

21径間連続RCアーチ橋の設計と施工 ——那覇空港自動車道・南風原高架橋——

川路 正行^{*1}・玉城 正弘^{*2}・東浜 邦章^{*3}

1. はじめに

那覇空港自動車道（一般国道 506 号）は、全国 14 000 km で構成する高規格幹線道路網の中の一路線で、昭和 62 年 6 月に指定されたものであり、現在供用中の沖縄自動車道と沖縄の玄関口那覇空港とを結ぶ延長約 20 km の自動車専用道路である。

本自動車道は現在供用中の沖縄自動車道に取り付く西原 JCT より順次南風原（ハエバル）道路（ $L=5.9$ km）、豊見城東（トミシロヒガシ）道路（ $L=6.2$ km）、小禄（オロク）道路（調査中約 8 km）で構成されている（図-1 参照）。

南風原高架橋は、南風原道路の一環として沖縄県南風原町内において建設を進めている 21 径間連続 RC アーチ橋で、平成 4 年 11 月に工事に着手し写真-1 に示すように、現在橋脚およびアーチリブの施工を順調に進めているところである。

本高架橋は、同種の橋梁では全国的にも最大規模であ



写真-1 南風原高架橋 手前に見えるのが沖縄自動車道

り、かつ、施工方法には橋脚間に斜材を配置し、橋脚およびアーチリブの変位を制御しながら進める工法を採用している。さらに施工時の安全性・信頼性を高め、今後のアーチ橋の計画、設計における技術資料を得ることを目的に、主要箇所の変位および有効応力等の計測を実施

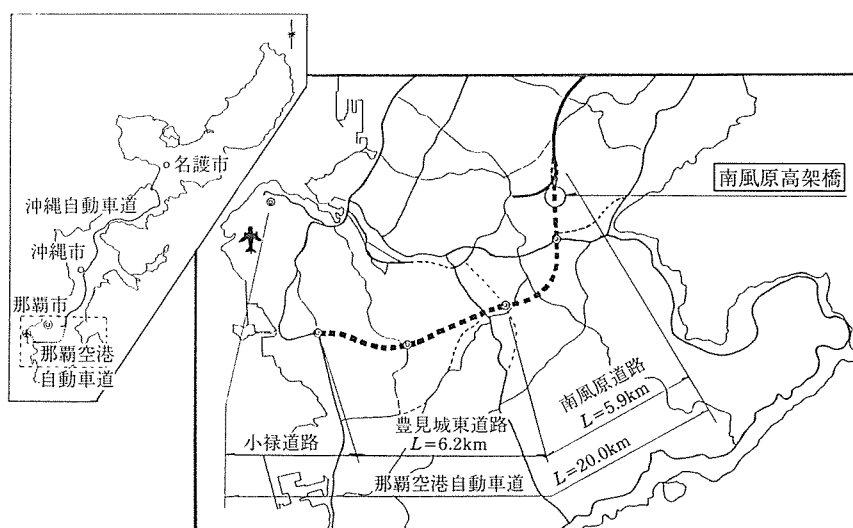


図-1 那覇空港自動車道計画および南風原高架橋位置図

^{*1} Masayuki KAWAJI：沖縄開発庁 沖縄総合事務局南部国道事務所 所長

^{*2} Masahiro TAMASHIRO：沖縄開発庁 沖縄総合事務局南部国道事務所嘉手納国道出張所 所長

^{*3} Kuniaki HIGASHIHAMA：沖縄開発庁 沖縄総合事務局南部国道事務所嘉手納国道出張所 技術係長

している。

本文は、その概要について報告を行うものである。

2. 南風原高架橋の設計概要

沖縄にはかつて、世界的にも類例のない沖縄独特の工法により築造された数多くの石造りのアーチ橋が点在していた。しかし、これらのアーチ橋の大部分は戦火およびその後の道路整備等により、その大部分が破壊あるいは撤去され、現在ではわずか数橋が残っているだけとなっている。

南風原高架橋の構造形式にはこのような沖縄の歴史をふまえ、最新の技術と工法により沖縄の石造文化の具現化、周辺の景観との調和が図れるものとして、景観検討委員会において連続アーチ橋を選定した。

