

高速回転アーク自動溶接法による上向き溶接 (第1報)

Application of Automatic Arc Welding Process with High Speed Rotating
to the Welding at Overhead Position

高田 和守

Kazumori TAKADA

川田工業㈱生産本部四国工場工場長

湯田 誠

Makoto YUDA

川田工業㈱生産本部溶接研究室

岩田 祥史

Yoshifumi IWATA

川田工業㈱生産本部溶接研究室

Non-scallop welding of beam-column connections is effective in improving the performance of plastic deformations in earthquakes. However, for site welding of a flange to the underside of a beam, the weld quality of overhead position is an important issue. Arc welding with high speed rotating is currently used successfully for flat narrow gap welding. In order to determine the viability of non-scallop welding for overhead welding a series of experiments were conducted. This report covers the overhead welding of flanges to the underside of beams to obtain stable weld penetration in the root section by dispersion of the arc force.

Key words: arc welding with high speed rotating, overhead welding, basic condition, practical welding process

1. まえがき

現在、日本の建築鉄骨生産の現場では、若年労働者の減少とともに熟練工の高齢化が進み、労働者不足が進行している。特に溶接技能者については工場、現場サイドとも深刻な問題となってきた。これらの問題解決と溶接品質の安定化のためにも、溶接作業の自動化、省力化が強く望まれている。

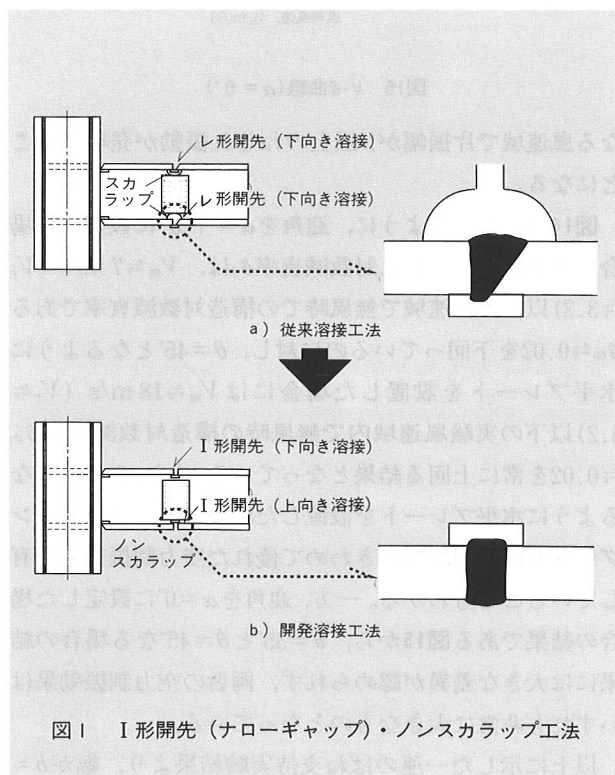
一方、鉄骨の柱×梁現場継手部では、耐震性（塑性変形能）向上のため、弱点となるスカラップを用いないノンスカラップ工法¹⁾が推奨されている。その場合、下フランジの溶接が図1に示すように上向き姿勢となり、溶接品質の確保が重要課題となる。

このたび、㈱竹中工務店殿と協力して、この部位の溶接施工に高速回転アーク溶接法²⁾を適用するため、基本条件の検討および実施に向けての実験を行い、成果を得たのでここに報告する³⁾。

2. 高速回転アーク溶接法について

(1) 概要

高速回転アーク溶接法は電極を回転ギアの軸心よりわずかに偏心させ、ワイヤ先端を高速回転させながら溶接する方法である。高速回転によってアーク力、アーク熱が分散され、ルート部を含む開先面への安定した溶け込



