

|||||  
論 文  
|||||

## 冷間タンDEM圧延における板幅制御特性の解析

相 沢 敦\* 上 田 博 之\*\* 前 田 兼 一 郎\*\* 原 健 治\*\*\*

## Analysis of Strip Width Control Characteristics in Cold Tandem Mill

Atsushi Aizawa, Hiroyuki Ueda, Kenichiro Maeda, Kenji Hara

## Synopsis:

A strip width analysis model in a cold tandem mill based on the slab method has been developed in order to analyze strip width control characteristics during a change in rolling speed. In simulations with this model, the following results were obtained.

- (1) In experiments on rolling with a change in rolling speed, the calculated strip width variations were in good agreement with the experimental values.
- (2) A strip width variation has a linear relationship with a change in rolling load and work roll bending force at each stand.
- (3) The influences of rolling load and work roll bending force on a strip width variation are larger at lower stands than at upper stands. They are larger when the thickness of cold-rolled strip is thinner.
- (4) Based on the results, a model for controlling strip width during a change in rolling speed has been developed.

## 1. 緒 言

近年、品質、歩留向上の観点から、冷延鋼板の板幅精度に対する要求は、板厚精度や形状に対する要求と同様に厳しくなっている。板幅の高精度化はコイル内の圧延定常部だけでなく、コイルのトップおよびボトムなどの非定常部においても求められている。一般に冷間タンDEM圧延では、圧延速度変更時に圧延荷重が変化するため、板幅端部のメタルフローが不安定となり、板幅変動を生じることが知られている。この板幅変動を抑制する制御技術として、圧延速度変更時にワークロールベンディング力を変更して、板幅端部のメタルフローを制御する方法が報告されている<sup>1)</sup>。しかし、板幅変動に及ぼす圧延条件の影響について詳細に検討した報告はみられない。

そこで、圧延速度変更時の板幅変動挙動を解析するため、冷間タンDEM圧延の解析が可能な3次元スラブ法に基づいた板幅解析モデルを構築した。そして、本解析モデルを用いて、板幅変動に及ぼす板厚の影響やスタンド

毎の板幅変動に対する影響度について検討し、タンDEMミルにおける圧延速度変更時の板幅制御モデルを構築したので、その概要について報告する。

## 2. 板幅解析モデルの概要

本解析モデルは、Fig. 1 に示す3次元スラブ法<sup>2)~5)</sup>

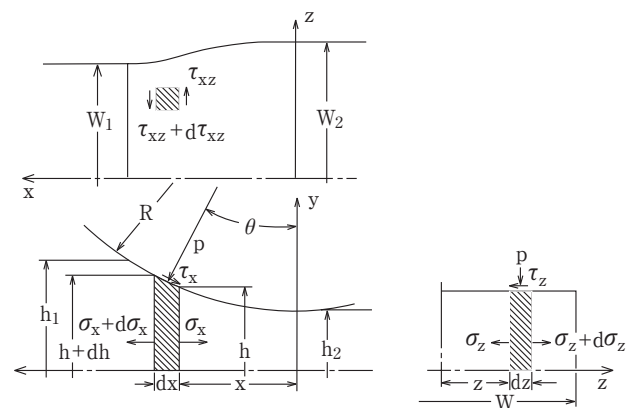


Fig. 1 Force worked on each element which strip is divided into.<sup>2)</sup>

\*加工技術研究部 加工第二研究チーム 主任研究員 \*\*堺製造所 製造部技術チーム 主任部員  
\*\*\*加工技術研究部 加工第二研究チーム チームリーダー

による圧延材の塑性変形解析と分割モデル<sup>6)</sup>によるロールの弾性変形解析を連成させたものである。以下に概要を記す。

2.1 記号説明

本解析で用いる主な記号を以下に示す。

- $\sigma_x$  : 圧延方向垂直応力       $\sigma_y$  : 板厚方向垂直応力
- $\sigma_z$  : 板幅方向垂直応力       $\tau_{xz}$  : 板幅方向剪断応力
- $\tau_x$  : ロールと圧延材の接触面に作用する摩擦応力の圧延方向成分
- $\tau_z$  : ロールと圧延材の接触面に作用する摩擦応力の板幅方向成分
- $d\epsilon_x$  : 圧延方向垂直歪増分       $d\epsilon_y$  : 板厚方向垂直歪増分
- $d\epsilon_z$  : 板幅方向垂直歪増分       $d\gamma_{xz}$  : 板幅方向剪断歪増分
- $\epsilon_x$  : 圧延方向垂直歪       $\epsilon_y$  : 板厚方向垂直歪
- $\epsilon_z$  : 板幅方向垂直歪       $\gamma_{xz}$  : 板幅方向剪断歪
- $\alpha$  : 板幅方向と圧延方向の歪比       $k$  : 剪断降伏応力
- $p$  : ロール半径方向に圧延材に作用する圧力
- $x$  : 出口面からの距離       $z$  : 板幅中心からの距離
- $h$  :  $x$ の位置における板厚       $W$  : 板幅
- $R$  : ロール半径       $E$  : ヤング率
- $T_b$  : 後方張力       $T_f$  : 前方張力
- $t_f$  : 前方ユニット張力       $n$  : 分割数
- $xn$  : 中立点位置       $\mu$  : 摩擦係数
- $\beta$  : 摩擦力の作用方向  
添字  
1 : 入口での値を示す      2 : 出口での値を示す

