

# 多電極 SAW (サブマージアーク溶接) 状況の モニタリングと溶込み深さ制御システムの実用化

## Practical System to Monitor and Control the Penetration Depth of Welding by SAW (Submerged Arc Welding) with Multiple Electrodes

岩田 真治 IWATA Shinji JFE エンジニアリング 鋼構造事業部 建築・鉄構本部 清水製作所製造室  
技術グループマネージャー  
西 泰彦 NISHI Yasuhiko JFE 技研 CTN プロジェクト長(元 JFE エンジニアリング 生産施工技術センター)  
尾座本大輔 OZAMOTO Daisuke JFE 技研 CNT プロジェクト 主任研究員(課長) (元 JFE エンジニアリング  
生産施工技術センター)

### 要旨

JFE エンジニアリング 清水製作所では建築鉄骨用ボックス断面柱の製作にあたり、角継手には多電極サブマージアーク溶接を適用している。この溶接部の溶接品質向上とスキルフリーを目的として、溶込み深さを制御するシステムおよび関連システムを開発し、工場の溶接装置に導入した。これまでは、溶接開始時の溶接条件設定および調整作業や継手途中での開先変動への対応には、熟練作業者の経験と勘が不可欠であったが、これらのシステム導入により良好で安定した溶接品質を確保することができたので、以下に紹介する。

### Abstract:

High speed and high performance submerged arc welding (SAW) with multiple electrodes is used for the corner joint welding of box column for the structural steel fabricated in Shimizu Works. The authors have developed a system to control the penetration depth of the welding and its associated system, and have adopted them into commercial projects. It was confirmed that satisfactory and stable performance of welds, which was used to be highly dependent on the skill of experienced operators, have been achieved by the system.

## 1. はじめに

鋼製品の下方姿勢の突合せ継手には、高能率・高速度の多電極サブマージアーク溶接が多く適用され効果を発揮している。しかし、この溶接法は溶接部がフラックスに覆われて見えないため、状況に応じて溶接条件を溶接中に調整することができずに溶接欠陥を生じることがある。また、溶接ビード形成の現象が複雑で、かつ関係するパラメータも多いため理論的な現象解明が困難で溶接条件の制御手法も確立されていない。このため、安定した溶接品質を確保するには、熟練作業者の経験と勘が不可欠であった。この課題を解決するため、多電極サブマージアーク溶接部の溶接品質向上および溶接ビード形成安定化を目的に、溶接中測定可能なパラメータ（電流、電圧、ワイヤ送給速度）を用いて溶込み深さを均一にする制御システムおよびその関

連システムを開発し、これを工場へ導入することにより溶接品質の安定化とスキルフリーを図ることができたので、以下に紹介する。

## 2. 多電極サブマージアーク溶接法の特徴

### 2.1 多電極サブマージアーク溶接法の特徴と利点

ボックス柱角継手に適用の多電極サブマージアーク溶接法は、**図 1** に示すように溶接線方向に多電極（3 極の例）を一定間隔に配置し、各電極の適正な配置や溶接条件設定により、良好な溶接品質や溶接ビード形状を確保する方法である。

この溶接法による断面マクロ写真（板厚 90 mm の例）を**写真 1** に示す。

また、この溶接法の利点を以下に示す。

- (1) 深溶込み溶接が可能である。
- (2) 厚板の 1 ラン施工が可能である。
- (3) 高能率で高品質な溶接継手が得られる。

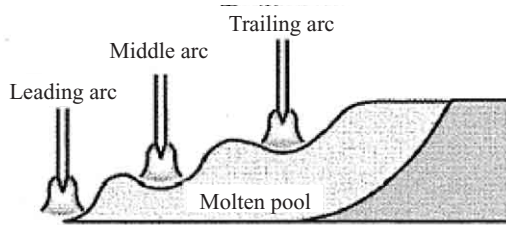


図1 多電極サブマージアーク溶接の模式図

Fig.1 Schematic section of the submerged arc welding with multiple electrodes

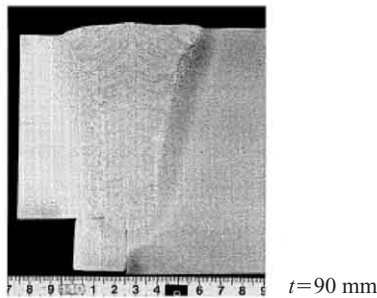


写真1 多電極サブマージアーク溶接部の断面マクロ写真  
Photo 1 Macroetch test specimen of welded metal by submerged arc welding with multiple electrodes

