

厚板V形材のロール成形に関する数値解析Ⅱ

—非対称材の成形に関する検討—

Analysis of Roll-Forming of V-Type Heavy Gauge Sections Ⅱ

—Study of Non-Symmetric Forming—

木内 学*・中越 和人**

Manabu KIUCHI and Kazuto NAKAGOSHI

1. はじめに

ロール成形による素板の変形挙動については、近年の計算機の発達により、種々の角度からの数値解析が行われている^{1),2)}。しかしその対象となる素板板厚は薄い場合が多く、厚板材の成形については、研究事例が少ないのが実状である。筆者らは、2次元・3次元剛塑性有限要素法により、厚板成形のうちでも最も基本的な、V形材のロール成形に関する変形解析を進めている^{3),4)}。これまで対称V形材（左右のフランジ長さが等しいV形材）の成形を中心として検討してきたが、本報では、非対称V形材（左右フランジ長さが異なるV形材）のロール成形における素板の変形挙動の解析を行い、幾つかの知見を得たので報告する。

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におけるロールクリアランスの midpoint から水平に引いた直線を基準パスラインとする。素板は、その後端を予め設定した挿入高さ h （基準パスラインの高さを h_1 とする）に保持したまま、水平に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。計算は素板先端が上・下いずれかのロールと接触した時を開始とし、先端がロール直下を通り抜けた時を終了とした。さらに板の後端は、ガイド等で挿入高さ h を拘束されているものとしている。本解析で用いたロールの形状を図1(b)に示す。解析に際しては、表1に示したように、板幅 b （短辺 b_1 + 長辺 b_2 ）、板厚 t 、凸ロール先端曲げ半径 R_d 、曲げ角 θ 、ロールクリアランス RC 、素板挿入高さ h 、を成形条件因子とした。

表1 解析条件

Sheet material / N/mm ²	SS400 $\bar{\sigma} = 309.0 + 780.0\epsilon$		
Friction coefficient μ	0.1		
Forming velocity / m/min.	10		
Sheet width $b=(b_1+b_2)$ / mm	100(50+50)	87.5(37.5+50)	75(25+50)
Sheet thickness t / mm	6		
Convex roll top radius R_d / mm	3	6	9
Bending angle θ / °	15		
Roll clearance RC / mm	1.0t	1.05t	1.10t
Height of entrance sheet h / mm	h_1	$h_1 \pm 40$	

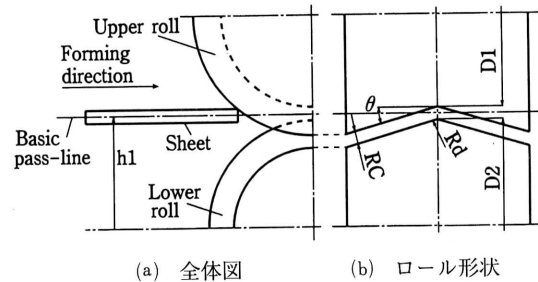


図1 解析モデル

3. 解析結果及び考察

3.1 変形形状

素板の変形形状の一例として、素板先端がロールに噛み込まれる時の変形過程を図2に示す。素板先端は、長辺側から噛み込まれるため、長辺側に傾斜しながらロール間へ進入していくこと、続いて長辺側と短辺側の両方が噛み込まれ、V形状に成形されていることがわかる。

3.2 接触圧力分布

素板先端がロール直下に到達した時の接触圧力分布を、図3に示す。この図によると、ロール直下付近で急激に接触圧力が增大していることがわかる。まず、凹ロール側接触圧力分布をみると、長辺側では折り曲げ部付近に接触圧

