

FBG センサによる CFRP のヘルスマモニタリングに関する研究

日大生産工(院) ○坂本 翔平 小野寺 大介 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がない。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う。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。

本研究では、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つ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。

$$\lambda_B = 2n\Lambda \quad (1)$$

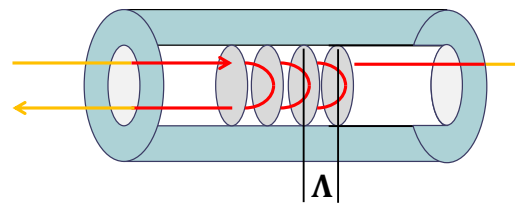


Fig.1 FBG 原理

2-2 ニューラルネットワーク

機械学習の代表的な技法であるニューラルネットワーク(NN)を用いた。NNは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。

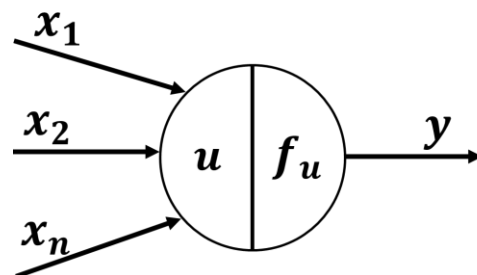


Fig.2 人工ニューロンモデル

Study on health monitoring of CFRP by FBG sensor

Shohei Sakamoto, Daisuke ONODERA, Takuya IMAJO, Yuki UNO
and Kiyoshi KOYAMA

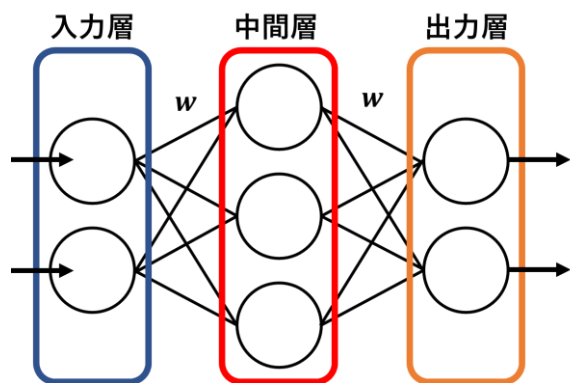


Fig.3 ニューラルネットワーク

3. 実験方法および測定方法

3-1 CFRPの荷重実験

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。

CFRPにFBGセンサをFig.4が示すように設置して、0gから2000gまでの荷重を加えた時の各FBGの波長の変化量を測定する。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カ所を計測した。

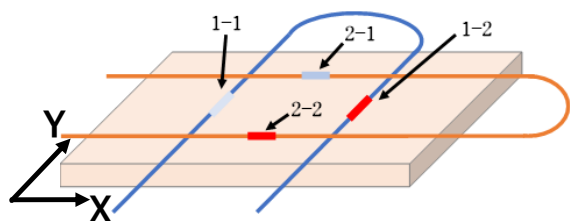


Fig.4 FBG 設置

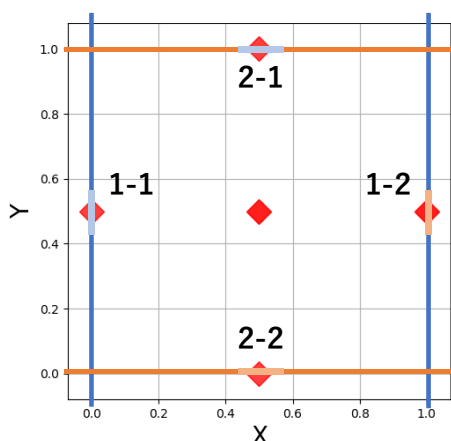


Fig.5 荷重位置(学習用と評価用)

3-2 ニューラルネットワークの評価実験

計測値を評価するNNを実装するにあたって、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Relu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。

なお、評価データは、あらかじめ3-1で計測した5ヶ所(Fig.5)を再度計測したデータと新たに8ヶ所(Fig.7)で計測したデータを用いた。



Fig.6 ニューラルネットワークの構造

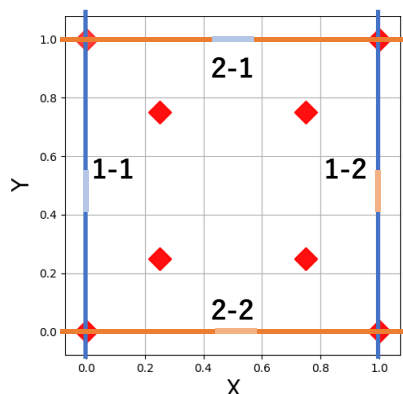


Fig.7 荷重位置(評価用)

