

【技術ノート】

鉄骨ボックス柱の製作試験

Experimental Report on Fabrication of Steel Box Columns

渡辺 武*
Takeshi WATANABE

山田直人**
Naoto YAMADA

湯田 誠***
Makoto YUDA

1. まえがき

超高層ビルの建築鉄骨は大部分がS造であり、その中でも、ボックス柱構造が主流を占めている。

これまでに、数多くのボックス柱の製作を手掛けてきたが、設備も年々新しく大型化され、ライン化されて品質も高度なものになってきた。しかし、ライン化に伴う機械的因素や溶接細部にわたる作業標準の見直し等、考慮すべき点はまだまだある。品質管理上、選出された問題を解決するために、今回、製作試験を計画、実施することにした。

試験では特に、ボックス角部の大入熱溶接、ダイヤフラムのエレクトロスラグ溶接について、入熱に対する材料性質の変化、各作業段階ごとの溶接収縮率、曲り等について調査した。また、本試験では、実物大の試験体を製作することにより製作方法、管理方法及び品質の見直しを行い、より精度の高い製品を作ることを目的に実施

した。以下にその結果を報告する。

2. 試験体形状および開先形状

試験体は図-1に示すように、仕口部を有する実部材と同等の状況を再現するものとした。また、開先形状を表-1に示す。

表-1 開先形状

記号	溶接箇所	溶接方法	姿勢	開先形状
A	仕口部 G X	CO ₂ 半自動溶接 (裏当金形成)	下向き	
B	仕口部 G Y	CO ₂ 半自動溶接 (裏はつり形式)	下向き	
C	ダイヤフラム	非消耗式エレクトロスラグ溶接 (SESNET法)	上進立向	
D	ダイヤフラム	CO ₂ 半自動溶接 (裏当金形式)	下向き	
E	B O X 角継手 (F. P 部)	CO ₂ 半自動溶接 +大入熱 SAW	下向き	
F	B O X 角継手 (P. P 部)	CO ₂ 半自動溶接 +大入熱 SAW	下向き	
G	※エレクトロスラグ部とDIA CO ₂ 部の交差部	—	—	<p>※O部は完全溶込みとする</p>

図-1 試験体形状

*川田工業㈱
**川田工業㈱
****川田工業㈱技術本部溶接研究室(前、
木工場生産技術課)

3. 試験項目

本試験での試験項目は、以下の5項目とし、各試験の内容および試験片採取位置を表-2及び図-2に示す。

- ① 素材試験（使用鋼材の確認）
- ② 溶接要領（溶接順序、溶接施工条件等）
- ③ 溶接部の健全性
- ④ 溶接部の機械的性能
- ⑤ 部材精度

表-2 試験内容

試験の種類	試験対象箇所	試験No.	*	**	部位
マクロ試験	上FLG GX+DIAエレスラ部	M 1	1	D 1	
	上FLG GY+DIA CO ₂ 部	M 2	1	D 3	
	下FLG GX部 エレスラ縦断面L=600	M 3	1	D 1	
	下FLG GX部 エレスラ終端部横断面	M 4	1	D 4	
	角継手 (SAW×CO ₂)	M 5	1	D1-D2	
	エレスラ交差部	M 6	1	D 1	
引張試験	DIA	T 1	1		
	上FLG GX エレスラ部	T 2	1		D 1
	DIA	T 3	1		
	上FLG GY+CO ₂ 部	T 4	1		D 3
	角継手 (SAW×CO ₂)	T 5	1		D3-D4
衝撃試験	溶着金属引張試験	T 6	1		
	DIA エレスタ部	H A Z 部	E 1	4	D 1
		W M 部	E 2	4	D 4
	G X C O ₂ 部	H A Z 部	E 3	4	D 1
		W M 部	E 4	4	D 4
	G Y C O ₂ 部	H A Z 部	E 5	4	D 3
		W M 部	E 6	4	D 2
	DIA C O ₂ 部	H A Z 部	E 7	4	D 2
		W M 部	E 8	4	D 2
	角継手 C O ₂ 下盛り部	H A Z 部	E 9	4	
		W M 部	E 10	4	D3-D4
	角継手 SAW部	H A Z 部	E 11	4	"
		W M 部	E 12	4	
硬 度	母 材	G X 部	E 13	4	D 2
		G Y 部	E 14	4	D 4
	上FLG GX+DIAエレスラ部	M1, M2	2		D 1
	上FLG GY+DIA CO ₂ 部	で転用			D 3
角継手 (C O ₂ ×SAW)部	M5で転用	1			D3-D4

