

# 広い接触域をもつ板押さえウレタンロールと ダイウレタンロールによる成形法

小山工業高等専門学校 機械工学科

助教授 渡利 久規

(平成8年度奨励研究助成 AF-96031)

## 1. 研究の目的と背景

ロール成形は、断面形状が一定の長尺物を生産するのに適していることから、土木、建築用部材等の製造に関しては独占的地位を占めている。ところで、自然環境問題による木材の伐採規制への動きは一般家屋の建設にスチール部材の使用を促している。米国においては環境問題から木材価格が高騰したため急速にスチールハウスの普及が計られ1994年度の建築実績は7万棟に達したといわれている。我が国においても、阪神淡路大震災による経験から耐震・耐火設計家屋の建設の動きがより一層高まっている。1995年3月に建設省(財)日本建築センターのワーキンググループは「スチールハウス建築物の性能評価基準」を策定した。現在、法的課題を解決し、一般家屋としての認定も終了している<sup>1)</sup>。

このような背景から、著者らはプレハブ住宅家屋の副構造部材(板厚0.8mm前後)として使用しているプレノッチ材を簡便に成形できる製造方法について研究した<sup>2)~4)</sup>。従来、プレノッチ材の製造は、一般的には、アンコイラーとロール成形機の間設置された打ち抜きプレスによって、予めたたませておいた帯板を打ち抜いた後に目的とする断面形状を成形するという方法で行っている<sup>4)</sup>。この方法は、主構造部材(板厚2.3mm以上)のように、比較的板厚の厚い物を大量に製造するには適しているが、多種類の穴の形状部材や薄板材、また、それほど精度を必要としない穴あけ加工に対してはウレタンロールによる、いわゆる、ゲーリン法(Guerin Process)がより経済的である。このため、本研究では、上ロールに穴開け加工用のパンチを挟み込んだ板押さえ用のウレタンロールを、下ロールにはダイの役割をするダイウレタンロールを使用することを考えた。すなわち、この一対の上下ロールを既存のロール成形ラインに設置することで、一定ピッチで連続的に穴開けを行う経済的な加工法に着目した。このような加工法は、歯車型スリットロール設置して深いルーバを成形する方法<sup>5)</sup>やロールピーンフォーミング<sup>6)~7)</sup>の発展形と位置づけられるが、ロール成形の分野への多品種少量生産への対応策の一つとしては有効であると考

えられるため、薄板材に対してこの方法を適用性を調査することは重要である。

本研究では、上下ウレタンロールの硬さ組み合わせ、板の拘束力、パンチ取り付け角度の打ち抜き加工精度に及ぼす影響等について成形条件を変えて調査を行った。本報は、ゲーリン法が薄板副構造部材のロール成形に対して使用できるかどうかについて、その可能性を検討したものである。

## 2. 実験方法

### 2・1 成形断面形状及び供試材料

実験には、軸径30mmの冷間ロール成形機を用いた。Fig.1に示す断面形状を成形するために、後述する打ち抜き専用スタンドを含めて、全6段を使用した。供試材料は冷間圧延鋼板(SPCC)であり、板厚は0.4mmのものを使用した。

