

【論文・報告】

曾我部川第一橋の設計・製作・架設

Design, Fabrication and Construction Report
of SOGABEGAWA No. 1 Bridge武部 信一*
Shin-ichi TAKEBE渡辺 晴紀**
Haruki WATANABE菊川 長郎***
Takeo KIKUKAWA

1. はじめに

曾我部川第1橋は、四国横断自動車道の大豊I・C～南国I・C(約22km)に架かる鋼3径間および4径間の連続トラス橋であり、当路線内における最大規模のものである。

架橋地点は分水嶺をなす根曳峠の南西1.5kmに位置し、標高200～400mの山地部で、複雑に入り込んだ曾我部川の急峻な谷間である。

本橋梁の平面線形の約6割が $R=400m$ の小さな曲線部に位置するため、弦材は支点上以外の格点3パネル毎(約36m)に平面折れ角を有し、全体としてカーブ橋となる。また橋脚高さは40～70mとなり、中間支点部の支承条件をヒンジ固定とした多脚ヒンジ固定構造物となっている。

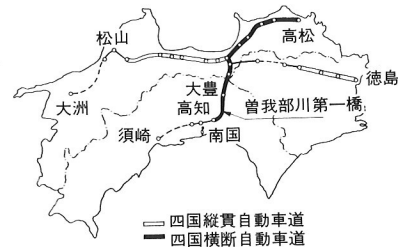


図-1 位置図

本橋は、昭和59年8月に日本道路公団より川田・栗本共同企業体が受注し、詳細設計、工場製作を経て昭和61年8月に鋼桁架設を完了し、現在に至っている。

施工の分担としては、 $A_1 \sim P_3$ が川田工業(株)が $P_3 \sim A_2$ が(株)栗本鉄工所が主として行った。

本橋では、主として当社担当の $A_1 \sim P_3$ の設計・製作・架設について報告する。

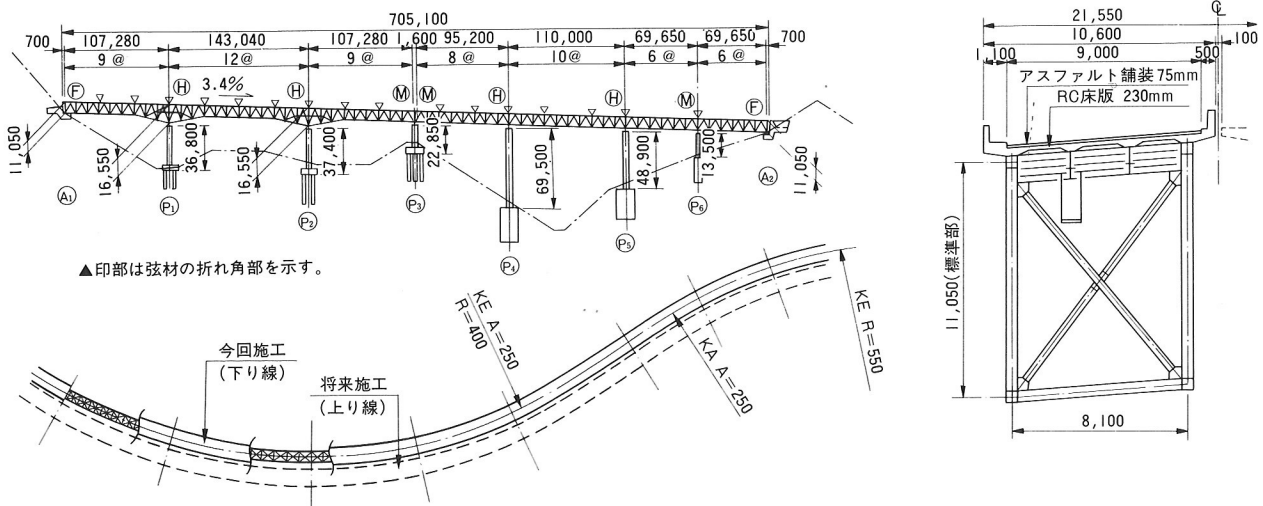


図-2 一般図

*川田工業(株)大阪支社工事部工事課課長 **川田工業(株)四国工場生産技術課 ***川田工業(株)大阪支社設計課

2. 工事概要

() 内数字は当社施工分

工 事 名	四国横断自動車道 曾我部川第一橋 (鋼上部工) 工事	
路 線 名	高速自動車国道 四国横断自動車道	
道路規格	1種3級B	
橋 長	705.1m (359.1m)	
有効幅員	9.0m (暫定時)	
平面線形	最小曲率半径 R=400m	
縦断勾配	3.4%	
横断勾配	最大勾配 7.0%	
構造形式	鋼3径間連続トラス橋 1連 鋼4径間連続トラス橋 1連	
鋼 重 主構造	3276 t (1790 t)	
付 属 品		
支 承	101 t	(49 t)
伸縮装置	18 t	(3 t)
排水装置	4 t	(2 t)
検 査 路	72 t	(37 t)
耐震連結装置	2 t	(2 t)
ペデスタルフレーム	68 t	(38 t)
コンクリート	2433m ³	(1252m ³)
鉄 筋	526 t	(280 t)

