

光ファイバセンサを用いた炭素繊維複合構造材の ヘルスマモニタリングに関する研究

日大生産工(院) ○大友 愛斗 日大生産工 小山 潔

1. まえがき

近年、構造物や航空機の部材として炭素繊維複合材が注目されている。構造物や航空機を安全に運用していくために、適切な保全が必要である。従来の保全方法は、定期的に健全性を確かめる定期メンテナンスや、目視検査などが挙げられるが、これらの方法にはデメリットがある。それは、定期メンテナンスは高コストであり、突発的な損傷によるトラブルに対応できない。また、目視検査では、技術者の技量に依存して損傷の見落としによるトラブルが起こる場合があると考えられる。そこで、構造物の健全性を常に監視する構造ヘルスマモニタリングシステムを構築することで、即自的に構造物や航空機の健全性を確認でき、不具合の予兆を発見して突発的な故障を防げる場合がある。本報告では、光ファイバセンシング技術であるFBG方式のセンサとニューラルネットワーク(NNC)を用いて、炭素繊維複合材に衝撃が加わったときの外部応力の大きさと作用した位置を評価する基礎的な構造ヘルスマモニタリングシステムの構築を行った検討結果を報告する。

2. 提案手法

構造ヘルスマモニタリングの提案方法として、FBG方式の光ファイバセンサとNNCを用いてヘルスマモニタリングシステムを構築する。

本報告で用いるFBGは、光ファイバのコア内部に構築された屈折率変調(回析格子)を形成したものである。光ファイバの入射光に対し、グレーティング周期(回析格子の間隔) Λ に合致するブラッグ波長 λ_B の光のみが反射し、それ以外の波長の光は透過する。ブラッグ波長 λ_B を式①に示す。

$$\lambda_B = 2n\Lambda \cdots \textcircled{1}$$

式①の n は光ファイバのコアにおける有効屈折率である。FBGに外部から応力が加わると、内部のファイバは伸長し、回析格子の間隔が変化するため、ブラッグ波長の値も変化する。このブラッグ波長の変化量を測定することで、外部応力によるひずみや圧力を計測することが

できる。

NNCは機械学習の技法であり、人間の脳の情報処理ネットワークを単純化したものである。本報告では、波形の認識を行うニューラルネットワークを構築した。学習手法として教師あり学習を行うため、事前に学習をさせるための学習用データを用意する。NNCの性能評価として、評価用データを用意する。

3. 実験方法および測定方法

3.1 試験体

本報告では試験体として、寸法が縦160mm、横160mm、厚さ1.9mmである炭素繊維プラスチック(CFRP板)を用いて、Fig.1のように2つのFBGセンサを設けた光ファイバを2本使い、試験体に固定した。光ファイバはFig.1のように形成しているため、座標を0から1の数値を用いて正規化した。試験体中央の座標は(0.5,0.5)であり、4つのFBGセンサの座標は、センサ①(0,0.5)、センサ②(1,0.5)、センサ③(0.5,1)、センサ④(0.5,0)である。また、その他の座標を、E①(0.25,0.75)、E②(0.75,0.75)、E③(0.25,0.25)、E④(0.75,0.25)とし、Fig.2に試験体の平面座標を示す。

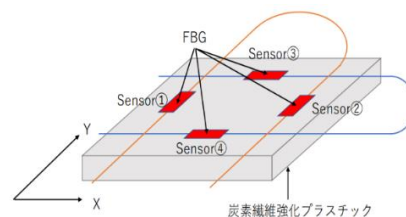


Fig.1 試験体と光ファイバセンサの配置

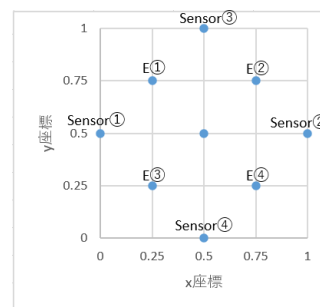


Fig.2 試験体の平面座標

Study on health monitoring of carbon fiber composite structures using optical fiber sensor

Aito OTOMO and Kiyoshi KOYAMA

3.2 CFPR 板への荷重

おもりを自由落下させ、試験体に動的荷重を加えた。落下させる点は、各 FBG センサ直上と試験体中央、E①～E④の 9 か所である。各 FBG センサ直上と試験体中央に 100g 200g のおもりをそれぞれ 21 回ずつ落下させた。また、E①～E④に 100g 200g のおもりをそれぞれ 3 回ずつ落下させた。

