

ロールに摩耗プロファイルを与えた場合 の板の形状について

—— 第一報 作業ロールのみに摩耗プロファイルがある場合 ——

柳本 左門*・青木 至**・高橋 肇*

Effect of Wear Pattern in Rolls on the Shape of Strip

—— 1st Report, the Rolling by Working Rolls with Wear Pattern ——

Samon YANAGIMOTO, Itaru AOKI and Hajime TAKAHASHI

Abstract

The study has been made on the prediction of the shape in strips which have been rolled by work and back-up rolls with wear pattern. This report has indicated the research on the shape or flatness in strips which have been rolled on the various kinds of rolling conditions. Wear pattern on rolls has been machined. The consequence is that the effect of wear pattern in work rolls on the shape of strip is remarkably important. Furthermore, the theoretical consideration has been made in which comparatively simplified bending theory in four high rolling mills and the contact deformation theory between rolls has been applied for. The prediction for the shape of strip after rolling has been made considerably with the usage of suitable modified coefficient.

1. はじめに

板材の圧延で、幅の広い板の平坦度を良好に保持しつつ圧延することは極めて困難である。すなわち、ロールは常に摩耗を進行させつつあり、この摩耗の影響が板の平坦度に重大な関係をもつからである。したがって、板の平坦度（換言すれば板の形状）を常に良好に確保することは最高級の圧延技術が必要であるといっても過言ではない。

本研究のシリーズは人工的に（機械加工により）ロール（補助ロールと作業ロール）に摩耗プロファイルを作成し、板を圧延することにより板の平坦度がどのように変化するか、を検討したものである。

本報告は、作業ロールにのみ摩耗プロファイルを作成し、補助ロールは平らに加工した場合について、板の平坦度を検討したものである。

2. 実験方法および圧延諸元について

実験に使用した圧延機は4段圧延機で、主ロール寸法および供試材寸法は表1に示した通りである。

本研究では摩耗プロファイルとして、160 mm（幅）×0.20 mm（深さ）および280 mm（幅）×0.20 mm（深さ）の2種類を与え、圧延材料は幅160 mm, 200 mm, 280 mmの3種類を用いた（圧延前の板厚はすべて3.0 mm）。

これらの試験片を圧延し、パス毎の圧下率が5～30%となるよう一定に保ち、圧延後の形状を1 μmの精度が保証されるマイクロメータで測定した。

なお、作業ロール（work roll）の摩耗プロファイルの端部は表1に示したように45°の角度で仕上げられている。

1992年9月24日受理

* 機械工学科

** 新日鉄（株）

Table 1. Rolling conditions.

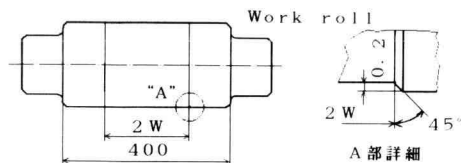
(a) ロール寸法 (mm)

表面仕上 10 μ , ロール材質 0.83C-Steel

名 称	ロール径	バレル長さ	ベアリング支持間長さ
Work roll	165	400	687
Back up roll	480	400	882

(b) ロールの摩耗プロフィール

	摩耗プロフィール幅 2W (mm)
Work roll	フラット (摩耗プロフィールなし), 160, 280
Back up roll	フラット



(c) 使用材料寸法 (mm)

厚さ × 幅	3 × 160	3 × 200	3 × 280
--------	---------	---------	---------

(d) 潤滑油 ダイロール 60B 10% 溶液 (25°C)

3. 実験結果

3.1 すべてのロールがフラットの場合

摩耗プロフィールを与えたロールによる圧延研究に先立ち、ロールが完全にフラット (表 1 の (b) 参照) な場合に対して板を圧延し、その場合の板の平坦度についての変化例を図 1 に示した。また、図中に示した板の形状を現す方程式に含まれる記号の説明を図 2 に示した。

板はフラットロールで圧延しても容易に平坦な形状を得ることができないが、その形状を与える方程式は本研究の場合

$$V = \frac{V_1}{2} \left[\cos \left\{ 90^\circ \times \left(\frac{y'}{y_1} \right)^2 \right\} + \cos \left\{ 90^\circ \times \left(\frac{y'}{y_1} \right)^4 \right\} \right] \quad (1)$$

