

石炭火力発電所における海上設備のプレキャスト施工に関して

大成建設(株) 名古屋支店
(株)JERA 武豊火力発電所 土木建築課

正会員 ○野勢 辰也
服部 真未子

1. はじめに

(株) JERA 武豊火力発電所のリプレースは、既存の発電設備を撤去し、新たに出力 107 万 kW の石炭火力発電所を建設するものである。このうち、本稿で対象とする海上設備の建設工事には、燃料受入設備の揚炭棧橋、石炭受入用の海上コンベヤ基礎、さらに発電に伴い発生する石炭灰や石膏を発電所外部へ払出するための棧橋や海上コンベヤ基礎、その他、棧橋へのアクセスウェイである海上通路橋、深層取水設備と数多くの設備がある (図-1 参照)。

本工事は、構造物の規模、施工数量ともに大きく、従来工法による海上での上部工構築は、気象・海象の状況により稼働が左右されるため、工程管理に課題があった。また、海上でのコンクリート打設は急な荒天時の対応が難しく、品質面でも課題があった。本工事では、これらを踏まえ、上部工部材の大半をプレキャスト化し、施工を行った。

本稿では、海上設備で最も大規模な設備である燃料受入設備の揚炭棧橋、類似形状で基数の多い海上コンベヤ基礎のプレキャスト構造及び施工方法について、施工性や品質の課題を踏まえて施工実績を報告する。また、海上通路橋については、施工時期が台風シーズンであったことから、海上でのセグメント桁の結合や PC 鋼線の緊張作業等を取り止め、揚炭棧橋上で PC 桁を連結し一体化させ、大型起重機船で一括架設した。こちらについても実績を報告する。



図-1 石炭火力発電所（海上設備）の全体平面図

2. 揚炭棧橋のプレキャスト施工¹⁾

(1) 概要

揚炭棧橋は、7,000DWT 級～100,000DWT 級石炭船を対象とする斜杭式横棧橋で、棧橋上には 1,500t/h 揚炭機 (重量約 12,000kN) 2 基が稼働する。バース長は 375m で、1 ブロック延長 25m×幅 26m、全 15 ブロックで形成されている (図-2、図-3 参照)。本工事では、上部工の RC 梁スラブをプレキャスト化して施工を行った。なお、プレキャストの製作は、構外 (蒲郡：約 17,000m²) のヤードで、鋼管杭の打設と並行して進めた。

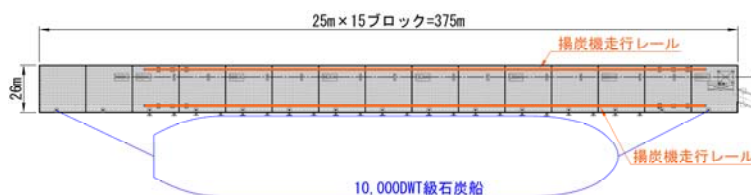


図-2 揚炭棧橋の全体平面図

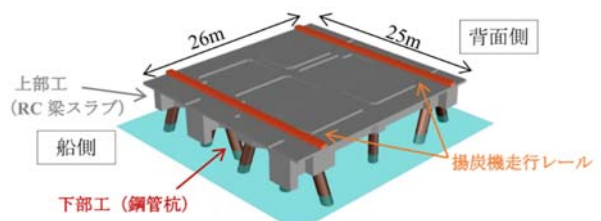


図-3 構造図 (1 ブロック)

キーワード 棧橋, コンベヤ, プレキャスト, 道路橋, 一括架設

連絡先 〒450-6047 愛知県名古屋市中村区名駅 1 丁目 1 番 4 号 JR セントラルタワーズ TEL 052-562-7500

(2) プレキャスト化計画

a) プレキャスト部材選定

プレキャスト化する部材は梁とスラブとし、杭頭部、スラブ間の間詰め及びブロック境界部のスラブは、現場施工とした。プレキャスト部材の寸法は、200t 吊起重機船の作業半径 25m 時に架設可能な重量で設定し、梁は最大寸法 6.4m（重量 460kN）、スラブは最大寸法 8.4m×5.4m（重量 320kN）とした。

b) 施工ステップ

上部工の施工ステップを図-4 に示す。(1)杭頭にプレキャスト梁受け鋼材(図-5 青)を設置する。(2)プレキャスト梁の埋設鋼材(図-5 赤)を、(1)で設置した受け鋼材に預けて架設する。精度調整は、この時点で実施する。(3)杭頭部の構築を現場打設で行う。杭頭部 1 か所あたりのコンクリート打設量は最大で約 40m³である。(4)プレキャストスラブを架設する。(5) 端部スラブ等の構築を現場打設で行う。1 ブロックあたりのコンクリート打設量は約 80m³である。

