



K. Katoh

順送金型における深絞り用スリット形状の検討

加藤 浩三*

1. 緒言

順送金型による加工は、生産性の高さから実際のプレス加工現場で多く利用されている。けれども、順送金型を用いた塑性加工の際に必要なスリット形状は、経験に基づく試行錯誤によって決定されており、体系的な決定方法ではない。本研究では順送金型用の帯板のスリット形状についての合理的な決定手法を開発することを目的としている。検討に際しては、最適化手法の導入に至る前段階として、帯板のスリット形状が深絞り成形性に及ぼす影響を剛塑性有限要素法により評価することとした。

これまでの研究では剛塑性有限要素法による検討方法に際して、スリットを有限な幅を有する溝としてモデル化した。さらに、このモデル化方法の妥当性を検討した後、2, 3の代表的なスリット形状について、深絞り成形のシミュレーションを実施し、スリット形状が製品の相当ひずみに及ぼす影響を評価した⁽¹⁾。

本研究においては、広範なスリット形状から適切なスリット形状を選択する観点から、これまでの研究よりも対象のスリット形状タイプの範囲を広げた検討を実施する。検討手法としては、これまでと同様に市販の3次元剛塑性有限要素法ソフトウェアを用い、スリット形状のタイプが順送金型を用いた深絞り加工の成形性に及ぼす影響を評価する。これにより、次のステップの最適化手法を用いた解析方法のための基礎データを構築することを目的としている。

2. 検討方法

2.1 適切なスリット形状の検討方法の指針

図1は本研究において検討の対象として適用したスリット形状のモデル形状の全体像を示したものである。1)はダブルランスのスリット形状である⁽¹⁾。向かい合ったスリットが2対あるので「ダブルランススリット(2対)」と称している。2)~4)は順送金型に関する文献から採用したスリット形状である⁽²⁾。それぞれ、2)「ダブルランススリット(4対)」, 3)「サーキュラーランススリット(2スリット)」, 及び4)「サーキュラーランススリット(4スリット)」である。

本研究では、各スリット形状の性能を評価するための尺度として、相当ひずみを採用する。図2は剛塑性有限要素法により解析した結果の一例であり、相当ひずみ分布をコンタ図として示したものである。概して、塑性変形はダイ肩部付近に集中しており、各スリット形状の性能評価に際しては、この部位の相当ひずみ分布のパラつきが少ないものを、良好なスリット形状として評価することとする。

