

フルプレキャスト栈橋一括架設による生産性向上の取組み

鹿島建設(株) 正会員 ○湊崎 広志 大石 雅之
吉原 知佳 松尾 一志
大浦 志郎

1. はじめに

社会資本整備・保全の担い手として必要不可欠な建設業界であるが、近年は就業者数の減少や高齢化が問題となっている。建設業界を取り巻くこのような環境下では、いろいろな側面からその解決に向けた取組みが行われており、その一つとして「これまでより少ない人数で、これまでより少ない日数で、これまでと同じもしくはそれ以上の工事量を実施する」生産性向上にも大きな関心が寄せられている。

本稿では、EPC 契約工事として設計、計画、施工の各段階において数多くの生産性向上の取組みを行った、相生バイオマス発電所燃料受入栈橋新設工事の事例を紹介する。

2. 事業概要

関西電力(株)相生発電所は、兵庫県西部、瀬戸内海沿岸の内湾である相生湾に面する相生市に位置しており、1982年に重油、原油を燃料とする火力発電所として運転を開始し、2016年には設備の一部改造工事を行い、経済性と環境性に優れた天然ガスも利用できる発電所としてリニューアルした。今回の事業は、再生可能エネルギー電源の開発を積極的に推進し、その普及・拡大に貢献するために、相生発電所2号機の燃料を木質バイオマスへ変更するものである。国内最大級である定格出力20万kwのバイオマス発電所として2023年1月に営業運転を開始すべく、当社は既存栈橋の除却および新設栈橋の建設を担当した(写真-1)。



写真-1 施工箇所

3. 生産性向上の取組み概要

EPC 契約工事という条件を最大限に生かしながら生産性を向上させるためには、その根幹となる合理的な最短工程を立案することが必要になる。それには、全体工期の大半を占める海上工事工程を可能な限り短縮することが最大の課題となる。当工事では、課題解決に向けて安全、環境、品質の管理方法を検討し直し、設計、調達、施工の各段階における具体案を抽出した。

4. 海上工事工程への影響要素

年間を通じて比較的穏やかな相生湾であるが、陸上工事と異なり海上工事は気象海象の影響を強く受けることになる。生産性向上に向けて、合理的な最短工程を立案するにあたり、潮位変動、風雨、波浪といった一般的な条件を考慮するとともに、海上工事工程に影響を与える本工事特有の要素を抽出した。

(1) 稼働中の発電所内での工事

今回の事業対象外である相生火力発電所1号機、3号機は工事中も稼働を続けており、安全管理には細心の注意を要する。また、発電所敷地内には、まとまった面積の仮設ヤードを確保することが困難であり、事業全体として工事用車両の台数を絞り込む必要もあった。当工事の仮設資材運搬車やミキサ車などの台数についてもその対象であり、発電所敷地内から海上工事箇所への物資の運搬は非効率となり、海上工事の稼働率低下を招くことが想定された。

キーワード：生産性向上、フルプレキャスト栈橋、一括架設、ネットワークカメラ

連絡先 〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見2-2-22 鹿島建設(株)関西支店土木部 TEL 06-6946-3311

(2) 周辺海域の牡蠣養殖漁業

相生湾内では牡蠣の養殖が盛んにおこなわれており、現在 180 基を超える筏が設置されている。相生湾の牡蠣は 1 年で生育・出荷に至るもので、4 月の種付けから 10 月下旬から 3 月下旬までの収穫・出荷まで休むことなく作業が行われている。当工事現場の近距離海域でも多くの筏が設置されており、台風接近時には破損を避けるために移動が行われる。このような条件から、海上工事の稼働率を確保するためには、年間を通じて漁業関係者との密接な工事調整が重要になる。

(3) 湾内の航跡波

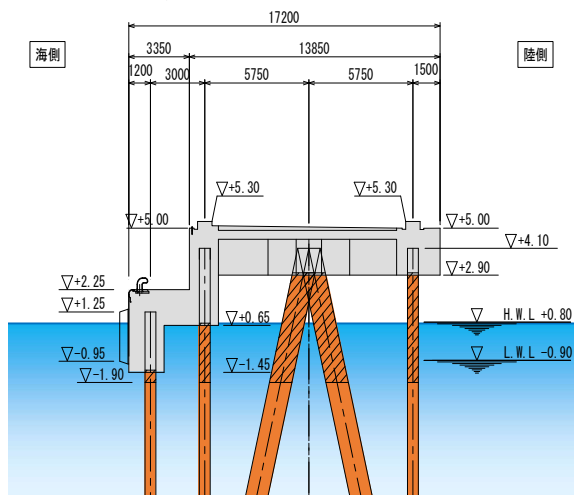
相生湾は、3 つの建造・修理設備（ドック）を保有する大手造船会社の拠点でもあり、沿岸には数多くの関連会社が存在する。大小多くの船舶が往来する相生湾に生じる航跡波は複雑に組み合わせり、海上工事工程に与える影響は軽微とは言い難い。

