

高性能60キロ鋼の素材試験・溶接性能試験（その1）

Material and Weldability Tests of 60kgf/mm² High Performance Steel (Part 1)

中野 秀二*
Syuji NAKANO

Summary

Sixty kgf/mm² high performance steel has higher strength and requires a lower preheating temperature than conventional SM570. This paper reports on recent material and weldability tests of 60kgf/mm² steel which shown good results.

1. はじめに

大空間をもった高層建築物が多くなり、長スパン化や柱断面の大型化がなされており、優れた新素材・新材料の特性を有効に活用するシステムが望まれていた。

このような状況の下、建設省の総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」に関する研究が官民一体となり推進された。

高性能60キロ鋼は、本プロジェクトで対象とした材料の一つである。

今回、本鋼材の実施工に先だって、素材及び溶接性能試験を実施したので報告する。

能590N/mm²=BT-HT440 II)、ダイアフラムは40mm (SM490B)、梁フランジは36mm (SM490A) である。それぞれのミルシートの値を表-1に示す。

(1) 素材試験

素材試験の内容は以下の項目である。

- ① 引張試験
- ② 衝撃試験
- ③ 板厚方向硬さ試験
- ④ 断面マクロ試験
- ⑤ 清浄度およびマイクロ試験
- ⑥ 化学成分分析試験
- ⑦ 最高硬さ試験
- ⑧ y形溶接われ試験

2. 試験計画

試験は大別して、素材試験および溶接性能試験を行った。用いる鋼板はボックス柱主材50mm（建築構造用高性能

(2) 溶接性能試験

溶接性能試験は、実大ボックス試験および部分試験体

表-1 供試鋼材のミルシート値

板厚	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	YP	TS	EI	YR	vE0	PCM	Ceq
	×100			×1000		×100				N/mm ²		%		J	×100		
50	6	36	147	10	1	91	52	24	11	2	490	637	30	77	228	22	41
40	16	47	141	11	2	—	—	—	—	—	336	507	36	—	216	—	—
36	17	44	135	17	6	—	—	—	—	—	370	530	31	—	—	—	—

YP：降伏点 TS：引張強さ EI：伸び YR：降伏比 vE0：シャルピー吸収エネルギー（0℃）

*松本工場 製造部 生産技術課課長

として、角溶接部試験・柱現場溶接部試験を行った。全ての試験体は、機械試験の前に、溶接部の内部欠陥の有無について超音波探傷試験を行った。

1) 実大ボックス柱試験

試験体の形状は図-1に示す。ボックスは□-600×600×50mm、ダイアフラムは40mm、梁フランジは36mmである。溶接方法はダイアフラムは4方向とも非消耗式エレクトロスラグ溶接（以下エレスラ溶接）、ボックスの角溶接は炭酸ガス自動溶接（以下角溶接）、梁フランジは炭酸ガス半自動溶接（以下CO²溶接）で行った。

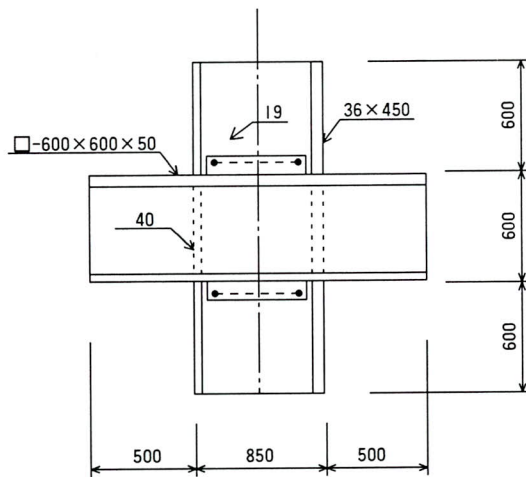


図-1 実大ボックス柱試験体

採取する試験片は以下に示すものである。

- ① 引張試験
エレスラ溶接とCO²溶接十字継手 [十字型]
柱スキンプレート方向 [平型]
 - ② 衝撃試験
エレスラ溶接部、角溶接部、梁フランジ部それぞれの部位から採取した。詳細は結果一覧表による。
 - ③ 硬さ試験
詳細は硬さ分布図による。
 - ④ マクロ試験
- 2) 角溶接部試験
- パス間温度管理制限の有無についても行った。
- ① 引張試験
 - ② 衝撃試験
 - ③ マクロ試験
 - ④ 曲げ試験
 - ⑤ 硬さ試験

