

SPT と CPT による液状化予測の比較

コーン貫入試験 液状化

(株)地盤試験所 正会員 岡 信太郎
 (株)地盤試験所 北條 豊
 (株)地盤試験所 山本 伊作
 (株)地盤試験所 正会員 金道 繁紀

1. はじめに

近年、各種サウンディングに関する一斉試験が表-1 のように実施され、その結果はすでに各方面から地盤工学研究発表会などで公表されている。いずれも詳細な標準貫入試験（以降、SPT）と土質試験が実施されており、電気式コーン貫入試験（以降、CPT）の有用性を検証するのに貴重である。

そこで今回は、ボーリング調査の目視観察による柱状図、粒度試験結果に基づいた柱状図、CPT の土質分類 (Soil Behavior Type : SBT) による柱状図を比較検討し、それぞれの柱状図から液状化抵抗比 (FL 値) と液状化指数 (PL 値) を求め、その違いについて検討したので報告する。

表-1 CPT または各種サウンディングに係わる一斉試験

地点	試験場所	試験名	ボーリング地点とCPTの距離	CPT 施工日
地点1 ¹⁾	神奈川県横浜市鶴見区区内	コーン貫入一斉試験 2007	No1 = 5 ~ 6m	2007.07.09
地点2 ²⁾	千葉県浦安市市内	浦安市における各種動的サウンディング試験の比較 ²⁾	No1 = 7.2m No3 = 6.4m	2011.12.13
地点3 ³⁾	滋賀県守山市市内	滋賀県守山市における地盤調査一斉試験	No1 = 5m, No2 = 5m	2012.12.04

2. CPT による土質分類について

CPT による土質分類は Robertson (1990)⁴⁾ らが提案した土質分類チャートを用いた方法が広く用いられている。そのなかで、CPT で求まる補正先端抵抗 q_t や、周面摩擦抵抗 f_s 、間隙水圧 u などは有効土被り圧 σ'_{v0} に応じて増大するもので、その影響を取り除くために式1で定義する基準化した先端抵抗 Q_t 、周面摩擦比 F_r 、間隙水圧比 B_q を求めており、その結果から図-1の縦軸 (Q_t) と横軸 (F_r) とした土質分類チャートから土質分類 (Soil Behavior Type : SBT) を行うものである。 Q_t と B_q を用いた SBT チャートも準備されており、軟らかい粘土やシルトでの適用に有効だがここでは割愛する。

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}}, \quad F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma'_{v0}} \times 100(\%), \quad B_q = \frac{u - u_0}{q_t - \sigma'_{v0}} \quad (\text{式1})$$

σ'_{v0} : 鉛直有効応力 (Mpa) σ'_{v0} : 鉛直全応力 (Mpa) u_0 : 過剰間隙水圧 (Mpa)

なお、CPT による土質分類を柱状形式で現す場合、出来る限りボーリング柱状図に近い色調を用いるが、補助記号までは表せないため、柱状図の頭に SBT 番号を表示する。図-2にその一例を示す。