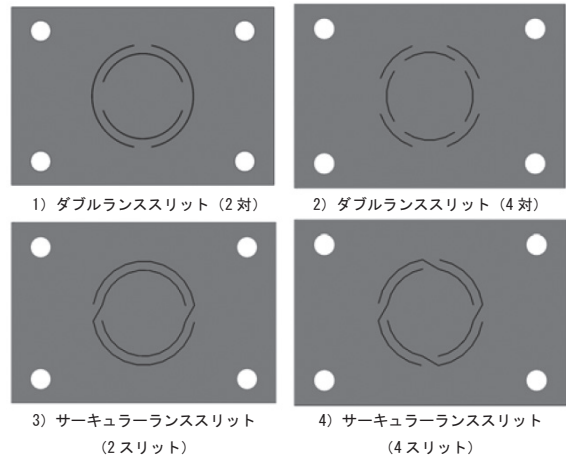


図1 検討対象のスリット形状

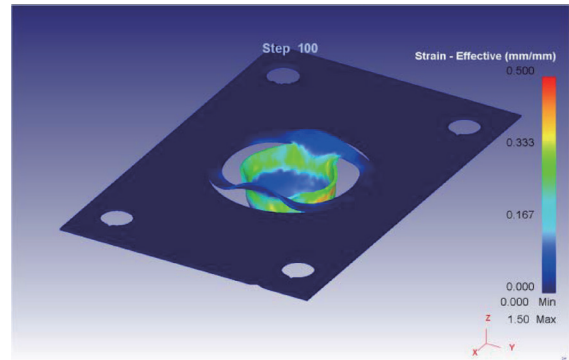


図2 剛塑性有限要素法による解析結果の一例

2.2 スリット形状の条件

各スリット形状の評価に際して、図3に示すように各ス

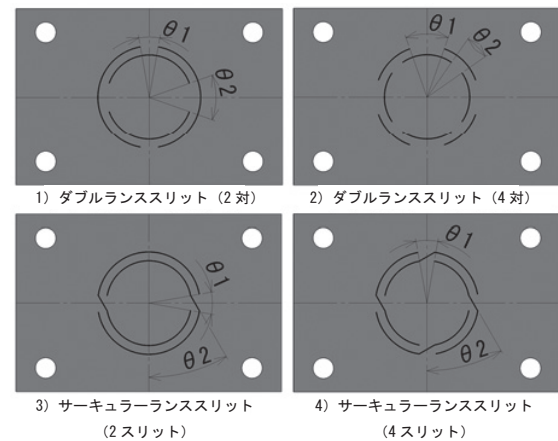


図3 スリット形状の二つのパラメータ

*岐阜工業高等専門学校機械工学科 教授

リットについて θ_1 、及び θ_2 の二つの角度に着目し、これらの角度が成形性に及ぼす影響を評価した。

各スリットの結果を比較するために、まず各スリットの適切なスリット形状を決めることにした。表1～4はそれぞれダブルランススリット(2対)、ダブルランススリット(4対)、サーキュラーランススリット(2スリット)、及びサーキュラーランススリット(4スリット)の最良のスリット形状を決定するために、解析に適用した角度条件を示したものである。

表1 ダブルランススリット(2対)の解析角度条件

θ_1 (deg)	θ_2 (deg)
34	20
39	15
	20
	25
44	15
	20
	25
49	20

表2 ダブルランススリット(4対)の解析角度条件

θ_1 (deg)	θ_2 (deg)
34	20
39	15
	20
	25
44	15
	20
	25
49	20

表3 サーキュラーランススリット(2スリット)の解析角度条件

θ_1 (deg)	θ_2 (deg)
10	30
	40
20	20
	30
	40
	50
30	30
	40

表4 サーキュラーランススリット(4スリット)の解析角度条件

θ_1 (deg)	θ_2 (deg)
10	30
	40
20	20
	30
	40
	50
30	30
	40

2.3 DEFORMによるシミュレーションの概要

表5は、シミュレーションに使用した剛塑性有限要素法ソフトウェア DEFORM の設定条件等をまとめて示したものである。材料はn乗硬化則に従うこととし、F値及びn値を

設定した。解析対象はアルミニウムを想定しておりF値を130MPa、及びn値を0.29としている。要素分割については、全要素数を60000と設定した。工具とブランクとの間の摩擦条件にはクーロン摩擦の仮定を適用し、摩擦係数を0.02としている。計算ステップ条件は、全ステップを100ステップとし、1ステップ当たりパンチが0.1mm降下するように設定した。パンチの全ストロークは10mmである。シミュレーションに必要な工具モデルの作成には、パンチ、及びダイともにプリプロセッサの簡易形状作成機能を用いた。パンチ形状については直径が18mmで肩半径を5mmとし、ダイの形状については内径が19mmで肩半径2mmとした。ブランクの有効な絞り直径を29mmとした。有効絞り直径とパンチ直径から得られる絞り比は1.62である。工具とブランクのモデル化に際しては、それぞれ工具を剛体とし、ブランクを剛塑性体とした。

順送金型用の帯板ブランクのスリットは、実際にはせん断加工によって成形される。材料に穴あけを施して溝を作るのではなく、せん断加工により、単に切れ目を設けるのみであるため、実際のスリットは図4(a)に示すような隙間のない分離面になっている。けれども、剛塑性有限要素法ソフトウェア DEFORM によって解析を行う際に、隙間がない条件では変形体の表面を認識することができないため、シミュレーションの3次元モデルでは、スリットを図4(b)に示すような幅が0.05mmの狭い溝を隙間のない分離面と近似的にみなすこととした。

表5 シミュレーション条件

素材	材料特性	加工硬化材料 F値 130MPa n値 0.29
	板厚	0.5mm
	有効絞り直径	29mm
	スリット幅	0.05mm
要素	4節点ソリッド要素 要素数 60000	
摩擦の仮定	クーロン摩擦の仮定 $\mu = 0.02$	
計算条件	ステップの増分	0.1 mm /step
	全ステップ数	100
	全ストローク	10mm
パンチ条件	直径 18, パンチ肩半径 R5	
ダイ条件	直径 19, ダイ肩半径 R2	
絞り比	1.62	

