

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 9 : 土の単位体積重量の推定)

電気式コーン貫入試験 斜め下方貫入 土の単位体積重量 株式会社 日さく 正会員 ○小野 篤
 同上 正会員 石川恵司
 ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 国際会員 後藤政昭
 同上 正会員 石井正紀

1. 概要

著者らは、電気式コーン貫入試験(以降、CPTU と記す)を斜め下方方向に実施するという新たな試験方法の実用化に向けた研究、開発を行っており、その成果についても近年報告されている^{1),2)}。

本稿では、上記の CPTU 斜め下方貫入の実用化に向けた実証実験結果を基に、CPTU の結果を用いて行う Robertson による土質分類チャート(特に $q_t - B_q$ の関係)³⁾に必要な土の単位体積重量(γ_t)を、これまでに提案されている推定式から算出した γ_t とラジオアイソトープコーン貫入試験(以降、RI-CPT と記す)から得られた γ_t とを比較した結果について報告する。

2. Robertson による土質分類チャート

CPTU は、地盤にコーンプローブを写真-1 に示すような専用貫入装置などで貫入し、貫入時の(補正)先端抵抗(q_t)、周面摩擦(f_s)、間隙水圧(u)を深度方向に連続的に計測する試験である。この計測された三成分(q_t, f_s, u)を用いて試験を実施した地盤の土質を判別することができ、その判別方法としては、通常 Robertson による土質分類チャートを用いる。この土質分類チャートは、CPTU により得られた計測値を基に以下に示す規準化先端抵抗(Q)と規準化周面摩擦比(F_r)を算出し、両者の関係により土質分類を行うものである(規準化した先端抵抗と間隙水圧比の関係からも土質分類は可能)。



写真-1 専用貫入装置の一例

$$Q = (q_t - \sigma_{v0}) / \sigma_{v0}', \quad F_r = f_s / (q_t - \sigma_{v0}) \times 100(\%)$$

ここに、 σ_{v0} : 鉛直全応力 (kPa) σ_{v0}' : 鉛直有効応力 (kPa)

ここで、鉛直全応力(σ_{v0})は任意の位置での γ_t にその位置の深度(z)を乗じた値、鉛直有効応力(σ_{v0}')は σ_{v0} からその位置での静水圧(u_0)を差し引いた値である。本実証実験では、CPTU 終了後、同一試験孔にて湿潤密度(土の単位体積重量)と含水量(含水比)を精度よく計測することができる RI-CPT⁴⁾を実施したことから、この試験で得られた γ_t を用いて σ_{v0} と σ_{v0}' の算出を行った。しかしながら、RI-CPT や近傍にて採取した乱れの少ない試料による土の湿潤密度試験を実施していない場合は、通常、想定した γ_t (経験値)を用いて σ_{v0} と σ_{v0}' を算出する場合が多い。

以上のようなことから、CPTU により得られる q_t, f_s, u から γ_t を精度よく推定することが可能であれば、土質分類の確度の向上に寄与でき、加えて迅速、低コストに行えるものとする。3章では、CPTU 結果から γ_t を推定するために提案されている式を紹介する。

3. 土の単位体積重量を算出するための提案式

Robertson (2010)⁵⁾は、大気圧で無次元化した補正先端抵抗(q_t/p_a)と周面摩擦比 $R_r (= f_s/q_t \times 100)$ から γ_t を求める式を提案している。

$$\gamma_t / \gamma_w = [0.27 \log R_r + 0.36 \log (q_t / p_a)] + 1.236 G_s / 2.65$$

ここに、 γ_w : γ_t と同単位の水の単位体積重量 p_a : q_t と同単位の大気圧
 G_s : 土粒子の比重

図-1 は、Robertson による土質分類チャートを対数上に示したもので、灰色の曲線は土質分類、数値は土質を示す番号である(表-1 参照)。このチャートは左上に行くほど粒径が大きな土質となり、右上に行くほど圧密効果やエージング効果が大きい土質であること示している。すなわち、Robertson の推定式は粒径より圧密効果やエージング効果が支配的な式となっている。

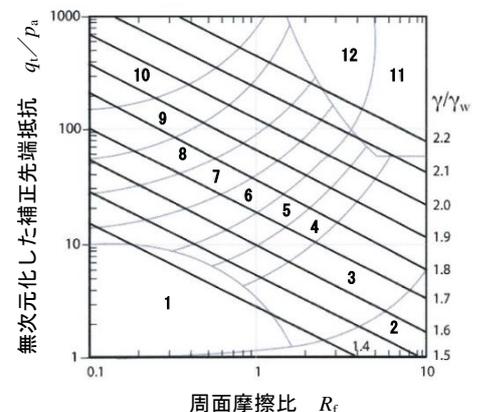


図-1 Robertson の推定式⁵⁾

表-1 土質分類番号

1	鋭敏比の高い粘性土	5	シルト質粘土～粘土質シルト	9	砂
2	有機質土	6	粘土質シルト～砂質シルト	10	砂礫
3	粘土	7	砂質シルト～シルト質砂	11	固結粘土
4	粘土～シルト質粘土	8	シルト質砂～砂	12	密な砂

4. RI-CPT 結果と推定式から算出した γ_t の比較

図-2 は、CPTU 斜め下方貫入の実用化に向けた実証実験にて RI-CPT から得られた γ_t (鉛直下方貫入分) と 3 章にて示した Robertson の推定式から算出された γ_t の深度分布図である。同図には、RI-CPT 実施位置近傍にて採取した乱れの少ない試料の γ_t 、CPTU の結果から Robertson による土質分類を行い、それを基に作成した土質柱状図についても併記している。図-3 は、深度 10cm ごとの区間平均値による RI-CPT から得られた γ_t と推定式から算出した γ_t の相関図である。

