

砂分の相対密度に着目したときの砂礫試料の液状化強度評価

九州工業大学大学院 学生会員 ○太田 稔
九州工業大学工学部 正会員 永瀬英生
九州工業大学工学部 正会員 清水恵助
九州工業大学工学部 正会員 廣岡明彦

1. はじめに

兵庫県南部地震では、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。そこで筆者らは、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 Fragaszy¹⁾らが提案している $Dr_{far-field matrix}$ に依存することを報告した²⁾。そこで本研究では、 $Dr_{far-field matrix}$ の計算方法にさらに検討を加え、状態パラメータとして砂分の相対密度に着目し、 $Dr_{far-field matrix}$ を用いて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5種類の礫を $GC=0,10,30,50\%$ になるように混合したものを用いた。

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間隙比 e_{matrix} から $Dr_{matrix}=39\sim53\%$ となるようにした。ただし、 $GC=0\%$ の試料については豊浦砂の場合 $Dr_{matrix}=70\%$ 、筑後川砂の場合 $Dr_{matrix}=80\%$ の実験も行った。

供試体作製方法としては不飽和砂凍結法を用い、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 $\sigma'_v=49kPa$ で等方圧密し、非排水繰返し三軸試験を行った。

3. 結果および考察

豊浦砂と筑後川砂に礫を混合した場合の両振幅軸ひずみ $DA=2\%$ ³⁾ の液状化強度比 $R_{l20(DA=2\%)}$ を表1に示す。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2に示す礫周辺の砂 (near-field matrix) がそれ以外の砂 (far-field matrix) に比べて緩くなる。そこで、Fragaszy らは far-field matrix の密度の計算式を提案している。それによると、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、以下の式で定義している。これにより、 α から far-field matrix の相対密度 $Dr_{far-field matrix}$ を計算した。

$$\alpha = \frac{1}{1 + \beta \kappa} \quad \beta = 1333(e - 0.1) \quad \kappa = \frac{D_m C_m S_m}{D_0 C_0 S_0} \quad (1)$$

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

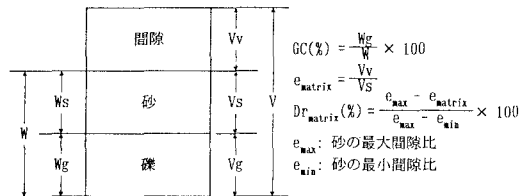


図1 GCおよび Dr_{matrix} の説明

表1 実験ケース

	GC (%)	Dr (%)	Dr_{matrix} (%)	R_{l20} (DA=2%)
豊浦砂	0	50	50	0.135
//	0	70	70	0.272
豊浦砂+丸礫(4.76~9.50mm)	10	42	49	0.140
//	30	38	46	0.158
//	50	45	41	0.189
豊浦砂+丸礫(9.50~19.0mm)	30	41	51	0.170
//	50	61	52	0.213
豊浦砂+角礫(4.76~9.50mm)	30	41	47	0.150
//	50	51	44	0.172
筑後川砂	0	50	50	0.182
//	0	80	80	0.330
筑後川砂+丸礫(4.76~9.50mm)	30	51	45	0.251
//	50	77	39	0.412
筑後川砂+丸礫(9.50~19.0mm)	50	75	53	0.412
筑後川砂+丸礫(2:3)	50	95	48	0.314
(2~4.76mm:4.76~9.50mm=2:3)				

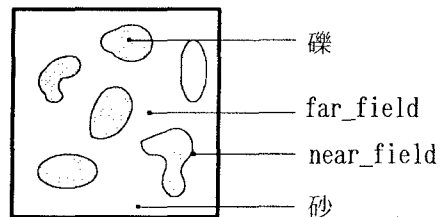


図2 far-field matrix の説明

今回の計算では、 S_m/S_0 の項の S_0 （礫の形状）に、コンクリートで用いられる実績率（単位容積質量）および、礫の最大密度試験で得られた e_{min} の値を用いた。また、 C_m/C_0 の項と S_m/S_0 の項が、砂粒子と礫粒子の表面積と密接な関係があると考え、さらに D_m/D_0 の項と同様に長さの比に合わせるために $\sqrt{C_m}/\sqrt{C_0}, \sqrt{S_m}/\sqrt{S_0}$ の式⁴⁾を用いた。なお、 β の式にある e と式(1)より求められる $e_{far-field matrix}$ が一致するまで繰返し計算を行い、その時の α からそれぞれ $Dr_{far-field matrix}$ を求めた。

