

# 橋脚水平継手に適用する

## 裏波自動溶接法の実物大施工試験

工 藤 憲 二<sup>1)</sup> 小 牧 知 紀<sup>3)</sup>  
宮 前 馨<sup>2)</sup>

ガスシールド自動溶接法による裏波溶接は、下向姿勢の実績は数多くあり、公表されている資料、文献も多い。しかし実用構造物に適用した水平姿勢でのガスシールド自動溶接裏波法の実例は我国では、数少ない。今回橋脚水平継手に表題の溶接工法を適用するにあたり施工試験を行った。本稿は試験結果の概要をまとめたものである。

### まえがき

今回首都高速道路公団より高速道路の橋脚を10基受注した。鋼材は60キロ級高張力鋼を使用し、最大厚36mmあった。橋脚の最大長は約21mあり、水平継手を2ヶ所現地溶接する構造であった。又溶接長が2.5mあり、溶接作業性、環境、継手性能などを考慮し表題の溶接施工法を採用する事とした。さらに本試験に先立ち、工場に於いて予備実験を行い、開先形状、適正溶接条件、目違い許容量を決定した上で、架設現地に於いて実物大の供試体により施工試験を行った。



写真-1 試験場全景

### 1. 試験概要

#### (1) 試験場所

試験場所は、橋脚の架設現場である東京都江戸川区の中川放水路と荒川にはさまれた中堤で行った。(写真-1 参照)

#### (2) 供試体形状寸法

本工事の橋脚のうち最大板厚を選定し、外形寸法は本工事に準拠した。材質は、高張力鋼 (SM58Q) を使用しウェブ材はH36mm、フランジ材はH19mmとした。総重量は約7TONあった。(図-1 参照)

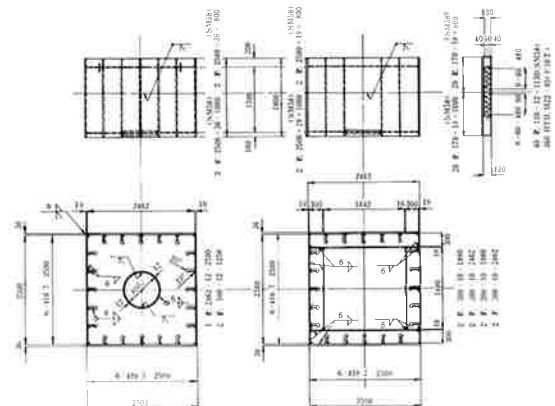


図-1 供試体形状寸法

#### (3) 本試験による検討項目

本試験で確認、あるいは、検討すべき項目を、下記のように決めた。

- ① 現地の環境調査、特に、風速、気温、湿度に着目して行う。
- ② 溶接施工法が適正であることを確認する。
- ③ 溶接タイムスタディ記録から、溶接効率の検討を行う。

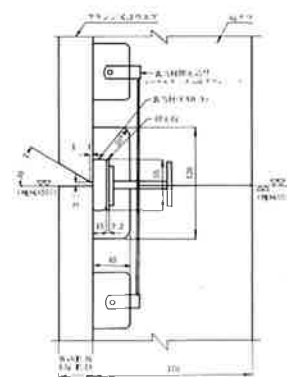


図-2 開先形状

1) 技術部技術課係長

3) 技術部技術課

2) 技術部技術課

- ④溶接歪の測定を特に、対角寸法、横収縮量、縦収縮量、面外変形量に着目して行う。
- ⑤溶接継手の品質確認として、外観検査、内部欠陥検査（X線透過検査、超音波探傷検査）、さらに機械的性質の確認を行う。
- ⑥発生しやすい溶接欠陥の対策処置について検討を行う。

## 2. 試験方法

### (1) 溶接施工法

ガスシールド自動溶接法により行ない、シールドガスはCO<sub>2</sub>100%とし、ストリングビードによる裏波法で行った。溶接装置は、神戸製鋼所製のPICOMAX-2を使用した。