上部工は橋脚高 $H=8.0\text{ m} \sim 17.0\text{ m}$ の橋脚上にアーチ支間 39.0 m 、部材厚 80 cm の等断面単円アーチリブを設け、各アーチリブ上に設けられた5基の鉛直材上に

版厚 55 cm の充実断面からなる補剛桁を配置した構造となっている。

基礎は杭基礎形式であり、支持地盤である島尻泥岩層に根入れするため全周回転掘削工法による場所打ち杭 $\phi 1\,200\text{ mm}$ を採用した。また、下部工にはアーチリブを支えるため壁式橋脚を採用した。本橋の橋梁諸元を表-1 および図-2 に示す。

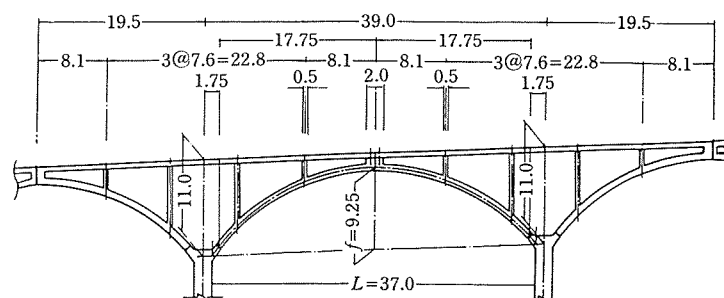
3. 施工方法

本高架橋のアーチ部の施工は、多径間であること、橋脚高が高いこと等から鋼製トラス構造のアーチセントルを採用し、縦移動桁上を終点側から起点側へ順次移動させていく工法を採用している（起終点のスパンについては、オールステージング工法を採用している）。

本橋は、表-1 に示すようにスレンダーな橋脚をもつ連続アーチ構造のため、アーチリブおよび床版施工時は、自重により橋脚、アーチリブに変位および過大応力

表-1 橋 梁 諸 元

道 路 規 格	第1種第3級 A 規格 $V=80\text{ km/h}$ 4車線	
橋 格	一等橋 (TL-25)	
橋 梁 形 式	上り線 (空港向)	下り線 (名護向)
	20 径間連続 RC アーチ橋	21 径間連続 RC アーチ橋
橋 長	$L=780\text{ m}$ ($39.0\text{ m} \times 20$ 径間)	$L=828\text{ m}$ ($39.0\text{ m} \times 21$ 径間)
縦 断 勾 配	$4.0\% \sim 0.9\%$	4.0%
平 面 線 形	$A=400\text{ m} \sim A=200\text{ m} \sim A=400\text{ m} \sim R=850\text{ m}$	
横 断 勾 配	$7.0\% \sim 4.0\%$	
アーチライズ比	$(f/l) : 1/4$ ($f=9.250\text{ m}$, $l=37.000\text{ m}$)	
主 要 構 造	RC 床版 (0.55 m) 桁長 78 m 、アーチリブ厚 0.80 m 、橋脚高 $10\text{ m} \sim 25\text{ m}$ 、橋脚厚 2 m	
基 礎 形 式	場所打ち杭 $\phi 1\,200\text{ mm}$ (杭長 $10.0\text{ m} \sim 18.0\text{ m}$)	



※アーチライズ比 $(f/L) = 1/4$ ($f=9.25$ $L=37.0$)

