

【論文・報告】

鋼製橋脚現場溶接施工報告書

Report of Field Welding of Steel Bridge Columns

増田 博 次*
Hirotsugu MASUDA菅 野 啓 行**
Yoshiyuki KANNO内 田 修 平***
Shyuhei UCHIDA早 川 清**
Kiyoshi HAYAKAWA

1. まえがき

橋梁の現場継手は、ほとんどが高力ボルトで施工されていたが、構造物の大型化、複雑化、外観上等の関係から、現場溶接の必要性が論じられ急ピッチで適用されはじめています。本報で論ずる橋脚については、形状の関係から手溶接施工を主体としという円形橋脚を除いて、橋脚横梁に自動溶接が適用されている。

このたび、首都高速道路のKE51工区高架橋橋脚の現場継手に、横向自動ガスシールドアーク溶接を適用したので報告する。

発 注 先；首都高速道路公団

工事内容；独立2柱(角柱)式鋼橋脚9基

P104～P112

上記構造の詳細設計、製作及び架設工事

溶接継手；2.5m×2.5m 50継手

板厚 13mm～63mm

材質 SM50Y, SM58

工事場所；東京都江戸川区船堀1丁目、2丁目

工事工期；昭和59年9月19日～昭和61年2月10日(溶接施工；昭和60年9月25日～昭和61年1月23日)

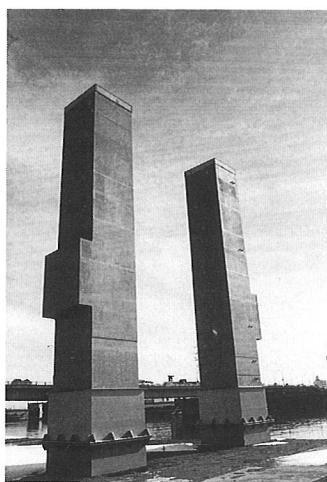


写真-1 KE51工区橋脚

2. 工事概要

工 事 名；KE51工区(その1)高架橋橋脚構造新設工事

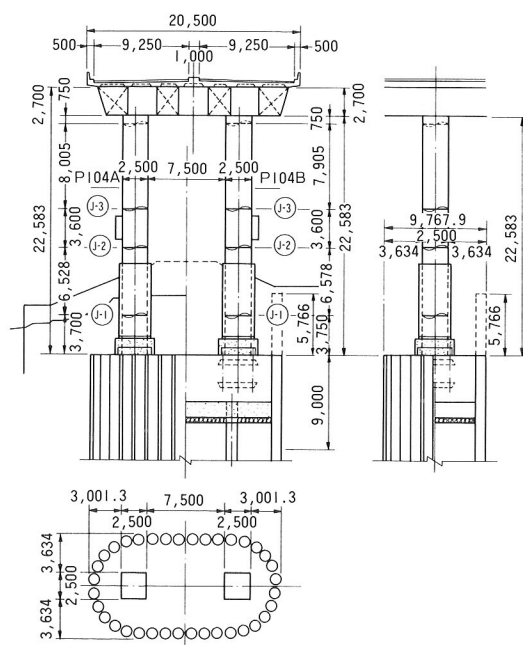


図-1 橋脚一般図(P104)

*川田工業(株)東京本社工事部工事課 **川田工業(株)技術本部溶接研究室 ***川田工業(株)四国工場生産技術課

3. 架設

当工区の工事範囲はP104～P112までの9橋脚で、工事区域内は荒川と中川の背割りした中堤内であり、その中堤に側って高架橋を施工するものである。架設は四国工場で製作されたアンカーフレーム及び橋脚を海上輸送にて東京港へ荷上げし、そこからはしけ等により荒川を利用して水上輸送し現場付近の工事用棧橋にて水切りして、トレーラーにより現場まで小運搬した。現場に搬入された部材は、トラッククレーン（メカニカル150t）にて取おろした。アンカーフレーム据付後、基礎業者によりコンクリートを打設、養生された後、橋脚を1ブロックつづ積み上げて鋼脚内のリブ継手により仮締めし、建込みを行った。

本橋脚は上部工2期施工（橋脚より張り出すランプ桁）工事による死荷重たわみに対処するため、脚が橋軸方向へ最大38mm倒れる橋脚もあり、溶接後橋脚上端にて倒れ量を測定し、更に座標値を測定してアンカーボルトを締め付け固定した。

