じり礫質土を有する河川堤防における地盤特性に関する考察，第 72 回土木学会年次学術講演会，2017.