

報文

CPTを併用した宅地の地盤評価事例

高田 徹*

1 はじめに

戸建住宅の地盤調査法は、スクリーウエイト貫入試験（以下、SWSと略記する）が主体である。ただし、SWSは万能でないため、建設地の地盤評価に迷う場合は、別途ボーリング調査や室内土質試験など、追加調査と併用して行われている。本稿では、住宅建設のために電気式コーン貫入試験（Cone Penetration Test、以下、CPTと略記する）を追加調査として併用して行った調査事例を紹介する。

2 CPT概要と住宅地向け調査機

CPTはロッドの先端に取り付けられた電気式コーンを一定速度で地盤中に貫入して、連続的に抵抗値を測定し、得られたデータから地盤の層序、土質分類や地盤の諸定数が推定可能な試験法である（図-1）。CPTはコーン先端抵抗 q_c のほか、周面摩擦 f_s 、間隙水圧 u の3つが主な測定項目であることから、「三成分コーン」と俗称で呼ばれたりする。また、三成分に加えてP波速度、S波

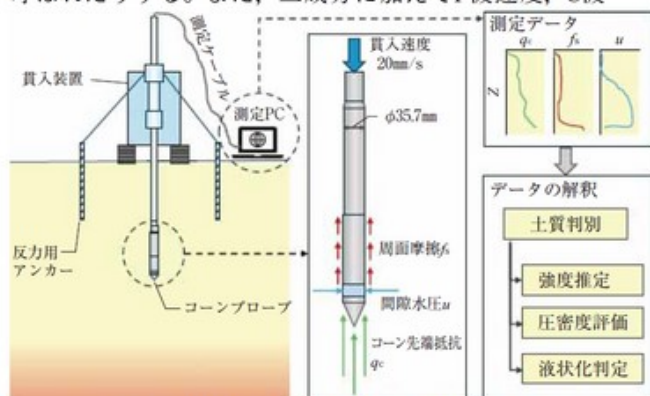


図-1 CPT試験装置の構成とデータの評価フロー



写真-1 住宅向けCPT調査機（左：調査状況、右：バンによる搬入出が可能） 写真-2 住宅向けCPT調査機（貫入ジャッキを足場パイプで固定する）

速度など、多成分コーン¹⁾も開発されている。

CPTは、コーンを無回転で静的に圧入させる必要があるため、打撃エネルギーを用いる動的貫入試験に比べて、大きな貫入力をする調査機が必要となる。よって一般のCPT調査機は、比較的大型な機械が多く、住宅街のような狭隘地には適さない。そこで小型機の開発が求められるが、図-1に示すように、地盤に反力用アンカーを打設して貫入力を確保する機能がよく用いられる。写真-1、写真-2に、住宅地向けに開発したCPT調査機を示す。本装置は大型なCPT調査機に比べると貫入力は小さいが、幸い戸建住宅の地盤調査は深さ10m程度を対象とするため、これでも可能な調査地は多いと考える。

3 沖積粘性土地盤でのCPT事例

3.1 建物概要

- ・建設場所：東京都荒川区
- ・建物予定建物：木造2階建
(建物長辺10,920mm×建物短辺8,190mm)
- ・基礎形状：布基礎
- ・基礎設計荷重：40kN/m²
- ・備考：建替地(木造2階建住宅を解体後に新築)

3.2 SWS結果と地盤評価

調査地は図-2に示されるように、荒川低地に位置し、後背湿地を盛土して平坦化した宅地である。図-3に、旧建物解体後に建物4隅と中央の計5測点で行ったSWS結果を示す。図より、地下水位は深度1.0mと浅く、深度1.5m付近に層厚0.5～1.0mの回転層($N_{sw} > 0$)が認められるが、それ以外は深度13.0mまで自沈層($N_{sw} = 0$)となっていた。また、計5測点の貫入傾向は酷似していることから、敷地内は水平な成層地盤だと判断できる。



