

トラス張出し施工する扁平アーチ橋

—新明鏡橋—

東北支店	土木工事統括部 PC 工事部	長瀬忠良
技術本部	土木技術第一部	大山博明
東北支店	土木工事統括部 PC 工事部	松嶋知明
東北支店	土木工事統括部技術部	宮本誠士

概要:新明鏡橋は、一般国道 287 号線の道路改築事業の一環として山形県西村山郡朝日町の一級河川最上川に架かる、橋長 115.0m、アーチスパン 103.5m、アーチライズ 11.0m の上路式 RC 固定アーチ橋である。本橋の構造的特徴は、スパンライズ比が 9.4 と扁平なアーチ構造にある。施工は、アーチリブと補剛桁を、鉛直材および仮設斜材とによりトラス構造を形成しながら、順次張出し架設を行った。

Key Words: 扁平アーチ、トラス張出し架設



写真-1 施工状況

1. 工事概要

新明鏡橋の工事概要を以下に示す。

- ・工 事 名 道路改築事業一般国道 287 号新明鏡橋架設工事(上部工)
- ・発 注 者 山形県
- ・架橋位置 山形県西村山郡朝日町大字和合地内
- ・施 工 者 ピーエス三菱・渋谷特定建設工事共同企業体
- ・工 期 平成 15 年 10 月 4 日～平成 17 年 3 月 25 日
- ・道路規格 第 3 種 第 2 級
- ・設計速度 $V=60\text{km/h}$
- ・構造形式 上路式 RC 固定アーチ橋



長瀬忠良



大山博明



松嶋知明



宮本誠士

・基礎形式 直接基礎(軟岩)

- ・橋 長 115.0m
- ・アーチスパン 103.5m
- ・アーチライズ 11.0m
- ・スパンライズ比 9.4
- ・有効幅員 9.5m + 2@3.5m
- ・活 荷 重 B活荷重
- ・斜 角 90°
- ・平面線形 R=∞
- ・縦断勾配 1.27%
- ・横断勾配 2.00%(おがみ勾配)

