

## 論文・報告

## 東京港の新しいランドマーク

## ～東京ゲートブリッジの架設工事～

## Project of Tokyo Gate Bridge

小玉 芳文 \*1  
Yoshifumi KODAMA

宗村 基弘 \*2  
Motohiro MUNEMURA

岩崎 義信 \*3  
Yoshinobu IWASAKI

江野本 学 \*3  
Manabu ENOMOTO

盛 伸作 \*4  
Shinsaku MORI

畑 崇憲 \*5  
Takanori HATA

東京港臨海道路Ⅱ期事業として進められている中央防波堤外側埋立地から東京都江東区若洲に至る約 4.6km の区間のうち、東京東航路（第 3 航路）を跨ぐ海上部約 2.9km が国土交通省関東地方整備局が管轄している「東京ゲートブリッジ」である。

本工事は、東京ゲートブリッジの主橋梁部となる鋼 3 径間連続トラス・ボックス複合橋の側径間部のトラス架橋工事である。東京都江東区有明および千葉県富津の 2 箇所に設けた地組立ヤードにおいて組立てた大ブロック側径間トラスを、国内最大級の台船により東京湾内を海上輸送し、国内最大の起重機船 3 隻による相吊一括架設を行った。

キーワード：東京ゲートブリッジ、トラス、大ブロック、大型起重機船、3 隻相吊、一括架設、台船輸送

## はじめに

東京ゲートブリッジは東京東航路（第 3 航路）上に位置し、中央防波堤外側埋立地（以下、中防側と称す）から東京都江東区若洲（以下、若洲側と称す）に至る区間の東京港臨海道路Ⅱ期事業として工事が進められている。

東京港臨海道路は、完成後にコンテナを積載するトレーラー等の重量交通の混入率の大きい路線となるため、本橋には疲労耐久性の高い構造の採用をはじめ、設計、製作面において数多くの新技術（本技報 Vol. 28, 29 参照）が導入されている。このような特徴を持つ本橋の架設工法には、大型起重機船（以下、FC と略す）による 3 隻相吊一括架設工法が採用された。

本技報ではこれまでに、工場製作編および地組立編と

して報告しており、本稿は、これらの続編となる架設編として報告するものである。

## 1. 橋梁概要

工事名：東京港南部地区臨海道路橋梁上部築造工事

形式：鋼 3 径間連続トラス・ボックス複合橋

橋長：792.0 m

支間長：160.0 + 440.0 + 160.0 m

総幅員：22.3 m（弦材中心）

有効幅員：18.5 m（車道部 15.5 m，歩道部 3.0 m）

活荷重：B 活荷重，群集荷重

床版：鋼床版  $t = 16$  mm

使用鋼材：鋼材；BHS500（※），SM490Y，SM400

ボルト；S10T，F10T（防錆処理高力ボルト）

※平成 20 年，JIS G3140（SBHS500）として制定された。



図 1 完成予想図

\*1 川田工業㈱ 橋梁事業部東京工事部長  
\*2 川田工業㈱ 橋梁事業部東京工事部 総括工事長  
\*3 川田工業㈱ 橋梁事業部東京技術部 課長

\*4 川田工業㈱ 橋梁事業部東京工事部 係長  
\*5 川田工業㈱ 橋梁事業部東京技術部

## 2. 架設工事における制約条件

本橋の架設工事に際しての主な制約条件は次の通りである。

- ・ 架設地点が羽田空港の空域制限下の区域であり、上空では高さ制限を受ける。(AP+97.0m:完成時)
- ・ 東京東航路の航路制限を受ける区域であり、大型船が航行可能な航路幅と航路高の確保が必要となる。(航路幅:300m, 航路限界高さ:AP+54.6m)
- ・ 国内最大のFCを3隻使用する架設工法のため、3隻を同時に確保するとともに、海上輸送においても国内最大級の台船が必要となった。

そのほか、3隻相吊一括架設が予定された時期が台風シーズンと重なる9月であったことから、悪天候に対するリスク管理、中防側と若洲側の連続施工の実施になったことから、架設当日までの綿密なスケジュール管理および作業当日の詳細なタイムスケジュール管理が求められた。

