

CFRP の FBG センサによるヘルスマニタリングの基礎的検討

日大生産工(院) ○坂本 翔平 今城 拓也 宇野 雄輝
日大生産工 小山 潔

1. はじめに

近年、航空機や建造物等の構造物に炭素繊維を強化材とした軽量かつ高強度である炭素繊維強化プラスチック(CFRP)が多く使用されている。このような大型な構造物を、適切に保全していくには一定周期の点検が必要であり、検査時に正常であっても次の検査までに安全である保証は少ない。そのため、点検後に異常が発生しても次の点検時までには事故などのリスクが高くなってしまふ。そこで常時監視するモニタリングシステムを導入することで異常が発生しても即急に対処することによってリスクを最小限に抑えることが不可欠である。また、最近ではAI(人工知能)の工業分野でも進出しており、特に検査に適用されてきている。

本稿では、光ファイバセンシング技術であるFBG方式のセンサを用いてCFRP板に荷重を加えたときのひずみの計測を行い、機械学習であるニューラルネットワークを用いて荷重位置の評価を行った。

2. 原理

2-1 Fiber Bragg Grating (FBG)

FBGは、Fig.1に示すように光ファイバのコアに屈折率変調(回折格子)を設けたものである。この回折格子の周期 Λ に合致した(1)式の波長(ブラッグ波長: λ_B)の光のみが反射し、それ以外の波長は反射せずに通過する。FBGに応力等が加わると光ファイバを伸縮すると共に、回折格子の間隔も変化するので、反射するブラッグ波長も比例するようにシフトする。よってブラッグ波長を計測することでひずみ等を算出することが可能である。長所として従来のひ

ずみゲージと比較すると、電磁気の影響を受けないことや、1本の光ファイバに多数のFBGセンサを設置することが可能であり計測装置の単純化、光ファイバを使用するため光信号がほとんど減衰しないので長距離からでも計測できることがあげられる。

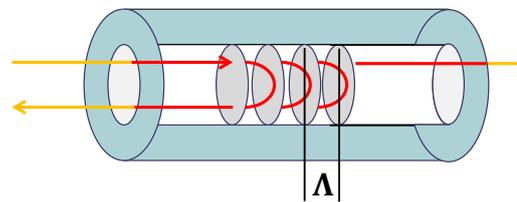


Fig.1 FBG 原理

2-2 ニューラルネットワーク

Fig.2に示す様に人間の神経回路網を数理モデル化した人工ニューロンであり、1つ以上の入力 x_n を受け取り、活性化関数 f_u を使って1つ以上の出力 y を生成する。NNはFig.3のように主に入力層と中間層と出力層から構成され、層と層の間はつながりの強さを示す重み(w)がある。今回は、教師あり学習を行うため、あらかじめ学習させるデータと正解である評価データを用意する。重み(w)は学習しているときに少しずつ調整させ、正解である評価データとの誤差を小さくする役目がある。

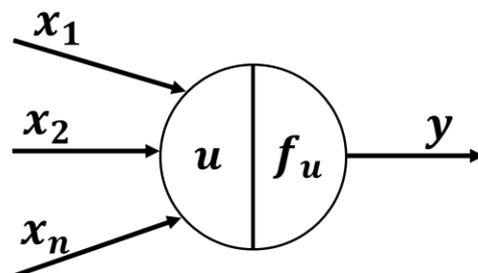


Fig.2 人工ニューロンモデル

A fundamental study on health monitoring of CFRP by FBG sensor

Shohei SAKAMOTO, Takuya IMAJO, Yuki UNO
and Kiyoshi KOYAMA

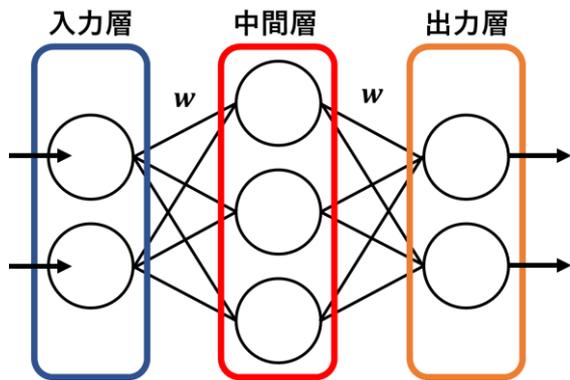


Fig.3 ニューラルネットワーク

3. 実験方法および測定方法

3-1 CFRPの荷重試験

計測器はAOS社製¹⁾のFBGセンサーモニタ(AWE-CCD-1550)を用いた。CFRP試験体の寸法は160mm×160mm×2mmである。1つの光ファイバにFBGセンサを2カ所設けた2本の光ファイバを使用した。

