

不飽和砂質土の非排水繰返しせん断強度におよぼす非塑性細粒分の影響

中央大学
和歌山工業高等専門学校
中央大学

正会員 國生剛治
正会員 原 忠
学生会員 ○山本純也 古地祐規

1. はじめに

近年，液状化対策工法の一つに，地盤の飽和度を低下させ強度を増加させる工法が注目されている．実際の地盤では，砂のみならず細粒分を含む場合が多いが，このような土質材料の不飽和状態での繰返しせん断特性を求めた事例は少ない．本研究では，実地盤でよく見られる非塑性細粒分を含む砂質土に着目し，その細粒分含有率を変化させた砂質土の繰返し非排水せん断強度を室内要素試験により求め，細粒分含有率や飽和度の違いが動的特性に及ぼす影響を検討する．

2. 実験装置

本研究に用いた三軸試験機¹⁾の供試体は直径 50mm，高さ 100mm である．試験中は，平均主応力を一定にするために，軸圧変化に対応して E-P 変換器によりセル圧を制御している．不飽和供試体の体積変化は，高精度差圧計より読み取った二重セル内の水位変動より算定した．

3. 試験試料

図-1 に使用した試料の粒径加積曲線を，表-1 に物理特性をそれぞれ示す．用いた試料は，比較的堅硬な土粒子からなる河床砂（試料 1）に，ほぼ非塑性なまさ土細粒分（ $I_p=6$ 程度）を所定の細粒分含有率 F_c になるように粒度調整したもの（試料 1a~1d）である．本研究での相対密度 D_r は，礫の最小密度・最大密度試験方法(JGS 0612-2006)より得られた最小・最大密度より計算しているが，砂の試験方法（JIS A 1224）と大きな違いがないことが示されている²⁾．

4. 試験方法

供試体は圧密後相対密度 D_{rc} が 50%になるよう，ドライタッピング法により作成した．本作成方法は，気乾試料を 5 層に分けてモールド内で締固めながら，各層毎に所定の脱気水を加えるもので，供試体全体での圧密後の飽和度 S_r が目標値に達するよう工夫している．図-2 は，繰返しせん断試験直前の供試体中の飽和度分布の一例を示すが，各層の飽和度は， F_c の違いによらずほぼ一様に分布することがわかる．実験条件を表-2 に示す． $S_r=100\%$ の CASE1 では，脱気水を通水した後バックプレッシャー-B.P を 196kPa 加え B 値が 96%に達することを確

キーワード 不飽和砂，非塑性細粒分，繰返し三軸試験

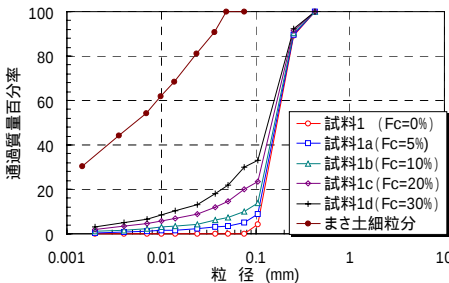


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理特性

	F_c (%)	U_c	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{dmin} (g/cm ³)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}
試料1	0	1.44	2.696	1.28	1.629	1.106	0.655
試料1a	5	1.68	2.699	1.31	1.666	1.06	0.62
試料1b	10	2.36	2.701	1.314	1.746	1.056	0.547
試料1c	20	5.83	2.706	1.28	1.842	1.114	0.469
試料1d	30	12.2	2.711	1.173	1.704	1.311	0.591

表-2 実験条件

	S_r (%)	F_c (%)	σ'_c (kPa)	供試体作成法
CASE1	100	0, 5, 10, 20, 30	49	Dry-tamping法
CASE2	90	0, 5, 10, 30	49	Dry-tamping法
CASE3	80	0, 5, 10, 20, 30	49	Dry-tamping法
CASE4	70	0, 10, 30	49	Dry-tamping法

