

論文・報告

豆谷大橋の施工報告

～様々な架設工法が採用された
左右非対称な鋼中路式ローゼアーチ橋の施工～

Construction of MAMEDANI-OHASHI Bridge

大井 祥之 *1
Yoshiyuki OI仲谷 洋 *2
Hiroshi NAKATANI谷田 健 *3
Takeshi TANIDA山田 忠志 *4
Tadashi YAMADA泉谷 智之 *5
Tomoyuki IZUMIYA

豆谷大橋は、富山県南砺市利賀村大豆谷地先に位置する鋼中路式ローゼアーチ橋である。利賀ダム建設事業に伴う工事用道路として整備された橋梁であり、ダム完成後は、国道471号のバイパス道路として供用予定である。

架橋地点は山間狭隘部に位置しており、地形および冬期積雪等の制約により、アーチ形式の架設工法として一般的なケーブルエレクション工法の適用が極めて困難だった。また、架設完了まで2カ年を要するため、構造系として安定した形で越冬できるように、構造部位ごとに異なる架設工法が採用された。

本文では、架設工事の概要、構造部位ごとに採用された架設工法の技術的課題およびその対応策について報告する。

キーワード：中路式ローゼアーチ橋、送出し架設、トラベラークレーン、吊天秤、マスコンクリート、温度解析

1. はじめに

豆谷大橋は、富山県南砺市利賀村大豆谷地先に位置する鋼中路式ローゼアーチ橋である(写真1)。利賀ダム建設事業に伴う工事用道路として整備された橋梁であり、ダム完成後は、国道471号のバイパス道路として供用予定である。

豆谷大橋の架橋地点は、ダム建設予定地よりも上流にあり、山間狭隘部に位置している。そのため、地形条件および冬期積雪等の制約により、アーチ形式の架設工法として一般的なケーブルエレクション工法の適用が極めて困難だった。また、架設完了まで2カ年を要する本橋は、構造系として安定した形状で越冬できるように、構造部位ごとに異なる架設工法が採用された。

本稿では、架設工事の概要、構造部位ごとに採用された架設工法の技術的課題および対応策について報告する。



写真1 豆谷大橋全景 (A1側上空より望む)

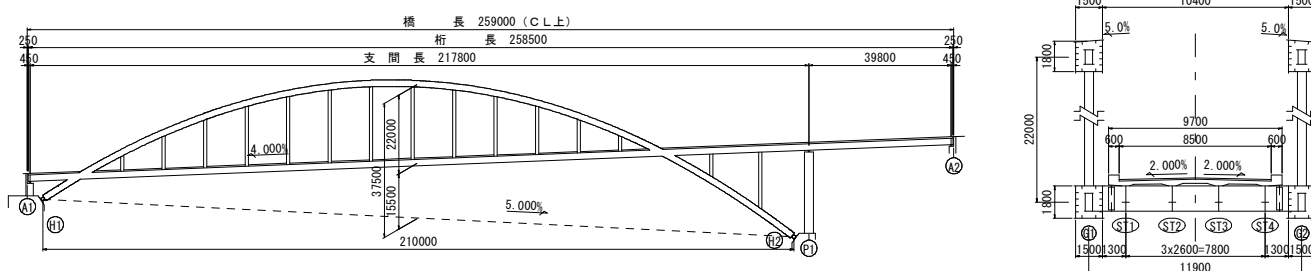


図1 側面図とアーチ径間断面図

*1 川田工業(株)北陸事業部鋼構造部工事課 総括工事長

*2 川田工業(株)鋼構造事業部工事部大阪工事課 総括工事長

*3 川田工業(株)北陸事業部鋼構造部工事課 係長

*4 川田工業(株)北陸事業部富山工場生産技術課 係長

*5 川田工業(株)鋼構造事業部技術部富山技術課 主幹

2. 工事概要

本工事の概要を以下に示す。

工 事 名：利賀ダム豆谷橋梁上部その2工事
 発 注 者：国土交通省北陸地方整備局利賀ダム工事事務所
 工事場所：富山県南砺市利賀村大豆谷地先
 工 期：2014年12月23日～2018年7月31日
 橋梁形式：鋼中路式ローゼアーチ橋
 橋 長：259.0m
 支 間 長：217.8+39.8m
 有効幅員：8.5m
 鋼 重：2 951t
 採用された架設工法：
 アーチ径間部補剛桁 — 送出し架設
 A1側端部ブロック、側径間 — トラッククレーン架設
 アーチリブ — トラベラークレーン架設

