

図 - 2 全体一般図

2. 工事概要

本橋の工事概要を以下に示す。また、全体一般図を図 - 2 に、補剛桁断面図を図 - 3 に、アーチリブ断面図を図 - 4 にそれぞれ示す。

工 事 名：一般国道 277 号八雲町高滝ノ沢橋上部工事
 発 注 者：国土交通省 北海道開発局 函館開発建設部
 工事場所：北海道二世郡八雲町熊石大谷町地区
 工 期：平成 24 年 2 月 3 日～平成 26 年 2 月 24 日
 構造形式：上路式 RC 固定アーチ橋

橋 長：163.0 m，アーチ支間長：112.0 m
 有効幅員：8.50 m，縦断勾配：5.92 %

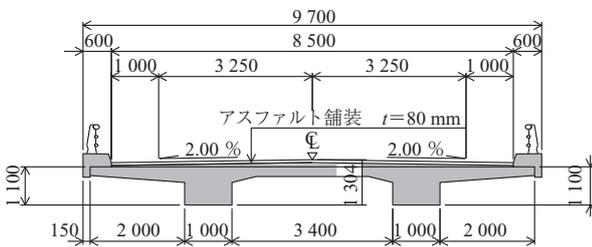


図 - 3 補剛桁標準断面図

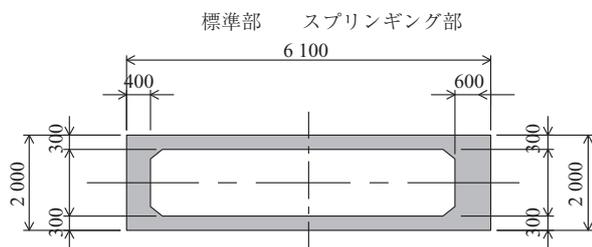


図 - 4 アーチリブ断面図

3. 段階式ロアリング工法の概要

ロアリング工法では、アーチリブを支持しているケーブルを数十 m にわたり送り出す必要があるため、くさび定着式の大容量ケーブルを使用するのが一般的である。このため、ロアリング作業中のケーブル拔出し対策が非常に重

要である。とくに、ロアリング初期段階における低張力状態では、高張力時に比べくさび式定着の定着力が小さくなり施工時の応力変動や振動により滑り出すことが懸念される。このことを回避しつつ施工の省力化を実現するため、ケーブル張力が変化する傾斜角ごとに使用機械とケーブル（表 - 1）を使い分ける段階式ロアリング工法（図 - 5）を採用した。これにより、安全性に加え施工性も向上し、ロアリング作業日数片側 2 日を実現した。

表 - 1 使用機械・ケーブル一覧表

段階 (角度)	使用機械	仕様・規格	台数	備考
1 次 (2°～6°)	押し出しジャッキ	100 t 150 st	4 台	山留材 (MS300)
2 次 (6°～13°)	3 t ウインチ	11 kw	2 台	ウインチケーブル 6*37 A 種 φ20 2 本
3 次 (13°～45°)	ロアリングジャッキ	500 t 350 st	2 台	ロアリングケーブル 27S15.2 2 本
4 次 (45°～最終)	ロアリングジャッキ	500 t 350 st	4 台	ロアリングケーブル 27S15.2 4 本

