

建築構造用高性能60キ口鋼を用いた 溶接組立箱形断面柱の溶接施工試験

横山 幸夫¹⁾ 山下 文武²⁾ 工藤 憲二³⁾

最近、建築構造用として、従来から用いられている高張力鋼と比較して溶接性が改善された低降伏比で引張強さが590N/mm² (HT590)の鋼材が新しく開発され、実際の建物に適用されつつある。今回は、HT590の溶接組立箱形断面柱を製作し、角継手およびダイアフラムのエレクトロスラグ溶接などの継手性能の調査を行った。その結果、これらの継手は十分な性能を有することが確認された。

まえがき

近年の日本の鉄骨構造建築物の超高層化においては柱材の極厚化もしくは材料の高強度化が図られ、また、2方向ラーメンの構造設計により箱形断面柱が用いられることが多い。最近、建築構造用として、従来から用いられている高張力鋼と比較して溶接性が改善された低降伏比で引張強さが590N/mm² (HT590)の鋼材が新しく開発され、さらにその溶接施工指針¹⁾ および利用技術指針²⁾ などの作成、整備により実際の建物に適用されつつある。

本報告は、HT590を用いた溶接組立箱形断面柱の角継手およびダイアフラムのエレクトロスラグ溶接部などの継手性能の調査を目的とした溶接施工試験について述べたものである。

1. 試験体

図-1に試験体の形状・寸法を、表-1に採用した各溶接部位の開先形状・寸法を示す。試験体は、柱断面が□-800×800×70×70(鋼種:SA440)で、ダイアフラムおよび対向する梁フランジの板厚は55mm(鋼種:TMCP鋼, 基準強度:325N/mm²)とした。試験で採用した角継手は、溶接形式(1)ではレ形開先の完全溶込溶接部と開先深

さが板厚(t)の1/2の部分溶込溶接部を連続させ(形式(1)), 溶接形式(2)ではレ形開先で開先深さが2t/3の全線部分溶込溶接(形式(2))とし、溶接形式(3)ではV形開先で開先深さが2t/3の全線部分溶込溶接(形式(3))とした。また、溶接形式(4)ではV形開先の完全溶込溶接部と開先深さがt/2の部分溶込溶接部を連続させる形式(形式(4))とした。形式(4)では炭酸ガスシールドアーク溶接、形式(4)を除く形式では下盛を炭酸ガスシールドアーク溶接、上盛をタンデムサブマージアーク溶接とした。

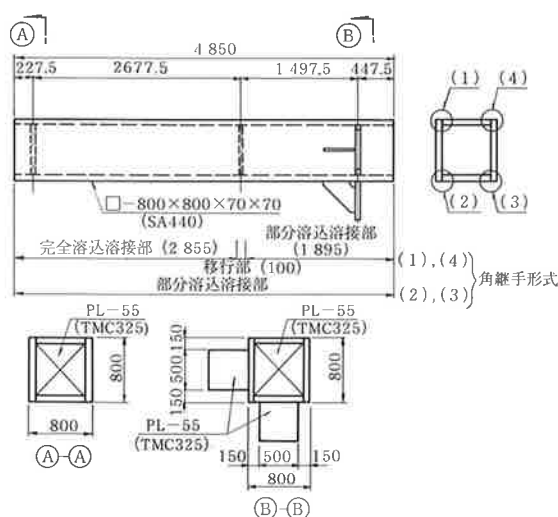


図-1 試験体の形状および寸法

1) 東京工場技術部技術課副課長 2) 東京工場副工場長 3) 東京工場技術部技術課課長

表-1 各溶接部位の開先形状および寸法

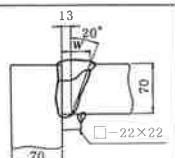
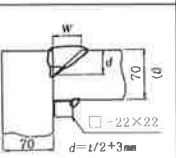
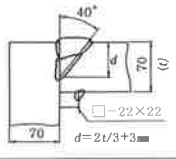
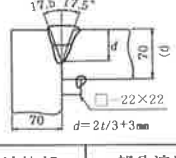
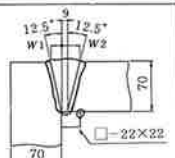
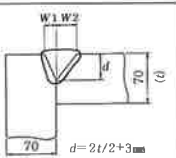
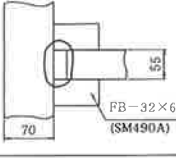
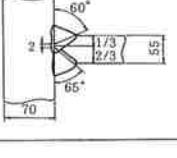
溶接部位		溶接方法	開先形状・寸法		備考
角 継 手	形式 (1)	下盛：ガスシールドアーク溶接 (CO ₂) 上盛：タンデムサブマージ アーク溶接 (TSAW)	完全溶込溶接部 	部分溶込溶接部 	1) 部分溶込溶接部 の開先深さ：d d=t/2+3mm
		下盛：ガスシールドアーク溶接 (CO ₂) 上盛：タンデムサブマージ アーク溶接 (TSAW)			1) 全線部分溶込 溶接 2) 開先深さ：d d=2t/3+3mm
	形式 (3)	下盛：ガスシールドアーク溶接 (CO ₂) 上盛：タンデムサブマージ アーク溶接 (TSAW)			1) 全線部分溶込 溶接 2) 開先深さ：d d=2t/3+3mm
	形式 (4)	ガスシールドアーク溶接 (CO ₂)	完全溶込溶接部 	部分溶込溶接部 	1) 従来工法 2) 部分溶込溶接部 の開先深さ：d d=t/2+3mm
ダイ ア フ ラ ム 部	溶 接	エレクトロスラグ溶接			1) 非消耗式
梁 フ ラ ン ジ 部	溶 接	ガスシールドアーク溶接 (CO ₂)			

