

# 来島海峡第二大橋補剛桁の架設

## The Construction of the Second Kurushima Kaikyo Bridge

栗田 裕之\* 西 壽\*\*  
 Hiroyuki KURITA Hisashi NISHI

### Summary

The Second Kurushima Kaikyo Bridge is a long-span suspension bridge (with a 1,020-m central span) over the Naka Suido, a middle waterway of the Kurushima Strait. Because the waterway is used for international shipping, erection of the stiffening girders of the bridge should be done during the limited hours. Therefore, the completion-oriented perpendicular hanger method was used to erect the stiffening girders. Also, they used new equipment developed specially for that bridge; for instance, a sailing barge capable of mooring at a specific point at sea without anchor and a high-speed lifting beam for the erection blocks.

This paper outlines the construction along with features of the equipment used.

キーワード：全ヒンジ直下吊上げ工法，縦取り工法，リフティングビーム，自航台船，クイックジョイント

### 1. まえがき

本橋の架橋地である来島海峡は、特有の多島美と自然景観を呈する景勝地としても名高く、瀬戸内海国立公園特別地域にも指定されている。しかしながら、島々が点在しているが故の特別な地形条件により、潮流は最大10ノットにおよび、国内でも有数の狭水域とされている。

本橋は、本州四国連絡橋尾道～今治ルート（西瀬戸自動車道＝通称：瀬戸内しまなみ海道）の最も四国側に位置する世界初の3連吊橋である来島海峡大橋のうち、海峡部中水道を跨ぐルートでも最大級の長大吊橋である。

本報告は、前述の自然環境と国際航路を使用しての架設という社会的制約のもとで、特徴ある新技術を用いた、当社の携わった第二大橋支間中央より6P主塔に至る補剛桁架設工事について報告するものである。

工事名 来島大橋補剛桁（その4）工事

路線名 一般国道317号

工事場所 愛媛県越智郡大字椋名地先

～愛媛県今治市馬島（6P地点）

工期 平成7年7月～平成11年3月

橋梁形式 2ヒンジ補剛箱桁吊橋

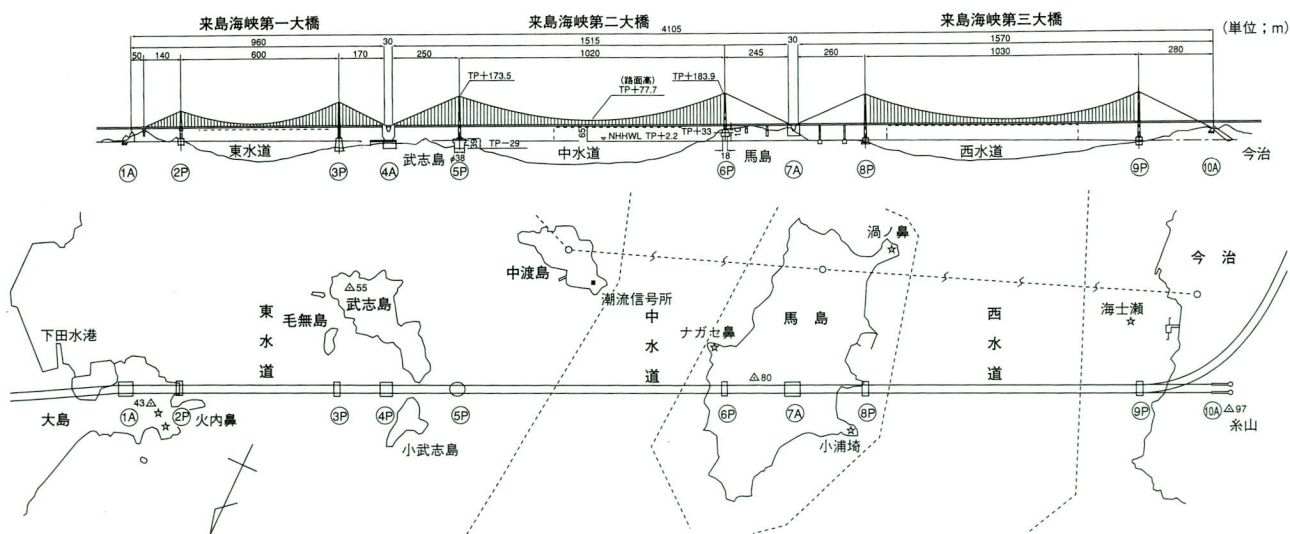


図-1 来島海峡大橋全体一般図

\* 千葉工場設計部設計二課

\*\* 宮地建設工業(株)東日本橋梁事業部橋梁計画技術部専任課長

## 2. 工事概要

本橋の構造的特質は、起点側の側径間にのみ吊構造部を配置した非対称な全体形状と、耐風安定性に加え景観美をも兼ね備える偏平六角形の補剛桁を有することと云える。

架設工法は、ブロック化した補剛桁を主ケーブル上に配置した巻き上げ機（リフティングビーム：以降LB）により吊上げ、架設ヒンジを介してブロック間を仮連結する「全ヒンジ直下吊上げ工法」を主工法として採用することにより、急速施工を図った。

各架設位置へのブロックの供給は、定点保持能力を有する自航台船にて行い、フック装着の自動化と装着時間短縮を目的としたクイックジョイント（以降QJ）を併用することにより、架設時の海面使用時間を最小限に抑えた。また、主塔前方にある浅瀬部への対応は、LBを用いた縦取り（スイング）工法を取り入れるなど、適宜最善の工法にて対処した。

