

極厚SM58Q鋼を用いたボックス柱の溶接施工試験

Welding Tests on Box Columns Made of Extremely Thick SM58Q Steel

田中 一男* 中野 秀二**
Kazuo TANAKA Shuuji NAKANO

Summary

Recently, more and more steel building structures are being designed to use extremely thick steel or SM58Q steel, to cope with greater building heights and longer spans and also to produce shapely profiles.

We conducted tests of electroslag, robotic automatic CO₂ gas shielded arc welding and semi-automatic CO₂ gas shielded arc welding to confirm the weldability and the mechanical properties of these materials. This report presents recommendations for welding conditions for practical use whose feasibility has been verified through the tests.

1. まえがき

近年、建築鉄骨は高層化やスパンの長大化、あるいは意匠上の問題により、極厚の鋼材やSM58Q材などの高張力鋼を使用した設計がされるようになった。

そこで極厚のSM58Q鋼材の溶接性、各種の機械的性能を確認するため、実施工と同様のエレクトロスラグ溶接、角継手溶接(ロボットを使用した炭酸ガス自動溶接)、炭酸ガス半自動溶接を用い、鋼材として柱主材に板厚80mmのSM58Q材、梁材として32mm、36mmのSM50A材(TMCP鋼)を使用したボックス柱の溶接施工試験を実施したのでここに報告する。

2. 試験材料

本試験で使用したSM58Q材の80mm、SM50A材TM

CP鋼の32mm、36mmのミルシートを表-1に示す。

また、溶接材料はSM58Q材の角継手部に60キロ級の溶接材料を、SM50Aのエレクトロスラグ溶接部及び仕口ブラケットの溶接部には50キロ級の溶接材料を用いた。それらの詳細を表-2に示す。

3. 試験方法

SM58Q材の予熱条件を設定するため、表-3に示した20種類について各3体合計60体の斜めY形割れ試験を実施した。また表-4に示した最高硬さ試験を実施した。

ボックス柱の試験体の形状を図-1に示す。断面□900×900、長さ3.0mとし入熱による鋼材への影響が実施施工と同等になる様に十分な大きさとした。

角継手溶接においては、一般のSM58Q材の入熱制限とされる70KJ以下に制限した試験体(C1)と、ロボッ

表-1 供試鋼のミルシート値

鋼種	化 学 成 分 (%)									Ceq	機 械 試 験				
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo	Cr		降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸 び (%)	降伏比 Y. R (%)	衝撃値 (kgf・m)
SM58Q (80mm)	0.12	0.25	1.46	0.009	0.003	0.19	0.19	0.17	0.08	0.44	47	60	32	78	27.9
SM50A (36mm)	0.13	0.36	1.35	0.009	0.002	—	—	—	0.04	0.38	39	53	26	—	—
SM50A (32mm)	0.13	0.36	1.35	0.009	0.002	—	—	—	0.04	0.38	38	51	25	—	—

(メーカー：NKK)

* 松本工場製造部長

** 松本工場製造部生産技術課係長

表-2 溶接材料及び溶接条件

種別	マーク	積層形状	パス数	電流(A)	電圧(V)	速度(cm/分)	入熱(KJ/cm)	溶接方法	溶接材料			
									銘	柄		
角継手溶接(70 KJ制限)	C1		1	380	36	14	32	炭酸ガス自動溶接(六軸ロボット)	MG-60	1.6φ	(神鋼)	
			18	400	38	26	65					
			19	400	38	16	56	//	YM-60C	1.6φ	(日溶工)	
			24	420	40	18	63					(レール走行)
角継手溶接(70 KJ/cm超過)	C2		1	380	38	16	32	//	MG-60	1.6φ	(神鋼)	
			6	400	38	26	57					(六軸ロボット)
			7	430	40	11	79	//	YM-60C	1.6φ	(日溶工)	
			11	420	40	13	94					(レール走行)
ダイヤフラムの溶接	E		1	380	54	1.7	725	非消耗式エレクトロスラグ溶接(SESNET)	YM-36E	1.6φ	YF-15	(日溶工)
仕口の溶接	B		1	280	30	15	20	炭酸ガス半自動溶接	YM-26	1.2φ	(日溶工)	
			9			25	34					

