

# 板鍛造によるボス成形法に関する研究

岐阜大学 工学部機械システム工学科

教授 王 志剛

(平成 17 年度研究開発助成 AF-2005008)

**キーワード**：板鍛造，背圧絞り，荷重低減

## 1. 研究の目的と背景

現在、電気・電子機器、モバイル機器を中心に、機器の軽量化や小型化、低コスト化が進められている。その中で機器の筐体や外装が質量全体に占める割合は高く、その軽量化は大きな課題である。現在、筐体内に支持部を一体型で成形する研究が行われている。筐体内の支持部を用いて位置決めや締結が容易となり、部品数の削減につながることから、筐体の軽量化が可能であると考えられている。筐体内に支持部を成形する加工法としては、溶接、鋳造、機械加工、粉末冶金、後方押し出し加工法があげられるが、加工精度や加工コストの観点より後方押し出し加工法が最も多用されている。しかし、後方押し出し加工法には非常に大きな加工荷重が必要である。また、薄板の加工ではひけが生じるという欠点がある。この欠点を克服するため、本研究では後方押し出し加工法に替わる加工法として、背圧絞り加工法を提案する。

背圧絞り加工法とは、通常の絞り加工中に、パンチと対向するカウンターパンチにより背圧をブランクに負荷し、ブランク底面に対し圧縮力を作用させ、絞りによる筐体成形と同時に支持部を成形する加工法である。本加工法は、ブランク底面に絞り荷重によって生じた張力が作用しているため、降伏応力が低下し、摩擦の影響が軽減され、加工荷重が小さくなると予測される。金型は独立しているため、各部位の摩擦条件の調整が容易であり、加工により余肉がパンチR部に流動するため、条件によってはLDRの向上につながる。また、底部材料の剛性向上により薄肉化が可能であるという特徴があげられる。さらに、加工荷重の低減による金型の長寿命化、低出力のプレス機での加工が可能であるという利点がある。本研究では、後方押し出し加工法と対応しながら、背圧絞り加工法の特徴を明らかにすることを目的としている。

## 2. 背圧絞り加工法加工原理

図1に、加工原理図を示す。試料を上方に設置したパンチに対し下方よりダイスを速度  $V$  で持ち上げることにより絞り込むことでパンチ力  $P$  が生じ、この力はパンチ頭部に接触する試料に張力  $T$  を生じさせる。また、パンチに対向する位置に設置されたカウンターパンチにより背圧  $p$  を負荷する。製品底面の降伏条件式を下記に示す。

$$p \pm \sigma_1 = 2k$$

加工中の製品底面には、背圧絞り加工の場合、絞りによって生

じる張力により引張応力  $\sigma_1$  が作用する。一方、後方押し出し加工の場合、外側に流れる材料流れがダイスR部で阻害され、圧縮応力  $\sigma_2$  が作用する。すなわち、背圧絞り加工は後方押し出し加工に比べ  $\sigma_1 + \sigma_2$  に対する加工荷重低減が可能となる。また、張力  $T$  の影響で、必要な成形圧力が減少すると考えられ、ボス部成形に対する摩擦の抵抗が小さくなると考えられる。さらに、後方押し出し加工に比べ、試料と工具との接触面積を小さくできるため、断面減少比の高まりを抑える結果となり、加工荷重を低減することができるものと考えられる<sup>1)</sup>。