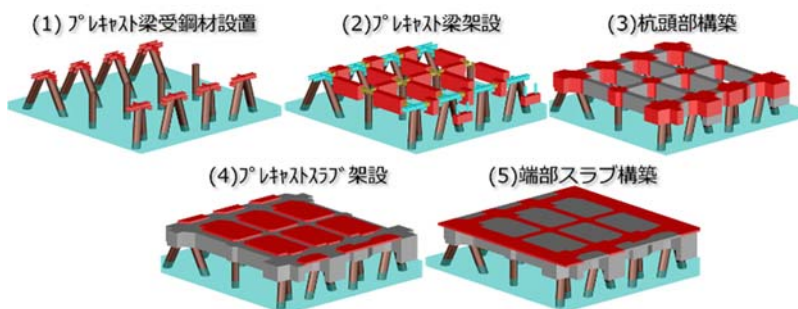


図-4 打設順序（時系列：左→右）

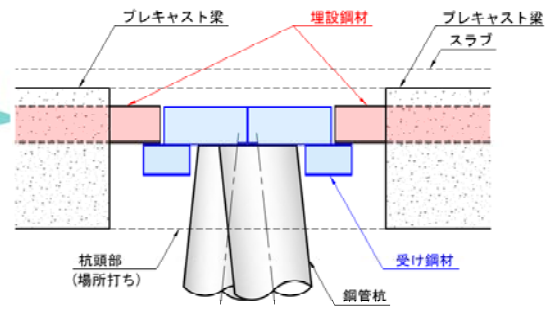


図-5 Pca 梁架設方法

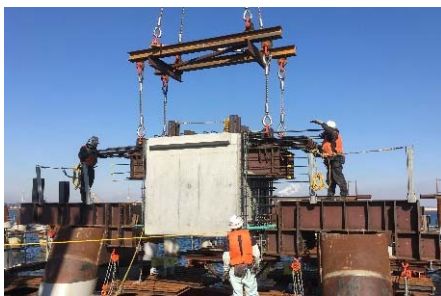


写真-1 Pca 梁の架設状況



写真-2 施工状況（左：杭頭部，右：梁）



写真-3 Pca スラブの架設

c) プレキャスト部材接続部

プレキャスト梁と場所打ちコンクリート部（杭頭部）の接続部に関しては、構造弱部とならないように鉄筋の接続方法と打継目について、対策を行った。

プレキャスト梁下筋は、杭の鉄筋定着プレートを用いて接続するが、ここでは、プレキャスト梁側鉄筋と鉄筋定着プレート側鉄筋との重ね継手長が確保できないことから、機械式継手を採用した。さらに、プレキャスト梁の設置誤差や鉄筋の出来形による芯ずれに対応可能な、挿入口に余裕のあるモルタル充填式を用いた（図-6、写真-4 参照）。