5. 工事基本方針の決定

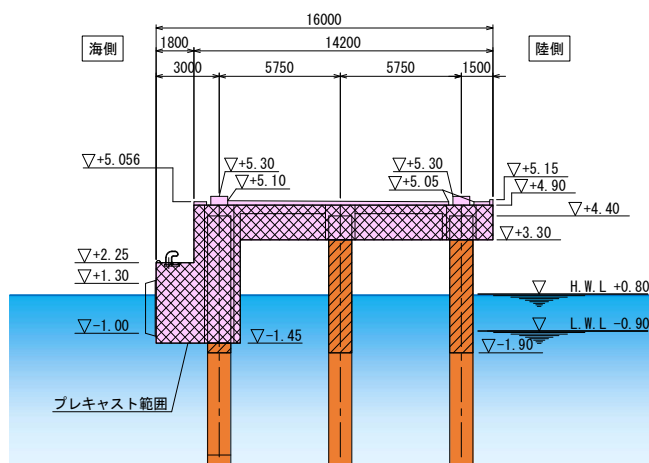
これらの条件下において、生産性向上に向けた合理的な最短工程を実現するために、海上作業日数を極限まで低減する方針とした。新設栈橋は着栈部となる前垂れ壁が満潮時に約 2m 海中となるため、現場打ち工法では、工程は無論のこと、安全・環境・品質面で非常に厳しい工事になることが想定された。このため、本工事における発電所敷地外に製作ヤードを確保し、新設栈橋を完全にプレキャスト化したうえで起重機船を用いて曳航し、架設を行うこととした。

6. 設計の合理化

当初設計段階では、横栈橋を支える鋼管杭は 100 本の斜め組杭式としていた（図－1）。しかし、実施設計段階では合理化設計による工期の短縮を目的に、直杭式 60 本に変更した（図－2）。それに伴い、プラント工事側と許容変位量の条件変更調整を行った結果、プロジェクト全体として対応可能との結論に至った。

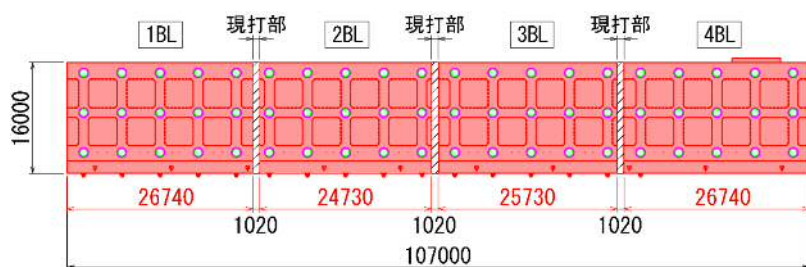


図－1 基本設計断面図



図－2 実施設計断面図

また、プレキャストの分割は、「これまでより少ない人数で、これまでより少ない日数で、これまでと同じもしくはそれ以上の工事量を実施する」という基本思想どおり、できるだけ大型化することとし、コスト比較の結果、幅 16m、延長 107m の栈橋を 4 分割する計画とした（図－3）。



図－3 新設栈橋平面図

設計の合理化実現により、本工事では、新設栈橋を 4 ブロックに分割して発電所敷地外の陸上でフルプレキャスト化し、大型起重機船を用いた一括架設を行うこととした。これにより、鋼管杭打設と並行して新設栈橋の躯体構築を実施することが可能となり、海上工事工程の短縮が可能となった。また、次章から述べる施工計画立案段階から施工段階に至る合理的な管理の実施により、大幅な工期短縮を実現した。**表-1**に、現場打ち工程とフルプレキャスト化工程の比較表を示す。

[illegible]