2.2 仮定条件

- (a) 応力および歪は板厚方向で一様とする。
- (b) 圧延材は完全剛塑性体とし、変形抵抗はロールバイト内の平均値を用いる。
- (c) ロールと圧延材の接触面はCoulomb摩擦とし、その摩擦係数は全域で一定とする。ただし、摩擦応力が材料の剪断変形抵抗より大きい領域では、付着摩擦とする。
- (d) 中立点は板幅方向で一定とする。
- (e) 板幅方向任意の位置における板幅方向と圧延方向の歪の比は圧延方向で一定とする。

$$d\epsilon_z / d\epsilon_x = \epsilon_z / \epsilon_x = a \text{ (一定)} \dots\dots\dots (1)$$

2.3 構成式および境界条件

Fig. 1 に示した微小要素  $h \times dx \times dz$  に作用する力の釣合を考え、圧延方向 ( $x$  方向) の力の釣合方程式は (2) 式で示されるKarmanの方程式を用いる。

$$\partial h \sigma_x / \partial x + 2 (p \tan \theta - \tau_x) = 0 \dots\dots\dots (2)$$

また、板幅方向 ( $z$  方向) の力の釣合方程式は (3) 式で与えられる。

$$\int_0^{x_1} h (\partial \sigma_z / \partial z) dz dx = \int_0^{x_1} h (\partial \tau_{xz} / \partial x) dz dx + 2 \int_0^{x_1} \tau_z dz dx \dots\dots\dots (3)$$

板幅方向の力の釣合は、厳密には各微小要素について考えるべきであるが、前述の仮定条件から、ロールバイト全域での釣合を考える。

また、圧延材の降伏条件は (4) 式に示す von Mises の式を用い、応力 - 歪増分関係式は (5) 式に示す Levy Mises の式を用いる。

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \tau_{xz}^2 = 6k^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$d\epsilon_x / (2\sigma_x - \sigma_y - \sigma_z) = d\epsilon_y / (2\sigma_y - \sigma_z - \sigma_x) = d\epsilon_z / (2\sigma_z - \sigma_x - \sigma_y) = d\gamma_{xz} / 6\tau_{xz} \dots\dots\dots (5)$$

また、前方張力分布は伸び率の分布から (6) 式で与えられる。

$$\sigma_{x2}(i) = t_f - E \cdot (\epsilon_{x2}(i) - \sum_{i=1}^n \epsilon_{x2}(i) / n) \dots\dots\dots (6)$$

ロールバイトの入口面、出口面および板端での境界条件は、(7) ~ (9) 式で与えられる。

$$2 \int_{W/2}^W h_1 \sigma_{x1} dz = T_b \dots\dots\dots (7)$$

$$2 \int_{W/2}^W h_2 \sigma_{x2} dz = T_f \dots\dots\dots (8)$$

$$\int_0^{x_1} h \sigma_z dx = 0 \dots\dots\dots (9)$$

なお、板端は自由端であるので厳密には各微小要素において  $\sigma_z = 0$  であるが、前述の仮定条件 (e) から、拘束条件をゆるめ、板端全体で板幅方向の力の総和が零という条件を与えている。

2.4 摩擦力の作用方向

ロールに対する圧延材の圧延方向の変位増分  $dV$  および板幅方向の変位増分  $dU$  はそれぞれ (10), (11) 式のようなになるので、摩擦力の圧延方向成分  $\tau_x$  および板幅方向成分  $\tau_z$  は (12), (13) 式のようなになる。

$$dV = \int_{xn} d\epsilon_x dx \dots\dots\dots (10)$$

$$dU = \int_0^z d\epsilon_z dz \dots\dots\dots (11)$$

$$\tau_x = p \mu_x = p \mu \sin \beta = p \mu dV / \sqrt{dV^2 + dU^2} \dots\dots\dots (12)$$

$$\tau_z = p \mu_z = p \mu \cos \beta = p \mu dU / \sqrt{dV^2 + dU^2} \dots\dots\dots (13)$$

2.5 ロールの弾性変形解析

ロールの弾性変形解析は、分割モデルを用いる。また、圧延材によるワークロール表面における偏平変形には半無限弾性体解<sup>7)</sup>を用いる。

2.6 タンデム圧延の解析における留意点

タンデム圧延の解析においては、前スタンドの出側板厚分布をそのまま次のスタンドの入側板厚分布としない

で、形状不良分を補正して次のスタンドの入側板厚分布として解析を行なう<sup>8)</sup>。

また、各スタンドにおいてロールバイトに入る前の予変形域での幅縮み変形を考慮せず、ロールバイト内における板幅変動のみを解析する。すなわち、前スタンドロールバイト出側板幅と次スタンドロールバイト入側板幅を等しいとして解析する。したがって、解析結果は実際よりも幅広がり側となるが、圧延速度変更時における板幅変動量（低速部と高速部の板幅差）を解析するうえでは解析精度に及ぼす影響は小さいと考える。冷延前板幅を  $W_0$ 、 $i$  スタンドでの板幅変化量を  $\Delta W(i)$  とすると、4 スタンドのタンデムミルにおける冷延後の板幅  $W$  は (14) 式で表される。

$$W = W_0 + \sum_{i=1}^4 \Delta W(i) \dots\dots\dots (14)$$

2.7 計算手順

板幅解析モデルのフローチャートを Fig. 2 に示す。中立点位置、板幅方向と圧延方向の歪みおよび出側板厚分布を仮定し、圧延方向および板幅方向に分割された微小要素に作用する応力をロールバイト出側より順次計算する。そして、入口面における境界条件、板幅方向釣合条件および出側板厚分布の収束条件を満足するまで各仮定値を修正して収束計算を行なう。

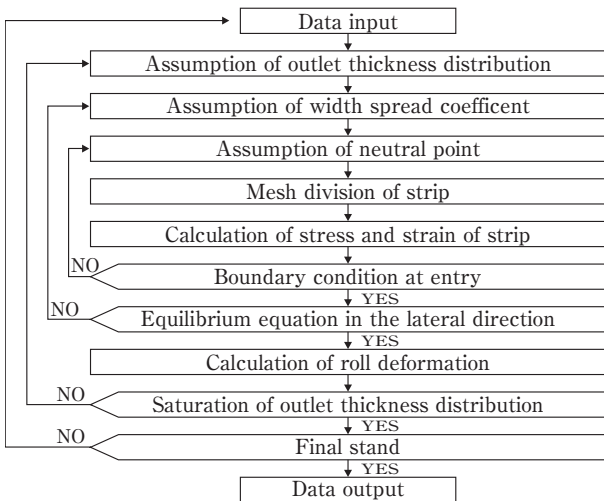


Fig. 2 Flow chart of strip width analysis model.

