

土木における接合技術

Steel Welding Technologies for Civil Construction Applications

立川 博^{*(1)} 畦田 武志^{*(2)} 西本 英高^{*(3)} 佐々木 康夫^{*(4)}
 Hiroshi TACHIKAWA Takeshi AZETA Hidetaka NISHIMOTO Yasuo SASAKI
 柳井 純^{*(5)}
 Jun YANAI

抄 録

近年、景気動向が沈静化する中であっても土木分野での自動化への要望は非常に大きい。特に阪神大震災後はモニタリング技術等による品質保証技術を取り入れた自動溶接の開発ニーズは大きい。新日本製鐵ではこれらのニーズに答えるべく一貫して土木分野向けの自動溶接機を開発してきた。土木工事向けに開発した鋼管矢板または鋼板と異形鉄筋を品質良く、瞬時に溶接でき、品質保証システムの完成度が高く施工実績の高い“NSスタッド工法”，同じ適用個所であるが径の大きい鉄筋の接合が可能な“NS-MAG工法”，鉄筋同士の突き合わせ自動溶接できる“NSロボ51”，同じNSロボ51を鋼板同士の突合せ溶接に使用し、橋脚の耐震補強工事で威力を発揮した“鋼板溶接ロボ”，また鉄道レールの接合を溶接工の技量に左右されない、短時間に接合可能な“自動レール溶接”について概要を説明し、合わせて現場適用状況について報告した。

Abstract

Despite the recent economic slump particularly in the construction industries, demands for automation in the field of civil construction are very strong. Those for new automatic welding apparatuses incorporating quality assurance techniques such as joint monitoring have become especially strong after the big earthquake in the Hanshin-Awaji area in January, 1995. Nippon Steel Corporation has developed various automatic welders and welding methods for civil construction applications in response to those demands. This paper deals with the technical features and actual field use of the following welding technology products: "NS Stud Method" which has already been widely used for instantaneously welding deformed bars with pipe pilings or plates incorporating a high performance level quality assurance system; "NS-MAG Method" for welding large diameter reinforcing bars for the same application as above; "NS Robot 51" for automatic butt welding of reinforcing bars; "Plate Welding Robot" with the same technical principle of NS Robot 51 applied for butt welding of plates which proved its high performance in concrete bridge pillar reinforcing works as countermeasures against earthquake; and "Automatic Rail Welder" capable of quickly joining rails without being affected by a welders' skill.

1. はじめに

土木・建築現場において昨今では溶接工の腕に左右されない自動溶接工法への期待が非常に大きい。新日本製鐵ではその期待に応えるべく一貫して各種の自動溶接機を開発し、現場導入を図ってきた。しかし、現場の作業者は一般的には自動化には後ろ向きである。彼らに気に入られる自動機でなければすぐにすたれてしまう。我々は常にそのことを念頭に置き開発に当たってきた。土木分野向けに開発してきた自動溶接機の紹介と現場適用例について紹介する。

2. 鉄筋溶接技術の開発

2.1 NSスタッド工法

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等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。また現場工事での品質管理を可能にするモニターリング装置も開発した。これらの技術の現場工事適用技術について説明する。

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⁾ 鉄構海洋事業部 土木エンジニアリング部 土木工事グループ マネジャー
 東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎(03)3275-6361

*⁽²⁾ 鉄構海洋事業部 土木エンジニアリング部 土木工事グループ グループリーダー

*⁽³⁾ 鉄構海洋事業部 土木エンジニアリング部 設計技術グループ グループリーダー

*⁽⁴⁾ 鉄構海洋事業部 土木エンジニアリング部 部長

*⁽⁵⁾ 鉄構海洋事業部 副事業部長

- (1) 信頼性の高い接合：溶接性に優れた新開発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接合構造が得られる。
- (2) 太径、長尺、水平の異形鉄筋スタッド溶接：サーボモータ方式のスタッドガンの開発により、径19mm、22mm、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効率も高く、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：異形鉄筋スタッド溶接時の溶接条件をモニターすることが可能で、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の結合部材の兼用を可能にした。

