

絞り加工におけるしわ押さえ圧力の条件が絞り成形性に与える影響に関する研究

研究報告者 高(GAO) 峰(Feng)

プロフィール



最終学歴	平成14年3月 九州工業大学 情報工学研究科 博士後期課程 満期退学
専門分野	生産技術分野
学 位	博士 (情報工学)
所属団体	西日本工業大学 工学部 総合システム工学科 機械工学系
役 職 名	教授

今後の抱負

金型技術は、自動車、電気製品や家庭の日常用品の大量生産に欠かせないツールであります。近年のAIやIoTなどの新技術の発展につれ、従来の技術に沢山の新しい課題と様々な挑戦の機会を与えることとなります。金型分野において、更に高精度、低コスト、短納期の生産およびIT技術との融合が求められます。

今回の研究課題は、伝統的なプレス金型の設計方法の疑問から始めました。著者は過去民間の企業で金型の業務を担当して、絞り加工は抜き加工同様ように、ストリッパー（しわ押え）の圧力提供は固定圧縮長のスプリングで一定な力を提供したことに気づきました。しかし、絞り加工はストロークがあり、絞りの進行に伴い、ブランクの材料のダイへの流入につれ、相対に強くなるのが絞りの限界にマイナス的な影響を与え、この問題解明の重要性を感じました。

一連の実験および解析を経て、提案手法の有効性を確認しました。現段階の成果を踏まえ、今後、更に研究を進むことに尽力し、生産現場により具体的な、正確な本技術に関連するデータの提供を目指したいと思います。

1. はじめに

自動車業界を中心とした板材のプレス成形の分野において、成形品の高品質化、高精度化、ニーズの多様化や製品の小型、軽量化、コストの低減に対する要求が一段と厳しさを増やし、技術の更なる向上は不可欠である。薄板の絞り加工には、しわ押さえ力は成形性を左右する最も重要なパラメータのひとつである。適切なしわ押さえ力により、破断やしわなどの成形不良が抑制でき、成形限界の向上が可能であることが知られている。このため調整可能なしわ押さえ力技術は、絞り加工の成形性と成形の最適化を実現するための重要度の高い技術課題である。

一方、従来の金型を用いた成形加工において、しわ押さえ力の調整は、押さえ用ばねの交換または空圧式やプレス機のダイクッション装置が必要となり、システムの複雑さと操作手順の煩雑さから、実験的にしわ押さえ力が絞り加工の成形性との関係のデータを取れない状況である。

本研究は、まず、実験の手法を用いて、しわ押さえ圧力の影響を調査する。絞りの進行に伴い、しわ押さえ力を適切に調整する金型を試作した、この金型を利用して、成形実験を行い、しわ押さえ力が絞り加工の成形性との関係に関する基礎データを取得する。次に、プレス成形解析ソフトJSTAMP/IVを用いて、しわ押さえ圧力が成形性に与える影響の解析を行い、その結果に基づく考察し、しわ押さえ圧力が成形性に与える影響の傾向を報告する。

2. しわ押さえ力及び絞り加工の成形性

絞り加工の工程において、絞りダイの上にセットした材料をしわ押さえにより押さえ力を与え、パンチの下降による設計深さまで製品の形状を実現する。

絞り加工の応力状況は図1に示す、また、図2にその詳細を示す。ダイの上に素板を置き、周辺をしわ抑えで抑えて、素板にパンチを押し込んで円筒を成形する絞り加工する場合、ここでの素板の微小扇形部分に作用する応力を考える。まずしわ押さえで押えられているフランジ部ではパンチの挿入により発生する絞り加工変形により、円周方向応力の圧縮応力 σ_{θ} が発生し、更にそれと釣り合うための半径方向応力 σ_{Fr} がフランジ部の要素に発生する。これが側壁部に伝達されて σ_w となりこれと釣り合う応力 σ_{Pz} がパンチ肩の材料に作用する。この σ_{Pz} と釣り合う力がパンチ荷重 P となる。

しわ押さえ力 σ_F が弱すぎる場合は、しわ押さえ力がかかる同時に、素材にはフランジ部の円周方向応力の圧縮応力 σ_{θ} と半径方向応力 σ_{Fr} がかかる、絞り加工において周方向に圧縮応力が働くので、フランジの縮み変形が発生して、しわが発生しやすくなり、しわ押さえ力 σ_F が強すぎる場合は、側壁

