

戸建住宅向け 三成分コーン貫入試験機の開発と適用例

若命 善雄* 高田 徹** 藤井 衛***

1. はじめに

戸建住宅の地盤調査の中で最も一般的な試験は、スウェーデン式サウンディング試験（以下、SWS試験）である。この試験は簡便かつ低コストで地盤支持力などの評価が可能であるが、土質判別が不得手なことや W_{sw} 自沈層の取扱いに注意を要するなどの課題がある。このような場合には、標準貫入試験や室内土質試験と併用することが望ましいが、実際にはコスト面で敬遠されがちである（表-1参照）。上記問題点を解決する方法として、筆者らは、わが国よりも海外で広く用いられている「三成分コーン貫入試験（以下、CPT試験）」に注目している。この試験は、コーン先端抵抗、周面摩擦力、間隙水圧の3つを電氣的に測定できるコーンを静的に貫入することで、地盤の支持力評価だけでなく簡易な土質判別や液状化判定にも用いられる。わが国では大規模な土木工事で活躍しているが、宅地調査での適用例は少ない。この理由として以下の事項が上げられる。

① 従来のCPT試験機が比較的大型なため、狭小地での実施に不向きである。

② 調査コストが高い。

③ CPT試験による地盤評価手法の確立がなされていない。

一方、戸建住宅は建物荷重が比較的軽量なため深度10m程度（杭基礎を除く）の調査で間に合うことや、不等沈下の原因となる軟弱層の評価が焦点となることを勘案すると、CPT試験は小型貫入機が開発されれば、住宅地盤調査においても適用範囲は拡大すると予想する。

本稿では、小型貫入機械の開発概要とこの機械を用いた宅地地盤調査例をもとに、CPT試験の住宅地盤調査への適用性について述べる。

2. 小型貫入試験機の開発

2.1 装置システム

本体ベースマシンは、クローラ搭載型の小型ボーリングマシンを使用した（写真-1）。このマシンの自重は1,050kgfで反力用アンカーを利用して約50kNの貫入反力を得ることができる（表-2）。アンカーは板状の鋼材

表-1 SWS試験の追加調査でよく用いられる試験（戸建住宅の場合）

調査名	得られる推定値
標準貫入試験（ボーリング）	N値、土質判別、試料採取による各種土質試験
平板載荷試験	地盤支持力
表面波探査	地層傾斜、S波速度
ラムサウンディング試験	N ₆₀ 値
三成分コーン貫入試験	土質判別、地盤支持力測定、液状化判定、圧密沈下測定

表-2 装置仕様

●本体ベースマシン		●油圧ユニット	
名称	クローラ搭載型地質調査機	圧力	17.2MPa
型式	HBS-21	油量	9.3L/min
寸法	L2,140mm×W790mm×H2,450mm	●反力アンカー	
重量	1,050kg	名称	スパイラルアンカー
●コーン貫入用油圧ジャッキ		寸法	径50mm×L1,500mm
型式	センターホールジャッキ	●測定装置	
圧入力	50kN	最小読取值	1cm or 1min
ストローク	300mm	機能	qc, fs, ucの深度分布測定
			過剰間隙水圧消散測定

