

締固めによる改良地盤における CPT による指標 I_c についての考察

(株)不動テトラ
同上

正会員 ○原田 健二 野津 光夫
非会員 新川 直利

1. はじめに

サンドコンパクションパイル (SCP) 工法などのように砂杭を地盤に打設すると砂杭周辺地盤では密度増加とともに水平応力が付加され、静止土圧係数 K_0 値が増加する。このような地盤の状態変化は、図-1 に示すように杭間地盤で実施される標準貫入試験 (SPT) やコーン貫入試験 (CPT) などから得られる計測値 (N 値, コーン抵抗値 q_c , 周面摩擦応力度 f_s) の増加で確認されるが、これらの計測値のうち、貫入抵抗値は液状化強度とともに K_0 値の影響を受けることが知られている¹⁾。

本文においては、SPT と CPT における関係を整理し、CPT の事後調査から得られる計測値に基づいて締固めによる改良地盤の K_0 値の影響について考察する。

2. 計測値に及ぼす K_0 値の影響

SPT からの N 値と CPT (三成分) からの q_c 値, f_s 値, u 値の関係を図-2 に示す。これらの値は K_0 値の影響を受け、既往の研究により貫入抵抗値 N , q_c や液状化強度 R_L の関係を正規圧密状態 ($K_{0,NC}=0.5$: 改良前に相当) と任意の K_0 状態 (K_0 : 改良後に相当) の比でまとめると、以下ようになる。

$$[SPT] \quad \frac{(N_1)_{K_0}}{(N_1)_{K_{0,NC}}} = \left(\frac{K_0}{K_{0,NC}} \right)^{0.80-0.75(D_r/100)} \quad (1)^1$$

$$[CPT] \quad \frac{(q_{cl})_{K_0}}{(q_{cl})_{K_{0,NC}}} = \sqrt{\frac{K_0}{K_{0,NC}}} \quad (2)^2$$

$$\frac{(q_{cl})_{K_0}}{(q_{cl})_{K_{0,NC}}} = \sqrt{\frac{1+2K_0}{1+2K_{0,NC}}} \quad (3)^3$$

$$\frac{(q_{cl})_{K_0}}{(q_{cl})_{K_{0,NC}}} = \left(\frac{K_0}{K_{0,NC}} \right)^{0.60-0.55(D_r/100)} \quad (5)^1$$

$$[R_L] \quad \frac{(R_L)_{K_0}}{(R_L)_{K_{0,NC}}} = \frac{1+2K_0}{1+2K_{0,NC}} \quad (7)^6$$

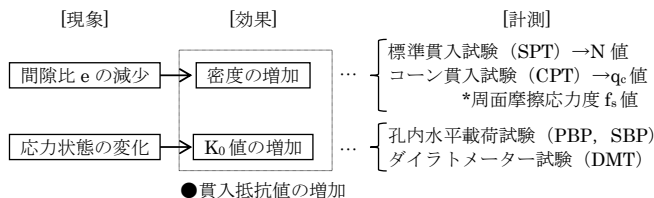


図-1 杭間地盤の状態変化

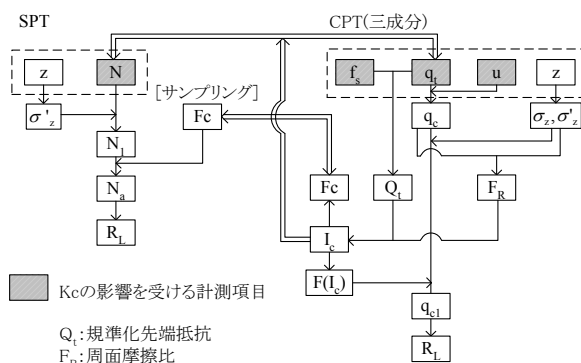


図-2 SPT と CPT の計測値の関係

$$\frac{(q_{cl})_{K_0}}{(q_{cl})_{K_{0,NC}}} = \left(\frac{K_0}{K_{0,NC}} \right)^{0.7066-0.5208(D_r/100)} \quad (4)^4$$

$$\frac{(f_s)_{K_0}}{(f_s)_{K_{0,NC}}} = \left(\frac{K_0}{K_{0,NC}} \right) \frac{(\tan \phi')_{K_0}}{(\tan \phi')_{K_{0,NC}}} \quad (6)^5$$

$K_{0,NC}$: 正規圧密状態の K_0 ϕ' : 土とスリーブの有効摩擦角
 K_0 : 任意の K_0 状態 D_r : 相対密度 (%)

