

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 青 木 涼 馬

修士（工学） 青木 涼馬 提出の論文は「層厚効果を考慮した複合材積層板の静的・疲労損傷進展評価」と題し、7章からなっている。

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は、軽量化による燃費向上が要求される航空機や自動車などの輸送システムの構造部材への適用が拡大している。その中で近年、開繊技術により実現したCFRPの薄層化が注目を集めている。CFRP積層板の1層を薄くすることで、CFRPの最終破壊前に発生・累積しうる、層内き裂や層間剥離を抑制できることが知られており、薄層CFRPを活用することでさらなる構造軽量化に繋がると期待されている。さらに薄層CFRPを用いることで、厚み制限により従来実現しなかった積層構成の採用や繊維配向を連続的に変化させるより自由度の高い複合材の構造設計が可能になると考えられている。しかし、このような高自由度設計では設計変数の増大から、実験による強度評価のみでは膨大な試験実施による設計コストの増大が見込まれる。さらには、損傷進展や破壊モードは層厚や積層構成によって大きく変化しうるため、あらゆる層厚や積層構成に対して損傷進展・強度予測が可能な数値解析手法の確立が求められている。

このような背景から、本論文では、薄層CFRPを活用した高自由度複合材構造設計の実現に向けた、層厚効果を考慮した静的・疲労損傷解析手法の確立を目的としている。薄層CFRPを用いて作製した層厚の異なる様々な積層板において、損傷進展に対する層厚の影響を実験的に評価し、得られた知見から、層厚が静的・疲労損傷に与える影響を考慮した損傷進展モデルを提案している。提案モデルを用いた損傷解析により、静的・疲労荷重下における損傷進展や強度・破壊モードの予測を試み、得られた実験結果との比較を行うことで、本提案モデルの検証を行っている。

第1章では、将来的に活用が期待される薄層CFRPの有用性と課題について示し、複合材積層板の静的・疲労損傷進展のモデル化に関する先行研究と課題についてまとめ、本研究の指針と目的を明確にし、論文構成について述べている。

第2章では、層厚を考慮したCFRP積層板の静的損傷解析手法の確立に向けて、層厚が静的損傷進展に与える影響を実験的に評価し、その影響を考慮した損傷進展モデルを提案している。本章で提案した損傷モデルと有限要素解析を組み合わせた静的損傷進展解析を実施し、妥当性検証を行った結果、層厚が異なる場合においても、応力ひずみの非線形挙

動や強度予測が可能であることを示している。

第3章では、有孔 CFRP 積層板における静的強度や破壊モード、内部損傷進展挙動に層厚・積層比率が与える影響について実験的に評価している。層厚と積層比率の異なる6種類の積層板を対象に引張試験を実施し、X線探傷による内部損傷観察により、静的強度特性・静的損傷進展の比較を行った。また、実機構造を想定し、ファスナー拘束を与えた有孔 CFRP 積層板についても同じく層厚・積層比率の影響について調査し、ファスナー拘束による損傷抑制効果や強度向上効果を明らかにした。

第4章では、本研究で提案する静的損傷進展モデルを用いて有孔 CFRP 積層板の静的損傷進展解析を行い、応力集中の発生する有孔試験片に対する本提案モデルの有用性について検証を行った。層厚や積層比率が異なった場合の特徴的な損傷進展や破壊モードの差異を捉えた上で強度予測が可能であることが示されている。また、ファスナー拘束を与えた有孔 CFRP 試験片に対しても損傷解析を行い、ファスナー拘束による最終破壊の起点となる繊維破断の抑制が強度向上に寄与しているメカニズムを明らかにした。

第5章では、有孔 CFRP 積層板の引張疲労試験を行い、疲労損傷進展に対する層厚の影響を実験的に評価している。複数の応力レベルでの疲労試験から得られた内部損傷進展と剛性低下量の比較を行い、薄層 CFRP では高い応力レベルでの疲労負荷に対しても損傷抑制効果があり、剛性低下量が低減されることを示した。また、疲労試験後に破断しなかった試験片にて準静的引張試験を行い、疲労後残留強度を評価した。その結果、薄層 CFRP では高サイクル疲労負荷後においても残留強度が保たれることを明らかにし、その優位性を示した。

第6章では、本論文で提案する静的損傷モデルを基に、層厚の影響を考慮した疲労損傷進展モデルを提案し、提案する疲労モデルを用いた疲労損傷解析手法について述べられている。本解析手法により、有孔 CFRP 積層板の疲労損傷進展解析を行い、円孔から発生する疲労損傷を数値解析的に評価し、第5章で示された実験結果との比較を行った。その結果、提案する疲労解析により、層厚の違いによる疲労損傷進展の差異を捉え、剛性低下量についても良い精度で予測できることが実証され、本疲労解析モデルの有用性が示されている。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果をまとめ、本研究で提案する損傷進展モデルについての今後の課題と展望を述べている。

以上要するに、本論文は、軽量 CFRP 構造に有用な薄層 CFRP を用いた構造設計の実現に向け、層厚による損傷進展挙動の差異とそのメカニズムを明らかにし、層厚効果を考慮した静的・疲労損傷手法を提案・構築しており、航空宇宙工学、及び複合材料工学上貢献するところが大きい。

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。