

研 究 速 報

研 究 速 報

厚板V形材のロール成形に関する数値解析

Analysis of Roll-Forming of V-Type Heavy Gauge 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、また軽量鋼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、これまでに筆者らが提案したエネルギー法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有限要素法を用いた数値解析も行われ始めている^{1),2)}。しかし解析の対象は、板厚の薄い場合が多く、厚板材の成形については研究が少ないのが実状である。筆者らは前報³⁾において、2次元平面ひずみ条件下で、厚板材をV形材に曲げ成形する際の変形解析を行い、その結果について検討したが、2次元モデルを用いたために、プレス成形に相当する解析しか行えなかった。ロール成形は、プレス成形とは異なり、ロールの回転により素板とロールとの接触面が時々刻々と変化していて、素板の変形経路がより複雑である。そこで本報では、新たに3次元剛塑性有限要素法による解析モデルを開発し、厚板材をV形断面材へとロール成形する際の変形挙動について解析を行ったので、その結果を示す。

2. 解 析 内 容

解析モデルを図1に示す。成形ロールは凹ロールを上、凸ロールを下に配し、凸ロールプロフィール先端と成形開始前の素板下面とが水平な同一面上にある場合を基準パスラインとする。素板は噛み込み位置（上下ロールが同時に接触を開始する位置）から一定の成形速度でロールに送り込まれ、V形断面形状に成形される。計算は、素板の先端がロールに噛み込まれた時を開始とし、先端の断面がロール直下を通り抜けた時を終了とした。また、板の後端の高さはガイド等で拘束されているものとし、その位置は基準パ

スラインの高さに保持されているものとした（図1(a), (b) 参照）。本解析で用いたロールの形状・寸法は図1(c)に示した通りであり、ロール径D1, D2は曲げ角 θ により値が異なる。解析条件を表1に示す。前報と同様に板幅 b 、板厚 t 、凸ロール先端曲げ半径 R_d 、曲げ角 θ を成形条件因子とし、更に、今回はロールクリアランス RC も加えた。

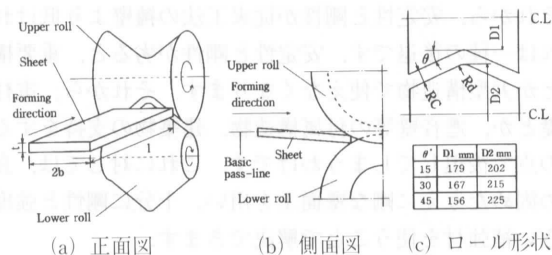


図1 解析モデル

表1 解析条件

Material of sheet N/mm ²	SS400	$\sigma = 309.0 + 780.0\epsilon$	
Width of sheet 2b/mm	50×2	75×2	100×2
Thickness of sheet t/mm	8	12	16
Convex roll top radius Rd/mm	0.5t	1.0t	1.5t
Bending angle $\theta/^\circ$	15	30	45
Roll clearance RC/mm	1.0t	1.0t+0.5	1.0t+1.0
Forming speed /m/min.	30		
Friction coefficient μ	0.1		
Number of nodes (x/y/z)	480(12/10/4)		
Number of elements	297		

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。上から $\theta = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ に成形した時の素板の変形形状であり、 θ が大きくなるほど、折り曲げ部の変形が大きくなってい

*東京大学生産技術研究所 第2部

**愛知製鋼(株)

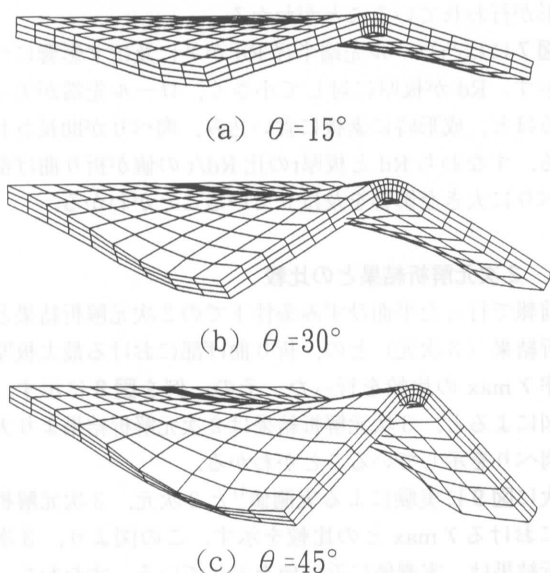


図2 素板の変形形状
($b = 75 \text{ mm}$, $t = 8 \text{ mm}$, $R_d = 0.5 t$, $R_C = 1.0 t$)

