

塑性加工の複合数値解析に関する研究 第 2 報

—管端のアプセット加工の解析(2)—

Study on Combined Numerical Analysis 2nd Report

—Numerical Analysis of Upsetting of Pipes. PART 2—

木 内 学*・柳 本 潤*

Manabu KIUCHI and Jun YANAGIMOTO

1. はじめに

前報¹⁾に、管端のアプセット加工の剛塑性 FEM による解析法を示したが、本報では、これを用いての解析例を示し、この加工プロセスの特性につき述べる。また、別報²⁾に示した UBET による解析結果との比較を行い、これら両解析法の特性につき検討を加える。

2. 管端のアプセット加工の解析

2-1 解析法

解析法の詳細は、前報¹⁾に示したとおりであり、素管の工具からの離脱を考慮可能な剛塑性 FEM によっている。また、材料は S 25 C を想定しており、変形抵抗式は次式に示すとおりである。

$$\sigma = 35.0(1 + 50.0\varepsilon)^{0.228} \text{ [kgf/mm}^2\text{]} \quad (1)$$

摩擦条件は、次式に従う定摩擦を仮定した。

$$\tau_f = m \cdot 35.0 / \sqrt{3} \text{ [kgf/mm}^2\text{]} \quad (2)$$

2-2 パンチ形状の影響

加工に用いるパンチ形状によって、素管の変形過程が

影響されるが、ここでは、その一例としてパンチの圧下端面に傾斜角度を付けた場合の素管の変形挙動の相違につき示す。

パンチの圧下端面が(a)水平(管中心軸と垂直)な場合、これに±11.3°の(b)鋭角、および(c)鈍角な傾斜角度を付けた場合について、シミュレーションを行った。なお素管寸法はφ38 mm~φ30 mm(管厚 t=4 mm)、肉厚比 1.5、摩擦定数は m=0.1 である。

(a)~(c)それぞれの場合に対応する素管の変形状態を図 1 に示す。鋭角および水平パンチに対応する変形は類似しているが、鈍角パンチに対応する変形は前二者と異なる座屈モードを示しており、この場合、良好な製品を得るのが困難であることが予想される。しかしながら、加工プロセスの最適化という面からの詳細な検討は、ひずみ・応力等の情報からもなされる必要がある。

2-3 工具接触面での温度低下、および予加工の影響

管端のアプセット加工は、実際には熱間で行われるために、加工速度および工具接触面での伝熱による素管の温度低下の影響を受ける。加工速度の影響は別途考慮す

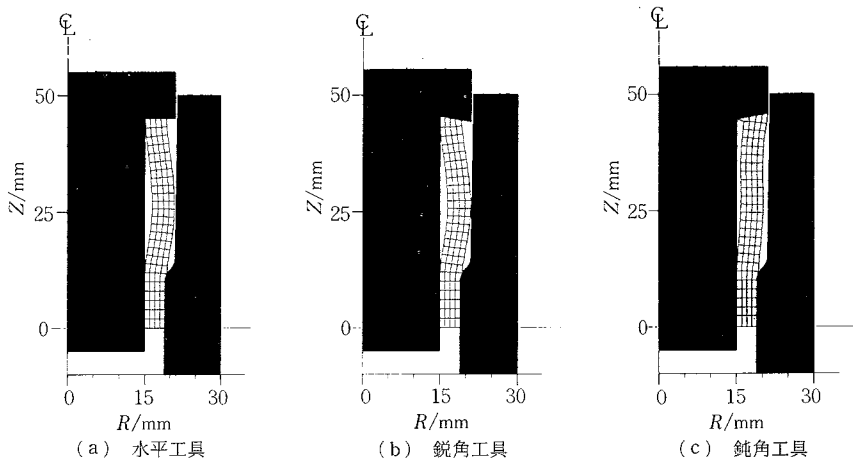
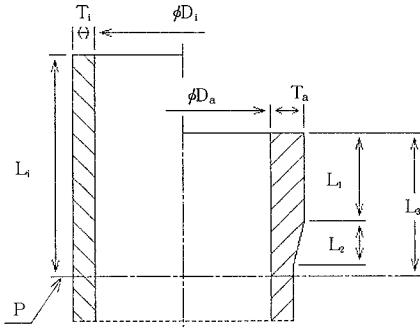


図 1 パンチ形状の変形に与える影響

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

研究速報

ることとして、ここでは温度低下の影響を近似的に検討するために、工具接触面上の要素に対する変形抵抗を



変形前後の寸法：

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| $\phi D_i = 80 \text{ mm}$ | $\phi D_a = 80 \text{ mm}$ |
| $T_1 = 10 \text{ mm}$ | $T_a = 15 \text{ mm}$ |
| $L_1 = 100 \text{ mm}$ | $L_2 = 20 \text{ mm}$ |
| | $L_3 = 65 \text{ mm}$ |