3. 板幅解析モデルによる板幅変動解析結果の実機検証

板幅制御の対象とする Table 1 の実機タンデムミルは、

4 スタンドの 6 段圧延機から構成されており、形状制御手段として、ワークロールベンダー、中間ロールベンダー (No.3, 4 スタンドのみ) および中間ロールシフトを有している。Table 2 に示す冷延後板厚 0.6mm の薄ゲージ材と冷延後板厚 1.6mm の厚ゲージ材について圧延速度変更時における板幅変動の解析を行い、実機における板幅変動の実績データと比較した。Fig. 3 に圧延速度の変化に伴う板幅変動の模式図を示す。板幅変動量は低速部と高速部の板幅差（低速部板幅 - 高速部板幅）

Table 1 Specification of the cold tandem mill

Stand No.	1	2	3	4
Mill type	6-hi type			
WR diameter /mm	410	420	470	410
IMR diameter /mm	530	520	500	570
BUR diameter /mm	1330	1330	1330	1360
WR barrel length /mm	1880			
Shape control actuator	WR bending IMR shifting		WR bending IMR bending IMR shifting	

WR : Work roll IMR : Intermediate roll  
BUR : Back-up roll

Table 2 Material used and pass schedule

a) Thickness of cold-rolled strip 0.6mm	
Material used	Low carbon steel (w 1226mm × t 2.48mm)
Pass schedule	2.48mm → 1.53mm → 0.93mm → 0.61mm → 0.57mm
b) Thickness of cold-rolled strip 1.6mm	
Material used	Low carbon steel (w 1228mm × t 3.97mm)
Pass schedule	3.97mm → 2.92mm → 2.22mm → 1.75mm → 1.58mm

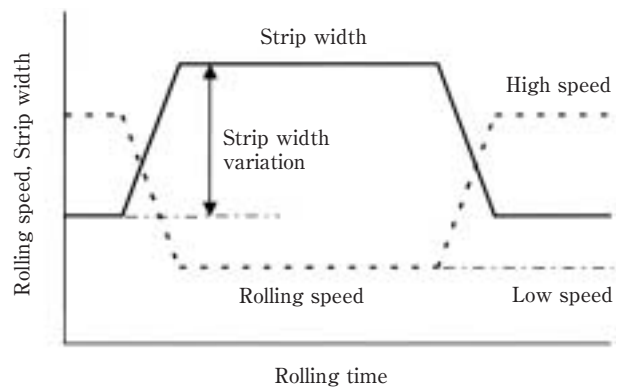


Fig. 3 Strip width variation during a change in rolling speed.

で定義した。

実機データの一例として、冷延後板厚0.6mmの場合について、各スタンドにおける高速部および低速部の圧延荷重の実績値をFig. 4に示す。また、圧延荷重の実績値から、板幅解析モデルにより逆算で求めた摩擦係数をFig. 5に示す。No.1~3スタンドがスムーズ圧延であるのに対して、No.4スタンドはダル圧延であるため、低速部および高速部のいずれにおいても、No.4スタンドの摩擦係数は他のスタンドに比べて大きくなっている。また、いずれのスタンドにおいても、圧延速度が遅くなると潤滑状態の悪化により摩擦係数が大きくなるため、低速部の圧延荷重は高速部に比べて高く、その差はNo.2, 3スタンドにおいて顕著である。なお、

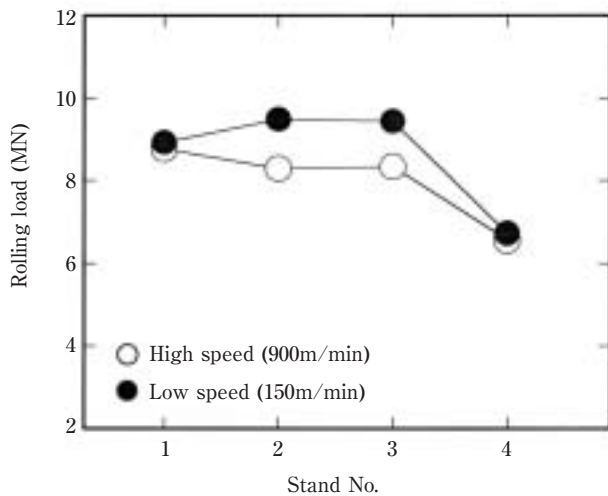


Fig. 4 Rolling load at high speed and low speed.

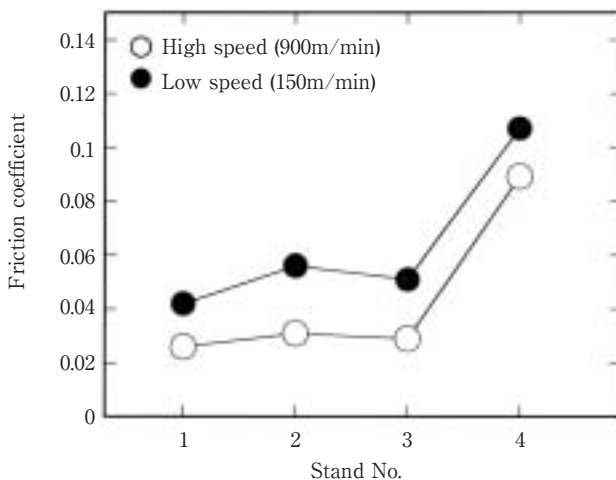


Fig. 5 Friction coefficient at high speed and low speed.

