

熱間圧延における幅圧延技術

Width Rolling Technologies for Hot Strip Mills

近年、熱間圧延設備で生産されるホットコイルは、各設備ごとに300万t/年以上という膨大な量に達しており、板幅寸法の精度向上技術は品質向上の面からはもちろんのこと、歩留り向上の観点からも強く望まれている。粗圧延後のバー材には、スラブ材のスキッドマークなどに起因する幅の急変部が生じており、これらは歩留り低下の原因となり修正する必要がある。さらに、バー材では板厚が薄いことから、座屈が発生しやすく幅圧下が難しいといった問題がある。これらに対応する技術として、幅圧下の応答性が高い油圧圧下式エッジャーおよび座屈が発生しにくい拘束ロール幅圧延を取り上げた。それらの効果について検討した結果、油圧圧下式エッジャーを用いることによって従来比5倍以上と大幅に応答速度を増加でき、さらに拘束ロール幅圧延を行うことによって従来の約3倍と大幅に幅圧下量を増加できることがわかった。これにより、幅急変部や幅変動の大きい場合の制御が可能となる。

成田健次郎* *Kenjiro Narita*橋本直** *Tadashi Hashimoto*

1 緒言

近年、熱間圧延設備で生産されるホットコイルは、各設備ごとに300~500万t/年という膨大な量に達しており、板幅寸法の精度向上技術は品質向上の面からはもちろんのこと、歩留り向上の観点からも強く望まれている。板幅制御が熱間薄板圧延工程で用いられる個所としては、大別して粗圧延でのスラブ材と仕上げ圧延前のバー材の幅圧延があげられるが、それぞれ次のような課題がある。

スラブ材は連続鋳造によって製造されることがほとんどであるが、連続鋳造での幅変更は容易ではないため、スラブ材の幅制御では製品幅に応じた大きな幅圧下能力が要求される。これに対応するため、日立製作所は300 mmの幅圧下能力を持つサイジングプレス^{1),2)}を開発した。

粗圧延後のバー材にはスラブ材のスキッドマークや先・後端部の非定常変形に起因する幅の急変部が生じており、これらは歩留り低下の原因となるので修正する必要がある。さらに、バー材では板厚が薄いことから座屈が発生しやすく、幅圧下が難しいといった問題がある。これらに対応するため、高速幅圧下が可能な油圧圧下式エッジャーを開発した。さらに、拘束ロールを豎(たて)ロールの入出側に配し座屈を防止することによって、高圧下幅圧延を実現する技術を開発した。本稿では、これらのバー材の高速幅制御技術および高圧下幅圧延技術について述べる。

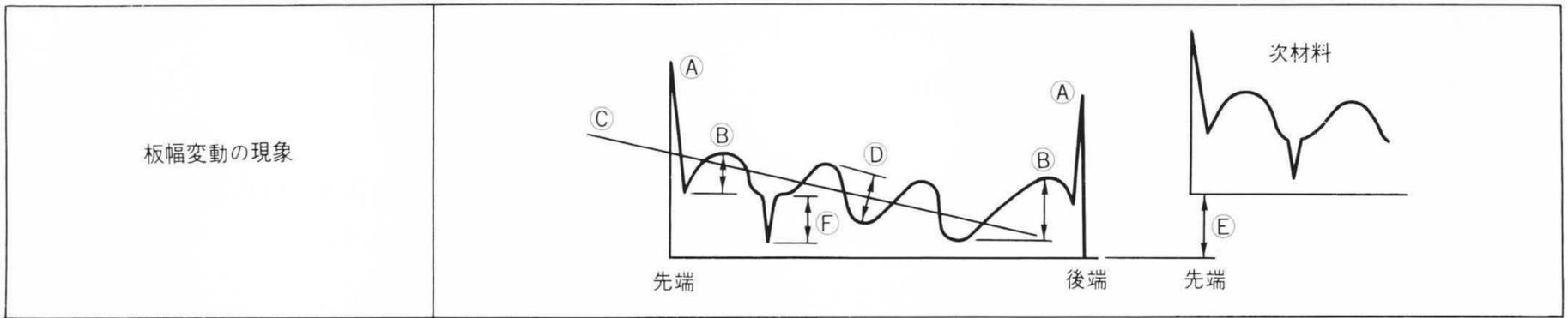
2 バー材高速幅制御技術

バー材幅変動の原因としては、上述したようにスラブ材のスキッドマークや先・後端部の非定常変形が考えられる。すなわち、粗圧延でのスラブ材の幅大圧下によってドッグボーンの不均一性は拡大し、これによる先・後端幅変動は増大する傾向にある。また、省エネルギーを目的とし加熱炉からの低温抽出は必須(す)条件となっており、材料の長手方向の温度むらがスキッドマーク以外にも発生しやすいなど幅変動の要因は多い。

仕上げ圧延後での主要な幅変動の現象、考えられる原因および対応策を図1に示す。同図で①、②は先・後端での幅広がりや幅戻り、③は長手方向の幅変動、④はスキッドマークによる幅変動、⑤は材料間の幅変動、⑥はネッキングによる幅落ちを概念的に表している。⑥の巻き取りネッキングによる幅落ちを除けば、加熱炉によるもの(③、④、⑤)や粗圧延によるもの(①、②)など仕上げ圧延前に原因があるものがほとんどであると考えられる。これらの諸変動に対し、従来の電動圧下式エッジャーの応答速度は振幅90度位相遅れで1 Hzないし2 Hz程度であり、対応できる幅変動としては長手方向の緩やかな変化③や波長2 m以上の周期的変化④がせいぜいと思われる。

