

## ブリッジダイスによる押し出し加工の解析・II

### Simulation of Forward Extrusion through Bridge Die・II

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、すでに提案した一般化三次元動的可容速度場の応用と汎用シミュレータの開発を進めている。前報<sup>1)</sup>において、ホローダイスの一種であるブリッジダイスを用いた押し出し加工の解析を試み、実験結果との比較検討により、想定したモデルの妥当性を示した。本報においては、所定の2本足ブリッジダイスについて、ブリッジの寸法・形状が押し出し加工中の被加工材の変形挙動に与える影響を種々の角度から検討し、当該ブリッジダイスの設計に有用な知見を得ることを目的とした一連の解析結果について報告する。

#### 2. 解析方法および解析モデル

本解析研究の中核となる押し出し・引抜き加工用一般化三次元動的可容速度場については、既報<sup>2-4)</sup>で詳しく説明した。また、本報で解析対象とする2本足ブリッジダイスの解析モデルについても、前報<sup>1)</sup>において詳細に述べたので、ここでの説明は省略し、本報で扱う2本足ブリッジダイスの概略図を図1に示すのみとする。図中の変数のうち、ブリッジの形状・寸法を表す因子として、ブリッジ厚さ(B1)、ブリッジ平行部長さ(B2)、ブリッジ前面傾斜角( $\alpha$ )を選び、各因子が押し出し加工に与える影響に

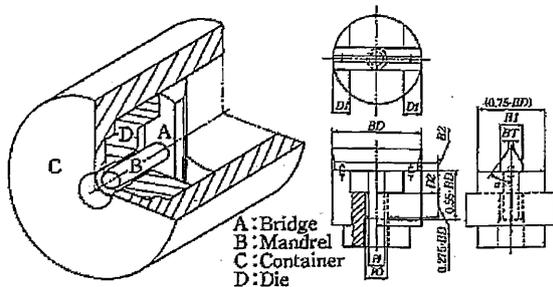


図1 2本足ブリッジダイスの概略図

\*東京大学生産技術研究所 第2部

表1 計算条件一覧表

	Relative thickness of bridge ( $B1/BD$ )	Relative length of straight part of bridge ( $B2/BD$ )	Semicone angle of bridge ( $\alpha$ )		
CASE 1	0.09	↓	↓		
	0.10				
	0.125				
	0.135				
	0.144				
CASE 2	0.15	0.0333	30°		
	↓	0.0083	30°		
		0.0333	↓		
		0.0958			
0.125	0.1583	30°			
CASE 3	↓	↓	0.2833		
			0.125	0.0333	15°
			↓	↓	30°
					45°
					60°
0.125	0.0333	80°			

ついて検討する (表1参照)。

図2に、解析より得られた被加工材中の速度分布の一例を示すが、速度分布、デッドゾーンの長さ(LD)、剛塑性境界の位置(YI)および押し出し加圧力、基本的挙動については、前報でも検討したが、本報では、更に、分流した被加工材が合流し接合する際の挙動を示すパラメータ  $\bar{V}_{bond}$  についても検討する。ここで言う  $\bar{V}_{bond}$  とは、ブリッジで分流した被加工材がブリッジ通過後に合流する際に、圧着部に向かって流れ込む速度ベクトルの圧着面に垂直な方向の速度成分を表し、圧着開始点より一定距離上流側へ離れた位置にある横断面と分流している被加工材の内面との交線上での、上記垂直速度成分の平均値である。この  $\bar{V}_{bond}$  は、被加工材が圧着面に向かってぶつかる度合を示す値であり、この値が大きいほど圧着面上の法線(垂直)方向応力が大きくなり、良好な接合が

研究速報  
達成できるものと考えられる。

### 3.ブリッジにかかる荷重および応力の算出

図3に示すように、解析により、被加工材各部分の速度分布と、任意のy断面に至るまでに消費される内部仕事率  $\dot{W}_i$ 、コンテナやダイス面での摩擦損失  $\dot{W}_{fs}$ 、ブリッジおよびマンドレル面での摩擦損失  $\dot{W}_{fi}$ 、内部せん断面上でのせん断仕事率  $\dot{W}_s$  を求めることができる。そこで、このうち、ブリッジを通過し終わる位置のy断面 ( $y/BD = 0$ , 図3参照)から上流側にある被加工材の内部仕事率  $\dot{W}_i(0)$  ならびにせん断仕事率  $\dot{W}_s(0)$ 、更にブリッジならびにマンドレル面での摩擦損失  $\dot{W}_{fi}(\text{exit})$  が、ブリッジにかかる荷重に対応する仕事率と見なし、以下の式でブリッジにかかる荷重  $F_{bri}$  を計算することを試みた。

$$F_{bri} = \text{全荷重} \times \frac{\dot{W}_i(0) + \dot{W}_s(0) + \dot{W}_{fi}(\text{exit})}{\dot{W}} \quad (1)$$

