

討 11

孔形圧延の圧延荷重

八幡製鐵所技術研究所 ○中島浩衛 渡辺和夫

1. まえがき

板圧延の圧延荷重およびその数式表示は、板およびストリップの寸法および形状制御の点で欠くべからざる重要な問題として、近年多くの研究によつて明らかとされ、さらに実際の圧延技術、操業面で活用されている。しかしながら、条鋼の孔形圧延の場合には、その形状が複雑でまた種類也多岐にわたり、統一的手法で数式的に表示できる段階ではない。一方、条鋼の生産能率の向上、品質の向上のための圧延技術、孔形設計法、さらに将来自動制御といった点からも圧延荷重特性を明らかにすることは緊要であると考えられる。

条鋼の孔形圧延の圧延荷重特性の解析を困難にしている要因の主なものには、

- ① 孔形形状が複雑でその形状からくる拘束または束縛の効果が存在すること、
- ② 幅方向に変形が不均一であること、
- ③ 上下ロールの周速が必ずしも同一ではなく、また間接的な圧下をうける部分が存在する

ことなどが挙げられる。したがつて理論的取り扱いが困難であるため、古くから多くの実験的研究がなされてきた。Siebel⁽¹⁾は孔形圧延の平均圧延圧力が板厚比 (t_1/R = 板厚/ロール半径) との間に関係があることを指摘し、さらに圧延荷重を(1)式のように単純な形で表わし、孔形の種類による補正係数⁽²⁾の導入を行なっている。

$$P = a_1 \cdot a_2 \cdot K_{fm} \cdot F_d \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 P は圧延荷重、 F_d は接触面積、 K_{fm} は平均変形抵抗、 a_1 は速度係数、 a_2 は孔形による補正係数であり、開孔形で $a_1 = 1.1 \sim 1.5$ 、閉孔形は $a_2 = 1.2 \sim 2.0$ であるとしている。

また分塊圧延のように、ロール直径に対する材料厚さの高いものは、弾性契効果あるいは Peening 効果によつて圧延荷重の増大が生ずることも認められ⁽³⁾⁽⁴⁾、形状係数 l_d/h_m (接触弧の長さ/平均材料厚さ) との関係が導かれている。Browmann⁽⁵⁾は $l_d/h_m < 1$ において Box, Diamond, Square などの孔形圧延荷重係数 (P_s/K_{fm} = 平均圧延圧力/平均変形抵抗) が増大し、しかも板圧延の場合よりも低いことを報告している。同じく Pawelski⁽⁶⁾は孔形の場合の l_d/h_m の表示は困難でその代りに F_d/F_m (= 投影接触面積/平均断面積) で整理でき、しかも孔形の場合は板圧延よりも高目となることを示している。さらに孔形の形状による束縛率⁽⁸⁾⁽⁹⁾ ($L/\sqrt{A}$ = 材料断面の周長の半分/材料断面積の平方根) と圧延荷重係数との関係についても検討がなされている。

さらにまた、これら圧延荷重係数 P_s/K_{fm} として無次元表示をする場合、ロールと材料の接触面積の推定は大きな問題であり、最も誤差の少ない簡便な方法の検討が必要である。著者らが実測した孔形圧延荷重を中心に、さらに他の研究者のデータをも併せて比較検討を行なつて、条鋼の孔形圧延荷重について二三の考察を行なつた。

2 Box, Diamond, Square, Oval 孔形の圧延荷重の検討

1) 連続孔形圧延の圧延荷重の実測

分塊連続圧延機⁽⁷⁾および線材の連続圧延における粗圧延⁽⁸⁾の場合の圧延荷重の実測値について検討を行なつた。1/2 台の連続圧延機における孔形の種類および圧延条件を図1、表1に示した。圧延荷重の実測例を第2スタンドの場合についてのみ図2に示すように、各スタンドでの放出量の差によつてス

