

(解説)

鉄骨柱大組立 2 アーク溶接ロボットシステム

2-arc Welding Robotic Systems for Column Assembly



定廣健次*
Kenji Sadahiro



曾賀光郎*
Mitsuro Soga



松村浩史*
Hiroshi Matsumura



高田篤人*
Shigeto Takada

“2 arc welding systems” which create construction columns with two robots were developed to reduce costs and delivery time. It takes a very long time to weld steel frame pillars. With the 2-arc system, start to finish time was reduced, as was preparation time and down time.

まえがき = 95年に多くの被害をもたらした阪神・淡路大震災をはじめ近年起きた大地震に対し、建築物の安全基準に関する見直しが行われ、建築基準法施行令の改正が施行された。その中で大型ビルなどの耐震構造の中心となる鉄骨の重要度は高まり、建築鉄骨業界への社会的要求と責務は大きい。

しかし、建築鉄骨の加工、製作を行う鉄骨ファブリケータ(以下、鉄骨ファブ)の経営環境は、大型公共構造物の減少、加工単価の下落など、決して良いとは言えない状況におかれている。また、建築基準法の改正で、鉄骨溶接への品質管理要求は厳しさを増しており、作業コスト増や納期圧迫の要因となっている。

これまで、88～90年頃の「溶接技能者の不足」から導入が広まった鉄骨溶接ロボットを第1次導入期とすると、96～97年頃の「品質の安定」と「コスト低減」の能力が認められた第2次導入期と続いてきた。

多くの鉄骨ファブがロボットを導入した結果、当時とは状況が変わってきている。鉄骨ファブは、ロボット溶接の優れたところを優先して効果的に使用してきた。当社ではこのロボットの優れた点をさらに伸ばすために、さらなる「コストダウン」と「納期短縮」を目指し、ロボットの運転時間を短縮できる、1つの柱を2台のロボットで同時に溶接する「2アーク溶接システム」を開発した(写真1)。

この鉄骨柱大組立 2アーク溶接システムが対象とするワークは、通しダイアフラム方式のコラム柱(図1)と丸パイプ柱(図2)であり、柱の長さは数メートル～10数メートルになる。このうち2アーク溶接の対象となる継手の部位は、角形鋼管と通しダイアフラム継手、円形鋼管と通しダイアフラム継手であり、図3の開先形状で板厚は12～40mm(パイプは50mmまで)が対象である。ロボット1台で溶接すると、コラム径 350mm × 板