### (2) 溶接材料

溶接芯線は、神戸製鋼所製のMG60(1.2φ)を使用した。また裏当材は同じく神戸製鋼所製のソフタバッキング材FAB-3を使用した。

### (3) 開先形状

開先形状は、図-2に示すように定めた。

### (4) 風防設備

試験現場は河川の中堤であり、風が非常に強いことが予想されていたので、試験体を全面風防により風から防護した。又、風防内の換気を考慮し、換気ファン2台を設置した。

### (5) 試験手順

図-3に定めたとおり現地での準備を除いて4日間の工程とした。

### (6) 溶接順序

残留応力と、収縮変形を極力少なくするため最初に収縮量の大きい方（板厚大）を先に行ない、また



写真-2 試験体上部吊込



写真-3 風防設備組立

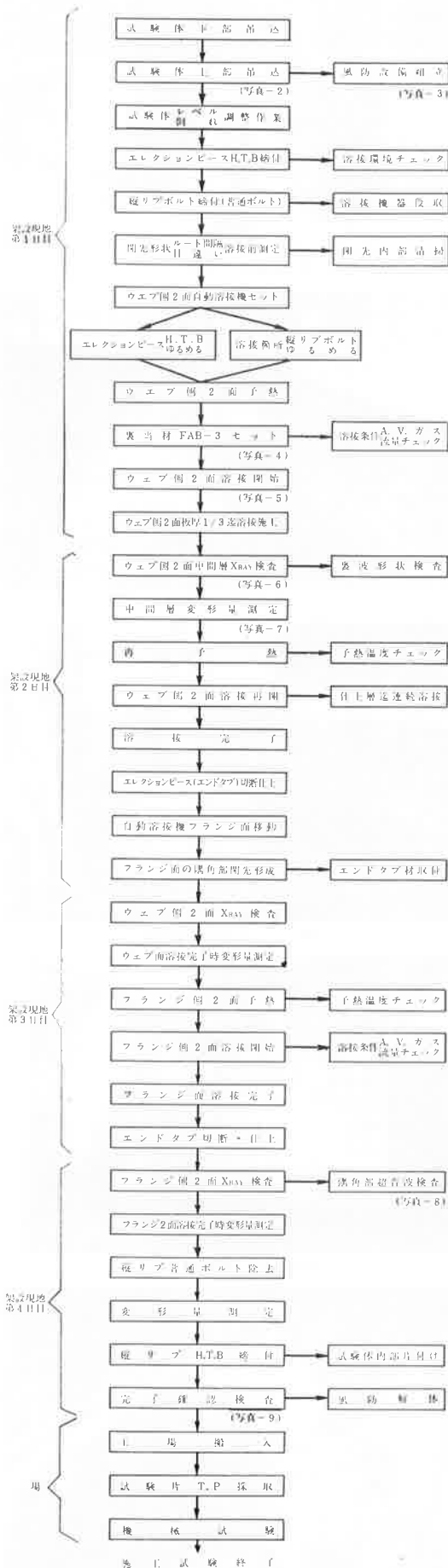


図-3 試験手順

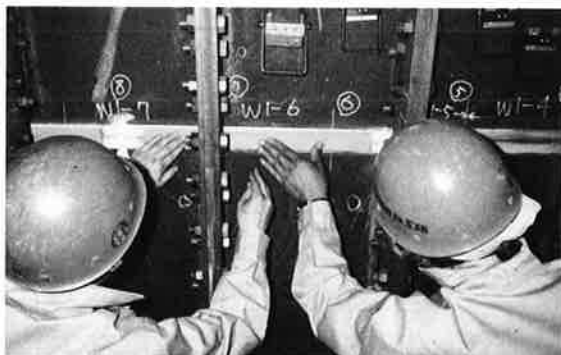


写真-4 裏当材(FAB-3)セット



写真-9 現地試験完了供試体



写真-5 溶接中

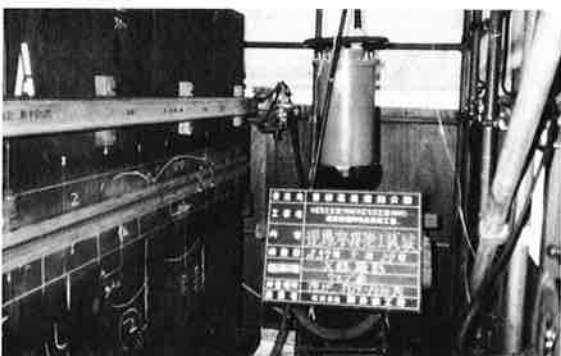


写真-6 X線透過試験



写真-7 変形量測定



写真-8 隅角部超音波探傷試験

溶接装置は2台を対面同士に配置し、対称方向に同時溶接を行った。

### (7) 予熱方法及び予熱温度

ガスバーナーにて溶接線の上下100mmの範囲を予熱し、その温度範囲はH36で80~100℃ H19で40~60℃に設定した。

## 3. 試験結果と考察

### (1) 現地の環境調査結果

試験場所が、川の中堤でしかも海に近い事もあって風速はかなり強く、最大で9 m/secが記録された。しかし、風防内は無風状態に近く、最大で0.2 m/secが1回記録されただけであり、風防設備が完全であることが証明された。

