

討9

621.771.23: 62-531: 531.717.8  
厚板形状制御

川崎製鉄(株)水島製鉄所 坪田一哉  
井上正敏  
○瀬川佑二郎

石川島播磨重工(株) 本城恒  
樋口均一  
江森隆

1. 緒言

厚板圧延において計算機による板形状制御を行うためには、板クラウンと板形状を正しく把握し、両者の関係をうまく利用することが重要である。板クラウンを精度よく演算するためには、圧延機の弾性特性を正確に求めるとともに、ロールプロファイルの時間的变化、即ち圧延の進行に従って変化するヒートクラウン、摩耗を追跡、演算する事が必要になる。

筆者らは、板クラウンと板形状の関係を検討し、オンラインで板クラウンを精度よく演算するシステムと、形状検出器を用いて板形状を測定するシステムの開発を行い、実操業への応用、確認を行つたので報告する。

2. 板クラウンと板形状の関係

板形状を良好にするための圧延方法として、クラウン比率一定の圧延方法は広く知られている。(1), (2) 筆者らはこの考え方を基本としながらも、途中パスでの形状不良を許容し、かつメタルフローを考慮した形状制御方法を既に報告した。(3), (4) この場合の形状良好のための条件式は次式で示される。

$$\frac{C_{rF}}{H_F} = \frac{C_{rcs}}{H_{cs}} + \alpha \dots\dots\dots(1)$$

また、次式を用いる事により途中パスの板クラウンを決定できる。

$$\frac{C_{ri}}{H_i} = \frac{C_{ri-1}}{H_{i-1}} + \beta \dots\dots\dots(2)$$

- ここで
- $C_r$  ; 出側板クラウン
  - $H$  ; 出側板厚
  - 添字  $i$  ; パスナンバー
  - 添字  $F$  ; 最終パスナンバー
  - 添字  $cs$  ; 形状制御開始パスナンバー
  - $\alpha$  ; 形状制御途中パスでのメタルフローにもとづく補正值
  - $\beta$  ; 形状制御途中パスで許容されるクラウン比率の増分

$\beta$  を大きくとる事により圧延能率は向上し、(1)式を満足させる事により最終形状を良好にする事が可能となる。

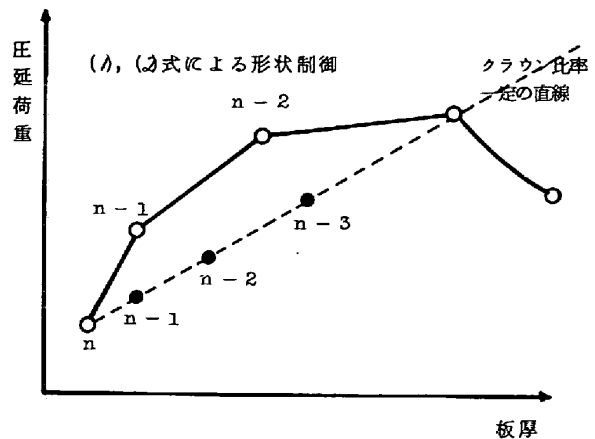


図-1 形状制御パターン

3. 板クラウン演算システム

本城らによる四段圧延機の解析方法<sup>(5)</sup>を用いて、各種圧延条件、ロールプロフィールを組み合わせた約500ケースの板クラウンを演算し、その結果にもとづきオンライン用の回帰式を作成した。この作成にあたっては、オンラインで短時間に演算する必要があるため、式の簡易化を行いつつ精度を維持できるように、板巾3000mmを境とする層別を行い2種類の回帰定数を作成した。結果を(3)式に示す。

$$C_r = \left( a_1 + \frac{a_2}{B} + \frac{a_3}{B^2} \right) P + a_4 DW + a_5 D_B + a_6 ( R_{wc} + R_{WH} + a_7 R_{Bc} ) + a_8 R_{Wwc} + a_9 R_{WWE} + a_{10} B^2 + a_{11} B + C_{r0} \quad \dots \dots (3)$$

ここで  $C_r$  ; 板クラウン,  $B$  ; 板巾,  $P$  ; 圧延荷重,  $D_w$  ; 作業ロール径,  $D_B$  ; 控ロール径,  $R_{wc}$  ; 作業ロール初期クラウン,  $R_{WH}$  ; 作業ロールヒートクラウン,  $R_{Bc}$  ; 控ロール初期クラウン  $R_{Wwc}$  ; 作業ロール中央摩耗量,  $R_{WWE}$  ; 作業ロール端部摩耗,  $C_{r0}$  ; 定数,  $a_1 \sim a_{11}$  ;  $a_1 \sim a_{11}$  ; 回帰定数

