

佐原河川敷緑地における CPT 現場一斉試験（その 2：検層結果との比較）

コーン貫入試験 S 波速度 湿潤密度

株式会社 日 崎 地 質 正会員 〇堺田 佳人  
同 上 国際会員 石川 恵司  
川崎地質株式会社 正会員 濱田 泰治  
千葉エンジニアリング株式会社 正会員 若月 洋朗  
ソイルアントロックエンジニアリング株式会社 正会員 長澤 遼  
株式会社地盤試験所 正会員 根岸 利昌  
中央大学 国際会員 齋藤 邦夫

1. はじめに

近年、より適切な地盤情報を効率的に収集できる調査法として、多成分コーン貫入試験が注目されている。  
本現場試験では、CPT の斜め下方貫入や鉛直下方への貫入に加え、下記 2 種類の多成分コーン貫入試験を実施した。  
・プローブ内にジオフォンを装備し、従来の「先端抵抗」「周面摩擦」「間隙水圧」の三成分に加え、「せん断弾性波速度(S 波速度)」の測定が可能なサイスミックコーン試験(以下 SCPT)  
・RI 密度コーンおよび RI 水分コーンを含むコーンプローブ群により、従来の三成分に加え、地盤の湿潤密度や含水量を測定できるラジオアイソトープコーン貫入試験(以下 RI-CPT)  
本稿では、これらの試験結果と、同現場試験においてボーリング孔を用いて実施した PS 検層(ダウンホール方式)、密度検層および室内土質試験(湿潤密度)の結果とを比較し、適用性を検討した。

2. PS 検層との比較

SCPT による S 波速度の測定は、深度 16m まで 0.5m 間隔、以深は 1m 間隔で貫入を停止して実施した。また、PS 検層は SPT を実施したボーリング孔を利用して 1m 間隔で実施した。測定方式はいずれもダウンホール方式とした。

また、鉛直方向の S 波速度については、CPT 結果を用いて下記の推定式により検討した。

推定式①：Robertson(2009)<sup>1)</sup> 
$$V_s = \left[ 10^{(0.55 \cdot I_c + 1.68) \cdot \frac{q_t - \sigma_{v0}}{p_a}} \right]^{0.5}$$

推定式②：阪田、山崎、高野、青木、ほか(2016)<sup>2)</sup> 
$$V_s = \left[ 10^{(0.52 \cdot I_c + 1.55) \cdot \frac{q_t - \sigma_{v0}}{p_a}} \right]^{0.5}$$

ここで、 $I_c$ ：土質性状指数( $=\{(3.47 - \log Q_t)^2 + (1.22 + \log F_r)^2\}^{0.5}$ )

SCPT と PS 検層および鉛直 CPT 結果による推定値を比較するため、3 者の結果を図-1 に示す。

SCPT と PS 検層に着目すると、深度 4～8m 付近では 20～30(m/s)程度の相違が認められ、また深度 15m 以深では PS 検層の S 波速度が 30(m/s)程度小さい値を示すが、これはボーリング削孔時の応力開放や孔壁の乱れ等が影響している可能性が考えられる。ただし全体としては S 波速度の変化する深度や傾向は両者とも概ね整合しており、本調査地において SCPT と PS 検層は両者とも遜色ない結果が得られているものと評価できる。

鉛直 CPT 結果による推定値に着目すると、推定式①では大きな値を示す傾向が認められる。一方、推定式②では全体の傾向としては概ね一致するものの、深度 15m 以深で小さい値を示しており、国内の地盤状況を反映した推定式のさらなる検討が必要と考えられる。

3. 密度検層および室内試験との比較

本現場実験における RI-CPT の貫入手順は 1 回目に通常の鉛直 CPT、2 回目に RI 密度コーン(線源なし)による自然ガンマ線測定、3 回目に RI 密度コーンによる密度測定を実施

