

## 学位論文審査の結果の要旨

氏名	Sударsono
審査委員	主査 黄木 景二 副査 高橋 学 副査 中畑 和之

論文名 Fatigue Behavior of CFRP Laminates with Initially Cut Fibers

### 審査結果の要旨

航空機用炭素繊維強化プラスチック (Carbon fiber reinforced plastics; CFRP) は連続した炭素繊維に樹脂を含浸させたプリプレグシートを積層した積層板として使用される。連続繊維プリプレグを使用した積層板の場合、強度・剛性が高い代わりに、賦形性が低い。そこで、プリプレグに規則的なパターン (角度) で繊維切込みを導入した CFRP 積層板 (CFRP Laminates with Initially Cut Fibers, 以下, ICF 積層板) が開発されている。ICF 積層板は強度と剛性を維持しながら賦形性を高めた材料として、自動車部材などへの適用が期待されている。本論文は層間樹脂層で高じん化した層間強化型 ICF 積層板の疲労損傷挙動を実験的に解明することを目的としている。

第1章は序論であり、研究の背景、目的、概要について述べている。

第2章では中央に円孔を有する ICF 積層板の疲労挙動が述べられている。繊維切込みのない連続繊維プリプレグをオートクレーブ成形した積層板 (以下, Continuous-A) とオートクレーブ成形された ICF 積層板 (以下, ICF-A) およびプレス成形された ICF 積層板 (以下, ICF-P) の3種類の積層板を用いている。ここで ICF-P は他の2つより1層が薄い。以上3種の積層板について、応力-寿命 (S-N) 曲線の測定、および光学顕微鏡と軟X線撮影装置を用いた微視的疲労損傷の観察がなされており、以下の知見が得られている。疲労寿命は Continuous-A, ICF-P, ICF-A の順に高い。ICF-P の損傷規模が最も小さく、ICF-A では樹脂き裂が最も顕著である。Continuous-A では円孔の周囲からスプリッティング (繊維方向縦割れ) が長く進展するため、試験片長手方向に層間はく離などの損傷が進展するのに対し、ICF-P, ICF-A では繊維切込み部の介在により、円孔の周囲から試験片幅方向に疲労損傷が進展する。また層間樹脂層は ICF 積層板においても疲労損傷進展を抑制する役割を果たしている。

第3章では繊維切込み角度が ICF 積層板の疲労損傷挙動に及ぼす効果を述べている。3種類の繊維切込み角度 (22.5°, 45°, 90°) を有する ICF-A と ICF-P について、S-N 曲線の測定、および微視的疲労損傷の観察がなされており、以下の知見が得られている。静的強度で無次元化した S-N 曲線を比較すると、ICF-A, ICF-P とともに繊

繊維切込み角度が小さいほど疲労強度が高い。逆に繊維切込み角度が大きいほど、層間はく離の進展が顕著になり、これが疲労強度の低下につながる。疲労破断直前の層間はく離面積を推定する半経験式を提案し、この式による予測値は層間はく離が大きく進展する繊維切込み角度が大きい場合の実験値とよく合致する。

第4章は円孔のないICF積層板の疲労挙動について述べており、以下の知見が得られている。円孔を有するICF積層板と同様、疲労寿命はContinuous-A, ICF-P, ICF-Aの順に高い。ただし繰返し数 $10^6$ 回後の強度低下率は3種類の試験片とも約35%であり、差が見られない。ICF-Pの損傷規模が最も小さく、ICF-Aでは繊維切込み部先端からのき裂進展が多いため、樹脂き裂と端部層間はく離が最も顕著である。ICF-Pでは層が薄いため、き裂と層間はく離の進展が抑制されている。

第5章は結論であり、全体を総括して以下の知見が得られている。1) ICF積層板は繊維切込みのない積層板より疲労強度は劣るが、プレス成形して層を薄くすることにより、損傷が抑制されて疲労強度が向上する。この事実は円孔の有無によらない。2) 繊維切込み角度が小さいほど層間はく離進展が少なくなるため、疲労強度が高い。3) 繊維切込みの介在により、樹脂割れ密度が高くなり、特に円孔を有する積層板では層間はく離などの損傷が試験片幅方向に進展する。

以上のように本論文ではICF積層板の疲労損傷過程を微視的観察に基づき明らかにしており、CFRPを航空機だけでなく、自動車や一般産業機器に適用した場合の長期信頼性確保に貢献する有益な知見が得られている。よって本論文は博士(工学)の学位論文に値すると認められる。