

H 形鋼カリバー設計における一考察

A Consideration Concerning Roll Design for H-Shapes

小 野 友 太 郎*

Tomotaro Ono

森 川 欣 則**

Yoshinori Morikawa

松 室 知 視***

Tomomi Matsumuro

辻 正 幸***

Masayuki Tsuji

伊 藤 守 正****

Morimasa Ito

Synopsis :

A method of caliber design for H-shapes, using 3-high rougher mills and universal mills is described.

As a long-established general rule for designing caliber for I-beams is still quite useful for today's applications, it has been used for the forming process of sizing pass of H-beams.

The general rule is so flexible that it can be used for rolling even considerably modified. In case where rolling efficiency is given the importance of first priority, it is possible to calculate sizing pass in such a way as to make a universal mill capacity balanced with that of a roughing mill, and then to design the caliber in conformity with the sizing pass.

This report describes some actual examples of caliber designing improvements, with emphasis on practical methods and empirical techniques.

1. 緒 言

形鋼のカリバー設計については古くより研究者によって種々検討されているが、それらは統一されたものではなく微妙な点でそれぞれ手法が異なっている。

H形鋼（I形鋼）の場合、実用されている詳細

なデータ、手法の報告は比較的少なく、各圧延工場とも在来の研究に工場独自の経験をおりませた独自のルールに従っているようである。しかしながら、H形鋼カリバー設計における最も基本的な各フランジ圧下、ウェブ圧下などの成形過程におけるルールはほぼどの工場でも一致しているものと思われ、個々の値はそれぞれ異なっても基本的な考え方は同じである。

* 聶合工場製造部副部長

** 聶合工場製造部条鋼課掛長（現水島製鉄所第1圧延部大形課課長）

*** 聶合工場製造部条鋼課

**** 聶合工場製造部条鋼課（現知多工場鋼管部継目無鋼管設備建設班）

当工場におけるH形鋼カリバー設計、修正も原則として既存の一般則にしたがって行なっているが、一般則はかなり融通性があり、相当大幅にこれをはずしても圧延は可能である。

したがって、カリバーロールで粗加工を行ないユニバーサルミルで仕上加工する当工場のような場合は、カリバーロールのみで最終製品とする場合と異なり、既存の一般則にあまりとらわれることなくスタンド間のパスバランス、パス回数減少など圧延能率、作業性を優先して考え、これら諸条件に合致したカリバー設計を行なうべきであると考えられる。

以下に当工場のH形鋼カリバー設計の考え方を述べるものである。

2. H形鋼カリバー設計の要点

カリバーロールサイジングパス(Kal 1)の形状は圧延能力の基本であり、この選択程度いかんが圧延能力そのものを大きく支配するのでカリバー設計に当っては、まず最初に Kal 1 の形状を決定しなければならない。設計にあたってとくに注意すべき点は次の2点である。

(1) 粗ユニバーサルミル(U1)における圧延所要時間がU1以前のカリバーロール(R)でのそれより長い場合にはU1におけるパス回数を極力減らすことを考え、R能力とU1能力が均衡する厚みを持つ Kal 1 形状とする。

(2) U1での圧延所要時間がRにおけるそれより短い場合にはR関係を優先して考え、その能力向上が可能になる程度の Kal 1 形状を選択する。

2.1 Kal 1 形状

2.1.1 Kal 1 ウェブ内幅の決定

Kal 1 ウェブ内幅 x_0 (Fig. 1 参照) はユニバーサルミルの水平ロールとの関連において決定される。

すなわち、Fig. 1 において A_1 を Kal 1 ウェブ外幅、 B_0 を水平ロール基準幅とすれば、 $A_1 > B_0$ なる A_1 を選択すべきだが、 A_1 はロールの

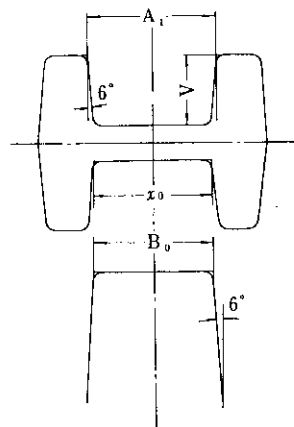


Fig. 1 Relation between the width of horizontal roll and the inner width of a sizing pass

摩耗により小さくなり、 B_0 にはロール管理上ある範囲をもたせねばならない。

したがって

$$A_1 \text{ の許容限界: } 0 \sim -m_1$$

$$B_0 \text{ の許容限界: } +m_2 \sim -m_3$$

とすれば

$$A_1 - m_1 > B_0 + m_2$$

となり

$$A_1 = B_0 + m_1 + m_2$$

より A_1 を求めて x_0 を決定する。当工場の場合 $m_1 = 6 \text{ mm}$ である。

m_2, m_3 の値はロール管理上は広い範囲とすることが望ましいが

i) 最終製品の寸法

ii) 成品全長の変動による採寸計画

に影響するので慎重に考慮する必要がある。

Fig. 2 は水平ロール幅と製品寸法公差との関係を示したものであり、ABCD でかこまれた領域は JIS G 3192 による寸法許容範囲（ウェブ高さ：400 mm 未満の場合 $\pm 3.0 \text{ mm}$ ，フランジ厚さ：16 mm 未満の場合 $\pm 1.5 \text{ mm}$ ）を示し、 $A'B'C'D'$ でかこまれた領域はその 60% 範囲を示す。