(3)式は、クラウン比率一定の圧延で、圧延荷重の巾方向分布が平坦に近い場合を想定している。

(3)式の特徴は、作業ロールのヒートクラウン、摩耗が考慮されており、圧延の進行とともに変化するロールプロフィールを板クラウンに反映させている点にある。作業ロールのヒートクラウン、摩耗はオンラインで演算する必要がある。ヒートクラウンを求めるためには、ロール中央部の平均温度を(4)、(5)、(6)式で求め、さらに過去一定本数の圧延履歴より板巾換算を行う。一方、ロール摩耗は各パスでの摩耗量を積算する事により求められるので<sup>(6)</sup>、(7)式を用いて演算する。

$$\theta_i = \theta_f - (\theta_f - \theta_{i-1}) \text{Exp} \left( -\frac{t}{T} \right) \quad \dots \dots (4)$$

$$T = \beta_1 - \frac{\theta_i - \theta_0}{\theta_f - \theta_0} + \beta_2 \quad \dots \dots (5)$$

$$\theta_f = \frac{1}{h_{eq} A_{eq}} ( \sum (h_j A_j \theta_j) ) \doteq \beta_3 A_1 \theta_1 + \beta_4 \quad \dots \dots (6)$$

ここで  $\theta_i$  ; 圧延  $i$  番目ロール平均温度,  $\theta_f$  ; 境界相当温度,  $t$  ; 圧延時間,  $\theta_0$  ; ロール初期温度,  $h$  ; 熱伝達係数,  $A$  ; 境界面積, 添字  $eq$  ; 境界相当,  $j$  ; 境界番号,  $A_1, \theta_1$  ; 圧延材とロールの代表接触面積, 温度

$$R_{ww} = \frac{K}{\pi D_w} \left( \sum L_{ij} \frac{P_{ij}}{B_{ij}} \right) \quad \dots \dots (7)$$

ここで  $K$  ; 摩耗係数,  $D_w$  ; 作業ロール径,  $L$  ; 圧延長,  $P$  ; 圧延荷重,  $B$  ; 板巾, 添字  $i, j$  ;  $i$  番目スラブの  $j$  パス目

これらロールプロフィールは、各パスでの実績値が必要となるので、パス間のアイドルタイムを利用してパス毎に行っている。上記式を用いて最終パス出側板クラウンを演算し、実測板クラウンとの比較を行った。

しかしながら(3)式を作成した時の条件から大きく外れる場合には補正が必要となり、最終パスでの荷重分布の変動による誤差を形状制御開始時のクラウン比率で補正する方法を試みた。

図-2に計算値と実測値の比較を示す。図-3はロールプロフィールを考慮しない場合(ストレートロール)であり、誤差が相当大きくなっている事がわかる。

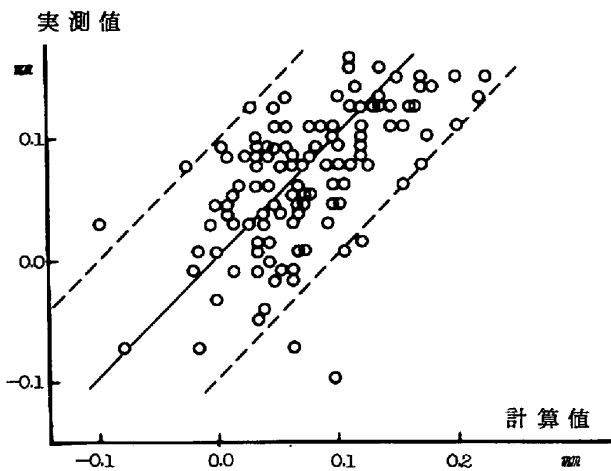


図-2 板クラウン演算結果  
(ロールプロフィールを考慮した場合)

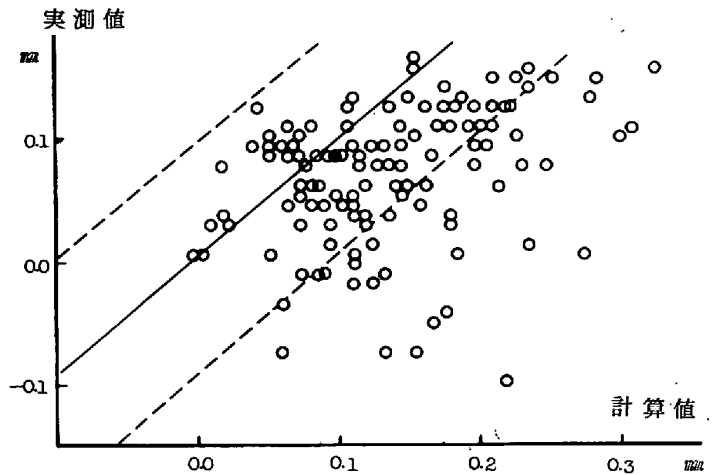


図-3 板クラウン演算結果  
(ロールプロフィールを考慮しない場合)

