

有限要素法によるマルチベンダー曲げプロセスの 数値シミュレーション解析

金沢工業大学 工学部 物質応用工学科
教授 山部 昌

(平成 11 年度研究開発助成 AF-99020)

キーワード：有限要素法，両面接触，数値シミュレーション

断面形状の測定位置は，図 3 に示す位置 (100,200,300 [mm]) にて切断し，各位置における断面形状 (図 4) の測定を行った。

1. 研究の目的と背景

近年軽量化のニーズの高まりと共にアルミ材によるスペースフレーム構造が，宇宙ステーションのみならず航空機，船舶，さらには電気自動車の車体フレーム (図 1) として注目されている。アルミフレームの自動車車体への適応においては，溶接による接合部を極力少なくした一体構造が望まれており，このため押し通し曲げ工程で生ずる断面変形量を定量的に事前予測する必要がある。しかし現在では，熟練された作業による試行錯誤によって，成形条件 (材料，金型構造，成形における荷重等) が決められているのが現状である。

そこで本研究では，このような状況をふまえて大変形有限要素法により，アルミ材の押し通し曲げ加工シミュレーションを行い，成形諸条件を変化させたときに生ずる部材の応力・歪み・変形の関係を明らかにするため，予備実験ならびにプログラムの開発に着手した。



図 1. 押し通し曲げ材の汎用例

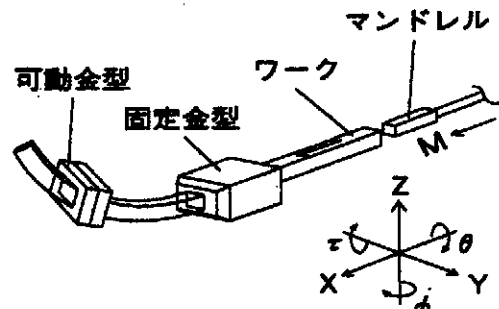


図 2. 実験装置概要図

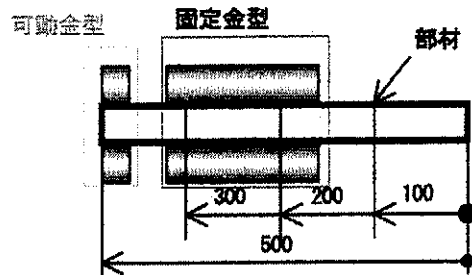


図 3. 実験における測定位置

2. 予備実験

2-1. 実験方法

押し通し曲げの現象を把握するため，予備実験として図 2 に示す実験装置を用い，実際に押し通し曲げによる中空フレームの加工を行った。この実験により，断面形状の変化や歪み等の測定を行った。

押し通し曲げの挙動としては，図 2 に示す X 軸方向にワークが押し出され，それと同時に可動金型が Z 軸上に上昇し，Y 軸周りに回転を伴う。また，可動金型の移動は部材の押し込み量が 300mm に達すると同時に完了する。

2-2. 実験結果測定位置

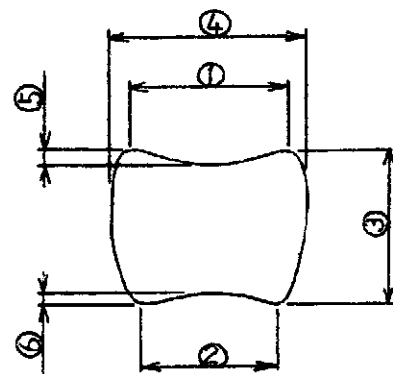


図 4. 断面図

3. 数値シミュレーション

予備実験より本加工は Z 軸 (左右) 対称の挙動を示すため，解析モデルは Z 軸対称の 1/2 モデル (Half Model)

の作成を行った(図5)。

数値シミュレーションを進めるにあたり、押し通し曲げにおける課題点を以下に示す。

- ① 可動金型の3次元的挙動
- ② モデルの大変形問題
- ③ 両面接触問題

これらの課題点についての取り組みは以下に示す通りである。

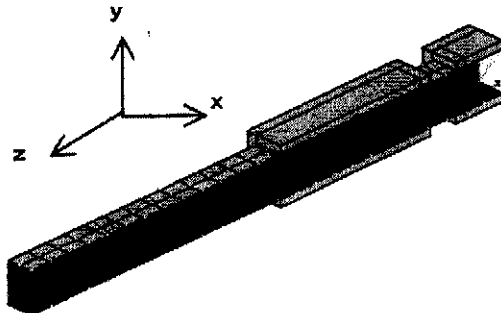


図5. Half Model

3-1. 可動金型の3次元的挙動

予備実験において可動金型の挙動は上下方向の移動を伴うと共に回転も同時に起きる3次元的挙動を示す。そこで本解析においてこの様な3次元的挙動を表現するため、可動金型の重心となる空間上に節点(Node)を設け、この節点を中心に動きを与える。節点の動きを金型に伝えるため部材に影響を与えない3次元エレメント要素を張る。これにより、可動金型における空間上の相対的位置変化を定義した(図6)。

