

層構造を有する砂の液状化試験における密度の評価方法と密度不均一性の影響

東京都立大学大学院 学生会員 小池 令子
 東京都立大学 土質研究室 正会員 吉嶺 充俊

1. はじめに

筆者らは、これまでに分級構造を有する砂(図 1-a)の液状化特性について調べてきた¹⁾。この研究では、日本セメント協会指定のセメント強度試験用標準砂(JCA 砂、図 2)を標準網ふるいでふるい分けて分級堆積させた供試体について非排水三軸試験を行った。図 3 は、非排水単調せん断試験結果であるがせん断中の最小せん断抵抗(PT)と大変形後の定常状態強度(SS)はいずれも、分級構造を有する砂の方が均一なものに比べてはるかに大きくなる。繰り返し荷重による液状化試験でも同様に著しい強度差があることが確認されている。これらの比較では密度パラメータとして粒度分布が均一な試料で算定される相対密度 D_r を用いている。しかし、同じ砂であっても、分級した砂は実質的には貧配合となるために、均一な砂(富配合)に比べて実質的な最大・最小密度は異なると考えられるので、同じパラメータを用いて比較を行うことには疑問がある。そこで本研究では分級した各粒径別の相対密度を用いた評価を試みた。また、層構造を有する砂の密度の不均一が液状化強度試験に与える影響を調べるために極端に密度差がある粗密相互の供試体を用いて比較実験を行った。

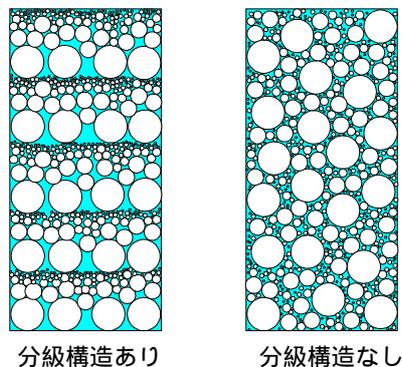


図 1-a 供試体モデル図

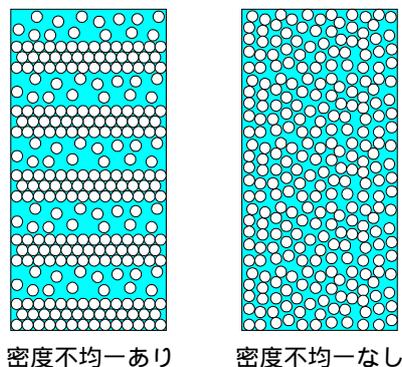


図 1-b 供試体モデル図

2. 実験概要

供試体は直径 50mm 高さ 100mm の円柱形とし、空中落下法により作成した。粒度分布を比較する実験では JCA 砂を用いた。分級構造のある供試体は砂を 5 層に分け、さらに各層を粒径別に 4 層に分け粒径の大きなものから順に 5 層に分け堆積させた(図 1-a)。密度分布の比較では豊浦砂を用いた。密度不均一な供試体は落下高さを変化させ、密度が粗($D_r \approx 15\%$)と密($D_r \approx 72\%$)の層を交互に各 5 層ずつ堆積させた(図 1-b)。いずれの場合も初期有効拘束圧を $p' = (\sigma_v' + 2\sigma_h') / 3 = 100$ [kPa] とし、非排水三軸圧縮試験(単調載荷)を行った。

3. 実験結果

粒度分布の影響：表 1 に各粒径ごとにふるい分けた JCA 砂の最大・最小密度試験の結果を示す。これをもとに分級供試体の最小・最大密度を

$$\rho_{dmax} = \sum (\text{各粒径の } \rho_{dmax} \times \text{配合比})、\quad \rho_{dmin} = \sum (\text{各粒径の } \rho_{dmin} \times \text{配合比})$$

で計算して均一な試料と比較したものを表 2 に示す。この結果から、均質な砂に比べて分級した砂の実質的な最大・最小密度はかなり小さくなっていることがわかる。次に、JCA 砂を用いた非排水三軸圧縮試験の結果をまとめ、通常用いられる均一な砂の最大・最小密度に基づいて計算された相対密度 D_r によって供試体の強度を比較したものを図 3、分級試料については粒径別の最大・最小密度に基づいて計算された D_{rmod} を用いて比較したものを図 4 に示した。分級を考慮した修正相対密度 D_{rmod} を用いれば、通常の相対密度 D_r を用いたときのような極端な強度差が解消されてより適切に液状化挙動が評価できることがわかる。しかし、 D_{rmod} を用いた場合でも定常状態をみると、やはり分級した砂の強度の方が若干大きくなる傾向がある。

密度分布の影響：図 5 に豊浦砂を用いた非排水三軸圧縮試験の結果の変相点を示している。密度不均一なもの強度が若干小さくなっているが本実験のように極端に密度の不均一がある場合でもその影響は小さいと言える。

