

南本牧ふ頭本牧線（VI工区）橋梁上部工事

～FCによる一括架設～

Project of Minami-Honmoku Line

齋藤 拓哉^{*1}

Takuya SAITO

荻野 勝典^{*2}

Katsunori OGINO

江野本 学^{*2}

Manabu ENOMOTO

中尾 祐一郎^{*3}

Yuichiro NAKAO

川原 桂史^{*4}

Keiji KAWAHARA

長谷川 孝一^{*5}

Koichi HASEGAWA

南本牧ふ頭では現在、大型化が進むコンテナ船に対応すべく大規模コンテナターミナルの整備を行っているが、陸上からのアクセスは現在1ルートのみであり、今後増大が見込まれる港湾関連交通量に対応することが困難となる。そこで、南本牧ふ頭と本牧ふ頭を繋ぐ新たな臨港道路として南本牧ふ頭本牧線を整備し、コンテナ輸送の効率化を図るとともに、首都高速道路および国道357号線と連結してより有効な道路ネットワークを構築する。

本橋は整備中である南本牧ふ頭本牧線の一部として、本牧ふ頭航路上の海上部に位置し、船舶の航行が多く、架設用栈橋やバント等の仮設設備の構築が不可能であるとともに、航路閉鎖時間の制約条件を受けることから、主桁を地組立ヤードにて大ブロック地組立を行った後、フローティングクレーンによる大ブロック架設工法にて施工を行った。

キーワード：地組立、フローティングクレーン、大ブロック架設、亜鉛アルミニウム合金溶射

1. はじめに

南本牧ふ頭では現在、大型化が進むコンテナ船に対応すべく大規模コンテナターミナルの整備を行っている。一方、陸上からのアクセスは現在1ルートのみで、今後増大が見込まれる港湾関連交通量に対応することが困難となる。そこで、南本牧ふ頭と本牧ふ頭を繋ぐ新たな臨港道路として南本牧ふ頭本牧線を整備し、コンテナ輸送の効率化を図るとともに、首都高速道路および国道357号線と連結して、より有効な道路ネットワークを構築する。本文では、整備中である南本牧ふ頭本牧線の一部として架設された、南本牧ふ頭本牧線（VI工区）橋梁上部工事について、工事概要や製作および架設について報告する。

2. 橋梁概要

本橋の架橋位置は海上部に位置し、最も海水面に近接する下フランジの離隔距離が約7mと近接していることから、塩害対策と将来のライフサイクルコスト縮減を目的に、防錆仕様は主構造だけでなく付属物の支承や落橋防止装置にも亜鉛アルミニウム溶射を採用した。

また、軟弱地盤上に架設される橋梁であることから、下部工への水平力を小さくするために免震支承とする。



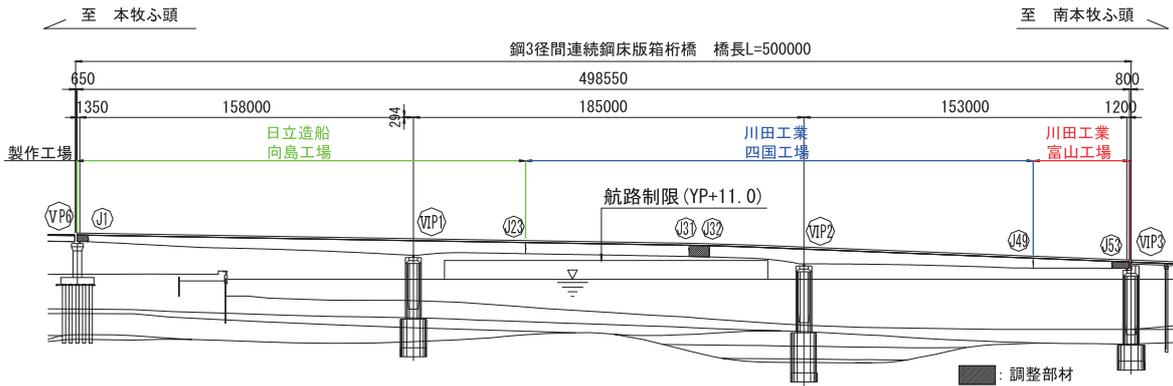
図1 架橋地点と地組立ヤード

支承形状をコンパクトにするために、水平・鉛直支持機構を分離させた、機能分離型免震支承を採用した。加えて、橋脚の周囲に設置する下部工検査路は、塩害対策として腐食による劣化が問題にならないFRP構造を採用した。

