

# ワルミ大橋の施工

## — 合成アーチ巻立て工法による長大アーチ橋の施工 —

佐久本 典英\*1・前川 智宏\*2・手島 清逸\*3・梶川 晋\*4

ワルミ大橋は、沖縄県の今帰仁村仲宗根から名護市運天原に至る一般県道屋我地仲宗根線の道路新設事業の一環として、本部半島と屋我地島を連絡する海峡横断橋である。貴重動植物が生息する自然環境豊かな地域で沖縄海岸国定公園でかつ鳥獣保護区に指定されていることや航路の確保から上路式 RC 固定アーチ橋を採用している。本稿では、上部工の施工方法について報告する。

キーワード：合成アーチ巻立て工法、上げ越し、温度応力解析

### 1. はじめに

ワルミ大橋は、沖縄県北部に位置する本部半島と屋我地島を連絡する海峡横断橋である（図 - 1）。本橋は、北部圏域の生活圏拡大、通勤・通学、医療や福祉サービスの向上を図ることを目的として建設された。

本橋の特徴として、アーチリブの施工に合成アーチ巻立

て工法を採用している。本工法は、施工初期にヒンジ鋼管アーチを閉合し、鋼管内にコンクリートを充てんすることで合成アーチを形成するため、耐震性および耐風性に優れている。また、本橋の架橋地点は、強風にみまわれることが多いため、合成アーチ巻立て工法を採用することによりアーチリブの巻立て施工において高い安全性を確保できる。なお、アーチ支間 210 m は、本工法で架設する RC 橋として国内最長である。

アーチリブ、補剛桁の施工は、平成 21 年 12 月に完了し、現在、橋面工の施工を行っている。

本稿では、アーチリブ、補剛桁、アーチクラウンの施工方法について報告する。

### 2. 橋梁概要

#### 2.1 工事概要

本橋の橋梁緒元を以下に示す。また、全体一般図を図 - 2、補剛桁断面図を図 - 3、アーチリブ断面図を図 - 4 に示す。

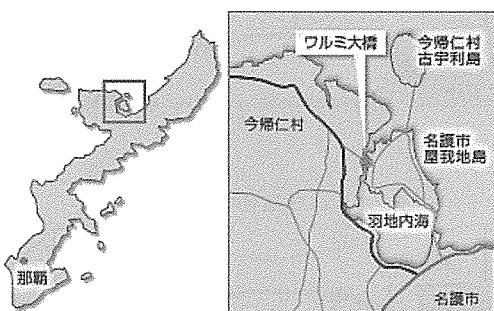


図 - 1 ワルミ大橋位置図

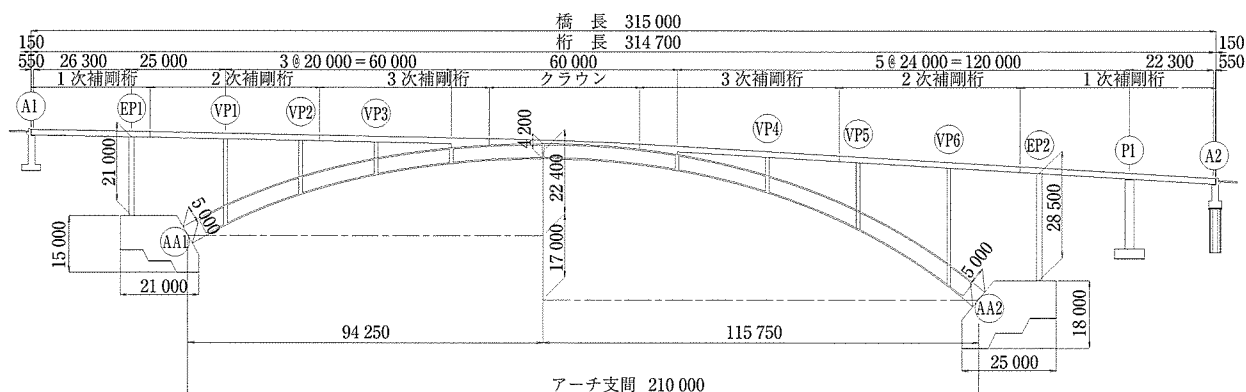


図 - 2 全体一般図

\*1 Norihide SAKUMOTO：沖縄県 中部土木事務所 道路整備班

\*2 Tomohiro MAEKAWA：沖縄県 北部土木事務所 道路整備班

\*3 Seiitsu TESHIMA：(株) 錢高組 東京支社 土木部

\*4 Susumu KAJIKAWA：(株) 錢高組 土木事業本部 営業・生産本部 技術部

○ 工事報告 ○

工 事 名：ワルミ大橋橋梁整備工事（上部工）  
 工事場所：沖縄県今帰仁村天底～名護市我部地内  
 発 注 者：沖縄県北部土木事務所  
 施 工 者：銭高・竹中土木・國場共同企業体  
 工 期：平成 18 年 12 月～平成 22 年 3 月  
 道路規格：第 3 種 2 級 設計速度  $V=50$  km/h  
 活 荷 重：B 活荷重  
 橋 長：315.0 m  
 桁 長：314.7 m  
 アーチ支間：210.0 m  
 アーチライズ：22.400 m（AA1 側），39.400 m（AA2 側）  
 支 間 長：313.6（26.3+25.0+3@20.0+60.0+5@24.0+22.3）  
 幅 員：10.0 m（車道 3.25 × 2，歩道 2.0 m，他路肩）  
 平面線形： $R = \infty \sim A = 250$   
 縦断勾配： $\searrow 2.0\%$   $VCL = 50.0$  m  $\searrow 6.0\%$

