

# 建築鉄骨柱用現場溶接ロボットの作業効率に関する基礎的研究

Basic study on operation efficiency of site welding robot  
for building steel structural column

坂本 成\*, 田中 淳夫\*\*, 吉野 正和\*\*\*, 田中 信吾\*\*\*\*  
*Shigeru SAKAMOTO, Atsuo TANAKA, Masakazu YOSHINO, Shingo TANAKA*

To speed up structural framework, which precedes building work, various devices including on site welding robots were researched as its efficiency has direct bearing on building construction schedule. Automatic welding using robots with a little assistance from humans is considered to be a practical means of improving a working efficiency in welding building steel columns at field under strict quality control in the foreseeable future. This paper considers a maximum production rate as a manufacturing evaluation criterion to propose a method for planning an appropriate constitution of robot operation with a little assistance from humans.

**Keywords:** Welding, Building steel columns, Labor-saving, Production efficiency, Welding conditions, Operation plan, Robot

溶接, 建築鉄骨柱, 省力化, 生産効率, 溶接条件, 稼働計画, ロボット

## 1. はじめに

建築鉄骨の現場溶接は、建築の主要構造体の品質を左右する重要な工程として、資格を有する溶接工の手により諸規則等<sup>(1)</sup>に基づく厳しい管理のもとで行われている。同時に、この作業は高所屋外作業でありながら雨、風の品質への影響に対する厳しい規定があり、しかも対象部材の製作精度、位置精度の改善には限界がある。一方近年の建設業における技能工不足の現象はこの工種にもみられ、鉄骨建方工事が工程のクリティカルパスとなる場合が多い。

筆者等はこのような建築鉄骨の溶接作業、特に横向き作業となる柱鉄骨の溶接をロボットにより行うための研究を続けてきたが、この過程で、従来の人手作業によるものとは異なるロボットによる作業特有の機器、制御に関する管理事項の存在と、これらを適正に処理することによるロボットの作業性の向上を目的とした稼働計画の重要性を認識するに至った。

本研究は生産の評価基準 (manufacturing evaluation

criteria) を、最大能率基準<sup>(2)</sup> (maximum product rate) におき、まずロボットの諸操作変数のうち溶接速度を決定変数として選び、「最適溶接速度」を決定し、次にこの速度における人の介入する作業動作の内容について検討を加えた後、ロボットの稼働と人の動作の適正な構成を計画する手法を提案するものである。

## 2. 研究の進め方

ロボットにより生産性を上げるには、溶接時間、休止時間を短縮する事がポイントとなる。これに関連する項目を図1に示す。

### 2.1 溶接時間の短縮

溶接ロボットの諸操作変数のうち、溶接電流を上げると、溶着量は比例的に増加し、溶接時間を短縮する事が出来る。しかしながら溶接法、ワイヤの種類、ワイヤ径、シールドガスの種類、溶接姿勢等の制限から、これには

\* 大成建設衛生技術開発部 室長  
\*\* 宇都宮大学工学部建設学科 教授・工博  
\*\*\* 三井造船機玉野研究所 主幹研究員  
\*\*\*\* 三井造船機物流・メカトロ総括部 課長

Manager, Construction Technology Development Dept. Technology Div. Taisei Corp.  
Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Utsunomiya Univ., Dr. Eng.  
Principal Research Engineer. Tamano Laboratory Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.  
Manager, Advanced Machine & Systems Div. Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.

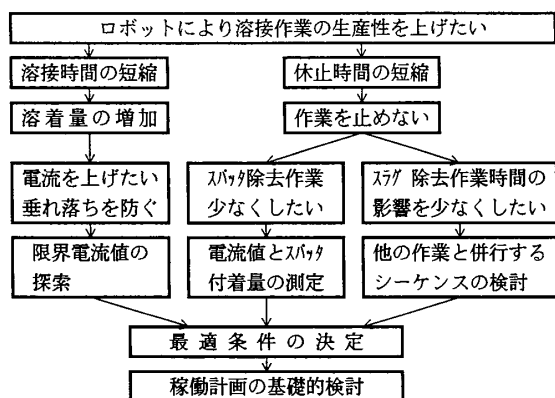


図1 溶接ロボットの稼働計画に関するフロー

上限、および最適領域が存在する。

特に、横向き溶接ロボットにおいては、溶接電流をあげることによって写真1に示す、「垂れ落ち」<sup>(3)</sup> という欠陥が生じる。これは溶接中の急激な溶接速度の変化、前層の形状不良、過大なパス間温度等起因して発生するが、本研究では溶接電流と「垂れ落ち」の関係について実験的に検討した。

## 2.2 休止時間の短縮

溶接ロボットの生産性を上げるためには、溶着量を増やす事によるアーク時間の短縮に加え、ロボットに固有の運搬、セットに要する時間、センシング、トーチの移動に要するエアーカット時間等の休止時間を短くするような、設計、運用上の工夫が必要である。

又、ロボットで溶接中に人が介入するための休止時間として、スパッタ、スラグの除去時間がある。

CO<sub>2</sub>、MAG溶接では、溶接中、シールドガス用ノズルにスパッタが付着し、ガスの流路が塞がれる事によりブローホールが発生する。従って定期的に溶接を中断し、ノズル口を清掃する必要がある。又この間に数パス毎に溶着金属表面のスラグ除去を行う必要もある。このスラグ除去作業に関しては他の作業と併行するよう作業シーケンスを構成する事により休止時間の増加を防ぐ必要がある。

