

1 2 多段アクションを利用した部品成形技術の開発（第2報） 可動ポンチを用いたハット曲げにおける金型形状決定

森下勇樹, 門 格史, 岩谷 稔, 安部重毅

Development of Sheet Metal Forming Technique by Multi-Stage Action(2nd Report)
Die Shape Determination in Draw Bending Process Using the Moving Punch

MORISHITA Yuki, KADO Tadashi, IWATANI Minoru and ABE Shigeki

Recently high-strength steel sheets have been increasingly applied to auto body with hat-shaped cross-section in order to reduce weight of body in white. However, there is a problem that it is difficult to ensure the dimensional accuracy in draw bending process. In this study, to improve shape fixability for 980MPa steel sheet, it was investigated the die shape for springback compensation in draw bending process using the moving punch. To determine the appropriate die shape efficiently, an optimization technique based on finite-element simulation was utilized. As a result of optimization, the shape defects of hat shaped panel, such as the opening distance at the die profile and the springback of flange, were remarkably controlled. And the effectiveness of the optimized die shape was confirmed by the performed experiment.

キーワード：プレス成形，ドローベンド，ハット曲げ，高張力鋼板，スプリングバック，可動ポンチ

1 緒 言

自動車の軽量化と衝突安全性向上の対策として、高張力鋼板の適用が急速に進み、近年、その材料の強度レベルはより高くなる傾向となっている。ハット状の断面形状を有する車体構造部材の製造には、ドローベンド成形による方法が一般的に用いられている。ところが、高強度な高張力鋼板は成形後の弾性回復量が非常に大きいことから、スプリングバックなどの形状不良を招き、寸法精度を確保することが困難な状況となっている。

著者らは既報^{1),2)}において、高張力鋼板の形状不良対策となる成形技術について、新しい成形プロセスを提案した。この成形プロセスは、曲げ変位成分のバランスを取るという考え方^{3),4)}に着目した方法であり、側壁部を形成する領域に異符号の残留曲げモーメントを発生させ、離型後、内向きと外向きの壁反りを共存させるものである。

既報では提案プロセスの実験検証として、各種高張力鋼板について、プレス金型の一部を可動ポンチ⁵⁾とした手法（以下、本手法）でハット曲げを行い、可動ポンチによる予備曲げ量が側壁部に占める内向きと外向きの壁反りの割合に及ぼす影響について詳細に調査した。その結果、本手法は 980MPa 級の高張力鋼板においても、ダイ肩部の開き量あるいはフランジ部の角度変化といった形状不良を抑制したものの、ハット曲げの代表的な形状不良である壁反りについては、十分な抑制効果が認めら

れなかった。

そこで壁反りも同時に対策する方法として、本手法の成形中に側壁部に強い張力を付与することで、壁反りを消去することを試みた。ここでの張力付与の方法には、しわ押え力を下死点手前で高くする可変しわ押えによるものである。既報では、本手法と可変しわ押えを組み合わせることにより、形状凍結性を著しく向上させることができることを報告した。しかしながら、一般的に可変しわ押えの方法は任意のしわ押え力を成形行程に合わせて変化させるため、非常に高度な制御技術が必要とされている。

そこで本報では、生産性を高める観点からしわ押え力を一定とした条件下のもと、本手法の特徴である異符号の壁反りを共存させることができる利点を活かし、弾性回復量を見込んだ金型形状の導出を検討する⁶⁾。ここでは、ハット曲げにおける各種形状不良の発生量を最小化することを目的に、プレス成形シミュレーションおよび最適化システムを活用し、金型見込み形状の最適化を行う。

2 最適化手法を用いた金型形状決定

2.1 最適化工程

ハット曲げにおける形状不良を解消するにあたり、効率良く最適化を進めるため、最適化工程として、まず、形状不良が抑制される大まかな設計空間の範囲を把握した。次に、得られた設計空間を最適化手法により詳細に

