

専攻主任



## 学位論文審査結果の要旨

博士（工学）申請者 関根孝次

### 審査委員

主査 教授 丸山 晃 市  
副査 教授 一ノ宮 修  
副査 教授 成田 吉 弘  
副査 教授 豊田 国 昭

### 複合材サンドイッチ平板と殻の振動減衰特性

最近、宇宙開発や構造物の大型化あるいは柔軟化などの要求が増すにつれ、軽量で高剛性の材料の開発が目覚ましい。使用目的に適った複合材を設計するためには、その複合材を構成する個々の材料およびその複合体に関する力学的特性を把握しておく必要があり、その方面の研究が広く行われている。

そのような背景のもとに、本論文は、FRP積層表面材とハニカム心材あるいは粘弾性心材から成るサンドイッチ平板、円錐殻、球殻および偏平殻について、振動減衰特性を詳細に解析し、検討したものである。

本論文の成果は以下のように要約される。

第1章は、本論文の目的と意義、本論文内容に関連する研究動向と本論文の位置づけ、ならびに本論文の構成と各章の概要について述べている。

第2章は、FRP積層表面材とハニカム心材あるいは粘弾性心材から成る複合材サンドイッチ長方形板の振動減衰特性の解析である。表面材の変形に関して、面外せん断変形を考慮する場合と考慮しない場合の二つの変位場による定式化を行い、べき級数による変位関数を導入したリッツ法を適用した数値計算によって、固有振動数、固有振動モードおよびモード損失係数を求めた。数値結果の例を他の文献の結果と比較して、実用上十分な精度の解が得られることを確認し、さらに、片持ちサンドイッチ正方形板についてホログラフィー干渉法による固有振動数と固有モードの実験結果との比較も行って、本解析による解の妥当性を確認している。結果として以下のようなことを明らかにした。すなわち、自由振動解析から、辺長と平板全体の厚さの比が10以下の厚い板の場合は、表面材の変形に面外せん断変形を考慮した変位場を適用する方が妥当である。心材と板全体の厚さ比が0.8付近で固有振動数が最大になる。粘弾性心材の振動数依存性を無視した解析から、評価するモード次数の範囲を限定すればモード損失係数と固有振動数の予測が可能である。適切な繊維角度を選択すれば特定の振動モードに対して高いモード損失係数を与えることができる。モード損失係数は心材と板全体の厚さ比が0.6から0.8付近で最大になる。

第3章は、FRP積層表面材と粘弾性心材から成る複合材サンドイッチ円錐殻の振動減衰特性を第2章と

同様の方法で解析している。その際、微小変形理論および積層理論に基づいて円錐殻の最大ひずみエネルギーおよび最大運動エネルギーを評価し、ラグランジュ汎関数を極小化することによって振動数方程式を導き、数値計算により固有振動数、固有振動モードおよびモード損失係数を求め、以下のような成果を得た。すなわち、基本振動数を与える周方向波数は、半頂角、積層形態に依存し、周方向波数が増加するにつれてモード損失係数は増加する。表面材の積層形態は一方向積層よりクロスプライ積層の方が動的剛性と減衰の向上に効果がある。固有振動数が最小となる周方向波数は、境界条件、半頂角、殻の長さとお口半径の比、殻全体の厚さと小口半径の比、などに依存する。モード損失係数は心材の厚さが増加すると低次の振動モードでは増加するが、高次ではある心材厚さで最大となる。

第4章は、FRP積層表面材と粘弾性心材から成る複合材サンドイッチ球殻の振動減衰特性を第3章と同様の方法で解析し、次のような知見を得た。すなわち、クロスプライ積層表面材では、周方向波数が1のとき基本振動モードとなり、1より大きくなると固有振動数は単調に増加する。モード損失係数は周方向波数が大きくなるにつれて増加する。軸対称振動では周方向の変位が卓越するねじりモードが生じ、その固有振動数は境界条件に依存せず、高次モードで開き角が小さいほど面外変位の卓越した振動モードとなる。表面材の積層形態は円錐殻と同様にクロスプライ積層の方が剛性と減衰を向上させる。固有振動数は開き角が増加するにつれて低下するが、モード損失係数は単調な変化をしない。厚肉になるにつれて、固有振動数は増加するが、周方向波数が大きく開き角が小さいほど変化割合が大きい。心材厚さと殻全体の厚さの比が増加するにつれて、モード損失係数は増加し、その比が0.8付近で最大となる場合もある。

第5章は、FRP積層表面材と粘弾性心材から成る複合材サンドイッチ偏平殻の振動減衰特性を第3章と同様の方法で解析し、次のような新知見を得た。すなわち、固有振動数とモード損失係数は、表面材の繊維角度に依存し、適切な繊維角度を与えれば特定の振動モードに対して高いモード損失係数を与えることが可能である。振動減衰特性は、境界における回転と面内変位の拘束条件に大きく影響される。曲率が大きくなるにつれて、固有振動数は増加する。とくに、周辺単純支持と周辺固定の球形偏平殻では曲率の影響を受けやすく、曲率比を適切に選べば特定の振動モードに対して高いモード損失係数を与えることができる。

第6章は本論文の結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

これを要するに、著者は、現在軽量構造物に多用され始めているFRP積層表面材とハニカム心材あるいは粘弾性心材のサンドイッチ平板、およびFRP積層表面材と粘弾性心材のサンドイッチ殻に関する動的特性をリッツ法と呼ばれるべき級数近似法によって解析し、考えられる物理的制約条件をできる限り考慮して、いろいろな新知見を得ている。したがって、この解析法は今後この種の材料の設計に十分役立つと思われる。よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。