

細粒分を含む砂質土の qc 値と液状化強度に及ぼす水平応力比の影響

(株)不動テトラ 正会員 原田健二 矢部浩史  
 中央大学 名誉会員 石原研而

1. はじめに

前報<sup>1)</sup>では、きれいな砂と細粒分を含む砂質土に対する加圧式土槽を用いた標準貫入試験(SPT)と等方・異方空中ねじりせん断試験結果を基に水平応力比を考慮した換算 N 値  $N_1$  値と液状化強度の関係図を提示した。本報においては、砂と砂質土に対する土槽を用いたコーン貫入実験(CPT)の結果に基づいて水平応力比を考慮した換算 qc 値  $q_{c1}$  値と液状化強度の関係図を提示する。

2.  $q_{c1}$  値と相対密度及び液状化強度の関係

表 1 対象試料

	Material	$s$	$F_c$ (%)	$U_c$	$e_{max}$	$e_{min}$	$e_{min}^*$
(a)	Toyoura	2.657	0.0	1.54	0.973	0.607	-
(b)	Da Nang	2.610	0.0	1.84	0.808	0.515	-
(c)	Omigawa	2.698	10.7	3.33	1.495	0.884	0.824
(d)	Inage	2.546	23.8	11.11	1.021	0.509	0.394

(1)  $q_{c1}$  値と相対密度

筆者らは、既往のコーン土槽実験結果より砂に対するコーン抵抗  $q_{c1}$  値と相対密度  $Dr$  の関係を  $q_{c1}$  と  $Dr^2$  の勾配  $C_{Dq}$  を使って(1)のように定式化した<sup>2)</sup>。

$$q_{c1} = C_{Dq} \cdot Dr^2 = \frac{12}{(e_{max}-e_{min})^{0.8}} \cdot Dr^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} e_{max}: \text{JIS による最大間隙比} \\ e_{min}: \text{JIS による最小間隙比} \end{array} \right. \quad (1)$$

また、表 1 に示す細粒分を含む試料 (c),(d) の土槽実験結果を追加し、式(2)で細粒分含有率  $F_c$  から推定した突固め試験による  $e_{min}$  である  $e_{min}^*$  で定義する密度指摘  $Dr^*$  (式(3)) でプロットしても式(1)の曲線によくのっていること、すなわち  $Dr, e_{min}$  を  $Dr^*, e_{min}^*$  で置き換えても成立することを示した<sup>3)</sup>。

$$e_{min}^*/e_{min} = \begin{cases} 0.1 & (0 \leq F_c \leq 5) \\ -0.012F_c + 1.06 & (5 \leq F_c \leq 30) \\ 0.7 & (F_c > 30) \end{cases} \quad (2) \quad Dr^* = \frac{e_{max}-e}{e_{max}-e_{min}^*} \quad (3)$$

(2) 補正  $q_{c1}$  値と液状化強度

鈴木・時松<sup>4)</sup>は、CPT の計測値から得られた土性指標  $I_c$  (式(4)) を使って細粒分補正された  $q_{c1}$  値 ( $q_{c1})_{FC}$  (式(5)) と液状化強度  $R$  (式(6)) の関係を示しており、今回の検討にはこの基準式を用いた。

$$I_c = [(3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_t = (q_t - \sigma_z) / \sigma_z' \\ F_r = f_s / (q_t - \sigma_z) \times 100(\%) \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left[ \begin{array}{l} (q_{c1})_{FC} = F(I_c) \cdot q_{c1} \\ F(I_c) = \begin{cases} 1.0 & (I_c \leq 1.64) \\ -0.403 \cdot I_c^4 + 5.581 \cdot I_c^3 - 21.63 \cdot I_c^2 + 33.75 \cdot I_c - 17.88 & (I_c > 1.64) \end{cases} \end{array} \right. \quad (5) \quad \left[ \begin{array}{l} R = \frac{1}{0.65} \times \frac{\tau_\theta}{\sigma_o'} = \frac{1}{0.65} \times \left[ 0.45 \times 0.75 \times \left\{ \frac{16\sqrt{Nc}}{100} + \left( \frac{\sqrt{Nc}}{83.7} \right)^{14} \right\} \right] \\ Nc = \begin{cases} 0.341I_c^{1.94} (q_{c1} - 0.2)^{1.34-0.0927I_c} & (q_{c1} > 0.2 \text{ Mpa}) \\ 0 & (q_{c1} \leq 0.2 \text{ Mpa}) \end{cases} \end{array} \right. \quad (6)$$

3. 水平応力比が  $q_{c1}$  値と液状化強度に及ぼす効果

伊藤ら<sup>5)</sup>は土層実験より表 1 の試料(a),(c),(d)に対して水平応力比  $K_c$  を変えてコーン貫入試験を実施した。結果を図 1 に示すが、すべての試料に対して  $K_c$  の増加は  $q_{c1}$  値を増加させることがわかる。

