

審査の結果の要旨

氏名 志田 龍亮

複雑形状部材に従来型の連続繊維強化複合材料を適用するには限界があることから、自動車や航空機等の超軽量（運動性能向上・低燃費）化と量産（低コスト）化を目的として不連続 CFRTP（炭素繊維強化熱可塑性プラスチック）が近年活発に研究開発されている。しかしながら成形後の不連続 CFRTP は繊維の配向と体積含有率に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適切な最適設計が困難であることが課題となっていて、強度に関する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より問題を回避したりと、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、不連続 CFRTP 特有の異方性やバラツキを考慮した最適構造とそのロバスト性について、パラメータの相互作用など物理的な意味が考察可能な基本形状に対する理論的検討を通して、不連続 CFRTP による実構造物の最適設計に向けた具体的な指針を得ることを目的としている。

第 1 章では、不連続 CFRTP 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、最適設計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た上で、本研究の位置づけとアプローチの新規性を整理している。

第 2 章では、不連続 CFRTP はワンショットで板厚徐変構造が成形可能であることから、従来の鉄板や連続繊維複合材料による板厚一定の構造最適化と比べてよりフレキシブルな最適設計が可能となることに着目し、まず板厚徐変が可能となる場合の理論的な軽量化率を明らかにしている。具体的には、オイラーラグランジェ法を用いて陽に最適板厚分布が得られることを示した後に、その構造が任意の荷重分布に対して最軽量であることすなわち外荷重に対してロバストであることを証明し、さらに、不連続 CFRTP の特徴である高い面外異方性の影響度について詳細に明らかにしている。結果として、板厚一定では超えられなかった対鉄鋼板比軽量化率 70%を炭素繊維体積含有率の低いカーボンマットでも超えられることなどの新しい結果が導かれている。また、ワンショットで成形した不連続 CFRTP がここで予測した軽量化率を実現することも実験との比較により実証している。

第 3 章では、最適構造のロバスト性をさらに高めるべく、不連続 CFRTP の中

でも最もバラツキの大きい CTT（炭素繊維テープ強化熱可塑性プラスチック）の強度のバラツキを推定する手法を考案して、実験との比較による検証を行っている。具体的には、テープが分散される過程をテープの配置座標と回転角を独立にモンテカルロシミュレーションして、CTT の弾性率と強度のバラツキを求めて実験と比較し、テープの厚さや長さが CTT の性能に及ぼす影響とそのメカニズムを明らかにしている。

第 4 章では、板厚徐変だけでなく、流動成形や熱融着といった熱可塑性 CFRP の特徴を活用することで実現可能となる位相最適化による最適構造について、ここでも本研究の最大の特徴である材料異方性と第 3 章で得られたバラツキを考慮したロバストな構造体について検討している。ここで示された極めて高い軽量化率は魅力的であり、これを実現するための新たな成形手法の開発が期待される。

第 5 章では、以上の結果を総括し、不連続 CFRTP 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不連続 CFRTP の強度発現メカニズムが明らかになり、その結果最適構造が導出できた。それらの結果に基づくことで、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。