## 2.2 多電極サブマージアーク溶接法の課題

この溶接法は前述した利点もあるが、多電極サブマージアーク溶接の適用上の課題もあるため、以下に整理した。

- (1) 溶接部がフラックスに覆われているため、溶接中の溶接現象を観察できない。このため溶接状況に応じて溶接条件を溶接中に調整することができず、開先形状の変動などによって溶接欠陥を生じることがある。
- (2) 溶接現象として、同一の熔融プールに各電極の熱や圧力および電磁力が作用して溶接ビードが形成されるため電極角度、電極間距離、各電極の極性、電流配分、溶接金属の物性などが溶接ビード形成に大きな影響を及ぼす。この溶接現象は複雑で、かつ関係するパラメーターが多いため、十分な理論的な現象説明がなされておらず、溶接条件制御手法の確立も困難であった。
- (3) 上述の理由により、安定した溶接品質（含む溶込み深さ）を確保するには、熟練作業者の経験と勘が不可欠となっている。

## 3. 導入した制御システム

多電極サブマージアーク溶接法の課題について検討し、対応策として、(1) 溶接条件設定時の多数の調整項目（各電極の電流、電圧、溶接速度の計13項目）を、事前にインプットし自動制御する溶接条件制御システム、(2) 溶接中の溶込み深さを画面上で確認できる溶込み深さモニタ

リング機能および、(3) モニタリングデータをもとに溶接条件を自動調整し、溶け込み深さを一定に制御する溶込み深さ制御システムを開発した。以下の対応制御システムを紹介する。

### 3.1 溶接条件制御システム

板厚ごとに設定した溶接条件（プリセット条件）に溶接装置を自動制御する機能である。この機能により、従来6電極の電流と電圧を1人で調整していた作業を解消した。これにより、溶接開始時の標準施工条件の設定ミスや設定遅れなどが防止でき、溶接品質の安定が図られた。

### 3.2 溶込み深さモニタリング機能

本機能は、溶接中の溶込み深さを画面上でモニタリングできる機能である。この機能により、非熟練者でも板厚に合った溶接条件で施工されているかどうかを確認することができ、異常発生の場合は画面の色で表示される。

また、無線LANを使用したデータロギング機能を付加し、すべての溶接において、実際の施工条件と溶込み深さのモニタリング値を記録できるようにした。図2にモニター画面の一例を示す。

### 3.3 溶込み深さ制御システム

溶込み深さのモニタリングデータをもとに溶接条件を自動調整し、溶込み深さを一定に制御する機能である。この機能により、ボックス柱角継手の多電極サブマージアーク溶接において、継手ごとの溶込み深さの変動幅を抑えることができる。以下に溶込み深さ制御方法の考え方について述べる。

#### 3.3.1 溶込み深さの推定と制御

アーク発生位置をワイヤ突出し長 ( $L$ ) とアーク長 ( $L_a$ ) の和 ( $L + L_a$ ) と定義し、溶接中に測定可能なパラメータ（電流、電圧、ワイヤ送給速度）からアーク発生位置を計算により推定する。この推定したアーク発生位置があらかじめ設定した適正值となるように溶接電流を調整することで、



図2 モニター画面の一例

Fig.2 Part of monitoring screen

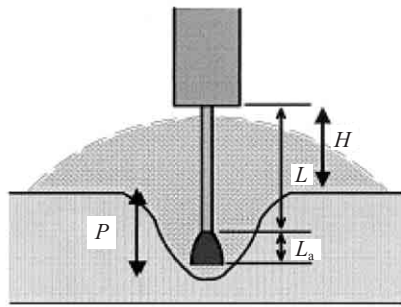


図3 アーク発生位置推定のパラメータ  
Fig.3 Parameters to predict the arc position

溶込み深さを制御する。図3にアーク発生位置推定のパラメータを示す。

### 3.3.2 アーク発生位置と溶込み深さの関係

- (1) 図4に平板溶接時における溶込み深さとアーク発生位置との関係を示す。これより溶込み深さとアーク発生位置は、ほぼ同じ値になっており、想定どおりの相関関係があることが確認された。
- (2) 図5に片面溶接時におけるアーク発生位置のモニタリング結果と裏ビード形状(溶込み深さに相当)の関係を示す。推定したアーク発生位置と裏ビード形状の間

