

砂・粘土混合土の非排水繰返しせん断特性に及ぼす粘土含水比の影響

山口大学大学院 学生会員 ○坂口 勇人 正会員 兵動 正幸
 山口大学大学院 学生会員 東 佳佑 正会員 中田 幸男
 山口大学大学院 正会員 吉本 憲正

1. まえがき

2011年に発生した東日本大震災では、東京湾岸地区の埋立地で深刻な液状化が発生し、住宅やインフラ施設等に甚大な被害を引き起こした¹⁾。被害があった地域には、東京湾岸の浚渫土砂で埋め立てられた箇所も多く、比較的新しい埋立地での被害が大きく、古くから存在する旧埋立地での被害は少なかったと言われている。これらの違いは年代効果と呼ばれているが、年代効果の一つの要因として、砂の間隙中の粘土の圧密度、すなわち粘土含水比の違いに依拠するものがあると考えた。そこで本研究では、粘土の初期含水比を塑性限界の2.0倍($w=2.0w_p$)、3.0倍($w=3.0w_p$)、4.0倍($w=4.0w_p$)とし、種々の細粒分含有率で乾燥した砂と混合して、3種類の突き固めにより供試体を作製した。その後、繰返し三軸試験機を用いて実験を行い、非排水繰返しせん断特性に及ぼす粘土含水比の影響を求めることを本研究の目的とした。

2. 実験条件

実験に用いた試料は、粗粒土試料として粒度調整を行った三河珪砂、細粒土試料として有明粘土を使用した。表-1に使用した試料の物理的性質を示す。本研究では、 $w=2.0w_p$ 、 $w=3.0w_p$ 、 $w=4.0w_p$ の状態に調整した有明粘土をそれぞれ粒度調整した三河珪砂に混ぜ合わせることで、様々な細粒分含有率からなる混合土試料を作製し、直径5cm、高さ10cmのモールドに対して試料を5層に分けて投入し、所定の3種類の突き固めエネルギー($E_c=22, 113, 504\text{kJ/m}^3$)で突き固めて作製した。圧密条件は各試料に対して、有効拘束圧100kPaの等方圧密状態とし、載荷速度0.02Hzの条件下で非排水繰返しせん断試験を行った。

表-1 試料の物理的性質

Sample	Fines content(%)	Clay content(%)	G_s	$w_p(\%)$	$w_L(\%)$	I_p	$D_{50}(\text{mm})$	U_c
三河珪砂	0.0	0.0	2.652	-	-	NP	0.861	4.04
有明粘土	99.0	99.2	2.593	33.54	162.5	128.96	0.0038	-

3. 実験結果

図-1に突き固めエネルギー $E_c=22, 113, 504\text{kJ/m}^3$ で作製した供試体を、有効拘束圧100kPaで圧密した後の間隙比 e と細粒分含有率 F_c の関係を示す。いずれの突き固めエネルギーに対しても間隙比は細粒分含有率の増加とともに減少し、ある細粒分含有率で突き固めエネルギーの違いに関わらずほぼ一定の大きさに収束している。その挙動は含水比の違いによって異なることが観察され、 $w=2.0w_p$ の場合は $F_c=20\%$ 、 $w=4.0w_p$ の場合は $F_c=10\%$ 付近において、間隙比がほぼ一定になっており、その傾向は粘土の含水比によって異なることは明らかである。このように、粘土の含水比が減少するに伴い、砂が骨格構造をなす領域の細粒分含有率が増加していることがわかる。本研究では、両振幅軸ひずみ $\epsilon_{DA}=5\%$ を液状化と定義し、試験結果より液状化強度曲線を描き、繰返し回数 $N=20$ で破壊するときの応力比を、非排水繰返しせん断強度 R_L とした。図-2に非排水繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ と細粒分含有率 F_c の関係を示す。図より、細粒分含有率の増加に伴い、密詰めで作製した供試体の $R_{L(N=20)}$ は、低下していることが認められた。一方、