3. 設計概要¹⁾

(1) 形式選定

豆谷大橋の形式選定に当たっては景観検討委員会が立ち上げられ、「谷の形状に合わせた左右非対称な空間に無理なく自然に収める橋とする」ことを基本コンセプトに選定が行われた。

委員会の審査の結果、下記の理由から図1に示す「鋼中路式ローゼアーチ橋」が選定された。

- ・左右非対称が力学的な安定感、安心感を与えてくれる。
- ・横支材を省略することが可能で、降雪時の通行に支障がない構造とすることができる。
- ・谷の形状にマッチしており、経済性にも優れている。

(2) 横支材の省略

本橋は、アーチリブの構造高に対して、ほぼ中間の位置を補剛桁が交差する中路式アーチ橋である。

中路式アーチ系の橋梁は、橋軸直角方向の剛性確保および座屈対策として左右のアーチリブを接続する横支材が設置されているのが通常である。

しかしながら、本橋は豪雪地帯に位置することから、車両走行路面への落雪を防ぐため、上部アーチリブに横

支材を設置しない構造として設計された。

同様に、アーチリブ上面には外側に向けた傾斜が設置され、利用者への落雪防止に配慮した構造が採用された（図1の断面図）。

(3) 補剛桁の連続構造

通常のアーチ橋では、A1-P1間の中路式アーチ形式に対して、P1-A2間は単純形式の採用が考えられるが、本橋では、アーチ径間部の補剛桁を側径間に向けて連続させた構造とすることにより、耐震性や走行性の向上、経済性の向上が図られている。

補剛桁が床版の外側に配置されているアーチ径間に対して、側径間では通常の箱桁形式と同様に床版の下に桁が配置される様に、P1支点と一つ手前の格点間で補剛桁間隔の変化区間が設けられている（図2）。

4. 施工概要²⁾

架設部位ごとに製作ロットが分けられた部材は、橋体寸法と仮組立てヤードの制約から、分割仮組立てを実施した。分割位置に隣接する部材は重複仮組みを行い、現場における組立精度の向上に努めた。

設計照査および工場製作を経て、現場施工は2015年5月から着手した。

2015年度は、アーチ径間部(A1-P1)の補剛桁を送出し工法で架設した。送出し架設と並行作業で、アーチ基部においては、アンカーフレームの据付と二次施工コンクリートの施工を行った。補剛桁の送り出しを完了させて、2015年12月から2016年3月まで冬期休工期間に入った。

冬期休工が明けて、2016年度は、A1側隅角部を含む桁端部と側径間部(P1-A2)の補剛桁をトラッククレーンで架設した。

次いで、補剛桁上に軌条を設置して、トラベラークレーンの組立を行った。P1側下部アーチの架設は、P1橋脚からの斜吊設備を併用して、トラベラークレーンで架設した。上部アーチの架設は、A1側からP1方向に向かい片押しで行った（図3）。