No.1 スタンドにおける低速部と高速部の圧延荷重の差が小さいのは、摩擦が表層の現象であるため、板厚の厚いNo.1 スタンドでは摩擦係数の増加が圧延材全体の変形に及ぼす影響が小さいためであると考えられる。また、No.4 スタンドにおける低速部と高速部の圧延荷重の差が小さいのは、No.4 スタンドは圧下率が他のスタンドに比較して小さいことから、接触弧長が短かく、圧延圧力に及ぼす摩擦係数の影響が小さいためであると考えられる。

次に、冷延後板厚0.6mmの場合について、板幅変動量の推移の解析結果をFig. 6に示す。圧延速度を減速すると、No.1~4スタンドのいずれのスタンドにおいても板幅は幅広がり側に変化する。この幅広がり側への変化は、低速部と高速部の圧延荷重差の大きいNo.2, 3スタンドにおいて顕著である。図中に冷延後 (No.4 スタンド後) の板幅変動量の実績値も合わせて示すが、計算値と実績値は良く対応している。

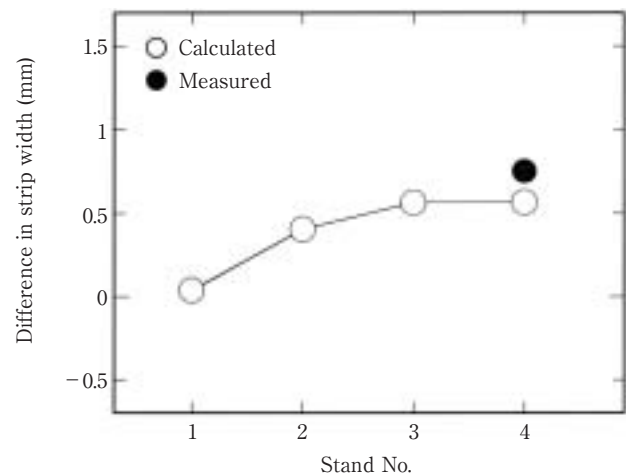


Fig. 6 Transition of difference in strip width between high speed condition and low speed condition.

Fig. 7には、冷延後 (No.4 スタンド後) の板幅変動量に及ぼす冷延後板厚の影響について、計算値と実績値を比較して示す。計算値と実績値は良く対応しており、いずれも板厚が薄いほど板幅変動量が大きくなっている。この理由としては、次の2点が考えられる。

- ①冷延後板厚が薄い場合には、各スタンドにおける低速部と高速部の圧延荷重差が大きい。
- ②板厚が薄い場合は、板厚が厚い場合に比較して板幅方向への塑性流動が生じる領域は狭くなる。しかし、板

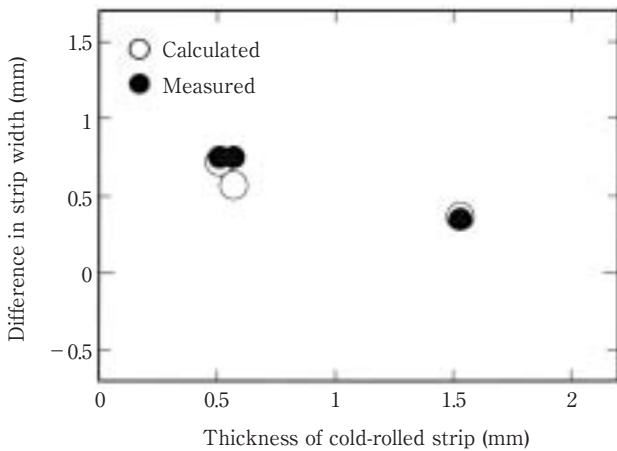


Fig. 7 Influence of the thickness of cold-rolled strip on difference in strip width between high speed condition and low speed condition.

端の極近傍では、板厚が薄いほど板幅方向への塑性流動の変化が大きくなる。

理由①については、Fig. 8 に各スタンドの低速部と高速部の圧延荷重差の実績値を冷延後板厚0.6mmの場合と冷延後板厚1.6mmの場合で比較して示す。冷延後板厚0.6mmの場合は冷延後板厚1.6mmの場合よりも、いずれのスタンドにおいても低速部と高速部の圧延荷重差が大きい。これは、板厚が薄いと摩擦係数の増加が圧延材全体の変形に及ぼす影響が大きくなるためであると考えられる。

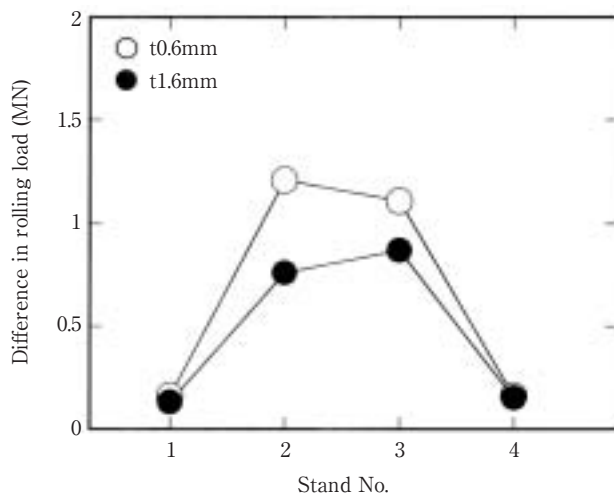


Fig. 8 Difference in rolling load between high speed condition and low speed condition.