スパッタがノズルに付着する度合いは、ノズル構造、溶接姿勢、開先形状等により異なるが、溶接電流も大きな因子であり、スパッタの付着しにくい溶接電流を選定する必要がある。

そこで溶接電流とスパッタのノズルへの付着量の関係、及び溶接欠陥の原因となるスパッタ付着量の限界を把握し、溶接ロボットの連続作業時間を把握することとした。

## 3. 要素実験

要素実験として「垂れ落ち」及び「スパッタ付着量」

に関する実験を行った。以下にその内容を示す。

### 3.1 「垂れ落ち」に関する実験

#### 3.1.1 実験の方法

実験に使用した、溶接方法、供試材、及び溶接機を表1に示す。

本実験では図2、及び表2に示す様に、比較的溶接速度の速い溶接条件で基礎ビードを溶接した後、その上に基礎ビードより遅い速度で試験ビードを溶接、即ち基礎ビードより溶着断面積が大である試験ビードを溶接し、ある溶接電流による「垂れ落ち」の起こる度合いが溶接速度によりどの様になるかを評価した。

尚、基礎ビードの溶着断面積はいずれの電流値においても等しくなるように溶接速度を選定した。又、試験ビードの溶接条件は基礎ビードの溶接速度 (v) に対し、v、5/6v、4/6v、3/6vになるように選定した。即ち試験位置 (図2の(1)~(4)) 毎の溶着金属断面積は、溶接電流に関らず一定となるように溶接速度を選定した。尚、試

表1. 実験用溶接ワイヤ等仕様

溶 接 方 法	炭酸ガス溶接
溶 接 装 置	500Aインバータ溶接機
溶 接 ワ イ ヤ	JIS Z3312 YGW11 φ1.2mm
試 験 材	SS400 板厚:25mm

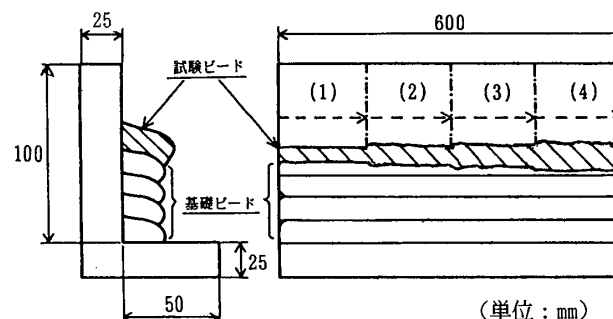


図2. 試験材形状及び実験要領

表2. 「垂れ落ち試験」溶接条件表

試 験 要 領	基礎ビード	試験ビード				
試 験 位 置	—	(1)	(2)	(3)	(4)	
溶 接 電 流 (A)	溶接速度 (mm/min)					
	v	v	5/6v	4/6v	3/6v	
220	360	360	300	240	180	
240	420	420	350	280	210	
260	480	480	400	320	240	
280	540	540	480	360	240	
300	600	600	500	400	300	
320	660	660	550	440	330	
340	720	720	600	480	360	

験ビードを溶接する前のパス間温度は、SM570Q鋼を使用した建築鉄骨柱溶接で許容される250℃<sup>(4)</sup>とした。即ち基礎ビードの溶接を行った後放冷し、250℃に達した時点で、試験ビードを溶接した。評価項目は、試験位置での「垂れ落ち」の有無、及び安定性であり、5回の試験について評価した。

「垂れ落ち」の起こる直前の現象としては、図3に示すように、溶融中のビードにくびれが生じ、ふくらんだ部分が落下する。安定性の評価は、レーザセンサにより、ビード断面のプロフィールを計測し、図3に示す $\delta$ 値( $W_{MAX}-W_{MIN}$  単位: mm)により4段階に分類した。

### 3.1.2 実験結果及び考察

写真1にビードを上部から撮影した試験部の外観写真を示す。いずれも相対溶接速度は3/6vの場合である。

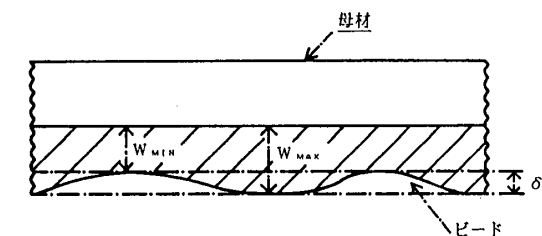
340Aでは垂れ落ちが発生し、220Aでは凸凹が少なく、 $\delta$ 値が小である事を示している。

図4は相対溶接速度と溶接電流に対する $\delta$ 値の変化を示したものである。いずれの相対溶接速度においても電流値が高くなると、 $\delta$ 値も大になる傾向が見られる。

電流値340Aの場合では、v、5/6vという比較的速い相対速度においても $\delta$ 値は、他の条件に比べ大であり、4/6vで、2mm前後に達し、3/6vでは、5回の試験のうち4回は垂れ落ちが起こった。320Aの場合でも相対溶接速度3/6vで、 $\delta$ 値は2～2.5mmとなり、「垂れ落ち」寸前の状況を示していた。300Aの場合、いずれの相対溶接速度においても、340A、320Aの場合に比べ、 $\delta$ 値は小であり、「垂れ落ち」の危険性が低下する事を示している。