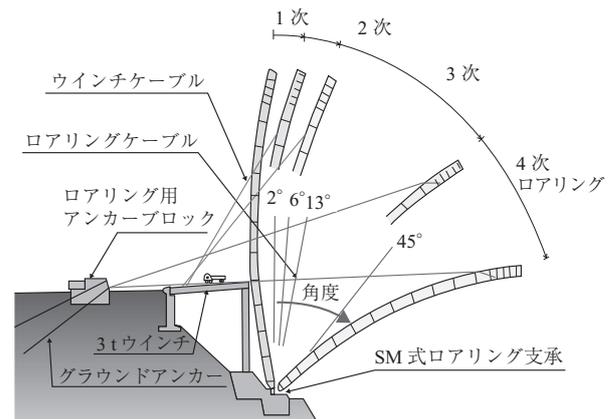


図 - 5 段階式ロアリング概要図

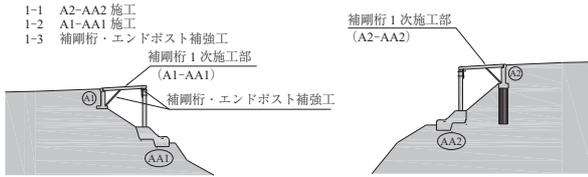
4. 施 工

4.1 施工概要

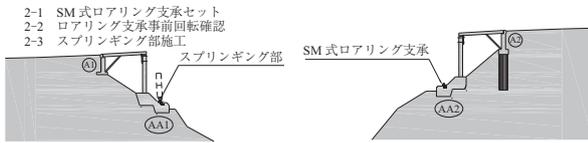
図 - 6 に施工ステップを示す。

平成 24 年 4 月から補剛桁 1 次施工，ロアリング支承の

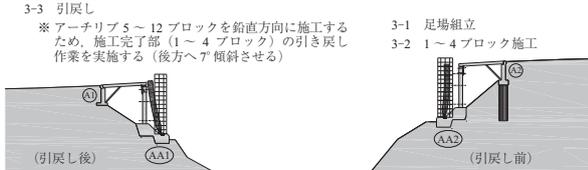
Step 1 補剛桁 1 次施工



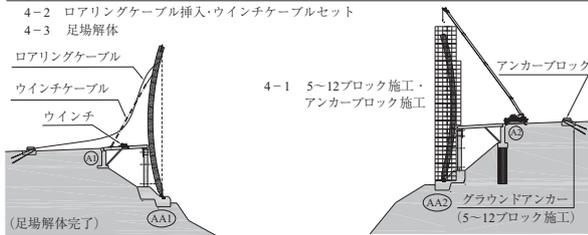
Step 2 ロアリング巻・スプリング部施工



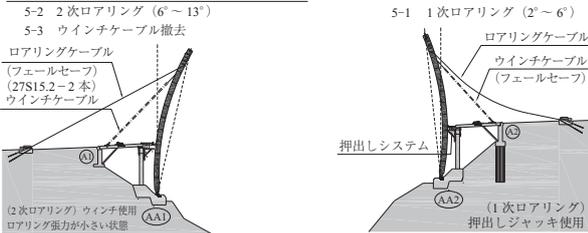
Step 3 1~4 ブロック施工・引戻し



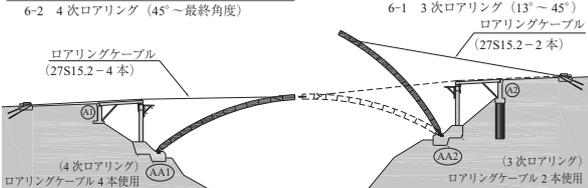
Step 4 5~12 ブロック施工・アンカーブロック施工・ロアリングケーブル挿入・足場解体



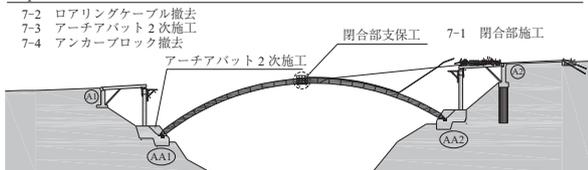
Step 5 1 次ロアリング・2 次ロアリング



Step 6 3 次ロアリング・4 次ロアリング



Step 7 アーチ閉合部施工・アーチアバット 2 次施工・アンカーブロック撤去



Step 8 鉛直材・補剛桁 2, 3 次施工橋面工

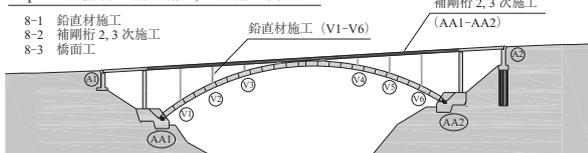


図 - 6 施工ステップ

設置, アーチリブ 1~12 ブロックの製作, アンカーブロック・グラウンドアンカーの施工, ロアリング架設, アーチリブ閉合, アーチアバット 2 次施工の順に行い, 平成 24 年 12 月にアーチリブの施工を完了した。その後, 1~3 月の冬季休止をはさみ, 平成 25 年 4 月から鉛直材, 補剛桁の 2, 3 次施工と橋面工を施工して, 平成 25 年 11 月に橋梁本体工は完成した。

4.2 SM 式ロアリング支承の採用

(1) 支承の特長

ロアリング架設では, 支承反力 (アーチリブ製作完了時: 鉛直反力 $V = 8680 \text{ kN}$, 水平反力 $H = 1500 \text{ kN}$ 閉合直前: $V = 8270 \text{ kN}$, $H = 10820 \text{ kN}$) の方向が鉛直方向から水平方向へ約 70° 変化する。SM 式ロアリング支承は, ロアリング反力の全方向に対して合理的に抵抗するように, 水平・斜め 2 面の支持面を有する下沓構造とした。また, 支承 2 基の回転軸線を完全に一致させた連結ピン構造を採用した (写真 - 2)。