FBGセンサをFig.4が示すように設置して、2000gまでの静荷重を加えた場合と、動的荷重(衝撃)を与えた場合で測定した。荷重を加える位置は、Fig.5で示すように中央と各FBGセンサの直上の5カ所とした。

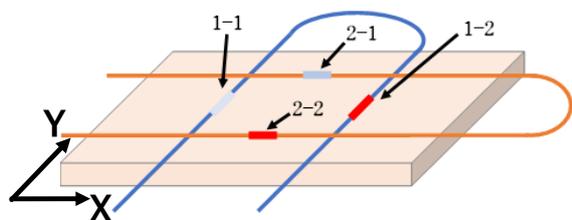


Fig.4 FBG 設置

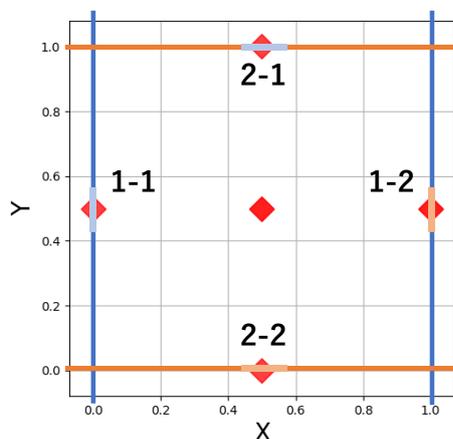


Fig.5 荷重位置(学習用と評価用)

3-2 ニューラルネットワークによる評価

本研究では、Neural Network Console²⁾を使用した。NNの構造はFig.6で示す様に順伝番型ニューラルネットワークである。荷重を加えた時の計測データを使って順伝番型NNに学習させて、荷重位置と荷重量の評価を行う。NNは、上から下に向かって処理が進む構造になっている。また、Input(入力層)の横の数字は、4つのFBGセンサの計測値を入力する意味である。次に中間層に位置するのはAffine(計算)とSigmoid関数であり右の数字はノード数を示している。最後に中間層で処理したデータをSigmoid関数で活性化させたのちに、BinaryCrossEntropyでx,y座標と荷重量の3つの値を出力させている。

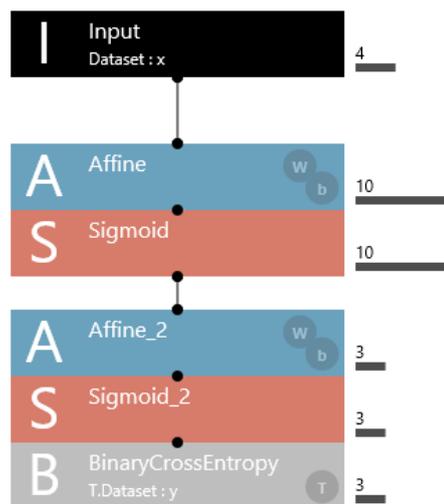


Fig.6 ニューラルネットワークの構造

4. 実験結果および検討

4-1 CFRPの荷重試験結果

CFRP板の中央に静的荷重を加えた時の結果をFig.7に示す。横軸が荷重(Weight)で縦軸が波長の変化量($\Delta \lambda$)でありFig.7は、全てのセンサが等しく変化していることがわかる。また、各FBGセンサのsensor1-1の直上、sensor1-2の直上、sensor2-1の直上、sensor2-2の直上に荷重を加えた時の波長の変化の結果をFig.8、Fig.9、Fig.10、Fig.11に示す。Fig.8ではsensor1-1は他の3つのセンサと比較したとこ

ろ、大きく波長が変化していることが読み取れる。

Fig.9ではsensor1-2が一番大きく波長が変化していることがわかる。Fig.10、Fig.11ではFig.8、Fig.9と比較すると波長の変化量は少なくなるが、sensor2-1とsensor2-2は他のFBGセンサより大きく変化していることがわかった。

