

論文・報告

遠入川橋の設計・製作・架設

Design, Fabrication and Construction of TOIRIGAWA Bridge

伊藤 博章*
Hiroaki ITO

梅崎 秀明**
Hideaki UMEZAKI

小笠原 照夫***
Teruo OGASAWARA

内田 修平****
Shuhei UCHIDA

松野 和夫*****
Kazuo MATSUNO

宗村 基弘*****
Motohiro MUNEMURA

This bridge, consisting of a steel deck-type Lohse girder bridge and a steel box girder bridge, is to be erected on the Joshin-etsu Expressway and is designed to cross National road 18. The bridge is characterized by the following :

- 1) A deck-type Lohse girder bridge with three main trusses ;
- 2) A relatively large rise ratio ($=1/2.7$) ;
- 3) A comparatively large arch crown ;
- 4) Piers arranged at wide intervals and the girders rigidly connected at both ends.

This report aims to provide the outline of the whole bridge and to describe the characteristics and fundamentals of the design, fabrication and construction.

Keywords : TOIRIGAWA bridge, design, fabrication, construction, Lohse girder bridge, cable erection

1. はじめに

上信越自動車道は、関越自動車道の藤岡ICから群馬県・長野県を経て新潟県上越市に至る全長約200 kmの路線で、首都圏と上信越地方を結ぶ幹線道路として計画されたものである。

遠入川橋は、この上信越自動車道の松井田ICと碓氷IC間(群馬県)に位置し、側径間を鋼連続曲線箱桁、中央径間を鋼上路式ローゼ桁とした橋長約477.0 m(上り線)の橋梁群である。

本橋は、妙義荒船佐久高原国定公園、および県立妙義公園に隣接しており、景観に対する配慮が重要である。また、利根川の支流である遠入川により深く刻まれたV字谷を、その川面よりおよそ100 m高い位置で跨ぐ典型的な山岳橋梁となっている。

路面の平面線形が、上下線一体構造から分離構造へのすり付け区間にあり、 $R=700\text{ m} \sim R=-500\text{ m}$ のクロソイド曲線($A=350$)によりすり付けたS字曲線中に位置する。そのため、側径間が上下線分離の鋼連続曲線箱桁、中央径間が独立した上下線を主構造で一体としたアーチ支間167.0 mの3主構の上路式ローゼ桁となっている。

また、架橋地点が急峻な山岳地であるため上路式ローゼ桁のアーチ形状は、アーチライズの非常に高い独特の

形状を呈しており(本橋のライズ比は1/2.7であり、一般的には1/5~1/6程度である), 橋脚もフレキシブルな高橋脚(コンクリート製橋脚)となっている。

本橋の上部工事は、日本道路公団東京第二建設局より㈱横河ブリッジと川田工業㈱の2社JVへ発注されたもので、平成元年6月に受注後、2社共同にて詳細設計を行い、平成4年7月現在製作がほぼ完了し、平成4年度末の藤岡ICと佐久IC間の開通に向けて架設工事中である。写真-1に本橋の全景を示す。

本文では、詳細設計と工場製作および現場架設について報告する。

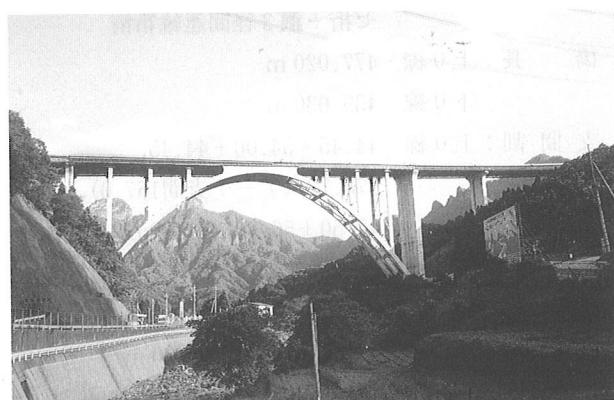


写真-1 遠入川橋全景

*川田工業㈱技術本部技術一部次長 **川田工業㈱技術本部技術一部設計一課係長 ***川田工業㈱技術本部技術二部設計一課 ***川田工業㈱生産事業部四国工場生産技術一課課長 ****川田工業㈱富山本社工事部工事課総括工事長 *****川田工業㈱橋梁事業部工事部工事一課係長