表-2(a) 鋼材の化学成分 (%)

部 材	鋼種 (板厚)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Ceq	Pcm	メーカー
柱フランジ, ウェブ	SA440 (PL-70)	0.08	0.19	1.46	0.006	0.002	0.28	0.46	0.25	0.01	0.04	0.0001	0.40	0.20	住友金属工業
ダイアフラム, 梁フランジ	TMC325(PL-55)	0.12	0.28	1.35	0.007	0.002	0.22	0.24	0.03	0.01	0	0	0.37	0.21	

[注] 1) 化学成分は、鋼材検査証明書による (レドール分析値)。

2) Ceqは炭素当量でCeq=C+Si/24+Mn/6+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14である。

3) Pcmは溶接割れ感受性組成でPcm=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5Bである。

表-2(b) 溶接材料

① 炭酸ガスシールドアーク溶接

規格	種類	銘柄	ワイヤ径	メーカー	備考
JIS Z 3312	YGW 11	#SCT	1.2φ 1.4φ	住 溶 工	・仮付溶接に使用する (1.2φ) ・梁フランジ突合溶接 (1.4φ)
	YGW 21	MG 60	1.6φ	神戸製鋼	・角継手下盛CO ₂ 溶接

② サブマージアーク溶接

規格	品質区分	ワイヤ		フラックス		メーカー
		銘柄	径	銘柄	粒度	
JIS Z 3183	S623-H1	US-49	6.4φ	PFi 53ES	10×48	神戸製鋼

[注] 1) シールドガスに使用する炭酸ガスは、JIS K 1106 (液化炭酸) の規格品とする。

③ エレクトロスラグ溶接

ワイヤ				フラックス				メーカー
規格	種類	銘柄	径	規格	種類	銘柄	粒度	
JIS Z 3312	YGW 17	YM 55A	1.6φ	JIS Z 3352	FS-FG3	YF-15A	20×D	日 溶 工

表-2 (a) および (b) に使用した鋼材の化学成分値および溶接材料を示す。試験体組立時の仮付溶接の溶接材料は50キロ級の溶接材料とした^{1) 2)}。

溶接において、最大溶接入熱は、炭酸ガスシールドアーク溶接 (CO₂溶接) で70 kJ/cm以下、タンデムサブマージアーク溶接 (TSAW溶接) で400kJ/cm以下、エレクトロスラグ溶接 (ES溶接) で1,000kJ/cm以下を目標値とし、また、パス間温度250℃以下として行うこととした¹⁾。

表-3 (a), (b) および (c) に角継手、エレクトロスラグ溶接および梁フランジ溶接の溶接条件の施工記録を示す。最大溶接入熱は、角継手のCO₂溶接で77kJ/cm、TSAW溶接で425kJ/cmと目標値を若干上回った。ES溶接では980kJ/cm、梁フランジのCO₂溶接で47kJ/cmであった。また、パス間温度は、角継手のCO₂溶接で142℃以下、梁フランジのCO₂溶接で211℃以下であった。

なお、炭酸ガスシールドアーク溶接の予熱温度は、文献1) に示される炭素当量 (CEN) をベースにした割れ防止予熱温度の推定方法を用いて決定し、仮付溶接は25℃以上、本溶接は予熱なしとし、また、角継手のタンデムサブマージアーク溶接およびエレクトロスラグ溶接は予熱なしとした。

各溶接部位の継手について、溶接終了後試験片を採取し、継手の引張試験、側曲げ試験、溶接部の引張試験、衝撃試験、マクロ試験および硬さ試験などを行い、継手性能を調査、検討した。

表-5 溶接部性能目標値¹⁾

溶接部位	性能目標値	
	引張強さ* (N/mm ²)	衝撃値** (J)
BOX 角継手	≥590	≥20
ダイヤフラム	≥590	≥15
仕口	≥590	≥47
突合せ	≥590	≥47
隅肉	≥590	-

