

研究速報  
研究速報

# 厚板材のロール成形に関する基礎的研究

Study on Roll Forming of Heavy Gauge Steel Sections

木内 学\*・中越 和人\*\*

Manabu KIUCHI and Kazuto NAKAGOSHI

## 1. はじめに

ロール成形加工は、板材の成形加工法として、また軽量形鋼等の製造技術として広く用いられている。成形過程における素板の変形挙動については、これまでにエネルギー法、FEM等を用いた解析が試みられてきたが、特に近年は、計算機の発達により種々の角度からの数値解析が各所で行われている<sup>1),2)</sup>。ところで、これまでの解析の対象となってきたのは素板の板厚が比較的薄い場合が多く、厚板材の成形についてはあまり研究が行われてこなかったのが実状である。厚板材の成形時には折り曲げ部とその近傍の厚さ変化など、薄板材の成形時にはみられないいくつかの問題がある。そこで本研究では、基本的な製品であるV形断面材を選び、厚板材をV形材にロール成形する際の素板の変形挙動について検討することを目指す。但し本報では第一段階として、平面ひずみ曲げ変形の解析を通して、折り曲げ部とその近傍の変形挙動の基本特性の解明を試みた結果を示す。

## 2. 解析内容

2次元剛塑性有限要素法を用い、平面ひずみ条件下で、厚板をV形材に曲げ成形する際の変形解析を行った。解析モデルを図1に示す。ここで下型(凸ロール相当)は固定され、上型(凹ロール相当)が下方に移動することにより、素板がV形材に成形されるものとする。解析条件を表1に示す。ここで板幅 $b$ 、板厚 $t$ 、下型先端曲げ半径 $R_d$ 、曲げ角 $\theta$ を成形条件因子とし、それぞれ数種類の値を設定した。そして、その4つの因子の値を組み合わせ様々な成形条件下での数値解析を行い、その結果をまとめた。

\*東京大学生産技術研究所 第2部

\*\*愛知製鋼(株)

表1 解析条件

Material of sheet N/mm <sup>2</sup>	SS400 $\bar{\sigma} = 309.0 + 780.0\epsilon$				
Width of sheet b/mm	40	60	80	100	
Thickness of sheet t/mm	8	10	12	14	16
Designed bending radius Rd/mm	0.3t	0.5t	1.0t	1.5t	
Bending angle $\theta/^\circ$	15	30	45		

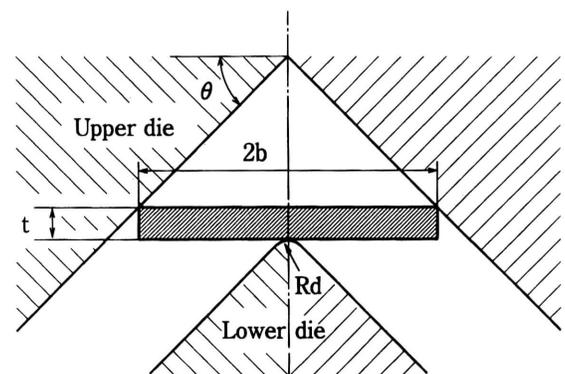


図1 解析モデル

## 3. 解析結果及び考察

### 3.1 変形形状

図2に、本解析で得られた素板の変形形状を示す。折り曲げ部は変形挙動が複雑になるため、より正確な変形形状が得られるように、辺部よりもメッシュを細かくしてある。この図から、時間の経過とともに、素板が上型に押し込まれ、上・下型との接触部分を変化させながら成形されていく様子を見ることができる。また、折り曲げ部とその近傍あるいは縁部に集中的に荷重を受けていることがわかる。

