

局所材料挙動制御によるニアネットシェイプ成形技術の開発（第2報）

13 可動ポンチを用いた張出し-絞り複合成形による円筒容器の変形特性

森下勇樹, 門 格史, 小鳥田博夫, 池田哲宏, 坂元康泰
坂本快雄*, 野中良儀*, 片岡俊美**

Development of Near Net Shape Forming Controlled Local Material Behavior (2nd Report)
Deformation Characteristics of Cylindrical Cup by Stretching and Drawing Processes Using Moving Punch

MORISHITA Yuki, KADO Tadashi, KOTORIDA Hiroo, IKEDA Tetsuhiro, SAKAMOTO Yasuhiro,
SAKAMOTO Yoshio*, NONAKA Yoshinori* and KATAOKA Toshimi**

In order to improve formability of sheet metals, combined forming by stretching and drawing processes using the moving punch was experimentally investigated. In this method, the moving punch which is a part of the divided dies can be axially driven, and then the blank is formed locally. Deformation characteristics and distribution of strain were observed in formed cylindrical cups. The following results were obtained: (1) As compared with conventional drawing process, the radial strain concentrated on the boundary of the wall and the flange diffused to the bottom. (2) During early stage of forming process, the center of blank was given stretch forming by the moving punch, therefore, it was possible to make the thickness strain of the bottom reduce.

キーワード：プレス成形，可動ポンチ，絞り，張出し，複合成形

1 緒 言

金属薄板のプレス成形において、底付き容器状の成形品は、一般に絞り成形によって製造されている。絞り成形はフランジ部をダイ穴内に絞り込んで容器の側壁を形成する加工方法である。このため、ポンチ頭部と接触する容器底部の領域は、側壁部に比べてほとんど変形していない。そこで、容器底部の領域に変形を与えて薄肉化し、この領域の一部を側壁部に供給することができれば、成形高さを向上させることが可能と考えられる。

容器の成形高さを向上させるため、板厚の均一化を図る方法として、ゴムポンチによる張出し成形としごき加工を組み合わせた複合加工について、研究が行われている¹⁾。また、深絞り成形やしごき加工を行う際に、容器底部に圧縮加工を同時に付与した複合深絞り法が提案されている²⁾。このように、複数の成形プロセスを多段工程に渡って行う方法や複合的に行う成形加工法は、局所的な板厚減少を回避し、プレス成形品の成形限界を高めることができる有効な手段である。

そこで本研究では、工程数を短縮するという観点からプレス機械のスライドが一往復する中で、複数の成形プロセスを多段的に行う複合成形について検討する。プレス金型の局所領域を可動ポンチ³⁾とした手法により、可動ポンチを用いた張出し-絞り複合成形が円筒容器の変形状態に及ぼす影響について報告する。

2 成形プロセス及び実験方法

2.1 張出し-絞り複合成形プロセス

図1(a)~(d)は、一行程で張出し成形と絞り成形を多段的に行える成形プロセスを示した図である。金型構造は図1(a)のように通常の絞り成形で用いる剛体円筒ポンチの平頭部を可動部とした。以下、可動部を可動ポンチ、筒状の円筒ポンチをドローポンチと呼ぶ。

可動ポンチの出力には、ガススプリング（Hyson Products 社 T2SC - 4700×50）を用いた。図2にガススプリングの荷重-ピストンロッドストローク曲線を示す。このガススプリングの荷重負荷特性は、初期荷重 47kN 以下ではピストンロッドが突出した状態を維持し、これより大きな荷重が負荷すると、ピストンロッドは荷重を増加させながらガススプリングのシリンダ内に吸収されるものである。

可動ポンチはガススプリングのピストンロッド先端に装着され、成形開始前ではドローポンチ先端より突出した状態である。ガススプリングはドローポンチ内部に固定されている。さらに、ドローポンチは、油圧式複動プレス機械のインナースライドに取りつけられている。本研究では、可動ポンチ及びドローポンチのストロークをそれぞれ S_{mp} 、 S_{dp} と示している。