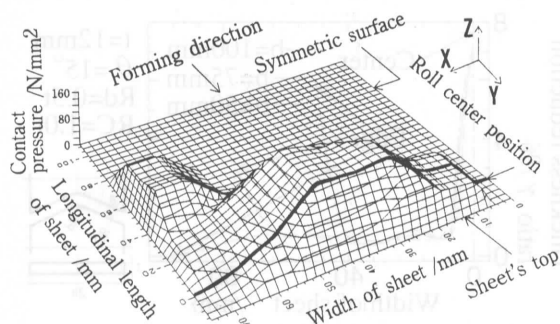
る。素板はそれぞれの場合においてその先端がロール直下に到達し、所定のV形断面形状が得られている。折り曲げ部は変形挙動が複雑になるため、より正確な解析結果が得られるように、辺部よりもFEM解析のためのメッシュを細かくしてある。この図より、素板の形状がロールにより徐々にV形断面に成形されていく様子や、折り曲げ部の変形の様子を見ることができる。

3.2 接触圧力分布

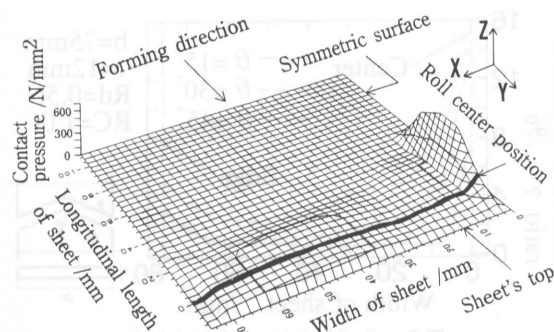
素板がロールに接触した時に生じる節点力より、接触圧力分布を計算し、 x - y 平面上に表示した。その結果の一例として、素板先端がロール直下を通り抜けた時の、素板上・下面における接触圧力分布を図3に示す。

図3(a)は素板上面の接触圧力分布を示す。この図を見ると、素板は長手方向位置が $-80 \text{ mm} \sim -40 \text{ mm}$ の範囲では、ロールとは縁部でしか接触していないことがわかる。この時に縁部には集中的に荷重がかかり、変形が大きく進行する。ロール直下付近では板幅方向位置が $30 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$ の範囲で接触圧力分布が最大値をとっていることがわかる。

図3(b)は素板下面の接触圧力分布を示す。この図を見ると、上ロールと比べて接触領域が少なく、折り曲げ部に集中して接触圧力が生じていることがわかる。そして折り曲げ部付近における接触圧力分布は、長手方向位置が -20 mm 付近で最大値をとっており、その位置からロール直下に進むほど接触圧力は減少している。これは、成形が進むにつれて素板の折り曲げ部の変形が進み、肉盛り量



(a) 素板上面における接触圧力分布



(b) 素板下面における接触圧力分布

図3 素板上・下面における接触圧力分布
($b = 75 \text{ mm}$, $t = 12 \text{ mm}$, $R_d = 0.5 t$, $R_C = 1.0 t$, $\theta = 15^\circ$)