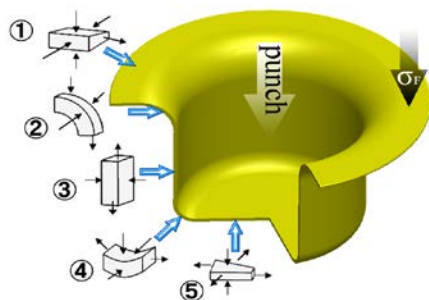


図1. 絞り加工の応力状態

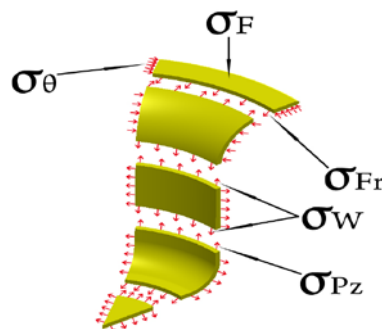


図2. 応力状態の詳細

部に伝達されて σ_w と応力 σ_{Bz} が強くなり、パンチ先端各部半径方向引っ張り曲げ変形が発生して、割れが発生しやすくなる。

よって、しわ押さえ力は、材料の流れの状態を決め、適切に設定必要がある。絞り加工の全工程において、しわの発生及び材料の破断のない応力状態を作ることは重要であり、しわ押さえ力の値が絞り加工の成形性に大きな影響を与えることが言える。

図3に一般的なしわ押えの構造を示す。しわ押え圧力はスプリングにより提供し、絞り中にしわ押え圧力が一定である。しわ押え圧力 P_{bd} は式(1)に示す経験式を採用することが多い。

$$P_{bd} = \frac{A_n \cdot P_b}{1000} \quad (1)$$

P_{db} :円筒絞りの板押さえ力[t]

$$A_n: \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \quad (2)$$

$$P_b: 0.0025\sigma_B \left\{ \left(\frac{D}{d} - 1 \right)^2 + 0.005 \frac{d}{t} \right\} \quad (3)$$

ここで、 D はブランク直径、 d はパンチ直径、 t は材料の板厚、 σ_B は引張り強さである。

本研究は絞りの進行に伴い、しわ押さえ力を制御する必要があると考える。図4に本研究が提案する絞り中に動的なしわ押え圧力の方法を示す。

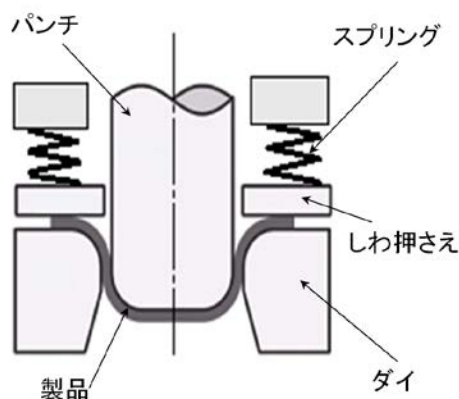


図3. 一般的なしわ押えの構造

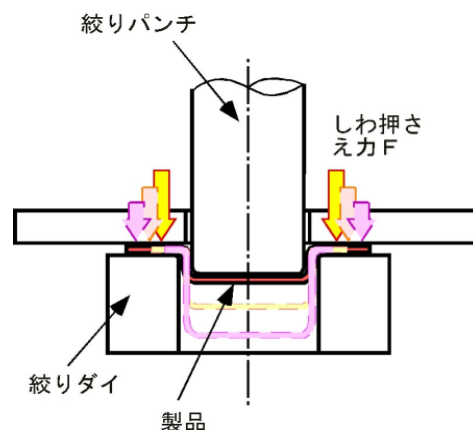


図4. 絞り中に動的なしわ押え圧力

3. 成形実験を用いたしわ押え圧力の影響の調査

3. 1 実験目的

しわ押さえ力を調整可能な金型を利用して、成形実験を行い、しわ押さえ力が絞り加工の成形性との関係に関する基礎データを取得する。

次に、しわ押さえ力が絞り加工の成形性に対して、適切な値を確認する。

また、一次絞った実験材料のしわ押さえ力と絞り深さと成形性の関係を分析する。二次絞った実験材料のしわ押さえ力と絞り深さと成形性の関係を分析する。両者を比較することで成形性の向上を目指し、提案手法の有用性を検証する。