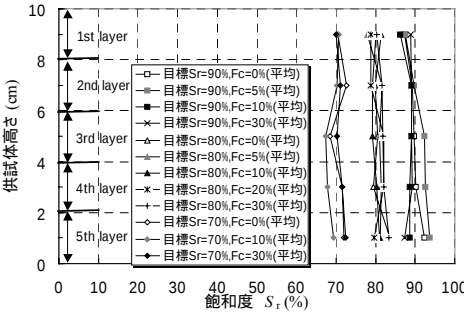


図-2 供試体中の飽和度分布

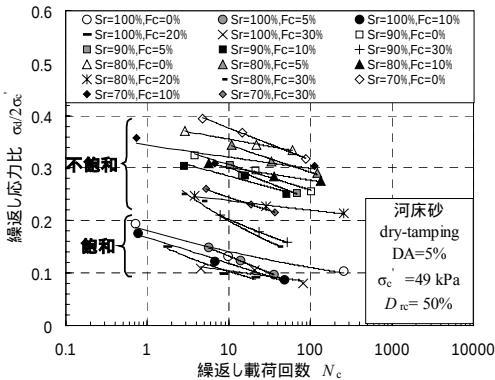


図-3 繰返し非排水せん断試験結果

認し有効拘束圧 $\sigma'_c = 49 \text{ kPa}$ で等方圧密した。CASE2, 3, 4の不飽和砂質土は供試体作成後, B.P.を負荷せず, 直ちに等方圧密した。繰返し非排水せん断試験は, 平均主応力一定条件で周波数 $f=0.05 \text{ Hz}$ の正弦波荷重を加えて行った。

5. 試験結果

図-3にCASE1~4の繰返し非排水せん断試験結果を, 両振幅軸ひずみ DA が5%に達した時の繰返し応力比 $R_{L20} = \sigma_d / 2\sigma'_c$ と繰返し载荷回数 N_c の関係で示す。これより, F_c の違いによらず, 不飽和砂質土の R_{L20} は, 飽和砂質土のそれに比べて大きな値を示している。また, 非塑性細粒分を含む砂質土の強度曲線は同程度の飽和度を有する供試体同士で比較した場合, $F_c=0\%$ の砂に比べ下方に位置している。

図-4に, 図-3より読み取った不飽和砂質土の $N_c=20$ における繰返し非排水せん断強度 R_{L20} と F_c の関係を示す。これより, S_r が等しい不飽和砂質土の繰返し非排水せん断強度は, 飽和砂質土の結果^{3), 4)}と同様に, 非塑性細粒分の増加に応じて低下傾向を示す。また, その低下割合は $S_r=100\%$ の場合より, $S_r=90 \sim 70\%$ の方が大きい, それでも強度の絶対値は不飽和土の方が2倍以上大きくなる。すなわち, 不飽和砂質土の R_{L20} は, 飽和砂質土のそれに比べて非塑性細粒分の影響を大きく受けることがわかった。

図-5に繰返し非排水せん断強度の飽和度に対する増加率と S_r の関係を示す。これより, 繰返しせん断強度は, S_r が $100 \sim 90\%$ に低下する間に大幅に増加するが, S_r が $80 \sim 70\%$ の間では増加割合は小さくなることがわかった。この傾向は同図中に示す中空ねじりせん断試験より得られた豊浦砂の同様な関係⁵⁾に類似している。

図-6に初期圧密による体積ひずみと F_c の関係, さらに液状化試験において $DA=10\%$ に達した後に排水状態に戻したときの体積ひずみと F_c の関係をそれぞれ示す。 F_c の増加とともに体積ひずみも増加し, 初期圧密より液状化による体積ひずみの方がはるかに大きい。一方, S_r が $100 \sim 70\%$ まで変化しても液状化後の体積変化には大きな違いがないことがわかった。

