



Title	Blended layerを含む繊維強化複合材積層板の面内・面外振動の解析と最適化に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	印南, 信男
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14876号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/85313">https://hdl.handle.net/2115/85313</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Michio_Innami_review.pdf, 審査の要旨



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 印南 信男

審査担当者 主査教授 佐々木 克彦  
副査教授 梶原 逸朗  
副査教授 中村 孝  
副査 名誉教授 成田 吉弘

### 学位論文題名

**Blended layer** を含む繊維強化複合材積層板の面内・面外振動の解析と最適化に関する研究  
(Study on the analysis and optimization for in-plane and out-of-plane vibrations of laminated  
fiber-reinforced composite plates including blended layers)

平板を用いた構造は、工業分野の多岐にわたる構造体に用いられており、軽量化・高速化の技術的傾向の中、設計に際して振動の影響を無視することができない。この対策の一つは、平板の固有振動数を精度よく解析して、とくに基本振動数を予測して共振の悪影響を避けることである。また、航空機や自動車など交通機械において、炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastics : CFRP) の利用が進んでいる。特に、航空分野では、面内剛性を等方性化する疑似等方性板に積層して、異方性を活用することなく利用してきた。積層用のプリプレグシートは今まで各層(ラミナ)の繊維は一方向の直線強化繊維であったが、現在では製造法の向上により、同一板内で繊維配向角度を位置により曲線的に変化させた構造も技術的に可能である。しかし、コスト面の有利さの観点から、1枚のラミナにおいて、領域ごとに異なる直線繊維の繊維配向角度を設定する **Blended layer** が注目されている。

本論文は、まず、**Blended layer** を含まない従来型の CFRP 積層板の未解決問題について面内振動と面外振動(曲げ振動)の振動解析方法について解説し、その後、本解析方法の計算効率と精度を活用した、面内振動と面外振動の振動数特性の最適化法、さらに、**Blended layer** を導入した積層板の振動数最適化への提案を目的としている。

第1章では、これまでの関連研究と背景についてまとめ、本研究の位置付けを明確にし、本研究の独自性、発展性について言及し、さらに、本研究の目的を明確にしている。

第2章では、任意の境界条件の組合せを可能とする対称積層長方形板の面内振動を取り扱っている。振動解析にはリッツ法を用い、その計算精度について、先行研究と比較することによって検証を行う。積層板の境界条件として4辺に自由辺、単純支持辺(S1, S2の2種類)、固定辺のすべての組合せを適用し、それぞれに対して固有振動数を求めている。さらに各境界条件間の関係について考察を加えている。

第3章では、対称積層板の面内振動について、リッツ法と有限要素法プログラムを用いてリッツ法の精度検証を行い、固有振動数を目的関数として最適設計を試みている。設計の具体例として、(1)1次固有振動数の最大化、(2)1次固有振動数の最小化、(3)1次と2次の固有振動数の差の最大化の3つの設計目的例を取り上げている。さらに、対称積層板の面内剛性の特性を利用して組合せ数を限定し、すべての設計変数の組合せについて総当たり法によって計算を行い、厳密な最適解を得ている。

第4章では対称積層板の面外振動を取り扱い、1次固有振動数を最適化(最大化)するための各層の繊維配向角を求めている。解の探索にはメタヒューリスティクスの代表的な手法であるGA(遺伝的アルゴリズム)とPSO(粒子群最適化)の2種類を用いている。さらに、最適化計算の効率化を目指して、両方の最適化アルゴリズムで用いられる計算パラメータの最適値を本計算の前処理として実験計画法によって求めている。これら最適化アルゴリズムによって得られた最適解と計算時間を比較し、振動最適化問題における探索性能の検証を行っている。

第5章では最外層にBlended layerを持つ対称積層板の面外振動の解析を行っている。最外層のサブエリア(異なる繊維配向角度を持つ分割領域)の構成は5種類の例を設定している。Blended layerに対して、サブエリアごとに異なる剛性に対して領域積分を行い、最終的に統合化するリッツ法を提案し、数値計算により固有振動数の計算を試みている。得られた解の解析精度について、有限要素法プログラムによって求めた結果と比較し、Blended layerを有する積層板へ本解析法を適用することの妥当性を検証している。

第6章では第5章の検証結果をもとに、Blended layerを有する対称積層板の最適化について検討を行っている。Blended layerは最外層に配置し、サブエリア数は1~5としている。また、第2層の繊維配向角も設計変数として加えた場合についての最適化も試みている。さらに、Blended layerの採用によって及ぼされる固有振動数への影響について検証している。

これを要するに、本論文は、サブエリアごとに繊維配向が異なるBlended layer板を外層に採用した炭素繊維強化プラスチックの振動最適化を図るために、振動解析にリッツ法、また、設計にメタヒューリスティクスに属する遺伝的アルゴリズムと粒子群最適化法を用いた振動数最適化手法の新たな提案を行っており、振動工学および複合材料設計工学の発展に貢献すること大である。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。