理由②については、板厚が薄いほど圧延荷重の変化によって生じるロールたわみ変化量の板厚に占める割合が大きくなることにより、板厚方向歪の変化が大きくなる。したがって、板端の極近傍においては、板厚が薄いほど板幅方向への塑性流動の変化が大きくなると思われる。また、Table 2 に示したように、板厚が薄い場合に板厚が厚い場合よりも各スタンドの圧下率が大きいパススケジュールになっていることも、板厚が薄い場合に板端の極近傍において板幅方向への塑性流動の変化が大きくなる一因と考える。

次に、同一コイルにおいて圧延速度が一定の状態でも No.2 スタンドおよびNo.3 スタンドのワークロールベンディング力を個別に変化させて圧延実験を行い、ワークロールベンダーの板幅制御効果について計算結果と実績値を比較した。その結果をFig. 9 に示す。なお、ワークロールベンディング力が増加すると板幅が減少するの

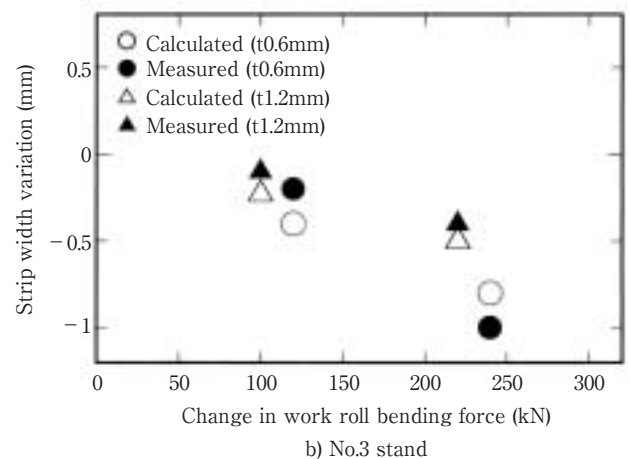
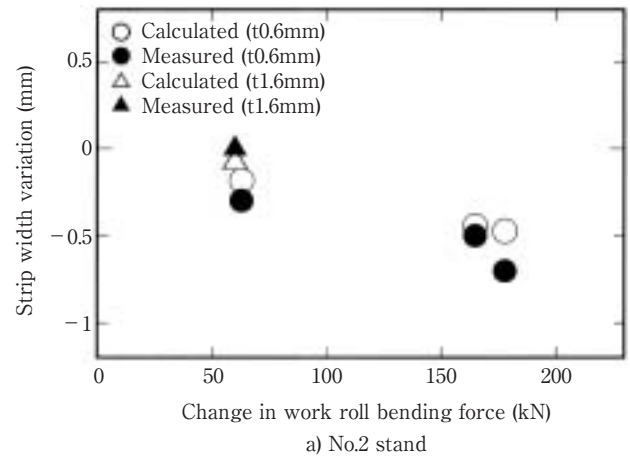


Fig. 9 Influence of work roll bending force on strip width variation after cold rolling.



で、縦軸の板幅変動量の値は負となっている。計算値と実績値は良く対応しており、No.2, 3スタンドのいずれにおいても、板厚が薄いほどワークロールベンダーの板幅制御効果が大きくなっている。これは、圧延荷重の影響と同様に、板厚が薄いほど、板端の極近傍においては、板幅方向への塑性流動の変化が大きくなるためであると考える。

以上、圧延速度の変化に伴う板幅変動量およびワークロールベンダーの板幅制御効果のいずれにおいても解析結果と実績値はよく対応しており、圧延速度変更時の板幅制御特性の解析を行なううえで本解析モデルは有効である。

#### 4. 圧延速度変更時の板幅制御特性の解析

Table 2 に示した冷延後板厚0.6mmおよび1.6mmの場合について、板幅解析モデルにより圧延速度変更時の板幅制御特性を解析した。なお、Table 1 に示したタンデムミルは形状制御手段としてワークロールベンダー、中間ロールベンダーおよび中間ロールシフトを有している。これらの制御手段は、いずれも形状制御を目的とするものであるが、板幅端部のメタルフローを制御する機能も伴う。これらの制御手段のうち、制御能力と応答性を考慮して、板幅制御に効果的な手段としてワークロールベンダーについてのみ検討した。

Fig.10に、冷延後板厚0.6mmの場合において、各スタンドの圧延荷重を単独で変化させたときの板幅変化の推

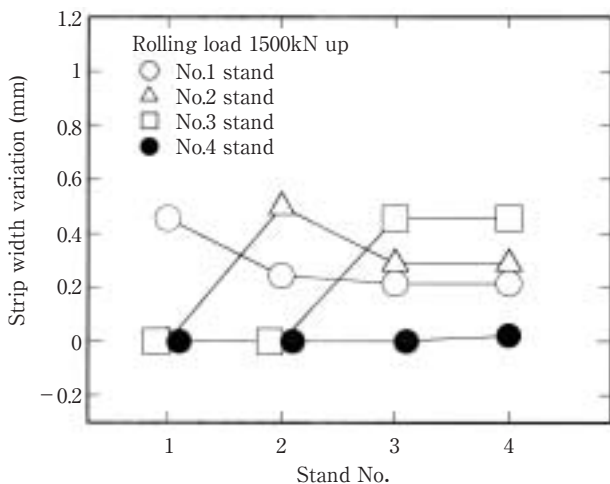
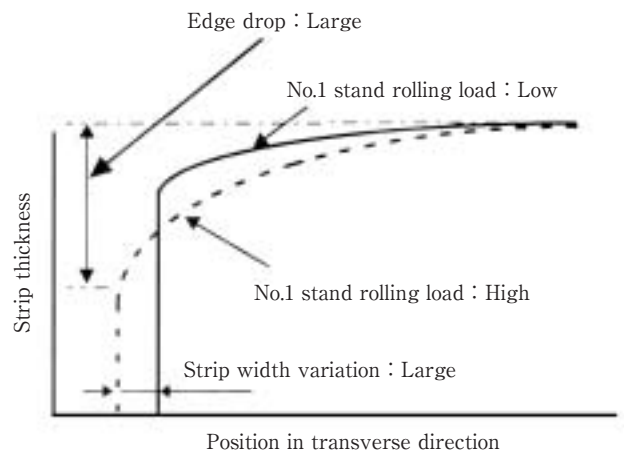


