

# 下死点の高精度位置決めを実現する超精密加工プレスの開発

富山大学 大学院 理工学研究部 (工学)  
教授 高辻 則夫  
(平成 18 年度一般研究開発助成 AF-2006021)

キーワード：カム・トグル機構，下死点制御，トムソン刃型，一括押し切りせん断

## 1. 研究の目的と背景

プレス加工業界では、従来まで要求されていた低コスト・高生産性に加え、近年では高精度、高品質が要求されている。特に、2層（または多層）に貼り合わせた材料の型抜き加工において、上層部の部材を型抜きし、材料の厚みが 0.05mm (50 $\mu$ m) 程度の紙、フィルム、粘着剤層などの下層材を型抜きしないハーフカット（半抜き）する場合や、各種印刷物、フレキシブル印刷基板、ディスプレイ材などの機能フィルムなどを高精度に型抜きする場合には、プレスの下死点の高精度な位置決めが実現できる超精密加工プレスの開発が必要不可欠となっている。

従来から使用されてきたダブルクランク式機械プレスや油圧式プレスでは、型抜きのスピードや下死点位置を精度良く制御することが困難である。また、最近よく使用されている型抜き部の駆動をサーボモーターで制御するサーボプレスでは、型抜きのスピード・下死点位置・加工力を任意に設定できる長所の反面、振動等に敏感であることなどの問題点が指摘されている。

また、従来の型抜き加工は、上下金型を使用するダイセット方式による重厚長大の型抜き加工が主流であり、さらに、ハーフカット加工に使用されているシーリング輪転機においても、切断に使用する NC 刃とハーフカットされる製品の面接触による製品キズが問題となっている。

さらには、型抜きしないハーフカットや薄物材料の切断などの場合には、従来の上下金型を使用するダイセット方式等に換わって軽量・コンパクトで変形自在なトムソン刃を使用した一括押し切り型抜きが適用されている。トムソン刃に関する研究としては、永澤らの一連の研究<sup>1)</sup>があるが、被加工材の機械的及び物理的特性とトムソン刃型の関係などについて学術的に検討した研究はほとんどない。

そこで、下死点における高精度な位置決めと保持を可能とするだけでなく、振動等の外部介在因子の影響を受けにくいトグル機構とカムを巧みに組み合わせた駆動機構<sup>2)</sup>を採用した超精密加工プレスを開発するとともに、この超精密加工プレスのプレス特性を明らかにする。さらには、新たに開発したカム・トグル精密加工プレス機にトムソン刃型を実装して一括押し切りせん断加工を行い、その際の荷重、断面形状、せん断長さ等のせん断現象について刃先形状や被加工材を変更し、検討を行った。

## 2. 加工原理及び加工方法

### 2-1 カム・トグル式精密プレス機

図 1 にカム・トグル式精密プレス機の概略を示す。このプレス機は、回転運動を直線運動に変換させるカムと水平方向の運動を上下運動に変換させるトグルで構成されてい

る。カムは系の剛性が高く負荷による変動が少なく、トグルは拡大機構により大きな力を出すことが可能である。図 1(b)にプレスの内部構造を示す。①モーターが動作し、②カムから伝えられた水平運動は③クランクアームを介して④トグルの中心に伝えられる。トグルの中心が横に押されることにより、トグル両端部の間隔が広がる。そして、トグルは上部が固定され、下部は自由に移動できるようになっている。これにより、⑥上型とトグルをつなぐ⑤連結部材が下に引っ張られてプレス加工を可能にする。

図 2 は、カム・トグルの動作モデルを示す。トグルの上下方向の力成分が徐々に大きくなるので下死点近傍で出力が最大になる。また、移動開始時は水平方向の速度成分が存在しない。移動開始時は低速でスタートし徐々にピードが増し、下死点近傍では減速するという特徴を持っている。

