

# 極厚ボックス柱角継手への高速回転アーク狭開先溶接の適用

## Application of Narrow Gap Welding Process with High Speed Rotating Arc to Box Column Joints of Heavy Thick Plates

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  
村山 雅智 MURAYAMA Masatoshi JFE エンジニアリング 生産施工技術センター 溶接・加工グループ 主幹  
小島 裕二 KOJIMA Yuji (株) ジャパンテクノメイト 営業開発部 営業計画グループ 主査

### 要旨

超高層ビルの鉄骨柱は、近年、極厚化の傾向（最大厚さ 100 mm）にあり、その材質も高強度（SA440 鋼材（建築構造用高性能 590 N/mm<sup>2</sup> 鋼材））かつ、高品質（溶接部の靱性値 70 J 以上、0℃）を確保するという、これまでにない高い性能が求められてきている。この要求に対して、靱性と溶接性を高めた鋼材を用いるとともに、溶接方法についても適切な方法を選択する必要がある。今回、ボックス柱の角継手の溶接方法として、板厚が 70 mm を超える範囲について、高速回転アーク狭開先溶接（JFE エンジニアリング特許）とサブマージアーク溶接を組み合わせた溶接施工方法を開発し、実工事に適用したので、以下に紹介する。

### Abstract:

Recently, heavy thick plates of high strength steel have been applied to the columns of high-rise buildings in Japan. The maximum thickness of the plates reaches 100 mm and the application of SA440 steel, having yield strength of 590 N/mm<sup>2</sup>, has now become common. In addition, unprecedented high welding performance, such as higher than 70 J CV at 0°C for the welded metal, is now required to fabricate these plates. The authors have developed a new welding system to combine the narrow gap welding process with high speed rotating arc (Patented by JFE Engineering) and the submerged arc welding to keep the required quality for the corner welding of plates with the thickness more than 70 mm. The paper introduces the outline of the new system.

## 1. はじめに

建築鉄骨ボックス柱の角継手には、一般にサブマージアーク溶接が採用されている。板厚 70 mm 以下は片面 1 パス 1 ランで施工されているが、板厚が 70 mm を超える極厚の場合には、ガスシールドアーク溶接やサブマージアーク溶接の多層盛り方法や両者の混用溶接などで施工されている。

極厚や高性能鋼材に対して、従来の溶接方法では、溶接入熱、溶接電源容量、作業性、経済性や変形量などに課題があった。そこで、種々の溶接方法およびその組み合わせについて検討した結果、角継手の板厚底部を I 型狭開先として高速回転アーク溶接法で施工した後、板厚上部を V 開

先としてサブマージアーク溶接法で施工する複合溶接方法を採用することにより上記の課題を解決したので、以下に紹介する。

## 2. ボックス柱の製造方法と特徴

図 1 にボックス柱の製造方法を示す。ボックス柱の主構造は、外周 4 面のスキンプレートと内部補強材のダイアフラムで構成され、各スキンプレートの角継手はサブマージアーク溶接（SAW）およびスキンプレートとダイアフラムの継手はエレクトロスラグ溶接（ESW）で施工し、完全溶込み溶接の仕様となっている。また、スキンプレートの板厚や材質は、超高層ビルの場合には最大板厚が 100 mm という極厚化の傾向にあり、その材質も引張強さが 590 N/mm<sup>2</sup> 級などの高強度、かつ衝撃値も 0℃で 70 J 以上の高靱性特性の鋼材が使用される。

