

技術ノート

AUWEL 2 による狭開先裏波溶接 および現場溶接への適用

Application of Narrow Gap Welding by "AUWEL2" to URANAMI Welding and Site Welding

森 井 一 茂*
Kazushige MORII

近 藤 秀 範**
Hidenori KONDO

早 川 清***
Kiyoshi HAYAKAWA

山 崎 鉄 朗****
Tetsuro YAMAZAKI

若目田 敏 夫*****
Toshio WAKAMEDA

吉 家 賢 吾*****
Kengo YOSHIE

Two applications of own developed welding robot "AUWEL2" to narrow gap welding (NGW) are presented here. One case is URANAMI welding (flat position, groove angle is 0°), the other case is site welding (horizontal position, groove angle is 10°). NGW is high efficient welding method because its few deposited metal. But it needs high skill and special equipment. These two cases are easier operation than ordinary process by robot.

Keyword :welding robot, narrow gap welding, URANAMI welding

1. まえがき

自社開発した多層盛り溶接ロボットAUWEL2は、初稼働から3年が経過し、外販分も含めて100台以上が製作された。その間さまざまな改良を加えて適用箇所を拡大してきたが、今回、四国工場において開先角度0°の下向き狭開先裏波溶接を、また栃木工場において建方現場で開先角度10°の横向き狭開先溶接を行う機会を得た。

部材の極厚化や高規格化に伴い、作業効率などの問題から再び狭開先溶接が脚光を浴びてきている。狭開先溶接には特殊な装置やワイヤを使用するものが多く、かなり高度な技能を必要とする溶接法である。しかしながら、今回の2例ではシールドノズルとコンタクトチップを工夫したのみで、通常のAUWEL2による溶接方法と大きく異なるところがなく、比較的容易に狭開先溶接を行うことが可能となった。

本文は、AUWEL2による狭開先での裏波溶接および現場溶接への適用について述べるものである。

2. 狭開先裏波溶接

(1) 適用箇所とその状況

狭開先裏波溶接を適用したのは、新日鉄大分製鉄所新築工事のクレーンガーダーフランジ突き合わせで、板厚

70mmのSM50B材である。板幅1200mmをAUWEL2による狭開先裏波溶接で行い、板幅1000mmを通常開先によるサブマージアーク溶接(以下SAWと略す)で行って、施工効率およびコストを比較検討した。

(2) 開先形状と溶接条件の検討

裏波溶接は、通常V形開先(横向きはレ形)でルートギャップを6mmほど取って自動溶接で行われている。しかし自動といっても、たえずアークを監視しながら微調整が必要である。そこで、完全自動化による裏波溶接を検討した。

まずV形開先でルートギャップを0mmとして開先変動をなくして溶接してみたが、開先加工をガス切断としたため、ルートギャップ0mmの確保が難しく、また溶融プール前方の回転変形によりアーク直下のルートギャップが広がる傾向があり、アークが突っ込みぎみとなり、裏波にガス溝が生じた。さらにビード断面の縦横比により、高温割れが発生した。これらV形開先の問題点を解決するため、以下の対応を行うことにした。

- ① 開先精度を上げるため開先加工を機械加工とする。
- ② ビード断面の縦横比を低くするため、U形開先とする。
- ③ アークの突っ込みを抑えるため、ルートフェイス

*川田工業㈱生産事業部四国工場生産技術課課長 **川田工業㈱生産事業部四国工場生産技術課 ***川田工業㈱技術本部溶接研究室 ****川田工業㈱生産事業部生産企画部CAD/CAM課係長 *****川田工業㈱生産事業部栃木工場製造課 *****川田工業㈱生産事業部栃木工場省力化プロジェクトチーム