材料間の幅変動⑤や①、②などのドッグボーンの不均一性による幅の急変動については、粗圧延工程で調節するのが最

* 日立製作所 機械研究所 ** 日立製作所 日立工場

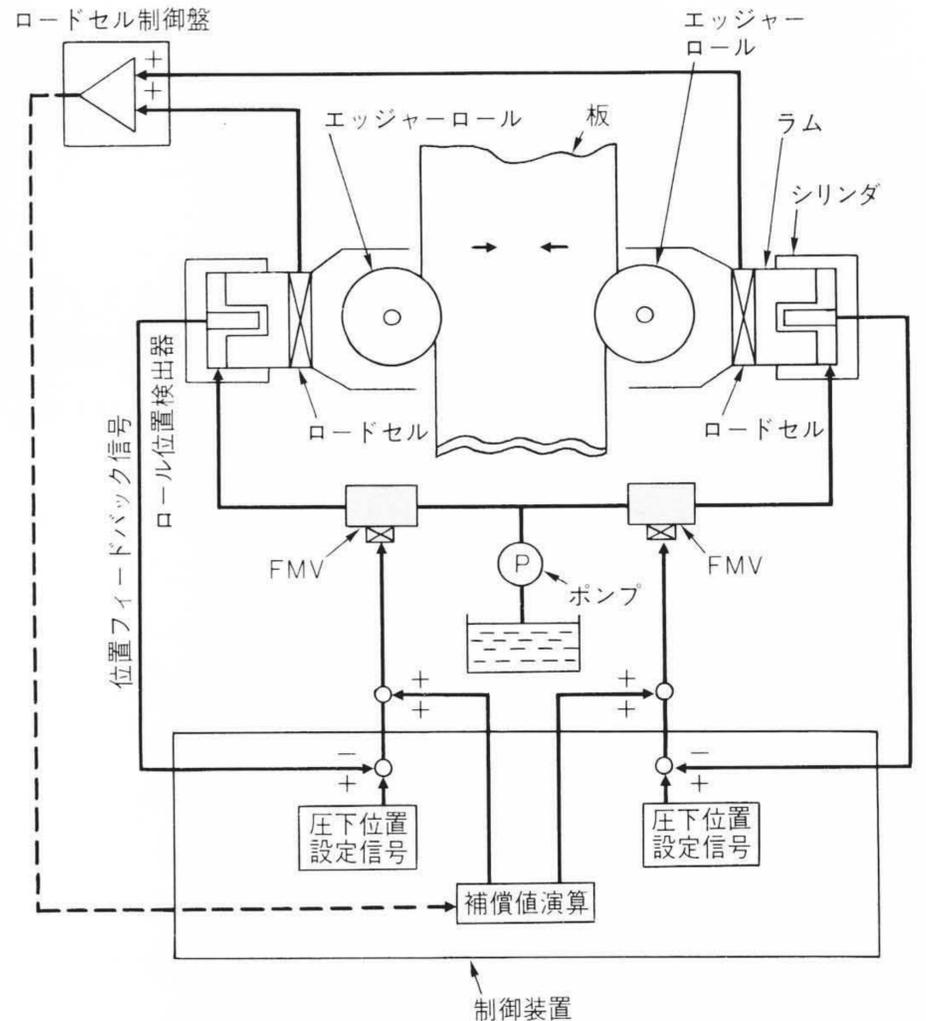


現象	原因	対応策
(A) 先・後端幅広がり (B) 先・後端幅戻り	材料先・後端部非定常圧延現象	粗圧延でのエッジャーによるショートストローク制御
(C) 材料長手方向温度こう配による幅変動	粗圧延での材料温度こう配	仕上げ圧延機入側エッジャーによるフィード・フォワード制御
(D) スキッドマーク幅変動	加熱炉スキッド上でのスラブ温度むら	粗圧延でのエッジャーによるフィード・フォワード制御 フィードバック制御
(E) 材料間幅変動	鋼種・寸法の変更炉間温度差	初期設定精度向上
(F) 巻取りネッキングによる幅落ち	仕上げ圧延機・巻取機間での過張力	巻取機リード率の改善

図1 板幅変動の原因と制御技術 油圧圧下式エッジャーによる応答性の高い制御技術が要求されている。

も望ましいが、粗圧延工程だけで完全にこれらをなくすことはできない。したがって、バー材にも当然幅変動が残り、幅制御を行う必要があると考えられる。

これらの幅変動に対応し、材料の余幅を最小とするためには、エッジャーのロール開度を高速で調節するAWC (Automatic Width Control: 自動板幅制御) 技術が不可欠である。この技術を実現するため、日立製作所は300 l/minの大容量FMV (フォースモータバルブ) を幅圧延機に適用し、油圧圧下式エッジャーを開発した。大容量フォースモータバルブを用いた自動板幅制御の原理を図2に示す。板幅制御は主として、設定した压下位置と測定位置のずれを補正するフィードバック制御、および材料の変形抵抗値の変動や圧延機の弾性変形などによる寸法ずれを補正する補償制御によって構成されている。これらの制御応答性を向上させるためには、ハードすなわちエッジャーロール用ラムの応答性を高めることが重要であり、大容量フォースモータバルブの採用によってこれを実現している。この技術を適用した油圧圧下式エッジャーの周波数応答特性を図3に示す。同図から1.0 mm振幅、8.0 mm振幅のいずれの場合も90度位相遅れで10 Hz以上と、従来の電動圧下式エッジャーの約5倍以上の高い応答性を持つことがわかる。この技術によってスキッドマーク部はもちろんのこと、従来の電動圧下式エッジャーでは制御が困難であっ



