

龐大橋の施工 —メラン併用工法におけるアーチリブ形状管理—

江崎 秀博*1・武末 博伸*2・寺山 守*3・柴田 雅俊*4・玉置 一清*5

1. はじめに

コンクリートアーチ橋の主構成部材であるアーチリブは、水平反力によって大きな軸圧縮力を受ける部材であるため、張出し施工中の施工誤差や上越し計算の誤差等による軸線移動を極力生じさせないよう精度の高い形状（高さ）管理を行うことが要求される。しかし、湾曲したアーチリブの高さ管理は、通常でも容易ではないため、設計段階において施工誤差による軸線移動の影響をある程度考慮している事例もある。上越し管理においては、通常の施工段階ごとの変位のほかに、アーチ橋の場合には、温度の変化によっても高さが大きく変動することに注意が必要である。長大アーチ橋で採用されることが多いメラン併用斜吊り工法において、斜吊り材やメラン材等の多くの鋼製の架設部材で支持される架設中のアーチリブは、季節による温度変化のみならず、昼夜の温度変化によっても、大きな高さ変動が生じる。とくに、水平方向に自由であるメラン仮閉合前と両端を拘束される仮閉合後では、一夜にして、その挙動が正反対のものとなることを十分に把握しておく必要がある。これらの理由により、アーチ橋の施工管理においては、自動計測などを活用した情報化施工が採用されている事例が多い。

本報告は、「ホテルと石橋の里」として親しまれている福岡県南部の八女郡上陽町に建設された鉄筋コンクリート固定アーチ橋・龐大橋の施工の概要を述べるとともに、24時

間、全自動で構造物の変位を測定することのできる自動視準トータルステーションを用いた情報化施工の成果として、アーチ橋の形状管理における温度変化の影響について述べるものである。

2. 工事概要

2.1 橋梁概要¹⁾

完成写真を写真-1、2に、橋梁一般図を図-1に示す。架橋地点の地形は筑後川県立自然公園区域内の広川峡谷と称するV字谷であり、河床から橋面までの高さは約72mである。

橋梁形式の選定にあたっては、地形地質条件等から、一般的な13橋種が一次選定され、地域住民等に広くアンケート調査を実施するなど、周辺環境との調和に配慮することはもとより、経済性・構造安定性・施工性・維持管理の容易性などの観点から、「RC固定アーチ橋」に決定した。主要部材形状の決定作業においては、「龐大橋景観検討委員会（委員長 東京大学・篠原修教授）」を設置し、機能面のほかに景観面の要望も高かったことから、『躍動感』をテーマに、模型およびCG等を使用した検討を重ねた結果、クラウン部からスプリング部にかけて平面的に曲線で拡幅し、さらにスプリング部までの約45mの区間は二股に分岐した特徴のある構造形式を採用している。それに伴い、鉛直材は逆V字形に決定している。

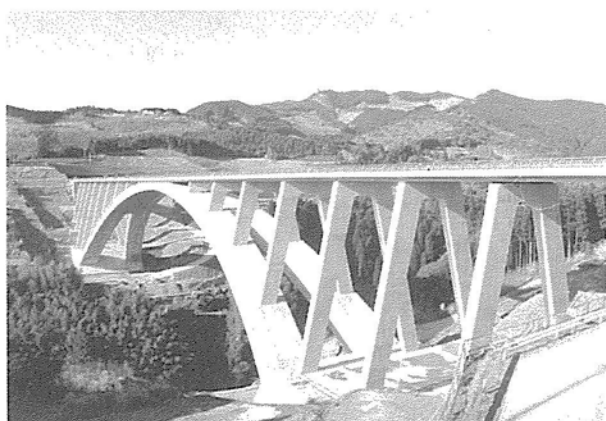


写真-1 全景

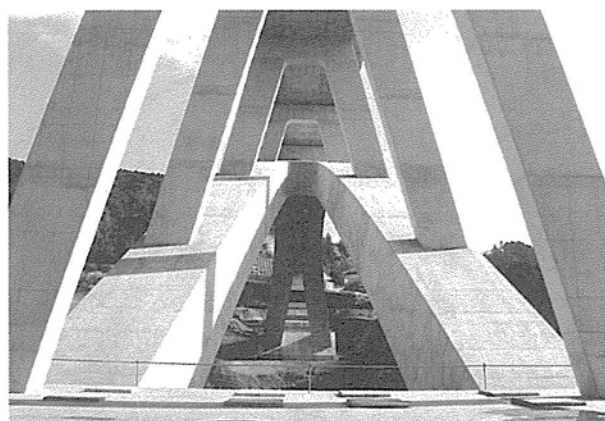


写真-2 アーチバット上から

*1 Hidehiro EZAKI：福岡県八女土木事務所 建設課 第二係長
 *2 Hironobu TAKEMATSU：(株)建設技術センター 技術部 第1部・部長
 *3 Mamoru TERAYAMA：住友建設(株)・(株)富士ビー・エス共同企業体 所長
 *4 Masatoshi SHIBATA：住友建設(株)・(株)富士ビー・エス共同企業体 工事主任
 *5 Kazukiyo TAMAKI：住友建設(株)・(株)富士ビー・エス共同企業体

