ノート

プレスシミュレーションにおける材料特性の逆解法に関する研究

須貝　裕之*

Reverse Analysis of Material Property for Stamping Simulation

SUGAI Hiroyuki*

1. 緒　　言

有限要素法によるプレスシミュレーションはプレス成形の試作コストと時間を低減する技術として，中小企業においても普及が進みつつある。シミュレーションを行う際に必要なデータにプレス材料の加工硬化特性がある。この特性は主要材料の一般的な値であれば解析ソフトウエアにあらかじめ登録されているが，実際には同じ規格の材料でも組成や加工履歴等によって特性が異なる。したがって個々に特性を調べる方が解析精度も向上するが，材料試験機を持たない企業では容易でない。そこで既存のプレス成形の結果から加工硬化特性を逆算できれば，企業でもプレスシミュレーションの精度を向上させることができ，シミュレーションを導入しやすくなる。

本研究ではプレス成形結果とプレスシミュレーションより材料の加工硬化特性を推定する手法について基礎的検討を行った。ここでは成形時に得られるパンチ荷重やフランジ直径などの成形結果のうち加工硬化特性の変化に対して大きな影響をうける，すなわち加工硬化特性を逆算しやすい成形結果について調べた。

2. 加工硬化特性を得るための引張試験

実際の材料の加工硬化特性を調べるため，アルミニウム圧延材の引張試験を行った。材料は純アルミニウムA1052-Oで板厚は0.8mm。試験片の形状はJIS Z2201の13B号とした。試験片を圧延方向に対して平行と直角の2方向からそれぞれ切り出し，材料特性の異方性についても調べた。試験速度は5 mm/minとした。試験結果を図1にしめす。

圧延方向の違いにより加工硬化特性に違いは見られるが，その差は2.5～5%程度とわずかであった。そこで今後行うシミュレーションでは，これらの試験結果の中間的な特性となるよう加工硬化特性近似式の各係数を決めた（表1）。

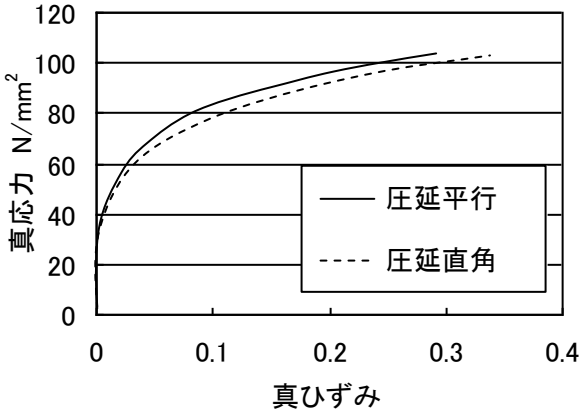

図1　材料試験結果

3. シミュレーションの解析設定が計算時間と精度に結果に与える影響

今回の解析には動的陽解法有限要素法ソフトウエア LS-DYNA ver.970 を使用した。このソフトウエアでは動的陽解法に特有の解析設定項目があり，その設定が解析時間や解析精度に大きな影響を及ぼすことが経験的にわかっている。最初にこの影響について確認するため前項で行った引張試験を再現した解析モデルを作成し，各種設定と計算精度・解析時間の関係を調べた。

*　中越技術支援センター

図 2 に解析モデル，表 2 に今回調べた解析パラメータの種類とそれによる解析時間・解析精度の結果をしめす。ここでは特に設定を行わない場合の解析結果（標準解析モデル）を計算誤差と計算時間の基準とした。この解析モデルでは最大ひずみ量が 0.23 を越えると図 3 のような解析精度を悪化させるアワーグラスモードが発生することが確認されている。そこで「アワーグラス制御」[*1]，「マススケーリング」[*2]，「完全積分」[*3] の 3 条件で解析を行った。計算の結果「完全積分」の条件が，アワーグラスの発生を抑制し，かつ最も計算誤差が小さい結果となった。その反面，計算時間は 3 倍以上に増加してしまう。これに対して「マススケーリング」の場合，解析上の材料の質量密度を実際の 100 倍にする