探索し、適正な金型形状を決定した。

最適化手法では図 1 に示すように、可動ポンチの予備曲げに関する設計変数 S およびドローポンチ肩部に関する設計変数 a, c を順次変更して解析を行い、形状不良の度合いを表す目的関数 $F(S, a, c)$ を最小にする最適化を行った。以下に、最適なドローポンチの金型形状を導出するための設計変数および目的関数の詳細について説明する。

2.2 可動ポンチによる予備曲げ量の変更

本手法の金型構造は、剛体ポンチを可動ポンチとドローポンチに分割し、可動ポンチはガススプリングなどの出力体で支持している。成形開始前の可動ポンチ先端は、ドローポンチ先端より突出した状態としている。可動ポンチはドローポンチより先行してブランクに接触し、ブランクに予備曲げを与えるものである。本研究では可動ポンチの突出した長さを S として定義している。

ここで、可動ポンチによる予備曲げの重要性と S の大きさが果たす役割について説明する。図 2 は既報で報告した 980MPa 級の高張力鋼板について、しわ押え力 BHF を一定とした条件でハット曲げを行い、離型後の断面形状を示したものである。本手法は通常ハット曲げで観察される一方的な外向きの壁反りに対して、側壁部の一部を内向きに反転させることができる。さらに、 S の大きさを変更することは、側壁部に占める内向きの壁反りの割合を制御できることから、ダイ肩部の開き量あるいはフランジ部の角度変化を大幅に抑制できることを成形実験で確認している。

今回の最適化問題では、可動ポンチによる予備曲げ量の変更は、高張力鋼板の形状凍結性を高める上で重要な役割を担っているものと考え、 S を設計変数の一つとした。

2.3 ドローポンチの金型形状変更

既報でのドローポンチは、図 1(a) の破線で示すように肩部半径が 8mm のものを用いた。この場合、図 2 での観察から本手法におけるドローポンチ肩部では、スプリングゴア⁴⁾が確認され、側壁面は各成形条件において内側に閉じた形状となった。

そこで金型形状変更は、ドローポンチ肩部において内向きの残留曲げモーメントを緩和し、スプリングゴアの発生を抑制させるため、既存の肩部半径より大きくなるような曲面を検討した。ここでは、肩部の曲面が滑らかに変化し、且つ底部と側壁部で接線となる楕円とした。金型形状変更の設計変数は、楕円の短軸と長軸が X-Z 座標系と直交するように定め、楕円の中心から X 方向の

長さを a 、Z 方向の長さを c と定義した。なお、可動ポンチの幅は a に連動して変更しているが、ダイおよびブランクホルダの金型形状は変更しない。

以上のように、設計変数は可動ポンチの突出した長さおよびドローポンチ肩部の寸法を決定する 3 つのパラメータであり、上限および下限は次のとおりである。

$$25 \leq S \leq 50 \quad (1)$$

$$8 \leq a \leq 25 \quad (2)$$

$$8 \leq c \leq 44 \quad (3)$$

2.4 形状不良に関する目的関数

形状不良の評価には図 1(b) に示すように、スポット溶接工程などの自動車車体の組み付け精度で問題となるダイ肩部からの距離 Δd およびフランジ部の角度変化 θ_f に

