

## 橋台基礎の鋼管ソイルセメント杭の支持力確認急速載荷試験（その1：試験概要）

鋼管ソイルセメント杭  
急速載荷試験  
荷重変位関係

中日本建設コンサルタント 正会員 ○日高 雅史  
花井組 非会員 小谷 健児  
地盤試験所 正会員 中山 敦  
地盤試験所 国際会員 林 世峻  
愛知工業大学 国際会員 渡邊 康司

## 1. はじめに

本稿は、愛知県発注の「道路改良工事一般国道 247 号（西知多道路）常滑工区下部工事（環境整備・R3 国補正）」における橋台基礎工事にて実施した鋼管ソイルセメント杭の支持力確認急速載荷試験について設計経緯等の概要を述べるものである。

西知多道路は、愛知県東海市から同県常滑市において、国土交通省及び愛知県にて整備を進めている自動車専用道路である。試験対象は二級河川前山川、市道及び農免道路と交差する橋梁（鋼単純箱桁橋  $L=69.5$  m）の A2 橋台基礎杭である（図-1）。なお、（その2）で試験結果を述べる。

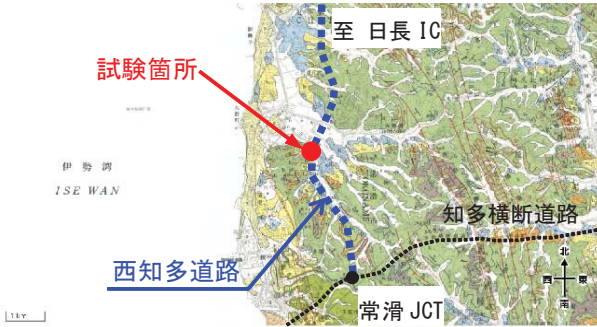


図-1 位置図（国土地理院地図に加筆）

## 2. 設計・工事試験の概要

架橋地点の地層は、新第三紀鮮新世の東海層群（常滑累層）を基盤とし、その上位に不整合に第四紀完新世の沖積層が覆っている。常滑累層は、砂質土層で  $N$  値 30 以上、粘性土層で  $N$  値 20 以上を示し、道路橋の支持層となり得るものの、部分的に  $N$  値 10 程度となる弱層部を挟み、A2 橋台位置ではそれが顕著に現れた（図-2）。

このため、A2 橋台の支持層として、安定して高い  $N$  値を示した固結シルト層（Tc4 層）を選定した。

一方で、道路橋示方書・同解説IV下部構造編（平成29年11月）(2017)（以下、「H29 道示IV」という）において、粘性土層における杭先端の極限支持力度の特性値が規定される杭工法は場所打ち杭工法と打込み杭工法であるが、場所打ち杭工法では A2 橋台基礎として安定性を満足できる杭配置が得られなかった。また、打込み杭工法は周辺に学校や公民館等が存在することから適用困難であった。

そこで、本設計では、当該支持地盤が固結シルトであること、原位置試験により得られた一軸圧縮強度が  $q_u = 1.04 \text{ MN/m}^2$  ( $\geq 1 \text{ MN/m}^2$ ) 以上と「H29 道示IV」に示される軟岩としての目安の値以上であることに着目し、杭基礎設計便覧（令和2年9月）(2020)（以下、「R2 杭基礎設計便覧」という）の参考資料より、軟岩を支持地盤とする杭先端の極限支持力度の特性値を  $3q_u$  として設定する

