

正 商 健 (岐阜大) 正 後藤 学 (岐阜大) 正 山下 実 (岐阜大)
Jian SHANG (Gifu University) Manabu GOTOH(Gifu University) Minoru YAMASITA(Gifu University)

Key words: dynamic explicit FEM, simulation, square cup, shell elements, solid elements

1. 緒言

板材の塑性成形法としては、深絞り加工などが一般的に広く使われている。ここ数年間の数値シミュレーション技術の進歩により、実生産に先立って数値シミュレーションによる成形性についての検討が着実に成果を上げている¹⁾。その中に、円筒深絞りについての報告が多数を占める。しかし、自動車部品、生活用品などの実部品は複雑でコーナ部を有する多角形状が多く、さらにより高精度な成形不良予測とともに、最適成形条件を求めるための数値シミュレーションが望まれている。本報文では、角筒深絞り成形性に大きな影響を及ぼす諸因子の中の板厚、ブランク形状などに注目し、検討した²⁾。さらに、コスト低減、材料の有効利用の考えから、コーナ部の耳形状をコントロールするためのコーナカットの効果を調べた。さまざまな成形解析法の中、動的陽解法は衝突と衝撃問題に対して慣性力の影響を十分低減できる成形速度での計算が可能となり、計算結果は十分信頼されるようになってきている³⁾。そこで、動的陽解法を用い、要素の選択(シェル要素かソリッド要素か)の解析結果への影響も考察した。

2. FEM 解析モデルと計算条件

動的陽解法汎用プログラム DYN3D の public domain version を用いて FEM 解析をした。Fig.1 に示す数値計算モデルを用いた(対称性を考え、1/4 領域を解析対象とした)。ポンチの寸法は 15mm*15mm*45mm であり、肩部半径 $r_p=5\text{mm}$ である。ポンチ速度は 10m/s と設定した。用いた素板(軟鋼板相当)の機械的特性及び計算条件は Table1 のとおりである。その中でしわ押さえ圧力 2Mpa は最も耳の形状がよかったものに対する値であり、更に 1, 4, 7, 10Mpa についてもシミュレーションを行った。素板の板厚は 1mm, 2mm, 3mm とした。ダイスの板厚によってポンチとのクリアランス r_1 、肩部半径 r_d の変化は Table2 に示した。素板は円形板、正方形板及び正方形にコーナカットを施した形状の板を用いた。なお、解析対象の素板は 8 節点ソリッド要素または 4 節点の Hughes-Liu シェル要素で分割した。

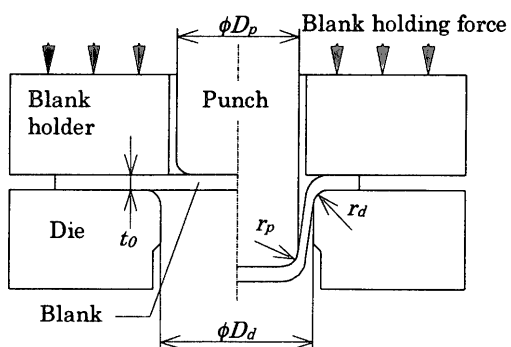


Fig.1 Numerical model for square cup drawing

Table1 Mechanical properties of sheet metal

Density	$\rho=7820$ [kg/m ³]
Young's modulus	$E=210$ [GPa]
Poisson's ratio	$\nu=0.29$
Plastic property	$\sigma=400\epsilon^{0.15}$ [MPa] (n -th power strain hardening property.)
Punch speed	10 [m/s]
Blank holding pressure	2 [MPa]
Static frictional coefficient	0.06
Dynamic frictional coefficient	0.04

