

合せ板圧延の初等理論による一考察・続報

A Study on Rolling of Bilayer Metal Plate II

一圧着圧延における応力解析一

—Fundamental Analysis of Stress & Strain Distribution—

鈴木 弘*・荒木甚一郎*・饗場 誠*

Hiromu SUZUKI, Jinichiro ARAKI and Makoto AIBA

1. ま え が き

前報は圧延前にすでに接着している両材料の合せ板圧延理論について報告した。今回は前回の理論を発展させて、圧延前には離れている両材料を圧延によって接着させる場合について考察した。すなわち、(1) 降伏応力の低い材料(軟材料)のみが降伏し、降伏応力の高い材料(硬材料)が未降伏で両材料間に滑りのある入口近傍の領域Ⅰと、(2) 両材料が降伏し相互に滑りの無い領域Ⅱとに分けて解析を行ない、圧延中における垂直応力分布・水平応力分布・板厚比等に及ぼす材料条件および圧延条件の影響について検討を行なった。

2. 解析に用いる主な仮定

- i) 各金属内部の応力は鉛直断面に一樣に分布する。
- ii) 垂直応力 p 、水平応力 f_1 および f_2 を主応力と見なす。
- iii) 材料およびロールの弾性変形は塑性変形に較べて無視できるものとする。
- iv) ロール間隙中、硬材料が降伏するまでの領域Ⅰでは両材料間の摩擦係数は一定とする。(ただし、合せ面に働く応力は軟材料の降伏せん断応力以上にならないものとする。)
- v) 硬軟両材料が降伏している領域では相対滑りは生じないものとする。

3. 記 号

記号は前報を踏襲し、ここでは前報で使用していない記号と、前報と異なった意味で使用した記号についてのみ記載する。

- μ_3 : 硬軟両材料の接触面の摩擦係数
- τ_0 : 硬軟両材料の接触面のせん断応力 [kg/mm²]
- R : ロール入口における合せ板比 (H_1/H)
- r : x における合せ板比 (y_1/y)
- p_3 : 硬軟両材料の接触面圧力 [kg/mm²]
- U_1, U_2 : 硬軟両材料の入口速度 [m/min]

4. 計算に用いる諸関係式および圧延理論式

圧延理論式は図1の領域Ⅰと領域Ⅱとについて別個に導く必要があるが、領域Ⅱについては前報の解析手法と

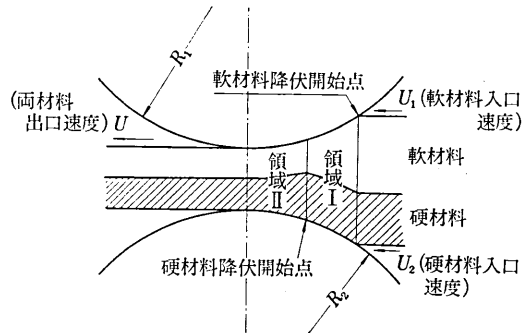


図1 圧延状態図

同様にして導かれるのでここでは結果のみをしめす。

$$\frac{df}{dx} = \frac{\theta_1}{y} \{2k_1 r + 2k_2(1-r)\} - \frac{f}{y} (\theta_1 + \tan \theta_1 + \tan \theta_2) \quad (1)$$

ただし、

$$\theta_1 = \frac{\pm \mu_1 - \tan \theta_1}{1 \pm \mu_1 \tan \theta_1} + \frac{\pm \mu_2 - \tan \theta_2}{1 \pm \mu_2 \tan \theta_2}$$

(複号は(+)は入口側に(-)は出口側に対応する)

$$\text{また } p = 2k_1 r + 2k_2(1-r) - f$$

$$f_1 = 2k_1 - p$$

$$f_2 = 2k_2 - p \quad (2)$$

次に領域Ⅰの部分について考える。

(1) 降伏条件式

$$\left. \begin{aligned} \text{軟材料に関して } p + f_1 &= 2k_1 \\ \text{硬材料に関して } p + f_2 &= 2k_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(2) 幾何学的条件

$$\sin \theta_1 = x/R_1, \quad \sin \theta_2 = x/R_2 \quad (4)$$

$$y = h + R_1(1 - \cos \theta_1) + R_2(1 - \cos \theta_2) \quad (5)$$

(3) 力の釣合式(図2)

中立位置に対して入口側の部分について考える。(出口側は摩擦係数の符号を逆にする。)

イ) 軟材料に関する釣合

a) 水平方向の釣合

$$d(f_1 y_1) - p_1(\mu_1 - \tan \theta_1) dx - p_3(\mu_3 - \tan \theta_2) dx = 0 \quad (6)$$

