

# 非軸対称押出し・引抜きに関する研究 ——ダイス孔形への材料の充満限界 4——

Simulation of Geometry of Products in Non-Axisymmetric  
——Extrusion and Drawing Processes 4th Report——

木内 学\*・飯島 茂男\*  
Manabu KIUCHI and Shigeo IJIMA

## 1. はじめに

筆者らは、いわゆる上界法を応用した汎用的な解析手法を<sup>1)2)</sup>ダイス孔形への被加工材の充満問題に適用し、各種の解析モデルの開発を行い、前報までは、解析例を主体に報告してきた。

本報では、ダイス角度およびリダクション等を種々組み合わせた場合の内面フィン付き管の引抜き実験を行い、それらの要因が被加工材の充満限界に及ぼす影響について調査すると共に、あわせて実験結果と解析結果の比較検討を通して、解析手法と解析モデルの妥当性の確認を行ったので、その結果を報告する。

なお、解析手法は既報<sup>3)4)</sup>に詳しく述べたので、ここでは省略する。

## 2. 実験方法

### 2-1 実験装置

実験は、写真-1に示す島津式UMH油圧型整型30Ton容量試験機に、図-1に示すように工具・治具と被加工材をセットして行った。図中、①被加工材、②溝プラグ、③ダイス、④チャック、⑤芯金である。なお、実験に用いた②溝プラグは、フィン数 $n=36$ のストレートフィン形状の円筒プラグであり、詳細を図-2に示す。

### 2-2 実験条件

実験に用いた被加工材は、純銅焼鈍材であり、内外面の潤滑油としては、高粘度鉍物油を用いた。実験を行っ

た条件因子と各条件因子の水準は、

- (1)ダイス角度： $2\beta = 8, 12, 16, 25^\circ$
- (2)原管肉厚：1.50, 1.75, 2.00, 2.25, 2.50mm
- (3)原管内・外径；外径 $20\phi$ 一定と内径 $15\phi$ 一定
- (4)製品外径； $17.5\phi$ と $16.5\phi$

であり、各条件因子と各水準の詳細な組み合わせは、表-1～表-3に示す合計41種類である。

## 3. 解析条件

### 3-1 解析に際しての塑性域の近似

実験には、軸方向に傾斜のない円筒形プラグを用いたので、軸方向において、図-3左に示すように塑性域は、プラグに接触する領域と接触しない領域の2つの領域に分割される。しかし、今回は計算の簡単化のため、図-3右に示すように、プラグに若干のテーパを考慮し、1つの塑性域で近似して解析を行った。

### 3-2 被加工材内面の流動形状

被加工材内面の流動形状としては、図-4に示すように、フィン部先端のバルジ変形を考慮しない(a)矩形形状と、バルジ変形を考慮した近似形状である(b)円・楕円形状あるいは、(c)放物線形状などについて解析が可能であるが、実験により得られたフィン形状は、フィン部先端のバルジ変形が、小さいものであったので、以下の計算はすべて(a)矩形形状を用いて行った。

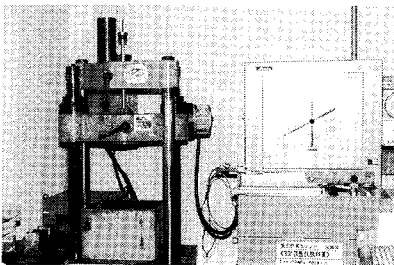


写真-1 実験装置

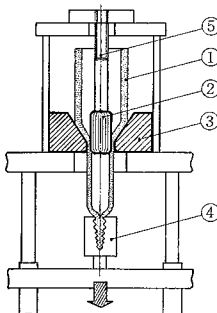


図-1 実験装置の概略

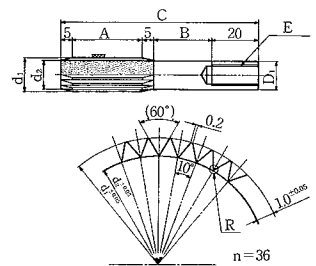


図-2 溝プラグ形状

\*東京大学生産技術研究所 第2部

表-1 実験条件と実験および計算結果 (Case-1)