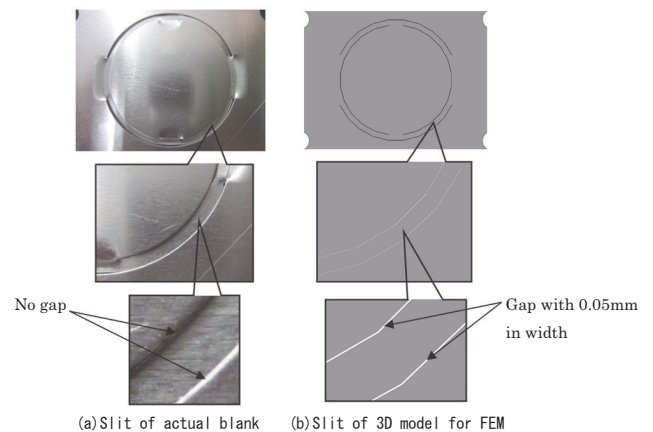


図4 スリットのモデル化方法

3. 結果と考察

3.1 成形性を評価する部位の検討

図5は解析結果の一例であり、ダブルランススリット(2対)の $\theta_1 = 39^\circ$ 、 $\theta_2 = 20^\circ$ のスリット条件について、相当ひずみをコンタ図に示したものである。これまでの研究結果と同様に⁽¹⁾、相当ひずみはダイ肩部に集中している。したがって、ダイ肩部の相当ひずみを定量的に評価する方法とし図6のようにダイ肩部の相当ひずみを、円周方向に沿って抽出することとした。抽出方法として、ブランク下面からz方向に-2mmの位置で、円周方向に1000点の値を採取し、これらの平均値と標準偏差を評価の対象とした。

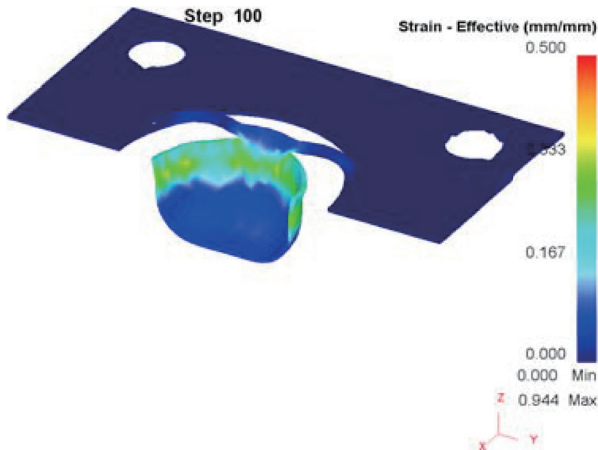


図5 解析結果の一例

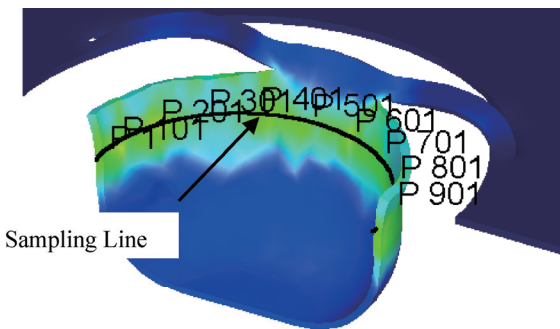
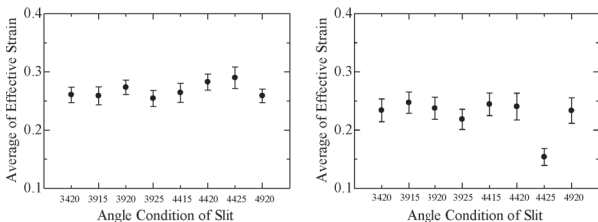


図6 相当ひずみのサンプリングポイント

3.2 スリット形状が成形性に及ぼす影響

図7はダブルランススリットについてスリットの角度条件がダイ肩部の相当ひずみに及ぼす影響を示した図である。縦軸に相当ひずみの平均と標準偏差、横軸にスリットの条件番号を示している。条件番号は角度条件を表しており、例えば「 $\theta_1 = 39^\circ$ 及び $\theta_2 = 20^\circ$ 」の角度条件であれば、「3920」と



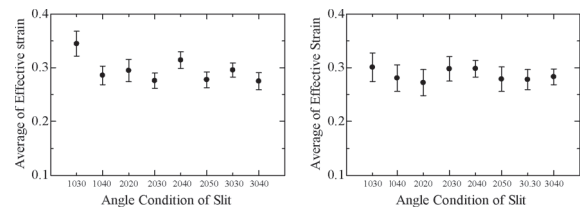
1) ダブルランススリット(2対) 2) ダブルランススリット(4対)

図7 ダブルランススリットの相当ひずみの平均

表わされている。相当ひずみの平均値は角度条件により多少の差異はあるものの、2対の場合は概ね0.27付近に分布しており、4対の場合は0.23付近に分布している。この結果から、この二つのスリットタイプを比較するとダブルランススリット(4対)の方が優れている結果が得られた。

また、同一の角度条件同士を比較すると、角度条件にかかわらずダブルランススリット(4対)の平均値の方が(2対)より低いという特徴がある。一方、標準偏差については角度条件にかかわらずダブルランススリット(2対)の方が小さいという特徴がみられた。ただし、ダブルランススリット(4対)では、例外的に角度条件「4425」の場合のみ平均値、及び標準偏差ともに小さい結果が得られた。

