

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)

杭先端支持力 杭周面摩擦力 正会員○仲 優太郎* 正会員 亀井 秀一** 正会員 林 世峻***
 静的载荷試験 急速载荷試験 正会員 北條 豊**** 正会員 大野 雅幸***** 正会員 山本 伊作*****
 経験式 鋼管杭 正会員 渡邊 康司***** 正会員 松本 樹典*****

1. はじめに

（㈱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载荷試験（SLT）と急速载荷試験（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。

本報告では、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 f_s を SLT および RLT から求めた結果と比較・検討する。

2. 地盤条件

図-1 は、地盤調査結果（SPT-N 値、補正コーン先端抵抗 q_t ）、杭の打設深さおよび計測項目・位置を示す。

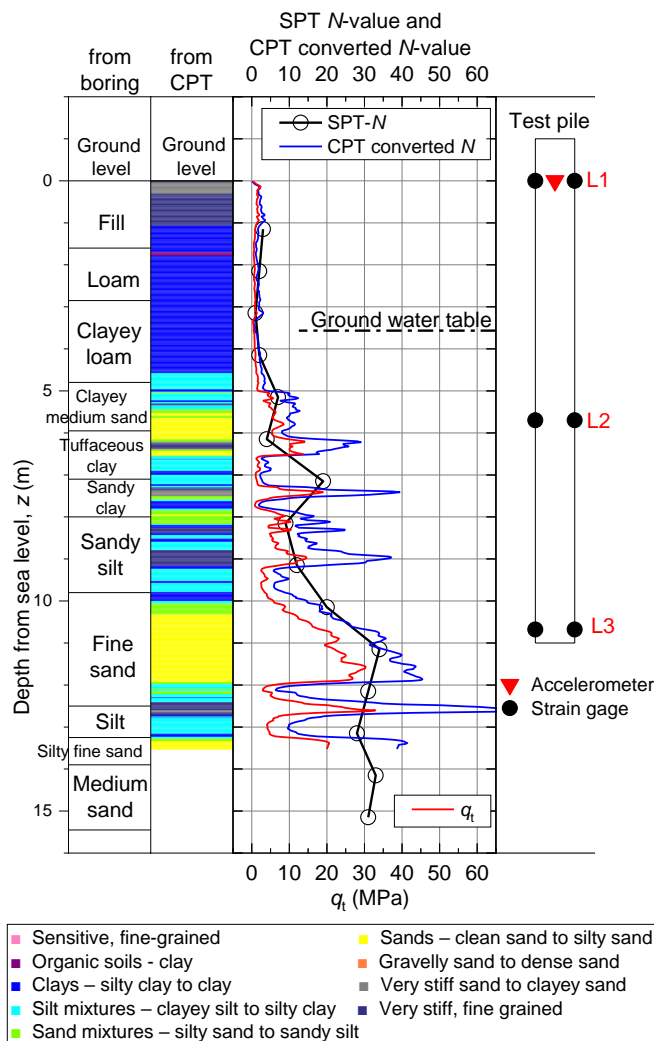


図-1 地盤調査結果、杭打設深さおよび計測項目・位置

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. 設計基準式

表-2 および表-3 は、それぞれ砂層と粘土層における打込み杭に対する Unified CPT design method (Lehane et al., 2022a, b)での q_b および f_s の評価式である。

表-2 打込み杭に対する Unified CPT design method における最大先端支持応力 q_b および最大周面摩擦応力 f_s の評価式（砂層の場合）

$q_b = 0.4q_c [\exp(-2 \times PLR) + 4t/D_o] \leq 0.4q_c$
$f_s = \tau_f = 0.39(\sigma'_{rc} + \Delta\sigma'_{rd})$
$\sigma'_{rc} = (q_c/44)A_{re}^{0.3} [\text{Max}[1, h/D_o]]^{-0.4}$
$\Delta\sigma'_{rd} = (q_c/10)(q_c/\sigma'_v)^{-0.33} (d_{CPT}/D_o)$
$A_{re} = 1 - PLR(D_i/D_o)^2$
$PLR = \tanh[0.3(D_i/d_{CPT})^{0.5}] ; d_{CPT} = 35.7 \text{ mm}$
$q_c = \text{cone tip resistance, } t = \text{pile wall thickness, } h = \text{height of given point on shaft above the pile base, } \sigma'_v = \text{in-situ vertical effective stress, } d_{CPT} = \text{diameter of cone}$

表-3 打込み杭に対する Unified CPT design method における q_b および f_s の評価式 (粘土層の場合)

