

## 論 文

## 20段センジミア圧延機の形状制御技術の開発

相 沢 敦\* 久 保 達 博\* 内 畠 治\*\* 原 健 治\*\*\*

## Development of Controlling Technology for Strip Shape in 20-High Sendzimir Mill

Atsushi Aizawa, Tatsuhiro Kubo, Osamu Uchihata, Kenji Hara

## Synopsis:

Flexible shaft backing assemblies (FSBAs) have been introduced into an actual 20-high Sendzimir mill to enlarge the strip shape control quantity of the As-U crown adjustment, and strip shape control technology using FSBAs has been investigated. To begin with, a simulation model for predicting the shape of cold-rolled strips in the 20-high Sendzimir mill was developed considering the deflection characteristics of FSBAs. From simulations carried out using this analysis model, it was found that the strip shape control range was extended by the introduction of FSBAs, mainly toward the quarter buckles side and edge waves side. Thus, strip shape control technology with the combination of FSBAs and the first intermediate rolls given a concave profile partially (concave rolls) was investigated to improve quarter buckles. From the simulations, it was found that quarter buckles were improved by optimizing the concave roll profile. In experiments using rolls with the concave profile in the 20-high Sendzimir mill, it was confirmed that quarter buckles were improved under extensive rolling conditions. It was also confirmed that better strip shape was obtained by combining FSBAs and concave rolls than using only concave rolls. FSBAs and concave rolls have been applied to commercial production and have contributed to the improvement of strip shape.

## 1. 緒 言

ステンレス鋼など硬質材の冷間圧延では、20段センジミア圧延機が広く使用されている。20段センジミア圧延機の形状制御手段としては、第1中間ロールシフトおよびバックアップロールによるクラウン調整（As-U調整機構）があるが、20段センジミア圧延機は4段圧延機や6段圧延機に比較すると、ワークロールが小径で曲げ剛性が低いことからロールの弾性変形が複雑となり、クォータ伸びを生じやすく、良好な圧延形状を得ることは容易ではない。この問題を解決するために、第1中間ロールのテーパ形状を適正化することによりクォータ伸び形状を改善した報告がある<sup>1)</sup>。また、筆者らも第1中間ロールにコンケーブ状のプロフィールを付与する

ことがクォータ伸び形状の改善に有効であることを報告している<sup>2),3)</sup>。

一方、As-U調整機構については、バックアップロールのベアリングの半径方向移動が第2中間ロールおよび第1中間ロールを介してワークロールに伝えられるため、ベアリングの半径方向移動に応じたワークロールのたわみ変形量が小さく、形状制御量が小さいという欠点がある。この問題に対しては、As-U調整機構の形状制御量を大きくし、第1中間ロールシフトとの組合せによる形状制御範囲を拡大するため、ダブルAs-U調整機構<sup>4)</sup>やバックアップロールのアセンブリ軸にスリット加工を施したFSBA (Flexible Shaft Backing Assemblies)<sup>5)</sup>が実用化されている。

筆者らは、既存の設備を有効活用できるとともに設備投資が少ないという観点から、20段センジミア圧延機

\*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 上席専門部員

にFSBAを導入した。しかし、FSBAのたわみ特性を考慮した20段センジミア圧延機の形状制御技術に関する報告はみられない。そこで、FSBAの導入にあたっては、FSBAの形状制御特性の解析が可能な20段センジミア圧延機の形状解析モデルを構築し、形状制御技術の開発に取り組んだ。そして、クォータ伸び抑制の観点から、FSBAの形状制御範囲拡大効果を有効活用するため、FSBAとコンケープ状プロフィールを付与した第1中間ロール(コンケープロール)の組合せによる形状制御を検討し、実機で形状改善効果を検証したので報告する。

## 2. FSBAの概要

Table 1 に示すFSBAを導入した20段センジミア圧延機のバックアップロールは5個のベアリングと6個のサドルから構成されている。

Table 1 Specifications of 20-high Sendzimir mill

Number of bearings	5
Number of saddles	6
Shape control actuator	First intermediate roll shift As-U crown adjustment
Work roll diameter/mm	90
Work roll length/mm	1330

Fig. 1 にFSBAの概要を示す。FSBAは各サドル位置を中心に、アセンブリ軸の軸方向にスリット加工を施すことによりアセンブリ軸の剛性を小さくし、As-U調整機構の形状制御作用を拡大するも

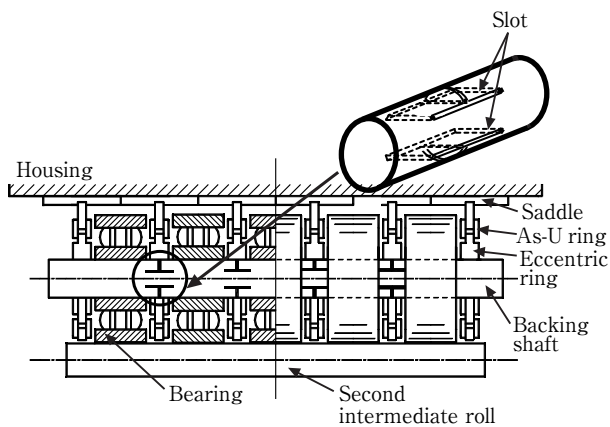


Fig. 1 Outline of FSBA (Flexible Shaft Backing Assemblies).

のである。また、Fig. 2 に示すように、スリット加工を施した部分(以下、スリット部と称す)は角度によって断面2次モーメントが異なるため、アセンブリ軸の組込み角度を変えることにより剛性が変化するという特徴が

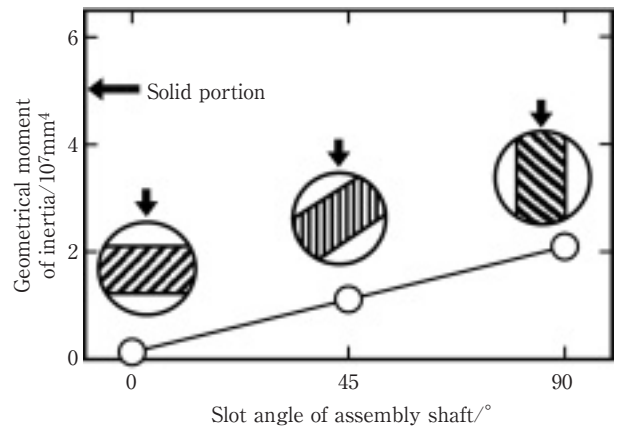


Fig. 2 Relationship between slot angle of assembly shaft and geometrical moment of inertia.

