

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol. 23(1991) No.1

外法一定 H 形鋼「スーパーハイスレンド H」の開発

Development of Fixed Outer Dimension H-Shapes "Super HISLEND-H"

志賀 勝利(Katsutoshi Shiga) 土井 彌彦(Masuhiko Doi) 朝生 一夫(Kazuo Asoh) 阿部
英夫(Hideo Abe) 橋本 順次(Jyunji Hashimoto) 山口 勝(Masaru Yamaguchi)

要旨：

川崎製鉄では、建築構造物としては夢の製品とされていた外法一定 H 形鋼 “スーパーハイスレンド H” の開発に成功した。これはチャンスフリー技術の一宮として、10 年におよぶ研究開発の結果得られたものである。新しい製品は同一シリーズ内サイズの外法寸法が一定であることに最大の特徴があるが、その他にも、ウェブ高さ 400～900mm、ウェブ厚 6～16mm に代表される経済的な設計を可能とした豊富なサイズを揃えていること、小さいコーナーアールの採用、寸法精度の向上が図られている。これらのことから、従来の内法一定 H 形鋼製品の欠点を解決することができた。スーパーハイスレンド H は 1989 年 11 月より販売を開始したが、需要家からは好評を得ている。

Synopsis：

After ten years of technical research into fixed outer dimension H-shapes formed by hot rolling, Kawasaki Steel Corp. has developed a dream product called "Super HISLEND-H". The new product has a main feature of fixed outer dimension in the same dimensional series of H-shapes. In addition, a great number of sizes have been made available. For example, H-shapes with a web depth of 400 to 900 mm and a web thickness of 6 to 16 mm which permit an economical design, application of small corner radius and improvement in dimensional accuracy, thereby solving disadvantages of the conventional fixed inner dimension H-shapes. "Super HISLEND-H" was first produced in November 1989 and, since then, is well received by users.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Development of Fixed Outer Dimension H-Shapes “Super HISLEND-H”



志賀 勝利
Katsutoshi Shiga
鉄鋼技術本部 鋼材技術部長



土井 彌彦
Masuhiko Doi
水島製鉄所 条鋼圧延部長



朝生 一夫
Kazuo Asoh
水島製鉄所 管理部条鋼管理室 主査(部長補)



阿部 英夫
Hideo Abe
技術研究本部 加工・制御研究センター長(部長)



橋本 順次
Junji Hashimoto
エンジニアリング事業部 建築技術部開発設計室 主査(課長)



山口 勝
Masaru Yamaguchi
川鉄マグネックス(株) 専務取締役

要旨

川崎製鉄では、建築構造物としては夢の製品とされていた外法一定H形鋼“スーパーハイスレンドH”の開発に成功した。これはチャンスフリー技術の一貫として、10年におよぶ研究開発の結果得られたものである。新しい製品は同一シリーズ内サイズの外法寸法が一定であることに最大の特徴があるが、その他にも、ウェブ高さ400~900mm、ウェブ厚6~16mmに代表される経済的な設計を可能とした豊富なサイズを揃えていること、小さいコーナールの採用、寸法精度の向上が図られている。これらのことから、従来の内法一定H形鋼製品の欠点を解決することができた。スーパーハイスレンドHは1989年11月より販売を開始したが、需要家からは好評を得ている。

Synopsis:

After ten years of technical research into fixed outer dimension H-shapes formed by hot rolling, Kawasaki Steel Corp. has developed a dream product called “Super HISLEND-H”. The new product has a main feature of fixed outer dimension in the same dimensional series of H-shapes. In addition, a great number of sizes have been made available. For example, H-shapes with a web depth of 400 to 900 mm and a web thickness of 6 to 16 mm which permit an economical design, application of small corner radius and improvement in dimensional accuracy, thereby solving disadvantages of the conventional fixed inner dimension H-shapes. “Super HISLEND-H” was first produced in November 1989 and, since then, is well received by users.

1 緒 言

H形鋼は建築構造用圧延製品として長年幅広い用途に使用されてきた。わが国で生産を開始して以来約30年になるが、平行フランジによる使いやすさと断面性能の経済性等により、形鋼の中で最も多く使用されている。しかし、ユニバーサル圧延機を中心とした製造プロセスは、複雑な形状のH形鋼を効率的に製造できるが、その反面圧延機の構造的制約や生産性の面から製品にも制約が加わり、多様な用途に対して必ずしも最適な製品とはいえず、需要家から長い間改善を要求されてきた。当社はこのたび、従来の技術では不可能とされていた熱間圧延による「外法一定H形鋼製造技術」の開発に成功し、需要家の要望に応える新しいH形鋼の商品化「商品名スーパーハイスレンドH(Super HISLEND-H^{*)})」を実現した。この新しい技術は約10年に及ぶ研究開発をもとにプロセス化したものであるが、形鋼分野の長年の課題であるチャンスフリー圧延技術の一環をなすもので、外法一定H形鋼の製造を可能とすると同時に形

