

コーン貫入試験 (CPT) による地盤定数算定手法に関する研究 (その2)

コーン貫入試験 N値 S波速度 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正 山崎 貴之 正 高野 裕輔
 正 阪田 暁
 レールウェイエンジニアリング 国 青木 一二三
 地盤試験所 正 ○岡 信太郎 正 北條 豊

1. はじめに

近年、エレクトロニクス技術の飛躍的な発展により各種小型センサーを内蔵した高性能のコーン貫入機が普及し始めている。その中で、コーン貫入試験 (以下、CPT) は、従来の「先端抵抗」「間隙水圧」「周面摩擦」の三成分の測定に加えて「せん断波速度 (S波速度) の測定」ができる受振器を内蔵し、従来のコーン貫入試験とダウンホール式のせん断波速度測定を同時に実施できる多機能の試験機である。これにより、ボーリング調査情報を効率的に補完し、耐震設計に必要な情報を得ることが可能となり、全体工事費の削減にも繋がる。

機構では従来手法 (ボーリング調査) との関連性、経済性、適用性を検討しつつ、これまでに実務でも利用し、データを蓄積してきた。本報告では、これまで得られた調査データの収集と整理・分析し、地盤定数への変換に用いられてきた既存式をベースに修正した提案式について検討を行うことで、既存の各地盤定数に対する精度の向上を図った。報文2では、室内土質試験、物理探査より得られた実測値をもとに、CPTより求める各地盤定数の推定式を作成する方法と結果について報告する。

2. 提案式の作成方法と結果

提案式は、既存の研究成果である既存式を修正することを基本とし、表-1に示す提案式のベースにある変数A,B,Cを求めた式を採用した。提案式の作成方法は変数A,B,Cにランダムに値を与え、①提案式から求めた推定値と実測値の差分の2乗が最小となる値。②提案式から求めた推定値/実測値の平均値が1.00となる値とした。

単位体積重量はRobertson¹⁾の既存式を採用して提案式のベースとした。N値の既存式²⁾($q_t - 0.2$)にかかる指数は土質性状指数 $I_c = 3.67$ の時に1となる一次式のため、提案式のベースも q_t にかかる指数は $I_c = 3.67$ の時に1となる一次式『 $(-3.67C + 1) + C \cdot I_c$ 』とした。細粒分含有率は補正の必要なしと判断して鈴木ら²⁾の既存式を採用した。非排水せん断強さの分母 (コーン指数) は土質性状指数 I_c の累乗式と相関が良く、提案式のベースを『 $A \cdot I_c^B$ 』とした。有効せん断抵抗角はLunne³⁾らの式は煩雑であることから、Robertson¹⁾の既存式を採用した。圧密降伏応力の既存式は $(q_t - \sigma_{vo})$ の一次曲線であったが、 $(q_t - \sigma_{vo})$ の累乗式のほうが整合が良く、提案式のベースを『 $A(q_t - \sigma_{vo})^B$ 』とした。せん断波速度についてはRobertson¹⁾の既存式を採用して提案式のベースとした。

提案式と実測値を比較した結果を表-2に示す。

表-1 既存式と提案式のベース

土質定数	既存式	提案式のベース
単位体積重量	$\gamma_t = 3.53 \log(q_t / p_a) + 2.65 \log(f_s / q_t \cdot 100) + 12.11$	$\gamma_t = A \log(q_t / p_a) + B \log(f_s / q_t \cdot 100) + C$
N値	$N = 0.341 I_c^{1.94} (q_t - 0.2)^{(1.34 - 0.0927 I_c)}$	$N = A \cdot I_c^B q_t^{(-3.67C + 1) + C I_c}$
細粒分含有率	$FC = I_c^{4.2}$	既存式を採用
非排水せん断強さ	$C_u = (q_t - \sigma_{vo}) / (10.5 + 7 \log F_r)$	$C_u = (q_t - \sigma_{vo}) / (A \cdot I_c^B)$
有効せん断抵抗角	$\tan \phi' = \frac{1}{2.68} \left[\log \left(\frac{q_t}{\sigma'_{vo}} \right) + 0.29 \right]$	既存式を採用
圧密降伏応力	$p_y = 0.33 (q_t - \sigma_{vo})$	$P_y = A \cdot (q_t - \sigma_{vo})^B$
せん断波速度	$V_s = \left[10^{(0.55 I_c + 1.68)} \cdot (q_t - \sigma_{vo}) / p_a \right]^{0.5}$	$V_s = \left[10^{(A \cdot I_c + B)} \cdot (q_t - \sigma_{vo}) / p_a \right]^f$

