

# 八代港クルーズ専用岸壁の大口径鋼管杭 載荷試験実施に当たっての課題とその対応

久保 達郎<sup>1</sup>・田内 央也<sup>1</sup>・松本 晃典<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 熊本港湾・空港整備事務所 第二工務課 (〒866-0033 熊本県八代市港町 139)

<sup>2</sup>九州地方整備局 関門航路事務所 企画調整課 (〒802-0001 福岡県北九州市浅野 3 丁目 7-38)

重要港湾である八代港は、九州西部の中央部に位置し、中九州地域の物流拠点として経済・産業活動に重要な役割を果たしている。一方、人流面では、近年アジアを中心とした外航クルーズ需要を背景に、八代港(外港地区)に耐震機能を有し 22 万 t クラスの受入れ可能なクルーズ専用岸壁を整備した。岸壁の構造形式は、ジャケット式栈橋を採用しており、基礎杭には、大きな荷重が作用するため、 $\phi 1,600\text{mm}$  の大口径鋼管杭を採用している。鋼管杭の施工に先立ち杭の載荷試験を実施するが、工期短縮、コスト縮減の観点から試験位置を本杭打設位置(海上)から陸上に変更して実施した。本稿では、陸上で載荷試験を行う上での課題を挙げ、それに対する対策と、試験結果について報告する。

**Key Words:** クルーズ専用岸壁, 大口径鋼管杭, 急速載荷試験, 工期短縮, コスト縮減

## 1. はじめに

2019 年における八代港の貿易額は、熊本県貿易額 1,484 億円のうち、約 44%にあたる 645 億円であり、熊本県最大の貿易拠点港である。特に外貨貨物の取扱いについては、木材チップ、穀物飼料の原料及び石炭を主要品目として、多数の企業が立地している。

また、八代港では、外港地区の既存岸壁を利用して、外国船籍の大型クルーズ船を受け入れており、2015 年、2016 年に各々 10 隻(2017 年には 65 隻)が寄港している状況であった。既設岸壁は、木材チップ等一般貨物に対応する施設であり、クルーズ船の利用できる日数が制限され、大型バス等が駐車できるスペースが不足していることや景観面など、クルーズ客の受入れ環境に課題が生じていた。このような中、2017 年 6 月の港湾法改正において、官民連携により国際クルーズ拠点を形成するため、旅客施設等への投資を行うクルーズ船社に岸壁の優先使用などを認める新たな制度が創設され、2017 年 7 月、官民連携による国際クルーズ拠点を形成を推進するための「国際旅客船拠点形成港湾」に指定を受け、2018 年 2 月には熊本県とロイヤル・カリビアン・インターナショナル社で「八代港クルーズ拠点形成協定」を締結し、官民連携による国際クルーズ拠点を形成することとなった。

2020 年 4 月供用に向けて、国が岸壁(-10m)及び泊地(-10m)、熊本県がふ頭用地及び駐車場、ロイヤル・カリビアン・インターナショナル社が旅客ターミナ



図-1 施工場所

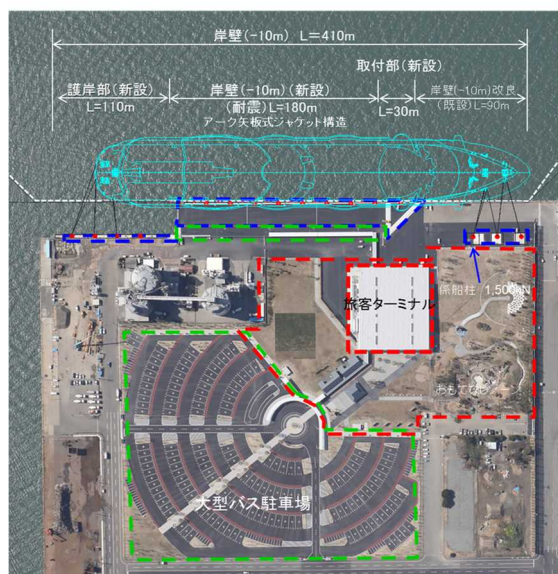


図-2 全景

ル等をそれぞれ整備した。

岸壁 (-10m) は、既設岸壁、護岸等を含む総延長 410m で、岸壁部 180mの構造形式は、現地作業と工場製作が平行作業可能で経済的なアーク矢板式ジャケット工法を採用した。