## 3. 架設工法の特徴

### (1) 架橋地の施工条件

来島海峡は、瀬戸内海の安芸灘と燧灘をつなぐ幅約4kmの水道で、海峡中央に位置する武志島と馬島によって大きく3つの水道に分断され、それぞれ東水道、中水道、西水道と呼ばれている。

本工事は、海峡中央部の中水道を使用しての架設工事で、海上部の状況は下記の通りである。

- ① 地形の影響により、航路幅は狭く屈曲している。
- ② 潮流は複雑で、その速度は10ノットに達する。
- ③ 海上交通安全法に指定された国際航路であり、大型船に対しては、順潮航行時は中水道、逆潮航行時は西水道の指定航路内通行が定められている。
- ④ 航行船舶は、およそ1日1000隻である。
- ⑤ 工事区域周辺は、漁業操業密度が高い海域である。

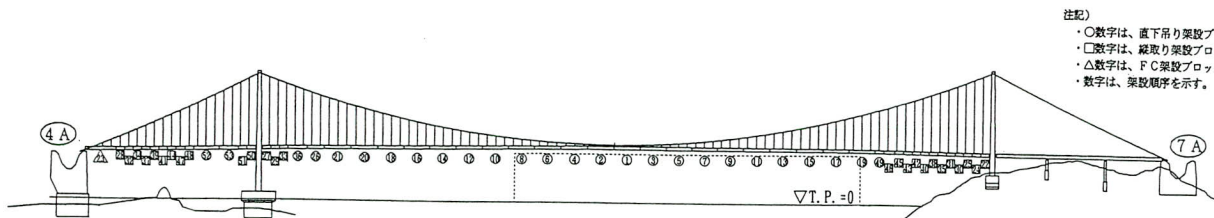


図-2 架設ブロック割り図

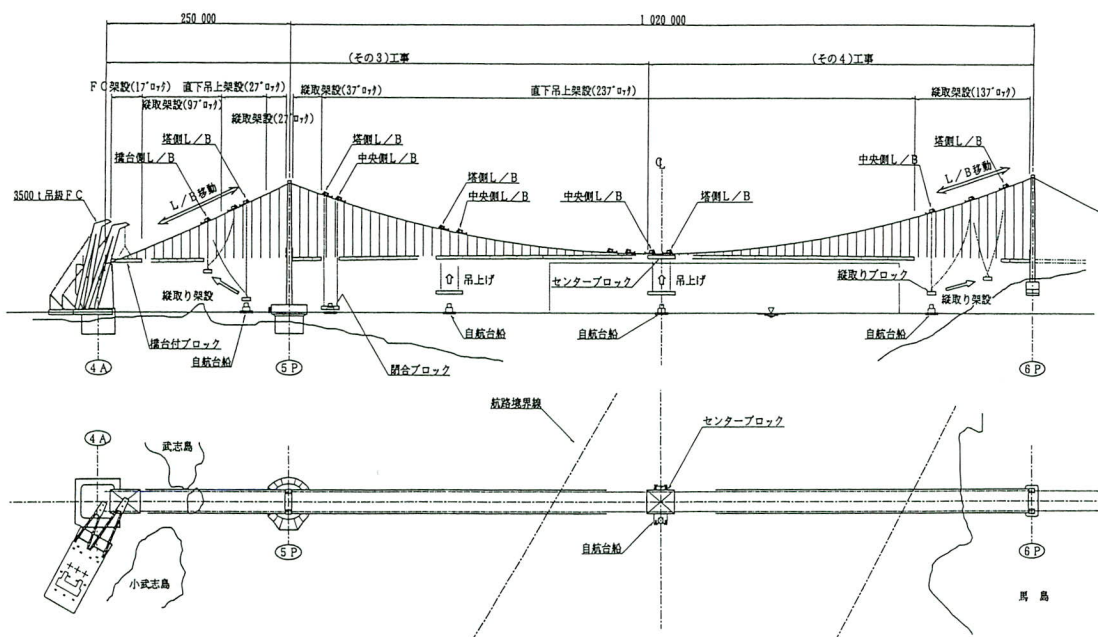


図-3 架設工法概要図

## (2) 全ヒンジ直下吊上げ工法

本工法は、台船により架設ブロックを所定位置まで運搬し、上方のLBにて吊上げる国内でも比較的施工実績の豊富な工法であるが、国際航路を使用しての架設作業であるがゆえ、海面使用時間を少なくし航行船舶への影響を最小限とすることが、直下吊上げ工法を選定した本工事の命題であった。

