

異形材の押し出し・引抜き加工に関する研究 (第2報 L, T, H 形材の解析)

Study on Non-Symmetric Extrusion and Drawing (2nd Report)

木内 学*・岸 秀敏*・石川 政和*
Manabu KIUCHI, Hidetoshi KISHI and Masakazu ISHIKAWA

1. はじめに

前報においては、上界法を用いて、特定の形状に限定せず一般的に異形材の押し出し・引抜き加工の解析を可能とする汎用の三次元的可容速度場を提案し、その妥当性を調べるために、矩形等の比較的簡単な断面形状の製品の押し出し・引抜き加工について検討した¹⁾

本報では、この三次元的可容速度場を用いて、異形材の代表的製品である L, T, H 形材の押し出し・引抜き加工について押し出し加圧力、最適ダイス長さ等の数値計算手法を開発したので、その結果を報告する。

2. 三次元的可容速度場の一般形

図-1には円柱座標系における異形材の押し出し、または引抜き加工時の幾何学的関係を示す。以下、使用記号は図を参照されたい。(1)~(3)式に三次元的可容速度場の一般形を示す。

$$v_y(y) = \frac{v_0 \int_0^{\varphi_f(y)} r_s^2(\varphi, 0) d\varphi}{\int_0^{\varphi_f(y)} r_s^2(\varphi, y) d\varphi} \quad (1)$$

$$v_\varphi(r, \varphi, y) = \frac{-r}{r_s^2(\varphi, y)} \int_0^\varphi \frac{\partial}{\partial y} (v_y(y) \cdot r_s^2(\varphi, y)) d\varphi \quad (2)$$

$$v_r(r, \varphi, y) = -\frac{r}{2} \left(\frac{\partial v_y(y)}{\partial y} + \frac{\partial \omega_\varphi(\varphi, y)}{\partial \varphi} \right) \quad (3)$$

ただし、 v_y, v_φ, v_r は各々長手方向、回転方向、半径方向の速度成分であり体積一定の条件と必要な境界条件を満足している。これらの式を導く際には次の二つの仮定を用いている。すなわち、

(a) 押し出し方向の速度成分は軸に垂直な断面内で一様である。ならびに、

(b) 回転方向速度成分に関する次の変数分離形関数表示である。すなわち $v_\varphi(r, \varphi, y) = r \cdot \omega_\varphi(\varphi, y)$ (4)

3. 計算方法

実際に計算に用いたダイス形状を図-2, 3に示す。これらはいずれもいわゆる直線ダイスである。直線ダイ

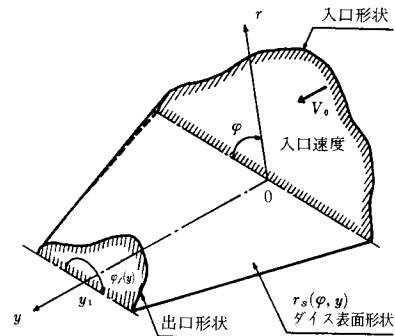


図-1 ダイス面の円柱座標表示

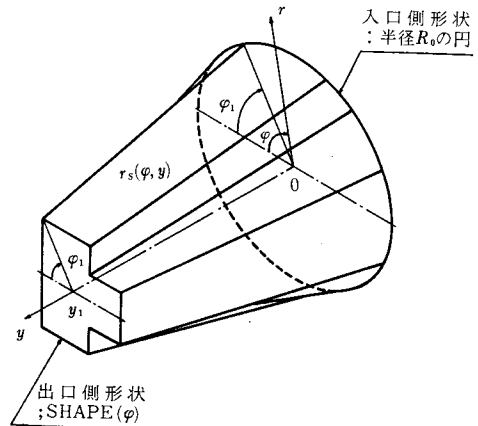


図-2 T形材の場合のダイス形状

スの場合、ダイスの表面形状 $r_s(\varphi, y)$ は、入口形状、出口形状によって定まる。図-2に示す、T形材の場合、入口形状を半径 R_0 の円、出口形状を $SHAPE(\varphi)$ で表すと、 $r_s(\varphi, y)$ は次式で示される。

$$r_s(\varphi, y) = \frac{SHAPE(\varphi) - R_0}{y_1} \cdot y + R_0 \quad (5)$$

出口形状の角の点は関数 $SHAPE(\varphi)$ の特異点となるので、実際の計算に際してはこの特異点と y 軸を含む面で、ダイス内の素材を幾つかの領域に分割して扱う。この分割面上では回転方向の速度の連続性が保持されているが