Table2 Clearance and shoulder radius of die

Sheet thickness [mm]	r_1 [mm]	r_d [mm]
1	6.5	5
2	8	7
3	9.5	9

3. 計算結果及び考察

3. 1 素板の形状の影響

(1)円形板の角筒深絞り

まず、円形板については、板厚 1mm, 2mm, 3mm の円形板をそれぞれソリッド要素とシェル要素でシミュレーションした。本報で採用した工具寸法では、素板の半径は大きくなるとフランジの変形抵抗が大きくなり、側壁部で苛重が負担しきれず、成形の不具合が生じることから、半径 39mm が深絞り限界であると判明した。いずれの板厚の素板における、最終板厚ひずみはポンチ肩付近で最大値が現れるが、その値には板厚による変化があまり見られず、同じ変化傾向を示す。

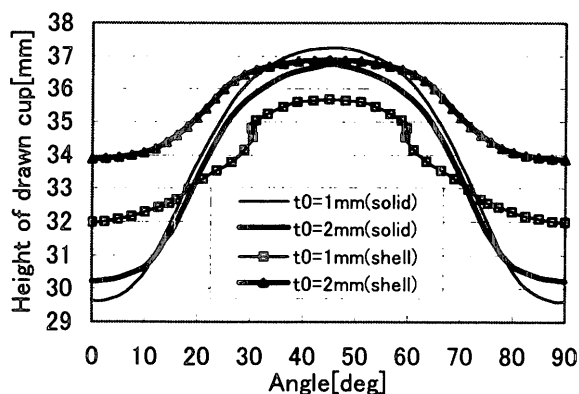


Fig.2 Height of drawn cup from a circular plate by solid elements and shell elements

Fig.2に、要素の選択及び板厚が、成形後の耳形状へどのように影響するかを、外形形状で示したものである。これにより、ソリッド要素を用いる場合、板厚が増すに従い、縁の高さが若干異なっているが、それほど差はないことが明らかになった。一方、シェル要素の場合は、前者の結果との差がはっきり見られ、耳が浅いし、板厚の影響もある。円形板からの角筒深絞り成形において、どんな要素を選んでも、成形後のカップ高さは、第一に素板半径が影響し、次に板厚が効いてくる。それぞれ値が大きければカップは深くなる。なお、円形素板はしごきが強く、ポンチ力は一度降下した後再度上昇する。

(2) 正方形板の角筒深絞り

正方形板の解析も板厚 1mm, 2mm, 3mm について行った。Fig.3 にソリッド要素による 1mm 正方形板、円形板及び後述のコーナカット板成形後の耳の形状を示す。Fig.4 は同じ条件下でのシェル要素の結果を示す。円形とコーナカット素板では、シェル要素解析で耳が小さく出るが、正方形素板ではシェルとソリッド要素解析で耳形状に大差ないことがわかる。耳部は成形後トリミングされるが、これらの結果からだけでは材料節約に関して何も言えない。

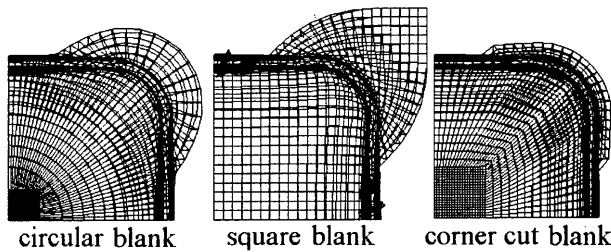


Fig.3 Ear patterns for different shape blank by solid elements

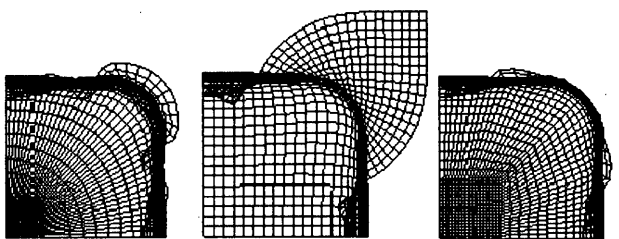


Fig.4 Ear patterns for different shape blank by shell elements

(3) コーナカット形状素板の角筒深絞り

正方形板を基準として、耳のない角筒にどれだけ近づけることができるかを考える。Fig.5 のようにコーナカット形状を定義する。点 A1 (x1, y1) と A2 (x2, y2) の位置を変化させることで、コーナカットの量を定める。本報では、x1=y2 を設定した。