ある。すなわち、アセンブリ軸の組込み角度がいずれの場合においても、スリット部の断面2次モーメントはスリット加工の施されていない部分(以下、ソリッド部と称す)の断面2次モーメントに比べて小さくなるが、アセンブリ軸の組込み角度が0度の場合に最もスリット部の断面2次モーメントが小さくなる。なお、図中のハッチング部はロールの胴長方向から眺めたときのスリットに挟まれた部分を示す。

## 3. FSBAの形状制御特性の解析が可能な形状解析モデル

FSBAのアセンブリ軸では、Fig. 3 に示すように、断面2次モーメントの小さいスリット部と断面2次モーメントの大きいソリッド部が交互に分布する。そこで、FSBAのたわみ特性を解析できるように、ロール胴長方向の断面2次モーメントの分布を考慮した20段センジ

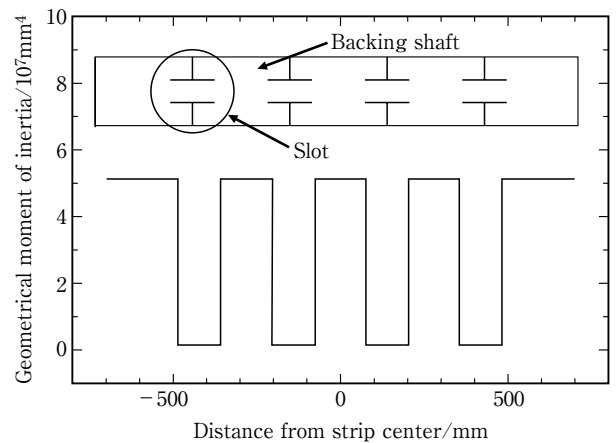


Fig. 3 Distribution of geometrical moment of inertia in the roll body length direction.

ミア圧延機の形状解析モデルを構築した。

### 3.1 計算の仮定条件

20段センジミア圧延機の形状解析モデルは、以下に示すような仮定条件で作成している。

(1) ロールバイト出側における板断面の中心点を原点として、圧延方向をX軸、板厚方向をY軸、板幅方向をZ軸とする座標軸を設定する。20段センジミア圧延機のロール構成は、X-Y平面でY軸に対して、またY-Z平面で原点に対して対称な関係にあると仮定する。従って、Fig. 4 に示すように、各ロールの弾性変形もこの対称条件を満足すると考え、図中の●印で示す6本のロールの弾性変形を計算し、対称条件から全体のロール弾性変形を求める<sup>6)</sup>。

(2) バックアップロールは中実のロールと仮定して、軸心たわみの計算を行なう。ただし、バックアップロールと第2中間ロールとのロール間接触荷重分布 $q^4, q^5, q^6$ は、バックアップロールがベアリング構造であることを考慮して計算する<sup>7)</sup>。

(3) 平面歪変形を仮定し、材料の板幅方向流れについては考慮しない。

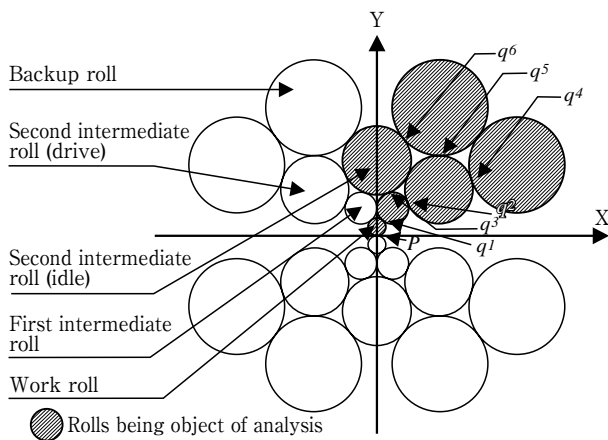


Fig. 4 Schematic arrangement of rolls in a 20-high Sendzimir mill.

### 3.2 FSBAの軸心たわみの定式化

Fig. 5 に形状解析モデルで考慮したFSBAの模式図を示す。No. 2 ~ No. 5 の各サドル位置は荷重支持点であり、位置が固定されるとともに荷重が作用するが、まず、No. 2 ~ No. 5 の各サドル位置が荷重支持点でないものとして、集中荷重 $f_x$ による軸心たわみ量を算出する。ロール胴長方向座標を $x$ 、軸心たわみ量を $y$ 、支点間距離を $L$ 、集中荷重 $f_x$ の作用点位置を $L_f$ 、断面2次モーメント $I_i$  ( $i=1\sim 9$ )の異なる領域の境界位置を $x_j$  ( $j=1\sim 8$ )、アセ

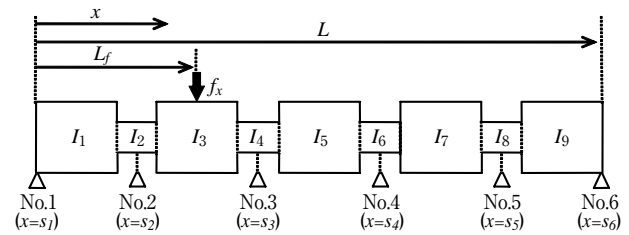


Fig. 5 Schematic figure of FSBA for the analysis model.