*1　アワーグラスの発生を押さえる解析パラメータ
*2　材料の質量密度を大きくすることにより 1 ステップあたりの解析時間を大きくしトータルでの解析時間を短縮させる解析パラメータ
*3　要素内の積分点を増加させた解析パラメータ

表 1　加工硬化特性

近似式	$\sigma = F\varepsilon^{n}$
強化係数 F	145
加工硬化指数 n	0.27

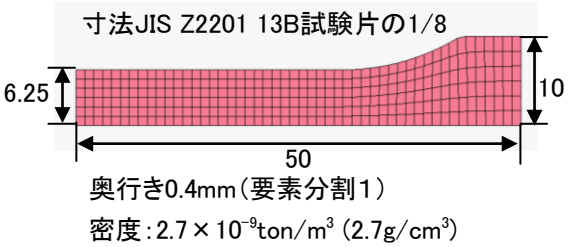

図 2　材料試験解析モデル

と，計算時間は 1/10 に短縮される。また計算誤差も-5%と完全積分には及ばないものの大きな差ではない。以上の結果より，本研究では解析の迅速性を優先するため，マススケーリングを適用して円筒深絞りシミュレーションを行うこととした。

4.　加工硬化特性近似式の係数が深絞り加工結果に与える影響

実際の深絞り試験から得ることが容易なデーターには，加工中のパンチ荷重，加工前にブランク表面に描いたスクライブドサークル[1)]を測定することにより得られる成型品のひずみ量，そして加工終了後の成型品フランジ部の直径が考えられる。ここではどの結果が加工硬化特性の逆算に有効かを検討するため，円筒深絞りシミュレーションにおいて表1にしめす2つの係数FとnをそれぞれΔ10%変化させ，この変化が上記3つの結果に及ぼす影響について調べた。

表2　解析パラメータの種類

	標準解析モデル	ｱﾜｰｸﾞﾗｽ制御	ﾏｽｽｹｰﾘﾝｸﾞ	完全積分
ｱﾜｰｸﾞﾗｽ制御	×	○	×	×
ﾏｽｽｹｰﾘﾝｸﾞ	×	×	○	×
完全積分	×	×	×	○
計算誤差	0%	−8%	−5%	−2%
ｱﾜｰｸﾞﾗｽ発生	△[*4]	なし	なし	なし
計算時間	20min	16min	2min	71min

