

— 講 演 —

I ビーム殊に軽量 I ビームの新しい孔型設計について

Herbert Sedlaczek*

Herbert Sedlaczek 工学博士は、西独アーヘン大学教授にして圧延学の権威者、昭和 33 年 8 月 8 日、富士、大同各社の招聘により来朝せられた機会に 10 月 13 日東京において本会主催の講演会を開催し、特に博士に請うて講演をお願いすることになっていた。しかるに俄に病の冒すところとなり 10 月 7 日名古屋において急逝せられ、生前予稿として本会に寄せられた本稿がはしなくも博士の絶筆となったことは寔に遺憾の次第である。

すでに半世紀以上にわたつていわゆる普通型鋼が、一般に使われております。I ビーム型鋼を改良しようとして色々試みられましたが、圧延費用が高いため大てい失敗に終つております。ようやく近年にいたつて建築業界の要求が高まり、アメリカとロシヤにおいて、いわゆる薄いウェブの軽量 I ビーム、フランスとハーゲデザインにおいていわゆる AP 型鋼が創造されました。アメリカとロシヤの型鋼は、 x 軸方向の断面係数を変えることなしに約 25 ないし 30% の重量の節約が出来ましたが一方普通 I ビームに比べて y 軸方向の断面係数が低い欠点がありました。これに反して、AP 型鋼においては、普通型鋼に比べ、 y 軸方向の断面係数を意識的に高め、さらに平行・フランジにするようにつとめました。図 1 は縦坐標にアメリカ・ロシヤ式 LP および PE, AP, NP 各型鋼の断面係数 x および y 、横坐標に m 当り重量を示します。欧州鉄鋼共同体の推薦する PE 型鋼

はフランスの AP 型鋼の形に似ておりますが、新しい PE I ビームの x および y 軸の断面係数は同じウェブの高さをもつた AP I ビームよりも少なくとられております。そのかわり 1955 年に販売された総重量からみて普通 I ビームよりも平均 16.5% の重量軽減を得ており、ウェブが高くなるにつれてこの軽減量は増大します。PE I ビームにおいても重量軽減のため、ウェブの厚さを薄くし、かつ、建築業界の希望により、平行・フランジにしましたから、この種の型鋼の圧延は普通の孔型設計では、非常に困難であり、旧式の圧延機では、恐らく不可能でありましょう。

今までの I ビームの圧延法では、大ていの場合、直角型の断面を高い側から初回パスすることで始めます。I ビームの最初の型パスは、丁度二つの回転式鋸のようにロールが四角インゴットを楔状に割るように行われます。この場合この楔形をきれいに造りあげることが非常に重要です。と申しますのは楔の中が広すぎるとウェブの伸びが大きいため隣接部分が非常に強い影響を受け楔の形がとがりすぎているとウェブを余り伸ばすことなしにうまく割りが入りますが、熱応力によつてややもすると折れやすい欠点があります。したがつてこの両極端の間で最も有利な型を見出すことが必要です。図 2 では伸びの作用の相違を、図 3 では真直な分割およびずれた分割の相違を明らかに窺うことができます。

さて特に大きい型鋼の場合初回パスの噛み込みが面倒な問題です。このため Fig. 2 のようにロール・カリバーに深い切り込みを入れておりますが、この切込みがあまり強すぎると噛み出しがおこり、これが外皮としてウェブの上に周期的に現われます。この外皮は美観をそこね