*東京大学生産技術研究所 第2部

**愛知製鋼株

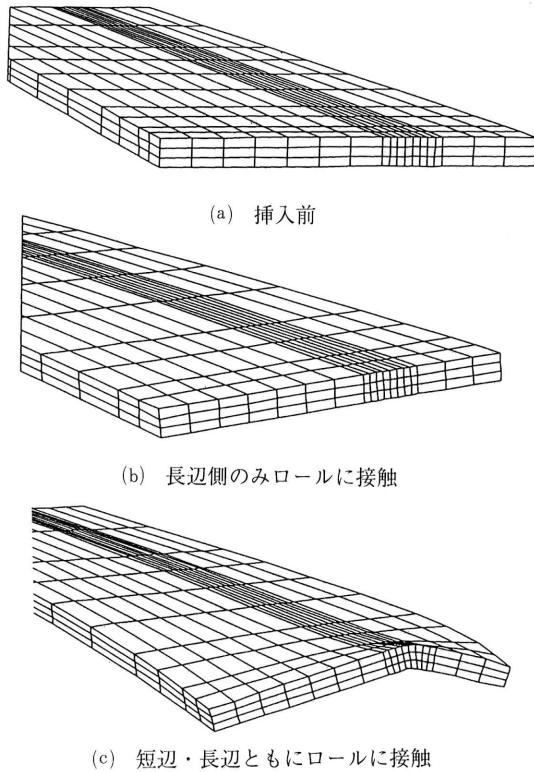
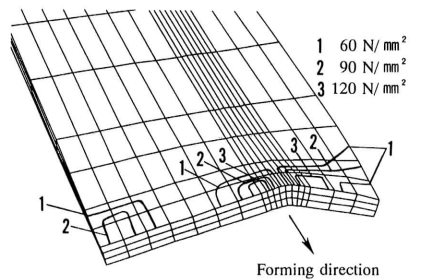
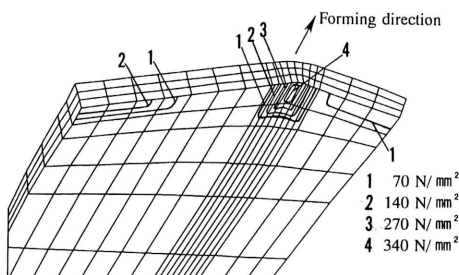


図2 変形状 (素板先端の変形過程)

($b=75(50+25)$ mm, $t=6$ mm, $Rd=3$ mm, $RC=1.0t$, $\theta = 15^\circ$, $h=h1$)



(a) 凹ロール側の接触圧力分布



(b) 凸ロール側の接触圧力分布

図3 素板上・下面における接触圧力分布

力が集中しているのに対し、短辺側ではほぼ全域に接触圧力が生じていることがわかる。短辺側と長辺側で接触圧力分布に違いが生じるのは、種々の理由があるが、素板の長辺側が先に噛み込まれ、短辺側が遅れて噛み込まれることも影響している。また、凸ロール側では、折り曲げ部付近に集中して接触圧力が生じている。凸ロール側の接触圧力については、V形断面の対称・非対称の差はあまり見られない。