*4　ひずみ量0.23付近からアワーグラス発生

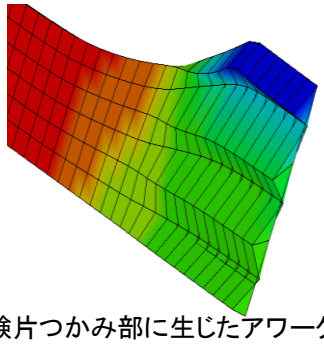

図 3　試験片つかみ部に生じたアワーグラスモード

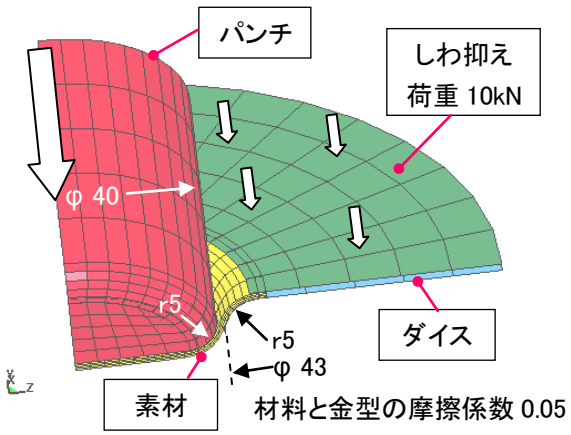

図 4　円筒深絞り解析モデル

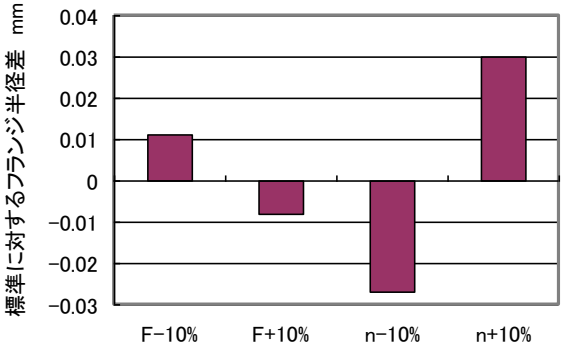

図 5　標準条件に対するフランジ半径差
（パンチストローク 10㎜）

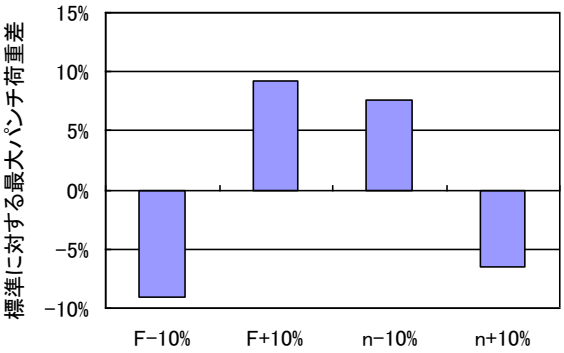

図 7　標準条件に対する最大パンチ荷重の差

図4に解析モデルをしめす。実在する円筒深絞り金型と同じ寸法とし，金型はシェル要素，材料はソリッド要素とした。今回の解析では材料の異方性は考慮しないので，形状の対称性より4分の1の部分のみをモデル化した。要素数は944，節点数は1385である。最初に表1の加工硬化特性の係数F，nを変化させない条件（標準条件）で計算を行い、次に係数F，nを変化させて計算を行って標準条件との差を調べた。図5～7に成形終了後のフランジ半径，成型品表面のひずみ量，パンチ荷重それぞれの標準条件に対する差をしめす。係数F，nが±10%変化するのに対して，フランジ直径と成型品表面のひずみ量の変化はそれぞれ±30μm，-0.6～+1.4%とわずかで実際に測定するのは困難である。一方パンチ荷重は±9%，荷重にして±420Nとなり，ロードセル等を用いれば実用的に検出可能であるという計算結果が得られた。今回の結果を実際に適用する場合以下の手順となる。

まず既存の金型でプレス成形を行いパンチ荷重をロードセルで測定する。次にプレスシミュレーションにて実測したパンチ荷重と同じパンチ荷重が得られるまで係数Fとnの値を変化させる。これにより材料試験を行うことなく，材料の加工硬化特性を得ることができる。得られた値を使って異なる金型形状での高精度なプレスシミュレーションが可能となる。

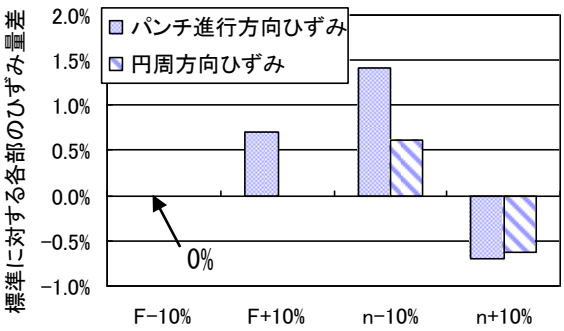

図 6　標準条件に対するひずみ量の差

5.　結　　言

加工硬化特性近似式の係数の変化がプレス成形結果に与える影響をシミュレーションにより調べた結果，以下の結論を得た。

(1) 実際のプレス成形のデータをもとに材料の加工硬化特性を推定する場合，成形中のパンチ荷重を利用するのが有効である。

(2) 動的陽解法有限要素法の解析設定項目を変化させる場合，マススケーリングを適用することにより計算精度の低下を-5%程度に留め，かつ計算時間を1/10に短縮することができる。

参考文献

1)中村和彦他,"ﾌﾟﾚｽ絞り加工",日刊工業新聞社,p5.