ンプリ軸のヤング率を $E$ とすると、集中荷重 $f_x$ による任意の位置 $x$ における軸心たわみ量 $y$ およびその勾配 $dy/dx$ は、断面2次モーメント $I_i$ に対応する各領域に対して、式(1)~(4)で表される。

$0 \leq x \leq L_f$  のとき

$$y = (-L \cdot L_f) \cdot f_x \cdot x^3 / (6L) + C_{i1} \cdot x + C_{i2} / EI_i \dots\dots\dots (1)$$

$$dy/dx = (-L \cdot L_f) \cdot f_x \cdot x^2 / (2L) + C_{i1} / EI_i \dots\dots\dots (2)$$

$L_f \leq x \leq L$  のとき

$$y = (L_f \cdot f_x \cdot (x-L)^3 / (6L) + D_{i1}(x-L) + D_{i2}) / EI_i \dots\dots\dots (3)$$

$$dy/dx = (L_f \cdot f_x \cdot (x-L)^2 / (2L) + D_{i1}) / EI_i \dots\dots\dots (4)$$

式(1)~(4)で、 $x=L_f, x=x_j$  ( $j=1\sim 8$ )において、 $y$ および $dy/dx$ が連続であるという条件から、各係数 $C_{i1}, C_{i2}, D_{i1}, D_{i2}$  ( $i=1\sim 9$ )に関する連立方程式を導出し、マトリクス演算により $C_{i1}, C_{i2}, D_{i1}, D_{i2}$ を算出する。

次に、荷重支持点であるNo.2~No.5の各サドル位置 $x=s_n$  ( $n=2\sim 5$ )に作用する荷重 $F_n$  ( $n=2\sim 5$ )を算出する。各サドル位置 $x=s_n$ に荷重 $F_n$ が単独に作用した場合の各サドル位置 $x=s_m$  ( $m=2\sim 5$ )に生じる軸心たわみ量 $y_{nm}$ は、断面2次モーメント $I_i$  ( $i=1\sim 9$ )に対応する各領域に対して、式(5), (6)で表される。

$0 \leq s_m \leq s_n$  のとき

$$y_{nm} = (-L \cdot s_n) \cdot F_n \cdot s_m^3 / (6L) + C_{i1} \cdot s_m + C_{i2} / EI_i \dots\dots\dots (5)$$

$s_n \leq s_m \leq L$  のとき

$$y_{nm} = (s_n \cdot F_n \cdot (s_m-L)^3 / (6L) + D_{i1}(s_m-L) + D_{i2}) / EI_i \dots\dots\dots (6)$$

また、集中荷重 $f_x$ による各サドル位置 $x=s_m$  ( $m=2\sim 5$ )に生じる軸心たわみ量 $y_m$ は、断面2次モーメント $I_i$  ( $i=1\sim 9$ )に対応する各領域に対して、式(7), (8)で表される。

$0 \leq s_m \leq L_f$  のとき

$$y_m = (-L \cdot L_f) \cdot f_x \cdot s_m^3 / (6L) + C_{i1} \cdot s_m + C_{i2} / EI_i \dots\dots\dots (7)$$

$L_f \leq s_m \leq L$  のとき

$$y_m = (L_f \cdot f_x \cdot (s_m-L)^3 / (6L) + D_{i1}(s_m-L) + D_{i2}) / EI_i \dots\dots\dots (8)$$

各サドル位置 $s_m$  ( $m=2\sim 5$ )が固定されるので、式(9)に示す固定条件を満足するように、荷重 $F_n$  ( $n=2\sim 5$ )を算出する。

$$y_m + y_{2m} + y_{3m} + y_{4m} + y_{5m} = 0 \dots\dots\dots (9)$$

そして、集中荷重 $f_x$ および荷重 $F_n$  ( $n=2\sim 5$ )により生じる軸心たわみの和として、任意の位置 $x$ における軸心たわみ量を算出する。なお、As-U圧下量の影響につい

では、上記の軸心たわみ量にAs-U圧下量に応じたロール胴長方向の軸心たわみ量の分布を重ね合わせるにより考慮する。

### 3.3 計算方法

Fig. 6 に形状解析モデルのフローチャートを示す。ロール弾性変形の計算には、Shohetなどによる分割モデル<sup>8)</sup>を用いる。ロール軸心たわみについては、前述のFig. 4 に示すように、ワークロールに作用する圧延荷重分布 $P_j$ およびワークロールからバックアップロールまでに作用するロール間接触荷重分布 $q_j^m$ ( $m=1\sim 6$ )から計算を行なう。

圧延荷重分布 $P_j$ が与えられた場合、ロールに作用する各方向の力からロール軸心変位およびロール間接触荷重の計算式をすべてのロールおよびロール間接触部に関して連立させ、荷重およびモーメントの釣り合い条件からロール弾性変形を求める。圧延荷重分布 $P_j$ はHillの圧下力関数<sup>9)</sup>とHitchcockのワークロール偏平式<sup>10)</sup>を連立させて計算する。また、ロール間接触荷重分布 $q_j^m$ の計算にはFöpplの式<sup>11)</sup>を用いる。

### 3.4 形状解析モデルの実機検証

Table 1 に示した実機20段センジミア圧延機において、

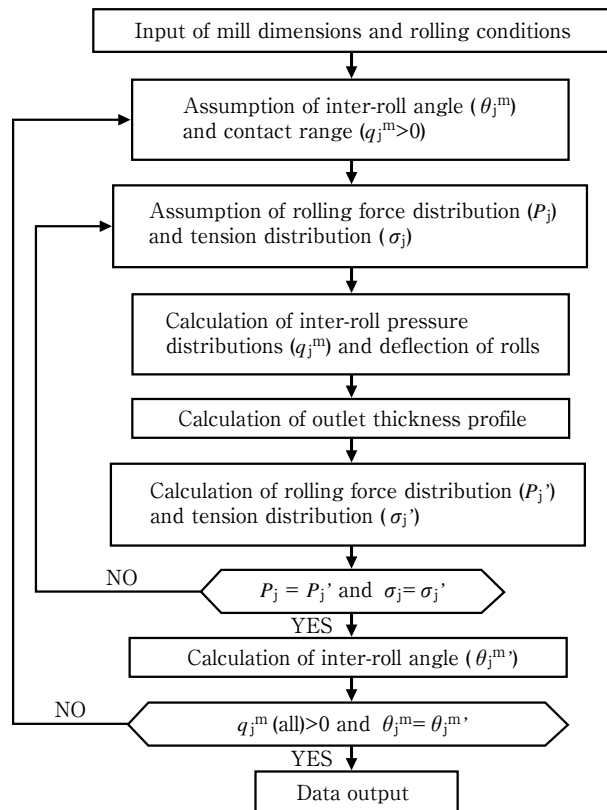


Fig. 6 Flow chart of the analysis model.

