# 590N/mm<sup>2</sup>級プレスコラム

# 590N/mm<sup>2</sup> Cold Press-formed Rectangular Column

形山 忠輝 Tadaki Katayama 基盤技術研究所 都市工学研究部 主任研究員 Haruhito Okamoto 岡本 晴仁 建材センター 主席 工博 中村 信行 建材技術開発部 主杳 Nobuyuki Nakamura 建材センター 猪砂 利次 Toshitsugu Inosako 建材技術開発部 統括スタッフ 建材センター Hisaya Kamura 加村 久哉 基盤技術研究所 都市工学研究部 主任研究員 平野 Osamu Hirano 攻 ㈱セイケイ 専務取締役

従来引張り強さ 490N/mm<sup>2</sup> 級を上限としていた冷間成形角形鋼管に対して高強度化を図り,日本で初めて となる 590N/mm<sup>2</sup> 級冷間成形角形鋼管(プレスコラム)を開発した。角部の必要靭性を確保する材料特性 を有していることを特徴の一つとしており,490N/mm<sup>2</sup> 級のコラムよりも高強度・高靭性を要求される大 規模建築に対応することができる。また実験的に従来の 590N/mm<sup>2</sup> 級溶接 4 面 BOX 柱と同等の塑性変形 能力を有していること,CFT 柱にも適用できることを示した。

We have developed 590N/mm<sup>2</sup> cold press-formed rectangular column, which has higher strength than usual model 490N/mm<sup>2</sup> cold press-formed rectangular column. Because of high absorbed energy at corner of this product, this column can be used for large-scale structure. The test results indicated the column to be satisfied with the ductility characteristics necessary for structural column, and to be applied to CFT column.

# 1. はじめに

冷間プレス成形角形鋼管(BCP)<sup>1)</sup>は,経済性に優れた合 理的な柱材として広く使用されている。しかしながら,強度 (490N/mm<sup>2</sup>級)および板厚(最大 40mm)の制限などによ リ,適用できる建築物の規模は限られていたため,高軸力が 要求されるような大規模建築物には,強度や板厚の制限の少 ない溶接組立4面BOX柱で施工される例が多かった。こう した建築設計に対応するため,590N/mm<sup>2</sup>級プレスコラム (Fig.1)の構造性能について,確性試験および部材実験から 検証を行った。なお建築構造用 590N/mm<sup>2</sup>級冷間プレス成 形角形鋼管は,2001年10月に,国土交通大臣の材料認定を 取得している。



Fig.1 590N/mm<sup>2</sup> cold press-formed rectangular column

## 2. 建築基準法材料認定取得概要

# 2.1 590N/mm<sup>2</sup>級プレスコラムの開発概要

鋼材に予ひずみを与えた場合,一般的に鋼材の降伏点およ び引張り強さは上昇し,靭性は劣化する<sup>2)</sup>。プレスコラムの 主な課題は,(1)角部靭性の確保,(2)角部強度の上昇に伴 うダイアフラム溶接部の強度確保およびそのための溶接条 件設定,である。こうした課題に対処するため,(1)Fig.2に 示した平坦部から角部への遷移曲線の移行量を考慮し,平坦 部-40 における靭性を保証(Table 1),(2)P<sub>CM</sub>を抑える などの対応を施した鋼板と,溶接部強度が角部強度を上回 るように設定した溶接ワイヤと溶接条件の組み合わせ (Table 2),(3)トウ部を開先面に沿った脆化部から遠ざ けることで,溶接継手からの脆性破壊を防止するための溶 接継手断面の形状(Fig.3)などを提案して,前述の課題を 解決した。特に(3)の技術,つまり

- ・ビード1を置くことにより,材軸方向に平行なFusion line を生成する(HAZの生成方向と主応力方向と直交させない)。
- ・余盛によって溶接部近傍の断面積を増し, HAZ の強度低 下をカバーする。
- ・所定の距離 a および b を確保することにより,ビード 1 近 傍の脆化を防ぎ,開先面に沿った Fusion line から遠ざける。
   などにより, HAZ 部からの脆性破壊を防止することが可能となる。



