

OFDR 方式を用いた FBG センサによる高位置分解能計測の適用性の検討

(株)レーザック 正会員 田中正弘 (株)レーザック ○斉藤義弘
 (株)レーザック 正会員 藤井宏和 東京大学工学部 村山英晶

1. はじめに

代表的な光ファイバセンサとして知られている FBG (Fiber Bragg Grating) センサは、ひずみまたは温度を精度良く測定できるセンサとして様々な分野で実用化されている。

現状用いられている WDM (Wavelength Division Multiplexing) あるいは TDM (Time Division Multiplexing) 測定方式は、ファイバ上にある一定区間グレーティングされた FBG センサ部の単点測定技術であり、得られる測定値は従来のひずみゲージと同様にゲージ長の平均的な値となる。

これに対して、新たに開発された OFDR (Optical Frequency Domain Reflectometry) 方式は、FBG センサ長を 1mm 以下の位置分解能で計測が可能となる。この手法を用いることにより、今まで困難であった構造物の微小亀裂やその位置検知など有用な情報が得られる可能性がある。そこで、この方式を用いて基礎的な実験を行い、この方式の有用性を検討した。

2. 計測原理

FBG は被覆外径 150 μm 程度の石英光ファイバのコアに周期的な回折格子 (グレーティング) が施されたもので、その回折格子は λ_B (ブラッグ波長) で強い反射が生じる。ブラッグ波長 λ_B は式 (1) に示すように回折格子の幅 Λ に比例する。したがって外力などによるファイバの伸縮に伴う波長の変化量から、 Λ の変化量を求めるものである。

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

OFDR 方式の概念図を図 1 に示す。OFDR 方式は波長可変光源を使用し入射光の周波数をスイープさせ、FBG からの反射光と全反射させた光を干渉させ、その結果から位置情報とその位置における波長変化量を求めている。

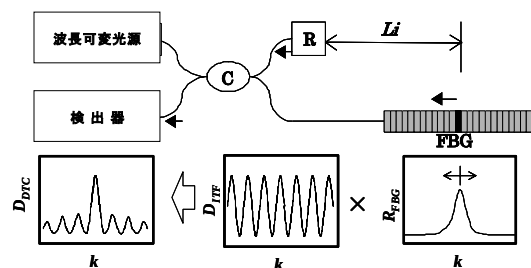


図 1 OFDR 概念図

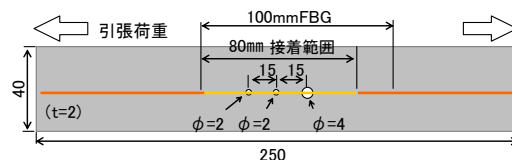


図 2 ひずみ測定 試験片

3. OFDR 方式による基礎実験

3.1 応力集中近傍のひずみ測定

図 2 に示す試験片を用いて、応力集中部周辺のひずみ測定を行った。試験片は厚さ 2 mm のアルミ板に直径 4 mm の円孔 1 箇所と、直径 2 mm の円孔 2 箇所を設け、試験片の左右方向から引張荷重を加え円孔周辺に応力集中を生じさせた。FBG はゲージ長 100 mm を使用し 80 mm の範囲を円孔に隣接する箇所に接着した。図 3 の FEM 解析結果に示すように各円孔の周辺には応力集中が生じ、FBG の貼付部では引張りひずみが増大する。試験結果を図 4 に示す。同図のグラフには FBG の測定値と FEM による解析結果を示した。両者を比較すると、ほぼ一致した結果が得られており高い分解能で精度良くひずみ分布を測定していることが分かる。

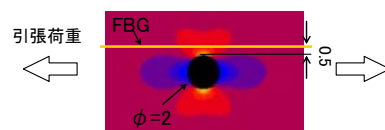


図 3 円孔周りの応力解析結果 (FEM)

