

新桜宮橋の製作と架設

～全断面現場溶接による下路式ローゼ橋の施工について～

Fabrication and Construction of SHIN-SAKURANOMIYA Bridge

長坂 康史
Yasushi NAGASAKA

川田工業(株)橋梁事業部技術本部
四国技術部設計二課係長

鵜飼 昌一
Masakazu UKAI

川田工業(株)橋梁事業部工事本部
大阪工事工務課長

北村 正見
Masami KITAMURA

川田工業(株)橋梁事業部生産本部四国工場
生産技術部橋梁技術課係長

新桜宮橋は国道1号線の渋滞緩和を目的とした車線拡幅工事の一環として、歴史的土木遺産としても名高い「銀橋（桜宮橋）」に併設された下路式ローゼ橋である。上部工の製作・架設を川田・駒井特定建設工事共同企業体にて2003年に受注し、後施工の橋面工事（別会社施工）を終えて2006年12月に開通した。本報告では工事の主体となった下路式ローゼ橋の構造上の特徴や製作および架設に関して報告するものである。

キーワード：アーチ橋、ローゼ橋、現場溶接、全断面溶接、ケーブル張力調整

1. はじめに

大阪の中心と北東部を結ぶ国道1号線が大川を渡る「銀橋（桜宮橋）」が完成したのが昭和5年。この橋は大阪の街並みの変化を80年ほど見届け、今では歴史的遺産となっている。この路線は言うまでも無く交通量が非常に多く、昭和50年ごろから路線拡幅の計画が進められ、この計画に伴い「銀橋」の横にひと回り大きな新橋の建設が検討されてきた。それが今回、施工を行った新桜宮橋である。この付近では「造幣局の桜の通り抜け」「天神祭」「泉布観（重要文化財）」など由緒ある行事や建築物が有るため、多くの市民や有識者のデザインに対する審議をもとに形式や構造が決定されてきた。2002年11月に下部工事が着工され、約4年後の2006年12月に開通を迎えた。本報告は当社が携わった上部工事の中で、主体となった下路式ローゼ橋の構造概要と施工（製作、架設）に関して報告するものである。



写真1 桁架設完成時写真（写真手前が新桜宮橋、奥が銀橋）

2. 工事概要

(1) 工事概要

橋名：新桜宮橋
発注者：国土交通省近畿地方整備局
施工者：川田・駒井特定建設工事共同企業体
路線名：国道1号線
所在地：大阪市都島区網島町～北区天満1丁目
工期：自) 2003年10月31日
至) 2006年03月10日

(2) 構造諸元

形式：下路式単純ローゼ橋
橋長：150.0 m（銀橋：100.0 m）
支間長：146.7 m
アーチライズ：14.0 m（銀橋：同じ高さ）
有効幅員：18.75 m（車道10.5 m，歩道8.25 m）

(3) デザインコンセプト

設計コンサルタントによる予備設計の段階では「銀橋を活かすデザイン」と「市民のアンケート結果」を元にアーチ橋、斜張橋、鋼床版桁橋の中から「銀橋」と同形式であるアーチ橋が採用された。詳細設計は新橋が「銀橋」と可能な限り相似形となるような計画で実施され、本橋越しに「銀橋が映える」ように①アーチライズは同じ、②主構断面は極力小さく、③ケーブル本数を増やし