ただし、 $\dot{W}$  は全仕事率である。

この計算式は、ブリッジを通過するまでの被加工材

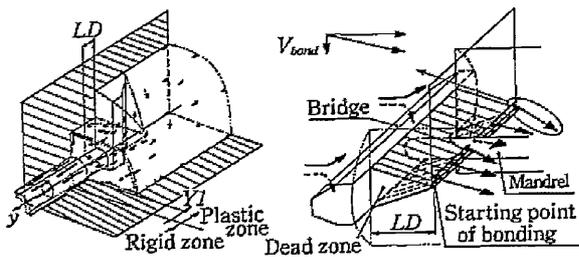


図2 圧着部の速度分布と  $V_{bond}$

$PO/BD=0.25$ ,  $PI/BD=0.175$ ,  $BL/BD=1.0$ ,  
 $D1/BD=0.2$ ,  $D2/BD=0.25$ ,  $V_0/BD=0.025$   
 $\text{sec}^{-1}$ ,  $BT/BD=0.0625$ ,  $B2/BD=0.0333$ ,  $\alpha=30^\circ$   
Friction factor  $m_1$  (Die, Bridge, Mandrel) = 0.5,  
 $m_2$  (Container) = 0.1

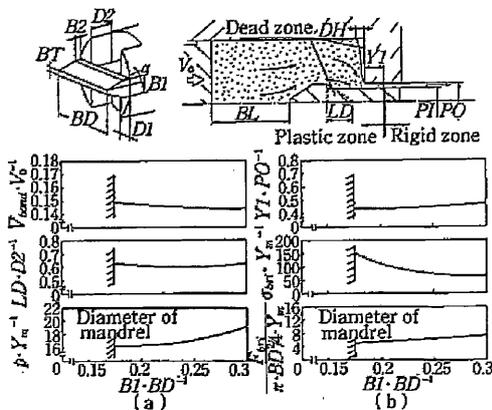


図4 ブリッジ厚さの影響

( $y/BD \leq 0$ ) の内部仕事率とせん断仕事率はすべてブリッジに、またブリッジより下流にある被加工材 ( $y/BD > 0$ ) の内部仕事率とせん断仕事率は、すべてダイスにかかっているという仮定に基づいているが、求められた  $F_{bri}$  は、ブリッジの強度を検討するデータとして有効であると思われる。

次に、この  $F_{bri}$  が、ブリッジ前面に均一に分布して作用したと仮定してブリッジにかかる曲げモーメントを計算し、この曲げモーメントによりブリッジ付根部に発生する応力の最大値  $\sigma_{bri}$  の算出を試みた。ただし、その際ブリッジを両端固定支持の梁と仮定し、マンドレルを切り離れた形状で断面二次モーメントを計算することとした。

### 4. 解析結果

#### 4-1 ブリッジ厚さ (BI) の影響

図4(a)に、相対ブリッジ厚さ ( $BI/BD$ ) を変化させたときの無次元化押出し加圧力 ( $p/Y_m$ )、ブリッジ背面部のデッドゾーンの相対長さ ( $LD/D2$ )、被加工材が圧着面に向かってぶつかり合流する無次元化速度の平均値 ( $\bar{V}_{bond}/V_0$ ) を示す。無次元化に用いた  $Y_m$  は、押出し中の被加工材の平均変形抵抗である (平均変形抵抗については前報参照)。

