

標準貫入試験

渡辺 佳勝*

* WATANABE Yoshikatsu、(株)トラバース、東海大学建築学科非常勤講師 千葉県市川市末広 2-4-10

1. はじめに

標準貫入試験は、米国にて始められたロッド打ち込み試験を参考に1951年頃に導入され、日本の地盤に対する適用性が確認された（特殊土を除く）ことから急速に普及し、ビルやマンションなどの一般建築物および土木構造物を建築する際には必ず実施される地盤調査法となった。1948年の時点で、terzaghi and peck¹⁾（テルツァーギ・ペック）により、*N*値と地盤物性および支持力等の関係が発表されており、その後も各種地盤定数との関係性についても確認されたことから、原位置試験としての価値は広く認知されている。更に標準貫入試験は、他のサウンディングと異なり、ボーリング孔を利用した試験法であることから試験時に土を採取することが出来るという非常に優れた特徴を有している。

このように、標準貫入試験は万能で優れた調査法ではあるものの、コストの制約が大きい小規模建築物では、実施されることは希である。しかし、度重なる震災の影響から、地盤に対する関心度や要求性能が高まり、最近では採用される件数も増えてきている。そこで本号では、標準貫入試験の内容や留意点を述べると共に、試験（ボーリング）時に並行して行うことが出来るその他の試験についても概説する。

2. 試験方法

【概要】

本試験は、[図-1](#)に示すボーリングマシンを使用し、質量63.5kgのハンマーを76cmの高さからアンビルに自由落下させ、SPTサンプラー（[写真-1](#)参照）を30cm打ち込むに必要な打撃回数を*N*値とし、地盤の硬軟および締まり具合を判断する試験方法である。

SPTサンプラーは、原位置の土を採取出来る（[写真-2](#)参照）ため、土層構成を把握することが出来る。

ハンマーの落下方法は、自動落下方式と手動落下方式（[図-2](#)参照）があり、*N*値を設計に用いる場合は自動落下方式の採用が原則となる。

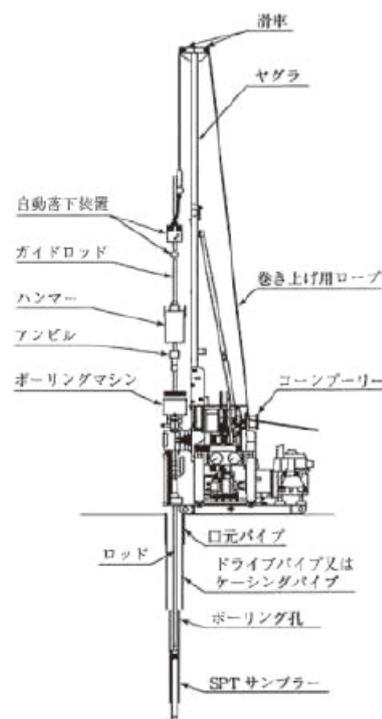


図-1 標準貫入試験装置および機器の名称²⁾



写真-1 SPT サンプラー



写真-2 SPT サンプラーによる試料採取状況（腐植土）

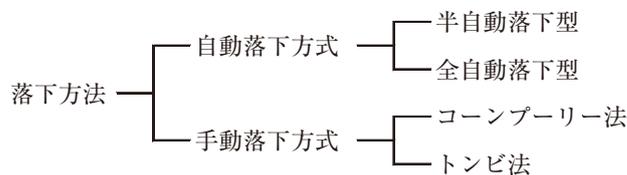


図-2 落下方法の種類

【規格・基準】

JIS A 1219 : 2013 「標準貫入試験方法」

【分類】

動的貫入試験 (国告示1113号第1 : 地盤調査方法に該当)

【適用範囲】

あらゆる地盤に対応しており、測定深度の上限値は原則もうけていない。

【得られる地盤情報】

- ・ N値 : SPTサンプラー貫入時の打撃回数
- ・ 土質 : SPTサンプラーにより採取された試料から土質判別が可能
- ・ 孔内水位 : 試験孔を利用して計測 (建築では、地下水位として採用するが多い)

3. 試験結果の利用

標準貫入試験結果を用いて、土の強さに関連した様々な地盤定数の推定が可能であり以下に示す。

【砂質土のN値と相対密度 D_r 】

N値と相対密度の関係は、直接的に関係づけたもの (表-1 参照) と、深度の違いによる有効上載圧 σ'_v の影響を考慮したもの (式1、式2)²⁾ に大別される。