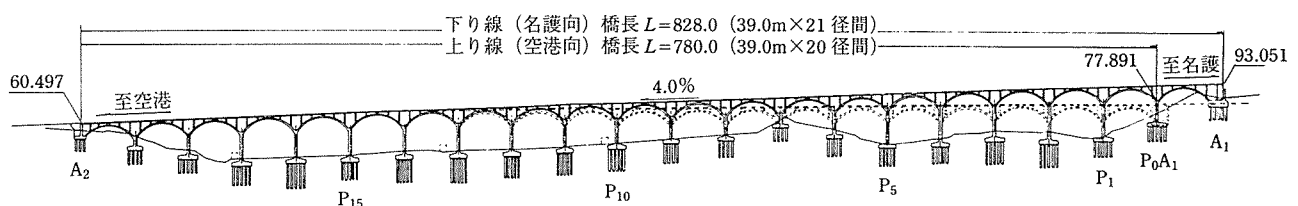


図-2 橋梁一般図および側面図

◇工事報告◇

によるひびわれが発生することが思慮された。そのため、その対処策として斜材を橋脚間に設置し、緊張力の導入による変位制御を行いながら施工を進める方法を採用した。なお、アーチリブのコンクリートはリブ厚が薄く鉄筋が密に配置されていることから、コンクリートの充填性を考慮して、高性能減水剤を添加し流動性を改善したレディーミクストコンクリートを使用している。

本橋の施工は図-3 に示すように以下の手順で行っている。

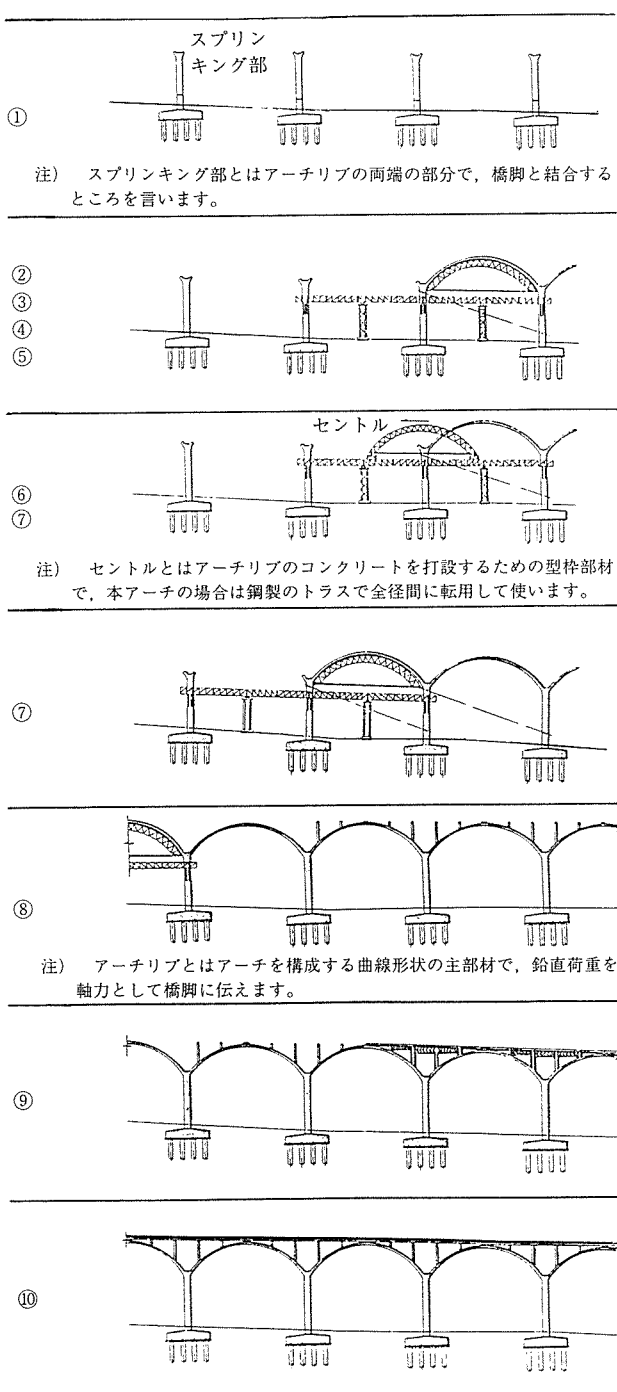


図-3 施工順序

①橋脚施工、②アーチセントル架設、③斜材の設置、④型枠・鉄筋の組立、⑤コンクリート打設、⑥アーチセントルダウン、⑦縦移動桁架設・セントル移動、⑧鉛直材施工、⑨床版工、⑩橋面工