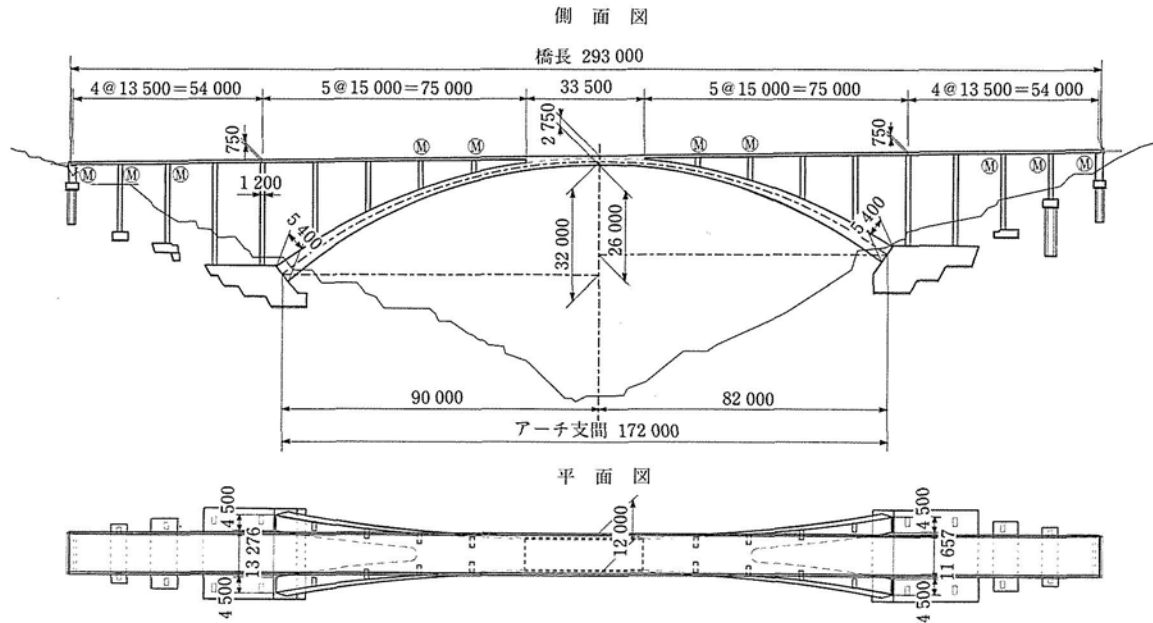


図-1 構造一般図

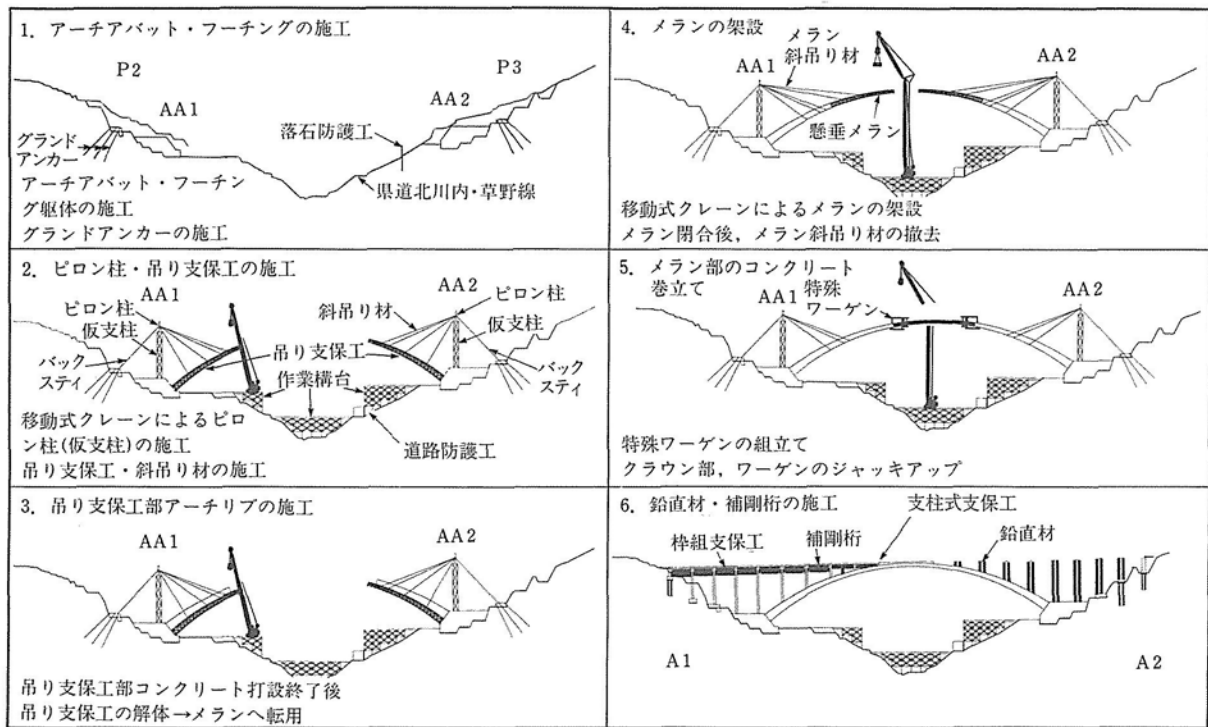


図-2 施工手順

路線名 : 一級町道下横山東西線
 架橋位置 : 福岡県八女郡上陽町大字下横山字隴
 構造形式 : 鉄筋コンクリート固定アーチ橋
 橋長 : 293.0 m
 アーチ支間 : 172.0 m
 有効幅員 : 車道部 7.5 m 歩道部 3.5 m
 縦断勾配 : 1.462%
 活荷重 : B 活荷重
 架設工法 : メラン併用斜吊り張出し工法

