

鍛流線の可視化と加工プロセスの最適化

青山学院大学 理工学部 機械工学科
助教授 佐久田博司
(平成5年度研究開発助成 AF-93032)

キーワード：鍛造加工、数値解析、最適化

1. はじめに

鍛造加工は、材料に圧力を与え結晶粒を微細化し組織を強化すると同時にいろいろな形に成形する加工法である。その鍛造加工プロセスにおいて材料内部の鑄造時の柱状、樹状組織が破壊され、鍛造された方向に1次晶が並び、結晶間の不純物も一定方向にそろい繊維状の流れをつくる。それを一般に鍛流線と呼び、材料がその流れ方向に対して強靱であることはよく知られている。その流れが表面の切削などにより切断されないことが強度確保の重要な要因である。

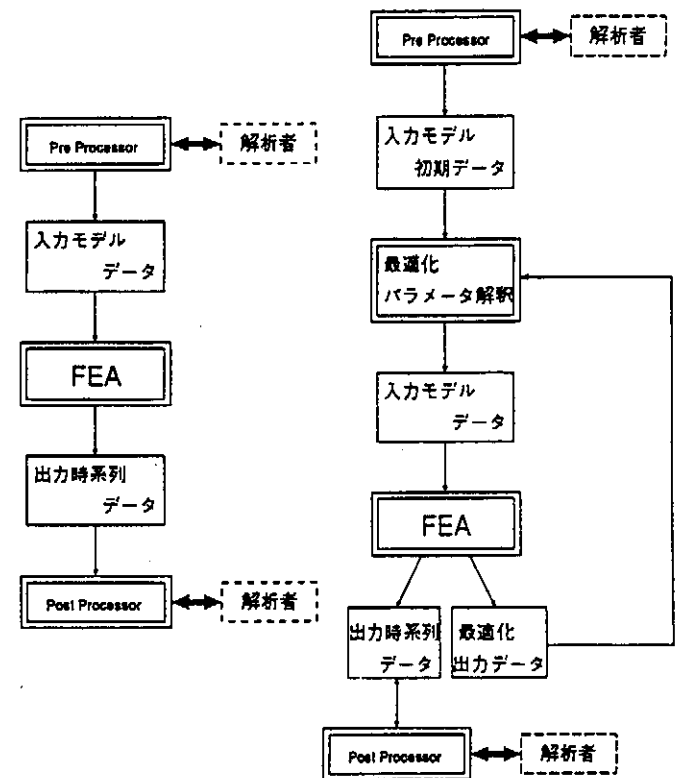
本研究では、鍛造加工の設計及び評価に、弾塑性有限要素法による加工解析が有効 [1][2][3] であることから、鍛流線を評価するために解析結果から可視化する。また、治具と被加工材との間の摩擦力をパラメータとし、可視化された鍛流線との関連性を見だし、実験によって測定された断面の硬度との比較、検討を行なうことにより最適設計システムの構築を検討する。

2. 自動最適化システムの構築

汎用有限要素解析コード（以下 FEA）が加工条件や治具、被加工材の形状などについて高い自由度を持つにも関わらず、最適加工プロセスの模索という観点からは、適切な方法がなかった。それは、FEA の入出力インターフェイスが、最適設計向きに用意されていないためであり、ユーザの習熟などを待って試行錯誤的な策定作業を繰り返すというのが一般的であったからである。そこで本研究では、図 1 の通り、FEA を解析用のオブジェクトとして考え、広義のオブジェクト指向システムに構成することによって、最適化の手法を実現しようと考えた [4]。

入力データは、最適化パラメータ（本研究においては、摩擦係数）と、それ以外の FEA 入力データに大別される。最適化パラメータの初期値は、入力用の前処理オブジェクトが FEA 入力データに変換し、それ以外の入力データと取り揃えて FEA にメッセージとして送る。

FEA はこれらの入力データにより、通常の解析計算を行い、正常終了の場合は、以下、最適化のためにメッセージを送る。その出力は、一般的な出力データと別に、ユーザールーチンを使って最適化パラメータに関連したもののみ出力される。出力は後処理オブジェクトが受取り、グラフィック出力などの処理を行った後、終了判定および最適化パラメータの修正を行う。修正されたパラメータは再度入力オブジェクトに送られ、ループを繰り返すこととなる。



(a) 従来システム

(b) 最適化システム

図 1: 従来システムと最適化システム

3. 解析モデル

本解析では、図2に示す押出フランジを対象としている。素材はSUS304であり、モデルの材料寸法及び境界条件等は以下の通りである。

1. モデル

解析はモデルの対称性を考慮し、断面の1/2をモデル化した。また、初期形状を620要素（半径方向10×軸方向62）になるよう分割した。

2. 境界条件

z軸上に対称境界条件を与え、図2のように片側の型を固定し、もう一方の型を1.0mm/secの速度で236ステップで最終形状となる様に解析を行った。

3. 材料定数

材料は完全剛塑性体とし、定数は変形体の降伏応力50.0kg/mm²を与えた。

4. パラメータ

加工材料の内部状態に最も影響の大きいと思われる、摩擦係数 μ をパラメータとして、 $\mu = 0.0, 0.01, 0.05, 0.1$ について解析し、その鍛流線分布と相当塑性ひずみの分布について考察する。