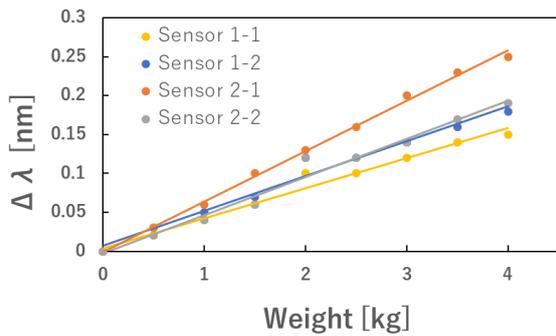


Fig.7 中央に荷重を加えた時の波長の変化量

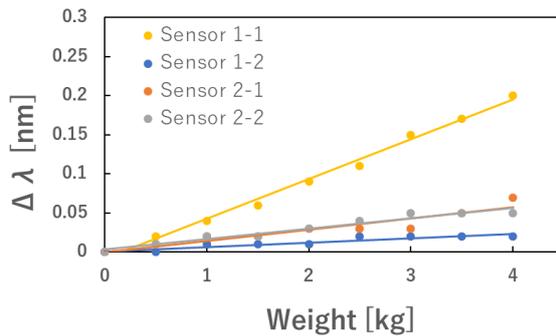


Fig.8 sensor1-1 直上に荷重を加えた時の波長の変化量

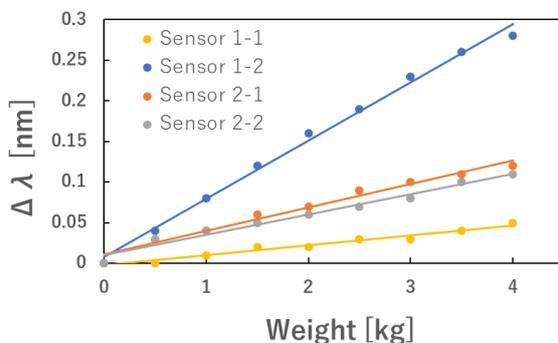


Fig.9 sensor1-2 直上に荷重を加えた時の波長の変化量

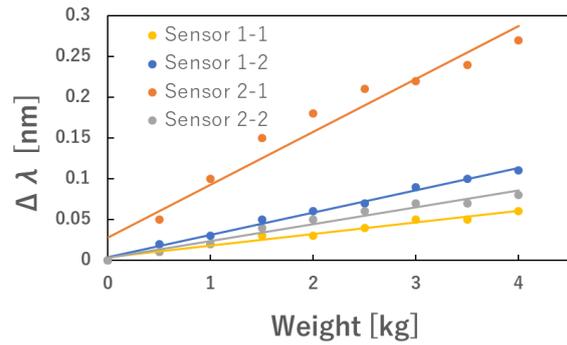


Fig.10 sensor2-1 直上に荷重を加えた時の波長の変化量

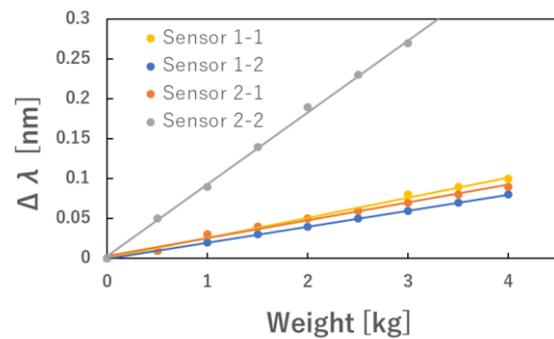


Fig.11 sensor2-2 直上に荷重を加えた時の波長の変化量

次に動的荷重(衝撃)の結果をFig.12に示す。Fig.12は、sensor1-1の直上に200gの重りを落下させたときであり、最初の方で大きく波長が変化していることがわかった。その後、複数の小さな波長が表れて次第に収まっていくことが読み取れた。他の箇所での動的荷重もFig.12と同様な傾向が見られた。