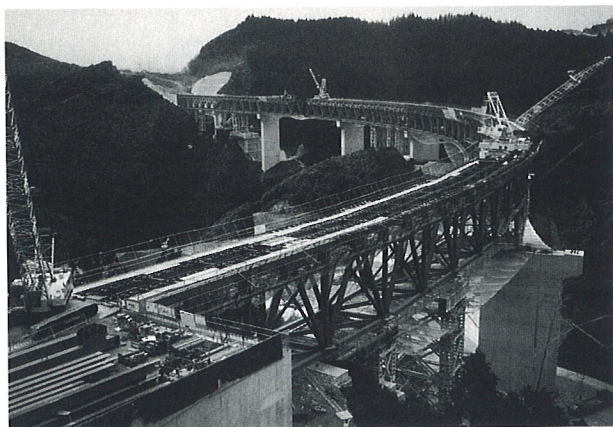


写真-1 閉合前 (A₁側よりみる)

3. 設計

(1) 構造解析

一般に、トラス桁の構造解析は、慣用法すなわち平面解析で十分とされている。

曲線トラス桁が初めてわが国で用いられたのは、昭和44年東名高速道路における酒匂川橋であり、酒匂川橋の構造解析は電子計算機の能力の制限等によって平面解析によっている。(部分的に立体解析を行い部材力の照査を行っている。)

本橋ではつぎに示す理由によって平面解析では不十分

であると判断し、断面力・反力・変位等の算出は架設系・完成系のいずれも上・下部工を一体とした立体解析を用いた。(縦桁を除く全ての部材を立体骨組として考慮する。)

① 格点 (3パネル毎) で弦材が平面に折れ角を有し、立体的な部材力が生じる。

② 高橋脚頂部で上・下部工がヒンジ結合しているため、下部工の剛性・慣性力を上部工断面力に加える必要がある。

③ 架設工法がトラベラークレーンによる片持ち張り出し工法であるため、主構の平面折れによる影響を架設時応力・形状管理に加味させる。

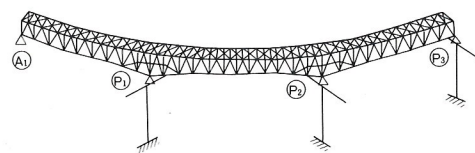


図-3 構造解析モデルの一例

(2) 架設系での構造解析

本橋の架設はトラベラークレーンによる片持ち張り出し工法が主体となり、架設段階毎で断面力・変位が異なりその値も大きく、架設時における断面照査・形状管理が重要なポイントとなる。

架設系での構造解析等で留意した事項をつぎに示す。

a) 最終架設系の応力の取り扱い

本橋のような架設工法の場合、最終架設系の応力の取り扱いは、次に示す2つの方法が考えられる。

① 閉合後3径間トラス桁を形成した時点 (載荷荷重は鋼自重と施工時荷重) で、中間支点を扛下し支点反力調整を行い架設時応力を小さくする方法 (図-4 参照)

② 支点反力調整を行わないで架設時応力を完成系に含む方法

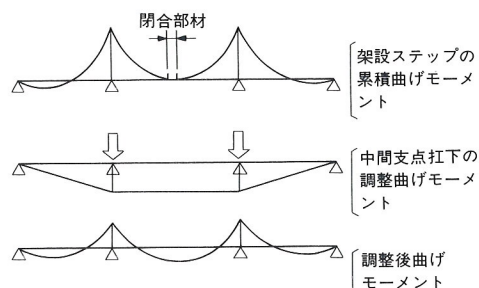


図-4 反力調整を行う場合の曲げモーメント形状

本橋では次に示す理由により後者の方法を採用することにした。

① 閉合後中間支点を扛下するには支点反力が大きく、

また平面曲線の影響で左右の主構反力が大きく異なるため、中間支点到に捩りモーメントが大きく作用し、施工性に問題がある。

② 中間支点上の主構高が標準部より高く、架設時の累積曲げモーメントの分布(単純片持ち梁としての分布)と主構高の変化が一致するため、とくに不経済とならない。

b) 架設系の支承条件の設定

架設途中における桁の変形・温度変化による桁の伸縮が大きく、また多点固定構造物であることから、それらの影響による付加断面力の軽減を計るために、架設系の支承条件が完成系の支承条件と異なる。