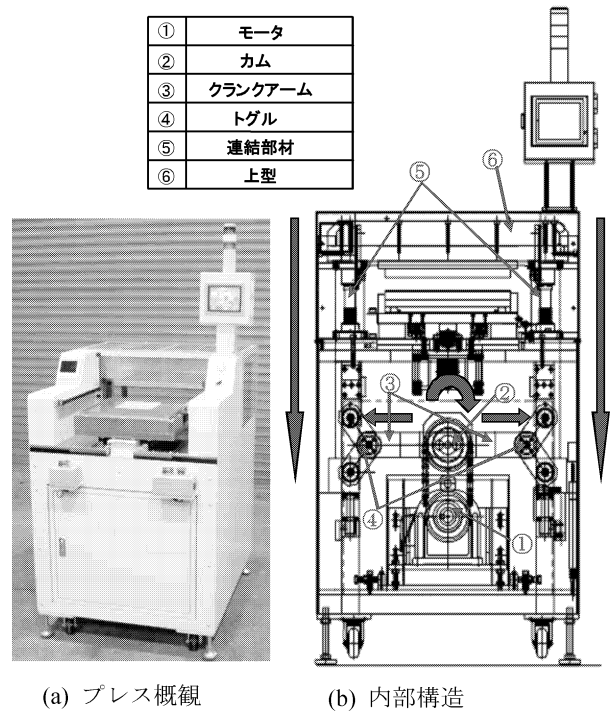


図 1 カム・トグル式精密加工プレス

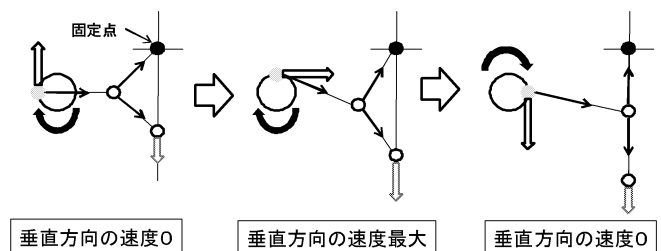


図 2 カム・トグル機構の動作モデル

図3は、精密加工プレス機のプレス特性を明らかにするために、設定ストロークに対する実際のストロークを測定した結果である。本プレス機の最下死点は33.7mmに設定してあるが、設定ストローク30.5mmの位置では約1.0mmの誤差が発生していることがわかる。しかしながら、設定ストロークを徐々に増大させていくにつれて、設定ストロークと実ストロークとの誤差は小さくなり、下死点近傍（設定ストローク:33.7mm）においては理論値とほぼ同値となり、高精度な下死点制御が為されていることがわかる。

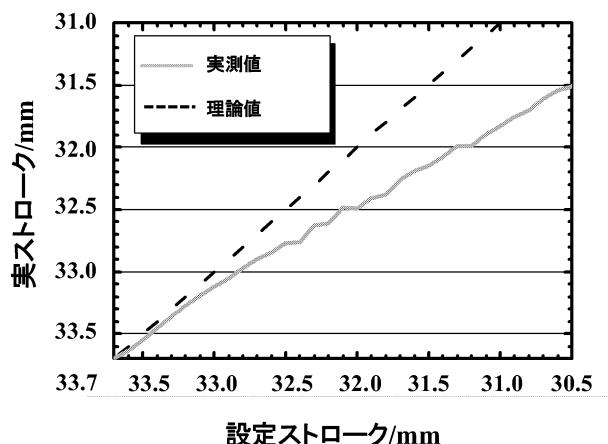
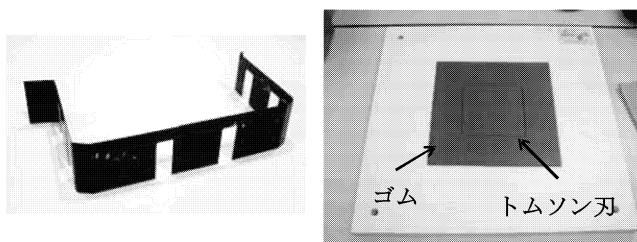


