

短繊維材料の混合率と繊維長に着目した短繊維混合土の液状化特性

福岡大学大学院 学生会員 堀 哲巳

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1.はじめに 地震大国である日本では、発生に伴う液状化被害が多く発生している¹⁾。本研究では、この液状化被害を抑制するため、短繊維混合補強土工法²⁾に着目し、新たな液状化抑制手法の提案をしている。著者ら³⁾はこれまで短繊維混合により粘り強さの改善が液状化抑制につながることを確認している。しかしながら、短繊維混合による液状化抑制効果については、短繊維の長さとその混合率、地盤材料の特性など種々の要因が影響を与えるため、最適な改良方法については更なる検討が必要である。そこで本報告では、短繊維材料混合に伴う液状化抑制効果向上を検討するにあたり、非排水繰返しせん断試験により土質材料の違いに着目し、短繊維混合率と繊維長が液状化挙動に及ぼす影響について検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験に用いた試料 土質材料には豊浦砂と細粒分を取り除いた

た $F_c=0\%$ のまさ土に対し、赤土から分取された低塑性シルト質細粒土を質量比で 7% 混合した 2 種類の試料を用いた。表-1 に土質試料の物理特性、図-1 に土質材料の粒径加積曲線を示す。また、短繊維材料には繊維長 $L=12, 40, 60\text{mm}$ のポリビニルアルコール(PVA)繊維を用いた。

2-2 実験条件 表-2 に実験条件を示す。短繊維混合率(SF)は、豊浦砂においては $SF=0, 0.5, 1.0\%$ とし、まさ土(細粒分含有率 $F_c=7\%$)に対しては、 $SF=0, 1.0\%$ とした。また、PVA 繊維長は、 $L=12, 40, 60\text{mm}$ の 3 種類を用いて検討を行った。供試体作製は、土質試料、所定の短繊維と水を加え設定含水比に調整後、均一に攪拌混合した後、直径 7.5cm 、高さ 15cm のモールド内にタンピング法により 5 層、各層所定の回数で突き固めて行った。ここで、設定含水比は短繊維混合後の乾燥質量に対して $w=10\%$ とし、設定供試体密度は、豊浦砂の相対密度 $D_r=60\%$ 時の乾燥密度 $\rho_d=1.490\text{g/cm}^3$ とした。なお、土質試料は、供試体径 75mm における最大許容粒径を満たしており、短繊維については直径 0.1mm にかつ土質材料に対して十分に剛性が小さいものを用いている。

2-3 実験方法 今回行った非排水繰返しせん断試験は、正弦波の応力制御により、載荷速度 0.1Hz で行った。なお、液状化の判定は両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ に達した時とした。全条件において供試体の間隙水圧係数 B 値は、 0.96 以上であり飽和状態を確認している。

3. 実験結果及び考察 図-2(a)～(d)に各土質試料における短繊維混合率 $SF=0, 1.0\%$ 、短繊維長 $L=0, 40\text{mm}$ における有効応力経路図を示す。有効応力経路図より、粒径の異なる土質材料の違いに関係なく、短繊維を混合することにより繰返しに対する有効応力の低下挙動が抑制され、液状化に至るまでに多くの繰返し回数を要していることが分かる。これらの結果は、地盤材料に短繊維の混合することにより、液状化抵抗性を増加させる効果があることを示している。図

-3(a)～(c)に豊浦砂の同一応力条件における短繊維混合土($SF=1\%$)の繊維長 $L=12, 40, 60\text{mm}$ の軸ひずみと軸差

表-1 土質試料の物理特性

土質試料	土粒子密度 ρ_s (g/cm^3)	最大間隙比 $e_{\max}$	最小間隙比 $e_{\min}$	塑性指数 I_p
豊浦砂	2.649	0.984	0.612	N.P.
まさ土	2.716	1.180	0.616	N.P.
赤土	2.790	-	-	13.88

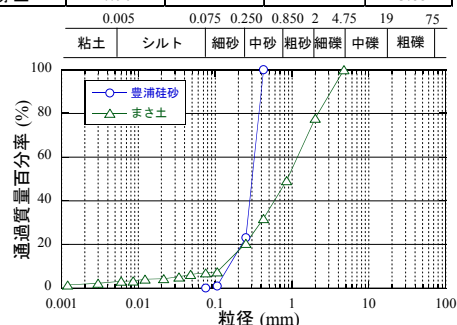


図-1 土質材料の粒径加積曲線

表-2 実験条件

土質試料	検討条件		細粒分含有率 Fc (%)	設定含水比 w (%)	目標乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$
豊浦砂	SF=0%		0	10	1.49
	SF=0.5, 1.0%	12mm			
		40mm			
		60mm			
まさ土	SF=0%		7		
	SF=1.0%	12mm			
		40mm			
		60mm			