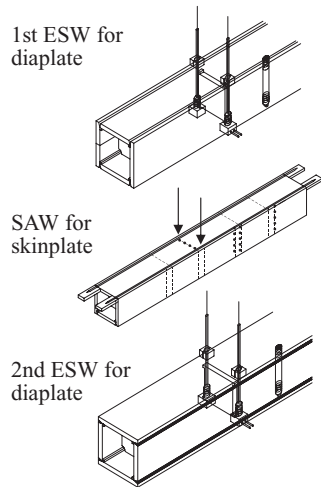


図1 ボックス柱の製造方法

Fig.1 Welding sequence of box column

### 3. 適用溶接施工方法の検討

#### 3.1 溶接施工方法の比較と選定

ボックス柱のスキンプレートが極厚あるいは高性能鋼材である場合のボックス角継手の溶接施工方法について、各種溶接施工方法とその組み合わせ方法の比較を表1に示す。

①～⑥の施工方法には一長一短がある。①、②は、溶接入熱や施工性は良好だが、溶接能率に課題がある。⑤、⑥は、溶接能率は良好だが、溶接入熱や施工性などに課題がある。そこで、③の小溶接入熱ではあるが比較的高能率が得られる点、および④の溶接入熱制限内の使用としても、施工性が良く、かつ高能率が得られる点に着目した。これらの比較検討および簡単な検討試験の結果から、③のナローMIG（高速回転アーク狭開先溶接）と④の仕上げSAWを組み合わせた複合溶接方法の採用を検討することとした。

#### 3.2 高速回転アーク狭開先溶接法の概要

高速回転アーク狭開先溶接法の原理を図2に示す<sup>1)</sup>。本方法は、ワイヤ通過孔を偏芯させた溶接チップを電極に取り付けて狭開先継手に挿入し、これを高速回転させることにより、ワイヤ先端のアークを回転ウィービングさせて溶接を行うJFEエンジニアリング独自開発の溶接方法である。アーク回転速度は50～100 Hz、回転直径は約8 mm、狭開先継手の開先幅は12～16 mmである。

写真1に溶接ビード形状に及ぼすアーク回転速度の影響を示す。回転なしの場合は溶込みが開先中央に集中し、開先側壁部に溶込み不足が発生しやすくなるが、アーク回転速度の上昇とともに側壁への溶込みが拡大し、ビード表面形状も湾曲した凹型になることが分かる。また、アークセンサによる開先自動微い制御機能を備えており、溶接中のトーチ位置調整作業は不要である。

本溶接法は、重機械製品、長大橋梁、各種プラントなどの極厚の突合せ溶接に適用されている。写真2に大型油圧シリンダーへの適用状況を示す。また、板厚235 mmの溶接ビード断面の一例を写真3に示すが、均一で良好な側壁の溶込みが得られていることが分かる。なお、小型回転トーチの開発により、造船や橋梁などの隅肉溶接にも適用されている。

### 4. ボックス柱へ適用上の課題と対応策

高速回転アーク狭開先溶接法をボックス柱の角継手に適用するにあたり、以下の対応策を検討し実施した。この際、事前に実施した簡易試験体による試験結果を参考とした。

#### 4.1 開先形状および適用溶接法

ボックス角継手の標準開先形状を図3に示す。開先底部から開先深さが約30 mmまでを開先幅約15 mmのI型開先として、高速回転アーク溶接法により1層1パスで多層盛溶接を行い、次に板厚上部の開先深さ約30 mmをV型開先として、サブマージアーク溶接法により1層1パスの単層溶接で最終パスを行う。

極厚材の全板厚を高速回転アーク狭開先溶接法で施工するには、工場ラインの工程進捗や開先幅保持の難しさなどに問題がある。そこで、板厚上部（最終パス）においては鋼材の入熱制限以内の溶接条件でのサブマージアーク溶接を適用する複合溶接法で施工することとした。

#### 4.2 溶接熱収縮による開先幅の保持

図3の開先形状で約1.5°の上開き形状としているのは多層盛溶接による熱収縮を考慮したもので、溶接が進行しても開先幅は一定に保持される。

#### 4.3 開先精度の確保

角継手の開先形状は、スキンプレートの端面をガス切断によって加工成形するが、現在の寸法精度や切断面粗さの程度で本溶接法の適用が可能かを検討した。簡易試験結果などから、現在の上限側の精度管理（目標値±2 mm）を行えば、本溶接法の許容範囲内となり適用可能と判断した。