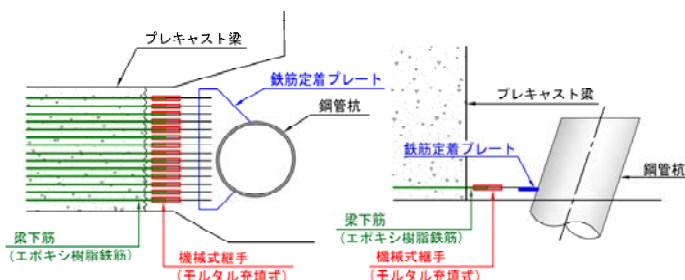


図-6 梁下筋の接続方法（左：平面，右：断面）

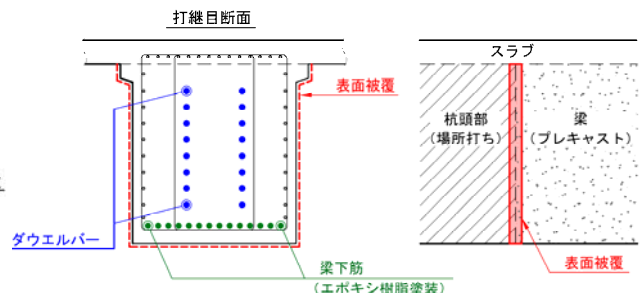


図-7 打継目の品質管理（左：断面，右：側面）



写真-4 機械式継手（モルタル充填式）



写真-5 梁断面の鉄筋



写真-6 打継部の表面保護材

打継目は、適切に打継処理を行った場合においても構造的弱部になる恐れがあるため、打継目のせん断耐力の低下と塩化物イオンの侵入に対して対策を実施した。梁には揚炭機（重量約 12,000kN）の走行により大きなせん断力が繰り返し作用するため、揚炭機荷重により打継目に発生するせん断力に対して、鉄筋コンクリート断面の耐力を無視しても、せん断耐力を保持できるようにダウエルバーを設けた。また、打継目における塩化物イオンの侵入に備え、海面に近い梁の下筋はエポキシ樹脂塗装鉄筋を用い、さらに表面保護材により被覆した（図-7、写真-5、6 参照）。

(3) プレキャスト施工の効果

従来工法（計画）とプレキャスト工法（実績）の比較を表-1 に示す。プレキャスト化による現場施工数量の削減は、コンクリート及び鉄筋で約 4 割、型枠支保工で約 5 割であった。現場施工数量の削減率が大きくなかったのは、現場打ち部である杭頭部及び端部スラブの割合が多かったためである。しかしながら、潮間作業となる支保工設置解体作業が半減したため、施工性が向上した。

表-1 従来工法（計画）とプレキャスト工法（実績）

		従来工法(計画)	プレキャスト工法(実績)
コンクリート量(場所打ち部)	m ³	12,000	7,700 (36%減)
鉄筋量(場所打ち部)	t	2,000	1,200 (40%減)
支保工数量	m ²	9,750	4,700 (52%減)
工程(上部工構築)	ヵ月	20	17 (15%減)

上部工の構築期間は 17 ヲ月で、従来工法の 20 ヲ月より 3 ヲ月の工程短縮となった。この要因は、先述のとおり、プレキャスト部材の製作を鋼管杭の打設と並行し、現場施工数量を削減したことが大きい。また、台風 1 回あたりの遅延が 3 日程度と少なかったことも要因として挙げられる。これは、現場施工範囲の縮小、限定によって、台風到来までにコンクリートの打設や支保工撤去等の工程促進及び養生がスムーズに行え、台風後も速やかに再開できたためである。

3. 海上コンベヤ基礎のプレキャスト施工²⁾

(1) 概要

海上コンベヤ基礎は、揚炭栈橋から荷揚げした石炭を陸上部の貯炭場へ輸送する燃料受入側の「石炭受入コンベヤ」と、発電後の石炭灰等を払い出すために副資材栈橋（石炭灰払出栈橋、重油石膏払出栈橋）へ輸送する「副資材コンベヤ」の 2 系列がある。海上コンベヤ基礎は、「石炭受入コンベヤ：22 基」、「副資材コンベヤ：20 基」である（図-8 参照）。そのうち、石炭受入側の深層取水設備近傍部の 2 基を除く 40 基を、プレキャストにより施工した。プレキャストブロックは、発電所構内の護岸際のヤードで製作し、200t 吊起重機船で浜出して、現地へ運搬・架設した。