① 橋脚施工

上部工工事に先立ち、下部工工事によりフーチング上面より5 m まで施工終了していたため、今回工事においてアーチスプリング部まで施工した。

橋脚についてはレディーミクストコンクリート ($\sigma_{ck} = 210 \text{ kgf/cm}^2$, スランプ 8 cm) を使用している。

② アーチセントル架設

橋脚の施工終了後、アーチセントルの架設を行う。架設は施工順序を考慮し $P_{18} \sim P_{17}$ 径間に行った。

架設方法として、トラッククレーン(機械式 150 t) による相吊り施工を採用した(写真-2 参照)。

アーチリブ幅員は 7.5 m のため、幅 2.5 m に組み立てたアーチセントルを 2 組使用して施工している。

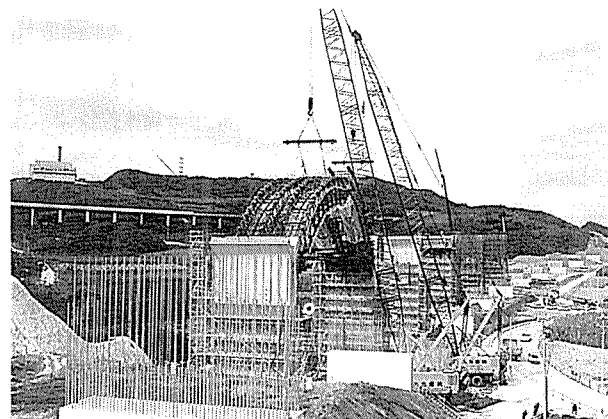


写真-2 アーチセントルの組立・架設状況

③ 斜材の設置

アーチセントルのダウン時には、アーチリブの自重により鉛直力が作用し、この力が橋脚に水平力となって伝達されるため、橋脚が外側へ変形する[床版施工時においても同様](図-4 参照)。この水平力を斜材(PC 鋼棒 $\phi 32 \text{ mm}$, $L=42 \text{ m}$, 8 本) による引張で抵抗し、橋脚の鉛直度を確保している。

