

論文審査の結果の要旨

氏名 吉村 彰記

修士（科学）吉村 彰記氏提出の論文は、「板厚方向に縫合した CFRP 積層板の損傷進展に関する研究」と題し、7 章よりなる。

本論文は、縫合 CFRP 積層板の実用構造物への適用を目的として、その損傷プロセスを実験、数値解析の両面から詳細に検討している。実験においては、非破壊検査手法を用いて、さまざまな荷重下の縫合積層板の損傷を詳細に観察している。また、数値解析では、縫合積層板の損傷をモデル化するモデルを提案し、このモデルを用いることによって、縫合が損傷プロセスに与える効果を説明することに成功している。また、実験、解析による知見に基づいて、損傷進展を抑制するための縫合パラメータ決定の指針を与えている。

第 1 章は「序論」であり、まず、本研究の背景を述べるとともに、縫合積層板に関する既存の関連研究をまとめ、本研究の目的と論文構成について述べている。

第 2 章は「縫合積層板内の損傷進展解析手法」であり、有限要素法に基く、縫合積層板の損傷進展解析モデルを提案し、その検証を行っている。モデルは、Mindlin 板要素、Timoshenko はり要素、結合力要素を効率的に組み合わせて作成している。本章では、各要素の役割について述べるとともに、一本の縫合糸がはく離を架橋する際に発生するき裂閉口力を解析し、提案した数値解析モデルが、これらのき裂閉口力を十分表現可能であることを実証している。

第 3 章は、「縫合 CFRP 積層板の引張負荷下の損傷進展」であり、縫合積層板の引張損傷を実験と数値解析から議論している。実験の結果、縫合積層板には層内き裂と層間はく離が発生することを明らかにしている。このとき、層内き裂の発生と累積には、縫合の有無による差異は見られない一方、縫合によって、試験片の自由端から発生する層間はく離が抑制されることを明らかにしている。数値解析では、第 2 章で提案した数値解析モデルによる解析結果が実験と良く合っており、本数値解析モデルによって縫合積層板の損傷進展を十分予測できることを示している。

第 4 章は「縫合積層板の円孔周辺の層間はく離進展」であり、円孔を有する縫合積層板に引張負荷を加えた際の層間はく離進展を実験と数値解析の両面から調べている。実験では、はく離の非破壊観察を行い、はく離が縫合糸を回り込むように進展していることを明らかにしている。数値解析においては、層間はく離が隣接する 2 つの層の層内き裂と密接な関係を持ちつつ進展すること、また、はく離が縫合糸を回り込んで進展していく理由を明らかにしている。これらの知見に基づいて、円孔の近傍に縫合を施すこと

によって層間はく離を効果的に抑制できることを定量的に明らかにしている。

第 5 章は「縫合積層板の面外衝撃損傷」であり、面外衝撃荷重下の縫合積層板の損傷進展を検討している。まず、低速衝撃試験を行い、損傷を非破壊検査によって調べ、縫合による面外衝撃損傷の抑制効果は衝撃エネルギーが大きいかほど高くなること、また、縫合によって、損傷の板厚方向分布が変化することを明らかにしている。数値解析においては、衝撃エネルギーが大きくなるほど縫合による損傷抑制効果が高くなる理由を明らかにしている。また、仮想き裂閉口法による、各層間はく離先端のエネルギー解放率解析により、縫合による面外衝撃損傷の板厚方向分布が異なる原因を明らかにしている。

第 6 章は「縫合の種類および縫合密度が面外衝撃損傷に与える影響」であり、縫合による面外衝撃損傷の抑制に関して、縫合パラメータの変化に伴う損傷抑制効果の変化を定性的に調べ、縫合パラメータの適切な決定方法の指針を検討している。縫合密度を変化させた実験、文献による実験データ、および第 5 章で行った 2 種類の解析(損傷進展解析およびエネルギー解放率解析)の結果を総合し、面外衝撃損傷を抑制するためには、剛性の高い縫合糸を使用し、縫合密度をなるべく高くするべきであり、なかでも、縫合密度の増加を優先するべきであることを明らかにしている。

第 7 章は「結論」であり、本研究で得られた結論を述べ、縫合積層板の実構造物への適用に関する今後の展望を述べている。

なお、本論文の一部は、武田展雄、矢代茂樹、岡部朋永との共同研究の成果を含むが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上要するに、本論文は、縫合積層板の損傷進展プロセスを明らかにし、それに対する縫合の影響を明らかにしている。また、このプロセスに基づいて、損傷進展を抑制するために最適な縫合パラメータの決定指針を示している。本成果は、今後の先進複合材料学の発展に寄与する有益な知見を与えており、また、縫合積層板の実構造物への適用にとって重要な指針を与えていると考えられる。

したがって博士(科学)の学位を授与できると認める。