* 東京大学生産技術研究所 第2部

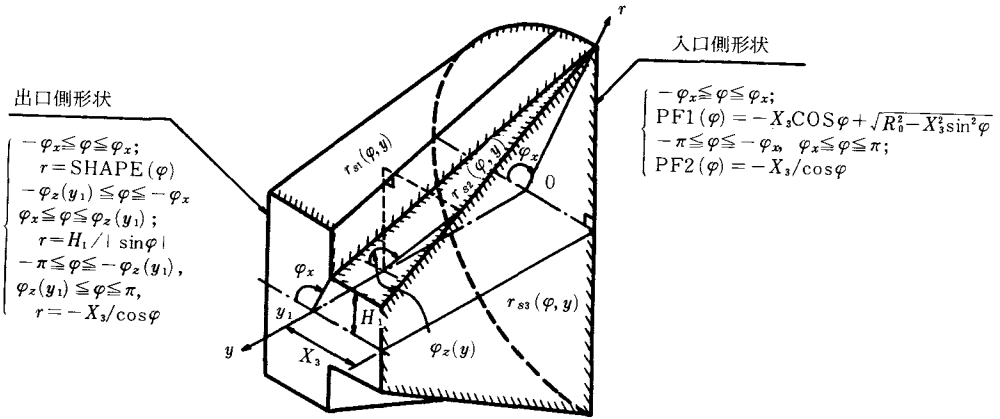


図-3 H形材(2分割)の場合のダイス形状

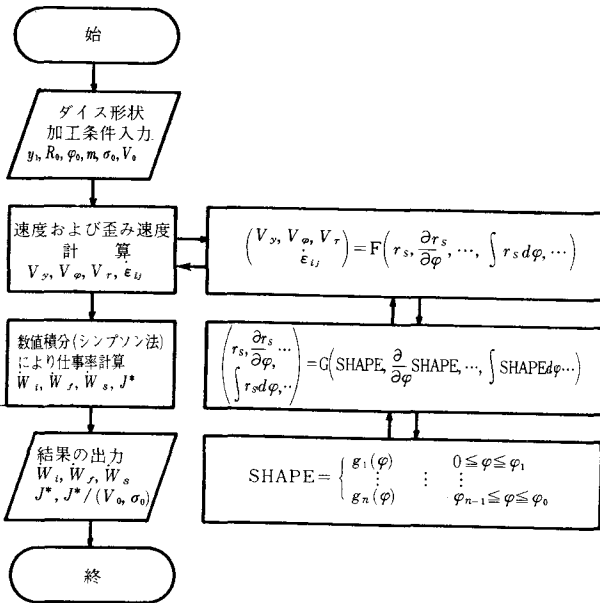


図-4 計算流れ図

半径方向の相対迂りが発生する。隣り合う領域間ではこの分割面を通して材料の流入・流出が起こる。

図-2はT形材について示してあるが、L形材の場合も同様な直線ダイスを用いているので、表面形状; $r_s(\varphi, y)$ その他、計算方法はT形状の場合と同様に示される。

図-3にH形材の場合のダイス形状を示す。H形材の場合、 y 軸をH形断面の中心におくと、断面形状がブラインド部を含むことになるため、数値計算ができない部分が発生するが、H形材の左右対称性からピレットと製品であるH形材の半分をとり出し、これを y 軸に対して適当な位置におくことにより、出側形状のブラインド部をなくして扱うことが出来、よって解析可能となる。したがってダイス形状は半円径ピレットからT形材を押し

