

FEMによる多工程円筒絞り加工シミュレーション

東京農工大学 桑原研究室 山本 昌人

1. 現在までの経過

(1) 解析上の問題解決

【問題】計算の膨大化，新しいモデルに対するソルバ上の問題

- ・ 計算時間 11 工程まで約 8 時間，20 工程まで約 14 時間(14 工程でくびれ発生したので，これは参考時間．)となる．今回は計算時間が長くなっても，ブランクから成形する計算を行った．
- ・ 新しいモデル(11 工程の容器モデル)では，PC の ABAQUS Solver では計算できなかった．原因はいまだに不明．

ABAQUS 解析上の問題は以上である．実現象により近い計算結果を得るには本報告のようにブランクから全工程を解析する方が加工硬化の影響や板厚分布の影響も考慮できるので良い．

(2) 多工程絞り解析とその比較検討

- ・ 先端部のみを深絞り加工する方法の変形挙動
- ・ 先端部の板厚分布の変化
- ・ くびれ発生機構の考察

2. 解析モデル

従来までの円板から容器を成形する多工程深絞り計算の金型モデルに，12 工程からの金型モデルを追加した．

解析条件は確認のために示すが，以前と同じ条件である．

2.1 解析条件

本研究では，静的陰解法 FEM ソフトウェア ABAQUS/ Standard Ver.5.8 を用いて軸対称多工程絞りシミュレーションを行った．直径 10mm，板厚 0.15mm の円形素板から，容器内径 0.24mm の段付深絞り容器を多工程絞り成形する．

(a) 材料特性値

本シミュレーションで用いたブランク材料 SUS304 の材料特性値を Table 1 に示す．

Table 1 Mechanical properties of used in the FEM analysis

Thickness <i>t</i> /mm	Young's modulus <i>E</i> /GPa	Poisson's ratio	<i>r</i> -value	Stress-strain curve *		
				<i>c</i> /MPa		<i>n</i>
0.15	200	0.3	1.0	1359	0.035	0.547

*Approximated using $\sigma = c(\alpha + \varepsilon^p)^n$ at $\varepsilon^p = 0 \sim 0.15$

(b) 境界条件

本シミュレーションで用いた境界条件を Table 2 に示す．軸対称問題とし，4 節点一次軸対称要素を用いた．要素数は，板厚方向に四分割し，要素形状がほぼ正方形になるように半径方向に均一に分割した．各工程における工具(パンチ，ダイ，しわ抑え板)は，剛体とした．摩擦係数は，パンチ-ブランク間で $\mu_1 = 0.5$ ，ダイ-ブランク間で $\mu_1 = 0.1$ を用いた．

Table 2 Condition of the FEM analysis for multi-stage drawing

Elements (only Blank)	Number of elements	Number of nodes	Coefficients of friction	
			Die-Blank μ_1	Punch-Blank μ_2
CAX4*	566	692	0.1	0.5

*4-node bilinear axisymmetric solid element

(c) 解析モデル

本シミュレーションで用いた各工程の金型寸法を Table 3 に示す。ブランクは、直径 $D_0=10\text{mm}$ 、初期板厚 $t_0=0.15\text{mm}$ とする。ダイ - パンチ間のクリアランスは、初期板厚 t_0 と同じ 0.15mm 一定とした。第 1 工程のみすき間 0.17mm の固定しわ抑え板を用い、以降はしわ抑え板を用いなかった。

12 工程以降は、先端部のみ深絞り加工とするので、12 工程目の押込み量 h から計算される先端体積より次工程の押込み量を決定した。この工程中の絞り率 m_n は 0.87 で一定とし、ダイ肩半径 r_d も 0.5mm 一定とした。パンチ肩半径 r_p は、パンチ直径 d_n の半分、すなわちパンチ形状は球頭となるようにした。

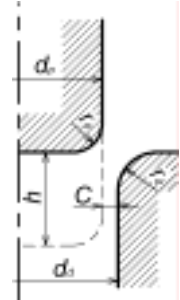


Table 3 Dimension of tools for multi-stage drawing

Unit / mm

Stage n	Punch radius r_p	Die radius r_d	Punch diameter d_n	Punch stroke h	Drawing rate m_n^*	Clearance C^{**}
1	1.0	1.0	5.50	2.50	0.55	0.15
2	0.9	0.95	4.40	2.80	0.80	0.15
3	0.8	0.90	3.60	3.10	0.82	0.15
4	0.7	0.85	3.00	3.50	0.83	0.15
5	0.6	0.80	2.60	3.80	0.87	0.15
6	0.5	0.75	2.20	4.30	0.85	0.15
7	0.5	0.70	1.90	4.90	0.86	0.15
8	0.5	0.65	1.60	5.50	0.84	0.15
9	0.5	0.60	1.40	6.00	0.88	0.15
10	0.5	0.55	1.20	7.00	0.86	0.15
11	0.3	0.50	1.00	7.50	0.83	0.15
12	0.44	0.50	0.87	2.95	0.87	0.15
13	0.38	0.50	0.76	3.25	0.87	0.15
14	0.33	0.50	0.66	3.65	0.87	0.15
15	0.29	0.50	0.57	3.95	0.87	0.15
16	0.25	0.50	0.50	4.25	0.87	0.15
17	0.22	0.50	0.43	4.55	0.87	0.15
18	0.19	0.50	0.38	4.95	0.87	0.15
19	0.16	0.50	0.33	5.35	0.87	0.15
20	0.14	0.45	0.29	5.75	0.93	0.15

$$* \text{Drawing rate } m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}$$

