

鋼管杭の静的荷重試験および急速荷重試験から求めた荷重-変位関係の比較 (その1: 試験概要)

急速荷重試験 静的荷重試験
現場実験 荷重-変位関係
シグナル解釈法 鋼管杭

正会員 〇中山 敦* 正会員 林 世峻**
正会員 亀井 秀一*** 正会員 山本 伊作****
正会員 渡邊 康司***** 正会員 松本 樹典*****

1. はじめに

杭の鉛直荷重-変位関係を求めるには、静的荷重試験 (SLT) を実施することが最も信頼性が高い。しかし、SLT では、反力装置と荷重装置が必要であるため、費用と試験時間が大きくなる。2002年に、地盤工学会基準「杭の鉛直荷重試験方法・同解説」(以後、JGS 基準と呼ぶ) に、急速荷重試験 (RLT) が導入された。

RLT では、反力装置が不必要であり、軟クッションを介したハンマーの落下により荷重するため、短時間で少ない費用で試験を実施することができる。

JGS 基準は、相対荷重時間 $T_r \geq 5$ の試験を RLT と定義している。RLT の解釈法として、杭を剛体質点と仮定している除荷点法 (ULP) を推奨している。現状では、ULP を発展させた除荷点接続法 (ULPC) が一般に使用されている。しかしながら、Kamei et al. (2022) は、 $T_r \geq 5$ の場合であっても、杭頭の加速度 α を用いると地盤抵抗力 R_{soil} が過大評価されることを示している。

著者らは、新たな解析法として、Case method を援用した除荷点接続法 (ULPC_CM) を提案している。本研究では、新たな解析法の妥当性の確認を主目的として、打込み鋼管杭を対象として、二現場で RLT と SLT の比較実証実験を行った。RLT の解析では、ULPC と ULPC_CM の二つの解析法を用いて、静的な荷重-変位関係を評価した。

2. 猿島試験場

図-1 は、地盤調査結果 (SPT-N および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。地表から深さ $z = 5$ m までは $N = 1 \sim 3$ 、それ以深では、深さとともに N が増加し、 $z = 10$ m 以深では $N = 30$ の砂質層が存在する。試験杭は $z = 11$ m まで打ち込んだ。

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

表-1 試験杭の仕様 (Sashima)

Item	Value	
	without protection	with protection
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
Young's modulus, E (GPa)	205	
Density, ρ (ton/m ³)	7.81	
Bar wave velocity, c (m/s)	5123	
Mass, m (ton)	0.610	0.819

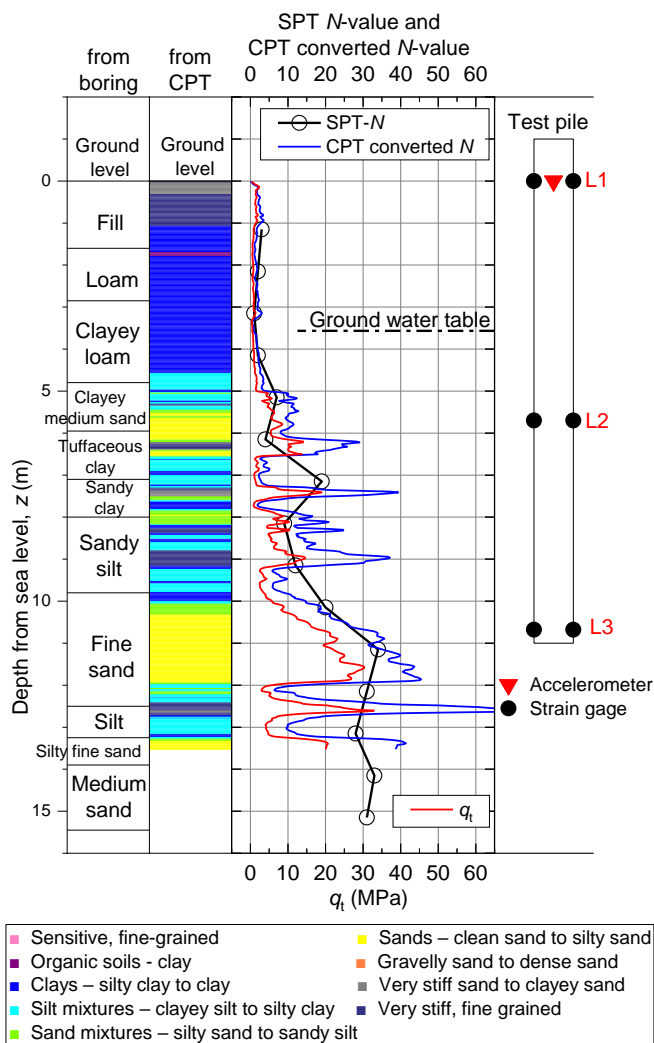


図-1 地盤調査結果、杭の打設深さおよび計測項目・位置 (Sashima)

3. 岡山現場

図-2 は、地盤調査結果、杭の打設深さおよび計測項目・位置を示す。地表から深さ $z = 9$ m までは $N = 5 \sim 43$ の埋め土、 $z = 9 \sim 10$ m の間は $N = 11$ の砂まじり粘土、それ以深では、深さと共に N が増加し、 $z = 20$ m 以深では $N > 50$ の岩層が存在する。試験杭は $z = 23.8$ m まで打ち込んだ。

試験鋼管杭の仕様を表-2 に示す。試験鋼管杭には、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。また、図-2 に示すように、L3 と L4 の区間に、摩擦低減材が塗られた。

表-2 試験杭の仕様 (Okayama)

