

D 滑走路建設工事におけるジャケット式栈橋の海上施工について  
～基礎杭打設工・ジャケット据付工の高精度施工～

栈橋Ⅱ工区 加藤 一志、○清水 正巳、水野 立

栈橋Ⅰ工区 森井 栄、大岸 誠、奥津 宣孝

キーワード： ジャケット、大口径長尺杭、高精度施工

## 1. まえがき

D 滑走路島の多摩川側約 1,100m は、多摩川河口域に建設されることにより通水性の確保が求められ、さらに工期短縮への対応、近接する現空港の運用条件への対応等の理由により、基礎杭とジャケットから成る「ジャケット式栈橋構造」を採用している。栈橋工事のうち、基礎杭に関しては杭の一本化製作から基礎杭打設工までを、ジャケットに関してはジャケット海上運搬工からジャケット間結合工までの施工の概要について報告する。

## 2. 工事概要

### 2-1 栈橋構造の概要

栈橋部はD 滑走路の多摩川側に位置し、幅 524m、長さ 1,100m、面積は約 50 万  $\text{m}^2$  である（図-2.1 参照）。栈橋部については、厳しい制限表面下（図 2-4 参照）での短い工期での施工を実現するため、本杭として先行打設した鋼管杭基礎（ $\Phi 1320.8 \sim \Phi 1600$ ）に、工場製作したジャケットを被せるジャケット式栈橋構造を採用した（図-2.2 参照）。本工事では、できるだけ大ブロック化して据付回数の低減を図る一方で、利用可能な作業船や運搬台船の制約から、工場で製作されるジャケット 1 基の標準的な大きさは  $63\text{m} \times 45\text{m}$ （レグ 6 本配置）としている。栈橋部は、全 198 基のジャケットで構成され、ジャケット 1 基分の最大吊り重量は約 1,600 トンである（写真-2.1、図-2.3 参照）。据え付けられたジャケットと基礎杭はグラウトで結合され、更に隣接するジャケット間は、鋼桁を現地で溶接することにより一体化される。ジャケットの上部には、プレキャスト製のコンクリート床版が設置され滑走路基面が形成される。



