

砂地盤における羽根径が異なる 6 本の先端羽根付き鋼管杭の静的、衝撃および急速载荷試験（その 3：試験結果）

先端羽根付き鋼管杭 回転貫入杭
羽根杭径比 静的载荷試験
衝撃载荷試験 急速载荷試験

正会員○亀井 秀一* 正会員 MANDAL Ram Krishna **
正会員 林 世峻*** 正会員 山本 伊作****
正会員 松本 樹典*****

1. はじめに

（その 3）では、衝撃载荷試験(DLT)の WMA 結果と静的载荷試験(SLT), 急速载荷試験(RLT), DLT からの静的な荷重－変位関係結果の比較と考察について述べる。

2. 衝撃载荷試験の Wave Matching Analysis(WMA) 結果

図-1 および図-2 には Pile No.3, No.5 の最終 WMA の結果を示す。各図の図(a)は、測定荷重 F と測定速度 v にインピーダンス Z を乗じた力 Zv , 図(b)は測定した下降力波 $F_{d(mes)}$ と上昇力波 $F_{u(mes)}$ である。WMA では、 $F_{d(mes)}$ を杭の測定点での入力波として与え、地盤抵抗パラメータを仮定して杭の波動解析を行った。図(c)は測定した $F_{u(mes)}$ と計算上昇力波 $F_{u(cal)}$ である。計算上昇力波 $F_{u(cal)}$ は、（その 2）¹⁾ で説明した Full model と Pseudo-uniform model による計算結果である。 $F_{u(mes)}$ と $F_{u(cal)}$ を比較すると、立ち上がりからピーク値およびその後の波形が収束する過程に至るまで両者はよく一致した。特に、検討した 2 種類の羽根部モデル化手法（Full model および Pseudo-uniform model）による差は小さく、いずれの手法においても複雑な先端形状に起因する反射波形と地盤抵抗を精度よく再現した。

最終 WMA で仮定した地盤抵抗パラメータを表-1 および表-2 に示す。Full model および Pseudo-uniform model の両モデルから得られた周面摩擦力と先端抵抗力の値には、それぞれ大きな差はなかった。ダンピング J の値は、深さによって変化し $J=0.5\sim100\text{ kPa}\cdot\text{s/m}$ であった。

最終 WMA で得られた静的地盤抵抗の分布とばね剛性 k を用いて静的な杭の荷重－変位関係を計算した。

表-1 最終 WMA における quake 値の一覧

Pile No.	Pile model	quake (mm)	
		Shaft	Tip
BSPP No. 3	Full model	7.5	11.2
	Pseudo uniform	5.7	11.9
BSPP No. 5	Full model	7.5	18.7
	Pseudo uniform	5.3	18.4

表-2 SLT および最終 WMA から得られた静的地盤抵抗力

Pile No. 3				Pile No. 5		
	SLT	DLT	Pseudo	SLT	DLT	Pseudo
Shaft resis., Q_s (kN)	49	93.7	76.6	129	42.2	24.9
Base resis., Q_b (kN)	551	641.1	623.4	641	868.5	973.0
Total resis., Q (kN)	600	734.8	700.0	770	910.7	997.9

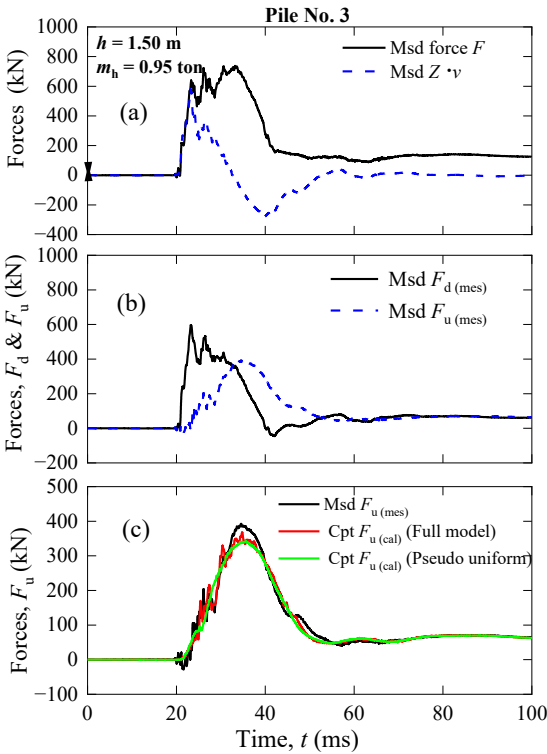


図-1 最終 WMA における波形時刻歴の比較 (Pile No. 3)