図3～6には、式(1)の S_m/S_0 の項にそれぞれ、①細長率⁵⁾×偏平率⁵⁾を用いたもの、②実績率を用いたもの、③ e_{min} を用いたもの、④ $C_m/C_0, S_m/S_0$ の代わりに $\sqrt{C_m}/\sqrt{C_0}, \sqrt{S_m}/\sqrt{S_0}$ とし、 e_{min} を用いたものの $Dr_{far-field matrix}$ と液状化強度比の関係を示す。図3の結果には、他の場合よりも値に少しばらつきがある。また、図4、5からは同じような傾向が観察でき、図6を見てみると、 $R_{l20}(DA=2\%)$ は $Dr_{far-field matrix}$ とよい相関関係を示し、右上がりの傾向が認められる。これらのことにより、砂と礫の混合試料の液状化強度は $Dr_{far-field matrix}$ に依存していると考えられる。

4. まとめ

2種類の砂礫試料の液状化強度を検討した結果、砂礫試料の液状化強度は $Dr_{far-field matrix}$ に依存することが認められた。さらに粒径の項には容易に測定できる礫の最大密度試験の結果を、粒径、形状の項には $\sqrt{C_m}/\sqrt{C_0}, \sqrt{S_m}/\sqrt{S_0}$ を用いるとより良い相関が得られることが分かった。

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：礫分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
- 3)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
- 4)永瀬英生・他：礫を含む砂の液状化特性，第10回地震工学シンポジウム，pp.14333-pp.1438,1998
- 5)最上武雄編著：土質力学，第8章，pp.893-1036，1969

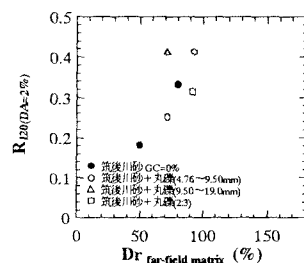
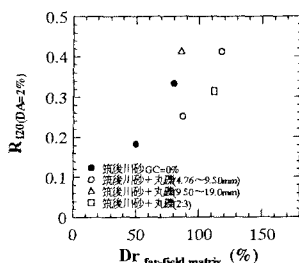
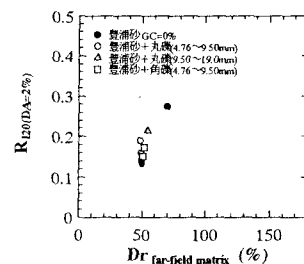
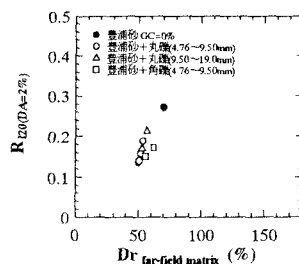


図3 $R_{l20} \sim Dr_{far-field matrix}$ 関係①

図4 $R_{l20} \sim Dr_{far-field matrix}$ 関係②

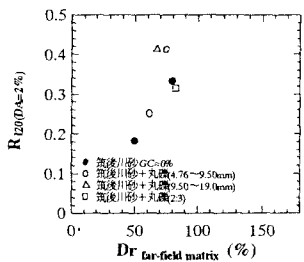
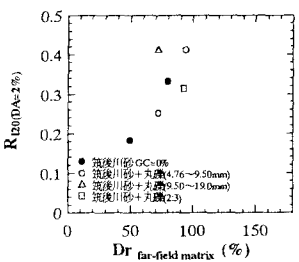
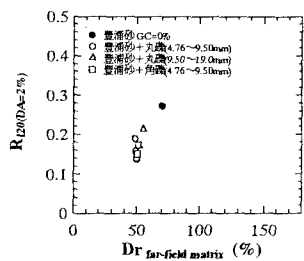
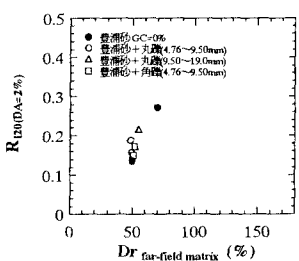


図5 $R_{l20} \sim Dr_{far-field matrix}$ 関係③

図6 $R_{l20} \sim Dr_{far-field matrix}$ 関係④