

細粒分を含む築堤材料の締固め度によるせん断特性の違い

名城大学大学院	学生会員	○藤田 薫
名城大学	正会員	小高 猛司
中部土質試験協同組合	正会員	久保 裕一
日本工営	正会員	李 圭太
(元) 名城大学学生		早坂 直
名城大学	学生会員	道下桜太郎

1. はじめに

河川堤防の築堤材料として用いられる購入土は、ある幅の粒度に調整されることが多い。その粒度調整の際には、締固めやすく、透水性を低下させる目的で適度な細粒分を含むように粘土やシルトが混入される場合も多い。また、築堤盛土は河川土工マニュアルに従い、締固め度 $D_c=90\%$ 以上と定められている¹⁾が、特に細粒分を含む築堤土において $D_c=90\%$ で満足できる浸透すべり破壊耐性が得られるのか十分に検証する必要がある。本報では、実際の河川堤防の築堤材料として使用された購入土を用いて、 $D_c=90\%$ と 95% の供試体を作製し、CUB 試験と我々の研究グループがこれまで提案してきた吸水軟化試験²⁾を実施し、締固め度がせん断特性の差異に与える影響について検討し、細粒分を含む築堤購入土の適切な締固め度について考察する。

2. 試験概要

吸水軟化試験とは、三軸試験機を用いた試験法である。初期せん断を受けた堤体の浸透すべり耐性を評価することができ、降雨や河川水の浸透時の有効応力状態を探索することを目的とする。圧密過程後、排水条件で所定の軸差応力まで初期せん断を与え、その後、軸差応力を一定に保ちながら、間隙水圧を 1kPa ずつ徐々に上昇させ破壊に至らしめる。なお、破壊に至る直前まで間隙水圧を上昇させても供試体内への吸水は起こらず、軸ひずみもほとんど変化しないが、ある有効応力状態に到達した途端に急激な軸ひずみが発生して破壊に至る。したがって、CUB 試験では評価が困難な低有効応力条件かにある土の「軟化」の閾値を精度良く見つけることができる。

本研究で用いた築堤材料の粒度分布を図1に示す。三軸試験にあたり、粒径 9.5 mm 以上の礫を取り除き、乾燥密度を補正した。元の築堤材料が図1の青線であり、せん頭粒度調整後の試料が赤線である。供試体は直径 50 mm 、高さ 100 mm の円柱であり、鋼製モールドで5層に分けて突き固めた。表1には作製した供試体の諸元を示す。なお、供試体の締固め作製時には、築堤材料の最適含水比である 14% に含水調整した。この初期含水比の違いによって、供試体内に構築される土の骨格構造が異なることがわかっている³⁾が、最適含水比にすることによって最も高位な骨格構造を形成するように配慮した。表1に圧密後の供試体間隙比も記載している。供試体作製後は、二重負圧法で完全飽和化し、所定の有効拘束圧で等方圧密した後に、载荷速度 $0.1\%/\text{min}$ の CUB 試験と初期せん断軸差応力 15kPa と 30kPa の吸水軟化試験を実施した。

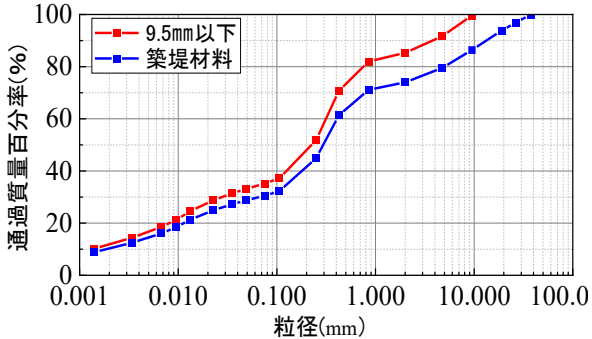


図1 築堤材料の粒度分布

表1 各供試体の諸元

試験方法	締固め度 (%)	拘束圧 (kPa)	圧密後 間隙比
三軸圧縮 試験	90	50	0.782
		100	0.758
		150	0.737
	95	50	0.629
		100	0.651
		150	0.630
吸水軟化 試験	90	50	0.747
			0.746
	95		0.665
			0.657

3. 試験結果

図2～3に各締固め度の供試体の試験結果を示し、有効応力経路には、CUB試験結果の限界応力比を黒の直線で結んだものと、吸水軟化試験結果の破壊応力比を黒の破線で結んだものを示す。

CUB試験の有効応力経路に着目すると、 $D_c=90\%$ の試験結果では、軸差応力が明確なピークを示した後に脆性破壊を示唆する急激なひずみ軟化挙動が確認された。この挙動は、骨格構造が卓越したややゆる詰めめの砂質土に見られる挙動である。 $D_c=95\%$ の試験結果では、初期せん断時から高い剛性を示し、変相後も正のダイレタンシーの拘束に伴う硬化が顕著に現れ、負の間隙水圧が発生した。この挙動は、密詰めめの砂質土によく見られる挙動である。 $D_c=90\%$ に比べて $D_c=95\%$ の試験結果が、より高いせん断強度を示すことは明らかであるが、CUB試験の内部摩擦角で比較しても大きな違いがある。

一方、 $D_c=95\%$ の吸水軟化試験結果を見ると、CUB試験と吸水軟化試験の破壊応力比はほとんど変わらない。これは、砂質堤防土の典型であり、細粒分を混合していてもせん断強さに粘性に起因する成分は期待できず、あくまで、内部摩擦角40度弱の砂質土として扱うのが妥当であることを示している。一方、 $D_c=90\%$ の場合には、CUB試験での比較的小さな破壊応力比から、さらに小さな破壊応力比となり、平時に比べて、浸透時にはさらにせん断強さが低下する懸念があることを示している。