3) 柱現場溶接部試験

パス間温度管理制限の有無についても行った。

- ① 引張試験
- ② 衝撃試験
- ③ マクロ試験
- ④ 曲げ試験
- ⑤ 硬さ試験

3. 試験結果

以下に試験結果を述べる。

(1) 素材試験結果

1) 引張試験

引張試験の結果を表-2に示す。

表-2 引張試験結果

	方 向	YP	TS	EI	YR	RA	
		N/mm ²		%			
全厚	L ※1	504	656	50	77	—	
	C ※1	494	651	50	76	—	
丸棒	I / 4t ※2	L	474	624	30	76	74
		C	492	631	30	77	73
	I / 2t ※2	L	476	623	30	77	74
		C	492	639	28	77	73
	Z ※3	479	632	22	76	73	

YP：降伏点 TS：引張強さ

EI：伸び YR：降伏比 RA：絞り

L方向：ロール方向

C方向：ロール直交方向

Z方向：板厚方向

※1：JIS Z2201 5号

※2：JIS Z2201 4号

※3：WES 1006

2) 衝撃試験

衝撃試験の結果を表-3に示す。

3) 板厚方向硬さ試験

板厚方向硬さ試験の結果を図-2に示す。

表-3 衝撃試験結果

方向	位置	吸収エネルギー (J)			
		試験温度 (°C)			
		-60	-40	-20	0
L	1/4t	26	113	192	227
	1/2t	34	77	206	227
C	1/4t	15	72	154	190
	1/2t	24	48	108	182
Z		19	54	90	145

表-4 清浄度試験結果 (%)

位置	A1系	A2系	B系	C系	合計
表面2mm下	0	0	0	0.021	0.021
1/4t	0	0	0	0.008	0.008
1/2t	0	0	0	0.017	0.017

A1系：硫化物 A2系：珪酸塩
 B系：アルミナ C系：粒状酸化物
 ミクロ組織を写真-2に示す。

6) 化学成分分析試験

化学成分分析の結果を表-5に示す。

表-5 化学成分

位置	成分 (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
1/4t	.06	.38	1.49	.010	.001	.53	.24
1/2t	.06	.37	1.46	.009	.001	.52	.24

位置	成分 (%)					Pcm (%)	Ceq (%)
	Cu	Mo	V	Nb	B		
1/4t	.89	.11	.02	.01	Tr	.22	.41
1/2t	.88	.11	.02	.01	Tr	.22	.41

