

東京港新客船ふ頭における大口径鋼管杭の載荷試験 (その2)

大口径鋼管杭, 打撃工法, 急速載荷試験

東京都港湾局東京港建設事務所 森野 亮吾, 黒米 郁  
 同上 宮司 剛志, 山下 晃三  
 国研) 海上・港湾・航空技術研究所 水谷 崇亮  
 (株) 地盤試験所 正会員○小林 剛

1. はじめに

東京港新客船ふ頭における客船ターミナル基礎のジャケット式栈橋は, 大きな荷重が作用することから大口径鋼管杭 (直径 2,000mm) を採用した。本稿では, 文献<sup>1)</sup>で紹介した杭先端に井桁リブを取り付けた試験杭 2 本 (NO.1 : 根入れ比 1.6, NO.2 : 同 4.7) を用いて, 支持力性能を確認するために約 2 週間の地盤回復期間を経て急速載荷試験を行ったので, その内容について報告する。

2. 試験概要

試験方法は, 急速載荷試験 (軟クッション重錘落下方式 : 140t 重錘)<sup>2)</sup> を採用して実施した。試験杭は, 文献<sup>1)</sup>に示す NO.1, NO.2 の試験杭 2 本とし, 載荷荷重を表-1 より 36,000kN (目標値) に設定した。

また, 地盤の周面抵抗力を確認するため, 図-1 に示す位置 (8 断面) にひずみ計と加速度計を設置して実施した。

3. 試験結果

NO.1 杭の各載荷時の各断面最大荷重と最大変位量に残留変位を加えた累計最大変位量および残留変位量を表-2 に示す。なお, 表-2 の値を式(1)の除荷点法により求めた地盤抵抗力の結果も表 2 の()内に示した。この表の海底面 (2 断面) の荷重と変位量の関係を図-2 に示す。

この表が示すように, 重錘落下高 3.28m での地盤抵抗力は 36,386kN であり目標値 36,000kN 以上の耐力を確認した。この時の先端支持力は 25,335kN であった。

図-2 には海底面の除荷点法で求めた地盤抵抗力と変位の関係を示してある。

表-1 試験杭の載荷荷重

| 作用 case | 作用軸力       |        | 載荷荷重 p/γ (kN) |
|---------|------------|--------|---------------|
|         | 押込み P (kN) | 部分係数 γ |               |
| 常時      | 14,261     | 0.4    | 35,653        |
| L2 地震時  | 27,052     | 1.0    | 27,052        |

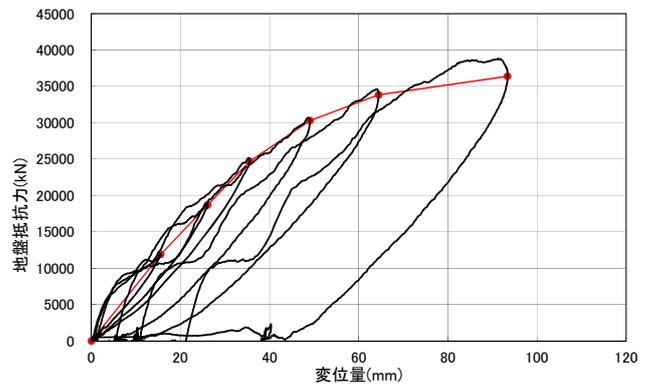


図-2 海底面 (2 断面) の荷重～変位曲線 (NO.1 杭)

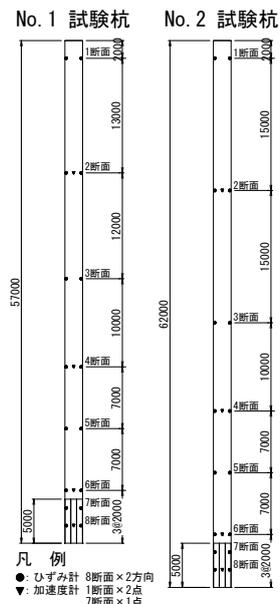


図-1 試験杭ゲージ取り付け位置

$$R_{soil} = Fr_{apid} - M \times \alpha \dots (1)$$

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

表-2 計測最大荷重・変位および除荷点法による解析結果 (NO.1 杭)