3.3 成形荷重に及ぼす各種因子の影響

接触圧力分布と同様に、素板がロールに接触した時に生じる節点力より成形荷重を計算した。この時、下ロールの受ける成形荷重をLとして以下に結果をまとめた。

短辺長さ $b1$ が成形荷重Lに及ぼす影響を図4に示す。短辺長さ $b1$ が大きくなるにつれ、成形荷重Lも増大していることがわかる。

次に、ロールクリアランスRCが成形荷重Lに及ぼす影響を図5に示す。当然のことながら、ロールクリアランスRCが増大すると、成形荷重Lは減少する。

さらに挿入高さhが成形荷重Lに及ぼす影響を図6に示す。挿入高さhを基準パスラインより高めに、あるいは低

$t=6$ mm, $b=(50+b1)$ mm, $Rd=3$ mm, $\theta=15^\circ$, $RC=1.0t$

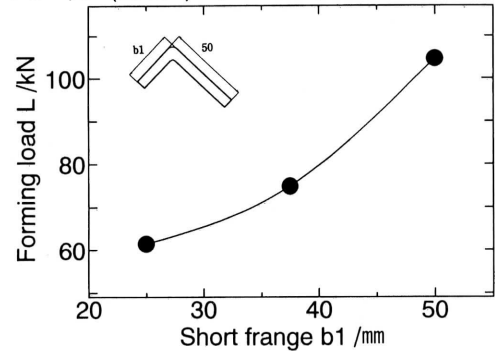


図4 成形荷重Lに及ぼす短辺長さ $b1$ の影響

$t=6$ mm, $b=(50+25)$ mm, $Rd=3$ mm, $\theta=15^\circ$, $h=h1$

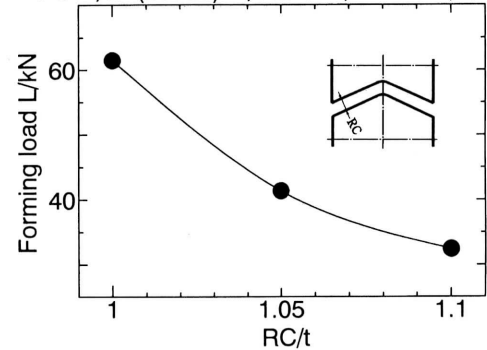


図5 成形荷重Lに及ぼすロールクリアランスRCの影響

$t=6\text{mm}$, $b=75(50+25)\text{mm}$, $Rd=3\text{mm}$, $\theta=15^\circ$, $RC=1.0t$

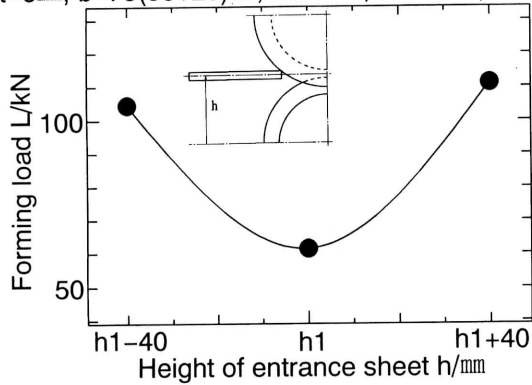


図6 成形荷重Lに及ぼす挿入位置高さhの影響

$t=6\text{mm}$, $\theta=15^\circ$, $h=h1$, $b=75(50+25)\text{mm}$, $RC=1.0t$

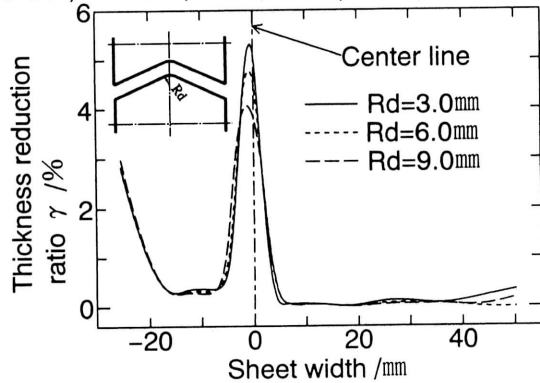


図9 板厚減少率 γ に及ぼす凸ロール先端曲げ半径Rdの影響

めに設定しても成形荷重Lは増大傾向を示し、挿入高さhが成形荷重Lに大きな影響を与えることがわかる。

3.4 板厚減少率 γ に及ぼす各種因子の影響

各種条件因子が、非対称V形材の成形後の板厚減少率 γ ($=\Delta t/t$)の幅方向分布に与える影響についてまとめた結果を図7~9に示す。なお、この分布は素板の先端付近

$t=6\text{mm}$, $b=100\text{mm}$, $Rd=3\text{mm}$, $\theta=15^\circ$, $h=h1$, $RC=1.0t$