ことで径 1200 mm の鋼管ソイルセメント杭（鋼管杭外径  $D_0 = 1000$  mm）を採用した。表-1 に杭の仕様を示す。

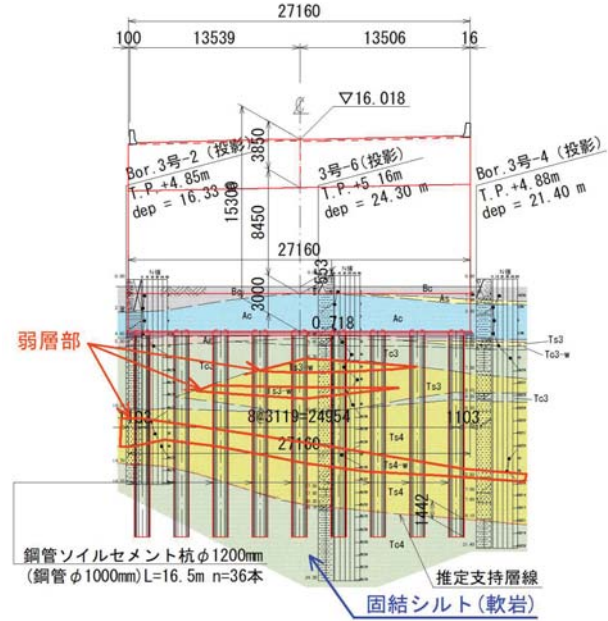


図-2 A2 橋台基礎と地層状況

表-1 試験杭の仕様

Item	Steel pipe pile		
	Upper ①	Upper ②	Lower
Section length, $L_{sec}$ (m)	6.0	2.0	8.5
Outer diameter, $D_0$ (mm)	1000	1000	1000
Inner diameter, $D_i$ (mm)	958	972	972
Wall thickness, $t_w$ (mm)	21	14	14
Cross-sectional area, $A$ ( $\text{m}^2$ )	0.065	0.043	0.043
Young's modulus, $E$ (GPa)	205	205	205
Density, $\rho$ ( $\text{ton/m}^3$ )	7.81	7.81	7.81
Bar wave velocity, $c$ (m/s)	5123	5123	5123
Mass, $m$ (ton)	3.042	0.680	2.890

ソイルセメントの仕様：直径 1200 mm，長さ 17.0 m

岩盤を支持層とする鋼管ソイルセメント杭は、「R2 杭基礎設計便覧」において、載荷試験までを行わずとも支持力の評価式が規定されている杭工法・地盤条件の場合と同等の信頼性で押し込み力に対する支持の限界状態を超えないとみなすことができると示されている。一方で、本工事では、これをより明確化するため、「H29 道示IV」に示される杭の鉛直載荷試験で得られた杭頭部の荷重と変位量の関係により評価することとした。杭の鉛直載荷試験は、静的載荷試験に比べて簡易な装置で実施でき、

Rapid Load Tests on Steel Pipe Soil-cement Piles of Bridge Abutment for Design Bearing Capacity Examination (Part 1: Test overview)

Hidaka M. (Nakanihon Engineering Consultants Co.), Kotani K. (Hanai Corp.), Nakayama A., Lin S. (Jibanshikenjo Co.), Watanabe K. (Aichi Institute of Technology)

かつ試験に要する日数が非常に短い急速荷重試験を採用した。試験杭は、図-3 に示す 2 本を抽出した。また、急速荷重試験により確認する杭の鉛直支持力は、地盤から決まる杭の極限支持力の特性値  $R_u = 18,010 \text{ kN}$  に対して、0.65 倍の  $11,707 \text{ kN}$  に設定した。これは、「H29 道示IV」において、鉛直荷重試験で得られた荷重-変位量曲線が線形である場合や曲線を外挿したときの杭頭部の変位量が杭径の 10%以下である等の結果を得ることで、杭の極限支持力の特性値も満足しているとみなせるためである。