み、ビードの平滑効果、高電流溶接が可能となる。また、感度の高いアークセンサによって開先ならい制御が容易に行える。

図2にその装置の概要を示す。

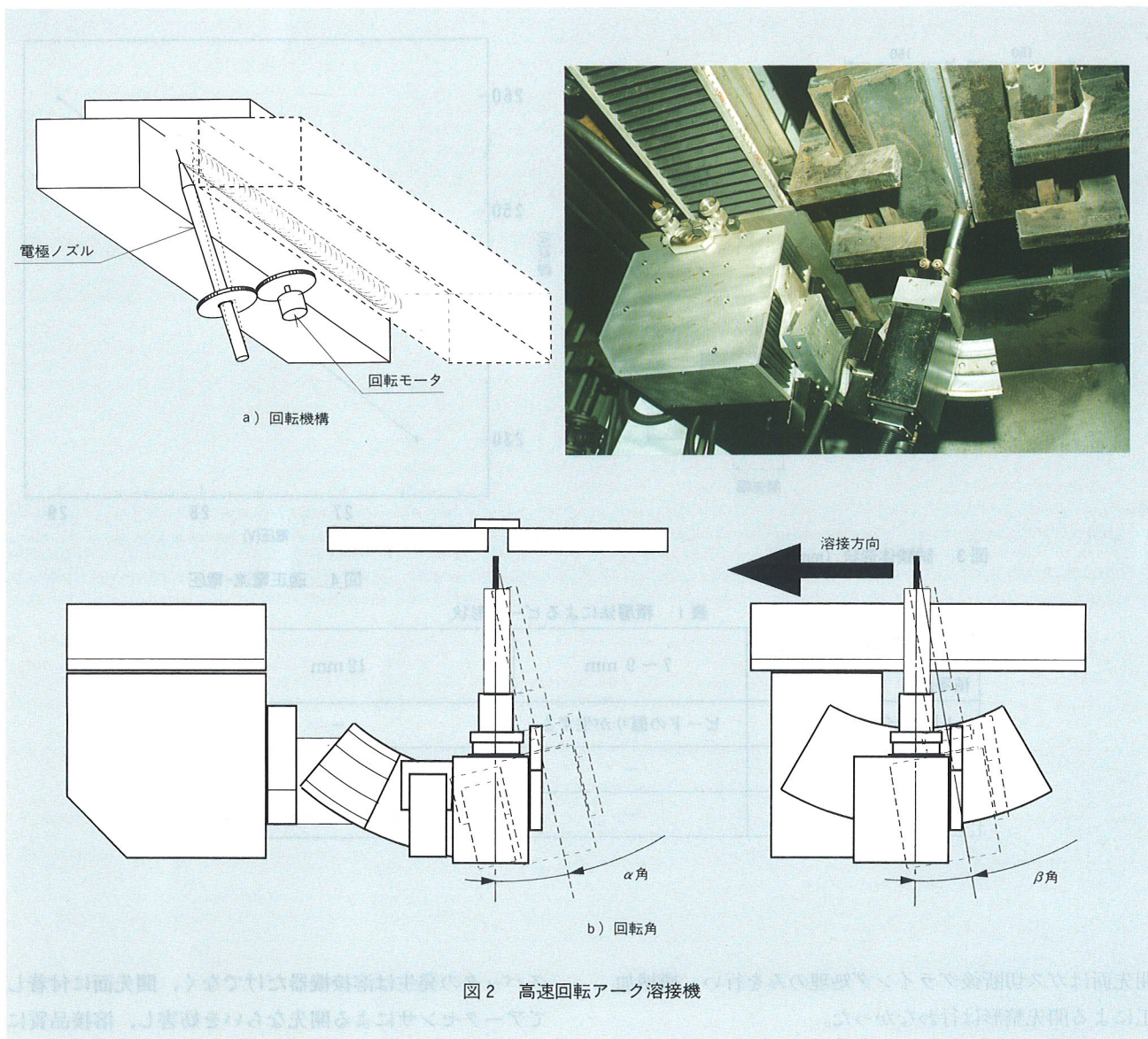


図2 高速回転アーク溶接機

(2) 上向き I 形開先への有効性

上向き溶接は、重力に逆らっているのと、1カ所にアークが集中するため溶融池が不安定でたれが発生しやすい。このため、電流値を低く抑えなければならず、1パス当たりの溶着量が減少し、溶接の能率が低下する。また、たれを抑えるために複合ワイヤを用いた方が自動溶接は容易になるが、複合ワイヤは溶け込みが浅く⁴⁾、スラグ巻き込みなどの欠陥が発生しやすい。しかしながら、ソリッドワイヤを使用する場合は、運棒法に高度の技量が必要であり、自動化が非常に難しい。

一方、I形開先溶接は、開先加工が不要、溶接角変形が少ないといった利点があるが、ルート部の溶け込みが浅く、また複合ワイヤを用いた場合には特にルート部での欠陥の発生確率が大いという欠点が生じる。

本実験で採用した高速回転アーク溶接法は、ワイヤ先端を高速回転させることにより、

- ① アーク力が一点に集中せず分散するので通常の溶接法と比較して電流値が高く、1パス当たりの溶着量が

多く能率が良い。