電流値220Aの場合はいずれの相対溶接速度においても $\delta$ の平均値は0.5mm以下であり、「垂れ落ち」の危険性がほとんどない事を示している。

しかしながら、電流値を低くすると、溶着量が低下し、非能率となる。本試験の様に、溶接速度vで溶接したビードの上に3/6vの溶接速度で溶接するという溶接条件を設定する事は有り得ない事であるが、前層の形状不良、



形 状	安定性評価	分類記号
$\delta \leq 1 \text{ mm}$	安定したビード	S 1
$1 < \delta \leq 1.5 \text{ mm}$	やや不安定なビード	S 2
$1.5 < \delta \leq 2.5 \text{ mm}$	不安定ビード	S 3
$2.5 < \delta$	垂れ落ちビード	D

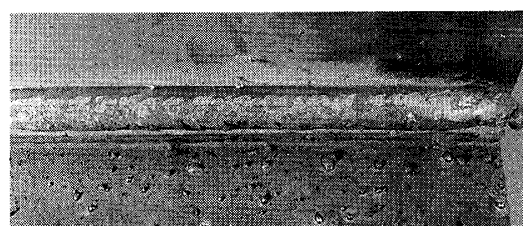
図3. 上部より見たビード形状

電源、走行装置の何等かの条件に変動があった場合、340A、320Aでは「垂れ落ち」が起こり易く、300A以下の場合には比較的その影響を受けにくいものと考えられる。

### 3.2 「スパッタ付着量」に関する実験

#### 3.2.1 実験の方法

実験に使用した溶接方法、供試材、及び溶接機は表1に示すものと同じである。試験材形状及び試験方法を図5に示す。表3に示す各溶接電流において連続溶接した場合の60分後までのノズルへのスパッタ付着量を計測した。又スパッタが付着する事によるブローホールの発生を外観的に確認した。60分溶接後外観的にブローホールが確認出来なかった場合は、X線検査により、ブローホールの有無を調査した。



(a) 220A、180mm/min(3/6v) 10mm



(b) 340A、360mm/min(3/6v) 10mm

(垂れ落ちビード)

写真1. ビード外観

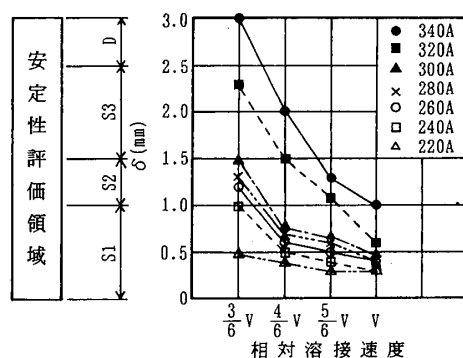


図4. 溶接電流と「垂れ落ち」の関係

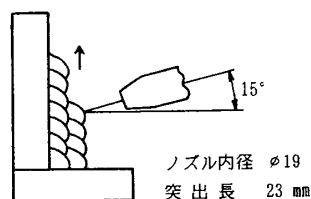


図5. 試験材形状及び試験方法

溶接速度は全ての溶接電流において、溶着断面積が等しくなるよう選定した。トーチ角度は横向き溶接のトーチ角度の一例として15°一定とした。

### 3.2.2 実験結果及び考察

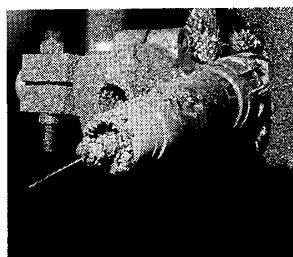
本実験は同一電流値で10回実験し、付着量の平均値を平均付着量とした。実験結果を表4、図6に示す。

低電流域(220~260A)では溶滴が大きく短絡移行型とグロービュル移行型が混在しており<sup>(5)</sup>、電流が低い程スパッタの粒径、数ともに多く、付着量が多くなった。電流が高くなると共に、粒径が小さい溶滴が連続的に移行する移行形態となりスパッタの粒径、数とも小さく、付着量も少ない。

この傾向は300Aの溶接条件で特に顕著である。さらに電流を上げていくとアーク力が強くなり、スパッタ粒径、数とも増大し、付着量も増える。

一例として、220A、300Aで60分溶接した後のノズルへの付着状況を写真2に示す。

220Aで溶接した場合、チップ、ノズル周辺に多量のスパッタが付着しているが、300Aの場合は付着量が少ない事が判る。



電流値 : 220A  
経過時間 : 60分



電流値 : 300A  
経過時間 : 60分

写真2. 溶接条件とスパッタ付着量の関係

220A、240A、260Aの場合については、ガス通路が狭くなったため、ブローホールが発生した。

尚、スパッタの付着量は電源特性、ワイヤ種類、ノズル形状、スパッタ防止剤の有無等により変化するが、本実験は、1つの目安として前述の一定条件のみで行ったものである。溶接装置、ワイヤの改善により、更にスパッタの付着量の低減を図る事が可能と考えられる。

表3. スパッタ付着実験の溶接条件

電 流 (A)	溶 接 速 度 (mm/min)	パス数/60分
220	360	36
240	420	42
260	480	48
280	540	54
300	600	60
320	660	66
340	720	72