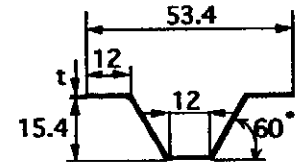


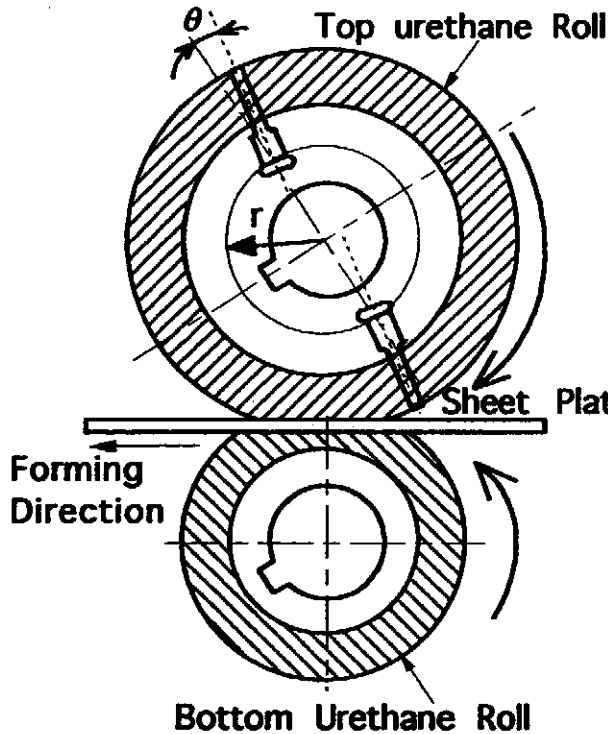
Fig.1 Formed section

した。

### 2・2 穴開けスタンド及び成形原理

Fig.2は、打ち抜きスタンドにおける上下ロールの各寸法及びX-X断面における回転途中の概略を示したものである。下ロールは、図示のように芯金のスチールロールに回転可能なウレタンロールがとりつけてある。そして上ロール側はこのスチールロールに直径6mmの円型のフラットパンチが設置されている。このパンチ先端面とウレタンロール外周面は同一面になっている。パンチの取り付け部は、中心より $r=25\text{mm}$ の位置であり角度 $\theta$ だけ傾斜させて、パンチ中心線が上ロールの回転中心を通過しないようにしている。上下ウレタンロールの圧縮により、パンチ先端部分がウレタン表面から突き出し素材に食い込むことによって穴あけ加工を行う。Fig.2において、パンチの取り付けを角度 $\theta$ だけ傾斜させたのは、上下ウレタンロールによって拘束された素材とパンチが接触を開始してからロール真下にくるときまでに、より大きな打ち抜き力を得ること

Punch setting angle



X-X Sections

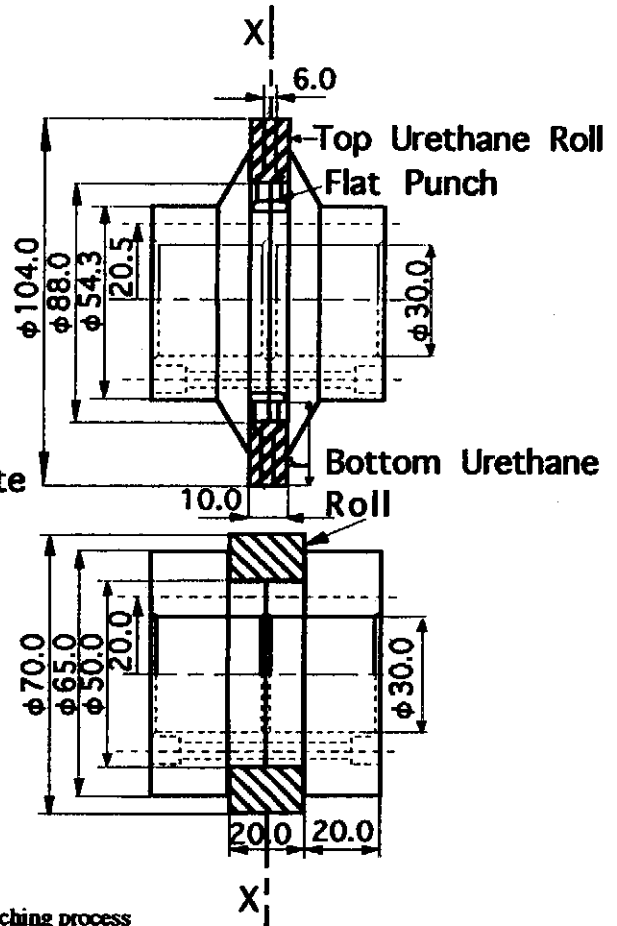


Fig. 2 Dimensions of rolls and schematic illustration at notching process

Table 1 Hardness combination of top and bottom urethane rolls and punch setting angles

$\theta$ /deg		0, 10, 20, 30		
$H_t$ /deg		70	80	90
$H_b$ /deg	85	○	○	○
	90	○	○	○
	95	○	○	○