2.1.2 NSスタッド工法の品質管理

スタッド溶接は1秒以内に溶接が終了する。この短時間で完了するスタッド現象を解明するためには溶接電流、溶接電圧とスタッド鉄筋の動き(押し、引き)を記録し、解析した。その結果スタッド溶接の品質に影響を与える重要な因子を発見した。即ち、スタッド鉄筋を押し込む以前に溶接電圧が短絡を起こしてはならない、溶接電流、溶接時間、引き上げ量、押し込み量が許容範囲内に入っていないなど判明した。そこでスタッド溶接一本毎に図1に示すモニターリング装置を用いてスタッド現象を計測し、図2に示すモニターリング画面をコンピュータで作図する。また同時に

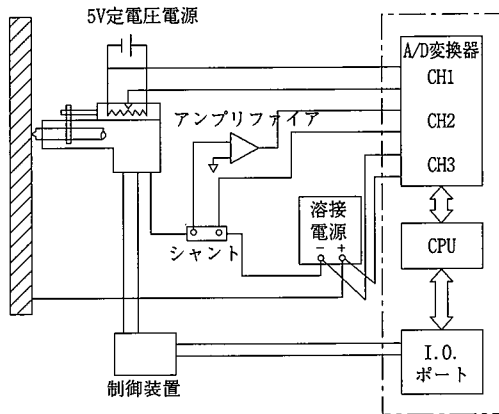


図1 モニターリング装置ブロック図

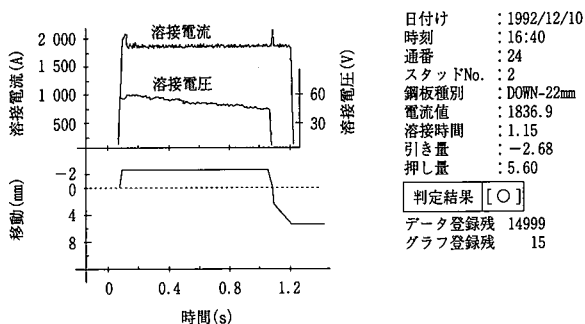


図2 モニターリング画面

表1 モニターリングデータの管理値(横向)

	19mm径	22mm径
溶接電流	1 400~1 900A	1 700~2 100A
アークタイム	0.9~1.30s	0.9~1.30s
引き上げ	1.5~3.5mm	1.5~3.5mm
押し込み	4.5~7.0mm	4.5~7.0mm
短絡	無	無

表1に示す範囲内にあるかどうかを判定させ、その溶接が良好か否かを判定する品質管理システムを完成させた。このシステムは好評で溶接品質が非破壊で判定でき、かつ、全数の品質管理が可能になった。

2.1.3 NSスタッド工法の適用例

(1)橋脚基礎頂版結合工への適用

鋼管矢板基礎では、フーチングコンクリート(頂版部)と鋼管矢板との側壁を結合する必要がある。従来はプレートに鋼管矢板に現場で溶接する方法や、鋼管矢板に穴を開けて鉄筋を挿入する方法が用いられていた。これに対し、新日本製鐵のNSスタッド工法は溶接性の良い異形鉄筋を直接鋼管矢板にスタッド溶接する画期的なもので、工期の短縮、品質の向上を図ったものである。図3に橋脚基礎頂版結合工の概要図を示す。

長尺スタッド鉄筋頂版結合工においては鋼管矢板1本あたり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、施工効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、また、上下方向に溶接ヘッドを自動昇降できる多連スタッド自動溶接機を開発した。この装置を用いた鋼管矢板基礎頂版結合工の施工模式図を図4に示す。

最近の頂版結合工での施工効率現場環境にもよるが、4人1組の作業者が4連装置一式で600~800本/日の施工を行っている。

(2)その他の施工

NSスタッド工法は上述の水平方向の施工のみではなく垂直方向の施工ができることは言うまでもない。垂直方向の施工例としては合成構造沈埋函が挙げられる。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スタッド及び長尺異形鉄筋を介して一体化したのが合成構造沈埋函である。

