

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

礫質土 三軸圧縮試験 河川堤防

名城大学 国際会員 小高猛司
 建設技術研究所 国際会員 李 圭太
 名城大学 学生会員 梅村逸遊
 名城大学 特別会員 李 朝暉・近藤俊樹
 中部土質試験協同組合 国際会員 久保裕一

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対象に数多くの大型三軸試験を実施し、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⁾。一方、同じ供試体でも低有効応力条件下のせん断強さを適正に評価できる吸水軟化試験²⁾を実施することによって、比較的大きなせん断強さが得られることも示した³⁾。本報では、実務で適用可能な直径10cm、高さ20cmの中型供試体を用いた吸水軟化試験を実施して強度定数を決定することを想定し、適正な粒度調整法と供試体密度の補正法について、直径20cm、高さ40cmの大型三軸試験の結果を基準として検討する。

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。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、高知県物部川の実堤防から採取した実河川堤防土であるが、今回の検討では、最大粒径を53mmにせん頭粒度調整した試料を用いた。表1に実施した各ケースの試験条件を示す。その際に2種類の乾燥密度を基本乾燥密度とした。1ケースは締固め試験から求めた締固め度90%に相当する乾燥密度2.01[g/cm³]を基本とした場合、もう1ケースは、締固め度90%よりもややゆる詰めとした乾燥密度1.81[g/cm³]の場合である。大型三軸試験では、図1に示す最大粒径53mmのせん頭粒度調整試料をそのまま用いるが、小型三軸試験では最大粒径19mmとするために、さらに2種類の粒度調整を試みた。一つはせん頭粒度調整であるが、もう一つは、除外した最大粒径19mm超の礫と同質量分の9.5~19mmの礫分を人為的に混入させ、9.5mm未満の粒度分布を調整前と一致させる調整法（以下、礫分粒度調整⁴⁾と呼ぶ）である。この礫分粒度調整試料の場合には、乾燥密度は粒度調整前の値をそのまま用いる。しかし、せん頭粒度調整試料の場合には、19mm超の高密度の礫を除外した割合に応じて、19mm以下の試料が占めていた領域の乾燥密度を算出した補正乾燥密度を採用した。

表1 各ケースの試験条件

基準乾燥密度[g/cm ³]	粒度調整法	最大粒径[mm]	乾燥密度[g/cm ³]	供試体寸法
2.01	せん頭粒度	19	1.89	小型
	礫分粒度		2.01	
1.81	せん頭粒度	53	1.81	大型
		19	1.68	小型

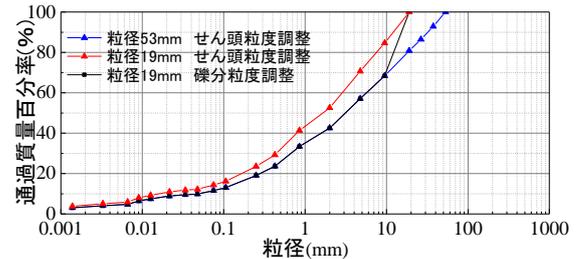


図1 各試験試料 粒度分布

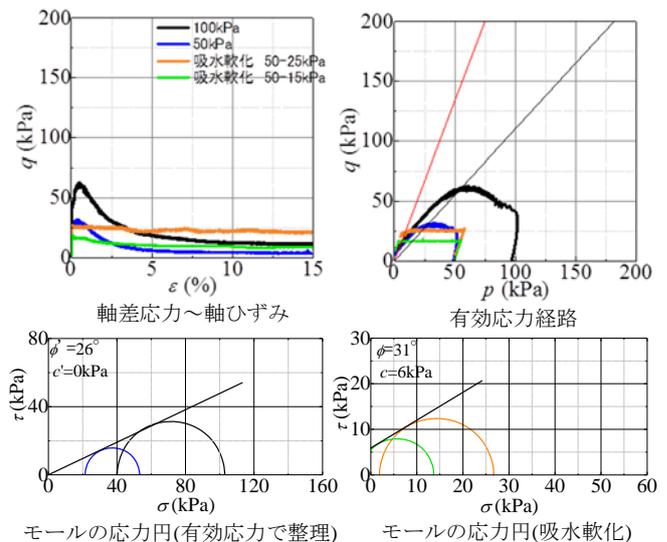


図2 最大粒径19mmせん頭粒度調整試料 試験結果 (基準乾燥密度2.01[g/cm³]のケース)

図1に各粒度調整後の粒度分布を示す。各試料とも含水比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め固めた。試験は完全飽和化して実施した。

本報では、紙面の都合上、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)試験の結果と初期せん断荷重として15kPaと25kPaの軸差応力を与えて実施した吸水軟化試験の結果を同時に示す。

3. 試験結果

図2~5に各試料の試験結果を示す。CU試験において、基本乾燥密度2.01[g/cm³]のケースでは、粒度調整法が異なることで発揮される最大軸差応力や軟化の挙動が大きく異なる。礫分粒度調整試料では、小型供試体中における最大粒径の礫の割合が増加し、圧縮载荷中に礫同士の噛み合わせによるせん断抵抗が大きくなるためと考えられる。一方、基本乾燥密度1.81[g/cm³]のケースでは、大型三軸試験とせん頭粒度試料による小型三軸試験が類似した力学挙動を示したが、内部摩擦角には若干の差が生じた。以上より、通常のCU試験では、供試体寸法の変化に伴い、粒度調整法や乾燥密度の補正を施しても、精度良く基本乾燥密度の強度定数を評価することは難しいことが示された。これは、CU試験が完全非排水条件下で強制的に圧縮荷重を増加させて土を破壊させる試験であり、ダイレイタンスの影響を強く受けやすいため、土が破壊に至るまでの過程に変化が生じやすい。