でかなり良く実際に説明することがわかった。

多くの圧延条件を変化して、ロールの変形を曲げ変形¹⁾と作業、補助両ロールの間の接触変形²⁾の和で与えられるとして、実験と比較した結果が図 3 に示され

ている。

図 3 に示されている解は無次元化され、更に修正されたもので、

$$\frac{(\Delta\delta/L)_{\text{Theor.}}}{(\Delta\delta/L)_{\text{Exp.}}} = 1.70 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\Delta\delta}{L} \right)_{\text{Theor.}} = & \frac{1}{6\pi} \cdot \frac{\alpha x_1^3 (12x_2 - 7x_1)}{e + \gamma^4} \\ & + \frac{5}{4\pi} \cdot \frac{\alpha x_1^2}{e + \gamma^2} + \frac{1 - \nu^2}{\pi} \\ & \times \alpha \{ 1 - \ln(2\xi) \} \end{aligned} \quad (3)$$

$$P_m/E = \alpha, \quad \gamma = D_2/D_1, \quad \xi = L/B_0$$

$$b/D_1 = x_1, \quad l/D_1 = x_2$$

などで与えられる。ここで、各記号は図 4 に示したような 4 段圧延機に関する記号であり、 L は作業ロールと材料の間の接触弧長である。

図 3 より、実験結果と式 (2), (3) を用いて計算した結果を比較すると、多少ばらつきが多いがかなり良く定量的に合致していることがわかる。

この関係式 (2), (3) を基準として、以下、ロールに摩耗プロフィールを与えた場合についての議論を進めた。

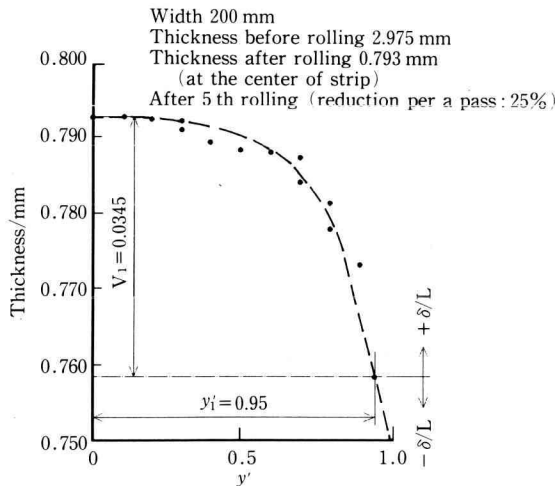
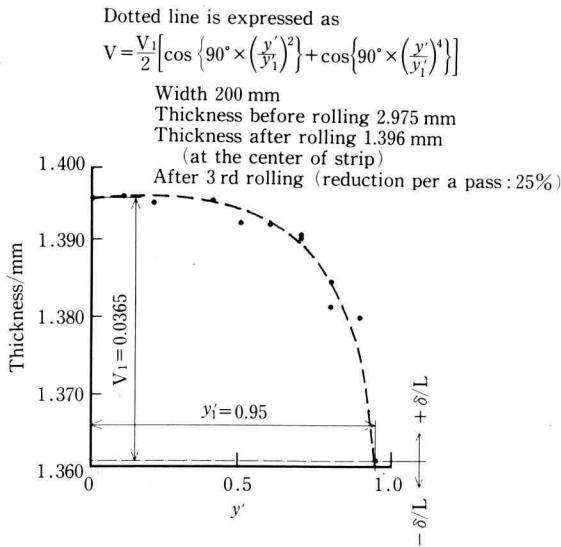


Fig. 1. The flatness or shape of the strip after the rolling by flat rolls.

