

三成分コーン貫入試験 (株)地盤試験所 ○山本伊作 (株)カマエジニアリング 正会員 大塚 潤  
 サウンディングマシン 川崎地質(株) 正会員 黛 廣志 ソルアント・ロッキンジニアリング(株) 国際会員 後藤政昭  
 軟弱地盤調査 千葉エッジエンジニアリング(株) 正会員 若月洋朗 中央開発(株) 正会員 西原 聡  
 (株)日さく 正会員 石川恵司

はじめに

電気式コーン貫入試験 (CPT) は硬質地盤において貫入上の難点があり、標準貫入試験 (SPT) は軟弱地盤での N 値の信頼性に難点があるといわれている。このため、1本の調査孔で両サウンディングを切り替え使用することにより、両者の優れた利点のみを活用できる試験方法の出現が望まれていた。そこで、CPT 技術協会では、両サウンディングを一基のマシンで出来るように、万能掘削機のリーダー部分を改造して半自動落下型の SPT ハンマーが装着できる CPT/SPT 両用マシンを開発した。これにより、CPT が固結土層等で貫入不能になっても SPT に切り換え、調査を継続することが可能となった。このたび、仮設構造物の H 鋼杭基礎を対象とした両用マシンの施工試験を行ったのでその結果を報告する。

1. 調査目的

本調査の目的は仮設鉄塔基礎杭設計用の地盤データ採取である。調査地点は中川低地に位置し、付近のボーリングデータ (図-1) によれば、N 値 0 (モンケン自沈) ~2 の極めて軟弱な沖積層が 30m程度堆積しており、支持地盤の砂礫層は 39m以深と深い。このため杭の設計では、摩擦杭と支持杭の両方が候補に挙がり、その施工法はH鋼の打込み杭工法 (振動工法) が有力視され、その検討のための調査項目として、支持層の確認の他、軟弱層のせん断強度、圧密特性、振動伝播予測のための S 波速度が必要とされた。これを一般的なボーリング調査で行う場合には、標準貫入試験 (SPT) 45 回前後、不攪乱試料採取 5~10 試料、速度検層 30~40mの内容となり、現場作業は 7~10 日間程度は必要である。しかし、地権者の事情により調査用地は期日指定の 4 日間しか借地できない条件であったため、ダブルサウンディングによる本調査法が採用されることとなった。

2. 両用マシンの概要及び施工手順

従来一基のサウンディングマシンで CPT と SPT の両方を実施できるダブルサウンディング技術はなかった。そこで、我が国で万能掘削機及び CPT 貫入機として広く用いられている 66DT (米国ジオプローブ社製) に着目し、マシンのフット部分に SPT マストを組み込むように改造し、マシンの油圧システムを利用してコーンブリーを組み込んだ。更に半自動式の SPT ハンマー落下装置が簡単にセットできるように改良し、これを両用マシンと称することにした。

