

急速載荷試験による回転切削圧入鋼管杭（ジャイロプレス工法杭）の設計支持力確認

回転切削圧入鋼管杭
急速載荷試験
荷重－変位関係

地盤試験所 正会員 ○吉國 将大
地盤試験所 国際会員 林 世峻
地盤試験所 国際会員 亀井 秀一
金沢大学名誉教授 国際会員 松本 樹典

1. はじめに

本稿は、国土交通省 関東地方整備局 利根川水系砂防事務所発注の「H30 霊亀橋下部工事」における橋台基礎工事で、ジャイロプレス工法（回転切削圧入工法）で施工された鋼管杭に対して設計の妥当性を確認するために実施した急速載荷試験について、ULPC 法およびULPC_CM 法からの解析結果を述べるものである。

2. 地盤条件、杭および設計の概要

群馬県の滑川に架かる霊亀橋が、2022 年に新しい橋に架け替えられた。新橋の橋台基礎には鋼管杭が採用され、杭の施工には、狭隘な敷地条件、アクセス制限、騒音・振動の軽減、工期短縮などの理由からジャイロプレス工法が採用された。当工法は、杭先端に切削ビットを装着した鋼管杭を回転させながら地盤に圧入する工法である。

杭の支持力については、ジャイロプレス工法による鋼管土留め擁壁設計・施工指針¹⁾に規定された経験式に基づいて予備設計が実施された。しかし、当工法の適用実績が少ないことから施工した杭で急速載荷試験を実施して設計支持力を確認することとした。

架橋地点の地層は、上部の埋土層の下に N 値 ≥ 50 の非常に硬い砂礫層が分布する（図-1）。ボーリング孔の終端深度が 10 m であったため、それ以深の土層は上部の砂礫層と同様の地層と仮定した。

試験の対象となる本杭（試験杭と呼ぶ）には、急速載荷試験のために2対のひずみ計と加速度計を杭頭付近に設置した。

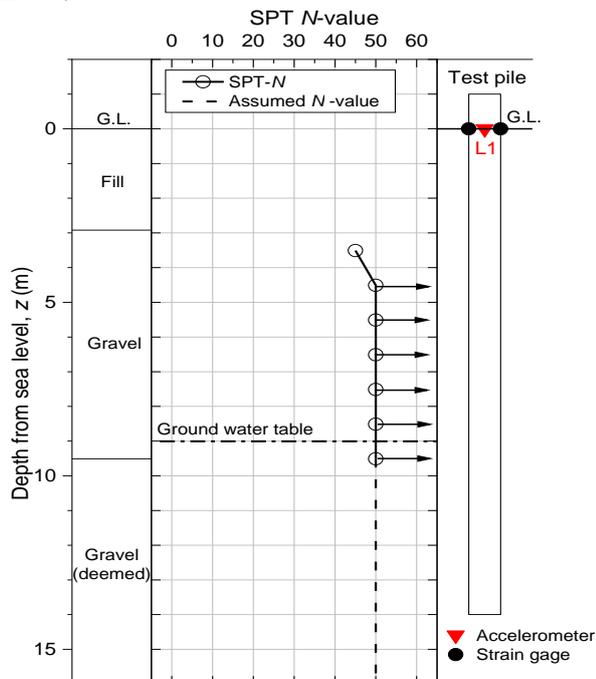


図-1 A2 橋台基礎と地層状況

試験杭の仕様を表-1 に示す。また、当工事の設計荷重、安全率から算出した杭の必要支持力を表-2 に示す。

表-1 試験杭の仕様

Item	Value
Pile length, L (m)	15.0
Embedment length, L_d (m)	14.0
Outer diameter, D_o (mm)	1200
Inner diameter, D_i (mm)	1176
Wall thickness, t_w (mm)	12.0
Cross-sectional area, A (m ²)	0.045
Young's modulus, E (GPa)	206.8
Density, ρ (ton/m ³)	7.88
Bar wave velocity, c (m/s)	5123
Mass, m (ton)	4.94

