

(討10) 熱間圧延における幅拡がりの比較と検討

八幡製鉄所 技術研究所 ○中島浩衛・直井 久

I 緒言

板圧延理論は、基本的には平面歪条件のもとでなりたっており、幅が厚さに比較して大きく、幅方向の歪は生じないものとしている。しかしながら、孔型圧延、あるいは分塊圧延などのように、幅に比較して厚さが厚い場合は、平面歪条件がなりたわず、幅方向の変形、すなわち幅拡がりが生じる。このような場合の圧延理論は、三次元的取り扱いを必要とする。しかしながら、三次元圧延理論の研究は柳本¹⁾、Geleji²⁾らによって行なわれておるが、今後の研究の発展にまつところが大い。

有限幅の板圧延の場合に対する幅拡がり式については、実験式、経験式あるいは単純な力学的解析によってえられた式などが数多く提案されている。しかしながら、これらの幅拡がり式の適応性について二三の検討が行なわれているが、特に鋼材の幅拡がりについて統一的な手法によって、しかも広範囲の実験値を用いて検討が行なわれていない。幅拡がり式は、ある限定された狭い条件範囲でなりたつのみでなく、広範囲の条件での適応性が重要である。この点を考慮し、すでに発表されている数多くの幅拡がりの実測例を用いるとともに、二三の熱間圧延実験を行なつて比較検討を行なつた。

II 幅拡がり式についての概括

幅拡がり式の最も単純な形での表示は、Geuze³⁾によって(1)式として与えられ、幅拡がり量が圧下量に単調に比例するとしている。

$$\Delta B = C \Delta H \dots\dots\dots (1)$$

これは簡単な式であるため広く用いられたが、ごく限られた条件の場合しかなりたない。その後Sheld⁴⁾によって接触弧の長さ ℓd が関係するとして(2)式を与えている。しかしながら、高圧下率、ロール半径

$$\Delta B = \frac{\Delta H}{H_2} \ell d \sin \alpha \dots\dots\dots (2)$$

径 R の大きい場合には適用できないことがFalk⁵⁾によって指摘されている。

Siebel⁶⁾は圧延方向、圧下方向及び幅方向の応力条件から解析的研究を行なうとともに、 ℓd の影響を考慮した(3)式を与えている。その後Trinksは係数 C に材料幅 B を考慮して

$$\Delta B = C \ell d \frac{\Delta H}{H} \dots\dots\dots (3)$$

値を与えている。またTafelとSedlaczek⁷⁾は、 H_1 、 B_1 、 R を変えて圧延実験を行ない、幅拡がりに対する $\sqrt{R/H_1}$ の影響を取り入れて(4)式として与えている。

$$\Delta B = \frac{1}{6} \Delta H \sqrt{R/H_1} \dots\dots\dots (4)$$

Ekelund⁸⁾は、ロールとの接触表面の外部抵抗に抗して自由表面の単位仕事は長手方向のそれに等しいという仮定にもとづいて幅拡がり式を導いている。Ekelundは初めて摩擦係数 μ を幅拡がり式に考慮し(5)式を導いている。Lendel⁹⁾はEkelundの式は実験結果とよく一致することを確かめている。この式の場合摩擦係数 μ には温

$$\left. \begin{aligned} 1/2(B_1 - B_2) &= 4m \ell d \Delta H - 2m(H_1 + H_2) \ell d, \ell n B_2/B_1 \\ m &= (1.6\mu \cdot \ell d - 1.2\Delta H) \cdot 1/(H_1 + H_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

度の影響が考慮されている。Gubkin¹⁰⁾もまた摩擦の影響を考慮して(6)式を導いている。

$$\Delta B = (1 + \Delta H/H_1) (\mu \ell d - \frac{1}{2} \Delta H) \Delta H/H_1 \dots\dots\dots (6)$$

Riedel¹¹⁾は単純圧縮の場合の幅拡がり変形の考え方を圧延に拡張して幅拡がり式が与えられた。その後

記号の説明

ΔB ;	幅拡がり量
B_1, B_2 ;	圧延前後の幅
ΔH ;	圧下量
H_1, H_2 ;	圧延前後の厚さ
R ;	ロール半径
$\ell d (= \sqrt{R \Delta H})$;	投影接触弧の長さ
α ;	噛込み角
μ ;	摩擦係数
C ;	係数

