

# タンデム圧延の総合特性の解析

Study on Characteristics of Tandem Strip Mills

## —第3報 冷間タンデム圧延の動特性と影響係数および圧延機剛性との関係について—

(3) Study on Transient Characteristics of Cold Tandem Strip Mills and the Influence of Mill Modulus on Them

鈴木 弘\*・阿高松 男\*

Hiromu SUZUKI and Matuo ATAKA

### 1. ま え が き

冷間タンデム圧延の動特性について、著者等は前報で報告した加減速時の解析法<sup>(1)</sup>を応用し、スタンド間の材料の弾性的な伸縮を無視して解析を行なった。すなわち、外乱に対しこの系の応答する現象を追跡し、定常状態に達するまでの製品形状の変化量を求めて、第1報で得た影響係数から求めたものとの比較を行ない、さらに圧延機剛性が過渡特性に及ぼす影響も検討した。

### 2. 仮定および解析法

記号

- $H$  : 入口側平均板厚 (mm)
- $H_e$  : 入口側端部板厚 (mm)
- $H_c$  : 入口側中央板厚 (mm)
- $h$  : 出口側平均板厚 (mm)
- $h_e$  : 出口側端部板厚 (mm)
- $h_c$  : 出口側中央板厚 (mm)
- $t_b$  : 後方張力 (kg/mm<sup>2</sup>)
- $t_f$  : 前方張力 (kg/mm<sup>2</sup>)
- $\mu$  : 摩擦係数 (無次元)
- $F$  : 形状制御力 (kg)
- $V$  : ロール設定速度 (mm/s)
- $v$  : 材料流出速度 (mm/s)
- $V_B$  : バックアップロール速度 (mm/s)
- $Y$  : 平均変形抵抗 (kg/mm<sup>2</sup>)
- $S_\gamma$  : ロール設定間隙 (mm)

第2報で加減速時に発生するオフゲージの原因として考慮した4つの因子は、たとえばあるスタンドのロール速度を大幅に変更するような場合には当然考慮しなければならない因子であるので、これらの影響を含めてある。

次にこの解析に際して用いた仮定を整理すると、1)材料の弾性的な伸縮は無視する。2)  $i$ 号スタンドの材料流出速度は  $i+1$ 号スタンドの材料流入速度に等しい。3)張力の伝播に要する時間は無視する。4)過渡状態は定常状態が段階的に集ったものとする。以上の4項である。この解析に使用する基本方程式は、 $i$ 号スタンドに関して、

(1) ロール変形とロール出口板の形状との幾何学的

適合条件式

$$\Phi(F_i, H_{ei}, H_{ci}, h_{ei}, h_{ci}, t_{fi}, t_{bi}, \mu_i, Y_i) - (h_{ci} - h_{ei})/2 = 0 \quad (1)$$

(2) 平均板厚の定義式

$$\alpha_i h_{ei} + \beta_i h_{ci} = 2h_i \quad (\alpha_i, \beta_i \text{ は重みを示す}) \quad (2)$$

(3) ロール間隙における材料の出入量の関係式

$$\left. \begin{aligned} v_i H_{i+1} &= v_{i+1} h_{i+1} \\ U &= v_i h_i \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(4) 圧延条件とロール出側板厚との関係式

$$h_i = h(F_i, S_{\gamma i}, H_i, t_{fi}, t_{bi}, \mu_i, Y_i) \quad (4)$$

(5) 圧延条件とロール出側材料流出速度との関係式

$$v_i = v(V_i, H_i, h_i, t_{fi}, t_{bi}, \mu_i, Y_i) \quad (5)$$

(6) ワークロール速度と摩擦係数との関係式

$$\mu_i = f(V_i) \quad (6)$$

(7) ロール設定間隙とバックアップロール速度との関係式

$$S_{\gamma i} = g(V_{Bi}) \quad (7)$$

(8) ワークロール速度とバックアップロール速度との関係式

$$V_i = V_{Bi} \quad (8)$$

(9) 張力の式

$$h_i t_{fi} = H_{i+1} t_{bi+1} \quad (9)$$

ここで(3)式は各スタンドのロール間隙に流入する材料と流出する材料がおのおの等しいことを示し、(9)式はスタンド間にある材料には均一な張力が作用していることを示している。その他の式は第2報と同様であるので説明を省略する。