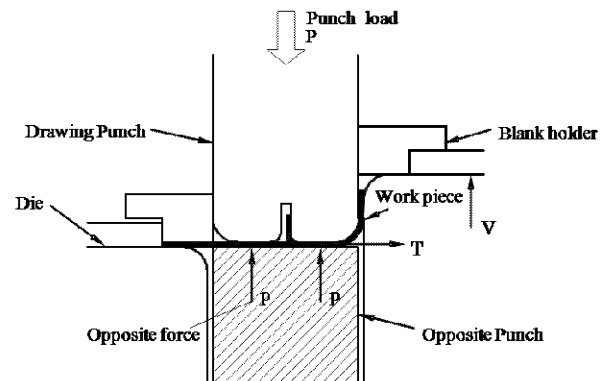


図1 背圧絞り加工原理図

## 3. FEM 解析による後方押し出し加工法と背圧絞り加工法の比較

### 3.1 解析モデル及び解析条件

図2に、成形する製品形状イメージ図を示す。FEM 解析により後方押し出し加工法と背圧絞り加工法の比較を行う。本研究で行うFEM 解析には有限要素解析プログラム“DEFORM-2D”を用いた。

後方押し出し加工の解析モデルを図3、背圧絞り加工の解析モデルを図4に示す。解析はボス部を中心とした軸対称モデルとした。また、各加工法の解析条件を表1、表2に示す。

全体形状に対するボス部の大きさを変えるためにパンチ径を変化させることで変数とし、以後この変数をパンチ径 ( $D$ ) とボス部径 ( $d$ ) の比をとり、形状比  $D/d$  と表記する。本研究では、ボス部径  $d$  は2.5mmとした。

各工具面の摩擦・潤滑状態の加工に及ぼす影響を明らかにするために、試料と各部位との摩擦領域を図5に示す。

なお、本研究では試料を加工してできたカップ製品の、底面の材料に対するの比較を行っており、カップ製品の壁面、R肩部にあたる部分の比較は行っていない。

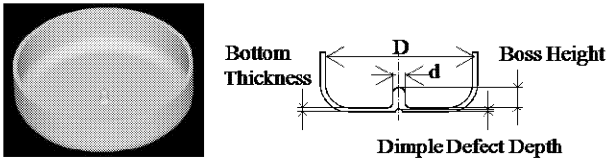


図2 製品の目的形状

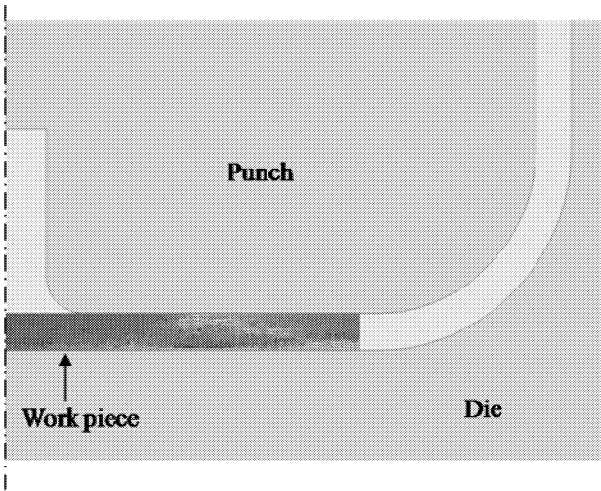


図3 後方押し解析モデル

表1 後方押し解析条件

	Analysis Condition	
Analysis mode	Two Dimension	
	Isothermal Analysis	
	Axial Symmetry	
Number of elements	3000~7000	
Processing speed	1 [mm/s]	
Workpiece	Diameter: 20~110mm thickness: 1.5mm Rigid-Plastic Flow curve: $\sigma = 115\epsilon^{0.2} MPa$	
	Punch	Punch Diameter: 30~120mm Punch Profile Radius: 4.5mm Rigid Boss Diameter: 2.5mm Boss Profile Radius: 1mm
		Die
Friction coefficient		