この両用マシンの構造及び施工手順の模式図を図-2~図-3 及び写真-1~4 に示す。

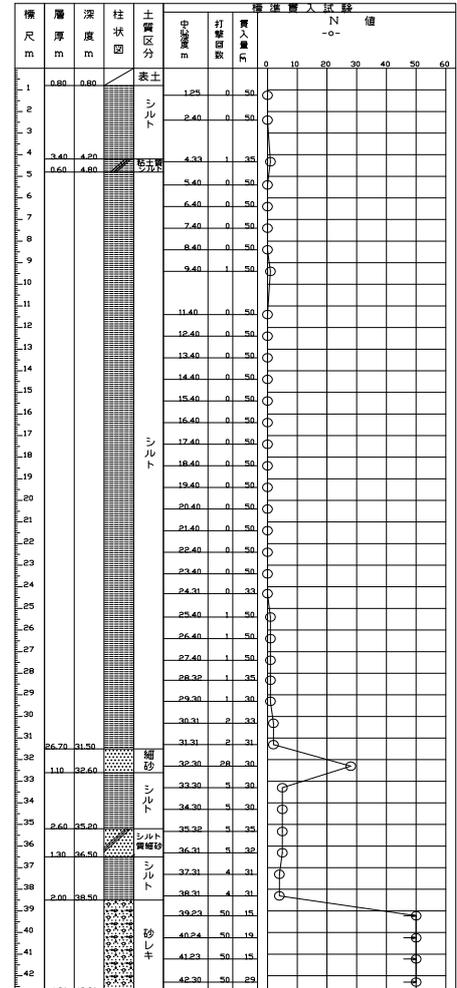
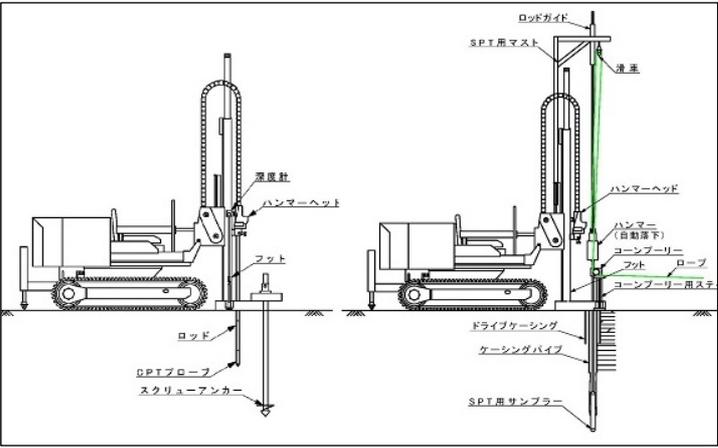


図-1 付近のボーリング柱状図

図-2 両用マシン模式図



① CPT の際は、反力としてスクリーアンカーを設置し、常設のハンマーヘッド（CPT 貫入ヘッド）で CPT プローブを地盤中に貫入し、CPT 試験を実施する。その際には 1m 毎にサイスミック試験（弾性波速度検層）を行う。

②  $N \geq 40$  の礫質土層などにより、貫入不能となった時点で CPT プローブを引き揚げ、油圧オーガーモーターをフット側面から引き出し、ボーリング掘削用に装置を切り替える。

③ 泥水循環により削孔し、CPT 貫入深度以深より所定深度まで SPT を実施する。

④  $N \geq 40$  の礫質土層以深の調査が必要であり、且つ CPT プローブの貫入が可能な場合は、再度 CPT 用に装置を切り替え、調査を継続する。

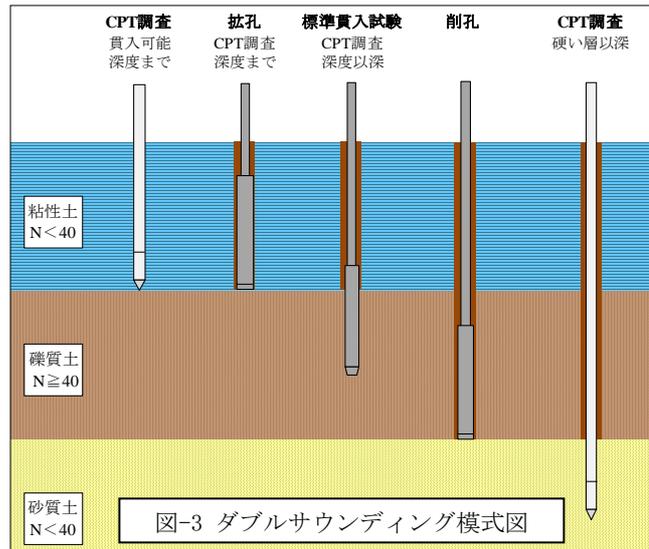


図-3 ダブルサウンディング模式図



写真-1 CPT 測定状況



写真-2 弾性波測定



写真-3 起振器設置



写真-4 SPT 状況

### 3. 試験結果

SPT からのアウトプットは、1m 間隔の  $N$  値と試験用の土壌サンプルのみであるが、CPT からのアウトプットは約 2cm 間隔で得られる連続的な 3 成分、すなわち、先端抵抗 ( $q_c$ )、周面摩擦 ( $f_s$ )、及び間隙水圧 ( $u_2$ ) である。

