

## 建築構造用高降伏点 490N/mm<sup>2</sup>鋼材の4面ボックス 柱スキンプレート適用に関する事前検討

白井 嘉行<sup>※1</sup>, 小林 光博<sup>※2</sup>

近年、超高層鋼構造建築で最も多く使用されている引張強度 490 N/mm<sup>2</sup> 鋼に対して、TMC プロセスの適用により溶接性は従来鋼 (490 N/mm<sup>2</sup>) と同等ながら、溶接部の靱性が優れ、設計強度が従来鋼の 325 N/mm<sup>2</sup> から 400N/mm<sup>2</sup> と高い数値の建築構造用高降伏点 490N/mm<sup>2</sup> 鋼材が開発された。しかし、現状では溶接施工面での実施例が少なく、使用すべき溶接材料および溶接条件は確立されていない。

そこで、本研究では建築構造用高降伏点 490N/mm<sup>2</sup> 鋼材をスキンプレートに使用した4面ボックス柱をモデル化した実物大の試験体を製作し、溶接部の機械的性質の調査を行った。その結果を報告する。

キーワード：建築構造用高降伏点 490N/mm<sup>2</sup>鋼材，4面ボックス柱，溶接施工

### 1. 序

建築空間の有効活用を目的とする大スパン化、高層化等に対し、柱部材の支える荷重の増加に対応する有効な鋼材が開発された。

本研究では、建築構造用高降伏点 490N/mm<sup>2</sup> 鋼材の4面ボックス柱スキンプレートへの適用にあたり、溶接材料および溶接施工の検討を実物大の試験体を製作し溶接部の調査を行った。

### 2. 実験計画

#### (1) 試験体

試験体材質はスキンプレートに建築構造用高降伏点 490N/mm<sup>2</sup> 鋼材の PL-60 を、内ダイアフラムに TMCP325B 鋼の PL-45 を仕口フランジに SN490B の PL-40 を使用した。使用鋼材の機械的性質を表1に化学成分を表2に示す。使用した鋼材のメーカーは新日本製鐵(株)である。試験体ボックス主管は BOX-900×900×60×60、長さ 3000mm とし、幅 500mm の仕口を各面に取付けた。試験体形状を図1に、開先詳細を図2に示す。ボックス角継手溶接はタンデムサブマージアーク溶接を用い、1パスで溶接施工を行った。内ダイアフラムの溶接は非消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接を用いた。4箇所仕口の溶接のうち2箇所は工場溶接を想定し横向姿勢で、その他2箇所は現場溶接を想定し下向姿勢で CO<sub>2</sub> ガスシールドアーク半自動溶接にて行った。

表1 使用鋼材の機械的性質 (ミルシート)

鋼板	材質	YP (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	EL (%)	YR (%)	vEo (J)
スキンプレート	建築構造用高降伏点 490N/mm <sup>2</sup> 鋼材	445	567	31	78	296
ダイアフラム	TMCP325B	400	543	30	74	299
仕口フランジ	SN490B	361	517	33	70	260

YP:降伏点、TS:引張強さ、EL:伸び、YR:降伏比  
vEo:0°C吸収エネルギー

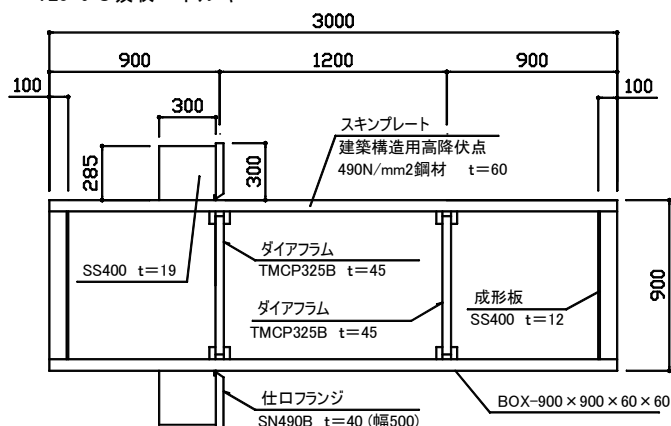
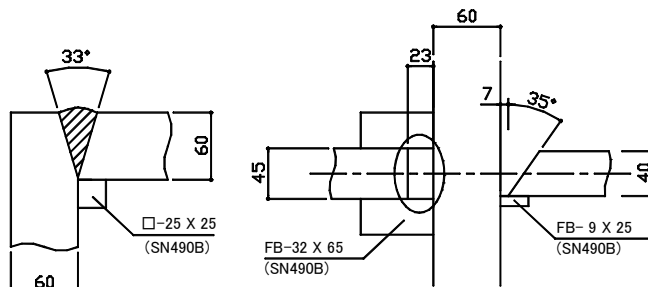


