

# 建築構造用 550N 鋼材の素材および溶接施工試験

## Material of 550N Steel for Construction Structures and Weldability Tests

田中正俊\*<sup>1</sup> 中野秀二\*<sup>2</sup> 水上智之\*<sup>3</sup>  
Masatoshi TANAKA Shuji NAKANO Tomoyuki MIZUKAMI

### Summary

A steel manufacturer has developed new steel having a bearing force of 385N class, which is being used in actual bridge erection work. As a steel frame manufacturer, we conducted tests on raw material and weldability before using this steel. Our test results verified the performance and welding conditions of this materia

キーワード：550N級鋼、HBL385、素材試験、溶接施工試験

### 1. はじめに

近年、鋼材メーカー（JFE スチール株式会社）にて新しく耐力が385N級の鋼材「HBL385B・C」が開発され、板厚範囲は19～100mmまで対応し、実工事でも使用され始めている。ここで鉄骨製作者として本鋼材を使用するに際して、自社の施工条件を踏まえた溶接データを得るため素材試験および溶接施工試験を実施したので報告する。

### 2. 鋼材「HBL385」

本鋼材の特徴は385N/mm<sup>2</sup>という高い基準強度、大きな塑性変形性能、優れた溶接性を実現し鉄骨コストの低減化と環境負荷低減を実現していることにある。

鋼種はB材およびC材を有している。

#### 1) 化学成分

化学成分を表-1に示す。

表-1 (%)

	C	Si	Mn	P	S
B材	≦0.20	≦0.55	≦1.60	≦0.030	≦0.015
C材	≦0.20	≦0.55	≦1.60	≦0.020	≦0.008
	適用厚さ		Ceq	Pcm	
B材	19以上50以下		≦0.40	≦0.26	
C材	50超100以下		≦0.42	≦0.27	

### 2) 機械的性質

機械的性質を表-2に示す。

表-2

	降伏(耐力)	引張強さ	伸び	降伏比	シャルピー
	N/mm <sup>2</sup>		%		J(0℃)
B材	385～505	550～670	≧26	≦80	≧70
C材			≧20		

伸び値は≧26（JIS 5号）、≧20（JIS 4号）である。また、C材は厚さ方向特性（絞り）が3個平均25%以上、個々で15%以上の仕様が付加される。

### 3) 超音波探傷試験

B材においては当事者間の協定により、JIS G0901を適用し、C材では付加されている。

### 4) 溶接施工性

最も一般的に用いられるガスシールドアーク溶接における予熱温度は板厚50mm超えにおいては25℃以上、また溶接入熱・パス間温度は溶接材料にYGW18を用いた場合は、30KJ以下・250℃以下。YGW21を用いた場合は、40KJ以下・350℃以下を推奨している。

\*<sup>1</sup>生産本部松本工場品質管理部品質管理課  
\*<sup>2</sup>生産本部松本工場品質管理部長

\*<sup>3</sup>生産本部松本工場製造部製造課

### 3. 試験計画

供試鋼材の材質はHBL385C、板厚は一般的に使用される40mmおよび65mmとした。

#### 3-1. 素材試験

素材試験の一覧を表-3に示す。

表-3

試験名	板厚	試験対象部位
引張試験	40	L方向
		C方向
	65	t/4-L方向
衝撃試験 (0℃)	40	t/4-L方向
	65	t/4-L方向

なお、溶接試験に使用する裏板（電炉材平鋼）の成分分析を五成分および、Cu、Ni、Cr、Mo、V、B、Nについて実施する。

#### 3-2. 溶接施工試験

溶接施工試験の種類は、建築鉄骨製作に最も汎用的に使用される炭酸ガス半自動溶接、超高層建築のボックス構造に使用されるエレクトロスラグ溶接、二電極サブマージ溶接および弊社の特徴である炭酸ガス自動（ロボット）溶接を想定した試験を行った。

##### 1) 試験概要

試験概要を表-4に示す。以降、溶接方法は《 》に示す呼称で表記する。

表-4

溶接方法	板厚	試験変数	
		入熱量/パス間温度	溶接材料
炭酸ガス半自動 《MAG半自動》	40	≦30KJ ≦250℃	JIS Z3312 YGW18
	40	≦40KJ ≦350℃	JIS Z3312 YGW21
二電極サブマージ 《SAW》	40		JIS Z3183 S584-H
エレクトロスラグ 《ESW》	40		JIS Z3353 YES 62
	65	≦1000KJ	JIS Z3353 YES 62
炭酸ガス自動 (ロボット) 《MAG自動》	65	≦40KJ ≦200℃	JIS Z3312 YGW18
	65	≦50KJ ≦200℃	JIS Z3312 YGW18
	65	≦70KJ ≦200℃	JIS Z3312 YGW21

