

加圧型土槽を用いた砂地盤のコーン貫入試験における K_0 値の影響

不動建設(株) 正会員 原田健二¹⁾ 出野智之¹⁾
 東京理科大学 正会員 石原研而²⁾ 塚本良道²⁾

1. はじめに

著者らは、これまでにサンドコンパクションパイル（SCP）工法などの締固めによる改良地盤の特性に着目し、 N 値と静止土圧計数 K_0 の関係についての研究を行いその関係を明らかにしてきた¹⁾。本論文では、乾燥砂を使って締固めによる改良地盤のように K_0 が増加した状態を再現し、 K_0 と先端抵抗 q_c および周面摩擦力 f_s の関係を明らかにすることを目的とし、三分成コーン貫入試験を行った結果について報告する。

2. 実験装置と実験条件

締固めによる改良地盤の q_c に及ぼす種々の影響を把握するために、相対密度 D_r を 30, 50, 70% の 3 種類、鉛直応力 ν を 30, 50, 70kPa の 3 種類、 K_0 状態を 0.4, 1.0, 1.5 の 3 種類に変化させてコーン貫入試験を行った。模型地盤は豊浦砂 ($e_{max}=0.973, e_{min}=0.607$) の乾燥地盤とし、内径 78.4cm、高さ 92.4cm の鋼製の加圧土槽に、所定の相対密度になるように乾燥砂を 9 層にわけて投入し作製した。模型地盤作成後、地盤に対する水平および鉛直応力を、土槽周面と底面のメンブレンを介して水圧により独立に作用させることで任意の K_0 状態を再現した。

3. 先端抵抗 q_c についての考察

コーンを貫入していくと、貫入抵抗は上がっていき、いったんピーク値をとったあとに下がりだす。土槽中央付近の最大値を各実験ケースの代表値として、図-1(a)~(c)に K_0 と D_r と q_c の関係を示す。図より、 K_0 が増加、 D_r が増加、 ν が増加すると、先端抵抗 q_c 値も増加していることがわかる。 D_r と q_c の関係については、これまでに ν をパラメータとした様々な推定式が提案されている²⁾⁻⁵⁾。それらの結果と今回の実験結果を比較した結果を図-2 に示す。これより、今回の実験結果は提案式と同様に密な地盤では小さな密度増加で q_c が大きくなる傾向を示した。提案式が $K_0=0.5$ と仮定すると、龍岡ら⁴⁾の提案式（図中の太線）と近い結果となる。

4. 周面摩擦力 f_s についての考察

f_s についても、 q_c と同様に土槽中央付近の最大値を各実験ケースの代表値として整理を行った。図-3(a)~(c)に D_r を介した K_0 と f_s の関係を示す。 D_r 30%の全てのケースと D_r 50%の拘束圧低いケース、 K_0 が低いケースでは周面摩擦は測定されなかった。これは、相対密度が小さいときには、コーン貫入にともなうせん断により周面の砂が収縮挙動を示すためと考えられる。図-3 より、 q_c と同様に K_0 が増加、 ν が増加すると f_s 値も増加していることがわかる。

