

(75) ロアリング工法による霧積川橋りょう(方杖ラーメン橋)の施工と管理

日本鉄道建設公団	東 博 秋
住友建設株式会社	正会員 鈴木 直
同 上	正会員 緒方 滋
同 上	正会員 ○細野 宏 巳

1. はじめに

ロアリング(Lowering)工法とは、構造物を施工が容易な状態で構築し、PCケーブルを利用して、徐々に所定の位置まで回転降下させる施工法である。本工法は、大規模な足場や支保工を必要としないため、架橋地点の地形条件に左右されず、経済性、施工性および安全性にすぐれた施工法である。

この工法は、国内・海外を含めて数橋のアーチ橋で採用しているが、方杖ラーメン橋の橋脚施工に採用したのは、霧積川橋りょう(写真-1)が世界で初めてである。

本橋とアーチ橋での施工の違いは、

- (1) ロアリング終了時に安定構造とならず、ケーブルに保持されたままの不安定な状態が続くこと。
- (2) 回転角度が小さいことから、ロアリングステップ数が少ないこと。
- (3) ロアリングケーブルをほぼ水平に配置することが可能なため、ケーブル張力が回転角度に対してほぼ直線的に変化すること。

である。

以上を前提において、ここでは、その施工と管理を中心に報告する。

- なお、本橋の設計および景観については、文献1) 2)を参考にされたい。

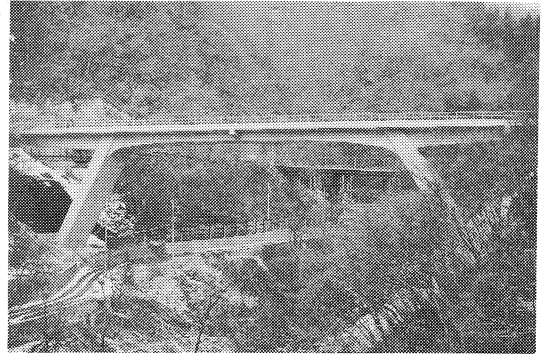


写真-1 完成写真

2. 工事概要

霧積川橋りょうは、北陸新幹線高崎～軽井沢間に位置する一級河川霧積川に架かる3径間連続方杖ラーメン橋である。全体一般図を図-1に示す。

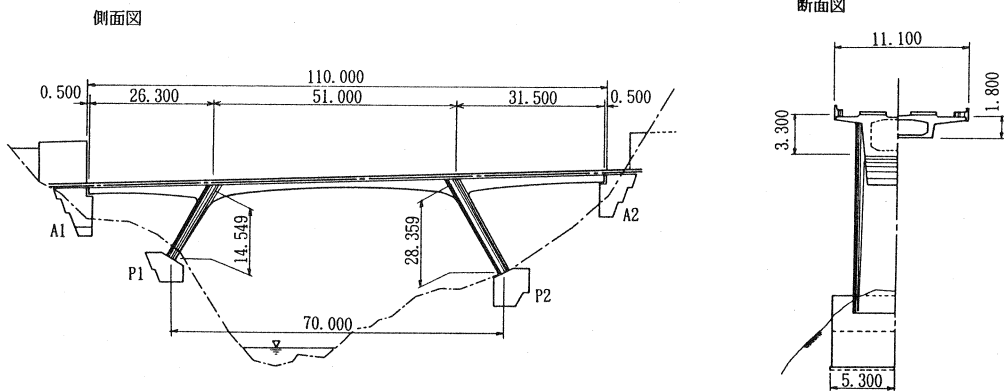


図-1 全体一般図

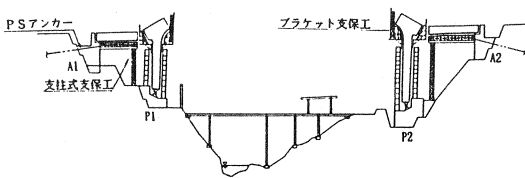
本橋架橋地点が、上信越高原国立公園内のV字渓谷地にあることから、景観および河川環境保護を考慮して、方柱ラーメン橋を採用した。国内の長径間鉄道橋で、この形式の橋りょうを採用したことは初めてのことである。

