

技術ノート

キーワード

溶接実験
ロボット
狭開発
多層盛り溶接
省力化

多層盛り溶接ロボット(AUWEL2) による狭開先溶接実験

Experimental Report of Narrow Gap Welding
by AUWEL2 (Multi-Layer Welding Robot)

山崎 鉄朗*
Tetsuro YAMAZAKI

後藤 正光**
Masamitsu GOTOH

栗山 晋**
Susumu KURIYAMA

吉家 賢吾**
Kengo YOSHIIE

若目 田敏夫***
Toshio WAKAMEDA

1. まえがき

近年、鉄骨の大型化に伴って、使用鋼材の厚板化が進み、溶接の作業量は増加の一途をたどっている。工場内においてはサブマージ溶接やエレクトロスラグ溶接などの各種の溶接方法で対処しているが、建て方現場においては作業環境や部材の状態などから人の手に頼っているのが現状である。

多層盛り溶接ロボット(AUWEL2)は、工場内での使用を目標に開発したものであるが、昨年二つの現場溶接に適用され好成績を収めた。ひとつの現場においては、通常35°の開先角度を、施工時間の短縮を図るため30°に変更して施工した。この経験をふまえて、構造の大型化によって過酷な労働環境にある現場溶接の高効率化を図るため、AUWEL2によるナローギャップ溶接法(NGW)について研究した。何度までの開先角度をナローギャップというかは定かではないが、通常のトーチの改良だけで済む10°以下の開先を対象とし、最終的にI形(0°)を目標にロボットによるデータ収集を行った。ここにその作業性を含めたNGWの適用性と問題点を報告する。

2. 溶接法について

NGWについては20年ほど前からさまざまな方式、機構が考え出されており、各溶接機器、溶材メーカーやファブリケーターから多数の文献と施工装置が出されている。

一般的なナローギャップ溶接(NGW)法の特徴として、以下の長所と短所があげられる。

(1) 長所

① 開先断面積の縮小

② 施工時間の短縮

③ 入熱量の抑制

④ 溶接歪の減少

(2) 短所

① 特殊トーチが必要

② ルートギャップの精度確保

③ 手直し溶接が困難

④ 薄板溶接には不適

溶接法としては、ガスシールドアーク溶接が最も多く、次いでサブマージアーク溶接、エレクトロスラグ溶接などがある。

さらにガスシールドアーク溶接だけを見ても、母材側の溶け込みを確保するために、トーチ自体を角度シフトしてウィービングをかける方法やワイヤ自体に屈曲をつける方法、特殊な例としてトーチ(コンタクトチップ)を回転させる方法などがある。

AUWEL2の適用に際して、後の2法はワイヤ送給装置やトーチ回転系などの開発が必要であり、またそのために全体の機構も複雑化する。これは、将来的に現場建て方での溶接上好ましいことではないため、1番目のトーチ角度とウィービングだけでどこまで条件的に可能かを探ることにした。またトーチについては専用の特殊トーチを開発することにした。

3. 実験経過

(1) 横向き、開先角度10°への適用

最初に、板厚(以下Tと略記)=100mm、開先角度(同 θ)=10°、ルートギャップ(同RG)=10mmの開先に取り組んだ。

ここでは専用トーチは使用せず、狭い開先に進入でき、

*川田工業㈱技術本部生産企画課 **川田工業㈱栃木工場省力化プロジェクトチーム ***川田工業㈱栃木工場製造課

かつガスシールドを損なわない異形ノズルを製作し、これを使用した。

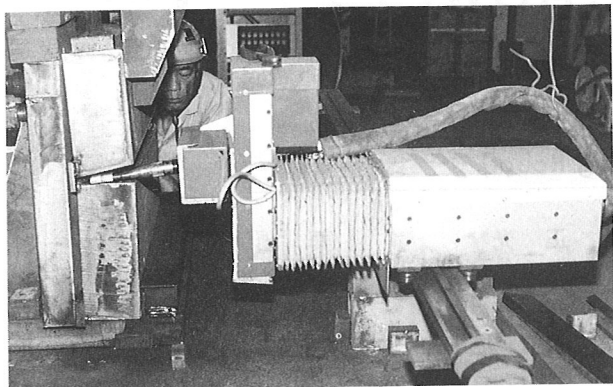


写真-1 トーチ形状と開先

写真-1からもわかるように、 $\theta=10^\circ$ でも、まだトーチ角度を取る余裕がみられる。これは、シフトと目標位置をあらかじめプログラムしたロボットで溶接するので、途中で目視する必要がほとんどないからである。