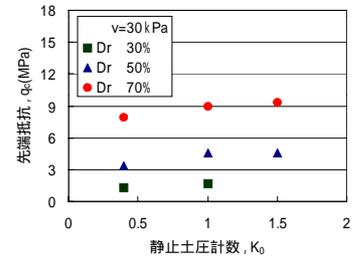


図-1(a) $K_0 \sim D_r \sim q_c$ 関係

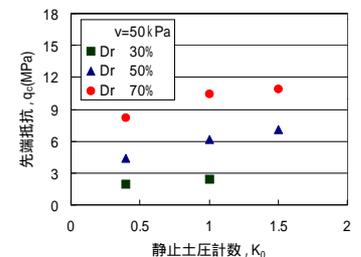


図-1(b) $K_0 \sim D_r \sim q_c$ 関係

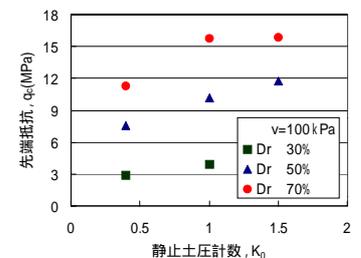


図-1(c) $K_0 \sim D_r \sim q_c$ 関係

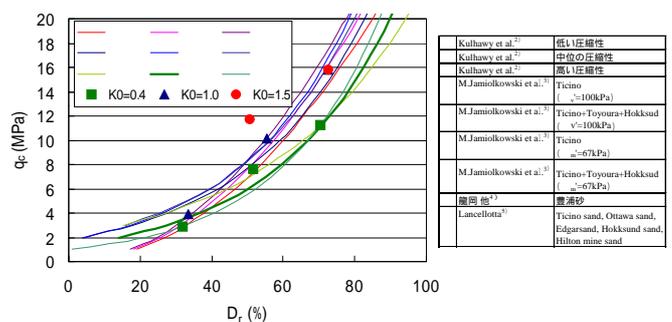


図-2 $D_r \sim q_c$ 関係²⁾⁻⁵⁾

キーワード：静止土圧係数，コーン貫入試験，先端抵抗，周面摩擦力

1) 〒110-0016 東京都台東区台東 1-2-1 03-3837-6034

2) 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 04-7124-1501

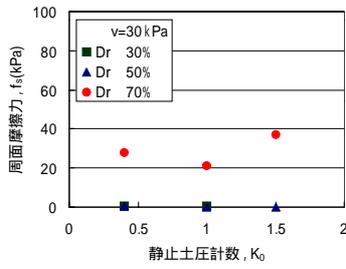


図-3(a) $K_0 \sim D_r \sim f_s$ 関係

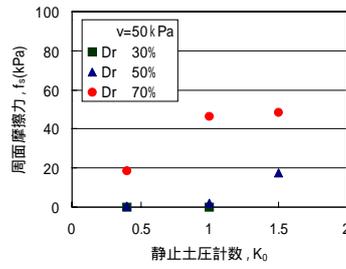


図-3(b) $K_0 \sim D_r \sim f_s$ 関係

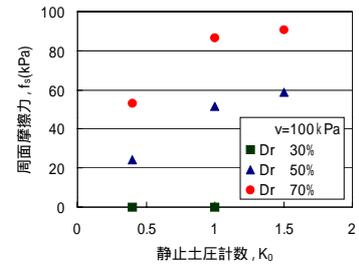


図-3(c) $K_0 \sim D_r \sim f_s$ 関係

f_s に関して式 (1) のような関係式がある⁶⁾。

$$f_s = K_0 \times \sigma'_v \tan \phi' \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ϕ' は土と CPT スリーブの有効摩擦角である。横軸に $K_0 \sigma'_v$ を、縦軸に f_s をとり整理すると図-4 のような関係が得られる。ただし f_s が計測されなかったケースのデータは除外してある。図中の直線はそれぞれのケースで近似した曲線で、この傾きが $\tan \phi'$ となる。本実験結果からは、 K_0 が大きくなると ϕ' は小さくなる傾向にあるが、今後の検討がさらに必要である。

また、締固めによる地盤改良における事前と事後の K_0 と f_s と ϕ' の比の関係は式 (2) のようになる。

$$\frac{K_{01}}{K_{00}} = \frac{f_{s1} \tan \phi'_1}{f_{s0} \tan \phi'_0} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、添え字の 0 は事前、1 は事後を表す。締固めによる地盤改良により $D_r=50\%$ 、 $\sigma'_v=100\text{kPa}$ 、 $K_0=0.4$ から $D_r=70\%$ 、 $\sigma'_v=100\text{kPa}$ 、 $K_0=1.0$ および、 $D_r=70\%$ 、 $\sigma'_v=100\text{kPa}$ 、 $K_0=1.5$ となったとすると、 f_s の比と K_0 の比の関係は図-5 のようになる。これらより、土と CPT スリーブの有効摩擦角と f_s から、締固め地盤改良後の K_0 の推定の可能性を示すことができたと考える。

5. まとめ

豊浦砂を用いた CPT 試験結果より、 K_0 と σ'_v 、 q_c 、 f_s の関係について以下の結果を得た。

- (1) K_0 が増加すると、 q_c 値と f_s とともに増加する。
- (2) D_r と q_c の関係は既往の提案式に近い傾向となった。
- (3) 地盤改良前後の K_0 の比は f_s の増加よりも f_s の比に大きく依存する。

今後は細粒分を含む試料についても同様の試験を行い、実地盤におけるこれらの関係についてより定量的な評価を行う予定である。

【謝辞】本研究の土槽実験を実施するにあたり、元東京理科大学理工学部土木工学科 4 年野見山豊義君と畠山拓也君の協力を得た。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】1) 原田健二 他：細粒分を含んだ締固めによる改良地盤の評価，第 37 回地震工学研究発表会 論文集 No.35.2003. 2) Kulhawy et al.: Manual on estimating soil properties for foundation design, Electric Power Research Institute, EPRI, 1990. 3) M.Jamiolkowski et al.: Correlation between Relative Density and Cone Resistance for Silica Sands, 4) 龍岡文夫 他：CPT-密度-液状化強度等についての室内試験，都市における地盤の地震危険度に関する研究（文部省科学研究費），pp.75-109, 1990 5) Lancellota, R.: Analisi di Affidabilita in Ingegneria Geotecnica, Atti Istituto Scienza Costruzioni, No.625, Politecnico di Torino, 1983. 6) Massarsh et al.: Vibratory compaction of Coarse-Grained Soils, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 39, No. 3. 7) Ishihara, K. (1993) "Liquefaction and flow failure during earthquakes", Geotechnique 43, No.3, 351-415.

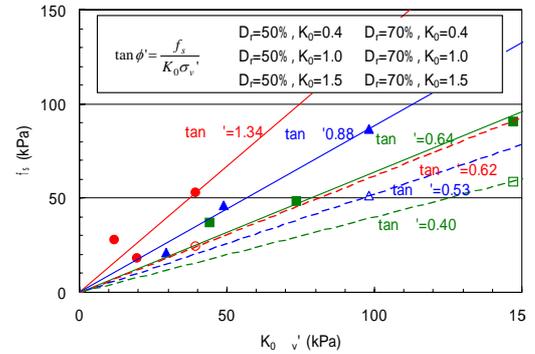


図-4 $K_0 \sigma'_v \sim f_s$ 関係

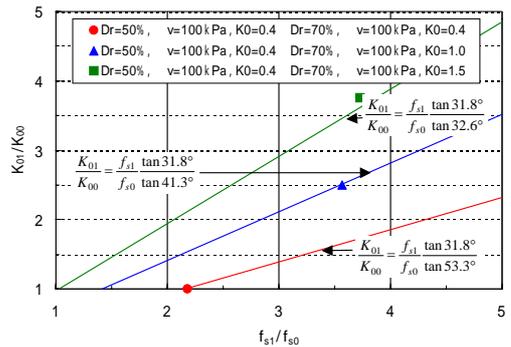


図-5 $f_{s1}/f_{s0} \sim K_{01}/K_{00}$ 関係