

# 建築・土木用溶接ロボット技術の開発

## Development of Welding Robot Technology for Civil and Construction Engineering

清水 巖<sup>\*(1)</sup> 立川 博<sup>\*(1)</sup> 馬場 則光<sup>\*(2)</sup> 深見 俊介<sup>\*(3)</sup>  
*Iwao SHIMIZU Hiroshi TACHIKAWA Norimitsu BABA Toshisuke FUKAMI*

児玉 真二<sup>\*(3)</sup> 前田 剛<sup>\*(4)</sup>  
*Shinji KODAMA Tsuyoshi MAEDA*

### 抄 録

近年、造船復活、内需拡大等で溶接施工の増加、熟練溶接工の老齢化という事情もあって、溶接の自動化とロボット化が最重要課題となってきた。こうしたなか、土木・建築分野での鋼材販売支援、事業拡大につながるキーテクノロジーとして、鉄筋のスタッド溶接技術“NS スタッド工法”、“STUD+MAG 法”、鉄筋棒継ぎ溶接ロボット、建築鉄骨現場溶接システム“NS ロボ21”、柱継ぎロボットなどを開発し、現場での実験適用を経て本格的に実用化してきた。又、鉄骨用多関節溶接ロボットシステム“SF ロボシステム”の開発と合わせて新日本製鐵グループでの溶接機器事業の目玉となっている。直近ではオフライン、オンラインでの開先倣い、開先形状計測、溶接条件設定自動化、溶接自動監視など、溶接技術開発のみならず、メカトロニクス、画像処理など最新技術を取り込んだロボット溶接技術開発を手がけてきた。

### Abstract

To meet a recent phase that welding constructions increase with ship-building industry recovers and with domestic demand expands, and, in addition, skilled welding workers are getting aged, an automatic welding method or robot welding process has become an important problem. With the view of developing a key technology to promote steel business of Nippon Steel (NSC) in civil and construction fields and to widely expand it, such technologies as a reinforcing rods stud welding technology such as “NS stud welding process” or “stud and MAG welding method”, a reinforcing rods joint welding robot, a field steel frame welding system “NS-ROBO 21”, and a column joint robot, have been developed and put them to practical use on the site through an experimental application. These technologies as well as a steel frame welding robot with plural joints, “SF-ROBO system”, developed by NSC, play an important role in the its enterprise of welding apparatus. Recently, not only welding technologies such as on-line and off-line groove profiling, groove shape measuring, automatic welding conditions setting, and automatic welding status observing, but up-to-date welding technologies incorporated by method such as mechatronics and image processing, are now under development.

### 1. はじめに

新日本製鐵の溶接研究グループは過去に造船、貯槽タンク、土木杭、パイプライン用の自動溶接機として OSCON, PAW, LOOPNAP, VERTNAP, VEGA, サークウェル, LW8-MK II などを開発しており、その一部は現在でも商品として残っている。しかし当時の自動溶接機は溶接法としては新規性があったが、装置側に判断機能を持たないオペレーター依存型の溶接機であった。1970年代後半は造船不況のあおりを受けて、自動溶接法の開発は、約10年近く休眠していた。その後、造船復活と内需拡大に伴い溶接施工工事が増加してきたが、熟練溶接工の老齢化という事情もあって、溶接の自動化

とロボット化が最重要課題となってきた。建築分野の鉄骨、土木分野の鉄筋、建材、レール及び鋼管は現地溶接が不可欠であり、現地溶接自動化の遅れが、これら分野の鋼材の販売に影響することもある。従って、鉄筋、鉄骨、レール、鋼管の現地溶接自動化技術の開発は素材メーカーに要請されている。更に、これらの技術は土木事業への新規参入する場合の強力な武器ともなりうる。

このような背景を下に最近開発した鉄筋スタッド溶接自動化技術、建築鉄骨現場自動溶接システム、多関節溶接ロボット技術を紹介し、現在進めているオフライン、オンラインでの開先倣い、開先形状計測、溶接条件設定自動化、溶接自動監視などのメカトロニクス、画像処理など最新技術を取り込んだロボット溶接技術開発について述

\*<sup>(1)</sup> 技術開発本部 鉄鋼研究所 接合研究センター 主任研究員  
 \*<sup>(2)</sup> エンジニアリング事業本部 鉄構海洋事業部 技術開発部 掛長

\*<sup>(3)</sup> 技術開発本部 鉄鋼研究所 接合研究センター 研究員  
 \*<sup>(4)</sup> 技術開発本部 エレクトロニクス研究所 計測・制御研究部 主任研究員

べる。

## 2. 鉄筋溶接技術の開発

### 2.1 NS スタッド工法<sup>1)</sup>

土木工事に必要とされる太径で長尺の異形鉄筋を、鋼管矢板などの鋼材に横向きで溶接するスタッド溶接技術“NS スタッド工法”を開発した。この技術を更に発展させ、道路橋基礎の頂版結合部などの合成構造物に適用できる多連スタッド溶接装置も開発した。又、現場工事での品質管理を可能にする溶接条件モニターも開発した。これらの技術の開発経緯と合わせて溶接継手特性、現場工事適用状況について報告する。