鋼製造プロセス技術を飛躍的に向上させた。

以下本文では開発の経緯と新しい製品について紹介する。

2 開発の背景

2.1 H形鋼圧延技術の発展

H形鋼の歴史は建築業界の長年の要請であった「可能な限り薄いウェブとフランジを有した構造用鋼材の必要性」から始まったといえる。ヨーロッパ、アメリカでは20世紀の初頭よりH形鋼の生産販売が行われていたが、日本で本格的な生産・販売が開始されたのはユニバーサルミル方式の工場が建設された1961年になってからである。それ以来、H形鋼は優れた機能性と経済性が建造物の大型化の動きにマッチして需要を急速に拡大し、1960年代後半から1970年にかけて、生産能力拡大のための工場建設が続き、大量生産を目的としたユニバーサルミルの半連続または連続圧延技術の導入や計算機制御圧延技術の開発などが進められた。しかし、1970年代後半

* 平成2年12月20日原稿受付

^{*)} HISLEND: High Web, Structural, Light, Economical, New-Dimensional

のオイルショックを契機として、日本のミルはコスト低減へ向けて、エネルギー原単位の低減をはじめとして、歩留まり改善、生産性向上などのための技術開発に総力を集中した。その結果、素材を供給する製鋼部門では、造塊プロセスから連铸プロセスへの変革と連続化により、また圧延部門では例えば当社においては「単一サイズ B B からの多サイズ H 形鋼圧延技術の開発」¹⁾、「H 形鋼の新圧延法(スラブ H 法)の開発」²⁾などによって、歩留まり、原単位、生産性向上と工程間在庫削減、生産工程日数短縮などに大きな成果をもたらした。

しかし、以上のような経済の高度成長期における量の拡大から減速期のコスト削減への柔軟な対応も、少品種・多量生産方式を前提とした基本姿勢は変わらず、需要家からみると、経済的製品の安定供給という面で評価できるものの、その後続くニーズの多様化・高級化の強まりの中で不満が高まってきた。すなわち、1980 年代に入ると建物の高層化、大スパン化など建築構造の多様化が進み、使用する鋼材に対し従来以上の機能が要求されるようになってきた。H 形鋼については経済的選択の可能なサイズレパートリーの拡大や寸法精度の改善、外法一定化などが要求されたが、従来の製造プロセスでは完全な対応が困難なため、それに代わる溶接 H 形鋼が需要家にとって不可欠な建築資材としての位置を占めていた。しかし近年になって、鉄骨および鉄骨鉄筋コンクリート構造建築物が急激に増加し建材への需要が拡大すると、溶接技術者をはじめとする労働力不足などにより溶接 H 形鋼の供給力が不足する傾向になり、建築工程の遅延や資材価格上昇などが大きな問題となっていった。

このような背景のもとで需要家から、大量生産ができ、リードタイムが短く、かつコストの安い熱間圧延による外法一定 H 形鋼の開発が強く望まれていた。

2.2 従来の H 形鋼圧延技術の問題点

H 形鋼は一般に Fig. 1 のようなプロセスで製造される。Fig. 2 に示すようにユニバーサル圧延機は平行フランジが製造でき、さらにロール間隙を調整することによって板厚の異なる H 形鋼を容易に製造できる優れた圧延法である。このユニバーサル圧延法によって H 形鋼は経済的な大量生産が可能になったのであるが、その反面次のような問題を本質的に抱えていて、製造できる製品を制約している。

(1) 外法一定の H 形鋼が製造できない

Fig. 2 に示したように、H 形鋼のウェブ内幅寸法は水平ロール幅により、フランジ幅とフランジ脚長はエッジロールのカリパー深さにより決まる。H 形鋼は同一シリーズ(呼称寸法)内にフランジ厚、ウェブ厚の異なる多種類のサイズを持つが、それらを同一のロールで製造するためすべて内法寸法(ウェブ内幅、フランジ脚長)が一定となり、それに板厚を加算した外法寸法は必然的に変化する。

