

吸水軟化試験による礫質堤防土の強度定数評価

礫質土 三軸圧縮試験 堤防

名城大学 国際会員 小高猛司
 名城大学大学院 学生会員 ○李 朝暉・中山雄人
 中部土質試験協同組合 国際会員 久保裕一
 日本工営 国際会員 李 圭太
 元名城大学学生 佐治 瞳

1. はじめに

我々の研究グループでは、様々な実河川の礫質堤防土を採取して、数多くの大型三軸試験を実施してきた。現地密度に再構成した礫質土供試体は、通常のCU試験ではゆる詰め挙動を呈して、せん断強さが小さく評価されることが多いことを示してきた¹⁾。また、実務で用いる直径10cm、高さ20cmの中型供試体の三軸試験を実施するために、せん頭粒度調整試料の適切な密度補正法とあわせて、吸水軟化試験の適用についても検討してきた²⁾。本報では、小田川試料による大型と中型供試体のCU試験と吸水軟化試験の結果を比較し、礫質土の強度決定法について検討する。

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り、大きな前兆なく一気に崩壊する。したがって、比較的大きな拘束圧下で実施する通常のCU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い。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状態を探索することができる吸水軟化試験を実施した。

今回使用した試料は、岡山県小田川河川敷のAg層から採取した試料であるが、採取試料は実験室に搬入後、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に粒度分布を示す。直径20cmの大型三軸試験用に53mmでのせん頭粒度調整を行ったが、図に示すようにほぼ原粒度と同一である。表1に各試験条件を示す。大型供試体の乾燥密度は、現地の乾燥密度が計測できなかったため、別途実施した大型締固め試験で得られた締固め度95%（乾燥密度1.963[g/cm³]）と90%（同1.863[g/cm³]）に相当する。一方、中型供試体では、19mmでせん頭粒度調整を行い、53mm径の大型供試体中の19mm超の礫が占める体積を控除して19mm以下で構成されていた土のみの密度を補正して算出した補正乾燥密度、すなわち締固め度95%（乾燥密度1.775[g/cm³]）と90%（同1.663[g/cm³]）相当で作製した。なお、供試体はいずれも含水比5%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固めて作製した。

本報では、比較のため载荷速度0.1%/minの単調载荷で行った圧密非排水せん断（CU）試験の結果と上記の方法で有効拘束圧50kPa、初期せん断荷重として15kPaと25kPaの軸差応力と有効拘束圧100kPa、軸差応力50kPaを与えて実施した吸水軟化試験の結果を同時に示す。

表1 各ケースの試験条件

締固め度	供試体寸法	最大粒径 [mm]	乾燥密度 [g/cm ³]
95%	大型	53	1.963
	中型	19	1.775
90%	大型	53	1.863
	中型	19	1.663

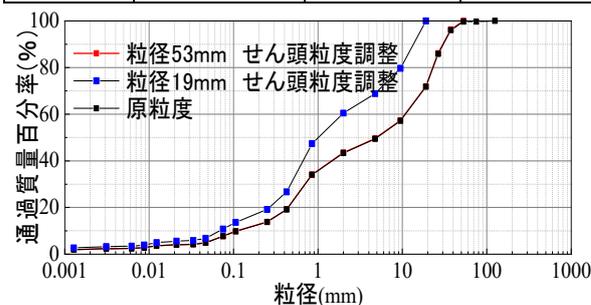


図1 各試験試料 粒度分布

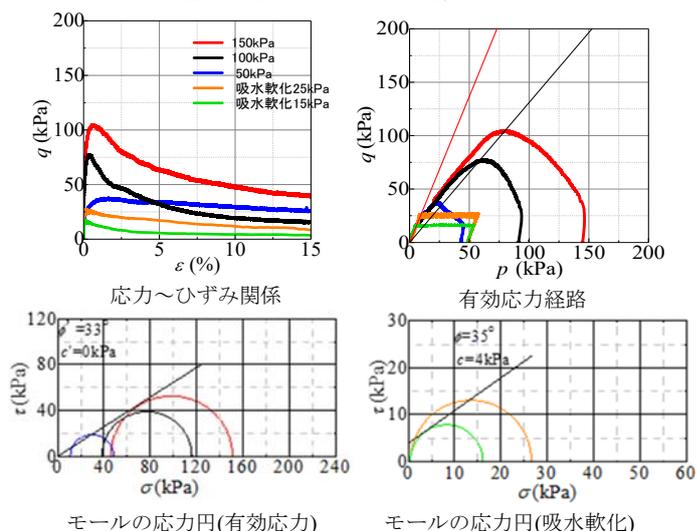


図2 最大粒径 53mm 試験結果 (締固め度 95%・大型供試体)

3. 試験結果

図2~5に各試料の試験結果を示す。 \overline{CU} 試験において、有効応力経路に着目すると、いずれの試験ケースでも、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。また、大型供試体と中型供試体は、 \overline{CU} 試験も吸水軟化試験のいずれにおいても、有効応力経路は類似した挙動を示したが、内部摩擦角には若干の差が生じた。以上より、通常の \overline{CU} 試験において、乾燥密度の補正によって、粒度調整試料の小寸法の供試体でも、原粒度の強度定数の評価はある程度可能であることがわかるが、さらに若干ゆる詰めの評価がなされることに注意が必要である。