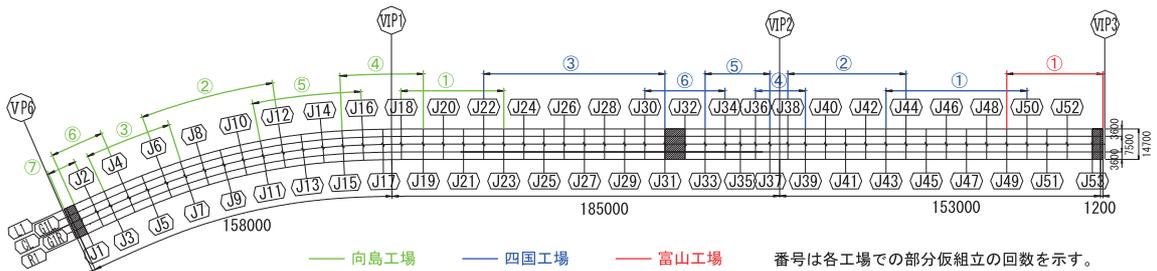
橋梁架設位置は本牧ふ頭航路上の海上部にあり、船舶の航行が多く、航路閉鎖時間等の制約条件を受ける。そこで、吊能力が3000tのフローティングクレーンにて架設する大ブロック架設工法で施工を行った。地組立は図1に示す架橋位置の対岸となる千葉県袖ヶ浦市の地組立ヤードにて3つの大ブロックに組立した後、東京湾内を鋼台船にて搭載および曳航した。構造一般図を図2に、架設計画図を図3に示す。

*1 川田工業(株)鋼構造事業部技術部東京技術課
*2 川田工業(株)鋼構造事業部工事事務部東京工事課 総括工事長
*3 川田工業(株)鋼構造事業部橋梁企画室 係長

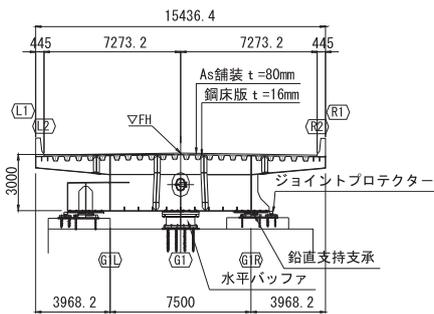
*4 川田工業(株)鋼構造事業部生産部四国工場橋梁技術課 係長
*5 川田工業(株)北陸事業部鋼構造部工事課