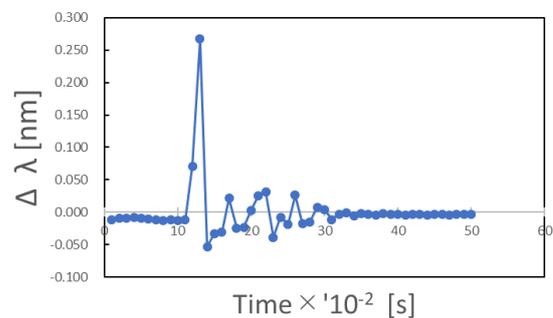


Fig.12 sensor1-1 直上に動的荷重を加えた時の波長の変化量

4-2 ニューラルネットワークによる評価結果

ニューラルネットワークを使って荷重位置を推定させた結果等を、散布図で表記した。正方形の赤点が推定させたい位置で、青点はNNが出力した荷重位置と荷重量である。右のカラーバーは色が濃くなるほど荷重が重くなっていく。Fig.13は、静的荷重でのNNの推定結果、Fig.14は動的荷重での推定結果を示しており、Table 1は、誤差率を表にした。

Fig.13から、全体的に推定位置である青点が赤点(荷重位置)付近に近づいていることがわかる。その中でも色の濃度が小さくなるほど、赤点から離れていくことが読み取れた。

中央位置では他の位置と比較して大きく散開していることがわかる。また、Table 1より荷重推定の誤差率は25%となっており座標推定より高くなった。そのため、NNで中央の荷重位置は推定できたが、一方で荷重量の推定精度が低くなっていると考えられる。

次に、各センサの直上の推定結果は、4つの箇所とも赤点付近に推定されていることがわかる。座標の誤差率は、X座標が17%、Y座標は10%であり、荷重位置の誤差は少ないことが読み取れる。

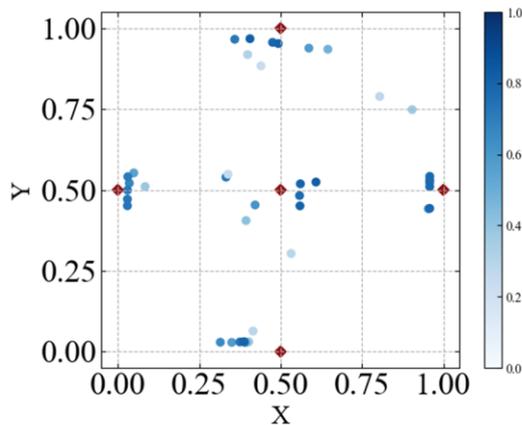


Fig.13 NN 推定結果(静的)

Table 1 NN の誤差率(静的)

	%
Weight	25
X	17
Y	10

Fig.14は、波長をフーリエ変換させて推定させた。静的荷重と比較して推定位置が中央に集合していることがわかり、推定させたい青点がずれている。これらの要因として、静的荷重では各センサの波長の変化量に特徴があったが、動的荷重は全体的に波長が類似しているためだと考えられる。

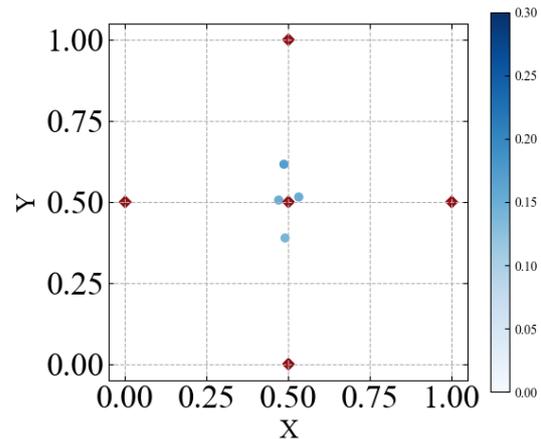


Fig.14 NN 推定結果(動的)

5. まとめ

本研究ではCFRPにFBGセンサを設置して、荷重試験を行い、NNを使って荷重量と位置の評価を行った。今回の検討では、FBGセンサを使って荷重の位置と荷重量を計測することが可能であった。またNNを使って、荷重位置と荷重量を推定することを明らかにした。

今後の課題として、動的荷重でのNNの推定精度を向上させることが挙げられる。

参考文献

- 1) <http://www.aos-fiber.com>
- 2) Sony Network Communications Inc.
Neural Network Console
<http://dl.sony.com>