

【技術ノート】

鉄骨ボックス柱かど継手の高能率 サブマージアーク溶接施工法に関する検討

Examination on Highly Efficient Submerged Arc Welding Method
for Corner Joint of Steel Box Columns

原 章*
Akira HARA

高田 和守**
Kazumori TAKADA

片岸 智***
Satoshi KATAGISHI

福家 耕作****
Kousaku HUKE

菅野 啓行*****
Yoshiyuki KANNO

1. まえがき

近年、建築鉄骨の製作において、柱の断面形状としてボックス構造の部材の占める割合が多くなってきた。

このようなボックス柱の製作では、かど継手の溶接に要する工数の割合は高く、従来の溶接施工法（炭酸ガスアーケ多層盛溶接とサブマージアーク多層盛溶接）で施工した場合、ボックス柱の形状、寸法および板厚等の差異によって多少の幅はあるものの、ボックス柱製作全工数の中で約25%～35%を占めている。また、作業能率の観点からみても、かなりの時間を要し、製作ラインのスムーズな流れを阻害する要因の一つとなっていた。

そこで、このかど継手の溶接施工に着目して、作業能率の向上と製作コストの低減を目的として、高能率サブマージアーク溶接施工法をボックス柱のかど溶接に適用するため、その溶接施工法および溶接装置等について検討を加え、この結果に基づき、現在、四国および栃木の二工場で採用しているので以下報告する。

2. 検討手順

鉄骨ボックス柱かど継手の高能率サブマージアーク溶接施工法の適用について、図-1に示す手順で検討を行った。

3. 高能率サブマージアーク溶接施工法の選定

鉄骨ボックス柱のかど継手は、図-2に示すように1溶接継手内にF・P部とP・P部が交互に存在しており、従来は、まず最初にF・P部の板厚半分程度までCO₂溶接を用いて下盛り溶接を行い、つぎに、サブマージアーク溶接でF・P部およびP・P部を連続的に多層盛溶接を

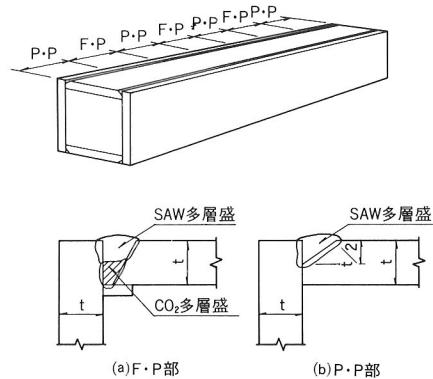


図-2 標準的なボックス柱のかど継手

行っていた。

しかしながら、SAW多層盛溶接では、以下の点で非能率的である。

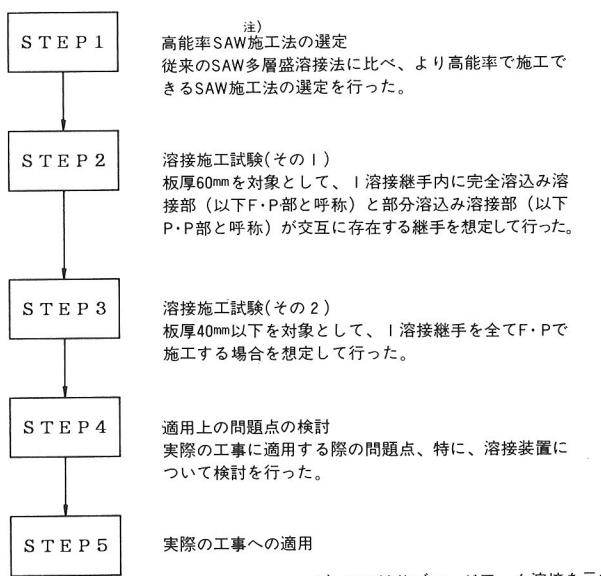


図-1 検討手順

*川田工業㈱技術本部技術部部長（前・四国工場工場長） **川田工業㈱四国工場生産技術課課長 ***川田工業㈱四国工場生産技術課
****川田工業㈱四国工場製造課 *****川田工業㈱栃木工場生産技術課（前・技術本部溶接研究室）