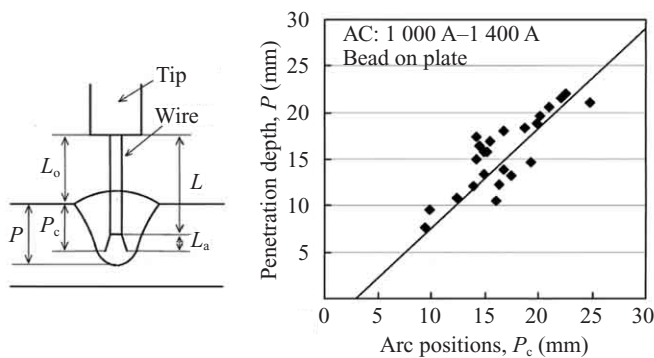


図4 平板溶接時における溶込み深さとアーク発生位置の関係

Fig.4 Comparison between the prediction and the actual penetration depth by SAW

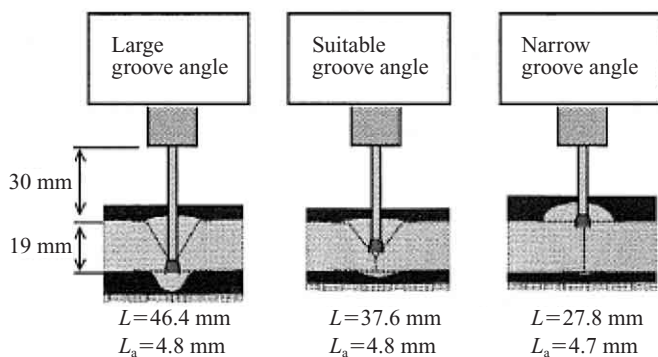


図5 裏ビード形状とアーク発生位置の関係

Fig.5 Relationships between arc positions and penetration beads

に想定どおりの相関関係があることが確認された。

## 4. ボックス柱角継手への適用検討

開発した制御法のボックス柱角継手への適用を検討した。この際の制御電極については、角継手の場合、溶込み深さは先行電極の溶込み深さに一致するので、先行電極のみ溶込み制御を行い、その他の電極はモニタリングのみとした。なお、制御対象継手は、開先精度の誤差を考慮して開先ルート面の過大开先やルート間隙の過大开先を選定して実施した。この結果、開先ルート面の過大开先では、開先の状況に応じて電流の増減が良好に制御されており、またルート間隙の過大开先でも、ルート間隙の増加にともない電流が変動し、制御されていた。これらから、溶接中のアーク発生位置(モニタリング値)を利用した溶込み制御法は、ほぼ良好に機能していることが確認できた。写真2に試験時の継手断面マクロ写真を示す。

## 5. 工場溶接装置への適用

### 5.1 溶接装置の改造

本制御システムを工場の溶接装置に組み込むにあたり、下記の改造を加えることにより実工事への適用を可能とした。

- (1) 溶接モニタリング制御装置の設置  
溶接条件プリセット, アーク発生位置モニタリングおよび溶接条件制御の各機能の組み込み
- (2) データロギングシステムの設置  
無線LANによる溶接データ収集および溶接中の溶接状況モニタの各機能
- (3) 中間/後行電極のワイヤ送給系の改造  
ワイヤ送給モータ変更, ギヤボックスの製作およびワイヤ送給制御装置の製作

### 5.2 実工事への適用

開発した制御システムを実工事のボックス柱角継手に適用した。この結果、(1)溶接開始から終了まで開先変動な

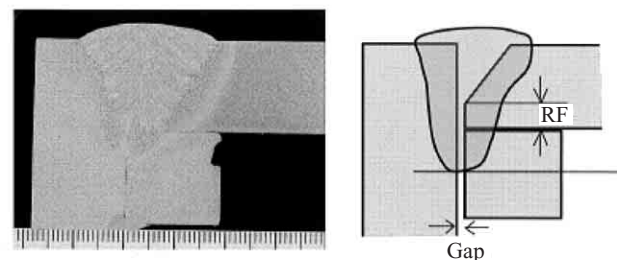


写真2 角継手適用時の断面マクロ写真

Photo 2 Macroetch test specimen of corner joint for box column



写真3 工場への適用状況

Photo 3 Application to actual project

どに対しても安定した溶接条件での施工が可能となった。  
(2) 溶接作業による溶接条件の設定や調整作業の軽減により、他の看視項目へも注意が向けられる余裕ができた。  
(3) 非熟練者への操作要領の早期習得が可能となった。これらより、ボックス柱角継手の溶接ビード外観および溶接品質（超音波探傷検査で確認）は、ともに良好な結果が得られた。また、溶込み深さの安定にともないビード外観も全線をとおして均一度が向上した。写真3に工場での適用

状況写真を示す。

## 6. おわりに

建築構造用ボックス柱角継手への多電極サブマージアーク溶接時の溶接状況のモニタリングと溶込み制御システムの開発と実用化について紹介した。このシステムの導入により、溶接品質の安定確保や非熟練者の操作要領の早期習得などの効果を発揮している。

### 参考文献

- 1) 西泰彦ほか. 深溶け込み SAW のワイヤ溶融現象と溶け込み制御への応用. 第 161 回溶接アーク物理研究委員会. 2006.



岩田 真治



西 泰彦



尾座本大輔