

# エレクトロスラグ溶接の 狭開先工法に関する研究

## STUDY ON ELECTRO-SLAG WELDING USING NARROW GAP

吉村鉄也<sup>1)</sup> 小林光博<sup>2)</sup> 横山幸夫<sup>3)</sup>  
Tetsuya Yoshimura Mitsuhiro Kobayashi Yukio Yokoyama

超高層建築物には、構造計画における高強度鋼材や厚板鋼材の使用、または大断面の形成に柔軟に対応できる溶接組立箱形断面柱（以下、四面ボックス柱と呼ぶ）が多く使われている。一般に、鉄骨製作工場で製作する、ボックス柱は生産性向上の観点から、内ダイアフラムの溶接を、板厚が65mm程度まではルートギャップ（以下、RGと呼ぶ）を23~25mmとした1電極非消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接（以下、ESWと呼ぶ）にて施工している。今回、RGをさらに狭くして、RG=20mmとし、ESW部の靱性等の品質安定化を図った研究結果を報告する。

**キーワード：溶接組立箱形断面柱，エレクトロスラグ溶接，狭開先**

### 1. まえがき

最近、ESW部の脆性的破断防止の観点から、化学成分に基づいた当該部のHAZ靱性を推定する方法<sup>1)</sup>やESWのRGを狭開先とし、溶接入熱を抑えて靱性向上を図る検討<sup>2)</sup>が行われている。また、ESWの溶込みと破壊靱性との関係に着目し、ESW部の溶込みを大きくすることで早期破断を回避できるとの報告もある<sup>3)</sup>。そこで本研究では、ESW部RGの狭開先化により溶接入熱の低減を図り、なおかつ十分な溶込みを確保し、ESW部の靱性面での品質を安定させること、RG=20mmにて適正な溶接条件と施工手順を確立することを目的として実大実験を実施した。

### 2. 試験体形状

図-1に試験体形状を示す。四面ボックス柱のサイズは□-800x800x70で、長さ4,000mmである。柱のフランジ、ウェブの鋼種は590N/mm<sup>2</sup>鋼

(SA440C-S)とし、内ダイアフラムは板厚が60mmで、鋼種を490N/mm<sup>2</sup>鋼(HBL325C)と、550N/mm<sup>2</sup>鋼(HBL385C)の2種類とした。製作本数は1体である。使用鋼材の化学成分および機械的性質を表-1に示し、溶接材料を表-2に示す。

開先形状は同図に示す通り、RG=20mmの1変数とした。

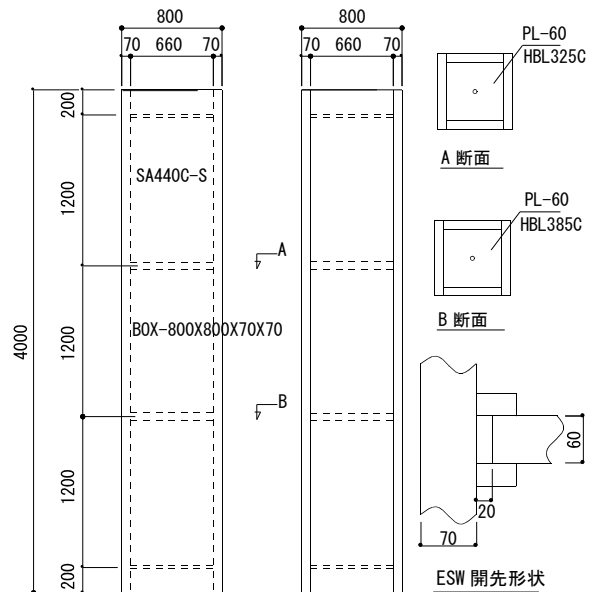


図-1 試験体形状

表-1 鋼材の化学成分および機械的性質

材質	板厚 (mm)	化学成分 (%)							機械的性質			鋼材 メーカー
		C	Si	Mn	P	S	Ceq	Pcm	Yp (N/mm <sup>2</sup> )	Ts (N/mm <sup>2</sup> )	vE <sub>0</sub> (J)	
SA440C-S	70	0.08	0.05	1.48	0.004	0.002	0.44	0.19	470	630	259	JFEスチール
HBL325C	60	0.13	0.33	1.37	0.012	0.002	0.38	0.21	375	521	215	JFEスチール
HBL385C	60	0.14	0.33	1.29	0.012	0.002	0.38	0.22	423	565	297	JFEスチール

表-2 溶接材料

溶接方法	ダイアフラム材質	ワイヤ (JIS)	フラックス (JIS)	メーカー
エレクトロスラグ溶接	HBL325C	YM-55S(YES501-S)	YF-15I(FES-Z)	日鐵住金溶接工業
	HBL385C	YM-60E(YES602-S)	YF-15I(FES-Z)	日鐵住金溶接工業