上部工が脚と横梁により一体構造となり、さらにその横梁と橋桁が一体となる構造のため、高い架設精度が必要とされた。そのため、現場の完成精度目標値を、標高値で10mm以内、橋軸方向及び橋軸直角方向位置で15mm以内とした。

また、接合面が現場溶接継手となるため、ルートギャップの確保及びコーナー部の処理方法について種々検討を行ない、ルートギャップは単に溶接継手の品質に影響するだけでなく、鋼脚の寸法にも影響を与えるため、四隅をメタルタッチとした方法を採用した。この方法は、ルートギャップ設定値の板厚の支圧板を用いる事によって、ルートギャップを確保するものである。この支圧板は、先行のWEB溶接後完全に除去した。

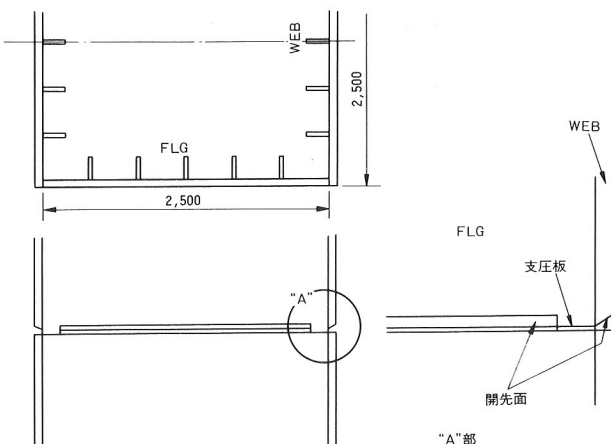


図-2 四隅をメタルタッチとした方法

4. 溶接

(1) 溶接方法

現場溶接の安全衛生上より狭い脚内での作業を出来るだけ少なくすること、及び溶接効率向上の点より、溶接方法としてガスシールドアーク片面裏波横向自動溶接とした。溶接は溶接線上約400mmの位置に取付けたレールにウィービング機構を備えたキャリッジを走行させておこなった。裏波溶接であるため、初層の溶接には十分な溶着量及び溶け込みが必要であり、またアンダーカットを防ぐためや、ルートギャップ、目違いの量等により適用溶接条件に注意して施工する必要がある。なお、中間層、仕上層においても十分な経験と習熟が必要である。これらの条件を把握するため、施工前に溶接訓練及び溶接施工試験を行った。



写真-2 溶接装置

(2) 開先形状及び溶接条件

開先形状及び溶接条件は溶接施工試験に基づき表-1のとおりとした。

表-1 標準溶接条件

		電流 (A)	電圧 (V)	速 度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)	トーチ角度		注3) ウィーピング			
						注1) 上下角	注2) 後退角	(ウィーピング角度) 斜 角	幅 (mm)	高さ (mm)	回数 (回/分)
初層	ル ー ト ギャップ 5mm	230±5	26±1	11±1	33	16°	14°	17°	10	3	50~60
	ル ー ト ギャップ 6mm	220±5	26±1	10±1	34	〃	〃	28°	8	4	〃
	ル ー ト ギャップ 7mm	200±5	25±1	9±1	33	〃	〃	40°	6	5	〃
中 間 層		270±30	30±2	20~50	9~26	0°~50°	0°	0°	0~10	—	〃
仕 上 層		250±20	29±2	〃	8~21	〃	〃	〃	〃	—	〃

開先形状

13 ≤ t ≤ 63

注1) 上下角(θ₁) 注2) 後退角(θ₂)

注3) 斜角(θ₃)、幅(d₁)、高さ(d₂)

走行時
ウィーピングによる
トーチの軌跡

停止時
停止時に調整

(3) 耐風及び耐熱方法

現場溶接の耐風性を考慮して、二重シールドトーチを使用した。二重シールドトーチはシールドガス流量を増大させ、シールド性の向上をはかるものであり、ガス流量は、外側、内側とも中板時、50～60l/minとし、厚板時には開先内にチップを挿入する必要があるため、外側、内側とも70l/minとした。

初層溶接は30分程度を要し、開先内に深くチップを挿入するため、チップは長く、耐熱性があるものが要求される。そこで、セラミックでコーティングしたロングチップの使用も検討したが、結果としては、ジョイント式のロングチップで十分対応できた。