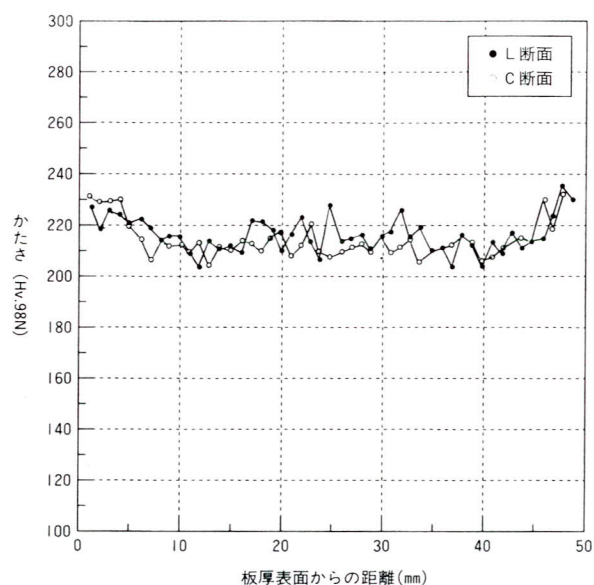


図-2 板厚方向硬さ試験

4) 断面マクロ試験

断面マクロ試験を写真-1に示す。

5) 清浄度およびミクロ試験

清浄度試験の結果を表-4に示す。

7) 最高硬さ試験

最高硬さ試験の溶接条件を表-6に、試験結果を図-3に示す。

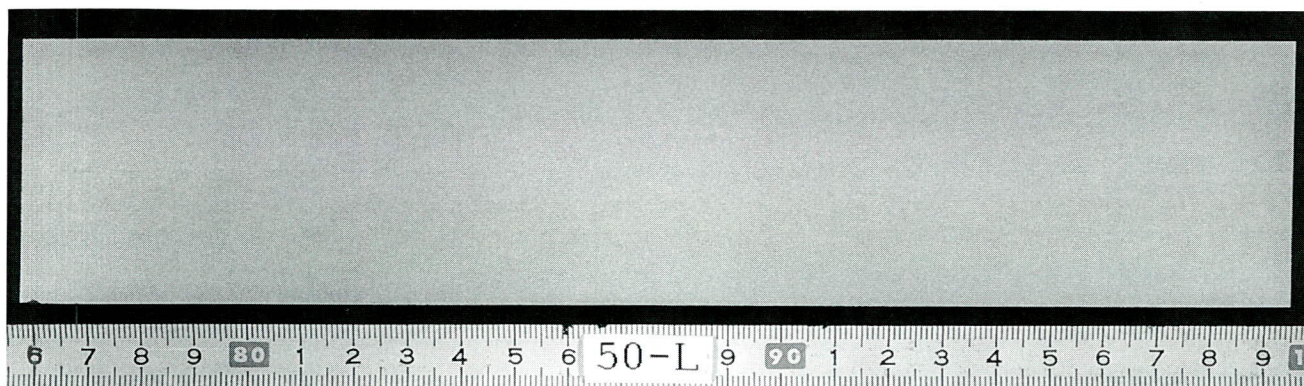


写真-1 断面マクロ

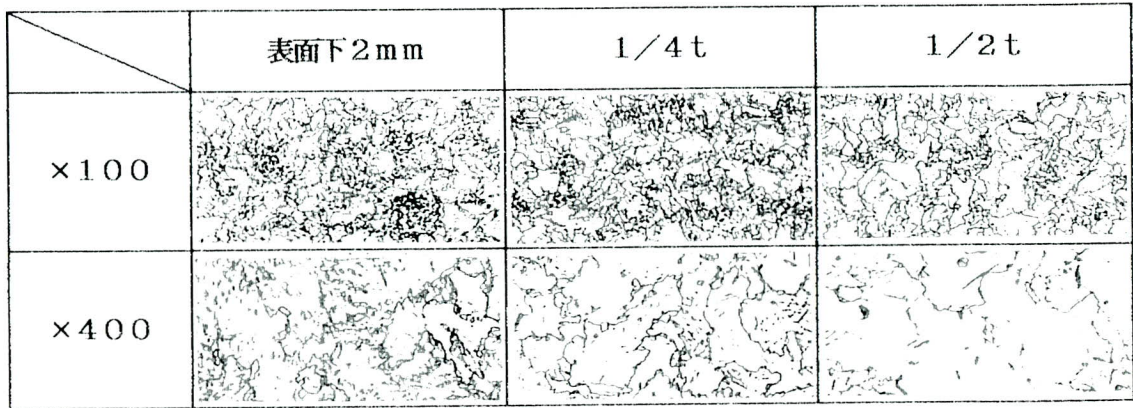


写真-2 ミクロ組織

表-6 溶接条件

溶接方法	溶接棒		電流 (A)	電圧 (V)	速度 cm/min	入熱 KJ/cm
	銘柄	径 (mm)				
手	L-55	4	170	25	15	17
CO2	YM-26	1.2	280	32	31	17