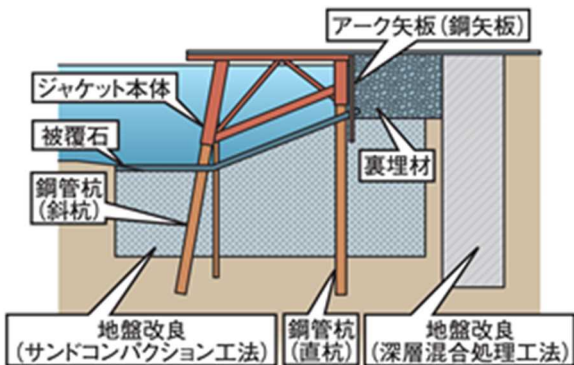


図-3 ジャケット部断面図

## 2. 載荷試験を陸上部で実施検討する背景

ジャケット部の施工ステップは、陸上から既設護岸背後の地盤改良（深層混合処理工）を施工した後に既設護岸部を撤去し、サンドコンパクション船が入港できる水深まで浚渫を実施、ジャケット部の地盤改良（サンドコンパクションパイル打設、以下 SCP）及び床堀浚渫を

実施して、先行杭・仮受杭を打設しジャケット据付する計画であった。

2017 年 11 月に現地着手後、全体工程が逼迫している中、深層混合処理改良範囲の地中から既設護岸の捨石や埋設護岸等が発見される等現場不一致が多数発生している状況であった。

そのため、全体工程短縮の1つの方策として、鋼管杭の載荷試験の時期について、検討を行った。

ジャケット部の基礎杭には、大きな荷重が作用するため、φ1,600mm の大口径鋼管杭が採用されており、杭先端に一字リブの先端補強金物を取り付けた杭を支持層に1D (D: 杭径) を根入れさせる設計である。大口径鋼管杭の軸方向押し込み抵抗力 (以下、押し込み抵抗力) については、一般的な径と比べ、不明な点が多く、開端杭を用いる場合は、杭の載荷試験により、杭の押し込み抵抗力を推定する必要がある。

実施に当たっては、当初、載荷試験の位置を本杭施工位置（海上部）で計画していたが、海上で試験を行う場合、作業用構台を設置する必要があることや試験実施後、鋼管杭の製作に取りかかると被覆石設置完了後から先行杭・仮受け杭打設開始までの期間に約4ヶ月の鋼管杭の製作待ちが生じることから全体工程に大きく影響した。