##### 2) 試験体形状

試験体形状を図-1に示す。

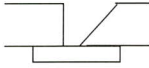
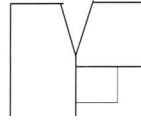
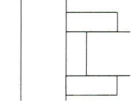
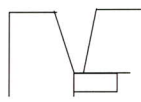
溶接方法	試験体形状	開先形状
MAG半自動	平突合せ	 角度35° 間隔7mm
SAW	[型]	 角度35° フェイス2mm
ESW	T型	 間隔25mm
MAG半自動	[型]	 角度25° 間隔8mm

図-1

#### 3) 溶接材料

溶接材料を表-5に示す。

表-5

溶接方法	試験変数	メーカー
MAG半自動	YM-55C (1.2Φ)	日鉄住金
	YM-60C (1.2Φ)	
SAW	PFI-55ES×US-36L (6.4Φ)	神戸製鋼
ESW	YF-151×YM-60E (1.6Φ)	日鉄住金
MAG自動	MG-55 (1.6Φ)	神戸製鋼
	YM-60C (1.6Φ)	

#### 4) 機械試験

引張試験の一覧を表-6に示す。

表-6

試験名	溶接方法	溶接材料	試験記号
継手引張 (全厚)	MAG半自動	YGW18	T5. T6
	MAG半自動	YGW21	T7. T8
溶着金属引張 (丸棒)	SAW	S584-H	ST1. ST2
	ESW (40)	YES 62	E4T1. E4T2
	ESW (65)	YES 62	E6T1. E6T2
	MAG半自動	YGW18	CT1
	MAG半自動	YGW21	CT2
	MAG自動 (40KJ)	YGW18	CT5. CT6
	MAG自動 (50KJ)	YGW18	CT7. CT8
MAG自動 (70KJ)	YGW21	CT9. CT10	

衝撃試験の一覧を表-7a～7cに示す。試験温度は0℃とする。

表-7a

溶接方法	ノッチの方向	採取部位		試験記号		
SAW	フェイス	表層2	-	D	S14	
		裏層2	-	D	S24	
		表層2	FIG	B	S13	
			FIG	H1	S12	
			FIG	H3	S11	
		裏層2	FIG	B	S23	
			FIG	H1	S22	
			FIG	H3	S21	
		表層2	WEB	B	S15	
			WEB	H1	S16	
			WEB	H3	S17	
		裏層2	WEB	B	S25	
			WEB	H1	S26	
			WEB	H3	S27	
		断面	表層2	-	D	S34
			裏層2	-	D	S44
			表層2	FIG	B	S33
				FIG	H1	S32
	FIG			H3	S31	
	裏層2		FIG	B	S43	
			FIG	H1	S42	
			FIG	H3	S41	
	表層2		WEB	B	S35	
			WEB	H1	S36	
			WEB	H3	S37	
	裏層2		WEB	B	S45	
			WEB	H1	S46	
			WEB	H3	S47	

表-7b

溶接方法	採取部位	試験記号
ESW(40)	D	41
	B	42
	H1	43
	H中央	44
	端部B	45
ESW(65)	D	61
	B	62
	H1	63
	H中央	64
	端部B	65

表-7c

溶接方法	溶接材料	採取部位		試験記号	
MAG半自動	YGW18	表層2	D	C13	
			B	C12	
			H中央	C11	
		裏層2	D	C16	
			B	C15	
			H中央	C14	
	YGW21	表層2	D	C23	
			B	C22	
			H中央	C21	
		裏層2	D	C26	
			B	C25	
			H中央	C24	
MAG自動 (40KJ)	YGW18	表層2	D	C33	
			B	C32	
			H中央	C31	
		板厚中心	D	C39	
			B	C38	
			H中央	C37	
	裏層2	D	C36		
		B	C35		
		H中央	C34		
	MAG自動 (50KJ)	YGW18	表層2	D	C43
				B	C42
				H中央	C41
板厚中心			D	C49	
			B	C48	
			H中央	C47	
裏層2		D	C46		
		B	C45		
		H中央	C44		
MAG自動 (70KJ)		YGW21	表層2	D	C53
				B	C52
				H中央	C51
	板厚中心		D	C59	
			B	C58	
			H中央	C57	
	裏層2	D	C56		
		B	C55		
		H中央	C54		

