

審査の結果の要旨

氏名 矢代 茂樹

修士(工学) 矢代 茂樹 提出の論文は、「埋め込み FBG センサを用いた CFRP 積層板の損傷モニタリング」と題し、7章よりなる。

CFRP などの先進複合材料は航空宇宙機主要構造部材への適用が広がっており、その安全性・健全性を評価、保証する構造ヘルスマニタリング技術への関心が急速に高まっている。ヘルスマニタリングに使用されるセンサの中でも、コア部に書き込まれた微小格子の伸縮を利用する FBG 光ファイバセンサは、高精度な計測や多点化の容易さなどの多くの利点を持っていることから非常に注目されている。近年では、FBG センサを用いたひずみ/温度モニタリングだけでなく、積層板に発生する損傷を検出する研究も行なわれている。実構造物に必ず存在する応力集中部について、その近傍で発生する複数損傷を検出するだけでなく、それらを予測し、推定する損傷モニタリングが実現すれば、運用段階における構造部材の健全性評価に大きく貢献できる。以上の観点から、本研究では、積層板の応力集中部近傍における損傷に注目し、積層板に埋め込んだ FBG センサを利用した損傷モニタリングの手法を提案している。まず、FBG センサを埋め込んだ応力集中部を有する積層板に対する損傷解析ならびに光学解析を提案し、積層板の損傷形態と反射光スペクトルの変化を予測している。また、これらの成果を基に、埋め込んだ FBG センサの反射光スペクトルから積層板の損傷形態を推定する逆問題解析手法を提案し、その妥当性を検証している。

第1章は「序論」であり、本研究の背景についてまとめ、従来の研究の問題点を総括するとともに、本研究の目的と本論文の構成について述べている。

第2章は「応力集中部を有する FBG センサ埋め込み積層板の数値解析モデルの提案」であり、FBG センサを埋め込んだ応力集中部を有する積層板を対象とし、積層構造を Mindlin 板要素を用いた面外変形を考慮したレイヤーワイズモデルで表すとともに、板要素間に結合力要素を組み込むことで積層板の複数損傷を表現する有限要素解析に基づく損傷解析方法を提案している。また、不均一なセンサ特性の分布をもつ FBG センサの反射光スペクトルを求める数値光学解析を、上記の損傷解析と直接結び付けることにより、積層板の損傷進展過程における反射光スペクトル変化を解析的に表現することに成功している。

第3章は「埋め込み FBG センサによる積層板の複数損傷の予測」であり、前章の数値解析モデルを用いて、切り欠きを有する CFRP クロスプライ積層板を対象とした複数損傷の進展と、埋め込んだ FBG センサの反射光スペクトルの変化を明らかにしている。層内クラック、層間剥離、スプリッティングを含む複数損傷を表現する損傷解析を行い、実験で得られた損傷形態および反射光スペクトルの変化を再現し、解析モデルの妥当性を検証している。また、反射光スペクトルに対する各々の損傷の影響を明らかにしている。

第4章は「埋め込み FBG センサによる積層板の損傷形態推定手法の提案」であり、2章で示し

た損傷解析および光学解析を基に、FBG センサの反射光スペクトルから切り欠き近傍の損傷形態を逆問題として推定する手法を提案している。すなわち、反射光スペクトル形状を目的関数とし、損傷形態をいくつかのパラメータで表し、これらを数理的に最適化する損傷同定手法を提案している。実験で測定した反射光スペクトルを入力情報として、損傷形態の推定を行い、推定した損傷形態が実験観察結果に一致することを示している。

第5章は「変動荷重下の積層板に対する損傷形態推定の適用」であり、損傷形態を任意の負荷下において推定する手法を提案している。4章に示した損傷形態推定手法を基に、負荷ひずみを損傷形態パラメータとは独立に、反射光スペクトルの波長シフトから推定している。また、繰り返し負荷・除荷試験中の最大負荷時・除荷時に、負荷ひずみの同定に成功するとともに、推定した損傷形態は実験で観察した損傷形態を再現できることを示している。

第6章は「チャープ FBG センサを用いた積層板の損傷モニタリング」であり、ゲージ部に沿って微小格子の間隔が変化するチャープ FBG センサを利用した、損傷モニタリング手法について述べている。とくに、一種類の損傷のみ発生する場合のスペクトル形状をセンサの格子間隔分布から説明し、損傷の種類とスペクトル形状の変化を対応させることに成功し、スペクトル形状から簡易に損傷形態を見積もることができることを実験結果で示している。また、損傷が大きく進展した場合でも推定可能であることを示している。

第7章は「結論」であり、本研究で得られた結論を述べ、今後の課題について検討している。

以上要するに、本論文は、FBG センサを埋め込んだ応力集中部を有する積層板に対する損傷解析ならびに光学解析を提案し、積層板の損傷形態と反射光スペクトル変化を解析的に予測できることを示すとともに、反射光スペクトルから積層板の損傷形態を推定する逆問題解析手法を提案し、その妥当性を示すことに成功している。本論文で得られた成果は、航空宇宙分野での複合材料構造の構造ヘルスマニタリング技術の新しい発展に大いに寄与する有益な知見を与えている。

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。