図3 カム・トルク式加工プレス機の動作確認

## 2・2 トムソン刃型

図4にトムソン刃とトムソン刃型を示す。トムソン刃の主な材質は炭素鋼で刃先硬度はHS70である。トムソン刃には様々な種類、形状があり、台紙等を打ち抜いた際の紙粉の抑制や曲げ加工部の微小な高低差の抑制など打ち抜く被加工材、用途に対して使用する刃を変更し、より良い切断環境を設定することができる。また、トムソン刃は鋭利な刃物であるために金型と比べると加工動力が小さく、軽量かつ安価となっており製造納期も極端に短いなど様々なコスト低減につながる要素を持っている。このトムソン刃をベニヤ板にはめ、トムソン刃型が完成する。ゴムはトムソン型への材料はまりを防ぎ、かつ安全面の考慮も兼ねて取り付けられている。

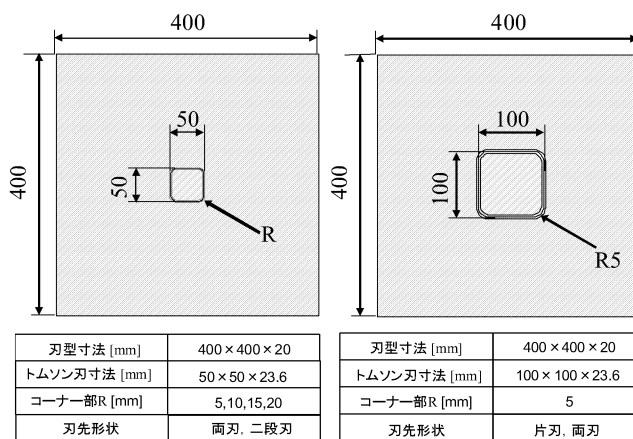


(a) トムソン刃

(b) トムソン刃型

図4 トムソン刃とトムソン刃型

図5に実験で使用したトムソン刃型の寸法を示す。刃寸法100mm×100mmに関してはR値を5mmに固定し、刃先形状の種類として、両刃、片刃を使用し、刃寸法50×50に関してはR値を5mmから20mmまで変動させ、刃先形状としては両刃、二段刃を用いて実験を行った。



(a) 切断寸法(50×50mm)

(b) 切断寸法(100×100mm)

図5 トムソン刃型の形状と寸法

図6に本実験で使用したトムソン刃の刃先形状の詳細を示す。DS-70は刃先先端に硬化処理を行ったのみの最もスタンダードなタイプのトムソン刃である。トムソン刃寸法100mm×100mmでは、図に示すような両刃と片刃について検討を行った。また、トムソン刃寸法50mm×50mmに関しては、DS-70に加えてG30、G42、WGの刃先形状の異なるトムソン刃を用いて比較検討を行った。G typeは刃先先端に鏡面加工を施した後に硬化処理したもので、WG typeは刃先先端を鈍角にし、その鈍角部に鏡面加工を施した二段刃形状である。

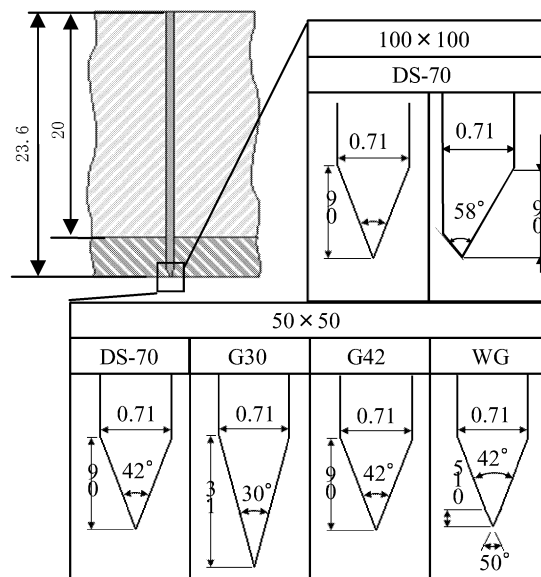


図6 トムソン刃の刃先形状

## 3. 実験方法

### 3・1 被加工材

本実験ではPET板材、ベークライト板材、アクリル板材の3種類の被加工材料を用いた。トムソン刃寸法が100mm×100mmの刃型に対しては、被加工材寸法を150mm×150mmとし、トムソン刃寸法が50mm×50mmのものに対しては、被加工材寸法を75mm×75mmとして使用した。また、被加工材の板厚は3種類ともに1mmである。