- ② ルート部への溶け込みが確保できることから、I形開先溶接でも安定した施工が可能である。
 - ③ 溶融池が安定することによって、たれが発生しにくい。
 - ④ ソリッドワイヤの使用が可能で、十分な溶け込みが確保でき、スラグ巻き込みなどの欠陥の発生も少ない。
- といった特徴があり、以上の点を考え合わせると、先に述べた柱×梁の下フランジのI形開先上向き溶接施工に有効であると考え、導入を検討した。

3. 基本条件の確立

(1) 実験概要

実験に使用した材料は溶接構造用圧延鋼材SM490AおよびSM490Bであり、これまで建築鉄骨等で広く用いられているものである。

試験体の形状は図1の実際の現場継手を想定し、図3に示す板厚28 mm、溶接長300 mmの形状とした。また、

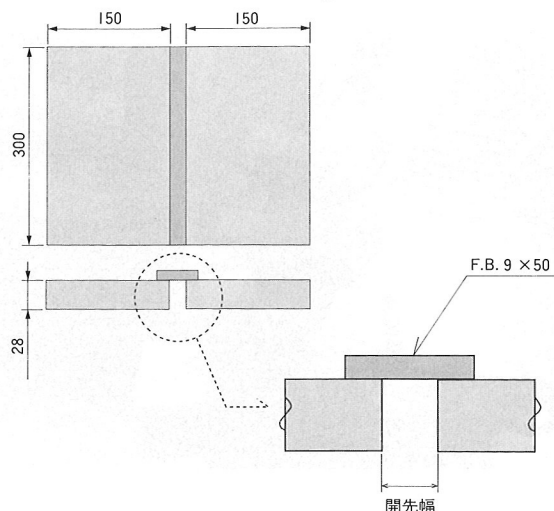


図3 試験体形状 (mm)

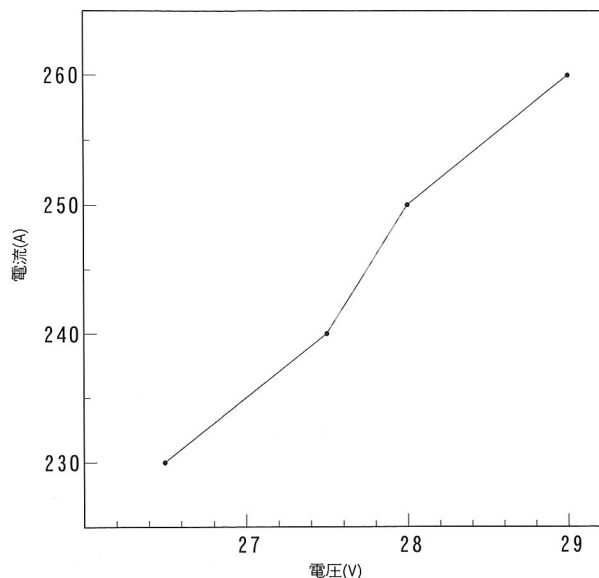


図4 適正電流-電圧

表1 積層法によるビード形状

開先幅 積層法	5 ~ 6 mm	7 ~ 9 mm	12 mm
1層1パス	良好	ビードの偏りが生ずる	—
1層2パス	—	—	溶け込み量が非常に少ない
1層3パス	—	—	溶け込み量, ビード外観とも良好