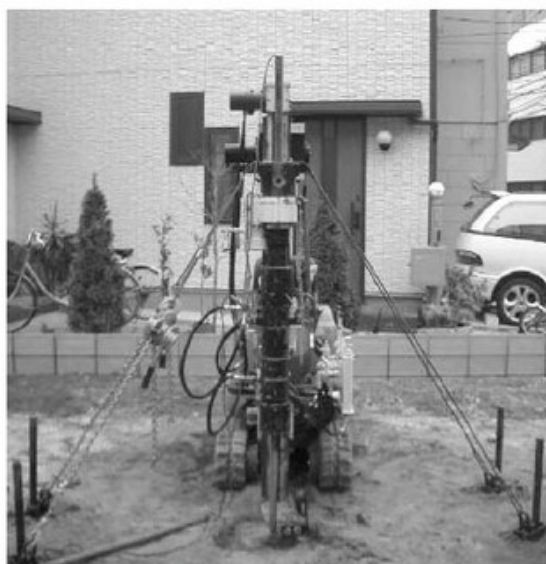


写真-1 CPT貫入装置全景

*WAKAME Yoshio 株式会社ソイル 代表取締役、工博 技術士 一級建築士 東京都中央区日本橋 3-9-12
 **TAKATA Toru 同上 課長 同
 ***FUJII Mamoru 東海大学 工学部 建築学科 教授、工博 平塚市北金目1117

