

河川環境に配慮したアーチ橋の設計・施工

— 天城北道路 矢熊大橋 —

小見山 公孝*1・町 勉*2・紙永 祐紀*3・中川 健司*4

本橋は、中伊豆地域の渋滞緩和と緊急輸送道路の機能強化を目的とした天城北道路のうち、伊豆市矢熊を起点とし伊豆修善寺に至る自動車専用道路で、月ヶ瀬インターチェンジの一部をなす橋梁工事である。将来的には、下田市まで延伸する本線と接続するため、道路幅員は31.5 mから11.5 mと大きく変化する。鮎釣りが盛んな清流である狩野川を渡河する橋梁であり、河川条件を考慮した施工性、経済性などからRC固定アーチ橋を採用し、良好な自然環境や観光資源との共生を目的に、景観アドバイザーの監修により景観に配慮した設計を行った。また、施工においては、架橋地点が比較的平坦な地形であることから、アーチリブの施工においては、軽量の鋼メラン材を用いたロアリング架設工法を採用することで、下部構造をアンカー設備に利用することを可能とし、仮設材の使用量を低減した。

キーワード：RC 固定アーチ、メラン材、ロアリング工法、新メラン工法

1. はじめに

本橋は、静岡県沼津市から下田市までを縦断する伊豆縦貫自動車道（延長約60 km）の一部である天城北道路（延長6.7 km）の南端に位置する国道414号線に接続するランプ橋である（図-1）。将来的には、下田市まで延伸する本線と接続するため、平面曲線の半径が小さく、幅員が31.5 mから11.5 mと大きく変化する特徴がある。

本橋は、年間を通じて鮎やアマゴなどの魚釣りが盛んな狩野川を渡河する橋梁であるため、施工時、完成時において河川環境に配慮する必要がある。そのため、本橋の構造には、河川内に橋脚を設置する必要がない上路式RC固定アーチ橋を採用した（写真-1）。橋面形状の曲線と幅員変化に対応するため、アーチリブ、鉛直材、補剛桁の設計においては、構造的、景観性に配慮した対応にこわえて、自重と活荷重による大きなねじりモーメントに対応した設計を行った。

アーチリブの施工では、アーチリブの基部を中心にワイヤーやPCケーブルなどを用いて所定の位置までアーチリブを回転・降下させて閉合するロアリング工法を採用し、施工時においても河川に影響を与えない施工を可能とした。

また、本橋の架橋地点は、比較的平坦な地形であることから、軽量の鋼メラン材を用いたロアリング架設工法を採用することで、下部構造をアンカー設備に利用することを可能とし、仮設材の使用量を低減した。