写真-2.1 ジャケット単体

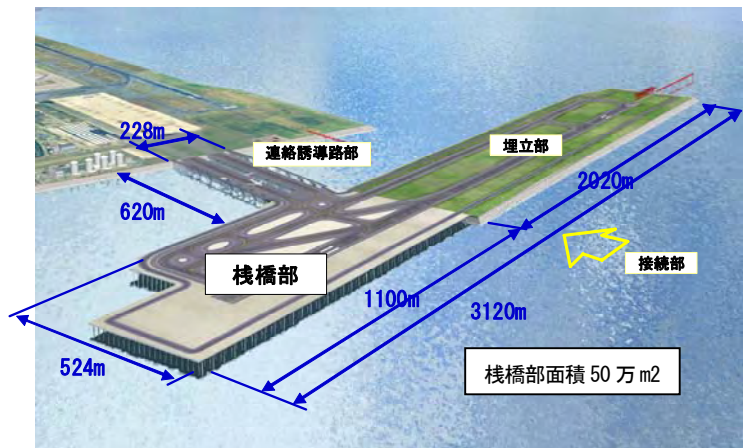


図-2.1 D 滑走路パース

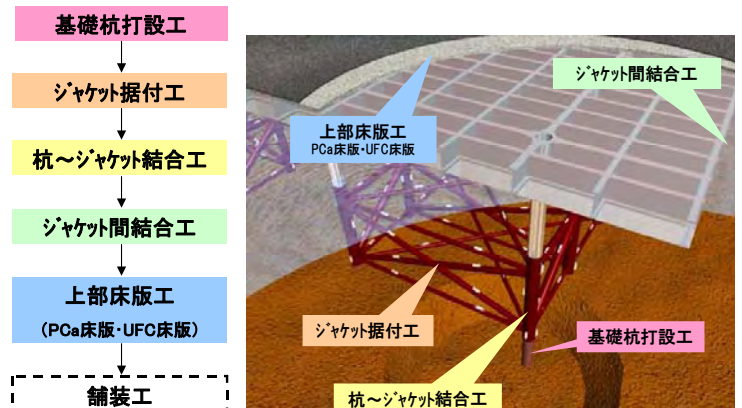


図-2.2 栈橋部構造

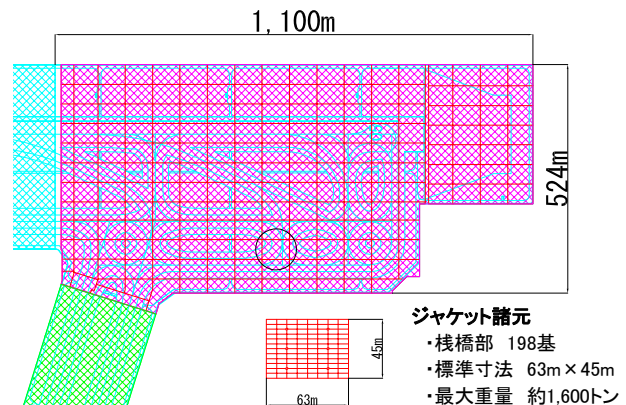


図-2.3 栈橋部平面図

## 2-2 栈橋工事の特徴

栈橋工事の主な特徴を以下に示す。

### 1) 厳しい施工条件下における大規模・急速工事

本工事は、供用中の羽田空港に隣接して新滑走路を建設するため、制限表面下での大規模工事となり、既存の空港工事と比較して極めて短い施工期間となっている。当該工事では、東京航空局との調整により、1) 20:45 から 7:45 まで C 滑走路の運用を制限し、夜間における C 滑走路制限表面に抵触する作業が可能となったこと、2) 昼間における水平表面を突出する作業が可能となったことより、基礎杭（全数量 1,165 本）のうち制限表面が緩和される範囲の杭（全数量 931 本）は、短期間で施工するため、一本物の長尺杭で打設することとした。一方、A 滑走路制限表面下は、A 滑走路の運用制限はなく、制限表面に抵触しない範囲において、現地で杭を溶接しながら打設する継杭施工を行うこととした（図-2.4 参照）。

### 2) 技術的難易度が高い工事

栈橋構造・床版構造による今回のような規模の空港基盤施設は世界でも初の適用である。また、基礎杭とジャケットレグとのクリアランスが約 10cm であること（写真-2.2、図-2.5 参照）より、高精度の基礎杭打設工およびジャケット据付工が必要となる。