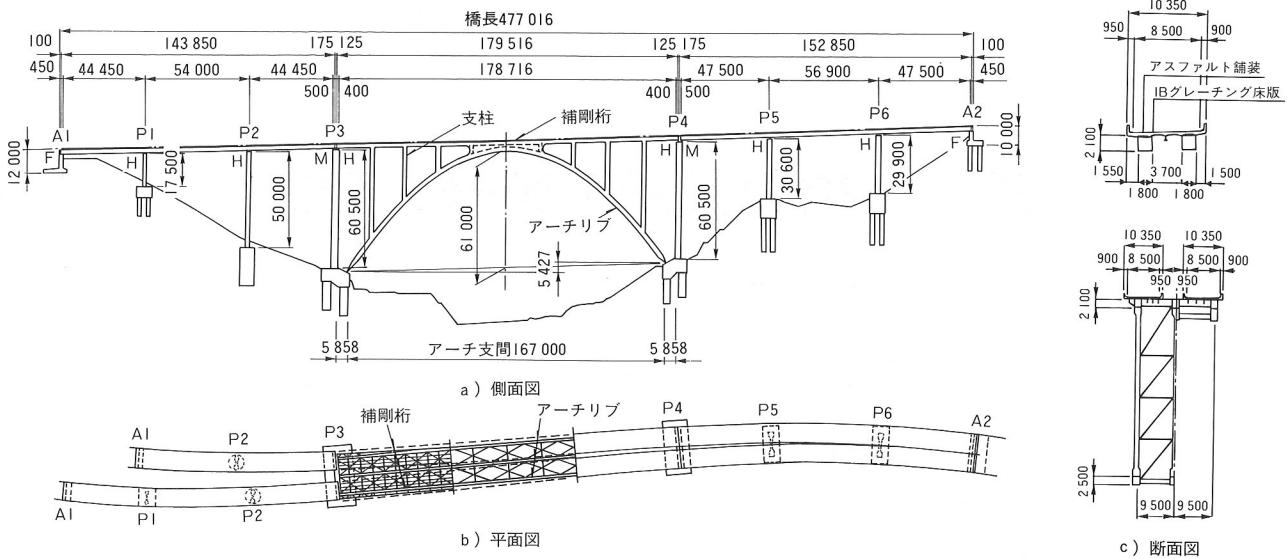


図-1 一般図

2. 工事概要

本橋の中央径間に位置する上路式ローゼ桁橋の特徴としては、

- ① 3主構の上路式ローゼ桁橋である。
- ② ライズ比が1/2.7 (=61.0 m/167.0 m)と他に類をみないほど大きい。
- ③ アーチクラウン部(アーチリブと補剛桁の剛結部)が約36.0 mと非常に大きい。
- ④ 支柱間隔が18.0 mと広く、支柱と補剛桁もしくはアーチリブが剛結合となっている。

などが挙げられる。

一般図を図-1に、主要諸元などを以下に記す。

路線名：上信越自動車道

道路規格：1種3級、B規格

橋格：一等橋(TL-20, TT-43)

形式：上り線 鋼3径間連続箱桁+鋼上路式ローゼ桁+鋼3径間連続箱桁

下り線 鋼2径間連続箱桁+鋼上路式ローゼ桁+鋼3径間連続箱桁

橋長：上り線 477.020 m

下り線 439.030 m

支間割：上り線 $44.45 + 54.00 + 44.45$,
 178.72 (アーチ支間167.0),
 $47.50 + 56.90 + 47.50$ m

下り線 $2 @ 51.45$,
 178.74 (アーチ支間167.0),
 $48.00 + 57.90 + 48.00$ m

有効幅員：上下線共 8.500 m

線形：上下線共

平面 $R = 700 \sim A = 350 \sim -350$ ($\sim R = -500$) m

縦断	$2.450\% \sim 5.000\%$
横断	$4.000\% \sim 6.000\%$
重量	A 1 ~ P 3 (上り線) 380 t
	" (下り線) 290 t
	P 3 ~ P 4 (上下線) 2 800 t
	P 3 ~ A 2 (上り線) 430 t
	" (下り線) 420 t
合計	4 320 t
付属物 (防護柵含まず)	180 t

3. 詳細設計

本橋の側径間は、2径間もしくは3径間の鋼連続曲線箱桁橋であるが、詳細設計において特筆すべきことが少ないため、本橋の中央に位置する上路式ローゼ桁について、その概要を本橋の特徴を踏まえて報告する。