したがって架設系から完成系の支承条件の推移に対応させるため、支承下面にペDESTALフレームを設け、桁閉合後ペDESTALフレームに支承を固定するものとした。

c) 施工時荷重の設定

施工時荷重の強度・載荷時期・除荷時期等は、施工条件を慎重に検討し決定した。

桁閉合時には施工誤差等による部材の捩れ調整を行うための荷重を考慮した。

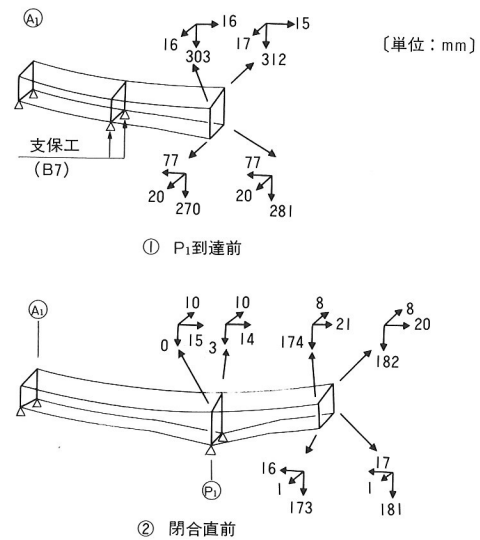


図-5 架設時の桁の変形量の一例

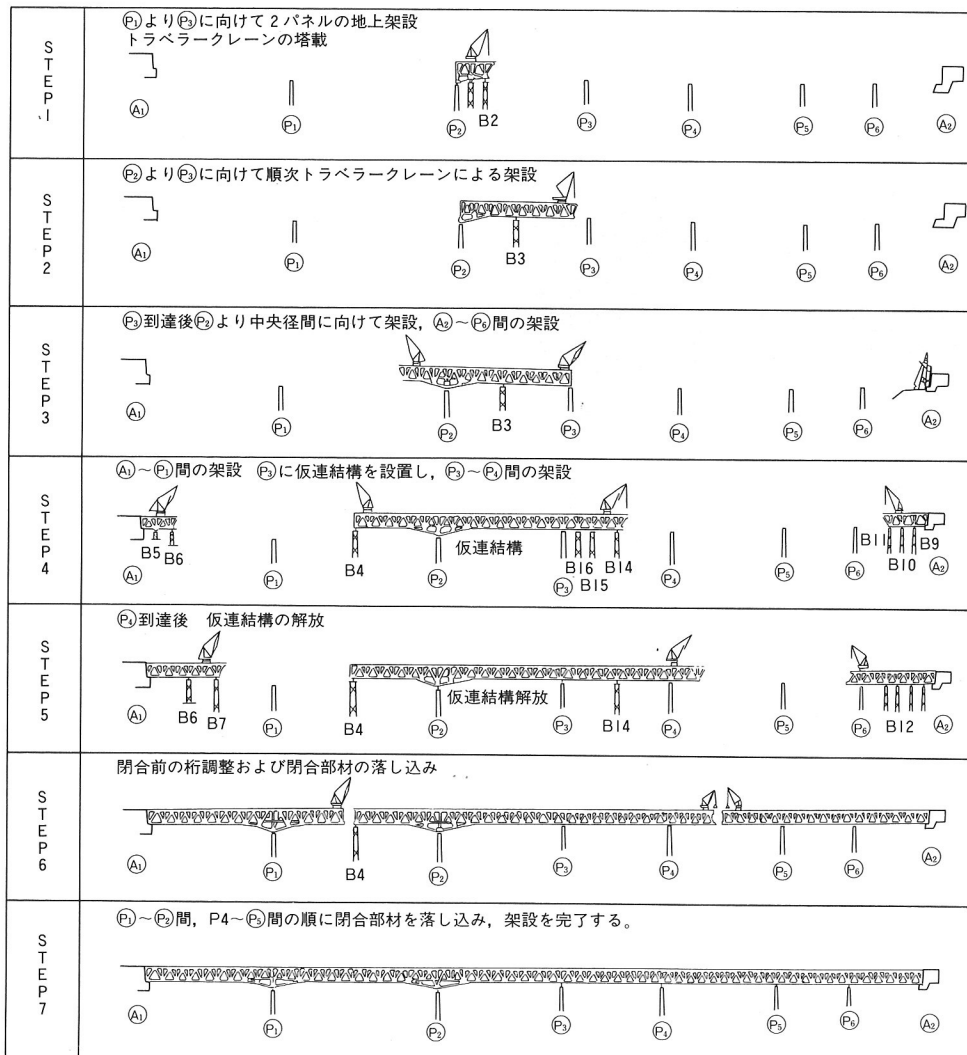
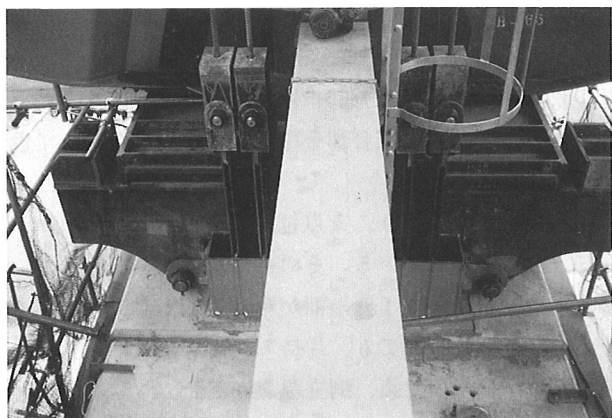
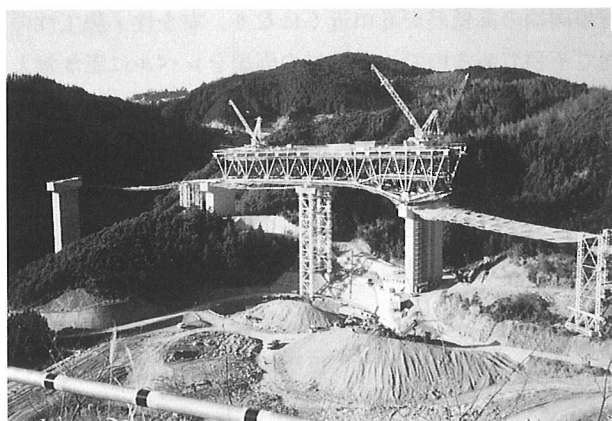
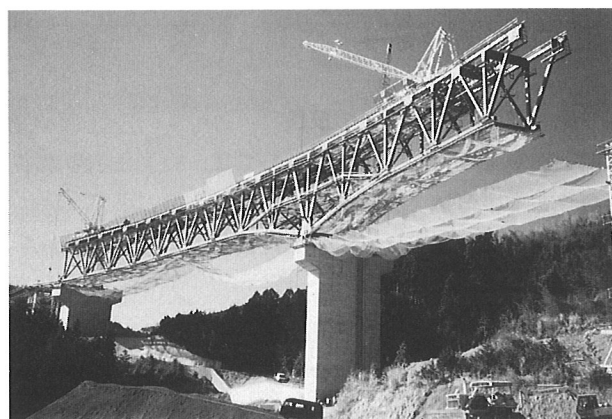
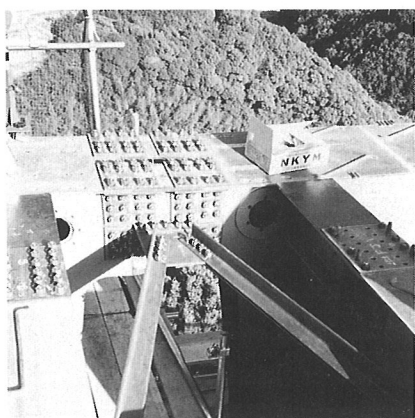