*TAKATA Tōru (株)設計室ソイル 代表取締役、技術士(建設部門) | 東京都中央区日本橋3-3-12

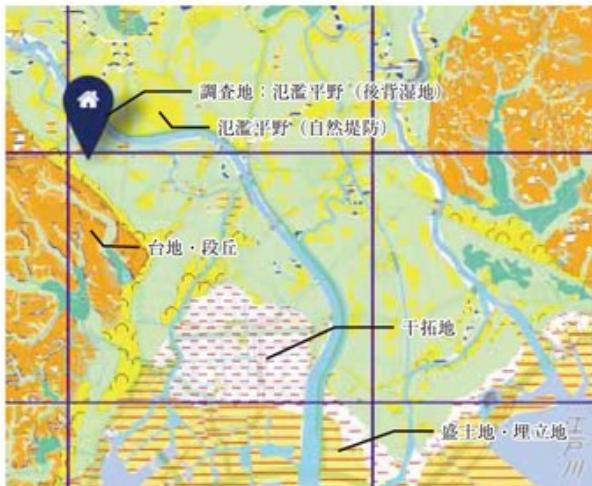


図-2 調査地の治水地形分類図

このように自沈層が深部まで連続し、かつ調査測点でバラツキの少ない貫入傾向は、荒川低地だけでなく、東京低地、中川低地でもよく見受けられる特徴である。ただし、微地形が旧河道、自然堤防であれば、浅層部の回転層の厚みがこれよりやや厚くなるような違いは見られるが、深部では概ね類似した傾向を示す。

SWS結果より、式(1)を用いて地盤の長期許容支持力 q_a を計算すると、 $q_a=24.6\text{kN/m}^2$ となり基礎設計荷重を満たしていなかった。

$$q_a = 30W_{sw} + 0.64N_{sw} (\text{kN/m}^2) \quad \cdots (1)^2$$

W_{sw} : 静的貫入最小荷重 (kN)

N_{sw} : 換算半回転数

よって何らかの地盤改良が必要になる。ちなみに先端で支持するような地盤改良や杭基礎を選択しようとする、深さ30～40mの沖積土が堆積することが地盤図から認められたため、ここまでの長さの改良は戸建住宅では稀で、経済的にも採用し難い。よって沖積土層内で可能な地盤改良（例えば柱状改良など摩擦系の改良）で対応することになるが、改良長以深に自沈層が厚く堆積することから設計が難しくなる。

具体的には、改良時の沈下検討である。図-4はSWS結果をもとに、建設前の鉛直有効応力 (σ_z')、圧密降伏応力 (p_c) の深度分布を示したものである。なお、 σ_z' の計算は、土の湿潤単位体積重量 $\gamma_s=16\text{kN/m}^3$ とし、 p_c の計算には式(2)、式(3)を用いた。

$$q_u = 45W_{sw} + 0.75N_{sw} (\text{kN/m}^2) \quad \cdots (2)^2$$

$$p_c = 3 \cdot c = 3(q_u/2) = 1.5q_u \quad \cdots (3)^3$$

c : 土の粘着力

図-4より、当地盤は深度3m以浅が過圧密、深度3～7mが正規圧密、深度7m以深は圧密未了となり、深くなるにつれて過圧密比が小さくなること分かる。圧密未了とは、今なお圧密沈下が収束していないことを示している。 p_c より大きな応力を新規荷重 Δp として圧密沈下量を算出する場合、深度7m以深では、建物荷重による地中増加応力は分散して僅かであっても、圧密未了分の地盤沈下量が大きすぎるため、許容沈下量を満足しない。