表-3 斜めY形割れ試験

	銘柄	径(mm)	溶接条件		予熱温度(℃)				
			A	V	RT(23)	50	75	100	125
角継手下盛り用溶接材料	MG-60(神鋼)	1.2	260	28	3	3	3	3	3
		1.6	340	34	3	3	3	3	3
SM58Q材+一般材(SM50A)用溶接材料	YM-26(日溶工)	1.2	260	28	3	3	3	3	3
		1.6	340	34	3	3	3	3	3

注) MG-60 JIS Z 3312 YGW2I 60キロ級用
YM-26 JIS Z 3312 YGW11 50キロ級用

表-4 最高硬さ試験

溶材銘柄	溶接条件		予熱温度(℃)		
	A	V	75	100	125
MG-60 1.6φ	340	34	1	1	1

注) MG-60 JIS Z 3312 YGW2I 60キロ級用

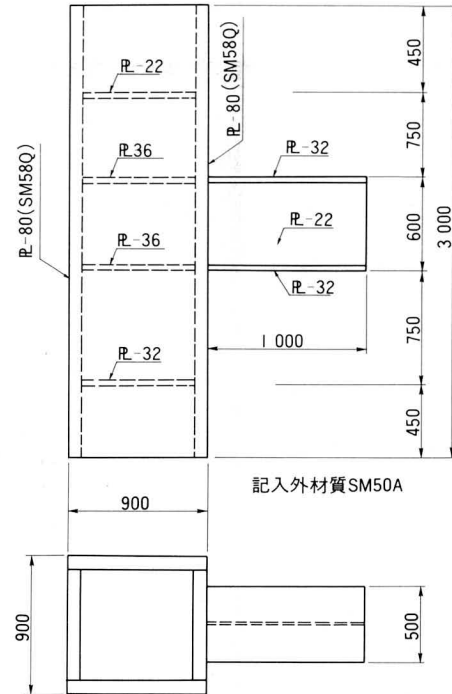


図-1 ボックス施工試験体

トによる炭酸ガス自動溶接を使用して、入熱量を約94KJとした試験体(C2)の2体を実施した。なおパス間温度はいずれも250℃とした。それらの詳細及び非消耗式エレクトロスラグ溶接、仕口ブラケットの炭酸ガス半自動溶接の溶接条件を表-2に示す。

また、溶接各部位より種々の引張試験、衝撃試験、側曲げ試験、マクロ試験、硬さ試験を実施した。

それらの試験概要を表-5の一覧表に示す。特に引張試験においては、溶接入熱による継手性能を確認するため、全断面引張試験とともに熱影響部を中心とした継手丸棒引張試験を行ない、局所的な断面における引張強度の確認も行なった。

4. 結果及び考察

今回の試験の結果について以下にまとめて述べる。

(1) 斜めY形割れ試験及び最高硬さ試験

① 図-2、図-3の結果より60キロ級溶接材料と50キロ級溶接材料による差異は見られない。

② 図-2に示した斜めY形割れ試験の結果及び図-3に示した最高硬さ分布の結果より、予熱温度は、100+10℃に決定した。

表-5 機械試験一覧表

試験の種類 溶接方法	マ ー ク	引 張 試 験												衝 撃 試 験 * 3									側 曲 げ 試 験	マ ク ロ 試 験 ・ 硬 さ 試 験													
		継手丸棒引張						全熱影響部、全容着金属部 丸 棒 引 張						Fig側 HAZ Bond			Depo			Web側 HAZ Bond																	
		Fig側		Web側		Fig側		Depo部		Web側		上面	½t	下面	上面	½t	下面	上面	½t	下面																	
		上面	½t	下面	上面	½t	下面	上面	½t	下面	上面	½t	下面	上面	½t	下面	上面	½t	下面																		
角継手 (70KJ入熱 制限)	C1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
角継手 (70KJ超過 入熱)	C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ダイヤフラム エレクトロ スラグ溶接	E	2	*1	*1	—	*2	*2	—	—	*1	*1	—	—	—	*2	*2	—	—	—	図-10による									1	1							
仕口 炭酸ガス半 自動溶接	B	2	*1	*1	*1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
適応規格	JIS Z 3121 1号 準拠	JIS Z 3111 A 1号						JIS Z 3111 A 2号						JIS Z 3111 JIS Z 3128									JIS Z 3122 3号	JIS G 0553 Z 3101													