## 3. 側径間トラスのFC3隻相吊一括架設

### (1) 吊点数の計画

通常、FC1隻あたりの吊点数は4フックであることから8点吊りもしくは16点の分散吊りが採用されている。本橋においても16点吊りによる基本計画がなされていたが、FC3隻の相吊を想定した場合、吊反力の均一化と3隻の荷重バランスの調整が困難になることや各部の構造が複雑化することが予想されたため、吊点数を削減し構造を単純化した2点集中吊形式を採用した。

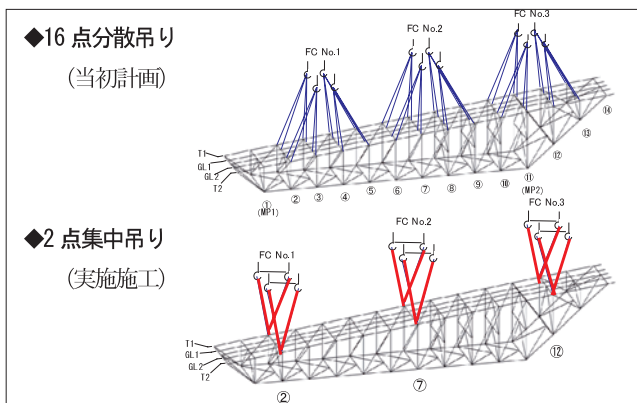


図2 吊点数の計画

### (2) 一括架設時の反力・重心算出

浜出しから架設に至る各段階の計画において、反力と重心を精度良く算出することが重要な課題となった。特に本橋のように非対称な重量物においては、重心の精度が悪いとFCへ荷重を負荷する段階で吊荷が左右に振れ、ベント設備の転倒等重大な災害を招く恐れがある。このため、重心の算出にあたっては、ボルトの孔引きを考慮

した主構造本体重量のほか、付属物重量、溶接材料、塗料等を考慮し、仮設材等の設置位置に関しても構造解析に精度良く反映した。

### (3) FC3隻相吊一括架設に対する主な管理項目

#### a) 荷重の管理

荷重管理モニター(写真1)上に一元表示させた各FCのフック反力(吊荷重)をリアルタイムで監視し、吊荷重目標値に対して10%以内になるように管理した。この荷重管理モニターは、架設指揮本部のほか各FCにも設置し情報を共有した。



写真1 荷重管理モニター

#### b) ジブ高度の管理

施工地点が羽田空港の空域制限下に該当するため、各FCのジブ先端にGPSを設置し、無線LANによりモニター(写真2)上に一元化させ高度管理を行った。



写真2 ジブ高度管理モニター

#### c) FC位置の管理

側径間トラスの吊上げ時や吊上げ後に行うFC3隻同時の約100mの前進・後退作業に際し、各FCの相対位置の差を管理する必要がある。相対差が生じると、FCの吊反力が変化し、側径間トラスの橋体やFCに影響を及ぼすため、管理目標値として1m以内を設定した。

この管理方法としては、前述のジブ先端のGPSに加えバックステイにもGPSを設置し、各FCの平面位置をモニター(写真3)上で一元管理した。モニターには、あらかじめFCの正規配置をデータに組み込み、平面位置の差を管理できるように設定した。

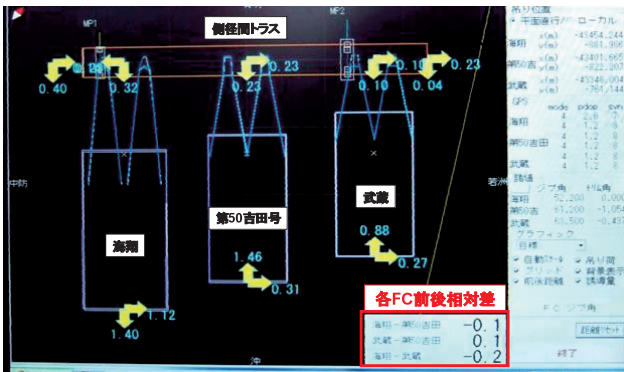


写真3 FCの相対位置管理モニター

d) 揚程の管理

各FCごとに巻き上げ巻き下げ速度が異なるため、揚程の管理を行った。

基準FCとした「海翔」（後述の同調試験により決定した）の揚程を逐次無線連絡し、他のFCはその揚程に同調させて巻き上げ巻き下げ作業を行った。



写真4 揚程管理

e) 吊上時姿勢の管理

前述のFCに関する管理に加え、側径間トラス橋体の吊上げ姿勢に対する管理を行った。

側径間トラス橋面上の平面重心位置に設置したモーションジャイロセンサー(加速度計)により、平面軸方向(YAW)、断面回転(ROLL)、前後回転(PITCH)、方位角(HEADING)を自動計測しモニター(写真5)上で管理した。