* 東京大学生産技術研究所 第2部

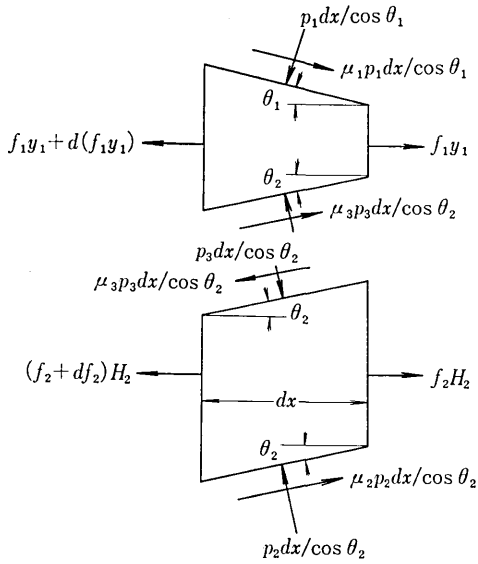


図2 微小要素に働く力の釣合

b) 垂直方向の釣合

$$p dx = p_1 (1 + \mu_1 \tan \theta_1) dx = p_3 (1 + \mu_3 \tan \theta_2) dx \quad (7)$$

ロ) 硬材料に関する釣合

a) 水平方向の釣合

$$H_2 d f_2 - p_2 (\mu_2 - \tan \theta_2) dx + p_3 (\mu_3 - \tan \theta_2) dx = 0 \quad (8)$$

b) 垂直方向の釣合

$$p dx = (1 + \mu_2 \tan \theta_2) dx \quad (9)$$

(4) 圧延理論式

イ) 軟材料に関して

$$\frac{d f_1}{d x} = \frac{2 k_1 \theta_2}{y_1} + (\tan \theta_1 + \tan \theta_2 - \theta_2) \frac{f_1}{y_1} \quad (10)$$

ただし,

$$\theta_2 = \frac{\mu_1 - \tan \theta_1}{1 + \mu_1 \tan \theta_1} + \frac{\mu_3 - \tan \theta_2}{1 + \mu_3 \tan \theta_2}$$

境界条件が与えられれば (10) 式により f_1 が求まり

(3) 式から p が求まる

ロ) 硬材料に関して

$$\frac{d f_2}{d x} = \frac{p}{H_2} \left(\frac{\mu_2 - \tan \theta_2}{1 + \mu_2 \tan \theta_2} - \frac{\mu_3 - \tan \theta_2}{1 + \mu_3 \tan \theta_2} \right) \quad (11)$$

図3に計算の流れ図をしめす。すなわち、硬材料が降伏するまでは領域Iの式を用い、降伏してからは領域IIの式を用いて出口まで計算し、出口での境界条件を満たすように中立位置の修正を行なう。また領域Iにおける硬軟両材料間に働くせん断応力は k_1 と $\mu_3 p$ を比較して小さい方の値を採用する。