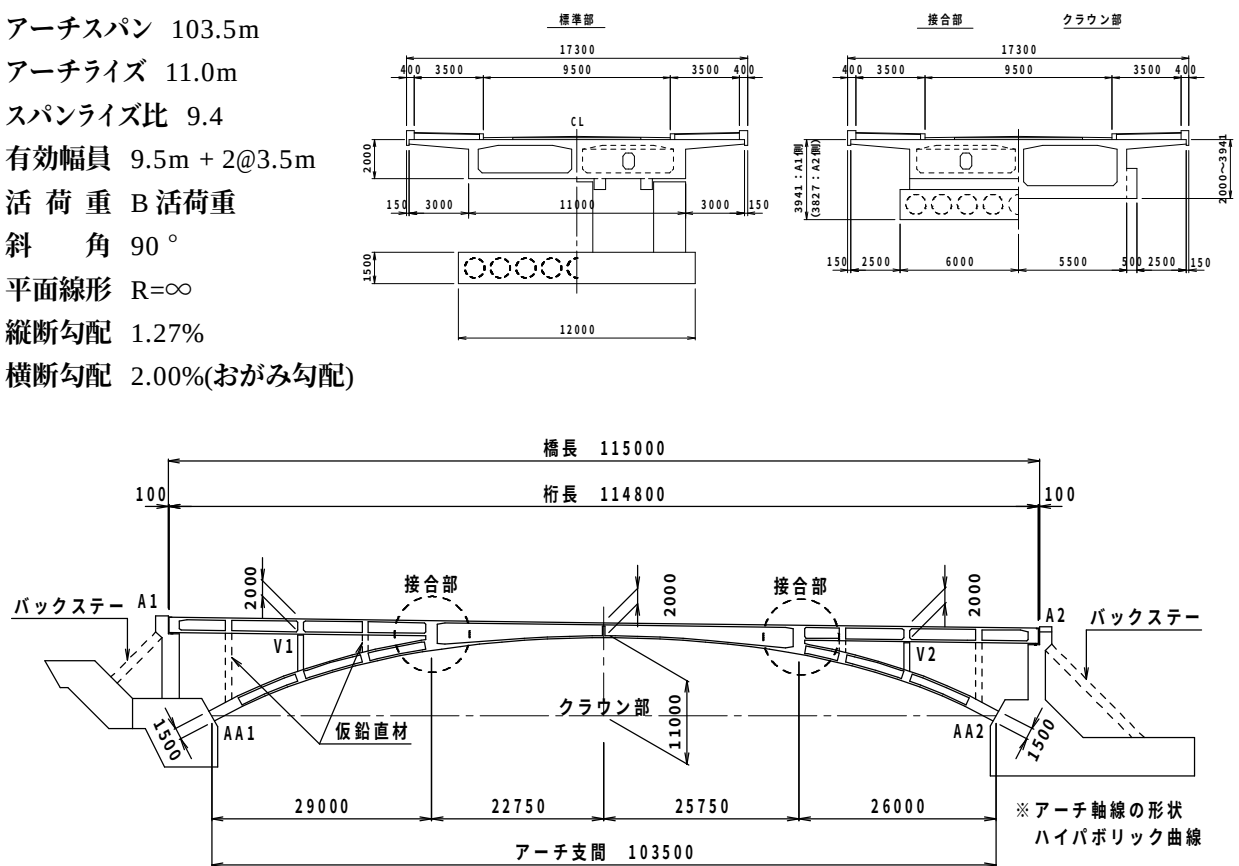


図-1 形状寸法

表-1 主要材料

材料	仕様	単位	数量	使用箇所
コンクリート	$\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$	m ³	152	アーチリブ(スプリング部)
	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	m ³	2138	アーチリブ・補剛桁
	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	m ³	31	鉛直材
	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	m ³	230	バックステー
鉄筋	SD295A	t	306	アーチリブ
	SD295A	t	271	補剛桁
	SD295A	t	18	鉛直材
	SD295A	t	20	バックステー
PC 鋼材	SBPR930/1180 $\phi 32$	t	5	アーチリブ(スプリング部)
	SBPR930/1180 $\phi 32$	t	48	補剛桁(主方向鋼材)
	SBPR930/1180 $\phi 32$	t	4	補剛桁(鉛直鋼材)
	SWPR19 1S21.8	t	13	補剛桁(床版横締鋼材)
	SWPR19 1S21.8	t	1	補剛桁(横桁横締鋼材)
	SBPR930/1080 $\phi 32$	t	33	バックステー
	SWPR7B 12S12.7	t	17	仮設外ケーブル
	SBPD930/1080 $\phi 32$	t	11	仮設斜材
グラウンドアンカー	SEEE F230TA	t	24	A1 側—44 本, A2 側—46 本

2. 施工

(1) 施工概要

本橋の施工順序および施工概念図を図-2、図-3 に示す。張出し施工は、図-3 に示すように一体型構造の移動作業車を使用し、アーチリブ、補剛桁、鉛直材および仮設斜材の4つの部材によりトラスを形成しながら行った。張出し完了後は、中央閉合部の施工、仮設部材の解放・撤去を順次行い、橋面工を施工して完成となる。

架設概念としては、張出し架設中の転倒モーメントに対して、バックステー・アンカーブロックを介してグラウンドアンカーにより岩盤が抵抗するという構造であり、バックステー・グラウンドアンカーは重要な架設構造物である。本橋の場合、グラウンドアンカーは施工済みであったため、上部工施工前に全数確認試験を実施し、安全率2.5以上を確認した。また、地盤が軟岩であり、架設時最大地盤反力度で $73\text{tf/m}^2 < 75\text{tf/m}^2$ 程度作用する。よって、地質等のデータの分析を実施し、地盤反力係数は設計値以上であった。