をねらったものである。実験では、最終段前に設置した打ち抜きスタンドに一定の予荷重をかけておき、これに、ハット型断面を通して、ウェブ部に一定間隔で穴あけを行った。

2・3 成形条件、成形荷重測定及び製品評価

本実験で使用した上下ロール硬度の組み合わせ及びパンチ取り付け角度をTable 1に示す。ウレタンロールの硬度は、上ロール側が70度、80度、90度、下ロール側が85度、90度、95度であり、これは表のように合計9通りの組み合わせになっている。ウレタンの硬さの表示値はゴム等の硬さに用いられるショアAを採用している。パンチ取り付け角度 $\theta$ は、 $0^\circ$ から $30^\circ$ までの4通りである。本法における打ち抜き機構を調査するため、打ち抜きスタンドにおける成形中の荷重を測定した。これは左右のスタンドにとりつけたロードセルで測定した。Fig.3は、横軸は時間軸、縦軸はロードセルから得られた荷重を示している。Fig.3の実験では長さ900mmの切り板に、13個から14個の打ち

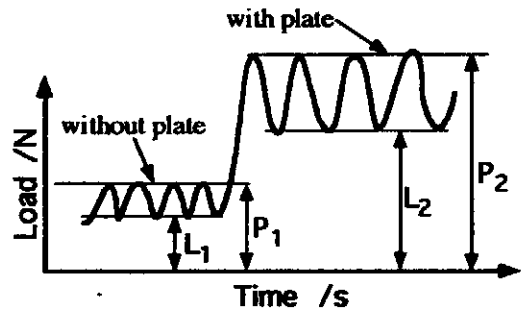


Fig. 3 Wave pattern of roll load at notching stand

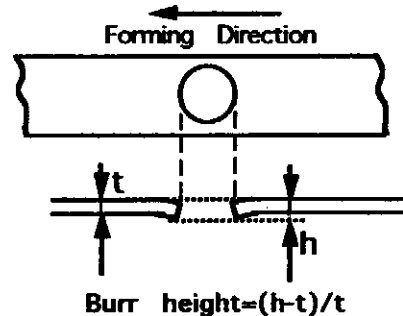


Fig. 4 Measuring of burr height for punched holes

抜き穴を加工したときの波形を示している。図中の $P_1$ 、 $L_1$ は、それぞれ上下ロール間に素材がない状態でのパンチが食い込んでいないときと食い込んでいないときの

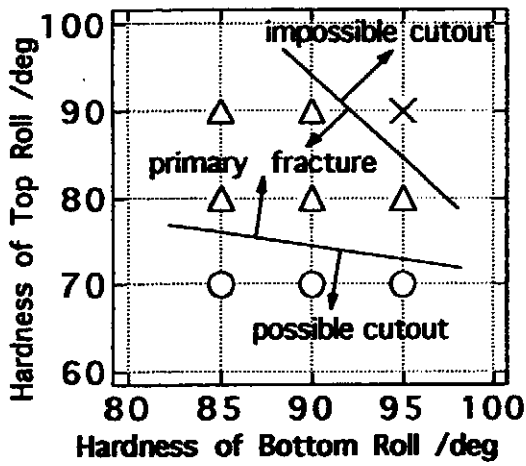


Fig.5 Results of possible cutout under various conditions

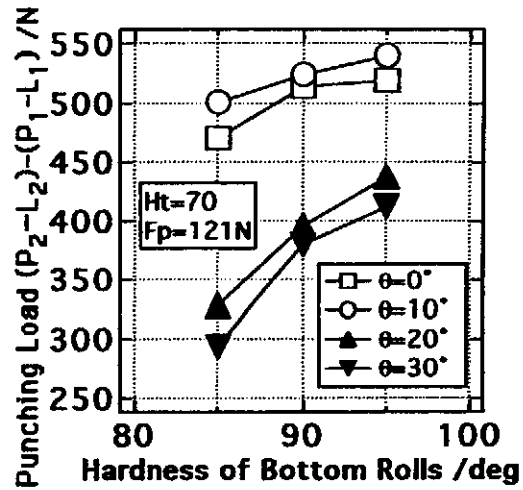


Fig.7 Effects of hardness of rolls and punch setting angles on punching load

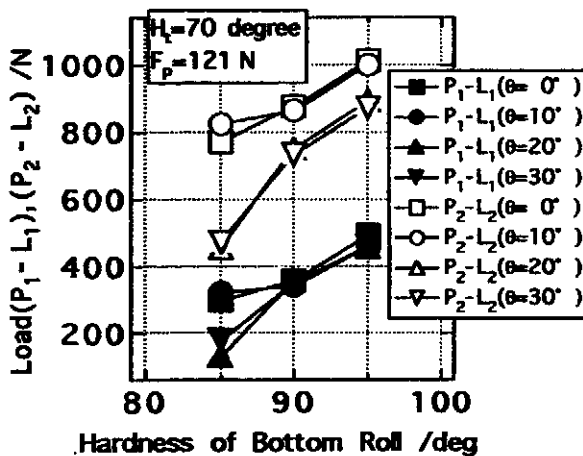


Fig.6 Effects of hardness of rolls and punch setting angles on effective roll load

