

## ロアリング工法による神原橋の設計・施工

大分県大野川上流開発事業事務所	深田 恵治
オリエンタル建設・極東工業共同企業体	正会員 新鷲 光成
オリエンタル建設(株)	正会員 手嶋 和男
九州大学大学院	○脇坂 英男
九州大学大学院	正会員 松下 博通

### 1. はじめに

神原橋(図-1)は、大野川上流南部地区広域農道が竹田市南部の神原川を横断する箇所に施工中のコンクリートアーチ橋である。本橋は、ロアリング工法で施工されるコンクリートアーチ橋としては国内最大であり(表-1)、世界的にも Argentobel 橋<sup>1)</sup>(ドイツ:アーチ支間 145m)に次ぐ規模のものである。本報告は、神原橋の設計および施工の概要を述べるとともに、アーチリングのロアリング架設時に実施した各種の計測結果を報告するものである。

表-1 ロアリング工法によるアーチ橋の国内実績

橋名	アーチ支間	架設地点	完成年
内の倉橋 <sup>2)</sup>	37.000 m	新潟県	1988.11
千尋橋 <sup>3)</sup>	60.000 m	鹿児島県	1993. 3
三貫目大橋 <sup>4)</sup>	90.000 m	新潟県	1999. 8
神原橋	135.000 m	大分県	2002. 3 予定

### 2. 設計概要

神原橋の架設地点は、祖母傾国定公園の入口の柱状節理が屹立する美しい神原渓谷に位置することから、祖母山のゲートとしての景観性を考慮してコンクリートアーチ橋が選定されている。さら

に、架設地点の地形・地質条件を踏まえて設計された本橋の特徴には、以下のようなものがある。

(1)左岸側アーチアバットが急崖に囲まれた尾根上に位置することから、基礎の橋軸直角方向の構造寸法が制限される。そこで、アーチスプリング部の断面力を抑えるため、ローゼタイプ(アーチリングは単独で自立可能な最小断面とし、全体剛性を確保するため補剛桁高を定める)のアーチ形式を採用した。

(2)①架設地点はV字峡谷であり計画橋面高が河床より約 80m の位置にあること、②県道を横断すること、③施工用アンカーの設置位置の岩盤が風化作用を受けて軟質化していることなどから、施工方法として、桁下空間の条件に左右されずアーチリング重量も軽減できるロアリング工法を採用した。

(3)地形条件より、P1 側と P2 側のアーチライズが異なる非対称のアーチ形状となった。なお、アーチクラ

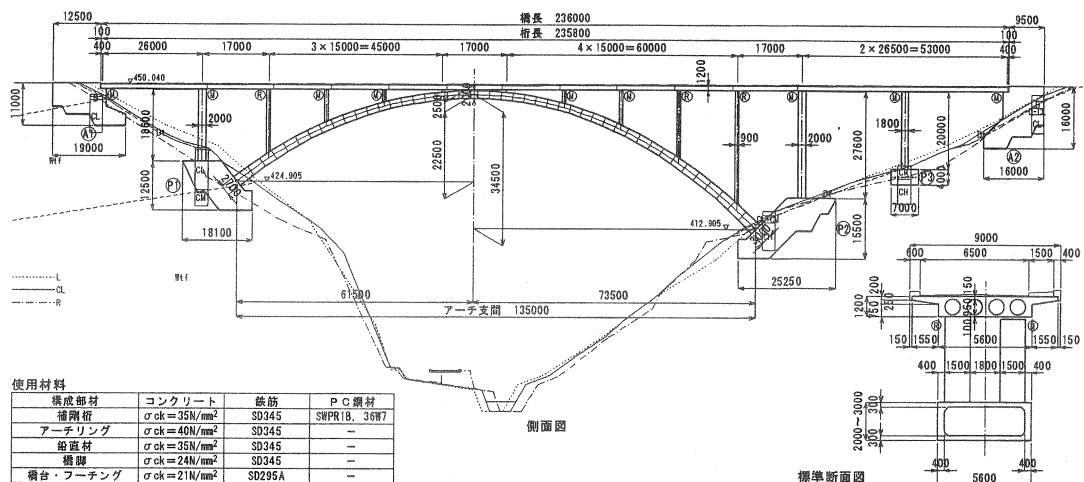


図-1 神原橋一般図

ウン位置は、ロアリングケーブルの最大張力がP1側とP2側とでほぼ同等となるように定めている。

(4)景観性および耐震性から、アーチ橋部の補剛桁と側径間部とを同一断面の連続構造とした。さらに、地震時の慣性力に対する耐力確保、分割施工の打継ぎ位置の耐久性への配慮などから、補剛桁はPC構造とした。なお、緊張時セットロスの影響が固定端側におよぶため、定着工法としてはOSPA工法を用いた。