表中の凡例

ノッチの方向：フェイスノッチは板面に平行、断面ノッチは直交方向

表層2：溶接仕上げ面下2mm 裏層2：溶接初層側2mm

FIG：L型およびT型継手形状の通し材側

D：DEPO B：BOND H1：1mmHAZ H2：2mmHAZ

H中央：中央HAZ 端部B：ESWの端部BOND

5) マクロ・ミクロ試験および硬さ試験を実施する。

3) 裏板成分分析試験

#### 4. 試験結果

##### 4-1. 素材試験

1) 鋼材検査証明書

鋼材検査証明書の結果を表-8a~7bに示す。

表-8a 65mm (%)

C	Si	Mn	P	S	Ceq	Pcm
0.13	0.34	1.36	0.012	0.003	0.38	0.21
降伏(耐力)		引張強さ		伸び	降伏比	シャルピー
437		574		31	76	310
厚さ方向特性 66 66 68 (67)						

表-8b 40mm (%)

C	Si	Mn	P	S	Ceq	Pcm
0.13	0.34	1.36	0.009	0.003	0.38	0.21
降伏(耐力)		引張強さ		伸び	降伏比	シャルピー
411		565		49	73	305
厚さ方向特性 72 74 68 (71)						

2) 素材試験

素材試験の結果を表-9(引張)、表-10(衝撃)に示す。

表-9

試験記号	板厚	0.2%耐力	引張強	降伏比	伸び	備考
	mm	N/mm <sup>2</sup>		%	%	
LT1	40	426	556	77	57	L方向
LT2	40	432	555	78	58	
CT1	40	438	567	77	51	C方向
CT2	40	438	566	77	53	
T3	65	448	564	79	34	L方向 (1/4t)
T4	65	443	561	79	33	

表-10 (J)

試験温度	-80℃	-60℃	-40℃	-20℃	0℃
40	49	151	228	246	290
65	33	185	197	244	311

表-11 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Ceq	Pcm
SAW	0.14	0.23	1.28	0.012	0.008	0.413	0.234
ESW	0.11	0.31	1.34	0.012	0.016	0.376	0.203
MAG自	0.14	0.29	1.33	0.017	0.011	0.394	0.227

SAW(FB-25×25) ESW(FB-50×28) MAG自動(FB-25×16)

##### 4-2. 溶接施工試験

1) 溶接施工条件・外観および超音波探傷試験

溶接施工条件を表-12に示す。なお、機械試験に先立って実施した外観および超音波探傷試験はすべて良好であった。

表-12

溶接方法	板厚	電流(A)	電圧(V)	速度(CPM)	入熱(KJ/cm)
MAG 半自動	40	330~345	36	25~50	30
	40	330~345	36	18~37	41
SAW	40	L1700 T1300	L38 T47	25	302
ESW	40	380	52	1.7	697
	65	380	52	1.2	988
MAG自動	65	370~400	36~39	Min 22	42
	65			min 18	52
	65			min 14	67

2) 機械試験

引張り試験結果を表-13a~13cに示す。

表-13a (SAW・ESW)

試験記号	降伏(耐力)	引張強	伸び	採取部位
	N/mm <sup>2</sup>		%	
ST1	482	661	24	SAW(1/4t)丸棒
ST2	483	659	26	〃
E4T1	461	647	23	ESW40DEPO(1/2t)丸棒
E4T2	450	643	24	〃
E6T1	446	636	23	ESW65DEPO(1/2t)丸棒
E6T2	453	641	25	〃

参考値：降伏比70~73% 絞り値56~64%

表-13b (MAG半自動)

試験記号	引張強	破断位置	採取部位
	N/mm <sup>2</sup>		
T5	586	母材	MAG半自動全厚
T6	575	母材	MAG半自動全厚
T7	584	母材	MAG半自動全厚
T8	583	母材	MAG半自動全厚

参考値：降伏比70～73% 絞り値56～64%

表-13c (MAG半自動・MAG自動)

試験記号	降伏(耐力)	引張強	伸び	採取部位
	N/mm <sup>2</sup>		%	
CT1	514	591	26	MAG半自動(1/4t)丸棒
CT2	523	626	28	〃
CT5	524	562	32	MAG自動(1/4t)丸棒
CT6	518	557	33	〃
CT7	537	576	32	〃
CT8	539	569	31	〃
CT9	594	630	27	〃
CT10	595	631	24	〃

