

© 1986 ISIJ

## 線材・棒鋼圧延の幅広がり特性とその計算法

論 文

篠倉恒樹\*・高井耕一\*

## Spread Characteristics and Spread Formula in Steel Bar Rolling

Tsuneki SHINOKURA and Koichi TAKAI

## Synopsis:

This paper describes the spread phenomena and geometrical models in Oval-Square, Oval-Round, Diamond-Square, Diamond-Diamond and Oval-Oval passes. The experiments have been conducted by caliber rolling of hot steel bars. The profile of stress-free surface differs for the five types of passes; in the Oval-Square, Oval-Oval and Oval-Round passes, it is approximated by circular arcs with the same radius of initial bars; in the Diamond-Diamond and Diamond-Square passes, its angle after rolling is slightly smaller than before rolling. A spread formula proposed by the authors previously has been proven to be fundamentally available to all of these five passes.

## 1. ま え が き

近年、線材棒鋼圧延の電算機による孔型設計、圧延条件設定、圧延速度制御、シミュレーションなどが積極的に進められているが、その利用効果を高めるためには孔型圧延特性をより正確に記述する数式モデルの開発が不可欠である。このような観点から前報<sup>1)</sup>では4種の圧延方式(角→オーバル、角→ダイヤ、丸→オーバル、特定のダイヤ→ダイヤ)の幅広がり特性を解明し、簡便性・汎用性・高予測精度を兼備した新たな幅広がり式を提案した。しかし、線材棒鋼圧延では他にもオーバル→角、ダイヤ→角、オーバル→丸、オーバル→オーバル、ダイヤ→ダイヤなど重要な圧延方式があり、全パスを網羅するにはこれらにおける検討も必要である。孔型圧延の幅広がり式に関して従来いくつか<sup>2)~6)</sup>研究されているが、数式化の点で必ずしも上記の目的を満足していない。そこで本研究では熱間鋼の圧延実験により、これら5種の圧延方式の幅広がり特性を現象的に解明し、あわせて上記新幅広がり式の適用性を検討したので報告する。

## 2. 実験方法

ロール径 200 mm の実験用孔型圧延機を用い、軟鋼 (JIS SS41) 棒と孔型の形状寸法を変えて熱間圧延実験を行った。素材は角→オーバル、丸→オーバル、角→ダイヤで圧延したもの、すなわちオーバル棒やダイヤ棒を長さ約 220 mm に切断し、これらを窒素ガス中で 1050

°C に加熱して無潤滑で圧延した。圧延する際、材料の倒れを防止するために入側に縦型のローラー式圧延ガイドを設けた。Fig. 1 に孔型の形状と寸法、Table 1 に各孔型に対応する素材寸法 ( $B_0, H_0, R_s, H_w, \theta_s$ )、ロールギャップ ( $G_0$ )、圧下率 ( $r$ ) を示す。出側寸法は圧延後室温にてノギスで測定した。また、出側断面は断面の拡大図をプラニメーターで測定した。

## 3. 実験結果及び数式化

## 3.1 幅広がり現象

ここでは幅広がり側面の形状とその幾何学的近似法を

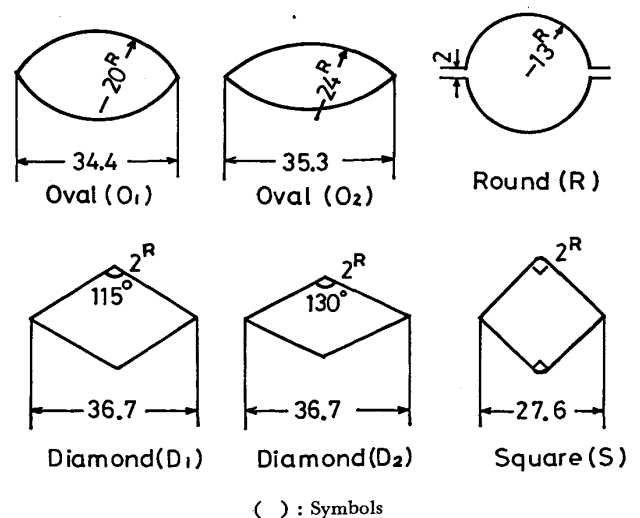
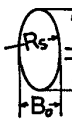
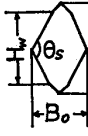


Fig. 1. Shapes and dimensions of calibers (mm).

昭和 54 年 11 月塑性加工学会講演会にて発表 昭和 60 年 5 月 15 日受付 (Received May 15, 1985)

\* (株)富士電機総合研究所 (Fuji Electric Corporate Research and Development, Ltd., 2-2-1 Nagasaka Yokosuka 240-01)

Table 1. Rolling conditions.

