

天龍峡大橋（仮称）の工事報告

—名勝「天龍峡」に架かる鋼上路式アーチ橋—

架設小委員会 架設部会
長尾悠太郎 原考志

1. はじめに

天龍峡大橋（図-1）は、一般国道 474 号三遠南信自動車道飯喬道路の一部として建設された鋼上路式アーチ橋（バスケットハンドル型固定アーチ）である。架橋地は「名勝天龍峡」に位置するため、周辺の景観に配慮して、通常のアーチ橋に比べて扁平でスレンダーな形状となっている。

本稿では、本橋梁の特徴および、製作・架設にわたる工事の概要について報告する。

2. 天龍峡大橋（仮称）の概要

2-1 名勝に架橋するコンセプト

本橋は良好な自然環境との調和と保護に資する計画とするため、名勝天龍峡大橋景観・構造検討委員会において、審議を重ねて形式が選定された。委員会においては、以下の架橋理念・コンセプトに基づき計画・設計が行われた。

①名勝天龍峡への架橋にあたっての理念

自然的な名勝である天龍峡の本質的価値および保護に対する理念を十分に理解した上で、名勝天龍峡保存管理計画との整合を図り、名勝の本質的価値に対する負の影響を最小限とするとともに、名勝の保護（保存・活用）に資する方策により負の影響を最大限補う。

②名勝天龍峡への架橋にあたってのコンセプト

- ・名勝の本質的価値を継承し、風致景観に対する負の影響を極力低減するため、風致景観と調和し、圧迫感を低減する橋梁デザイン（橋梁形式、構造スケルトン、ディテール、色彩等）に配慮する。
- ・架橋に伴う地形改変を最小限に抑え、改変した地形は極力現況に復旧する。
- ・動植物の保全対策として、伐採した植生は地域の在来種を中心とした植生に復旧する等最大限の対策を実施する。

2-2 橋梁形式と構造的特徴

橋梁形式選定では、前述の架橋理念およびコンセプトを具現化するため、①峡谷地形への納まり、②背後のスカイラインを阻害しない構造、③地元要望の反映

を考慮し、「鋼上路式アーチ橋」が選定された。

名勝の自然景観を損ねず、地形改変を最小とするため、アーチ拱台の位置に制約があったことから、アーチライズ比は $f/L=1/11$ （アーチ支間 $L=210\text{m}$ 、アーチライズ $f=19\text{m}$ ）と長大アーチとしては非常に扁平な形状となっている。

また、上路アーチにもかかわらず平面線形 $R=1700\text{m}$ を有しているため、左右対称型のバスケットハンドル形状のアーチリブと、道路線形に沿った曲線補剛桁を支柱でつなぐことで、左右のアーチリブに均等に上部構造の荷重を伝える構造となっている。

