

アイランドシティ・雁の巣連絡橋（仮称）の設計と施工

前田 直寛¹⁾ 小崎 正男²⁾ 亀尾 順一郎³⁾ 岡田 崇⁴⁾

福岡県博多湾の東部に位置するアイランドシティ地区では、平成6年7月から国、福岡市、博多港開発株式会社の3者による埋め立て事業を行っている。新しく造成される土地は401haに及び、その主な利用目的は港湾関連用地、ふ頭用地、研究施設用地、住宅用地、緑地などが計画されている。この地区の北側と志賀島に続く「海の中の道」とを連絡する橋梁上部工工事を、当社が共同企業体として受注し工場製作、現地架設を行った。本橋の防錆に使用されたアルミ溶射の施工については既刊の技報¹⁾で報告してあるので、ここでは設計上の留意点と現場架設に際して特徴的であった事柄を報告する。

キーワード：吊り上げ架設、ステップ解析、ケーブル張力調整

はじめに

アイランドシティ・雁の巣連絡橋（仮称）はアイランドシティ地区と雁の巣地区を結ぶ全長750mの橋梁で、中央部は3径間連続鋼床版バランスドアーチ橋、アプローチ部は3径間連続PC箱桁橋および4径間連続PC中空床版橋を採用している。将来的には同一構造の橋梁が2連並列して施工され4車線の車道とその両側に歩道が配置された道路となるが、暫定的に2車線の車道と片側の歩道で供用する予定である。

今回の橋梁上部工工事では鋼桁部を施工し、その架設はクレーン船によるブロック架設工法とワイヤークランプを使用した吊上げ架設工法を採用している。設計時にはステップ架設を考慮した応力計算により断面照査を行った。

ここではアイランドシティ地区埋め立てプロジェクトの概要を紹介した上で、鋼桁部の設計、現場工事について報告するものである。

1. 工事概要

(1) プロジェクトの概要

アイランドシティ地区は埋め立てにより造成され、事業の完成後はアジアの交流拠点として多目的な土地利用が計画されている。水辺の一角は、周辺の環境を生かしたエコパークゾーンとして、自然と人が触れあう場所と位置づけられているた

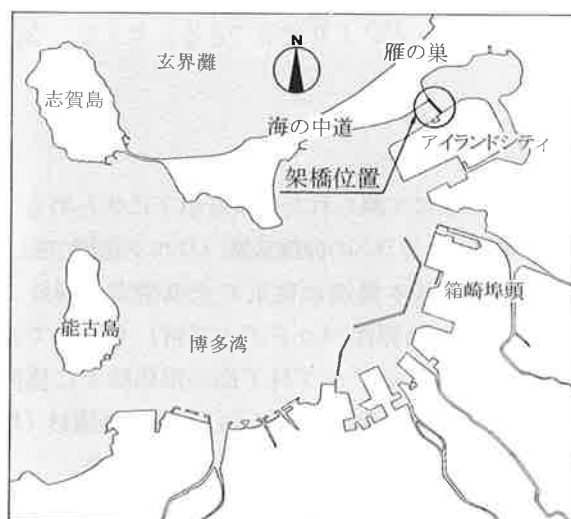


図-1 位置図

1) 橋梁工事部専門部長 2) 橋梁工事部専門次長 3) 橋梁設計部大阪設計二課課長 4) 橋梁設計部大阪設計二課係長

め、構造物には景観的な配慮が重要視されている。工事施工に際しても、大気汚染、水質汚濁、騒音・振動の防止対策が要求された。

本地区と市街地を連絡する橋梁は、上水道、下水道、電力線、ガス、NTT など多数の添加物を通すライフラインでもある。アイランドシティの位置と橋梁の配置を図-1に示す。