Symbol	Tested condition			Result (B/H)c			
	Raw tube size (mm)	Die angle (deg.)	Product tube size (mm)	Experiment	Calculation $m=0.10$		
					$m'=0.01$	$m'=0.03$	$m'=0.05$
A	OD	ID	25	0.01	0	0	0
	20×17.0	φ	16	0.01	0	0	0
		φ	12	0.01	0.020	0	0
		(t1.5)	8	0.02	0.024	0	0
B	20×16.5	17.5	25	0.09	0.15	0.14	0.12
			16	0.14	0.16	0.15	0.12
			12	0.14	0.17	0.15	0.11
			8	0.17	0.18	0.15	0.10
C	20×16.0	Top dia. of plug: 14.3	25	0.20	0.33	0.31	0.30
			16	0.30	0.34	0.32	0.30
			12	0.30	0.35	0.32	0.28
			8	0.28	0.36	0.32	0.26
D	20×15.5	Bottom dia. of plug: 12.3	25	0.40	0.49	0.45	0.38
			16	0.40	0.50	0.45	0.37
			12	0.40	0.51	0.44	0.36
			8	0.37	0.52	0.42	0.32
E	20×15.0	(2.0)	25	0.50	0.54	0.49	0.46
			16	0.47	0.55	0.49	0.44
			12	0.42	0.56	0.50	0.43
			8	0.42	0.57	0.47	0.37

表-2 実験条件と実験および計算結果 (Case-2)

Symbol	Tested condition			Result (B/H)c			
	Raw tube size (mm)	Die angle (deg.)	Product tube size (mm)	Experiment	Calculation $m=0.10$		
					$m'=0.01$	$m'=0.03$	$m'=0.05$
F	18.0×15.0	17.5	25	0	0	0	0
			16	0	0	0	
			12	0.01	0	0	
			8	0.04	0.002	0	
G	18.5×15.0	17.5	25	0.07	0.10	0.10	0.10
			16	0.11	0.12	0.10	0.10
			12	0.13	0.14	0.11	0.10
			8	0.15	0.15	0.12	0.10
H	19.0×15.0	17.5	25	0.26	0.33	0.32	0.30
			16	0.30	0.34	0.33	0.30
			12	0.34	0.35	0.33	0.30
			8	0.25	0.36	0.33	0.29
I	19.5×15.0	(2.25)	25	0.36	0.49	0.45	0.40
			16	0.42	0.50	0.46	0.43
			12	0.46	0.51	0.46	0.42
			8	0.41	0.52	0.44	0.34

\* (Top dia. of plug×Bottom dia. of plug)

表-3 実験条件と実験および計算結果 (Case-3)

Symbol	Tested condition			Result (B/H)c			
	Raw tube size (mm)	Die angle (deg.)	Product tube size (mm)	Experiment	Calculation $m=0.10$		
					$m'=0.01$	$m'=0.03$	$m'=0.05$
A'-25	20×17.0	25	16.5	0.32	0.34	0.33	0.32
B'-25	20×16.5	25	16.5	0.40	0.47	0.43	0.40
C'-25	20×16.0			0.48	0.58	0.52	0.47
D'-25	20×15.5			0.52	0.69	0.60	0.52
E'-25	20×15.0			0.46	0.73	0.64	0.57

\* (Top dia. of plug×Bottom dia. of plug)

