

# タンデム圧延の総合特性の解析

## —第1報 圧延条件と製品形状との関係に圧延機の剛性が及ぼす影響—

Study on Characteristics of Tandem Strip Mills

—(1) Effects of Mill Modulus on the Relation Between rolling Conditions and Thickness Distribution of Rolled Materials—

鈴木 弘・阿高松 男

Hiromu SUZUKI and Matsuo ATAKA

### 1. ま え が き

圧延機の剛性としては、圧延中の圧延荷重の変化に対応する平均ロール間隙の変化量の大小を示す周知のものがある。これは圧延材の長手方向の板厚分布に関係がある。ロールの曲げおよびロールの偏平変形の材料幅方向の分布は、上記の概念とは別に横幅方向の剛性を支配する。これら2種類の剛性は長手方向の板厚分布制御および幅方向の板厚分布制御に大きな影響を与えるのであるが、タンデム圧延機における剛性の役割を総合的に扱った研究は発表されていないので、本研究では冷間定常圧延時において圧延機の縦方向の剛性および横方向の剛性が、タンデム圧延の総合特性に及ぼす影響を解析して、理想的な剛性配分を検討する。

### 2. 基 礎 理 論

本論文中の記号の定義

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

タンデム圧延の特性を律する基本方程式として、次の5種が考えられる。すなわち、 $i$ 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

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

(2) 平均板厚の定義式

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

(3) 体積速度一定の条件

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

(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

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

が成り立つ。

(1)は圧延中のロール間隙形状と板の断面形状とが—

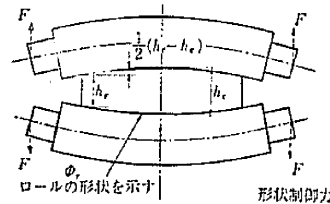


図1 圧延中のロールと材料との状態

致している条件を表わし(図1を参照),(2)で平均板厚を定義する(ただし、 $\alpha_i, \beta_i$ は重みを示す)。(3)は体積速度一定の状態を表わし、(4),

(5)はそれぞれ圧延条件を示す各因子により、出口板厚および材料の流出速度が決まる関係を表わしている。

さらに、相隣るスタンド間では板厚および張力には次の関係がある。すなわち、

$$H_{i+1} = h_i, H_{ei+1} = h_{ei}, H_{ci+1} = h_{ci}, t_{fi} = t_{bi+1} \quad (6)$$

次に、定常圧延中に圧延条件や圧延機条件を決定する各因子に微小変化があったとして、(1)~(5)式をテーラ展開して、1次の項のみを取り出して無次元化する。圧延条件を示す因子(ロール速度、ロール間隙、etc)を独立変数、製品形状を示す因子(出口側板厚、材料速度、etc)を従属変数に取れば両者の関係が求められ、圧延条件が製品形状に及ぼす影響を検討することができる。

### 3. 計 算 法

一般にタンデム圧延機では、各スタンドの構造寸法は等しく、したがって剛性を等しく設計されているがここでは任意の1スタンドの剛性を一定の割合で増減したタンデム圧延機を考え、定常圧延状態からなんらかの原因で各因子に微小変動が生じた場合、圧延条件因子の変動が、製品形状に及ぼす程度が圧延機の剛性によってどのように変わるかを求める。理解を容易にするために数値例で傾向を示す方針を採り、比較的圧下率の小さいパススケジュールと圧下率の大きいものの2例を基準パススケジュールとして選り出し、任意のスタンドの剛性をこの状態から $\pm 30\%$ 、 $\pm 60\%$ 変化させて影響を求める。ただし、ここでいう剛性は、縦方向の剛性と、ロールの変形に起因する横方向の剛性の両者を意味し、上記両剛性は同比率で変化するものとして解析した。