厚 19t × 6 継手で約5時間、600mm × 板厚 32t × 6 継手で約13～14時間と、1本の柱を仕上げるには非常に長い時間がかかっている。

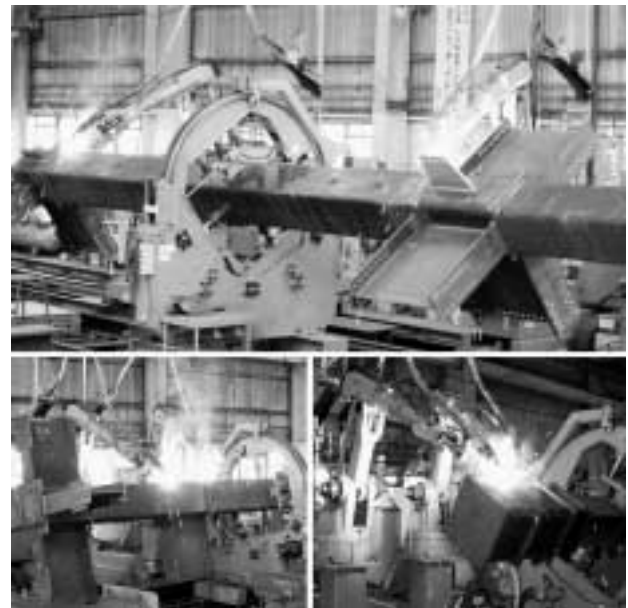


写真1 2アーク溶接システムの溶接状況
Photo 1 2-arc welding system for steel structure

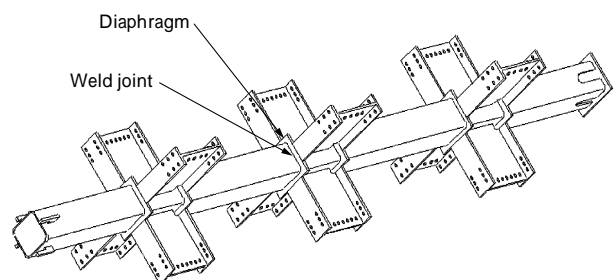


図1 コラム柱
Fig. 1 Column

*溶接カンパニー 溶接システム部

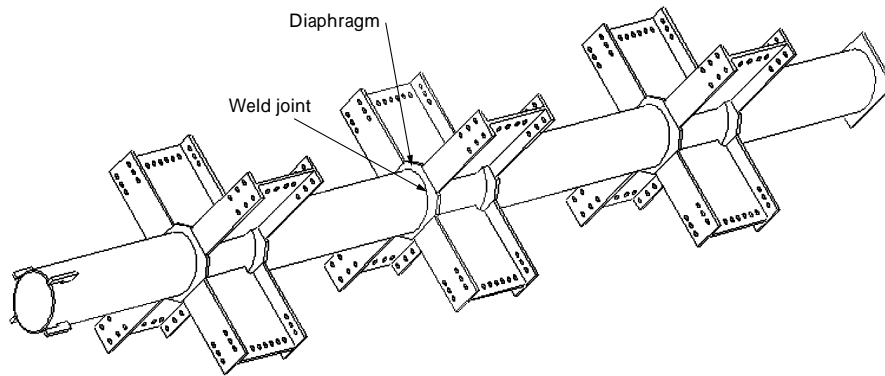


図2 丸パイプ柱
Fig. 2 Pillar of pipe

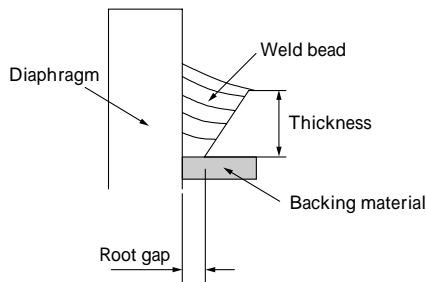


図3 溶接継手開先形状
Fig. 3 Groove shape of weld joint

溶接とその関連する作業の自動運転時間の短縮はもちろん、運転開始前の準備作業時間の短縮、さらにはトラブル発生時の復旧時間の短縮について、その課題と解決について説明する。

1. 運転前の準備作業

鉄骨柱大組立溶接システムは、パソコンに表示されるワークデータ入力画面に簡単な形状と寸法を入力するだけで、溶接ロボットが動作するために必要な作業プログラムと溶接条件の作成を行い、誰でもすぐに溶接を開始できることから、鉄骨溶接分野では広く導入されてきた。

この形状と寸法に関しては図面から値を参照することができるが、曲げ加工で作られるコラムのコーナ半径は、10%程度のバラツキを持つため、人手による実測作業が行われていた。また、柱を載せて回転するポジションと柱の位置関係を決める原点距離は、搭載後でなければ決定できず、この値も人手による実測で求めていた。

1.1 コーナ半径の自動計測

図4に示すコーナ部の溶接では、コーナ半径が正確でないと、次のような問題が起こってしまう。狙い位置の

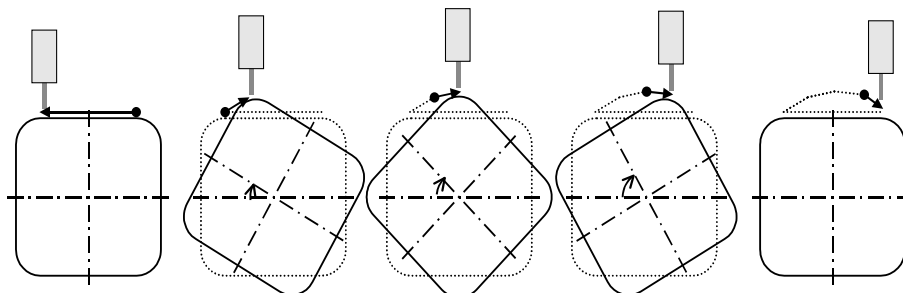


図4 コラムの溶接
Fig. 4 Welding of column

ズレ、ワイヤ突出し長さの変化、それによるアーク做いの不安定な動作、コーナ頂点付近で溶融プールが流れ落ちてしまうなどの要因によって、コーナ部のビードの健全性に悪影響を与えていた。