表4 スパッタ付着実験結果

電 流 (A)	平 均 付着量 (g/60分)	ブローホール 発生頻度 (回/10回)	ブローホール発生 平均時間 (分/60分)	付着量2gになる までの平均時間 (秒)
220	6.0	10	3.7	1200
240	5.7	10	4.0	1265
260	5.3	9	5.0	1384
280	4.6	0	無	1564
300	3.1	0	無	2351
320	3.8	0	無	1918
340	4.9	0	無	1489

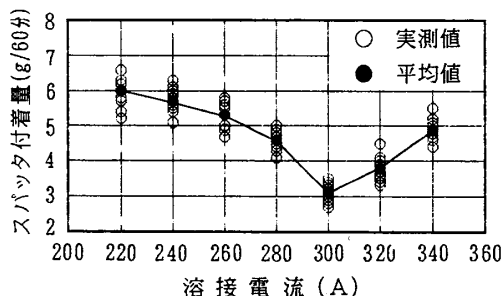


図6. 60分溶接後のスパッタ付着量

## 4. 実験結果の稼働計画への応用

ここまで述べた現状のエレクション・ピースを使用した柱接合工法に適合した、二辺対向型ロボットに関する要素実験の結果を基に、各種寸法のボックス柱に対する稼働計画について溶接条件と能率の関係を踏まえて以下の項目について検討を加える。

### 4.1 溶接ロボットにおける作業シーケンス

ロボットによる作業手順の一例を図7に、2セット(4台)のロボットを1人で管理する場合の作業シーケンスを図8に示す。又溶接ロボットによる作業状況を写真3に示す。

以下に個々の作業項目について述べる。

#### ①ロボット取付

柱にレール、及び溶接ロボット2台を取り付ける。

この取付時間を $T_{11}$ (分)とする。

- ① ロボット取付
- ② A面、C面溶接
- ③ エレクション・ピース切断
- ④ B面、D面へロボット移設
- ⑤ B面、D面溶接
- ⑥ ロボット取り外し、次の柱へ移動

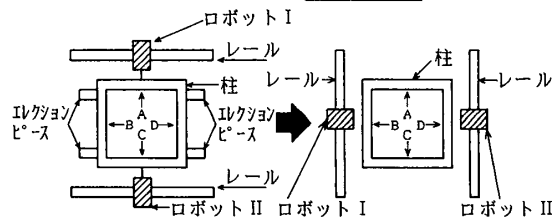


図7. 溶接ロボットの作業手順

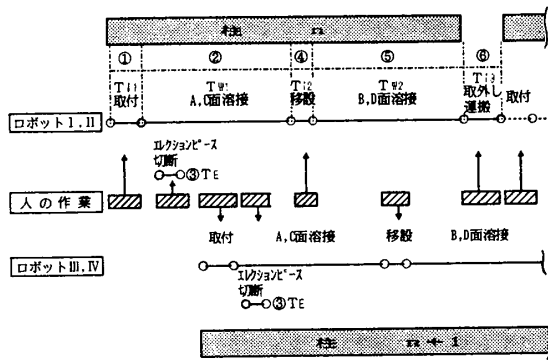


図 8. ロボットと人の協調作業シーケンス

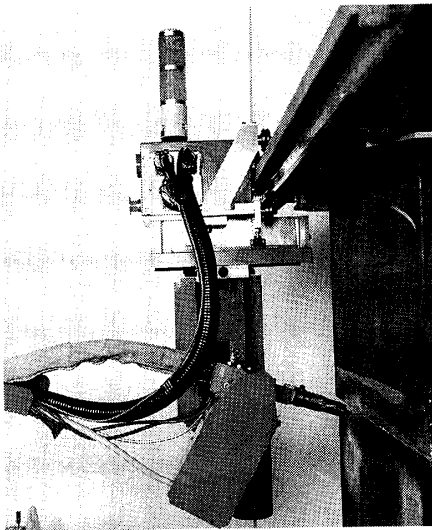


写真 3. 溶接ロボットの作業状況

## ②A面、C面の溶接。

A面、C面をそれぞれロボット I、II が溶接する。

溶接時間を  $T_{w1}$  とする。この時間には

- ・準備時間 ( $T_p$ )
  - ・アーク時間 ( $T_A$ )
  - ・スパッタ・スラグ除去時間 ( $T_{ss}$ )
  - ・エアーカット時間 ( $T_{Ac}$ ) を含み、
- (1)式ようになる。

$$T_{w1} = 2T_p + T_A + T_{ss} + T_{Ac} \quad (1)$$

## ③エレクションピースの切断

B面、D面を溶接するために、エレクションピースを切断する。この時間を  $T_E$  とする。

A面、C面を溶接している間に、図 8 に示すように作業者がロボットを停止することなく、エレクション・ピースを切断するので  $T_E$  は稼働計画上の作業時間には加算しない。

