

# 極厚板を使用した大規模アーチ橋の現場溶接技術報告 —新桜宮橋の施工（全断面現場溶接）—

技術委員会 架設小委員会

## 1. はじめに

水の都として広く知られる大阪。その大阪のシンボルのひとつである大川に架かる桜宮橋は、昭和5年に完成して以来、「銀橋」の愛称とともに古くから大阪市民に親しまれており、また地理的にも商都大阪の町を東西に貫くメインストリート(国道1号線)に位置し、都市交通の面でも重要な役割を担った橋梁である。

新桜宮橋は、現道幅員 22m（4車線）から幅員 40m（6車線）に拡幅する事業の一環として、現在の桜宮橋(以降 銀橋と呼ぶ)の上流に新しく橋を架ける工事である。橋種は鋼単純ローゼ橋である。この橋の最大の特徴はアーチリブ・補剛桁等、主要部材の断面寸法が限定されているため、小断面にて極厚板を使用している。ボルト接合を用いた場合には、ボルト本数が非常に多くなり、継手設計が不可能（長尺多列ボルト）となること、および景観性にも優れていることから100%現場溶接継手とした点である。このような極厚板（板厚 49～82mm 材質 SM570、SM520）を使用した大規模なアーチ橋の全断面溶接は、わが国初の施工である。本文は、少数主桁などの厚板を多用する鋼橋が主流となった現在において、本橋での現場溶接の経験を施工管理と品質管理の面より考察し、今後の現場溶接技術の向上に役立てることを目的として報告するものである。



写真-1 計画時のイメージ写真

## 2. デザインコンセプト（写真-1参照）

新桜宮橋の設計に際し、その存在は周辺の景観に大きな影響を与え、大阪の新しいシンボルとなり得ることから、デザインは市民の意見を広く収集し、デザイン検討委員会により新桜宮橋デザインの基本方針が決定された。（表-1に委員会メンバーを示す）。

新桜宮橋デザイン検討委員会委員である安藤忠雄氏は、新しい橋の登場によって、既存の銀橋の魅力もより引き立つ、新旧が対となり、互いに刺激しあうような場所づくりとして新桜宮橋は、銀橋に倣いアーチ型とし、最高高さ、軸の方向など、様々な要素について可能な限り銀橋の相似形となるよう計画する。ただ、それをつくる技術については、あくまで最新の素材・工法を用いる。おのずと、新橋は旧橋と比べて、非常にスレンダーなものとなる。

それら新旧の橋が、対として並置されることで、現在と旧橋建設当時の技術の違い、その間にある時間的奥行きを表現することが出来るとした。

表-1

委員会のメンバー（委員長：堀井 良股）	
安藤 忠雄	（建築家、東京大学教授）
井上 龍介	（大阪府都市計画審議会会長）
佐伯 彰一	（財団法人 土木研究センター 常務理事）
津田 和明	（社団法人 関西経済連合会 文化委員会 委員長）
堀井 良股	（財団法人 大阪21世紀協会 理事長）
岩本 康男	（大阪都市計画調整局長）
佐野 正道	（建設省近畿地方建設局 道路部長）
	（敬称略、役職は委員会当時）