(2) 橋梁工事の概要

アイランドシティ・雁の巣連絡橋（仮称）の概要は次のとおりである。

工事箇所：福岡市東区香住ヶ丘7丁目地先

形式：3径間連続バランスドアーチ橋

道路規格：第4種1級

設計速度：V=60 km/h

設計荷重：B活荷重

橋長：260m

支間割：60m+140m+60m

幅員：7.5m（車道）+4.0m（歩道）

斜角：90°

鋼重：2,541ton

図-2に本橋の一般図を示す。

2. 設 計

(1) 構造的な特徴

本橋はアイランドシティ地区の主要な構造物であり、景観に配慮して主構造の各部材を下記のような断面形状としている。

- ・補剛桁の断面形状は逆台形箱断面
 - ・補剛桁の桁高を側径間部の約3mから中央径間中央部の約2mに変化
 - ・アーチリブの桁高を、中間支点部の3.0mから中央径間中央部の1.3mに変化
 - ・大ブロック、中ブロックの現場継手以外は、工場あるいは地組立場での溶接継手
 - ・中間支点部の橋脚上には支承隠し板を設置
- また景観への配慮として、現地確認のうえで景観にマッチした塗装色を決定した。

(2) 各部の設計

本橋の中央径間アーチ部では、主桁からブラケットを張り出し、鉛直ケーブルで支持する構造としている。側径間部ではアーチリブの主構間隔を変化させ、主桁の直下に接合する構造としている

ため、アーチリブは3次元の曲面を描いた形状となる。

設計に際しては、構造形式、架設地点の条件、その他の特性に配慮して、下記の検討を行った。

1) 動的解析

本橋のような中路的アーチ橋は、地震時の挙動が複雑な橋として分類される。本橋では道路橋示方書・同解説V.耐震設計編に基づいて、動的解析により耐震設計を行った。解析方法は過去の多くの地震特性を反映した解析結果を得ることができる、応答スペクトル法を用いている。

保耐法レベルの動的解析結果を用いて部材の応力度を照査した結果、橋軸直角方向に載荷したケースでアーチリブの一部に降伏応力を超過する部分が認められた。この部分については、部材のじん性を確保して致命的な損傷を防止することを目的に、角溶接を完全溶け込み溶接に変更し、フランジとウェブに横リブを追加する補強を行っている。

2) 隅角部のFEM解析

隅角部では、一般的な設計手法で決定した部材断面の安全性を照査するため、FEM解析を行っている。下記の箇所について、過大な応力集中などの問題がないことを確認した。

- ・補剛桁とアーチリブの隅角部
- ・アーチリブの中間支点部
- ・アーチリブと補剛桁の交差部

3) 耐風安定性の照査

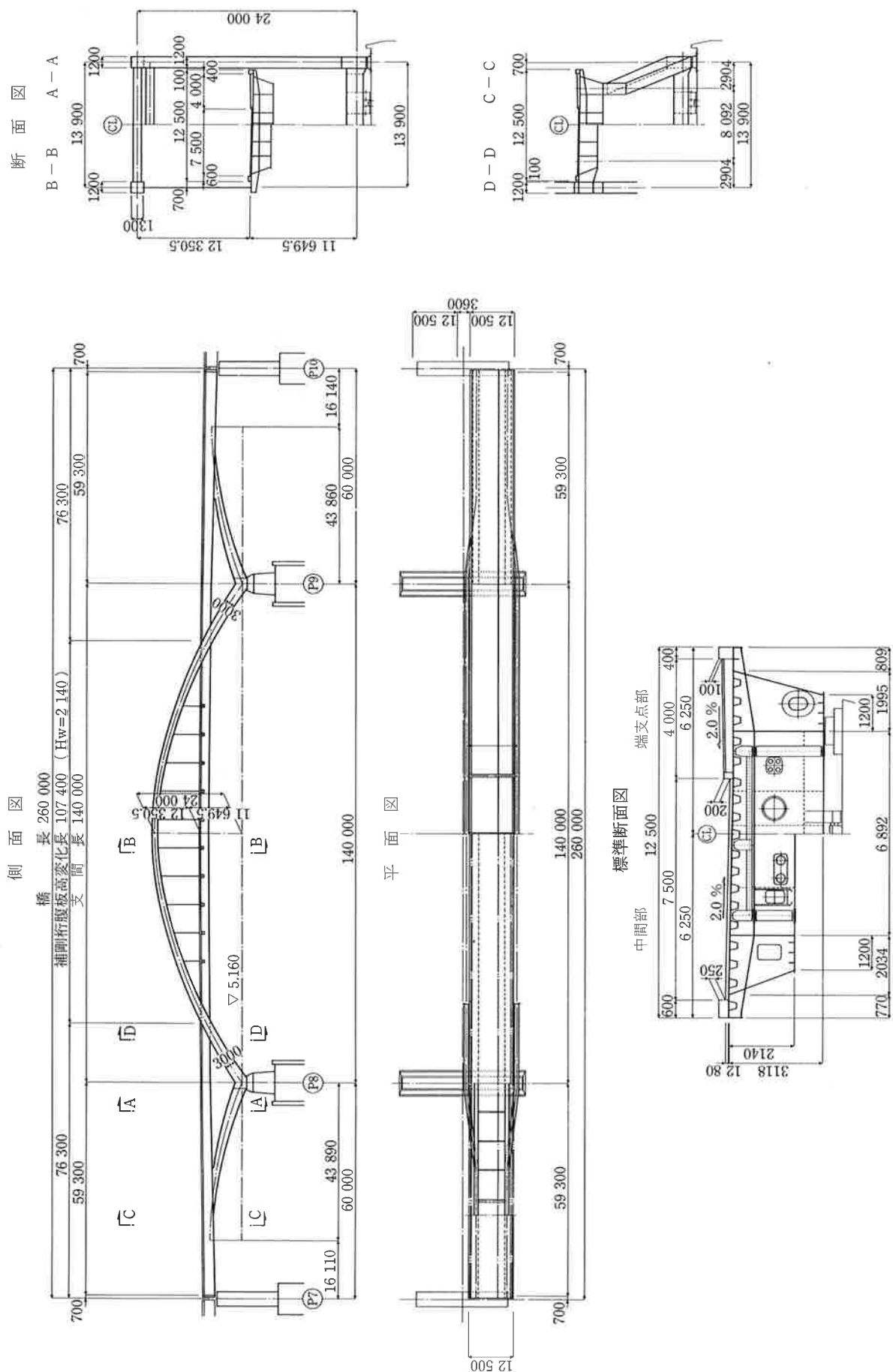
本橋は海上部に位置しているため。下記の項目について検討を行い耐風安定性を確認している。

