

# ブリッジダイスによる押し出し加工の解析・I

## Simulation of Forward Extrusion through Bridge Die

木 内 学\*・星 野 倫 彦\*

Manabu KIUCHI and Michihiko HOSHINO

### 1. 緒 言

筆者らは、押し出し・引抜き加工を体系的に解析することを目指し、一般化三次元的可容速度場を用いた汎用シミュレータの開発を進めている。既報<sup>1)~3)</sup>においては、このシミュレータにより、偏心後方押し出し加工、および異形材の前方押し出し加工を解析し、解析結果をダイスの設計へ応用する考え方、あるいはその手法を示した。これにより、一般の異形材押し出し加工用ソリッドダイスの設計については、有用な情報を得ることが可能となった。

しかし、押し出し加工用ダイスとしては、ソリッドダイスのほかに、中空材の押し出し加工用ブリッジダイス、ポートホールダイス、あるいはスパイダーダイス等の名称で呼ばれる複雑な形状のダイス (図1参照) が用いられている。これらのダイスの設計技術に関連しては、FEMを用いたダイスの変形予測に関する研究<sup>4)</sup>や、被加工材の流れを実験的に測定した結果<sup>5)</sup>等が報告されているが、ダイスの設計現場からの要望に対して十分なデータを与えるものとは言えない。

本報では、まず多様な形状のブリッジダイスを対象とする一般化した解析モデルを構成し、これを用いた解析結果と実験結果とを比較検討して、モデルの妥当性を確認する。その上で、ブリッジダイスの最適設計を意図した解析を試み、開発した汎用シミュレータの有用性を検討する。

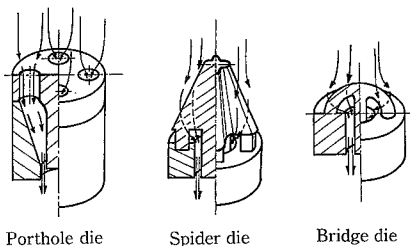


図1 中空材の押し出し加工用ダイス

### 2. 解析方法および解析モデル

押し出し・引抜き加工を対象とする一般化三次元的可容速度場については、既報<sup>1)~3)</sup>で述べたのでここでは省略し、ブリッジダイスを用いた押し出し加工に対するその適用について説明する。

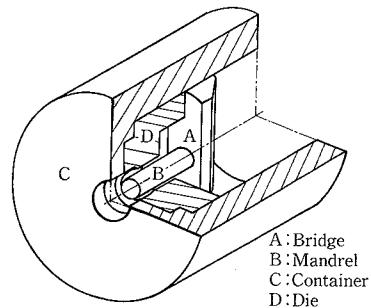


図2 2本足ブリッジダイスの概略図

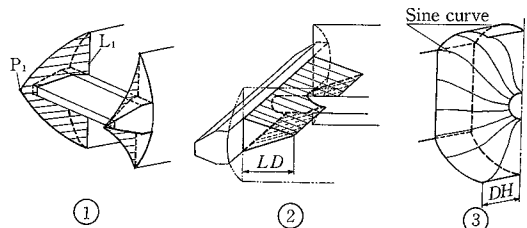
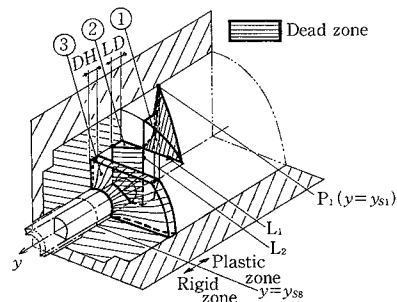


図3 2本足ブリッジダイスのデッドゾーン形状

\*東京大学生産技術研究所 第2部

図 2 は、解析結果と実験結果とを比較検討するために用いた基本的な形状を有する 2 本足ブリッジダイスの概略図である (図 5 参照)。このブリッジダイスの形状に対して、解析では図 3 に示すような 3 種のデッドゾーンを想定した。デッドゾーン 1 は、ブリッジを支えるために設けられたダイスの段付部前面に形成されると考えられるもので、デッドゾーンと塑性域との境界面としては、点  $P_1$  と線  $L_1$  を含む平面を仮定した。デッドゾーン 2 は、ブリッジ背面部に形成されると予想されるもので、デッドゾーンの境界面としては、線  $L_2$  を含むブリッジ背面よりの長さ  $LD$  を有する平面を仮定した。デッドゾーン 3 は、ダイス前面部 (アプローチ部) に形成されると考えられるもので、その境界面としては、正弦曲線を線素とする曲面を想定し、更にデッドゾーンのダイス入口面よりの高さ  $DH$  は、とりあえず周方向に一樣な高さとして仮定した。