*1: スキンプレート側 *2: ダイヤフラム側 *3: SM50A 0℃ SM50Q -5℃

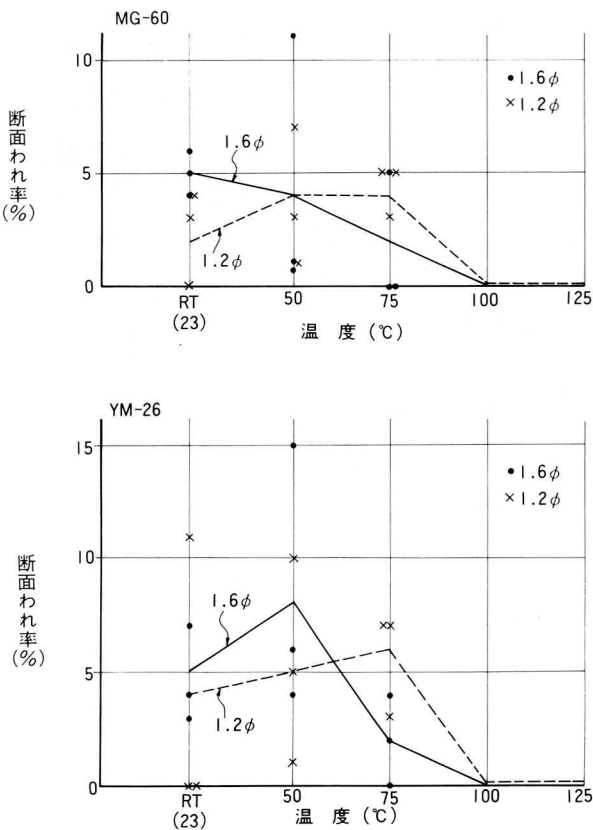


図-2 斜めY形われ試験

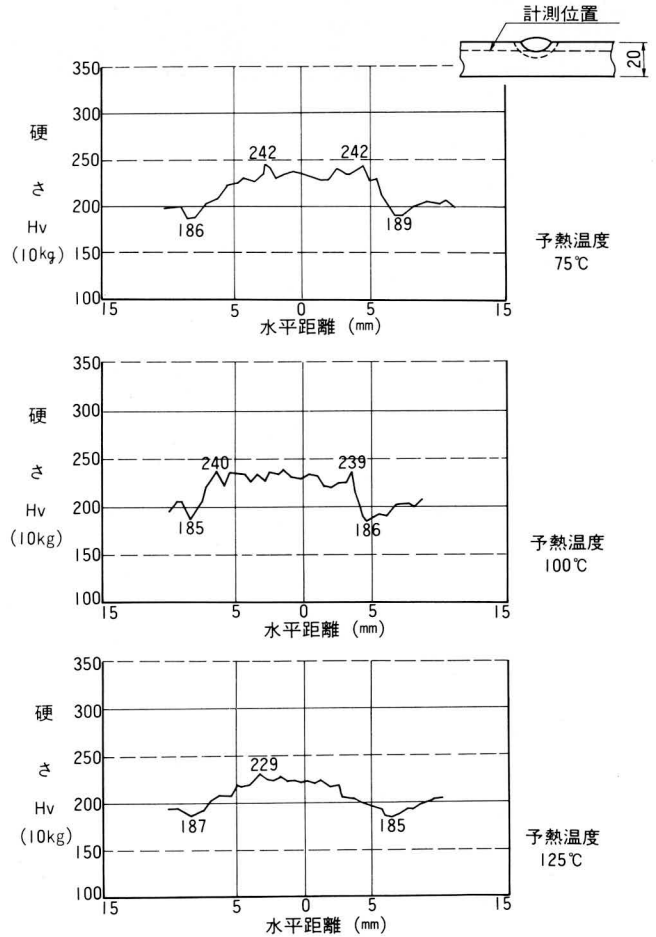


図-3 最高硬さ試験

(2) 超音波探傷試験

① 各種の機械試験に先立って実施した各部位の超音波探傷試験の結果はすべて良好であった。

(3) マクロ試験及び側曲げ試験

① マクロ試験、側曲げ試験はすべて良好であった (写真-1、写真-2)。

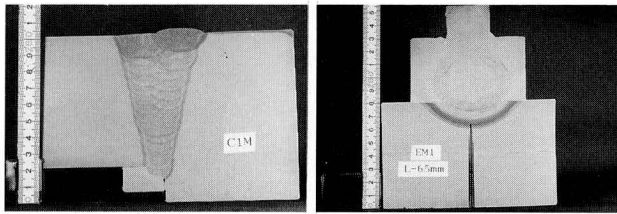


写真-1 マクロ試験(穴明けは熱電対用)

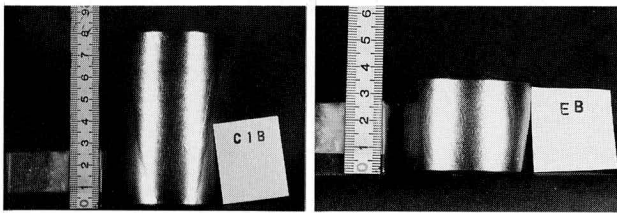


写真-2 側曲げ試験

(4) 角継手溶接

① 図-4(a)、4(b)に示した硬さ分布図において、最高硬さはボンド部で250前後と良好である。また、最低硬さは中間層で70KJを超えた試験体(C2)の1/2t部位のウェブ側において175とやや低くなる傾向が見られる。

② 継手丸棒引張試験の結果を図-5に示す。70KJ制限した試験片(C1)の最低引張強さ60.6kgf/mm²と、70KJを超えた入熱の試験片(C2)の最低引張強さ59.9kgf/mm²には大きな差異はなく、いずれの場合も母材の規格値を満足している。

③ 全熱影響部、全溶着金属部丸棒引張試験においては、図-6(a)に示す如く、大入熱溶接であるエレクトロスラグ溶接において引張強度が低くなる傾向が見られる。また試験片C2のウェブ側の1/2t部位での値が低くなっているのは、図-4(a)の硬さ分布図と対応しているが、いずれも母材の規格値を満足している。