図1(b)は可動ポンチによる張出し成形の途中段階を示している。球頭状の可動ポンチはドローポンチよりも先行してブランクに接触し、ブランク中心部をダイ穴内に

*株式会社ヒロテック， **ヒルタ工業株式会社

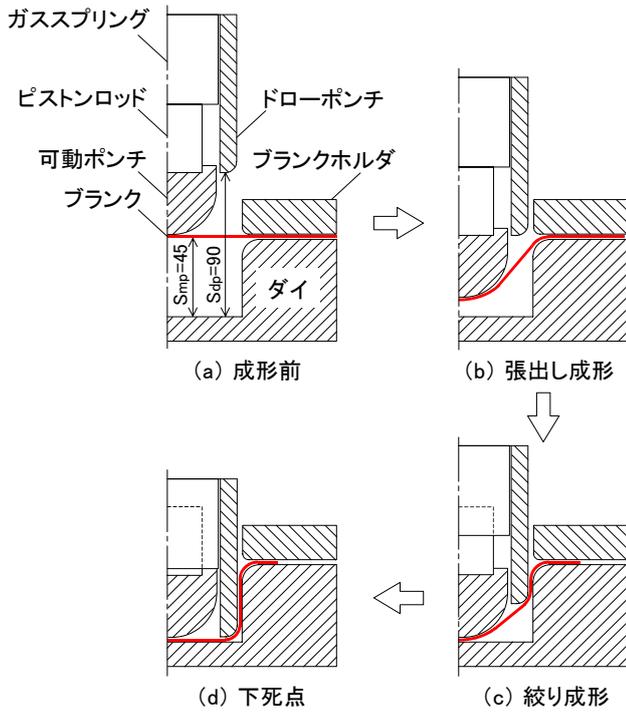


図1 張出し - 絞り複合成形プロセス

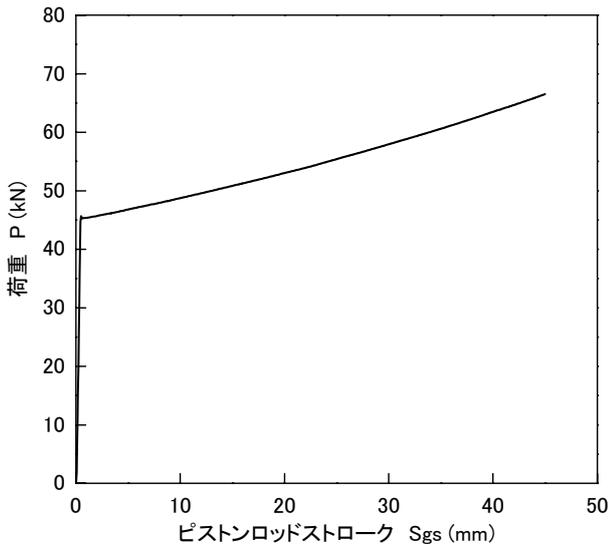


図2 ガススプリングの荷重 - ストローク曲線

向けて大きく張出す。フランジ部の材料はほとんど流入しないため、可動ポンチ頭頂部と接触する領域は、等二軸引張りとなる。

ドローポンチ先端がダイ穴まで達すると絞り成形が開始する。図1(c)はドローポンチによる絞り成形の途中段階を示している。ここでのブランクの主な変形様式は、伸び - 縮み変形であり、これによりブランクは側壁部とフランジ部が形成される。可動ポンチ先端がダイ底に達すると、ドローポンチは可動ポンチを吸収しながらストロークを進める。

図1(d)はドローポンチが下死点に達した状態で、可動

表1 金型工具寸法と成形条件

可動ポンチ	ストローク, S_{mp}	45mm
	外径	70mm
	ポンチ肩半径	24mm
ドローポンチ	ストローク, S_{dp}	90mm
	外径	100mm
	内径	76mm
	ポンチ肩半径	8mm
ガススプリング	ピストンロッド ストローク, S_{gs}	50mm
	初期荷重	47kN
	最大荷重	67kN
ダイ	高さ, H	45mm
	内径	102.6mm
	ダイ肩半径	8mm
ブランクホルダ	しわ押え力, BHF	30~70kN
ブランク	直径	200mm

表2 供試材の機械的性質

材料	t (mm)	YS (MPa)	TS (MPa)	el. (%)	n	\bar{r}
SPCC	0.6	156	309	49.5	0.24	1.85
SPCC	0.8	172	312	48.8	0.22	1.75
SPFC590	0.8	502	596	27.9	0.18	0.97