参考値：降伏比は84～95% 絞り値63～72%

丸棒引張り試験片の形状はJIS Z 3111のA1号(径12.5Φ)、全厚引張り試験片はJIS Z 3121の1号(幅25mm)である。衝撃試験片はJIS Z 3111である。

図-2にサブマージ溶接のノッチ位置を示す。

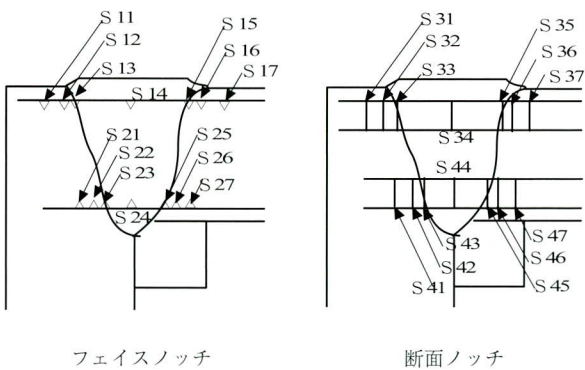


図-2

### 3) 衝撃試験

衝撃試験の結果を表-14a～14dに示す。

表-14a (SAW)

(J)

ノッチの方向	採取部位			試験記号	衝撃値	
フェイス	表層2	FIG	B	S13	33	
	表層2	-	D	S14	123	
	裏層2	FIG	B	S23	66	
断面	表層2	FIG	B	S33	84	
	表層2	-	D	S34	108	
	裏層2	FIG	B	S43	74	
フェイス	表層2	FIG	H3	S11	80	
	表層2	FIG	H1	S12	29	
	表層2	WEB	B	S15	114	
	表層2	WEB	H1	S16	140	
	表層2	WEB	H3	S17	176	
	裏層2	FIG	H3	S21	156	
	裏層2	FIG	H1	S22	97	
	裏層2	-	D	S24	126	
	裏層2	WEB	B	S25	134	
	裏層2	WEB	H1	S26	144	
	裏層2	WEB	H3	S27	185	
	断面	表層2	FIG	H3	S31	40
		表層2	FIG	H1	S32	47
		表層2	WEB	B	S35	107
表層2		WEB	H1	S36	115	
表層2		WEB	H3	S37	127	
裏層2		FIG	H3	S41	196	
裏層2		FIG	H1	S42	130	
裏層2		-	D	S44	128	
裏層2		WEB	B	S45	134	
裏層2		WEB	H1	S46	147	
裏層2	WEB	H3	S47	196		

表-14b (ESW)

(J)

ノッチの方向	板厚	採取部位		試験記号	衝撃値
断面	40	-	D	41	76
		FIG	B	42	38
		FIG	H1	43	29
		FIG	H中央	44	68
		FIG	端部B	45	59
	65	-	D	61	40
		FIG	B	62	36
		FIG	H1	63	73
		FIG	H中央	64	296
		FIG	端部B	65	45

表-14c (MAG半自動) (J)

溶接材料	採取部位		試験記号	衝撃値
YGW18	表層2	H中心	C11	321
		B	C12	249
		D	C13	114
	裏層2	H中心	C14	291
		B	C15	265
		D	C16	159
YGW21	表層2	H中心	C21	306
		B	C22	281
		D	C23	81
	裏層2	H中心	C24	270
		B	C25	258
		D	C26	56

表-14d (MAG自動) (J)

入熱	採取部位		試験記号	衝撃値
40KJ	表層2	H中心	C31	276
		B	C32	223
		D	C33	145
	裏層2	H中心	C34	275
		B	C35	201
		D	C36	90
	板厚中心	H中心	C37	217
		B	C38	204
		D	C39	159
50KJ	表層2	H中心	C41	224
		B	C42	219
		D	C43	79
	裏層2	H中心	C44	271
		B	C45	206
		D	C46	63
	板厚中心	H中心	C47	183
		B	C48	189
		D	C49	135
70KJ	表層2	H中心	C51	153
		B	C52	145
		D	C53	72
	裏層2	H中心	C54	235
		B	C55	156
		D	C56	59
	板厚中心	H中心	C57	208
		B	C58	168
		D	C59	56