		(mm)			
Billet	Caliber	S	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	R
	B <sub>0</sub>	15 ~ 21	20 ~ 22	15 ~ 21	15 ~ 23
	H <sub>0</sub>	27 ~ 37	25 ~ 28	22 ~ 34	28 ~ 35
	R <sub>s</sub>	20, 24	20	20, 24	20, 24
	G <sub>0</sub>	0 ~ 1	0 ~ 1	0 ~ 3	1, 2
	r (%)	15 ~ 35	16 ~ 24	24 ~ 45	5 ~ 15
Billet	Caliber	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	S	
	B <sub>0</sub>	15 ~ 26	14 ~ 24	17 ~ 28	
	H <sub>0</sub>	25 ~ 45	21 ~ 40	28 ~ 49	
	H <sub>w</sub>	13 ~ 45	12 ~ 40	18 ~ 49	
	θ <sub>s</sub> (rad)	20, 21, 23	20, 21, 23	21, 23	
	G <sub>0</sub>	0	0	0 ~ 5	
	r (%)	2 ~ 37	12 ~ 37	2 ~ 31	

G<sub>0</sub> : Roll gap      r : Reduction in area

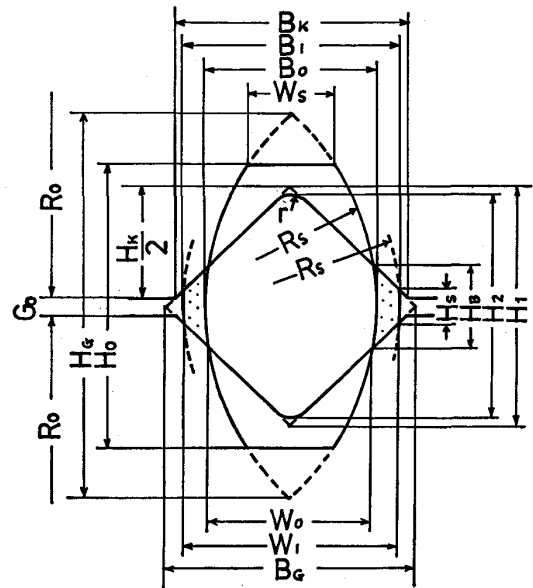


Fig. 3. Geometrical designation in Oval-Square pass.

る投影接触幅  $W_1$  は実測値  $W_1'$  よりやや大きい。

3.1.2 オーバル→オーバル (O→O), オーバル→丸 (O→R) 圧延

これら両圧延の幅広がり現象を示す。自由側面の形状は低下率では素材側面の曲率とほぼ等しい曲率をもつが、高低下率では側面中央部の膨れ出しが生じて曲率が大きくなる。両圧延の代表的側面の形状をそれぞれ Fig. 2(b) と (c) に示す。この場合の側面形状の近似は素材の曲率半径 ( $R_s$ ) に等しい曲率の円弧で破線のように表される。一般には幾何学的投影接触幅  $W_1$  は実測値  $W_1'$  よりも若干大きくなる。

3.1.3 ダイヤ→ダイヤ (D→D), ダイヤ→角 (D→S) 圧延

Fig. 2(d) は D→D 圧延の側面形状を示す。素材の側面は前パスの孔型頂角と同じ角度をもっているが、この角度は圧延後やや小さくなり、D→S 圧延でもほぼ同様である。そのため、側面の形状は図中の A 点 (材料肩部) と B 点 (出側幅) を結ぶ直線で近似される。この場合も一般には幾何学的投影接触幅  $W_1$  は実際の幅  $W_1'$  よりも少し大きくなる。

3.2 各圧延方式の変形モデル

上述の側面形状の近似法に基づいて、O→S, O→O, D→D 各圧延方式の圧延形態を幾何学的にモデル化したのが Fig. 3~5 である。図中の記号  $B_0, H_0, W_s, H_w, H_g, R_s, \theta_s$  は素材の寸法や角度を表し、いずれも前パスから与えられる。ここでは O→S 圧延の前パスは S→O で、O→O 圧延の前パスは R→O または O→O とした。O→R と D→S はそれぞれ O→O と D→D の特

