

討18 スラブの幅方向圧延に関する実験的および解析的研究

京都大学工学部 ○小門 純一 八田 夏夫
宅田 裕彦

1. 緒言 連鑄工程においてホットストリップミル工程の要求する多種類の幅のスラブを同一モールドで連鑄することは、モールドの幅変更技術の開発により不可能ではないが、製鋼時間との同調、品質の管理、歩留りの低下などの面から必ずしも得策でない場合が多い。したがって、連鑄工程ではできるだけ幅変更を少なくし、ホットストリップミルの粗圧延機入側にサイジングミルを新設して、いわゆるスラブの幅大圧下圧延によって幅変更を行う方法が実用化され始めている。本稿では、スラブの幅圧延において幅圧下量、ロール形状、ロール径およびスラブ幅が、圧延荷重、トルク、動力、材料内応力分布および圧延後の材料形状に及ぼす影響について、アルミニウム板を用いたモデル実験によりその妥当性が検証された剛塑性有限要素法を用いて解析した結果を中心として報告する。

2. 解析に用いられた圧延条件

圧延材料としては板幅 1900 mm、板厚 280 mm のスラブが、幅圧延用ロールとしてはカリバ側壁の傾斜角 $\theta = 15^\circ$ 、径 1200 mm のカリバロールおよび同一径を持つフラットロールとが基本的に用いられた。スラブ幅の影響を調べるための解析ではスラブ幅を 900 mm から 2100 mm まで、ロール径の影響を調べるための解析ではフラットロールおよびカリバロールの径をいずれも 900 mm から 2100 mm まで変化させた。

また、カリバ傾斜角の影響を調べるための解析では傾斜角 θ を 5° から 30° まで変化させた。また、ロールの周速度はつねに 1 m/s で、前、後方張力は負荷されていないものとした。圧延材は炭素含有量 0.1% の炭素鋼で圧延温度は 1100°C とし、変形抵抗値は志田の式¹⁾よりもとめた。ロールと圧延材との間の摩擦係数は 0.45 の一定値とした。なお、解析法の詳細については既報を参照されたい。^{2~4)}

3. 解析結果および考察

3.1. 解析法の妥当性

解析結果の信頼性について、ここではアルミニウム板を用いたモデル実験による実測値とその解析値を比較することによって確認した。この実験に用いられた幅圧延用ロールは径 80 mm のフラットロールおよび傾斜角 $\theta = 10^\circ, 20^\circ$ のカリバロールで、圧延材料の板幅は 85 mm、板厚は 12 mm であり、圧延温度は 500°C である。

図 1 は、フラットロールおよびカリバロールによる幅圧延後の材料の断面形状の実測および解析結果の一例を示すものである。断面形状に関する解析結果は実測結果に比べてドッグボーンのピーク位置がやや幅端部寄りになっているものの、この図からも判るように両者はよく一致するものであった。

図 2 は、圧延トルクに関して計算値と実測値を比較したものであり、両者はほぼ 10% 以内の誤差範囲でよく一致していることが判る。

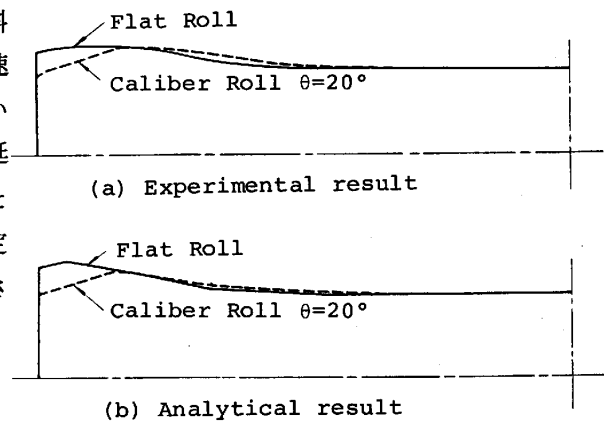


Fig. 1. Comparison between analytical and experimental results on the dog-bone shape. ($\Delta B=9\text{mm}$)

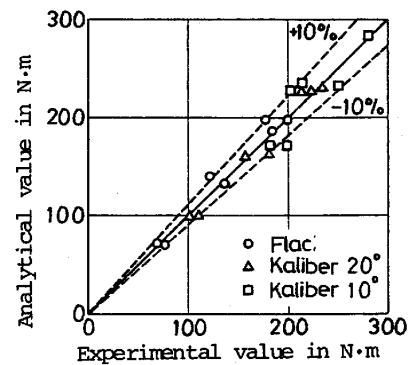


Fig. 2. Comparison between analytical and experimental values of the rolling torque.

