

(第 6 号様式)

学位論文審査の結果の要旨

氏 名	Baso Nasrullah
審査委員	主査 黄木 景二 副査 豊田 洋通 副査 中畑 和之 副査 松下 正史

論 文 名 Monitoring the internal strains in CFRP laminates from processing to machining and temperature cycling

審査結果の要旨

炭素繊維強化プラスチック (carbon fiber reinforced plastics; CFRP) および CFRP と金属とのハイブリッド材である FML (fiber metal laminate) は軽量高強度材料として航空機の構造部材や一般産業分野の構造部材として使用されている。CFRP 構造部材は締結などのために穿孔加工を施す必要があるが、その際に、損傷の発生などにより内部の残留ひずみが増加する。また使用中の温度変化によって熱ひずみが生じる。これまで CFRP の穿孔加工中の内部ひずみやゼロ熱膨張に近い CFRP および FML の熱膨張率を高精度に測定した研究例はなかった。本論文では FBG (fiber Bragg grating) センサを用いて、CFRP について成形から穿孔までの内部ひずみ変化をシームレスに測定し、ひずみと内部損傷の関係を明らかにしている。また、積層理論を用いて設計した高剛性極低熱膨張 FML の温度サイクル中の熱膨張率を FBG センサで高精度に測定し、理論値及び数値解析結果との比較を行っている。本論文の目的は、以上の実験、解析を通して、FBG センサによる CFRP および FML のひずみモニタリング技術を確立することである。

第 1 章は序論であり、研究の背景、目的、概要について述べている。

第 2 章では FBG センサによるひずみ測定原理および積層板と FML の剛性と熱膨張率の計算のための積層理論について説明している。FBG センサは CFRP および FML 内部に埋め込むことができ、熱電対で内部温度を測定することにより、成形残留ひずみを含む内部ひずみを高精度に測定できることが述べられている。また、積層理論に基づいて、擬似等方性を有する高剛性極低熱膨張 FML を設計するための計算過程が詳細に示されている。

第 3 章では、CFRP クロスプライ積層板及び擬似等方性積層板について、FBG センサによる成形中及び穿孔加工中の内部ひずみモニタリングの実験手法および実験結果について述べている。孔周りに埋め込んだ FBG センサによって成形残留ひずみを含む穿孔加工中の内部ひずみを高精度に測定することに成功している。また、穿孔加工時の層間はく離の大きさを表すデラミネーションファクタという指標を用いて、内部ひずみ変化とデラミネーションファクタおよび FBG センサと層間はく離先端の相対距離との関係を実験的に明らかにしている。特に、内部ひずみが急激に増加する臨界デラミネーションファクタあるいは臨界センサ相対距離が存在することを示して

いる。

第4章では積層理論で設計した高剛性極低熱膨張FMLの温度サイクル中の熱膨張率変化をFBGセンサにより測定した結果について述べている。積層理論に基づき算出された厚さを持つステンレスフォイルをCFRP層間に挿入したFMLが、室温において絶対値で 10^{-7} 乗(K^{-1})以下の極低熱膨張率を有することを、FBGセンサによる高精度測定により実証している。また有限要素法による剛性解析と熱ひずみ解析の結果が実験および積層理論の結果と相互によく一致することが示されている。

第5章は結論であり、全体を総括して以下の知見が得られている。1) 埋め込みFBGセンサを用いて、成形、穿孔加工中のCFRPの内部ひずみをシームレスかつ高精度に測定できる。2) 穿孔加工において、内部ひずみが急激に増加する臨界デラミネーションファクタあるいは臨界センサ相対距離が存在する。3) 積層理論に基づき設計した高剛性極低熱膨張FMLの温度サイクル中の熱ひずみをFBGセンサで測定し、 10^{-7} 乗(K^{-1})以下の極低熱膨張率を測定できる。

以上のように本論文はCFRP積層板およびFMLの成形、穿孔加工、および温度サイクル中の内部ひずみと極低熱膨張率を高精度かつシームレスに測定する技術を確立している。この成果は、CFRP構造の安全性と信頼性の確保に貢献するだけでなく、新規CFRP材料の開発に役立つ有益な知見を与えている。よって本論文は博士(工学)の学位論文に値すると認められる。