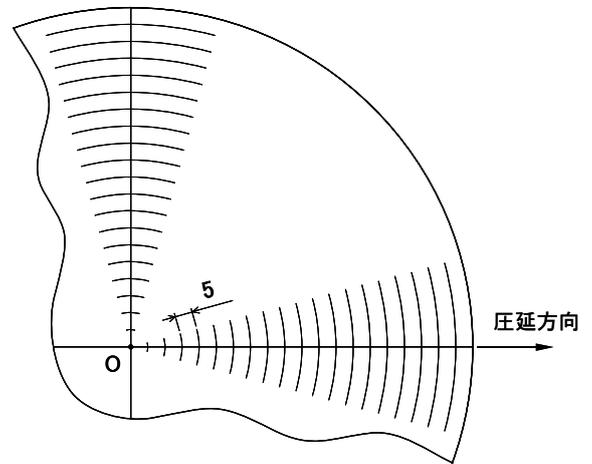


図3 ひずみ測定用格子

ポンチはドローポンチの中に収納されている。これにより、張出し - 絞り複合成形が完了する。

2.2 実験方法

実験に用いた金型工具寸法と成形条件を表1に示す。成形中のしわ押え力 BHF は一定である。比較検証のため通常の円筒ポンチによる絞り成形についても行った。通常の円筒ポンチ外形寸法は、ドローポンチと共通である。供試材には、公称板厚 t が 0.6mm と 0.8mm の間

圧延鋼板 SPCC 及び t が 0.8mm の高張力鋼板 SPFC590 の 3 種類を用いた。これらの機械的性質を表 2 に示す。

可動ポンチを用いた張出し - 絞り複合成形と通常の絞り成形の変形状態を比較するため、図 3 に示すひずみ測定用格子をけがいたブランクを準備した。成形後、半径方向に格子間隔を測定して半径方向ひずみ ϵ_r を、また、各格子点での板厚をマイクロメータで測定して板厚ひずみ ϵ_t を算出した。

3 実験結果

3.1 可動ポンチ変位挙動に及ぼす材料強度の影響

図 4 に容器中心部の成形高さ H と S_{dp} の関係を示す。この図は、ドローポンチが一律に変位しているのに対して、可動ポンチは材料の変形抵抗に応じて不規則に変位していることを示したものである。成形の初期では、 S_{dp} に相当する H が得られているが、 S_{dp} の増加とともに成形荷重が増加すると、可動ポンチはドローポンチに吸収され始める。SPCC t0.6 については、可動ポンチは $S_{dp}=40\text{mm}$ までドローポンチに吸収されることなく成形が進んだため、十分な張出し高さが得られた。

一方、SPCC t0.8 や SPFC590 t0.8 については、可動ポンチは成形の早い段階でドローポンチに吸収され始めた。特に SPFC590 t0.8 は変形抵抗が大きな材料であることから、 H は $S_{dp}=22\sim 52\text{mm}$ の間で僅かしか増加していない。 S_{dp} がさらに進み、ドローポンチ先端がダイ穴に達すると絞り成形が開始する。ここからは側壁部の形成が始まり、 H は S_{dp} に合わせて増加する。可動ポンチがダイ底に達すると $H=45\text{mm}$ となり、その後ドローポンチに完全に吸収される。

ここでの実験では、円筒容器の底部となる領域に変形を与え、薄肉化することを目的とした張出し成形において、 H と S_{dp} の関係は材料強度に大きく依存することが明らかになった。また、材料の変形抵抗が大きな高張力鋼板において、成形の初期段階で十分な張出し高さを得るためには、可動ポンチの出力を高める必要がある。

3.2 荷重 - ストローク曲線

図 5 に可動ポンチを用いた張出し - 絞り複合成形の荷重 - ドローポンチストローク曲線を示す。この曲線は、任意の S_{dp} において、ガススプリングの荷重とブランクの変形抵抗の和で表している。荷重の検出には、油圧式複動プレス機械のインナースライドに負荷する荷重を、油圧シリンダの圧力変換器を介して計測した。

図 1 (b) の可動ポンチによる張出し成形時での荷重の増加は、ガススプリングの荷重負荷特性のように直線状になった。ガススプリングの初期荷重である 47kN 以下では、ドローポンチは可動ポンチを吸収することなくス