桁下には、橋梁点検路を兼ねた名勝天龍峡の遊歩道が計画されている。

2-3 工事諸元

工 事 名：平成 26 年度

三遠南信天龍峡大橋鋼上部工工事

発 注 者：中部地方整備局 飯田国道事務所

施工場所：長野県飯田市川路～千代

橋梁形式：鋼上路式アーチ橋

（バスケットハンドル型固定アーチ）

橋 長：280.000m（アーチ支間 210.000m）

支 間 割：29.200m+220.000m+29.200m

幅 員：13096m～14.096m

床 版：プレキャスト PC 床版

鋼 重：3858t

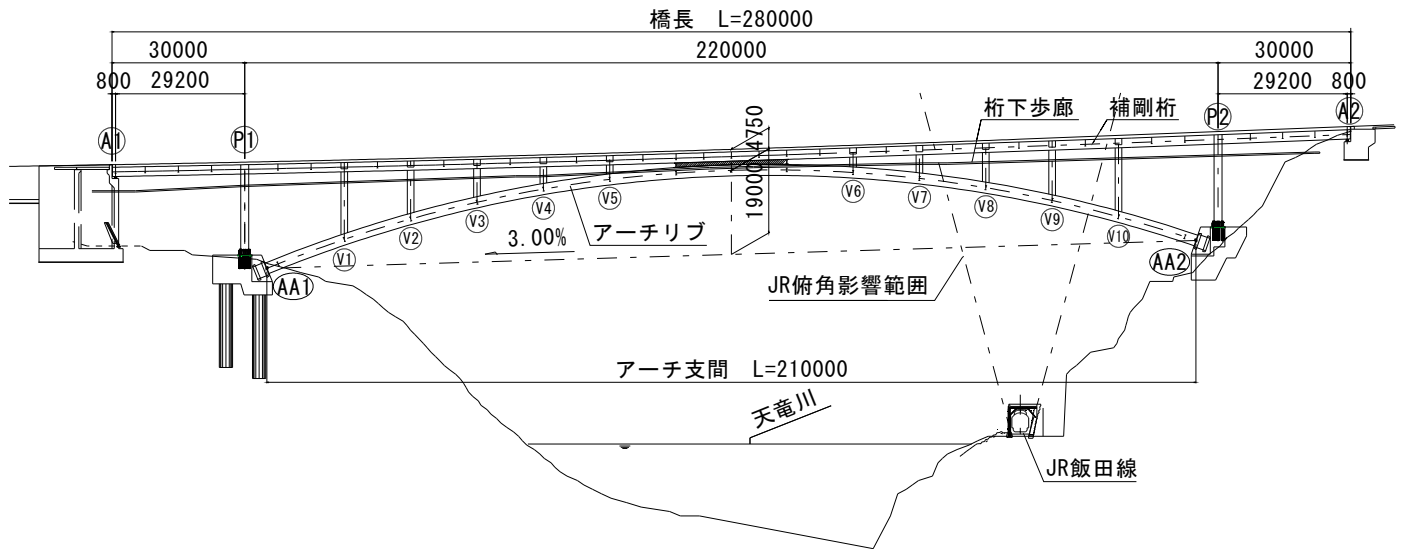
2-4. 架設の概要

本橋の架設は、P1～P2 間のアーチ径間と A1～P1 間および P2～A2 間の側径間に大別される。

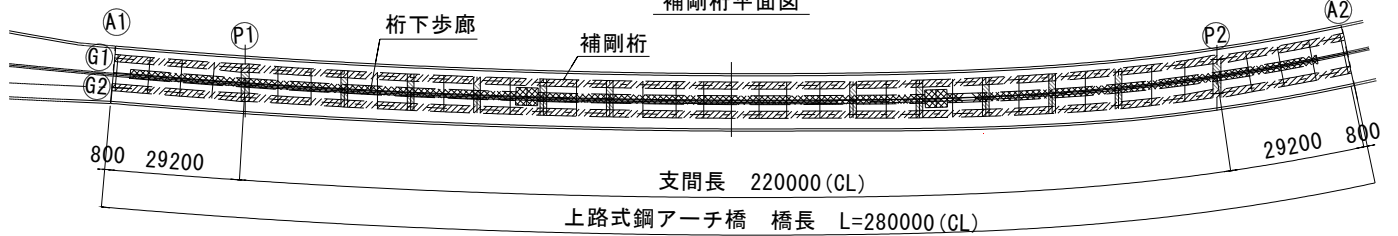
図-2 に示すように、P1～P2 間はアーチリブをケーブルエレクション斜吊工法で架設した後、補剛桁とプレキャスト床版もケーブルクレーンにより架設した。協議の結果、J R 飯田線上には板張防護を設け、線路俯角内での桁架設は列車の間合いで実施した。

アーチ径間の架設後、側径間は A1～P1 間をトラッククレーン、P2～A2 間をクローラクレーンにて架設した。両側径間とも地組架設としてベントを省略することで、工程短縮を図るとともに、A2 側は J R 近接作業