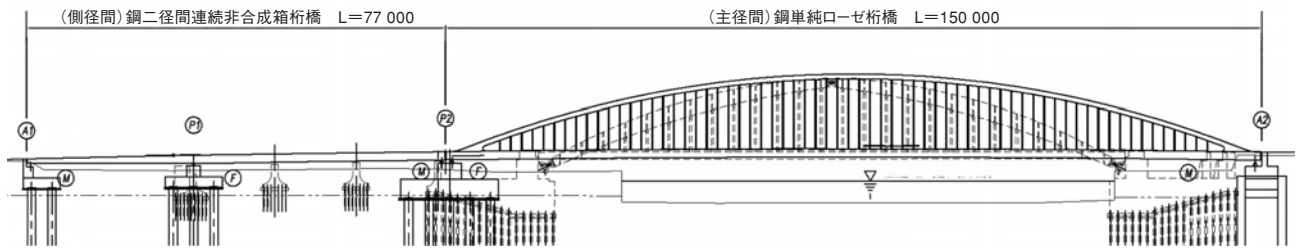


図1 橋梁一般図

て径を小さく（ブラインド効果を期待）する，といった配慮がなされた（図1。点線部は銀橋）。

このような背景から板厚が極端に厚くなり，アーチ部材では最大82 mmを使用する結果となった。また，現場継手部にも景観的配慮により，全て現場溶接が採用されており，極厚板（板厚49～82 mm，材質SM570，SM520）を使用した大規模なアーチ橋としては，わが国初の試みとなる工事であった。主構断面形状は図2の通りである。

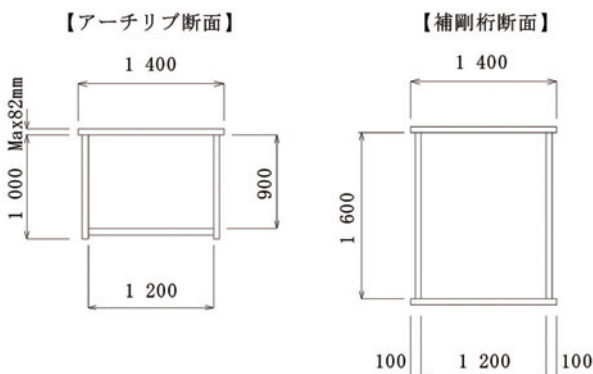


図2 主構断面形状

3. 受注後の構造改善

アーチリブや補剛桁は景観に配慮したことにより，その断面が極端に小さくなっていった。よって，隅角内部では狭隘部が多く，溶接や塗装作業を行う施工スペースの確保が難しい構造であった。そこで，隅角部における発生応力の状態やその特性をFEM解析により把握しながら，内部に配置されるフランジ部材を機能上，影響のない範囲で部分的に削除し，製作可能な構造に改善して製作を行った（図3）。