- ・道路橋耐風設計便覧による動的耐風設計
- ・吊材（ケーブル）の風による振動
- ・並列橋として耐風安定性

(3) 架設系の照査

本橋の架設時に、側径間部はベントを使用してクレーン船で中ブロック架設し、その後に中央径間部をジャッキ式吊上げ設備で大ブロック架設する。具体的には次項の現場施工で説明する図-5に示した架設ステップをとっている。

このため構造解析に際しては、架設ステップ各段階の立体骨組みモデルを作成し、求められた断面力から算出した応力度の足し合わせにより断面決定をしている。解析時に考慮した構造系を図-3



2-1

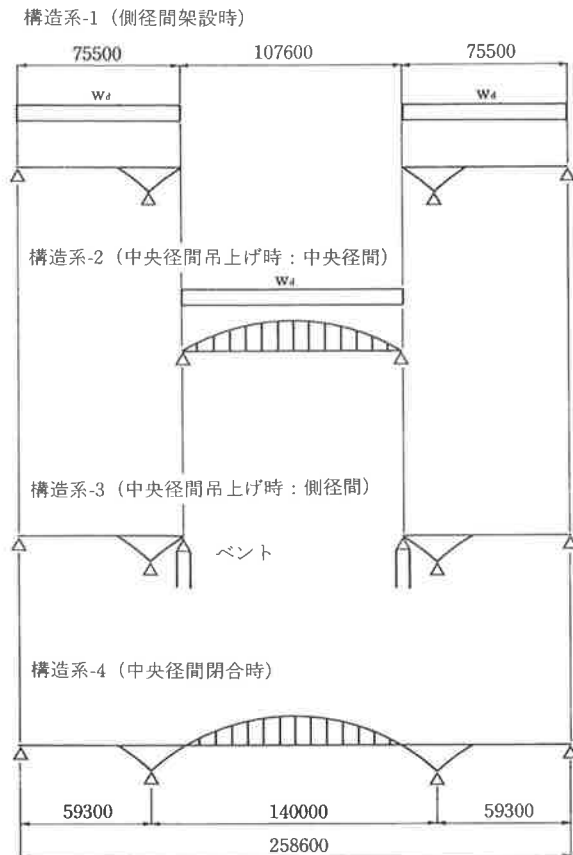


図-3 架設時の構造系

に示す。

製作所りも各構造系ごとの変形量を組み合わせて算出している。吊上げ架設時の現場継手部はセッティングビームを用いてボルト接合するため、たわみ変形後に継手部の仕口角度が一致するよう回転角を求め、原寸時に反映した。