2.2 架設工法の特徴

施工手順を図-2に示す。本橋の施工には、コストの削減、環境への配慮を目的にした下記の計画を盛り込んでいる。

(1) 架設材の転用使用

通常のワーゲン施工が困難なアーチリブ基部の二股分岐部には、斜吊り材を利用した吊り支保工施工を採用している。この吊り支保工材として、アーチクラウン部に埋設されるメラン鋼材を先行使用する計画とした。また、斜吊り材・バックステイは、アーチリブ閉合後に撤去し、その一部を補剛桁のPC鋼材として転用している。

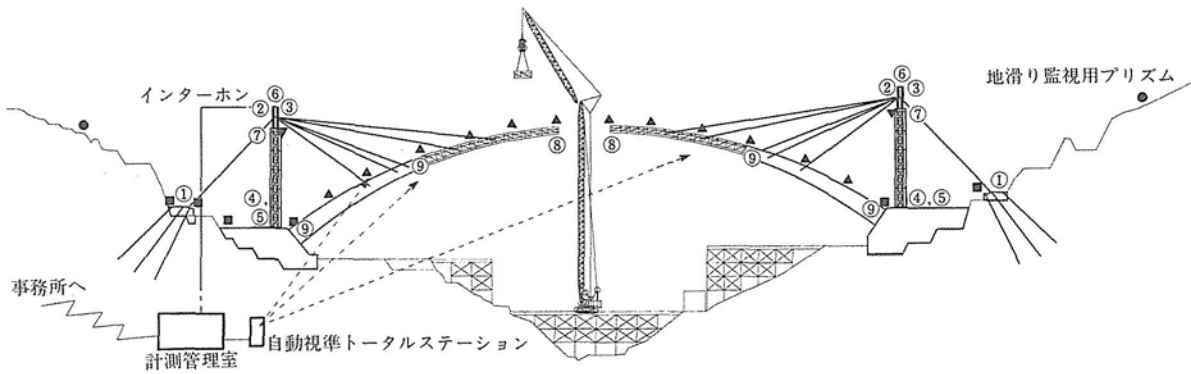


図 - 3 計測システム配置

表 - 1 計測器具一覧

	着目部材	計測項目	計測機器	台数
架設部材	グラウンドアンカー	張力	① 2 MN ロードセル	4
	斜吊り材	張力 温度	② 1 MN ロードセル 熱電対	24
	バックステイ	張力	③ 1 MN ロードセル	20
	エンドポスト (鋼製ベント支柱)	変位	▼自動視準光波	4
	(ピロン)	基部応力	④溶接型 Strain ゲージ	20
		基部アンカー	⑤ 500 kN ロードセル	6
傾斜		⑥ 傾斜計	2	
メラン	基部応力	⑦溶接型 Strain ゲージ	36	
本設部材	アーチリブ	応力度	⑧溶接型 Strain ゲージ	24
		変位	▲自動視準光波	6
		変位	▲自動視準光波	6
基礎	アーチパット等	変位	■自動視準光波	4
地山	地滑り	変位	●自動視準光波	5



写真 - 3 自動視準トータルステーション

斜吊り材およびバックステイには、 $\Phi 32$ mm の PC 鋼棒 (SBPR 930/1180) を使用し、許容荷重は、温度変化等の変動荷重を除いて $0.5 P_u$ と設定した。

バックステイは、従来、エンドポストの変動が小さく、施工管理が容易となる PC 構造 (コンクリート巻立て構造) が採用されることが多かったが、完成系では不必要な部材であるため、困難となる解体工事や産廃処理が発生する。本橋では、解体が容易な PC 鋼棒のみのバックステイを採用することとし、コンクリート巻立てを省略することによって生じる施工管理の煩雑さを、情報化施工の活用により対応している。

バックステイは、メラン閉合直前の最大張力 319 kN に対して 88 本配置するが、最初からすべてを配置すると、施工初期では 1 本当たりの張力が小さく、サグが生じるために見掛けの弾性係数が低下し、施工管理が困難となる。このために、PC 鋼棒の最低張力を設定し、施工段階に応じて、段階的に PC 鋼棒を追加していくこととした。

また、斜吊り材およびバックステイには、極力、日照による急激な温度変化 (伸縮) を防止するために、断熱材の巻付け保護を行った。断熱材には、吸水性が小さく、耐候性に優れるポリエチレンを採用した (表 - 2)。図 - 4 に、ポリエチレンの厚さを 10 , 20 , 30 mm とし、現場ヤードにおいて事前実施したダミー試験の結果を示す。断熱保護を行わない場合に比べ、温度変化は緩やかとなり、最大値で 5°C 低下することがわかる。厚みが大きくなるほど、断熱効果は大きくなるが、その差はわずかであり、経済性の観点から 10 mm を採用することとした。