従来は4つのコーナ半径を実測した後、その平均値を使って溶接ロボットの軌跡を計算していたが、この誤差が溶接に悪影響を与えることがあった。そのため、4つのコーナ半径を個別に入力し、溶接ロボットの軌跡を計算することで、精度良い狙い位置を計算することにした。

しかし、4つのコーナを計測するには、人手による実測作業が増えることになり、運転前の作業時間が増えてしまう課題が残った。また、コーナ部を人によって計測する作業には、測定結果にバラツキがあり¹⁾、さらに精度を悪化させてしまう要因を持っていた。

これらの課題を解決する手段として、この実測作業をロボットによるセンシング動作での検出に置換えた。柱上面の点、側面の点、コーナ頂点の3点から構成される円の半径をコーナ半径として計算した。しかし、実際には曲率が一定の円弧ではなく、この方法だけでは満足した溶接結果が得られなかった。そこで、コーナ部溶接の軌跡を構成する教示点に対して、上下方向の位置補正を加えた(図5)。

この結果、コーナ部の狙い位置がワーク精度に対して

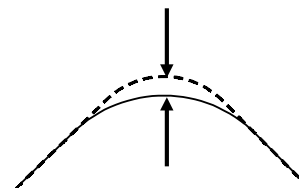


図5 位置の補正
Fig. 5 Correct of position

追従性が高まり、溶接の品質が向上した。このように、人手による作業をロボット作業に置換え、上下の補正を追加することによって、全体の運転時間の短縮と測定精度の向上と安定化を実現できた。

1.2 原点の自動計測

これまでは、ポジションにワークを搭載した後、柱端部までの距離を実測し、位置データとして入力していた。

この作業を無くし、計測そのものを自動化するために、ロボットのセンシング動作による検出方法に置換えた。

ポジションに搭載した柱端部の位置に制限を設けずに動作すると、ロボットのセンシング速度 120cm/min で原点距離 5m を検出するために、4 分以上の時間が必要となり、計測作業を不要とする効果が薄れてしまう。

これに対して、工場床面に 500mm 等間隔で目盛りとなる線を引き、この粗さであれば、柱端部の位置ずれを目視で読取可能な精度であることを確認した。この 500mm ピッチで入力した位置を補正するためのロボットストロークは 1000mm とした。

また、柱端部に梁が取付けられる場合を考慮し、干渉を回避するための距離が 450mm 必要となり、ロボットのセンシング検出距離が 1450mm 以上確保する動作姿勢を見つけた。

無駄に長い計測時間を短縮するための粗い位置ずれデータの目視入力と組み合わせることにより、ワークに近寄って行う計測作業を不要とすることができ、この作業に要した時間を短縮することができた（図 6）。

1.3 2 アークペア選択の自動化

ロボット 2 台同時溶接ができるようになって、その入力作業が手間取るようでは、効果が減ってしまう。

柱は複数の溶接継手を持つが、ノンブラケット（梁無し）の状態で仮組みすると、10 数継手の溶接を行うことになる。このように多くの継手に対して、2 台同時溶接を行う継手のペアの決定を人手に任せていたのでは、操作方法が煩雑になるだけでなく、間違いも起こりやすくなる。

この選択操作を自動化するために、2 アーク溶接の継手の組み合わせについて、熱ひずみによるワーク変形と作

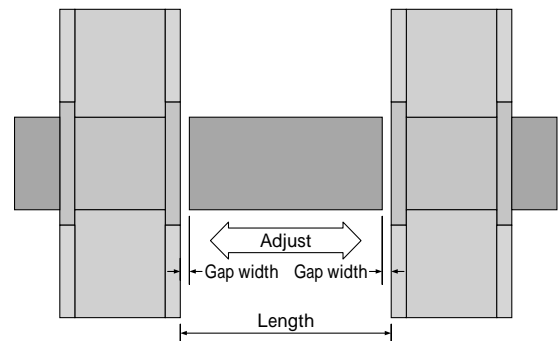


図 7 仕口間のシャフトの仮組み
Fig. 7 Fit-up

業性に関する視点で、継手種類と組み合わせ優先順位を決めた。

まず、ワーク変形については、ダイアフラムの変形が発生した場合、溶接後の手直しは非常に困難である。従来の鉄骨溶接ロボットでは、中間ダイアフラムに対して、表裏を交互に溶接する方法を行っていた。しかし、この方法でも多少の変形が残ってしまい、かさ折れの抑制は可能であったがゼロにすることはできなかった。一方、表裏同時に溶接できる 2 アーク溶接では、中間ダイアフラムのかさ折れを無くすることが可能であり、この組み合わせを最優先して選択する重要度は高い。

