

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 柏 宗孝

修士（工学）柏宗孝提出の論文は「膜面のリンクル解析に関する研究」と題し、本文7章及び付録から成っている。

膜面は収納の容易さや軽量性から、宇宙用の大型構造物の構造部材として注目を浴びており、ソーラーセイルなど膜面を構造部材として使用する宇宙ミッションも数多く提案されている。しかし、膜面の曲げ剛性は極めて小さいため、僅かな圧縮荷重が作用しただけで、しわ状の変形（リンクル）が生じる。リンクルは、膜面の形状精度を低下させるだけでなく、膜面の応力分布や動特性を変化させるため、宇宙で用いる膜面の設計にあたっては、リンクルの発生を含めて膜面の挙動を精度よく予測する必要がある。地上実験では重力などの影響が避けられず、リンクルの発生等を正確に把握することは通常は困難であるため、数値解析による予測が不可欠である。しかし、数 μm の薄膜を数10mにわたって展開した宇宙用の大型膜面構造物などの解析は、数値計算の安定性と計算時間の点で容易でないのが現状である。そのため、このような大型膜面構造物のリンクルを含めた解析を安定かつ効率的に行える手法の確立が求められている。

このような現状に鑑み、本論文では、上記のような宇宙用大型膜面構造物のリンクルを含む挙動の解析に適用可能で、高い安定性と計算の高速性を兼ね備える解析手法の確立を目的としている。まず、従来のリンクル解析手法について、安定性と収束性の観点から比較検討し、それらを巧みに組み合わせて、新たなリンクル解析手法を提案している。そして、複数の例題について従来の手法と比較することで、提案した手法が高い安定性を有し、従来の手法と比較して大幅に計算時間を短縮することを確認している。更に、安定性と計算時間の観点で従来は解析が困難であった大規模解析に本手法を適用し、現実に関係が行われつつあるスピニング型ソーラー電力セイルに関する課題について有用な知見を得ている。

第1章では、本論文の背景として、リンクル解析手法に関する従来の研究の動向と問題点を総括し、本論文の目的を明らかにしている。

第2章では、後の議論の準備として、幾何学的非線形性を考慮した膜面の非線形有限要素法の定式化を行っている。曲げ剛性を考慮しない膜要素と、ロッキングが生じないとして知られているMITC(Mixed Interpolation of Tensorial Components)シェル要素について、接線剛性マトリクスと内力ベクトルを導出する過程を示している。更に、非線形有限要素法によって得られた非線形方程式の解を得るための数値解析手法として、静的反復法と動的緩和法について述べている。

第3章では、リンクルを考慮した膜の解析を行うためのリンクル表現手法として、張力場理論に基づく膜要素を用いる手法と、MITCシェル要素を用いて座屈として表現する手法を示している。

第4章では、まず、従来のリンクル解析手法を、解の精度と安定性、収束性の観点か

ら比較検討している。その検討結果から、リンクル波形をも求めることができ、複雑な解析に対しても高い安定性と高速性を両立させるために、リンクル表現手法としてはシェル要素を用い、平衡解を得るための数値解析手法として、収束速度は速いが安定性に欠ける静的反復法と安定性は高いが収束の遅い動的緩和法を巧みに組み合わせる手法を考案している。更に、安定性の高い張力場理論により求めた解を上記の手法の初期値として用いることにより計算速度を更に向上させる手法を提案している。

第5章では、先ず、解析解の知られている例題に本手法を適用し、解析解と高い精度で一致する解が得られることを確認している。次に、リンクルを伴う膜面の挙動の解析に本手法を適用し、従来の手法の中で最も計算時間が短いものと比較して、計算時間を約1/10に大幅に短縮できることを複数の例で示している。

第6章では、従来は計算時間の点で詳細な解析が困難であったスピン型ソーラー電力セイルに関する大規模解析を、本手法を適用する事により実施している。先ず、セイル膜面に貼り付けた圧電フィルムの効果により生じる膜面の変形を詳細に求め、圧電フィルムを用いたスピントルク制御法の効果を明らかにしている。次に、膜面に貼り付けた薄膜太陽電池のバイメタル効果が膜面に与える影響について、膜面全体に生じる大局的な変形と、自由縁付近に生じる局所的な変形それぞれと、遠心力による張力との関係を定量的に求め、セイルの設計に有用な知見を得ている。

第7章は、結論であり、本論文で得られた成果を総括している。

付録では、MITC シェル要素の幾何剛性マトリクスの定式化について述べている。

以上要するに、本論文は、高い安定性と計算の高速性を両立する新たなリンクル解析手法を提案するとともに、その有効性を示すことにより、将来の宇宙用大型膜面構造物等の設計や開発に有用な解析手段を導入したものであり、航空宇宙工学、構造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。