

# 張出し変形と深絞り変形を含む3次元複合成形に関する基礎研究

東京農工大学工学部機械システム工学科

講師 桑原 利彦

(昭和63年度奨励研究助成 AF-88029)

## 1. 研究の背景

一般の異形状容器の深絞り加工は、ポンチ頭部における2軸引張り変形、ダイス面上における絞り変形からなる、いわゆる3次元複合成形である。現在のところ、一般形状の容器の深絞り成形を解析したものとしては、Tang、仲町らによるFEM解析があるが、ダイス穴縁線に沿う容器の高さの変化が小さく、しかもフランジ部材料のダイス穴内への流入が少ない浅絞りの場合に限られていること等の制約内での解析であり、より深い異形状容器において問題となるしわ発生、破断限界深さ等については明確な予測ができるまでには至っていない。また、平松のように、自動車パネルの深絞り成形を2次元平面ひずみ問題におきかえて、破断危険部の予測に成功している例もあるが、この手法は容器の長手方向の断面形状が変化しない場合にのみ有効であって、フランジ部の変形抵抗が大きい製品については適用不能である。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまでの研究ではあまり取り上げられていない3次元複合薄板成形のモデル実験として、底部に傾斜面を有する四角錘台容器の深絞り成形を取り上げ、材料の変形挙動を詳細に検討する。またフランジ部を単純な平面ひずみ変形場で、また側壁部を板厚減少を許す平面応力場で近似し、エネルギー法を用いた破断危険部の板厚ひずみ計算法を提案する。さらに、本手法をより一般的な3次元形状容

器へ拡張する。

### 3. 研究の概要

実験に用いたポンチの寸法を図1に示す。側壁部の傾斜角度の組合せ（長辺側  $\theta_1$ 、短辺側  $\theta_2$ ）を五通りに変えて成形試験を行った。ダイスは長方形の中空穴を有し、肩部丸味半径は全周 5mm、ポンチとクリアランスは0.6mm である。供試材には 250mm×250mm×板厚 0.5mm の極低炭素Tiキルド鋼板を用いた。

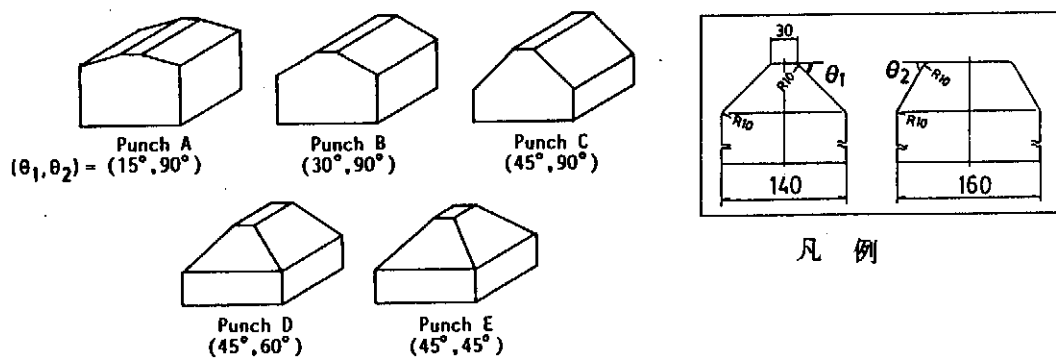


図1. ポンチ形状

図2に素板の変形解析に用いたモデルを示す。ここでは長方形素板を用いるものとする。対称性を考慮して変形前の素板の1/4の領域を考え、それを図2(a)に示すように10個の変形領域に分割する。各領域は各々単純な変形モードにもとずいて変形し、最終的に深さhの完成容器を形成すると仮定する(図2(b))。

素板の変形状態を表すパラメータは領域4の初期剛体移動量  $|a|$  (x軸に平行)、領域10の初期剛体移動量  $|b|$  (y軸に平行)、領域6の剛体移動量  $|c|$  とその移動方向  $\phi$  の4つである。これら4つのパラメータの値と容量高さhが与えられると、各変形領域の剛体移動量ならびにひずみ状態が一義的に決定され、それらの値から当該容器の成形に要する全仕事量  $Wt$  が計算される。 $Wt$  を最小にする

