

## 技術ノート

## 深溶け込みすみ肉溶接法の検討

## Report on Deep Penetration Fillet Welding

早 川 清\*  
Kiyoshi HAYAKAWA湯 田 誠\*\*  
Makoto YUDA

With a view to fabricating steel skeleton girders whose web was over 19mm thick, the edge of the web was traditionally prepared in advance to make a strong multilayer weld. But quite recently, a new type of deep penetration fillet welding has been developed to guarantee the throat thickness required for such a joint by the penetration welding in combination with the submerged arc welding. This paper is intended to apply this method to the welding of skeleton girders, and also to describe the results of the test conducted to investigate the effect of some changes in the welding conditions such as electric current, voltage, velocity, and angle to serve as a guide for such welding.

Keywords : deep penetration fillet welding, skeleton girder, welding condition

## 1. まえがき

鉄骨大梁の製作において、従来ビルトH組立時のウェブとフランジのすみ肉継手は、板厚19mm以上のウェブに開先加工を行い、サブマージーク溶接で多層溶接を行っている。近年、図-1に示すように本継手に要求されるのど厚をサブマージーク溶接による溶け込みで対応しようとする方法が開発され、これを深溶け込みすみ肉溶接法と称している<sup>1)</sup>。

本文は、上記の鉄骨大梁への適用を目的とした試験を行い本溶接法の検討を行った結果を報告するものである。

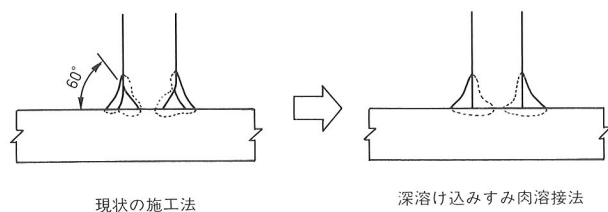


図-1 現状の施工法と深溶け込みすみ肉溶接法

## 2. 深溶け込みすみ肉溶接法

## (1) 鉄骨大梁に対する現状の施工法

実工事における開先形状例を表-1に示す。この中で板

厚19(16)～32mmまでの部分溶け込みすみ肉溶接を対象にすると、開先深さ(D)は約7割が $t/3$ であり、余盛(S)はDの6～11割と小さな設計値となっている。溶接による溶け込み深さは溶接電流にほぼ比例し、溶接電流を上げると溶着量が増えるため、余盛過大が懸念される。現状の施工法ではこれを防ぐために、部材のポジショニング角度を $60^\circ$ としている。多層溶接におけるポジショニング角度と余盛の関係を図-2に示す。タンデム溶接機のノズルまわりの構造により、 $60^\circ$ 以上倒すことは難しく、残りの余盛りは溶接条件と狙い位置で調整している。