[注] * : 引張強さの目標値は継手としての目標値であり、熱影響部などの局部引張試験には適用しない。異種継手の場合の引張強さは低強度側の規定値を適用する。

** : 衝撃値の目標値は3個の試験片の平均値とする。

表-3(a) 角継手の溶接条件

溶接方法	溶接形式 溶接部位	(1)	(2)	(3)	(4)		
		FP	PP	PP	PP	PP	
ガスシールドアーク溶接 (GAW) (CO ₂)	パス数	1~11	1~4	1~7	1~4	1~14	1~9
	電流 (A)	300~390	300~420	380~460	320~450	300~460	300~450
	電圧 (V)	32~44	32~43	40~48	34~42	32~49	32~49
	溶接速度 (cm/min.)	16~47	13~36	16~61	21~40	15~35	15~35
	入熱量 (kJ/cm)	17~62	18~77	18~75	18~50	24~75	13~74
	パス間温度 (℃)	29~142	40~69	34~86	37~60	27~137	27~47
タンデムサブマージアーク溶接 (TSAW)	パス数	1		1	1		
	電流 (A)	先行	1700	1700	1700		
		後行	1350	1350	1350		
	電圧 (V)	先行	38~42	38~42	38~42		
		後行	49~52	49~52	49~52		
	溶接速度 (cm/min.)	20		20	20		
入熱量 (kJ/cm)	392~425		392~425	392~425			

[注] 1) FP: 完全溶込溶接部, PP: 部分溶込溶接部
2) 溶接形式(1),(2),(3); 下盛: GAW, 上盛り: TSAW 溶接形式(4); 全てGAW

表-3(b) エレクトロスラグ溶接の溶接条件

溶接部位	パス数	電流	電圧	溶接速度	入熱量
ダイヤフラム	1	380A	52V	1.2cm/min.	980kJ/cm

表-3(c) 梁フランジ溶接部の溶接条件

溶接方法	溶接側	表側	はつり側
	ガスシールドアーク溶接 (GAW) (CO ₂)	パス数	1~18
	電流 (A)	320~400	320~400
	電圧 (V)	29~39	30~39
	溶接速度(cm/min.)	20~30	20~30
	入熱量 (kJ/cm)	27~47	27~47
	パス間温度 (℃)	28~190	121~211

表-4 継手引張試験結果

溶接形式	溶接部位	引張強さ (N/mm ²)	破断位置
(1)	完全溶込溶接部	636	熱影響部
	部分溶込溶接部	627	熱影響部
(2)	部分溶込溶接部	600	ボンド部
(3)	部分溶込溶接部	603	熱影響部
(4)	完全溶込溶接部	671	熱影響部
	部分溶込溶接部	626	熱影響部

2. 試験結果およびその考察

(1) 角継手

1) 継手引張試験

表-4に継手引張試験結果を示す。全て、引張強さは600N/mm²以上の値を示し、表-5に示す溶接部性能目標値の引張強さの規定値¹⁾を満足している。

2) 溶着金属引張試験

表-6に溶着金属引張試験結果を、また、図-2に応力~ひずみ曲線の代表例を示す。全て、降伏強度は469N/mm²以上、引張強さは615N/mm²以上の値を示し、表-7に示す溶接金属の要求性能の規定値¹⁾を満足している。

3) 熱影響部引張試験

表-8に熱影響部の引張試験結果を、また、図-3に応力～ひずみ曲線の代表例を示す。降伏強度は溶接形式(2)の採取位置UWで427N/mm²の値を示しているが、他の位置では441N/mm²以上を示し、母材の降伏強度の規格値(440N/mm²以上)を満足している。また、引張強さは、上盛溶接をタンデムサブマージアーク溶接により行った溶接部の熱影響部から採取した試験片で、溶接形式(2)の採取位置LFを除き、母材の引張強さの規格値(590N/mm²以上)を満足していない。これは、大入熱溶接により熱影響部の一部に軟化が生じたためと考えられる^{2), 4), 5)}。

表-6 角継手の溶着金属引張試験

角継手形式	試験片採取位置	降伏強度 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	試験片採取位置図	
(1)	FP	U	520	643	20.1	60.4	
		N	519	635	21.4	62.7	
		L	655	706	17.5	64.4	
	PP	U	552	653	19.1	55.8	
		N	539	638	21.9	50.9	
		L	552	651	19.3	62.9	
(2)	PP	U	517	616	21.0	58.4	
		N	533	634	22.0	59.2	
(3)	PP	L	469	615	24.8	61.9	
		U	547	646	19.2	62.2	
		N	547	649	19.5	62.8	
(4)	FP	L	552	649	20.3	63.5	
		U	597	676	23.0	66.7	
		N	608	672	20.4	65.7	
	PP	L	655	712	17.4	62.0	
		U	610	685	19.6	65.5	
		N	596	682	21.3	64.2	
L	644	705	18.0	57.0			

