

# 生名橋の施工

## — 3 径間連続鋼・コンクリート混合斜張橋 —

二宮 祐司\*1・岡本 光晴\*2・大久保 和彦\*3・片 健一\*4

生名橋は、愛媛県越智郡上島町の生名島と佐島を結ぶ3径間連続鋼・コンクリート混合斜張橋である。橋長は515m、中央支間長は315mであり、この形式としては国内第3位の支間長を有している。また、中央径間を構成するPC桁と鋼桁の両方に斜材を定着させる国内初の構造を採用している。本橋では、建設コストを低減するために、主桁に混合桁形式を採用し、主塔の斜材定着構造には分離定着方式を採用している。また、PC桁・鋼桁の施工はともに張出し架設工法で行い、接合桁の施工は移動作業車を用いた直下吊り架設工法にて行った。

キーワード：混合斜張橋、分離定着方式、接合桁、直下吊り架設

### 1. はじめに

愛媛県上島町では、平成16年に離島どうしの合併により誕生した同町の新しい町づくりを支援するため、町を構成する岩城島、生名島、佐島、弓削島を一般県道岩城弓削線（延長6.1km）で結ぶ上島架橋整備事業が進められている（図-1）。この事業により平成8年から弓削大橋が供用されており、生名島と佐島を結ぶ生名橋区間は取付け道路を含めて平成16年から事業が進められている。



図-1 生名橋位置図

本橋では、中央径間にPC桁と鋼桁の混合構造を採用し、主塔の斜材定着構造には分離定着方式を用いて建設コストの低減を図っている。また、架設においては、移動作業車を用いた接合桁の直下吊り架設工法や、鋼桁における大ブロックでの張出し架設工法の採用などの特徴を有する。本

稿では、これらの特徴を有する生名橋の施工について上部工を中心に報告する。

### 2. 橋梁概要

道路規格：第3種第5級  
 設計荷重：B活荷重  
 構造形式：3径間連続鋼・コンクリート混合斜張橋  
 橋長：515.0m  
 支間長：98.0 + 315.0 + 98.0m  
 有効幅員：7.5m（車道5.0m歩道2.5m）  
 縦断勾配：+3.5%～-3.5%  
 平面線形： $R = \infty$   
 主塔形式：鉄筋コンクリート構造、H型2面吊り形式  
 橋脚形式：鉄筋コンクリート構造

使用材料を表-1、全体一般図を図-2、主桁断面を図-3、主塔の構造を図-4に示す。

表-1 使用材料

項目	仕様	適用
コンクリート	$\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$	基礎
	$\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$	橋脚
	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	主塔・主桁
鉄筋	SD490	橋脚・主塔
	SD345	基礎・橋脚・主塔・主桁
PC鋼材	SBPR 930/1 180 $\phi$ 32	主桁・主塔補強
	SWPR7BL 19S15.2	主鋼材（外ケーブル）
	SWPR7BL 12S12.7	主鋼材、横桁横締め
鋼部材	PC鋼より線 $\phi$ 15.6	斜材
	SS400, SM400A, SM490YA, SM490YB, BHS500	鋼桁

\*1 Yuji NINOMIYA：愛媛県東予地方局今治土木事務所 上島架橋建設課 上島架橋係 専門員

\*2 Mitsuharu OKAMOTO：愛媛県東予地方局今治土木事務所 上島架橋建設課 上島架橋係 主任

\*3 Kazuhiko OKUBO：三井住友建設・昭和コンクリート工業・横河ブリッジ共同企業体 所長

\*4 Kenichi KATA：三井住友建設(株) 土木本部 土木設計部 課長代理



に位置するため、4リフト分の橋脚躯体が海中に位置することになる。橋脚断面が中空形状であるため、打継目の処理が悪いと海水が内部に浸透するおそれがあった。そこで、打継目は硬化遅延剤による粗面仕上げに加え、壁内部に水膨張性の止水ゴムを配置し、外周面に無機質浸透性の防水材料を塗布した。