$q_b = (0.2 + 0.6A_{rc}) q_t$ $q_t = \text{cone resistance corrected for pore pressure at filter}$
$f_s = \tau_f = 0.07 F_{st} q_t \text{Max} \left[1, \left(h/D^* \right)^{0.25} \right]$
$D^* = (D_o^2 - D_i^2)^{0.5}$ for an open-ended pile
$F_{st} = 1$ for organic clay, silty clay to clay, clayey silt to silty clay
$F_{st} = 0.5 \pm 0.2$ for sensitive, fine-grained clays

表-4 に日本の各種基準での q_b および f_s の評価式を示す。 c のみの評価式しか示されていない場合、 $c = 6.25N$ (kPa) で換算した。

表-4 打込み杭に対する日本の各種基準における最大先端支持応力 q_b および最大周面摩擦応力 f_s の評価式

Code	Tip / Shaft (kPa)	Soil type		Note
		Sand	Clay	
Road	Tip, q_b	130N (≤ 6500)	90N (≤ 4500)	
	Shaft, f_s	5N (≤ 100)	6N or 1c (≤ 70)	$c = \text{cohesion}$
Port	Tip, q_b	$300\eta N$ (≤ 15000)	6c	$N = (N_1 + N_2)/2$, $N_1 = N\text{-value of the ground at the pile tip,}$ $N_2 = \text{mean } N\text{-value in the range of } 4D_o \text{ above the pile tip,}$ $\eta = \text{plugging efficiency}$
	Shaft, f_s	2N (≤ 100)	1c (≤ 100)	
Archi.	Tip, q_b	$300\eta N$ (≤ 18000)	6c (≤ 18000)	$\eta = 0.16(L_B/D_i)$ for $2 \leq (L_B/D_i) \leq 5$, $\eta = 0.8$ for $5 < (L_B/D_i)$, $L_B = \text{embedment length into bearing stratum,}$ $D_i = \text{inner pile diameter}$
	Shaft, f_s	2N (≤ 100)	0.8c (≤ 100)	
Railway	Tip, q_b	$210N$ (≤ 10000)	6.3c or 75N (≤ 20000)	for close-ended pile, $N = \text{mean } N\text{-value in the range of } 3D_o \text{ below the pile tip}$
		$175N$ (≤ 8000)	55N or 5.5c (≤ 16000)	for open-ended pile w/ $D_o \leq 0.8$ m and $l/D_o > 5$, $N = N\text{-value of the ground at the pile tip,}$ $l = \text{embedment length into bearing stratum,}$ $D_o = \text{outer pile diameter}$
		$35(l/D_o)N$ (≤ 8000)	$11(l/D_o)N$ or $1.1(l/D_o)c$ (≤ 16000)	for open-ended pile w/ $D_o \leq 0.8$ m and $l/D_o \leq 5$, $N = N\text{-value of the ground at the pile tip}$
		$(140/D_o)N$ (≤ 8000)	$(44/D_o)N$ or $(4.4/D_o)c$ (≤ 16000)	for open-ended pile w/ $D_o > 0.8$ m and $l/D_o > 5$, $N = N\text{-value of the ground at the pile tip}$
		$(28/D_o)(l/D_o)N$ (≤ 8000)	$(8.8/D_o)(l/D_o)N$ or $(0.88/D_o)(l/D_o)c$ (≤ 16000)	for open-ended pile w/ $D_o > 0.8$ m and $l/D_o \leq 5$, $N = N\text{-value of the ground at the pile tip}$
	Shaft, f_s	$3N+30$ (≤ 150) $3N$ (≤ 120)	6N or 0.4c (≤ 120) 6N or 0.4c (≤ 120)	for close-ended pile for open-ended pile

Road: 道路橋示方書, Port: 港湾の施設の技術上の基準, Archi.: 建築基礎構造設計指針, Railway: 鉄道構造物等設計標準

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

- 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (IV 下部構造編), 2017.
- 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説 (中巻), 2018.
- 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 日本建築学会, 2019.
- 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 (基礎構造物), 2012.
- Lehane B., Igoe D., Gavin K. and Bittar E. (2022a): Application of the Unified CPT method to assess the driving resistance of pipe piles in sand, 11th Int. Conf. on Stress Wave Theory and Design and Testing Methods for Deep Foundations, Rotterdam, The Netherlands.
- Lehane B. et al. (2022b), CPT-based axial capacity design method for driven piles in clay, Jour. of Geotech. and Geoenv. Eng., 148 (9): 04022069

* (株)地盤試験所 主任・理学修士
 ** (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 工学修士
 ***** (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. Science
 ** Director, Jibanshikenjo Co. Ltd., Bc. Eng.
 *** Chief engineer, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Science
 **** Section chief, Jibanshikenjo Co. Ltd., Bc. Science
 ***** Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Eng.
 ***** CEO, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Eng.
 ***** Assoc. Prof., Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.
 ***** Emeritus Prof., Kanazawa Univ., Dr. Eng.