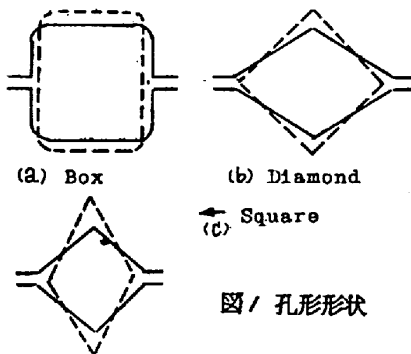


表 / 圧延条件

	第1連続スタンド					第2連続スタンド					
スタンド毎	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
ロール径	695	625	585	560	575	474	470	471	479	474	470
回転数	18.3	22.0	30.1	39.0	46.9	37.9	44.5	51.3	62.8	74.3	88.4
減面率	17.3	18.8	16.7	23.6	20.4	17.8	16.8	19.6	20.4	16.7	16.5
孔形	(a)	(b)	(c)	(b)	(c)	(b)	(c)	(b)	(c)	(b)	(c)

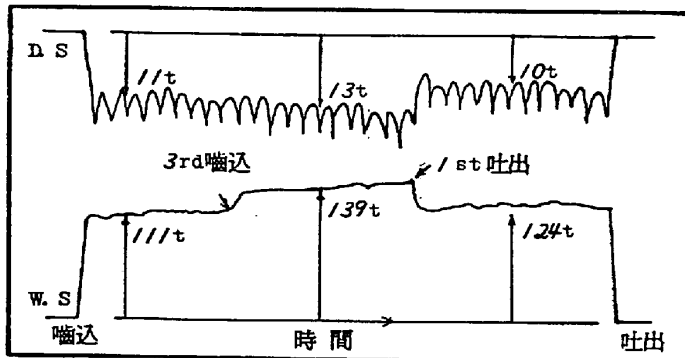


図2 圧延荷重曲線例 (1/2スタンド)

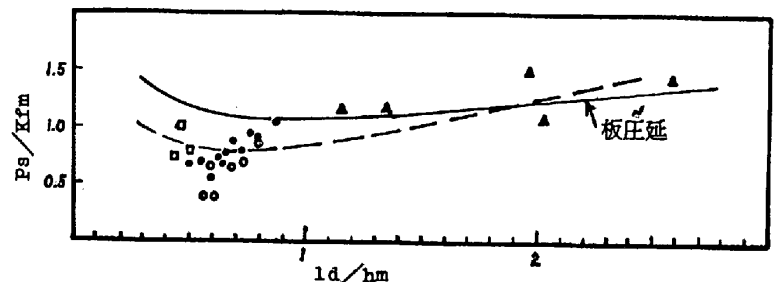
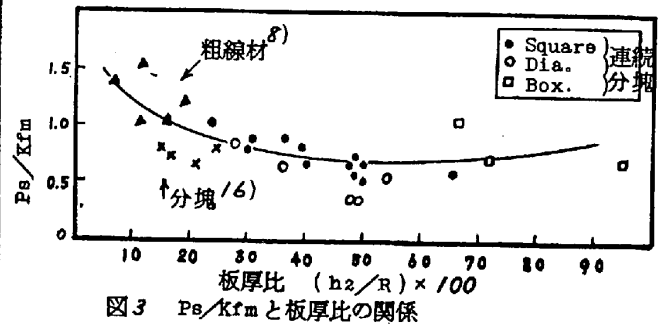
スタンド間での“押し”（圧縮作用）または“引き”（引張作用）の現象が発生している。また後方、前方スタンドの噛込み時、吐出し時の圧延荷重の増減がみられ、階段状の荷重曲線がえられた。後期スタンドほどその増大は大きく約1.46倍にも達した。トラブルなどによる温度低下が原因となる