仮締切り内に配置した腹起し・切梁等の支保工材は、橋脚躯体施工の進捗に伴い、順次、仮締切り内に注水して外部の海水圧とのバランスを保ちながら撤去する計画であった。架橋位置の潮位は日変化が最大4m近くまで達するため、切梁のひずみと鋼管矢板頭部の変位を逐次計測することで安全性を確認しながら施工を行った（写真 - 2）。



写真 - 2 仮締切り内注水状況

脚頭部では、断面形状が中空断面から充実断面へと変化する。よって、コンクリートの硬化時に温度応力が発生することが予想された。そこで、膨張材を使用するとともに温度応力解析を実施し、初期材齢時に一時的に発生する内部拘束による温度応力に対しては、耐久性に影響を与えるような過大なひび割れが発生しないよう、鉄筋応力度が180 N/mm<sup>2</sup>以下となる量の補強鉄筋を配置した。

## 4. 上部工の施工

### 4.1 施工概要

上部工の施工順序を図 - 5 に示す。

本橋では、主塔の施工とPC桁の張出し施工を並行して行う計画であった。この計画による全体工程への影響を軽減するために、脚頭部の施工が完了した後に主塔の3リフト分を先行して施工した。その後は、主塔の施工が先行する状態でPC桁の施工を並行して行っている。PC桁は、柱頭部の施工および移動作業車の組立て後、全22ブロックの張出し施工を行い、2ブロックごとに斜材を架設している。張出し施工完了後、側径間の閉合、接合桁の架設を行ってからPC桁に架設された斜材の張力調整を実施した。鋼桁は5ブロックに分割しており、片側2ブロックずつ張出し施工した後、閉合を行っている。なお、鋼桁の閉合にあたっては、閉合時の架設遊間を確保するために、セットバック、セットフォアを実施している。

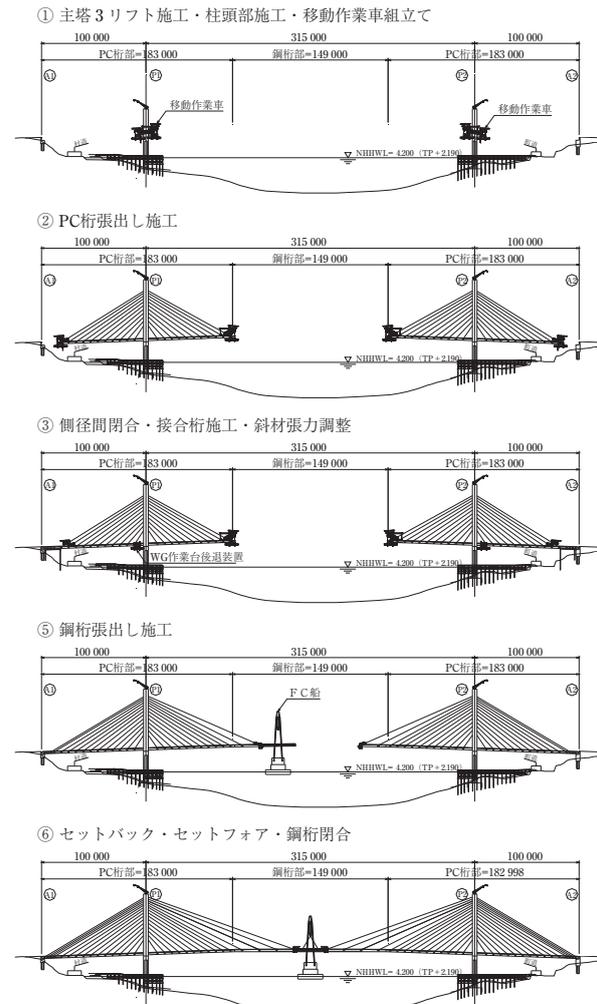


図 - 5 上部工の施工順序

### 4.2 主塔の施工

#### (1) 塔柱の施工

主塔の塔柱は、H型形式の鉄筋コンクリート構造であり、塔柱間隔は頂部にて基部より内側方向に2.0m狭まる一定傾斜を有している。また、断面形状は斜材の分離定着構造に対応するため壁厚0.9mの中空断面形状である（図 - 4）。高さ62.6mに達する主塔の施工は、2.7～4.5mのリフト割りで18回に分割して行った。3リフト目までは橋脚足場を延長して、前述のようにPC桁柱頭部に先立って施工した（写真 - 3）。4リフト目以降は、3リフト目に設置したブラケット上に組み立てた総足場にて施工した。