図-3にエレクトロスラグ溶接のノッチ位置を示す。

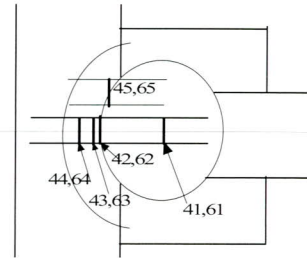
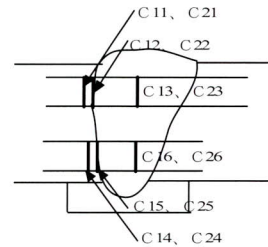
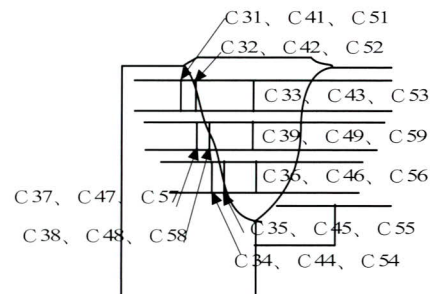


図-3

図-4にMAG半自動とMAG自動溶接のノッチ位置を示す。



MAG半自動



MAG自動溶接

図-4

#### 4) マクロ試験

すべてのマクロ試験試験は良好な結果であった。エレクトロスラグ溶接および二電極サブマージ溶接の試験片を写真-1および2に示す。

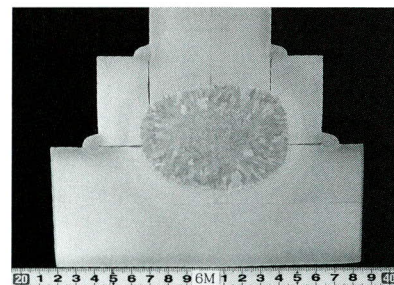


写真-1

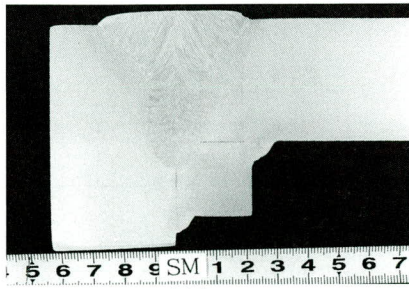


写真-2

### 5) 硬さ試験

硬さ試験結果の一覧を表-15に示す。試験はビッカース硬度試験、試験荷重は98Nとする。

表-15

溶接方法	測定部位	最高硬さ	最低硬さ
SMW	表層2	220	145
	板厚中央	221	143
	裏層2	219	154
ESW(40)	表層2	217	142
	板厚中央	220	141
	裏層2	223	142
ESW(65)	表層2	220	145
	板厚中央	219	144
	裏層2	233	146
MAG半自動30KJ	表層2	208	170
	板厚中央	240	157
	裏層2	275	178
MAG半自動40KJ	表層2	225	170
	板厚中央	247	156
	裏層2	247	178
MAG自動40KJ	表層2	270	166
	板厚中央	209	173
	裏層2	271	184
MAG自動50KJ	表層2	269	165
	板厚中央	209	170
	裏層2	254	182
MAG自動70KJ	表層2	277	183
	板厚中央	233	182
	裏層2	277	183

表中、最高値を示すMAG自動70KJの裏層2および、最低値を示すESW(40)の板厚中央硬さ分布を図-5、6に示す。

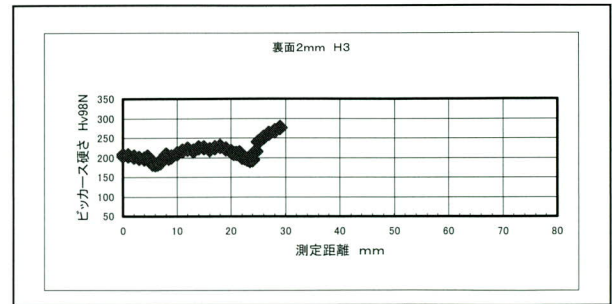


図-5

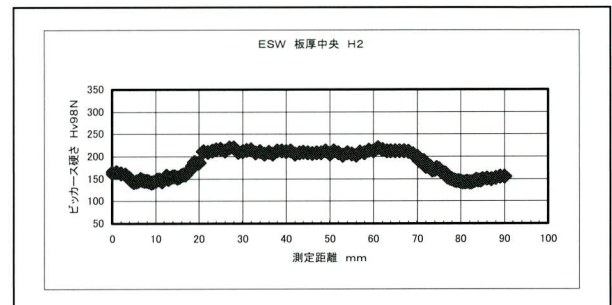


図-6

## 5. 考察

素材試験および溶接施工試験結果より得られた知見を整理する。

### 5-1. 素材試験

化学成分および機械試験の結果は規格を十分に満足しており、引張試験もL方向、C方向の差異はない。また、Pcmの値は0.21、遷移温度も約マイナス60℃であり予熱低減が十分可能である。

