ノート

温間再絞り成形シミュレーションに関する研究

片山　聡[*]　相田　収平[**]　杉井　伸吾[***]　田村　信[***]

A Study on Warm Redrawing Simulation

KATAYAMA Satoshi[*], AIDA Shuhei[**], SUGII Shingo[***]and TAMURA Makoto[***]

1. 緒　　言

角筒絞りの工程設計については，すべり線場理論の有効性が報告されている[1)]。しかし，すべり線場理論では成形の可否や板厚変化，加工硬化などが考慮されず，温間絞り成形のように成形条件が多岐にわたる場合，最終的な工程設計には幾度かの試作，実験が必要となる。

一方，温間絞り成形については，シミュレーション技術の有効性が報告されているが[2)~4)]，これらは実験的研究としての意味合いが強く，再絞りなどの多段成形については言及されていない。また初期工程設計は作業者の経験によるところが大きく，自動化・迅速化への障壁となっている。

本研究では両者の利点（すべり線場理論の持つ迅速な初期工程設計，シミュレーション技術の持つ成形予測）を融合させた工程設計手法の有効性を検討するため，角筒温間再絞り成形実験および有限要素法による同解析を実施した。

2. 角筒温間再絞り成形解析

2.1 使用ソフトウェア

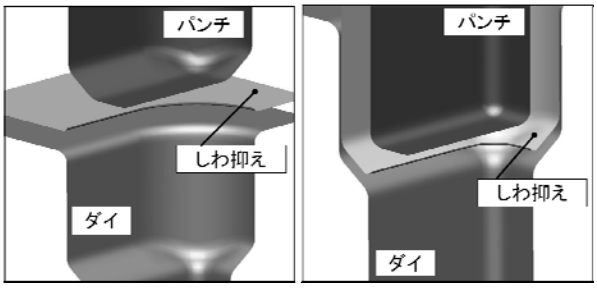
角筒温間再絞り成形解析には，伝熱－構造連成解析機能（Hot Stamp 機能）を有す ESI 社製 PAM-STAMP 2G 2007 を用いた。ただし，本ソフトウェアの Hot Stamp 機能には表 1 に示すような制限事項が存在する。

表 1　Hot Stamp 機能の主な制限事項

材料特性	ヤング率の温度依存性なし 熱ひずみの考慮なし 降伏関数は Hill'48，Hill'90 のみ
伝熱解析	大気中への熱伝達なし 板厚方向への温度分布は一定

2.2 有限要素モデル

金型およびブランクの有限要素モデルは，すべり線場理論を用いて設計された 3 次元 CAD モデルより，PAM-STAMP のオートメッシング機能を用いて作成した。分割密度は平面部が 2mm 間隔，曲面部が 15°間隔である。図 1 に金型の有限要素モデルを示す。なお，工程間の金型再配置を容易にするため，ダイスは側壁を有す第 1 および第 2 工程共通の一体構造とした。また，金型については変形および温度変化のない剛体として定義し，ダイスは全自由度を拘束，パンチおよびしわ抑えは絞り方向並進自由度以外を拘束した。



(a) 第 1 工程　　(b) 第 2 工程

図 1　金型の有限要素モデル

*　中越技術支援センター
**　下越技術支援センター
***　研究開発センター

2.3　材料モデル

ブランクに適用した SUS304 の主な機械特性および熱特性を表 2 に示す。降伏関数は Hill'48 型を使用した。降伏後の塑性挙動は，万能材料試験機による引張試験にて得られた各温度の応力ーひずみ曲線（図 2）より，プロット点を直接入力した。

表 2　SUS304 の特性値

ヤング率 (GPa)	190
ポアソン比	0.3
質量密度 (kg/m^3)	7850
熱伝導率 (W/m･K)	16.7
比熱 (J/kg･K)	590

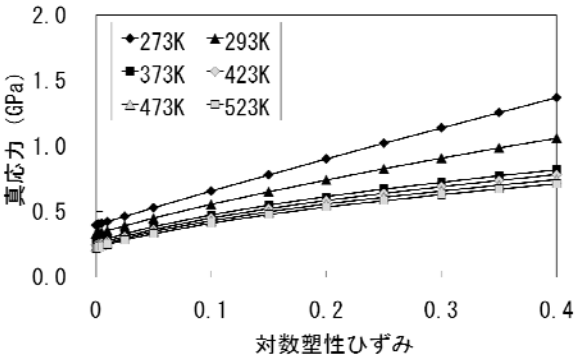


図 2　SUS304 の応力ーひずみ曲線

2.4　計算条件

金型に付与した主な境界条件を表 3 に示す。PAM-STAMP では，剛体（金型）のエンタルピは計算されず，常に初期温度を保つよう設定される。接触熱伝達係数は非接触状態では距離関数による熱伝達として，接触状態では圧力関数による熱伝導として取り扱われるが，本計算では距離関数のみに依存するよう設定した。

また，工程間におけるブランクの応力解放および冷却については考慮せず，第 1 工程終了時の接触および温度状態を保ったまま，第 2 工程へと移行するよう設定した。

3.　角筒温間再絞り成形実験

成形実験条件を表 4 に示す。計算結果との比較のため，成形品の板厚をボールジョイントマイクロメータおよびダイヤルキャリパーを用いて測定した。

表 3　金型に付与した主な境界条件

摩擦係数		0.1
しわ抑え制御		定隙間
絞り速度		10 mm/sec
金型温度	加熱側	373 K
	冷却側	275 K
ブランク初期温度		293 K
接触熱伝達係数		1500 W/m^2･K

