

CPT データを利用した設計強度定数の推定 — その 1 粘性土の非排水せん断強度について —

CPT (株)地盤試験所 国際会員 宮坂 享明 日本工業大学 国際会員 桑原 文夫
 設計強度定数 (株)地盤試験所 正会員 岡 信太郎 (株)地盤試験所 正会員 岩本 勝大
 粘着力 (株)地盤試験所 正会員 ○山本 伊作 (株)地盤試験所 非会員 樋口 靖

1 はじめに

近年、産業技術の進歩に伴いコーン貫入試験も目覚ましい変化を遂げている。具体的には国内の多種多様な地盤に対応できるように貫入圧入装置の小型化・ドリリングやハンマリングなどの多機能化および反力装置の小型化・効率化などである。コスト的にはまだ問題点が若干残っているが、性能設計時代に実用的な地盤調査法と云えよう。本報文はコーン貫入試験から取得したデータから粘性土の設計用土質強度定数の推定について述べるものである。

2 粘性土の非排水せん断強度の推定

オランダ式 2 重管コーン貫入試験または電気式 3 成分静的コーン貫入試験 (以下併せて CPT と略す) から得られた先端抵抗力度 q_c と、粘性土の非排水せん断強度 S_u との相関を示す基本式は式 (1) のとおりである¹⁾。

$$S_u = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{N_k} \dots\dots(1)$$

ここで、 S_u は非排水せん断強度、 q_c は先端抵抗力度計測値、 σ_{vo} は全土かぶり圧、 N_k はコーン指数である。式(1)右辺の分子のところは、全土かぶり圧を差引くことで、正味のコーン先端貫入抵抗力度を表している。

本文は非排水せん断強度の推定に関わるコーン指数 N_k (コーンファクター) に注目し、様々な検討を加えた。まずは粘性土の非排水せん断強度(S_u)とコーン指数との相関式の導かれ方を、浅い基礎と深い基礎に分けて紹介する。

2-1 浅い基礎の場合

粘土地盤における浅い基礎の極限支持力 q_u は Terzaghi-Meyerhof の式で表すと、

$$q_u = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + c N_c + \gamma D_f N_q \dots\dots(2)$$

ここで、 γ は単位体積重量、 B は基礎幅、 c は粘着力、 D_f は基礎底面深さ、 N_γ 、 N_c 、 N_q は支持力係数である。一般的に飽和粘土の非排水せん断強度(S_u)は、原位置ベーン試験、原位置から採集した土試料の室内せん断試験、一軸圧縮試験、三軸圧縮または引張試験から求められるが、式で算定する場合には、内部摩擦角(ϕ)が 0 であることから、粘着力(c)に等しい。さらに内部摩擦角 ϕ が 0 のときの Terzaghi の支持力係数 $N_\gamma=0$ 、 $N_q=1$ 、 $N_c=5.7$ となる。これらをもって式(2)を整理すると、式 (3) のようになる。

$$S_u = c = \frac{q_u - \gamma D_f N_q}{N_c} = \frac{q_u - \gamma D_f}{N_c} = \frac{q_u - \gamma D_f}{5.7} \dots\dots(3)$$

式(3)と式(1)を見比べると、式の形がまったく同様であることがわかる。

2-2 深い基礎の場合

杭のような深い基礎の場合、粘性土地盤に根入れした打込み杭の先端極限支持力(Q_p)は、浅い基礎の場合と同様に、 $\phi=0$ 、 $N_\gamma=0$ 、 $N_q=1$ 、さらに γD_f が杭自重と相殺されるとして、経験的に式 (4) が成立することが確認されている²⁾。

$$Q_p = A_p c N_c \Rightarrow q_p = \frac{Q_p}{A_p} = c N_c \Rightarrow c = \frac{q_p}{N_c} \dots\dots(4)$$

ここで、 A_p は杭の先端閉塞断面積、 q_p は杭の先端極限支持力度である。打込み杭工法で施工された中実正方形杭や円筒形杭に適用される N_c の値は表-1 に示す。