荷重であり、 $P_2$ 、 $L_2$ は、上下ロール間に素材がある場合の穴あけ加工中の荷重と穴あけ加工を行っていないときの荷重をそれぞれ示している。また、打ち抜きされた穴については、Fig.4示すようにバリ高さ $h$ を測定して形状を評価した。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3・1 各種ウレタンロール硬度の組み合わせと成形の可否

Fig.5は、本実験で行った上下ウレタンロールの硬度組み合わせにおける成形の可否についてパンチ角度 $\theta$ が $0^\circ$ の場合の結果である。 $\theta=10^\circ$ の場合もこれと同じ結果になる。図中の記号は、○印が打ち抜き可能であったもの、△印がパンチの先端部分が素材に進入し、穴の一部が破断したもの（この状態は、佐藤・宮らの研究<sup>9-11</sup>における一時破断の状態と同じであり本論文でも、一時破断と呼ぶ）、×印は打ち抜きが全く不可能であったものを示している。なお、Fig.5の実験は予荷重が121N付加されたときの結果である。図から、上ウレタンロールの硬度が最も低い70度の場合には、下ウレタンロールの硬度によらず成形は可能であることがわかる。これは、上下ウレタンロールの接触面積が広

くなり、ウェブ部を広範囲にわたって押さえ込んでいるためである。また、下ウレタンロールはダイの役割をするため、ある程度の硬度が必要であることが判明している。予荷重をより過大にした（202N）の場合には、Fig.5の成形可能領域はそのままであるが、成形不能領域は狭くなり、一時破断領域が広がった。また、打ち抜き穴の形状変形が大きくなり製品としては不合格である。逆に、過小予備荷重では、パンチ先端の突き出し量が不足し、Fig.5の成形不能領域が広がり、成形可能な領域はない。また、 $\theta$ の値が $20^\circ$ 、 $30^\circ$ の場合には、Fig.5のすべての領域で一時破断の結果となっている。

#### 3・2 成形中の荷重と各種条件との関係

Fig.3に示した、 $P_1$ 、 $L_1$ 、 $P_2$ 、 $L_2$ が、ウレタン硬度組み合わせ、パンチの取り付け角度によってどのように変化するかを整理したのがFig.6である。Fig.6において、縦軸の $P_1-L_1$ は、素材がない場合のパンチがウレタンに食い込む際の荷重を黒印で、また $P_2-L_2$ は、素材が上下ウレタンロール間にある場合の成形荷重を白印で示している。Fig.6は、上ウレタンロールの硬度が70度、上下ロール間の予荷重 $F_p$ が121Nの場合である。横軸は下ロールの硬さを、図中の各記号は各パンチ取り付け角度 $\theta$ に対応している。Fig.6より、成形中の荷重（白印）は下ロールの硬度の増加とともに上昇し、パンチ取り付け角度 $\theta$ によってかなり変化することがわかる。特に $\theta$ が $0^\circ$ 、 $10^\circ$ の場合に、成形荷重は高い。ここで、 $P_1-L_1$ は、素材がない場合のパンチがウレタンに食い込む際の荷重、 $P_2-L_2$ は素材を成形する場合の見かけの荷重であるから、 $P_2-L_2$ より、 $P_1-L_1$ を差し引いたものが板に穴あけ加工をするときのせん断力であると考えられる。そこで、新たに $(P_2-L_2)-(P_1-L_1)$ を縦軸として整理し直すと、Fig.7を得る。図中、 $\theta$ が $20^\circ$ （▲印）、 $30^\circ$ （▼印）の場合には、せん断力が少ない。これは、前記3・1のように一時破断であり、完全な打ち抜きが行われていないためである。完全な打ち抜きが行われる $\theta$ が $0^\circ$ （□印）、 $10^\circ$ （○印）では上下ロール間の予荷重が121Nのとき、500N前後の荷重で打ち抜きが行われることになる。ところで、同じ材料をこれと同

