

細粒分を含む砂の液状化強度に関する研究  
 ～骨格間隙比に着目して～

Study on Liquefaction Strength of Sand with Fine Fraction Content  
 ～Focusing on the skeleton void ratio～

○高田修斗<sup>1</sup>, 猪野愛梨壺<sup>1</sup>, 向後颯斗<sup>1</sup>, 匹田萌結<sup>1</sup>, 石井建太郎<sup>2</sup>, 鎌尾彰司<sup>3</sup>

○Shuto Takada<sup>1</sup>, Maria Ino<sup>1</sup>, Hayato Kogo<sup>1</sup>, Hikita Moyu<sup>1</sup>, Kentaro Ishii<sup>2</sup>, Kamao Shoji<sup>3</sup>

Abstract: In recent major earthquakes, liquefaction of soil containing fine grains has been reported. Therefore, in this study, the author focused on the skeleton void ratio, which represents the skeletal structure of soil, and investigated the effect on liquefaction strength and evaluation method while changing the fine fraction content. Liquefaction tests were conducted using Toyoura sand as coarse-grained material and Kasaoka clay as fine-grained material. The relative densities of Toyoura sand and Kasaoka clay were used for the coarse-grained and fine-grained components, respectively. The results show that liquefaction strength decreases with increasing Fc in the range of Fc=0-20%, and liquefaction strength can be determined by using both skeleton void ratios regardless of the type of fine grain content.

1.まえがき

近年の大地震では細粒分を含む土の液状化が報告されている。中でも2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では細粒分を50%程度含む地盤で液状化が報告<sup>1)</sup>され、細粒分を含む土の液状化メカニズムや液状化強度に及ぼす影響について検討する必要がある。

2.研究方法

2.1 試料

使用した試料は、粗粒分として豊浦砂を、細粒分として笠岡粘土を用いた。各試料の主な物理特性及び粒度分布を示すと Table1, Fig. 1 のようになる。

Table 1 Main physical properties of the sample

Sample	Soil particle density	Plasticity index	Fine fraction content	Clay fraction content	Mean diameter
	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$I_p$ (-)	F <sub>c</sub> (%)	C <sub>g</sub> (%)	D <sub>50</sub> (mm)
Toyouura Sand	2.619	NP	0	0	0.175
Kasaoka Clay	2.710	30.8	98	46	0.006

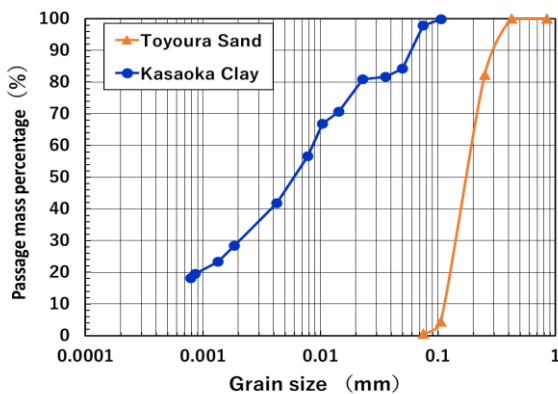


Fig 1 Grain size accumulation curve

2.2 実験方法

繰返し非排水三軸試験機を用い液状化試験を行った。供試体は直径 5cm×高さ 10cm の円筒供試体である。供試体の作製方法は、所定の密度になるように質量を調整した試料を 10 層に分け各層を突き固めながら作成した。所定の密度で供試体作成後、まず 20kPa の拘束圧で供試体を自立させ、二酸化炭素を供試体内に通気後、脱気水で通水し背圧を加えることで飽和させた。その後、有効拘束圧  $\sigma'_c=100\text{kPa}$  で圧密を行った。圧密時間は、Table 2 に示すように設定した。圧密終了後、飽和度を確認するため B 値を測定し、B 値が 0.95 以上であること確認した後、所定の繰返し応力比 R で周波数 0.1Hz の正弦波で繰返し载荷をした。各試料の試験条件等は Table 2 に示す通りである。なお KS は笠岡粘土を表しており、隣の数字は笠岡粘土の含まれている割合を示している。

Table 2 Condition of the liquefaction examination

sample	Relative density	Effective confining pressure	Consolidation time	Frequency	Cyclic shear stress
	( $\rho$ )内はD <sub>r</sub> (%)	$\sigma'_c$ (kPa)	t(hour)	f(Hz)	R(= $\sigma_d/2\sigma'_c$ )
Toyouura sand	Loose(40)	100	0.17	0.1	0.18, 0.20
	Medium(60)		0.17		0.28, 0.25
	Dense(80)		0.17		0.33, 0.29
KS5	Medium		1		0.17, 0.13, 0.12
KS10	Medium		5		0.15, 0.12, 0.10
KS20	Medium		15		0.11, 0.10

2.3 密度管理方法

本研究では、豊浦標準砂のみの相対密度を基準と混合土の場合はそれぞれの相対密度の質量に対して細粒

1 : 日大理工・学部・土木 2 : 日大理工・院 (前)・土木 3 : 日大・教員・土木

分含有率  $F_c$  を決定した。

### 3. 試験結果と考察

#### 3.1 液状化強度曲線

Fig. 2 に笠岡混合土の液状化強度曲線を示す。Fig. 2 は両振幅ひずみ 5%に達するまでに必要な繰返し応力比  $R$  と繰返し载荷回数  $N$  の関係を示している。

