

コンクリート供試体への FBG センサの適応について

日大生産工（院） ○小菅 学

日大生産工 小山 潔、星川 洋

1. はじめに

ビルや橋梁といった社会インフラは沢山の
人々に利用される。このような公共施設にお
いて大きな事故が発生すると、経済的な損害
を与えるだけでなく、人の命が失われる事態
となる。この様なことを防ぐためにヘルスマ
ニタリング技術がある。ヘルスマニタリング
とは構造物の健全性の監視である。ヘルスマ
ニタリングは大まかに見れば目視による検査
も入るが、目視による検査は表面的な傷しか
発見できず内部の状態を判断することが出来
ないことや、検査を行った人物の主観によっ
て結果が変わってきてしまうため定量的では
ない問題がある。これらを解決するために、
金属線の伸縮による電気抵抗の変化を利用し
たひずみゲージが開発され利用されてきた。
しかし、ひずみゲージは電気を使用し、ひず
みゲージ自体に電力を供給しなければならない
ため、可燃性の恐れがある施設では使用す
ることが困難である。そのため近年では、光
ファイバーをセンサとして使用する研究が行
われている。これは光ファイバーを構造物に
埋め込み人間の神経のような働きをさせよう
とするものである。光ファイバーセンサは、
センサ自体に電力を供給する必要がなく、信
号発信源のみに電力を供給すればいいので遠
距離観測が可能であり、可燃性の恐れがある
設備でも使用することが出来る。

本研究は光ファイバーセンサのファイバブ
ラッググレーディング（以下 FBG と記述す
る）センサを用いたコンクリート構造物のヘル
スマニタリングに関する研究である。今ま
での光ファイバーセンサを使ったモニタリン
グの研究は、試験体に張り付けた状態での研
究が行われてきたが、試験体に埋め込んだ状
態での実験は行われてきてない。そこで今回
は実構造物のヘルスマニタリングの前段階と
して、コンクリート供試体に FBG センサと
ひずみゲージを埋め込み、FBG センサとひず
みゲージとの整合性の確認を行った。

2. FBG センサの原理

図 1 は通常の光ファイバーである。直径は
約 1mm で中心部に屈折率の大きいコアと呼
ばれる部分があり、その周囲を屈折率の小さ
いクラッドが覆っている。コアの部分に光信
号を入力することで情報のやりとりをする。
図 1 にあるように、入力側から連続的な波長
成分を持つ光信号を入れた場合、コアの線路
上に障害がなければ、出力側から得られる信
号も同じものとなる。そこで、図 2 のように
コアの部分にフェイズマスクを通して紫外線
を照射し、コア内に周期的に屈折率が変化し
た部分（干渉縞）を作る。これが FBG セン
サである。この干渉縞がフィルターの様な役
割をし、特定の波長のみを反射させ、他は透

Adaptation of the FBG sensor to test object concrete

Manabu KOSUGE, Kiyoshi KOYAMA and Hiroshi HOSHIKAWA

過させるという性質になっている。この反射させる波長は干渉縞 1 つ 1 つの間隔によって変化する。よって、フェイズマスクのマスクピッチを変え、干渉縞の間隔を変えた FBG センサを同軸上に作成すれば、1 本の光ファイバーでも複数点の測定が可能となる。無負荷の時の反射波長の数値を λ_B とし、コアの屈折率を n_0 、干渉縞の間隔を Λ とすると λ_B は次式より求めることが出来る。

$$\lambda_B = 2n_0\Lambda \cdots \cdots (1)$$

λ_B の波長を反射する FBG センサを作成し、入力側から光信号を入力する。FBG センサで λ_B の波長のみを反射し、残りの波長は透過させる。出力された波長帯域は λ_B の部分だけ欠けて表示され、反射波長を見れば λ_B だけが表示される。一方、FBG センサに軸方向のひずみ $\Delta \varepsilon$ が加わると、無負荷の時の反射波長 λ_B は変化し、 $\Delta \lambda_B$ となり次式より求めることが出来る。