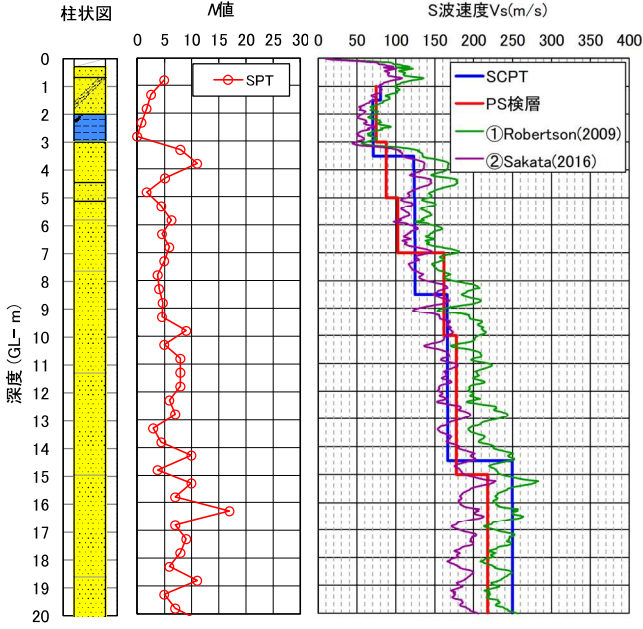


図-1 試験結果の比較(S 波速度)

|                                                                                      |                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| CPT field tests at Sawara Riverbed Green Space (Part2: Comparison with logging data) | Keito Sakaida, Keiji Ishikawa (Nissaku Co., Ltd.)        |
|                                                                                      | Taiji Hamada (Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd.) |
|                                                                                      | Hiroaki Wakatsuki (Chiba Engineering Co., Ltd.)          |
|                                                                                      | Ryo Nagasawa (Soil and Rock Engineering Co., Ltd.)       |
|                                                                                      | Toshimasa Negishi (Jibanshikenjo Co., Ltd.)              |
|                                                                                      | Kunio Saito (Chuo University)                            |

した。本来であれば4回目の貫入としてRI水分コーンによる含水量測定を行うが、調査地は地下水位が高いこともあり、RI密度コーンで測定した湿潤密度と土粒子の密度を用いて、飽和条件として含水比を求めている。

密度検層は測定間隔 5cm で実施した。室内土質試験(湿潤密度試験)は三軸圧縮試験(CD)および繰返し非排水三軸試験用に採取したサンプリング試料(計 42 供試体)にて実施した。

また、鉛直 CPT 結果については、下記の推定式により単位体積重量を検討した。

推定式③ : Robertson & Cabel(2010)<sup>3)</sup>  $\gamma_t = \gamma_w \cdot (0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log(q_t/p_a) + 1.236)$

推定式④ : 阪田、山崎、高野、青木、ほか(2016)<sup>2)</sup>  $\gamma_t = 2.16 \cdot \log(q_t/p_a) - 1.18(f_s/q_t) + 14.16$

推定式⑤ : Rix , Mayne , Bachus(2019)<sup>4)</sup>  $\gamma_t = \gamma_w \cdot [1.22 + 0.345 \cdot \log(100 \cdot (f_s/p_a) + 0.010)]$

ここで、 $R_f$  : 周面摩擦比(= $f_s/q_t \times 100\%$ )

図-2 に RI-CPT、密度検層、室内土質試験結果および鉛直 CPT 結果より推定した単位体積重量の比較を示す。なお、サンプリング時には凍結膨張を防ぐために脱水作業を実施したため、飽和単位体積重量にて比較した。RI-CPT と密度検層結果に着目すると、深度 8m 付近までばらつきが認められる。これは当該深度付近の混入物等による層相変化や孔壁の乱れによる孔径変化に起因する可能性が考えられる。なお、深度 8m 以深では概ね整合した測定結果が得られている。室内試験結果は RI-CPT や密度検層結果とほぼ整合しており、本調査地における現場試験からの単位体積重量の把握は適用性が高いと評価できる。

鉛直 CPT 結果による推定値に着目すると、いずれの推定式も RI-CPT や密度検層結果と比較するとやや高い値を示す傾向が認められる。表-1 に示した RI-CPT 結果との比では推定式⑤の平均値が最も 1 に近いものの、変動係数および相関係数については、推定式④が最も良好な相関を示した。推定式④はばらつきが比較的小さく、極端な乖離値も認められない。以上から、本調査地での単位体積重量の把握において、推定式④の適用性が比較的高いと考えられる。

