

論文・報告

石垣港ジャケット工事の設計と製作

～鋼構造事業の新たなチャレンジ～

Design and Manufacture of ISHIGAKI Port Jackets

長坂 康史 *1
Yasushi NAGASAKA

香川 洋介 *2
Yosuke KAGAWA

木本 輝幸 *3
Teruyuki KIMOTO

北村 正見 *1
Masami KITAMURA

伊藤 剛 *4
Takeshi ITO

石垣港は沖縄本島より西南に約410km離れた石垣島に位置する国内最南端の重要港湾であり、東南アジアをはじめとする諸外国と日本を繋ぐ交流拠点として発展してきた。現在、同港内に複数の船舶を停泊させるためのプラットホームに関する工事が、2016年3月末の供用開始を目標に進められている。本工事は、沖縄総合事務局より発注されたプラットホーム部の詳細設計付物件であり、ジャケット工事を元請業者として受注し、詳細設計を実施する案件としては、初めての試みとなる。本報告では、鋼構造事業の新たなチャレンジとして、ジャケット施設の詳細設計および製作工事に関する報告を行うものである。

キーワード：ジャケット式栈橋、詳細設計、3次元原寸システム、立体大組立、浜出し作業

1. はじめに

古くから海外との交流拠点である石垣港は、日本最南端の重要港湾として栄えてきた。石垣島は図1に示すように沖縄本島より更に南西へ約410km離れ、東南アジアをはじめとする諸外国との交流の窓口として、重要な港である。現在、同港内に複数の船舶を一度に停泊できるプラットホーム施設を建設中である。本工事は沖縄総合事務局より発注されたプラットホーム建設工事の詳細設計付物件であり、川田工業(株)はジャケット施設全体の詳細設計およびジャケット(鋼部材)の製作工事を受注した。ジャケット施設の詳細設計および元請業者としての製作は初めての試みであり、本報告では、鋼構造事業部としての新たなチャレンジとして、実施したジャケット工事に関する特徴的な部分を抽出し、報告を行うものである。



図1 設置位置図

2. 工事概要

発注者：沖縄総合事務局

工事名：石垣港(浜崎地区)係留施設

(プラットホーム部)工事

施工場所：沖縄県石垣市浜崎町地先

構造形式：ジャケット式栈橋

施工規模：(幅×長さ×高さ) 15m×25m×9.55m 8基

製作重量：952 t

防錆処理：超厚膜型エポキシ樹脂塗料(2500μ)

ジャケットの完成イメージを図2に示す。

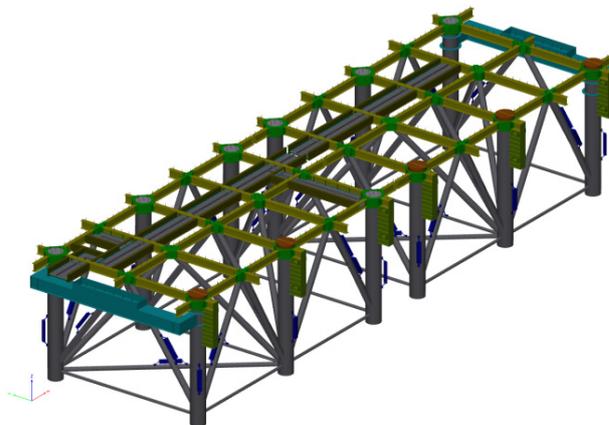


図2 ジャケット完成イメージ

*1 川田工業(株)鋼構造事業部生産部四国工場生産技術課 課長

*2 川田工業(株)鋼構造事業部生産部四国工場生産技術課 係長

*3 川田工業(株)鋼構造事業部生産部四国工場生産技術課 主幹

*4 川田工業(株)鋼構造事業部生産部四国工場生産技術課

3. 詳細設計

ジャケット式栈橋の詳細設計は初めての試みであったが、事前の情報収集や設計計画をスムーズに行うことで、滞りなく設計を進めることができた。以下に詳細設計の特徴と留意した点について説明する。

(1) 設計条件

- 設計供用年数：50年
- 対象船舶：総トン数 1500t クラス
- 接岸力：630kN/基（高性能V型防舷材）
- 牽引力：250kN/基（曲柱形係船柱）
- 上載荷重：10.0kN/m²
- 上部工：RCプレキャスト床版（t=350mm）
- 照査用震度：L1地震動（最大加速度 47.78gal）
- 最大波高：0.9m
- 設計風速：48.2m/s（50年確率風速）