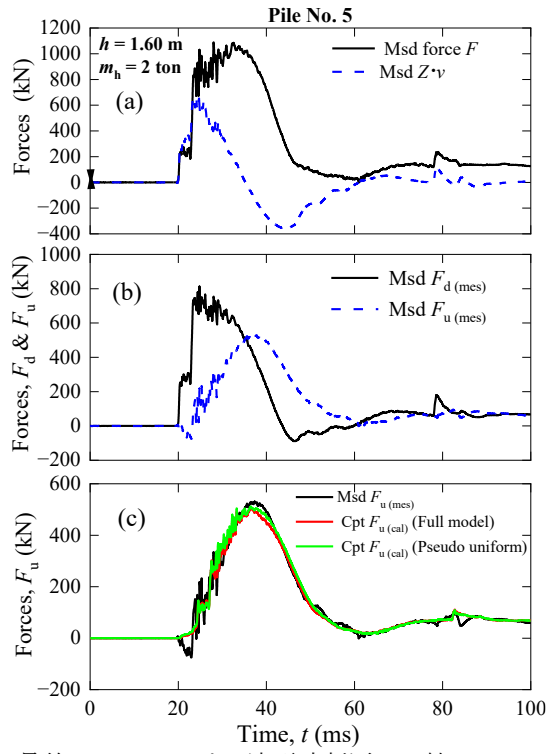


図-2 最終 WMA における波形時刻歴の比較 (Pile No. 5)

3. SLT, RLT, DLT による静的な荷重－変位関係の比較

図-3 および図-4 に Pile No.3, No.5 の各試験から得られた静的な荷重－変位関係の比較を示す。

SLT の結果²⁾に対し、DLT による推定曲線は、解析モデルによる顕著な差は見られず概ね良好な整合性を示した。DLT は杭の鉛直抵抗特性を評価する上で実用的な精度を有していると言える。

また、RLT については ULPC 法および ULPC_CM 法のいずれも SLT とよく整合した。特に、ULPC_CM 法による荷重－変位関係は、SLT 曲線の延長線上に重なる荷重－変位量関係を示した。

DLT からの荷重－変位関係の初期勾配（再載荷履歴）は RLT からのそれによく一致している。

ここで、表-2 に示した地盤抵抗力について考察する。SLT 結果より先端羽根付き鋼管杭における荷重－変位特性は、いずれの杭においても変位に伴い杭の静的抵抗力は増大する傾向を示しており、表-2 の最終 WMA より得られた静的抵抗力は、杭変位の増加に伴う静的抵抗力として妥当な結果を示している。表-2 の SLT での地盤抵抗力 Q は、極限支持力でなく、SLT における最大荷重である。変位が増加した後の DLT から SLT に比べて大きな抵抗力が推定されたのは、妥当な結果であると言える。

4. おわりに

砂地盤に根入れされた先端羽根付き鋼管杭（BSPP）を対象に、静的載荷試験（SLT）、衝撃載荷試験（DLT）、および急速載荷試験（RLT）を実施し、各手法による静的な荷重－変位関係の推定精度を検証した。本検討から得られた結果を以下にまとめる。

- (1) DLT, RLT から得られた静的な荷重－変位関係は SLT と概ね良好に整合し、DLT および RLT が BSPP の鉛直抵抗特性の評価手法として十分な実用性を有していることを確認した。
- (2) DLT の波形マッチング解析（WMA）においては、先端羽根部のモデル化手法（Full model および Pseudo-uniform model）によらず、杭挙動を精度よく再現可能であった。
- (3) RLT の解析手法である ULPC 法および ULPC_CM 法は、いずれも SLT と整合する結果を与えた。これらの手法は地盤パラメータの仮定を必要とせず、現場での迅速な評価が可能であるという点で実務的優位性が高い。
- (4) 特に ULPC_CM 法による荷重－変位関係は、SLT 曲線の延長線上に重なる極めて精度の高い推定結果を示した。ULPC 法と比較して安全側の結果を与える傾向から、迅速かつ合理的な品質管理手法として適用性が高い。