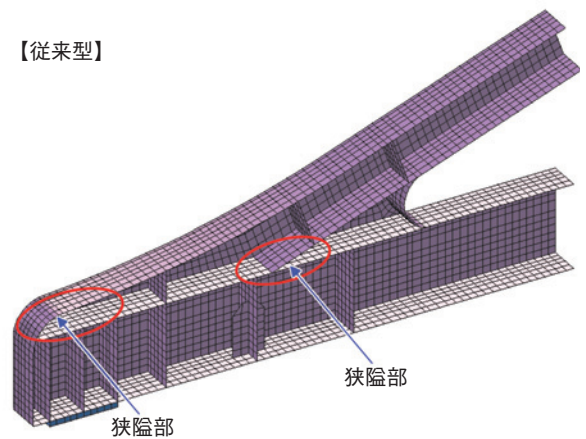
(1) 改善箇所

- ① 隅角内部の補剛桁上フランジ部分削除
- ② 隅角内部のアーチリブ下フランジ部分削除

(2) 改善理由

- ・ 工場および現場溶接の作業空間確保
- ・ 非破壊検査（UT）のための作業空間確保
- ・ 上記に伴う疲労耐久性の低下防止
- ・ 工場塗装の作業空間確保

【従来型】



【改良型】

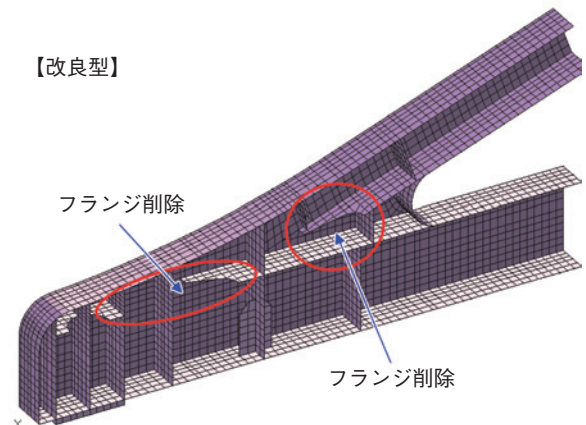
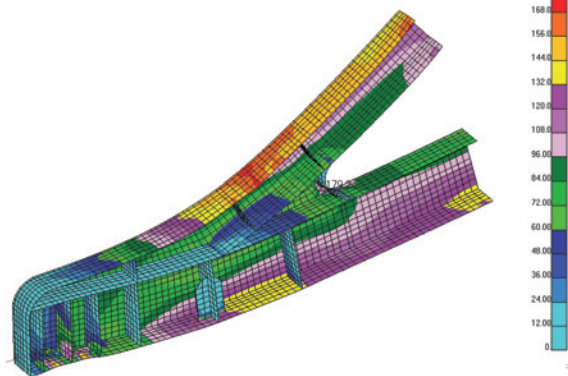


図3 隅角部形状変更

(3) FEM解析による妥当性の検証

構造変更に対する検証は，「改善前」と「改善後」の2ケースに対してFEM解析を行った（図4）。どちらのケースも局所的な応力集中や応力超過が生じていないことを確認した。また，本橋は一般的なアーチ橋に比べアーチライズが極めて小さく，アーチリブと補剛桁が交差する隅角部は橋軸方向になだらかな構造であり，高さ方向にはアーチリブと補剛桁が近接した断面構成となっていた。その結果，本橋の隅角部においてはアーチリブと補剛桁の各々の抵抗性能に対する区分が明確でなく，隅角内部の補剛桁上フランジの役割は小さいものと想定される。「改善後」の応力図に示すように，アーチリブ上フランジと補剛桁下フランジ，隅角部ウェブの矩形の断面性能で対処できるものと判断した。

【従来型】



【改良型】

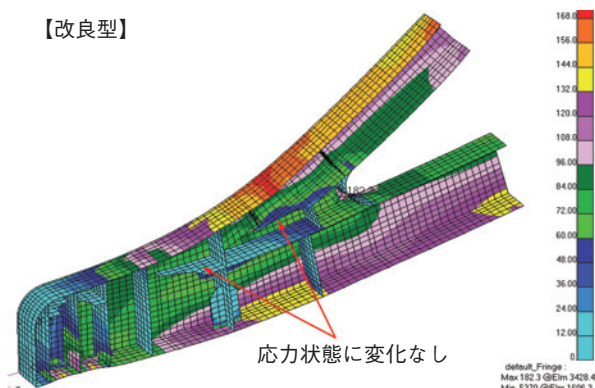
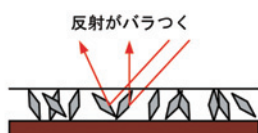


図4 FEM解析応力図

4. 塗装材料の改善

本橋の一般外面塗装は、①隣接する「銀橋」の塗装色に合せる、②受注当時において改訂中であつた塗装便覧に配慮し、耐久性の向上を考慮することからフッ素樹脂アルミニウムペイントを使用したC-4塗装系（旧塗装便覧、現在のC-5塗装系）が設定されていた。一般的に使用されているアルミニウムペイントの材料は主剤+硬化剤にシルバーペーストが混入されており、このペースト内のアルミニウム粉末は扁平な形状をしている。そのため、塗料を押えつけながら塗るハケ塗りやローラー塗りでは塗料内のペーストの向きが様々となり、スプレー塗りによるものに比べ色合いや光沢にバラツキが生じることが判った。つまり、工場塗装（一般部、スプレー塗り）と現場塗装（継手部、ハケ塗り）で色合いや光沢の差が大きくなることが懸念された。また、スプレー塗りの場合でも塗布方向や塗り重ねによって、銀光沢の仕上がりに均一性が保たれないことも試験塗りにより判明した。

