

一般セッション | 6. 地盤と構造物 (動的問題を含む)

杭基礎 (現地調査) ①

座長：濱田 純次 (竹中工務店)

2023年7月13日(木) 09:00 ~ 10:30 第9会場 (414)

[13-9-1-01] 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)

*日高雅史¹、小谷健児²、中山敦³、林世峻³、渡邊康司⁴ (1. 中日本建設コンサルタント株式会社、2. 株式会社花井組、3. 株式会社地盤試験所、4. 愛知工業大学)

[13-9-1-02] 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2 : 試験結果)

*中山敦¹、林世峻¹、日高雅史²、小谷健児³、渡邊康司⁴ (1. 株式会社地盤試験所、2. 中日本建設コンサルタント株式会社、3. 株式会社花井組、4. 愛知工業大学)

[13-9-1-03] 鋼管杭を対象とした急速載荷試験と静的載荷試験の比較実証実験 (その1 : 実験概要)

*亀井秀一¹、林世峻¹、小林剛¹、山本伊作¹、渡邊康司²、松本樹典³ (1. 株式会社地盤試験所、2. 愛知工業大学、3. 金沢大学)

[13-9-1-04] 鋼管杭を対象とした急速載荷試験と静的載荷試験の比較実証実験 (その2 : 実験結果)

*林世峻¹、亀井秀一¹、小林剛¹、山本伊作¹、渡邊康司²、松本樹典³ (1. 株式会社地盤試験所、2. 愛知工業大学、3. 金沢大学)

[13-9-1-05] 鋼管ソイルセメント杭の実大載荷試験 (その1 : 載荷試験概要)

*古賀翔平¹、白子将則¹、土屋信明¹、内藤哲郎¹、渡邊康司² (1. 株大林組、2. 愛知工業大学)

[13-9-1-06] 鋼管ソイルセメント杭の実大載荷試験 (その2 : 載荷試験結果)

*渡邊康司¹、古賀翔平²、白子将則²、山本忠久²、内藤哲郎² (1. 愛知工業大学、2. 大林組)

[13-9-1-07] 鋼管ソイルセメント杭の実大載荷試験 (その3 : コア抜き試料の強度特性)

*内藤哲郎¹、古賀翔平¹、白子将則¹、山本忠久¹、渡邊康司² (1. 株式会社大林組、2. 愛知工業大学)

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 $L=69.5\text{m}$ ）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。

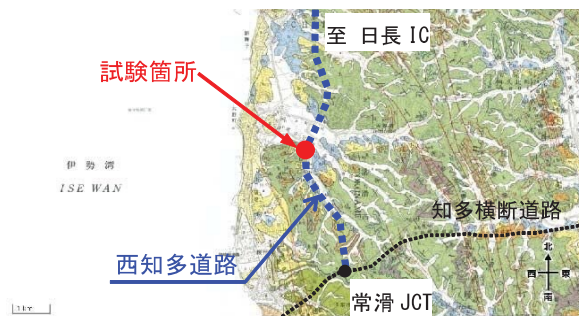


図-1 位置図（国土地理院地図に加筆）

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群層（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 $D_o = 1000\text{mm}$ ）を採用した。表-1 に杭の仕様を示す。

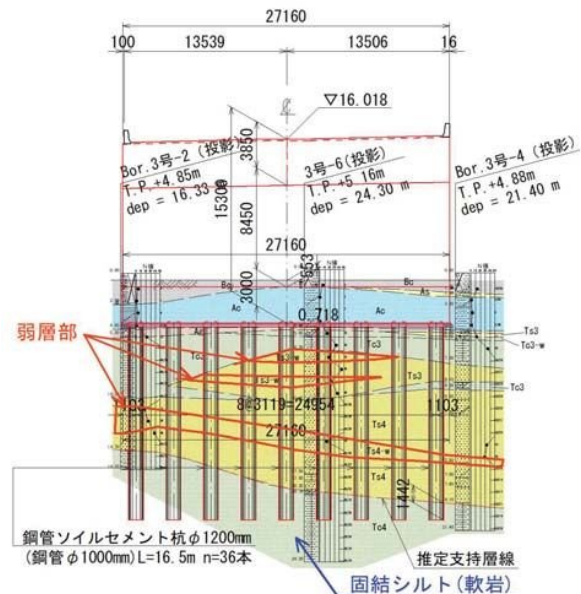


図-2 A2 橋台基礎と地層状況

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_o (mm)	1000	1000	1000
Inner diameter, D_i (mm)	958	972	972
Wall thickness, t_w (mm)	21	14	14
Cross-sectional area, A (m^2)	0.065	0.043	0.043
Young's modulus, E (GPa)	205	205	205
Density, ρ (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 I: 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徴値 $R_u = 18,010 \text{ kN}$ 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徴値も満足しているとみなせるためである。