注: 略語説明 FMV (フォースモータバルブ)

図2 自動板幅制御原理 大容量フォースモータバルブを用いることによって、応答性の高い板幅制御が可能となる。

表1 油圧圧下方式AWC(自動板幅制御)設備の納入実績 パー材はもちろんのことスラブ材まで幅広く適用可能である。

No.	納入先	適用	稼動開始	区分	板幅
1	新日本製鐵株式会社 八幡製鐵所	加熱炉 → 粗圧延機 → 仕上げ圧延機 F1 F6	昭和57年	新設	1,550 mm
2	新日本製鐵株式会社 広畑製鐵所	加熱炉 → 粗圧延機 → 仕上げ圧延機 F1 F6	昭和59年	新設	1,690 mm
3	アルトス・オルノス・デ・ メキシコ社 (AHMSA社) メキシコ	加熱炉 → 粗圧延機 → 仕上げ圧延機 F0 F1 F6	製作中 (平成4年 予定)	新設*	1,575 mm

注： ▽ (油圧圧下式エッジャー) * 粗圧延機を流用し、その入側と出側に油圧圧下式エッジャーを新設するものである。
 □ (油圧圧下式エッジャー(将来設置用))
 ⊗ (作業ロールおよび中間ロールシフト)

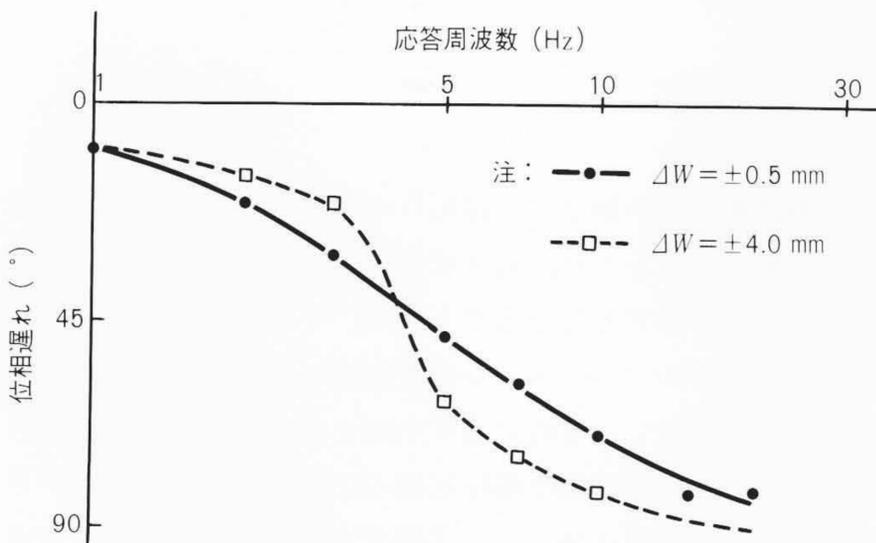


図3 油圧圧下式エッジャーの周波数応答特性 90度位相遅れ10 Hz以上の応答性を持ち、材料先・後端の非常幅変動、スキッドマークなど広範囲な幅変動に対応が可能である。

た幅急変部の制御が可能となった。実機納入実績を表1に示す。昭和57年新日本製鐵株式会社八幡製鐵所納め仕上げNo.1圧延機入側エッジャーに採用された。仕上げ圧延での幅精度向上に寄与している。

一方、この板幅制御技術は粗圧延機でのスラブ材へも適用されており、実績例としては昭和59年新日本製鐵株式会社広畑製鐵所納め、および現在製作中のアルトス・オルノス・デ・メキシコ社納めのエッジャーがある。

3 拘束ロールによる高圧下幅圧延技術

3.1 パー材幅圧延での問題点

パー材の幅圧延を行ううえで、特に問題となるのは板材の

座屈発生であり、これが実際上の圧下限界となる。すなわち、パー材では板幅に対し板厚が小さいため、幅圧下量が小さくても容易に板材の座屈が発生し、十分な幅調整が期待できないといった問題がある。したがって、有効な幅制御を行うためには、幅圧延機の圧下限界を高め座屈の発生しにくい構造とし、幅圧下能力を拡大する必要がある。図4に示す幅圧延機はパー材の高圧下幅圧延を対象に考案されたもので、縦ロールに近接して、入・出側に拘束ロールを配したことを構造上の特徴としている。このような構造とすることにより、圧延材の入・出側ラインを拘束し座屈変形発生限界を高め、高