$p/Y_m$  は、ブリッジを厚くすると増加するが、 $LD/D2$

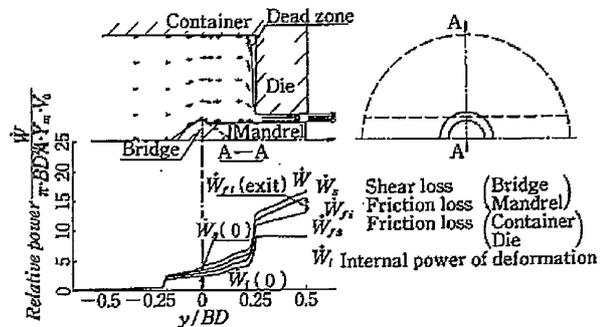


図3 速度分布と各仕事率の解析例

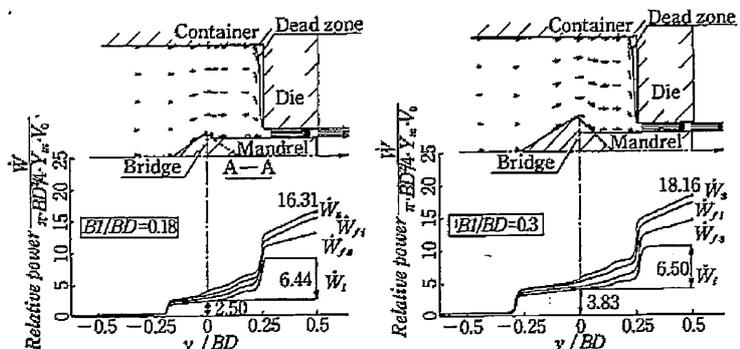


図5 ブリッジ厚さを变化させたときの速度分布と各仕事率

研究速報  
は、ブリッジ厚さがある値となったときに最小値を取る。また、 $\bar{V}_{bond}/V_0$ は、ブリッジを厚くすると減少し、圧着面上の法線（垂直）方向応力は減少する。すなわち、ブリッジ厚さが増すと、 $LD/D2$ が増加して圧着開始点が下流側へ移り、かつ圧着面へぶつかる方向の速度成分が減少し、圧着応力が減少することが予想され、製品に圧着不良が生じやすい状況が生じると言える。

図 4 (b) も、ブリッジ厚さを変化させた時のブリッジにかかる無次元化荷重 ( $\frac{F_{bri}}{\pi \cdot BD^2/4 \cdot Y_m}$ )、ブリッジ付根部に発生する無次元化応力 ( $\sigma_{bri}/Y_m$ )、グイスベアリング部内の塑性域の相対長さ ( $YI/PO$ ) を示す。無次元化に用いた  $\pi \cdot BD^2/4 \cdot Y_m$  は、被加工材の平均変形抵抗 ( $Y_m$ ) と同じ面圧を受けるパンチの荷重である。

ブリッジが厚くなるに従って、ブリッジにかかる荷重は増加するが、ブリッジにかかる曲げモーメントによる応力は、ブリッジの断面積が増加するために減少する。また、グイスベアリング部内の塑性域の長さは、ブリッジが厚くなるにつれてわずかに長くなり、必要なグイスベアリング部長さが長くなる。

図 5 に、ブリッジ厚さ ( $B1/BD$ ) が 0.18 と 0.30 の場合の、最適化された速度分布と消費される各仕事率の y 軸方向にみた累積値を示す。速度分布を見ると、ブリッジの厚い場合のほうがブリッジ通過後の流れの方向変化 ( $y/BD = 0$  前後の速度ベクトルの方向変化) が大きく、この部分で乱された流れがグイス孔に流入する部分にまで影響を及ぼし、グイスベアリング部内の塑性域の長さを長くしている。また、仕事率の推移を比較すると、ブ

$PO/BD=0.25, BI/BD=0.175, BL/BD=1.0,$   
 $D1/BD=0.2, D2/BD=0.25, V_0/BD=0.025$   
 $\text{sec}^{-1}, BT/BD=0.0625, B1/BD=0.25, \alpha=30^\circ$   
Friction factor  $m_1$  (Die, Bridge, Mandrel) = 0.5,  
 $m_2$  (Container) = 0.1