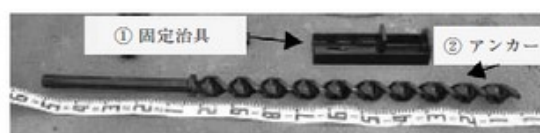


写真-2 反力用アンカー



写真-3 測定用PC

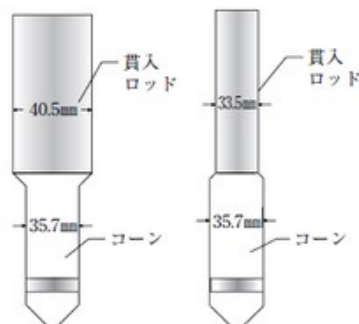


図-1 三成分コーンと貫入ロッドの模式図

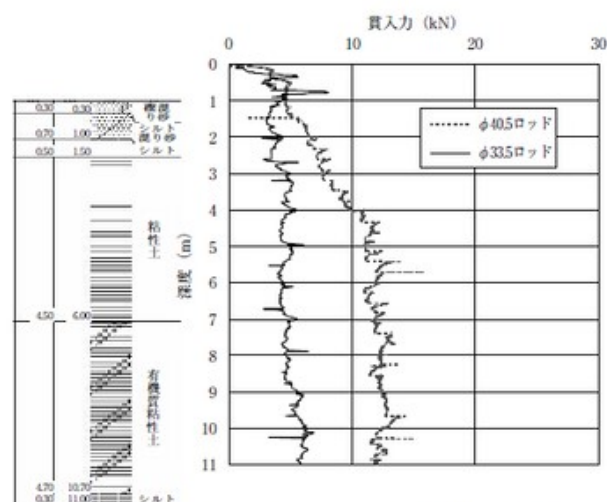


図-2 ロッド径の違いによる地上部での押込力の比較

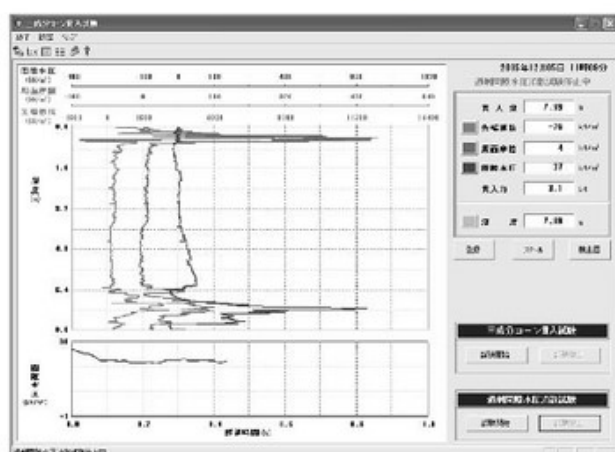


写真-4 測定画面

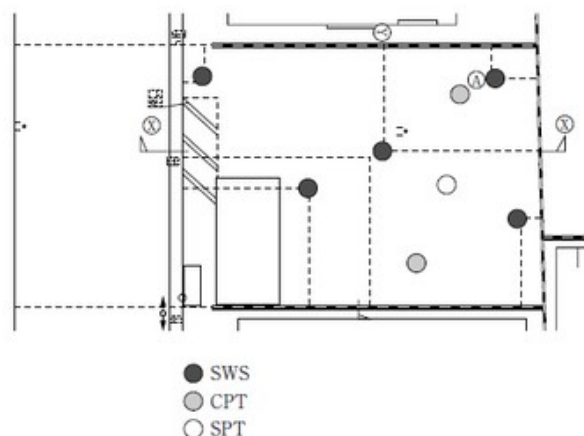


図-3 調査位置図

を螺旋状に加工したスパイラル形状で、本体ベースマシンで打設する（写真-2）。打設には固定治具（写真-2の①）を利用して回転と貫入を調節することで、地盤を乱すことなく挿入される。固定治具はアンカーで固定され、鉛直ではなく斜めに引張ることによって所定の反力が得られるよう工夫されている。コーンの貫入は、アンカーで抑えられた貫入用油圧ジャッキの複動により行う（ストローク長30cm）。計測は、貫入ロッドにエンコーダを取付け深度1cmごとの測定データをPCにて自動記録する（写真-3、4）。

2.2 貫入ロッド

JGS規格（JGS1435-2003）では先端コーンの底面積を $1,000 \pm 20 \text{ mm}^2$ （ $\phi 35.7 \text{ mm}$ ）と規定している。貫入ロッドの断面積がこれより大きいとロッドの周面摩擦力が大きくなり、その分、貫入機の押込力を大きくする必要がある（図-1）。図-2に $\phi 40.5 \text{ mm}$ ロッドと $\phi 33.5 \text{ mm}$ ロッドの地上部での押込力の比較を示す。貫入深度が深くなるにつれ押込力が増えているが $\phi 40.5 \text{ mm}$ ロッドに比べ $\phi 33.5 \text{ mm}$ ロッドの方が約50%程度の小さな押込力で貫入さ

れている。ここで示した試験地盤は一概に軟弱な粘性土地盤であり、この貫入機で深度11mの調査が可能であった。ただし中間にN値10~15程度の砂礫層などを挟む場合は、ロッド径に関わらずその層で貫入不能に陥るケースも見られている。開発した試験機の貫入能力50kNは十分とは言えないが、ロッドの周面摩擦力の低減によって貫入力が十分軽減されることから当試験機では $\phi 33.5 \text{ mm}$ ロッドを標準タイプとした。

3. CPT試験による戸建住宅の地盤調査例

調査場所は埼玉県草加市で、戸建住宅新築工事に伴う地盤調査である。建物は木造2階建（ $B7.3 \times L9.1 \text{ m}$ ）を予定していた。当地形は、荒川や江戸川などの下流域に発達した広大な氾濫低地に属し、河川流域に広く分布する標高の低い平坦面である。地下水位が高く、軟弱な粘土やシルトが厚く分布しているため、長期的な沈下（圧密沈下）が問題になっている場所が多く、適切な基礎補強策が必要となる。

地盤調査に先立ち、SWS試験を実施した。図-3に調査位置図、図-4にSWS試験結果を示す。表層以下、 W_{sw} 自沈層が深度10mまで連続しているのがわかる。こ

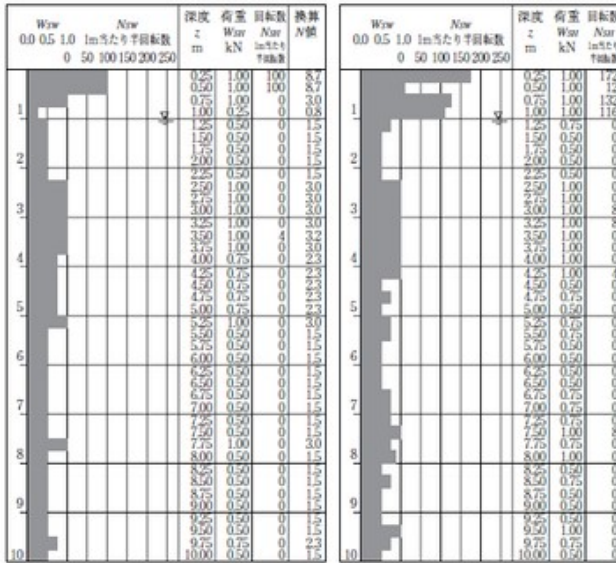


図-4 SWS試験結果(左:A, 右:B)

