

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 西野 峰之

修士（工学）西野峰之提出の論文は、「積層板接着構造の力学的挙動」と題し、本文5章及び付録9項から成っている。

樹脂材料を炭素やガラスなどの補強繊維で強化した繊維強化複合材料は、優れた比強度・比剛性を有し、航空宇宙分野をはじめとして様々な構造物へ適用されている。この複合材料は通常複数の層を積層した積層板として使われる。積層板ではそれぞれの層内の繊維は貫通孔などによって途切れないことが荷重伝達の点で望ましく、部材どうしをつなぐ継手部分や損傷が生じたときに修理される補修部分でも、穿孔による繊維切断を避けるため、接着継手や接着補修が望ましい。それゆえ積層板の接着構造は今後の複合材料の適用増加に伴って益々増えることが予想される。接着構造は実用上の制約から板厚方向に非対称な形態である single-lap joint や single-strap joint が多く採用されるが、不連続部分での応力集中の発生に加え、荷重線の偏心があるため曲げ変形が生じ易く、接着部分のはく離を誘発しやすい。これらの継手先端やはく離部分で、応力分布などの挙動を詳しく知り、損傷の進展挙動を精度良く予測することは、接着構造を広く実用化するために不可欠な課題となっている。この接着構造の挙動の解析にあたっては、荷重の偏心による幾何学的に非線形な挙動に対応できる非線形有限要素解析に頼っているのが現状で、現象を力学的な側面から詳細に理解しているとは言い難い。本論文では実用上多用されつつある single-lap joint と single-strap joint で、荷重偏心とはく離を持つ一般的な場合についてその力学的挙動を明らかにするとともに、解析解を有する簡易な解析モデルを提案してその精度を考察し、実験との比較を行っている。更に、このモデルと表面のひずみ計測を併用し、はく離進展の検出に応用できることも示している。

第1章は序論であり、積層板接着構造の工学的問題点や、従来の解析的及び実験的な研究成果を詳細にまとめ、本論文の研究目的を述べている。

第2章では、2次元の解析モデルを作りそれに基いた解析解を導出している。まず接着された2つの部分構造間の荷重伝達の遅れについて、その発生の原因となる力を自己平衡力として分離できることを示し、この力に着目して境界領域を2層のはりとそれをつなぐバネでモデル化している。この境界領域モデルを組み込んだ全体解析モデルを構築して大たわみを考慮した定式化を行い、解析解を求めている。さらに得られた解析解に基づいて、はく離進展に伴う破壊力学パラメータとしてエネルギー解放率を導出している。

第3章では、single-strap joint の解析を第2章で求めた解析解を用いて行い、実験と比較検討している。実験では炭素繊維強化複合材料の接着試験片を使い、はく離の進展とそれに伴う変形やひずみ挙動を詳細に計測し、得られたはく離長さや変形との関係を解析結果と比較し、両者が良い一致を示すことを確かめている。同時に、表面でのひずみを

モニターすることで、はく離の進展量を精度良く求められることも示し、表面ひずみの計測がはく離検出に有効であることを見出している。また、single-strap joint がき裂発生部位の片面パッチ補修後を模擬した2次元モデルと同じであることに着目し、パッチ補修部の挙動解析への応用を試みている。比較対象として楕円状パッチを接着した補修構造の3次元非線形有限要素解析を行い、その結果がパッチのアスペクト比の増加に伴ってここで求めた解析解に近づくことを確認し、ここでの解析モデルの利用範囲についての知見を得ている。

第4章では、single-lap joint の解析を行っている。これまで広く用いられてきた他の解析モデルと比較検討を行い、オーバーラップ部分の長さによらずここで開発したモデルが有限要素解析結果と極めて良く一致していることを示し、その有効性を確認している。特にエネルギー解放率によるはく離進展の評価から、異なる材料の部材接着では、両部材の板厚を調節してそれぞれの引張剛性を等しくすべきであることを、理論的に考察している。また曲げと引張のエネルギー解放率への寄与に注目し、single-lap joint ではオーバーラップ部分と非オーバーラップ部分をできるだけ長くとることで、曲げに起因するエネルギー解放率を小さくでき、構造的に有利であることを示している。更に、はく離進展に伴ってエネルギー解放率が増大して不安定なはく離進展に発展することから、早期のはく離検出が重要であり、そのためには表面のひずみ計測が有効であることを示している。

第5章は結論であり、本論文の成果をまとめている。

以上要するに本論文は、複合材料積層板で使われる接着構造の力学的な考察を行い簡易モデルを提案し、その解析解を求めて実用的な有効性を示したもので、今後の高信頼性複合材料構造の発展への寄与が期待されるものであり、航空宇宙工学及び複合材料工学に貢献する所が大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。