

ロアリング工法によるコンクリートアーチ橋の施工

角 本 周・落 合 勝・寺 崎 政 直

コンクリートアーチ橋の架設工法の一つであるロアリング工法は、アーチリブの下に支保工の設置が困難な山岳地などでの施工に適した工法である。本工法は、アーチクラウンで2分割したアーチリブを兩岸のアーチアバット上で鉛直方向に施工（クライミング施工）した後、ロアリングケーブルを用いて所定の位置まで回転降下（ロアリング架設）させ、クラウン部で閉合してアーチリブを完成させる工法である。本稿では、ロアリング工法で施工されたコンクリートアーチ橋の中で国内最大支間である神原溪谷大橋を例に、本工法による施工の特徴と、クライミング施工に用いる自走式クライミング足場、ロアリング架設に用いるジャッキシステムなどの架設機材について報告する。

キーワード：コンクリートアーチ橋，ロアリング工法，自走式クライミング足場，ジャッキシステム

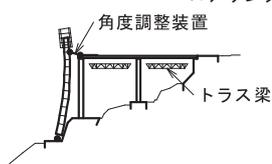
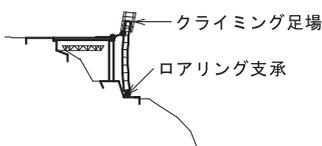
1. はじめに

ロアリング工法は、コンクリートアーチ橋の架設工法の一つであり、アーチリブの下に支保工の設置が困難な山岳地などでの施工に適した工法である。本工法では、アーチクラウンで2分割したアーチリブを兩岸のアーチアバット上で鉛直方向に施工（クライミング

施工）した後、アーチリブ下端に設置した回転支承を中心にして控えのケーブル（ロアリングケーブル）で支持しながら回転降下（ロアリング架設）させ、クラウン部で閉合することで完成させる工法である。ここで、ロアリングとは、英語の「Lowering」すなわち「下へ降ろす」という意味である。

ロアリング工法は、ドイツの Argentobel 橋（1980

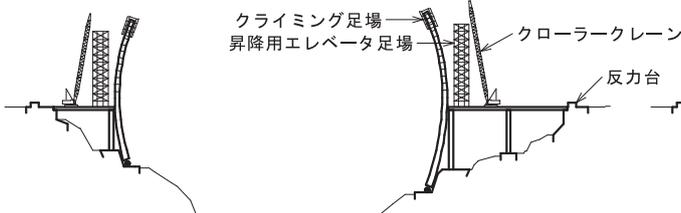
- ①側径間部補剛桁施工，ロアリング支承設置
- ②アーチリブ1次クライミング施工，角度調整



- ⑤ P1側アーチリブロアリング架設



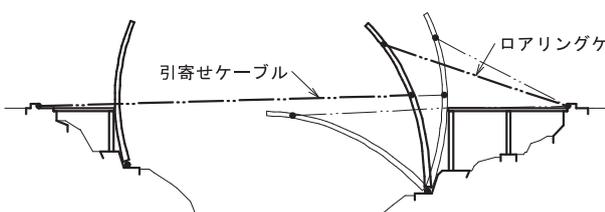
- ③アーチリブ2次クライミング施工，反力台施工



- ⑥クラウン部閉合，ロアリングケーブル開放，スプリング部固定



- ④ P2側アーチリブロアリング架設



- ⑦鉛直材，補剛桁施工
- ⑧橋面工

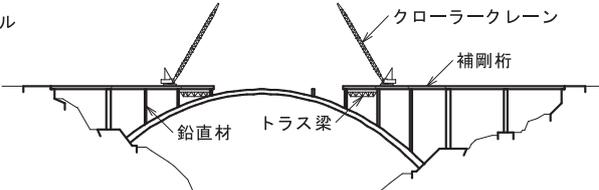


図-1 ロアリング工法の概要（神原溪谷大橋での施工順序）

年竣工)で初めて採用され¹⁾、国内では、新潟県の内の倉橋(1988年竣工)以降、8橋の実績がある^{2)~5)}。

本稿では、ロアリング工法で施工されたコンクリートアーチ橋の中で国内最大支間である神原溪谷大橋を例に⁵⁾、本工法による施工の特徴と、クライミング施工に用いる自走式クライミング足場、ロアリング架設に用いるジャッキシステムなどについて報告する。