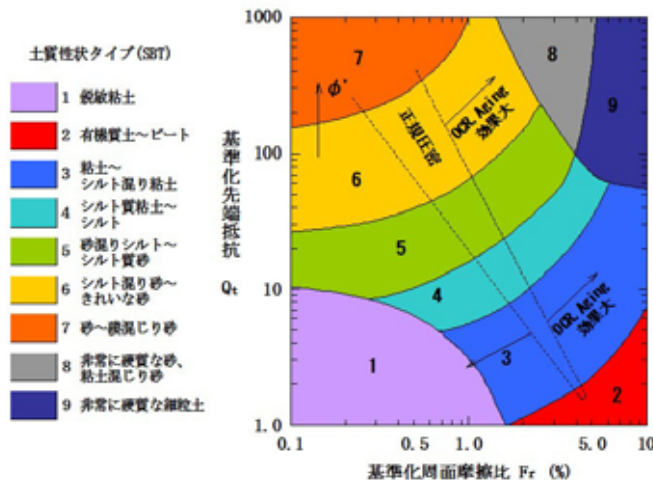


図-1 Robertson による土質分類チャート

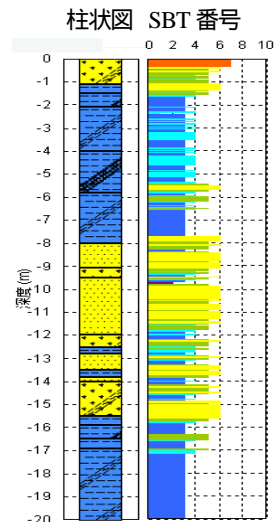


図-2 ボーリング柱状図と CPT 柱状図

3. 地点1-No1の液状化予測

地点1の一斉試験の目的は、各社のCPTセンサーについての比較検討であった。しかし詳細な土質試験データがそろっており、それらを利用して液状化予測を行った。

図-3に道路橋構方書(平成24年：以降、道示⁵⁾)に基づき標準設計水平震度 $K_{hg} = 0.40$ として液状化検討を行った結果を示す。

図が目視による柱状図、図が粒度試験結果に基づいた柱状図、がCPTによる柱状図(SBT)である。

深度4~10mの土層構成をみると、図のみが色調が異なっている。しかしこの土層のSBT番号は7,6,5番であり、図-1から分るように7(オレンジ)は砂~礫混じり砂、6(黄)はシルト混じり砂~きれいな砂、5(ライム)は砂混じりシルト~シルト質砂であるからとこの土質はほぼ同一と考えられる。

次に深度10~12mを見ると、は砂質シルトでのみが粘土質砂になっている。そこで土質試験結果を参照するとこの層は細粒分含有率 F_c が35%~50%で、塑性指数 (I_p) が5~10%であり、いわゆる中間土と呼ばれる土層である。

道示では細粒分含有率 F_c 35%でも塑性指数が I_p 15場合は液状化が起こると判断するがCPTでは I_p が求められることが出来ない。従ってこのような土層が存在する地盤に対しては十分に注意することが必要であり、今後、 I_p 15となる土層の取扱いについて検討を加えていくことが必要である。

図は測定される間隙水圧 (u) で、粘性土・砂質土の判断材料の一つであることから付け加えた。

はSPTのN値(赤)と鈴木ら⁴⁾の提案式によって算定した換算N値(式2)であるが、概ね一致している。

$$N_c = 0.341 * I_c^{1.94} (q_t - 0.2)^{(1.34 - 0.0927 I_c)} \quad (式2)$$

N_c : 換算N値 q_t : 補正先端抵抗 (MPa)

$$I_c = ((3.47 - \log Q_r)^2 + (\log F_r + 1.22)^2)^{0.5}$$

なお、上記の I_c は円の方程式になっており、図-1のSBT2から7までの土質分類の境界線に概略一致している。

図は粒度試験による細粒分含有率 F_c と鈴木ら⁴⁾の提案式(式3)から求めた F_c であり、よい相関を示している。

$$F_c = 1.0 * (I_c)^{4.2} \quad (式3)$$

F_c : 細粒分含有率 (MPa)

、図は標準設計水平震度を $K_{hg} = 0.40$ として液状化予測を行った結果である。

ボーリング調査で求めた P_L 値が23、CPTで求めた P_L 値が16という結果になったが、その差は、図のGL-3~4mに分布する細粒分混じり砂がCPTではシルトに変わっていること、すなわち土質の違いによるものである。またGL-9.5~10.5mの中間土(粘土質砂)において塑性指数 I_p 15%ででは液状化の検討対象となり、CPTでは検討対象とならなかったことが原因と考える。