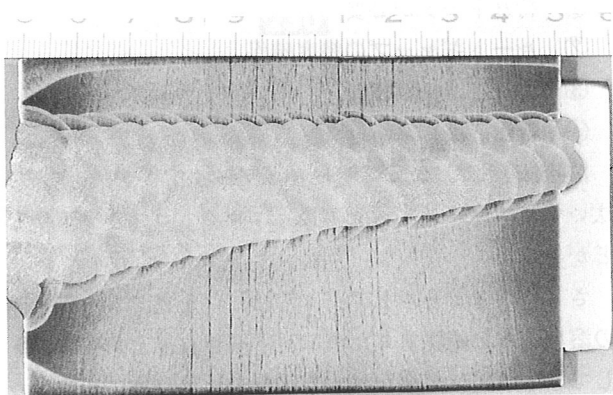


写真-2 断面マクロ

写真-2が溶接を行った断面マクロである。層数20、パス数60で溶接長500mmのテストピースにおいて、アークタイムは78分、作業時間はスラグ取りを含めて3時間ほどかかっている。横向きレ形35°の場合、板厚58mmの溶接が、これと同等の作業時間を必要とすることから、かなりの作業性の向上があると判断される。

しかし、写真-1でみられるトーチノズルは、その形状からスパッタの付着が多く、摩耗が激しいことに加え、ノズルとチップのコンタクトする可能性が大きいため、このトーチを使用する方法は一次保留して、サイドシールドトーチを用いることとした。

使用するトーチを市販品の中から検討したが、ロボットに取り付けられて、しかも板厚100mm程度の開先内に入ることができるものがなかったため、トーチ本体を自作することにした。

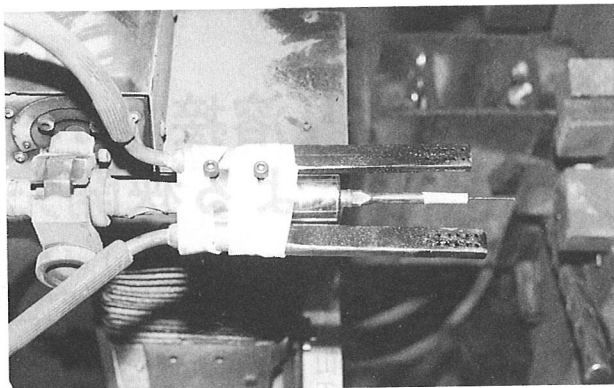


写真-3 試作サイドシールドトーチ

写真-3が自作したサイドシールドタイプのNGW用トーチである。まだ試作段階なので空冷のままとして、ワイヤは $\phi 1.2$ を使用する。

このトーチの特徴として、次の3点があげられる。

- ① ガスは3系統別々として、圧力配分の不均等によるブローの発生を防止する。
- ② ガスホールの位置と数・大きさはカットアンドトライで決まったものである。より良いものがまだあるかも知れない。
- ③ ノズルが開先から出た場合は、シールド効果が悪くなるので、サイドシールドノズルを取り外し、通常のノズルを取り付けられるようにしてある。

(2) 下向き I 開先への適用

トーチを試作した後、下向き I 形開先の溶接を行った。ここでガスシールドの効果、トーチ角度シフトの適正値の検討などを行い、板厚58mmまでいくつかのテストを行った。

