

粒度の異なる砂と粘土の混合土の非排水繰返しせん断特性

山口大学大学院 正会員 ○兵動正幸 復建調査設計 正会員 坂口勇人
報国エンジニアリング 正会員 小川 正宏 山口大学大学院 正会員 渡邊学歩

1. はじめに

2011年東日本大震災において、東京湾岸の埋立地盤で広範囲に液状化が発生し、住宅、道路、地下埋設管などのインフラ施設に大きな被害を引き起こした。これらの地盤は、港湾の浚渫土で埋立てられたところも多く、細粒分を多く含んでいた¹⁾。近年の埋立て地の液状化被害は砂から細粒分含有率の高い土に至るまで広がっている。これまでの研究は主に砂が主体で細粒分含有率に着目した研究が多数である一方で、粘性土が主体でそれに含まれる砂の性質に着目した研究は少ない。本研究では、異なる粒度を有する砂に海成粘土を様々な割合で混合し、一連の非排水繰返しせん断試験を行い考察を行った。

2. 実験条件

本研究では、粗粒土試料として粒度分布の異なる2種類の三河珪砂 ($F_c = 0\%$) を使用した。1つは市販のV5号、V6号、R5.5号、V3号を乾燥重量比でそれぞれ1:2:2:5の割合で混合し、粒度調整した三河珪砂 (Mix)，もう一方はV3号のみ三河珪砂 (V3) である。細粒土試料としては、活性を有する有明粘土 ($F_c = 98\%$, $IP = 128.96$) を用いた。また、三河珪砂 (Mix) は、平均粒径 $D_{50} = 0.861\text{mm}$ 、均等係数 $U_c = 4.04$ 、三河珪砂 (V3) は、 $D_{50} = 1.435\text{mm}$ 、均等係数 $U_c = 1.58$ であり、三河珪砂 (V3) の方が粒径が大きく、均等係数が低い。表-1に試料の物理的性質、図-1に粒径加積曲線を示す。粒度分布の異なる2種類の三河珪砂それぞれに対して、有明粘土を所定の割合で混合した。三河珪砂 (Mix)、三河珪砂 (V3) と有明粘土の乾燥重量比は80:20、70:30、50:50、0:100の4タイプである。供試体は混合試料を液性限界の2倍の含水比で均一にかき混ぜ、予圧密法を用いて作製した。試験は空圧制御式の繰返し三軸試験機を使用し、間隙圧係数 B 値が0.95以上であることを確認したうえで有効拘束圧 100 kPa の等方圧密状態において、非排水繰返しせん断試験を実施した。

3. 実験結果

図-2に圧密後の間隙比と細粒分含有率の関係を示す。両者ともに細粒分含有率の増加に伴って間隙比も高くなる。さらに、有明粘土との混合土は三河珪砂 (Mix) と比べて三河珪砂 (V3) の方が間隙比が大きいことから後者の混合土

表-1 試料の物理的性質

Sample	Fines content (%)	Clay content (%)	G_s	w_p (%)	w_L (%)	I_P	D_{50} (mm)	U_c	A ($2\mu\text{m}$)
Silica sand - Mix	0.0	0.0	2.652	—	—	NP	0.861	4.04	—
Silica sand - V3	0.0	0.0	2.647	—	—	NP	1.435	1.58	—
Ariake clay	98.3	58.2	2.593	33.54	162.5	128.96	0.0038	—	2.21