いま JIS 寸法許容範囲 60% 以内に製品寸法を入れるとすると、Fig. 2 より使用できる水平ロールの上限幅は、E 点を通る直線に対応する水平ロール幅すなわち $B_0 + 1.8 \text{ mm}$ となり、圧延中の

ロール摩耗を管理上 1 mm にしているので、使用できる下限ロール幅は F 点を通る直線に対応する水平ロール幅 $B_0 - 1.8 \text{ mm}$ より 1 mm 広幅の $B_0 - 0.8 \text{ mm}$ となる。ここで直線 (a)(b)(c) は水平ロール幅がそれぞれ B_0 , $B_0 + 1.8 \text{ mm}$, $B_0 - 0.8 \text{ mm}$ のときのフランジ厚公差とウェブ高さ公差の関係を示している。したがって水平ロール基準幅 B_0 に対する許容限界は

$$m_2 = +1.8 + \varepsilon$$

$$m_3 = -0.8 + \varepsilon$$

ε : 縮み代

となる。

その時製品寸法としてはマイナスをさけ、しかも標準厚みに近いものを目標としなければならぬから E-O-G 線が目標寸法となる。E-O-G 線中 E-O 間はフランジ厚 ± 0 , ウェブ高さ $+$, O-G 間はフランジ厚 $+$, ウェブ高さ ± 0 で、O-G 間のフランジ厚の変動は圧延全長のバラツキの一因となり採寸上注意を要する。

フランジ厚の変動による圧延全長のバラツキを考えてみると Fig. 3 より製品断面積 S は

$$S = A \cdot B + S_R - (x - \varepsilon)(B - t_2)$$

A : ウェブ高さ

B : フランジ幅

S_R : R 部断面積

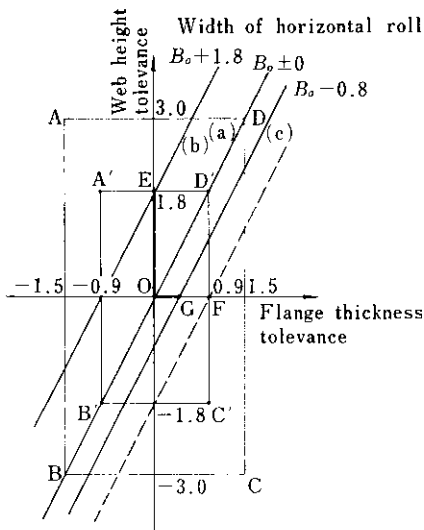


Fig. 2 Relation between the width of the horizontal roll and the product size tolerance

x : フランジ間距離

t_1 : フランジ厚さ

t_2 : ウェブ厚さ

ε : 縮み代

$$\Delta S = -(B - t_2)\Delta x$$

標準寸法の S を S_0 とすれば

$$\Delta S/S \doteq \Delta S/S_0$$

一方、圧延全長 l は

$$l = k \cdot G/S$$

k : 係数

G : ブルーム重量

$$\therefore \Delta l = -k \cdot G \cdot \Delta S/S^2$$

$$\therefore \Delta l/l = -\Delta S/S$$

$$\doteq -\Delta S/S_0 = (B - t_2)\Delta x/S_0$$

以上の結果から H 8/12 $\times$ 200 $\times$ 200 におけるフランジ厚の変動による圧延全長の変動を計算すると

$$S_0 = 63.53 \text{ cm}^2$$

$$B = 200 \text{ mm}$$

$$t_2 = 8 \text{ mm}$$

$$\therefore \Delta l/l \doteq 3.02 \Delta x \times 10^{-2}$$

$$\Delta x \doteq 0 \sim -0.8$$

$$\therefore \Delta l/l \doteq 0 \sim -2.4 \times 10^{-2}$$

となり、最大 2.4% 変動し、 $l = 60 \text{ m}$ なら 1.4 m 変動することになる。

したがって採寸計画の立案にはブルーム重量、手入減、焼減り、クロップ量などのバラツキとともに圧延全長のバラツキを考慮しなければならない。

2.1.2 Kal 1 形状の決定

Kal 1 ウェブ内幅 x_0 以外の寸法の決定には基

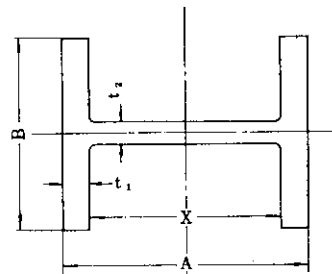


Fig. 3 Expression of the product size

本的に以下の考え方が必要である。

(1) 最終製品のフランジ断面積を S_f , ウェブ断面積を S_w , Kal 1 のフランジ断面積を S_F , ウェブ断面積を S_W とすると, S_w/S_W と S_f/S_F の比が製品形状によりほぼ同一の値になるよう面積を割り振る。

$$\begin{aligned} (S_w/S_W)/(S_f/S_F) &= c & (c: \text{一定}) \\ \therefore S_F/S_W &= c \times S_f/S_w & \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

c は広幅系列では大きな値 (1.4~1.9) とし, 細幅系列では小さな値 (0.8~1.3) とする。

(2) その後, U1, U2 におけるパスごとのフランジとウェブの圧下率 α_f, α_w をミル原動機能力に応じてかつその比が一定になるように選ぶ。

$$\alpha_f/\alpha_w = c' \quad (c': \text{一定}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