### (2) 溶接効率の検討

H36のアークタイム率は平均で58%であり、H19では約50%であった。また熔融速度の面から手溶接およびCO<sub>2</sub>ガスシールド半自動溶接に対して比較してみると、本施工法による平均熔融速度は1パス当たり約28cm/minである。手溶接とCO<sub>2</sub>半自動溶接の横向姿勢ではそれぞれ約10cm/minと20cm/minであり、本施工法は手溶接の約2.8倍、CO<sub>2</sub>ガスシールド半自動溶接の約1.4倍であることがわかった。

### (3) 溶接歪の測定結果

対角寸法はH36で平均1.1mm、H19で-0.87mmという、ごくわずかなマイナス傾向を示した。

横収縮量の測定結果を図-4に示す。また図-4をもとに、溶接線をはさんだ60mmスパンでの測定結果を図-5にまとめた。これを見ると溶接完了時にH36では最大3.0mmの収縮量を示し、H19では2.4mmの収縮量を示している。さらに250mmスパンでの測定結果を図-6にまとめた。これを見るとH36では最大2.6mmを示し、又H19では2.3mmを示した。60mmスパンと250mmスパンでは両者差異はごくわずかであり、収縮の範囲が溶接部近傍に限定される事がわかった。

板厚の大きい方2面を先に溶接し、その後他の2面を溶接した。その際、先行2面の横収縮の影響が後行2面にどの程度現われたかを次に述べる。

H36の2面を先に溶接し、その次の日、H19の2面を溶接した。その際、H36の横収縮によりH19の

隅角部のルートギャップが、約1mm収縮する事がわかった。その結果、本試験ではR19のルートギャップが、2.0~2.5mmとなり、許容範囲から外れる可能性が強まった為、隅角部のルートギャップを、電気グラインダーにより、2.8mmに広げてから、溶接を行った。

縦収縮量はR36、R19共約0.5mmでほとんど無視し得る収縮量である。

角変形量は、R36で最大6度、平均で4度あり、R19で最大4度、平均で2度、発生する事がわかった。この事から、ビード中心軸での面外変形量は、R36で最大3mm、平均で2mm、R19で最大2mm、平均で1mm、内側に折れることがわかった。

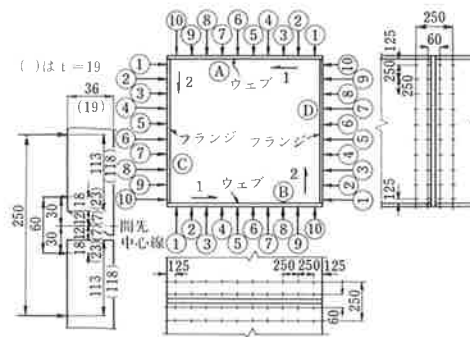
(4) 溶接継手の品質確認結果

外観検査結果は、自動溶接ビードの特性を生かし、裏波ビード波形も全溶接線にわたってそろっており、許容値を越えるアンダーカットもなく、良好であった。(写真-10、11参照)

またX線透過試験結果は、JIS Z3104に基づき、t/3溶接時と溶接完了時の2段階に分けて、全線撮影した。R36でブローホール1個が1個と、スラグ巻込み5mmが1個検出されただけで、この2枚を含めて、いずれも1級であった。ブローホールはt/3溶接時に発生したものであり、スラグ巻込みはt/3溶接時以降に発生したものである。

隅角部の超音波探傷試験は、JIS Z3060に基づき端部から100mmの範囲を行った。その結果、いずれも1級無欠陥であり、隅角部の溶接が良好である事が確認できた。

機械試験結果は、引張試験結果は母材規格値58~73kgf/mm<sup>2</sup>に対して、67~70kgf/mm<sup>2</sup>であった。曲げ試験結果は、表曲げ、側曲げを行いいずれも、無