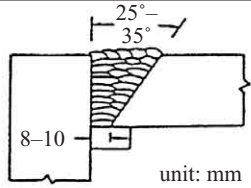
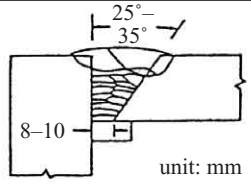
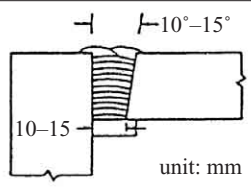
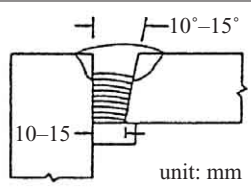
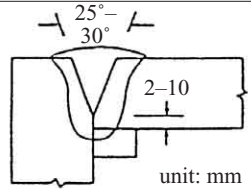
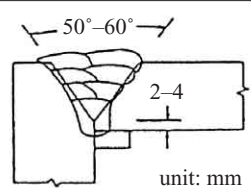
#### 4.4 初層の溶け込み確保

角継手の溶接において、極厚材に対して小入熱溶接を適用する場合には、特に初層部に溶接欠陥が発生しやすい。この対応策として、裏当金に切削加工を施して窪みを形成し、欠陥が万一発生しても板厚外にとどまるようにした。

#### 4.5 溶接オペレーターの養成

高速回転アーク狭開先溶接法は、アークセンサによる開先自動微いを行っているため、溶接中のトーチ狙い位置の

表1 ボックス角継手の各種溶接施工方法の比較  
Table 1 Comparison of corner welding procedures

Welding procedure	Groove shape and pass scheme	Advantage	Defect
① CO <sub>2</sub> gas metal arc welding		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Few restrictions for application</li> <li>· Small heat input</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Low efficiency</li> </ul>
② CO <sub>2</sub> gas metal arc welding+SAW		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Few restrictions for application</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Low efficiency</li> <li>· Large heat input</li> </ul>
③ Narrow gap SAW or Narrow gap MIG welding		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Higher efficiency than ① or ②</li> <li>· Small consumable consumption</li> <li>· Small heat input</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sensitive to accuracy and cleanliness of groove</li> </ul>
④ Narrow gap SAW (or Narrow gap MIG welding) +SAW with large heat input		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Higher efficiency than ③</li> <li>· Small consumable consumption</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sensitive to accuracy and cleanliness of groove</li> <li>· Large heat input</li> </ul>
⑤ One-run SAW with three electrodes		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Excellent efficiency</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Inapplicable to heavy thick plate (Maximum plate thickness is 60 to 70 mm.)</li> <li>· Huge heat input</li> <li>· Specialized equipment required</li> </ul>
⑥ Multi-run SAW with large heat input		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Good efficiency</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Strict procedure control required</li> <li>· Large heat input</li> </ul>

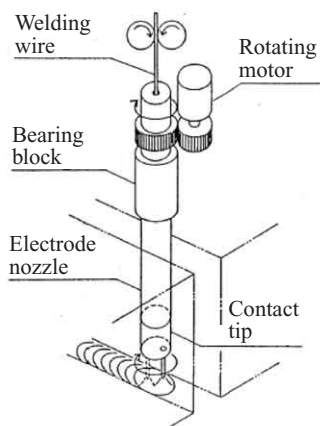


図2 高速回転アーク狭開先溶接法の原理  
Fig.2 High speed rotating arc welding process

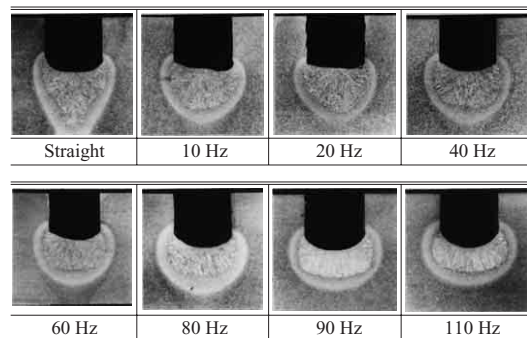


写真1 溶接ビード形状に及ぼすアーク回転速度の影響  
Photo.1 Effect of the rotating speed to the shape of weld bead in narrow grooves