F_c 35%で I_p 15%となる地層は10.3~12.0mの1.7mであり土質名は粘土質砂であった。

CPTによる液状化の予測において、低塑性指数 I_p 15の適用が今後の課題である。

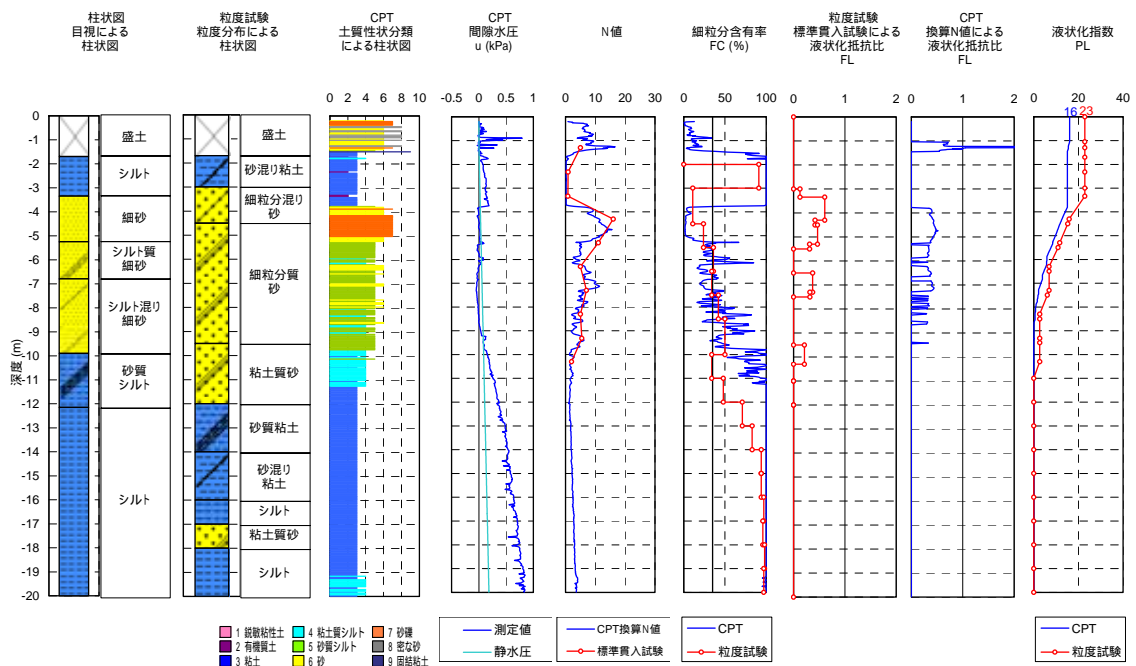


図-3 地点1の液状化予測結果

4. 地点2の液状化予測

地点2の No.1の液状化予測結果を図-4に、No.3の予測結果を図-5に示す。当地は SPT を50cm ピッチで実施し、さらに SPT 試料のなかで土質が変わる場合にはそれぞれに対して粒度試験を実施したために、図の柱状図が緻密なものとなり、その結果 図の CPT による柱状図に極めて類似したものとなっている。このことは「CPT の最大の特長は、深さ方向に連続した測定値が得られることであり、このデータの連続性は地盤の不均質な堆積構造を探知できるという利点を有している」⁶⁾ということを示しているとも言えるであろう。

No.1で深度約8m、No.3で深度6m までが埋立層と推定され、また No.1で深度約17m、No.3で深度約15.5m までが沖積層と推定されている。 の換算 N 値、 の細粒含有率もかなり高い相関性を有している。

No.1では土質試験による P_L 値が20、CPT によるものが17、No.3では土質試験による P_L 値が34、CPT によるものが27という結果であった。