Fig. 3 に内法一定と外法一定の比較を示すが、もし外法一定の H 形鋼を要求すると、サイズごとに水平ロールやエッジロール

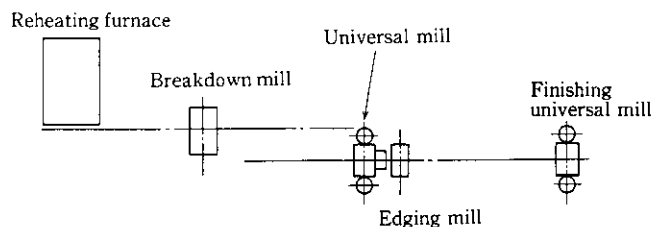


Fig. 1 Typical manufacturing process of H-shapes

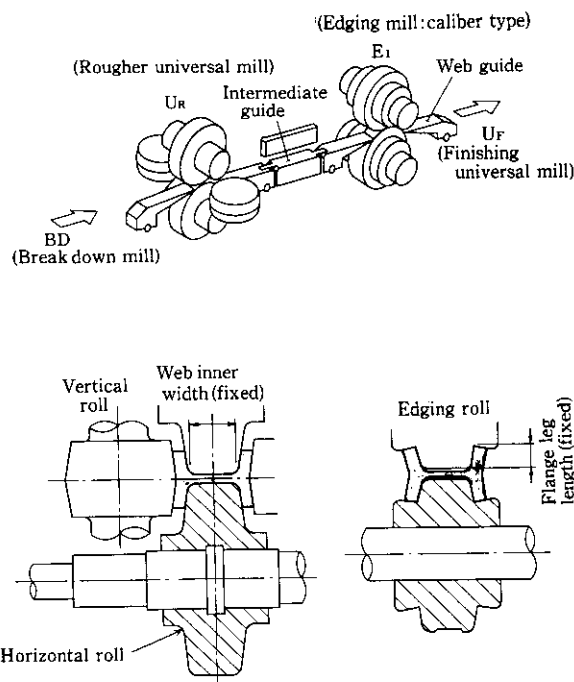


Fig. 2 Conventional rolling method for H-shapes by universal and edging mill

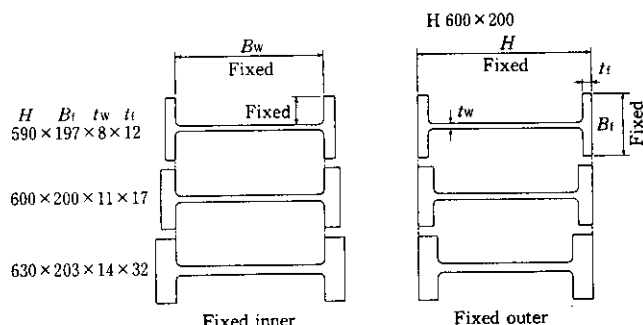


Fig. 3 Comparison of fixed inner and outer dimension H-shape

ールの交換が必要となるため、生産性の低下によるコストアップによって、経済性の面で実際の生産は不可能となる。

(2) 薄肉ウェブ H 形鋼の製造が難しい

H 形鋼はフランジとウェブ部の板厚の差および幾何学的な形状により、熱間圧延および冷却過程において断面内に温度差が生じ、冷却後平均的にフランジ部に引張応力、ウェブ部に圧縮の内部応力が発生する。特に、ウェブ厚は薄くなるほど温度降下が大きくなると同時に、座屈に対する耐力が減少するため、ウェブ波が発生しやすく、製造が格段に難しくなる。また圧延温度の低下によって材質も問題となるなど、需要家の要求するレベルの薄肉サイズを供給することができない。

(3) 寸法精度に限界がある

H 形鋼の形を最後に整形するユニバーサルミルにおいてフランジ幅方向の拘束を行わないため、特にフランジ幅寸法の変動と中心偏りが発生しやすい。またロールの経済性からある程度の摩耗を許容するため、ウェブ高さが変動する。

2.3 H 形鋼に対するニーズ

建材に用いられる H 形鋼以外の形鋼は外法寸法基準であり、実

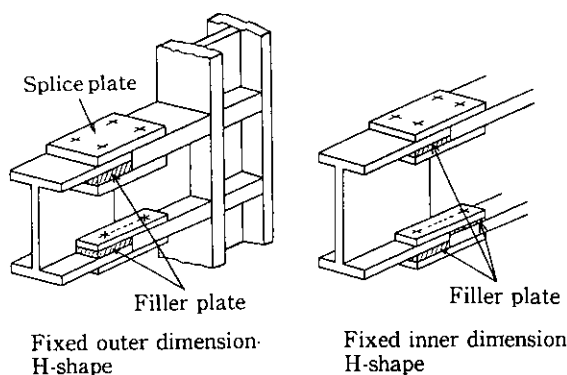


Fig. 4 Application of fixed inner and outer dimension H-shape

際的设计も通常外法寸法基準であることから、H形鋼が市場に出た当初から外法一定化が強く要望されていた。その他、需要家の圧延H形鋼に対する改善要求をまとめると以下のごとくであるが、すべて前項の製造技術上の制約に起因するものである。