### 3.2 成形後の板厚の幅方向分布

成形後の素板の肉べりの発生状況を知るため、以下に示

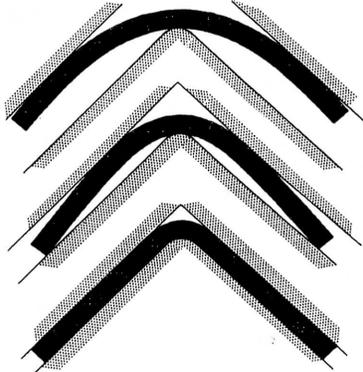


図2 変形形状 ( $b=100\text{ mm}$ ,  $t=10\text{ mm}$ ,  $Rd=1.0t$ ,  $\theta=45^\circ$ )

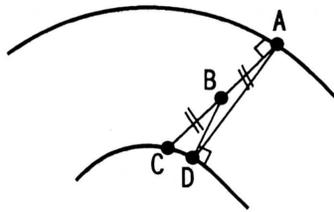


図3 板厚の計算方法

す方法で板厚の計算を行った。まず素板上面の点 A における垂線を下方に下ろし、素板下面との交点を C とする。次に直線 AC の中点 B より素板下面に垂線を下ろし、その交点を D とする。そして直線 AD の距離を板厚とした (図 3 参照)。

図 4 に、上記方法で求めた成形後の素板の板厚の幅方向分布の一例を示す。これらの結果より、折り曲げ部の中央、そして縁部の肉べりが著しいことがわかる。前者は下型の先端部、後者は上型により素板が押し込まれることが原因である。さらに先端曲げ半径  $Rd$  が小さくなるほど下型の先端部が素板に食い込み、肉べりが助長されることがわかる。

### 3.3 板厚減少率 $\gamma$ に及ぼす各種因子の影響

次に素板の肉べり量を示す値として、板厚減少率  $\gamma$  を定義し ( $\gamma = \Delta t/t$ )、各種因子との関係について示す。図 5 に、板厚減少率  $\gamma$  の幅方向分布の一例を示す。そして図 6 に図 5 の結果の一部を模式的に示す。素板の折り曲げ部の肉べりの挙動が  $Rd$  の影響を受けている様子がわかる。

図 7 には、素板の板幅  $b$  を変化させた時の  $\gamma$  の幅方向分布を示す。板幅  $b$  が小さいほど素板縁部の肉べりが増大していることがわかる。

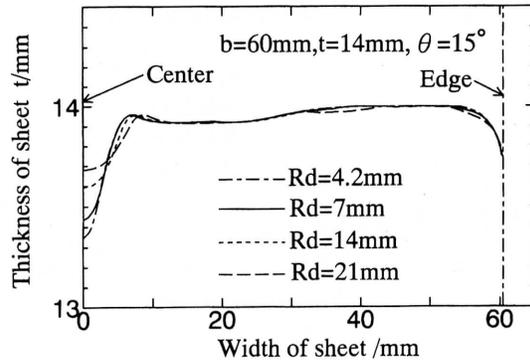
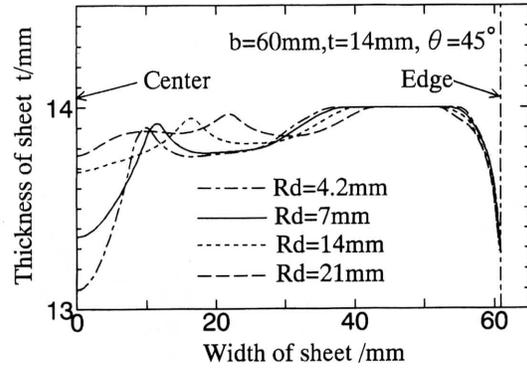


図4 板厚  $t$  の幅方向分布

### 3.4 折り曲げ部における最大板厚減少率 $\gamma_{max}$ に及ぼす各種因子の影響

次に、折り曲げ部における板厚減少率  $\gamma$  の最大値  $\gamma_{max}$  と各種因子との関係を示す。

図 8 に素板の板厚  $t$  を変化させた時の  $\gamma_{max}$  について示す。  $\theta = 15, 45^\circ$  の両方の場合において、  $Rd$  が小さい値であるほど、  $\gamma_{max}$  は大きくなる。この理由は、3.2 で述べた通りである。そして  $\theta = 45^\circ$  では、板厚  $t$  の増加に従い  $\gamma_{max}$  は増加傾向が示すが、  $\theta = 15^\circ$  の場合では、  $t$  に対する依存性は小さい。