また、圧延荷重に関しても同様の結果が得られた。

以上から、本解析に用いた剛塑性有限要素法および要素分割法は十分な妥当性を有するものと認めた。

3. 2. フラットロールおよび種々の傾斜角をもつカリバロールで幅圧延したときの圧延特性

図3は、幅圧下量とドッグボーン厚さ比(H_{max}/H_0)との関係を示すものである。いずれのロール形状の場合も、ドッグボーン厚さ比は幅圧下量とともに増加するが、その増加率は漸次減少している。フラットロールから傾斜角の小さいカリバロールにしたが、ドッグボーン厚さ比は小さくなるとともに、その減少の割合はゆるやかに増加する傾向が認められる。

図4、5は、幅圧下量と圧延荷重、トルクとの関係を示すものである。圧延荷重、トルクはいずれも幅圧下量とともに増加するが、圧延荷重の場合はその増加率が幅圧下量の増加とともに減少するのに対し、圧延トルクは幅圧下量にほぼ比例している。いずれの値もフラットロールの場合に最も小さく、カリバロールの傾斜角の減少とともに増大しており、その角度の影響も大きくなっている。また、図5の破線は、圧延トルクの中の摩擦仕事だけに要する部分を示すものであるが、その全圧延トルクに対する割合は、フラットロールの場合最も小さく、カリバロールの傾斜角が小さくなるほど増大している。

図6(a), (b), (c)は、それぞれ幅圧延中のスラブ内に発生する幅方向応力 σ_x 、圧延方向応力 σ_y 、厚さ方向応力 σ_z の分布の一例を、フラットロールと傾斜角 $\theta=10^\circ$ および 20° のカリバロールの場合を対比して示すものである。図中、正の値は圧縮応力を、負の値は引張り応力を示している。いずれのロールの場合にも、 σ_x 、 σ_y 、 σ_z はいずれも幅端部で大きな圧縮応力を示し、幅中央部に近づくにつれて減少している。 σ_x の場合は比較的幅中央部のほうへ圧縮応力の広がりが見られるが、 σ_z の場合は幅端部だけに集中している。また、幅中央部付近の σ_y の値がかなり大きい引張り応力となっていることは注目すべきことである。このことはプラスティンによるモデル実験によっても認められているもので⁵⁾、連铸スラブの内部組織の健全性、特に、矯正点付近で発生し易い内部横割れの防止には十分な配慮が必要なことを示すものである。カリバロールの場合の内部応力は、フラットロールのそれらと比べて、いずれも幅端部付近での圧縮応力が増大しており、特に σ_z は顕著に大きくなっている。また、この傾向は傾斜角が小さくなるほど顕著になっている。

以上のようなカリバロールの長所と短所を総合して判断すれば、当条件下では、傾斜角は $10^\circ \sim 15^\circ$ 程度が適切なものと思われる。

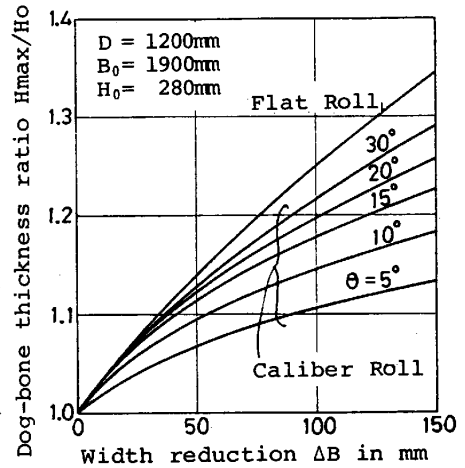


Fig. 3. Relation between width reduction and dog-bone thickness ratio.

