

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.33 (2001) No.3

数値解析・形鋼特集号

大断面広幅 H 形鋼 700 × 500 シリーズの開発

Development of Heavy Wide Flange H-Shapes "700 × 500 Nominal Size" for Building Structure

三浦 啓徳 (Miura, H.) 藤沢 清二 (Fujisawa, S.) 笹田 幹雄 (Sasada, M.)

要旨：

高層建築の新しい柱材として、極厚 H 形鋼 700 × 500 シリーズを開発しその製造体制を確立した。700 × 500 シリーズは 1995 年に開発し販売した TMCP 型極厚 H 形鋼 (400 × 400, 500 × 500 シリーズ) と同等の高強度、高靱性かつ溶接性に優れた材料特性を有しており、大断面化で強軸方向の断面性能が 2 割程度増加する。本開発により柱材選択メニューの拡充が図れ、最適な柱断面を選定することが可能となった。

Synopsis：

New techniques of hot steel rolling of H-shapes have been developed to produce heavy wide flange H-shapes "700 × 500 nominal size" for column materials of high-rise structure. Because of expanded sectional size, the heavy wide flange H-shapes "700 × 500 nominal size" have superior moment of inertia-modulus of section that is about 20% higher than other nominal size. The material performance of the "700 × 500 nominal size" is equivalent to TMCP-type heavy wide flange H-shapes (400 × 400 and 500 × 500 series), developed and marketed in 1995, in terms of high strength, and toughness, in addition to excellent weldability. In designing high-rise structure, it has become possible to select the most suitable column section out of a wide variety of material selections which has been expanded by the above-mentioned development.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Development of Heavy Wide Flange H-Shapes “700 × 500 Nominal Size” for Building Structure



三浦 啓徳 Hironori Miura 水島製鉄所 条鋼圧延 部条鋼技術室 主査 (課長)	藤沢 清二 Seiji Fujisawa 建材センター 技術部 建築室 主査(掛長)	笹田 幹雄 Mikio Sasada 水島製鉄所 条鋼圧延 部長
--	---	---

要旨

高層建築の新しい柱材として、極厚 H 形鋼 700 × 500 シリーズを開発しその製造体制を確立した。700 × 500 シリーズは 1995 年に開発し販売した TMCP 型極厚 H 形鋼 (400 × 400, 500 × 500 シリーズ) と同等の高強度、高靱性かつ溶接性に優れた材料特性を有しており、大断面化で強軸方向の断面性能が 2 割程度増加する。本開発により柱材選択メニューの拡充が図れ、最適な柱断面を選定することが可能となった。

Synopsis:

New techniques of hot steel rolling of H-shapes have been developed to produce heavy wide flange H-shapes “700 × 500 nominal size” for column materials of high-rise structure. Because of expanded sectional size, the heavy wide flange H-shapes “700 × 500 nominal size” have superior moment of inertia-modulus of section that is about 20% higher than other nominal size. The material performance of the “700 × 500 nominal size” is equivalent to TMCP-type heavy wide flange H-shapes (400 × 400 and 500 × 500 series), developed and marketed in 1995, in terms of high strength, and toughness, in addition to excellent weldability. In designing high-rise structure, it has become possible to select the most suitable column section out of a wide variety of material selections which has been expanded by the above-mentioned development.

1 緒 言

近年、高強度鋼材や厚肉大断面鋼材が超高層建築物などの大型鋼構造物に多用されており、鋼材には耐震性向上のための優れた靱性や、厚肉化にともなう設計基準強度 (F 値) の低減が不要な引張性能が求められている。また、大断面材に関しては溶接による組立て箇所が少ない鋼材が望まれている。当社では高靱性化と厚肉鋼材の引張強度低下の抑制を図るため、微細介在物利用によりミクロ組織の微細化を図る第 3 世代加工熱処理技術¹⁾ (thermo mechanical control process: TMCP) を 1995 年に開発し、400 × 400, 500 × 500 シリーズ極厚 H 形鋼へ適用してきた^{2,3)}。

一方、大断面化の観点では、500 × 500 シリーズを超える極厚 H 形鋼の製造にはより高度な圧延技術が必要とされ、さらなる大断面材が適用される場合には厚鋼板を溶接組み立てする H 形断面材 (build-up H-shape, 以下 BH) が使用されてきた。