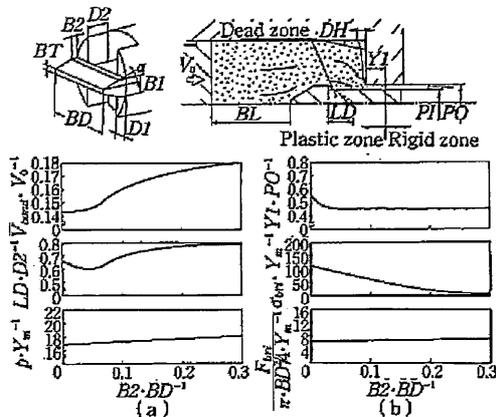


図 6 ブリッジ平行部長さの影響

リッジが厚い場合のほうが、ブリッジで分流するのに要する内部仕事率と、ブリッジ通過後の合流までの内部仕事率が大きいことがわかる。

4-2 ブリッジ平行部長さ (B2) の影響

図 6 に、相対ブリッジ平行部長さ ( $B2/BD$ ) を変化させたときの、 $p/Y_m, LD/D2, \bar{V}_{bond}/V_0, \frac{F_{bri}}{\pi \cdot BD^2/4 \cdot Y_m}, \sigma_{bri}/Y_m, YI/PO$  を示す。 $p/Y_m$  は、ブリッジ平行部が長くなるに従ってわずかに増加するが、 $LD/D2$  は、ブリッジ平行部長さの変化に対して最小値を示す。これは、平行部が著しく短い場合には、ブリッジ前面で被加工材が分流した結果生じた速度分布の影響が、ブリッジ通過後の流れにまで及び、合流しにくくなることによる。また、ブリッジ平行部が長くなり過ぎると、ブリッジ平行部に対応するグイス内の領域を通過する被加工材 ( $-B2 \leq y \leq 0$ ) の流れが、軸方向に平行かつ均一になり過ぎて、かえってブリッジ背面部へと回り込みにくくなるためと考えられる。ただし、ブリッジ背面部のデッドゾーンが長くなり、合流点が下流側に移りグイス前面に近づき過ぎると、グイス前面に発生するデッドゾーンの影響で流れの状況が変わり、かえって  $\bar{V}_{bond}/V_0$  が大きくなる。つまり、グイス前面のデッドゾーンに沿ってグイス孔へと流入しようという流れの影響が、上流側にある圧着部にも及ぶことがある。このため、圧着面上の法線応力のみを考えると、ブリッジ平行部を長くするのも一案のようにも思われるが、実際加工の面から言えば、ブリッジ背面部での合流が遅れると、接合界面へ折出物あるいは酸化物等を巻き込みやすくなり、製品の不良を起しやすくなる。

ブリッジ平行部を長くすると、ブリッジにかかる荷重はわずかに増加するが、断面二次モーメントが増加するために、ブリッジにかかる曲げモーメントによる応力は減少する。また、 $YI/PO$  は、ブリッジ平行部が長くなるとう一定値に近づく。この値は、被加工材が完全に均一な

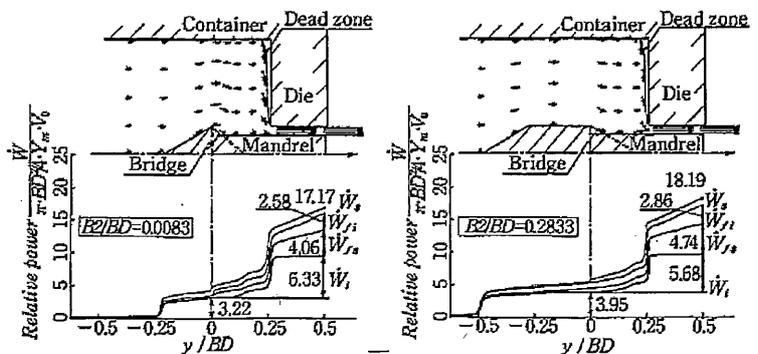


図 7 ブリッジ平行部長さを変化させたときの速度分布と各仕事率

研究速報

$PO/BD=0.25, PI/BD=0.175, BL/BD=1.0,$   
 $DI/BD=0.2, D2/BD=0.25, V_0/BD=0.025\text{sec}^{-1},$   
 $BT/BD=0.0625, B1/BD=0.25, B2/BD=0.0333$   
 Friction factor  $m_1$  (Die, Bridge, Mandrel) = 0.5,  
 $m_2$  (Container) = 0.1

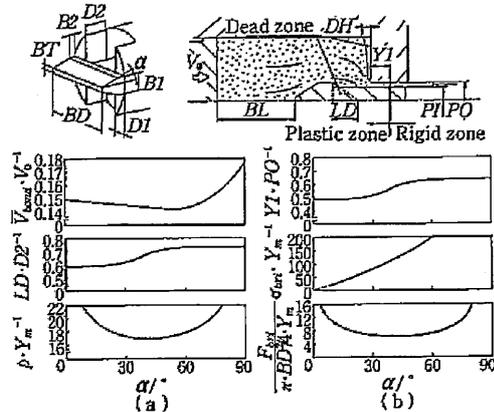


図8 ブリッジ前面傾斜角の影響

軸方向速度で流れてきた後、ダイス孔へと流入する場合の塑性域長さ ( $Y1/PO$ ) に相当する。

図7に、ブリッジ平行部長さ ( $B2/BD$ ) が0.0083と0.2833の場合の、最適化された速度分布と消費される各仕事率のy軸方向にみた累積値を示す。ブリッジ平行部が短いほうが、ブリッジ通過後の速度ベクトルの方向変化がきつく、それゆえ、ブリッジ通過後の内部仕事率も大きい。また、ブリッジ平行部を長くすると、ブリッジ・マンドレル面での摩擦損失 ( $W_M$ ) だけでなく、全体の塑性域が広がるために、コンテナ・ダイス面での摩擦損失 ( $W_{D0}$ ) も増加する。