前報と同様に(1)~(7)式を Taylor 展開して一次の項のみを取り出して、変数を表1のように独立変数と未知変数とに分けて、独立変数のうちどれかが外乱として入った場合、未知変数を求めれば、その外乱に対する

表1 変数の分類

独立変数	独立変数	未知変数	未知変数
$\Delta F_i \quad i=1 \sim n$	$\Delta H_i$	$\Delta h_i \quad i=1 \sim n$	$\Delta t_{fi} \quad i=1 \sim n$
$\Delta V_i \quad i=1 \sim n$	$\Delta H_{ei}$	$\Delta h_{ei} \quad i=1 \sim n$	-1
$\Delta Y_i \quad i=1 \sim n$	$\Delta H_{ci}$	$\Delta h_{ci} \quad i=1 \sim n$	
$\Delta S_{\gamma i} \quad i=1 \sim n$	$\Delta H_i, \Delta H_{ei},$	$\Delta v_i \quad i=1 \sim n$	
$\Delta \mu_i \quad i=1 \sim n$	$\Delta H_{ci}$	$\Delta U \quad 1$	合計 5n

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報

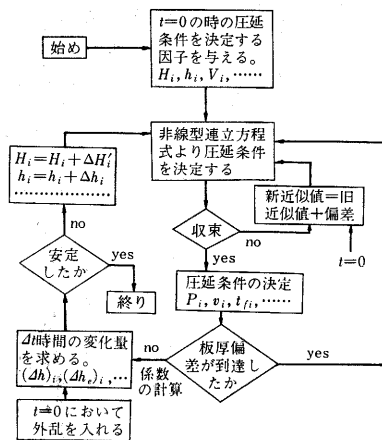


図1 計算の流れ図

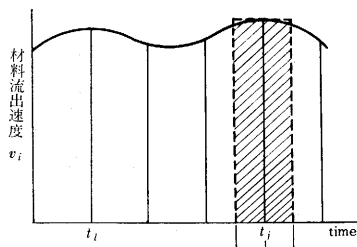


図2 時間遅れの処理法

って後の経過時間と材料速度との関係が、図2のようになるとすると、この現象を微小時間刻み  $\Delta t$  ごとに追跡してゆく場合に、計算時刻  $t_j$  の前後  $\Delta t/2$  時間内(図中の斜線部)に時刻  $t_i$  で発生した板厚偏差が到達すれば、これを時刻  $t_j$  の圧延条件に考慮に入れて計算を行なう。すなわち

$$SUM_{i,t_i,t_j} = \int_{t_i}^{t_j} v_i dt \quad (10)$$

スタンド間隔を  $L$  とすると板厚偏差の到達時刻の判定式として、

$$|L - SUM_{i,t_i,t_j}| \leq \frac{1}{2} v_i \cdot \Delta t \quad (11)$$

を用いて、この判定条件を満足すれば、時刻  $t_i$  で発生した板厚偏差が時刻  $t_j$  で次のスタンドに到達したとする。

3. 計算結果

計算例として、1号スタンドのロール速度を1%ステップ状に増加した場合の計算結果を図3, 4, 5に示す。これらより各スタンドの張力は減少し、板厚は増加することがわかる。図4に変化の経過を示す。まず、時刻  $t=0$  でステップ状の外乱が入ったために、張力を介して(この影響によるものを点線で示す)各スタンドの出側板厚には(イ), (ロ), (ハ), (ニ), (ホ)の変化が生ずるが、4号スタンドの板厚偏差が最も早く5号スタンドに到達