【従来型】



【改良型】

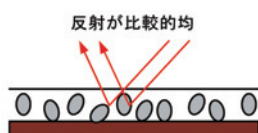


図5 アルミニウム粉末の違いによる光沢の概念図相違

そこで、図5に示すようにシルバーペースト内のアルミニウム粉末を若干、丸みを帯びた改良型のペーストを使用することで反射が比較的均一になり、全体の色合いの統一感を向上させることが可能となった。また、スプレー塗りの場合でもバラツキが生じ難くなったため、この材料を使用して塗装を施すこととした。



写真2 工場塗装状況

5. 現場架設について

(1) 桁架設の概要

本橋は大川（旧淀川）上での架設であつたが、この川は大阪水上バスや砂利運搬船などの船舶の往来が多いことから、航路を確保した架設方法を採用する必要があつた。対策としては大川の両岸部付近に鋼管杭を打ち込み、その杭を支点とした工事桁上にて橋体をベント支持する方法とした。これにより川幅約90 mのうち、約半分の45 mを航路として確保できた。また、陸上部分（桜宮公園内）については、地耐力が低かつたため、ベント基礎の面積を増やし、反力を分散する構造とした。更に、前述した河川内の航路確保のため、補剛桁の架設標高は設計にて設定されている高さより約5 m高い位置での架設が必要となり、架設完了後に5 m桁降下を行った。架設のフローチャートを図6、架設要領図を図7に示す。