4. まとめ

今回用いた試験材料は、細粒分を人為的に混合した購入土であるが、 $D_c=90\%$ では、浸透時には脆弱な堤体土であることが示された。ただし、 $D_c=95\%$ まで高めれば、密詰めめの砂質土としての性質を発揮することがわかり、堤体盛土の締固めの重要性があらためて示された。以上より、特に細粒分を混入している砂質土においては、 $D_c=90\%$ の管理値では河川堤防としては洪水時に十分な安全性が担保できない可能性があるため注意が必要である。

参考文献：1) 国土技術研究センター：河川土工マニュアル，2009。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の考察，第70回土木学会年次学術講演会，2015。3) 藤田ら：築堤材料の締固め時に形成する骨格構造と浸透すべり耐性の評価，第55回地盤工学研究発表会，2021。

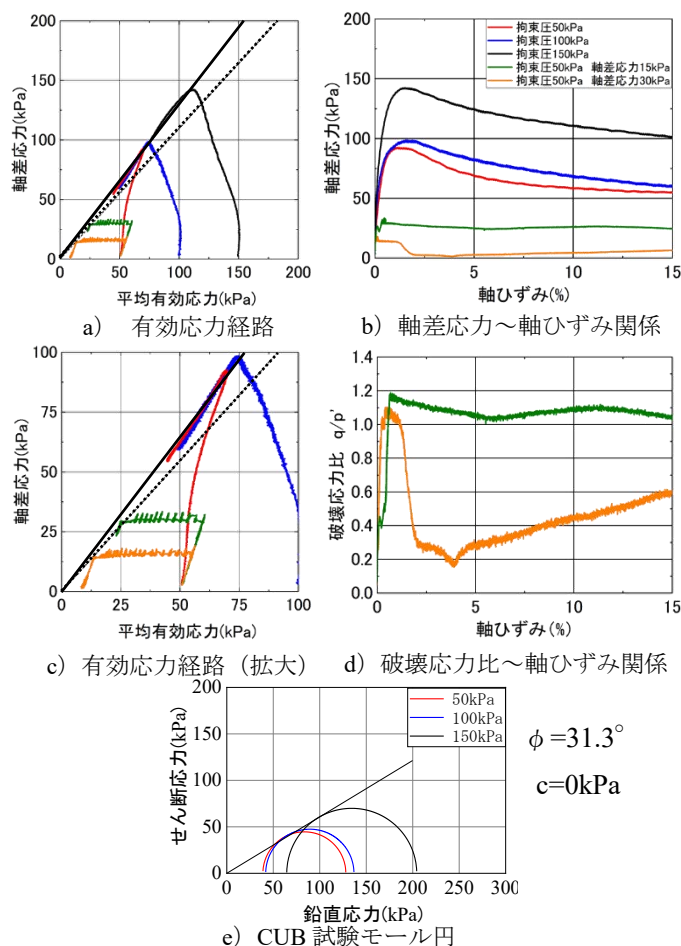


図2 $D_c=90\%$ 試験結果

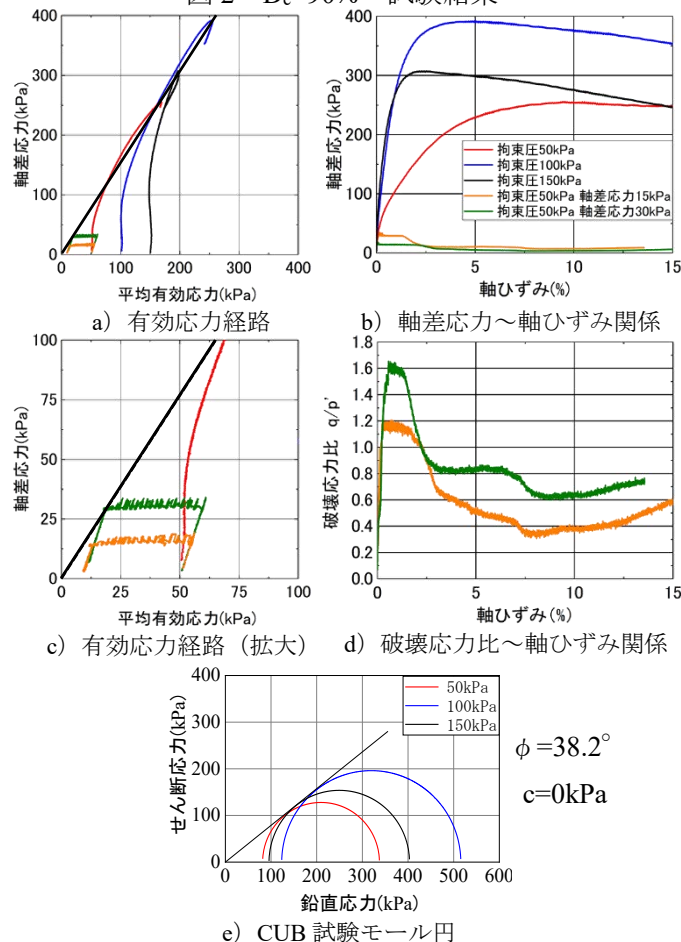


図3 $D_c=95\%$ 試験結果