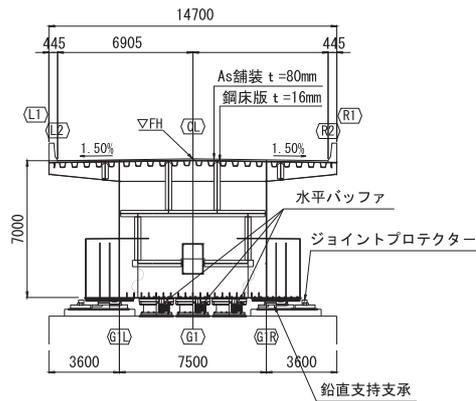
側面図



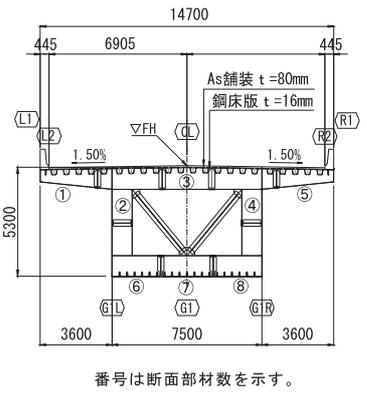
平面図



端支点断面図



中間支点断面図



標準断面図

図2 構造一般図

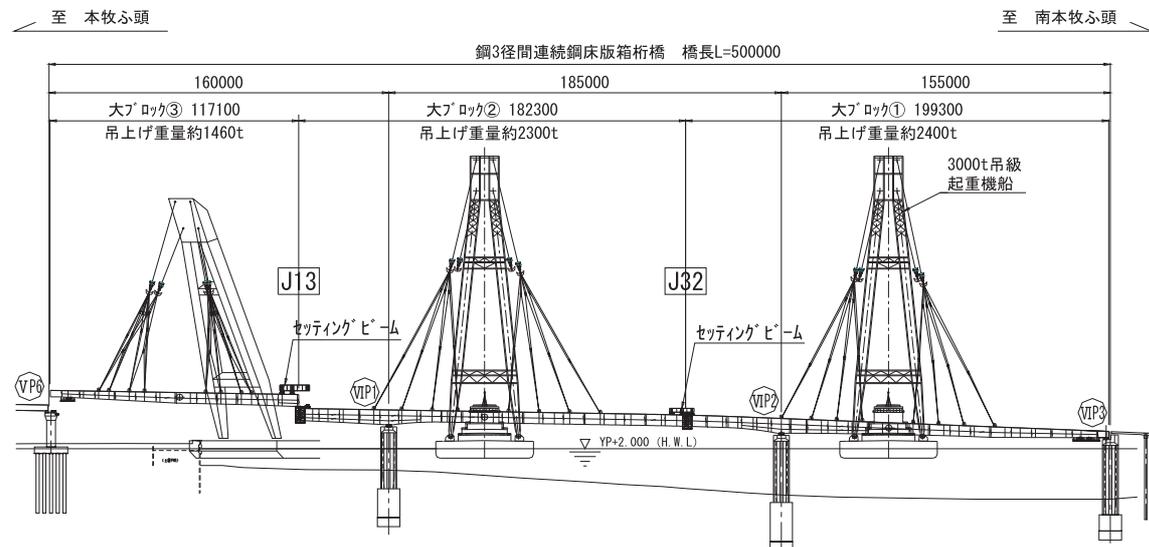


図3 架設計画図

3. 橋梁諸元

発注者：国土交通省 関東地方整備局 京浜港湾事務所
 施工者：川田工業・日立造船特定建設工事共同企業体
 所在地：神奈川県横浜市かもめ町地先
 工期：2013年10月23日～2016年3月25日
 形式：鋼3径間連続鋼床版1箱桁橋
 橋長：500m
 支間長：158 + 185 + 153m
 総幅員：15.450～14.700m
 鋼重：約5000t

4. 製作について

(1) 部材組立精度の向上

本橋は架設単位となる3つの大ブロックに分けられ、最長となる大ブロック①は橋軸方向に22部材から構成されている。1部材は**写真1**に示す箱桁断面であり、**図2**の標準断面図に示す8分割された断面部材で構成しており、中間支点部近傍は主桁高さが約7mあることから、最大11分割された断面部材で構成されている。

このように、複数の断面部材を組み合わせて大ブロックを構成していることから、部材組立時の出来形精度を向上させることが、架設完了時の精度向上に対して重要な要因となる。

以下に、各製作段階で講じた対策を示す。



写真1 1部材の仮組立状況

① 1部材の組立精度向上

最大11個で構成されている断面部材を組立する場合、個々の部材には製作誤差が生じているため、この誤差により部材の継手線が揃わない状態が想定された。

そこで、断面部材をあらかじめ20mm程度の余長を考慮して製作し、1部材の仮組立完了後に部材長を計測・再野書きを行い、余長部分を切断して継手線を揃えることで、1部材の製作精度を向上させた。

② 部分仮組立

1部材の仮組立が完了した後、光波測距義を用いて出



写真2 部分仮組立状況

来形寸法を計測し、その結果を用いて3次元シミュレーション仮組立を実施した。この結果より、鋼床版および下フランジの縦リブ継手部の添接板孔間隔を決定・製作することで、部分仮組立全体の出来形精度を向上させた。

なお、仮組立は架設工程に対する遅延リスクを軽減するため、架設単位となる3つの大ブロック部材をさらに分割し、橋梁全体で14分割された部分仮組立を実施した。部分仮組立状況を**写真2**に示す。

③ 仮組立境界部の重複仮組立

本橋は、3工場（川田工業：四国工場・富山工場、日立造船：向島工場）での製作体制としたため、各工場で作成した工区境の部材を横持ち輸送して、重複仮組立を実施した。また、工場間の添接部に使用する添接板についても、各工場での部材仮組立データを共有して製作することで、添接部の精度確保に努めた。

④ 調整部材

下部工の出来形誤差および球面補正量を調整するため、各支間に調整部材を設定した。調整部材の位置は**図2**平面図に示す。調整部材は3工場が1部材を担当することで、現地測量結果による調整量決定後に同時着手可能な体制とし、工程短縮への配慮も行った。

⑤ 橋梁全体のシミュレーション仮組立

部分仮組立によって得られた仮組立単位ごとの出来形寸法をもとに、橋梁全体の3次元シミュレーション仮組立を実施した。全長における規格値 $\pm 59.6\text{mm}$ に対して3次元シミュレーション仮組立では -10.1mm となり、橋梁全体の仮組立精度が規格値を満足していることを確認した。

