

異形材の押し出し加工における非定常変形の解析・II

Simulation of Unsteady Flow in Non-Axisymmetric Extrusion・II

木 内 学*・星 野 倫 彦*・飯 島 茂 男*
 Manabu KIUCHI, Michihiko HOSHINO and Shigeo IJIMA

1. は じ め に

筆者らは、高度化する押し出し加工の分野において、最適な加工条件や工具形状を決定しうる汎用シミュレータの開発を進めている。この分野における従来の研究としては、工具形状やメタルフローに関する実験的検討^{1),2)}、FEMによる数値解析³⁾、上界法を応用した解析⁴⁾等があるが、いずれも限定的、部分的な研究にとどまっている。既報^{5),6)}で汎用シミュレータの基礎となる一般化三次元的可容速度場を提案し、その妥当性と汎用性について検討した。本報では、開発したシミュレータを用い、異形材の基本的な製品であるアングル材の解析を行い、最適な加工条件や工具形状の決定手法について検討した結果を報告する。

2. 一般化解析モデル

解析モデルの基本的構成および加工に要する全仕事率の算出方法については、既報^{5),6)}で示したので、ここでは省略する。

3. デッドゾーン形状のモデル化の検討

前報において、デッドゾーン境界を表示する考え方と

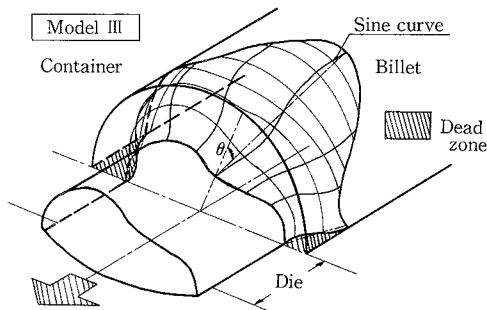


図1 デッドゾーン境界面のモデル

してモデル I, II を導入し、その有効性を検討したが、本報では、さらにこれらを拡張したモデル III を考案した (図 1 参照)。モデル III では、被加工材のダイスへの見かけ流入角度 θ を最適化パラメータとして用いているが、これにより、デッドゾーンの長手方向への広がりが周方向に変化する場合を考慮することが可能になる。前報で示した解析の事例に、このモデル III を適用し、その適否を検討した結果を以下に示す。

図 2 は、実験結果とモデル II, III により計算された荷重-ストローク線図とを比較して示す。これより、計算された荷重-ストローク線図はモデル II, III とともに実測値と良い対応を示すが、モデル II よりモデル III の結果のほうが良い結果を与えうると判断できる。

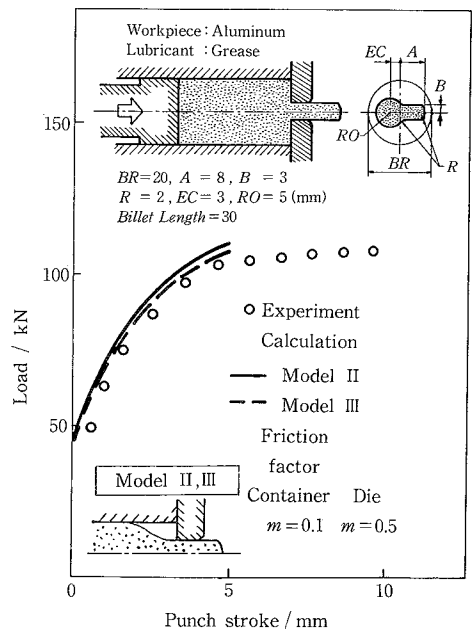


図2 デッドゾーンモデル III の荷重-ストローク線図

*東京大学生産技術研究所 第2部

4. アングル材の解析

以下、上述の解析モデルを用いて、図3に示すアングル材の前方押し加工について解析した結果を示す。デッドゾーンの形状は、ダイスへの見かけ流入角度 θ を最適化パラメータとして表示する。 $H1$ は、周方向に分布を持つデッドゾーンの最大高さを表し、適正な押残りピレット長さを推定する場合の目安となる。設定した塑性域に対して、偏差速度成分を表す $P(r, \varphi, y)$ の具体的な関数形として、次式のような簡単な変数分離形を用いることとし、また $f(r)=r$ とする(既報⁹⁾参照)。

$$P(r, \varphi, y) = f1(y) \cdot f2(\varphi) \cdot f3(r)$$

ただし $y \leq -H1, Y2 \leq y$ のとき

$$f1(y) = \begin{cases} = 0 & y \leq -H1 \\ -H1 < y < Y2 \text{ のとき} \\ = C \cdot (y+H1) \cdot (y-Y1) \cdot (y-Y2) / BL/DL \end{cases}$$

