

# 複合材構造に組み込み可能な超音波診断システム —ラム波モード変換を利用した剥離検知—

## 1. はじめに

近年、航空機等の高速輸送構造物のさらなる軽量化を目指し、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) 複合材料が大幅に適用されつつある。しかしながら、その損傷過程は複雑であるため、あらかじめセンサを組み込んで健全状態を常時監視する、構造ヘルスマニタリング技術が期待されている。

そこで現在、経済産業省の「次世代構造部材創製・加工技術開発」プロジェクトの1テーマとして「複合材構造健全性診断技術開発」が実施されている。その中で、著者らは富士重工業(株)と共同で、超音波ラム波を用いた複合材構造のモニタリングシステムの開発を行っている。本稿ではとくに、広帯域ラム波のモード変換を利用した剥離診断手法について紹介する<sup>(1)</sup>。

## 2. 組み込み型超音波診断システム

本システムでは、超音波の発振素子として極細 PZT ファイバから構成される柔軟な MFC (Macro Fiber Composite) アクチュエータを導入し、超音波受振素子として光ファイバセンサの1種である FBG (Fiber Bragg Grating) センサを使用している。これらを CFRP 擬似等方性積層板に設置した写真を図1に示す。

両素子ともに共振特性を用いずに直接的にひずみを励起・検出するため、広帯域にわたる特性を有し、指向性も高い。さらに、MFCは厚さ約0.3mm、FBGは直径約0.1mmと小型・軽量・柔軟なため、CFRP積層板との一体化が可能なくえに破断し難く高い信頼性を有する。

## 3. 剥離損傷検知手法の提案

本研究では、広帯域ラム波に含まれる複数モードを分離するため、積層板の上下両面にMFCとFBGを設置し、それぞれを同期駆動させることで、対称(S)モードと非対称(A)モードの分離発振・受振を行った。

そして、実験とFEM解析により、板厚中央に剥離を有するCFRP積層板での各モードの伝播挙動を調べた結果、図2(a)のようにA<sub>1</sub>モードの大部分は剥離部をS<sub>0</sub>モードとして伝播し、剥離通過後にA<sub>1</sub>モードに戻るこ

とが確認できた。このとき、健全部でのA<sub>1</sub>モードと剥離部でのS<sub>0</sub>モードの伝播群速度の分散性は、図2(b)のように計算される。よって、広帯域のラム波を伝播させると、受振した波に含まれるA<sub>1</sub>モードの分散性は、伝播経路中の剥離長さに依存して変化する。そこでこの現象を利用し、剥離長さを定量評価することを試みた。

## 4. 剥離損傷の定量的推定

実際に、積層板内部にテフロンシートを埋め込むことで人工的に剥離損傷を形成し、その剥離長さLは0, 20, 40, 60mmと変えて形成した。そしてその剥離を通過するように広帯域ラム波を伝播させる実験を行った。その後、受振波形をウェーブレット変換し、その結果からA<sub>1</sub>モードの最大ピークを抽出したグラフを図3に示す。剥離長さLが長くなるにつれて受振したA<sub>1</sub>モードの分散性の傾きが緩やかになり、周波数が低いほどFBGセンサへの到達時間が早くなっている。この現象は、図2の原理とよく整合しており、これらの変化を指標とすることで剥離長さを定量評価可能であることがわかる。

## 5. おわりに

以上のように、複合材構造と一体化の可能な、剥離損傷診断システムを開発している。ただし、現実の内部損傷は複数の層間剥離とマトリックス亀裂を伴うため、定量的な評価は困難となる。その一方で、本システムは、接着構造の剥がれ損傷検知に有効と考えられる。

また、実用化を考えると、異なった環境温度下や構造に荷重が掛かった状態でも、正確な診断を行える必要がある。さらには、片面のみにMFCとFBGを装着した状態でも診断できることが望まれ、これらは今後の課題である。

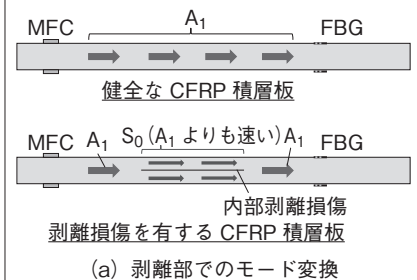
しかしながら、このようなモニタリングシステムが構築できれば、複合材料のより安全な適用が進み、さらには輸送機関の省エネルギー化と運用効率の向上が期待される。

(原稿受付 2011年4月12日)

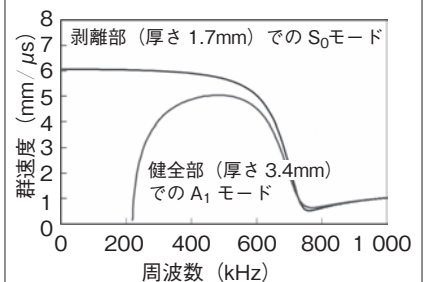
[岡部洋二 東京大学生産技術研究所]



図1 CFRP積層板と一体化した広帯域超音波伝播システム



(a) 剥離部でのモード変換



(b) 各モードの伝播速度分散性

図2 広帯域ラム波のモード変換を利用した剥離検知の原理

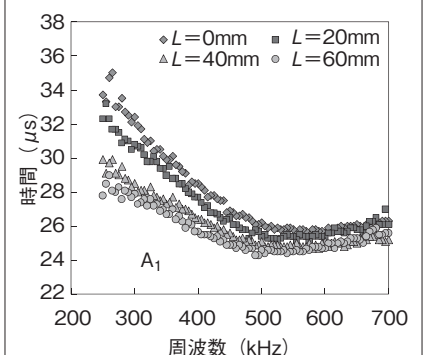


図3 剥離長さLに依存したA<sub>1</sub>モード分散性の変化

## ●文献

- (1) Okabe, Y., Fujibayashi, K., Shimazaki, M., Soejima, H. and Ogisu, T., Delamination Detection in Composite Laminates using Dispersion Change Based on Mode Conversion of Lamb Waves, *Smart Materials and Structures*, 19-11 (2010), 115013.