Riedel の式に八幡製鉄¹²⁾ 住友金属¹³⁾ によつて修正が加えられ、比較的良い一致がみられることが報告されている。Riedel - 八幡の式¹²⁾ を (7) 式に示した。

$$\left. \begin{aligned} \Delta B &= B_1 \ell_d \Delta H / (n \cdot H_1 B_1 + H_1 \ell_d) \\ n &= 1.4 (B_1 / \ell_d)^{0.5} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

柳本¹⁴⁾ は摩擦の影響及び材質の違いによる影響をも考慮して (8) 式の実験式を求めている。

$$\left. \begin{aligned} B_2 / B_1 &= \left(\frac{1}{1-\eta} \right)^\alpha \\ \alpha &= \beta \frac{2\sqrt{r\eta}}{1+2\delta} + \mu \frac{2\sqrt{r\eta}}{1+2\delta} - 1 \\ \delta &= B_1 / H_1 \quad r = R / H_1 \quad \eta = \Delta H / H_1 \\ \beta &: \text{材質による常数} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

以上述べた幅拡がり式の外に Kirchberg の式、Falk⁵⁾ の式、などがあり、また幅方向の応力分布を仮定して理論的研究によつて求めたものに柳本¹⁵⁾ の式、Geleji の式があるが、本検討においては省略した。

Ⅲ 幅拡がりの比較検討

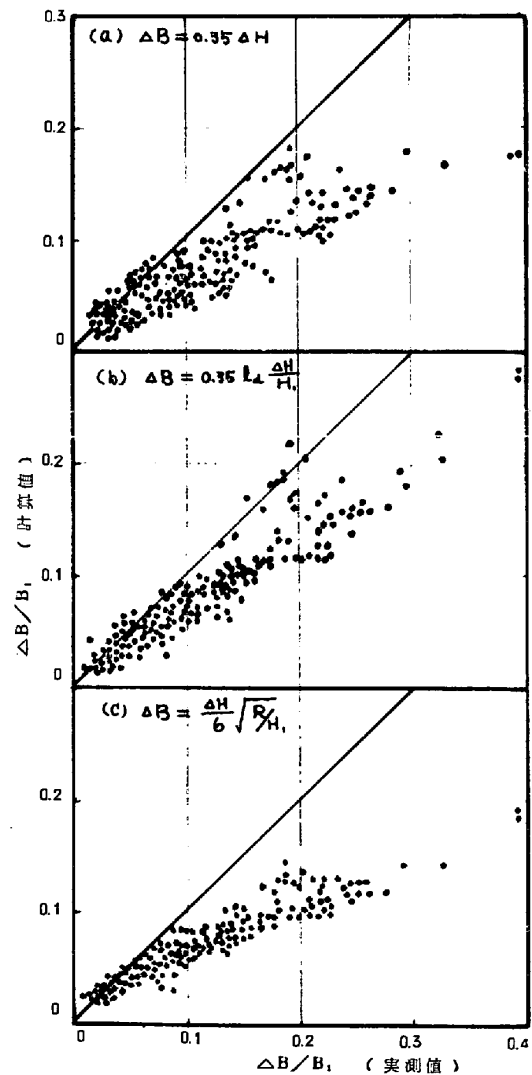
前述の代表的な 8 ケの幅拡がり式について、Tafel と Sedlaczek⁷⁾、Fischnich¹⁷⁾、Ekelund⁸⁾、Pomp と Lueg¹⁸⁾、Emicke と Pachaly¹⁹⁾、及び永井¹³⁾ の鋼材の熱間圧延における幅拡がりの測定値を用いて比較検討を行なつた。これらの幅拡がり実測値の圧延条件を第 1 表に示した。

これらの実験データを用いて Geuze・Siebel・Tafel - Sedlaczek の式を比較検討を行なつた結果を第 1 図に示した。幅拡がり率 $\Delta B/B_1$ が約 5% まではいづれの式も両者がほぼ一致しているが、それ以上の範囲では実測値の方が計算値よりも大きいことがわかる。このことから、単に ΔH , ℓ_d , $\sqrt{R/H_1}$ のみの考慮では不充分であることを示している。Shield の式についても同様に検討を行なつたが、第 1 図の三者の式の場合と同じ程度の違いを示した。