表-1 N_c の値²⁾

深度/杭径 (D _f /B)	N _c
0	6.3
1	7.8
2	8.5
≥4	9

2-3 相関式の形

式(3)と式(4)を見れば、浅い基礎、深い基礎に関わりなく、先端抵抗力度は粘土地盤の非排水せん断強度との間に、ある係数を介して相関性を持っていることがわかる。CPT の場合もまったく同様な理屈であり、式(1)の係数(N_k)のことをコーン指数と呼ぶ。

3 コーン指数の種類と値

非排水せん断強度を算定するときに用いるコーン指数は、使用するコーン貫入抵抗の種類によって、以下に述べる 3 つに分けることができる。

3-1 コーン貫入全抵抗力度

3 成分 CPT のコーン先端構造を図-1 に示す。間隙水圧(u_2)を測るフィルターはコーンの直上にあるため、コーン先端全抵抗力度は間隙水圧で補正する必要がある。補正された先端抵抗値は式 (5) で与えられる。基本式である式(1)のコーン先端全抵抗力度 q_c は、間隙水圧計測機能が付いていないときの測定値である。このような場合はコーン指数を N_k と表す。これに対して、間隙水圧計測機能が付いている場合は、間隙水圧で補正した全貫入抵抗力度 q_t を用いなければならない

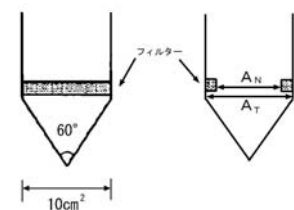


図-1 コーン先端構造図

Estimation of Soil Strength Parameter Based on CPT Data: Part 1 Undrained Shear Strength

T. MIYASAKA¹⁾, F. KUWABARA²⁾, S. OKA¹⁾, K. IWAMOTO¹⁾, I. YAMAMOTO¹⁾, Y. HIGUCHI¹⁾

¹⁾Jibanshikenjo Co., Ltd., ²⁾Nippon Institute of Technology

らない。このような場合は、式(6)に示すとおりコーン指数を N_{kt} と表す。

$$q_t = q_c + u_2 \left(1 - \frac{A_N}{A_T} \right) \dots\dots\dots(5) \quad S_u = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{N_{kt}} \dots\dots\dots(6)$$

ここで、 q_t は補正先端抵抗力度、 u_2 は間隙水圧、 A_N はフィルター部分を除いた有効断面積、 A_T は先端コーン本体断面積である。コーン指数 N_k の値は、一般的に表-1 に示す N_c の値に比べて若干大きくなっている傾向がある。これはコーン直径が杭に比べてかなり小さくなっていることから、寸法効果によるものと考えられる。 N_k の値は、ヨーロッパ、北米では 10~20 の範囲内に分布しており、過去のデータがなければ平均値である 15 を用いるのが一般的である³⁾。これに対して、日本国内では 10 程度といわれており、粘土地盤の堆積過程や構成鉱物などの相異によるものと考えられる。一方 N_{kt} の理論値は、式(7)に示す。

$$N_{kt} = 0.19 + 2.64 \ln(I_r) - \frac{\sigma_{vo}}{S_u} (1 - K_o) + 2\alpha \dots\dots(7)$$

式(7)に基づいて計算した一般的な N_{kt} の理論解の値の分布を図-2 に示す。ここで、 I_r は剛性指標、 K_o は水平方向土圧係数、 α は粗度係数、 $\alpha=0$ (滑らか)、 $\alpha=1$ (粗い)、 G はせん断弾性係数である。図-2 をみると、 N_{kt} の理論解の値は、 N_k の実測データとほぼ同様な値を示している。これに対して、国内海成粘性土の場合のコーン指数 N_{kt} は、図-3 に示すように塑性指数(I_p)と相関関係なく、8~16 に分布していると田中らが報告している⁴⁾。また、筆者らは国内において数多くの CPT 結果に基づき、粘土地盤の非排水せん断強度に強い地域特性があることを報告し、粘土の非排水せん断強度 S_u を推定するときに用いられるコーン指数 N_k を特定するには、原位置ベーン試験または一軸圧縮試験や三軸圧縮試験のような室内試験を用いたロカライゼーションが必要であることを提議している⁵⁾。

