

# 新しい地盤調査法のすすめ

## CPT（電気式静的コーン貫入試験）による地盤調査

2002年5月（初編）

2010年9月（改訂）



株式会社 タカラエンジニアリング

## 1. CPT (Cone Penetration Testing) の概要

日本の地盤調査法は、地盤ボーリングと標準貫入試験（写真-1.1）をもとに土質柱状図とN値グラフを作成する。ボーリング孔内より不攪乱試料を採取して室内土質試験をおこない土の物理・力学特性値を求める。ボーリング孔を利用して地下水の性状、地盤の変形特性、地盤の弾性波速度等を求めるのが一般的手法となっています。

地盤は複雑なので、よい設計・施工を行うためには綿密な地盤調査が必要ですが、ボーリング調査法はこのように手間が（コストも）掛かるので、十分な調査が行えていないケースも多いと思います。

CPT（写真-1.2）は、電気式コーンを静的に貫入して地盤の抵抗や間隙水圧等のデータを連続的に採取する調査法です。これらのデータ分析から土質柱状図、換算N値、物理・力学特性を求めます（図-1.1）。また、地盤の透水係数、弾性波速度も同時に求めることもできます。CPTはボーリング調査と比べて調査・試験速度は数倍、コストは半分以下とコストパフォーマンスが高く、欧米では主要な地盤調査法となっています。

山地から海岸までの距離が短い我が国では、玉石や砂礫層の介在する場合があるので、CPTのみでの調査を完結することは難しいかもしれませんが、ボーリング調査と上手に組み合わせることにより、調査の低廉化と高度化を進めることができます。