4. まとめ

鉛直 CPT に加え実施した SCPT、RI-CPT と、ボーリング孔で実施した PS 検層、密度検層の結果とを比較した結果を以下に示す。

- ・ SCPT と PS 検層を比較すると、ボーリング削孔時の応力開放や孔壁の乱れ等に起因すると推定される 20~30(m/s)程度の差異が認められるが、S 波速度の変化する深度や傾向は概ね整合しており、本調査地において SCPT と PS 検層は両者とも遜色ない結果が得られているものと評価できる。
- ・ 鉛直 CPT からの S 波速度推定値は推定式②の適用性が比較的高いものの、実測値と比較して乖離がある深度も認められ、国内の地盤状況を反映した推定式の検討が必要と考えられる。
- ・ RI-CPT と密度検層結果との比較では、深度 8m 付近まで混入物等による層相変化や孔径変化に起因すると推定されるばらつきが認められるが、以深では概ね整合する。
- ・ 飽和単位体積重量で評価した室内試験結果は RI-CPT や密度検層結果とほぼ整合しており、本調査地での現場試験からの単位体積重量の把握は適用性が高いと評価できる。
- ・ 鉛直 CPT 結果からの単位体積重量推定値は実測値よりやや高い値を示す傾向にあるものの、推定式④では RI 比での誤差は小さく、本調査地での適用性が比較的高いと考えられる。

本稿では孔内検層や室内土質試験と鉛直 CPT、SCPT、RI-CPT との比較を行った。各種 CPT 試験値は実測値と比較的良好な関係にあるが、所々乖離も認められ、さらなる精度の向上にあたっては、実測値の妥当性確認とともに、国内の地盤状況を考慮した既存式の適用性検証や初期推定値の補正の検討が必要と考えられる。

【参考文献】

1) Robertson, P.K. (2009). Interpretation of cone penetration tests – a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 46, 1337-1355. 2) 阪田 暁, 山崎 貴之, 高野 裕輔, 青木 一二三, 岡 信太郎, 北條 豊. (2016). 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 2), 第 51 回地盤工学研究発表会, C-03, No.111. 3) Robertson, P.K., and K.L Cabal. (2010). Estimating soil unit weight from CPT." Proceedings of the 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Vol. 2 (CPT'10, Huntingdon Beach, CA), Omnipress: 447-454. 4) Rix, G.J., Mayne, P.W., Bachus, R.C., et al. (2019). NCHRP Manual on Subsurface Investigation, Web Document 258, National Cooperative Highway Research Board, Transportation Research Board, Washington, DC: 373.

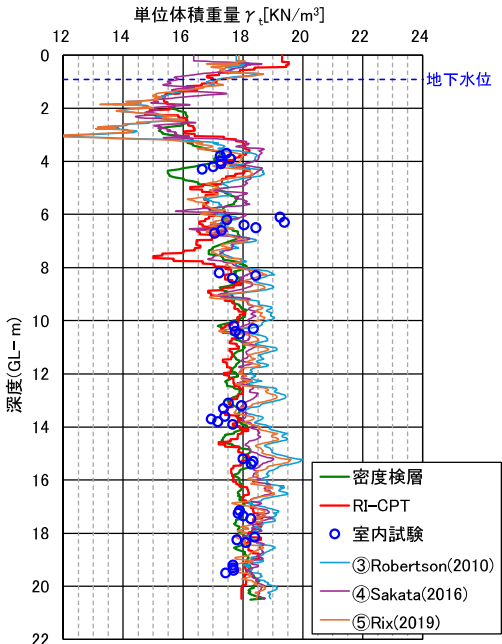


図-2 試験結果の比較(単位体積重量)

表-1 単位体積重量 RI-CPT 比の統計値

| 推定式  | 平均          | 標準偏差        | 変動係数        | 相関係数        |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 推定式③ | 1.03        | 0.06        | 0.05        | 0.68        |
| 推定式④ | 1.02        | <b>0.04</b> | <b>0.04</b> | <b>0.71</b> |
| 推定式⑤ | <b>1.01</b> | 0.06        | 0.06        | 0.65        |