

# 型材押出しの汎用解析法・I

General Simulation Method for Extrusion of Sections

星 野 倫 彦\*・木 内 学\*\*  
Michihiko HOSHINO and Manabu KIUCHI

## 1. 緒 言

押し加工の分野における主要な製品は、棒材、管材、型材に分類することができる。このうち、型材の代表的な製品としては、サッシ、建材、構造材等があるが、生産現場においては、良好な製品を得るまでの試行錯誤に労力、時間を相当費やしているのが現状であり、新たな需要に対する迅速な対応を困難としている。筆者らは、所要の製品に対して適切な加工を実現しうる工具形状・寸法の決定方法の確立および決定の資料となるデータベースの構築とをを目指して一連の研究を進めている。

既報では、異型材、アングル材の前方押しにおける被加工材の非正常変形挙動の数値シミュレーション<sup>1)2)</sup>や、ブリッジダイスによる中空材の押しの際のメタルフローの解析<sup>3)4)</sup>なども行いうる一般化した解析手法を示した。本報では、この解析手法を工具設計に運用する際の考え方を、平ダイスによるT型材の押しを例にして提案する。

## 2. 工具設計における数値解析の果たしうる役割

押し加工において良好な製品を得るためには、製品の形状・寸法精度の確保、内部欠陥の発生防止、表面性状の保全、押し荷重の低減等の要求を満足する工具の形状・寸法を求める必要がある。従来、工具設計は経験の蓄積に頼ってきたが、押し加工中の被加工材の流動状態を解析的手法により明確にすることによって、望ましい工具の形状・寸法を理論的に決定することが可能となる。すなわち、解析的手法を用いて、工具形状・寸法が被加工材の流動状態に与える影響を系統的に予見することができれば、設計者が意図する被加工材の流動状態を実現するために必要な工具の形状・寸法を知ることができる。このような考え方を図1に示す。本研究で用いている数値解析法は上界法を応用した手法であり、解析

結果として、被加工材内部の速度分布、相当ひずみ分布、相当ひずみ速度分布、塑性域の形状・寸法などを知ることができる。その結果から設計者が被加工材の流動状態を判断して、工具の形状・寸法の修正を行うことが可能であり、具体的な評価基準を与えて、工具形状・寸法の最適化を行うことも可能となる。以下の解析事例では、押し加圧力を評価基準として工具形状・寸法の最適化を行った結果を示す。

## 3. 解析方法の概要

製品の形状・寸法が決められた場合、ダイス孔に被加工材が充填して押しされると仮定すると、ダイスペアリング部の断面形状は、基本的には、製品断面形状と一致させなければならない。すると、設計者が決定できる工具形状・寸法は、平ダイスを用いる場合にはピレットに対するダイス孔位置とベアリング長さ、アプローチ付ダイスを用いる場合は、ダイス孔位置とアプローチ形状な

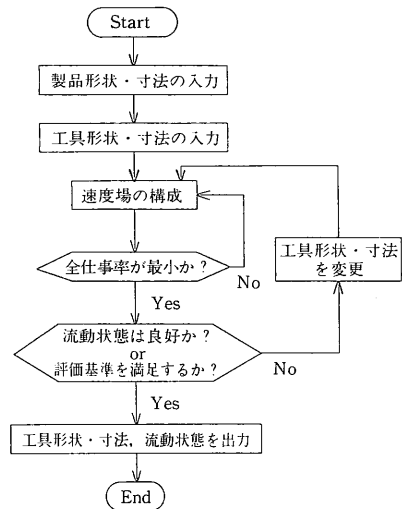


図1 解析手順

\*東京理科大学 基礎工学部 材料工学科助手(元大学院学生)