本稿では、施工時および完成時にわたり狩野川の河川環境に配慮した上路式RC固定アーチ橋の設計・施工について報告する。

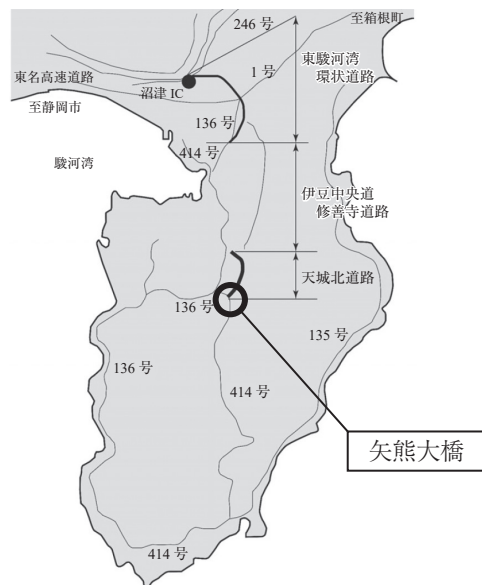


図-1 橋梁位置図

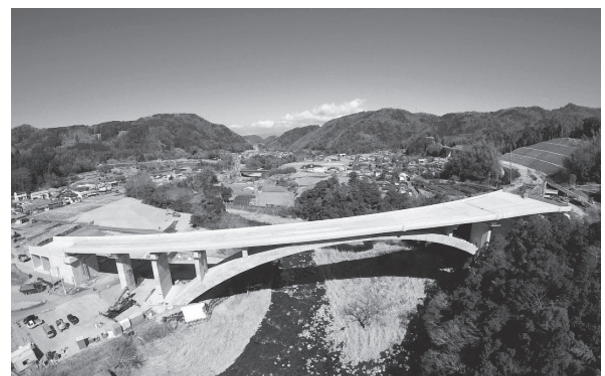


写真-1 矢熊大橋完成全景

*1 Kimitaka KOMIYAMA：国土交通省 中部地方整備局 沼津河川国道事務所

*2 Tsutomu MACHI：大日コンサルタント(株) コンサルタント事業部 橋梁構造部

*3 Yuki KAMINAGA：三井住友建設(株) 土木本部 橋梁構造設計部

*4 Takeshi NAKAGAWA：三井住友建設(株) 中部支部

2. 工事概要

工事概要を表 - 1 に、全体一般図を図 - 2 に示す。

表 - 1 工事概要

工 事 名	平成 27 年度 天城北道路 狩野川横断高架橋上部工事
工事場所	静岡県伊豆市矢熊～月ヶ瀬
工 期	平成 27 年 7 月 4 日～平成 30 年 2 月 28 日
構造形式	上路式 RC 固定アーチ橋
橋 長	171.0 m (アーチ支間長：110 m)
有効幅員	31.5 m (P2 橋脚)～11.5 m (A2 橋台)
縦断勾配	8.0 % ↘
横断勾配	2.0 % ↙ ↘ ～ 2.0 % ↘

3. 設 計

3.1 橋梁形式選定

橋梁形式は、河川条件を満足する橋脚を設けることができる鋼 3 径間連続箱桁橋案、河川内に橋脚を設ける必要が無い RC 固定アーチ橋案、および PC 方杖ラーメン箱桁橋案を比較し、河川内に仮橋脚が不要で通年施工が可能となり、施工性と経済性に優れた RC 固定アーチ橋案を採用した。

3.2 基礎の設計

アーチアバットの基礎は、CL 級の硬い安山岩を支持層とする深礎杭とし、幅員が広い AA1 橋台は $\phi 4.0 \text{ m} \times 6$ 本の組杭深礎を、標準幅員の AA2 橋台は $\phi 10 \text{ m}$ の柱状体深礎を採用した。

3.3 アーチリブの設計

本橋の平面線形は、曲線を有するうえに総幅員が 34.5 m から 12.7 m と大きく変化する。このため、アーチリブは、補剛桁の自重と活荷重の偏載荷によるねじりモーメントへの抵抗性を高めるため、橋面の幅内で可能なかぎり幅を広げ、かつ施工性に配慮して直線で配置した。アーチリブの高さは、維持管理のための最小空間を確保しつつ、景観に配慮して 2.5 m とした。

橋梁全体系の耐震性能照査は、アーチリブの軸力変動を考慮するためにファイバー要素を用いた 3 次元非線形動的解析を行った。アーチリブのように常時において高軸力が作用し、地震時の軸力変動が大きい部材は、その動的特性がまだ十分に把握されていないことから、一般には塑性化を考慮しないのがよい。本橋においては、軸方向鉄筋に SD490 の高強度鉄筋を使用することで、降伏曲率未滿に抑えることを基本とした。