(2) ジャケット本体と杭の設計

ジャケット本体と杭の設計は、「港湾基準」¹⁾に基づき、部分係数を用いた性能照査型設計法を用いて実施した。また、設計計算の詳細については、「ジャケット工法技術マニュアル」²⁾を参考にした。ジャケット本体と杭の設計フローを図3に示す。解析モデルは、ジャケットと杭を一体化した梁要素での3次元骨組みモデル(図4)とし、載荷荷重条件は船舶接岸・牽引時、地震時、暴風

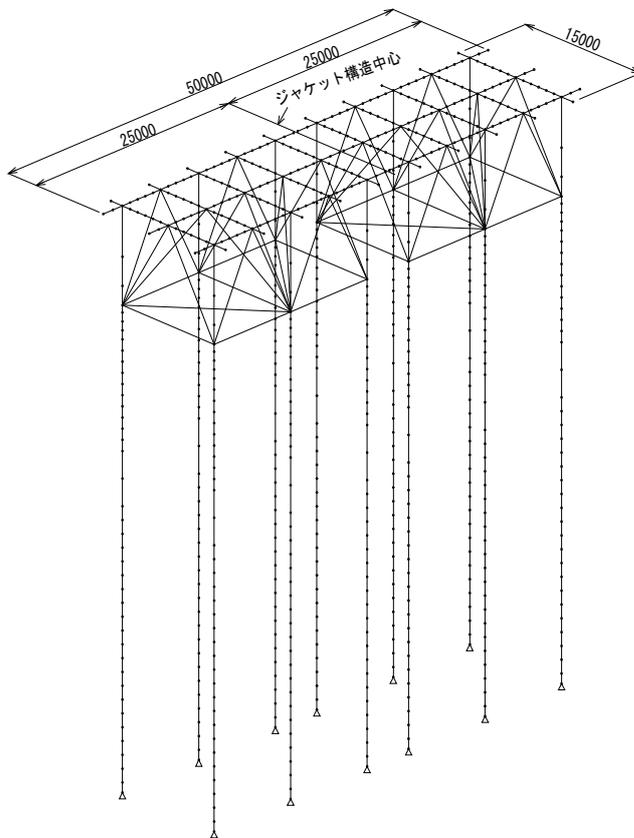


図4 3次元骨組み解析モデル

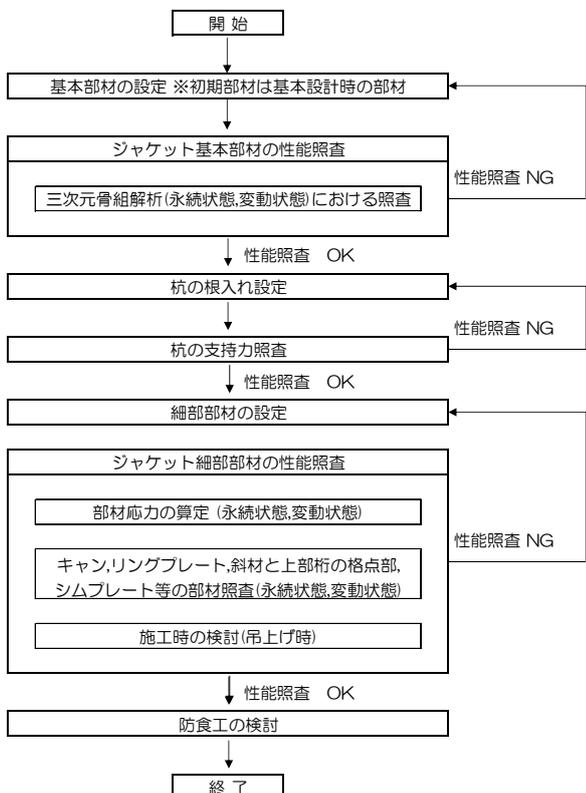


図3 設計フローチャート

(3) 空気式防舷材取付部

基本的に防舷材はレグと呼ばれるメインの鋼管に設置される高性能V型防舷材が、当初より計画されていたが、接岸時の安全対策として、現状の石垣港に設置されている浮遊タイプの空気式防舷材も併用できるように各種検討を行った。岸壁に設置される一般的な構造としては、床版一体型となった受衝板タイプ(図5)が主流ではあるが、空気式防舷材に生じる接岸力が床版にも伝達し、断