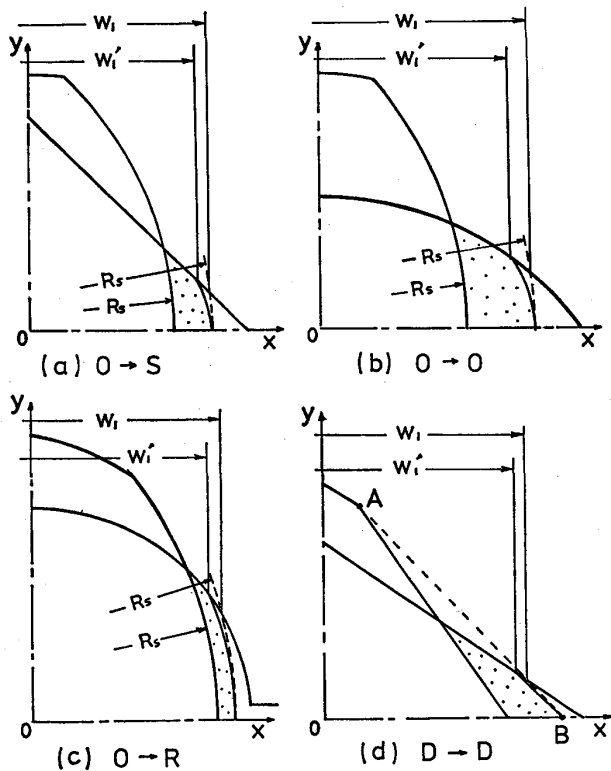


Fig. 2. Typical shapes of free side surface and its approximation in four passes.

各圧延方式ごとに述べる。いずれも側面形状は第 1 象限で示した。

3.1.1 オーバル→角 (O→S) 圧延

本圧延方式は材料をガイドで押さえても圧延中倒れやすく、不安定であった。良好な圧延品の側面形状を Fig. 2(a) に示す。孔型の両側は空間が比較的小さいので、自由側面はわずかである。自由側面の形状は近似的に素材側面の曲率半径 ( $R_s$ ) に等しい曲率の円弧で表される。実際は側面中央部が若干膨れるので、幾何学的に得られ

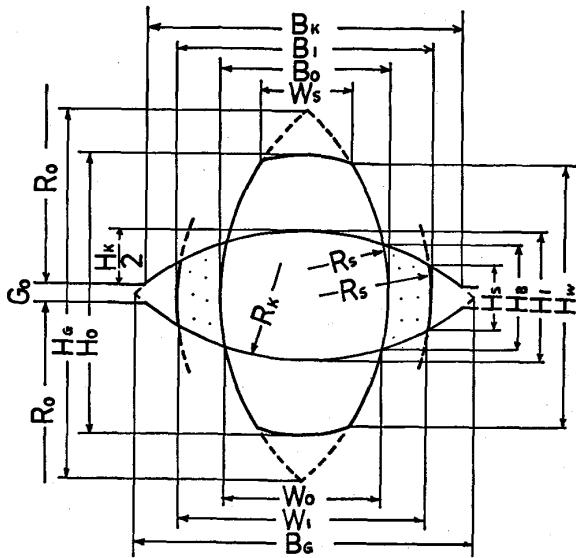


Fig. 4. Geometrical designation in Oval-Oval pass.

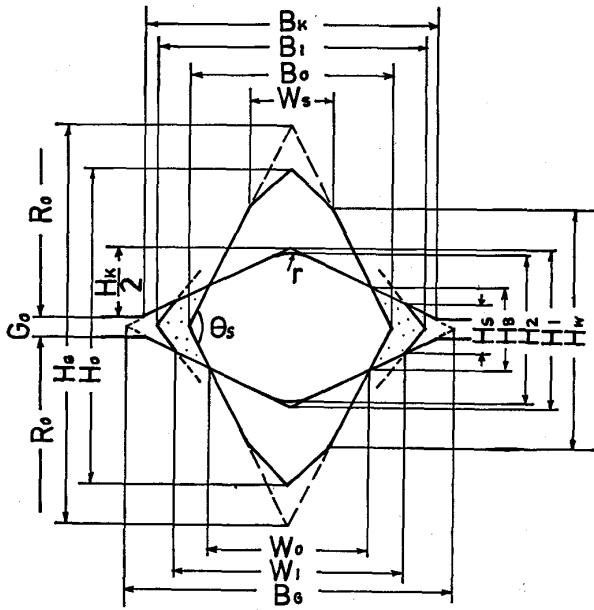


Fig. 5. Geometrical designation in Diamond-Diamond pass.