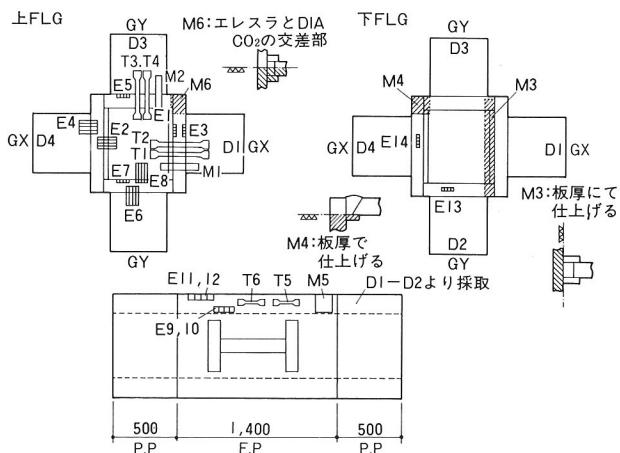


図-2 試験片採取位置

4. 試験体の製作手順

図-3に試験体の製作手順を示す。

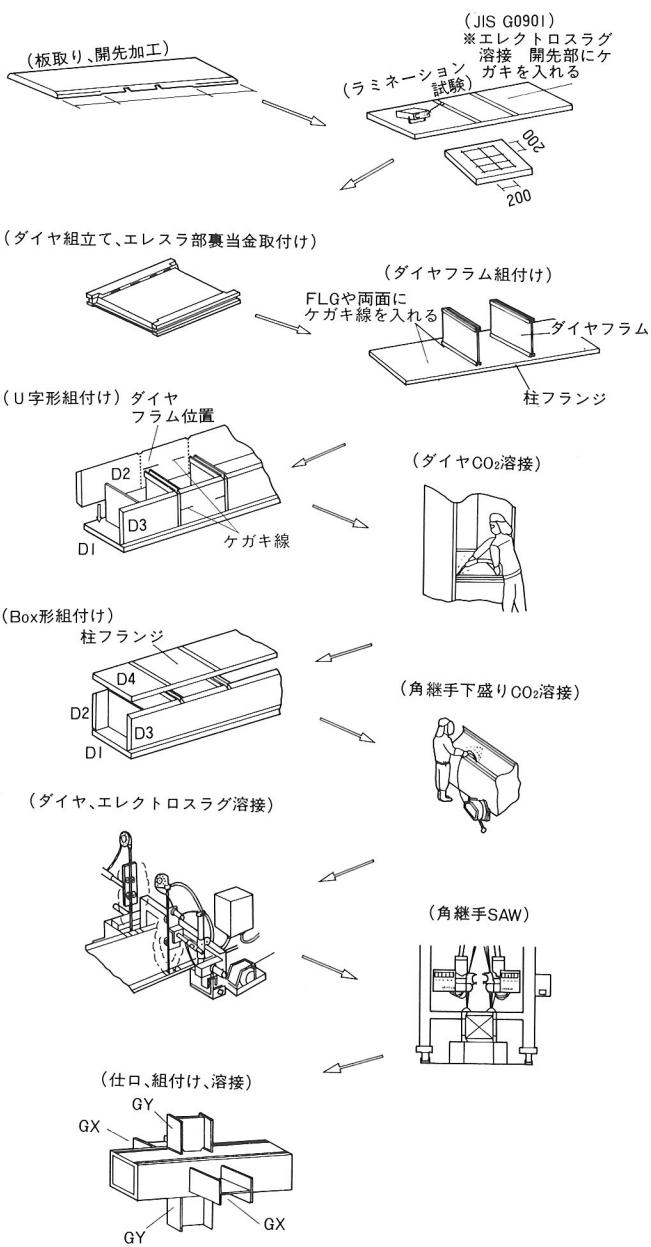


図-3 製作手順

5. 試験結果

(1) 素材試験結果

使用鋼材の確認のため、スキンプレート、ウェブ及びダイヤフレームについて超音波探傷試験によるラミネーション検査を行い、さらにそれぞれの鋼材より機械試験片を採取して調査した結果、特に問題はなく、本試験に使用した鋼材には異状がないことが確認できた。