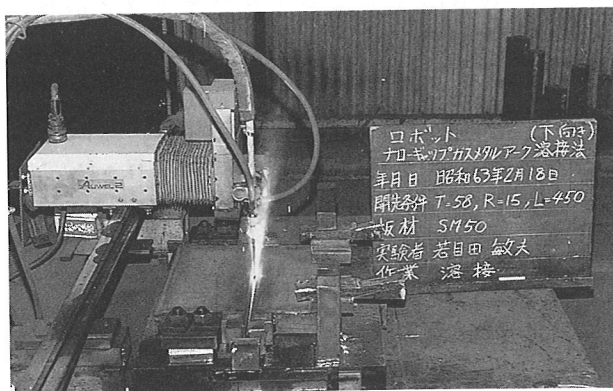


写真-4 溶接施工写真（下向き）

ワイヤ $\phi 1.2$ を使用し1層1パスで溶接を行ったが、板厚58mmでありながらパス数は12パスと非常に少なかった。開先角度35°の場合、 $\phi 1.6$ を使用しても20パス以上かかり、その時間短縮には評価すべきものがある。ワイヤを $\phi 1.6$ に代えればさらに短縮できることが予想された

が、チップの特殊性から今回は見送った。

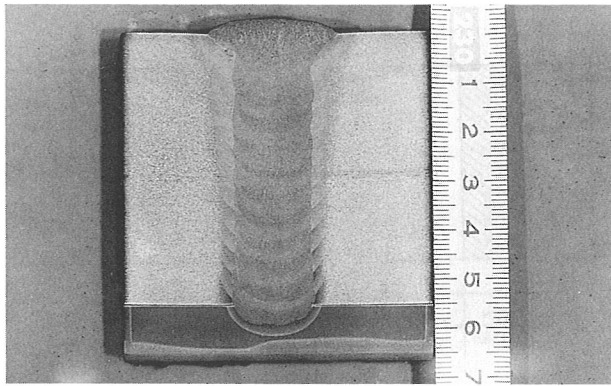


写真-5 断面マクロ

この溶接方法は、平板のバットやボックスの角継手に応用可能であるが、ガスノズルの形状から、始末端部に障害物があったりI形が途切れたりしていると、端部の30mm程度は溶接できない箇所が残る。

(3) 横向きI開先への適用

次に横向きI開先への適用であるが、 $\theta=10^\circ$ のときと比べ、その開先形状の対称性から、溶接条件も組みやすく、下向きでのテクニカルデータの蓄積もあり、比較的短時間に付加試験を行う状態にまで達することができた。

このトーチを使用してI形開先を溶接する場合、いくつかの補助操作を必要とするが、以下にその操作を説明する。

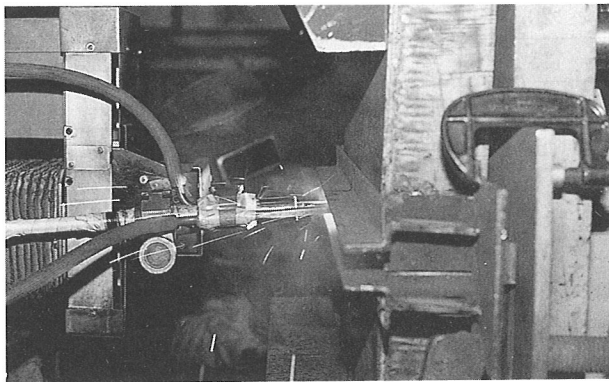


写真-6 開先内溶接

このトーチのノズル形状には、まだまだ改良の余地があるが、サイドシールドはガスのシールド性が不安定で、とくに端部ではガスの逃げが多くブローの原因となるので、フラックスタブなどで遮蔽する必要がある(写真-6参照)。そのためワイヤからガスノズルまでの約30mmが端部で溶接できない。

積層が進むにつれてノズルは開先から外に露出し、アーク点のガスシールドを維持できなくなる。そこでチッ

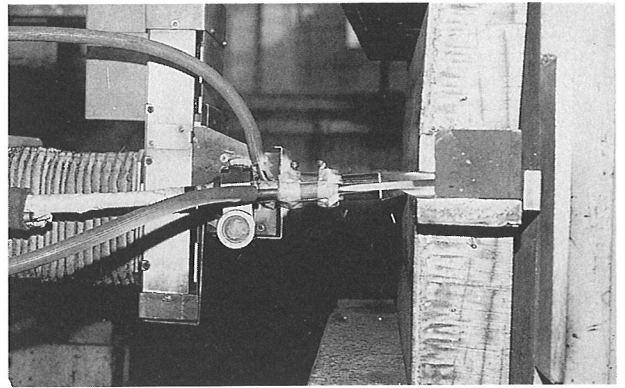


写真-7 補助シールド

プ先端が部材表面上に出るまで、開先に補助シールドを取り付けて、疑似的に開先を深くして溶接する(写真-7参照)。

ソリッドワイヤと炭酸ガス100%を使用しているため、2層に1回程度のスラグ取りを必要とする。下向きでは、板厚30mmまではスラグ取りなしでも行えるが、横向きでは再アーク性なども考慮して、こまめにスラグを取ることとした。