殊なパスとして扱われる。なお、O→Oの素材上下面は簡単化のため、曲率半径 \$H\_0/2\$ の円弧で近似しても実用上差し支えない。

これらの変形モデルの妥当性を確認するため、\$B\_1\$ の実測値を用いて計算した最大投影接触幅 \$W\_1\$ の値を実測値と比較したところ、Fig. 6 がえられた。

各圧延方式の \$W\_1\$ の計算式は次のとおりである。

1) O→S では

$$W_1 = A + \sqrt{A^2 - \frac{1}{2}(H_1^2 - H_G^2)} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、

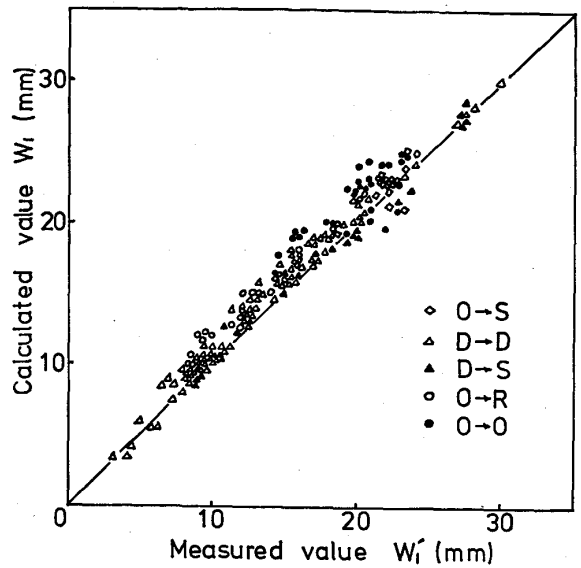


Fig. 6. Comparison of measured and calculated values of contact width \$W\_1\$.

$$A = \frac{1}{2}(H_1 + B_1 - B_0) - \sqrt{R_s^2 - \frac{H_G^2}{4}}$$

2) O→O, O→R では

$$W_1 = 2 \cdot R_s (\cos B - 1) + B_1 \dots \dots \dots (2)$$

ただし、

$$B = \cos^{-1} \frac{C + R_s^2 - R_k^2}{2 \cdot R_s \cdot \sqrt{C}} - \cos^{-1} \frac{R_s - \frac{B_1}{2}}{\sqrt{C}}$$

$$C = \left(R_s - \frac{B_1}{2}\right)^2 + \left(R_k - \frac{H_1}{2}\right)^2$$

3) D→D, D→S では

$$W_1 = \frac{B_G \cdot H_1 (B_1 - W_s) - B_1 \cdot H_w \cdot B_G}{H_1 (B_1 - W_s) - B_G \cdot H_w} \dots \dots \dots (3)$$

Fig. 6 を見ると、実測値よりも計算値の方が若干高めであるが、全体的にはばらつきも少なく、よく対応していることがわかる。

さらに、これらの近似モデルに基づいて出側断面積 \$F\_1\$ を計算した。計算式は各圧延方式とも次の式を用いた。

$$F_1 = 4 \left\{ \int_0^{W_1/2} f(x) dx + \int_{W_1/2}^{B_1/2} g(x) dx \right\} \dots \dots \dots (4)$$

ただし、\$f(x)\$ は Fig. 2 に示された \$x\$-\$y\$ 座標系の孔型形状を表す関数、\$g(x)\$ は出側材料の側面形状(破線)を表す関数であり、\$B\_1\$ は実測値、\$W\_1\$ は計算値とした。\$F\_1\$ の計算値と実測値を比較したところ、Fig. 7 が得られ、両者はほぼ一致することが確認された。

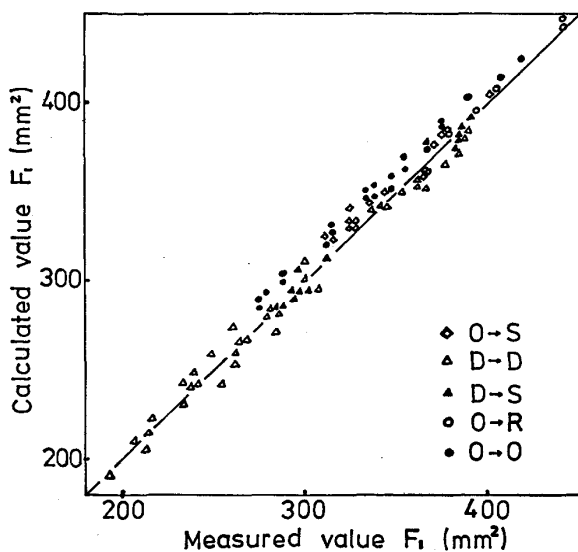


Fig. 7. Comparison of measured and calculated values of cross-sectional area  $F_1$  of products.