3. まとめ

室内土質試験より得られた実測値から、CPTデータによる各地盤定数の提案式を作成した。この結果、推定値/実測値の平均が1となる相関の良い提案式を作成することができた。しかし、N値の変動係数は $CV = 0.94$ 、細粒分含有率で $CV = 0.73$ と土質定数によってはばらつきが大きくなる結果となった。これは、データ数に比例して変動係数が大きくなることから、採用データの取捨選択方法も影響しているものと予想される。

CPTによる調査試験方法は、設計・施工の精度向上を図る上で有効な調査方法の一つである。これからもデータを増やしていき、提案式の精度を上げることにより、合理的な設計やそれによるコスト削減を目指した積極的な展開を図っていきたいと考える。また、これまで蓄積してきたデータにおいても、CPTのデータと、既存調査法によるデータが近傍になく、検討対象に採用することができないデータも多くあった。そこでCPTの実施において、このような点を踏まえ近傍による既存調査法の実施、室内土質試験の実施を可能な限り提案し、データの収集に努めていきたいと考える。

Research on assuming method of ground constant by CPT (Part 2)

Takayuki YAMAZAKI, Yusuke TAKANO Akira, SAKATA (Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency)
 Hifumi AOKI (Railway Engineering) Shintaro OKA, Yutaka HOJO (Jibanshikenjo)

表-2 提案式から求めた推定値と実測値の比較

土質定数	単位体積重量	N 値	細粒分含有率
提案式	$\gamma_r = 2.16 \log(q_t/p_a) - 1.18 R_f + 14.16$	$N = 0.102 \cdot I_c^{2.278} q_t^{(2.089 - 0.291 I_c)}$	$FC = I_c^{4.2}$
対比図			
n	172	826	376
μ	1.00	1.00	1.00
σ	0.06	0.94	0.73
CV	0.06	0.94	0.73

土質定数	非排水せん断強さ	せん断抵抗角	圧密降伏応力(特殊土※1除外)
提案式	$C_u = (q_t - \sigma_{vo}) / 773 I_c^{-3.426}$	$\tan \phi' = \frac{1}{2.68} \left[\log \left(\frac{q_t}{\sigma'_{vo}} \right) + 0.29 \right]$	$P_y = 0.4 \cdot (q_t - \sigma_{vo})^{0.931}$
対比図			
n	106	4	43
μ	1.00	1.05	1.00
σ	0.54	0.08	0.20
CV	0.54	0.08	0.20

土質定数	せん断波速度	ここで,
提案式	$V_s = [10^{(0.52 I_c + 1.55)} \cdot (q_t - \sigma_{vo}) / p_a]^{0.5}$	q_t : 先端抵抗力度(kPa) f_s : 周面摩擦力度(kPa) R_f : 周面摩擦比 $= f_s / q_t \cdot 100$ (%) σ_{vo} : 総土圧(kPa) σ'_{vo} : 有効土圧(kPa) Q_t : 規準化先端抵抗 $= Q_t = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo}$ F_r : 規準化周面摩擦比 $= F_r = f_s / (q_t - \sigma_{vo})$ I_c : 土質性状指数 $= I_c = [(3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5}$
対比図		
n	66	
μ	1.00	
σ	0.39	
CV	0.39	

n : データ数, μ : 平均値, σ : 標準偏差, CV : 変動係数

※1. 腐植土, 腐植土混り土, 火山灰, 火山灰質土, 火山灰混り土は除外。

【参考文献】

- 1) P. K. Robertson, K.L. Cabal, Guide to Cone Penetration Testing 6th Edition, Gregg Drilling & Testing, Inc. 2014.
- 2) 鈴木康嗣, 時松孝次, 濱松俊明, コーン貫入試験結果と標準貫入試験から得られた地盤特性との関係, 日本建築学会構造系論文集, 第566号, 73-80, 2003.
- 3) Lunne, T. and Christofferson, H. P. Cone penetrometer interpretation for offshore sands. Proc. Offshore Technology Conf., Houston, OTC4464, 181-192. 1983.