④ 表-6に示した継手全断面引張強度は、母材の規

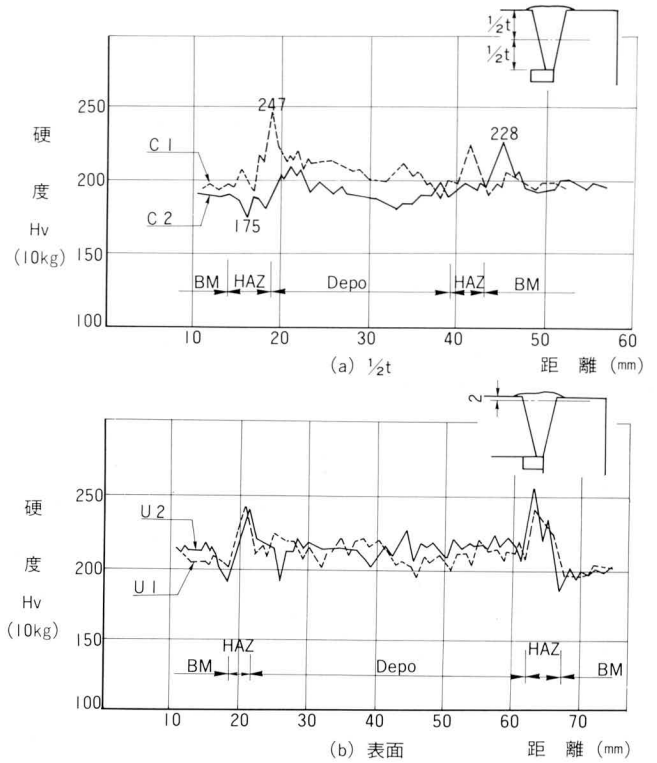


図4 角継手硬さ分布

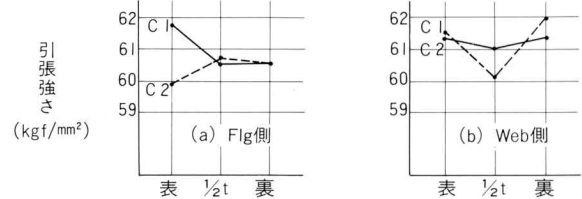


表 1/2t 裏

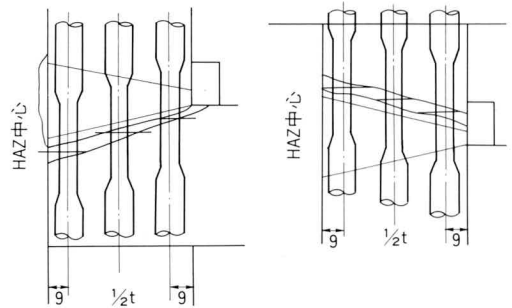


図-5 角継手部継手丸棒引張試験

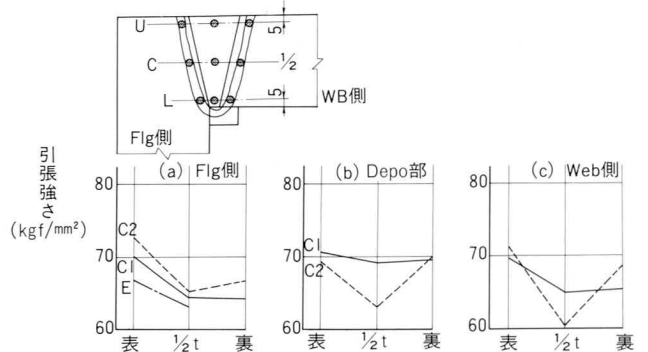


図6 全熱影響部全溶着金属丸棒引張試験

表-6 角継手溶接・エレクトロスラグ溶接全断面十字引張試験

種類	マーク	種類	断面 mm×mm	断面積 mm ²	降伏荷重 kgf	降伏点 kgf/mm ²	最大荷重 kgf	引張強度 kgf/mm ²	標点間距離 mm	伸 び %	破断位置	備 考	
角継手溶接	C1	C1FT	全断面	80.8×25.0	2 020	—	124 600	61.7	100 150	24.0 24.0	母材		
	C2	C2FT	全断面	80.6×25.0	2 015	—	126 200	62.6	100 150	23.0 24.0	母材		
エレクトロスラグ溶接	E	EFT1	十字引張	32.6×40.0	1 304	46 800	35.9	68 200	52.3	—	—	t = 32 母材	
		EFT2	はさみ板裏板削除	31.8×40.0	1 272	44 600	35.1	65 450	51.5	100 200	3.9 18.2	エレスラ HAZ	

格値を満足し、C1、C2に全く差異は見られない。

- ⑤ 衝撃試験の結果は、裏面を除く1/2t部位と表面部位において、C2はC1に比べやや低い値を示す傾向にあるが、いずれも良好な結果である。(図-7)

(5) 非消耗式エレクトロスラグ溶接

- ① エレクトロスラグ溶接部の硬さ分布図を図-8に示す。SM58Q側の最高硬さ210、最低硬さ177であり、エレクトロスラグ溶接の入熱による軟化は見られない。
- ② 表-7に示した結果より、ダイヤフラム側の継手

表-7 エレスラ溶接継手丸棒引張試験

強度部位	強度	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	破断位置	試験片採取要領
ダイヤフラム側	上面	45	51	HAZ ~BM	
	1/2t	43	50	HAZ ~BM	
スキンプレート側	上面	44	55	Depo	
	1/2t	42	55	Depo	