(1) 構造解析

本橋の構造解析を行うにあたり、下記の理由などにより立体骨組解析にて各断面力を算出することとした。

① 路面がS字曲線を有しているため、各主構に作用する荷重強度および作用位置が種々変化する。

② 3主構であるため、各主構間の荷重分配を考慮する必要がある。

③ ライズが高いことから、水平荷重による変形が大きい。

④ 各主構の挙動(主構間の変形差等)を的確に把握すること、およびそれらによる横つなぎ材の主構作用力を算出する。

解析モデルとしては、図-2に示すように、2ヒンジアーチ系による架設時モデルと上路式ローゼ系による完成

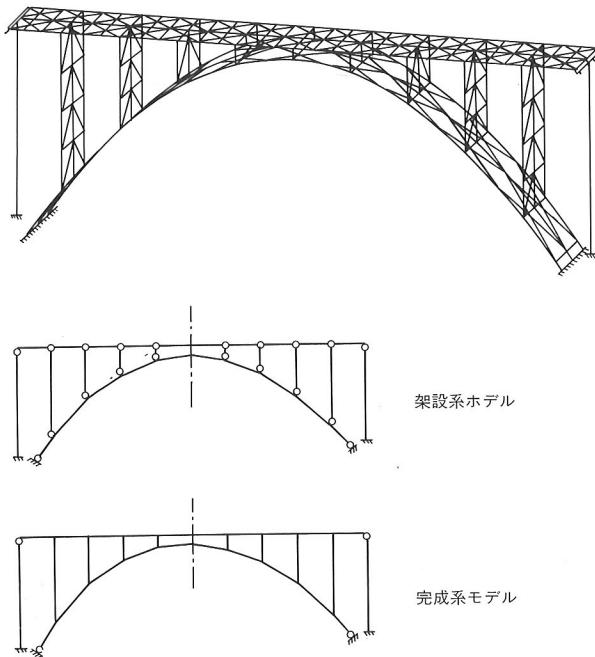


図-2 解析モデル

時モデルとを考えた。

また、アーチクラウン部のモデル化にあたっては、数ケースのモデル化を考えて検討を行ってみたが、アーチクラウン部のモデル化の違いによっては、アーチクラウン部以外の部材に与える影響はほとんどなかった。

その他構造解析を行うにあたり、以下の検討を事前に行い構造解析に反映している。

a) TT-43荷重の検討

『設計要領 第二集』¹⁾(日本道路公団)においては、TT-43荷重に対する断面力の算定方法として、L-20荷重により解析を行い、支間長を用いて各断面力を割り増す方法が記されている。

しかしながら、本橋のような上路式ローゼ橋ではその取り扱い方法が異なるため、各断面力の最大・最小位置および断面決定位置等に着目し、それらの影響線を平面骨組解析により算出し、TT-43荷重とL-20荷重をそれぞれ載荷したときの断面力を比較して割増係数を算定した。割増係数の値を表-1に示す。

b) 変位の影響

道路橋示方書に従って w (変位の影響を考慮すべき限界死荷重強度)を計算した結果、3.372~11.641 tf/m(フレキシブル橋脚による水平方向の変形の拘束効果により異なる)となり、本橋の死荷重強度9.024 tf/mは、その限界死荷重強度を超えている可能性がある。また、高ライズであること、非対称アーチであること、支柱間隔が広く剛結合となっていること、アーチクラウン部が大きいことなど、道路橋示方書の仮定条件にそぐわない面もあるため、平面骨組モデルにより非線形解析を行いその影

表-1 TT-43荷重に対する断面力の割増し係数

断面力部位	正曲げに対して	負曲げに対して	せん断力に対して	軸力に対して	たわみに対して	反力に対して
補剛桁						1.370
アーチリブ	1.312	1.265	1.293	1.314	1.312	
支柱						—

表-2 横荷重に対する床版との合成功果による割増し係数

	床版の合成による割増し係数	床版との作用力の分担
横桁の軸力	1.34	1/2
上横構の軸力	1.34	1/2
補剛桁支の反力	1.27	1

響を調べた。

結果的には、変位の影響による応力度の増加は、すべてにおいて微小変位理論による応力度の10%を超えることがなかったため、その影響を無視することとした。

その理由としては、高ライズであることから、鉛直荷重に対する変形が小さいこと、また、死荷重強度に比べて活荷重強度が小さかったことなどが挙げられる。

c) 横荷重に対する床版との合成功果の影響

補剛桁の面外剛度は、床版を考慮するとかなりの割合で増加する。また、横荷重(特に橋軸直角方向地震時)の作用位置は補剛桁側に集中している。すなわち、床版の面外剛度を無視した場合と比較すると、補剛桁側の荷重を分担する割合がかなり大きくなることとなる。

よって、その割合を検討し、割増係数として構造解析に反映している。割増係数の値を表-2に示す。

d) 側径間連続桁の影響

本橋の解析は、上路式ローゼ桁を単独にて取り扱っており、かつフレキシブル橋脚を有している。このことから、水平荷重に対して上路式ローゼ桁の変形は、側径間の連続桁によってもある程度の拘束があると考えられるため、その影響を考慮するために側径間の連続桁を等価なパネとして構造解析に反映している。

(2) 床版・床組の設計

本橋の床版は図-3に示すように、1本の補剛桁と3本または4本の縦桁により支持される構造となっている。

本橋の床版の設計においては、建設省通達や土木研究所資料により、支持桁の不等沈下の影響をそのまま設計計算に適用することができないため、床版および床組を等価な格子桁モデルに置換して格子桁解析を行い、その影響を設計計算に反映している。

本橋の場合には、床版と床組の設計をおのおの単独に行うと、床版厚が23.0~24.0 cm程度必要となるが、床版厚を増厚することにより、主構造などすべての部材の重量(鋼重)増につながり不経済となるため、床組の応力度