FSBAを使用し、変形抵抗 $700\sim 1260\text{N/mm}^2$ の高強度材について板厚 $0.6\text{mm}\sim 3.0\text{mm}$ 、板幅 $910\text{mm}\sim 1080\text{mm}$ の範囲で圧延実験を行い、形状解析モデルの精度を検証した。なお、アセンブリ軸の組込み角度は $0$ 度に固定して実験を行った。Fig. 7 に板端部(板端から $50\text{mm}$ 位置)およびクォータ部(板幅の $1/4$ の位置)の板幅中央に対する伸び率差について、計算値と実測値の比較を示す。

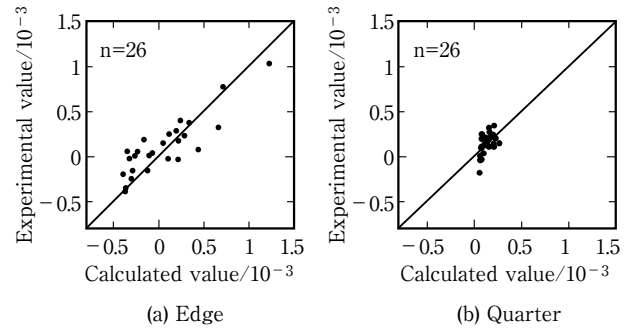


Fig. 7 Comparison between calculated elongation difference and experimental elongation difference.

ここで、実測値はワークサイドとドライブサイドの平均値で整理している。板端部、クォータ部のいずれにおいても計算値と実測値は良く一致しており、本解析モデルは20段センジミア圧延機においてFSBAの特性を考慮した形状シミュレーションを行なううえで有効である。

## 4. FSBAの形状制御特性の解析

20段センジミア圧延機の形状解析モデルにより、Table 2 の圧延条件で第1中間ロールシフト位置 $L_s$ および

Table 2 Rolling conditions

Work roll diameter/mm	90		
Work roll length/mm	1330		
Yield strength/ $\text{N/mm}^2$	1050		
Strip width/mm	1000		
Inlet thickness/mm	0.88		
Outlet thickness/mm	0.80		
Rolling load/kN	3000		
Position of first intermediate roll $L_s$ /mm	350~500		
As-U crown adjustment	with FSBA	Edge $S_e$ /mm	-0.650~0.650
		Quarter $S_q$ /mm	-0.325~0.325
	without FSBA	Edge $S_e$ /mm	-0.390~0.390
		Quarter $S_q$ /mm	-0.195~0.195

びAs-U圧下量  $Se$ ,  $Sq$  を最小値から最大値まで変化させて形状シミュレーションを行ない、FSBAの有無による形状制御範囲を比較検討した。なお、Fig. 8 に示すように、第1中間ロールの片側には3段テーパが付与されているが、第1中間ロールシフト位置  $Ls$  を板幅中央から第1テーパ（最も外側のテーパ）開始点までの距離で定義する。また、Fig. 9 に示すように、As-U圧下量  $Se$ ,  $Sq$  をそれぞれ両端部サドル位置 (No.1, 6) およびクォータ部サドル位置 (No.2, 5) と中央部サドル位置 (No.3, 4) との差で定義する。ここで、Fig. 9 に示したようにAs-U圧下パターンが谷型の場合に  $Se$ ,  $Sq$  をともに正と定義し、As-U圧下パターンが山型の場合に  $Se$ ,  $Sq$  をともに負と定義する。なお、FSBA有りの場合については、FSBAの組込み角度を剛性が最も小さくなる0度に固定して形状シミュレーションを行った。また、FSBA有りの場合は、FSBA無しの場合（スリット

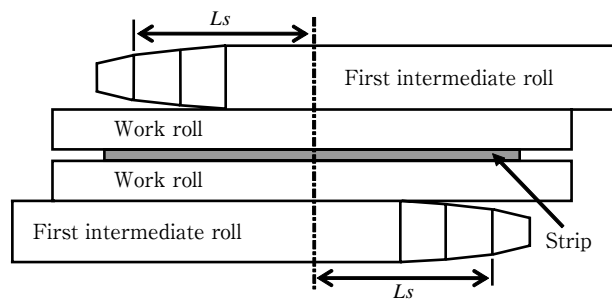


Fig. 8 Definition of first intermediate roll position.

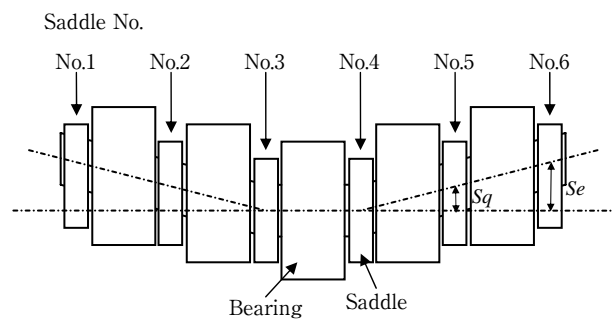


Fig. 9 Definition of As-U crown adjustment.

加工の施されていない通常のアセンブリ軸が組込まれた場合) に比べてAs-U調整機構の制御量が大幅に拡大する。

Fig.10に第1中間ロールシフトとAs-U調整機構による形状制御平面をFSBAの有無で比較して示す。横軸の  $\epsilon e$  は板端部（板端から50mm位置）の板幅中央対

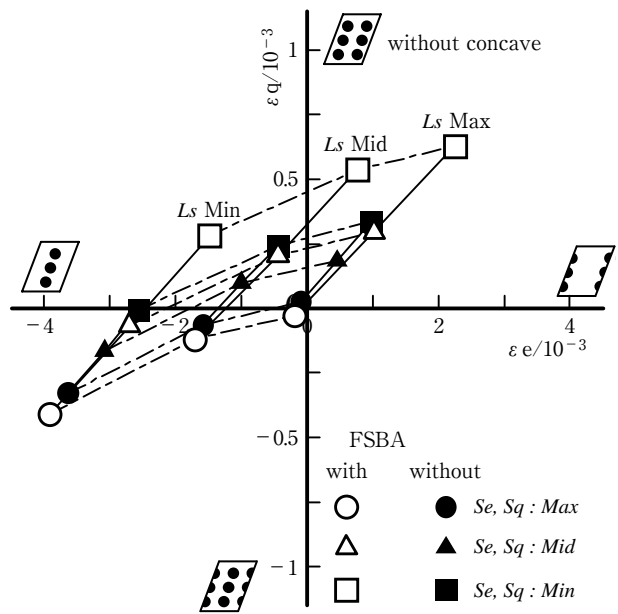


Fig.10 Effect of FSBA on shape control range.