図-6 架設段階図

写真-2 P₂上ペダスタルフレーム写真-3 架設状況 (P₃到達前)写真-4 架設状況 (P₂からの片持ち)写真-5 P₃上弦材仮連結構

(3) 部材断面

上路式トラス桁である本橋は構成部材が多く、1格点に多くの部材が集まると共に、弦材が平面的に折れ角を有し、縦横断勾配が急であり、また部材の架設順序が限定されるために、部材の応力の伝達がスムーズになる格点構造・部材の架設が容易な継手構造等に苦慮した。

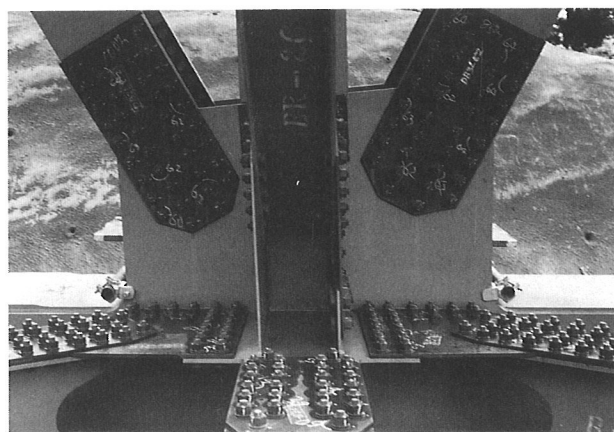


写真-6 下弦材の格点構造

また一般にトラス桁における縦桁の断面は、H形鋼が経済的であるとされている。

本橋の場合、H形鋼にはつぎに示す欠点があるため、ビルドアップ断面が経済性および構造上優れていると判断できた。

① 横断勾配が7%と急であるため、H形鋼では横桁の取り合い部に板厚の厚いテーパのついたフィラープレートが必要となる。

② フィラープレート・添接板・高力ボルトの寸法よりハンチ高が高くなり死荷重が増える。

③ H形鋼の許容公差が $\pm 2\text{ mm}$ であり、横桁の勾配が若干変化するためフィラープレートの製作が煩雑である。

A₁~P₃間のトラス桁においては、この縦桁重量はH形鋼の場合185 t、ビルドアップ断面の場合115 tとなり、後者が経済的であった。

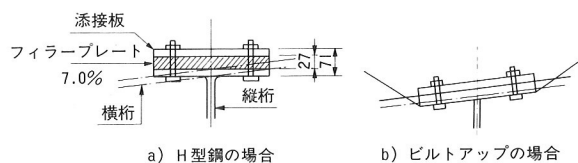


図-7 縦桁と横桁の上フランジの連結構造

3. 工場製作

本橋の構造特性のうち、工場製作に大きな影響をおよぼす事項を示す。

① 平面的に曲線桁である。

- ② 中間支点付近で主構高さが変化している。
- ③ 縦横断勾配が大きい。
- ④ 支間中央における閉合架設である。

工場製作において、製作工程の各段階での出来形管理を十分に行うように努めた。

(1) 原寸時の形状管理

本橋においては、通常のトラスの変位方向である鉛直・橋軸方向に加えて、橋軸直角方向にも変位があって、3方向の変位を考慮する必要があった。

従って3方向の変位であるためキャンバーを平面的にとらえることができず、座標値としてとらえる必要があり、設計段階において工場製作キャンバーを線形座標値として求め、その値を原寸で使用する基本資料とした。

図-8にNC原寸のフローチャートを示す。

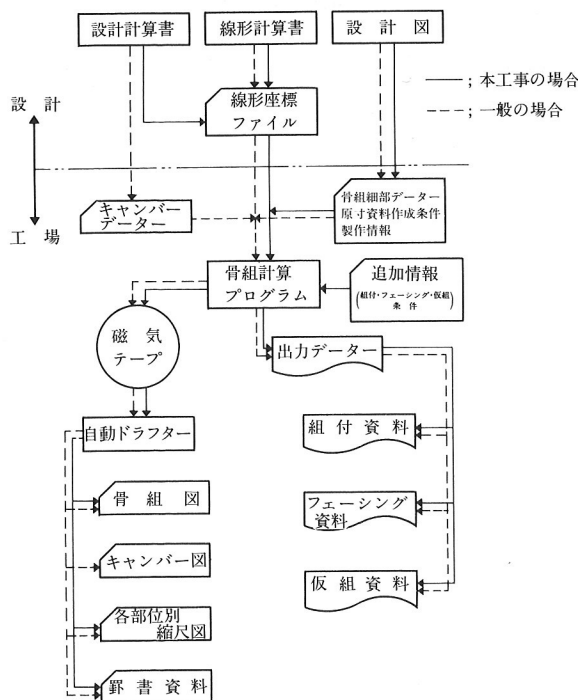


図-8 NC原寸のフローチャート

(2) 製作時の出来形管理

工場製作の出来形管理は、上下弦材にとくに注意をはらった。これは上下弦材が、3方向に変位する座標の連続であり、部材の任意断面の各コーナーは、それぞれ異った座標値をもつためである。そこで、原寸段階では、各部材の出来形の管理位置を各格点および添接部とし、それらの位置での管理用の座標を算出し、それによって管理を行った。