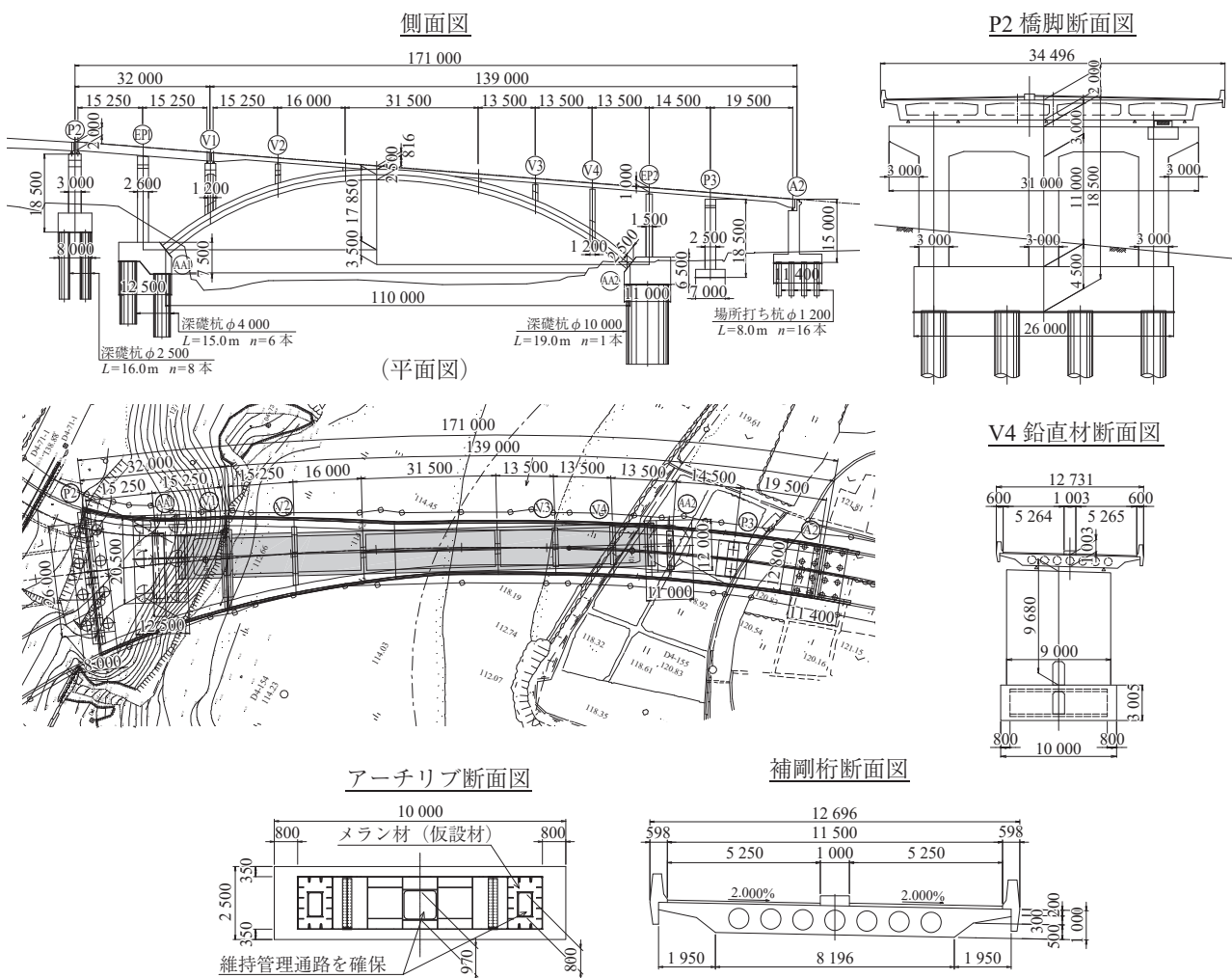


図 - 2 全体一般図およびアーチリブ・補剛桁断面図

3.4 補剛桁の設計

RC 上路式アーチ橋の補剛桁は、実績調査の結果、PC 中空床版橋、PC 箱桁などの形式が採用されることが多い。一方、本橋の橋面形状はランプ合流を伴い、平面曲線を有してかつ著しく拡幅する特徴があり、その形状への対応が課題であった。

本橋では、軽量でかつ幅員変化への対応が比較的容易な PC 中空床版とした基本案に対し、幅員変化量大きい P2 - V1 間は、桁高を高くすることでねじりモーメントに対する抵抗性を高めるため PC 箱桁を採用した（図 - 3）。なお、PC 箱桁部の桁高は、箱桁内部の維持管理のための最小空間を確保するため 2.0 m とした。

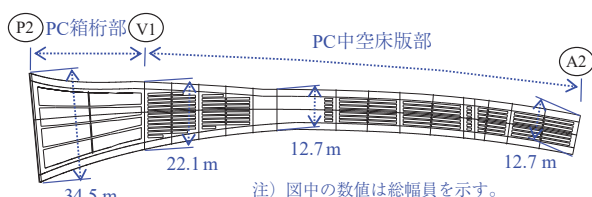


図 - 3 補剛桁の平面形状と構造形式

幅員の広い PC 箱桁部は、新旧コンクリートの材齢差による温度ひび割れを発生させないため、打継目を設けず固定支保工による一括施工とした。一方、PC 中空床版部は、一日のコンクリート打設量から分割施工としたが、比較的幅員の広い V2 付近の打継目に対しては、3 次元 FEM による温度応力解析を行った。解析の結果、ひび割れ指数が 1.0 未満となったことから、ひび割れ対策として横締め PC 鋼材を配置してプレストレスを導入した（図 - 4）。