3. 2 実験材料と金型刃物およびしわ押え圧力の調整機構

実験用の材料は、厚み0.5mmの銅板材料C1100を使用し、指定直径の円形形状を旋盤で加工する。本材料の特徴は展延性・絞り加工性・耐食性が良い、電気・熱の伝導性に優れている。図5に本研究が開発した実験用金型の刃物部の形状と寸法を示す。絞ったあとの円筒の外径はφ14mmである。

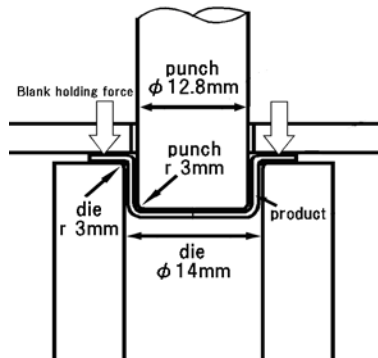


図5. 金型刃物部の形状と寸法

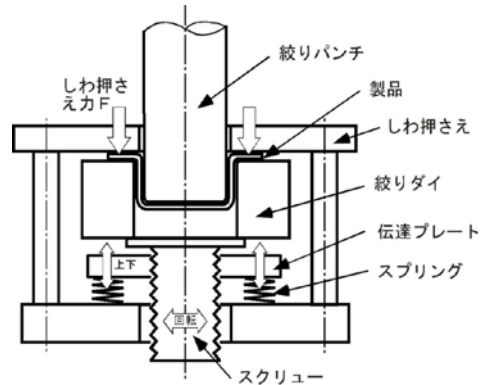


図6. しわ押え圧力の調整機構

本研究が開発したしわ押え圧力の調整機構は図6に示す。成形中の製品に提供するしわ押え圧力は、絞りユニットのダイ側に設置したスプリングより提供する。このスプリングは絞りの異なるステージで絞り状態に応じた圧縮量に調整すること可能である。

3. 3 実験装置

使用する金型は、φ30mm以内厚み0.5mmの円板材の絞り加工に対応できる。金型内の絞り加工ユニットのサイズは88mm×112mm×141mmである。ユニットに位置決め機構を設置したダイセットを装着する。しわ押さえ力は0～200Nまで調整可能な仕様に設計し、絞りパンチの絞り範囲は10～25mmの深絞りに対応する。成形用プレス機は株式会社アマダ製TP45Cを使用した。図7に実験装置を示す。(a) (b) および(c)はそれぞれ実験用プレス機、試作した金型および絞りユニットである。



(a) 実験用プレス機



(b) 試作した金型



(c) 絞りユニット

図7. 実験装置

(c)に示す絞りユニットの底面に、アジャストメントスクリューを設けた。しわ押さえ力の調整はこのスクリューの回転により、内部に装着したスプリングの圧縮量を変更され、必要な圧力を提供する

なお、ダイユニット中にあるスプリングのばね定数は8.17N/mmである。しわ押さえ力は次の計算式(4)になる。

$$F_B = K \times S \times Q \quad (4)$$

ここで、 F_B ：しわ押さえ力 K ：ばね定数 S ：圧縮量 Q ：ばね本数である。

3. 4 成形実験

3. 4. 1 実験内容

試作した絞り実験ユニットを用いて、まず、しわ押さえ圧力ゼロの場合のブランク直径および絞り深さの調査や、LDR値を微小に超え、しわ押さえ圧力を弱くした場合の実験検証を実施した。次に、従来一定な押さえ力の場合の絞り限界を検証実験、および異なる実験条件でパターンを決め、しわ押さえ力を変更した場合の検証実験を実施した、成形サンプル成形状況を確認し、各ケースを比較してからしわ押さえ力の影響を評価する。

3. 4. 2 しわ押さえ圧力ゼロの場合のブランク直径および絞り深さの調査

しわ押さえなしでブランク直径を1mm間隔、絞り深さを変更させ絞り加工を行い、しわや割れの状況を確認する。図8に成形の結果を示す。成形サンプルから確認し、明確なしわがなく、かつ割れもない絞れる範囲はφ20mm～φ21mmの間であることが分かった。実験に使用した実験材用の外形加工は、参加学生たちが旋盤で製作したものであり、寸法のばらつきは若干ある。