|            | 計測断面       | 重錘落下高(m)       |                |                |                |                |                |
|------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|            |            | 0.5            | 1              | 1.5            | 2              | 2.5            | 3.28           |
| 最大荷重 (kN)  | 杭頭         | 11,748         | 18,391         | 24,171         | 29,339         | 32,980         | 36,315         |
|            | 2断面        | 11,747(11,905) | 18,391(18,699) | 24,168(24,704) | 29,335(30,298) | 32,976(33,845) | 36,313(36,386) |
|            | 3断面        | 11,256(11,317) | 17,944(18,286) | 23,754(24,528) | 28,921(29,740) | 33,093(33,517) | 36,665(36,331) |
|            | 4断面        | 9,709(9,604)   | 15,965(15,781) | 21,483(21,246) | 26,230(26,143) | 30,085(29,724) | 34,027(32,822) |
|            | 5断面        | 9,137(9,016)   | 14,855(14,721) | 20,095(19,929) | 24,495(24,366) | 27,998(27,216) | 32,052(30,271) |
|            | 6断面        | 7,357(6,450)   | 12,065(12,017) | 16,148(16,193) | 19,759(19,842) | 23,005(22,656) | 26,771(27,210) |
|            | 7断面        | 6,438(6,408)   | 11,072(11,010) | 15,237(14,951) | 19,011(18,856) | 22,419(21,581) | 26,683(25,994) |
|            | 8断面        | 6,118(6,039)   | 10,323(10,302) | 14,444(14,248) | 18,572(18,254) | 21,724(21,077) | 25,717(25,335) |
| 変位 (mm)    | 杭頭         | 21.9           | 32.6           | 46.5           | 61             | 78.1           | 102.7          |
|            | 累計最大 2断面   | 15.6           | 26.1           | 35.5           | 49.1           | 64.5           | 93.4           |
| 残留変位量 (mm) | 8断面        | 4              | 6.7            | 9.4            | 16.3           | 27.7           | 47.7           |
|            | 残留変位量 (mm) | 0              | 0              | 4              | 9              | 18             | 33             |

注) 海底面は2断面

Bearing capacity of the large diameter steel pipe pile (No.2)

Ryogo MORINO, Iku KUROGOME, Tsuyoshi MIYATSUKASA, Kozo YAMASHITA (Bureau of Port and Harbor, Tokyo Metropolitan Government), Takaaki MIZUTANI (Port and Airport Research Institute), Go KOBAYASHI (Jibanshikenjo Company Limited)

この図が示すように、抵抗力が 30,000kN 付近から勾配が変化する傾向にあり、この付近が第一限界抵抗力と推測される。

同様に、NO.2 杭の結果を表-3 および図-3 に示す。この表が示すように、重錘落下高 3.0m での地盤抵抗力は 40,255kN であり目標値 36,000kN 以上の耐力を確認した。この時の先端抵抗力は 13,473kN と NO.1 杭の先端抵抗力より小さい値であった。また、図-3 が示すように海底面抵抗力が 40,000kN でも勾配の変化は見られず、この杭は第一限界抵抗力まで載荷されていないものと推測される。

両杭の最大先端抵抗力を用いて、先端閉塞効果 ( $\alpha$ ) を逆算した結果を表-4 に示す。この表が示すように NO.1 杭は設計の  $\alpha=1$  に対し 0.84 と 15% 程度小さい値であった。

NO.2 杭は、先端に十分荷重が伝達されていない杭であるが  $\alpha=0.45$  以上の閉塞効果を発揮している。

東京ゲートブリッジの結果<sup>3)</sup>では、杭径 1,500mm の開端杭の根入れ比 3、支持層  $N \leq 50$  換算にして  $\alpha=0.42$  (砂層) ~ 0.60 (礫層) であったのに対し、根入れ比 1.6 の NO.1 杭は 0.84 (礫層) と大きな閉塞効果を発揮した。