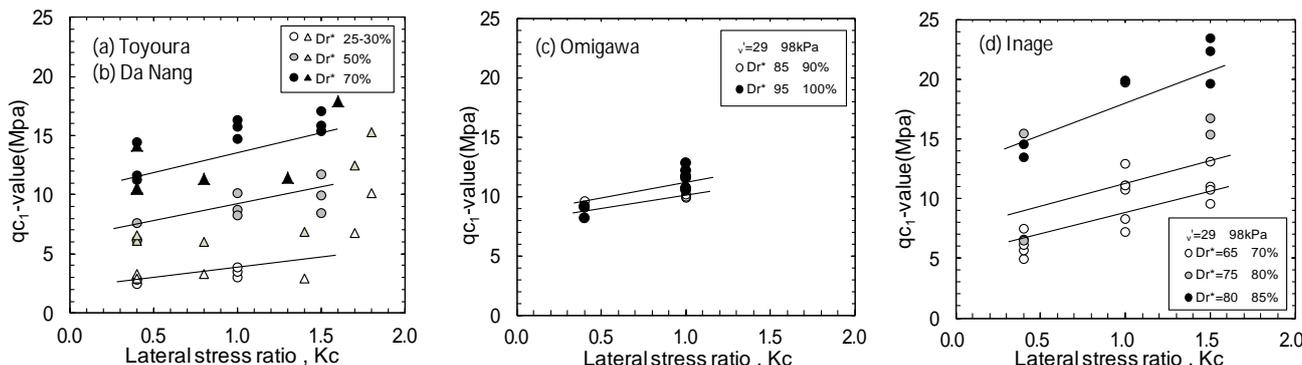


図 1  $K_c$  と  $q_{c1}$  値および液状化強度の関係

キーワード：細粒分, 水平応力比, qc 値, 液状化強度 連絡先：〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町 7-2 TEL 03-5644-8534

(1)  $qc_1$  値に及ぼす効果

筆者らは、きれいな砂について  $Kc$  値増加の  $qc$  値に及ぼす影響の効果を  $C_{CPH} = (qc_1)_{Kc} / (qc_1)_{Kc,NC}$  として定義し、この関係を式(7)で示した<sup>2)</sup>。

$$C_{CPH} = \left( \frac{Kc}{Kc,NC} \right)^{0.60-0.55Dr} \quad (7)$$

細粒分を含む砂質土について  $Kc$  値増加の  $(qc_1)_{Fc}$  値に及ぼす影響の効果として新たに  $C_{CPH}^* = ((qc_1)_{Fc})_{Kc} / ((qc_1)_{Fc})_{Kc,NC}$  として定義し、 $C_{CPH}$  の  $Fc$  の影響を見るために式(8)に示す係数  $F_{(qc_1)Fc}(Fc)$  を使って  $Fc$  に対してプロットしたものが図2である。同図より式(9)に近似されることがわかる。

$$C_{CPH}^* = F_{(qc_1)Fc}(Fc) \cdot C_{CPH} \quad (8) \quad F_{(qc_1)Fc} = \left( \frac{Kc}{Kc,NC} \right)^{0.20 \left( \frac{Fc}{100} \right)^{0.40}} \quad (9)$$

表1に示す4つの試料の実験結果より求められた  $C_{CPH}^*$  と  $Dr^*$  の関係でプロットしたものが図3である。同図には式(8)に式(7)と(9)で定式化した曲線を示しており、よくフィッティングする。

(2) 液状化強度に及ぼす効果

$Kc$  の液状化強度に及ぼす効果については、前報<sup>1)</sup>で示したように式(10)に示す関係が成立する。

$$(R)_{Kc} = \frac{1 + 2Kc}{1 + 2Kc,NC} \cdot (R)_{Kc,NC} \quad \begin{cases} (R)_{Kc}: \text{任意の } Kc \text{ 状態における } R \\ (R)_{Kc,NC}: \text{正規圧密状態における } R \end{cases} \quad (10)$$

4.  $qc_1$  値と液状化強度の関係

式(3)で定義した  $Dr^*$  を導入し、 $Kc$  値の  $qc_1$  値に及ぼす効果については式(7)、(9)の近似式で、 $R$  については式(10)の近似式を用いることでそれぞれ  $((qc_1)_{Fc})_{Kc}$ 、 $(R)_{Kc}$  を推定できる。 $R$  については  $Fc$

に依らず式(10)は成立するが、 $qc_1$  値についての係数は式(8)、(9)により細粒分補正する。このように、 $Dr^*$  を介して  $Kc$  毎の  $R \sim Dr^*$  関係と  $qc_1$  値の関係を組み合わせることにより、 $qc_1$  値と  $R$  の関係を示すことができ、 $Fc=10, 30, 50, 70\%$  毎に両者の関係を示したものが図4である。同図より、いずれの  $Fc$  において計測した  $qc_1$  値が同じであっても  $Kc$  値が大きいほど  $R$  が大きくなることわかる。