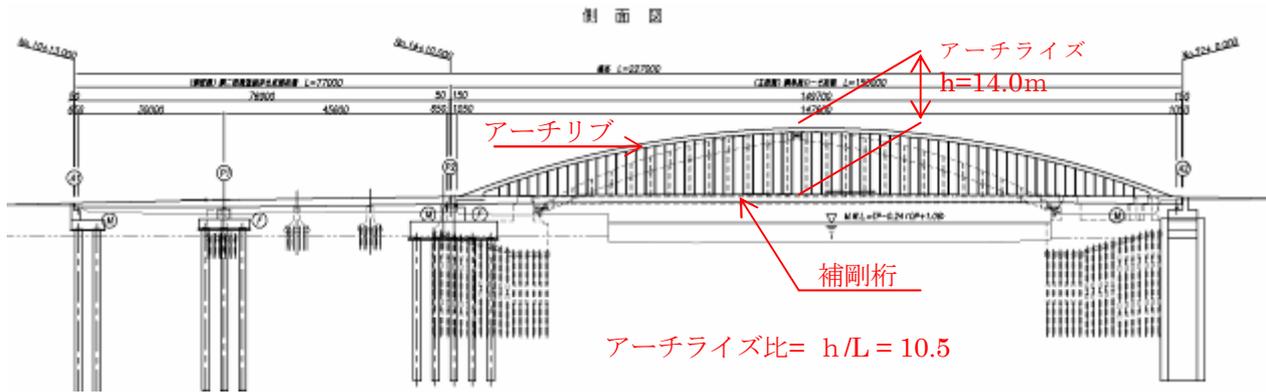


図-1 橋梁側面図

### 3. 新桜宮橋と銀橋の比較 (表-2 参照)

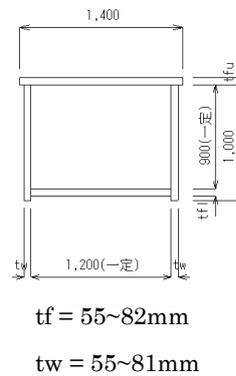
新旧二つの橋の調和を図るため、3 ヒンジアーチである現橋形式を尊重しつつ、現代技術で可能な限りスレンダーな形式を目指すこととした。

アーチ形状は現橋と最高高さ(アーチライズ 14m)と、大川に対する軸性を一致させた相似形状に極力近い形とされた。その結果、アーチ支間とのライズ比は現橋の  $L/6.9$  に対して、 $L/10.5$  となった(図-1 参照)。

アーチリブは製作上の最小断面(1.2m x 0.9m)を、補剛桁は板厚制限より決まる断面(1.2m x 1.6m)を採用した(図-2 参照)。

吊材ケーブルは、新橋越しに「銀橋」が映えるよう径を極端に細くしてケーブル本数を増加させるブラインド効果を期待して、細径( $\phi 50\text{mm}$ )の高強度ケーブルを 2m ピッチで配置した。

アーチリブ形状



補剛桁形状

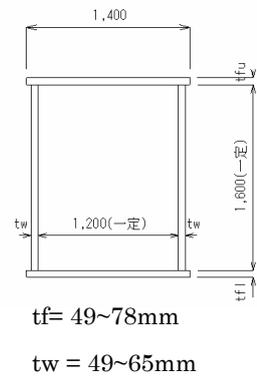


図-2 断面図

表-2

	新桜宮橋	銀橋
型式	ローゼアーチ (橋長 150m)	3 ヒンジアーチ (橋長 108m)
ライズ比	L/10.5	L/6.9
主部材材質	SM570 鋼材、 降伏点: 420N/mm <sup>2</sup>	SS400 相当鋼材、 降伏点: 215N/mm <sup>2</sup>
アーチリブ	□1200×900 (B×H)	□1320×2800 (B×H)
補剛桁	□1200×1600 (B×H)	□650×1300 (B×H)
吊材	高強度ケーブル ( $\phi 50$ )	通常鋼材 (H 318×650)
上部工重量	1.7 t (m当たり)	2.2 t (m当たり)

### 4. 工事概要

工事名称: 新桜宮橋上部工事

工事場所: 大阪府大阪市都島区中野町地先~大阪  
市北区天満橋地先

発注者:

