

塑性加工の数値解析技術に関する研究調査報告

Research Trends on Numerical Methods in Metalforming Processes

柳 本 潤*

Jun YANAGIMOTO

塑性加工における加工機械の選定あるいは工程・工具の設計およびその最適化には、加工中の被加工材の塑性変形プロセスの理論解析が最も重要である。また、量産加工技術の典型である塑性加工においても品種の多様化ならびに小ロット化が進み、工程・工具の設計に要する期間の短縮および費用の低減が強く求められている。しかしながら、塑性加工時の被加工材は複雑な3次元変形を受けるため、その理論解析には多くの困難が伴う。そのため、塑性加工の数値理論解析の開発は従来より重要な研究課題とされてきており、近年ますます重要度を増してきているものと考えられる。特に、有限要素法による3次元数値解析技術の開発に関する研究が近年盛んに行われており、実在の塑性加工の3次元数値解析も試みられるようになりつつある。

筆者は、平成4年度(財)生産技術研究奨励会三好研究助成を得て、塑性加工の数値解析技術に関する欧米の研究動向を調査する機会に恵まれた。塑性加工の数値解析技術を専門に扱う国際会議として、NUMIFORM (Numerical Methods in Industrial Forming Processes) が3年に1度開催されているが、平成4年はちょうどその開催年にあたるため、この会議への出席を通し塑性加工の数値解析技術に関する欧米の研究動向全般について調査することとした。さらに、欧州において塑性加工の数値解析技術に関する最も先進的な研究を行っているアーヘン工科大学塑性加工研究所 (Institut für Bildsame Formgebung, Rheinschwestfälische Technische Hochschule Aachen) を訪問し、特に鍛造加工・圧延加工の数値解析技術に関する研究動向について調査を行った。

1. NUMIFORM 92

塑性加工の数値解析技術を対象とした国際会議としては恐らく最も規模の大きい NUMIFORM も比較的最近(1982年)に設立された会議である。今回で4回目の開催となる NUMIFORM 92 は、フランスのニース(Nice)近郊の Sophia Antipolis にある Ecole des Mines

de Paris にて開催された。Sophia Antipolis は、ニース/コートダジュール空港よりタクシーにて30分程度の距離に位置しており、地中海沿岸の山間部に作られた研究・学園都市である。周辺にモナコ、カンヌなどの観光地を多く抱えており、バカンスの季節の賑わいはさぞやと思わせる。事実、山間部に開かれた研究学園都市である Sophia Antipolis に点在するホテルは、バカンスの時期の観光客をもあてこんで建設されたとのことである。ただし、筆者が訪れた9月下旬はバカンスの季節を過ぎていたため、閑静な山間部の研究学園都市にこもりつつ研究調査に励むこととなった。

表1に NUMIFORM 92 にて5日間の間に講演された合計134件の論文の分野別の件数を示す¹⁾。まず、Deep drawing (板材成形)に関する講演が29件と際立って多く、近年この分野に関する研究の高まりを感じさせる。「塑性加工は加工に用いる工具の形状を被加工材に転写する」加工法であるが、実際には工具形状が被加工材にそのまま転写されることは無く、板材成形においては除荷後の弾性回復によるスプリングバックの影響を無視できない。さらに、加工において発生する肉余り、しわ、くびれ、破断などを正確に予測する必要があるため、この分野においては弾塑性 FEM による3次元解析が主流となっている。弾塑性 FEM では、1) 支配方程式を静

表1 NUMIFORM 92 の分野別の発表件数

1. キーノート	13
2. 材料特性	12
3. 数値計算法	18
4. ポリマー, 食品材料, ガラス	11
5. 板材成形	29
6. 鍛造, 押出し, 引抜き	18
7. 圧延	12
8. 溶接, 鑄造	11
9. 超塑性成形	5
10. 粉末成形	3
11. 機械加工	2
合計	134