(肉厚比：1.5)

図2 外側増肉アブセット加工の解析モデル

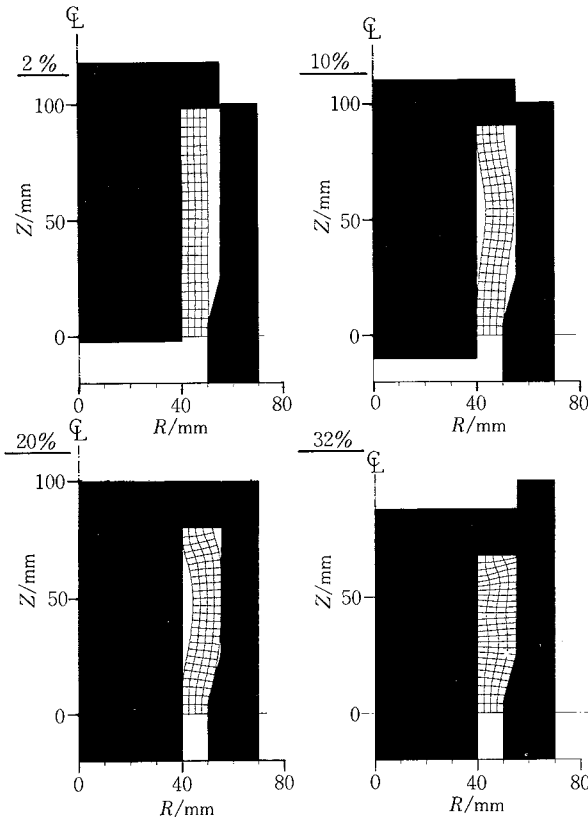


図3 通常のシミュレーション(CASE-A)

(1)式より20%高くした場合の素管の変形に関するシミュレーションを行った。図2に、解析モデルとその寸法を、図3に冷間変形抵抗式((1)式)をそのまま用いた場合(CASE-A)、図4に変形抵抗に上述の相違を与えた場合(CASE-B)の素管の変形形状を示す。なお摩擦定数は $m=0.3$ とした。図3と図4との比較より明らかとなり、巨視的な変形の比較という点からは、この両者にはほとんど差がないことがわかる。

また予加工によりアブセット加工時の素管の変形過程が影響されることが考えられるが、ここではその一例として、フレアリングを行った管端をすえ込む場合につきシミュレーションを行った。図5にフレアリング加工そのもののシミュレーションの結果を、図6にフレアリ

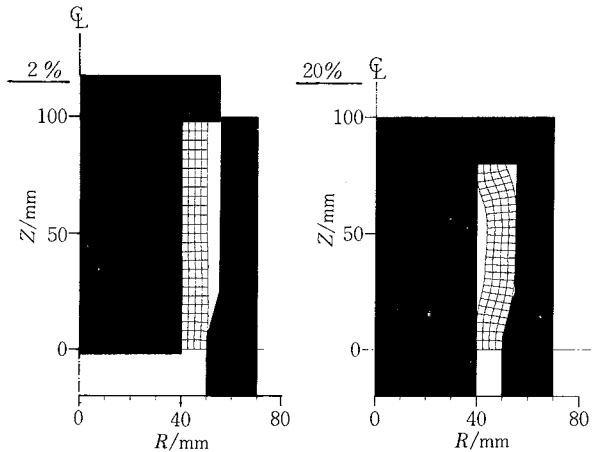


図4 工具と接触している要素の変形抵抗を20%高くしたシミュレーション(CASE-B)