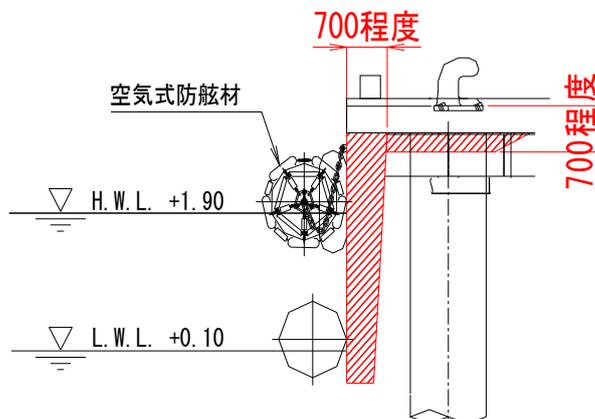


図5 床版一体型受衝板イメージ

面計算による床版厚のアップが懸念された。また、床版との接合部においては、ジャケット本体と床版との取合いが複雑となり、施工も困難となる。従って、床版とは分離させ、レグ間に水平梁を設けて受衝版を取付ける構造(図6)を採用した。材料としては、コンクリート版、普通鋼材、ステンレス等を比較検討した結果、空気式防舷材への影響、維持管理性、施工性、経済性等、総合的に優れた受衝板として、耐海水ステンレス版(SUS312L)を使用することとした。

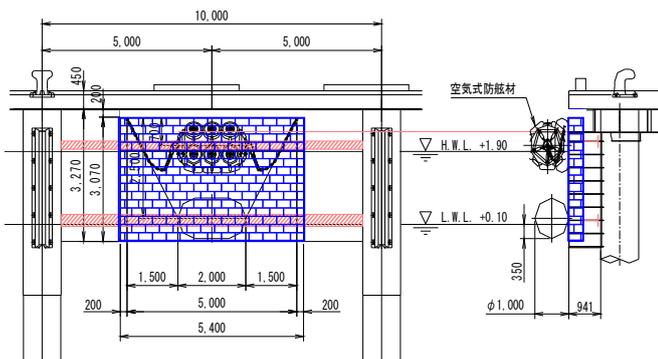


図6 受衝板の形状

(4) 防食工の検討

防食工法とその適用範囲は「港湾基準」より、図7に示すように、朔望平均干潮面(LWL)以下1mよりも上の部分を被覆防食工法、平均干潮面以下を電気防食工法とした。被覆防食は、表1示す通り様々な工法から施工性、維持管理性、経済性等を比較検討した結果、工期が短く、施工性、経済性で優位となる「超厚膜エポキシ樹脂塗装」を採用することとした。また、海中部の電気防食工法はアルミニウム合金陽極による流電陽極方式を採用した。アルミニウム合金陽極の設置状況を写真1に示す。

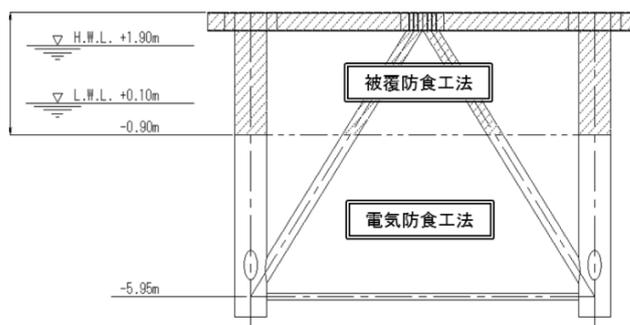


図7 防食工の適用範囲



写真1 アルミニウム合金陽極の設置状況

4. 製作

(1) 製作方法の検討

ジャケット構造物の一般的な製作は、図8の製作フローで行われる。この内、大組立時にジャケットの逆さで立体組み立てを行う理由として、①溶接量が上部桁側に集中、②重防食塗装は上部桁側のみ施工によるものである。基本的な思想としては、高所での溶接・塗装作業を減らす意図である。特に本ジャケットは、通常の上部桁のみを有するジャケットと異なり、共同ピットと言われる配管施設が上部桁と交錯していたため、溶接のみ