表-1 N値と砂の相対密度の関係¹⁾²⁾

N値	相対密度 (Terzaghi・Peck)	現場判定法
0~4	非常に緩い (very loose)	鉄筋が容易に手で貫入
4~10	緩い (loose)	ショベル (スコップ) で掘削可能
10~30	中位の (medium)	鉄筋を5ポンドハンマで打込み容易
30~50	密な (dense)	同上、30cm程度貫入
>50	非常に密な (very dense)	同上、5~6cm貫入、掘削にはし必要、打込み時金属音

注) 鉄筋は ϕ 13mm

砂質土地盤 $D_r = 208 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 69}}$ 式1

礫質土地盤 $D_r = 25.7 N^{0.43} \times \sigma_v'^{-0.1}$ ($50 \leq \sigma_v' \leq 6000 \text{ kN/m}^2$)式2

ここに σ_v' : 有効上載圧 (kN/m^2)

【N値とせん断抵抗角 (内部摩擦角)】

N値とせん断抵抗角の関係は、相対密度と同様に直接的に関係づけたもの (式3参照)^{3)、6)} と、深度の違いによる有効上載圧 σ'_v の影響を考慮したもの (式4、式5参照)³⁾ に大別される。

$\phi = \sqrt{20N} + 15$ (大崎式)式3

$\phi = \sqrt{20N_1} + 20$ ($3.5 \leq N_1 \leq 20$)式4

$\phi = 40$ ($20 < N_1$)式5

ただし、 $N_1 = \sqrt{98/\sigma_v'} \times N$

【砂質土の液状化抵抗比】

砂質地盤における液状化抵抗比 R は、N値に対して有効上載圧 σ'_v および細粒分含有率 F_c を考慮した補正N値 (N_a) を算出し、図-3中の限界せん断ひずみ曲線5%を用いて液状化抵抗比 R を求める。

・ 有効上載圧によるN値の補正³⁾

$N_1 = \sqrt{\frac{98}{\sigma_v'}} \times N$ 式6

・ 細粒分含有率によるN値の補正³⁾

$F_c < 5\% : N_a = N_1$ 式7

$5\% < F_c \leq 10\% : N_a = N_1 + 1.2 (F_c - 5) N_1$ 式8

$10\% < F_c \leq 20\% : N_a = N_1 + 6 + 0.2 (F_c - 10)$ 式9

$20\% < F_c \leq 50\% : N_a = N_1 + 8 + 0.1 (F_c - 20)$ 式10

【粘性土のN値と一軸圧縮強さ、コンシステンシー】

terzaghi and peckは、N値と粘土の一軸圧縮強さおよびコンシステンシーについて図-4に示す関係を示してお

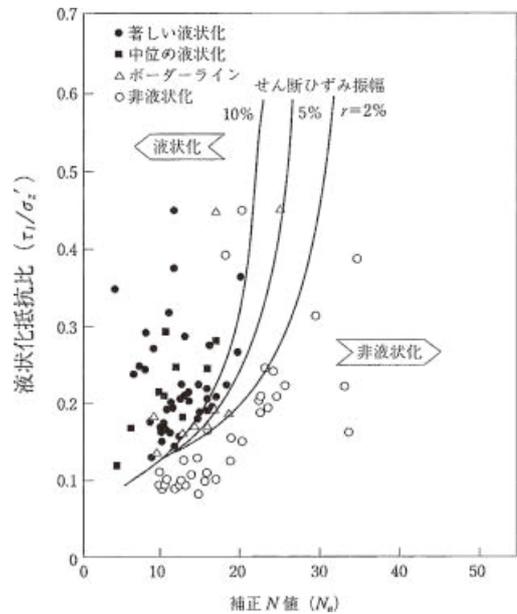


図-3 補正N値と液状化抵抗比の関係³⁾

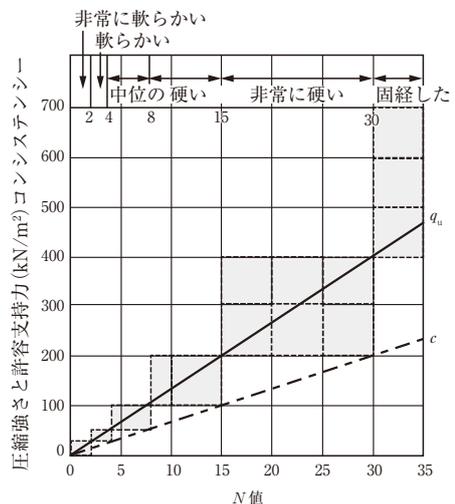


図-4 N値と一軸圧縮強さおよびコンシステンシー²⁾

り、 q_u の関係式(式11)は広く用いられている。この関係式は、標準貫入試験用サンプラーで採取された乱れた試料により求められているため過小評価であり、適切に評価するためには、不攪乱試料の採取を行い圧縮試験の実施を推奨する。