① 1パスあたりの溶着量が少ないため、溶接に要する時間が長い。

② 多層盛のため、各パスごとにフラックスの回収とスラグ除去が必要で、作業能率の向上が望めない。

そこで、これにかわる施工法として、従来の3~5倍程度の溶着量が得られる高能率サブマージアーク溶接法(以下高能率SAWと呼称)を選定し、この施工法のボックス柱かど溶接への適用の可否について検討したものとした。

4. 溶接施工試験

前述したように、ボックス柱のかど継手はF・P部とP・P部が混在しているが、これを高能率SAWで施工する場合、ある板厚(現状では、ほぼ40mm程度と考えられる)を境に、それ以上の板厚では、まず、F・P部をガスシールドアーク溶接等で板厚の半分程度まで下盛り溶接を行った後、F・P部、P・P部を連続して高能率SAW 1パスで施工し、これ以下の板厚の場合には、全線F・Pとして、下盛り溶接を行わず、高能率SAW 1パスで施工する方法が考えられる。

そこで、高能率SAWについて、これら二通りの施工方法の確認が必要であることから、最初のステップとして、1溶接継手内にF・PとP・P部が存在するかど継手を対象として、これについて溶接施工試験を行い、次のステップで、全線F・Pとする場合の施工試験を行って高能率SAW施工法の施工条件の確認、溶接部の品質および適用に際しての問題点の抽出とその解決策について検討を加えた。

(1) 溶接施工試験(その1)

この試験では板厚60mmのかど継手を対象として行った。

a) 試験体形状

試験体形状および寸法を図-3に示し、開先形状を図-4に示す。

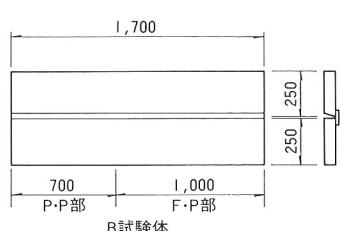


図-3 試験体形状

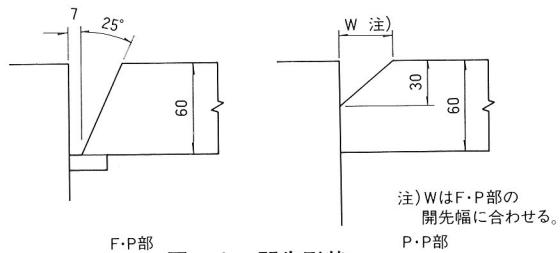


図-4 開先形状

試験体は、B試験体とL試験体の二種類とし、B試験体は主に溶接部の機械的性能を調査することを目的とし、L試験体では、実部材のかど継手を模した形状で、施工性および溶接部の健全性を調査することを目的とした。なお、使用鋼材はSM50Bとした。

b) 供試溶接材料および溶接条件

本試験に用いた溶接材料を表-1に示し、試験体の溶接条件を表-2に示す。なお、B、L試験体ともに同一条件で施工した。

表-1 供試溶接材料

溶接の種類	溶接方法	溶接材料(注2)			製造所
		ワイヤ	フラックス	充填剤	
下盛り溶接	CO ₂ 自動溶接	YM-26 1.6mmφ	-	-	日清工
高能率SAW	サブマージアーク溶接	US-36(注1) L:4.8mmφ T:6.4mmφ	PFI-52ES (焼結タイプ)	RR-2	神鋼

注) 1) L:先行電極 T:後行電極

2) 溶接材料のJIS規格

YM-26-----YGW11

US-36/PFI-52ES---YSF-W41相当

表-2 溶接施工条件

パス数(注)	溶接方法	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)	入熱量(kJ/cm)	積層法
1~1 1 (1~3)	CO ₂ 自動溶接	420 ~ 500	45 ~ 48	23 ~ 40	62.6	SAW CO ₂ P・P部
1 2 (4)	高能率SAW	L:1400 T:1300	L:38 T:45	25	268.1	SAW CO ₂ F・P部