2. ロアリング工法の特徴

ロアリング工法の主な特徴を、以下に示す。

- 1) アーチリブ下に支保工を必要としないために、地形条件に左右されない。
- 2) クライミング施工時はアーチアバット位置で集中して行うため、作業が安全で省力化が図れる。
- 3) アーチリブを鉛直方向に施工するので、耐震性能上重要な拘束鉄筋の配置が容易であり、また、アーチリブ上面側のコンクリート充填性が良い。
- 4) クライミング施工時、ロアリング架設時ともに、アーチリブに過大な曲げモーメントが作用しないため、架設時に対する補強を必要としない。
- 5) クライミング施工時、ロアリング架設時ともに、構造系が単純であるため、施工管理が容易である。
- 6) 大型の架設機材を必要としない。

ロアリング工法を用いた神原溪谷大橋の施工順序を、図-1に示す。なお、神原溪谷大橋では、上部構造の施工を通して、荷役設備としては自走式クレーンのみを使用している。

3. アーチリブのクライミング施工

(1) クライミング施工およびクライミング足場

ロアリング工法では、図-1に示すように、まずクラウン部で2分割したアーチリブを各アーチアバット上で鉛直方向に施工する。ここで、各アーチリブは、写真-1に示すロアリング用回転支承を設置後、先ず支保工によりスプリング部を施工した。その



写真-1 ロアリング用回転支承



写真-2 自走式クライミング足場

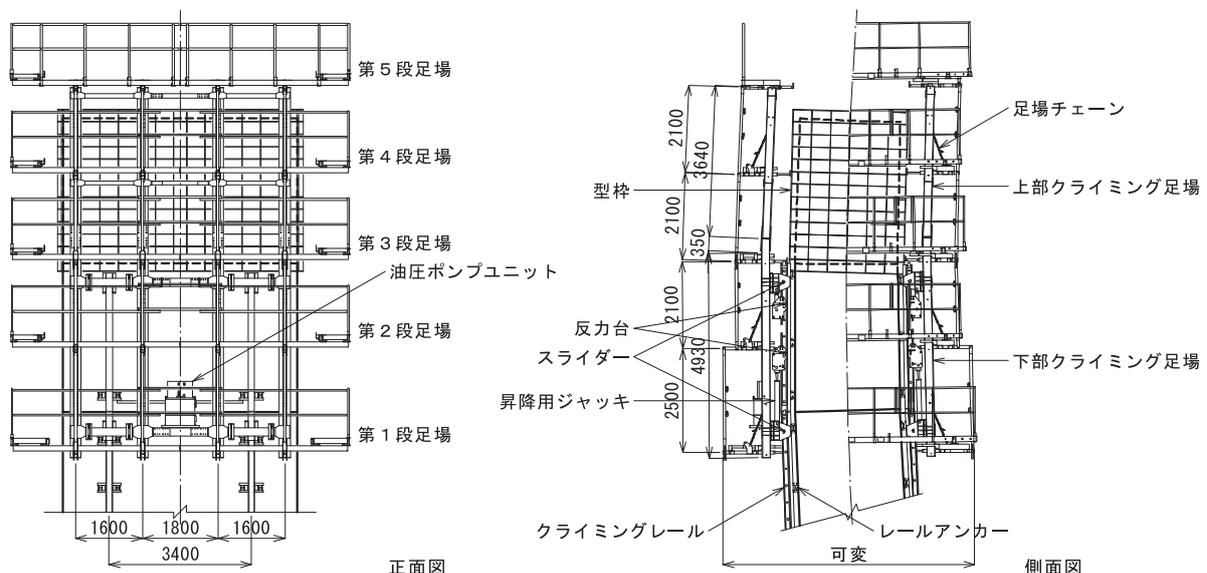


図-2 クライミング施工用の自走式クライミング足場

後、写真—2および図—2に示す自走式のクライミング足場を用いて、4.0～3.0 mの施工ブロック（完成系で橋軸方向に3.0 m長）を順次施工した。使用するクライミング足場は、アーチリブの上下面に設置したレールに沿って昇降でき、施工ブロックの角度に合わせてフレームと足場の角度を調整し、足場を水平に保つことが可能な構造である。クライミング足場の昇降は、1台の電動油圧ポンプユニットで集中管理された4台の油圧ジャッキ（最大ストローク750 mm）を用いて行い、1ブロックに要する時間は約4分である。