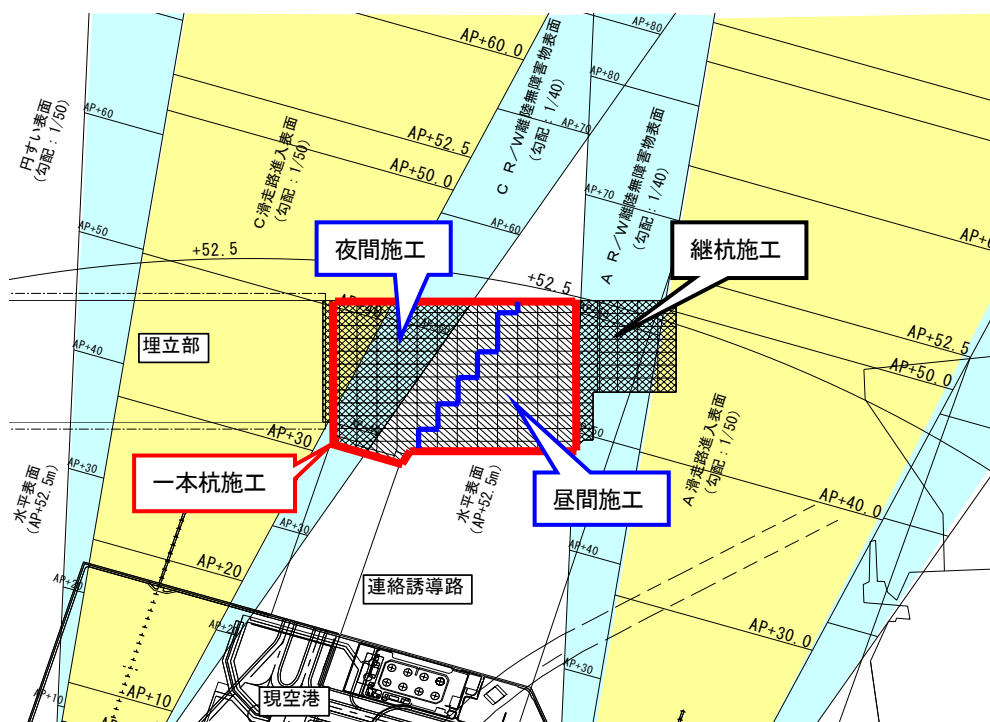


図-2.4 基礎杭打設工の施工エリア区分

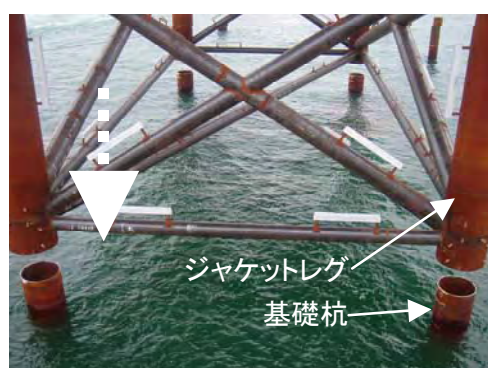


写真-2.2 ジャケット挿入状況

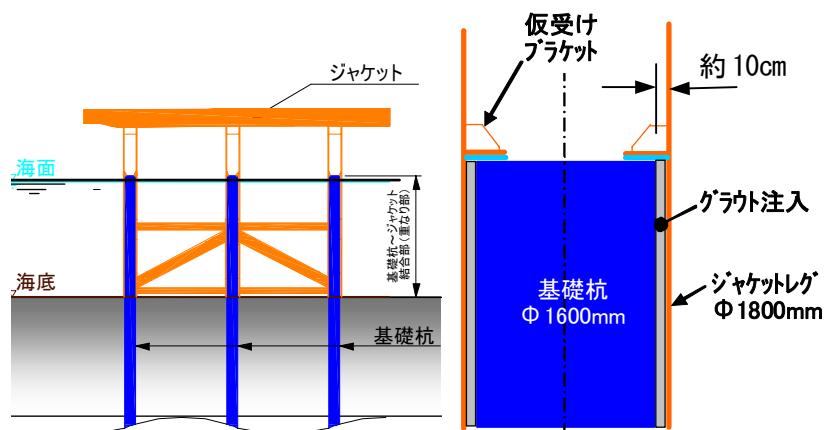


図-2.5 杭～ジャケット結合

### 3. 杭一本化製作工

#### 3-1 杭一本化製作工場

基礎杭として使用する鋼管杭のうち、制限表面が緩和される（図-2.4 の赤枠内）範囲の杭は、長尺一本杭で打設する。しかし、一本杭は、杭長約 80m～90m、重量約 80t～90t と長尺杭であり、ミルメーカーの工場では一本杭としての製作が困難である。そこで、3 分割で工場製作された鋼管杭（素管）を千葉県袖ヶ浦ヤードで一本化することとした。杭一本化製作工場の位置図および全景写真を以下に示す（図-3.1、写真-3.1 参照）。



図-3.1 杭一本化製作工場位置図



写真-3.1 杭一本化製作工場全景

#### 3-2 製作方法

素管の長さは、上杭 33.5m、中杭 30.0m、下杭は残長とし、一本化の製作フローとしては、(1)素管それぞれを溶接架台に設置後、一本杭全体の横曲がりをジャッキで調整した。(2)横曲がり調整後、開先(V 型開先、X 型開先)の目違い管理値 4mm 以下 (JIS A 5525 準拠) となるよう開先合わせを行った。(3)風防付足場上にて、半自動溶接 (ガスシールドアーク溶接) 又は手溶接 (被覆アーク溶接) を行った。(4)外部きず検査 (道路橋示方書 II 鋼橋編準拠) と非破壊検査 (超音波探傷試験 (MUT)、浸透探傷試験 (PT)) を定められた認定技術者が行うことにより、溶接部の品質を確保した (図-3.2 参照)。杭一本化製作工の代表的な施工写真を次頁に示す (写真-3.2～3.9 参照)。

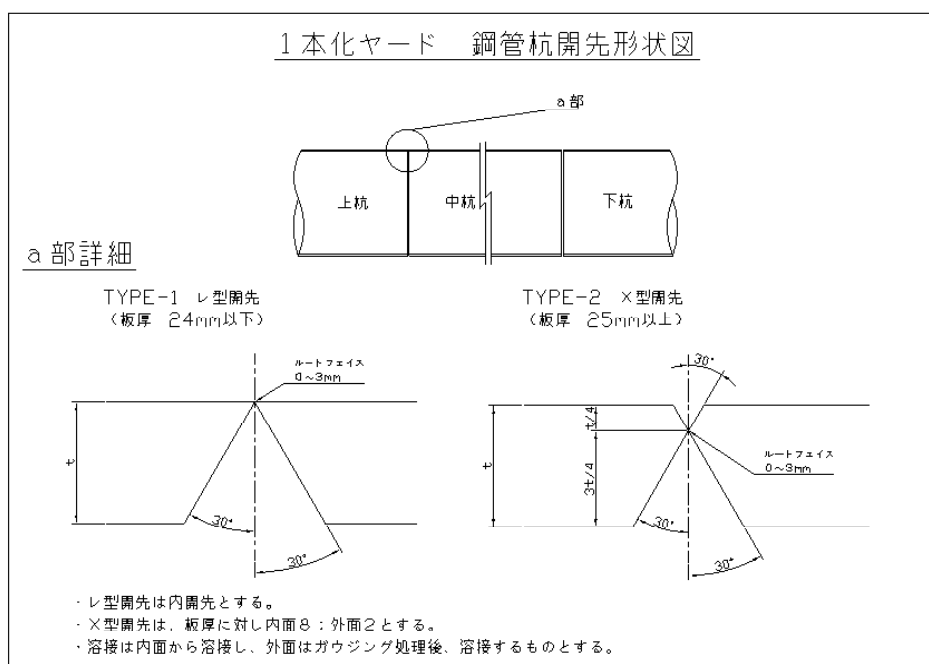


図-3.2 鋼管杭開先形状図





写真-3.2 素管搬入



写真-3.3 素管水切り



写真-3.4 素管の溶接架台上設置



写真-3.5 溶接状況全景



写真-3.6 溶接（内面側）



写真-3.7 溶接部検査



写真-3.8 一本杭搬出

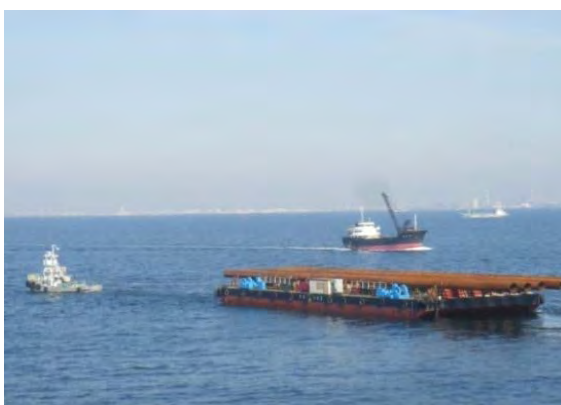


写真-3.9 一本杭運搬

## 4. 基礎杭打設工

### 4-1 作業船舶

ジャケットの据付に先立ち、基礎杭を打設する。基礎杭は、制限表面区域を考慮し以下の2つの工法により打設する。制限表面が緩和される範囲においては、工程確保のため1,600 t吊級杭打船を使用し一本杭を打設する。制限表面の影響を受ける範囲においては、300 t吊級杭打船を使用し継杭で昼夜施工する。本報告では、施工中の一本杭打設工についてその施工方法の詳細を述べる。