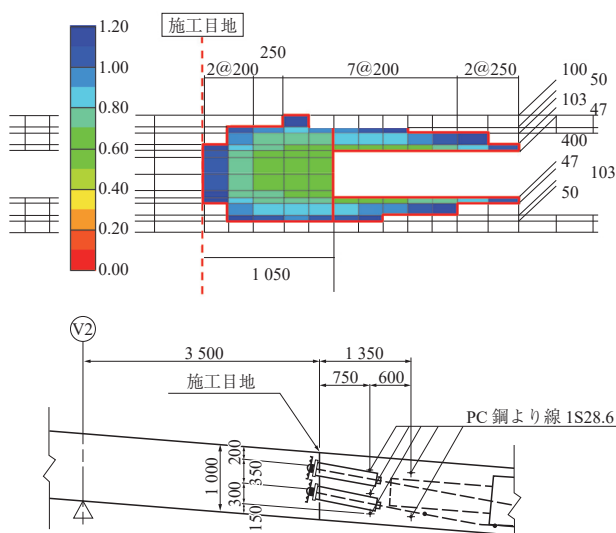


図 - 4 中空床版部の温度応力解析結果と補強

3.5 景観への配慮

本橋は、狩野川の釣りを楽しむ人々の視線に加え、月ヶ瀬インターチェンジ周辺に計画されている道の駅の利用客の視線に配慮して、景観アドバイザーの指導のもと景観に配慮した計画を行った。拡幅を有する区間は、エンドポストと鉛直材に片持ち梁を設けて拡幅に対応しており、また

補剛桁の形式が変化することから、模型による景観検討を行った（図 - 5）。

箱桁と中空床版の掛違い部となる V1 支柱は、V2 支柱よりも柱幅が厚いため、不揃いな印象を与える。このため、V1 支柱の柱に比較的大きい面取りを設けることで、陰影効果により、柱の厚みが薄く見えるための工夫を行った（図 - 6）。また、箱桁と中空床版の掛違い部（V1 上）では、桁高の差が生じるため、連続性が途切れる。そこで、箱桁部、中空床版部ともに同一勾配の斜ウェブにするとともに、緩勾配の桁高変化ですり付けることで違和感を解消した（図 - 7）。