出す場合と同じになる。この場合のダイス表面形状; $r_s(\varphi, y)$ は(6)~(9)式のように示される。この場合もダイス内の素材は図に示すように幾つかの領域に分割し、各々の内部仕事率、剪断仕事率を計算する。

$$-\varphi_x \leq \varphi \leq \varphi_x; \quad r_s(\varphi, y) = r_{s1}(\varphi, y) = \frac{\text{SHAPE}(\varphi) - \text{PF1}(\varphi)}{y_1} \cdot y + \text{PF1}(\varphi) \quad (6)$$

$$-\varphi_z(y) \leq \varphi \leq -\varphi_x \quad \left. \begin{array}{l} r_s(\varphi, y) = r_{s2}(\varphi, y) \\ \text{ただし,} \\ \varphi_x \leq \varphi \leq \varphi_z(y) \end{array} \right\} \varphi_z(y) = \tan^{-1} \left(- \left\{ (H_1 - R_0) \frac{y}{y_1} + R_0 \right\} / X_3 \right) + \pi \quad (7)$$

$$-\pi \leq \varphi \leq -\varphi_z(y) \quad \left. \begin{array}{l} \varphi_z(y) \leq \varphi \leq \pi \\ \leq \pi \end{array} \right\} r_s(\varphi, y) = r_{s3}(\varphi, y) = - \frac{X_3}{\cos \varphi} \quad (8)$$

(1)~(3)式に示された三次元的可容速度場からひずみ速度あるいは相当ひずみ速度を求め、さらに各種の仕事率を求める方法については説明を省略するが、それらについてはいずれもダイスの形状が与えられれば一義的に計算式を構成することができる。けっきょく、全仕事率 J^* は(10)~(13)式のように求めた。

$$J^* = \dot{W}_i + \dot{W}_f + \dot{W}_s \quad (10)$$

ここで、 \dot{W}_i は内部仕事率、 \dot{W}_f は摩擦仕事率、 \dot{W}_s は剪断仕事率を表し、それぞれ次式で求められる。

$$\dot{W}_i = \sigma_0 \int_V \dot{\epsilon}_{eq} dV \quad (11)$$

研究速報

ただし、 V ：変形域の体積

$$\dot{W}_f = m \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} \int_M |dV_f| dS \quad (12)$$

ただし、 M ：ダイス表面積

$|dV_f|$ ：ダイス表面での速度

$$\dot{W}_s = \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} \left\{ \int_{S_I} |dV_s| dS + \int_{S_O} |dV_s| dS + \int_{S_X} |dV_s| dS \right\} \quad (13)$$

ただし、 S_I ：ダイス入側の断面積

S_O ：ダイス出側の断面積

S_X ：ダイス内部で速度の不連続を生じる面の面積

$|dV_s|$ ：速度の不連続を生じる面での速度不連続量

以上による計算の流れ図を図-4に示す。

4. 計算結果

以下に数値計算例を示す。図中 r は減面率、 m は摩擦定数とする。また、 A_L はダイス出口断面の垂直軸より左側の面積、 A_T はダイス出口断面の全面積である。

ダイス長さ比 \tilde{L} は、ダイス長さとしピレット半径の比を表し、押し加圧力は、素材の変形抵抗が無次元化してある。

(1) L形材の場合 図-5は円柱ピレットからL形材を押し出す場合の、減面率や摩擦定数が異なる場合のダイ

ス長さ比 \tilde{L} に対する無次元化押し加圧力 \tilde{p} の変化、ならびに減面率による最適ダイス長さ比の変化を見たものである。図-5から減面率が大きいほど、また摩擦定数が小さいほど最適ダイス長さ比は大きくなることわかる。図-6はL形材の押し出しについてダイスの出口断面の y 軸に対する位置を変化させた場合の最小無次元化押し加圧力 \tilde{p}_{min} の変化を見たものである。図-6から \tilde{p}_{min} は、ダイス出口断面が $A_L/A_T=3.5/10$ なる関係を満たす近傍で最小となることがわかる。図-7は減面率を70%とし、L形材の寸法 a, b を変化させた場合の \tilde{p} の変化をみたものである。図-7から減面率一定の場合には b/a の比が小さいほど(すなわち、正方形に近づくほど) \tilde{p} は小さくなることわかる。