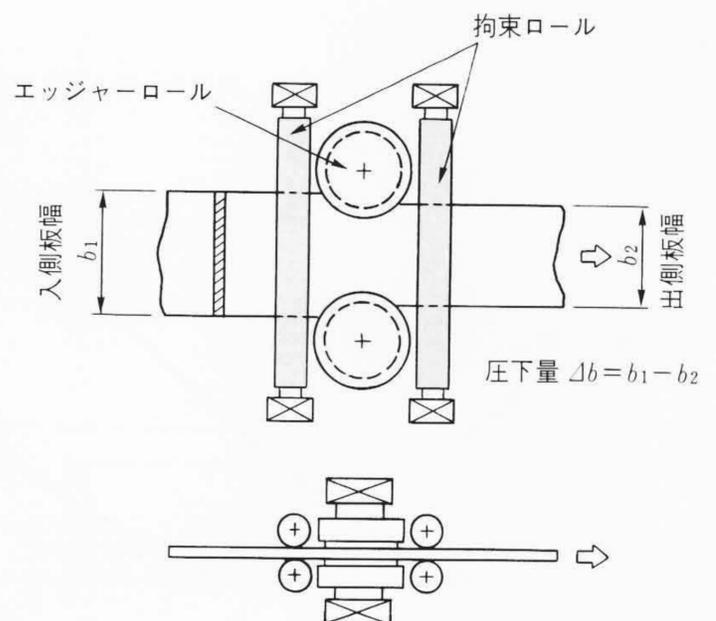


図4 高圧下幅圧延機 縦(たて)ロールの入・出側に拘束ロールを配し、座屈発生を防止する。

圧下幅圧延を達成しようとするものである。熱間圧延および常温の鉛材を用いた熱間圧延のモデル実験による検討結果に基づき、この拘束ロールの効果について次に述べる。

3.2 実験方法

圧延機は実機の $\frac{1}{5}$ を模擬した拘束ロール式幅圧延機で、鉛材の実験では拘束ロール径は $\phi 100$ mm、縦ロールは径 $\phi 120$ mmのロール、熱間材の実験では拘束ロール径は $\phi 60$ mm、縦ロールは径 $\phi 150$ mmとした。鉛材の冷間幅圧延では、厚さ6 mm、幅150 mm、長さ400 mmの切板試験片を用い、普通鋼の熱間幅圧延では厚さ5.5 mm、幅200 mmのコイル材を用いた。

3.3 幅圧延実験による拘束ロール効果の検討

まず、板材の座屈発生へ及ぼす拘束ロールの効果を定性的に把握するため、常温の鉛材を用いた熱間圧延のモデル実験を行い、座屈発生の基本特性について検討した。結果を図5に示す。同図で縦軸はバックリング変形量 δ (両縦ロール中心を結ぶ線上での板の座屈変形量をバックリング変形量 δ とした。)、横軸は幅圧下量 Δb_v を表す。幅圧下量がある限界以上の場合に座屈が発生し、幅圧下量が多いほど座屈変形量は大きくなる。同図で座屈が発生する最小の幅圧下量を限界幅圧下量として定義し、拘束条件の違いによって整理して図6が得られる。限界幅圧下量は無拘束、入側拘束、出側拘束、入・出側拘束の順に大きくなり、入・出側拘束時の限界幅圧下量は無拘束時の限界幅圧下量の約3倍と大幅に増加することが同図からわかる。熱間圧延実験から得られた結果が図7で、同様に拘束ロールを入・出側に設置することによって約3倍の圧下量の拡大が望める。これにより、従来困難であった幅変動の大きい場合も制御が可能となると考えられる。