Fig.2 Transition temperature behavior of 590N/mm<sup>2</sup> cold press-formed rectangular column

Table 1 Standa	rd of	steel
----------------	-------	-------

у	u	YR	Charpy impact
or 0.2% offset	N/mm²	0/	value(-40)
IN/111111-	IN/IIIII-	70	J
440 - 540	590 - 740	80	47

Table 2 Example for welding conditions

Solid Wire	MG60	MG70	MG80
Welding current A	200 - 300	200 - 320	200 - 320
Arc voltage V	28 - 35	28 - 35	28 - 35
Velocity cm/min	30 - 50	20 - 50	15 - 50
Heat input kJ/cm	7 - 12	15 - 27	15 - 30
Interpass temp.	150	250	250

MG60,MG70,and MG80 made by KOBELCO



Fig.3 Section of weldment

## 2.2 認定取得範囲

590N/mm<sup>2</sup> 級プレスコラムの認定取得範囲を Table 3 に示 す。ダイアフラムなどの溶接施工に関しては, Table 2 に示 した溶接条件例などを記した溶接施工要領書に従って施工 するものとしている。

 Table 3
 Minimum and maximum size of 590N/mm<sup>2</sup>

 cold press-formed rectangular column

Depth or Breadth	Thickness
mm	mm
300 - 1400	19 - 50

- 3. 590N/mm<sup>2</sup> 級プレスコラムの材料特性
- 3.1 母材の機械的性質

Table 4 に, プレスコラム母材平坦部および角部の引張り 試験結果を示す。これより, 冷間加工による角部の強度上昇 は,0.2%耐力の場合は1.32~1.35 倍,引張り強さは1.12~ 1.15 倍であることがわかる。

Table 4	Mechanical properties of 590N/mm <sup>2</sup> cold
	press-formed rectangular column

-		-						
t	Position	у	u	EL	YR	<u>y-corner</u>	<u>u-corner</u> u-flat	
mm		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	%	y-nat		
10	Flat	500	633	21	78.9	1 2 2	9 1 19	
15	Corner	658	708	39	93.0	1.52	1.12	
95	Flat	489	629	23	77.6	1.95	1.12	
20	Corner	659	702	43	93.8	1.55		
40	Flat	510	649	24	78.5	1 9 9	1 16	
40	Corner	678	756	42	89.7	1.55	1.10	

Flat : JIS-Z2201-1A Corner : JIS-Z2201-12B

次に,母材平坦部および角部のコラム外表面下 1mm 位置 より採取したシャルピー衝撃試験の結果を Table 5 に,板厚 40mm の遷移曲線を Fig.2 に示す。冷間加工の影響により, 角部のエネルギー遷移曲線は平坦部に対し全体的に高温側 にシフトしているが,平坦部,角部とも、E0(0 におけるシ ャルピー衝撃吸収エネルギー)は 200J 以上の靭性値を有し ていることがわかる。

Table 5	Impact properties of 590N/mm <sup>2</sup> cold
	press-formed rectangular column

<i>t</i> mm	Position	Temp.		<i>,E</i> <sub>0</sub> J		Ave. J
	Flat	-40	353	351	346	350
19	Flat	0	354	345	362	354
	Corner	0	319	345	313	326
		-40	343	334	338	338
25	Flat	0	343	341	336	340
	Corner	0	280	194	276	250
	-	-40	313	311	309	311
40	FIAL	0	310	314	314	313
	Corner	0	238	242	243	241

## 3.2 ダイアフラム溶接部の機械的性質

コラムと同板厚のダイアフラムを溶接して、板厚 19mm, 25mm,40mmの3体のCO2溶接部確性試験体を製作した。Fig.4に,溶接入熱と溶着金属強度との関係を示す。 図中 で示した実線は,前節の引張り試験結果に基づいて 推定した平坦部規格下限値に対応する母材角部の強度で ある。



