

小型三成分コーン貫入試験機の開発と適用性について

(株)設計室ソイル 高田 徹
(株)ワイビーエム 中村 仁人

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 Wsw 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。

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つを電気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。この理由は、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なこと、調査コストが高い、CPT 試験による地盤評価手法の確立がなされていないこと等が上げられる。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

【装置システム】本体ベースは、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-1）。アンカーは径50mmのスパイラル型でボーリングマシンを利用して打設する（写真-2）。コーン貫入には、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り付け深度1cm 毎の測定データを PC にて自動記録する。

【貫入ロッド】JGS 規格では先端コーンの底面積を $1000 \pm 20\text{mm}^2$ （35.7mm）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、貫入機の押込力が大きくなる。図-1に40.5mmロッドと33.5mmロッド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40.5

表-1 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	L2140mm × W790mm × H2450mm	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 × L1500mm
型式	センターホールジャッキ	測定装置	
圧入力	50kN	最小読取値	1cm or 1min
ストローク	300mm	機能	qc、fs、ud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



写真-2 スパイラル式アンカー

ロッドに比べ 33.5mmロッドの方が小さな押込力で貫入されている（約50%）。小型貫入機ではこのようなロッドの周面摩擦力の低減が肝要である。

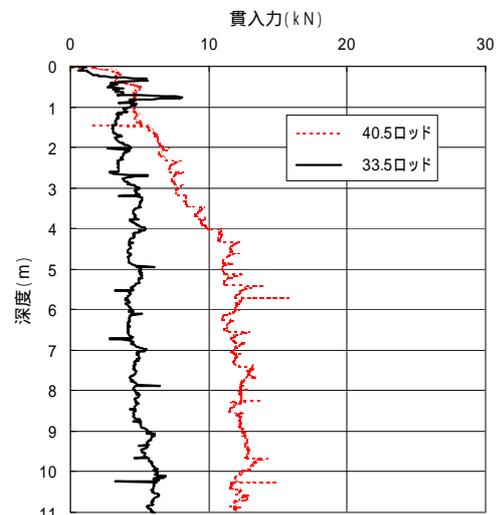


図-1 ロッド径による貫入力の比較

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×L9.1m) を予定していた。SWS 試験では Wsw 自沈層が深部まで連続したので長期的な沈下 (圧密沈下) が問題となった。ここでは基礎補強選定の追加調査として、CPT 試験の他、標準貫入試験 (SPT 試験)、室内土質試験を行った。

図-2に CPT による先端抵抗 q_t 、周面摩擦力 f_s 、間隙水圧 u_d の深度分布を示す。

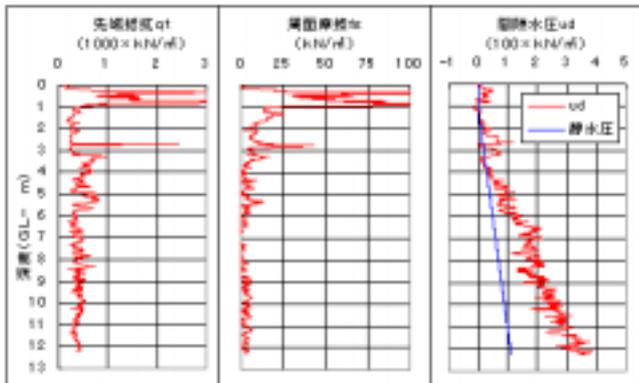


図-2 CPT 測定例

図-3に Robertson による土質分類チャート¹⁾で土質柱状図を作成しボーリングと比較した結果を示す。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、軟弱な粘土やシルトが厚く分布する傾向にあり、両試験ともほぼそれに類似した傾向を示している。

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	
2.7	粘土質シルト	シルト
4.2	シルト混り砂	砂混りシルト
9	シルト	
10.2	粘土質シルト	

図-3 土質分類の比較

図-4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)を SWS 試験は式(2)を用いた。CPT 試験による換算 q_u 値は、SWS のそれに比して整合性が高いことが分かる。

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

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

また N 値についても比較を試みたが、SPT 試験結果は GL-3.0m 以深、N 値 0 (モンケン自沈) ~ 1 程度であるのに対し、CPT 試験による換算 N 値は 1 ~ 2 程度であった。

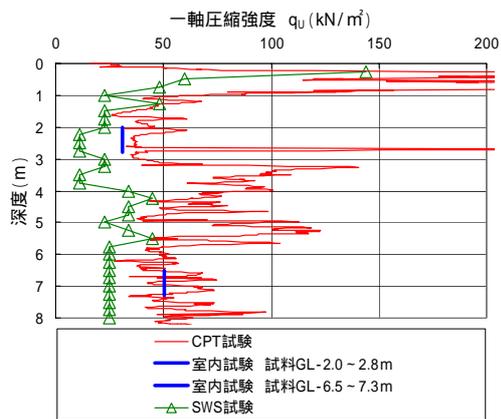


図-4 一軸圧縮強度の比較

図-5に圧密試験による圧密降伏応力 P_{yz} 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、Skemton の式(3)に代入し圧密降伏応力 P_{yz} を求めた。

$$P_{yz} = 1.5 \times q_u \quad \dots \dots \dots (3)$$

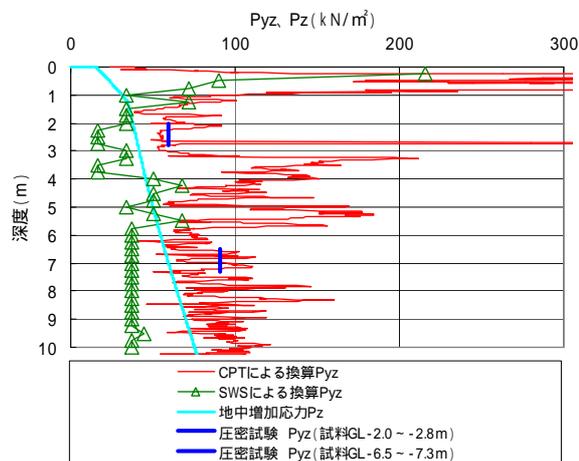


図-5 圧密降伏応力 P_{yz} の比較

図-5に示すように CPT 試験による換算 P_{yz} は、圧密試験値とほぼ一致している。図中に建物荷重 ($20kN/m^2$) が載荷されたときの地中増加応力 P_z を示す。 P_z が P_{yz} 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³⁾。CPT 試験、室内試験結果では沈下の可能性は少ない、或いは季節変動に伴う水位の変動によっては、GL-6m 以深で沈下の可能性がある。一方 SWS 試験では GL-2 ~ 4m、GL-6m 以深は圧密沈下層と判断され、両者に明らかな違いが見られている。

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。このような軟弱層の評価について、将来的には一般の戸建住宅で行われる SWS 試験の追加調査として或いは 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。

参考文献

- 1) (社)地盤工学会 (2004): 地盤調査の方法と解説
- 2) 若命・妹尾 (1997): 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