3.2 作業ロールにのみ摩耗が存在する場合

本研究では表 1 の (b) に示したように, 作業ロールにのみ 0.2 mm 深さの摩耗を与え, 補助ロールはフラットのままとした。圧延を開始すると圧延負荷により摩耗プロファイルは変形し, 図 5 に示すような形状となる。この形状が板材の方にもプリントされることになる。図 6, 7 に摩耗幅よりも広い板を圧延した場合の板の形状を示した。また図 8 に比較のために摩耗プロファイルよりも狭い板を圧延した場合の板の形状を示し

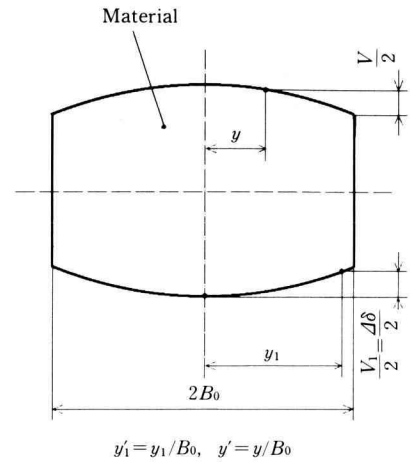


Fig. 2. Notations which determine the shape of strip.

$$\frac{(\Delta\delta/L)_{\text{Theor.}}}{(\Delta\delta/L)_{\text{Exp.}}} = 1.70 \text{ (Mean value)}$$

$$\left(\frac{\Delta\delta}{L} \right)_{\text{Theor.}} = \frac{1}{6\pi} \cdot \frac{\alpha^3 (12\kappa_2 - 7\kappa_1)}{e + \gamma^4} + \frac{5}{4\pi} \cdot \frac{\alpha \kappa_1^2}{e + \gamma^2} + \frac{1 - \nu^2}{\pi} \cdot \alpha (1 - \ln 2\xi)$$

Reduction per a pass : 15~30%, Lubricant : Mineral oil

Thickness before rolling : 3.0 mm

$e = E_1/E_2 = 1.0, \quad \kappa_2 = l/D_1 = 1.835, \quad \gamma = D_2/D_1 = 0.344$

$\alpha = P_m/E (0.002 \sim 0.009), \quad \xi = L/B_0$

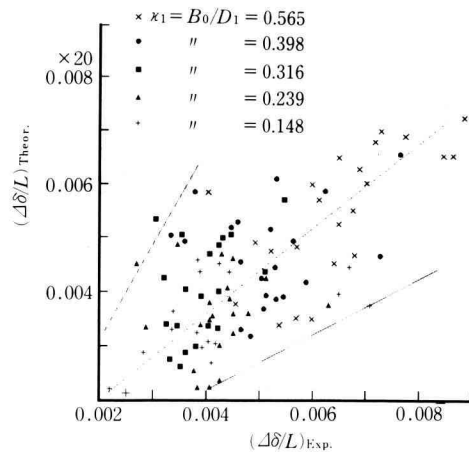


Fig. 3. Comparison between the theory and experiment in the Shape of strip with flat rolls.

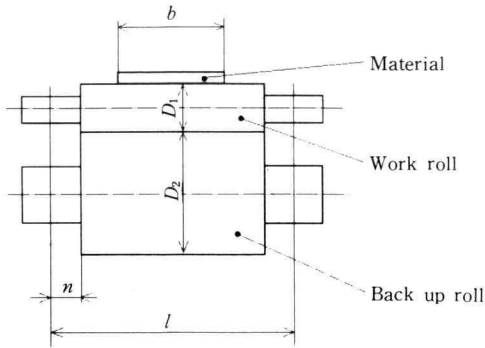


Fig. 4. Notations of the four high rolling mill.

た。

図 6, 7 の比較から摩耗プロファイル幅（本実験では 160 mm とした）よりもかなり広い 280 mm の板を圧延した場合の形状の方が，200 mm の板を圧延した場合よりも形状の変化は小さいことがわかった。すなわち，摩耗プロファイル幅に近い板幅では局部的な変形（摩耗プロファイル幅とロールのフラット部との交点付近の変形）が著しく大きくなり，その影響を受けやすいことがわかる。しかもこの傾向はパス回数が進んで，板厚が 3.0 mm の初期値より薄くなるほど激しくなることがわかる。これに対して，図 8 に示したように板幅が摩耗プロファイルより狭い場合は，板の変形は穏やかであり，通常のエッジドロップ量の範囲にあるようである。ただ，パス回数が進み板厚が薄くなると，図 8 に示したように異常な突起（ビルドアップ）が現れ，ロールに局部的な異常変形が生ずることを示している。