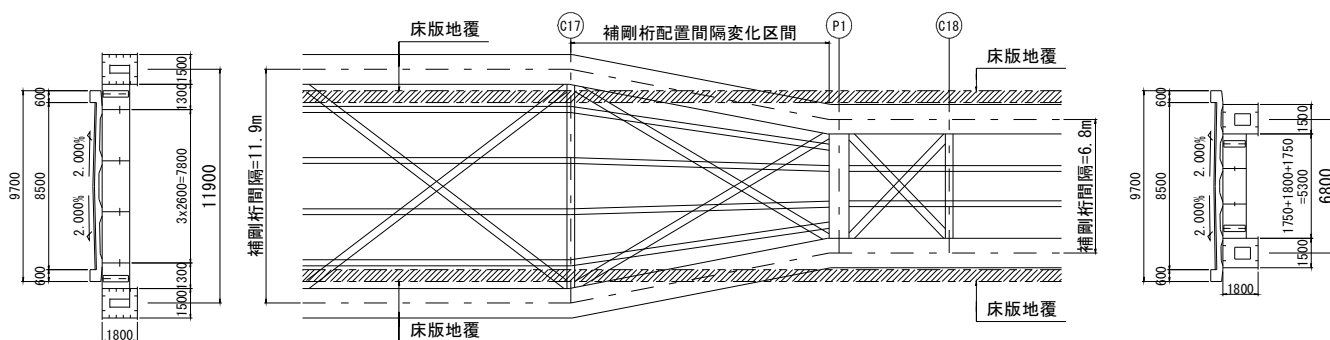


図2 補剛桁間隔変化区間平面図と断面図

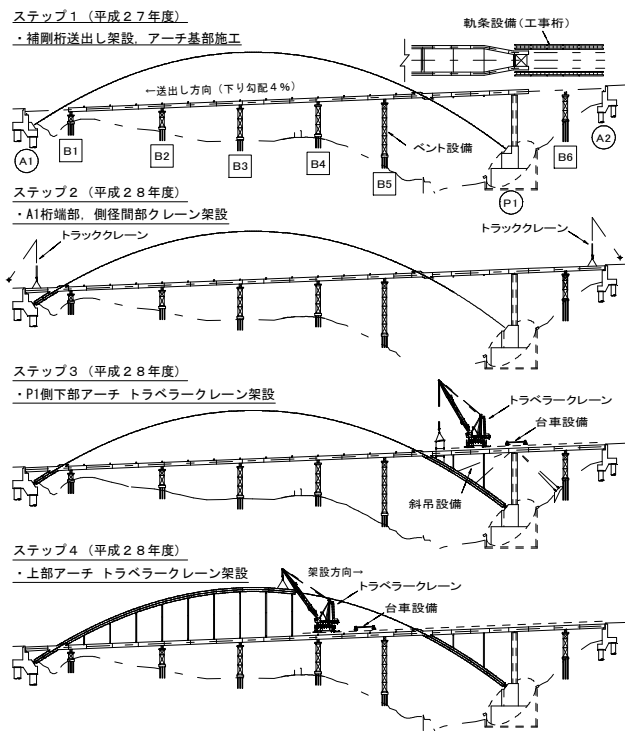


図3 架設ステップ

5. 補剛桁の送出し架設

(1) 送出し架設の課題

本橋は架設完了まで2カ年を要し、構造系として安定した形状で越冬できる様に、アーチ径間部の補剛桁を先行して送出し架設する必要があった。

ただし、A1橋台背面に送出しヤードが確保できないことから、A2橋台背面に送出しヤードを設けることとなり、A2側からA1側に向けて下り勾配4%の送出しとなった。

そのため、下り勾配による水平力(=質量×下り勾配4%の水平力)が常時作用した状態での送出し作業となり、逸走防止に対する配慮が必要となった(図4、写真2)。

(2) 送出し架設時の逸走防止対策

送出し設備として、各ベント設備上に摩擦係数0.05~0.06を有するエンドレスローラを設置した。台車設備には、反力管理が容易なスライドジャッキを採用し、推進装置には水平ジャッキを使用した。摩擦抵抗力と下り勾配4%による作用水平力がほぼ同値となることから、不測の外力による桁の逸走防止装置を設置することとした。

逸走防止装置を取り付けるアンカー設備は、受圧抵抗と引抜き抵抗に優れ、装置の取付けが確実にできる杭アンカーを採用した(図4、写真3)。送出しヤードの路床以下の地質が軟岩と推定されたことから、ダウンザホール