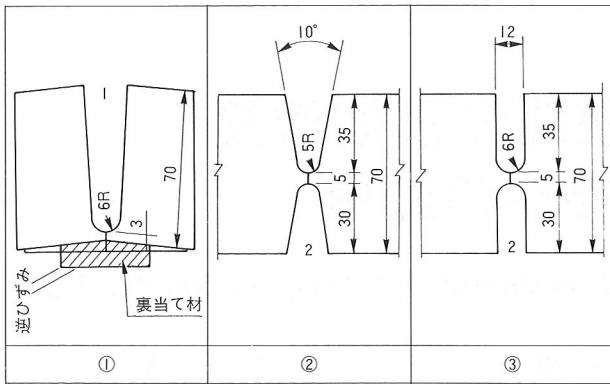


図-1 開先形状案

を設ける。

U形開先を採用することで、狭開先溶接が可能となり、施工能率が向上する。開先形状としては、図-1の3案が考えられ、これら3タイプで試験的に溶接し、施工性等を検討した結果は以下のとおりである。

- ① タイプ1は逆ひずみを付けることにより施工性がよく、反転なしのため能率もよい。しかし、チップ突き出し長さが長いとシールドが不安定になりやすい。
- ② タイプ2は、初層が溶け落ちしやすいが、裏波溶接となるため、反転後のガウジングは不要である。しかし、開先加工において、開先角度を取るの難しく、特別なカッターが必要である。
- ③ タイプ3は、開先角度がないため、溶接により開先が詰まると溶接不能となる。また部材の反転が必要である。

以上より、タイプ2が望ましいが、加工に問題があり、加工性・施工能率で有利なタイプ1を採用した。

U形開先の形状は、Rカッター寸法により6mmR、開先角度は0°とした。また、ルートフェイスは3mmでもアークが突っ込みぎみとなり、4mmを設定値とした。

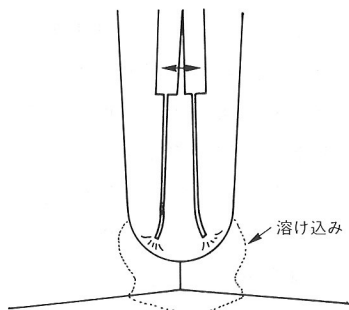


図-2 初層時の磁気吹き

U形開先の初層溶接において、1.6mmワイヤを用いて短絡電流で溶接すると、図-2のように磁気吹きによりR面に直角にアークが出て開先幅と同等な溶け込みと裏波が得られることを確認した。2層目以降は、最大チャンネ

ル(電流・電圧)とし、開先両端の溶け込みを得るよう十分なウィーピングを行い、1層1パス施工とした。

狭開先向きのシールド法としては、サイドシールド法と二重シールド法があるが、両者について1.2mmワイヤを用いて調べた結果、サイドシールド法ではサイドノズルが開先に接触したり開先上部でブローホールを生じる可能性があることなどから、使用経験のある二重シールド法(写真-1)を採用した。

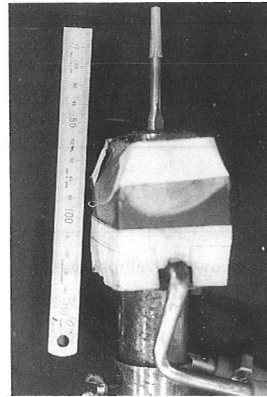


写真-1 二重シールドノズル

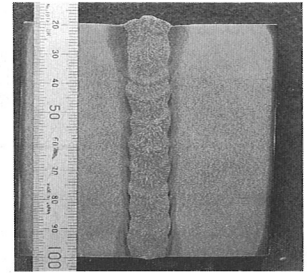


写真-2 断面マクロ

(3) 施工試験

以上のような検討や実験の後、施工試験を行った。施工試験は、板厚80mmのSM53B材を用い、初層のアークの突っ込みを抑えるために予熱なしで溶接した。その結果、機械的性質において良好な結果が得られ、特に初層部の硬さも良好であった。

また試験体にて逆ひずみ量の検討を行った。角変形量の実測値を図-3に示す。2パス目までは上方向に変位し、その後下方向に変位する。板厚1/3ほどで降伏状態となり変形量は小さくなる。施工対象材は、板厚70mmであり、12パス程度と予想され、逆ひずみ量は図-3より、6/300となる。しかし実物では、自重拘束により約1/3の変形低減が予想されるため、逆ひずみ量の設定値を4/300とした。