本橋の施工要領図を、図-2に示す。

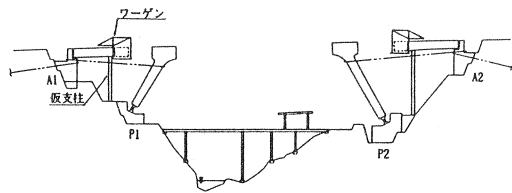
ロアリング時および張出し施工時に発生する負反力は、橋台に配置したPSアンカーに負担させている。側径間部が急峻な地形を呈していることから、極力支保工施工範囲を減らし、またロアリングケーブルによる橋脚保持期間を短縮するため、支保工部と橋脚鉛直施工部とは同時施工を行い、ロアリング完了後、橋台側よりの逆張出し施工も行った。

側径間連結、ロアリングケーブル解放後、ワーゲンはそのまま橋脚を通過して中央径間の張出し施工を行った。

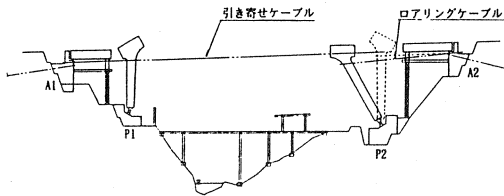
① 橋脚鉛直施工および側径間支保工施工



③ 側径間逆張出し施工



② ロアリング施工



④ 中央径間施工

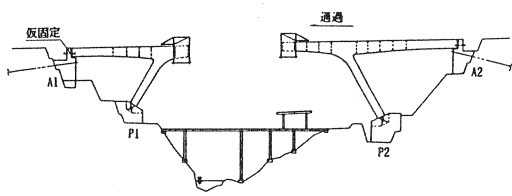


図-2 施工要領図

3. ロアリング施工と管理

3.1 ロアリング施工概要

ロアリングケーブル配置図を図-3に示す。

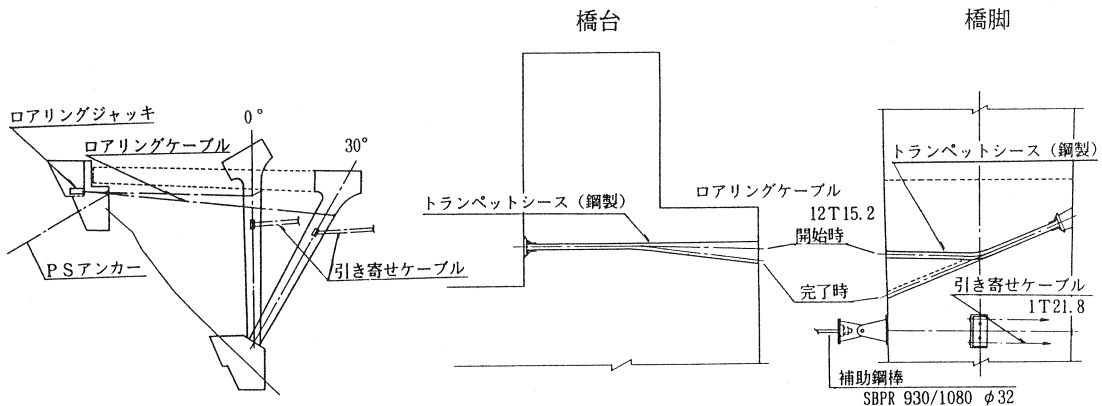


図-3 ロアリングケーブル配置図

ロアリングケーブルには、PC鋼より線12T15.2mmを4本使用し、引き寄せケーブルには、1T21.8mmを2本使用した。

ロアリングジャッキ(写真-2)は、ロアリングシステムジャッキ:SF-MR(F.K.K)を使用した。

1回の回転降下作業によるストローク量(1サイクルストローク量)は、ジャッキ能力と盛り替えに必要な余長を考慮して最大20cmと設定した。

3.2 橋脚鉛直施工

ロアリング施工時に最も懸念されることは、橋脚に生じるねじれであり、その要因の1つとして、左右2点支承の据付け誤差による支承軸心のずれが考えられた。

左右2点支承の軸心を一致させるため、2支承を貫くピンを製作し、支承をセットした(写真-3)。

橋脚第1ロットは、支承回転精度の確認の意味も含めて、橋脚回転降下後の位置(所定の橋脚位置)にて配筋・型枠組立て作業を行い、スムーズに回転することを確認しながら鉛直に引き起こし、コンクリート打設後、橋脚フーチングと仮固定した。