注) ()内の数値はP・P部の場合

c) 試験結果およびその考察(その1)

本試験の結果をまとめて表-3、4および写真-1、2に示すが、溶接部に有害な欠陥は検出できず、健全であり、機械的性能も要求品質を十分に満足することが確認できた。また、溶接部の硬さについても調べてみたがF・P部、P・P部とともに溶接部の最高硬さはH_u=250以下であり、一般的にH_v=250は熱影響部の延性が良好な限界値と言われていることから考えても、良好な値であ

ることがわかった。

以上のことより、ここで検討した高能率SAW施工法は、ボックス柱かご継手の溶接に適用できることが確認できた。

表-3 試験結果

試験体	試験項目	試験片記号	試験結果	判定基準	合否
B試験体	超音波探傷試験	-	欠陥なし	「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査基準」の引張り応力が作用する場合	合格
	放射線透過試験	-	JIS Z3104 1級	JIS Z3104の 2級以上	合格
	継手引張り試験	T1	56.8kg/mm	50kg/mm ² 以上	合格
		T2	57.1kg/mm		合格
	側曲げ試験	B1	異状なし	曲げられた外面において、いかなる方向にも3mmをこえるワレ、または著しい欠陥がないこと	合格
		B2	異状なし		合格
	衝撃試験注)	A	5.5kgfm	0°Cで3本の平均値が 2.8kgfm以上	合格
		B	5.2kgfm		合格
		C	4.3kgfm		合格
		D	9.8kgfm		合格
		E	21.4kgfm		合格
I.試験体	マクロ試験	F・P部	異状なし	溶込み、融合状態が良好で有害な欠陥のないこと	合格
		P・P部	異状なし		合格
	超音波探傷試験	-	欠陥なし	「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査基準」の引張り応力が作用する場合	合格

注) 衝撃試験の試験温度は0°Cで結果は3本の平均値。

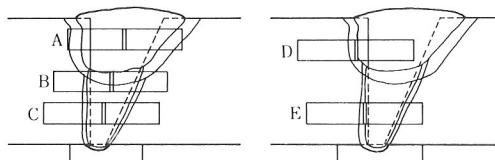


図-5 衝撃試験片のノッチ位置

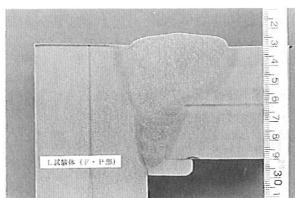


写真-1 マクロ試験結果

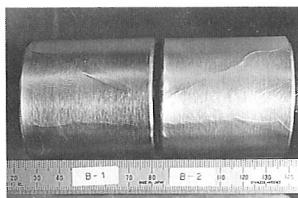


写真-2 側曲げ試験結果

表-4 溶接部の硬さ試験結果

試験体	溶接部位	硬さ測定部位		最高硬さ(Hv)
		回数	解説	
I.試験体	F・P部	A		242
		B		210
		C		235
		D		221
		E		229
	P・P部	F		248
		G		236