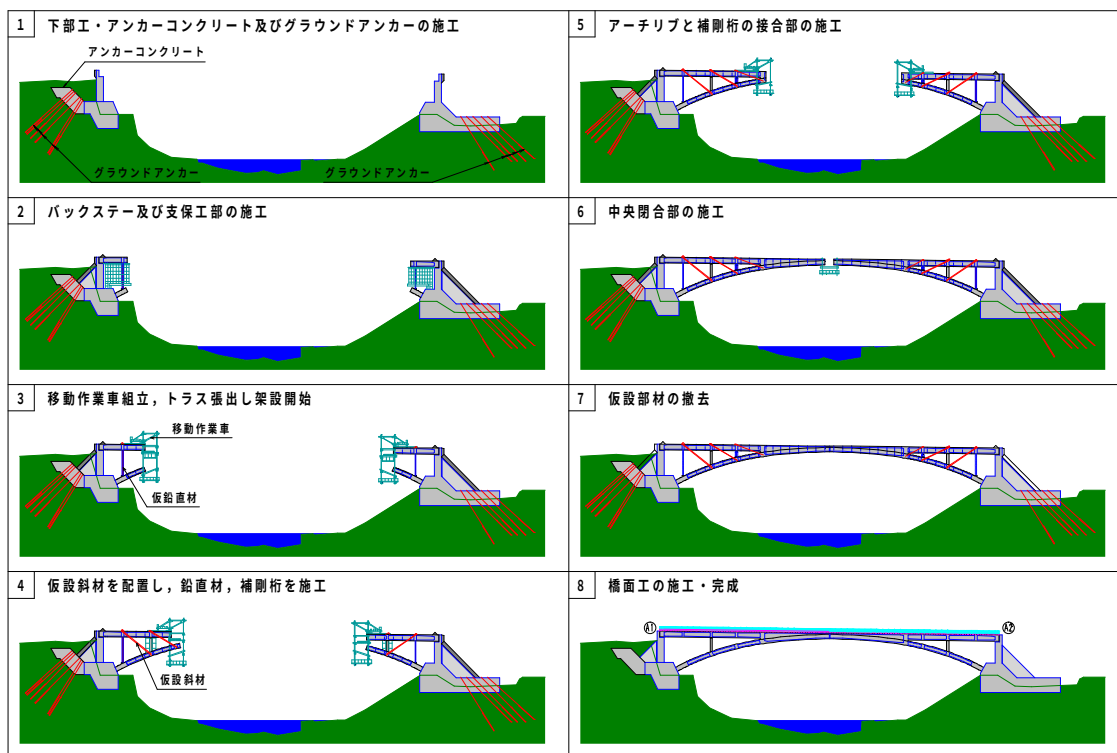


図-2 施工順序

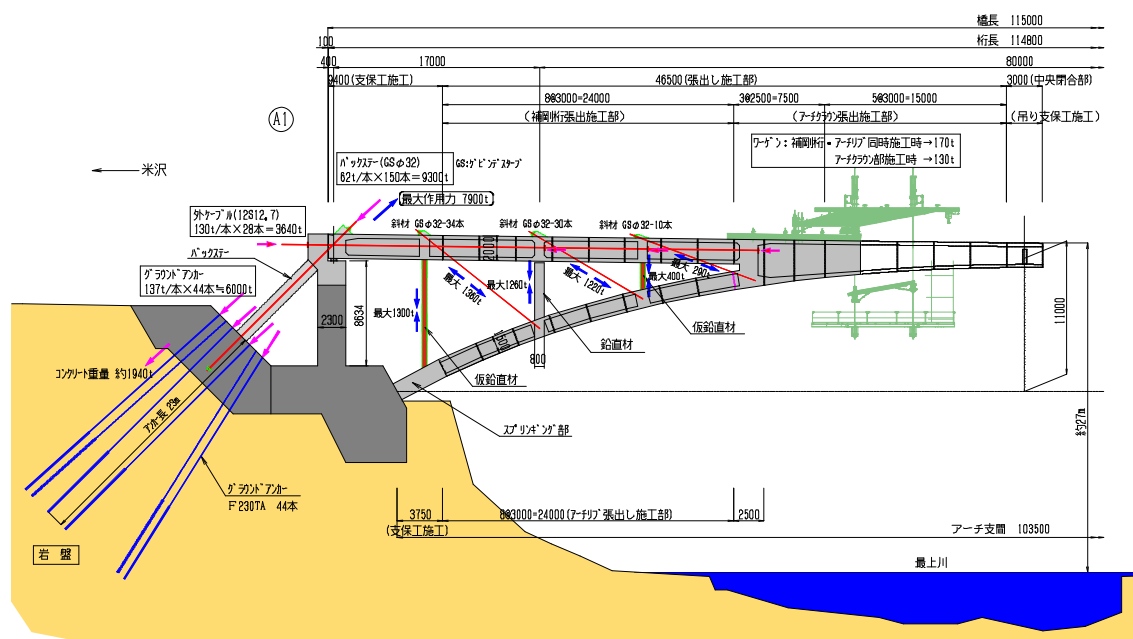


図-3 施工概念図

(2) 施工にともなう諸検討

1) クラウン接合部モデル化の照査

アーチリブと補剛桁の接合部は、アーチスパンのほぼ1/4 点に位置し、断面形状および発生断面力が急変する箇所であることから、施工中および完成系において構造上非常に重要な部位である。また、通常的设计手法において梁部材としてのモデル化の妥当性が不明確であることから、上部工およびアーチアバットをソリッド要素でモデル化した全体 FEM 解析により照査を行った。

全支保工状態において橋体の自重を载荷した場合のアーチリブにおける曲げモーメントの比較を図-4 に示す。

支点部、横桁部および接合部等隔壁を有する部分を除いては、曲げモーメントはほぼ整合した結果となった。しかし、FEM 値が小さいことから安全側と判断した。

一方、接合部の FEM 解析モデルおよび自重による接合部横桁の応力図をそれぞれ図-5、図-6 に示す。これより、接合部横桁において支間中央側の下側に鉛直方向に 25kgf/cm^2 程度、水平方向に 10kgf/cm^2 程度の引張応力が生じている。また、支点側では、アーチリブと補剛桁の境界部分で鉛直方向に 38kgf/cm^2 程度、水平方向に 12kgf/cm^2 程度の圧縮応力が生じている。断面をみると、応力が内ウェブと外ウェブの間の横桁部分で卓越していることが分かる。