3.3 ロアリングケーブル1次緊張および引き寄せケーブル1次・2次緊張

仮固定鋼棒の解放およびそれに伴う安定の確保、サグ取りを目的として双方のケーブルの緊張を行う。

双方のケーブル緊張力は、以下の項目を考慮して決定した。

- (1) 仮固定鋼棒に張力が発生しないこと。
- (2) ロアリングケーブル緊張時に、橋脚フーチングに作用する側径間側への転倒モーメントの発生を極力抑えること。
- (3) ロアリングジャッキが倒れない程度の張力を保っていること。(ジャッキの偏心防止)

仮固定鋼棒の解放は、鋼棒緊張力が増加していないこと(鋼棒に負反力が働いていないこと)を確認しながら、順次解放した。

1次緊張では、橋脚は橋台側に引き寄せられているため、引き寄せケーブルの2次緊張を行い、橋脚の中央径間側への移動を開始した。

3.4 回転降下施工

ロアリングケーブルの送り出し(写真-4)、引き寄せケーブルの緊張を交互に繰り返し、回転降下を行った。

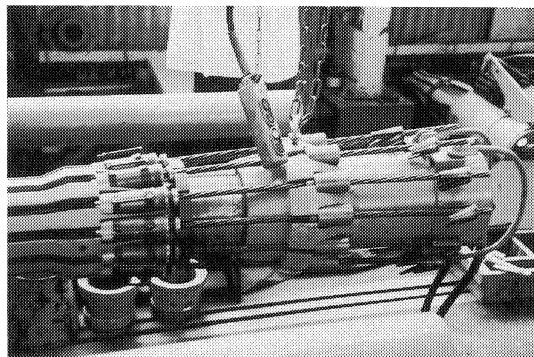


写真-2 ロアリングジャッキ

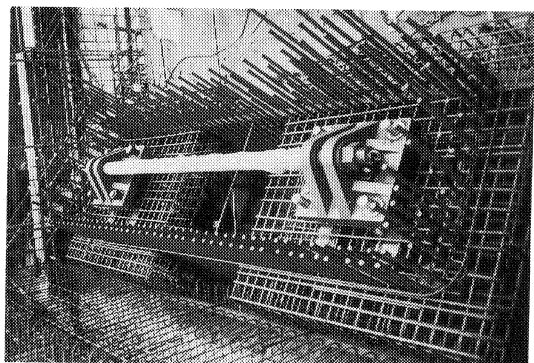


写真-3 ピンによる支承配置

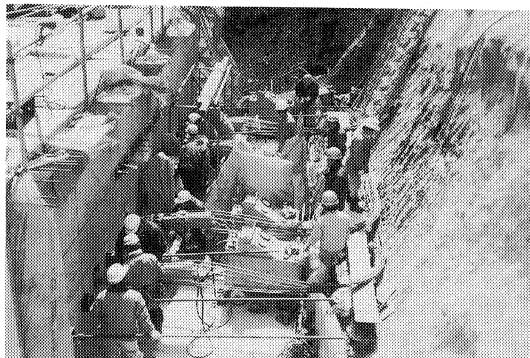


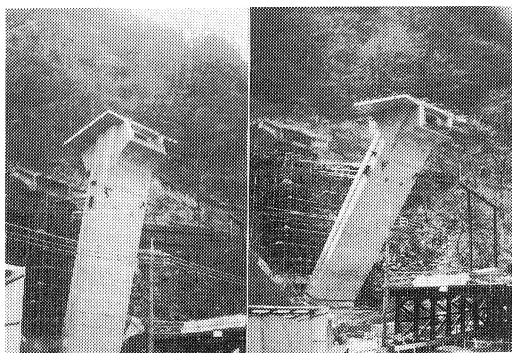
写真-4 ロアリング施工状況

橋脚に生じるねじれの要因の1つに、左右のロアリングケーブルに発生する張力差が考えられた。

橋脚のねじれ耐力により決まる左右張力差の限界値(±35.0tf)に対し、施工管理値(±25.0tf)を設定した。

さらに左右の橋脚相対許容変位量(5cm)に対して、1回の計測、管理を行うストローク量(1ステップストローク量)を5cm以下に設定すべきであるから、作業効率を考慮し、最大値の5cmと設定した。

またケーブル張力に発生するばらつきを考慮して、回転降下施工を2ステージに分け、各々の1サイクルストローク量の設定を行った。



第1ステージ 第2ステージ

写真-5 橋脚回転状況

3.4.1 第1ステージ(鉛直 $\theta=7.5$ 度)