(5)アーチリングは、レベル2地震動に対する耐震性を確保するとともに、風荷重および地震の影響を考慮しない施工時の荷重組合せに対して、ひび割れ幅制限(0.005C=0.18mm)を満足するように鉄筋を配置した。その結果、標準的な軸方向鉄筋の配置はD25etc125となった。

(6)施工用アンカーとして重力式アンカー方式を採用し、経済性から端部橋台と兼用するものとした。

本橋の橋梁概要を表-2に、施工順序を図-2に示す。

表-2 神原橋橋梁概要

橋名	神原橋(仮称)	アーチ支間	135.000 m
位置	大分県竹田市神原字中角地内	アーチライズ	22.500 m (P1側), 34.500 m (P2側)
橋種	道路橋(B活荷重)	アーチ軸線	ハイパボリック曲線 m=1.75 (P1側), 1.50 (P2側)
構造形式	コンクリート逆ローゼ橋		
基礎形式	直接基礎	施工方法	ロアリング工法(アーチリング) 梁式固定支保工(補剛桁)
橋長	236.000 m		
有効幅員	8.000 m (車道6.500 m, 歩道1.500 m)	上部工工期	1999.12~2002.3.

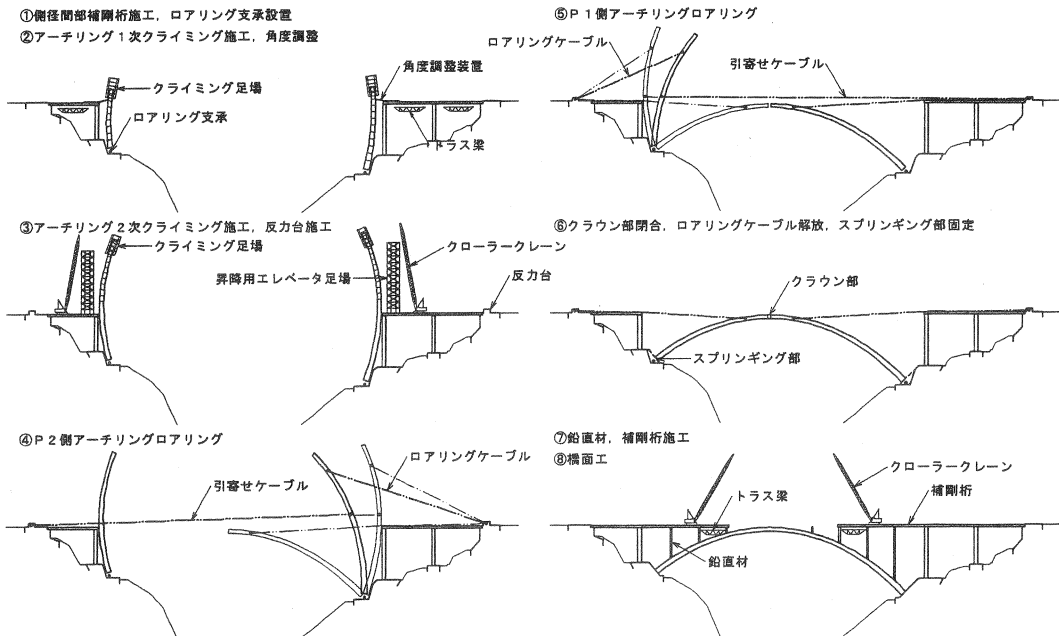


図-2 神原橋施工順序

### 3. アーチリングのクライミング施工

#### (1)クライミング施工

ロアリング工法では、図-2に示すように、まずクラウン部で2分割したアーチリングを各アーチアバット上で鉛直方向に施工する。ここで、まず各アーチリングは、ロアリング用回転支承を設置後、支保工によりスプリング部の2ブロックを施工した。その後は、自走式のクライミング足場<sup>4)</sup>を用いて、4.0~3.0mの施工ブロック(完成系で橋軸方向に3.0m間隔)を順次施工した。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ング先端は、最終的にロアリング用回転支承から、P1側で約66m、P2側で約82mの高さとなる。