これらの CPT の計測項目 K_0 値の及ぼす影響について、本田ら⁷⁾や小松ら⁸⁾は改良前後の soil behavior type index I_c (式(8): 以下指標 I_c) から換算される細粒分含有率 F_c (式(9), (10)) とサンプリングによる F_c を比較・分析し、式(8)の Q_t , F_R における鉛直全応力 σ_v , 鉛直有効応力 σ'_v を平均全主応力 σ_m , 平均有効主応力 σ'_m と置き換えることを提案している。

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (\log F + 1.22)^2 \right]^{0.5} \quad (8)$$

$$\begin{cases} Q_t = (q_t - \sigma_v) / \sigma'_v \\ F_R = f_s / (q_t - \sigma_v) \times 100 (\%) \end{cases}$$

$$F_c = 1.375 I_c^3 - 3.5 \quad (9)^9 \quad F_c = I_c^{4.2} \quad (10)^{10}$$

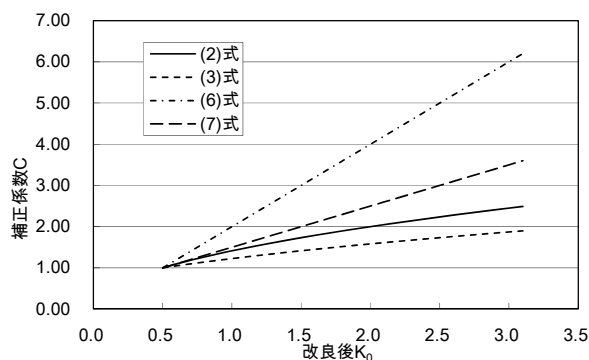


図-3 補正係数 C

キーワード 静止土圧係数, コーン貫入試験, soil behavior type index, 細粒分含有率

連絡先 〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町7番2号 (株) 不動テトラ TEL 03-5644-8534

ここでは、式(8)が $K_0=0.5$ を前提として成立していると仮定して、 σ_v 、 σ_v' を式(11)のように置換えて式(2)、式(3)、式(6) (ただし ϕ' は変化なしとする)、式(7)の 5 つの補正係数を考えて以下検討する。4 つの補正係数 C と改良後の K_0 値の関係を図-3 に示す。

$$\sigma_m^{(n)} = C \frac{1+2K_0}{3} \sigma_v^{(n)}$$

C : 補正係数 (=1.0, 係数(2), (3), (6), (7))

(11)

3. 土性分類指標 Ic についての検討

図-4(a)~(e)は砂圧入式静的締固め工法 (商標名は SAVE-SP 工法) により施工された地盤における事前と事後の調査結果である。改良後には各深度の N 値、 q_c 値、 f_s 値、 K_0 値とも増加しているが、土性は変化しないので F_c は事前・事後ともほぼ同じである。 F_c は式(9)、(10)のように I_c の関数で示されるので、事前の I_c ($(I_c)_{pre}$) と事後の I_c ($(I_c)_{post}$) はほぼ同じはずであるが、図-4 の(f)に示しているように、式(8)により算出された I_c には事前と事後で相違があり、特に事後の K_0 値が大きい上層部で大きい。

5 つの補正係数を使って、事前 I_c と事後 I_c を算出し、変化の度合いを検討するために $(I_c)_{post}/(I_c)_{pre}$ の平均値 σ と標準偏差 μ を求めた。表-1 に結果をまとめており、同表より、式(3)による影響係数が最も変化が少なく、ばらつきも少ないことがわかる。従来式(8)と比較すると図-5 のようであり、従来式では $(I_c)_{pre}$ が $(I_c)_{post}$ に比べて小さかったものが式(3)の補正を行ったものは45° 線上にのってきており、従来式より改善されているといえる。