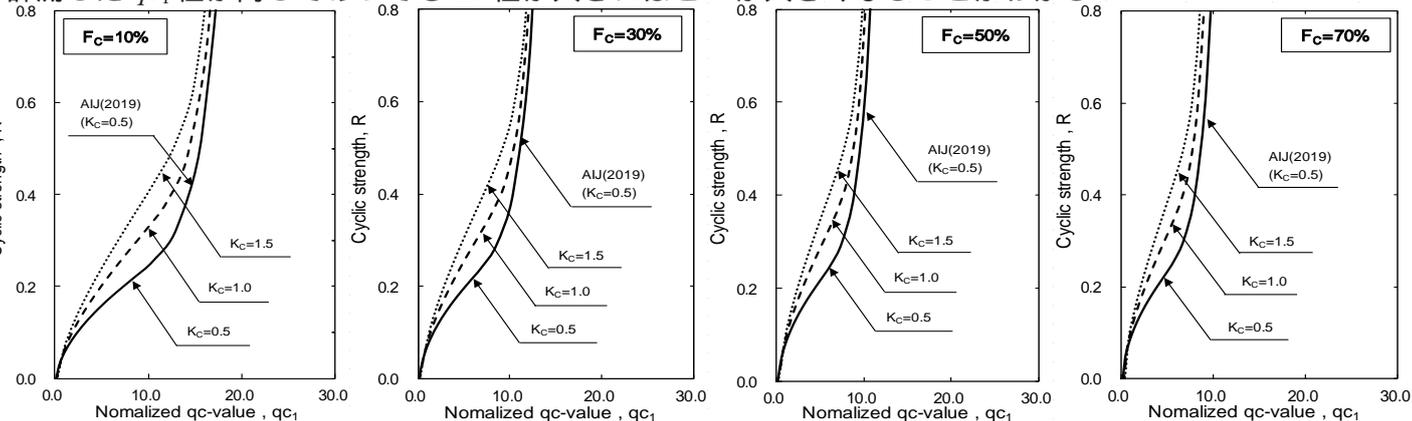


図4 細粒分ごとの  $qc_1$  値と液状化強度の関係

4. おわりに

本報においては、細粒分を含んだ砂に対する土槽実験と室内実験結果を展開して、水平応力比を考慮した  $qc_1$  値と  $R$  の関係を細粒分毎のチャートで提示した。

【参考文献】1) 原田ら(2020): 細粒分を含む砂質土の  $N$  値と液状化強度に及ぼす水平応力比の影響, 第54回地盤工学研究発表会(投稿中) 2) Harada, K. and Ishihara, K. et al. (2008) "Relations between penetration resistance and cyclic strength to liquefaction as affected by  $Kc$ -conditions." Proc, GEESD IV Paper 111. 3) 原田・石原(2012): 細粒分を含む土の最小間隙比と相対密度についての一考察, 日本地震工学学会大会2012梗概集, pp.276-277. 4) 鈴木・時松(2003): コーン貫入試験結果と凍結サンプリング試料の液状化強度の関係, 日本建築学会構造系論文集, 第566号, 81-88. 5) 伊藤ら(2005): 砂地盤のコーン貫入抵抗値と相対密度の関係について, 土木学会第60回年次学術講演会, 3-4.

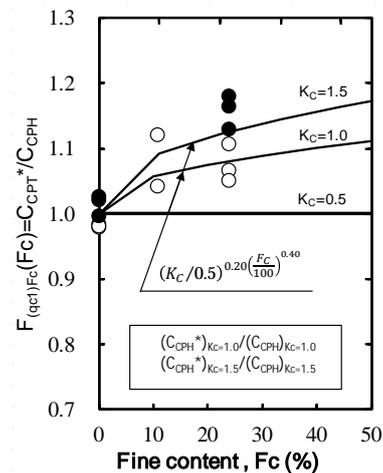


図2  $F_{qc_1}(Fc)$  と  $Fc$  の関係

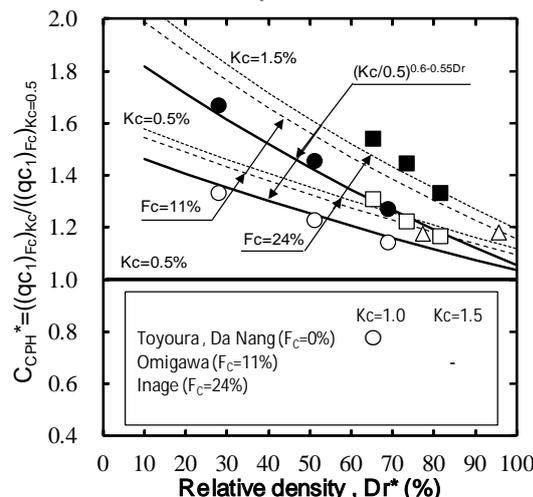


図3  $C_{CPH}$  と  $Dr^*$  の関係