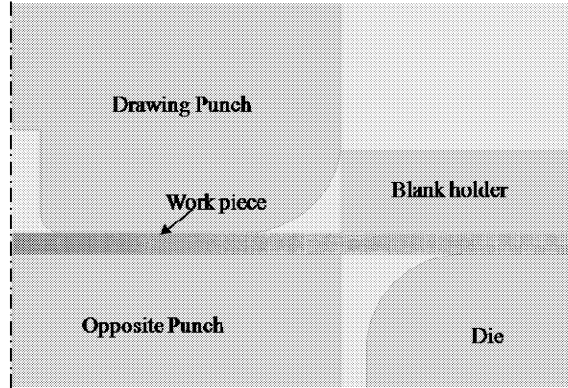


図4 背圧絞り解析モデル

表2 背圧絞り解析条件

	Analysis Condition	
Analysis mode	Two Dimension	
	Isothermal Analysis	
	Axial Symmetry	
Number of elements	6000~7000	
Processing speed	1 [mm/s]	
Workpiece	Diameter: 51~204mm thickness: 1~1.5mm Rigid-Plastic Flow curve: $\sigma = 115\epsilon^{0.2} MPa$	
	Punch	Punch Diameter: 30~120mm Punch Profile Radius: 4.5mm Rigid Boss Diameter: 2.5mm Boss Profile Radius: 1mm
		Opposite Punch
Die		
	Friction coefficient I	0.05, 0.1
Friction coefficient II	0.05, 0.1	
Friction coefficient III	0.05, 0.1	
Friction coefficient IV	0.05~0.25	

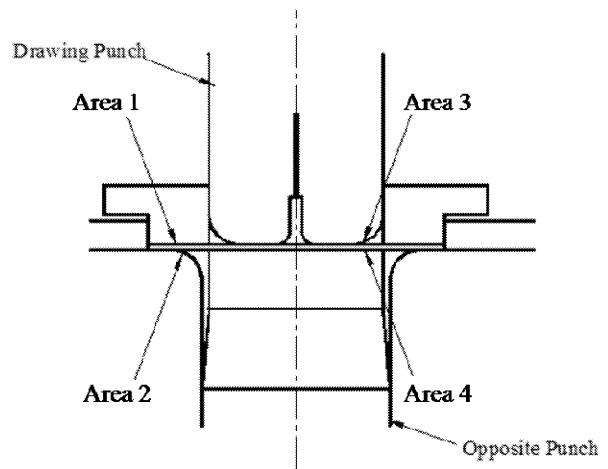


図5 試料と工具の摩擦領域

### 3-2 ボス成形過程

各領域の摩擦係数・形状比  $D/d$  を固定し、ボス成形過程について解析した。

図6に、後方押し出し加工の加工荷重に対するボス成形過程を示す。また、図7に、後方押し出し加工の各ストロークにおけるボス成形状態を示す。ストロークの増加に伴い、加工荷重、ボス高さともに比例的に増加している。

図8に、背圧絞り加工の絞り荷重に対するボス成形過程を示す。また、図9に、背圧絞り加工の各ストロークにおけるボス成形状態を示す。背圧を 38.5ton, 30.8ton, 23.1ton と変化させた。どの背圧においても、絞り荷重の増加に伴い張力の影響が強まり、ボス高さが高くなり、最大荷重点を超えるとボス高さはほぼ一定となる。