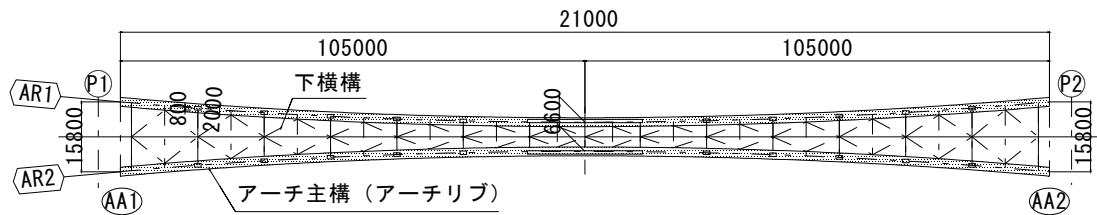
側面図



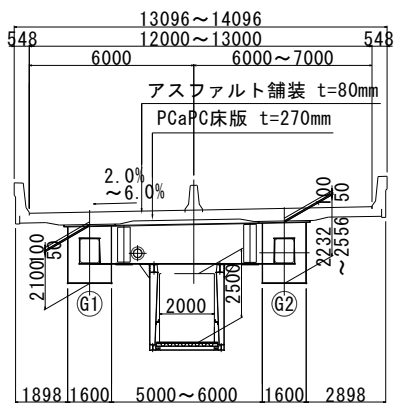
補剛桁平面図



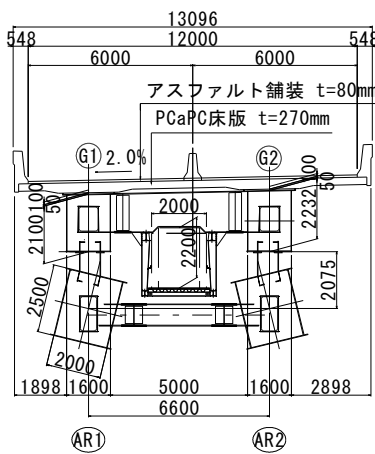
アーチリブ平面図



補剛桁部標準断面図



アーチクラウン部断面図



中間支柱部 (V3) 断面図

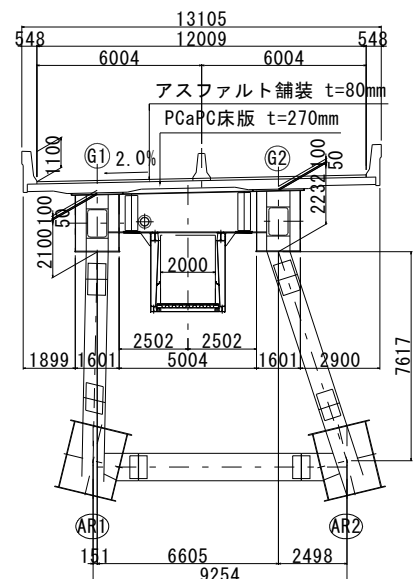
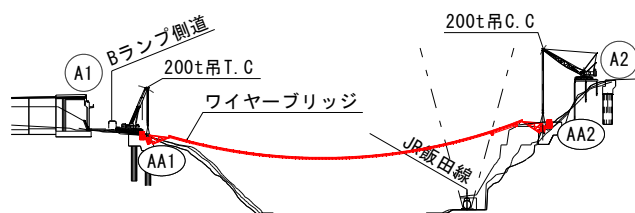


図-1 構造一般図

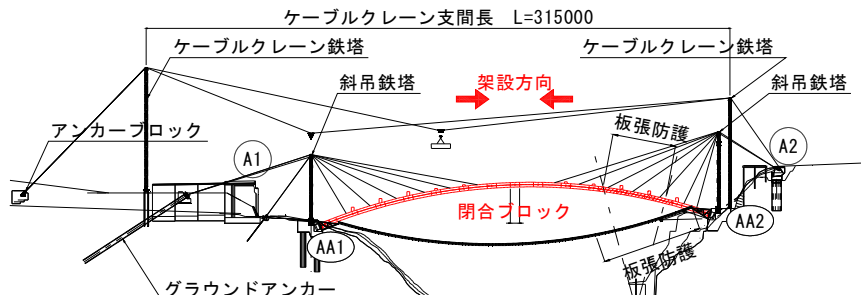
Step. 1 (トラッククレーン, クローラクレーン)

