

圧延加工の幅広がりを与える実験式について

On the Experimental Formula of Spread in Rolling.

柳 本 左 門

1. まえがき

圧延加工を受ける材料の幅広がりをおよぼす実験式は多くの研究者によって提唱されているが⁽¹⁾⁻⁽⁸⁾、各実験式は限られた圧延条件で成立するのみで、圧延に影響するすべての因子を含んだ満足すべき実験式はないようである。

材料の幅広がりには影響する因子と考えられるのに (i) 材質 (ii) 摩擦係数 (iii) ロール径 (iv) 圧延前の材料肉厚 (v) 圧延後の材料肉厚 (vi) 圧延前の材料幅 (vii) 加工温度 (viii) 張力等が考えられる。したがって、実験式はこれらの因子をすべて含むものでなければ満足なものとはいえない。

筆者は熱間圧延および冷間圧延時の材料の幅広がりを与える式を提唱し、各研究者によって提唱された実験式との比較を試み、また、実験と比較検討した結果を述べる。

2. 実験式について

実験式は、上述のようなすべての因子を含むことが要求されるが、それは容易ではない⁽⁹⁾。参考までに従来提唱されている実験式を列挙すると、

$$(i) \text{ Gueze}^{(1)} \text{ の式} \quad \Delta B_1 = 0.35 (h_1 - h_2) \quad (1)$$

$$(ii) \text{ Kirchberg}^{(2)} \text{ の式} \quad \Delta B_1 = 2 (h_1 - h_2) \frac{1}{100} \cot \alpha \quad (2)$$

$$(iii) \text{ Scheld}^{(3)} \text{ の式} \quad \Delta B_1 = \frac{(h_1 - h_2) U \sin \alpha}{h_2} \quad (3)$$

$$(iv) \text{ Falk}^{(4)} \text{ の式} \quad B_1 = \sqrt{\frac{0.16 (h_1 - h_2) B_0 (h_1 + h_2)}{h_2 \alpha} + B_0^2} \quad (4)$$

$$(v) \text{ Sedlaczek}^{(5)} \text{ の式} \quad \Delta B_1 = C \frac{(h_1 - h_2)}{6} \sqrt{\frac{r}{h_1}} \quad (5)$$

$$(vi) \text{ Siebel}^{(6)} \text{ の式} \quad \Delta B_1 = CU \left(\sqrt{\frac{h_1}{h_2}} - 1 \right) \quad (6)$$

$$(vii) \text{ Gubkin}^{(7)} \text{ の式} \quad \Delta B_1 = \left(1 + \frac{h_1 - h_2}{h_1} \right) \left\{ \mu \sqrt{r (h_1 - h_2)} - \frac{h_1 - h_2}{2} \right\} \frac{(h_1 - h_2)}{h_1} \quad (7)$$

$$(viii) \text{ Ekelund}^{(8)} \text{ の式} \quad \Delta B_1 = \sqrt{4 n^2 (h_1 + h_2)^2 \left(\frac{x_0}{B_0} \right)^2 + B_0^2 + 4 n x_0 (3 h_1 - h_2) - 2 n (h_1 + h_2) \frac{x_0}{B_0}} - B_0 \quad (8)$$

ただし、

$$n = \frac{1.6 \mu x_0 - 1.2 (h_1 - h_2)}{h_1 + h_2}, \quad x_0 = \sqrt{r (h_1 - h_2)}$$

等がある。ここで、 B_0 は圧延前の材料幅、 B_1 は圧延後

の材料幅、 ΔB は幅広がりを与え $B_1 - B_0$ に等しい。また、 h_1 および h_2 は圧延前後の材料肉厚、 U は接触弧長、 α は接触角 ($\alpha = \frac{U}{R}$)、 c は材質による定数、 r はロール半径等である。