製品形状の応答が求まり、さらに材料の流れを微小な時間刻み  $\Delta t$  ごとに追跡してその製品形状変化が次のスタンドに達して生ずる2次以上の影響を求めてゆけば動特性が得られる。計算法は図1に示す。板厚偏差が次のスタンドに伝わるまでの時間遅れの取り扱い方は以下のとおりである。仮りに外乱が入

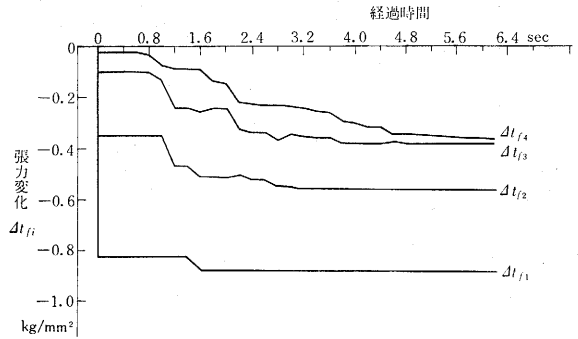


図3 #1スタンドのロール速度をステップ状に変化した場合の張力の応答現象

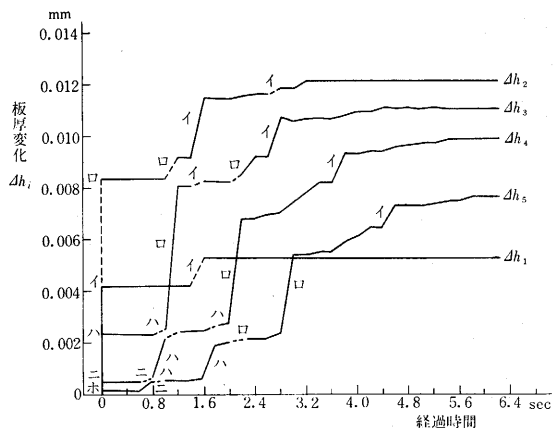


図4 #1スタンドのロール速度をステップ状に変化した場合の板厚の応答現象

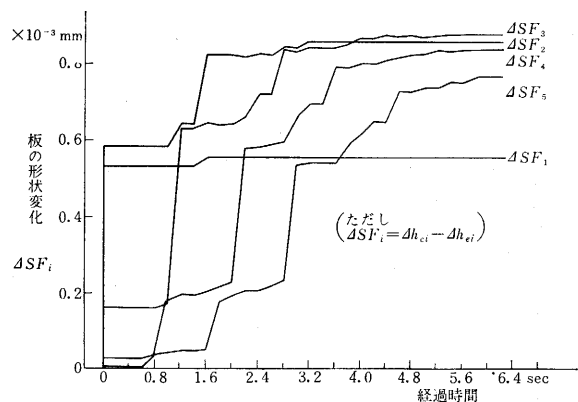


図5 #1スタンドのロール速度をステップ状に変化した場合の板の形状の応答現象

するので、0.6~0.8秒で(ニ)の影響が5号スタンドの板厚に現われると同時に、張力を介して(ニ)の影響が4号スタンドにもフィードバックされて、4号スタンドの板厚にも影響を及ぼしているのが見られる。次に3号スタンドの板厚偏差が4号スタンドに到達し、0.8~1.0秒で(ハ)の影響が4号スタンドの板厚に現われると同

時に、張力を介して3号スタンドにもフィードバックされて、3号スタンドの板厚にも影響を及ぼしているのが見られる。さらにそれが5号スタンドに達して5号スタンドと4号スタンドの板厚に同時に影響を及ぼしている。同様に(イ)・(ロ)の板厚偏差が下流に到達すると、下流側に影響を及ぼすのはもちろん上流側にも張力を介して影響を与えている。図5は各スタンドの板の形状変化の過程を示したものであるが、図4の説明を参考にすれば容易に理解できる。