(2) 情報化施工

情報化施工を橋梁計画段階から盛り込むことにより、変位が小さい剛な施工法から、ある程度の変位を許容する柔な施工法の選択が可能になると考えた。これにより、完成系では不必要となる架設材の軽量化 (高強度化) を積極的に図ることが可能であり、これが揚重設備の軽減などの工費の縮減、解体撤去の容易さなどからの工程の短縮に大いに貢献したものと考える。その例として、後で述べるバックステイのコンクリート巻立ての省略、メランへの高強度鋼材 (SM 570) の採用が挙げられる。

本橋で実施した情報化施工²⁾の目的は大きく分けて 2 つあり、第一は安全管理であり、次に品質管理となる。計測システムの概要を図 - 3、表 - 1 に示す。全自動で変位を測定できる自動視準トータルステーション (写真 - 3) を中心とした本橋の計測システムは、施工全期を通じて、ほぼ 24 時間の計測データを採取、分析し、それを上越し管理や斜吊り材の緊張管理といった品質管理に直ちにフィードバックすることに主眼を置いて計画したものである。4 章において、この全自動計測システムを用いたアーチリブの形状管理における温度変化の影響について詳述する。

3. 施 工

3.1 吊り支保工施工部

(1) 斜吊り材およびバックステイの施工

表 - 2 斜吊り材保護材の材質比較

	単位	ポリエチレン	ウレタン	軟質塩ビ
みかけ密度	g/cm ³	0.033	0.019	0.073
引張強さ	KPa	314	127	324
使用可能温度	℃	80	125	70
熱伝導性	W/m・K	0.031	0.035	0.037
吸水性	—	極小	大	中
耐候性 (紫外線劣化)	—	8ヶ月程度で 表面が劣化	1~3ヶ月で 完全に劣化	中 収縮が大
評 価		○	×	△

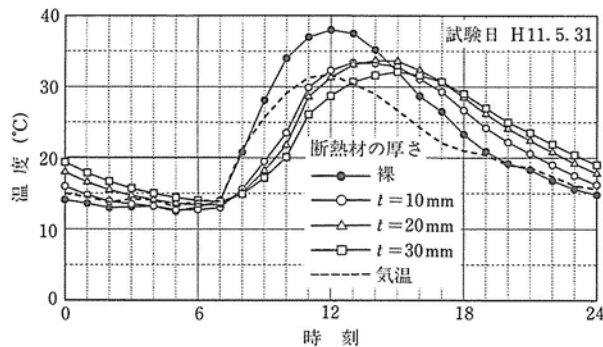


図 - 4 斜吊り材保護材の断熱試験結果

(2) 二股分岐アーチリブの施工

コンクリートの配合は、本橋の特性（デザイン上の理由から外側へ傾斜したウェブ、輪郭を際立たせるための下スラブの突起形状、プラントからの運搬時間など）を考慮し、充填性の向上および遅延効果を期待し、高性能 AE 減水剤を使用してスランプを 18 cm とした。施工中の状況を写真 - 4 に示す。

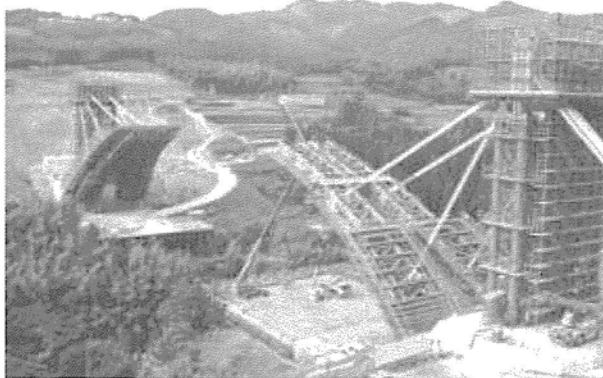


写真 - 4 吊り支保工

(3) 吊り支保工の解体

二股分岐部のアーチリブ施工完了後、メラン材として転用する吊り支保工材の解体を行った。解体に先立って、ジャッキ式吊上げ機械（FKK SF-L-M 型）を使用して吊り支保工全体を吊下げることにし、揚重機械の作業空間を確保することとした。吊下し作業に関しては、平成 11 年 8 月に労働安全衛生法が改訂されたばかりであり、とくに入念な施工検討を行った。吊下しは、500 mm ストロークを

約 30 分程度の速度で行い、計測システムにて吊り材の張力、鋼材の応力等をリアルタイムにモニタし、安全性の確保につとめた。解体中の状況を写真 - 5 に示す。



写真 - 5 吊り支保工解体状況

3.2 メランの架設

メランの架設は、揚重設備の制限上、150 t タワークローラークレーンにより 1 主構ずつ、単材架設とした。メラン張出し架設時の作業足場として開発した移動式架台（特許出願中）を写真 - 6 および図 - 5 に示す。単管などで足場を構築していた従来工法に比べ、高所での足場の組立作業もなく、水平な作業床上で作業できるため、作業性が向上するとともに、墜落・落下物による災害の危険性がほとんど