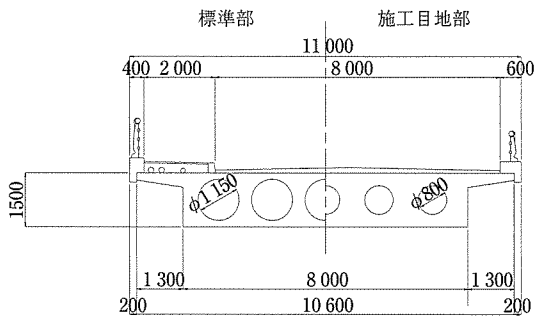


図 - 3 補剛桁断面図

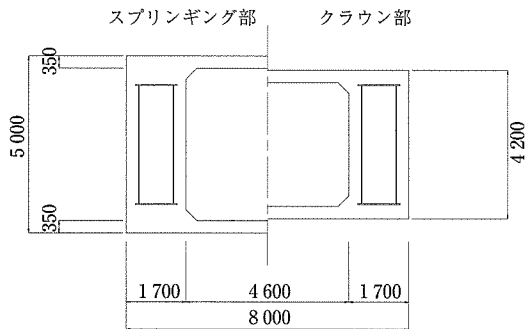


図 - 4 アーチリブ断面図

2.2 使用材用

上部工の主要材料の一覧を表 - 1 に示す。塩害対策としてすべての鉄筋にエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用し、補剛

表 - 1 主要材料一覧

工 種	項 目	仕 様	単 位	数 量
アーチリブ工	コンクリート	40 N/mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	4 530
	鉄筋	SD345	t	755
	鋼管	SS400 SM490	t	1 113
鉛直材工	コンクリート	40 N/mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	594
	鉄筋	SD345	t	102
補剛桁工	コンクリート	36 N/mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	2 458
	鉄筋	SD345	t	336
	PC 鋼材	9S15.2	t	60

桁には、エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線を使用し、ポリエチレンシース、グラウトを含めた三重防錆仕様とした<sup>1)</sup>。補剛桁の桁端部は耐久性を向上させるため、ウレタン系樹脂による表面被覆を行った。

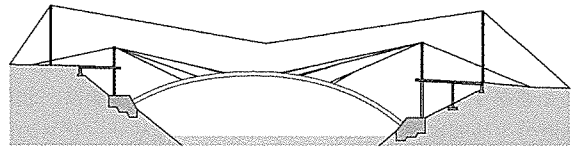
2.3 施工順序

本工事の施工順序を図 - 5 に示す。

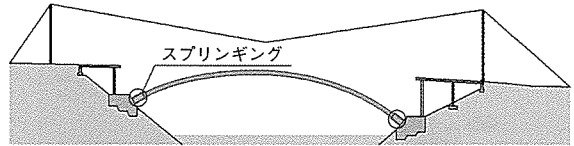
1. 基礎、下部工、1次補剛桁（側径間）の施工



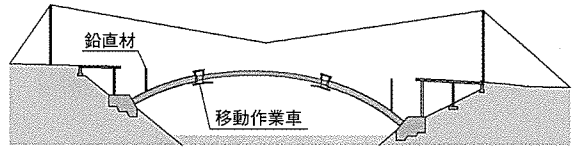
2. ケーブルクレーンによる鋼管の架設



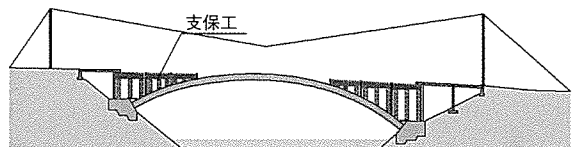
3. スプリングング、鋼管充てんコンクリートの施工



4. アーチリブ巻立ておよび鉛直材の施工



5. 2次補剛桁、3次補剛桁の施工



6. クラウン部、橋面工の施工

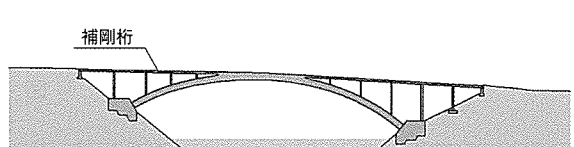


図 - 5 施工順序図

### 3. 施工概要

#### 3.1 鋼管の製作

鋼管の主構は、図 - 6 に示す角型鋼管である。アーチリブコンクリートの施工は、鋼管アーチを巻立てて行う。このため、鋼管架設精度が出来形精度の支配的要因となり、鋼管部材を考慮したアーチリブの変形性能を把握し、鋼管のキャンパー量に反映させる必要がある。そこで、上げ越し計算では、巻立てコンクリート施工後も鋼管部材の剛性を考慮して、たわみ量を算出しキャンパー量を設定した。製作時のキャンパーの最大値は、約 500 mm である。なお、鋼管アーチは、30 ブロックに分割して製作を行った。