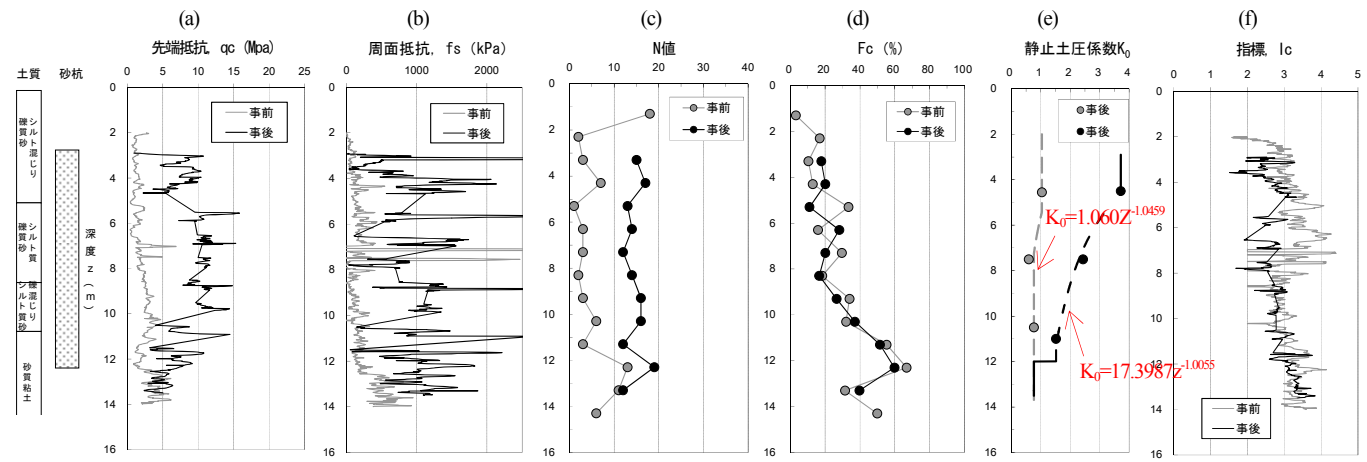


図-4 調査結果一覧

表-1 各補正方法

評価項目		従来式 (8)	係数 C=1.0	係数 (2)	係数 (3)	係数 (6)	係数 (7)
$(I_c)_{post}/(I_c)_{pre}$	平均値 σ	0.911	0.969	1.003	0.997	1.050	1.028
	標準偏差 μ	0.150	0.140	0.140	0.135	0.138	0.136

4. おわりに

締固めによる改良地盤の CPT による評価として、指標 I_c に着目し、5 つの補正係数を使って従来式と比較して検討した。その結果、締固めによる改良地盤のように K_0 が増加して変化する地盤において指標 I_c を評価する場合には、鉛直応力を平均主応力に置き換え、さらに拘束圧補正を行うべきことを示した。また補正式では(3)式を使って求められた $(I_c)_{pre}$ と $(I_c)_{post}$ の変化が最も少ないものとなった。

今後は、同じデータを使って CPT データから SPT による N 値や F_c への換算法について検討したい。

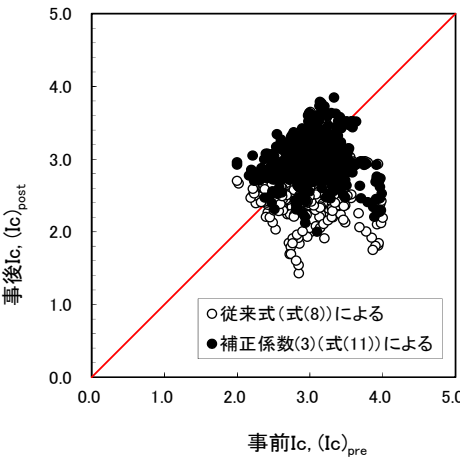


図-5 事前 I_c と事後 I_c

【参考文献】 1) Harada, K. et al. (2008). ‘Relations between penetration resistance and cyclic strength to liquefaction as affected by K_0 -conditions.’ Proc. Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics IV. 2) Salgado, R., et al. (1997). ‘Lateral stress effects on CPT liquefaction resistance correlations,’ J. Geot Eng, ASCE, 123 (8), 726-735.. 3) Jamiolkowski, M. et al. (1988). ‘New correlations of penetration tests for design practice,’ Proc. Int Symp on Penetration Testing, ISOPT-1, Orlando, Balkema, 263-296. 4) Boulanger, R. W. (2003). ‘High overburden stress effects in liquefaction analysis,’ J. Geot Eng, ASCE, 129 (12), 1071-1082. 5) Massarsch, K. R. et al. (2002) Vibratory Compaction of Coarse Grained Soils, Canadian Geotechnical Journal, Vol.39, No.3. 6) Ishihara, K. et al. (1979). ‘Effects of overconsolidation and K_0 conditions on the liquefaction characteristics of sands’, Soils & Foun., 19 (4), 59-68. 7) 本田ら (2004) 改良地盤におけるコーン貫入試験を用いた液状化判定法の一考察 8) 小松ら (2005) CPT によるサンドコンパクションパイル改良地盤の評価方法について、第 1 回地盤工学会関東支部発表会, pp.31-32. 9) Robertson, P. E. (1995) Liquefaction of Sand and Its Evaluation, Proc. 1st International Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, Special Keynote and Theme Lectures 10) 鈴木ら (2003) コーン貫入試験結果と標準貫入試験から得られた地盤特性との関係, 日本建築学会構造系論文集, 第 566 号, pp.73-80.