

## 審査の結果の要旨

氏名 西尾 真由子

修士（工学）西尾 真由子 提出の論文は、「分布ひずみデータの形状特性評価に基づくモデル状態変化にロバストな CFRP 構造の変位同定法に関する研究」と題し、6 章よりなる。

炭素繊維強化複合材料(CFRP)は、航空機等の主構造部材への適用率が向上し、大型化が進んでいる。このことから、その構造モニタリングシステムにおいても、大型構造全体でデータを取得し、グローバルな構造状態を定量的に把握できることが求められている。本研究ではこのようなモニタリングシステムとして、構造全体より得られるひずみデータから変位同定を行う変形モニタリングシステムの構築を行った。ここで用いたひずみセンサは、ブリルアン散乱現象を用いた分布型光ファイバセンサの一つである Pulse-prepump Brillouin optical time domain analysis (PPP-BOTDA) システムである。このシステムでは、一本の光ファイバに沿ってのひずみ値を空間分解能 100 mm, サンプリング間隔 50 mm で得ることができる。センサ部でのみ、値を取得する従来形のひずみセンサでは実現困難な密なサンプリング間隔で、多数のひずみ値が得られることに大きな特長がある。本研究では、この分布ひずみデータを用いた逆解析を行い、その特性を適切に考慮した変位同定アルゴリズムを構築した。さらに荷重状態や構造の固定条件が変化する場合でも常に高い精度で変位が得られることを示し、CFRP 構造の製造時から供用中まで、ライフサイクルにおける様々な場面で変形状態を把握できるシステムとしての有効性を示した。

第 1 章は「序論」であり、研究の背景についてまとめ、従来研究の課題を総括し、本研究の目的と論文構成について述べている。

第 2 章は、「分布ひずみデータの形状特性評価によるデータ信頼性検証」であり、本研究で用いる PPP-BOTDA システムのデータ特性を定量的に評価した。ここでは、「空間分解能の影響による真値再現性低下」と、「不均一ひずみ下でのブリルアンゲインスペクトルの広がりによる計測精度低下」を大きな特性として挙げ、それぞれに対して、実験より得られたデータの統計的な考察より定量的な評価を行った。ひずみ分布形状の不均一度を表す指標として規格化ラプラス値(NLV: Normalized Laplacian Value)を定義し、上記各特性によるデータ信頼性低下度との関係を求めた。

第 3 章は、「変位同定アルゴリズムの構築と CFRP 積層板のたわみ同定」である。アルゴリズムには、対象構造の有限要素モデルを用い、様々な構造要素に適用しても逆解析における解の一意性が保障される、汎用性の高いものとした。ここでは、第 2 章の結果に基づき、NLV によってデータ信頼性に応じた重みを決定し各データ点に付与することで、分布ひずみデータの特性を考慮している。構築したアルゴリズムは、光ファイバネットワークを埋め込んだ CFRP 積層板供試体の曲げたわみ同定に適用した。その結果、データ特性の考慮を適切に行うことで、高い精度でたわみが同定可能であることを示した。

第 4 章は、「ひずみ分布形状特性評価による構造モデル既知条件変化にロバストな変位同定」である。ここでは、実構造の供用中に想定される、荷重条件および固定部や接合部における変位境界条件の変化を、NLV のモニタリングによって検知し、同定パラメータである変位の先験情報や、有限要素モデルのアップデート情報として用いることで、常に高い精度で同定値を得る手法を提

案している。検証では、CFRP 積層板供試体のたわみ同定を対象に、荷重条件と変位境界条件それぞれの変化を取り扱った。NLV の変化より、各々の境界条件変化位置を適切に検知することが可能であり、それらを有限要素モデルに反映させることで、条件変化後も高い同定精度が得られることを示した。本章では、豊富なデータ点数より分布形状の不均一度評価が可能となるという、PPP-BOTDA データの特長を積極的に生かしており、逆解析でしばしば問題となる「モデル変化」への新しいアプローチを行ったこととなる。

第5章は、「CFRP 成型時に生じる熱残留ひずみ分布推定と変形同定」である。大型 CFRP 構造では、成型後の熱残留ひずみから予期しない変形が生じ、構造の寸法精度が低下することがしばしば問題となっている。検証では、特徴的な変形を示す逆対称積層板を用い、変形同定を行った。支配方程式であるひずみ-変位関係式が非線形となるため、構築したアルゴリズムを反復計算アルゴリズムへと拡張し、非線形同定を行った。また、実験より得られた逆対称積層板の分布ひずみデータに適用した結果、概ね良好な精度で変位が得られ、構造製造時における変形モニタリングの有効性を示した。

第6章は「結論」であり、本研究で得られた結論をまとめ、今後の展望と課題を示している。

以上本論文では、埋め込み光ファイバネットワークより得られる分布ひずみデータを変位同定に用いることで、ライフサイクルを通じて CFRP 構造の変形状態を高精度で把握することを可能とした。また、分布型光ファイバセンサの特長を生かすことで、データ点数の制限やモデル変化による精度低下といった、既往の物理量同定で生じる問題点を解決する新しいアプローチを提案・実証した。これらの研究成果は軽量航空宇宙構造力学、複合材料工学、非破壊評価工学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。