c' はサイズにより最適値は若干異なるが, ほぼ一定で広幅系列では 1.6~1.9, 細幅系列では 1.4~1.7 である。

このようにフランジとウェブの圧下バランスを取らないとメタルフローがどちらか一方で多く起こり, 波打ち, フランジ幅出すぎ, ウェブ凹みなどの異状現象が起こり不都合が生じる。

c' にはある範囲があるが, 安全を見て極力範囲の中央値を選んだ方がよい。

α_f, α_w は全パスを通じて一定でもよいが, 最初のパスのみウェブ圧下を若干軽くし, フランジ圧下を強めるのが普通である。

Kal 1 ウェブ厚さを a_w , Kal 1 フランジ厚を a_f , U1 最終パスウェブ厚を a'_w (製品厚+0.6), U1 最終パスフランジ厚を a'_f (製品厚+1.0), パス回数を n とすれば

$$a'_w/a_w = (1 - \alpha_w/100)^n \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$a'_f/a_f = (1 - \alpha_f/100)^n \quad \dots\dots\dots (4)$$

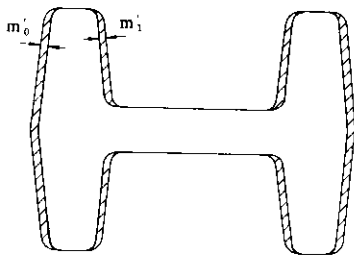


Fig. 4 Expansion of the sizing pass with abrasion

となり (1), (2), (3), (4) 式および Kal 1 ウェブ内幅 x_0 より Kal 1 形状を具体的に決定しうる。

c' は同一サイズではたとえ厚みの変動があっても一定に保つべきである。たとえば

H 8/12×200×200 の場合に当工場では $a_w' = 8.6$ mm, $a_f' = 13$ mm, $a_w = 17$ mm, $a_f = 46$ mm $n=6$ パスであり (3), (4) 式より

$$\alpha_f/\alpha_w = 19.0/10.7 \div 1.78$$

となる。ここでウェブ厚みが異なる H 12/12×200×202 の場合は

$$12.6/a_w = (1 - 10.7/100)^6$$

$$\therefore a_w \div 25 \text{ mm}$$

となり Kal 1 ウェブ厚を厚くしてバランスを取らなければならない。

この場合, U1 ミル能力が不足で $\alpha_w = 10.7\%$, $\alpha_f = 19.0\%$, $n=6$ パスが無理なら $\alpha_w = 8.2\%$, $\alpha_f = 14.6\%$, $n=8$ パスと α_f/α_w を一定に保ちつつパス回数を増やす。

Kal 1 はロールの摩耗で徐々に形状が拡大するが (Fig. 4 参照), フランジが肥大すれば当然圧下バランスがくずれるから, この場合もウェブ厚をそれにに応じて厚くし (2) 式の関係を保持する。

Fig. 4 に示した摩耗許容限界 m'_0, m'_1 は, 逆に c' を保持しつつパス回数が増えない限度をもって決定すべきものであり, 当工場では,

$$m'_0 \leq 2.5 \text{ mm}, m'_1 \leq 3.0 \text{ mm}$$

としている。

なお Kal 1 形状決定にあたり, α_w, α_f に若干の余裕が持てるなら, Kal 1 フランジ高さと製品フランジ高さが大体等しくなるよう配慮すれば, U1 での圧下時, エッジミルのパスごとの間隙調整操作が不要となり, ロール間隙を固定させることができ便利である。

2.2 カリバー設計における一般則

ブルームよりカリバーロールで粗加工を行ない Kal 1 形状へ導びく従来のカリバー設計手法は I 形鋼のそれと同じものであるが, I 形鋼カリバー設計の在来の一般法則は以下のごとくにまとめられる。なおカリバー設計上の各部分の表示を Fig. 5 に示す。

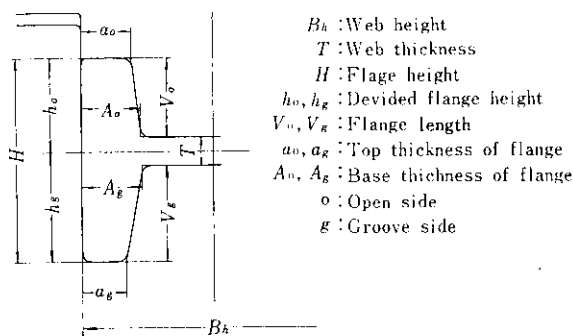


Fig. 5 Marks of parts for I-beam caliber

2.2.1 ウェブ高さ (B_h) の圧下

仕上パスでの拡がり量 (150~200 mm の I 形鋼で 1~2 mm) より順次パスをさかのぼるごとに 1 mm ずつ拡がり量を増す。

初断面から最初のカリバーへの導入時はごくわずかの拡がりしか見込まないのは、ウェブの切り込みが圧延材の中心に正確に行なわれるための配慮である。拡がり量の限界は Fig. 6 のごとく、つぎのカリバー幅に適合するまでの幅である。

2.2.2 ウェブ厚み (T) の圧下

仕上カリバーのウェブ厚みに対する殺しはごくわずかに押える。つぎのパス以後は圧下は順次強くなり、ほぼ一定の比例数で規則的に圧下を行なう。ウェブ幅が大きくなる仕上りカリバー近くでは、フランジ圧下との均合いを考えながらウェブを圧下しないと、フランジがウェブの伸びにより減少させられる恐れがあるので注意しなければならない。