- (1) 外法寸法一定化
- (2) 板厚についてはウェブの薄肉化およびフランジ厚/ウェブ厚比の増加
- (3) サイズ数の増加
- (4) 寸法精度の向上

これらの要望に対して種々の技術改善を行い、1984年には鉄骨鉄筋コンクリート構造用H形鋼(SRC-H)であるハイスレンドH形鋼を開発し、販売を開始した。このSRC-Hは既存のH形鋼を改善し需要家の要望に近づけたもので、その後も当社はサイズ数を当初の48サイズから72, 158サイズと順次拡大して改善を続けた。しかし、需要家から一応の評価を得たものの競合する溶接H形鋼には及ばず、特に製造技術の面から内法一定とせざるを得なかった点に最大の問題があった。Fig. 4は建築の仕口構造部にH形鋼を組み合わせた場合の例であるが、内法一定H形鋼を用いた場合、ボルト継手部において多数のフィラープレートを要し、また仕上げ寸法が一定でなくなることによる施工上のデメリットが生じる。同様に寸法精度についても要求される水準を満足できず、フランジ端面基準で取り付け、穿孔する場合、ウェブの取合いがずれる。またウェブ基準で取り付ける場合、フランジの取合いがずれる等の問題が残されていた。

3 外法一定 H 形鋼の開発

3.1 新しい製品の特徴

新しいH形鋼は Fig. 3 に示すように「同一シリーズ内サイズの外法寸法が一定」である点に最大の特徴がある。それによって前述の基本的な問題を解決したのであるが、同時に、需要家の要望を最大に実現することを製品設計のコンセプトとし、従来のH形鋼に要求されていた問題を以下のように改善した。

(1) 外法一定

完全に外法一定とした。すなわち、同一シリーズ内サイズはすべてウェブ高さと同フランジ幅の外法を一定で整寸としたため、建築の柱仕口部や梁継手のシンプルな設計、施行を可能とすると同時に、設計者にとって覚えやすく図面への記入のしやすいH形鋼とした。

(2) シリーズおよびサイズ数

シリーズ・サイズの数的大幅に増やし、さらにウェブ厚の薄肉化とフランジ厚/ウェブ厚の比の拡大を図ることによって、経済的なサイズ選択を可能とした。

シリーズ・サイズは、設計実績の分析、需要家の要望および製造上の制約などを勘案して選定した。Fig. 5は設計実績の一例であるが、まずシリーズについては、外法一定化のニーズの高いウェブ高さ400~900mm、フランジ幅150~300mmとしたが、その結果、外法一定H形鋼のシリーズ構成は Fig. 6に示すような分布となり、一部既存のJISサイズH形鋼との競

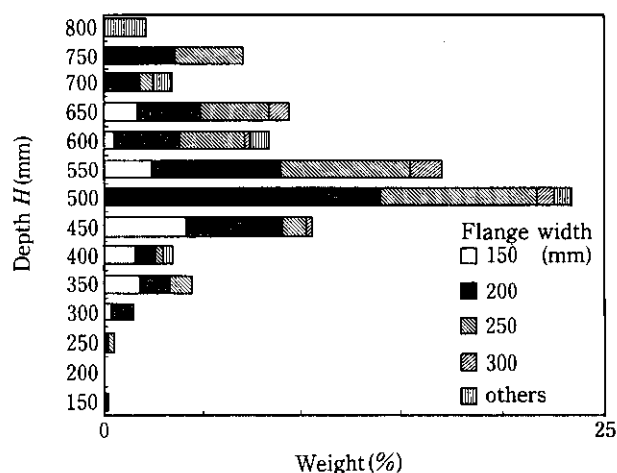


Fig. 5 Results of investigation for size variations (Welded H-shapes used for 19 buildings)