神原溪谷大橋での施工ブロックはP1側で20ブロック、P2側で24ブロックであり、クライミング施工されたアーチリブ先端は、最終的にロアリング用回転支承から、P1側で約66 m、P2側で約82 mの高さとなった。また、支保工により施工したスプリングは約60日、クライミング足場を用いるブロックはブロック当たり平均で10日を要した。アーチリブのクライミング施工状況を、写真—3に示す。



写真—3 アーチリブのクライミング施工状況

(2) アーチリブの角度調整装置

クライミング施工は、クライミング足場を配置する空間の確保およびクライミング時のアーチリブの断面力低減のため、図—1に示すように、施工ブロックが補剛桁より下にある場合（1次クライミング）と上にある場合（2次クライミング）とで、アーチリブの設置角度を変えて行う必要がある。

神原溪谷大橋では、写真—4に示す角度調整装置を用いてアーチリブの設置角度を変更した。角度調整装置は、ガイドベースにはさまれた油圧ジャッキおよびスライダが2組と、このスライダに取付ける押し・引き支柱から構成される構造となっている。角度調整は、油圧ジャッキ側およびスライダ側の差し換ピンを交互に取付けることで、800 mmストロークで補剛桁側に約4 m移動できる。なお、アーチリブの角度調整は、各アーチリブにおいて約90分で完了した。



写真—4 アーチリブの角度調整装置

4. アーチリブのロアリング架設

(1) ロアリング架設およびジャッキシステム

神原溪谷大橋では、地形条件によりP1側とP2側でアーチライズが異なるので、ロアリングケーブルの最終張力が同等となるようにクラウン位置を定めている。各アーチリブの重量はP1側9.56 MN、P2側12.11 MNであるが、ロアリングケーブルの最終張力はP1側10.20 MN、P2側10.16 MNである。

ロアリング架設は、地震動や風に対しても安定する回転角度 20° までは引寄せケーブルを併用し（1次ロアリング）、その後はアーチリブ自重のみで所定位置まで降下させた（2次ロアリング）。ここで、引寄せケーブルの張力は、施工中のひび割れ幅が 0.27 mm 以下となるように上下限值を定め、引寄せジャッキの緊張力がこの範囲内になるように管理した。また、ロアリングケーブルの張力が小さいとサグの影響により見かけの伸び剛性が低下すること、さらに、ロアリングジャッキのくさび定着には1鋼線当たり少なくとも15 kNの張力が必要であることなどから、回転角 40° まではケーブル（24S15.2）を2本のみ用い、回転角 40° 以降は全4本を用いた。なお、ロアリングケーブルの許容張力は、架設中のアンバランスなどを考慮して、本橋では $P_a = 0.70 P_u / 1.5$ としている。

ロアリング架設中のアーチリブの曲げモーメント分布の変化（解析値）を、図—3に示す。ロアリング回転角が 40° 以上になると、アーチリブの曲げモーメントは小さくなり、軸方向力が卓越する状態となる。

神原溪谷大橋のロアリング架設では、各施工用アンカー位置の地質条件および交差道路との位置的条件より、P2側を先行してロアリングした後、P1側をロアリングした。時間当たり回転角は、P2側の1次ロアリングでは約 2° 、2次ロアリングでは $2\sim 3^\circ$ 、P1側の1次ロアリングでは約 3° 、2次ロアリングでは $3\sim 5^\circ$ であり、ポンプの起動等の準備を除いて架設に要した

