

討16

マンドレルミルの計算機制御

住友金属工業(株) 中央技術研究所 林 千博 ○山田 建夫  
海南鋼管製造所 宇多小路 勝 平尾文樹

1. 緒言

フルフロート・マンドレルミルでは管がミルの各スタンドに噛込む際と、尻抜けする際にマンドレルバーの速度が変動し、過渡現象が生ずるのは周知の通りである。本報ではこの過渡現象の解析方法及び解析結果を示しマンドレルミル圧延材に生じる長手方向の寸法変動について論じる。続いて長手方向寸法変動を均一化するための制御方法及び計算機制御の実施例を示す。

2. マンドレルミルの過渡現象の解析

2.1 解析方法

解析方法は先にストレッチ・レデューサーの管端厚肉化現象の解析<sup>(1)</sup>に用いた方法とほぼ同様である。概略のフローチャートを図1に示す。以下この解析に必要な概念を少し整理しておく。

(1) 管の変形の解析法

各スタンドにおける全ての応力、歪および管の断面積、溝底肉厚、フランジ肉厚、ロール面圧等は筆者の一人が先に報告した三次元塑性変形モデルにより導かれる<sup>(2)</sup>。

(2) マンドレルバーの摩擦力の釣合式

$$\sum_{k=1}^{K-1} \mu_a \cdot |\sigma_{ra}(i)| \cdot Sa(i) \cdot Kf(i) + \mu_a \cdot |\sigma_{ra}(k)| \cdot (Sab(k) - Saf(k)) \cdot Kf(k) = \sum_{k=i+1}^J \mu_a \cdot |\sigma_{ra}(i)| \cdot Sa(i) \cdot Kf(i)$$

$\mu_a$  : 管内面摩擦係数

$\sigma_{ra}$  : 管内面半径方向応力  $Kf$  : 変形抵抗

$Sa$  : 管内面接触面積  $Saf$  : Forward Slip領域面積

$Sab$  : Backward Slip領域面積

(3) 圧延材の軸方向釣合式

$$(Fb(i) - Ff(i)) + R(i) + \mu_b (Sbb(i) - Sbf(i)) \cdot |\sigma_{rb}(i)| \cdot Kf(i) + \mu_a (Sab(i) - Saf(i)) \cdot |\sigma_{ra}(i)| \cdot Kf(i) = 0$$

$\mu_b$  : 管外面摩擦係数  $\sigma_{rb}$  : 管外面半径方向応力

$Sbf$  : 管外面 Forward Slip領域面積  $Sbb$  : Backward領域

$Ff$  : 前方張力  $Fb$  : 後方張力

$R$  : 圧延圧力の軸方向成分の合力

(4) 管内外面接触面積および中立線

管とロール、バーの接触面積および管外面接触面積をForward Slip、Backward Slip領域に分割する中立線形状はロール巾方向に逐一計算することにより求められる。外面接触面積と中立線形状の計算例を図2に示しておく。中立線位置は(3)の圧延材軸方向釣合式を満たす様に決定する。

