

審査の結果の要旨

氏名 武田 真一

修士（工学） 武田 真一 提出の論文は、「FBG 光ファイバセンサを用いた複合材料積層板の層間剥離検出に関する研究」と題し、8章よりなる。

複合材料積層板、とくに、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は比強度・比剛性に優れることから、航空宇宙分野を始めとする多くの分野での使用が進んでいる。しかし、積層構造を有するため、比較的小さな面外荷重により層間剥離が発生しやすく、その層間剥離を定量的に評価するとともに、非破壊的に検出することは重要な研究課題である。本研究では、ゲージ部分の不均一なひずみ分布に高感度であり、損傷検出センサとして優れ、しかも通常の光ファイバの1/3のクラッド直径を持ち、CFRP積層板の機械的特性を低下させることなく、CFRP内部に埋め込むことが可能である光ファイバセンサである、細径FBG（Fiber Bragg Grating）センサを用いて、CFRP積層板中の層間剥離を検出する手法を提案するとともに、実験・解析両面からその有用性を実証することを目的とした。

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「FBG 光ファイバセンサを利用した層間剥離検出手法」であり、CFRP積層板中の層間剥離の定量的な検出・評価を可能とする、細径FBG 光ファイバセンサを利用した新しい層間剥離検出手法を提案している。損傷が発生すると予想される位置近傍に強化繊維と平行に埋め込まれた細径FBGセンサが、従来まで困難であった積層板内部の局所的な損傷を検出できる十分な感度を有することを示している。とくに、層間剥離発生時には、積層板内部のひずみ分布が二極化するため、FBGセンサの反射光スペクトルに2つのピークが現れ、剥離が進展すると2つのピークの相対的な強度が変化するため、層間剥離の進展量も評価できることを示している。

第3章は「静的荷重下で発生する層間剥離の検出」であり、第2章で提案した手法を、静的曲げ荷重を受け層間剥離が発生・進展する実際のCFRP直交積層板に適用し、細径FBGセンサからの反射光スペクトルにより層間剥離を検出するための基礎的な検討を行っている。実験、理論解析の両面から反射光スペクトルの変化と層間剥離の進展挙動の関係を明らかにし、反射光スペクトルの変化を利用した層間剥離の定量評価手法について述べている。

第4章は「疲労荷重下で発生する端面剥離の検出」であり、CFRP積層板の自由縁に発生する層間剥離の定量的な検出・評価法を示している。実用CFRP擬似等方性積層板構造には通常、端面やボルト穴などの自由縁が存在し、そこから発生する端面剥離

の検出が重要である。ここでは、(1) 試験片端部に埋め込まれた細径 FBG センサが CFRP 擬似等方性積層板の最終引張強度、および破断ひずみに影響を与えないこと、(2) 積層板に負荷を与えた場合、端面剥離の進展に従い、反射光スペクトルの形状は変化するが、除荷状態では端面剥離発生による内部ひずみの変化が小さいため、スペクトルの変化が確認できない場合があり、その場合は再負荷することにより、感度よく端面剥離量が検出できること、などを明らかにしている。

第 5 章は「衝撃負荷下で発生する層間剥離の検出」であり、面外衝撃荷重を受ける 0 度、90 度、0 度の 3 層から構成される CFRP 直交積層板に発生する層間剥離の検出法について検討している。強度低下に直接的な影響を及ぼす、衝撃面から離れた 90 度、0 度層間に発生するピーナツ形状の層間剥離に注目し、その剥離を感度よく検出する方法を提案するとともに、実験・理論両面から実証している。

第 6 章は「チャープ FBG センサの損傷検出への応用」であり、層間剥離の検出に通常の FBG センサを適用する代わりにチャープ型 FBG センサを適用し、層間剥離の進展方向の検出が可能であることを実証している。

第 7 章は「複合材補修パッチのスマート化」であり、第 4 章で得られた結果を応用し、疲労負荷下で発生する金属部材に接着された複合材補修パッチの剥がれを検出する方法を提案している。細径 FBG センサはパッチの様々な位置への埋め込みが可能であり、反射光スペクトルの解析結果から CFRP パッチと接着層の界面を細径 FBG センサの最適埋め込み位置として決定し、剥がれの発生・進展挙動を定量的に測定することに成功している。

第 8 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、細径 FBG センサを利用した複合材料積層板の層間剥離の定量非破壊検出手法を提案するとともに、実験・理論の両面から実証することに成功している。また、疲労負荷で発生する端面剥離や衝撃荷重で発生する層間剥離、異種材料を組み合わせた接着補修構造の剥がれの検出に適用し、様々な複合材／構造への応用も可能な一般的な手法であることも実証している。本論文で得られた成果は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。