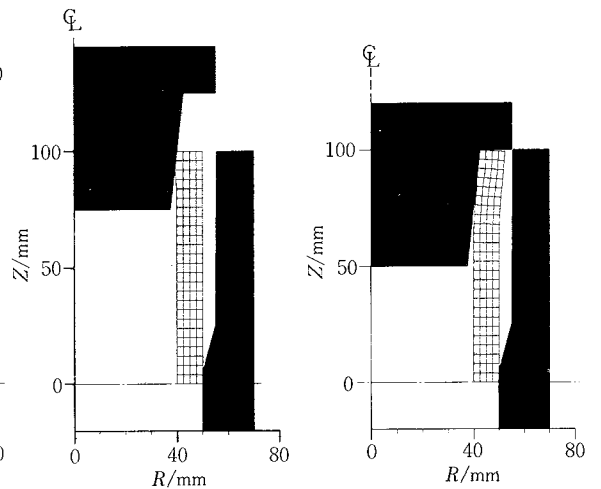


図5 フレアリングのシミュレーション

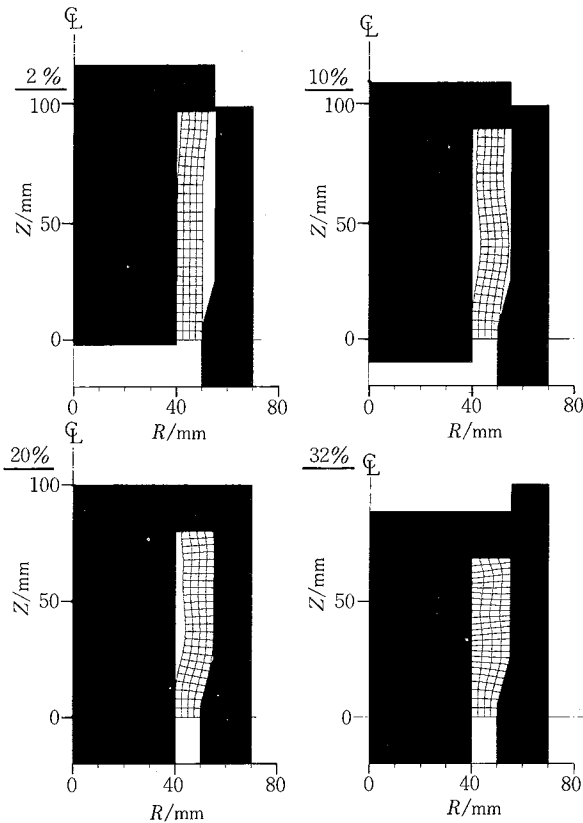


図6 フレアリング→すえ込みのシミュレーション(CASE-C)

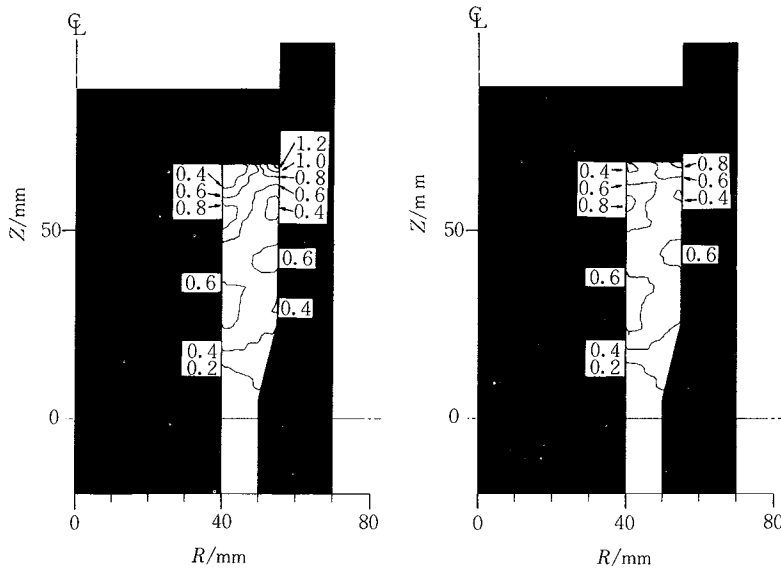
ング加工の最終過程における変形・ひずみの情報をもとにしたアセットのシミュレーション(CASE-C)の結果を示す。

CASE-A と CASE-C との素管の変形過程を比較すると、CASE-C にはフレアリング加工の結果としての口部の拡がりがある点で、CASE-A との相違が見られるが、それ以外の変形挙動にはほとんど差は見られない。そこで、フレアリング加工の影響をより詳しく調べるために、充満最終過程(圧下率 32%)での両者の相当ひずみ分布の比較を図7に示す。両者の相違は、管口部に明確に現れており、CASE-A においては大きな相当ひずみが、狭い領域に密に分布していたのに比較して、CASE-C では相当ひずみが、かなり平均化された分布となっており、最大値も CASE-A では約 1.2 であったのに比較して、CASE-C では約 0.8 であり、2/3 程度の値となっている。したがって、最終製品のひずみ分布を平均化するという点から判断すると、フレアリング加工を行ったほうが望ましいといえる。

3. UBET による解析結果および実験結果との比較

別報²⁾に示した UBET による解析結果を、剛塑性 FEM による解析結果および実験結果と比較する。解析モデルを図8に示すが、これは外側増肉のアセット加工を想定したものである。

