

# タンデム圧延機におけるパススケジュールの 新しい計算法(第1報)

The New Method of Calculation of Pass Schedules for Tandem Mills-1

鈴木 弘・鎌田 正 誠

Hiromu SUZUKI・Masamoto KAMATA

## 1. まえがき

最近の薄板圧延の発展は、ホットタンデムミル、コールドタンデムミル圧延を中心としてめざましいものがある。しかしその基本となるべきタンデムミルの圧延技術は、圧延機の進歩に比べて立ちおくれが目立ち、その大半は経験的事実の蓄積にすぎない場合が多い。そのため新しい工場、新しい設備、新しい材料などの圧延に際しては、先進他社からノウハウを導入するか、また長期間の試行錯誤のくり返しによって圧延作業を確立するといった大きなロスが生じている。これらの問題を解決するためには、特定の工場・設備に対してのみ有効な狭い技術の開発ではなく、タンデムミル圧延すべてに適用できる統一的技術体系の確立が必要である。この点にかんがみて、本報告ではタンデムミル圧延技術の最も基本的問題であるパススケジュールの計算に関して筆者らが新しく考案した計算法について報告する。

## 2. コールドタンデムミルのパススケジュール計算法

ある板厚を持った粗材から、ある板厚を持つ製品を圧延する際、その経路は一義的には定まらない。その工場の圧延設備の機械仕様、圧延管理者の意図などによって、それぞれ特有の方式が採用されているのが現状である。したがって工学的な一般性のある理論を経て、決定されるものではなく、またこのようにして決定された圧延経路も最適条件であるか否かは疑問がある。

筆者らは、パススケジュールを一般性のある理論的過程を経て決定する方式を求めめるために、次の三つの概念を導入した。

(1) タンデムミル各スタンドでの消費動力比率を表わす動力配分率( $\gamma_L$ )、(2) タンデムミル各スタンドに加わる圧延荷重の比率を表わす荷重配分率( $\gamma_P$ )、(3) 各スタンド出口での板の幅方向の厚み偏差率の比率を表わす板厚偏差率配分率( $\gamma_D$ )、これら三つの概念はおのおのパススケジュールを一義的に決定するための条件であり、また実際作業上の事情にも合致するものである。すなわち各スタンドのモータ容量が小さく、消費動力を管理する必要があるときは、(1)の動力配分率を用いればよく各スタンドの機械的剛性不足のため圧延荷重を管理したいときは、(2)の荷重配分率を用いればよい。また、各スタンド出口の幅方向の厚み偏差率を管理したいときに

は、(3)の板厚偏差率配分率を用いればよい。

以下動力配分率、荷重配分率、板厚偏差率配分率を与える場合の具体的な計算法について述べることにする。

### 記号

$G$ : 圧延トルク	$P$ : 圧延荷重
$L$ : 圧延動力	$U$ : 体積速度
$f$ : 先進率	$V_0$ : モータ設定速度
$V_n$ : 中立点材料速度	$v$ : 材料流出速度
$Z^*$ : ミルモータ剛性率	$H$ : 入口板厚
$h$ : 出口板厚	$AA$ : 動力常数
$BB$ : ロールたわみ係数	$K$ : ミルスプリング係数
Camber: ロールキャンバー	$\mu$ : マサツ係数
$S_r$ : 設定ロール間隙	$\gamma_L$ : 動力配分率
$R$ : ロール半径	$\gamma_D$ : 板厚偏差率配分率
$\gamma_P$ : 荷重配分率	$i$ : スタンド番号を表わす
$r$ : 圧下率	Suffix