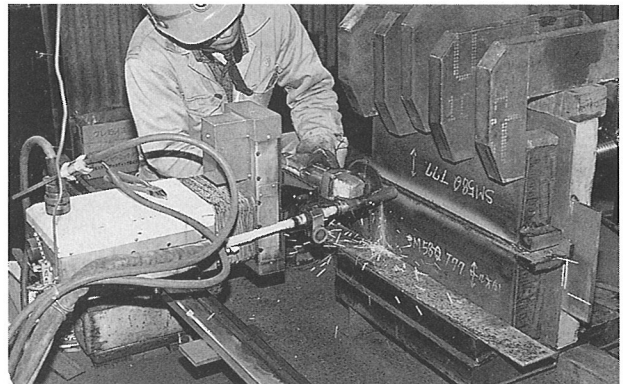


写真-8 円筒ノズルへの交換

チップ先端が開先内より露出したら、円筒ノズルへ交換する。これもトーチの長さに合わせて自作したものである(写真-8参照)。

高層鉄骨の厚板溶接を目的とするため、鋼材にSM58Q、ワイヤはYM60C(日鐵溶接工業)を使用した。溶接後、タンデム法によるUT検査、および機械試験(引張、曲げ、シャルピー、ビッカース硬度)を行い、欠陥のないこと、継手が所定の機械的性能を有することを確認している。

4. NGWの評価と問題点

(1) 溶接時間の比較

$\theta=10^\circ$, $T=100\text{mm}$, $RG=10\text{mm}$ と $\theta=0^\circ$, $T=77\text{mm}$, $RG=15\text{mm}$ では、そのまま比較することはできないので、 $\theta=10^\circ$ の条件の $T=77\text{mm}$ までを、溶接長500mmで換算比較すると、

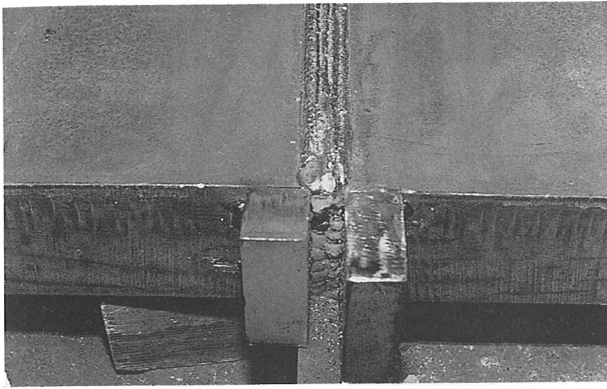


写真-9 ビード形状と端部

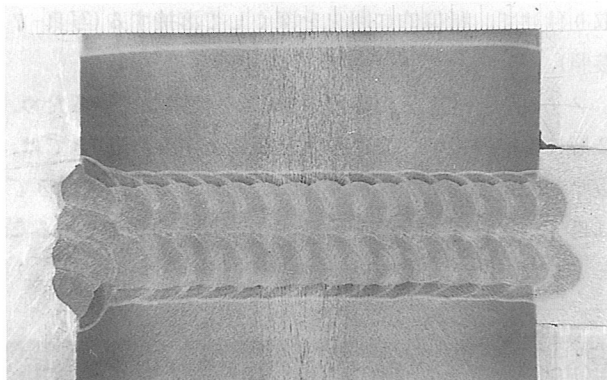


写真-10 断面マクロ

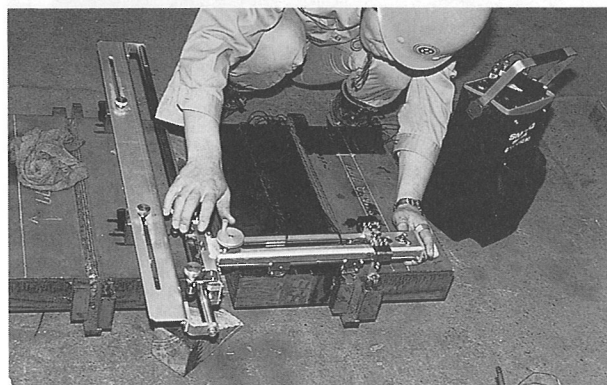


写真-11 超音波探傷試験 (タンデム法)