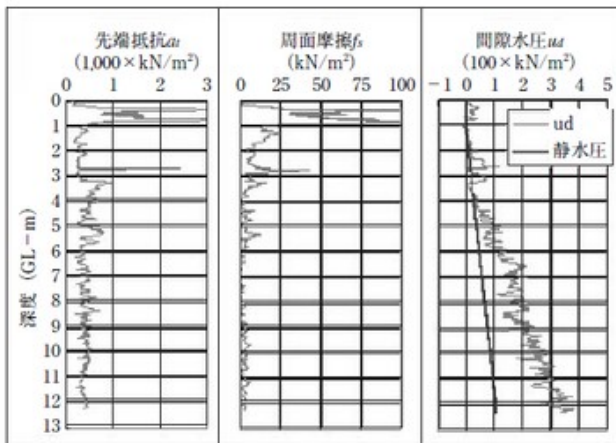


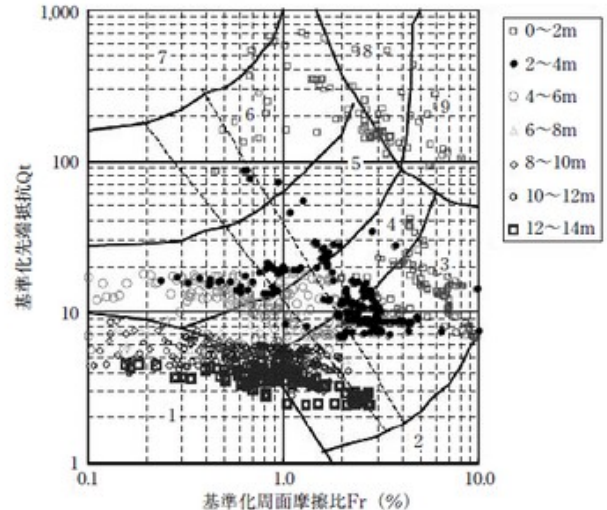
図-5 CPT測定結果

の場所は、最近、整地のために新規盛土40cm行っており、建物と新規盛土荷重による圧密沈下が検討課題となる。SWS試験では、 W_{sw} 自沈層の取扱いが難しく、十分な圧密度の評価ができない。

ここでは基礎補強工選定のための追加調査として、CPT試験のほか標準貫入試験(以下、SPT試験)、室内土質試験を行った。

図-5にCPT試験による先端抵抗 q_t 、周面摩擦 f_s 、間隙水圧 u_d の深度分布を示す。なお、当該場所において2ポイントCPT試験を行ったが、オペレータの熟練度によることなく、2ポイントともほとんど同じ結果が得られていた。

図-6にRobertsonによる土質分類チャート¹⁾で土質分類を行ったものを示す。このチャートはその深度における鉛直有効応力、鉛直全応力を用いて q_t 、 f_s を基準化する必要がある、ここでは各種基準に用いられている代表的な土の単位体積重量を利用した。地下水位は間隙水圧が上昇し始める位置とし、確認のため試験終了時に孔内水位を測定した。これらをもとに土質柱状図を作成し



番号	土質区分	D_{50} (mm)
1	鉾敏粘土	0.010
2	有機質土～PEAT	0.010
3	粘土～シルト質粘土	0.025
4	粘土混りシルト～シルト質粘土	0.025
5	粘土混り砂～砂質シルト	0.040
6	シルト質砂～きれいな砂	0.070
7	砂～礫混り砂	2.000
8	非常に硬質な砂、粘土混り	0.600
9	非常に硬質な細粒土	0.100