また、コーン貫入を一旦停止して過剰間隙水圧の消散試験を行う場合には、透水係数等圧密沈下の評価に必要な地盤情報を即座に推定することができる。さらに、弾性波速度測定を行う場合には、地盤の剛性やポアソン比も即座に推定することができる。そして、上記アウトプットとの相関性に基づいて、地盤の土質区分、換算  $N$  値、粘性土のせん断強さや粘着力、砂質土のせん断抵抗角、相対密度、液状化強度や圧密特性、杭の支持力等通常必要とされる地盤情報を、室内試験を行わないで、網羅的に推定できる。

上記地盤情報中、今回の施工試験では、CPT 調査から以下の地盤情報を推定した。(図-4)

1) 土質分類：CPT からの土質分類は、Robertson が提唱した土質性状指数  $I_c$  を用いる土質分類チャートを用いて行った。 $I_c$  は、土質分類の境界を与える指標であり、CPT からの 3 成分によって鋭敏粘性土から非常に硬質な細粒度までを 9 区分して土質を分類する方法である。結果を図-4 左端の CPT 区間における土質分類として示した。約 2cm 間隔で明瞭に分類できていることが分かる。 $I_c$  は次式で示される。

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

2) 換算  $N$  値：CPT からの換算  $N$  値 ( $N_c$ ) は、鈴木らによる  $I_c$  を用いる方法によって求めた。結果は、 $N$  値 5 以下の軟弱層でも明確に数値評価できていることが分かる。

$$N_c = 0.341 \cdot I_c^{1.94} (qt - 0.2)^{(1.34 - 0.0927 \cdot I_c)}$$

3) 細粒分含有率、非排水せん断強さ：CPT からの細粒分含有率 ( $F_c$ ) は、鈴木らによる  $I_c$  を用いる方法によって求めた。また、非排水せん断強さ ( $C_u$ ) は広く用いられている先端抵抗とコーン係数を用いる方法によって求めた。いずれも明確に数値評価できていることが分かる。

$$F_c = I_c^{4.2}$$

$$C_u = \frac{q_c - \sigma_{vc}}{N_s}$$

4) 先行圧密応力、過圧密比：先行圧密応力 ( $P_c$ ) と過圧密比 (OCR) は、Kulhawy and Mayne による先端抵抗と全上載圧及び有効上載圧を用いる方法によって求めた。いずれも明確に数値評価できていることが分かる。

