

UBET の非軸対称鍛造加工への応用に関する研究

— 非対称フラッシュ部への材料充満の解析・2 —

Study on Application of Upper Bound Elemental Technique (UBET)

to Non-Axisymmetric Forging · 2nd Report

木 内 学*・唐 戸 彰 夫**

Manabu KIUCHI and Akio KARATO

1. ま え が き

筆者らは、非軸対称鍛造加工における被加工材の型キャビティーへの充満・なじみ等の問題について、UBET (Upper Bound Elemental Technique) による総合的な解析手法の開発を行っている。前報¹⁾では、軸対称製品の側方に対称的に配置された平行フラッシュを持つ擬軸対称製品の加工プロセスについて、解析モデルを作成し、シミュレーションを行った。これにひきつづき本報では、前報のモデルで側方フラッシュにテーパが付いた場合、およびその特別なケースとして、円柱ピレットからそれに外接する正多角柱を得る場合について、諸条件が材料の変形挙動に与える影響を解析するとともに、UBET による一連の解析の有効性について検討を行うために、前報のモデルについて鍛造実験を行ったので結果を報告する。

2. 解析モデルおよび速度場

解析モデルおよびその要素分割を図1に、各要素の速度場の概略を表1に示す。図1中の要素 E_{11} , E_{12} , E_{22}^{11} , E_{22}^{12} , E_{22}^{13} には O_1 を軸とする円柱座標系 (R, θ, Y) を、 E_{22}^{14} , E_{22}^{15} には O_2 を軸とする円柱座標系 (S, φ, Y) を用

いた。また、これらのうち軸対称要素 E_{11} , E_{12} と非軸対称要素 E_{22}^{11} , E_{22}^{12} , E_{22}^{13} には前報と同様の速度場を適用し、残りの E_{22}^{14} , E_{22}^{15} については新しい速度場を構成した。本速度場は、1) 前方・側方両フラッシュへの材料流出量配分を決める前方フラッシュ速度 W_{11} , 2) E_{22}^{14} - E_{22}^{15} 境界垂直速度分布を決める任意関数 $f(\theta)$, 3) E_{22}^{14} - E_{22}^{15} 境界垂直速度分布を決める任意関数 $\gamma(S)$ を、最適化パラメータもしくはそれを内蔵する関数として含んでいるが、本解析では $f(\theta) = \beta_1 \cos \theta + \beta_2 \cos \theta$, $\gamma(S) = \beta_3 S + \beta_4 (\beta_1 \sim \beta_4$: 最適化パラメータ) とし、全部で5個のパラメータを、材料変形の進行にともなって次のように適時用いて速度場を修正し、全仕事率を最小とする最適近

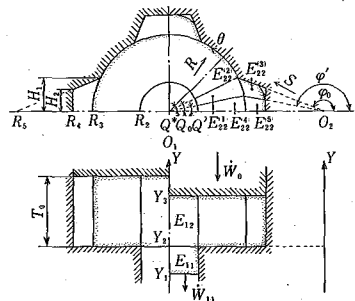


図1 モデルおよび要素分割

表1 動的可容速度場の概略

	$U_v =$	$U_R(U_s) =$	$U_\theta(U_\varphi) =$
E_{11}	$A_{11} Y + B_{11}$	$F_{11} R + G_{11} / R$	—
E_{22}^{11}	$C_{11} Y + C_{12}$	$C_{13} R + \alpha_1 + C_{14} / R + s(R) f(\theta)$	$(C_{15} R - \alpha_1) (\theta - \theta') - t(R) F(\theta', \theta) + PR + Q$
E_{22}^{12}	$C_{21} Y + C_{22}$	$C_{23} R + C_{24} + C_{25} / R$	$(\theta - \theta^*) (C_{26} R + C_{27}) / (\theta_0 - \theta^*)$
E_{22}^{13}	$C_{31} Y + C_{32}$	$C_{33} S - (\pi - \varphi') \Gamma(S) / S + \Delta_1(\varphi) / S$	$(\pi - \varphi') (\varphi - \varphi_0) \gamma(S)$
E_{22}^{14}	$C_{41} Y + C_{42}$	$\alpha_2 R + \alpha_3 + C_{43} / R + s(R) g(\theta)$	$(C_{44} R - \alpha_3) \theta - t(R) G(\theta, \theta')$
E_{22}^{15}	$C_{51} Y + C_{52}$	$C_{53} S + (\varphi' - \varphi_0) \Gamma(S) / S + \Delta_2(\varphi) / S$	$(\varphi' - \varphi_0) (\pi - \varphi) \gamma(S)$

ただし、 $s(R)$, $t(R)$, $\Delta_1(\varphi)$, $\Delta_2(\varphi)$, $g(\theta)$ は特定の関数; $f(\theta)$, $\gamma(S)$ は任意関数