最初の造形ノッチは原則として深いほどよいが、かみ込みを十分考慮しなければならないので比例数はこれにより制限を受ける。

2.2.3 フランジの圧下

一般に開口部ではフランジ厚を強く殺し、閉口部では圧下は全然行なわないかもしくは開口部に比して僅少に押える。

原則として、開口フランジではフランジ厚の減少とフランジ高さの伸張を目的とし、閉口フランジではフランジ高さの圧縮を目的とする。

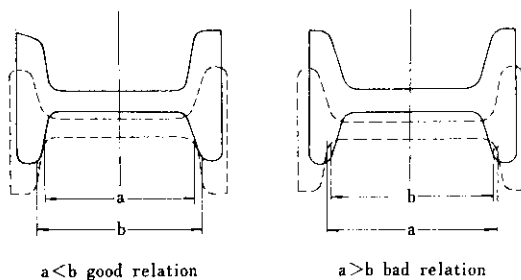


Fig. 6 Relation between closed calibers and flanges

したがって、I 形鋼では上下フランジのどちらか一方側のみでフランジの殺しが行なわれ、しかも最終的には同一厚みのフランジとしなければならないから、フランジの殺しは上側下側を交互に行なう。

(i) フランジ高さの圧下

h_o, h_g ともパスを追うごとに比例数を増加させて値を増加させる。ただし、 h_o は h_g に比して本質的に小さな比例数を取る。 $h_{on} = h_{gn+1}$ が望ましい。仕上りカリバーでは h_o, h_g 高さを等しくするため h_o の比例数は 1.0 がよく、 h_g のみ圧下する。

$H = h_o + h_g$ だから最終カリバーより順次さかのぼれば最初の断面高さは自ずから決まるが、一般には $(1.6 \sim 2.2) \times (\text{最終カリバー高さ})$ となる。

(ii) フランジ距離 (V_o, V_g) の圧下

h_o, h_g より自動的に決まる。

$$V_{on} = h_{on} - T_n / 2$$

$$V_{gn} = h_{gn} - T_n / 2$$

V_o での圧下はほとんど行なわないが、 h_o, h_g はパスごとに小さくなるから、 V_o は常に前カリバー開口部のそれより大きくなる。

つまり $V_{on} > V_{on-1}$ である。

(iii) フランジ厚さ (A_o, A_g, a_o, a_g) の圧下

A_o, A_g, a_o, a_g ともパスを追うごとに比例数を増加させ値を減少させるが、開口部では閉口部より本質的に圧下を強くする。初めのカリバーほど材料温度が高いため圧縮割合は大きくできるが、パスを追うごとにしだいに低下させ、最終カリバーではカリバー摩耗を軽くして寸法精度を上げるため圧縮割合はとくに小さくする。

これら一般則は現実にきわめて良くマッチする

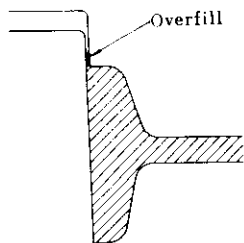


Fig. 7 Excess flange height reduction in live hole

ものであり、これに則して忠実にカリバー設計を行なえば良好な結果がえられる。

2.3 一般則に関する考察

カリバーロールで最終製品まで成形する従来のI形鋼と異なり、Kal 1以後ユニバーサルミルで再成形するH形鋼のカリバー設計においては、前述の一般則はかなりの柔軟性を有するものと考えられる。すなわち一般則では開口部でフランジ厚みを減じ、フランジ高さを増加させ、閉口部ではフランジ高さを殺すのが目的である。開口部でフランジ厚さと同時にフランジ高さを減じ、同様に閉口部でフランジ高さを殺すと同時にフランジ厚みを殺してもさしつかえない。

とくにカリバー形状が比較的ずんぐりした初期のカリバーなら、開口部でのフランジ高さを殺しも閉口部でのフランジ厚みの殺しもかなり自由に行なうてよく、成形上何ら支障はない。ただし、成形が比較的最終に近づいたほっそりした形状のカリバーでは、これら一般則をあまり大きく変えると

- (i) 開口部でのかみ出し (Fig. 7 参照)
- (ii) カリバーの異状摩耗。
- (iii) 閉口部での宙吊りによるカリバー未充滿 (Fig. 8 参照)

などの現象が起こるので注意を要する。

当工場では原則として、ルールにしたがっているが、開口部でのフランジ高さを殺しとともに閉口部でのフランジ厚み圧下も行なっている。

つまり、粗加工での仕上り寸法にさほどの精度が要求されないH形鋼カリバーの設計では、成形方法は思い切り自由に行なってもさしつかえないので、粗圧延工程における作業性、ユニバーサル

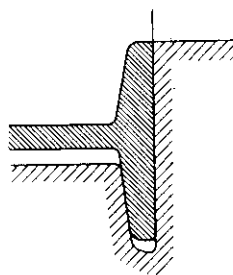


Fig. 8 A larger flange in a small dead hole

ミルおよびブルーミングミルなどの前後設備の能力を考慮し、それらに応じたカリバー数（パス回数）、カリバー配置を有するようカリバー設計を行なえばよい。したがって圧延能率を優先して考え、カリバー設計をクッションとするのが正しいと考えられる。

2.4 作業性の考慮

作業性優先の見地よりカリバー設計を行なう際次の2点の考慮はとくに必要である。

- (1) R関係各スタンドおよびU1における標準能力の推定
- (2) 上記計算により、R1, R2, R3, U1の各スタンドの標準能力を極力バランスさせること