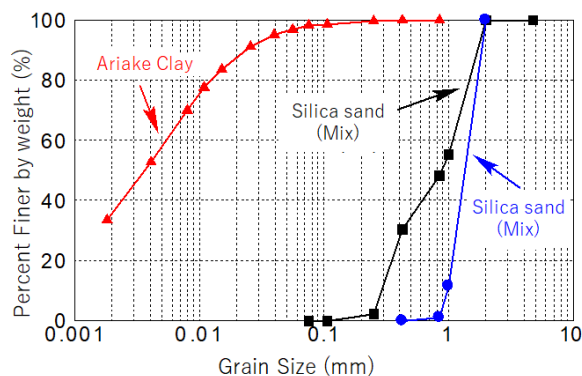


図-1 粒径加積曲線

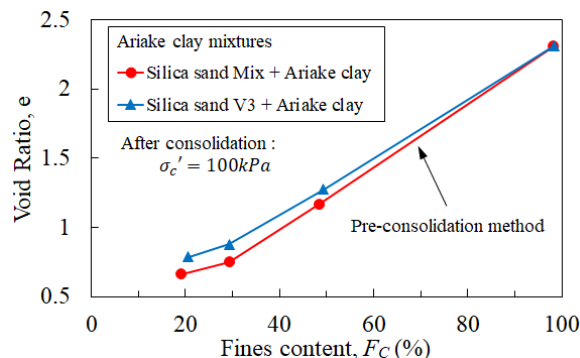


図-2 圧密後の間隙比と細粒分含有率の関係

の方が圧密量が大きくなる傾向を示している。図-3に、三河珪砂 (Mix) および三河珪砂 (V3) 有明粘土それぞれの混合土の非排水繰返しせん断強度と細粒分含有率の関係を示す。2種類の混合土のうち三河珪砂 (V3) との混合土の方が三河珪砂 (Mix) との混合土に比べ非排水繰返しせん断強度が低くなっていることが認められる。三河珪砂 (V3) は粒径の大きい砂であるため、混合土全体に働く圧密応力のうち砂が分担する応力が大きくなり、粘土が分担する応力が低くなって、マトリックスとしての粘土の圧密量が低減したことにより強度が低下したと推察される。そこで、砂・粘土混合土内の粘土が分担する応力がどの程度かの評価を試みた。本研究では土粒子全体の体積から砂分の体積を差し引き、砂分を考慮せず粘土分のみに着目した次式で表さ

キーワード 砂・粘土混合土、非排水試験、非排水繰返しせん断強度、粒径

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-1 6-1 TEL:0836-85-9343 FAX:0836-85-9301

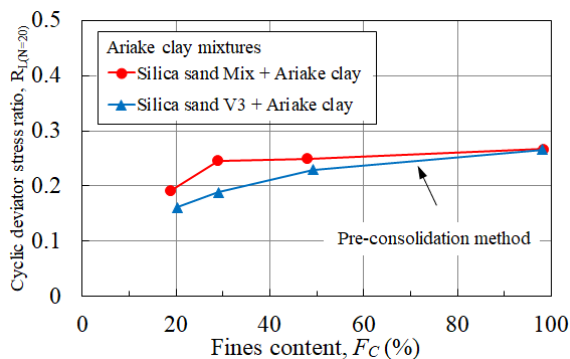
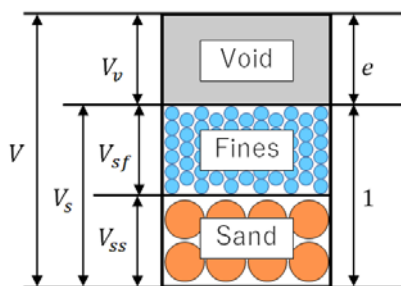
図-3 非排水繰返しせん断強度 $R'_{L(N=20)}$ と細粒分含有率の関係