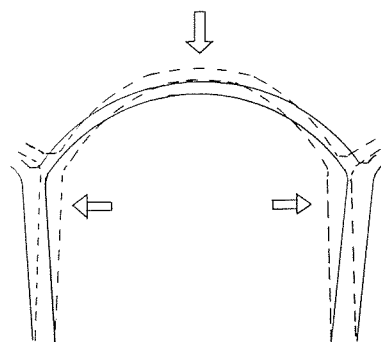


図-4 アーチリブと橋脚の変形

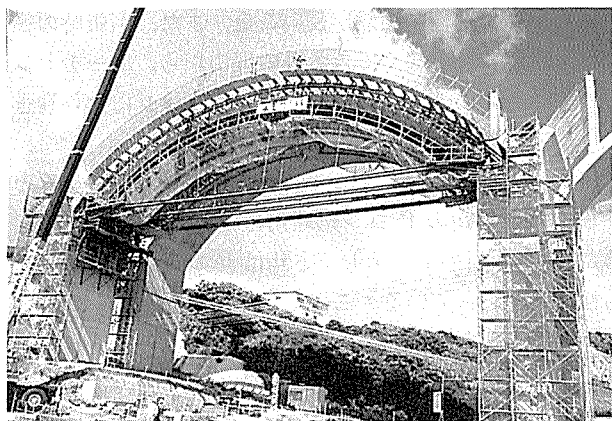


写真-3 斜材の設置

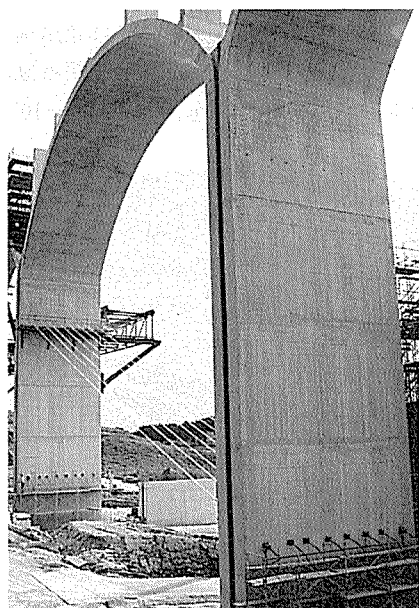


写真-4 斜材の設置

P₁₈～P₁₇間の施工は斜材をクロスに設置し、P₁₇以降の施工は片側のみの設置となっている（写真-3、4参照）。

斜材の緊張力は、一本あたり 37.5 tf の荷重で 8 本の合計で 300 tf を導入している。

④ 型枠・鉄筋の組立

アーチセントル架設後、型枠・鉄筋組立となるが、今回施工場所が地上高 25 m～40 m の高所作業であるためすべての作業がクレーンを使用している作業となった。また、施工ヤードが狭いため、クレーン配置の工夫が必要となった。

作業箇所の条件が、高所作業と相まって足場がアーチリブのクラウン部（上端）では水平に近いが、橋脚付近では急勾配位置での作業となるため、足場の設置や鉄筋の組立には段取筋を使用するなど安全面においては特に注意をはらった。

また、下型枠についてはアーチセントルと一緒に転用

するため、錆の発生防止のためステンレス製のメタルフォームを使用した。

⑤ コンクリート打設

アーチリブは 80 cm のスレンダーな設計を行ったため、部材厚に対し鉄筋が密に配置されている。打設に際し通常のレディーミクストコンクリート（スランプ 8 cm）では端部の充填が憂慮されたため、端部まで充填が可能になるよう高性能減水剤を添加し、水セメント比（W/C）を変えずに流動性を改善したレディーミクストコンクリート（ $\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$ 、スランプ 12 cm）を使用した。なお、押え型枠部のコンクリート打設および締固めは、型枠上面に設けた小窓より行った。

さらに、打設時に支保工であるアーチセントルに偏荷重による異常な応力が発生しないように、2 台のポンプ車を使用し、橋脚部からクラウン部に向かって左右均等に打設するよう配慮した（写真-5 参照）。

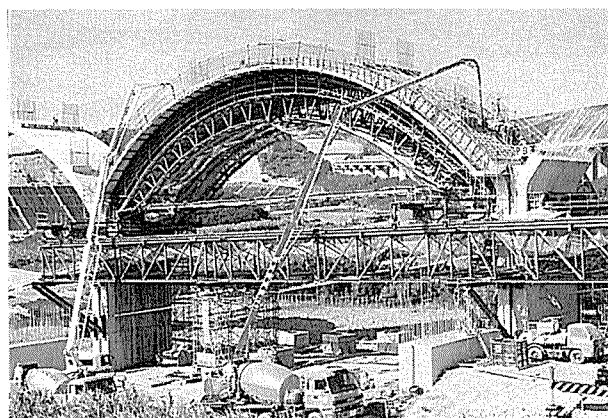


写真-5 コンクリート打設状況

⑥ アーチセントルダウン

コンクリート打設・養生後、アーチセントルのダウン（下げる）を行うが、今回は切断支承（角形鋼管）を採用することにより、切断支承が受け持っていた鉛直力を切断時の座屈を利用してスムーズに横移動用のレールに移行させ、安全面に十分配慮した施工を心がけた（写真



写真-6 切断支承の切断状況

◇工事報告◇

-6 参照)。

⑦ 縦移動桁架設・アーチセントル移動

アーチセントルのダウン後、アーチセントルを次の径間へ移動させるための施設として縦移動桁を使用している。

アーチセントルのダウン後、縦移動桁への横移動を行い、その後、橋軸方向への縦移動となるが、縦断勾配が4%あり、平面線形もS型クロソイドであるため、移動に関しては十分注意を払いながら施工している。



写真-7 アーチセントルの移動 (P₁₇-P₁₈ から P₁₆-P₁₇ への移動状況)