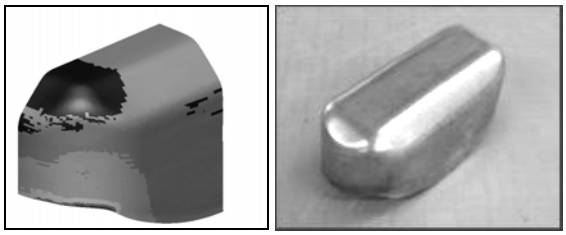
表 4　成形実験条件

潤滑		油性潤滑材 G755B
しわ抑え制御		定隙間
絞り速度		10 mm/sec
金型温度	加熱側	373 ±4K
	冷却側	276 ±1K

4.　計算および実験結果

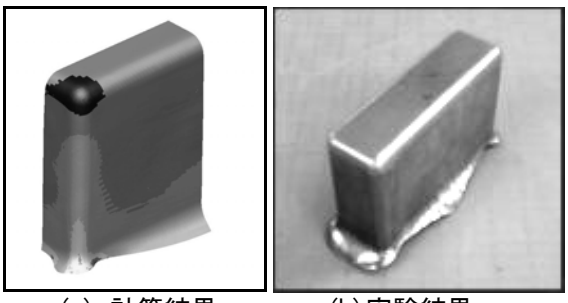
4.1　板厚分布比較

第 1 工程終了後の成形形状を図 3 に，第 2 工程修了後の成形形状を図 4 に示す。外観的な特徴は両工程とも実験，計算とも一致していることが分かる。



(a) 計算結果　　(b) 実験結果

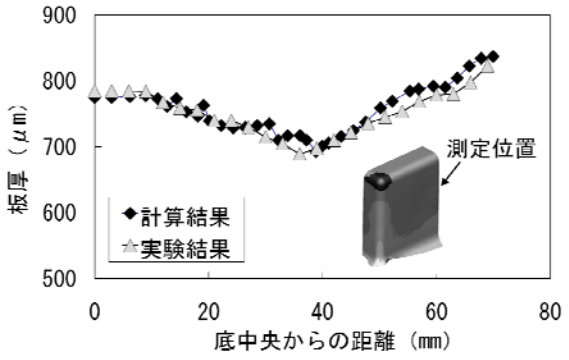
図 3　第 1 工程終了後の成形形状



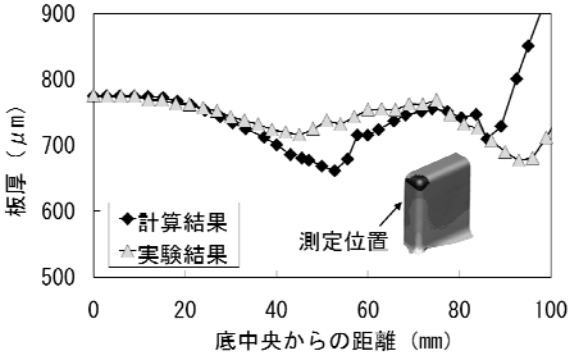
(a) 計算結果　　(b) 実験結果

図 4　第 2 工程終了後の成形形状

第 2 工程終了後の板厚分布比較を図 5 に示す。短辺フランジ近傍にて値が離れるが，全体的な傾向としては一致しているといえる。特に長辺側では傾向，値ともよく一致している。



(a) 長辺中央



(b) 短辺中央

図 5　第 2 工程終了後の板厚分布

4.2　成形可否判断

4.1 のとおり，すべり線場理論を初期工程設計に用いた温間絞り成形解析は，実験結果とよく一致した。ただし，成形条件によっては図 6 に示すような成形不良が発生することが，実験，解析とも確認された。破断個所については実験と解析にてよく一致しており，成形可否判断および成形条件の最適化にシミュレーション技術が有効であるといえる。

5.　結　　言

（1）すべり線場理論が温間絞り成形においても有効であり，初期工程設計の迅速化に大きく寄与することを示した。

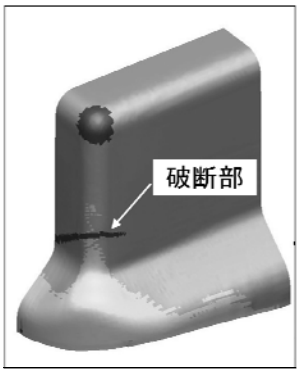


図 6　第 2 工程における破断形態

（2）すべり線場理論にシミュレーション技術による成形可否検証を加えることで，より迅速かつ実用的な工程設計手法となり得ることを示した。

なお，本研究は平成 20 年度戦略的基盤技術高度化事業の成果の一部であり，経済産業省の委託を受けて実施したものであることを付記する。

参考文献

1）桑原利彦ほか，“四角筒容器多段絞り金型の自動設計”，塑性と加工，30，337，1989，p227-233.

2）下村修ほか，“有限要素法を用いたマグネシウム合金板の温間深絞りにおける温度条件の検討”，第 55 回塑性加工連合講演会資料，121，2004，p121-122.

3）宅田裕彦ほか，“AZ31 マグネシウム合金板の温間深絞り加工の有限要素解析”，塑性と加工，47，541，2006，p41-45.

4）永倉寛巳，“プレス成形シミュレーション技術を駆使した高効率プレス成形技術の開発”，佐賀県工業技術センター研究報告書，2008，p17-21.