以上のことから、全体系の検討については梁部材としてのモデル化が妥当であると判断した。しかし、接合部横桁においては局部的な応力集中がみられたことから、補強のためにスターラップを2列配置として対処した。

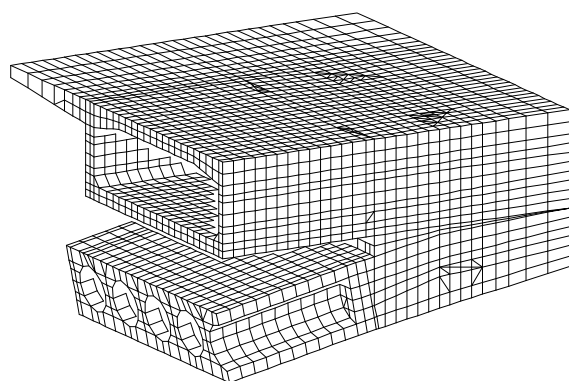


図-5 接合部 FEM 解析モデル

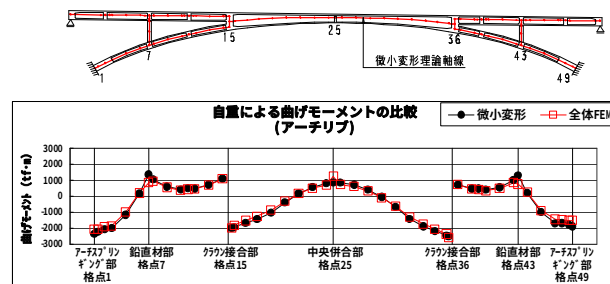


図-4 微小変形理論と全体 FEM 解析の曲げモーメントの比較

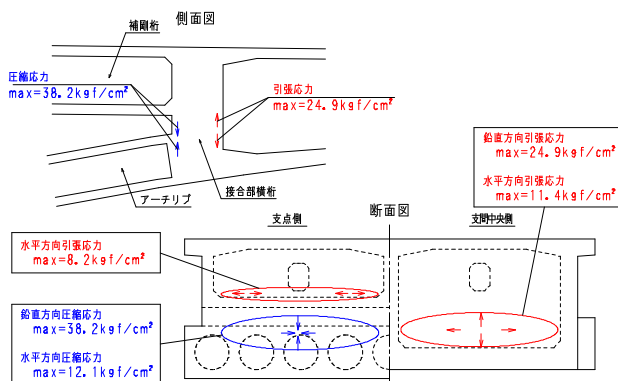


図-6 接合部横桁応力図

2) 有限変形理論による照査

本橋は、扁平アーチの構造特性から細長比も $\lambda=74$ と大きい。したがって、アーチリブの軸線移動の影響を考慮する目的で有限変形理論による解析を行い、微小変形理論との比較をして照査を行った。支間中央部の正の曲げモーメントに着目した活荷重の载荷ケースにおけるアーチリブの曲げモーメントおよび変位量の比較を図-7 に示す。

解析の結果、微小変形理論と有限変形理論における曲げモーメントの差異は 1% 程度であった。また、荷重による変位量の差異も主要節点位置において 0.5mm 以下と微小であった。

