

立命館大学大学院 学生員 ○山崎元外
立命館大学大学院 学生員 村上裕明
立命館大学工学部 フェロー 竹下貞雄

1. まえがき

阪神大震災では、大規模な砂地盤の液状化が生じ、重い建築物や土木構造物が大きく沈下したり、傾斜した。また、これまで「液状化しにくい」とされてきた粒径 $74\mu\text{m}$ 以下の土粒子（細粒分）を含んだ砂地盤が広範囲に被害を受け、側方流動によって構造物の基礎が大きく押し流される現象も起きた。本論文では、「細粒分が砂質土の液状化におよぼす影響」という点に着目し、標準砂である豊浦砂と細粒分含有率 20 % の豊浦砂を用い、2つの相対密度 ($Dr=40\%$ 及び $Dr=70\%$) で繰返し非排水三軸試験を行い、両者の液状化に対する抵抗力の比較・検討を行った。なお細粒分は豊浦砂を砕いて作製した。

表1 試料の物理的特性

	豊浦砂	豊浦砂 $F_c=20$
Gs	2.654	2.624
$e_{\max}$	0.961	0.884
$e_{\min}$	0.603	0.417
D_{10}	0.083	0.003
D_{30}	0.101	0.014
D_{60}	0.156	0.075
U _c	1.88	25.0
U _c	0.79	0.87

2. 実験概要

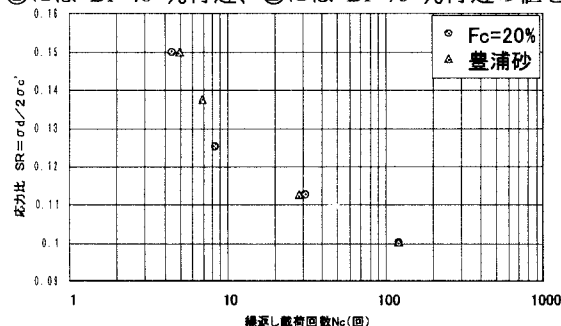
試料は豊浦砂及び豊浦砂 $F_c=20$ を用いた。試料の粒径加積曲線及び物理的特性を表1及び図1に示す。供試体は、モールド内に装置された 0.2 mm 厚のゴムスリーブ（ゴム膜）中に所定の相対密度となるよう試料を空中落下法により詰めて作成した。供試体の寸法は、直径 50 mm、高さ 100 mm とした。自立させた供試体の寸法を測定した後、供試体を CO_2 及び脱気水で飽和させることにより、B 値を 97 % 以上を得た。載荷試験は、等方圧密（側圧 $\sigma_c=2.0\text{kgf/cm}^2$ ）を行った後、周波数 0.1 Hz で繰返し軸荷重を加え、軸荷重、軸変位間隙水圧及びセル圧を連続的に記録した。

3. 実験結果及び考察

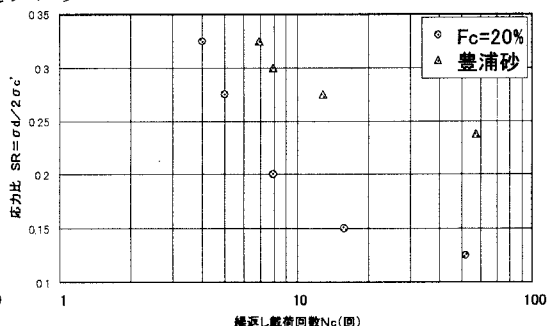
1) 液状化強度特性

図2は繰返し三軸試験において、 $DA=5\%$ 時における繰返し応力振幅比 $SR (\sigma_d/2\sigma_c)$ と繰返し載荷回数 (N_c) をプロットして求めた豊浦砂及び豊浦砂 $F_c=20$ の液状化強度曲線である。