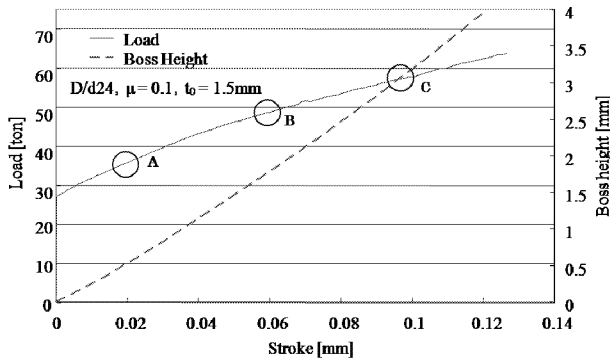


図6 後方押し出し加工の加工荷重に対するボス成形過程

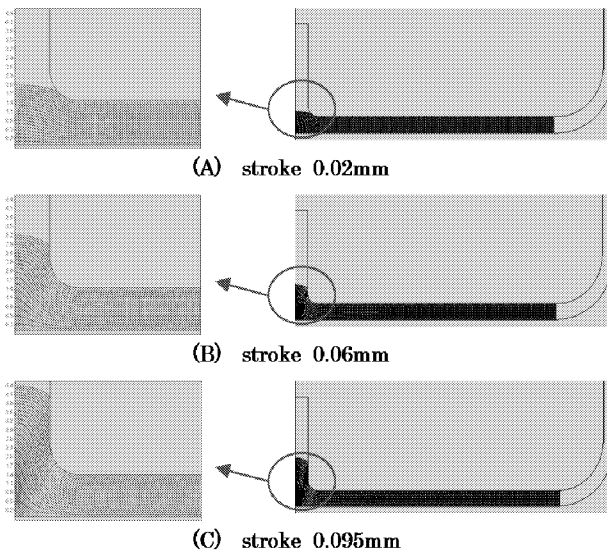


図7 後方押し出し加工の各ストロークにおけるボス成形状態

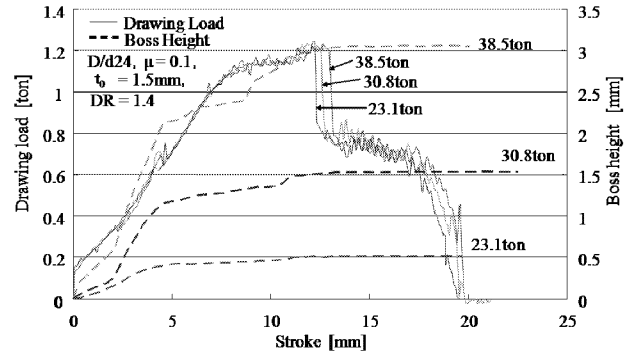


図8 背圧絞り加工の加工荷重に対するボス成形過程

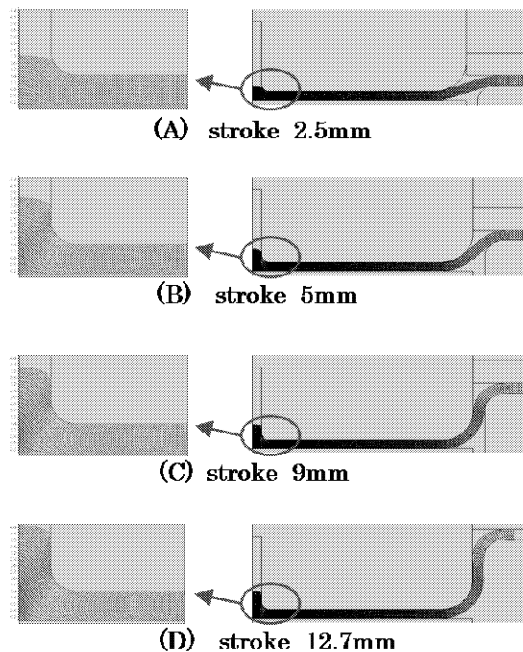


図9 背圧絞り加工の各ストロークにおけるボス成形状態

### 3.3 ひげの発生と成長過程

両加工法とも加工進行に伴い、成形品のボス部裏側にひげが発生する。生じるひげの成長過程を図10に示し、図11に各成長過程のモデル図を示す。また、以下にその詳細を示す。

- (i) 加工初期、深さの浅い半径方向に非常に大きな径を持つひげが生じる。
- (ii) 加工進行に伴い、ひげが消滅し、ある一定範囲でひげが存在しない。
- (iii) さらに加工が進行するとまた、ひげが発生し、徐々に半径方向に小さくなり深さと半径が同程度のひげに成長する。
- (iv) さらに加工が進行すると、非常に深いひげに成長する。

