

埋め込みFBGセンサを用いた

フォームコアサンドイッチパネルの衝撃位置同定

学生証番号 66202 氏名 秋野 望
(指導教員 武田 展雄 教授)

Key Words : Impact identification, FBG sensor, foam core, sandwich structures

1. 緒言

フォームコアサンドイッチ構造は、軽量で剛性が高く一体成形が可能なので、航空機や船舶などへの適用が考えられている。しかし、この構造は低速衝撃などにより表皮-コア間のはく離といった目視発見困難な損傷が生じやすい。そのため、航空機などの安全性が求められる構造物に用いる場合は、運航中にも損傷の有無を検知できるシステムが有効である。そこで本研究では、損傷検知の第一段階として、フォームコアサンドイッチパネルを対象に、特に損傷の発生しやすい低速衝撃負荷時の衝撃位置同定を目的としている。衝撃位置同定を行うためには、高速・高精度で多点計測が可能なシステムが必要であり、航空機に搭載することも考慮すると、軽量で振動の影響を受けにくい光ファイバセンサが適していると考えられる。光ファイバセンサの中でもFBG(Fiber Bragg Grating)センサは、特に高精度なひずみ計測に適している。そこで、本研究では、FBGセンサとAWG (Arrayed Waveguide Grating) フィルタを組み合わせたシステム(Subaru Active Wave Detection System, 以下、SAWDシステムとする) を用いることとした。

2. SAWDシステム

SAWDシステムの模式図を図1に示す。光源からFBGセンサに広帯域光源を入射すると、ブラッグ波長(λ_B)と呼ばれるセンサ固有の波長で強い反射が生じる。反射した光はAWGで分波され、それぞれ分波された光をフォトディテクタで検出する。FBGセンサの反射率を $R(\lambda)$ 、このFBGセンサの反射光スペクトルの近傍に透過帯域のある、隣接したAWGの出射ポート k と $k+1$ を選択し、その透過率を $T_k(\lambda)$ 、 $T_{k+1}(\lambda)$ とすると(図2)、これらのポートから出力される光強度 P_k 、 P_{k+1} は次式で表すことができる。

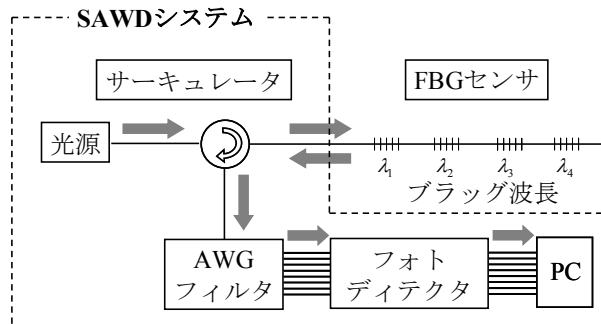


図1 SAWDシステムの構成

$$P_k = A \int_{-\infty}^{\infty} p(\lambda) R(\lambda) T_k(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$P_{k+1} = A \int_{-\infty}^{\infty} p(\lambda) R(\lambda) T_{k+1}(\lambda) d\lambda$$

ここで、 λ は波長、 $p(\lambda)$ は使用する光源のパワー密度を表す。また、 A はSAWDシステム外での外乱による光強度損失を表す定数である。この外乱はセンサの敷設方法や環境変化によって予測できないため、 P_k 、 P_{k+1} の値は λ のみに依存せず、変動する可能性が高い。従って、この外乱の影響を取り除くために、 P_k 、 P_{k+1} の比を Q と定義する。

$$Q \equiv P_k / P_{k+1} \quad (2)$$

FBGセンサにひずみが加わると、そのひずみの大きさに比例してブラッグ波長がシフトする。それに伴い、2つのAWGのポートから出力される光強度 P_k 、 P_{k+1} も変化し、その比 Q も変化するので、 Q の変化からひずみの大きさを知ることができる。

3. SAWDシステムの基礎検討

3.1 FBGセンサの埋め込み損失の評価

本研究で用いるフォームコアサンドイッチパネルは、表面材にCFRPクロス材(東邦テナックス)、コア材にフォーム材(ROHACELL WF51, Degussa Rohm GmbH & Co.)を用いている。このような材料にFBGセンサを埋め込んだ例はほとんどないため、まず、通常の光ファイバと曲げに強い光ファイバ(HEATOP300, 東京特殊電線)およびそのそれぞれのファイバにFBGセンサを書き込んだものを用いて、埋め込みによる光損失の評価を行った。その結果、光ファイバが繊維と垂直になる部分で光損失が発生し、また、繊維と垂直方向になる部分に埋め込んだFBGセンサの反射光

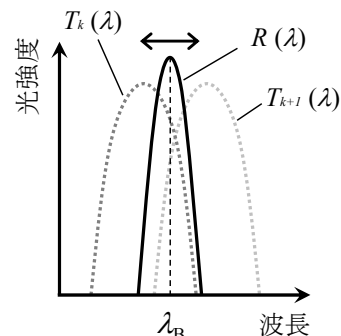


図2 AWGフィルタからの透過光強度

強度も低下することがわかった。よって、大きな構造に用いる場合には、曲げに強い光ファイバにFBGセンサを書き込み、FBGセンサ部分を繊維と平行になる方向に埋め込む方法が適しているといえる。以降の実験では、曲げに強い光ファイバにFBGセンサを書き込んでいるものを用いている。