ワイヤーブリッジ設置
アンカーフレーム
直定式アンカーボルト



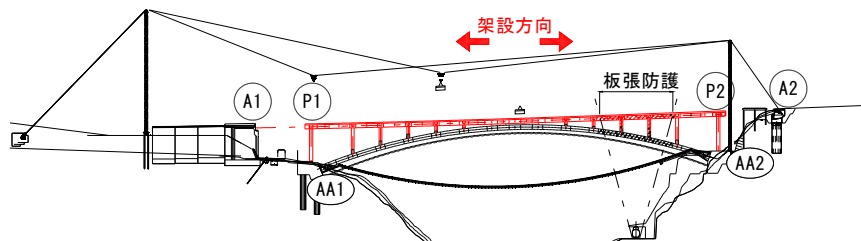
Step. 2 (ケーブルクレーン)

アーチリブ



Step. 3 (ケーブルクレーン)

アーチクラウン
端支柱, 中間支柱
補剛桁 (アーチ径間)
添架歩廊 (アーチ径間)
プレキャスト PC 床版 (アーチ径間)



Step. 4 (トラッククレーン, クローラクレーン)

補剛桁 (側径間)
添架歩廊 (側径間)
プレキャスト PC 床版 (側径間)

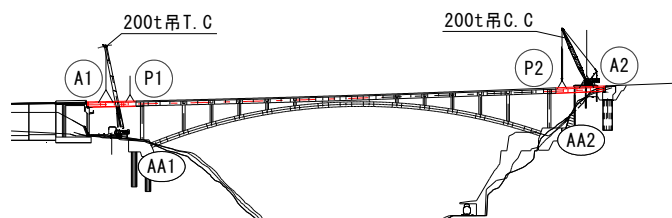


図-2 架設ステップ図

を低減させた。

3. 製作における精度確保への取り組み

3-1 製作キャンバーの設定

製作キャンバーの精度向上のため、本橋の製作キャンバーは、実剛度・実鋼重を用いるとともに、先に述べた架設ステップを考慮した解析により算出した。また、キャンバー解析は微小変形理論による解析としたが、アーチ橋では初期形状が変形量に影響をおよぼすため、キャンバー量を付加した節点座標により解析を実施した。そのため、キャンバー解析後の変位と、節点座標に付加したキャンバー量がほぼ同値となるまで解析を繰り返した。

3-2 中間支柱, アーチクラウン部材の対応

中間支柱, アーチクラウン部材は、アーチ架設後の誤差を吸収できる構造とした。高さ方向の対策として、

中間支柱とアーチクラウン部材の下端をあらかじめ 100 mm 長く製作しておき、アーチ架設後の計測結果により切断量を決定した。また、平面的な通りの誤差に対しては、フィラープレートを追加することで誤差を吸収できる構造とした。

4. 現場施工における取り組み

4-1 仮設備の施工

1) グラウンドアンカー

斜吊り索を支持するグラウンドアンカーは、架設の安全性に大きく関係するため、下記に記すように入念な計画、施工を実施した。

グラウンドアンカーの施工に際し、施工位置における原位置試験（ボーリング調査）を実施した。その結果、柱状図に示されている C L (花崗岩) 級の想定岩盤境界線が想定以上に深い位置にあることが判明した。そこで、斜吊り索角度 18° に対し、グラウンドアンカ

一角度を 33° に変更することで、想定岩盤境界線にグラウンドアンカーが定着できるよう計画した(図-3)。

また、施工試験を実施し、定着岩盤層の健全性を確認した。

当初、斜吊り索とグラウンドアンカーが同一直線状となるように計画しており、その設計アンカー力は $1,107\text{kN}$ であった。しかしながら、前述のとおり斜吊り索とグラウンドアンカーは同一直線状でないため、角度差分により鉛直下向き方向の力が発生し、設計アンカー力が $1,851\text{kN}$ に増大した。また、台座コンクリートは支持力を期待できない路体盛土内に設置することから、台座コンクリート背面と底面を地盤改良により支持力を確保した(図-4)。

想定岩盤境界線に定着するよう角度を変えたことで、当初計画時に比べて増加した設計アンカー力は、グラウンドアンカー仕様をランクアップすることで対応をした。また、削孔長が 64m と長くなったことから、国内で施工実績のある高出力の削孔機械を用いて施工した(写真-1)。