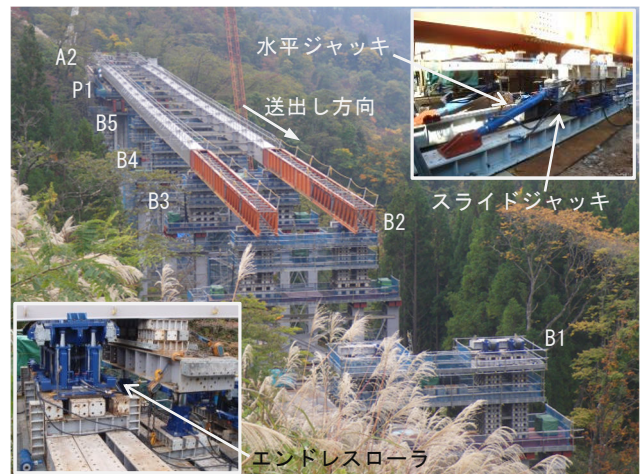


写真2 送出し架設全景(A1側より望む)

ハンマーにて6mの削孔を行い、H-400杭を挿入後、撤去を前提に砂を充填した。

桁組立時の逸走を防ぐため、桁後尾に滑車を取り付け、繰込みワイヤによる惜しみを取った(図4、写真4)。

移動状態となる送出し時は、台車設備の水平ジャッキと連動する50tセンターホールジャッキを取り付け、PC鋼より線(φ28.6)で惜しみを取った。また、緊急非常用としてチャッキング式のブレーキング装置を別系統で設置して、二重の安全設備で万全の逸走防止対策を講じた(写真5)。



写真3 アンカー設備

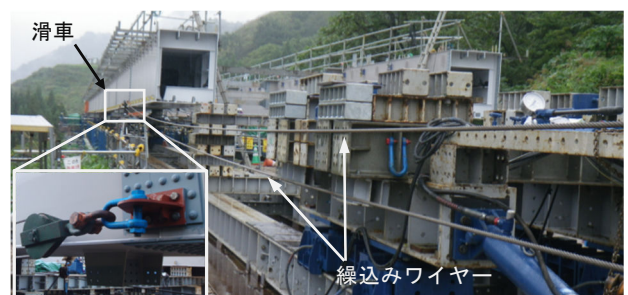


写真4 地組み時繰込みワイヤーの取付け

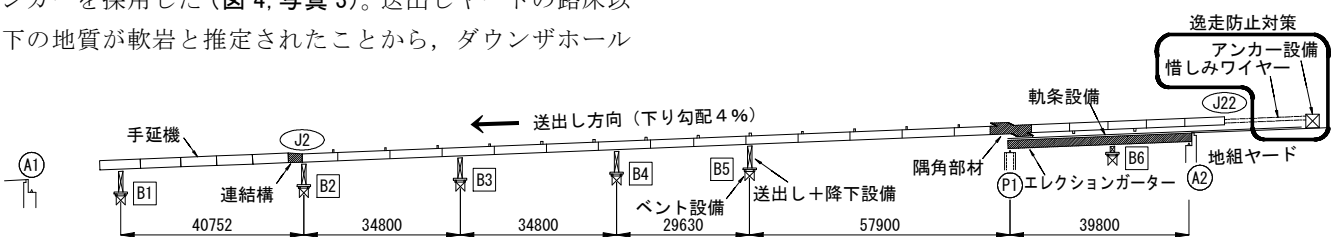


図4 送出し架設概要図



写真5 送出し時 PC 鋼より線取付け

6. アーチ基部の施工

(1) アンカーフレームの製作と架設

アーチ基部に設置されるアンカーフレームは、設計どおりの設置角度で容易に据付けが行えるように、製作工場においてあらかじめ据付け架台に取り付けた状態で製作し、現地へ輸送した。

