

細粒分含有率が短繊維混合土の液状化挙動に及ぼす影響

福岡大学大学院
福岡大学工学部

学生会員 王 経緯
正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1. はじめに 2018 年、インドネシアのスラウェシ島に発生した地震¹⁾では、非常に大規模な液状化が発生し、街が一瞬にしてなくなるという大きな災害があった。日本においても、東日本大震災、熊本地震、大阪北部地震や北海道胆振東部地震が発生し、これに伴い数多くの液状化被害が確認されている。今後、南海トラフ地震等の巨大地震の発生も危惧される中、地球温暖化による海面上昇にともなう地下水位の上昇による液状化の危険性のあるエリアの拡大も懸念されている。そのため、液状化対策に関するさらなる研究や検討は益々重要となる。東日本大震災では、シルト分を多く含む砂質土の埋立地において多くの液状化が発生している²⁾。そこで、本研究は、特に土質材料中の細粒分含有率(F_c %)に着目し、同一相対密度の管理のもと短繊維混合による液状化補強効果について非排水繰返し三軸試験にて検討を行った結果について報告する。



2. 実験概要

2-1 実験材料 今回行った実験では、土質材料にまさ土と矽石粉(シルト分)を用いた。表-1 に土質材料の物理特性、写真-1 に土質材料の外観を示す。今回の検討では、細粒分含有率に着目し、水洗いで細粒分を除いたまさ土(MSD100)と矽石粉を混合し、細粒分含有率 $F_c=10\%, 20\%, 30\%, 40\%$ に調整した混合土(MSD90, MSD80, MSD70, MSD60)を使用した。図-1 に粒径加積曲線を示す。各細粒分含有率 F_c に対して、最大・最小密度試験を行い、最大・小間隙比及び $Dr=65\%$ の混合土の骨格間隙比と細粒分含有率の関係を図-2 に示す。ここで、骨格間隙比とは、砂分のみに着目し、細粒分と空隙部分を間隙とみなし、算出した結果である³⁾。

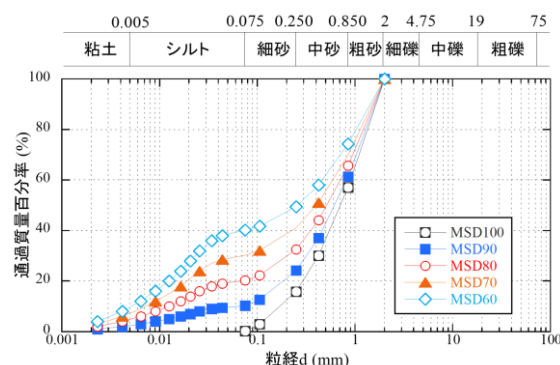


図-1 粒径加積曲線

2-2 実験方法

a) 供試体の作製 細粒分を含有する混合土の供試体は、土質試料に、所定の水とシルト分を加え、十分に攪拌混合したものを、直径 $D=7.5\text{ cm}$ 、高さ $H=15\text{ cm}$ のモールド内に5層で各層所定の回数突き固めにより作製した。なお、今回の実験では、初期供試体密度とし、全ての条件において相対密度 $Dr=65\%$ に設定し、供試体の密度管理を行っている。表-2 に非排水繰返し三軸試験の供試体の作製条件を示す。

b) 非排水繰返し三軸実験 排水繰返し三軸試験の実施にあたっては、正弦波の応力制御により載荷速度 0.1 Hz にてせん断を行い、両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ に達した時点

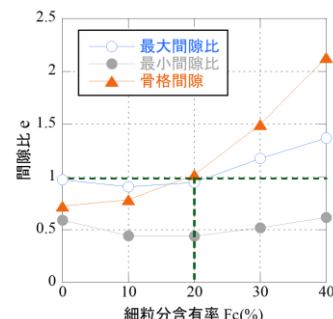


図-2 骨格間隙と F_c の関係

表-1 土質材料の物理特性

土質材料	土粒子密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}
まさ土	2.637	0.974	0.589
矽石粉	2.642	/	/

