

大規模並列溶接力学解析技術を用いた 金属積層造形過程のシミュレーション

遊佐 泰紀
電気通信大学

1 はじめに

金属積層造形の過程は、力学的には溶接過程とよく似ているため、溶接解析技術を応用した、金属積層造形問題の伝熱・熱弾塑性解析の研究が多数行われている。しかし、溶融部分の体積や熱源の径が大きく異なるため、溶接解析よりも多くの有限要素と、多くの時間ステップが必要である。精緻な伝熱・熱弾塑性解析では、設計計算に使用可能な程度に実用的な計算時間はいまだ実現されていない。

著者らはこれまでに、溶接力学問題のための伝熱・熱弾塑性解析の並列計算技術を研究してきた。とくに、スーパーコンピュータやPCクラスタの上で動作するような、分散メモリ型並列計算手法・プログラムを開発してきた。そして、この並列計算技術を金属積層造形問題に応用する研究を、最近開始した。しかし、種々の検討の結果、現状の並列計算技術だけでは、実用的な計算時間までの高速化を達成できなそうな見込みである。

そこで、本研究では、並列計算技術に基づく熱源モデルの簡略化手法を研究した。これによって数十倍程度の高速化を達成した。また、簡略化熱源モデルの解析結果は、簡略化をとみなわない解析結果や実際の造形物の実験結果と比較した。本報告は、著者らが講演論文¹⁾として発表した内容を含むものである。

2 研究方法

本研究では、支配方程式として非定常熱伝導方程式と、平衡方程式を用いた。非定常熱伝導方程式では、熱伝導率などの物性値の温度依存性を考慮した。平衡方程式では、一般化されたフックの法則、ひずみの熱弾塑性加算分解、フォンミーゼスの降伏条件、完全塑性、材料パラメータの温度依存性を仮定した。時間方向の離散化

には後退オイラー法、空間方向の離散化には有限要素法を用いた。並列計算には、並列有限要素法で実績のあるバランシング領域分割法を用いた。とくに、著者らが提案したインアクティブ要素向けのバランシング領域分割法の実装法²⁾を用いた。

熱源モデルとしては、移動するレーザを忠実にモデル化したものと、これを簡略化したものを用いた。前者は、レーザスポット径と同じ大きさの半球が一樣に発熱するものである。後者は、積層造形過程の1層もしくは複数の層が、一樣に発熱するものである。この簡略化により、時間ステップ数の削減、すなわち、計算時間の短縮が期待できる。両者が等価であることを保証するため、第1層のみの解析結果を比較することで、簡略化熱源モデルの入熱量パラメータを同定した。

