

平成21年6月22日現在

研究種目：若手研究（B）
研究期間：2007～2008
課題番号：19760480
研究課題名（和文）CFRP接着構造部材の損傷モニタリングシステムの開発
研究課題名（英文）DEVELOPMENT OF DAMAGE MONITORING SYSTEM FOR CFRP BONDED STRUCTURAL COMPONENTS
研究代表者 遠山 暢之（TOYAMA NOBUYUKI） 独立行政法人産業技術総合研究所・計測フロンティア研究部門・主任研究員 研究者番号：60344165

研究成果の概要：

本研究では、航空機翼構造を模擬したCFRP擬似等方性板製スキン/ストリンガー構造部材を作製し、当該構造部材上に設置した圧電素子によりラム波を励起・受信するアクティブセンシング手法を利用して、スキン/ストリンガー接着界面の剥離長さを定量的に検出する手法を開発した。さらに剥離進展モニタリングを行うことが可能な計測・診断システムを開発し、デモンストレーション試験を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	0	2,000,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	360,000	3,560,000

研究分野：複合材料工学

科研費の分科・細目：材料工学・複合材料・物性

キーワード：炭素繊維強化プラスチック、ラム波、非破壊検査、超音波探傷、圧電素子、界面剥離

1. 研究開始当初の背景

(1) 構造ヘルスマニタリング技術に対する社会的ニーズ

航空機産業を中心として、運用中の構造体の健全性をリアルタイムに診断する、い

わゆる構造ヘルスマニタリング技術の研究開発が盛んに進められている。特に次期主力旅客機においては大幅な軽量化を達成するために、主要構造部材としてCFRP積層板を大幅に適用させることになっており、現

在製造が進められている段階である。航空機胴体および翼は表層のスキン部とスキン部の剛性を補うために接着されるストリンガーから構成される。このような CFRP 構造部材の主要な損傷形態としては、スキン部への面外衝撃荷重による衝撃損傷および疲労荷重や過負荷によるストリンガー端部におけるスキン/ストリンガー接着面の剥離が挙げられており、航空機の安全性確保および保守作業の効率化・低コスト化のために、これらの損傷を構造体に設置されたセンサ網を利用して、検出・診断するシステムの実用化が強く望まれている。

(2) CFRP 構造部材の構造ヘルスマニタリング技術に関連する研究動向及び位置づけ

CFRP 構造部材のような薄板構造を対象とした損傷検出技術としては、長距離伝播能を有するラム波を用いた手法が注目され、当分野の国際会議および国際誌においても多数の研究報告がなされている。しかし、国内においては非常に少数の研究者のみしか従事していないのが現状である。

CFRP 積層板の衝撃損傷検出を目的とした研究報告例は申請者自身を含めて多数存在しており、積層板表面あるいは内部に埋め込まれた圧電セラミックス素子を用いた AE 手法やアクティブセンシング手法が試みられており、衝撃損傷の場所の特定さらには衝撃損傷のサイズ同定に関する報告がなされている。しかしながら、スキンおよびストリンガーからなる実構造部材の損傷検出に関する研究報告例は極めて限られている。Gronde1 らは航空機翼 BOX 構造におけるスキン/ストリンガー界面剥離の検出を 400kHz のラム波を用いて試みているが、ラム波特有の複数モードの存在および分散性の影響により検出波形が極めて複雑となり、剥離長

さの進展に伴っていずれかのラム波モードの振幅が変化する現象は捉えたものの、一般性のある損傷検出手法さらには剥離長さの定量評価手法を確立するには至っていない。

以上のことを踏まえて、本研究では CFRP 実構造部材における接着界面剥離を対象とした信頼性の高い検出手法、さらには定量的なモニタリング手法・原理の開発を目指すこととした。

2. 研究の目的

航空機構造を模擬した CFRP 擬似等方積層板製のスキン/ストリンガー構造部材を作製し、ラム波によるアクティブセンシング手法を利用して、スキン/ストリンガー接着界面の剥離長さを定量的に検出する手法の開発を目的として以下の研究目標を達成する。

まず、対象となる CFRP 構造部材の損傷検出に適したラム波の選定およびその励起・受信を行う圧電素子の最適形状設計を行い、普遍性のある損傷検出手法の指針を確立する。また、一対のラム波発振/受信素子を用いて接着界面剥離を検出するための最適な素子配置を選定する。