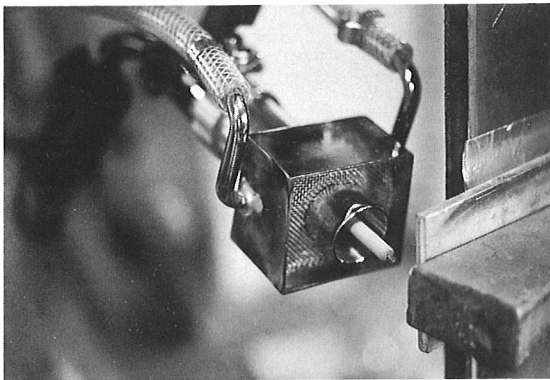


写真-3 二重シールドトーチ

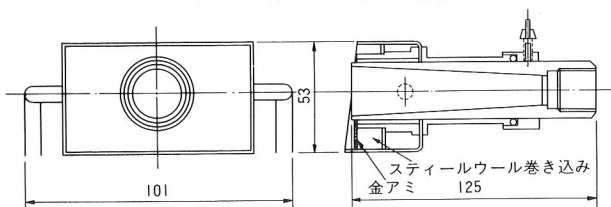


図-3 二重シールドトーチ概略図

(4) 溶接施工

a) 溶接作業フローチャート

溶接作業のフローチャートを図-4に示す。

b) 作業足場及び風防設備

足場は単管パイプを脚の回りに四角に組上げ、その内側にビティ足場による昇降設備を建て左右両脚の連絡通路を設けて作業の円滑化を計った。作業床は、溶接線から1m程下がった位置に足場板を敷きつめ、更に耐水ベニヤを敷きつめた。また施工面の床には石綿シートを敷き防火をはかった。

風防設備は、工事量(50継手)と溶接工程を考慮して10基製作した。足場の構造を考慮すると、風防設備は軽量であること、また移動組立、解体が頻繁であるため、組立、解体が容易であることを念頭におき設計した。材料は軽量鉄骨と耐水ベニヤをボルトにより組付、組立てる

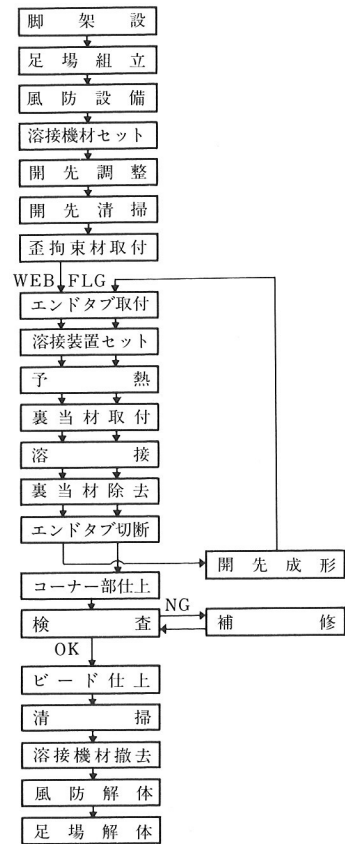


図-4 溶接作業フローチャート

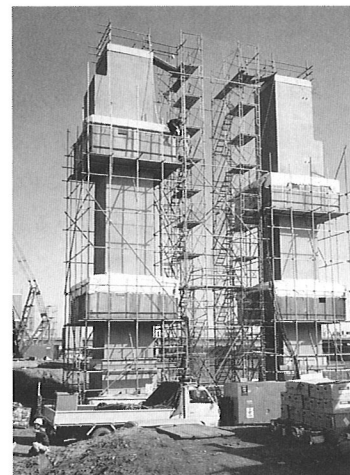


写真-4 足場及び風防設備

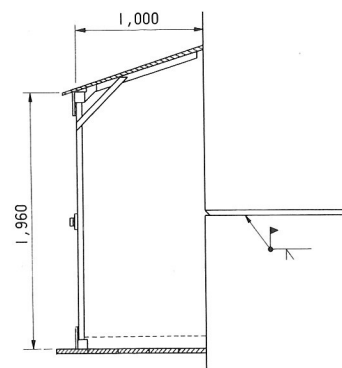


図-5 風防設備断面図

もので、手作業による解体又は、2～3分割してクレーンによる解体も可能であるよう考慮した。施工時の風速測定の結果、外部が10m/sでも、溶接線付近で0.5～10m/s程度であり、風雨等を防ぐに充分であった。