## ④B面、D面へのロボットの移設

ロボット I、II 及びレールを B面、D面に移設する。

この時間を  $T_{i2}$  とする。

## ⑤B面、D面の溶接

②項と同様であり、溶接時間を  $T_{w2}$  とすると全溶接時

$$\text{間は} \quad T_w = T_{w1} + T_{w2} \quad (2)$$

## ⑥ロボット取り外し、運搬

ロボットの取り外し、運搬時間を  $T_{i3}$  とする。

①④⑥の合計を設置時間  $T_i$  とすると

$$T_i = T_{i1} + T_{i2} + T_{i3} \quad (3)$$

となる。

## 4.2 作業時間の計算

ロボットの稼働計画を立てるために、先ず、柱寸法、板厚、開先形状を基に、標準作業時間を算出する必要がある。標準作業時間  $T_R$  は

$$T_R = T_i + T_w + T_{AL} \quad (4)$$

ここに  $T_{AL}$  は計画に見込む余裕時間である。

以下に  $T_i$ 、 $T_w$  の算出方法について述べる。

### 4.2.1 溶接対象に関わる稼働計画用諸条件

稼働計画の対象となる建築用ボックスの柱寸法、加工等に関する諸条件を図 9 に示す。

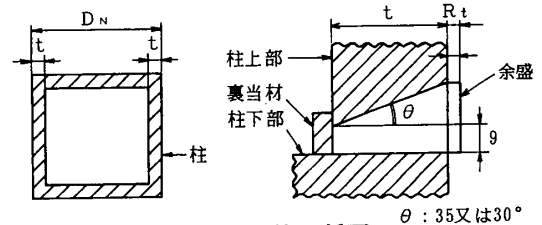


図 9. 溶接部位の断面

$\theta: 35^\circ \text{ 又は } 30^\circ$

柱板厚  $t$  (mm)、柱寸法  $D_N$  (mm) としたとき

○実効溶接長  $D$  (mm)

$$D = D_N - t \quad (5)$$

○開先断面積  $S_J$  ( $\text{mm}^2$ )

(開先角度  $35^\circ$  の場合)

$$S_J = 9t + 1/2 \times \tan 35^\circ \times t^2 + t \times \tan 35^\circ \times 3 + 3 \times 9 = 0.35t^2 + 11.1t + 27 \quad (6)$$

(開先角度  $30^\circ$  の場合:  $0.29t^2 + 10.7t + 27$ ) (7)

○対象継手の 6mm 隅肉換算長  $L_e$  (m)

$$L_e = \{S_J / (1/2 \times 6 \times 6 \times 1.2)\} \times 4 D / 1000 = 1.8 \times 10^{-4} \times (0.35t^2 + 11.1t + 27) \times D \quad (8)$$

○溶接金属重量/1辺  $M_w$  (g)、比重  $\rho = 8 \text{ g/cm}^3$  として

$$\begin{aligned} M_w &= S_J \times D \times 8 (\text{g/cm}^3) \times 10^{-3} \\ &= (0.35t^2 + 11.1t + 27) \times D \times 8 \times 10^{-3} \\ &= (2.8t^2 + 88.8t + 216) \times D \times 10^{-3} \end{aligned} \quad (9)$$

○層数 ( $N_L$ )

$$\begin{aligned} N_L &= \lfloor (t + R_t) / L_t \rfloor + 1 \\ &= \lfloor (t + 3) / 5 \rfloor + 1 \end{aligned} \quad (10)$$

$R_t$ : 余盛高さ: 3mm と仮定

$L_t$ : 1 層当たりののど厚 (mm)、溶接条件により異なるが  $L_t = 5 \text{ mm}$  とする。

(記号  $\lfloor \rfloor$ : 整数を意味する。小数点以下切捨て。)

#### 4.2.2 溶接時間に関わる稼働計画用諸条件

溶接時間 $T_w$ の内容は次のとおりである。ここでは実際の建築現場における作業の動作実測の結果を計算式に盛り込むこととする。

##### (a) 準備時間 ( $T_p$ )

溶接直前に行う予熱、開始操作等の時間を準備時間とする。

##### (b) アーク発生時間 ( $T_A$ )

アークを出し柱を溶接する正味の時間をアーク時間とする。柱寸法により、溶接金属重量 ( $M_w$ ) は異なり、溶接電流により、単位時間当たりの溶着金属重量 ( $m_w$ ) が変化するため、アーク時間が変わる。

##### ○溶着金属重量の算出

表1に示す溶接電源、及び溶接ワイヤを用いた場合の溶接電流  $I_{AV}$  と溶着金属重量  $m_w$  (g/min) の関係は筆者らの実測結果より表1の条件下の場合(11)式のように表される。但し溶接電流が高くなると、3項の実験結果より、「垂れ落ち」の危険性が生じ、この場合必ずしも高能率にはならない。図10に溶接電流と溶着量の関係における「垂れ落ち」の危険域を示す。

$$m_w = 0.5 \times I_{AV} - 50 \quad (11)$$

ここで  $I_{AV}$  は平均電流 (A)

##### ○アーク時間の算出

アーク時間は、(12)式のようになる。

$$T_A = M_w / m_w = (2.8t^2 + 88.8t + 216) \times D \times 10^{-3} / (0.5 \times I_{AV} - 50) \quad (12)$$

