

討11 形状制御の理論と実際の比較

東洋鋼板 下松工場 御園生一長 ○田中義啓

1. 緒言 形状制御は圧延における大きな課題の一つであるが、現状では実際面においても理論的な面からも未解決の点が多い。圧延中のロールの変形はクラウンの変化となって形状に大きな影響を及ぼすので多くの研究者によって研究されているが、実測値の裏付けがなかったり実験用圧延機などのデータしか公表されていないようである。そこで筆者らは薄ぶりき圧延における形状制御を目的として実際の生産用圧延機で静的ロール曲げを行ない、形状制御のためのクラウン制御量を求め理論との対応を検討したので報告する。

2. 方法 実験諸元を表1に示す。作業ロールを組替えて初期クラウンを3種類選び、上下作業ロール間に幅を変えて板をはさんだ場合、はさまない場合(キスロール状態)について圧下力、ロール曲げ力を変化させ、ロール各部の変位を測定した。変位の測定は図1のようにダイヤルゲージにより、作業ロールの胴長を6等分する位置の7箇所を実施した。

表1 実験諸元

項目	諸元
圧延機	533 × 1194 × 1220 4段圧延機
補強ロール	1185.4 φ クラウン 0
作業ロール	533.0 φ クラウン 0, 5/100, 10/100 mm
供試材料	冷延鋼板 OB 55.0 kg/mm ² 板厚 0.16 mm 板幅 778, 868, 945 mm

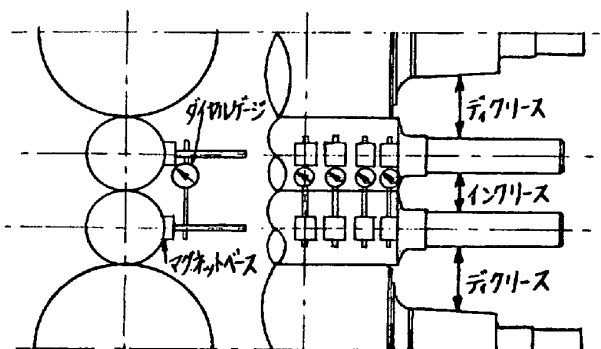


図1 測定方法

3. 実験結果 ロールクラウン 5/100 mm の場合について、ロール変位からクラウン制御量を測定した結果を図2~4に示す。図2, 3はインクリースベンディング、図4はディクリースベンディングの場合である。これらの図から曲げ力 P_b が同じでも 圧下力 P_L によってクラウン制御量の胴長方向分布が異なり、 P_L が増加するとクラウン制御量が減少することがわかる。図5はロール胴端のクラウン制御量をロール曲げ力に対して示したもので、図によればクラウン制御量は曲げ力にほぼ比例する。さらに曲げ効果がインクリースとディクリースで異なり、この場合インクリースはディクリースの約5倍となる。キスロールと板幅の影響を図6に示した。ロール胴端ではクラウン制御量は板幅の狭い方が大きく、広幅、キスロールの順で小さくなっており、従来いわれていることと一致する。

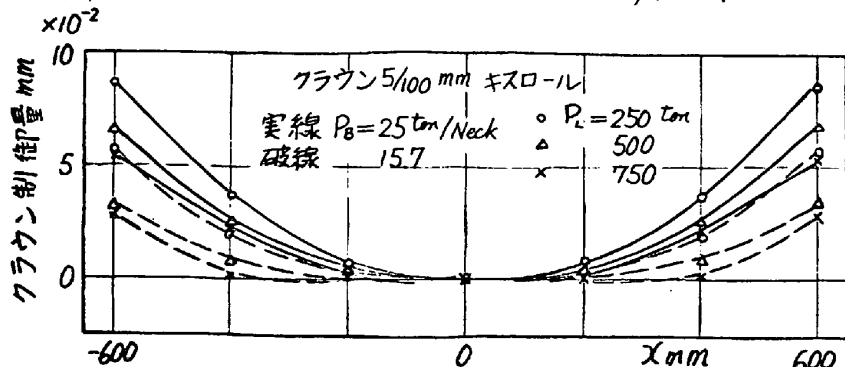


図2. クラウン制御量の分布(インクリース)