非破壊検査の方法に関しては、板厚が70mmでありX線

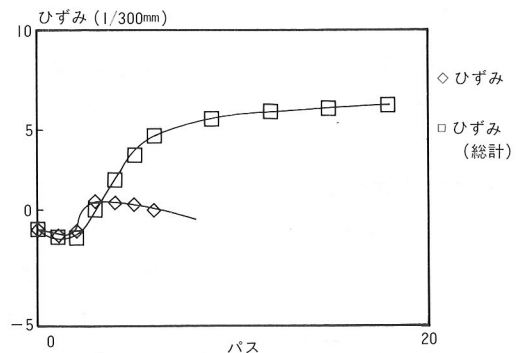


図-3 板厚80mmにおける変形量

では透過能力不足のため、γ線が必要ではないかと考えられた。客先からの仕様もγ線となっていたが、γ線使用は使用許可・作業主任者・遮蔽などの制約から使用が難しい。そこで80mmの試験体でX線撮影してみたところ、JISで定められた具備すべき条件を満足することがわかり、また65 mmでの実績があることから、X線によることとした。断面マクロを写真-2に示す。

(4) 実施工

J開先用チップは特注品となるため、今回は丸チップを用いた。開先加工前にエンドタブを取り付けて同時に加工し、タブの精度を確保した。

組み付けは、逆ひずみ量を設定し、目違い合わせ後、エンドタブをシャコマンで締め付けて密着させ、エンドタブ内で仮付けした。なお、密着用のシャコマンおよび目違い合わせ用ジャッキは溶接完了まで保持した。

溶接は、施工試験と同じ条件で行った(写真-3)。実施工では初層においてアーク前方の回転が起きず、アークの突っ込みもなく良好な裏波溶接ができた。ただ、表面のビード仕上げにおいて、局部的な角変形によるアンダーカットのような溝が生じた。これについては補修溶接を行った。逆ひずみ量は、推定どおりであった。

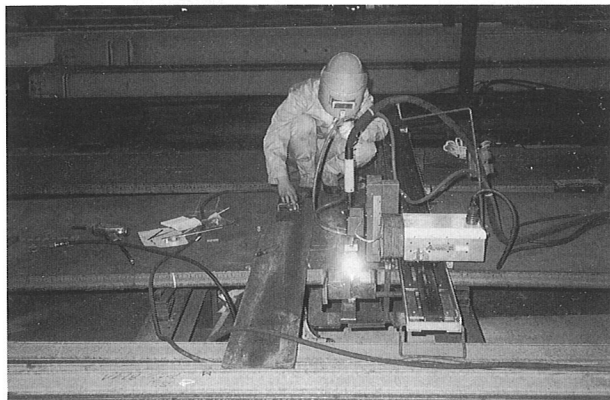


写真-3 溶接施工

(5) 経済性の比較

前にも述べたように、2体をSAWで溶接し、狭開先裏波溶接との経済性を比較した。狭開先溶接では、開先加工と逆ひずみを付けるための部材セットにSAWの倍以上の時間がかかるが、溶接時間は1/3と圧倒的に速い。また溶材費も1/3程度ですみ、トータルとして1割程度のコストダウンになる。溶接時間の短縮、ガウジングや部材の反転が不要な事などのメリットが大きく、開先加工のチップの改良と、部材セットの治具化をすれば3割近くコストを下げられるものと思われる。