3 主な研究成果

一例として、図1のような半円筒の造形過程の解析結果を示す。図2は、並列計算のために図1の解析モデルを領域分割したものである。

図3は、第1層のみの解析結果の比較である。横軸は半円筒の周方向の座標、縦軸は周方向の残留応力であ

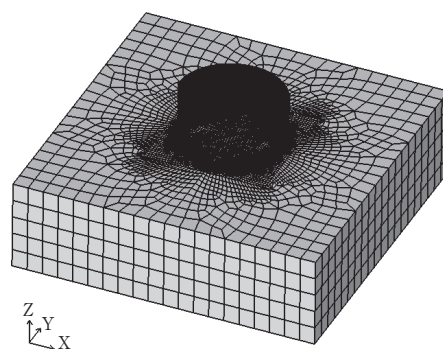


図1 半円筒の解析モデル

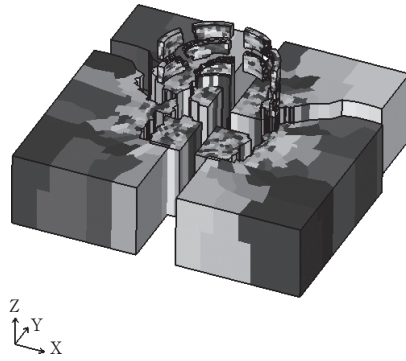


図2 並列計算のための領域分割

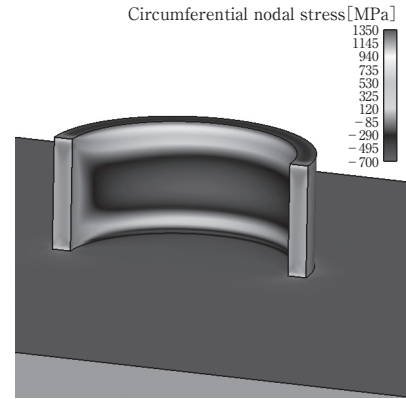


図4 最終層までの解析結果の残留応力

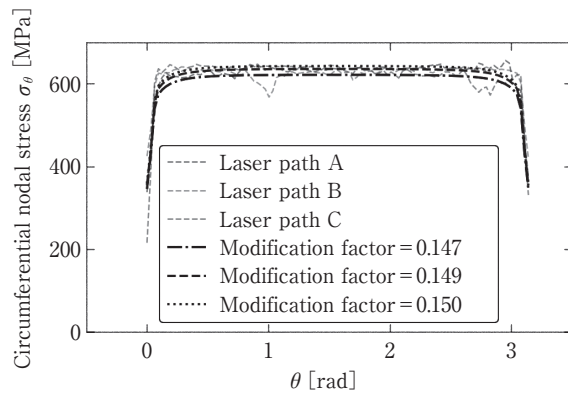


図3 第1層の解析結果の残留応力

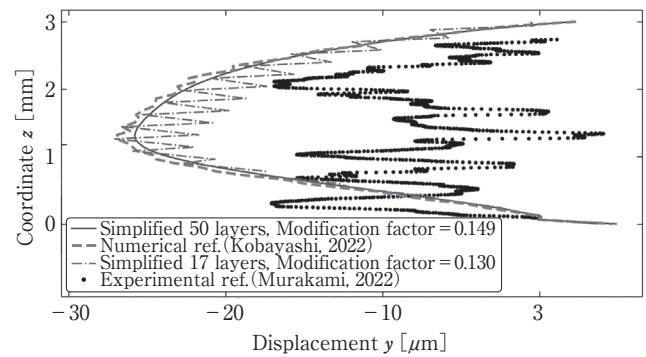


図5 最終層までの解析結果の変位

る。レーザの移動方向は層ごとに回転するため、移動熱源モデルでは3通り(A, B, C)の移動方向を仮定した。また、簡略化熱源モデルでは、いくつかの入熱量を仮定して解析した。その結果、移動熱源モデルの入熱量を0.149倍した値のときに良く一致した。

図4は、解析結果のコンター図の一つである。色は周方向の残留応力を表す。造形物の上部の残留応力は引張り、中央部は圧縮であることがわかる。図5は、半円筒の外側表面の変位である。縦軸は高さ方向の座標、横軸は径方向の変位である。実線が1層分の簡略化熱源モデル、破線が移動熱源モデル、一点鎖線が3層分の簡略化熱源モデル、点が実際の造形物である。造形物の中央部が内側に向かって変位していることがわかる。また、3個の解析結果はよく一致した。実際の造形物の実験結果とは、傾向が一致した。

1層分の簡略化熱源モデルでは、移動熱源モデルよりも時間ステップ数が23.3分の1に削減された。3層分の移動熱源モデルでは75.2分の1であった。両者とも、計算時間は数十倍高速化された。

4 おわりに

並列計算技術に基づく簡略化熱源モデルにより、忠実な移動熱源モデルと同等の解析精度で、数十倍の高速化を達成した。金属積層造形問題の精緻な伝熱・熱弾塑性解析の実現性向上に資した。

本報告の数値例は高さ3 mmほどの小さい造形物であったため、変位量も小さい値であった。今後は、より大きな造形物や実用的な形状を有する造形物の解析を通じ、金属積層造形問題の伝熱・熱弾塑性解析技術の向上を目指す予定である。

参考文献

- 野口, 遊佐, 村上, 岡田. 領域分割法と簡略化熱源モデルを用いた金属積層造形問題の熱弾塑性解析とバリデーション. 計算力学講演会講演論文集, 2022.35, 21-06, 2022.
- Yusa, Y., Kobayashi, H., Murakami, Y., Okada, H. Implementation of balancing domain decomposition method for parallel finite element analysis involving inactive elements. Int. J. Numer. Methods Eng., 123 (17), 3974-4000, 2022.