3.4 幅調整能力の検討

幅圧延機は仕上げ圧延機の前工程に設置され、幅圧延加工を受けた板材は水平圧延加工を受けることになる。幅圧延後の板材にはドッグボーンが形成されており、水平圧延によ

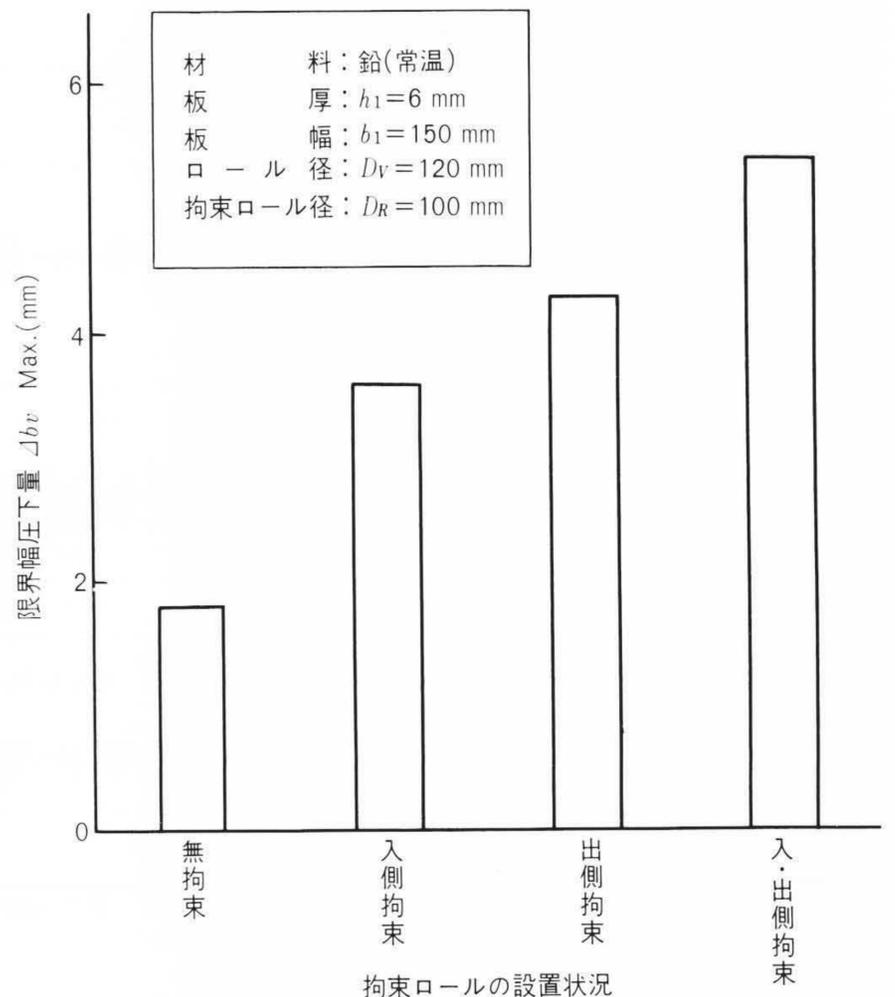


図6 拘束ロールによる幅圧下量の拡大効果 入・出側拘束によって最大幅圧下量は約3倍に増加する。

て容易に幅戻りを起こす。幅戻りの量は、ドッグボーン偏肉量の影響を受けるため、幅圧延機単体の限界圧下量だけで幅調整能力を評価することはできない。そこで以下では、幅圧延後の圧延材のドッグボーン量を拘束ロールのあり、なしの場合で比較検討し、さらに水平圧延を行い幅戻り特性について調べた。水平圧延機と幅圧延機の圧延速度をマッチングさせるため、幅圧延は無トルク圧延すなわち張力引き抜き方式とし、熱間材を用いて圧延実験を行った。

