

III - A73

粒度分布の異なる礫質土の力学特性

(株)ニュージェック 正会員 原 忠  
中央大学 正会員 國生 剛治

1. はじめに

兵庫県南部地震(1995年)では、ポートアイランドなどの埋め立て地において、礫分を多く含み、シルト分まで広範囲な粒度分布を有するまさ土が大規模に液状化した。従来、礫質土は均等係数が大きい土質で、乾燥密度が大きいことなど、砂のような液状化は生じにくいものと考えられてきた。しかし、同様な礫質土の液状化は、米国ボラーピーク地震(1987年)や北海道南西沖地震(1993年)などの近年の地震においても少なからず見られるようになり、決してまれな現象であるとは言い難い。

一般に自然地盤は、礫とともに砂や細粒分をも含んだ広い粒度分布を有する場合が多いが、このような粒度構成の礫質土についての系統的な研究は現在まで多くはない。本研究では、3種類の粒度分布の異なる砂礫材料について、供試体径 100 mmの中型繰り返し三軸試験機による液状化試験を行い、均等係数や相対密度などが液状化強度に与える影響を調べる。また一部供試体については、液状化試験後に非排水単調載荷試験を行い、粒度分布の違いが液状化後の力学特性に与える影響を考察する。

2. 試験材料

図1に、本研究で用いた砂礫材料の粒径加積曲線を示す。試料は、利根川砂礫などから人工的に粒度配合して作成した堅硬な粒子を有する砂または礫質土である。各試料とも最小粒径は 0.075 mmに設定し、均等係数は3段階に変化させた。表1には礫質土の物理特性を示す。各試料とも土粒子密度試験は地盤工学会の定めた方法により求め、最大・最小密度は直径 195 mm、高さ 200 mmの中型モールドにより得られた値<sup>1)</sup>を用いた。

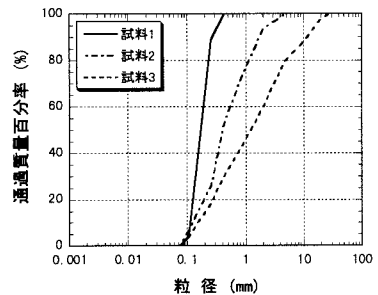


図1 砂礫材料の粒径加積曲線

表1 砂礫材料の物理特性

	$D_{50}$ (mm)	$U_c$	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dmax}$ (平均値) (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{dmin}$ (平均値) (g/cm <sup>3</sup> )	$e_{max}$	$e_{min}$
試料1	0.14	1.44	2.696	1.502	1.198	1.250	0.794
試料2	0.40	3.79	2.697	1.839	1.421	0.898	0.467
試料3	1.15	13.1	2.655	2.038	1.675	0.585	0.303

3. 液状化試験

供試体作成は、粒子分級の影響を最小限に押さえるためウェットタンピング法により行い、各試料とも粒度分布の違いが液状化強度に与える影響を検討するため、相対密度は  $Dr=10\%$ 、 $30\%$ 、 $50\%$ 、 $60\%$ 、 $70\%$ 、 $90\%$ の6段階に変化させた。液状化試験は、各供試体とも有効拘束圧 98kPa で等圧密した後、0.1Hzの正弦波を非排水状態で加えて行った。

図2は、砂礫材料の液状化試験結果を、両振幅軸わずみ  $DA=5\%$ について整理した一例である。液状化試験中のメンブレン湾入効果は、試験前に行う微小振幅載荷による間隙水圧計測<sup>2)</sup>により補正を施している。これより、各試料の粒度分布は異なるが、液状化強度はほぼ等しく、繰り返し載荷回数に対する繰り返し応力比の変化傾向も類似していることが分かる。特に礫質材料の試料3は、間隙比が砂に比べてかなり小さいが、相対密度をパラメータとした場合、間隙比の大きい砂質土とほぼ同程度の強度が得られたことは興味深い。

図3に、これらの試験結果を、相対密度と繰り返し載荷回数  $N_c=20$  に対する繰り返し応力比  $R_{L20}$  でまとめ

キーワード: 礫質土、液状化、均等係数、相対密度

連絡先: 〒112-8551 文京区春日1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL 03-3817-1799 FAX 03-3817-1803

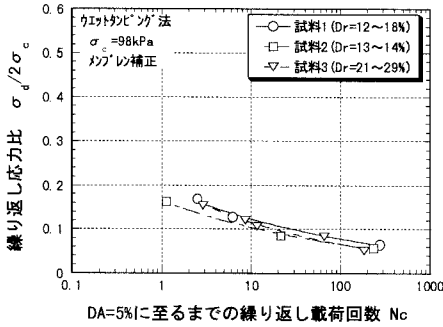


図2 砂礫材料の液状化試験結果 (Dr=10%)