管理を行う時期としては、部材の組立工程および製作の最終工程（軸方向の部材端面機械切削）とした。

出来形の計測方法としては、トランシットとレベルを併用する方法とした。

(3) 仮組立出来形管理

中央径間の閉合架設であるため、閉合部材は閉合直前の測量結果を基に製作した。また平面ライズが大きく（約40m）、橋長が長い（約360m）ため、全体仮組立を行うことが困難であり、閉合部を境にして2回に分割して仮組立てを行った。

本橋は上路橋であり、支点付近で主構高さが約11mから約17mに変化している。そのため仮組立方法として、正立組は安全性・施工性の面から好ましくない。

また技術面からみても、片持ち架設工法に仮組立結果を反映させにくいため、倒立組を採用しても問題ないと考えた。

さらに縦断勾配が約3.4%ときつく、上弦材の仮組立部材の両端の高低差が6m近くになり、安全性・施工性の面で不利であるので、上弦材の両端をレベルに置き換えて仮組立することにした。

以上のことを考慮して、製作時の出来形管理と同じ要領で、仮組立管理用の座標値により仮組立を行った。

その結果、仮組立出来形は、表-1に示すとおりとなり、許容公差内に納めることができた。

表-1 仮組立精度

	許容公差(mm)	仮組立誤差(mm)
支間長	±20	-11
平面ライズ	±45	-16
主構高さ	±10	±5

(4) 閉合部測量の製作への反映

閉合部測量に先立ち製作に際しては、つぎに示す事項を反映して、部材寸法を決定した。

- ① 閉合部材寸法は、閉合部材載荷による桁のたわみを考慮する。
- ② 添接板は設計図どおりとする。
- ③ 部材最大伸び時（閉合区間寸法最短時）で、閉合部材が既架設桁とメタルタッチと考えるのを基本とした。



写真-7 仮組立

4. 架設

(1) 架設順序の選定

本橋の架設工法は地形等の制約条件よりトラベラークレーンによる片持式工法となった。

その架設順序は、つぎに示す地形条件を考慮し全体工程との調整を計り決定した。

① $P_4 \sim P_5$ 径間は深いV字地形を呈し、桁下高さは約80mを有し、支保工の設置は困難である。

② $P_3 \sim P_4$ 径間は急斜面が連続し、桁下高さも比較的高く、支保工は支間中央部付近で1基設置を基本とするのが適切である。

これは $A_1 \sim P_3$ 橋の $P_2 \sim P_3$ 径間を先行架設し、同支間をアンカースパンとして、 P_3 架け違い部に仮連結構を設けることで対応させる。

③ 支間110~140mの径間を片押しで架設することは、橋軸直角方向の風荷重等により大きな断面力が発生し、経済性・安定性に劣る。

④ 荷取り位置は架橋地状況より、 $A_1 \cdot P_2 \cdot P_6 \cdot A_2$ とする。また A_2 側は、アプローチを使用できない。

以上より $A_1 \sim P_3$ 橋、 $P_3 \sim A_2$ 橋共に側径間側より支保工を併用しながら片持式架設を行い、中央径間中央部にて閉合架設となる。

(2) ベント設備

a) 概要

$A_1 \sim P_3$ 橋の架設には、8基のベントを使用した。そのうち $B_3 \cdot B_8$ ベントは、高さが40m前後で上部工反力が1橋体あたり約1,000tであり、通常のベントに比べて大規模なものであった。

また片持式架設のため横荷重（風・地震）によって偏載荷重を受ける。

これらの条件を検討し、主構に作用する横荷重は主構が負担し、ベントに作用する横荷重はベントが負担するものとした。

従ってベントの構造は主構の水平方向の変位に追従できるように、ブレースング格点をピン結合とし、格点間のピンとガセットプレート間の組立余裕量の累計で対応できる構造とした。