このたび、圧延成形技術の開発と TMCP 技術とを併用することで、大断面広幅 H 形鋼 700 × 500 シリーズにおいて、安定した品質の圧延 H 形鋼製造技術を確立した^{3,4)}。本報告では、これらの圧延技術の開発経緯とその概要を示す。

2 大断面極厚 H 形鋼 700 × 500 シリーズの優位性

従来の極厚 H 形鋼と 700 × 500 シリーズの外形と内法寸法を Fig. 1 に示す。700 × 500 シリーズと 500 × 500 シリーズではフランジ幅は同一であるが、ウェブ高さの内法寸法が 150 mm 程度大きい。次に、既存断面の 400 × 400, 500 × 500 シリーズと 700 × 500 シリーズの断面積と断面 2 次モーメントの関係を Fig. 2 に示す。700 × 500 シリーズは同断面積の他シリーズと比較し、1.5~2 倍程度の断面 2 次モーメント、断面係数では約 20% の増加が得られ、断面効

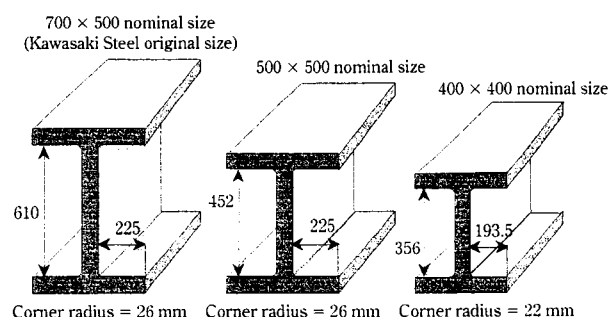


Fig. 1 Inside dimension of heavy wide flange H-shapes

* 平成13年4月25日原稿受付

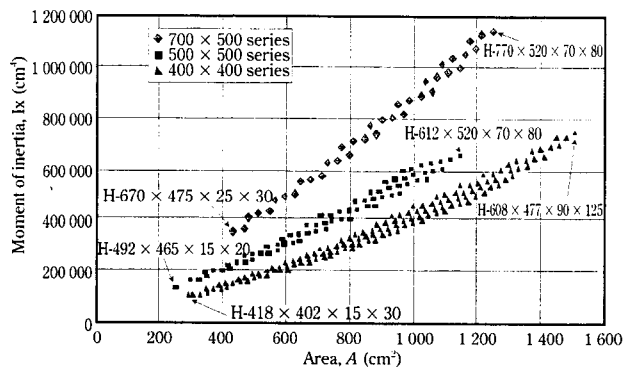


Fig. 2 Relation between area and moment of inertia

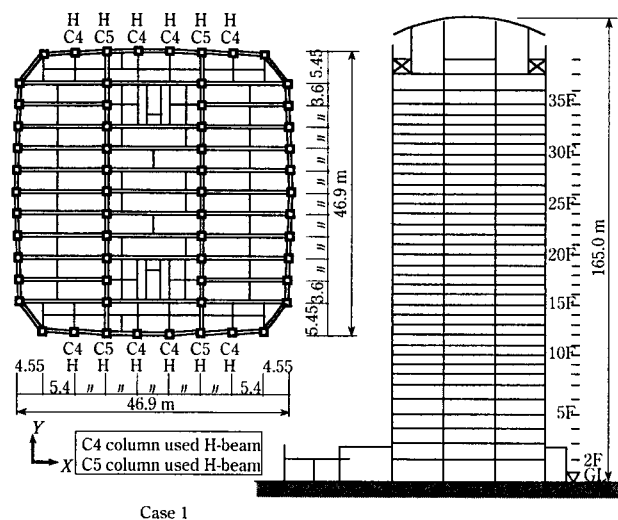


Fig. 3 Elevation and plan of case 1 and 2 buildings

Table 1 Column section of heavy wide flange shapes

Column name		Case 1						Case 2					
		C4			C5			C2			C3		
		Section	A (cm²)	I (cm⁴)	Section	A (cm²)	I (cm⁴)	Section	A (cm²)	I (cm⁴)	Section	A (cm²)	I (cm⁴)
Higher story	Rectangler hollow section	□-600 × 600 × 25	575	317 448	□-600 × 600 × 25	575	317 448	□-550 × 550 × 22	465	216 265	□-550 × 550 × 19	404	189 890
	700 × 500 nominal size	WH-700 × 500 22 × 25	393	335 244	WH-700 × 500 28 × 32	498	417 279	WH-700 × 500 19 × 28	402	358 581	WH-700 × 500 19 × 25	374	328 378
	500 × 500 nominal size	H-522 × 475 25 × 35	446	216 725	H-522 × 475 25 × 40	493	249 706	H-512 × 475 25 × 30	398	184 983	H-502 × 470 20 × 25	325	149 187
Middle story	Rectangler hollow section	□-600 × 600 × 28	641	350 182	□-600 × 600 × 32	727	392 175	□-550 × 550 × 28	572	310 992	□-550 × 550 × 28	572	310 992
	700 × 500 nominal size	WH-700 × 500 28 × 32	498	417 279	WH-700 × 500 40 × 50	740	601 167	WH-700 × 500 28 × 40	574	491 743	WH-700 × 500 28 × 36	536	454 986
	500 × 500 nominal size	H-522 × 475 30 × 50	616	326 491	H-522 × 475 35 × 50	642	333 499	H-542 × 485 35 × 45	595	297 219	H-532 × 480 30 × 40	520	255 980