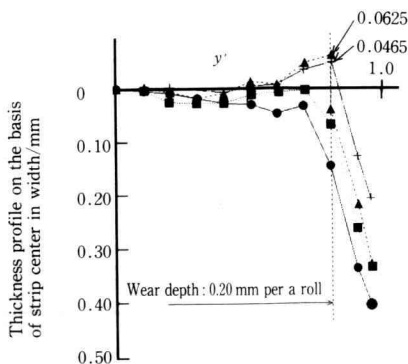


Fig. 6. The strip shape in the case of rolling that the strip width is wider than that of roll wear.

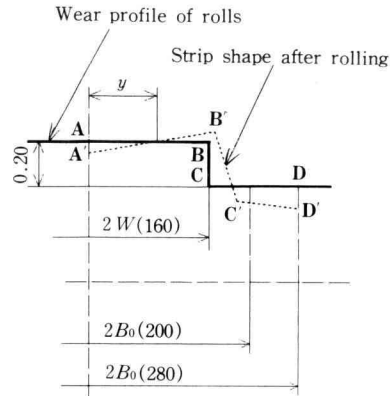


Fig. 5. Relation between the wear profile of rolls and the strip shape after rolling.

4. 実験結果の比較検討

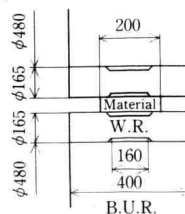
一般に，摩耗ロールと板の変形の間には図 9 に示すような幾何学的関係がある。ここでは図 9 に示した幾何学量 (y_1, x_1) を用い，ロールに摩耗プロファイルのない場合の基礎的データと対比して，作業ロールに摩耗プロファイルが存在する場合の板の形状を検討することとした。

4.1 変形幾何学量 (y_1, x_1) について

図 10 に一例として，パス毎の圧下率を 5~25% に変化し， y_1 と x_1 の変形幾何学量を測定した結果を示した。

Pass No.	h _{ic}	P (KN)
● 1	2.116	1176
■ 2	1.543	1411
▲ 3	1.131	1627
+ 4	0.789	1862

h₀ = 2.980 mm
 Setup reduction per pass : 30%
 Wear depth in work roll : 0.20 mm, Backup roll : Flat



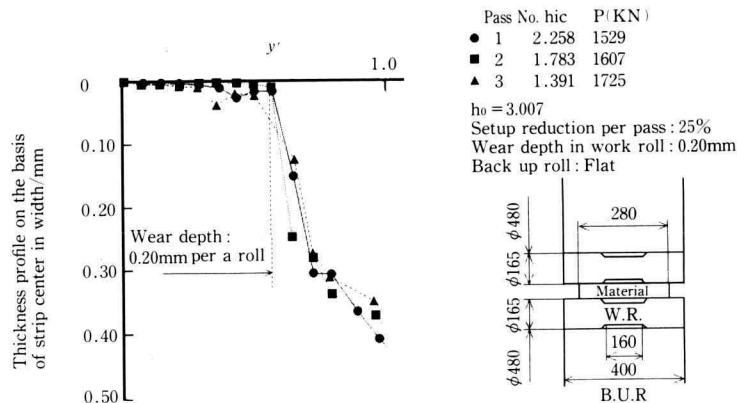


Fig. 7. The strip shape in the case of rolling that the strip width is wider than that of roll wear.

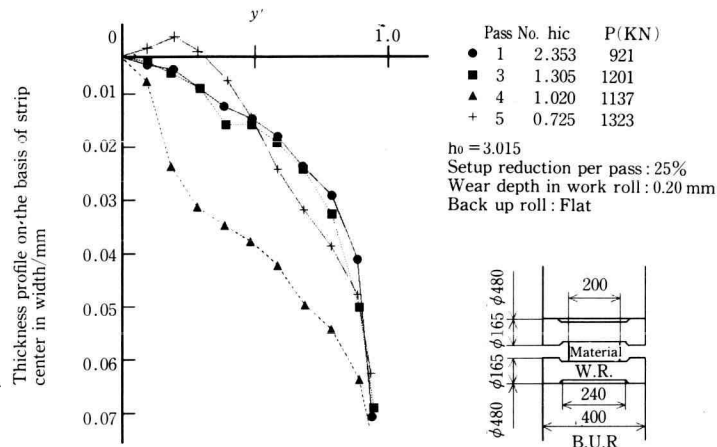


Fig. 8. The strip shape in the case of rolling that the strip width is narrower than that of roll wear.

