

合せ板圧延の初等理論による一考察

A Study on Rolling of Bilayer Metal Plate

鈴木 弘*・荒木甚一郎*・新谷 賢*

Hiromu SUZUKI, Jinichiro ARAKI and Ken SHINTANI

1. ま え が き

はり合せた2枚の異種金属板の圧延はバイメタル等の加工に広く応用されているが、一般の圧延に比し生産量が少ないこともあって、その研究もあまり行なわれていない。しかし、普通の圧延作業では見過がされている隠れた問題が浮き彫りになる可能性も多く、興味ある問題である。筆者等は Karman の圧延理論を基礎にした合せ板圧延理論式を導き、圧延条件諸因子の影響を数値計算により求めて、合せ板圧延の総合的な特性に対する2, 3の指針を得たので報告する。

2. 記 号

O_1, O_2 : 上下ロール中心

x : O_1, O_2 を基線として測った距離 [mm]

R_1, R_2 : 上下ロール半径 [mm]

y : x における板厚 [mm]

y_1, y_2 : x における A, B 材の板厚 [mm]

μ_1, μ_2 : A, B 材の摩擦係数

φ_1, φ_2 : 中立位置の角度 [Radian]

r : 合せ板厚比 (H_1/H) [mm/mm]

P : 垂直圧縮応力 [kg/mm^2]

P_1, P_2 : 上下ロール面圧力 [kg/mm^2]

P_3 : 接着面圧力 [kg/mm^2]

f_1, f_2 : 水平応力 [kg/mm^2]

τ_0 : 接着剪断応力 [kg/mm^2]

k_1, k_2 : A, B 材の降伏剪断応力 [kg/mm^2]

3. 計算に用いる主な仮定

- i) 同一金属内部の応力は各鉛直断面に一樣に分布する。
- ii) P, f_1, f_2 は主応力である。
- iii) 塑性領域は入口および出口平面に囲まれた全域に広がっている。

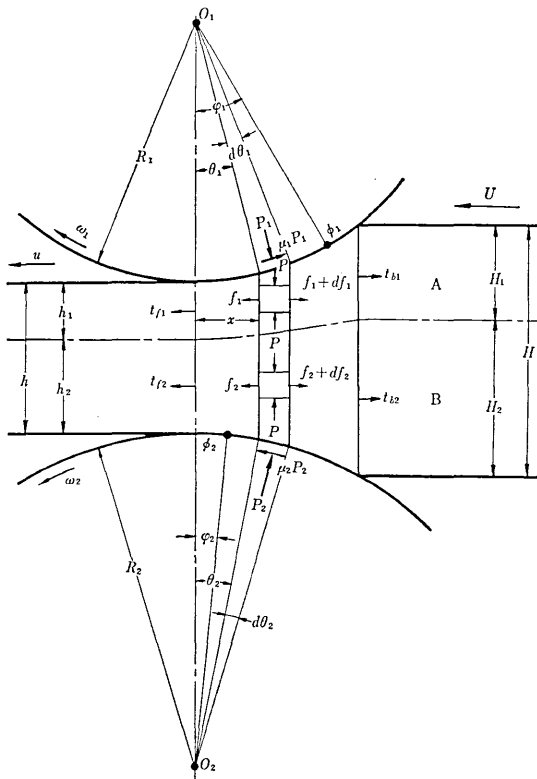


図 1 圧延中の応力状態

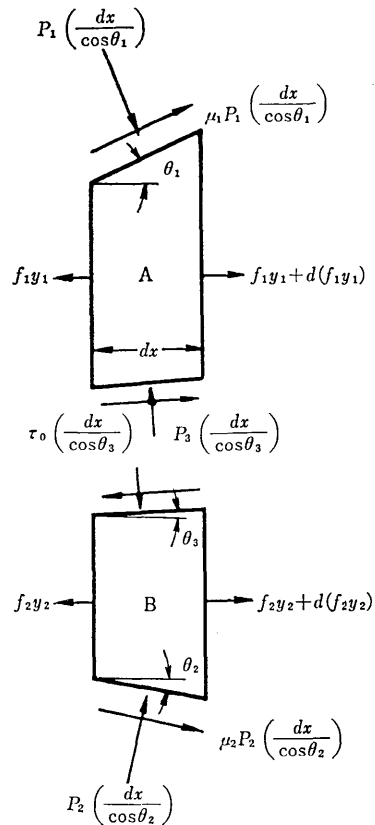


図 2 微小要素に働く力の釣合

* 東京大学生産技術研究所 第2部

4. 計算に用いる諸関係式 (図 2)