図7, 8にクラウン 10/100 mm の場合、図9, 10にクラウン 0 の場合について、それぞれキスロールと板をはさんだときの2例を示した。

図8などに明らかなように圧下力が増すとロール曲げ力の影響はロール胴長内部にほとんど及ばなくなる。これは曲げ力が小さいときに顕著でその例は図2, 3にも見られる。

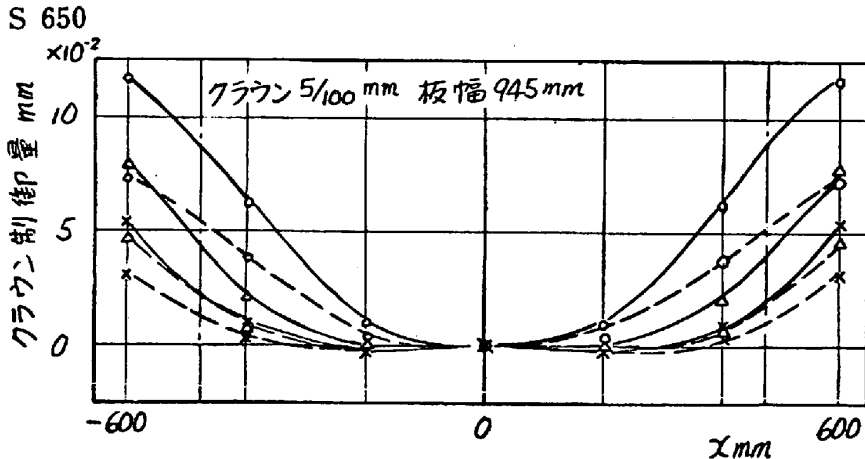


図3. クラウン制御量の分布 (インクリース)

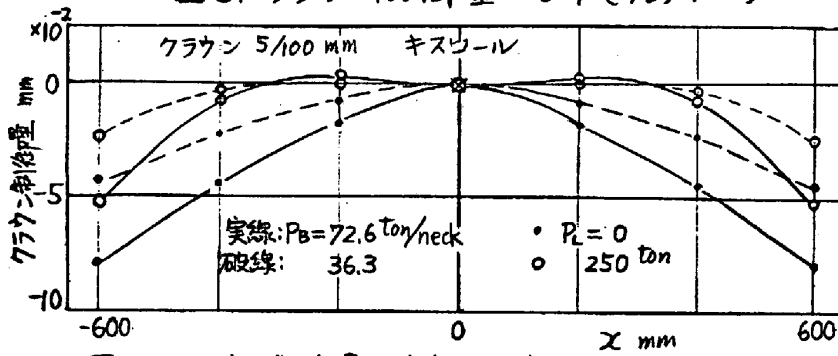


図4. クラウン制御量の分布 (ディクリース)

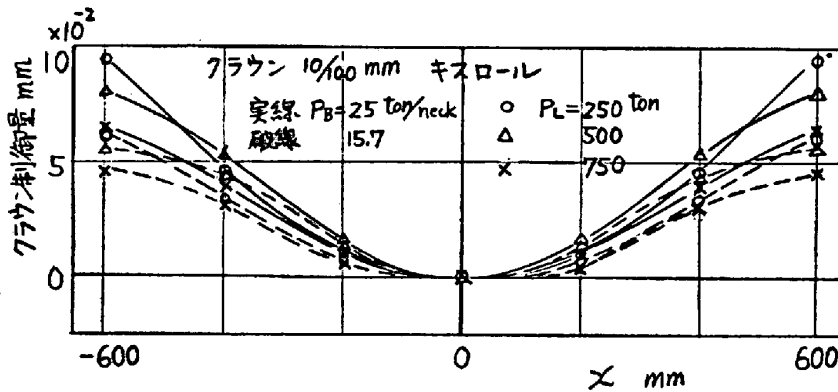


図7. クラウン制御量の分布 (インクリース)

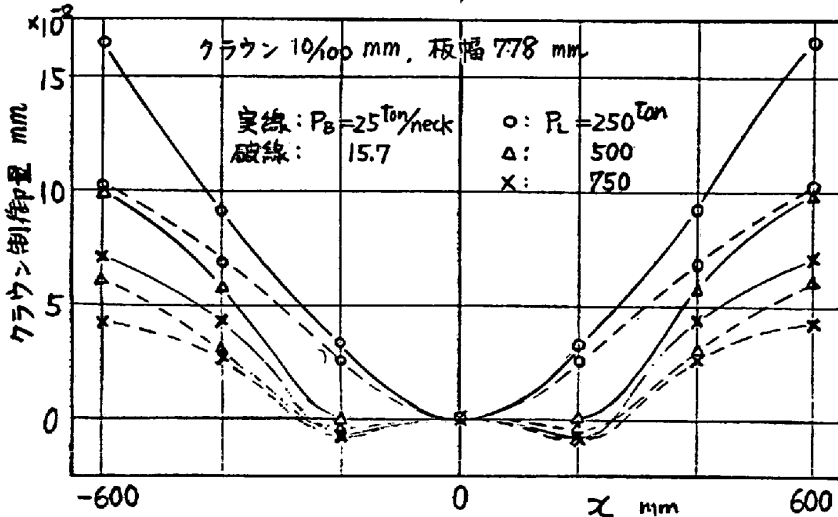


図8. クラウン制御量の分布 (インクリース)