$$P_c = k(q_c - \sigma_{vo}) \quad OCR = P_c / \sigma'_{vo}$$

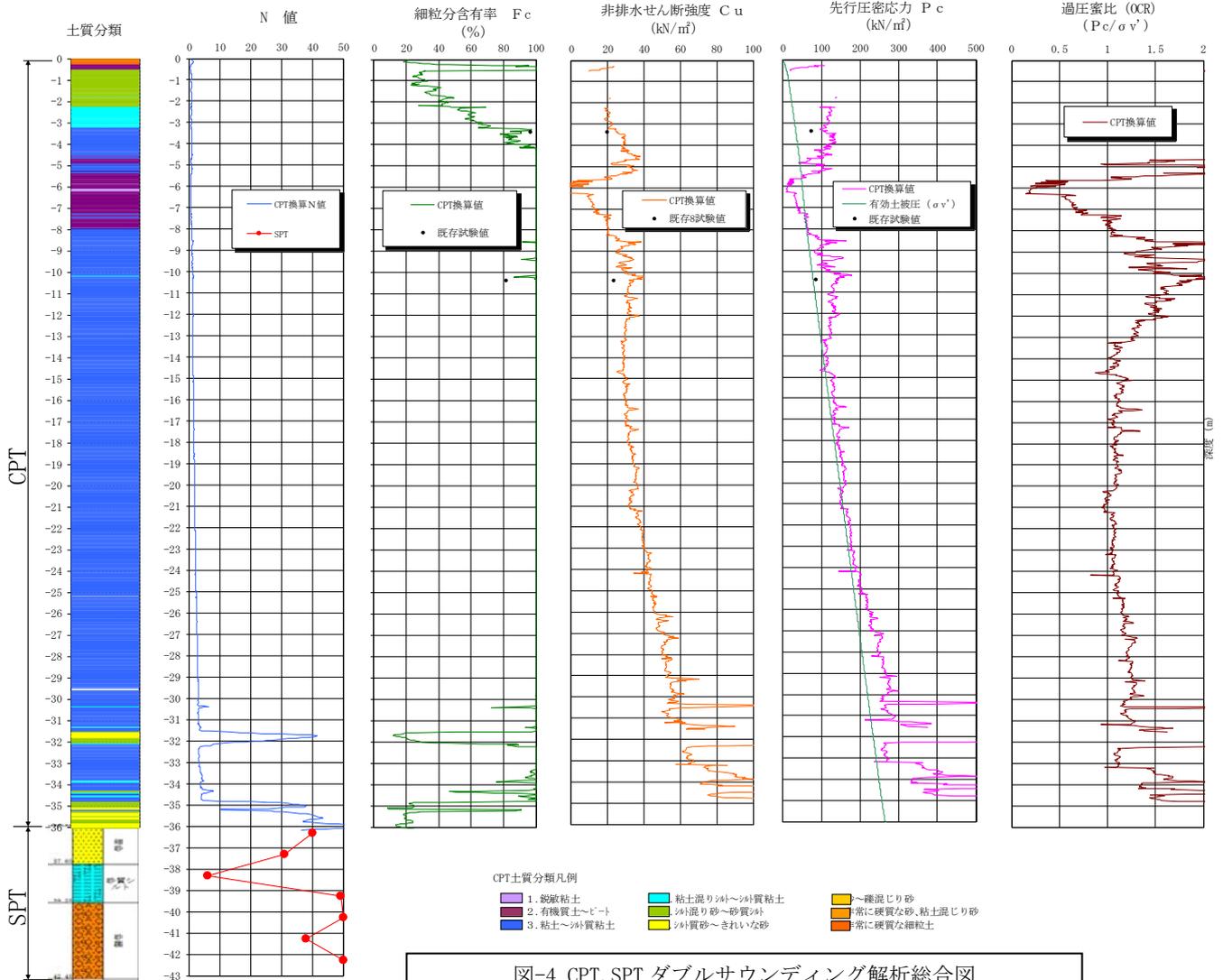


図-4 CPT, SPT ダブルサウンディング解析総合図

5) 弾性波速度の分析：S 波の伝播速度は、板たたき法により 1m 間隔で測定した。結果を図-5 に示す。明瞭に数値評価できていることが分かる。

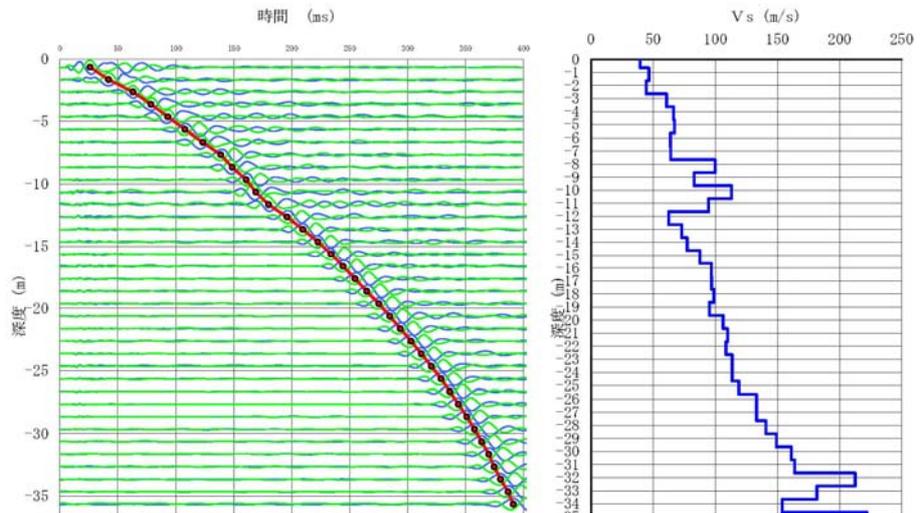


図-5 サイスマック試験による S 波の走時曲線及び伝播速度解析図

#### 4.ダブルサウンディングによる H 杭の支持力推定

今回の施工試験の結果、1基のベースマシーンで、CPT と SPT は簡単に切り替え使用できることを確認した。また、SPT で評価する場合には室内試験によって補完しなければならない軟弱な粘性土層からも CPT からは評価に必要なデータが得られた。そこで、今回施工試験の対象が仮設構造物用の H 杭であることから、得られたデータを基に摩擦杭としての支持力推定を試みた。