基礎杭は、1,600 t吊級杭打船で建て込み、杭の鉛直精度を確保するためバイブロハンマ（1次打設）及び油圧ハンマ（2次打設）を使用してフライング（吊り）打設を行った（写真-4.1、4.4、4.5参照）。また、杭打設時に導材導枠を用いると設置及び移設に時間を要するので、基礎杭の施工サイクルを確保するため、杭打設時の平面方向ガイドを搭載した導材台船を使用した。導材台船は、後から挿入するジャケットの据付を考慮し、ジャケット1基当りの杭6本の相対位置を確保するためにパイルキーパー6台を導材台船に配備した（写真-4.2、4.3、図-4.1参照）。



写真-4.1 1,600 t吊級杭打台船



写真-4.2 導材台船



写真-4.3 パイルキーパー

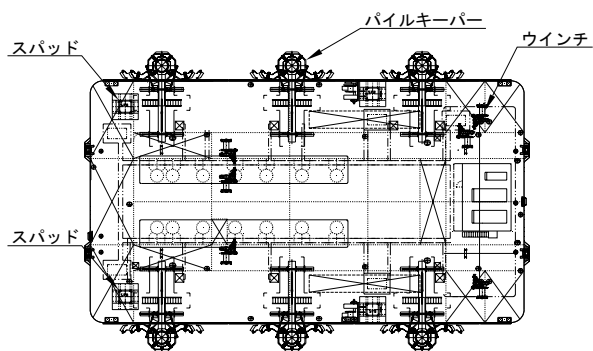


図-4.1 導材台船平面図



写真-4.4 バイブロハンマ（ZERO-320 II MR）



写真-4.5 油圧ハンマ（S-280）



## 4-2 施工方法

基礎杭の施工ステップとしては、(1) 1,600t 吊級杭打船にて、杭を運搬台船から建ておこし、導材台船上のパイルキーパーにセットする。(2) 杭の平面位置及び鉛直度をトランシット等により測量誘導しながら杭を自沈させる。(3) 平面位置及び鉛直度を測量しながら、バイブロハンマにて1次打設を行い、バイブロハンマで打設可能な深さ（概ね AP-65m～AP-70m）まで打設する。(4) 油圧ハンマに切り替えて N 値 50 以上の支持層に 3D 以上（φ1600 の場合 4.8m以上）打設する。杭の打ち止め付近（杭天端高さ AP+3.0）では、貫入量による支持力管理式によって所定の支持力を確認した後、杭の打設を完了する。