$$V_n \text{ と } V_0 \text{ との関係は } V_n = (1 + Z^*G) V_0 \quad (1)$$

$$v \text{ と } V_n \text{ との関係は } v = (1 + f) V_n \quad (2)$$

と表わされる。解くべき方程式を書きおろすと次のようになる。

### (1) 動力配分率を与える場合

圧延状態を定常状態に保つためには、タンデムミル内のすべての位置における材料の体積速度は、一定である必要がある。次の式が成り立つ必要がある。

$$(1 + f_i)(1 + Z_i^*G_i) V_{0i} = U \quad (3)$$

動力配分率に関する式

$$AA_i G_i (1 + Z_i^*G_i) V_{0i} = \gamma_L L_0 \quad (4)$$

$L_0$ : 全動力

設定ロール間隙と出口板厚の関係

$$S_{ri} + P_i / K_i = h_i \quad (5)$$

$i$ : スタンド番号

(3), (4), (5)式を各スタンドについておのおの求め、得られた方程式を解けば所要の解をうることができる。

### (2) 荷重配分率を与える場合

この場合は、次の式が成り立つ必要がある。

$$(1 + f_i)(1 + Z_i^*G_i) V_{0i} = U \quad (3)$$

$$P_i = \gamma_P P_0 \quad (6)$$

$P_0$ : 全スタンドの合計荷重

$$S_{ri} + P_i / K_i = h_i \quad (5)$$

$i$ : スタンド番号

(3), (5), (6) 式を解けば所要の解をうる事ができる。

(3) 板厚偏差率配分率を与える場合

この場合は、次の式が成り立つ必要がある。

$$(1+f_i)(1+Z_i*G_i)V_{0i}=U \quad (3)$$

$$BB_i P_i + [\text{Camber}]_i = \gamma_{Di} \alpha h_i \quad (7)$$

$\alpha$ : 全スタンドの合計板厚偏差率

$$S_{ri} + P_i / K_i = h_i \quad (5)$$

$i$ : スタンド番号

(3), (5), (7) 式を解けば所要の解をうる事ができる。

ここでパススケジュール計算を行なう際にあらかじめ与えるべき条件と、各式を解いて得られる解について整理しておくことにする。

あらかじめ与えるべき条件

各スタンドにおける材料とロールとの摩擦係数:  $\mu_i$

各スタンドロール半径:  $R_i$

ミルモータ剛性率:  $Z_i^*$

各スタンド間設定張力, 最終スタンド設定速度

粗材板厚, 仕上板厚, 材料変形抵抗, 材料幅および

(1), (2), (3) 項の各項に応じて  $\gamma_{Li}, \gamma_{Pi}, \gamma_{Di}$

各方程式を解くことによって求められる未知数

各スタンド出口板厚  $h_i$

各スタンド設定ロール間隙  $S_{ri}$

各スタンド設定ロール速度  $V_{0i}$

上記の未知数が求められるとタンデムミルのパススケジュールは完全に定められる。また付属的に圧延動力, 圧延荷重, ロールたわみ, 体積速度などが求められる。

以上であらかじめ与えるべき条件と, 解くべき方程式また求めるべき未知数が明らかになったが, 次に方程式の具体的解法について述べることにする。

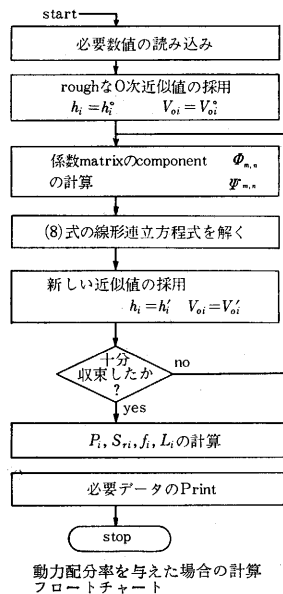
まず動力配分率を与える場合についてその解法を述べる。動力配分率を与える場合解くべき方程式は (3), (4), (5) である。(3), (4), (5) 式を圧延理論を用いて, 具体的に書くとき非常に複雑な非線形方程式となる事がわかる。(筆者らは, 圧延荷重, トルク, 先進率を求めるためには Hill, Bland, Ford らの式を用いた<sup>1)</sup>) また(3), (4), (5) 式はタンデムミル各スタンドについてそれぞれ成り立っているので, 全スタンドの総合解に相当するパススケジュールを求めるためには非常に複雑な非線形多元連立方程式を解かねばならぬ事がわかる。これらは解析的解法では解けないので, 筆者らは高速計算性を有する電子計算機を用いて, iteration 法を適用して解いた。一般の非線形連立方程式を解く方法はいろいろあるが, 筆者らは Newton<sup>2)</sup>の方法を適用した。Newton の方法を適用して一般の非線形連立方程式を解くこ