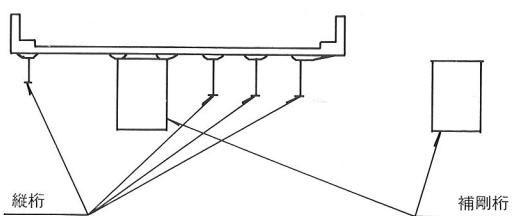


図-3 床版と支持桁

に多少の余裕をもたせて床版厚を22.0 cmとした。

結果的には、床桁のたわみによる縦桁の支点沈下の影響、および主構作用力を考慮するとほとんど応力度的に余りがなく、経済的な設計が行えたと思われる。しかしながら今回の工事においては、設計完了後に工期短縮を目的とし、床版を鉄筋コンクリート床版からIBグレーティング床版に変更して工事を行っている。

また、横桁には検査路用のマンホールとして500×800 mmの開口部が設けられており、腹板高の約半分が断面欠損となっている。よって、有孔はり理論により開口部周縁の局部応力の照査を行い補強を行っている。

(3) 主構造の設計

主構造（アーチリブ・補剛桁・支柱）は、すべて軸方向力と曲げモーメントを受ける部材として設計を行った。特に支柱においては、景観上より支柱間隔を広くしてその断面も大きくしているため、細長比（ L/R ）が30よりも大きくなっているため、ひいては曲げモーメントが支配的な部材となっているためである。

補剛桁の設計にあたっては、腹板に作用する軸方向力が僅少であり異常時（特に風時）にのみ卓越することから、プレートガーダの腹板として道路橋示方書に従い、水平補剛材の取り付け位置およびその本数を決定した。

アーチリブの設計にあたっては、その曲率による付加曲げモーメントの影響を構造解析の事前に検討を行い、支柱間の格点数を決定している。

支柱と補剛桁もしくはアーチリブとの結合部は、その位置に作用する曲げモーメントが多大であるため、隅角部としての設計を行っている。計算式としては、斜交する隅角部として、奥村の式²⁾を多少拡張して設計計算に用いている。

(4) アーチクラウンおよび下横構ガセットの有限要素法解析

本橋のように大きなアーチクラウンを有している構造では、骨組解析によりアーチクラウン部の一体としての挙動を的確に評価し、かつ、それにより設計計算を行うことが困難であるため、有限要素法（FEM）解析によりその照査を行った。

結果としては、アーチクラウンの中央部では、補剛桁とアーチリブの一体構造としての挙動が確認できた。また、

アーチクラウンの両端では、そのフィレット部に応力集中が確認されており、本橋のようにアーチクラウンを有する構造の問題としては、この応力集中が挙げられる。しかしながら本橋の場合には、応力の乱れは生じているものの応力レベルが小さく、全く問題とはならなかった。

その理由としては、アーチ支間中央付近であるため断面力も小さく、また、断面決定位置からも離れているためであったと考えられる。

下横構は、主構間隔と比較して広い支柱間隔内に菱形に組まれているため、アーチリブとの交角が鋭角となってしまっており、アーチリブと下横構の骨組中心を一致させるとガセットプレートが極端に大きなものとなってしまう。この場合、構造的には二次応力の発生・応力集中等の問題があり、景観的にも好ましくないため、アーチリブの骨組中心と下横構との交点をアーチリブの腹板位置まで偏心させることとした。

よって、それにより発生する曲げモーメントを考慮した設計を行っているため、その照査を目的として有限要素法による解析を行ったものである。

結果的には、ガセットの裏補強を行っているため、多少の応力集中が残ってはいるものの、その応力レベルおよび最大応力発生時が異常時（風時）であることを考えると、疲労に対しても十分に安全であると判断できた。

4. 工場製作

本橋の工場製作においても詳細設計と同様に、側径間の鋼連続曲線箱桁橋において特筆すべきことが少ないため、中央径間に位置する上路式ローゼ桁についてその概要を報告する。

本工事のアーチ橋の工場製作においては、本橋が高ライズの上路式ローゼ桁であり、また、アーチリブ架設時の2ヒンジアーチ系と補剛桁架設完了時の上路式ローゼ系と、アーチリブと補剛桁の構造系が変わることにより、おののの製作キャンバーが異なるため全体仮組立が困難である。よって、全体寸法を確保するために、単材の寸法精度確保と仮組立要領に留意して製作を行った。

(1) 単材寸法の精度確保

アーチ部材・補剛桁・支柱については、単材の寸法精度を確保するために、すべての溶接完了後に再野書きして端面切削を行った。

(2) 仮組立要領

本橋の仮組立は、架設方法がケーブルエレクションであり、アーチリブ架設完了後に支柱・補剛桁の順で架設していく。このため、アーチリブと支柱・補剛桁で製作キャンバーが異なり、全体を一体で仮組立することが困難である。そこで、図-4に示すように分割して仮組立を行った。