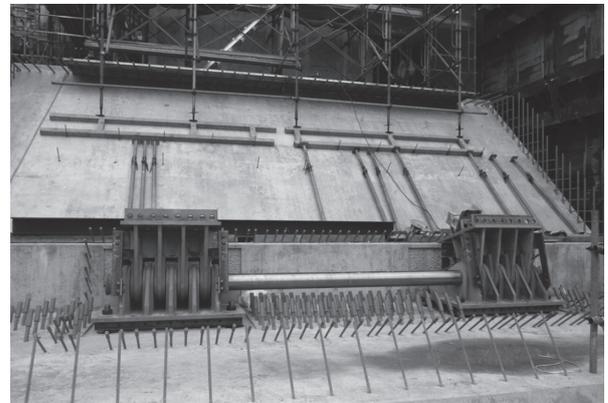


写真 - 2 ロアリング支承

(2) 支承の据付け

支承の据付精度がアーチリブ閉合時の出来形に大きな影響を与えるため, 支承の据付後に軸線のずれ量や支承が最終角度まで問題なく回転するかを検証することを目的に, 回転試験を実施した (写真 - 3)。

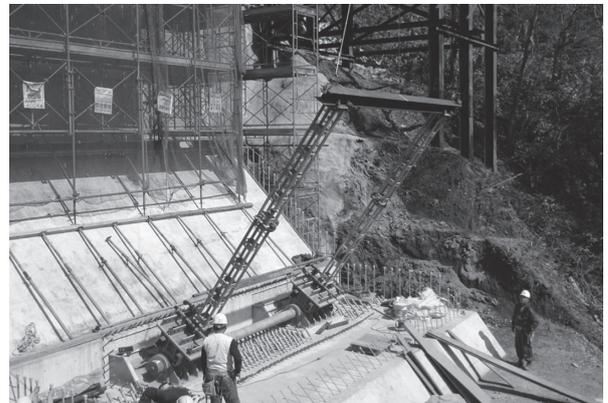


写真 - 3 ロアリング支承回転試験

4.3 アーチリブの施工

アーチリブはほぼ鉛直な状態でブロックごとに施工した。当初計画ではブロック長が約 3.5 m、片側 18 ブロックとしていたが、冬季休止前にアーチリブを閉合するため、平均ブロック長を約 5.0 m、片側 12 ブロックに変更してアーチリブ製作工程を短縮した。なお、1 ブロックあたりの平均施工サイクルは 9 日間であった。

アーチリブには、普通セメントを用いた設計基準強度 40 N/mm² のコンクリートを使用した。生コン工場からの運搬時間が約 45 分、縦配管の最大高低差が約 45 m であること、および各ブロックは傾斜しており、基部や側面への確実なコンクリート充填性確保のために、高性能 AE 減水剤を用いたスランプ 12 cm のコンクリートを使用した。

アーチリブの施工足場は地形条件・施工性・経済性を総合的に考慮し、総足場を採用した（写真 - 4、枠組足場高さ AA1 側：63.2 m、AA2 側：64.4 m）。



写真 - 4 足場組立て完了全景

アーチリブの形状はハイパボリック曲線であり 1～4 ブロックをほぼ鉛直に施工した後に 5～12 ブロックの傾斜角度をほぼ鉛直方向に近づけるため、アーチリブを 7° 背面側に引き戻した。引戻し作業後にアーチリブ転倒防止として PC 鋼棒と山留め材にて仮固定を行った（図 - 7）。

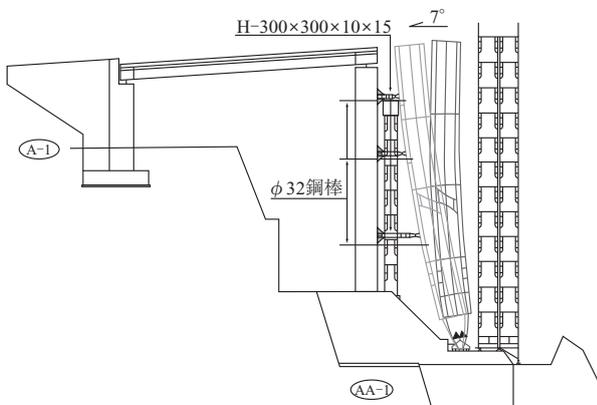


図 - 7 引戻し後仮固定計画図

4.4 アンカーブロックの施工

ロアリングケーブルには、アーチリブの閉合までに最大 11 000 kN の張力が発生する。この張力を確実に保持するために、ロアリング開始前までに最大張力の 1.3 倍まで保持可能なアンカーブロック本体を構築した。