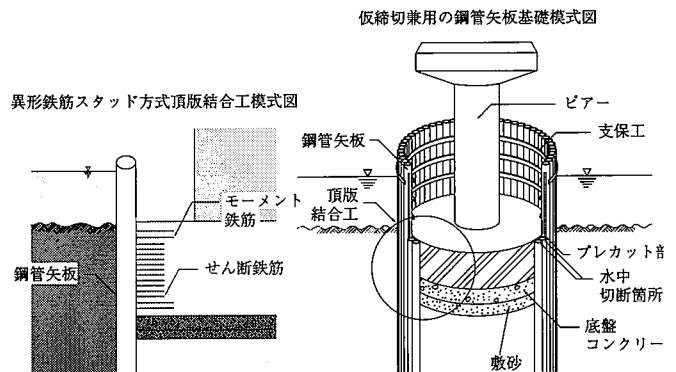


図3 橋脚基礎頂版結合工の概要図

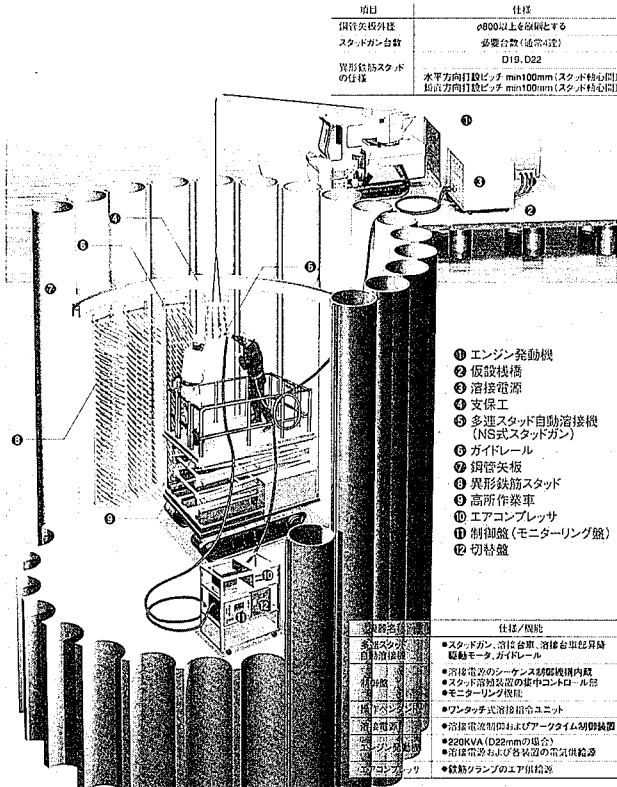


図4 鋼管矢板基礎頂版結合工の例

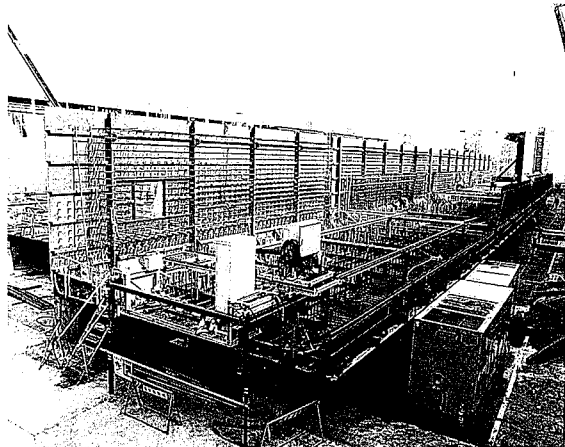


写真1 沈埋函施工状況

沈埋函の施工は主に下向き溶接となる。一日当たり4000本の打設が可能のように複数台の装置の投入と、品質良く大量施工できるように装置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1に示す。このシステム化施工技術は施工能率、品質管理の良さなどが評価され、これまでに約160万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、ロボット化に代わるだけでなく、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 NS-MAG工法

NSスタッド工法は瞬時に鉄筋を熔融し、その熔融プールがさめないうちに鉄筋を熔融プール内に押し込むことが必要であり、水平姿勢での適用径はD22までであった。更なるニーズに対応するため