ときその増大は極めて大きくなり、ロール折損の1因ともなりうる。

2) 圧延荷重係数 Q_g の検討

板圧延理論での圧延荷重は、 $P = K_{fm} \cdot F_d \cdot Q_g$ で一般に表わされ、 K_{fm} は平均変形抵抗、 F_d は接触投影面積、 Q_g は圧延荷重係数である。 Q_g は各種の圧延理論式によつて導かれている。孔形圧延の場合には、板圧延の Q_g をそのまま適用できないので、逆に $P_s / K_{fm} = Q_g'$ とおき各種の孔形での圧延荷重係数 Q_g' を求め、板圧延理論 Q_g との比較検討を行なつた。ここで、 P_s は平均圧延圧力 P / F_d を示す。 P_s / K_{fm} と h_2 / R との関係を図3に示した。さらに線材の連続圧延の粗圧延の Box, Oval, Square 孔形の値および他の研究者の実測結果の例をも併せて示すように Q_g' は h_2 / R とかなり良い相関をもっている。図4に P_s / K_{fm} と l_d / h_m との関係を示すように l_d / h_m が小さい領域では、板圧延の場合よりも低い値となり、Pawelski⁽⁶⁾の結果とは一致せず、Browman⁽⁵⁾の結果とはよい一致を示している。

Box, Diamond, Square 孔形の場合について、ロールバイト中での材料の流れおよび摩擦力の方向に対して平均すべり角を導入した柳本⁽¹⁸⁾の三次元圧延理論式と板圧延理論式によつて求めた Q_g と孔形の実測 Q_g' との比較を $Q_k = Q_g' / Q_g$ として行なつた。 Q_k が1となれば理論によつて正確に荷重の推定が可能となる訳であるが、第5図にその結果を示すように、全体の傾向として h_2 / R が小さいところで大きく、逆に h_2 / R が大きいところで小となる傾向がある。しかしながら、板圧延理論および三次元圧延理論ともに孔形圧延荷重を十分に推定するに至っていないといえるであろう。このような意味においてより実験的



な手法を取り入れて現象の正確な把握とその解析が必要であると考ええる。

3) 投影接触面積の推定法の検討

孔形圧延荷重を求めるときロールと材料の接触面積の算出方法には各種⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾あるが、幅広がり⁽⁹⁾を考慮した上でTrinks⁽⁹⁾の方法を用いたとき正しい面積を示すものとして、逆にどの平均幅 B_m を用いるべきかについて検討を加えた。その結果、 $B_m = F_d^2 / F_1 \cdot \xi \cdot R$ と最大幅 B_{max} とよく一致していた。ただし、 F_1 は入口材料断面積、 ξ は断面減少率、 R はロール半径である。各孔形についてどのような材料幅をとるべきかについて今後それぞれ検討しておく有効であると考えられる。

3. 造形孔形の圧延荷重の検討

条鋼の造形孔形圧延の圧延荷重の実測

例として、中島⁽¹²⁾らの山形鋼、小林⁽¹³⁾らの山形、溝形鋼および著者⁽¹⁴⁾らの軌条の測定結果について検討を行なった。

1) P_s/Kfm と h_2/R との関係

図6に山形鋼、溝形鋼の圧延の P_s/Kfm と h_2/R との関係を示すように、全体として h_2/R が小となるにつれて、 P_s/Kfm が増大するが、特に h_2/R が 0.4 ~ 0.6 の範囲で非常にばらついている。一つの品種についてみると実線で結んで示すように一つの傾向を示している。このような領域では、圧下率が小さいほど P_s/Kfm の増大が認められた。軌条の孔形圧延の場合は図6にあわせて示すように、山形鋼、溝形鋼よりも高目の値となつている。

2) 孔形状の束縛率 $L/\sqrt{A}$ との関係

山形鋼、溝形鋼および軌条の場合 $Q_k (= Q_g/Q_g')$ について束縛率 $L/\sqrt{A}$ との関係についても検討を行なった。いずれも $L/\sqrt{A}$ が増大するにつれて、 Q_k は増大するが、軌条の場合の方がその傾向が著しかったが品種の違いを統一的に表示することはできなかった。