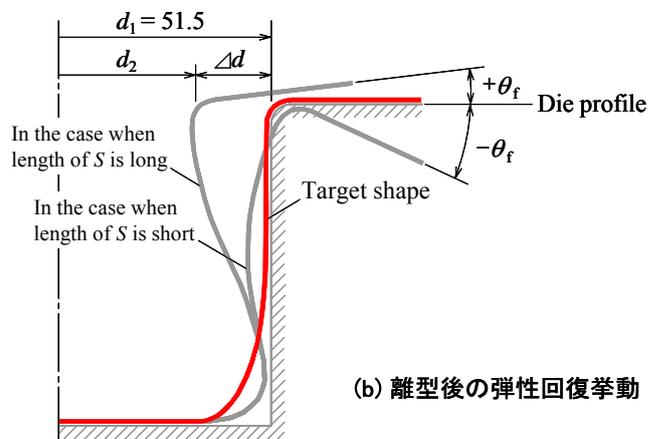
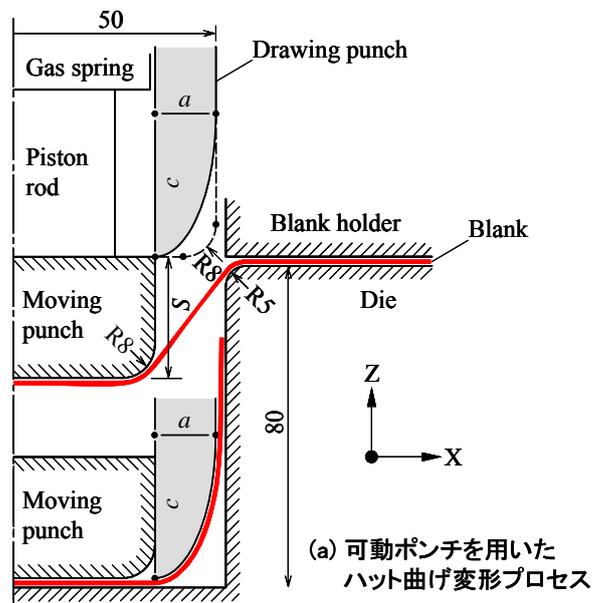


図 1 ハット曲げ変形プロセスと弾性回復挙動

着目した。形状不良の度合いを表す目的関数はこの2つの項目について、式(4)の値を最小化させる。t はブランクの板厚を示している。なお、今回の最適化問題はハット曲げに関するものであり、破断の発生はほとんど無いものと考え、成形不良などの制約条件については定義していない。

$$F(S, a, c) = |\Delta d / (d_i - t/2)| + |\theta_f / (\pi/4)| \quad (4)$$

2.5 解析条件および最適化システム

ハット曲げ変形の解析モデルは図 1(a) に示したとおりである。ブランク寸法は長さ 320mm×幅 50mm、BHF は 60kN 一定とした。可動ポンチの出力にはガススプリング (Hyson Products 社製 T2SC-4700×50) の特性を持つ要素を設定した。解析は対称性を考慮して 1/4 領域で行った。

最適化システムには、広島県産業科学技術研究所吉田プロジェクトで開発されたプレス成形プロセス最適化システム⁷⁾を使用した。本システムでの最適解を探索する最適化エンジンには、応答曲面法を用いる Hyper OPT (Altair Engineering 社製) を使用し、スプリングバック解析には、Yoshida-Uemori モデルを導入した PAM-STAMP (ESI 社製) をプレス成形シミュレーションとして使用した。供試材として用いた 980MPa 級の高張力鋼板の主な機械的性質は表 1 に示すとおりである。なお、スプリングバック解析精度については、最適化計算を実行するにあたり、事前の検証として図 2 での通常のハット曲げおよび本手法での解析を行い、各条件とも十分な

精度を得ていることを確認している。

2.6 最適化計算結果

最適化計算を行った結果、最適解は 40 回目で見つかった。その結果を表 2 に示す。Δd については約 3mm の値を示したが、フランジ部およびダイ肩部周辺の形状はダイの形状とほぼ一致する結果が得られた。また、解析結果の断面形状を観察したところ、ドローポンチ肩部を除く側壁部については、ダイの形状に沿うような直線状とはならず、内向きの壁反りが僅かながら発生する形状となったものの、目的とする形状不良の発生量を最小化することができた。

3 実験結果

最適化計算で得られた最適解の検証を行うため、ドローポンチの先端が表 2 の寸法となる楕円形状の金型を製作し、成形実験を行った。最適化計算結果、実験結果およびダイの断面形状を比較したものを図 3 に示す。実験結果は、側壁部が僅かではあるが、外向きに広がり、フランジ面が下向きになったものの Yoshida-Uemori モデルを用いたスプリングバック解析結果と非常に良い一致を示している。