*東京大学生産技術研究所 第2部

的な釣合条件式とするのか、動的な運動方程式とするのか、および、2) 時間増分を小さくすることにより剛性方程式を線形化するのか、非線形のままで反復計算により解くのか、により3種類の解析手法、すなわち、静的陽解法、静的陰解法、動的陽解法がある。日本では、静的陽解法に基づく弾塑性FEMに関する研究が盛んに行われている反面、欧米においては静的陰解法もしくは動的陽解法に関する研究が盛んに行われており、多くの汎用プログラムが開発・市販されている。NUMIFORM 92においては、これらの解法による実験の成形プロセスの3次元解析事例が数多く紹介され、弾塑性FEMに基づく3次元数値解析の実用化に近いことを感じさせた。ただし、どの解法が最適であるかといった問題ははまだ明確な結論は出ていないようである。筆者は、反復計算が不要であり応力場を厳密に求めることができるという点で、静的陽解法が最も優れていると感じてはいるものの、今後の研究動向を注意深く見守る必要があろう。

板材成形の分野においては、上記のように弾塑性FEM解析の進歩が顕著であるが、他の注目すべき研究動向としては、熱間塑性加工を対象とした温度分布あるいは材質、工具の弾性変形、冷間加工における潤滑などの要因を被加工材の塑性FEM解析と連成させ、上記の影響を取り込んだより詳細な解析を行うことを目的とした研究が多く見られたことである。特に圧延加工においてこの傾向が顕著であり、今後ますます研究が発展するであろう。

2. アーヘン工科大学塑性加工研究所

ケルンより電車にて約40分、ベルギー、オランダとの国境に近い閑静な都市アーヘン(Aachen)にアーヘン工科大学がある。アーヘンは、1000年以上前のことではあるが、西ヨーロッパの中心であった時代があり、さらに今世紀にはいりHerbert von Karajanがオペラ指揮者としてのキャリアをスタートした都市としても有名である。

アーヘン工科大学塑性加工研究所では、Reiner Kopp

教授のもと、30名以上のメンバーが研究に従事しており、FEMによる数値解析技術は勿論のこと、圧延・押出し・鍛造などの主にバルク材の加工技術の開発を行っている。アーヘン工科大学塑性加工研究所における数値解析技術に関する研究は圧延と鍛造が主体となっており、さらに、プログラム開発に関する研究と、汎用プログラムの応用技術に関する研究とを平行して行っている。主な研究テーマをまとめると、1) 熱間加工を対象とした温度-塑性変形連成解析プログラムの開発ならびに加工後の材料組織の予測、2) リング圧延の3次元シミュレーション、ならびに、3) 連続鍛造のシミュレーション、などがあげられ、また、上述の解析すべてが実験との緊密な連携の上に成り立っていることは大変注目に値する。

NUMIFORM 92は数値解析技術を専門に扱う国際会議であるため、実際の加工プロセスとは遊離した研究が散見される。すなわち、ある加工プロセスを単なる例題としてとらえた場合には、その加工プロセスを理論解析することにより得たい情報およびその意義についての意識が希薄となりがちである。しかしながら、実際の加工プロセスの理論解析は、まず解決すべき問題・得たい情報があつてはじめて行われるものであり、単なるケーススタディーでは無いことに注意しなければならない。要するに、「地に足が付いた」理論解析に関する研究を行うためには、実際の加工プロセスで解決が求められている事項を常に頭に置いておかなければならないということ、NUMIFORM 92およびアーヘン工科大学の訪問を通し、改めて再認識した次第である。

なお、本調査研究は、平成4年度(財)生産技術研究奨励会三好研究助成を受けて行われたものであり、関係各位に深く感謝致します。

(三好研究助成報告書 1993年6月15日受理)

参考文献

- 1) Numerical Methods in Industrial Forming Processes (Proc. NUMIFORM 92), (1992). A. A. Balkema.