アンカーブロック本体の構築後、グラウンドアンカーにより、同じく最大張力の 1.3 倍に相当する緊張力により、地盤へと固定した（写真 - 5）。なお、このグラウンドアンカーとして、片側のアンカーブロックあたり PC 鋼より線 12S15.2 mm を 10 本配置した。



写真 - 5 グラウンドアンカー施工完了

4.5 段階式ロアリングの施工

(1) アーチリブの回転時の計測

ロアリング施工時、アーチリブの回転に関する計測として以下の項目を実施した。

- 1) アーチリブの回転：アーチリブ基部（スプリング部）に取り付けた角度計による計測。
- 2) 先端の変位：対岸からアーチリブ先端（12 ブロック）の移動距離を光波距離計で計測。
- 3) 荷重の変化：各ロアリング段階で使用する機械にそれぞれ荷重計を設置し、その計測結果と各回転角度に対応する設計荷重値との比較による安全性の確認。

(2) 1 次ロアリング

ロアリング初期段階では、アーチリブの重心位置が鉛直線の後方にある。そのため、押しジャッキ 4 台をエンドポストとアーチリブ間に設置してアーチリブを前方へ押し回転させた（写真 - 6）。内側 2 台、外側 2 台を各 1 組とし、鋼材（H-300 × 300、L = 20 cm）を接続しながら、外側・内側と交互に、ウィンチケーブルに張力が移行するまで（2°～6°）押し作業を繰り返した。作業中は左右の押しジャッキで大きな荷重差が生じないように、ジャッキストロークを 1 mm 単位で直接測定するとともに、各押しジャッキに設置した圧力計で左右の荷重計測を行った。AA2 側の計測結果を図 - 8 に示す。

なお、1 次ロアリングではアーチリブの逸走防止のフェールセーフとして、2 次ロアリングで用いるウィンチケーブルに 30 kN 程度の引戻し力を導入した状態で押し作業を実施した。



写真 - 6 1次ロアリング施工状況

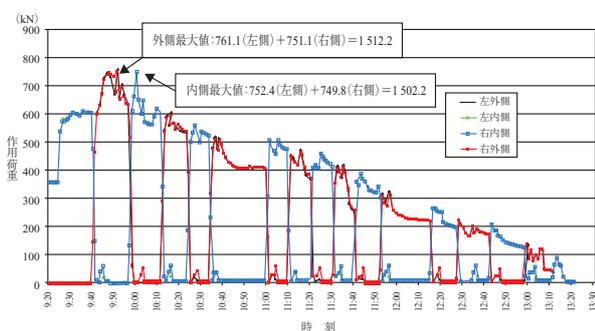


図 - 8 1次ロアリング荷重計測結果

(3) 2次ロアリング

1次ロアリング直後は、アーチリブの重心がわずかに前方へ移行した状態であり、ロアリングケーブルを用いて回転（送り出し）作業を行うと、その張力が低張力状態となるため、くさび定着が不完全な状態になり、抜け出す懸念がある。そこで、ウィンチケーブル2本、3tウィンチ2台、7車滑車（65t、φ440mm）4台を使用し、6°からロアリングケーブルに15kN/本程度の張力が作用する13°までアーチリブを回転させた（写真 - 7）。



写真 - 7 2次ロアリング施工状況

作業中は左右のウィンチで大きな荷重差が生じないように、7車滑車に設置した荷重計で左右の張力を計測した。2次ロアリング終了時のケーブル設計張力を表 - 2に、AA2側の計測結果を図 - 9に示す。

表 - 2 2次ロアリング終了時ケーブル設計張力

単位：kN			
2次ロアリング (13°時点)	ウィンチケーブル (6*37 A種 φ20 2本)	AA1	1118
		AA2	968
	ロアリングケーブル (27S15.2 2本)	AA1	749
		AA2	712