横収縮量の測定記録量

高径面	計測スパン	測定時刻	測定点										平均		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
A	60 mm	溶接前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Web中間時	1.4	1.6	2.1	2.1	1.9	2.5	2.3	1.9	1.8	1.4	1.9		
		Web完了時	1.5	2.1	2.7	2.7	2.4	2.9	2.7	2.4	2.3	1.7	2.34		
R36	250 mm	溶接前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Web中間時	1.0	1.3	1.7	1.7	2.0	2.0	2.0	1.1	0.7	0.9	1.44		
		Web完了時	1.3	1.7	2.0	1.9	2.5	2.4	2.2	1.2	1.0	1.3	1.75		
B	60 mm	溶接前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Web中間時	1.6	1.9	2.2	2.2	2.1	2.2	1.8	1.9	1.0	1.3	1.82		
		Web完了時	1.6	2.2	2.8	2.7	2.5	2.6	2.3	2.5	1.6	1.7	2.25		
R36	250 mm	溶接前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Web中間時	1.2	1.7	1.9	1.9	2.2	2.1	1.4	1.4	1.6	0.9	1.63		
		Web完了時	1.5	2.0	2.3	2.4	2.4	2.3	1.7	1.7	2.0	1.3	1.96		
C	60 mm	溶接前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Web中間時	1.1	0.4	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.9	0.55		
		Web完了時	1.1	0.7	0.6	0.7	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	1.2	0.68		
R19	250 mm	溶接前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Web中間時	0.6	0.5	0.3	0.1	0	0	0.1	0.1	0.3	0.6	0.26		
		Web完了時	1.0	0.7	0.5	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.8	0.44		
D	60 mm	溶接前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Web中間時	0.7	0.5	0.4	0.3	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.7	0.36		
		Web完了時	1.0	0.7	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.5	0.5	1.0	0.51		
R19	250 mm	溶接前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Web中間時	0.7	0.2	0.2	0	0.1	0.1	0.2	0	0.4	0.6	0.25		
		Web完了時	0.9	0.3	0.3	0	0.1	0.1	0.2	0	0.4	0.7	0.30		
Flg完了時			1.6	1.7	1.8	1.6	1.5	0.7	1.7	1.7	2.0	1.6	1.59		

図-4 横収縮量の測定結果

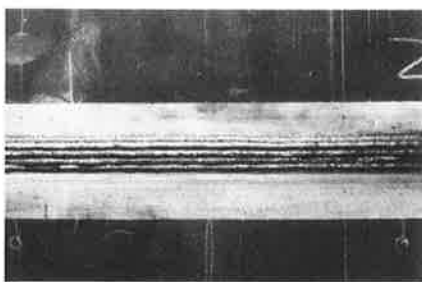


写真-10 表面ビード外観

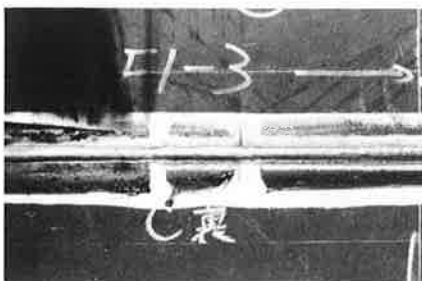


写真-11 裏波ビード外観

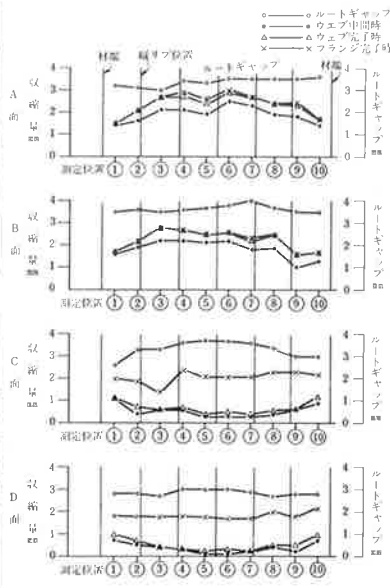


図-5 横収縮量(60mmスパン)

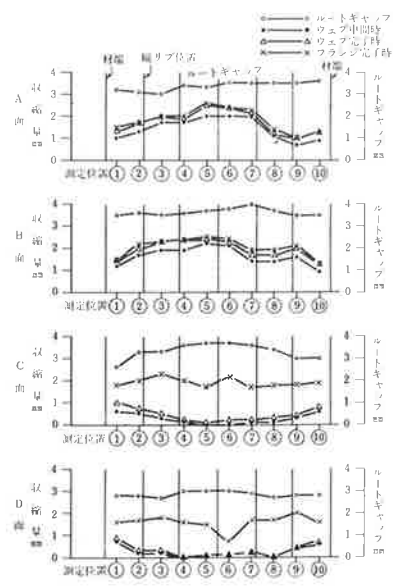


図-6 横収縮量(250mmスパン)