一方、吸水軟化試験の結果に着目すると、吸水軟化試験では有効応力の低下に伴い軸ひずみが急増した時点を破壊とした場合、いずれの試験ケースでも破壊応力比は \overline{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。破壊時の有効応力を用いてモールの応力円を描くと、いずれの試験ケースにおいても、 \overline{CU} 試験よりも吸水軟化試験の方がせん断強さを大きく評価している。なお、締固め度95%の大型供試体の吸水試験の結果における破壊規準線は、現実的な傾き35度を与えた上で低拘束圧のモールの円に接するように引いたものである。また、図3と図5に示すように、中型供試体においては、初期の有効拘束圧100kPaからの高い有効応力ならびに一定軸差応力で吸水軟化試験も実施した。これは、砂質堤体土においては、高い一定軸差応力条件下での吸水軟化試験を実施するとせん断強度が低下する事例があるために、礫質土でも類似の挙動の有無を確認するためのものである。結果として、本試験結果では、高い一定軸差応力条件下においても、礫質土のせん断抵抗角はいずれの試験ケースでも \overline{CU} 試験のせん断抵抗角よりも大きい結果を示した。

以上より、吸水軟化試験によって、低有効応力条件下における礫質土のねばり強さを適切に評価できることが示された。

4. まとめ

本試験試料においては、せん頭粒度調整試料を適切に密度補正して作製した中型供試体の三軸試験結果は、 \overline{CU} 試験ならびに吸水軟化試験ともに大型供試体の試験結果と類似することが示された。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有効応力条件下でのせん断強さを確認することができた。したがって、浸透すべり破壊時の強度定数の評価においては、礫質土の低有効応力条件下の適正なせん断抵抗を評価できる吸水軟化試験が適していることが示された。

参考文献：1)例えば、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回土木学会年講，2017. 2)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.

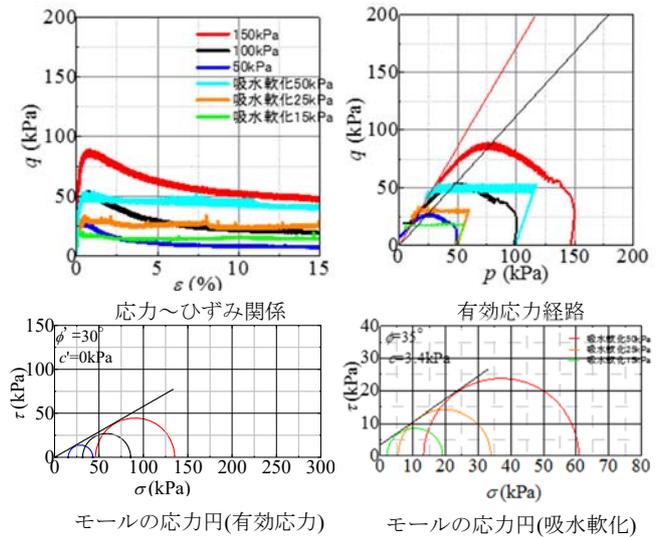


図3 最大粒径19mm 試験結果
(締固め度95%・中型供試体)

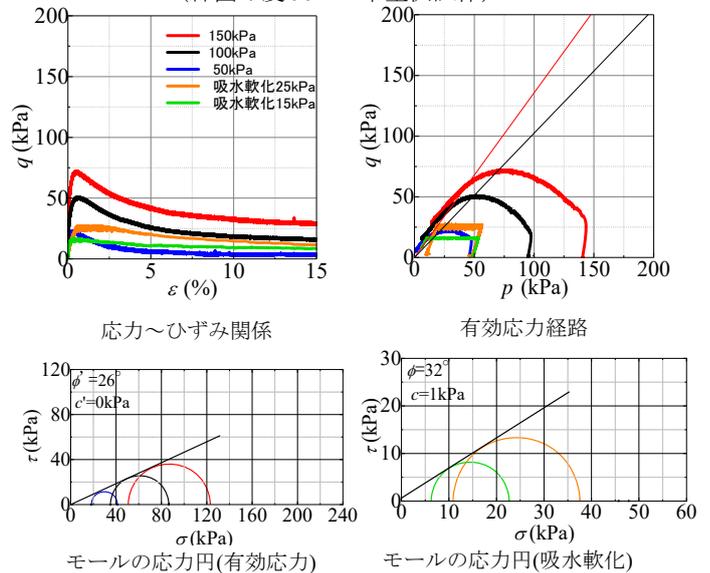


図4 最大粒径53mm 試験結果
(締固め度90%・大型供試体)

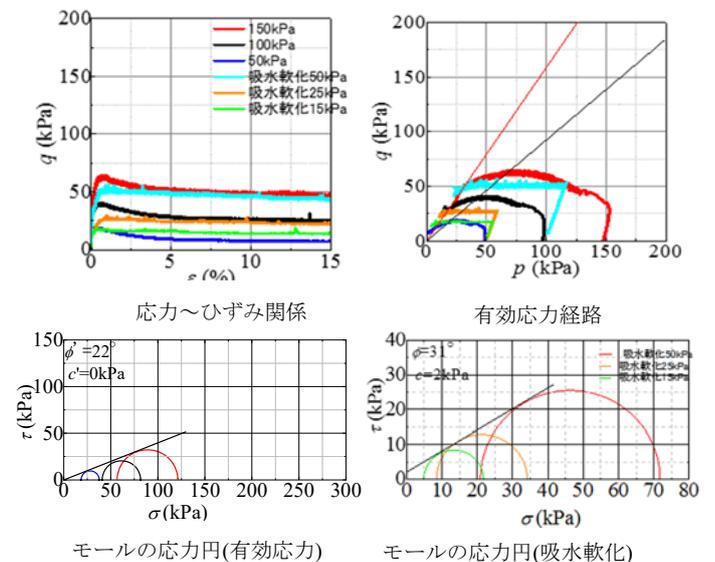


図5 最大粒径19mm 試験結果
(締固め度90%・中型供試体)