

東京大学生産技術研究所 鈴木 弘  
 神戸製鋼中央研究所 ○上田長正

1. まえがき

圧延板材の幅方向断面形状と平坦度は製品としての価値に大きく影響する因子である。平坦度の制御は圧延前後の板材断面形状が互に相似になるように圧延することによって達せられると考えれば、幅方向断面形状と平坦度のよい板材は適正なクラウンコントロールによって得られる。クラウンコントロールはロール胴部に直径を変ええるキャンバ法、ロールに曲げ力を加えるロールベンディング法などが用いられているが、特にワークロールベンディング装置は最近設置される4段圧延機の大部分のものに取り付けられているが効果的に使用されている例は多くないようである。今回はワークロールベンディングをおこなう場合に注意すべき点、圧下力・ベンディング力・板幅・生じるクラウンの形状・圧延材の材質などの影響を解析し、その結果をもとにワークロールベンディング装置の具体的な使用方法の基本式を提案しあわせて静的な模型4段圧延機による実験結果について検討する。

2. 解析および実験方法

(1)解析方法 表1に解析に用いる主な記号とその説明を示す。圧下力・P、ワークロールベンディング力・ $F_w$ によるロールの曲がり、クラウンの形状などの計算は塩崎によって提案されたバネモデルによる方法で境界条件をバックアップロールバレル端で $M_B = -n \cdot P / 2$ 、 $V_B = P / 2$ 、ワークロールバレル端で $M_W = m \cdot F_w$ 、 $V_W = -F_w$ とする。図1に解析および実験の対象とした模型4段圧延機の各部の寸法を示す。

(2)実験方法 模型4段圧延機をアムスラー式圧縮試験機により、ワークロール間に供試材（冷間圧延のままのアルミニウムH材、スキンプラスした軟鋼板）をはさみロールを回転させないように静かに圧下する。 $F_w$ は $P=5\text{TON}$ にあらかじめ圧下しておき、所定の荷重になる

ように多少小さめにかけて、さらに圧下しPを増加させる。Pを所定の荷重に約10分間保ったのちPを零にもどし供試材を取り出す。供試材についてのワークロール圧こんの最も深い所の厚さすなわち最小板厚を幅方向に測定する。表2に供試材の塑性係数・ $M_P$ 、厚さ、幅・W、Wのロールバレル長さに対する比・ $W/L$ 、P、 $F_w$ などの実験条件を示す。実験ではワークロールとバックアップロール間軸心接近量、ワークロールとワークロール間軸心接近量もロールバレル方向に同時に測定しいろいろ検討を加えたがそれらの結果は参考文献にゆずるとして今回は最小板厚に注目することとする。供試材とワークロール表面には潤滑油を十分塗布した。

表1 記号とその説明

記号	説明	記号	説明
d	ロール直径	h	圧延後板厚
m	ワークロールバレル端から油圧シリンダー中心までの距離	$\Delta h$	圧下量
n	バックアップロールバレル端から圧下スクリーン中心までの距離	$M_P$	塑性係数
W	板幅	$\alpha$	形状修正係数
L	ロールバレル長さ	$\alpha$	$(\frac{1}{\alpha_0^P} - \frac{1}{\alpha_0^{F_w}}) / (\frac{1}{\alpha_c^{F_w}} - \frac{1}{\alpha_c^0})$
M	モーメント	$\alpha'$	$1 / (\frac{1}{\alpha_0^{F_w}} - \frac{1}{\alpha_0^0})$
V	せん断力	C	圧延後板材のクラウン
P	圧下力	C	圧延前板材のクラウン
$F_w$	ワークロールベンディング力	r	圧下率
H	圧延前板厚		

⊕: サフィックス; B: バックアップロール; W: ワークロール, O: 板材中央  
 ⊙: 板材端部, P: 圧下力,  $F_w$ : ワークロールベンディング力