Lower story	Rectangler hollow section	□-600 × 600 × 40	896	470 699	□-600 × 600 × 40	896	470 699	□-550 × 550 × 40	816	355 912	□-550 × 550 × 36	740	327 511
	700 × 500 nominal size	WH-700 × 500 40 × 40	648	515 576	WH-700 × 500 50 × 60	890	697 497	WH-700 × 500 32 × 55	739	628 189	WH-700 × 500 32 × 45	645	543 941
	500 × 500 nominal size	H-592 × 490 40 × 70	726	500 893	H-592 × 495 45 × 70	896	509 538	H-562 × 490 40 × 55	720	378 514	H-542 × 485 35 × 50	640	319 699

Table 2 Structural performance and weight of column

	Nominal size		Rectangler hollow section	700 × 500 nominal size	500 × 500 nominal size
	Displacement (cm)	X-direction Y-direction			
Case 1		X-direction	54.53	53.92	56.80
		Y-direction	50.25	51.70	51.27
	Weight of column (%)		100	97	98
Case 2		X-direction	41.09	42.08	43.77
		Y-direction	40.51	39.70	41.88
	Weight of column (%)		100	99	98

率に優れている。

ここで、実構造物に適用した場合の柱重量低減の可能性を検討する。Fig. 3 に示す高さ 135 m、地上 35 階の構造物 (case 1) と高さ 108 m、地上 29 階の構造物 (case 2) において、柱材を BOX 材、H 形鋼とした場合の各断面寸法を Table 1 に、柱材重量比較を Table 2 に示す。なお、本検討では簡便のため 700 × 500 シリーズを外法一定とし、各断面は変形、断面余力などの構造性能が同等となるように選定している。また、一部建物平面の制約により H 形鋼の使用が困難な柱があり、BOX 材と H 形鋼を混用している。

Case 1 では、H 形鋼が適用可能な柱は外周柱一方向のみであるが、柱部材鉄骨重量は BOX 断面に対し 500 × 500 シリーズで 2% 減、700 × 500 シリーズで 3% 減であり、700 × 500 シリーズの使用

が最適であると考えられる。

一方 case 2 では、柱部材のみに着目した鉄骨重量は BOX 材と比較し、500 × 500 シリーズで 2% 減、700 × 500 シリーズで 1% 減となり、両シリーズとも BOX 材に対して優位であるが 700 × 500 シリーズよりも、むしろ 500 × 500 シリーズに重量低減の可能性がある。

以上の検討より、高層建築物の柱材への極厚 H 形鋼の適用は、建築物の平面形状に注意を要するが重量低減の可能性があり、さらに 700 × 500 シリーズが追加されたことで最適な柱断面の選定が図れると考える。

3 開発概要

3.1 製造プロセス

当社水島製鉄所が有する大断面の連続鋳造製スラブを用い、鋼片工場（分塊ミル）の粗圧延機にて H 形粗形大断面の中間素材とする。その中間素材を大形形鋼工場の加熱炉で再加熱した後、ブレイクダウン圧延機で形状成形主体の粗圧延を行う。次いで高剛性・高耐荷重の粗ユニバーサル圧延機で平行フランジ H 断面に強圧下圧延し、最後は仕上げユニバーサル圧延機でフランジを真直ぐに起こすなど整形圧延するのが大断面極厚 H 形鋼の製造工程である。