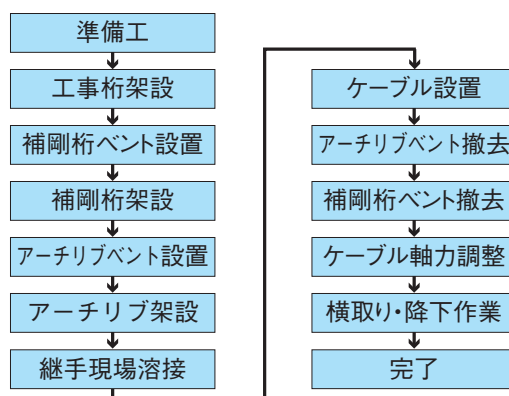


図6 アーチ橋の架設フローチャート

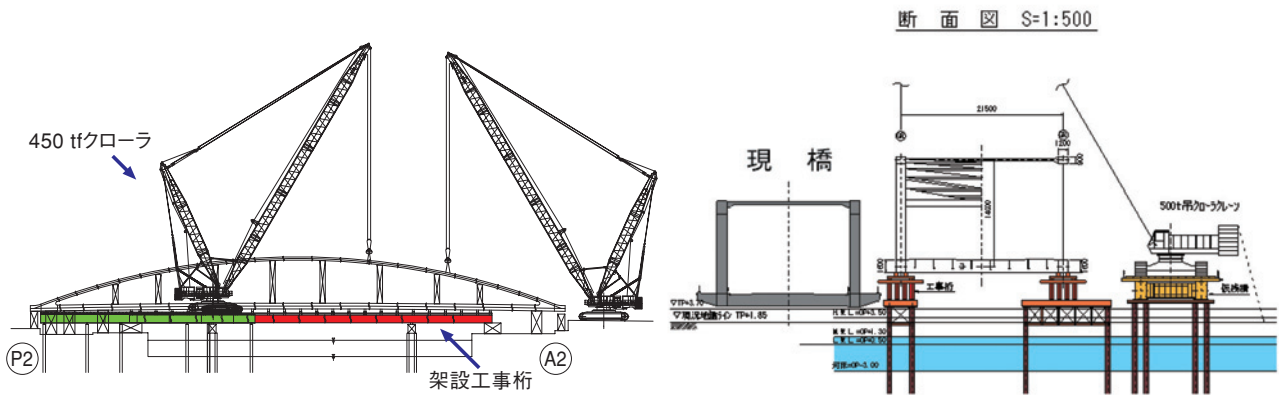


図7 架設要領図

アーチリブは写真3に示すように上下方向に調整可能なジャッキを組込んだ特殊ペントを考案し、補剛桁に設置して架設を行った。左岸側 (P2側) についてはクレーン用の栈橋を設置して、栈橋より500 tonクローラクレーンを使用して全長の2/3程度の部材を架設し、残り1/3部材を右岸側 (A2側) の橋台背面に450 tonクローラクレーンを設置して補剛桁とアーチリブの架設を実施した。アーチリブ中央部分の閉合部材の部材長には、架設が完了した両側に隣接する部材同士の離隔の実測結果を反映させた。



写真3 アーチリブペントとアーチリブ架設状況

(2) 100%現場溶接によるアーチ橋の施工

本橋は補剛桁及びアーチリブの全ての現場継手に全断面溶接を採用している。従って、「全体系における継手の溶接順序」と「各継手断面での溶接順序」の双方が構造物の形状確保や品質確保に多大な影響を与えることとなる。つまり、溶接による収縮・形状変形や残留応力の影響を最小限にする施工管理と品質管理が重要となる。

【現場溶接条件】

箇所数：86箇所

板厚：49～82 mm

材質：SM570-H, SM520-H

溶接延長：521 m (6 mm換算では約41.5 km)

溶接方法：ガスシールド (CO₂) アーク溶接

溶接姿勢：フランジは下向き半自動溶接

ウェブは立向きと横向き全自動溶接

以下に現場溶接に対して留意した内容を示す。

1) 全体架設手順と溶接順序

全体の架設順序と溶接順序については「①補剛桁・アーチリブの組立→②中央より対称に溶接」の方法を採用した。理由は橋梁中央部より端部に向かって対称に溶接を行うことで溶接収縮を端部 (自由端) に逃し、収縮による全体系での変形をより少なくするためである。図8に全体系での溶接順序を示す。溶接による収縮は全ての断面において、これまでの実績より2 mm/1継手とし、平行収縮するものとした。

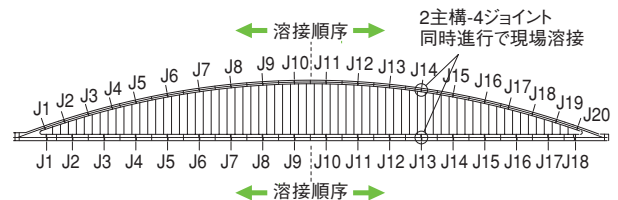


図8 全体系での現場溶接順序

2) 各継手断面の溶接順序と溶接方法

溶接変形も残留応力も溶接の入熱による局所的な熱応力の発生とそれに伴う膨張、収縮が原因で生じるため、局所的な変形を抑えることで残留応力は減少するものと考えた。具体的には各継手断面の変形防止として、高い剛性を保持したエレクトロシールドを使用し、また、母材開先面の4隅にメタルタッチ (フェーシング仕上げ) 部分を設けることで仮組形状の再現を図り、溶接前と溶接後の変形を最小限に留めることとした。

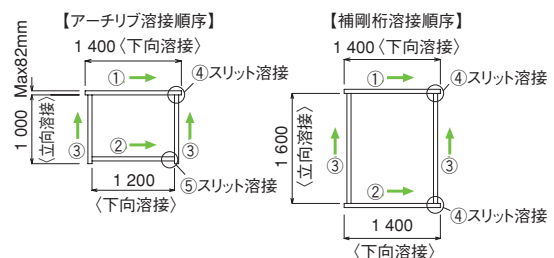


図9 各断面での現場溶接順序

これは溶接後、エレクションピースを撤去した際に溶接による内部応力が自動的に開放され、変形もこれに追従して形状確保が可能になると考えたためである。各継手断面の溶接順序は図9の通りである。また、極厚板の突合せ溶接や今回使用した開先形状などの溶接ディテールについては別途、溶接施工試験により確認を行い、更に現場では収縮量と入熱量を逐次計測しながら施工を行うことで、品質の確保および向上を計ることとした。