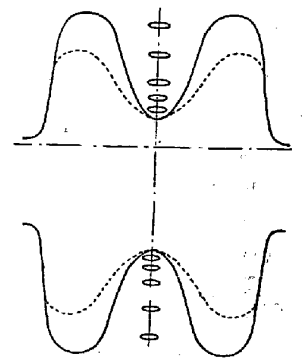


図 2

メートル当り重量との関連における断面積係数 W_x および W_y 、

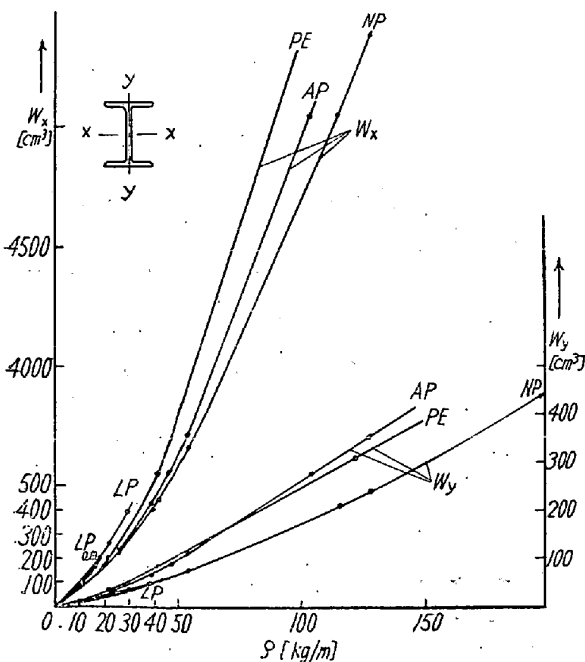


図 1

* 本会名誉会員、アーヘン工業大学教授

表 1. PE および NP 型鋼の対比

高さ h in mm	フランジ巾 b in mm		ウェブ厚 in mm		フランジ厚 t in mm		半 径 R in mm		重 量 in kg/m		重量軽減	
	PE	NP	PE	NP	PE	NP	PE	NP	PE	NP	kg	%
88	46	42	3,8	3,9	5,2	5,9	5	3,9	6,0	5,95	0,05	0,0
100	55	50	4,1	4,5	5,7	6,8	7	4,5	8,1	8,32	0,2	2,4
120	64	58	4,4	5,1	6,3	7,7	7	5,1	10,4	11,20	0,8	7,1
140	73	66	4,7	5,7	6,8	8,6	7	5,7	12,8	14,40	1,6	11,1
160	82	74	5,0	6,3	7,4	9,5	9	6,3	15,8	17,90	2,1	11,7
180	91	82	5,3	6,9	7,8	10,4	9	6,9	18,5	21,9	3,4	15,5
200	100	90	5,6	7,5	8,5	11,3	12	7,5	22,4	26,3	3,9	14,8
220	110	98	5,9	8,1	9,2	12,2	12	8,1	26,2	31,1	4,9	15,8
240	120	106	6,2	8,7	9,8	13,1	15	8,7	30,7	36,2	5,5	15,2
270	135	(116)	6,6	(9,7)	10,2	(14,7)	15	(9,7)	36,1	(45,0)		
300	150	125	7,1	10,8	10,7	16,2	15	10,8	42,2	54,2	12,0	22,1
330	160	(134)	7,5	(11,8)	11,5	(17,8)	18	(11,8)	49,1	(64,6)		
360	170	143	8,0	13,0	12,7	19,5	18	13,0	57,1	76,2	19,1	25,1
400	180	155	8,6	14,4	13,5	21,6	21	14,4	66,3	92,6	26,3	28,4
450	190	170	9,4	16,2	14,6	24,3	21	16,2	77,6	115,0	37,4	32,5
500	200	185	10,2	18,0	16,0	27,0	21	18,0	90,7	141,0	50,3	35,7
550	210	200	11,1	19,0	17,2	30,0	24	11,4	106,0	167,0	61,0	36,5
600	220	215	12,0	21,6	19,0	32,4	24	21,6	122,0	199,0	77,0	38,7

NP の場合 $h \leq 250\text{mm}$: $b = 0,4h + 10\text{mm}$: $d = 0,03h + 1,5\text{mm}$