解析で考慮した部材モデルを図 - 7 に示す。解析ではアーチリブを鋼管・充てんコンクリート・巻立てコンクリートの 3 本軸でモデル化した。なお、巻立てコンクリートのみクリープ・乾燥収縮の影響を考慮している<sup>2)</sup>。

#### 3.2 鋼管の架設

ケーブルエレクション（斜吊）工法による鋼管架設は、台風が襲来する季節を避けるため 2 月から 4 月にかけて行った。架橋地点は、強風にみまわれることが多いため、風観測により設計風速を 45 m/s とし鋼管架設時の検討を行っている。

ケーブルクレーン後方索、斜吊鉄塔後方索のアンカー基礎は、当初、アースアンカーにより地盤に定着させる構造であったが、琉球石灰岩には空洞が多く定着を期待できないため、鉄筋コンクリートとして、重量により安定する構造とした。

ケーブルクレーンの鉄塔は、160 t クレーンにより組立てを行い、高さは、A1 側で約 47 m、A2 側で約 55 m である。ケーブルの組立ては、A2 側から先行ロープを作業船により A1 側へ引き渡しを行い、ワイヤーに盛り替えウインチにより張り上げた。ケーブルクレーンは、サイドケーブル 25 t 吊りの 2 系統、センターケーブル 3 t 吊りの 1 系統である。

斜吊鉄塔は、地組を行い、エンドポスト上（EP1、EP2）に設置後、斜吊鉄塔頂部にサドルを取り付け、前方索、後方索を設置した。

支承は、ケーブルクレーンにより所定の位置まで運搬したのち、レバブロックにより据付角度の調整を行い、あらかじめアーチアバットにセットしたアンカーボルト（PC 鋼棒）に支承を据付けた。据付角度の微調整は、ナットとジャッキにより行った。

鋼管は、地組を行い、ケーブルクレーンにて所定の位置まで運び、チェーンブロックにより既設ブロックとの角度調整して、ジョイント部を高力ボルトにより締め付け連結した（写真 - 1）。連結後、斜吊索を取り付け、ケーブル調整装置にジャッキを設置し、高さおよび張力の調整を行った。

中央閉合部のブロックは、閉合前に架設高さを斜吊索にて調整し、残り 3 ブロックの時点で小口の測量を行った結果をもとに、寸法を決定した。切断・ボルト穴の調整は現場にて行った<sup>3)</sup>。

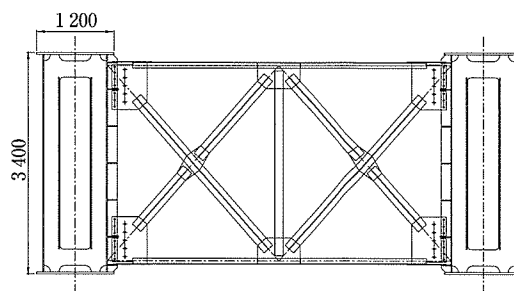


図 - 6 鋼管断面図

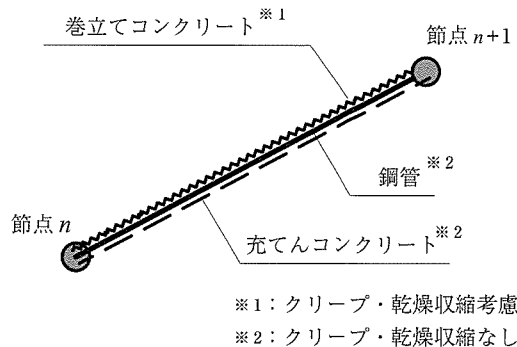


図 - 7 解析モデル図

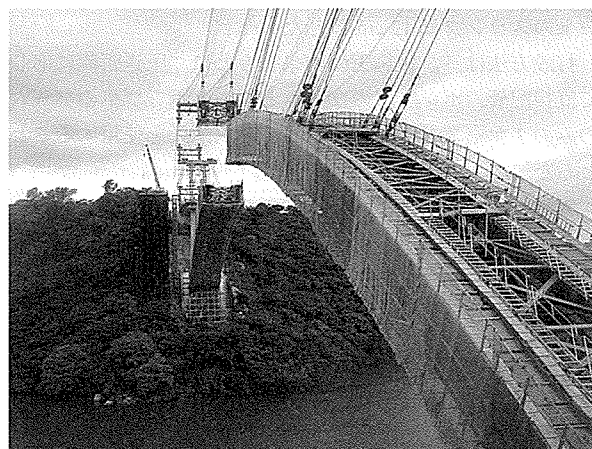


写真 - 1 鋼管架設状況

#### 3.3 スプリング部の施工

スプリング部は、部材寸法（幅 8.7 m、高さ 5.0 m）が大きくマスコンクリートとなるため、3次元有限要素法による温度応力解析を行い、ひび割れ抑制対策を実施した。許容ひび割れ幅は、コンクリート工学協会の耐久性確保の観点からもっとも厳しい 0.1 mm 以下<sup>4)</sup>とした。解析結果より、端部への鉄筋補強、膨張材を添加した普通コンクリートを使用することによりひび割れ幅を 0.1 mm 以内に制御した。対策前、膨張材添加後の最小ひび割れ指数分布図を図 - 8 に示す。