Item	value	
	without protection	with protection
Length, L (m)	24.8	
Embedment length, L_d (m)	23.8	
Outer diameter, D_o (mm)	800	
Inner diameter, D_i (mm)	772	
Wall thickness, t_w (mm)	14	
Cross-sectional area, A (m ²)	0.0346	0.0376
Young's modulus, E (GPa)	200	
Density, ρ (ton/m ³)	7.85	
Bar wave velocity, c (m/s)	5048	
Mass, m (ton)	6.736	7.032

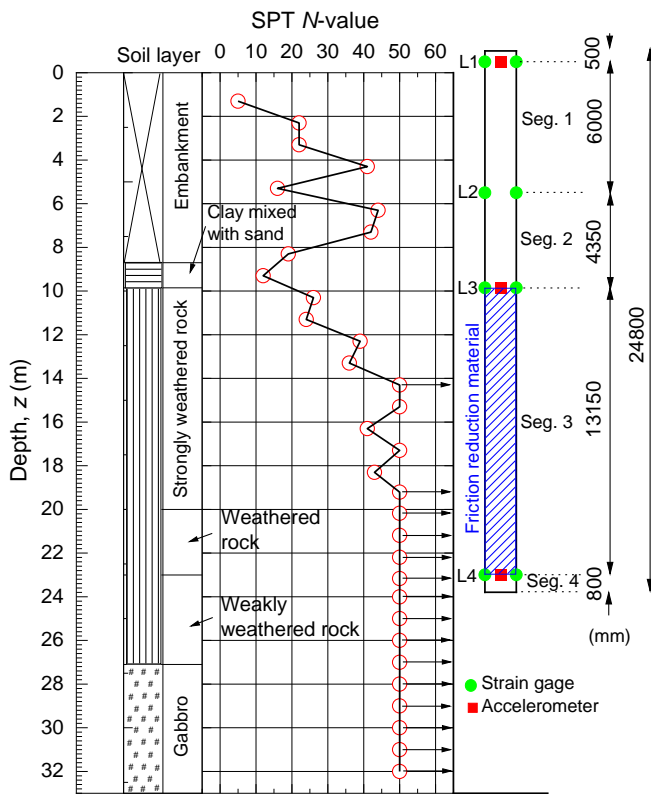


図-2 地盤調査結果、杭の打設深さおよび計測項目・位置 (Okayama)

4. 解釈法

4. 1 ULPC 法

ULPC法はJGS基準 (JGS 1815-2002) に記載されているULP法を拡張した方法である。ULPCでは、杭を剛体の一質点でモデル化する。地盤抵抗 R_{soil} を求めるには、載荷荷重 F_{rapid} から杭体慣性力 $R_a = m\alpha$ を差し引く。ここで m は杭の質量、 α は杭の加速度である。杭の各打撃で得られる除荷点を接続することで静的な荷重-変位関係を求める。除荷点とは、杭の最大変位とその時の地盤抵抗力 R_{ULP} を与える点であり、 R_{ULP} は静的地盤抵抗力 R_w に等しい。

4. 2 ULPC_CM 法

Raushe et al. (1985) による Case 法は、一次元波動理論に基づく方法であり、打撃中の杭の貫入抵抗力を求める方法である。

まず、計測シグナル (軸方向力 F と杭速度 v) から下降波 F_d と上昇波 F_u を計算する (式(1), (2))。その後、式(3)を用いて、杭の貫入抵抗力 R_i の時間変化を得る。

$$F_d(x_m, t) = \frac{F(x_m, t) + Z \cdot v(x_m, t)}{2} \quad (1)$$

$$F_u(x_m, t) = \frac{F(x_m, t) - Z \cdot v(x_m, t)}{2} \quad (2)$$

$$R_i(x_m, t) = F_d\left(x_m, t - \frac{L_m}{c}\right) + F_u\left(x_m, t + \frac{L_m}{c}\right) \quad (3)$$

ここで、 x : 杭軸に沿った座標 (杭頭を 0)、

x_m : 計測位置、 L_m : 計測位置から杭先端までの長さ、

v : 杭速度、 F : 軸方向力、 F_d : 下降波、 F_u : 上昇波、

Z : 杭体のインピーダンス (EA/c)、 c : 縦波伝達速度、

E : 杭材のヤング率、 A : 杭の断面積、

R_i : 貫入抵抗力 ($= R_{soil}$ 地盤抵抗力)

Case 法は、打込み時の杭の貫入抵抗力を評価するものであり、これだけでは杭の荷重-変位関係を得ることはできない。しかし、Case 法は一次元波動理論に基づいた方法であるため、杭長が長くなってもほぼ正しく杭の貫入抵抗力を評価できる。

5. おわりに

試験結果を本報告 (その 2) で述べる。

参考文献

- JGS 1815-2002 杭の鉛直載荷試験方法・同解説 (第一回改訂版) 杭の急速載荷試験方法, 地盤工学会.
- Kamei S., Takano K., Fujita T. (2022): Comparison of static load test and rapid load test on steel pipe piles in two sites. *Proc. of the 11th Int. Conf. on Stress Wave Theory and Design and Testing Methods for Deep Foundations*, Rotterdam, The Netherlands.
- Raushe F. Goble G., Likins G.E. Jr. (1985): Dynamic determination of pile capacity. *ASCE Jour. Geotech. Div.*, 111(3), pp. 367-383.

- * (株)地盤試験所 係長・文学学士
- ** (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 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 clerk, Jibanshikenjo Co. Ltd., Bc. Literature
- ** Chief engineer, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Science
- *** Director, Jibanshikenjo Co. Ltd., Bc. Eng.
- **** CEO, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Eng.
- ***** Assoc. Prof., Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.
- ***** Emeritus Prof., Kanazawa Univ., Dr. Eng.