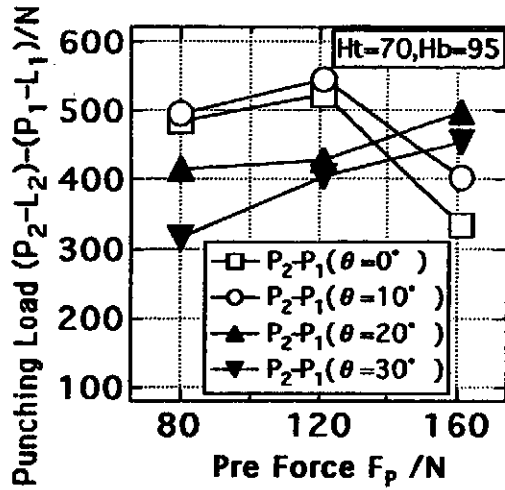


Fig.8 Effects of pre-load and punch setting angles on punching load

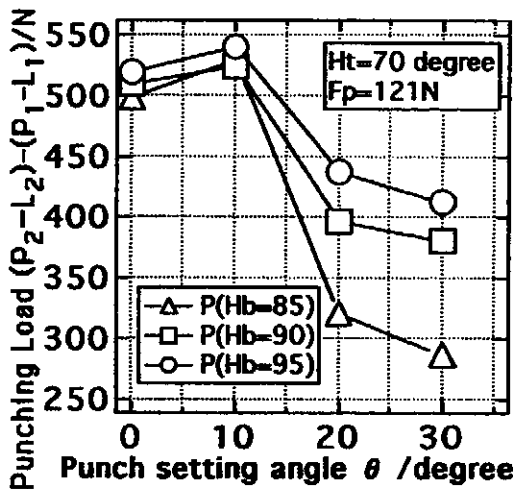


Fig. 9 Effects punch setting angles on punching load

形状のパンチを用いてパンチ、ダイによるせん断加工（クリアランス7.5%）を行った結果、上記の値の約7.8倍（3920/500）である。材料のせん断応力を一定と考えると、両者の違いはせん断面積が影響していることになる。結局、ウレタンロールによるせん断は上下ロールの回転によるパンチ材料のせん断部分の面積が、パンチ、ダイスの場合の1/8程度になっていると考えられる。

### 3.3 予荷重 $F_p$ の打ち抜きに及ぼす影響

Fig.8は、成形が可能であった  $\theta=0^\circ$  および  $10^\circ$  の場合について、成形前の予荷重が成形に及ぼす影響をまとめたものである。横軸は成形開始前に上下のウレタンロールに与える予荷重  $F_p$  を、縦軸は、真の成形荷重  $(P_2-L_2)-(P_1-L_1)$  を表している。なお、図中黒塗りの記号は、打ち抜きが不可能で一時破断したものを表している。図示のように、予荷重  $F_p$  が121Nのときのみ成形が可能であり、しかもこのときに真の成形荷重は最大となる。まず、ここで真の成形荷重が最大になることに関しては、次のようである。予荷重が121Nから161Nに増加したとき、見かけの成形荷重  $(P_2-L_2)$  は、ほとんど増加していない。一方、パンチ先端が下ウレタン