#### 2.1.1 NS スタッド工法の特徴

本工法は以下のような特徴がある。

- (1)信頼性の高い接合：溶接性の優れた異形鉄筋を非常に応答性の良い新方式スタッドガンを用いて鋼管矢板に直接接合するため信頼性の高い継手性能を確保した。
- (2)太径・長尺・水平の異形鉄筋スタッド溶接：従来はハンドガン方式のみで最大径16mm、長さ約500mm までしか溶接できなかったが、先端グリップ方式スタッドガン（図1参照）の開発により直径22mm まで、長さ・形状任意の異形鉄筋のスタッド接合を可能とした。
- (3)多連スタッド自動溶接機：多連スタッド（4連～10連）自動溶接機を用いて水平又は垂直方向に連続溶接できるため施工能率も高く、安全かつ確実な施工を可能にした。
- (4)モニター方式によるスタッド全数の品質管理：異形鉄筋スタッドの溶接時の溶接条件をモニター記録することが可能で（図2参照）、スタッド溶接全数の品質管理を可能とした。
- (5)鉄・コンクリート合成構造：コンクリート構造物として、コンクリート部材と結合部材の両方を同一の異形鉄筋とする工法は、用いられていなかった。しかし、NS スタッド工法は、長尺の異形鉄筋が溶接できるため、コンクリート構造物の主鉄筋と鋼管矢板とコンクリートとの結合部材の兼用を可能にした。

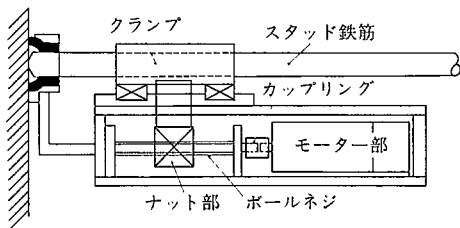


図1 サーボモーター方式スタッドガン

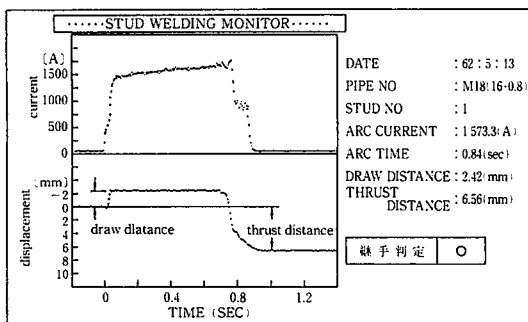


図2 モニタリング画面

### 2.1.2 橋脚基礎頂版結合工への適用<sup>2)</sup>

仮締切兼用鋼管矢板基礎工法とは、フーチングコンクリート（頂版部）と鋼管矢板側壁との結合を鋼管矢板に直接異形鉄筋スタッドを溶接し、橋脚フーチング鉄筋と直接連結させる工法である（図3参照）。

長尺スタッド鉄筋頂版結合工においては、鋼管矢板1本当たり100本程度の長尺スタッド鉄筋を打設する必要がある。このため施工の確実性、信頼性、施工能率の向上を図るため、水平方向に長尺異形鉄筋スタッドを所定本数自動溶接でき、又、上下方向に溶接ヘッドを自動昇降でき、自動溶接できる多連スタッド自動溶接機を開発した。この装置を用い、阪神高速道路公団の高石工区で施工した状況を写真1、2に示す。最近の頂版結合工での施工能率は、4人1組の作業者が4連装置1式で、600～800本/日の施工を行っている。

### 2.1.3 合成構造沈埋函への適用<sup>3)</sup>

沈埋函工法とは、トンネルエレメント（沈埋函）をドライドッグなどの製作ヤードにおいてプレファブ形式で製作し、水の浮力を利用して浮上させ、建設現場まで曳航して所定の位置に沈設する工法である。この沈埋函の製作に、従来、防水機能としてしか用いられていなかった外周鋼板を強度部材として有効に活用するため、鋼板とコンクリートとを、頭付きスタッド及び長尺異形鉄筋スタッドを介して、一体化したのが合成構造沈埋函である。

沈埋函の施工は主に下向き溶接となる。平均一日当たり4 000本の打設を可能にするため、複数台の装置の投入と、品質良く大量施工できるよう、装置のハンドリングの容易さと人間の習熟度を機械の中に、できるだけ組み込むなどの改良を実施した。この装置を用い