写真-1.1 ボーリング（標準貫入試験）



写真-1.2 CPT（電気式静的コーン貫入試験）

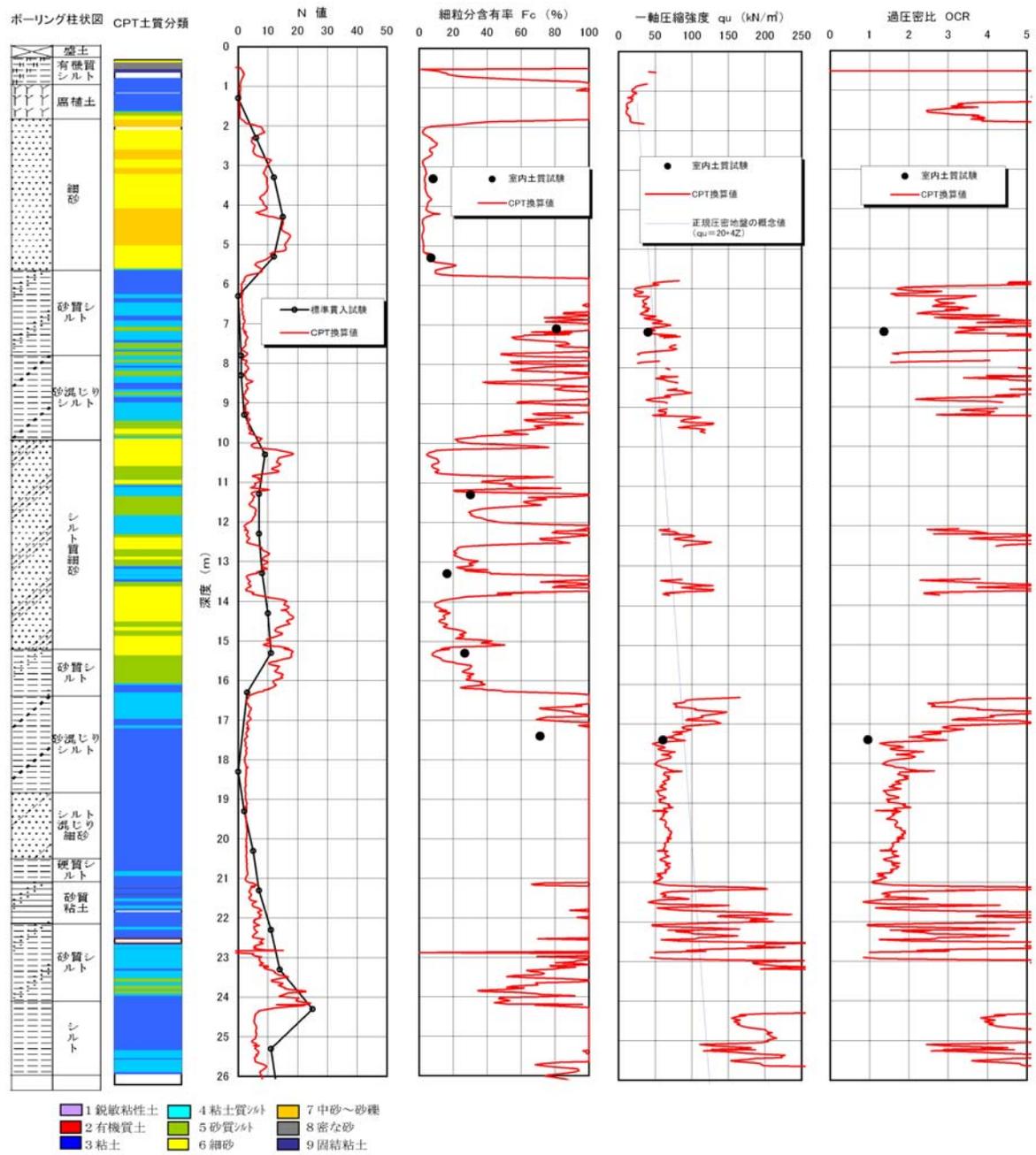


図-1.1 CPT調査例

## 2. CPTを利用するメリット

- ボーリング柱状図は1 m毎、30cm長さの土質試料を観察して作成するのに対し、CPTによる土質柱状図は数 cmピッチの機械的データをコンピュータ処理して作成するので、ヒューマンエラーや薄層を見落とすこともありません。
- N値では正当な強度評価ができないような軟弱地盤も適切に評価できます。
- 地盤の物理・力学特性を連続的に評価できるので（図-1.1）、室内土質試験、原位置試験の省略によるコストダウンが可能です。
- 地下水位、透水係数、弾性波速度（P波、S波）等のデータ採取も同時進行できるので、ボーリング孔による原位置試験より時間・コストを大きく節約できます。

## 3. CPTの規格

CPT（国内基準では「電気式静的コーン貫入試験」）は、地盤工学会基準（JGS 1435-2003）で定められており、コーンは鋼製で先端角  $60^\circ$ 、先端部の底面積  $10\text{ cm}^2$ 、間隙水圧測定用フィルターはコーンが直線になる位置から  $h_e=33\text{ mm}$  以内に設置、コーンの外径は  $h=300\text{ mm}$  まで同じとする。貫入速度は  $20\pm 5\text{ mm/sec}$ 、データの取り込みは貫入量  $100\text{ mm}$  以下の間隔で行うことが規定されています。

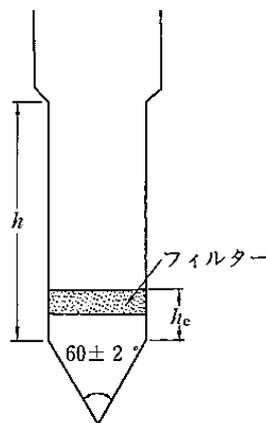


図-3.1 コーンの形状と寸法

実施に用いる電気式コーンは、オランダの GeoMil、Fugro、スウェーデンの Geotech、米国の Vertec 社などのもので、コーン構造は一般に図-3.2 のようになっています。

貫入装置は、 $20\text{ mm/sec}$  の一定速度で貫入するように設定されています。貫入深さの測定は、貫入装置に取り付けられた変位計により貫入量をデータロガーに取り込む装置となっています。データ取り込みは貫入量  $20\text{ mm}$  毎と JGS の規格（ $100\text{ mm}$ ）より十分細かくできます。