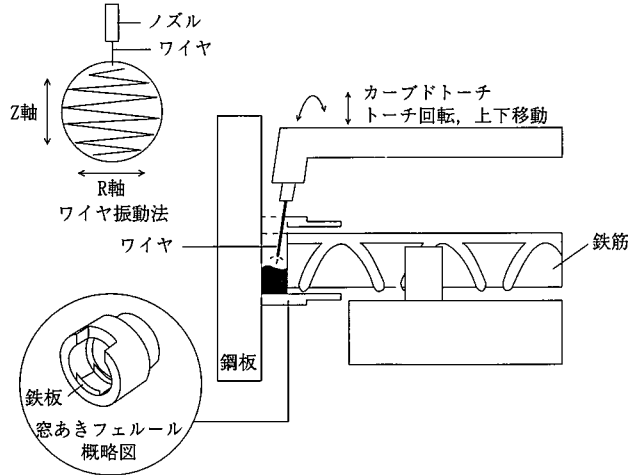


図5 NS-MAG解説図

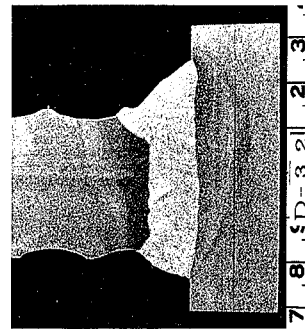


写真2 NS-MAG断面マクロ写真

太径鉄筋を鋼管矢板または鋼板に溶接する技術としてNS-MAG工法を開発した。

2.2.1 NS-MAG工法の原理, プロセス

図5に示す窓あきフェルールを使用し、鋼板と鉄筋の間に開先を保ち、その開先のなかを細径のソリッドワイヤで図5に示すように運挿し、ガスシールドアーク溶接を行うことにより、多くの技量が必要なく簡単に溶接することが可能である。溶接可能な異形鉄筋のサイズはD13~D51までで、鉄筋先端は直切りにし、鉄筋材料は高炉材でも電炉材でも使用することができる。写真2にD32鉄筋のNS-MAG法で溶接した試験片の断面マクロ写真を示す。

2.2.2 NS-MAG法の適用例

NS-MAG工法は名神高速道路橋脚補強工事、みなとみらい高島駅新設工事、ビル建設現場での施工にと幅広く使用されている。

2.3 NSロボ51

NSスタッド及びNS-MAG法は鉄筋と鋼管または鋼板を接合する技術である。しかし、鉄筋同士の接合はそれより圧倒的に数が多い。以前はD32以下の鉄筋の接合については96%がガス圧接であり、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ずつ行われていたが、阪神大震災以後ガス圧接の比率は少なくなる傾向がある。新日本製鐵ではエンクローズ溶接の自動化を目標に人の技量に左右されないロボット溶接化を推進し、“NSロボ51”という名称の3軸制御の鉄筋継ぎ溶接ロボットを開発した。特徴を以下に示す。