A_{11} , B_{11} , C_{11} , F_{11} , G_{11} , P , Q は特定の定数; α_1 , α_2 , α_3 は任意定数

$$F(a, b) = \int_a^b f(\theta) d\theta, G(a, b) = \int_a^b g(\theta) d\theta, \Gamma(S) = \int \gamma(S) dS$$

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 新日本製鐵株式会社

研 究 速 報

似解を求めた。1) まず、加工開始時から側方フラッシュ部の型キャビティの先端面に材料があたるまでは W_{11}, β_1, β_2 の3コを、2) その後、側方フラッシュに材料が充満しきるまでは、前述の3パラメータの他 β_3, β_4 の計5コを最適化パラメータとし、3) 側方フラッシュに材料が充満しきった後には、充満過程は終了しており、パラメータ操作によりフラッシュ形状を変化させる必要がないため、最適化処理は不要となる。なお以下の解析においては、最適化に F. P. S 法を用い、材料は剛完全塑性体で、変形抵抗は材料内で一様であるとした。

3. 解析 結果

図2は、前方フラッシュ径を変えた場合の解析結果である。図より、材料を型によくなじませるためには、前方フラッシュ径をかなり小さくせねばならず、そのため、加工荷重がかなり大きくなってしまふことが分かる。一方これに対して、前方フラッシュ径を適度に大きくした場合、材料の型へのなじみ方は若干悪化するものの、側方フラッシュは体積的には十分に成長し、しかも加工荷重を大幅に低くできるため、要求される加工精度と加工機械の能力・歩留り等との関係から決まる最適な前方フラッシュ径を選ぶ必要のあることが分かる。

図3は、側方フラッシュ長さを変えた場合の解析結果

である。図より、フラッシュが長いほど材料の型へのなじみ方は悪くなり、充満過程終了時(側方フラッシュの成長が停止した時点)の荷重も若干大きくなる事が分かる。

図4は、 O_2 の位置を変え、テーパの傾きを変化させた場合の解析結果である。図より、テーパ角が大きくなるほど材料は型になじみにくくなる事が分かる。また充満過程終了時の荷重は、テーパ角が小さくなるほど大きくなる事が分かる。

図5は、側方フラッシュ入口部の幅を変え、テーパの傾きを変化させた場合の解析結果である。この場合、フラッシュ幅が広い(狭い)ということは、テーパ角が大きい(小さい)ということに相当する。図より、テーパ角が大きいほど材料は型になじみにくく、また充満過程終了時の荷重は、テーパ角が小さいほど大きくなる事が分かる。この傾向は、フラッシュ形状の違いによる差はあるものの、図4の傾向と一致している。

図6は、ピレットのアスペクト比を変えた場合の解析結果である。図より、同圧縮率時と比較すると、アスペクト比が大きなピレットを用いた場合のほうが、材料は型になじみやすいものの、歩留りは悪化し、加工荷重もかなり大きくなってしまふことが分かる。したがって、要求される加工精度とのかねあいで、適正なアスペクト