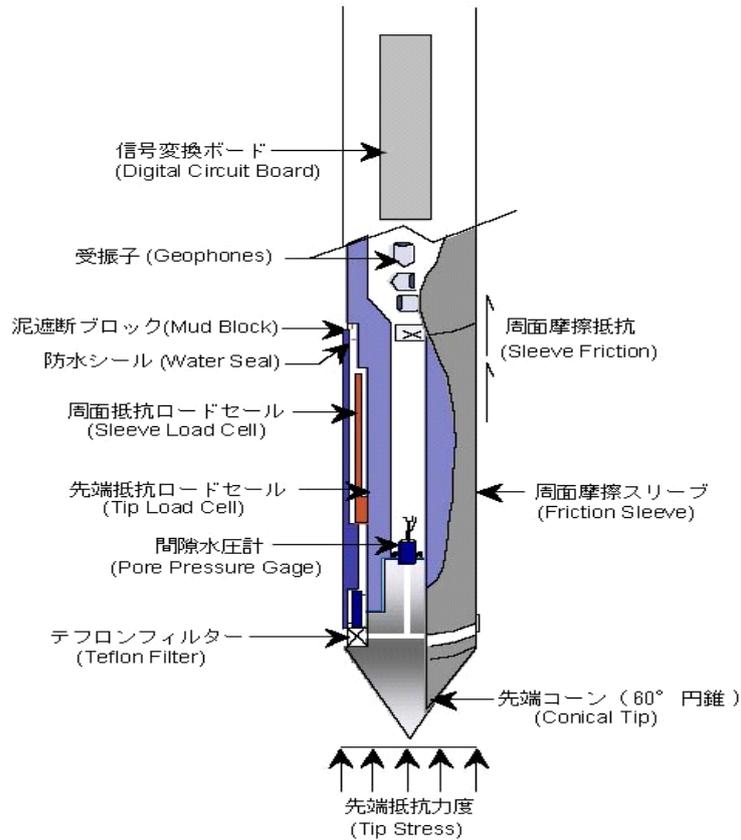


図-3.2 電気式コーンの構造

## 4. CPTの解析と利用

### 4.1 データから得られる情報

電気式静的コーン貫入試験から得られるデータは先端抵抗( $q_c$ )、周面摩擦( $f_s$ )、ならびに間隙水圧( $u$ )です。この値を既往の研究成果と対比することにより、次の情報を把握することができます。

- 1) 地盤の土層構成
- 2) 土の分類
- 3) 相対密度 ( $D_r$ )
- 4) 換算N値
- 5) 非排水せん断強度 ( $C_u$ ) または一軸圧縮強度 ( $q_u$ )
- 6) 細粒分含有率 ( $F_c$ )
- 7) 過圧密比 (OCR)

さらに、コーン貫入中に発生する間隙水圧の消散 TEST を行うことにより、次の情報も得ることができます。

- 8) 地下水位の位置
- 9) 土の圧密係数 ( $C_v$ )
- 10) 透水係数 ( $K$ )

## 4.2 先端抵抗の補正

コーンには、間隙水圧測定のためのフィルターが設置されています。貫入時にフィルター部分に間隙水圧  $u$  が作用するため、測定される先端抵抗に影響を与えます。このことから、測定先端抵抗は、間隙水圧の影響を考慮して補正した値を用います。

$$q_t = q_c + u \left( 1 - \frac{A_N}{A_T} \right) \quad (4-1)$$

ここで

- $q_t$  : 補正先端抵抗 (kPa)
- $q_c$  : 測定先端抵抗 (kPa)
- $u$  : 間隙水圧 (kPa)
- $A_N$  : フィルター部分を除いた有効断面積
- $A_T$  : コーン本体の断面積

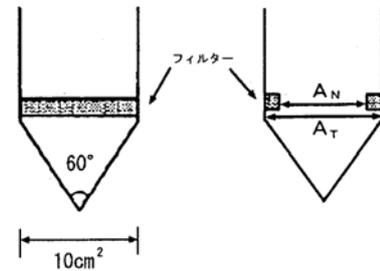


図-4.1 先端抵抗補正概念図

砂質土は透水性が高く  $u$  の値も小さいので  $q_c$  と  $q_t$  のいずれを用いても実用上問題とはなりません。粘性土の場合、 $q_c$  値が小さく  $u$  の値は大きいので、式 (4-1) による補正が必要となります。