キーワード 砂, 液状化, 三軸圧縮試験, 分級構造, 粒度分布, 密度分布

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学土木工学科, Tel: 0426-77-2773

4. まとめ

間隙比 e や乾燥密度 ρ をそのまま用いた比較では分級層構造を有する砂は均一なものより強度が著しく大きくなる (図3)。分級を考慮した修正相対密度 Dr_{mod} を用いて評価した場合その差は小さくなるが、依然として分級構造の影響は若干残っている (図4)。また、層構造を有する供試体は密度の不均一性を持っていると考えられるが、この不均一性によりむしろ液状化強度は小さくなる傾向がある (図5)。従って図4のような強度差は砂の密度の不均一とは関係なく粒度分布の不均一によってもたらされると言える。分級構造のある砂地盤の液状化特性を均一な再構成供試体で評価する際には原地盤の分級構造の構成を調査して適切な密度パラメータを用いるとともに、原地盤の実質的な粒度分布(配合の良否)を考慮する必要があると言える。

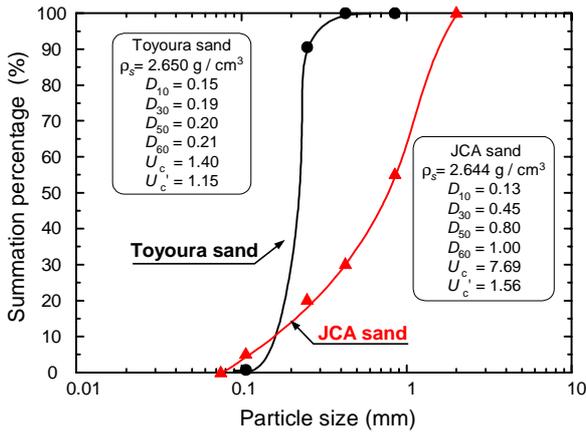


図2 粒径加積曲線

表1 各粒径ごとの最大・最小密度試験結果

粒径 (μm)	配合比	$\rho_{d \max}$ (g/cm^3)	$\rho_{d \min}$ (g/cm^3)	e_{\max}	e_{\min}
850	0.45	1.614	1.397	0.8926	0.6382
425	0.25	1.656	1.412	0.8725	0.5966
250	0.1	1.691	1.446	0.8285	0.5636
106+75	0.2	1.712	1.433	0.8451	0.5444

表2 分級を考慮した最大・最小密度と間隙比

	$\rho_{d \max}$ (g/cm^3)	$\rho_{d \min}$ (g/cm^3)	e_{\max}	e_{\min}
混合	1.813	1.534	0.724	0.458
分級	1.652	1.413	0.601	0.871

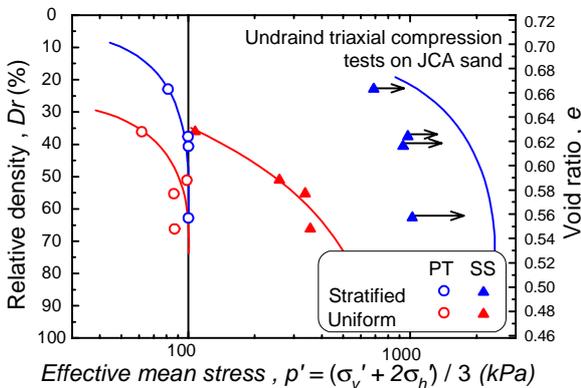


図3 JCA 砂の非排水三軸圧縮試験結果 (通常の相対密度による整理)

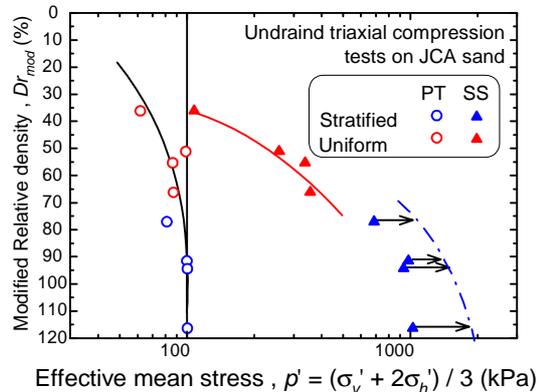


図4 JCA 砂の非排水三軸圧縮試験結果 (分級を考慮した修正相対密度による整理)

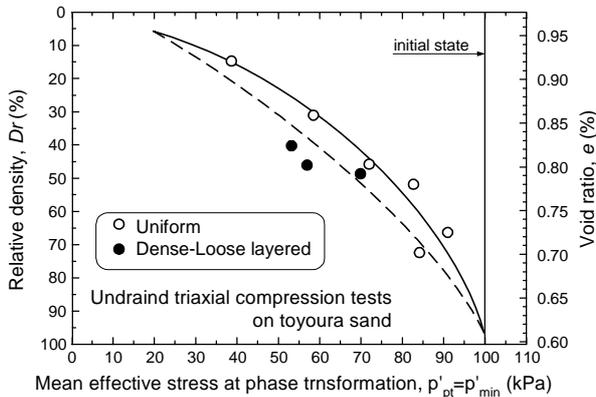


図5 密度分布がある砂の非排水三軸圧縮試験結果

参考文献

1) 砂の分級堆積構造が液状化強度に及ぼす影響, 小池令子・吉嶺充俊, 土木学会第57回年次学術講演会, III-306, pp.611-612, 2002