3.3 NNC による荷重推定

NNC で荷重推定をするにあたり、3.2 で得られた動荷重波形を用いて荷重推定を行った。本報告では、Fig.3 に示すように各センサから得られた波形を入力とし、荷重の位置座標(x,y)と荷重量を推定した。各 FBG センサ直上と試験体中央で得られた 15 回分のデータを学習用データとし、各 FBG センサ直上と試験体中央で得られた 6 回分のデータと E①～E④で得られた 3 回分のデータを評価用データとした。

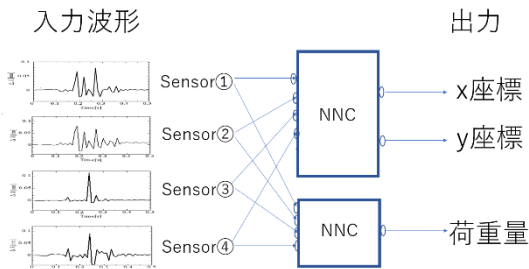


Fig.3 NNC による荷重推定

4. 実験結果および検討

Fig.4 にセンサ①直上に 100g の重りを落とした時のセンサ①の波形を示す。試験体に衝撃が加わった直後、ブラッグ波長に変化が生じ、その後ブラッグ波長の変化が収まる。荷重量の値が大きければブラッグ波長の変化量が大きくなった。

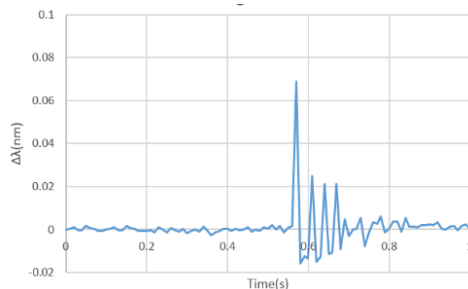


Fig.4 センサ①直上に荷重を加えた時のセンサ①で計測された動荷重波形

また、3.2で得られた実験データ(Aデータ)の他に、Aデータを高速フーリエ変換(FFT)した波形をFAデータ、Aデータの荷重が加わった時間を0.5秒に調整したデータをBデータ、BデータをFFTしたデータをFBデータとする。4種類それぞれの波形ごとに荷重推定を行った。Fig.5にそれぞれのデータの波形を示す。

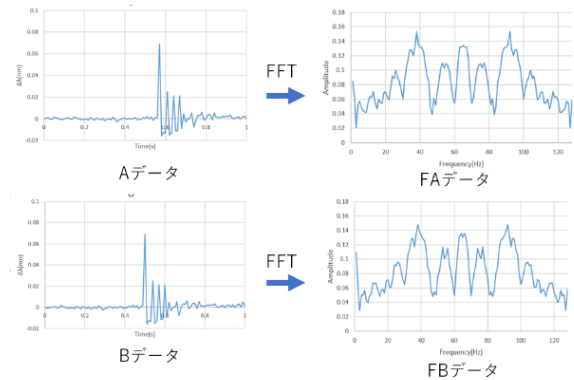


Fig.5 Aデータ,FAデータ,Bデータ,FBデータそれぞれの動荷重波形

Table.1に4種類の波形ごとの荷重推定結果の評価を示す。非常に精度良く推定できたデータを◎と評価し、おおよその精度で推定できたデータを○と評価、あまり精度良く推定できなかったデータを△と評価した。

Table.1 荷重推定結果

| | Aデータ | FAデータ | Bデータ | FBデータ |
|------------------|------|-------|------|-------|
| 学習済み 位置推定結果 | ○ | ◎ | ◎ | ◎ |
| 未学習 位置推定結果 | ○ | △ | △ | △ |
| 学習済み 荷重量推定結果 | ◎ | ◎ | △ | △ |
| 未学習位置 荷重量推定結果 | ◎ | ○ | △ | △ |

5. まとめ

本研究では、光ファイバセンサと NNC を用いて、炭素繊維複合材のヘルスマニタリングシステムの検討を行い、荷重位置と荷重量を推定するシステムを構築することが出来た。また、A データを用いて荷重量と荷重位置を総合的に推定することができた。

今後の課題として、精度の向上のために、学習用データを多く採ることが必要である。

参考文献

- 1) 吉田隆, CFRPの成形・加工・リサイクル技術最前線, エヌ・ティー・エス(2015) pp.3-14.