- (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で約3分と短時間施工が可能である。

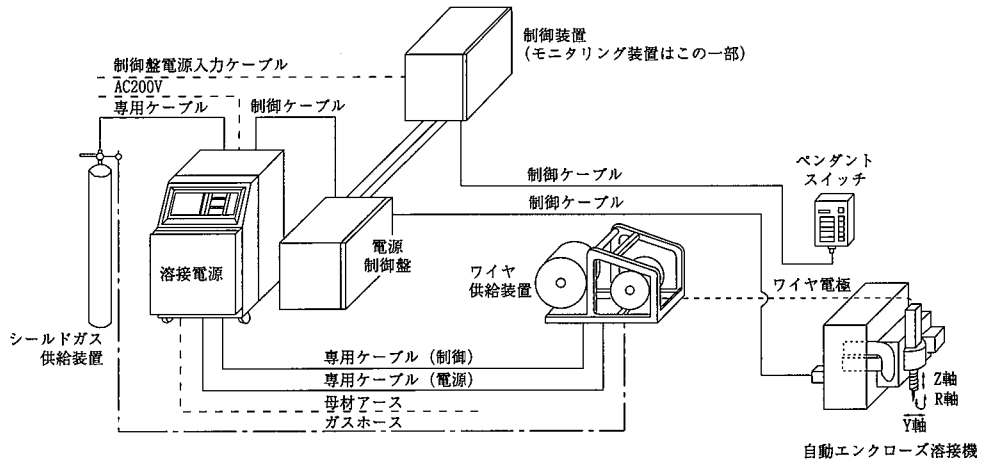


図6 自動エンクローズ溶接装置構成例

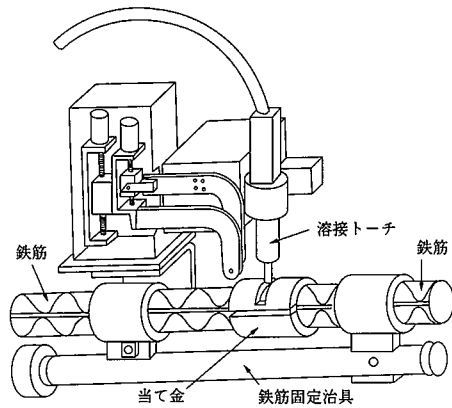


図7 自動エンクローズ溶接用溶接治具例

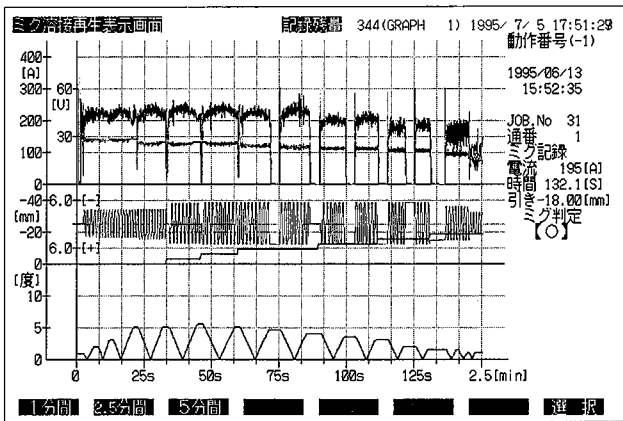


図8 NSロボ51モニタリング画面

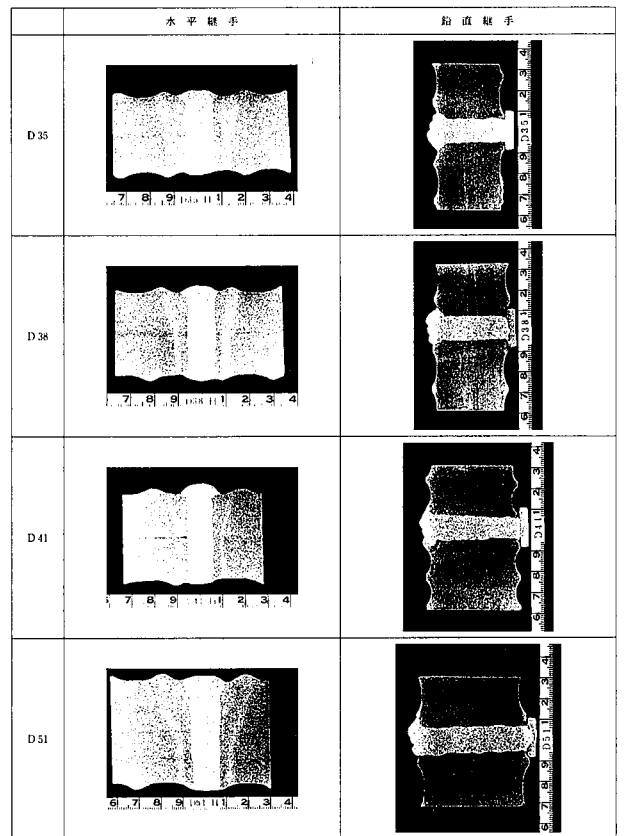


写真3 断面マクロ写真(D35～D51)

- (4) ロボット化により熟練溶接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) 溶接条件をモニタリングすることにより品質管理が可能である。
- 図6にNSロボ51の装置構成例, 図7に装置の拡大図を示す。図8にモニタリング画面を示す。また, 写真3に継手断面マクロ写真を示す。

2.3.1 NSロボ51の適用例

NSロボ51による鉄筋溶接の施工例としては阪神大震災で破壊した橋脚基礎杭の鉄筋補修溶接, 沈埋函での鉄筋溶接, 新設橋脚基礎配筋工事などがある。写真4に阪神高速道路適用状況を示す。



写真4 NSロボ51現場適用状況

3. 鋼板の溶接

3.1 NSロボ51による橋脚耐震補強溶接

阪神大震災以来橋脚の耐震強度を高めるために橋脚の外表面を鋼板で覆う工事が多数施工された。新日本製鐵も積極的にこの工事を受注した。この工事で活躍したのがNSロボ51による鋼板自動溶接システムである。