本工事では、上述のような観点から、以降に示す工夫を施し、所期の目的を達成した。

### 1) 架設ブロックの大型化

ブロック長：36.3m(3パネル)、ブロック重量：約500tとし架設回数の軽減に努めた。

### 2) 自航台船の採用

定点保持能力を有する自航台船を用いることにより従来のアンカー・シンカーを用いた台船係留方式に比べ、定点保持作業の時間短縮を可能にした。

・架設時間：転流時刻前50分間を使用し、3ノット以下の潮流時に実施。

### 3) 架設ヒンジによる仮連結の採用

吊上げたブロックどうしを、架設ヒンジを用いて一時

的に連結することにより、架設サイクルの短縮を図った。また、この架設ヒンジが桁の面内の折れ曲がり許容することで、ハンガー張力の不均等も解消することができた。

・架設サイクル：隣接工区と交互に1日1回実施。

### 4) LBの能力アップ

LB2基を用いた4点吊りの直下吊上げ作業に際し、大きな架設ブロックを、航行する船舶に支障のない位置ま

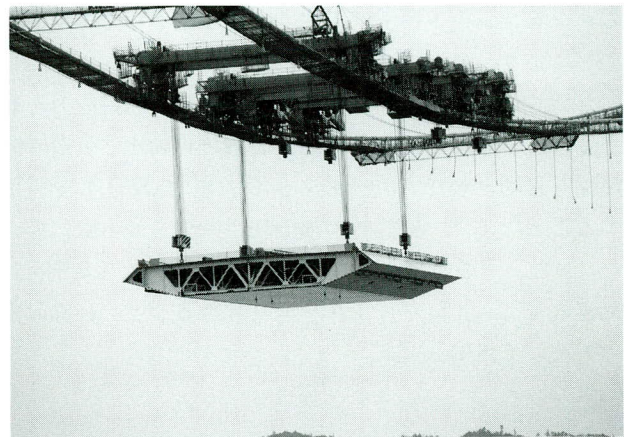


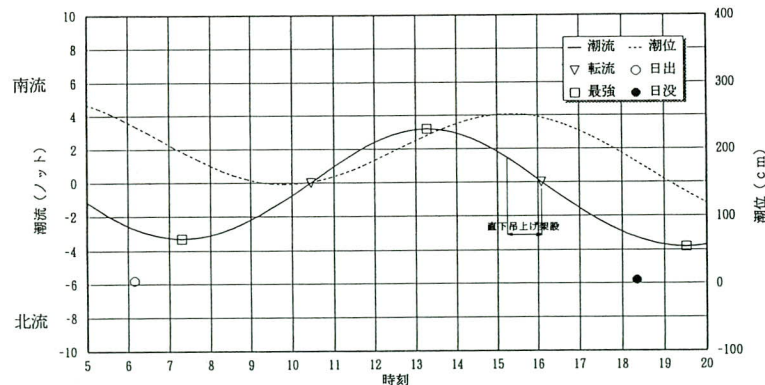
写真-1 LBによる直下吊上げ架設

平成10年03月21日

潮流		
時：分	時：分	kn
21 : 50	0 : 59	4.7
4 : 19	7 : 19	-3.3
10 : 28	13 : 17	3.2
16 : 5	19 : 31	-3.8
22 : 51	2 : 6	4.1

潮位		
時：分	cm	
3 : 47	280.8	
9 : 49	147.8	
15 : 20	252.3	
21 : 57	86.0	
5 : 10	272.2	

日出		日没	
6 : 10	18 : 21		



項目	時刻	時刻													備考			
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		19		
1 遠方広報船																		白線部は回航、h/f/f'部は広報作業を示す。
2 遠方船舶警戒線																		白線部は回航、h/f/f'部は監視作業を示す。
3 広報船・船舶監視船																		
4 作業警戒船																		
5																		
6 自航台船仮泊(武志島東工事区域)																		
7 回航(武志島東~武志島西)準備(待機)																		
8 システム確認																		
9 直下吊架設																		
10 回航(武志島西~武志島東)																		
11																		
12																		

図-4 直下吊上げ架設タイムスケジュールの一例

でより速く吊上げるため、他橋の施工実績を大幅に上回る吊能力と巻き上げ速度を設定した。

### (3) 縦取り工法

自航台船が吊上げ位置直下に進入できない6P主塔からの単パネル13ブロックは、進入可能な航路外位置にて吊上げを実施した後、LB間の吊荷重盛替えにより所定位置へと架設ブロックを移動させる、縦取り（スイング）工法を採用した。