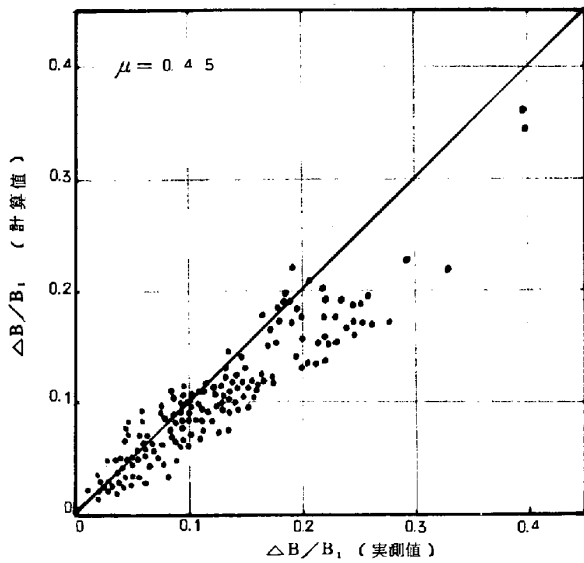
摩擦の影響を考慮した Gubkin の式は、第 2 図に示すように、 $\mu = 0.45$ とするとき $\Delta B/B_1$ が約 10% 近傍まで計算値と実測値が近い値を示した。第 3 図に柳本の式 ($\beta = 1.02$ とするとき) の比較検討結果を示すように、計算値がいく分低目となり、ばらつきも認められる。同様に

第 1 表 幅拡がり式の比較検討に用いた実験データ

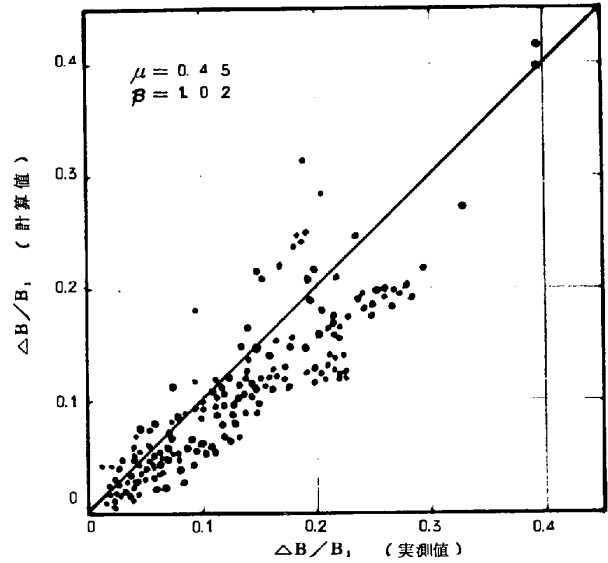
研究者	R _m	H ₁ × B ₁ mm	R/H ₁	B ₁ /H ₁	温度 °C	材 料
Tafel-Sedlaczek	498	180×180	2.8	1	1050~1220	軟 鋼
Fischnich	15~360	5.1×5.4~7.6×13.1	3~28	1~1.1	870~1050	"
Ekelund	356	108.5×108.5~112×233	1.5~3.2	0.5~2.0	950~1100	"
Pomp-Lueg	91	30×30	3	1	700~1	軟 鋼 ステンレス鋼
Emicke-Pach	120~300	10×20~123×123	2.3~4	1~10	700~1	軟 鋼 硬 鋼
永	48	12×1	4.0	1.0	700~	軟 鋼



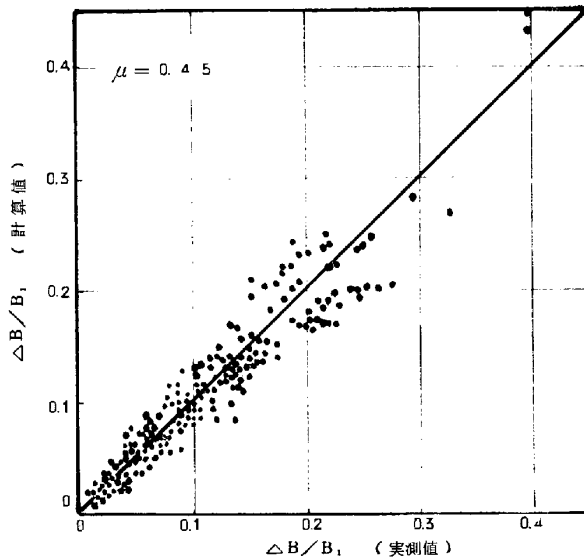
第 1 図 Geuze・Siebel・Tafel - Sedlaczek の幅拡がり式の比較検討