次に作業性については、継手間のギャップ差が適用範囲 6mm を超えた場合、使用可能電流の上限と下限があるため、同じ速度になる溶接条件を作成できない。その場合には、それぞれの継手をロボット 1 台で溶接するように自動的に切替える仕組みを持っている。2 アーク溶接の組数を減らさないで、同時溶接可能な溶接条件を作成するためには、ギャップ差が適用範囲内に収まるような仮組作業が必要である。

このルートギャップは、柱長さの寸法調整の役割を持っているが、仕口と仕口の位置が決まれば、その間に挟まれるシャフトの位置は移動可能であり、両端を同じギャップ幅に調整し易い（図 7）。

以上の継手組み合わせを優先的に選択することをコンピュータに行わせる自動選択機能を実現した。

この結果、2 アークにする継手を考えながらペアを設定しなくても良くなり、煩わしい操作を無くし、入力作業時間はロボット 1 台溶接の場合とほとんど変わることなく溶接を開始できる。

2. 自動運転長時間化の防止

2.1 ロボット再生中のデータ送信

従来、データ送信時間はロボットが停止している無駄な時間であった。2 アーク溶接の場合、さらに 2 台分の時間を要してしまう。

ワーク誤差や熱ひずみなどをタッチセンシングで検出した補正量と、溶接中リアルタイムのアーク做いによって得られた軌跡の補正量を次の溶接パスに反映している。しかし、開先の上層部では、新たな補正を必要としない溶接パスを実行するため、ロボット再生中に次の溶接パスの実行データを送信しておき、前の溶接パスの再生が完了したら、すぐに次の溶接パスを実行することが