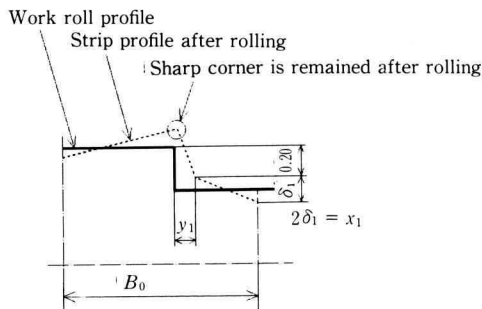
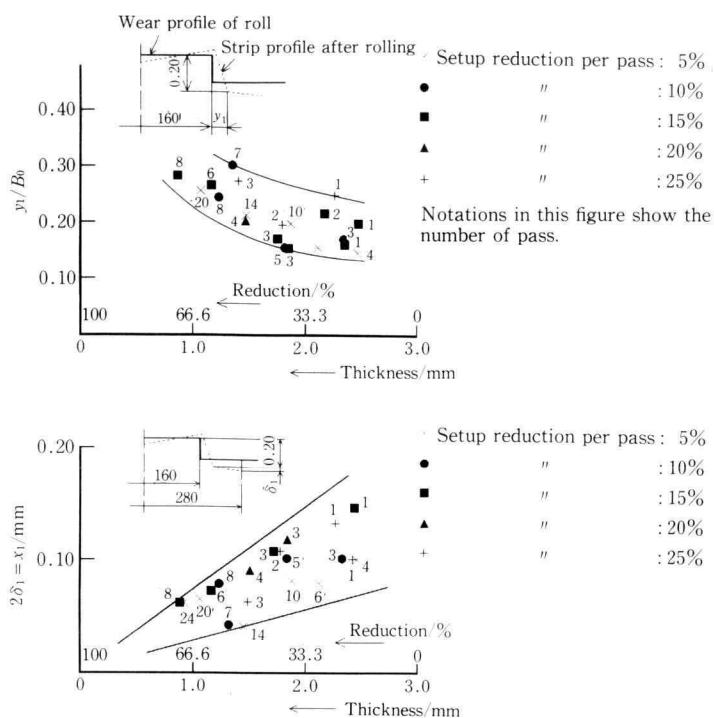


Fig. 9. Geometrical relation between the wear patterned roll and the shape of strip.

図から、摩耗ロールの横方向の変形を示す幾何学量 y_1 は、パス回数が進み、板厚が薄くなるほど大きくなることがわかる。これに対して摩耗プロファイルからはずれる部分の変形を示す幾何学量 x_1 は、パス回数が進み、板厚が薄くなるほど小さくなり、圧延荷重の増大により、ロールの扁平変形が大きくなり、板幅方向の変形の相対的な差が小さくなることを示し、興味深い結果を与えている。

図 11 は摩耗プロファイル部を除外した板の端部の変形を平ロールで圧延した場合の変形と、変形幾何学量 x_1 (または $2\delta_1$) について比較したものである。明らかにロールの摩耗プロファイルの影響を受けて端部近傍の板の変形は平ロールによる場合よりも大きいことがわ



$h_0 \approx 3$, $2B_0 = 280$ mm, Width in roll wear: 160 mm,
 Wear depth in work roll: 0.2 mm, Flat back up rolls

Fig. 10. Displacement of the rolled strip from the roll profile.