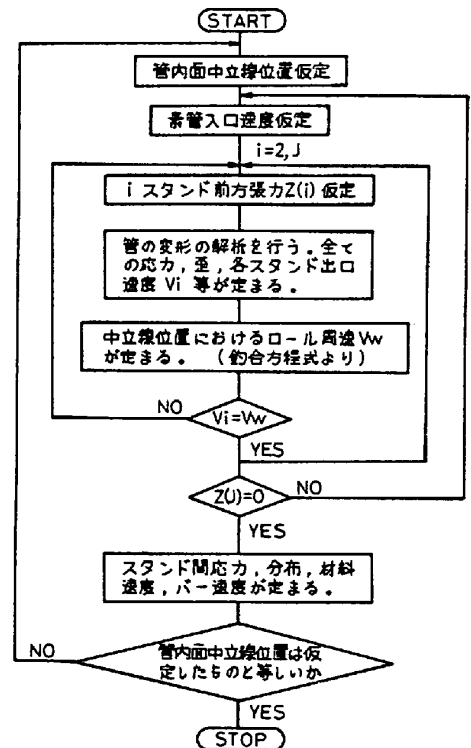


図1. 噛込時の解析フローチャート

(5) ミルスプリングを与える式

$$C(i) = C_0(i) + P(i)/K(i)$$

C : 負荷時のロールギャップ       $C_0$  : 設定ギャップ

P : 圧延荷重      K : ミル剛性係数

図1のフローチャートは上記(1)~(5)の関係式を刻々連立させて過渡状態を解析するもので、この他に管肉厚の転送モデル、スタンド間での張力の釣合式等を使用する。

2.2 解析結果

以下に述べる解析結果は過渡状態のみに着目したものでマンドレルミル圧延材の長手方向寸法分布に与える他の外乱の影響については除外している。

図3はマンドレルバーの速度変動の計算例である。管が各スタンドに噛込むことによりバーと材料の中立点位置が変動するため階段状の速度変動が生じる。尻抜けの場合も同様である。図4は噛込み時の張力変動の例でNo.2スタンド前方には張力、No.1~2スタンド間には圧縮力が生じている。図5は尻抜け時の例で噛込み時と比較して、スタンド間圧縮力の絶対値が大きく、また影響の範囲も広い。図6は管端の最終形状を管内面摩擦係数を変化させて計算した例であり、摩擦係数が大きいと管後端の増肉程度(いわゆるスタマック)が入きくなる。なおこの解析例では管先端部の増肉は発生していない。図7は定常状態におけるスタンド間張力レベルの管端形状におよぼす影響を示したもので、スタンド間圧縮力を与えるように定常状態の回転数を設定すれば後端部の増肉が相対的に抑制されることを示している。