$h \geq 250 \sim$: $b = 0,3h + 35$ mm : $d = 0,036h$ 以外 I 55

$R = d$ (例外 INP 55 $R = 0,6d$)

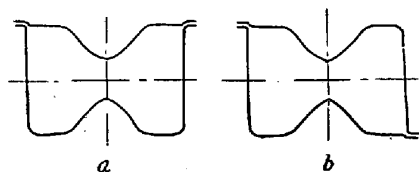


図 3

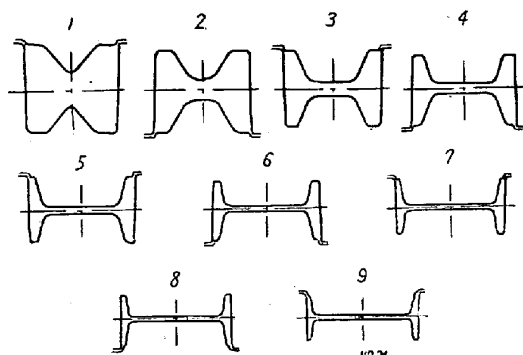


図 4

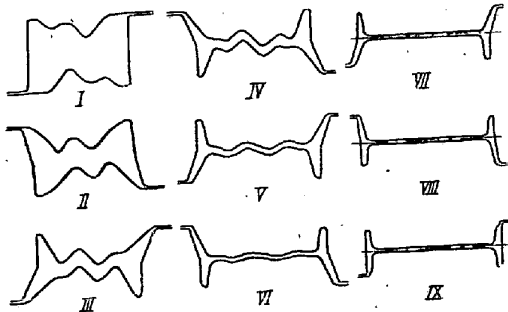
ることを別としても、さびの生じる原因となり、Iビームの寿命をちぢめます。さらに中央部をこのように中程を深く切り込んだ場合の欠点は、圧延材の偏析帯を直接侵すようになることです。その結果ウェブ上に気泡や鱗状を生じ、かつウェブの曲げ強度が非常に減少いたします。これらの欠点を除くためキルド鋼で大形のIビームを造ろうとしますが、こうするともちろん溶接性が悪くなるのみならず、製品価格も高くなります。図4のように普通のIビームでは、切込みを深くする必要がありま

せんから、上のような欠点はまれにしか現われません。何故ならウェブもフランジも軽量型鋼よりはるかに厚く、かつフランジの高さも低いからです。表1の縦の欄にPEおよびNP型鋼の大きさが比較されております。もちろん軽量Iビームの孔型においても、その製造にパス数をふやす必要があるでしょうから、圧延材の危い偏析帯への切り込みが行われる危険がありうるでしょう。その結果、最後の数パスはすでに非常に冷却し、圧延材にとって周知の種々の不利な結果、たとえば、公差の悪いこと、ロールの摩耗などが生じるでしょう。他の一つの方法として軽量Iビーム用に特殊ユニバーサルロール機をおくことが考えられます。この場合は純粋な単品種ロール機で、軽量Iビームの他に、場合によっては、ワイドフランジビームと平鋼も圧延することができましょう。このようなロール機は生産品種を合理的に組み合わせれば、各品種の数量が、充分多い場合には引き合うでしょう。しかし、ヨーロッパ市場では、非常に多種多様な圧延計画の根本的変更を見渡すことも、予言することもできませんから、大部分の型鋼圧延工場は良かれ悪しかれ、今から既存の圧延機を軽量Iビームに徐々に置き変えていく問題を取り上げる必要があるでしょう。

これらの型鋼を既存のロール機で圧延することの困難についてはすでに冒頭で指摘いたしました。したがって唯一の道、すなわちパスからパスへの圧縮率を相対的に大きくすることなしに、出来るだけ少ないパス数で、仕上軽量型鋼を得られるような唯一の孔型設計が問題に