3.2 主な製造技術

水島製鉄所 No. 6 連続鋳造設備で鋳込まれ、内部品質が安定している 310 × 1800 (mm) のスラブを素材として、広幅・極厚フランジの H 形粗形断面を圧延成形する技術で 700 × 500 を製造する。

Fig. 4 はベリー法と称し、スラブを H 形粗形断面に造形する技

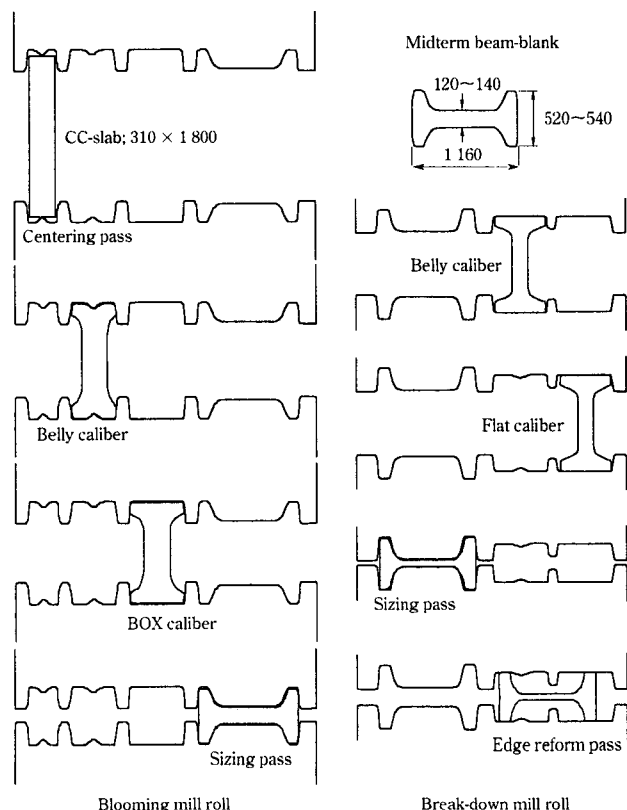


Fig. 4 Rolling method of slab into beam blanks for H-shapes

術で、スラブ板厚方向の中央に凹みをつけ、その凹みと圧延ロールの凸部とで位置合わせし、フランジ脚長を増長成形する方式である。鋼片工場（分塊ミル）の粗圧延ロール（胴長 3400 mm）で圧延し、幅；520～540 mm、高さ；1160 mm、ウェブ厚さ；120～140 mm の H 形粗形中間素材に成形した。この中間素材は、大形形鋼工場の加熱炉にて再加熱後、ブレイクダウン圧延機（胴長 2800 mm のロール）に配列した孔型で極厚 H 形鋼 700 × 500 に適した断面形状に成形圧延される。

3.2.1 フランジ脚長確保の圧延

ブレイクダウン圧延機では、幅広りの促進として、ロールの凸部（BOX 孔型底）でフランジ外面に凹みをつける圧下と平らな孔型で凹み以外を圧下する圧延を交互に繰り返し、ウェブ高さを減じつつ、フランジ幅を広げる圧延を行った。サイジング孔型は次工程の粗ユニバーサル圧延に適する形状に整える整形圧延であり、フランジ幅は大き目に形成した後、孔型の寸法に合わせ、一定幅とした。

3.2.2 フランジ先端角肉確保の圧延

フランジ厚さが大きい場合、フランジ先端角隅部の角肉が不足しないよう、サイジング孔型の脚長を深く設定し、ブレイクダウン圧延の最後は 2 つのボックス孔型をまたいだ H 姿勢でフランジ先端部を圧下し、角隅部の健全な形状を得ている。

3.2.3 粗ユニバーサル圧延

水平ロールが 1800 t、垂直ロールが 1000 t の耐荷重を有する粗ユニバーサル圧延機で制御圧延を実施し、機械的性質の基準値を満足させている。

4 材料特性

700 × 500 シリーズの最大サイズである H-770 × 520 × 70 × 80 の材料特性例を、500 × 500 シリーズの H-612 × 520 × 70 × 80 と比較した。また、中間サイズである H-720 × 495 × 45 × 55 の溶接継手性能を調べた。供試材には、オーステナイト中への VN^{2,3)} の析出を促進させる制御圧延と、それら VN を核としてフェライト変態を活性化させマイクロ組織の微細化を図る¹⁾ 厚肉フランジ圧延材においても高強度で優れた靱性が得られる SN490C 級 TMCP 極厚 H 形鋼 (RT325)^{2,3)} を用いた。