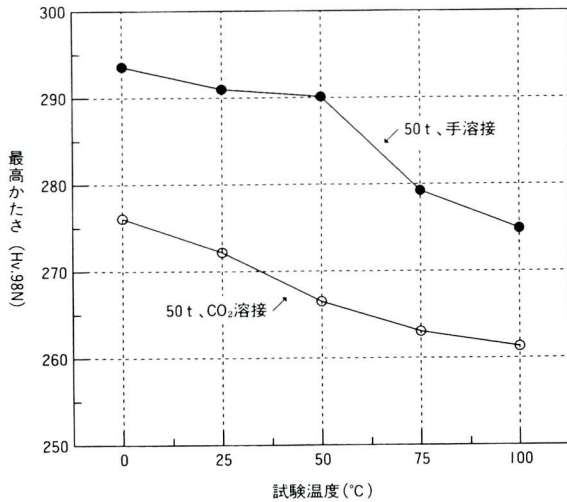


図-3 最高硬さ試験

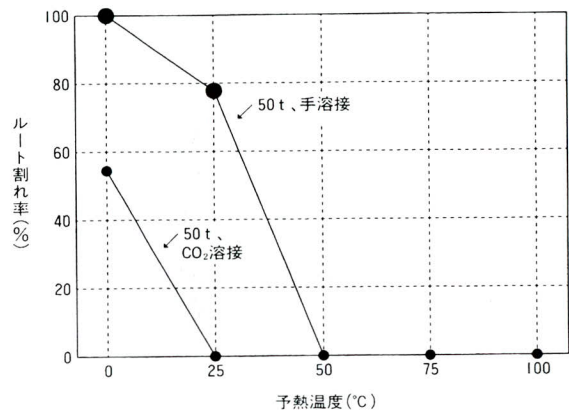


図-4 y形溶接われ試験

表-7に、柱スキンプレート方向の試験片形状を図-5に示す。引張試験の結果は表-8に示す通りである。予熱温度はy形溶接われ試験の割れ停止温度より25°C以上とした。実施工が夏期であったため、予熱作業は行っていない。

表-7 溶件条件

部 位	溶 接 材 料	姿 勢	電流 A	電圧 V	速度 cm/min	入熱 KJ/cm
ダイアフラム エレスラ溶接	YM-55S 1.6φ	V	380	54	1.7	720
仕口 フランジ CO2溶接	YM-26 1.2φ	F	270 ~ 310	30 ~ 34	39 ~ 10	~ ~ ~
角溶接 CO2溶接	YM-60C 1.6φ	F	360 ~ 380	36 ~ 38	26 ~ 12	30 ~ 72

8) y形溶接われ試験

y形溶接われ試験の溶接条件は表-6の最高硬さ試験に同じ。試験結果を図-4に示す。

(2) 溶接性能試験結果

1) 実大ボックス柱試験

① 引張試験

エレスラ溶接、CO2溶接および角溶接の溶接条件を

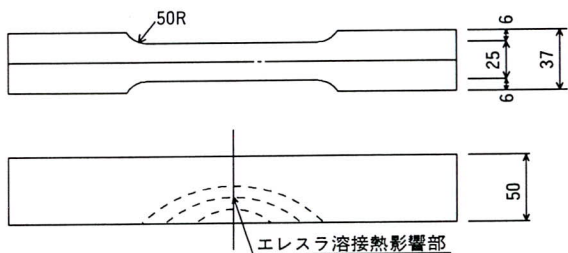


図-5 スキンプレート方向引張試験片

表-8 引張試験結果

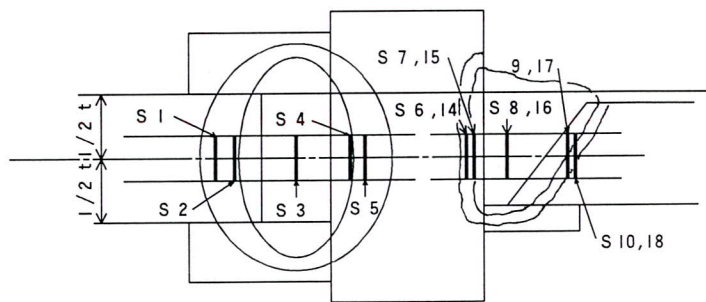
試験体採取部位	形状	引張強さ N/mm ²	破断位置
ダイヤフラム・フランジ 十字継手部	十字型	541	梁フランジ
		537	//
ダイヤフラム・フランジ 十字継手部	平型	522	ダイヤフラム
		519	//
スキンプレート 方向	平型	625	試験片中央
		630	//