グラウンドアンカーは上下段 2 段構造とし、上段に $L=64\text{m}$ を 4 本、下段に $L=60\text{m}$ を 4 本施工し、定着金具にて台座コンクリートに定着した(写真-2)。

台座コンクリート設置完了後は、角度差分を考慮した計画最大荷重 (T_p) を用いてグラウンドアンカーの引抜き試験を行った。斜吊り索の設置期間中は、ケーブルエレクション斜吊架設において重要構造物となる定着設備の健全性を確認するため、グラウンドアンカー定着部の目視確認および台座コンクリートの動態観測を随時行った。

2) ワイヤブリッジ

本橋は架設時においても地形改変を最小とする必要があった。そのため、ワイヤブリッジの構造を以下とすることで、地形の改変、樹木伐採を最小限とした。

ワイヤブリッジの定着を標準的なアーチ拱台に定着させる構造とした場合、ワイヤと地山が干渉することが確認された。そこで、トラス構造の架台をアーチ拱台に定着させ、架台の先端にワイヤブリッジを定着させることで、地山との干渉を回避した(写真-3)。

A2 拱台側においては、幅方向での地山との干渉を回避するため、ナックルガーダーと称する鋼製梁を介し

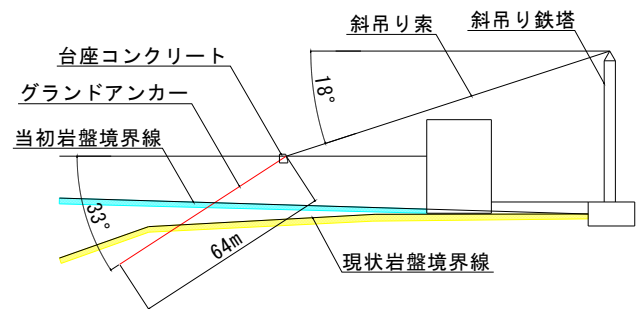


図-3 斜吊り索定着設備図

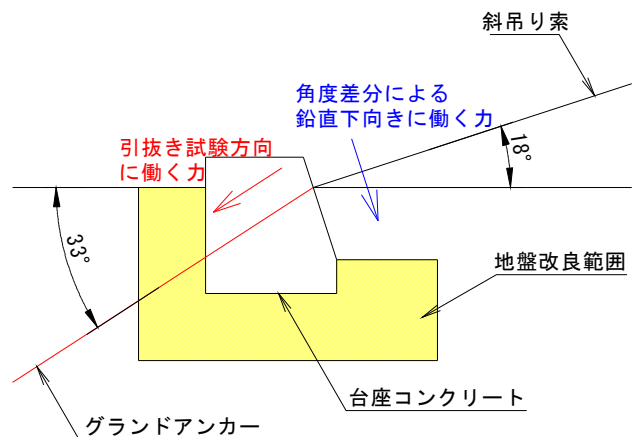


図-4 地盤改良範囲

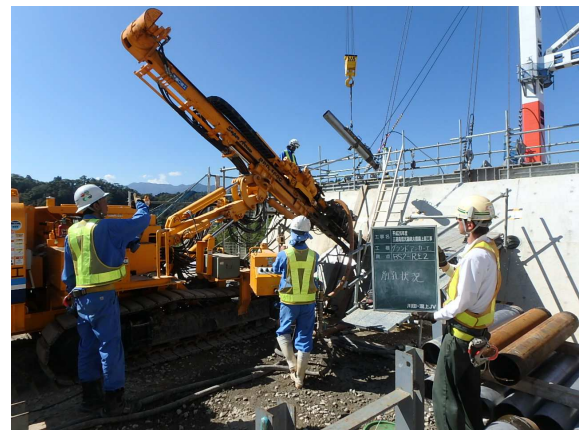


写真-1 グラウンドアンカー施工状況



写真-2 斜吊り索定着設備



a) A2 拱台側



b) A1 拱台側

写真-3 ワイヤブリッジ

てワイヤブリッジの幅を急変させる特殊な構造とした（写真-3）。

3) 斜吊り索および斜吊り鉄塔

斜吊り索は、一般的なアーチ規模であれば先端吊りとしてワイヤ径を決定するが、本橋はアーチ支間が長く、先端吊りで計画した場合にはワイヤ径が過大になると考えられたため、後述する解体計算の結果を基にワイヤ径を決定した。そのため、解体計算では張力や形状の決定に加えて、ワイヤ径の検討もあわせて実施している。