写真2 大型油圧シリンダーへの適用状況  
Photo 2 Application to cylindrical structure

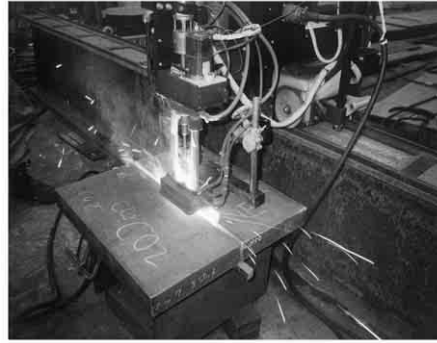


写真4 簡易試験体による試験状況  
Photo 4 Procedure test for butt welding



写真3 高速回転アーク溶接によるビード断面  
Photo 3 Weld bead section of rotating arc welding

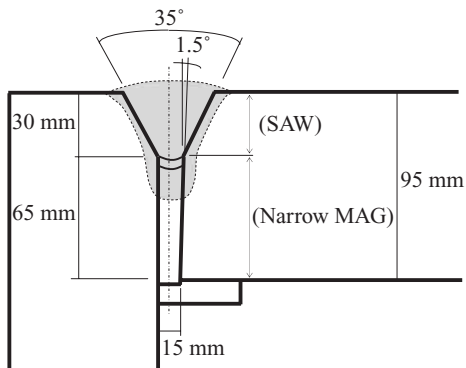


図3 開先形状の詳細  
Fig. 3 Groove detail

修正は不要だが、開先幅の変動に対する溶接速度の微調整などをマニュアルで行う必要がある。したがって、実用化に際し、導入当初から作業員2名を専従させ、溶接装置の操作教育を受講するとともに、鋼材切断から角溶接までの関連工程の精度確認、溶接装置の使用上のポイント把握や不適合発生時の対処要領などの作業要領を習得させた。

## 5. 溶接施工法確認試験

### 5.1 簡易試験体による試験

高速回転アーク狭開先溶接法の特徴確認のため、最初に平板継ぎ試験体（板厚：50 mm，継手長さ：800 mm）で試験を実施した。この際、開先形状は15 mm幅のI型とし

て、溶接の作業性や収縮変形量などの特性を把握した。実施状況を写真4に示す。

### 5.2 ボックス試験体による試験

ボックス柱構造への適用確認と機械的性質の確認ため、実物大のボックス試験体（板厚：100 mm，ボックス寸法：1000 mm□，継手長さ：3000 mm）で実施した。この際、開先形状は図4に示す標準開先として高速回転アーク狭開先溶接を適用（溶接条件は、340 A-36 V-25 cm/minで14～15パス）した。この試験により、ボックス柱角継手へ適用の際の、施工要領の確立（各工程ごと）や溶接部の機械的性質の特性を確認した。実施状況を写真5に、溶接部の断面マクロ写真を写真6に示す。