(2) 工場塗装

本橋の外面塗装は、架橋地点が海上部であると共に、ライフサイクルコストを縮減する観点から、**表1**に示す防錆能力の高い亜鉛アルミニウム合金溶射が採用された。なお、採用範囲は主構造だけでなく、付属物の支承や落橋防止装置についても同様の塗装仕様とした。

外面塗装に溶射仕様を選定した場合、図4に示すようにスカーラップ内や主桁および側縦桁ウェブ近傍の縦リブ側面は溶射施工が困難となる。そこで、この箇所には、表2に示す溶射困難部の重防食塗装仕様を採用した。

表1 外面溶射仕様

	塗装工程	塗料名	目標膜厚(μm)
外面一般部	2次素地調整	プラスト処理 ISO Sa2 1/2 以上	—
	金属溶射	亜鉛アルミニウム合金溶射	150
	封孔処理	変性エポキシ樹脂系封孔処理剤	—
	中塗	フッ素系樹脂塗料用中塗	30
	上塗	フッ素系樹脂塗料用上塗	25

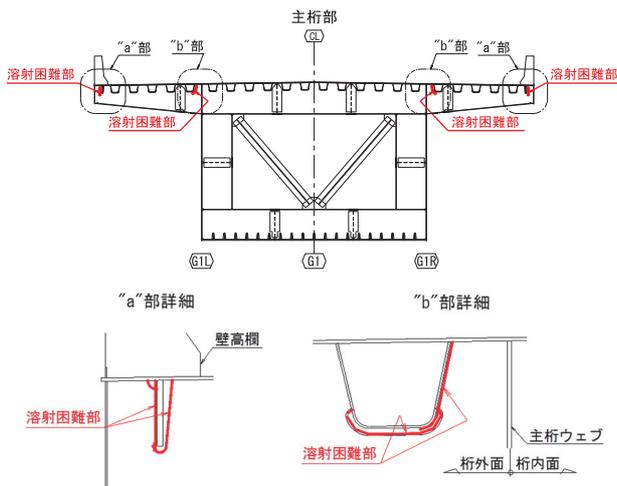


図4 溶射困難部

表2 溶射困難部塗装仕様

	塗装工程	塗料名	目標膜厚(μm)
溶射困難部	2次素地調整	動力工具 G-c ISO St3 以上	—
	下塗 第1層	有機ジンクリッチペイント	75
	下塗 第2層	有機ジンクリッチペイント	
	下塗 第3層	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	
	下塗 第4層	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	
	中塗	フッ素系樹脂塗料用中塗	30
	上塗	フッ素系樹脂塗料用上塗	25

(3) 輸送時の配慮

製作・塗装が完了した部材は、海上輸送により千葉港へ搬送し、そこから地組立ヤードまでトレーラーによる



写真3 輸送専用架台

陸上輸送を行った。

海上輸送では、航海中の塩分付着を防止するため、全部材を内航船での輸送を採用した。なお、輸送中の船内での安定した部材設置および固縛に対応するため、写真3に示す輸送専用架台を設置して断面部材を積み込んだ。また、海上輸送前には固縛状態を第三者機関（海事検定協会）に確認させ、合格認定を得てからの出航とすることで、更なる安全航行への対策を実施した。

なお、海上輸送で使用した輸送専用架台は、内航船から陸揚げし、そのまま架台ごとトレーラーに積み込み可能な部材一体構造を採用した。これにより、部材輸送時の十分な安全対策に加えて、輸送中継地での輸送、積み込みおよび固縛作業の効率化が図られた。

5. 架設について

(1) 地組立

工場製作された部材は、地組立ヤードにおいて断面部材を組立、架設単位となる大ブロック化を行った。写真4に施工状況を示す。

地組立はヤードの敷地条件から、図5に示すように3つの大ブロックを平行配置とした。その結果、岸壁より一番離れた配置となる大ブロック③は、フローティングクレーンの吊上げ可能範囲から外れ、地組立位置から直接の吊上げに対応できないことから、予めベント下に移動可能な横移動装置を設置しておき、地組立完了後、岸壁側へ約10m横移動させた後、吊上げ作業を行った。



