

49. 建築鉄骨柱用現場溶接ロボットの作業効率の研究

大成建設(株)：*坂本 成
三井造船(株)：吉野 正和

はじめに

建築鉄骨の現場溶接は資格を有する溶接工の手により厳しい管理規則により行われている。又この作業は高所屋外作業であると共に対象となる部材の製作精度、位置精度の改善には限界がある。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で行うための研究を進めてきたが、この過程で従来の人作業と異なるロボット作業特有の諸管理事項の存在と、これらを適正に処理する事による作業効率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。本論文はこの稼働計画を構成するための基本となるロボット作業における「溶接時間」と「溶接休止時間」に関しての実験的考察を行った内容について述べるものである。

1. 溶接作業の生産性

ロボットにより溶接作業の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。

1.1 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」¹⁾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に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。

1.2 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、溶着量を上げる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。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

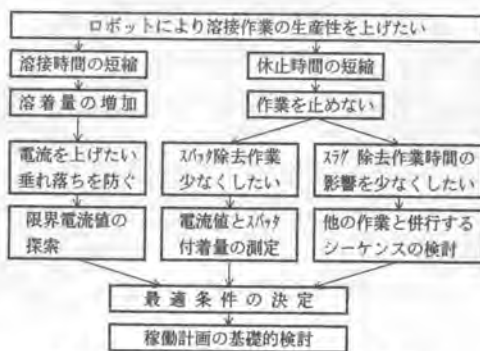


図1 溶接ロボットの稼働計画に関するフロー

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。

2. 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。

2.1 「垂れ落ち」に関する実験

実験は表1に示す仕様により行った。実験に用いる溶接電流値を220Aから20Aピッチで7種とし、それぞれの溶着金属断面積が等しくなるような基礎ビードの溶接速度Vに対し3/6Vまで計4種の速度を設定した(図2)。尚試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℃^⑧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、写真1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 δ 値(W_{MAX} - W_{MIN} 単位: mm)により4段階に分類した。

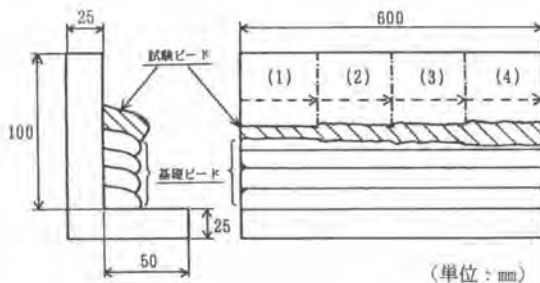


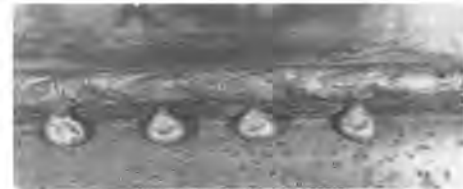
図2 試験材形状及び実験要領

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 ϕ 1.2mm |
| 試験材 | SS400 板厚:25mm |

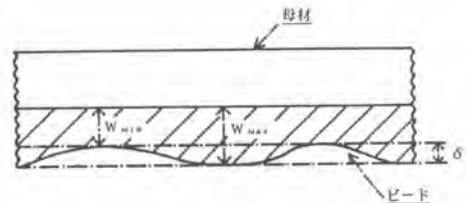


(a) 220A、180mm/min(3/6V) 10mm



(b) 340A、360mm/min(3/6V) 10mm

(垂れ落ちビード)
写真1 ビード外観



| 形状 | 安定性評価 | 分類記号 |
|----------------------------|-----------|------|
| $\delta \leq 1$ mm | 安定したビード | S1 |
| $1 < \delta \leq 1.5$ mm | やや不安定なビード | S2 |
| $1.5 < \delta \leq 2.5$ mm | 不安定ビード | S3 |
| $2.5 < \delta$ | 垂れ落ちビード | D |

図3 上部より見たビード形状

実験結果を図4に示す。

本図は相対溶接速度と溶接電流に対する δ 値の変化を示したものである。

2.2 「スパッタ付着量」に関する実験

実験における諸仕様は前項表1に示すものと同じである。又溶接条件を表2に示す。前項で定めた7種の電流値それぞれの溶接速度において10回の試験を行い、60分間の平均付着量とブローホール発生平均時間及び付着量2gになるまでの平均時間(秒)を測定した(表3、図5)。

