



HOKKAIDO UNIVERSITY

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	https://hdl.handle.net/2115/85313
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Michio_Innami_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 印南 信男

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。共振現象が発生すると騒音の原因となるだけでなく、構造全体や構造要素に大きな負荷がかかり疲労破壊を引き起こす可能性がある。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。しかし従来の金属材料を用いた構造では、可能な設計上の対策は限られている。

機械とくに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。CFRP は単位重量当たりの強度や剛性を表す比強度と比剛性の値が高いため、省資源の観点から軽量化が本質的に重要な分野で利用が広まってきた。以前はコストが課題であったが、製造方法の改善により低コスト化が進み、利用を加速させている。ただし力学面から等方性と見なせる金属と比べて、材料異方性が強く、さらに多層化して使われるため CFRP 構造の力学解析は容易ではない。そこで航空分野では、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。今後は、異方性を使用用途や位置により最適化する構造最適設計が期待される。他方、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。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。しかし製造時間を要するなど他の課題が浮き彫りになり、いまは 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。この **Blended layer** を積層板に組み込むことで、平板の性質をさらに細かく用途に応じてチューニングすることが低コストで可能となり、複合材料構造の現実的な設計法として期待されている。

以上の技術的背景の下、本研究では前半に **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) の振動解析方法を与える。その後、本解析方法の計算効率と精度を活用して、面内振動と面外振動の振動数特性の最適化法を提案する。後半では、新たに **Blended layer** を導入した積層板の面外振動の解析方法と最適化方法の適用を提案する。

本論文は以下のような構成となっている。

第 1 章では、研究の目的、これまでの関連研究と背景についてまとめた。

第 2 章では長方形の対称積層板を対象として面内振動を取り扱った。振動解析にはリッツ法を用いた。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とともに、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た。さらに各境界条件間の関係について考察を加えた。

第 3 章では、対称積層板の面内振動について、リッツ法と自作の有限要素法プログラムを用いて

精度の検証を行い、固有振動数を目的関数として最適設計を試みた。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 つの事例を取り上げた。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て、本章では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、厳密な最適解を得ることができた。

第 4 章では対称積層板の面外振動を取り扱った。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た。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 種類を用いた。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 (個体数, 世代数, 突然変異率など) 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た。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することにより、振動最適化問題における探索性能の検証を行った。

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た。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 種類の例を設定した。**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て、数値計算により固有振動数の計算を試みた。得られた解の解析精度について、自作の有限要素法プログラムによって求めた結果と比較することにより、**Blended layer** を有する積層板へ本解析法を適用する妥当性を検証した。

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た。**Blended layer** は最外層に配置し、サブエリア数は 1~5 とした。設計変数は最外層の各サブエリアの繊維配向角とその境界位置である。上記の設定に第 2 層の繊維配向角も設計変数として加える場合についても最適化を試みた。設計変数が少ない場合には総当たり法を適用し、多い場合には GA による解の探索によって最適解を求めた。また **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た。

第 7 章で全体の結論を述べた。