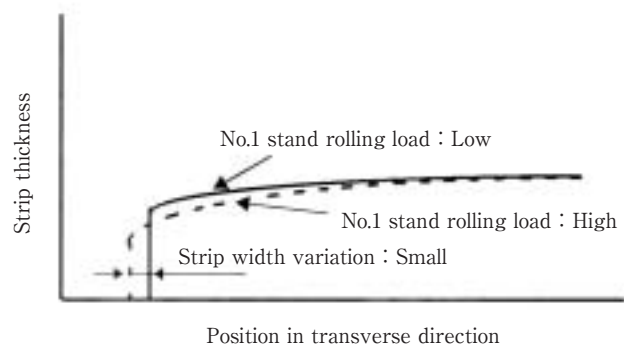
Fig.10 Transition of strip width variation with a change in rolling load at each stand.

移を示す。いずれのスタンドにおいても圧延荷重が増加すると、当該スタンドで板幅は増加するが、この圧延荷重増加による影響は、その後のスタンドで緩和され、後段スタンドになるほど小さくなる。これは、圧延荷重の増加により板幅とともにエッジドロップのプロフィールも変化し、後続スタンドでの材料変形挙動が変化するためである。

この板プロフィール変化と板幅変化量の関係をFig.11で説明する。例えばNo.1スタンドの圧延荷重が増加すると、No.1スタンド出側において板幅が増加するとともにエッジドロップも増加する。したがって、後続スタンド (No.2 スタンド以降のスタンド) においては板幅端部の圧下量が相対的に減少することにより、板幅変化量が減少する。



a) After No.1 stand



b) After No.2,3,4 stand

Fig.11 Relationship between strip profile variation and strip width variation.

Fig.12に、冷延後板厚0.6mmの場合において、各スタンドのワークロールベンディング力を単独で変化させたときの板幅変化の推移を示す。なお、No.4スタンドは形状制御用スタンドであり、ワークロールベンダーを板幅制御に使用することは困難であるため、No.1～No.3スタンドのワークロールベンディング力の影響についてのみ解析を行った。いずれのスタンドにおいてもワークロールベンディング力が増加すると、当該スタンドで板幅は減少するが、このワークロールベンディング力の増加による影響は、その後のスタンドで緩和され、後段スタンドになるほど小さくなる。これは、ワークロールベンディング力の増加によりエッジドロップのプロフィールも変化し、後続スタンドでのメタルフローが変化するためである。例えば、Fig.13にNo.1スタンドのワークロ

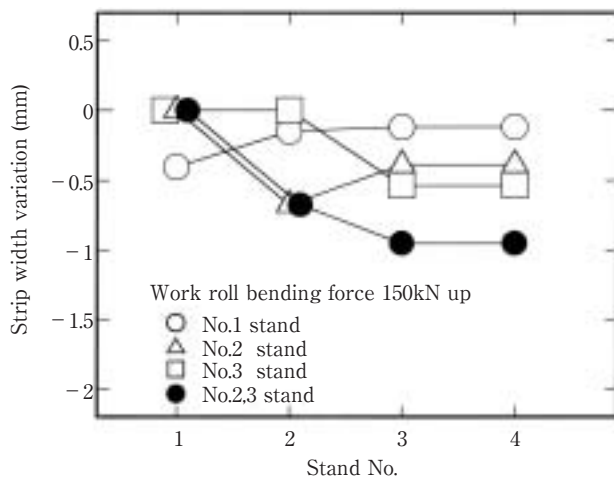


Fig.12 Transition of strip width variation with a change in work roll bending force at each stand.

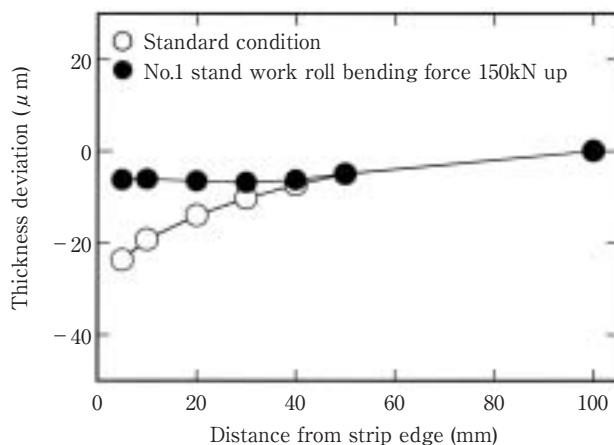


Fig.13 Variation of edge drop with a change in work roll bending force at No.1 stand.

