

四日市港霞ヶ浦北ふ頭地区岸壁 (-14m) 整備工事における  
打撃工法で施工した大径鋼管杭の軸方向押込み抵抗について

鋼管杭、打撃工法、急速载荷試験

国土交通省 中部地方整備局 四日市港湾事務所  
(国研) 海上・港湾・航空技術研究所  
東亜建設工業 (株)  
(株) 地盤試験所

小野木 佑徳  
水谷 崇亮  
廣田 修治  
国際会員○山下 久男

1. はじめに

四日市港霞ヶ浦北ふ頭地区岸壁 (-14m) 整備工事は、コンテナ貨物の増加、船舶の大型化、完成自動車やエネルギー関連貨物の増加に対応するため、新たなコンテナターミナルを整備する一環で実施している。岸壁は耐震強化岸壁とし、構造は直杭式横棧橋を採用している。

棧橋基礎杭は、ガントリークレーン基礎も兼用させることから、大径鋼管杭 (φ1,300mm) を打撃工法で施工することになっている。しかし、この大径鋼管杭の軸方向押込み抵抗が十分明らかになっていないことから、建設地点で抵抗力を確認し設計へ反映させることを目的として载荷試験 (急速、衝撃) を実施して工事を進めることにしたのでその内容について報告する。

2. 設計概要

試験杭の仕様は、φ1,300mm×t25,32mm×48.5m で、図1に示す地盤条件の Y.P.-38.4m 以深の支持層 (礫混砂層) に 1D (D: 杭径) 程度の 1.6m 根入れさせる計画である。この杭の抵抗力は、文献<sup>1)</sup>に基づき杭の軸方向押込み抵抗力の特性値を式(1)で求めた。式(1)で求めた押込み抵抗力の設計用値と作用値を照査した結果を表1に示す。

$$R_t = 300\alpha \cdot N \cdot A_p + \sum 2N_i \cdot A_s + \sum C_a \cdot A_c \dots (1)$$

$R_t$ : 杭の軸方向押込み抵抗力の特性値 (kN),  $\alpha$ : 先端閉塞率=0.33,  $N$ : 杭先端付近の  $N$  値  $N=(N_1+N_2)/2=45$ ,  $N_1$ : 杭先端位置の  $N$  値,  $N_2$ : 杭先端より上方 4D までの範囲の平均  $N$  値,  $A_p$ : 杭の閉塞断面積 (m<sup>2</sup>),  $N_i$ : 砂質土の平均  $N$  値,  $A_s$ : 砂質土に接する杭の周面面積 (m<sup>2</sup>),  $C_a$ : 粘性土地盤の平均付着力  $\leq 100$  kN/m<sup>2</sup>,  $A_c$ : 粘性土に接する杭の周面面積 (m<sup>2</sup>)

3. 施工概要

試験杭の施工には、国内最大級の油圧ハンマ (IHC-S280) を用いて全長をハンマで打設した。

打設最後付近の Y.P.-32.4m~打ち止め深度 Y.P.-41m の 8.6m 間で衝撃载荷試験を実施した。この区間のハンマエネルギー、全抵抗および 0.5m