とは, 非線形方程式を線形化して, 繰り返し演算を行なうことによって達成される。

動力配分率を与える場合解くべき方程式を線形化する次のようになる。(5 スタンドタンデムの場合)

$$\begin{pmatrix} \Phi_{21} & \Phi_{31} & 0 & 0 & \Phi_{41} & \Phi_{51} & 0 & 0 \\ \Psi_{21} & \Psi_{31} & 0 & 0 & \Psi_{41} & \Psi_{51} & 0 & 0 \\ \Phi_{12} & \Phi_{22} & \Phi_{32} & 0 & 0 & \Phi_{42} & \Phi_{52} & 0 \\ \Psi_{12} & \Psi_{22} & \Psi_{32} & 0 & 0 & \Psi_{42} & \Psi_{52} & 0 \\ 0 & \Phi_{13} & \Phi_{23} & \Phi_{33} & 0 & 0 & \Phi_{43} & \Phi_{53} \\ 0 & \Psi_{13} & \Psi_{23} & \Psi_{33} & 0 & 0 & \Psi_{43} & \Psi_{53} \\ 0 & 0 & \Phi_{14} & \Phi_{24} & 0 & 0 & 0 & \Phi_{44} \\ 0 & 0 & \Psi_{14} & \Psi_{24} & 0 & 0 & 0 & \Psi_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h'_1 - h_1 \\ h'_2 - h_2 \\ h'_3 - h_3 \\ h'_4 - h_4 \\ V_{01}' - V_{01} \\ V_{02}' - V_{02} \\ V_{03}' - V_{03} \\ V_{04}' - V_{04} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Phi_{61} \\ \Phi_{62} \\ \Phi_{63} \\ \Phi_{64} \\ \Phi_{65} \\ \Phi_{66} \\ \Phi_{67} \\ \Phi_{68} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$\Phi_{mn}, \Psi_{mn}$  は  $h_i, V_{0i}$  によって定まる定数であり,  $h'_i, V_{0i}'$  は  $h_i, V_{0i}$  に比べて 1 次高次の近似解である。よって適当な 0 次近似として,  $h_1^0, h_2^0, \dots, h_4^0, V_{01}^0, V_{02}^0, \dots, V_{04}^0$  を与え, これらを用いて係数 matrix を計算し,  $h'_1 \sim h'_4, V_{01}' \sim V_{04}'$  を求めそれらを用いて, 係数 matrix を計算する。このような iteration 法を行なっていけば所要の解をうる事ができる。 $h_i, V_{0i} i=1 \sim 4$  が求められると, (5) 式を用いて  $S_{ri} i=1 \sim 5$  を求めることができる。この計算の過程を Flow Chart に書くとき次のようになる。



以上圧延動力配分率を与えた場合について述べたが, 荷重配分率板厚偏差率配分率を与えた場合も解析的には解けない形になるので筆者らは, 動力配分率を与えた場合と同様, Newton の方法で解いた。その具体的演算方法は紙面の都合で省略するが, 大略動力配分率を与えた場合の手法と同じである。

3. むすび

タンデムミルのパススケジュールの理論的決定法について筆者らが

新しく考案した方法について述べた。

この方法を適用すれば従来は計算不可能とされ経験的事実の積上げで定められていたタンデムミルのパススケジュールが理論的に, また一般性のある方法で求められる。第 1 報では紙面の都合でコールドタンデムミルのみについて述べた。

(1966年 8 月 29 日受理)

文献: たとえば 1) "The Rolling of Metals" Underwood 著  
2) "数値計算法" A. D. Booth 著