ールベンディング力が150kN増加した場合のNo.1スタンド出側におけるエッジドロップの変化を示すが、ワークロールベンディング力の増加により板幅端部の板厚が増加するので、後続スタンド（No.2スタンド以降のスタンド）において板幅端部の圧下量が相対的に増加することにより、板幅変化量が減少する。

Fig.12中には、No.2スタンドおよびNo.3スタンドのワークロールベンディング力を変化させた場合の板幅変化の推移も合せて示すが、それぞれ単独にワークロールベンディング力を変化させた場合の和に近い変化を生じる。

Fig.14およびFig.15に、冷延後板厚0.6mmの場合において、冷延後（No.4スタンド後）の板幅変化量に及ぼす

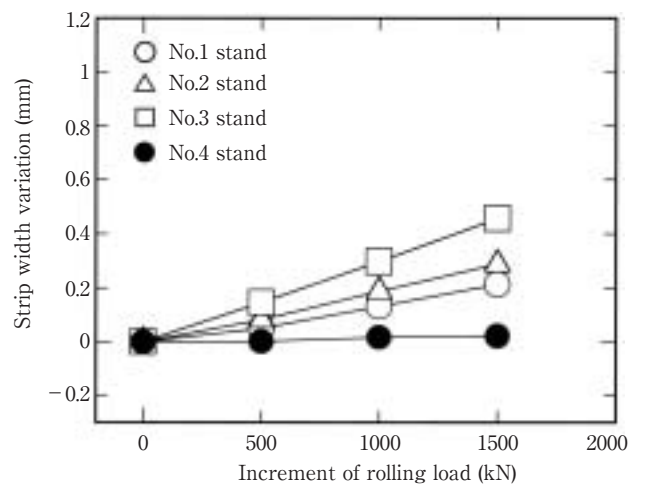


Fig.14 Influence of rolling load at each stand on strip width variation after cold rolling.

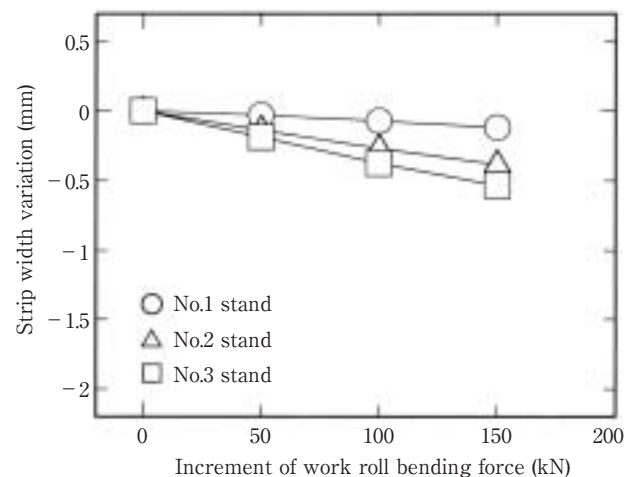


Fig.15 Influence of work roll bending force at each stand on strip width variation after cold rolling.

各スタンド圧延荷重増加量およびワークロールベンディング力増加量の影響を示す。いずれのスタンドにおいても圧延荷重が増加すると板幅はほぼ線形的に増加する。また、いずれのスタンドにおいてもワークロールベンディング力が増加すると板幅はほぼ線形的に減少する。

次に、各スタンドの圧延荷重およびワークロールベンディング力の変化量と冷延後の板幅変化量の関係を線形近似し、各スタンドの圧延荷重およびワークロールベンディング力の影響を係数化し、影響係数としてFig.16に示す。ここで、影響係数は幅広がり側を正で表示し、幅縮み側を負で表示している。冷延後板厚0.6mmの場合は冷延後板厚1.6mmの場合よりも圧延荷重及びワークロー

ルベンディング力の影響係数が大きい傾向にある。また、冷延後の板厚が0.6mm, 1.6mmのいずれの場合も、圧延荷重およびワークロールベンディング力の影響係数はNo.4スタンドの圧延荷重を除いて後段スタンドほど大きい。これは圧延荷重およびワークロールベンディング力の変化の影響がその後のスタンドで緩和されるためである。なお、No.4スタンドの圧延荷重の影響係数が小さいのは、No.4スタンドでは圧下率が小さく、板端の極近傍においても板幅方向への塑性流動が小さいためである。

以上の解析結果から、冷延後板厚が薄いほど、また最終スタンドであるNo.4スタンドを除いて後段スタンドほど、圧延速度変更時における冷延後の板幅変動量に及ぼす影響が大きいとともに、ワークロールベンダーの板幅制御効果が大きいことが明らかとなった。

### 5. 圧延速度変更時の板幅制御モデル

4章の解析結果に基づき、(15)式で示す4スタンドのタンデムミルにおける板幅変動予測式を導出した。

$$\Delta W = \sum_{i=1}^4 a_i \Delta P_i + \sum_{i=1}^3 b_i \Delta WRB_i \dots\dots\dots (15)$$

- ΔW：低速部と高速部の冷延後板幅の差
- ΔP<sub>i</sub>：低速部と高速部の各スタンド圧延荷重の差
- ΔWRB<sub>i</sub>：低速部と高速部の各スタンドワークロールベンディング力の差
- a<sub>i</sub>, b<sub>i</sub>：影響係数

この板幅変動予測式に基づいて構築した板幅制御モデルをFig.17に示す。まず、圧延速度の変化に伴う圧延荷

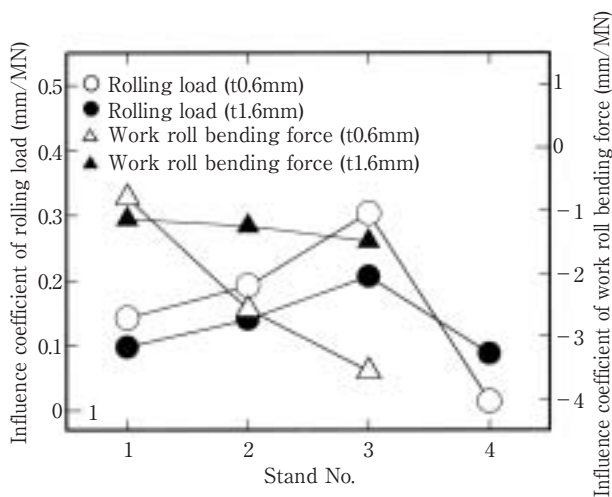


Fig.16 Influence coefficients of rolling load and work roll bending force at each stand.