する伸び率差を表し、正方向が耳伸び、負方向が中伸びとなる。縦軸の  $\epsilon q$  はクォータ部（板幅の1/4の位置）の板幅中央に対する伸び率差を表し、正方向がクォータ伸び、負方向がW型伸びとなる。FSBAの有無によらず、第1中間ロールシフト位置  $Ls$  が大きくなるほど、すなわち第1中間ロールのテーパが外側に移動するほど、耳伸び、クォータ伸びともに増加する。また、As-U圧下量  $Se$ ,  $Sq$  をともに小さくするほど、すなわちAs-U圧下パターンを山型にするほど、耳伸び、クォータ伸びともに増加する。

FSBAの導入によりAs-U調整機構の効果が大きくなり、形状制御範囲は約2倍に拡大するが、FSBAによる形状制御範囲の拡大効果はクォータ伸び側および耳伸び側で大きい。これは、アセンブリ軸の剛性が弱くなり、第2中間ロールから受ける荷重によるアセンブリ軸のたわみ量が多くなり、第2中間ロールの軸心たわみ量が増加するためである。

したがって、FSBAの形状制御範囲拡大効果を有効活用し、クォータ伸びをさらに抑制するためには、第1中間ロールプロフィールの適正化との組合せによる形状制御の検討が必要である。

### 5. コンケーブプロフィールの設計

FSBAの形状制御範囲拡大効果を有効活用し、クォータ伸びをさらに抑制するため、FSBAとコンケーブロールの組合せによる形状制御を検討した。20段センジミ

ア圧延機の形状解析モデルにより、Table 2 に示した圧延条件で形状シミュレーションを行い、コンケーブプロフィールの最適化を検討した。Fig.11にコンケーブプロ

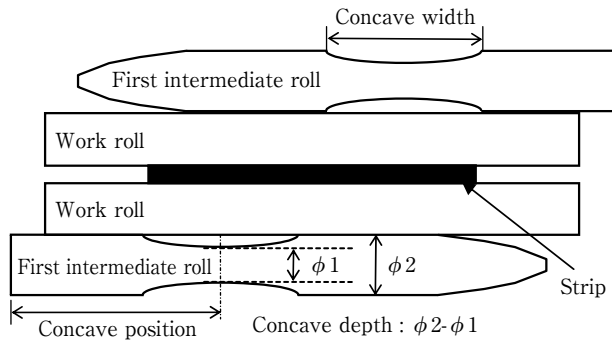


Fig.11 Concave profile.

フィールを示す。コンケーブは4本の第1中間ロールのテーパと反対側に付与する。また、コンケーブはサインカーブ状のプロフィールとし、形状への影響因子として、縮径量、縮径幅、付与位置について検討した。なお、Fig.10に示したように、FSBA有りの場合の形状制御範囲はFSBA無しの場合の形状制御範囲を含むため、FSBA無しの場合を基準にコンケーブプロフィールの最適化を検討した。

Fig.12にクォータ伸びに及ぼすコンケーブ縮径量の影響の解析結果を示す。ここで、クォータ伸びの生じやすさは、板端部の板幅中央に対する伸び率差  $\epsilon_e$  がゼロになる場合におけるクォータ部の板幅中央に対する伸び率差  $\epsilon_q$  の制御可能範囲で評価している。図中には、 $\epsilon_q$  の最大値と最小値を示しており、この最大値と最小値の間が第1中間ロールシフトとAs-U調整機構による

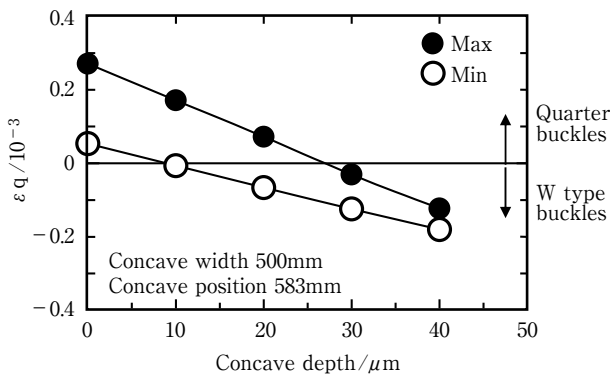


Fig.12 Effect of concave depth on quarter buckles.

$\epsilon_q$  の制御可能範囲になる。コンケーブを付与しない場合、すなわち縮径量がゼロの場合には、 $\epsilon_q$  は正の値のみをとり、クォータ伸びが生じる。縮径量を大きくすることにより  $\epsilon_q$  は負の方向に変化し、クォータ伸び抑制作用が認められる。しかし、縮径量が大きすぎると、 $\epsilon_q$  は負の値のみをとり、W型伸びが大きくなる。

この  $\epsilon_q$  と縮径量の関係は、一例として、第1中間ロールシフト位置が中間でAs-U圧下パターンがフラットの場合についてFig.13に示すように、ワークロール

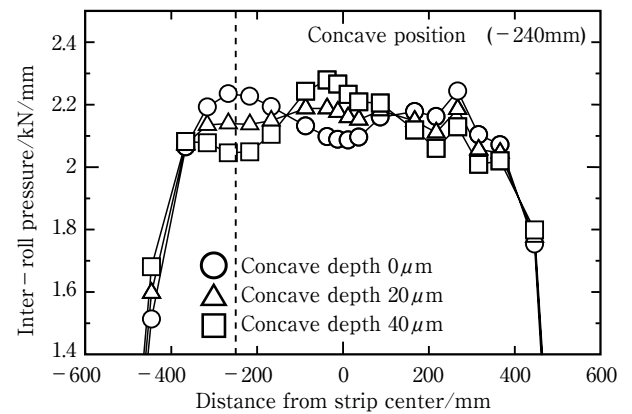


Fig.13 Distribution of contact pressure between work roll and first intermediate roll.

