

名古屋港飛島ふ頭東R1岸壁における 鋼管杭打設の施工管理について

岩田和樹¹

¹中部地方整備局 名古屋港湾事務所 保全課 (〒455-0045 名古屋市港区築地町2番地)

名古屋港では、入港船舶の大型化と連続するコンテナターミナルの運用効率化を目指し、既存の岸壁の再編改良という国内的にも例が少ない事業に着手した。先行して着手するR1岸壁の鋼管杭打設において、支持力管理式により算出された支持力が設計支持力を下回る事態が発生した。この対応として、施工時と養生後の衝撃載荷試験を実施し、修正ハイリー式を用いた施工管理を行い、すべての杭において所定の支持力を満足することが確認された。

キーワード 鋼管杭, 施工管理, ハイリー式, 衝撃載荷試験

1. はじめに

名古屋港湾事務所では、飛島ふ頭の東側に位置する改良事業に着手している。岸壁改良断面は、栈橋形式となっており鋼管杭3本により支持された構造である。本工事は、供用中の岸壁について改良を行うため早期の整備が求められていると共に、耐震強化岸壁としての耐震性を有した確実な施工を行うことが求められる。

本稿では、打設した鋼管杭の支持力が設計支持力を下回る事態への対応と、衝撃載荷試験を併用した支持力管理方法について報告する。(図-1)

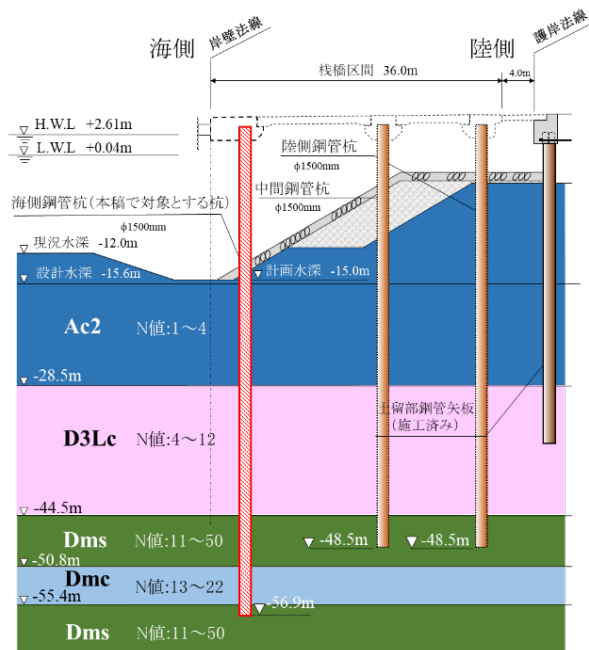


図-1 標準断面図

2. 工事の概要

工事の概要について以下に示す。

件 名：名古屋港飛島ふ頭東岸壁(-15m)栈橋本体工事

工 期：令和2年2月4日～令和3年3月19日

工 種：栈橋部本体工

(施工延長171.8m, 鋼管杭打設123本)

鋼管杭は、φ1500mm, L=52.3~64.0mと大口径かつ長尺である。また、大きな応力が作用する上部箇所にはSM570を採用した継杭である。施工は、杭打船(第18御在所号, 全旋回式550t吊, IHC油圧ハンマーS-280装着)により海上から支持層まで打設する。(写真-1)

一方、施工位置の地盤構成は、一部で砂層が見られるものの、表層から鋼管杭の支持層(Dms層)が出現するN.P.-45m付近まで粘性土が主体である。Dms層で実施した標準貫入試験結果(N値の深度分布)によると、N.P.-50m以深で著しいばらつきがみられ、鋼管杭の支持力の確認において、十分な施工管理が必要となる。

(図-2)

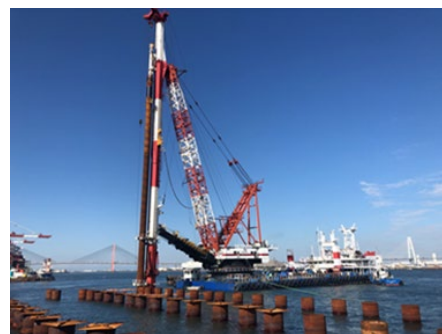


写真-1 杭打船(第18御在所号)

3. 新たな支持力管理式の適用

(1)設計支持力を下回る事態の発生

栈橋の海側2本の杭の施工において設計支持力を下回る事態が発生した。設計支持力が17,505kNに対し、管理式によって算出された支持力が、それぞれ2～3%下回る事態となった。このため、支持力確保に対する検討を行った。この対策として、鋼管杭を継ぎ足し打設し、支持力が確保されるまで貫入することが一般的である。なお、特殊な杭であり3ヶ月の製作期間を要し、この対策については早期整備が求められている中、供用時期に遅れが生じることとなる。そのため、まずは土質調査を追加するとともに、鋼管杭の打設に使用しているハンマーを用いて、施工時と養生後の衝撃載荷試験により支持力管理式の補正係数を算定した。