以上のことから、本橋においてはアーチリブの軸線移動による影響は無視し得る範囲であると判断した。

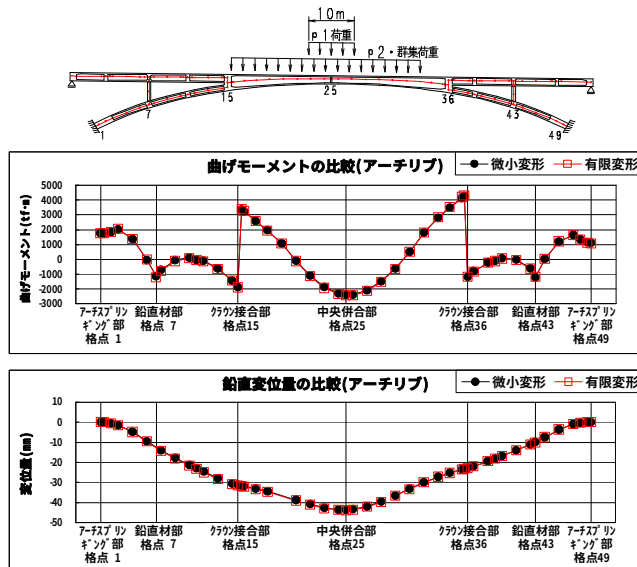


図-7 微小変形理論と有限変形理論の比較

(3) バックステーの施工

バックステー部材は、架設時作用力をアンカ一体に伝達する重要な軸力部材であり、上部工架設中にバックステー自重による曲げモーメントを発生させないように、支保工で支持しなければならなかった。鋼製支保工で支持し、架設終了後は解体・撤去の計画であった。しかし、背面が盛土となること斜面部材の解体の安全性とを考慮しコンクリート製支保工とし、バックステー上部の 1.5m のみを解体し、存地することとした。なお、バックステーには最終的に約 9200tf のプレストレスを導入したが、一度に導入すると張出し施工初期段階においてエンドポストに必要以上の引張応力が発生するため、支保工部施工時とアーチリブと補剛桁の接合部施工時の2回に分けて導入した。



写真-2 バックステー

(4) 支保工部施工

1) アーチスプリング部

アーチリブスプリング部はくさび結合方式支保工で施工した。コンクリート仕様 50-8-25N、幅 12m、部材厚 1.5m、部材長 4.2m の無垢断面であり、また、フーチングにより拘束されていることと、冬期の施工であったこともあり、打設後の温度ひびわれが予想された。よって、温度応力解析を実施し、温度ひびわれ低減用の膨張材を添加することとした。また、コンクリートの練り上がり温度および養生温度を抑えることで、ひびわれの抑制ができた。

2) 補剛桁支保工部

補剛桁支保工部は、アーチリブスプリング部上にコンクリート台座を構築し、フーチングから H 鋼を張出して配置し平面を設けて支保工を設置した。

桁端の目地遊間部は、架設時作用力の交点でありパラペットと確実に面で接合するために、パラペットにマッチキャストでコンクリートを施工した。目地遊間は施工完了後にワイヤーソーで切断撤去することとした。

3) 仮支柱

仮支柱は、最大 1500t 程度の鉛直力が作用し、A1 側で 8.5m の柱長であった。仮支柱材として H-400(山留材)を 3 本 1 組で計 9 本配置し、座屈安全度としては 1.7 倍程度確保した。仮支柱の基礎は、アーチリブ上面を上型枠により階段上に施工し、接地面が水平力によりずれない構造とした。また、補剛桁との接合条件は水平ローラーとしているので、ステンレス板と鉄板を重ねボルトで固定し滑動可能な構造とした。

(5) 張出し部施工

張出し施工部は図-8 に示すように片側 16BL の施工であり、A1 側張出しが 9BL、A2 側張出しが 8BL でアーチリブと補剛桁が接合する構造であった。施工は、アーチリブと補剛桁を同時に施工することから、写真-3 に示すような 2 層式の移動作業車(3 主構プレートワーゲン 300tm)を使用した。鉛直材および仮設斜材を張出し途中段階で随時施工することから、補剛桁用底版型枠、下段作業足場は組み解体作業が必要となる。このことを考慮し、後方横梁のない縦梁を吊る型式とし足場材には軽量なものを採用した。また、接合部以降のア



写真-3 2層式移動作業車

アーチクラウン部の施工は、補剛桁用作業台を解体して行った。図-9 に標準施工サイクルを示す。3 ブロック毎に鉛直材および架設斜材の構築による型枠・足場の組立・解体が必要であったので、該当ブロックについては別途数日を要した。