斜吊り鉄塔は、斜吊り索の角度の違いによる鉄塔への作用力の違いから、A1 側は柱 2 本、A2 側は柱 3 本とした（写真-4）。塔頂梁を含む斜吊り鉄塔の計画においては、斜吊り鉄塔単体を取り出した立体骨組み解析により断面力を算出し、各部位の構造を決定した。立体骨組み解析の際は、斜吊り索はモデル化せず、斜吊り索に作用する張力は、外力で与えることとした。

4-2 架設時の工夫・安全対策

1) 有限変位理論に基づいた大変形解析の実施

架設の進捗にともない刻々と変化するアーチ橋の全体形状を把握するため、完成系解析モデルから架設ステップを遡って部材を除去していく「解体計算」により、ステップ毎の変形、斜吊り索に作用する張力を事前に算定した。なお、本橋の架設は荷重載荷による変形が大きいケーブルエレクション斜吊工法であるため、変形後の形状を用いてつり合い式を立てる有限変位理論に基づいた解析（大変形解析）により変形量を算定した。なお、解析プログラムは川田テクノシステム㈱：



a) A1 側斜吊り鉄塔



b) A2 側斜吊り鉄塔

写真-4 斜吊り鉄塔

LADAN（非線形構造解析プログラム）を使用した。

斜吊り索の定着方法は、斜吊り索と後方索をそれぞれ塔頂で固定するパターン①と、塔頂サドルを超えて延長するパターン②がある（図-5）。今回の施工では、塔頂乗越し型一体ケーブルのパターン②を採用し、塔頂にはシーブ式サドル構造を使用した。この構造では、ケーブルが滑ることによって、斜吊り索、後方索ともに張力が一定となることから、「解体計算」においては、斜吊り索と後方索の無応力長の合計および張力が一定となるよう、収束計算を実施した。また、本橋はバスケットハンドル型であり、仕口が斜めを向いているため、閉合時の挙動を精緻に把握することを目的に、仮要素を追加して仕口断面を想定した解析モデルとした（図-6）。