欠陥であった。シャルピー衝撃試験は、母材規格値4.8kgf-m(-5℃)に対して9.1~26.3kgf-mであった。マクロ試験は、隅角部を含めて、無欠陥であった。硬さ試験は、最高硬さの限界値、ビッカース硬度HV=370に対してHV=260~281であった。以上機械試験結果はいずれも良好であった。

(5) 溶接施工法の検討

初層溶接時の適正溶接条件の範囲が非常に狭く、また溶接線が2.5mあるため橋脚架設時の開先精度を適正に保持する事が、重要である。特に、裏波波形の良否は、ルートギャップと目違い量によって決定するといっても、過言ではない。

アークスタートしたら、溶接条件、溶接状況を注意深く監視し、開先形状の変化に対応して、微妙な溶接条件の調節を行うことが大切である。

また、裏当材の着装は、マグネットクランパーにより完全に、しかも適度な圧力で行うことが必要である。

一溶接線2.5mを連続溶接する為、ある程度ノズルチップにスパッタが付着する事は、避けがたい。また開先面および、溶接ビードにスパッタの付着やスラグ形成がある。これらの除去は、必らず、各パスごとに行う必要があり、これを怠ると、ノズルやチップに付着したスパッタの影響で、ガスの流出不足や芯線のつまりがおこり、溶接不能に陥ったり、ブローホール、スラグ巻込みなどの、溶接欠陥の発生原因になる。

今回、ガスシールド自動溶接により、片面から裏波法を実施したが、ほかに考えられる溶接法として、手溶接、またはガスシールド半自動溶接による、裏はつり方式がある。ここで、裏はつり方式との比較を行ってみる。まず、開先形状は後者の場合は同一と仮定しても、裏はつりを行なう必要があり、溶接断面の増加は免れない。

次に手溶接の場合は、溶接長が2.5mあるため、溶接棒の継ぎ足しを、頻繁に行う必要がある。それに伴って、始末端部の処置が必要となる。

さらに、溶接速度が遅く、溶接作業時間が長くなり、又、裏はつり作業が入る分だけ、アークタイム率は低くなる。

また橋脚内部に入っでの作業時間が長くなり、溶接ヒュームと粉塵のため作業環境の悪化を招く。さらに内部には縦リブが溶接線をさえ切る形で入っていて、作業効率が低下する。

しかし、溶接内部欠陥の除去という観点から判断すると、裏はつり方式は信頼性が高く、また開先精度が若干悪くても溶接施工が可能であるというメリットも大きい。さらに、表と裏の溶着金属量のバランスが取れ、角変形量が少なくなり、このため、残留応力も小さいという大きな利点を、見逃してはならない。以上、本試験で採用したガスシールド自動溶接法と他の溶接法を比較すると、それぞれ一長一短はあるが、多くの点で自動溶接法が勝り、橋脚の

実施の際には、ガスシールド自動溶接法を採用することとした。

(6) 残留応力と収縮変形の低減

溶接継手には外力が作用しなくても、溶接部の温度変化に伴って応力が発生し、常温に冷却した後は、ある大きさの応力が残留する。また溶接を行うと加熱中の膨張および、冷却中の収縮によって溶接後に収縮や変形を生じる。これらの影響を極力少なくするため下記の処置が必要である。

a. 適切な溶接順序で行う。

溶接順序は、最初に収縮量の大きい方(板厚大)を先にする。また対面同士は同時にかつ対称方向に行うことにより、構造物全体の収縮量のバランスを確保し、また拘束応力を低減できる。

b. 予熱の利用

予熱を行うことにより、溶接時の温度勾配がゆるやかになり溶接後の残留応力を軽減できる。

c. 拘束を極力少なくする。(縦リブ普通ボルトをゆるめる。)