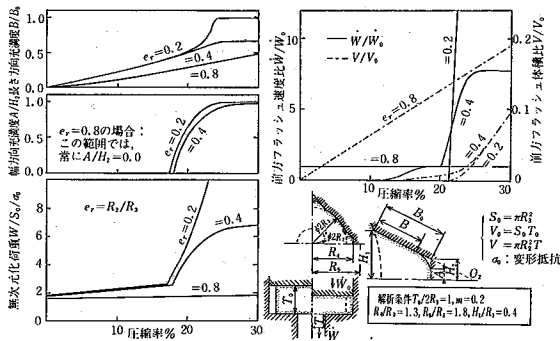


図2 前方フラッシュ径の影響

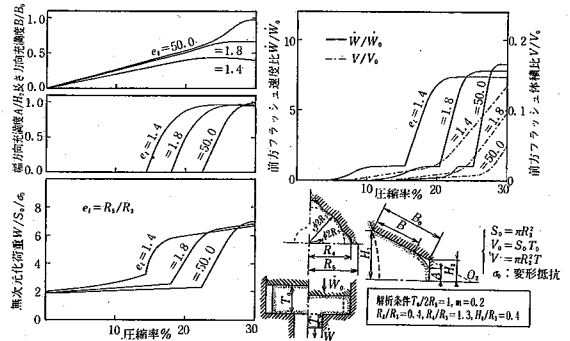


図4 テーパ角の影響

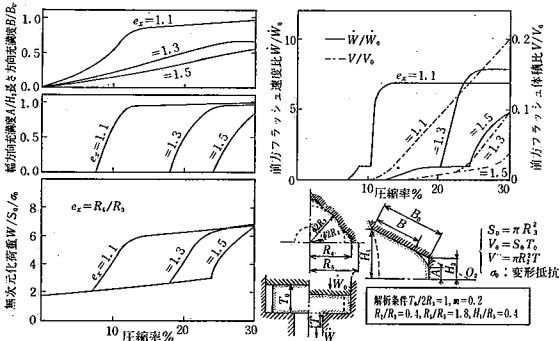


図3 側方フラッシュ長さの影響

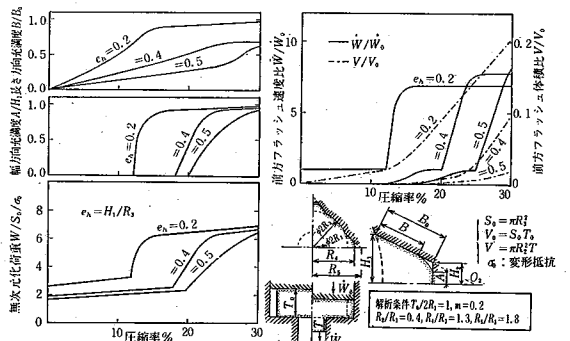


図5 側方フラッシュ幅の影響

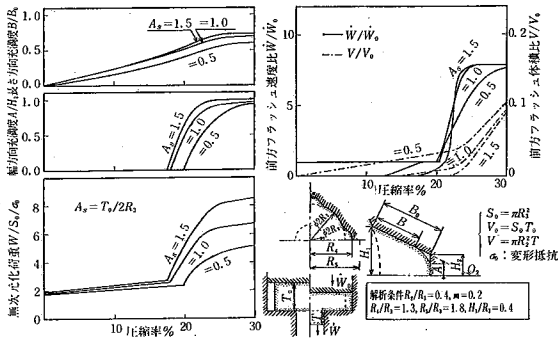


図6 アスペクト比の影響

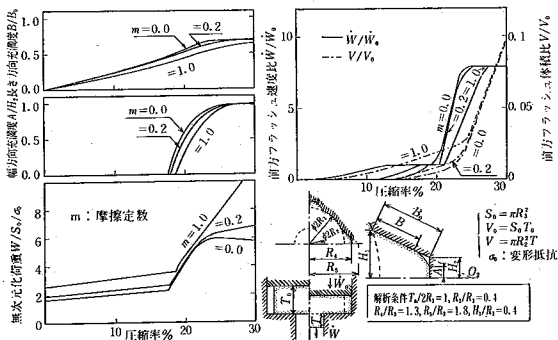


図7 摩擦定数の影響

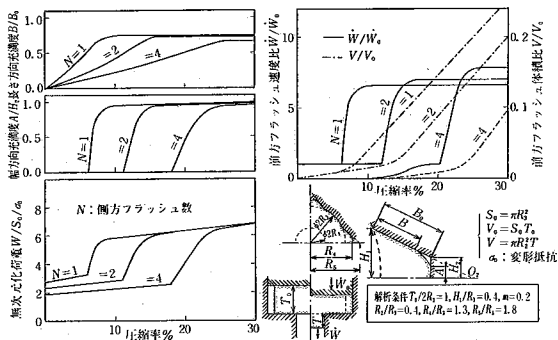


図8 側方フラッシュ数の影響

比のピレットを用いることが望ましいといえる。

図7は、摩擦定数 m を変えた場合の解析結果である。図より、大差はないものの、 m が小さいほうがバルジ量が小さくなる分、材料は型になじみやすくなっていることが分かる。また荷重についても、 m が小さいほうが小さくなっており、これから、加工に際してはできるだけよく潤滑する必要のあることが分かる。

図8は、側方フラッシュの数 N を変えた場合の解析結果である。図より、 N が大きいほど材料は型になじみにくくなっていることが、また充滿過程終了時の荷重には大差がないことが分かる。

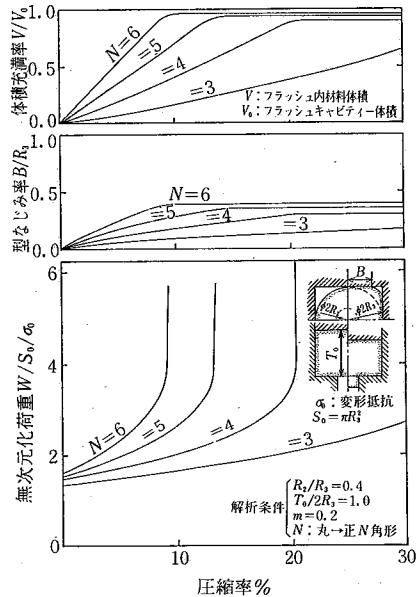


図9 正多角形状の影響

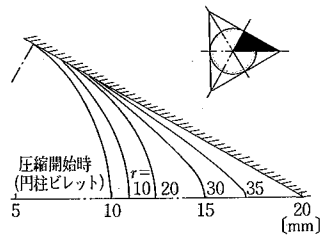


図10 正三角柱型への材料のなじみ方 (r : Reduction %)