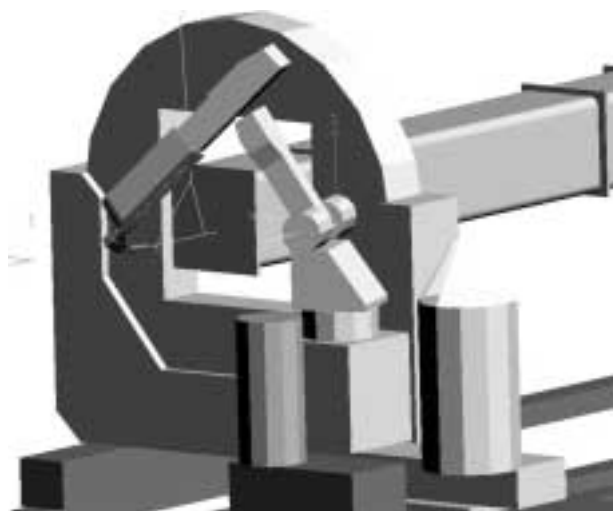


図 6 柱原点の計測

Fig. 6 Measurement of the pillar-starting-point

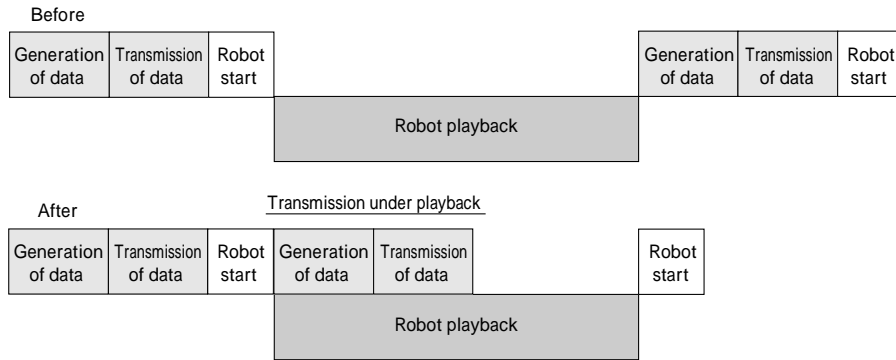


図8 ロボット再生中の送信
Fig. 8 Transmission under robot playback

できる(図8)。

この再生中送信によって、1回のデータ送信時間は数秒ではあるが、柱全体の溶接パス数を考えると、トータルで数分のタクトタイム短縮が可能になった。

2.2 溶接エラーの分類と対策

タクトタイムを長くしないためには、ロボットを止めないことも非常に重要であり、この観点から、溶接エラーの分類と対策を行った。

2 アーク溶接では、1 アーク溶接のようにアーク ON が完了するまで何度もアーク発生を試みるアークリトライ機能が使えないため、アーク発生の成功率を高める工夫が必要であった。このため、表1のロボット一時停止要因を整理し、これらの問題を解決するために、表2の対策を行った。例えば、半自動溶接のようにワイヤを出しながらアーク ON する「スローダウンスタート機能」(図9)、上層の振分け溶接の場合でも、スラグが少ないクレータ部を次のパスのアーク ON 位置に合わせる「アーク OFF/ON 重ね合わせ機能」(図10)を実現し、エラーによるロボット停止回数を従来よりも削減し、長時間無人化運転を可能にした。

3. トラブルからの復帰

3.1 手動交換作業の廃止

鉄骨溶接システムは、ノズル先端と開先底部での干渉

表1 ロボット動作区間と現象

Table 1 Section and phenomenon of robot operation

動作区間	現象例
センシング中	ノズル接触
溶接開始時	ノズル接触 バーンバック アーク不発生
溶接中	ノズル接触 送給不良
溶接終了時	ワイヤスティック

表2 現象と対策

Table 2 Phenomenon and measures

現象	対策	備考
ノズル接触	ノズル接触禁止	ノズル接触検知をやめ、ショックセンサに置換えた。ソフト検出からハード検出に変更した。
バーンバック	スローダウンスタート機能 アーク OFF/ON の重ね合わせ機能	半自動溶接のようにワイヤを出しながらアーク ON する。スラグが少ない前パスのクレータ部とアーク ON 位置を合わせる。
アーク不発生	スローダウンスタート機能 アーク OFF/ON の重ね合わせ機能	半自動溶接のようにワイヤを出しながらアーク ON する。スラグが少ない前パスのクレータ部とアーク ON 位置を合わせる。
送給不良	ケーブル処理の改善	送給不良発生を防ぐケーブル処理を改善した。
ワイヤスティック	ワイヤスティック解除機能	アーク OFF 時にワイヤがワーク溶着した場合、自動的に再アーク ON によって、ワイヤを溶断してスティック状態を解除する。

を防ぎ、上層部では安定したシールドを確保するために、板厚に合わせて長さの異なるノズルを自動交換しながら、溶接を行っている。また、ロボットはスラグの自動除去を行うために、トーチからタガネに持替えて作業し、除去を終えるとタガネからトーチに交換する。