上述の式のうちで Ekelund の式は他の式に比して、多くの影響因子を含み合理的であるが、大きな影響因子と考えられる材質の影響を単に摩擦係数の変化に求めているに過ぎない。実際には材料種類による影響はかなり大きい場合があり、必ずしも摩擦係数の差のみに帰せられないものと思われる。筆者の実験⁽¹⁰⁾によると、アルミニウム、銅、軟鋼の材質による幅広がりへの差は、潤滑油効果のもっとも大きいとみられるアルミニウムで潤滑油を使用した場合と使用しない場合の幅広がりへの差よりも数倍大きいことから、材質の影響を無視できないものと思われる。Gubkin の式は幅広がりには圧延前の材料幅には影響されないことを意味し、また材質の影響も含まない。一方、他の研究者の式はさらに摩擦係数の影響をも無視しているので、熱間圧延のようにロールと板材の間で付着状態が成立する場合のみに近似的に成立するのみで、冷間圧延にまで拡張して使用することはできない。

以上述べたように、各実験式はそれぞれ欠陥を含むの

で、限られた範囲のみしか適用できないことが推定される。

熱間圧延加工における温度の影響は極めて大きい。著者は、温度の影響を摩擦係数の変化と材質による定数

に含ませる方法を採った。また、材料の加工硬化特性をも材質による影響とみて、定数に考慮した。したがって加工硬化特性の大きい材質など大きな値をもち、熱間状態におけるよりも冷間圧延状態における方がその値が大きいことになる。他の圧延条件は無次元化して導入し、板厚比 γ はロール径と圧延前の板厚との比 R/h_0 、板幅比 δ は圧延前の板幅と板厚の比 B_0/h_0 、圧下率は圧延前後の板厚で決まる $(h_0-h_1)/h_0$ で導入した。その実験式を

$$\frac{B_1}{B_0} = \left(\frac{1}{1-\eta}\right)^\alpha, \quad \alpha = \beta \frac{\sqrt{2\gamma\eta}}{1+2\delta} + \mu \frac{\sqrt{2\gamma\eta}}{1+2\delta} - 1 \quad (9)$$

でえた。

ただし $\delta = \frac{B_0}{h_0}$, $\gamma = \frac{R}{h_0}$, $\eta = \frac{h_0-h_1}{h_0}$, μ : 摩擦係数

β : 材質による定数, $2B_1$: 圧延後の板幅, $2B_0$: 圧延前の板幅, R : ロール半径, $2h_0$ および $2h_1$: 圧延前後の板厚等である。

ここで β の値は材質により異なり、また熱間および冷間圧延によってそれぞれ異なる値で、第 1 表に示されている。

第 1 表 材質による定数 β の値

材質 \ 圧延条件	熱間圧延	冷間圧延
アルミニウム	1.14	1.25
銅	1.10	1.22
鋼	1.02	1.16

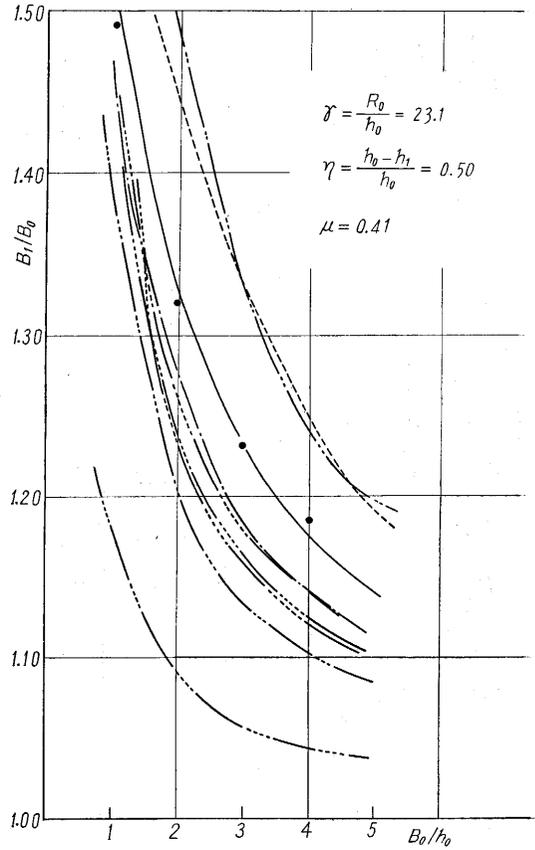
著者の得た(9)式によると張力を除く他のすべての因子の幅広がりへの影響を説明することができ、しかも他のいずれの式よりも定量的にかなり良い一致を与えることがわかった。以下実験との比較を示す。