$\theta=10^\circ$ の溶接時間が $T_{ARC}=52$ min

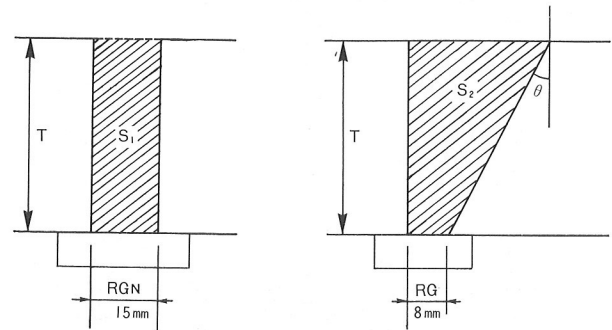
$\theta=0^\circ$ の溶接時間が $T_{ARC}=48$ min

となり、その差4分であって、パス数にして4パス程の差である。

これはいろいろと評価の分かれるところで、 $\theta=0^\circ$ は4パス分の時間節約と前工程の開先取りを必要としないことがメリットとしてあげられ、 $\theta=10^\circ$ は溶け込みがより確実に得られ、途中でトラブルがおきても多少の手直しができる安全性があげられる。

以下に開先形状と板厚、開先断面積の関係を整理する。
ルートギャップは施工上の問題から、NGWの場合は

15mmとし、通常開先では8mmと10mmで比較する。



$$S_1 = RGN \cdot T \quad S_2 = RG \cdot T + \frac{1}{2} \cdot T^2 \cdot \tan \theta$$

$$= T \cdot (RG + \frac{1}{2} \cdot T \cdot \tan \theta)$$

図-1 開先断面

図-1の断面積 S_1 と S_2 が等しくなる板厚を、いくつかの θ に対して求めると、次式が得られる。

$$RGN \cdot T = (RG + T \cdot \tan \theta / 2) \cdot T \quad \cdots \cdots (1)$$

$$T = 2(RGN - RG) / \tan \theta \quad \cdots \cdots (2)$$

表-1 開先角度、等断面板厚

開先角度 θ (°)	等断面板厚 T (mm)	
	RG=8	RG=10
35	20	14.28
30	24.2	17.32
25	30.0	21.45
20	38.46	27.47
15	52.25	37.32
10	77.39	56.7
5	160.0	110.43

表-1からわかるように、一般的な継手である $\theta=35^\circ$ でRG=8mmの開先の場合、板厚20mm以上であればI開先に変更することによって、溶接時間を短縮できるというメリットがある。これは感覚的なものとも一致するが、前にも述べたように、開先加工や補助シールドの取り付けなどトータルな作業時間で考えれば、かなり板厚の厚い部材にのみ適用すべきであることは明白である。

また、今回の実験の最初に行った $\theta=10^\circ$ 、RG=10mmと比較すると、板厚56.7mm以上の板厚であれば、I形でNGWを行う溶接時間的メリットがあることがわかる。大型物件の増加する中で、板厚60mmを超えるものが出始めている。単純に溶接時間だけを考えれば、I開先の適用が最も効果的ではあるが、狭開先溶接として $\theta=10^\circ$ でも $\theta=35^\circ$ よりはかなりのメリットがある。

(2) 残された問題点

a) 機器および開先に関して

板厚が60mmまでの場合は、トーチ角度シフトが大きく取れるためにあまり問題にはならないのだが、これを超えると壁側の狙い位置が甘くなり、溶け込み不良の危険性がでてくる。壁面とトーチ角度が近いのでワイヤ先端のアーチが壁側へ飛び、下面に溶け込み不良を起こす可能性もある。またチップが母材と接触スパークする危険も考慮しなければならない。