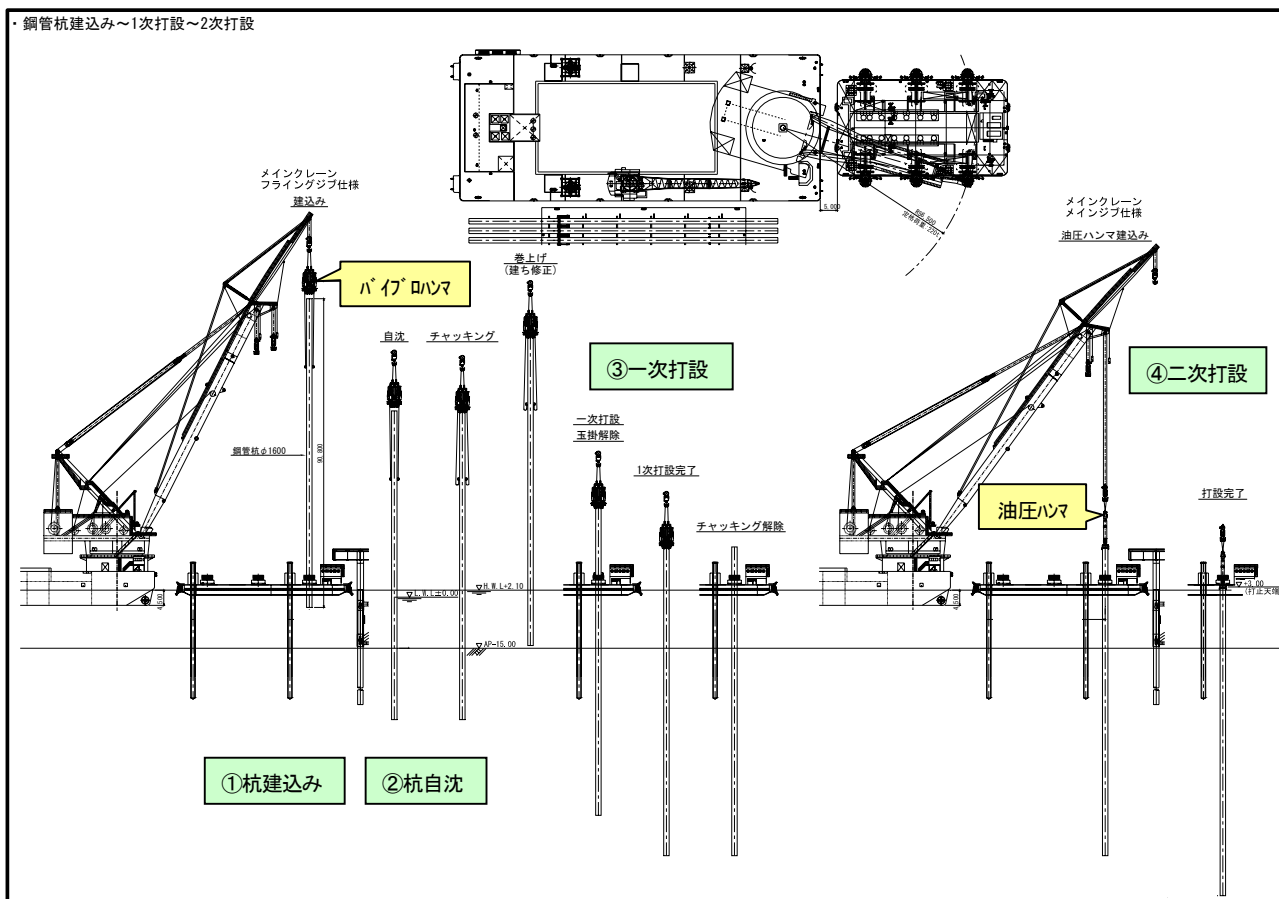


図-4.2 杭打設ステップ図

## 4-3 高精度施工

基礎杭打設における測量精度の確認、及び導材台船の位置決めを速やかに行うために、導材台船に RTK-GPS とレーザー距離計等を連動したパイルキーパーの位置誘導システムを搭載し、リアルタイムで台船の位置決め時と杭打設中の位置情報を表示することにより、打設途中での位置ズレ等への対応が素早く出来るようにした（写真-4.6 参照）。また、現空港側（A 列ジャケット部）の杭においては、基礎杭打設精度を確保するため、位置誘導システムに加え、陸上、測量櫓からの測量によるチェックを行った。これらのシステムおよび測量により、杭の平面誤差は規格値±10cm 以内に対して半分以下の±5cm 以内、杭天端高は規格値±5cm 以内に対して±1cm 以内の高精度を確保できている。



写真-4.6 誘導システム画面

## 5. ジャケット海上運搬工

ジャケットは、「富津工場」又は「千葉工場」で 6,000DWT 運搬台船に搭載し、羽田工事区域へ曳航する（図-5.1、5.2、写真-5.1、5.2 参照）。工事海域に入域した後、ジャケット運搬台船を 4 点のアンカーラインに係留する（写真-5.3 参照）。起重機船にてジャケットを水切り後、ジャケット運搬台船の係留解除を行う（写真-5.4 参照）。ジャケット運搬台船に係留岸壁へ曳航し、一連のジャケット海上運搬工が完了する。

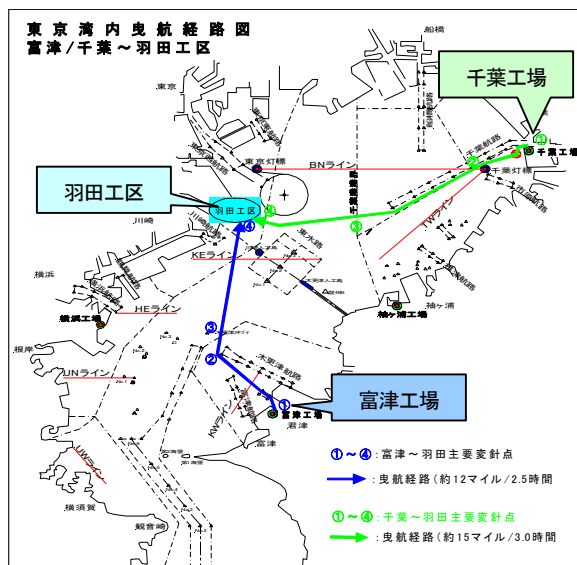


図-5.1 ジャケット海上運搬経路

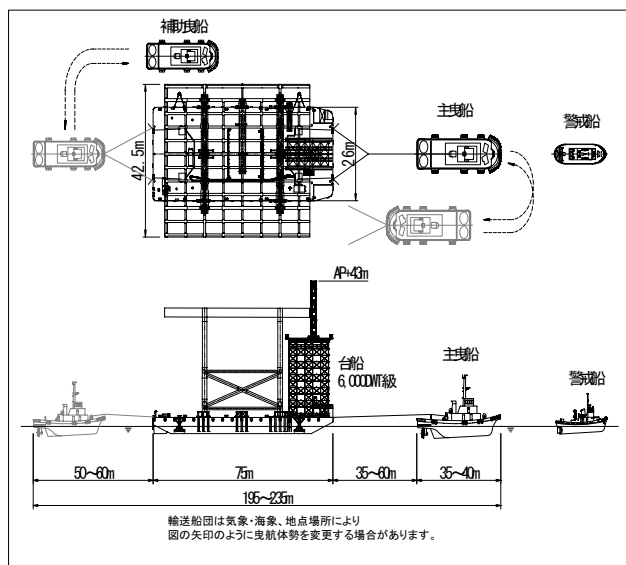


図-5.2 ジャケット曳航図



写真-5.1 ジャケット工場浜出し



写真-5.2 ジャケット運搬



写真-5.3 ジャケット運搬台船係留（羽田工事海域）



写真-5.4 ジャケット運搬台船係留解除

## 6. ジャケット据付工

### 6-1 作業船舶

ジャケットの据付には、異形の連絡誘導路側ジャケットは3,000 t吊級起重機船を使用し、それ以外のジャケットは制限表面の影響を受ける範囲をなるべく小さくするため、3,000 t吊級起重機船を当該工事用にジブを改造した低頭式起重機船（2,400 t吊級）を用いた（写真-6.1、6.2、図-6.1 参照）。