なります。もちろん他の場合と同様、この場合にも同じ目的を達成する種々の方法があり得ますが、ここでは可能性の大きい一つの方法を述べましょう。

この方法においては、直角形か正方形の出発断面を最

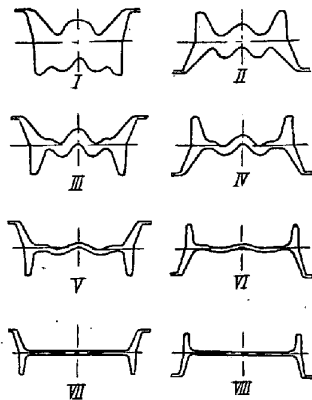


薄壁 I ビームの孔型設計例

図 5

初の数パスで歯型に切り込むことから出発します。

図 5 は均等な分割を行う配列をどのように三重ロール機に応用し得るかを示し、図 6 は、ずれた分割をする配列を示しますが、これはなにかんずく、二重ロール機にとつてはロールの端を節約することが出来ますから適当と思われま



I ビームの孔型設計

図 6

すが、フランジは平行ではありません。しかし、PE型鋼では平行・フランジが要求されますから、最終パスは一つのユニバーサルスタンドで圧延される必要があり、ロール平面にある垂直ロールがフランジを平行に圧下します。フランジの内側のRがすでに先行するパスで漸次縮少されることはもちろんです。

この歯型孔型設計はなにかんずく高く薄いウェブと広く薄いフランジの型鋼用に考えたものです。二重ロール機の孔型では先ず、面積コンスタントのみは大體保持することができます。云いかえれば、ウェブ f_{St} のフランジ f_{Fl} に対する面積関係を縦断面 f_{ges} に対して同一の関係にすることができます。これを式で示せば、次の通りです。

$$\frac{f_{St1}}{f_{St2}} = \frac{f_{Fl1}}{f_{Fl2}} = \frac{f_{ges}}{f_{ges2}}$$

等、面積コンスタントのこの原則は孔型設計を具合よ

く運ぶために最も重要なことです。1902年に Henry Grey 氏および 16 年前に Hugo Sack 氏は面積コンスタントに加えて、線コンスタントを要求しました。後者はすなわち、ウェブとフランジの厚みの相対的圧縮率も、また等しくあるべきであるということです。この要求は完全な形では、圧延平面での水平ならびに垂直ロールをもつた Grey ロール機で広巾フランジ圧延をする場合のように、ユニバーサル圧延によつてのみ達成されます。二重あるいは三重ロール機による普通のカリバー圧延では線コンスタントはもはや達成されず、とくに I ビームのような二重フランジの型鋼では不可能です。何故なら、通常フランジの加工がパスからパスに直接並らびに間接圧下で変わるからです（直接圧下とは W. Tafel 教授によればロール軸に対し垂直に mm で角度最高 45° までの直接圧縮を意味し、側面でロール軸に対する角度が 45° 以下の圧縮を間接圧下と称します）。しかしフランジの厚みを縮少するためには間接圧下で作業しなければなりません。しかしながら間接圧下はオープンなカリバー部分でのみ、すなわち上ロールと下ロールが共同でフランジ加工をするところにおいてのみ効果的に行うことができます。閉鎖されたカリバー部分すなわちフランジ部分が唯一のロールに完全に囲まれているところでは、間接圧下は細心の注意を要し仕上パスでは出来得る限り最小限にとどめるべきです。面積コンスタントをいくらかでも達成するためにフランジ先端に直接殺し圧下を加えなければなりません。しかし、これはある程度しか出来ません。と申しますのは閉鎖されたカリバー部分にあるフランジの突出部における直接殺し圧下はフランジ先端の厚みより小さいからです。すなわち、もし殺し圧下が大きいとフランジの突出部は殺しが強すぎてカリバーの中で押しつけられて表面がきたなくなり、ロールの摩耗が大きくなります。他面、純粋に計算上からいえばもしあらゆる断面部分における面積コンスタントを維持しようとするなら、この前提では十分な圧縮は出来ません。したがって仕上パスから逆に数えて、ウェブの伸びが大きくなり始めるカリバーのところから、閉鎖されたフランジ突出部にも直接殺し圧下に加えて、間接圧下を与える以外に方法がありません。これは粗パスの段階では鉄が、まだ比較的温く、したがって非常に弾力がありますから容易に出来ることです。もしこの追加的な間接圧下を行わないで、閉鎖フランジ部分の縮少がウェブのそれより小さいと、このフランジが短くなる危険があります。これは容積コンスタントの法則に合致するものです。いい換えれば隣接部分がそれぞれ相互に影響をう