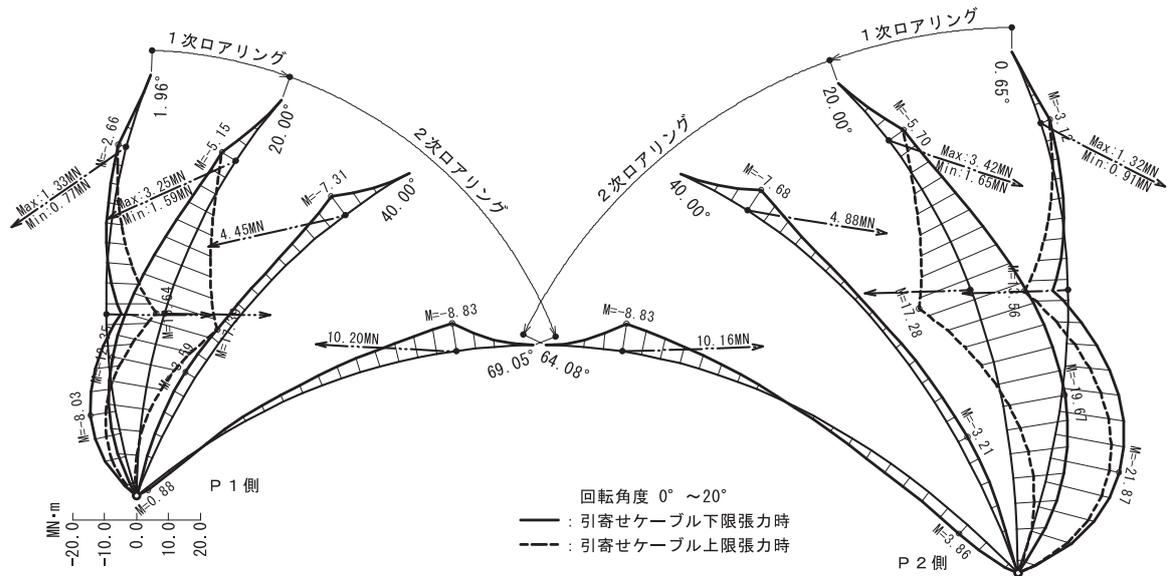


図-3 ロアリング架設時のアーチリブの曲げモーメント変化

総時間は、P2側が約30時間、P1側が約20時間であった。なお、本橋とほぼ同規模のアーチ支間である Argentobel 橋では、片側のアーチリブのロアリングには8日間を要したことが報告されている¹⁾。P2側およびP1側のアーチリブのロアリング状況を、写真-5および写真-6に示す。

ロアリング架設に用いるジャッキシステムを、写真-7に示す。ロアリングジャッキシステムは、1台当り能力8.0MN、最大ストローク300mm（作業スト

ローク200mm）のロアリングジャッキを、写真-8に示す全自動油圧ユニットを用いて2台連動で制御し、ジャッキ前後に配置したオートチャックのくさびによりPC鋼より線を交互に定着し、ロアリングケーブルを送出すシステムとなっている。