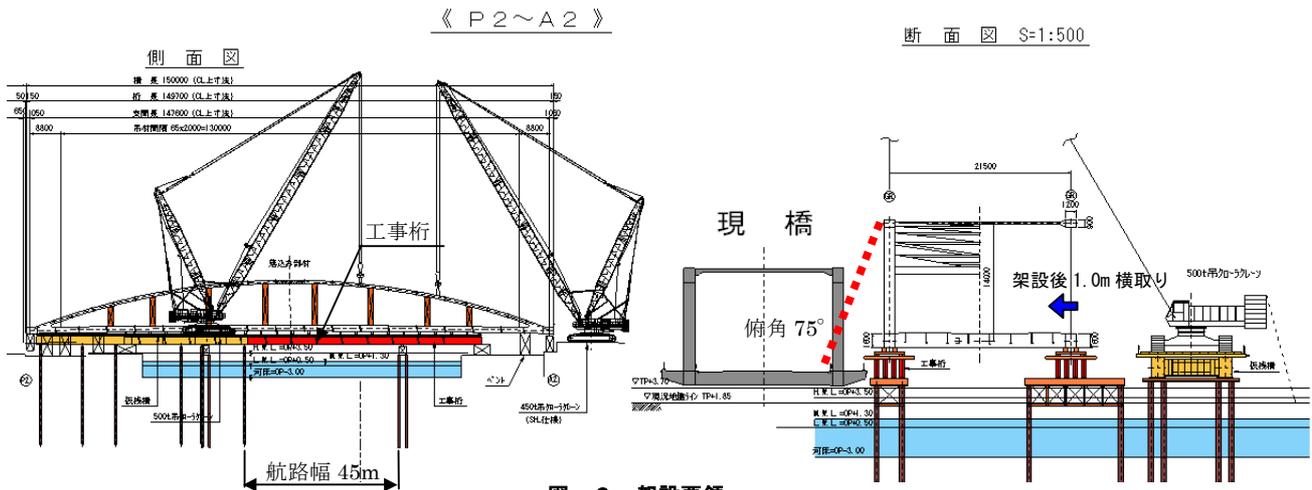
国土交通省近畿地方整備局大阪国道事務所

工期:

平成 15 年 10 月 31 日~平成 18 年 3 月 10 日

橋梁諸元: 上部工 鋼単純ローゼ桁 (鋼重  $W=2,550\text{t}$ 、支間  $L=147.6\text{m}$ 、総幅員  $B=19.7\text{m}$  主構間隔  $21.5\text{m}$ )

桁架設の概要: 架設地点は、主要交通路として隣接した国道 1 号や大川の水上交通として水上バスやレジャーボートから作業船まで数多く行き交う水面上に位置しており、水陸の交通を阻害しない、第三者への安全確保を重視した架設方法を採用した。架設工法は、工事桁を使用したクローラクレーン工法とした。図-3 に架設要領を示す。



航路確保の対策として、大川の兩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多点支持する方法とすることで川幅約90mのうち、約半分の45mを航路として確保した。

また、陸上部分(桜宮公園内)については、直接ベントにて補剛桁の支持が可能であったが、地耐力を確保するためベント基礎面積を増やし、反力を分散させた。

左岸側(P2側)については、栈橋に500tonクレーンを設置して全長の2/3の部材を架設し、右岸側(A2側)は、橋台背面に450tonクレーンを設置して残り1/3部材をそれぞれ中央部より兩岸に向かって架設した。

その後、兩岸から中央に向かってアーチリブを架設した。

ケーブル設置は写真-3に示すようにアーチリブを上下方向に調整可能なジャッキを組込んだ特殊ベントを設置して架設した。

前述した河川内の航路高確保の関係より、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5m高い位置での架設となり、架設完了後にジャッキダウンが必要となった。

完成系においては、現橋と新橋の最小隙間は40cmであり、この状態での架設工事は、俯角75°に車線が位置し、落下物防護のため、夜間での車線規制が必要となった。

その対策として俯角の影響を北側歩道の通行止め範囲とし昼間作業となるよう所定位置より上流側へ1m移動し架設を行い。架設後に横取りを行うこととした。

図-4に施工フローチャートを示す。



**写真-2 架設完了時の全景**



**写真-3 アーチリブベントの調整**

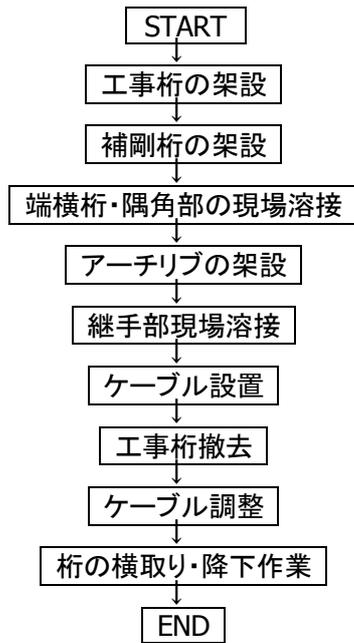


図-4 施工フローチャート

## 5. 現場溶接の施工

補剛桁及びアーチリブの主部材全ての継手に対して、全断面現場溶接を採用した。

各部材断面の溶接順序、および全体系における各継手の全体の溶接順序が、構造物の品質に多大な影響を与える。すなわち、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。以下に主な留意事項を記述する。

### 5.1 全体の架設順序と溶接順序

全体の架設順序と溶接順序については、(第1案)