標準能力を推定するには各スタンドにおける動作をいくつかに分け、これら動作について既存のサイズより実績を把握し、あるいは推定し、標準時間を設定する。この要素動作の標準時間を各スタンドごとに組合せてスタンド能力を推定する。

Table 1に各スタンド別要素動作、標準時間を示す。Table 1で正味圧延時間を求める際、圧延長の割出しが必要であるが、その方法として素材形状と製品の形状とから総圧下率を求め、R, U各スタンドの圧下率をすべて一定として簡略計算を行ない1パスあたりの圧下率を求め、圧延長を逆算する方法は便利であり、実績とよく一致し十分精度を持っている。

組合せたスタンド能力をもとにして総合能力およびバラツキが求められる。

Table 1 Elemental movement and standard time in rolling

Elemental movement	R 1		R 2		R 3		U 1	
	Standard time(sec)	Deviation (σ^2)	Standard time(sec)	Deviation (σ^2)	Standard time(sec)	Deviation (σ^2)	Standard time(sec)	Deviation (σ^2)
(1) Net rolling time	$0.231 \ell + 3.64$	1.12	$0.231 \ell + 3.64$	1.12	$0.231 \ell + 3.64$	1.12	$0.213 \ell + 6.82$ $0.241 \ell + 3.44$	3.65
(2) Transfer time in stand (front table)								
In general	10.7	4.33	14.5	4.33	8.9	4.33	8.6	2.89
Case of using tilting table			19.7	5.38	19.7	5.38		
Turning by man power			18.6	25.91				
Turning by machine	9.3	5.90						
" * 1	12.4	14.36						
Case of transferring short material			14.5	8.47				
(3) Transfer time in stand (back table)								
In general	6.0	2.99	6.0	2.99	6.0	2.99	8.7	2.89
Crop			32.9	10.24				
Turning	37.0	34.46						
(4) Transfer time from stand to stand	18.4	23.91	8.0	0.67	6.6	2.34	6.2	0.26
(5) "	18.0	1.46	17.6	5.52	21.3	0.31	6.2	0.26

note (1) Net rolling time

R 1, R 2, R 3

: $t = 0.231 \ell + 3.64$

U 1 (Case of 4 pass)

: $t = 0.213 \ell + 6.82$

U 1 (Case of 6 or 8 pass)

: $t = 0.241 \ell + 3.44$ ℓ : rolling length (m)

(2) * 1 H150×150 R 1

スタンド能力のパラツキ (標準偏差) は,

$$\sigma = \sqrt{\sum \sigma_i^2}$$

 σ_i : 各々の要素動作標準時間のパラツキ総合能力 X_0 は次のように求められる。

(a) 最大ネックスタンドの所要時間が特別に

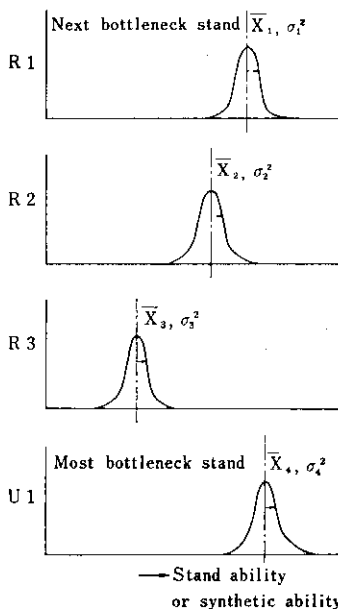


Fig. 9 Relation between respective stand ability and synthetic ability

離れて長い場合およびそのスタンドの直前に高能力のスタンドがある場合 (Fig. 9 参照)

$$X_0 = \max(X_i)$$

 X_i : 各スタンド能力,

$$\sigma_0^2 = \sigma_i^2$$

(b) スタンド能力が接近している場合, 相互に能力が干渉しあっている場合には, Fig. 10 のごとく能力減少率を示すから, この分修正して能力を推定する。

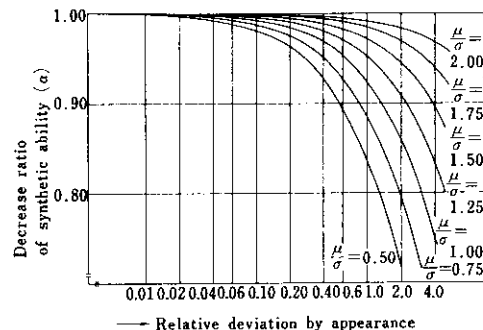
ここで, X_1, X_2 は 2 つのスタンドの平均能力, σ_1, σ_2 はパラツキであり, 2 スタンドからなる系全体の平均能力 X_N , パラツキ σ を求め σ/X_N を

Fig. 10 Decrease curve of synthetic ability caused by interference of respective ability