今回の解析においては、上記デッドゾーン 1 の大きさを規定する点  $P$  の位置、デッドゾーン 2 の長さ  $LD$ 、同じくデッドゾーン 3 の高さ  $DH$ 、およびダイス出口での剛塑性境界面の位置  $y_{ss}$  を最適化パラメータとして、全仕事率の最小化を図った。デッドゾーンの形状については、最適化パラメータの数を増やしてより細かな設定を行うことができるが、計算時間などを考慮してここでは以上のような簡略化した設定とした。

ダイス内における被加工材の押し出し方向速度の定式化のために導入する偏差速度成分  $P(r, \phi, y)$  としては、以下の式 (1) を用いることとする。

$$P(r, \phi, y) = f_1(y) \cdot f_2(\phi) \cdot f_3(r)$$

ただし、

$$f_1(y) = \begin{cases} y \leq y_{s1}, y_{ss} \leq y \text{ の時} & = 0 \\ y_{s1} < y < y_{ss} \text{ の時} & = C \cdot \left(\frac{y-y_{s1}}{DL}\right)^D \cdot \left(\frac{y-E}{DL}\right) \cdot \left(\frac{y_{ss}-y}{DL}\right)^F \end{cases}$$

$$f_2(\phi) = G \cdot \phi^2 + 1.0$$

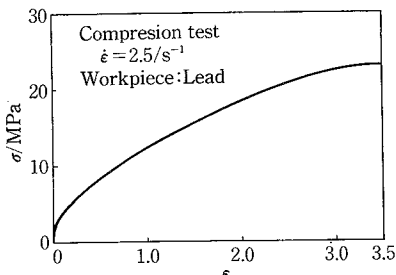


図 4 変形抵抗曲線

$$f_3(r) = H \cdot \left(\frac{r}{BR}\right)^2 + \left(\frac{r}{BR}\right)$$

( $C, D, E, F, G, H$  は最適化パラメータ) (1)

以上より、この場合の解析モデルが含む最適化パラメータは全部で 9 個であり、おのおのの最適値は、全仕事率の最小化が満足されるように求める。

### 3. 解析結果と実験結果との比較検討

図 5 に示すブリッジダイスを用いた押し出し実験に先立ち、供試材とした純鉛ビレットの圧縮試験を行った (図 4 参照)。ビレットは、鑄造・炉冷した素材を  $\phi 40.0 \times h 40.0$  に仕上げたもので結晶粒が大きく、かなりの加工硬化がみられる。ブリッジダイスの押し出し比は 31.4 で、一軸伸び対数ひずみ換算でおよそ 3.5 と考えられる。そこで、圧縮試験より得られた変形抵抗を、ひずみ範囲で 0 から 3.5 まで積分平均した値  $\sigma_m = 16.3 \text{ MPa}$  を、押し出し実験中の平均変形抵抗とした。

図 5 に用いたダイスと押し出された製品を示す。潤滑剤としては、グリースを用い、加工温度は室温であり、ポンチ速度は  $1.0 \text{ mm/s}$  である。横型プレスを用いたが、ダイス出口では製品となる管はまっすぐに押し出されており、管の内面・外面共に金属光沢が見られ、表面性状の良好な管が得られた。また、冷間で押し出したにも関わらず、肉眼では接合部 (継目) の判別ができない程度であった。

図 6 に実験により得られた押し出し加圧カーストローク線図と定常押し加圧力の計算値を示す。押し出し加圧力は、押し出し荷重を平均変形抵抗とポンチ面積で割った (平均) 無次元化押し加圧力で示してある。なお、実験は、円柱ビレットがブリッジ前面に接触した状態から開始したので、被加工材がブリッジ部キャビティーに充満した後、製品の先端がダイスより押し出されるまで、無次元化押し加圧力はゼロから急激に上昇した後、ほぼ一定値となる変化を示している。今回の解析では、定常押し出し状態になった時の無次元化押し加圧力、被加工材の流動状況、あるいはデッドメタルの寸法等を計算すること