また応力照査は架設の各ステップの他に、中央径間部では下記に示すような輸送ステップを加えている。

- ・浜出し時（クレーン船での吊上げ時）
- ・台船輸送時
- ・ワイヤークランプでの吊上げ架設時

応力照査の結果、台船輸送時にはアーチリブに仮支柱を設ける必要があった。アーチリブと主桁は 1 面をなしていないため、仮支柱は台船上に設置し、アーチリブを直接に支持する構造とした。

クレーン船およびワイヤークランプによる吊上げ時には、アーチのケーブルを有効とする必要があったため、架設後の張力調整量を低減する目的からも、地組立の段階で形状計測を行いシム量を調整した。

3. 現場施工

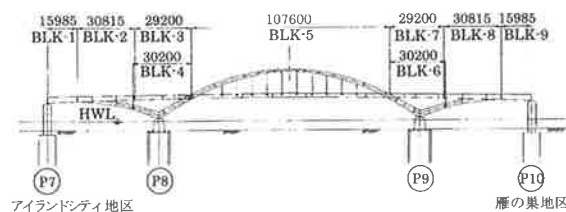
3.1 概 要

(1) 施工内容

架設工	ベント基礎工	鋼管杭	L=64 本
	ベント設備工		6 基
	杓据付	ゴム杓	8 基
	桁調整工		1 式
	桁架設工	架設重量	2,338ton
	高力ボルト本締め工		14,792 本
	鋼床版現場溶接工		85.7m
	足場工		1 式
現場塗装工	アルミ溶射等		1 式
工場製作工	吊上げ設備、支承隠し板等		1 式

(2) ブロック重量

図-4にブロック重量および浜出し地を示す。



ブロックNo.	工場名	浜出し地	重量 (ton)	使用台船 (ton)
BLK-1	堺 工 場	大 阪 府 堺 市	92.8	3,000
BLK-2			137.5	
BLK-3			281.5	2,000
BLK-4			226.7	2,000
BLK-5	岸和田岸壁	大阪府岸和田市	859.9	12,000
BLK-6	大 阪 工 場	大阪市西淀川区	137.5	3,000
BLK-7	千 葉 工 場	千 葉 県 市 原 市	226.9	3,000
BLK-8			262.3	3,000
BLK-9			92.3	

図-4 ブロック重量および浜出し地

(3) 架設ステップ

図-5に架設ステップ図を示す。

3.2 側径間架設

(1) 側径間架設概要

700t 吊クレーン船の吃水は 3.0m で現地の水深は DL-2.5m であるため、満潮時の+1.1m 以上の時間帯で架設する事にした。そのため 1 ブロックの架設時間は、4 時間 30 分以内の制約の中で架設を終える必要があった。また、一部のブロックは

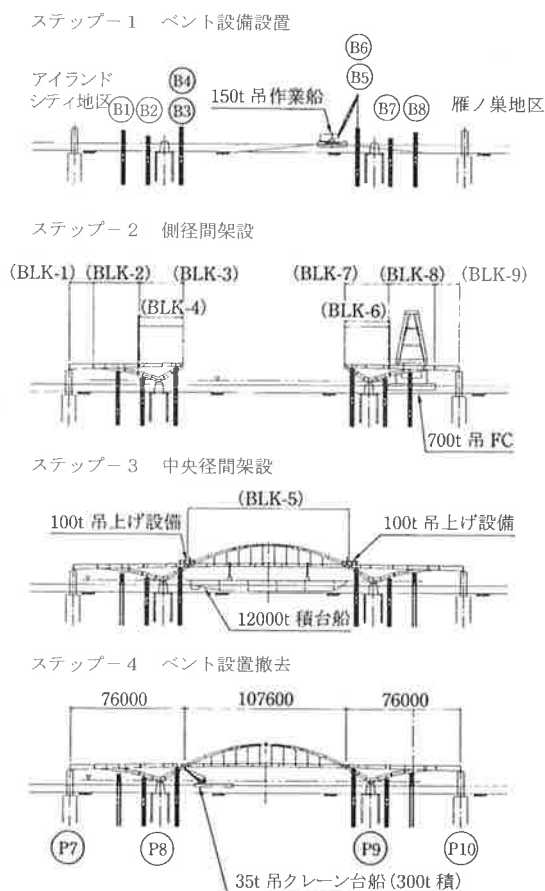


図-5 架設ステップ図



写真-1 側径間架設状況

前日にクレーン船で吊上げて仮泊し、翌日早朝から作業を行った。架設は、アイランド側および雁の巣側それぞれ4回に分けて実施した。雁の巣側の架設で、荒天のため3日間作業を中止したが、予備日を使う事で無事工程内に架設を完了できた。写真-1に側径間架設状況を示す。