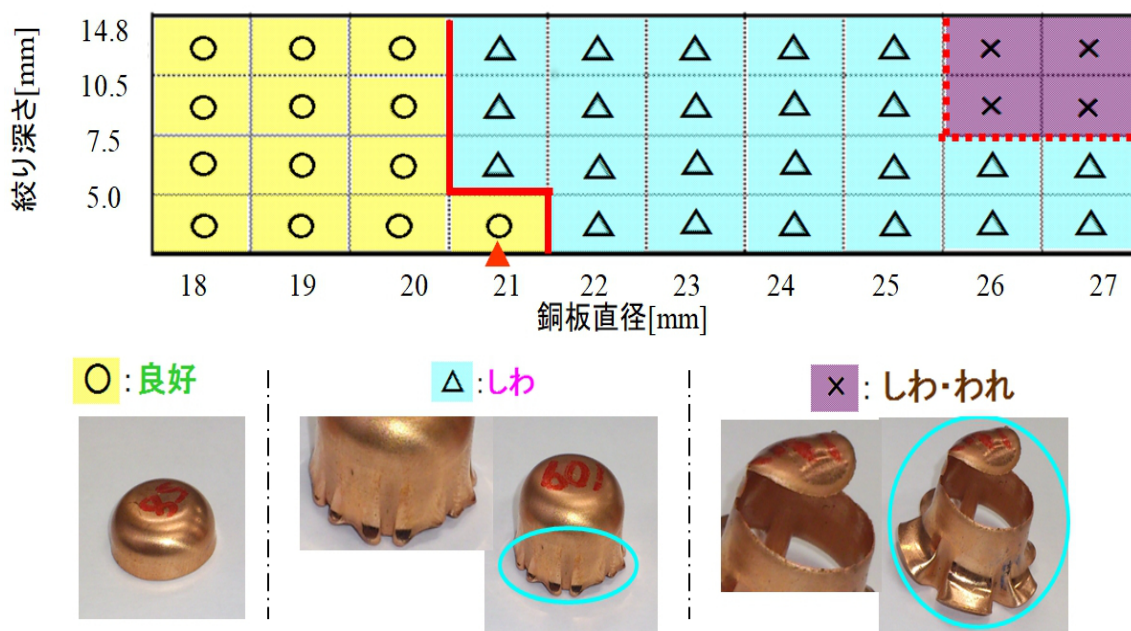


図8. しわ押さえ圧力ゼロの場合のブランク直径および絞り深さ

3. 4. 3 しわ押さえ圧力ゼロの場合の最大ブランク直径の検証

前述結果から、ブランク直径の範囲φ20mm～φ21mmの間に、更に0.2mmの間隔で細分し、絞り実験を実施する。成形したサンプルを判別し、ブランク直径がφ20.83mmより小さい絞りは良く成形できた結果を得た。ブランク直径がφ21.0mmより大きい絞りはしわが発生したことも確認した。この実験から、対象ブランク材において、しわ押さえ圧力がゼロの条件の絞れるブランク直径は20.83mmであり、この直径以上のブランク材料を絞る場合、しわ押さえ圧力が必要である。図9にしわ発生境界のサンプルを示す。

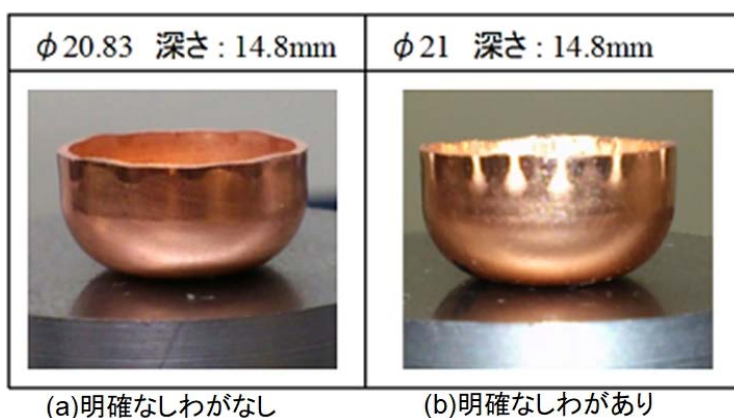





図9. しわ発生境界のサンプル

3. 4. 4 経験式に基づくしわ押さえ圧力の場合のLDR実現の確認実験

実験用銅合金板厚0.5mm, φ14mmの円筒を絞る際に、最大の素板直径と円筒の比である限界絞り比LDR (Limiting Drawing Ratio)を1.88を採用し、最大ブランク直径の計算値はφ26.4mmであった。本実