(2) T形材の場合 図-8は円柱ピレットからT形材を押し出す場合の、減面率や摩擦定数が異なる場合の \tilde{L} に対する \tilde{p} の変化、ならびに減面率による最適ダイス長さ比の変化を見たものである。図-8から減面率が大きいほど、また摩擦定数が小さいほど最適ダイス長さ比は大きくなることわかる。図-9はダイス出口断面の y 軸に対する位置(A_L/A_T)を変化させた場合の \tilde{p}_{min} の変化を見たものである。図-9から \tilde{p}_{min} は、ダイス出口断面が $A_L/A_T=5.5/10$ なる関係を満たす近傍で最小となることがわかる。図-10は減面率を70%とし、T形材の寸法 a, b を変化させた場合の \tilde{p} の変化を見たものである。図-10から減面率一定の場合、 b/a の比が小さいほど(す

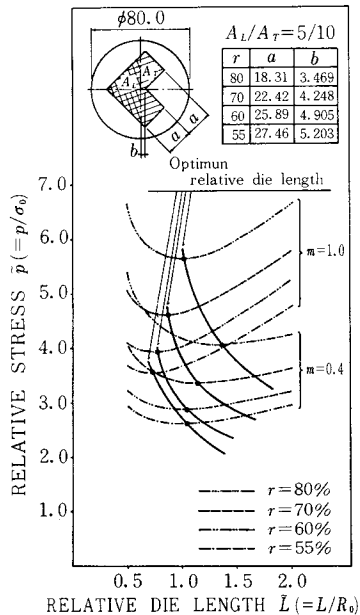


図-5 減面率の変化による最適ダイス長さ比の変化

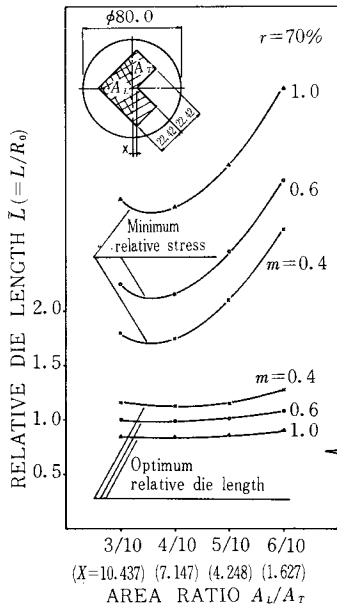


図-6 ダイス出側の位置変化による無次元化押し加圧力の変化

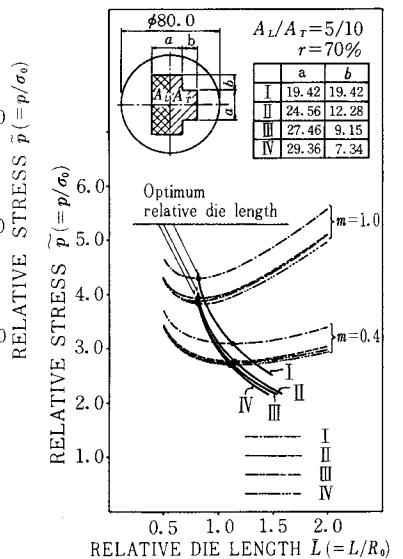


図-7 押し出し形状の変化による無次元化押し加圧力の変化

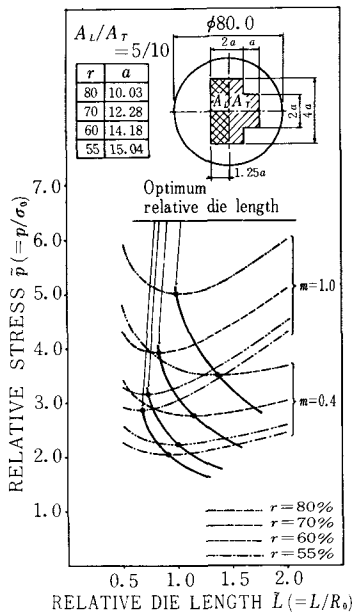