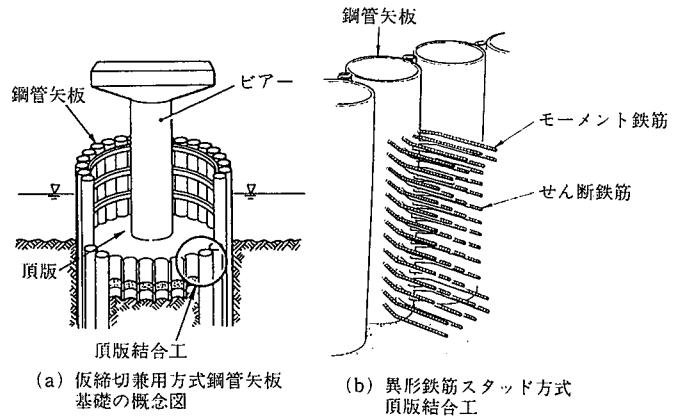


図3 橋脚基礎頂版結合工

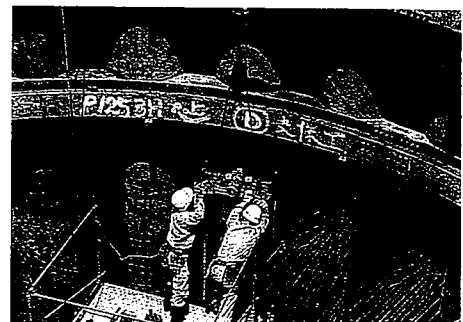


写真1 多連スタッド自動溶接機の鋼管矢板への取り付け  
阪神高速湾岸線高石工区鋼管矢板基礎（施工主：阪神高速道路公団）

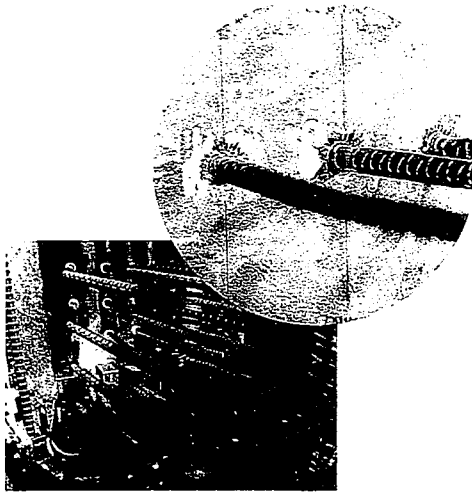


写真2 スタッド溶接状況  
阪神高速湾岸線高石工区鋼管矢板基礎(施主:阪神高速道路公団)

た大阪南港沈埋函トンネルのNSスタッド施工状況を写真3, 4に示す。

このシステム化施工技術は、道路橋基礎形式の一つである鋼管矢板基礎頂版版結合工で、従来法より現場施工能率や結合剛度を向上させるものとの確証を得た。そして、阪神高速道路公団の大阪湾岸線での施工(1990~1991年)を手始めとして東京及び西日本各地の自治体で採用されている。又、東京湾横断道路の木更津人工島、大阪南港の合成構造沈埋函での鋼板とコンクリートとの合成工法として採用されるなど、これまでに100万本を超える大量施工を実施している。このように、NSスタッド工法は今後の土木の建設現場での自動化、ロボット化にこたえるだけでなく、構造物の信頼性向上及び施工工期の短縮に役立っている。

## 2.2 STUD+MAG法の開発

NSスタッド法の開発中に更に太径(≥25mm)の鉄筋を鋼板に溶接するニーズが多くなった。スタッド溶接では、溶融プールをアークシールドで支え得る量に限界があり、25mm以上では何らかの併用が必要である。そのため、特殊な窓あき型のフェルールを使い、スタッド法で下の部分を溶接し、上部をMAG溶接する方法を新たに開発した。その特徴は以下のようである。

- (1)従来のスタッド溶接にMAG溶接を併用しているため、51mmまでの鉄筋の溶接が可能である。
- (2)フェルールにアークスタート用金具を取り付けているため、鉄筋

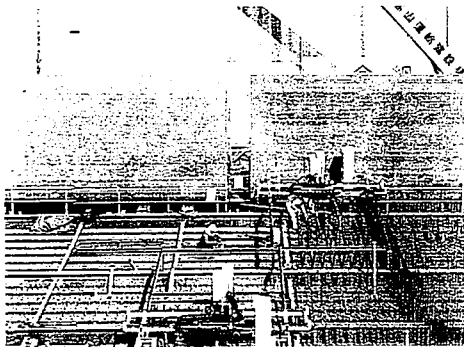


写真3 多連スタッド自動溶接機の下床版への配置  
大阪南港トンネル合成構造沈埋函(施主:運輸省第三港湾建設局)

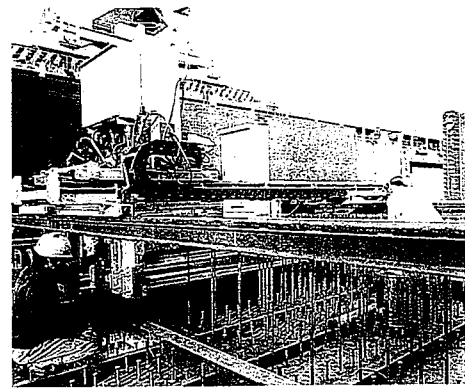


写真4 異形鉄筋スタッド打設状況  
大阪南港トンネル合成構造沈埋函(施主:運輸省第三港湾建設局)

の先端加工が不要である。

- (3)MAG溶接により安定した溶接が行えるため、欠陥発生による補修溶接が低減する。
- (4)溶接条件を記録することにより全数施工の品質管理が可能である。

### 2.2.1 装置の概要

#### (1)STUD+MAG溶接装置

スタッド溶接の前半を従来のSTUD溶接で行い、残りをMAG溶接にて行うものである。MAG溶接はカーブトーチを上方に引き上げながら、回転機構によりトーチを振り子状に揺動させ、溶接を行っていき、溶接の終了は溶接電流を検出して自動的に終了する。これらの工程は全てプログラムにより自動的に行われる。図4にSTUD+MAG溶接装置の概略図を示す。

#### (2)窓あきフェルール

MAG溶接中のワイヤー送給口として、従来のフェルールの上部に窓をつけた窓あきフェルールを用いる。又、従来のNSスタッド溶接では、鉄筋の先端を加工し、アークスタート用のアルミニウム球を取り付けていたが、本溶接法では、この工程を省くため、フェルール自身にアークスタート用の金具を取り付けた。図5に窓あきフェルールの概略図を示す。