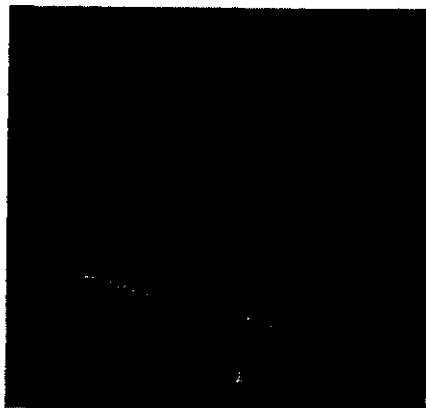


図6. 可動金型の挙動

3-2. モデルの大変形問題

今回の押し通し曲げ工程においては材料であるアルミ

材が二つの金型内を通る際金型より強制変位を受けることで、大変形を伴う非定常非線形挙動である。そのため数値シミュレーションを行う際荷重増分法により時間を刻み、ステップ毎に計算を進めることとする。材料の非線形性については各ステップ・各要素の応力レベルにより歪みを算出した。これらのことにより、大変形の定義をした。

3-3. 両面接触問題

金型と材料の間では接触を伴うため、時間・部分毎に接触判定を行う必要がある。しかし、使用されている部材は中空アルミ材であるため、変形を強制する二つの金型の他に中子(マンドレル)を用いている。よって、中子との接触についても判定を行う必要がある。これは、材料から考えると、“裏表”の両面接触問題となり、さらに計算を困難にさせる要因となる。この問題に対しては、以下のように対応した。

金型・マンドレルについてはブロック要素による要素設定を行った。部材においては厚み方向の応力・変形を考慮しないため、ブロック要素と比較して要素数が少なく、変形の表現が容易に行えるシェル要素にて設定を行った。また、接触要素については、3次元点(部材)一面要素(金型・中子)を用いて両面接触の問題に取り組んだ。

4. 結果および考察

4-1. 解析の有効性

まず、変形後の全体の挙動についての検討を行う。そこで、解析によって得られた変形図と応力分布図(図7)

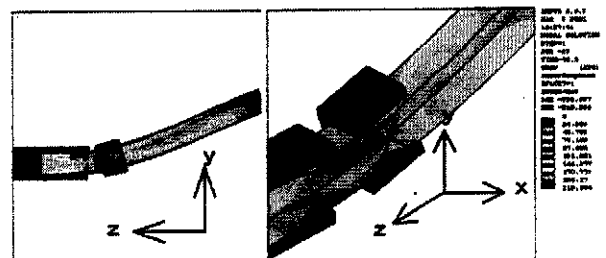


図7. 応力分布図。全体図(左)と部材後方部の拡大図(右)

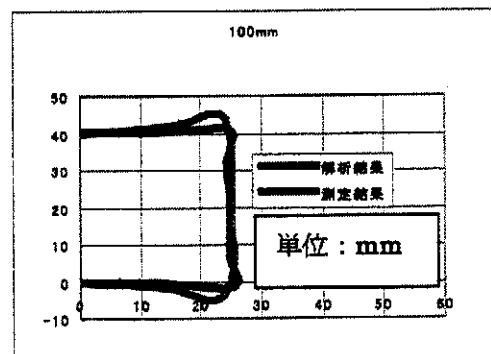


図8. 断面比較図

の一例を示す。予備実験で見られた部材上部の波打ち現象を再現することができた。また、この解析結果より、部材後方部において、断面の変形が見られた(図7右)。

図8は予備実験と解析結果の断面比較図である。双方の結果を比較すると、部材中央部における断面のへこみ量はほぼ一致した。側面上下部においては多少実験結果と異なる値を示したが、全体的に見てこの解析は有効であると言える。

4-2. マンドレルの有無による比較

前節では解析の有効性が確かめられたので、本節ではこの解析を用いてマンドレル有りのモデルについて、無しモデルとの比較をする。

マンドレルの有無により解析プログラムはより複雑になる。マンドレルが無かった場合では、金型と部材表面接触を考えるに過ぎなかったが、マンドレルを用いることにより部材表面での接触と部材内部での接触を同時に考慮しなければならない。また、接触面が増えたことにより接触判定回数が増加し、解析時間も多くなった。

以上のことにより、マンドレルを用いた場合において、両面接触による曲げの表現を行うことが可能となり、波打ち現象は見られなくなった(図9)。また、マンドレルを用いることにより断面形状の変形が抑えられたのがわかる(図10)。しかし、マンドレル無しモデルの応力分布を見ると最大応力 219[MPa]であるのに対し、マンドレル有りのモデルでは材料の最大応力近辺の 226[MPa]と高い値を示した。部材後方部で座屈現象が起きていると考えられる。