(1) プレキャスト橋製作ヤード計画

a) 製作ヤードの使用制限や地耐力に問題がないこと
b) 4 基を 2 回に分けて効率的に浜出しするため、2 基同時に構築ができる面積を有すること
c) 浜出し時の起重機船の吊り能力が問題とならないような土地の形状であること
d) 上記の条件を満足し、架設現場にできるだけ近いこと

浜出し作業を考慮すると、プレキャスト製作ヤードは公共岸壁や施設の荷揚げ場などの臨海部に限られるため、いくつかの周辺候補地と交渉を行った。行政の定めた規則により、この用途としては使用が不可能である場合や、老朽化した護岸の地耐力が問題である場合が多く選定は難航したが、結果として相生発電所から約37km 東に位置する兵庫県加古郡播磨町の人工島の一角をプレキャスト製作ヤードとして選定した。ヤード内におけるプレキャスト栈橋の配置と起重機船の作業半径および吊り能力の関係から 4,100t 吊り起重機船「海翔」を使用して浜出しすることとした。図-4 に吊上げ検討図を示す。

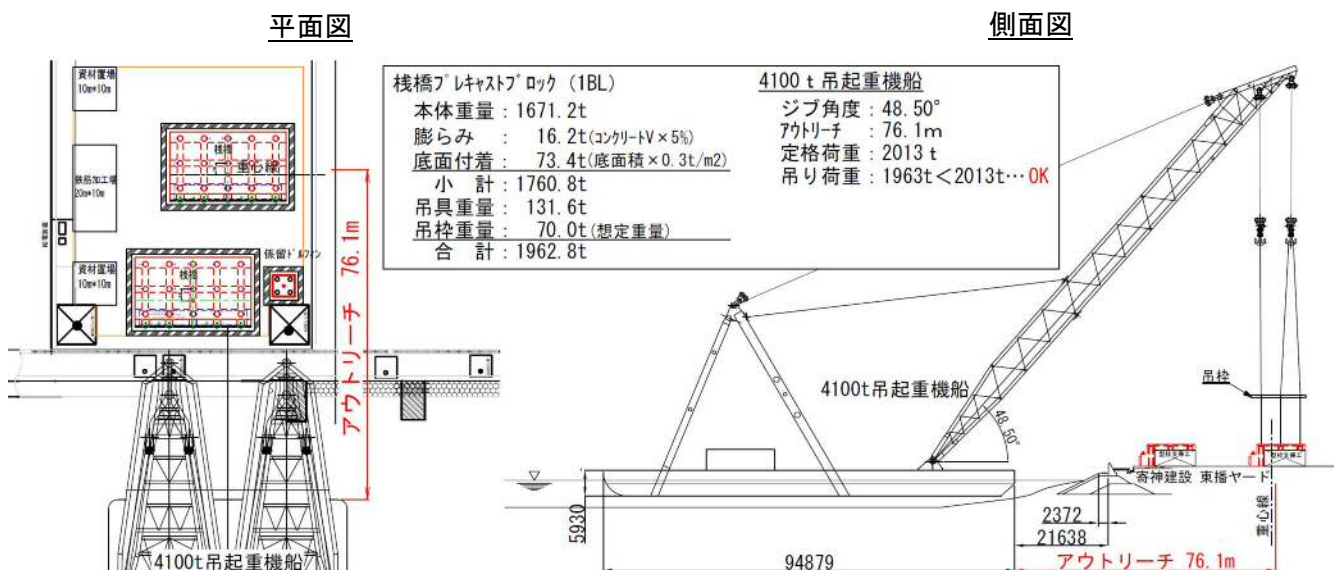


図-4 吊上げ検討図

(2) プレキャスト栈橋仮受方式

プレキャスト栈橋の仮受方式を図-5に示す。仮受方式はプレキャスト栈橋躯体内に、鋼管杭の施工許容誤差 100mm を確保できる $\phi 1,400$ のサヤ管を設置し、その上部に配置した仮受鋼材が鋼管杭上に載ることで栈橋重量を負担する「サヤ管方式」とした。