## 4.3 地下水位

一般に、透水性の高い砂質土では間隙水圧と静水圧が等しくなります。したがって、貫入時に測定した間隙水圧より地下水位が求められます。透水性の低い粘性土の場合は、間隙水圧の消散を待つことにより静水圧を求めることができます。

## 4.4 間隙水圧消散 TEST

間隙水圧消散 TEST は、任意の深度でコーンの貫入を一時停止して、過剰間隙水圧の消散状況を測定します。通常、間隙水圧の少なくとも 50 パーセントが消散するまで測定を続けます。この時間  $t_{50}$  は、地層の側方圧密係数と透水係数によって支配されます。

間隙水圧消散試験結果は、縦軸に総間隙水圧を、横軸に測定経過時間を対数軸としたグラフ上に示します。間隙水圧は、消散試験を十分長い時間実施すれば、静水圧に収束します。

#### 4.5 土質分類

Robertson は三成分コーンの詳細なデータ分析から、基準化した先端抵抗  $Q_t$  と、コーン周面摩擦比  $F_r$  を用いて土質分類チャートを図-4.2 のように提案しています。

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \quad F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{vo}} \times 100 \quad (4-2)$$

ここで

- $Q_t$  : 基準化した先端抵抗
- $F_r$  : コーン周面摩擦比 (%)
- $f_s$  : 周面摩擦 (kPa)
- $q_t$  : 補正された先端抵抗値 (kPa)
- $\sigma_{vo}$  : 総土被り圧力 (kPa)
- $\sigma'_{vo}$  : 有効土被り圧 (kPa)

式(4-2)式によって得られた  $Q_t$  と  $F_r$  の交点を図 3-2 から求め、その交点が含まれる領域の番号が、土質性状タイプを示す番号となります。

土質性状タイプ	Ic値
1 鋭敏比の高い粘性土	適用せず
2 有機質土	>3.6
3 粘土	2.95~3.60
4 粘土質シルト	2.60~2.95
5 砂質シルト	2.05~2.60
6 砂	1.31~2.05
7 砂礫	<1.31
8 密な砂*	適用せず
9 固結粘土	適用せず

\* 高度な過圧密または固結状態

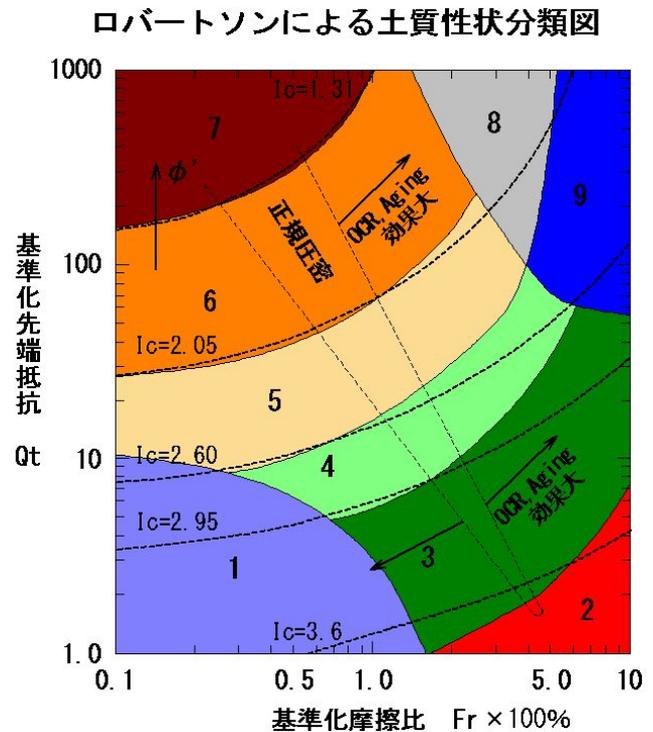


図-4.2 土質分類チャート

#### 4.6 換算N値

換算N値はRobertsonやJefferies&Daviesらによって提案されている他、日本では實松、鈴木、時松らによっても提案(4-3式)されています(日本建築学会構造系論文集第566号)。

$$N_c = 0.341 I_c^{1.94} (q_t - 0.2)^{(1.34 + 0.0927 I_c)} \quad (4-3)$$

$$I_c = \left\{ (3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2 \right\}^{0.5}$$

$$Q_t = \frac{(q_t - \sigma_v)}{\sigma'_v}$$

$$F_r = \frac{f_s}{(q_t - \sigma_v)} \cdot 100$$

ここで

$N_c$ : 換算N値

$I_c$ : 土質分類指数

$F_r$ : コーン周面摩擦比 (%)