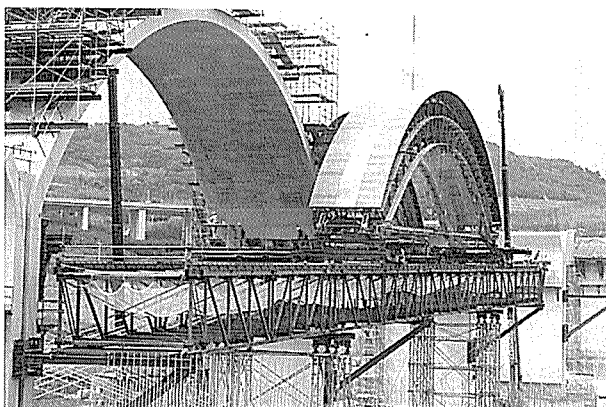


写真-8 アーチセントルの移動 (P₁₇-P₁₈ から P₁₆-P₁₇ への移動状況)

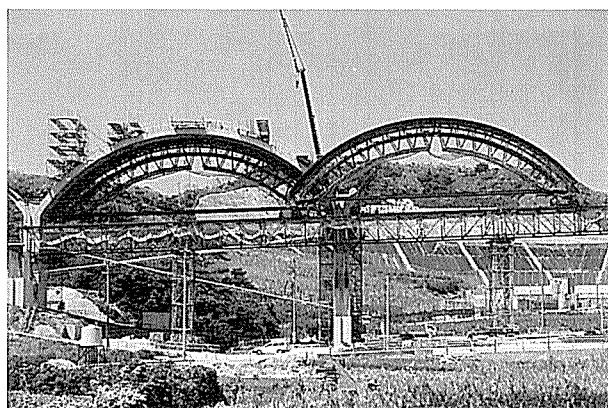


写真-9 アーチセントルの移動 (P₁₇-P₁₈ から P₁₆-P₁₇ への移動状況)

縦移動には、移動距離が長いこと、また、引張時の衝撃による揺れを少なくできる等の理由から、アーチセントル移動台車に連結したワイヤーをクレーンにより巻き上げる方法を採用した(写真-7, 8, 9 参照)。

また、2組のアーチセントルが次径間へ移動するとアーチリブ下面のPコン処理用の足場が完全に無くなるため、2組目のアーチセントルはPコン処理をしながら横移動を行っている。このため1組目のセントル移動より2組目のセントル移動には時間を要している。