3) P_s/Kfm と l_d/hm との関係

山形鋼、溝形鋼の P_s/Kfm と l_d/hm との関係は、図7に示すように、ばらつきは相当に大きいけれども、板圧延理論値の近傍にプロットされている。将来、各種の造形孔形圧延の圧延荷重の実測を行なつて、つぎに述べるような諸点について考慮することによつて、より信頼できるしかも各孔形での特性値

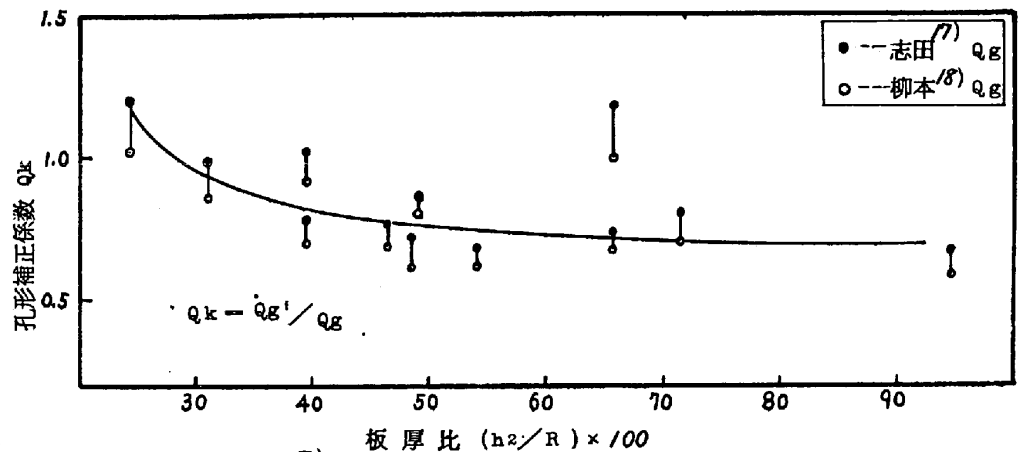


図5 志田⁽⁷⁾の Q_g および柳本⁽⁸⁾の Q_g の比較

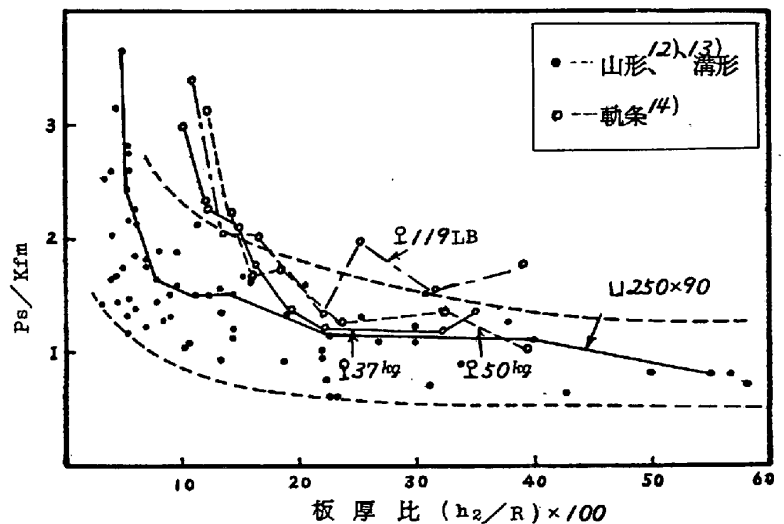


図6 造形孔形における P_s/Kfm

ともいふべき孔形補正係数が
えられるであろう。

4. 総 括

以上著者らの実測圧延荷重
および他の研究者の実測値を
もとに孔形圧延荷重係数 Q_g
は、板厚比 h_2/R あるいは形
状係数 l_d/h_m との間に密接
な関係があることが明らかと