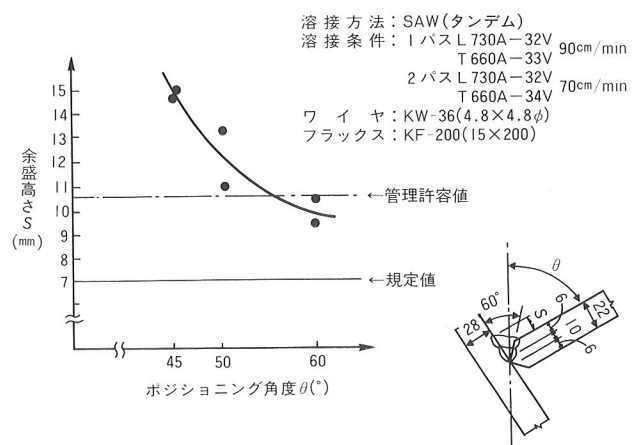


図-2 多層溶接におけるポジショニング角度と余盛の関係

表-1 実工事における開先形状例

| Type |      | 板厚 $t$ (mm) |   |    |      |     |     |      |      |    |   | 工事数 |
|------|------|-------------|---|----|------|-----|-----|------|------|----|---|-----|
|      |      | 6           | 9 | 12 | 16   | 19  | 22  | 25   | 28   | 32 |   |     |
| A    | 開先形状 |             |   |    |      |     |     |      |      |    | 3 |     |
|      | S    | 6           | 7 | 9  | 12   | 6   | 7   | 8    | 9    | 10 |   |     |
|      | D    | —           | — | —  | —    | 6.5 | 7.5 | 8.5  | 9.5  | 11 |   |     |
| B    | 開先形状 |             |   |    |      | 同 上 |     |      |      |    | 3 |     |
|      | S    | 5           | 7 | 9  | 12   |     |     |      |      |    |   |     |
|      | D    | —           | — | —  | —    |     |     |      |      |    |   |     |
| C    | 開先形状 |             |   |    |      |     |     |      |      |    | 1 |     |
|      | S    | 6           | 7 | 9  | 12   | 6   | 7   | 8    | 10   | 12 |   |     |
|      | D    | —           | — | —  | —    | 6.5 | 7.5 | 8.5  | 9.5  | 11 |   |     |
| D    | 開先形状 | 同 上         |   |    |      |     |     |      |      |    | 1 |     |
|      | S    |             |   |    |      | 5   | 6   | 7    | 7    | 8  |   |     |
|      | D    |             |   |    |      | 6.5 | 7.5 | 8.5  | 9.5  | 11 |   |     |
| E    | 開先形状 |             |   |    |      |     |     |      |      |    | 1 |     |
|      | S    | 6           | 7 | 10 | 12   | 6   | 7   | 8    | 9    | 10 |   |     |
|      | D    | —           | — | —  | —    | 6.5 | 7.5 | 8.5  | 9.5  | 11 |   |     |
| F    | 開先形状 |             |   |    |      |     |     |      |      |    | 1 |     |
|      | S    | 5           | 7 | 9  | 12   | 3   | 3.5 | 4    | 5.5  | 7  |   |     |
|      | D    | —           | — | —  | —    | 9   | 9.5 | 10   | 10.5 | 11 |   |     |
| G    | 開先形状 |             |   |    |      |     |     |      |      |    | 1 |     |
|      | S    | 6           | 7 | 9  | 6    | 7   | 7   | 8    | —    | —  |   |     |
|      | D    | —           | — | —  | 6    | 7   | 7   | 8    | —    | —  |   |     |
| H    | 開先形状 |             |   |    |      |     |     |      |      |    | 1 |     |
|      | S    | 5           | 6 | 8  | 10.5 |     |     |      |      |    |   |     |
|      | D    | —           | — | —  | —    | 5.5 | 6.5 | 7    | 8    | 9  |   |     |
| I    | 開先形状 |             |   |    |      |     |     |      |      |    | 1 |     |
|      | S    | 6           | 7 | 9  | 12   | 5   | 5.5 | 6.5  | 7    | 8  |   |     |
|      | D    | —           | — | —  | —    | 7.5 | 9   | 10.5 | 12   | 14 |   |     |

## (2) 深溶け込みすみ肉溶接法の概要

深溶け込みすみ肉溶接法は、焼成型フラックスと低C量のワイヤとの組合せにより、高電流（2電極）でウェブのルート部を溶け込ませるものである。施工法の特徴としては、指定の余盛高さ(S)を得るためにポジショニング角度を $60^\circ$ とし、高温割れ防止のため極間距離を50mmとっている。また、母材への溶融比率が60%と高いことから拘束割れ防止の点を考慮し、母材のC量を0.16%以下に制限している。

## (3) 要求される品質規準

鉄骨大梁のすみ肉溶接部に要求される品質として、表-2に示す「鉄骨工事技術指針・工場製作編」<sup>2)</sup>に従って、本溶接法の検討を行うことにした。なお、深溶け込みすみ肉溶接法の溶け込み深さは、開先加工時の開先深さ以上とするものとして検討を行った。

## (4) 溶接条件の検討

深溶け込み溶接法に対し、溶接条件を変えて検討を行

表-2 大梁すみ肉溶接部の検査規準

| 名 称                    | 図 | 管理許容差                                                                                     |
|------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| すみ肉溶接のサイズ $\Delta S$   |   | $0 \leq \Delta S \leq 0.5S$<br>かつ $\Delta S \leq 5 \text{ mm}$                            |
| すみ肉溶接の余盛の高さ $\Delta a$ |   | $0 \leq \Delta a \leq 0.4S$<br>かつ $\Delta a \leq 4 \text{ mm}$                            |
| ビード表面の不整 $e$           |   | ビード表面の凸凹の高低差 $e_1, e_2$ は溶接の長さ、またはビード幅25mmの範囲で2.5mm以下。ビード幅の不整 $e_3$ は溶接の長さ150mmの範囲で5mm以下。 |
| ピ ッ ト                  |   | 1m以下の継手は2個までただし、1mを超える継手は最も密な1mにつき2個までとする。                                                |