このことは、大口径鋼管杭の井桁リブがこの礫層地盤に対して効果があったものと考えている。

計測された表-2 および表-3 を用いて、周面抵抗力度を求めた結果と文献<sup>1)</sup>追加ボーリングで求めた設計値を比較したものを表-5 に示す。

この表が示すように、設計時の周面抵抗力度と実測値では、上層の Ycu1 は設計値が大きい値を示したが、その他は設計値と同等の値を示している。支持層の泥岩層 (Km) を設計と同様に砂質土地盤の推定式を適用すると設計値の 3~5 倍の大きな抵抗力度を発現している。このように Ycu1 層と Km 層に設計値と差があるものの全体的には文献<sup>1)</sup>の考え方で十分設計可能であると考えられる。

#### 4. おわりに

今回、ジャケット式栈橋に採用した大口径鋼管杭 (直径 2,000mm) が、設計で求められる必要支持力を満足しているか急速載荷試験を実施して確認した。その結果、杭先端に取り付けた井桁リブの効果により、支持層への根入れ比 1.6 で必要支持力を発現できることを確認した。その時の先端閉塞効果は設計で用いた  $\alpha=1$  に対して 15% 程度小さい値であったが、既往のデータより大きく、井桁リブの効果がこの地盤では十分発揮されていることを確認した。

今後、このような大口径鋼管杭の採用に際しての支持力検討に、本結果が参考になることを期待する。

#### 参考文献

- 1) 森野他；東京港新客船ふ頭における大口径鋼管杭の載荷試験(その 1)；第 53 回地盤工学研究発表会(投稿中)
- 2) 杭の鉛直載荷試験方法・同解説；(社)地盤工学会
- 3) 菊池,佐々木他；大口径鋼管杭の鉛直支持力について，構造工学論文集，Vol.51A，2005.3

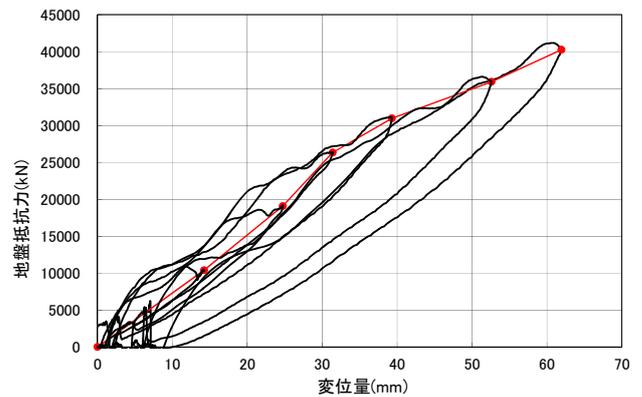


図-3 海底面(2断面)の荷重～変位曲線(NO.2 杭)

表-3 計測最大荷重・変位および除荷点法による解析結果(NO.2 杭)

|           | 計測断面 | 重錘落下高(m)       |                |                |                |                |                |
|-----------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|           |      | 0.5            | 1              | 1.5            | 2              | 2.5            | 3              |
| 最大荷重 (kN) | 杭頭   | 10,480         | 19,029         | 25,975         | 30,502         | 35,583         | 39,611         |
|           | 2断面  | 10,476(10,394) | 19,019(19,089) | 25,972(26,342) | 30,499(30,961) | 35,582(35,903) | 39,609(40,255) |
|           | 3断面  | 9,355(9,477)   | 17,231(17,109) | 24,050(23,774) | 28,032(27,866) | 33,299(32,917) | 37,521(37,276) |
|           | 4断面  | 8,335(8,373)   | 14,680(14,699) | 20,257(20,277) | 23,844(23,694) | 27,841(27,692) | 30,707(31,017) |
|           | 5断面  | 7,734(7,641)   | 14,129(14,065) | 19,942(19,498) | 23,232(22,745) | 27,426(26,993) | 30,657(29,917) |
|           | 6断面  | 6,225(6,210)   | 11,631(11,274) | 16,159(15,832) | 18,798(18,266) | 22,584(21,321) | 26,178(24,293) |
|           | 7断面  | 4,850(4,734)   | 8,830(8,784)   | 12,437(12,047) | 14,698(14,682) | 17,800(17,625) | 21,025(20,429) |
|           | 8断面  | 3,131(2,852)   | 5,806(5,703)   | 8,123(7,964)   | 9,654(9,615)   | 12,200(11,690) | 13,736(13,473) |
| 変位 (mm)   | 杭頭   | 21.7           | 32.8           | 45.8           | 53.9           | 66.8           | 78.4           |
|           | 2断面  | 14.2           | 24.7           | 31.4           | 39.3           | 52.6           | 61.9           |
|           | 8断面  | 1.6            | 3.3            | 6.3            | 8.3            | 14.7           | 18.8           |
| 残留変位量(mm) |      | 0              | 1              | 2              | 5              | 7              | 10             |