次に図 9 に曲げ角  $\theta$  を変化させた時の  $\gamma_{max}$  について示す。この結果によると、  $Rd = 4.2 \sim 21\text{ mm}$  のどの場合においても、上に凸の曲線となることがわかる。これは下型の先端と素板との接触領域が最小となるような条件の時、すなわち先端曲げ半径  $Rd$  と曲げ角  $\theta$  との組み合わせの場合に  $\gamma_{max}$  が最大値をとるためと考えられる。また、  $Rd = 21\text{ mm}$  における  $\theta = 30 \sim 45^\circ$  の  $\gamma_{max}$  の値は、他の場合と異なる傾向を示している。

そこで、4 種類の先端曲げ形状における、折り曲げ部の拡大図を図 10 に示し、先端曲げ半径  $Rd$  が変形後の形状に及ぼす影響について着目する。すると  $Rd = 4.2 \sim 14\text{ mm}$  では、下型先端が素板に食い込むか接して、折り曲げ部の変形が下型先端の形状の影響を受けているが、

研究速報

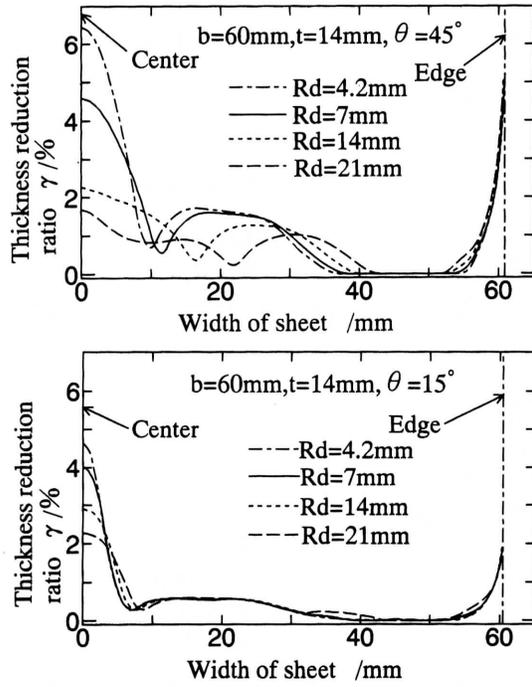


図5 板厚減少率  $\gamma$  の幅方向分布

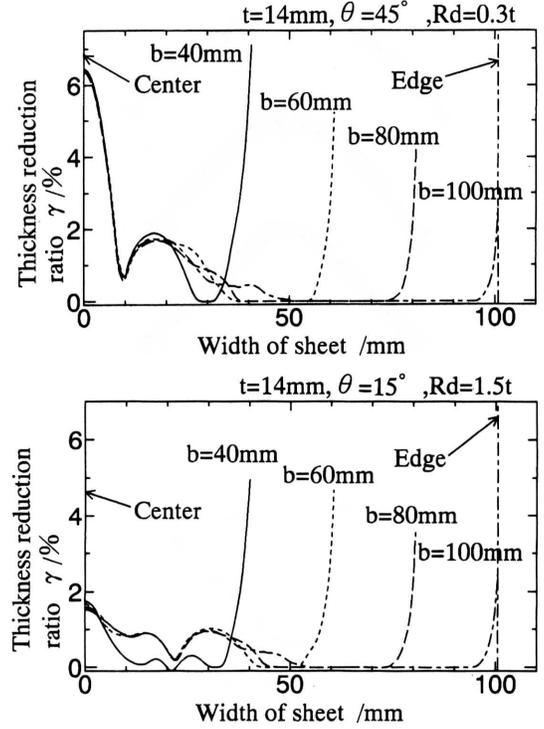


図7 板幅  $b$  を変化した時の  $\gamma$  の幅方向分布

