

2種類の砂に礫を混合した試料の液状化特性

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 正会員 永瀬英生 廣岡明彦

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 2 mm 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、これまで豊浦標準砂に礫を混合した試料を用いて液状化特性を検討し、礫含有率が増加するにつれ、液状化強度が増加し、ねばりも顕著に現れることを報告している¹⁾。

そこで、本研究では、豊浦標準砂と筑後川砂の2種類の砂に礫を混合した試料を用いて液状化試験を行い、砂礫の液状化特性について検討した。

2. 試料及び実験方法

試料には、豊浦標準砂と筑後川砂に表

1に示す5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2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 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、密度は図1に示すように砂

分の空隙比 e_{max} から $Dr_{max}=39\sim53\%$ となるようにした。ただし、豊浦標準

砂 $GC=0\%$ の試料については $Dr_{max}=70\%$ 、筑後川砂 $GC=0\%$ の試料について

は $Dr_{max}=80\%$ の実験も行った。

供試体作製方法としては不飽和砂添着法を用いた。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繰返し非排水三軸試験を行った。

3. 結果及び考察

図3に豊浦標準砂、図4に筑後川砂に礫を混合した場合の $R\sim N_c$ 関係を示す。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²⁾。砂や混合する礫の種類に関係なく Dr_{max} が減少もしくは若干の増

表1 試料の物理的性質

試料名	粒径の範囲 (mm)	G_s	D_{50} (mm)	U_c
豊浦標準砂	0.074~0.84	2.637	0.217	1.516
筑後川砂	0.09~2.00	2.647	0.598	4.394
丸礫	2~4.76	2.634	3.38	1.606
丸礫	4.76~9.50	2.541	7.13	1.453
丸礫	9.50~19.0	2.532	14.25	2.364
角礫	4.76~9.50	2.713	7.13	1.453
丸礫(2~4.76):丸礫 (4.76~9.50)=2.3	2~9.50	2.578	5.55	2.357

表2 実験ケース

表試料名	$Dr_{matrix}(\%)$	$GC(\%)$
豊浦標準砂	50	0
〃	70	0
豊浦標準砂+丸礫(4.76~9.50mm)	49	10
〃	46	30
〃	41	50
豊浦標準砂+丸礫(9.50~19.0mm)	51	30
〃	52	50
豊浦標準砂+角礫(4.60~9.50mm)	47	30
〃	44	50
筑後川砂	50	0
〃	80	0
筑後川砂+丸礫(4.76~9.50mm)	45	30
〃	39	50
筑後川砂+丸礫(9.50~19.0mm)	53	50
筑後川砂+丸礫(2.3)	48	50

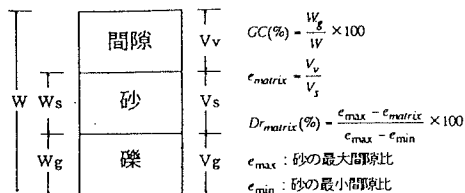
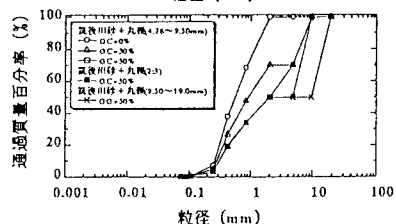
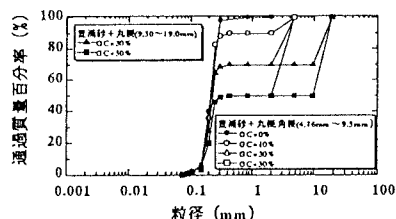
図1 GC および Dr_{matrix} の説明

図2 粒径加積曲線

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繰返し非排水三軸試験を行った。

3. 結果及び考察

図3に豊浦標準砂、図4に筑後川砂に礫を混合した場合の $R\sim N_c$ 関係を示す。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²⁾。砂や混合する礫の種類に関係なく Dr_{max} が減少もしくは若干の増

加にもかかわらず、GCが増加するにつれ液状化抵抗が大きく増加していることがわかる。

砂と礫のように粒径の著しく異なる試料が混合している場合、図5に示す礫周辺の砂 (Near-field Matrix) が緩くなり、それ以外の砂 (Far-field Matrix) が密になる。Fragaszy ら³⁾は $Dr_{Far-field}$