3.1.1 鋼板自動溶接機の特徴

- (1)NSロボ51を溶接台車に搭載し、鋼板を自動溶接する工法である。
- (2)走行方向、開先幅方向、開先深さ方向の3軸を自動制御する。
- (3)溶接姿勢は立て向き、横向き溶接が可能である。
- (4)現場での開先変動に対処するためチーピングによる開先線自動倣い、開先断面積に応じて溶接速度、揺動振幅を制御しながら自動溶接を行うことができる。

3.1.2 現場適用状況

溶接のイメージを図9に示す。現地溶接システムの構成を図10に示す。走行レールを開先線とはほぼ平行にマグネットで固定し、走行台車をレールに搭載する。オペレータは溶接の前に空運転で開先形状をチーピングする。チーピングは開先線の変曲点、開先幅が

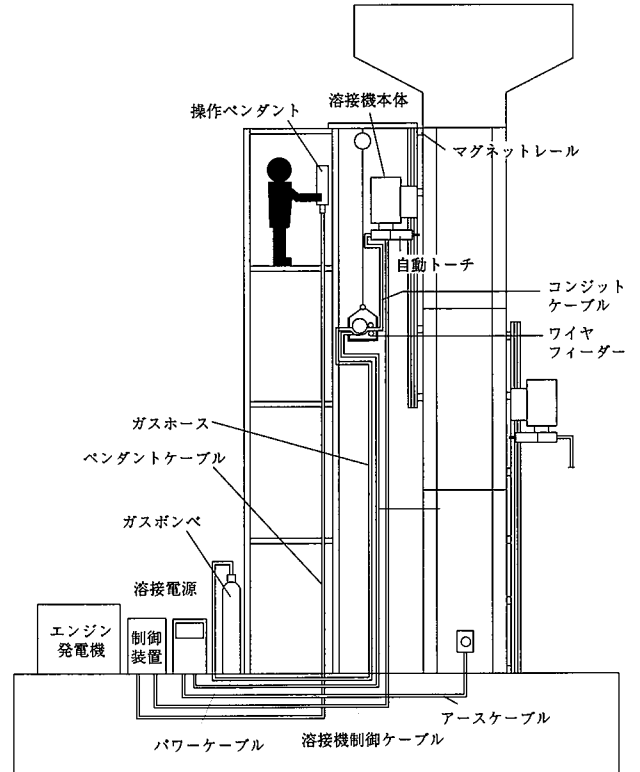


図10 現場溶接システムの構成

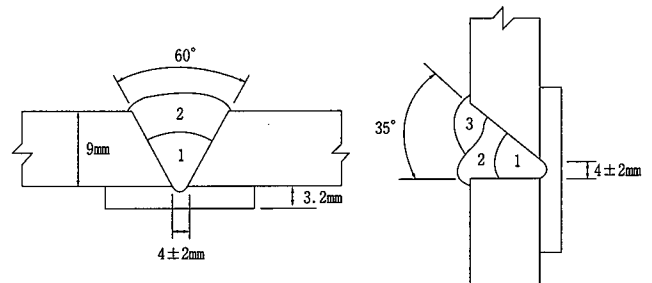


図11 代表的な溶接積層法

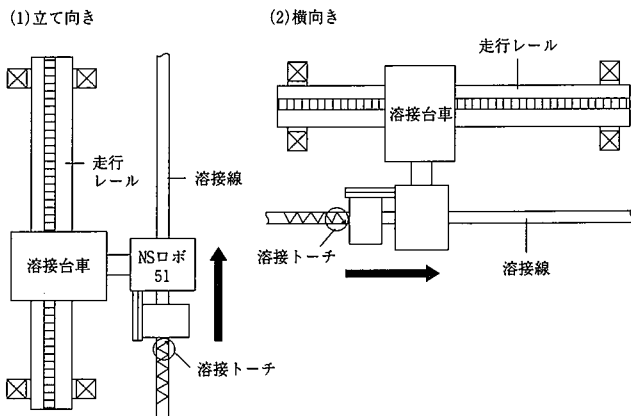


図9 溶接イメージ図

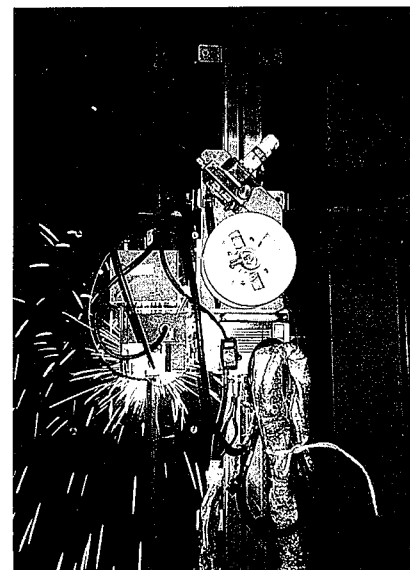


写真5 鋼板自動溶接現場適用状況



写真6 溶接ビード外観

変化したところを1mで3~4点教示する。その後をNSロボ51が開先幅に応じて溶接速度、トーチの振幅を制御して多層盛り自動溶接する。代表的な溶接開先及び積層法を図11に示す。また、現場適用状況を写真5に、溶接ビード外観を写真6示す。

4. レール自動溶接

レールの溶接はフラッシュバット溶接、ガス圧接、テルミット溶接、エンクローズ溶接などの工法で行われている。それぞれの溶接法にはそれぞれの特徴があり、その特徴に合わせて使用されている。新日本製鐵ではエンクローズ溶接、テルミット溶接に替わって適用可能な溶接工法として、エレクトロスラグ溶接を主体としたレール自動溶接(ARW)を新たに開発した。この溶接法はレール底部の溶接にガスシールドアーク溶接(GMAW)、腹部から頭部にかけてはエレクトロスラグ溶接(ESW)を行う複合溶接法である。

