

学位論文内容の要旨

北海道工業大学大学院工学研究科
機械システム工学専攻
博士後期課程
機械システム制御部門
関根 孝次

(論文題目)

複合材サンドイッチ平板と殻の振動減衰特性

本研究は、FRP積層表面材とハニカム心材および粘弾性心材からなる複合材サンドイッチ平板、円錐殻、球殻および扁平殻の振動減衰特性をリッツ法により解析したものである。数値計算により、種々の境界条件、積層形態および形状寸法について固有振動数、モード損失係数および振動モードを求め、複合材サンドイッチ平板および殻の振動減衰特性を定量的に明らかにする。

第1章は緒論であり、本研究の目的と意義について述べるとともに、サンドイッチはりと平板、円筒および円錐殻、球殻、扁平殻の振動に関する研究動向について述べ、従来の研究概要と本研究の位置づけ、ならびに各章の構成と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および粘弾性心材からなる複合材サンドイッチ長方形板の振動減衰特性を解析している。表面材の変形を考慮する場合、面外せん断変形を考慮する場合としない場合の二つの変位場による定式化を行い、数値計算により固有振動数、振動モードおよびモード損失係数を求めている。その結果、変位関数の項数を適切に取ることによって実用上十分な精度を有する解が得られ、本解析結果が十分妥当であることを確かめている。

サンドイッチ長方形板の自由振動解析では、辺長と板全体の厚さの比が10以下の厚い板を扱う場合、表面材の変形において面外せん断変形を考慮した変位場の適用が妥当であることを示した。

積層表面材の繊維角度が固有振動数に及ぼす効果については、モード次数の異なる振動数が接近する「ヴィーリング」が生じること、心材の厚さが固有振動数に及ぼす効果については、心材と板全体の厚さ比が0.8付近で固有振動数が最大となることを明らかにした。また、サンドイッチ平板の固有振動数は、質量効果により積層板よりも高い固有振動数となり、振動モードにおける節線のゆがみが小さいことも明らかにした。

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実験によって求めた固有振動数との比較検討の結果、本解析によって十分妥当な近似解が得られることを確認した。

粘弾性心材の振動数依存性を無視した解析では、評価するモード次数の範囲を限定すれば、心材の振動数依存性を考慮しなくてもモード損失係数と固有振動数の予測が可能であること、適切な繊維角度を選択することにより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こと、モード損失係数は心材と板全体の厚さ比が0.6~0.8付近で最大になることを明らかにした。

第3章は、FRP積層表面材と粘弾性心材からなる複合材サンドイッチ円錐殻の振動減衰特性を解析している。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、円錐殻のラグランジュ汎関数を極小化することにより振動数方程式

を導出する。つぎに、数値計算により、固有振動数、振動モードおよびモード損失係数を求める。その結果、変位関数の項数を適切に取ることによって、実用上十分な精度をもち妥当な解が得られることを、他の著者らの解析と実験結果との比較から確認している。

基本振動数を与える周方向波数は、半頂角、積層形態および境界条件に依存し、周方向波数が増加するにつれてモード損失係数は全体的に増加することが明らかになった。表面材の積層形態は一方向積層よりもクロスプライ積層の方が円錐殻の動的剛性および減衰の向上に効果があることも明らかにした。また、固有振動数が最小となる周方向波数の値は、境界条件、半頂角、殻の長さとお口半径の比および殻全体の厚さとお口半径の比に依存することも明らかにした。殻全体の厚さに対して心材の厚さが増加すると、モード損失係数は、周方向波数について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において最大になることを示した。

第4章は、FRP積層表面材と粘弾性心材からなる複合材サンドイッチ球殻の振動減衰特性を解析している。微小変形理論および積層理論に基づいて球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、球殻のラグランジュ汎関数を極小化することにより振動数方程式を導出する。つぎに、数値計算により、固有振動数、振動モードおよびモード損失係数を求める。その結果、変位関数の項数を適切に取ることによって、実用上十分な精度をもち妥当な解を得ることができることを、他の著者らによる解析結果との比較から確認している。

表面材をクロスプライ積層した場合、周方向波数が1のとき基本振動モードとなり、周方向波数が1より大きくなると固有振動数は単調に増加すること、モード損失係数は周方向波数が大きくなるにつれ全体的に増加することを明らかにした。軸対称振動の場合、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しないこと、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ことを示した。表面材の積層形態は一方向積層よりもクロスプライ積層の方が剛性および減衰の向上に効果があること、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に変化せず、非軸対称振動ではある開き角で最大となる場合があることを明らかにした。殻が厚肉になるにつれ、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こと、心材の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、心材の厚さと殻全体の厚さの比が0.8付近で最大となる場合もあることも明らかにした。

第5章は、FRP積層表面材と粘弾性心材からなる複合材サンドイッチ偏平殻の振動減衰特性を解析している。微小変形理論および積層理論に基づいて偏平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、偏平殻のラグランジュ汎関数を極小化することにより振動数方程式を導出する。つぎに数値計算により、固有振動数、振動モードおよびモード損失係数を求める。その結果、他の著者らの解析結果との比較から、変位関数の項数を適切に取ることによって実用上十分な精度をもち妥当な解が得られることを確認している。

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、適切な繊維角度を選択することによって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こと、偏平殻の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ことを明らかにした。また、曲率が大きくなるにつれ、固有振動数は増加し、とくに周辺単純支持と周辺固定の球形偏平殻の場合、曲率比の影響を受けやすいこと、曲率比を適切に選択することによって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ことを明らかにした。

第6章は本論文の結論であり、各章における成果をまとめている。