### 3・2 実験方法

カム・トグル式精密プレス機のせん断加工部位を図7に示す。動作手順は、まずテーブルの上に被加工材④を置き、トムソン刃型③の下まで可動テーブル①を移動させる。その後、上アンビル②にとりつけたトムソン刃型③が下降し、プレスせん断加工を行う。加工後はテーブル①が元の位置まで戻ってくる。この一連の動作は自動で行なわれる。また、テーブル周辺にセンサー⑤が取り付けられており、作動中に手などを入れると停止する安全制御になっている。

本実験では行った被加工材の一括押し切りせん断方法を図8に示す。4辺あるトムソン刃1辺のみを使用してせん断する方法を「自由せん断」、トムソン刃4辺すべてを使用してせん断する方法を「拘束せん断」とし、この時、せん断された被加工材外側を外材、内側を内材と定義した。

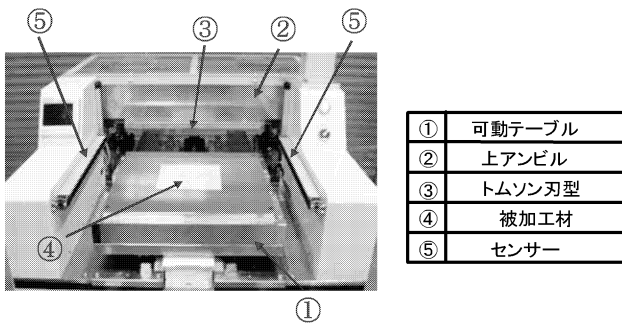


図7 カム・トグル式精密プレス機のせん断加工部

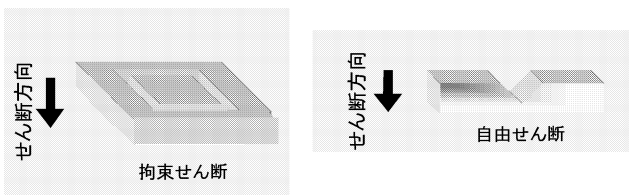


図8 一括押し切りせん断モデル

## 4. 実験結果と考察

### 4・1 PET板の一括押し切りせん断

図9にPET板を一括押し切りせん断加工した際の切断面形状を示す。両刃、片刃共に被加工材下部においてくびれが発生していることが確認できる。また、自由せん断においては、両刃、片刃共にトムソン刃の刃先形状を転写したような切断面形状になっているのに対して、拘束せん断では断面形状がトムソン刃の刃先形状とは異なった切断面形状になっていることが確認できる。

この理由を解明するために、図10に一括押し切りせん断過程でのせん断現象に関するモデル図を示す。拘束せん断においては、せん断加工の際にトムソン刃が被加工材を左右に押す側方力  $F_1$  が発生した際に、内材にはそれに対する反力  $F_2$  が発生し、押し戻されるために断面形状が変化してしまったと考えられる。これに対して、自由せん断では、トムソン刃によって被加工材を左右に押す力が発生しても拘束が無い場合、被加工材からトムソン刃に対して力が発生せず、使用したトムソン刃の刃先形状に類似した切断面形状となったと考えられる。

図11に一括押し切りせん断加工後の内材、外材の寸法測定結果を示す。両刃では、内材及び外材の寸法上部においては所定の100.0mmに近い値となっているのに対して、内材と外材の下部寸法は、内材では所定寸法より大きく、外材では所定寸法より小さくなり、大きな寸法差が発生している。これは、トムソン刃が被加工材に侵入した際に、図10に示すような側方力  $F_1$  が発生し、被加工材が左右に押されながらせん断され、せん断終了後に弾性回復を起し、被加工材にトムソン刃の刃先形状が転写されることが大きな要因である。

これに対して、片刃によるせん断では、内材の上部と下部の寸法がほぼ同値であることから、トムソン刃は真っ直ぐに被加工材に侵入していると考えられる。寸法差が発生する原因は、両刃と同様である。

