

短繊維混合土の液状化挙動に及ぼす細粒分含有率の影響

福岡大学工学部 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 2011年の東北地方太平洋沖地震では、長い地震動継続時間により、浦安市などの埋立地でシルトを多く含む砂質系地盤での液状化被害が甚大であったことが報告されている¹⁾。これまでの被災事例より、細粒分を含む砂や礫質土、あるいは埋立地のまさ土や低塑性のシルトといった様々な地盤材料に関しても液状化することが指摘され、多くの研究^{2) 3)}が示されている。著者ら⁴⁾はこれまでに短繊維混合補強土工法⁵⁾に着目し検討を行い、短繊維混合により液状化抑制につながることを確認している。また、細粒分を含む土の力学的特性は、土の骨格構造が支配的な要因であることから、骨格間隙比の概念を用い、細粒分含有率の変化により液状化特性に影響があることを確認している⁶⁾。そこで本報告では、短繊維混合土の低塑性シルト分より、細粒分含有率を調整したまさ土を用い、液状化特性に与える細粒分の影響について検討した結果を報告する。

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}	細粒分含有率 F_c (%)	塑性指数 I_p
まさ土	2.716	1.18	0.616	9	N.P.
赤土	2.790	-	-	64	13.88

2. 短繊維混合まさ土の液状化特性に及ぼす細粒分含有率の影響

2-1 実験に用いた試料 土質試料は細粒分を取り除いた $F_c=0\%$ 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所定の量、混合したものを用いた。ここで、低塑性シルト質の細粒分混合率は、 $F_c=7, 21, 35, 49\%$ と設定し、絶乾質量のまさ土に混合し、土質試料の作製を行っている。まさ土と赤土の土質試料の物理特性を表-1に、細粒分を調整した後の各実験試料の粒径加積曲線を図-1に示す。また、短繊維材料には繊維長 $L=40\text{mm}$ のポリビニルアルコール(PVA)繊維を用いた。

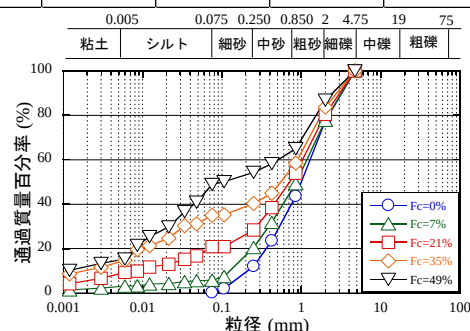


図-1 細粒分を調整した後の土質試料の粒径加積曲線

表-2 実験条件

検討条件	短繊維混合率 SF (%)	繊維長 L (mm)	細粒分含有率 F_c (%)	目標乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	設定含水比 w (%)
まさ土	SF=0%	—	0, 7, 21, 35, 49	1.490	10
	SF=1%	40	7, 21, 35, 49		

2-2 実験条件 表-2に実験条件を示す。実験には、 $F_c=0, 7, 21, 35, 49\%$ の各細粒分含有率の土質試料に、PVA繊維($L=40\text{mm}$)を混合したものを用いた。また供試体の設定

含水比は材料混合後の絶乾質量に対し、 $w=10\%$ と設定している。

2-3 実験方法 供試体作製は中密な地盤を模擬した乾燥密度

$\rho_d=1.490\text{g/cm}^3$ を条件とした。この設定密度は、豊浦砂の相対密度 $Dr=60\%$ 時の乾燥密度を用いている。各細粒分含有率の土質試料を含水比 $w=10\%$ に調整しPVA繊維($L=40\text{mm}$)を加え、攪拌混合したものを直径 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供試体を作製した。非排水繰返しせん断試験は、載荷速度 0.1Hz 正弦波の応力制御によりせん断を行い、両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ に達した時点