写真4 地組立ヤードにおける断面部材の地組立

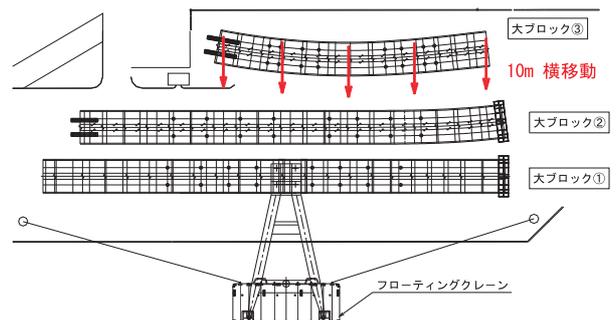


図5 地組立ヤードにおける大ブロック配置図

（2）地組立部材のヤード溶接および非破壊検査

地組立ヤードでの部材添接は、主部材となる鋼床版、ウェブ、下フランジには溶接継手が採用されており、溶接キャンバーに影響を与える橋軸直角方向の継手を優先施工することで、地組立時の出来形確保に努めた。図6にヤード溶接順序を示す。

溶接方法は、板厚 16mm までの鋼床版にはサブマージアーク溶接を、17mm 以上の鋼床版とウェブおよび下フランジにはガスシールドアーク溶接にて施工を行った。

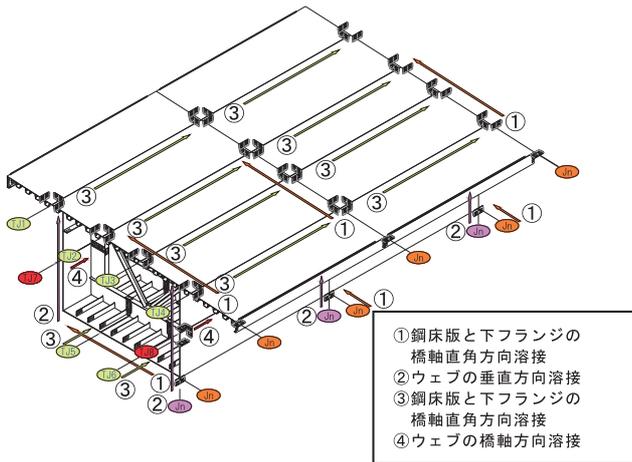


図6 溶接順序図

溶接完了後の非破壊検査は、放射線透過試験を基本とした。しかし、板厚 40mm 以上の支点上下フランジの突合せ継手や、板厚差 10mm を超える板厚変化部のテーパ部分では、放射線透過フィルムに撮影される照度が相違することから、適切に溶接欠陥を検出することができないため、超音波探傷検査を採用し溶接品質を確保した。

（3）地組塗装

部材添接作業完了後に、地組立ヤードにて添接部の現場塗装作業を行った。主構造の現場溶接外面は、表1に示す工場塗装と同じ仕様の亜鉛アルミニウム合金溶射を行った。また、鋼床版下面のUリブ継手部や箱桁外側のブラケット継手部には高力ボルト継手が採用されており、ボルト添接部においても防錆性能を高めるため、高力防錆ボルトが採用された。なお、ボルト本締め完了後、ボルト頭は溶射困難部の塗装仕様を採用して塗装を行った。

（4）浜出し

大ブロック架設に先立ち、3つの大ブロックを3000 t 吊のフローティングクレーン「富士」にて地組立ヤードから桁を吊上げる、浜出し作業を行った。大ブロック①の浜出し状況を写真5に示す。

浜出し時において、フローティングクレーンで吊上げられることで大ブロック部材は、鉛直方向に変形すると



写真5 浜出し（大ブロック①）

ともに、部材端部は桁中心側に水平方向へ移動することが想定された。このとき、部材端部を支持するベントは、桁中心への水平移動により転倒のおそれがあるとともに、主桁下フランジ部材の損傷が懸念された。そこで、大ブロック吊上げ箇所を8点から16点に増設して吊上げ時の変形を低減させるとともに、ベント部材頂部にテフロン板を敷設し、水平移動時の部材への損傷を低減させた。

（5）台船搭載

浜出し完了後、架設地点までの海上輸送には25,000 t 積鋼台船を採用し、千葉県木更津市から架設地点へ曳航した。輸送ルート上には大型船舶の往来のある東京湾アクアライン東水路を横断しなければならないため、横浜海上保安部と千葉海上保安部と横断スケジュール等を協議し、曳航航路を決定した。大ブロック②の曳航状況を写真6に示す。