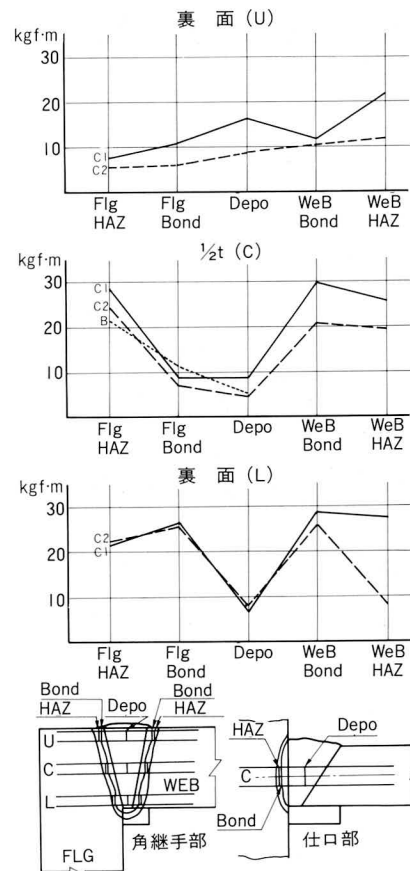


図7 角継手部およびブラケット部衝撃値

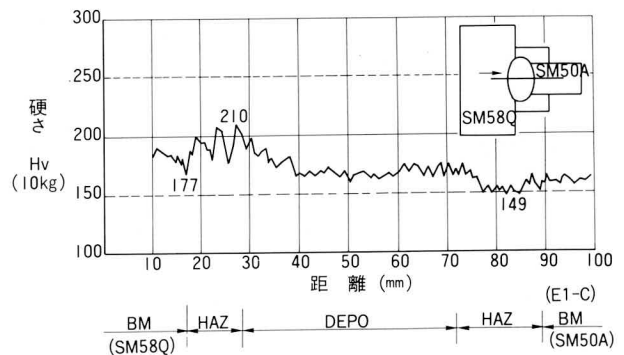


図8 エレクトロスラグ溶接硬さ分布

丸棒引張りは母材-熱影響部、柱主材側の継手丸棒引張りは溶着金属で破断し、引張強度は母材の規格値を満足する。これらの破断位置及び引張強さの値から分かる様に、エレクトロスラグ溶接の大入熱(725KJ/cm)により、これらの継手の継手性能の劣化は見られない。

- ③ 図-9 に示した全熱影響部、全溶着金属部丸棒引張強度は採取した各々の母材規格値を充分満足した結果となっている。
- ④ 表-6 に示す全断面引張試験結果も、前述した継手丸棒引張試験と同様に、破断位置、引張強度とも良好な結果である。
- ⑤ 衝撃試験は図-10 に示す様に、溶着金属中央部を除いた最低値は柱主材側のボンドから熱影響部にか