1) 降伏荷重は、0.2% off-set 耐力

表-7 溶接金属の要求性能¹⁾

溶接部位	引張性能	
	引張強さ (N/mm ²)	降伏点または0.2%耐力 (N/mm ²)
BOX角継手	≥590	≥440
ダイヤフラム	≥590	≥440
仕口	≥590	≥440
突合せ	≥590	≥440
隅肉	≥590	≥440

[注] 1. 異種継手の場合の引張性能は低強度側の規定値を適用する。

表-8 角継手の熱影響部引張試験

角継手形式	試験片採取位置	降伏強度 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	試験片採取位置図	
(1)	FP	UF	445	560	12.7	79.1	
		UW	472	573	12.1	78.2	
		LF	547	620	10.8	76.8	
	PP	LW	575	651	13.3	74.9	
		UF	442	555	12.4	78.5	
		UW	442	574	12.0	77.0	
(2)	PP	LF	441	570	14.1	76.2	
		LW	463	579	13.0	76.2	
		UF	444	570	12.8	73.9	
(3)	PP	UW	427	570	12.1	77.2	
		LF	457	594	12.6	74.8	
		LW	452	589	14.4	71.9	
(4)	FP	UF	447	556	12.7	67.3	
		UW	461	570	12.2	76.2	
		LF	446	561	11.2	76.1	
	PP	LW	454	580	13.5	72.4	
		UF	530	625	13.8	75.2	
		UW	550	629	10.8	76.8	
(4)	PP	LF	537	632	13.1	75.6	
		LW	562	644	12.7	76.8	
		UF	533	630	13.0	76.6	
		UW	580	679	13.2	75.5	
(4)	PP	LF	525	630	15.7	77.3	
		LW	545	646	13.9	74.9	

1) 降伏荷重は、0.2% off-set 耐力

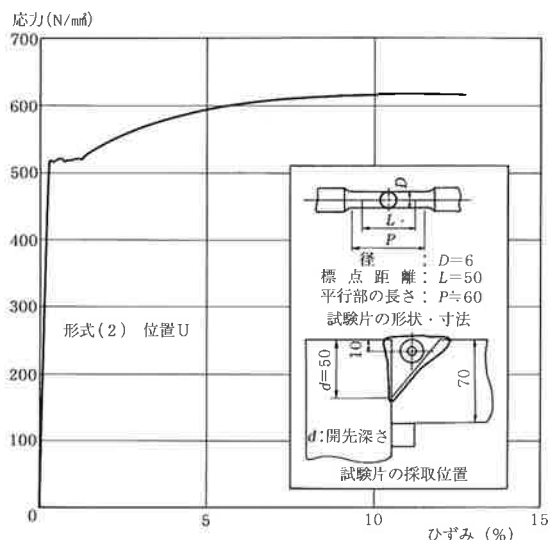


図-2 角継手の溶着金属の応力～ひずみ曲線 (形式(2), 位置U)

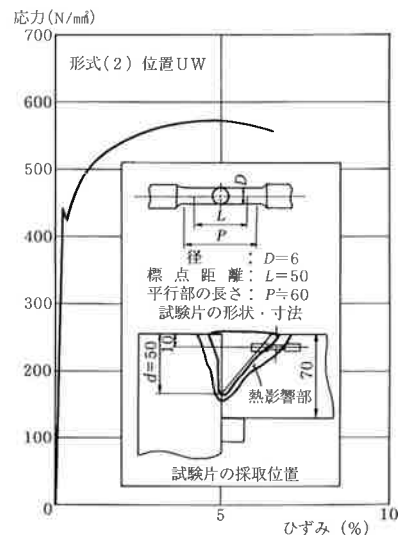


図-3 角継手の熱影響部の応力～ひずみ曲線 (形式(2), 位置UW)