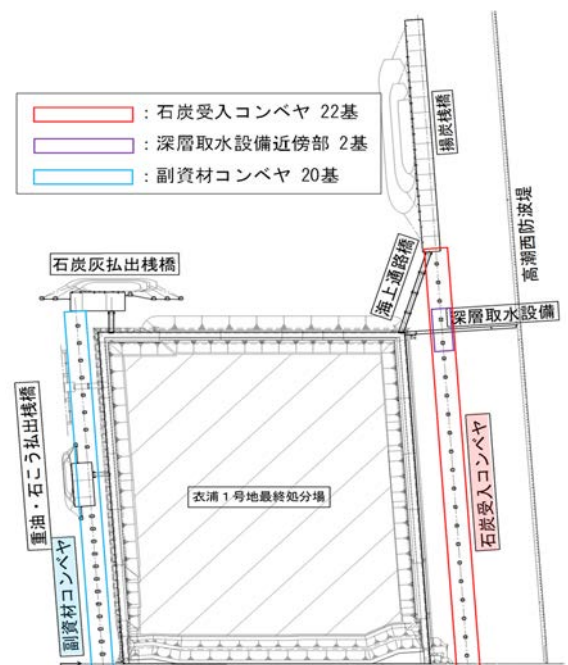


図-8 海上コンベヤ基礎 平面配置図

(2) プレキャストブロックの構造

プレキャストブロックの大きさは、石炭灰受入コンベヤ基礎と副資材コンベヤ基礎で若干異なるが、概ね平面寸法 4m～7m、厚さ 1.3～1.4m の直方体であり、最大重量は 680kN である（写真-8 参照）。プレキャストブロックには、既に打設された 4 本の斜杭（打込角 20 度、振角 45 度）へ架設するために、杭頭位置に 4 箇所の開口を設け、開口部内には、架設時に杭頭で支持される直交 2 方向の結構材を埋設した（図-9 参照）。プレキャストブロックの架設は、この結構材をレベル調整した杭頭天端に設置し、杭と溶接して仮固定する。開口寸法は、杭の出来形管理値である 100mm の偏心に対しても、プレキャストブロックの設置管理値内に設置可能な余裕度を考慮して設定した。また、開口部には、プレキャスト架設後に杭周りの補強鉄筋を配筋する。鉄筋は架設時に杭との干渉を避けるため、機械式継手を採用した。



写真-8 Pca ブロック

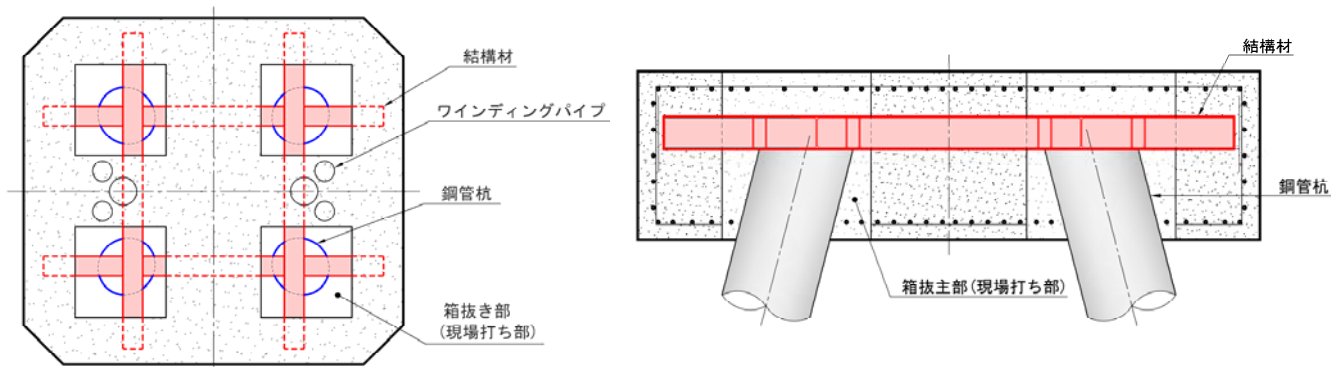


図-9 プレキャストブロックの構造（左：平面，右：断面）

(3) プレキャスト施工の効果

a) 設置精度の確保

プレキャストブロックの設置管理値は、天端高 $\pm 20\text{mm}$ 、平面位置 $\pm 50\text{mm}$ である。海上コンベヤ基礎の天端高を確保するためには、杭頭処理時のレベル管理が重要となる。事前に、プレキャスト内部に埋設した結構材とプレキャストブロック天端の相対位置を測定し、設置管理値を満たす杭頭切断レベルを 1 本ずつ算出し、ミリ単位で調整した。また、架設時のガイドとして、杭頭の余長部を切り残した。切り残す箇所は、躯体中央側と外側の 2 箇所（図-10 参照）で、4 本の杭全てである。プレキャストブロックの架設は、結構材をガイドに宛がい、プレキャストブロックを降下させた。ガイドに宛がうことより、平面の直交 2 方向及び回転を制御できたため、プレキャストブロックの設置誤差は、平均値で天端高 $+5\text{mm}$ 、平面位置 $\pm 15\text{mm}$ 程度と高い精度を確保できた（写真-9 参照）。