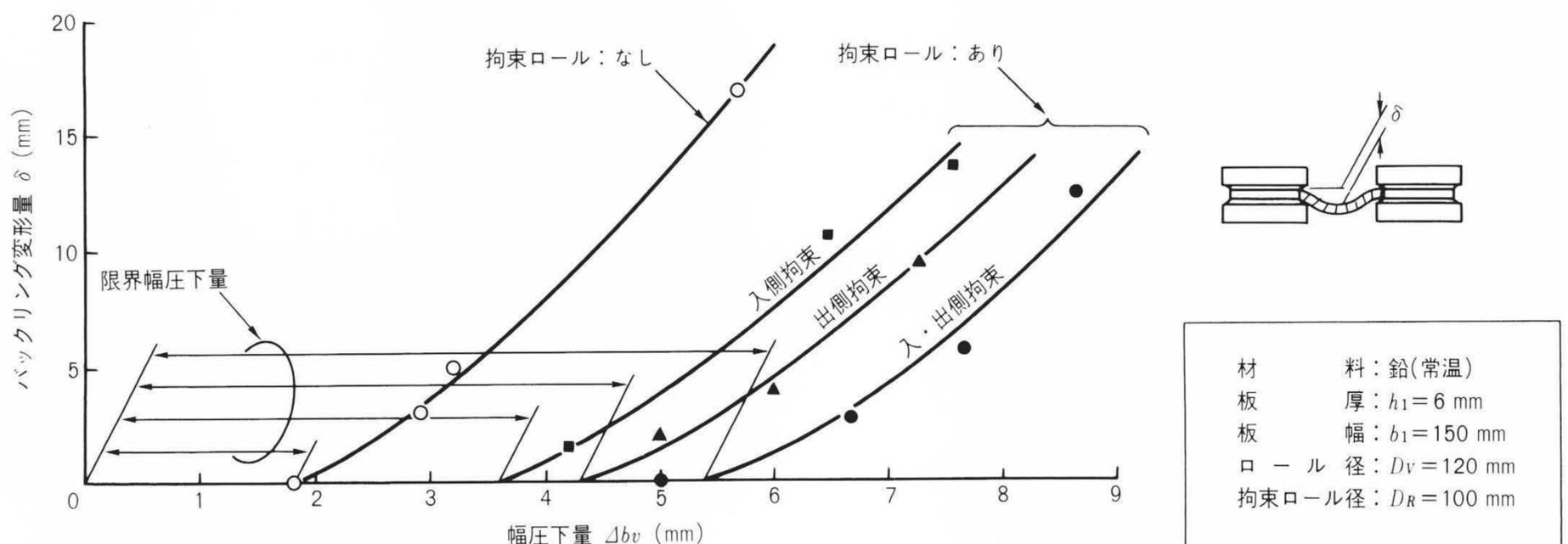


図5 座屈発生の基本特性 入・出側拘束ロールによって、座屈の発生は大幅に抑制される。

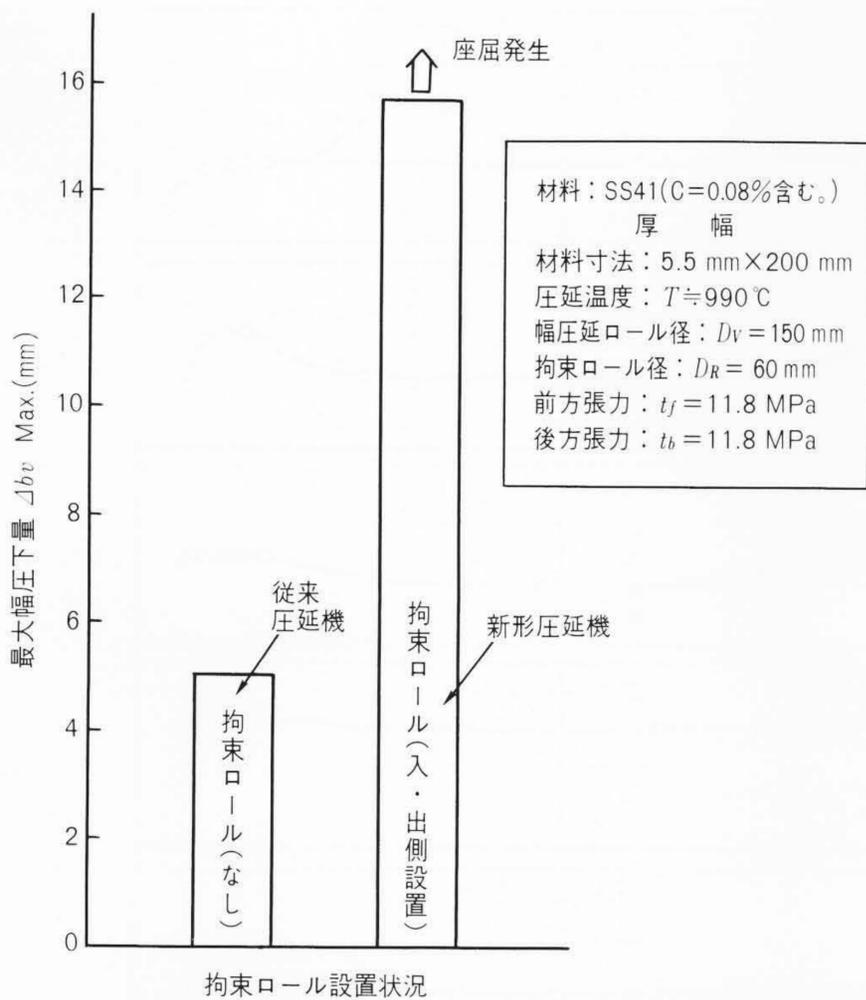


図7 熱間圧延実験での拘束ロールの効果 拘束ロールを設置することによって、最大幅圧下量は約3倍と大幅に増加する。

幅圧下量 Δb_v と偏肉量との関係を定量的に把握するため、板端部の極大板厚 h_p と中央板厚 h_c の差をドッグボーン量 Δh_d と定義し、ドッグボーン量 Δh_d と幅圧下量 Δb_v の関係を調べた。結果を図8に示す。同図からいずれの張力の場合も、拘束ロールの有無に関係なくほぼ1本の直線で表されることがわかる。すなわち、ドッグボーン量 Δh_d は拘束ロールの有無に無関係に形成され、この実験の場合幅圧下量 Δb_v だけの関数となり(一般にはドッグボーン量は、縦ロールのキャリバ形状、板厚、板幅などの影響を受けるものと考えられる。)、拘束ロールの有無によって幅戻り量が増えることはほぼないと考えることができる。