4-3 ブリッジ前面傾斜角 ( $\alpha$ ) の影響

図8に、ブリッジ前面傾斜角 ( $\alpha$ ) を変化させたときの各解析結果を示す。 $p/Y_m$ は、 $\alpha=45^\circ$ 付近で最小値を取り、さらに $\alpha$ が増加すると急激に増加する。しかし、この場合、ブリッジの前面に新たにデッドゾーンが発生して、想定した解析モデルと異なる状態になることも考えられる。 $LD/BD$ は、 $\alpha$ の増加に伴い増加し、 $\dot{V}_{bond}/V_0$ は、 $\alpha$ の変化に対して最小値を示す。 $\dot{V}_{bond}/V_0$ が中途から増加に転じるのは、 $LD/BD$ が長くなり、合流点が下流側へ移動し、ダイス孔へ流入する流れの影響が及ぶ範囲にまで至ったためである。

$$\frac{F_{bri}}{\pi \cdot BD^2/4 \cdot Y_m}$$

は、 $\alpha$ が小さい場合のほうがブリッジの断面二次モーメントが大きくなるため、減少する。また、 $Y1/PO$ は $\alpha$ の

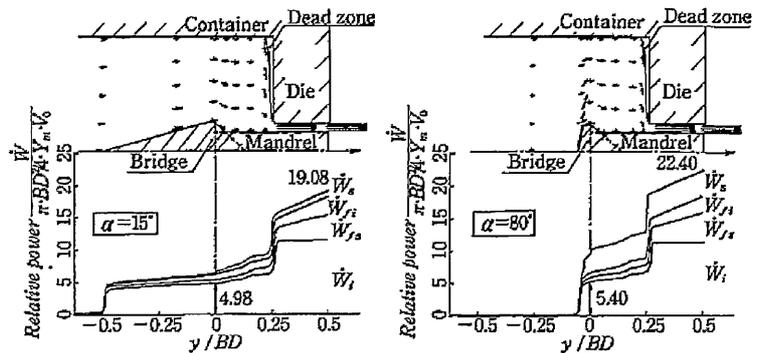


図9 ブリッジ前面傾斜角を変化させたときの速度分布と各仕事率

増加と共に増加するが、前述したように、 $\alpha$ が大きくなりブリッジ前面に新たなデッドゾーンができると、一定値となることが予想される。

図9に、 $\alpha$ が $15^\circ$ と $80^\circ$ の場合の、最適化された速度分布と消費される各仕事率のy軸方向にみた累積値を示す。 $\alpha$ が大きい場合は、ブリッジ表面の速度が大きくなり、被加工材を分流するのに要する仕事率も大きいことがわかる。

5. ま と め

基本的な形状の2本足ブリッジダイスによる押し出しの場合を例にとり、ブリッジにかかる荷重や、分流後の合流点での被加工材の圧着のしやすさを推定する方法について提案を行い、一連の解析の結果、以下の知見を得た。

- (1)ブリッジにかかる荷重を低減するためには、ブリッジ厚さを抑制し、平行部を短く、前面傾斜角を $45^\circ$ 付近にすることが好ましいが、
- (2)ブリッジ付根部に発生する曲げ応力を低減するためには、ブリッジを厚く、平行部を長く、前面傾斜角を小さくする必要がある。
- (3)分流した被加工材の圧着を最も効果的に達成するのに望ましい、ブリッジ厚さ、平行部長さが存在し、またブリッジ前面傾斜角は小さいほうが圧着を促進する上で好ましい。
- (4)したがって、実際のダイス設計、工程設計に際しては、上記要件の調和を図ることが必要となる。

(1988年10月12日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内ほか：昭63春塑加講論，(1988)，95。
- 2) 木内ほか：37回塑加連講論，(1986)，135。
- 3) 木内ほか：昭62春塑加連講論，(1987)，407。
- 4) 木内ほか：38回塑加連講論，(1987)，595。