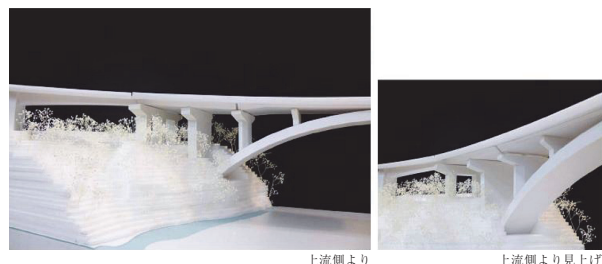


図 - 6 V1 支柱の面取り形状

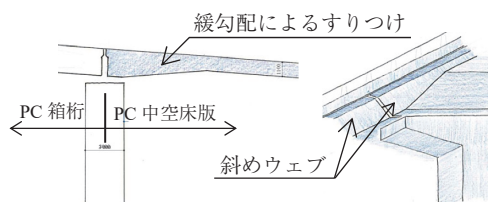


図 - 7 V1 支柱上の補剛桁のすりつけ

3.6 維持管理への配慮

模型による景観においては、維持管理の動線検討を並行して行い、アーチリブ上の階段や検査路が目立たない配慮を行ったうえで維持管理の動線を確保した（写真 - 2）。

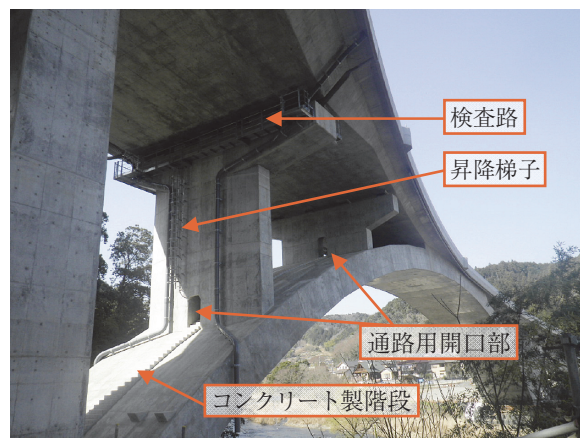


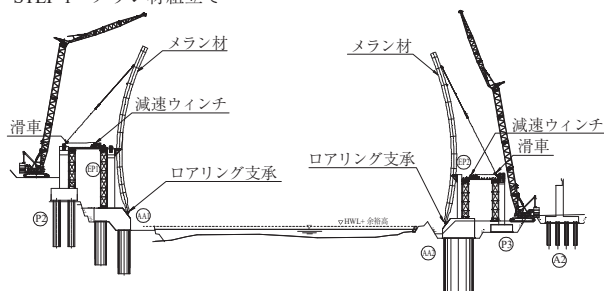
写真 - 2 維持管理の動線確保

4. 施 工

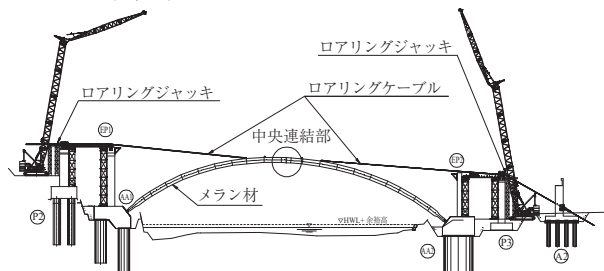
4.1 全体施工手順

全体の施工ステップ図を図 - 8 に示す。まず下部工を構築したのち、両岸からメラン材を鉛直に組み立てる (STEP-1)。次に、ロアリング設備を配置し、片側ずつロアリングし、中央部に添接板を用いて両方を閉合してアーチを構築する (STEP-2)。そののち、両端の基部であるスプリング部を支保工施工にてコンクリートで巻き立てる。スプリング部上に移動作業車を設置し、左右1ブロックずつメラン材をコンクリートで巻き立てアーチリブを完成させる (STEP-3)。最後にアーチリブ上に設置した足場、支保工を使用して鉛直材、補剛桁を施工して橋体を完成させた (STEP-4)。

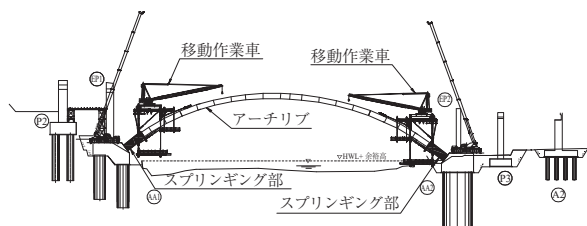
STEP-1 メラン材組立て



STEP-2 ロアリング



STEP-3 アーチリブコンクリート巻き立て



STEP-4 補剛桁の施工

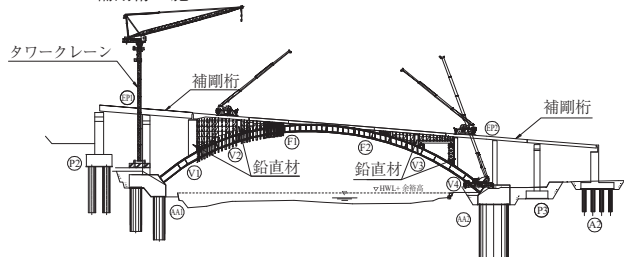


図 - 8 施工ステップ図

4.2 メラン材によるロアリング架設

本橋の架橋位置は平坦な地形であることから、地上部に仮設のアンカー設備を設けた場合、ロアリング架設時に作用する張力が非常に大きくなることから下部工で支持する方法とした。アーチリブをコンクリート部材とした場合、アーチリブが大断面であるため重量が大きく、作用するケーブル張力を下部工で支持できない。そこで、軽量の鋼部材であるメラン材とすることで、下部工でケーブル張力を支持することを可能とした (図 - 9)。