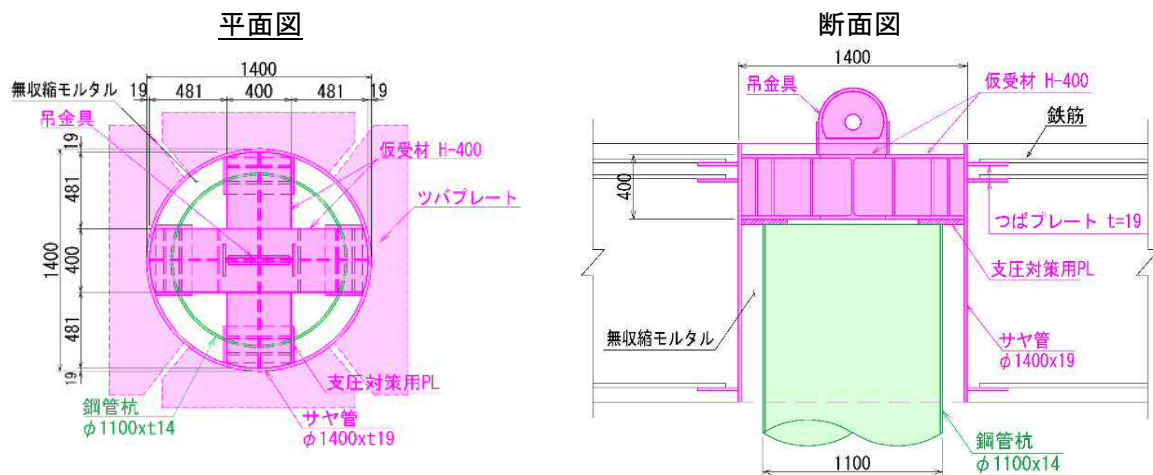


図-5 杭頭仮受構造図

(3) プレキャスト栈橋運搬方法

プレキャスト栈橋製作ヤードから約 37km 西に位置する相生発電所沖の架設場所までのプレキャスト栈橋運搬方法として、鋼台船上に専用架台を組み立てて運搬する方法と吊曳航する方法を検討した。先に述べたように前垂れ壁を持つプレキャスト栈橋の全高は 5.90m となり、鋼台船を使用しての運搬は安全確保に問題が残るうえに、架設場所での起重機船係留が複数回となるため、生産性向上に向けた合理的な最短工程の実現という観点から、運搬は吊曳航方式とした。吊曳航時の鉛直動揺力を考慮したうえで吊点は 28 点とし、仮受材上部に半円状の吊金具を、サヤ管製作段階で設けるとともに、前垂れ壁部の重量分担を目的に高張力鋼吊筋 (D76 NHT690 相当) を躯体構築段階で埋め込んだ (図-6)。

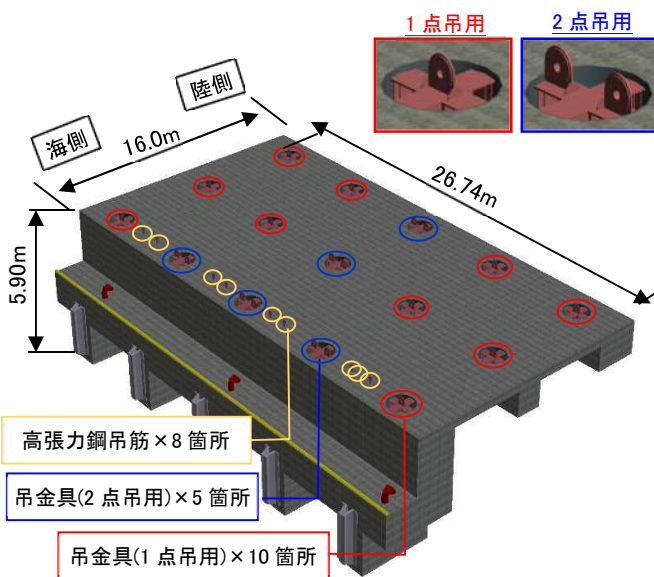


図-6 吊り点位置概要図

9. 施工の合理化

(1) 鋼管杭打設時の精度確保

鋼管杭を海上打設する際、湾内のうねり等による作業船の動揺により、杭の打設位置が定まりにくく、作業効率が極端に悪くなる恐れがある。このためガイドとなる導材を打設したのち、測量により杭芯を確定し、鋼管杭を打設することが多いが、今回は合理化を図るために導材を打設せず、作業船と一体化したパイルキーパーを有するクレーン付き台船による施工を検討した。しかし、4本のスパッド付き台船を使用する場合であっても、気象海象の影響に加えて台船上の起重機の旋回や揚重作業に伴う動揺は、陸上の揚重作業とは比べ物にならないほど大きい。生産性向上の基本方針となるプレキャスト栈橋一括架設を実現するためには、鋼管杭に高い出来形精度が要求されることから、当工事では以下に示す 2 つの測量システムを併用した。