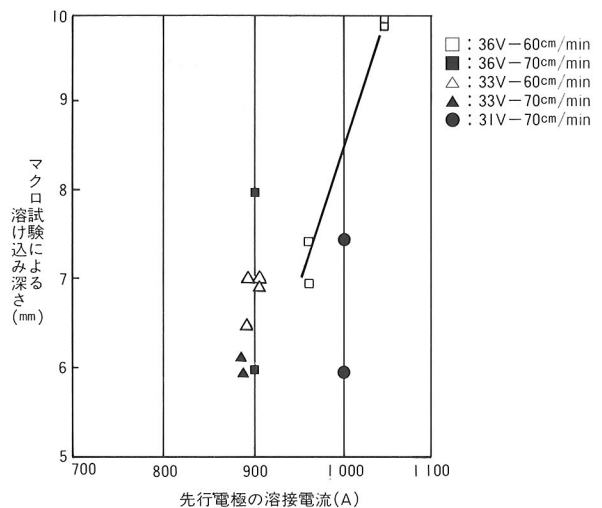


図-3 先行電流と溶け込み深さの関係

った。先行の電流値と溶け込み深さの関係を図-3に示す。電流、電圧、速度の組合せによっては、溶け込み深さにバラツキをもつことがわかる。検討した溶接条件のうち、950 A-36 V-60 cm/minであれば溶け込み深さ6 mmは十分クリアしている。また、溶け込みは速度を上げることにより低下し、電圧を下げると、さらにバラツキが大きくなる傾向が見られる。ここには示していないがビ

ード外観においては、後行極 (6.4φ) と設定電流値の影響により、やや余盛大となり、フランジ側にアンダーカットも生じやすかった。この余盛高さ (S) は、実測で 9.0~12.0 mm と大きなものとなったことから、この対策として

① 後行極をワイヤ径 6.4→4.8φ とする。

② シフト量を 5→4 mm とする。

以上のように設定することで対応するものとした。ビードの表面形状は、高電流を条件とすること、また焼成型フラックスの影響でビードの目が粗いようであるが、形状的には問題はないものと考えられた。しかし、ポックマークが発生しやすいため、フラックスの散布高さを低くすることが有効であると思われる。

### 3. 溶接試験

以上に示した溶接条件の検討結果をもとに、溶接試験を行った。供試鋼材を表-3に、試験体形状を図-4に示す。試験体は2体とし、深溶け込み法 (試験体A) と現状の施工法 (試験体B) を比較するものとした。

なお、十字形引張試験については、破断位置を限定す

表-3 供試鋼材

| 適用箇所  | 板厚 (mm) | 材 質       | 化学成分 (%) |      |      |       |       | C <sub>eq</sub> |
|-------|---------|-----------|----------|------|------|-------|-------|-----------------|
|       |         |           | C        | Si   | Mn   | P     | S     |                 |
| ウ ェ ブ | 22      | S M 490 A | 0.15     | 0.39 | 1.42 | 0.015 | 0.005 | 0.40            |
| フランジ  | 40      | S M 490 A | 0.16     | 0.33 | 1.38 | 0.017 | 0.005 | 0.40            |