図1 試験体形状



(角継手溶接部) (内ダイアフラム+仕口フランジ溶接部)

図2 開先詳細

※1 鉄構事業部 鉄構富津工場 技術課係長 修士(工学)

※2 鉄構事業部 鉄構富津工場 技術課長

表2 使用鋼材の化学成分(%)

鋼板	材質	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	B	N	Ti	Ceq	P <sub>CM</sub>	f <sub>HAZ</sub>
スキムプレート	建築構造用高降伏点 490N/mm <sup>2</sup> 鋼材	0.13	0.27	1.39	0.009	0.002	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0	0.0001	0.0033	0.015	0.38	0.21	0.35
ダイアフラム	TMCP325B	0.13	0.28	1.35	0.01	0.002	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0	0	-	-	0.37	0.21	-
仕口フランジ	SN490B	0.14	0.23	1.49	0.006	0.002	-	0.02	0.02	0	-	0.06	-	-	-	0.41	-	-

Ceq: C+Mn/6+Si/24+Cr/5+V/14\*Ni/40+Mo/4  
 P<sub>CM</sub>: C+Mn/20+Si/30+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B  
 f<sub>HAZ</sub>: C+Mn/8+6(P+S)+12N-4Ti

表3 使用溶接材料

溶接部位	溶接方法	溶接材料規格	溶接材料銘柄	メーカー
ボックス角継手	サブマージアーク溶接	JIS Z 3183 S623-H1	ワイヤ: 先行 US-49(6.4Φ) 後行 US-49(6.4Φ) フラックス: PFI-53ES	神戸製鋼
内ダイアフラム	非消耗ノズル式 エレクトロスラグ溶接	JIS Z 3353 YES51/FS-FG3	ワイヤ: YM-55S(1.6Φ) フラックス: YF-15I	日鐵住金
仕口フランジ	CO <sub>2</sub> ガスシールドアーク 半自動溶接	JIS Z 3312 YGW18	KC-55G(1.4Φ)	製造元: 神戸製鋼 販売元: JFE溶接棒

表4 施工時溶接記録

溶接部位	溶接方法	電流 (A)	電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	入熱 (kJ/cm)	最高パス間温度 (°C)	
ボックス角継手	サブマージアーク溶接	先行極: 2150 後行極: 1650	先行極: 40 後行極: 50	18.0	562	-	
内ダイアフラム	非消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接	380	52	1.32~1.41	840~898	-	
仕口フランジ	CO <sub>2</sub> ガスシールドアーク 半自動溶接	下向姿勢	350~360	40~42	22.6~53.5	16.1~37.2	283
		横向姿勢	300~320	38~40	25.2~89.2	8.6~32.0	256

CO<sub>2</sub> ガスシールドアーク半自動溶接の溶接条件の管理は入熱 40kJ/cm 以下、パス間温度 350°C 以下で行なった。使用溶接材料を表3に、施工時の溶接記録を表4に示す。

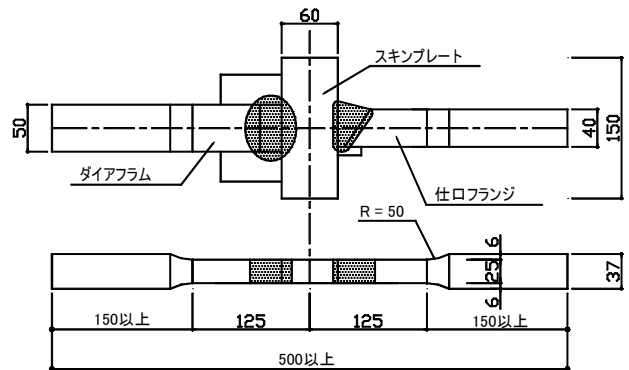
超音波探傷検査による溶接部の内部欠陥は全ての部位で検出されず、また内ダイアフラム溶接部のエレクトロスラグ溶接の溶込み幅は日本建築学会規準を満たす十分な値であった。