縦取り架設に際しては、吊荷重盛替え時のLB吊能力の制約から、架設ブロックを単パネル2点吊りとし、ブロック長：12.1m、重量：約120～280tに設定した。

また、架設ブロックの内部構造や搭載物の影響により、各々異なる重心への対応と架設制限時間内での作業効率の向上を目的に、QJを組み込むとともに勾配の調整機能を

をもつ縦取り用天秤を開発し、2点吊りがゆえの諸問題を解消した。

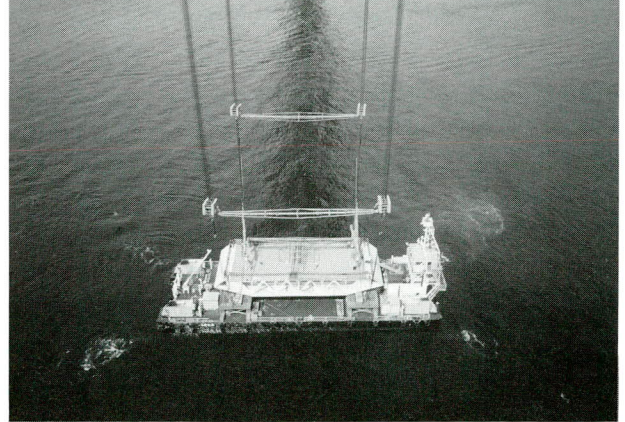


写真-3 単パネルブロック水切り状況

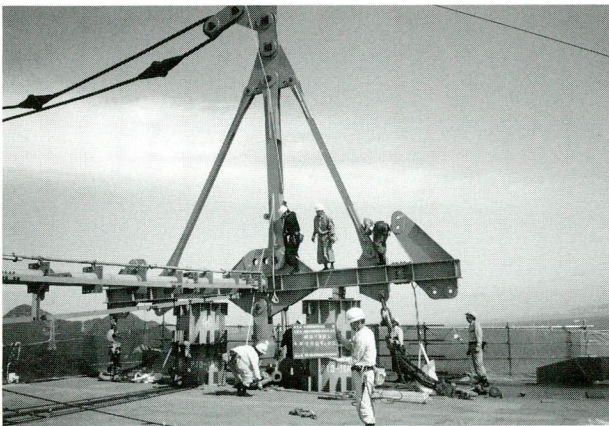


写真-2 縦取り用天秤

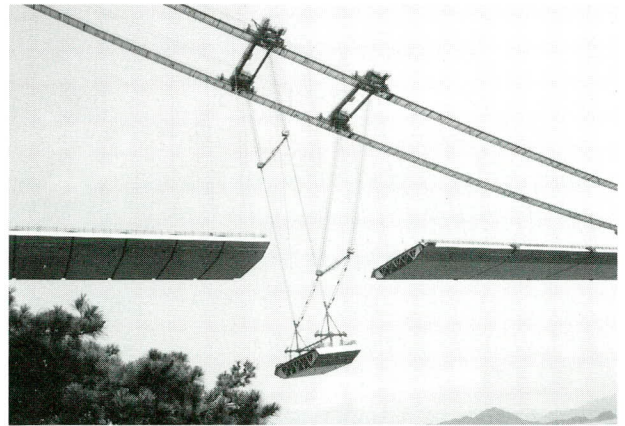


写真-4 LBによる縦取り架設

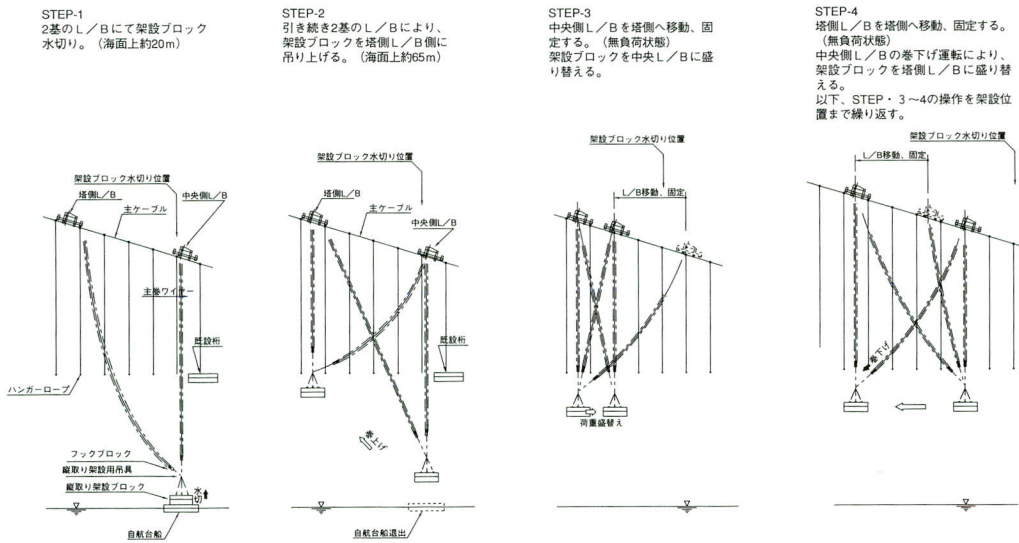


図-5 縦取り架設ステップ図

#### (4) 部分添接

全ヒンジ直下吊上げ工法を採用し、支間中央からのバランス架設を行った本橋の架設時補剛桁形状は、概ね、初期：下に凸、中期：水平(レベル)、後期：上に凸(完成系)の性状を示した。吊橋の場合、圧倒的な剛性の違いにより、主ケーブルの形状から補剛桁の形状が形成されると云っても過言ではない。本橋においても例外ではなく、ケーブル張力が少ない架設初期から補剛桁の架設進捗に伴う張力の増加により、桁形状も次第に完成系へと変化して行く。架設途上における補剛桁現場継手(ヒンジ)部は、上述の架設初期～後期への形状変化の影響を受け、ヒンジの開き量が次第に減少し、後期にはブロック間の干渉を誘発することとなる。

部分添接とは、全ヒンジ特有の連結作業で、同工法のもつ諸問題の払拭を目的に、桁内下フランジ側の縦リブを添接する事を云う。

##### ①下フランジの干渉防止

- ・架設進捗に伴う常時の干渉防止
- ・暴風時鉛直バフェッティング発生時の干渉防止

##### ②桁外面作業車移動時のブロック間仮連結

##### ③大型機材移動時の養生

また、部分添接の実施に際しては、下フランジにセンターホールジャッキ(最大：8台×35t)を設置し、ブロック間の引込み、遊間の調整を行った。

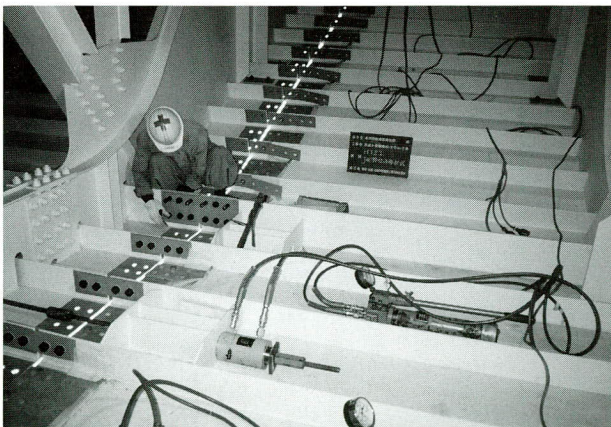


写真-5 部分添接状況

#### (5) 現場溶接

本橋の現場継手形式は、下記の通りである。

- ・デッキプレート：サブマージアーク自動溶接。
- ・フェアリング：CO<sub>2</sub>半自動溶接。

##### ・下フランジ：HTB継手

デッキプレートおよびフェアリング部の現場溶接は、補剛桁形状と全体工程の影響により架設後期に限定されたため、その施工時期は夏期に集中することとなった。

夏期の鋼床版は、晴天時70℃にもおよび日中の開先調整は不可能であった。そこで、最適な施工時間帯を採るべく継手位置のルート間隔と目違い量の24時間計測を行い、温度による経時変化を明確にした。計測結果より、開先形状が許容値を満たしている時間帯は早朝に限られているため、開先調整と清掃は溶接施工日の早朝に行った。また、間隔保持の方策として、トラフリブの添接部に50%程度の仮ボルトを挿入し、一次締めレンチ(導入軸力：約13t)にて拘束した。