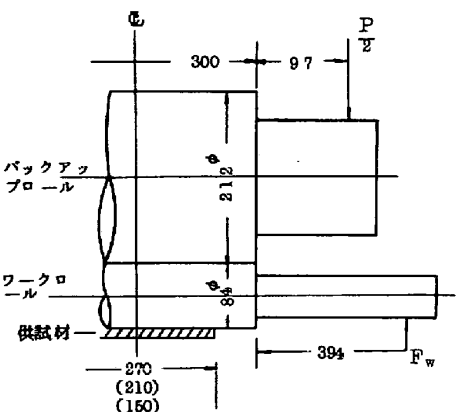


図1 ロール各部の寸法

3. 解析および実験結果

(1)解析結果 図2にアルミニウムH材 (W/L=0.9) でF<sub>w</sub>=0としてPを増加させた場合のPと圧下量・Δhの関係を示す。図3にP=40.5 TONとしてF<sub>w</sub>を増加させた場合のF<sub>w</sub>とΔhの関係を示す。ただしこの計算では圧延板材の塑性係数・M<sub>p</sub>を計算の範囲内で一定 (M<sub>p</sub>=1150 Kg/mm/mm) とした。これらの図からP, F<sub>w</sub>とΔhの間に次のような関係がある。

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_o^P &= (1/\alpha_o^P) \cdot P \\ \Delta h_e^P &= (1/\alpha_e^P) \cdot P \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_o^{F_w} &= (1/\alpha_o^{F_w}) \cdot F_w \\ \Delta h_e^{F_w} &= (1/\alpha_e^{F_w}) \cdot F_w \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_o^{P+F_w} &= \Delta h_o^P + \Delta h_o^{F_w} \\ \Delta h_e^{P+F_w} &= \Delta h_e^P + \Delta h_e^{F_w} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ただしαは図2, 3の各直線の傾むきを表わす係数の逆数で、ミル定数と同次元にと

ってある。これを形状修正係数と呼ぶことにする。これらの関係は板材の中央と端部ばかりでなくその中間部でもなりたつ。すなわちPあるいはF<sub>w</sub>が変化した場合圧延板材に生じるクラウンの形状変化はM<sub>p</sub>が一定とみなされる範囲内ではP, F<sub>w</sub>に比例している。したがってワークロールベンディングによって断面形状を修正する場合板幅全体にわたって修正することはできず希望する断面形状に対して高々2点たとえば中央部の厚さと端部の厚さを一致させることしかできない。図3に示した点Dは板中央部の圧下量・Δh<sub>o</sub><sup>P+F<sub>w</sub></sup>と端部の圧下量・Δh<sub>e</sub><sup>P+F<sub>w</sub></sup>が等しくな

った点を示している。いま圧延前板材の断面形状が長方形かあるいは長方形に近い場合にはこの時のF<sub>w</sub>をかければ圧延後板材の断面形状は一応長方形とみなすことができる。このF<sub>w</sub>をF<sub>w</sub><sup>\*</sup>とし(1), (2), (3)式から求める。(1), (2), (3)式から(4)式, また板中央部と端部の圧下量が等しいということから(5)式, (4), (5)式から(6)式となりF<sub>w</sub><sup>\*</sup>が求まる。

$$\Delta h_o^{P+F_w} = (1/\alpha_o^P) \cdot P + (1/\alpha_o^{F_w}) \cdot F_w, \quad \Delta h_e^{P+F_w} = (1/\alpha_e^P) \cdot P + (1/\alpha_e^{F_w}) \cdot F_w \dots (4)$$

$$\Delta h_o^{P+F_w} = \Delta h_e^{P+F_w} \dots\dots\dots (5)$$

$$F_w^* = -\alpha \cdot P \quad \alpha = \frac{(1/\alpha_o^P - 1/\alpha_e^P)}{(1/\alpha_o^{F_w} - 1/\alpha_e^{F_w})} \dots\dots\dots (6)$$