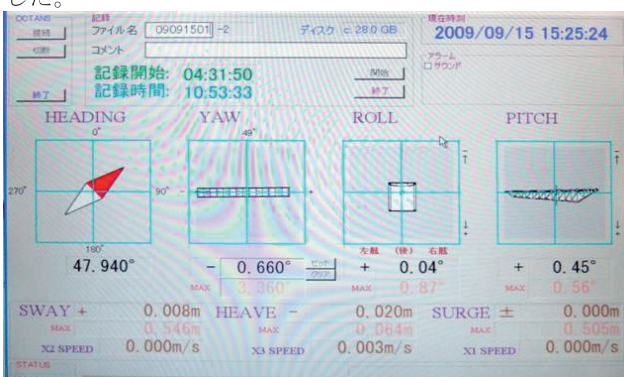


写真5 吊上げ姿勢管理モニター

f) FC3隻の同調確認試験

FC3隻相吊による浜出し・架設を遂行するために、前述の管理項目に対する管理値を設定し各種機器類の設置を行った上で、下記の同調確認試験を実施した。

・巻き上げ、巻き下げ同調確認試験(高さ30m)

各FCにより速度が異なるため、相対速度差から基準FCを決定(「海翔」に決定)し、同調連携確認を行った。

・前進、後退同調確認試験(距離100m)

FC3隻の中央に配置した「第50吉田号」を基準FCとし、同調連携確認と各FCの係留アンカーワイヤーの配置状況等の確認を行った。

・試験吊(50%負荷)

同調確認の最終試験として、各種管理システム、人員配置、指揮・連絡システムを再確認した上で、吊荷重の50%まで荷重負荷を行い、側径間トラス橋体およびベント設備等の状況確認を行った。その際、数箇所のベントにおいて架台からの浮きが生じたが、予定通りの挙動であり、橋体変形についても計画通りであることが確認できた。

(4) 浜出し

一括架設を行う側径間トラスは、全長232m、全幅24m、全高35m、重量約6800tであり、吊上げ総重量は約7400tに及んだ。浜出しは、国内最大能力の4100t吊「海翔」をはじめ、3700t吊「第50吉田号」および「武蔵」のFC3隻による相吊りにより行った。FC3隻の配置は、橋体の重量バランス、各FCの吊能力を踏まえて決定した。3隻のうち最大吊能力を有する「海翔」が負担重量の少ないトラス端部側に配置されたのは、上空の高さ制限によりジブを倒す必要があったためである。

2009年9月に予定された浜出しは、中防側トラス地組立ヤードの東京都江東区有明と若洲側トラス地組立ヤードの千葉県富津の2箇所において実施した。台風時期と重なったため、中防側2回、若洲側1回の延期を余儀なくされたが、浜出し当日は風も取りタイムスケジュール通りに作業が進められた(写真6)。

浜出し時の最大の課題であったFC3隻の同調は、試験吊の実施成果が発揮できた。また、重心算定を精度良く行い計画に反映した結果、吊上げ時の橋体の振れはまったく生じていない。(浜出し日：中防側 2009年9月11日、若洲側 9月23日)

(5) 台船搭載

架設地点までの海上輸送には、24000t積鋼台船(オーシャンシール、写真7)を使用した。計画当初は、35000t積鋼台船を予定していたが、2008年の台風により座礁し



写真6 浜出し状況（中防側）

廃船となったため、急遽、輸送台船の見直しを行った。架設時期に使用できる台船の確保は困難を極め、最終的には、半没式台船の大幅な改造・補強により適用させた。

側径間トラスの台船搭載時は、搭載荷重による船体の変形に伴う耐力超過を防止するため、海水約9 000t分のバラスト調整と荷重載荷の並行作業を行った。その際、バラスト量および船体姿勢等をモニター管理した（写真8、写真9、写真10）。