主塔内には、斜材の分離定着方式に対応した鋼管付き定着プレートを組み込んだ鉄骨が配置される。この主塔鉄骨は、本体の寸法基準となり配筋や斜材機能にまで影響するため、製作および架設において高い精度が必要である（表 - 2）。よって、1リフトごとに、製作・搬入・架設と各施工段階で寸法計測を行い、架設位置ではGPSと光波測距儀を併用して、精度の確保を図った（写真 - 4）。

本橋の主塔コンクリートのスランプは当初8cmで計画していた。しかし、塔柱の軸方向鉄筋が大規模地震時にも

○ 工事報告 ○



写真 - 3 主塔3リフト目の施工状況

表 - 2 主塔の施工精度

項目		許容差	
主塔鉄骨	鉄骨	部材高	± 4 mm
		部材幅	± 4 mm
		部材長	± 4 mm
	定着鋼管	部材長	± 3 mm
		中心位置	± 2 mm
		突出長	± 3 mm
	方向角	$\tan \theta \leq 1/250$	
主塔架設	倒れ量誤差	± H mm	
		H: 主塔高さ	



写真 - 4 主塔鉄骨のGPS測量

初降伏に至らないように設計しており、中空断面にSD490またはSD345のD51が外周側に2段配置となり、鉄筋量が450 kg/m<sup>3</sup>を超える過密な配筋状態であった。加えて、前述した鋼管付き定着プレートを組み込んだ主塔鉄骨が配置されているため、コンクリートの充てん性が懸念された。そこで、コンクリート標準示方書〔施工編〕に準拠し、鋼材量に応じた値としてスランプを15 cmに変更した。また、スランプ増加に伴い、単位水量および単位セメント量が増加しないよう高性能AE減水剤を用いた。コンクリートの打設は、3リフト目まではポンプ車を用いて行い、4リフト目以降は定置式ポンプにより施工した。

本橋の塔柱形状は前述のように傾斜しているうえ、斜材の定着点は主桁側の方が平面的に橋体中心側に位置する。いずれも塔柱の内側への倒れを増加させるため、4リフトに1段ずつ仮ストラットを配置した（写真 - 5）。なお、中空断面形状を形成する主塔壁部内には、分離定着方式の斜材定着による引張力に対して、PC鋼棒を配置して補強している。このPC鋼棒にはプレグラウトタイプを使用し、作業性の低い主塔足場でのグラウト作業を省略した。



写真 - 5 主塔仮ストラット

(2) 水平材の施工

主塔はH型構造のため、塔柱部の14リフト目には、左右の塔柱に剛結された高さ3.0 m×厚さ1.2 mの2枚壁構造の水平材が配置されている。この水平材の主鉄筋は、大規模地震時に降伏を許容し、水平材の塑性変形により地震時のエネルギーを吸収して塔柱本体の応答を減じるように設計している。よって、大規模地震発生時にひび割れによるコンクリート片落下に対応するため、はく落防止対策として3軸アラミドメッシュシートを外周に配置し、剛結部となる塔柱と同時にコンクリートを打設した。また、主鉄筋がD51、帯鉄筋・中間帯鉄筋がD29と太径であるため、コンクリートの充てん性と鉄筋組立ての施工性を向上するために、中間帯鉄筋にはプレートによるねじふし嵌合形式の機械式定着体を用いて片側のフックを省略した（写真 - 6）。