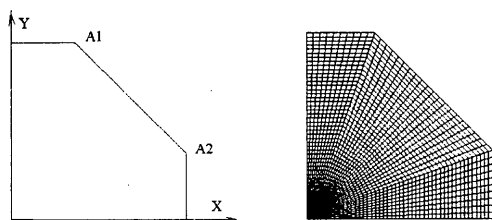


Fig.5 Definition of corner cut blank and initial mesh pattern

Fig.6 は辺長 36mm, 板厚 1mm の正方形の板における x1 を変化させた時の耳の形状についてのソリッド要素及び

シェル要素から得た結果を表す。凡例の中の数字は x1 の値を示す。これらにより、どの板厚においても x1 の値が小さい(すなわちカット量が多い)場合、45 度方向のカップ高さは一番低くなっている。それで製品としてのカップ高さは低い。これを避けるために、角度 0 度方向を最小高さとして想定すればよい。こう考えると正方形の板に対して、60% 以下のカット量であれば 0 度方向は高さが最小となる。今回のポンチ寸法におけるコーナカット量は初期辺長の 60% 前後が最適である。したがって、正八角形がコーナカットでは最適形状に近いという結果が得られた。シェル要素による結果はカット量が大きくなるにつれて、ソリッドとの差が大きくなる。特に x1=10mm の場合、45 度方向とは反対の傾向が見られた。

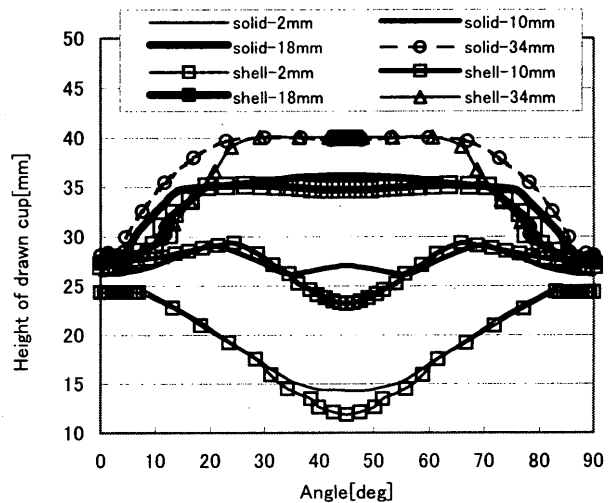


Fig.6 Height of drawn cup for corner cut shaped

4. 結言

- 1) 角筒絞りでは、コーナ半径やブランクコーナの形状の成形限界に与える影響が大きく、この部分はフランジ部の耳形状に強く影響する。本報では、コーナカットの有無による耳形状の違いを示した。コーナカットの限界については、本報では正方形板から絞る場合、最適なコーナカット量は正八角形になるカットであることがわかった。ちなみに、その時板厚 1mm と 2mm の場合 0 度方向と 45 度方向で共に、しわ押さえ圧力を大きくしていくに連れてカップが深くなる(耳が高い)。一方、板厚 3mm の場合、面内に折りたたみ座屈が生じやすいため、しわ押さえ圧力は薄板より強くしなければならない、という結果になった。
- 2) 計算コストや解の安定性の考慮から、計算に用いる要素の精度、時間に及ぼす影響は大きい。薄板の解析においては、シェル要素の方がソリッド要素より効率よくシミュレーションできる。一方、厚板に対しては板厚方向の状態変化を評価し難くなるため、ソリッド要素が優先して選択される。本解析例では、板厚 1mm までならシェルが有利、2,3mm ではソリッド要素を使用すべき、という結果になった。

5. 参考文献

- 1) 桑原利彦：塑性と加工, 44-511 (2002), 78.
- 2) 林央ら：薄板のプラス加工, (1977), 99-153.
- 3) 鈴木直守ら：平 12 塑加春講論, (2000), 109-110.