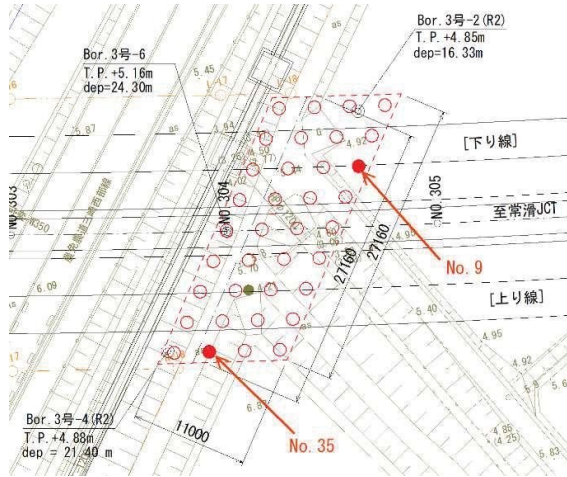


図-3 二本の試験杭の位置

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。

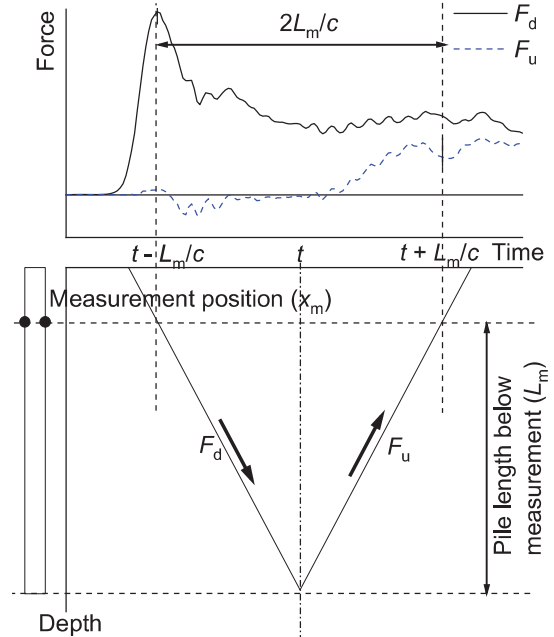


図-4 Case 法概要

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、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。

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)

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.

一般セッション | 6. 地盤と構造物 (動的問題を含む)

杭基礎 (現地調査) ①

座長：濱田 純次 (竹中工務店)

2023年7月13日(木) 09:00 ~ 10:30 第9会場 (414)

- [13-9-1-01] 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)
*日高 雅史¹、小谷 健児²、中山 敦³、林 世峻³、渡邊 康司⁴ (1. 中日本建設コンサルタント株式会社、2. 株式会社花井組、3. 株式会社地盤試験所、4. 愛知工業大学)
- [13-9-1-02] 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2 : 試験結果)
*中山 敦¹、林 世峻¹、日高 雅史²、小谷 健児³、渡邊 康司⁴ (1. 株式会社地盤試験所、2. 中日本建設コンサルタント株式会社、3. 株式会社花井組、4. 愛知工業大学)
- [13-9-1-03] 鋼管杭を対象とした急速載荷試験と静的載荷試験の比較実証実験 (その1 : 実験概要)
*亀井 秀一¹、林 世峻¹、小林 剛¹、山本 伊作¹、渡邊 康司²、松本 樹典³ (1. 株式会社地盤試験所、2. 愛知工業大学、3. 金沢大学)
- [13-9-1-04] 鋼管杭を対象とした急速載荷試験と静的載荷試験の比較実証実験 (その2 : 実験結果)
*林 世峻¹、亀井 秀一¹、小林 剛¹、山本 伊作¹、渡邊 康司²、松本 樹典³ (1. 株式会社地盤試験所、2. 愛知工業大学、3. 金沢大学)
- [13-9-1-05] 鋼管ソイルセメント杭の実大載荷試験 (その1 : 載荷試験概要)
*古賀 翔平¹、白子 将則¹、土屋 信明¹、内藤 哲郎¹、渡邊 康司² (1. 株大林組、2. 愛知工業大学)
- [13-9-1-06] 鋼管ソイルセメント杭の実大載荷試験 (その2 : 載荷試験結果)
*渡邊 康司¹、古賀 翔平²、白子 将則²、山本 忠久²、内藤 哲郎² (1. 愛知工業大学、2. 大林組)
- [13-9-1-07] 鋼管ソイルセメント杭の実大載荷試験 (その3 : コア抜き試料の強度特性)
*内藤 哲郎¹、古賀 翔平¹、白子 将則¹、山本 忠久¹、渡邊 康司² (1. 株式会社大林組、2. 愛知工業大学)