② 衝撃試験

衝撃試験の結果を表-9に示す。溶接条件は表-7に同様である。

表-9 衝撃試験結果

対象部位	記号	吸収エネルギー J	対象部位	記号	吸収エネルギー J		
エレスラ 溶接	S1	157	バス間 温度制限 有り	CO ₂ 半自動	S14	383	
	S2	114			S15	101	
	S3	52			S16	71	
	S4	33			S17	94	
	S5	181			S18	131	
バス間 温度制限 有り	角溶接	バス間 温度制限 無し	角溶接	S19	90		
				S11	84	S20	176
				S12	106	S21	255
				S13	251	S40	121
				S38	135	S41	102
	S39	259					



エレスラ溶接・CO₂半自動溶接 十字継手

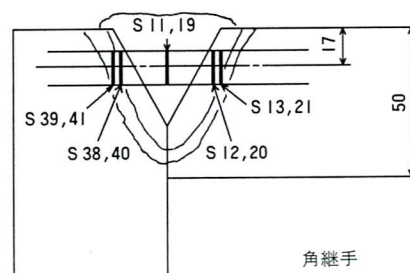


図-6 衝撃試験片採取要領

③ 硬さ試験

硬さ試験の分布図の一例を図-7に示す。

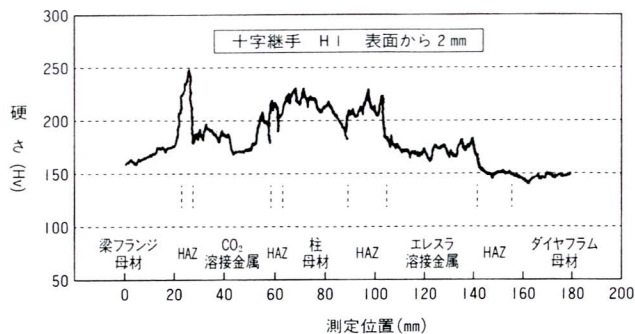


図-7 硬さ分布図

④ マクロ試験

マクロ試験を写真-3に示す。

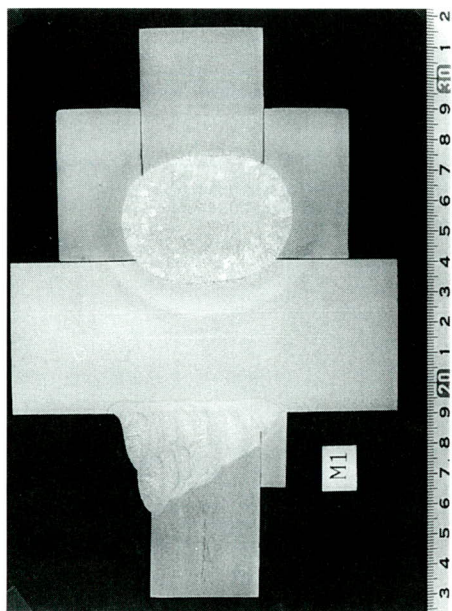


写真-3 マクロ写真

2) 角溶接部試験

① 引張試験

引張試験の結果を表-10に示す。試験はパス間温度制限の有無についても行った。制限は250℃以下に制限したものと、超えても連続して溶接したものである。溶接条件は表-7に同じである。

表-10 引張試験結果

パス間温度制限	引張強さ N/mm ²	破断位置	パス間温度制限	引張強さ N/mm ²	破断位置
有り	620	溶着金属	無し	610	溶着金属
	620			620	

② 衝撃試験

衝撃試験の結果を表-11に示す。

表-11 衝撃試験結果

パス間温度制限	記号	吸収エネルギー J	パス間温度制限	記号	吸収エネルギー J
有り	S32	94	無し	S35	85
	S33	208		S36	150
	S34	293		S37	127