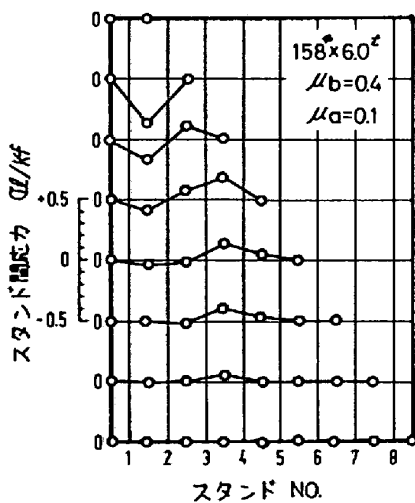


図4. 噛込み時の張力変動

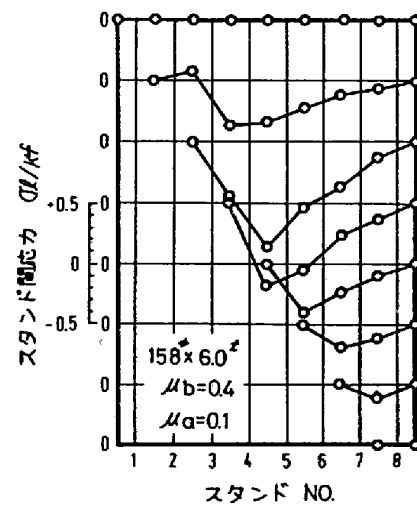


図5. 尻抜け時の張力変動

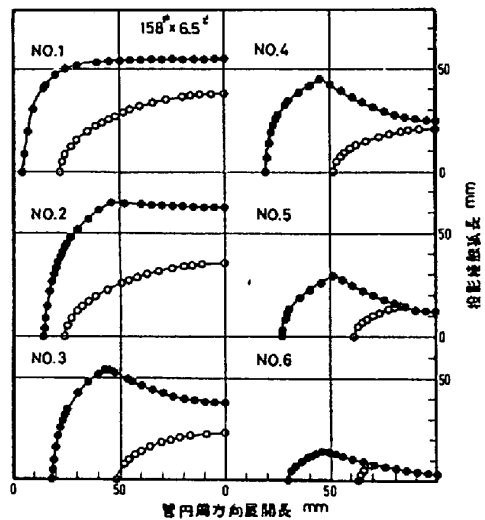


図2. 接触面積の計算例

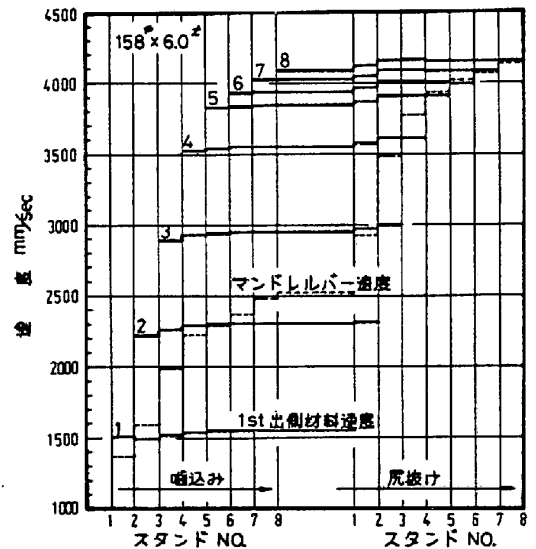


図3. バーの速度変動

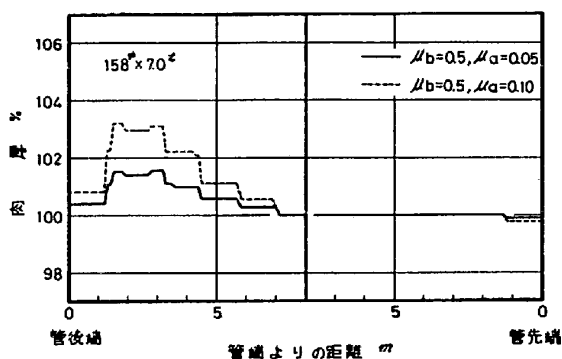


図 6. 管内面摩擦係数と管端形状

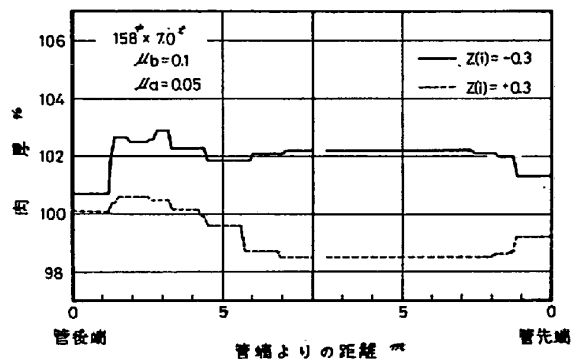


図 7. スタンド間張力と管端形状

### 3. マンドレルミルの計算機制御

#### 3.1 過渡状態における回転数制御法について

管が各スタンドへ噛込んで行く際と尻抜けする際にスタンド間張力を0とおいて各段階における回転数を計算すればこれが過渡状態におけるスタンド間張力変動を防止する回転数制御の方法となる。図8に計算例を示したように、管内面中立線の移動に応じて各スタンドの回転数を減速することになる。この方法が従来より考えられていたスタマック制御法であり本報の他に解析例も発表されており、また関連の特許出願もなされている。但しこの制御法は

- (1) 管の各スタンドへの噛込み、尻抜けに応じてタイミングよく制御する必要があり複雑である。
- (2) マンドレルミルの長手方向の寸法変動の原因には他に前節で述べた定常状態におけるスタンド間張力の影響使用するバーの長手方向の寸法分布、素管の長手方向の温度分布等があり上記制御では対処不可能である。

等の問題点があり筆者らは次節に述べるより簡単な方法を開発使用している。

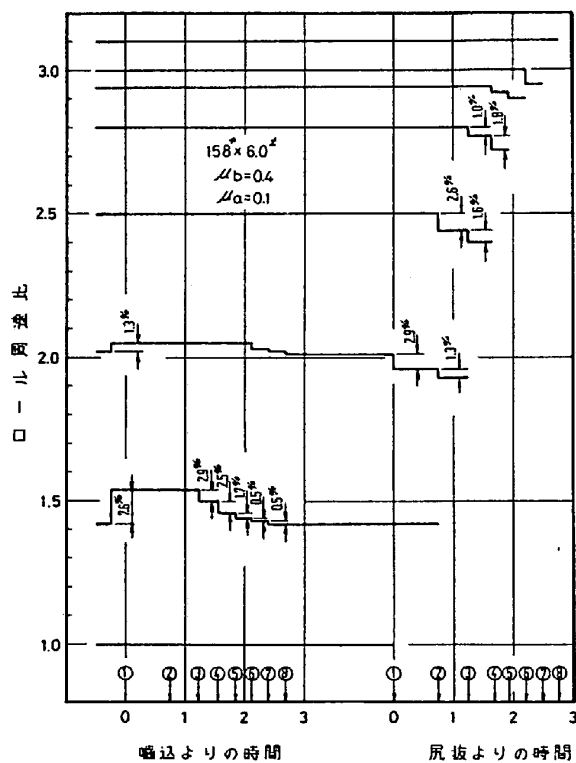


図 8. スタマック制御法

#### 3.2 当社海南鋼管製造所におけるマンドレルミル肉厚制御

図9は当社海南鋼管製造所第1製管工場へ導入したマンドレルミル計算機制御システムの一つの機能である長手方向肉厚分布制御の基本的な考え方を示したものである。長手方向の肉厚分布に与える要因を予測計算もしくは測定することにより把握し管1本毎に制御を行わない場合の長手方向の肉厚分布を予測計算し、この肉厚分布をキャンセルする様に回転数のダイナミックコントロールを行うのが基本的な考え方である。前節で示した従来のスタマック制御法に比較すればより汎用的で簡単な制御であると考えている。図10、図11は制御の実施例を示したものである。図10はマンドレルミル放し材の外径、肉厚、単重を制御材と非制御材について比較したもので、制御を行うことにより比較的長手方向に均一な管が得られている。この例では張力傾向の制御(すなわち仕上管が厚肉傾向となる部分に対する制御)