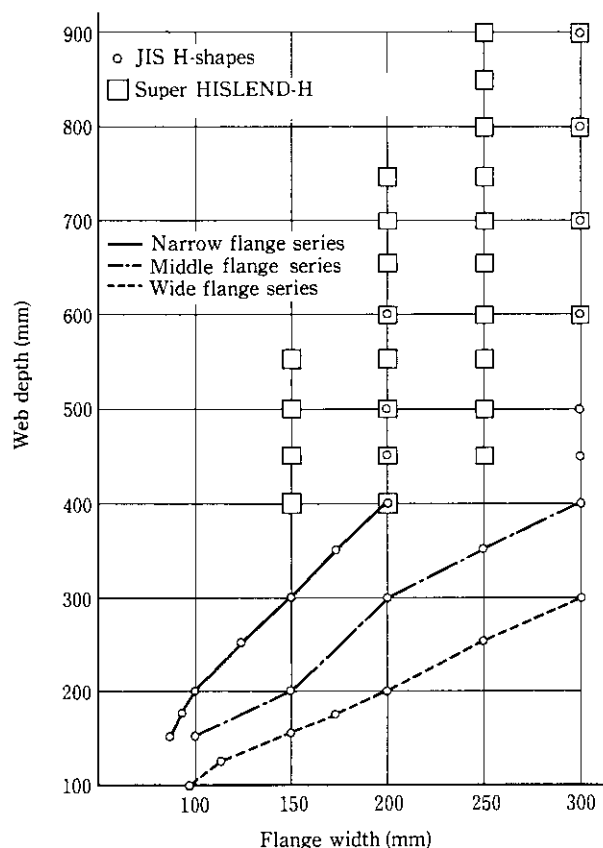


Fig. 6 Super HISLEND-H series in comparison with JIS H series

合はあるものの、旧来の内法一定H形鋼とは異なる領域を形成するものとなった。

サイズ構成については、ウェブ厚は通常使われる6~16mmの範囲とし、フランジ厚については、通常の設計に使われるウ

ェブ厚に対するフランジ厚の比がせん断抵抗と曲げ抵抗の比から1:3程度までであり、この範囲をカバーできればほとんどの要望に応えられるものと考えた。そして、Fig. 7 に示すように経済的な断面性能の選定が可能なサイズ構成とした。

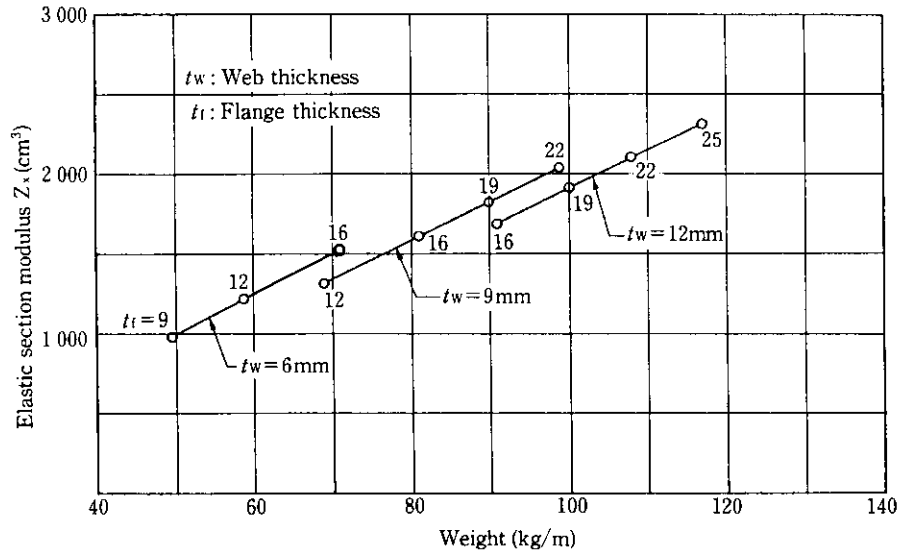


Fig. 7 Cross-sectional efficiency distribution of Super HISLEND-H shapes (example of H-450 x 200 series)

Table 1 Super HISLEND-H shape size availability

H	B	tf	150					200								250					300			
			9	12	16	19	22	9	12	16	19	22	25	28	12	16	19	22	25	28	19	22	25	28
400	6	6	○	○	○			●	●	○														
		9			○	○	○	●	●	●	●	●												
		12										●												
450	6	6	○	○	○			●	●	○					●									
		9			○	○	○	●	●	●	●	●			●	●	●	●						
		12							●	●	●	●	●				●	●						
500	6	6	○	○	○			○	○	○					○									
		9			○	○	○	●	●	●	●	○			●	●	●	○						
		12							●	●	●	●	●				●	●	●	○				
550	6	6	○	○	○			○	○	○					○									
		9			○	○	○	●	●	●	○				●	●	●	○						
		12							●	●	●	●	●				●	●	●	○				
600	6	6							●	●	●	○									○			
		9						●	●	●	●	○			●	●					○	○	○	○
		12							●	●	●	●	○			●	●	●	○		○	○	○	○
650	6	6							●	●	●	○												
		9						●	●	●	●	○			●	●								
		12							●	●	●	●	○			●	●	●	○					
700	9	9							●	●	●	○			●	●					○	○	○	○
		12							●	●	●	●	○			●	●	●	○		○	○	○	○
		14																			○	○	○	○
750	9	9						●	●	○														
		12							●	●	●	○			●	●	●							
		14															●	●	●					
800	14	14																			○	○	○	○
		16																			○	○	○	○
		16																						
850	14	14																						
		16																						
		16																						
900	16	16																			○	○	○	○
		16																			○	○	○	○
		16																			○	○	○	○

● 1st step (95 size) ○ 2nd step (82 size) Total 177 size

B: Flange width t_w : Web thickness t_f : Flange thickness H: Depth (mm)