(2) 機械試験

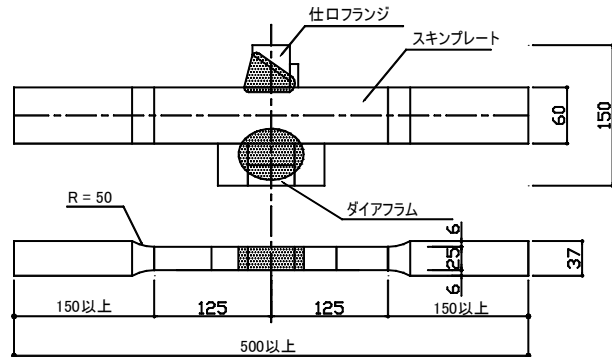
溶接金属引張試験片は平行部の径 12.5mm の JIS Z 3111 A1 号試験片を用い、内ダイアフラム溶接部および角継手溶接部より 2 箇所ずつ採取した。十字継手引張試験はスキムプレートに平行および直行方向より採取した。十字継手引張試験片形状を図3に示す。

シャルピー衝撃試験は JIS Z 2202 V ノッチ試験片を用い、試験温度 0°C で行った。

ビッカース硬さ試験は溶接部の表面 5mm、板厚中央および裏側 5mm の位置に試験力 98N で試験を行った。打点ピッチは母材および溶接金属部は 1mm、熱影響部は 0.5mm で行った。



(1) スキムプレート直交試験体



(2) スキムプレート平行試験体

図3 十字継手引張試験片形状

### 3. 実験結果

#### (1) マクロ試験結果

マクロ試験片写真を図4に示す。溶接金属内部の割れ、ブローホール等の欠陥は見られなかった。また、溶込み不良、母材と溶接金属との融合不良は見られず、建築構造用高降伏点 490N/mm<sup>2</sup> 鋼材に対する十分な溶込みが確認できた。

#### (2) 引張試験結果

引張試験結果一覧を表5に示す。溶接金属引張試験片採取位置を図5に示す。試験結果は全ての試験片で母材の引張強さの規格下限値 490N/mm<sup>2</sup> を上回った。各試験片は同一部位から2本ずつ採取したが、各々の実験結果の値に差異はみられなかった。十字引張試験体の破断位置は全て母材であり、スキムプレート平行試験体はスキムプレート、スキムプレート直交試験体は仕口フランジが破断位置であった。同一断面では溶接部の強度は母材より大きいことが確認できた。

表5 引張試験結果一覧

試験対象部位		採取位置	YP (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	EL (%)	YR (%)	RA (%)	
溶着金属 引張試験	角継手 溶接部	中央部	1本目	525	687	24	76	65
			2本目	524	682	24	77	65
		表層部	1本目	526	680	23	77	65
			2本目	525	675	24	78	66
	内ダイ 溶接部	中央部	1本目	423	560	25	76	72
			2本目	416	558	27	75	74
スキムプレート側		1本目	394	543	28	73	72	
		2本目	395	549	29	72	71	
十字継手 引張試験	スキムプレート 直交	仕口フランジ 下向溶接	1本目	-	521	-	-	-
			2本目	-	520	-	-	-
		仕口フランジ 横向溶接	1本目	-	525	-	-	-
			2本目	-	524	-	-	-
	スキムプレート 平行	仕口フランジ 下向溶接	1本目	-	569	-	-	-
			2本目	-	569	-	-	-
		仕口フランジ 横向溶接	1本目	-	570	-	-	-
			2本目	-	569	-	-	-