写真 - 6 ねじふし嵌合形式の機械式定着体

4.3 PC桁の施工

(1) 柱頭部の施工

片橋脚で182.2 mの区間を占めるPC桁部は、12 mの柱

頭部、ブロック長が4.0 mの標準ブロックと3.0 mの斜材定着ブロックが交互に配置された全22ブロックの張出し施工部、16.2 mの側径間部で構成されている。

柱頭部はブラケット支保工を用いて施工した。主桁高さは2.2 mである。これを張出し床版付け根部の下縁を境にして2リフトに分割して施工した。柱頭部の横桁は厚さ4.5 mのマスコングリートであり、2リフト目は横桁の外部拘束による温度応力が大きくなることが考えられたため、コンクリートには普通セメントを用いて膨張材を併用した。主桁は連続桁形式であるため、張出し施工時には仮固定が必要となる。この仮固定は主桁と脚頭部をコンクリート製台座とPC鋼棒で固定する構造とし、水平力に対してはPC鋼棒の緊張力による摩擦力で抵抗する構造とした。

## (2) 張出し施工

片側22ブロックの張出し施工部は標準型の移動作業車にて施工した。主桁形状が等断面のため、外型枠部に鋼製一体型枠を使用することで型枠組立て作業を低減し、施工効率を向上させた。鋼製型枠は、斜材定着部も含んだ形状で製作し、蓋を開閉することで標準ブロックにも併用した。張出し施工状況を写真-7に示す。



写真 - 7 張出し施工状況

架橋位置は海上であるため、塩害対策として外周部のコンクリートのかぶりは70 mmに設定し、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用している。エポキシ樹脂塗装鉄筋は現場加工ヤードにて加工後、折り曲げ部や切断面の補修塗装を行った。さらに現場での組立て後にも樹脂塗装の損傷を確認し、必要に応じて補修塗装を行った。

主桁の張出し鋼材には、PC鋼棒 SBPR 930/1180 φ 32 を用いており、1断面あたり上床版に24本、下床版に2本と合計26本が配置されている。上床版の鋼棒は2ブロック分の長さである7 mごとにカップラーを設け、各ブロックにて半数ずつ交互に緊張・接続した。一方、下床版の鋼棒は毎ブロック緊張・接続した。また、ブロック長が3.0 mの斜材定着横桁には横桁横締めとしてSWPR7BL 12S12.7が3本配置されており、マルチストランドジャッキにて左右交互緊張した。

## (3) 側径間の施工

側径間部(16.2 m)の施工は、当初、PC桁の張出し施

工が終了した後、移動作業車を解体してから全支保工で行う計画であった。しかし、張出し施工部の先端は町道の上空に位置しており、移動作業車を解体するためには町道の交通規制が必要であった。よって、一般者の通行への影響を低減するために、側径間部に長さ1.7 mの閉合部を設け、PC桁の張出し施工と同時に閉合部以外の側径間部を施工し(写真-8)、張出し施工終了後、移動作業車を用いて主桁を閉合する方法を採用した。この方法により、主桁閉合後、直ちに移動作業車を閉合部から側径間上を移動させて、端支点部にて解体することが可能となった。最終的に、側径間部の大半が張出し施工と同時に施工できたため約45日の工期短縮を実現することができた。

一般的に、斜張橋は主桁の剛性が小さいため、斜材や主桁の温度変化による桁の鉛直たわみが大きくなる構造である。そこで、側径間部の閉合時は温度の日変化によるたわみを抑制するために、閉合部付近で張出し施工部側に仮支柱を設け、主桁をPC鋼棒で固定した。側径間部は、支柱と地盤によって支持された支持桁上に支柱式支保工を組み立て、柱頭部と同様に2リフトに分割して施工を行い、コンクリートは普通セメントと膨張材を用いた。



写真 - 8 張出し部と側径間部の同時施工状況

側径間には支間ケーブルとして柱頭部横桁と端支点横桁間に直線配置の外ケーブル19S15.2が4本配置される。この外ケーブルには3重防錆型のノングラウトタイプのPC鋼より線を用いてグラウト作業を省略した。外ケーブルは、工場にて所定本数にプレファブ化されたケーブルを搬入するのが一般的である。しかし、本橋では、架橋位置の条件から資材の搬入には船舶の利用が不可避であり、その船舶規模により搬入する資材の大きさに制限が生じる。外ケーブルの長さは100 mを超えるため、プレファブ化されたケーブルでは搬入寸法が過大となり運搬が不可能となった。そこで、ストランドごとに巻き取ったドラムの状態で搬入し、現場にて展開し所定の長さに切断・成型を行った。

