

シルトを含む砂の液状化特性

復建調査設計株式会社 正会員 ○渡邊 真悟
 山口大学大学院 正会員 兵動 正幸
 山口大学大学院 学生会員 東 佳佑

1. はじめに

2000 年鳥取県西部地震では境港市の埋立地で液状化が発生し、被害を受けた地盤の多くが非塑性シルトから成るものであった¹⁾。また、2011 年東北地方太平洋沖地震においても東京湾岸の埋立地で広範囲に液状化が発生し、特に千葉県浦安市では粒径 0.075mm 以下の細粒分を大量に含む噴砂が確認されるなど、純粋な砂ではなく細粒分を含む地盤で被害が発生した²⁾。本研究では、非塑性細粒土(シルト)と珪砂を様々な割合で混合し所定のエネルギーで突固める方法により、粗粒土が骨格構造を作る状態から細粒分がマトリックスを構成するに至る種々の細粒分含有率からなる混合土試料を作製し、一連の非排水繰返しせん断試験を行った。その結果に基づき、広範な粒度からなる混合土の非排水繰返しせん断強度の評価を行った。

表-1 混合土試料の物理的性質

Tottori silt content (%)	Fines content (%)	Clay content (%)	G_s	I_p	d_{50} (mm)	U_c
100	98.0	6.0	2.665	NP	0.019	2.85
80	78.4	4.8	2.662	NP	0.023	3.67
60	58.8	3.6	2.660	NP	0.034	26.10
50	49.0	3.0	2.659	NP	0.139	31.99
30	29.4	1.8	2.656	NP	0.413	48.44
20	19.6	1.2	2.655	NP	0.592	45.86
10	9.8	0.6	2.653	NP	0.757	9.13
0	0	0	2.652	NP	0.885	3.70

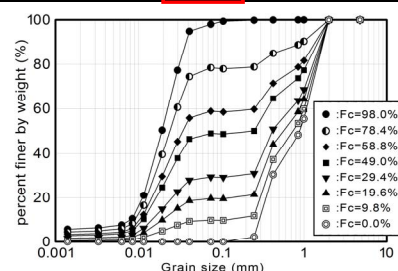


図-1 混合土試料の粒径加積曲線

2. 試料及び供試体作製方法

鳥取県西部地震時に境港市竹内工業団地において、液状化により噴出したシルト($F_c=98\%$, $I_p=NP$)と珪砂を様々な割合で混合し試料を作製した。出来るだけ粒度分布を良くするため、三河珪砂 V5 号, R5.5 号, V6 号, V3 号を乾燥重量比 1:2:2.5 の割合で混合し粒度調整を行った。粒度調整した珪砂は $e_{max}=0.850$, $e_{min}=0.524$ であった。このように、粒度調整した珪砂とシルトの乾燥質量比を 0:100, 20:80, 40:60, 50:50, 70:30, 80:20, 90:10, 100:0 とし混合した。表-1 に物理的性質を、図-1 に粒径加積曲線を示す。また、試験に用いる供試体については湿潤突固め法を用い、突固めエネルギー E_c を変化させ作製した ($E_c=504\text{kJ/m}^3$, 324kJ/m^3 , 113kJ/m^3 , 51kJ/m^3 , 22kJ/m^3)。

3. 間隙比と細粒分含有率の関係

吸水に伴う体積変化問題としてコラプス収縮現象があり、コラプス収縮現象は主に緩く堆積したシルト質地盤で生じることが確認されている。そこで、試験時の飽和通水及び圧密過程における体積圧縮を把握するため、初期状態、飽和通水後、圧密後のそれぞれのタイミングで供試体体積を測定し間隙比の算定を行った。図-2(a), (b), (c) に初期状態間隙比 e_1 、飽和通水後間隙比 e_2 、圧密後間隙比 e_3 と細粒分含有率の関係を示す。(a) より初期状態間隙比 e_1 は、細粒分含有率が変化しても突固めエネルギーの違いにより様々な値を示すことが認められた。一方、(b), (c) に示した飽和通水後間隙比 e_2 及び圧密後間隙比 e_3 は、 $F_c=30\%$ 以下、つまり、粗粒土が骨格の主体を成す領域において突固めエネルギーの影響を受け様々な間隙比を示すが、 $F_c=30\%$ 付近で突固めエネルギーの違いによらずほぼ一点に集まり、その後、細粒分の増加に伴い間隙比が増加する傾向が認められた。以上より、シルト混合土は細粒土が骨格の主体を成す領域 ($F_c=30\%$ 以上) で、コラプスによる体積収縮の影響を強く受けることが判明した。そのため、圧密後間隙比 e_3 を評価指標とすることで、骨格構造の変化を明確に表現できると推察された。

