

# 短繊維混合まさ土の液状化強度に及ぼすシルト分の影響

福岡大学大学院 学生会員 古賀新太郎

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<sup>1)</sup>。非塑性及び低塑性のシルト分を含む土質材料は、その含有率が増加するに従い、液状化強度が低下するということが多くの研究<sup>2),3)</sup>により示されている。また、今後も大地震の発生が懸念されているため、シルトを含む地盤に対する液状化対策が必要である。著者ら<sup>4)</sup>はこれまでに、短繊維混合補強土工法<sup>5)</sup>に着目し検討を行い、短繊維混合による液状化強度の増加を確認している。そこで本報告では、短繊維混合まさ土に低塑性のシルト分を混合し、液状化強度に及ぼすシルト分の影響と短繊維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 実験に用いた試料及び実験条件 土質試料は細粒分を取り除いた  $F_c=0\%$  のまさ土の絶乾質量に対して、シルト質の細粒分を 0, 7, 21, 35, 49% 混合した 5 種類を用いて検討を行った。土質試料の物理特性を表-1 に、各細粒分含有率の粒径加積曲線を図-1 に示す。短繊維材料には繊維長  $L=12\text{mm}$  のポリビニルアルコール(PVA)繊維を用いた。表-2 の実験条件に従い実験を行った。

2-2 実験方法 所定のシルト分含有率となるように粒度調整を行った土質試料に、初期含水比  $w=10\%$  となる水とPVA繊維を加え、攪拌混合したものを、直径 7.5cm、高さ 15cm のモールド内に 5 層で各層所定の回数突き固めを行い、中密な地盤を模擬した相対密度  $D_r=63\%$  時の乾燥密度、 $\rho_d \approx 1.49\text{g/cm}^3$  となるよう供試体を作製している。非排水単調せん断試験の実施にあたっては、せん断速度を 0.17%/min とし、軸ひずみが 15% に達したところで実験終了とした。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 にてせん断を行い、両振幅軸ひずみ  $DA=5\%$  に達した時点を液状化と判断し、実験を終了している。全条件において、有効拘束圧  $\sigma'_c=98.1\text{kPa}$  (バックプレッシャー  $\sigma_{BP}=196.2\text{kPa}$ ) を載荷している。また、供試体の飽和度(B値)が 0.96 以上であることを確認している。

3. 土質材料の骨格構造と細粒分含有率の関係 細粒分を含む土の力学特性は、土の骨格構造が支配要因だと考えられる。そこで本研究では、骨格間隙比の概念<sup>2)</sup>を用い、粒子骨格の状態の把握を行う。図-2の土の骨格モデルに示すように、土の組成は砂粒子、細粒子、空隙の3つに区分される。通常、間隙比は砂粒子と細粒子の体積の和と空隙の体積の比により求められるのに対し、骨格間隙比は細粒子の体積も空隙とみなし、砂粒子の体積の比より式(1)のように算出したものとする。

$$e_s = \frac{V_v + V_{sf}}{V_{ss}} \quad (1)$$

ここで、 $e_s$  は骨格間隙比、 $V_v$  は空隙部分の体積、 $V_{sf}$  は細粒子の体積、 $V_{ss}$  は砂粒子の体積とする。

図-3は各細粒分含有率の土質試料を 98.1kPa の拘束圧により圧密した後の骨格間隙比と細粒分含有率の関係である。骨格間隙比は細粒分含有率( $F_c$ )の増加に伴い大きくなり、細粒分含有率  $F_c=24\%$  付近で  $F_c=0\%$  のまさ土の最大間隙比  $e_{max}$  と同程度の値を示している。この状態は、砂粒子同士のインターロッキング効果が失われ、骨格構造が非常に緩い状態にあるといえる。さらに、それ以上の細粒分含有率では砂の骨格構造が失われ、供試体の強度は細粒分に支配されていくものと思われる。

## 4. 実験結果及び考察

4-1 非排水単調せん断特性 シルト分  $F_c=0\sim 49\%$  の各条件における有効応力経路図を図-4に示す。圧縮、伸張側のいずれの条件も、せん断初期から過剰間隙水圧が発生し、有効応力が低下し軟化傾向が現れ、変相線に達している。また、シルト分含有率増加に伴って軟化傾向が強くなり、変相線の傾きも小さくなっている。しかし、骨格間隙比が最大間隙比  $e_{max}$  を越える  $F_c=35\%$  以上では軟化傾向が弱まり、再び変相線の傾きが増加傾向に転じていることが分かる。