3. 狭開先現場溶接

(1) 施工概要

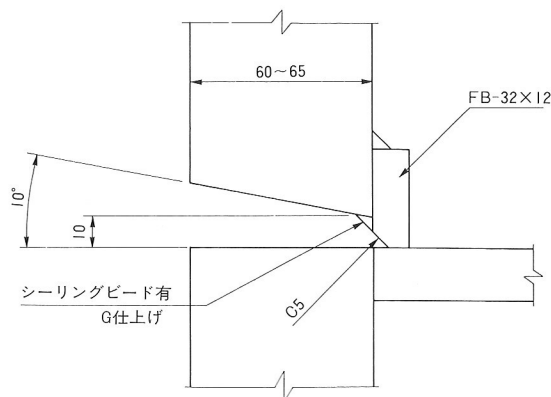


図-4 開先形状

過去二つの現場溶接にAUWEL2を適用し、まずまずの成果を収めてきたが、さらに高能率化を図るため、サイドシールドノズルを使用した開先角度10°の狭開先溶接(図-4参照)を実施した。工事はホテルニューオータニ・ニュータワー新築工事で、板厚60 mmで570 mm角のボックス柱6本と板厚65 mmで650 mm角の柱3本を横向きで溶接した。同時にエンドタブの取り付けを改良してカスケード法を用い、さらに作業時間の短縮を図った。

前述の例とは異なるサイドシールド法を採用したのは、過去の使用経験が豊富なことや、柱は梁で拘束されて大きな角変形が起きず、また開先角度が10°あるため溶接中のノズルの干渉が少ないためである。今回の工事では、2種類のサイドノズルと丸型長ノズルを使用した。これは施工時に第1面と第2面のエンドタブの取り付け方の違いによるものと、サイドノズルが完全に部材の外へ出たときに、シールド性を確保するためのものである。

(2) 溶接手順

a) 開先形状の測定

ロボット溶接の場合、条件選定のため開先寸法を正確に測定する必要がある。今回は図-5のような特殊開先ゲージを製作し、以下の項目の測定を行った。

板 厚： T (mm)

開先角度： θ (°)

開 先 幅： H (mm)

目 違 い： E (mm)

ルートギャップ： R (mm) $R = H - (T \times \tan \theta)$

b) エンドタブ取り付け(A)

溶接はひずみと残留応力などを考慮して、ロボット2台で柱の対称となる面を同時に溶接するため、図-6のA・B面を溶接した後、C・D面を溶接する。

A・B面はカスケード溶接するため、図-7のようにエンドタブを取り付ける。エンドタブは開先形状に合わせて図-8の寸法のものを用意した。

c) ロボットセッティング

次にロボット走行レール保持台を柱に仮付けし、レー

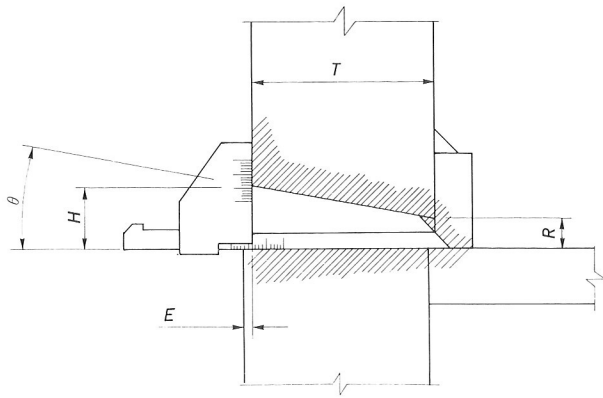


図-5 開先測定

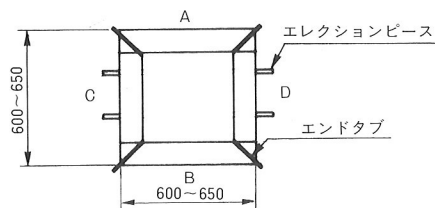


図-6 ボックス断面

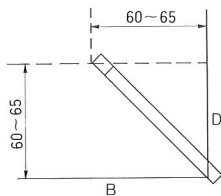


図-7 タブ取り付け

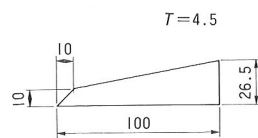


図-8 タブ寸法(A)