(2) 超音波探傷試験結果

ダイヤフレームCO₂溶接部及びエレクトロスラグ溶接部、角溶接部、仕口溶接部について超音波探傷試験を行ったが、結果はいずれも良好で要求品質を越えるような欠陥は検出されなかった。特にダイヤフレームのCO₂溶接

部とエレクトロスラグ溶接の交差部は後述するように開先残しを5mmとしていたが、この部分でも何ら欠陥は見当たらず完全に融合していることが確認できた。

エレクトロスラグ溶接部の溶け込み幅の測定は、通常、10φの探触子を用いて行っているが、本試験では、比較のため20φの探触子を併用して両者の測定結果に差異が生じるかどうかとも検討してみた。各々の測定結果をヒストグラムで表し、図-4に示す。これによると、20φの探触子で測定した方が、溶け込み幅はやや大きくなる傾向はあるものの、双方の測定結果に顕著な差は認められなかった。なお、超音波探傷試験による溶け込み幅の測定結果とマクロ試験による実際の溶け込み幅とを比較してみたが、ほぼ対応していた。

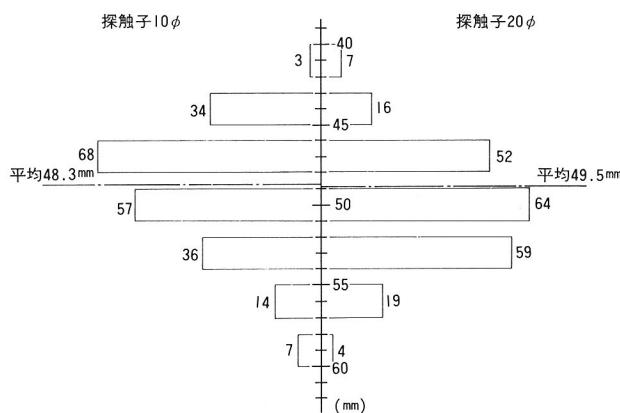


図-4 エレクトロスラグ溶接部の溶け込み幅測定結果

(3) 機械試験結果

a) 十字継手引張試験及び全溶着金属引張試験

それぞれの試験結果を表-3、写真-1に示す。

表-3 引張試験結果

試験内容	引張強度(kg/mm ²)	破断位置	破断面
十字引張試験	54.1	母材	異常ナシ
	54.8	母材	
全溶着金属引張試験	52.7	—	異常ナシ
	53.7	—	

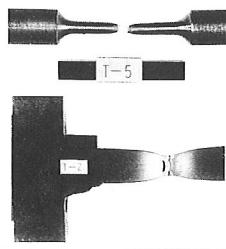


写真-1 引張試験片

いずれの引張試験結果も母材の規格値を満たす十分な強度が得られており、溶接部に要求されている値を満足した。なお全溶着金属引張試験片は、角継手SAW溶着部の強度を調べるために、母材の希釈を受けていない部位よりの採取とし、A2号試験片を採用した。

b) 衝撃試験結果

衝撃試験結果を表-4に示し、衝撃試験片のノッチ位置の例を図-5に示す。

一部で衝撃値の低いものがみられたものの衝撃値は全

て要求値を満足していた。衝撃値の低下がみられたのは、エレクトロスラグ溶接部の溶着金属部より採取したもので、他の溶接部と比較して最も入熱量が高く、この影響によるためであろうと考えられる。

また、参考値ではあるが、図-5に示した角溶接部の熱影響部より採取したものも他の衝撃値に比べやや低い値であるが、これは、図からもわかるように試験片のノッチ方向が材料の圧延方向、板厚方向に平行であることが原因と思われる。

表-4 衝撃試験結果

試験片採取位置	試験片No.	衝撃値 kg·m	入熱量 kJ/cm
DIA エレスラ	H AZ部 E 1	6.7	456~505
	W·M部 E 2	3.3	"
GX CO ₂ 部	H AZ部 E 3	18.3	25~28
	W·M部 E 4	4.6	"
GY CO ₂ 部	H AZ部 E 5	16.96	"
	W·M部 E 6	4.61	"
DIA CO ₂ 部	H AZ部 E 7	19.7	27~38
	W·M部 E 8	10.91	"
角継手CO ₂ 下盛り	H AZ部 E 9	4.1	36~42
	W·M部 E 10	5.71	"
角継手SAW	H AZ部 E 11	3.37	207
	W·M部 E 12	9.56	"
母材部	GX部 E 13	18.83	—
	GY部 E 14	7.78	—