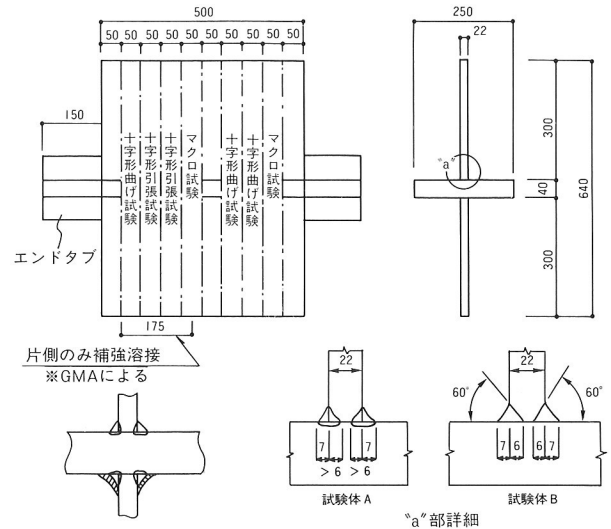


図-4 試験体形状及び試験片採取位置

表-4 溶接条件

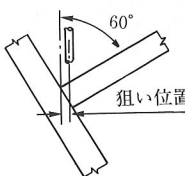
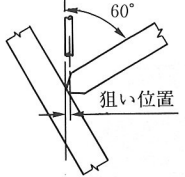
| 試験体 | 溶 接 材 料             |                    | 溶 接 条 件 |           |           |            |            |                |            |                  |            | 備 考                                                                                   |
|-----|---------------------|--------------------|---------|-----------|-----------|------------|------------|----------------|------------|------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                     |                    | パス      | 先 行       |           | 後 行        |            | 速度<br>(cm/min) | 極間<br>(mm) | 狙い位置<br>( )内は前進角 |            |                                                                                       |
|     | 電流<br>(A)           | 電圧<br>(V)          |         | 電流<br>(A) | 電圧<br>(V) | 先行<br>(mm) | 後行<br>(mm) |                |            |                  |            |                                                                                       |
| A   | KW-50<br>(4.8×4.8φ) | KB-U<br>(12×200)   | 1       | 960       | 36        | 680        | 38         | 60             | 50         | 3<br>(-5°)       | 4<br>(15°) |  |
| B   | KW-36<br>(4.8×4.8φ) | KF-200<br>(12×150) | 1       | 700       | 32        | 650        | 32         | 90             | 20         | 0<br>(-4°)       | 0<br>(14°) |  |
|     |                     |                    | 2       | 700       | 32        | 650        | 32         | 75             | 20         | 2<br>(-4°)       | 2<br>(14°) |                                                                                       |

表-5 試験結果

| 試験項目    | 試験片形状                                  | 試験方法             | 判 定 規 準                                                          | A：深溶込み溶接法                                                 |         | B：現状の施工法                                                  |         |
|---------|----------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------|---------|
|         |                                        |                  |                                                                  | 試験結果                                                      | 判定      | 試験結果                                                      | 判定      |
| 十字形引張試験 | 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 6 鉄骨工事 付則 3 3.6.(1) | JIS Z 2241       | 母材の規格値以上 (≥490 N/mm <sup>2</sup> )                               | 引張強さ 562 N/mm <sup>2</sup> 母材<br>557 N/mm <sup>2</sup> 母材 | 破断位置 合格 | 引張強さ 558 N/mm <sup>2</sup> 母材<br>557 N/mm <sup>2</sup> 母材 | 破断位置 合格 |
| 十字形曲げ試験 | 同 上 付則 3 3.6.(2)                       | 同 左 付則 3 3.8.(3) | 溶接部に割れまたは有害な欠陥があつてはならない。                                         | 亀裂 ナシ<br>亀裂 ナシ                                            | 合格      | 亀裂 ナシ<br>亀裂 ナシ                                            | 合格      |
| マクロ試験   | 同 上 付則 3 付図 5                          | —                | 溶け込み・融合状態が良好で、割れ・スラグ巻込み・アンダーカット・オーバーラップ・ブローホールなどの有害な欠陥があつてはならない。 | 欠陥 ナシ<br>溶込み深さ 8.5~9.5mm<br>ナシ 7.5~9.5mm                  | 合格      | 欠陥 ナシ<br>溶込み深さ 6.5~7mm<br>ナシ 7.5~9mm                      | 合格      |

るため、片側に補強溶接を行っている。溶接条件を表-4に示す。溶接入熱量(試験体Bについては2パスの合計)はほぼ同じであるが、余盛はAがやや大きめとなった。試験結果を表-5に示す。