これまでは、溶接中のトラブルが発生した場合、その復旧後の再スタート、または、次パスへ進む前に、人手によりノズルの交換、または、トーチへの持替えを行っ

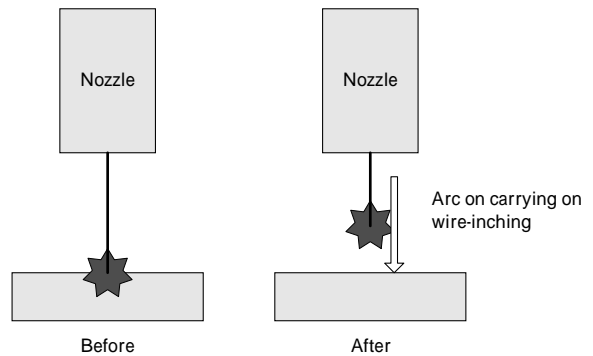


図9 スローダウンスタート
Fig. 9 Slowdown start

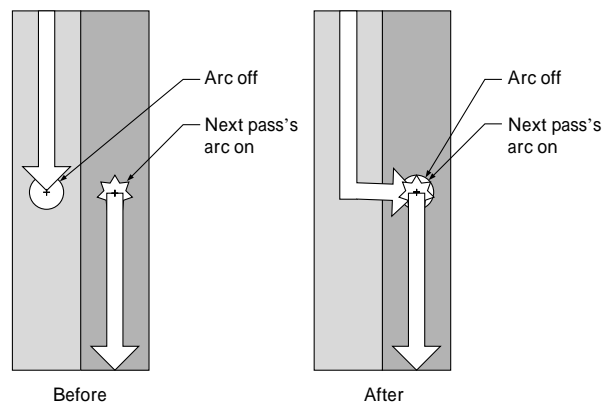


図10 アーク OFF 位置の改良
Fig.10 Improvement of arc off position

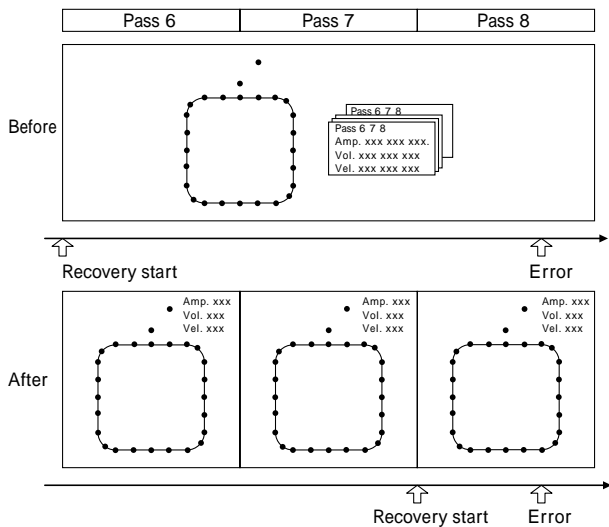


図11 送信データとリカバリ開始
 Fig.11 Data to transmit and recovery start

た後、運転を再開していた。

手動交換、持替え作業は、ロボットリモート操作で動かしていたため、対応する実行プログラムの呼出し操作やロボットと周辺装置の自動・手動モードの切替え操作が必要であり、さらにはロボット2台分の手間がかかるものであった。

このロボットリモート操作を行うことなく復旧できるようにするため、復旧支援を行う鉄骨ソフトのリカバリ画面で、ロボットが現在持っているノズルの種類、または、トーチ・タガネを指定できるようにし、また、指示されたノズル、トーチ・タガネから次の実行プログラムが使用するものへ自動交換する機能を組んだ。

この結果、これまでは1台当たり3分強かかっていたリモート操作が、自動交換プログラムにより1分強で完了し、ロボット2台分の復旧にもかわらず、従来のロボット1台のときよりも短い時間で復旧できるようになった。

3.2 トラブル発生後の復旧時間

落雷により工場の電源断などのトラブルが発生した場

合、ロボットが止まってしまうが、当社の鉄骨溶接システムには、停止時に実行していた溶接プログラムを再度スタートするリカバリ機能が組込まれている。

従来は、データ送信時間を短縮するために、ファイルサイズの大きい教示プログラムと、サイズの小さいデータバンク(複数パスの溶接条件テーブル)を組合わせて、1回の送信で複数パスの実行データを送信していた。このため、6~8パスの実行データを運転中に、8パス目でトラブルが発生し、リカバリを行った場合、6~7パスをアークOFFで空運転しなければならず、この間2パス分の溶接と同じ時間を要していた(図11)。

2アーク溶接システムでは、データ送信時間が高速化されたことを利用し、1パスずつに相当する教示プログラムを送信することにした。

この結果、溶接途中のトラブルが発生した場合、その当該パスのプログラムから再開できるため、溶接完了パスのから運転を無くし、復帰時間を短縮できた。

むすび=当社では、鉄骨溶接ロボットシステムの溶接時間を従来のロボットの半分にすることを目標に、様々な開発を行ってきた。

本稿で説明した内容は、ロボット2台システムの場合はもちろん、ロボット1台システムのユーザからも新規納入やバージョンアップなどの導入後の高い評価を得ている。

今後も、ロボット溶接の効率化と、より高い品質を目指すだけでなく、さらに一歩踏込んで溶接工程全体の効率化を推進するべく、システム開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 定廣健次ほか：溶接技術，Vol.51(2003) p.110.