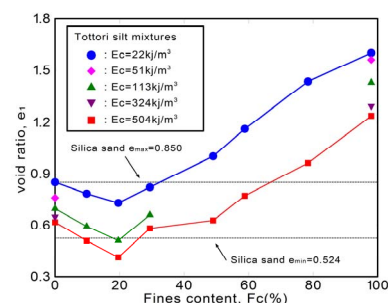
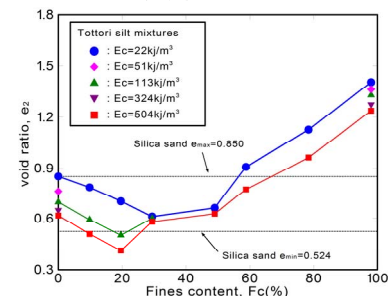
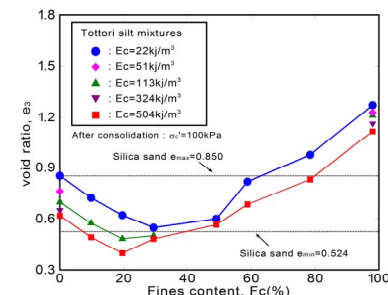
(a) 初期状態間隙比 e_1 (b) 飽和通水後間隙比 e_2 (c) 圧密後間隙比 e_3

図-2 間隙比と細粒分含有率の関係

キーワード 砂・シルト混合土, 細粒分含有率, 骨格構造

連絡先 〒732-0052 広島市東区光町2丁目10番11号

TEL 082-506-1867

4. 非排水繰返しせん断強度

本研究では、全ての試料の破壊定義を軸ひずみ両振幅 5% とし結果の整理を行った。図-3 に三河珪砂 ($F_c=0\%$)、図-4 に鳥取シルト ($F_c=98\%$) に対する繰返しせん断強度と細粒分含有率の関係を示す。図より、三河珪砂は高い突固めエネルギーで作製した供試体ほど大きな繰返しせん断強度を示すのに対し、鳥取シルトについては突固めエネルギーが強度に与える影響は小さく、全体的に小さな繰返しせん断強度を示すことが認められた。図-5 (a), (b) には、突固めエネルギー $E_c=504\text{kJ/m}^3$ 、 22kJ/m^3 で突固めた混合土試料の繰返しせん断強度と細粒分含有率の関係を示す。図より、(a) $E_c=504\text{kJ/m}^3$ の場合には、細粒分含有率の増加に伴い繰返しせん断強度が減少する傾向が確認された。一方、(b) $E_c=22\text{kJ/m}^3$ の場合には、繰返しせん断強度に与える細粒土の寄与傾向は小さく、細粒分含有率の増加に伴う強度差はほとんど確認できなかった。次に、図-5 に示した混合土の繰返しせん断強度線より、繰返し回数 20 回時の繰返しせん断応力比を繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ とし、細粒分含有率が及ぼす影響について検討を行った。図-6 に混合土の繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ と細粒分含有率の関係を示す。図より、粗粒土が骨格の主体を成す領域 $F_c=30\%$ 以下では、同一の細粒分含有率であっても突固めエネルギーの違いによって異なる繰返しせん断強度を示した。また、高い突固めエネルギーで突固めた場合、強度は細粒分含有率の増加に伴い大きく低下するのに対し、低い突固めエネルギーの場合はわずかな増加傾向を示し $F_c=30\%$ 付近で突固めエネルギーの違いによらず 1 点に収束することが認められた。さらに、細粒分含有率が増加し細粒土が骨格の主体を成す領域に至ると、細粒土自体が有する繰返しせん断強度付近に落ちつく傾向も確認された。つまり、粗粒土が骨格の主体を成す領域では供試体の初期密度差 (密詰め・緩詰め) により、細粒土が粗粒土骨格の強度を阻害する、または、粗粒土骨格の間隙を充填し強度増加を補助する働きを示すが、細粒土が骨格の主体を成す領域に移行すると細粒土自体が有する強度特性に依存するものと考えられた。