### 4. 計 算 結 果

次に二、三の計算結果を示す。図2は任意のスタンドのロール設定間隙を単位量変化した場合の仕上げ板厚変動

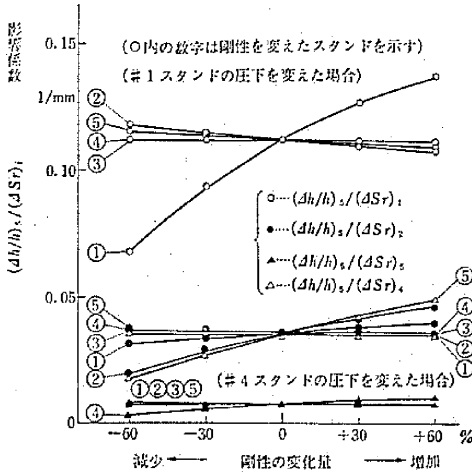


図 2 ロール設定間隔と仕上板厚との関係に及ぼす圧延機剛性の影響

率  $(\Delta h/h)_s/(\Delta S r)_i$  が圧延機剛性率によりどのように変化するかを示したものである (たとえば○の記号は、No. 1 スタンドのロール設定間隔を単位量変化させた時の仕上板厚変動率を示す)。No. 3 スタンドのロール設定間隔変化の影響は非常に小さいので省略した。これによると、No. 1 スタンドのロール間隔の変化が仕上板厚に及ぼす影響は、No. 1 スタンドの剛性を大きくすれば増し、剛性を小さくすれば減少する。No. 1 スタンドの剛性を大きくして置いて、No. 1 スタンドの圧下で板厚の制御を行なうのが最も効果がある。

図 3 はロール設定速度が単位量変化した場合の仕上板厚変動率  $(\Delta h/h)_s/(\Delta V/V)_i$  に剛性が及ぼす影響を示す。これによると、どのスタンドのロール設定速度を変えた場合にも仕上板厚の変動率は同程度であり、また一般にロール設定速度の変動による仕上板厚の変動率は剛性の影響をあまり受けない。

図 4 は形状制御力が仕上板の形状に及ぼす影響係数が剛性によって受ける影響を示したものである。これによると、No. 5 スタンドの形状制御力が仕上板の形状に最も効果があり、しかも No. 5 スタンドの剛性を小さくすると影響は増大する。したがって、形状制御には No. 5 スタンドの剛性を小さくするのが有利である。さらに他の諸因子の影響を総合的に検討した結果次の結論を得た。

### 5. む す び

(1) No. 1 スタンドの圧下調節で板厚制御をするには、スタンドの剛性を大きくするのが良い。

(2) No. 5 スタンドで形状制御をする場合、平均板厚の変化を避けるためには、No. 5 スタンドの剛性を小さくすれば良い。

(3) ロール速度を変えて張力により板厚および形状を制御する場合、どのスタンドの剛性を変えても影響は

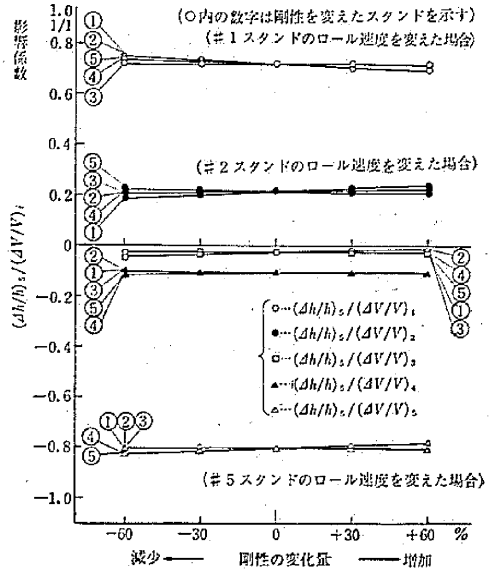


図 3 ロール設定速度と仕上板厚との関係に及ぼす圧延機剛性の影響

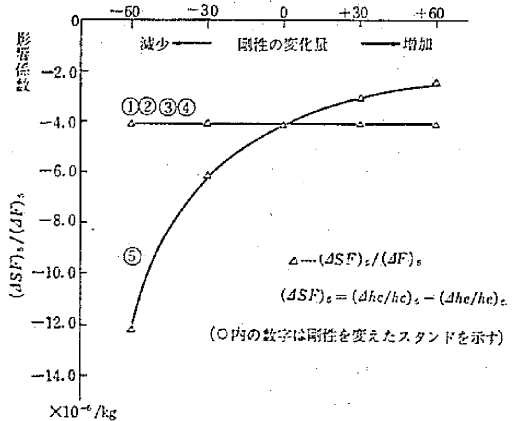


図 4 形状制御力と仕上板の形状との関係に及ぼす圧延機剛性の影響

小さい。

(4) No. 1 スタンドの剛性を大きくすると平均変形抵抗・摩擦係数・粗板内厚の変動が製品形状に与える影響は小さくなり、No. 5 スタンドの剛性を変えてもこの点ではほとんど効果がない。

(5) No. 4~5 スタンド間張力は形状制御に使用する。したがって、No. 5 スタンドの圧下変動による張力変化は小さいことが好ましい。このためには No. 5 スタンドの剛性を弱くすればこの変動は小さくおさえられる。

したがって、タンデム圧延機の剛性を一様に増すことにのみ専念していた従来の考え方は誤りであって、No.1スタンドの剛性を大きく、No.5 スタンドの剛性を小さくすると、制御性がよくなり、実際作業が改善される。

(1968 年 2 月 22 日受理)