Fig.4 Relationship between heat input and tensile strength of weldment

Table 2 に示した溶接条件のもとで製作した試験体から, 引張りおよびシャルピー衝撃特性を調査した。なおシャルピ ー衝撃試験片は,溶接金属,溶融線,熱影響部(溶融線から 1mm および 3mm の位置)の Fig.5 に示した位置から採取し た。



Fig.5 Charpy V-Notch specimens of weldment

一連の試験結果のうち,十字継手引張り試験後の状況の例 をPhoto1に,母材を含めた引張り試験結果をTable6に示 す。

溶接金属の引張り強さは,母材角部に対して若干が低めで あったが,十字継手引張り試験では,Photo1の例のように, すべての板厚において,母材部分で破断し,溶接金属部から の破断がないことを確認した。



Photo 1 Tension test of joint

act niece	Desition	σy	σu	$\mathbf{EL}$	YR
est piece	FOSICION	$N/mm^2$	$N/mm^2$	%	%
-Z2201-1A	flat	500	633	21	78.9
S-Z3131-4	flat(weld)	-	647	-	-
-Z2201-12B	corner	658	708	39	93.0
S-Z3131-4	corner(weld)	-	753	-	-
5-Z2201-10	weld metal	598	674	23	88.7
5-Z2201-1A	flat	489	629	23	77.6
S-Z3131-4	flat(weld)	-	618	-	-
-Z2201-12B	corner	659	702	43	93.8
S-Z3131-4	corner(weld)	-	717	-	-
S-Z2201-10	weld metal	620	701	25	88.4
5-Z2201-1A	flat	510	649	24	78.5
S-Z3131-4	flat(weld)	-	648	-	-
-Z2201-12B	corner	678	756	42	89.7
S-Z3131-4	corner(weld)	-	764	-	-
5-Z2201-10	weld metal	650	710	26	91.6
	- -Z2201-1A S-Z3131-4 -Z2201-12B S-Z3131-4 -Z2201-10 -Z2201-1A S-Z3131-4 -Z2201-12B S-Z3131-4 S-Z3131-4 S-Z3131-4 S-Z3131-4 S-Z3131-4 S-Z3131-4 S-Z3131-4	-         -	N/mm²           5/22201-1A         flat         500           S-Z3131-4         flat(weld)         -           2/2201-12B         corner         658           S-Z3131-4         corner(weld)         -           5/22201-12B         corner(weld)         -           5/22201-10         weld metal         598           5/22201-1A         flat(weld)         -           5/22201-1B         corner         659           S-Z3131-4         corner(weld)         -           5/22201-10         weld metal         620           5/22201-10         weld metal         510           S-Z3131-4         flat(weld)         -           5/22201-1A         flat         510           S-Z3131-4         flat(weld)         -           5/22201-12B         corner         678           S-Z3131-4         flat(weld)         -           5/2201-12B         corner(weld)         -           S-Z3131-4         corner(weld)         -           S-Z3131-4         corner(weld)         -           S-Z3131-4         corner(weld)         -           S-Z3131-4         corner(weld)         -           S-Z3131	N/mm²         N/mm²           5/22201-1A         flat         500         633           S-Z3131-4         flat(weld)         -         647           7/22201-12B         corner         658         708           S-Z3131-4         corner(weld)         -         753           S-Z2201-10         weld metal         598         674           S-Z2201-10         weld metal         598         629           S-Z3131-4         flat(weld)         -         618           -Z2201-12B         corner         659         702           S-Z3131-4         flat(weld)         -         717           S-Z2201-10         weld metal         620         701           S-Z2201-10         weld metal         620         701           S-Z2201-10         weld metal         620         701           S-Z2201-10         flat(weld)         -         648           -Z2201-12B         corner         678         756           S-Z3131-4         flat(weld)         -         764           S-Z201-12B         corner(weld)         -         764           S-Z3131-4         corner(weld)         -         764           S-	N/mm²         N/mm²         %           5/22201-1A         flat         500         633         21           S-Z3131-4         flat(weld)         -         647         -           Z2201-12B         corner         658         708         39           S-Z3131-4         corner(weld)         -         753         -           S-Z2201-12B         corner(weld)         -         753         -           S-Z2201-10         weld metal         598         674         23           S-Z2201-1A         flat         489         629         23           S-Z3131-4         flat(weld)         -         618         -           -Z2201-12B         corner         659         702         43           S-Z3131-4         corner(weld)         -         717         -           S-Z2201-10         weld metal         620         701         25           S-Z3131-4         flat(weld)         -         648         -           S-Z2201-1A         flat         510         649         24           S-Z3131-4         flat(weld)         -         648         -           S-Z2201-12B         corner         678