(2) セットバック・セットフォー設備

中央径間部の架設を考慮して、側径間架設は片側60mm合計120mmのセットバックを行った。

セットバックは、納入前に支承に予変形をさせ

て仮固定する事で実現した。側径間架設後、中央径間架設時に行うセットフォー設備のセットを行った。セットフォー設備は、橋脚に取付た反力受け構造に中間支点で片側200t油圧ジャッキ、端支点で片側20t油圧ジャッキを用いた。

セットフォーは、セットバック用のストッパーを外して上巻の予変形を戻す作業である。またベント設備上の桁受けブロックにはテフロン板を敷いて、滑り抵抗の低減を図った。

3.3 中央径間部の架設

(1) 中央径間架設概要

中央径間ブロックは、12,000t積台船に中央径間ブロックを搭載し岸和田岸壁から現地に曳航した。次にラッシング解体、継手部の水洗い、架設機材搭載・据付を行い架設準備を完了した。

台船係留設備は、ブロック搭載前に基地港でセットした。架設は、架設日前日に台船係留および位置決め予行演習を行い、架設日の翌日は予備日として計3日間とし、5月の大潮を狙って、5月18、19、20日に実施した。

本文では、ジャッキ式吊上げ設備および架設中の桁の変形予測と精度管理について報告する。

(2) 吊上げ設備の概要

本工事は、昨年(平成11年)12月18日付で労働省から通達が出た以降での大ブロック架設への本格的なジャッキ式吊上げ装置の適用となる。同通達には、同種工事の事故再発防止として、以下の4項目の要請がでている。

- ① ワイヤロープの保持機構に同時解放を防止するインターロック機構を備えること。
- ② 吊上げ機械と架台を確実に固定すること。
架台は十分な強度持ち、確実に据付けすること。
- ③ 遠隔操作、自動化などにより安全な位置で作業すること。
- ④ 作業指揮者、従事する労働者には安全教育を実施する。

また、平成12年の1月～3月にかけて、「ジャッキ式吊上げ機械の安全衛生教育」が実施された。これらの状況および資料を基に、装置の仕様確認、試運転、作業員への特別教育を実施し対応した。

1) 吊上げビーム

図-6に吊り上げビームの構造図を示す。

吊荷重は、912ton、吊点は桁側8点、ジャッキ側16

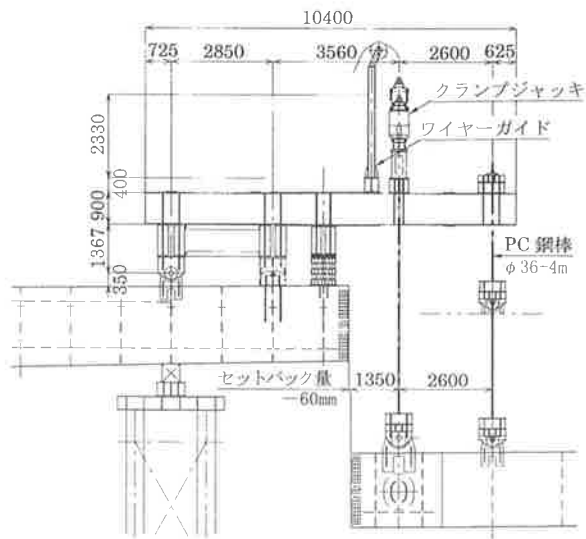


図-6 吊上げビーム構造図

点で吊上げる構造で、左右の不均衡係数を 0.1、衝撃係数 0.2 として設計した。また、桁吊上げ後、万一のジャッキアップ装置の故障などに備えて、吊上げビーム先端に PC 鋼棒を備え、二重の安全対策を講じた。この場合の安全率は、非常時として 1.2 とした。