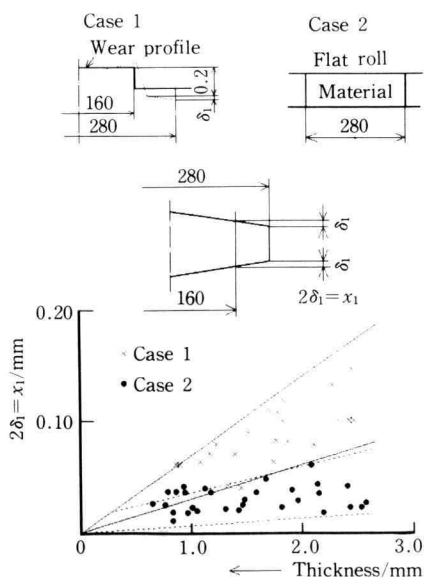


Fig. 11. Comparison of the displacement x_1 between the flat and wear pattern rolling

かる。

図 12 は板幅が摩耗プロフィール幅よりも狭い場合の板の端部の変形を平ロールの場合と比較したものである。必ずしも明確な差はないが、全体として摩耗プロフィールの幅以内で圧延した場合 (case 1 に対応) の方がフラットロールで圧延した場合よりも変形が大きいようである。これは曲げ変形量の差に帰することができ。

以上考察したように、作業ロールに摩耗プロフィールが存在すると、圧延された板の形状は極めて複雑になり、もはや他の圧延因子を変化して形状制御できる範囲には収まらなくなる。したがって、ロールの摩耗プロフィールの管理は特に重要で、作業ロールの摩耗プロフィールと摩耗量は常に許容される限界を越えないように管理されることが大切である。

4.2 理論と実測変形量の比較

摩耗プロフィール部は圧延される板幅との関係で圧力分布は著しく変化するが、図 13 に示したように、作業

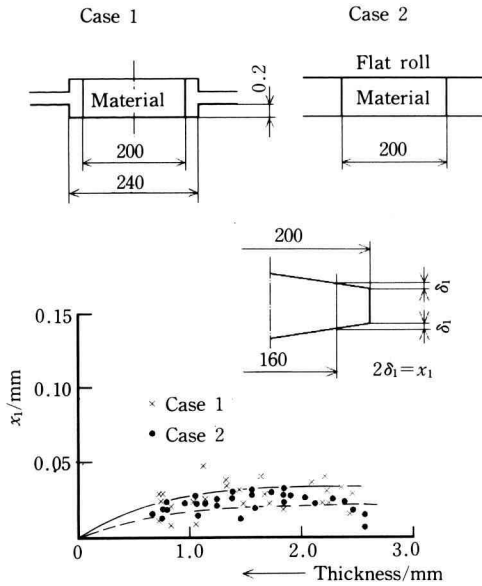


Fig. 12. The shape of strip in the case of rolling that the strip width is narrower than that of roll wear.

ロールで近似的に p_1 , p_2 は平坦分布で一定であるとし、補助ロール側では放物線形状分布と仮定し、ロール間の接近量を与える関係式¹⁾を修正すると、接近量は、

$$y = \frac{2(1-\nu^2)}{\pi E} \cdot \frac{P}{(L-W)^2} \times x \left(\frac{2}{3} + \ln \frac{2D_1}{b} + \ln \frac{2D_2}{b} \right) \times C_1 \quad (4)$$

$$b = 2.15 \sqrt{\frac{P}{E(L-W)^2} \cdot \frac{D_1 D_2}{D_1 + D_2}} \quad (5)$$

となる。 P は圧下力、 C_1 は修正係数であり、他の記号は図 13 に示した通りである。この式は摩耗プロファイルをはずれた $(L-W)$ 部におけるロールの偏平量を与える式であるが、一方、図 13 の GH 部として示した摩耗プロファイル内の変形には、図 13(b) に示したようにロールのたわみによる変形を考慮しなくてはならない。これを図 13(b) の記号を参考にして決定すると²⁾,

$$\delta = \left[\frac{p_1 \cdot (2W)^2}{6\pi E D} (10W + 24n) + \frac{10p_1 W}{4\pi E D^2} \right] \times C_2 \quad (6)$$