表1 被覆防食工法の比較

工法	期待耐用年数		部材への適用性				実績	初期コスト	トータルコスト	総合評価		
	鋼管	レグ/ブレース	上部桁	格点部								
塗装	① 海洋厚膜エポキシ塗装	△	20年程度	○	○	○	○	△	◎	○	初期コストは安価であるが、耐食性が低い。工法②より安価である。	
	② 海洋エポキシガラスフレーク塗装	△	20年程度	○	○	○	○	-	○	△	初期コストは安価であるが、耐食性が低い。工法①より高価である。	
重防食被覆	③ ポリエチレン被覆	○	30年程度	○	○	×	×	-	◎	◎	×	耐食性は比較的高いが、上部桁や格点部へ適用できない。
	④ ウレタンエラストマー被覆	○	30年程度	○	○	×	×	-	◎	◎	×	耐食性は比較的高いが、上部桁や格点部へ適用できない。
超厚膜型被覆	⑤ 超厚膜エポキシ樹脂系被覆	○	30年程度	○	○	○	○	◎	○	◎	○	耐食性は比較的高く、全部材に適用でき、実績も多い。工法⑥より安価である。
	⑥ 超厚膜ポリウレタン樹脂系被覆	○	30年程度	○	○	○	○	△	○	○	△	耐食性は比較的高く、全部材に適用できる。工法⑤より高価である。
金属被覆	⑦ 耐海水性ステンレス鋼被覆	◎	50年程度	○	○	○	△	△	△	△	○	耐食性は高いが、格点部が高価である。
	⑧ 薄板チタンクラッド鋼被覆	◎	50年程度	○	○	○	×	△	△	△	×	耐食性は高いが、非常に高価である。格点部へ適用できない。実績は非常に少ない。

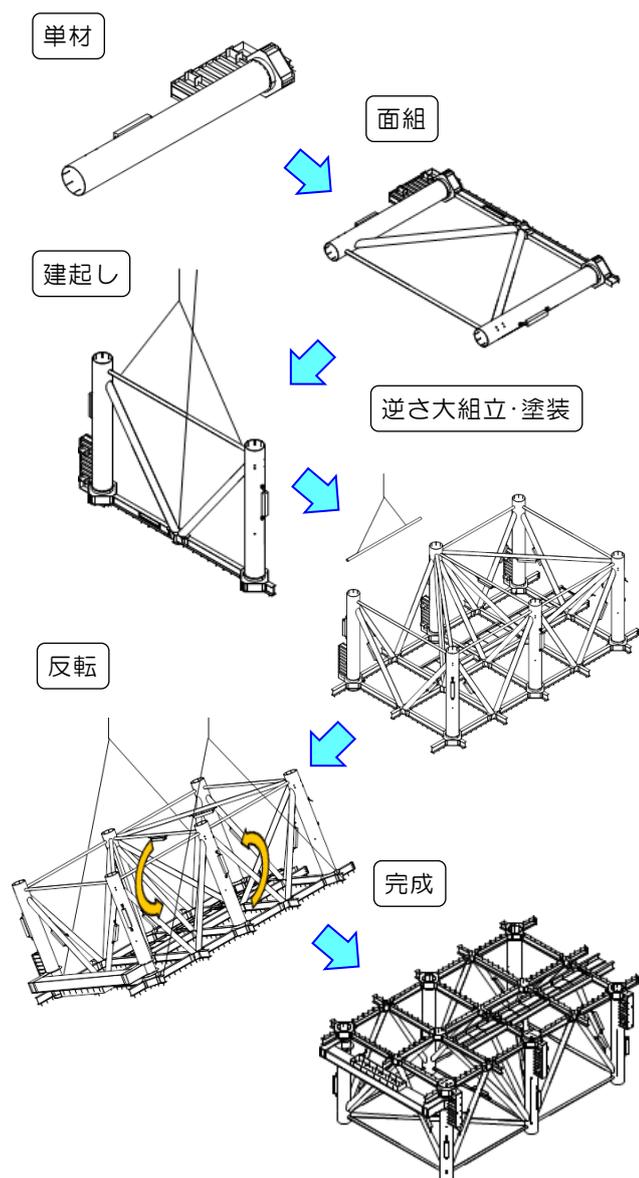


図 8 製作フローチャート

ならず、組み立て作業にも手間と時間を費やすことが予測された。そのため、本ジャケットにおいても逆さで立体組み立てを行う計画とし、既存設備である 200t 門型クレーンを用いた反転作業の可否の検討を行った。その結果、ブロック重量が 100t を超えるため、2 フックを用いて、90 度反転時に吊ワイヤの盛り替えを行う必要がある。また、クレーンの揚程が 30m であり、ジャケットの反転は平面寸法が短い断面方向の反転に限られる。これらの制約を解消すれば反転が可能なが判った。従って、製作に合せ、反転用の吊金具および吊天秤の計画を行った。また、立体組み立てに先立ち行われる面組み立てについては、断面方向と側面方向の 2 通りの組み立て方法が考えられたが、200t 門型クレーン直下である製作ヤードでの立体組み立てや面組み立ての並行作業による効率化を考慮し、ヤード占有面積の小さい断面方向の面組み立てを採用した。