そのため、鋼管杭の製作待ちが生じないよう他工事等に影響がない位置で事前に載荷試験を実施することを検討することとした。

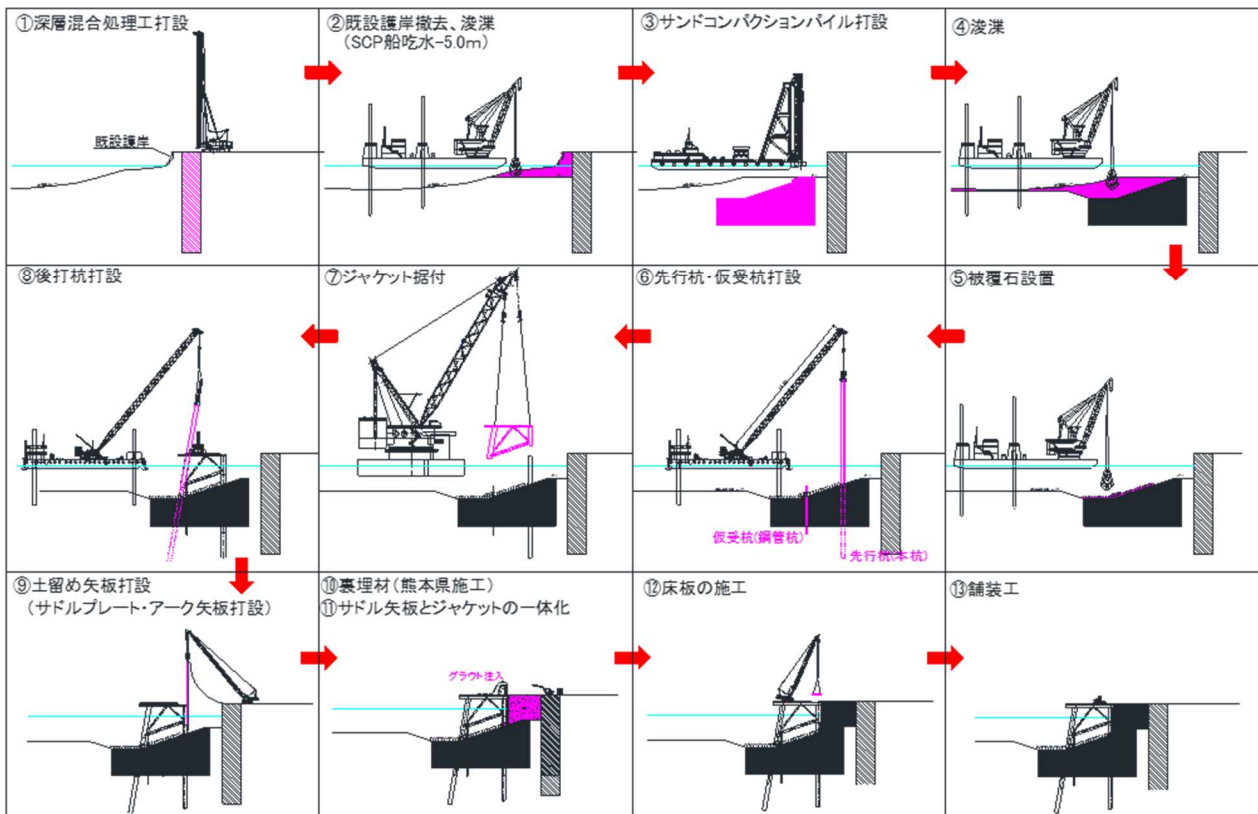


図-4 ジャケット部施工ステップ図

### 3. 試験杭を陸上で実施するための課題とその対応

陸上での試験位置を検討するうえで、八代港の現地盤の特徴として過年度の土質調査の結果から支持層であるDg層がDL-36m付近で出現し、支持層に傾斜がなく、全体的にフラットな地層であるということが分かっていた。

このことを踏まえて、試験位置は本杭打設位置近傍としたが、海上部ではSCP打設を実施しており、調査の作業範囲を確保出来ない状況であった。その点、陸上部では、ジャケット据付後から作業が本格化するため、十分な作業範囲が確保でき、また、海上から陸上試験に変更することによって、工期短縮だけでなく、杭打船等必要な作業船の回航費や試験用の作業構台が不要となり、陸上試験費は海上試験費に比べ約16%のコスト削減が可能であった。

以上から、試験位置を海上試験位置から約100mのクルーズ船対応の新設係船柱基礎部を設定した(図-5)。

#### (1) 陸上で載荷試験を実施する際の課題

杭の押し込み抵抗力は、「周面抵抗力」と「先端抵抗力」の二つの要素より構成される。

本杭位置では、SCPがDL-5.0m～-25.8mの深度に施工されるが、陸上試験位置では施工されないため、SCP層の周面抵抗力を把握することが出来ない。

そこで杭にひずみ計、加速度計を設置し、載荷試験における押し込み抵抗力の判断基準を先端抵抗力とSCP層以深(DL-25.8m以深)の周面抵抗力の和が設計上必要とされる8,595kNを超えることで確認することとした。

つまり、SCP層に該当するDL-5.0m～-25.8mの範囲の周面抵抗力が0でも成立するように試験で確認する。

以上を踏まえ、陸上での載荷試験の可否について港湾空港技術研究所に相談したところ、以下の条件付で可能と判断された。

- ・陸上試験位置でボーリング調査を行い、支持層深度と土層構成を確認すること。
- ・陸上載荷試験荷重は、極限抵抗力相当とすること。
- ・陸上載荷試験の結果、1Dで押し込み抵抗力不足が発生した場合の対応を検討すること。

よって、これらの条件を満たすための対応について考察する。

#### a) 陸上試験位置の土質の確認

試験杭の打設位置での追加ボーリングを実施し、埋土層も含めた全長に渡って標準貫入試験を行った結果、標高-34.74mからN値が50以上の支持層厚(Dg層)が連続してみられ、本杭部の土質と同等な地層であることを確認した。既存のボーリング結果と比較したものを図-6に示す。