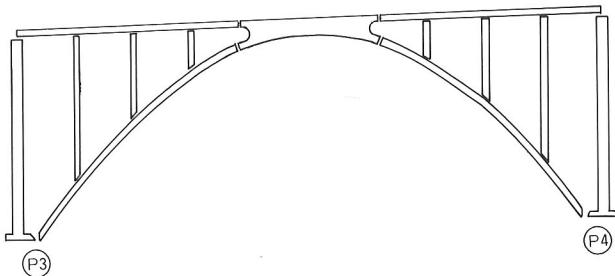


図-4 仮組立分割要領

a) アーチ部材の仮組立

アーチ部材の仮組立は、写真-2に示すように、P3橋脚側とP4橋脚側に2分割とし、アーチクラウン部側を端支点側と同じ標高に落として立体仮組立を行った。



写真-2 アーチ部材の仮組立

b) 支柱の仮組立

支柱の仮組立は、写真-3に示すように、それぞれの支柱について対傾構で連結して平面仮組立を行った。

支柱とアーチリブおよび補剛桁との取り合い部については、断面寸法および孔位置の寸法を計測し、相対誤差を確認して寸法管理を行った。



写真-3 支柱の仮組立

c) 補剛桁の仮組立

補剛桁の仮組立は、写真-4に示すように、P3橋脚側



写真-4 補剛桁の仮組立

とP4橋脚側に2分割して立体仮組立を行った。

d) アーチクラウン部の仮組立

アーチクラウン部の仮組立は、図-5に示すように、本橋のアーチクラウン部の範囲が約36.0 mと大きく、架設系の違いによりアーチ部材と補剛桁部材の製作キャンバーに違いがあるため、以下に示すとおりの仮組立要領にて立体仮組立を行った。

- ① アーチクラウン部の仮組立は、アーチ部材の下フランジ側にすき間を設けることにより、アーチ部材の形状を補剛桁架設時の形状に近づけて行った。
- ② アーチクラウン部の水平継手のボルト孔は、サブサイズで製作しておき、仮組立時にリーマー作業を行い所定の孔径とした。
- ③ アーチクラウン現場継手部のボルト孔の孔径は、架設時の作業性を考慮してオーバーサイズ孔($\phi 26.5$ 孔)とした。

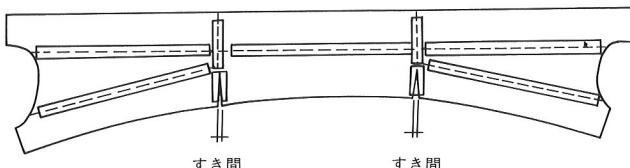


図-5 アーチクラウン部仮組立要領

(3) 工場塗装

本工事の塗装については、供用開始までの現場作業の期間が短いこと、本橋の構造が高ライズのアーチ橋であることなどを考慮して、工場で上塗り塗装を完了させる工法を採用了した。

本工法の問題点として、一般部の塗装が完了しており添接部については架設後の塗装となるため、添接部よりの流れ鏽により塗装の完了している部分を汚してしまうおそれがある。また、輸送・架設時にも塗装を傷めないよう十分な配慮が必要である。

一般外面の塗装については、塗装の防鏽効果を上げる

表-3 塗装系

a) 一般外面

塗装工程	塗料名	標準使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μ)	塗装間隔 (20°C)
工場	素地調整 パワーツール処理 (SIS-St 3以上)	—	—	4時間以内
	下塗り第1層 亜酸化鉛錆止ペイント (赤さび色)	170	35	2日～1ヶ月
	下塗り第2層 亜酸化鉛錆止ペイント (さび色)	170	35	2日～1ヶ月
	下塗り第3層 亜酸化鉛錆止ペイント (赤さび色)	170	35	2日～6ヶ月
	中塗り 超長油性フタル酸樹脂塗料	150	30	1日～15日
	上塗り 長油性フタル酸樹脂塗料	140	25	

b) 添接部摩擦接合面

塗装工程	塗料名	標準使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μ)	塗装間隔 (20°C)
工場	素地調整 製品プラスチック (SIS-Sa2.5以上)	—	—	4時間以内
	第1層 厚膜型無ジンクリッヂペイント	700	75	

c) 一般外面と添接部との境目

塗装工程	塗料名	標準使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μ)	塗装間隔 (20°C)
工場	素地調整 製品プラスチック (SIS-Sa2.5以上)	—	—	4時間以内
	下塗り第1層 厚膜型無ジンクリッヂペイント	700	75	
	下塗り第2層 油性系鉛酸カルシウムペイント(さび色)	140	35	1日～6ヶ月
	下塗り第3層 亜酸化鉛錆止ペイント (赤さび色)	170	35	2日～1ヶ月
	下塗り第4層 亜酸化鉛錆止ペイント (さび色)	170	35	2日～1ヶ月
	下塗り第5層 亜酸化鉛錆止ペイント (赤さび色)	170	35	2日～6ヶ月
	中塗り 超長油性フタル酸樹脂塗料	150	30	1日～15日
	上塗り 長油性フタル酸樹脂塗料	140	25	