### 2.2.2 溶接継手特性

STUD+MAG法で溶接したD41鉄筋の断面マクロ写真を写真5に示す。

なお、本法は営団地下鉄13号線後樂園駅の工事に採用された。又、本法はSTUD溶接部を省き、MAG溶接のみの施工も可能であり、今後は装置の軽便さからMAG溶接のみの施工が主体となるものと思

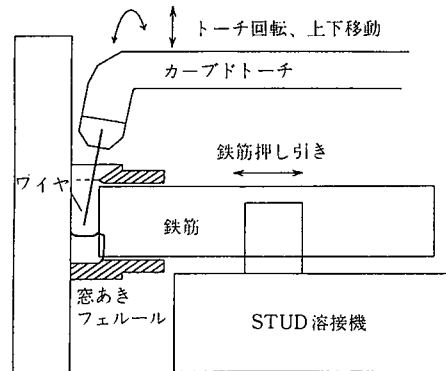


図4 STUD+MAG溶接装置概略図

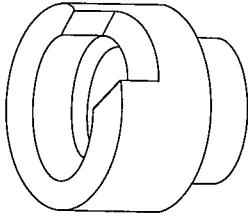


図5 窓あきフェルール概略図

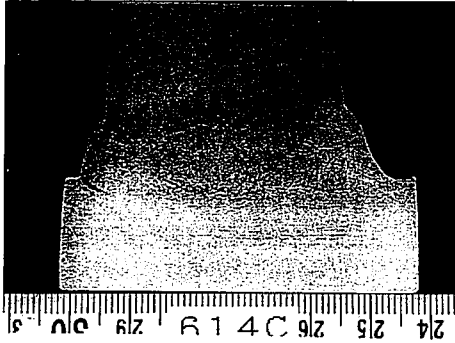


写真5 STUD+MAG法による溶接部断面マクロ  
D41鉄筋 STUD溶接:2500A×1.6s MAG溶接:300A×40s

われる。

### 2.3 鉄筋棒継ぎ溶接ロボットの開発

スタッド及びSTUD+MAG法は鉄筋と鋼板又は鋼管を接合する技術であった。しかし、鉄筋同士の接合はそれより圧倒的に数が多い。D32以下の鉄筋の接合については96%がガス圧接である。D35以上についてはガス圧接、機械式継手、エンクローズ溶接がそれぞれ1/3ずつ行われているが、品質、コスト的に問題があり、人の技量に左右されないロボット溶接化が求められている。そこで、CO<sub>2</sub>アーク溶接によるエンクローズ溶接を基本にした3軸制御の鉄筋棒継ぎ溶接ロボットを開発した。特徴は以下のようである。

- (1) D51までの鉄筋溶接が可能である。
- (2) 水平、垂直配筋の鉄筋溶接が可能である。
- (3) D51で3分と短時間施工が可能である。
- (4) ロボット化により溶接熟練工を必要とせず全自動溶接が可能である。
- (5) 鉄筋を引き寄せる必要がないため鉄筋の先組工法に適用できる。
- (6) 鉄筋の開先取りはガス切断機で自動的に行うことができる。

試作した鉄筋棒継ぎ溶接ロボットの外観写真を写真6に示す。鉄筋の開先を鋼板の裏当て材で囲み、CO<sub>2</sub>溶接にてトーチを回転揺動しながら上部に引き上げ、溶接を行っていく。試作ロボットで施工した継手マクロ写真を写真7に示す。又、継手外観写真を写真8に示す。

## 3. 建築鉄骨現場自動溶接システムの開発

### 3.1 柱・梁溶接用 NS ロボ21の開発<sup>4,5)</sup>

鉄骨溶接の自動化、省力化のニーズは、内需拡大政策での鉄骨建築需要の拡大や、溶接熟練工の不足などで極めて強いものがある。新日本製鐵ではこのニーズにこたえるため、下記の特徴を有した直交座標系の溶接ロボット“NSロボ21”を開発した。それは小型、軽量で可搬性が良く、鉄骨溶接に適した操作性を持ち、種々の溶接姿勢に対応し、溶接能率の向上と、開先形状の変動に柔軟に対応でき