表-2 設計荷重, 安全率, 必要支持力

状態	作用力	安全率	必要支持力
常時	1305 kN	3	3915 kN
L1 地震時	1440 kN	2	2880 kN

杭の極限支持力は、表-3 に示す経験式を用いて推定した。

表-3 先端抵抗と周面抵抗を推定する経験式¹⁾

土質	先端支持力度 q_d (kPa)	周面抵抗力度 f_s (kPa)
砂	$60 N (\leq 2,400 \text{ kPa})$	$2 N (\leq 100 \text{ kPa})$
礫		

$N=50$ とすると、以下の極限支持力が得られた。

$q_d = 2400 \text{ kPa}$, 先端支持力 $Q_d = 2714 \text{ kN}$

$f_s = 100 \text{ kPa}$, 周面摩擦力 $Q_s = 2740 \text{ kN}$

杭支持力 $Q = Q_d + Q_s = 5454 \text{ kN}$

推定された杭の支持力は、必要支持力を十分に上回っているが、ジャイロプレス工法の適用例が限られていることから経験式の信頼性が懸念された。そこで、急速載荷試験を実施して、杭が 3915 kN 以上の支持力を有することを確認することとした。

3. 急速載荷試験解析方法

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 法は地盤工学会の杭載荷試験基準²⁾ (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)

ULPC_CM法では, ある杭に対して複数回の打撃(急速載荷試験)を想定している。一次元波動理論に基づいた Case 法から得られる貫入抵抗力 $R_t (=R_{\text{soil}})$ と直接測定した杭変位 w の時間変化から, $w - R_{\text{soil}}$ 関係を求め, これから除荷点抵抗力 R_{ulp} と除荷点変位を得る。

4. 急速載荷試験結果

急速載荷試験 (RLT) では, 質量 9.5 ton のハンマーを使用し, ハンマー落下高 $h = 0.3 \sim 1.8$ m で, 計 6 打撃を実施した。

図-2 は $h = 1.8$ m の RLT において計測された急速荷重 F_{rapid} , 杭頭変位 w , 速度 v , 加速度 α を示している。図中では F_{rapid} とともに, ULPC 法および ULPC_CM 法から求めた地盤抵抗 R_{soil} (ULPC), R_{soil} (ULPC_CM) を併せて示している。

最大杭変位時点では, 速度 $v = 0$ である。この時点の R_{soil} (ULPC_CM) を ULPC 法と同様に静的抵抗力 R_w (R_{ulp}) と定義する。 h を変化させた一連の RLT から求まる ULPC_CM 法での除荷点抵抗力と変位を接続することで, 静的な荷重-変位関係を構築する。

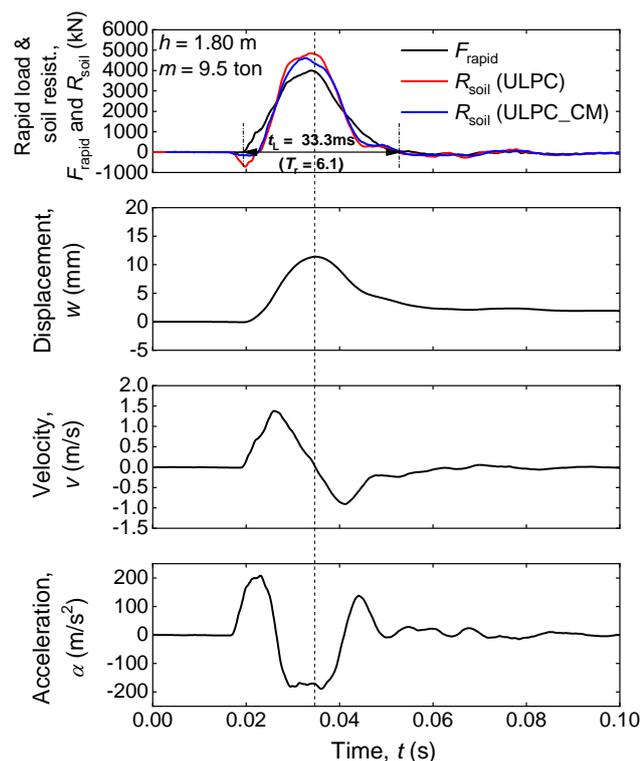


図-2 RLT の計測シグナル ($h = 1.8$ m)

