

Ⅲ - A81

砂と礫の混合試料の液状化強度評価

九州工業大学工学部 正会員 永瀬英生 廣岡明彦  
 九州工業大学大学院 学生会員 ○栗屋宜典  
 九州工業大学工学部 石田憲司

1. はじめに

兵庫県南部地震では  $D_{50}$  が 2mm を超える砂礫地盤でも液状化が発生しており、強い地震に対しては砂礫地盤といえども液状化に対する安全性を検討する必要がある。筆者らは、これまで砂と礫を混合した試料を用いて液状化試験を行い、その液状化強度が Fragaszy<sup>1)</sup>らが提案している  $Dr_{\text{for-field matrix}}$  に依存することを報告した<sup>2)</sup>。ただし、 $Dr_{\text{for-field matrix}}$  の計算方法にはまだ検討の余地があった。そこで本研究では、相対密度  $Dr$  と Evans らが提案している Equivalent fraction density (以後、等価砂礫密度と称す)  $\rho_{ef}$ <sup>3)</sup> で液状化強度を評価することを試みた。

2. 試料および実験方法

試料には、豊浦砂と筑後川砂に 4 種類の礫を GC=0,10,30,50% (図1参照) になるように混合したものを用いた。表1に実験ケースを示す。筑後川砂+丸礫(2:3)の試料は粒径加積曲線をなめらかにするために丸礫(2~4.76mm):丸礫(4.76~9.50mm)=2:3 の重量比で丸礫を筑後川砂に混合したものである。それぞれの試料の粒径加積曲線を図2に示す。

供試体は直径 15cm, 高さ 30cm の円柱形で、密度としては相対密度  $Dr$  と図1に示す Evans ら<sup>3)</sup>が提案している等価砂礫密度  $\rho_{ef}$  の2つを用いた。それぞれの試料の密度を表1に示す。ただし、豊浦砂 GC=0%の試料については  $Dr=70\%$ 、筑後川砂 GC=0%の試料については  $Dr=80\%$  の実験も行った。また、 $Dr$  を求めるため最大乾燥密度試験を行い、試料断面を観察したところ、その最上部付近で多少の材料分離が起り、それによってその部分の礫分含有率が減少したが、試料全体を見ると材料分離の程度は顕著でなかった。

供試体作製方法としては不飽和砂凍結法を用いた。この方法を用いたのは、①凍結した供試体の表面部の凹凸に不飽和の砂を貼り付けることによってメンブレンペネトレーションの補正を行う、②材料分離を抑制する、等の理由からである。

作製した供試体は融解させた後、炭酸ガスを一定時間通気し、脱気水を通水してB値が0.95以上であることを確認した後、有効拘束圧  $\sigma'_v = 49\text{kPa}$  で等方圧密した。その後、周波数 0.1Hz の正弦波荷重による非排水繰返し三軸試験を行った。

表1 実験ケース

試料名	GC (%)	Dr (%)	$\rho_{ef}$ (g/cm <sup>3</sup> )
豊浦砂	0	50	1.472
//	0	70	1.535
豊浦砂+丸礫 (4.76~9.50mm)	10	42	1.475
//	30	38	1.519
//	50	45	1.619
豊浦砂+丸礫 (9.50~19.0mm)	30	41	1.533
//	50	61	1.651
豊浦砂+角礫 (4.60~9.50mm)	30	41	1.528
//	50	51	1.645
筑後川砂	0	50	1.517
//	0	80	1.605
筑後川砂+丸礫 (4.76~9.50mm)	30	51	1.562
//	50	77	1.660
筑後川砂+丸礫 (9.50~19.0mm)	50	75	1.692
筑後川砂+丸礫 (2:3)	50	95	1.686

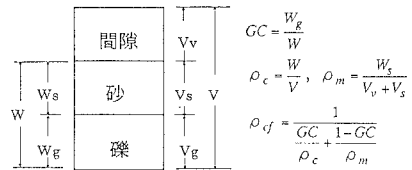


図1 GCおよび $\rho_{ef}$ の説明

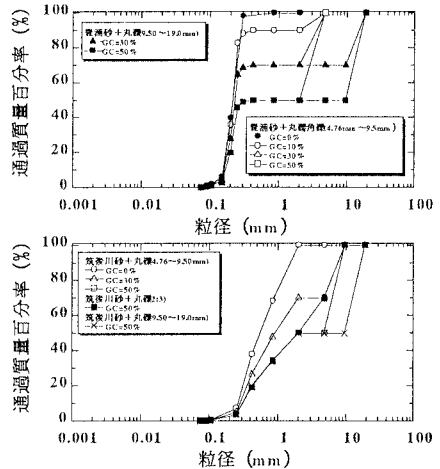


図2 粒径加積曲線

液状化、繰返し荷重、砂、礫

〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1 TEL 093-884-3111 FAX 093-884-3100

