

## タンデム圧延の総合特性の解析

## —第2報 冷間タンデム圧延の加減速時の総合特性の解析—

Study on Characteristics of Tandem Strip Mills

—(2) Transient Characteristics of Cold Tandem Strip Mills during Acceleration and Deceleration—

鈴木 弘・阿高 松 男

Hiromu SUZUKI and Matsuo ATAKA

## 1. ま え が き

近年、タンデム圧延機の高速化につれて、加減速時に発生するオフゲージが大きな問題になってきた。実験的研究は二、三報告されているが、影響する因子が多く、解析的取扱いが複雑なので、現状では解析的研究はほとんど行なわれていない。著者は加減速時の非定常時における総合特性の解析法を新たに考案し、その数値計算例を示し、さらにその応用法について述べてみる。

## 2. 理 論

加減速時に発生するオフゲージの原因として、次の4因子が考えられる。

- (1) ワークロールと圧延材料間の摩擦係数の変化
- (2) バックアップロールの面軸受の油膜厚さの変化
- (3) ロール等の回転部分の慣性モーメント
- (4) 駆動モータの加速特性

次の仮定の下に解析を行なう。

- (1) No. 1 スタンドの入口側板厚は均一なものとする。
- (2) 板厚の変化発生に対して、スタンドごとの時間遅れを考慮しない。
- (3) No. 5 スタンドの出口側張力は一定とする
- (4) テーラ展開によって、1次の項のみを取り出して線型化する。

本論文で用いる記号の定義を次に示す。

$H$ : 入口側平均板厚	$h$ : 出口側平均板厚
$H_e$ : 入口側端部板厚	$h_e$ : 出口側端部板厚
$H_c$ : 入口側中央板厚	$h_c$ : 出口側中央板厚
$V$ : ロール設定速度	$v$ : 材料流出速度
$\mu$ : 摩擦係数	$k$ : 平均変形抵抗
$F$ : 形状制御力	$S_r$ : ロール設定間隙
$V_B$ : バックアップロール速度	$t_f$ : 前方張力
$t_b$ : 後方張力	

加減速時の冷間タンデム圧延の特性を律する基本方程式は、 $i$ 号スタンドに関して、

- (1) ロールの変形と出口板の形状との幾何学的適合条件

$$\Psi_{ri}(F_i, H_{ci}, h_{ci}, H_{ci}, h_{ci}, t_{fi}, t_{bi}, \mu_i, k_i)$$

$$-\frac{1}{2}(h_{ci}-h_{ci})=0 \quad (1)$$

- (2) 平均板厚の定義式

$$\alpha_i h_{ci} + \beta_i h_{ci} = 2 h_i \quad (2)$$

- (3) 体積速度一定の条件式

$$v_i h_i = U \quad (3)$$

- (4) 圧延条件とロール出口板厚との関係式

$$h_i = h_i(F_i, S_{ri}, H_i, t_{fi}, t_{bi}, k_i, \mu_i) \quad (4)$$

- (5) 圧延条件とロール出口の材料流出速度との関係式

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

- (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

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

- (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

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

が成り立つ。さらに板厚および張力には次の関係がある

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

ここで、(1)~(5)式は定常圧延時にも成り立つ式である(第1報参照)。(6)はワークロール速度が変わると圧延材料とロールとの間の摩擦係数が変化することを示し、(7)はバックアップロールの速度が変化すると、バックアップロールの油膜軸受の油膜厚さが変化して、結局ロール設定間隙が変化する関係を示している。(8)はワークロールとバックアップロールとの間にすべりが無いことを示している。

次に圧延条件や圧延機条件を決定する各因子に微小変動があったとして、(1)~(7)式をテーラ展開し、線型化する。ここでNo. 1 スタンドの入口側板厚および形状は一定であるから、 $\Delta H_1=0$ ,  $\Delta H_{c1}=0$ ,  $\Delta H_{e1}=0$ であり、平均変形抵抗と形状制御力も速度に依存しないから、 $\Delta k_1=0$ ,  $\Delta F_1=0$ と考えられる。また、仮定より $\Delta t_{f1}=0$ であり、 $\Delta V_1$ は圧延機加速条件で表わされるの

で、 $\Delta V_i$  も既知となる。したがって、未知変数は  $7n$  個である。(1)~(7) 式を線型化した式の数も  $7n$  個になるので、連立方程式を解いて加減速時の特性を求めることができる。