これらを防止する手段としては、開先精度の向上とスパッタ防止、ワイヤの曲がり防止が考えられる。

開先精度については、I形ゆえに粗くても良いと考えがちであるが、開先の平行度、直線性、面と面との直角度は一般の開先よりも厳しく管理されねばならない。

ワイヤの曲がりとは、溶接線が長い場合に、トーチケーブルの振り回しによって必ず起こるもので、ワイヤ送給装置をロボットと同時に走行させるなどして対処したいところである。

b) 気孔の発生の危険性

熔融金属は、温度の低下とともに、熔融されたガスを放出していく。そして凝固時には、ガスの溶解度の違いから、結晶粒の内部にガスを気孔の形で残すことがある。この場合は気孔は凝固界面に集中的に析出される。

横向きI形では、垂れ落ち防止のため溶接速度が速く、板厚に対して入熱が少なく母材温度が上がらない。またウィーピングをしないことによってビードの攪拌性が低いことや、その雰囲気オープンでないことなどから、この気孔の発生の可能性は否定できない。

5. 現場建て方、柱ジョイントへの適用

まだ実際に柱を組んでの施工テストを行っていないため、詳細な評価はできないが、 $\theta=30^\circ$ で行った現場溶接から得られた課題から推し量ってみる。

最も大きな問題は、コーナー部の処理である。

- ① 過去の現場と同様に、図-2のW・Eのa～dを先に溶接し、S・Nの両端部を、ガウジングにて開先を取り直す方法である(図-3参照)。

この場合ガウジングでRG=15mmで精度良く取れるかどうか、また面仕上げにグラインダーが入るかどうか問題である。

- ② W・Eのb～cを先に溶接する。端部が写真-9のように垂れずに盛れれば、S・Nはそのまま溶接可能なのではないかと(図-4参照)。

- ③ 端部に45°のタブを取り付けW・Eからカスケード法で溶接し、タブを取り除いた後、S・N側も同様にカスケード法で溶接できないだろうか(図-5参照)。これらの問題のほかにも、もしも欠陥が発生した場合

にどのように手直しをするのか、その方法も検討しておく必要がある。

いずれにしてもまだまだ多くのテストが必要である。

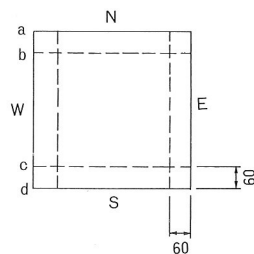


図-2 ボックス横断面

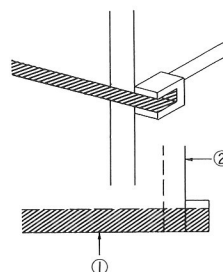


図-3 タブ付溶接

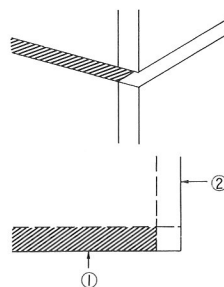


図-4 タブなし溶接

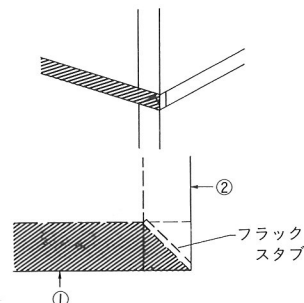


図-5 カスケード

6. まとめ

ロボット産業の中で最近よく聞かれる言葉に「メカニカルインターフェース」という言葉がある。ロボットに何をさせるかで「得物」を取り替える場合に用いられる「得物」をメカニカルインターフェースという。今回の実験に使用した自作のトーチもこのメカニカルインターフェースである。ロボット自体には何も手を加えておらず、これはインターフェースの拡張がどれほど仕事の拡張を産むかの事例であった。まだまだ未完成なAUWEL 2ではあるが、そのインターフェース(今回は溶接トーチ)の開発により、適用領域を大きくすることができる。

ロボットの機能の増強も急がねばならないが、「得物」の開発もまた重要である。そしてこれは開発チームよりも、現場サイドの発想が大きなウェイトを占めており、今後の現場からの助言を望んでやまない。

参考文献

- 1) (株)溶接学会溶接法研究委員会：ナローギャップ溶接(狭開先溶接)－日本における現状－，1984年6月。