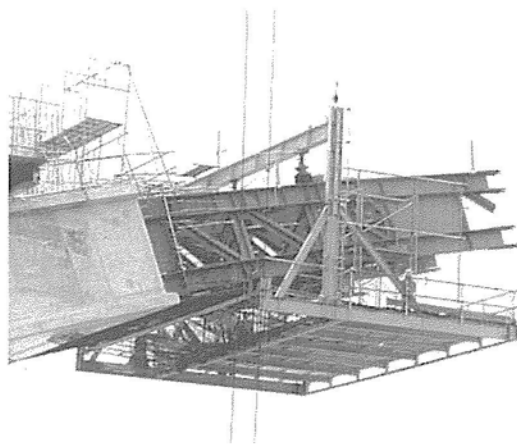


写真 - 6 メラン架設用作業足場

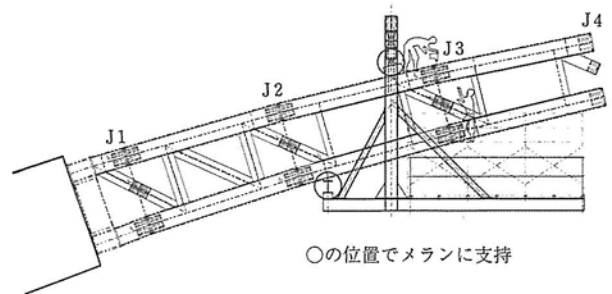


図 - 5 メラン架設用作業足場

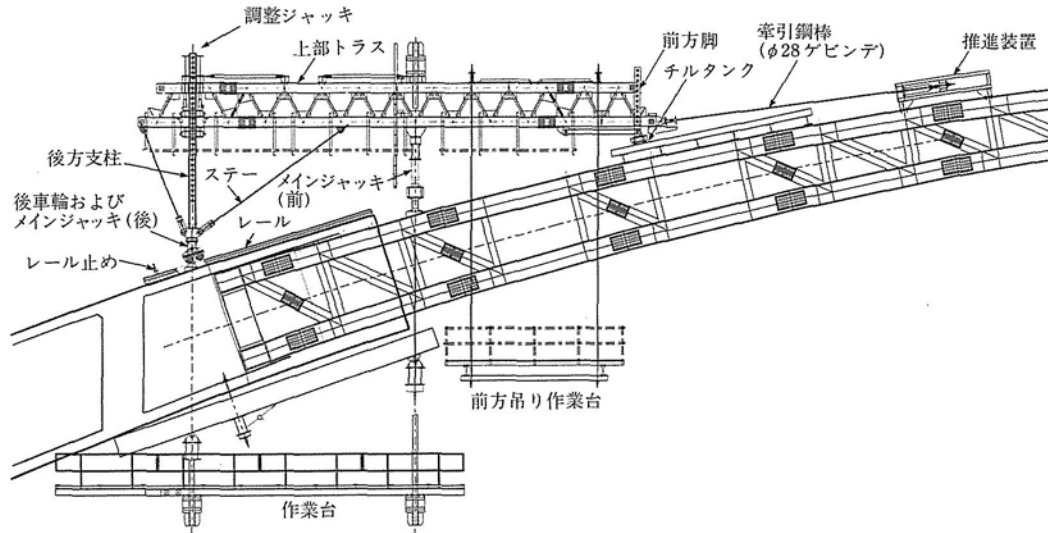


図-6 コンクリート巻立て用作業台車

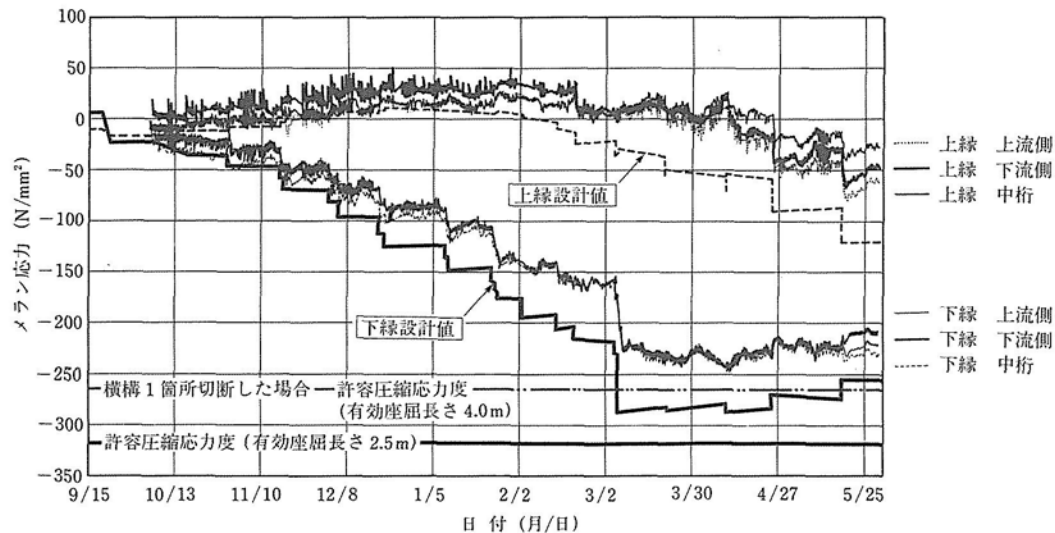


図-7 クラウン部におけるメラン鋼材応力

なくなった。

メランの仮閉合には、自動計測システムを大いに活用しており、4章において詳細に述べる。

3.3 メラン部アーチリブの巻立て施工

メラン巻立て部では、以下の工夫により、作業性の向上を図り、工期の短縮を達成している。

(1) 特殊作業車

張出し施工用の作業台車は、一般に、前方の作業荷重を、後方の既設コンクリートにアンカーをとり、支持するタイプのものが使用されることが多いが、本橋では、メラン巻立て専用の作業台車として、前方をメラン鋼材上に支持するタイプのものを採用した(図-6、写真-7)。これにより、既設コンクリートにアンカーを配置する必要がなく、また前方ブロックの鉄筋を先行して組み立てるための足場を広くとることができた。