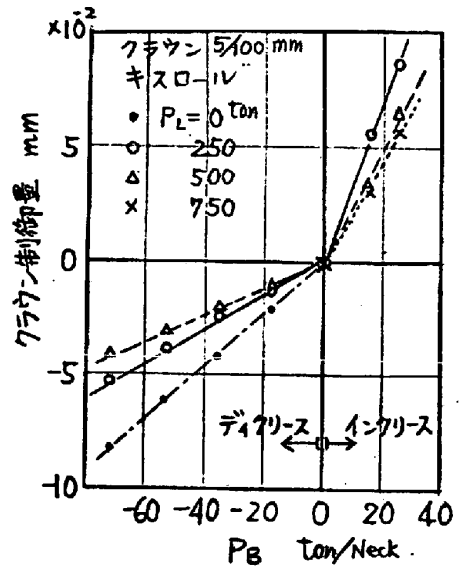


図5. 曲げ力とクラウン制御量

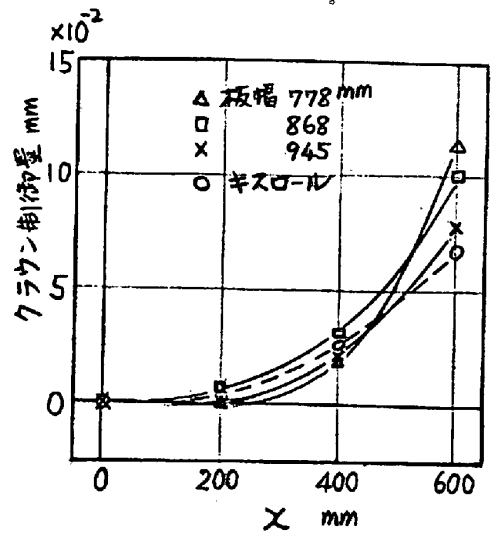


図6. 板幅の影響

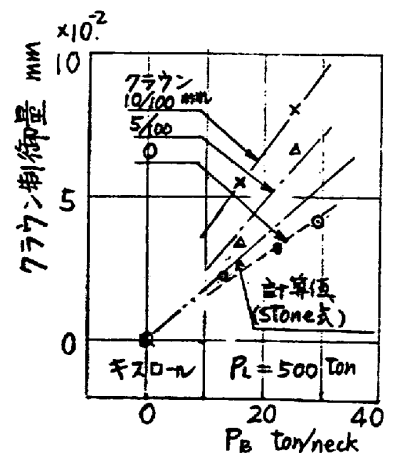


図11. 初期クラウンの影響

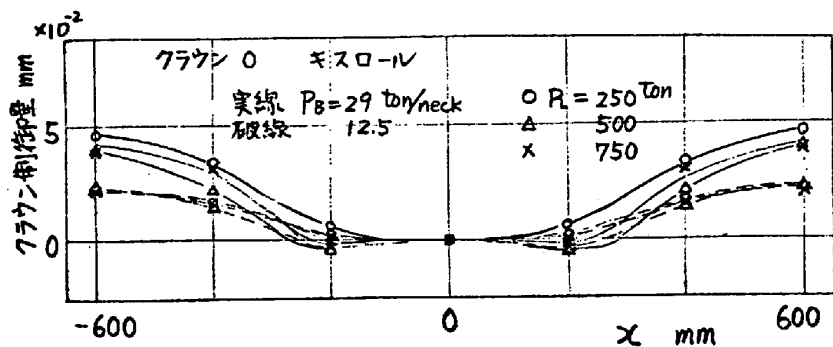


図9 クラウン制御量の分布 (インクリース)