板の低強度部（軟質部）を含む溶接継手の引張強度は、軟化部寸法や試験片寸法の影響が大きく、軟化部寸法が板厚などに比べて小さい場合は継手効率もほぼ1になることが示されている⁶⁾。ここで、佐藤ら⁷⁾は、継手強度が W/t (W :板幅, t :板厚)に無関係に一定の値となる W/t が7程度以上の軟質溶接継手において、軟質溶接金属と母材の引張強さの比 $S_r (= \sigma_{T^W} / \sigma_{T^B}$, σ_{T^W} :溶着金属の引張強さ, σ_{T^B} :母材の引張強さ)と相対厚さ $X_h (= H/t$, H :軟質部の厚さ)から継手の引張強さを求める近似式を提案している。低 C_{eq} 化されたTMCP鋼の熱影響部においては、従来鋼での硬さと引張強さの関係 (JIS換算表) がほぼ成立することから⁴⁾, 硬さ分布 (図-4に代表例を示す) を用いて引張強さが母材の規格値590N/mm以上を満足しないと推定される軟化域の厚さ (185Hv未満) を測定し, その測定結果を表-9に示す。表中の軟化域の厚さの平均 H_m と t との比を X_h とすると, 相対厚さは0.09~0.18と小さいと考えられる。この X_h を用いて, 佐藤らによる軟質継手の引張強さ (σ_{T^J}) 算定近似式により計算した角継手の引張強さを表-10に示す。計算値より, 6mmφのミクロな棒状試験片による熱影響部引張試験では引張強さが母材の引張強さの規格値を満足していないが, 継手の引張強さはその規格値を満足すると考えられる。

軟質部を含む継手の延性は、試験片寸法が極端に小さい場合を除けば、相対厚さおよび母材と軟質材の引張強さの比の因子の影響を受け、軟質材と母材の引張強さの比 S_r が小さい場合、破壊様式が脆性的になることが示されている⁸⁾。文献8)では、軟質溶接継手の引張強さが設計の基準となる母材の引張強さを保証し、かつ継手の延性も母材と同等の一樣伸びを保証する条件として、 $S_r \geq 0.9$ としている。表-10より、 S_r は0.89~0.92で、また、相対厚さが小さい軟化域を含んだ熱影響部引張試験片 (径: 6mmφ, 標点間距離: 50mm) での一樣伸びがほぼ5%を満足していることから (図-3), 継手が脆性破壊を示すことはないものと考えられる。

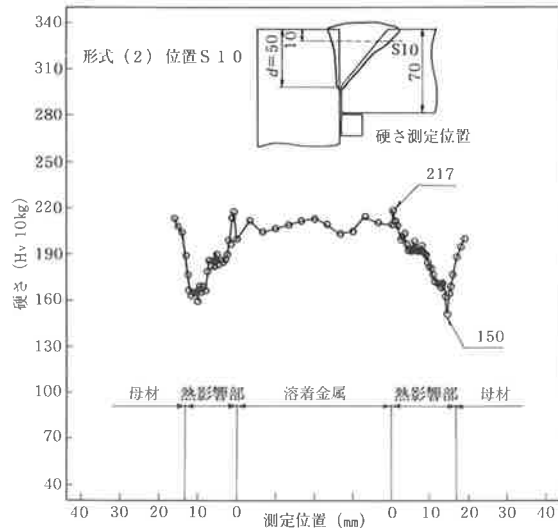


図-4 角継手の硬さ分布 (形式(2), 位置S10)

表-9 軟化域の厚さの測定結果

溶接形式	溶接部位	硬さ測定位置	軟化域の厚さ (mm)				$X_h = \frac{H_m}{t}$
			S10	C	B10(15)	H_m :平均	
(1)	完全溶込溶接部	フランジ側	11.5	6.8	0	6.1	0.09
	溶接部	ウェブ側	12.7	8.8	0	7.2	0.10
(2)	部分溶込溶接部	フランジ側	9.3	15.6	9.0	11.3	0.16
	溶接部	ウェブ側	14.1	8.8	6.1	9.7	0.14
(3)	部分溶込溶接部	フランジ側	8.3	10.7	10.0	9.7	0.14
	溶接部	ウェブ側	7.3	6.3	4.4	6.0	0.09
(3)	部分溶込溶接部	フランジ側	13.7	14.6	9.8	12.7	0.18
	溶接部	ウェブ側	15.6	12.0	7.8	11.8	0.17

[注] 1) 硬さ測定位置
 S10: 外面から10mm
 B10(15): 形式(1), (4)で開先深さ-10mm
 形式(2), (3)で開先深さ-15mm
 2) $t=70$ mm

表-10 角継手の引張強さ (σ_{T^J}) の計算値

溶接形式	溶接部位	継手側	H_m (mm)	X_h	σ_{T^W} (N/mm ²)	σ_{T^B} (N/mm ²)	S_r	σ_{T^J} (N/mm ²)
(1)	完全溶込溶接部	フランジ側	6.1	0.09	560	625	0.90	621
	溶接部	ウェブ側	7.2	0.10	573		0.92	622
(2)	部分溶込溶接部	フランジ側	11.3	0.16	555		0.89	622
	溶接部	ウェブ側	9.7	0.14	574		0.92	623
(3)	部分溶込溶接部	フランジ側	9.7	0.14	570		0.91	625*
	溶接部	ウェブ側	6.0	0.09	570		0.91	625*
(3)	部分溶込溶接部	フランジ側	12.7	0.18	556	0.89	623	
	溶接部	ウェブ側	11.8	0.17	570	0.91	625*	