橋脚が自重の回転方向分力により地震が発生しても側径間側に戻らない位置($\theta=7.5$ 度)までを第1ステージ(写真-5)として、ロアリングジャッキの1サイクルストローク量を15cmと設定した。

1サイクルは、3ステップからなる。

第1ステージでの1サイクルストローク量の設定は、以下の項目を考慮して決定した。

- (1) 橋脚自重によりケーブルに作用する張力が小さいため、ケーブルのたるみやジャッキの偏心(自立しない張力状態になる)が発生しないこと。
- (2) 橋脚自重によりケーブルに作用する張力が、支承の摩擦などで確実に伝わらない場合や、引き寄せケーブルの引込みが遅れる場合などにより、各ケーブル張力のばらつきが発生しないこと。

3.4.2 回転降下第2ステージ($\theta=7.5$ 度~最終位置)

最終位置(写真-5)までは、橋脚自重によりケーブルに発生する張力が確実に伝わるため、張力のばらつきが極力抑えられることから、1サイクルストローク量を最大設定値の20cm(4ステップ)とした。

最終引き止め位置は、定着具のセットロス、側径間が連結するまでに生じるコンクリートのクリープ変形、ケーブルのリラクセーションおよび温度変化を考慮し決定した。

3.5 ロアリング作業終了後

ロアリングケーブルは、ロアリング終了後、約2ヶ月の放置されることになる。

ケーブルはジャッキ定着によるきずが残っている部分があるため、耐力低下を考え、許容張力を $0.4\sigma_{pu}$ としているが、さらにケーブルの防護と温度変化を最小限に防ぐために発泡スチロールにより被覆した。

風による振動に対しては、ロープによるケーブル相互緊結により対処した。

また、ケーブル上でのワーゲン作業に備えて、防護工を設置した。

ケーブル定着具は、振動などによる定着具のゆるみ防止と連結後のケーブル解放作業に備えて、オスコーン押さえを施し、防錆処理後、木箱により養生した。

4. 計測

4.1 計測項目の設定

ロアリング工法は施工実績も少なく、また本橋のように高重量かつ重心の高い構造物を施工した例もないことから、橋脚、ロアリングケーブルおよび橋台の挙動を可能な限り把握できるように計測項目の設定を行った。

ロアリング時の計測項目を以下に示す。

- ① ロアリングステップと橋脚回転角度の関係
- ② 橋脚回転角度とロアリングケーブル抜け出し量の関係
- ③ 橋脚回転角度とロアリングケーブル張力、引き寄せケーブル張力の関係
- ④ 橋脚回転角度とロアリング沓応力の関係
- ⑤ 橋脚回転角度と橋台の傾斜角の関係
橋脚回転角度とフーチングの傾斜角の関係
橋脚回転角度とP Sアンカー張力の関係
- ⑥ 橋脚回転角度とロアリングケーブル上・下流の張力差(橋脚のねじれ管理)
これらの計測項目を、すべてパソコンモニターで管理できるようにリアルタイムシステムを作成し、計測を行った。

本橋の計測計器配置図を図-4に示す。

4.2 計測結果

計測結果の一部を、図-5に示す。

最も懸念していた橋脚のねじれの要因である左右ケーブルの張力差については、橋脚の剛性が高いせいとか、わずかのストローク差が張力に反映されるため、慎重に左右張力差の管理を行った結果、最大7tfに抑えられ、回転角度に対する張力の推移も良好で、全く問題なく回転降下した。

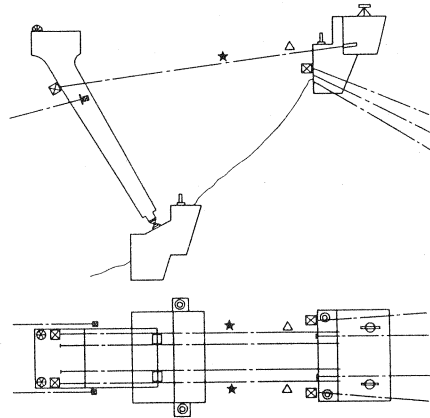
橋台・フーチングの傾斜、変形についても、全く問題はなかった。

最終引き止め位置については、レベルによる橋面高さ測量と、光波距離計による橋軸方向距離測定を併用して、ロアリング完了時では、最終引き止め位置に橋面高さおよび橋軸方向距離とも高い精度で引き止められた。