溶接電流と柱一辺当たりのアーク時間との関係を図11に示す。品質安定性、能率を考慮すると、300A近くの電流値が最も経済的となる。

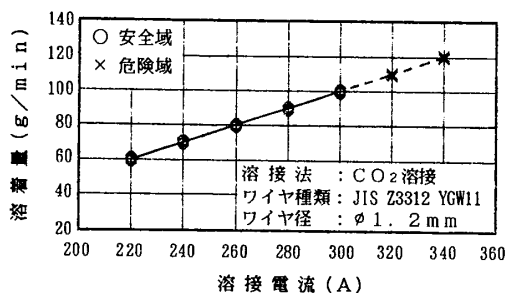


図10. 溶接電流と溶着量の関係

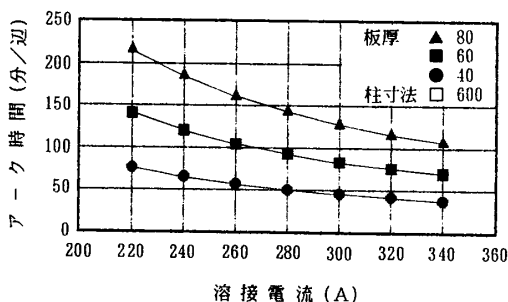


図11. 溶接電流とアーク時間の関係

##### (c) スパッタ・スラグ除去時間 ( $T_{ss}$ )

##### ○スパッタの除去

スパッタの除去は、一定時間毎にノズルに付着したスパッタを除去する時間であり、実験結果より、ノズルに2gのスパッタが付着する時間を除去サイクルタイムとして用いることとする。表4で試算した各電流値毎のサイクルタイムより算出したスパッタ除去回数(柱寸法: □600mm)を図12に示す。

##### ○スラグの除去

従来の人手による溶接作業における状況及び実験結果よりスラグ除去は4層毎に行なうこととした。この場合スラグ除去回数 ( $T_{IL}$ ) は4層毎にスラグを除去すると

$$T_{IL} = \lfloor N_L / 4 \rfloor$$

$$= \lfloor \{ \lfloor (t+3) / L_t \rfloor + 1 \} / 4 \rfloor \quad (13)$$

となる。板厚毎に算出したスラグ除去回数の一例を図12に示す。

##### ○スパッタ、スラグ除去回数

図12で、各板厚についてスパッタとスラグの除去回数を比較し、頻度の多い方に合わせ、両方の作業を同時に行う。

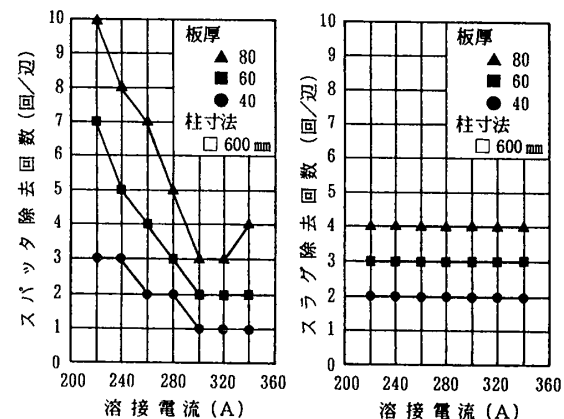


図12 溶接電流とスパッタ、スラグ除去回数の関係

##### ○スパッタ、スラグ除去時間

一回あたりのスパッタ、スラグ除去時間 ( $T_s$ ) には下記作業時間を含み、人の作業動作の実測を基に稼働計画に用いる1回当たりの作業時間を2分とした。

- ・停止、アラーム (オペレーターを呼ぶ)
- ・指定位置に、オペレーターが来る。
- ・スパッタ、スラグ除去を行う。
- ・再起動。

スパッタ、スラグ除去回数をNとすると全スパッタ、スラグ除去時間 ( $T_{ss}$ ) は

$$T_{ss} = N \times T_s = N \times 2 \text{ (分)} \quad (14)$$

となる。板厚毎の作業時間を表5に示す。

##### (d) エアーカット時間 ( $T_{Ac}$ )

エアーカット時間は、移動、センシングの時間が含まれるそのロボット固有の時間であり、柱寸法対象の形状

条件により変化する。実測結果を表5に示す。

#### 4.2.3 設置時間 (T<sub>i</sub>)

設置時間は(3)式の内容であるがこれらは通常柱寸法に関わらず一定である。実際の作業動作分析から得た結果を表5に示す。

表5 稼働計画の基礎となる作業時間

担当分類	作業内容	作業時間(分)		
		柱板厚(mm)		
		40	60	80
オペレータの作業 (W <sub>o</sub> ) (/辺)	準備作業 (T <sub>p</sub> )	3	5	5
	エレクトロース切断 (T <sub>e</sub> )	8		
	スパッタ・スラグ除去 (T <sub>ss</sub> )	4 (2回)	6 (3回)	8 (4回)
補助員の作業 (W <sub>a</sub> ) (/柱)	取付 (T <sub>i1</sub> )	10		
	柱面間移設 (T <sub>i2</sub> )	5		
	取外し・運搬 (T <sub>i3</sub> )	15		
人の介入しない作業 (/辺)	アーク発生時間 (T <sub>A</sub> )	46	84	131
	エレクトロース時間 (T <sub>Ac</sub> )	16	24	32
1辺溶接時間 (T <sub>w1</sub> , T <sub>w2</sub> )	2T <sub>p</sub> +T <sub>ss</sub> +T <sub>A</sub> +T <sub>Ac</sub>	72	124	181
余裕時間 (/辺) (T <sub>AL</sub> )		10	10	10
柱溶接総時間 (T <sub>R</sub> )		194	198	412