施工は、鋼材による支柱式支保工で行った。スターラップに半円形のフックがあるため、底版の型枠組立てより先行して鉄筋組立てを行った。コンクリート打設では、桁高が高いためトレミー管を使用し、鋼管の下側にコンクリートを充てんさせるために、桁端部に打設窓を設けて、パイ

プレートにより締めを行うと同時に目視によりコンクリートの充てん性を確認した。また、気泡の発生を防止するため、天端の型枠に布型枠を使用した。

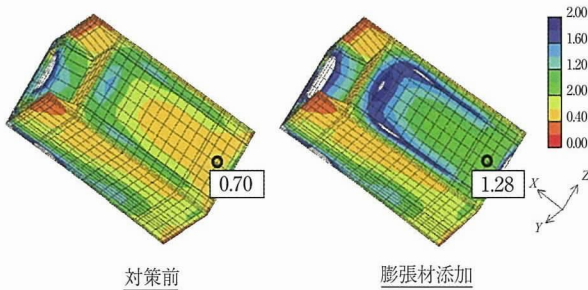


図 - 8 スプリング部最小ひび割れ指数分布図

### 3.4 鋼管充てんコンクリートの施工

ポンプ車の圧送距離が長いので、施工に先立ちポンプ車の性能および配管方法を検討する目的で試験施工を行った。試験施工では、実施工の圧送距離以上とし、ポンプ車からの直接配管（圧送距離  $L=175\text{ m}$ ）とポンプ車のブームと配管（圧送距離  $L=125\text{ m}$ ）の2ケースで行った。結果、2ケースともに打設可能であることを確認した。コンクリートのスランプは  $12\text{ cm}$  とした。

打設方法は、試験施工の結果をもとに、圧送距離に応じて直接配管、ポンプ車のブームと配管、ポンプ車のブームのみの3ケースとした。配管は、高圧配管を使用することとした。

鋼管充てんコンクリートの打設は、8回に分割して行った。鋼管は、2主構であるため片側  $12\text{ m}^3$ （生コン車3台分）を先行して左右交互に打設を行った。片側を  $12\text{ m}^3$  先行して打設するため片側のみ荷重が載荷されることから、打設時の対傾構、横構の安全性の検討を行い、応力度が許容応力度を満足していることを確認した。鋼管充てん状況を写真 - 2 に示す。

配管を使用したのちの残コンはノッチタンクに排出し、ケーブルクレーンにより運搬して処理を行った。打設は、夏場での作業となったため、作業員は20分交代の2班で行った。

コンクリート打設時の鋼管内の充てん確認は、鋼管内天端付近および隅角部に設置した充てん検知センサーにより行った（写真 - 3）。また、コンクリート硬化後、ブリーディングおよび沈降による肌すきが生じていないかを打音検査により確認し、肌すきが生じていると思われる箇所については、鋼管上フランジに  $\phi 20\text{ mm}$  の孔を削孔し、無収縮モルタルの注入により充てんを行った<sup>3)</sup>。

### 3.5 アーチリブ巻立て

#### (1) 移動作業車

アーチリブの巻立ては49ブロックに分割し、移動作業車により施工した。1ブロックあたりの施工長さは水平長で  $4.0\text{ m}$  である。移動作業車は、前方を鋼管アーチ上、後方を既設ブロックで固定させる構造とし、電動油圧ジャッキ、ポンプを用いて総ネジPC鋼棒を緊張することにより