起重機船を改造するに当たっては、吊フックをジブの中に収納できる方式とした。この方式を採用することにより、低頭式起重機船の揚程を確保しつつ、ジブの高さを抑えることが可能となった。また、バラスト調整システムにより除荷時に船体の水平を保ち、ジブ高さを制御することにより制限表面への抵触の防止を図った。また、低頭式起重機船の改造においては、吊フックのピンを従来の手による挿入式からハンドルネジ式にすることにより、ピン挿入作業の安全性向上及び時間短縮を図った（写真-6.3 参照）。



写真-6.1 起重機船（改造前）



写真-6.2 起重機船（改造後）

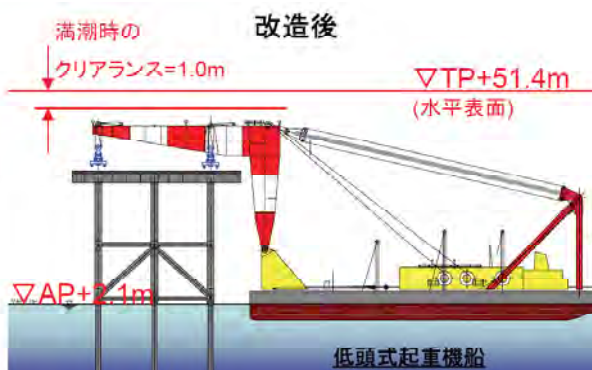


図-6.1 制限表面下施工

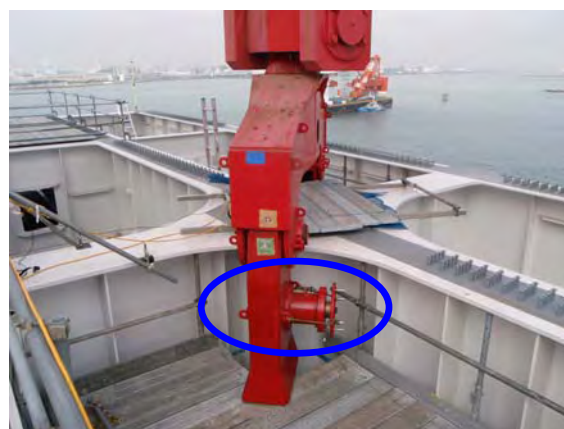


写真-6.3 ハンドルネジ式ピン

### 6-2 施工方法

ジャケット据付工の施工方法を以下に示す。

ジャケット運搬台船の係留完了後、ジャケットの玉掛け・水切りを行い（写真-6.4 参照）、水切り完了後、起重機船のシフトを開始し、起重機船の位置調整を行う（写真-6.5 参照）。位置調整完了後、測量誘導を行いながら吊フックを巻下げジャケットを杭に挿入する（写真-6.6 参照）。その後、荷重開放を段階的に行うと同時に起重機船のバラスト移動を行い、ジャケットを杭天端に据付ける（写真-6.7 参照）。ジャケットレグ内には仮受けシムプレート工場にて予め設置しており、杭天端に仮受けシムプレートを乗せることにより、ジャケットを杭天端上に据付けることができる。また、各杭の天端高の施工誤差は杭頭部にライナープレート（溶接することにより調整した）（図-6.2、写真-6.8 参照）。ジャケットの出来形確認後、玉掛けを解除しジャケット据付工の完了となる。





写真-6.4 ジャケット玉掛け・水切り



写真-6.5 起重機船シフト



写真-6.6 杭挿入状況



写真-6.7 ジャケット据付

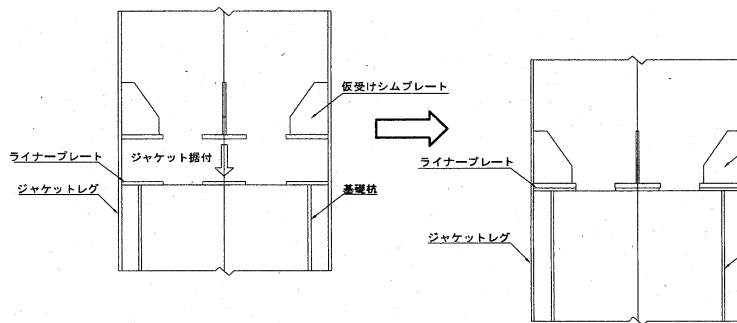


図-6.2 ジャケット仮受け工

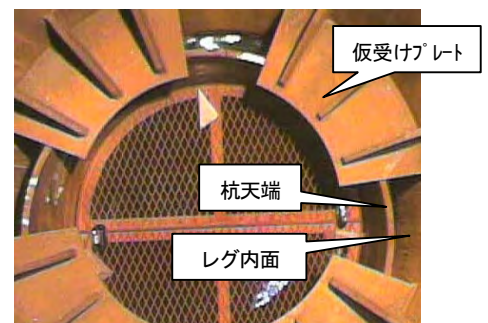


写真-6.8 仮受け状況（レグ内部）

### 6-3 高精度施工

ジャケットレグと基礎杭との相対位置をリアルタイムで把握でき、ジャケットレグの杭への挿入を効率的に行うため、レグ内カメラ及びRTK-GPSを使用したジャケット誘導据付システムを採用した。このシステムにより、誘導の簡素化（画面で視覚的に一目で判断出来る）だけでなく、挿入確認時に吊荷の下に立入る必要がないため安全性も向上した（写真-6.9、6.10 参照）。これらのシステムにより、ジャケットの平面誤差は、規格値 $\pm 10\text{cm}$ 以内に対して半分以下の $\pm 5\text{cm}$ 以内の高精度を確保できている。