3. 実験との比較

第 1 図に板厚比 23.1, 圧下率 50% の条件を選び板幅比を変化して各研究者の式の比較を示した。図の実験点はプラスティン*を用いて求めたもので、摩擦係数は 0.41 である⁽¹¹⁾。この圧延条件は鋼の熱間加工状態を推定できるものとして知られている⁽¹²⁾。

図中の Ekelund, Gubkin および著者の式以外の式は摩擦係数の影響が含まれていないので、鋼の熱間圧延を代表すると考えられているプラスティンは炭酸カルシウム潤滑のもとで付着状態にあると推定して計算し求め

*) プラスティンは圧延温度 20°C, 炭酸カルシウム潤滑のもとで鋼の熱間加工状態を再現できることが確かめられている。



$\gamma = R/h_0 = 23.1$, $\eta = \frac{h_0-h_1}{h_0} = 0.50$

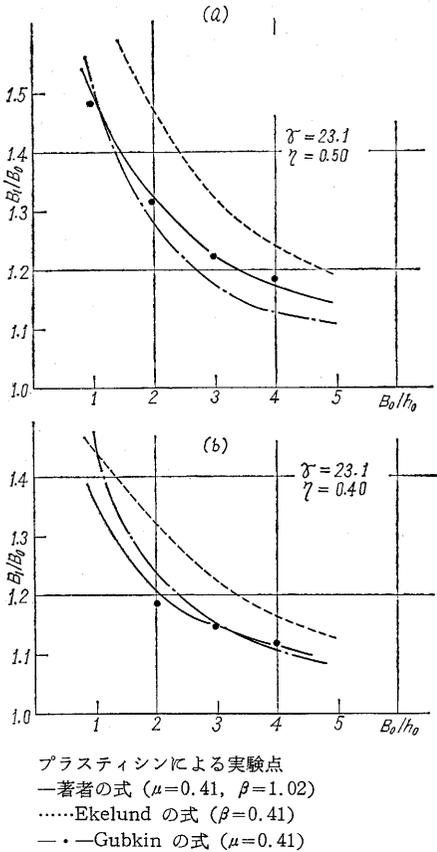
$\mu = 0.41$

- 実験点 (プラスティンによる $\mu = 0.41$)
 - 著者の式 ($\mu = 0.41$, $\beta = 1.02$)
 - ... Ekelund の式 ($\mu = 0.41$)
 - Gubkin の式 ($\mu = 0.41$)
 - Siebel の式 ($C = 1$ と仮定)
 - Sedlaczek の式 ($C = 1$ と仮定)
 - Gueze の式
 - Scheid の式
 - Kirchberg の式
 - Falk の式
- } 付着状態と推定

第 1 図 各実験式の比較

た。図から Siebel, Ekelund の式はやや幅広がり大きく評価し過ぎ、他の式はやや小さい傾向にあるが、板幅比 δ が小さく 1.0 付近になると Gueze を除く各式は良く一致する傾向にあるようである。しかしながら、板幅比が大きくなると各式はかなり実験との差が大きくなる。著者の式はこれらの難点を補い、かなり良く実験と一致することがわかる。