3. 2 コーン有効貫入抵抗力度

コーン有効貫入抵抗力度(q_e)を使用した非排水せん断強度との相関式を式(8)に示す。

$$S_u = \frac{q_e}{N_{ke}} = \frac{q_t - u_2}{N_{ke}} \dots\dots\dots(8)$$

ここで、 u_2 は間隙水圧測定値である。 N_{ke} の値は通常の粘性土では約 9 ± 3 となっている。しかしながら極軟弱粘性土では、 q_e 自体の値が小さく、 q_c や u_2 の計測誤差に影響を受けやすいことから、コーン指数 N_{ke} のバラツキが大きく実用的になっていない¹⁾。

3. 3 過剰間隙水圧

過剰間隙水圧(Δu)を使用した非排水せん断強度との相関式を式(9)に示す。

$$S_u = \frac{\Delta u}{N_{\Delta u}} = \frac{u_2 - u_0}{N_{\Delta u}} \dots\dots\dots(9)$$

ここで、 u_0 は静水圧、 Δu は過剰間隙水圧である。Vesic の空洞押し広げ理論に基づくコーン指数 $N_{\Delta u}$ の理論解の値は、2~20 の比較的広い範囲に分布しているが、極軟弱粘性土層においてはコーン先端貫入抵抗力度を測る荷重計の非線形性や分解能限界などにより、 q_t の精度に不確実性がある場合、設計用非排水せん断強度を求めるには、 N_{kt} を用いるよりも $N_{\Delta u}$ を用いて、その値を 7~10 にするのが安全である¹⁾。

4 まとめ

粘土地盤においてコーン指数を使って設計用非排水せん断強度を決める際、間隙水圧の測定値に不安がある現状を勘案しながら安全を考慮して、下記の値を用いるのが妥当と思われる¹⁾。なお、コーン指数の下限値を設けることは、設計強度の上限値を設けることと同義であることに注意されたい。

原則的には原位置ベーン試験または室内せん断試験、一軸圧縮試験、三軸圧縮試験などによるロカライゼーションにより、コーン指数を決めるのが最善であろう。試験によるロカライゼーションができない場合には、極軟弱粘性土に対して $N_{\Delta u}$ を 7~10 の範囲内に、正規圧密粘土に対して N_{kt} の下限値を 10 程度に、通常の粘性土に対して N_{kt} を 15~20 の範囲内に、固結粘土に対して N_{kt} の下限値を 30 程度にすることが一般的である。

【参考文献】

- 1) T. Lunne, P.K. Robertson, J.J.M. Powell; Cone penetration Testing in Geotechnical Practice, p.64~68, 1997
- 2) Foundations and Earth Structures Design Manual, NAVFAC, DM 7.2, Fig.2, p.7.2-196, 1982
- 3) P.K. Robertson, R.G.Campanella, Guideline for Using the CPT, CPTU and Marchetti DMT for Geotechnical Design, Vol. II, Univ. of British Columbia, Vancouver, BC, Canada; Mar. 1988
- 4) 田中洋行, 榊原基生他; 我が国の正規圧密された海成粘土の静的コーン貫入試験から得られた特性; 港湾技術研究所報告第 31 巻第 4 号; 1992 年 12 月
- 5) 宮坂享明, 兵動正幸; 多成分コーン貫入試験結果の解釈その 2 粘着力およびせん断強度の推定; 第 40 回地盤工学研究発表会, pp67-68; 2005 年 7 月

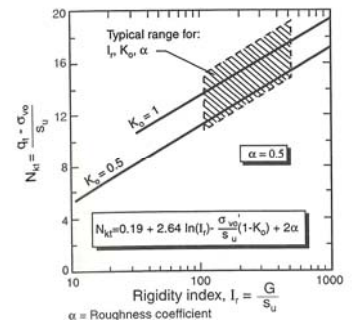


図-2 コーン指数 N_{kt} の理論解の値

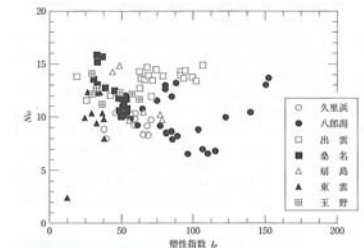


図-3 コーン指数 N_{kt} と I_p との相関