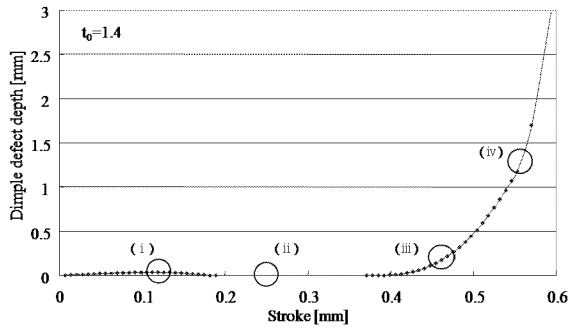


図10 ひけの成長過程

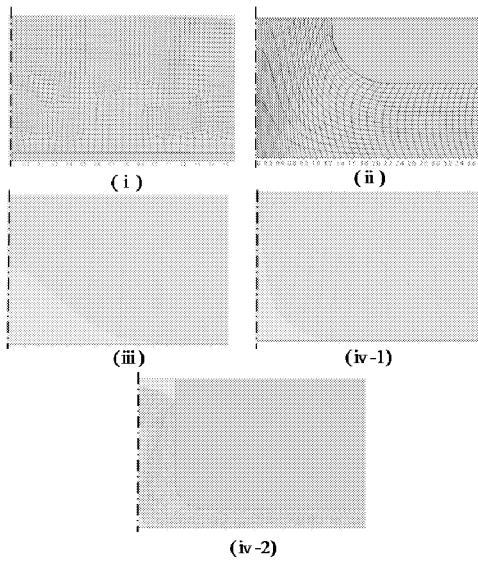


図11 ひけの成長過程モデル図

### 3.4 ひけ無し加工条件の比較

両加工法のひけの発生しない限界条件を比較するため、形状比  $D/d$ 、試料上面摩擦  $\mu_3$  を固定し、試料下面摩擦  $\mu_4$  を変化させ解析を行った。

図12に、底面摩擦の成形荷重と限界ボス高さに対する影響を示す。両加工法ともに、底面摩擦  $\mu_4$  の増加に伴い限界ボス高さが高くなる。また、どの荷重においても後方押し出し加工に比べ、背圧絞り加工のほうが限界ボス高さが高い。すなわち、背圧絞り加工は後方押し出し加工よりもひけが生じにくい加工法である。

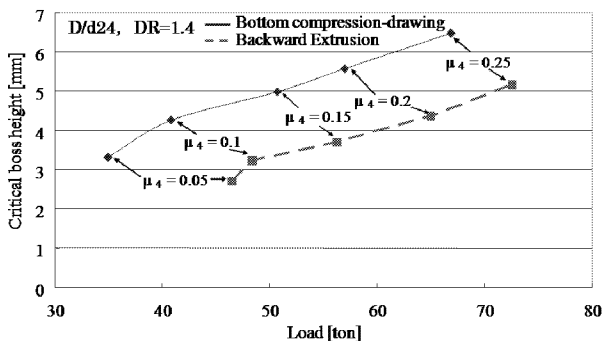


図12 底面摩擦の成形荷重と限界ボス高さに対する影響

### 3.5 ボス成形荷重の比較

同一高さを持つ製品成形への試料底面摩擦  $\mu_4$  の影響を両加工法で対比するため、形状比  $D/d$ ・試料上面摩擦  $\mu_3$ ・ボス高さを固定し、試料底面摩擦  $\mu_4$  のみを変化させボス成形荷重の比較を行った。ここで、背圧絞り加工の成形荷重は、試料初期板厚1.5mmの条件で高さ3mmのボスを成形できる圧力を用いた。

図13に、各摩擦係数  $\mu_4$  での両加工法における成形荷重と成形荷重比を示す。両加工法ともに底面摩擦  $\mu_4$  の増加に伴い、必要な成形荷重が増加している。また、摩擦係数  $\mu_4=0.25$  の場合、背圧絞り加工荷重は後方押し出し加工荷重の80%であり、摩擦係数が小さくなるに従って徐々にその割合が小さくなる。