現場溶接施工後の非破壊検査は、AUTを用いて行い、全線に亘っての検査の結果、手直し欠陥は見られなかった。

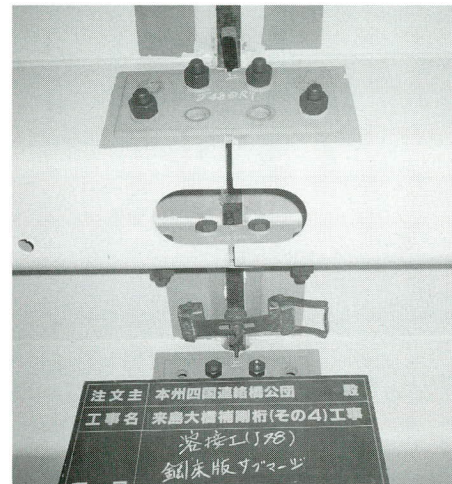


写真-6 トラフリブの一次締め



写真-7 デッキプレート溶接状況

## (6) 縁切り

6P前面の地形条件（浅瀬）より、縦取り架設部が13パネルにもおよぶ当工区は、主塔部からの張出し量が最大約160mと長い為、暴風時における架設ヒンジ、部分添接、タワーリンク、ウインドタングへの作用力軽減と、桁の過大変形を抑制するため、主塔のごく近傍の継手位置にてブロック間の架設ヒンジ解放：縁切りを行った。縁切り作業は、LBによる桁の巻き上げとヒンジ近傍の架設用吊金具を利用した桁の引寄せにより、架設ヒンジ部を解放した。また、縁切り後の塔付パネルは、セットバック設備を用いて主塔部に拘束し、暴風時に備えた。

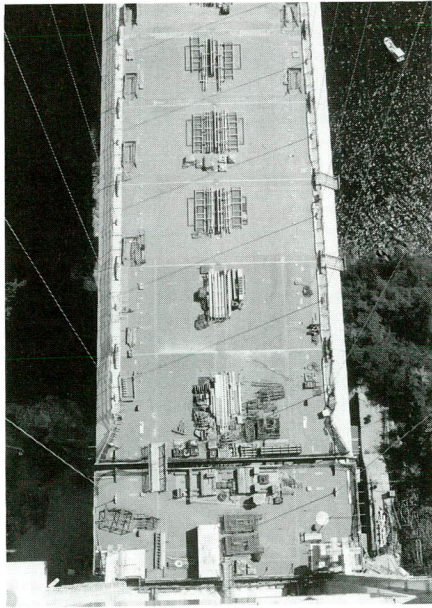


写真-8 縁切りおよびセットバック状況

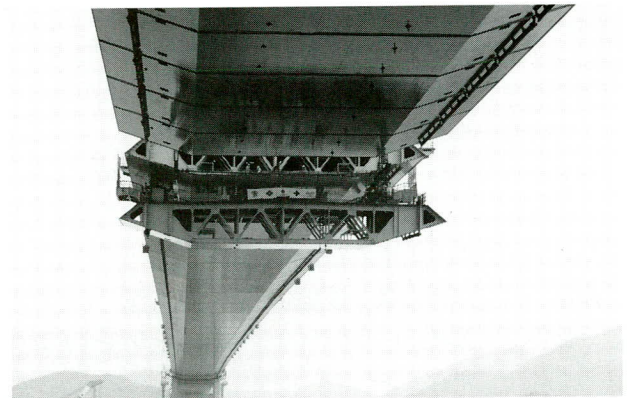
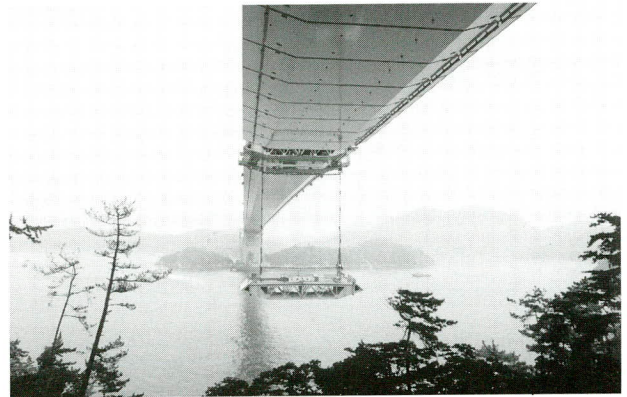


写真-9 閉合ブロック架設状況

## (7) 閉合ブロックの架設

中央径間の閉合は、1基のLBにて単ブロックを既設桁間に挿入する方法を採った。架設時は、夏期でかつ晴天であったため、桁の全体的な伸びが大きく、架設純クリアランスは160mm/片側となった。

閉合ブロックの架設に際しては、前日に遊間計測を実施し、結果に基づきLB位置と自航台船定点座標の妥当性を検証した。また、当日はLBによって吊上げられた閉合ブロックの起点側、終点側の架設ヒンジを順次連結して作業を終了した。



写真-10 吊上げ完了時の既設桁とのクリアランス

## (8) 最終閉合

暴風時の対策として施した縁切り箇所は、暴風時の断面力と部分添接の許容力および現場溶接の進捗状況を勘案し、その閉合時期を架設計算により決定した。

最終閉合作業は、塔付ブロックのセットバックを開放し、相互のブロックを近づけた後、発生する目違いを塔付ブロックにカウンターウェイトを載荷することにより解消し、架設ヒンジの再連結を行った。