3) 溶接時の具体的な品質管理

本工事では極厚板の溶接であるため、溶接パス数が70～120と多層盛であった。よって、入熱による低材質化や脆化および靱性低下を防ぐ必要があり、現場では入熱量の管理とパス間温度の確認に細心の注意を払った。以下に現場溶接時の品質確保についての対策を記述する。

【多層盛の現場溶接に対する方策】

①パス間温度の上限を250℃以下に設定

多層盛りの溶接では、下層ビードの温度が著しく高い状態のまま上層ビードを累積していくと、加熱状態が継続され、冷却速度が遅くなり過ぎ、溶接金属とボンド部（熱影響部と溶接金属の境界）の靱性低下、溶接部の強度低下が懸念されることからパス間温度の制限を行った。

②1パスの入熱量を7000 J/cm以下に設定

入熱量が増大した場合、温度がピークに到達した後の温度低下速度が遅く、溶接金属や溶接熱影響部の靱性や強度が低下することから、入熱量の制限を行った。

③プロセス管理

開先精度の確認、溶接時の品質管理（収縮量・直線度・角変形）を継手全線に渡って管理シートにてまとめ、品質の向上に努めた。

4) 継手部の疲労対策

ウェブとフランジの交差部は、一般的に「溶接欠陥発生を押さえるためのスカーラップ構造」を用いるが、疲労強度を低下させるとともに景観や維持管理の面でも支障を来す。よって、本橋には腹板に「スリット加工部」を設け、ウェブとフランジの角溶接が完全溶込み溶接～隅肉溶接へと変遷する構造が採用された（図10、写真4）。

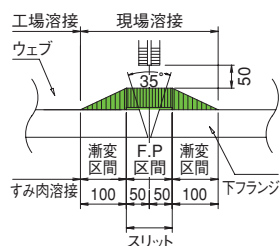
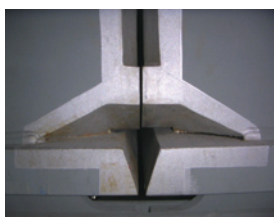


図10、写真4 ウェブのスリット加工部



この角溶接部（スリット部）においても完全溶込み溶接の品質を保証するため、溶接施工試験で再現性を確認し、溶接順序を決定した。

(4) アーチ本体の正規位置への移動

①ジャッキアップ作業

架設完了後（ケーブル設置完了後）の多点支持状態から支点支持状態への移行は、両支点部での桁のジャッキアップにより対応することとした。これは、補剛桁の各ベント位置でのジャッキアップ・ダウンによる降下ではジャッキ反力が大きく、工事桁の剛性が不足するためである。ジャッキアップ量は「アーチ桁本体のたわみ+工事桁のたわみ=328 mm」であり、8500 kN油圧ジャッキにてジャッキアップを行った。

②横取り作業

本橋の架設位置は「銀橋」と平行で、離隔が少ないことから、予め、設計位置から900 mm橋軸直角方向へずらした位置で架設を行っていた。よって、正規の位置への横取り作業が必要となった。横取りにはテフロン板を使用し、摩擦を少なくして1000 kN油圧ジャッキ4台により平行移動させた。

③降下作業

先にも述べたように、航路確保の関係から高い位置での架設を行ったため、最終段階で2600 tonの桁を4点支持により、5 m程度、降下させる必要があった。受ける反力と降下量が非常に大きいことから、降下設備の安定度と作業工期短縮を考慮して、1度の降下量を400 mmに設定し、降下設備（サンドル材）にH-400形鋼を採用した。また、使用ジャッキは500 mmのストロークを有した8500 kNの電動油圧ジャッキを使用した。降下作業は左岸側、右岸側の支点を交互に行い、片側降下作業中には、必ず、対岸側の2支点は降下設備に接地させ、ワイヤーロープにより固定することで、万一の水平力に対する安全確保に配慮した。