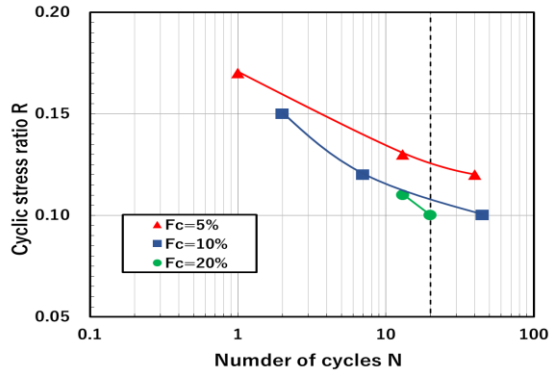


Fig. 1 Liquefaction strength curve

#### 3.2 細粒分含有率と液状化強度の関係

Fig. 3 に液状化強度  $R_{20}$  と細粒分含有率  $F_c$  との関係を示している。本研究では液状化に対する抵抗力を示す指標として繰返し载荷回数 20 回(Fig. 2 に破線で示す)で両振幅ひずみ  $DA=5\%$ に達するときの繰返しせん断応力比  $R$  を液状化強度  $R_{20}$  として用いた。Fig. 3 より細粒分含有率  $F_c$  が 0~20%の範囲では、液状化強度  $R_{20}$  は細粒分含有率  $F_c$  の増加と共に減少している。

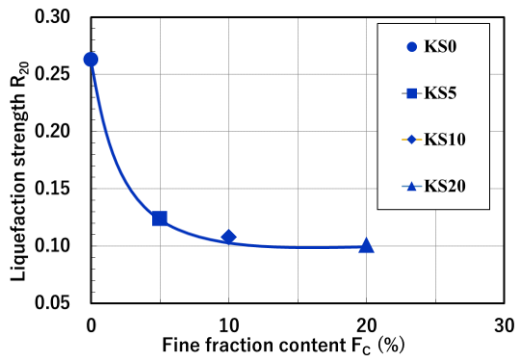
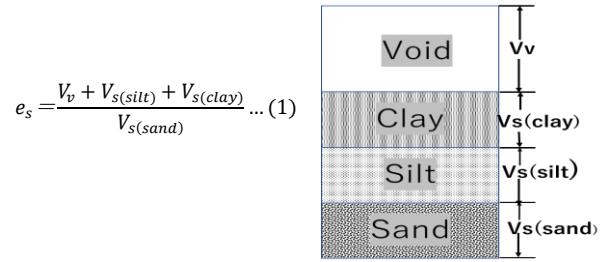


Fig. 3 Relation between the liquefaction strength  $R_{20}$  and fine fraction content  $F_c$  of kasaoka clay

#### 3.3 骨格間隙比と液状化強度 $R_{20}$ の関係

本研究で使用した試料のように砂と粘土の中間的な粘土を持つ土の強度を検討する場合、土の骨格構造に着目することは重要であると考えられる。本研究では、骨格間隙比  $e_s$ <sup>2)</sup>を用いて液状化特性に及ぼす細粒分の影響と液状化強度との関係について考察することとした。骨格間隙比  $e_s$ とは砂のみに着目して細粒分を全て間隙とみなしたときの間隙比であり、骨格間隙比は式(1)より算出した。



$$e_s = \frac{V_v + V_{s(silt)} + V_{s(clay)}}{V_{s(sand)}} \dots (1)$$

Fig. 4 Schematic diagram of mixed sample

Fig. 5 は  $F_c=0\sim 20$  の範囲の骨格間隙比  $e_s$ 、液状化強度  $R_{20}$  の関係を示している。骨格間隙比は細粒分含有率に増加と共に増加しており、砂粒子は緩い状態となっていることが考えられる。そのため、Fig. 3 のように細粒分含有率の増加に伴い液状化強度が減少したと考えられる。また、劉<sup>3)</sup>の藤の森粘土を用いた試験結果と比較した。Fig. 5 より、骨格間隙比  $e_s$  は細粒分の種類を問わず  $R_{20}$  が同一曲線上に位置し、骨格間隙比  $e_s$  と  $R_{20}$  はよい関係であるといえる。

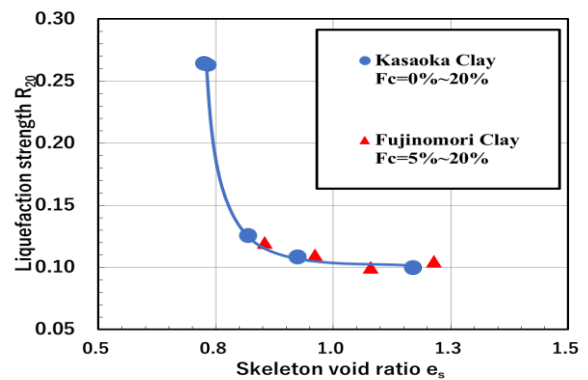


Fig. 5 Relationship between skeleton void ratios and Liquefaction Strength  $R_{20}$  of kasaoka clay

### 4. まとめ

今回の結果から、 $F_c=0\sim 20\%$ の範囲では  $F_c$  の増加に伴い液状化強度は減少することがわかった。今後、細粒分含有率を増加、新たな試料を追加するなど引き続き実験を行い検討していく。

(参考文献)

- 1) 風間基樹, 河合正, 森友宏, 金鐘官, 山崎智哉: 東日本大震災の液状化被害にみる液状化研究の課題, 日本地震工学会論文集 第15巻, 第7号(特集号), 2015
- 2) 鍋島康弘, 長澤朋視, 松井保: 細粒分を含む砂における粘土分を指標とした液状化強度評価, 第38回地盤工学研究発表会(秋田), 2003年7月
- 3) 劉文: 細粒分を含む砂の液状化強度と各種間隙比の関係に関する研究, 令和2年度修士論文