

審査の結果の要旨

氏名 万 熠

自動車や航空機の複雑形状部材の超軽量（運動性能向上・低燃費）化と量産（低コスト）化を目的として近年活発に研究開発がなされている不連続熱可塑性 CFRP（炭素繊維強化プラスチック）は、剛性や強度が十分発現せず、かつ大きなバラツキを持ち、CAE すなわちコンピューターによる事前の性能把握や最適設計が困難であることが課題となっている。そのため、性能要求の低い部材への適用に限定されたり、金属部材とのハイブリッド化によるマルチマテリアルソリューションに回避したりと、構造全体の軽量化率をあまり向上できないばかりか電食や難リサイクル化などの新たな問題を派生させている。本論文は、X線CTによる不連続熱可塑性 CFRP の内部構造分析により力学特性の発現メカニズムを明らかにすることを通して、構造最適化 CAE のみならず、目的に応じた最適中間基材（繊維長、テープ厚さ、等）や最適製造法（金型設計、プロセスウィンドウ、等）に関する知見を得ることを目的としている。

第1章では、まず不連続熱可塑性 CFRP および類似の材料に関して、これまでの世界の研究開発動向と、幅広い実用化に向けた現在の課題についてまとめ、特に、特性発現モデルに関する理論的研究とそれらの限界について詳しく論じている。また、近年、繊維強化複合材料の内部構造分析に多用されるようになってきた X 線 CT 観察に関しては、不連続熱可塑性 CFRP のように不均質度がセンチメートルオーダーの材料では、ミリメートル角程度の限られた観察領域の情報から部材や試験片の性質を代表させる物理量を得ることは統計学的に意味をなさないことを指摘している。

第2章ではまず、得られた X 線 CT 観察像に対して2種類の分析ソフトウェアを適用し、分析結果が部材や試験片の性質を代表させるための条件を統計学的に明らかにしている。具体的には、対象とする不連続熱可塑性 CFRP では、2 ミリ角の X 線 CT 観察像が 15 個以上必要となるという新たな知見を得ている。また、こうして得られた X 線 CT 情報を比較することで、中間基材の寸法や成形条件が成形後の複合材料の内部構造に及ぼす影響を明らかにしており、力学特性に関する各種実験結果が説明できることを示している。すなわち、ここで得られた知見をもとに、最適な中間基材寸法や成形条件を考察することが可能となり、不連続熱可塑性 CFRP の実用化に向けて極めて有益な結果であると言える。

第3章では、第2章で得た内部構造情報を用いた不連続熱可塑性 CFRP のモデ

ル化を提案し、各種条件下での CAE の精度検証を行っている。実験結果を用いた経験式の構築をベースとする従来のアプローチでは、成形条件までがパラメータとなってくる不連続熱可塑性 CFRP のモデル化に限界があったが、本手法は内部構造から導かれたモデルであるため内外挿の信頼性が高く汎用的な手法であると評価される。一例として、これまで離散的に得られていたテープ長やテープ厚が力学特性に及ぼす影響を連続的かつ高精度に予測できている。

第 4 章では、以上の結果を総括し、不連続熱可塑性 CFRP の実用化に際しての本論文の寄与とさらなる課題などが整理されている。

以上、本研究で開発された手法により明らかにされた不連続熱可塑性 CFRP の内部構造によって、構造最適化 CAE のみならず、目的に応じた最適中間基材（繊維長、テープ厚さ、等）や最適製造法（金型設計、プロセスウィンドウ、等）に関する知見を得ることが可能となり、工学的寄与の非常に高い結果が得られていると言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。