(2) ロアリング架設時の計測管理

ロアリング架設では、架設中の構造系が単純構造であることから、一般的にはロアリング回転角とケーブル



写真-5 P2側ロアリング



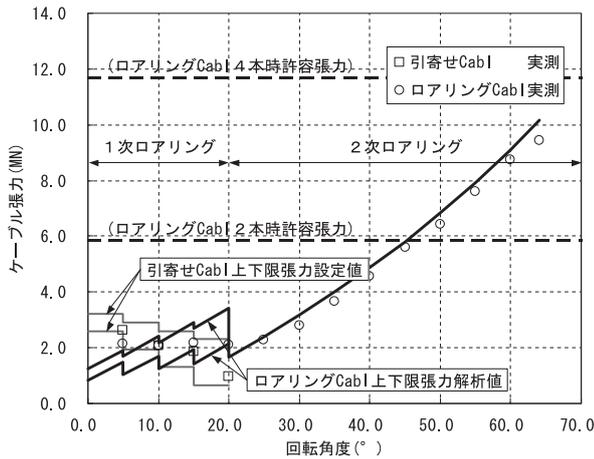
写真-7 ロアリングジャッキシステム



写真-6 P1側ロアリング

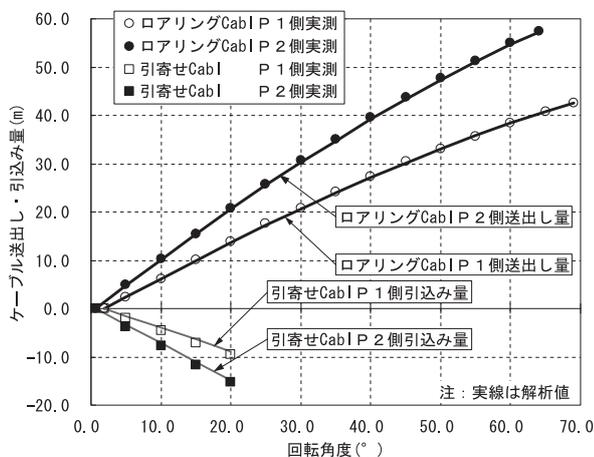


写真-8 全自動油圧ユニット



図一四 アーチリブの回転角とケーブル張力との関係 (P2側)

JCMA



図一五 ケーブル送出し量および引込み量

ケーブル張力およびケーブル送出し量を管理項目としている。神原溪谷大橋でのロアリング回転角とケーブル張力の関係を、図一四に示す。また、ロアリング回転角とロアリングケーブルの送出し量および引寄せケーブルの引込み量との関係を、図一五に示す。

ロアリングケーブルの張力の実測値は、引込みケーブルを併用しない2次ロアリングにおいては、解析値に対して5～10%小さい値となっている。なお、1次ロアリングにおいては、特に回転角が小さい場合に解析値との差が大きくなっているが、これは、マンメータ圧が小さいための測定誤差であると考えられる。また、ケーブルの送出し量および引込み量の実測値は、解析値とよく一致した結果となっている。

なお、ロアリング架設の施工管理において最も重要となるロアリング架設後の両アーチリブ先端の橋軸直角相対誤差は、神原溪谷大橋では17 mmであった。また、ロアリング架設時の橋台の移動量は、P2側が5 mm、P1側が1 mmであった。

5. おわりに

ロアリング工法は、最初に採用された Argentobel 橋での方法に対して¹⁾、ロアリング用回転支承、自走式クライミング足場、1次ロアリング方法、ロアリングジャッキシステムなど、独自に改良を重ねて今日に至っている^{2)～5)}。それらの改良の結果、アーチ支間60～150 mの範囲では、条件によっては最も経済的な架設工法と考えられる。本稿が、ロアリング工法により一層の採用の一助となることを期待するものである。

《参考文献》

- 1) W. Hünleine, M. und P. Ruse, H.: Ein neues Verfahren für den Bau von Bogenbrücken, dargestellt am Bau der Argentobelbrücke, Bauingenieur, 60, pp.478-493, 1985.
- 2) 南波治憲, 諏佐晴夫, 伊東義敏, 金光邦夫: ロアリング工法によるコンクリートアーチ橋一内の倉発電所管理橋一, 橋梁, Vol.24, No.9, pp.2-8, 1988.
- 3) 吉田藤雄, 蔵菌範良, 新鷲光成, 田原文夫: ロアリング工法によるアーチリブの架設, プレストレストコンクリート, Vol.34, No.4, pp.24-32, 1992.
- 4) 岩田洋一, 田辺和夫, 落合勝, 廣瀬茂: ロアリング工法によるアーチリブの架設—三貫目大橋の施工, 橋梁と基礎, Vol.33, No.9, pp.9-15, 1999.
- 5) 深田恵治, 新鷲光成, 手嶋和男, 松下博通: ロアリング工法による神原溪谷大橋の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.36, No.4, pp.7-13, 2002.

【筆者紹介】



角本 周 (つのもと めぐる)
オリエンタル白石(株)
営業本部 事業開発部
事業開発部長



落合 勝 (おちあい まさる)
オリエンタル白石(株)
東京支店 技術部 第一技術チーム
チームリーダー



寺崎 政直 (てらさき まさなお)
オリエンタル白石(株)
福岡支店 工事部 工事チーム
工事長