\*\*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

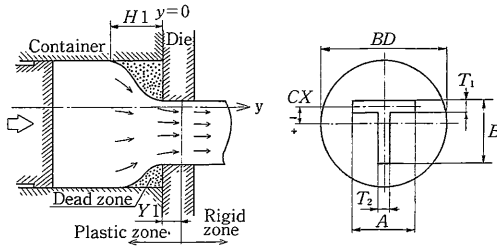


図2 T形材押出しの解析モデル

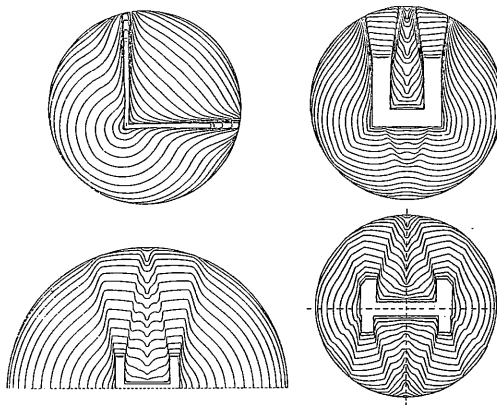


図3 解析適用例

らびにベアリング長さである。本報では解析事例として図2に示すT形材を取り上げるが、本解析手法は、図3に示すアングル材、チャンネル材、H形材、非対称H形材等にも適用できることを確認してある。図2に示した平ダイスを用いてT形材を押し出す場合は、製品寸法から決定しているA, B, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, 押し出し設備の面から規定されるピレット直径BD, 設計者が決定できるダイス孔位置CX(図2においてダイス孔位置がピレット中心より上にある場合を負, 下にある場合を正とする)が工具形状・寸法を決定する因子となる。ダイス直前のデッドゾーンの形状・寸法, ダイス孔内での塑性域の広がりを示すY1は, 数学的手法により, 押し出しに要する全仕事率を最小とする値を選択する。なお, Y1は製品を真直に押し出すのに必要なダイス長さの最小値を与えることに注意されたい。デッドゾーンの最大長さH1は, 押し出し終了時の非定常変形が始まるステム位置に対応する。デッドゾーンと塑性域との境界面は, 解析モデルを構成する際に最適化パラメータを含む形で仮定するものとするが, すでに平面モード, 直線モード<sup>2)</sup>, 正弦曲線モード<sup>2)</sup>, 指数曲線モード<sup>4)</sup>, などいくつかの基本的なモデルを構成してあるので, これらを適宜使い分けるものとする。解析対象に対してどのモデルを用いるかについては, 全仕事率

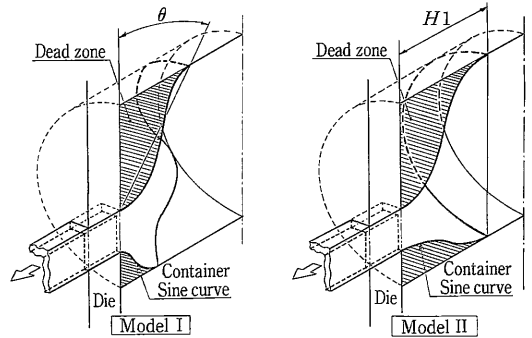


図4 デッドゾーン境界面モデル

の最小化を達成するために望ましいものを選択する。

このデッドゾーン境界面を工具面とするアプローチ付ダイスを用いることもできる。この場合, 前述の形状モデルを用いた解析結果の検討を通して, 設計者が意図する評価基準(たとえば, 押し出し荷重)を最もよく満足するダイスアプローチ形状を得ることができる。解析に際しては, このダイスアプローチ形状の出力は, 任意のデータ形式で行えるのでCAD/CAMシステムとリンクした一連の設計システムを構築することが可能である。

図4には, 今回のT形材の解析に用いた2つのデッドゾーン境界面モデルを示す。モデルI, IIとも正弦曲線モードであるが, モデルIではダイス前面と境界面を構成する曲線とのなす角度 $\theta$ を最適化パラメータとしており, デッドゾーンの長さは, ピレット周方向に変化している。モデルIIは, デッドゾーンの長さをピレット周方向に一樣とし, この長さH1を最適化パラメータとしている。

#### 4. デッドゾーン形状モデルの妥当性の検討

図5には, 製品断面の寸法比を固定し, 押し出し比を変化させた場合の, 無次元化押し出し加圧力の計算事例を示す。押し出し比40の場合, モデルIの方が低い押し出し加圧力を与えていることがわかる。図6には, この場合の塑性域形状, 速度分布, デッドゾーン境界面の等高線, デッドゾーン中間断面( $y = -H1/2$ )での相当ひずみ速度分布についての計算結果を示す。モデルI, IIによる塑性域形状を比較すると, モデルIの場合の方がデッドゾーン長さが長い結果となっている。また, 速度分布を見ると, モデルI・IIによる結果の間に相違があり, 塑性域上流部(y軸に垂直な分割面で3番目から5番目まで)のコンテナ壁面上での被加工材の流れに若干の食い違いが見られる。相当ひずみ速度分布図を比較すると, モデルI, IIとも, T形材フランジ部の先端角部から外周に向