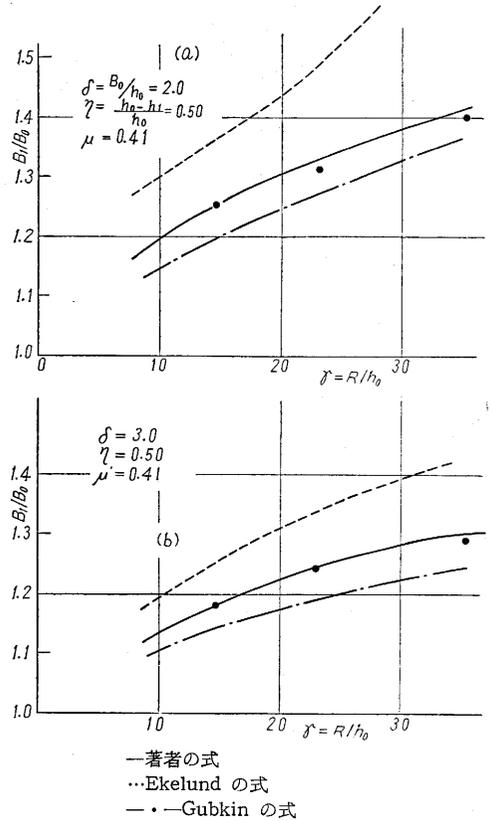
第 2 図に代表的な Ekelund, Gubkin および著者の式を採って実験との比較を試みた結果を示した。図の (a) は圧下率が 50%, (b) は圧下率が 40% の場合である。



第2図 幅広がりにおよぼす圧下率の影響

摩擦係数は 0.41 を用いたので⁽¹¹⁾、この場合はプラスチックの圧延に相当し、鋼の熱間圧延を代表できるので著者の式では β の値として 1.02 を採用できる。圧下率が 50% の場合には Ekelund の式は実験よりやや大きく、Gubkin の式は小さ過ぎる傾向にあり、圧下率が 40% の場合には Gubkin の式はかなり良く一致する傾向がみられる。しかしながら、著者の式はさらに良い一致を与え、圧下率が変化しても極めて良く現象を説明できることがわかる。

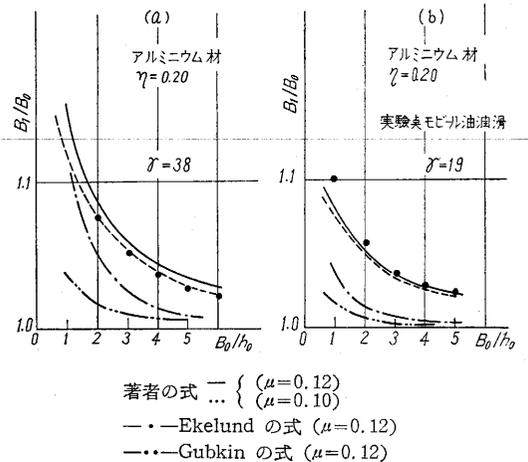
第3図は板厚比 (R/h_0) を変化して実験との比較を試みたものである。板厚比が大きくなるほど幅広がりには大きくなる傾向は周知の事実であるが、第3図の(a)は板幅比 (B_0/h_0) が 2.0、(b)の図は板幅比 3.0 の各場合について板厚比を変化して実験との比較を試みた結果を示した。Ekelund の式は板厚比が大きくなるほどさらに実験との差が大きくなる傾向を示すが Gubkin の式はほぼ実験結果と同一傾向で変化している。しかし、著者の式は板厚比の広範囲の変化に対して極めて良い一致を与え、板幅比が変化しても定量的に極めて良好に現象を説明することができる。



第3図 幅広がりにおよぼす板厚比の影響

以上は鋼材の熱間圧延を例にとって幅広がりを検討したが、著者の式はさらに冷間圧延に対しても定量的になり良い一致を示すことがわかった。以下アルミニウムおよび鋼材を例にとって比較した結果を述べる。

冷間圧延の幅広がりには摩擦係数によっても影響されるので、熱間圧延の幅広がりを対称として求められている



第4図

Gueze, Kirchberg, Scheld, Falk, Sedlaczek, および Siebel らの式は使用することができない。したがって、対称とされる式は Ekelund, Gubkin および著者の式に限定されるが、第 4 図はアルミニウムを例にとって 3 者の式の比較をおこなったものである。縦軸に圧延後の幅と圧延前の幅との比 B_1/B_0 をとり、横軸に板幅比 (B_0/h_0) がとってある。圧下率は 20% の一定に保ち、摩擦係数は 0.12 と 0.10 を採って計算した。(a) 図は板厚比が 38.0, (b) 図は 19.0 の場合で、実験点はモビール油潤滑のもとに圧延した幅広がりを与える。図から Ekelund の式は熱間圧延の場合とは逆に実験値よりも小さくなる。Gubkin の式も同様の傾向にあって満足なものとはいえない。一方著者の式はかなり良く現象を説明でき、かなりの精度で一致することがわかる。同様の実験を銅材についておこなった結果を第 5 図に示し、著者の式との比較を示したが、かなり良く現象を説明でき