図-3 と図-4 は, ULPC 法および ULPC_CM 法による荷重 ($F_{\text{rapid}}, R_{\text{soil}}$) -変位関係である。また, 図-5 は, 両解析方法による静的荷重 R_w と杭変位 w の関係である。

二つの解析方法により得られた静的荷重は, 杭頭変位が約 16mm で必要な支持力 (3,915 kN) を満足しており, 杭頭初期剛性はほぼ同じ値で, $K_h = 501$ MN/m であった。

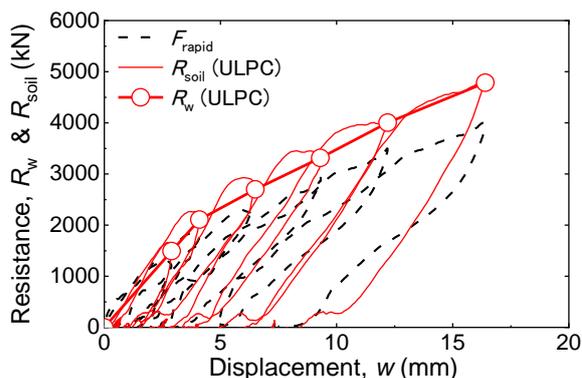


図-3 ULPC 法による荷重-変位関係

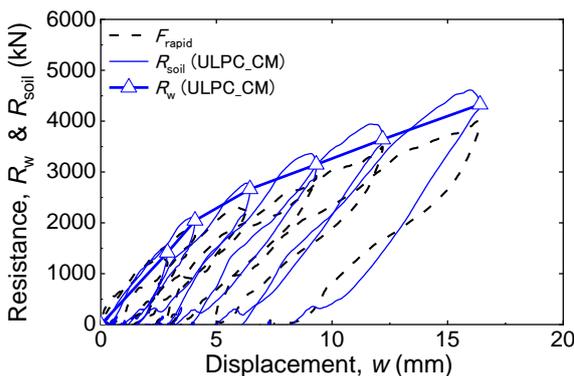


図-4 ULPC_CM 法による荷重-変位関係

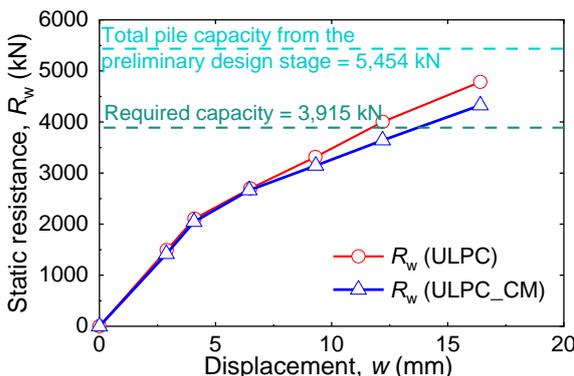


図-5 ULPC および ULPC_CM による静的な荷重-変位曲線と設計値の比較

5. おわりに

ジャイロプレス工法で施工された鋼管杭について, 支持力を推定する経験式の信頼性が低いことから急速載荷試験を実施し, ULPC 法および ULPC_CM 法の解析結果から施工された杭が必要支持力を有することを確認した。

謝辞 載荷試験に関するデータの提供および本稿のまとめにご協力いただいた「国土交通省 関東地方整備局 利根川水系砂防事務所」に深く謝意を表します。

参考文献

- 国際圧入学会 (IPA) (2014): ジャイロプレス (回転切削圧入) 工法による鋼管土留め擁壁設計・施工指針。
- 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。
- 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。