表1 杭の軸方向押込み抵抗照査結果

作用	作用値(kN)	設計用値(kN)
永続状態④杭	2,146	3,750
永続状態①杭	4,817	4,845

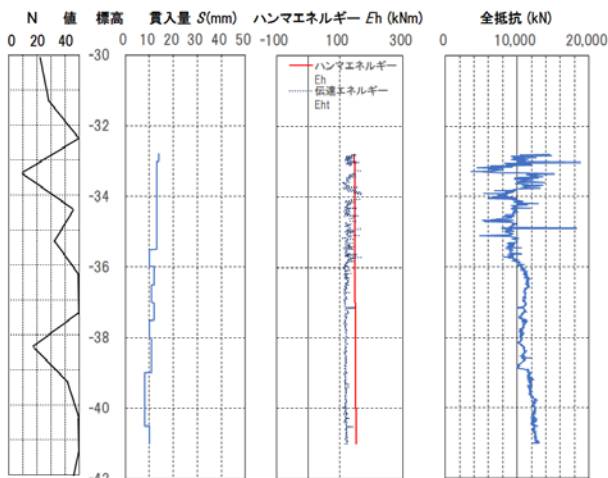


図3 打設状況

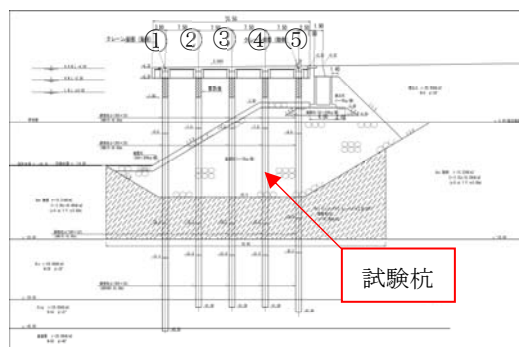


図1 直杭式横棧橋断面図

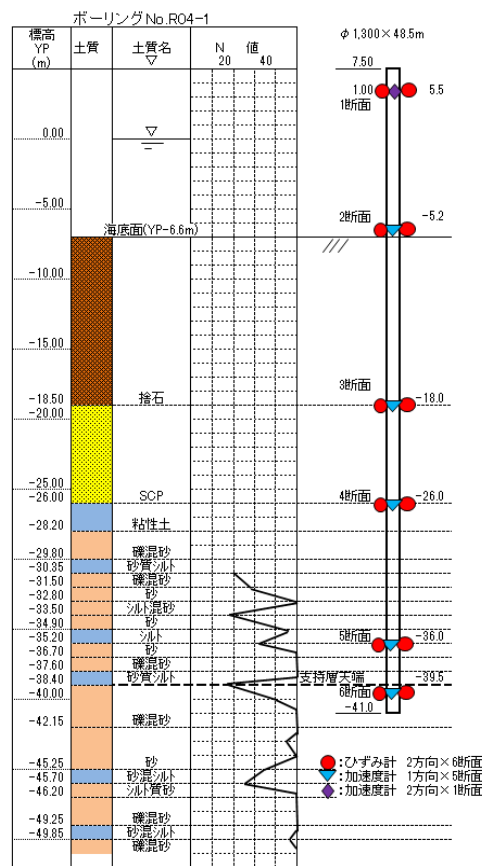


図2 地盤条件および計器設置位置

Vertical bearing capacity of a large diameter steel pipe pile  
Yutoku ONOGI (Ministry of Land Infrastructure Transport and Tourism)  
Takaaki MIZUTANI (Port and Airport Research Institute), Syuji HIROTA (Toa Corporation)  
Hisao YAMASHITA (Jibanshikenjo Company limited)

毎の打撃回数から算出した平均貫入量を図3に示す。ハンマ（伝達）エネルギーをほぼ一定で打設すると、深度が深くなるにつれて貫入量は減少し、全抵抗は増加する傾向が確認できる。

打ち止め時（Y.P.-41.0m）の波形マッチング解析結果を表2に示す。打ち止め時のハンマエネルギーは152kN-m、貫入量は10mm、全抵抗は13,049kN、静的抵抗力は6,289kNであった。

表2 波形マッチング解析結果

項目	単位	結果
ハンマエネルギー	kN-m	152
伝達エネルギー	kN-m	121
貫入量	mm	10.0
リバウンド量	mm	4.0
全抵抗	kN	13,049
周面抵抗	kN	2,685
先端抵抗	kN	3,604
静的抵抗合計	kN	6,289

4. 試験概要

試験杭の軸方向押し込み抵抗力は、文献<sup>2)</sup>に規定されている68t重錘を用いた軟クッション重錘落下方式の急速載荷試験により確認した。計画荷重は、表1の最大作用値を部分係数で除した4,817/0.4≒12,500kNに設定した。地盤の杭周面抵抗力を確認するため図2に示す海底面（2断面）～杭先端より上方1.5m（6断面）位置の5断面に計器を設置した。

5. 試験結果

各落下高の各断面最大荷重と最大変位量をまとめたものを表3に示す。表3の値を式(2)の除荷点法解析で地盤抵抗力和各落下高の残留変位を加えた累計変位量を求めた結果も表3の()内に示した。この内、海底面（2断面）抵抗力和変位量の関係を図4に示す。この時の残留変位量は13mmであり、図が示すように、抵抗力と変位量の関係は、まだ直線的に推移しており第一限界抵抗力まで達していないものと推測される。