2) 吊上げ装置

吊上げ装置として、大瀧ジャッキ株式会社のワイヤクランプ装置を採用した。装置は、「ワイヤクランプ本体」、「分離型油圧制御盤」、「ポンプユニット」、「操作盤」および「各種計測機器」で構成されている。装置のワイヤー保持能力は、1本当たり、15N 以上で、16 本合計で 240N である。中央径間ブロック架設重量が 91.2N なので、安全率 2.6 となり、規定の保持機構の安全率 2 以上を満足している。ワイヤロープは、グリーンロープ、直径 56 mm、形式 GIWRC6×WS(31)、破断荷重 257N を使用した。安全率は 4.5 で、規定の 3.55 以上を満足している。装置の仕様で、とくに重点を置いて確認した項目は以下の 3 項目である。

- ・ワイヤー保持能力
- ・インターロック機構
- ・遠隔操作性

ワイヤー保持能力は、直接安全率にかかわる問題で、工場で 2 台の装置の引き合い試験に立会い確認した。インターロック機構は、工場および現場での作動試験を行い確認した。遠隔操作性は、現場で作動試験時に確認した。

架設中のジャッキ操作者、JV 職員および現場

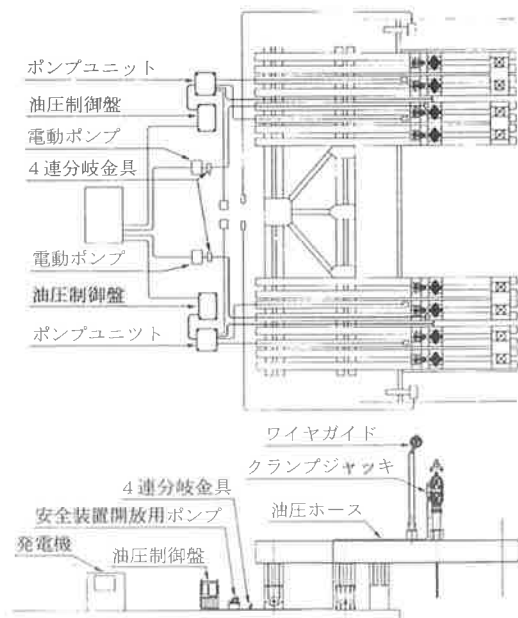


図-7 吊上げ装置の機器配置

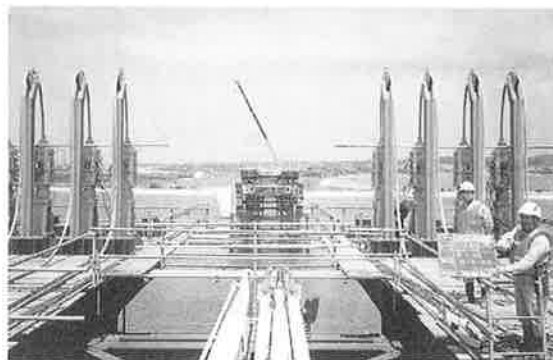


写真-2 吊上げ装置の組立状況

作業者は、**労働安全衛生規則**（36 条）により、全員に特別教育を実施した。特別教育の内容と教育時間が細かく規定されていて、この規定に沿って安全教育・訓練の一環として実施した。

図-7に吊上げ装置の機器配置図を示す。また、写真-2に吊上げ装置の組立状況を示す。

(3) 架設中の形状予測と精度管理

中央径間架設時の現場継手の精度と架設中の形状変化を事前に把握して、架設手順に反映させる必要があった。先ず中央径間架設中の変位量の予測を行った。また接合部の回転量も同時に計算した。図-8に中央径間架設中の変位量の計算結果を示す。