と第1中間ロール間の接触荷重分布に対応する。コンケーブを付与しない場合には、クォータ部（最大縮径位置に相当する部分）の接触荷重が大きい。縮径量の増加とともにクォータ部の接触荷重が小さくなる。縮径量が40  $\mu\text{m}$  と多い場合には、クォータ部の接触荷重が板幅中央部に比べて小さくなる。このように、コンケーブロールは、クォータ部におけるワークロールと第1中間ロール間の接触荷重を低減することにより、クォータ伸びを抑制する。そして、縮径量が20  $\mu\text{m}$  の場合に接触荷重分布が均一化しており、 $\epsilon_q$  の制御可能範囲もほぼゼロを中心にして分布している。以下、縮径量を20  $\mu\text{m}$  として、縮径幅や付与位置の影響を検討した。

Fig.14にクォータ伸びに及ぼすコンケーブ縮径幅の影響の解析結果を示す。Fig.12と同様に、 $\epsilon_e$  がゼロになる場合における  $\epsilon_q$  の制御可能範囲を示している。なお、コンケーブの範囲がクォータ部を中心に板の片側のみに及ぶように、縮径幅を代表的な板幅1000mmの1/2である500mmを中心として検討した。また、付与位置については、第1中間ロールのシフト位置が中間のときに最大縮径位置が板幅の1/4の位置となる583mmで解析し

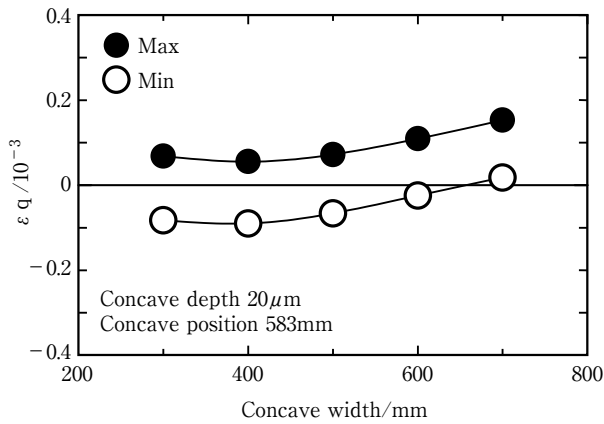


Fig.14 Effect of concave width on quarter buckles.

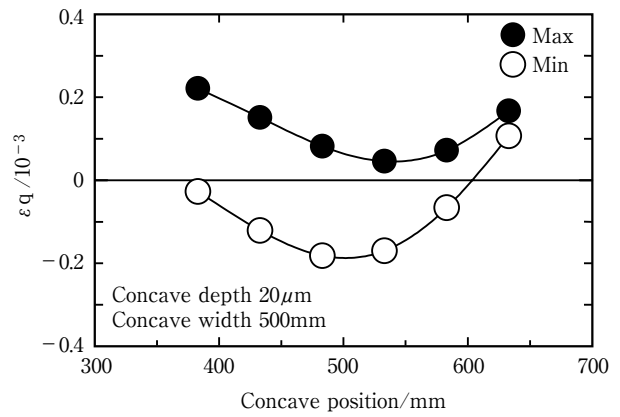


Fig.15 Effect of concave position on quarter buckles.

た。板幅の1/2以下では、縮径幅の $\epsilon_q$ に及ぼす影響は小さいが、縮径幅が大きすぎると $\epsilon_q$ は正方向に変化し、クォータ伸び抑制効果が小さくなる。縮径幅が大きいと、コンケーブの影響が板幅中央部や板端部へも及ぶためである。

Fig.15にクォータ伸びに及ぼすコンケーブ付与位置の影響の解析結果を示す。第1中間ロールのテーパは、外側に移動するほど耳伸びおよびクォータ伸びが大きくなるように作用する。一方、コンケーブは、最大縮径位置がクォータ部近傍にあるときにクォータ伸びが小さくなるように作用する。この第1中間ロールのテーパの影響とコンケーブの影響が重畳し、コンケー

ブ付与位置が483mmのときに $\epsilon_q$ の制御可能範囲が広がる。

以上の結果を基に、FSBA無しの条件において、コンケーブプロフィールを最適化し、縮径量 $20\mu\text{m}$ 、縮径幅500mm、付与位置483mmとした場合の形状制御平面をコンケーブを付与しない場合と比較して、Fig.16 (a)に示す。コンケーブを付与することにより形状制御範囲は大きくは拡大しないが、クォータ伸びが抑制される。そして、Fig.16 (b)に示すように、FSBAとコンケーブロールを組み合わせると、FSBAの形状制御範囲拡大効果とコンケーブロールのクォータ伸び抑制効果により、形状制御平面が原点 ( $\epsilon_e, \epsilon_q$ がともにゼロとなる条件)

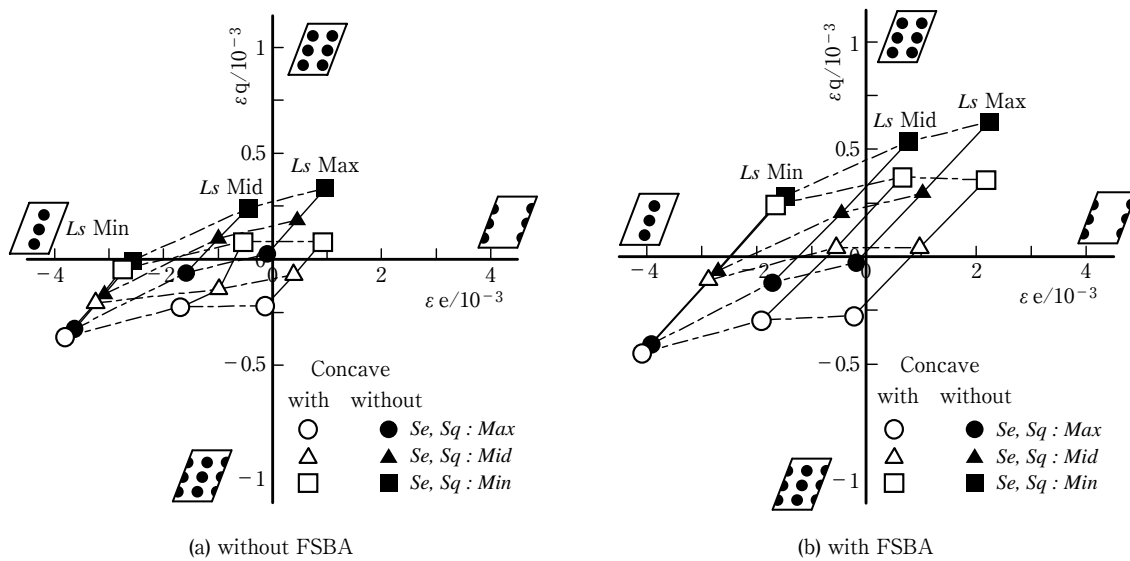


Fig.16 Effect of concave on shape control range.