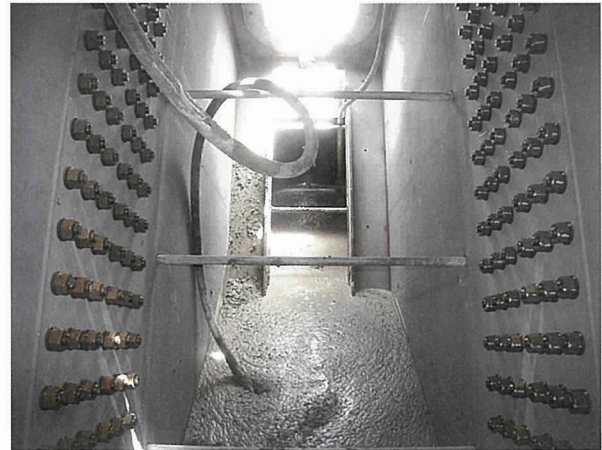


写真 - 2 鋼管充てん状況



写真 - 3 充てん検知センサー測定状況

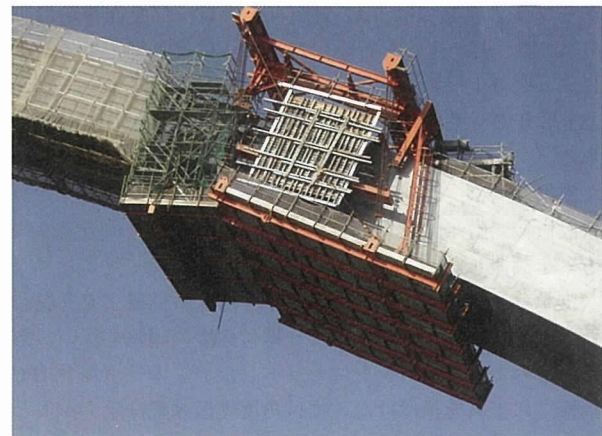


写真 - 4 移動作業車

移動を行った。

巻立ての施工では移動作業車に前方作業台を設け、次ブロックの鉄筋を先行して組み立てることにより工程短縮を図った。また、型枠の転用回数が多いので、外枠にステンレスフォームを使用し移動作業車から吊下げ、横移動できる構造とした（写真 - 4）。

#### (2) コンクリート打設

巻立てコンクリート打設は施工地域が国定公園内かつ鳥



獣保護区であり、海上での施工となる。そこで、万一の閉塞による配管破裂を防止するため、配管材に高圧配管を使用し、さらに配管外周に養生シートを巻き付け2重の対策を講じた。また、周辺環境への影響を考えた場合に、散水養生は難しいため、被膜型コンクリート表面養生剤による養生を採用した。

(3) アーチリブ中央閉合および移動作業車解体

中央閉合はAA1側移動作業車を解体したのち、AA2側移動作業車により施工した。アーチリブ上での移動作業車の解体は海上での施工という特徴を活かし、ワルミ海峡に台船を係留し、ケーブルクレーンを使って移動作業車を部分的に解体し、直接台船の上に降ろしたのち、曳船により台船を近くの港まで曳船し陸上で解体した(写真-5)。

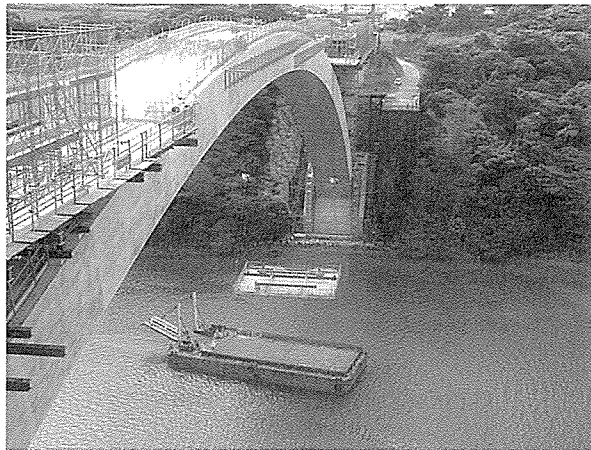


写真-5 移動作業車解体状況

3.6 補剛桁の施工

(1) コンクリート打設

補剛桁はバイブレータの締固め能力を考慮して打上げ高さが50cmとなるように3層に分け、コールドジョイントの発生を防止するため、打込み区画は橋軸方向に10m程度として打設した(写真-6)。



写真-6 補剛桁コンクリート打設状況

(2) 1次補剛桁の防錆処理

側径間の1次補剛桁の施工がアーチリブ施工に先行して行われるため、1次補剛桁の鉄筋およびPC鋼線接続具が2次補剛桁を打設するまで2年間露出した状態となる。そこで、防錆対策として鉄筋には防錆モルタルの塗布を行い(写真-7)、PC鋼線接続具には防錆キャップを取り付け防錆キャップ内にウレタンを注入し防錆処理を行った。



写真-7 防錆モルタル塗布状況

(3) PC鋼線接続具システム

補剛桁は、分割施工を行うためエポキシ樹脂塗装PC鋼より線に対応した新たな接続具を採用する必要があった。開発を依頼するにあたり、SWPR7BN 12S12.7とSWPR7BN 9S15.2を比較検討した結果、ストランド本数が少なく接続具寸法をコンパクトにでき、現場での組立作業が容易な9S15.2のマルチ定着タイプの接続具を採用した(図-9)。

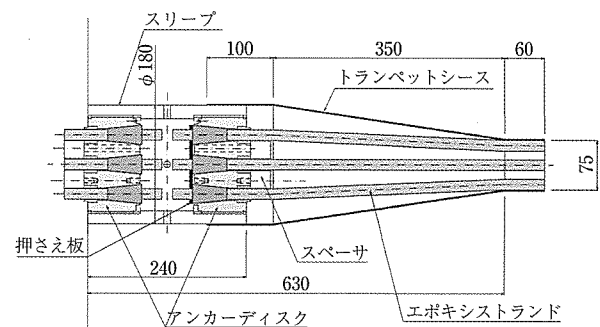


図-9 接続システム

本接続具は初めて採用されるシステムであるため、定着性能試験を実施した。試験では、PC鋼より線を破断まで緊張し、定着効率、接続具の移動量およびひずみを測定した。試験結果より定着効率は土木学会規格値<sup>5)</sup>(95%以上)を満足しており、接続具の移動量は約1mm、ひずみの最大値は852 $\mu$ で弾性範囲内であり、定着性能の健全性を確認することができた。