さらに側径間連結時には、最終位置に対して、橋面高さおよび橋軸方向距離とも、計算値に対して2~3mmの精度で収まっており、予備計算の妥当性を確認している。

ロアリング施工においては、前述した管理項目について、実測値と計算値との整合性および施工時の安全性が確認された。

また、張出し施工時の橋脚下端応力変動や、側径間端部と橋台との結合状態(P Sアンカーの張力変動)を確認するために、施工時においても計測を実施し、良好な結果を得ている。



使用計器と数量表

記号	記号	位置	仕様
	角度計	橋脚上側	±45度
	光波距離計	橋台	
	ロードセル1	PSアンカー	200Ton
	ロードセル2	ロアリングケーブル	200Ton
	ロードセル3	引き寄せケーブル	50Ton
	傾斜計	橋台	±1度
	傾斜計	フーチング	±1度
	巻尺式変位計	ロアリングケーブル	2000m/m
	温度計	ロアリングケーブル	100m
	歪ゲージ	ロアリング用器	4ゲージ

図-4 計測機器配置図

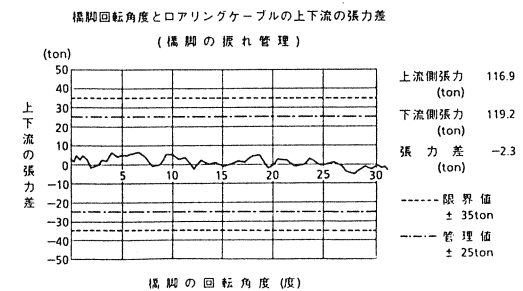
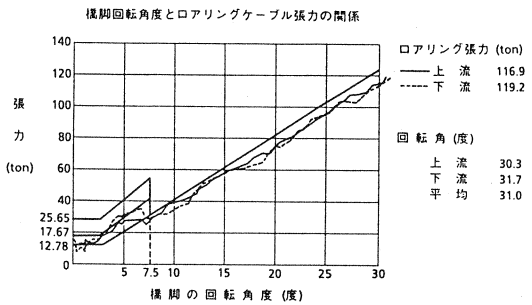


図-5 計測結果

5. 今後への改善点

本橋のロアリング施工においては十分に良好な結果を得ているが、今回の施工・管理および計測の結果を踏まえて、今後、同様な橋りょうの施工を行う場合には、以下のような改善点があると考えている。

(1) 柱頭部が30度傾斜した状態での施工となったため、型枠組立て作業のための高さ管理が難しく、コンクリート打設の施工性が悪い。

本橋では、上床版のコンクリート打設に布型枠を全面使用し、橋面の水平精度を上げている。

例えば、柱頭部施工用の架設作業車の開発や、プレキャストブロックの採用などにより柱頭部の施工を容易にすることが可能である。

(2) 計測項目については、4.1で挙げた①～⑥の計測項目のうち、以下の項目は変更および縮小できると考えている。

①のロアリングステップと橋脚回転角度の関係は、各角度での張力管理幅の設定が同じにならないことがあるため、②で管理することができる。

③の引き寄せケーブルの張力管理については、ポンプのマノメーターで管理できる。

6. おわりに

本橋のロアリング施工は平成5年4月から5月にかけて、多くの見学者のもとで無事終了し、平成5年10月には中央径間閉合を行い、平成6年3月に無事竣工した。

また平成6年7月には、本橋の設計手法の妥当性および構造物の安全性を確認するために実橋載荷試験を実施した。この試験結果の報告は次回の機会に委ねることとするが、計測値と計算値の整合性が高く、本橋設計方針の妥当性と、設計荷重に対する橋体の安全性が確認できた。

方杖ラーメン橋は、構造の優位性は認められているものの、施工上の難点より、全支保工が可能な緩斜面や小規模な形式のみに多く採用されてきた。

しかし、本工法の成功は、今後の方杖ラーメン橋の適用範囲の拡大に貢献するものと考えている。

今後、山岳地の多いわが国ではさらに過酷な施工条件が要求されることが考えられるが、本工法が、こうした地形での施工法の1つとして何らかの一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 友田孝・東博秋：ロアリング工法による方杖ラーメン橋の施工概要，土木施工，33巻11号 1992.11
- 2) 熊耳哲雄・高橋良雄：霧積川橋梁の設計・施工と景観，橋梁，1993.11