溶接に使用した裏板の成分分析を表-11に示す。材質はSN490Bで鋼種はいずれも電炉材平鋼であり、サブマージ溶接はFB-25×25、エレクトロスラグ溶接はFB-50×28、炭酸ガス自動溶接はFB-25×16である。五元素以外は、Ni(0.05~0.06) Cr(0.075~0.21) Mo(0.014~0.026) V(Tr~0.012) Cu(0.09~0.13) B(0.0002~0.0004) N(0.011~0.012)と成分によってはばらつきも見られるが、溶接性を示すPcmは0.203~0.234の範囲であり良好である。

### 5-2. 溶接施工試験

#### 1) 引張り試験

表-13cに示すように、炭酸ガス自動溶接で溶接材料にYGW18を用いて入熱量42~52KJで溶接した試験片

CT5～CT8は引張り強さが他の試験片より低い傾向を示すが、全ての結果は耐力下限値および引張強さいずれも規格値を満足している。前述の傾向は表-15の硬さ試験のMAG自動40KJ、50 KJ板厚中央部のDEPO最高硬さの値が低い傾向と符合する。

## 2) 衝撃試験

二電極サブマージ溶接は通常行われる断面ノッチと比較のために、フェイスノッチを採取した。フランジ側とウェブ側あるいは表面下と裏面下を比較すると、全般的には大きな差異は見られないが、フランジ側の表面下フェイスノッチで低い値を示す傾向がある。これは写真-2に示すマクロ試験から分かるようにノッチ位置とフィージョンラインが一致するためと思われる。

エレスラ溶接は、従来より論議されているフランジ側の中央部BOND近傍と同様に低い傾向を示すが、破壊の起点になるとされる端部においては改善されている。

炭酸ガス半自動溶接および炭酸ガス自動溶接においては良好な結果である。

## 3) 硬さ試験

溶着金属部はビッカース硬度で200～220であり、全溶着金属引張り試験の引張り強さと符合している。

また、最高硬さは炭酸ガス半自動溶接および自動溶接における初層BOND部で、275～277程度であり、われ発生の指標とされるHV350に対して十分な余裕がある。なお、溶接入熱量の大きいエレクトロスラグ溶接におけるHAZ部も最低値は141～146程度であり、著しい軟化現象は発生していない。

## 6. まとめ

試験結果から、本鋼材は建築鉄骨に適した材料であると考えられる。また、溶接施工の条件として以下の知見を得ることができた。

### ① 炭酸ガス半自動溶接

製鉄メーカーの推奨している条件、即ちYGW18を用いる場合は、30KJ以下・250℃以下。YGW21を用いる場合は、40KJ以下・350℃以下でよい。

### ② 炭酸ガス自動溶接

当社での適用は比較的長尺な溶接線（ボックス柱の角溶接など）に用いており、パス間温度は200℃程度である。試験結果から溶接材料はYGW18よりYGW21を用いて入熱量は70KJ未満で行う。

### ③ サブマージ溶接

製鉄メーカーの推奨している条件、即ち溶接材料はJIS Z3183 S584-Hを用いる。

### ④ エレクトロスラグ溶接

製鉄メーカーの推奨している条件、即ち溶接材料はJIS Z3353 YES 62を用いる。衝撃値の一部に低いものが見られ入熱量としては今回の1000KJ程度が限度と考えられる。溶接継手部の要求靱性が材料の規格値である27J或いは47Jから更に高い70J程度が指向され始めていることを考慮すると、今後は溶込みが確保される条件を確認し少しでも入熱量の低減を図ると共に、経済性を考慮しつつ高靱性を指向した溶接材料の適用検討も必要と思われる。

また溶接の裏板に電炉材平鋼（材質SN490B）を使用しても問題ないことも確認された。

以上で報告を終了致します。ただし、今回は限られた設定条件下での試験であり、今後とも機会あるごとに実験を行ってまいりたいと存じます。

本施工試験を実施するにあたり多大な御協力を賜りましたJFEスチール株式会社およびJFEテクノリサーチ株式会社の関係各位に心より御礼申し上げます。

## <参考文献>

HBL385B・C建築構造用550N TMCP鋼材 JFEスチール  
建築構造用550N TMCP鋼材 溶接施工指針 JFEスチール  
2003.5

宮地技報NO.5.6.8 極厚TMCP鋼の母材特性および溶接性の研究（その1～3）1989 1990 1992 中野 田中大月

2007.2.1 受付