支持力算定には、道路橋示方書の支持力推定式を適用した（式（1）及び表（1））。

$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i \quad (1)$$

ここに、 $R_u$ ：地盤から決まる杭の極限支持力（kN）、 $q_d$ ：杭先端における単位面積当たりの極限支持力度（kN/m<sup>2</sup>）、 $A$ ：杭先端面積（m<sup>2</sup>）、 $U$ ：杭の周長（m）、 $L_i$ ：周面摩擦力を考慮する層の層厚（m）、 $f_i$ ：周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度（kN/m<sup>2</sup>）

表-1 打込み杭の極限支持力度

単位の極限先端支持力度		単位の極限周面摩擦力度	
地盤種別	$q_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	地盤種別	$f_{i,d}$ (kN/m <sup>2</sup> )
N>40 の全ての土層	300N (5D 以上値入の場合)	砂質土	2N(≦100)
		粘性土	C 又は 10N(≦150)

なお、表（1）の適用に際しては、粘性土地盤の場合は、CPT から求めた非排水せん断強さを一軸圧縮強さと仮定し、その 1/2 を粘着力＝周面摩擦力度として用い、砂質土の場合は、CPT からの換算 N 値を用いて算定した。

また、杭の周長は、250×250H 形鋼の両外面フランジ（2 面）のみを考慮した。算定の結果、杭先端を GL-36m に打ち止めると仮定した場合の周面摩擦力として約 800kN/本の値を得た。この区間は N 値<5 の粘性土地盤であるため、SPT のみから支持力算定を行う場合には室内試験を行って粘着力を求める必要があり、そのための工期とコストが必要となる。なお、周面摩擦力 800kN/本の妥当性に関しては後日載荷試験を行って評価する予定である。

#### 5.おわりに

埼玉県の低地部は軟弱層が厚く堆積しており、支持層は深い位置に存在している。このような地盤において効率的な基礎を検討するためには、支持層確認のほか軟弱層の被排水せん断強度  $c_u$ 、細粒分含有率  $F_c$ 、せん断抵抗角  $\phi'$ 、間隙水圧比  $B_q$  等の強度や沈下特性および液状化判定指標を精度良く調査する必要がある。今回のダブルサウンディングの試験施工により、一台のマシンでこれらの課題を精度よく解決できることを確認した。

一般に、上記と同等のデータをボーリングや他の原位置試験及び室内上質試験により得ようとする、工期は約 1.5 ヶ月（現場調査 7～10 日、室内試験／分析 30 日）を要するが、今回の 1 調査孔探査に要した日数は 1 週間〔現場調査：ダブルサウンディング 1.5 日（CPT によるサイズミックコーン試験含む）＋分析 4 日〕と大幅な工期短縮が可能となった。また、コスト面ではボーリング等他の調査法の半分程度と積算される。

今回の施工試験結果から、CPT 技術協会として開発した CPT/SPT のダブルサウンディング試験法は硬軟かつ複雑な地盤に対して迅速、確実に適用でき、かつ、測定したデータも実用に供しうる精度の高いものであることが確認できた。

今後は、地盤改良工法の検討と効果確認、丘陵地帯に建設するメガソーラーや養液栽培施設の建設計画、薄層に支持された杭の支持力の評価等、ダブルサウンディングの活用範囲は広いので、地盤調査の精度向上、工期の短縮、コストの縮減に大いに貢献できるべく、一層の向上に励んでいきたいと考えている。

#### <参考文献>

- 1)道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp. 132～149, 2012.
- 2)多成分コーン貫入試験結果その 2 弾性波速度および土質画像のイメージ, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp151～152, 2006
- 3)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.
- 4)岡 信太郎,他, SPT と CPT による液状化予測の比較, GeoKanto2013, 防災 4-1, 2013.
- 5)北條 豊,他, CPT による塑性指数を考慮した液状化判定(その 1), GeoKanto2014, 防災 7-3, 2014.