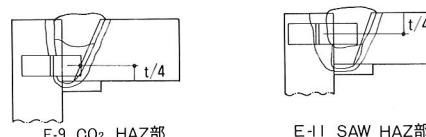


図-5 角溶接部手衝撃試験位置

c) マクロ試験結果

M1~M6について全ての試験片に欠陥は見られず、また十分な溶け込みが得られている。特にダイヤフラムCO₂溶接部とエレクトロスラグ溶接部の交差部については、表-1に示した様に、CO₂溶接継手の開先の残りを5mmとしていたが、写真-2からもわかるように、完全に融合しており、5mm程度であれば今回の施工法によって、十分溶け込むことが確認できた。

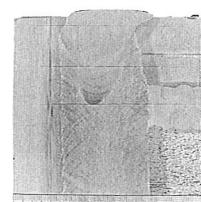
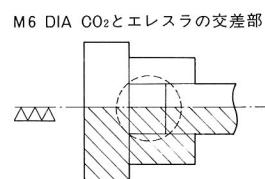


写真-2 交差部断面マクロ



d) 硬さ試験結果

溶接部の硬さ試験は、マクロ試験片のM1, M2, M5及びM6について行った。

M1, M2の硬さ測定位置と測定結果を図-6に示すが、M1はダイヤフラム・エレクトロスラグ溶接部およびGX仕口溶接部(裏当てタイプ)であり、共に溶接部の最高かたさはHv(10kg)=197,216と良好な値であった。

M2はダイヤフラムCO₂溶接部およびGY仕口溶接部(裏はつりタイプ)であり、溶接部の最高かたさは、いずれもHv(10kg)=213,205と、この部分でも良好な値であった。