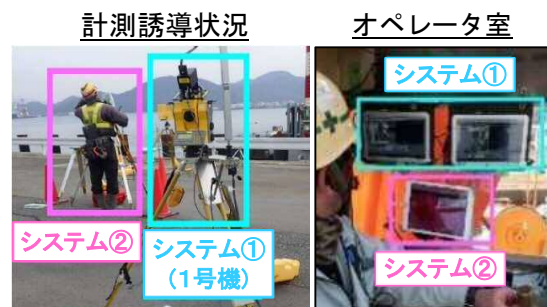
- a) カメラ付きトータルステーション 2 台と AR 技術を併用した 3 次元設計位置測量システム【システム①】
- b) システム同心円焦点鏡内蔵トータルステーション 1 台による杭中心オフセット測量システム【システム②】
- システム①は、オペレータが杭のズレ（3cm、5cm、10cm）を映像で視覚的に確認できるため、パイプロハンマ揺動時における杭の鉛直精度修正に非常に有効であった（写真－2）。システム②は、杭芯のズレが平面図と数値で確認でき、設定値（3cm、5cm）を超えると警報画面が表示されるため、杭芯位置への誘導に特に効果が大きかった（図－7）。両誘導システムを併用する事例は少ないと思われるが、リアルタイムにダブルチェックができ、かつ見易いとオペレータからも好評で、高速施工（日最大：4 本）と高精度打設（最大偏心量：51mm）に多大な貢献を果たした（写真－3）。



写真－2 システム①



図－7 システム②



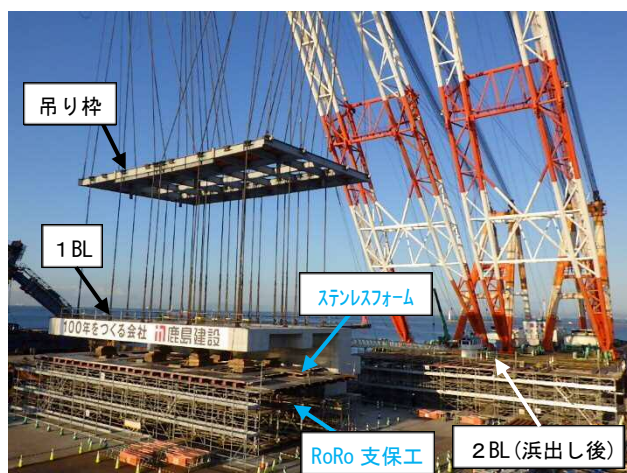
写真－3 鋼管杭誘導状況

(2) 仮結構工事の削減

着栈部となる前垂れ壁を持つ構造になっており、これをフルプレキャスト化して一括架設するためには、仮結構工の位置は海中にならざるを得ない。今回、鋼管杭が非常に高精度に打設できたことと、打設後の位置を経過観測した結果、許容偏心量である 100mm を上回らなかったことから、海上作業日数を極限まで低減するという基本方針に基づき、仮結構工事を削減した。

(3) プレキャスト栈橋製作

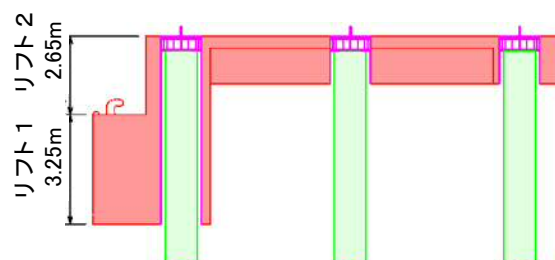
プレキャスト栈橋製作時のメイン支保工は高い支持力と高精度の鉛直性を持つ、パイプ支柱式の重量物用支保工を採用し、梁底型枠のステンレスフォームと支保工上部の H 鋼を固定することで、浜出し時に共上りを防ぎ、底枠から剥離し易いよう配慮した（写真－4）。コンクリートは 2 回に分けて打設し、先行リフトの拘束によるひび割れの発生が懸念されたリフト 2 のコンクリートには膨張材（20kg/m³）を添加した（表－2、図－8）。脱型後から浜出しまでの期間に有害なひび割れは確認されず、動揺解析による吊曳航時の躯体への影響評価どおり、約 5 時間の吊曳航後も懸念された海上の揺れによるひび割れ・損傷は生じなかった。