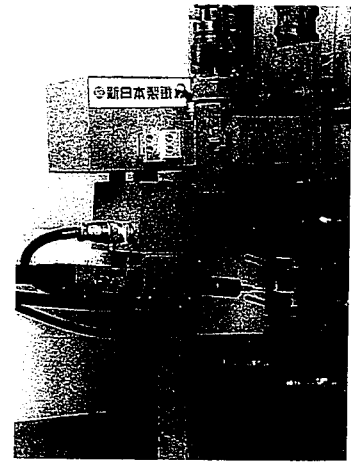


写真6 鉄筋棒継ぎ溶接ロボット

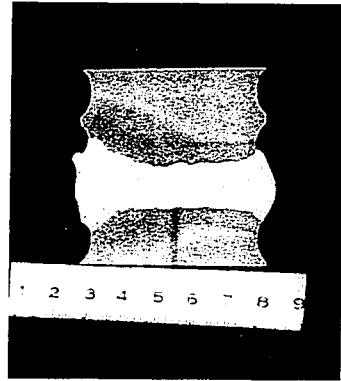


写真7 鉄筋継ぎ溶接部断面マクロ  
D51鉄筋水平継ぎ

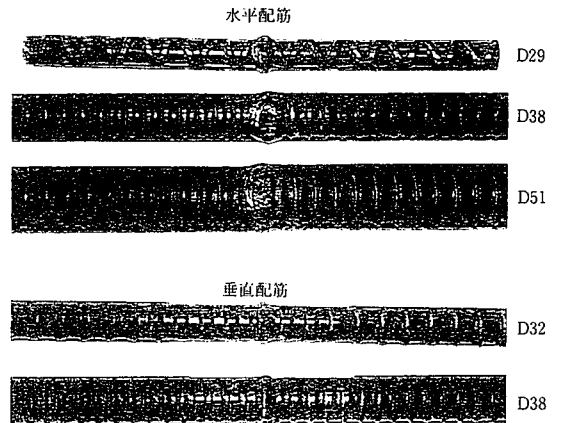


写真8 鉄筋継ぎ溶接継手外観

るなどである。図6にNSロボ21の外観図を示す。

NSロボ21の更に詳細な特徴は次のようである。

- (1) 制御装置1セットで2台のロボットを交互稼働できるツーワンシステムにより、作業能率が向上し、無駄のない溶接作業ができる。
- (2) 特殊カーブドトーチの採用、パーツコンポーネントシステム(アタッチメント方式で溶接姿勢に応じてトーチ、本体、台車の取り付け方法を簡単に替えることができる)、色々な方向から溶接が可能な溶接ソフトウェアの充実などにより下向き、立向き、横向き、

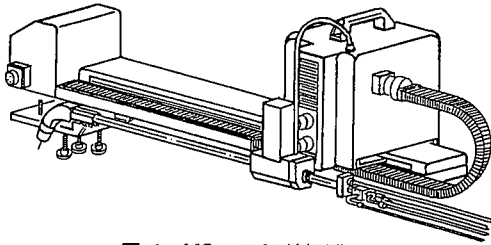


図 6 NSロボ21外觀図

及び水平すみ肉の溶接ができる。

- (3)開先形状を自動計測し、開先形状の変動に対応して溶接条件を演算制御するシステムを作り上げた。操作は溶接姿勢、板厚、溶接長をインプットするだけである。溶接に必要なデータを自動的に計測するので、熟練を必要とせず、初心者でも簡単に溶接できる。
- (4)スカラップ（溶接線の交差を避けるため母材に設ける扇状の切欠き）通過溶接ができる。
- (5)長尺溶接も可能である。

3.1.1 ロボットの現場適用性

開発したNSロボ21を用い、実際のプロジェクト現場での柱・梁現場溶接に適用した。

対象としたビルは5階建て、延べ床面積23 000m<sup>2</sup>で、鉄骨の加工度を低減させてコストダウンを図るため、工場での溶接加工は少なく、全て建設現場で柱・梁を直接溶接する工法が採用されている。柱・梁の継手数は1 800であるが、障害物等によりロボット台車の近寄れない所があり、適用した継手数は1 354継手であった。

(1)ロボット移動台車

過去の経験からロボットの横移動はケーブル、ホース類の処理が大きな問題となるため、写真9に示すような高所移動台車を使用し、縦移動を行った。すなわち、まず2、3階部分の溶接を行い、床コンクリートを打ってから4、5、R階の溶接を行う工法を採用した。高所移動台車上部には作業ステージを設け、そのステージ上に制御装置と2台のロボットをつり下げ・回転・伸縮可能なアームを設置し、リモートコントロール操作でロボットを目標位置に下ろす機能を取り付けた。又、溶接電源は作業台車の後部に搭載し、ケーブル、ホース類は写真9のようにサイドのシヤーズをはわせ固定した。

(2)溶接ロボットの作業能率

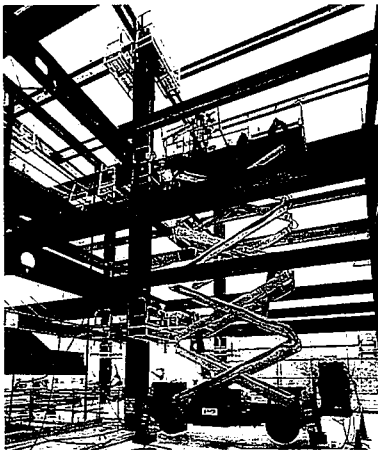


写真 9 NSロボ21の高所作業台車

溶接ロボットは2-1システム2式(4台)を持ち込み、オペレータは溶接経験の少ない若い二人がそれぞれ1式ずつ分担して担当した。最初ロボット操作に慣れるまで補助員を一人ずつ付けていたが、後半からは一人で2-1システムを使いこなせるようになった。

写真10に現場での溶接状況を示す。溶接中はほぼ無監視で、オペレーターは2-1システムのもう1台のロボットのセッティング、ノズル部の清掃、防風カバーの取付けを行っている。図7にこの2-1システムでのタイムスケジュールを示す。この図から分かるようにA、Bのどちらかは計測、防風カバーの取付けを除いて常にアークが出ていることになる。

この施工では梁の板厚は20~28mmまで混在していたが平均すると300mm長、25mm厚の継手で一日一式のロボットで22継手を溶接した。一日の作業のタイムスケジュールの例を図8に示す。

(3)溶接部の品質

この現場施工では1 354継手全数の超音波探傷検査を行った。工事初期に発生したロボットの故障、トラブルで中断した6,7継手を除いて全数無欠陥で合格した。

(4)小型搬送台車の開発

前述の高所作業台車は重量が5tを越えるため、床をコンクリート仕上げ後でなければ使用できない。又、小回りがきかないため柱間移動などに時間がかかるという問題があった。これらを解決するために写真11に示す小型搬送台車を新たに開発した。この台車では重量1.2tで、デッキプレートの上でも自由に移動することができ、柱間移動も比較的簡単に行える。今後の現場溶接の大きな戦力になるものと考えている。