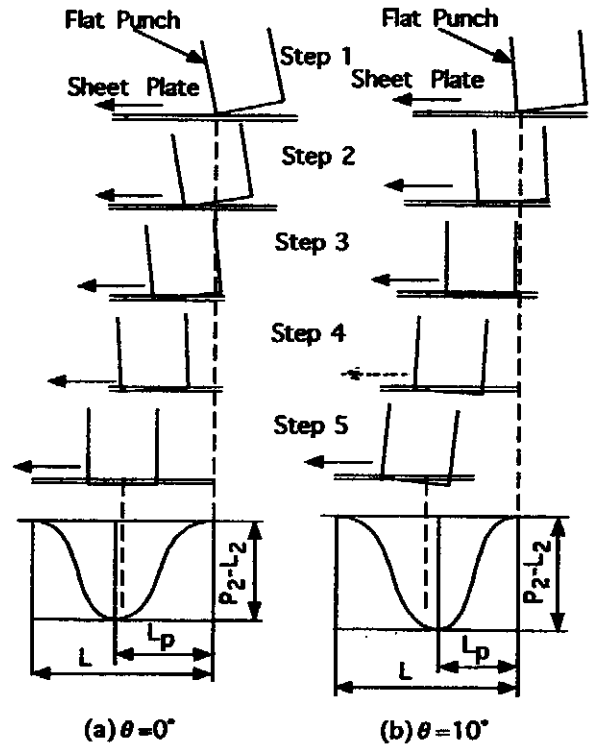


Fig. 10 Punching process and typical wave patterns

ロールに食い込む際の荷重  $(P_1-L_1)$  は直線的に増大するので、その結果  $F_p$  が161Nのときの成形荷重  $(P_2-L_2)-(P_1-L_1)$  は  $\theta$  が  $0^\circ, 10^\circ$  の場合に減少する。次に、予荷重が80N, 161Nで一時破断の状態になる理由は次のようである。すなわち、予荷重が80Nのときはパンチ先端の突き出し量の不足である。また、予荷重が161Nのときは、パンチ先端の突き出し量が過大となり、素材とパンチの接触開始時期が早すぎて、前述した3・1における上下ウレタンロールの広い接触面積によるウェブ部の押さえ込みの効果を得ることができないためである。

### 3.4 パンチ取り付け角度と荷重

Fig.10は、 $\theta$  が、 $0^\circ$  と  $10^\circ$  の場合の打ち抜き過程と、そのときの荷重波形を示している。Fig.10 (a) はパンチ取り付け角度  $\theta$  が  $0^\circ$  の場合である。この場合は、まずSTEP1でパンチ前縁部分が素材と接触し、その後STEP2からSTEP3と、パンチ前縁部分と接触する箇所から破断が始まる。Step4からStep5に移る際に成形方向上流側の未破断の部分が切り取られて破断は完了し、ここで成形荷重は最大になる。この場合、パンチと素材の接触区間における荷重のピーク位置はロール中心線直下よりもわずかに下流側にある。Fig.10 (b) のパンチ取り付け角度  $\theta$  が  $10^\circ$  の場合はSTEP1におけるパンチの先端部分と素材との接触角度が小さく、STEP2からSTEP3において、パンチは素材とほぼ直角に接触して破断が始まる。Step3からStep4では成形方向下流側の未破断の部分が切り取られて破断は完了し、ここで成形荷重が最大になる。パンチがロール直下にくるStep5ではすでに破断は終了しており、以後はパンチが打ち抜き穴より離れる過程になる。この場合の荷重のピーク位置はロール中心線直下よりも上流側

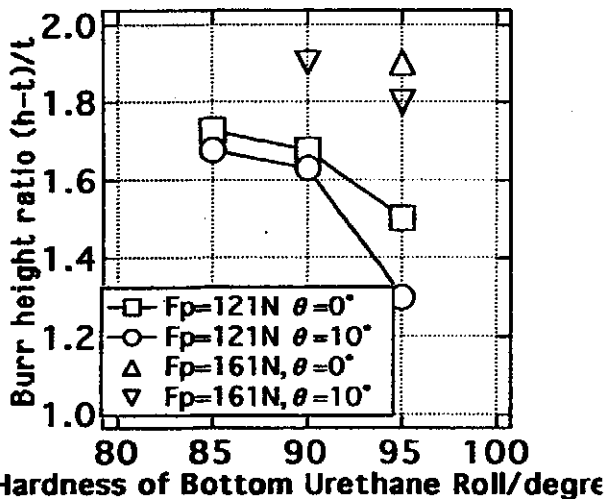


Fig. 11 Effects of forming conditions on accuracy of products

にある。Fig.10より、 $\theta$ が $0^\circ$ の場合より、 $10^\circ$ の方が良いのは次の理由による。パンチ取り付け角度を $10^\circ$ に設定することで、Fig.10のSTEP2からSTEP3における破断が始まる時のパンチと素材の接触角度が直角になり、より高いせん断力が得られるからである。Fig.10 (a)ではSTEP5で、Fig.10 (b)ではSTEP3で直角である。Fig.10の一つの波形における $L_p/L$ の値を調査すると、 $L_p/L$ の値は $\theta$ が $0^\circ$ のときの方が、 $\theta$ が $10^\circ$ のときよりも大きくなっている。これは荷重波形がFig.10 (a)のように、立ち上がりの緩やかな山となっていることを意味する。逆に $L_p/L$ の値が小さな $\theta$ が $10^\circ$ の場合には、Fig.10 (b)のように、立ち上がりが鋭い山となり、パンチが素材と接触してからロール中心線直下にくるまでに大きなエネルギーを要していることになる。このことにより、本実験ではロール直下より、わずか手前でパンチと素材の接触角度が直角になる。 $\theta=10^\circ$ の場合が成形荷重の点からは適切である。