表2 実験条件および解析結果

材質	アルミニウムH材			軟鋼板			単位
M <sub>p</sub>	1150			5000			kg/mm/mm
厚さ	0.8			0.4			mm
幅	270	210	150	270	210	150	mm
W/L	0.9	0.7	0.5	0.9	0.7	0.5	—
P	40.5	31.5	22.5	40.5	31.5	22.5	TON
F <sub>w</sub>	0	0	0	0	0	0	TON
	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	TON
α <sub>o</sub> <sup>P</sup>	3.33×10 <sup>5</sup>	2.62×10 <sup>5</sup>	1.81×10 <sup>5</sup>	1.56×10 <sup>6</sup>	1.27×10 <sup>6</sup>	0.85×10 <sup>6</sup>	kg/mm
α <sub>e</sub> <sup>P</sup>	2.76×10 <sup>5</sup>	2.11×10 <sup>5</sup>	1.58×10 <sup>5</sup>	1.07×10 <sup>6</sup>	0.78×10 <sup>6</sup>	0.61×10 <sup>6</sup>	kg/mm
α <sub>o</sub> <sup>F<sub>w</sub></sup>	1.25×10 <sup>5</sup>	8.43×10 <sup>5</sup>	-1.54×10 <sup>5</sup>	1.97×10 <sup>5</sup>	3.30×10 <sup>5</sup>	51.0×10 <sup>5</sup>	kg/mm
α <sub>e</sub> <sup>F<sub>w</sub></sup>	-2.33×10 <sup>4</sup>	-3.31×10 <sup>4</sup>	-4.44×10 <sup>4</sup>	-5.07×10 <sup>4</sup>	-7.26×10 <sup>4</sup>	-11.3×10 <sup>4</sup>	kg/mm
α	1.23×10 <sup>2</sup>	2.96×10 <sup>2</sup>	5.08×10 <sup>2</sup>	1.20×10 <sup>2</sup>	2.68×10 <sup>2</sup>	5.08×10 <sup>2</sup>	kg/mm
F <sub>w</sub> <sup>*</sup>	0.50	0.93	1.14	0.48	0.84	1.14	TON

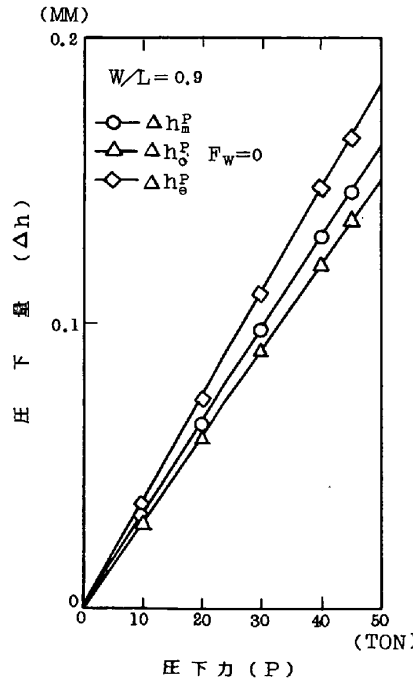


図2 PとΔhの関係

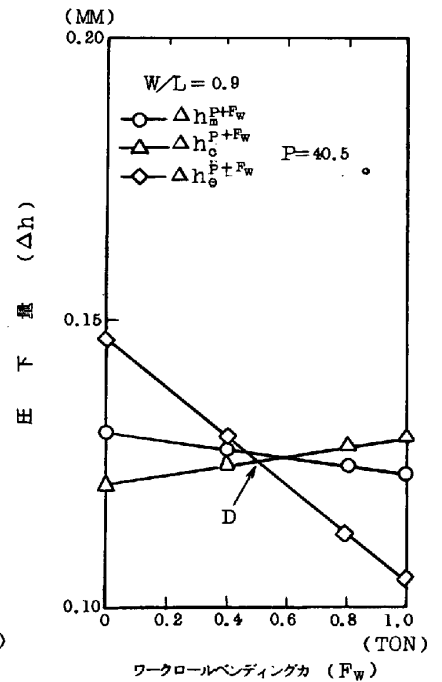


図3 F<sub>w</sub>とΔhの関係

表 2 に  $\alpha$ ,  $\alpha$ ,  $F_w^*$  を示す. 表から板厚がせまくなると  $\alpha$  が大きくなりベンダーの効きが悪くなる. またアルミニウム H 材と軟鋼板とを比較すると板幅が等しい時は  $\alpha$  はほとんど等しいとみなすことができ圧延板材の材質の影響をあまりうけない.