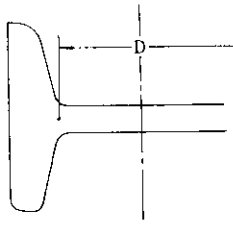


Fig. 11 Distance between both flanges

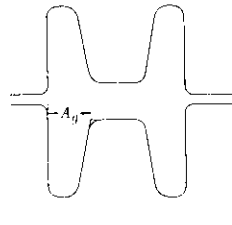


Fig. 12 Sizing pass

計算したのち、系の能力減少率 α を

$$\alpha = \frac{1}{1 + K\beta}$$

ただし

$$K = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\mu/a)^2} - \frac{\mu}{\sigma} \int_{\mu/a}^{\infty} F(x) dx$$

$$\mu = X_1 - X_2$$

$F(x) : N(0, 1)$ の密度函数

より計算する。

シュミレーションによる能力減少率と上式による減少率とは実際によく合致する。

したがって、各スタンド能力をバランスさせることが優先ではあるが、現実にはバランスがむづかしい時は中途に高能力のクッションを設けると効果的である。

そのための具体的手段として

- i) 3段ロールの場合の上・下通しカリバー採用
- ii) 2～3サイズの共通ロール化
- iii) カリバーへのメタル充填度の加減
- iv) Kal 1 を略し、リーダーパスである Kal 2 を最終カリバーとして代用する。
- v) 各スタンド間における材料の流れの統一などは有効である。

上・下通しカリバーでは中ロールが2カリバーで共有なので必然的に諸圧下の比例数はくずれるが成形上影響なく、横方向へのシフトが不要なので作業性がきわめてよい。

またH形鋼のようにユニバーサルミルで再成形する場合はカリバー一杯にメタルが充填するような理想のカリバー設計はかえって作業性が悪く、カリバーにメタルが充填するとカリバー摩耗が大きくなり、それに応じてスクレーパーなどの負担

が増え故障が起こりやすくなる。むしろ、初期のカリバーでは未充填が望ましく、最終2～3カリバーで充填する程度がよい。とくにフランジ高さの低い細幅系列ではフランジが伸びやすく、充填しやすいから努めてカリバーに充填させない配慮が必要で、最終カリバーでやっと充填する程度が望ましい。そのための方法として

(i) 初カリバーへ導入される初断面を小さくする。ただし、初断面幅はカリバー幅になるべく近い幅をとり、高さを低くする。幅が狭いとノッチが中央に入らずねじれが生じ、高さもある限度をこえて低くするとカリバー内で圧延材が泳ぎねじれたり、フランジ高さが左右で不揃いになったりする

(ii) フランジ間距離 D (Fig. 11) の拡げ代 $4D$ を大きくとる。 $4D$ を大きくとると、フランジ肉の引張り下げと側壁への圧力減少の2重の効果があるなどがある。

H形鋼カリバーの Kal 1 は Fig. 12 に示すように開口部が側壁中央にあるが、このような形状のカリバーでの圧縮割合はとくに小さい。このカリバーは Kal 2 にいたる上下非対称のフランジ厚距離を修正するのが目的で、フランジ厚みの殺しはほとんどできない。経験上 $a_{01} \geq a_{02}$ または a_{02} であり、かつ A_g での圧下は 2mm が限度で、これをこえると開口部にかみ出しが生ずる。

したがって、Kal 1 と Kal 2 はその断面積にほとんど変りがないから、開口部が両サイドにある Kal 1 を省略して Kal 2 からユニバーサルミルへ送る方法は非常に有効である。これはパス回数の減少による能率向上のみならず、軽い圧下による材料温度低下を防ぐことになり、ユニバーサルミルでのパス回数を減らしやすい条件となる。若干の上下フランジ形状の差はユニバーサルミルで十分修正し得る。

3. 具体的カリバー設計例

前述した考え方をもとにしてカリバー設計を再検討し、修正を行ない、成功した2例を次に示す。

Table 2 Comparison of the new pass schedule with the former on H 5/7×150×75

	Former pass schedule		New pass schedule	
Pass schedule	R1 (Blooming roll)	→No. 5 × " 6← → " 7 → " 8←	R1 (Blooming roll)	→No. 5 × " 6← → " 7 → " 8← → " 11←
	R2 (")	→No. 1 →No. 2← →Kal 8 → " 7← → " 6 → " 5←	R2 (abridgement)	→Kal 5 →Kal 4← →Kal 3 →Kal 2← →Kal 1
	R3 (H150×75)	→ " 4 → " 3← → " 2 → " 1←	R3 (H 150×75)	→ " 1 → " 2 → " 3← → " 4
	U1・E	→ 1 → 2← → 3 → 4← → 5 → 6← → 7	U1・E	→ 1 → 2 → 3← → 4
	U2	→ U 2→ (1パス)	U2	→U 2→ (1パス)
	Cross section of rectangular bloom	1 7 8 × 1 3 5		1 6 0 × 1 0 2
	Respective stand ability ($\bar{x}_i$)	R 1 42sec R 2 25sec R 3 83sec U 1 80sec		R 1 45sec R 2 0sec R 3 54sec U 1 53sec
	note: cross section of bloom: 200×220 x: turning			

