

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 1：試験概要）

先端羽根付き鋼管杭	回転貫入杭	正会員○MANDAL Ram Krishna*	正会員 亀井 秀一**
羽根杭径比	静的载荷試験	正会員 林 世峻***	正会員 山本 伊作****
衝撃载荷試験	急速载荷試験	正会員 松本 樹典*****	

1. はじめに

先端羽根付き鋼管杭 (Bladed Steel Pipe Pile: BSPP) は、鋼管先端に円形等の羽根(Blade)を設けた杭形状であり、回転押し込み貫入によって掘削土の地上への排出を伴わずに施工される工法である。本工法は、先端羽根の面積に依存した大きな先端抵抗力を発揮する点に特長があるが、その鉛直抵抗力特性の把握には静的载荷試験(SLT)が一般的に用いられてきた。一方、近年ではより迅速かつ簡便な鉛直抵抗特性評価手法として、衝撃载荷試験(DLT)や急速载荷試験(RLT)の適用が進められている。

しかし、羽根付き鋼管杭の回転貫入という特有の杭形状と貫入メカニズムを有する本工法において、DLTやRLTから得られる荷重－変位関係が、SLTの結果とどの程度整合するかを、実規模かつ同一地盤条件で系統的に検証した例は少ない。特に、一次元波動理論に基づく DLT の波形マッチング解析 (WMA: Wave Matching Analysis) においては、杭体を一次元要素としてモデル化する必要がある。本工法は、杭先端羽根の存在により断面形状が急激かつ複雑に変化するため、この先端形状をどのように一次元化し、モデル化するかが解析から得られる荷重－変位関係の推定精度を左右する大きな課題となっている。

本稿では、砂層に根入れした杭径 D_p および羽根径 D_b の仕様が異なる 6 本の BSPP を対象に、SLT, DLT および RLT を実施した。本稿（その 1）では、試験概要および施工記録について述べる。なお、代表的な仕様である杭 No.3 および No.5 を対象とした SLT, DLT および RLT による荷重－変位関係の比較、および先端羽根部の一次元モデル化手法の違いが解析結果に及ぼす影響等については、同名報告（その 2，その 3）で報告する。

2. 試験概要

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 に地盤調査位置と杭の配置を示す。同図のように試験杭近傍にて、標準貫入試験(SPT)を 1 箇所、三成分コーン貫入試験(CPT)を 5 箇所で行った。

図-2 は、地盤調査結果、杭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 $N=1\sim3$ 、それ以降では、深さとともに N 値が増加し、 $z=10$ m 以深では $N=30$ の砂質層が存在する。試験杭は杭先端深度で $N=20$ 程度となる $z=10.3$ m まで貫入した。なお、地下水位は G.L.-3.5 m である。試験杭には、ひずみゲージと加速度を L1 から L3 の 3 深度に設置した。

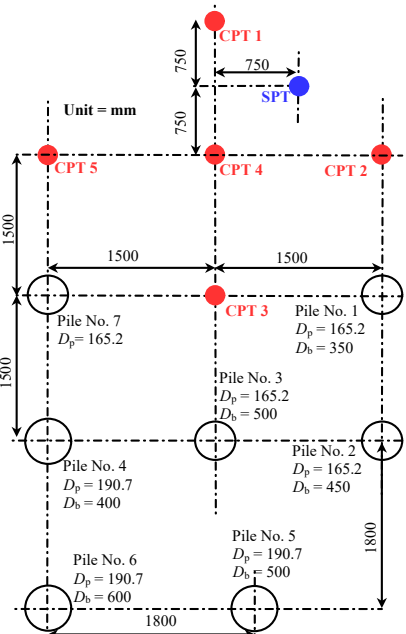


図-1 試験杭と調査位置関係

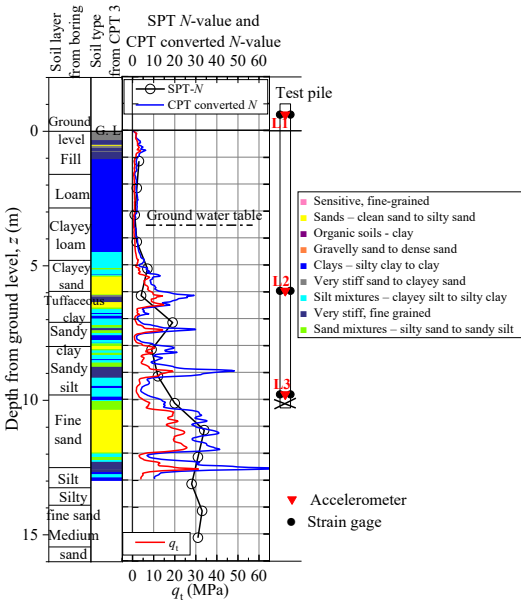


図-2 地盤調査結果(SPT, CPT), 杭の打設深さ, 計測項目・位置

2.2 試験杭の仕様

試験鋼管杭の仕様を表-1 に示す。試験杭には、図-3 に示すような羽根を設置し、鋼管部先端は鉄板の蓋で完全閉塞となっている。試験杭は二つのグループ (Piles 1 to 3: $D_p = 165.2$ mm, Piles 4 to 6: $D_p = 190.7$ mm) に大別される。それぞれのグループで D_b を変えた。