5. まとめ

本研究により得られた知見をまとめると以下のとおりとなる。

- (1) 突固めにより作製した砂・シルト混合土のシルト分が多い領域では、飽和通水・圧密課程においてコラプスによる体積圧縮が発生する。本研究では、これまで見落とされていたコラプスによる体積圧縮を測定したことで、混合土の初期状態を適切に表現することが可能となった。
- (2) 繰返しせん断強度は、粗粒土が骨格の主体を成す領域では突固めエネルギーや細粒分含有率の影響を受け様々な値を示すが、細粒土が骨格の主体を成す領域では突固めエネルギーや細粒分含有率の影響をあまり受けず、概ね一定の値を示した。また、これらの構造境界点は $F_c=30\%$ 付近であった。

参考文献

- 1) 吉本憲正, 兵動正幸, 藤井照久, 山本陽一, 伊東周作: 2000 年鳥取県西部地震で液状化した細粒土の諸特性について, 土木学会論文集, No.722/III-61, pp.85-96, 2002.
- 2) 國生剛治, 向井彩子, 小島斗輝生: 千葉県浦安市における埋立地地盤液状化と細粒分の物理特性, 第 14 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.532-539, 2014.
- 3) 兵動正幸, 金郁基, 中田幸男, 吉本憲正: 砂・粘土混合土の非排水せん断強度特性に及ぼす細粒分の影響, 土木学会論文集 C, Vol. 66, No.1, pp. 215-225, 2010.

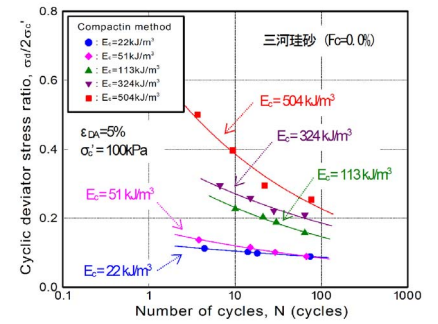


図-3 繰返しせん断強度曲線 ($F_c=0.0\%$)

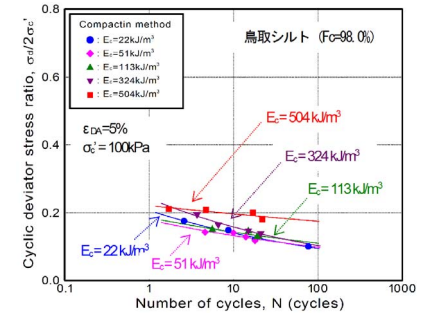
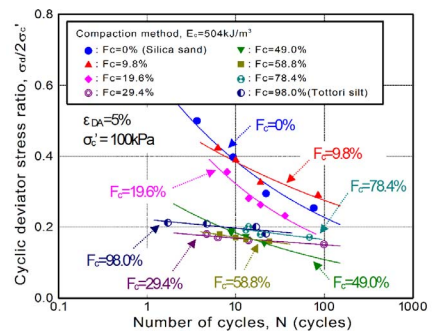
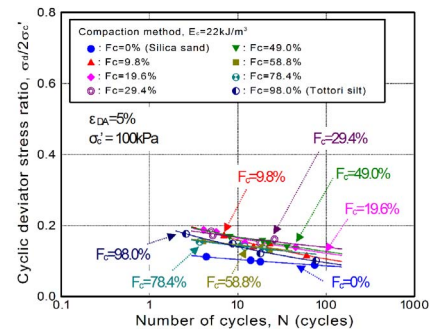


図-4 繰返しせん断強度曲線 ($F_c=98.0\%$)



(a) $E_c=504\text{kJ/m}^3$ (突固めエネルギー一定)



(b) $E_c=22\text{kJ/m}^3$ (突固めエネルギー一定)

図-5 繰返しせん断強度曲線 ($F_c=0\sim98\%$)

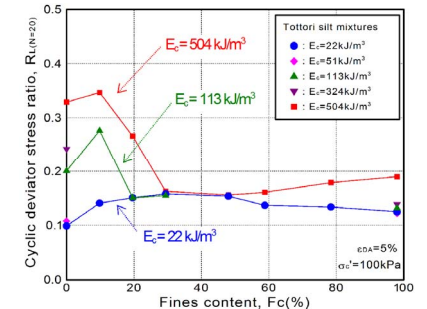


図-6 繰返しせん断強度と細粒分含有率の関係