b) 架設段階とベントの取り扱い

ベントは桁到達時まで無載荷とし、その後桁の張り出し架設による応力解放までベントを残置することにした。

B_3 、 B_8 ベントは、架設誤差の調整を行うために橋脚到達後、早めに応力解放を行った。

(3) ベント基礎工

a) $B_1 \sim B_3$ ベント

ベント設置部に市道および地山・法面保護の張ブロック積擁壁が位置し、張ブロックは地山保護のため極力残



写真-8 運搬台車



写真-9 トラベラークレーン

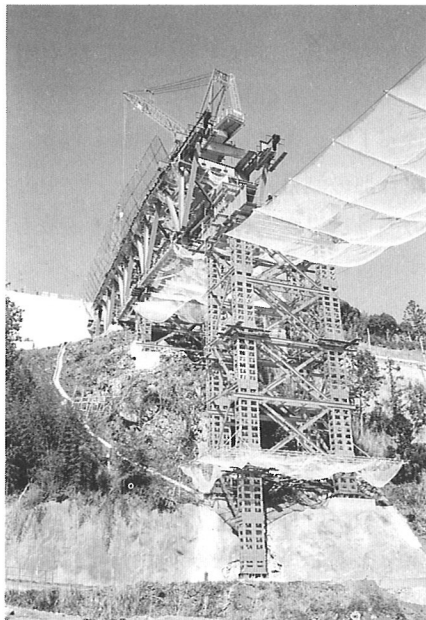


写真-10 B_8 ベント

置するのを前提として、つぎに示す基礎工形式を採用した。

- ① 山側基礎工 $\phi 450$ 場所打杭基礎
- ② 谷側基礎工 直接基礎
- b) $B_7 \cdot B_8$ ベント

ベント設置部は地山傾斜角が約 45° の急斜面に位置し、局部的に岩が露呈しているため、表土掘削にて支持層の分布状況を調査した。その結果、数mの掘削によって十分な支持層が露出したため直接基礎とした。

斜面上の滑動に対しては、フーチング下面よりさらに2～3mの深さでファン状に削孔し、D32アンカー筋でフーチングと一体化した。

設置部の状況から、これらの作業は、ほとんど人力によることとなり、 $B_7 \cdot B_8$ のベント2基分で約2ヶ月を要した。

(4) 閉合

a) 閉合部材の施工概要

本橋は曲線トラス桁であるため、一般に閉合時で行うセットバックはジャッキングおよび移動方向の点から問題があり行わないこととした。

そのような条件を踏まえ、閉合部材は全て出来形合せを基本とし、施工はつぎに示すように行った。

- ① 閉合部材の1パネル分(上・下弦材、斜材、縦桁、上・下横構)は、閉合前の段階で現地測量を行う。
- ② 閉合部材の加工は測量結果を反映し、工場で加工を行い現地搬入する。
- ③ 閉合作業は温度変化による桁の伸縮を利用して行う。
- ④ 閉合部材現場添接孔は、フルサイズを基本とし、横構の一部はサブサイズとする。
- ⑤ 閉合部材落とし込み遊間は5mmを設定する。
- ⑥ 閉合面合せは、支保工 B_4 上および中間支点上のジャッキセットにより桁調整を行う。
- ⑦ 閉合完了後、支承等の位置調整を行う。

b) 閉合部の測量

閉合部の測量は温度変化が一定となる深夜を利用してつぎに示す項目について行った。

- ① 閉合部切口間の距離
- ② 閉合部主構高さ
- ③ 閉合部主構断面の捩れ量
- ④ 閉合部桁の通り
- ⑤ 支承仮据付の位置の確認

c) 閉合部材の架設

形状測定を反映した部材を現地搬入し、図-9の手順によって架設を行った。

(5) 形状管理

本橋は曲線トラス桁であり、片持ち架設に伴う桁の捩れの影響が無視出来ないため、XYZの3方向の座標によって施工段階毎の形状を管理することにした。

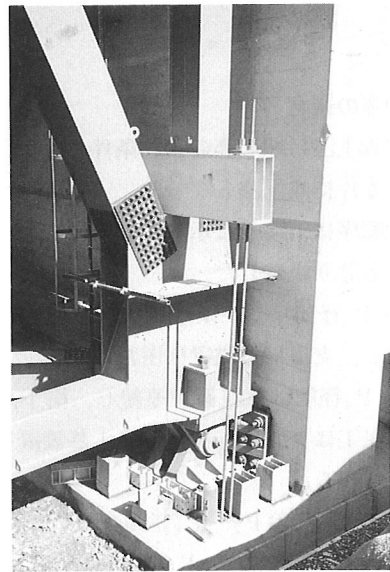


写真-11 A_1 上アップリフト止め

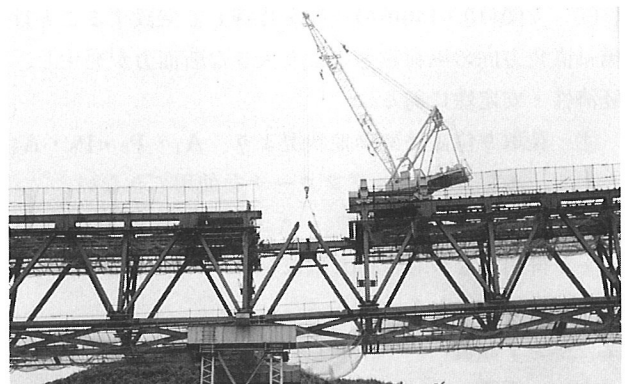


写真-12 閉合部の架設



写真-13 閉合部下弦材の架設



写真-14 P_1 上アップリフト止め

表-2 閉合部の測量結果

上弦材

下弦材

l_1

l_2

l_3

l_4

	昼	深夜
気 温	29℃	19℃
表面温度	36℃	19℃
日 射	$G_1 \rightarrow G_2$	—

				l_1	l_2	l_3	l_4
規定値 (20℃)				8,887	8,887	8,476	8,476
G ₁	測定値	昼	外 側	8,867	—	8,462	—
			内 側	8,866	—	8,462	—
		深夜	外 側	8,912	8,913	8,507	8,512
			内 側	8,910	8,913	8,505	8,510
		規定値 (20℃)			8,526	8,526	8,115
					8,526	8,115	8,115
G ₂	測定値	昼	外 側	8,508	—	8,099	—
			内 側	8,508	—	8,099	—
		深夜	外 側	8,545	8,545	8,132	8,134
			内 側	8,547	8,547	8,135	8,134
		規定値 (20℃)			8,526	8,526	8,115
					8,526	8,115	8,115