注)海底面は2断面

表-4 先端閉塞効果

|                        | 単位                | NO.1   | NO.2   |
|------------------------|-------------------|--------|--------|
| 杭先端深度AP-               | m                 | -49.32 | -55.51 |
| 支持層への根入れ長              | m                 | 3.22   | 9.41   |
| 支持層への根入れ比              | -                 | 1.6    | 4.7    |
| 杭先端部N値                 | -                 | 32     | 50     |
| 最大載荷荷重 ①=②+③           | kN                | 36,386 | 40,255 |
| 周面抵抗力 ②                | kN                | 11,051 | 26,782 |
| 先端伝達荷重 ③               | kN                | 25,335 | 13,473 |
| 先端抵抗力度 qd              | kN/m <sup>2</sup> | 8,064  | 4,289  |
| qd/N (N=32) ④          | -                 | 252    | 134    |
| 閉塞効果 $\alpha$ (=④/300) | -                 | 0.84   | 0.45   |

表-5 周面抵抗力度の比較

| 土質名  | 層上端 (m) | 層厚 (m) | N値 | C (kN/m <sup>2</sup> ) | 周面抵抗力度(kN/m <sup>2</sup> ) |      |      |     |
|------|---------|--------|----|------------------------|----------------------------|------|------|-----|
|      |         |        |    |                        | 設計                         | NO.1 | NO.2 | 平均  |
|      | -12.089 |        |    |                        |                            |      |      |     |
| Ycu1 | -17.315 | 5.226  |    |                        | 48.1                       | 9    |      |     |
| Ycu1 | -22.51  | 5.195  |    |                        | 48.1                       |      | 38   | 24  |
| Ycu1 | -24.14  | 1.63   | 0  | 48.1                   | 48.1                       |      |      |     |
| Ycu2 | -27.315 | 3.175  |    |                        | 63.8                       | 60   |      |     |
| Ycu2 | -35.51  | 8.195  |    |                        | 63.8                       |      | 77   |     |
| Ycu2 | -36.315 | 0.805  |    |                        | 63.8                       | 45   |      | 52  |
| Ycu2 | -42.51  | 6.195  |    |                        | 63.8                       |      | 25   |     |
| Ycu2 | -43.19  | 0.68   | 0  | 63.8                   | 63.8                       |      |      |     |
| Yc1  | -43.315 | 0.125  |    |                        | 100                        | 104  |      | 104 |
| Yc1  | -45.14  | 1.825  | 0  | 106.1                  | 100                        |      |      |     |
| Esu  | -45.315 | 0.175  |    |                        | 16                         | 99   |      | 99  |
| Esu  | -46.1   | 0.785  | 8  | 0                      | 16                         |      |      |     |
| Egu  | -47.315 | 1.215  |    |                        | 76                         | 56   |      |     |
| Egu  | -49.51  | 2.195  |    |                        | 76                         |      | 129  | 98  |
| Egu  | -50.04  | 0.53   | 38 | 0                      | 76                         |      |      |     |
| Km   | -51.51  | 1.47   |    |                        | 100                        |      | 307  |     |
| Km   | -53.51  | 2      |    |                        | 100                        |      | 554  | 431 |
| Km   | -55.51  | 2      | 50 | 0                      | 100                        |      |      |     |