### 3.7 アーチクラウンの施工

#### (1) 温度応力解析

アーチクラウン部および打継部は、マスコンクリートであることおよび既設部材による拘束が大きいことから、ひび割れの発生が懸念された。そこで3次元有限要素法による温度応力解析を行い、ひび割れの抑制対策を実施した。ひび割れ幅制限値として、日本コンクリート工学協会の補修の要否に関するひび割れ幅の限界値を参考に、耐久性確保の観点からもっとも厳しい $0.10\text{ mm}^4$ を設定した。

解析結果より、膨張材を添加した普通コンクリートを使用し、分割施工+補強鉄筋配置によりひび割れ幅を $0.10\text{ mm}$ 以内に制御した。図-10, 11に対策前, 対策後の最小ひび割れ指数分布図を示す。分割施工は3次補剛桁の緊張作業スペースを確保しつつ、アーチクラウン部の鉄筋継手位置を避け、端部より $7.5\text{ m}$ の区間に決定した(図-12)。これにより、3次補剛桁の緊張とアーチクラウン部1次施工部の鉄筋組立て・コンクリート打設が同時に行えるため作業工程への影響を最小限に抑えることができ

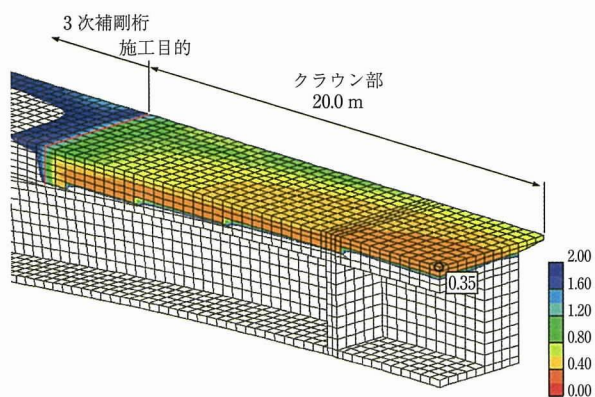


図-10 対策前最小ひび割れ指数分布

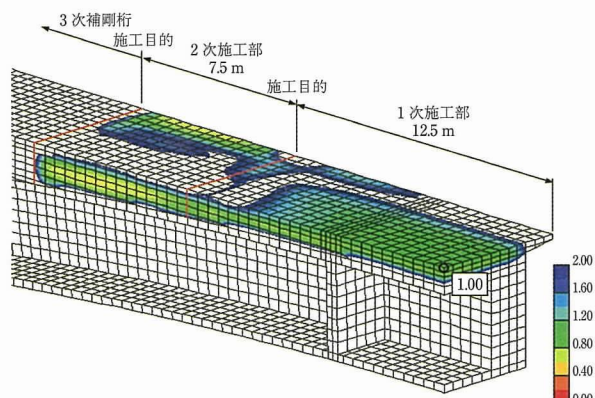


図-11 対策後最小ひび割れ指数分布

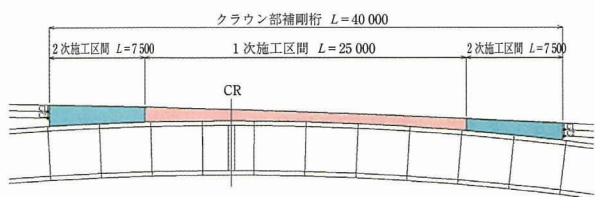


図-12 打設区間割り

た。鉄筋補強は橋軸方向および橋軸直角方向にD22を配置した。

#### (2) 施工目地部の補強

1~3次補剛桁はPC部材となっているのに対し、クラウン部補剛桁はRC部材となっている。PC部材のクリープ変形により、3次補剛桁とクラウン部補剛桁の接合部に引張応力が発生し(図-13)、ひび割れが発生する危険性があるため接合部に鉄筋追加による補強を行った。補強筋は定着部の引張力により、4本定着部にはD22-16本、3本定着部にはD22-14本をそれぞれ配置した(図-14)。