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B (1 - Pe) \Delta \varepsilon \cdots \cdots (2)$$

Pe は実効光弾性定数であり、数値は 0.213 である。FBG センサを使ったセンシングでは (1)、(2) 式に 833 という定数を乗算し、その数値をひずみ量としている。(1) 式より得られた数値をゼロベースとすれば、測定して得られた反射波長と比較することで FBG センサ付近に圧縮、伸長の応力や温度変化によるひずみが発生していることを判断することが出来る。

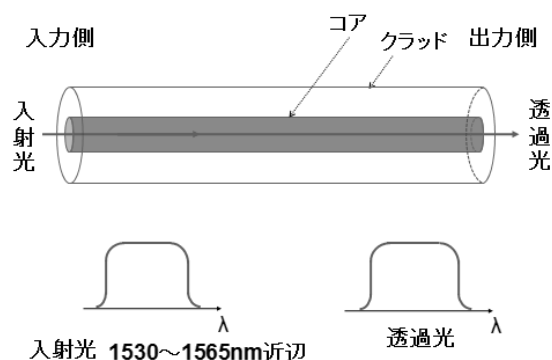


図1 通常の光ファイバーの動作

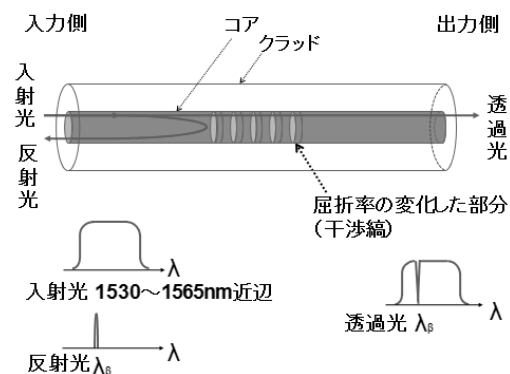


図2 FBG センサの動作

3. 実験方法

図3に実験に使用したコンクリート供試体の側面図、図4に正面図を示す。全体の大きさは、縦 300mm、横 2800mm、高さ 210mm で、コンクリート供試体の内部には上から深さ 38mm、172mm の位置に鉄筋（D16）が埋め込まれている。38mm の深さには両横から 40mm の位置に 1 本ずつ、172mm の深さには両横から 40mm の位置に 1 本ずつと 150mm の中央に 1 本の計 5 本の鉄筋が埋め込まれている。FBG センサ及び、ひずみゲージは深さ 172mm の中央の鉄筋に端から 800、1200mm の 2 箇所に接着されてある。図3に示すようなセンサの位置を(1),(2)とする。(1) の FBG の反射波長は 1527.674nm、(2) の FBG の反射波長は 1535.809nm である。

図5に実験装置図を示す。コンクリート供試体を装置に固定し、上面にローラーを乗せ一定量の加重を掛けながら供試体を動かす。ローラーの始点はセンサが埋設されている位置とは反対側とし、走行方法はコンクリート供試体の上を一往復させる方法を取り、ローラーが FBG センサの上部を通過した時の変化を PC にて測定する。走行時間は一往復 18 秒で加重量を上げる際は始点にて一度停止させた後、再び走行させた。ローラーを加重する間隔は 0~70kN までは 10kN 間隔、鉄筋が降伏する 70kN 以降は 5kN 間隔で加重した。

