

電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入に関する研究
(その6: N値と物理試験結果の評価)

電気式コーン貫入試験
斜め下方貫入
N値

榊地盤試験所 正会員 ○北條 豊 岡 信太郎
 (株)アサノ大成基礎エンジニアリング 正会員 大森 将樹
 北海道土質試験協同組合 正会員 中川 範彦
 榊地球科学総合研究所 正会員 原 彰男
 ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 正会員 重富 正幸
 日揮(株) 国際会員 深沢 健

1. 概要

本研究では、鉛直(90°)および斜め下方(75°, 60°, 45°)の電気式コーン貫入試験(以降, CPTUと記す)を実施し、標準貫入試験(以降, SPTと記す)および室内土質試験結果と比較検討して斜め下方CPTUの測定精度と解釈の検討を行った。本論では、SPTから得たN値と粒度試験結果について報告する。

2. N値

CPTUから求める換算N値(以降, N_c と記す)は、鈴木ら¹⁾が提唱する(式1)を採用した。

$$N_c = 0.341I_c^{1.94}(q_t - 0.2)^{(1.34 - 0.0927I_c)} \quad (式1)$$

$$I_c = [(3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5} \quad (式2)$$

ここで、 q_t =補正先端抵抗(MPa), I_c =土質性状指数

Q_t =規準化先端抵抗, F_r =規準化周面摩擦比

SPTと同深度(0.5m間隔, 0.3m区間)で平均した N_c およびN値を図-1に示す。GL-3.9mまでの盛土は、土質材料、締固め状態にバラツキがあるため、盛土以深の各層で平均したN値(N=0除外)と N_c を図-2, 調査角度毎に求めた N_c の鉛直比を図-3に示す。

GL-4.25m~GL-6.5mの砂質土層(S)では、90°の N_c はN値より2程度低い結果となった。また、 N_c の鉛直比は、75°, 60°, 45°で1.1, 0.9, 0.8となり、調査角度が傾くと N_c は低くなる傾向を示した。この現象は、鉛直方向の有効土被り圧 σ'_v と水平方向の静止土圧 $K_0\sigma'_v$ の異なる応力状態が関与していることが予想される。従って、斜め下方貫入CPTUにより砂質土の異方性を捉えられる可能性がある。この砂質土層は中央にシルトを挟み、互層状であることから、十分な層厚を持つ砂質土からデータは得られていない。今後、十分な層厚を持つ砂地盤で斜め下方CPTUを実施し、砂質土の異方性を改めて検証していく必要がある。

GL-6.5m以深の粘性土層(MC, M-C, MS)では、 $N=0$ となる区間で $N_c=1\sim 2$ となるが、各調査角度の N_c は0.1以下の差であった。 $N=0$ 程度の軟弱粘性土に対する(式1)の適用性に疑問が残るものの、調査角度の違いによる差は無かった。

3. 細粒分含有率

鈴木ら¹⁾が提唱する式3の細粒分含有率(推定 F_c)結果を図-4に示す。この結果、各調査角度の粘性土は推定 $F_c > 100\%$ となった。90°の土質性状指数 I_c と粒度試験の細粒分含有率(F_c)の関係を図-5に示す。式3の推定式では F_c を過大評価してしまうため、プロットの分布性状からワイブル分布曲線を採用して式4の修正式を得た。

$$F_c = I_c^{4.2} \quad (式3) \quad F'_c = 26.4[\ln\{1 - (I_c - 1)/2.24\}] \quad (式4)$$

修正式から求めた細粒分含有率(修正 F'_c)を図-7, 調査角度毎に修正 F'_c の鉛直比を図-6に示す。修正 F'_c の鉛直比は、75°, 60°, 45°で1.07, 0.98, 1.11となり、調査角度との相関は見られないが、45°の鉛直比は比較的大きくなった。規準化先端抵抗 Q_t の低下と規準化周面摩擦比 F_r の増加により I_c と F_c は増加するが、これは既存の報告²⁾にある通り、45°調査は90°調査より q_t と f_s が低下していることに起因している。細粒分含有率の解析では、ワイブル分布曲線を修正式として採用したが、今後もデータの蓄積により適切な修正式を検討していく。