1) 製造本部 富津工場 技術部 技術課  
2) 製造本部 富津工場 技術部  
3) 鉄構営業本部

### 3. 溶接条件

溶接条件を表-3に示す。電流・電圧値は従来と変えていない。溶接速度は狭開先となったため幾分早くなり、溶接入熱は765kJ/cmとなる。これは当社従来の開先(RG=23mm)での溶接入熱約950kJ/cmを2割程度下回る値に抑えられている。また、溶込みを確保するため、ノズルの揺動は両サイドで各7秒の停止時間を設けた。その他、ワイヤー送給速度も連動して速くなるので、フラックス量を増やしアーク発生を防ぐ対策を講じた。

表-3 溶接条件

開先間隔 (mm)	ワイヤ径 (φ: mm)	電流 (A)	電圧 (V)	溶接速度 (cm/分)	入熱 (kJ/cm)	フラックス量 (g)	ノズル揺動条件
20	1.6	380	52	1.55	765	90	停止7秒

### 4. 実験結果

#### 4.1 溶接施工

溶接施工状況を図-2に示す。従来のRG=23mmの時と比較してルート間隔がかなり狭いためスタート側の熔融プールが目視で確認しづらい事が懸念されたが、溶接施工は、アーク切れもなく全線に渡って安定していた。

#### 4.2 機械試験

機械試験片採取位置を図-3に示す。機械試験は、溶接金属引張試験、シャルピー衝撃試験、マクロ試験、ビッカース硬さ試験を実施した。

##### (1) 引張試験

溶接金属引張試験片の採取位置詳細を図-4に示し、結果を表-4に示す。引張試験片は、JIS Z 3111 A1号試験片とし、溶接金属(Depo)中央から各3本採取した。すべての試験体において、0.2%耐力、引張強さ共、ダ



図-2 溶接施工状況

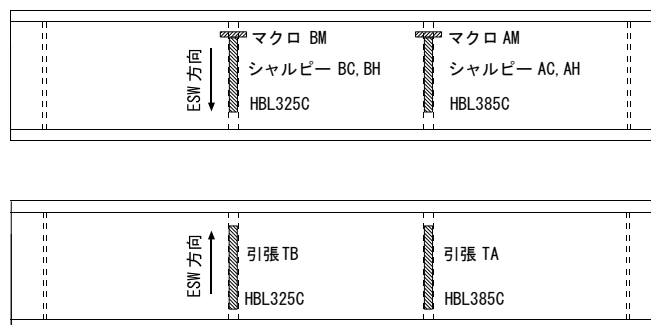


図-3 機械試験片採取位置

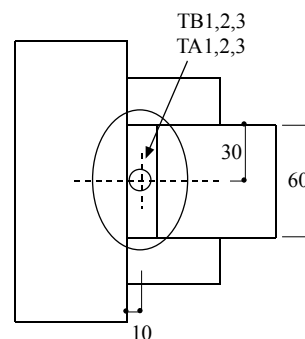


図-4 引張試験片採取位置

表-4 引張試験結果

記号	番号	採取位置	0.2% 耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	絞り (%)
TA	1	開先中心	461	633	27	70
	2		469	629	26	69
	3		444	615	27	66
TB	1	開先中心	409	562	24	72
	2		410	549	29	73
	3		388	545	31	73

イアフラム母材の規格範囲内であった。さらに、同一溶接線から採取した3本の試験片同士でも目立ったばらつきは無く、溶接施工は安定した品質で行うことができると言える。

##### (2) シャルピー衝撃試験

シャルピー衝撃試験片の採取位置詳細を図-5に示し、結果を表-5に示す。シャルピー衝撃試験片はJIS Z 2242 Vノッチ試験片各3本とする。採取位置は、ダイアフラムの材質(HBL385C, HBL325C)に対して、それぞれダイアフラム中心位置で柱スキンプレートに直交する方向(以下、直交方向)と、裏当て金近傍の柱スキンプレー

ト斜め方向との交線（詳細は、参考文献 4)による) (以下, 斜め方向) の 2 方向とし, それぞれの方向から, Depo 中心とボンド部 (Bond), Bond を境界に Depo 側へ 1mm (Bond+1mm), 溶接熱影響部 (HAZ) 側へ 1mm (HAZ+1mm) の 7 カ所をノッチ位置とした試験片を採取した。

すべての採取位置において個々の値がダイアフラム母材の規格下限値を上回っており, Depo 中央以外は, 破壊の起点となり易いとされる裏当て金近傍の斜め方向を含め, すべての位置で 3 本の平均値が 70J 以上を満足した。図-6 に各採取方向でまとめた平均値での比較を示す。溶接材料の違いに関わらず, 直交方向より斜め方向の値が若干高い傾向がある。また, 多少のばらつきはあるものの, 同一方向からの採取ではダイアフラム材質で着目すると, 低強度の溶接材料である BH4 (Depo) の方が