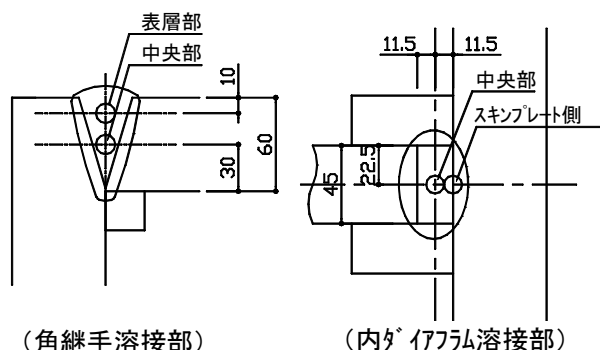
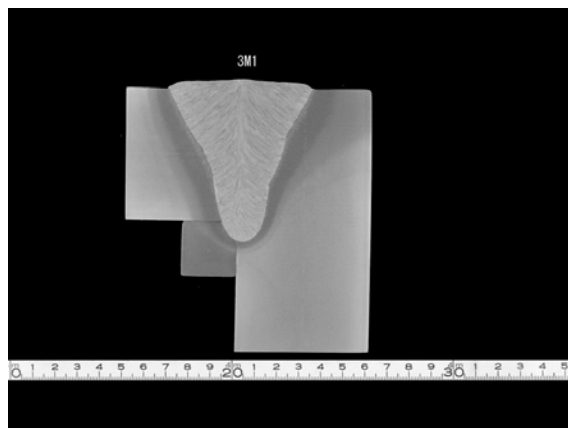
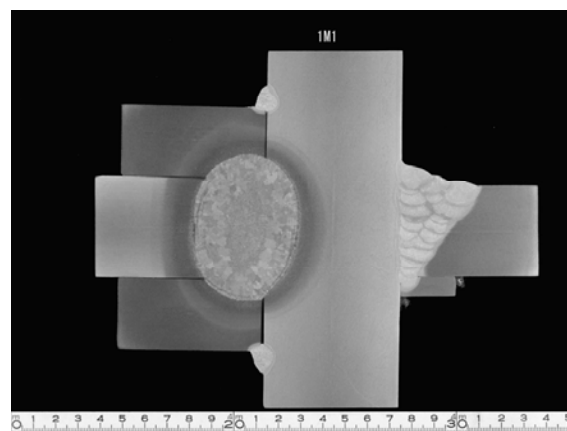


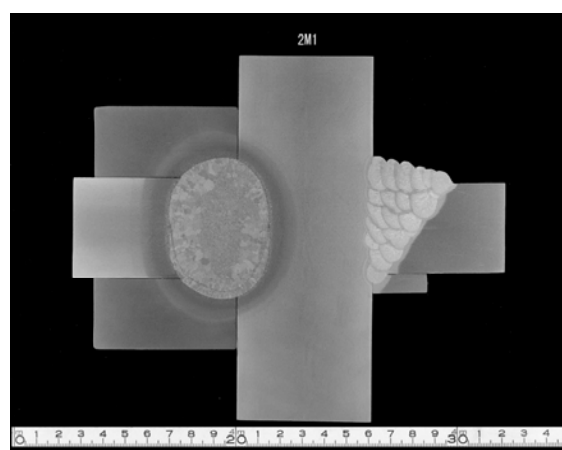
図5 溶接金属引張試験片採取位置



(1) 角継手溶接



(2) 内ダイアフラム溶接 + 仕口下向溶接



(3) 内ダイアフラム溶接 + 仕口横向溶接

図4 マクロ試験片写真

(3) シャルピー衝撃試験結果

シャルピー衝撃試験結果一覧を表6に示す。0℃吸収エネルギーは全ての試験体において目標の27Jを上回った。表中の0℃吸収エネルギーおよび延性破面率は同一箇所から採取した3試験片の平均値である。

内ダイアフラム溶接部及び角継手溶接部の0℃吸収エネルギー試験片採取位置関係を図6および図7に示す。0℃吸収エネルギーはエレクトロスラグ溶接部中央からHAZ部に向かって直線的に増加する傾向がみられた。一方、角継手溶接部ではサブマージアーク溶接中央部とHAZ部に対し、BONDの値が若干低めの傾向があった。