アンカーフレームは、A1 橋台背面に配置したトラッククレーンと P1 橋脚近くの作業構台に配置したクローラクレーンによって架設を行い、その後配筋作業を行った。

(2) アーチ基部コンクリートのひび割れ対策³⁾

アンカーフレーム据付後に二次施工されるアーチ基部コンクリートは、断面寸法が大きくマスコンクリートとなるため、熱影響による温度ひび割れの発生が懸念された。そこで、セメント特性やリフト数に着目した3次元モデルによる温度応力解析（図5）を実施し、ひび割れ抑制効果を検証した。

a) 温度解析

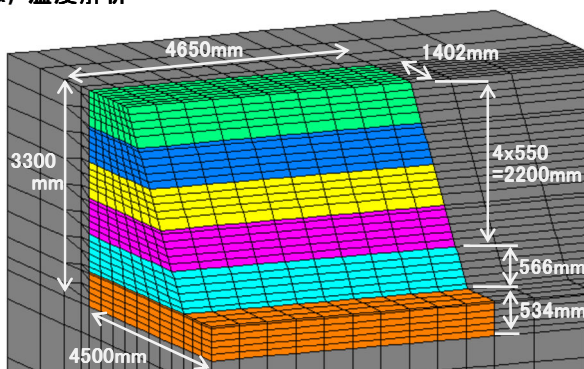


図5 3次元解析モデル (6リフト)

解析では、履歴中の最高温度と最小ひび割れ指数を求めた。解析の結果、履歴中の最高温度は表1より、リフト数増加およびセメント種類による温度低減はそれぞれ約4℃であった。また、履歴中の最小ひび割れ指数は表2より、リフト数の違いによる影響はなく、セメント種類によるひび割れ指数増加は0.17~0.18であった。

以上の結果から、ひび割れ指数を1.00以上にするために中庸熱セメントを使用し、コンクリート内部の最高温度が低くなる6リフトで施工することとした。

表1 解析結果 最高温度

最高温度 (°C)		打ち込みリフト数	
		5リフト	6リフト
セメント種類	高炉(BB)	48.2(図6)	43.7
	中庸熱(M)	43.6	39.8(図7)