図9は、変形形状を圧下率 20% において比較したものである。別報²⁾にも示したが、このように素管のたわみが大きい場合には、実験と UBET の結果とは大きく異なる



CASE-A: 予加工なし

CASE-C: 予加工あり

図7 充満最終過程での相当ひずみ分布

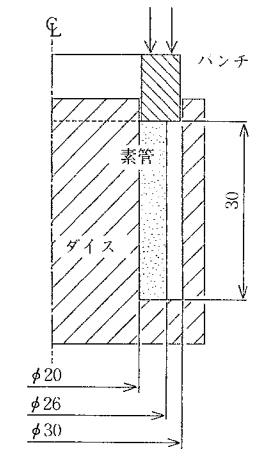


図8 解析モデル(単位 mm)

研 究 速 報

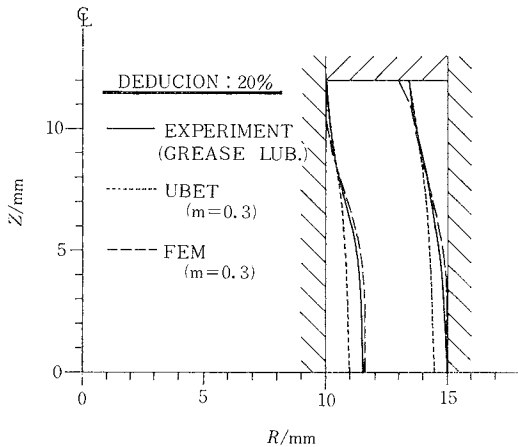


図 9 変形形状の比較

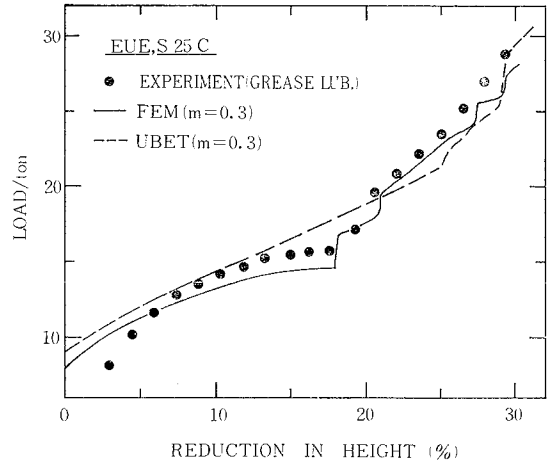


図 10 圧下率-荷重線図の比較

り、UBET の結果は素管のたわみ量を過小評価する傾向があることがわかる。これは、UBET で導入している要素の速度場が、準平行速度場（管軸に垂直な面は変形中も垂直性を保つ）であることに起因している。これに対し、管軸方向に大きな変形自由度を有する剛塑性 FEM による結果は、実験とよく対応している。また図 10 に圧下率-荷重線図を示すが、これについても同様であり、圧下率 20% 近傍において UBET の計算値と実験結果とに相違が見られるが、剛塑性 FEM による結果と実験結果とはよく対応している。管端のアセット加工という一事例に関するものではあるが、この結果より、現状では、材料の座屈または自由表面の大たわみを伴う変形のシミュレーションには、FEM が明らかに優位にあるが、周囲(型)よりの拘束が大きい変形については、単純な速度場を持つ要素を導入した UBET によっても、一応のシミュレーションが可能であると考えられる。また、速度場を改良することにより、UBET の精度の向上が予想され、有効性を活用する可能性が十分残されている。

4. ま と め

剛塑性 FEM および UBET により、管端のアセット加工のシミュレーションを行い、その結果次のことが明

らかになった。

- ①工具圧下端面の形状により、アセット加工時の変形挙動が大きく異なる場合がある。具体的には、圧下端部が鈍角な工具を用いると、複雑な座屈モードが現れる。
- ②工具との接触部の変形抵抗を 20% 高くしたシミュレーションを行っても、巨視的変形過程はほとんど変化しない。
- ③素管にフレアリング加工を施すことにより、最終製品のひずみ分布を平均化させることが可能である。
- ④準平行速度場を導入しての UBET による解析結果は自由表面のたわみ量を過小評価する傾向をもつが、剛塑性 FEM による解析結果は、実験とよく対応する。本報での解析範囲は限定されたものであるが、管端のアセット加工の最適化に対して、従来の実験的アプローチに加え、前報¹⁾および本報に示した解析法は有力な情報を提供するものと考えられる。

(1986 年 1 月 6 日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・柳本：生産研究，38-4，(1986)，174～176
- 2) 木内・今井・鄭・柳本：第 36 塑加連講論，441