(2) 実験結果 表 2 に示した条件でおこなった実験の供試材の最小板厚分布を図 4 にアルミニウム H 材, 図 5 に軟鋼板について示す.  $\circ$  は  $F_w = 0$  で  $P$  のみによるクラウン,  $\blacktriangle$  はベンディングをおこなった時のクラウンを示す. 図 4, 5 において  $F_w = 0$  のときの  $P$  のみによるクラウン形状は計算値と実験値はよく一致している. また  $F_w$  をかけた時は図 4 アルミニウム H 材では  $W/L = 0.7, 0.5$  で, 図 5 軟鋼板では  $W/L = 0.5$  で  $F_w$  の効果を大きめに計算している. このように板幅がせまくなると計算値が実験値からずれてくるのは板端部の幅広がり, エッジドロップ等がきいてくるからと考えられバネモデルではこれらの点に対する補正が考慮されていないので計算値の方が実験値より大きめになったのであろう. いま表 2 に示した  $F_w^*$  と図 4, 5 に示した  $F_w$  とはよく一致している. したがって解析で示した形状修正係数によるワークロールベンディング力の計算方法は十分意義のあるものと考えられる.

4. 考察

以上の解析と実験は圧延前板材の断面形状を長方形としておこなったもので, 実際の圧延に適用するには多少の補正を必要とする. 定常圧延時を対象にこの補正項について考える.

(1) 断面形状の修正 圧延後板材にクラウン  $C$  がついていてこれに  $F_w$  をかけ形状を修正したとする.  $F_w$  をかける前後で (7), (8) 式がなりたつ.

$$h_c - h_o = C \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$h_o^{P+F_w} = h_o^{P+F_w} \quad \dots \dots \dots (8)$$

この場合の  $P$  は  $F_w$  によって増加したバックアップロールショックにかかる荷重の増加分あるいは  $F_w$  によって生じる平均板厚の変化をもとにもどそうとする  $P$  の変化分である. 一方圧下量  $\Delta h_o^{P+F_w}$  と  $\Delta h_o^{P+F_w}$  については (9) 式がなりたつ.

$$\Delta h_o^{P+F_w} = h_o - h_o^{P+F_w}, \quad \Delta h_o^{P+F_w} = h_o - h_o^{P+F_w} \quad \dots \dots \dots (9)$$