表3 最大荷重・変位量および除荷点法による解析結果

計測断面	重錘落下高(m)					
	0.4	0.8	1.2	1.6	2	
最大荷重 (kN)	杭頭	5,640	9,002	11,928	14,203	15,942
	2断面	5,640(6,158)	9,002(9,544)	11,935(13,579)	14,203(15,116)	15,936(16,642)
	3断面	5,469(5,284)	8,657(8,270)	11,984(10,283)	12,351(12,120)	15,942(14,023)
	4断面	3,325(3,314)	5,729(5,727)	8,257(6,952)	10,488(8,451)	11,898(9,446)
	5断面	2,492(2,457)	4,698(4,692)	7,018(5,892)	8,947(7,465)	10,360(8,586)
最大変位量 (mm)	杭頭	9.2	17.4	23.9	32.1	39.7
	2断面	5.8	17.4	23.4	32.1	38.4
	6断面	0.2	1.3	3.4	10.1	16.9
累計残留変位量(mm)	0	0	3	6	13	

注)評価断面は海底面の2断面

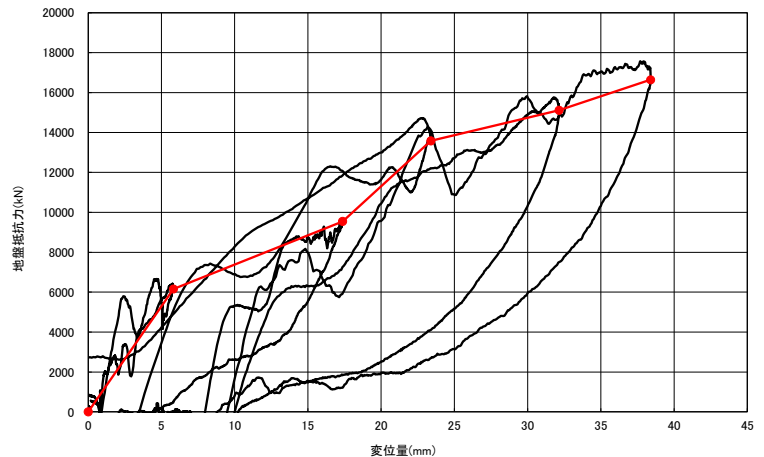


図4 地盤抵抗力～変位曲線(海底面：2断面)

$$R_{soil} = Frapid - M \times \alpha \dots (2)$$

ここに、 $R_{soil}$ ：地盤抵抗力、 $Fr_{apid}$ ：各断面最大荷重、 $M$ ：各断面の杭の質量、 $\alpha$ ：各断面の加速度

最大抵抗力は、表3に示すように16,642kNであり計画荷重12,500kN以上の抵抗力を確認した。

表3の各断面間の抵抗力の差から周面抵抗力度を求めたものを表4に示す。この各断面間の最大値は、設計の2Nに対し改良地盤の捨石層、SCP層は9.3～31.5Nと安全側の値を示しているが、実地盤のDis、Disg層は0.8～3.4Nと設計程度であった。このことは、この地域の実地盤の周面抵抗力度は文献<sup>1)</sup>の推定式で概ね設計できそうであることを示している。

表4 周面抵抗力度 (kN/m<sup>2</sup>)

計測断面	土層	層厚 (m)	N値	設計 (2N)	落下高(cm)					推定式
					40	80	120	160	200	
2～3	捨石	11.4	2	4	17	24	63	57	50	31.5N
3～4	SCP	8	15	30	60	78	102	112	140	9.3N
4～5	Dis	10	34.8	69.6	21	25	27	24	21	0.8N
5～6	Disg	3.5	47	94	52	159	76	103	128	3.4N

杭先端抵抗力( $R_p$ )は、表3より最大で $R_p=6,763$  kNである。この値は、杭先端より1.5m上方の6断面位置の値であるので5～6断面の最大周面抵抗力度を用いて補正すると $R_p \sim 5,789$  kNとなる。この値は、設計値の $R_p=300\alpha \cdot N \cdot A_p = 5,910$  kNと同程度の値であった。

今回の試験では、第一限界抵抗力まで載荷出来ないことから明確な閉塞率は把握できなかったが、文献<sup>1)</sup>に示されている鋼管杭の杭径と閉塞率の関係から概ね妥当な値が得られることが判った。

6. おわりに

この現場では、打撃工法で施工した大径鋼管杭の軸方向押し込み抵抗力を急速載荷試験により確認して事業を進めた。その結果、文献<sup>1)</sup>の推定式で設計すれば良いことが判った。

今後、この結果が同様な打撃工法で施工する大径鋼管杭の検討の参考になれば幸いである。

参考文献：1) 港湾の施設の技術上の基準；日本港湾協会

2) 杭の鉛直載荷試験方法・同解説；(社)地盤工学会