実験順番	1	2	3	4	5	6	7
成形品							
しわ押さえ力 kgf	22.1kgf	22.1kgf	22.1kgf	22.1kgf	22.1kgf	22.1kgf	22.1kgf
絞り深さ die face - punch 先端	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm
成形状況 (外観)	良	良	良	良	良	良	良




実験順番	8	9	10	11	12	13	14
成形品							
しわ押さえ力 kgf	22.1kgf	22.1kgf	22.1kgf	22.1kgf	22.1kgf	22.1kgf	22.1kgf
絞り深さ die face - punch 先端	8mm	9mm	10mm	11mm	12mm	13mm	14mm
成形状況 (外観)	しわ	しわ	しわ	しわ	しわ	しわ	しわ

図10. 経験式に基づくしわ押さえ圧力の場合の確認実験

験は、式（１）から得たしわ押さえ力の経験値22.1kgfを用いて、絞り深さ1mm間隔、14mmの深さまでの実験を実施し、LDRの値(φ26.368mm)を超えたブランク直径φ27.31mmの絞りができた。これは、材質の特性や潤滑などの条件を良いであることを考えられる。図10に、各成形サンプルの外観を示す。明確なしわや割れの確認はできなかった。

3. 4. 5 LDR値を微小に超えた場合絞り成形性の確認実験

LDR値を微小に超えたブランク直径φ27.45mmの材料を使用して実験を行った。この時のしわ押さえ力は経験値23.7kgfであり、実験は絞り深さ0.5mm間隔で、深さは10.5mmまで絞った。成形サンプルを観察し、深さ7.5mmまでの絞りは外観できに良好であり、深さ8mmからしわを確認した。また、深さ8.5以上、割れを確認し、それ以上の成形は不可能であった。図11に、各成形サンプルの外観を示す。しわや割れの確認ができる。

実験順番	1	2	3	4	5
成形品					
しわ押さえ力 kgf	23.7kgf	23.7kgf	23.7kgf	23.7kgf	23.7kgf
絞り深さ die face - punch 先端	6mm	6.5mm	7mm	7.5mm	8mm
成形状況 (外観)	良	良	良	良	しわ

しわ発生

実験順番	6	7	8	9	10
成形品					
しわ押さえ力 kgf	23.7kgf	23.7kgf	23.7kgf	23.7kgf	23.7kgf
絞り深さ die face - punch 先端	8.5mm	9mm	9.5mm	10mm	10.5mm
成形状況 (外観)	割れ	割れ	割れ	割れ	割れ

割れ発生

図11. LDR値を微小に超えた場合絞り成形性の確認実験

3. 4. 6 LDR値を微小に超えしわ押さえ圧力を弱くした場合

前実験と同様な条件で、しわ押さえ圧力のみ若干弱くした場合の成形実験を行った。この時のしわ押さえ力は経験値の23.7kgfから19.7kgfに調整した。絞り深さ13.5まで実施した。前実験と比べ、深さ8.5mmからしわを確認、深さ8mmのサンプルも微小なしわを確認した。しわの発生が早くなったことが分かった。また、深さ11.0mm以上、しわと割れ両方を確認した。この結果から、しわ押さえ力を弱くした場合、割れのタイミングが遅くなったことを観察した、この現象は絞り抵抗が少なくなったのが原因として考えられる。図12に成形したサンプルを示す。

実験番号	1	2	3	4	5	6	7
成形品							
しわ押さえ力 kgf	19.7kgf	19.7kgf	19.7kgf	19.7kgf	19.7kgf	19.7kgf	19.7kgf
絞り深さ die face - punch 先端	7mm	7.5mm	8mm	8.5mm	9mm	9.5mm	10mm
成形状況 (外観)	良	良			良	しわ	しわ