また、風防設備内は密閉された状態となるが、環境測定の結果、酸素濃度、一酸化炭素濃度等については問題なかったが、溶接ヒュームが満煙する為、防塵マスクを着用し、定期的に換気を行った。

c) 開先調整及び開先清掃

開先調整において、ルートギャップは支圧板により確保されており、架設後においても修正が必要な箇所はほとんどなかった。目違いについては、実験及び訓練において3mmまで施工可能であるが、目違いが大きくなると溶接が難しくなるため、できるだけ1mm以下となるように調整した。目違い調整は、調整治具と油圧ジャッキにより行い、調整後仮締ボルトを必要量だけ締めて保持した。図-6、図-7に施工直前の目違い量とルートギャップのヒストグラムを示す。

目違い調整後、開先清掃を行い、溶接部近傍の不純物を

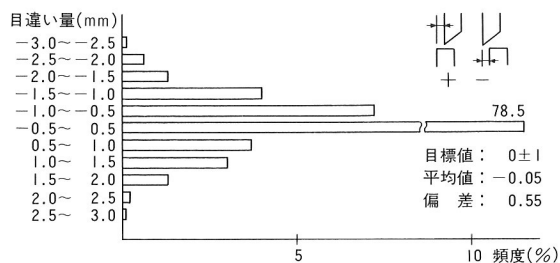


図-6 目違い量のヒストグラム

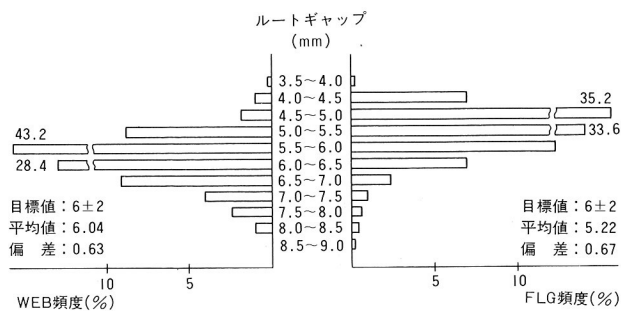


図-7 ルートギャップのヒストグラム

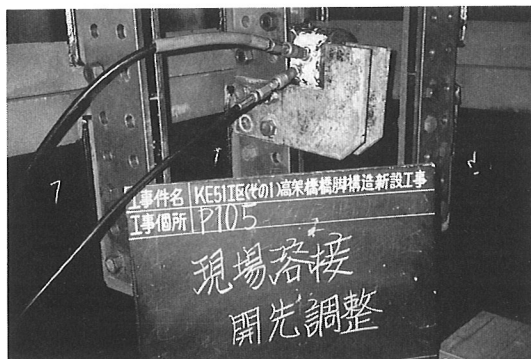


写真-5 目違い調整状況

を完全に除去し、溶接時まで養生した。

d) 予熱

予熱は、板厚、材質に応じ、表-2の条件で行った。予熱方法は、酸素、アセチレンガスを使用し、溶接線の上下100mmの範囲を加熱した。予熱温度の確認は、温度チョークを用いて行ない、確認後すばやく裏当材を取付け溶接した。

e) 溶接

溶接の施工にあたり、開先内の清浄度を再確認し、溶接装置の取付を丁寧に行なう必要がある。本装置は、上下前後に調整可能であるが、溶接走行中に動かしすぎると内部欠陥の発生及び上層の積層に影響を与えるため幾分凹凸となっている溶接線に倣うよう調整する必要がある。装置としてはPicomax-2を用い、ソリッドワイヤ

表-2 予熱温度

材 質	板 厚 (t) (mm)	予熱温度 (℃)	予熱温度確認 温度チョーク
SM50Y	$t \geq 25$	80～100	83℃用
	$t < 25$	40～60	48℃用
SM58	$t \geq 25$	80～100	83℃用
	$t < 25$	40～60	48℃用