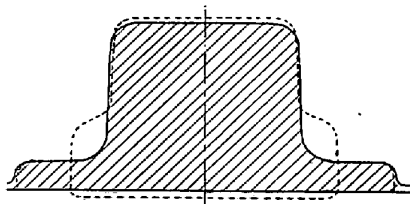


図 7

けます。たとえば図7の軌条殺しパスをお考え下さい。この場合意識的に大きい中央部分は余り圧下せず、両側の脚部突出部には、不相応に大きな圧下を掛けて伸びの少ない中央部分の影響力でその伸びを引きとめ、その代わりに巾の方に押し出すようにします。これは前の場合とは逆な訳です。しかしながら歯型法によれば、閉鎖フランジ部に特に大きな間接圧下を掛けず、面積コンスタントを得ることが出来ます。波状ウェブ形（歯型）と共に、図5, 6においてオープンのカリバー部分のフランジ突出部が著しく上に曲つていくことがわかります。これは単に最終パスでフランジの平行が、大体、達成される以外に、通常のフランジ先端からの逆殺しとしてではなく、ウェブの方から閉鎖フランジ突出部の底部に向つて、強い直接の逆圧下が行われるという非常に重要な意義をもつております。この場合、丁度チャンネルの場合のように意識的に反対フランジ突出部を通じて鉄を実際のフランジに押し込もうとする訳です。ウェブの波型ないし歯型は品種が多かつ場所を節約する目的から歯型で作業するシートバーの場合にはすでに周知のことです。米国人 Rendleman 氏もまたすでに同様のアイデアを発展させました。しかし、ここで話し上げる方法は、非常に重要な点で異つております。この方法では比較的小さな圧下で作業し、側面で相互にずれている上下の盤を持つたサーキュラー・シャアの原理を利用したものです。これによつて、ウェブの厚さを同時に減少しながら、場合により繊維の流れを破壊することなしにフランジを伸びなしに、きれいに分けることができます。偏折帯はフランジ切り込みによつて侵されません。オープンフランジが特殊な斜め位置にあることによつて間接圧下は著しく減少し、閉鎖フランジ突出部における直接圧下はむしろ強化されます。

図6の特に逆転式二重ロール機用のずれたカリバー分割の工作方法においては、歯型をつけると同時に粗カリバーにおいて水平方向に縛り付けが行われ、ロールの端と軸受けの胸状部が場合によつて生ずる水平スラストから守られます。このずれたカリバー分割の孔型設計は例えば正常の型钢のごとくカリバーの半分を折り返すこ

と、たとえば、Fig. 5のような直直あるいは均一な分割を持つた先行の型钢の左半分を折返すようなことで達成される訳ではなく、原則は変わらないとしても、ある程度の変化を経なければなりません。それは次のような理由によります。両方のカリバーの半分を単に折返したときの型钢は Fig. 8 のような外観を呈しましょう。この型钢は、しかしながら、対角線上にあるオープンなフランジの強い噛み込み点にそれに対応する反対力によつて相殺されませんから、大きなねじれ傾向をもつでしょう。この現象は平方カリバーについてみれば最もよくわかります。この場合ロール機前面