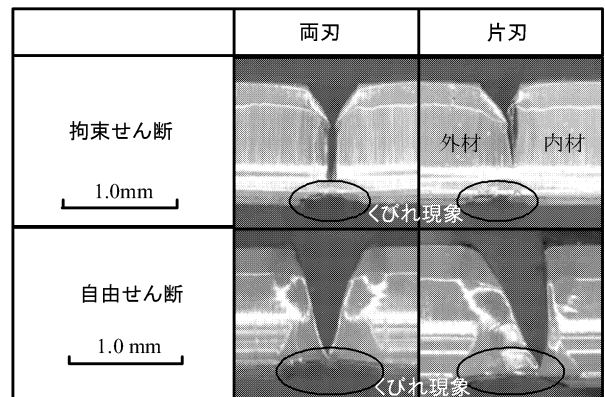
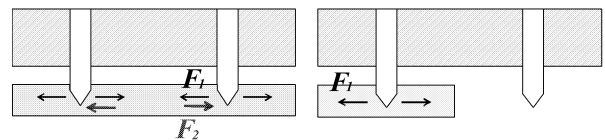


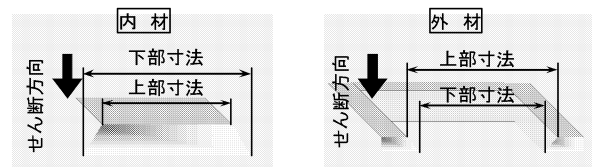
図9 せん断方法の相違によるせん断面形状の比較



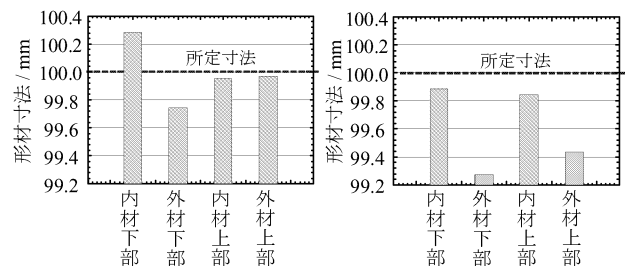
(a) 拘束せん断

(b) 自由せん断

図10 一括押し切りせん断のせん断現象モデル



(a) 形材寸法測定部位



(b) 両刃による形材寸法

(c) 片刃による形材寸法

図11 拘束せん断における形材寸法

#### 4・2 ベークライト板の一括押し切りせん断

ベークライトは硬質脆性材料であるため、一括押し切りせん断の際のせん断荷重の増加と、コーナーR部での応力集中割れの発生が予期される。そこで、加工動力の低減のためにトムソン刃型寸法を50mm×50mmに変更するとともに、コーナーR部の値を変更したトムソン刃型を使用して一括押し切りせん断加工を行った。

図12は刃先形状DS-70のトムソン刃による荷重-ストローク線図に及ぼすコーナーRの影響について示す。トムソン刃型のコーナーRが大きくなると、せん断荷重のピーク位置が前にずれ、最大荷重が減少している。これは、R値の増加に伴ってトムソン刃型のせん断切り口輪郭長さが減少したためだと考えられる。

図13はコーナーR5mmのトムソン刃型による荷重-ストローク線図に及ぼすトムソン刃の刃先形状の影響について示す。トムソン刃の刃先形状G30を用いた際のせん断荷重が最も小さな値を示している。G30は本実験で使用したトムソン刃の中で最も刃先角度が鋭いため、被加工材へ切り込む刃厚の割合が、他のトムソン刃に比べ小さく、せん断荷重が減少につながったものと考えられる。