一方、吸水軟化試験の結果に着目すると、有効応力の低下に伴い軸ひずみが急増した時点をもって破壊とした場合、いずれの試験ケースでも破壊応力比はCU試験よりも大きくなり、さらに基本乾燥密度が同じケースにおいては、それぞれ同じ破壊応力比となっている。破壊時の有効応力を用いてモールの応力円を描くと、基本乾燥密度が同じケースでは、ほぼ同じ強度定数が得られる。これは、浸透時のすべり破壊のように有効応力の低下に伴い発生する破壊現象においては、礫分が発揮するせん断抵抗を過大も過小もせずに適正に評価できることを示している。例えば、図3のCU試験で発揮される大きな最大軸差応力は、非排水条件下で圧縮するから見かけ上発生するだけの現象であり、浸透すべり破壊にとっては意味をなさない。また、図2, 4, 5のようなゆる詰め挙動も、完全非排水条件下で発生している現象であり、実際の礫質土のせん断抵抗はもっと大きいことを吸水軟化試験では示している。

4. まとめ

実務を念頭に、礫質土堤防の浸透すべりに対する安全性評価に使用する強度定数を得るための粒度調整法を2種類示したが、原粒度に伴う適用限界もあると考えられるため、他の礫質土堤防土も用いて検討を続ける予定である。

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：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回土木学会年講，2015。3)梅村ら：礫質堤防土のせん断強度の評価，第73回土木学会年講，2018。4)小高ら：河川堤防砂礫の変形・強度特性の評価手法に関する考察，地盤工学ジャーナル，5(2)，2010。

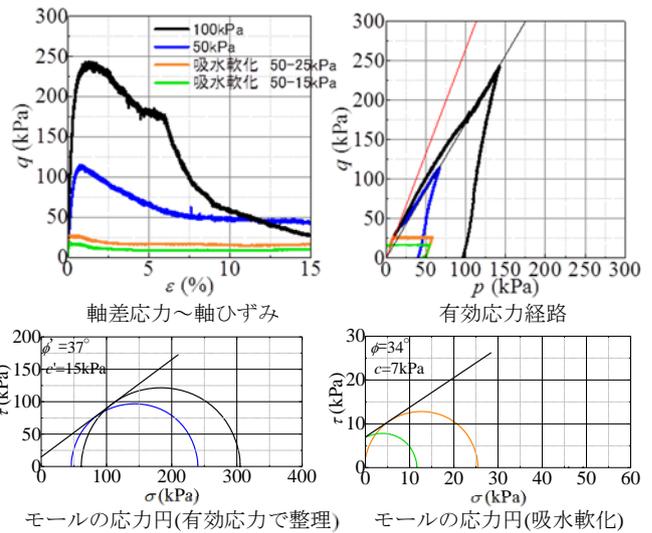


図3 最大粒径19mm 礫分粒度調整試料 試験結果 (基準乾燥密度2.01[g/cm³]のケース)

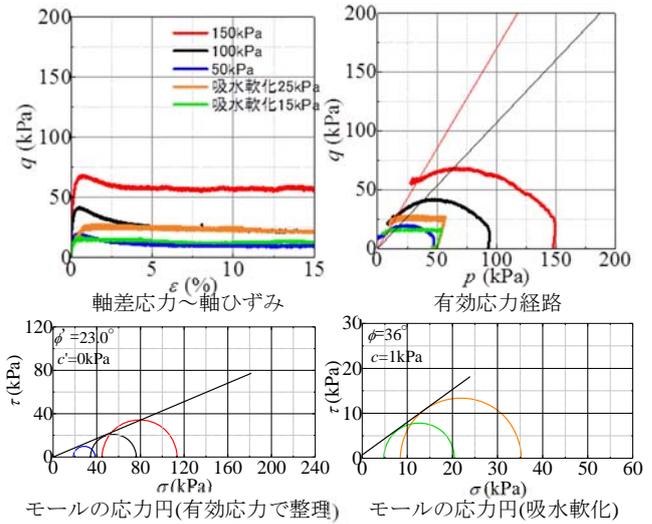


図4 最大粒径53mm せん頭粒度調整試料 試験結果 (基準乾燥密度1.81[g/cm³]のケース)

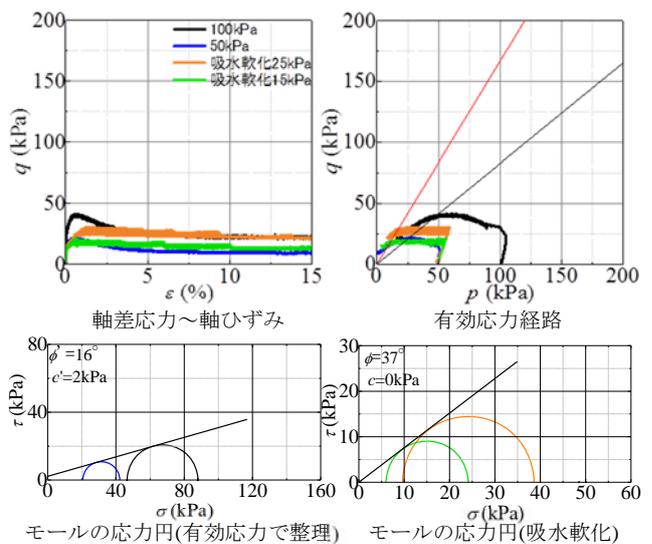


図5 最大粒径19mm せん頭粒度調整試料 試験結果 (基準乾燥密度1.81[g/cm³]のケース)