注) 硬さの測定はピッカース硬度計を用い荷重10kgで、熱影響部は0.5mmピッチ、他は1.0mmピッチで測定した。

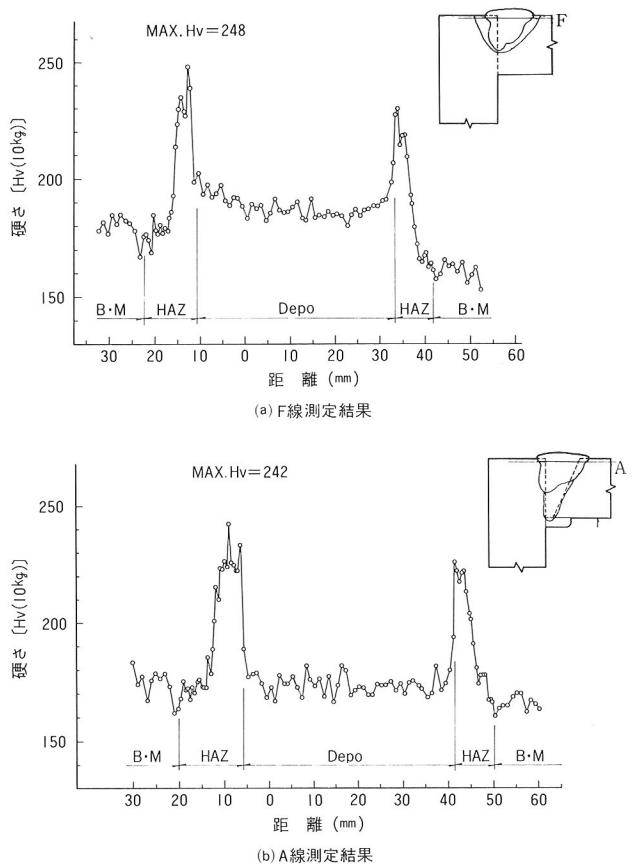


図-6 溶接部の硬さ測定結果例

(2) 溶接施工試験(その2)

前項の試験結果も考慮し、1溶接継手全線F・P部を高能率SAW 1パスで施工することについて、

- ① 1パスで溶接可能な最大板厚の検討
- ② 開先形状の選定(特にルートフェイス)
- ③ 溶接施工条件の設定

等を検討するために行った。

a) 調査項目

この試験では、表-5に示す点の調査を行い、上述した内容について、その適否を判断することにした。

b) 試験体および溶接条件

試験体は図-3に示したようなI試験体のみとした。ただし、全線F・P部として板厚、ルートフェイスの大きさを種々変化させて行った。

表-5 調査項目

調査項目	対象	調査方法	判断基準
溶接ビード外観	溶接部全長	目視、スケール 溶接ゲージ等	「鉄骨工事精度検査基準」による
溶接部の健全性	同上	超音波探傷試験	「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査基準」の引張り応力が作用する場合
溶込み深さ	同上	超音波探傷試験	開先ルート部が完全に溶融して、十分な溶込みを有すること
	試験片	マクロ試験	
溶込み形状	試験片	マクロ試験	高温ワレが生じるようなナゲット形態ではないこと

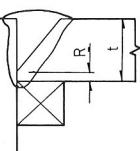
また、使用した溶接材料は前の試験で用いた高能率SAWの溶材と同じとした(表一1参照)。

c) 溶接施工

各試験体の溶接施工条件を表一6に示す。試験体の溶接に際しては、ルート部が完全に溶融し、高温ワレの発生の危険がないような溶込み形状が得られるように、ワイヤのねらい位置、ノズル角度および極間距離の設定に十分注意して施工した。

表一6 溶接施工条件

溶接継手	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)	入熱量(kJ/cm)	積層法
t = 3.2 mm R = 2 mm	L=1350 T=1200	L=38 T=45	2.5	252.7	
t = 3.2 mm R = 4 mm	L=1350 T=1200	L=38 T=45	2.5	252.7	
t = 3.4 mm R = 2 mm	L=1400 T=1300	L=38 T=45	2.5	268.1	
t = 3.4 mm R = 4 mm	L=1400 T=1300	L=38 T=45	2.5	268.1	
t = 3.6 mm R = 2 mm	L=1400 T=1300	L=38 T=45	2.5	268.1	
t = 3.6 mm R = 4 mm	L=1400 T=1300	L=38 T=45	2.5	268.1	



d) 試験結果とその考察(その2)