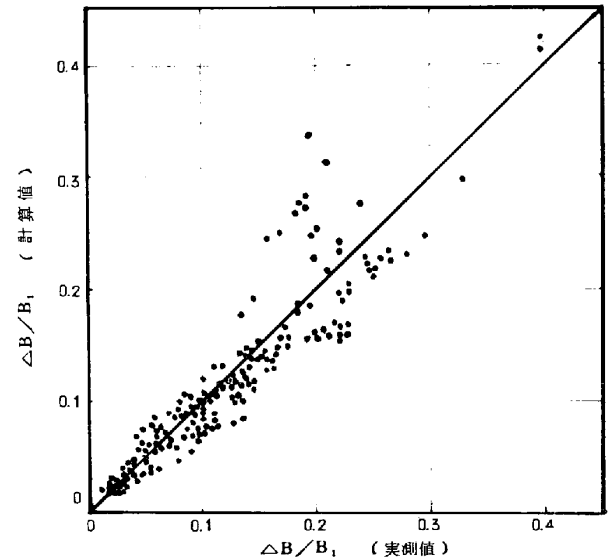
第2図 Gubkinの式の比較検討



第3図 柳本の式の比較検討



第4図 Ekelundの式の比較検討



第5図 Riedel-八幡の式の比較検討

Ekelundの式を第4図にRiedel-八幡の式を第5図に比較検討結果を示したが、Ekelundの式が最も計算値と実測値に近いことを示している。Riedel-八幡の式はかなり両者の値に近いけれども、いく分のばらつきがある。摩擦の影響を考慮していない幅拡がり式ではRiedel-八幡の式が最もよい。摩擦の影響を考慮した式では、温度の違いによる μ の変化を考慮しなかつたけれども、Ekelundの式は広範囲の圧延条件のもとで、幅拡がり特性をかなりよく表現しているものと言えるであらう。

IV 実験的検討結果

C 0.12%, Mn 0.44%, Si 0.22%, P 0.013%, S 0.004%の軟鋼を用いて、 B_1/H_1 , R/H を変えて熱間圧延実験を行なつて、幅拡がり特性について検討した。

圧延条件は、 $H_1 = 8.75 \sim 70 \text{ mm}$, $B_1 = 8.75 \sim 140 \text{ mm}$, $R = 275 \phi \text{ mm}$, $B/H = 1 \sim 8$, $R/H = 4 \sim 31$, 温度 1000°C 一定にて圧下率が5~40%の範囲であり、ロールは鑄鋼ロールを使用した。 $B/H = 1, 2$ の場合の圧下率に対する幅拡がり率について、実測値と各幅拡がり式の比較を行なつて第6図に示した。これよりわかるように、実験

値に最も近い結果を示す幅拡がり式は、Ekelund、柳本、Riedel—八幡及びGubkinの各式である。他の式はどれも相当に低目の値となっており、特に圧下率の大きいところで顕著である。

柳本の式は材質の違いを表わす因子が考慮されており、 $\beta = 1.02$ の場合、 $B/H = 1$ では実測値よりもかなり低い値となつてゐるが、 $\beta = 1.20$ とすると実測値とよい一致がみられる。また $B/H = 2$ のときは $\beta = 1.02$ のときかなり近い値を示しているが、 $\beta = 1.20$ では圧下率の高いところで実測値よりも高目となつてゐる。Ekelundの式はいずれの場合もよい一致がえられ、その結果を第7図に示した。

材料の違いによつて幅拡がり特性が異なる一つの例としてS快削鋼について圧延実験を行なつた。用いた材料はC 0.10~0.17%、S 0.112~0.242%のS快削鋼であり $H_1 = 35\text{mm}$ 、 $B_1 = 35\text{mm}$ の正四角断面のもので、ロール半径は275mmで圧下率30%の一定で、圧延温度1000、1075、1150、1225℃の4条件で圧延を行なつた。そのときの幅拡がりを第7図にあわせて示すように、Ekelundの式 $\mu = 0.45$ 一定で比較するとき、温度が高くなるにつれて、実測値の方が計算値よりも低くなることを示している。このことの一つの理由として、摩擦の温度依存性が知られているので、材料によつてその依存度が異なることが推測される。