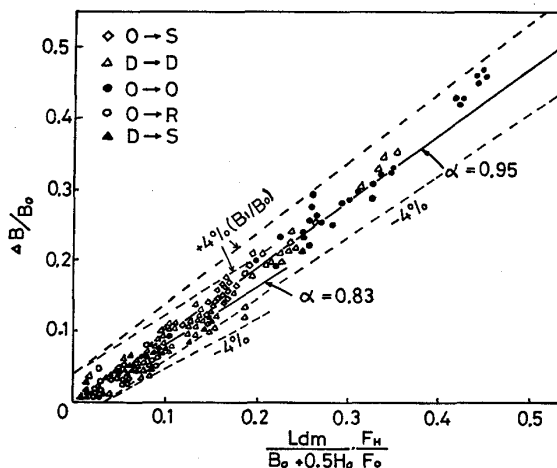


Fig. 8. Relation between spread ratio  $\Delta B/B_0$  and parameter  $\frac{L_{dm}}{B_0 + 0.5H_0} \cdot \frac{F_H}{F_0}$ .

### 3.3 幅広がり式

幅広がり式については前報<sup>1)</sup>で次の式を提案した。

$$\frac{\Delta B}{B_0} \equiv \frac{B_1 - B_0}{B_0} \equiv \alpha \cdot \frac{L_{dm}}{B_0 + 0.5 \cdot H_0} \cdot \frac{F_H}{F_0} \dots (5)$$

- ここに  $B_0$  : 入側材料幅  
 $B_1$  : 出側材料幅  
 $L_{dm}$  : 平均投影接触長  
 $F_H/F_0$  : 圧下率  
 $\alpha$  : 係数 (=0.83)

この式が今回の圧延方式にも適用できるかどうかの検

証を行つた。その結果を Fig. 8 に示すが、やはり良好な直線関係がえられ、予測精度は  $B_1/B_0$  で  $\pm 4\%$  であつた。係数  $\alpha$  は前回の  $S \rightarrow O, R \rightarrow O, S \rightarrow D$  では 0.83 であつたが、今回は  $O \rightarrow S, O \rightarrow O, D \rightarrow D$  では 0.95 となつた。 $D \rightarrow S$  と  $O \rightarrow R$  は 0.83 であり、斎藤ら<sup>7)</sup>の結果とも一致した。

これまでの研究で係数  $\alpha$  は一般に統一できず、およそ 0.8~1.0 の範囲で圧延方式や圧延条件によつて異なる値をとることがわかつた。これは (5) 式が幾何学的因子のみで構成されており、それ以外の要因たとえば摩擦係数、圧延温度、圧延速度およびロールと圧延材の性状や成分などがすべて係数  $\alpha$  に含まれているためと思われる。

### 4. あとがき

線材棒鋼圧延の代表的 5 種の圧延方式について、軟鋼の熱間圧延実験を行い、幅広がり特性の現象的究明と新幅広がり式の適用性を検討した結果、次の結論が得られた。

幅広がり側面の形状は  $O \rightarrow S, O \rightarrow O, O \rightarrow R$  圧延では円弧状、 $D \rightarrow D, D \rightarrow S$  では直線状となり、それぞれの近似法が幾何学的に示された。新幅広がり式は今回の圧延方式にも  $\pm 4\%$  の精度で適用できるが、係数  $\alpha$  は  $D \rightarrow S$  と  $O \rightarrow R$  では 0.83、 $O \rightarrow O$  と  $O \rightarrow S, D \rightarrow D$  では 0.95 となり、圧延方式や圧延条件によつて若干変わることがわかつた。

なお、これにより線材棒鋼圧延の代表的パスはすべて網羅され、幅広がりが一貫して計算できるようになつた。

### 文 献

- 1) 篠倉恒樹, 高井耕一: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 2477
- 2) 加藤健三, 斎藤好弘, 高橋洋一, 中川 実: 昭和 52 年度塑性加工春季講演会論文集 (1977), p. 85
- 3) 加藤健三, 斎藤好弘, 高橋洋一, 中川 実, 田中勝博: 昭和 54 年度塑性加工春季講演会論文集 (1979), p. 481
- 4) 柳本左門: 塑性と加工, 5 (1964-5), p. 315
- 5) G. FRANK and H. NEUMANN: Neue Hütte, 27 (1982) 5, p. 163
- 6) M. L. ZAITSEV and G. V. ANUFRIEV: Stal in English, (1969) Aug., p. 727
- 7) 斎藤好弘, 中野 進, 高橋洋一: 昭和 54 年度塑性加工春季講演会論文集 (1979), p. 505