

## 鋼管杭を対象とした急速荷重試験と静的荷重試験の比較実証実験（その1：実験概要）

急速荷重試験	国	○亀井 秀一	(株)地盤試験所	国	林 世峻	(株)地盤試験所
静的荷重試験		正 小林 剛	(株)地盤試験所	国	山本 伊作	(株)地盤試験所
鋼管杭	国	渡邊 康司	愛知工業大学	国	松本 樹典	金沢大学

## 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  $\alpha$  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、RLT と SLT の比較実証実験を実施した。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. 実験概要

## 2.1 地盤条件

実験は、(株)地盤試験所の猿島試験場で実施した。図-1 には、ボーリング調査位置と杭の配置を示す。標準貫入試験（SPT）を1箇所、各試験杭の位置で三成分コーン貫入試験（CPT）実施した。

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  $z=5$  m までは  $N=1\sim3$ 、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。なお、地下水位は G. L. -3.5 m である。

SPT- $N$  および CPT 結果（コーン先端抵抗  $q_t$ ）の分布からわかるように、各試験杭位置での地盤条件はほぼ均一である。

## 2.2 試験杭

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のために溝型鋼を溶接した。5本の試験杭の仕様は同一である。

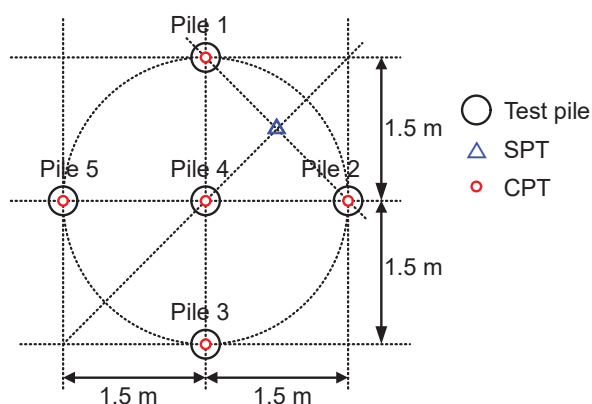


図-1 試験杭と地盤調査の配置

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 <sup>2</sup> )	0.00651	0.00926
Young's modulus, $E$ (MPa)	205	
Density, $\rho$ (ton/m <sup>3</sup> )	7.81	
Bar wave velocity, $c$ (m/s)	5123	
Mass, $m$ (ton)	0.60977	0.81868

## 2.3 実験ケース

表-2 に、各試験杭の施工日、荷重試験日、養生期間および試験法を示す。Pile No. 1 と Pile No. 4 では JGS 基準の相対荷重時間  $T_r = 5$  の条件で RLT を実施した。Pile No. 2 では、RLT の適用範囲の拡張を念頭に置き、 $T_r = 3$  の条件で、RLT を実施した。 $T_r$  を短くできれば、現状の RLT 装置で、より長く、より大きな支持力を持つ杭に対して、RLT を適用できることにつながる。

## 3. 本研究で用いる RLT 解析手法

## 3.1 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、荷重荷重  $F_{rapid}$  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、 $\alpha$  は杭の加速度である。

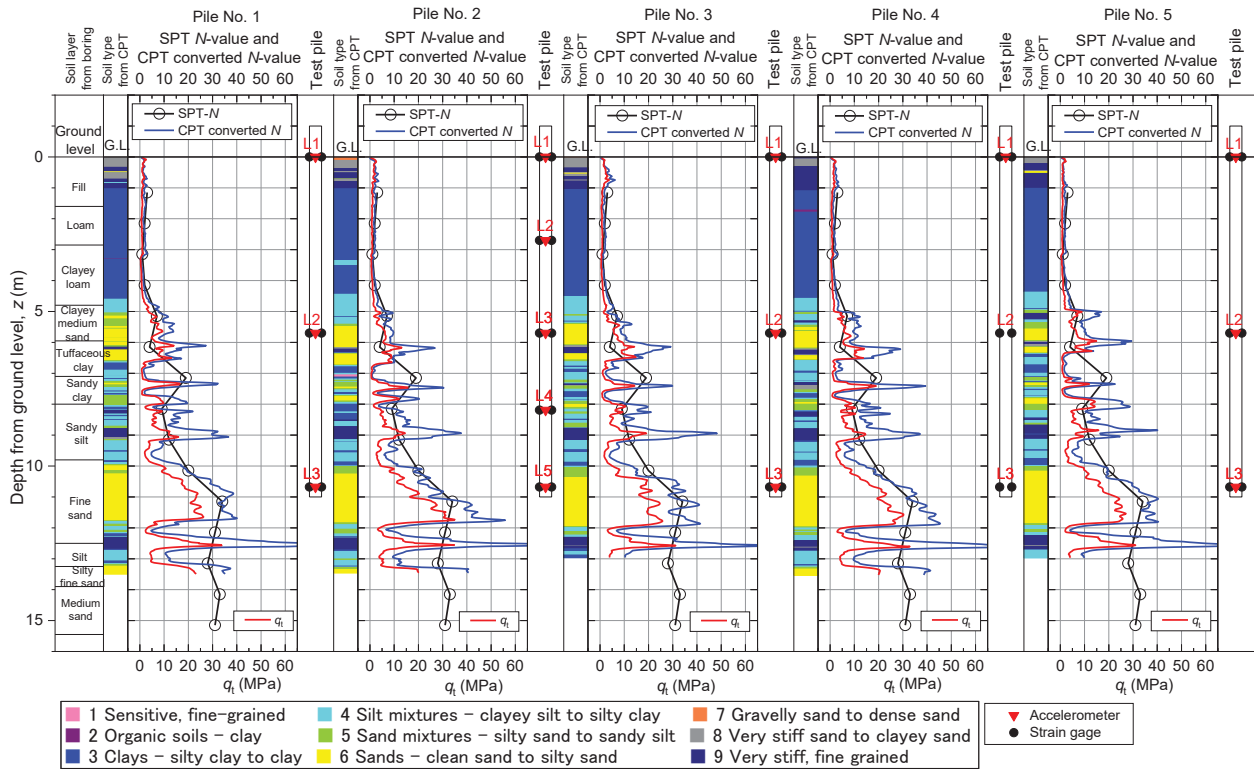


図-2 地盤調査結果，杭の打設深さおよび計測項目・位置

表-2 実験一覧

Pile No.	打設 (衝撃載荷試験)	養生 (day)	養生後の衝撃載荷試験	養生 (day)	載荷試験		養生 (day)	載荷試験	
1	2022/05/11	1	2022/05/12	30	RLT ( $T_r = 5$ )	2022/06/11	---	---	
2	2022/05/11	1	2022/05/12	33	RLT ( $T_r = 3$ )	2022/06/14	184	SLT	2022/12/15
3	2022/05/12	---	---	32	RLT ( $T_r = 4$ )	2022/06/13	---	---	
4	2022/05/12	---	---	25	SLT	2022/06/06-07	8	RLT ( $T_r = 5$ )	2022/06/15
5	2022/05/12	---	---	279	SLT	2023/02/15		RLT 計画中	

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。

3.2 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および  $J_c$  係数と呼ばれる経験的係数を用いて静的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  $R_t$  の時間変化を得る。

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

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

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

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、  
 $R_t$ ：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。

4. おわりに

その 2 では、Pile No. 2 と No. 4 の実験結果を述べる。

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.