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）

鋼管ソイルセメント杭
急速荷重試験
荷重変位関係

地盤試験所	正会員	○中山 敦
地盤試験所	国際会員	林 世峻
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
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荷重試験について、試験結果を述べる。特に、ULPC 法および ULPC_CM 法からの結果を比較・考察する。

2. 急速試験結果

杭 No. 9 と No. 35 の急速荷重試験（RLT）では、質量 22 ton のハンマーを使用し、ハンマー落下高 $h=0.2 \sim 2.2$ m で、計 6 打撃を実施した。紙面の都合上、杭 No. 35 の試験結果を中心に述べる。

図-1 は、 $h=2.2$ m の RLT における急速荷重 F_{rapid} 、変位 w 、速度 v 、加速度 α の時刻歴を示す。杭頭における荷重時間 $t_L = 44.3$ ms、相対荷重時間 $T_r = t_L / (2L/c) = 6.75$ であり、試験基準を満足した。なお、ULPC 法から求めた地盤抵抗 R_{soil_ULPC} を F_{rapid} に併せて示している。

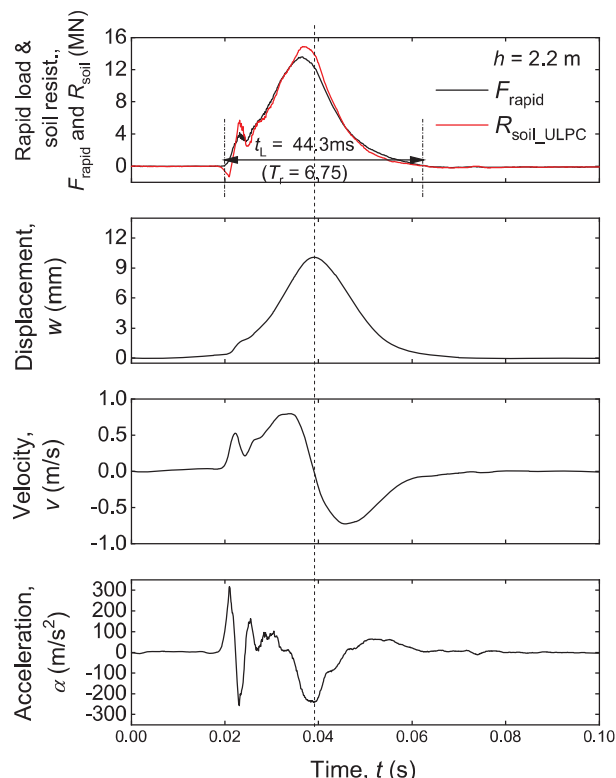


図-1 杭 No. 35 の急速荷重試験における計測シグナルおよび ULPC による地盤抵抗 R_{soil_ULPC} の一例

図-2 は同打撃における下降波 F_d と上昇波 F_u 、および ULPC_CM による地盤抵抗 R_{soil_case} (=貫入抵抗 R_t) を示している。

