

インクリメンタル板成形の数値シミュレーション Numerical Simulation of Incremental Forming of Sheet Metal

学〇 山田 賢治 (岐阜大工)
正 服部 敏雄 (岐阜大工)

正 山下 実 (岐阜大工)
正 西村 尚哉 (岐阜大工)

Kenji YAMADA, Minoru YAMASHIA, Toshio HATTORI, Naoya NISHIMURA, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu

Key Words : Numerical Simulation, Incremental Forming, Sheet metal

1. 緒言

専用金型を使用する従来のプレス成形法は、製品の大量生産に適している。しかし、頻りにモデルチェンジが必要な場合や多品種生産に対応する場合には、専用金型等に大きいコストが生じることやリードタイムが長くなることから、必ずしも最適な加工法ではない。

近年、製品の多品種生産の低コスト化と開発・設計期間の短縮化の厳密な両立が要求されるようになってきた。そこで、こうした要求に対応するため、金属板製品の加工法としてインクリメンタル成形法が注目され、多くの実験的研究がなされている¹⁾。この成形法においては、変形部は移動工具周辺に限られるものの、工具の移動経路に応じて、材料は複雑な応力ないしひずみ履歴を受けている。成形性に影響を及ぼす因子は、主に工具経路と被加工材の機械的特性および移動工具と被加工材間の摩擦状態である。

著者らは、こうした影響因子について、系統的に数値シミュレーションを行い、解明することを試みている。ここでは、被加工材の代表的機械的特性である加工硬化指数(n 値)が及ぼす影響に関する検討結果を示す。なお、工具経路は複雑なものではなく、成形形状は真直な丸溝形状で、移動工具を一定量押し込み板面と平行に移動させて成形するものである。

2. 計算条件

ソルバーには動的陽解 FEM コード DYNA3D(Public domain version)を使用した²⁾。移動工具(パンチ)は、半径 1mm の半球頭形状である。インクリメンタル成形に関する計算モデルを Fig.1 に示す。被加工材の板厚方向の変形も詳細に検討できるように、8 節点アイソパラメトリック要素を用いて板厚方向は 4 層に分割した。弾塑性材料を仮定し機械的特性を表 1 に示す。一方、被加工材を固定する工具は剛体を仮定し、4 節点アイソパラメトリック要素で表した。計算効率の都合上、パンチの移動速度を 20 m/s と速めに設定した。この程度の速度でも、慣性の影響はほとんど見られないことが著者の一人によって確認されている⁴⁾。成形形状は、真直の単純溝形状であり、板厚 0.25 mm、一辺 14.5 mm の正方形板に成形することを

想定した。被加工材は外周で節点の変位および回転運動が拘束されている。また、固定工具の正方形穴の対辺長さは 12.5 mm であり、板と接する丸み部半径は 1 mm とした。移動工具は、規定量板の垂直方向(同図中の z 方向)に押し込んだ後、被加工材の対称線上を板面と平行(同図中の x 方向)に移動する。なお、ここに示す計算については、工具と材料間の摩擦は無視した。

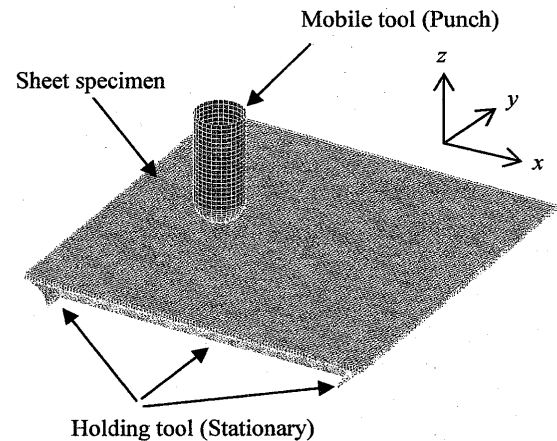


Fig1. Numerical model of incremental forming of sheet metal.

Dimensions of specimen: $14.5^w \times 14.5^d \times 0.25^t$ mm

Radius of mobile tool: 1 mm, Radius of holding tool: 1mm

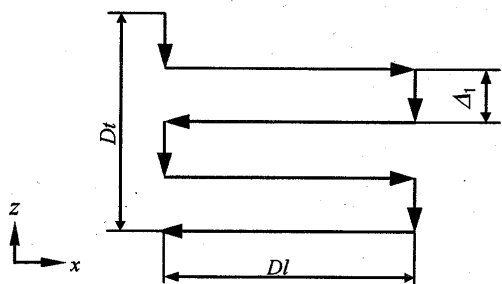
3. 計算結果および考察

成形パンチの移動経路を Fig.2 に示す。板面垂直方向のパンチ押し込みピッチは Δz 、 x 方向に移動する距離を DI 、全押し込み量を DI で示している。計算結果について、板厚ひずみ分布および成形形状を Fig.3 に示す。

板厚ひずみ分布はいずれの場合においても、パンチの押し込み位置で板厚が薄くなっていることがわかる。これは、破断の危険性がこの箇所が高いことを示唆している。板厚ひずみの最小値については、 n 値が大きくなるにつれて大きくなる傾向が見られた。これは、大きい n 値の材料ほどひずみの伝播性が顕著なため、ひずみの集中傾向が緩和されたものと考えられる。また、このことは、板厚の制御方法として積極的に活用できよう。一方、成形形状については、いずれの場合においてもほぼ同様であり、全体形状に及ぼす影響は比較的小さい。

Table 1 Mechanical properties of specimen.

Density (kg/m^3)	2700
Young's modulus (GPa)	72
Poisson's ratio	0.33
Plastic property (MPa)	$\sigma = 300\epsilon^n$
Strain hardening exponent (n -value)	0.01, 0.05, 0.10, 0.30



Indentation pitch Δl : -0.5 mm
 Total depth Dt : 2 mm
 Travel in lateral direction Dl : 6 mm

Fig.2 Punch path used in computation.