3. 結果および考察

図3に豊浦砂、図4に筑後川砂に礫を混合した場合の繰返し応力比 $R$ と繰返し回数 $N_c$ の関係を示す。なお、メンブレンペネトレーションの影響が大きいと思われたGC=50%の場合でも供試体の表面に凹凸はほとんど見られなかったため、その補正は行わなかった。液状化の判定は、ネッキングによるひずみの非一様性の影響が小さいと思われるDA=2%で行った<sup>9)</sup>。図3,4より繰返し回数が20回での液状化強度比 $R_{120(DA=2\%)}$ を求め、図5,6に $R_{120(DA=2\%)}$ と相対密度 $Dr$ の関係を示す。 $Dr$ を用いて液状化強度を整理すると、ばらつきはあるものの、 $Dr$ の増加に伴い液状化強度も増加する傾向が見られる。特に、平均粒径が大きく、粒度の良い筑後川砂を用いた場合、データのばらつきは大きくなっている。

図7,8に液状化強度比 $R_{120(DA=2\%)}$ と等価砂礫密度 $\rho_{cf}$ の関係を示す。これらの図より、データがほぼ一本の直線上にプロットされている。このように $R_{120(DA=2\%)}$ と $\rho_{cf}$ の間には良い相関があるように思われる。ただし、豊浦砂でGC=0%のデータのみ傾向が異なっている。このことについてはまだ原因が明らかになっていないが、この理論の限界を示しているとも考えられる。

4. まとめ

2種類の砂に粒径、形状の異なる礫を混合した試料を用いて砂礫の液状化特性を調べた結果、液状化強度は相対密度 $Dr$ と正の相関があることが分った。しかし、筑後川砂ではデータのばらつきがあり、粒径が大きく、粒度の良い砂試料に対しては、相対密度で液状化強度を評価するのにまだ問題があるように思われる。また、液状化強度と等価砂礫密度 $\rho_{cf}$ の間には良い相関があることが分った。しかし、豊浦砂でGC=0%の場合のみ傾向が異なった。この点については、まだ、検討の余地が残されていると考えられる。

参考文献

1)Fragaszy,R.J. et al : Effect of oversized particles on the density of clean granular soils, Geotech.Testing J.,13(2), PP.106-114,1990 2)永瀬英生・他：礫含有率および礫形状の違いが砂の液状化強度特性に与える影響, 第32回地盤工学研究発表会, pp717-pp.718, 1997 3)Evans,M.D. et al. : Liquefaction behavior of sand-gravel composites, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.121, No.3, pp.287-298,1995 4)田中幸久：礫の工学的特性と液状化対策への適用に関する研究, 東京工業大学博士論文, 1990

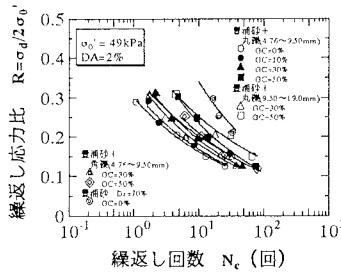


図3 R~Nc関係

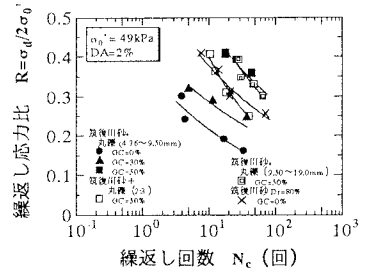


図4 R~Nc関係

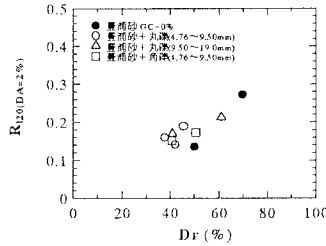


図5 R<sub>120(DA=2%)</sub>~Dr関係

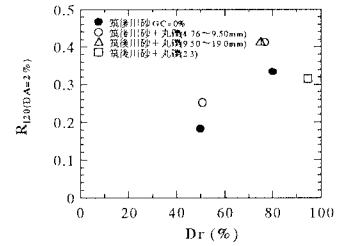


図6 R<sub>120(DA=2%)</sub>~Dr関係

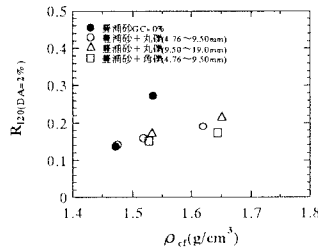


図7 R<sub>120(DA=2%)</sub>~rho<sub>cf</sub>関係

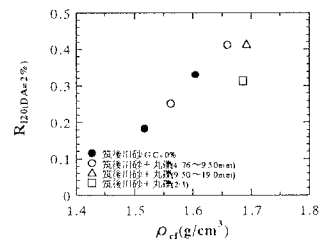


図8 R<sub>120(DA=2%)</sub>~rho<sub>cf</sub>関係