

審査の結果の要旨

氏名 荻巣 敏充

修士(工学) 荻巣 敏充 提出の論文は、「形状記憶合金箔埋め込み型 CFRP 積層板を用いた損傷制御システムの航空機構造への適用化研究」と題し、6章よりなる。

本論文は、航空機構造の軽量化のため、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)複合材料の大幅適用化に向けた設計許容値の向上を目的として、形状記憶合金:SMA(Shape Memory Alloy)箔を用いた CFRP 積層板の損傷発生・進展を抑制するシステムの研究開発を行っている。まず、SMA 箔の特性評価、埋め込み技術、損傷発生・進展抑制メカニズムなどの基礎的検討を行い、さらに、クーポン試験および構造要素試験による実証を経て、最終的に航空機胴体構造を模擬したデモンストラータ供試体の一部に開発した損傷制御システムを組み込み、実機レベル構造でも技術的に実証することに成功している。

第1章は「序論」であり、本研究の背景についてまとめ、従来の関連研究を総括するとともに、本研究の目的と本論文の構成について述べている。

第2章は「SMA の特性及び構成方程式」であり、SMA の変態挙動を解析的に取り扱うための熱力学的モデルを検討するとともに、SMA 箔の基本力学特性及び損傷抑制に必要となる、複合材への埋め込みにより発生する回復応力の発生メカニズムを検討している。回復応力発生に必要な相変態のうち、R 相変態を考慮に入れた修正 Brinson モデルを提案し、SMA 箔の力学的挙動の定式化を行っている。

第3章は「SMA 箔を埋め込んだ CFRP 積層板製造手法の確立」であり、製造するために必要な技術的課題を検討している。まず、SMA 箔を CFRP に埋め込む際の接着力を向上させるための表面処理方法を開発している。次に、層間剥離エネルギー解放率を比較することにより、複合材料積層板への最適な SMA 箔挿入界面位置を検討している。さらに、CFRP 積層硬化後に SMA の回復応力を発現させるため、SMA の予ひずみを拘束可能な治具構造を検討・製造している。また、SMA の回復力を発現させるために必要なオーステナイト変態点以上の温度への加熱手段としての通電加熱手法を提案するとともに、実験的に確認している。

第4章は「SMA 箔を埋め込んだ CFRP 複合材料積層板の損傷挙動」であり、予ひずみを有する SMA 箔を埋め込んだクーポン試験片及び構造要素供試体を設計・製造し、損傷挙動を評価するための試験を実施している。まず、クーポン試験片を用いた負荷-除荷試験の結果、2%予ひずみ SMA 箔を埋め込んだ CFRP 擬似等方積層板は、従来の CFRP 積層板と比較して、トランスバースクラック(最弱層に発生するクラック)発生ひずみが約 30%以上、層間剥離発生ひずみが約 40%以上向上することを実証している。これらの損傷発生抑制効果は、構造要素試験供試体でも同様に確認している。さらに、クーポン試験片、構造要素供試体を用いた疲労試験の結果、最大負荷ひずみを 0.5%とし

た場合、2%予ひずみ SMA 箔を埋め込んだ CFRP 擬似等方積層板は、トランスバースクラック発生サイクル数が約 25 倍、層間剥離発生サイクル数が約 200 倍に向上することを確認している。また、有限要素解析によりエネルギー解放率を理論的に算出することにより、損傷発生・進展抑制効果を定量的に予測するとともに、実験値と良く一致することを示している。

第 5 章は「航空機胴体構造デモンストレータ」であり、直径 1.5m、長さ 3m の航空機胴体模擬 CFRP 円筒構造デモンストレータにおいて、SMA を埋め込んだ CFRP 積層板の損傷抑制効果を実機模擬構造レベルで技術的に実証している。SMA への加熱なしに同時積層硬化された状態で、すでに回復力を発生しており、この回復力が損傷進展抑制効果を生ずること、さらに、SMA の加熱による回復力の増加はさらに大きな損傷進展抑制効果につながることを確認している。

第 6 章は「結論」であり、本研究で得られた結論を述べ、今後の課題について検討している。

以上要するに、本論文は、予ひずみ SMA 箔を埋め込んだ複合材料損傷抑制システムを提案し、その基礎的検討を行うとともに、クーポン試験、構造要素試験による実証を経て、航空機胴体構造デモンストレータ供試体に組み込み、実機レベル構造でも技術的に実証している。本成果は、次世代航空機構造への適用可能性を示すものであり、今後複合材料の損傷許容設計を実施する上での重要なステップとして位置付けられ、航空宇宙複合材構造学、複合材損傷許容設計学の新しい発展に大いに寄与する有益な知見を与えている。

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。