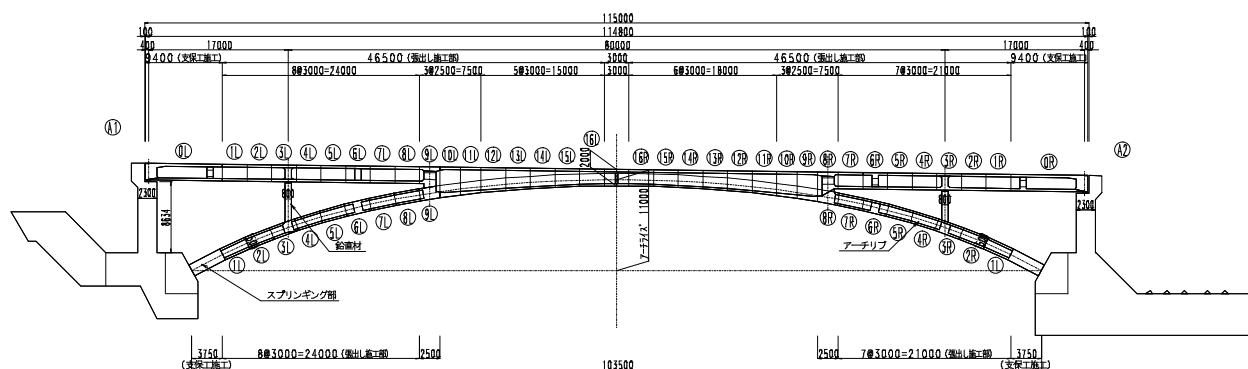


図-8 施工ブロック分割

1) アーチリブ

アーチリブは幅12m、厚さ1.5mの円筒型枠を有する中空断面のRC構造であった。

a) 鉄筋

図-10 にアーチリブの配筋要領を示す。配筋は、橋軸方向が D32ctc125、橋軸直角方向が D22ctc125 であり、中間帯鉄筋形状は半円形フックとした。

軸方向鉄筋の施工ブロック毎の接続は、トルク導入方式の機械式継手を採用した。

b) 型枠

小口型枠および側枠を写真-4、写真-5 に示す。型枠は、メタルフォームを使用し小口型枠は鉄筋間隔を確保するため写真に示す形式とした。また、円筒型枠は作業性等を考慮し発泡スチロール製とした。作業は、軸方向鉄筋接続→小口型枠セット→鉄筋高さセット→鉄筋組立→円筒型枠セット→底型枠セット→側枠セットの順で行った。

工程	日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ワーゲン移動・セット															
底版セット															
アーチリブ															
鉄筋組立															
側枠・円筒型枠組立															
コンクリート打設															
養生															
補剛桁															
型枠セット															
下床版・ウェブ鉄筋組立															
PC鋼棒シース組立															
内型枠組立															
上床版鉄筋組立															
小口型枠組立															
コンクリート打設															
養生															
緊張															

図-9 標準施工サイクル

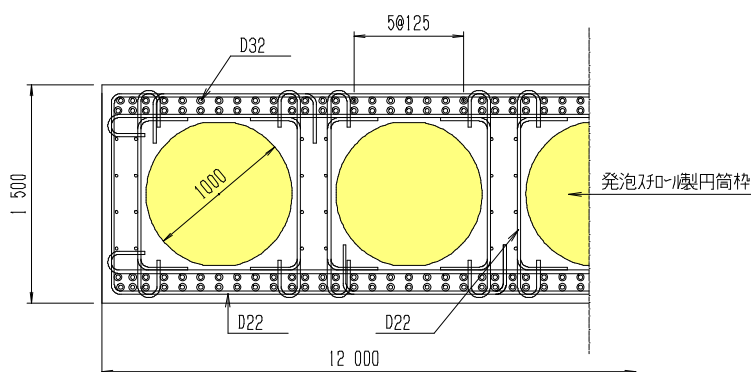


図-10 アーチリブ配筋要領



写真-4 小口型枠



写真-5 側枠

c) コンクリート

コンクリートはポンプ車を使用し、桁上を配管圧送し打設を行った。配合は、施工性を考慮して高性能 AE 減水剤 (標準型)を用い 40-15-20H とした。配合表を表-2 に示す。

アーチリブ上面は、打設しながら木製型枠を組み立て、打設終了後に脱枠し金ゴテ仕上げを行った。打設状況を写真-6 に示す。

表-2 コンクリート配合



写真-6 コンクリート打設状況

		アーチリブ	補剛桁
呼び強度 (N/mm ²)		40	40
スランプ (cm)		15	12
粗骨材最大寸法 (mm)		20	20
セメントの種類		H	H
水セメント比 W/C (%)		41.5	41.5
細骨材率 s/a (%)		45.9	46.9
単位重量 (kg/m ³)	セメント	366	378
	水	152	157
	細骨材	813	820
	粗骨材	1002	972
	混和剤	3.66	4.16

d) 設備関係

アーチリブ施工は補剛桁の下での作業となることから、荷役設備として移動作業車の主構間に移動式の電動チェーンブロック(2.8t 吊り)を設置し、補剛桁足場の前方より資材の荷下ろしを可能とした。

また、アーチライズが 11m あることから、作業台のクライミングを実施した。

(6) 仮設斜材の施工

仮設斜材には、総ネジ PC 鋼棒(SBPD 930/1080)φ32を使用した。斜材張力の管理基準値は $0.5\sigma_{pu}$ 以下とした。斜材の緊張は、表-3 に示すように 1 群本数が複数であったので、導入張力による桁の弾性変形量から 1 本毎の緊張力を算出し、1 本目に取り付けた荷重計による値を確認しながら数回調整を繰り返すことで設計張力を導入した。緊張時導入張力は、設計張力の±10%を目標とした。同時に変位測定も行い、張力導入による設計通りの変形も確認した。また、直射日光による温度変化の影響を抑えるために、ポリエチレン製の断熱材で被覆した。配置状況および斜材定着部を写真-7、写真-8 に示す。