## 4.4 斜材の施工

### (1) 斜材の架設

本橋は、海上橋という架橋条件と幅員が狭いという構造条件から、大型設備を必要とする工場製作型のプレファブ

## ○ 工事報告 ○

ケーブルでの架設が困難と考えられた。そこで、現場にて1本ずつストランドを架設緊張して所定本数（19～37本）を構成する現場施工型のケーブルを採用した。斜材には、φ15.6の亜鉛メッキPC鋼より線にグリース塗布し、ポリエチレン被覆を施した3重防錆型のノングラウトタイプを使用した。また、設計張力の導入は、ストランド間の張力のばらつきを低減するために、2段階に分割して行った。以下に、架設および張力導入手順を示す。

### ① 第1ストランド架設

橋面上にてポリエチレン保護管を溶着し、第1ストランドを通す。両者をタワークレーンにて吊り上げ、塔側の定着体にストランドを送り出してロードセルを設置してセットする。塔側セット後、桁側のストランドを定着体に引き込みセットする（写真-9）。



写真-9 斜材架設状況

### ② 第1ストランド緊張

第1ストランドにジャッキをセットして設計導入張力の60～90%程度の緊張力を導入する（1次緊張）。

### ③ ストランド架設・緊張

2本目以降のストランドは、保護管に通したワイヤーにストランドの先端を接続し、ウィンチで引き上げ架設する。ストランド張渡し後は、第1ストランドのロードセルでの張力を基準に、架設したストランドに所定の張力を導入する。図-6に架設中の第1ストランドの張力履歴の一例を示す。

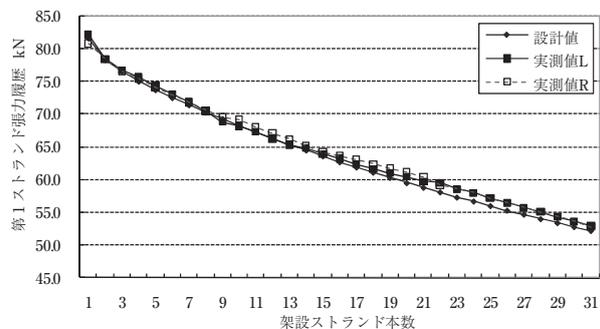


図-6 第1ストランド張力履歴

### ④ 2次緊張

所定本数の架設・1次緊張が終了した翌日に、各ストランドに張力が設計値の100%になるよう緊張力を導入した。2次緊張では、緊張作業中の温度変化による影響を最小限にすることが望ましいので、早朝の時間帯に実施した。

### (2) 斜材張力調整

PC桁の側径間閉合および後述する接合桁を架設した後に、PC桁部に配置されている11段の斜材を対象として張力調整を実施した。本橋はPC桁、鋼桁の両方に斜材を定着する構造であるが、鋼桁側の斜材の設計導入張力は、完成時の必要張力にて決定するよう設計されている。つまり、鋼桁架設以降は応力改善を目的とした斜材張力調整は不要となる計画であった。張力調整は、増引き緊張・引戻しともに、マルチストランドジャッキを使用した。

### 4.5 接合桁の施工

接合桁は、後面支圧方式でPC鋼棒にてPC桁と一体化する構造である（図-7）。本橋では、接合桁長さが2.05mと短く、接合桁内部の中詰め充てんコンクリートを打設しても重量が49t程度であり過大にならない。そこで、製作工場内にて、あらかじめ中詰め充てんコンクリートを打設して、架橋位置に運搬する計画とした。中詰め充てんコンクリートは、収縮による肌隙やスタッドへの引張力の付加を避けるため無収縮コンクリートを使用し、充てん性を高めるためにスランプを21cmとした。また、打設は接合桁を縦に起こした状態で上部より行い、施工性と充てん性を確保した。