また、アーチリブと補剛桁が結合するクラウン部を一括断面で施工したために、アーチリブ上面に段差ができることとなったが、特殊作業車の乗上げ移動も、後方支柱の高

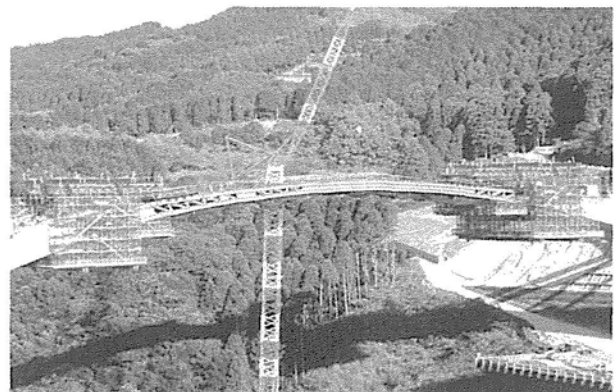


写真-7 コンクリート巻立て施工状況

さを変化させることにより容易に行うことができ、作業の安全かつ省力化につながった。

(2) メラン鋼材

メラン鋼材の横構は、風等の横方向荷重を負担すると

もに、主構の有効座屈長を確保するための部材である。

本橋のメラン主構は、巻立て施工中の発生応力に対して、板厚を3段階に変化させて設計しているため、若干の余裕を有している断面が存在する。これらの余裕度を詳細に検討し、さらに、ひずみゲージによって計測したメラン鋼材の実測値と比較することにより、内型枠組立て時の障害となるメランの横構、対傾構を、コンクリート打設前、すなわち内型枠組立て前に、極力、切断解体を行うこととした。

図-7に一例として、クラウン部で測定したメラン応力の実測値と計算値との比較を示す。

4. アーチリブ形状管理における温度変化の影響

アーチ橋の形状管理における温度変化による影響は、以下に述べるように、複雑多岐にわたり、これらを正確に把握し、管理することは極めて難しい。その挙動を大別すると、水平方向にフリーであるメラン閉合前と、水平方向に拘束されるメラン閉合後に大別される。また、鋼とコンクリートの熱伝導特性の違い等により、鋼部材が多く使われる架設中と、コンクリート部材だけとなる完成系でもその挙動は異なってくる。以下に、本橋における温度変化による影響を、3つの架設段階に分けて説明する。

4.1 吊り支保工施工

斜吊り材の温度変化による伸縮に伴い、通常はアーチリブにたわみが生じ、アーチリブ基部に曲げモーメントが発生する。しかし、エンドポストを鋼製部材としている本橋では、このエンドポストの温度変化による伸縮が、斜吊り材の伸縮をキャンセルするため、その結果、温度変化の影響が極めて小さくなるという現象が想定された。図-8に吊り支保工施工時における、斜吊り材張力の日変化を示す。斜角の大きいS1では、若干ではあるが、通常とは逆に、温度の高い昼間に張力が増加する傾向にあることが分かる。斜吊り材の斜角が水平に近づくほど温度変化による影響は、大きくなる。吊り支保工施工時には、おおよそ、アーチリブのたわみ日変化はゼロ、コンクリート応力度の日変化が

最大で $\pm 0.3 \text{ N/mm}^2$ 程度と、温度変化による影響が極めて小さい構造系であったため、吊り支保工の底版型枠セットおよび斜吊り材の張力管理には、とくに気温補正を必要としなかった。

4.2 メラン架設中～メラン閉合

斜吊り材の吊り角度が水平になるにつれて、エンドポスト伸縮による影響が小さくなる。すなわち、メラン架設中は、斜吊り材の温度伸縮によりアーチリブたわみは比較的大きくなる。メラン閉合直前で、昼夜のたわみ差は40～50 mm程度であった。

メラン閉合直後からは、斜吊り材の温度伸縮は、たわみには影響せず、張力の変動となって現れる。その代わりに、メラン鋼材の温度伸縮により、アーチリブにたわみが生じる現象が現れる。これに伴い、メランが閉合したH12.9.14深夜を境に、アーチリブの温度変化によるたわみは昼夜が逆転することになる。図-9に、メラン閉合前後のメラン先端部のたわみ履歴を示す。

4.3 コンクリート巻立て完了～完成後

鋼材が、昼夜で大きく温度変化するのに対し、コンクリートは、昼夜では、ほとんど温度変化はしない。したがって、コンクリート巻立てが進むにつれて、昼夜のたわみ差は、ほとんど無くなっていく。しかし、季節による温度変化によって、アーチ橋は完成以後も、大きく上下変動を続ける構造であることは周知の事実である。図-10に、コンクリート巻立て施工中の、メラン頂部のたわみ量の計測値を示す。冬季には、40～50 mm程度、設計値より低い結果となっているが、日平均気温の上昇とともに、設計値に近づいていることがわかる。表-3に、本工事において使用した、アーチリブたわみの温度換算表の一例を示す。表中、PE1～PE10は鉛直材の位置を、C1～C2はクラウン部の計測点(図-9)を示す。アーチリブの上越しは、計測時の気温(≒鋼の温度と評価)と日平均気温(≒コンクリート温度と評価)。本橋ではコンクリート温度を直接測定している)を実測して、この表から20℃に換算して管理を行った。換