が増え、下ロールとの接触領域が減少することが原因と考えられる。

3.3 板厚減少率 γ に及ぼす各種因子の影響

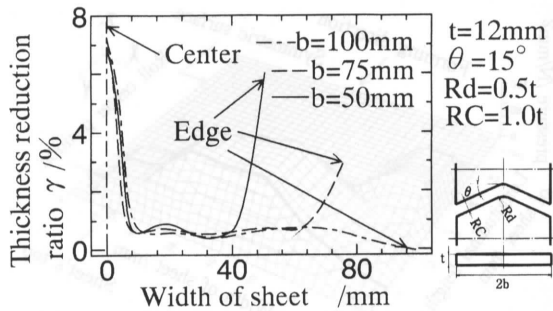
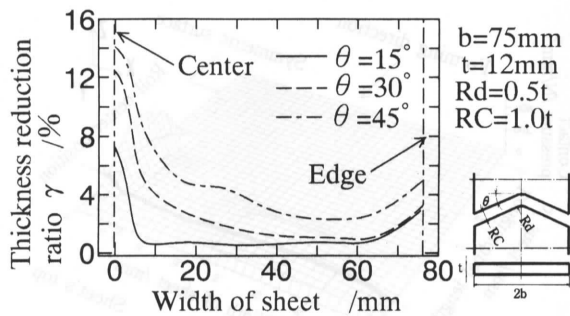
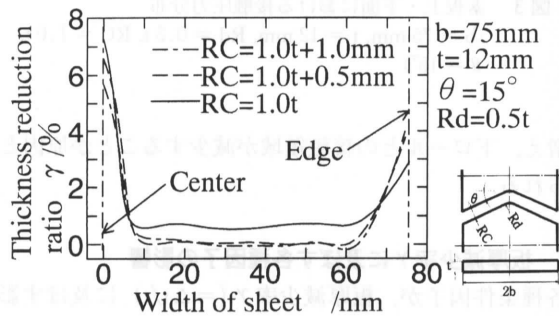
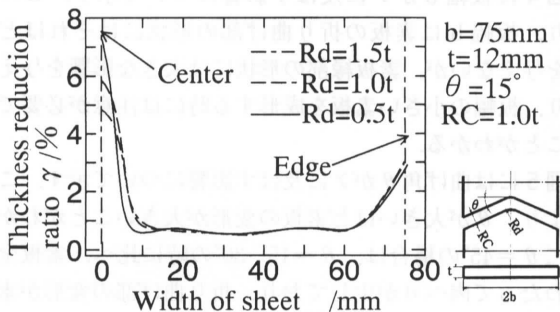
各種条件因子が、板厚減少率 γ ($=\Delta t/t$)に及ぼす影響について調べた。なお素板の板厚 t は、素板がロール直下を通り抜けた時の2次元断面形状より計算した。

図4に板幅 b が γ に及ぼす影響について示す。この図より、板幅 b は素板の折り曲げ部の形状にはそれほど影響を与えないが、素板縁部の形状には大きな影響を与えており、板幅の小さい素板を成形する時には注意が必要であることがわかる。

図5には曲げ角 θ が γ に及ぼす影響について示す。この図より、 θ が大きいほど素板の変形が大きいことがわかる。特に $\theta = 45^\circ$ の場合は、 $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ の時に比べ、素板全体にわたって肉盛りが生じており、折り曲げ部の変形が素板全体に大きく影響していることがわかる。

図6にはロールクリアランス R_C が γ に及ぼす影響について示す。この図より、 R_C を板厚と同じに設定した時($R_C = 1.0t$)には、全体的に肉盛りが見られ、圧延に近い

研究速報

図4 板幅 b が γ に及ぼす影響図5 曲げ角 θ が γ に及ぼす影響図6 ロールクリアランス RC が γ に及ぼす影響図7 凸ロール先端半径 Rd が γ に及ぼす影響

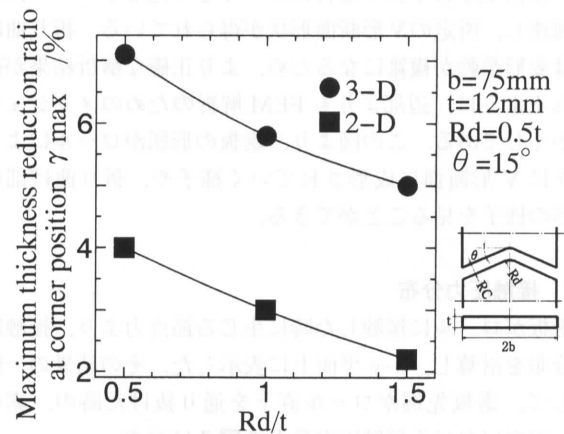
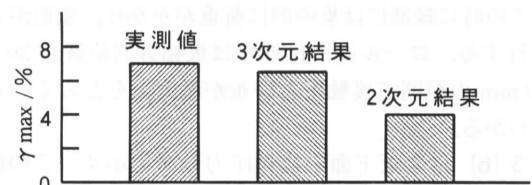
成形が行われていることがわかる。

図7には凸ロール先端半径 Rd が γ に及ぼす影響について示す。 Rd が板厚に対して小さく、ロール先端が尖っているほど、成形時に素板に食い込み、肉べりが助長されている。すなわち Rd と板厚 t の比 Rd/t の値が折り曲げ部の肉べりに大きな影響を及ぼしていることがわかる。