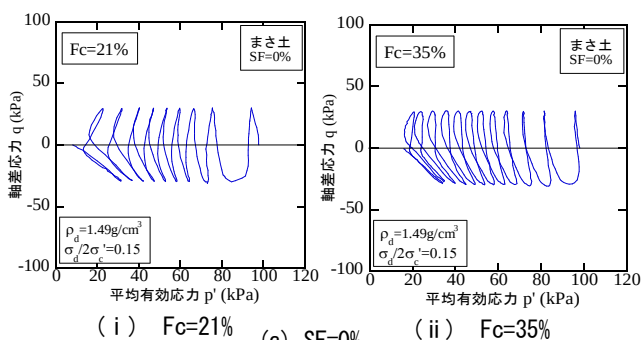
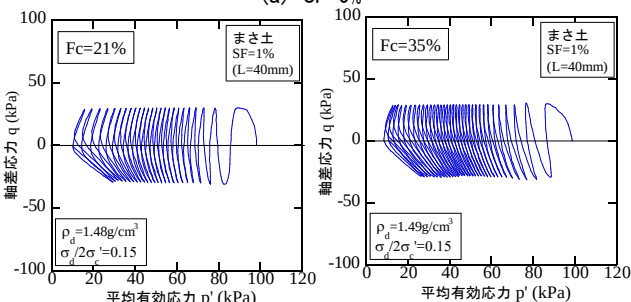
(i) $F_c=21\%$ (a) $SF=0\%$ (ii) $F_c=35\%$ (i) $F_c=21\%$ (b) $SF=1\%$ (ii) $F_c=35\%$

図-2 有効応力経路図

3. 実験結果及び考察 図-2(a), (b)に、細粒分含有率 $F_c=21, 35\%$ の有効応力経路図について $SF=0\%$, $SF=1\%$ の結果を示す。これまでの研究⁶⁾により、細粒分含有率 $F_c=21\%$ 付近にて、骨格間隙比とまさ土の最大間隙比が同等となり、この細粒分含有率の試料において、最小の液状化強度を示すことが分かっている。細粒分の影響について着目すると、骨格間隙比が最大間隙比を

越える $F_c=35\%$ になると(a) $SF=0\%$ と(b) $SF=1\%$ はともに破壊に至るまでの繰返し回数は増加している。また、細粒分含有率の増加に伴い、供試体の有効応力は砂単体のままのように、完全に消失されないまま変形による破壊に至っている。

このような繰返しせん断挙動は粘性土のような繰返しせん断挙動を示し、これは骨格間隙比が細粒子主体の構造へと移行したことが考えられる。一方、短繊維混合土 (b) SF=1%に着目すると、同一の細粒分混合量に対し、短繊維混合により繰返しせん断抵抗が増加し、繰返しに伴う有効応力の低下が抑制されていることが確認できる。また、短繊維を混合した場合においても、有効応力の低下傾向に細粒分含有率の影響を受けていることが分かる。図-3(a), (b)に、SF=0%, SF=1%の軸ひずみと軸差応力の関係について細粒分含有率Fc=21, 35%の結果を示す。細粒分含有率の増加に伴い、骨格間隙比が最大間隙比を越えるFc=35%になると、SF=0%, SF=1%ともに軸ひずみの発生が抑制されていることが分かる。また、短繊維を混合することで、同一細粒分の条件において、短繊維が伸張側の変形を抑制させ、破壊に至るまでの繰返しせん断抵抗が増加し、軸ひずみの発生が抑制されていることが確認できる。次に、図-4(a), (b)に両振幅軸ひずみDA=5%に達した時点を液状化と判定し、その時繰返し応力比と繰返し回数により表した液状化強度曲線を示す。(a) SF=0%の液状化強度は細粒分含有率の影響を受け、Fcの増加とともに小さくなっていることが分かる。骨格間隙比の変動に伴い、Fc=21%以上においてわずかな液状化強度の増加を示して粒径分主体の砂のせん断挙動から細粒分主体のせん断挙動に移行したことが大きな要因と考えられる⁶⁾。一方、(b) SF=1%の短繊維混合土の液状化強度は