F_c 35% で I_p 15%の層は No.1で延べ2.5m、No.3で述べ2.8m、CPT の土質名は砂質シルトであった。

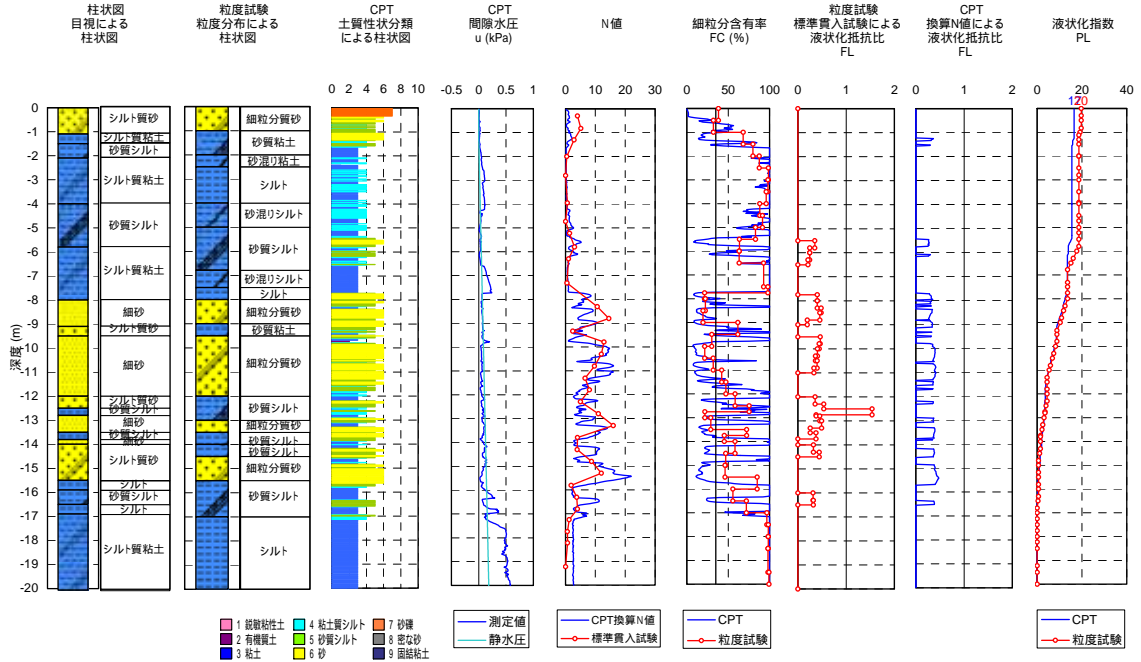


図-4 No.1の液状化予測結果

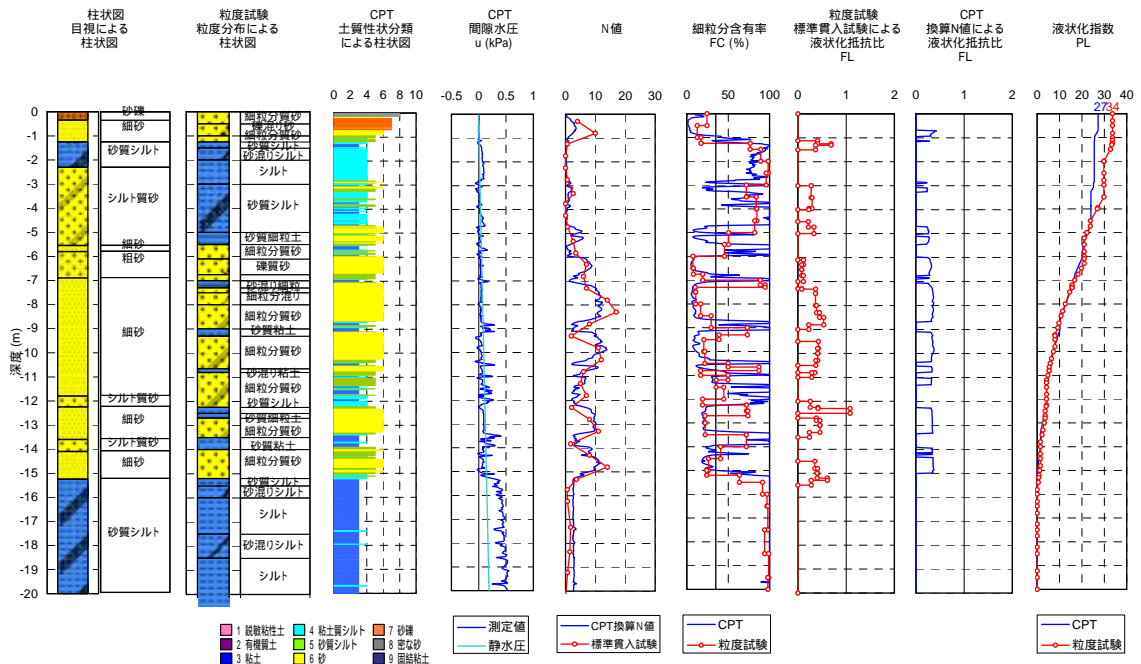


図-5 No.3の液状化予測結果

5. 地点3の液状化予測

地点3の No.1の予測結果を図-6に、No.2の予測結果を図-7に示した。

当地も SPT を50cm ピッチで実施し、さらに SPT 試料の土質の変わり目でも粒度試験を実施している。

図6の、図を見比べると地下水位はGL-1.72mであるが、その下の土質がやや異なっており、液状化によるものか、人工的なものなのかは不明である。液状化層はGL-2m～-4.5mまでの約2.5mと薄い。P_L値はCPTによるものが9、土質試験結果によるものが10という結果であった。