6. まとめ

- ・ 非塑性な細粒分を含む砂質土の繰返し非排水せん断強度は, 飽和度の低下とともに大幅に増加する。 S_r が 80% より低い範囲では増加割合は小さくなる傾向がある。
- ・ 飽和, 不飽和にかかわらず繰返し非排水せん断強度は, F_c の増加とともに低下傾向を示す。
- ・ 液状化後の体積ひずみは S_r の値にあまり依存せず, F_c の増加とともに大きくなるが, 同じ応力比に対しては S_r が小さいほど液状化しにくい, 体積ひずみも小さくなると言える。

【参考文献】1) 原 忠, 國生剛治, 古地祐規: 非塑性細粒分を含む砂および砂礫の液状化特性, 第12回日本地震工学シンポジウム, 2006. 2) 原 忠, 國生剛治: 砂礫の最小・最大密度に及ぼす影響因子の分析, 土木学会論文集, No.778/ -69, pp.151-162, 2004. 3) 原 忠, 國生剛治: 砂および砂礫の非排水強度特性に及ぼす非塑性細粒分の影響, 土木学会地震工学論文集, Vol.28, 2005. 4) 佐藤正行, 小野匡寛, 風間秀彦, 小瀬木克己: 細粒分が埋め立て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/ -38, pp.271-282, 1997. 5) Yoshimi, Y., Tanaka, K. and Tokimatsu, K.: Liquefaction Resistance of Partially Saturated Sand, Soils and Foundations, Vol.29, No.3, pp.157-162, 1983)

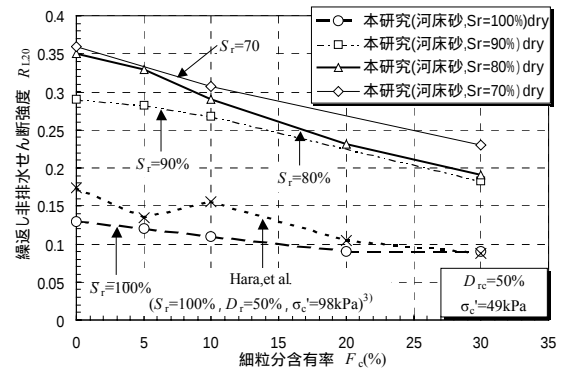


図-4 繰返し非排水せん断強度と細粒分含有率の関係

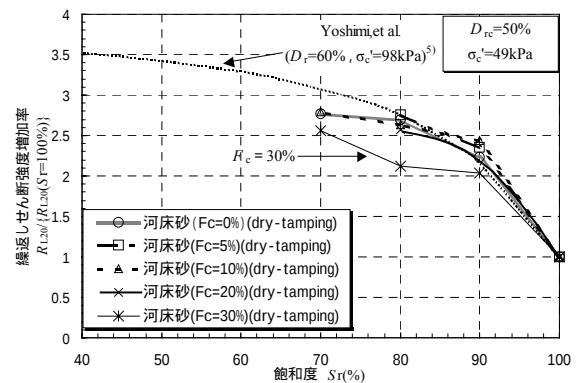


図-5 繰返し非排水せん断強度増加率と飽和度の関係

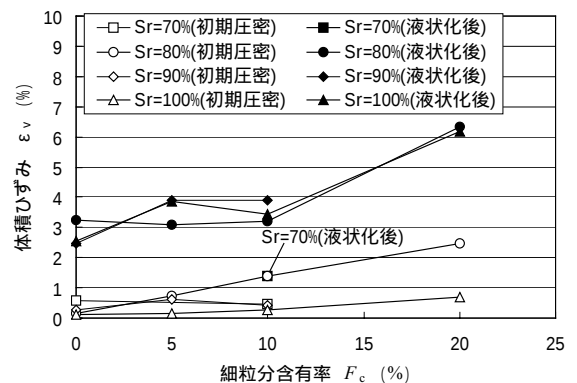


図-6 体積ひずみと細粒分含有率の関係