

細粒分を含む短繊維混合固化処理土の液状化特性

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 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)}が行われている。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、短繊維混合土に低塑性のシルト分を混合し、液状化強度に及ぼす細粒分の影響と固化材を併用する短繊維混合固化処理土の液状化抑制効果について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

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。

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

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、固化材に普通ポルトランドセメントを用いた。

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、さらに固化材添加率0, 1%とし、所定の養生を行った後に実験を行った。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。

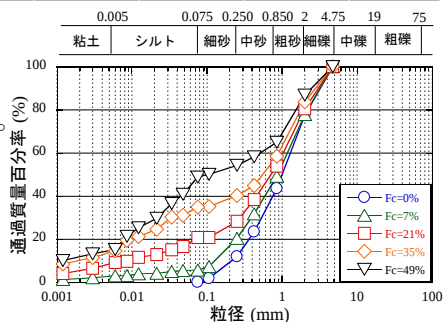


図-1 細粒分を調整した後の土質試料の粒径加積曲線

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

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 (%)	固化材添加率 C (%)	養生日数 (日)	目標乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	設定含水比 w (%)
まさ土	0	—	0, 7, 21, 35, 49	0	0	1.490	10
	1	40	7, 21, 35, 49	0	0		
		40		1	3		

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($L=40\text{mm}$)、固化材を加え、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。なお固化材を添加したケースにおいて 20℃一定の恒温室で所定の期間、気中養生させた。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 $DA=5\%$ に達した時点液状化と判断し、実験を終了している。

3. 実験結果及び考察 図-2に $F_c=21\%$ における固化材添加率(C)と短繊維混合率(SF)の各条件 (a) $C=0\%$, $SF=0\%$ 、(b) $C=0\%$, $SF=1\%$ 、(c) $C=1\%$, $SF=1\%$ の有効応力経路図を示す。同一の細粒分含有率と繰返し応力比から得られた有効応力経路図を比較すると、短繊維未混合土($C=0\%$, $SF=0\%$)は、繊維混合土($C=0\%$, $F=1\%$)と短繊維混合固化処理土($C=1\%$, $SF=1\%$)に比べ、少ない繰返し回数で液状化に至っていることが分かる。また短繊維混合による影響は、図-2(b)と(a)を比較すると、

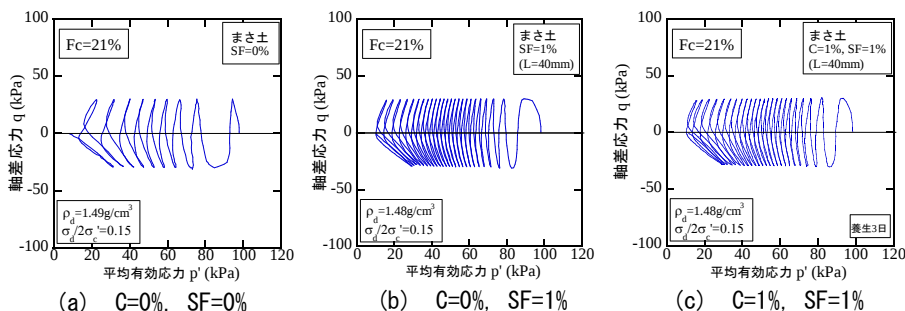


図-2 有効応力経路図

と、短繊維未混合土($C=0\%$, $SF=0\%$)は、繊維混合土($C=0\%$, $F=1\%$)と短繊維混合固化処理土($C=1\%$, $SF=1\%$)に比べ、少ない繰返し回数で液状化に至っていることが分かる。また短繊維混合による影響は、図-2(b)と(a)を比較すると、

キーワード 液状化抑制、短繊維引張補強材、細粒分、骨格間隙比

連絡先 〒814-0180 福岡市城南區七隈 8-19-1 福岡大学工学部 TEL092-871-6631(ext.6464)

短繊維混合により繰返しせん断抵抗が増加し、有効応力の低下が抑制されていることが確認できる。これは短繊維が変形を抑制させ、せん断抵抗が増加することが要因と考えられる。さらに短繊維を混合し、固化材添加による影響は、短繊維未混合土に比べ、明らかに繰返しせん断抵抗が増加し、有効応力の低下が抑制されている。図-3に図-2と同条件下における軸ひずみと軸差応力の関係を示す。短繊維混合による影響について着目すると短繊維を混合することで、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、軸ひずみの発生を抑制していることが分かる。