しわ発生






実験番号	8	9	9	10	10	11	11
成形品							
しわ押さえ力 kgf	19.7kgf	19.7kgf	19.7kgf	19.7kgf	19.7kgf	19.7kgf	19.7kgf
絞り深さ die face - punch 先端	10.5mm	11mm	11mm	11.5mm	11.5mm	13.5mm	13.5mm
成形状況 (外観)	しわ	しわ	割れ	しわ	割れ	しわ	割れ





割れ発生

図 1 2. LDR値を微小に超えしわ押さえ圧力を19.7kgfにした場合の確認実験

3. 4. 7 LDR値を微小に超えしわ押さえ圧力を更に弱くした場合

しわ押さえ力はから19.7kgfから更に弱く15.7kgf調整して、絞り深さ0.5mm間隔、13.5mmまで、絞り深さ13.5mmまで実施した。今回は、深さ9.0mmからしわを確認し、深さ7mmのサンプルも微小なしわを確認した。また、深さ13.0mm以上、しわと割れ両方を確認した。更にしわ押さえ圧力を弱くした場合、割れのタイミングが遅くなった、抵抗が更に少なくなるのを確認した。図 1 3に成形結果を示す。

実験番号	1	2	3	4	5
成形品					
しわ押さえ力 kgf	15.7kgf	15.7kgf	15.7kgf	15.7kgf	15.7kgf
絞り深さ die face - punch 先端	7mm	8mm	9mm	10mm	11mm
成形状況 (外観)	良	良	しわ	しわ	しわ

実験番号	6	7	8	9
成形品				
しわ押さえ力 kgf	15.7kgf	15.7kgf	15.7kgf	15.7kgf
絞り深さ die face - punch 先端	12mm	13mm	15mm	16mm
成形状況 (外観)	しわ	割れ	割れ	割れ

しわ発生

割れ発生

図 1 3. LDR値を微小に超えしわ押さえ圧力を15.7kgfに弱くした場合の確認実験

3. 4. 8 しわ押さえ圧力を変化させた場合の成形性の確認実験

前述実験の結果を踏まえ、しわ押さえ圧力をしぼり途中から弱くして成形の結果を観察する。表1に絞りパターンとしわ押さえ圧力の条件を示す。比較実験には、材料のブランク直径は完全に円筒まで絞れることを選定条件とし、少しずつその値を拡大して、本実験は絞りにくく28.1mmの材料を使用した。絞りパターンはしわ押さえ圧力のかけ方を5種類に分け、内2, 3, 4は2段階に絞り、1と5は一回で最後まで絞るが、力の値が異なる。各ケース60個（20個×3回繰り返し）を成形し、外径の成形性を観察する。

図14に代表的な成形サンプルを示す。しわ押さえ力3の場合、しわ押さえ力一定での絞りできないブランク直径φ27.45mmを超え、φ28.10 mmの材料の絞りに成功した。しわ押さえ圧力1, 2, 4, 5のケースは全部または割合が高い割れ率に対して、しわ押さえ力を弱くした場合、絞れる確率が高くなった。

表1. しわ押さえ圧力を変化させた場合の実験条件

材料	銅板直径	28.10 mm		
	厚み	0.5 mm		
しわ押さえ力 1	27.5kgf			一回絞り
絞り深さ(mm)	16			
しわ押さえ力 2	①27.5kgf	②27.5kgf		強・強
絞り深さ(mm)	①7	②16		
しわ押さえ力 3	①27.5kgf	②15kgf		強・弱
絞り深さ(mm)	①7	②16		
しわ押さえ力 4	①15kgf	②15kgf		弱・弱
絞り深さ(mm)	①7	②16		
しわ押さえ力 5	15kgf			一回絞り
絞り深さ(mm)	16			

条件	しわ押さえ力1	しわ押さえ力2	しわ押さえ力3	しわ押さえ力4	しわ押さえ力5
成形品					
結果	100%割れ	左 60%割れ 右 40%成功	95%成功 5%割れ(3個)	左 38%割れ 右 62%成功	100%割れ
<small>小さい ← しわの程度 → 大きい</small>					