写真－4 プレキャスト栈橋浜出し状況

表－2 使用コンクリート

	呼び方	混和材
リフト1	30-15-20BB	無し
リフト2	30-15-20BB	膨張材 (低添加タイプ)



図－8 打設リフト

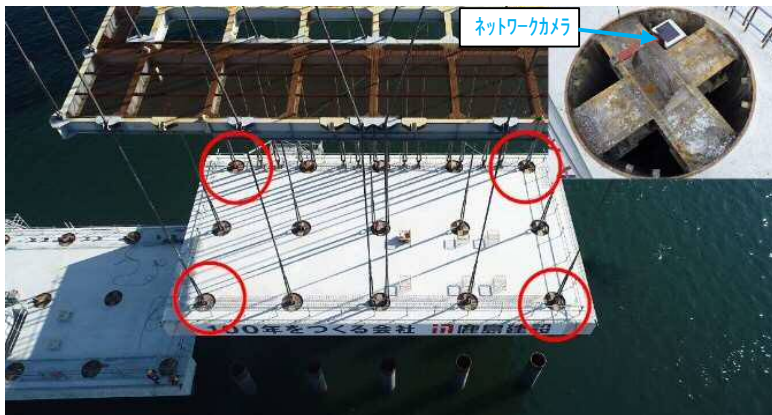
(4) プレキャスト栈橋降下作業

プレキャスト栈橋架設時の降下作業（写真－５）は、１ブロック当たり 15 本の鋼管杭をサヤ管内へ接触させずに挿入する必要があるため、事前に鋼管杭とプレキャスト栈橋の実測図を重ね合わせ、サヤ管との離隔に問題がないことを確認した。しかし、サヤ管と鋼管杭の離隔は設計上 120mm ではあるが、鋼管杭の打設精度やサヤ管の設置精度など、



写真－５ プレキャスト栈橋降下作業

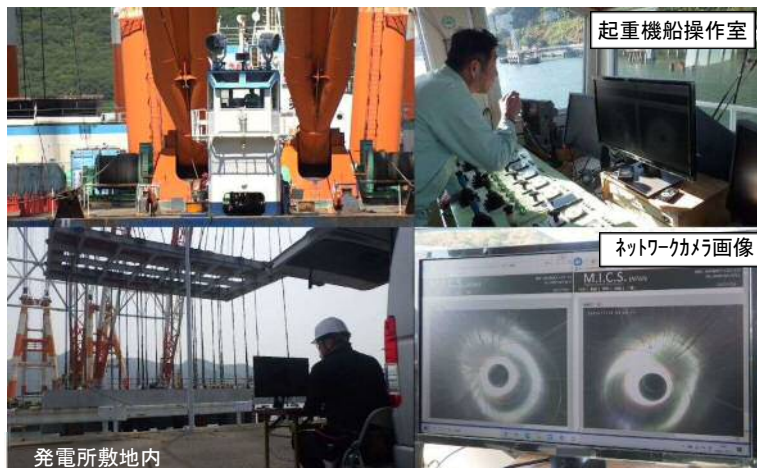
施工誤差により実際の離隔余裕度は小さくなり、技術的にも難しい作業になる。さらに、プレキャスト降下時は常に離隔を確認する必要がある、小型船舶により目視管理する方法では、安全上問題があると考えたため、今回工事ではサヤ管内部に屋外可搬型ネットワークカメラ（４隅／１ブロック）を取り付け（写真－６）、リアルタイムで画像が確認できるモニター画面を起重機船操作室と発電所敷地内の２ヵ所に設置した（写真－７、８、９）。現場監督とオペレータがプレキャスト栈橋降下時の離隔を常時確認できるシステムを導入したことにより、吊荷下に立ち入らずに離隔を確認でき、安全にスムーズなプレキャスト降下作業が可能となった。



写真－６ ネットワークカメラ取付状況



写真－８ ネットワークカメラ画像



写真－７ モニター画面確認状況



写真－９ ネットワークカメラ画像

(5) プレキャスト据え付け作業

各ブロックの据付精度が、接岸法線の出来形に直結するため、プレキャスト端部に設置した3個の全方位プリズムをトータルステーションで自動追尾すること（写真-10）で栈橋位置を計測・表示する函体誘導システムを採用した。起重機船操作員・職長・職員の3者がモニターを見ながらリアルタイムに位置情報を共有できた（図-9）ことと、最大6カ所に設置した調整ワイヤーにて栈橋位置を微調整できたことで、据付精度50mm以内の架設を実現した。