図-3 は、同 RLT の各種解析方法による R_{soil} の時刻歴である。Kamei et al. (2022) は、 $T_r \geq 5$ の場合であっても、杭頭での α を用いると R_{soil} が過大評価されることを示している。そこで、 $\alpha = 0$ と仮定した場合の R_{soil} も示している。 R_{soil_ULPC} と R_{soil_case} を比較すると、除荷点時の R_{soil_ULPC} は R_{soil_case} より上回っている。

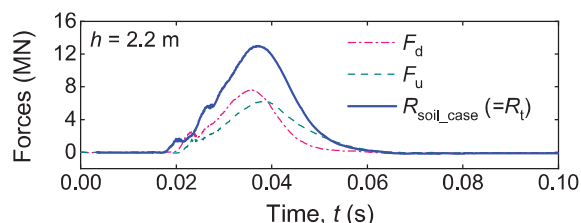


図-2 杭 No. 35 の下降波 F_d 、上昇波 F_u および ULPC_CM による地盤抵抗 R_{soil_case} の一例

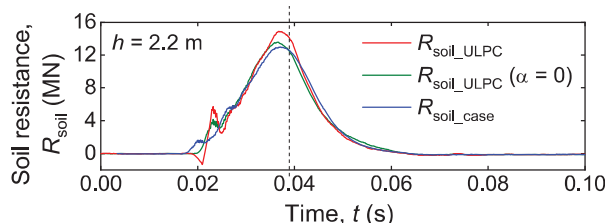


図-3 杭 No. 35 の各種解析方法による R_{soil} の時刻歴

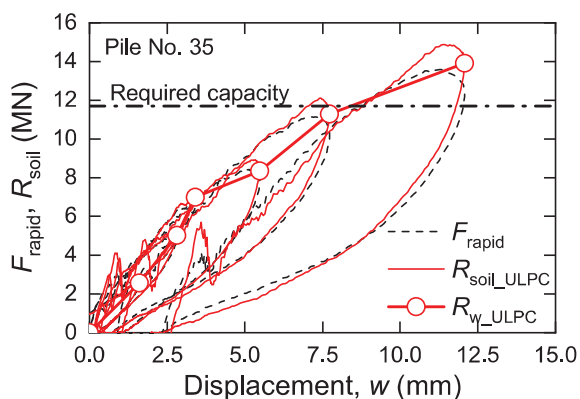


図-4 杭 No. 35 の ULPC による荷重—変位関係

図-4 は、ULPC 法による荷重—変位関係である。静的地盤抵抗力 R_w は杭変位 $w = 8.4$ mm で必要降伏支持力 11.7 MN を超えた。なお、6 打撃目終了後の残留変位量はわずか 2 mm であった。

図-5は、 α を0としたULPC法による荷重-変位関係である。静的地盤抵抗力 R_w は杭変位 $w = 10.8 \text{ mm}$ で必要降伏支持力11.7 MNを超えた。

図-6は、ULPC_CM法による荷重-変位関係である。静的地盤抵抗力 R_w は杭変位 $w = 10.6 \text{ mm}$ で必要降伏支持力11.7 MNを超えた。