他方、建物荷重による分散荷重だけを新規荷重 Δp と

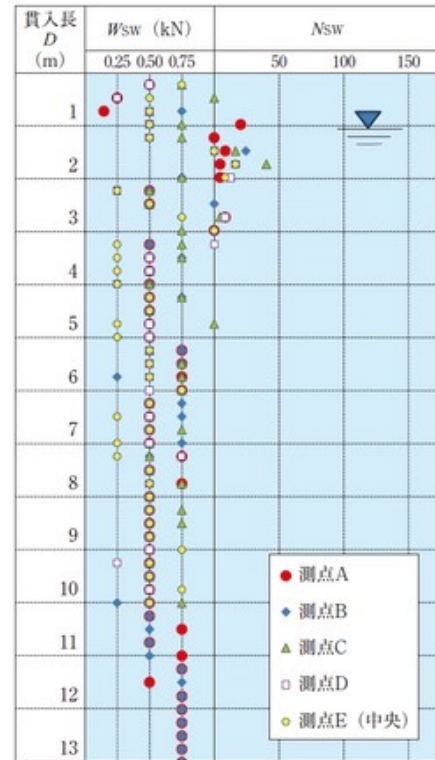
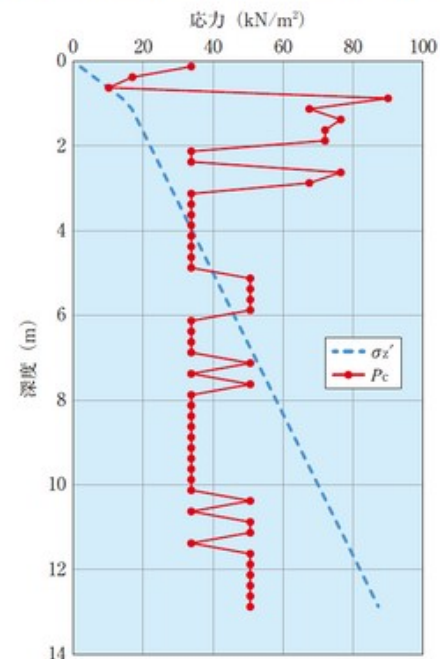


図-3 SWS結果による貫入抵抗値の深度分布


 図-4 建設前の鉛直有効応力 (σ_z')、SWS結果による圧密降伏応力 (p_c) の深度分布

して圧密沈下量を算出する考え方もあるが、これは正規圧密が大前提である。建替地であれば、定性的に正規圧密と判断する考えもあるだろうが、不確かさは否めない。

近年、SWS試験結果を用いて圧密沈下量を求めること自体に技術的課題が多いことが指摘されている⁴⁾。従来の沈下量予測手法を用いると、概ね沈下量が過大になり安全側な配慮がなされるので問題ないように見える。

しかし、これでは地盤改良設計が成立しなくなり、時折、改良時の沈下検討を省略することもあり得る。標準貫入試験でも、沖積粘性土だと深部でN値≒0が厚く堆積するような結果になることが多いが、まさにN値≒0の結果から圧密沈下量を算出するのと同じで、無理がある。一般に、このような地層には別途室内土質試験で強度確認するが、戸建住宅を対象とする場合は、調査費と工期の兼ね合いで実施しにくいことがある。そこで本件では、この圧密性状を見極めるための追加調査としてCPTを選択した。

3.3 CPT結果と地盤評価

図-5に q_c , f_s , u , 土質分類の深度分布を示す。図中の土質柱状図は、 q_c , f_s , u から土質分類指数 I_c (式(4))を求め、 I_c と土質分類の相関表を用いて区分したものである。 I_c は土質を数値で指標化するため、取扱いが容易なうえ、N値や細粒分含有率 f_c の推定や液状化判定にも利用できることから、重要な指標といえる。ただし、 I_c

の算出には補正コーン先端抵抗 q_t , f_s を正規化して用いることから、当該深さの鉛直全応力 σ_z , 鉛直有効応力 σ'_z が必要である。別途、ボーリング調査や土質試験が実施されていれば、当該深さの σ_z と σ'_z は、比較的容易に推定できる。一方、CPTのみを実施する場合には、①従来の正規化しない土質判別図を用いて判断するか、②各種指針や設計施工要領などで決められている一般的な土の湿潤単位体積重量 γ_t を利用し、正規化してから土質判別図⁵⁾や I_c を用いて判断することになり、ここでは②で推定した。図-5より、深度0.0~2.8mは砂質土と粘性土の互層、深度2.8m以深が粘性土と評価できた。

$$I_c = [(3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5} \dots\dots\dots (4)^6$$