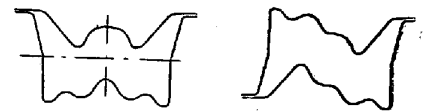


図 8

からみると、上ロールは下ロールに対して、正確に合つておらず、例えば下ロールに対し、右にずれております。（図8）。このゆがんだ平方カリバーに先行のパス、たとえば真直な粗平方を書き入れ、真中の垂直な対角軸から同一間隔で左右に垂直の切断面をおくと右の上および左下の平方側がそれぞれ他の反対側より大きな高さの圧縮を受けることがわかります。皆様も経験上、このような平方が右ひねりを持ち、したがって、鉄を真直に送るためには上ロールを右にずらせばよいことを御承知です。この現象はつぎのように説明されます。両方の相対する側（右上および左下）に掛かるより高い圧力はカリバーの重点をめぐつて強い右まわりモーメントをもちそれは、両方の反対側の平方面における低い圧力の影響の下でのトルクより大きいのです。これらのモーメントは、書入れられた粗パスおよび平方カリバーのカリバー限界面から生ずる縦坐標の長さの差に垂直のカリバー重点線からのそれぞれの間隔を掛けることによつて簡単に得られます。その場合 mm あるいは cm での縦坐標の高さを力すなわち kg とするきまりになつておりますから縦坐標と重点間隔を掛け合わせた結果は同時にそれぞれのトルクすなわち cm^2 あるいは cm kg に相当します。Fig. 9の例ではカリバーの上半分においては右回転モーメントは $Mr_1 = 32 \cdot 125 \text{cm}^2 (\text{cm kg})$ 、左回転モーメントは $MI_2 = 16875 \text{cm}^2 (\text{cm kg})$ でありますから $Mr_1 \cong 2 \cdot 1 \cdot MI_2$ となります。同様のことがカリバーの下半分についてもいえます。ここでは $Mr_3 \cong 2 \cdot 1 \cdot MI_4$ であります。同一回転方向のモーメントは加算されますからモーメントの方程式は

$$Mr_1 + Mr_3 - 2 \cdot 1 (MI_2 + MI_4) = 0$$

または

$$Mr_1 + Mr_3 = 2 \cdot 1 (Ml_2 + Ml_4)$$

であり、換言すれば、右回転モーメントの合計は左回転のそれより 2・1 倍大きい訳です。すなわち、右回転モーメントの影響が強いため右ひねりが生ぜざるを得ませ

ん。この認識は特に連続ロール機の場合非常に重要なことです。ロールを真直においてカリバーの上下半分を再び正確に合わせると、すべての四面における圧縮、したがって圧下が均しくなり、右および左回転モーメントは

左側		右側	
LS (2)	mm ²	RS (1)	mm ²
Nr.	圧下率×横杆柄	圧下率×横杆柄	
1)	60,0	60,0	
2)	90,0	110,0	
3)	67,5	112,5	
4)	80,0	140,0	
5)	100,0	175,0	
6)	120,0	210,0	
7)	140,0	245,0	
8)	160,0	280,0	
9)	180,0	315,0	
10)	175,0	350,0	
11)	165,0	385,0	
12)	150,0	390,0	
13)	130,0	350,0	
14)	70,0	350,0	
$\Sigma(y \cdot x)$	1687,5	3512,5	