又写真2にトーチ周辺におけるスパッタ付着状況を示す。これらの実験の過程において低電流域(220~260A)では溶滴が大きく、短絡移行型とグロービュール移行型が混在しており^⑧、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

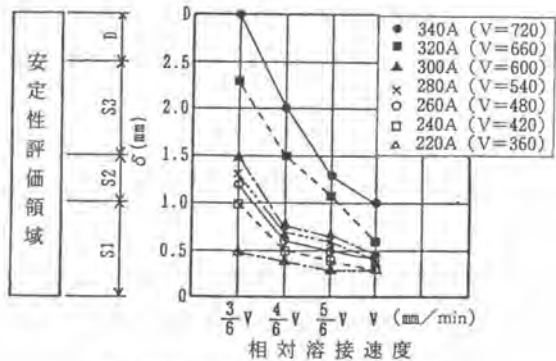


図4 溶接電流と「垂れ落ち」の関係

表2 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 |

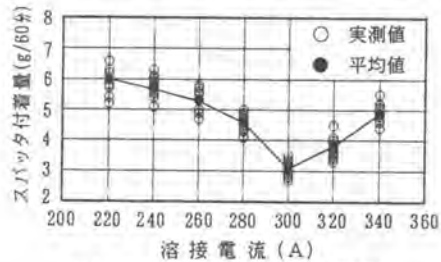


図5 60分溶接後のスパッタ付着量

表3 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 |



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

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、付着量も増えることが観察された。写真2では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わかる。

3. 実験結果の稼働計画への適用

冒頭に述べたように、以上の溶接作業の生産性に関する要素実験を基にしてロボットによる溶接作業の諸操作事項を適切に組み合わせた稼働計画を検討することとなる。これらについては一部発表をしたが⁴⁾、今後の研究に委ねる部分が多い。表4に実際の作業動作分析から得た諸作業時間の結果を紹介する。

表4 稼働計画の基礎となる作業時間

| 作 業 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 _o) (ノ辺) | 準備作業 (T _p) | 3 | 5 | 5 |
| | インバータース切断 (T _p) | 8 | | |
| | スパッタ・スラグ除去 (T _{ss}) | 4 | 6 | 8 |
| | | (2回) | (3回) | (4回) |
| 補助員の 作業 (W _a) (ノ柱) | 取付 (T _{i1}) | 10 | | |
| | 柱間距移設 (T _{i2}) | 5 | | |
| | 取外し、運搬 (T _{i3}) | 15 | | |
| 人の介入しない 作業 (ノ辺) | アーク発生時間 (T _A) | 4.6 | 8.4 | 13.1 |
| | アーク発生時間 (T _{Ac}) | 1.6 | 2.4 | 3.2 |
| | 1辺溶接時間 (T _{w1} 、T _{w2}) | 2T _p +T _{ss} +T _A +T _{Ac} | 7.2 | 12.4 |
| 余 裕 時 間 (ノ辺) | (T _{As}) | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 柱 溶 接 総 時 間 | (T _R) | 19.4 | 19.8 | 41.2 |

ここで、表中の作業時間は以下に示す実測結果を基に設定している。

- T_p : 予熱、起動各作業の所要時間合計値
10例の平均値
 - T_{ss} : エレクションピース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_{i1} : 各作業の所要時間合計値10例の平均値
 - T_{i2} : 各作業の所要時間合計値10例の平均値
 - T_{i3} : 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_A : 各4回の実測記録の平均値
 - T_{Ac} : 各4回の実測記録の平均値
- 写真3に溶接ロボットの稼働状態の例を示す。



写真3 溶接ロボット稼働状況の例

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溶接条件に関わる基礎実験について述べた。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、この体系の中にロボットに課した管理体系を乱すことなく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が出来る。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ための基礎となる実験について述べたものである。今後さらに、これらの実験を重ね、実機による建築現場での稼働実現に向けて努力していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 萩原中治、梅国章、魚田泥、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
- 2) 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、溶接がいで、VOL.33 No280、pp.7~16、1993.8
- 3) 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
- 4) 坂本成、田中淳夫、吉野正和、田中信吾、日本建築学会、構造工学論文集、VOL.41B、1995.3