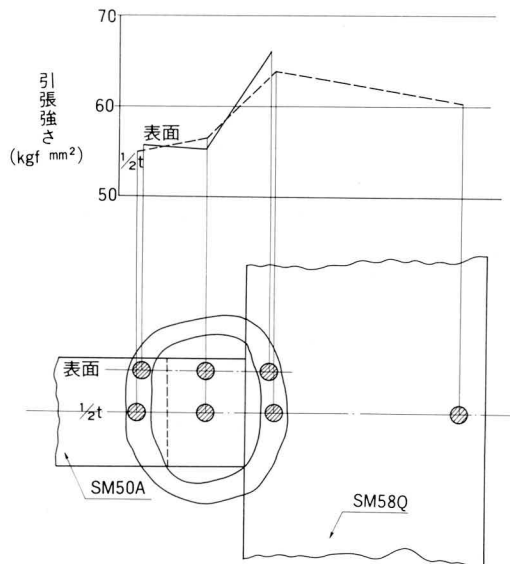


図-9 エレクトロスラグ溶接部引張強さ

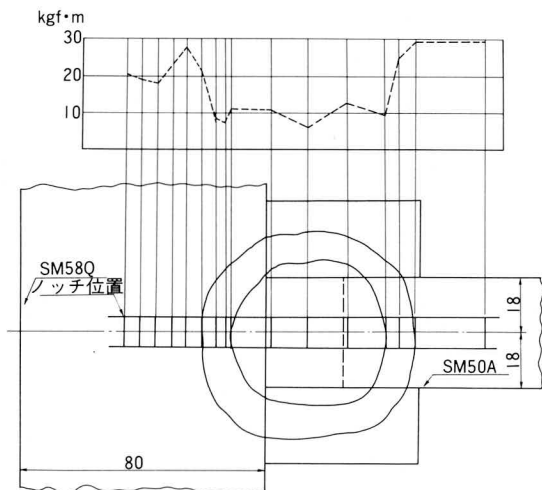


図-10 エレクトロスラグ溶接部衝撃値

けての部位であるが、良好な結果である。

(6) 仕口部炭酸ガス半自動溶接

- ① 図-11 に示す硬さ分布図より、SM58Q材の最高硬さは256、最低硬さは186であり、炭酸ガス半自動溶接の入熱による硬化及び軟化は見られない。
- ② 継手丸棒引張りは表-8 に示す様に破断位置、及び引張強さの値から良好な結果といえる。また、全断面引張試験は、エレクトロスラグ溶接部の試験片と兼用した十字継手引張試験より見ても、満足した結果が得られている。
- ③ 図-7 に示した衝撃試験の結果も良好な結果である。

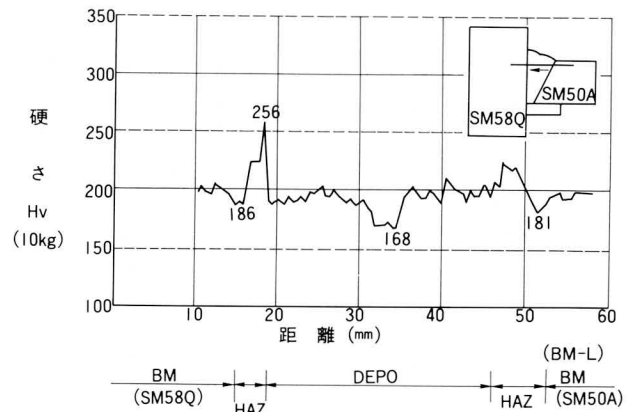


図-11 仕口部硬さ分布

表-8 仕口部継手丸棒引張試験

強度部位	降伏点 (kgf/mm²)	引張強さ (kgf/mm²)	破断位置	試験片採取要領
スキン側 上面	48	56	ダイヤフラム側 Depo-BM	
プレレート側 1/2t	44	55	ダイヤフラム側 BM	
側面 下面	43	54	//	

5. まとめ

今回の試験は、S M 58 Q材を柱主材に用い、実施工と同様の各種の溶接を実施しその溶接性と継手性能を中心に研究してきた。これらの研究の中で確認できたことをまとめる。

(a) 予熱温度

予熱温度に対して、60キロ級の溶接材料(MG-60)と、50キロ級の溶接材料(YM-26)に差異は見られない。また予熱温度はロボットによる炭酸ガス自動溶接の角継手および一般の仕口部の炭酸ガス半自動溶接においては110℃とする。

(b) 角継手溶接

今回のS M 58 Q材の角継手溶接においては、中間層で70KJの入熱を超えた試験体は70KJの制限をしたものに比べて局所的な硬度及び引張強度の低下の傾向が見られたが、母材の規格値を満足し全断面継手性能に差異は全く見られない。

衝撃試験は、70KJを超えた試験体でやや低くなる傾向が見られるが、値は母材規格値を充分満足する。

(c) 非消耗式エレクトロスラグ溶接

今回の板厚36mmでの溶接においては、特に熱影響

部の著るしい軟化は発生していない。

各部位における引張強度、衝撃値は母材規格値を十分満足する。

(d) 仕口部炭酸ガス半自動溶接

ボンド部の最高硬さは、割れ発生に対して十分に安全側に納まっている。

各部位における引張強度、衝撃値は母材規格値を十分満足する。

今回、S M 58 Q材を柱主材に用いて、一連のボックス施工試験を実施してきた。これらの試験を通じて確認できた各種の施工条件は、次の通りである。

① 予熱条件

② ロボットによる炭酸ガス自動溶接の角継手溶接条件

② 非消耗エレクトロスラグ溶接によるダイヤフラムの溶接条件

③ 一般仕口部の炭酸ガス半自動溶接条件

これらの結果をS M 58 Q材を建築鉄骨の柱主材に用いた実工事に生かし、より高品質な製品を経済的に製作するために生かして行きたいと考えている。