を含みやすくなる。

## 6. コンケーブロールの実機適用結果

5章で設計したコンケーブプロフィールを第1中間ロールに付与し、クォータ伸び抑制効果の実機検証を行った。

Fig.17にFSBA無しの場合におけるコンケーブ有無による圧延形状の比較の一例を示す。なお、圧延中にASC (Automatic Shape Control) により圧延形状は変化しているため、Fig.17には形状安定部 (コイル長手方

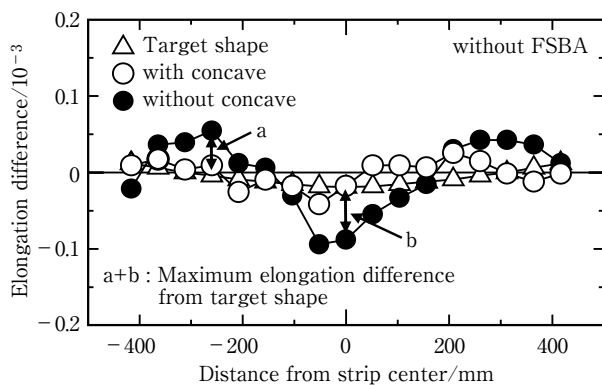


Fig.17 Comparison of strip shape between with concave and without concave.

向中央部)における形状検出器による測定値を示した。コンケーブを付与しない場合は、クォータ伸び形状となり、ASCの目標形状に制御できていない。これに対して、コンケーブを付与する場合は、形状シミュレーション通りにクォータ伸びが抑制され、ASCの目標形状に制御されている。

Fig.18にFSBA無しの場合におけるコイル長手方向の

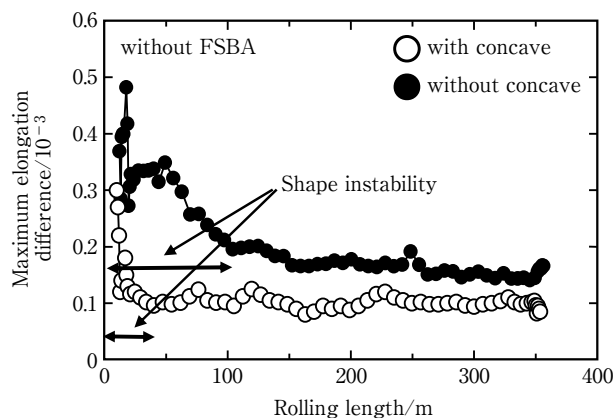


Fig.18 Strip shape variation in the rolling direction.

形状変化を、コンケーブ有無により比較して示す。ここで、縦軸の目標形状からの最大伸び率差は、Fig.17に示した板幅中央部およびクォータ部における実形状と目標形状の伸び率差の絶対値の和で定義する。コンケーブを付与しない場合に比較してコンケーブを付与する場合は、形状安定部において目標形状からの最大伸び率差が低い水準で推移し、コイル長手方向で安定して形状改善効果が得られている。また、コンケーブを付与する場合には、圧延開始時からの形状不安定部が短い。これは、コンケーブを付与する場合は、クォータ伸びが抑制されているため、ASCによる目標形状までの第1中間ロールのシフト変更量やAs-U調整機構の圧下変更量が少なくなり、形状安定までに要する時間が短くなったものと考えられる。

Fig.19にFSBA無しの場合におけるコンケーブロールのクォータ伸び抑制効果に及ぼす板幅の影響を示す。コ

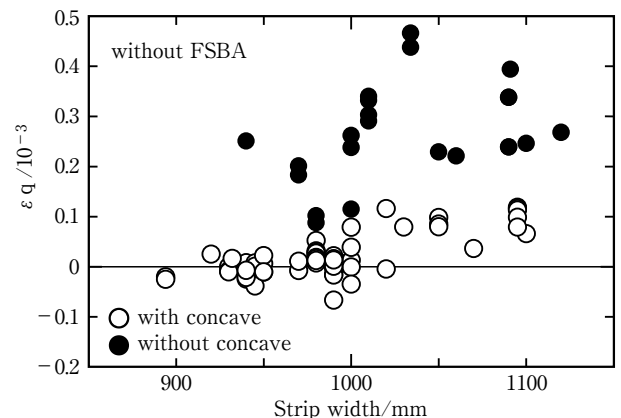


Fig.19 Effect of strip width on improvement of quarter buckles with concave roll.

ンケーブを付与しない場合は、板幅が広くなるほどクォータ伸びが大きくなる傾向が顕著である。これは、板幅が広くなるとともに、 $\epsilon e$ がゼロになる第1中間ロールのシフト位置が外側に移動し、相対的にクォータ部に及ぼすテーパの影響が小さくなるためである。一方、コンケーブを付与する場合は、板幅が広くなるとクォータ伸びが生じやすくなり、板幅1100mm近傍ではクォータ伸びが残存するが、 $\epsilon q$ の値はコンケーブを付与しない場合に比べて約 $0.2 \times 10^{-3}$ 小さい。そして、同一のコンケーブロールで板幅900mm~1100mmの広範囲において、コンケーブを付与しない場合に比べてクォータ伸びが大幅に抑制され、コンケーブロールの形状改善効果が認められる。



Fig.20にFSBA無しの場合におけるコンケーブロールのクォータ伸び抑制効果に及ぼす圧延後板厚の影響を示す。コンケーブを付与しない場合は、板厚が薄いほどクォータ伸びが大きくなる傾向にある。これは、板厚が薄いほど圧延形状に及ぼすロールたわみ変形の影響が大きくなるためである。一方、コンケーブを付与する場合は、同一のコンケーブロールで板厚1mm～5mmの範囲内で $\epsilon q$ は $\pm 0.1 \times 10^{-3}$ 以内に抑制されており、コンケーブロールの形状改善効果が認められる。