また、短繊維と固化材を併用した条件においては、短繊維のみ混合した場合より明らかに軸ひずみの発生を抑制されており、徐々に破壊に至っている。図-4(a) $C=0\%$, $SF=0\%$ 、(b) $C=0\%$, $SF=1\%$ 、(c) $C=1\%$, $SF=1\%$ に短繊維混合率と固化材添加率の各条件の液状化強度曲線を示す。(a) $C=0\%$, $SF=0\%$ の液状化強度は細粒分含有率の影響を受け、細粒分の増加とともに小さくなっていることが分かる。さらに骨格間隙比の変動に伴い、 $F_c=21\%$ 以上においてわずかな液状化強度の増加を示している。これは砂骨格主体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⁾。また、短繊維を混合した(b) $C=0\%$, $SF=1\%$ の液状化強度においても同様の傾向を示しており、短繊維を混合することで細粒分含有率の影響は顕著に現れることが分かる。また短繊維を混合することで液状化強度は増加することが明らかとなった。さらに短繊維を混合し、固化材を添加した(c) $C=1\%$, $SF=1\%$ は固化材を添加することで短繊維混合のみと比較すると、液状化強度はさらに増加することが示された。これらから固化材を添加した場合においても細粒分含有率の影響を大きく受け、液状化強度の増減に関係することが分かる。図-5に各細粒分含有率における短繊維未混合土($SF=0\%$)、短繊維混合土($SF=1\%$)及び短繊維混合固化処理土($C=1\%$, $SF=1\%$)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、骨格間隙比の影響を受けて、 $F_c=0\%$ の最大間隙比 e_{max} を示す細粒分含有率をすることで、境に強度変化を生じることが明らかとなった。また短繊維を混合し、さらに固化材を添加すると、液状化強度の増加するものの、未改良土と同様に細粒分含有率の影響を受けることが分かる。また、固化材添加の影響は、養生3日であることから、さほど大きな強度増加は見られていない。しかしながら、短繊維混合や固化材による強度増加は、 $F_c=21\%$ のより細粒分が少ない $F_c=7\%$ において、液状化強度増加率が大きく、短繊維を混合した場合や、さらに固化材を併用した場合において、細粒分含有率の違いにより強度増加に差があることが示された。

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、短繊維固化処理土は、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。また、短繊維を混合することで液状化改善効果があり、さらに固化材を併用することで液状化改善効果が増加することも確認された。

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、短繊維固化処理土は、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。また、短繊維を混合することで液状化改善効果があり、さらに固化材を併用することで液状化改善効果が増加することも確認された。

【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) 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, No.4, 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.

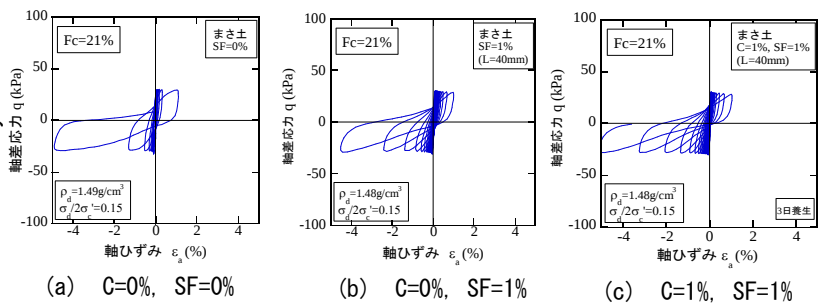


図-3 軸ひずみと軸差応力の関係

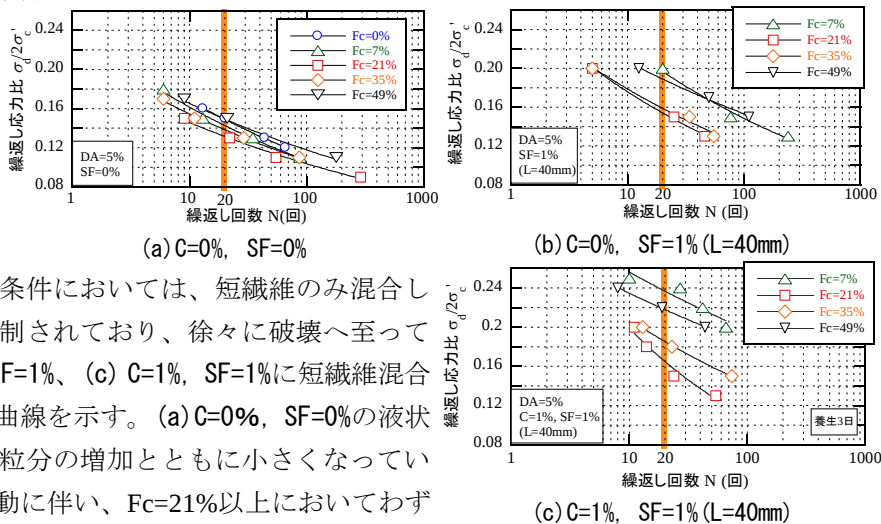


図-4 液状化強度曲線

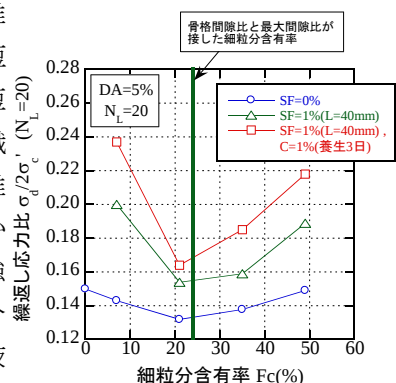


図-5 $N_L=20$ における繰返し応力比と細粒分含有率の関係