Q_t : 基準化先端抵抗 $\{=(q_t - \sigma_z)/\sigma'_z\}$

F_r : 基準化フリクション比 $\{=f_s/(q_t - \sigma_z) \times 100(\%) \}$

図-6に建設前の σ'_z とCPT結果による p_c , 過圧密比 $OCR(=p_c/\sigma'_z)$ の深度分布を示す。なお、 p_c の推定には式(5)を用いた。

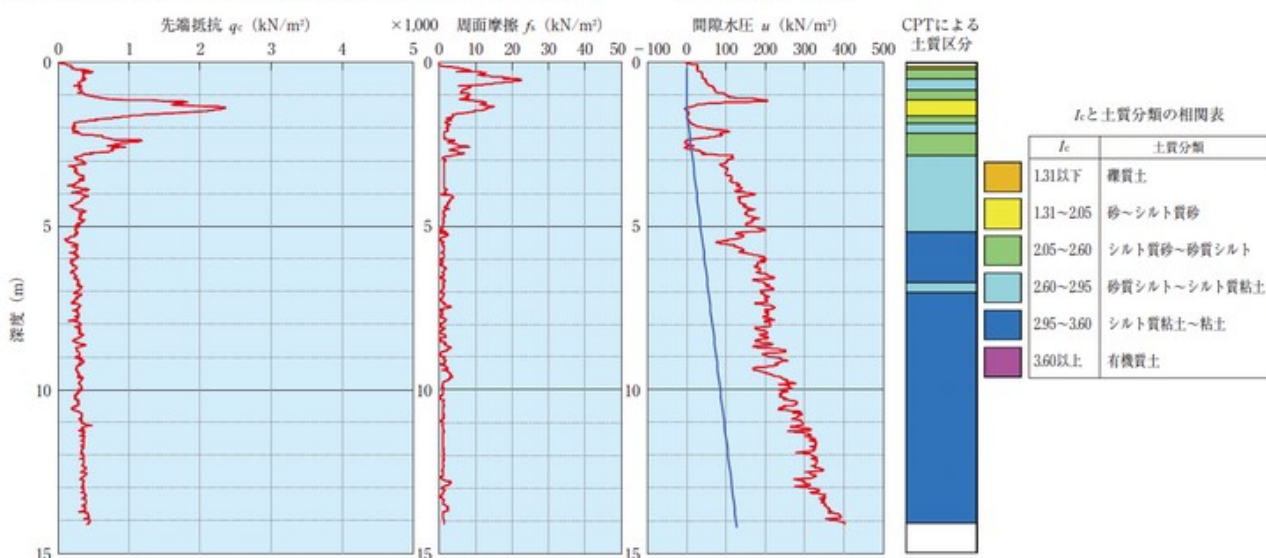


図-5 先端抵抗、周面摩擦、間隙水圧、土質分類の深度分布

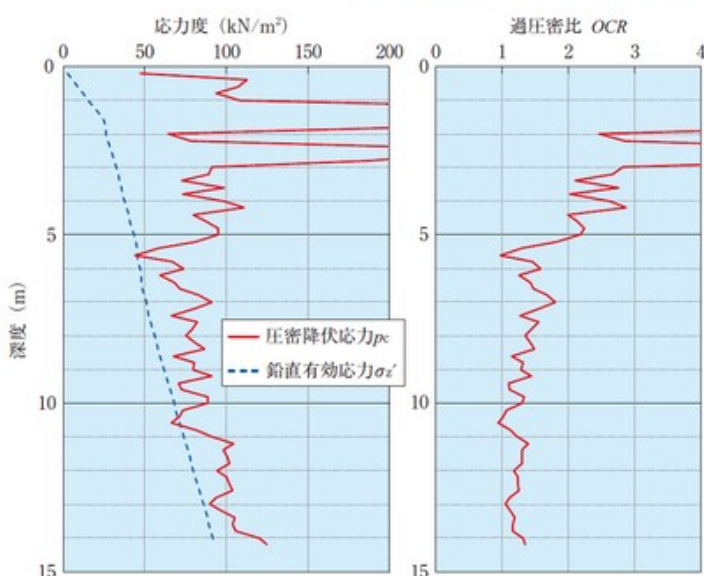


図-6 建設前の σ'_z , CPT結果による p_c , OCRの深度分布

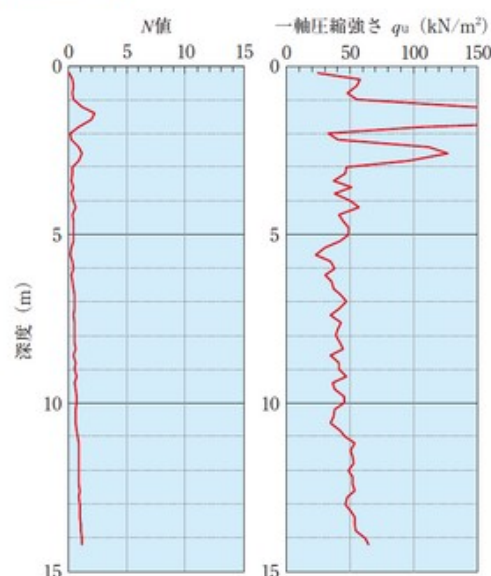


図-7 CPT結果によるN値, q_u の深度分布

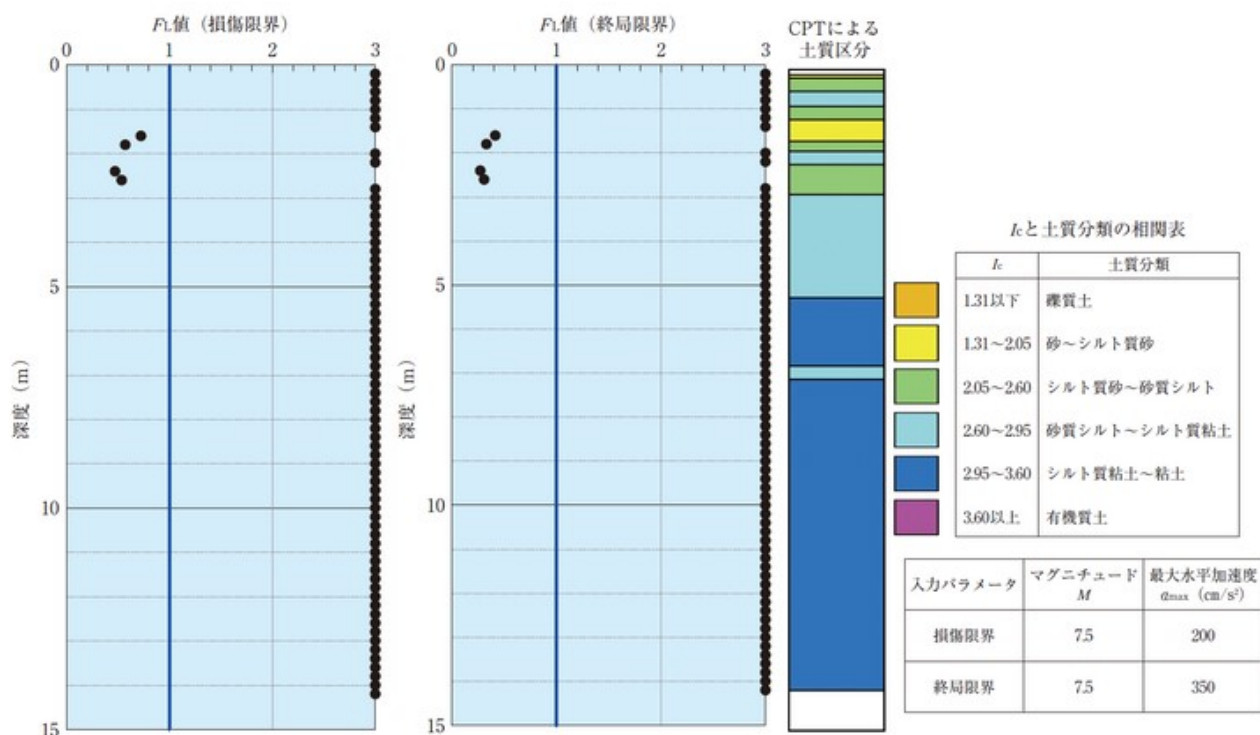


図-8 CPT結果による F_L 値の深度分布

$$p_c = (q_t - \sigma_z) / 3.44 \dots \dots \dots (5)^{7)}$$

図より、深度5m以浅は過圧密、深度5~14mは、正規圧密~軽い過圧密になり、SWSによる圧密評価とは明らかに異なっている。この差異の要因は、SWSは深さが増すごとにロッドの摩擦やロッド自重の影響が付加されるのに対して、CPTはロッド自重の影響を受けずに地中で貫入抵抗値を直接測定しているからだと考える。