5. 計算結果の一例

図4は計算例の一部であり、合せ板比が圧延中におけ

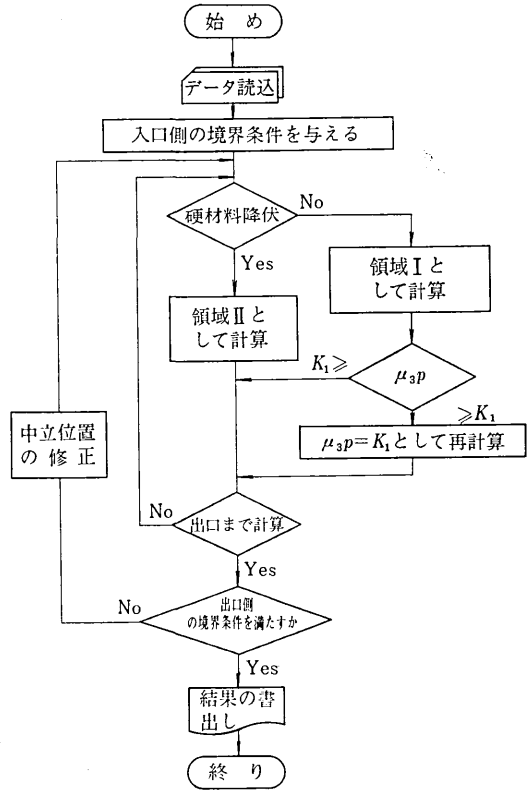


図3 計算の流れ図

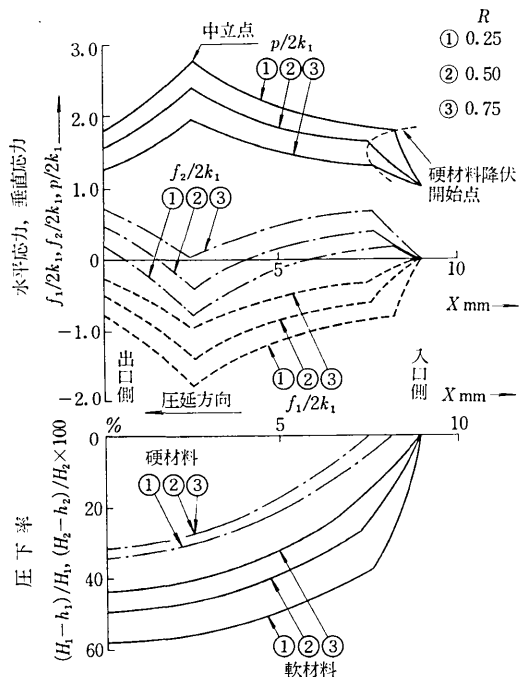


図4 合せ板比 (R) が垂直応力 p 水平応力 f_1, f_2 硬・軟両材料の圧下率に及ぼす影響

研究速報
 垂直応力分布・水平応力分布・硬軟材料の圧下率分布に及ぼす影響をしめす。ロール入口近傍に応力の変曲点が見られるが、この点より入口側が領域Ⅰで出口側が領域Ⅱである。

図5は出口における硬軟材料の圧下率と合せ板比との関係をしめす計算例である。上記の方法で圧着圧延における応力状態について解析を行ない、次にしめす重要な事実を明らかにした。

6. ま と め

- 1) ロール径が小さいほど、軟材料の圧下率が増す。
- 2) 総厚が増すに従って軟材料の圧下率が増す。
- 3) 硬軟両材料の降伏応力の差が大きいほど、軟材料の圧下率が增大する。
- 4) 両材料の接触面の摩擦係数が小さいほど、軟材料の圧下率が增大する。
- 5) 総厚に対する軟材料の板厚比が大きくなるにつれて、軟材料の圧下率は総圧下率に近づく。一方、硬材料の圧下率は図5にしめすごとく極小値を持つ。
- 6) 軟材料に加える後方張力が大きいほど、軟材料の圧下率は増大する。
- 7) 硬材料に加える後方張力が大きいほど、軟材料の圧下率は減少する。
- 8) 前方張力を増大すれば中立点は入口側に移行する

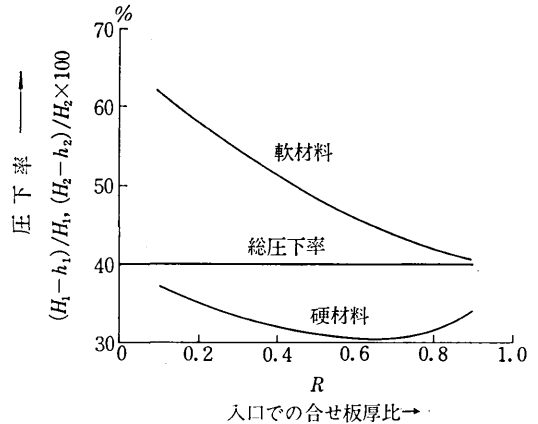


図5 圧下率に及ぼす合せ板厚比の影響

が中立点が硬材料の降伏開始点より出口側に存在する限り、前方張力は硬軟両材料の圧下率には影響しない。

9) 硬材料とロール間の摩擦係数と、軟材料とロール間の摩擦が等しい場合、ロールと材料間の摩擦係数の硬軟両材料の圧下率に及ぼす影響は小さい。

(1971年11月30日受理)

参 考 文 献

鈴木・荒木・新谷：「合せ板圧延の初等理論による一考察」第20回塑性加工連合講演会論文集

次 号 予 告 (4月号)

多次元画像情報システム 特集

巻 頭 言

多次元画像情報システムについて..... 斎 藤 成 文

特 集

画像情報処理用簡易入出力装置..... 尾 高 増 浜
 上 木 野 守 夫 雄 敏 男
 空間周波数によって記述された広義のガウス波..... 浜 崎 裏 二
 グラフィック・ディスプレイの応用とその展望..... 山 口 楠 雄
 ファクシミリの高効率伝送方式..... 安 田 靖 彦
 交通信号機の面制御方式..... 浜 田 喬

研究速報

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THERM-VISCOELASTIC PROBLEMS 山 田 嘉 昭
 岩 田 耕 昌 司
 真名川の砂礫堆の形成に関する実験的研究..... 井 吉 昌 文 平 雄
 超音波の伝播速度によるコンクリートの品質判定に関する基礎実験..... 小 林 一 利 富 輔 治 夫
 伊 藤 野

研究室紹介

本多研究室..... 本 多 健 一