施工は、支保工により施工したスプリングは2ブロックで約60日、また、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。アーチリングのクライミング施工は、平成12年5月に開始して、P1側が平成13年1月末に、P2側が同2月中旬に完了した。

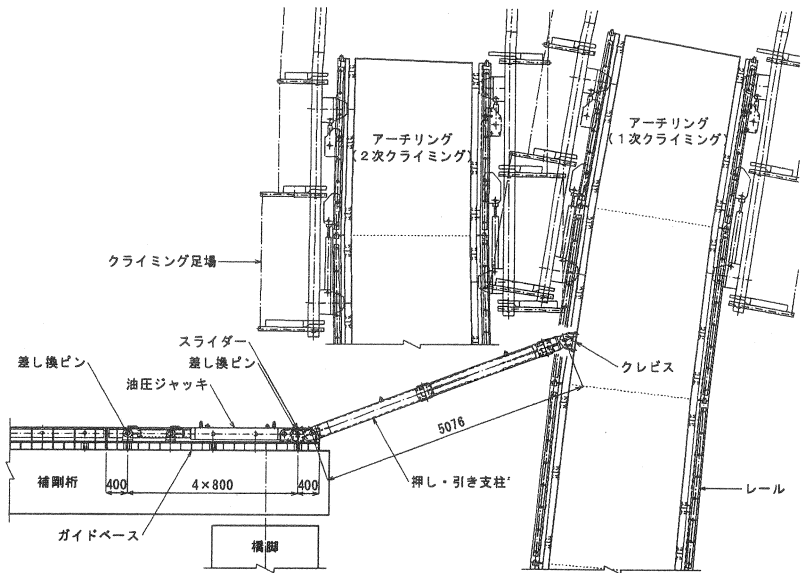


図-3 クライミング角度調整装置

## (2)アーチリングの角度調整装置

アーチリングの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におけるアーチリングの断面力低減のため、図-2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、アーチリングの設置角度を変えて行う必要がある。

本橋では、P1側で9ブロック、P2側で12ブロック施工後に、図-3に示す角度調整装置を用いてアーチリングの設置角度を変更した。角度調整装置は、I型のガイドベースにはさまれた800kN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ることで、800mmストロークで補剛桁側に約4m移動できる。なお、アーチリングの角度調整は、各アーチリングにおいて約90分で完了した。

## 4. アーチリングのロアリング架設

### (1)ロアリングケーブル定着部

従来、ロアリングケーブルの定着部は、箱形断面内に定着ブロックおよび横桁を設ける構造とし、ロアリングケーブルは4本並列に定着している<sup>4)</sup>。これに対して、本橋では施工性向上の点から、図-4に示すようにケーブルを定着するブロックのみ1室箱形断面のウェブ厚を650mm増厚して、両ウェブに縦2段で定着する方法を採用した。ここで、定着部は図-5に示す3次元FEM解析を行い、設計上のひび割れ幅がひび割れ幅制限(0.005C=0.18mm)以下となるように補強鉄筋を配置した。また、ロアリング架設時の角度変化に対応するようにトランペット型鋼管をケーブル出口に配置しているが、後述するように内側ケーブルは回転角40°から用いるため、外側ケーブルに比べて出口は小さい広角の構造としている。

### (2)ロアリング架設

本橋では、前述したように地形条件によりP1側とP2側でアーチライズが異なるが、ロアリングケーブルの最終張力は同等となるようにクラウン位置を定めている。各アーチリングの重量はP1側9560kN、P2側12110kNであるが、ロアリングケーブルの最終張力はP1側10200kN、P2側10160kN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、その後