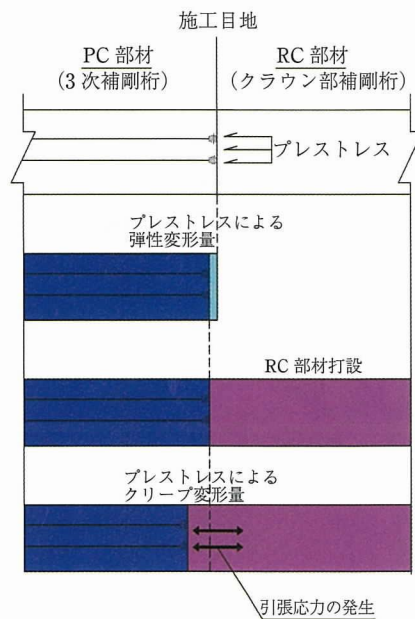


図-13 PC部材のクリープによる引張力

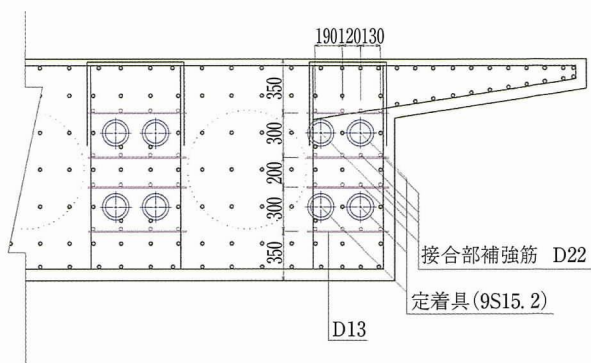


図-14 接合部補強筋

### 3.8 アーチリブの点検

本工事の架設方法である合成アーチ巻立て工法によるコンクリートアーチ橋は、移動作業車によりコンクリートを打設しながら進行していくものである。よって脱枠直後のコンクリートのひび割れ点検は可能であるが、温度変化, 外部拘束などによるひび割れの発生しやすい打設1~3ヵ月後には外部足場がない。そこで点検作業車を組立てその点検にあたった(写真-8)。

移動にはウィンチを使用し、下部作業台の上下調整には

電動チェーンブロックを使用した。万一の移動防止として常時大型キャンバーを同時移動させ、作業床とは総ネジPC鋼棒をフェールセーフとして併用し安全作業に努めた。図 - 15 に点検作業車詳細図を示す。

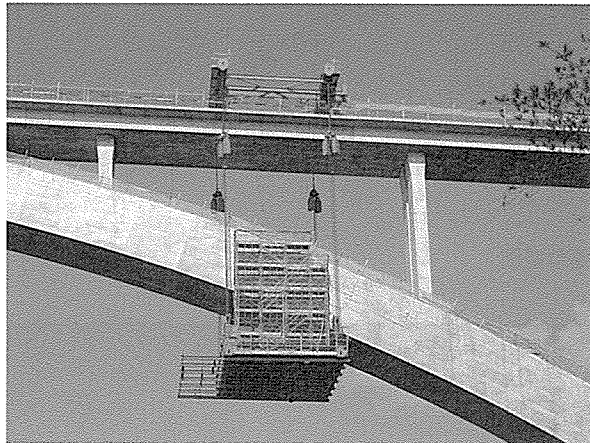


写真 - 8 点検作業車

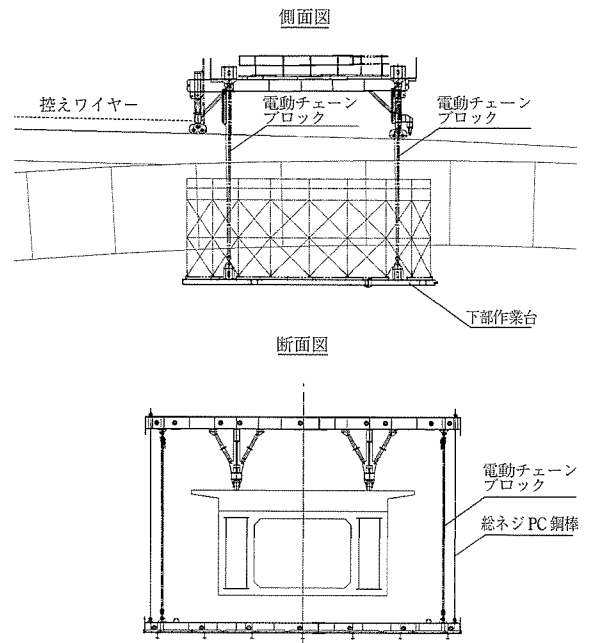


図 - 15 点検作業車詳細図

### 3.9 計測工

合成アーチ巻立て工法による鉄筋コンクリートアーチ橋は鋼管架設後、構造系が多様に変化し、施工時にアーチリブの各部材応力度が複雑に変化するため、施工時における安全性の確認、実際の応力挙動の把握が必要である。計測工に用いた計器および目的を表 - 2 に、計測器配置位置図を図 - 16 に示す。計測結果より、鋼管・鉄筋ともに施工時の応力は許容応力度を満足しており、施工中の安全性を確認することができた。

### 4. おわりに

沖縄での工事ということで、台風による工事中止や工程遅延も予想されたが、幸運にも施工中に大きな台風にみまわれることもなく、順調に施工を行うことができた。

工事は関係者各位および地域の方々のご協力のもと、平成 21 年 12 月に無事竣工した (写真 - 9)。ワルミ大橋は現在、平成 22 年度中の開通を目指し、橋面工の工事が進められている。本橋の開通により、現地の方々の利便性が向上することを期待する。