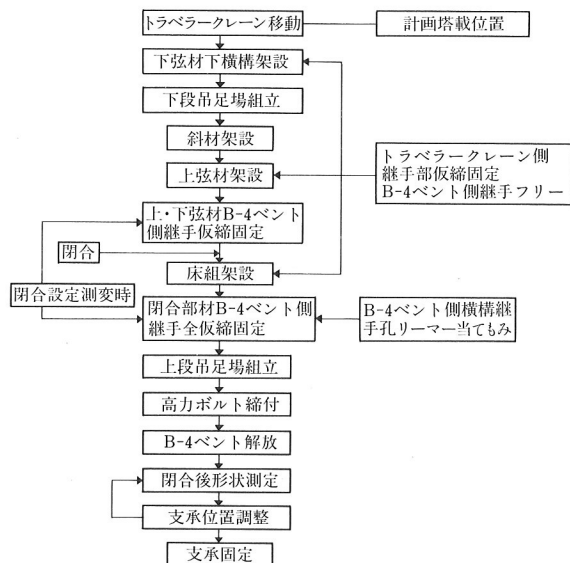


図-9 閉合部の架設手順

したがって設計値と実測値の座標をすみやかに対比できるシステムを新たに導入して管理を行った。

a) 座標値の管理システム

座標値の管理システムを図-10に示す。

この管理システムの特徴は、つぎに示すとおりである。

① 測点の実測による座標値は、セオドライトによって自動的に算出する。

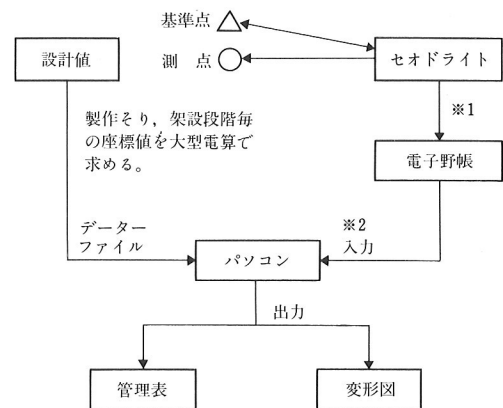
② 実測の座標値は、セオドライトから電子野帳へ、そしてパソコンへと自動的にファイルされる。

③ パソコン内で、温度変化の補正、実際測点の骨組中心とのずれ、設計値との差を算出し、データファイルされる。

④ 任意の施工段階および測点の管理表・変形図が現場で任意に早く取り出すことができる。

b) 測量機器等

セオドライト 測機舎 SET-3 タキオメータ
電子野帳 S D R I
プリズム 1素子反射プリズム 3セット
その他 プリズムポール測量治具等
パソコン UNIVAC UP-10



※1 測定の座標値を自動的に算出し記録する。

※2 測点と骨組中心のずれおよび測点時温度を入力する。

図-10 座標値の管理システム

c) 測量結果

機械点と測量点の距離が最大320mに達するためセオドライトの測量精度が懸念されたが、事前にチェックを十分に行ったのと基準点が比較的良好な位置に設置出来たことにより実用上問題のない管理が可能となった。

本橋でのセオドライトの誤差の範囲をつぎに示す。

X方向 (橋軸方向) ± 3 mm

Y方向 (橋軸直角方向) ± 2 mm

Z方向 (高さ方向) ± 4 mm

閉合後の平面誤差図を図-11に示すが桁の通りに対して公団許容値を満足し、高さについても最大 ± 25 mm以内に納めることが出来た。

表-3 施工管理表の一例

施工管理表		U 49		
A1~P3 STEP-12R		X	Y	Z
G1	(実)測点のずれ値 L, H		0.100	0.200
	(設)製作すり座標 A	279.105	23.342	79.716
	(設)架設時死荷重たわみ B	-0.006	-0.006	-0.001
	(設)架設時座標 C = A + B	279.099	23.836	79.715
	(実)測定時座標 D	279.130	23.909	79.919
	(実)測点ずれの補正值 E	-0.033	-0.095	-0.200
	(実)温度補正值 F	0.016	-0.006	-0.003
	(実)施工時座標 D' = D + E + F	279.113	23.808	79.716
	誤 差 G = D' - C	0.014	-0.029	0.000



写真-15 セオドライトによる測量

(6) 工程管理

a) 工程計画

工程計画に際しては、つぎの条件を考慮した。

- ① 桁の閉合は台風時期を避けるため、昭和61年7月には架設完了とする。
- ② A₂側の架設開始は下部工の施工の進捗状況より昭和61年1月よりも早く出来ない。
- ③ 4径間の桁閉合時期を守るために、P₃～P₄径間の開始が、昭和61年2月より遅れないように、P₂～P₃間を先行架設する必要がある。
- ④ A₁側の開始は、工場製作の工程より昭和61年2月より早く出来ない。

b) 実施工程

実施工程は、つぎのようであった。

- ① 架設サイクルは、表-4に示す標準工程で計画したが、比較的天候に恵まれ、計画より早く工事を進めることができた。
- ② 閉合部架設は昭和61年6月23日に開始し6月25日に閉合式を行った。
- ③ ついで床組部材を架設し、6月末に鋼桁の架設を完了した。

表-4 橋体架設サイクル標準工程 (ネット)