載荷したカウンターは、約50t。そのほとんどを橋上の仮設備にて対処した。

## 4. 設備の特徴

### (1) リフティングビーム

LBは、海面使用時間を短縮するため、従来の実績性能より下記の改善を施した。

①航路制限高さ：TP+65mまでの架設ブロック吊上げ時間を短縮するため、主巻きフックのスピードを以下の通りに高速化した。

巻き上げ速度：5m/min（負荷時）

巻下げ速度：15m/min（無負荷時）

②架設ブロックの大型化に対応して、1フック当たりの定格荷重を175tとした。

③主巻きワイヤーの切断、またはウインチの故障などの巻き上げ時のトラブルに対して、吊上げ作業を継続できるよう二重の安全対策を施した。

④主ケーブルの素線の損傷を回避するため、走行方式は従来の鼓状ローラー方式より軌条桁方式へと改良を加え、走行装置にはワイヤークランプジャッキを用いた。

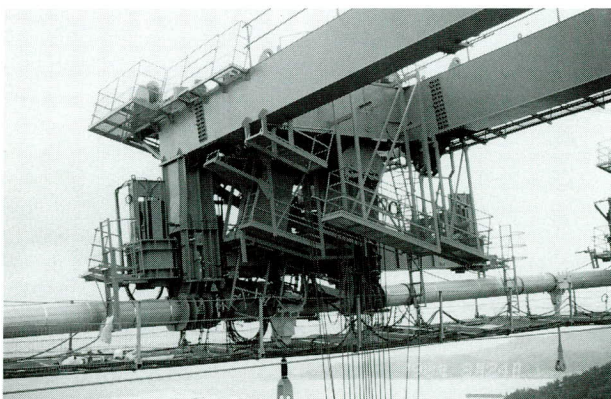


写真-11 LB走行部



写真-12 LB全景

### (2) 自航台船

架設ブロックを吊上げ位置直下まで運搬し、LBの主巻きフック定着から水切りまでの間を無係留で定点保持可能な自航台船が本工事に開発され、すべての架設ブロックの供給にこれを用いた。