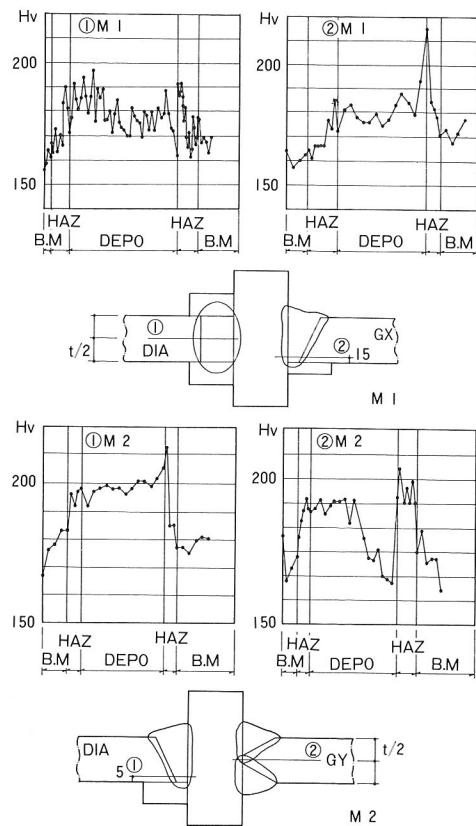


図-6 M1, M2の硬さ測定結果

M5の硬さ測定位置と硬さ測定結果を図-7に示す。

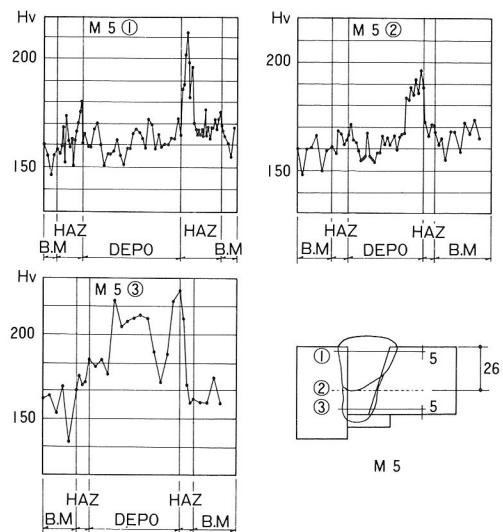


図-7 M5の硬さ測定結果

M5は角継手の完全溶け込み溶接部であり、CO₂溶接およびSAWで施工した部位である。溶接部の硬さ測定位置は、下盛りCO₂溶接部の初層、下盛りCO₂溶接部とSAW溶接部の境界、SAW溶接部の3ラインとした。最高硬さは、それぞれHv(10kg)=216,196,212と良好な値が得られた。M6は角溶接部、ダイヤフラムのCO₂溶接部とエレクトロスラグ溶接部の3溶接部が交差しているところであり、M5と同様な位置で硬さの測定を行ったが、結果として、Hv(10kg)=206,206,207と良好な値であった。

e) 十字曲げ試験

本試験では、参考までに仕口下フランジ溶接とダイヤフラム溶接部での十字曲げ試験を行った。

十字曲げ試験片の採取位置を図-8に示す。

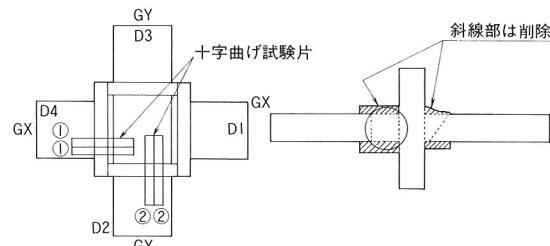


図-8 十字曲げ試験片の採取位置と形状

十字曲げ試験は、通常曲げ試験に対する拘束度が大きく、溶接部の品質を確認するうえで多種多様にそのタイプが検討されている。今回は、最大曲げが溶着部全体にくるよう余盛および裏当金を水平材の板厚まで仕上げるものとした。検討項目を以下に示す。

① DiAエレクトロスラグ溶接部X仕口GXCO₂部

a : GX仕口CO₂溶接部表曲げ

b : " 裏曲げ

② DiA CO₂溶接部X仕口GY CO₂溶接部

a : DiA CO₂溶接部表曲げ

b : " 裏曲げ

以上4体である。

十字曲げ時のローラー治具間距離は、水平材の板厚の12倍とされるが、今回ダイヤフラム32mm、仕口部28mmの組み合わせのため、ローラー芯間を32mm×12=384mmと設定した。仕口部溶着部に対する曲げ剛性は大きくなつたが、4体とも表面の欠陥は生じなかつた。

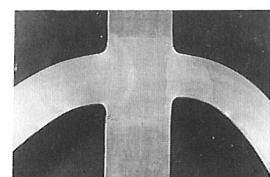


写真-3に十字曲げ試験結果 写真-3 十字曲げ試験の一部を示す。

結果

(4) 部材精度

各作業段階ごとに全長、外径等を測定し、部材精度を確認するとともに、溶接による収縮や変形等の量を調査した。

a) 部材長

部材全長について各測定段階ごとのD1～D4の測定結果を図-9に示す。これによると全ての溶接完了後の部材の全長に対する収縮量は、約3mmであり、しかも4面ともほぼ一様に収縮している。一方、各作業段階ごとの収縮量を見てみると最も影響が大きいのは、ダイヤフラムのエレクトロスラグ溶接であり、平均して約1.44mmの収縮を生じ、次いで、大入熱SAWによる角溶接でその収縮量は平均して約1.06mm程度となっている。この2つの工程でほぼ全体の収縮量となっており、角継手完全溶け込み部の下盛りCO₂溶接による収縮は生じておらず、仕口の取付け溶接で約0.4mmの収縮が得られるといった結果となった。これにより、実部材の製作に際して、今回のデータをもとに余長を見直しておく必要がある。