(2) 原寸

原寸は、鋼管同士が交差する複雑なジャケット構造の設計・製作に考慮し、総合評価にて提案した 3 次元原寸システム（以下、シンフォニー）を用いて行った。シンフォニーによる作図作業は、詳細設計と並行して実施したが、その中で 1 つのレグに 3 本の斜材が交差する格点部において、2 次元の作図では発見が困難な部材同士の干渉を未然に発見し（写真 2）、設計へフィードバックするなど、その効果を発揮することができた。

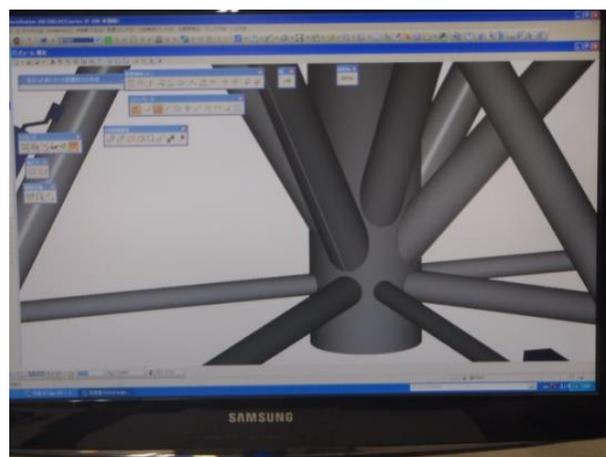


写真 2 3本の斜材交差格点部 3D

(3) 単材製作

面組み立てに先立ち、レグ・上部桁・共同ピット・PC フォロー桁の単材製作を行った。レグについては、ターニングローラーを用いて、常に下向き溶接を行うことにより、良好な溶接品質を得ることができた（写真 3）。また、上部桁については、工場建屋内において、搬出可能な長さまで、部材同士を溶接でつないで長尺化することにより、気象条件の制約を受けやすいヤードでの溶接作業量を軽減した。



写真 3 ターニングローラーを用いたレグ製作

(4) 面組立て

単材製作が完了したレグ・上部桁と水平材・斜材を写真 4 に示す通り、断面方向に面状に組み立てを行った。溶接完了後の面材は、200t 門型クレーンを用いて建て起こした（写真 5）。立起しは 2 基のフックと 2 台の吊天秤



写真 4 面組立製作状況



写真 5 面組部材の立越し状況

を使用し、空中で 90° 回転させるように行った。

(5) 立体大組立て

立起した面材と予め建屋内で製作を実施した上部桁・共同ピット・斜材・水平材を組合せ、転倒防止処置を施しながら順次、仮溶接にて立体的に組立てた(写真 6)。組立て後、高所での溶接作業および塗装作業のための足場を敷設し、溶接部への風の吹き込みと塗装作業における塗料の飛散防止を兼ねて、足場側面をシートにて養生した(写真 7)。



写真 6 立体大組立状況

(6) 反転作業

塗装作業が完了したジャケットは、200t 門型クレーンにて反転作業を実施した。部材のブロックサイズは、寸法 15m×25m×9.6m、重量 120 t 程度であり、四国工場でも最大級の部材寸法である。90° の回転を 2 回行うこ



写真 7 溶接および塗装用の風防設備状況

とで 180° の反転作業となる。途中、ワイヤの盛り替え作業は、高所作業車にて地上 20m 以上の場所で行う必要があったが、無事、全ジャケットの反転作業を行うことができた。反転作業の状況を写真 8 に示す。