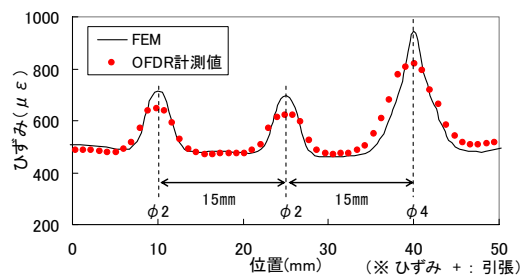


図 4 ひずみ計測結果と理論値の比較

キーワード 高分解能, ひずみ, 温度, FBG, OFDR

連絡先 〒113-0033 東京都文京区本郷 3-40-9 株式会社レーザック TEL 03-3816-3864

3.2 4点曲げ試験時のひずみ測定

図5に示す試験片 (L100 mm×W20 mm×t 2 mm) の4点曲げ試験を行い、圧縮側(試験片上側)のひずみ計測を行った。FBGのゲージ長は100 mmで20 mmの範囲を試験片の中央付近に接着した。また比較用としてゲージ長10 mmのひずみゲージを近接して貼り付けた。試験は内側支点間距離を30 mmとし、5段階のステップで载荷し、その時のひずみを計測した。測定結果を図6、図7に示す。図6の横軸は測定位置、縦軸はひずみとし、各载荷時の測定結果を示した。4点曲げ試験では内側支点間で等分布荷重となることからひずみ値は20 mmの接着範囲でほぼ一定の値を示す結果となり、圧縮ひずみについても高分解能で精度良く測定が可能であることが確認できた。図7はひずみゲージとFBGの結果でグラフに示すFBGの値はひずみゲージと比較するために中心部の10 mmを平均したものである。最大荷重の61 Nの载荷時では約30 μ の差異が見られるが、貼付位置が異なることを考慮すると概ね一致した結果であり、FBGの測定結果は信頼性があるものと思われる。

3.3 温度測定

ゲージ長100 mmのFBGに局所的な温度変化を与え温度分布の測定を行った。図8に示すように断熱性の高いポリスチレンフォーム上にFBGを配置し、先端部が幅1 mmの加熱装置をゲージ端より80 mmの位置に近づけ加熱を行った。測定結果を図9に示す。加熱した80 mmの位置で温度のピークが正確に測定されている。温度についても、ひずみ同様に高い位置分解能の測定が可能であることが確認できた。

4. まとめ

OFDR方式を用いたFBGセンサによる基礎実験を行った。その結果、ひずみ(引張、圧縮)、温度のいずれも1 mm以下の高い位置分解能で精度の良い測定が行えることが確認できた。FBGセンサは細線・軽量であり、微小部分への施工性も優れることから、構造物などの応力集中部や疲労破壊・亀裂のモニタリング等多くの分野への適用が考えられる。

今後の課題として、室内試験から現場計測への適用を進めるため、センサの施工方法、ファイバの保護等、現場に適用可能な実装設計を検討していくことが必要である。

最後に本試験を実施するに当たりご協力いただいた宇宙航空研究開発機構(JAXA)井川氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 井川寛隆, 太田圭一, 葛西時雄, 山口功, 村山英晶, 影山和郎: OFDRを用いた長ゲージFBGによる分布計測の研究 日本機械学会論文集 72巻 724号

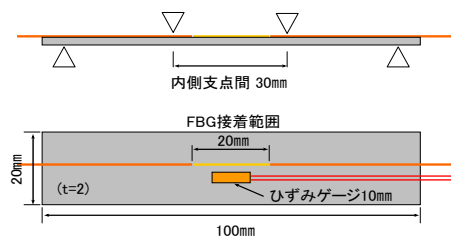


図5 4点曲げ試験 試験片

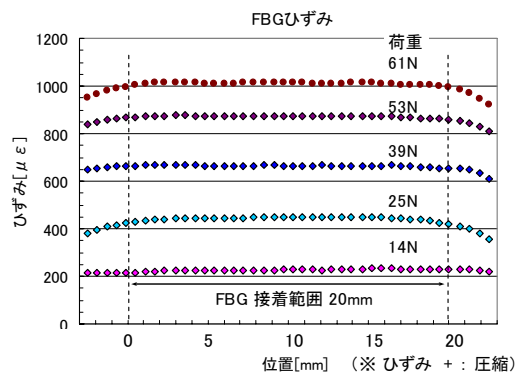


図6 圧縮側ひずみ分布

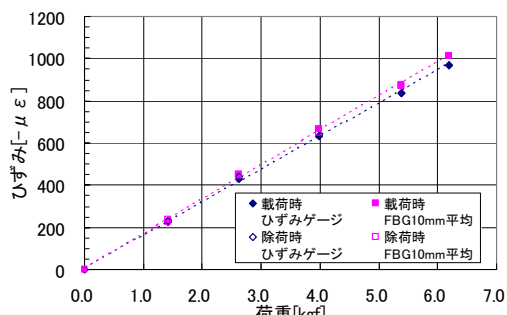


図7 FBGとひずみゲージの比較

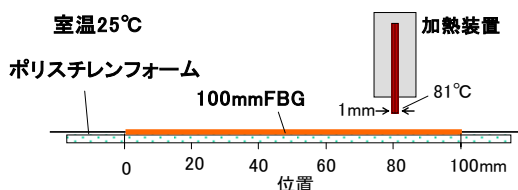


図8 加熱装置による温度測定

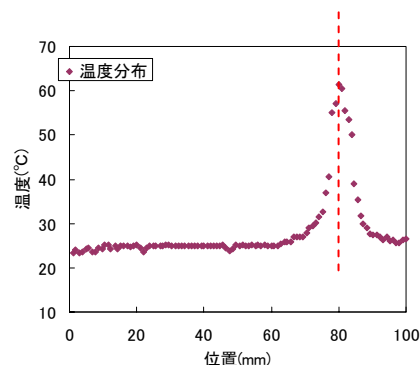


図9 温度測定結果