表-1 試験羽根付き鋼管杭の仕様

Item	Value					
Pile No.	1	2	3	4	5	6
Pile outer dia., D_p (mm)		165.2			190.7	
Blade dia., D_b (mm)	350	450	500	400	500	600
Dia. ratio, (D_b/D_p)	2.12	2.72	3.03	2.10	2.62	3.15
Pile length, L (m)			11.3			
Embed. length, L_e (m)			10.3			
Pile wall thick., t_p (mm)		7.1			7.0	
Blade thick., t_b (mm)			30			
Pile cross- section area, A_p (m ²)		3.53×10^{-3}			4.04×10^{-3}	
Blade area, A_b (m ²)	0.096	0.159	0.196	0.126	0.196	0.283
Young's mod., E (GPa)			206.8			
Density, ρ (ton/m ³)			7.88			
Mass, m (ton)	0.33	0.35	0.36	0.38	0.40	0.42

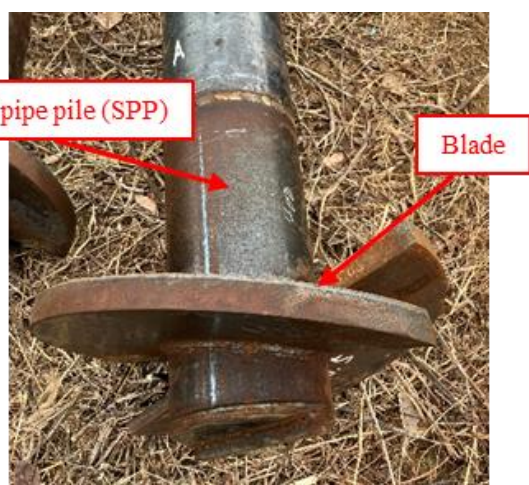


図-3 羽根付き鋼管杭 (Pile No. 5)

2.3 試験順序・養生期間

表-2 に各試験杭の施工日、SLT、DLT、RLT 間の養生期間を示す。

2.4 施工記録

試験杭の施工記録として深度 z と回転トルク T 、圧入力 P_f の関係を図-4 に示す。回転トルクは 15 kN・m から漸増し、最終杭先端深さでは概ね 20 kN・m で打ち止めた。

表-2 試験工程一覧

Pile No.	Install. date	Rest (day)	Load test	Rest (day)	Load test	Rest (day)	Load test
1	25/12/10	44	SLT	14	DLT	13	RLT
2	25/12/10	30	SLT	24	DLT	14	RLT
3	25/12/10	29	SLT	22	DLT	14	RLT
4	25/12/11	27	SLT	22	DLT	14	RLT
5	25/12/11	36	SLT	18	DLT	15	RLT
6	25/12/12	34	SLT	20	DLT	13	RLT

なお、 D_b が比較的大きな No.3、No.5、No.6 では、 N 値が増加する $z=5$ m 以深の一部区間で、羽根面積の増大に伴う回転抵抗の増加により 30 kN・m 程度のトルクが発生した。

圧入力については Pile No.1 を除き、 $z=5$ m 以深から導入を開始し、最終的に 30 kN から 60 kN で打ち止めた。これらの結果から、全杭において回転トルクと圧入力の推移は概ね共通している。しかし、Mandal ら¹⁾や亀井ら²⁾が報告しているように、杭支持力は羽根径に大きく依存している。

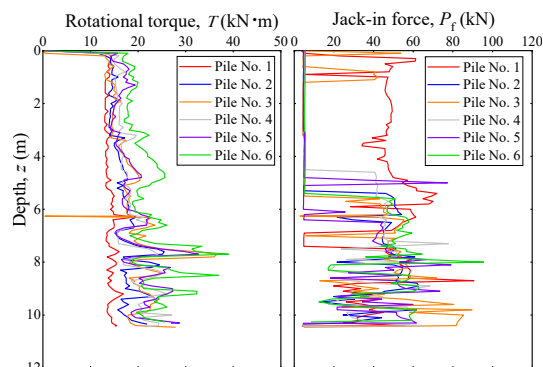


図-4 深度と杭の回転トルク、圧入力の関係

2.5 試験方法と載荷装置

SLT は杭の押込み試験方法²⁾、DLT は杭の衝撃載荷試験方法²⁾、RLT は杭の急速載荷試験方法²⁾に準拠して実施した。SLT の載荷装置は鋼製重量物と油圧ジャッキを用いた実荷重方式とし、試験方法は段階載荷による多サイクル方式を採用した。RLT 装置は、ハイブリッドナミック試験装置（軟クッション重錘落下方式）を用い、ハイブリッドナミッククッションを介して約 2 ton の重錘（ハンマー）で試験杭に載荷した。ハンマー落下高さを段階的に上げていき、試験杭に十分な貫入変位が生じるまで、複数回の載荷を実施した。DLT では、RLT 装置からクッションを除いた状態で重錘落下によって衝撃荷重を載荷した。

3. おわりに

（その 2、その 3）では、RLT、DLT の解析手法と Pile No.3、No.5 の SLT、DLT、RLT の結果と考察を述べる。

参考文献

- 1) Mandal 他、亀井他：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）、土木学会第 81 回年次学術講演会、札幌、2026.9.
- 2) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説 Rev. 1、2002.5.

* ㈱地盤試験所 主任・工学士
 ** ㈱地盤試験所 部長・工学士
 *** ㈱地盤試験所 主任・理学修士
 **** ㈱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

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