図-6 土質分類チャート

深度(m)	CPT	ボーリング
0.4	埋土・礫混り細砂	埋土
0.9	砂混りシルト	
	粘土質シルト	シルト
2.7		
4.2	シルト混り砂	
	シルト	砂混りシルト
9		
10.2	粘土質シルト	

図-7 ボーリング調査結果とCPTの土質分類の比較

ボーリングと比較した結果を図-7に示す。両試験ともシルト層を主体としほぼ一致した傾向を示している。

図-8に一軸圧縮強度 q_u の深度分布を他試験結果とともに示す。CPTによる換算 q_u はコーン先端抵抗 q_c の関数として式(1)¹⁾をSWS試験は式(2)を用いた。CPT試験による換算 q_u 値は、SWSのそれに比して室内試験結果と類似していることがわかる。

図-9に N 値、換算 N 値の比較を示す。SPT試験結果ではGL-3.0m以深、 N 値0(モンケン自沈)～1が連続していた。CPTによる換算 N 値はコーン先端抵抗 q_c (水圧補正前の読み値)の関数として式(3)²⁾をSWS試験

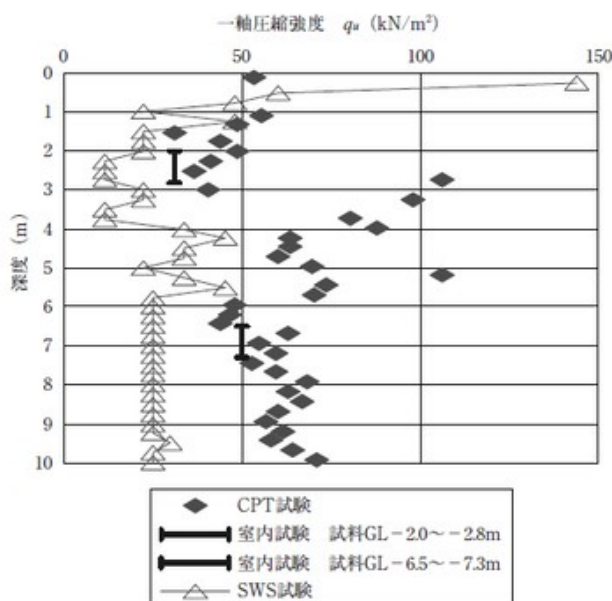


図-8 一軸圧縮強度の比較

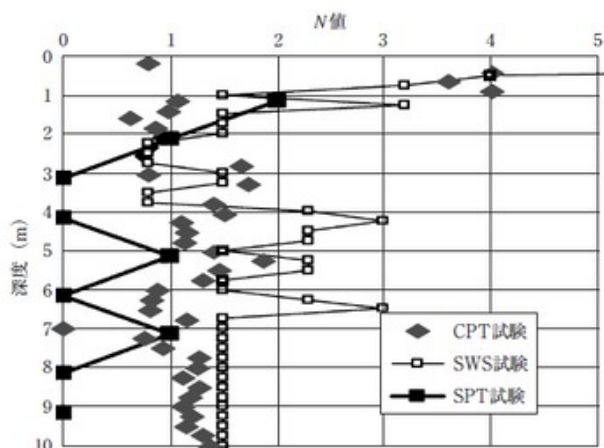


図-9 N値の比較

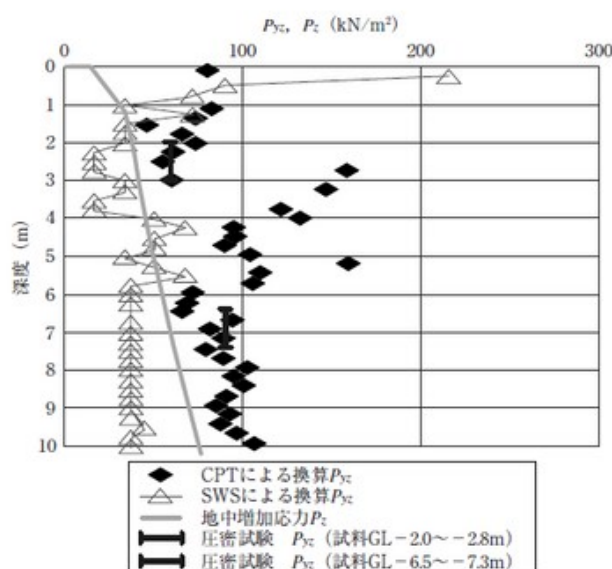


図-10 圧密降伏応力 P_{zc} の比較

は式(4)を用いた。 N 値0～1の軟弱層にたいして、CPT試験の換算 N 値は0.8～1.8程度の結果となった。動的試験法と静的試験法の違いがあるにせよ、全般的にはよく合致していると言える。

$$q_u = \frac{1}{5} \cdot 0.741 q_c = 0.148 q_c \dots\dots\dots (1)$$

$$q_u = 45 \cdot W_{sw} (\text{kN}) + 0.75 N_{sw} \dots\dots\dots (2)$$

$$q_c / N = 5.48 + 1.36 \log D_{50} \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} N &= 3.0 W_{sw} (\text{kN}) + 0.050 N_{sw} (\text{粘性土}) \\ N &= 2.0 W_{sw} (\text{kN}) + 0.067 N_{sw} (\text{砂質土}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