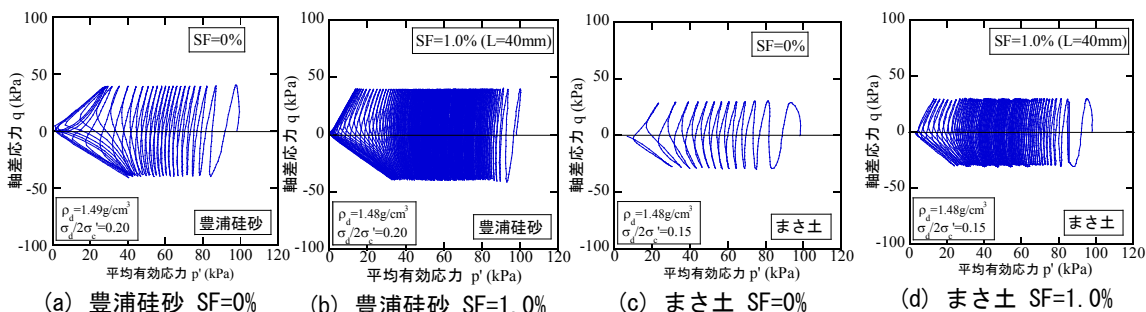


図-2 有効応力経路図

応力の関係を示す。短繊維を混合した(a) $L=12\text{mm}$ では繰返しに応じて圧縮と伸張側に軸ひずみが発生している。これに対し、繊維長が長くなる $L=40$, 60mm では、供試体を拘束する力が大きくなったことから、特に圧縮ひずみの発生を抑制していることが分かる。また、短

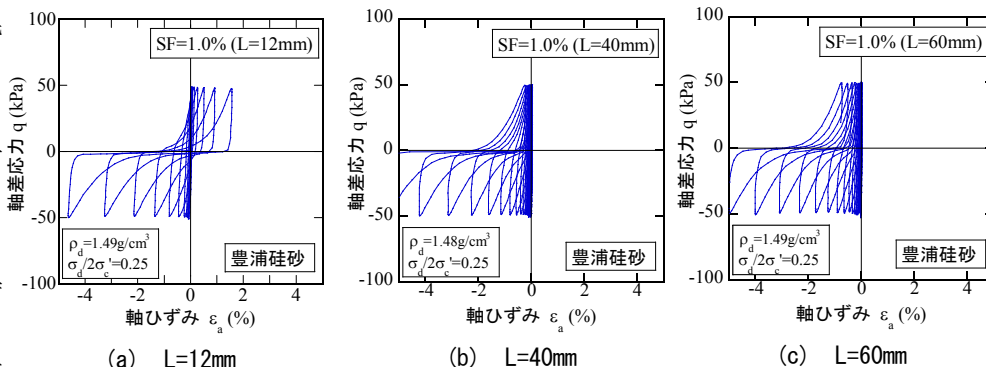


図-3 軸ひずみと軸差応力の関係 (豊浦砂)

繊維混合により繰返しに伴う伸張側の変形量も抑制されていることも確認できる。図-4(a), (b)に各土質材料における最大過剰間隙水圧比と繰返し回数の関係を示す。粒径の異なるいずれの土質材料においても短繊維未混合土($SF=0\%$)に比べ、短繊維を混合したことにより最大過剰間隙水圧の発生は抑制されていることが確認できる。特に $L=40$, 60mm においては、過剰間隙水圧の発生状況が緩慢な挙動を示し、液状化に至るまでの繰返し回数が大きく増加していることがわかる。図-5に両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ に達した