3. 計 算 法

加減速の出発点における圧延状態を与え、また加減速時間を  $m$  等分して、その  $\Delta t (= \frac{t}{m})$  時間の間は等加速度で増減速するものとし、 $\Delta t$  時間に発生する各因子の変化量をつぎつぎに求めて計算を繰り返してゆく。すな

わち、No. 4 スタンドをピボットスタンドとしてその速度特性を与えて、加減速の出発点Aから  $\Delta t$  時間の中の各因子の変化量  $(\Delta h_e)_i, (\Delta h_c)_i, (\Delta h)_i, \dots$  を求め、 $h_i + (\Delta h)_i, h_{ei} + (\Delta h_{ei}), h_{ci} + (\Delta h_{ci}), \dots$  と置いて B 点における圧延条件を求め、さらに B 点から  $\Delta t$  時間の中の変化量を求め、C 点の圧延条件を求めて計算を繰り返し、加減速時間中の各変数の変化するようすを求める。計算には No. 4 スタンドのロール速度について 6~10 m/s の間の加速状態を選び、 $\Delta t = 2 \text{ sec}$  と比較的大きくしてある。これは板厚変化が伝わる際のスタンド間の時間遅れを考慮していないからである。ただし、加速時間は 12 秒とする。次にこの計算法を図 2 に示す。

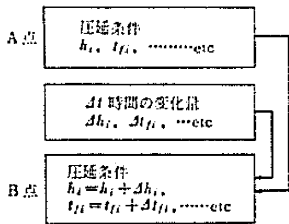
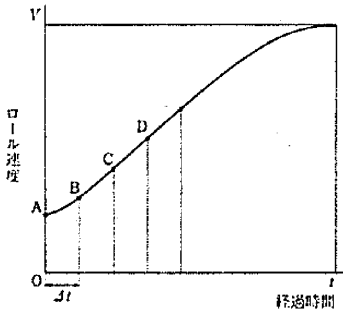


図 1 計算法の基本概念

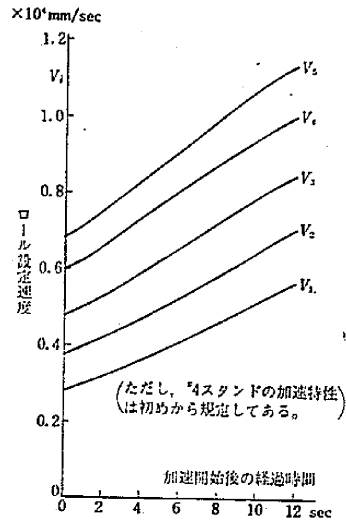


図 3 加速時の各スタンドのロール設定速度の変動

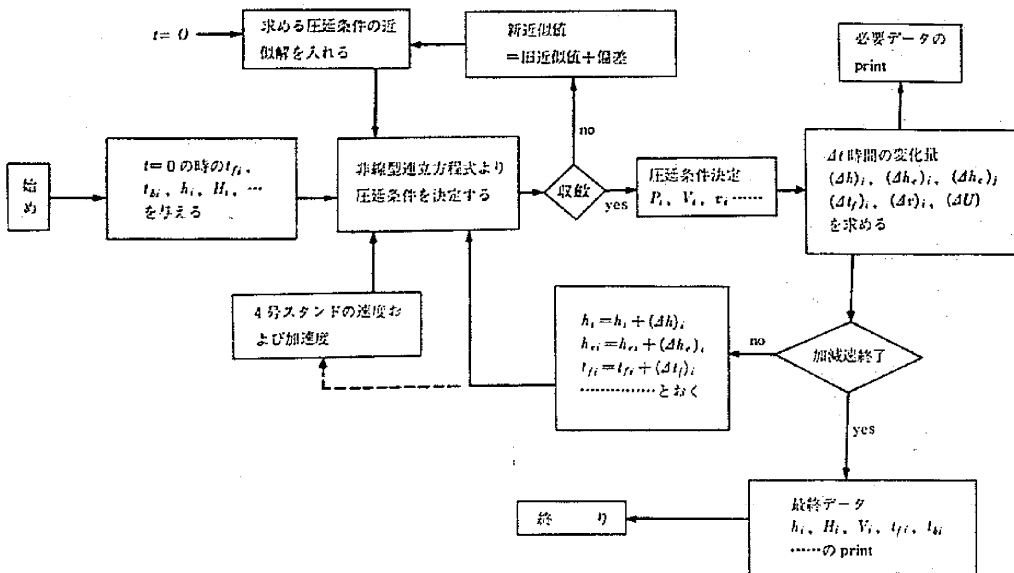


図 2 加速時の計算法 (フローチャート)