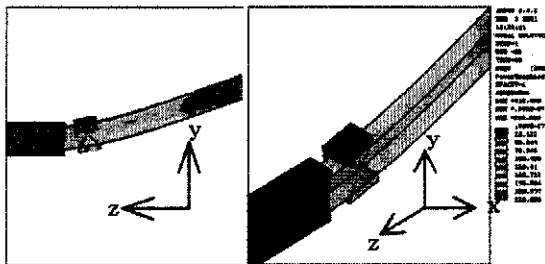


図9. 応力分布図。全体図(左)と部材後方部の拡大図(右)

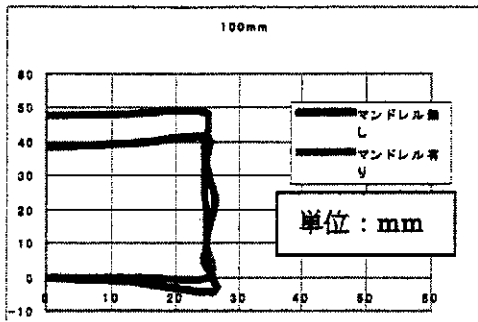


図10. マンドレルの有無による比較

4-3. リブモデルの解析

マンドレルのみのモデルでは部材後方部において座屈の現象が見られた。そこで、応力の軽減と座屈の解消を計るため部材中央部(Z軸上)に厚さ 1mm のリブを設け解析した。リブを設けることにより前述のプログラムをいくつかの点を改良した。両面接触問題については前節に記述した通りである。部材の板厚は 2[mm]であるが、リブ部の板厚は 1[mm]と異なった厚さのシェル要素が混在するため、プログラム上では2種類の物性値の定義を与えなければならない。Z軸対称のハーフモデルで考えているためリブ部ではX軸方向を拘束し、X軸方向の変形はないものとした。

その結果、最大応力値が3種類の解析の中で最も低い 207[MPa]を示した。また、部材断面の変形が更に抑えられていることがわかる。

しかし、他の2つの解析では見られなかった現象も存在する。固定金型上部、マンドレル上下部に 50~60[MPa]の応力が発生しているのが伺える。上下方向における断面の変形が抑えられた分、マンドレル等に応力が分散したのではないかと考えられる。

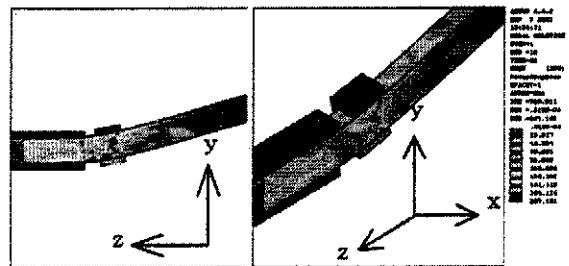


図11. 応力分布図。全体図(左)と部材後方部の拡大図(右)

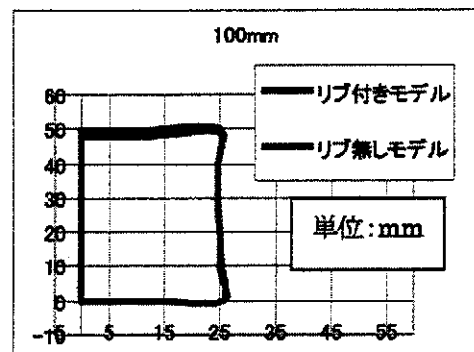


図12. マンドレルモデルとリブモデルの比較

また、側面では歪みが発生しているにも関わらず、リブ部においては全く見られなかった。これはリブを対称固定したため変形しなかったのではないかと考えられる。

5. 結言

上述のことを踏まえてプログラム開発を行い、数値シミュレーションを行った結果以下のことが明らかになった。

- ① 両面接触での曲げを表現することが可能である
- ② マンドレル無しにおいて、定性的にほぼ一致する結果が得られた
- ③ リブ付きモデルでは、リブの挙動を知るためフルモデルで解析を行う必要がある

上記に示した課題以外にも、多くの課題が残っている。例えば接触部における摩擦の影響を考慮した解析、リブ形状の最適化、予備実験での加工条件の再現などが挙げられる。また、解析精度と時間短縮は密接な関係を持っているが、それらのバランスのとれたプログラム開発も今後の課題である。

今後これらの点を考慮し、プログラム開発を進めてゆけば、使用の必要に合った解析が出来るのではないかと考えられる。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、(財)天田金属加工機械技術振興財団から研究助成をいただきましたことに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) サイバネットシステム (株), ANSYS Rev5.3 エlement, サイバネットシステム (株), 1995
- 2) サイバネットシステム (株), ANSYS Rev5.3 コマンド, サイバネットシステム (株), 1995
- 3) 大矢根守哉, 塑性加工学, (1994), 養賢堂