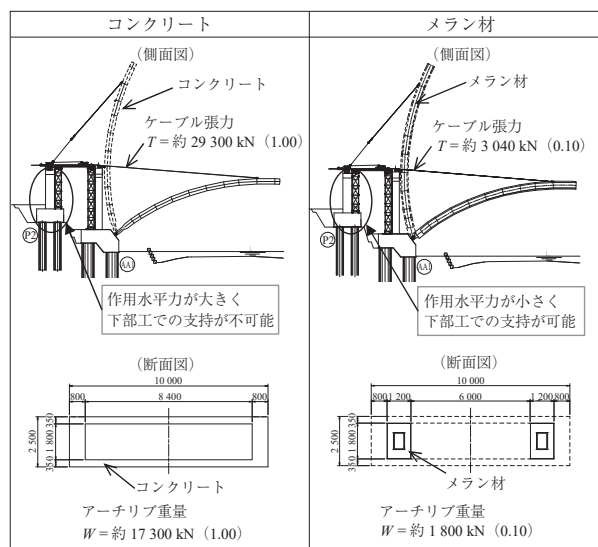


図 - 9 アーチリブ部材種類による比較

4.3 段階式ロアリング工法の概要

ロアリング架設では、各状態に応じてロアリング設備を使い分ける段階式ロアリング工法を採用した (図 - 10)。従来のロアリング工法では、全段階においてくさび定着式のケーブルを使用するのが一般的であるが、初期の低張力状態ではくさびの定着が不完全となりケーブルの抜け出しの懸念がある。段階式ロアリングでは、張力が小さい1次・2次の段階では油圧ジャッキと減速ウィンチを使用し、3次の段階ではくさびの定着に十分なケーブル張力が作用しており、安全にロアリング架設を行うことができる。

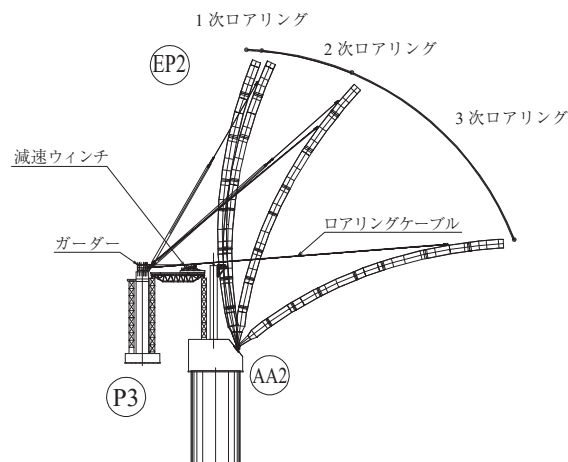
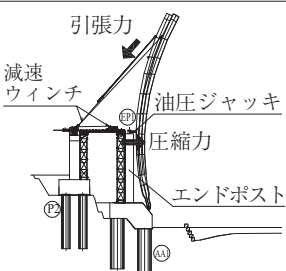
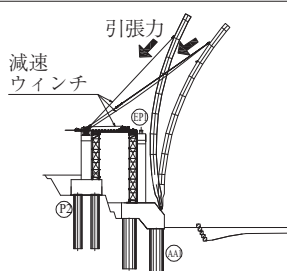
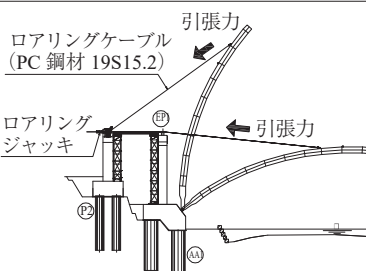


図 - 10 段階式ロアリング概要図

	1次ロアリング	2次ロアリング	3次ロアリング
施工要領			
使用設備	油圧ジャッキ 500 kN×2 台	減速ウィンチ+滑車+PC 鋼棒 480 kN×2 台	ロアリングケーブル 19S15.2×2 本 (ジャッキ 2 台)
特徴	重心が後方にあるときは、ウィンチで引きながら油圧ジャッキで押す	重心が前方になったら、施工速度が速いウィンチシステムを使用	PC 鋼材のくさび定着が確実にできる引張力になった時点で、容量の大きいジャッキを使用

能力	1 000 kN	840 kN	9 918 kN
ロアリング 角度	(A1 側) 0° ～ 3° (A2 側) 0° ～ 3°	(A1 側) 3° ～ 18° (A2 側) 4° ～ 20°	(A1 側) 18° ～ 66° (A2 側) 20° ～ 65°
設計反力	(A1 側) 152 kN (A2 側) 148 kN	(A1 側) 620 kN (A2 側) 760 kN	(A1 側) 2 600 kN (A2 側) 3 038 kN