4. 実験結果および検討

4-1 CFRPの荷重結果

CFRP試験体の中央に荷重を加えた時の結果をFig.8に示す。波長の変化はsensor1-1とsensor1-2,sensor2-1とsensor2-2は等しく変化していることがわかる。FBGセンサが2000gまで荷重を加えたとき、0.05nmほど違っているが、これは光ファイバを固定したときに、2本の光ファイバが重なっているためsensor2-1とsensor2-2の固定が緩くなり、波長の変化が少ないと考えられる。

また、荷重を加えた時のsensor1-1の直上、sensor1-2の直上、sensor2-1の直上、sensor2-2の直上の各FBGセンサの波長の変化の結果をFig.9、Fig.10、Fig.11、Fig.12に示す。Fig.9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.10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.11、Fig.12ではFig.9、Fig.10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。

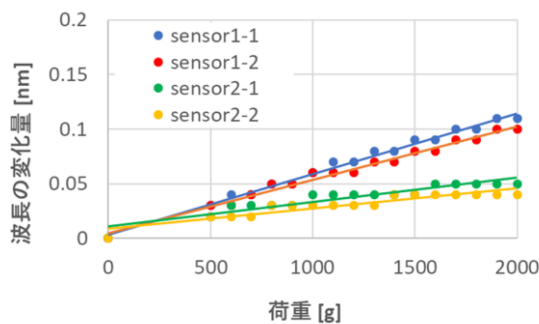


Fig.8 中央に荷重を加えた時の波長の変化量

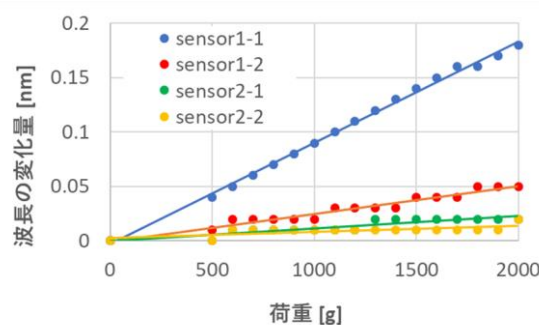


Fig.9 sensor1-1 直上に荷重を加えた時の波長の変化量

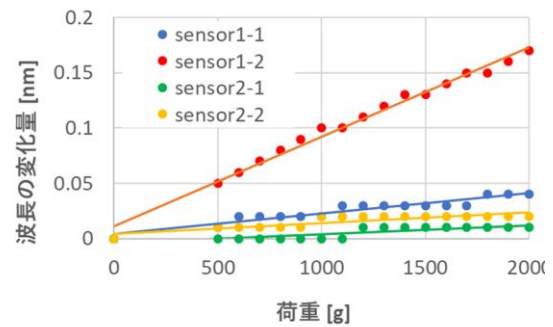


Fig.10 sensor1-2 直上に荷重を加えた時の波長の変化量

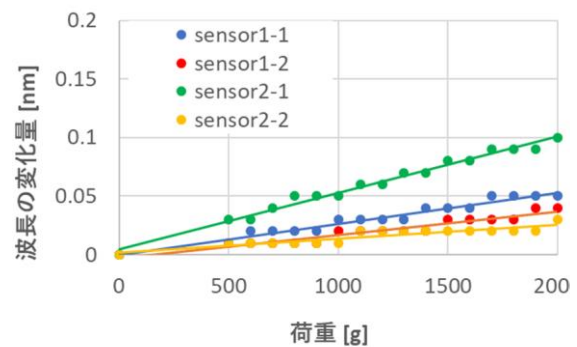


Fig.11 sensor2-1 直上に荷重を加えた時の波長の変化量

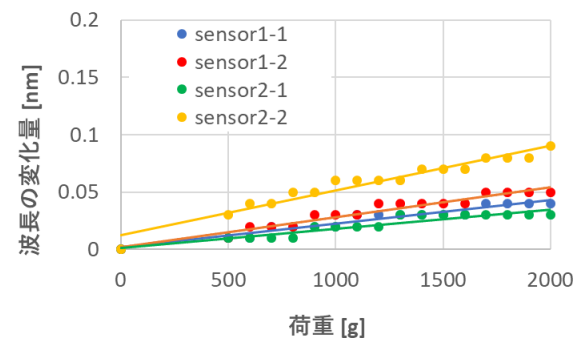


Fig.12 sensor2-2 直上に荷重を加えた時の波長の変化量

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用いた学習の進捗状況をFig.13に、学習させるデータと実際にNNを使って荷重位置を推定させたデータをFig.14、Fig.15、Fig.16に示す。また、学習後における評価データと正解率は約67%であった。Fig.13の横軸Epochは、一つの訓練データを繰り返して学習させる回数であり、縦軸のcostは学習データ、評価データそれぞれのロス関数の出力値を示す。Errorは、実線が学習デ