Table 6 Mechanical properties of weld zone

次に,最大板厚 40mm における溶接部のシャルピー衝撃 試験結果を,Fig.6 に示す。Fig.6 は,横軸に溶融線からの距 離を,縦軸に、 $E_0$ を表わしている。この図から 0 における 吸収エネルギーは,平坦部,角部の溶融線,熱影響部の位置 において,高い靭性を保有していることがわかる。



Fig.6 Charpy impact value at 0 of weldment

# 4. S および CFT 柱の曲げ実験

## 4.1 曲げ実験計画

2.1 節で述べた溶接条件のもとで, Fig.7 および Table 7 に 示す5体の曲げ試験体を製作した。試験体は,角部の曲げ半 径(外 R)を3.5t(t:板厚)としたプレスコラムと,同厚 のダイアフラムから構成されている。この中で試験体名称C が先頭のものは,コンクリート充填型(CFT)である。



Fig.7 Bending test specimen

Number	D mm	t mm	D/t	Class	L/D	Fc N/mm²
P19-32-14)	600	19	31.6	FC	6.2	-
P25-24-14)	600	25	24.0	FB	6.2	-
P40-15-14)	600	40	15.0	FA	6.2	-
4532-83	450	32	14.1	FA	4.9	-
C4519-83	450	19	23.7	-	4.9	54

Table 7 List of specimen for bending test

Fig.7 に示した 10000kN 試験機 引き 6000kN )を用いて, 試験体中央を載荷点とする3点曲げ試験を行った。載荷は, 計算上のMp に達するときの変位(Fig.8の矢印位置の変位)

**p**を基準変位とした変位制御によって行った。載荷は,最 初に1/2 **p**サイクルを正負1回,それ以降は最大変位が2, 4,6,8 **p**×正負各2回を目標とした。



Fig.8 Bending test setup

## 4.2 荷重 - 变形関係 (M - 関係)

主要な試験体のダイアフラム位置におけるモーメント M - 柱回転角 関係を Fig.9 に示す。Fig.9(a)は,コンクリート 非充填の試験体であり,8 pループの負側1回目ループに おいて延性き裂発生により荷重が低下した。一方,コンクリ ート充填型の Fig.9(b)は,6 pループの1回目に局部座屈に よって荷重が低下するまで,急激な荷重低下を生じることな く,安定した挙動を示した。本試験体のスケルトンカープを Fig.10 に示す。

## 4.3 曲げ実験結果の考察

ループの接線勾配が,計算初期剛性の 1/3 に低下した点を Mp の実験値とし,計算値と比較したものを Table 8 に示し た。この結果より, Mp の実験値は計算値に良く一致してい ることがわかる。また,剛性も Table 9 に示すように,計算 値に対してほぼ妥当な結果が得られた。

Fig.11 にダイアフラム付近角部のひずみ履歴を示す。冷間 成形時の残留ひずみにより,JIS 引張り試験片で見られるよ うな材軸方向の伸び能力の低下によって早期に角部から破 断するのではないかという指摘がある。しかし,プレスコラ ムの最大耐力までに5%以上のひずみを示しており,角部の 伸び能力は,JIS 引張り試験片の一様伸び能力だけでは決定 しないと言える。



