

氏 名	まつ だ まとし 松 田 聡
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1788 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 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 学 研 究 科 機 械 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	繊維強化樹脂基積層複合材料のモードⅡ静的・疲労層間はく離き裂 伝ば抵抗に及ぼす構造因子の影響 (主査)
論 文 調 査 委 員	教 授 落 合 庄 治 郎 教 授 駒 井 謙 治 郎 教 授 大 谷 隆 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、繊維強化樹脂基積層複合材料の構造因子が静的および疲労荷重下におけるモードⅡ層間はく離き裂伝ば特性に及ぼす影響を検討したものであって、緒論および結論を含めて9章からなっている。

第1章は緒論であり、繊維強化樹脂基積層複合材料の層間破壊抵抗改善の重要性と従来の研究の経緯を示した上で、本研究の目的と概要について述べている。

第2章では、繊維強化樹脂基積層複合材料のモードⅡ疲労き裂伝ば挙動について、試験片の板厚の影響を受けないコンプライアンスとき裂長さの新しい関係式を提案するなど、従来の問題点を克服し、評価法を確立している。これによって、損傷許容設計の観点から重要である下限界近傍での高精度な評価がはじめて可能となった。

第3章では、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) 積層板のモードⅡ疲労き裂伝ばに及ぼすマトリックス樹脂の効果について検討している。まず、樹脂のじん性の上昇により破壊じん性値および疲労下限界値が向上することを示している。ついで、下限界近傍での破壊機構に関して、モードⅡでは樹脂のじん性によらず繰返し荷重支配となり、モードⅠとはまったく異なることを明らかにしている。また、破面観察と照らし合わせ、微視的な観点からマトリックス樹脂の効果について系統的に論じている。

第4章では、新型航空機の1次構造材として採用されたばかりの層間高じん化CFRPを用いて、ポリアミド粒子添加による効果について検討している。疲労き裂伝ば抵抗も粒子の添加により大きく上昇すること、ポリアミド粒子の塑性変形によるエネルギー消費が破壊じん性、疲労き裂伝ば抵抗の上昇に大きく寄与することをはじめて明らかにしている。

第5章では、繊維の表面処理による界面強度の向上がCFRPのモードⅡき裂伝ば抵抗に及ぼす影響について検討している、表面処理を行うことによって破壊じん性値は向上するが、疲労下限界値は変化しないことを示している。フラクトグラフィ的検討から、静的破壊では表面処理によってき裂のパスが変化するのに対し、疲労下限界近傍では表面処理の有無によらずき裂は樹脂中を伝ばすることを明らかにしたうえで、界面強度がき裂伝ば抵抗に及ぼす影響を系統的に論じている。

第6章では、磁気浮上列車の超伝導磁石コイルの支持体への採用が決定しているALFRP (Alumina Fider Reinforced Plastics) を用いて、実環境に近い液体窒素中、および比較のための室温大気中での、モードⅡ層間はく離疲労試験を行い、き裂伝ば挙動の温度依存性について検討している。まず、液体窒素中での破壊じん性値、疲労下限界値が室温大気中と比べて高くなることを示している。ついで、破壊機構に関して、CFRPと類似した繰返し荷重支配である室温大気中とは異なり、液体窒素中では最大荷重支配であることを明らかにしている。また、温度低下による樹脂の延性の低下と関連づけて、破壊機構の温度依存性について論じている。

第7章では、飽和量まで吸水させた層間高じん化CFRP積層板にモードⅡ層間はく離疲労試験を行い、ベース材料、未吸水材との比較から水環境による劣化の原因について検討している。吸水によるガラス転移点の低下および破面での樹脂の変形挙動の変化から、エポキシの強度の低下が伝ば抵抗減少の主原因であることを明らかにしている。

これまで、層間高じん化のために、高じん性樹脂フィルムを挿入する方法が試みられてきたが、き裂が挿入した樹脂層から外れるため、その効果を十分に引き出すことが困難であった。第8章では、母材のエポキシと反応する高じん性の熱可塑性樹脂アイオノマーを用いて、き裂の進展経路に高じん性の反応層を形成させる新しい層間高じん化法を試みている。この手法により、反応層およびアイオノマーの塑性変形によるエネルギー消費を利用することが可能となり、モードⅠ、モードⅡいずれについても飛躍的な高じん化を行うことができた。

第9章は結論であり、本研究について得られた結果を要約している。

論文審査の結果の要旨

繊維強化樹脂基積層複合材料の構造部材では、層間はく離の発生・進展による強度の低下が問題であり、検討が遅れているモードⅡでの破壊機構の解明、評価法の開発および層間高じん化が重要な課題となっている。本論文は、繊維強化樹脂基積層複合材料の構造因子が静的および疲労荷重下でのモードⅡ層間はく離き裂伝ば特性に及ぼす影響を検討したもので、得られた成果は次のとおりである。

1. モードⅡ層間はく離疲労き裂伝ば挙動の実験的高精度評価法を確立した。これにより、様々な繊維強化樹脂基積層複合材料について、損傷許容設計の観点から重要な下限界近傍での疲労き裂伝ば挙動の評価がはじめて可能となった。
2. 今まで調べられていなかったモードⅡ疲労荷重下における下限界近傍での特性が繰返し荷重に支配されていることを明らかにするとともに破壊機構が主せん断応力面での樹脂の微視的破壊であることを解明した。
3. 実用的見地から、航空機の1次構造材として搭載されたばかりの先端炭素繊維強化樹脂基積層複合材料および磁気浮上列車の超伝導磁石の支持体への採用が決定しているアルミナ繊維強化樹脂基積層複合材料について、未明であった下限界での特性を初めて評価し、破壊機構を明らかにして、損傷許容性の観点から実機における安全設計の基礎を与えた。
4. 基礎的見地から、樹脂の特性、繊維／樹脂の界面強度、層間に挿入した粒子分散樹脂層およびインターリーフ層といった構造因子がモードⅡ層間はく離き裂伝ば挙動に及ぼす役割を明らかにし、これらの結果をもとにして構造因子制御による高じん化設計の指針を与えた。

以上要するに、本論文は、繊維強化樹脂基積層複合材料について、モードⅡ層間はく離き裂伝ば挙動の高精度評価法を確立して、き裂伝ば抵抗に及ぼす構造因子の影響を明らかにし、高じん化設計や安全設計の指針を与えたものであり、得られた成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成11年1月8日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。