y=圧下率 mm
x=横杆柄 mm
M=モーメント=y·x cm²
Mr=右回転モーメント
Mt=左回転モーメント
S=重点

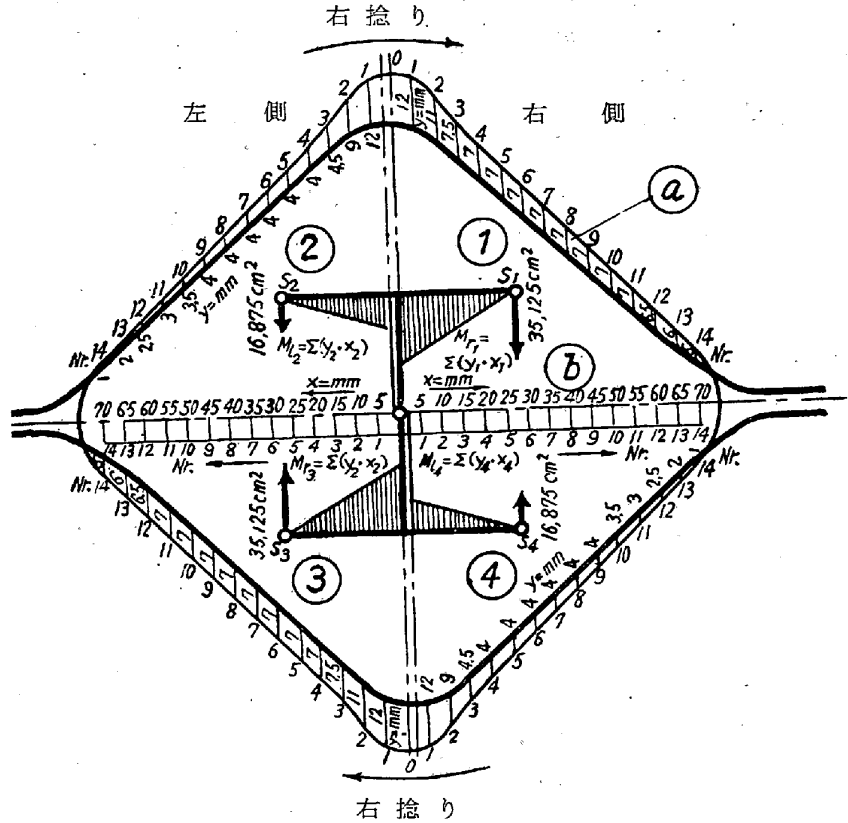


Fig. 9

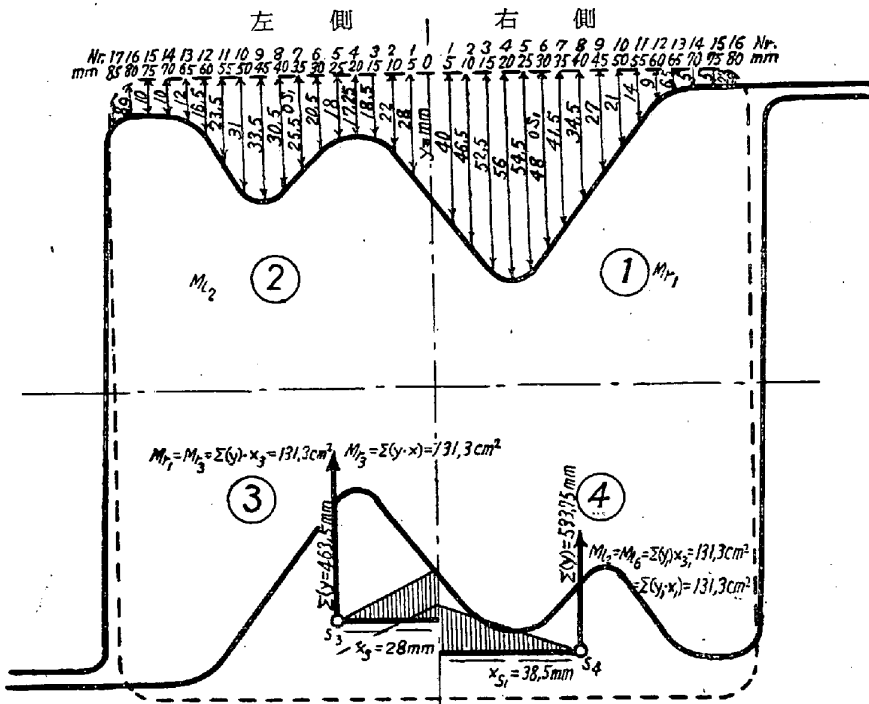


Fig. 10

左側		右側	
LS (2)	mm ²	RS (1)	mm ²
Nr.	圧下率×横杆柄	圧下率×横杆柄	
1)	140,0	200,0	
2)	220,0	465,0	
3)	277,5	787,5	
4)	345,0	1120,0	
5)	450,0	1362,5	
6)	615,0	1440,0	
7)	892,5	1452,5	
8)	1220,0	1380,0	
9)	1507,5	1215,0	
10)	1550,0	1050,0	
11)	1292,5	770,0	
12)	990,0	540,0	
13)	780,0	422,5	
14)	700,0	350,0	
15)	750,0	375,0	
16)	720,0	200,0	
17)	680,0		
$\Sigma(y \cdot x)$	13130,0	13130,0	

y=圧下率 mm
x=横杆柄 mm
M=モーメント=y·x cm²
Mr=右回転モーメント
Mt=左回転モーメント
S=重点

均衡します。圧延材は、紐のように真直にロールを去ります。

同様の考え方がずれた分割の I ビーム孔型設計に適應されました。図 10. まくれた型鋼 (図 8) に垂直の切り込みを書き入れると非常に強力な右回転モーメントが生じました。したがってカリバーは 図 7 のように変えられました。フランジ仕上用の切り込みは、右回転モーメントを減らすため、中程の垂直カリバー重点軸に近づけられねばなりません。モーメントの検出は上述の場合と同様の方法で行われました。図 10 では、切込み深さがまちまちであるにもかかわらず、モーメントの均衡が得られたことがわかります。大きな切り込みは垂直のカリバー重点軸に近く、第二カリバーの準備としてのより小さな切り込みは、垂直カリバー重点軸からはなれたところにくることがわかります。