写真-6 裏当材取付状況

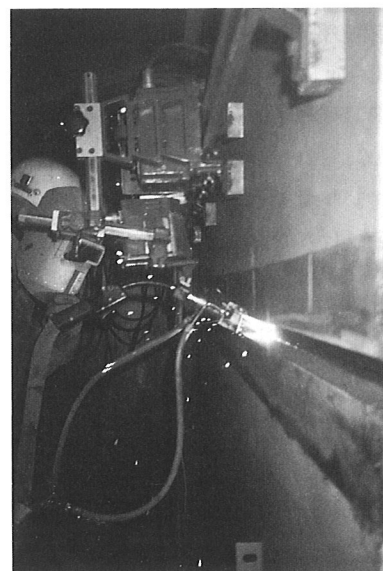


写真-7 横向自動ガスシールドアーク溶接

(YM-60)と裏当材(FBB-3)を組み合わせた。良好な裏波を得るため、初層はウィーピングを行い、2層目以降はストレートビードで溶接した。溶接はWEB側を先にやるものとして、2台の溶接機で相対する面を同時に溶接した。

WEBの溶接完了後、エンドタブを切断し、FLG支圧部をガウジングではつり取り、開先を形成したのち、FLGの溶接を行った。可燃性裏当材FBB-3はアルミ箔上の接着剤により取付ける構造であり、取付時には、脚内面寸法に合うように裏当材を切断し脚内面に密着させるものとした。また脚内面角溶接部は、裏当材密着のため、内面溶接ビード(工場溶接)を除去しておいた。なおこの部分はその溶接の再施工を省略する為に、工場溶接時に必要範囲を完全溶込み溶接としている。

FLG面のルートギャップは先行のWEBの溶接により、1mm程度のつまりを生じているが、ルートギャップの許容値を十分満すものであった。片面裏波溶接を現場施工するに際して、ルートギャップや目違いの変化に対応するため、オペレーターがたえずワイヤねらい位置やアークの状態を監視して、必要に応じ、溶接条件やトーチ高さ、ワイヤ突出し長さを調整する必要があり、自動溶接といえども熟練を要する溶接である。

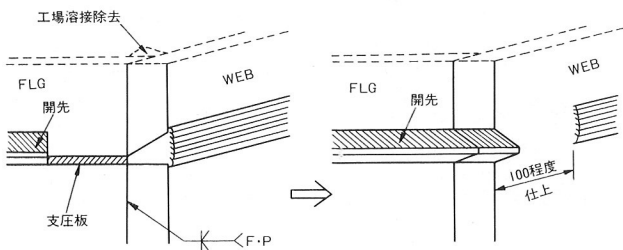


図-8 コーナー部開先成形

5. 溶接による変形

(1) 収縮

溶接収縮の一例を図-9に示す。溶接による収縮量はWEB面、FLG面ともに2mm程であり、さらにFLG面は溶接前にWEB溶接によるつまりを1mm程生じている。溶接収縮によって、脚の高さの変化量は(WEB面の収縮量とFLG面のつまり量を含んだ収縮量の平均とすると)約2.5mm/継手ではなかったかと推定できるが、実測はしなかった。