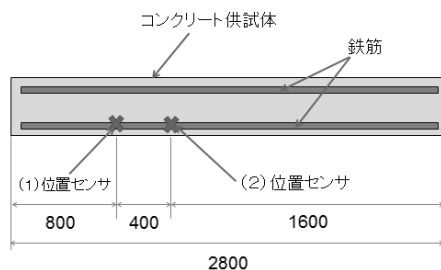


図3 使用したコンクリート供試体の側面図

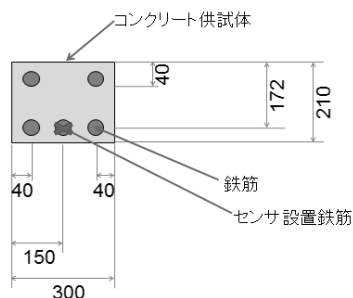


図4 使用したコンクリート供試体の正面図

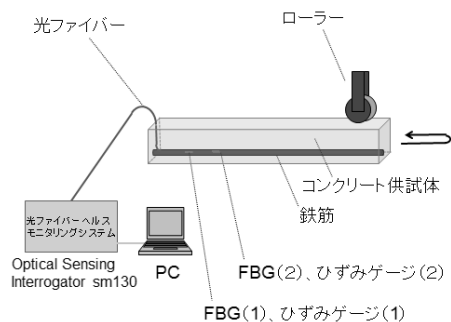


図5 実験装置図

4. 実験結果

図6は(1)位置のFBG センサ、図7は(1)位置のひずみゲージ、図8は(2)位置のFBG センサ、図9は(2)位置のひずみゲージの上をローラーが通過した時のひずみ量の変化の推移を表したものである。それぞれ10～50kNまでのひずみ量の変化を示した。(1)位置においては7秒付近と、13秒付近で測定値が最高点をとっており、(2)位置では6秒付近と14秒付近で測定値が最高点をとっている。この時刻においてセンサの上をローラーが通過した。また、同じ加重値でも(2)位置のセンサのひずみ量(μ)が大きいのは、図3に示したように(2)位置のセンサが(1)位置のセンサより中