4-1 降伏条件式

A, B 材に対して

$$P + f_1 = 2k_1, \quad P + f_2 = 2k_2 \quad (1)$$

4-2 体積速度一定を満す式

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= ry, & y_2 &= (1-r)y \\ h_1 &= rh, & h_2 &= (1-r)h \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

4-3 幾何学的条件式

$$\sin \theta_1 = \frac{x}{R_1}, \quad \sin \theta_2 = \frac{x}{R_2} \quad (3)$$

$$y = h + R_1(1 - \cos \theta_1) + R_2(1 - \cos \theta_2) \quad (4)$$

$$\tan \theta_3 = (1-r)\tan \theta_1 - r \tan \theta_2 \quad (5)$$

4-4 力の釣合式

中立位置を境としてロールと材料との接触面に働く摩擦力の向きが変わるので、次の 1), 2), 3), 4) の場合がある。

1) $x < R_1 \sin \varphi_1, \quad x < R_2 \sin \varphi_2$ の場合

i) A材に関する釣合

イ) 水平方向の釣合

$$d(f_1 y_1) + (P_1 \tan \theta_1 - P_3 \tan \theta_3 + \mu_1 P_1 + \tau_0) dx = 0 \quad (6)$$

ロ) 垂直方向の釣合

$$P_1 = \frac{P}{(1 - \mu_1 \tan \theta_1)}, \quad P_3 = P - \tau_0 \tan \theta_3 \quad (7)$$

ii) B材に関する釣合

イ) 水平方向の釣合

$$d(f_2, y_2) + (P_2 \tan \theta_2 + P_3 \tan \theta_3 + \mu_2 P_2 - \tau_0) dx = 0 \quad (8)$$

ロ) 垂直方向の釣合

$$P_2 = \frac{P}{(1 - \mu_2 \tan \theta_2)} \quad (9)$$

2) $R_1 \sin \varphi_1 < x < R_2 \sin \varphi_2$ の場合

1) における式で $\mu_1 = -\mu_1$ とおけばよい。

3) $R_2 \sin \varphi_2 < x < R_1 \sin \varphi_1$ の場合

1) における式で $\mu_2 = -\mu_2$ とおけばよい。

4) $R_1 \sin \varphi_1 < x, \quad R_2 \sin \varphi_2 < x$ の場合

1) における式で $\mu_1 = -\mu_1, \quad \mu_2 = -\mu_2$ とおけばよい。

5. 圧延理論式

1) $x < R_1 \sin \varphi_1, \quad x < R_2 \sin \varphi_2$ の場合

(2)~(9) 式より P_1, P_2, P_3, y_1, y_2 を消去すると

A材に対して

$$d(f_1, y_1) + \left[\left(\frac{\mu_1 + \tan \theta_1}{1 - \mu_1 \tan \theta_1} - \tan \theta_3 \right) P + (1 + \tan^2 \theta_3) \tau_0 \right] dx = 0 \quad (10)$$

B材に対して

$$d(f_2, y_2) + \left[\left(\frac{\mu_2 + \tan \theta_2}{1 - \mu_2 \tan \theta_2} + \tan \theta_3 \right) P - (1 + \tan^2 \theta_3) \tau_0 \right] dx = 0 \quad (11)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} \frac{\mu_1 + \tan \theta_1}{1 - \mu_1 \tan \theta_1} - \tan \theta_3 &= \Theta_1 \\ \frac{\mu_2 + \tan \theta_2}{1 - \mu_2 \tan \theta_2} + \tan \theta_3 &= \Theta_2 \\ 1 + \tan^2 \theta_3 &= \Theta_3 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

とおくと

$$d(f_1 y_1) + (\Theta_1 P + \Theta_3 \tau_0) dx = 0 \quad (13)$$

$$d(f_2 y_2) + (\Theta_2 P - \Theta_3 \tau_0) dx = 0 \quad (14)$$

(13) + (14) 式および $f y = f_1 y_1 + f_2 y_2$ だから

$$d(f y) + (\Theta_1 + \Theta_2) P dx = 0 \quad (15)$$

降伏条件式 (1) 式より

$$f + P = \frac{2k_1 y_1 + 2k_2 y_2}{y} \quad (16)$$

(16) 式を (15) 式に代入すると

$$\left. \begin{aligned} \frac{df}{dx} + \frac{f}{y} \left(\frac{dy}{dx} - \Theta_1 - \Theta_2 \right) + (\Theta_1 + \Theta_2) (2k_1 r + 2k_2 (1-r)) \frac{1}{y} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} P &= 2k_1 r + 2k_2 (1-r) - f \\ f_1 &= 2k_1 - P, \quad f_2 = 2k_2 - P \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

以上の式を用いて、図 3 の計算の流れ図に従って解くことにより接触弧に沿った垂直圧縮応力 P 、および各金属板内での水平応力 f_1, f_2 を求めることができる。