表-1 土質試料の物理特性

土質試料	土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	最大間隙比 $e_{max}$	最小間隙比 $e_{min}$	塑性指数 $I_p$
まさ土	2.716	1.18	0.616	N.P.
シルト	2.790	-	-	13.88

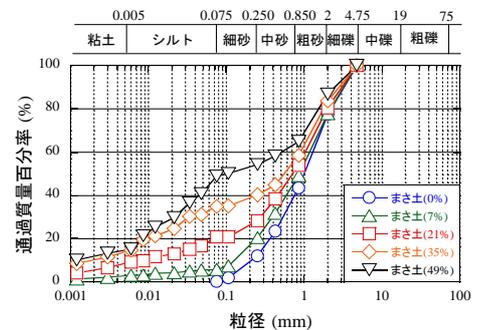


図-1 土質試料の粒径加積曲線

表-2 実験条件

検討条件	細粒分含有率 $F_c$ (%)		目標乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
	0, 7, 21, 35, 49		
まさ土	F=0% F=1% (L=12mm)		1.49

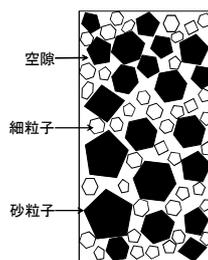


図-2 土の骨格モデル

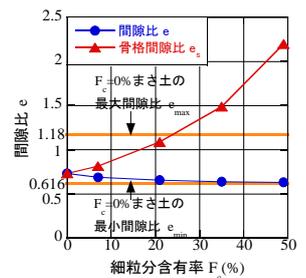


図-3 骨格間隙比と細粒分含有率の関係

4-2 液状化特性 図-5の(a)～(c)にシルト分含有率 $F_c=7, 21, 49\%$ の短繊維未混合土( $F=0\%$ )における有効応力経路図を示す。また、(d)～(f)に短繊維を1%混合したものを示している。短繊維未混合土( $F=0\%$ )の有効応力経路を見ると、 $F_c=21\%$ では、シルト分の増加に従って繰返しせん断抵抗は小さくなり、 $F_c=0\%$ と比較すると少ない回数で液状化に至っていることが分かる。しかし、図-3で示された骨格間隙比が最大間隙比を越える $F_c=49\%$ になると、破壊に至るまでの繰返し回数は再び増加している。また、有効応力経路はいわゆる粘性土の繰返しせん断挙動を示し、有効応力は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とが分かる。これは骨格間隙比が細粒子主体の構造へと移行したためであり、単調せん断挙動で示されたシルト分の混合に伴う軟化傾向と変相線の傾きと連動した挙動であることが分かる。一方、短繊維混合土( $F=1\%$ )に着目すると、同一のシルト分混合量に対し、短繊維混合により、繰返しせん断抵抗が増加し、有効応力の低下が抑制されていることが確認できる。これは短繊維の混合によって、シルト分増加によって失われる砂粒子のインターロッキング効果が改善されたことが要因と考えられる。