搭載荷重による船体の変形に加え、側径間トラス橋体の変形が生じるため、8箇所設けた受け架台には、これらの変形に追従可能なすべり機能を有する構造を採用した。



写真7 艀装中の輸送台船（オーシャンシール）



写真8 台船搭載状況（若洲側）

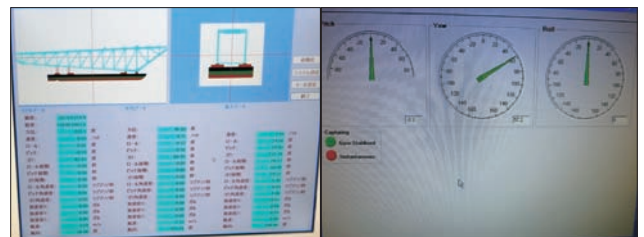


写真9 船体状況

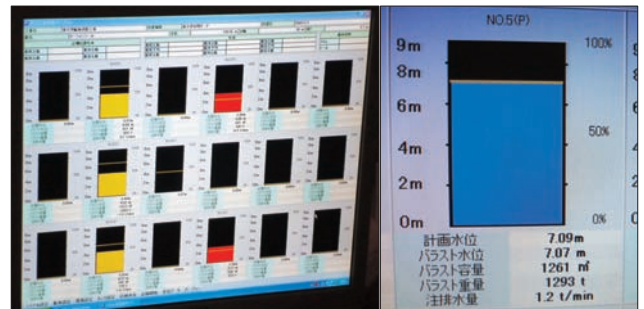


写真10 バラスト調整状況確認

(6) 台船輸送

海上輸送距離は、有明から約4km、富津から約34kmとなり、側径間トラスを搭載した台船は、4000PS級曳船4隻により架設地点まで曳航した。輸送ルート上には東京東航路があるため、海上保安庁との協議により航路を閉鎖し航路内を曳航した(写真11)。



写真11 台船による海上輸送(中防側)

(7) 入域

架設地点に隣接する東京東航路は一部を閉鎖し、海上に航泊禁止区域として工事区域を設定した。架設地点への入域に際しては、幅300mの航路を最小で190mまで縮小していること、今回の海上輸送では航路側からの入域ができないこと、周辺の堤防や護岸部までの離隔距離が少ないことなどを踏まえ安全最優先を遵守し、FC2隻、台船、FC1隻の順に入域させた(写真12)。



写真12 架設地点入域状況(若洲側)

(8) 架設

輸送台船からの水切り作業は、浜出し時と逆の要領でバラスト調整との並行作業により行った。

橋脚から約70m離れた位置に輸送台船を誘導した後、水切りを行い(写真13)、約15m巻き上げた状態でFC3隻を同時に約45m後退させ、輸送台船を出域させた。

その後、FC3隻同時に約115m前進し、所定の位置に架設した。中防側、若洲側共に側径間トラス架設基準位置に対して2mm以内の精度で架設は完了した(写真14、15)。(架設日：中防側 2009年9月15日、若洲側 9月28日)



写真13 水切り状況(中防側)



写真14 架設状況(中防側)



写真15 架設完了(中防側)

4. 上部トラスの架設

大ブロック架設した側径間トラス上に設置する上部トラスは、当工事において唯一工場仮組立を実施した部分である。しかし、上部トラスと接合する側径間トラスは地組立ヤードにおいて組立中であり、対物による接合確認ができなかったため、連結部をあらかじめ長めに製作しておき、側径間トラスの地組立完了時の計測結果に基づくシミュレーションによる数値管理を行い部材長に反映させた。

鋼重約1 000tの上部トラスは、架設後に支点支持となっている側径間トラス上で単材架設を行った。架設に使用する450t吊クローラークレーンは、地組立ヤード（江東区有明）において事前に組み立てた上で1 400t吊FCによる吊曳航を行い海上約60mの桁上に設置したクレーン架台に搭載した（写真16、17）。