4.1 化学成分およびマイクロ組織

700 × 500 シリーズと 500 × 500 シリーズは同じ素材から製造しており差はない。Photo 1 に H-770 × 520 × 70 × 80 および H-612 × 520 × 70 × 80 サイズの F1/2B-1/4t 部のマイクロ組織を示す。両材の組織におおきな差は認められず、微細で均一なフェライトパーライト組織が得られている。

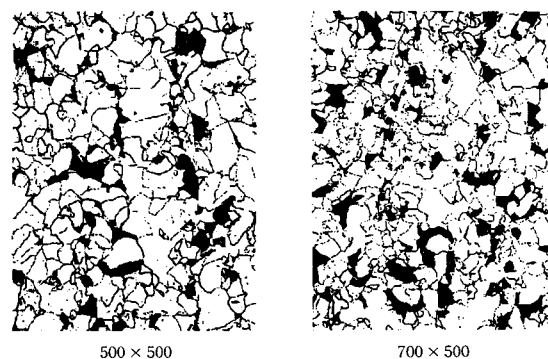


Photo 1 Microstructures

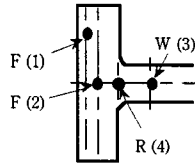


Fig. 5 Sampling position of test pieces

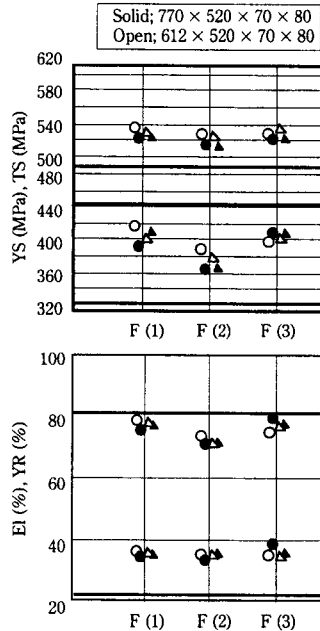


Fig. 6 Mechanical properties

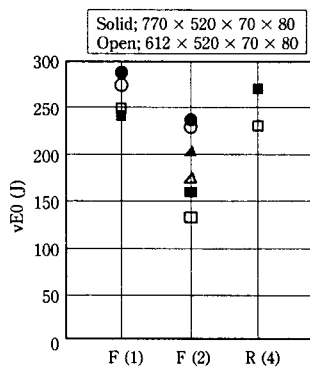


Fig. 7 Charpy impact test results

4.2 機械的性質

試験片採取位置を Fig. 5 に、引張試験結果、衝撃試験結果を Fig. 6, 7 に示す。引張特性は YP, TS とともに十分規格値を満足しており、YR も 80% 以下であった。試験片採取位置におけるばらつきも少なく、鋼材が均質であることが判断できる。衝撃特性に関しても、各断面内において規格値を十分満足しており、 $vE0 \geq 100$ J の高い靱性を有している。

4.3 溶接継手性能

H-720 × 495 × 45 × 55 のフランジ突合せ継手引張試験結果、衝撃試験結果および最終破断状況を Table 3 に示す。引張強さは母材規格値 (490 N/mm²) を十分満足しており、破断位置は母材であった。シャルピー吸収エネルギーは HAZ 部、BOND 部ともに $vE0 \geq 100$ J

Table 3 Result of welded joint tensile test

Tensile test		Charpy impact test		
TS (N/mm ²)	Fracture position	Charpy absorbed energy at 0°C (J)		
551	BM	BM 217	HAZ 193	BOND 149

Table 4 Standards of 700 × 500 nominal size

Standard	Grades		
Kawasaki Steel original standard	RT325	RT355	
JIS G 3136	SN400	SN490	
JIS G 3101	SS400		
JIS G 3106	SM400	SM490	SM520

であり高い靱性を有している。以上の結果、開発した 700 × 500 シリーズの母材性能および継手性能は 500 × 500 シリーズと同等であると判断できる。

4.4 材料性能と大臣認定

700 × 500 シリーズの H 形鋼の製造規格は RT325 の他に、Table 4 に示す規格の製造が可能であり、他シリーズと同等の優れた材料性能を有している。なお、RT325, RT355 に関しては 700 × 500 シリーズを含む全シリーズで建設大臣一般認定 (1999 年 5 月 25 日建設省東住指発第 197 号) を取得しており、フランジ厚さ 40 mm 超えにおいても、設計基準強度を低減せずに使用することが可能である。