Table 4 Comparison of the new pass schedule with the former on H 200×100 and H 250×125

		former		new		
		H 200×100	H 250×125	H 200×100	H 250×125	
Pass schedule	R1	→No 3	→No 1	→No 3	→No 1	
		× " 4←	→ " 2←	× " 4←	→ " 2←	
		→ " 5	→ " 7	→ " 5	→ " 7	
	R2	→ " 6←	→ " 8←	→ " 6←	→ " 8←	
		→ " 9	→ " 1			
		Kal 9	Kal 9	Kal 9	Kal 9	
	R3	→ " 8	→ " 8	→ " 8	→ " 8	
		→ " 7←	→ " 7←	→ " 7	→ " 7	
		→ " 6	→ " 6	→ " 6←	→ " 6←	
	U1	→ " 5←	→ " 5←			
Kal 4		Kal 4	Kal 5	Kal 5		
→ " 3←		→ " 3←	→ " 4←	→ " 4←		
U2	→ " 2	→ " 2	→ " 3	→ " 3		
	→ " 1←	→ " 1←	→ " 2←	→ " 2←		
	→ " 1	→ " 1	→ " 1	→ " 1		
U1	→ 1	→ 1	→ 1←	→ 1←		
	→ 2	→ 2	→ 2	→ 2		
	→ 3←	→ 3←	→ 3←	→ 3←		
U2	→ 4	→ 4	→ 4	→ 4		
	→ 5←	→ 5←				
	→ 6	→ 6				
Respective stand ability ($\bar{x}_i$)	R 1	43sec	55sec	R 1	39sec	45sec
	R 2	51	53	R 2	39	45
	R 3	49	51	R 3	54	55
	U 1	86	84	U 1	57	57
note: cross section of bloom: 200×300 ×: turning						

3・1 H 5/7×150×75の改善例

Table 2 は H 5/7×150×75について従来のパススケジュールおよび各スタンド能力と改善後のそれらの比較を示したものである。従来のパススケジュールでは **Table 2** からあきらかなように

- (1) R 3 での圧延所要時間をもっとも長くなっており、したがって R 3 能力が最大ネックとなっている
- (2) R 2 では1パスのみであるが、それでもロール組替時間を必要とする
- (3) Kal 1 の前面送りは U 1 の長いスクレーパーが障害となり後面送りが見望ましい

などの問題があった。

そこでこれらの問題を解決するために **Table 2** に示されているように初断面を小さくし (178×135→160×102), R2 を省略して R 1 スタンドのみで初断面をつくる実験を行なったところ, R 1 でのパス回数は1回ふえるが R 2 が省略でき, 噛込みも良く, Kal 3 位からカリバーにメタルが充満する良好な状態がえられた。また初断面が小さくなったので, Kal 8 ではほとんど圧下されなくなり, Kal 8 が省略できることになったが, Kal 7 は上中ロールにあるためそのままでは Kal 8 のみを省略することはできないので, R 3 ロールを上下逆組入することにした。したがって R 3 でのパス回数は1回省略でき, かつ Kal 8 が後面にくるので従来より R 3 能力はかなり向上し作業性も良くなった。この結果 R 3 と U 1 能力がほぼバランスすることになったがさらに R 3 スタンドの電動機容量に余裕があったので圧下を強くして R 3 でのパス回数を7パスから5パスに短縮し, 同時に Kal 1 断面を縮少することによって U 1 でのパス回数を6パスから4パスに短縮した。

このようにしてえられた改善後のパス

Table 3 Comparison of new caliber size with former for H 5/7×150×75

	Pass No.	Caliber No.	Web				Flange height					Flange thickness			
			B	ΔB	T	VZ	H	VZ	h _o , h _g	VZ	V	A _o , A _g	VZ	a _o , a _g	VZ
Former caliber	0	R-B	178.0	—	135.0	—	135.0	—	67.5 67.5	—	—	—	—	—	—
	1	K 8	185.0	7.0	60.0	2.25	134.0	1.01	^o 67.0 _g 67.0	^o 1.01 _g 1.01	^o 41.0 _g 33.0	^o 79.0 _g 83.0	—	^o 34.0 _g 42.5	—
	2	K 7	187.0	2.0	44.0	1.36	122.5	1.09	^o 55.5 _g 67.0	^o 1.21 _g 1.00	^o 37.5 _g 41.0	^o 69.0 _g 80.0	^o 1.14 _g 1.04	^o 33.0 _g 35.0	^o 1.03 _g 1.21
	3	K 6	193.0	6.0	33.0	1.33	112.5	1.09	^o 55.5 _g 57.0	^o 1.00 _g 1.18	^o 41.0 _g 38.5	^o 59.0 _g 69.0	^o 1.17 _g 1.16	^o 28.0 _g 33.0	^o 1.18 _g 1.06
	4	K 5	195.0	2.0	26.0	1.27	104.0	1.08	^o 49.0 _g 55.5	^o 1.13 _g 1.03	^o 37.5 _g 41.0	^o 55.0 _g 60.0	^o 1.07 _g 1.15	^o 29.5 _g 29.0	^o 0.95 _g 1.14
	5	K 4	199.0	4.0	21.0	1.24	93.5	1.11	^o 47.0 _g 46.5	^o 1.04 _g 1.19	^o 36.5 _g 36.0	^o 47.0 _g 50.0	^o 1.17 _g 1.20	^o 27.0 _g 28.0	^o 1.09 _g 1.04
	6	K 3	202.0	3.0	18.0	1.17	83.5	1.12	^o 40.0 _g 43.5	^o 1.18 _g 1.07	^o 31.0 _g 34.5	^o 40.5 _g 41.0	^o 1.16 _g 1.22	^o 27.5 _g 25.5	^o 0.98 _g 1.10
	7	K 2	204.0	2.0	16.0	1.12	76.0	1.10	^o 38.0 _g 38.0	^o 1.05 _g 1.15	^o 30.0 _g 30.0	^o 35.0 _g 36.0	^o 1.16 _g 1.14	^o 26.0 _g 26.5	^o 1.06 _g 0.96
	8	K 1	205.5	1.5	15.0	1.07	74.0	1.04	^o 37.0 _g 37.0	^o 1.03 _g 1.03	^o 29.0 _g 29.0	^o 33.5 _g 33.5	^o 1.04 _g 1.07	^o 27.75 _g 27.75	^o 0.94 _g 0.96
New caliber	0	R-B	160.0	—	102.0	—	102.0	—	51.0 51.0	—	—	—	—	—	—
	1	K 5	190.0	30.0	42.0	2.43	104.0	0.97	^g 49.5 _o 55.5	^o 1.04 _g 0.92	^g 29.5 _o 33.0	^g 52.5 _o 57.5	—	^g 27.0 _o 26.5	—
	2	K 4	194.0	4.0	31.0	1.35	93.5	1.11	^g 47.0 _o 46.5	^o 1.04 _g 1.19	^g 31.5 _o 31.0	^g 44.5 _o 47.5	^o 1.18 _g 1.21	^g 24.5 _o 25.5	^o 1.10 _g 1.14
	3	K 3	197.0	3.0	24.0	1.29	83.5	1.12	^g 40.0 _o 43.5	^o 1.18 _g 1.07	^g 28.0 _o 31.5	^g 38.0 _o 38.5	^o 1.17 _g 1.23	^g 25.0 _o 23.0	^o 0.98 _g 1.11
	4	K 2	199.0	2.0	20.0	1.20	76.0	1.10	^g 38.0 _o 38.0	^o 1.05 _g 1.15	^g 28.0 _o 28.0	^g 32.5 _o 33.5	^o 1.17 _g 1.15	^g 23.5 _o 24.0	^o 1.06 _g 0.96
	5	K 1	200.0	1.0	18.0	1.11	74.0	1.04	^g 37.0 _o 37.0	^o 1.03 _g 1.03	^g 28.0 _o 28.0	^g 30.75 _o 30.75	^o 1.06 _g 1.09	^g 25.0 _o 25.0	^o 0.94 _g 0.96