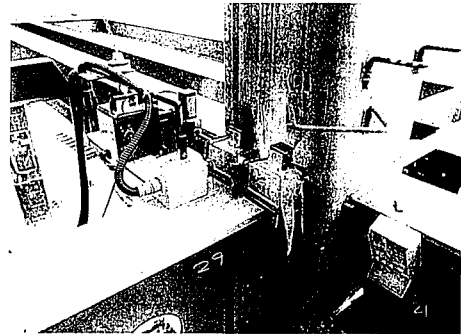


写真 10 NSロボ21による現場溶接状況

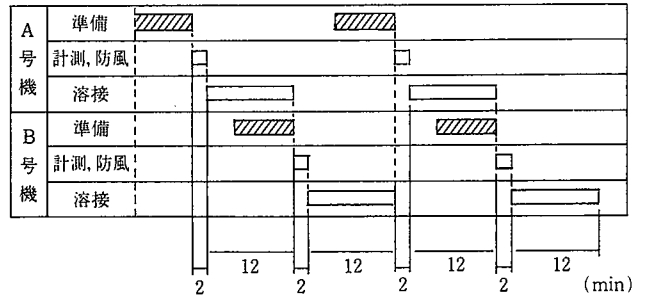


図 7 2-1システムによるタイムスケジュール

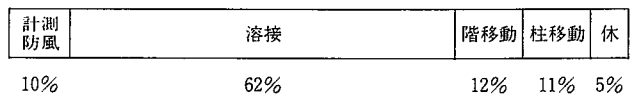


図 8 1日のタイムスケジュール



写真 11 NSロボ21の小型搬送台車

### 3.2 柱継ぎ溶接ロボットシステムの開発<sup>9)</sup>

建築鉄骨の現場で必ず溶接が必要となる部位は柱継ぎである。このため、NSロボ21をベースにコラム柱溶接ロボットを開発した。本ロボットの特徴は以下のようである。

- (1) 1柱、同時に2台で溶接が可能であり、溶接能率が增加する。
- (2) ビード継ぎを直線部で行うため、連続的に溶接されるコーナー部の溶接品質が半自動溶接に比較して高い。
- (3) 走行用レールを一度セットするだけでよく、準備時間が短い。
- (4) レーザーセンサーで開先形状と溶接線を自動計測し、開先形状に応じて溶接条件を演算制御するため、熟練溶接工の作業をロボットが代行する。
- (5) 専用ハンドリング台車の使用により柱間の移動が容易である。

写真12にコラム柱溶接ロボットの外観を示す。ロボット本体は3軸+回転軸(板厚25mm以上で使用)の計4軸で、1台1システムで構成している。開先計測用レーザーセンサは、溶接トーチと同軸にセットし溶接と同じ状態で、自動計測できる設定となっている。防風用シートも簡易タイプを使用し、これまでのように柱を完全に覆っていないのも特徴である。

以下に、現場溶接への適用について述べる。適用したビルは床面積約35,800m<sup>2</sup>の地上12階、地下3階建てで、柱はコーナー部に丸みのある角鋼管を使用している。その外径は500mm, 600mm, 650mmの3種類で板厚は全て16mmである。又、柱はコンクリート充填管で耐火被覆を行わないため、溶接部の治具等が床下に隠れるよう梁の直ぐ上で溶接している。ロボットハンドリング台車移動と寄付きの可能な部分、全体の70%に当たる66か所に適用した。

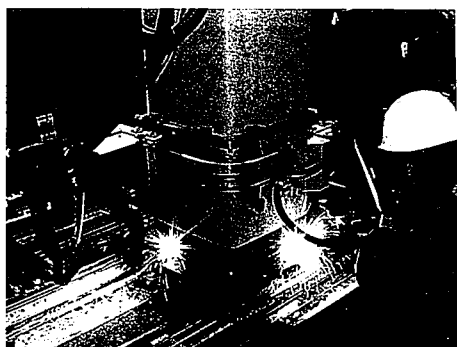


写真 12 コラム柱溶接ロボット

写真13に現場適用状況を示す。溶接作業は、まず、ロボットに搭載したレーザーセンサが、継手位置や断面などの開先形状の自動計測を行い、ルートギャップや目違い量±4mmの範囲に対応した溶接条件などの情報をフィードバックする。センシング時間は約3分と短い。600mm径の柱で対面同時溶接を行い、1本を約30分で溶接できた。ビード外観は目違いが局部的に7mmもあったにもかかわらず、写真14に示すごとく良好であった。UST検査の結果も良好で、欠陥発生は開先形状測定ミスに起因する1箇所のみであった。