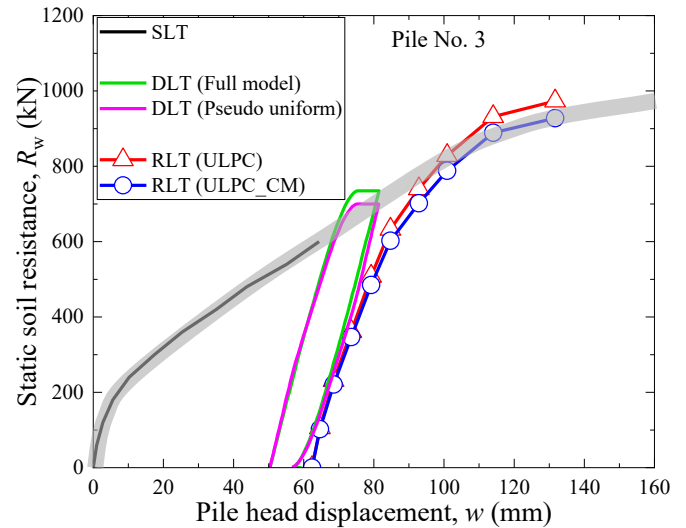


図-3 SLT, DLT, RLT による静的な荷重－変位関係 (Pile No. 3)

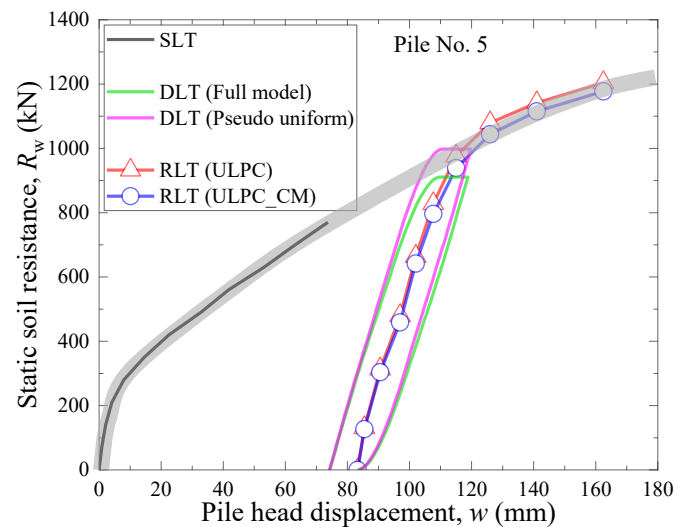


図-4 SLT, DLT, RLT による静的な荷重－変位関係 (Pile No. 5)

参考文献

- 1) Mandal 他(2026), 林 他(2026): 砂地盤における羽根径が異なる 6 本の先端羽根付き鋼管杭の静的、衝撃および急速載荷試験（その 1：試験概要）、（その 2：解析手法・結果）、2026 年度日本建築学会大会（中国）学術講演会。
- 2) Mandal 他(2026), 亀井 他(2026): 砂地盤における羽根径が異なる 6 本の先端羽根付き鋼管杭の静的載荷試験（その 1：試験概要）、（その 2：試験結果）、令和 8 年度土木学会全国大会 第 81 回年次学術講演会。

* (株)地盤試験所 部長・工学学士
 ** (株)地盤試験所 主任・工学学士
 *** (株)地盤試験所 主任・理学修士
 **** (株)地盤試験所 代表取締役・工学修士
 ***** 金沢大学 名誉教授・工学博士

* Director, Jibanshikenjo Co. Ltd., Bc. Eng.
 ** Chief Engineer, Jibanshikenjo Co. Ltd., Bc. Eng.
 *** Chief Engineer, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Science
 **** CEO, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Eng.
 ***** Emeritus Prof., Kanazawa University, Dr. Eng.