央に近く、コンクリート供試体が両端を固定されているため応力が中央に集中したからである。

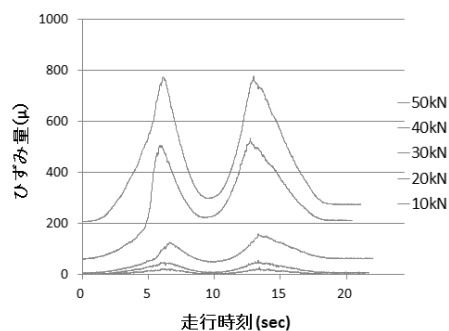


図6 (1)位置のFBG センサの走行時刻に対するひずみ量の変化

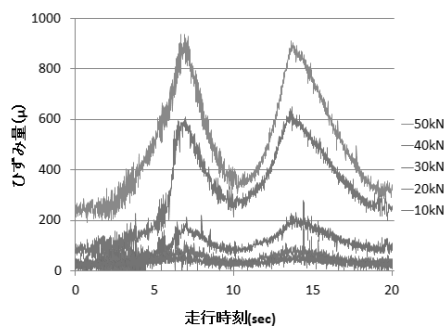


図7 (1)位置のひずみゲージの走行時刻に対するひずみ量の変化

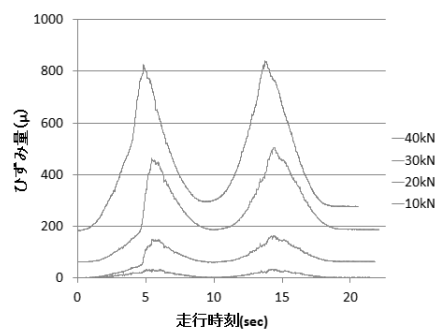


図8 (2)位置のFBG センサの走行時刻に対するひずみ量の変化

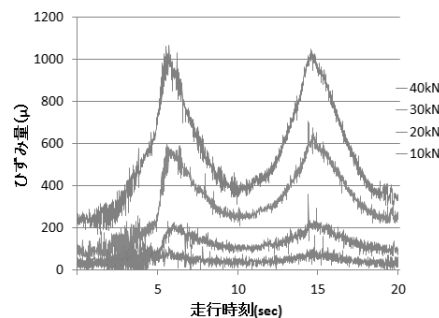


図9 (2)位置のひずみゲージの走行時刻に対するひずみ量の変化

図10、図11は加重値に対するひずみ量のグラフである。FBG センサとひずみゲージの変化の様子は同じ経過をたどっていることが分かる。また、最初の10~30kN まではほぼ変化をせず、40kN 以降から比例的に変化をしている。これは FBG センサが接着されている鉄筋の周囲がコンクリートによって覆われているので、鉄筋従来の持つ応力による変化がコンクリートによって抑制され、加重値が低い時は変化が少なく、加重値が大きくなってから比例的な変化する。一方で図12 にスチールケーブルに接着した FBG センサの静的加重実験データを示す。これはスチールケーブルに接着されている FBG センサから 20cm 離れた位置に重りを吊るし、徐々に吊るす重りの重さを増加させ、その時の FBG センサのひずみ量を測定したものである。図12を見て分かるように低い加重値に対しても比例的に変化していることがわかる。

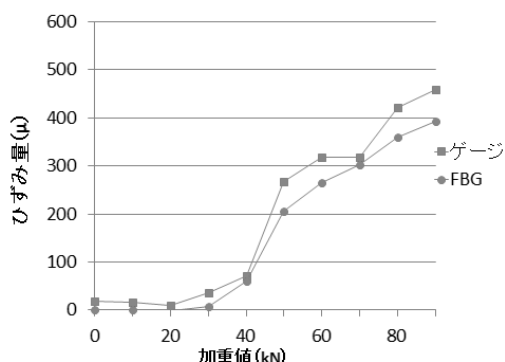


図10 (1)位置にある各センサの加重に対するひずみ量の変化

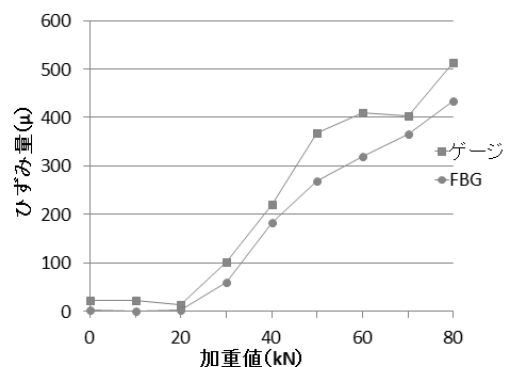


図11 (2)位置にある各センサの加重に対するひずみ量の変化

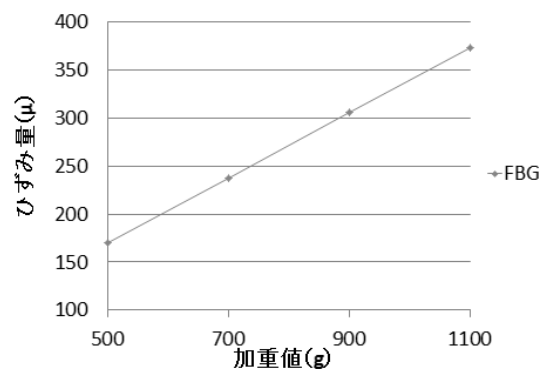


図12 スチールケーブルの静的加重実験

5. まとめ

FBG センサのコンクリート供試体への適応について検討を行った。実験結果より、FBG センサとひずみゲージの変化は同じ経過をたどっており、整合性はとれているので、これから建築される構造物への適応は可能であると考えられる。また、周囲を覆うコンクリートにより埋め込まれた FBG センサの変化が抑制されることが分かった。今後は、実用条件下を模した実験としてローラーを振動させながら走行した実験を行い、FBG センサによる構造物のヘルスマonitoring技術の開発を行う。

参考文献

- [1]照屋, 林: ファイバブラッググレーディング(FBG)の応用 非破壊検査第 50 巻 9 号 pp591-592 (2001)
- [2]影山, 村山: 光ファイバセンサによる構造モニタリング 非破壊検査第 50 巻 9 号 pp595-600
- [3]株式会社 東京測器研究所: FBG 光ファイバ変換器資料集 pp3