

打込み鋼管杭の静的載荷試験と急速載荷試験および地盤調査 (SPT, CPT) より求めた荷重-変位関係の比較
(その1: 試験・調査概要)

荷重-変位関係 杭支持力 正会員○大野 雅幸* 正会員 亀井 秀一** 正会員 林 世峻***
 静的載荷試験 急速載荷試験 正会員 北條 豊**** 正会員 仲 優太朗***** 正会員 山本 伊作*****
 経験式 打込み鋼管杭 正会員 渡邊 康司***** 正会員 松本 樹典*****

1. はじめに

（株）地盤試験所では、猿島試験場において打込み鋼管杭の静的載荷試験（SLT）と急速載荷試験（RLT）の比較実証試験を行った。これに伴い、標準貫入試験（SPT）とコーン貫入試験（CPT）を実施した。

前回の報告（仲 他 2023, 亀井 他 2023）では、各種基準で示されている経験式から評価される最大先端支持応力 q_b および最大周面摩擦応力 τ を SLT および RLT から求めた結果と比較した。

本報告では SPT N 値と CPT の補正コーン先端抵抗 q_t を利用して杭頭の荷重-変位関係を推定した。それらを SLT および RLT 結果と比較した。

2. 地盤条件

図-1 は、地盤調査結果（SPT- N 値, CPT- q_t ）、杭の打設深さおよび計測項目・位置を示す。

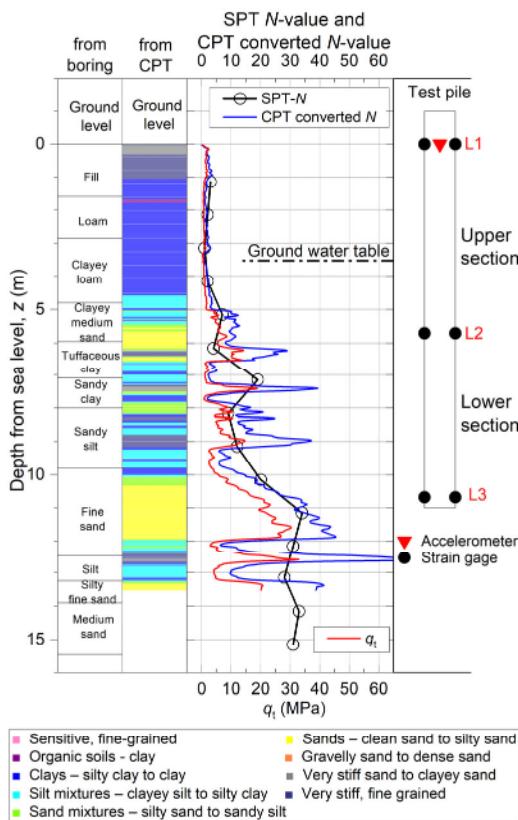


図-1 地盤調査結果, 杭打設深さおよび計測項目・位置

3. 杭仕様

試験鋼管杭の仕様を表-1 に示す。試験杭には、ひずみゲージおよび加速度計の保護のために溝型鋼を溶接した。

表-1 試験杭の仕様

Item	Value	
	without protection	with protection
Pile length, L (m)	11.8	
Embedment length, L_d (m)	11.0	
Outer diameter, D_o (mm)	318.5	
Inner diameter, D_i (mm)	305.3	
Wall thickness, t_w (mm)	6.6	
Cross-sectional area, A (m ²)	0.0065	0.0093
Circumferential length, U (m)	1.00	1.20
Young's modulus, E (MPa)	205	
Density, ρ (ton/m ³)	7.81	
Bar wave velocity, c (m/s)	5123	
Mass, m (ton)	0.610	0.819

4. 荷重-変位関係の推定方法

4.1 地盤のせん断弾性係数の推定

杭の荷重-変位関係の計算には、地盤のせん断弾性係数 G の推定が不可欠である。

表-2 および表-3 は、SPT の N 値と CPT の q_t を利用した S 波速度 V_s の推定式である。

表-2, 表-3 の経験式より求めた V_s を用いて地盤の初期せん断弾性係数 G_0 を式(1)により推定した。

$$G_0 = V_s^2 \rho \tag{1}$$

ここで、 ρ : 土の密度

表-2 N 値を利用した S 波速度 V_s の推定式 (洪積層)
(内田他 2019)

粘性土	$V_s = 130N^{0.29}$ (m/s)
砂質土	$V_s = 110N^{0.30}$ (m/s)
礫質土	$V_s = 140N^{0.26}$ (m/s)

Comparison of load-displacement relations of a driven steel pipe pile from SLT, RLT and those estimated from different design codes and shear moduli from CPT and SPT (Part 1: Outline)

OHNO Masayuki, KAMEI Shuichi, LIN Shihchun, HOJO Yutaka, NAKA Yutaro, YAMAMOTO Isaku, WATANABE Koji, MATSUMOTO Tatsunori

表-3 q_t を利用したS波速度 V_s の推定式 (Robertson, 2009)

$Q_{t1} = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo}$
$F_r = [f_s / (q_t - \sigma_{vo})] 100\%$
$I_c = [(3.47 - \log Q_{t1})^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5}$
$\alpha_{vs} = 10^{(0.55I_c + 1.68)} \text{ (m/s}^2\text{)}$
$V_s = [\alpha_{vs} (q_t - \sigma_{vo}) / p_a]^{0.5} \text{ (m/s)}$
$q_t = \text{corrected cone resistance,}$ $f_s = \text{sleeve friction,}$ $\sigma_{vo} = \text{in situ total vertical stress,}$ $\sigma'_{vo} = \text{in situ effective vertical stress,}$ $p_a = \text{atmospheric pressure} \approx 100 \text{ kPa}$