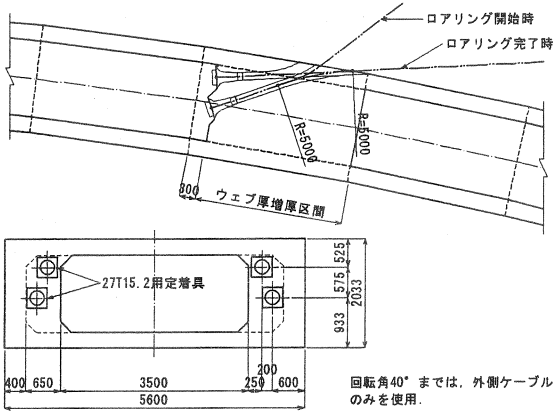


図-4 ロアリングケーブル定着部

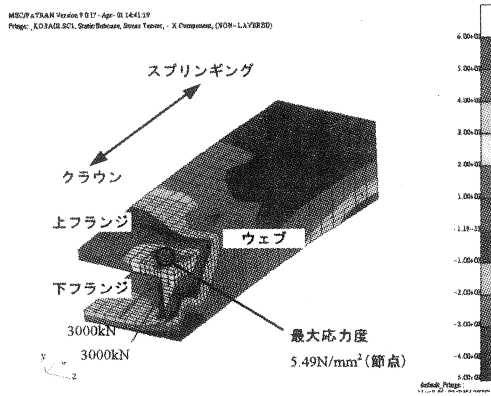
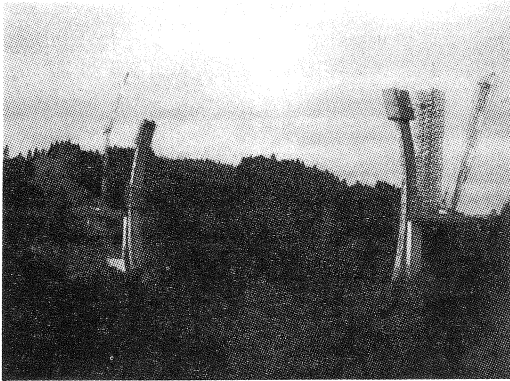
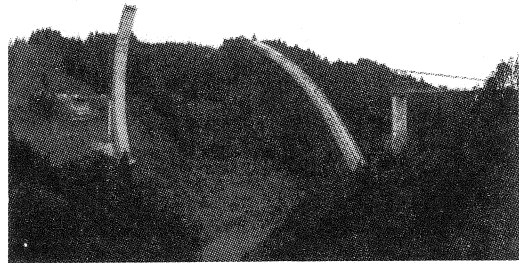


図-5 定着部FEM解析結果

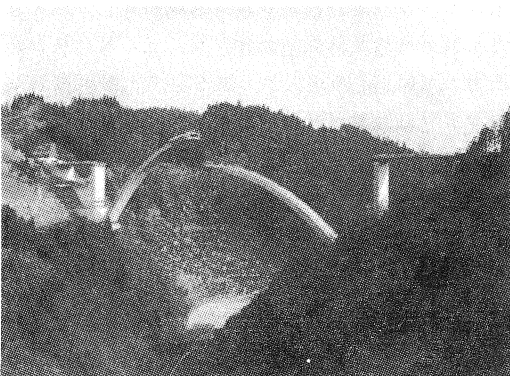
はアーチリング自重のみで所定位置まで降下させた。ここで、引寄せケーブルの張力は、施工中のひび割れ幅制限を満足するように上下限値を定め、引寄せジャッキのマノメータ圧がこの上下限値の範囲内になるように管理した。また、ローリングケーブルは、張力が小さいとサグの影響により見かけの伸び剛性が低下するので、回転角  $40^\circ$  までは外側ケーブル (24S15.2) を2本のみ使い、回転角  $40^\circ$  以降は全4本を用いた (図-7参照)。なお、ローリングケーブルの許容張力は、架設中のアンバランスなどを考慮して、本橋では  $P_a = 0.467P_u$  としている (全4本で  $11697\text{kN}$ )。