①には $Dr=40\%$ 付近、②には $Dr=70\%$ 付近の値をプロット



① $Dr=40\%$



② $Dr=70\%$

図2 応力比～繰返し載荷回数の関係

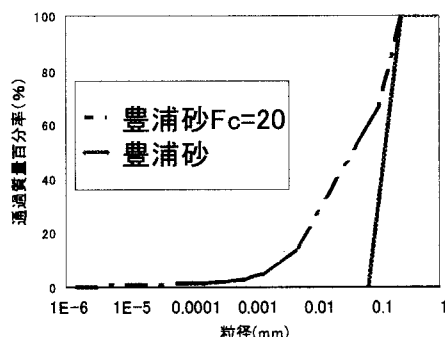


図1 粒径加積曲線

トしてある。①においては豊浦砂のラインと豊浦砂 $F_c=20$ のラインがまったく重なっていることから、緩詰めの場合、細粒分は砂の液状化強度にあまり影響を及ぼさないことがわかる。一方、②では $DA=5\%$ に達するまでの繰返し載荷回数は、豊浦砂の方が豊浦砂 $F_c=20$ より大きいことから、豊浦砂 $F_c=20$ の方が液状化しやすい砂であることがわかる。また繰返し載荷回数(N_c)が多くなるにつれ、液状化強度に大きな差が表れている。以上のことから、細粒分含有率 20%の状態では、細粒分が供試体の液状化特性に与える影響が相対密度の違いによって異なることがわかる。

2) 相対密度の違いによる液状化強度変化原因の考察

緩詰め ($Dr=40\%$) の場合、図 3 より細粒分を含んでいる場合でも含んでいない場合でも応力比～繰返し載荷回数 ($DA=1\%, 2\%, 5\%$) に変化が見られず、豊浦砂のラインと豊浦砂 $F_c=20$ のラインが重なっているのがわかる。これは、ある時点で砂粒子が一気にお互いの接触を完全に断たれることにより、細粒分が液状化強度に影響を及ぼすに至る前に液状化したためと推測できる。

密詰め ($Dr=70\%$) の場合、供試体の液状化強度が減少する原因を余裕間隙比 V_d から考察してみる。余裕間隙比 V_d は $e - e_{min}$ で示され、圧密後の間隙比 e_c が最小間隙比 e_{min} に達するまでに減少しうる余裕量を表すものである (表 2)。

表 2 から豊浦砂 $F_c=20$ の方が豊浦砂よりも余裕間隙比 V_d が大きく、減少しうる体積量に余裕がある、このことから豊浦砂 $F_c=20$ の方が液状化しやすい供試体ということが言える。これは液状化強度曲線の結果とも一致する。余裕間隙比 V_d に違いが生じた原因として 2 つの供試体の砂の構造の違いが深く関係していると推測される。

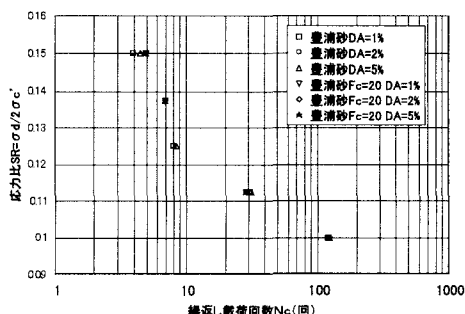


図 3 応力比～繰返し載荷回数の関係 ($Dr=40\%$)

表 2 豊浦砂、豊浦砂 $F_c=20$ の各間隙比

	豊浦砂	豊浦砂 $F_c=20$
圧密後の間隙比 e_c	0.705	0.538
最大間隙比 e_{max}	0.961	0.884
最小間隙比 e_{min}	0.603	0.417
余裕間隙比 V_d	0.102	0.121

4. 結論

- ① 細粒分を含ませることによって余裕間隙比が変化する。
- ② 細粒分含有率 20%では密詰めでは細粒分が液状化強度を減少させるのに対して、緩詰めでは細粒分が液状化強度に影響を及ぼす影響は認められない。
- ③ 細粒分を含む砂と細粒分を含まない砂とは、供試体が密詰め状態では繰返し載荷回数が多くなるにつれて、液状化強度に大きな差が表れる。
- ④ $Dr=40\%$ の緩い砂では DA 、細粒分含有率などによる液状化強度の差は認められない。

参考文献

Jerry A. Yamamuro, Poul V. Lade : STEADY-STATE CONCEPTS AND STATIC LIQUEFACTION OF SILTY SANDS, Journal of G.G.E., ASCE, Vol 124, No.9, P868-P877, 1998

吉見吉昭：砂地盤の液状化，技報堂，1985

安田進：液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，1993