4.2 杭-地盤系モデル

図-2 に杭-地盤系モデルを示す。杭は一連の線形弾性ばねとしてモデル化され、各杭節点では非線形地盤抵抗挙動が考慮されている。静的な杭頭荷重に対する杭全体の応答は一次元 FEM を用いて計算した。

図-2 の地盤抵抗要素は以降で示す地盤定数から求める (Randolph and Deeks, 1992)。閉塞杭の単位面積当たりの先端抵抗の初期ばね剛性を式(2)に、単位面積当たりの周面抵抗の初期ばね剛性を式(3)に示す。また、影響半径 r_m を式(4)に示す。

$$k_{b0} = \frac{4G_0}{\pi r_0(1-\nu)} \quad (2)$$

$$k_{s0} = \frac{G_0}{r_0} \frac{1}{\ln(r_m/r_0)} \quad (3)$$

$$r_m = 2.5L(1-\nu) \quad (4)$$

ここで、 r_0 : 杭半径, ν : 土のポアソン比, L : 杭の根入れ長

地盤抵抗の非線形挙動を表現するために、Chow (1986) に従い式(5)、式(6)のようにばね剛性を変化させた。

$$k_b = k_{b0} \cdot \left(1 - R_{fb} \cdot \frac{q}{q_b}\right) \quad (5)$$

$$k_s = k_{s0} \cdot \left(1 - R_{fs} \cdot \frac{\tau}{\tau_f}\right) \quad (6)$$

ここで、 R_{fb} , R_{fs} : k_b , k_s の低減係数

q , τ : 動員先端抵抗応力, 動員周面抵抗応力

地盤のばね剛性は、杭先端面積または各要素の周面積に対して積分される。

最大先端支持応力 q_b および最大周面摩擦応力 τ_f に関しては、はじめに述べた通り各種基準式を用いて設定した。

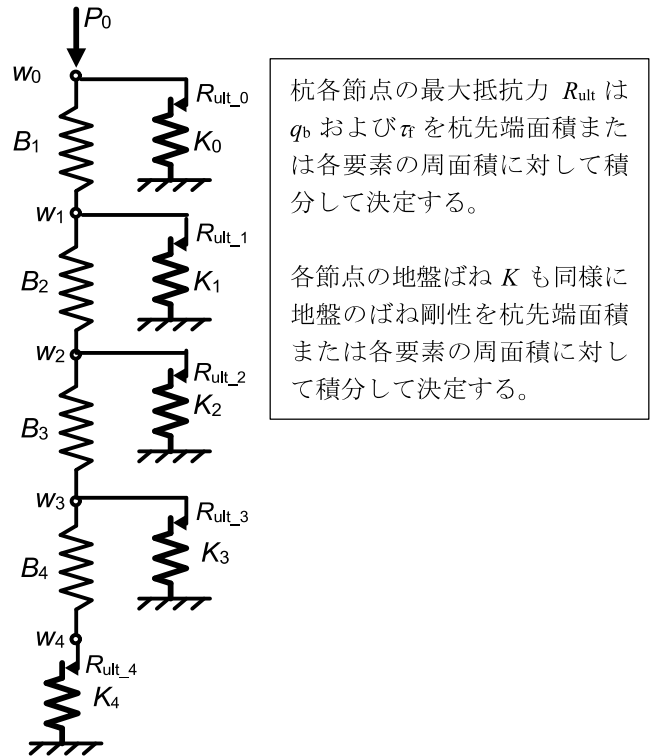


図-2 静的鉛直力載荷時の杭-地盤系モデル

5. おわりに

本報告 (その2) で、比較・検討結果を述べる。

参考文献

- 仲 他 (2023) : 打込み鋼管杭に対する各種基準の評価式による最大先端支持応力 q_b および最大周面摩擦応力 f_s の比較 (その1 : 試験概要), 日本建築学会大会 (近畿)
- 亀井 他 (2023) : 打込み鋼管杭に対する各種基準の評価式による最大先端支持応力 q_b および最大周面摩擦応力 f_s の比較 (その2 : 比較結果), 日本建築学会大会 (近畿)
- 内田 他 (2019) : N 値による S 波速度の推定に関する一考察, 日本建築学会技術報告集 第 25 巻 第 59 号, pp.119-122.
- Robertson, P. K. (2009). Interpretation of cone penetration tests – a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 46, pp.1337-1355.
- Randolph, M. F. & Deeks, A. J. (1992). Dynamic and static soil models for axial response. Proc. 4th Int. Conf. Application of Stress Wave Theory to Piles, The Hague, A.A. Balkema Publishers, Brookfield VT, pp.3-14.
- Chow, Y. K. (1986) Analysis of vertically loaded pile groups. Int. Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 10(1), pp.59-72.

* (株)地盤試験所 主任・工学修士
 ** (株)地盤試験所 部長・工学学士
 *** (株)地盤試験所 主任・理学修士
 **** (株)地盤試験所 課長・理学学士
 ***** (株)地盤試験所 主任・理学修士
 ***** (株)地盤試験所 代表取締役・工学修士
 ***** 愛知工業大学 准教授・工学博士
 ***** 金沢大学 名誉教授・工学博士

* Chief Engineer, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Eng.
 ** Director, Jibanshikenjo Co. Ltd., Bc. Eng.
 *** Chief Engineer, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Science
 **** Section Chief, Jibanshikenjo Co. Ltd., Bc. Science
 ***** Chief Engineer, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Science
 ***** CEO, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Eng.
 ***** Assoc. Prof., Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.
 ***** Emeritus Prof., Kanazawa University., Dr. Eng.