その量を、各溶接別にあげると

- ① ダイヤフラムの溶接：0.72mm／1枚
- ② 角溶接：0.5mm／1m
- ③ 仕口溶接：0.4mm／1ヶ所

程度と考えられるが、ボックス部材の形状、寸法、板厚および溶接入熱量等を考慮して決定する必要がある。

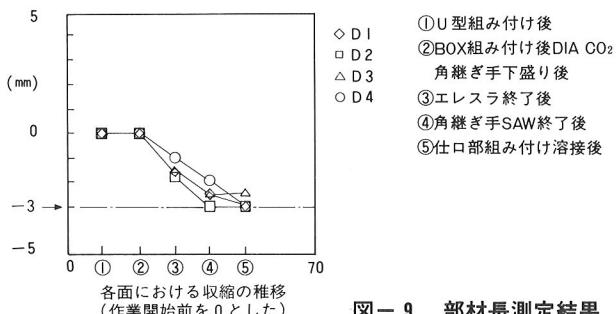


図-9 部材長測定結果

b) 部材外径

外径の測定結果について見てみると、BOXの角継手完全溶け込み部の木口の角折れを考慮しない場合には、その値は-0.5mm～-1.0mm程度であり、特に問題となるほどの変形量ではなく実部材の製作に際しても特別の配慮は必要ないものと考えられる。一方BOXの角継手完全溶け込み部の木口の角折れは、角継手の下盛りCO₂溶接およびエレタトロスラグ溶接後に-3mm～-4mmと生じており、その後は変化はなかった。このことにより、BOX角継手の角折れは、完全溶け込み部では、-1.5mm程度生じるものとの部分溶け込み部では、角折れは生じないか、生じても特に問題となるほどの値とはならないものと考えられる。

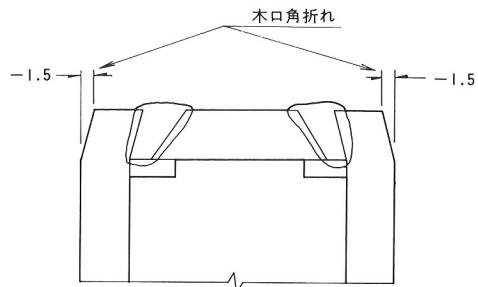


図-10 完全溶け込み部木口角折れ

c) 部材の曲り

部材の曲がりの測定結果を図-11に示す。

これによるとD1-D4方向では溶接によりスキンプレートが凹形になった状態が確認できるが、部材自体の曲がりは生じていない。これに対して、D2-D3方向では、角継手SAWの影響と思われる曲がりが生じている。これは、D3面のSAWを先行させた結果、D2面のSAW後D3面の曲がりが残留したためであると考えられる。測定結果では、その値は0.2mmであるが、上述したようなプレートの凹凸をも含んで計測されているため実質的な曲がり量としては0.2mm以内の値であろうと思われる。従って、部材長が10m程度のものでは、曲がりは10mm以内になると推定できる。

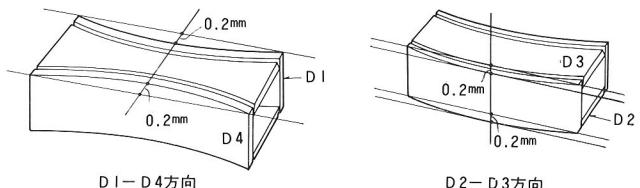


図-11 部材の曲がり

d) ねじれ及び直角度

部材のねじれ、直角度に対する影響因子としては、部材の組立て精度、U形組付け後のダイヤフラムCO₂溶接による溶接ひずみ、角継手CO₂溶接およびSAWによる溶接ひずみが考えられるが、本実験では、いずれも部材変形防止を図るため、組付け精度に注意し溶接順序を考慮した結果、共に0.2mm～0.5mmと低い値に納まり、本試験での製作要領が妥当であることが確認できた。

f) 仕口部の長さ及びせい

仕口部の長さ及びせいは、いずれも許容値に対して問題となるような値ではなく、本試験での製作要領が妥当であることが確認できた。

6. 試験結果のまとめ

以上述べたように、ボックス柱の製作方法、溶接要領、溶接部の品質および収縮量等について種々検討した結果、いずれも要求品質、性能を満足する結果が得られて

おり、当初の目的であるボックス柱の製作方法についての貴重なデータを得ることができた。

7. あとがき

鉄骨構造として、ボックス構造のものが今後さらに増える傾向にあり、さらに使用鋼材として、調質高張力鋼やTMCP鋼等が用いられるようなことも考えられる。したがってボックス柱の製作に関して製作方法の確立及びその品質管理はより重要なものとなってきており、本試験及び試験結果を踏まえた実際の施工を通して得られた情報を今後の製作に生かし、より精度の高い部材を製作するように努力したい。