4. 形状検出器による板形状の測定

板の形状制御において、板クラウンを検出制御する方法は非常に有効である。しかしながら制御対象は板クラウンではなく板形状であるため、板の形状を定量的に検出して制御ループ内に組み込む事が望ましい。

筆者らは、棒状光源の反射像を利用した光学的形状検出器を圧延ラインに設置し、その特性、測定精度等についての実験検討を行った。

熱間で圧延された板の急峻度を、高温状態でスケールを用いて実測する事は困難である。また厚板圧延では、圧延後にレベラーによる矯正を行うため、製品の急峻度を実測し形状検出器の出力値と比較しても意味を持たない。このため意図的に形状不良になるような圧延を行い、矯正を行わずに冷却して波板を作成した。

この波板は通常圧延では見られないほどの高い急峻度をもつた端伸の板である。急峻度の実測方法は、板の中央部を平坦と見なし、板の両端 ( $W_s$ ,  $D_s$ ) およびクォーター部 ( $Q_w$ ,  $Q_D$ ) の山の高さおよびピッチをスケールで測定する方法と、板の表面にスケールをはわせて板の長さを測定する方法を用いた。

波板の測定結果を図-4に示す。

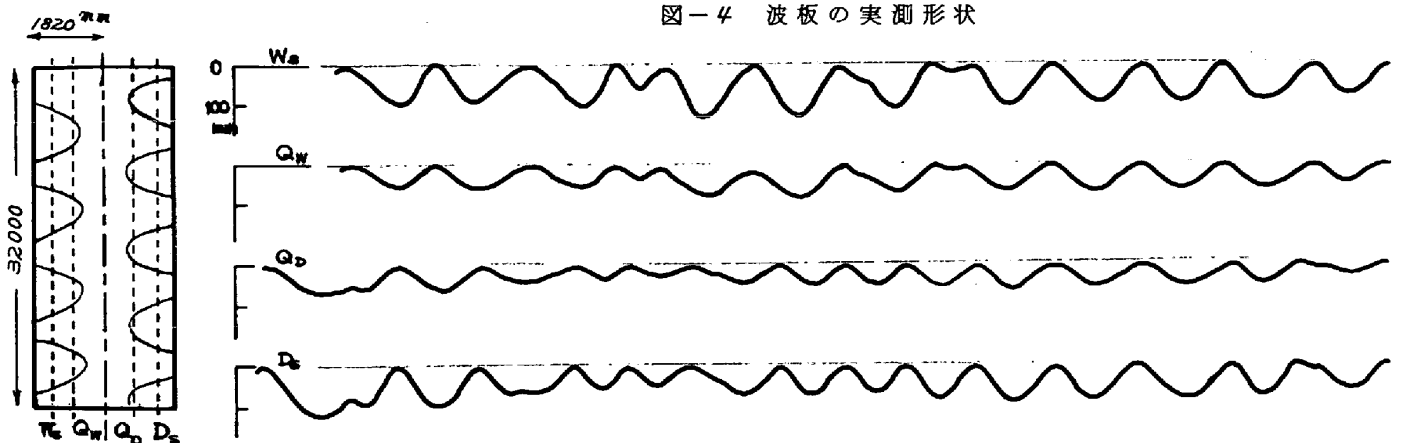
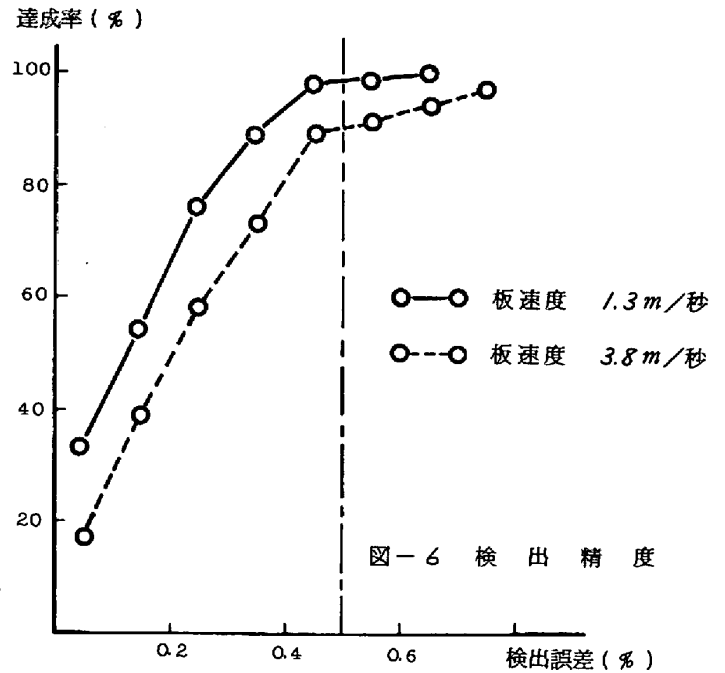
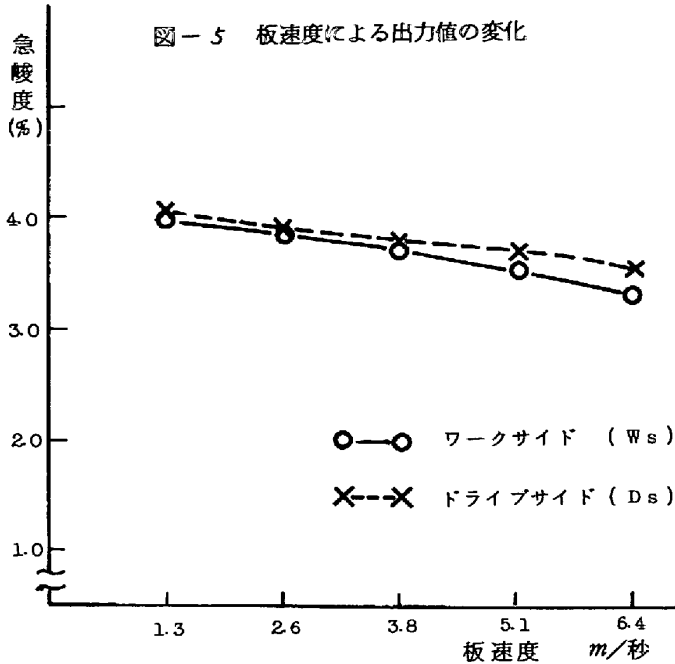