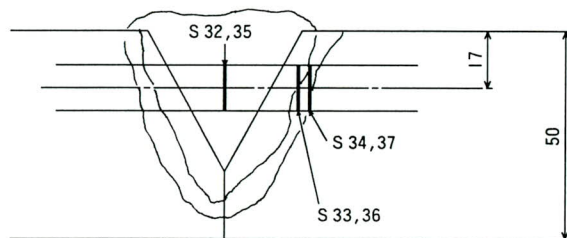


図-8 衝撃試験片採取要領

③ 曲げ試験

曲げ試験は側曲げ、表曲げ、裏曲げいずれも欠陥はなく良好である。

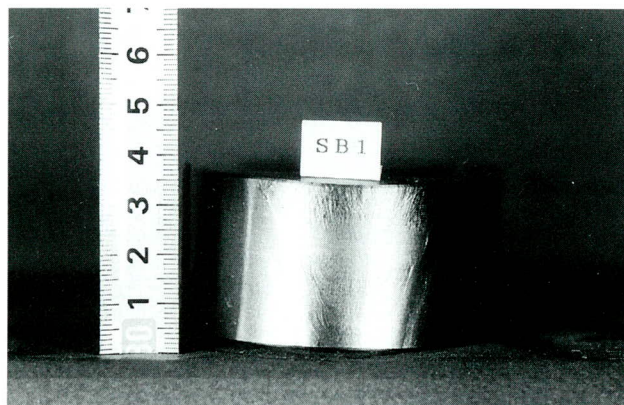


写真-4 曲げ試験写真

④ 硬さ試験、マクロ試験

硬さ試験、マクロ試験は実大ボックス試験と同様であり、欠陥はない。

また、パス間温度の測定結果を図-9に示す。温度1は表面下2mm、温度2は板厚中心、温度3は裏面である。

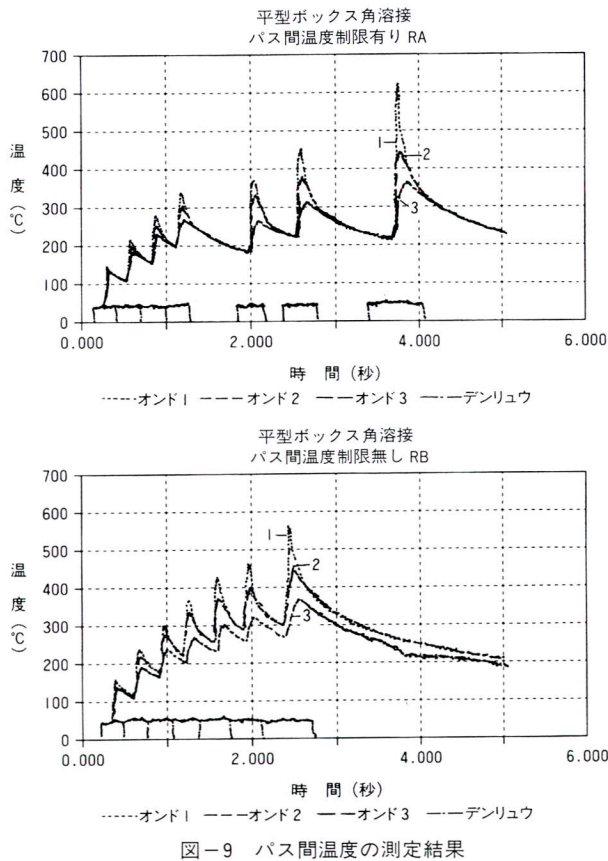


図-9 バス間温度の測定結果

3) 柱現場溶接部試験

① 引張試験

引張試験の結果を表-12に示す。試験はバス間温度制限の有無についても行った。制限は250℃以下に制限したものと、超えても連続して溶接したものである。溶接条件を表-13に示す。

表-12 引張試験結果

バス間温度制限	引張強さ N/mm ²	破断位置	バス間温度制限	引張強さ N/mm ²	破断位置
有り	680	母材部	無し	670	溶着金属
	680			680	

表-13 溶接条件

部 位	溶接材料	姿 勢	電 流 A	電 圧 V	速 度 cm/min	入 熱 KJ/cm
柱主材 CO2 溶接	YM-60C 1.2φ	H	210	32	32	8
			~ 320		~ 61	~ 20

② 衝撃試験

衝撃試験の結果を表-14に示す。

表-14 衝撃試験結果

バス間温度制限	記号	吸収エネルギー J	バス間温度制限	記号	吸収エネルギー J
有り	S22	215	無し	S27	197
	S23	166		S28	148
	S24	102		S29	71
	S25	249		S30	136
	S26	268		S31	254