写真6 大ブロック部材の曳航状況

（6）大ブロック架設

本橋の架橋位置は航路上に位置し、作業時間に制限があることから、予め航路から外れた岸壁を借用しておき、ここに曳航した鋼台船を停泊させた。大ブロック部材は、架設前日の夜間にフローティングクレーンにて予め吊上げておき、架設当日の朝、航路閉鎖となる午前6時に航路内に入るように早朝から準備を行った。

その結果、航路開放時間の午後6時までに架設を完了し、航路閉鎖を解除することができた。大ブロック②の架設状況を写真7に示す。



写真7 大ブロック架設（大ブロック②）

(7) 大ブロック架設完了後の添接部の調整

3つの大ブロック架設完了後に、現場添接部となるJ13およびJ32における鋼床版上面の高さや主桁断面のねじれおよび部材間隔を把握するため、セッティングビームおよび仮設資機材の荷重を考慮した3次元立体骨組解析を、事前に実施して数値を算出した。

解析結果から架設完了時には、添接部J13の鋼床版側で2.2mm、添接部J32の下フランジ側で15.7mm、部材の間隔が広がることが分かった。そこで、添接部J13では、写真8に示す鋼床版に設置した橋軸方向間隔調整設備にて部材の間隔調整を行った。なお、添接部J32では下フランジ側に設置された、同治具にて間隔調整を行った。



写真8 橋軸方向間隔調整設備

さらに大ブロック③では、平面線形R=290mとなる曲線桁の影響により、添接部J13で主桁断面がねじれ、仕口が合わないとの結果を得た。対応策として、VI P1橋脚上で架設の完了した大ブロック②のG1R側を約13mm（G1Lは0mm）上げ越すことで桁断面が一致することが確認されたため、実施工に反映するとともに、写真9に示すセッティングビームに設置した調整設備にて高さおよび通りの調整も行った。

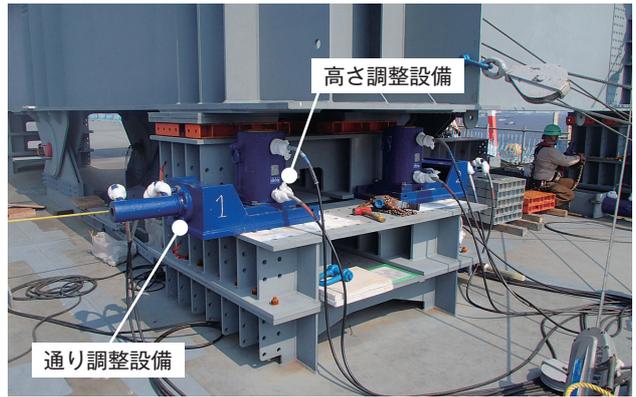


写真9 高さおよび通り調整設備

また、架設完了から現場添接部の溶接および高力ボルト添接が完了するまでの期間（約1ヶ月）は、主桁は支承に固定されておらず、その間の日射の影響による主桁位置の平面移動が懸念された。

そこで、全橋脚（4橋脚）に、橋軸・橋軸直角方向の移動を拘束するとともに、最終調整が可能な調整設備を配置し、架設作業完了後の平面位置精度を確保した。写真10に橋軸直角方向の調整設備を示す。

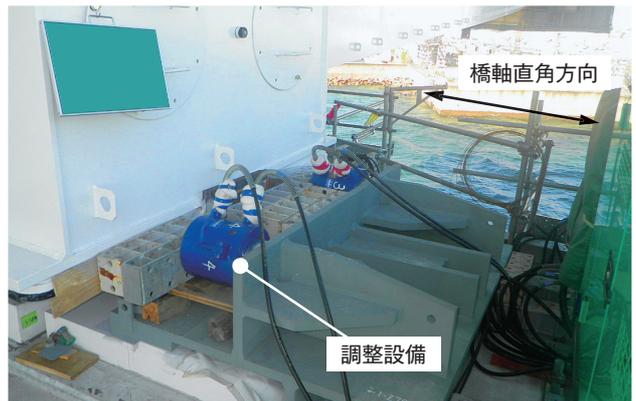


写真10 橋軸直角方向調整設備

6. おわりに

本工事は、約2年半という工事期間のなかで、諸々な課題を解決しながら、2016年3月に竣工を迎えることができた。架設完了状況を写真11に示す。

なお、国土交通省関東地方整備局 京浜港湾事務所の方々には、多大なるご指導・ご協力を賜りました。ここに厚く御礼を申し上げます。



写真11 架設完了