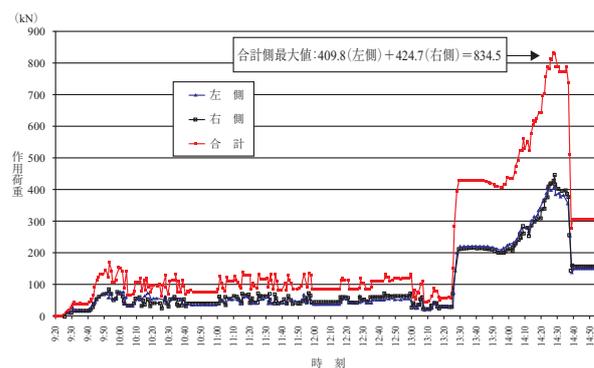


図 - 9 2次ロアリング荷重計測結果

2次ロアリングでは、アーチリブの前方への転倒防止のフェールセーフとして、ロアリングケーブル2本を張った状態でロアリング作業を行い、安全性を確保した。

(4) 3, 4次ロアリング

ロアリング最終段階では、回転量と橋軸直角方向への微調整が必要となるため、全ジャッキが連動および個別に張力とストロークを制御できる連動制御型ロアリングジャッキシステムを採用した（写真 - 8）。ロアリングジャッキ能力は4900kN、最大ストローク350mmである。3次ロアリングは内側2台、4次ロアリングでは4台を使用した。



写真 - 8 ロアリングジャッキ

各ロアリングジャッキは、ロアリングシステムを一括管

理するために設けた制御室から上昇・下降・停止等の操作および専用モニターに表示されたジャッキの各種計測データを基に、ジャッキストローク量やジャッキ作動速度の調整を遠隔操作で行った。

3次ロアリング(13°～45°)は、ウィンチ設備の解体・撤去後に内側2本のロアリングケーブルを1ストローク300mmずつ繰り返し送り出すことで、アーチリブを回転させた。なお、本作業中はアーチリブの転倒防止のフェールセーフとして、外側のロアリングケーブル2本をある程度張った状態で回転作業を行い、作業中の安全性を確保した。

4次ロアリング(45°～最終角度:AA1側-68.3°, AA2側-74.7°)は、4本のロアリングケーブルを1ストローク270mmずつ繰り返し送り出すことで、アーチリブを回転させた(写真-9, 10)。



写真-9 4次ロアリング施工状況



写真-10 4次ロアリング施工状況

最終角度直前で回転作業を一時停止し、アーチリブ先端で、高さや橋軸直角方向変位の測量を実施し、その結果を基に、最終微調整を行ってロアリング作業を完了した。

3, 4次ロアリング施工時は、各ケーブルの張力差が設計張力±10%以内となるように管理した。

3, 4次ロアリング終了時のケーブル設計張力を表-3に、AA2側のケーブル1本あたりの張力計測結果を図-10に、ロアリング施工完了全景を写真-11示す。

表-3 3, 4次ロアリングケーブル設計張力

		単位: kN	
3次ロアリング (45°時点)	ロアリングケーブル (27S15.2 2本)	AA1	5 313
		AA2	5 114
4次ロアリング (最終角度時点)	ロアリングケーブル (27S15.2 4本)	AA1	11 000
		AA2	11 431

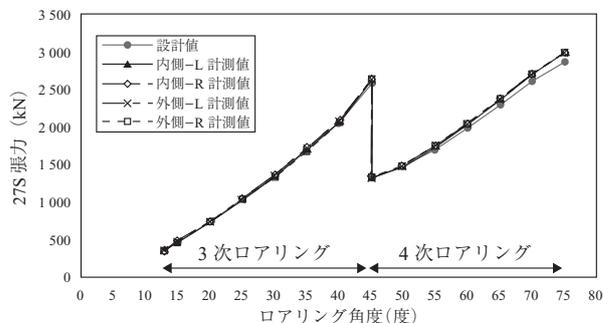


図-10 3, 4次ロアリングケーブル張力計測結果

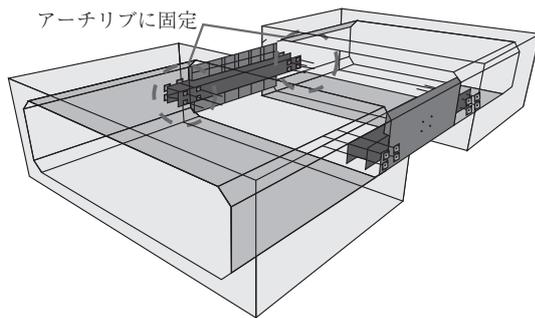


写真-11 ロアリング施工完了

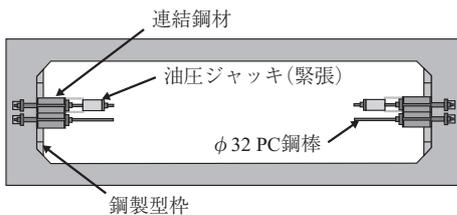
アーチリブ先端での最終誤差は、計画高さに対して0mm、橋軸直角方向変位は誤差10mmという高い精度であった。