開先面はガス切断後グラインダ処理のみを行い、機械加工による開先整形は行わなかった。

(2) 積層方法の確立

積層方法は、開先幅を変化させ、1層1パス、1層2パス、1層3パスの3通りについて検討した。検討の結果、表1に示すように1層1パス、1層2パス方式は、開先幅が広くなると溶け込み量が少なくなったり、ビードの偏りが生じるなど安定した結果が得られず、実施工に対応するのが困難であると判断された。この結果、1層3パス方式を採用することにした。

(3) アーク回転速度

アーク回転速度が溶け込みに影響を及ぼすと考えられたことから、回転速度を50Hz/sと100Hz/sに変え、比較実験を行った。

アーク回転速度が速いほど溶け込み幅が増大すると予想されたが、実験の結果、溶け込み幅には大きな差が無い(1 mm以下)ことがわかった。したがって、アーク回転速度はアーク状態がより安定している50Hz/sとした。

(4) 適正電流-電圧

I形開先の上向き溶接では欠陥の発生を防止するため、ルート部の溶け込み量確保が重要課題となる。また、

スパッタの発生は溶接機器だけでなく、開先面に付着してアークセンサによる開先ならいを妨害し、溶接品質にも悪影響を与えるので、極力抑えることが必要である。そこで、電流-電圧の最適条件を得るための検討を実施した。電流値についてはこれまで報告されている実験結果を参考に、230~260Aの範囲とし、アーク状態およびスパッタ量を見ながら適正電圧を決定することとした。

実験の結果、余盛り形状、スパッタ量、溶け込み量について最適である電流と電圧の組み合わせをまとめると図4のようになった。

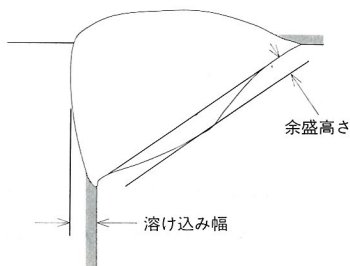
(5) 溶接速度

多層盛り溶接では、各パスでの余盛り高さが仕上げ層に大きな影響を及ぼし、これに最も影響を与えるのが溶接速度である。また、板厚が変化した場合、余盛り高さ調整のため最終層近傍で溶接速度の制御が必要となり、適正速度の幅を確認しておかなければならない。溶接条件は、電流260A-電圧29.0Vとし、溶接速度を変えて、余盛り高さ、溶け込み量、アーク状態等から適正速度範囲を見極めた。

実験結果を表2に示す。総合的に評価すると、67~70 cm/minの範囲が最も良かった。

表2 溶接速度によるビード形状

溶接速度 (cm/min)	溶け込み幅 (mm)	余盛高さ (mm)	アークの状態
67.0	1.1	0.9	安定
68.0	0.9	0.8	安定
69.0	1.1	0.7	安定
70.0	1.1	0.6	安定
72.0	0.8	0.6	不安定
74.0	0.9	0.6	不安定
76.0	1.1	0.5	不安定



(6) 上向き溶接の標準溶接条件

以上の実験結果をもとに、1層3パス方式で積層プログラムを作成した。板厚28mmの場合の溶接条件を表3に示す。また、その条件下での溶接施工による溶接部の断面マクロを写真1に示す。溶接部のビード形状、余盛り高さともに良好であり、内部欠陥も発生しなかった。また、スパッタの発生も少なくなった。