** Clearance between Punch and Die diameter

3. 解析結果および考察

11 工程までの深絞り成形において大きな加工硬化を受けた材料要素は、板厚分布のみならず要素の形状も局所で異なる。Fig.1 に示すように、軸対称要素の形状は側壁部では平面ひずみの変形によりパンチ押し込み方向に大きく変形し、容器底部からフランジ肩部にかけて顕著になる。これを円板からの変形量として考えると、容器端部にかけて変形量が大きくなっている事を示している。

一方、ABAQUS/ Standard の接触解析において、被加工材の要素の粗大化は、工具肩部の接触計算で実現象とのかい離をまねく。これまでの 11 工程以降の深絞り計算ができない事は、加工硬化の影響のみならず、このような影響もあると考えられる。

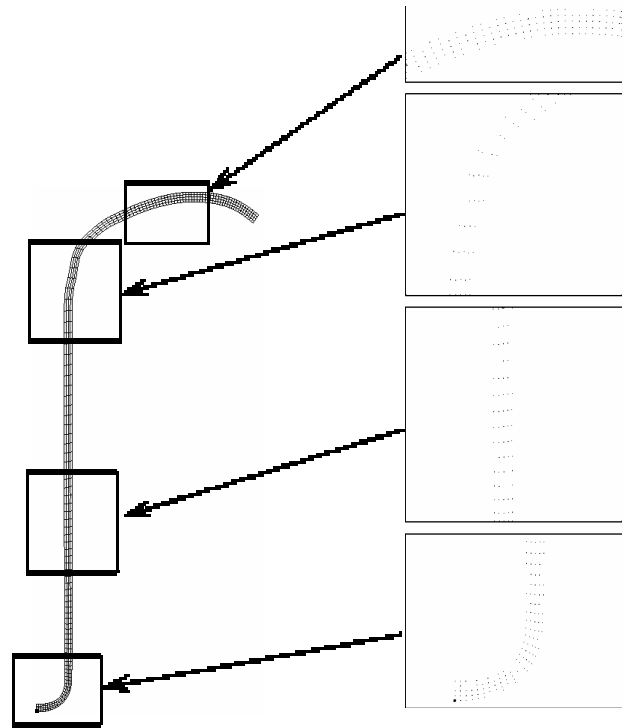


Fig.1 Deformation at 11th drawn-cup.

この 2 つの影響を鑑みて、パンチ押し込み量を減らせば、接触状態が改善できる事がわかる。これは実現象においてもいえる事で、変形量の少ない底部付近の材料のみを変形させる事で比較的容易に成形ができると考えられる。11 工程以降の変形挙動を Fig.2, Fig.3 に示す。14 工程でくびれが発生している。前述のようにある側壁部での変形が限界の変形量を超えたために、最も応力が大きい(もしくは板厚が小さい)パンチ肩部でくびれが発生したものと考えられる。これを改善するためには、絞り率をさらに大きい値を用いるかパンチストロークを少なくして変形量の少ない材料要素のみを変形させる必要がある。いずれにしても、工程数が増加する成形をしなければならない事がわかった。

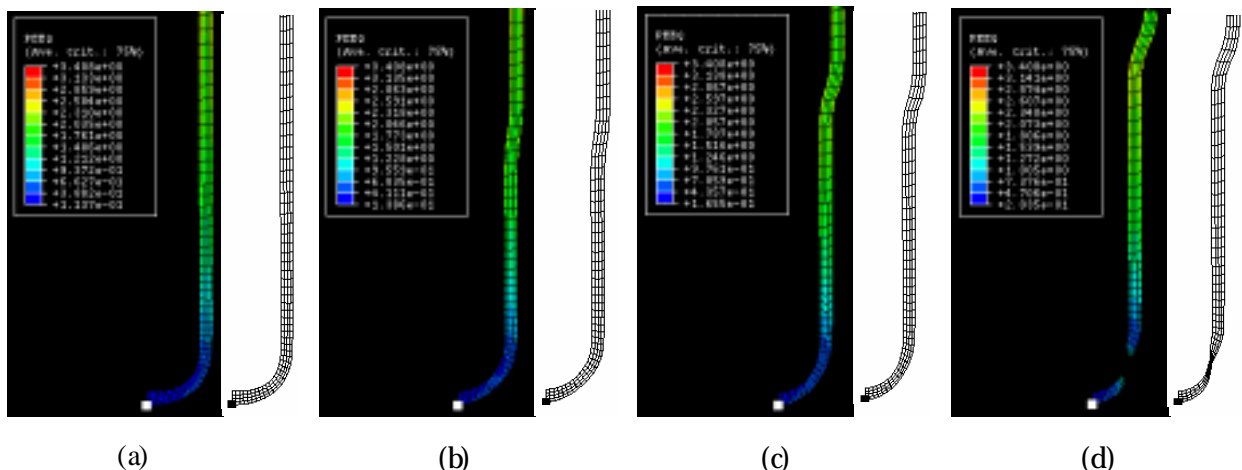


Fig.2 FEM results of necked cup (drawn cup) for each necking stage (drawing stage). (a)11th stage, (b)12th stage, (c)13th stage, and (d)14th stage. Contour of PEEQ is equivalent plastic strain, showing distribution of the strain hardening.