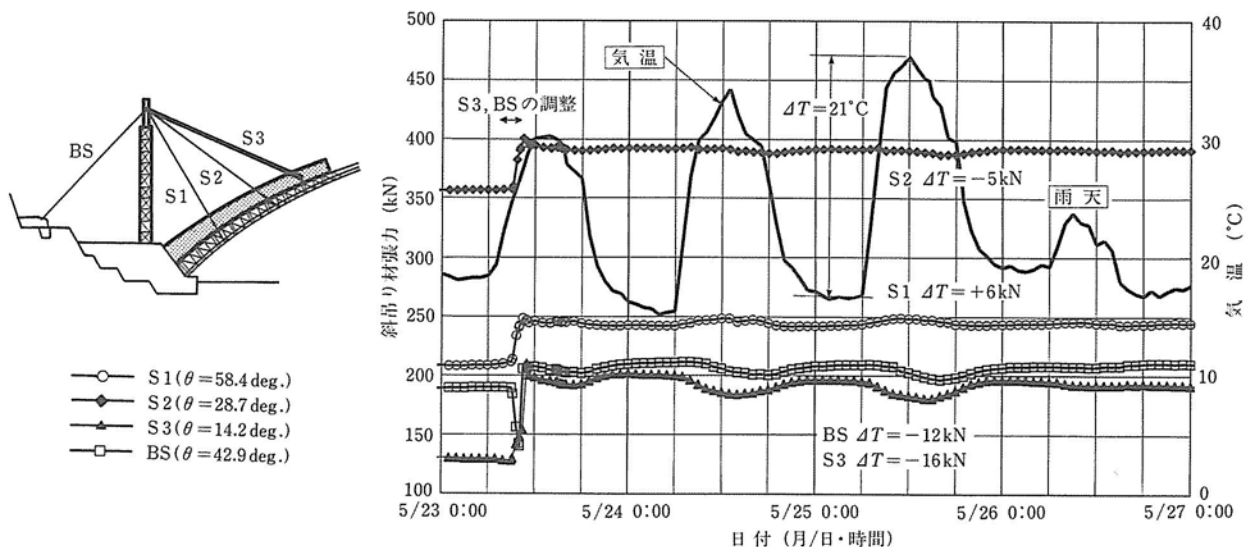


図-8 吊り支保工施工時における斜吊り材張力変

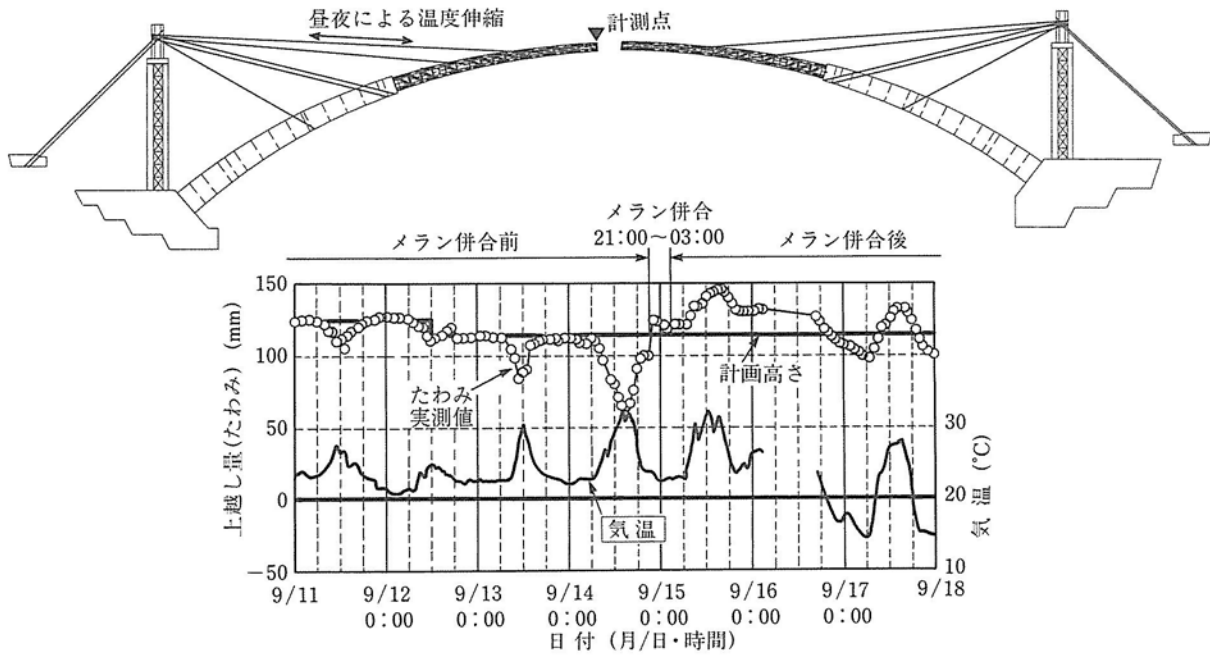


図-9 メラン閉合前後における上越し量と温度の関係 (メラン張出し先端)