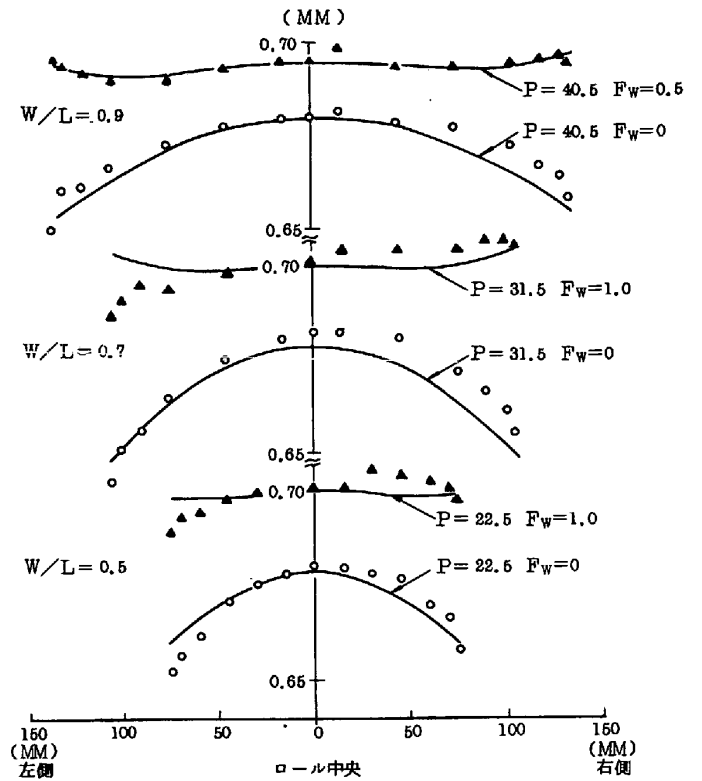


図 4 アルミニウム H 材の最小板厚分布

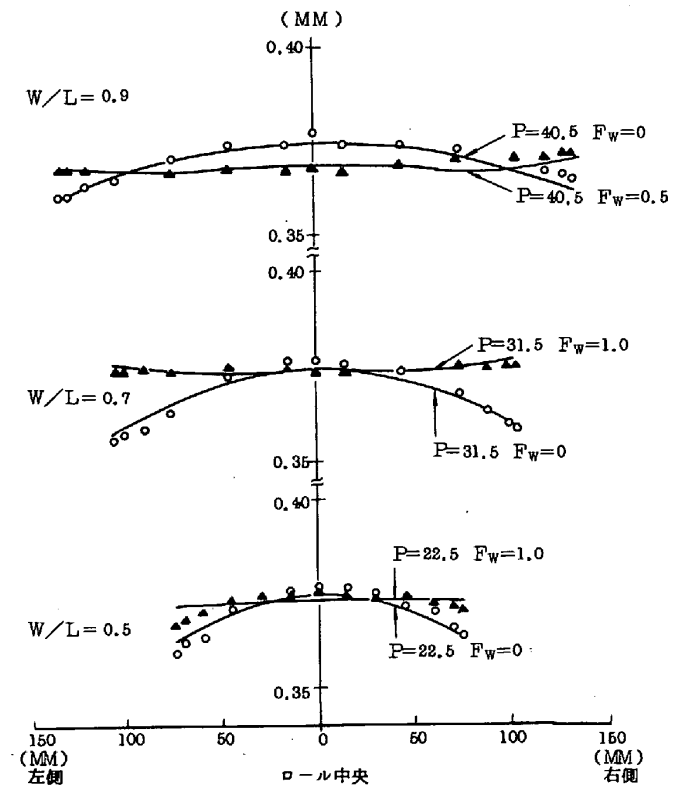


図 5 軟鋼板の最小板厚分布

(7), (8), (9)式から(10)式, (4), (10)式から(11)式となりこの場合の $F_w^*$ が求まる.

$$\Delta h_o^{P+P_w} - \Delta h_o^{P+P_w} = C \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$F_w^* = -\alpha \cdot P + \alpha' \cdot C \quad \left( \alpha = \frac{1}{1/\alpha_o^{P_w} - 1/\alpha_o^{P_w}} \right) \quad \dots\dots\dots (11)$$

(2)平坦度の制御 圧延前後で断面形状が相似になればよいとすれば前項同様(12), (13), (14)式がなりたつ.

$$h_o - h_o = C \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$H_o - H_o = C \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{H_o}{h_o^{P+P_w}} = \frac{H_o}{h_o^{P+P_w}} = \frac{1}{1-r} \quad \dots\dots\dots (14)$$

(4), (12), (13), (14)式から(15)式となりこの場合の $F_w^*$ が求まる.

$$F_w^* = -\alpha \cdot P + \alpha' \cdot \left( C + \frac{1}{1-r} C \right) \quad \dots\dots\dots (15)$$

このように形状修正係数を用いて(6), (11), (15)式にそれぞれの場合に必要なワークロールベンディング力 $\cdot F_w^*$ を示すことができる.

## 5. まとめ

(1) バネモデルでワークロールベンディングによるクラウンコントロール法について解析をおこない, 圧下力 $\cdot P$ , ワークロールベンディング力 $\cdot F_w$ とクラウン形状の関係を形状修正係数 $\cdot \alpha$ を用いて整理し, これらの関係を明らかにした.

(2)  $\alpha$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha'$ を用いてクラウンコントロールの具体的な方法の基本式を(6), (11), (15)に示した.

(3)  $\alpha$ は $W/L$ が小さくなると大きくなるが圧延板材の材質の影響はあまりうけず $W/L$ が一定なら $\alpha$ も一定とみなすことができる.

(4) 模型4段圧延による静的な圧下実験によってこれらの関係がなりたつことを確めた.

(5) 今後はこれらの解析結果, 実験結果を現場の圧延作業に応用してゆきたいと考えている.

## 6. 参考文献

- (1) 鈴木, 本城: 生産研究 Vol 20 (1968) №7, P 365
- (2) 塩崎: 塑性と加工 Vol 9 (1968) №88, P 315
- (3) 鈴木, 河野: 生産研究 Vol 21 (1969) №4, P 133
- (4) 鈴木, 鮫島: 昭和44年度日本機械学会講演論文集 №205, P 50
- (5) 鈴木, 上田: 生産研究 Vol 22 (1970) №4, P 187
- (6) 鈴木, 上田: 昭和45年度塑性加工春季講演会講演論文集, P 117