4 結 言

本報では、980MPa 級の高張力鋼板のハット曲げにおいて形状凍結性を高めるため、弾性回復量を見込んだ金型形状を決定する一つの方策を提案した。この方策は、本手法の特徴である異符号の壁反りを共存させることが

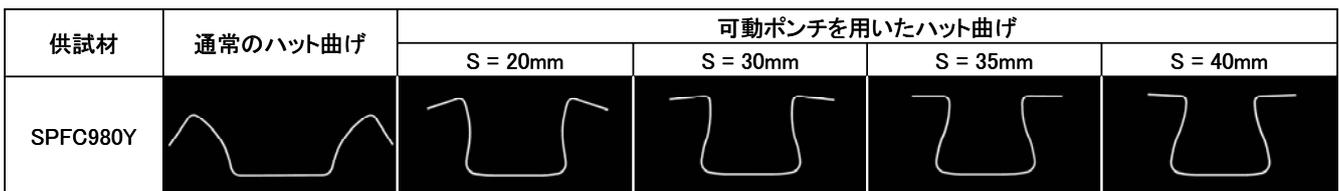


図 2 ハット曲げ成形パネルの断面形状

表 1 供試材の機械的性質

材料	t (mm)	YS (MPa)	TS (MPa)	el. (%)	n	\bar{r}
SPFC980Y	1.2	783	1094	11.7	0.15	0.70

表 2 最適化計算結果

計算回数		40
設計変数	S (mm)	48.91
	a (mm)	16.40
	c (mm)	26.42
目的関数	F(S,a,c)	0.083
	Δd (mm)	3.440
	θ _f (°)	-0.673

できる利点を活かしたものであり、ハット形状の曲げ変位成分のバランスを取るものである。ドローパーチの金型形状決定には、プレス成形シミュレーションおよび最

適化システムを活用して導出した。その結果、BHFを一定とする条件下においても、可動ポンチによる予備曲げ量およびドローパーチ肩部を適正な形状とすることにより、各種形状不良の発生量は最小化できることが明らかになった。そして、最適解の検証として成形実験を行い、導出した金型形状の有効性を確認した。

文 献

- 1) 森下他：第 58 回塑加連講論，(2007)，349
- 2) 森下他：広島県立総合技術研究所西部工業技術センター研究報告，No. 51 (2008)，30
- 3) 林：塑性と加工，46 (2005) 534，580
- 4) 小嶋：第 25 回塑加連講論，(1974)，233
- 5) 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
- 6) 森下他：第 59 回塑加連講論，(2008)，491
- 7) 「難成形材加工・最適プロセス設計プロジェクト」平成 15 年度研究成果報告書，(2004)，(財) ひろしま産業振興機構広島県産業科学技術研究所

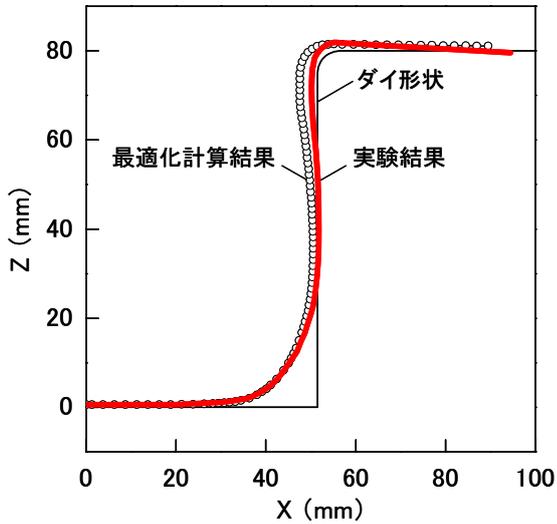


図 3 最適化計算結果から得られた断面形状