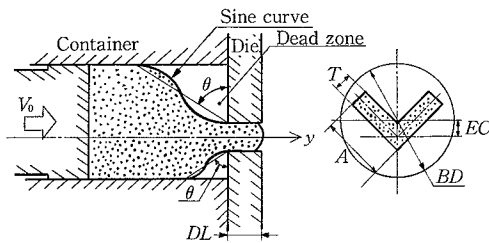


図3 アングル材のデッドゾーン境界面モデル

$$f2(\varphi) = D \cdot \varphi^3 + E \cdot \varphi^2 + F \cdot \varphi$$

$$f3(r) = G \cdot (2 \cdot r / BD)^2 + I \cdot (2 \cdot r / BD)$$

($C, D, E, F, G, I, Y1, Y2$ は最適化パラメータ)

最適化パラメータは全部で9個であるが、そのうち $Y2$ はダイス内で偏差速度成分が一様でない範囲、つまり非定常変形域の長さを示す。 $y \geq Y2$ の定常変形域では、被加工材の軸方向速度が一様で、回転方向速度や半径方向速度は0であり、ねじれ・曲がりがない速度分布となることを示す。ゆえに、製品のねじれ・曲がりを生じない最小ダイスベアリング部長さが、 $Y2$ より求められる。

以下に、工具形状ならびに加工条件の最適化された結果を示す。なお、4-3節の場合を除き、変形抵抗を $\bar{\sigma} = \sigma_0 \cdot (1 + 43.7 \cdot \bar{\epsilon})^{0.236}$ とした。

4-1 ダイス穴位置(EC)の影響

まず、ダイス出口断面上で、最適ダイス穴位置について検討した結果を示す。図4、5に相対ダイス穴位置(EC/A)を変化させたときの、荷重-ストローク線図と不均一変形域の長さを示す。図4は、加工の全工程および加工初期の荷重-ストローク線図を示す。相対押し圧力(p/σ_0)は、初期降伏応力 σ_0 を用いて無次元化表示をしたため、大きな値となっているが、工藤らの丸棒の押し出し実験の結果⁷⁾と比較して、妥当な値であると思われる。図6は、押し出されてくる被加工材の変形状態を表した結果であり、ある位置より先では平行に押し出されて

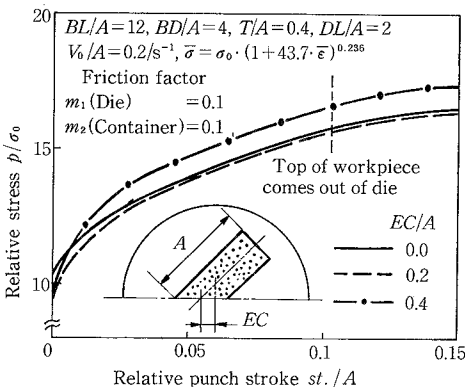
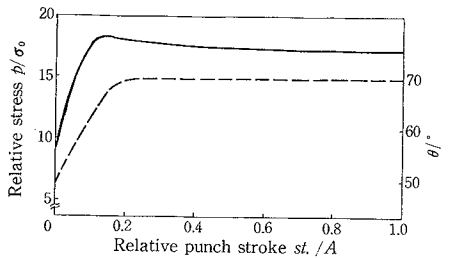


図4 各ダイス穴位置の荷重-ストローク線図

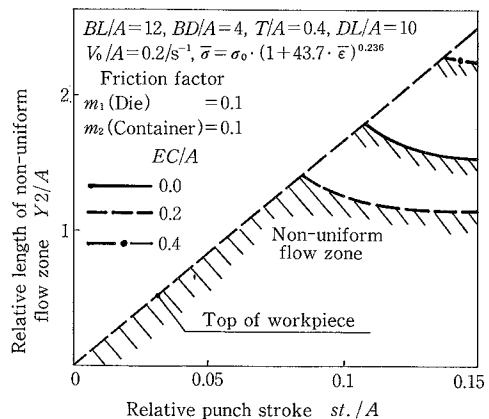
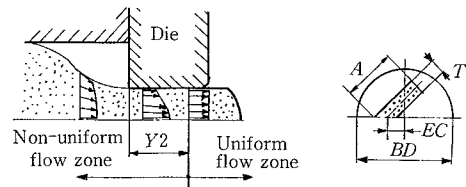


図5 各ダイス穴位置の不均一変形域長さ

研究速報

いることがわかる。図7には、各ダイス穴位置に対応する製品の相当ひずみ分布を示す。各場合とも、製品のほぼ同じ部分に最大相当ひずみを生じている。これは、アングル材の場合、デッドゾーン境界面が、分水嶺のように被加工材の流れを周方向に二分する形状となっているためと考えられる。