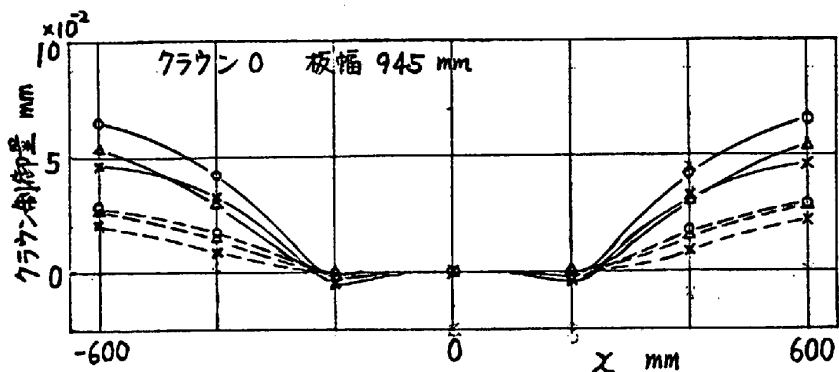


図10 クラウン制御量の分布 (インクリース)

4. 理論と実際の比較 板の形状に影響する要因は材料とロールの初期状態、ロールの変形、圧下力および張力のバレル方向分布などに分けることができよう。現在の形状制御の理論は主に、最も大きい影響を及ぼすロールの変形過程を対象としている。ロールの変形は熱膨張を別にすれば材料幅、圧下力、ロール曲げ力によりほぼ定まるが、これを均一圧力分布の仮定ではりの曲げとして解いた最も簡単なもの、これに接触変形を加味したもの、バレル方向に分布したバネモデルを取入れたもの、さらにバレル方向圧下力分布を考慮したものというように理論は改良、精密化されて来ている。しかし現在のところ実際の圧延に適用するにはまだ改良の余地があるように思われる。

ここではいくつかの理論式を選んで数値計算を行ない、実測値との比較を行なった。ロールのたわみについては多くの理論式が発表されているが、最も簡単に集中荷重と等分布荷重を受けるはりの曲げ理論を用いた Larke¹⁾ の式を適用し、算出した結果を図12、13の実測値に併記した。キスロールの場合は比較的よく一致するが、板をはさんだ場合は端部が高く出る。これは板の塑性変形によると思われる。

ロールベンディングに関しては弾性床さのはりの理論を応用した M. D. Stone²⁾ の文献が有名であるが、彼は各接触変形部を等価バネで置換え作業ロール軸箱に曲げ力をかけたときの

したがってロール胴端のクラウン制御量のみでは曲げ効果を評価するのに不十分であるが、各ロールクラウンに対するロール胴端のクラウン制御量をまとめて図11に示す。初期クラウン10/100 mm の場合は0の場合にくらべてクラウン制御量が約2倍になることがわかる。

図2-11はすべてロール曲げによるクラウン制御量を表わしたものであるが、形状制御に関係するロールクラウンは曲げ力のないときのロール軸心のたわみとの和を考えなくてはならない。すなわち圧下力によるロールたわみの変化を知っておく必要がある。これをクラウン0の場合について図12、13に示した。板をはさんだ場合のたわみは端部のみ大きくなる。