写真-6.9 レグ内カメラ画面

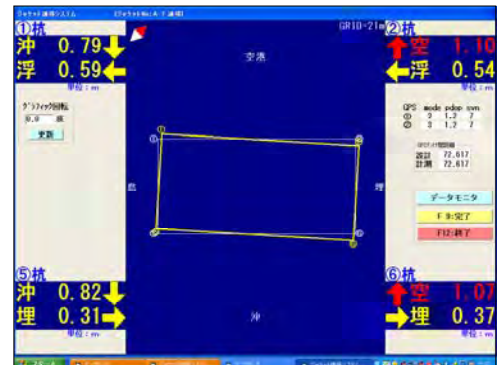


写真-6.10 RTK-GPS 誘導システム画面

## 7. ジャケット～杭結合工

### 7-1 グラウト結合

ジャケット～杭の結合方法は、ジャケットレグと鋼管杭間にグラウトを充填して結合するグラウト結合方法としている。また、レグの内側及び鋼管杭の外側に予めシアキー（ずれ止め）を設けることにより、ジャケットと鋼管杭間の荷重を確実に伝達する構造としている（図-7.1、写真-7.1 参照）。

グラウト材の製造については、天候による工程遅延リスク低減のためコンクリートミキサー船を使用することとし、グラウト材としてモルタル（設計強度 26N/mm<sup>2</sup>）を使用した。

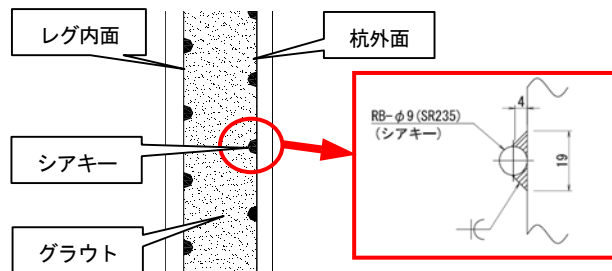


図-7.1 グラウト結合概念図



写真-7.1 シアキー（鋼管杭外面）

### 7-2 施工方法

グラウトシールは、布製型枠もしくは鋼製型枠を用いた。布製型枠は、ジャケット据付前、ジャケット運搬台船上にてジャケットレグ下端に取付け（写真-7.2 参照）、海中で本設置した。また、鋼製型枠は、海中で取り付けた。

ジャケット上に注入設備が設けられない施工当初は、台船に注入設備を配置した（写真-7.3 参照）。ジャケット上に作業エリアを確保できるようになった段階で、注入設備をジャケット上に設置する。

レグ内へのグラウト注入は、グラウトホースを引出し、潜水土によりグラウト用注入バルブにグラウトホースを取付ける方法とした（写真-7.4 参照）。水中での潜水作業を軽減するため、ジャケットレグの注入用バルブにワンタッチカップラーを設置した。グラウトは、充填を確実に行為、1次と2次に分けて行う。1次グラウトは1次注入用バルブから約1mのグラウトをジャケット下端部に注入し、注入確認用バルブにより充填を確認する。2グラウトは1次グラウトが硬化したのち2次注入用バルブから打ち上げる（写真-7.2 参照）。グラウト注入量は練り混ぜ量及び流量計を用いて管理し、グラウト注入完了は注入量および基礎杭天端におけるオーバーフローにより2次グラウトの充填が完了したことを確認する（写真-7.5 参照）。