表-3 アーチリブ上越し量の温度換算表 単位 mm/°C

	計測点	PE 3	PE 4	PE 5	PE 6	C 1	C	C	C 4	PE 7	PE 8	PE 9	PE 10
メラン併合直前	日平均気温	-0.09	-0.26	-0.45	-0.62	-0.84	-1.06	-0.95	-0.78	-0.65	-0.40	-0.23	-0.08
	気温一日平均気温	0.05	0.29	0.65	1.07	1.63	2.22	2.28	1.76	1.07	0.63	0.28	0.05
メラン併合直後	日平均気温	-0.14	-0.60	-1.27	-2.07	-3.11	-3.33	-2.82	-1.99	-1.21	-0.56	-0.13	
	気温一日平均気温	-0.03	-0.19	-0.46	-1.01	-1.91	-2.08	-1.71	-0.98	-0.44	-0.18	-0.03	
メラン巻立て以後	日平均気温	-0.15	-0.66	-1.35	-2.06	-2.70	-2.85	-2.63	-2.07	-1.33	-0.63	-0.14	

たとえば、C1点の計測時の気温(鋼の温度)が35°Cで、日平均気温(コンクリートの温度)が25°Cの場合、
 メラン併合直前 20°C換算値=実測値+(25-20)×[-0.84]+(35-25)×[+1.63]=実測値+12.1mm
 メラン併合直後 20°C換算値=実測値+(25-20)×[-3.11]+(35-25)×[-1.91]=実測値-34.7mm

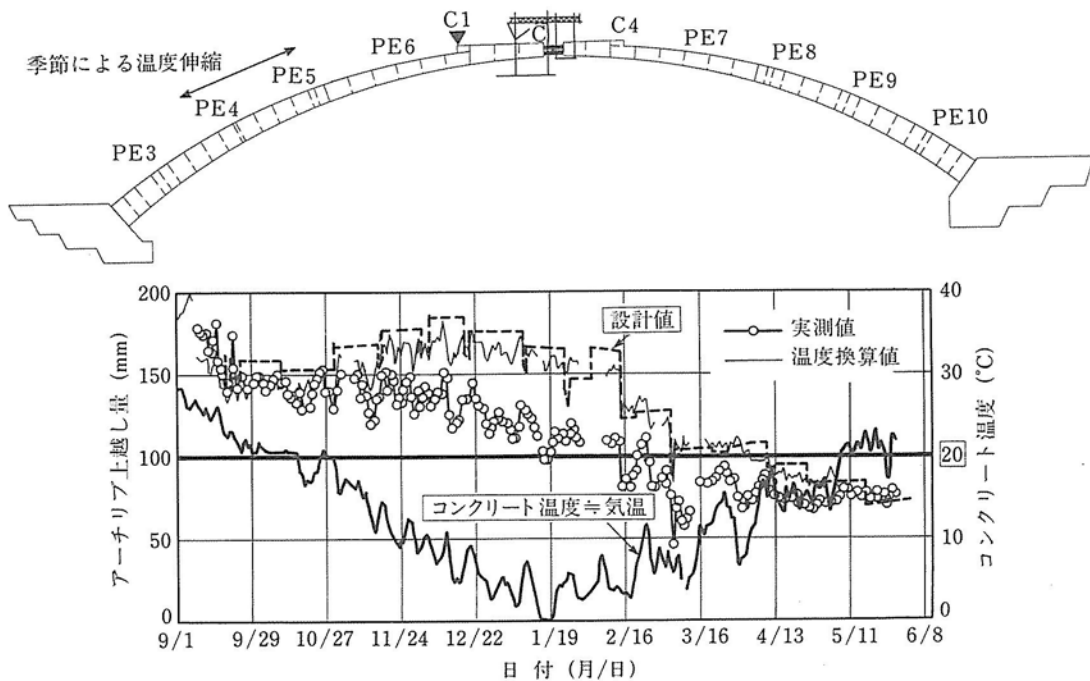


図-10 コンクリート巻立て施工時における上越し量 (C1 計測点)

算前の実測値は、温度換算が必要でなくなる6月付近において、ほぼ設計値どおりとなっていることがわかる。

5. あとがき

アーチ橋は、剛性が高く、どっしりとした印象があるが、その軸線は、温度変化や乾燥収縮によって、つねに変動を続けている。朧大橋では、この変動を、施工全期に渡って追いつけた結果、ほぼ計画どおりの形状管理を行うことができた。

明治から大正にかけ、1世紀前の架橋技術の粋を集めて築かれた石造りアーチ橋の里に、現代の最先端の情報化施工とPC技術を駆使した長大コンクリートアーチ橋が、

都市との交流の場として、そして新たなランドマークとして2002年3月に無事誕生した。

最後に、本橋の計画および設計施工にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係各位に対し、深く感謝の意を表す次第であります。

参考文献

- 1) 本村,武末,寺山,柴田:朧大橋の設計と施工,コンクリート工学,Vol.38,No.7,2000.7
- 2) 本村,寺山,柴田,玉置:朧大橋における情報化施工,プレストレストコンクリート技術協会第10回シンポジウム論文集,pp.645~650,2000.10

【2002年7月1日受付】