溶接する面の縦リブのボルトをゆるめる事により拘束を少なくする。

d. 溶接時のパス数を極力少なくする。

同一継手の溶接では、パス数が多いほど収縮力が大きい。この為、適正範囲内でできるだけパス数を少なく溶接すべきである。

e. 角変形の影響を少なくするため内面に油圧ジャッキを張る。

溶接部近傍の角変形を極力少なくすることは構造上重要である。このため溶接する面同士の内面に油圧ジャッキを張ることとする。

f. 横収縮の影響を少なくするため上下の縦リブおよび、隅角部をメタルタッチ構造とする。

架設時の組立精度を良くすることと、先行溶接の横収縮により後行溶接部のルートギャップが小さくなるのを防ぐため縦リブとフランジ面隅角部はメタルタッチ構造とする。

(7) 発生しやすい溶接欠陥の対策処置について

図-7 溶接欠陥の対策処置

溶接欠陥	対策処置	
裏波表面欠陥	ピット	<ul style="list-style-type: none"> <li>開先内の錆、油、汚れ等を完全に除去する</li> <li>溶接条件、ガス流量、芯線ねらい位置、ワイヤエクステンションを適正に保つ</li> <li>ノズルを各パス毎に清掃し、スパッタ付着に起因する、シールドガス不足を防止する</li> </ul>
	アンダーカット	<ul style="list-style-type: none"> <li>適正溶接条件とする。又走行速度を適正に保つ事</li> <li>裏当材の密着を適度な圧力で行う</li> <li>走行速度を適正に保つ(遅すぎると裏当材の手前側でアークが発生する。又早すぎるとシールド不足になり易くビード形状不揃及びブローホールが発生する)</li> <li>トーチ角度が適切であり、後退角15°位が良い</li> </ul>
内部欠陥	ブローホール	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットの項と同じ</li> <li>走行速度を適正に保つ</li> </ul>
	融合不良	<ul style="list-style-type: none"> <li>芯線のねらい角度を適正に保つ</li> <li>溶接電圧を適正に保つ</li> <li>1パスの溶着量が過大にならない様に</li> </ul>
表面欠陥	スラグ巻込み	<ul style="list-style-type: none"> <li>各層間のスラグ、スパッタを完全に除去する</li> <li>ワイヤのねらい角度を適正にする</li> </ul>
	アンダーカット	<ul style="list-style-type: none"> <li>走行速度が早過ぎない様注意する。芯線の狙い角度を適正にし、溶接条件を適正にする</li> </ul>
オーバーラップ	<ul style="list-style-type: none"> <li>走行速度が遅過ぎない様に</li> <li>溶接条件を適正にする</li> </ul>	

#### 4. まとめ

架設現地において実物大の供試体により施工試験を行った結果、橋脚の実施工に際して下記に示す配慮をすることとした。

- (1) 完全風防設備を施す。
- (2) 開先精度（ルートギャップ）確保のため上下の縦リブだけでなく、隅角部もメタルタッチ構造とする。
- (3) 面外変形防止のため橋脚内面の溶接する対面同士に油圧ジャッキを張ることとする。
- (4) （溶接する際）収縮変形を極力少なくするためと作業効率を上げる目的から1パス当りの溶着効率が高くなる積層法を採用する。
- (5) 架設時の目違いの修正は、±2mm以内を目標とするが、裏波ビードへの配慮から極力マイナスの目違い（下部が外面に出る目違い）にならない様注意する。
- (6) 予熱を行う際は、施工が冬期の場合は、特に外気温に注意し、予熱バーナーを止めてからアークスタートする迄のタイムラグを考慮して予熱することとした。
- (7) シールドガスの流量チェックは、溶接品質確保

の点から重要なポイントの一つである。特に二重シールドが溶接スパッタの付着により目詰りを起さないように注意深く監視することとした。

#### あとがき

橋脚架設現地での試験は、梅雨時の5月末であったが、幸い雨天は1日もなく工程通りに試験は進行し無事終了した。その後、機械試験を6月中旬に行い良好な結果を得て、本施工試験は完了した。今後、道路橋における現地溶接は増えて行く傾向にあり、作業能率の向上、残留応力と溶接歪の低減、溶接工法の改良、品質の向上など今後残された課題も数多くあり、なお一層の研究、改善をしていく所存である。

終りにあたり、本試験の計画当初から御指導、御協力いただいた、首都高速道路公団第一建設部並びに同西葛西工事事務所の方々に、謝意を表したい。

#### 【参考文献】

- (1) 大庭他：貯油タンクの現場溶接、溶接技術（1972）
- (2) 設計と経費、溶接便覧
- (3) 妹島：高張力鋼構造物の溶接施工、溶接学会第14回講習会テキスト（1968）
- (4) JSSC：鋼構造における溶接割れ防止のための予熱温度、Vol.8, No80