図-8 減面率の変化による最適ダイス長さ比の変化

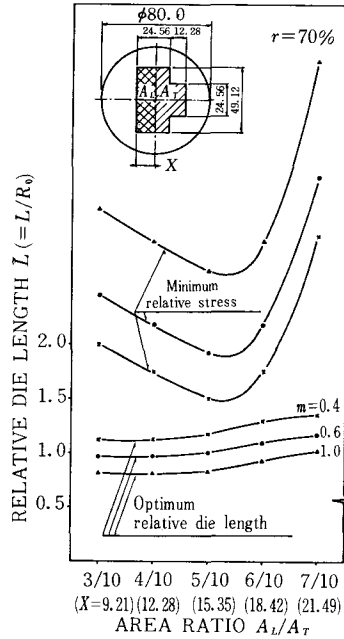


図-9 ダイス出側の位置変化による無次元化押し加圧力の変化

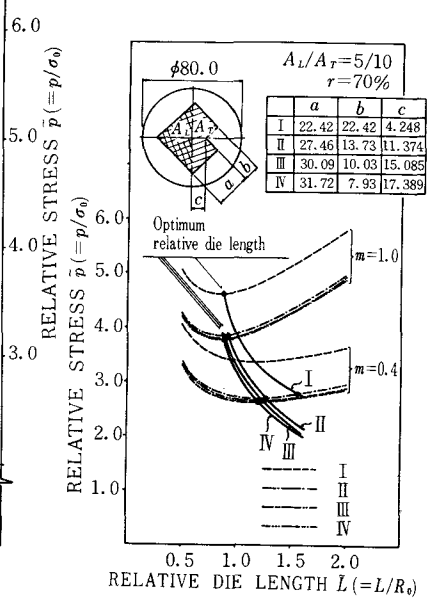


図-10 押し出し形状の変化による無次元化押し加圧力の変化

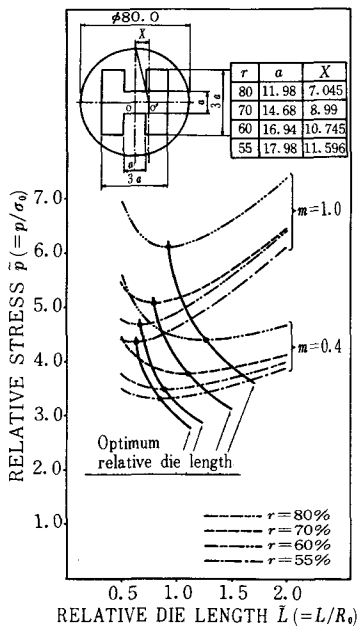


図-11 減面率の変化による最適ダイス長さ比の変化

なわち、正方形に近づくほど \tilde{p} は小さくなることがわかる。

(3)H形材の場合 図-11は円柱ビレットからH形材を押し出す場合の、減面率や摩擦定数が異なる場合の \tilde{L} に対する \tilde{p} の変化、ならびに減面率による最適ダイス長さ比の変化を見たものである。図-11から減面率が大きいほど、また摩擦定数が小さいほど最適ダイス長さ比は大きくなることがわかる。

5. ま と め

上述の三次元速度場の使用により、過去においてほとんど行われていないと思われるL、T、Hの形状の押し出し・引抜き加工の限界法による解析が可能となった。

(1981年4月28日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内, 岸: 第31回塑性加工連合講演会, 216