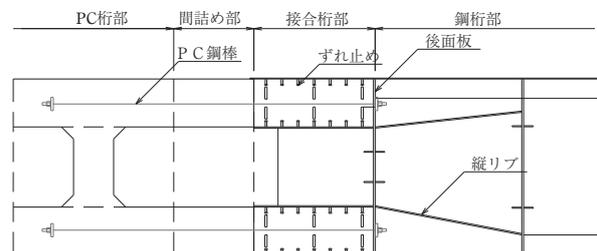


図-7 後面支圧方式

中詰め充てんコンクリートを打設した接合桁は、台船にて現地まで運搬し、張出し施工に用いた移動作業車に設置したウィンチにて、輸送台船上から直下吊り架設を行った。架橋位置は非常に潮流が早いので、水切り作業を安全に行うために、浜出し時にコンクリート充てん後の重心バランスを事前に確認した。約20mの直下吊り架設は予定どおり2時間程度で完了することができた（写真-10）。

接合桁を所定の高さまで吊り上げた後、移動作業車の足場を戻し、PC桁先端部と接合桁をつなぐ長さ1.0mの間詰めコンクリートを打設した。間詰めコンクリート打設時にコンクリート圧や衝撃で接合桁が移動すると、以降の鋼桁架設精度に大きな影響が生じるため、打設時の変位を随時観測しながら精度確保を図った。



写真 - 10 接合桁架設状況



写真 - 12 鋼桁架設状況

#### 4.6 鋼桁の施工

##### (1) 鋼桁の張出し架設

中央径間の中央部分 149 m を占める鋼桁は、ブロック長 25.0 ~ 33.0 m の 5 つの大ブロックに分割した。張出し架設はフローティングクレーン船 (FC 船) を用いて、左右両張出し部とも約 1 ヶ月に 1 ブロックのペースで行った。1 ブロックの最大重量は 115 t となり、吊り能力 700 t の FC 船を使用した。架設に先立ち、鋼桁ブロックは 1 度に 2 ブロックずつ台船に積載・運搬し、架橋位置から 2 km 程の岸壁に係留し、架設前日には架橋位置より 200 m の FC 船仮停泊位置に移動させ、水切りを実施した (写真 - 11)。



写真 - 11 鋼桁水切り状況

運搬された 2 ブロック分の鋼桁は 1 日おきに左右両張出し部で架設した。架設当日は、架設ブロックを吊りながら曳航し、FC 船の位置決め終了後、桁を吊り下ろしながらセッティングビームと引寄せ金具にて位置調整を行った。所定のエレクションピースと下フランジのボルト締付けを完了すると、FC 船の吊荷重を解放した (写真 - 12)。その後、鋼床版を溶接接合し、エレクションピースの撤去と本体添接部ボルトの本締めを行った。架橋位置には船舶の

定期航路があるため、架設時には近傍に警戒船・広報警戒船を合計 4 隻配備して航行船舶の安全を確保した。

本橋は塩害の厳しい環境であるため鋼桁の塗装仕様には、ライフサイクルコストに優れる、Al-Mg 金属溶射を採用している。一部の狭隘部では、ボルトの頭締めが必要となり、このような箇所では高強度フッ素塗装を施した高力ボルトを使用した。なお、施工実績が少ない塗装形式のため、金属溶射・フッ素塗装ともに事前にボルトのすべり試験、軸力試験を実施し、安全性を確認している。

##### (2) 中央閉合

本橋の鋼桁は鋼床版構造であり、鋼桁閉合直前には主桁温度変化により閉合部分の長さが 1 日で 40 mm 程変化していた。よって、鋼桁の閉合に先立ち、約 28 m の閉合桁の落とし込み遊間を確保する必要があるため、P1 支承部にて P1 側主桁全体を 100 mm セットバックした。本橋では機能分離支承を用いており、各橋脚には滑り支承構造の鉛直支承がウェブ直下に 2 基、LRB の水平支承が主桁中央部に 1 基設置されている。セットバックは、この水平支承と橋脚天端に配置した固定金具を 250 t ジャッキ 2 台で連結して、鉛直滑り支承をスライドさせる要領で行った (写真 - 13)。水平支承が 1 基であるため、セットバック時に左右のジャッキ圧差により支承鉛直軸周りの回転が生