ため、下塗り塗装を1層追加して3層塗りとした。

添接部については、流れ錆を防止するため厚膜型無ジンクリッヂペイントを塗布した。

また、一般外面と添接部の境目についても、油性系鉛酸カルシウムペイントを塗布することにより対処した。塗装系の一覧を表-3に示す。

5. 架設

本橋の架設工事は前述しているとおり、3主構上路式ローゼ桁1連と2径間連続曲線箱桁1連、3径間連続曲線箱桁3連の計5連の工事である。

中央径間に位置する上路式ローゼ桁の下には、P3橋脚側に国道18号線(碓氷バイパス)が、また、P4橋脚側に東京電力軽磯線(66 000ボルト)が交差しており、本工事が高所作業であるばかりか、万一の落下物等による第三者への被害や二次災害を生じさせないよう十分な安全対策が要求される。また、側径間の連続箱桁も上フランジの横断勾配および縦断勾配がきつく、架設時の重機等の進入が困難である。

平成4年7月現在、中央径間上路式ローゼ桁の桁架設が完了し、側径間の連続箱桁の桁架設を行っている段階であるが、この桁架設完了後にIBグレーチング床版・鋼製高欄の施工となる。

本報告では、今までの架設工事についてその概要を報告する。

(1) 中央径間上路式ローゼ桁の架設

a) アーチリブの架設

アーチリブの架設は、図-6および写真-5に示すように、ケーブルクレーン斜吊り工法にて行った。

ケーブルクレーンは、3主構すなわち3つのアーチリブにより主構造が構成されているため、主ケーブルクレーン3系統、補助ケーブルクレーン2系統の合計5系統

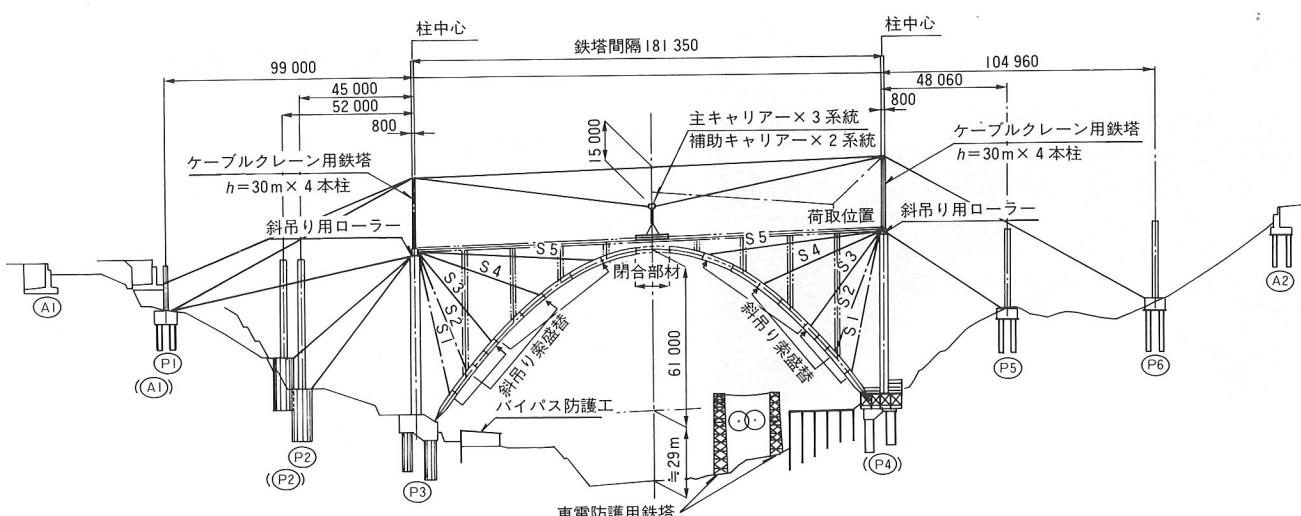


図-6 中央径間架設一般図

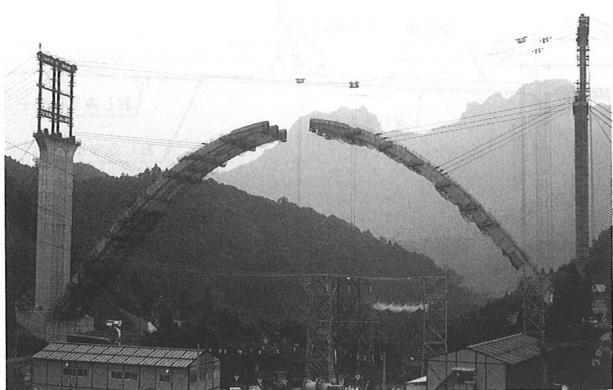


写真-5 斜吊り架設状況

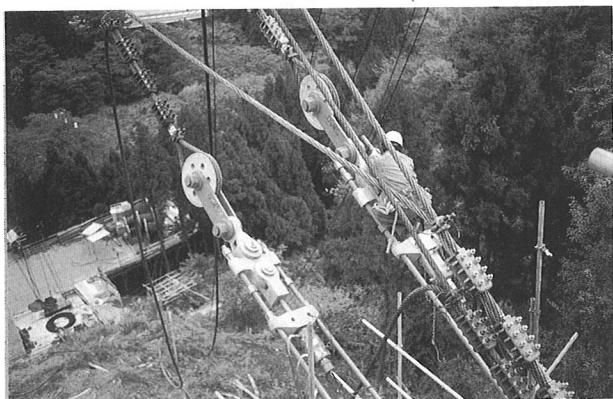


写真-6 斜吊り索調整状況