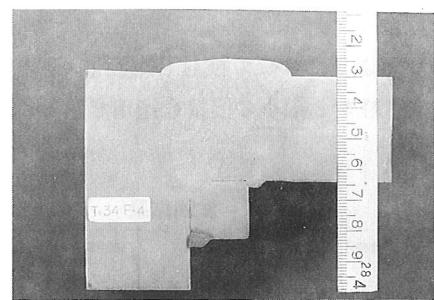
試験結果をまとめて表一7に示し、マクロ試験結果の1例を写真一3に示す。

本試験の結果以下のことが確認できた。

- ① 板厚36mmまでは高能率SAW 1パスで施工が可能である。
- ② 開先のルートフェイスは2mm, 4mmいずれの場合でも要求品質を満たす溶込みが得られている。しかし、実施工に際しては開先加工精度等を考慮して、標準値は2mmにするのが望ましい。
- ③ 溶接ビード外観は良好で、作業性、作業能率も1パスで溶接が完了するため、従来の施工法に比べ、能率が向上する。
- ④ 溶込み形状も良好で、ここで使用したような条件では高温ワレ発生の危険性は、ほとんどない。
- ⑤ 裏当金として□19mmの角鋼を用いて試験を行い、特に問題はなかったが、溶け落ち等の問題を考慮すると、そのサイズを□25mmとした方が有利である。

表一7 試験結果のまとめ

継手No.	板厚(mm)	ルートフェイス(mm)	溶接ビード外観	溶接部の健全性	溶込み深さ	溶込み形状
1	3.2	2	良好	良好	良好	良好
2	3.2	4	良好	良好	良好	良好
3	3.4	2	良好	良好	良好	良好
4	3.4	4	良好	良好	良好	良好
5	3.6	2	良好	良好	良好	良好
6	3.6	4	良好	良好	良好	良好



写真一3 マクロ試験結果の1例

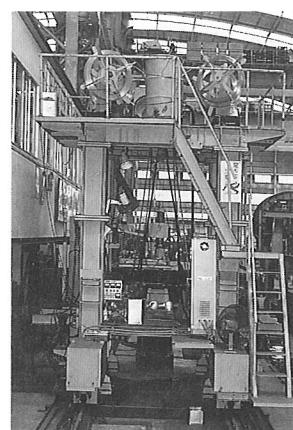
5. 溶接装置の検討

つぎに、これまで検討してきた高能率SAW施工法を実施工に適用する場合の溶接装置について検討した。

これまで行った試験より考えると、以下のような理由から、既存の溶接装置をそのまま実施工に適用することは困難である。

- ① 板厚60mm、部材長が10m程度の部材のかど継手を溶接する場合のワイヤ使用量は約60kg/1継手程度であるのに、既存の溶接装置のワイヤ搭載量は50kgであり、ワイヤ量が不足する。
- ② 溶接電流の上限が1500A程度であり、既存の溶接電源では対応できない。また、将来のことを考えると、1800A程度の電流が安定に供給できる電源が望ましい。
- ③ 従来の溶接法に比べ、フラックス散布量が非常に多く、現在のフラックスホッパーの容量では非効率的である。
- ④ 溶接ヒュームの発生量が多く、安全衛生上、作業者に対して好ましいとは言えず、できれば、集塵装置を設置することが望ましい。
- ⑤ 使用電流が大電流であるため、チップ等従来のものでは対処できない部分がある。

このため、これらの問題点を解消し、高能率SAW施工法に対応できる溶接装置を作製した。この溶接装置を写真一4に示す。



写真一4 高能率SAW溶接装置

この溶接装置は、ワイヤ搭載量が600kg、最大使用電流3,000Aの門型4電極サブマージアーク溶接機である。

6. 高能率SAW施工法の適用

以上の結果をもとに、高能率SAW施工法を実際の工事に適用した。

(1) 施工上の問題点

大入熱SAWを実施工に適用していくつかの問題点は生じたが、特に問題となったのは、高能率で施工しているため溶接中、部材に図-6のような曲がりが生じ、溶接ビード外観を低下させる原因となった。これに対しては図-7に示すように溶接部を常に水平に保つように対処して解決した。