パンチの規定押し込み深さと成形品の深さの差を Fig.4 に示す。この差をパンチ押し込み深さに対して考慮してやれば、より規定された形状に近づくことになる。図の横軸は試験片端からの距離で、板面内の x 座標を示している。 n 値が小さいものほど規定した深さよりも浅く成形される傾向がある。さらに、板面に対して平行にパンチを移動させているにもかかわらず、終端(図中右端)に近づくにつれて、深く成形される傾向があることがわかる。これは、パンチ後方のすでに成形された箇所が、変形中の箇所に対して影響を及ぼすことを示している。

なお、詳細は紙面の都合上示さないが、パンチと被加工材料の摩擦係数を大きくすると、板厚ひずみ分布の均一性が向上する結果を別途得ている。インクリメンタル成形に対する被加工材の成形性評価法については、まだ提案されていない。摩擦状態の影響も現れる

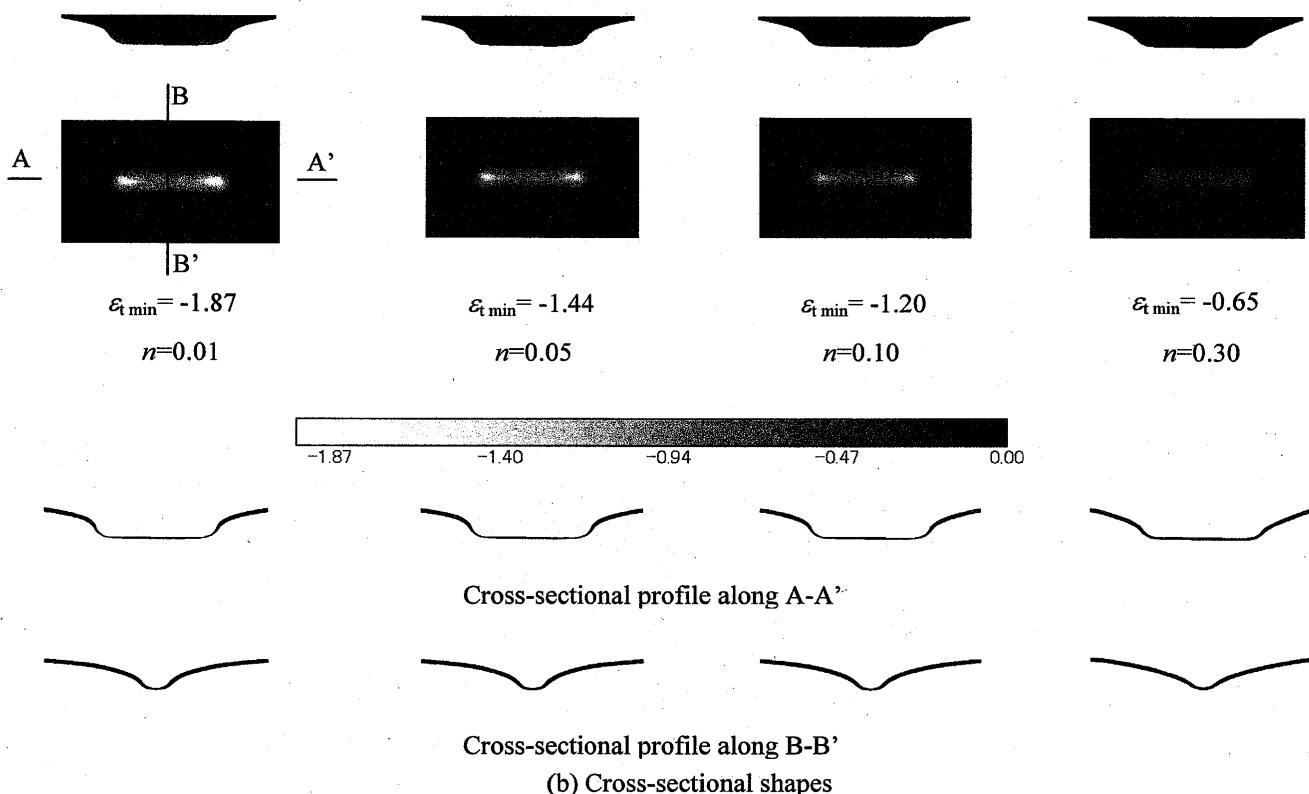


Fig.3 Thickness strain and cross-sectional shapes.

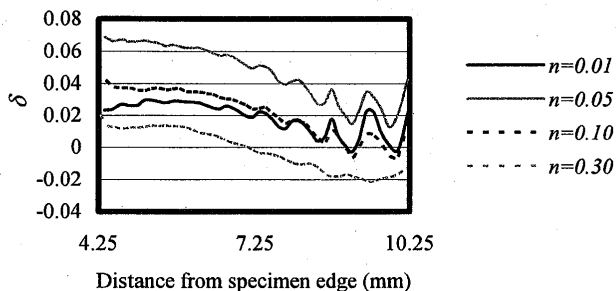


Fig.4 Difference in depth δ (Prescribed depth by tool path - depth obtained by computation).

ため、ここで採用した単純丸溝形状成形は被加工材料および工具接触面の摩擦状態を考慮できる標準試験法として活用できるものと考える。

参考文献

- 1) 井関日出男他：塑性と加工，38-438 (1997)，611.
- 2) 松原茂夫：塑性と加工，42-489 (2001)，991.
- 3) DYN3D User's manual, 1989.
- 4) 山下実他：第54回塑性加工連合講演会講演論文集,431.