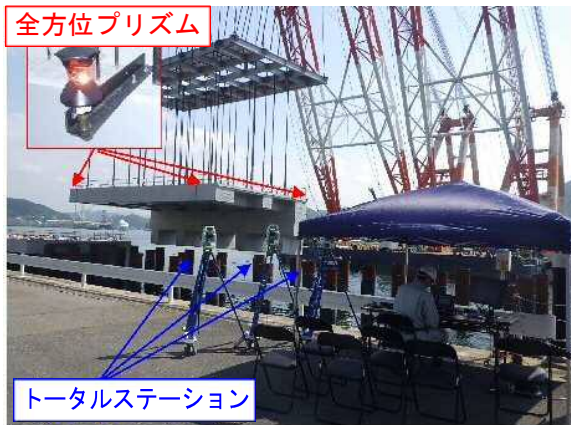


写真-10 函体誘導状況

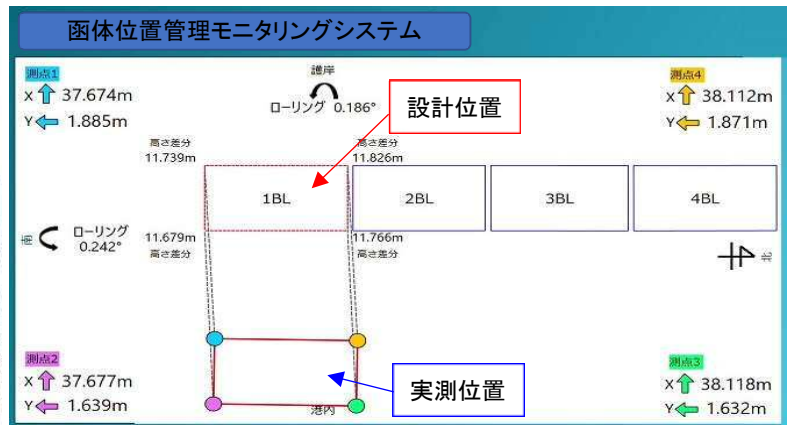


図-9 函体誘導画面

10. おわりに

構造物のプレキャスト化は工事費が増大することから、品質・工程・安全・環境面など総合的に判断し選定する必要がある。本工事では、新設栈橋を大型プレキャスト化し、起重機船による一括架設を行ったことで、海上作業日数の短縮、航行船舶に対する安全確保、周辺海域環境負荷の低減、海上構造物としての品質確保などの合理的な管理を実現し、生産性向上の成果を上げたと考えている（写真-11、12）。本稿を通じて、栈橋の大型プレキャスト化が普及し、生産性向上の一助になれば幸いである。



写真-11 プレキャスト栈橋一括架設完了

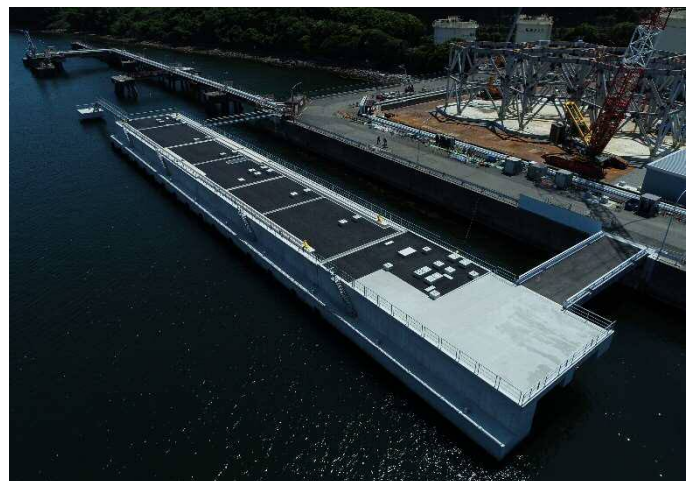


写真-12 栈橋新設工事完了

参考文献

- 1) 大石雅之ほか：起重機船による大規模プレキャスト栈橋の一括架設の施工実績、土木学会第76回年次学術講演会、第VI-674.