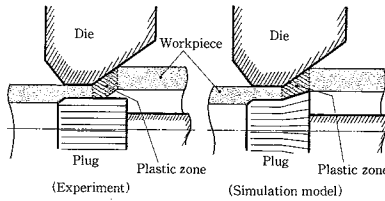


図-3 計算に際しての塑性域の近似

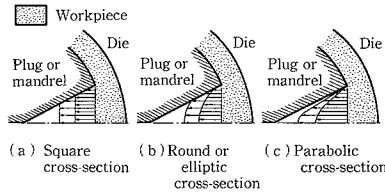


図-4 被加工材内面の流動形状

### 3-3 引抜き力と摩擦定数

まず、実験により求められた引抜き力の実測値と、摩擦定数を変化させた場合の計算値との対応より、以降の充满限界を算出する場合に用いる摩擦定数の妥当性を調べた。なお、被加工材の変形抵抗としては、図-5に示す0.2%耐力( $\sigma_{0.2}$ )を用いた。また、変形途中の被加工材の加工硬化は考慮していない。図-6に一例として、ダイス角度8°の場合(表-2中、G-8、H-8、I-8)の引抜き力を示す。実測値(●)と計算値(○, △, □)の間には、良い対応が見られるものの、リダクションの高い場合には、 $m'$ が大きい場合のほうが当てはまりが良くなっている。これは図-3に示したように、被加工材と溝プラグの接触面積に関する実験と解析モデルとの差と、リダクションの増加に伴う面圧の影響によるものと考えられる。以降の計算では、内面の摩擦定数の充满に及ぼす影響も調べるために $m=0.10$ (一定)で $m'=0.01, 0.03, 0.05$

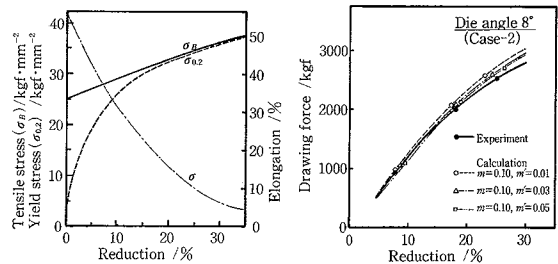


図-5 純銅の機械的性質 図-6 引抜き力の実測値と計算値

の3条件すべてに関して解析を行った。

## 4. 実験結果と計算結果

### 4-1 充满限界値の算出

充满限界値の算出例として、条件I-8、I-12、I-16、I-25の場合を図-7に、また、条件I-8、H-8、G-8の場合を図-8に示す。それぞれの条件で、●で示す仕事率が最小となる充满率(B/H)cが得られる。ただし、図-7からも明らかなように引抜き力が最小となる最適ダイス角度は、必ずしも最大の充满限界値を与えない。すなわち、図-7においては、引抜き力は大きくなるが、充满率を大きくするためには、I-8の条件が好ましいと考えられる。以下、同様の手順により、本解析手法を用いて、各条件下で予測された充满率を実測値と共に表-1～表-3に記

研究速報

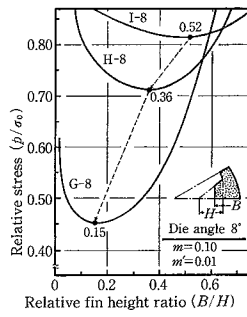
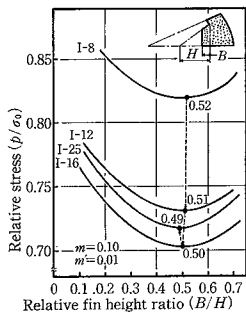
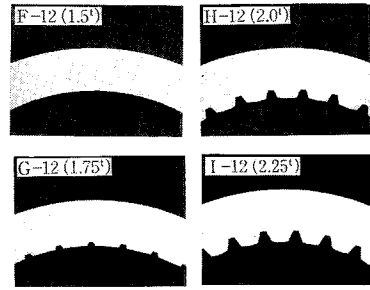


図-7 充滿限界値の算出-1

図-8 充滿限界値の算出-2



Case-2 ダイス角度12° (×15)  
写真-2 実験によるフィン形状

す。また、実験により得られたフィン断面形状の一例として、表-2 Case-2 F-12, G-12, H-12, I-12の場合を写真-2に示す。

4-2 原管肉厚 (リダクション) の影響

実験結果と計算結果を、横軸に原管肉厚をとり、Case-1の場合を整理すると図-9となる。また、Case-2の場合は図-10となる。実験値と各計算値共に、原管肉厚の増加 (リダクションの増加に対応する) に伴って充滿率も増加する、という傾向を示している。しかし、その増加率は、リダクションの増加と共に次第に小さくなる傾向にあり極端にリダクションが高い場合には、あるリダクションで充滿率が最大となる。すなわち最適リダクション (あるいは最適原管寸法) の存在を示唆しているよう