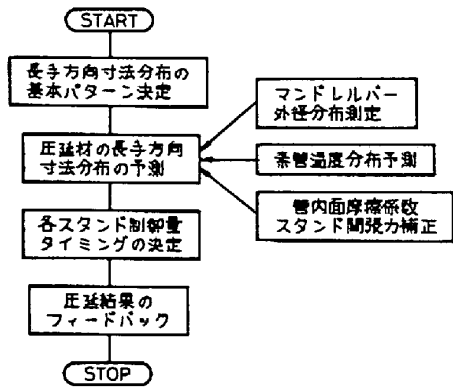


図9. 長手方向肉厚制御の考え方

は主にNo.1 スタンドを減速することにより行っており、同時に後段のスタンドでは管端に圧縮力を付与する制御を行っている。荷重は仕上スタンドの荷重を示したもので、ゲージメータゲージにより長手方向の肉厚分布がある程度推察できることを示している。

なお本システムは長手方向寸法制御の他に管1本毎に適切な回転数とロールギャップを設定するプリセット制御、管1本毎に伸し長さを一定とする伸し長さ制御を実施している。伸し長さ制御は管1本毎に主にビレット重量と使用するマンドレルバーの平均外径に応じてNo.6, No.7 スタンドのロールギャップと回転数を同時に変更することにより行っている。

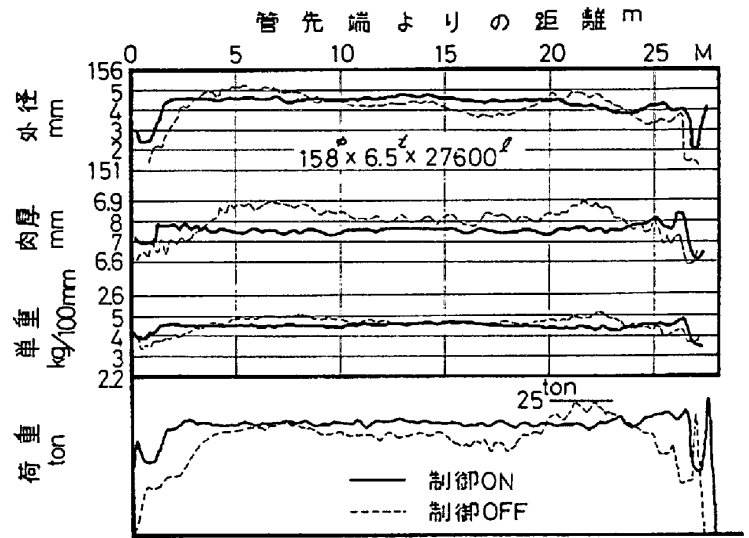


図10. 肉厚制御の効果

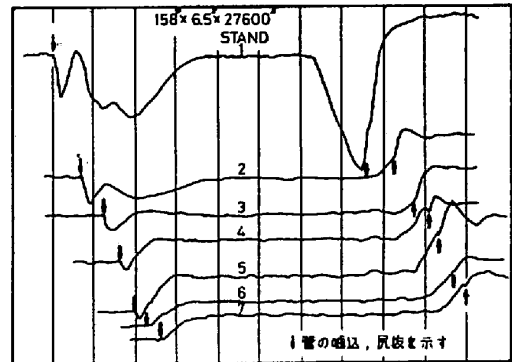


図11. 制御時のモータ回転数の変化

4. 結 言

マンドレルミル過渡現象の解析方法を示し、若干の解析例を示した。続いてマンドレルミルの長手方向肉厚制御の考え方について述べ実際の計算機制御の実施例について報告した。

参考文献

- (1) T. Yamada, C. Hayashi, T. Okamoto : METALS TECH. April (1977) 199
- (2) T. Okamoto, C. Hayashi : Proc. ICSTIS 11 (1971) 304