

ベトナム北部・紅河流域を想定した種々の土質材料における
ヤシ繊維混合による限界動水勾配および強度定数の変化

茨城大学大学院 学生会員 ○佐藤恭兵

茨城大学 正会員 小峯秀雄 村上哲 フェロー会員 安原一哉

前田工織(株) 正会員 菅野将人

1. はじめに

ベトナム北部・紅河流域では堤防の各所で浸透破壊が発生しており、破堤被害が頻発している¹⁾。そのため、堤防システムの強化が求められている。また、紅河流域では稲作が盛んであり²⁾、藁などの自然由来の繊維材が低コストで入手可能なことから、自然由来の繊維材を用いた補強対策が有効であると考えられる。著者らはヤシ繊維を用いて短繊維混合による補強効果を確認するため、Terzaghiの限界動水勾配の考え方に基づく試験を実施し、浸透破壊抵抗性の改善効果を確認した³⁾。また、既往の研究より強度定数が浸透破壊抵抗性に影響することが確認されていることから⁴⁾、本研究ではヤシ繊維を用いた短繊維混合による補強効果を浸透破壊抵抗性と強度定数の関係から推察するため三軸圧縮試験を実施した。

2. 使用した土質材料、繊維材および供試体の作製条件

ベトナムの土質材料は法的な制限から入手が困難であるため、本研究ではベトナム北部・紅河流域の粒度組成を模擬した材料(以下、模擬材料と記述する)を作製することとした。本研究では模擬材料を作製するため、砂、シルト、粘土の各土質材料として、それぞれ材料A(三河珪砂V3,V5,V7号を質量比1:1:1で混合)、材料B(昭和DLクレイ)、材料C(TAC-1号)を選定した。また、繊維材として自然由来であり安定的に入手が可能

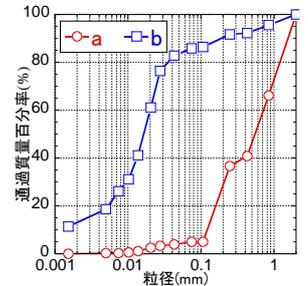


図1 各模擬材料の粒径加積曲線

な点からヤシ繊維(長さ: 20±5mm, 直径: 0.1~1.0mm, 粒子密度: 1.609g/cm³)を選定した。以上の材料を用いて参考文献5)より粒度組成に関する情報を入手し模擬材料を作製した。図1に各模擬材料の粒径加積曲線を示し、表1に粒度組成、土粒子の密度 ρ_s 、最大乾燥密度 ρ_{dmax} 、

表1 各模擬材料の粒度組成、土粒子の密度、最大乾燥密度および最適含水比

模擬材料	粒度組成(%)			ρ_s (g/cm ³)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	w_{opt} (%)
	砂	シルト	粘土			
a	96	4	0	2.663	1.712	11.5
b	14	64	22	2.685	1.597	19.3

最適含水比 w_{opt} を示す。本研究では対象としている紅河流域の土質材料の乾燥密度 ρ_d に関する情報が入手できなかった。そのため、河川土工マニュアル⁶⁾の締固め品質下限値が締固め度 $D_c=80\%$ であることから、供試体の乾燥密度 ρ_d は締固め度 $D_c=80\%$ 時の乾燥密度を目標に作製した。供試体の初期含水比 w_0 は最適含水比 w_{opt} を目標に作製した。供試体は5層に分けて動的締固めにより作製した。また、短繊維混合土の供試体作製では各層に均質に短繊維が混合されるよう1層ごとに試料と短繊維を別の容器内で混合し短繊維混合土を作製した。

3. 浸透破壊試験の概要および試験結果

本試験は Terzaghi の限界動水勾配の考え方に基づく試験である⁷⁾。図2に浸透破壊試験装置の概略図を示す。本試験装置は供試体へ水道水を供給する貯水槽、供試体へ通水するモールドから構成される。供試体の寸法は直径75mm、高さ100mmである。本試験は貯水槽を段階的に上昇することにより、供試体上部との動水勾配を段階的に増加させ、浸透破壊の発生に伴い急激に流量が増加する時の動水勾配を測定する試験である。本研究ではこの時の動水勾配を限界動水勾配 i_c として浸透破壊抵抗性を評価した。供試体下部への流量と水圧を測定するため、流量計(測定範囲: 0.001~0.850L/min)と水圧計(測定範囲: 1~100kPa)を設置した。表2に試験条件および試験結果を示す。