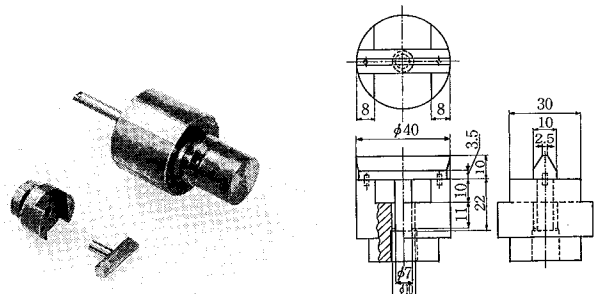


図 5 2 本足ブリッジダイスを用いた押し出し実験

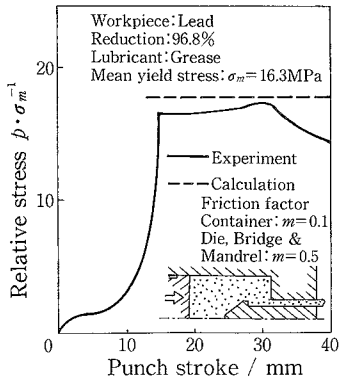


図6 2本足ブリッジダイスによる荷重-ストローク線図

を目指しており、被加工材がダイス内に充満するまでの初期非定常変形過程、および押切る時の非定常変形については、別途解析するものとする。定常状態での無次元化押し加圧力についての解析結果と実験結果とを比較すると、良い対応がみられる。なお解析においては、摩擦定数として、コンテナ内面において $m=0.1$ 、ダイス、マンドレル、ブリッジ表面において $m=0.5$ とした。

図7に、解析により得られたダイス内の被加工材の速度分布を示す。速度ベクトルの長さは、速度の対数を取って表示してあるので、本来の速度より圧縮されて示されていることに注意されたい。速度分布を見ると、被加工材がブリッジにより分流する様子や、ブリッジ後背部のデッドゾーンに沿って合流していく様子、ダイス前面部のデッドゾーンに沿ってダイス孔へと流入していく様子、等がわかる。また、速度場全体の流線は滑らかであり、速度場の構成やデッドゾーンの設定等に無理がなかったことがわかる。

4. 一般的ブリッジダイスによる押し出し加工の解析

ここでは、図8に示すような4本足ブリッジダイスを用いた時の押し出し加工の解析例を示す。ピレットおよび製品形状は、前節で示した2本足ブリッジダイスによる押し出し加工の場合と同じとし、定常押し出し状態を解析対象とした。

図9に、想定したデッドゾーンの形状を示す。塑性域とデッドゾーン1との境界面としては、正弦曲線を線素とする曲面を想定し、デッドゾーン2の境界面は、ブリッジの頂点を含む平面を仮定した。デッドゾーン1の高さ $HI$ は、周方向に一樣とし、デッドゾーン2の幅 $LD$ とともに、最適化パラメータとした。速度場の構成に用いる $P(r, \phi, y)$ および $f(r)$ は、前節と同様のものを用いた。

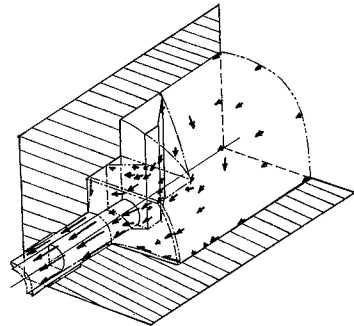


図7 解析による2本足ブリッジダイス内の速度分布

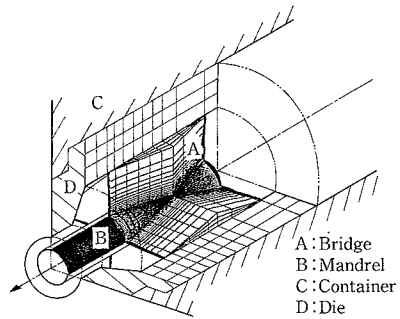


図8 4本足ブリッジダイスの概略図

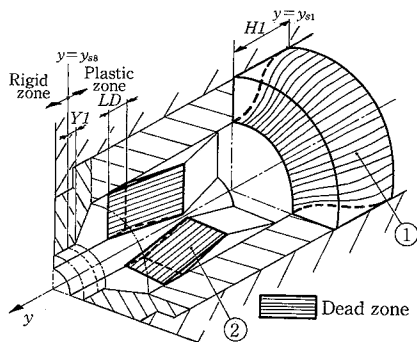
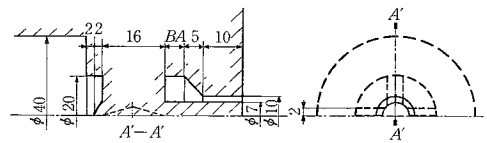


図9 4本足ブリッジダイスのデッドゾーン形状

図10は、解析により得られたダイス内の被加工材の速度分布の一例を示す。これらの結果より、ブリッジ前面近傍における速度は遅くなっていること、ブリッジのマンドレルへの付け根近傍での被加工材の速度は、ブリッジ保持部への付け根近傍での速度に比較して大きく、ブ