$Q_t$ : 基準化した先端抵抗

$\sigma_{vo}$ : 総土被り圧力 (kPa)

$q_t$ : 補正先端応力 (kPa)

$\sigma'_v$ : 有効被り圧力 (kPa)

$f_s$ : 周面摩擦抵抗 (kPa)

#### 4.7 非排水せん断強さ ( $S_u$ )

粒径が細かく飽和した土の非排水せん断力の評価は、支持力理論にもとづいた次式で評価されるのが一般的です。

$$S_u = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{N_{kt}} \quad (4-4)$$

ここで

$S_u$ : 非排水せん断強さ (kPa)

$q_t$ : 補正された先端抵抗値 (kPa)

$\sigma_{vo}$ : 総有効土被り圧

$N_{kt}$ : コーン係数

コーン係数  $N_{kt}$  は、図-4.3 (地盤調査法 地盤工学会より転載)に

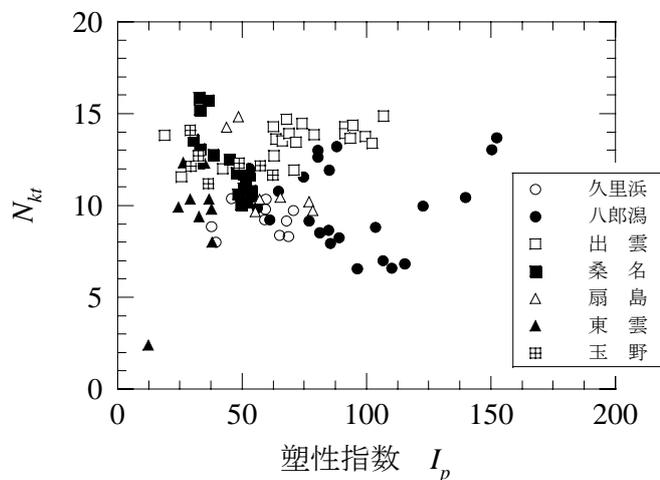


図-4.3 わが国の海成粘土で得られたコーン係数  $N_{kt}$  (せん断強さを  $q_u/2$  で求めた場合) (田中ら)

示す範囲にあります。

#### 4.9 細粒分含有率

鈴木、實松、時松らにより、式 4-5 が提案されています（日本建築学会構造系論文集第 566 号）。

$$F_c = I_c^{4.2} \quad (4-5)$$

$$I_c = \left\{ (3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2 \right\}^{0.5}$$

ここで

$F_c$  : 細粒分含有率 (%)

$I_c$  : 土質分類指数

$Q_t$  : 基準化した先端抵抗

$F_r$  : コーン周面摩擦比 (%)

#### 4.10 過圧密比 (OCR) の評価

現在土が受けている応力が、今までに受けたことがある応力の最大値であるなら、土は正規圧密状態といえます。過圧密状態の地盤とは、土が経験した最大の応力より現在の応力が小さい状態をいいます。過圧密比 (OCR) は土の過圧密状態の程度を決定するために使われる値で、以下に定義されます。

$$OCR = \frac{(\sigma'_{vo})_{\max}}{\sigma'_{vo}} \quad (4-6)$$

ここで

$(\sigma'_{vo})_{\max}$  : 土が経験した最大有効垂直土被り応力

$\sigma'_{vo}$  = 現在の有効垂直土被り応力

過圧密土の場合、 $OCR > 1$  となる。

正規圧密土の場合、 $(\sigma'_{vo})_{\max} = (\sigma'_{vo})$  であるから  $OCR = 1$  となる。

CPT より OCR を求める方法として、Robertson, 2009 は、式 4-7 を提案しています。

$$OCR = 0.25(Q_t)^{1.25} \quad (4-7)$$

ここで

$Q_t$  : 基準化した先端抵抗