る。摩擦係数の値はアルミニウムの圧延に比してやや小さいと思われるので、0.10 と 0.08 の 2 種類を選び計算したが、この種の圧延問題では妥当な値と思われる。

以上著者の実験式の検討をおこなったが、この報告に記載できなかった鋼材の冷間圧延、銅材およびアルミニウムの熱間圧延についても第 1 表に材質による係数を示しておいたので、幅広がりには容易に計算することができる。

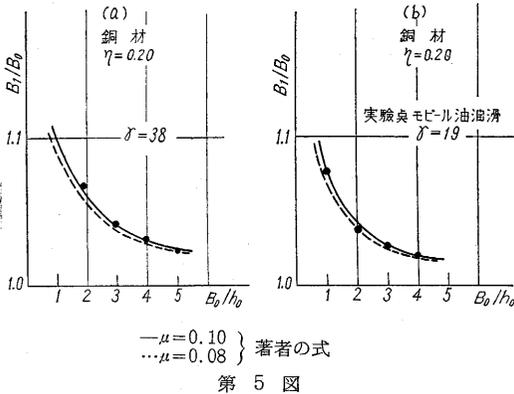
4. む す び

本報告は実験を中心に、各研究者によって提唱されている実験式を検討したものであるが、式で求めることのできるのはローラーと接触する部分の幅広がりに限られ、端部の変形問題にはふれることができない。したがって、これらの問題については文献⁽¹⁰⁾⁽¹³⁾を参考に願えば幸いである。終わりに、本研究のご指導をいただいた東京大学生産技術研究所の鈴木弘先生に厚くお礼申し上げる次第である。

(1961 年 11 月 2 日受理)

文 献

- (1), (2), (5), (6), Grundlagen Des Walzverfahrens (1954), 1954 Verlag Stahleisen, Dusseldorf.
- (3) Stahl u. Eisen Bd. 3 (1910) S. 415
- (4) Stahl u. Eisen Bd. 3 (1910) S. 767, S. 1986
- (7), (8) Walzwerkswesen (1954) 79 Veb Verlag Technik, Berlin.
- (9) 柳本: 日本機械学会論文集 27 卷 181 号 (昭 36-9), 1431
- (10) 柳本. 塑性と加工 Vol. 2 No. 7 (1961), 129
- (11) 鈴木. 小野内, 塑性加工専門講演会京都大会前刷(昭35)
- (12) 栗野. 名古屋工業技術試験所報告 6-1 (昭32)
- (13) 柳本. 塑性と加工 Vol. 2 No. 6 (1961), 37



第 5 図

東京大学生産技術研究所報告予告

第 11 卷 第 4 号

小瀬輝次著: 「写真レンズのレスポンス函数測定法の研究」

被写体の一点から出た光がレンズによって作られる像、すなわち点像の強度分布を知れば、像の強度分布は被写体の強度分布と点像のそれとの重ね合わせ積分によって求められる。このようにレンズの結像に重ね合わせ積分が成り立つことから、レンズにも通信系と同様に伝達函数が考えられ、これをレスポンス函数と呼んでいる。

レスポンス函数によってレンズの結像性能は非常に明確に把握できるようになったので、将来はこれによってレンズの評価が行なわれるようになるであろう。この意味でレスポンス函数の実用化の一つとしてこれの測定は重要であり、従来多数の試みが行なわれている。

本論文はこれら従来の方法を総合するとともに、実用的測定の際に問題となる位相の測定法を論じ、2枚の走査チャートを用いた実用機の試作結果を報告し、あわせて走査チャートの形状による測定誤差を議論している。

(1961 年 12 月発行予定)