一方現地では、架設位置の両側径間間隔および仕口部の回転量の精密測量を実施した。計算および測量結果を図-9に示す。

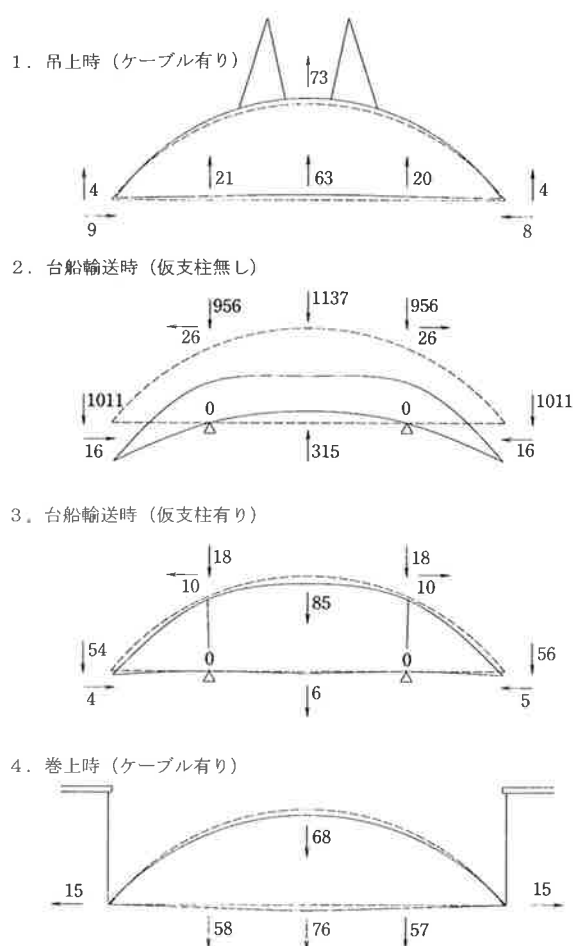


図-8 中央径間部の変形比較

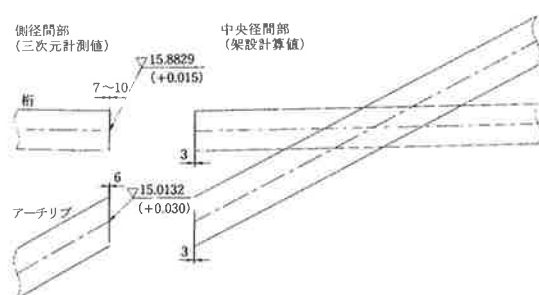


図-9 中央径間架設時 仕口部の接合精度

仕口部の接合性などの確認結果から、現場継手の施工手順を下記の通り変更・追加した。

- ①構造的な視点からアーチ部の接合を先行する。
- ②アーチ部の接合には、若干の困難が伴う恐れがある。対策として、ベント上にセットした高さ調整用ジャッキで、仕口調整を行う。
- ③桁部も現状のままでは接合に困難が予想される。ベント上のジャッキ操作で仕口の回転量を調整するが、調整不能の場合には端支点のジャッキアップを行う。

（4）中央径間架設実験

平成 12 年 5 月 18 日現地係留を完了し、翌日の架設と同じ体制で、架設地点の真下まで台船移動をして位置決め作業の訓練を実施した。

その後、台船を架設位置から真横約 100m まで移動し夜間の仮泊体制に入った。翌日は、午前 6 時スタンバイで、11 時に吊上げ完了し、桁の連結作業に入った。

架設日当日は、快晴で風も微風で好天に恵まれ作業は順調に進んだ。空台船は、同 11 時から横移動・係留解除を開始した。連結作業は、アーチ部は翌日 17 時頃に完了した。

桁の連結作業は、予想通りベント上でのジャッキ操作だけでは無理で、端支点のジャッキアップ作業を併用する必要があった。その間ジャッキ式吊上げ設備には、荷がかかった状態で、PC 鋼棒も安全のためセットした状態で作業を行った。現場接合完了後、キャンバー計測を行った。結果は規定値を十分満足し良好な結果であり、架設作業の妥当性が証明されたと考える。写真-3に中央径間架設状況を示す。

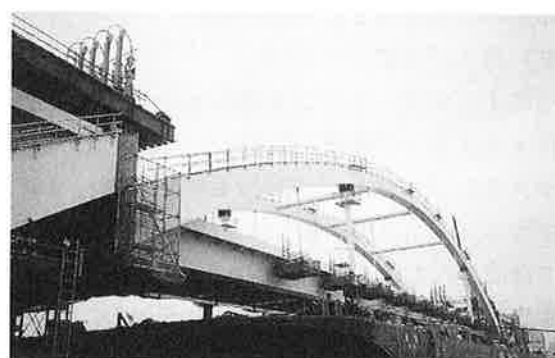


写真-3 中央径間架設状況

3.4 ケーブル張力調整

（1）ケーブル張力調整の必要性

中央径間は、地組立て時、浜出し時、台船搭載時現地吊上げ架設時および架設完了時と支持状態が変化する。地組立て時に第 1 回のケーブル張力を導入しているが、桁架設完了時の構造系でケーブル張力の確認を行う必要があった。