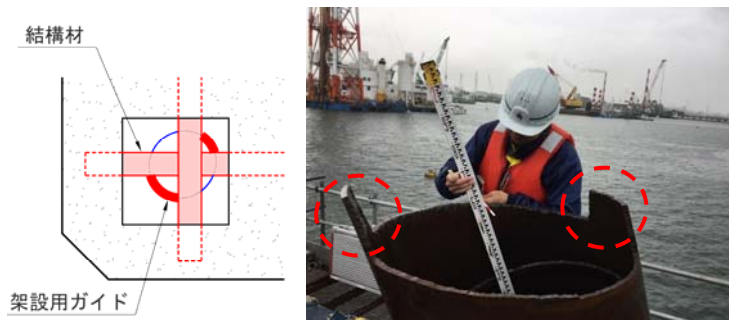


図-10 架設用ガイド（左：配置，右：形状）



写真-9 Pca ブロック架設状況

b) 安全性の向上

プレキャストブロックの架設は、通常、躯体の位置調整を行うために作業員が躯体近傍で作業する。しかしながら、本工事では、足場が海底面から約 10m の高所にあり、狭隘であることから作業員の退避場所がなく吊荷直下へ入る危険性があった。このため、作業員が足場上にいなくても、位置調整できる方法が必要であった。そこで、プレキャストブロックに取付けたカメラによる画像を用いて、架設を行った。カメラは全ての開口に 1 基ずつ計 4 基配置し、カメラの高さをプレキャストブロックの天端面にして、杭頭部と結構材が確認できるようにした（写真-10 参照）。監督者と作業員は起重機船上で、タブレットにより計 4 基のカメラ映像を確認した（写真-11 参照）。カメラの映像を杭配置と同じ 2 行 2 列にすることで、クレーンオペレーターへ明確な指示ができたため、起重機船上から介錯ロープによる位置調整のみで精度良く架設できた（写真-9 参照）。



写真-10 架設用カメラ配置（左：全体，右：拡大）

写真-11 タブレット画面

c) 工程短縮

プレキャスト施工は、従来工法と比べ、工程短縮にも寄与した。杭打設後の工程（1 基あたり）を比較すると、従来工法の場合は、支保工・底枠設置、鉄筋組立、側枠設置、コンクリート打設、型枠・支保工解体の一連の作業で 23 日/基（設備基礎を除く）の計画であった。一方、プレキャスト施工の場合は、海上作業でプレキャストブロック積出：0.25 日/基、架設 0.25 日/基、杭頭箱抜き部 8 日/基の合計 8.5 日/基であり、1 基あたり、14.5 日/基の工期短縮であった。よって、起重機船や台船の専有期間が短く、他工事を優先して施工できたため、工事全体の工程短縮に寄与できた。

4. 海上通路橋の一括架設

(1) 概要

海上通路橋は、衣浦 1 号地最終処分場と揚炭棧橋、石炭灰払出棧橋、重油石膏払出棧橋を結ぶアクセスウェイであり、橋梁形式は、揚炭棧橋部 4 径間（写真-12 参照）、石炭灰払出棧橋部 1 径間、重油石膏払出棧橋部 1 径間の PC 単純床版橋である。本工事の施工時期は、9 月～10 月の台風シーズンであり、また、桁下面レベルが海水面近傍（H.W.L 上、約 1.5～2m）のため、従来の海上施工（セグメント桁の連結、PC 鋼線の緊張、桁間詰め部、地覆部の施工）では、台風による波浪の影響を受ける可能性が高く、課題であった。