注記：諸記号は下記による。又表中の作業時間は以下に示す実測結果を基に設定した。

- ・T<sub>p</sub>：予熱、起動 各作業の所要時間合計値 10例の平均値
- ・T<sub>e</sub>：エレクトロース8ヶ所の溶断作業の所要時間合計実測記録値9例の平均値
- ・T<sub>ss</sub>：前述(4.2.2項)による。
- ・T<sub>i1</sub>：各作業の所要時間合計値10例の平均値
- ・T<sub>i2</sub>：各作業の所要時間合計値10例の平均値
- ・T<sub>i3</sub>：柱間距離7mにおける取外し、運搬所要時間実測記録値10例の平均値
- ・T<sub>A</sub>：各4回の実測記録の平均値
- ・T<sub>Ac</sub>：各4回の実測記録の平均値

#### 4.3 稼働計画の検討

ここまで挙げてきたロボットによる溶接作業とこれに介入する人の作業について、さらに「溶接の知識、技能を持つ人による作業」(以降「オペレータの作業」とする)と「特に専門知識を持たなくておこなえる作業」(以降「補助員の作業」とする)に分類する。実験機を用いた作業現場での作業分析の結果からロボットを使用する場合、溶接の知識を持つオペレータ作業(必ずしも柱の横向き溶接が出来る高度の技能者である必要はない)と、特に専門知識を要しない補助員の作業それぞれが必要であることが確認され、これら2人1組で、複数台のロボットを管理、運用する事を基準とすることとした。以下にこの条件における稼働計画の手順について述べる。

##### (1) 稼働計画手順フロー

図13に稼働計画の手順フローを示す。又表6にこのフローにそった人に対するロボットのセット数の算出プログラムのインプット、アウトプットシートの例を表す。ここではまず柱寸法を入力し、(12)式によりアーク時間を算出し、表5の作業時間を基にロボット1セットにおける1日の作業量(柱本数)を算出した後、以下に述べる方法でロボット管理台数を算出し、工期を基に1日の算出した作業量と併せて最適な稼働計画を求めることとなる。

る。

##### (2) ロボット管理台数の決定

###### ○オペレータの作業 (W<sub>o</sub>)

準備作業 (T<sub>p</sub>)、スパッタ、スラグ除去作業 (T<sub>ss</sub>)、エレクトロース切断作業 (T<sub>e</sub>) 等溶接に関する知識、技能を必要とする作業を行うものである。1箇所の柱を溶接するための作業時間 (W<sub>o</sub>) を(17)式に示す。

$$W_o = 4 \times (T_p + T_{ss}) + 2 \times T_e \quad (17)$$

又オペレータが管理出来るロボットのセット数 (m<sub>RO</sub>) は、(18)式で算出出来る。

$$m_{RO} = \frac{L(T_{i1} + T_{w1} + T_{i2} + T_{w2} + T_{i3})}{\{4 \times (T_p + T_{ss}) + 2 \times T_e\}} \quad (18)$$

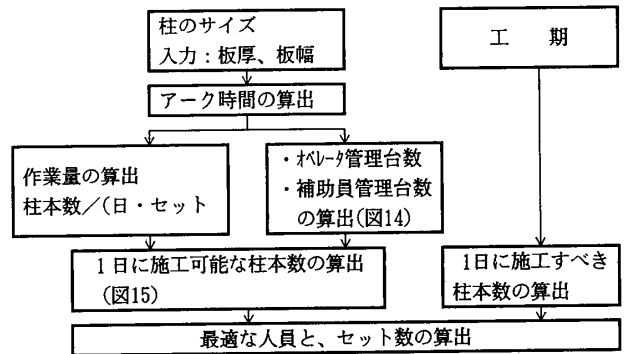


図13. 稼働計画手順フロー

表6. 溶接作業シミュレーションプログラムシート例

柱種類の数を入力して下さい (数値は 10 以下) (インプット例)	
柱の寸法をインプットして下さい	計算の結果 (35°/A=9mm/余盛 3mm)
1) 板厚 (mm) = ? 20 辺の長さ (mm) = ? 600 実効溶接長 (mm) = 580	開先断面積 (mm <sup>2</sup> ) = 389 溶接金属重量 (g/辺) = 1,805 6mm開肉換算長 (m/辺) = 41
2) 板厚 (mm) = ? 30	開先断面積 675
<hr/>	
7) 板厚 (mm) = ? 80 辺の長さ (mm) = ? 600 実効溶接長 (mm) = 520	開先断面積 (mm <sup>2</sup> ) = 3,155 溶接金属重量 (g/辺) = 13,125 6mm開肉換算長 (m/辺) = 295

オペレータ1人が同時に管理出来るロボットのセット数 (アウトプット例)

柱寸法 (mm)		作業時間 (分)	ロボットのセット数
板厚	柱幅		
1) 20	800	44	3
2) 30	800	44	3
3) 40	800	52	4
4) 50	800	60	4
5) 60	800	68	4
6) 70	800	76	5
7) 80	800	84	5

補助員1人が同時に管理できるロボットのセット数 (アウトプット例)

柱寸法 (mm)		作業時間 (分)	ロボットのセット数
板厚	柱幅		
1) 20	800	30	4
2) 30	800	30	5
3) 40	800	30	7
4) 50	800	30	9
5) 60	800	30	11
6) 70	800	30	13
7) 80	800	30	15