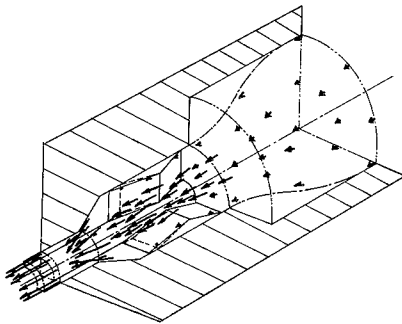


図10 4本足ブリッジダイス内の速度分布

リッジ後背部のデッドゾーン表面での速度でみると、上述のマンドレル側と保持部側との差がさらに大きくなり、保持部側において、淀むような領域が存在する、ことなどがわかる。

図11は、ブリッジからダイスアプローチ部までの距離  $BA$  を変化させた時の、平均無次元化押出し加圧力、ブリッジ後背部のデッドゾーンの長さ  $LD$ 、ダイスベアリング部内の塑性域の長さ  $YI$  の変化を示す。図より以下のことがわかる。

- (1) 無次元化押出し加圧力は、ある  $BA$  の値で最小値を取る。
- (2)  $BA$  が小さくなると、つまりダイスアプローチ部がブリッジに近づくと、ブリッジで分流するときに乱れた流れが、ダイスアプローチ内の流れに影響を与え、この部分の内部仕事率を増加させる。
- (3)  $BA$  が小さくなったときの影響は、ダイスベアリング部にまでおよび、ダイスベアリング内の塑性域が長くなる。
- (4) この塑性域の長さ  $YI$  は、真直な製品を得るために必要なダイスベアリング部長さの目安となるが、一般に、ダイスベアリング部が長すぎると、押出し加圧力が増大し、かじりやその他の表面性状の悪化が起こりやすくなり、短すぎると製品の真直性が劣るようになる。
- (5) 一方、 $BA$  が大きくなると被加工材と工具の接触面積が増え、摩擦仕事率が增加するが、ブリッジ部の分流の影響が、その後のダイス内の流れにおよばなくなり、 $LD$  および  $YI$  が一定となる。

このダイス形状の場合、被加工材には、コンテナ部からブリッジ部に入る過程で75%のリダクションがかかり、ブリッジ部からダイス孔に入る過程で87.25%のリダクションがかかり、コンテナ部からダイス出側までを通してみると、リダクションの合計は96.8%になる。このため、前節の2本足ブリッジダイスとここでの4本足ブ

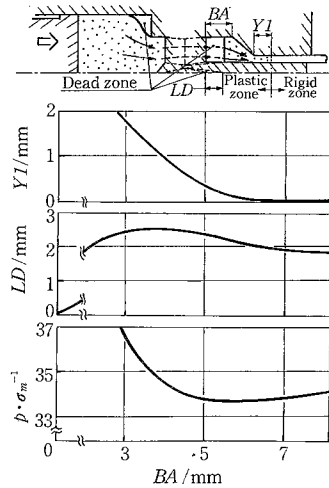


図11 ダイスアプローチ部の位置 ( $BA$ ) が押出し加圧力、デッドゾーンおよび塑性域の広がりを与える影響

リッジダイスの場合を直接比較することには問題があるが、2本足ブリッジダイスと比較すると、4本足ブリッジダイスの場合は、無次元化押出し加圧力で7割増しの値となっている。

### 5. ま と め

管材やその他の中空材の製造に用いられるブリッジダイスによる押出し加工の定常押出し状態を一般的に解析しうる手法を開発し、押出し加圧力、ダイス内の被加工材の速度分布等が得られることを示した。基礎的な形状のブリッジダイスによる押出し加工実験を行い、押出し加圧力について、実験結果と解析結果とが良好な対応を示すことを確認した。

本報では、定常押出し状態のみを解析対象としたが、解析手法としては、押出し初期や押切り時の非定常押出し状態をも含めた解析が可能である。今後、この非定常状態についても研究を進め、被加工材の速度分布や、工具にかかる応力等、さまざまな角度からの検討を加え、ブリッジダイスおよびそれを用いた押出し加工工程の最適設計に対して、有用なデータの収集を図る予定である。

(1988年6月28日受理)

### 参 考 文 献

- 1) 木内ほか：37回塑加連講論，(1986)，135.
- 2) 木内ほか：昭61春塑加講論，(1986)，407.
- 3) 木内ほか：38回塑加連講論，(1987)，595.
- 4) 家田ほか：塑性と加工，23-2 (1982)，965.
- 5) 岡庭：38回塑加連講論技術懇談会 [1]，(1987)，1.