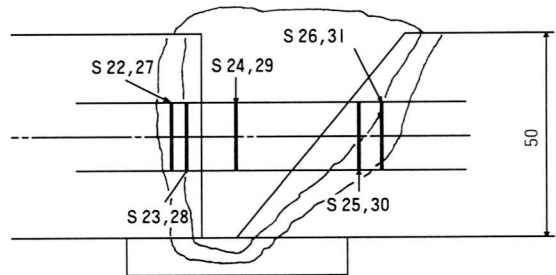


図-10 衝撃試験片採取要領

③ 曲げ試験

曲げ試験は側曲げ、表曲げ、裏曲げいずれも欠陥はなく良好である。

④ 硬さ試験、マクロ試験

硬さ試験、マクロ試験は実大ボックス試験と同様であり、欠陥はない。

また、バス間温度の測定結果を図-11に示す。

温度1は裏面、温度2は板厚中心、温度3は表面下2mmである。

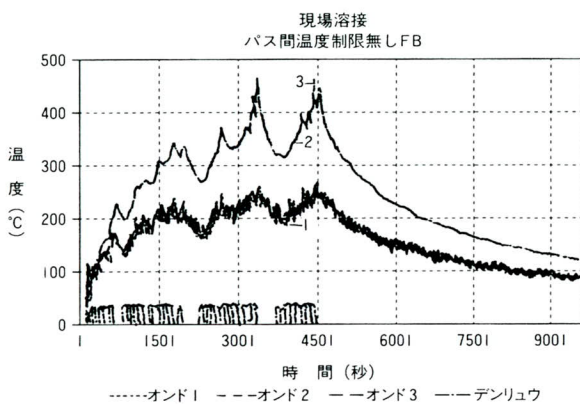
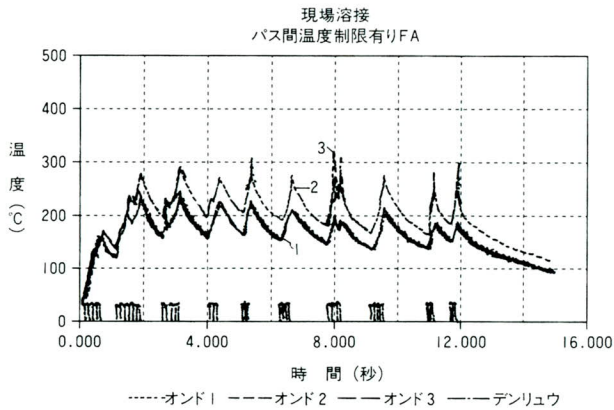


図-11 パス間温度の測定結果

4. まとめ

試験の結果を以下にまとめる。

(1) 素材試験

- ① 全厚、丸棒引張試験いずれもロール方向 (L)、ロール直交方向 (C) の差異はない。また、板厚方向 (Z) の値も良好である。降伏比も適切な値である。
- ② 衝撃試験値は、ロール方向 (L)、ロール直交 (C) 板厚方向 (Z) の順に低くなるが、いずれも規定値 (0°C で47J) を十分満足している。
- ③ 板厚方向の硬さ分布は、板厚全般に渡って良好である。表面部でいくぶん高い値を示すのは鋼の一般的な傾向である。
- ④ 断面マクロは偏析がなく、清浄度も良好である。
- ⑤ ミクロ組織は板厚全般に渡って均一である。
- ⑥ 化学成分分析はミルシートの値と良く合致している。

溶接割れ感受性組成 PCM、炭素等量 Ceq も良好である。

- ⑦ 最高硬さ試験、y 形溶接われ試験の結果から、われの発生が押さえられ、予熱の低減が可能である。

(2) 溶接性能試験

1) 実大ボックス柱試験

- ① ダイアフラムのエレスラ溶接と梁フランジ CO²半自動溶接の十字継手部の引張試験は、柱主材を梁フランジ厚まで平滑に仕上げたものも十分な強度が得られた。

エレスラ溶接熱影響部を含んだスキンプレート方向の引張試験は、破断位置は熱影響部であるが、引張強さの値は素材に同等であり、十分な強度が得られた。

- ② 衝撃試験は、エレスラ溶接の柱側ボンド部で低い値を示す傾向にあるのは、通常の試験と同様である。いずれも、目標値 (60キロ高性能鋼溶接施工指針) を満足している。表-15に60キロ高性能鋼溶接施工指針の溶接部性能目標値を示す。