3.2 SAWDシステムによるひずみ計測性能確認

次に、SAWDシステムによるひずみ計測性能を確認するために、FBGセンサとひずみゲージを貼り付けた試験片に対して引張試験を行い、SAWDシステムとひずみゲージにより計測したひずみを比較した。事前に行った計測により、FBGセンサの中心波長とひずみの関係は $1.104\text{pm}/\mu\epsilon$ を用いる(以降も、SAWDシステムを用いる際にはこの値を用いることとする)。計測した結果、SAWDシステムとひずみゲージのひずみは良く一致したので、SAWDシステムは本研究で用いるひずみセンサとして十分に機能すると判断することができる。

3.3 埋め込みFBGセンサを用いたSAWDシステム

最後に、CFRPクロス材とフォームコアの界面に埋め込んだFBGセンサを用いたSAWDシステムの検証を行った。試験片には、3.1節で示したものと同一CFRPクロス材(0.90)とフォームコアを用い、コアと表面材の界面に、FBGセンサの書き込まれた部分(1.5mm)がCFRPクロス材の表面材の繊維方向と同じ方向になるように2本埋め込んである。FBGセンサを埋め込んだ部分の表面にひずみゲージを貼り付け、4点曲げ試験により、SAWDシステムとひずみゲージにより計測したひずみの値を比較した。本試験では、センサを設置した試験片中央部は純曲げ状態となり厚さ方向にひずみ勾配が均一になるはずである。そのため、ひずみゲージとFBGセンサ同士のひずみの大きさは一致し、ひずみゲージよりFBGセンサのひずみの方が小さくなるはずである。しかし、今回の試験の結果では、FBGセンサのひずみの値は一致しておらず、ひずみゲージに対する大小も一致していない。その理由としては、埋め込みの影響で、FBGセンサの中心波長シフト量とひずみの関係が変化してしまったことが考えられる。そのため、埋め込みFBGセンサを用いる場合には、FBGセンサごとにその補正を行う必要があることがわかった。

4. 衝撃位置同定

4.1 供試体の設計

従来の航空機のストリング間隔は約510mmであるので、ストリング間の衝撃位置同定をすることを想定し、供試体の大きさは500mm×500mmとした。供試体は4隅支持で衝撃試験を行うこととし、その場合には、弾性解析により供試体の4辺の中央部でのひずみ変化が大きいことがわかったので、FBGセンサは供試体の各辺の中心の端部から20mmの位置に埋め込むこととした。なお、供試体は川崎重工業(株)に作製を依頼した。

4.2 衝撃位置同定手法

低速衝撃におけるサンドイッチパネルの応答は、準静的

押し込み試験における応答と同様とみなすことができるという報告がある。そこで本研究では、準静的押し込み試験を模擬した弾性解析を基に衝撃位置同定を行うこととする。まず、有限要素法解析プログラムABAQUS6.6-1を用いて弾性解析を行い、押し込み位置によるひずみの変化を計算した。次に、FBGセンサの埋め込みによる影響を除去するために実際の供試体に対して行った押し込み試験により弾性解析結果の補正を行った。さらに、ひずみは荷重の加わる位置だけではなく、荷重の大きさによっても変化してしまうため、弾性解析を補正したもののひずみの比を計算し、それを実際の衝撃試験で計測したひずみの比と比較することにより、衝撃位置同定を行った。

4.3 衝撃試験による検証

衝撃試験は、損傷の発生しない場合と目視発見が困難といわれるような損傷の発生した場合の2通りの試験を行った。どちらの場合も同様に位置同定が可能であったので、ここでは損傷の発生した場合の衝撃位置同定結果について述べる。衝撃負荷点に近い3つのFBGセンサのひずみを用いて位置同定した結果を図3に示す。図3において太い白線で囲まれた領域が衝撃負荷位置と推定された領域である。実際に衝撃を負荷した点が推定された領域に含まれているので、この計測システムおよび位置同定手法を用いて衝撃位置同定が可能であるといえる。

5. 結言

本研究では、まずSAWDシステムを用いて高速・高精度のひずみ計測が可能であることを確認した。次に、準静的な押し込み試験を模擬した弾性解析を押し込み試験により補正したものを用いて、衝撃位置同定が可能であることがわかった。

6. 本研究に関する学会発表

秋野望, 水口周, 水谷忠均, 武田展雄, “埋め込みFBGセンサを用いたフォームコアサンドイッチパネルの衝撃位置同定”, 日本機械学会 2007年度年次大会, 2007

Nozomi AKINO, Shu MINAKUCHI, Tadahito MIZUTANI, Nobuo TAKEDA, “Impact detection system for foam core sandwich panel using embedded FBG sensors”, 10th Japan International SAMPE Symposium and Exhibition (JISSE-10)

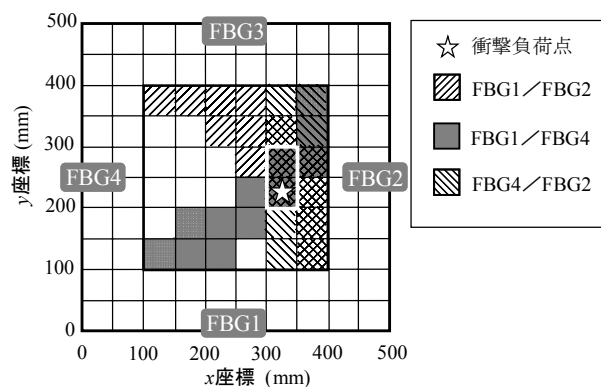


図3 衝撃位置同定結果