図 - 11 段階式ロアリングの施工要領および使用設備

4.4 段階式ロアリングの施工

段階式ロアリングの施工要領と使用設備を図 - 11 に示す。

(1) 1次ロアリング

1次ロアリングでは、エンドポスト側に重心があるため、油圧ジャッキで押すことで前方にロアリングさせた（写真 - 3）。このとき、メラン材が急激に回転・降下しないように2次ロアリングの減速ウィンチで張力を与えている。

(2) 2次ロアリング

2次ロアリングでは、自重によって回転・降下するので、減速ウィンチを緩めることでロアリングさせた（写真 - 4）。2次ロアリングは減速ウィンチを緩めるだけなので非常に早くロアリングさせることができる。3次ロアリングのPC鋼材には、2次から3次に切り替わる位置のケーブル長でジャッキウェッジをセットしておくことで、順次、3次ロアリングのPC鋼材へ張力が移行していく。

(3) 3次ロアリング

3次ロアリングでは、ロアリングケーブルとしてPC鋼材を使用し、くさび定着式のジャッキシステムで送り出した（写真 - 5, 6）。ロアリングケーブルは、ロアリング時の最終張力に対して、破断による安全率 2.5 以上を確保できるように 19S15.2 の PC 鋼より線を 2 本使用した。



写真 - 4 2次ロアリング状況

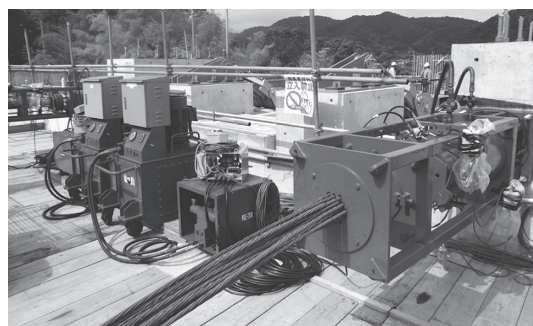


写真 - 5 ロアリングジャッキ設備

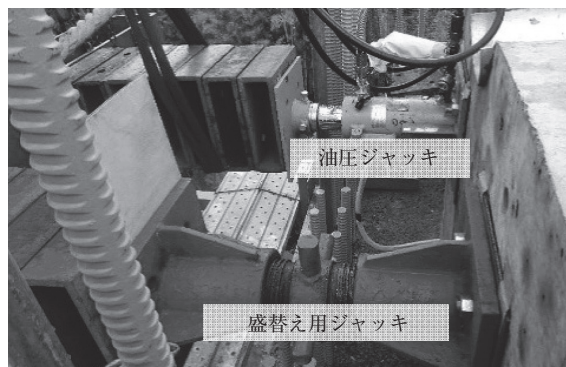


写真 - 3 1次ロアリング設備



写真 - 6 3次ロアリング状況

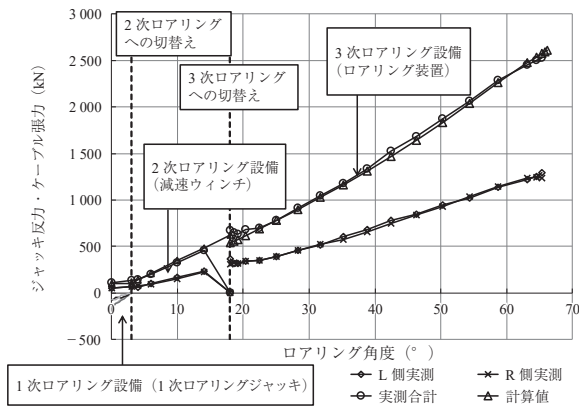


図 - 12 ロアリング時の角度と張力関係図

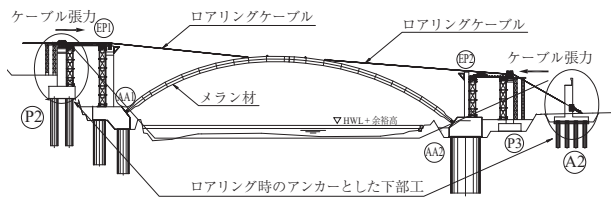


図 - 13 ロアリング設備概要図

ロアリング架設時の角度と各設備の反力の計画値と実測値を図 - 12 に示す。ロアリングの各段階において計画値と実測値は一致しており、高い精度で架設時の管理ができた。