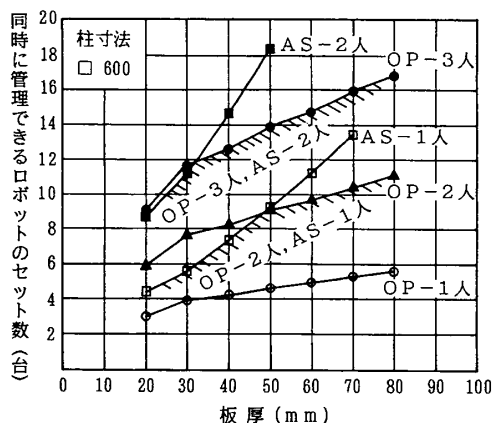


図14. 板厚と管理セット数の関係

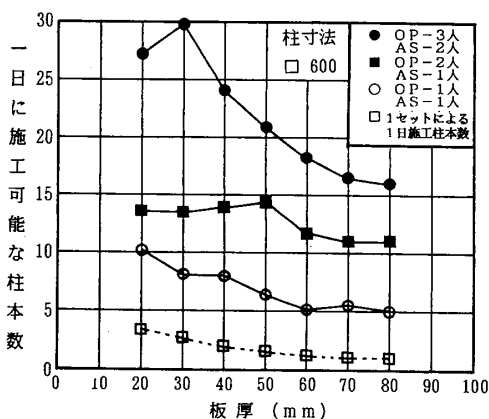


図15. 板厚と1日に施工可能な柱本数の関係

#### ○補助員の作業 ( $W_A$ )

ロボットの設置 ( $T_{i1}$ )、移設 ( $T_{i2}$ )、取外運搬 ( $T_{i3}$ ) 作業を行うもので、1箇所の柱を溶接するための作業時間 ( $W_A$ ) は(3)式の  $T_i$  であり

$$W_A = T_{i1} + T_{i2} + T_{i3} \quad (19)$$

補助員が管理できるロボットのセット数 ( $m_{RA}$ ) は

$$m_{RA} = \lfloor (T_{i1} + T_{w1} + T_{i2} + T_{w2} + T_{i3}) / (T_{i1} + T_{i2} + T_{i3}) \rfloor \quad (20)$$

尚、複数台を同時に管理した場合、1つのロボットの作業を行っている時に他のロボットの作業も同時に行う必要が生じ、他のロボットの作業が遅れる事がある。このため作業計画上是遅れを余裕時間で補う事とする。

一例として柱寸法□600mmの場合の、板厚によるオペレータ、補助員それぞれの組み合わせで、同時に管理できる台数の関係を図14に示す。

板厚が厚くなるとともに、アーク時間が長くなり、溶接している間にオペレータ、補助員の余裕が生じ、管理台数が増加している。

各板厚について、オペレータと補助員のタクトタイムが等しくないため、それぞれの管理台数は同一とはならない。従ってオペレータと補助員の人数の組み合わせを決めた場合、板厚が薄い時は補助員の人数により、厚い

時はオペレータの人数によりロボットの管理台数が制約される傾向がある。

実際の運用では作業分担の再調整を行い、平準化を図る事が望ましい。

#### (3) 1日に施工可能な柱本数の算出

算出の基礎となる作業時間(表5)から1セットで1日に施工できる柱本数を算出し、先に求めた管理セット数との積として、オペレータと補助員の組合せ毎に可能な柱本数を算出する(図15)。

一例として600mm角柱で板厚が40mmの例について算出例を求める。オペレータ、補助員各1人の場合、図14より同時に管理できるロボットのセット数は4、図15より1セットが1日に施工可能な柱本数が2であるから、 $4 \text{ セット} \times 2 \text{ 本} / (\text{日} \cdot \text{セット}) = 8 \text{ 本/日}$  となる。

#### 5. おわりに

以上、ロボットによる溶接作業を実現するための主要な課題として、ロボットとこれに協調する人の作業との適正な組合せに関し、溶接条件に関わる基礎実験及び作業員の動作分析結果を基に論じてきた。この結果ロボットによる溶接作業では、例えば溶接速度のように律速条件が溶接電流、垂れ落ち限界といった溶接作業固有の物理条件で決定づけられるものについては人手による作業と同じ条件でありこれ以上に大きく速度を改善する事は出来ないが、他の運用上の諸条件については機械的、電氣的に正確かつ厳密な制御管理を伴った人とロボットの適正な協調により生産効率向上の目的を達成することができることが解った。またロボットに課した管理体系を乱すことなく、この体系の中に人の作業を介在させることによって現実的で信頼性の高いロボット化システムを得ることも出来る。本論文は、このような考えをもとにしたロボットの稼働と人の作業の適正な構成による稼働計画手法を提案するものである。今後はこの研究の結果を踏まえ、実機による建築現場での稼働実績を重ね、本システムの改良と普及に努めたいと考えている。

#### (参考文献)

- 1) 日本建築学会：鉄骨工事技術指針・工事現場施工編，1991.10
- 2) 人見勝人：生産システム工学，共立出版，PP.199～201,1990.10
- 3) 萩原中治，梅国章，魚田滉，中村雅敏，大西勇：鉄骨丸柱現場横向き溶接用ロボットの開発と実用化，溶接技術，VOL.40 PP.112～115,1992.12
- 4) 島英二：横浜ランドマークタワー新築工事における鉄骨工事，溶接がいど，VOL.33 No280, PP.7～16,1993.8
- 5) 日本溶接協会電気溶接機部会技術委員会：インバータ式アーク溶接機マニュアル，P.3，平成元年8月