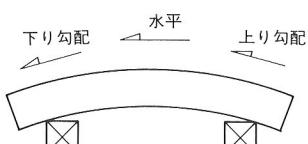
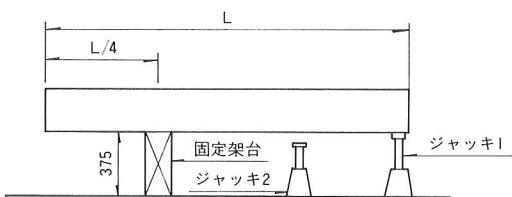
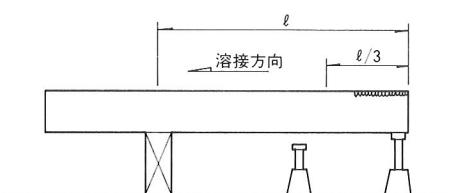


図-7 溶接中の部材の変形

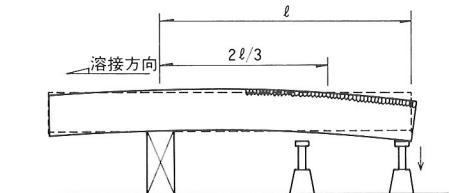
①部材セット：固定架台とジャッキの高さは同一としておく



②表側溶接開始：溶接が下図のl/3の位置に来るまではジャッキダウンしない



③表側溶接中：部材の変形に応じてアーカーの位置を部材がレベルになるように徐々にジャッキダウンする



④表側溶接中：部材の変形に応じてアーカーの位置を部材がレベルになるように徐々にジャッキダウンする

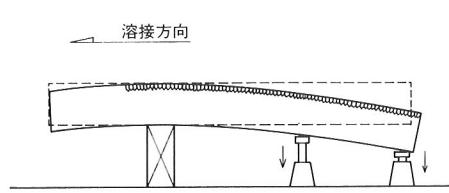


図-8 部材のかど溶接要領

(2) 溶接部の健全性

ここで検討した、高能率SAW施工法を実際工事のボックス柱かど溶接に用い、溶接後、超音波探傷試験を用いて溶接部の健全性を調査したが、いずれも、要求品質を満たしており、溶接施工条件等が妥当であることが確認できた。

(3) 経済比較

本施工法を実際の工事に適用して、初期の目的である作業能率の向上と溶接コストの低減について、どの程度達成できたか、かど溶接に要した工数等を調査し、従来方式で施工した場合との経済比較を行ってみた。その結果は表-8に示す通りであり、能率の向上、コストの低減が図れたことが確認された。

表-8 経済比較

項目	高能率SAW	従来の施工法
溶接能率	0.43	1.0
溶接所要時間	0.55	1.0
溶接コスト	0.43	1.0

7. 今後の問題点

高能率SAWを鉄骨ボックス柱の製作に適用して溶接コスト、作業能率の面からは、初期の目的は、ほぼ達成できたと考えているが、よりコストの低減を図るために以下のような問題点を解決する必要がある。

- ① 1パスで施工可能な板厚を36mm以上とする。
- ② 1パス溶接の場合の開先形状を現状の同一形状ではなく、F・P部とP・P部に分けて溶接材料の節約を図る。
- ③ 板厚が40mmを越える場合、下盛り溶接の高能率化、省人化をより向上させる。

8. あとがき

高能率SAW施工法の鉄骨ボックス柱かど溶接については、情報の集収から試験、実施工への適用、再検討と試行錯誤を繰り返し、約1年を要して施工法を確立することができたと考えている。

今後、さらに、溶接コストの低減・能率の向上を図るために前述したような問題点を解決するとともに、これから用いられるであろうTMCP鋼等への本施工法の適用についても検討していきたい。