図9は、側方フラッシュにテーパが付いた場合の特別な例として、円柱ピレットからそれに外接する(前方フラッシュの付いた)正多角柱を得る場合について、角柱の横断面形状を変えた場合の解析結果を示したものである。図より、側方フラッシュに相当する部分は、体積的にはかなりよく成長するものの、材料の型へのなじみ方はよくなく、この傾向は、辺の数が少ない場合ほど著しいことが分かる。これは、図10に示す正三角柱製品を得る場合における圧縮率と材料の型へのなじみ方の関係図からもよく分かる。一方、荷重は充滿過程終了直前までかなり緩やかに増加してゆき、充滿過程終了時近傍で急激に増加する傾向があることが分かる。なお、ここでは省略するが、前方フラッシュ径等を変えた場合の解析結果は、これまでと同様の傾向を示した。

4. 実験 結果

本手法の有効性を確かめるために、側方フラッシュにテ

研究速報

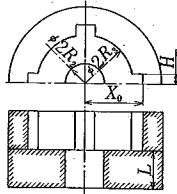


図11 ダイス形状

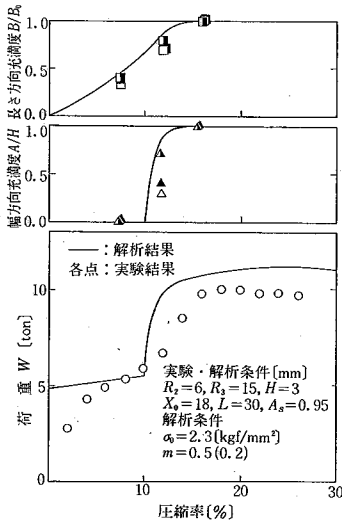


図12 実験結果と解析結果 (CASE 1)

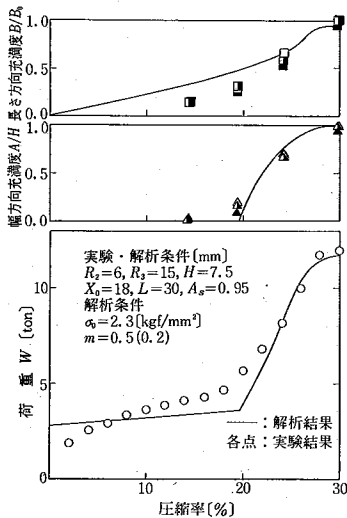


図13 実験結果と解析結果 (CASE 2)

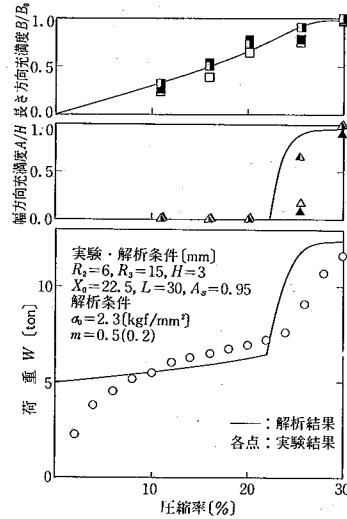


図14 実験結果と解析結果 (CASE 3)

一パがついていない場合 (前報のモデル) について鍛造実験を行い、解析結果と比較した。ダイス形状と記号の定義を図11に示す。被加工材には鉛を用い、マシン油で潤滑した。またそれに対応する解析では、変形抵抗 $\alpha_0=2.3 \text{ kgf/mm}^2$ とし、摩擦定数 m は、前方フラッシュ部のみ $m=0.2$ とし、他は $m=0.5$ とした。その結果を図12~14に示す。図中の実線は解析結果、また図中にプロットした点は実験結果を示す。充満度に関する図においては、同一圧縮率における実験結果を3種類示してあるが、これらは、前方フラッシュの方向を下としたとき、製品の上方から約5, 50, 95%の部分における材料の形状の平均値をそれぞれ□■(△▲)として示したものである。図より、実験と解析とがよく一致していることが分かる。

5. ま と め

軸対称製品の側方に、テーパのついた側方フラッシュを対称的に配置した擬軸対称製品、および正多角柱製品の加工プロセスを解析するための速度場を開発し、シミュレーションを行い、妥当と思われる結果を得た。また、前報のモデルに対応する鍛造実験を行い、実験と解析がよく一致することを確認し、非軸対称鍛造問題へのUBETの応用の有効性を確めた。

(1983年5月24日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・唐戸：生産研究 (1983-1)