6. 計算結果の考察およびまとめ

図 4~7 は剛塑性体からなる合せ板に対する計算結果で、垂直圧縮応力、水平応力は降伏剪断応力の 2 倍の値に対する比をとり無次元化してある。これらの結果から

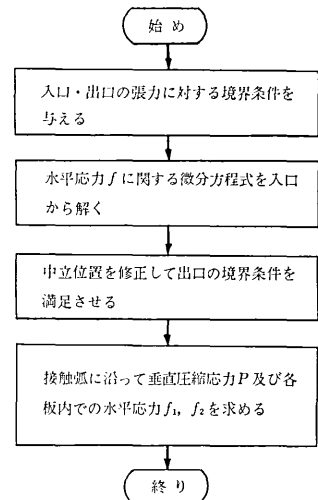


図 3 計算の流れ図

研究速報

- 1) 二種の金属の降伏応力の差が大きいほど、金属間の水平応力の差が大きくなり圧延がむずかしくなる。
- 2) 一般に降伏応力の高い金属の水平応力は引張、低い方は圧縮となる。
- 3) 後方張力を加えると、入側での垂直圧縮応力は低くなり、また水平応力の引張成分が増す。

(1969年12月9日受理)

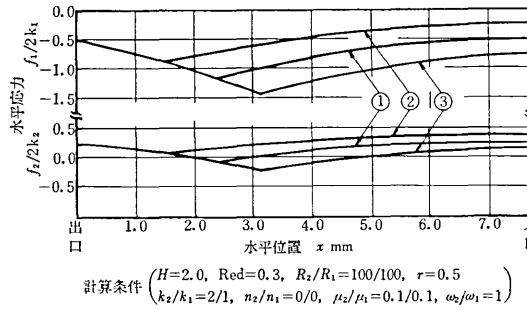
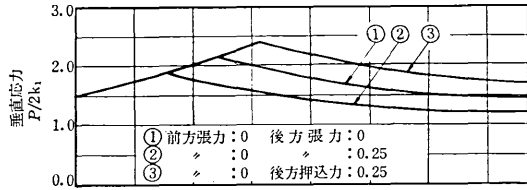


図4 後方張力、後方押込力が垂直応力 P 、水平応力 f に及ぼす影響

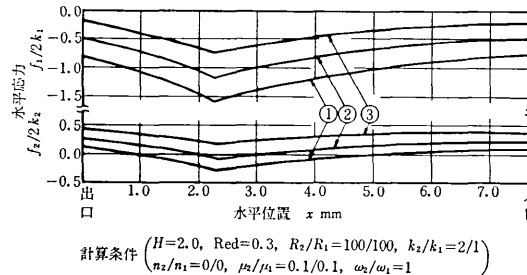
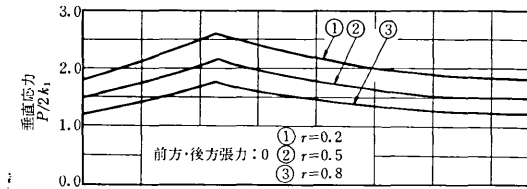


図5 合せ板厚比 r が垂直応力 P 、水平応力に f 及ぼす影響

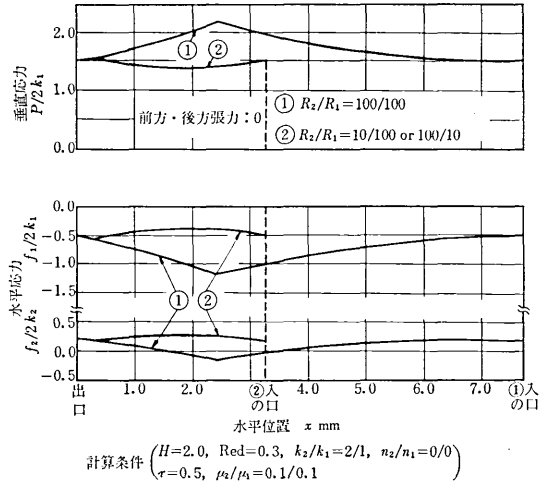


図6 ロール径比が垂直応力 P 、水平応力 f に及ぼす影響

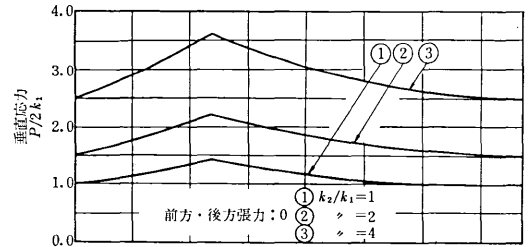


図7 降伏応力の差が垂直応力 P 、水平応力 f に及ぼす影響