図-10に圧密試験による圧密降伏応力 P_{zc} とCPT試験、SWS試験による換算値との比較を示す。なおCPT試験、SWS試験による換算は、 q_u を式(1)、式(2)より求め、Skemptonの式(5)に代入し圧密降伏応力 P_{zc} を求めた。

$$P_{zc} = 1.5 \times q_u \dots\dots\dots (5)$$

図中に建物荷重(20kN/m²)が載荷されたときの地中増加応力 P_z を示す。 P_z が P_{zc} よりも大きくなるようであれば、圧密降伏し沈下の可能性は高いと判断できる²⁾。CPT試験による換算 P_{zc} は、圧密試験値とほぼ一致しており、CPT試験、室内試験結果では圧密沈下の可能性は低いという結果に対してSWS試験ではGL-2～4m、GL-6m以深は圧密地下層と判断され、両者の違いが明白に見られた。室内試験結果がほぼ適正值であるとするれば、SWS試験の結果は過小評価されていると言える。

以上より、当建物の基礎地盤補強工は、上記検討の他、SWS試験によって敷地内での地盤強度のバラツキが見られたことと新規盛土を考慮して、 $L=7$ mの小口径鋼管によるパイルドラフト基礎を選定した。

4. おわりに

小型三成分コーン貫入試験機の開発とそれを用いた宅地の調査結果の検証を行った。軟弱地盤の評価について、一般の戸建住宅で行われるSWS試験の追加調査とあるいはSWS試験と併用して使用することで、より精度の高い調査が可能であると推測する。

今回示したCPT地盤調査の解析には、 N 値、 q_u を含めさまざまな換算式に基づき行われている。CPTの普及促進のためにも、将来的にはCPT測定値が代表値として設計パラメータへ反映されるよう、基礎データの集積が望まれる。

最後に本報告をまとめるに当たってご協力いただきましたSoil-i技術研究会の皆様方に深く感謝いたします。

〔参考文献〕

- 1) 財地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004。
- 2) 若命，妹尾：戸建住宅の基礎地盤の支持力と沈下判定法の提案，基礎工，1997。
- 3) 高田，佐藤，田村：小型三成分コーン貫入試験機の開発と住宅地盤調査への適用性の検証（その1，2），第41回地盤工学研究発表会，2006。
- 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2003。
- 5) 室町，小林： q_c/N 値の粒度による変化の実測例について；サウンディングシンポジウム発表論文集，1980。