の計算式を提案している。それによると図6に示すように、砂の中に礫を混入することによって礫の体積 (V_0) 以上の砂と間隙の体積 (V_m) を除去することになるが、 α を V_0/V_m として、以下の式で定義し、その α から $Dr_{Far-field}$ を計算する。

$$\alpha = \frac{1}{1 + \beta \kappa} \quad \beta = 1.333(e_{matrix} - 0.1) \quad \kappa = \frac{D_m C_m S_m}{D_0 C_0 S_0}$$

ただし、 $D_m(D_0)$: 砂(礫)の D_{50} 、 $C_m(C_0)$: 砂(礫)の U_c 、 $S_m(S_0)$: 砂(礫)の形状

今回の計算では、砂の形状は球とみなし $S_m=1$ 、 S_0 には礫を任意に 50 個抽出し、それその細長率 $\times$ 偏平率 $\times$ を求め、その平均値を用いた。上式で計算した α から $Dr_{Far-field}$ を求め、整理したものを図7, 8に示す。図7を見てみると、豊浦砂+角礫(4.76~9.50mm)以外はほぼ一直線になっている。図8では、筑後川砂+角礫(4.76~9.50mm)と筑後川砂+(2.3)のデータにばらつきが見られる。これらのことより、 S_m/S_0 の計算方法、砂と礫の粒径の値が近い試料での α の計算方法にさらに検討が必要であるが、液状化強度は $Dr_{Far-field}$ に依存しているようである。

4. まとめ

2種類の砂に礫を混合した試料を用いて砂礫の液状化特性について検討した結果、砂礫の液状化強度は α の計算方法に検討の余地はあるが、 $Dr_{Far-field}$ に依存しているようである。

参考文献

- 1) 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，pp.717～pp.718，1997
- 2) 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，pp.103-108,1990 3)Fragaszy,R.J.,Su,W.,and Siddiqi,F.H. : Effects of oversized particles on the density of clean granular soils, Geotech. Testing J.,13(2), pp.106-114,1990 4)最上武雄編著：土質力学，第8章，pp.893-1036，1969

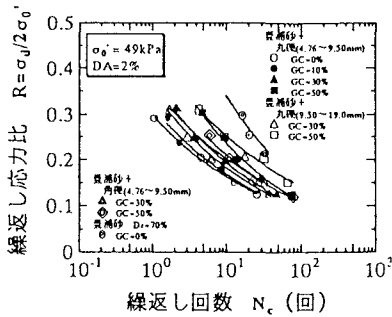


図3 R~Nc 関係

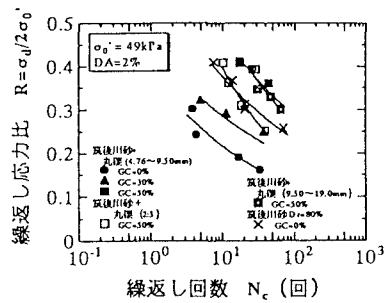


図4 R~Nc 関係

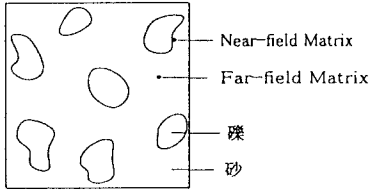


図5 Far-field Matrix の説明

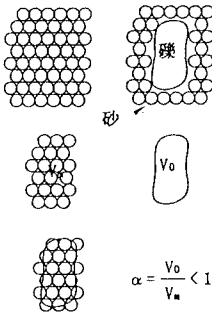


図6 α の説明

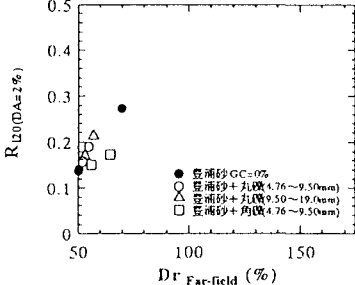


図7 $R_{D50} \sim Dr_{Far-field}$ 関係

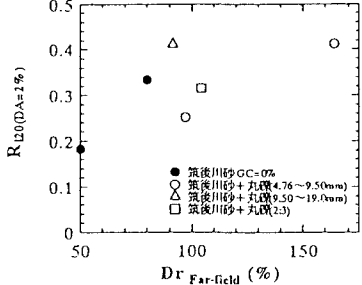


図8 $R_{D50} \sim Dr_{Far-field}$ 関係