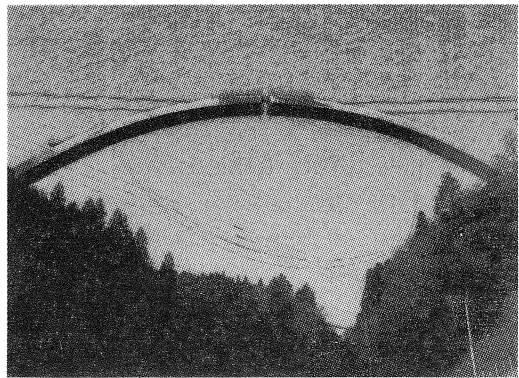
(a) 2次クライミング施工完了



(b) P2側アーチリングローリング中



(c) P1側アーチリングローリング中



(d) ロアリング架設完了

写真-1 アーチリングのローリング架設状況

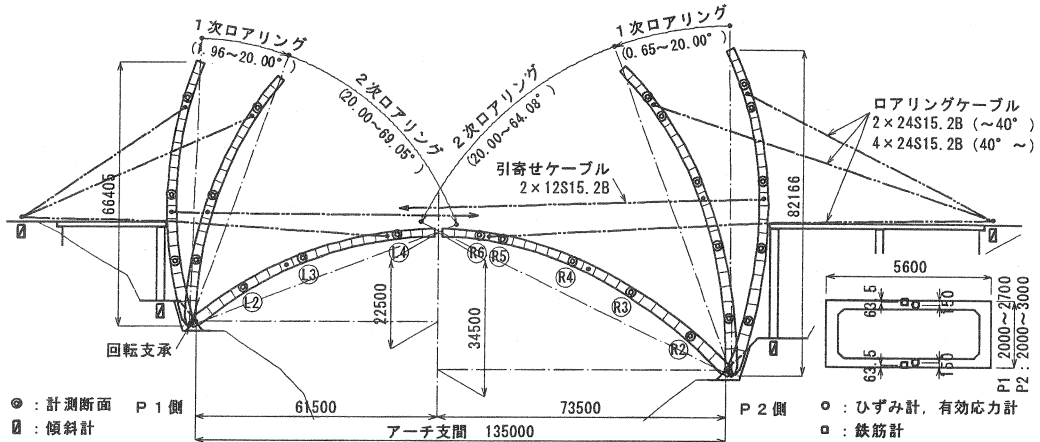


図-6 ロアリング架設概要および計測概要

ロアリング架設は、各施工用アンカー位置の地質条件および交差する県道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 $2^\circ$ 、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 $3^\circ$ 、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総時間は、P2側が約30時間、P1側が約20時間であった。また、ロアリング工法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ング先端の橋軸直角相対誤差は、17mmであった。なお、ロアリング架設時の橋台の移動量は、P2側が5mm、P1側が1mmであった。

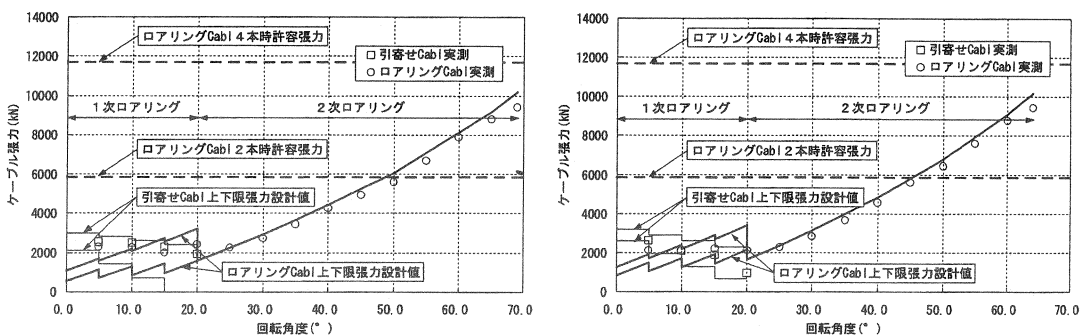
本橋のロアリング架設状況を写真-1に、ロアリング架設の概要を図-6に示す。

### (3) ロアリング架設時の計測管理

本橋では、アーチ支間がロアリング工法としての適用支間の上限に近いことから、ロアリング架設での一般的な計測管理に加えて、図-6に付記する各種の計測を実施し、設計方法の妥当性の検討を行っている。

ロアリング架設時の一般的な計測管理項目として、ロアリング回転角とケーブル張力との関係を、図-7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-8に示す。ここで、ケーブル張力の実測値は、ロアリングジャッキおよび引込みジャッキのマノメータ圧より、定着部の摩擦ロス等を考慮して算出している。

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、設計値に対して $5\sim 10\%$ 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設計値との差が大きくなっているが、これは、マノメータ圧が小さいための測定誤差であると考えられる。ケ



(a) P1側アーチリング

(b) P2側アーチリング

図-7 アーチリングの回転角とケーブル張力との関係

ケーブルの送出し量および引込み量の実測値は、設計値に対してそれぞれ2%および5%程度大きい値となっている。ロアリング工法は架設中の構造系が単純なことから、ケーブル張力およびケーブル送出し・引込み量ともに実測値と設計値はよく一致した結果となった。