Depo 中心における値は低く, 70J を下回っているが, その他の Bond・Bond+1mm・HAZ+1mm での値は, 70J 以上を十分確保できている。

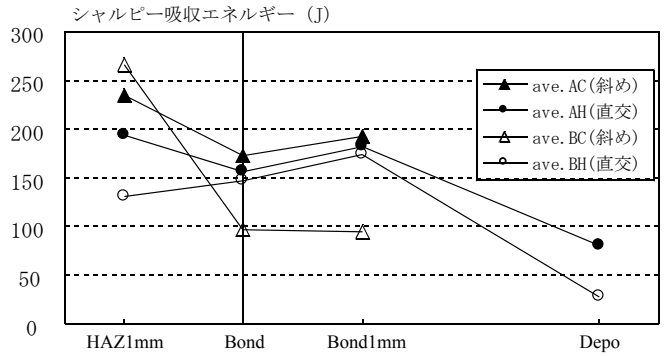
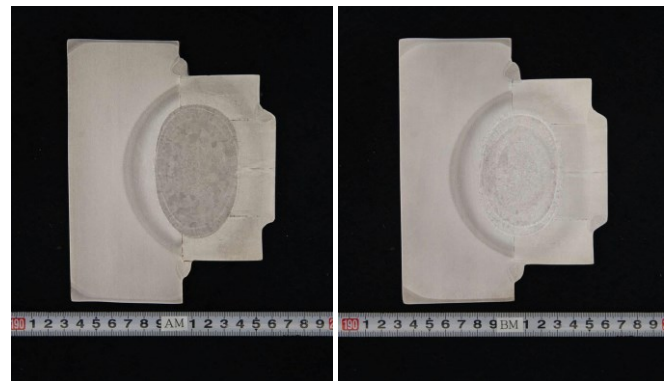


図-6 採取方向での比較

(3) マクロ試験

図-7 にマクロ試験結果を示す。いずれの試験片からも有害な欠陥は検出されなかった。溶接材料にかかわらず, 溶込みが片側による様な現象は見られず, 両側の裏当て金に均等にかつ十分な溶込み量を確保できた。



a) AM (ダイアフラム HBL385C) b) BM (ダイアフラム HBL325C)

図-7 マクロ試験結果

(4) ビッカース硬さ試験

図-8 にビッカース硬さ試験測定位置を示す。試験片はマクロ試験片 (図-7) を兼用した。試験力は 98.07N (HV10) で, 測定位置は, ダイアフラム板表面から板厚方向へ深さ 2mm (a 線), ダイアフラム板厚中央 (b 線) の 2 線である。測定ピッチは, Depo および母材 (BM) については, 1mm, Bond を含めた HAZ 部については 0.5mm とした。

図-9 に各試験部位の硬さ試験結果を示す。図中横軸は, 開先幅中心を 0 とした。いずれの測定位置からも, 350 (HV10) を超えるような極端な硬化は見られず, 割れを誘発する傾向はないものと思われる。また HAZ 部に見

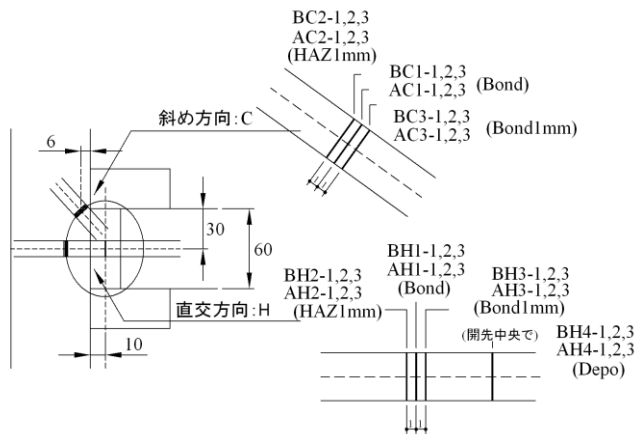


図-5 シャルピー試験片採取位置

表-5 シャルピー試験結果

ダイアフラム材質		HBL385C				HBL325C				
溶接	ノッチ位置	記号	吸収エネルギー(J)		記号	吸収エネルギー(J)				
			番号	個々		平均	番号		個々	平均
斜め	Bond	AC1	1	205	173	BC1	1	108	97	
			2	134			2	145		
			3	181			3	38		
	HAZ 1mm	AC2	1	260	235	BC2	1	246		
			2	231			2	280		
			3	214			3	271		
Bond 1mm	AC3	1	144	193	BC3	1	34	94		
		2	246			2	126			
		3	190			3	122			
直交	Bond	AH1	1	132	157	BH1	1	90	147	
			2	166			2	149		
			3	172			3	202		
	HAZ 1mm	AH2	1	195	194	BH2	1	151		
			2	158			2	171		
			3	230			3	71		
	Bond 1mm	AH3	1	187	182	BH3	1	177		174
			2	161			2	138		
			3	198			3	206		
	Depo	AH4	1	80	81	BH4	1	28		28
			2	78			2	35		
			3	84			3	22		