表3 標準溶接条件 (PL=28mm)

総パス数	30パス(10層)	ワイヤエクステンション	28~33mm
電 流	230~260A	アーク回転速度	50Hz/s
電 圧	26.4~29.0V	開先狙い角	7°
溶接速度	68.0~70.0 cm/min	前進角	5°

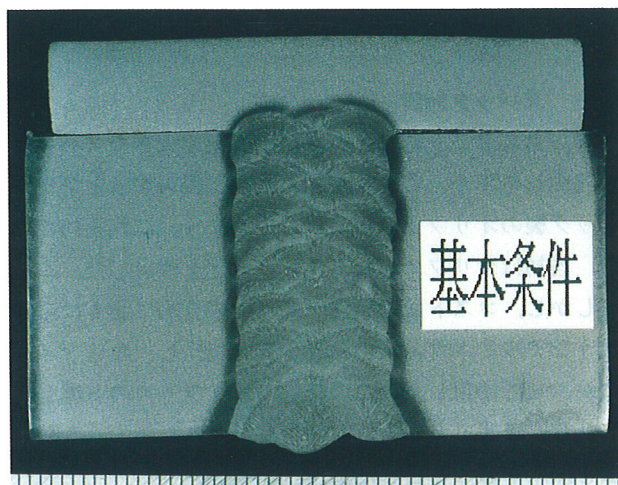


写真1 断面マクロ

4. 継手強度の確認

実施工に向けての溶接基本条件が確立されたので、これにともない、この条件を用いて溶接した接合部の性能を確認することとした。継手強度の確認では、引張試験およびシャルピー衝撃試験を行った。なお、試験ではSM490B材を用いることとした。

(1) 継手引張試験

引張試験の試験片は、図5に示すJIS Z 3121に規定される1号試験片とした。試験は、試験片を3体製作し、JIS Z 3121に基づいて実施した。

試験の結果を表4に示す。継手部の引張強度は、母材規格値を十分満たしていた。

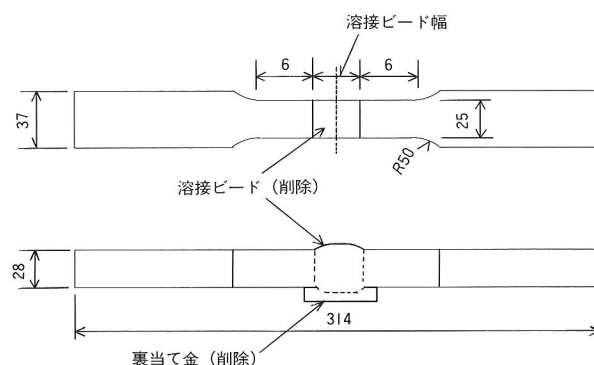


図5 引張試験片形状 (mm)

表4 引張試験結果

試験片No.	引張強さ		破断位置
	試験結果N/mm ²	JIS規格値	
T 1	554	490~610	溶着金属部
T 2	556		溶着金属部
T 3	558		溶着金属部

(2) シャルピー衝撃試験

シャルピー衝撃試験の試験片形状は、JIS Z 2202に規定される4号試験片とした。また、試験片採取位置は、図6に示す板厚の1/2の位置とし、熱影響部(HAZ)、融合部(BOND)、溶着金属部(DEPO)の3カ所とした。

シャルピー衝撃試験の結果を表5に示す。シャルピー吸収エネルギーは、いずれの部位も母材規格値を満たしていた。

以上の結果より、表3に示す溶接基本条件を用いることにより溶接された接合部は、十分な継手性能を有していることが確認された。

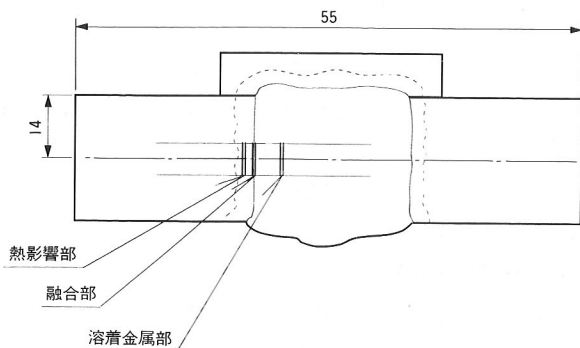


図6 シャルピー衝撃試験片採取位置 (mm)