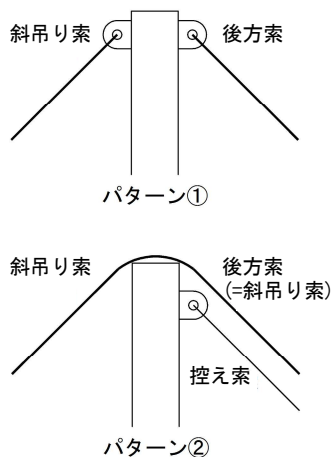


図-5 ケーブル定着構造

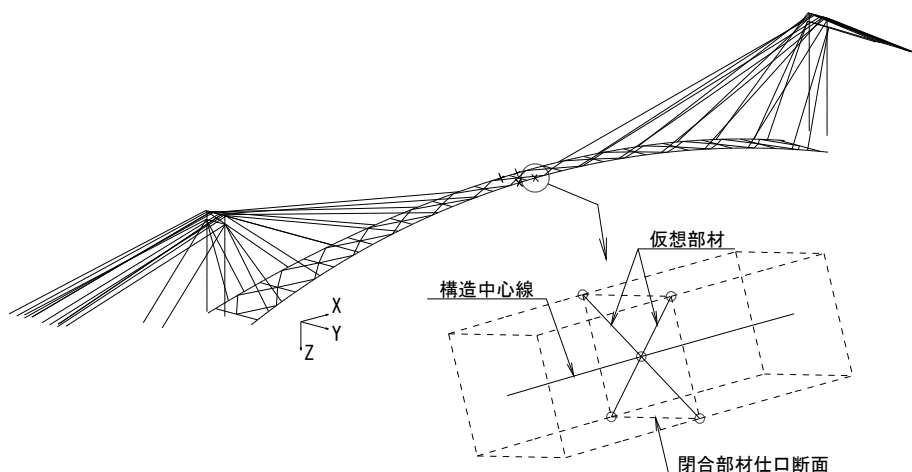


図-6 解体計算解析モデル図



写真-5 ケーブル調整装置

架設中の管理値の算出においては、桁の温度変化も重要となるため、あらかじめステップ毎の温度変化による、斜吊り索の張力変動および変形量を算出しておき、管理値に反映した。また、架設中は斜吊り索の調整が必要となった場合、調整量を迅速に決定できることが望ましい。そのため、目標とする形状・張力とするために必要な調整量を自動的に算出するプログラムを作成し、現地での管理に役立てた。

2) アーチリブ形状管理と斜吊り索調整

ケーブル調整装置は、PC鋼棒とセンターホールジャッキを組み合わせた構造や多滑車に細径ワイヤーロープを繰込んだ構造が一般的である。今回の施工では、PC鋼より線を使用し、保持機構として分割された円錐型の自然噛み込式くさび形状によりPC鋼より線の荷重を保持し、ジャッキの伸縮により引込み・緊張を行うストランドチャッキングシステムを採用した（写真-5）。ケーブル調整装置1基当り、 $\phi 28.6 \text{ mm}$ ($L=30\text{m}$)のPC鋼より線を3本使用し、ケーブル調整装置の引



写真-6 斜吊り索集中管理操作室

込み量を大きくすることにより、斜吊り索（ $\phi 56 \text{ mm}$ ～ 69 mm ）の展開→定着→サグ取り→緊張→調整を一貫して行える構造とした。

また、斜吊り点数が多点数であったため、リモート操作ボックスおよび集中操作盤により、ジャッキの運転状況や斜吊り索に作用する張力を監視しながら遠隔操作を行った（写真-6）。

3) アーチリブ閉合時の対策

前述の解体計算の結果、本橋の扁平な形状を一因として、仕口の傾きを斜吊り索の調整だけでは合わせることができないことが判明した。そこで、ジャッキ設備を仕口に設け、解体計算により算出した閉合モーメントを導入することで、仕口の傾きを合致させて閉合を実現した。

4) 支柱架設時の形状保持

補剛桁とアーチリブをつなぐ支柱には、横つなぎとなる支材が設置されない、スレンダーな形状となっている。そのため、補剛桁の架設前に支柱間隔を保持す

る目的で、仮設の形状保持材を支柱間に設置した（写真-7）。形状保持材は補剛桁架設後に撤去した。

5) 架設時平面線形への対応

本橋のアーチリブはバスケットハンドル型であり、補剛桁は平面的に曲線の線形であることから、平行弦のアーチ橋とは異なり、架設位置が部材毎に異なる構造であった。架設部材は25～40tであり、2系統のケーブルクレーン（1系統定格荷重28.0t）の相吊り架設とした。吊天秤を使用し各部材毎に吊点を変化させることにより、橋軸直角方向の位置調整を行った（写真-8,9）。また、重量物の相吊り架設において、吊天秤を使用することでケーブルクレーンへの負荷の低減に努めた。

6) 営業線直上施工における安全対策

営業するJR飯田線直上の施工においては、安全管理の徹底が必須であったため、下記の安全対策を講じた。

① 斜吊り索張力の24時間監視

斜吊り索調整装置にセンサーを設置し、設計張力の120%を超過する場合は、携帯電話等で現場責任者を含む関係者に異常を知らせるシステムを構築した。

② 遠隔監視カメラシステム

WEBカメラを設置し、映像にて場内および架設状況を常時携帯電話等で視認可能なシステムを構築した。

③ 二重の落下物防止対策

落下物の防止対策として、ワーヤーブリッジおよびアーチリブ吊足場を板張り防護とし、二重の安全対策を実施した。



写真-8 アーチリブ架設状況（遠景）

4-3 床版の施工

1) プレキャストPC床版概要

本橋の床版形式として名勝の景観・環境に対する配慮、耐久性、構造的からプレキャストPC床版（以下、床版パネルという）が選定された。

橋長280mのうち、床版パネル（幅2m）は135枚であり、両端5mは場所打ちPC床版で構成した。

2) 床版パネルの架設

前述の架設ステップの通り、中央径間の補剛桁架設後にケーブルクレーンにて床版パネルの架設を行った（写真-10）。ケーブルクレーンで床版パネルの架設する際は、吊り荷の取り扱いを簡素化するため、三角形の吊り金具を用いた。また、作業班の編成を横持ち班、荷下ろし架設準備班および架設班と明確に分け、繰り返しの作業とすることで、1日当たり7～10枚の施工スピードで効率よく進めることができた。