写真5 降下作業状況

(5) ケーブルの張力測定および調整

本橋は景観に配慮したことから、132本（66本／1主構）の吊ケーブルを有している。吊材がケーブルであるため、主構造の形状や設計耐力の確保においては、ケーブル張力を許容値の範囲内に収める必要がある。張力の計測方法としては「ジャッキ法」と「振動法」の2種類が一般的であるが、計測が比較的簡便な「振動法」を用いたケーブル張力管理を行うこととした（写真6）。ケーブル張力の測定および張力調整のフローを図11に示す。

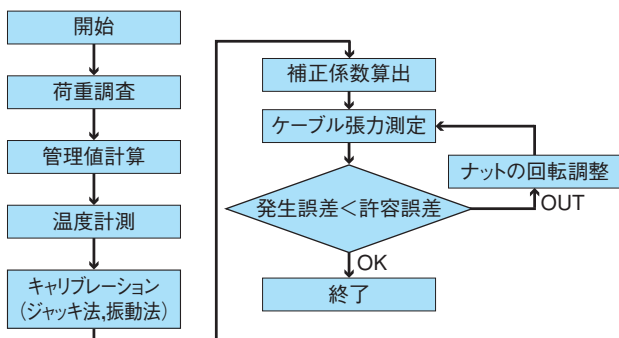


図11 ケーブル張力調整フロー



写真6 ケーブル張力測定状況

【ケーブル張力の管理条件】

- ・ 張力測定,調整時期：鋼桁架設完了時（支点支持）
- ・ キャリブレーション箇所：3箇所
- ・ 張力測定箇所：ケーブル全量（132本）
- ・ 張力調整箇所：許容値以上のケーブル対象
- ・ 管理項目：ケーブル張力，主構形状

張力調整は本橋に採用したDINAケーブルの定着部（ナット定着式）の特徴を考慮し，ナットの回転量にてケーブル張力の調整を行った（写真7）。ただし，主構造の形状については，測定結果が許容誤差内に収まったことから，主構造の形状を加味したケーブル張力の調整は実施しなかった。

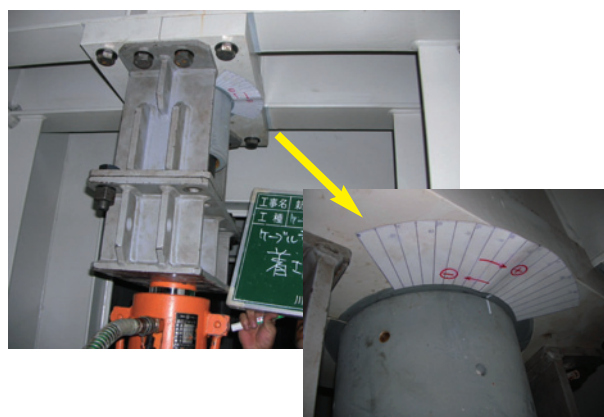


写真7 張力調整（ナット回転）状況

6. おわりに

本工事においては「アーチ橋での極厚板使用」「全継手現場溶接」という，国内でも数少ない施工であり，最新の技術，工夫，配慮が必要な工事であった。あらゆる手立てを行った結果，品質検査における全継手箇所の開先形状，変形量，非破壊検査の結果などから，極めて高い精度にて完成したものと判断している。本報告が今後の更なる橋梁技術の発展に対して，参考になれば幸いである。

最後に本工事の施工にご協力頂きました関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。



写真8 完成写真

参考文献

- 1) 桑田，大西，小林，鶴飼：国道1号新桜宮橋の設計と施工，橋梁と基礎，Vol.41，2007.1
- 2) 芦谷，鶴飼：100%現場溶接によるアーチ橋（新桜宮橋）の施工について，平成18年度近畿地方整備局研究発表会，施工・安全対策管理部門