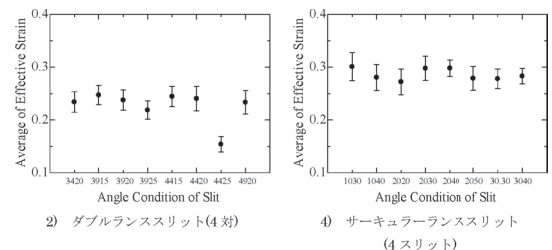
図8はサーキュラーランススリットについて、スリットの角度条件がダイ肩部の相当ひずみに及ぼす影響を示した図であり、3)2スリットと4)4スリットの場合を比較して示している。2スリットの場合の相当ひずみは0.30付近に分布しており、4スリットの場合の相当ひずみは0.29付近に分布している。すなわち、サーキュラーランスタイプのスリットでは、4スリットの方が相当ひずみの平均値が小さくなるという結果が得られた。



1) サーキュラーランススリット (2スリット) 2) サーキュラーランススリット (4スリット)

図8 サーキュラーランススリットの相当ひずみの平均

図9は図7と図8の各スリットタイプで良い結果が得られたダブルランススリット(4対)とサーキュラーランススリット(4スリット)を比較したものである。角度条件にかかわらずダブルランススリット(4対)の相当ひずみの平均値の方がサーキュラーランススリット(4スリット)の場合より小さい結果になっている。これは、サーキュラーランススリットの場合には回転しながら成形されるのに対して、ダブルランススリットでは成形中に回転を伴わないためであると考えられる。

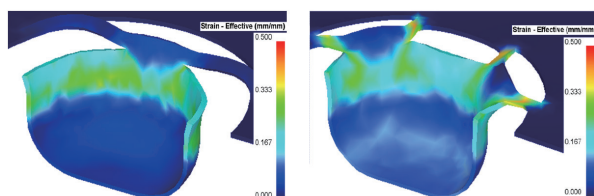


2) ダブルランススリット(4対) 4) サーキュラーランススリット (4スリット)

図9 ダブルランススリットとサーキュラーランススリットの比較

次に、ダブルランススリットの2対と4対の各条件について、相当ひずみ分布の観点から考察する。図10はダブルランススリット(2対)とダブルランススリット(4対)の相当

ひずみ分布の一例を示している。両者を比較するとコンタ図の淡色部割合の多いことからダイ肩部の相当ひずみはダブルランススリット(4対)の方が低い。これは4対の方がカップと帯板をつなぐ接続部が多いためであると考えられる。標準偏差についてはダブルランススリット(4対)の方が大きい。この理由は接続部の長さが短く鋭角形状になっているためであると考えられる。接続部の鋭角部付近に相当ひずみが集中したものと考えられる。



1) ダブルランススリット (2対) 2) ダブルランススリット (4対)

図 10 ダブルランススリットの相当ひずみ分布の一例

4. 結言

本研究では、深絞り加工を伴う順送金型用帯板に必要なスリット形状について、この適切な設計手法の開発を目的として、ブランクのスリット形状が成形性に及ぼす影響を剛塑性有限要素法のシミュレーションにより検討した。検討に際してはブランクの相当ひずみに着目し、ダイ肩部における相当ひずみの平均値、及び相当ひずみ分布を評価した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 角度条件がブランクのダイ肩部の相当ひずみの平均値、及び標準偏差の評価尺度に及ぼす影響を比較したところ、4つのスリットタイプのうち最も良いスリットタイプは、ダブルランススリット(4対)であるという結果が得られた。また、特に角度条件 4425 の場合において相当ひずみの平均、標準偏差ともに優れた値が得られた。
- (2) 二つのダブルランススリットタイプ共通の結果として、カップと帯板をつなぐ接続部付近に相当ひずみが集中していることが確認された。特に接続部の長さが短く鋭角な形状が顕著な部位では相当ひずみが集中することが確認された。

謝 辞

本研究は天田金属加工機械技術振興財団（現公益財団法人天田財団）平成 19 年度一般研究開発助成の御支援の下に遂行されました。本研究の遂行にあたり、多大なご支援を賜わりました公益財団法人天田財団様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 加藤浩三, 「順送金型における深絞り用スリット形状の適切化」, 財団法人天田金属加工機械技術振興財団研究概要報告書 (23), (2011), pp. 60-pp. 64.
- (2) 山口文雄, 「プレス順送金型の設計」, 日刊工業 (2006), pp. 123.