のケーブルクレーン設備を設けた。また、鉄塔はP3橋脚およびP4橋脚上に設け、その他の橋脚にケーブルクレーンの固定アンカーを設けた。

荷受け位置としては、P4橋脚前面に構台を設け、トレーラーの搬入が可能となるようにした。

アーチリブの架設は、前述のようにP4橋脚側が荷受け位置となるため、P3橋脚側アーチリブの架設を先行し、P4橋脚側アーチリブの架設については、荷受けの作業性より、荷受け位置のアーチリブ横構を取り除いて架設を行った。

なお下横構を取り除いて架設するため、アーチリブなどの照査・補強は詳細設計時に行っている。

斜吊り索は、本橋の特徴でもあるライズが高いことから、その張力も最大で160tf(1主構当たり)程度であるため、橋脚上に写真-6に示すような斜吊りローラーを設け、斜吊り索の調整をケーブル調整装置にて固定側より行った。

また、斜吊り索は架設の進行に伴い、隨時斜吊り索の盛り替えを行いながらアーチリブの架設を進めた。斜吊り索の調整は、光波測距儀を用いて鉛直変位・水平変位を計測し、それにより調整を行った。

b) 補剛桁の架設

補剛桁の架設は、斜吊り索撤去後にアーチクラウン部

の補剛桁部材を単材にて架設した。その後アーチクラウン部上に地組場を設け、この地組場にて補剛桁および支柱のブロック組を行い、アーチクラウン部より橋脚側に向かってブロック架設を行った。

(2) 側径間連続箱桁の架設

側径間の架設は、A1橋台側・A2橋台側の両側径間ともほぼ同様であり、まず、A1橋台側の下り線とA2橋台側の上り線を送り出しにて架設を行う。

送り出し時の各橋脚には、写真-7に示すように送り出しジャッキを用いるが、この設備の組立は重機の進入が困難なため、手延機が各橋脚に到達した後、仮受けを行い手延機上のジブクレーンにより組立を行う(写真-8)。

送り出しおよび降下完了後、A1橋台側の上り線とA2橋台側の下り線については、送り出した箱桁を利用して縦取り架設を行う。縦取り架設完了後、全体を横取りし降下する架設方法とした。