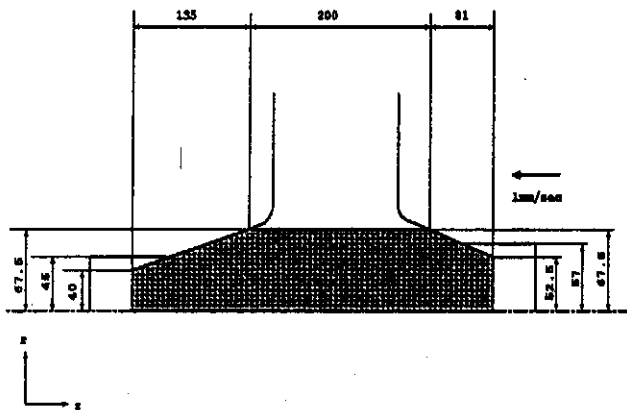


図2: 解析モデル

4. 解析結果

解析には汎用FEA、MARC(K5)を用いた。本研究では解析結果により可視化された鍛流線を評価するために、

鍛流線と被加工材の外周との距離を鍛流線分布とし、外周表面の相当塑性ひずみ分布とグラフ化した。

摩擦係数 $\mu = 0.0, 0.05$ における相当塑性ひずみ分布、鍛流線、ひずみ線図をそれぞれ図3、4、5、6、に示す。

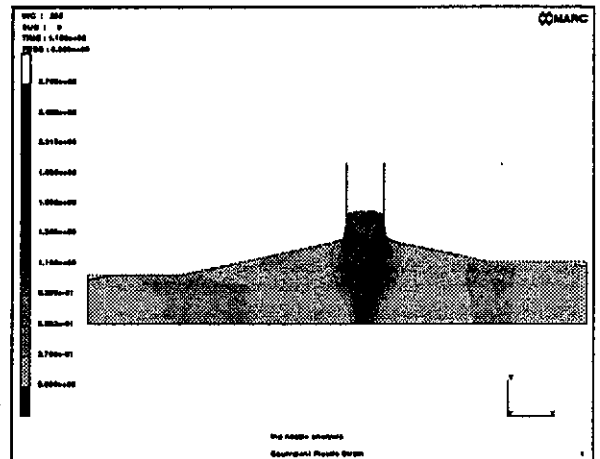


図3: 相当塑性ひずみの分布 ($\mu = 0.0$)

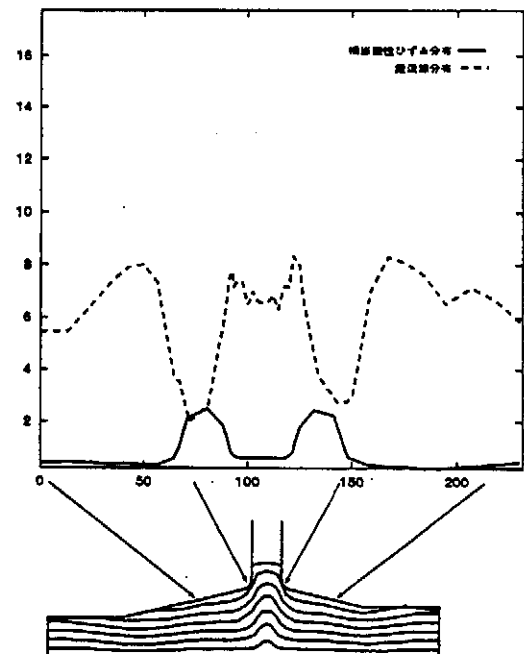


図4: 鍛流線、ひずみ線図 ($\mu = 0.0$)

5. 考 察

本研究では、鍛流線と被加工材との距離を鍛流線分布、被加工材表面の相当塑性ひずみをひずみ分布とし、加工プロセスの評価を行なった。一般に鍛流線は、被加工材表面に沿って流れていることが、鍛造品の材質特性を保つうえで重要とされている。また、ひずみも被加工材表面で均一であることが、鍛造品の硬度を均一に保つうえで望ましいと思われる。つまり、鍛流線分布、ひずみ分布ともに、一定であることが完全な理想状態だと思われる。

摩擦係数 $\mu = 0$ を本解析での理想状態とすると、図3より、相当塑性ひずみが治具のコーナー部分と、被加工材中央で高くなっていることがわかる。また、ほぼ左右対称にひずみが分布していることもわかる。これは図4からも明らかであり、コーナー部分でひずみが高く、鍛流線はより材料表面に近づいていることも確認できる。