本システムは丸柱、ボックス柱への適用に向けて開発を継続しており、鉄骨造建築物の増加や建築プロジェクトの受注拡大に結び付けられればと期待している。

### 4. 建築鉄骨用多関節溶接ロボットシステムの開発<sup>7,8)</sup>

建設分野における溶接作業の自動化を推進する上で、鉄骨建築現場を対象とした溶接ロボットだけでなく、工場での建築鉄骨製造を対象とした溶接ロボットの開発も又、重要な課題である。工場ではコアを製作し、これに短尺の梁を付ける仕口溶接を行い、更に柱を溶接する。ここでは定置式の多関節型ロボットの実用化が進んでおり、自動溶接が可能なシステムが数多く開発されている。しかし、ワークの溶接品質やパソコン画面の操作性などの点で、鉄骨ファブリケーターの要求を満たしていなかった。そこで操作性に優れ、不整開先やワークの取付位置ずれに対応した高品質な溶接を可能にする鉄骨多関節安川溶接ロボットシステム“SFロボシステム”を(株)安川電機、(株)安川商事、(株)日鐵溶接工業との共同研究により開発、実用化に成功した。本システムは、パソコン上でマウスを用いて、写真15に示す入力操作画面からワーク形状を入力するだけで、多種多様なコア及び仕口の溶接を全自動で行う(図9参照)。又、開先ルートギャップの変動があっても、それに適した溶接速度、ウィーピング

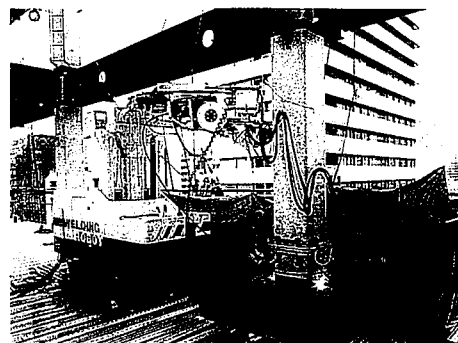


写真 13 コラム柱溶接ロボットの現場溶接状況

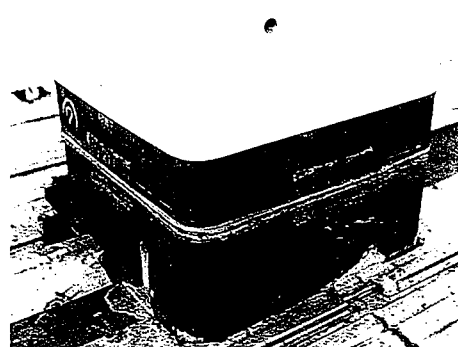


写真 14 コラム柱溶接ロボットによるビード外観

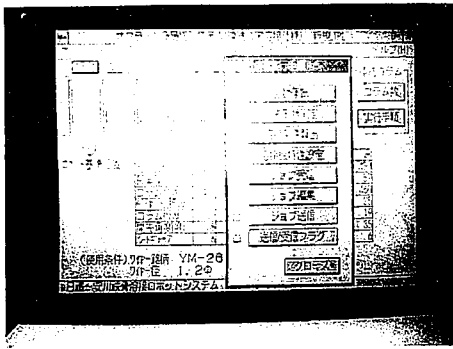


写真 15 SFロボシステムの入力画面

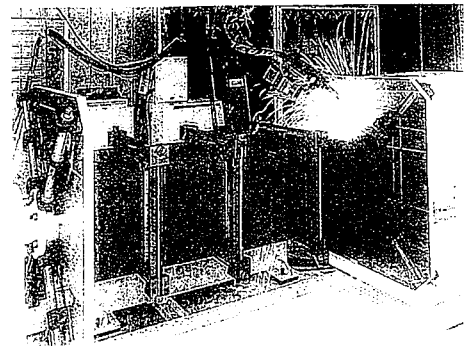


写真 16 SFロボ連結コアシステム

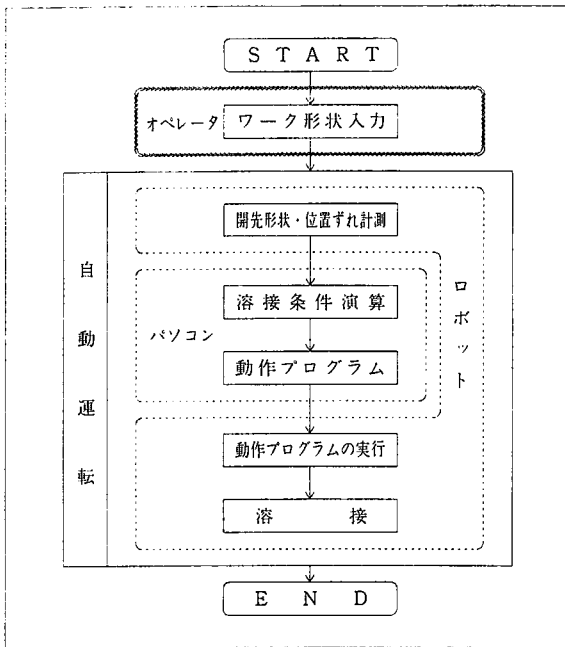


図 9 SFロボシステムの動作フロー

振幅を最適に自動設定することで高品質の多層盛溶接を可能とした。

本システムには、単体のコア又は仕口を溶接する“単体コアシステム”、8個までのコアを連続溶接する“連結コアシステム”（写真16参照）、6体までの仕口を連続して溶接することが可能な“仕口システム”がある。

その特徴は、(1)ワークの位置ずれ、開先寸法の検出と補正、(2)溶接条件演算アルゴリズムによる多層盛溶接条件の自動設定、(3)人手によるティーチングの解消、である。

更に今後も多関節ロボットの利点を生かして、溶接作業の完全自動化、ロボット化を目指して研究開発を継続していく所存である。

### 5. 極厚不整開先対応溶接ロボット技術の開発

一般に大型極厚構造物の横向溶接継手にはK開先が使用され、組立時に8mm未満のルートギャップの変動と最大10mm程度の目違いが発生する。更に溶接中の開先変形が無視できない上、変形が一律でない。これに対して手溶接又は半自動溶接で施工する場合には、熟練溶接工が状況に応じて溶接条件や積層パターンを臨機応変に決定しながら行うが、自動溶接では溶接開始前に積層設計を済ませておく必要があり、組立精度や変形に対する許容範囲が限られていた。