図-7の は非常に細かく層分割がなされており、そのため、図のCPT柱状図と非常に類似している。P_L値はCPTによるものが29、土質試験によるものが31という結果であった。

F_c 35%でI_p 15%の層はNo.1で延べ0.5m、No.2で述べ2.6m、であった。土質名は大部分が砂質シルト、ごく稀に細粒分質砂、細粒分混じり砂になっている。

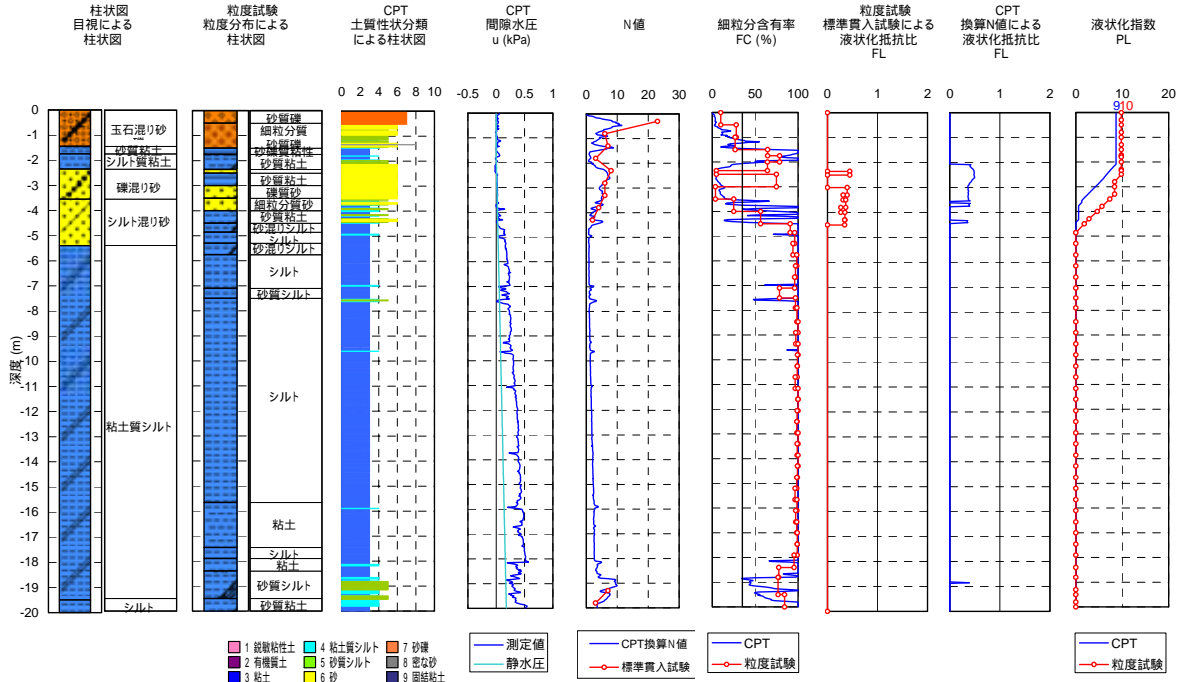


図-6 No.1の液状化予測結果

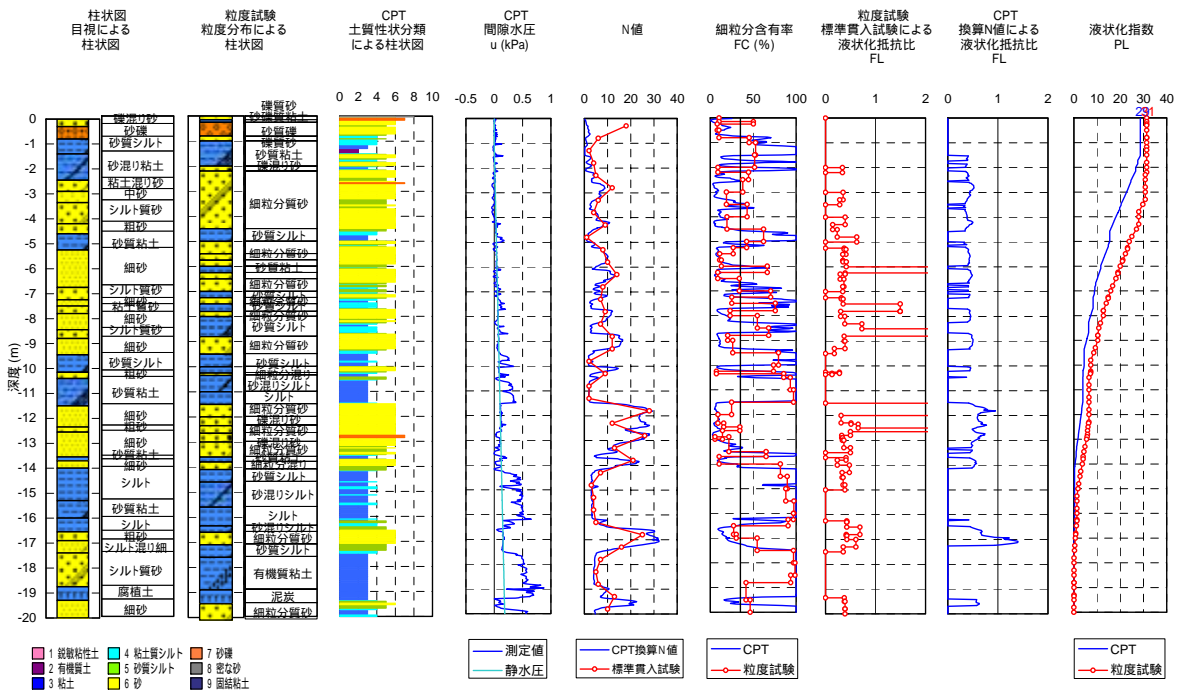


図-7 No.2の液状化予測結果

6.まとめ

1. 道路橋示方書(平成24年)に基づいて、3地点5本の粒度試験による液状化指数 P_L および CPT による液状化指数 P_L を求めた。その結果を表-2に示す。粒度試験による液状化指数 P_L 値が全般的に高い値を示したが、その要因は、粒度試験による場合、細粒分含有率が F_c 35%でも塑性指数が I_p 15%の場合は液状化が起こるとして検討対象としているが、CPT では塑性指数 I_p 15%求められないため、検討対象とすることができないことが要因で考える。CPT による液状化予測 において、低塑性指数 I_p 15%の適用が今後の課題である。

ちなみに、 F_c 35%で I_p 15%の層は、地点1で延べ1.7m、地点2の No1で2.5m、No3で2.8m、また地点3の No1で0.5m、No2で2.6mであった。粒度試験での土質名は大部分が砂質シルト、非常にまれに細粒分シルト、細粒分混じり砂であり、CPT の SBT 番号は7の砂ないし礫混じり砂であった。今後 CPT による液状化予測において、低塑性指数 I_p 15%の中間土の取扱いが課題となり、検討が必要と考える。

表-2 液状化指数 P_L (道路橋示方書：平成24年)