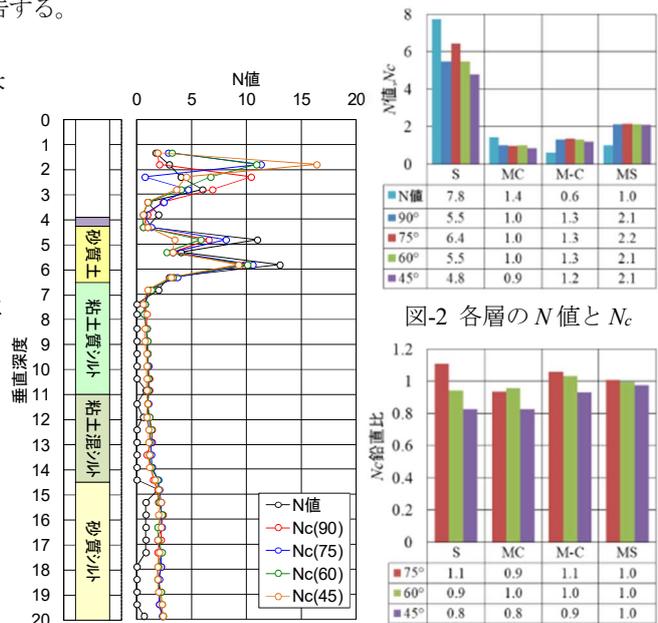


図-1 実験地盤の土層とN値

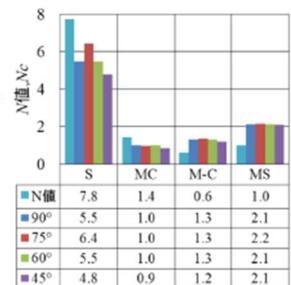


図-2 各層のN値と N_c

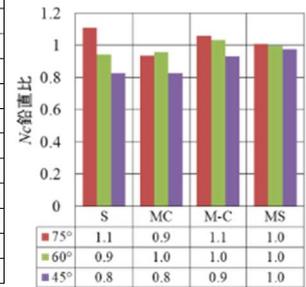


図-3 N_c の鉛直比

Studies on inclined downward penetration of CPT
(Part6:Evaluation of N-value and physical test
result)

Yutaka Hojo, Jibanshikenjo Co.,Ltd. Shinataro Oka, Jibanshikenjo Co.,Ltd.
 Masaki Omori, Asano Taiseikiso Engineering Co.,Ltd.
 Norihiko Nakagawa, Hokkaido Soil Research Cooperative Association.
 Akio Hara, JGI, Inc. Masayuki Shigetomi, Soil and Rock Engineering Co.,Ltd.
 Takeshi Fukasawa, JGC Corporation.

4. 粒度分布

Tumay ら³⁾ は先端抵抗 q_t と周面摩擦比 R_f (f_s/q_t) から、等価換算値 x, y (式 5, 6) を介して土質性状インデックス(U) (式 7) を求め、3つの土質(粘土, シルト, 砂)の構成比(式 8, 9, 10)を推定する Fuzzy 手法を提案している。各構成比 $\mu(U)$ の合計が1となるよう、各土層の構成比を比例計算で補正する。

$$x = 0.1539R_f + 0.8870\log(q_t) - 3.35 \quad (式 5)$$

$$y = -0.2957R_f + 0.4617\log(q_t) - 0.37 \quad (式 6)$$

$$U = \frac{(a_1x - a_2y + b_1)(c_1x - c_2y + d_1)}{(c_1x - c_2y + d_1)^2 + (c_2x + c_1y + d_2)^2} - \frac{(a_2x + a_1y + b_2)(c_2x + c_1y + d_2)}{(c_1x - c_2y + d_1)^2 + (c_2x + c_1y + d_2)^2} \quad (式 7)$$

$$a_1=11.345, a_2=3.795, b_1=15.202, b_2=5.085, c_1=0.296, c_2=0.759, d_1=2.960, d_2=2.477.$$

$$\mu_c(U) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{U+0.1775}{0.86332}\right)^2\right) & [U \geq -0.1775] \\ 1 & [U < -0.1775] \end{cases} \quad (式 8)$$

$$\mu_m(U) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{U-1.35}{0.724307}\right)^2\right) \quad [-\infty < U < \infty] \quad (式 9)$$

$$\mu_s(U) = \begin{cases} 1 & [U > 2.6575] \\ \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{U-2.6575}{0.834586}\right)^2\right) & [U \leq 2.6575] \end{cases} \quad (式 10)$$