3.4 2次元解析結果との比較

前報で行った平面ひずみ条件下での2次元解析結果と本解析結果(3次元)との、折り曲げ部における最大板厚減少率 γ_{max} の比較を行った。その一例を図8に示す。この図によると、3次元解析結果は2次元解析結果より大きな肉べりを示していることがわかる。

次に図9に実験による実測値⁴⁾と2次元、3次元解析結果における γ_{max} との比較を示す。この図より、3次元解析結果は、実測値に近い値を示している。すなわち、本解析により実際の成形時の肉べりの挙動をほぼ予測できることがわかる。

図8 3次元と2次元の解析結果の比較
(γ_{max} に及ぼす Rd/t の比較)図9 実測値と3次元、2次元解析結果との比較
($b=45\text{mm}$, $t=6\text{mm}$, $\theta=15^\circ$, $Rd=0.5t$)

3.5 成形荷重

素板がロールに接触した時に生じる節点力の和から成形荷重を計算した。本解析では、下ロールの受ける全荷重の1/2を成形荷重 $L/2$ として、結果をまとめた。図10に板幅

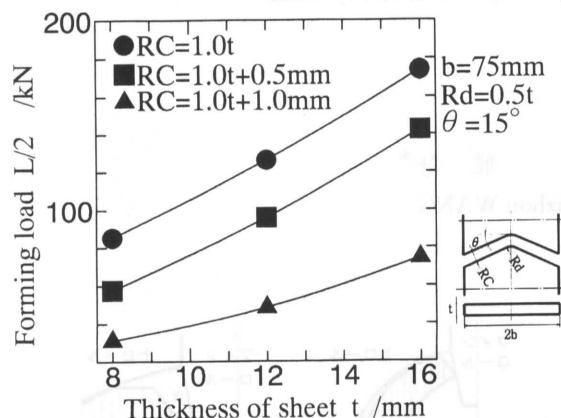


図10 板幅 b が成形荷重 $L/2$ に及ぼす影響

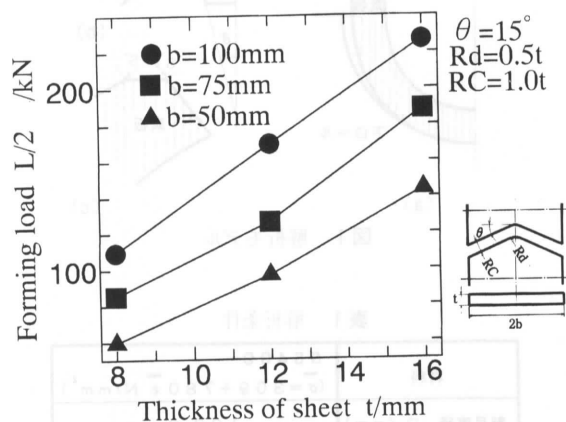


図11 ロールクリアランス RC が成形荷重 $L/2$ に及ぼす影響

b が成形荷重 $L/2$ に及ぼす影響、図11にロールクリアランス RC が成形荷重 $L/2$ に及ぼす影響について示す。これらの図より、板幅 b 、ロールクリアランス RC ともに成形荷重 L に著しく影響を及ぼしていることがわかる。

4. ま と め

3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、次のような結果を得た。

- 1) 素板下面(凸ロール側)の折り曲げ部付近には、他の部分の3~4倍程度の接触圧力が集中的に発生しており、成形時の肉厚減少に大きな影響を与える。
- 2) ロールクリアランス RC は、他の成形条件因子と同様に成形後の製品形状に及ぼす影響が大きく、また成形荷重にも大きな影響を及ぼす。
- 3) 3次元解析により、厚板材の実成形時に大きな問題となる折り曲げ部の肉べりをほぼ予測出来ることが判明した。

(1995年6月21日受理)

参 考 文 献

- 1) 例えば、木内 学・小野寺隆：45回塑加連講論，(1994)，215。
- 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：平6春塑加連講論，(1994)，185。
- 3) 木内 学・中越和人：45回塑加連講論，(1994)，211。
- 4) 鈴木 弘・木内 学・新谷 賢・三浦史明：塑性と加工，17-184(1976)，372。