である。また、リダクションが高い場合は、摩擦定数が大きいほど、実測値との当てはまりが良く、引抜き力で比較を行った時と同様な傾向が得られた。これも被加工材と溝プラグの接触面積に関する実験と解析モデルとの差、およびリダクションの増加に伴う面圧の影響によるものと考えられる。

4-3 原管外径と原管内径の影響

図-9と図-10を比較してみると、実験結果ではリダクションの低い場合はCase-1の場合が、また、リダクションの高い場合はCase-2の場合が、好ましい結果を示しているものの、全体的には、両者に顕著な差は見られない。これは、肉厚の水準を統一したためリダクションの差の影響がほとんど生じなかったことと、両者の寸法

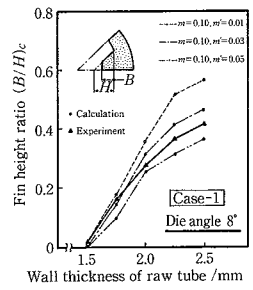
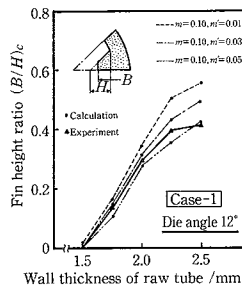
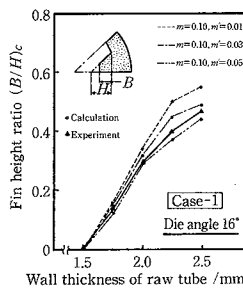
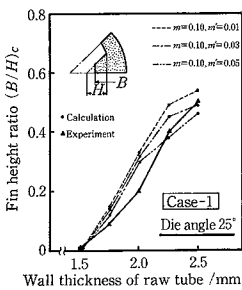


図-9 原管肉厚の影響 (Case-1)

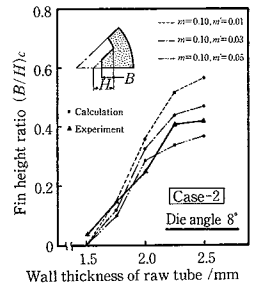
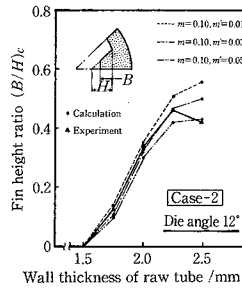
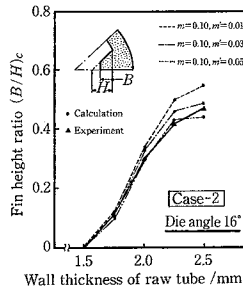
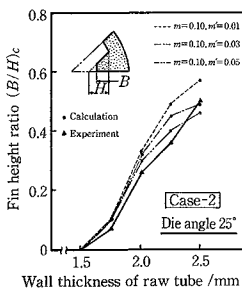


図-10 原管肉厚の影響 (Case-2)