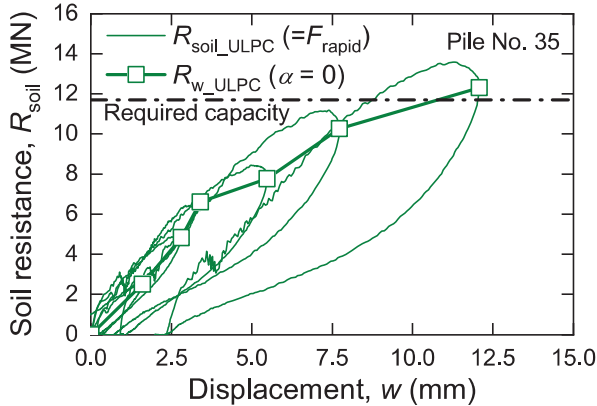


図-5 杭 No. 35 の $\alpha=0$ としたULPCによる荷重-変位関係

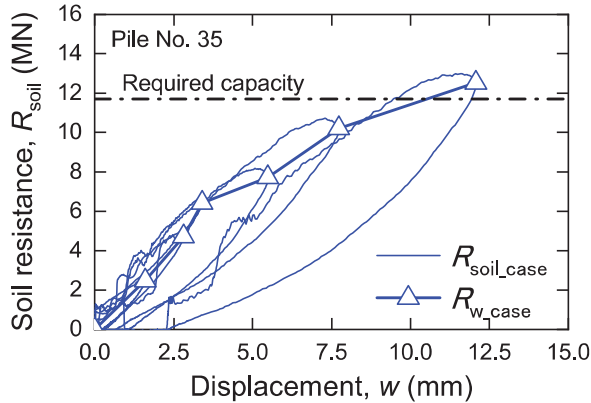


図-6 杭 No. 35 のULPC_CMによる荷重-変位関係

図-7は、各種解析法による、静的荷重 R_w と杭変位 w の関係を比較している。相対荷重時間 $T_r=6.75$ であっても、ULPC法による R_w はULPC_CM法による R_w を上回っている。 $\alpha=0$ を仮定したULPC法による結果はULPC_CM法による結果とほぼ同様であった。いずれの解析方法でも、杭 No. 35 は必要降伏支持力 11.7 MN を超えていることが確認された。

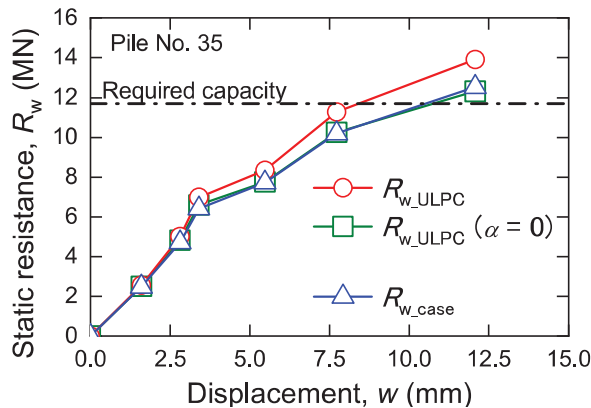


図-7 杭 No. 35 のULPCおよびULPC_CMによる静的な荷重-変位曲線の比較

杭 No. 9 についても、同様な解析を実施した。図-8は各種解析法による、静的荷重 R_w と杭変位 w の関係を比較した結果である。杭 No. 35 と同様に、いずれの解析方法でも、杭 No. 9 は必要降伏支持力 11.7 MN を超えていることが確認された。

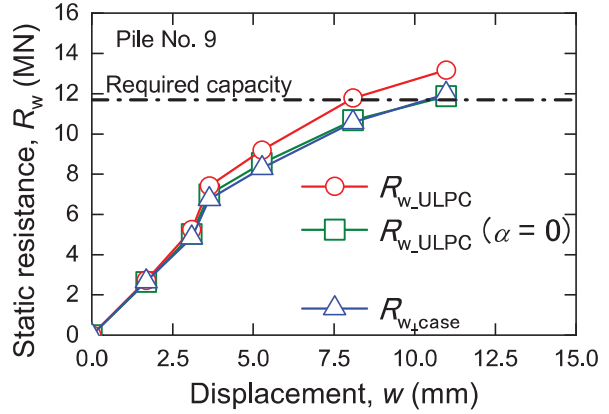


図-8 杭 No. 9 のULPCおよびULPC_CMによる静的な荷重-変位曲線の比較

図-7 と図-8 を比較すると、二本の杭の荷重-変位関係のばらつきは非常に僅かである。このことは、杭基礎の安全性が高いことを示唆している。ある現場で、各杭の荷重-変位関係のばらつきを推測するには、複数の荷重試験の実施が必須である。急速荷重試験は、このような目的を達成するのに、非常に有効な手段になり得る。

3. おわりに

本稿では、「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）」のA2橋台基礎（鋼管ソイルセメント杭）で実施した急速荷重試験について、支持力確認の結果と解析方法の違いによる試験結果の比較・考察を行った。

ULPC法とULPC_CM法で解析した杭No.9, 杭No.35の荷重-変位関係から、確認支持力 11.7 MN を満足する結果が得られた。また、両試験とも試験後の残留変位量が 2 mm 以下と少なく、ほぼ同様の荷重-変位関係を示しており、杭性能のばらつきが僅かであることが確認された。

ULPC法で解析した静的抵抗力は、ULPC_CM法による静的抵抗力を上回る結果となった。一方、 $\alpha=0$ としたULPC法の解析結果は、ほぼULPC_CM法と一致する結果となった。

謝辞

最後に、荷重試験に関するデータの提供にご協力いただいた愛知県知多建設事務所に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 日高 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1: 試験概要), 第58回地盤工学研究発表会.
- 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: DOI/10.5281/zenodo.7148489.