また、図12と図13のように荷重-ストローク線図にピーク荷重が存在するトムソン刃型において、コーナーR部に割れを伴うことなく打ち抜くことが可能であった。これは

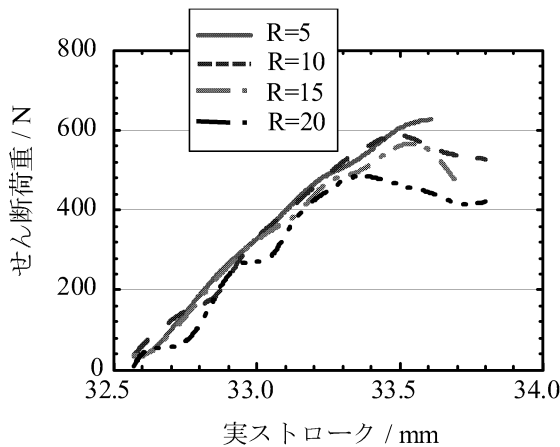


図12 荷重-ストローク線図に及ぼすコーナーRの影響

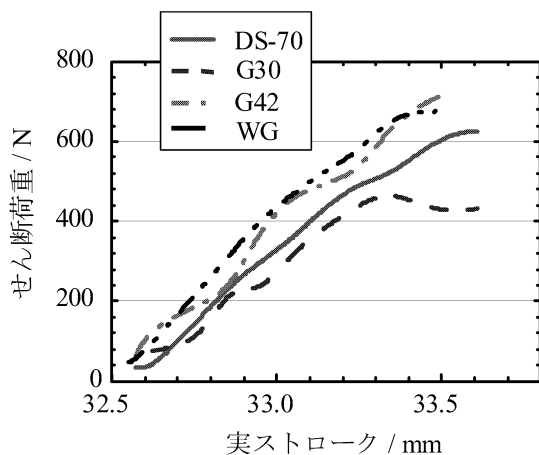


図13 荷重-ストローク線図に及ぼす刃先形状の影響

コーナーRでの応力集中が緩和されることによって割れの発生が抑制され、適切なせん断が実施されたものと考えられる。

次に、一括押し切りせん断加工後の被加工材の断面観察を行った。トムソン刃による一括押し切りせん断によって形成されたせん断面と垂直方向のクラックによって形成された破断面に分かれており、そのせん断面の長さを刃先形状で比較検討を行った結果を図14に示す。中央部と端部で測定を行っているが、中央部とは内材の中央部位置25mmでの測定結果、端部とは使用したトムソン刃型のコーナーRよりも3mm離れた位置での測定結果である。刃先形状が最も鋭いG30において最もせん断面長さが長いことが確認できる。さらに、端部と中央部を比較してみると、端部のせん断面長さが中央部よりも短くなっていることがわかる。端部は中央部よりも応力集中の影響を受けやすいため、トムソン刃にわずかなたわみが発生し、せん断面長さに影響を与えたと推測される。

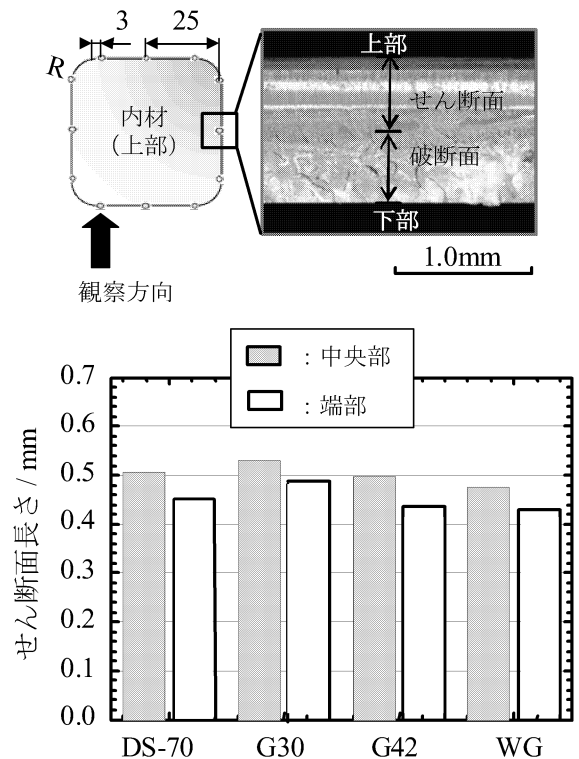


図14 せん断面長さに及ぼす刃先形状の影響

切断面形状を詳細に把握するために、デジタルマイクروسコープを用いて切断面形状を3次的に表現し、切断面の凹凸を測定した。図15は、せん断面と破断面の境界を断面形状誤差測定の基準位置として、切断面の形状誤差曲線を算出したものである。破断面に関しては誤差が大きく変動するため、せん断面についてのみ検討を行った。コーナーRが5mm及び20mmのトムソン刃型のどちらも、押し切りせん断開始直後にだれが発生し、その後徐々に誤差が小さくなり、せん断面と破断面の誤差基準点に到達している。この誤差は、コーナーRが大きくなるほど大きく、また、直線部よりR部の方が大きくなる傾向が見られる。これは、R部においては、先にも述べたようにたわみが発