$$q_u = 12.5N^{1.6} \dots\dots\dots\text{式11}$$

$$q_u = 40 + 5N^{0.5} \text{ (東京の地盤)} \dots\dots\dots\text{式12}$$

$$q_u = 25 \sim 50N^{0.78} \text{ (} N > 4 \text{)} \dots\dots\dots\text{式13}$$

【N値と変形係数】

杭基礎を採用する場合に必要な地盤の変形係数 E_p (ボーリング孔を利用した孔内水平載荷試験から求めた変形係数)は、図-5に示す様にN値と明確な関係があり、式14に示す関係式は広く用いられている。また、平板載荷試験から求めた鉛直方向の変形係数 E_s についても関係式(式15、式16)は示されている。

$$E_p = 700N^{2.4} \dots\dots\dots\text{式14}$$

$$\text{過圧密の砂} : E_s = 2800N^{0.3} \dots\dots\dots\text{式15}$$

$$\text{正規圧密の砂} : E_s = 1400N^{0.3} \dots\dots\dots\text{式16}$$

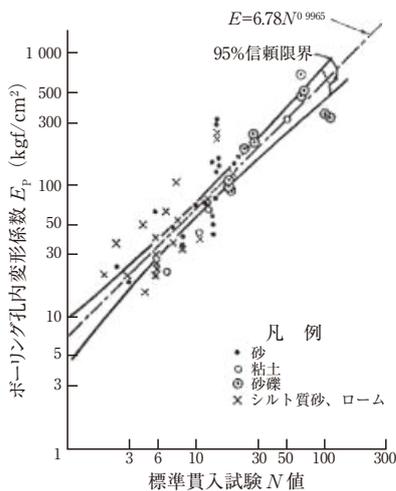


図-5 N値とボーリング孔内変形係数²⁾⁴⁾

4. 標準貫入試験の特徴と留意点

標準貫入試験の主な長所と短所を表-2に示す。長所だけを見ると、非の打ち所が無い調査法と言えるが、小規模建築物の地盤調査として採用されにくい短所も多い。一般建築物や土木構造物のように、支持層まで杭を打つようなものと違い、小規模建築物は軽量であるため、建物直下に比較的軟弱な地盤が介在していても支持力を確保することが出来る。したがって、小規模建築物の基礎設計で最も大切な検討項目は、地盤の沈下(変形)とそのバラツキ(不同沈下)なのである。

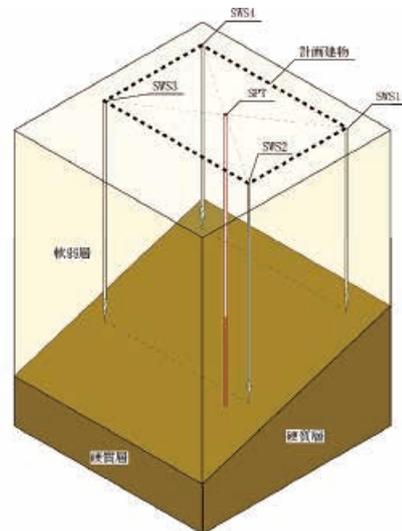
小規模建築物にて標準貫入試験を採用する場合、費用の関係から1測点しか実施されない場合が大半である。平野部の調査であればともかく、図-6に示す様な傾斜地において、建物中央で標準貫入試験を1箇所実施しただけでは、沈下量のバラツキを評価出来ないため、調査目的を達

成したとは言えない。バラツキを把握するためには、地層を立体的に把握する必要があるため、安価で多測点の調査が可能なSWS試験等との併用が有効である。

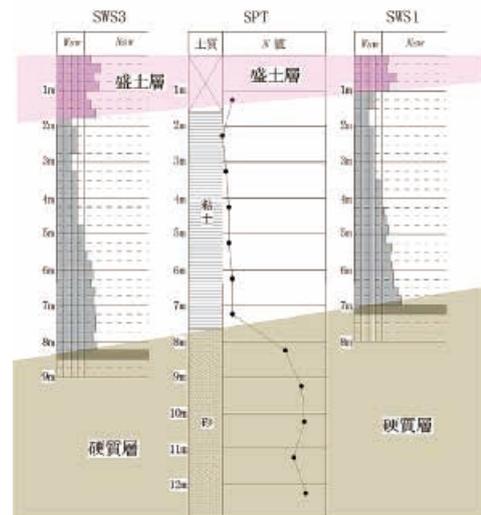
また、設計で用いるN値を求めるためには、自動落下方式を採用する必要があるが、軟弱地盤の範囲では、ハン