写真16 架設クレーンの吊曳航状況



写真17 架設クレーンの桁上搭載状況

上部トラス部材は、架設完了後に無応力（後架設となる中央径間トラス架設以降の荷重に対して抵抗する部材となる）にする必要があった。また、支点支持状態となっている側径間トラス上での単材架設に際しては、仮設材を含む死荷重と温度による橋体の変形を考慮した施工が求められた。したがって、各部材の架設段階における、架設クレーンや作業補助クレーン等の据付位置、上部トラス部材の仮置き位置、その他資機材等の配置計画を綿密に行い、構造解析へ死荷重データとして精度良く反映させた。また、温度による影響に対しては、部材の温度変化や部材間の温度差による橋体変形の考慮が必要となるため、実際の桁温度と側径間トラス形状の計測結果に基づく変形特性を構造解析に反映させ、上部トラス架設用の管理表を作成した。

上部トラス架設に際しては、当日の部材温度を計測した上で、事前に用意した管理表に基づき架設する部材の方向を決定した。架設作業に並行して、トータルステーションによる部材計測のほか、連結部の目違いおよびルートギャップ計測を行い架設精度を確保した。

上部トラス部材の最終ブロックとなる上弦材部材（中弦材に連結する部材）は、架設直前の計測結果に基づき、現地にて部材長の調整および開先成形を行った。



写真18 上部トラス単材架設状況（中防側）

## 5. 端部ケーブル

本橋の端支点部（写真18の右側橋脚部）には、レベル2地震動に対する負反力対策として1支承あたり12本（1脚あたり24本、長さ約25m、完成時張力 20 100kN/12本）のPC鋼より線によるケーブル（以下、端部ケーブルと称す）の設置が計画されていた。この端部ケーブルの定着部は、上端となる端支点部下支材の上面および下端となる橋脚内中間スラブの下面となっており、上下端共に弾性的な部材に定着する構造特性を有している。

端部ケーブルへの張力導入は、側径間トラス架設後に所要の全張力を導入した場合、施工途上における反力の増加により支承の耐力を超過することが判明したため、側径間トラス架設後および上部トラス架設後の2回に分割して行った。また、各回の張力導入は、ジャッキスペースの制約から、1群（12本）の端部ケーブルを同時緊張することが困難であったため、1群あたり6本の同時緊張とした。したがって、左右の支承部合わせて12本の同時緊張とし、ジャッキの盛替えを3回実施し所要張力の導入を完了させるものとした。

張力計測に際しては、端部ケーブル定着部の構造特性やジャッキの盛替えにより先行導入した張力の変動が比較的大きいことが予想されたこと、ジャッキによる緊張など現場作業性を踏まえた効率的な計測が必要になること、本数の多い端部ケーブルの張力を精度良く同時に計測できることなどが求められた。このため、張力計測にはロードセル法を採用した。

ロードセルは、ワッシャー型のものを製作し、各端部ケーブルの下端部に設置した。また、導入張力をリアルタイムで確認可能な緊張管理・計測システムを構築し、モニターによるロードセル情報の一元管理を実施し、ジャッキ作業者との連携を図った。これにより、導入張力の微調整が可能となり、精度良く各端部ケーブルの張力バランスの取れた緊張管理ができた。

## 6. あとがき

本工事で採用したFC3隻による大ブロックの相吊は国内で過去に3例しかなく、1993年以来16年ぶりというまさに歴史的な大規模工事となった。東京ゲートブリッジは2010年7月現在、本工事に引き続き、別途発注工事による中央径間トラスの架設が完了しており、中央径間箱桁の架設を経て完成する予定である。

最後に、本工事の製作、施工にあたりご指導を賜りました、国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所、(財)港湾空港建設技術サービスセンター、FC3隻相吊の基礎をつくられた(社)日本海上起重技術協会ならびに各方面でご尽力いただきました関係各位に紙面を借りて厚く御礼を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 千葉, 相川, 小玉: 東京港臨海大橋 (仮称) の施工, 第13回 鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, 土木学会 鋼構造委員会, pp. 63-75, 2010.



写真 19 端部ケーブル配置 (施工中)



写真 20 端部ケーブル上端定着部 (完成時)



写真 21 完工時の全景 (手前が中防側)