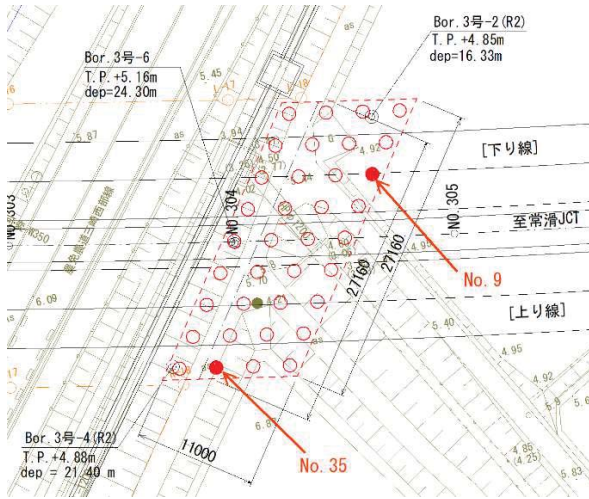


図-3 二本の試験杭の位置

### 3. 急速荷重試験解析方法

本稿では以下の二つの方法によって杭の静的な荷重-変位関係を求め、杭の必要支持力を確認した。

#### 3.1 ULPC 法

ULPC 法は現在の基準 (JGS 1815-2002) に記載されている方法である。

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。

#### 3.2 ULPC\_CM 法 (中山 他 2022, 林 他 2022)

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))。それから、式(3)を用いて、杭の貫入抵抗力  $R_t$  の時間変化を得る (図-4 を参照)。

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

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

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

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。

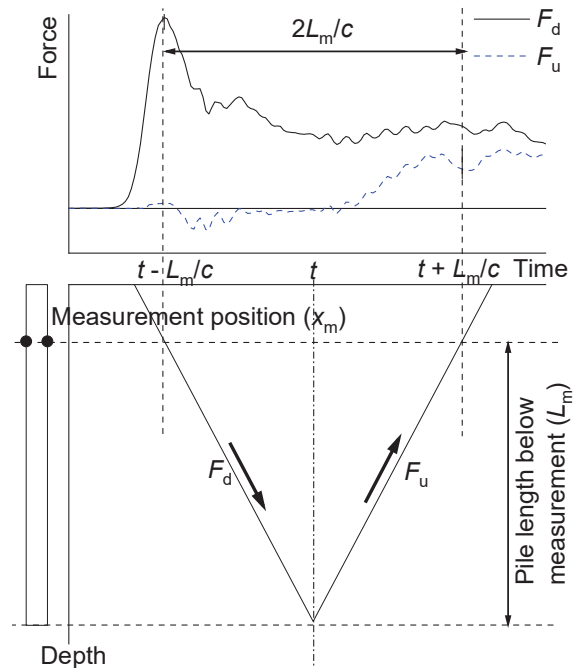


図-4 Case 法概要

ULPC\_CM 法では、ある杭に対して複数回の打撃 (急速荷重試験) を想定している。Case 法から得られる貫入抵抗力  $R_t$  と直接測定した杭変位  $w$  の時間変化から、 $w - R_{soil}$  関係を求め、これから除荷点荷重  $R_{ulp}$  と除荷点変位を得る。その後、ULPC 法と同様に、複数の除荷点を接続することで、最終的に静的な荷重-変位関係を推定する。

ULPC\_CM 法は、一次元波動理論に基づいているため、杭の慣性力の補正が必要無い、杭長による適用制限が緩和される、などの利点を有する。

### 4. おわりに

(その 2) では、ULPC 法と ULPC\_CM 法で求めた二本の試験杭の荷重-変位関係を報告する。

#### 参考文献

- 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編 (平成 29 年 11 月) 公益社団法人日本道路協会, 2017.  
 杭基礎設計便覧 (令和 2 年 9 月) 公益社団法人日本道路協会, 2020.  
 JGS 1815-2002 杭の鉛直荷重試験方法・同解説 (第一回改訂版) 杭の急速荷重試験方法, 地盤工学会.  
 Raushe F. Goble G., Likins G.E. Jr. (1985): Dynamic determination of pile capacity. ASCE Jour. Geotech. Div., 111(3), pp. 367-383.  
 中山 他 (2022): Case 法を援用した除荷点接続法による杭の荷重-変位関係の推定法について (その 1: 解析手法), 第 57 回地盤工学研究発表会.  
 林 他 (2022): Case 法を援用した除荷点接続法による杭の荷重-変位関係の推定法について (その 2: 解析結果と静的試験結果の比較), 同上.  
 中山 他 (2023): 橋台基礎の鋼管ソイルセメント杭の支持力確認急速荷重試験 (その 2: 試験結果), 第 58 回地盤工学研究発表会.