図6は圧延機の剛性が応答現象に与える影響を示したものである。すなわち、外乱として粗板厚がステップ状に5%増加した場合を採り、1号スタンドの縦剛性を±50%変化させた時にその影響がどのように現われるかを示してある。これによると、1号スタンドの剛性を変えたための影響は、外乱が入った時直ちに1号スタンドに現われるから、それが下流に伝わる結果として、各スタンドの板厚にも影響を及ぼす作用がある。したがって、第1報で圧延機剛性が総合特性に与える影響を論じたが、本報の解析の結果としてその影響の機構をも見きわめることができる。さらに注目すべきことはタンデム圧延機の剛性配分を変えることにより、外乱が過渡現象に与える影響を縮小して短時間で安定させることができることである。

4. ま と め

この解析法により圧延機の過渡期の挙動を明らかにすることができたので、制御系の設計や改善に過渡特性を導入する道が開けた。さらに最も大きな過渡期である加減速時の解析に適用して、加減速時の特性の解析精度の

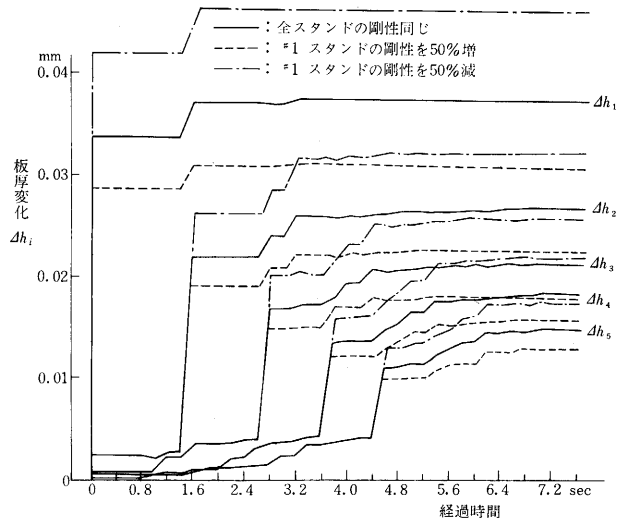


図6 粗板厚のステップ状変化に対する出側板厚の応答現象に与える圧延機剛性の影響

向上をはかり、冷間タンデム圧延現象の全般的なシミュレーションを可能にした。しかし現実の圧延機への適用に際しては、その圧延機の AGC 系および ASR 系の特性をも考慮に入れる必要があることはいうまでもない。さらに過渡期から定常状態に移行した時の各変数の変化量は、この解析法で求めたものと影響係数から求めたものとでよく一致するので、過渡期が短時間で終結する場合には、その現象を影響係数を用いて論じても十分であるといえる。  
(1969年1月16日受理)

参 考 文 献

- 1) 鈴木・阿高：第18回塑性加工連合講演会前刷集，1967-11

東京大学生産技術研究所報告刊行

第19巻 第2号 菊池眞一・坂田俊文著

電子写真感光層に関する研究

STUDY ON ELECTROPHOTOGRAPHIC LAYER

本研究は主として酸化亜鉛を感光主材とした電子写真方式に関するものである。従来、ハロゲン化銀を感光主材とした乳剤が、写真方式の主流を占めていたが、銀以外の感光材料としていろいろな材料が研究されている。これらを非銀塩感光材料と呼び種々な無機化合物、有機化合物が感光材料として試みられている。特に酸化亜鉛のように光電導性をもつものは、静電現象と組み合わせまったく新しい方式で写真効果を得ることができる。一般にこれらを電子写真方式と呼び、実用化が進んでいる。本研究は酸化亜鉛の光電導性を中心に研究を進め、樹脂にこれを分散し基板または基紙に塗布した層の感光性および静電特性の計測を行なったものである。また、写真画像の形成プロセスについて解明を行ない、画質の改良を試みた。酸化亜鉛の光電特性が表面の障壁層に支配されること、また空気中の水分によって電流の変化があり感光層とした場合のいろいろな条件が知られた。これらの研究の結果から、いくつかの実用化研究を行ない、自動捺染彫刻機、X線電子写真などを実用化した。本研究報告は以上の問題を基礎的な実験から応用研究までについて述べたものである。  
(1969年3月12日発行)