ータに対するエラー率で、破線が評価データに対するエラー率である。epoch数が増加するにあたって、costとerrorの値が下がっていれば正しく学習されていると考えられるが、Fig.13ではepoch数が増加すると共に破線である評価データに対するエラー率が上昇していくことが読み取れる。Fig.14、Fig.15、Fig.16では正方形の赤点が推定させたい荷重位置で、青点はNNが出力した荷重位置と荷重量である。右の青カラーバーは2000gで正規化した数値であり、色が濃くなるほど荷重が重くなっていくことを表している。

Fig.14では、青点の位置は推定したい赤点に近づいており、荷重量が大きい青点の方がより正確であることがわかる。Fig.15では、上側の2点と右下での青点の位置は異なっているが、左下の青点の位置はおおよその位置を推定していることがわかる。Fig.16は、すべての点において大きく推定させたい青点がずれていることが読み取れる。これらの要因として、Fig.13で評価データに対するエラー率が上昇することで、過学習が発生してしまい学習データだけに過剰に適合して、評価データには適合しなくなってしまうと考えられ、それが著しく生じたのがFig.15の上方の2点と右下の点と、Fig.16の4点である。

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、その計測データからAIを使った推定について検討した。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り、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。

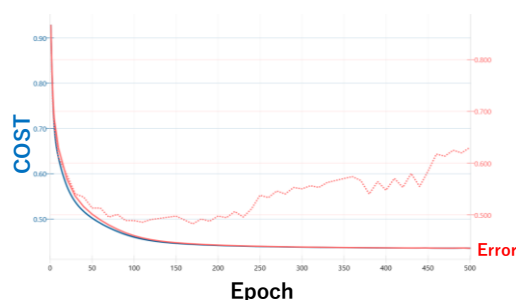


Fig.13 学習状況

今後の課題として、今回は静的荷重で計測を行ったが、動的荷重を行ったときFBGの波長の変化量を比較することや、NNを学習する際に過学習が発生しないように学習させることが挙げられる。

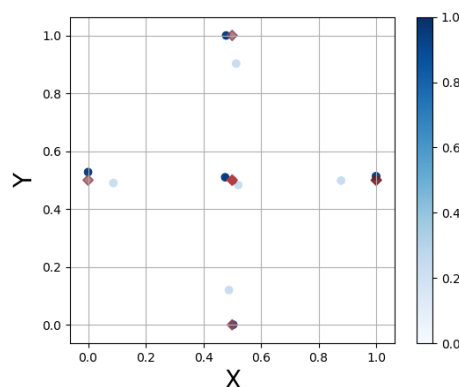


Fig.14 評価値と出力値(Fig.5の5ヵ所と中央)

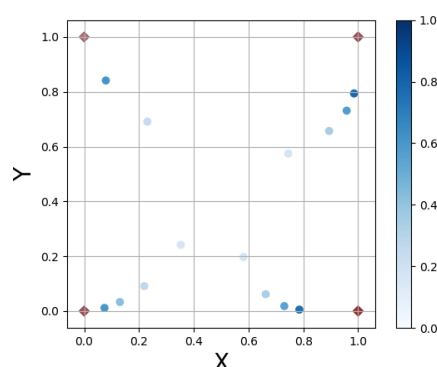


Fig.15 評価値と出力値(Fig.7の外側4点)

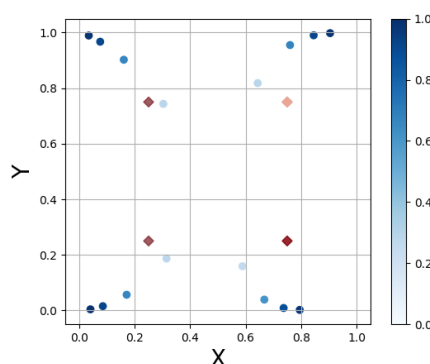


Fig.16 評価値と出力値(Fig.7の内側4点)

参考文献

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