表6 シャルピー衝撃試験結果一覧

試験対象部位	試験片採取位置	0℃吸収エネルギー (J)	延性破面率 (%)	
角継手	DEPO	表層側	44	28
		中央	53	40
		ルート側	48	42
	BOND	表層側	74	55
		中央	54	37
		ルート側	65	27
	HAZ	表層側	65	28
		中央	40	47
		ルート側	108	42
内ダイアフラム	DEPO	中央	34	47
		スキンPL側	61	62
	BOND	80	22	
	HAZ	111	35	
仕ロフランジ	横向溶接	DEPO	156	93
		BOND	212	93
		HAZ	229	93
	下向溶接	DEPO	79	78
		BOND	224	97
		HAZ	193	82

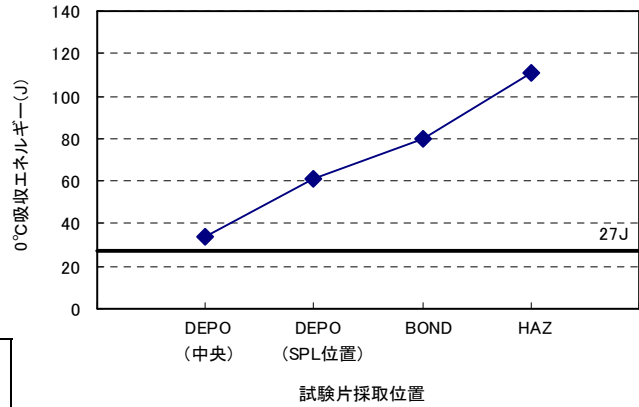
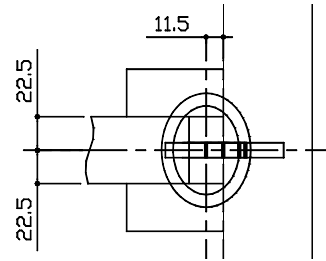


図6 0℃吸収エネルギー試験片採取位置 (内ダイアフラム溶接部)

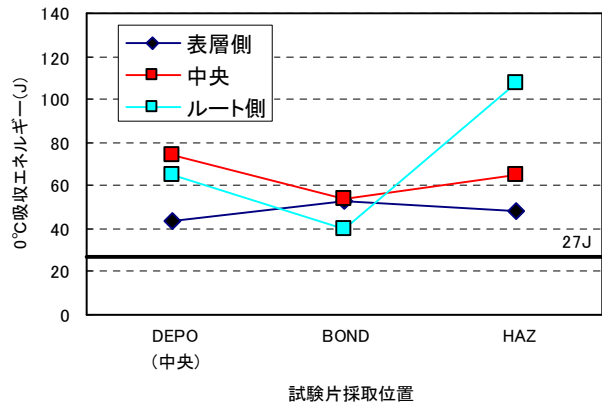
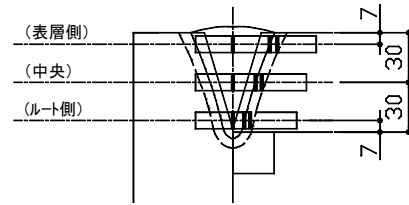
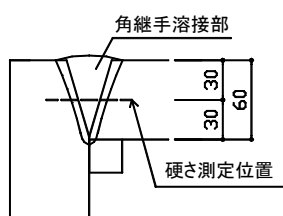


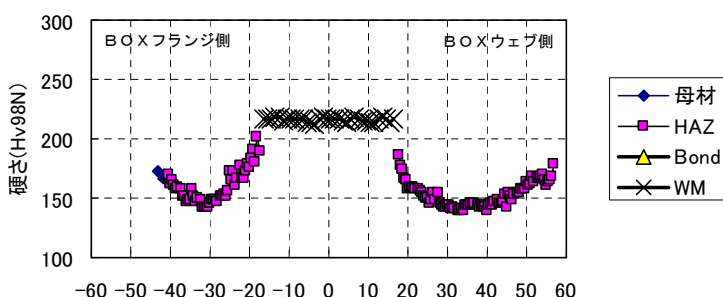
図7 0℃吸収エネルギー試験片採取位置 (角継手溶接部)