表-2 非排水繰返し三軸試験の供試体の作製条件

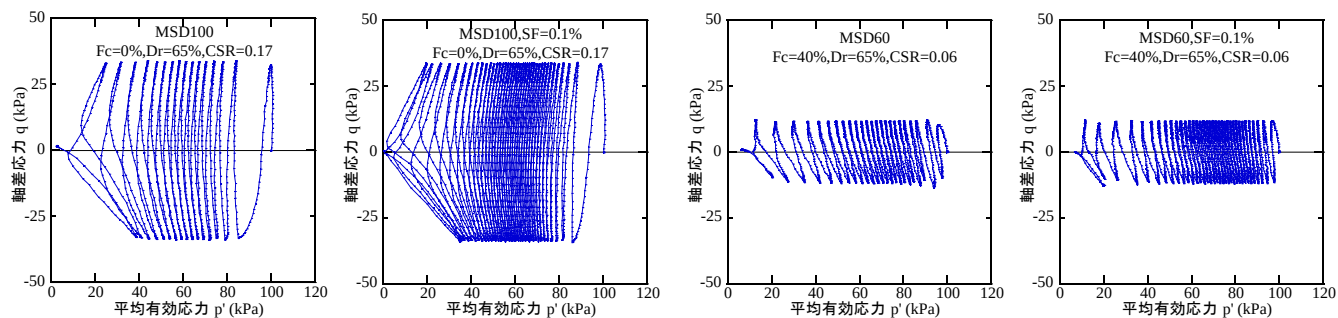
土質材料	相対密度 $Dr (\%)$	細粒分含有率 $F_c (\%)$	短繊維混合率 $SF (\%)$	含水比 $W (\%)$
MSD100	65	0	0, 0.1	7
MSD90		10	0	
MSD80		20	0	
MSD70		30	0	
MSD60		40	0, 0.1	

3. 実験結果及び考察

3-1 細粒分含有率の違いが繰返しせん断挙動に及ぼす影響

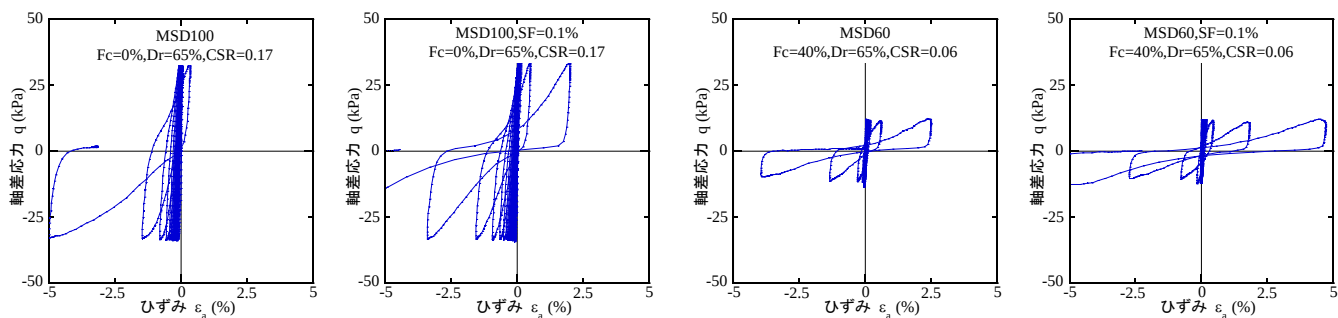
図-3 (a) ~ (d) に短繊維混合率 $SF=0\%, 0.1\%$ における細粒分含有率 $F_c=0\%, 40\%$ の有効応力経路図を示す。 $F_c=0\%$ について、(a) $SF=0\%$ は繰返し差載荷に伴う有効応力が減少し、破壊に至っている。(b) $SF=0.1\%$

では、繰返し載荷に伴う、 $SF=0\%$ と比べると、液状化に至っている繰返し回数が増え、載荷に伴う有効応力の低下が緩慢になっている。一方、 $F_c=40\%$ においても(d) $SF=0.1\%$ の方が、(c) $SF=0\%$ と比較すると有効応力の低下が抑制されている。また、細粒分含有することで、より低い繰返し応力比(細粒分なしの約 $1/3$)で液状化に至っていることから、細粒分含有率の増加により、液状化抵抗性が明らかに低下することが分かる。図-4 (a) ~ (d) に短繊維混合率 $SF=0\%, 0.1\%$ における細粒分含有率 $F_c=0\%, 40\%$ の軸ひずみと軸差応力の関係を示す。 $F_c=0\%$ ((a), (b)) を見る



(a) $F_c=0\%$, $SF=0\%$, $CSR=0.17$ (b) $F_c=0\%$, $SF=0.1\%$, $CSR=0.17$ (c) $F_c=40\%$, $SF=0\%$, $CSR=0.06$ (d) $F_c=40\%$, $SF=0.1\%$, $CSR=0.06$