図8に、相対ダイス穴位置に対する相対押し圧力(p/σ_0)、最適ダイス長さ($Y2/A$)、定常範囲での押残り

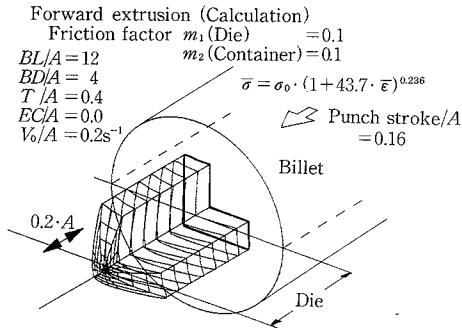


図6 アングル材の上の変形形状

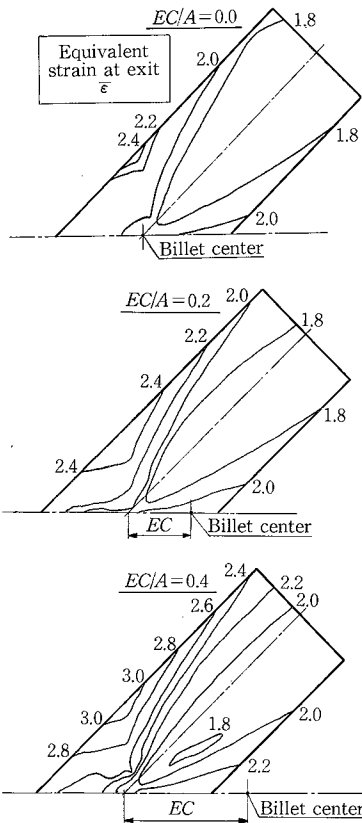


図7 ダイス穴位置に対する相当ひずみ分布

ピレット長さ($H1/A$)、製品の最大相当ひずみ($\bar{\epsilon}_{max}$)、加工中の最大相当ひずみ速度($\dot{\bar{\epsilon}}_{max}$)を表す。相対ダイス穴位置に対するおのおのの値が小さいものほど、良好な押し加工が期待できると考えられる。全体的に見ると、 $EC/A \approx 0.2$ が適正なダイス穴位置を与えると考えうるが、押し設備に余裕があり、ダイス長さ、押し加圧力が十分に得られれば、歩留まりを良くするために、 EC/A を0.0に近い値で加工することも考えられる。しかし、あまり歩留まりを優先すると、製品の相当ひずみや加工中の相当ひずみ速度が増大し、種々の問題を発生させる要因となることも予想される。

4-2 摩擦条件 (m_1, m_2) の影響

図9に、各摩擦条件の組み合わせ(m_1, m_2)に対する荷重-ストローク線図を示す。これよりダイス面上の摩擦(m_1)のほうが、コンテナ面上の摩擦(m_2)よりも影響が大きいことがわかる。図10に、各摩擦条件における $p/\sigma_0, Y2/A, H1/A, \bar{\epsilon}_{max}$ を示す。摩擦が増すほど、加