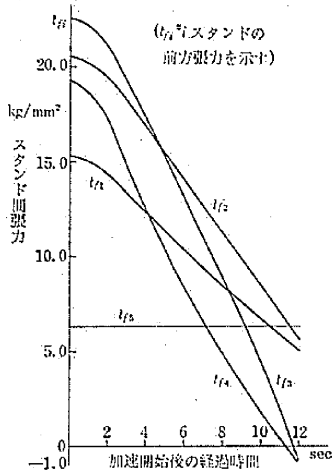


図 4 加速時の各スタンド間張力の変動様式

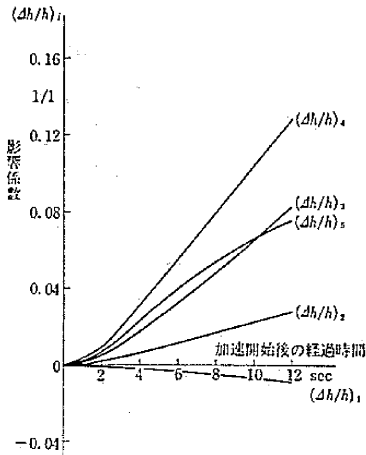


図 5 加速時の各スタンドの出口側板厚の変動様式

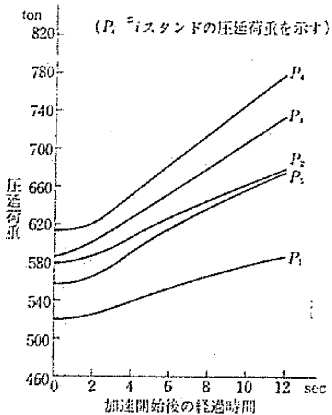


図 6 加速時の各スタンドの圧延荷重の変動様式

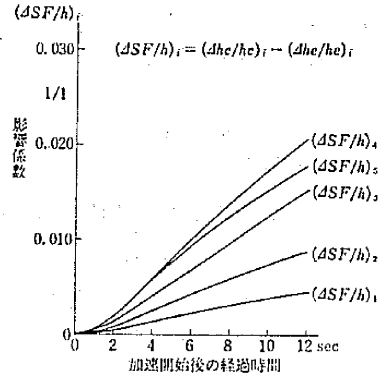


図 7 加速時の各スタンドにおける出口側板の形状変化

4. 計算結果

通常の圧延作業に近い圧延条件を例として、加速中に自動制御あるいは人手による修正は行なわないものとして、上述の方法で数値計算を行なった結果を図3～7に示す。図3は各スタンドの加速特性を示す。図4で張力が減少しているのは加速特性の与え方に影響されている。図5ではNo.1スタンドを除いてどのスタンドも出口板厚が増加しているが、このような加速特性においては摩擦係数や油膜の変化の影響よりも張力変化の影響の方が大きく作用していると考えられる。図6で圧延荷重が増加しているのは、張力が減少し、板厚が増加していることから明らかである。

5. むすび

一般のパススケジュールに対してこの解析法が適用できることはいうまでもない。そしてこの解析法を用いて、プリセットコントロールを行なえば、加減速時のオフゲージの長さを減少させることができる。たとえば、No.1スタンドの圧下調節で板厚制御をする場合、ロール間隙変化量を油膜厚さの変化量と、人為的に変化すべき量とに分け、後者を未知変数とし、そのかわり  $(dh)_5 = 0$  として解けばよい。未知変数の組み合わせを変えれば、加減速時にスタンド間張力変動を生じないような加速特性を求めることもできる。なお本理論の今後の問題として時間遅れの項の取り扱いがあるが、これについては現在検討中である。 (1968年2月22日 受理)

参考文献

- 1) 鎌田・鈴木 第17回塑性加工連合講演会前刷集
- 2) 才木 製鉄研究第251号