粒度試験結果と CPTU から求めた Fuzzy 手法の土質構成を図-8, 図-9 に示す。図-8の深度分布では、砂, シルト, 粘土の構成は粒度試験結果とある程度傾向を捉えている。図-9の土質毎の対比から、Fuzzy 手法は粒度試験結果と比べて砂は低く、粘土は高く、シルトはほぼ同等な結果が得られ、軽微な修正で精度は向上するものと予想される。現在、CPTU から得られる粒度分布の土質定数は細粒分含有率 F_c のみであり、粘土分含有率やシルト分含有率が把握できることは非常に有益である。今後もデータの蓄積により、Fuzzy 手法の有効性を確認していく所存である。

5. まとめ

本研究では、以下の知見が得られた。

- 砂質土の N_c の 90° 比は、 75° , 60° , 45° で 1.1, 0.9, 0.8 となり、調査角度が傾くと N_c も低下した。これは、鉛直方向と水平方向の異なる応力状態が関与していることが予想される。本研究では十分な層厚のある砂層からデータを得られていないことから、今後、砂地盤で斜め下方 CPTU を実施し、砂質土の異方性の検証を改めて実施する。
- GL-6.5m 以深の粘性土層は、 $N=0$ となる区間で $N=1\sim 2$ となるが、各調査角度の N_c は 0.1 以下の差であった。軟弱粘性土に対する(式 1)の適用性に疑問が残るものの、調査角度の違いによる差は無かった。
- 鈴木らの F_c 推定式は、粘性土層の推定 F_c は 100% 以上となるため、実測 F_c と I_c の関係からワイブル分布曲線の修正式を作成した。修正式から求めた修正 F_c' の鉛直比は 75° , 60° , 45° で 1.07, 0.98, 1.11 となり、 45° のみ q_t と f_s の測定値が低下する影響を受ける結果であった。

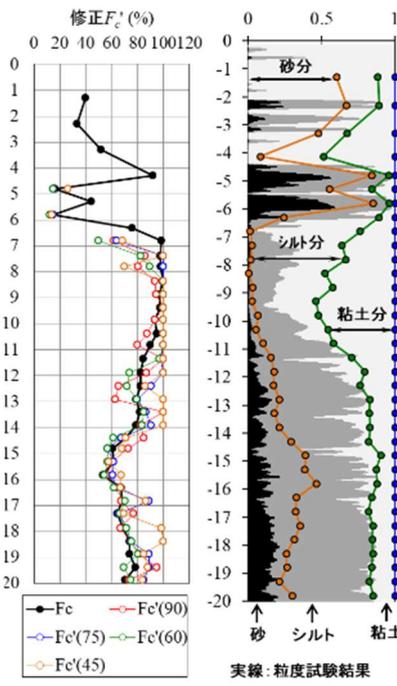
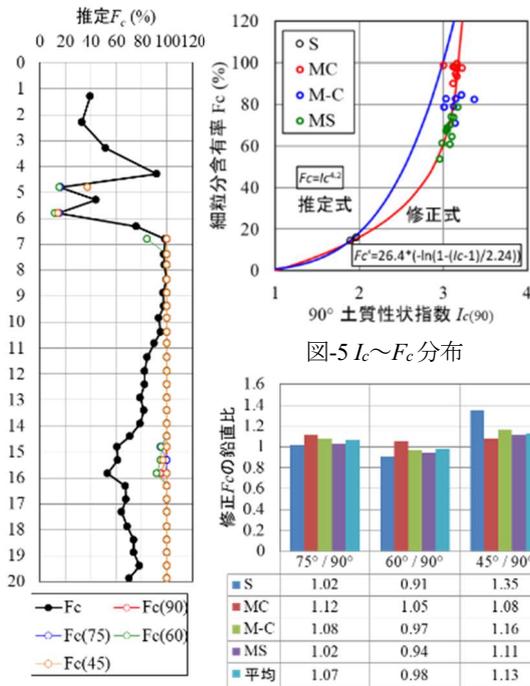


図-4 推定 F_c 分布

図-6 修正 F_c' の鉛直比

図-7 修正 F_c' 分布

図-8 Fuzzy 手法

図-9 粒度分布と Fuzzy 手法

参考文献

- 1) 鈴木康嗣, 時松孝次, 濱松俊明, 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, 73-80, 2003.
- 2) 山本伊作, 他, 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(その 3: 電気式コーン貫入試験結果の評価), 第 14 回地盤工学会関東支部発表会, 2017.
- 3) Tumay, M.T., Abufarsakh, M.Y., Zhang, Z., From Theory to Implementation of a CPT-Based Probabilistic and Fuzzy Soil Classification. ASCE GSP