ルロボット本体をセッティングする(写真-4)。この際ロボット作動範囲に注意し、セッティングしなければならない。



写真-4 1回目エンドタブとレール保持アングル

d) 予熱

割れの防止、溶け込みの安定などを目的として、予熱を行う。また肌隙が大きい場合には、安全のために手溶接にて肌隙の補修を行った。

e) データ入力、ティーチング

板厚、ルートギャップを入力し、トーチ角度を5°に取

り、第1層目の始終点と中間点1点のティーチングを行う。

f) 溶接

図-6のA・B面を溶接する(写真-5)。オペレータはスラグの除去、ノズル交換と清掃、風防アングル取り付け、BK-3(バックキング材)の取り付けを行う。

開先深さが20mm前後になるとガスシールド性が高い丸ノズルに交換し、A・B面を最終層まで溶接する(写真-6)。

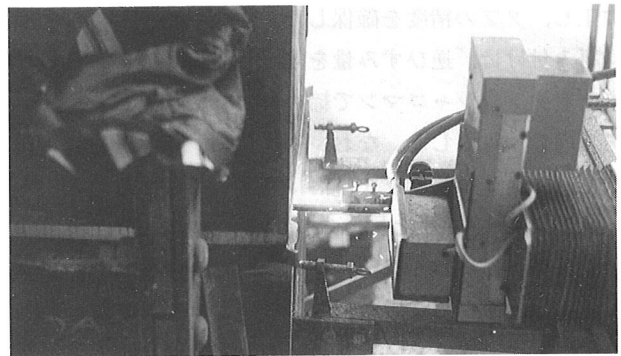


写真-5 サイドノズルにて溶接

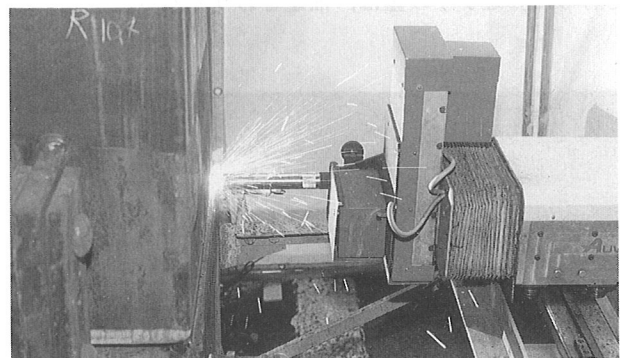


写真-6 丸ノズルにて溶接

g) エレクションピース切断

A・B面溶接終了後に、C・D面のエレクションピースを切断する。

h) エンド部のガウジングおよび開先形成

C・D面溶接のために、エンド部ではガウジングとグラインダにて開先を形成する(写真-7)。このとき、既存の開先部との間に段差などの変化が生じないように面形成を行う。

i) エンドタブ取り付け(B)

C・D面溶接のために先ほどのA・B面のときに用いたエンドタブとは別形状のエンドタブを使用する(写真-8)。タブ取り付けの際、ボックス開先面と段差やテーパーが生じないようにセッティングする。ここで使用するエンドタブはA・B面で使用したエンドタブに比べピースが多く取り付け時間もかかるが、柱の開先形状が同一でなく、どうしても現物合わせで取り付けなければならない。