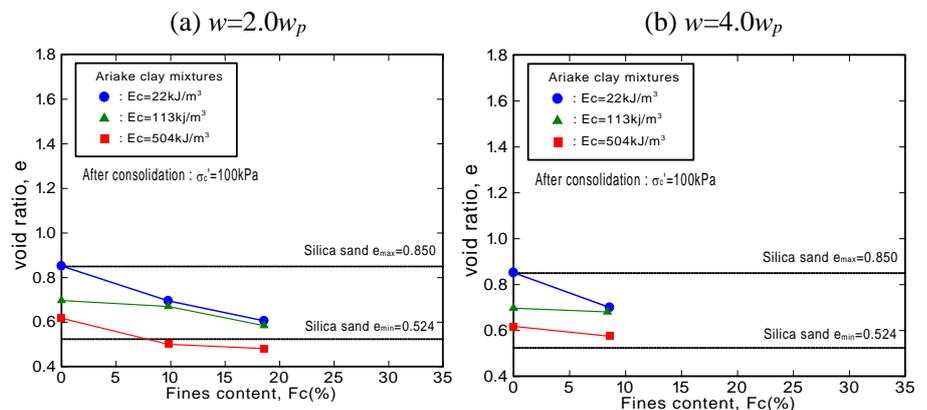


図-1 圧密後の間隙比と細粒分含有率の関係

キーワード 粘土含水比, 細粒分, 寄与率

緩詰めに作製した供試体の $R_{L(N=20)}$ は間隙比に関わらずほぼ同程度のせん断強度を示していることが認められた。ここから、間隙比 e と非排水繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ の関係は、砂が骨格構造をなす領域では間隙比に対応するように非排水繰返しせん断強度の値は収束することが明らかとなった。骨格間隙比 e_g は、細粒分を間隙とみなし骨格形成に全く寄与しないと仮定し求めるので、細粒分の影響を過小評価する可能性がある。そこで細粒分がある程度の割合（寄与率 b ）で骨格形成に加担するとみなす等価骨格間隙比 e_{ge} の概念を用いた。 $b=1$ の時、通常の間隙比 e と等価であり、 $b=0$ の時、骨格間隙比 e_g と等価である。また、 b は $1 \sim 0$ の間の値を持つ。等価骨格間隙比 e_{ge} の算出式を(1)に示す。 V_v は間隙の、 V_s は土粒子の、 V_{sf} は細粒分の体積としている。また、図-3 に参考として混合土の三相モデルを示す。

$$e_{ge} = \frac{V_v + (1-b)V_{sf}}{V_s - (1-b)V_{sf}} \quad (1)$$

図-4 に非排水繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ と等価骨格間隙比 e_{ge} の関係を示す。 $Fc > 0\%$ の $R_{L(N=20)}$ が $Fc=0\%$ の値と等しくなるような寄与率 b を検討した結果、 $w=4.0w_p$ の場合では、 $b=0.00$ で最も良い相関を示した。これは、細粒分が骨格構造に全く作用していない、つまり骨格間隙比の状態にあり、細粒分は繰返しせん断強度に寄与してないことが分かる。

同様に $w=2.0w_p$ の場合では、 $b=0.40$ で最も良い相関を示した。このように、各々の粘土含水比で寄与率 b の値は異なり、粘土含水比が高くなるほどその値は小さくなることが認められた。

4. まとめ

- 1) 砂・粘土混合土の骨格構造は、混合した粘土の含水比による影響が大きく、含水比の高い粘土を混合した場合は、混合土の構造は砂が支配するが、含水比の低い粘土を混合した場合は、粘土の作用によって砂の最大間隙比を上回る骨格構造が形成される。
- 2) 非排水繰返しせん断強度は、密詰め状態では、混合する粘土の含水比が高くなるほど細粒分含有率の増加に伴い大きく低下し、緩詰め状態ではほぼ同程度の値を示す。
- 3) 寄与率 b は粘土の含水比によって変化し、含水比が高くなるほど小さい値となる。

参考文献

- 1) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会、公益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) 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

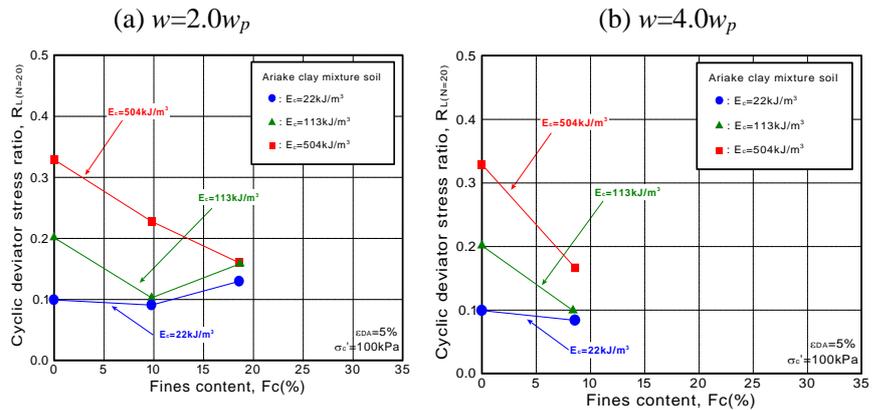


図-2 繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ と細粒分含有率の関係

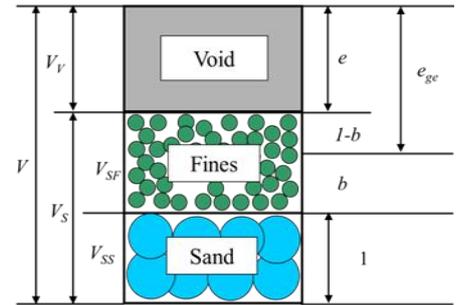


図-3 混合土の三相モデル

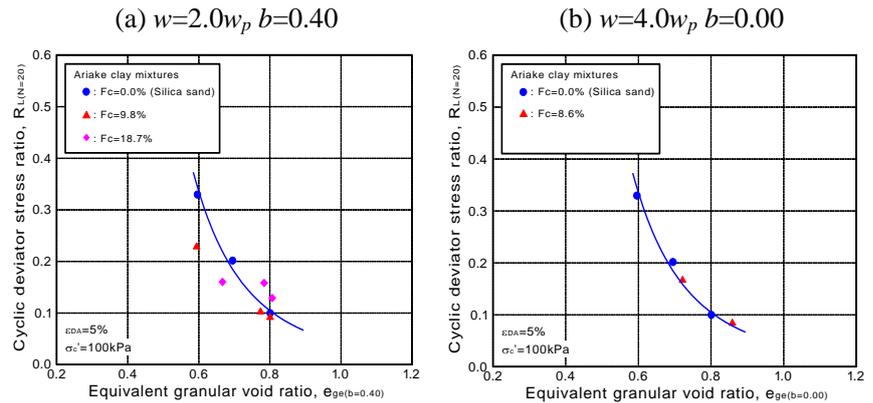


図-4 繰返しせん断強度 $R_{L(N=20)}$ と等価骨格間隙比の関係