4.6 アーチリブ閉合部の施工

ロアリング完了時点では、アーチリブはロアリングケーブルによって支持されている状態であるため、ロアリングケーブルの温度変化などによりアーチリブが上下する。このような状態で閉合部コンクリートを打設すると、養生中のコンクリートに変形を与えてしまい、初期欠陥の発生が懸念される。よって、閉合コンクリートの品質確保と、早期にアーチ構造を形成し構造安定性を確保することによる施工の安全性向上を図るため、中央閉合部の施工に先立ち鋼部材により中央閉合部を連結した(図-11, 写真-12)。連結用鋼材はあらかじめアーチリブ内先端部付近に仮置きし、動かないように固定した状態でロアリング施工を行い、ロアリング完了後に所定の位置まで引き出し、アーチリブ両側を連結するようにφ32PC鋼棒でアーチリブ内面に固定した。また、連結鋼材のコンクリート面側に



(a) 鳥 瞰 図



(b) 断 面 図

図 - 11 連結鋼材による閉合部の仮固定

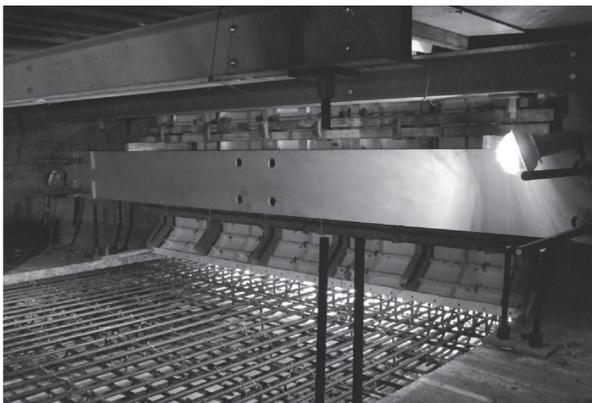


写真 - 12 連結鋼材設置完了

あらかじめ鋼製型枠を設置しておき、型枠組立作業の短縮を図った。

アーチ閉合部コンクリート打設完了後は、設計基準強度(40 N/mm²)以上の強度が発現していることを確認した後に、ロアリングケーブルの切断作業を行った。

4.7 鉛直材, 補剛桁, 橋面工の施工

アーチリブの施工が完了し、冬季休止後に鉛直材 V1～V6の施工を行った(写真 - 13)。また、鉛直材の施工完了後に、アーチリブ上に設置した支保工によってアーチリブ上の補剛桁の施工を行った(写真 - 14)。補剛桁施工は、3分割(AA1～V3 : L=44.250 m, V4～AA2 : L=45.750 m, V3～V4 : L=37.000 m)で行った。

補剛桁の施工完了後、地覆、橋梁防護柵の施工を行い、本工事の施工を完了した。



写真 - 13 鉛直材施工



写真 - 14 アーチリブ上の補剛桁施工

5. おわりに

本橋では、段階式ロアリング工法を採用し、ロアリング初期段階における施工性・安全性の向上を図った。また、従来片側5日かかる所要日数を2日に短縮することができた。さらに、アーチリブの施工ブロックを約5mに大ブロック化することにより工程短縮を実現し、厳寒期の冬季休止間の1シーズンでアーチリブの施工を完成した。

本工事は平成26年2月に無事竣工し、平成26年3月に供用を開始した。本報告が山岳地帯における類似工事の設計・施工の参考になれば幸いである。

最後に、本橋を施工するにあたって御指導・御協力をいただいた関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡邊, 星原, 川浦, 越智: 新ロアリング工法を用いたアーチ橋(亀山城橋)の施工, 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.5-pp.8, 2003.10
- 2) 濱本, 金子, 志田, 永元: 段階式ロアリング工法を用いたアーチ橋(高滝ノ沢橋)の施工, 第22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.417-pp.420, 2013.10

【2014年2月13日受付】