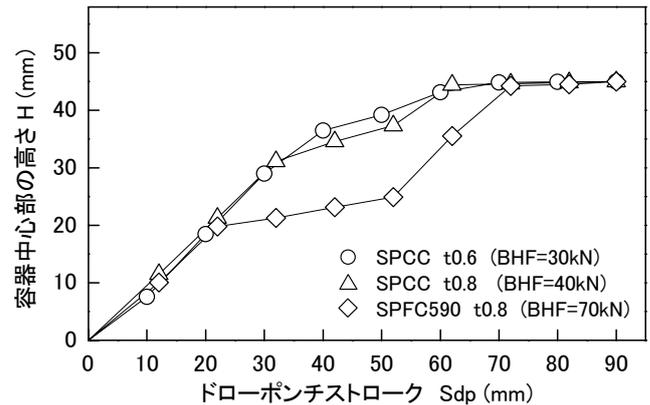


図 4 容器中心の高さとドローポンチストロークの関係

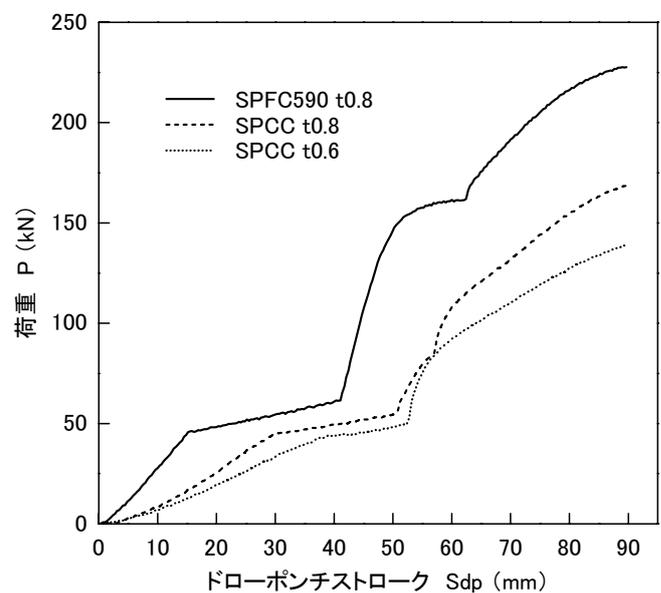


図 5 張出し - 絞り複合成形の荷重 - ストローク曲線

トロークを進める。荷重が 47kN より大きくなると、荷重の増加率は小さくなる。この段階では、ドローポンチは可動ポンチを吸収しながらストロークを進めている。

図 1 (c) に示すようにドローポンチ先端部がダイ肩部に達すると、フランジ部の材料をダイ穴の中に流入させるための絞り成形が始まる。ここからはガススプリングの出力に絞り変形抵抗が加算され始めるため、荷重は急激に上昇する。

3.3 円筒容器の変形特性

図 6 に各供試材について、張出し - 絞り複合成形と、通常の円筒ポンチで絞り成形した円筒容器のひずみ分布を比較する。図 6 の上段には ϵ_r の分布を、下段には ϵ_t の分布を示す。

張出し - 絞り複合成形は容器底部に ϵ_r (●印) を与えることが可能である。 ϵ_r は円筒容器中心部から離れるに従い緩やかに増加する分布となった。 $d=60\text{mm}$ 以上か

らは、通常の絞り成形の ϵ_r (○印) より小さくなり、側壁部とフランジ部の境界付近で最大となる ϵ_r を低減させる結果となった。可動ポンチは側壁部とフランジ部の境界付近で最大となる ϵ_r を低減させ、容器底部に ϵ_r を拡散させる効果があると考えられる。

次に、 ϵ_t 分布について考察する。通常の絞り成形による ϵ_t (◇) 分布では、円筒容器の底部となる領域で、板厚の変化はほとんど見られない。これに対して、張出し-絞り複合成形の ϵ_t (◆印) 分布は、容器底部と側壁部の一部となる $d=0\sim60\text{mm}$ の間で板厚が大幅に減少した。 ϵ_t が最小となる領域は、容器底部の中心 $d=0\text{mm}$ ではなく $d=30\text{mm}$ 付近となった。これは可動ポンチの形状が球頭状のため、ブランク中心部から変形が始まるものの、変形が進むとブランク中心部は可動ポンチに押し付けられるため、摩擦抵抗が発生し変形が抑制される。その結果、可動ポンチ及びドローポンチと接触していない領域に変形が集中したためと考えられる。なお、ここで説明した ϵ_r 分布及び ϵ_t 分布の定性的な特徴は、各供試材について同様の結果となることが確認できた。