当工区が用いた自航台船（しまなみ）は、以下の搭載設備により、潮流速：3ノット以下での定点保持精度：±2.5mが可能な性能を有する。

①台船四隅に全旋回可能な推進器各1基（650ps）。

②船位・方位を常時計測する自動追尾型光波測量装置およびジャイロコンパス。

③目標位置との偏差に対して推進器の旋回角度と推進力を常時最適値に導く自動制御装置。

自航台船の採用は、海面の占有面積を縮小するばかりでなく、台船の進入から退出までの時間を従来工法と比して大幅に短縮することが可能となった。

（従来工法：約2時間→自航台船：約30分程度）

また、製作工場から運び込まれた架設ブロックの自航台船への積み替えは、武志島東工事区域内で600t吊級FCを用いて行った。

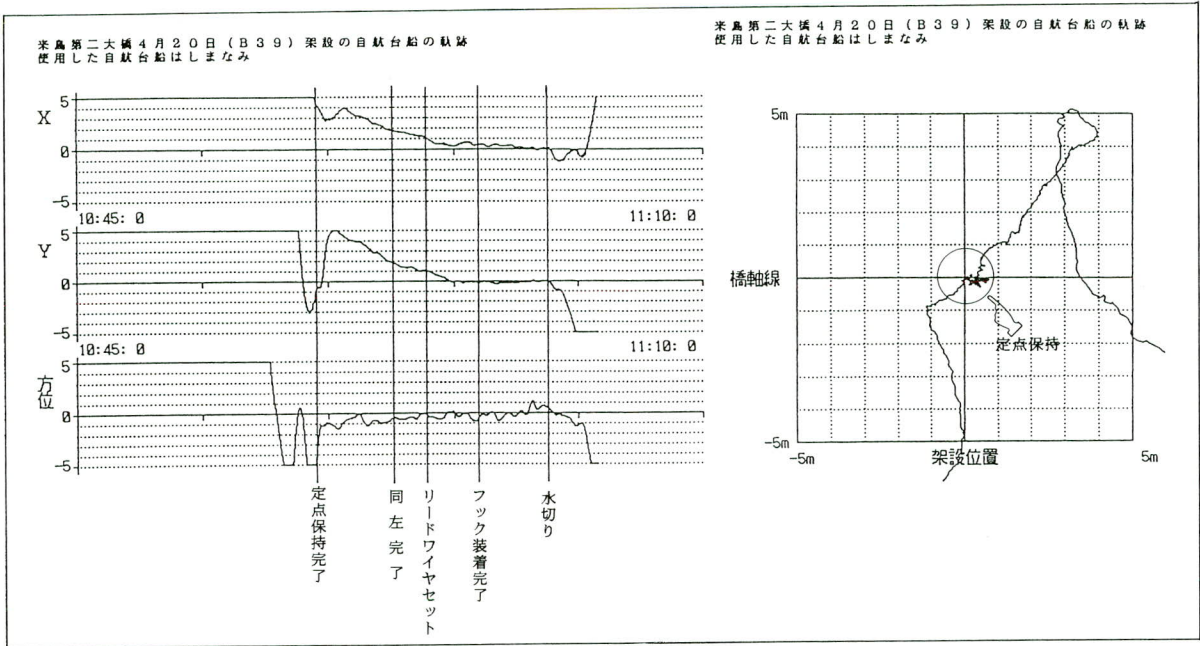


図-6 架設時の自航台船航跡図

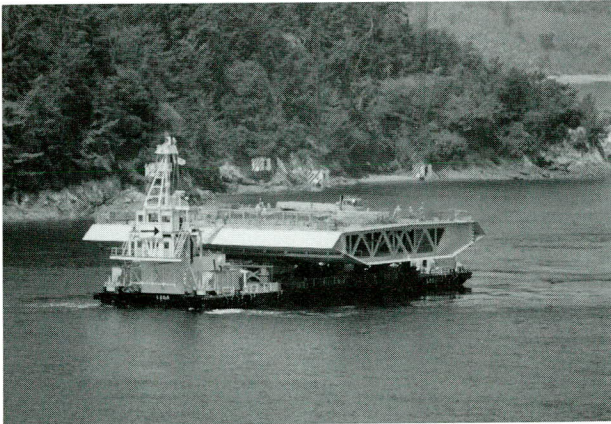


写真-13 自航台船定点保持状況

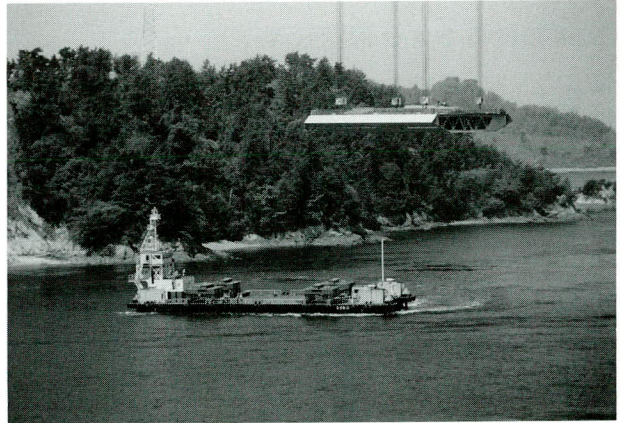


写真-14 自航台船水切り完了状況

### (3) クイックジョイント

LBの主巻きフックと架設ブロック吊点の連結は、航行船の走行波や潮流による自航台船の動揺のなか、確実かつ短時間に行うためQJを採用した。従来、フックと吊点の連結は、基本的には人力にて行われてきたが、明石海峡大橋のケーソン工事にて実績のあるQJを本工事のブロック重量に見合うものとして新規製作し、連結作業の自動化を図った。

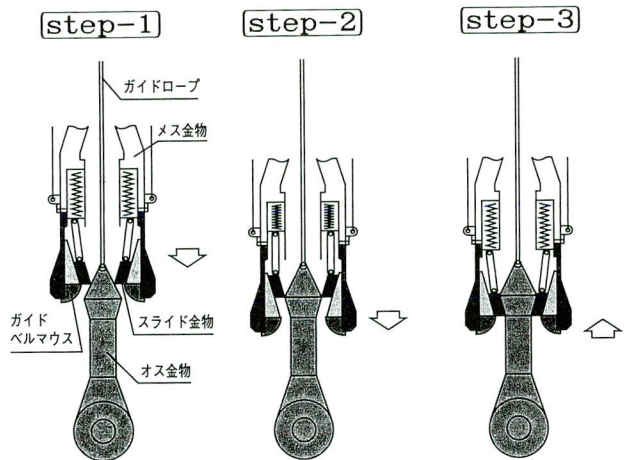


図-7 QJ連結構造概要図



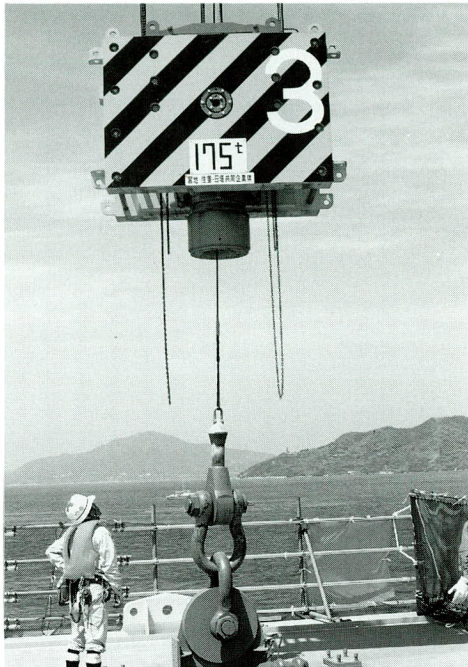


写真-15 フック装着状況

## 5. 架設計算および形状管理

### (1) 架設計算

本橋の架設計算は、下記項目の照査を目的に独自の架設計算システムを構築し、短い架設サイクルに対処した。

- ①補剛桁架設系の応力と形状照査。
- ②サイクル架設におけるLB設置位置および自航台船定点座標の算出。
- ③下フランジ引込み力およびセットバック力の算出など、架設作業への情報提供。
- ④閉合要領など架設計画立案への情報提供。
- ⑤架設時形状管理時の解析値算出。

構造解析は、有限変位理論に基づいた骨組み解析プログラムを適用し、解析モデルは、補剛桁せん断中心に桁部材を配置した魚骨モデルを用いた。

解析モデルの作成に際しては、架設ヒンジやLBをモデル化することにより、計算の高速化と作業効率の向上を図った。

→架設ヒンジのモデル化について

従来、計算実行の過程における架設ヒンジの取り扱い、架設の進捗により刻々と変化するヒンジ部の結合条件をトライアル計算にて検証し、最終的な結合条件を決定していたが、本橋では、計算時間と労力の軽減を目的に、架設ヒンジのモデル化を行い、解析モデルに付加することにより一義的に解析し、所期の目的を達成することができた。