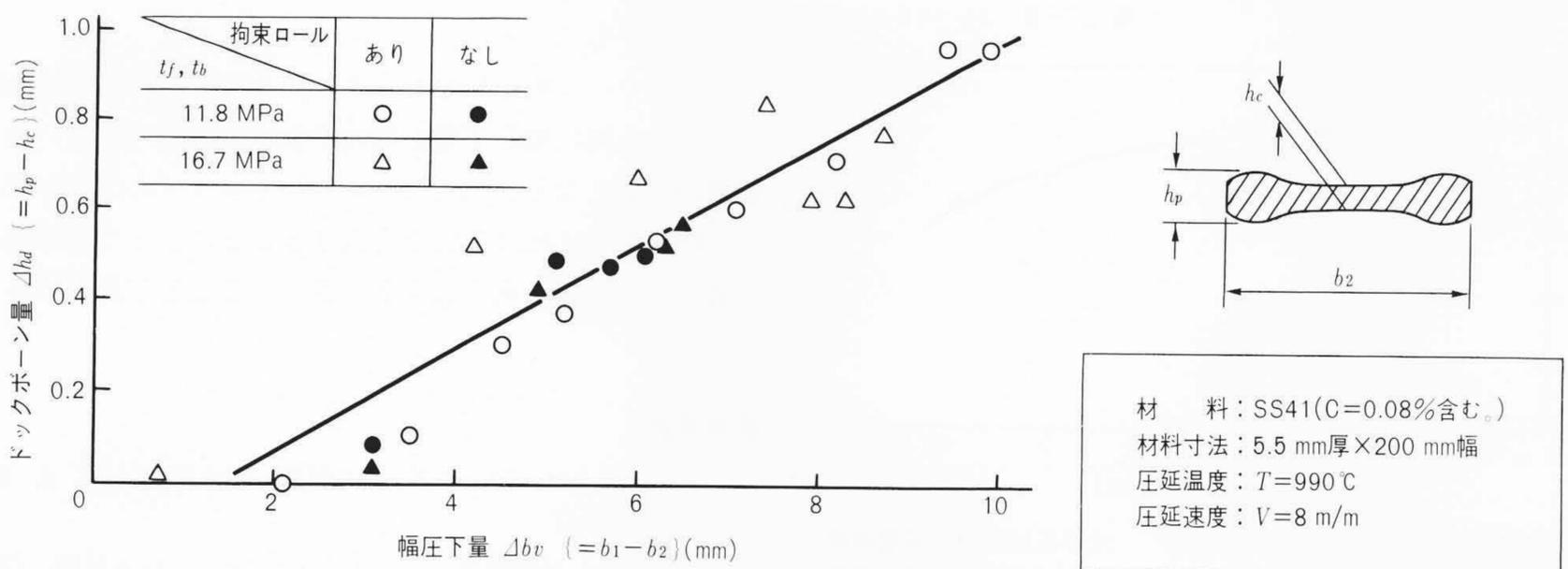


図8 拘束ロールとドッグボーン量の関係 拘束ロールの有無は、ドッグボーン量に影響を与えない。

次に、水平圧延による幅戻り特性を調べるため、拘束ロール幅圧延後、ただちに水平圧延を行い圧延材の変形を調べた。幅圧下量は前実験での最大幅圧下量10 mm、圧下率は $r=1.5\%$ 、 $r=49\%$ 、 $r=58\%$ の3種類とした。実験で得られた圧延材の板厚分布を図9に示す。同図から、水平圧延を行うことによって板端部の突端形状はなだらかな形となり、圧下率 r が高いほどフラットに近い板厚分布が得られることがわかる。圧下率 $r=1.5\%$ 程度の極軽圧下の水平圧延によっても、突起形状はかなり平滑化され、圧下率を50%程度に高めることによってほぼ消滅する。さらに、母材の板厚分布と比較して、圧下率を50%以上に高めることでエッジドロップも大幅に改善されることがわかる。

幅戻り特性を定量的に評価するため、次に示す幅調整効率 η を用いて整理し、図10に得られた幅調整効率 η と水平圧下率 r の関係を示す。

$$\eta = \frac{b_1 - b_3}{b_1 - b_2} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 b_1 ：母材板幅、 b_2 ：幅圧延後の板幅、 b_3 ：水平圧延後の板幅である。

図10から、圧下率 r を増加することによって幅調整効率 η は漸減するが、圧下率 $r=1.5\sim60\%$ の範囲で $\eta=0.92\sim0.6$ 程度で大きいことがわかる。圧下率が40%以上で幅調整効率 η の減少傾向は顕著になるが、このような圧下率ではフラット材の水平圧延であっても幅広がり大きく、その影響が強いものと考えられる。

以上から、拘束ロール幅圧延により、大幅な幅圧下量の向上はもちろんのこと、エッジドロップの改善が望めることがわかる。さらには幅調整効率が高いことから、仕上げ圧延機の前段およびスタンド間にこれを導入することによって、最終製品の品質向上・歩留り向上に大きく寄与するものと期待できる。

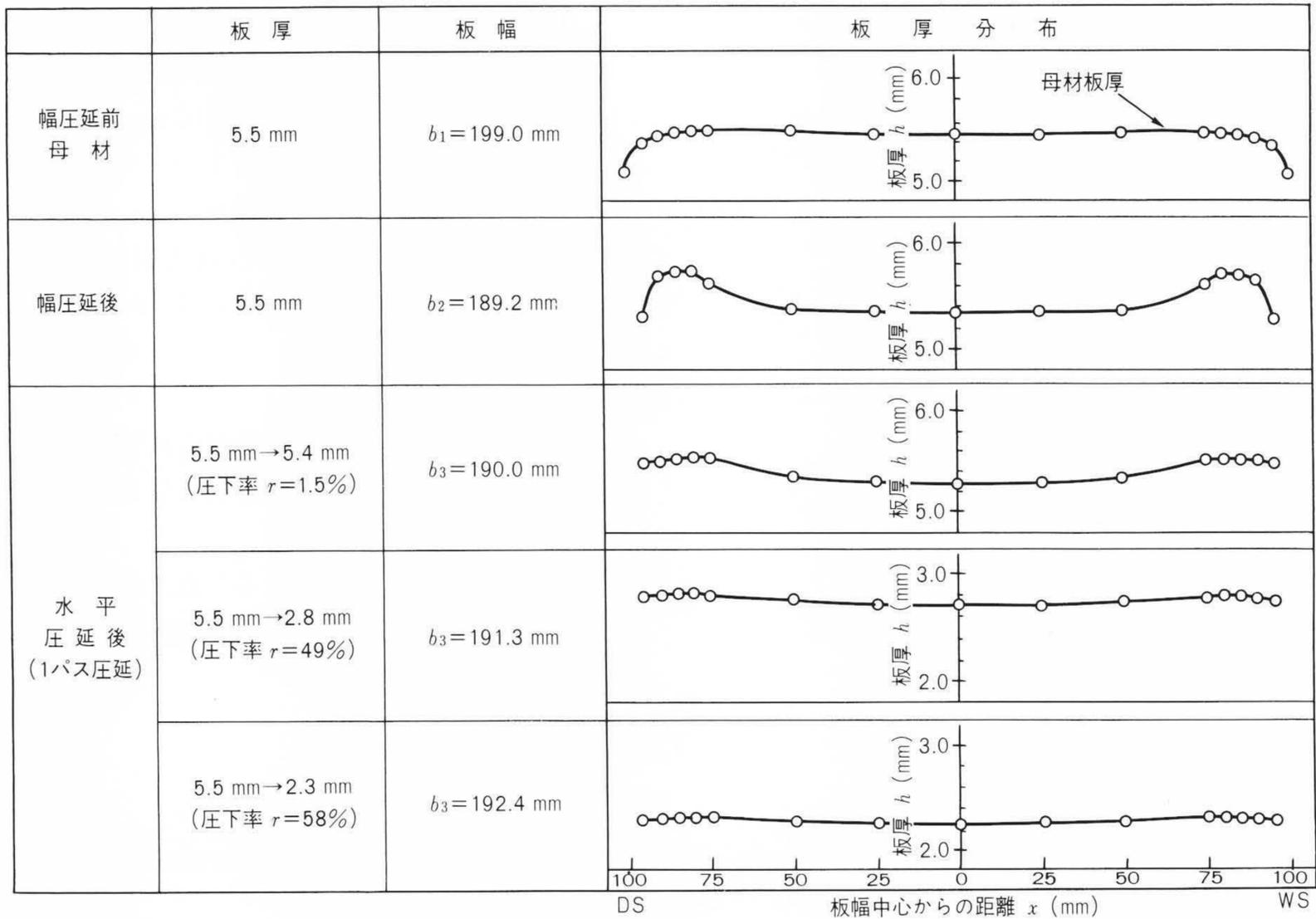
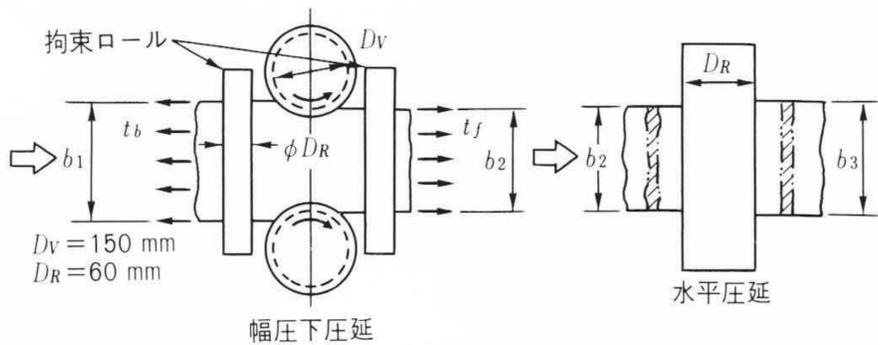