図-4 波板の実測形状

形状検出器は光の反射を利用するため、波板の表面に白色塗料を全面塗布し、圧延中と同程度の鮮明な反射像が得られるようにした。実験方法は、この波板を圧延ライン上に乗せて圧延時と同じ状況を作り、テープ

ルを正逆、加減速し、その時の形状検出器の出力を記録し実測値と比較した。本検出装置は、その特性上板の速度により出力値が変動する。厚板圧延では可逆圧延を行うため、板の速度は0~7m/秒の広い範囲にわたって変化する。今回の実験では、1.2m/秒~6.4m/秒の範囲で速度特性を調査した。板の速度と出力値の関係を図-5に示す。速度の高い方で出力値が低下するのがわかる。一方検出精度を知るため、波の各山での急峻度を比較した結果を図-6に示す。検出誤差±0.5%に入る確率は約95%である。



5. 結 言

- (1) 四段圧延機のバネモデルをもとに作成した板クラウン回帰式と、オンラインでのロールプロフィール演算を用いる事により、精度よく板クラウンを予測する事ができる。
- (2) ロールプロフィールの時間的変化と、形状制御開始板厚でのクラウン比率を考慮する事により、板クラウンの演算精度±0.1mmを得る事ができた。
- (3) 棒状光源の反射像を利用した形状検出器を用いる事により、±0.5%の精度で板の急峻度を測定する事が可能である。
- (4) 厚板圧延機のように加減速、正逆転を行うミルでの形状検出器には、板の移動速度を考慮する必要がある。

6. 文 献

- (1) K. N. SHŪHET, JISI, Oct, 1971
- (2) 美坂ら, 第24回塑性加工連合講演会前刷
- (3) 三浦ら, 鉄と鋼, Vol. 61-12, 1975
- (4) 三浦ら, 川崎製鉄技報, Vol. 8-3, 1976
- (5) 本城, 石川島播磨技報, Vol. 13-1, 1973
- (6) 柳沢ら, 鉄と鋼, Vol. 62-11, 1976
- (7) 柴田ら, 塑性と加工, Vol. 12-124, 1971