### 3・5 成形条件と製品精度の関係

Fig.11は、本実験で打ち抜きが可能であった、上ウレタンロールの硬度が $70^\circ$ の場合、パンチ取り付け角度 $\theta$ が $0^\circ$ 、 $10^\circ$ のときの製品のバリ高さ比と各種条件の関係を示している。予荷重が121Nで、下ウレタンロールの硬度が $95^\circ$ のとき、また $\theta$ が $10^\circ$ のときに、高い精度の製品が得られている。予荷重が高いと、製品精度が悪化する理由は、Fig.10において、パンチの突きだし量が過大となり、打ち抜き終了後パンチ先端が素材から離れる際に、穴先端部に接触し穴形状を悪化させるからである。 $\theta$ が $10^\circ$ の方が $0^\circ$ の場合より製品精度が高いのは、Fig.10において、打ち抜き終了後パンチ先端が素材から離れる際にパンチ先端部がスムーズに穴から離れるからである。本加工法では、製品の穴加工精度は、 $(h-t)/t$ の値で1.0程度ではあるが、下ウレタンロール硬度を増加させれば、加工精度は向上すると考えられる。

本論文は、ロール成形の分野へも多品種少量生産への対応策の一つとして、比較的薄い板を対象に行ったものである。本法は、経済的な加工法で薄板に対しては有効であると考えている。また、他の分野にも適用できる可能性があることから今後、成形限界や製品の高精度化について調査する必要がある。本研究において得られた結論を要約すると以下ようになる。

- 1)9種類の上ウレタンロールの組み合わせについて調査した結果、本実験では上ロール硬度が $70^\circ$ 、下ロール硬度が $95^\circ$ の場合に最も成形が安定し、比較的高い精度の製品が得られている。
- 2)パンチ取り付け角度は、上ロール硬度が $70^\circ$ 、下ロール硬度が $95^\circ$ の組み合わせで、 $10^\circ$ にとればよい。
- 3)素材とのパンチの接触の状況、成形荷重の測定より、本加工法における加工機構を示した。

本研究は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団の援助によって行われたことを記し、ここに厚く感謝いたします。また本研究の遂行にあたり、御指導賜りました拓殖大学工学部機械システム工学科小奈弘教授に心より御礼申し上げます。

最後に、本研究を遂行するにあたり、ウレタンエンジニアリング宮隆一氏、(株)ポリマー技研森正博氏より貴重な御討論をいただきました。また、小山高専学生、関口達男君、奈良和久君、山本浩二君、Har Ismawira Bin Baruddin君、新島清高君の諸氏には実験に協力いただきました。ここに記して厚く感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 加藤健三：日本塑性加工学会第59回ロールフォーミング分科会資料、(1996, 10月)
- 2) 渡利久規・小奈弘：平8春塑加講論、(1996), 302.
- 3) 渡利久規・小奈弘：平9春塑加講論、(1997), 149.
- 4) 渡利久規・小奈弘・上野孝雄・伊澤悟：塑性と加工、36-409(1995), 161.
- 5) 神馬敬・小奈弘・大地正樹・安原健吉・三好郁夫・川瀬尚男：塑性と加工、33-260(1982), 903.
- 6) N. R. Chitkara, W. Johnson AFProc. 21st MTDR Conf., (1980),75.
- 7) N. R. Chitkara, K. T. Taspanar, M. M. Nordin AFProc. 22nd MTDR Conf., (1981), 497.
- 8) 佐藤金司・宮隆一・尾崎和雄・西村博明・石川康博・石下理：軽金属、31-3(1981), 164.
- 9) 佐藤金司・宮隆一・尾崎和雄・西村博明・芦川義幸：軽金属、31-9(1981), 608.
- 10) 佐藤金司・宮隆一・尾崎和雄・西村博明：軽金属、32-8(1982), 389.
- 11) 佐藤金司・宮隆一・小林史和・朝岡俊樹：平4春塑加講論、(1992), 29.