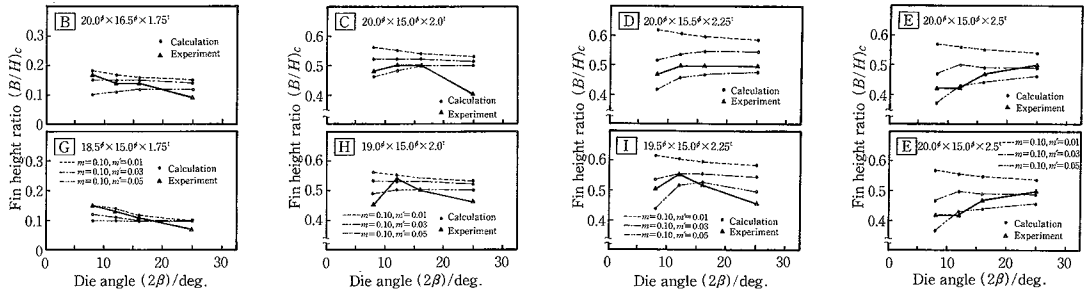


図-11 ダイス角度の影響

が非常に近い設定であり、せん断仕事率などに顕著な差が生じなかったためと考えられる。

4-4 ダイス角度の影響

表-1および表-2の結果を、横軸にダイス角度をとって整理すると図-11となる。ただし、上側がCase-1の場合、下側がCase-2の場合である。それぞれの条件において、充填率が最大となる最適ダイス角度が存在する。更に、その最適ダイス角度は、条件B→Eに、また条件G→Eに(すなわち、リダクションが増加)なるに従って、大きな値となっていく傾向が見られる。これはリダクションが高い場合は、被加工材とプラグ面間における摩擦状態が非常に厳しくなることと、加えて、ダイス角度が小さい場合には、接触面積が増大することにより、被加工材は、半径方向内側に流れるよりも、軸方向に流れやすくなり、フィン形成が抑制されるものと考えられる。また、計算結果においても、適切な摩擦定数の組み合わせを用いることにより、上述の傾向を表現することが可能であることが伺える。

4-5 製品外径の影響

表-3 Case-3は、原管寸法を固定し、製品外径を17.5φと16.5φとした場合であり、結果を図-12に示す。製品外径を小さくすると(リダクションが高くなると)、原管肉厚は薄くとも充填は進行する。しかし、リダクションが高くなりすぎると、内面の摩擦状態は厳しくなり、充填の進行は阻害される。すなわち、充填率を最大とする最適リダクション(あるいは最適原管寸法・最適製品寸法)が存在する。

4-6 摩擦定数の影響

前報<sup>5)</sup>での摩擦定数に関する一連の解析例では、外面の摩擦定数は大きいほど、また、内面の摩擦定数は小さいほどフィン部への被加工材の充填率は高い傾向にあった。当然のことながら、今回の計算においても、内面の摩擦定数は、小さいほど高い充填率を示している。図-9～図-12を通して、リダクションの低い場合は、内面の摩

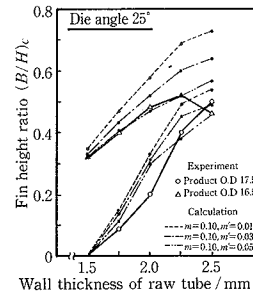


図-12 製品外径の影響

擦定数の影響はそれほど大きくないが、リダクションが高くなるにつれて大きくなっていくことがわかる。また、ダイス角度が小さくなるに従って(被加工材と工具の接触面積が増大するにつれて)、内面の摩擦定数の影響は大きくなっている。これらの傾向は、一般的に妥当性のある傾向と考えられる。

5. ま と め

本報では、内面フィン付き管の引抜き実験を行い、すでに開発された内面フィン付き管解析モデルによる計算結果との比較検討を行った。結果は、定性的にも、定量的にも良い対応が見られ、充填限界推定の解析手法およびそれに基づく解析モデルの妥当性を確認した。

本解析手法により、被加工材のダイスまたはプラグ孔形への充填限界が予測可能であることが明らかになった。今後は、更に、多くの被加工材の充填に及ぼす各種条件因子に関して、系統的なデータを蓄積していく予定である。(1988年6月28日受理)

参 考 文 献

- 1) Kiuchi, M., Kishi, H.& Ishikawa, M.: Proc. 22nd Int. Mach. Tool Des. Conf., (1981), 523.
- 2) 木内・石川: 塑性と加工, 25-282 (1984), 604.
- 3) 木内・飯島・星野: 塑性と加工, 29-325 (1988), 151
- 4) 木内・飯島・星野: 37回塑加工連講論, (1986), 206.
- 5) 木内・飯島・星野: 昭和62春塑加工講論, (1987), 411.