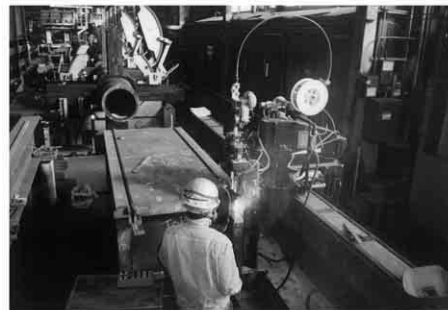


写真5 ボックス試験体による試験状況  
Photo 5 Procedure test for box column corner welding

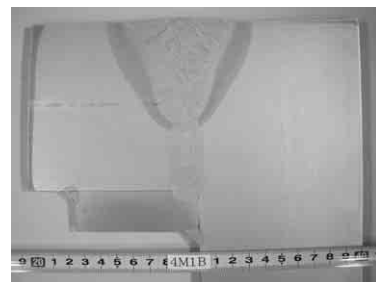


写真6 ボックス柱角継手溶接部のマクロ写真  
Photo 6 Macroetch test specimen for corner welding



表 2 全溶着金属の引張試験結果  
Table 2 Tensile test results of all deposited metal

Position of specimens	Number	YS (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	El (%)
Deposited metal (SAW)	1	552	647	24
	2	563	648	25
Deposited metal (Boundary)	1	533	617	26
	2	558	627	24
Deposited metal (NGW)	1	657	690	24
	2	674	686	24
Acceptance criteria	—	—	≧590	—

\*NGW: Narrow gap welding

表 3 シャルピー衝撃試験結果  
Table 3 Impact test results

Position of specimens	Impact test: vE <sub>0°C</sub> (J)			Aver.
	Each			
	①	②	③	
Deposited metal (SAW)	132	110	123	122
Deposited metal (Boundary)	148	117	160	141
Deposited metal (NGW)	79	87	89	85
Weld junction (SAW)	115	121	94	110
Weld junction (Boundary)	99	156	162	139
Weld junction (NGW)	203	205	187	198
Acceptance criteria	—	—	—	≧70

\*NGW: Narrow gap welding

### 5.3 溶接施工試験

実工事への高速回転アーク狭開先溶接法の適用にあたり、工事着手前に客先立会い溶接施工試験（板厚：95 mm，使用鋼材：SA440 高靱性鋼）を受験し、溶接性、作業性、溶接部の健全性を確認した。この結果、実工事で要求された溶接部性能の判定基準に対して、すべての項目を満足していた。機械試験結果の一例を表 2、3 に示す。

### 6. 実工事への適用

当所において高速回転アーク狭開先溶接+サブマージアーク溶接の導入後、10 数件の実工事に適用している。超高層ビル工事のボックス柱角継手への適用例を図 4 に示す。適用例 A は板厚が 95 mm，材質が SA440C-E，適用例 B は板厚が 80 mm，材質が TMCP355C，適用例 C は板厚が 52 mm，材質が TMCP385C など極厚かつ高強度・高品質の鋼材への適用が顕著である。

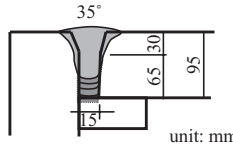
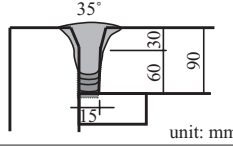
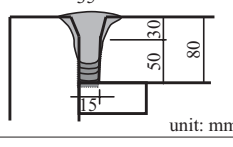
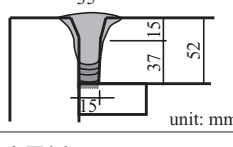
Projects	Size of box column	Plate materials (Thickness)	Groove shape and pass scheme
A	1 000□	SA440C-E(95)	
	800□	SA440C-U(90)	
B	800□	TMCP355C(80)	
C	1 000□	TMCP385C(52)	

図 4 実工事への適用例

Fig. 4 Example groove details in actual projects

### 7. おわりに

建築構造用ボックス柱への極厚・高強度・高品質鋼材の使用に対応した角継手への新しい溶接法（高速回転アーク狭開先溶接+サブマージアーク溶接）の適用を紹介した。

今後のさらなる高強度・高品質要求に対応した溶接施工法として、対象形状や継手の適用拡大を推進していきたい。

#### 参考文献

- 1) 野村博一, 杉谷祐司, 小林征夫. 高速回転アーク MIG 溶接法. 圧力技術. 1984, vol. 22, no. 4, p. 186-193.



岩田 真治



村山 雅智



小島 裕二