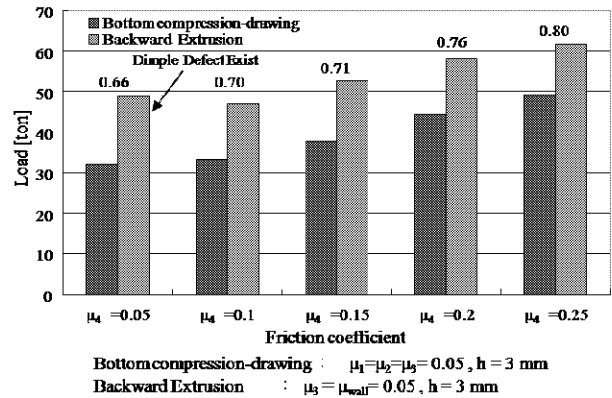


図13 同一条件でのボス成形荷重の比較

### 3.6 $D/d$ による板厚減少率および分流点の比較

ボスを成形する際、プランク内でボスのあるパンチ内側へと流れていく材料流れと、パンチ側面へと流れていく材料流れの境界が存在する。その境界を「分流点」と定義する。図14に、分流点の概念図を示す。

両加工法での分流点の位置を比較するためのパラメータとして、パンチによりつぶした板厚 ( $t_0-t$ ) を初期板厚  $t_0$  によって除した値を「板厚減少率」とする。

図15に、各形状比  $D/d$  での両加工法における板厚減少率を示す。板厚減少率が大きいほど、同一ボス高さを成形するための体積を稼ぐために、より多くの板を潰していることになる。つまり、プランク中央から分流点までの径が小さいといえる。すべての形状比  $D/d$  摩擦係数において、背圧絞り加工の値が後方押し出し加工の値よりも大きい。よって、後方押し出し加工よりも背圧絞り加工の方が分流点が内側に存在しているといえる。このことから、背圧絞り加工は後方押し出し加工に比べ、板厚減少速度とボスへの流入速度の差が小さくなるため、ひけが発生しにくいと考えられる。また、両加工法ともに、形状比  $D/d$  の増加に伴い、板厚減少率が小さくなっている。これは、加工面積の増加によって、分流点までの内半径が大きくなり、ボスに流入する体積が増えたために潰す板厚が少なくなるからである。

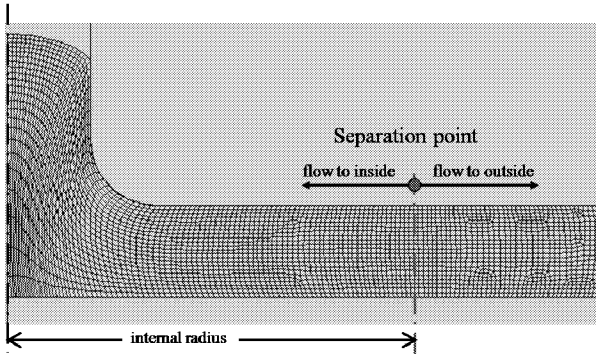


図14 分流点の概念図

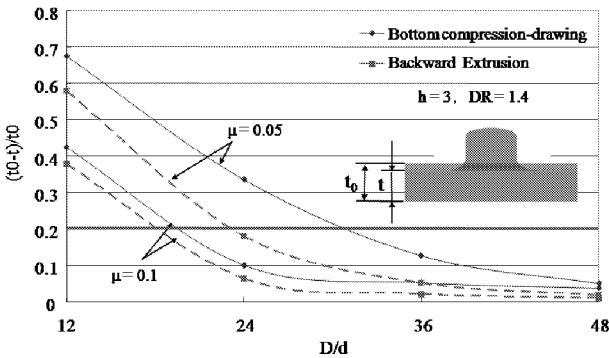


図15 各形状比D/dでの両加工法における板厚減少率

#### 4. 背圧絞り加工法によるボス成形性確認

##### 4-1 実験装置

背圧絞り加工法の実験装置を製作し、ボス成形性を確認するため予備実験を行った。

図16に背圧絞り金型の外観図を示す。プレス機は4軸油圧式複動プレスを使用した。このプレス機は上2軸、下2軸を油圧シリンダにより可動できる構造となっている。絞りパンチを上アウターに固定し、絞りダイは上インナーに取り付けられている。絞りパンチと対向する位置にカウンターパンチを配置する。