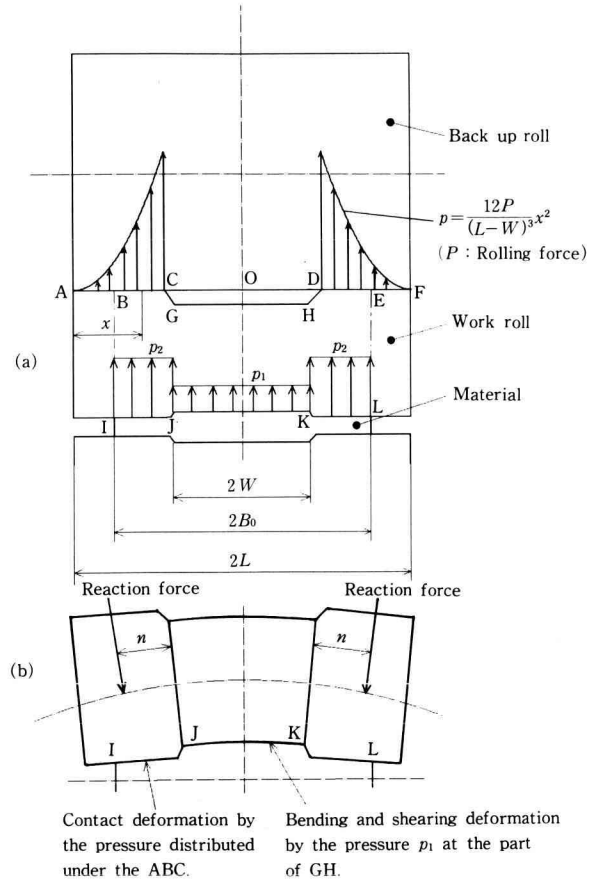


Fig. 13. Geometrical explanation in the wear pattern of rolls.

となる。 C_2 は修正係数である。

これらの近似理論式の修正係数 C_1 , C_2 に任意の値を与えて計算し、実際と比較した結果が図 14 に示されている。

実測結果はかなりのばらつきを示しているが、摩耗プロファイルが存在する場合の板の形状は曲げ理論と接触理論の採用により、かなり良く推定できそうであることがわかる。

5. おわりに

本研究は、最も重要な作業ロールに摩耗プロファイルが存在する場合について、圧延実験によりその影響度を検討し、更に平ロールによる圧延を基準として比較

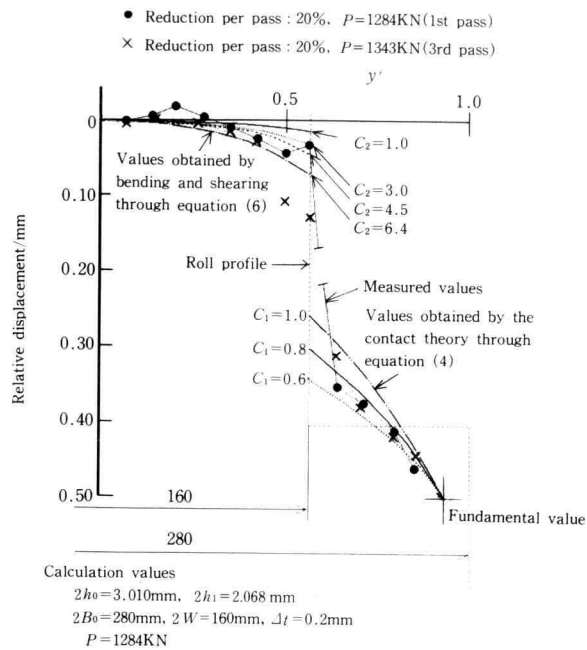


Fig. 14. Comparison between the theory and the experiment in the strip deformation.

検討を試みた。

その結果、板の形状はロールの摩耗により著しく影響を受け、良好な板の形状を得るためには摩耗の管理が極めて重要であることがわかった。また、曲げ理論と接触理論を考慮し、適当な修正係数を採用することにより、圧延後の板の形状をかなり良く推定することが可能であることがわかった。

参 考 文 献

- 1) R.J.Roark, "Formulas for stress and Strain", 3rd Edit., McGraw-Hill Co., p. 141.
- 2) ラーク著, 鈴木 弘訳, "板材の圧延", コロナ社 (1960), p. 91.