4.5 下部工をアンカー設備としたロアリング架設

ロアリング概要図を図 - 13 に示す。ロアリング架設時のケーブル張力は、P2 橋脚および A2 橋台で支持している。そのため、事前に下部工に作用するケーブル張力の最大値に対して橋脚および基礎の照査を行い、各照査項目が許容値以内となることを確認した。また、ロアリング架設の施工時には、下部工変位の管理値を設定し、計測・管理を行った。管理値の設定は下記とした。

- (a) 1 次管理値：計算上のケーブル張力作用時の変位
- (b) 2 次管理値：3 次管理値の 80 %
- (c) 3 次管理値：許容値の上限となる状態の変位

P2 橋脚におけるロアリング架設時の計測の結果を図 - 14 に示す。施工においてロアリング架設時の変位は 1 次管理値以内となり、ケーブル解放後に変位はもとの状態に戻った。

4.6 アーチリブのコンクリート巻立て

ロアリング架設によりアーチリブが閉合したのちに、メラン材をコンクリートで巻き立てる。メラン材のコンクリートで巻立てでは、メラン材をウェブ内部に埋め込まない新メラン工法の採用により、自重を軽減するとともに施工性を向上させた¹⁾。

アーチリブの巻立て施工概要図を図 - 15 に示す。両端のスプリング部は固定支保工にてコンクリートを巻き立て、その上のアーチリブ上に移動作業車を組み立てた。1 ブロック長を約 6.0 m 程度とし合計 19 ブロックの施工を行った。揚重設備として移動作業車上にジブクレーンを

配置し、施工時の資材吊上げ作業を行った（写真 - 7）。

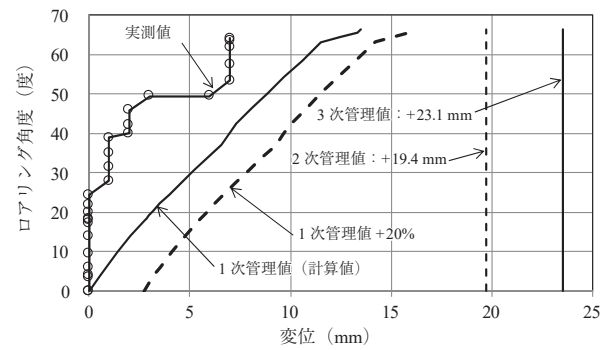


図 - 14 ロアリング架設時の P2 橋脚変位管理図

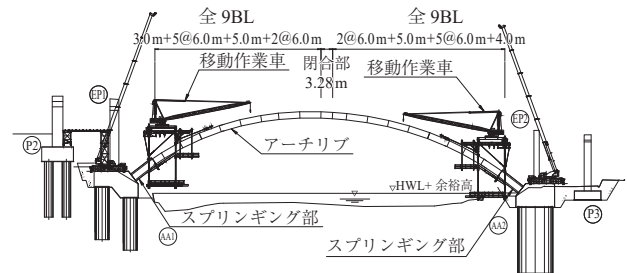


図 - 15 アーチリブ巻立て施工概要図

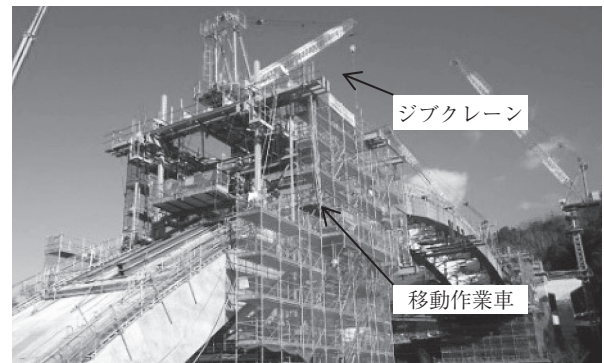


写真 - 7 アーチリブ巻立て施工状況

5. おわりに

本橋の完成によって天城北道路の大平から月ヶ瀬インターチェンジ間は 2019 年 1 月 26 日に無事に開通を迎えることができた。これにより、天城北道路は全線開通となり、伊豆地域のさらなる発展と交通混雑の緩和が期待される。最後に、本工事にご協力をいただいた関係各位に深くお礼を申し上げますとともに、今後の同種工事の設計・施工の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 中川, 誓山, 高山, 紙永: ロアリング工法によるアーチリブの施工 - 天城北道路 狩野川横断高架橋 -, プレストレストコンクリート工学会, 第 27 回シンポジウム論文集, pp.621-624, 2018.10

【2019 年 7 月 11 日受付】