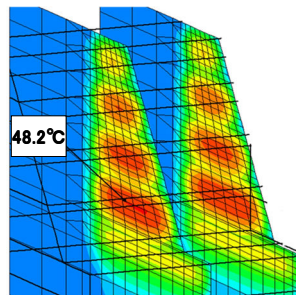


図6 高炉5リフト最高温度

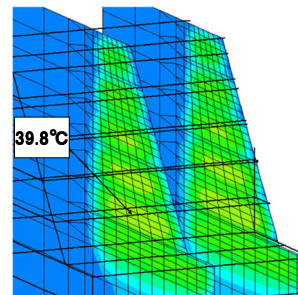


図7 中庸熱6リフト最高温度

表2 解析結果 最小ひび割れ指数

最小ひび割れ指数		打ち込みリフト数	
		5リフト	6リフト
セメント種類	高炉(BB)	0.90	0.87
	中庸熱(M)	1.07	1.05

b) 温度計測

温度解析の結果から講じた対策が有効であったかを検証するため、コンクリート内部の温度とひび割れの計測をP1橋脚G2アーチリブ側第2リフトで行った（写真-6）。

計測の結果を図8に示す。

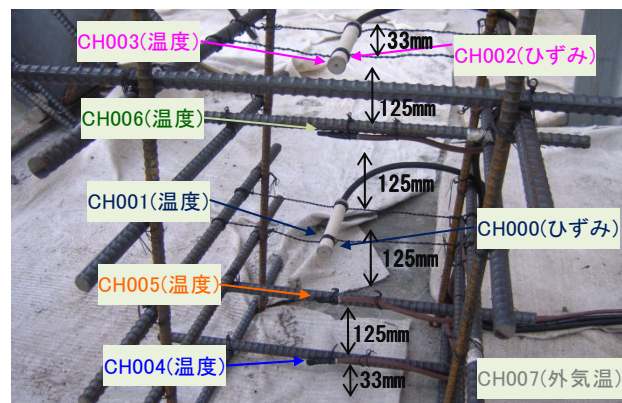


写真6 計測機器設置

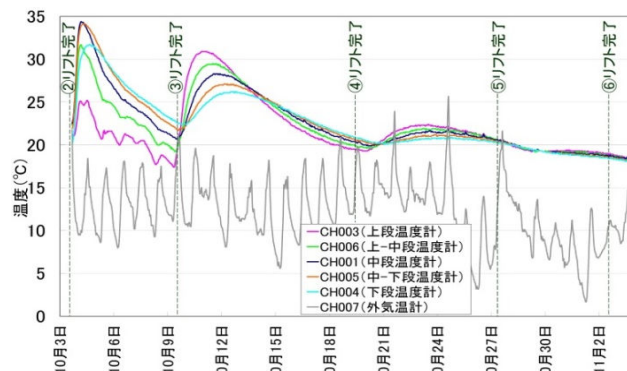


図8 温度計測結果

計測値と解析値を比較するため、解析条件を実施工条件に置換したところ、計測値と解析値がほぼ合致したことから、中庸熱セメントによる6リフト施工がアーチ基部コンクリートのひび割れ抑制に有効に作用したものと判断された。

7. 下部アーチの架設

(1) 下部アーチ架設の課題

2015年12月までに補剛桁の送出し架設とアーチ基部の施工を終えて、本工事は越冬のため翌2016年3月までの間、冬期休工期間に入った。明けて2016年4月より、A1桁端部と側径間部をトラバークレーンで架設した。

次いで、架設を終えた補剛桁上に軌条設備を設置して、トラバークレーンの組立てを行った。下部アーチの架設は、トラバークレーンを用いて斜吊り架設を行うものであるが(図-3ステップ3)、下部アーチの直上に架設済みの補剛桁があることから(写真-7)、全ての部材を引き込まなければならなかった。

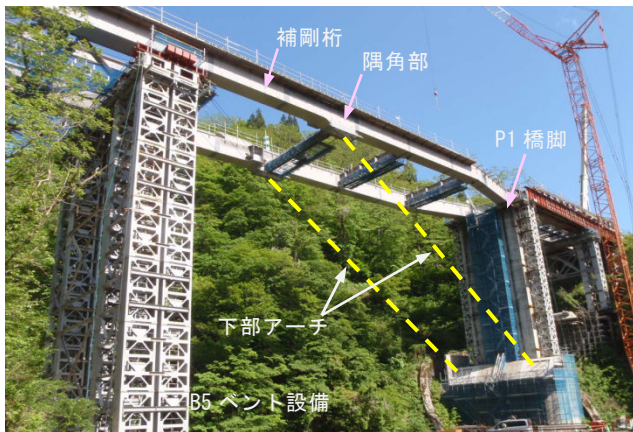


写真7 下部アーチ架設前

(2) 吊天秤による下部アーチの架設

架設手順において煩雑となる引き込み作業を回避するため、作業空間に応じた専用の吊天秤を製作して架設を行った(図9)。

アーチ基部から3部材目までは、隅角部までの上方空間に余裕があり、玉掛けワイヤが取り付けられることから、「へ」の字形状を成した吊天秤を使用した。補剛桁より垂らした仮吊り索を取り付けた後、天秤の荷重解放を行った(図10、写真8)。

1段目の斜吊り索は、2部材目の架設が完了した後に設置した。同様に、2段目の斜吊り索は、3部材目の架設が完了した後に設置して、1段目の斜吊り索の荷重を解放した。下部アーチの閉合部材となる4部材目の架設直前には、先端1点による斜吊り状態で、50mmほど下げ越して閉合空間を確保した。