溶接収縮の推定式は、現在いろいろ提唱されているが、一般的なSparagenの式(Sp)を用いてみると以下の様になる。

$$S = Sp \times \alpha \quad (1)$$

$$Sp = 0.18Aw / t + 0.05d \quad (2)$$

S : 収縮量

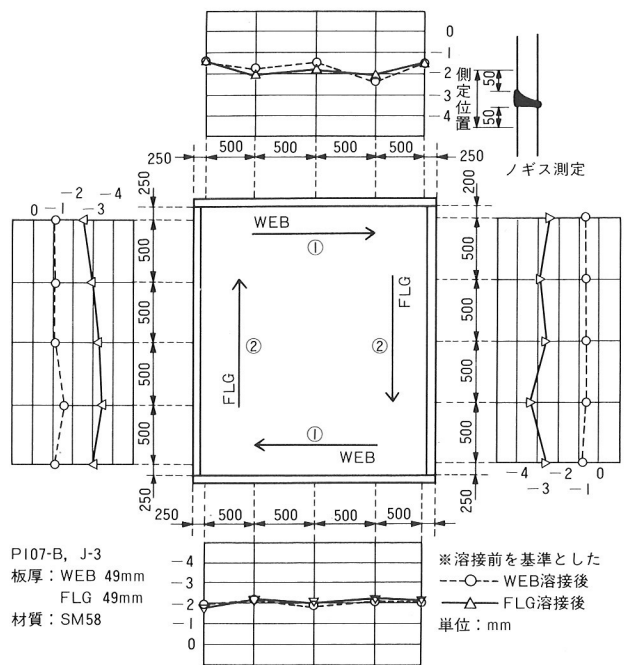


図-9 収縮量測定結果

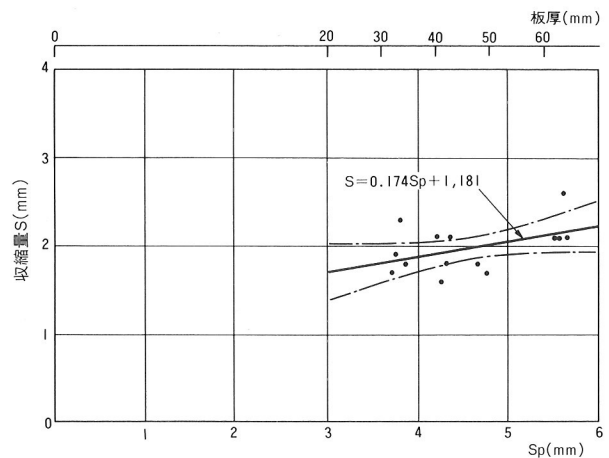


図-10 収縮量と板厚・Sp値との比較

Aw : 溶着断面積

t : 板厚

d : ルートギャップ

α : 補正係数

ここでの α は、溶接方法、溶接姿勢、拘束状態に対する補正係数であり、炭酸ガスシールドアーク片面裏波横自動溶接における補正係数 α は、本工事においては、 $\alpha = 0.174$ で与えられ、SとSpの関係は次のようになった。

$$S = 0.174 \times Sp + 1.181 \quad (3 < Sp < 6) \quad (3)$$

ばらつきの主要因としては、開先精度、溶接条件等によるものと考えられる。実収縮量(溶接による収縮量であり、つまり量は含まない)と板厚・Sp値との比較を図-10に示す。

(2) 面外変形

施工方法が片面溶接であり、脚外面側からの溶接であ

るため、ほとんどが脚の内面側に湾曲する傾向であった。面外変形測定結果の一例を図-11に示す。測定は、外面コーナー部を基準とした。面外変形を少なくするために歪拘束材を中央縦リブ間に取付けたが、変形量は平均で1.6mm、最大で3.5mm内側へ凸となった。この量は道路橋示方書の面外変形の許容値(この場合 $W=2,500$ より、 $W/150=16.7$ mm)に比べ非常に小さく、拘束を行なえば、変形はほとんど問題とならないといえる。面外変形と板厚との関係を図-12に示す。