### (2) 形状管理

形状管理は、本橋を二分する（その3）工区と共同で行い、双方の補剛桁架設毎を基本とした。

計測は、三次元座標処理能力を有するトータルステーションを用いて塔頂より行い、主ケーブルおよび橋体等の温度計測は、温度ゲージ（T型熱電対）を各部位に設置し、ケーブルスキャナーを介して小型データロガーに集積する自動計測を採用した。

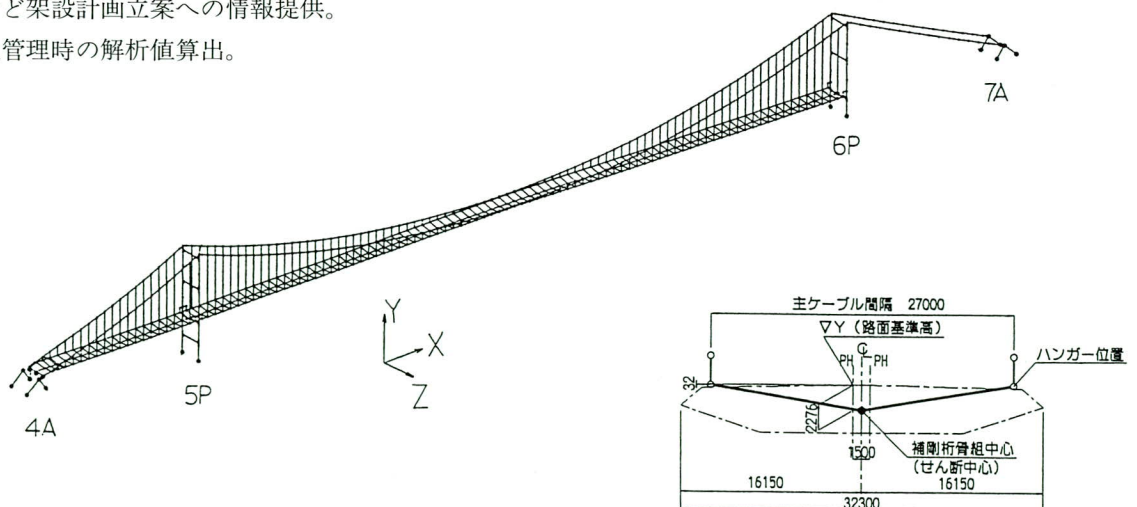


図-8 解析モデル図

・最終出来形

	実測値－管理値	摘要部位
ケーブルサグ	+ 9mm	支間中央部
補剛桁計画高	+16mm	〃
補剛桁スパン長	-44mm	中央径間部

上表の値は、何れも実施設計にて考慮している製作・架設誤差の設定値より小さく、施工精度および現場出来形は良好と云える。

また、架設初期～後期においても、形状は概ね計算値どおり推移しており、架設作業に影響を及ぼすような橋体の変調は見られなかった。

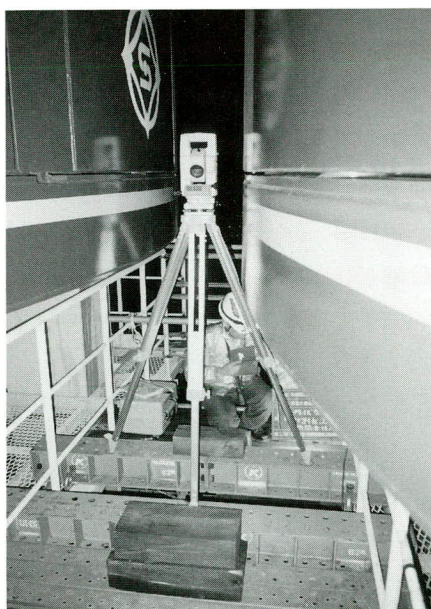


写真-16 トータルステーション設置状況

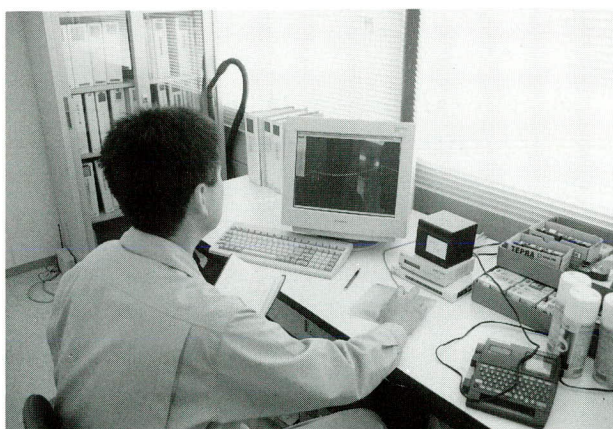


写真-17 システムを運用した計測値集計状況

## 6. あとがき

来島海峡大橋を含めた尾道～今治ルートは、平成11年5月1日に開通を迎えました。

補剛桁工事に関しては、平成7年より約4年間におよぶ工事期間を経て、無事この日を迎えられたことは工事に携わった補剛桁（その1）～（その6）工事の皆様の努力の賜物であると思います。

本報告は、工事の特徴的な部分のみの記述となりましたが、今後の長大橋あるいは、海上部を使用しての架設工事の一助になれば幸いです。

最後に、本工事の設計・製作・架設にあたりご指導を頂いた、本州四国連絡橋公団第三建設局、および今治工事事務所の皆様、ならびに当社とJVを構成した住友重機械工業（株）、日本鉄塔工業（株）の関係各位に、紙上をお借りして厚く御礼申し上げます。

### 〈参考文献〉

- 1) 来島海峡大橋の技術 本州四国連絡橋公団  
1999.11.1 受付