[注] 1) σ_{T^W} : 表-8の熱影響部引張試験片の引張強さで, UF, LFの内もしくはUW, LWの小さい方の値
 2) σ_{T^B} : 母材の引張試験結果による引張強さ (JIS4号試験片(14mmφ), 採取位置: 1/4, 採取方向: C方向)
 3) *の値: 計算した σ_{T^J} が σ_{T^B} の値を超えるので, $\sigma_{T^J} = \sigma_{T^B}$ とした。

$$\sigma_{T^J} = \left(\frac{1}{3.86 X_{eq}^{0.8}} + 1 \right) \sigma_{T^W}$$

ただし,

$$X_h > m \text{ のとき } X_{eq} = X_h$$

$$X_h \leq m \text{ のとき } X_{eq} = 1/2(X_h + m)$$

$$m = 2 \left\{ \frac{S_r}{3.86(1-S_r)} \right\}^{1/0.8}$$

4) 衝撃試験

表-11に溶接部の衝撃試験結果を示す。溶接部のシャルピー衝撃値は、ほぼ（溶着金属）＜（ボンド部）＜（熱影響部）の順となっている。衝撃値の最も低い溶着金属においても、衝撃値は35J以上の値を示し、表-5に示す溶接部の性能目標値（BOX角継手：20J以上）を十分満足している。また、溶着金属2カ所を除き、母材の規格値（47J以上）を満足している。

5) 側曲げ試験，マクロ試験，硬さ試験

表-12に側曲げ試験，マクロ試験，硬さ試験の試験結果を示す。

側曲げ試験では溶接形式(1)の完全溶込溶接部に微小な0.5mmのブローホールが1個確認された以外は欠陥なく、180°の側曲げ性状は全て良好であった。

マクロ試験では、全ての試験片において溶込み良好で無欠陥であった（写真-1）。

硬さ試験において、最高硬さに着目すると、最高硬さは217～266H_vでボンド部もしくはボンド部近傍の溶着金属、熱影響部に発生し、熱影響部の延性は良好と考えられる⁹⁾。

(2) エレクトロスラグ溶接部と梁フランジ溶接部

1) 十字引張試験

表-13に十字引張試験の試験結果を示す。引張強さはダイアフラムの引張強さの規格値（490N/

表-11 角継手の衝撃試験結果

(単位：J)

試験片採取位置		角継手形式				試験片採取位置図	
		(1)	(2)	(3)	(4)		
完全溶込溶接部	U側	フランジ側 熱影響部	287.3	—	—	239.3	
		フランジ側 ボンド部	52.3	—	—	172.6	
		フランジ側 溶着金属	57.6	—	—	80.8	
	L側	ウェブ側 ボンド部	47.7	—	—	141.2	
		ウェブ側 熱影響部	274.6	—	—	297.1	
		ウェブ側 熱影響部	239.3	—	—	255.0	
部分溶込溶接部	U側	フランジ側 ボンド部	157.8	—	—	187.3	
		フランジ側 溶着金属	35.0	—	—	56.2	
		フランジ側 ボンド部	99.1	—	—	241.2	
	L側	ウェブ側 熱影響部	266.7	—	—	282.4	
		ウェブ側 熱影響部	262.8	152.0	199.1	244.2	
		ウェブ側 ボンド部	76.8	106.9	194.2	138.3	
部分溶込溶接部	U側	フランジ側 溶着金属	100.0	68.7	104.9	76.8	
		フランジ側 ボンド部	89.3	103.0	104.9	154.0	
		フランジ側 熱影響部	285.4	277.5	221.6	260.9	
	L側	ウェブ側 熱影響部	234.4	167.7	209.9	164.8	
		ウェブ側 ボンド部	80.8	82.1	99.4	190.2	
		ウェブ側 溶着金属	51.3	46.4	52.3	65.1	
部分溶込溶接部	L側	ウェブ側 ボンド部	126.5	113.8	68.3	202.0	
		ウェブ側 熱影響部	251.1	144.2	242.2	256.0	
		ウェブ側 熱影響部	251.1	144.2	242.2	256.0	

1) 試験温度：0℃
2) 試験方法：シャルピー衝撃試験

表-12 側曲げ試験，マクロ試験，硬さ試験の試験結果

溶接形式	溶接部位	側曲げ試験	マクロ試験	硬さ試験	
		試験結果	試験結果	最高硬さ(H _v)	最高硬さ部位
(1)	完全溶込溶接部	B 0.5×1	欠陥なし	266	熱影響部
	部分溶込溶接部	欠陥なし	欠陥なし	219	ボンド部、熱影響部
(2)	部分溶込溶接部	欠陥なし	欠陥なし	217	熱影響部
(3)	部分溶込溶接部	欠陥なし	欠陥なし	221	溶着金属
(4)	完全溶込溶接部	欠陥なし	欠陥なし	242	ボンド部
	部分溶込溶接部	欠陥なし	欠陥なし	242	ボンド部