(2)修正ハイリー式の適用

従来、我が国の港湾工事において、支持力管理を行う場合ハイリー式が広く適用されている。(式-1)

$$R_d = \frac{(e_f \cdot F)}{\left(s + \frac{k}{2}\right)} \quad (\text{式-1})$$

ここに、 R_d は杭の動的支持力、 e_f はハンマー効率、 F は打撃エネルギー、 s は杭の平均貫入量、 k は平均リバウンド量を示す。

ハイリー式は、杭打ち施工時の動的過程で計測した貫入量 s とリバウンド量 k によって養生後の静的な鉛直支持力を推定しようとするもので、算出結果に大きなばらつきが含まれる点が指摘されている¹⁾。現在では杭の鉛直支持力の直接算定という活用ではなく、杭打設時の相対的な違いの把握や打止め可否判定といった施工管理に用いることが有用とされている。

そこで、一般的なハイリー式に杭の養生後の衝撃載荷試験を組合わせて式を修正し、施工管理に適用することとした。衝撃載荷試験によって得られた結果から必要となる各補正係数(e_f 、 C_f 、 S_r 、 S_t)を算出し、その補正係数を式-1に乗じて極限支持力 R_u を求めるものである。特に従来のハイリー式と異なる点としては、施工時と養生後の衝撃載荷試験の結果により、一定の期

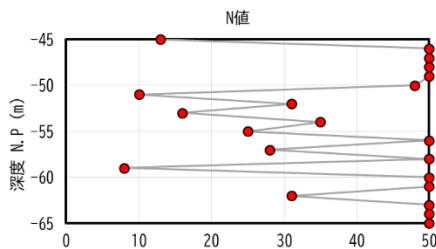


図-2 標準貫入試験結果 (Dms層)

間を経た地盤の乱れは回復(セッアップ)する事を考慮している点である。当地盤においては、深度45mまで粘性土主体となっているため、養生後の周面支持力の増加が見込まれた。

本工事の施工管理においては、港湾空港技術研究所の水谷グループ長にアドバイスを受け、補正係数を乗じた修正ハイリー式とし、以後の鋼管杭打設における施工管理手法として適用することとした。(式-2)

$$R_u = \frac{(e_f \cdot E_0)}{\left(s + \frac{k}{2}\right)} \times C_f \times S_r \times S_t \quad (\text{式-2})$$

ここに、 R_u は養生後の静的抵抗、 e_f はハンマー効率、 C_f は全抵抗係数、 S_r は静的抵抗比、 S_t はセッアップ率を示す。また、結果分析を統一的かつ総合的に評価出来るよう、打撃エネルギー E_0 を統一した慎重な打設管理を行う計画とした。統一した慎重な打設管理を行うことにより、打設した杭を比較した際に特異な挙動をする杭を発見出来る効果が期待できる。

(3)衝撃載荷試験を併用した支持力管理の結果と評価

衝撃載荷試験を実施する杭として、設計支持力を下回った杭で実施することが望ましいが、該当の杭に関しては正規の高さに打ち止まっていたため、近接する杭に衝撃載荷試験を実施することとした。衝撃載荷試験の結果を表-1に示す。

結果として、試験箇所の支持力として17,732kNが得られ設計支持力17,505kNを満足する結果となった。

算出した補正係数に関しては、既往の鋼管杭打設時のデータが報告されている港湾空港技術研究所資料²⁾との比較を行い、妥当性の検証を実施した。

その一例としてセッアップ率(S_t)を例に挙げる。セッアップ率の値に確度を持たせるため養生後の試

表-1 衝撃載荷の試験結果一覧

項目			結果	
試験結果	施工時	使用ハンマー	S-280	
		全抵抗 R_T (kN)	8,251	
		静的抵抗力	5,348	
		R_{si} (kN)	周面摩擦 $R_{si(f)}$ (kN)	2,040
			先端抵抗 $R_{si(p)}$ (kN)	3,308
		打撃エネルギー E_0 (kN・m)	143.0	
	養生後	養生期間 ΔT (days)	21	
		使用ハンマー	S-350	
		静的抵抗力	17,732	
		R_{sr} (kN)	周面摩擦 $R_{sr(f)}$ (kN)	13,530
			先端抵抗 $R_{sr(p)}$ (kN)	4,202
	設計支持力 R_a (kN)	17,505		
補正係数	ハンマー効率 e_f	0.81		
	全抵抗補正係数 C_f	1.37		
	静的抵抗比 S_r	0.65		
	セットアップ率 S_t	3.32		