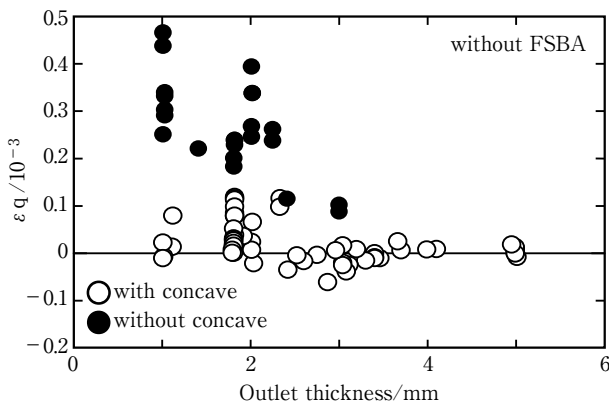


Fig.20 Effect of outlet thickness on improvement of quarter buckles with concave roll.

次に、FSBAの形状制御範囲拡大効果を検証するため、コンケーブを付与した場合の圧延形状をFSBA有無で比較した。その結果をFig.21に示す。FSBA無しの場合の

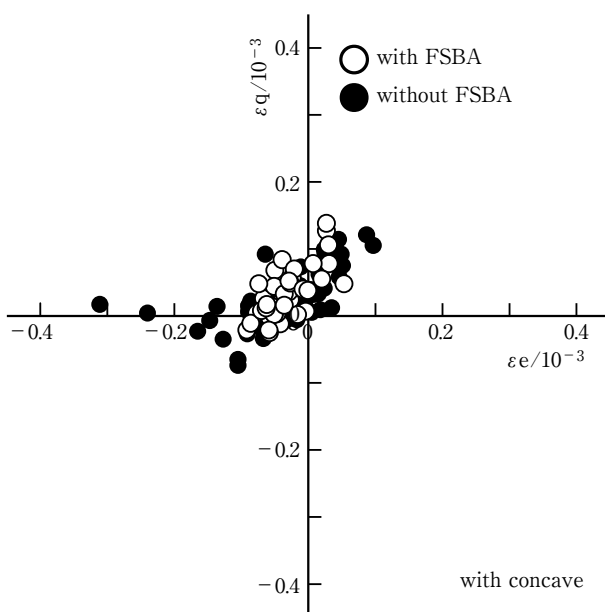


Fig.21 Effect of FSBA on strip shape.

$\epsilon e$ の範囲が $-0.31 \times 10^{-3} \sim 0.10 \times 10^{-3}$ であるのに対して、FSBA有りの場合の $\epsilon e$ の範囲は $-0.09 \times 10^{-3} \sim 0.05 \times 10^{-3}$ となり、FSBA有りの場合は、FSBA無しの場合に比べて圧延形状のばらつきが少なくなっている。これは、FSBAの形状制御範囲拡大効果により、広範囲な圧延条件に対応した形状制御性が向上するためである。

以上の実機検証により、FSBAとコンケーブロールを組み合わせると、FSBAの形状制御範囲拡大効果とコンケーブロールのクォータ伸び抑制効果により、広範囲な圧延条件に対応して良好な圧延形状が得られることを確認した。

## 7. 結 言

20段センジミア圧延機にFSBAを導入し、形状制御技術を開発するため、ロール胴長方向の断面2次モーメントの分布を考慮した形状解析モデルを構築した。本解析モデルによりFSBAの形状制御範囲拡大効果について検討するとともに、クォータ伸び抑制の観点から、コンケーブプロフィールを設計し、FSBAとコンケーブロールの組合せによる形状制御を検討した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) FSBAの導入によりAs-U調整機構の効果が大きくなり、形状制御範囲は大幅に拡大するが、FSBAによる形状制御範囲の拡大効果はクォータ伸び側および耳伸び側で大きい。
- (2) コンケーブプロフィールの形状への影響因子として、縮径量、縮径幅、付与位置を最適化することにより、クォータ伸びが抑制される。そして、FSBAとコンケーブロールを組み合わせると、FSBAの形状制御範囲拡大効果とコンケーブロールのクォータ伸び抑制効果により、形状制御平面が原点を含みやすくなる。
- (3) 設計したコンケーブプロフィールを第1中間ロールに付与し、クォータ伸び抑制効果について実機検証を行なった結果、同一のコンケーブロールで板幅900mm～1100mm、板厚1mm～5mmの広範囲な圧延条件において、クォータ伸びが抑制されることを確認した。
- (4) FSBAとコンケーブロールを組み合わせた実機実験において、FSBAの形状制御範囲拡大効果により、コンケーブロールを単独で用いた場合よりも、広範囲な圧延条件に対応して良好な圧延形状が得られることを確認した。
- (5) FSBAとコンケーブロールは、営業生産に適用され、形状改善に効果をあげている。

## 参考文献

- 1) 渡辺裕一郎・剣持一仁・狩野裕隆・神丸秋信・山田順也・山本準一：46回塑加連講論, (1995), 309-310.
- 2) K. Hara・T. Yamada・I. Takagi: ISIJ International, 31-6 (1991), 607-613.
- 3) 原健治・中本一成：日新製鋼技報, 71 (1995), 41-52.
- 4) 重枝美治・松川勝彦・森下久生・川畑一郎・中乗敬之・小林裕和：同上, 80 (2000), 55-60.
- 5) John W. Turley, Alberto Pollastrelli, Mark Brecy : I.S.E., 76-3 (1999), 35-40.
- 6) 松田徹・松原茂雄・原健治・竹添明信・河野英二・白井堯：日新製鋼技報, 57 (1987), 22-28.
- 7) 水田篤男・服部重夫・山口喜弘：塑性と加工, 28-321 (1987), 1042-1047.
- 8) Shohet, K.N. & Townsend, N.A. : J.Iron Steel Inst, 206 (1968), 1088-1098.
- 9) Hill, R.: The Mathematical Theory of Plasticity, Oxford Univ Press, Oxford, (1950).
- 10) J.H. Hitchcock: Roll neck bearings, Appendix I, Elastic deformation of rolls during cold rolling, N.Y., (1935), 33-41.
- 11) Föppl: Vorlesung unter Technise Mechanic, Bd.V, S., 333-352.