また板厚についても、設計者にとって一般的な標準板厚系列（市中在庫鋼板の板厚系列）に統一し、仕口部などでH形鋼と接合させる鋼板に対し設計・製作上の便宜を与えるとともに覚えやすいものとした。

以上により商品化したサイズレパートリーを Table 1 に示す。表中第1ステップサイズは販売開始時の、第2ステップサイズはその後需要家の要望を踏まえて引き続き商品化したサイズを示す。

(3) コーナーアール

ウェブ・フランジ接合部の曲率（コーナーアール）を Table 2 のように従来のH形鋼に比べ大幅に小さくした。曲率部はその面積に相当する断面性能の増加があり全く無駄なものではないが、継手加工時の端面加工やボルト座の確保の上で、また溶接H形鋼との互換を容易にするため、需要家から小さな寸法が望まれていた。

(4) 寸法精度

外法一定H形鋼の寸法精度として、需要家が工場加工上また現場施工上必要とする精度を設定した。Table 3 に従来のH形鋼と今回の外法一定H形鋼、および建築学会規準の寸法精度の比較を示すが、各部の寸法精度は従来のH形鋼に比べて格段に向上し、建築学会規準に比べても遜色のない、また項目によってはそれ以上の精度を実現した。

Table 2 Comparison of corner radius R (mm)

Shape \ H	400~550	600~750	800~900
Conventional H	16~20	22~28	28
Super HISLEND-H	12	15	18

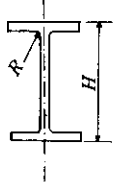


Table 3 Improvements in dimensional accuracy of Super HISLEND-H shapes

(mm)

	Section nominal size	Permissible variation			
		JIS G-3192 (1990)	JASS 6*	Super HISLEND-H	
Flange width B	$100 \leq B < 200$ $200 \leq B$	± 2.5 ± 3.0	± 2.5 ± 3.0	± 2.0 ± 2.0	
Depth H	$H < 400$ $400 \leq H < 600$ $600 \leq H < 800$ $800 \leq H$	± 2.0 ± 3.0 ± 4.0 —	± 2.0 $\pm H/200$ $\pm H/200$ ± 4.0	± 2.0 ± 2.0 ± 2.0 —	
Thickness	$t_f < 16$	± 1.0	—	± 1.0	
	$16 \leq t_f < 25$	± 1.5	—	± 1.5	
	$25 \leq t_f < 40$	± 1.7	—	± 1.7	
	$40 \leq t_f$	± 2.0	—	—	
Thickness	$t_w < 16$	± 0.7	—	± 0.7	
	$16 \leq t_w < 25$	± 1.0	—	± 1.0	
	$25 \leq t_w < 40$	± 1.5	—	± 1.5	
	$40 \leq t_w$	± 2.0	—	—	
Flange out-of-square	T	$H \leq 300$ $T \leq B/100$ but $T_{\min} = 1.5$ $H > 300$ $T \leq 1.2 \times B/100$ but $T_{\min} = 1.5$	$T \leq B/100$ and $T \leq 3.0$	$B \leq 200$ $T \leq B/100$ $B > 200$ $T \leq 2.0$	
	t	—	$t \leq b/100$ and $t \leq 1.5$	$t \leq b/100$	
Web offcenter S		$H \leq 300$ $B \leq 200$ ± 2.5 $H > 300$ $B > 200$ ± 3.5	± 2.0	± 2.0	$S = \frac{b_1 - b_2}{2}$
Web deformation δ		$H < 400$ 2.0 $400 \leq H < 600$ 2.5 $H \geq 600$ 3.0	$\delta \leq H/150$	$H < 600$ $\delta \leq 2.0$ $H \geq 600$ $\delta \leq 3.0$	
Camber and sweep e		$H \leq 300$ $e \leq 0.15 \times L/100$ $H > 300$ $e \leq 0.1 \times L/100$	$e \leq L/1000$ and $e \leq 10$	$e \leq L/1000$ (Local) $e \leq L/1500$	

*Standard by Architectural Institute of Japan

3.2 新技術の開発経緯

外法一定 H 形鋼の製造に必要となる技術を Fig. 8 に示す。いくつかの要素技術から構成されていて、そのいずれも従来の技術では不可能とされていたものである。製品設計の目標の達成にはいずれも不可欠であり、一つの技術の追及が他の技術の難しさを促進するというように相互に関連しているため、全体を統合して一つの技術と呼ぶことができるが、さらに、より包括的な H 形鋼チャンスフリー圧延技術の一部をなすものであるともいえる。一般に形鋼製造はロールのカリバー(孔型)で“形”をつくるプロセスであり、そのためにサイズごとにロールを交換する工程が必要となる。H 形鋼のユニバーサル圧延も、一つのシリーズ内で板厚を効率的に調整し得るという点で優れたものではあるが、本質的にはカリバー圧延である。