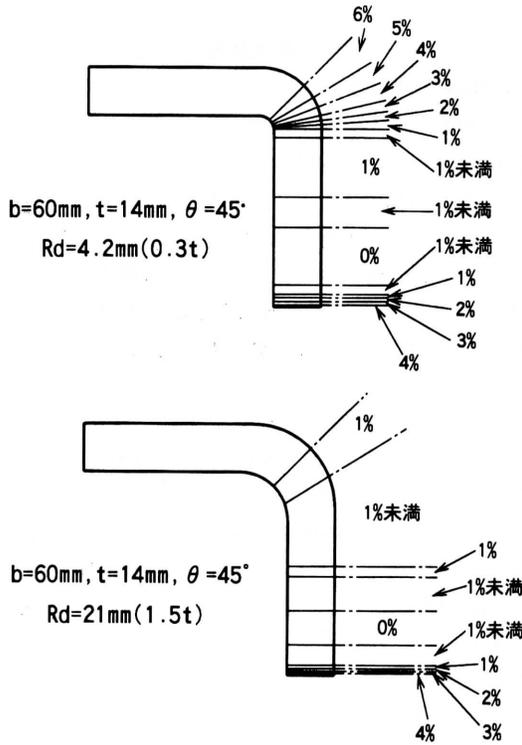


図6 板厚減少率  $\gamma$  の分布の模式図

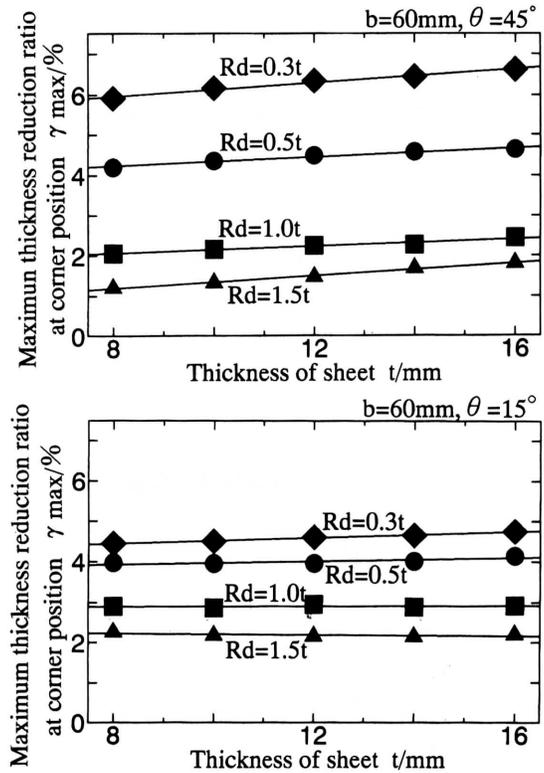


図8 板厚  $t$  を変化した時の  $\gamma_{max}$

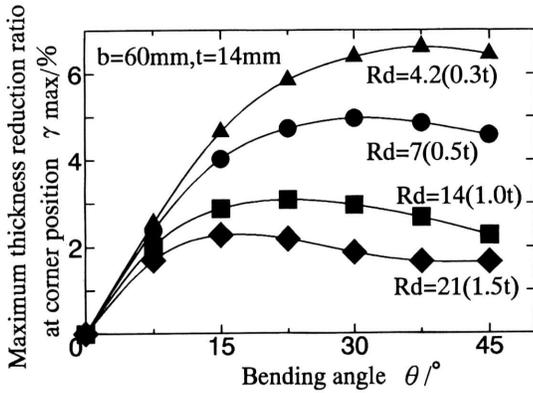


図9 曲げ角  $\theta$  も変化させた時の  $\gamma_{max}$

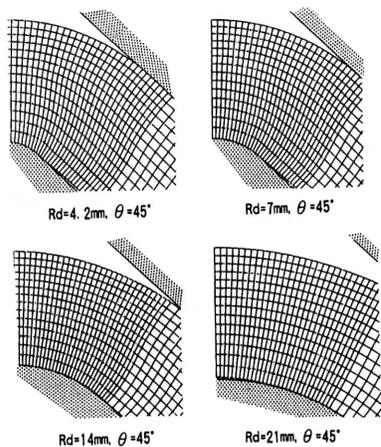


図10 折り曲げ部の変形状の拡大図

Rd = 21 mm では素板が下型先端から離れていて、曲げ成形の途中から下型先端の影響を受けないことがわかる。ゆえに Rd = 21 mm においては、 $\gamma_{max}$  は他の Rd と異なる傾向を示す。

さらに図 11 に先端曲げ半径 Rd を変化させた時の  $\gamma_{max}$  について示す。ここで X 軸は先端曲げ半径 Rd と板厚 t との比 Rd/t により表示している。 $\theta = 15, 45^\circ$  の両方の場合において、Rd が板厚 t に対して小さいほど  $\gamma_{max}$  は増加傾向を示し、特に  $\theta = 45^\circ$  の場合は強い影響を受けていることがわかる。