- ①補剛桁の組立と溶接
- ②アーチリブの組立・溶接
- ③誤差を吸収した閉合部材の製作・溶接

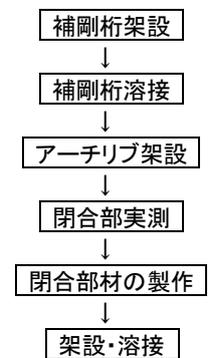
(第2案)

- ①補剛桁・アーチリブの組立
- ②中央より対称に溶接

の2案について比較検討し、(第2案)を採用した。

各案の主な特徴は、(第1案)の場合、アーチリブ中央の閉合ブロックを残して両側の溶接を完了

#### 【第1案】



#### 【第2案】

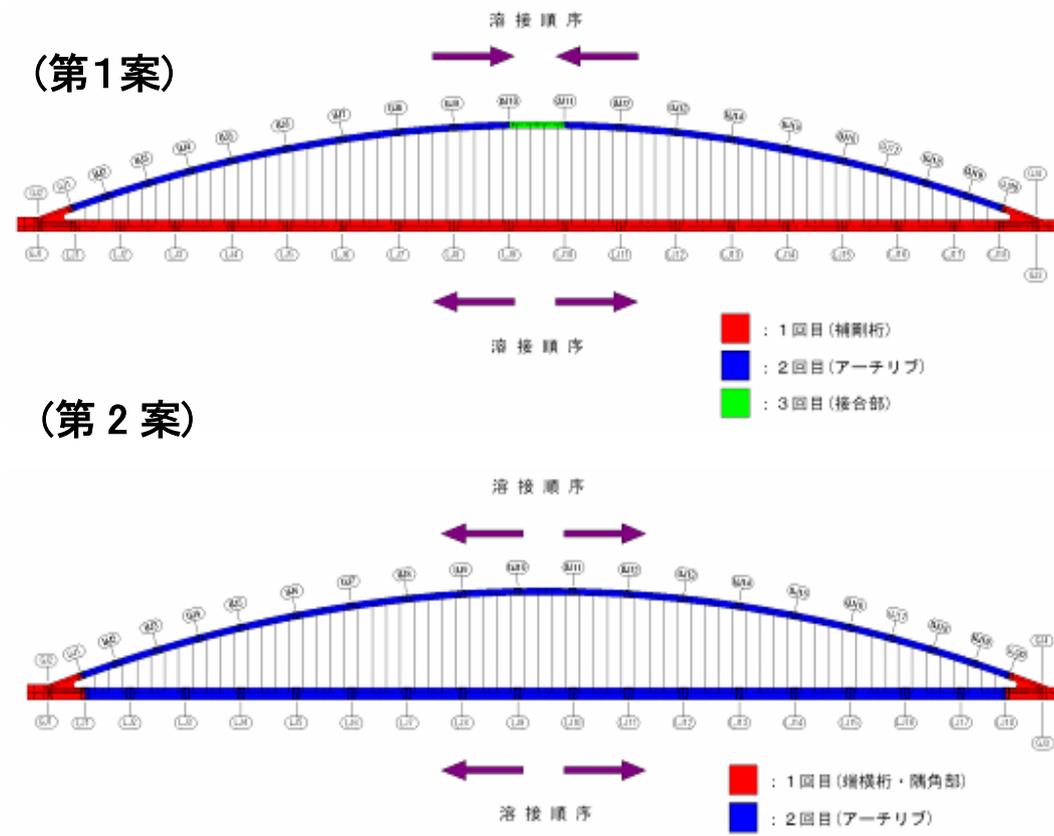
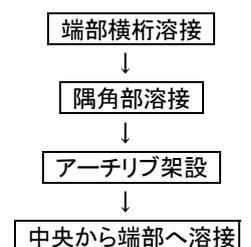


図-5 全体の溶接順序

させた後、閉合ブロックを溶接するため、両側の溶接收縮の和が変形量として残存する。

一方、(第2案)の場合、橋梁中央部より端部に向かって対称に溶接を行い、溶接收縮を端部(自由端)に逃すことで収縮による全体系での変形をより少なくできる。図-5に全体溶接順序を示す。

第2案の決め手は、

- ① 現場溶接による主構造への影響の軽減。
- ② 第1案だと閉合部材に応力が残るため実測値を反映する製作効果が半減する。
- ③ 施工日数の大幅短縮(施工パーティー数を補剛桁4パーティー+アーチリブ4パーティーで同時施工が可能)。
- ④ 桁架設用の大型クレーン損料期間短縮(経済性)と考えた。