4 結 言

プレス金型の局所領域が独立して駆動する可動ポンチを用いた方法により、一行程で張出し成形と絞り成形を

多段的に行うことができる複合成形について提案した。実験により、本手法がブランクの変形過程や円筒容器の変形状態に及ぼす影響について検証し、次の結果を得た。

- (1) 可動ポンチ変位挙動に及ぼす材料強度の影響は大きく、成形の初期段階で十分な張出し高さを得るためには、可動ポンチの出力を高める必要がある。
- (2) 本手法は円筒容器の側壁部とフランジ部の境界で最大となる ϵ_r を低減させ、底部に拡散させる。
- (3) 可動ポンチによる張出し成形により、円筒容器の底部の板厚を減少させることが可能である。

文 献

- 1) 高倉他：第51回塑加連講論，(2000)，209
- 2) 村中他：塑性と加工，45 (2004) 521, 475
- 3) 薄鋼板成形技術研究会編：プレス成形難易ハンドブック第2版，(1997)，79，日刊工業新聞社

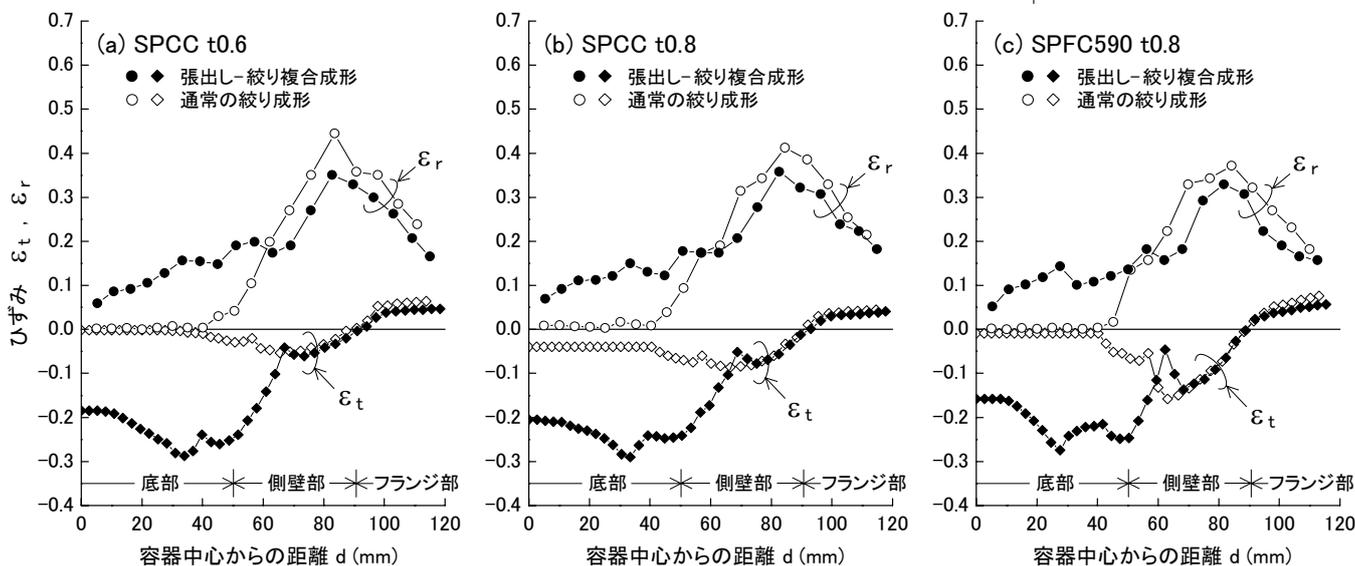
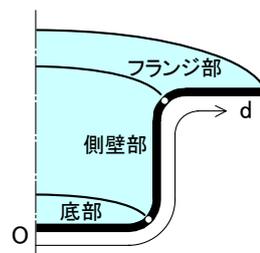


図6 円筒容器の半径方向ひずみ及び板厚ひずみの分布