写真 8 反転作業状況

4. 浜出し作業

完成したジャケット部材は完成検査の後、大型台船と起重機船を利用した浜出し作業を実施した。輸送荷姿を図 9 に示す。ジャケットの輸送は、本工場の施工範囲外であるが、据付業者より委託され、搬送を行っている。ジャケットと台船との接合には、H 形鋼を組合せた輸送用の架台を製作し、予め台船上に仮固定しておき、積込まれたジャケットのレグ基部と溶接にて接合した。各々のジャケットは製作ヤードの大組立場所より、200 t 門型クレーンにて、岸壁付近まで移動させ、旋回式 200 t 起重機船にて、5500 t 積み大型台船へ積み込みを行った。流れ作業でのスムーズな積み込みを行えたため、4 基を 1 日で終えることができた。旋回式 200t 起重機船での積み込み状況を写真 9, 10 に示す。

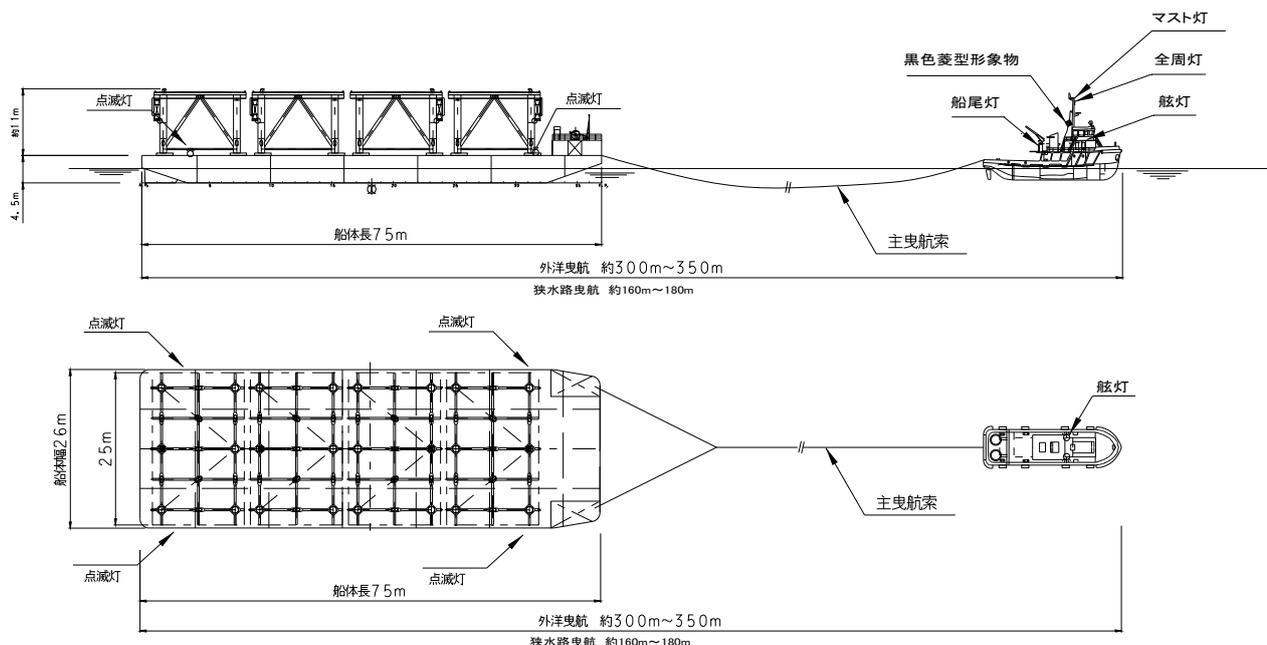


図9 輸送荷姿図

5. おわりに

本工事は当社にとって初めての詳細設計付ジャケット製作工事であった。また、これまで実施したことがない寸法の製作規模であったため、事前に多方面からの情報を得て、予め計画を十分に行うことで、滞りなく設計と製作を進めることができた。ただ、工期が制約されたこともあり、当初は設計的に厳しい工程内で材料発注を行うこととなったが、今後はこの経験を生かし、得られた情報を基に設計および製作方法の改善およびコスト面での効率化を目指して行きたい。

なお、プラットフォームの完成時期は2016年3月の予定であり、完成後の有効な利用と石垣港の更なる発展に役立てられる施設建設に携われたことは光栄である。

最後にご助言頂きました関係者の方々に書面をお借りしまして、御礼申し上げます。

参考文献

- 1) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成19年7月。
- 2) (財)沿岸開発技術研究センター：ジャケット工法技術マニュアル，平成12年1月。



写真9,10 浜出作業状況