

氏 名	ひろ せ やす お 廣 瀬 康 夫
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3916 号
学位授与の日付	平 成 18 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	航空機構造用発泡コアサンドイッチパネルのき裂進展抑制法に関する破壊力学的研究
論文調査委員	(主 査) 教 授 北 條 正 樹 教 授 落 合 庄 治 郎 教 授 宮 崎 則 幸

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、革新的な航空機構造様式である発泡コアサンドイッチパネルを対象として、面板—コア間の界面におけるき裂進展経路に剛性の高い異材を配置することにより、き裂の進展を抑制する新たな手法を提案し、かつ、その有効性を破壊力学パラメータを用いた数値解析及び実験により実証したもので、7章からなっている。

第1章は緒論であり、航空機等への利用が拡大している炭素繊維強化樹脂基複合材料(CFRP)について、金属材料の構造様式で材料のみを変更してもコストが増大し適用効果に限界があることを示している。また、一体化構造に適した構造様式である発泡コアサンドイッチパネルの実用化のためには、面板—コア間のき裂進展を抑制する手法の必要性を示した上で、本研究の目的と概要について述べている。

第2章では、金属材料の構造様式をCFRPに適用した場合の改善の限界を確認するため、小型旅客機の後縁フラップを対象モデルとして、低コスト製造法を適用した設計及び部分構造試験を行い、FAAの安全性要求を満足した場合の重量軽減・コスト低減効果を評価した。その結果、既存の構造様式の改善ではコスト低減に限界があり、CFRPの適用による構造一体化の利点を十分に引き出すことは困難であるとの知見を得ている。

第3章では、一体化構造に適した構造様式である発泡コアサンドイッチパネルを旅客機の機首構造に適用して、重量軽減と部品点数低減の効果について定量的な知見を得ている。また、発泡コアサンドイッチパネルに対する損傷付与試験により、発泡コアサンドイッチパネルの場合は衝撃により面板が大きく変形してコアが広い範囲でクラッシュすること、面板—コア間の接着がはく離すること、損傷深さがばらつくこと等を明らかにしている。損傷付与後の強度試験により、衝撃損傷に対して従来の積層板に適用されている目視の損傷判定基準(barely visible damage criterion)が成り立たないことを明らかにして、目視不可能な損傷を起点とするき裂の進展を抑制する手法の必要性を指摘している。

第4章では、発泡コアサンドイッチパネルの面板—コア間のはく離き裂進展挙動に対して、き裂進展経路に発泡コアよりも剛性が大きな材料を配することによりき裂の進展を抑制する手法(crack arrester)を考案した。数値解析手法により、き裂先端がcrack arresterに接近するに伴って、crack arresterがない場合と比較して、同じ外力負荷条件でき裂先端のエネルギー解放率および複素応力拡大係数が指数関数的に低減することを明らかにした。また、き裂先端を含むcrack arrester近傍の応力場を解析して、き裂先端近傍とcrack arrester間で生じる応力再配分がき裂先端の応力場を低減していることを明らかにしている。

第5章では、発泡コアサンドイッチパネルの面板—コア間のき裂進展を抑制する手法であるcrack arresterの有効性を、実験により確認している。まず、モードⅠ型負荷形態での破壊じん性試験では、crack arresterがない場合と比較して、同じ境界条件で臨界荷重が2.2倍、見かけの破壊じん性値が5.0倍、それぞれ向上する成果を得ている。さらに、面板—コア間界面の破壊じん性値を詳細に検討し、crack arresterがある場合は、ない場合と比較して1.3倍～2.1倍に向上していることを明らかにしている。この面板—コア間界面の破壊じん性値の変化を考慮すれば、モードⅠ型負荷条件下での見かけの破壊じん性値の向上についての実験結果と解析は良く一致する成果を得ている。次に、モードⅡ型負荷形態での破壊じん性試験

では、crack arresterがない場合と比較して、同じ境界条件で臨界荷重が1.4倍に向上し、見かけの破壊じん性値も2.1倍に向上することを確認している。また、実験ではき裂が crack arrester 端部の手前でコア内に屈曲したが、コア内の詳細な応力場と関連する知見を得ている。

第6章では、発泡コアサンドイッチパネルを組合わせて構造物を形づくる際の荷重伝達を行う重要な要素である継ぎ手部について検討した。Tapered end-closure 方式の継ぎ手部について構造試験を行い、継ぎ手部の破壊モードはテーパコアの先端部から積層板の層間に進展するき裂であることを確認している。さらに、継ぎ手部のテーパコア先端部に含浸した樹脂が荷重を分担することによって、き裂発生位置の応力が低下し、き裂の発生が抑制されとの知見を得ている。この知見に基づき、継ぎ手部のテーパコア先端部に安価なレジンを充填することにより、継ぎ手の強度を向上させるアイデアを提案している。

第7章は結論であり、本研究について得られた成果について要約するとともに、今後の展望についてまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、革新的な航空機構造様式である発泡コアサンドイッチパネルに対して損傷及び負荷によるき裂進展を抑制する新たな手法を提案し、かつ、その有効性を数値解析と実験により検証した結果についてまとめたものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. 発泡コアサンドイッチパネルが複合材料の高比強度・比剛性の特長を活かし、かつ製造コストを低減する一体化構造様式であることを示すとともに、衝撃損傷に対して積層板に適用される barely visible の損傷基準が適用できないことを明らかにした。
2. 目視不可能な損傷から発生するき裂の進展を抑制する手法として、き裂の進展経路に剛性が大きい物質を配する手法（crack arrester）を提案した。
3. き裂先端が crack arrester に接近するに伴って、crack arrester がいない場合と比較して、同じ外力負荷条件でき裂先端のエネルギー解放率および複素応力拡大係数が指数関数的に低減することを明らかにした。また、その原因を crack arrester 周辺の応力場の解析により検討した。次いで、実験により、き裂が crack arrester に接近するに伴い、き裂進展の臨界荷重がモードⅠ型負荷形態では2.2倍に、モードⅡ型負荷形態では1.4倍に増加することを証明した。
4. 発泡コアサンドイッチパネルを組合わせて構造物を形づくる際の荷重伝達を行う重要な要素である継ぎ手部についても、実験により破壊メカニズムを解明した。実験と数値解析により、継ぎ手部のテーパコア先端部に含浸した樹脂が荷重を分担することによって、破壊の臨界荷重が増大することを初めて明らかにした。この結果に基づいて、継ぎ手部のき裂発生を抑制する手法を提案した。

以上要するに、本論文は、発泡コアサンドイッチパネルの損傷許容性を向上させる手法を解析および実験により検討することにより、革新的な構造様式の実用化に重要な知見を与えるものであり、得られた成果は、学術上、実際に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18年10月4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。