

氏 名	吉 田 治 夫 よし だ はる お
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第1165号
学位授与の日付	昭 和 54 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	繊維強化複合材料の力学的性質に関する研究

(主 査)
論文調査委員 教授 遠藤吉郎 教授 河合弘廸 教授 大矢根守哉

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はガラス繊維および炭素繊維によって強化されたプラスチックの力学的性質を主として粘弾性および疲労の立場から解明し、その性能を向上させ、用途開発に寄与しようとするものであって、2編よりなっている。

第1編は繊維強化プラスチックの粘弾性について述べたものである。第1章は緒論として、この粘弾性挙動を評価するのに複素弾性係数を取り上げる所以を述べている。

第2章では、繊維強化プラスチックは低応力領域にては線形粘弾性体として取り扱い得るので、このほうが正弦波強制力を受けたときの振動挙動の解析を行ない、複素弾性係数の測定について述べている。

第3章では、第2章に述べた理論にもとづき、各種の繊維強化複合材を実験材料として複素弾性係数を測定し、この値に対する温度、振動周波数、強化材含有率ならびに強化材の繊維方向などの影響を調査した。

第4章は異種強化材を組み合わせた混合複合材料についての議論である。異種材料の積層の組み合わせ方ならびにはりの長手方向に異種材料が交互に連続して配列している場合の配列形式と、材料全体としてのみかけの複素弾性係数の関係を求める理論式を誘導し、これの演算にあたってのコンピュータ用プログラムを開発した。理論計算の妥当性は現実のハイブリッド複合材による実験によって確認している。

第2編は繊維強化プラスチックの疲労挙動について、とくに粘塑弾性的特性に着目して行なった研究について述べている。第1章ではこの材料は応力がある程度大きくなると塑性変形を起こすので、その力学的挙動は粘塑弾性体として表示する必要があることを述べている。

第2章においては、前記の力学特性を表わす微分方程式を決定するための方法について述べている。単位基本力学要素としての、弾性要素、粘性要素、ならびに摩擦要素が数多く任意に組み合わせられた力学模型を一つの粘塑弾性体と考え、その力学特性を表わす微分方程式を誘導する一般的方法について説明している。また現実使用される繊維強化プラスチックの力学特性を、できうる限り忠実に再現し、しかも余り複雑にならないような実用的な4要素粘塑弾性力学模型を設定し、これに静的あるいは繰返し荷重が

加えられたときの挙動についての解析を行なった。

第3章はこの実用4要素力学模型に応力増加速度一定の荷重を加えたときの応力-ひずみ線図と現実の材料の応力-ひずみ線図との対比であって、各単位力学要素の特性値を決定する方法が述べられている。

第4章では、荷重の繰返し周波数はきわめて低いが、大きい応力が繰返し作用する低サイクル疲労について、4要素力学模型に関する理論解析と、各種の繊維強化プラスチックについての実験結果を述べている。応力形式は定応力振幅の二等辺三角形および正弦波であり、応力繰返しに伴う材料の剛性の変化、各応力サイクルごとに材料に吸収消費されたエネルギー量と、試験片の破断にいたるまでの総エネルギー量との関係などを求め、疲労寿命を推定する方法を見出そうとしている。なお疲労試験は非常に時間のかかるものであるから、前記4要素力学模型に繰返し応力を与えた状態をコンピュータによるシミュレーションにて実現して、疲労挙動を短時間で推定することに成功している。

第5章は応力繰返し周波数の高い30 Hz程度で各種ガラス繊維強化プラスチックについて両振り平面曲げ疲労試験を行なった結果についての報告である。第4章における低サイクル疲労の場合と同じく、応力繰返しに伴う材料の剛性の変化、各応力サイクルごとに材料に吸収消費されたエネルギー量と疲労寿命中に吸収消費された総エネルギー量との関係などが求められた。さらに疲労試験中の材料の発熱現象に注目し、材料内部の温度分布の理論解析を行ない、また強化材の種類およびこの積層方法の差異による試験片温度上昇の差異、および試験片の冷却による疲労寿命の延長効果などについての実験結果について述べている。

結言は本論文の成果を総括したものであって、繊維強化プラスチックを構造部材として使用する際の重要な資料が得られたことを述べている。

最後に付録として、第1編の理論的解析の基礎となる線形粘弾性はりのたわみ振動の式を誘導し、またはりのたわみ振動および低サイクル疲労における挙動をコンピュータによるシミュレーションしたときのプログラムを示している。

論文審査の結果の要旨

ガラス繊維、あるいは炭素繊維で強化したプラスチックは構造用部材によく適応した複合材料として広く使用されており、また数多くの研究もなされている。しかし、この材料の歴史はまだ浅く、その性質、とくに力学的性質についてはなお検討を要する問題が残されている。本論文は繊維強化プラスチックの力学的性質を、粘弾性および粘塑弾性の立場から解明しようとしたものであって、得られた主な結果は以下のようである。

1) 繊維強化プラスチックは負荷されている応力が比較的小さい領域においては粘弾性体と考えられるので、振動リード法によって複素弾性係数を測定し、これに影響を与える各要因との関係を求めている。すなわち、たわみ振動モード、振動周波数、強化材含有率、温度、応力に対する繊維の方向、異種強化材の積層順序などと複素弾性係数との関係を解明し、使用目的に合致した粘弾性力学特性を与えるための方法について知見を得ている。

2) 負荷される応力が大きくて、塑性変形を生じる領域では粘塑弾性体として取扱う必要がある。この

ような領域における力学模型を設定し、実験結果と対応させることによって、各単位力学要素の特性値を決定した。

3) 大応力が低速で繰返し与えられる低サイクル疲労における力学模型を理論解析し、各種の繊維とプラスチックの組合せの複合材料について実験を行なった。これより、各サイクルごとに消費されるひずみエネルギーの変化状態が知られ、疲労寿命の推定が可能になった。さらにこの疲労挙動をコンピュータによるシミュレーションで実現し、疲労挙動を短時間で推定することに成功している。

4) 高サイクル疲労については、材料内でのエネルギー消費、剛性変化などの疲労挙動は低サイクル疲労と本質的な差異はないが、応力の繰返しに伴う消費エネルギーによる発熱、温度上昇が大きい。材料内部の温度分布の解析を行ない、強化材の種類とその積層方法による試験片の温度上昇の差異を求め、また試験片の冷却による疲労寿命の延長効果などの実験結果を得て、繊維強化プラスチックの性能向上、用途開発に対する知見を得ている。

これを要するに、本論文は繊維強化複合材料の力学的性質を粘弾性および粘塑弾性に着目して解明し、この材料を構造用部材として使用する際の重要な資料を与えるものであって、学術上、工業上寄与するところが少くない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。