#### 4. ま と め

ロール成形時の加工条件を前提として 2 次元剛塑性有限要素法により、厚板材を V 形断面材に曲げ成形する場合を対象とする数値解析を行い、以下のような結果を得た。

1) 素板の肉べりは、折り曲げ部の中央部と縁部で特に著

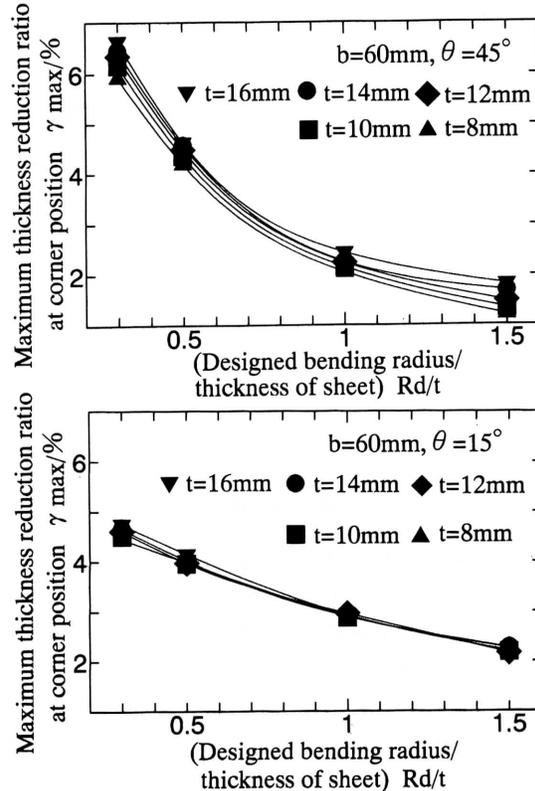


図11 Rd を変化させた時の  $\gamma_{max}$

しい。

- 2) 折り曲げ部における肉べりは、下型先端曲げ半径 Rd に大きく影響を受ける。
- 3) 板厚 t に対して板幅 b が極端に小さいと、据込みのような状態となり、本来の成形とは異なった変形挙動を示す。
- 4) 下型先端曲げ半径 Rd が 1.0 t よりも大きくなると、曲げ成形の途中で素板が下型先端から離れ、下型先端曲げ半径 Rd が 1.0 t 以下の場合とは異なる変形挙動を示す。

(1995年 5 月 8 日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 例えば、木内 学・小野寺隆：平 6 春塑加講論，(1994)，193.
- 2) 例えば、小野田義富・瀧澤英男・中込章浩・古澤常男・河野光雄：同上，(1994)，185.
- 3) 鈴木 弘・木内 学・新谷 賢・三浦史明：塑性と加工，17-184 (1976)，372.
- 4) 木内 学・王 飛舟：平 6 春塑加講論，(1994)，189.
- 5) 木内ほか：ロール成形，日本塑性加工学会編 (1990).