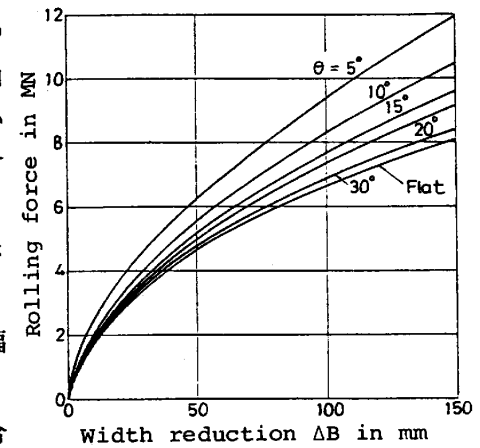


Fig. 4. Relation between width reduction and rolling force.

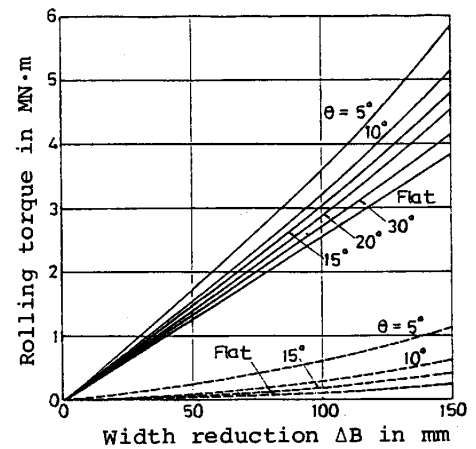


Fig. 5. Relation between width reduction and rolling torque.

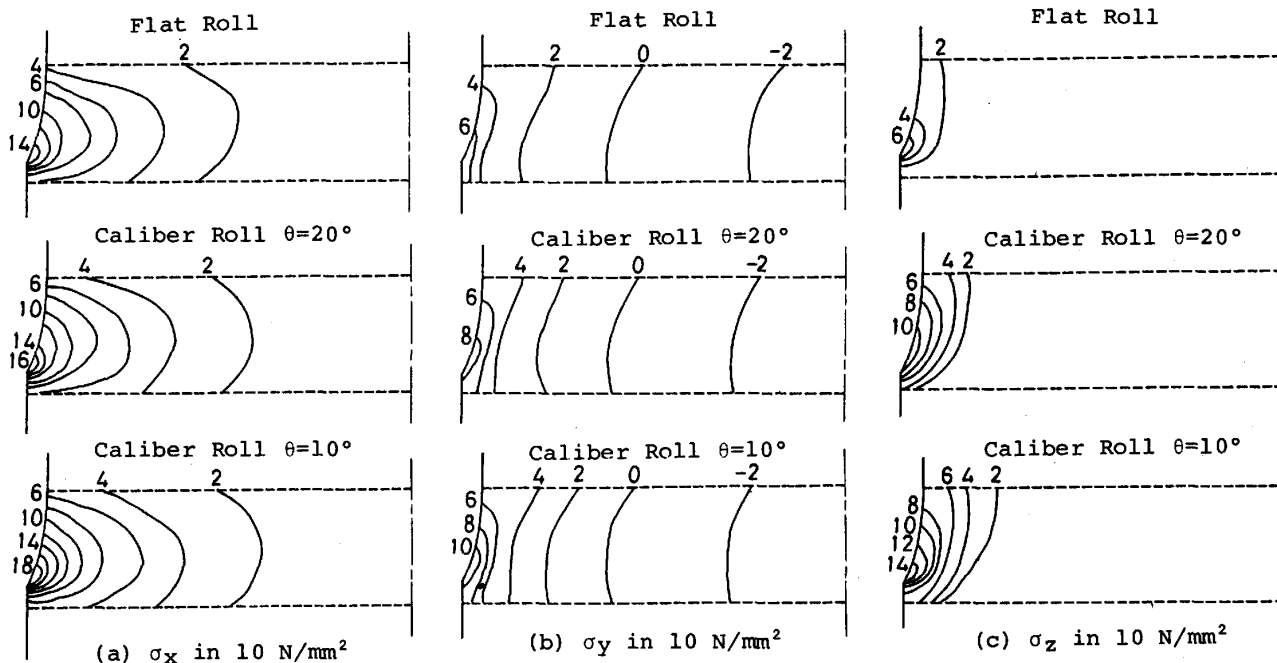


Fig. 6. Distribution of stresses in slab during vertical rolling using flat and caliber rolls with caliber angle 10° and 20°. ($\Delta B = 100\text{mm}$)