表-2 標準貫入試験の長所と短所

長所	<ul style="list-style-type: none"> ①軟弱層から硬質層まで調査が可能。 ②土質および層厚を明確に把握出来る。 ③孔内水位(地下水位)を把握出来る。 ④ロッドに生じる摩擦抵抗の影響を受けないため、調査深度の地盤を適切に評価出来る。 ⑤把握したい土質定数に合わせて、様々な試験が実施出来る。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ①調査時間が長く、調査費が高価である。 ②①の理由で、多測点の調査が出来ない。 ③地盤の縮まり具合を連続的に把握出来ない。 ④試験設備が大きく、狭小地では調査できない。 ⑤小規模建築物の地盤調査として重要な、軟弱地盤部分のN値にバラツキが出やすい。



(a) 調査位置および地層概要



地形に起伏がある地域において、標準貫入試験を1箇所だけ実施しても、地層を立体的に捉えることは出来ない。SWS試験等を併用することで、地層の傾斜方向を把握し、杭の設計や支持層への定着などを確実に行うことが出来る。

(b) 調査結果概要

図-6 傾斜地における地盤調査概要

マーが調査機を強打することを恐れ、手動式（コンプリー法）により落下高さや麻縄のテンションを調整しながら試験する技術者が多く、小規模建築物で重要となる軟弱地盤部分の調査精度に注意が必要である。

5. その他調査および試験

【サンプリング（不攪乱試料の採取）】

地層の力学特性および物理特性を把握するためには不攪乱試料の採取が必要となる。不攪乱試料の採取には、様々なサンプラーが存在するが、一般的に幅広く用いられている固定ピストン式シンウォールサンプラーを紹介する。適用地盤は、粘性土で N 値8以下、砂質土で N 値10以下と軟弱な地盤に適したサンプラーであり、に示すようにサンプリングチューブ（参照）を押し込むことで試料を採取する。

【孔内載荷試験】

本試験は、標準貫入試験後の試験孔にプローブ（参照）を挿入し、加圧することでプローブを膨張させ、その際の圧力と体積変化量およびクリープ量などから地盤の

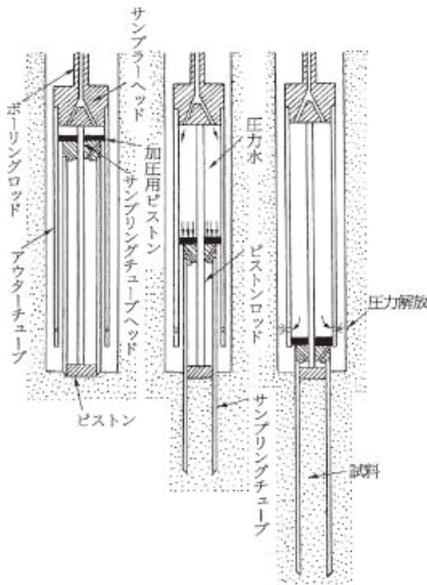


図-7 試料採取の概念図（水圧式）²⁾



(a) 全景



(b) 刃先状況

(c) 輸送箱

写真-3 サンプリングチューブ



(a) 試験装置例

(b) プローブ（加圧前後）

写真-4 孔内載荷試験装置例

変形係数 E を計測する試験である。

杭基礎を採用する際、式14による地盤の変形係数から水平地盤反力係数 kH を推定するが、杭材に働く曲げモーメントや杭頭変位量を適切に把握するためには、本試験は非常に有効である。

6. おわりに

小規模建築物の地盤調査法として主流であるSWS試験（Vol. 8参照）と標準貫入試験は、長所と短所を見比べると相反している項目が多く見られる。適切な調査法の選定には、「地盤条件」、「建物条件」、「費用」、「要求性能」など様々な項目を考慮して選定する必要があるが、SWS試験だけで安全が確認出来ないような地盤の場合や要求性能が高い建物の場合は、標準貫入試験との併用を是非とも推奨したい。災害大国日本で住む以上、人生で1度買えるか買えないかの財産を守るためであれば、賢明な費用と私は思う。

7. 参考文献

- 1) Terzaghi, K. and Peck, R. B. : Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, 1948
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説（2013）
- 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針（2001）
- 4) 吉中龍之進：横方向地盤応力係数，土木技術資料，Vol.10, No.1, (1968)
- 5) 青木一二三：砂の内部摩擦角の新算定式，構造物設計資料No.82, pp.33~35, 日本鉄道施設協会（1985）
- 6) 地盤工学会： N 値と $c \cdot \phi$ の活用法（1998）
- 7) 竹中準之介・西垣好彦：標準貫入試験における基礎的研究（Ⅲ），第9回土質工学研究発表会講演集，pp.13~16（1974）
- 8) 奥村樹郎：港湾構造物の設計における N 値の考え方と利用例，基礎工，Vol.10, No.6, pp.57~62（1982）