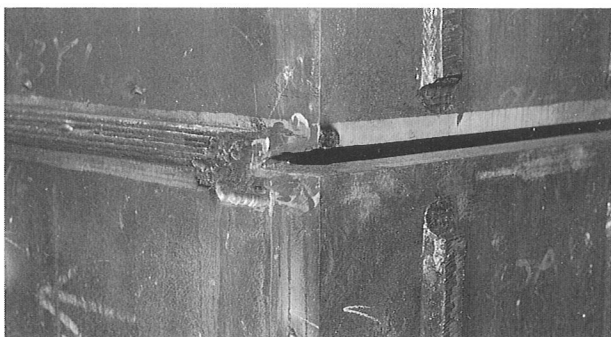


写真-7 C・D面開先形成

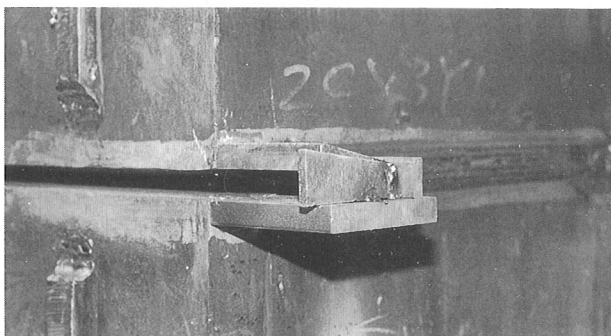


写真-8 2回目エンドタブ

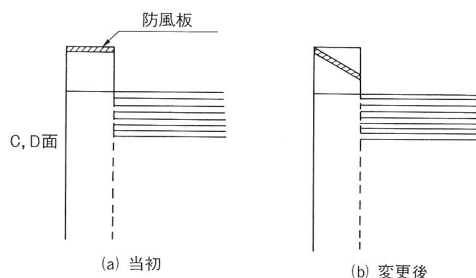


図-9 防風板

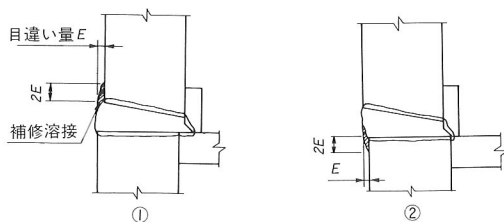


図-10 目違いによる補修例

ガスシールド性が向上するように、当初は図-9(a)のように防風板を取り付けたが、後半は溶接時間短縮のために図-9(b)のように取り付けた。そのためC・D面もまたA・B面と同様にカスケード法にて溶接できるようになった。

j) ロボットセッティング～溶接

基本的にA・B面と変わらずc) からf) を繰り返す。

部材の目違いによるビート補修は図-10のように行うが、補修例①の場合はロボットで、補修例②の場合はCO₂手溶接にて補修した。

溶接終了後、エンドタブを切断し、柱1本分の施工を終了する。

(3) 非破壊検査

溶接部の非破壊検査には外観検査、超音波探傷検査(UT)を用いた。検査結果は外観検査はすべて合格、超音波探傷検査は検査数44ヶ所中不合格2ヶ所、不良率4.5%であった。欠陥は2ヶ所とも開先面付近に発生しており、これはUTでの欠陥の大きさや間隔からブローホールと思われる。発生原因としては、開先上面ということもありワイヤ狙い位置の不良、または所定の開先角度より狭く、ワイヤで母材を削りブローホールが発生し、それを走行によって引張った可能性が高い。

(4) 溶接結果の考察

溶接時間は溶接長570～650 mmにおいて2時間20～40分であった。対面同時に溶接するので、柱1本分の溶接時間は4時間40分～5時間20分となる。これに前後処理時間を加えると7時間30分となり、さらに目違いや肌隙などの手直しの不確定な時間も加わり、これは1日の作業時間にほぼ匹敵することがわかる。

溶接時間は板厚と溶接長に左右され、開先形状をI型にしたとしても、品質の確保のためルートギャップを広げなければならず、結果として溶接に要する時間はあまり変わらないであろう。それゆえ作業時間を短縮するには、機器の移動やセット、タブの取り付けや切断を簡略化する必要がある。

現場溶接という性格上、床面や周りの作業スペースなど溶接環境はあまりよいとはいえず、機器の移動は人手で行わざるを得ず、かなりの時間を要する。そのため、装置類の軽量化や削減は大きな課題である。

柱コーナー部の処理については、現在の方法では開先形成、エンドタブ取り付けに時間がかかるため、端部に45°のフラックスタブを取り付け、カスケード法にて溶接し、タブを取り除いた後、残り面をガウジングせずにカスケード法にて溶接できないか検討したい。

4. まとめ

構造物が大型化するなか、省力化、FA化が求められ、溶接ロボットのニーズは、工場、建方現場を問わず年々高まっている。そしてさらに高能率化を図るために、溶材を含めたさまざまな開発が各所で展開されている。作業能率を高めるには、大電流による高溶着量の溶接方法もあるが、今回の2物件のような裏波溶接や横向き姿勢には適用しにくい面がある。今回の二つの施工例は高能率化の実証できるほど数量的に多くはないが、今後の開発・改良を進めるうえで大変有意義であった。この経験を生かし、さらにロボットの適用範囲を拡大して行きたい。