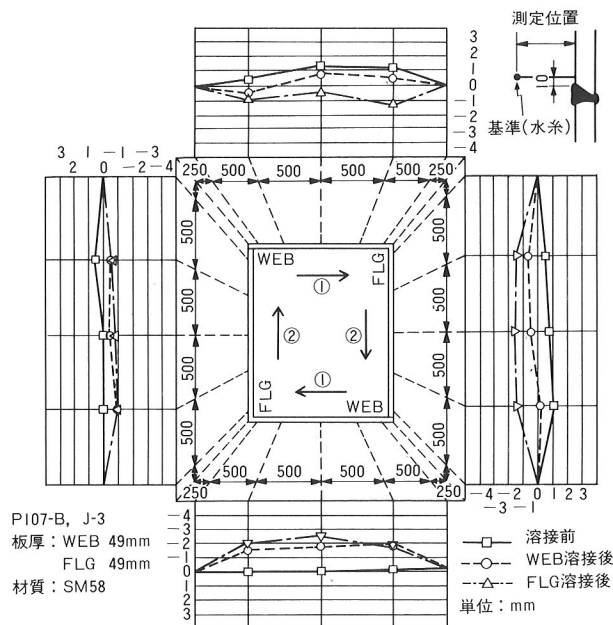


図-11 面外変形測定結果

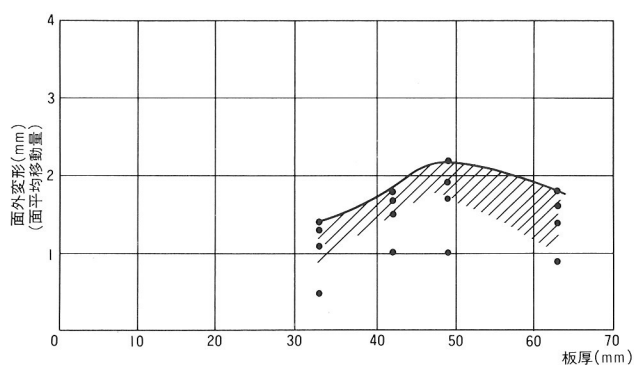


図-12 面外変形と板厚



写真-8 歪拘束材取付状況

(3) 部材の傾き

溶接による部材の傾き(倒れ)をトランシットを用いて測定したが、傾きはほとんど生じていなかった。

6. 検査

溶接部の内部欠陥検査として溶接線全長の放射線透過検査(合格基準, JIS・Z・3104・2級以上)を行った。ただしコーナー部については放射線透過検査が不可能であるため、超音波深傷検査(合格基準, JIS・Z・3060・2級以上)とし、検査長は角から100mmとした。また、余盛ビート仕上げ後、表面欠陥検査として全線浸透探傷検査(合格基準, JIS・Z・2343・2級以上)を行った。P104~P112の放射線透過検査において、欠陥率は21.5%であった。

(1級; 18.4%, 2級; 3.1%)欠陥の種類を図-13に示す。溶接が炭酸ガスシールドアーク溶接であるため、1種欠陥が多く発生しているが、ほとんど1級欠陥であった。

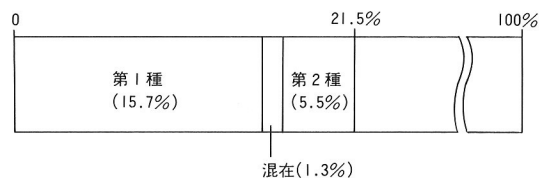


図-13 欠陥の種類

7. まとめ

結果からみれば、溶接部の品質及び溶接による変形は、許容値をほぼ満足するものとなった。しかしながら今後の課題となるものもみうけられた。

(1) 段取り作業の効率化

自動溶接作業工程における溶接時間(アークタイム)の割合は約16%程度であり、他はこれに付随する段取り作業であった。いかに効率よく行うかが作業能率化のための課題である。その課題と考えられるものを以下に示す。

a) 作業スペース

本工事においては風防設備を設け、幅1mの作業スペースを確保した結果、溶接作業に対する平面的なスペースは十分であった。しかし、溶接線の上下方向については、溶接装置を取付ける必要上、700mmを確保するのが望ましいが、本工事において、溶接線の上下500mm程度に板継部、横梁仕口があるところが数ヶ所あり、溶接装置の取付に時間を要した。

b) 溶接装置の取付け

溶接装置が溶接線に倣って走行するよう調整する必要がある為、調整治具を検討する必要がある。

c) その他

溶接機器の適切な配置(配線含む)、開先調整作業の低減、移動時の作業の効率化等がある。

今後の工事においては、段取り作業を事前に十分検討し、アークタイム率をできるだけ高めることが必要である。

(2) ビード仕上げ

溶接部の余盛は板面までグラインダー仕上げしたが、目違いや、アンダーカットの影響で作業が難しく時間がかかった。疲労強度や外観上影響のない場所は余盛を省略するか、または1mm程度ビードを残す仕上げとする方が望ましい。

(3) 風防設備

本工事において、軽量鉄骨の骨組にて風防設備を製作したが、風速15m程度までであれば、防火シート養生で良好な施工をした実績もあり、段取りの能率化、経済性の面から、簡略な防火シート養生を再考してみることも良いのではないかと考える。

8. あとがき

本工事の工程は、基礎JVより作業を引き継ぎ、橋柱の溶接施工完了後、再度基礎JVに引き渡して埋め戻し完了後、附属物の溶接・塗装という事で工程管理上の難しさがあった。また、作業時間帯も限定されていたため溶接パーティーを3パーティー導入して、休日返上で作業を進めたかいあって、工期内に工事が完了した。

今後、本工事の経験をふまえ、現場溶接のより以上の品質、能率の向上に研鑽を重ねたい。