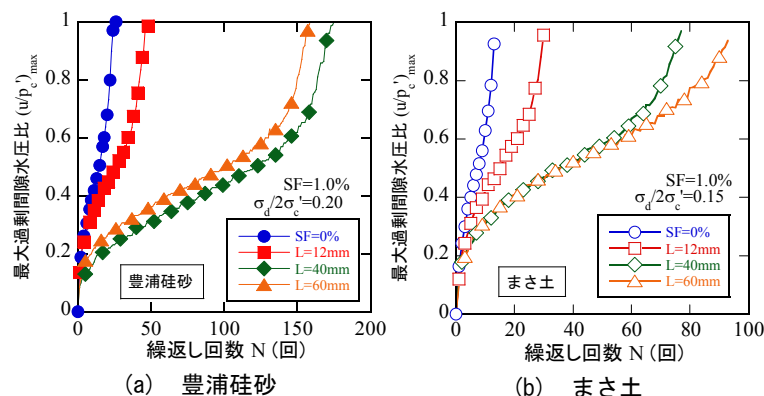


図-4 最大過剰間隙水圧比と繰返し回数の関係

時点点を液状化と判定し、その時の繰返し応力比と繰返し回数により示した液状化強度曲線を示す。短繊維未混合土($SF=0\%$)に比べ、短繊維を混合したことで明らかに液状化強度が増加しているの

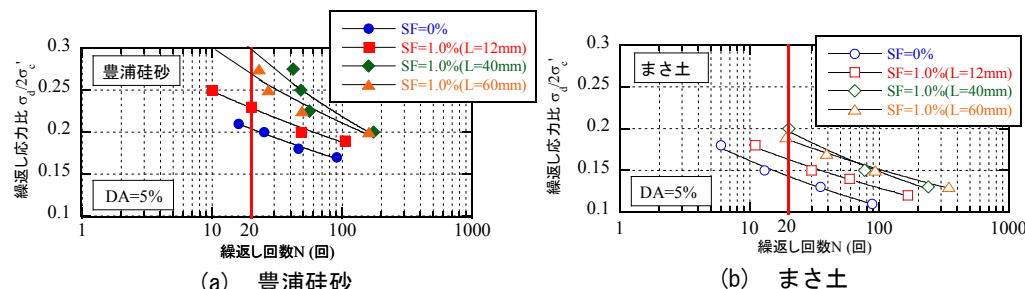


図-5 液状化強度曲線

が分かる。粒径の異なるいずれの土質材料においても繊維長が長くなると液状化強度の増加することが確認できる。図-6に短繊維未混合土及び短繊維混合土の液状化強度と短繊維長の関係を示している。ここでの液状化強度は、液状化判定時における繰返し回数 $N_L=20$ 回時の繰返し応力比としている。これまでの研究³⁾と同様に短繊維の混合に伴い、液状化強度は増加していることが確認できる。短繊維混合率 $SF=0.5\%$ においては、繊維長の増加に伴い、僅かに液状化強度が増加傾向を示していることが分かる。これに対し、短繊維混合率 $SF=1.0\%$ の場合は、粒径の異なるいずれの土質材料においても $L=40\text{mm}$ の時に最も液状化強度が大きく、 $L=60\text{mm}$ になると強度低下していることが分かる。これは、短繊維混合率 $SF=1.0\%$ の条件下では、 $L=60\text{mm}$ において供試体径 75mm の条件下では、短繊維の長さの影響により供試体作製時に土粒子と繊維の絡み合いが小さくかつ不均一な状態になったことが考えられる。

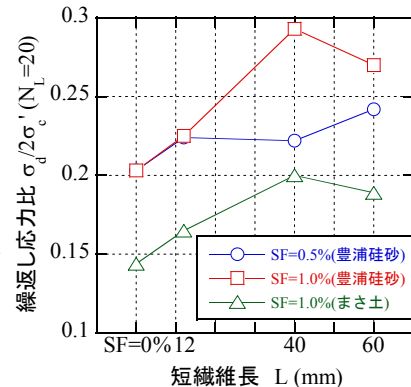


図-6 $N_L=20$ における繰返し応力比と短繊維長の関係

4. まとめ 1)短繊維混合土の液状化抑制効果は、土質材料の粒径に関係なく、短繊維の混合率の増加及び繊維長を長くすることにより向上することが明らかになった。2)短繊維混合土の液状化挙動を室内試験において評価する場合、供試体直径との関係から適切な混合率と繊維長が存在することが明らかになった。

【参考文献】1) 安田ら：東京湾岸における液状化被害，地盤工学会誌，Vol.59, No.7, pp38-41, 2011. 2) 財団法人土木環境センター：短繊維混合補強土工法 3) 中道ら：短繊維引張補強材混合土を用いた液状化抑制に関する実験的検討，ジオシンセティックス論文集，第28巻，pp155-160, 2013.