図-4 混合土の三相モデル

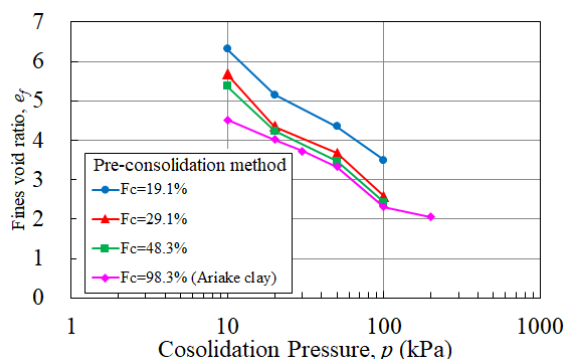
れる細粒分間隙比 e_f を導入する²⁾。図-4に混合土の三相モデルを示す。

$$e_f = \frac{V_v}{V_s - V_{ss}} = \frac{V_v}{V_{sf}} \quad (1)$$

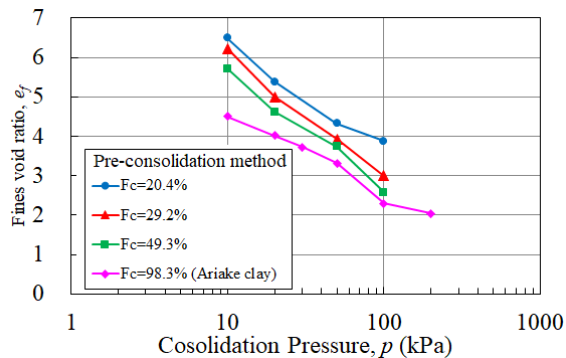
図-5に細粒分間隙比 e_f と圧密圧力の関係を示す。粘土のみの場合と比較して砂分を含んだ混合土の場合の方が e_f の値は大きくなっている。また、その値は三河珪砂(V3)との混合土の方が大きい。すなわち、混合土内の粘土には供試体全体に加えた圧密応力が作用していないことが考えられ、その傾向は粒径の大きい砂との混合土の方が顕著である。そこで、混合土内の粘土に加わる圧密応力を p_f と定義し、応力比を算出する際に用いる有効拘束圧 $\sigma_c = 100$ kPaの代わりに p_f を用いて新たに非排水繰返しせん断強度曲線を描いた。その非排水繰返しせん断強度曲線から繰返し回数が20回時の繰返しせん断強度を新たに $R'_{L(N=20)}$ と呼び、非排水繰返しせん断強度 $R'_{L(N=20)}$ と細粒分含有率の関係を図-6にまとめた。これらの関係から $F_c = 30\%$ 付近までは、砂の種類によらず粘土のみの強度と同程度のおおきさを示している。しかし、 $F_c = 30\%$ 以下になるとその値は急激に高くなり、砂の種類によって異なる大きさをとっている。このことから、 $F_c = 30\%$ 程度までは砂は粘土中に浮遊し、砂同士の接触の影響はほぼ認められないと考えられるが、それよりも砂分が増加すると砂粒子同士が接触し、非常に複雑な構造となることが推察される。

4. まとめ

1) 粘土が主体である場合の砂・粘土混合土の初期間隙比は、砂の粒径が大きく貧粒度である方が大きく、非排水繰返し

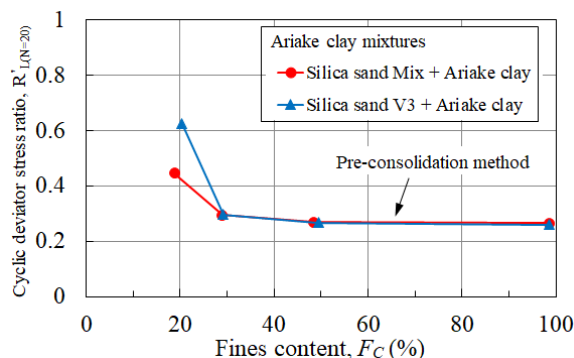


(a)三河珪砂(Mix)と有明粘土混合土



(b)三河珪砂(V3)と有明粘土混合土

図-5 細粒分間隙比と圧密圧力の関係

図-6 非排水繰返しせん断強度 $R'_{L(N=20)}$ と細粒分含有率の関係

せん断強度も低い。

2) 混合土の砂分の存在を無視して粘土分のみに着目した細粒分間隙比 e_f を導入することで、混合土内の粘土の圧密応力を推定することができる。それにより正規化した応力比である非排水繰返し強度は $F_c = 30\%$ 程度までは砂の種類に拘わらず粘土のみの場合と同じ強度を示す。

謝辞:本研究は、科学研究費基盤研究 A (茨城大学安原一哉教授代表) の補助により行った。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会, 公共社団法人地盤工学会, 公益社団法人土木学会, 一般社団法人日本建築学会: 平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書, 2012.
- 2) 鬼塚克忠, 吉武茂樹: 粘土・砂の飽和混合土の圧縮特性, 土と基礎. 第 34 巻. 第 7 号, pp.73-79, 1986.