型鋼が巾広であればある程、この修正は容易に行われます。その理由はテコの腕が大きいため、すなわち垂直のカリバー重点軸からの間隔が大きいため型鋼の端のところで比較的小さな圧力で比較的大きなトルクの影響をおよぼすことができるからです。

終りに一言申し上げます。私は建築市場向けに軽量 I ビーム型鋼を造る要請から生ずる若干の問題を皆様に提起してみました。かえりみえますれば、大きな驚嘆と認識をもつて古人を語ることが許されます。彼等は慎重に非常に達観をもつてその当時普通型鋼を造り出しました。この事実を念頭において軽量 I ビーム型鋼を広く採用することが、どのような意義をもつかについて深い責任を持たなければなりません。

軽量型鋼もまた 50 年以上存続するものでしょうか？

会 誌 掲 載 広 告 料 金 の 件

本会々誌広告掲載各位におかれましては本会事業のため、かねて多大の御支援を賜わり厚く御礼申し上げます。

さて会誌は最近会員の増加に伴い内容の改善と共に発行部数もようやく増しておりますので、その資金の一部に充当するため広告料金を下記の通りに変更致し会誌昭和 34 年 4 月号掲載の分より実施致します。今後も引き続き御掲載下さるよう、予め御通知少々お願い申し上げます。

会誌「鉄と鋼」広告掲載料

表紙の 4	1 頁	20,000 円
表紙の 2	1 頁	18,000 円
表紙の 3	1 頁	16,000 円
前 付	1 頁	16,000 円
後 付	1 頁	14,000 円
綴 込	B 5 判一枚	14,000 円

なお本会誌の広告は下記 3 社において取扱つておりますので掲載御希望の方はいずれかえお申しつけ願います。

協 会 通 信 社	東京都千代田区神田小川町 1~10	三勢ビル 3 階	電 (25) 8656~9
広 和 堂	東京都中央区新富町 2~16		電 (55) 9028
秀 報 社	東京都北区王子 4~14		電 (91) 3297