Table 8 Results of bending test (resistance force)

cal Mp kNm	ex Mp kNm	ex Mmax kNm	<u>ex Mp</u> cal Mp	<u>ex Mmax</u> cal Mp
4532	4609	5451	1.02	1.20
5593	5688	7849	1.02	1.40
8346	8488	12455	1.02	1.49
3312	3324	5070	1.00	1.53
	cal Mp kNm 4532 5593 8346 3312	cal Mp     ex Mp       kNm     kNm       4532     4609       5593     5688       8346     8488       3312     3324	cal Mp kNm         ex Mp kNm         ex Mmax kNm           4532         4609         5451           5593         5688         7849           8346         8488         12455           3312         3324         5070	cal Mp kNm         ex Mp kNm         ex Mmax kNm         ex Mp cal Mp           4532         4609         5451         1.02           5593         5688         7849         1.02           8346         8488         12455         1.02           3312         3324         5070         1.00

Table 9 Results of bending test (stiffness)

Number	calK kNm/cm	exK kNm/cm	<u>exK</u> calK
P19-32-1	1047	973	0.93
P25-24-1	1302	1283	0.99
P40-15-1	1791	1617	0.90
4532-83	1580	1466	0.93



Fig.11 M - relationship

最後に,最大荷重の95%に低下する点までの累積塑性変形 倍率と幅厚比の関係をFig.12に示す。また,SA440による 溶接4面BOXの短柱圧縮試験結果と,今回のプレスコラ ムの結果とを比較したものをFig.13に示す。縦軸のRは, 単調載荷時の塑性変形倍率であり,今回のプレスコラムのプ ロットは,スケルトンカーブより算定した数値とした。 590N/mm<sup>2</sup>級プレスコラムはSA440 溶接4面BOX とほぼ 同等の変形能力であると言える。



Fig.12 Relationship between and width-thickness ratio



Fig.13 Relationship between ductility factor and width-thickness ratio<sup>3)</sup>

5. おわりに

本稿では,590N/mm<sup>2</sup>級プレスコラムの構造特性について, 材料面,溶接部,および部材の変形能力に関する一連の検討 を行った。ここにその結果をまとめて記す。

- (1) 平坦部の 40 におけるシャルピー衝撃値を保証する ことにより,角部の vEo もシェルフエネルギーとなって おり,靭性値 vEo 47Jを確保することができる。
- (2) 冷間成形による強度上昇を考慮して設定した溶接施行条件に従った溶接を施すことで,溶接部角部の強度を確保することができる。
- (3) 実大曲げ実験結果から,幅厚比に応じた変形能力との関係は,同強度の溶接4面BOXと同等とみなすことができる。
- (4) プレスコラムの最大耐力までに,角部は 5%以上の伸び 能力を示し,角部の引張り試験結果から得られる一様伸 びだけでは,プレスコラム角部の伸び能力は決定されない。

#### 参考文献

- 冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル(日本建築センター編)
   1996年9月.
- 2) 富永昌武ほか. "35kg/mm<sup>2</sup> 級高降伏点鋼の冷間加工による機械的 性質の変化". 鉄と鋼. Vol.66, No.4(1980).
- 3) 建築構造用高性能 590N/mm<sup>2</sup> 鋼材(SA440)設計・溶接施工指 針. 鋼材倶楽部編. 1996 年 10 月.
- 猪砂ほか. "590N/mm<sup>2</sup> 級冷間プレス成形角形鋼管の構造性能その1, その2". 日本建築学会大会学術講演梗概集. 2002 年 8 月.

## <問い合わせ先>

建材センター 建材技術開発部

Tel. 03 (3217) 3357 猪砂 利次

E-mail address : Toshitugu\_Inosako@ntsgw.tokyo.nkk.co.jp

- 基盤技術研究所 都市工学研究部
- Tel. 044 (322) 6217 形山 忠輝

E-mail address : tkatayam@lab.keihin.nkk.co.jp