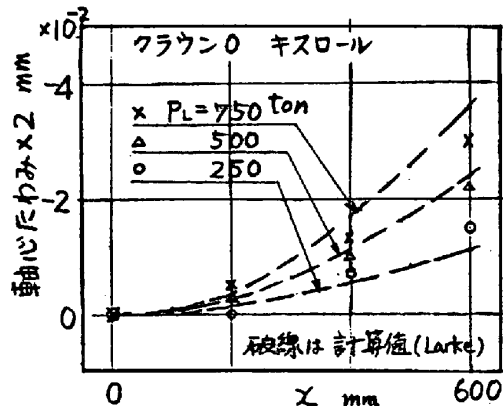


図12 圧下力による作業ロールのたわみ

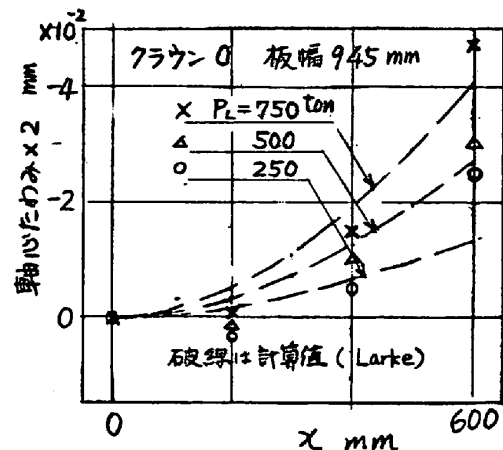


図13 圧下力による作業ロールたわみ

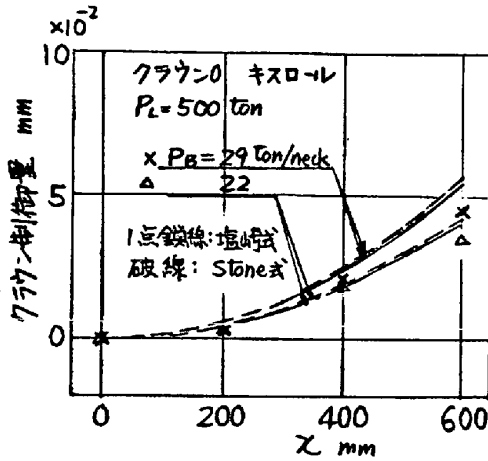


図14 計算値との比較

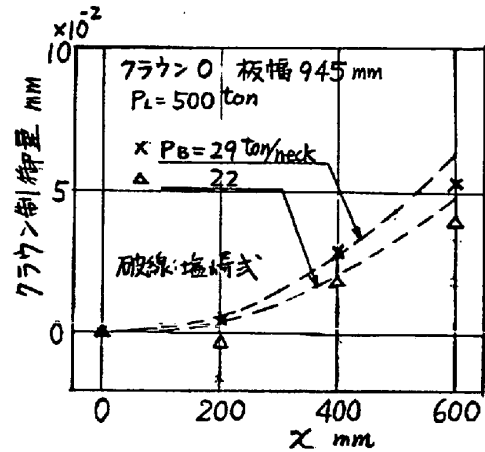


図15 計算値との比較

作業ロールクラウンの形状曲線を求める式を發表している。この式はクラウン制御量が曲げ力に比例する形になっており、これを用いてキスロールについて算出した値を実測値と比較したものが図14である。計算値は実測値より高めに示している。ところでStoneの式を發展させて補強ロール曲げ、作業ロール曲げを統一的に取扱い、同一の式で解析できるような力学モデルを塩崎³⁾が發表している。最近ではこれをさらに改良して初期クラウンその他を考慮した研究⁴⁾もあるが、ここでは塩崎の式を用いることとし、板幅945 mmの場合について計算した結果を図15に示す。図15より明らかなように大きさはほぼ一致するが、胴端の値が約20%高く出る。またクラウン制御量は曲げ力にほぼ比例する。

本実験のようにかなり薄くて硬い板を圧延して形状制御を行なう場合、圧下力、曲げ力ともに大きくなると推定されるが、前記のように端部の計算値がいずれも実際より大きくなるとその差は無視できなくなろう。この理由として考えられることは端部の接触変形が大きくなると圧力分布が変り、等価バネ定数がバレル方向に一定でなくなることがあげられる。この点についてはまだ解析的に解いた理論はないようである。さらに薄物の場合は板幅の外でロール間の接触が起る場合もあるので板厚も考える必要がある。したがってこのような場合、ロールの変位でなく圧力の幅方向分布を測定した方がよいと考えられる。

各ロールクラウンの場合についてクラウン変化のようすと明らかにした。これを制御することにより実際のストリップ形状がどのように改善されるかという点については理論的にはほとんど未解決であるが、実際圧延時の形状改善効果を1例として図16に示す。

5. まとめ 実際の生産用圧延機で静的ロール曲げを行ない、各ロールクラウンに対するキスロール、板はみ込みの両方についてクラウン変化のようすと明らかにした。理論式に基づく計算値と実測値の比較結果をまとめると表2となる。なおクラウン制御量のバレル方向分布は各条件によってパターンが異なるので、形状制御にはこの点を考えなければならぬ。

文献

1. 鈴木地訳, ラーフ著; 板状の圧延, コロナ社
2. M.D. Stone & R.Gray; A I S E, 42-8 (1965) 73
3. 塩崎; 塑性と加工, 9-88 (1968) 315
4. 鈴木, 本城; 第18回塑性加工連合講演会前刷(昭42) 257

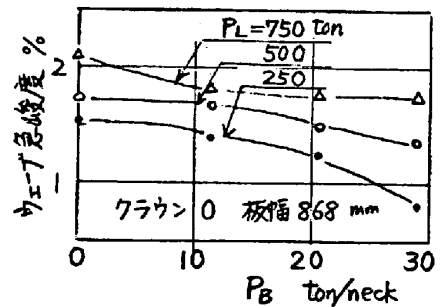


図16 形状改善例

表2 実験値に対する理論値の比較

条件式	キスロール	板幅945 mm
Larke	-20~+20%	-20%
Stone	+20~25	—
塩崎	+15~20	+20