アーチリブと補剛桁が交差する隅角部に直結する4部材目の架設は、上方空間に全く余裕がなく、玉掛けワイ

ヤが取り付けられないことから、「コ」の字形状を成した吊り天秤を使用した。先端1点による斜吊り状態の下部アーチに添接後、天秤の荷重を解放した(図10、写真9)。

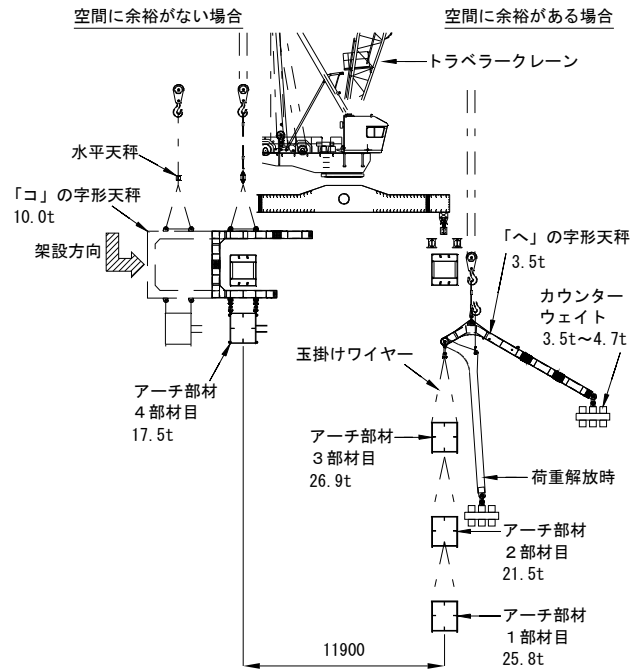


図9 吊天秤架設概要図

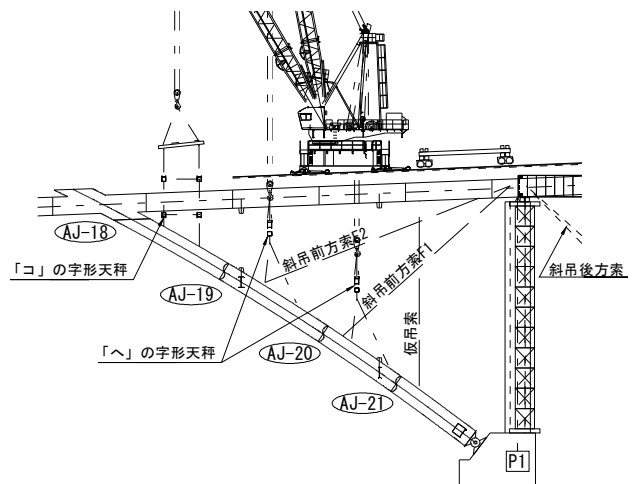


図10 下部アーチ斜吊り架設概要図

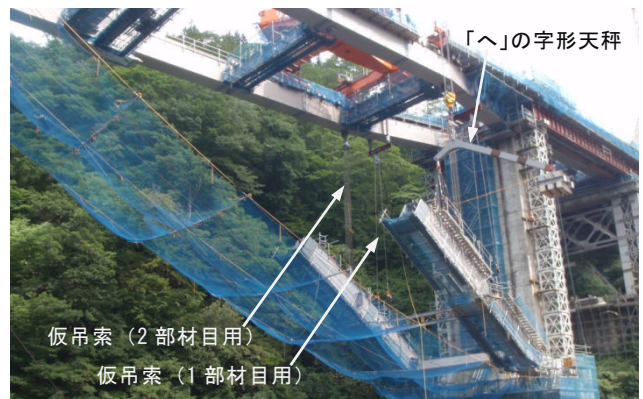


写真8 「へ」の字形天秤による架設



写真9 「コ」の字形天秤による架設

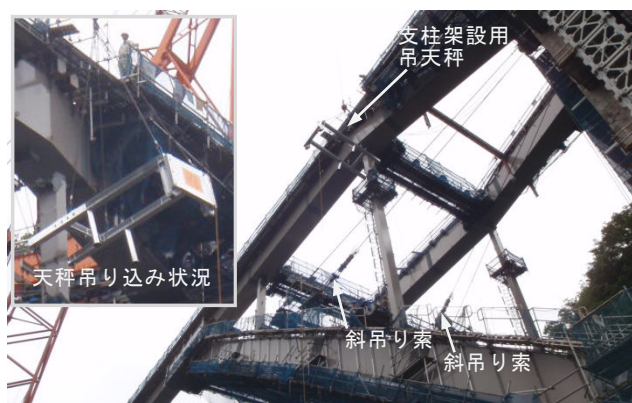


写真10 支柱架設

下部アーチの閉作業は、トラベラークレーンをP1-A2側径間まで後退させ、P1橋脚にて補剛桁の自重たわみ分だけジャッキアップを行った後、斜吊り索を引き寄せて行った。