[注] 1) 側曲げ試験：Bはブローホールを示す。

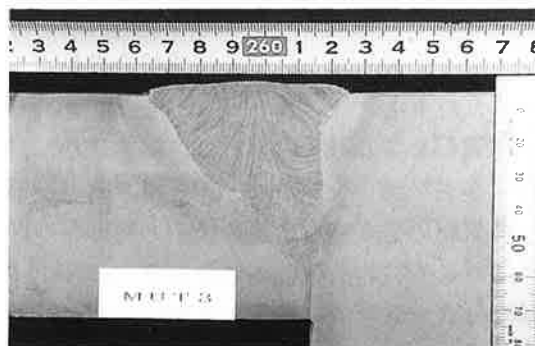


写真-1 角継手のマクロ組織（溶接形式(2)）

表-14 エレクトロスラグ溶接部および梁フランジ溶接部の衝撃試験結果

溶接部位	試験片採取位置		衝撃値 (J)	試験片採取位置図
エレクトロスラグ溶接部	柱側	熱影響部	296.2	
		ボンド部	154.0	
	エレスラ中心	溶着金属	47.7	
		ボンド部	100.0	
	ダイアフラム側	熱影響部	129.4	
		柱側 熱影響部(L)	69.7	
梁フランジ溶接部	溶着金属		310.9	
	熱影響部(L)		85.0	

1) 試験温度：0℃
2) 試験方法：シャルピー衝撃試験
3) (L)試験片：ノッチ先端をボンド部とする

表-13 エレクトロスラグ溶接部と梁フランジ溶接部十字引張試験の試験結果

試験片No.	引張強さ (N/mm ²)	破断位置
1	574	ダイアフラムの熱影響部
2	561	ダイアフラムの熱影響部

表-15 マクロ試験結果

試験片採取位置	試験結果
エレクトロスラグ溶接部	欠陥なし
と梁フランジ溶接部	欠陥なし
エレクトロスラグ溶接部	縦マクロ
と梁フランジ溶接部	交差部
	欠陥なし

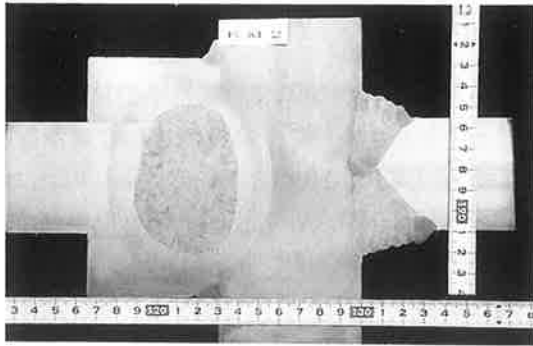


写真-2 エレクトロスラグ溶接部と梁フランジ溶接部のマクロ組織

mm²以上) を満足している。

2) 衝撃試験

表-14に衝撃試験結果を示す。溶接部の衝撃値は47J以上の良好な値を示している。表-5に示す溶接部の性能目標値を十分満足している。

3) マクロ試験

表-15にマクロ試験の試験結果を示す。全て、溶込み良好で無欠陥であった(写真-2)。

4) 硬さ試験

最高硬さは、254H_vで梁フランジ溶接部の熱影響部に発生し、熱影響部の延性は良好と考えられる。図-5に硬さ分布の代表例を示すが、エレクトロスラグ溶接部の熱影響部の一部(柱側)に溶接部の性能目標値(表-5)を満足しないと推定される軟化域が発生している。しかし、軟化域の幅が板厚の1/7程度以下であること、また、十字引張試験で十分な引張強さを示していることから、この軟化域の強度が継手引張強さの低下に与える影響は少ないと考えられる。

3. まとめ

建築構造用高性能60キロ鋼を用いた溶接組立箱形断面柱の角継手およびエレクトロスラグ溶接部などの継手性能を調査、検討し、以下のことが確認された。

(1) 角継手について

- 1) 溶接は、全て、予熱なし、パス間温度250℃以下として行い、最大溶接入熱は、炭酸ガスシールドアーク溶接で77kJ/cm、タンデムサブマージアーク溶接で425kJ/cmであった。
- 2) 継手引張試験の引張強さおよび溶着金属の引張強さは、全て、溶接部の性能目標値の値

