

第12回土木施工管理技術論文【優秀論文賞】紹介

# 極厚板を使用した大規模アーチ橋の現場溶接 (全断面現場溶接)

日本橋梁建設土木施工管理技士会  
川田工業株式会社  
現場代理人 鶴飼 昌一

## 1. はじめに

シンボリック橋梁に併設された橋梁建設において、現橋形式を尊重したデザインの制約で可能な限りスレンダー構造とした大規模アーチ橋であった。

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るため、小断面にて極厚板(板厚 49~82mm 材質 SM570、SM520)を使用した。そのため現場継手は、ボルト接合を用いた場合に、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。

最近では、少数主桁や細幅箱桁などの厚板を多用する鋼橋が主流となっており、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 架設完了時の全景

橋梁諸元は、鋼単純ローゼ桁(鋼重  $W = 2,550t$ 、支間  $L = 147.6m$ 、総幅員  $B = 19.7m$ 、主構間隔  $21.5m$ )である。

## 2. 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(溶接割れの発生)・形状変形(角変形・やせ馬・目違い)や残留応力(性能不良・疲労)が、継手の性能と品質を損なうため、これら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。

### 2. 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:アーチリブを両端より溶接する)

①補剛桁の組立と溶接

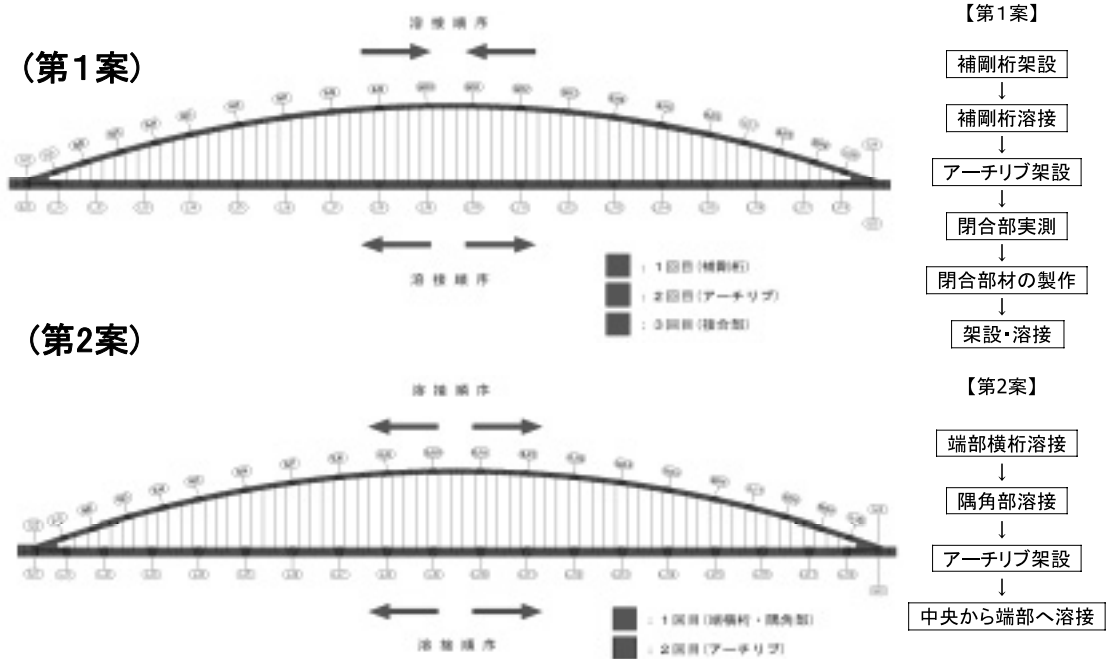
②アーチリブの組立・溶接

③誤差を吸収した閉合部材の製作・溶接(第2案:アーチリブを中央より溶接する)

①補剛桁・アーチリブの組立

②中央より対称に補剛桁・アーチリブを溶接の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



図一 全体の溶接順序

側の溶接を完了させた後、閉合ブロックを溶接するため、両側の溶接収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、溶接収縮を端部(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-1に全体溶接順序を示す。

第2案の決め手は、

- ①溶接収縮を中央より端部に逃すため、全体系での変形が少なく主構造への影響が軽減できる。
- ②第1案は、閉合ブロックを最後に溶接するため、応力が残り実測反映する製作効果が半減する。
- ③補剛桁とアーチリブの同時施工により施工日数の大幅短縮が可能となる。
- ④第1案に比べ、アーチリブ架設前の補剛桁溶接期間の待機がなくなるため、大型クレーン損料期間を大幅に短縮できる(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。