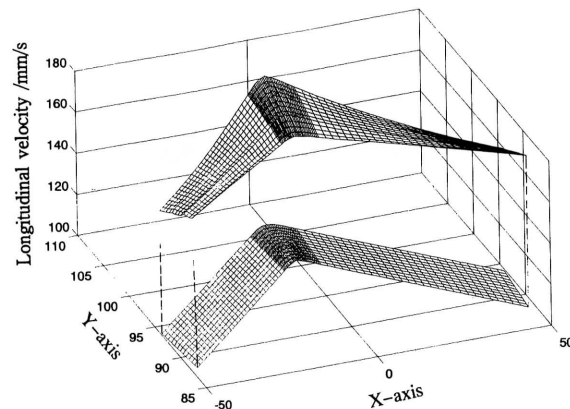


図10 対称材における成形方向速度分布

$t=6\text{mm}$, $\theta=15^\circ$, $Rd=3\text{mm}$, $RC=1.0t$, $h=h1$

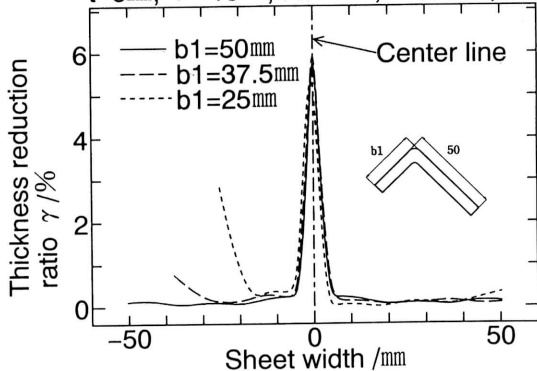


図7 板厚減少率 γ に及ぼす短辺長さb1の影響

のもであり、縁部の変形が定常部よりも強調されている。

まず素板短辺長さb1が γ に及ぼす影響について図7に示す。この図をみると、短辺長さb1が短いほど縁部の変形が増大していることがわかる。折り曲げ部付近の γ については大きな影響は見られない。

次に、ロールクリアランスRCが γ に及ぼす影響について図8に示す。この図より、ロールクリアランスRCが、短辺部の γ に大きく影響していることがわかる。

そして、凸ロール先端半径Rdが γ に及ぼす影響について図9に示す。先端曲げ半径Rdが小さいほど、凸ロール先端が素板に食い込み、折り曲げ部における γ が増大していることがわかる。

$t=6\text{mm}$, $\theta=15^\circ$, $Rd=3\text{mm}$, $h=h1$, $b=75(50+25)\text{mm}$

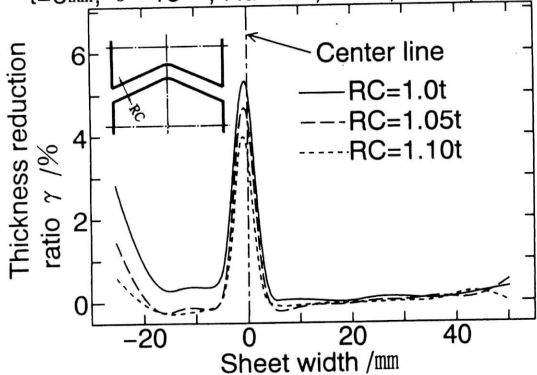


図8 板厚減少率 γ に及ぼすロールクリアランスRCの影響

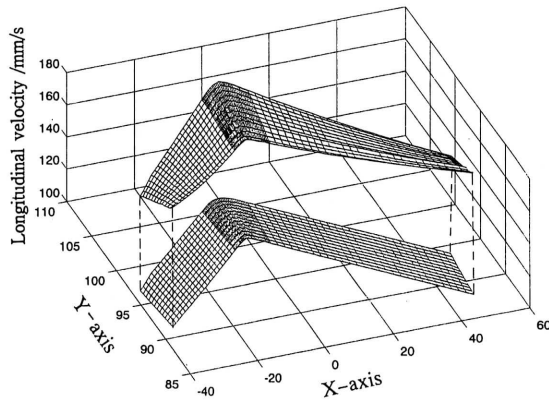
3.5 素板断面の成形方向速度分布

素板先端がロール直下に到達した時の、素板横断面上に発生する成形方向の速度分布の一例を示す。

図10に対称材における成形方向速度分布を示す。速度分布は一様とはならず、断面上の場所により速度の大小が生じていることがわかる。特に素板の折り曲げ部と縁部にお

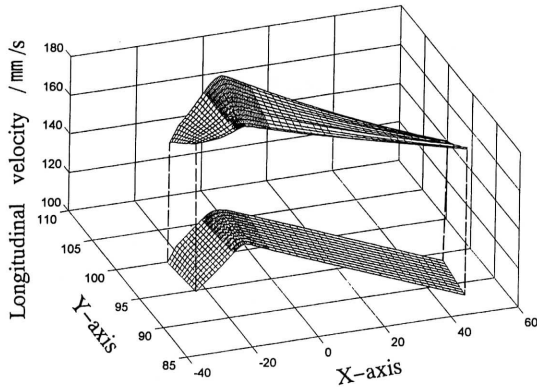
研究速報

$t=6\text{mm}$, $b=(50+37.5)\text{mm}$, $R_d=3\text{mm}$, $\theta=15^\circ$, $h=h_1$, $RC=1.0t$