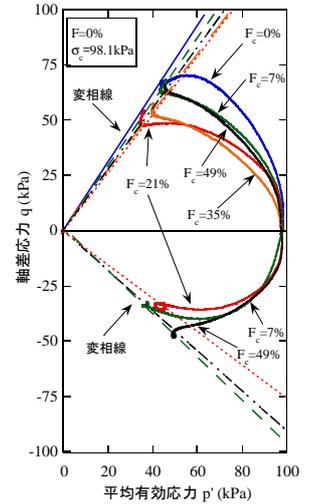


図-4 単調せん断試験結果

図-6に各シルト分含有率における短繊維未混合土( $F=0\%$ )及び短繊維混合土( $F=1\%$ )の液状化強度と細粒分含有率の関係を示す。図中には佐藤ら<sup>9</sup>が行った、低塑性の細粒分を含むまさ土の結果も示している。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 $N_c=20$ 回時の繰返し応力比としている。細粒分含有率が増加するに伴い液状化強度は低下し、 $F_c=21\%$ において液状化強度は最も低い値を示している。これに対し、 $F_c=35\%$ 以上では再び液状化強度は増加している。この結果は佐藤ら<sup>9</sup>が行った結果と同様の傾向を示しており、低塑性のシルト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、 $F_c=0\%$ の最大間隙比を境に強度変動を生じることが示された。次に短繊維混合土( $F=1\%$ )に着目すると、いずれのシルト分含有率においても短繊維の混合は液状化強度の改善に効果的であることが分かる。また、短繊維混合による液状化強度の増加率はシルト分が多いほど小さい。これは、塑性指数の低い細粒分主体の骨格構造に変化することで、短繊維による土粒子の拘束効果が低下したと考えられる。そのため、シルト分の多い砂質土においては固化材との併用が望まれる。

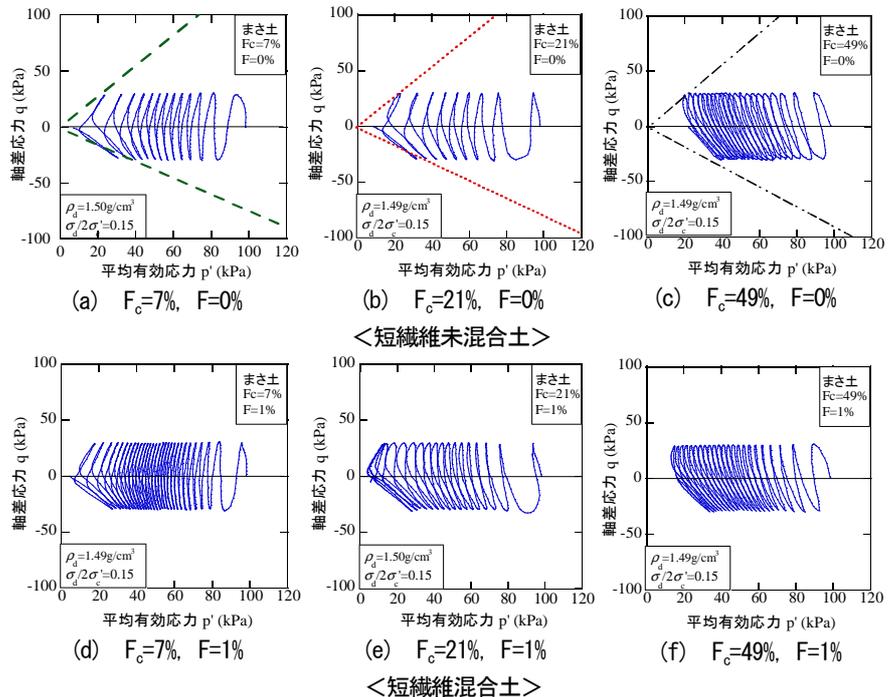


図-5 繰返しせん断試験結果

5. まとめ (1)低塑性シルト分を含有するまさ土の非排水繰返しせん断挙動は、骨格間隙比の変化に大きく依存し、せん断抵抗が増減することが示された。また、液状化強度は、骨格間隙比 $e_s$ がシルト分含有率 $F_c=0\%$ の最大間隙比 $e_{s,max}$ となる際に最小値を示すことも明らかになった。

(2)短繊維の混合は、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 $e_{s,max}$ 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、固化材との併用効果や塑性指数の異なるシルト分の影響についての検討から明らかにする必要がある。

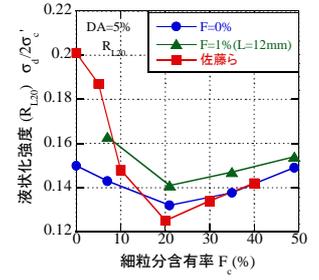


図-6 繰返し応力比と細粒分含有率の関係

【参考文献】 1)安田進：東京湾岸における液状化被害，地盤工学会誌，pp. 38-41, 2011. 2)例えば，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, 1999.6. 3)例えば，原田ら：細粒分を含む砂によって造成された海岸埋立て地盤の液状化特性，土と基礎，No.38，pp.21-26, 1990.6 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，pp. 155-160, 2013. 5)財団法人土木環境センター：短繊維混合補強土工法 <http://www.pwrc.or.jp/fukyuu/higradesoil/tansenni.html>. 6)佐藤ら：細粒分が埋立地盤の液状化特性に及ぼす影響に関する研究，土木学会論文集，No.561/III-38, 271-282, 1997.3