写真-12 海上通路橋架設位置（揚炭棧橋部）

そこで、これらの海上作業を揚炭棧橋上でを行い、一体化された PC 桁を大型起重機船により架設した。本稿では、揚炭棧橋部の海上通路橋について記述する。

(2) 海上通路橋の構造

海上通路橋はプレストレストコンクリート道路橋で、構造形式はポストテンション方式 PC 単純床版橋である。桁長 33.7m、有効幅員 6.0m、5 体のセグメント桁を PC 鋼線により結合した PC 桁 6 本で構成されている（図-11 参照）。一括架設時は、揚炭棧橋上でアスファルト舗装とガードレール等付帯設備を除く、地覆部まで構築する。一括架設時の吊上げ重量は、最大 7,400kN である。

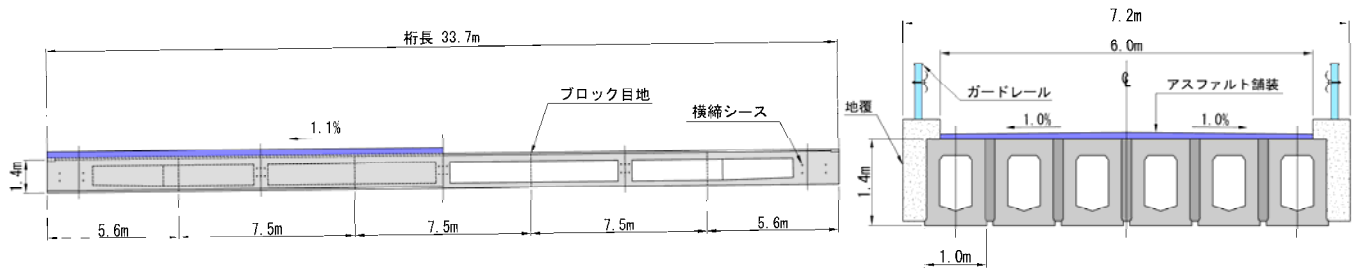


図-11 海上通路橋（1 径間分）の構造（左：側面図，右：断面図）

(3) セグメント桁の接合

セグメント桁は台船で運搬し、クローラークレーンで揚炭棧橋上に荷揚する。クローラークレーンの可動範囲は、クレーン架台上に限定されることから、移動式門型架構で 5 体のセグメント桁を所定の位置に移動させ、レバブロックを用いて接合した（図-12 参照）。

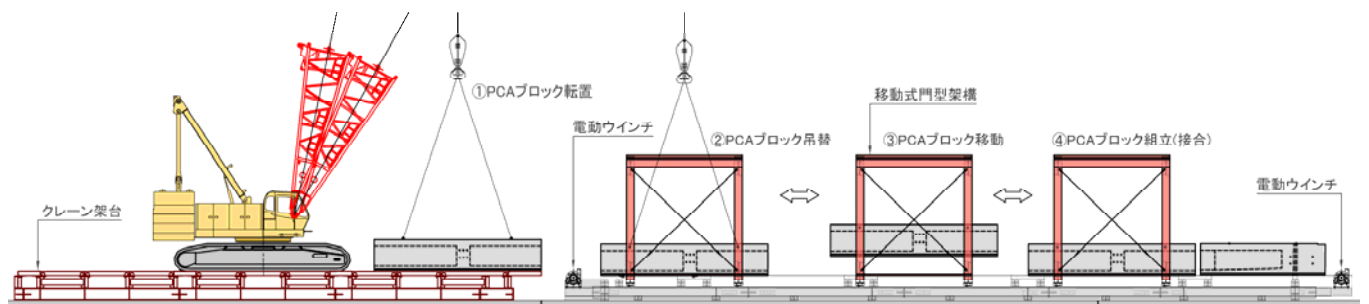


図-12 移動式門型架構によるセグメント桁の接合



写真-13 移動式門型架構によるセグメント桁の結合状況



写真-14 揚炭棧橋上で一体化された PC

(4) 一括架設

一体化した PC 桁は、1,400t 吊起重機船にて架設した。架設は 2 本の吊桁を用い、吊桁と全ての PC 桁を PC 鋼棒で連結し、支承位置で吊上げた。これは、支承位置以外で吊上げると架設後と支点条件が異なり、PC 桁に導入されたプレストレスにより、桁中央部がひび割れるためである。また、吊材の PC 鋼棒には、吊上げ荷重以上のプレストレスを導入した。これは吊上げ時に PC 鋼棒が伸び、曲げ変形して破断しないようにしたためである。