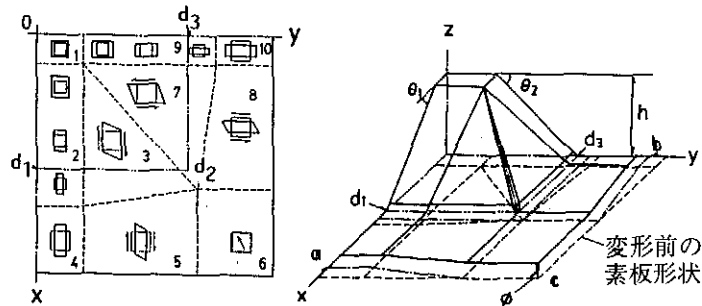


図2. 素板の変形解析法 (a) 10の変形領域と各変形領域の変形モード  $d_1, d_2, d_3$ ; ダイス穴縁線 (b) 容器成形後の素板の変形状態

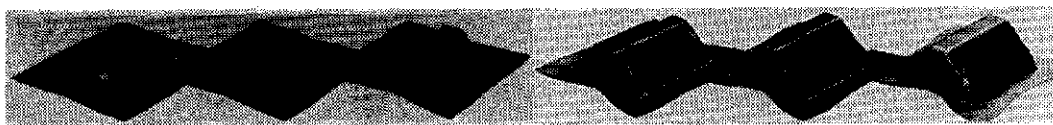
$|a|$ 、 $|b|$ 、 $|c|$ 、 $\phi$ の組合せから、素板の変形モードが決定される。 $W_t$ は次式より計算される。

$$W_t = W_{f1} + W_{SW} + W_f + W_b$$

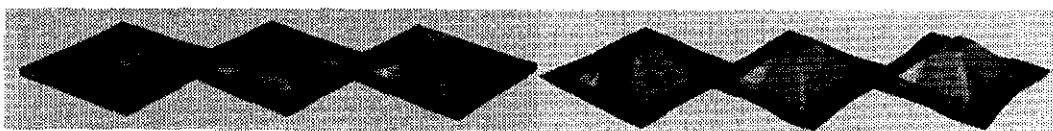
ここで、 $W_{f1}$ : フランジ部 (4+5+6+8+10) で消費される塑性仕事量、 $W_{SW}$ : 傾斜側壁部 (2+3+7+9) で消費される塑性仕事量、 $W_f$ : フランジ面上での摩擦力がなす仕事量、 $W_b$ : ダイス穴縁線 $d_1, d_2, d_3$ 上での曲げ戻し変形により消費される塑性仕事量である (計算方法の詳細については研究発表文献を参照されたい)。

以上の実験および素板の変形解析の結果より、以下の知見が得られた。

1) 本容器に生じる欠陥は、短辺側のポンチ頂部直下に生ずる破断および傾斜面に生ずるしわである。図3にポンチC、Eによる容器の成形過程を示す。ポンチC



(a) ポンチC, 限界しわ押え力=57KN



(b) ポンチE, 限界しわ押え力=100KN

図3. 容器の成形過程 左から絞り深さ $\phi = 20, 30, 40, 50, 60, 65\text{mm}$

(図3(a))では、ポンチBでは71kNであった限界しわ押え力が43kNまでしか増加できず、長辺側の斜面下端にしわが残留している。しわ押え力をさらに14kN増加したところ、 $h = 20\text{mm}$ で短辺側のポンチ頂部直下にて破断した。ポンチE(図3(b))においては、しわ押え力を100kN(本試験機最大容量)まで上げてても破断は生じなかった。 $h = 60\text{mm}$ にて材料がポンチに完全になじみ、しわは見られない。

2) 深絞り成形の難度はポンチC、D、E、B、Aの順である。ポンチE、B、Aによる成形ではしわのない良品を得ることができたが、ポンチC、Dによる成形では、しわ押え力を増加していくと、しわを除去するのに必要なしわ押え力に到達する以前に材料が破断してしまうため、しわを完全に除去することはできなかった。ただし、ビードを用いてしわ押え力の作用箇所を調節すれば良品が得られる。

3) 破断としわを予測するための手法として、全ひずみ理論的エネルギー法にもとづく素板の変形挙動解析法を考案した。計算結果は測定値にみられる容器毎のひずみ分布およびしわ発生量の差異を定性的に再現できることが確認された。

#### 4. おわりに

本解析法をより一般的な異形複合成形へ拡張するために、より一般的な解析手法を考案することが今後の課題である。本研究は天田金属加工機械技術振興財団の昭和63年度奨励研究助成により行われた。厚く御礼申し上げます。

#### 5. 発表論文

- 1) 桑原利彦・神馬 敬・松岡 功：平成元年度塑加春講論集、(1989)、371-374
- 2) Kuwabara, T., Jimma, T., & Matuoka, I., Ann. C. I. R. P., 39-1(1989)