（2）ケーブル張力調整要領

ケーブル張力は振動法により全数測定し、設計張力の 20 %以内を規定値とし、範囲外の張力のケーブルは、シム調整により張力を修正し、再度張力を確認した。図-10に張力計測の概要を示す。

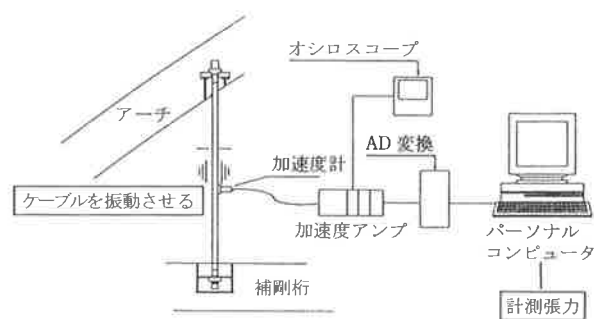


図-10 張力計測の概要

ケーブルへの加振はハンマー打撃法³⁾を用いた。

アイランド橋の場合はケーブルが鉛直で、固有周期の振動波形が比較的明確にピークを示し、精度良くケーブル張力の計測ができた。

温度センサーは、桁上14点プラス外気温で計15点を配置して、ケーブル張力の計測は桁の温度が均一になる夜10時以降に行った。また桁の形状は3次元光波測定システムを用いた。

(3) 張力調整結果

図-11に最終張力調整結果(第4回)を示す。合計3回の張力調整で、規定値以内にケーブル張力が入った。シム調整量の決定は、当社で開発した「GENETIC」⁴⁾を用いた。

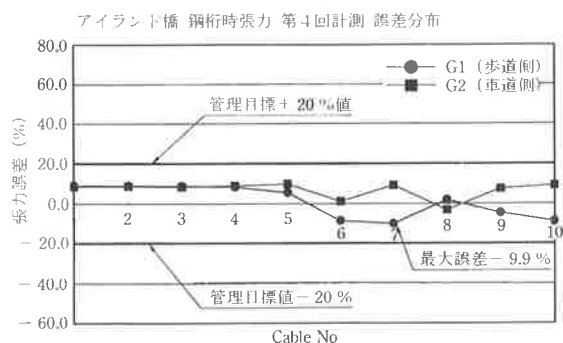


図-11 ケーブル張力調整最終結果

4. あとがき

本橋は、9月4日に無事竣工した。写真-4に完成写真を示す。

本橋の中央径間アーチ部は、地組立時から現地一括吊上げ時まで支持点に変化する事と鉛直材にケーブルを使用しているため固有の課題があったが、設計・製作および架設の各部門の協力により解決することができた。工事中では環境対策、とくに大型作業船による海水汚濁が課題であった。



写真-4 完成写真

幸い関係者からの積極的な協力が得られ、環境基準内で施工することができた。しかし大型作業船の作業中は、環境対策を含めて緊張の連続であった。

最後に、アイランドシティ事業の成功と、本橋が福岡中心部から雁の巣方面へのバイパスとして福岡市民に愛されることを期待してやまない。また、本工事の施工に当たり、多大なご指導とご協力を賜った福岡市港湾局の方々ならびに関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 松岡栄三・岩井哲夫・鮫島能章：アイランドシティ・雁の巣連絡橋(仮称)のアルミ溶射の施工, 駒井技報, Vol.19, pp.48-52, 2000.4.
- 2) 工藤和美：21世紀のユートピア探しアイランドシティ計画から見える将来都市, 土木学会誌, Vol.85, pp.62-65, 2000.4.
- 3) 杉井謙一・山極伊知郎：ハンマーでケーブル張力を測る, JSSC, Vol.83, pp.10-12, 1998.10.
- 4) 有村英樹・高瀬和男：遺伝的アルゴリズム法を用いたケーブル張力調整システムの開発, 駒井技報, Vol.18, pp.1-11, 1999.4.