5 適用実績

700 × 500 極厚 H 形鋼は、これまでに 2 件の大型構造物に採用されている。初採用となった札幌ドームではエッジリング部材として、

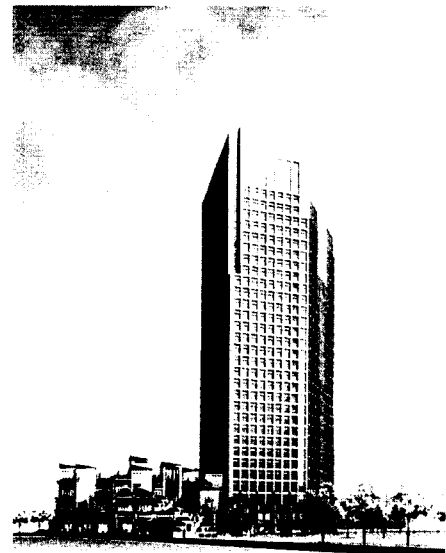


Photo 2 JR-kamotsu Iidamachi

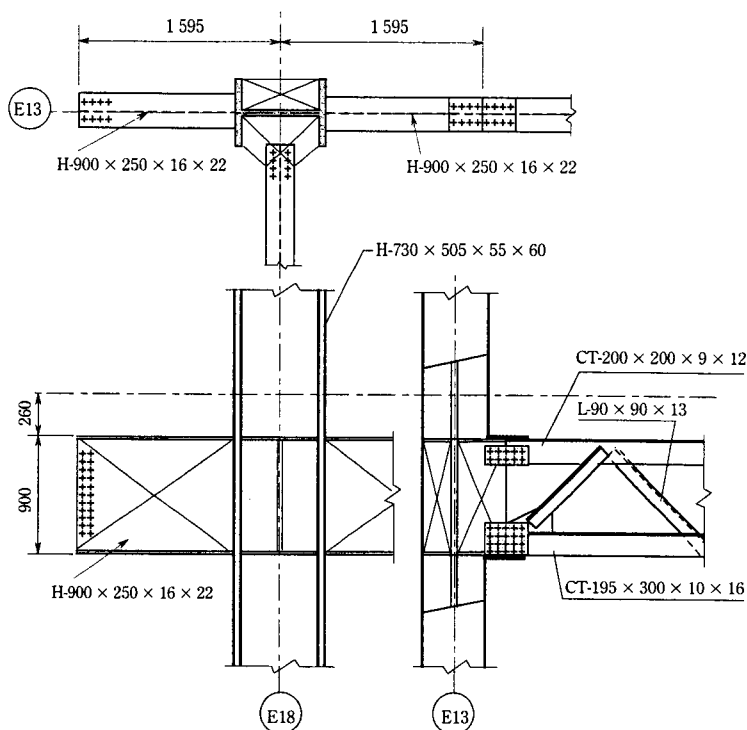


Fig 8 Details of structure

使用された。超高層建築物としては **Photo 2** に示す飯田町中央街区計画業務・商業棟（仮称）に、**Fig. 8** に示す柱材として採用された。

6 結 言

H 形鋼製造技術の発展により、圧延極厚 H 形鋼の最大外径シリ

ーズ「700 × 500」を開発した。この開発により断面効率に優れる柱用 H 形鋼のサイズ拡充が図られたことから、多様な構造形式での最適な断面選定の一助となると思われる。

（株）日建設計殿より、700 × 500 シリーズ極厚 H 形鋼が採用された飯田町中央街区計画業務・商業棟（仮称）の貴重なパスおよび適用図をご提供いただきました。ここに記して感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 木村達巳，川端文丸，天野慶一，内田 清，人見 潔：まてりあ，**38**(1999)2, 160-162
- 2) 木村達巳，奥井隆徳，内田 清：川崎製鉄技報，**30**(1998)4, 21-26
- 3) 石井 匠，藤澤一善，斎藤晋三：川崎製鉄技報，**30**(1998)1, 215-221
- 4) 横川 浩，上村正樹，河村有秀：山陽技術雑誌，**47**(2000)1
- 5) 横川 浩，河村有秀，藤澤一善，藤沢清二，三浦啓徳，青木秀未：建材技術論文，5 材-25(1998)