表5 シャルピー衝撃試験結果

位 置	吸収エネルギー(J)		試験温度
熱影響部	154	136	0℃
	115		
	140		
融合部	177	174	
	180		
	174		
溶着金属部	198	192	
	190		
	187		

5. 実施工に向けての実験

基本条件の検討から、実験段階では高速回転アーク溶接法を用いてI形開先の上向き溶接を実施することが十分可能であることが確認された。しかしながら、実施工の場合には、開先面のさびや汚れ、目違い、テーパギャップといった外乱や、スパッタの発生とその対策など機械のメンテナンスにかかわる問題も数多く発生する。

そこで、表3の標準溶接条件を用いて、

- ・実施工上の注意点の確認
- ・溶接条件の微調整
- ・装置の改善 (ソフト、ハード両面)

を逐次行い、より現実的な施工法の確立を目指すことにしている。

今回はその第1段階として、主に機械のハード面に着目して次の2点についての検討を行ったので、その結果を示す。

- ① 始末端部のたれ対策
- ② スパッタ対策

(1) 始末端部のたれ対策

本溶接機は、開発の経緯から、下向き溶接およびフラックスタブ仕様となっているため、図7(a)に示すように溶接開始直後に β 角(図2参照)が変化した。しかしながら、上向き溶接にこのままの仕様で使用した場合、角度が変化する際にアーク状態が不安定になり、始末端部のたれの発生原因となる。

そこで、本施工法ではスチールタブを使用することとし、図7(b)に示すようにアークスタートから前進角をつけておいて溶接し、溶接始末端部のアークの安定化を図った。また、溶接終了時のクレータ処理については、ワイヤエクステンションが28~33 mmと長いので、安定した溶接条件の設定が難しく、たれの原因となっていたのでこれを省略した。