図14. しわ押さえ圧力を変化させた場合の成形性の確認実験

4. JSTAMP/IVによる絞り加工のしわ押さえ圧力が成形性に与える影響の解析

4.1 解析の概要

本研究の前半は、実験ベースで変動したしわ押さえ圧力で絞り加工は限界絞り比LDRを高める効果を確認した。後半は、本実験の結果を解析で手法を用いて、絞りシミュレーションでしわ押さえ圧力の値が絞り加工の成形性に与える影響を明らかにする。

プレス成形解析ソフトJSTAMP/IVを用いて、しわ押さえ圧力を数パターンに分けて、絞り加工のしわ押さえ圧力が成形性に与える影響の解析実験を行い、その結果を比較し、しわや成形板の厚みの減少率への影響を調査する。

4.2 実施方法

解析は、まず前述実験に使用した絞り用製品のモデル形状を作成し、JSTAMP/IVを用いて、しわ押さえ力を変えながら、数パターンに分けて、解析実験を実施することにより、しわ押さえ圧力が絞り加工の成形性と関係に関する基礎データを取得する。

1次絞った途中の製品を、2次絞る際に、前工程と同様なしわ押さえ圧力を与えるケース、また異なるしわ押さえ圧力を与えるケースにおいて、成形後の製品に反映される変化を調査する。

実験は次の手順で実施する。まず、絞り工程を2段階に分け、途中からしわ押さえ圧力を弱くして絞る。次に、比較するため、絞る工程を2段階に分け、途中からしわ押さえ圧力を弱くせずに絞る。また、比較するため、しわ押さえ圧力を一定に設定し、2段階分けずに1回で絞る。それぞれの結果を分析して、しわ押さえ圧力を変化させた場合の成形性を調査する。

4.3 解析内容

4.3.1 解析内容および条件

前述の実験に対応して、解析の内容および条件を表2に設定した。ただし、表1に示したしわ押さえ力1と5は、解析ツール上には、入力条件を変更するのみで実施できるため、まとめてexperiment 1の中で行った。2段階絞りのしわ押さえ圧力の荷重はパターン1と2と呼ぶ。

4.3.2 数値実験1

(a) 内容：

直径28.1mm、厚み0.5mmの銅板が途中からしわ押さえ圧力を変えずに16mmの深さまで絞る。しわ押さえ圧力は経験式より計算した値で設定する。成形後のしわ状況および指定個所の板減少率を観察する。

(b) 手順：

- ①直径28.1mmの銅板のCADデータを作成してJSTAMP/IV対応のファイルに転換する。
- ②27.5kgf（パターン1と比べるため、パターン2は150kgf）の力で銅板を16mmまで絞る。
- ③成形したモデルを観察し、結果を分析する。

表2. 解析内容および条件

material	copper plate diameter	28.1mm	
	thickness	0.5mm	
experiment 1 pattern1		27.5kgf	
strech depth(mm)		16	
experiment2		①27.5kgf	②27.5kgf
strech depth(mm)		①7	②16
experiment3		①27.5kgf	②15kgf
strech depth(mm)		①7	②16
experiment 1 pattern2		15kgf	
strech depth(mm)		16	

4. 3. 3 数値実験2

(a) 内容：

直径28.1mm, 厚み0.5mmの銅板が途中からしわ押さえ圧力の値を弱くせず再度深く絞って, 2次絞りと成形性の影響を調査する.

(b) 手順：

- ①直径28.1mmの銅板のCADデータを作成してJSTAMP/NV対応のファイルに転換する.
- ②一段階は27.5kgfの力で銅板を7mmまで絞って, 次に2段階は27.5kgfの力で16mmまで絞る.
- ③成形したモデルを観察し, 結果を分析する.

4. 3. 4 数値実験3

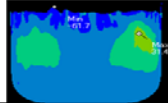
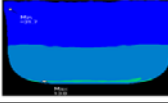
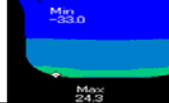
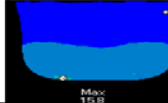
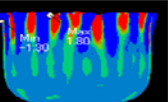
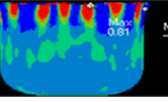
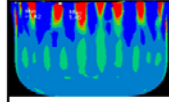
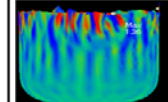
(a) 内容：

直径28.1mm, 厚み0.5mmの銅板が途中からしわ押さえ圧力を弱くして再度深く絞って, 2次絞りの際にしわ押さえ力の働きを調査する.