#### b) 陸上載荷試験の計画荷重

試験の計画荷重は、SCP相当層より上の周面抵抗力(試験結果から控除する部分)も考慮し、極限抵抗力相当の16,000kNとした。そのために今回の試験では85tの重錘を使用し、落下高を50, 100, 130, 160, 230cmと設定して5サイクル載荷した。

#### c) 1Dで抵抗力不足が発生した場合の対応

試験杭は、現設計である根入れ長1Dの仕様の杭を試験杭①とした。その値が設計上必要とされる押し込み抵抗力に満たない場合は、試験杭①の杭頭に2D(3.2m)の継ぎ足しを溶接し(この杭を試験杭②とする)再打設後、再試験を実施することとした。そのため、試験杭①で必要とされる押し込み抵抗力を満たさなかった際、直ぐ継杭が出来るように2D分の長さの鋼管杭を別途用意していた(表-1)。

また、載荷試験では、杭全体の押し込み抵抗力が必要な値を確保することだけでなく、そのときに発揮される先端抵抗力の値も重視する方針とした。試験杭位置におけるボーリングの結果から周面抵抗力を3,649kN程度と推定し(表-2)、杭の押し込み抵抗力が設計上必要とされる8,595kNを上回っても、先端抵抗力が4946kN(=8595kN-3649kN)に達しない場合には再試験を行うこととした(図-7)。