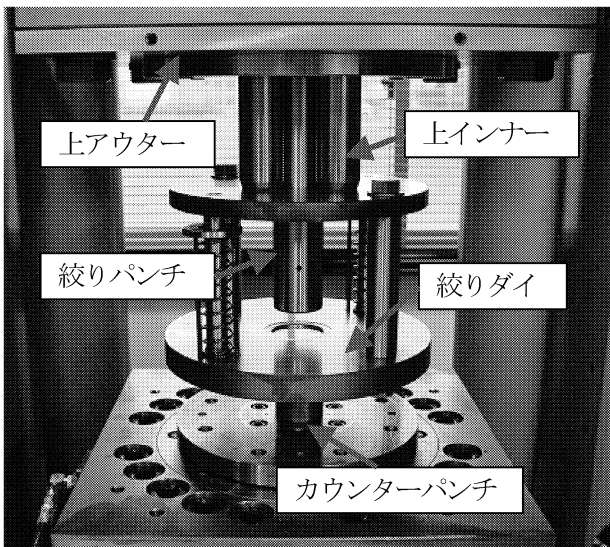


図16 背圧絞り金型外観図

##### 4-2 実験条件

表3に実験条件を示す。試料はA1050-O材を使用した。試料の板厚は1.5mm、外径は84mmである。ビッカース硬さ試験を行った結果、試料の引張り強さは100(MPa)であった。工具はパンチ、ダイともにSKD11を用い、パンチ肩R=4.5mm、ダイ肩R=2.5とした。カウンターパンチを固定し、絞りパンチで圧縮することで試料に背圧を付加する。背圧力は45ton, 55ton, 65tonと変化させて実験を行った。背圧絞りの張力の影響を確認するため、絞り加工を行った場合と単純に圧縮した場合のボス高さ及び残り板厚の比較を行った。

表3 実験条件

Name	Material	Experimental Condition
Workpiece	A1050-O	Diameter: 84mm thickness: 1.5mm
Drawing Punch	SKD11 HRC=60	Punch Diameter: 60mm Punch Profile Radius: 4.5mm Boss Diameter: 2.5mm Boss Profile Radius: 1mm
Opposite Punch	SKD11 HRC=60	Punch Diameter: 63.2mm
Die	SKD11 HRC=60	Inner Diameter: 63.2mm Die Radius: 2.5mm
Lubricant		P460+PTFE5%
Temperature		Room temperature

実験は以下の手順にて行った。

- 1) 絞りダイ、絞りパンチ、カウンターパンチをアセトンにて脱脂する。
- 2) 絞りダイをカウンターパンチと同一レベルにセットする。
- 3) 試料上面に潤滑材を塗布し、ダイの上に試料をセットする。
- 4) 絞りパンチを下降して、試料を加圧する。
- 5) 背圧絞りの場合、加圧力を保ったまま絞りダイを上昇させる。