表-3 仮設斜材本数

	A1 側(本)	A2 側(本)
第1斜材	34	32
第2斜材	30	24
第3斜材	10	10

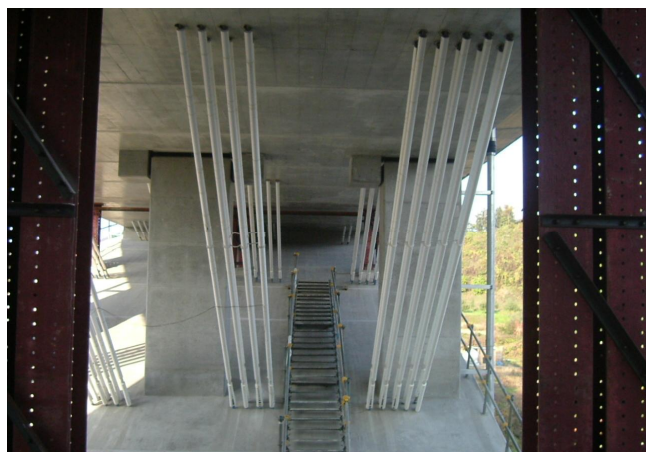


写真-7 仮設斜材配置状況



写真-8 斜材定着部

(7) 仮設外ケーブルの施工

仮設外ケーブルは、トラス張出し架設の引張材である補剛桁とバックステーを結合し、架設時応力を健全に保つ役割で配置されており、架設中の保護に重点をおいた。PC 鋼材は SWPR7B12S12.7 を使用したが、防錆対策として定着部以外をエポキシ被覆したものとした。また、閉合後に解放することから、余長部分はグリースを塗布し塩ビ管で保護した。外ケーブル配置状況および定着部保護状況を写真-9、写真-10 に示す。



写真-9 外ケーブル配置状況



写真-10 定着部保護状況

(8) 仮設部材の解放

仮設部材の解放順序は、橋体の応力状態を検討し図-11 に示す通りとした。

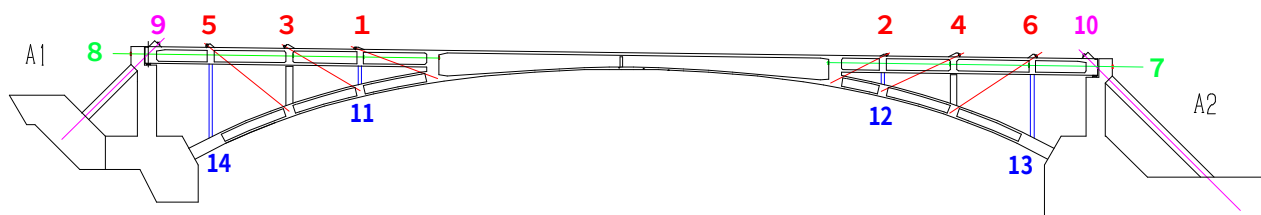


図-11 仮設部材解放順序

ここで、外ケーブルの解放は導入張力値の照査をしたのち、フレシネー12T13 用のディテンショニング装置を使用して行った。バックステーPC 鋼材の解放は仮固定用 H 鋼を切断したのち、桁の変形による増加張力の影響を考慮し2 段階で解放した。外ケーブルの解放終了後、仮査の解体を行った。

また、仮支柱の解体については 1500t 程度の軸力が作用している状態であったため、コンクリート基礎部分をハツることで軸力を解放した。

3. 計測工

(1) 概要

本橋のような架設工法は、閉合するまでは構造的に非常に不安定な状態であり、予測できないような橋台(エンドポスト)の変形、地盤の変形、バックステーPC 鋼材の引き抜きおよびグラウンドアンカーの張力の減少等が生じた場合、構造系全体の崩壊にいたる危険性がある。また、施工段階においては構造系が逐次変化するとともに、各部材の応力状態および変位は複雑な挙動を示す。これらの推移を把握し、安全性および施工精度を確保する目的で各部材の計測を行った。図-12 に各種計測機器の設置位置を示す。また、構造物の変位を自動追尾型トータルステーションで計測し、変状観測を行いながら施工を実施した。