このロール交換はそれに付随する多くの準備作業と、交換の際の圧延停止時間によって生産性やエネルギー原単位などを悪化させ、

製品や納期などへの大きな制約となっている。したがって、その改善をねらいとするチャンスフリー技術の追及が形鋼技術の長年の課題であり、広義に解釈すれば、過去のさまざまな技術は大なり小なりかかわりを持つといっても過言ではない。例えば前述のスラブ H 法は素材のチャンスフリーであり、外法一定の技術には直接関連はないものの、そこで開発した部分圧延技術はウェブ高さ調整技術開発⁹⁾の発端となったものである。

そして今回、「外法一定 H 形鋼」の開発に目標を定め、必要な技術を集約し、総合技術として完成させた。Fig. 9 はその開発経過をまとめたものである。個々の技術は同時にチャンスフリー化に寄与するものである。

以上開発の経緯を述べたが、技術の詳細については別掲の論文⁶⁻⁸⁾で紹介する。

製造された外法一定 H 形鋼「スーパーハイスレンド H」の一例を Photo 1 に示す。

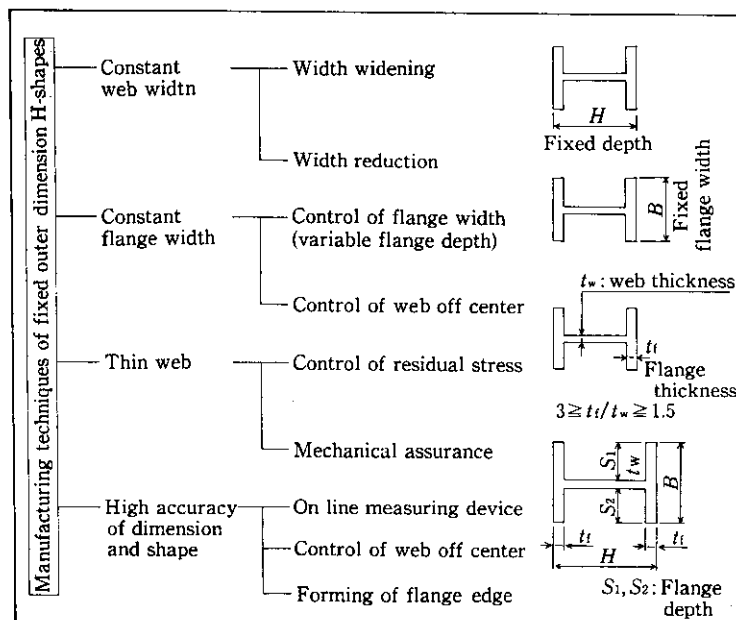


Fig. 8 Technical subject of rolling process in fixed outer dimension H-shapes

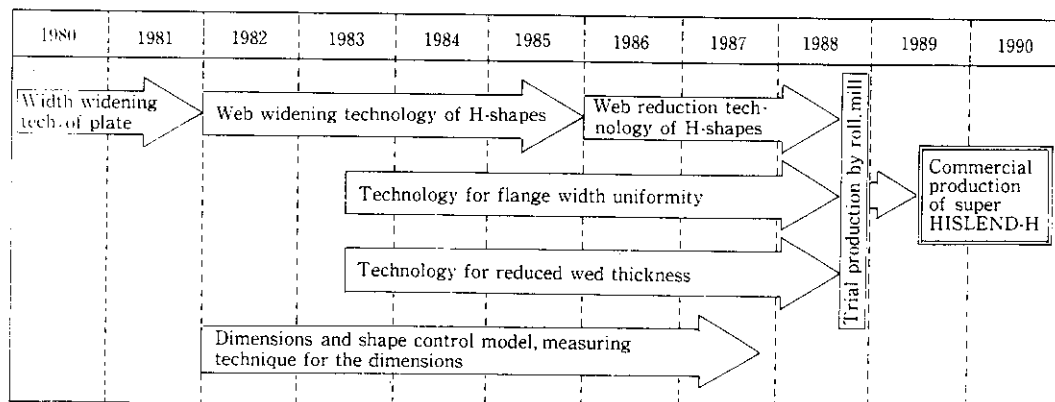


Fig. 9 Progress of technical development at Kawasaki Steel

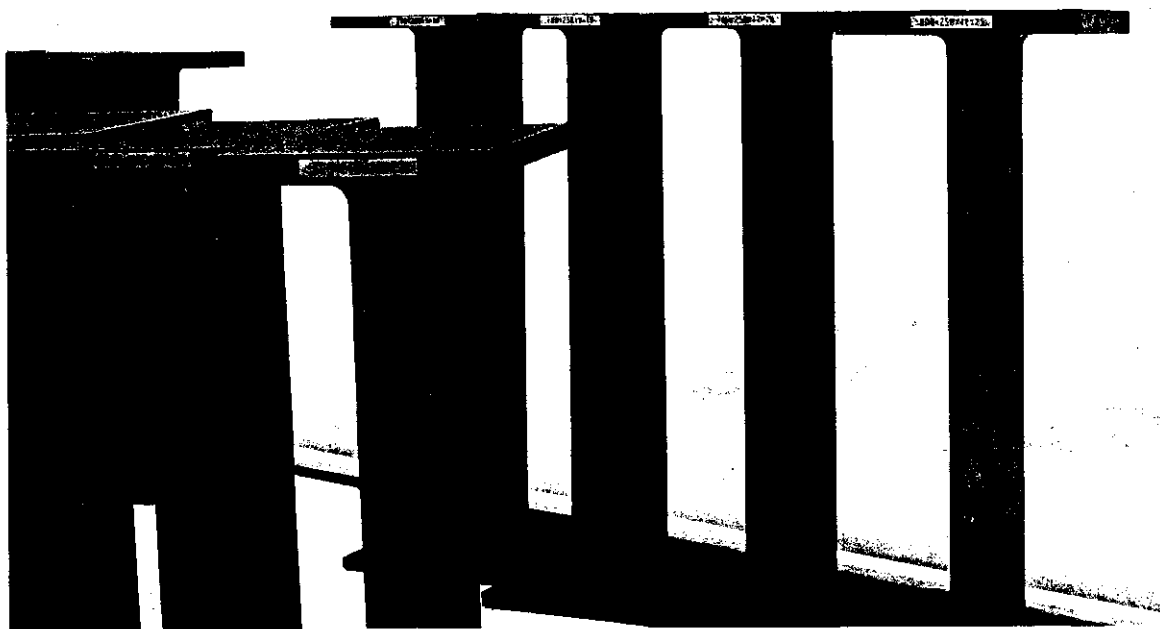


Photo 1 Examples of super HISLEND-H

4 結 言

外法一定 H 形鋼は長い間要望されながら製造技術上不可能とされてきたものであるが、約 10 年に及ぶ研究開発によって商品化が可能になり、1989 年 11 月より“スーパーハイスレンド H”として販売を開始した。これは同一シリーズ内サイズの外法寸法が一定であることに最大の特徴があるが、その他にも、ウェブ高さ、400~900 mm、ウェブ厚 6~16 mm に代表される経済的な設計を可能とした豊富なサイズをそろえていること、小さいコーナールの採用、寸法精度の向上が図られている。これらのことから、従来の内法一定 H 形鋼製品の欠点を解決することができた。この新しい製品は圧