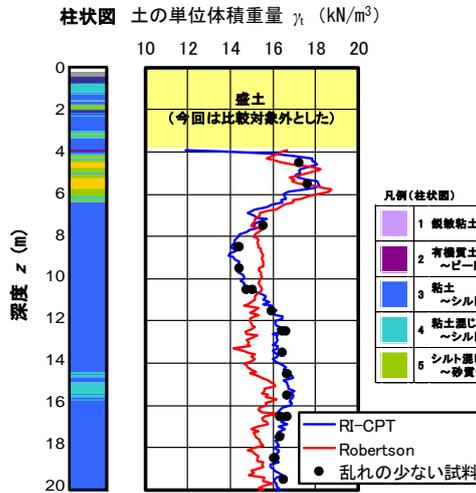


図-2 γ_t の深度分布図

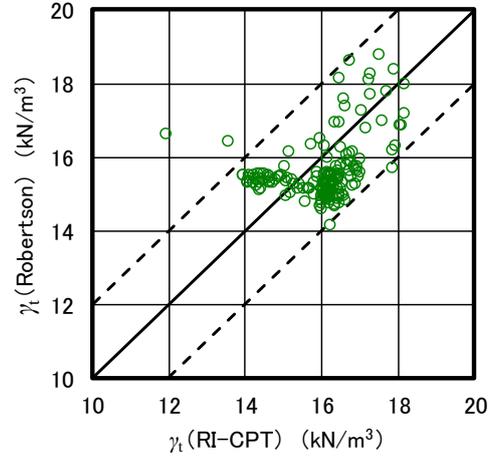


図-3 γ_t の相関図

RI-CPT から得られた γ_t と RI-CPT 実施位置近傍にて採取した乱れの少ない試料の γ_t は、報告されているように深度、土質に関係なくほぼ一致している⁴⁾。RI-CPT から得られた γ_t と推定式から算出された γ_t は、GL-6.0m 以浅に存在する $\gamma_t \geq 16 \text{ kN/m}^3$ の砂質土層においてはほぼ一致しているものの、それ以深の粘性土層においては GL-7.0m~10.0m の区間では RI-CPT から得られた γ_t が推定式から算出された γ_t よりも低い値となっている。それ以深については、前者が後者よりも高い値となっている。

次に、図-3 に示す RI-CPT から得られた γ_t と推定式から算出した γ_t の相関図を見ると、 $\gamma_t \geq 16 \text{ kN/m}^3$ では両者に緩い正の相関が窺えるものの、ばらつきは大きく ($\pm 2 \text{ kN/m}^3$ の範囲に分布)、 $\gamma_t < 16 \text{ kN/m}^3$ では両者に強い相関はないことが見受けられる。

5. まとめと今後の課題

RI-CPT から得られた γ_t と推定式から算出した γ_t の比較した結果をとりまとめて以下に示す。

- ① RI-CPT から得られた γ_t と RI-CPT 実施位置近傍にて採取した乱れの少ない試料の γ_t は、深度、土質に関係なくほぼ一致している。
- ② RI-CPT から得られた γ_t と推定式から算出された γ_t は、GL-6.0m 程度以浅に存在する $\gamma_t \geq 16 \text{ kN/m}^3$ の砂質土層においてはほぼ一致するものの、それ以深の粘性土層では両者は一致しない。
- ③ RI-CPT から得られた γ_t と推定式から算出した γ_t の相関は、 $\gamma_t \geq 16 \text{ kN/m}^3$ では両者に緩い正の相関が窺えるもののばらつきは大きく、 $\gamma_t < 16 \text{ kN/m}^3$ では両者に強い相関はない。

このような結果となった要因としては、Robertson の推定式が欧米諸国の土質を対象に考案されたものであること、欧米諸国と日本国内の地盤の成因の差異などが挙げられる。国内でも CPTU の結果から γ_t を推定する方法も提案されているが⁶⁾、これらの推定式には現時点で精度にやや問題があると考えられる。故に、今後も RI-CPT や採取した乱れの少ない試料の土の湿潤密度試験から得られる γ_t を蓄積し、現行の Robertson などの推定式の見直しや日本国内の土質に見合う推定式を勘案してゆく必要があるのではないかと考える。

参考文献

- 1) 北條豊ほか: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(その 1: 実証実験概要)~(その 4: ラジオアイントープコーン貫入試験結果), 第 14 回地盤工学会関東支部発表会, pp.416-429, 2017.11
- 2) 脇中康太ほか: 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 1: 実証実験概要)~(その 8: 力学試験結果の評価), 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.195-210, 2018.7
- 3) 公益社団法人 地盤工学会: 地盤調査の方法と解説, pp.391-393, 2013.3
- 4) 長澤遼ほか: 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 5: 斜め下方 RI-CPT 結果の評価), 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.203-204, 2018.7
- 5) P.K. Robertson and K.L. Cabal: Estimating soil unit weight from CPT, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'10, Huntington Beach, CA, USA, May 2010
- 6) 阪田暁ほか: コーン貫入試験(CPT)による地盤定数算定手法に関する研究(その 1), 第 51 回地盤工学研究発表会, pp.219-220, 2016.9