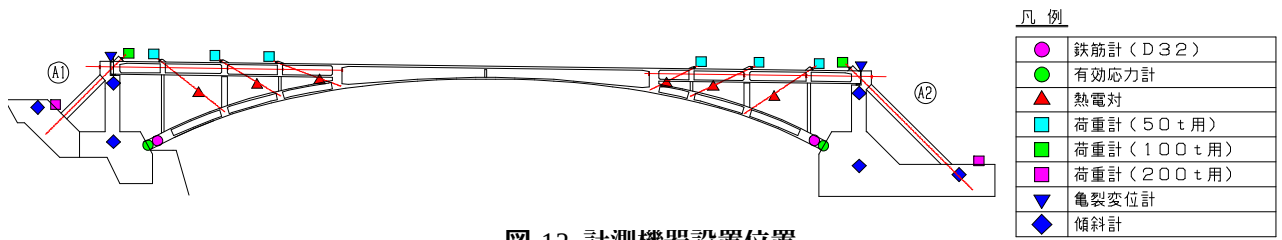


図-12 計測機器設置位置

(2) 計測結果

図-13 にアーチスプリング部上縁のコンクリート応力度を示す。斜材緊張による応力改善は計画通りの値は得られなかったが傾向はほぼ合致した。ただし、斜材緊張後の応力変動は設計値よりも小さく、実橋の弾性係数が 1.13 倍程度あることが影響していると考えられる。

また、接合部施工以降、第 1 斜材解放までの違いは、アーチリブ変位がほぼ合致していることから、接合部を頂点としたトラス構造の中で補剛桁の剛性が高くアーチリブに作用する軸力が小さかったと推測される。

図-14 に斜材張力の推移を示す。張力変動は概ね合致しているが、値は小さいが張力が 20% 近く減少した。接合部施工以降の差の増加はないことから、部材の剛度が高く斜材の負担が軽減されたと推測される。

施工中のグラウンドアンカー・バックステーの張力変動は温度変化分のみで、傾斜計も異常な数値は見られなかった。

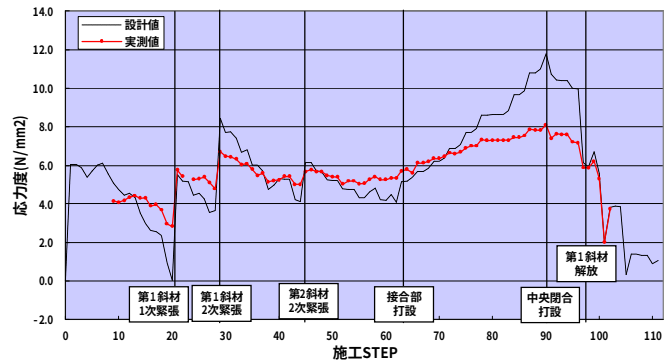


図-13 アーチスプリング部上縁のコンクリート応力度

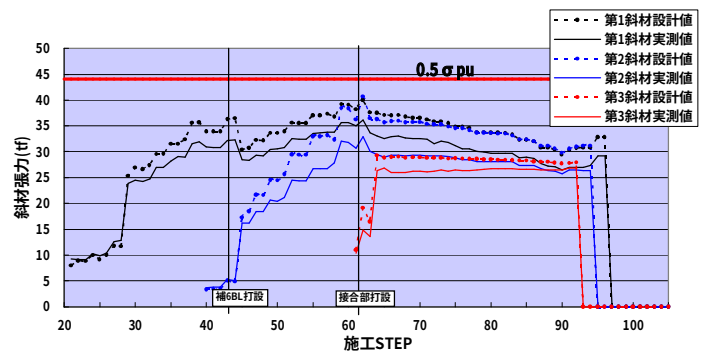


図-14 斜材の張力推移

4. おわりに

本橋は、トラス張出し施工する扁平アーチ橋であるため、構造系の崩壊に至る要因の監視が必要であった。そのため、各種計測管理を行い常に現状を把握することにより、安全かつ確実な施工ができ、無事、平成 17 年 3 月に竣工した。

最後に、本工事に多大なご協力とご指導をいただいた関係各位に深く感謝の意を表するとともに、本報告が今後の同種工事の参考になれば幸いである。



写真-11 完成写真

参考文献

- 1) 土木学会:コンクリート長大アーチ橋—支間 600m クラス—の設計・施工, 構造工学シリーズ 13
- 2) 大山博明・松嶋智明・海谷文明・公平和夫:新明鏡橋(トラス張出し施工する扁平アーチ橋)の施工に伴う検討, 第 59 回土木学会年次学術講演会, 2004.9
- 3) 宮本誠士・大山博明・松嶋智明・後藤裕紀:新明鏡橋の施工—トラス張出し施工する扁平アーチ橋—, 第 12 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.241-244, 2004.10