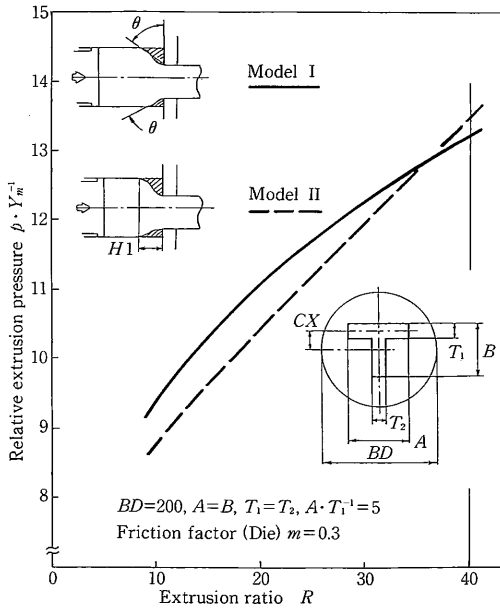


図5 押し比と押し圧力との関係

かって相当ひずみ速度の大きな部分があることを示している。すなわち、この先端角部へと被加工材を流入させるために大きな変形が必要とされていることがわかる。また、相当ひずみ速度の最大値は被加工材がフランジ付け根部へ向かって流入する個所に発生する。平ダイスではなくアプローチ付ダイスを用いる場合、相当ひずみ速度の分布を均一化するようにダイスアプローチ形状を最

適化する必要がある。その場合、モデルIで与えられるアプローチ形状を基準として修正を加えた方が、相当ひずみ速度の均一化を図りやすいと考えられる。

いずれにせよ、上記のような考え方に基づいてダイス形状・寸法の修正を行えば、所要の製品に対する最適な押し加工が実現可能と考えられる。

5. 解析事例とその応用

表1には、適用事例として行ったT形材押し解析条件一覧を示す。製品断面の寸法比は、市販製品を参考にして決定した。

表1 解析条件一覧

ピレット直径BD=200 (mm), 押し比R=40, ダイス長さ20 (mm), 摩擦定数 (ダイス面) m=0.3, (コンテナ面) m=0.0

Case	$A \cdot T_1^{-1}$	$T_2 \cdot T_1^{-1}$	$B \cdot A^{-1}$
1	2.0	1.0	1.0
	5.0	1.0	1.0
	10.0	1.0	1.0
2	5.0	0.4	1.0
	5.0	1.0	1.0
	5.0	1.67	1.0
3	5.0	1.0	0.67
	5.0	1.0	1.0
	5.0	1.0	1.5