全断面溶接による収縮については、これまでの実績から1継手2mmとし平行収縮するものとした。

## 5.2 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局所的な膨張、収縮に伴う熱応力の発生と、それによる変形が原因で生じるため、その原因を取り除かれると残留応力は除去されると考え、各継手断面の変形防止として高剛性エレクションピースと開先面の4隅にメタルタッチ(フェーシング仕上げ)を設けて仮組形状の再現を図るとともに応力解放のツールとした。

各継手断面の溶接順序は、フランジからウェブへと対称に行い、フランジ溶接による収縮と残留応力は、メタルタッチ部の除去時に解放されると考え、ウェブ溶接前に撤去した。

ウェブ溶接による応力に関しては、高剛性エレクションピースを撤去した時に除去されると考え決定した。図-6に溶接順序を示す。

その際に、溶接順序による収縮量と応力解放を考慮して、ルートギャップ(開先隙間)をフランジ4mm ウェブ6mmと決定した。

溶接收縮応力の想定に対し、溶接施工試験により実現性を確認し、現場での溶接時は収縮量と入熱量を逐次確認しながら施工を行った。

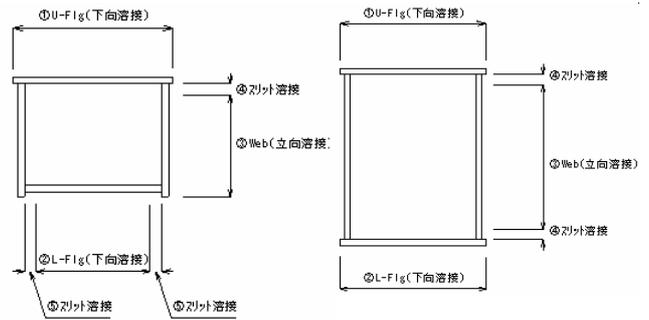


図-6 各断面の溶接順序

## 5.3 溶接条件

溶接条件を表-3に示す。

表-3 溶接条件

現場溶接箇所 (全86継手)	補剛材	44継手
	アーチリブ	40継手
	端横桁	8継手
使用鋼材	SM570-H, SM520-H	
使用板厚	49~82mm	
溶接延長	521m (6mm換算では41.5km)	
溶接方法	ガスシールド(CO <sub>2</sub> )アーク溶接	
溶接姿勢	フランジ	下向き(半自動溶接)
	ウェブ	立向きと横向き(全自動溶接)

鋼材は、降伏点一定鋼を使用した。特性は、板厚が40mmを超えるような厚板であっても、降伏点または耐力の下限界値が板厚によって変化しないことを保証した鋼材である。

そして、添加元素量のコントロールによる予熱低減を図っている低P<sub>CM</sub>(溶接割れ感受性組成)指定鋼とし、厚板使用での水素による遅れ割れを防止に配慮した。

溶接材料は、下向・横向溶接には、ソリッドワイヤー(JIS YGW21)590N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼用、立向溶接立て向きは、大入熱(5,500~7,000J/mm)でも十分な強度とじん性が得られる(JIS YFL-C 602R)フラックス入りワイヤー590N/mm<sup>2</sup>級高張力鋼用を使用した。

全姿勢で初層、最終層とも、綺麗な裏波が得られ良好なビード外観と形状が得られ、高性能施工が可能なフラックス入りワイヤーを選択使用した。溶接作業者の保有資格は、SA-3F、SA-3H、SA-3V、SA-30(半自動溶接、溶接作業(裏当金あ

り A)、溶接作業(厚板 3)、溶接姿勢(下向き-F、横向き-H、立向き-V)の該当者とした。

溶接環境は、ガスシールドアーク溶接作業時に風の影響でシールド不足となり溶接の品質欠陥が発生しやすくなるため、溶接作業に悪影響を与えない現場風防設備内と箱桁内の作業とした。