3) 間詰コンクリート打設

間詰コンクリートの配合は50-10-25N（膨張材、高



写真-7 中間支柱の架設



写真-9 アーチリブ架設状況（近景）

性能 AE 減水剤入) とした。夏期の施工であり、高強度のコンクリートであることから配管圧送での打設は閉塞の危険性が高いためフォークリフトとバケットでの打設とした。ポンプ車での打設に比べ作業効率は低下したが、猛暑が続く中、打設箇所を遮光シートにて覆い作業環境を整備することで日当り施工量を確保した。

4) 壁高欄打設

壁高欄コンクリートの配合は 24-12-25BB (膨張材入) とした。打設方法は橋長 280m を 3 分割し、ポンプ車による最大 188m の配管圧送を行った。1 日の最大打設量は 54m^3 と少量に分割することで夏期施工による労務への負担を低減した。また、暑中コンクリートとしてアジテータ及び配管の直射日光対策を行い、配管の閉塞対策とコンクリートの品質低下を防いだ。

4-4 P R 活動

現場では、主に発注者主体で合計 281 回の見学会を開催し、地域住民を含めて延べ 3,862 人もの多数の来場者に現地の架設状況を P R した。現場近くにはインフォメーションセンターを設営し、架設状況を再現した CIM モデル (図-7) を活用するなどして、見学者に対して P R 活動を行った。また、インフォメーションセンターの内外装は木目調とし、大型看板の前にはウッドチップを敷き詰める等、周辺環境との調和に配慮した (写真-11)。

5. おわりに

本稿では、近年建設の機会が少なくなってきたケーブルエレクション斜吊工法による大規模な鋼上路式アーチ橋の計画概要と架設について報告した。本報告が今後の同形式の橋梁にとって有用な一資料となれば幸いである。

〔参考文献〕

- 1) 徳川和彦, 西谷真吾, 石原大作, 金子雅明, 西山精徳, 岡本由仁: 三遠南自動車道 飯橋道路 天龍峡大橋 (仮称) の計画と設計, 橋梁と基礎, Vol. 53, No. 3, pp. 7-13, 2019. 3
- 2) 長尾悠太郎, 森田哲司, 鈴木智之, 香川洋介, 天野貴文, 原考志: 天龍峡大橋 (仮称) の製作・架設, 橋梁と基礎, Vol. 53, No. 3, pp. 15-20, 2019. 3



写真-10 床版パネル架設状況



図-7 CIM モデル (架設状況)

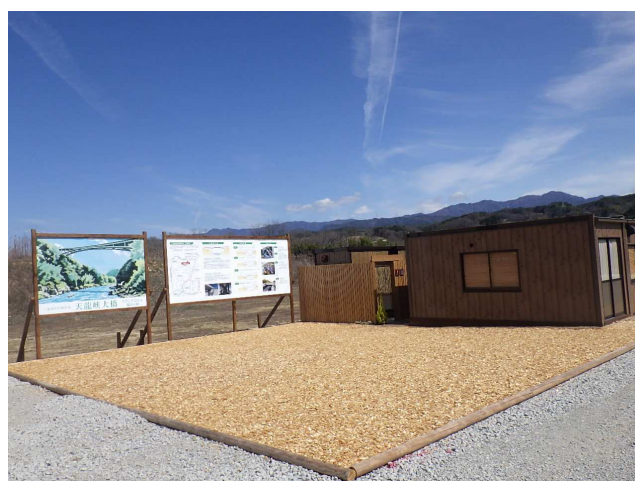


写真-11 インフォメーションセンター