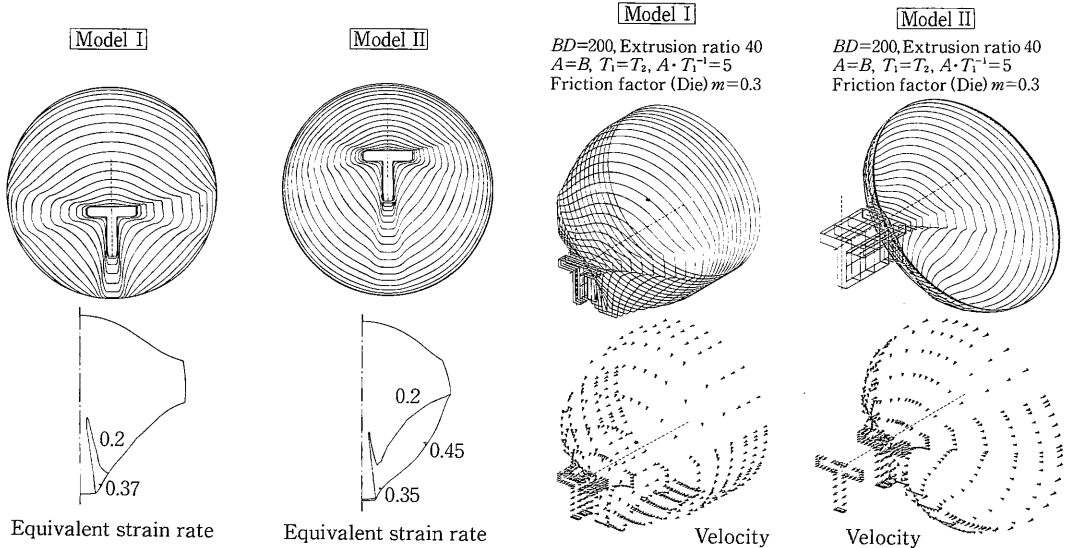


図6 デッドゾーンモデルによる変形挙動の相違

研究速報

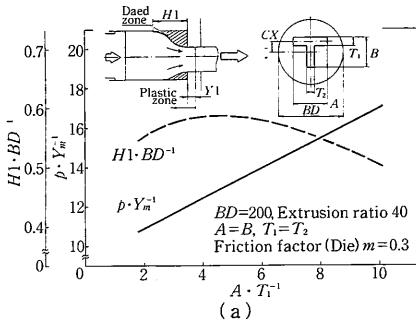


図7 製品肉厚の影響

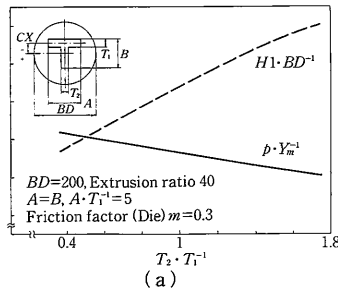


図8 フランジ部とウェブ部の板厚比の影響

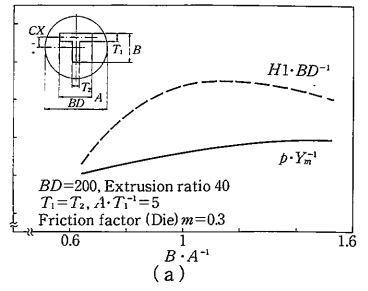


図9 フランジとウェブの長さ比の影響

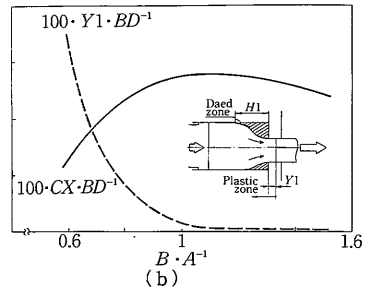
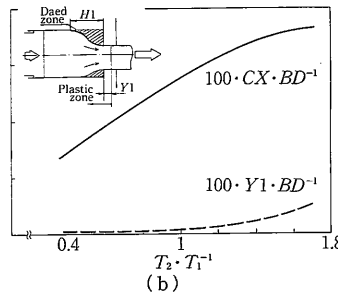
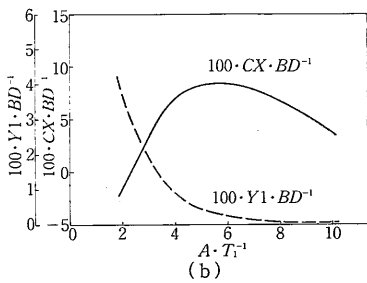


図7には、押し比を一定にして板厚比 ( $A \cdot T_1^{-1}$ ) を変化させた場合の無次元化押し加圧力 ( $p \cdot Y_m^{-1}$ )、デッドゾーンの最大長さ ( $H1$ )、ダイス孔位置のピレット中心からの望ましい変位量 ( $CX$ )、ダイス内の塑性域の広がり ( $Y1$ ) の変化を示す。なお、 $H1$ ,  $CX$ ,  $Y1$  はピレット直径  $BD$  で無次元化してある。製品が薄肉になるほど、押し加圧力は上昇し、ダイス内での塑性域が小さくなる。ダイス内での塑性域が小さくなると、良好な製品が得られると考えられるが、薄肉になると偏肉やダイス孔への未充填が起こりやすく、ダイス孔に充填して押し出されたとした前提条件が成立しなくなる場合も考えられる。薄肉になるとダイス孔に流入しにくくなるので、デッドゾーン長さやダイス孔位置のピレット中心からの変位量は大きくなるが、ある板厚比以上になると、辺が長くなるために逆に減少する。

図8には、T形断面のウェブ部の肉厚  $T_1$  とフランジ部の肉厚  $T_2$  との比 ( $T_2 \cdot T_1^{-1}$ ) を変化させた場合の影響を示す。フランジが厚くなるほど、押し加圧力が減少し、デッドゾーン長さ、ダイス孔位置のピレット中心からの変位量、ダイス内の塑性域の広がりが増加する。押し加圧力の変化を考えると、フランジ部が薄肉になる場合に押しにくく、未充填が起こりやすいと思われる。

図9には、T形断面のウェブの長さ  $A$  とフランジの長

さ  $B$  との比 ( $B \cdot A^{-1}$ ) を変化させた場合の影響を示す。フランジの長さが長くなるほど、押し加圧力が増加し、ダイス内の塑性域の広がりが減少する。ウェブもしくはフランジのいずれかが長くなるとデッドゾーン長さ、ダイス孔位置のピレット中心からの変位量が小さくなるのは、図7の薄肉の場合と同様である。

6. 結 言

押し加工中の被加工材の変形挙動を明確にし、工具設計へと役立てる考え方とその方法を示した。その適用例としてT形材の押しを取り上げ、製品の断面形状・寸法が異なる幾つかの場合について、押し加圧力を評価基準として最適と考えられる工具形状・寸法を求めた。今後は、この手法を他の異形材に対しても適用し、押し加工用工具設計に有用なデータベースの構築を図る予定である。  
(1990年11月27日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・星野ほか：塑性と加工，30-336(1989)，43.
- 2) 木内・星野：塑性と加工，30-342(1989)，975.
- 3) 木内・星野：昭63春塑加講論(1988)，95.
- 4) 木内・星野：第39塑加連講論(1988)，295.
- 5) 木内・飯島ほか：塑性と加工，30-336(1989)，77.