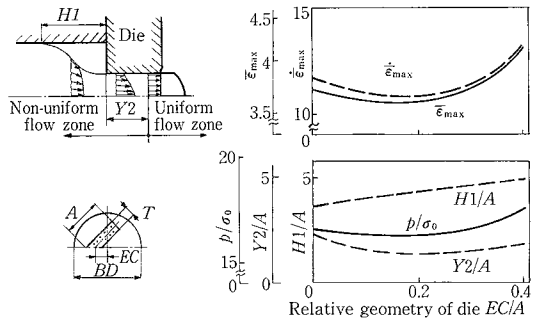


図8 各因子に対する最適ダイス穴位置

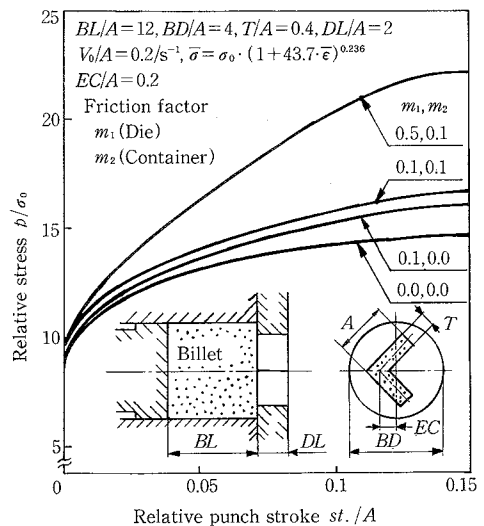


図9 各摩擦条件における荷重-ストローク線図

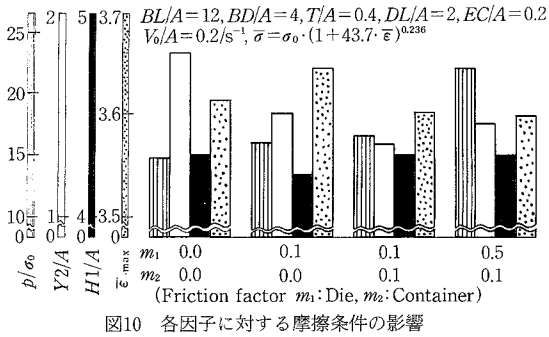


図10 各因子に対する摩擦条件の影響

工荷重とデッドゾーン長さは増すが、製品の相当ひずみは小さくなり、また、最適ダイス長さは、ある摩擦条件で最小となることがわかる。一般に、ダイス内の被加工材に発生する相当ひずみは、外表面において最大値をとるが、摩擦が増えると被加工材外表面でのメタルフローが拘束されて、相当ひずみの分布が製品内で均一化するものと考えられる。

4-3 変形抵抗 ($\bar{\sigma}$) の影響

上述の押し出しは、通常、熱間で行うことが多いが、冷間で押し出す場合を想定して、加工硬化を表す変形抵抗式 $[\bar{\sigma}=\sigma_0 \cdot (1+K \cdot \bar{\epsilon})^n]$ を用いて計算を行った。この加工硬化の影響を見るために、変形抵抗を $\bar{\sigma}=\sigma_0$ (一定) としたときの荷重—ストローク線図もあわせて図11に示す。加工硬化する場合の加圧力は、かなり高い値となり、押し出し不可能になる場合が起こりうるということがわかる。

4-4 ダイスアプローチの影響

4-3 節までは、図3に示すようなフラットダイスを用いた場合を解析したが、図12には、直線線素で表されるアプローチ面を持つダイスを用いた場合の荷重—ストローク線図を示す。図からわかるように、適正なダイス角のアプローチを持つダイスによる押し出し加工のほうが、低い加工荷重を与えることがわかり、最適な押し出し加工を実現するためには、種々のアプローチ面を持つダイスの利用について考慮する必要があるといえる。

5. ま と め

異形材として代表的な製品であるアングル材の前方押し出し加工を解析し、加工荷重や適正なダイス形状、ビレットの寸法、摩擦条件等に関する検討を行った。一連の数値シミュレーションにより、開発したシミュレータならびに動的可容速度場は、種々の製品やビレットおよびダイスの形状に対応しうる汎用性のあるものであり、押し出し加工の解析に有用な手段を提供するものであることが判明した。
(1987年11月26日受理)

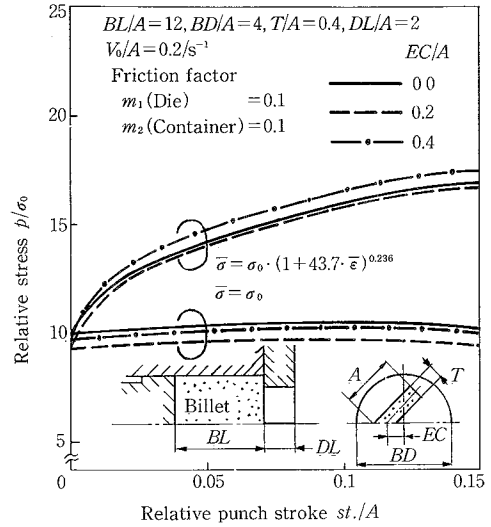


図11 各変形抵抗における荷重—ストローク線図

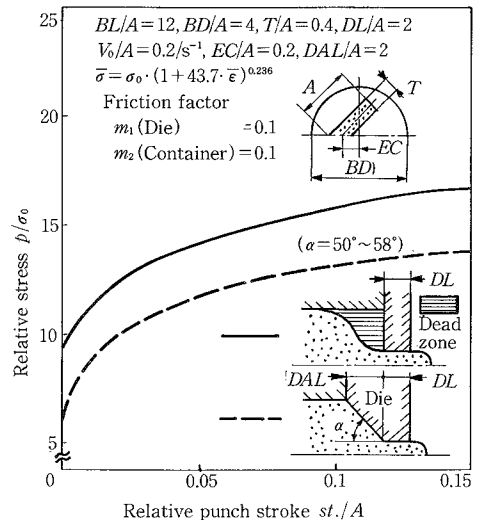


図12 各ダイスでの荷重—ストローク線図

参 考 文 献

- 1) Nagpal, V. et al.: J. Engng. Indust., 101-8 (1979), 319.
- 2) 高辻ほか: 塑性と加工, 25-286 (1984), 1000.
- 3) 加藤ほか: 昭61春塑加講論, (1986), 419.
- 4) Yang, D.Y. et al.: Int. J.Mech. Sci., 28-8 (1986), 517.
- 5) 木内ほか: 37回塑加連講論, (1986), 135.
- 6) 木内ほか: 昭61春塑加講論, (1986), 407.
- 7) 工藤ほか: 機誌, 67-542 (1964), 392.