表-15 溶接部性能目標値

溶接部位	性能目標値	
	TS (N/mm ²)	vE 0 (J)
BOX 角継手	≥ 590	≥ 20
ダイアフラム	≥ 590	≥ 15
仕 口	≥ 590	≥ 47
突 合 せ	≥ 590	≥ 47

パス間温度を250°C以下に制限したものと、制限しないものでは、梁フランジのCO²半自動溶接で幾分、差が生じているが、大きな差異はない。角継手は試験体が大きく、溶接線が長いことから、温度測定でも違いが少なく、衝撃試験値でも差は発生していない。

- ③ 硬さ試験の内、エレスラ溶接による軟化部は Hv175~180であり、著しい軟化は発生していない。CO²半自動溶接による硬化も発生していない。

2) 角溶接部試験

- ① 引張試験はパス間温度を250°C以下に制限したものと、制限しないものでは、差は発生していない。

② 衝撃試験は、パス間温度制限の有無により明確な差が発生している。試験体が小さいことから、パス間温度差が大きく影響したものである。いずれも規定値を十分に満足している。

- ③ 曲げ試験、硬さ試験、マクロ試験は良好である。

3) 柱現場溶接部試験

上述した2) 角溶接手部試験と同様の傾向を示している。

今回の素材試験・溶接性能試験の各種機械試験は全て良好な結果であった。また、予熱温度を25℃以上としても割れ発生等の障害は起こらなかった。

これらの結果から、従来のSM570鋼材と比較しても、予熱の低減が成されており、溶接性の改善が見られる。従って、本鋼材を建築構造用鋼材として用いることに、なんら問題はないことが分かった。

実施工に当たっては、今回の施工試験の結果を生かし、経済性を考慮しながら、より高品質な製品造りに邁進して行きたいと考えている。

5. 今後の課題

今回の試験では触れていない、加熱矯正の問題、大入熱溶接による角溶接の問題、スタッド溶接等について試験を行い報告する。なお、60キロ高性能鋼溶接施工指針では、角溶接部の溶接では400KJ/cmまで許容してい

る。

また、実工事での採用例についても合わせて報告したい。

ご指導、ご協力頂いた、株式会社 フジタ、新日本製鐵株式会社の関係各位に心より感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) BT-HT440II溶接確性試験報告書 平成6年12月
新日本製鐵(株) (株)宮地鐵工所
- 2) 予熱低減型・建築構造用高性能590Nを使用した
4面溶接ボックス断面柱の溶接確性試験
日本建築学会 1995年8月
岡田, 中野, 山口, 大坪
- 3) 高性能鋼利用技術指針 1994年1月
建設省建築研究所 (社)鋼材倶楽部
- 4) 60キロ高性能鋼溶接施工指針 1993年3月
(社)鋼材倶楽部高性能鋼利用技術小委員会接合サブ
ワーキンググループ

1995.8.29受付

グラビア写真説明

東京湾横断道路

東京湾横断道路の建設事業者は、日本道路公団・地方公共団体および民間から出資を受け設立された第三セクターで東京湾横断道路株式会社といます。

東京湾横断道路は東京、横浜、川崎、千葉、木更津などの大都市が湾岸部に位置する東京湾の中央部を横断する、延長15kmの有料道路となります。この道路の完成により、都心部や周辺部の交通混雑の緩和に大きな役割を果たすと共に、産業の活動の動力として大いに期待され建設が進められています。

橋梁の関連は平成7年の5月までに完成し、現在、川崎市の浮島から川崎人工島、川崎人工島から木更津人工島の間をそれぞれシールドトンネルの掘削が進められています。

橋梁には船舶の航行安全をはかるため航路灯が添架されています。この航路灯と鋼桁の保守点検のため当社製作の移動点検車(写真参照)が採用されました。これにより作業員が安心して保守点検作業を行える様になりました。

完成は平成10年の春の予定です。

(北村)