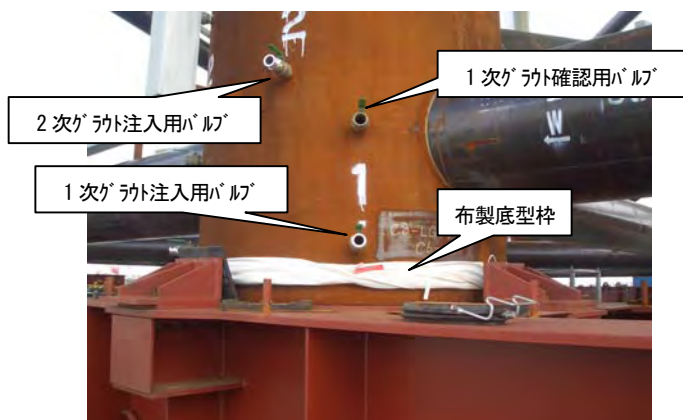


写真-7.2 グラウト用注入口と布製底型枠設置



写真-7.3 コンクリートミキサー船





写真-7.4 ホース接続・注入

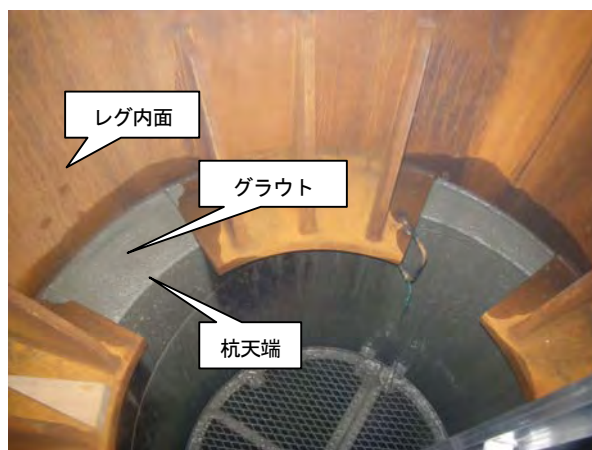


写真-7.5 グラウト充填確認（レグ内部）

## 8. ジャケット間結合工

### 8-1 施工方法

ジャケット間結合の部材は、設計基準温度（20℃）で正規の平面寸法になるようにジャケット間の遊間調整を行ってから設置する。遊間調整はジャッキにより調整する。ジャッキの標準的な設置位置を図-8.1に示す。

ジャケット間結合では、ジャケットの桁間形状に合わせて結合材（BH 桁）が挿入できるように、ジャケット桁間の形状を計測した後、自動ガス切断機を使用し結合材の切断加工を行っている。既設ジャケット間の計測方法は、計測精度がミリ単位のデジタル写真計測法等を採用している。

溶接完了後の溶接部の検査は、外部きず検査及び内部きず検査を実施しており、内部きず検査は溶接部全線について非破壊検査（超音波探傷試験（MUT））による合否判定を行なっている。

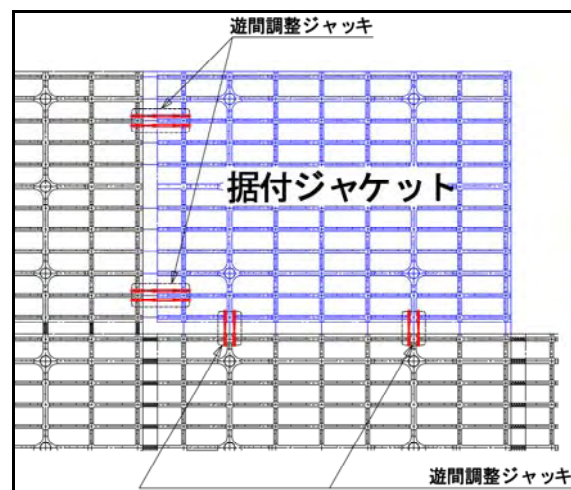


図-8.1 ジャッキ設置位置図



写真-8.1 雨対策用屋根設置状況



写真-8.2 結合材設置状況



写真-8.3 遊間調整用ジャッキ設置状況

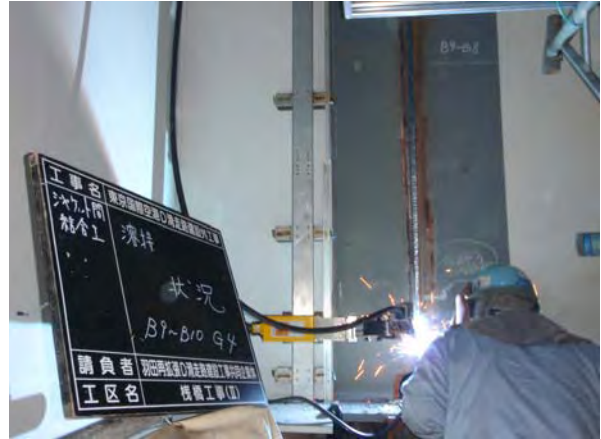


写真-8.4 ウェブ自動溶接状況



写真-8.5 溶接部非破壊検査

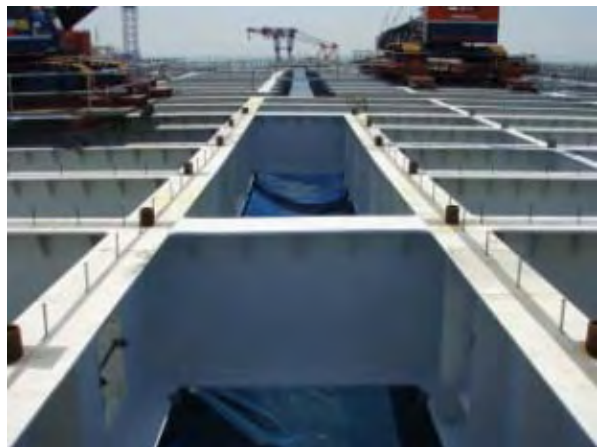


写真-8.6 ジャケット間結合工完了

## 9. おわりに

本報告では、栈橋工事のうち、基礎杭に関しては杭の一本化製作から基礎杭打設工までを、ジャケットに関してはジャケット海上運搬工からジャケット間結合工までの施工方法について述べた。現在、工事は順調に進み 2008 年 5 月末時点において、基礎杭打設工 234 本（全数量 1,165 本）、ジャケット据付工 35 基（全数量 198 基）が完了している。

今後とも、工期・品質確保のため、関係各位のご指導・ご協力を賜りますようお願い申し上げます。



写真-9.1 栈橋部全景（2008. 5. 17 撮影）