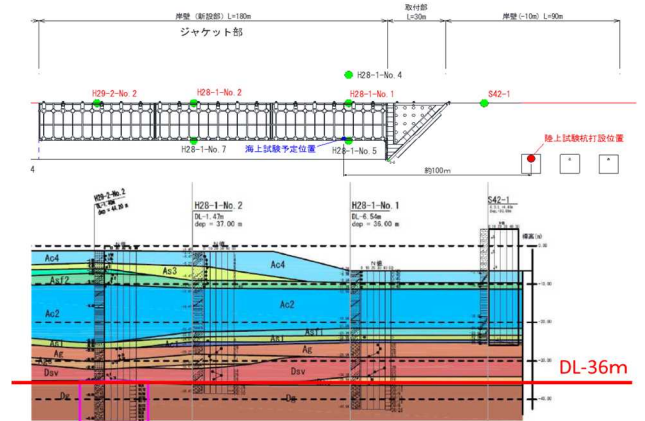


図-5 過年度のボーリング結果

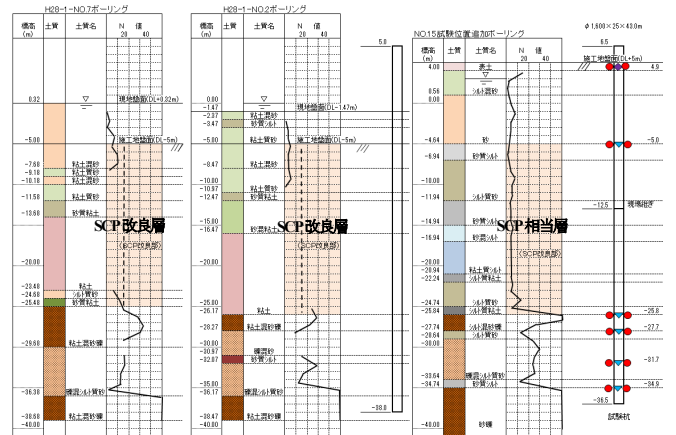


図-6 ボーリング柱状図

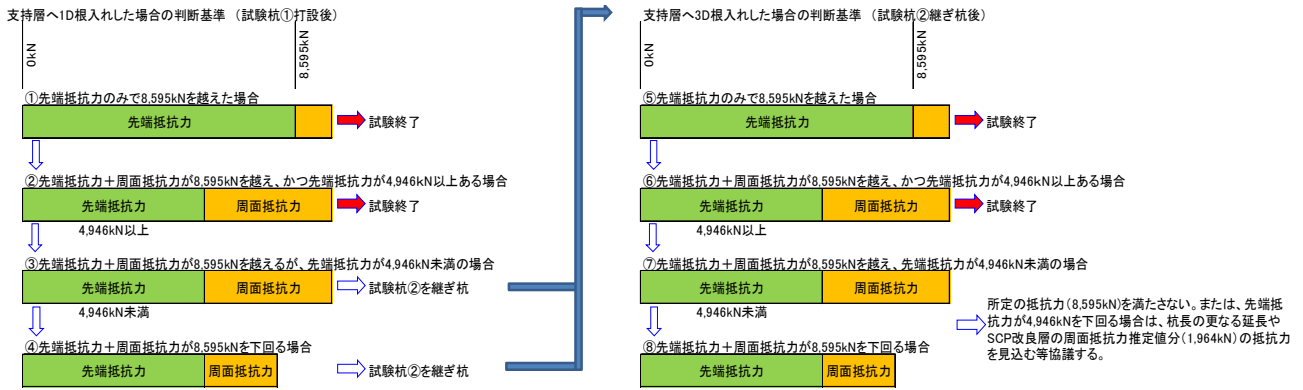


図-7 試験杭の押し込み抵抗判定基準

表-1 試験杭の仕様

| 試験杭 | 杭径 (mm) | 板厚 (mm) | 杭長 (m)          | 材質     | 杭天端 (m) | 杭先端 (m) | 支持層根入れ長(m)  |
|-----|---------|---------|-----------------|--------|---------|---------|-------------|
| ①   | 1600    | 25      | 43.0<br>(19+24) | SKK400 | DL+6.5  | DL-36.5 | 1.76 (約 1D) |
| ②   | 1600    | 25      | 46.2<br>(①+3.2) | SKK400 | DL+6.5  | DL-39.7 | 4.96 (約 3D) |

表-2 設計上必要とされる抵抗力と試験杭位置でのボーリング結果から推定される抵抗力

|   | 先端抵抗力<br>① | 周面抵抗力<br>②                           | 押し込み抵抗力<br>(①+②) | 備考                      |
|---|------------|--------------------------------------|------------------|-------------------------|
| 設計上必要とされる抵抗力                                |            |                                      | 8,595kN          | 杭に発生する最大軸力(3,438kN)×2.5 |
| 試験杭位置におけるボーリング結果から推定される抵抗力 (試験杭①:支持層根入れ長1D) | 9,040kN    | 3,649kN<br>(※SCP改良対象層以下の土層における周面抵抗力) | 12,689kN         |                         |
| 試験杭位置におけるボーリング結果から推定される抵抗力 (試験杭②:支持層根入れ長3D) |            | 4,212kN<br>(※SCP改良対象層以下の土層における周面抵抗力) | 13,252kN         |                         |