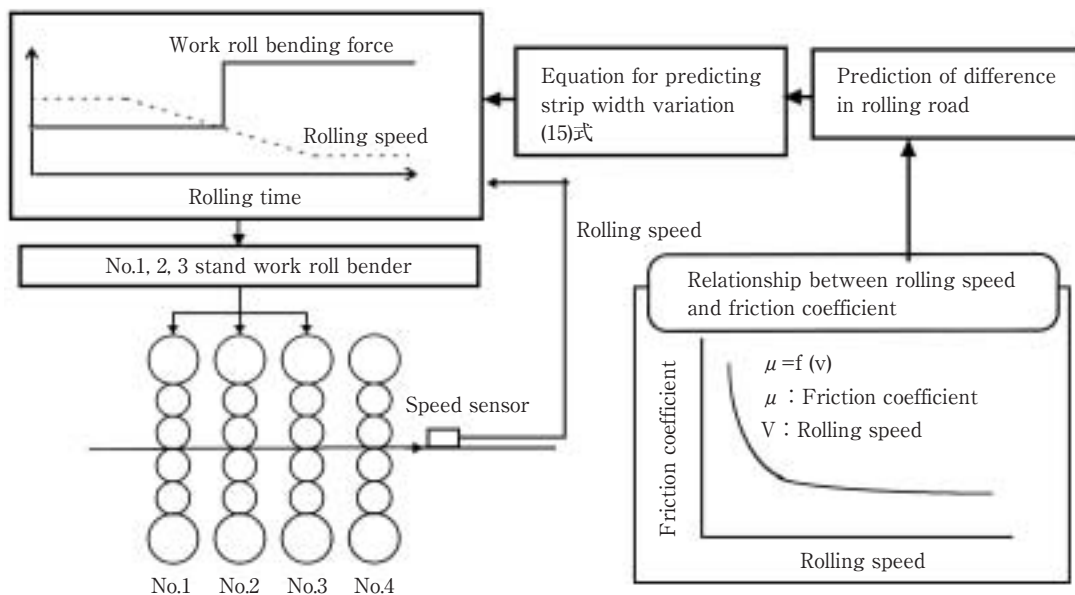


Fig.17 Model for controlling strip width during a change in rolling speed.



重の変動量を把握するために、実機データに基づいて摩擦係数に及ぼす圧延速度の影響を定式化する。スタンド毎に低速部と高速部の圧延荷重の差を推定する。この低速部と高速部の圧延荷重差を板幅変動予測式に代入し、低速部のワークロールベンディング力変更量の設定を行う。本制御モデルでは、低速部のワークロールベンディング力変更量の設定値に基づいて圧延速度変更時の板幅を制御する。なお、圧延速度の変化に追従してワークロールベンディング力を変更するには制御システムの大改造が必要となるので、ある一定の圧延速度以下になったときにワークロールベンディング力を変更する2段階の制御とする。

今後は、本制御モデルの実機適用を推進する予定である。

## 6. 結 言

圧延速度変更時の板幅変動挙動を解析するため、冷間タンデム圧延の解析が可能な3次元スラブ法に基づいた板幅解析モデルを構築した。そして、本解析モデルを用いて、板幅変動に及ぼす各スタンド圧延条件の影響について検討し、以下の結果が得られた。

- (1) 圧延速度変更時における板幅変動の解析結果と実績値はよく対応しており、圧延速度変更時の板幅制御特性の解析を行なううえで本解析モデルが有効であることを確認できた。
- (2) 各スタンドの圧延荷重およびワークロールベンディング力の変化量と冷延後の板幅変化量の関係を線形近似できる。
- (3) 冷延後板厚が薄いほど、また後段スタンドほど、圧延速度変更時における冷延後の板幅変動量に及ぼす影響が大きいとともに、ワークロールベンダーの板幅制御効果が大きい。
- (4) 上記の解析結果に基づき、4スタンドのタンデムミルにおける圧延速度変更時の板幅制御モデルを構築した。

### 参考文献

- 1) 角谷泰則, 鷺北芳郎, 木村和喜, 浜田龍次: 第53回塑性加工連合講演会論文集, (2002), 123
- 2) 戸澤康壽, 中村雅勇, 石川孝司: 塑性と加工, 17-180 (1976), 37
- 3) 戸澤康壽, 石川孝司, 岩田徳利: 塑性と加工, 23-263 (1982), 1181
- 4) 相沢敦, 原健治, 中本一成, 大塚正樹, 早川淳也, 三喜俊典: 第46回塑性加工連合講演会論文集, (1995), 327
- 5) 相沢敦, 原健治, 中本一成, 大塚正樹, 早川淳也, 三喜俊典: 塑性と加工, 39-446 (1998), 221

- 6) K.N.Shohet and N.A.Townsend: J.Iron Steel Inst, 206 (1968), 1088
- 7) 戸澤康壽, 上田雅信: 塑性と加工, 11-108 (1970), 29
- 8) 中島浩衛, 菊間敏夫, 松本紘美, 粟津原博, 木村智明, 志田茂, 梶原利幸: 塑性と加工, 23-263 (1982), 1172