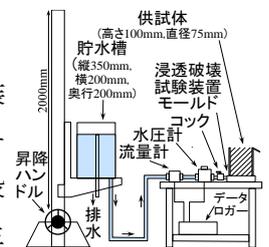


図2 浸透破壊試験装置の概略図

表2 浸透破壊試験の試験条件および試験結果

模擬材料	ヤシ繊維 混合率(%)	ρ_{d0} (g/cm ³)	e_0	w_0 (%)	i_c	破壊 形態
a	0	1.370	0.944	11.5	2.2	ポイリング
	1	1.364			2.7	
b	0	1.280	1.098	19.3	1.7	パイピング
	1	1.273			1.1	

キーワード 補強土, 限界動水勾配, 強度定数, 三軸圧縮試験, 堤防

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL 0294-38-5163

4. 三軸圧縮試験の概要および試験結果

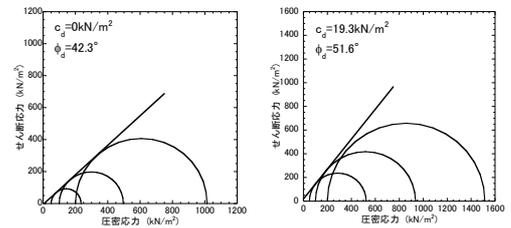
本試験は地盤工学会基準「土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験方法」(JGS 0524-2009)⁸⁾に準拠し実施した。供試体の寸法は直径 50mm, 高さ 100mm である。表 3 に試験条件を示し, 図 3 および図 4 に各供試体の破壊包絡線およびモール円を示す。

表 3 三軸圧縮試験の試験条件

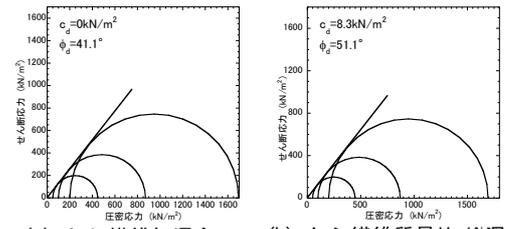
模擬材料	ヤシ繊維混合率(%)	側圧 (kN/m ²)	ρ_{d0} (g/cm ³)	e_0	w_0 (%)
a	0	50, 100, 200	1.370	0.944	11.5
	1				
b	0	50, 100, 200	1.280	1.098	19.3
	1				

5. ヤシ繊維混合による限界動水勾配と強度定数の変化に関する考察

表 2 より, ヤシ繊維を質量比 1% 混合すると模擬材料 a の場合, 限界動水勾配 i_c が 0.5 向上した。一方, 模擬材料 b の場合, 限界動水勾配 i_c が 0.6 低下した。また, 破壊形態はヤシ繊維の混合・無混合に関わらず模擬材料 a の場合がボイリングであり, 模擬材料 b はパイピングであった。図 3 より, ヤシ繊維を質量比 1% 混合すると模擬材料 a の場合, 粘着力 c_d が 19.3kN/m², 内部摩擦角 ϕ_d が 9.3° 上昇した。図 4 より, 模擬材料 b の場合, 粘着力 c_d が 8.3kN/m², 内部摩擦角 ϕ_d が 10.0° 上昇した。また, 既往の研究³⁾より, 両材料ともヤシ繊維を質量比 1% 混合すると透水係数が 1 オーダー程度高くなることが示されている。以上の試験結果より, 限界動水勾配 i_c の変化を強度定数の変化および透水係数の変化に着目し, 以下のように推察した。図 5 に推察したヤシ繊維混合による補強メカニズムを示す。