#### (1) 引張試験

試験体A, B共に母材部で破断し、強度的には規格値を十分満足するものであった。

#### (2) 曲げ試験

十字形曲げ試験(曲げ角度120°)において、亀裂の発生はなく、良好な延性を示した。

#### (3) マクロ試験

溶け込み状態は良好であり、欠陥はなかった。マクロ写真の例を写真-1に示す。

#### (4) 超音波探傷試験

溶接完了後、超音波探傷試験を行った。結果は良好であり欠陥は検出されなかった。ここで、溶け込み深さの調査として、継手板側( $T=22\text{ mm}$ )からの斜角探傷を試み、後述のマクロ断面による計測との比較を行った。結果を図-5に示す。このグラフからわかるように超音波探傷試験において、実測 $\pm 1\text{ mm}$ の精度で判定したものは約7割であり信頼性において問題を有する結果となった。

#### (5) 溶け込み深さ

試験片惹切断線のマクロ試験において、溶け込み深さはすべて6 mm以上を満足するものであった。特に仮付部

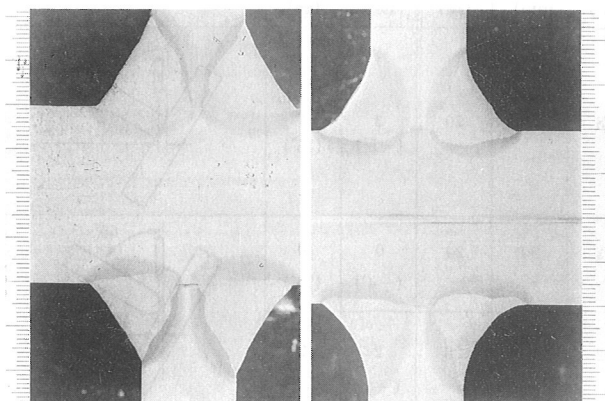


写真-1 マクロ写真

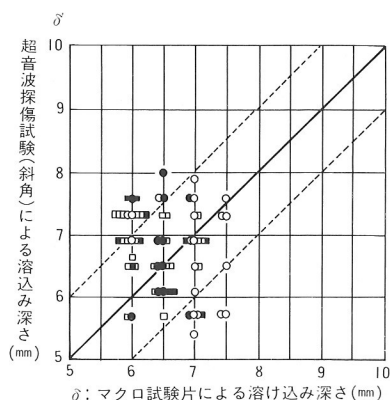


図-5 溶け込み深さとUTとの関係

(脚長3 mm)においても溶け込みは良好であった。

#### 4. まとめ

以上の試験を通して、深溶け込みすみ肉溶接法を今後実施工に適用していくうえでの留意事項として、以下の項目が挙げられた。

##### ① 鋼材

鋼材発注前に本施工法適用の有無を明確にし、適用する場合、鋼材のC量を0.16%以下に限定する。

##### ② 組み付け

やや高い電流で施工するため、ウェブとフランジのはだすきは0.3 mm以下とする。また仮付は脚長3 mm以下とする。

##### ③ ポジション

ウェブの傾斜角を $60 \pm 5^\circ$ とし、部材セットごとに確認する。また、溶接中に溶接線方向に部材のそりが生じるため、溶接線終端側で50 mm以上上げて常に溶接が上り勾配となるようにする。

##### ④ ワイヤの狙い位置

ワイヤの狙い位置は先行3 mm、後行4 mmとし、ワイヤの矯正を十分に行うものとする。

##### ⑤ センサー

接触式センサーを用いる場合、部材のそりによりセンサーの接触面が変わる事が予想される。そこで針金等によってノズル前方の溶接線中心を指示させて、センサーのきき具合を確認する必要がある。

##### ⑥ 溶接

溶接試験の結果より、溶け込み深さは $6.8 \pm 0.7\text{ mm}$ と目標を満足したが余裕をもたせるため、先行極の設定電流値を980 Aとする。さらに溶け込みが要求された場合、1 mmごとに40 Aずつ上げればよいと考えられ、その他の条件についてはそのままとする。ポックマークの発生を抑えるため、フラックスの散布高さは低くするものとする。

#### 5. あとがき

本施工法は、溶け込み深さを先行電流によって調整するものである。反面、余盛高さは、電流値の設定によってはやや大きめとなりやすい。したがって、現状では、開先深さが大きく、余盛高さの大きい継手に適用しやすいといえた。

#### 参考文献

- 1) 山口忠政・志賀千晃・目黒喜三・林三郎・中島松重：高能率すみ肉サブマージアーク溶接技術の開発，溶接学会溶接法研究委員会資料，1991年2月。
- 2) 日本建築学会：鉄骨工事技術指針・工場製作編，