スケジュールは Table 2 に示すように、大幅な圧延能力の向上、R2 省略による組替時間の短縮および Kal 1 を後面に変更したことによる作業性の向上など著しい効果を上げることができた。

圧下量が全般に増えているので、電動機負荷、カリバー摩耗とも当然増えているが両者における成形上の優劣はなく、製品寸法精度になら相違はない。

なお、カリバー 圧下諸元の改善前後の比較を Table 3 に示した。

3.2 H 5.5/8×200×100, H6/9×250×125 の改善例

Table 4 は H 5.5/8×200×100 および H 6/9×250×125 についての改善前後のパススケジュールおよび各スタンド能力の比較を示したものである。Table 4 からあきらかなように従来のパススケジュールでは、U1 での圧延所要時間がもっとも長く絶対的ネックとなっていたので、(2)式の関係にもとずいて、Kal 1 断面を小さくすることにより U1 でのパス回数を6パスから4パスに減少し、各スタンド能力のバランスを図った。

またカリバー設計の段階で Fig. 13 に示すように、これまで2サイズでそれぞれ別個であった R2 スタンドを2サイズ共通ロールとし、組替時間の短縮をはかると同時に H 5.5/8×200×100 の

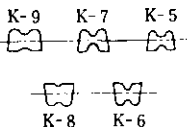
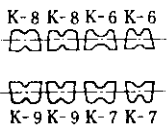
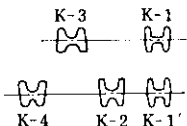
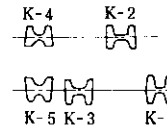
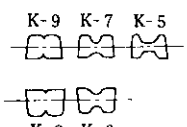
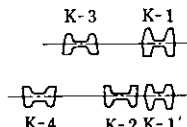
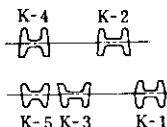
Product		Former	New
H200×100	R ₂		E250 E200 E250 E200 
	R ₃		
H250×125	R ₂		same of H200×100
	R ₃		

Fig. 13 Caliber arrangement of H 200×100 and H 250×125

場合には Kal 9 と Kal 8, Kal 7 と Kal 6, Kal 5 と Kal 4, H 6/9×250×125 の場合には Kal 5 と Kal 4 をおのおの独立カリバーから上下通しカリバーに変更し、移送時間の短縮を図った。

さらにスタンド間の移送で材料の交錯をさけるため R1 および R2 でのパス回数を1回ずつ減らし R1→R2を後面送り、R2→R3を前面送り

とした。

このようにしてパススケジュールの改善を行ない、圧延能力の大幅な向上、ロール共通化による組替時間の短縮および上下通しカリバーなどによる作業性の向上がえられた。

4. 結 言

H形鋼のカリバー設計には古くより経験上定められた一般則があり、それはきわめて現実によく合致するものである。しかしながら、一般則を必ずしもそのとおりに行なわずともカリバー成形は可能で、一般則がかなり柔軟性を有したものであることは前述のとおりである。

したがって、カリバー設計にあたっては一般則に原則的にしたがいつつもこの柔軟性を活かし圧延工場の作業性、圧延能力両面に十分留意すべきものと考えらる。具体的にはあらかじめ設定あるいは推定された各要素動作別標準時間を組合せ標準能力の推定を行ない、各スタンド能力をバランスさせるよう操作して、バ

ランスの基本となるサイジングパス形状を決定する。しかるのち、これに合せたカリバーの具体的設計を経験上えられた種々のテクニックをおりまぜて行なう方法である。

圧延総合能力はこれら手法の適用により大きく改善されうるものである。