表7 ビッカース硬さ試験結果一覧

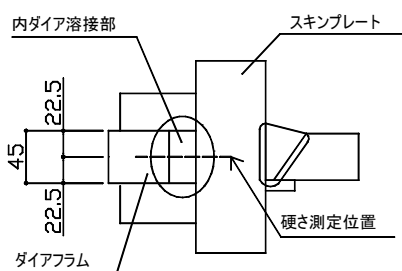
試験対象部位	測定位置	測定数	最大値 (Hv)	最小値 (Hv)
内ダイアフラム溶接部 + 仕ロフランジ (下向溶接)	表層側5mm	168	212	135
	板厚中央	156	229	134
	ルート側5mm	145	219	137
内ダイアフラム溶接部 + 仕ロフランジ (横向溶接)	表層側5mm	161	250	134
	板厚中央	156	239	136
	ルート側5mm	144	235	136
角継手溶接部	表層側5mm	150	220	138
	板厚中央	164	218	139
	ルート側5mm	85	221	141



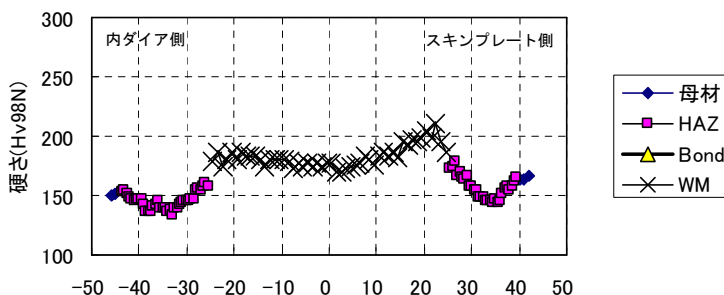
(1) 角継手溶接部



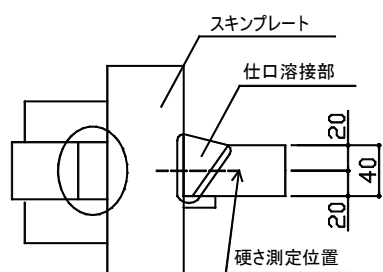
角継手溶接部中心からの距離(mm)  
(1) 角継手溶接部



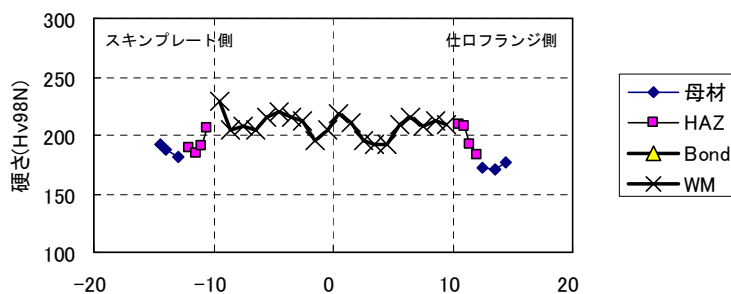
(2) 内ダイアフラム溶接部



内ダイアフラム溶接中心部からの距離(mm)  
(2) 内ダイアフラム溶接部



(3) 仕口溶接部



仕口フランジ溶接部中心からの距離(mm)  
(3) 仕口溶接部

図8 ビッカース硬さ試験測定位置

図9 ビッカース硬さ試験結果

(4) ビッカース硬さ試験結果

ビッカース硬さ試験結果を表7に、図8に測定位置の一例を、図9に試験結果を示す。全ての部位において最高硬さが350Hvを超えるものはみられなかった。また、母材硬さの値が約180Hvに対し、測定された最高硬さは約250Hv、最低硬さは約135Hvの値であることより極端な硬化部および軟化部は確認できなかった。

4. まとめ

建築構造用高降伏点490N/mm<sup>2</sup>鋼材をスキンプレートに使用した実物大の4面ボックス柱試験体を製作し溶接施工に関し検討を行った。

その結果、溶接部の機械的性質は本実験の条件において、目標値を全て上回ることが確認できた。