地点	試験番号	粒度試験による液状化指数 P_L	CPT による液状化指数 P_L
地点1 ¹⁾	No1	23	16
地点2	No1	20	17
	No3	34	27
地点3	No1	10	9
	No2	31	29

2. SPT を50cm ピッチで実施し、さらに SPT 試料の土質の変わり目でも粒度試験を実施すると、粒度試験による柱状図は非常に緻密になり、CPT による柱状図と非常に相関性の高い柱状図となった。このことは「CPT の最大の特長は、深さ方向に連続した測定値が得られることであり、このデータの連続性は地盤の不均質な堆積構造を探知できるという利点を有している」ということの証明となろう。

以上

参考文献

- 1) 末政直晃・他：「コーン貫入一斉試験2007」, 地盤工学会誌, Vol. 57, No. 8, 2009.
- 2) 大島昭彦・他：「浦安市における各種動的サウンディング試験の比較(その1：調査概要)」第47回地盤工学会研究発表会, pp. 131~132, 2012
- 3) 峰 翔太郎・他：「滋賀県守山市におけるサンプリング・サウンディング試験と沖積粘土層の性状」, 第48回地盤工学会研究発表会, pp. 343~345, 2013.
- 4) Robertson, P.K.: Soil classification using the cone penetration test, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, No. 1, pp. 151~158, 1990
- 5) 道路橋示方書・同解説, 耐震設計編, pp. 132~149, 2012.
- 6) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説, 第7章. 電気式コーン貫入試験, pp. 391, 2013.