なつた。しかるに孔形の種類あるいは初期パスと仕上パスの違いによつて相違が著しいので現段階では
精度よく圧延荷重を推定することは困難といわざるをえない。しかしながら、今後の研究によつてこの
困難な点を克服するにはつぎの諸点に特に注意して検討を行なう必要があると考える。

- ① 圧延荷重の精度の高い測定はもち論であるが、特に圧延温度、断面減少率、圧延速度、孔形および材料の形状などの諸条件を明確につかむこと。
- ② ロールと材料の接触面積の推定および推定法の確立
- ③ 板圧延への合理的な換算法の確立
- ④ 孔形圧延のロールと材料の接触機構、先進、相対すべりの摩擦現象のは握
- ⑤ 複雑なしかも多種類の孔形を何か一つの単純な孔形に分類あるいは変形修正して、いくつかの代表的パターンをうること。

参 考 文 献

- (1) E. Siebel, W. Lueg : Mitt. K-Wilh.-Inst. Eisenforsch. 16 (1934) P 105/12
- (2) E. Siebel : Wälzlager in Walzwerken (1958), Geleji 著 五弓訳 金属塑性加工計算法 (上) P 193
- (3) C. W. MacGregor, R. B. Palme : Jour. of Basic Eng., Dec. (1959)
- (4) 五弓、斎藤 : 鋼の熱間加工の基礎 (昭42) 日本鉄鋼協会編
- (5) M. J. Browmann : Stahl Nr 9 (1959)
- (6) O. Pawelski, E. Neuschütze : Stahl u Eisen 86, 21 (1966) P 1375/1383
- (7) 中島、渡辺 : 第19回塑性加工連合講演会前刷 (昭和43年11月)
- (8) 豊島 他 : 鉄と鋼 47, 12 (1959) P 1676/1681
- (9) W. Trinks : "Roll Pass Design" (1934) P 101~110
- (10) 住友金属 第16回圧延理論分科会資料 (昭37年)
- (11) G. Wallquist : Jernkont. Ann 144 (1960) P 193/257, Stahl u Eisen 81 (1961) P 508/09
- (12) 中島ほか : 日立評論 47-9 (昭40年) P 1582/1587
- (13) 小林ほか : 塑性と加工 7-65 (昭41年)
- (14) 中島、安田 : 第16回圧延理論分科会資料 (昭37年)
- (15) 岡本 : 第7回圧延理論分科会資料 (昭和29年)
- (16) 住友金属 第30回圧延理論分科会資料 (昭41年)
- (17) 志田 : 塑性と加工 Vol 7 (1966) 424
- (18) 柳本ほか : 機学論文集 33-249 (昭42) 826

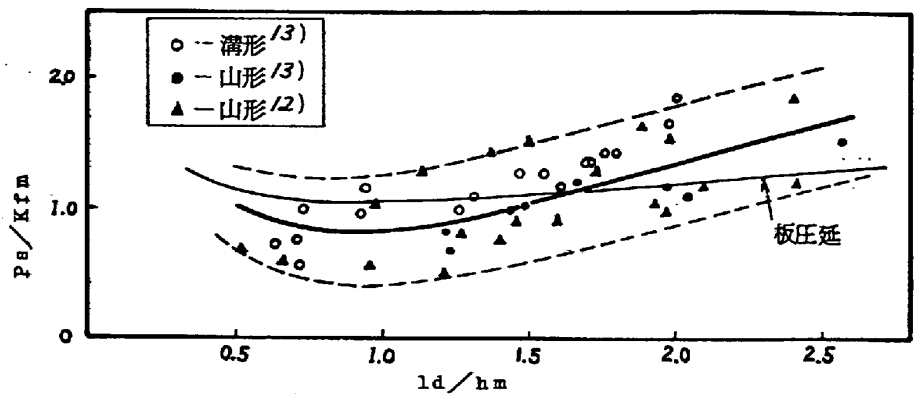


図7 孔形における $P_s / K_f \mu$ と l_d / h_m の関係