以上によって得られる知見を基に、剥離部を伝播するラム波伝播挙動のモデル化を行い、スキン/ストリンガー接着界面剥離長さとラム波到達時間とを定量的に結びつける。さらに剥離長さを変化させた供試体上に配置した発振/受信素子を用いてラム波到達時間を測定する検証試験を行い、本手法の妥当性を検証する。また実用的に用いられているハットストリンガーを用いた実証試験についても最終的に行うこととする。

3. 研究の方法

CFRP 擬似等方積層板製スキン/ハットストリンガー接着構造部材における剥離進展モ

ニタリングを行うことが可能な計測・診断システムの構築を行い、デモンストレーション試験を行う。具体的な研究方法は以下の通りである。

(1) 厚さ 1mm の擬似等方性板製スキン/ハットストリンガー接着構造部材を作製し、本積層板に対する理論分散曲線を導出し、前年度の研究成果に基づき最適励起周波数、圧電素子形状および素子配置位置を決定する。

(2) スキン/ストリンガー界面に長さ 0～50mm の人工剥離を導入し、剥離長さの変化に伴う検出信号の変化および到達時間変化を測定する。その後、測定した到達時間を用いて剥離長さの定量評価を行い、精度の検証を行う。数値目標としては 20mm 以上の剥離長さに対して誤差±20%以内の精度を目指す。

(3) Labview を利用した計測・診断ソフトウェアを開発し、ノート PC による剥離進展モニタリングが可能なシステムを完成させ、デモンストレーション試験を行う。

4. 研究成果

本研究では、対象となる CFRP 構造部材の損傷検出に適したラム波の選定およびその励起・受信を行う圧電素子の最適形状設計を行い、普遍性のある損傷検出手法の指針を確立した。また、一対のラム波発振/受信素子を用いて接着界面剥離を検出するための最適な素子配置を選定した。以上によって得られる知見を基に、剥離部を伝播するラム波伝播挙動のモデル化を行い、スキン/ストリンガー接着界面剥離長さとラム波到達時間とを定量的に結びつけた。さらに剥離長さを変化させた供試体上に配置した発振/受

信素子を用いてラム波到達時間を測定する検証試験を行い、本手法の妥当性を検証した。また実用的に用いられているハットストリンガーを用いた実証試験についても最終的に行った。具体的に達成した研究成果は以下の通りである。

(1) 厚さ 1mm の擬似等方性板製スキン/ハットストリンガー接着構造部材を作製し、本構造部材に対する理論分散曲線を導出した。本理論分散狭帯域励起信号の選定を行い、損傷検出能に優れた短波長ラム波 A_0 モードを選定した。さらに A_0 モードのみの単一ラム波モードの送受信が可能な圧電素子形状の最適設計を行うとともに、剥離検出に最適な素子配置位置を決定した。

(2) スキン/ストリンガー界面に長さ 0～50mm の人工剥離を導入し、剥離長さの変化に伴う検出信号の変化および到達時間変化を測定した。その後、測定した到達時間を用いて剥離長さの定量評価を行った結果、20mm 以上の長さの剥離に対して、精度±5%以内で剥離長さが評価できることを実証した。

(3) 上記で開発した項目を基にした計測・診断ソフトウェアを開発し、持ち運びが可能でかつ迅速な剥離進展モニタリングが可能なノート PC による計測・診断システムを完成させ、デモンストレーション試験を行った。その結果、リアルタイムでの剥離進展モニタリングが可能であることを実証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ① 遠山暢之、超音波伝搬映像化技術を用いたCFRP構造部材の非破壊検査、第24回宇宙構造・材料シンポジウム講演後刷集、21-22、2008年、査読無

〔学会発表〕(計3件)

- ① 遠山暢之、超音波伝搬映像化技術を用いたCFRP構造部材の非破壊検査、第24回宇宙構造・材料シンポジウム、2008年12月12日、相模原市
- ② 遠山暢之、ラム波を用いたCFRP構造部材の構造ヘルスマニタリング技術、第2回複合材料研究セミナー、2008年4月18日、福島市
- ③ 遠山暢之、ラム波を用いたCFRP接合体の界面剥離の定量検査手法、日本複合材料学会、2007年5月21日、東京都

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠山 暢之 (TOYAMA NOBUYUKI)

独立行政法人産業技術総合研究所・計測フロ

ンティア研究部門・主任研究員

研究者番号：60344165

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者