A1橋台側の架設は㈱横河ブリッジが、A2橋台側の架設は当社が主体となり架設を進めているため、以後よりA2橋台側の架設について記す(図-7参照)。

a) A2橋台側上り線の架設

A2橋台側の上り線(3径間連続曲線箱桁)は、送り出しによる架設を行った。送り出しの方向は、P4・P5・P6橋脚を結ぶ疑似円曲線とし、適宜円曲線とクロソイ

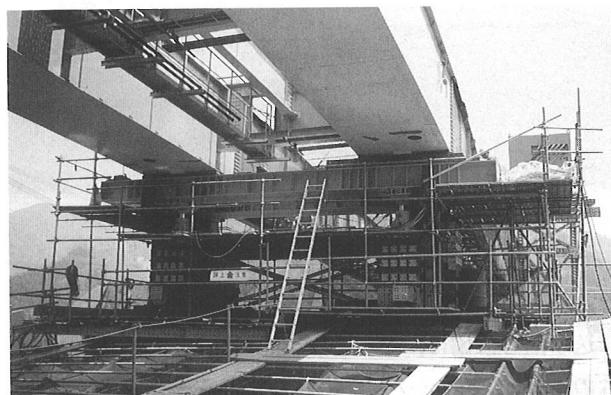


写真-7 送り出し設備



写真-8 ジブクレーンによる設備組立

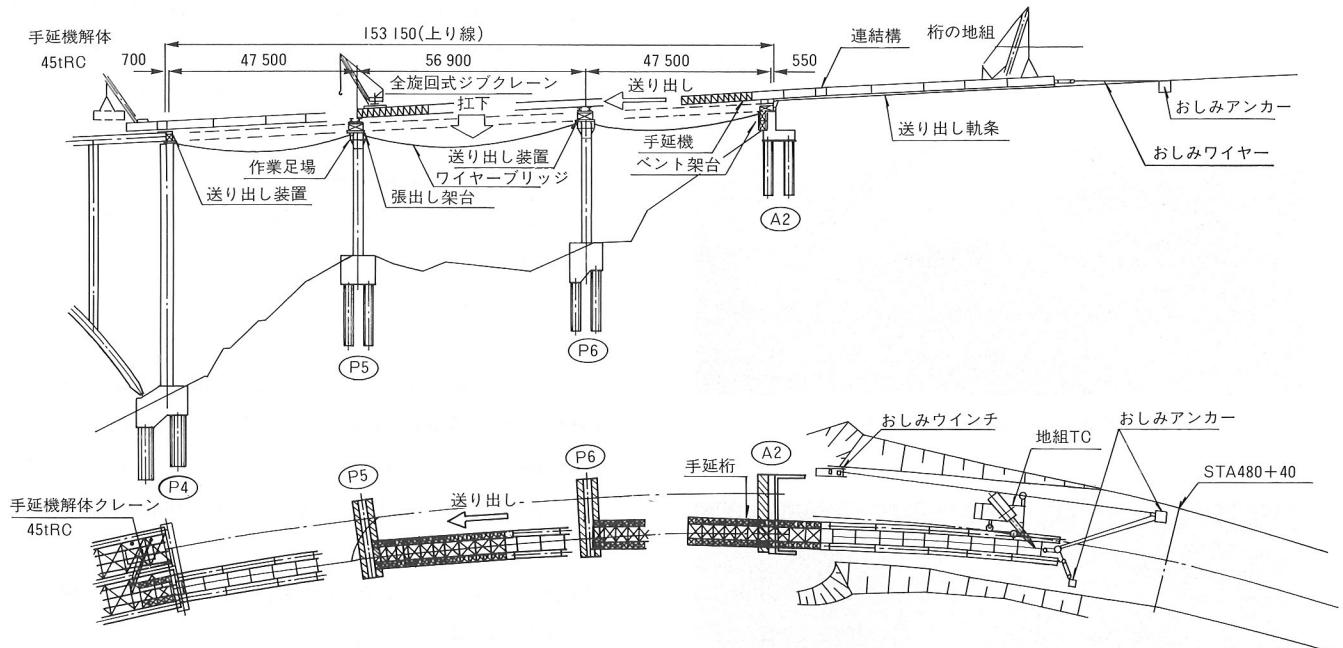


図-7 側径間架設一般図

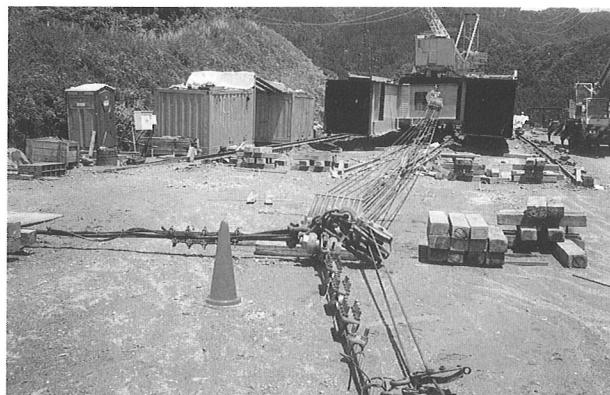


写真-9 おしみアンカー状況

ド曲線との誤差調整を行った。

送り出し設備は、2本の主桁をH形鋼により受け、2台の送り出しジャッキを用いて送り出しする設備とした。この設備は、前述したように手延機が各橋脚(P5・P6橋脚)に到達した後仮受けを行い、手延機上にジブクレーンを移動・固定して、これにより送り出し設備を組み立てた。

送り出しに伴い、縦断勾配も5%の下り勾配となるため、後方におしみアンカーを設けた(写真-9)。

b) A 2 橋台側下り線の架設

A 2 橋台側の下り線(3径間連続曲線箱桁)の架設は現在(7月)計画中であるが、上り線を利用し、縦取りにより架設を行い、各橋脚に横取り設備を行った後、横取りし降下する架設方法である。

6. おわりに

本工事は、文頭に挙げた特徴的な上路式ローゼ桁を含む橋梁群の設計・製作・架設工事であり、ここに本工事の概要を報告した。

現在(7月)，工事はほぼ完了に近づいており、国道18号線(碓氷バイパス)よりその壮大な姿を眺め見ることができる。また、完成したあつきには軽井沢への凱旋門的存在となり、多くの観光客の注目を集めることとなることであろう。

最後に、平成4年度末の開通を無事故で迎えられるよう切望するとともに、本工事全般にわたりご指導をいただいた日本道路公团東京第二建設局の皆様方、および関係者各位の多大なるご協力に改めて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路公團：設計要領 第二集，昭和55年4月。
- 2) 奥村・石沢：薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について、土木学会論文集第153号, pp.1~18, 1968年5月。