(a) $b_1 = 37.5\text{ mm}$

$t=6\text{mm}$, $b=(50+25)\text{mm}$, $R_d=3\text{mm}$, $\theta=15^\circ$, $h=h_1$, $RC=1.0t$



(b) $b_1 = 25.0\text{ mm}$

図11 非対称材における成形方向速度分布 (短辺長さ b_1 の影響)

いてその傾向が強く見られる。

図11に非対称材の成形方向の速度分布を示す。短辺長さ b_1 が短いほど、短辺側と長辺側との速度の差が大きく、成形後の曲がりやねじれが生じやすいことがわかる。

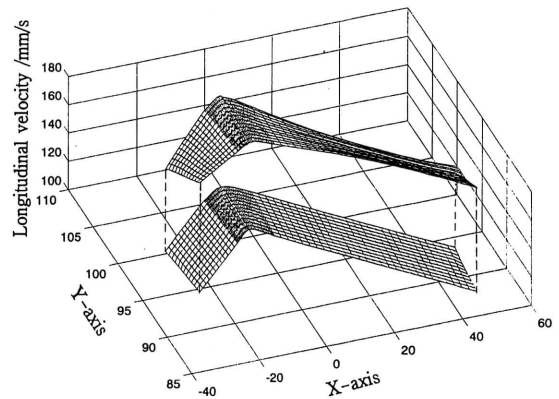
図12に素板の挿入高さ h を変えた時の速度分布を示す。(a)の場合は凹ロール側に、(b)の場合は凸ロール側に速度分布が偏る傾向が見られ、挿入高さ h が成形後の形状に影響を与えることが分かる。

4. ま と め

左右辺長さの異なる非対称V形材のロール成形における変形挙動の解析を行い、次のような結果を得た。

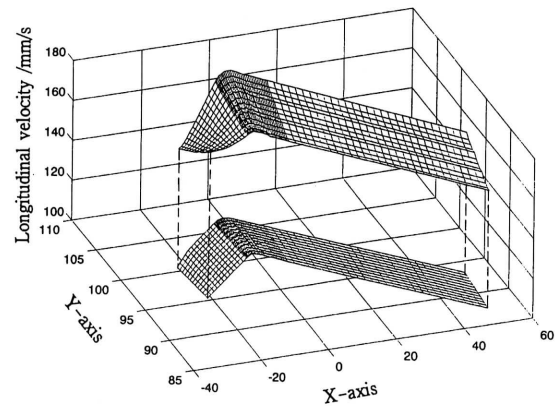
1) 非対称V形材のロール直下における接触圧力分布は、短辺側で辺全域わたって生じており、短辺側に大きな変形が生じやすいことと対応している。

$t=6\text{mm}$, $b=(50+25)\text{mm}$, $R_d=3\text{mm}$, $\theta=15^\circ$, $h=h_1-40$, $RC=1.0t$



(a) $h = h_1 + 40\text{ mm}$

$t=6\text{mm}$, $b=(50+25)\text{mm}$, $R_d=3\text{mm}$, $\theta=15^\circ$, $h=h_1+40$, $RC=1.0t$



(b) $h = h_1 - 40\text{ mm}$

図12 非対称材における成形方向速度分布 (素板挿入高さ h の影響)

2) ロール直下における、素板横断面上の長手方向速度は、折り曲げ部と縁部において大きな変化を示す。また、速度分布は成形条件により大きく変化し、成形後の曲がりやねじれあるいは残留応力を誘発することが分かる。

3) 各種成形条件因子は、長辺側よりも短辺側の変形に対して、より大きな影響を与える傾向がある。

(1995年10月9日受理)

参 考 文 献

- 1) 例えば、木内 学・小野寺隆：平7 春塑加講論，(1995)，417。
- 2) 例えば、小野田義富・長町拓夫・上田 拓：平7 春塑加講論，(1995)，409。
- 3) 木内 学・中越和人：45回塑加連講論，(1994)，211。
- 4) 木内 学・中越和人：平7 春塑加講論，(1995)，415。