このためオンラインの開先検出、開先計測及びロボット化に適した溶接工法と溶接条件自動設定方法の開発を行っている。

#### 5.1 最新開先検出・開先形状計測技術の開発

本開発ではレーザースリット光を開先に照射し、CCDカメラによって撮像された二次元画像（光切断像）より開先位置、形状、寸法等の三次元情報をオンライン計測するものである。又、アーク光画像を別カメラで撮像し、その重心点を抽出・三次元座標変換し、開先位置データとの相対比較によってトーチ位置のフィードバック制御を行う（図10参照）。

ただし、溶接時におけるアーク光は非常に強烈で、レーザ光が見えないため、以下の対策をとった。

- (1)干渉フィルタの採用により光切断像の相対強度を向上させる。
- (2)ショートアーク溶接におけるアーク短絡時の瞬間をランダムシャッターカメラにより撮像することで、溶接中においても、鮮明なレーザ光切断像の撮像を可能とした。

又、別カメラにおいてはNDフィルタによりアーク光を十分に減光し、点状の画像として撮像を行っている。

これによりオンライン開先形状計測が可能となり、溶接中の母材の熱変形及び溶接ワイヤ曲がり等にも対応可能となる。

#### 5.2 ロボット化に適した溶接工法と開先変動対応溶接条件自動設定技術の開発

許容度の大きい且つロボットに向けた溶接法として、1985年に新日本製鐵プラント事業部研究開発室では、幅広い溶接ビードを積み上げていく1パス1レイヤ溶接法を考案し有効性を実証した。従来法と新法の比較を図11に示す。本溶接法は、深さ方向の全幅を往復揺動しながら、長手方向に一定のピッチで溶接することによって、組立時の目違いに起因する溶接線に沿った開先深さの変動を無限に許容することが可能である。又、極厚材では従来方法に比べパス数を数分の一に減らすことができ、溶接装置の溶接線上の往復移動を激減させ得る。本開発ではこの方法を基に溶接能率向上とビード形状改善を行い、実用的な1パス1レイヤ溶接法を開発した。

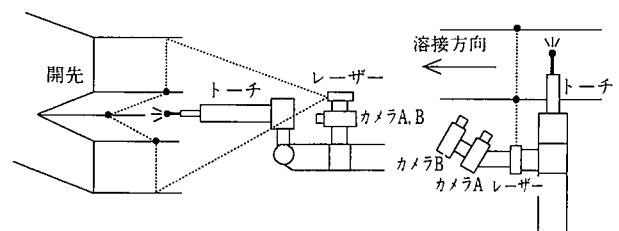


図 10 画像処理開先センシングシステム

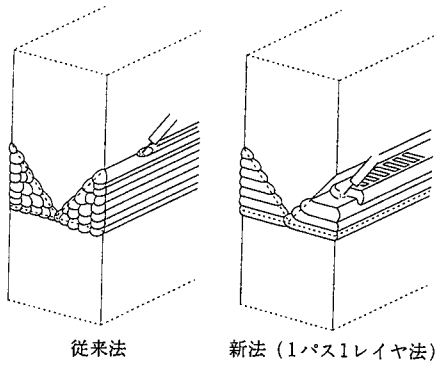


図 11 ロボット用新溶接法

本溶接法において溶接条件の自動設定を行うために、開先と溶接トーチの動きに伴う溶接条件をパターン化した。開先深さ方向の変動には、その移動距離を変更することで対応でき、開先角度の変動には、トーチの往復運動のピッチの調整で1層の盛高さを変更することにより対応できる。これらを組み合わせて極厚不整開先に対応した溶接条件演算アルゴリズムを開発した。更に、開先倣い、開先形状計測技術との組み合わせによって、リアルタイムでの開先変動に対応した溶接条件の自動設定技術を開発している。

## 6. おわりに

本論文では紙面の都合上、接合研究センターでの溶接ロボット開発の一部を紹介したにとどまったが、いずれのテーマも鋼材販売支援とエンジニアリング事業支援を目的としており、その大部分は依頼課題である。

これらの研究成果を本格的に普及するためには、エンジニアリング事業部門での適用拡大だけでなく、ロボットの製造販売態勢の確立も重要である。開発元としても、開発完了ロボットについても常にバージョンアップできる態勢も必要と考えている。

今後はオンライン監視など新技術開発成果を各種ロボット開発に応用し、従前以上に鋼材販売支援とエンジニアリング事業支援に努めていく所存である。

## 参考文献

- 1) 片山猛 ほか：製鉄研究. (332), p.46(1989)
- 2) 江見普 ほか：土木学会論文集. (409) IV-11, 1989-9
- 3) 立川博 ほか：JSSC 鋼構造論文集. (1)2, 1994-6
- 4) 立川博 ほか：新日鉄技報. (344), p.15(1992)
- 5) 立川博 ほか：材料とプロセス. 5, p.1523(1992)
- 6) 木林長仁 ほか：鉄構技術. 70(11), p.62(1994)
- 7) 清水巖 ほか：技報安川電機. 57(2), p.78(1993)
- 8) 深見俊介 ほか：鉄構技術. 69(7), p.34(1993)