風防設備は、部材に沿って流れてくる風に対しても細心の注意を払い、内部を防炎シートで養生した。

また、作業員が長時間同じ体勢で作業を行う為、作業床が十分に確保出来るように工夫した。

開先形状は、V型溶接部(下向き、立向き)、レ型溶接部(横向き)とし、その精度は溶接施工試験で最大間隔を設定し確認した。

開先角度を目標値  $\pm 5^\circ$  (規定値  $\pm 10^\circ$ )、ルート間隔を目標値  $+5 \sim -3 \text{ mm}$  (規定値  $\pm 1 \text{ mm}$ )、目違いを目標値  $3 \text{ mm}$  以下(規定値  $5 \text{ mm}$  以下)と設定した。( )内は道示規定値。

#### 5. 4 溶接時の品質管理

溶接のパス数が 50~120 パスと多層盛であり、入熱による低材質化やぜい化・じん性低下を防ぐため、入熱量管理とパス間温度確認に細心の注意を払った。

多層盛り溶接では、下層溶接ビードの温度が著しく高い状態のまま、上層溶接ビードを累積していくと加熱状態となり、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)のじん性を低下させ、溶接部の強度低下を招く場合があるため、許容されるパス間温度の上限を  $250^\circ\text{C}$ 以下と設定した。

また、溶接入熱を増大した場合、溶接熱でピーク温度に達した後の温度低下速度遅くなるため、溶接金属や HAZ(溶接熱影響部)のじん性或強度が低下する。その対策として、入熱制限を 1 パスの入熱量を  $7,000\text{J}/\text{mm}$  以下と設定した。

これらをプロセス管理するため開先精度の確認・溶接時の品質管理(入熱量・収缩量・直線度・角変形量)を継手全線にわたって管理シートにまとめた。

#### 5. 5 溶接工程

現場の工程は、平成 19 年度に供用予定としており、平成 18 年度中に 4 車線で暫定供用 その後旧橋の補修工事行い現 4 車線から 6 車線(現橋 3 車線・新橋 3 車線)に拡幅予定であった。

そのため、架設工程は、全ての工種で余裕のないタイトなものとなっていた。その中でも現場溶接は、ボルト接合に比べ所要日数を短縮できる要素が少なかったが、溶接收縮や残留応力・溶接変形をより少なくし、かつ所要日数が短縮できる溶接順序と施工手順の工夫を図った。

溶接作業の 1 断面当りの所要日数は、溶接が 4~5 日/組、準備他とグラインダー仕上げ(検査含む)が 3~5 日/組の合計 7~10 日/組となった。

溶接施工の短縮方法としては、アーチリブ 4ヶ所、補剛桁 4ヶ所の 8~10 組配置として、各組の作業員を分業配置(準備工・開先調整・溶接・G 仕上げ・仮設材の撤去・片付・他)することにより実質 4ヶ月(経済施工では、7ヶ月程度)で完了することが可能となった。

施工を行う上で、個人技量差や施工箇所の板厚等の施工数量差による進捗度の調整は、施工組数の追加で支間中央からの対称施工を可能とした。

(但し、工期遵守を大目標としたので経済性では効率的とは言えなかった)。

#### 5. 6 維持管理への配慮

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」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たす。