	1	2	3	4	5	6	部材組立順序
①下弦材、下横橋	■						STEP-1 斜吊ワイヤー
②斜材(1)	■						
③垂直材	■						
④斜材(2)	■						
⑤上弦材	■						
付組橋		■					STEP-2 ⑤ ③ ④
横 桁		■					
検査路		■					
上横橋、縦桁		■					
吊足場上		■					
高力ボルト		■					
軌条布設		■					
トラベラー移動			■				

5. あとがき

曲線トラス桁は、今までに数橋が施工され、最近では本橋と同規模で支点のみに折れ角を有する関越自動車道

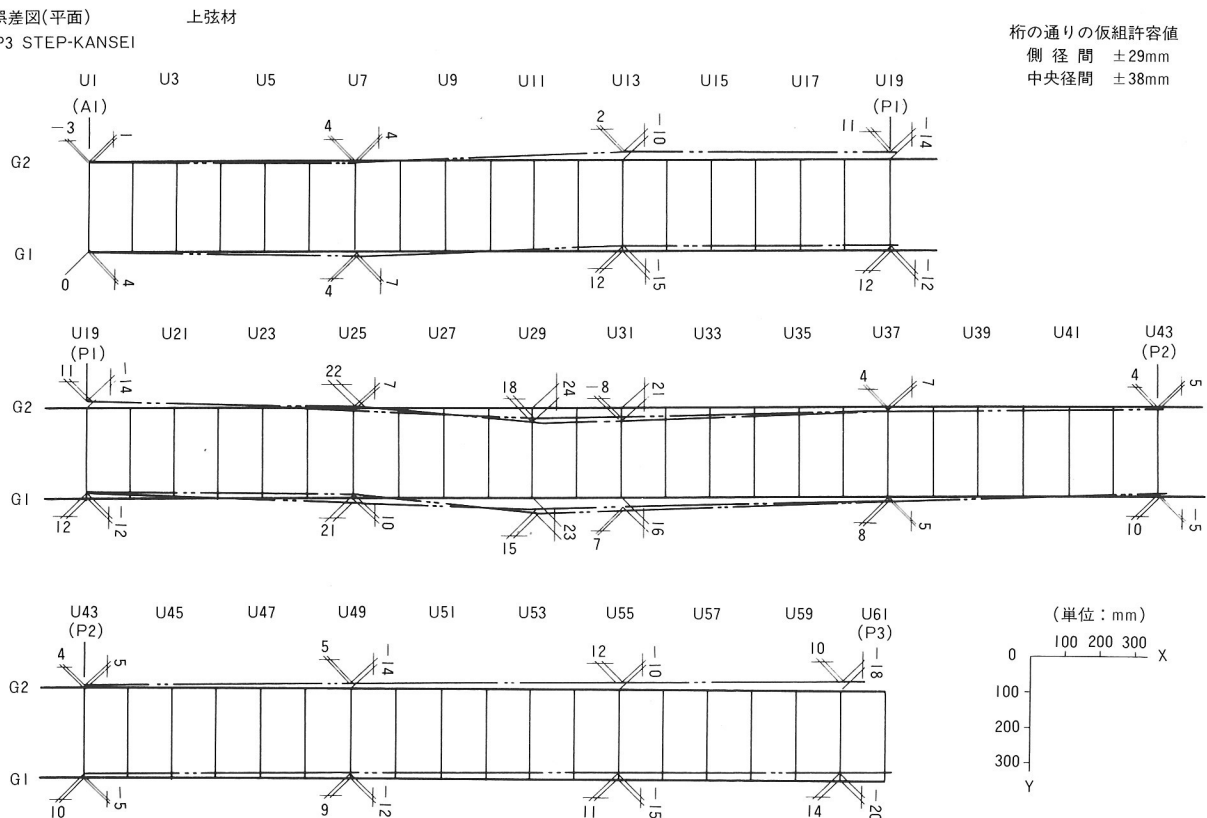
変形誤差図(平面)
A1～P3 STEP-KANSEI

図-11 閉合完了後の架設精度 (数値は設計値との誤差を示す)

表-5 工事工程表 (上段:計画 下段:実施)

		昭和60年					61												62			
		8月	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
準備工																						
ベント基礎工																						
架設工	P ₂ ~P ₃																					
	P ₂ ~閉合部																					
	A ₁ ~閉合部																					
ベンド組体・解体																						
支 承 固 定																						
機 材 撤 去																						
床版型枠・鉄筋工																						
床版コンクリート																						
地 覆 ・ 高 欄																						
添 接 部 塗 装																						
橋 体 塗 装																						
足 場 解 体																						
跡 片 付																						

の片品川橋が、昭和59年に施工された。

本橋の設計・製作・架設については、以上の施工例を参考にし、諸先輩が苦慮された事項に検討を加えたと考えている。

とくに電子計算機の利用は、設計における構造解析、製作・架設における形状管理の精度の向上や合理化に大いに役立った。

また本橋の施工上の特色として、大反力を受けるハイベンド工、急斜面上の基礎工、マイコンによる三次元管理、セットバックをしない閉合等であったが、それらの考え方が今後の工事の参考になり、さらなる技術革新の糧となれば幸いである。

最後に本工事を実施する機会を与えて下さり、全面的に御指導いただいた日本道路公団高松建設局、高知工事事務所の皆様および種々の御協力を頂いた栗本鉄工所の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 笹戸・菊野：酒匂川橋上部工の設計概要、橋梁と基礎、Vol.3, No.4, 1969
- 2) 河田・渥美・堀田：片品川橋工事報告、川田技報、Vol.4, 1985.