写真-15 吊桁設置完了

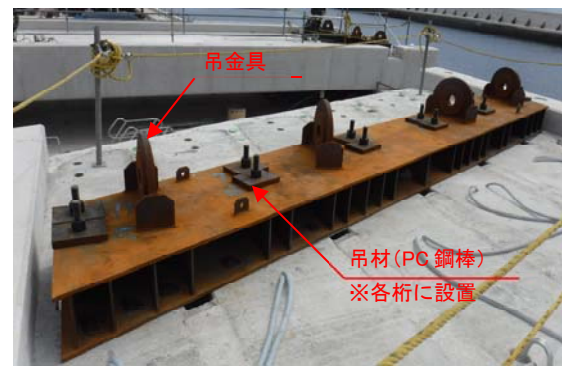


写真-16 吊金具, 吊材 (PC 鋼棒)

架設時における平面位置の制御は、橋脚上に設置したガイド材に PC 桁を添わせながら行った（写真-17 参照）。ガイドの配置は、橋軸直角方向用に 2 箇所である。橋軸方向は、先に設置した桁端部に間隔調整材を宛がい、ガイドとした（図-13 参照）。平面位置の管理値 $\pm 30\text{mm}$ に対して、橋軸方向、橋軸直角方向ともに $\pm 20\text{mm}$ 以内であった。

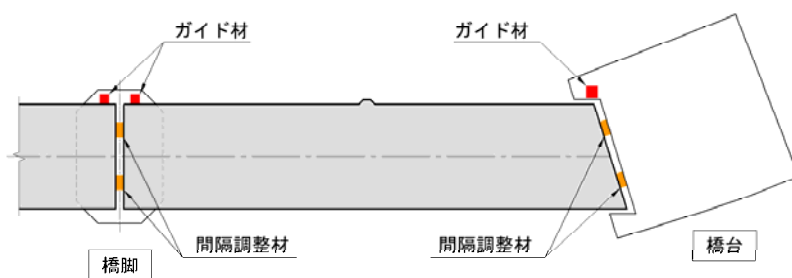


図-13 架設用ガイド 平面配置



写真-17 架設用ガイド

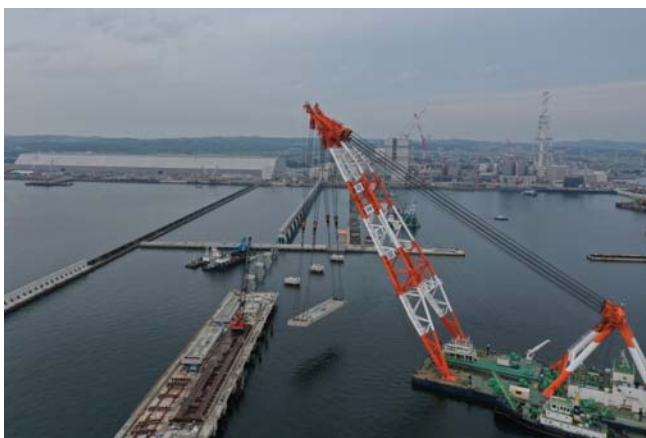


写真-18 海上通路橋の一括架設状況（左：揚炭棧橋上から移動，右：橋脚へ架設）

5. おわりに

本工事では、石炭灰払出棧橋、重油石膏払出棧橋においても、同様にプレキャスト施工を行った。近年、台風や爆弾低気圧等は強大化しており、海上での施工に大きな影響を及ぼしている。プレキャスト施工は、このような大規模な海洋構造物を工期内に、安全に、且つ品質を確保して施工するために有効な施工方法であると考えられる。本稿が、今後の海洋構造物のプレキャスト施工の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 山岡 大祐, 野勢 辰也, 服部 真未子: 大規模揚炭棧橋新設工事のプレキャスト化について, 土木学会第 74 回年次学術講演会講演集, VI-977, 2019
- 2) 高橋 克昌, 江草 弘章, 服部 真未子: 発電所海上コンベヤ基礎における上部工プレキャスト施工について, 土木学会第 75 回年次学術講演会講演集, VI-602, 2020