下部アーチを閉合させた後、下部支柱材の架設を行った(写真10)。支柱下側(アーチリブ側)の添接作業を先行し、P1橋脚にてジャッキダウンさせながら支柱上部(補剛桁側)の添接作業を行った。

8. 上部アーチの架設

(1) 上部アーチ架設の課題

上部アーチの架設は、トラベラークレーンの移動や旋回に伴い、橋梁全体に変形が生じる状況下の施工となった。加えて、完成・供用時は引張部材となる鉛直材が仮支柱の代わりとなり、重量のあるアーチ部材を支える計画であったため、アーチ自重や橋体の変形による支柱の圧縮に抵抗できる仮受設備の設置が必要となった。

(2) 上部アーチ仮受け設備

架設系において、補剛桁のベント受け点直上に位置し、常時圧縮力が作用する支柱については、パイプベントを設置して支柱に直接圧縮力が作用しない対策を講じた。それ以外の支柱位置については、四角支柱を設置して圧縮力の作用軽減を図った(写真11)。

常時圧縮力が作用する受け点については、テーパ架台をアーチリブ側にボルト固定し、ねじ機構で高さ保持

が可能なジャッキを取り付けた受け梁でテーパ架台を支持した。その際、ジャッキ底面と梁受け材の間にテフロン板を挟み、ベント設備に水平力が作用しないように配慮した(写真12)。



写真11 上部アーチ架設

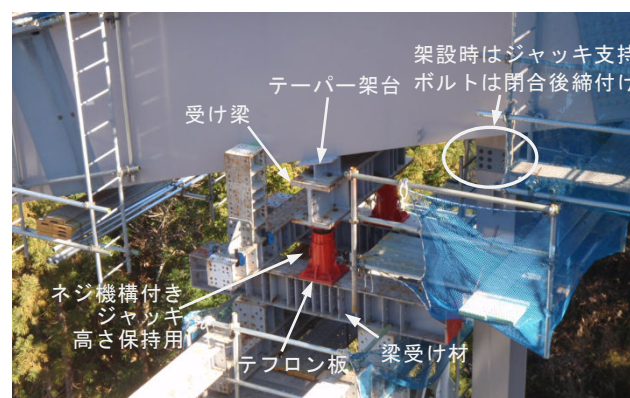


写真12 ベント塔頂部仮受け

9. おわりに

無事にアーチリブを閉合させて、2回目の越冬を経て、2017年4月よりベント設備他の解体撤去を開始し、6月より床版および橋面付属物工事をを行い、12月までにはすべての工事を完了した。

最後に、本工事の施工にあたり、多大なるご指導を賜りました利賀ダム工事事務所の皆様方、アーチ基部の温度解析・計測にご協力いただいた富山県立大学の伊藤始教授、各種施工にご尽力いただいた協力業者の皆様方、長期にわたる工事にご理解・ご協力いただいた地元住民の皆様方に、本紙を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 新構造技術(株)：豆谷橋梁詳細設計業務委託報告書、2002.3
- 2) 仲谷 洋, 大井祥之, 谷田 健, 泉谷智之：豆谷大橋の施工, 橋梁と基礎, Vol.52, pp.7-12, 2018.10
- 3) 窪田一沙, 栗山 浩, 泉谷智之：解析値と計測値を比べてみました～豆谷橋梁のアーチ基部コンクリートの解析と現地計測について～, 川田技報, Vol.36, 2017.1