V 結 言

鋼材の熱間圧延の幅拡がりに関する各種の表示式について、すでに発表されている広範囲の実験データを用い、さらに二三の実験を追加して比較検討を行なつた。その結果Riedel—八幡の式及び摩擦を考慮したEkelund、柳本、Gubkinの式が比較的良い一致がえられた。特にEkelundの式は最も良好な一致を示した。幅拡がり特性には幾何学的因子の外に圧延条件因子(圧下率、温度、

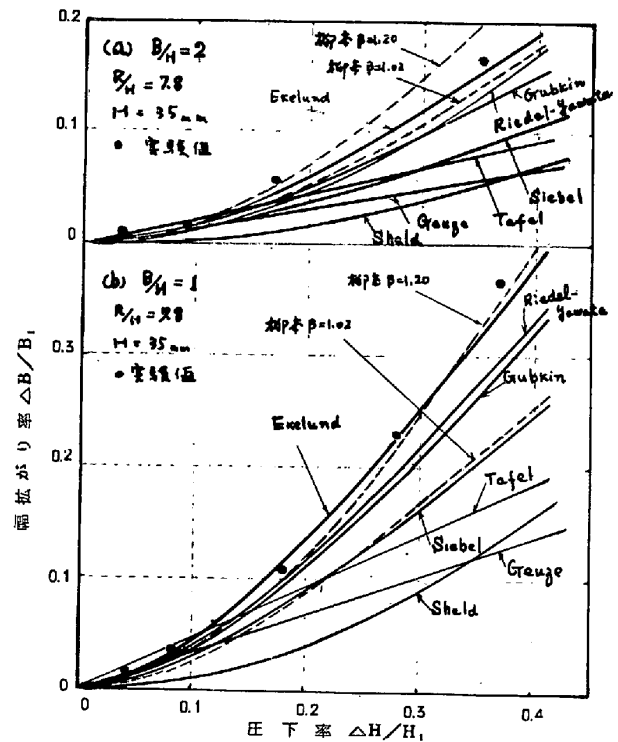
摩擦、ロール特質など)、圧延材料因子が大きな影響を及ぼすが、特に材料の違い、圧延温度、圧延速度などの影響を摩擦現象と関連させて検討することが重要であると考えられる。

参 考 文 献

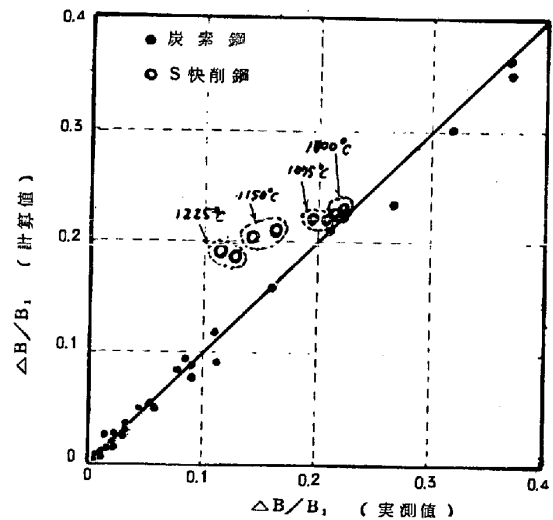
- 1) 機械学会論文集, 27-178 (昭36-6) 800
- 2) Arch. für das Eisenhüttenwesen, 35-9 (1964) 847
- 3) Stahl und Eisen, 45 (1925) 190
- 4) Stahl und Eisen, 30 (1910) 415
- 5) Stahl und Eisen, 30 (1910) 1986
- 6) Stahl und Eisen, 57 (1937) 413
- 7) Stahl und Eisen, 45 (1925) 190

- 8) Jerncont. Ann., 11 (1927) 39
- 9) Iron Steel, 14 (1941) 146
- 10) Walzwerkswesen, (1954) 79
- 11) Stahl und Eisen, 56 (1936) 1551
- 12) 鋼材部会報告(1), (昭29-10) 71
- 13) 第31回圧延理論分科会資料31-7
- 14) 塑性と加工, 5-40 (1964-5) 315

- 15) 機械学会論文集, 27-181 (昭36-9) 1431
- 16) Acta techn. Acad. Sci. Hung. IX., (1954) 443
- 17) Stahl und Eisen, 63 (1943) 480
- 18) K.W.I., XXIV (1942) 123
- 19) Stahl und Eisen, 56 (1936) 589



第6図 軟鋼の1000℃における幅拡がり



第7図 軟鋼及びS快削鋼の幅拡がり