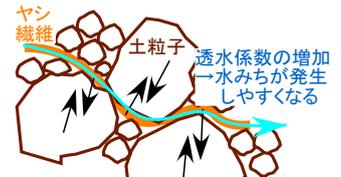


(a) ヤシ繊維無混合 (b) ヤシ繊維質量比 1% 混合
図 3 模擬材料 a における破壊包絡線およびモール円



(a) ヤシ繊維無混合 (b) ヤシ繊維質量比 1% 混合
図 4 模擬材料 b における破壊包絡線およびモール円

たヤシ繊維混合による補強メカニズムを示す。模擬材料 a の場合, ヤシ繊維質量比 1% 混合により限界動水勾配が 0.5 向上したことから, 透水係数の 1 オーダー上昇に伴う限界動水勾配 i_c の低減効果の影響より粘着力 c_d の 19.3kN/m² および内部摩擦角 ϕ_d の 9.3° 上昇に伴う限界動水勾配 i_c の向上効果の影響の方が大きかったことが推察される。一方, 模擬材料 b の場合, ヤシ繊維質量比 1% 混合により限界動水勾配 i_c が 0.6 低下したことから, 透水係数の 1 オーダー上昇に伴う限界動水勾配 i_c の低減効果の影響の方が粘着力 c_d の 8.3kN/m² および内部摩擦角 ϕ_d の 10.0° 上昇に伴う限界動水勾配 i_c の向上効果の影響より大きかったことが推察される。また, 破壊形態と透水係数の変化に着目すると模擬材料 a の様なボイリングによる破壊形態では透水係数の上昇による限界動水勾配 i_c の低減効果の影響は小さく, 一方, 模擬材料 b の様なパイピングによる破壊形態では透水係数の上昇により, 水みちが発生しやすくなり限界動水勾配 i_c の低減効果の影響が大きくなることが推察される。



骨格の変化に応じて変形を抑制する(拘束効果)→強度定数の向上
図 5 ヤシ繊維混合による補強メカニズム

6. 結論

本研究では粒度組成の異なる 2 つの土質材料を用いてヤシ繊維混合による限界動水勾配および強度定数の変化を各試験結果に基づいて考察した。得られた知見を以下に示す。

- ① 砂である模擬材料 a では, ヤシ繊維を質量比 1% 混合することで限界動水勾配 i_c が 0.5 向上した。これは粘着力 c_d が 19.3kN/m² および内部摩擦角 ϕ_d が 9.3° 上昇したことに起因するものと推察される。
- ② 砂まじり粘土質シルトである模擬材料 b では, ヤシ繊維を質量比 1% 混合することで限界動水勾配 i_c が 0.6 低下した。これは透水係数が 1 オーダー上昇したことによる低減効果に起因するものと推察される。
- ③ ボイリングによる破壊形態では透水係数の上昇による限界動水勾配 i_c の低減効果の影響は小さく, 一方, パイピングによる破壊形態では透水係数の上昇による限界動水勾配 i_c の低減効果の影響が大きいと推察される。

謝辞: 本研究は, 文部科学研究費基盤 A 「気候変動に起因するベトナム沿岸災害適応策のための統合型モニタリングシステム」(代表者: 安原一哉)において実施された研究成果の一部である。関係各位に深謝申し上げます。

【参考文献】1) アジア防災センター: ベトナムカントリーレポート 1999, p3, 1999. 2) 春山成子: ベトナム・紅河デルタの稲作生産と気候変動, 地球環境 Vol.6 No.2, pp.241-249, 2001. 3) 佐藤恭兵, 小峯秀雄, 村上哲, 安原一哉, 菅野将人: ベトナム北部紅河流域を想定した種々の土質材料の浸透破壊抵抗性および自然由来の繊維材の混合による補強効果の実験的評価, ジオシンセティックス論文集第 27 巻, pp.101-108, 2012. 4) 例えば, 赤司六哉, 江藤芳武: 土質材料のパイピング試験結果について, 昭和 52 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.109-110, 1978. 5) Do Minh Duc: Holocene sedimentary evolution and the relation to sea level change at the Red River mouth, northern Vietnam, Tech. Rep., NIOZ, Den Burg, The Netherlands Institute for Sea Research, 2001. 6) 財団法人 国土技術研究センター: 河川土工マニュアル, pp.73-75, 2009. 7) 例えば, 石原研而: 土質力学, 丸善株式会社, pp.78-81, 1988. 8) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説-二冊分の 2-, pp.552-660, 2009.