(b) 手順：

- ①直径28.1mmの銅板のCADデータを作成してJSTAMP/NV対応のファイルに転換する.
- ②1段階は27.5kgfの力で銅板を7mmまで絞って, 次に2段階は15kgfの力で16mmまで絞る.
- ③成形したモデルを観察し, 結果を分析する.

表3. 解析結果

	Experiment1 ⊙150kgf	Experiment1 ⊙275(kgf)	Experiment2 275→275(kgf)	Experiment3 275→150(kgf)
				
Plate thickness reduction rate(max)	31.4	13.8	24.3	18.3
Plate thickness reduction rate(min)	-61.7	-31.7	-33.0	-28.5
				
Vertical strain difference	1.36	1.45	0.81	1.8
Vertical strain difference	-4.10	-1.42	-0.75	-1.3

4. 4 解析結果についての分析

実験1において、表3に示すように実験1の実験結果はパターン1は底面部分の板厚減少率の最大値は13.8%となり、しわ部分の板厚減少率最小値は-31.7%となった。しわコンター(上下ひずみ差)は最大値：1.45となり、最小値は-1.42となった。

パターン2は底面部分の板厚減少率の最大値は31.4%となり、しわ部分の板厚減少率最小値は-61.7%となった。しわコンター(上下ひずみ差)は最大値：1.36となり、最小値は-4.10となった。パターン1が割れる可能性があることを確認した。適切なしわ押さえ圧力を下げると、成形性が悪くなる傾向があることを確認した。

実験2の結果について、表3に示すように実験2の実験結果は底面の板厚減少率の最大値は24.3%となり、しわ部分の板厚減少率最小値は-33.0%となった。しわコンター(上下ひずみ差)は最大値：0.81となり、最小値は-0.75となった。なお、限界板厚減少率が30%を判定基準として、表2の条件で割れが発生しなかった。28.1mmの銅板が16mmに成功に絞れることを確認した。実験2が実験1のパターン1と比べると、底面の厚みが薄くなった反面、しわ部分が平坦になった。

実験3の結果について、表3に示すように実験1の実験結果は底面の板厚減少率の最大値は18.3%となり、しわ部分の板厚減少率最小値は-28.5%となった。しわコンター(上下ひずみ差)は最大値：1.81となり、最小値は-1.3となった。なお、限界板厚減少率が30%を判定基準として、表1の条件で割れが発生しなかった。28.1mmの銅板が16mmに成功に絞れることを確認した。実験3が実験2と比べると、底面の板厚減少率が小さくて、もっと絞れる可能性があると推測する。

5. まとめ

本研究は、まず、正確なしわ押さえ力の調整が可能、型構造が簡単、材料の押さえ面積の減少に

よる押さえ抵抗を低減するため、動的なしわ押さえ力の制御機構を提案した。加工実験を用いてしわ押さえ力の調整による絞り製品の成形性に大きな影響を与えたことを確認した。複数の成形パターンを用いて、絞り中におけるしわ押さえ力の低減による絞り加工の成形性を向上する効果を確認した。選定した実験条件において、一定なしわ押さえ力の場合、限界LDRを超え、絞りできないブランク直径の材料の絞りを実現した。また、プレス成形に対象とするCAEソフトウェアJSTAMP/AVを用いて、実際の実験結果を解析ツールで確認した。CAEの解析結果により、しわ押さえ圧力の制御による成形性の改善の効果を得た。本研究は実験および解析の手法を用いて、しわ押さえ圧力が絞り加工の成形性に大きな影響を与えることを検証し、その傾向を把握した。変動しわ押さえ圧力の設定は、生産性を向上する手段としてその有効性を確認した。

一方、瞬間的に絞りの工程に応じたしわ押さえ圧力の同時変更において、機械機能的な機構の応答遅れや製作や組み立ての誤差で実現困難であることがわかった。この問題の解決および研究を進むことで設計生産現場により具体的なデータの提供を今後の課題とする。

本研究は、公益財団法人三井金型振興財団の助成を頂くことにより継続開発は進行しており、深く感謝の意を表す。