生し易くなっており、それに伴い大きな誤差が発生したと考えられる。

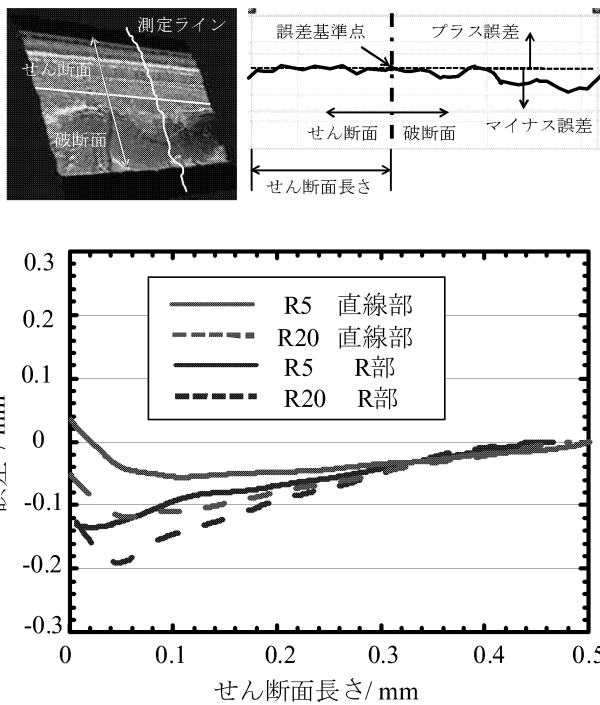


図 15 切断面の形状誤差曲線に及ぼすコーナーRの影響

## 5. 結言

本報では、カム・トグル式精密加工プレスにトムソン刃型を実装した一括押し切りせん断加工を行い、被加工材に生じるせん断現象を調べ、以下の知見を得た。

- 1) 開発したカム・トグル式精密加工プレス機は、下死点近傍において高精度に位置決めが可能であることを確認した。
- 2) PET 板に関しては、一括押し切りせん断時の拘束の有

無による断面形状の変化や被加工材下部における伸びの発生にともなっていくびれの発生が見られ、その伸びによって材寸法の上部和下部の寸法誤差が生じた。

- 3) ベークライトに関しては PET とは異なり、コーナーR部では応力集中によって割れが発生したが、R の値を大きくすることによって応力集中が緩和され、割れを伴うことなく打ち抜くことが可能となった。
- 4) トムソン刃は、刃先形状が最も鋭い G30 で最も切れ味が良く、せん断荷重が最も低減する。
- 5) トムソン刃型の R 部では直線部と比べ、応力集中の発生や製作時の曲げ加工による刃先方向のずれからトムソン刃がたわみ易くなり、切断面形状の誤差が大きくなる。

## 謝 辞

本研究の一部は、(財)天田金属加工機械技術振興財団の研究助成により行われたこと、カム・トグル式精密加工プレス機は(株)フロンティアに製作いただいたこと、トムソン刃型の製作に(株)たから抜型工業のご協力をいただいたことを記し、感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 例えば、永澤 茂・関川秀峰・村山光博・福澤 康・片山 勇：塑性と加工, **45**-524 (2004), 743-747.
- 2) プレス装置とその駆動方法：特開 2005-59094

## 口 頭 発 表

- 1) トムソン刃型を実装したカム・トグル式精密プレスによるせん断現象, 高辻他, 平成 20 年度塑性加工春季講演会, 日本大学 (調布市), pp51-52.
- 2) トムソン刃型によるせん断特性に及ぼす被加工材と刃先形状の影響, 高辻他, 平成 21 年度塑性加工春季講演会, 京都大学 (京都市), pp123-124.