図-7にCPT結果による N 値、 q_u の深度分布を、図-8にCPT結果による F_L 値（液状化発生に対する安全率）の深度分布を示す。なお、 N 値、 q_u の推定式ならびに F_L 値の推定方法については、参考文献7)を参照されたい。 N 値、 q_u に関しては、SWSによる推定結果と大きな差異はなかったが、深さが増すにつれて僅かに値が大きくなる傾向が見られる。また、 F_L 値に関しては、深度0.0~2.8m内の互層状にある飽和砂質土が液状化することが分かった。この結果を用いて、地表最大水平変位 D_{cy} を計算したところ、損傷限界で $D_{cy}=0.018m$ 、終局限界で $D_{cy}=0.029m$ で、いずれも液状化の程度は「軽微」となることから、液状化対策は不要と判断できた。

4 おわりに

本稿では、荒川低地でCPTを併用した宅地の地盤評価事例を紹介した。CPT結果より、深度5~14mが正

規圧密~軽い過圧密であることが分かったので、安全側に正規圧密として、細径鋼管を用いた複合地盤改良（改良長9m）の設計ができた。また当初、圧密性状を確認することを主目的にCPTを行ったが、資料調査（ハザードマップ）によると、液状化の可能性がある区域だったので、これへの対応にも容易かつ有効に利用できた。

参考文献

- 1) 岡ら：多成分コーン貫入試験法の適用限界および試験結果の解釈 その1土質性状タイプおよび換算 N 値について、第39回地盤工学研究発表会，pp. 513~514，2004.7.
- 2) ㈱日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，2008.
- 3) ㈱日本建築士事務所協会連合会：建築基礎の耐震設計の実務的考え方と設計例，1999.
- 4) 大島昭彦：宅地地盤評価に関わる技術的課題（SWS試験による宅地地盤の評価技術），地盤工学会誌，Vol. 68，No. 2，pp. 6~9，2020.
- 5) Robertson, P.K. : Soil classification using the cone penetration test Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, No. 1, pp. 151~158, 1990.
- 6) Jefferies, M.G. and Davies, M.P. : Use of CPTu to estimate equivalent SPT N_{60} , ASTM Geotechnical Testing Journal, Vol. 16, No. 4, pp. 458~467, 1993.
- 7) 高田ら：三成分コーン貫入試験による宅地の評価手法に関する考察，地盤工学ジャーナル，Vol. 4，No. 2，pp. 157~170，2008.