⑧ 鉛直材施工

アーチリブ上に足場を組み立て、型枠・鉄筋・コンクリート打設の施工を行う。

⑨ 床版工

下り線の施工を行うため、上り線に作業用構台を設置したあと、アーチリブ上に支保工足場を組み立て、型枠・鉄筋・コンクリートの施工を行う(写真-10 参照)。

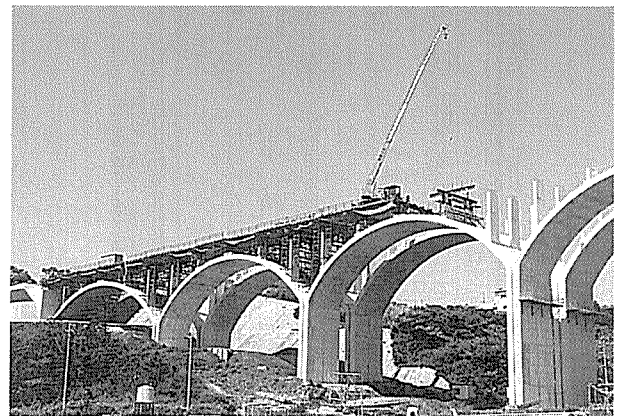


写真-10 作業用構台組立

⑩ 橋面工

全径間連結後、舗装・照明等の仕上げ工事を行いアーチ橋を完成させる。

* 台風対策

沖縄県は台風常襲地域であり、台風によるセントルの

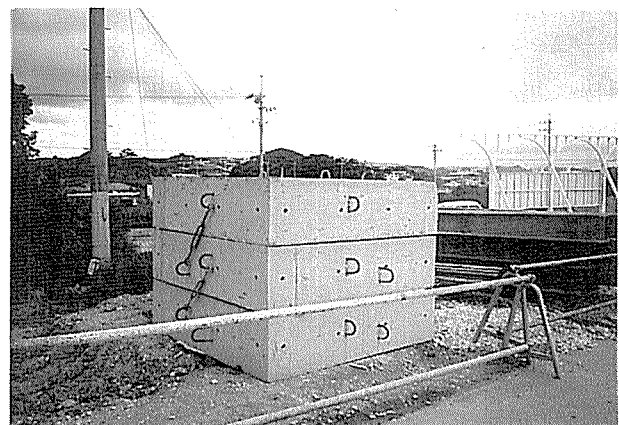


写真-11 台風対策ブロック

浮上がり・転倒を防止するため、コンクリートブロックをあらかじめ製作しておき、天気予報により台風の接近が予想されるときにワイヤーでセントルと固定する対策を行った（写真-11 参照）。

4. 計測機器の設置および計測項目

本高架橋の構造上の特徴として、多径間連続アーチ橋で不静定次数が非常に大きいことがあげられ、解析モデル・定数の設定等の解析上の仮定が実構造物と一致しないことが懸念される。さらに、アーチリブ等の部材が薄いためたわみ易く、断面力等の誤差があった場合には影響が大きいことが考えられる。またこれまで全国的にも施工事例がないことから設計および施工方法の安全性・信頼性を確認するため、スタートの2スパンにおいて主要箇所の変位および応力等の値を設計値と比較できるように図-5に示す位置に計測機器を設置した。

主な計測項目は、①橋脚天端の変位および下端の応力、②アーチリブの変位および応力、③斜材の張力とした。

なお、計測は各計測機器からの測定データを迅速に処理し、施工にフィードバックできるようにパソコンを用いた自動計測システムにより行った。

4.1 橋脚の鉛直度の管理

(1) 傾斜計による計測

傾斜計を橋脚上部に取り付け、リアルタイムに自動計測を実施している。この計測により、橋脚の傾きを計測し鉛直度を管理している。実際の挙動としては、アーチリブのコンクリート打設やアーチセントルダウンおよび

斜材の張力調整時に橋脚の挙動が観測されている。

(2) 下げ振り・トランシットによる計測

(1)の傾斜計は $P_{18} \cdot P_{17} \cdot P_{16}$ の3橋脚で設置したが、それ以降の橋脚に関しては設置していないため、目視のできる下げ振りを設置するとともに、トランシットによる観測を全径間で実施している。

(3) 自動追尾トータルステーションによる計測

アーチリブのコンクリート打設やアーチセントルダウンのような重要工程においては、自動追尾トータルステーションにより、アーチリブや橋脚の変形をリアルタイムに観測している。

4.2 アーチリブの応力管理

工事の出発径間である $P_{17} \sim P_{18}$ 、 $P_{16} \sim P_{17}$ の2径間では、アーチリブの上面および下面において、温度計、傾斜計、有効応力計等を埋設し、アーチリブ内部の応力状態を観測し、そのデータをコンピュータで解析している。さらに、この解析結果をアーチリブのコンクリート打設時や、アーチセントルダウン時の現場施工に反映し安全な施工を行っている。

また、アーチリブからの力が伝達される P_{18} 、 P_{17} 、 P_{16} 橋脚についても同様に計測を行っている。

4.3 アーチリブの施工高の管理

アーチリブの施工に関しては、コンクリートの乾燥収縮とアーチセントルダウン時の自重による下方変位があるため、アーチリブの中央で約8cmの上げ越しを行った。実際の施工では、当初設計で考慮したものより実際の躯体の剛性が大きく、鉛直材を施工した段階で5cm程度下がる予定が、4cm程度の下がりとなっている。