図9 幅圧延後および水平圧延後の板厚分布 幅圧延で発生したドッグボーンは水平圧延によって消滅し、さらにエッジドロップが改善される。



材 料：SS41(C=0.08%含む) 前方張力： $t_f = 11.8$ MPa
 材料寸法：5.5 mm厚×200 mm幅 後方張力： $t_b = 11.8$ MPa
 圧延温度： $T = 990$ °C 拘束ロール：あり
 幅圧下量： $\Delta b_v = 9.8$ mm

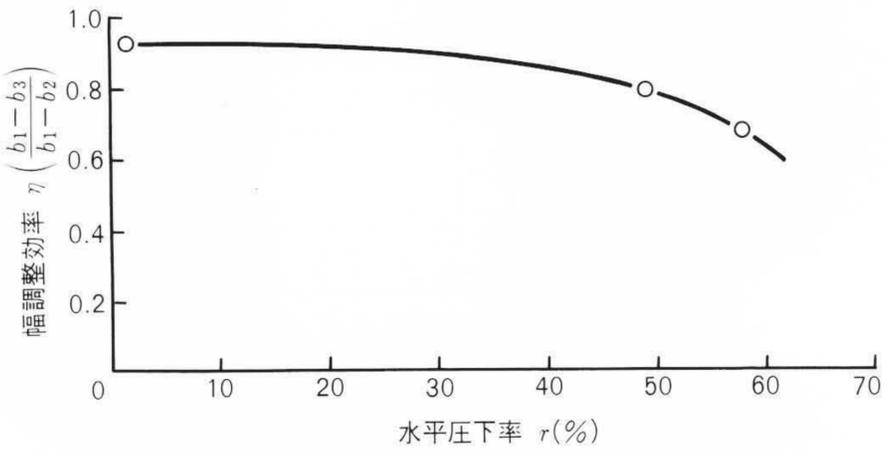


図10 水平圧下率と幅調整効率の関係 水平圧延後の幅調整効率は約60%以上と高く、仕上げ圧延での高圧下幅圧延の適用が非常に有効となる。

4 結 言

バー材の高速幅制御技術および高圧下幅圧延技術として油圧圧下式エッジャーおよび拘束ロール幅圧延を取り上げ、それらの効果および適用事例について検討した。これをまとめると次のようになる。

- (1) (高応答大容量フォースモータバルブ方式)油圧圧下式エッジャーを用いることにより、電動圧下式エッジャーと比べ5倍以上と大幅に応答速度を増加でき、幅急変部の制御が可能となる。この技術はすでに実プラントに適用され、幅精度向上に寄与している。
- (2) 拘束ロール幅圧延を行うことにより、無拘束幅圧延時の約3倍と大幅に幅圧下量を増加でき、幅変動の大きい場合も制御が可能となる。さらに、エッジドロップの改善が望め、仕上げ圧延機工程にこれを導入することによって最終製品の品質向上・歩留り向上に大きく寄与することが期待できる。

参考文献

- 1) 直井, 外:サイジングプレスの開発, 日立評論, 70, 6, 621~624(昭63-6)
- 2) 二瓶, 外:高信頼性日立サイジングプレス, 日立評論, 72, 5, 397~402(平2-5)