本解析では摩擦係数としては比較的小さいと思われる、 $\mu = 0.01 - 0.1$ という値を与えているにも関わらず、摩擦なしの状態と比べると大きな差がでてきた。図5は、摩擦係数 $\mu = 0.05$ でのひずみの分布を示したものである。まず、被加工材が左側の型に十分充填していない、また、ひずみ分布も左右対称ではなく、右側に大きなひずみが見られる。これはともに、摩擦力の影響であると考えられ、摩擦係数を変更したときも、ほぼ同様の結果が得られた。図6を見ても、ひずみの大きい被加工材右側部分では、鍛流線分布も大きなばらつきを見せている。可視化された鍛流線を見ても、ひずみの大きい右側部分では、鍛流線がばらつきをみせ、解析手法全般の妥当性を裏付けていると思われる。

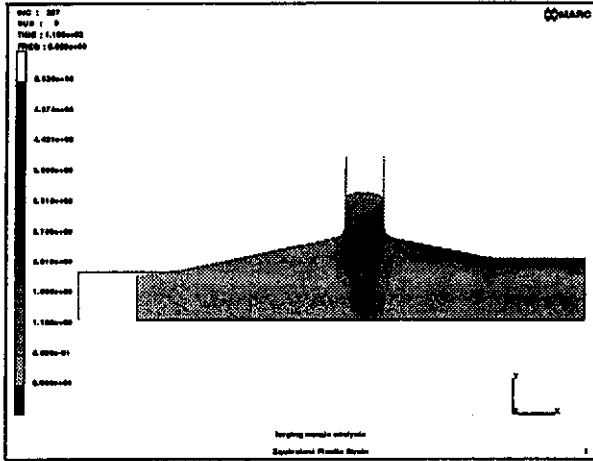


図 5: 相当塑性ひずみの分布 ($\mu = 0.05$)

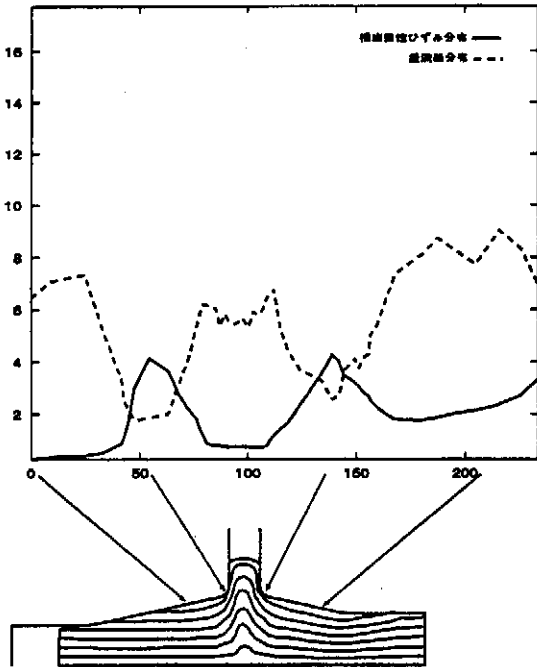


図 6: 鍛流線、ひずみ線図 ($\mu = 0.05$)

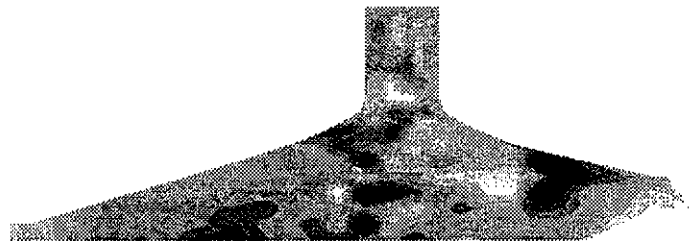


図 7: 硬さ分布

図7は、実験によって測定された硬さ分布を示したものである。塑性加工においては材料内部の硬さ分布と相当ひずみ分布が対応することが知られている [1] ため図5と図7によって解析結果の適用性とプロセス最適化のための手法を検討する。

コーナー部分と製品中央に、硬度の高い場所が存在している。また、製品右側にもかなり硬度の高い部分が存在し、図5で示したひずみ分布と良好な一致を見せ、解析の妥当性を裏付けていると思われる。しかし、摩擦力があることによって発生した、被加工材の充填しない部分を解消するためには、最適パラメータとして、治具の形状、あるいは加工プロセスそのものを考慮する必要があると思われる、今後の課題となってくるだろう。

参考文献

- [1] 佐久田 他, 5083 アルミニウム合金の温間、熱間鍛造における材質の変化, 軽金属, 39, (12), [893-898], (1989).
- [2] 佐久田 他, コンピュータシミュレーションのハードウェア環境, 43, (8), [490-500], (1993).
- [3] 佐久田 他, コンピュータシミュレーションのソフトウェア環境, 43, (10), [556-563], (1993).
- [4] 佐久田 他, 鍛流線の可視化とプロセスの最適化, 13th MARC Users' Meeting 事例報告集, [3-6], (1993).
- [5] 佐久田 他, 最適鍛造システムの構築, 軽金属 (投稿予定).