4.1 レール自動溶接機の溶接条件

レール底面にはセラミックスの裏当て材が当てられ、底部の溶接は炭酸ガスシールドアーク溶接で、炭酸ガスはトーチとその周りに配置されたガラスチューブの間から供給されるとともにサイドの防風カバーからも供給される。底部の溶接が終了後、炭酸ガスに替わりフラックスが供給されエレクトロスラグ溶接に切り替わるようになっている。炭酸ガスシールドアーク溶接及びエレクトロスラグ溶接とも同一の高炭素系溶接ワイヤ(ソリッドワイヤ)を使用しており、その化学組成を表2に示す。なおワイヤ径は1.6mmである。標準溶接時間は約15分である。溶接終了後、溶接部をガス圧接用バーナーで1000℃に再加熱し焼きならし処理を行い、余盛部をグラインダで除去する。溶接条件及びトーチ軌跡を図12に示す。

4.2 レール自動溶接機の構成

図13にレール自動溶接機の構成図を示す。自動溶接機は自動溶融溶接機本体、銅当て金、ワイヤ供給装置、制御装置、溶接電源、水冷装置等から構成されている。溶接トーチは10mm径の水冷狭開先トーチを使用し、開先幅は16±2mm、ワイヤに曲げくせをつけそのワイヤを回転揺動して溶接するシステムである。回転揺動部の機構を図14に、溶接ヘッド部の機構を図15に、またエレクトロスラグに移行時のフラックス散布図を図16に示す。

4.3 レール自動溶接装置の現場適用例

本装置では新日本製鐵君津、八幡製鐵所構内での施工、東日本鉄道中央線、東海道線での試験工事などを経て、1999年度山形新幹線の延伸工事に採用された。写真7に八幡製鐵所構内での適用状況を示す。

表2 使用した溶接ワイヤの化学成分(mass%)