この結果、始末端部のたれの長さが50 mm以下と短くなるとともに、スチールタブの長さが70~80 mm程度ですむようになった。

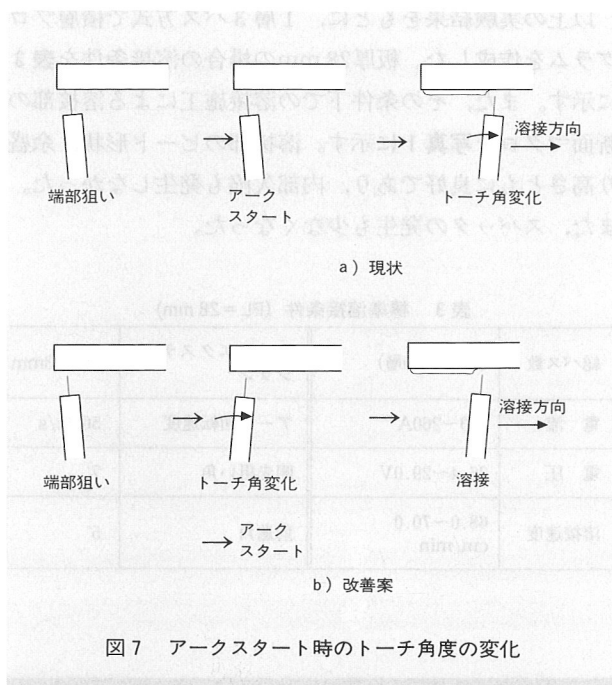
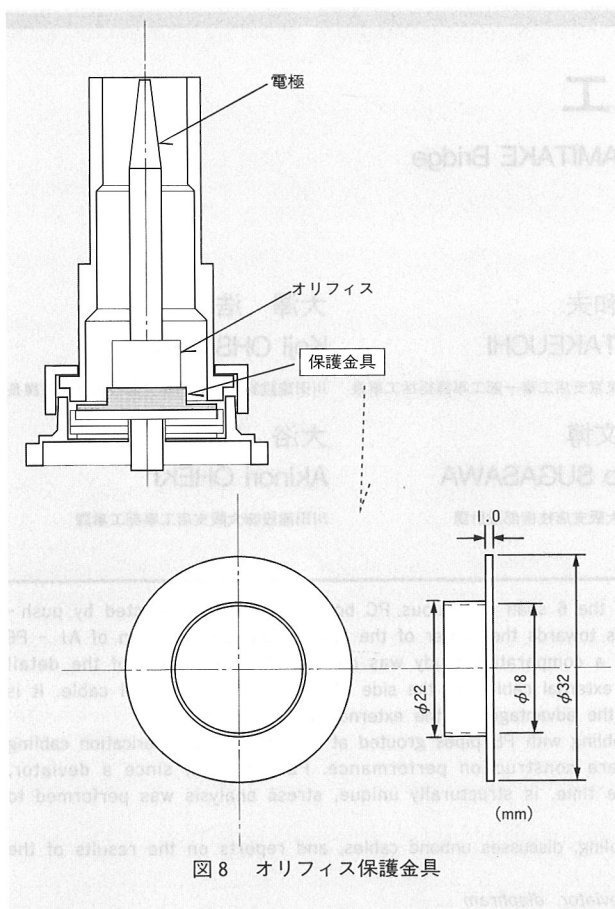


図7 アークスタート時のトーチ角度の変化

(2) スパッタ対策

アークスタート時はアークが不安定で大きなスパッタが発生しやすく、これらがノズル内に侵入するとプラスチック製のオリフィスが溶解してしまう。これを防ぐため、当初はオリフィスのセラミック化を検討した。

しかし、コスト面で問題があり、応急的に図8に示すようなアルミニウム製の保護金具を製作し、オリフィスにかぶせて使用した。この結果、オリフィスの溶解もなくなり、予想以上に大きな効果が得られたので、この方法を採用することとした。



6. あとがき

高速回転アーク溶接法をI開先・上向き溶接に適用するにあたり、1層3パス方式という積層パターンの確立や溶接条件の設定（電流-電圧，速度，回転数等）等の基本的な検討から始まり，試行錯誤を繰り返しながら実施工に向けての入口まできた。

一方で阪神・淡路大震災などがあり，それらの教訓から，鉄骨の耐震強度の必要性は以前にも増して高まってきている。本施工法は耐震の切り札ともいべきノンスクラップ工法を実現するうえで重要なポイントとなる下フランジの上向き溶接施工に有効であり，これらの要求に十分応え得ることが今回の実験で確認できた。今後は引き続き実施工に向けて，よりいっそうの施工性と品質の向上を図っていく所存である。

なお，本研究の実施にあたり，ご指導いただいた㈱竹中工務店の丸岡義臣氏，機械のメンテナンス等でご協力をいただいた日本鋼管㈱の小林征夫氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼構造接合部の力学形状に関する研究の現状，pp.135～184，1993.10.
- 2) 向井・丸岡・杉谷・小林：高速回転アーク自動溶接

によるI形開先溶接工法（上向・下向姿勢）の研究，鋼構造年次論文報告集・第2巻，日本鋼構造協会，pp.391～398，1994.11.

3) 丸岡・向井・杉谷・小林・湯田・岩田：高速回転アーク自動溶接による上向き溶接（I形開先），鋼構造論文集・第3巻第9号，日本鋼構造協会，pp.75～84，1996.3.

4) 日本溶接協会 溶接棒部会：マグ，ミグ溶接の欠陥と防止対策，pp.114～115，1991.4.