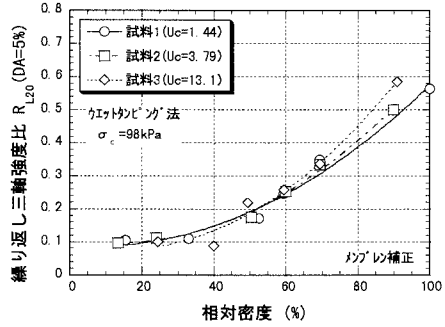


図3 相対密度と繰り返し三軸強度比 $R_{20}$ の関係

る。各試料とも、相対密度ある程度のばらつきを平均化して表している。これより、 $Dr \cong 50\%$ 、 $90\%$ で若干のばらつきが見られるが、今回行った実験で得られた範囲では、礫質土の液状化強度は相対密度のみで一義的に表現できるものと判断できる。

#### 4. 液状化—静的試験

礫質土の液状化後の力学特性を検討するため、相対密度  $Dr=50\%$  供試体の一部で、液状化試験後にひずみ制御による非排水単調載荷試験 (CU 試験) を行った。

図 4 に、各試料毎液状化試験後に行った非排水単調載荷試験結果の一部を、応力、過剰間隙水圧—ひずみ曲線でまとめる。これより、液状化試験での荷重応力比のほぼ等しいデータと比較した場合、偏差応力の最大値は均等係数の大きい礫質土ほど卓越しており、砂質土に比べ液状化後の静的強度が 10 倍程度と大きいことが分かる。

図 5 に、液状化—静的試験における有効応力経路を示す。これより得られたストレスパスは、粒度分布の異なる試料においてもほぼ一致している。破壊包絡線より推定される試料の内部摩擦角  $\phi$  は、粒度分布の異なる材料においても  $\phi=39^\circ$  程度のほぼ等しい角度を示した。

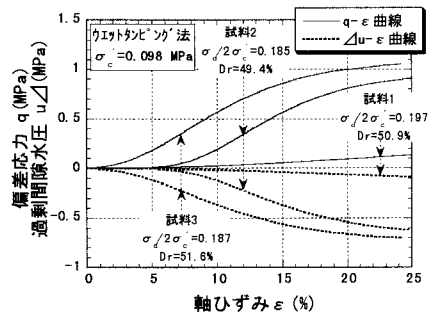


図4 応力、過剰間隙水圧—ひずみ曲線

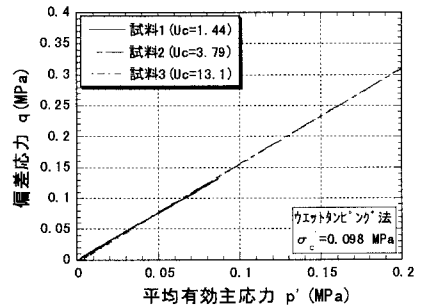


図5 有効応力経路

#### 5. 結 論

① 礫質土の液状化強度は、 $Dr \cong 10\%$ 、 $30\%$ の緩い供試体や  $Dr \cong 60\%$ 、 $70\%$ の密な供試体においては、均等係数の差異によらず、相対密度に対してほぼ同一となる。しかし現状では  $Dr \cong 50\%$ 、 $90\%$ においては、均等係数の大きい良配合の礫質材料の強度は貧配合の砂質材料のそれに比べて大きくなるというデータが得られている。② 従って、今回行った実験の範囲では、 $Dr \cong 50\%$ 、 $90\%$ で実験結果にばらつきが見られるが、全体的には礫質土の液状化強度は粒度分布の違いにも関わらず相対密度と一義的な関係があるものと判断される。③ 液状化後の単調載荷試験結果より、均等係数の大きい礫質土の静的強度は砂質土のそれに比べて大きく、地震時の地盤安定性も大きいものと推察される。従って、礫質土は地震時の液状化強度は同じ相対密度の砂質土と同程度であるが、大きな静的な変形に対しては非常に大きな強度を発揮する。

【参考文献】(1) 國生剛治, 原 忠. 礫質土の最大・最小密度試験法の検討, 土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集第 3 部(A) pp.20-21, 1997 (2) 田中幸久, 國生剛治, 吉田保夫, 工藤康二. システムコンプライアンスによる砂礫の動的測定誤差の評価方法, 電力中央研究所 研究報告 U89040, 1988. (3) 原 忠, 國生剛治. 粒度分布の異なる礫質材料の液状化強度, 液状化メカニズム・予測法と設計法に関するシンポジウム(投稿中), 1999.