C	Si	Mn	P	S
0.70	0.24	0.87	0.019	0.011

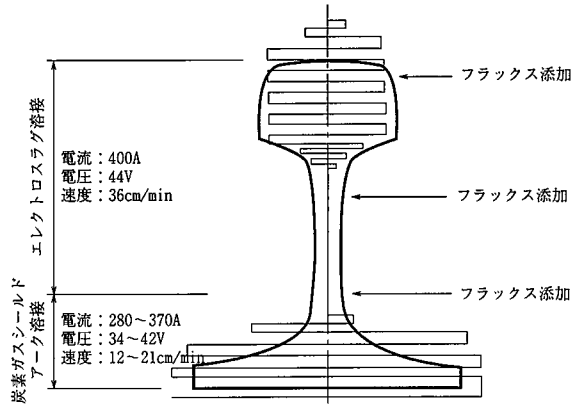


図12 溶接条件及びトーチ軌跡

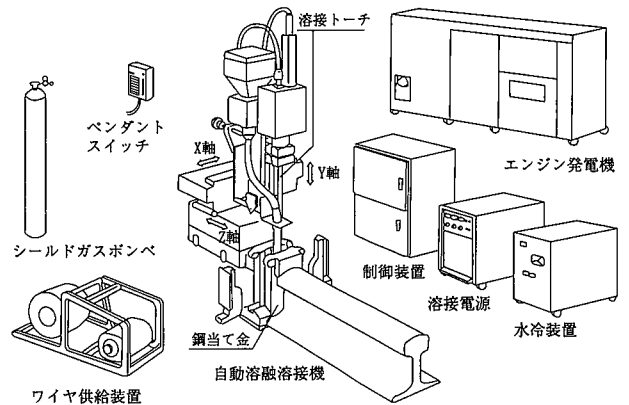


図13 自動溶融溶接装置の構成

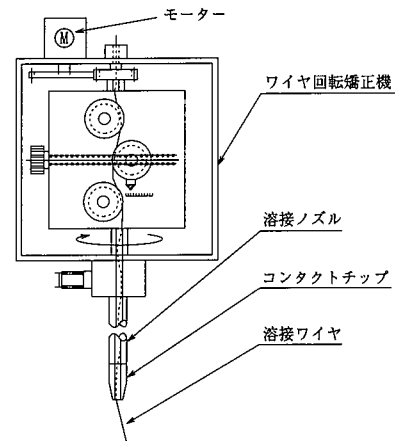


図14 ワイヤ回転矯正機構

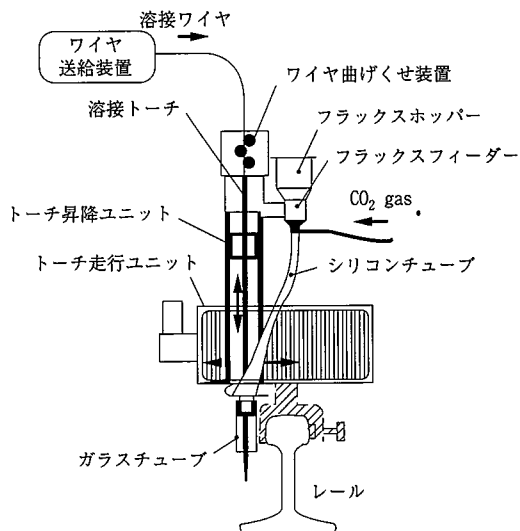


図15 溶接ヘッド

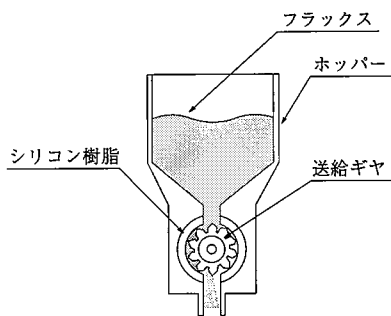


図16 フラックス散布機構

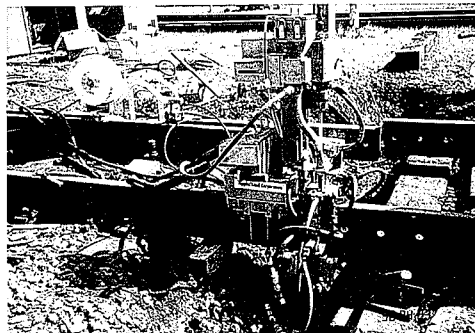


写真7 八幡製鐵所構内レール自動溶接状況

5. おわりに

本報では新日本製鐵鉄構海洋事業部土木分野での接合事業への取り組みの一部を紹介した。NSスタッド工法のように既に事業化の柱を背負えるように活躍しているものもあるが、ほとんどはこれから改良していかなければならない状況にある。今後これらの技術を事業の柱として更に発展していくためには、各々の現場の状況をよく分析し、現場にマッチした改良を推し進めていくことが必要である。

謝 辞

これら接合技術開発にあたり、当初から開発を担当し、鉄構海洋事業部に技術が移管された後も、常に適切なアドバイスと協力をいただいた、接合研究センター、八幡技術研究部の関係者に心から謝意を表します。