3. 3. ロール径が幅圧延特性に及ぼす影響

図7は、ロール径と圧延トルクとの関係を幅圧下量 ΔB を助変数として示すもので、当然のことながら圧延トルクはロール径とともに直線的に増大している。また、圧延荷重も比較的ゆるやかではあるがロール径とともに増加する。このため、ロール径が大きくなると、大がかりな設備が必要となり、そのうえロールの製作費もかさむことになる。しかし、図8に示されるように、圧延動力はロール径の増加とともに減少し、省エネルギー的観点から見た場合、大径のロールの使用が望ましいことになる。

図9は、ロール径とドッグボーン厚さ比との関係を示すものである。ロール径が小さい場合には、スラブは幅端部に近い部分だけで変形するためドッグボーン厚さは大きく、ロール径が大きくなるにつれて変形範囲が幅中央部のほうへ及ぶようになり、ドッグボーン厚さの小さいなだらかなドッグボーン形状となる。この影響は、フラットロールの場合のほうに大きく表われている。カリバロールの場合には側壁傾斜部の拘束があるためロール径のドッグボーン形状への影響は小さいが、ロール径の小さな場合ほど大きな拘束力を必要とすることになる。図8においてカリバロールの場合のほうがロール径の減少とともに圧延動力が顕著に大きくなったのはこのためである。

その他、幅圧延中のスラブの内部応力分布については、ロー

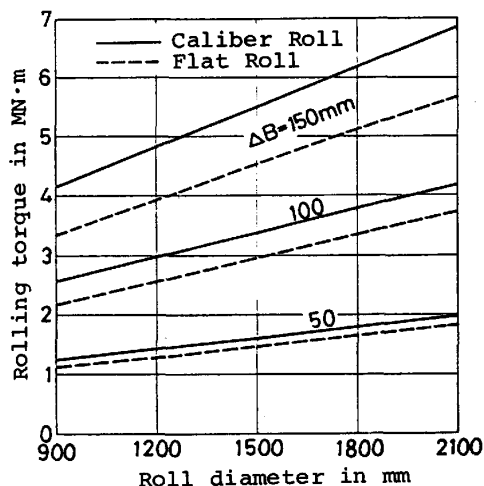


Fig. 7. Relation between roll diameter and rolling torque.

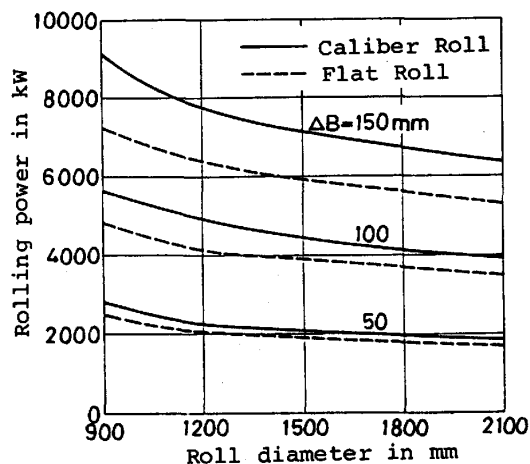


Fig. 8. Relation between roll diameter and rolling power.

ル径の大きな場合のほうが、幅端部での圧縮応力の値およびその集中度はともに小さく、幅中央部での圧延方向の引張り応力もやや小さくなることが判った。

3. 4. スラブ幅の影響

図10は、スラブ幅とドッグボーン厚さ比との関係を ΔB を助変数として示したもので、ドッグボーン厚さ比はスラブ幅とともにほぼ直線的に増加しており、その傾向はフラットロールの場合のほうが顕著である。

図11は、圧延荷重に及ぼすスラブ幅の影響を示すもので、圧延荷重はスラブ幅とともにゆるやかに増加している。この傾向はカリバロールの場合のほうが顕著であるが、これは、カリバロールの場合には、スラブ幅とともに増大するドッグボーンを側壁傾斜部で拘束しているからである。また、圧延トルクに関しても同様の結果が得られた。