##### 4-3 実験結果

図17に背圧を45ton, 55ton, 65tonと変化させたときの単純圧縮及び背圧絞りのボス高さを示す。そのときの板厚減少量を図18に示す。

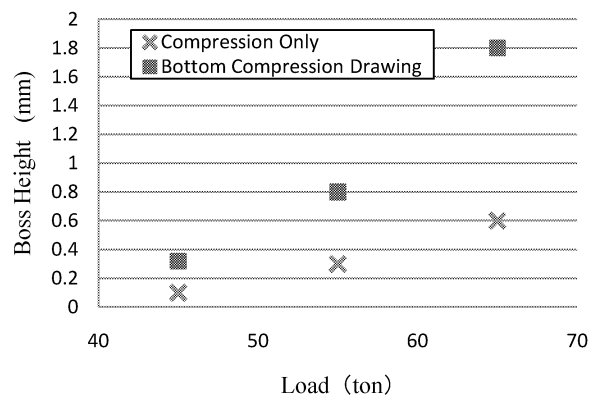


図17 背圧絞りと単純圧縮のボス高さの比較

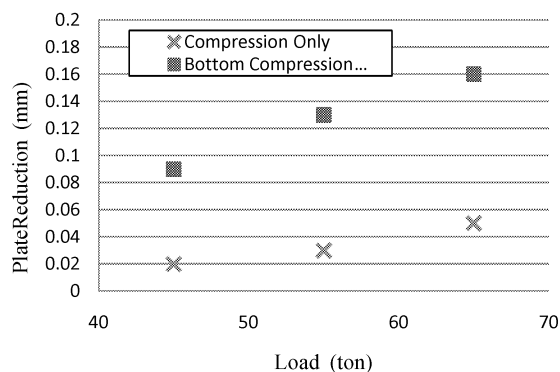


図18 背圧絞りと単純圧縮の板厚減少量の比較

背圧絞りは単純圧縮に比べ、高いボスが成形できている。また、同じ背圧力で材料を多く潰すことができる。

今回の予備実験で背圧 65ton とし絞り加工を行い成形した製品の外観を図19に示す。

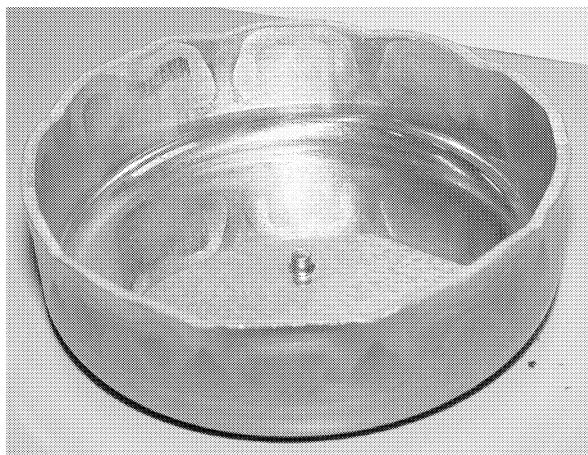


図19 製品外観

## 5. 結論

中実ボス成形における後方押し出し加工と背圧絞り加工を FEM 解析にて比較した結果、以下のことがわかった。

- 1) 背圧絞り加工法は、後方押し出し加工法の約 60%の加工荷重で成形可能である。
- 2) 小さい摩擦条件で、加工荷重をより低減することが可能である。
- 3) 背圧絞り加工法は後方押し出し加工法に比べ、分流点が内側に存在するため、ひげが発生しにくい加工法である。

本実験により、絞り加工による張力の影響で、降伏面圧が低下し、板がつぶれ易くなり、単純に圧縮するより高いボスを成形できることが確認できた。今後は実験により背圧絞り加工法と後方押し出し加工法のボス成形性、加工荷重について比較を行う。

## 謝辞

本研究は(財)天田金属加工機械技術振興財団の研究開発助成を受けておこなわれたものであり、関係各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- (1) 近藤一義 : 塑性と加工 vol.24 no.271 , (1983), 801-808
- (2) 村上碩哉ら : 第 54 回塑性加工連合講演会, (2003), 243-244
- (3) 村上碩哉ら : 平成 16 年度塑性加工春季講演会, (2004), 241-242
- (4) 古閑伸裕ら : 第 55 回塑性加工連合講演会, (2004), 53-54