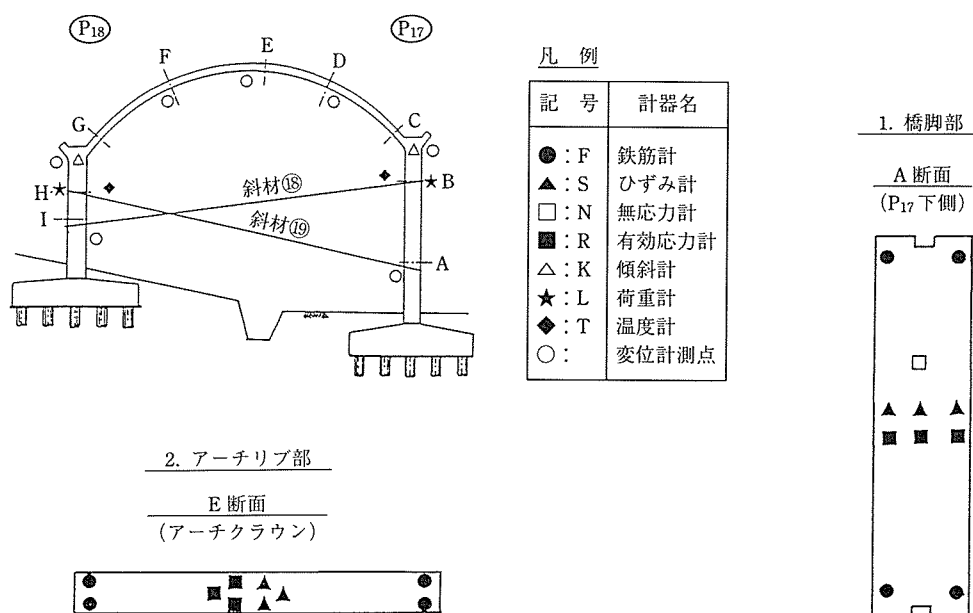


図-5 計測機器配置図

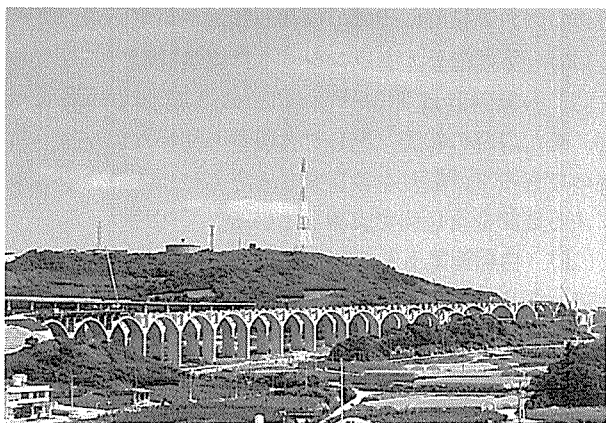


写真-12 アーチリブ完成（側方から望む）

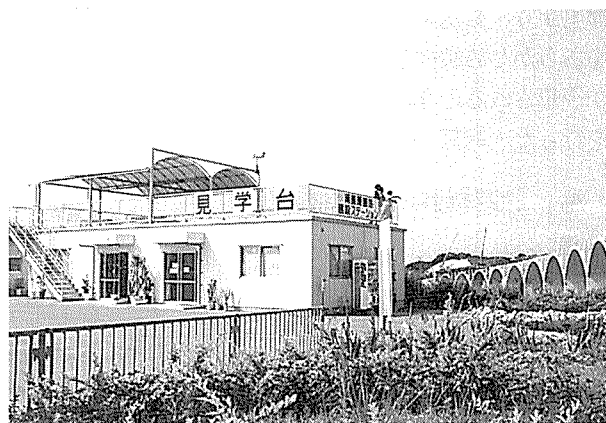


写真-13 建設ステーション

5. おわりに

本高架橋は、これまで例のない多径間かつスレンダーな RC アーチ橋であり、施工時および完成時における挙動の把握は、今後の同種の橋梁の設計・施工において大いに参考になるものと考えられる。

現在、アーチリブおよび鉛直材の施工を行っているが、平成7年5月末まで19径間が完成し、さらに床版工事が予定されているため、計測を今後とも継続してそ

の挙動の把握につとめる必要があるものと考えている（写真-12 参照）。

なお当事務所では、C・C・I 活動の一環として一般の人々にも自由に現場の見学ができるよう、現場内に建設ステーション（資料室および見学台）を設け、全国的にも希有な工事を広く県民に紹介している（写真-13 参照）。

【1995年5月18日受付】