講演情報

一般セッション

6. 地盤と構造物 (動的問題を含む)

杭基礎 (現地調査) ①

2023年7月13日(木) 09:00 ～ 10:30 第9会場 (414)

座長：濱田 純次 (竹中工務店)

[13-9-1-01] 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)

*日高 雅史¹、小谷 健児²、中山 敦³、林 世峻³、渡邊 康司⁴

(1. 中日本建設コンサルタント株式会社、2. 株式会社花井組、3. 株式会社地盤試験所、4. 愛知工業大学)

キーワード：鋼管ソイルセメント杭、急速載荷試験、荷重変位関係

「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）」にてA2橋台基礎（鋼管ソイルセメント杭）の支持力確認急速載荷試験を実施した。本稿では、試験対象橋台付近の地盤状況および急速載荷試験実施に至った設計概要と工事試験の概要を述べた。また、急速載荷試験解析方法として、除荷点接続法（ULPC法）とCase法を援用した除荷点接続法（ULPC_CM法）の概要を述べ、比較した。



第 58 回地盤工学研究発表会

58th Japan National Conference on Geotechnical Engineering

現地参加者のしおり

2023 年（令和 5 年）7 月 福岡

日時：2023 年 7 月 11 日（火）～14 日（金）（14 日は見学会のみ）

会場：福岡国際会議場（市民向け行事・体験イベント：天神中央公園、交流会：ホテルニューオータニ博多）

1. 現地参加者へのお知らせ	p.1
2. 会場案内.....	p.4
3. 研究発表要領	p.12
4. 研究発表セッション一覧・プログラム	p.13
5. ディスカッションセッション（DS）	p.15
6. 特別セッション	p.17
7. 展望講演.....	p.20
8. 特別講演会（一般公開）	p.21
9. 技術展示（一般公開）	p.22
10. 交流会	p.26
11. ダイバーシティ関連セッションとサロン・土・カフェW（一般公開）	p.27
12. 市民向け行事（一般公開）	p.29
13. 見学会（一般公開）	p.32
14. 交通アクセス	p.34

第 58 回地盤工学研究発表会は、DS、特別セッション、展望講演、特別講演会を現地（福岡市）とオンラインを利用したハイブリット形式で実施し、それ以外を現地（福岡市）で開催します。「現地参加者のしおり」は現地に参加される方へのご案内として作成しております。

第 58 回地盤工学研究発表会実行委員会

大会期間中：【大会本部】〒812-0032 福岡市博多区石城町 2-1

福岡国際会議場 5 階 504・505 室 TEL092-262-4111(代表)

【大会 HP】<https://confit.atlas.jp/jgs58>

上記以外：公益社団法人 地盤工学会 九州支部

〒810-0041 福岡市中央区大名 2 丁目 4 番 12 号

CTI 福岡ビル 1F TEL092-717-6033

3. 研究発表要領

3-1. 発表方法と注意点

一般発表、ディスカッションセッション（DS）ともに、1件当たり7分の発表と、その後の質疑応答を予定しています。発表資料は、PowerPoint や PDF 等でご準備ください。発表セッションの10分前までにご自身の発表される会場に入室し、会場のPCにファイルをコピーしてください。発表時間の予鈴はございませんので、発表時間の計測はご自身でお願いいたします（座長より残り時間や発表時間終了等の呼びかけはさせていただきます）。

以上の情報は、「第58回地盤工学研究発表会大会サイト」<https://confit.atlas.jp/jgs58>の「発表・参加について」にも掲載されておりますので、ご確認ください。

3-2. 優秀論文発表者賞

申込み時に35歳以下の若手研究者奨励のため、優秀論文発表者賞を設けています。選出は各セッション座長の推薦に基づき、受賞者には賞状を授与するとともに、学会ホームページと地盤工学会誌に氏名を掲載します。