

審査の結果の要旨

氏名 赤池 祐介

博士（工学） 赤池祐介 提出の論文は「弾性波の伝播挙動を利用した膜上のシワの検出」と題し、7章からなっている。

薄膜やテザーを用いた柔軟構造は、収納性を保ちつつ、大規模な構造を軽量に構築可能な構造システムであり、その中でも膜構造はソーラーセイルなどの宇宙大規模構造への適用が近年盛んに研究されている。一方で、膜構造にはシワが発生しやすく性能低下の原因となるため、シワの生成要因調査、発生時の挙動解析、シワ形状の測定やシワの低減手法に関する研究が多く行われてきた。地上試験あるいは軌道上でのシワ形状の計測・検知技術について、カメラ等を用いた光学的な手法が研究されており、精度よく膜の形状を同定することに成功している。一方で、宇宙膜構造の大型化要求が高まる中、構造全体をカメラを用いて観察しながら、数 mm オーダーのシワ形状測定を行うことは困難になるため、軌道上での膜構造の運用において、従来の光学的な検知方法を補助する新たな手法が求められている。

このような現状を受け、本論文では、弾性波の伝播を利用した膜のシワの形状推定手法を提案し、シワによる弾性波伝播挙動変化の要因を理論的・物理的に明らかにすると共に、シワの形状同定を実証している。シワの存在する部分と存在しない部分で膜の曲率が変化するが、曲率の変化は弾性波の伝播に影響を与える。これを利用することでシワの検知が可能となることを明らかにし、シワ形状が弾性波に与える影響についての数値解析を行い、得られた知見を基に、逆に弾性波に与える影響からシワ形状の推定を行う手法を述べている。

第1章は導入であり、本研究の背景と従来の膜のシワ形状の計測方法について述べ、本研究で新しく提案するシワ形状の推定方法について示している。

第2章では、シワを有する膜面について、シェルの式を用いたモデル化を行い、シワ部を複数の一定曲率を持つ曲面部からなる微小要素に分割し、要素間の力学的及び変位の連続条件を用いて、弾性波の伝播挙動を計算する手法を示している。シワに入射する弾性波とシワを透過した弾性波の振幅の比である透過率を求め、シワ曲率が大きな影響を与える振動モード・周波数領域を示し、シワによる弾性波挙動の変化を明らかにしている。

第3章では、波形状のシワについて、一定曲率を持つ曲面部と直線部から構成された簡略化モデルを作成し、シワの形状が弾性波の伝播挙動へ与える影響について考察している。シワに入射する弾性波の周波数を変化させることで得られる、周波数－透過率のグラフは

低周波帯で低透過率を示し高周波帯では 1 に近くなり、透過率が低い周波数帯の中にも局所的に透過率が高いピークが見られるなどの特徴を持つことを示している。これらの透過率グラフの特徴に対して簡略化モデルの持つ形状のパラメータが与える影響を観察し、それらが発生する原因を 2 章で示した計算手法を基に明らかにしている。

第 4 章では、有限要素法を用いた弾性波の透過率の計算を行っている。有限要素法から得られた結果が 2 章で示した解析手法から得られたものとよく一致することを示し、解析モデルの妥当性を確認している。

第 5 章では、2 章の解析手法を基に、周波数-透過率のグラフからのシワ形状の推定手法に関して述べている。シワを有する膜面から周波数-透過率のグラフが得られた場合に、3 章で用いたシワの簡略化モデルから計算される透過率のグラフとの誤差の二乗和が最小になるように簡略化モデルのパラメータを最適化することで、シワ形状の推定を行うことを提案している。推定の結果、単一の形状のシワが繰り返される場合ではその形状について良い推定が得られ、弾性波の伝播挙動を用いて膜のシワの形状推定が可能であることを示している。また、大小様々なシワが混在する場合の推定結果と推定対象の形状の関係についても考察を行っている。

第 6 章では、膜面上の弾性波の伝播挙動を、非接触多軸振動計を用いて計測し、シワを有する膜面の弾性波伝播挙動に関して、解析結果との比較を行っている。膜に断面が一定形状になるように屈曲させたシワ部分を発生させ、複数のシワ形状について周波数-透過率の関係を計測している。実験から得られた透過率と解析による結果はよく一致し、シワ形状の同定にも成功し、弾性波の伝播挙動を利用したシワの検出についての実証を行っている。

第 7 章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

以上要するに、本論文は、宇宙大型構造システムにおける膜面に発生するシワについて、新たなシワ形状の推定手法の提案を行い、宇宙構造システムのスマート化に資する膜構造の健全性診断技術の提案・基礎実証を行ったものであり、航空宇宙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。