## 2. 2 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トロシムピースと開先面の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、高剛性エレクトロシムピースを撤去した時に除去

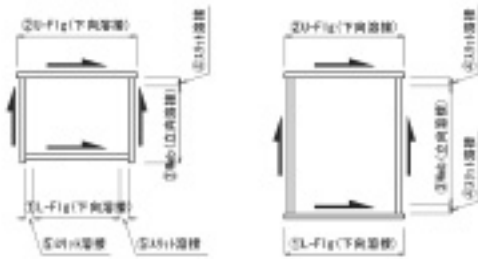


図-2 各段面の溶接順序

されると考え決定した。図-2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ウエブ6mmと決定した。

溶収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。

### 2. 3 溶接条件

溶接条件を表-1に示す。

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

表-1 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)
	ウエブ	立向きと横向き (全自動溶接)

る予熱低減を図っている低PCM（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の防止に配慮した。

溶接材料は、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 $+5 \sim -3$ mm（規定値 $\pm 1$ mm）、目違いを目標値3mm以下（規定値5mm以下）と設定した。（ ）内は道示規定値。

### 3. 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

表-2 溶接入熱管理

〔下向き〕				
	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱量 (J/mm)
初層	180~230	20~28	60~150	6,400以下
中間・仕上層	200~350	20~36	150~350	5,040以下
〔立向き上進〕				
	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱量 (J/mm)
初層	170~220	19~25	30~150	7,000以下
中間・仕上層	180~250	20~35	35~200	7,000以下
〔横向き〕				
	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱量 (J/mm)
初層	180~230	20~28	50~300	7,000以下
中間・仕上層	200~350	20~37	100~600	7,000以下

あるため、許容されるパス間温度の上限を250℃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が遅くなるため、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7,000J/mm以下と設定した。

溶接条件として、溶接施工試験より溶接電流・アーク電圧・溶接速度の管理値を決定し、入熱量の管理をした。ただし、この範囲の中心値が、常に最適値とは限らず溶接物の状況により高めや低めの電流・電圧設定が望ましい事もあるため、最適の溶接条件で施工するように作業員への指導教育に努めた。表-2に溶接入熱管理を示す。

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・収縮量・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。

#### 4. 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す。

そこで、腹板に「スリット加工部」を設

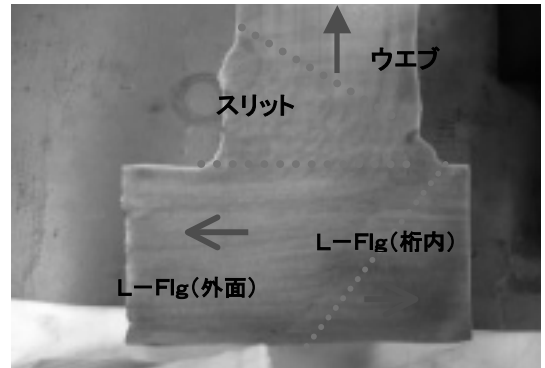


写真-2 スリット部マクロ試験片

け完全溶け込み溶接とした（写真-2参照）。

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。

#### 5. スリット構造の溶接手順

- 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

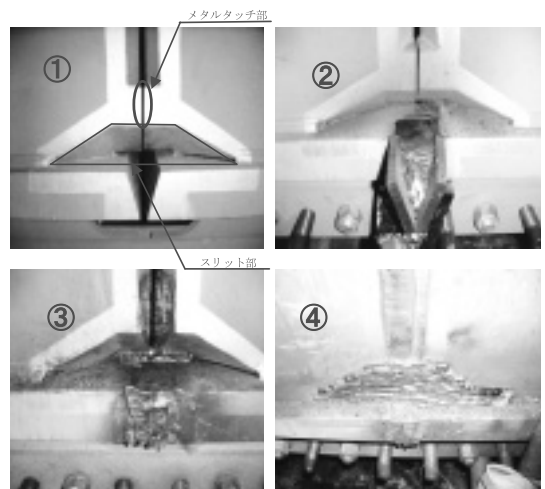


写真-3 溶接手順

よる残留応力が除去されたと考えられる)。

- ④ウエ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、エレクションピースを撤去してウエ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。

## 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。