3.2~3.4で述べられたロール形状、ロール径およびスラブ幅の影響については、アルミニウム板を用いたモデル実験によっても調べられており、紙面の都合上それらの結果を詳しく述べることはできないが、上記の解析結果はそれらと定性的によく一致するものであった^{4), 6)}

4. 結 言

本研究で得られた主な知見をまとめるとつぎのようである。

- (1) 圧延荷重、トルクおよびドッグボーン厚さは幅圧下量とともに増加するが、圧延トルクはほぼ比例して増加するのに対し、圧延荷重およびドッグボーン厚さの増加率は幅圧下量の増加とともに減少する。
- (2) カリバロールはフラットロールに比べてドッグボーン厚さの増大を抑えることができ、その効果は側壁傾斜角が小さくなるほど顕著になるが、同時に圧延荷重、トルクが増大し、ロール摩耗が大きくなることが予想される。
- (3) ロール径が大きくなると、圧延荷重、トルクは増大するが、所要圧延動力は減少し、ドッグボーン厚さも減少する。
- (4) 広幅のスラブを幅圧延する場合のほうが、より大きな圧延荷重、トルクを要し、ドッグボーン厚さも大きくなる。

参考文献： 1) 志田：塑性と加工，10-103(1969)，610。
 2) 森，小坂田：同上，23-260(1982)，897。
 3) 宅田，森，八田，小門：同上，23-262(1982)，1103。
 4) 宅田，森，八田，小門：同上，24-264(1983)，39。
 5) 小門，八田，宅田，川並，渡辺，市川：同上，24-273(1983)。
 6) 小門，八田，宅田：同上，投稿中。

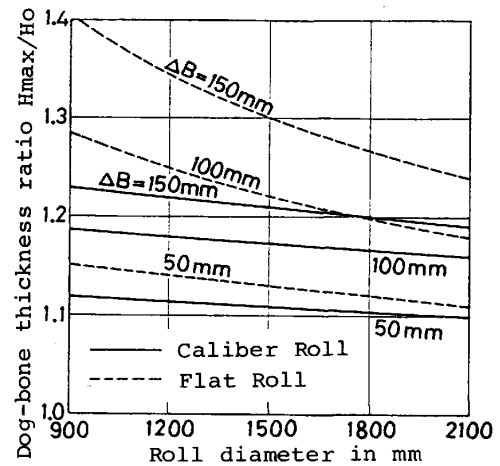


Fig. 9. Relation between roll diameter and dog-bone thickness ratio.

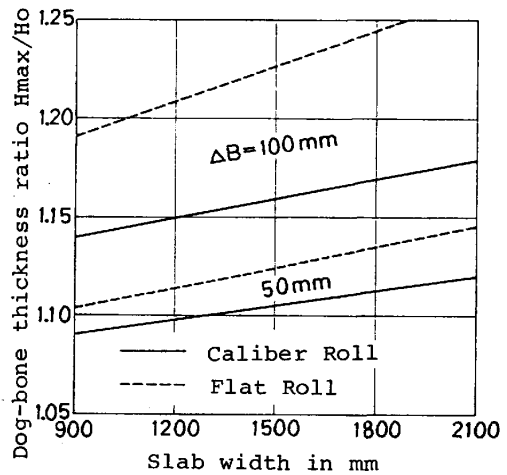


Fig.10. Relation between slab width and dog-bone thickness ratio.

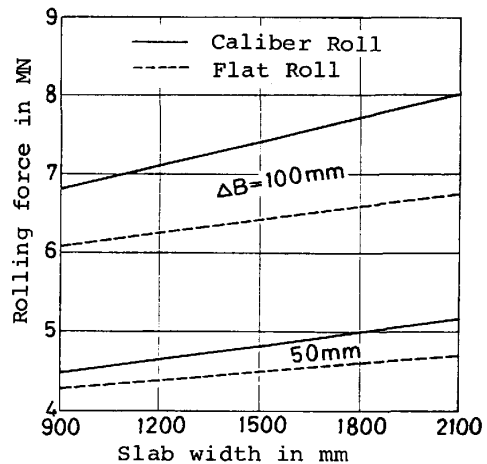


Fig.11. Relation between slab width and rolling force.