最後に、本稿が同種工法の橋梁計画における一助となれば幸いである。

表 - 2 計測項目および使用計器

計測対象	計測事項	使用計器	目的
ワルミ大橋 鋼管アーチ部	鋼管アーチ内部 コンクリート有効応力	有効応力計	施工の進捗に従い増大する鋼管アーチへの荷重により発生する鋼管内部のコンクリート応力を測定し把握する。
	鋼管アーチ内部 コンクリート無応力	無応力計	鋼管内部コンクリートの温度ひずみ、収縮ひずみを測定し、有効応力測定値と比較することにより、アーチ部分の荷重の増加による外力のみの応力を把握する。
	鉄筋応力	鉄筋計	巻立て部分に計器を取付け、施工の進捗に伴い増大する荷重により発生する鉄筋応力を測定する。
	鋼管応力	ひずみ計	アーチリブ鋼管内部に直接取り付け付けた計測器により、施工の進捗に伴い増大する荷重により発生する鋼管応力を測定する。
ワルミ大橋 拱台部	拱台傾斜	傾斜計	施工の進捗に伴い増加する荷重による拱台の挙動を、拱台の傾斜角を測定することにより把握する。
	外気温度 躯体温度	温度計	構造物の変位量と外気およびコンクリート温度の関連性を確認する。

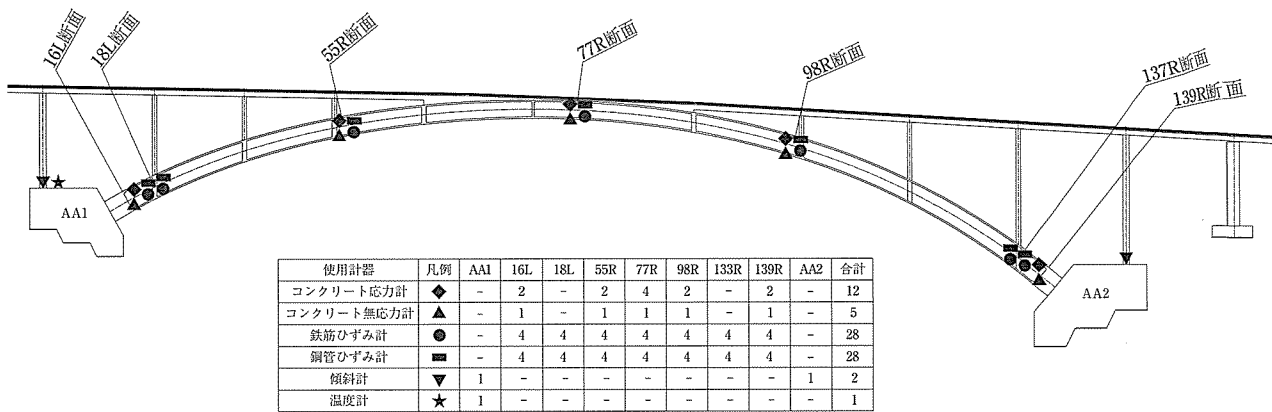


図 - 16 計測器配置位置図

参考文献

- 1) 梶川晋, 佐久本典英, 米須清彦, 秋山博: ワルミ大橋の概要, 第16回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.97-100, 2007.10
- 2) 佐久本典英, 前川智宏, 松永昭吾, 嶋田紀昭, 手島清逸, 山花豊: ワルミ大橋の設計・施工, 橋梁と基礎, vol.43, No.3, pp.31-37, 2009.3
- 3) 梶川晋, 佐久本典英, 前川智宏, 手島清逸: 合成アーチ巻立て工法によるワルミ大橋の施工, 第18回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.207-210, 2009.10
- 4) (財)日本コンクリート工学協会: コンクリート技術の要点'09, 2009
- 5) 土木学会: 2007年制定コンクリート標準示方書 [施工編], 2008.3

[2010年6月11日受付]

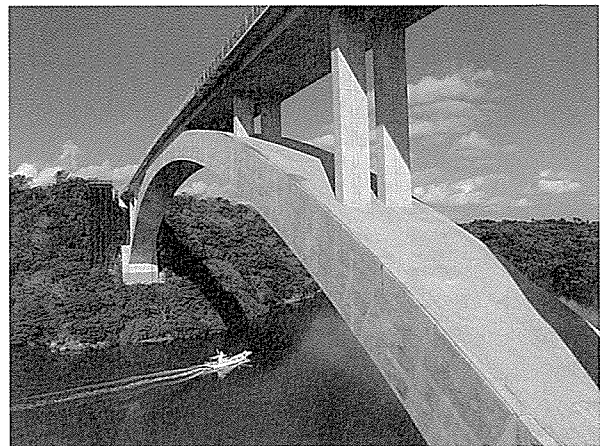
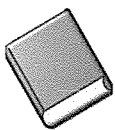


写真 - 9 AA2よりAA1を望む



図書案内

PC 技術規準シリーズ

## 外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準

定 価 4,725 円 / 送料 500 円

会員特価 4,000 円 / 送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編  
技報堂出版