延 H 形鋼の特徴である品質上の信頼性と経済性の面で、需要家から高い評価を得ている。

新しい製造技術は H 形鋼のチャンスフリー圧延技術を適用して確立したもので、外法一定 H 形鋼を産み出したと同時に製造プロセスの合理化にも大きく寄与した。しかし、チャンスフリー技術についてみるとまだ開発すべき課題が数多く残されており、逆に新たな、より高度の課題が次々に発生している状況にあるといえる。これは目標レベルが段々高くなる結果であるが、引き続き研究開発に取り組み、新たな技術を製品の開発、改善に活かし、今後とも需要家の要望に応えていきたいと考えている。

なお本製品は日経産業新聞社の 89 年度優秀製品 サービス賞優秀賞を授賞した。

参 考 文 献

- 1) 柳沢忠昭, 田中輝昭, 山下政志, 中西輝行, 草場 隆, 阿久根俊幸: 塑性と加工, **21** (1980) 235, 696
- 2) 柳沢忠昭, 田中輝昭, 山下政志, 奥村 寛, 草場 隆: 川崎製鉄技報, **13** (1981) 3, 320
- 3) 平井信恒, 田中輝昭, 山下政志, 草場 隆: 塑性と加工, **24** (1983) 273, 1028
- 4) 志賀勝利: 第 134 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編), (1990), 82
- 5) 竹林克浩, 草場 隆, 片岡健二: 第 38 回塑性加工連合講演会, 57
- 6) 瀬戸恒雄, 畠中 淳, 芳村嘉雄, 藤本洋二, 馬場和史, 大本至宏: 川崎製鉄技報, **23** (1991) 1, 8
- 7) 吉田 博, 近藤信行, 三浦啓徳, 奥井隆徳, 橋本隆文, 河野幹夫: 川崎製鉄技報, **23** (1991) 1, 23
- 8) 林 宏之, 鎌田征雄, 斎藤晋三, 藤本洋二, 河村有秀: 川崎製鉄技報, **23** (1991) 1, 16