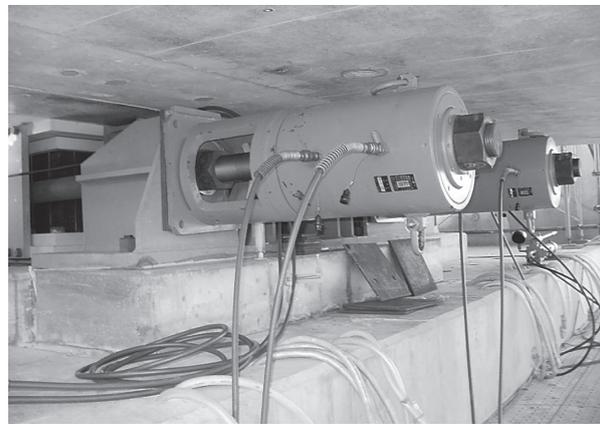


写真 - 13 セットバック設備

## ○ 工事報告 ○

じないよう、ジャッキ圧および桁端部で左右の移動量を管理しながら実施した。

閉合桁の落とし込みは、FC 船にて吊り上げた閉合桁の両端部に配置したセッティングビームを、張出し側の桁先端に設置したガイド内に落とし込んで、位置・高さの調整を行って P2 側ボルトを締結し完了した。

落とし込み完了後、P1 側の支承部にてセットバックジャッキと 150 t ジャッキ 2 台を併用して、100 mm 分のセットバックを戻すセットフォアを行った。セットフォアは、温度変化による主桁伸縮の影響を考慮して、日の出前の早朝に実施した。

### 5. 計測工

本橋は、主桁が PC 桁と鋼桁の混合構造であるうえ、一般的な斜張橋に比べて支間長に対する桁剛性が小さく、挙動が複雑で出来形精度への影響が大きくなることが懸念された。そこで、安全に施工が進められるよう、表 - 3 に示す項目にて計測を実施して、橋梁の挙動の早期把握に努めた。とくに、橋体の挙動への影響が大きい部材温度に関しては、斜材温度、PC 桁上下面・鋼桁上下面を計測して

表 - 3 計測項目

計測項目		計測方法
主塔	倒れ	傾斜計
	塔柱応力	鉄筋ひずみ計
PC 桁	鉛直・水平変位	自動追尾トータルステーション
	主桁応力	鉄筋ひずみ計
	温度	熱電対
鋼桁	鉛直変位	自動追尾トータルステーション
	温度	熱電対
斜材	導入張力	ロードセル
	温度	熱電対

斜材の導入張力に反映するとともに、自動追尾システムでの変位計測を行うことで挙動を把握し、上げ越し管理などの出来形精度に反映した。

また、架橋位置の特性から風が強い地形条件であったため、強風による架設時の安全性を確保することが重要であった。そこで、風向風速計を設置し、主塔や斜材の架設およびタワークレーン・移動作業車などの使用可否の判断、斜材の振動発生を観測に用いた（写真 - 14）。



写真 - 14 風向風速計

### 6. あとがき

本橋は、9月1日に閉合桁を架設し、9月8日に県知事、町長そして弓削島、生名島両島の小学生や工事関係者を招いて閉合式を開催した。また、9月18日には地元の住民の方々を対象とした現場説明会を催し、橋面を歩いていただいた。現場説明会では予想を上回る数の住民の方々に集まっただけ、あらためて本橋に対する地元住民の方々の関心の高さが感じられた。開通後は、上島町の発展に大きく寄与することを願う次第である。

最後に本橋の施工にあたり、惜しみないご協力をいただいた地元関係者に深く感謝の意を表すとともに、本報告が今後の斜張橋の計画・施工の一助になれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：生口橋工事誌
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕，2008.3
- 3) 中村，土田，大野，永元：パイチャイ橋建設工事プレストレストコンクリート Vol.49, No.1, Jan 2007
- 4) 小口，久野，荒巻，大場，小林，中村：矢部川橋梁の施工 橋梁と基礎 Vol.42, No.3 (2008)
- 5) 二宮，岡本，大久保，北野，伊藤，片：生名橋の施工 橋梁と基礎 Vol.44, No.12 (2010)

【2010年11月24日受付】