験において、以下の点に工夫して施工を行った。

- ① 養生期間の設定
- ② ハンマーの取替
- ③ 土質調査の追加

上記①については、地盤工学会では、セットアップの終了目安として砂質土では5日以上、粘性土は14日以上とされているが、本工事では、供用時期に影響しない最大となる21日の養生期間を確保することとした。

上記②については、施工時に使用するハンマーがセットアップ後に地盤が硬化し、打撃エネルギーが不足することを考慮してS-280からS-350へと交換を行った。

上記③については、追加した2本の土質調査により土層に大きな変化が無いことを確認した。

その試験結果と既往データ²⁾と比較すると、養生期間20日前後のセットアップ率が、今回の試験結果のセットアップ率3.32と比較的近い値となっていることより、妥当な結果が得られたと判断できる。そのほかの係数に関しても既往データの傾向とよく一致する傾向を示している。

また、今回の鋼管杭の打設においては打止め深度近傍の地層が複雑であるという地盤構成も考慮して、打止め深度の1.0m上部から貫入量 s とリバウンド量 k の測定を開始し、修正ハイリー式に適用して支持力を算出した。修正ハイリー式による極限支持力 R_u および施工時の打撃エネルギー E_0 の深度分布を図-3に示す。

打止め直前は杭頭の出来形の都合によって打撃エネルギー E_0 を低下させる措置を取らざるを得なかったが、図-3の打ち止め直前において、設計支持力以上の支持力が確保されていること、全 R_u データ分布を確認すると、一部で若干の違いはあるものの、全杭でほぼ同様の分布傾向を示していることから、必要な支持力が確保され将来に渡り大きな支障となる問題はないと判断できる。

このことから、打撃エネルギー E_0 を統一した慎重な打設管理を行うことで、当該地盤のように支持層内で複雑な地層状況を呈する場合においても、特異挙動の

発生を適切に把握・評価できる有効な手法であることを示している。

また、設計支持力を下回った2本の杭においては、他の杭より深度の低い段階において打撃エネルギーの低下を行っており、他の杭と同程度の打撃エネルギーの場合の支持力については図-3で示した他のデータと同様の傾向が確認された。さらに、今回実施した衝撃載荷試験で十分な支持力が確保されていたことから、該当の杭についても支持力は確保出来ており対策工法は必要ないと確認できた。

4. おわりに

本工事の鋼管杭打設において、これまで港湾工事で標準的に行われてきたハイリー式に基づく支持力管理から一歩踏み込み、衝撃載荷試験結果を併用した支持力管理手法を導入した。加えて、打撃エネルギー E_0 を統一した慎重な打設管理や、打止め直前において十分なデータ計測を行いつつ総合的な支持力評価を行ったことで、所定の機能を満足する施工が可能となった。

このように、地盤等の現場条件を踏まえた上で、式の特性を考慮して現場に適用することが大事だと考える。今後は担当する工事において、従来の管理方法にとらわれず現場条件に合った施工管理を行うことで、より確実な施工を行っていきたい。

また、本工事での取組みが、類似工事の参考となれば幸いである。

謝辞：本報で紹介した支持力管理方法を検討するにあたり、国立研究開発法人 港湾空港技術研究所基礎工研究グループ水谷グループ長に多大なるご指導とご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 沢口正俊:各種動的支持力推定法における計算結果の比較, 第38回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第Ⅲ部, pp. 605-606, 1983.
- 2) 菊池喜昭, 水谷崇亮, 森川嘉之:載荷試験を活用した鋼管杭の設計・施工管理手法の体系化, 港湾空港技術研究所資料, No. 1202, 2009.

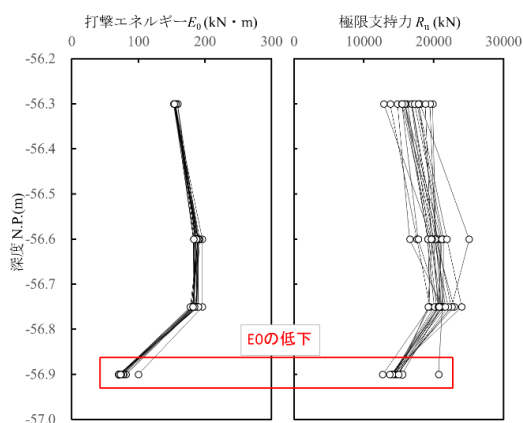


図-3 極限支持力 R_u と打撃エネルギー E_0 の深度