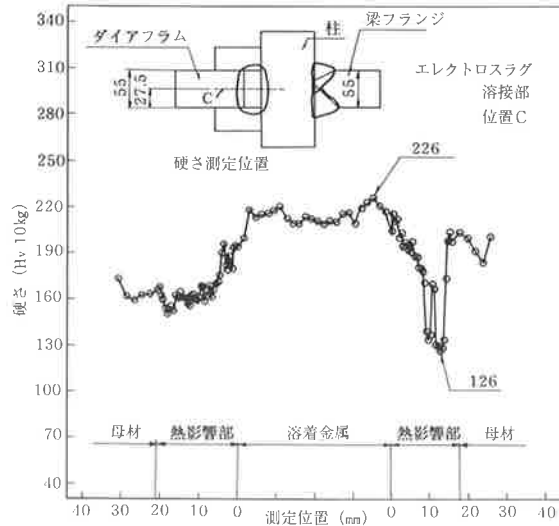


図-5 ダイアフラムのエレクトロスラグ溶接部の硬さ分布(位置C)

を満足した。

- 3) 側曲げ試験では試験片に問題となる欠陥は発生しなかった。
- 4) 溶接部の溶着金属で35J以上、ボンド部および熱影響部で47J以上のシャルピー衝撃値を示し、溶接部の性能目標値を満足した。
- 5) マクロ試験において、溶接部は溶込み良好、無欠陥であった。
- 6) 溶接部の最高硬さは、217~266H_vであった。
- 7) 熱影響部のミクロな試験片による引張試験および硬さ分布から、熱影響部の一部に母材の引張強さの規格値を満足しない軟化域が確認されたが、その相対厚さは0.09~0.18と小さいと推定された。この相対厚さを用いて推定した継手強度は、全て、母材の引張強さの規格値を満足した。また、軟化域と母材との引張強さの比は0.89~0.92と推定され、母材と同等の一樣伸びを保証する条件を満足していると考えられる。

(2) エレクトロスラグ溶接部と梁フランジ溶接部

- 1) 溶接は、予熱なしで、梁フランジ溶接部はパス間温度250℃以下として行った。
- 2) 最大溶接入熱は、梁フランジ溶接の炭酸ガスシールドアーク溶接で47kJ/cm、エレクトロスラグ溶接で980kJ/cmであった。
- 3) 十字引張試験では、ダイアフラムの熱影響部で破断し、その引張強さはダイアフラムの

引張強さを満足した。

- 4) シャルピー衝撃値は、全て47J以上の値を示し、溶接部の性能目標値を満足した。
- 5) マクロ試験において、溶接部は溶込み良好、無欠陥であった。
- 6) 溶接部の最高硬さは、梁フランジ溶接部で254H_v、エレクトロスラグ溶接部で226H_vであった。硬さ分布から、熱影響部の一部に溶接部の性能目標値を満足しないと考えられる軟化域が確認されたが、その相対厚さは1/7程度と推定された。

以上より、本施工試験で用いた継手の実工事への適用に対して十分な性能を有するものと考えられる。

あとがき

本溶接施工試験は、駒井鉄工株式会社と住友金属工業株式会社の共同研究で行ったものであり、関係各位に謝意を表す。また、試験の計画および実施に際し、ご指導、ご鞭撻頂いた千葉大学教授森田耕次博士、株式会社日建設計山野祐司氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) 鋼材倶楽部高性能鋼利用技術小委員会 接合ワーキンググループ：高性能HT60鋼溶接施工指針（案），1993.3.
- 2) 建設省建築研究所・社団法人鋼材倶楽部：高性能鋼利用技術指針，p.7，1994.1.
- 3) 北村信男・森田耕次・山崎真司：SM570鋼厚板の仮付溶接予熱温度の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）構造CⅡ，pp.1113-1114，1991.9.
- 4) 豊貞雅宏：新しい製造法による鋼材（TMCP鋼）の溶接構造物への適用に関するシンポジウム，2．継手強度と疲労特性，（社）日本造船学会，pp.181-202，1983.11.
- 5) 仁藤 弘・阪井大輔・矢島 浩・井上好章・十河泰雄・佐藤邦彦・豊田政男：TMCP型HT50鋼板溶接継手の引張強さに関する評価，日本造船学会論文報告集，No.157，pp.304-311，1985.6.
- 6) 豊田政男：鋼構造物破壊安全性評価に果たす破壊研究の役割—その変遷と展望—，第11回溶接構造物用鋼材に関する研究発表会資料，（社）日本溶接協会，p.10，1994.12.
- 7) 佐藤邦彦・向井喜彦・豊田政男：溶接工学，理工学社，pp.212-215.
- 8) （社）日本溶接協会 鉄鋼部会技術委員会SJ委員会：軟質溶接継手の力学的挙動と強度に関する研究（総合報告書），1975.11.
- 9) 日本建築学会：鉄骨工事技術指針・工場製作編，p.249，1987.