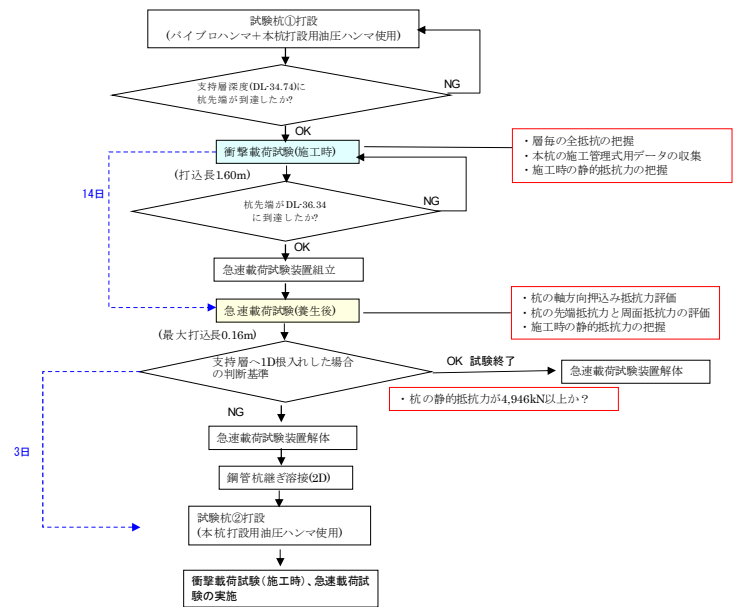


図-9 試験実施フロー

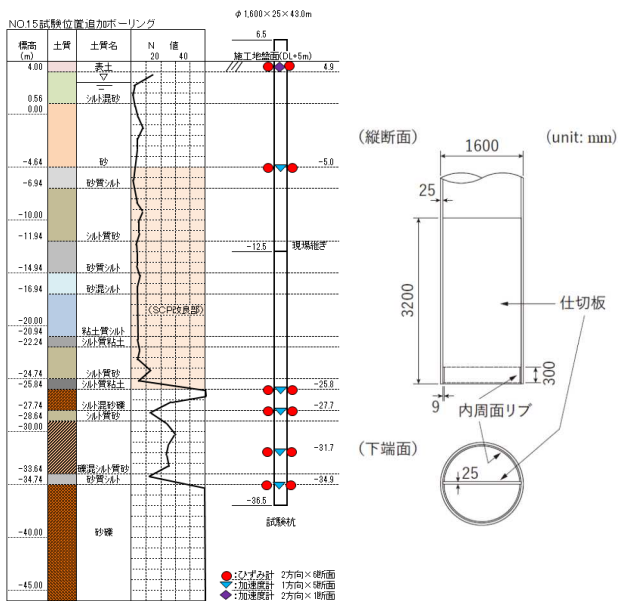


図-8 センサー設置位置と杭先端

#### 4. 試験の概要

試験杭は杭径が 1.6m、杭長 43m、板厚 25mm の鋼管杭で、長さ 24m の下杭と 21.8m の上杭に分けて搬入された。先端内部には閉塞率向上を図るため一文字リブと称されるタイプの仕切り板が高さ 3.2m (=2D) まで設けられている。さらに、深度方向 6ヶ所それぞれにひずみ計 2個と加速度計 1個 (標高 4.9m には 2個) が取り付けられており、同設置深度のひずみ計 2個は杭中心軸に対して対称となる位置に設置されている (図-8)。

試験は図-9 の施工フローに示す通り、まずパイロハンマーにより下杭を打ち込み、上杭を現場溶接した後、さらに杭先端の深度が標高-28.5m 付近までパイロハンマーで打設した。その後、油圧ハンマーにより目標の杭先端標高-36.34m まで打ち込んだ。

油圧ハンマーによる杭の打設の際、前述のセンサーとは別に加速度計とひずみ計を設置し、ハンマー打撃時の

エネルギーや杭の層毎の全抵抗（＝動的抵抗＋静的抵抗）の把握，本杭の施工管理式用データ収集のために「衝撃載荷試験」を行った。

しかしこの時，地盤は杭の貫入による乱れで強度が低下している．一方，養生後の杭の押し込み抵抗力は静的抵抗のみであり，地盤の乱れは回復（セットアップ）している。

この養生後の静的抵抗が設計値を満足するか確認するため，「急速載荷試験」を実施することとした。



図-10 急速載荷試験全景

## 5. 急速載荷試験

### (1) 試験方法

急速載荷試験は地盤工学会基準 JGS 1815 に従い軟クッション重錘落下方式により実施し（図-10），試験結果の解析は除荷点法で解析した．重錘や落下高の設定は前述の通りであり，試験杭の残留変位量は落下ごとにレベルで測量した。

### (2) 試験結果

急速載荷試験で確認した杭の最大抵抗力を図-11 に示す．杭頭の最大抵抗力は落下高 230cm のときで 22,967kN であった。

この抵抗力に対して，図-11，表-3 より

1. 試験杭の地表面から海底面（DL-5m）までの抵抗力（3,020kN）を差し引く．

2. 本杭位置では，SCP で改良する粘性土層（海底面 DL-5m～DL-25.8m）部分の試験杭で求めた抵抗力（10,204kN）を差し引く．

以上の方法で算出した試験杭①の抵抗力は 9,743kN であり，必要抵抗力（8,595kN）を満足した。

また，先端抵抗力は 5,782kN であり，4,946kN 以上あることが確認できた，なお，周面抵抗力は 3,961kN であった。

変位量については，図-12 より，杭頭の変位の最大値は杭径の 10%（160mm）より小さい 29mm 程度であったことや，杭頭の変位～地盤抵抗力の関係が直線的であることから，落下高さ 230cm の載荷時においても試験杭は極限抵抗状態に達しておらず，実際にはもっと大きな値を得ることが出来ると思われる。

