

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 中 篠 恭 一

修士（工学）中篠 恭一 提出の論文は「膜面やケーブルからなる構造物の解析法に関する研究」と題し、8章と4項目の補遺とから成っている。

効率のよい宇宙構造物システムの構築には、ケーブルや膜面などの張力部材の利用が必須である。それらによる構造物の解析には、一般的な構造解析には現れない二つの問題点が生じる。第一の問題点は自然形状の不定性である。一般の構造解析においては、解析対象の自然形状すなわち構造内部に歪みがない状態の形状が一意的に定まるため、それを初期形状として解析を進めることができる。これに対し、ケーブルや膜面は外力分布が与えられない限りは形状が一意に定まらず、自然形状が唯一解として存在しえない。第二の問題点は非抗圧縮性の問題である。膜面やケーブルは圧縮力に対してほとんど抵抗しないので、それらには、ケーブルのゆるみ（スラック）や膜面におけるしわ（リンクル）の発生といった強い非線形現象が起きる。それらは有限要素法などの多くの解析法が発達した今日においても、容易には解決できない問題点である。本論文は、それらの問題点の解決を目指して、ケーブルについては逐次的な要素分割による直交化法のアルゴリズムを提案し、また膜面についてはリンクルを生じた膜面の有限要素解析における新しい修正スキームを提案して、それらの有効性を検証したものである。特に膜面については、提案した修正スキームが構成則テンソルのわずか6成分のみを修正するだけの簡略なものであるにも関わらず接線剛性マトリクスを正確に評価していて、リンクル領域における歪みと応力に対する接線剛性マトリクスを近似ないし修正する従来の方法に比べてはるかに有効である。また、既存の有限要素解析コードにも容易に組み込みが可能な発展性のあるものと思われる。

第1章は序論であり、ケーブル構造物と膜構造物の解析についての今までの研究を紹介し、問題点の整理を行っている。また、それらの背景となった弾性理論の研究を概観し、本論文の目的を述べている。

第2章では、直交化法に基づくケーブル構造物の釣合い形状探索法について述べている。ケーブルをピン接合されたトラス部材の集合と捉えてモデル化を行い、逐次的な要素分割による計算負荷を軽減する手法を提案し、その有効性を簡単な例題により説明している。

第3章では、スピン安定型大型宇宙アンテナを想定したケーブルネット構造の釣合い形状を明らかにするための微小重力落下実験とその結果を述べている。形状の測定値を前章の直交化法による数値解と比較して、数値解析の結果が実験の結果をよく説

明できていることを示している。

第4章では、幾何学的非線形有限要素解析において有効な埋込み座標系を用いた膜要素の定式化を整理している。その際、構成則テンソルと増分型構成則テンソルとの違いを明確に区別している。これは、たとえ線形の構成則を仮定した場合でも、以下の章において両テンソルを厳密に区別する必要があるためである。

第5章では、張力場理論に基づいたリンクルがある膜面の新しい有限要素解析について述べている。リンクル歪みに関する物理的な考察から仮想仕事式が簡略化できることを示し、それに基づいて構成則テンソルの具体的な修正スキームを導いている。

第6章では、各種の例題により、前章で提示した修正スキームによる膜面有限要素解析の有効性を検討している。まず、微小変形理論の範囲で理論解が求められている面内曲げを受ける矩形張力膜と面内捩りを受ける円形張力膜の2例について、修正スキームを用いた有限要素解析を行って、その数値解が理論解と高い精度で一致していることを確認し、また修正スキームを用いると反復計算における解の収束性が非常に良好となることも明らかにした。次に、幾何学的非線形性の強い問題として内圧を受ける方形エアバッグの静解析を行い、大きな圧縮応力の領域が不自然に残存する従来の解析例に比べて、滑らかな形状の妥当性のある解析結果を提示している。

第7章では、膜面とケーブルからなる構造物の例としてスピン安定型の膜面構造物について、提案した修正スキームを用いた有限要素解析を行っている。初期形状と釣合い形状とが著しく異なっているにも関わらず収束解を得ており、修正スキームが非常に高い収束性を持っていることを示している。同じ問題を従来の方法で解析した場合、反復計算は初期の数ステップで早くも発散傾向を示し、収束解が得られないことも明らかにしている。さらにその計算不安定性の原因を考察するために接線剛性マトリクスの固有値を調査して、修正スキームを用いた場合はマトリクスの正定値性が常に保たれていることを確認している。

第8章は結論であり、本研究の成果を要約している。

以上要するに、本論文は、ケーブルについては逐次的な要素分割による直交化法のアルゴリズムを提案し、また膜面についてはリンクルを生じた膜面の有限要素解析における構成則の修正という新しい方法を提案して、それらにより幾何学的非線形性の強い膜面やケーブルからなる構造物の解析を容易にしたもので、航空宇宙工学、構造工学、および計算力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。