

氏 名	にし わき つよ し 西 脇 剛 史
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 107 号
学位授与の日付	平成 8 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工芸科学研究科機能科学専攻
学位論文題目	Numerical Method of Mechanical Behaviors for Laminated Polymeric Composites (積層構造を有する高分子系複合材料の力学的挙動解析手法に関する研究)
審 査 委 員	(主査) 教 授 前川善一郎 教 授 松尾達樹 教 授 秋山隆一 教 授 岩本正治

論文内容の要旨

本研究は、積層構造を有する高分子系複合材料の力学的挙動を解明するために、複合材料積層板を対象とした数値モデルを提案し、有限要素法を用いて解析する手法についてまとめたものである。本論文は 5 章および緒論と結論から構成されるものであり、以下に各章の概要を示す。

第 1 章では、有限要素法による複合材料積層板の力学的挙動に関する今までの研究を概説し、従来の研究における複合材料積層板の力学的応答予測の限界と欠点について明確にしている。

第 2 章では、本研究の中心となる擬 3 次元モデルの提案を行っている。複合材料積層板を、各層の面内挙動を表現する繊維強化板とこれらを結合させる樹脂層からなるものと仮定し、繊維強化板を直交異方性薄板要素で、樹脂層を梁要素で数値モデル化し、これらを組み合わせることによって擬 3 次元モデルを構築し、有限要素定式化を行っている。

第 3 章では、積層構成の異なる 4 種類の擬似等方性炭素繊維強化エポキシ樹脂積層板を用いて、面内引張りおよび面外曲げ荷重下における損傷進展解析を行っている。複合材料積層板には、最終破壊に至る過程において、異なる局所損傷モードが発生するが、これらの発生、進展を実験的に特定することは困難である。そこで、擬 3 次元モデル内における薄板要素と梁要素に、個別の強度則を与え、各要素の破壊進展を検討し、最終強度の予測手法を確立している。

第 4 章では、複合材料積層板の振動解析と座屈解析における擬 3 次元モデルの適用を検討している。振動解析は完全自由な境界条件下で、1 次および 2 次固有振動数を算出し、実験との比較検討を行っている。また、擬 3 次元モデル内の梁要素を消去することにより、層間はく離を有する積層板の振動解析も行っている。一方、座屈解析においては、境界条件が座屈強度に大きく影響を与えることから、実験に対応した境界条件を考慮して解析を行っている。また、層間はく離が試験片中央部に発生した積層板について、同様の座屈解析を行い、はく離面積と座屈強度の関係を定量化している。

第 5 章では、擬 3 次元モデルを用いた動的応答解析として、低速衝撃を受けるクロスプライ積層板を解析対象とし、弾性波速度に着目した動的弾性波伝播解析を行っている。また、層間はく離を有する積層板について本解析を行い、はく離位置が弾性波速度に与える影響を定量化している。

第 6 章では、擬 3 次元モデルの実構造物への適用例として、炭素繊維強化エポキシ樹脂製の円筒を解析対象とした横圧縮解析を行い、その力学的挙動を検討している。横圧縮荷重下における損傷進展のメカニ

ズムを追求し、カップリング効果の影響を明確にしている。

最後の第7章において、これまでに論じてきた研究の成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

構造物に複合材料積層板を適用する場合、その積層板の種々の力学的応答を予測しておくことは不可欠である。近年のコンピュータ性能の著しい向上により、有限要素法を代表とする数値解析が最も汎用的で、強力な手法になりつつある。不均質性を有する複合材料の力学的応答を予測する場合、その不均質性を考慮できる数値モデルを開発する必要がある。本研究において、複合材料積層板を対象とした擬3次元モデルと名付けた独自の数値モデルを提案し、その妥当性の検討から、本モデルの可能性を議論したものである。

最初に、擬3次元モデルを用いて、複合材料積層板の面内、面外剛性を予測し、古典積層理論との比較により、その妥当性を確認している。つぎに、引張りおよび曲げ荷重下での積層順序の異なる積層板において、トランスヴァースクラックと層間はく離が発生する負荷を独立して予測できることを明らかにしている。また、本モデルを用いた振動解析から、層間はく離を有する積層板の固有振動数および振動モードを予測できることを明確にしている。座屈解析においても、実験結果との間に良好な対応が確認できている。最後に、本モデルの実構造物への適用例として、複合材料円筒の横圧縮解析を行い、その損傷進展メカニズムにも本解析手法が適用できることを示しており、本モデルの適用によって、積層構造を有する複合材料構造物の強度設計や剛性設計に有効な知見が得られるものと判断できる。

以上の諸結果は日本機械学会論文集（A編）に3編、日本複合材料学会誌に2編、日本繊維機械学会誌に1編が掲載され、レフリ制度のある国外の学術誌である Composite Structures に4編、Computational Mechanics に1編が掲載されている。これら11編はいずれも申請者が筆頭著者である。

以上の結果より本論文の内容には十分の新規性と独創性ならびに高い学術的な価値があることを全審査員が認めた。