図-3 有効応力経路図



(a) $F_c=0\%$, $SF=0\%$, $CSR=0.17$ (b) $F_c=0\%$, $SF=0.1\%$, $CSR=0.17$ (c) $F_c=40\%$, $SF=0\%$, $CSR=0.06$ (d) $F_c=40\%$, $SF=0.1\%$, $CSR=0.06$

図-4 軸ひずみと軸差応力の関係

と、繰返し载荷に伴う軸ひずみは、 $SF=0\%$ では $DA=5\%$ に達する直前で引張り側に大きなひずみの発生し、液状化に達していることがわかる。そして、 $SF=0.1\%$ では、短繊維混合の効果がみられ、引張側のひずみの発生が抑制され、徐々に変形が生じている。一方、 $F_c=40\%$ ((c), (d))では、 $F_c=0\%$ と比べ、液状化に至る急激な破壊変形が抑制されていることがわかる。また、(d) $SF=0.1\%$ のほうが、繰返し回数ごとにひずみの発生幅が小さくなり、繊維を混合による破壊を抑制されている。図-5 に最大間隙水圧比繰返し回数の関係を示す。短繊維混合は、細粒分含有率に関係なく、繰返しに伴う過剰間隙水圧の発生抑制に効果があることがわかる。

3-2 液状化強度に及ぼす影響

図-6 に液状化強度と細粒分含有率の関係を示す。ここで、液状化強度は、両振幅ひずみ $DA=5\%$ になる繰返し回数 $N=20$ 回に対する繰返し応力比とする。 $SF=0\%$ について、 $F_c=0\%$ と比べると、 $F_c=10\%$ は液状化強度がわずかに増加し、 $F_c=20\%$, 30% , 40% では、液状化強度は急激に低下している。細粒分含有率の増加に伴い、液状化強度が低下している。また、 $F_c=20\sim30\%$ の付近は、液状化強度が最小となり、その後液状化強度が僅かな増加傾向が見られた。これは、液状化強度が細粒分を含有する土質材料の骨格間隙に影響を受けるためと考えられる。図-2 により、 $Dr=65\%$ の供試体の骨格間隙比(細粒分を間隙とみなし)は細粒分含有率の増加に伴って増加し、 $F_c=20\sim30\%$ の付近に砂粒分なしの最大間隙比(一番緩い状態)と同じ値となると考えられる。その後は、細粒分含有率が多くなると砂粒子間の接触面積が少なくなり、細粒分が供試体の強度を支配してくることが強度増加の要因と考えられる。一方、短繊維を混合した $SF=0.1\%$ ($F_c=0\%$, 40%)では、いずれの条件とも短繊維の補強効果により液状化強度が上がる事が分かる。また、その補強効果は、細粒分含有の影響を受け、 $F_c=0\%$ の方が大きいと言える。

4. まとめ 1)細粒分含有率の違いが、土質材料の液状化挙動に大きな影響を与えることが明らかになった。また、液状化強度は F_c の増加とともに小さくなり、骨格間隙比が最大間隙比より大きくなる間隙比で再び増加する傾向が確認された。2)短繊維を混合することで、細粒分含有率に関係なく短繊維混合土の液状化抑制効果あることが示された。

参考文献 1)防災リテラシー研究所：2018年スラウェシ地震での大規模な液状化, <http://bosailiteracy.org> 2)国土交通省, 防災, 関東地方整備局東北地方：太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態調査結果について, 2012.2. 3)佐藤正行, 小田匡寛, 風間秀彦, 小瀬木克己：細粒分が埋立地盤の液状化特性に及ぼす影響に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.561/III-38, pp271-282, 1997.3

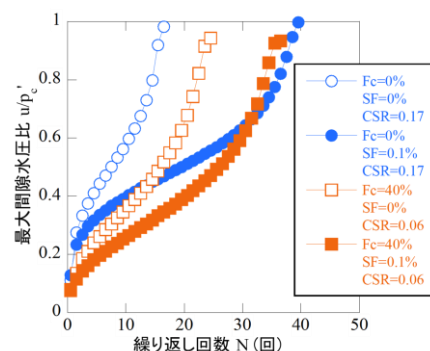


図-5 最大間隙水圧比と繰返し回数の関係

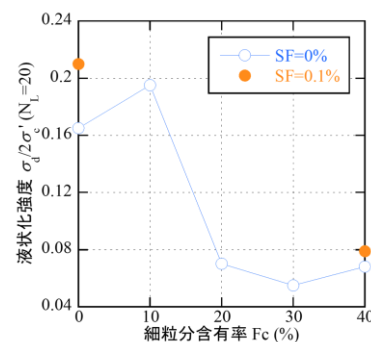


図-6 液状化強度と F_c の関係