## 6. まとめ

大口径鋼管杭載荷試験位置を海上から陸上に変更し，急速載荷試験を事前実施することで，本設杭で使用する鋼管杭の仕様を早期に決定することができ，計画予定時期にジャケットの据付を施工することができた。

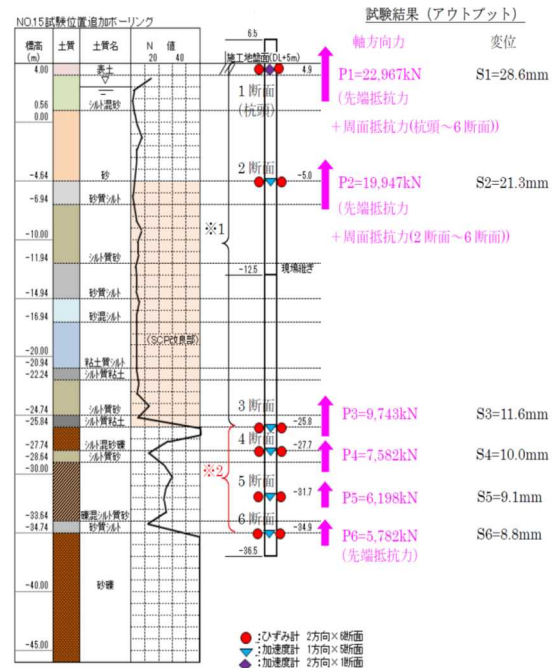


図-11 杭の各断面毎の支持力

表-3 軸力および周面抵抗力度（落下高 230cm）

| 断面 | 土質名    | 記号   | 深度 [m] | 区間長 [m] | 周長 [m] | 軸力 [kN] | 軸力差 [kN] | 抵抗力度 [kN/m <sup>2</sup> ] |
|----|--------|------|--------|---------|--------|---------|----------|---------------------------|
| 1  |        |      | 5.5    |         |        | 22,967  |          |                           |
| 2  | 砂      | As   | -5.0   | 10.5    | 5.027  | 19,947  | 3,020    | 57.2                      |
| 3  | 粘性土    | Ac   | -25.8  | 20.8    | 5.027  | 9,743   | 10,204   | 97.6                      |
| 4  | シルト混砂礫 | Ag   | -27.7  | 1.9     | 5.027  | 7,582   | 2,161    | 226.3                     |
| 5  | 歴混シル質砂 | Dsv1 | -31.7  | 4.0     | 5.027  | 6,198   | 1,384    | 68.8                      |
| 6  | 同上     | Dsv2 | -34.9  | 3.2     | 5.027  | 5,782   | 416      | 25.9                      |

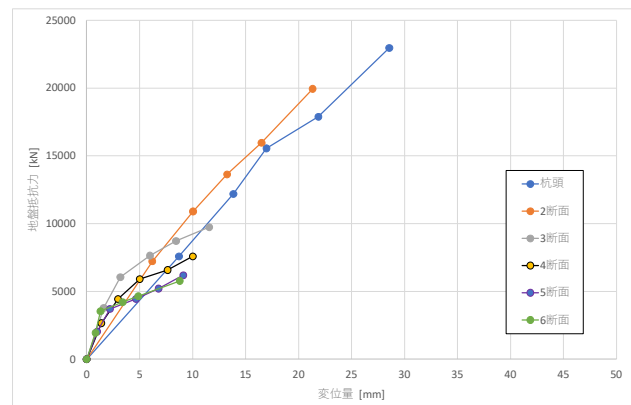


図-12 杭頭と杭先端における抵抗力と変位の関係

その後の上部工等の施工においても、工事が輻輳する中、関係機関及び施工業者と綿密な工程調整を行い、2017年11月に現地着工してから短期間で延長410mのクルーズ船専用岸壁を完成させることができた。

また、今回の急速載荷試験で得られた試験の結果が、同様な大口径鋼管杭の先端閉塞効果の検討等栈橋の設計・施工の研究に繋がれば幸いである。

**謝辞：**これらの設計及び調査実施に当たって、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 地盤研究領域 基礎工研究グループをはじめ、施工業者等関係各位に感謝の意を示す。