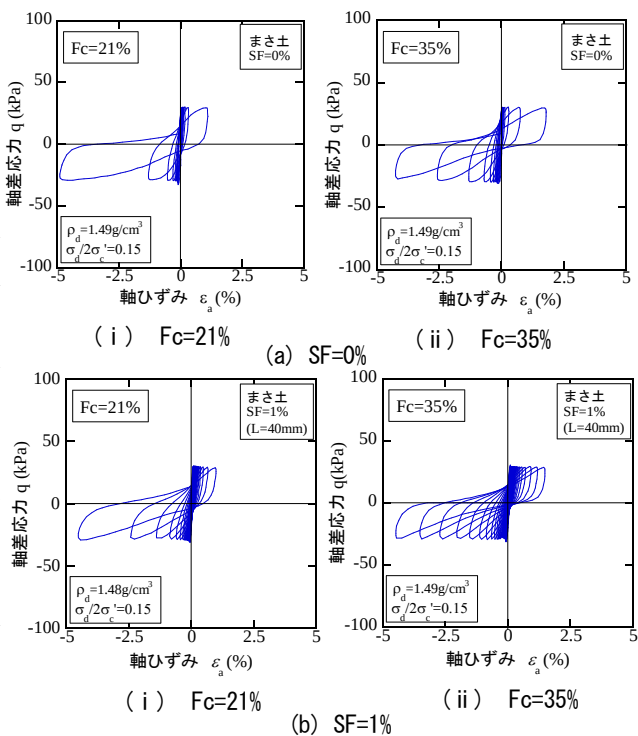


図-3 軸ひずみと軸差応力の関係

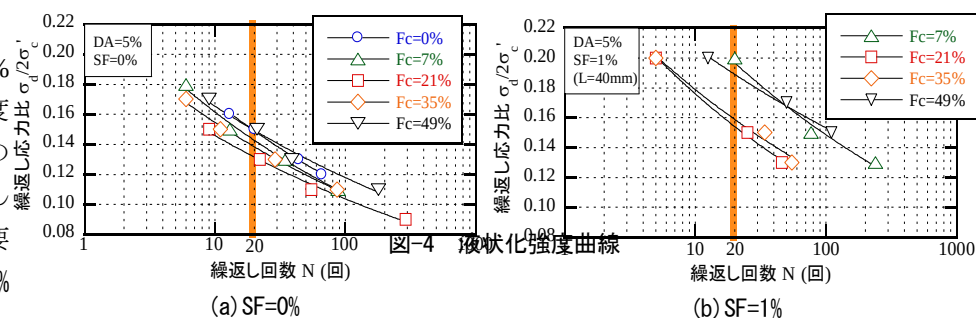
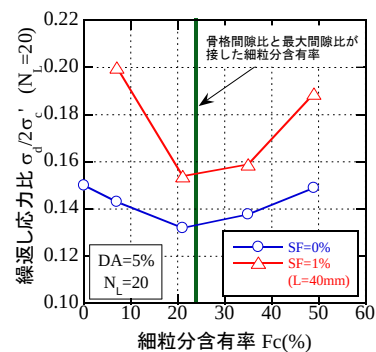


図-4 液状化強度曲線

SF=0%と同じ液状化特性を示しており、細粒分含有率の影響を顕著に受けていることが分かる。しかしながら、短繊維を混合することでいずれの細粒分含有率においても液状化強度は増加していることがわかる。図-5に各細粒分含有率における短繊維未混合土(SF=0%)と短繊維混合土(SF=1%)の液状化強度と細粒分含有率の関係を示す。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。低塑性の細粒分を含有するまさ土の液状化強度は、これまでの研究により骨格間隙比の影響を受けて、Fc=0%の最大間隙比 e_{max} を示す細粒分含有率を境に強度変化を生じることが明らかとなっている。しかしながら、短繊維を混合することで、特に細粒分含有率がFc=7%の時に最も短繊維せん断に伴う変形を抑制され、短繊維混合により液状化強度の増加につながることを示された。

図-5 $N_L=20$ における繰返し応力比と細粒分含有率の関係

4. まとめ ①低塑性細粒分を含有するまさ土の非排水繰返しせん断挙動は、骨格間隙比 e_s の変化に大きく依存し、最大間隙比を示す細粒分含有率を閾値としてせん断抵抗が増減することが示された。②短繊維混合土は、低塑性シルトを含有する砂質土の液状化強度の改善に効果的であることが明らかになった。しかし、骨格間隙比 e_s が最大間隙比 e_{max} を超える範囲においては、改善効果が小さくなることも示された。今後、さらなる液状化強度の改善においては、短繊維の繊維長や固化材との併用の影響についての検討から明らかにする必要がある。

【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) 矢島ら：細粒分を含む砂質土の液状化特性と液状化強度評価に関する一考察，土木学会論文集，No.624, III-47, pp.113-122, 1999. 3) 中澤ら：細粒分を含む砂質土の相対密度及び液状化強度評価に関する検討，土木学会論文集A1, Vol.68, No4, pp282-292. 4) 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. 5) 財団法人土木環境センター：短繊維混合補強土工法 6) 佐藤ら：シルト分を含む短繊維混合土の液状化特性，ジオシンセティックス論文集，第31巻，pp235-240, 2016.