図-6に示す計測のうち、ロアリング回転角と引寄せケーブル定着位置近く(測点L3およびR4)のアーチリングのコンクリート応力度との関係を、図-9に示す。ここで、コンクリート応力度の実測値

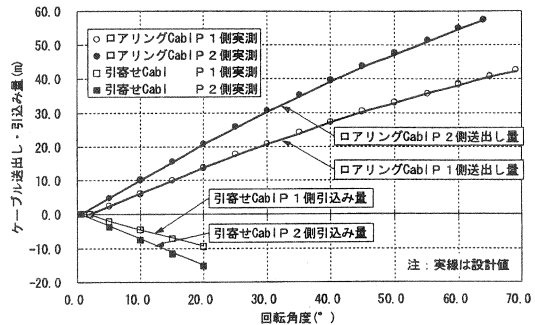
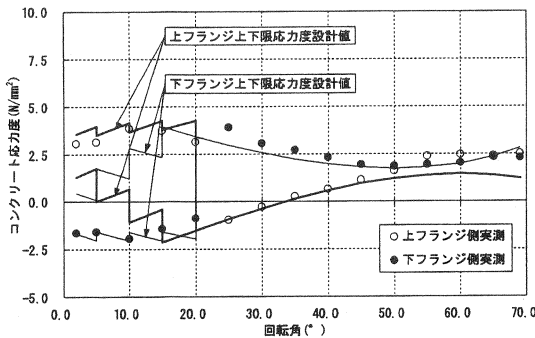
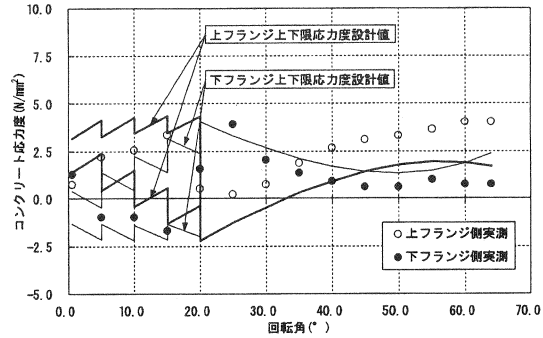


図-8 ケーブル送出し量および引込み量



(a) P 1側アーチリング [測点L3]



(b) P 2側アーチリング [測点R4]

図-9 アーチリングの回転角とコンクリート応力度

は、有効応力計の測定値にはロアリング架設時までの収縮等に対する鉄筋拘束の影響が含まれているため、回転角 20° における応力度の計算値(引寄せケーブル張力の実測値をもとに算出)でキャリブレーションして示している。P1 側の実測値は、設計値とほぼ一致した結果となっている。また P2 側の実測値は設計値に比べて曲げ応力が大きい傾向を示しているが、回転角に対する応力度の変動量は設計値とほぼ一致した結果となっている。

### 5. おわりに

本橋は、クラウン部閉合コンクリート打設直後に芸予地震で震度4相当の地震動が作用したが、損傷等は生じておらず、引き続き鉛直材および補剛桁の施工を行っている。本橋の施工により、ロアリング工法は実質的にアーチ支間150mまで(P2側)の実績を国内でも得ることができ、また、その施工方法もほぼ確立することができたものと考えている。ロアリング工法は、アーチ支間60~150mの範囲では、条件によっては最も経済的な架設工法となるので、今後、より一層の採用を期待するものである。

なお、本橋のロアリング架設については極東鋼弦コンクリート振興会の、クライミング施工については巴機械工業㈱の多大なご尽力、ご協力をいただいている。ここに、紙面をお借りして深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 海外文献調査グループ: Argentobel 橋の新しいアーチ橋架設工法, 橋梁と基礎, 1986.
- 2) 南波・諏佐・伊東・金光: ロアリング工法によるコンクリートアーチ橋, 橋梁, 1988.
- 3) 吉田・蔵菌・新鷲・田原: ロアリング工法によるアーチリングの架設, プレストレストコンクリート, 1992.
- 4) 岩田・田辺・落合・廣瀬: ロアリング工法によるアーチ橋の施工, プレストレストコンクリート, 1999.