られる軟化も極端なもの無く、健全な溶接部であることが確認された。スキンプレート材質は共に  $590\text{N/mm}^2$  級、溶接材料が  $590\text{N/mm}^2$  級で、ダイアフラム材質  $550\text{N/mm}^2$  級、板厚  $60\text{mm}$  の試験 AM と溶接材料が  $490\text{N/mm}^2$  で、ダイアフラム材質  $490\text{N/mm}^2$  級、板厚  $60\text{mm}$  の試験 BM を比較すると、AM のほうが Depo の値が若干高い傾向があるが、引張試験結果の引張強さで得られたような差はみられなかった。

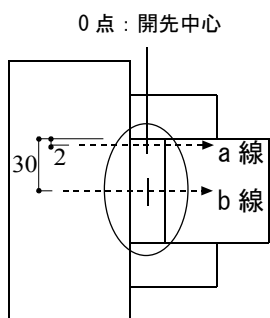


図-8 硬さ測定位置

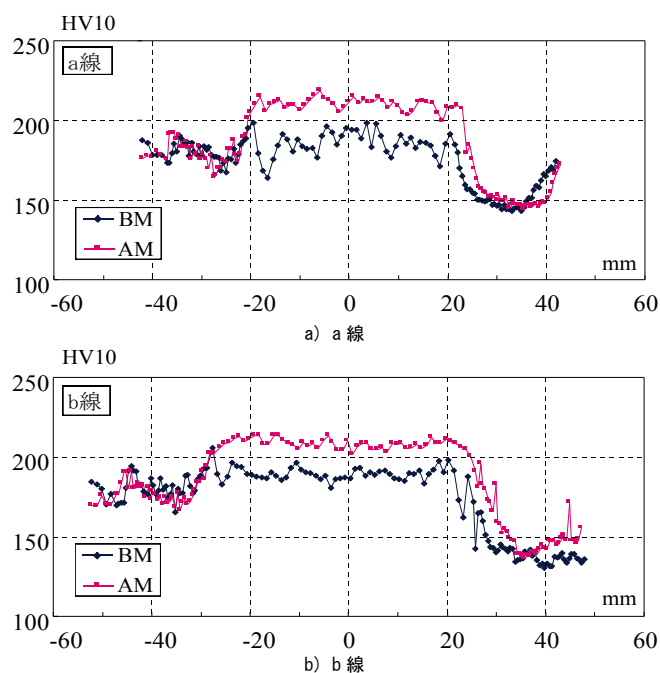


図-9 ビッカース硬さ試験結果

## 5. まとめ

狭開先エレクトロスラグ溶接の施工試験を実施した。ルートギャップ  $20\text{mm}$  の溶接において、引張・衝撃試験結果は、いずれも母材規格下限値以上であり、硬さ試験についても異常な硬化、軟化部分は認められなかった。よってこの狭開先 (RG=20) でも安定して連続溶接が行える事、ダイアフラム板厚  $60\text{mm}$  までは同等同品質にて溶接施工が行える事が確認できた。

## 謝辞

本研究は森田耕次千葉大学名誉教授、川岸工業㈱、JFEスチール㈱、㈱駒井ハルテックとの共同研究として実施したものであります。ここに紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 児嶋明彦, 吉田譲, 橋場裕治, 塩飽豊明, 福田多一郎, 崎山哲雄, 中込忠男, 森田耕次: 建築柱エレクトロスラグ溶接部のHAZ靱性の鋼材化学成分による定式化, 鋼構造論文集. Vol.17, No.68, pp.69-83, 2010年12月
- 2) 宋勇勲, 竹内隆祐, 石村博, 森田耕次: エレクトロスラグ溶接の狭開先化に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1077-1078, 2011年8月
- 3) 石井匠, 藤澤一膳, 下川弘海, 横山幸夫, 森田耕次: エレクトロスラグ溶接部の破壊性状に及ぼす溶込み形状の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.537-538, 2006年9月
- 4) 横山幸夫, 鈴木孝彦, 二階堂真人, 湯田誠, 中込忠男, 石井匠, 塩飽豊明, 大山繁男:  $490\text{N/mm}^2$  級鋼材のエレクトロスラグ溶接部の衝撃特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1163-1164, 2013年8月