そこで、腹板に「スリット加工部」を設け完全溶け込み溶接とした(図-7 参照)。

この角溶接部(スリット部)の完全溶け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。

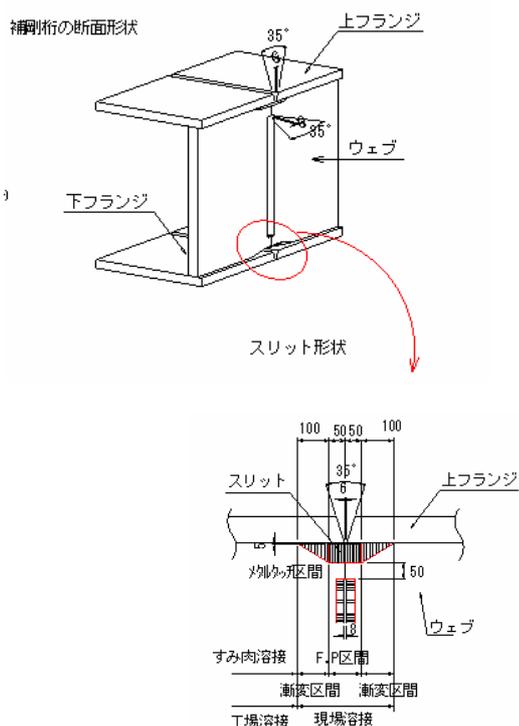


図-7 スリット加工図

### 5.7 スリット構造の溶接手順

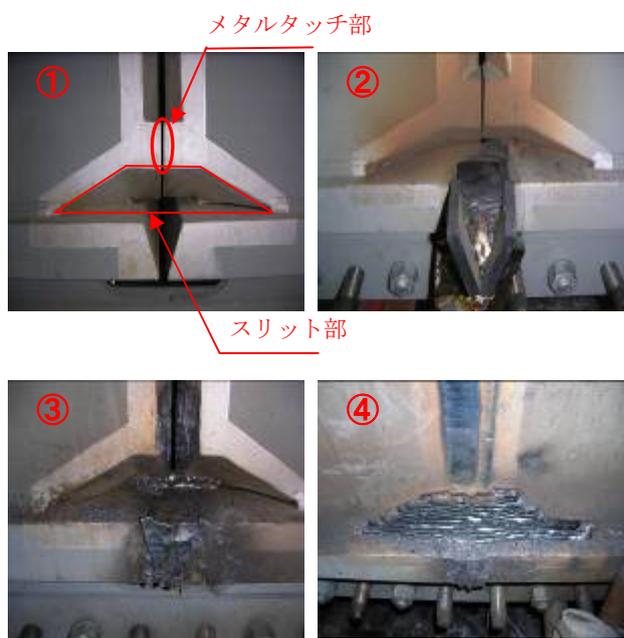


写真-4 溶接手順

- ① 溶接前の状況。上からウェブの開先、メタルタッチ部、スリット部、下フランジの開先を示す。
- ② エンドタブを用いて下フランジの溶接が完了した状況。

- ③ メタルタッチ部の除去後に開先面を形成した状況（この時点で下フランジ溶接による残留応力が除去されたと考えられる）。
- ④ ウェブの溶接とスリット部の溶接を交互に行った溶接完了の状況。この後、エレクトロシールドを撤去してウェブの溶接による応力が開放されたと考えられる。この後、グラインダー仕上げで完了。

### 5.8 非破壊検査

施工場所は、第3者が利用する国道1号と公園に隣接しているため、万が一放射線が漏れると危険なため溶接線全線を超音波探傷試験にて確認を行った。検査対象は、現場溶接線の全線とし基本をAUT(超音波自動探傷試験)とし、探触子の作動しないところはMUT(手動超音波探傷試験)での手動で対応した。

### 5.9 まとめ

本橋の施工管理、品質管理において特に配慮した事項を表-4、表-5に示す。

表-4 施工管理

溶接順序	
全体	①補剛桁・アーチリブの組立
	②支間中央より対称に溶接
各継手断面	フランジからウェブへと対称に溶接
溶接条件	
使用鋼材	低Pcm指定鋼を使用
溶接材料	(下向・横向) 590N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼用を採用
	(立向) フラックス入りワイヤー590N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼用を採用
変形防止	各継手断面の4隅にメタルタッチ部を設置
溶接環境	
風防設備の設置	広い作業床の確保, 防炎シートにて養生

表-5 品質管理

入熱量管理	
バス間温度確認	上限50℃
1バスの入熱量	上限,000J/mm
継手管理への配慮	
ウェブとフランジの交差点に「スリット加工部」を設	

## 6. おわりに

アーチ橋の極厚板仕様の全断面現場溶接継手は、国内では実績のない施工であり最新の技術にて施工を行った。品質検査結果も全継手箇所の開先形状、変形量、非破壊検査結果等、許容値内に極めて高い精度にて完成した。

今後の現場溶接技術の向上に役立つ反省点を、以下に示す。

① エレクションピースの高剛性化により 足場設備上での撤去作業が困難となった。(最大で200kg)

→ エレクションピースの構造改良(軽量化を図る工夫)

② スリット溶接(片開先)は、狭小部での溶接量が集中した部位となるため、開先裏面近傍の工場溶接(すみ肉溶接12mm)に応力集中あるいはひずみ等の影響が発生しないよう細心の管理を行った。→ スリット構造の改善(溶接量の低減が図れるような開先形状の変更等)

今回は、特殊な条件下での溶接構造となり、貴重な実績となった。今後は、施工時間・コスト・構造等の検討に加えて施工性にも着目し、高品質な溶接管理を目指し、努力して行きたい。

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。

以上

## 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、2006.7