

光ファイバFBGによる土木構造物の歪み計測に関する研究

株式会社エーティック 正会員 ○共 放鳴
同上 浮橋 秀明
同上 日向 洋一
北海道工業大学 佐々木一正

1. はじめに

本研究は、FBG（Fiber Bragg Grating）センサによる構造物の歪み計測に関するものである。FBGセンサを内蔵した4本の光ファイバを供試体に固定、コネクタで各ファイバを直列に接続し、1本の信号回路で多数の点の計測を行った。FBGセンサの計測値と比較するために、計測箇所に歪みゲージを併設し計測を行った。また、FBGの温度特性を把握するため、ファイバの温度試験を行った。光ファイバの歪みとブラッグ波長の関係を確認した。また、ファイバセンサによる光パワーの損失、及びFBGに対する温度変化の影響を求めた。

2. 計測原理

ファイバのコアに書き込んだブラッググレーティングは特定の波長の光を反射する。グレーティングに反射される波長とグレーティング回折格子間隔の関係は次の式で表される。

$$\lambda = 2 n d_x \quad \dots (1)$$

ただし、 λ は反射される光の波長、 n はファイバコアの屈折率、 d_x は回折格子間隔である。

FBGの計測原理は、回折格子間隔の変化率がファイバの歪み、及び反射されるブラッグ波長の変化率の両方に正比例することを利用して、反射される波長の変化率の計測より、ファイバの歪みを求めるものである。ブラッグ波長の変化率 $\Delta \lambda / \lambda$ とファイバの歪み ε の関係を以下に示す。

$$\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2 n d_{x1}} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_1} = \frac{(d_{x2} - d_{x1})}{d_{x1}} = \varepsilon \quad \dots (2)$$

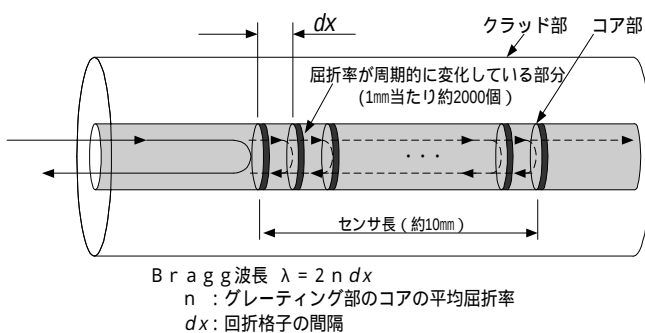


図-1 FBG原理図

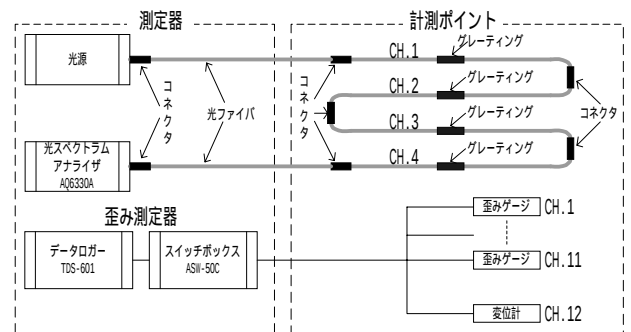


図-2 計測システム図

3. 実験方法

実験は、供試体の表面に計測方向に沿ってFBGセンサを配置し、マイクロメータで予備張力を与えた後、供試体を曲げさせ、0.1mmのステップで0.9mmまでを変位させた。各ステップでセンサのブラッグ波長の変化量を計測し、ファイバの歪みとブラッグ波長の変化率を求めた。

温度実験は低温恒温槽で行った。実験ではFBGセンサの両端を自由な無張力状態にして、20（室温）→ -25 → +50 → 20 のサイクル、10 刻みで温度を変化させ、温度とFBGの出力を記録した。温度の変化速度は1 /min、保温時間は10分であった。

キーワード： 光ファイバFBG、ブラッグ波長、歪み計測、パワー減衰、温度影響

連絡先：〒063-0801 札幌市西区二十四軒1-5-6-1 株式会社エーティック Tel011-644-2876 Fax011-64-2890

4. 実験結果と考察

(1) 供試体の歪みと光ファイバの歪みの関係

光ファイバセンサのブラッグ波長の変化率が光ファイバの歪みに正比例することを確認した。

また、図 - 3 に示すように、実験に用いた A、B、C、D の 4 本ブラックファイバセンサのいずれも、供試体の歪みは相関係数が 0.99 以上となる高い相関で光ファイバの歪みに比例する。切片は 1.7 から 4.5 であり、無視することができる程度であり、比例係数は多少ばらつきがあり、1 よりかやや大きくなっている。

(2) FBG による光パワー減衰

光信号は FBG を通過すると、光のパワーが減衰する。図 - 4 に示すのは FBG ファイバセンサによるパワースペクトラム図である。1 個の FBG センサに

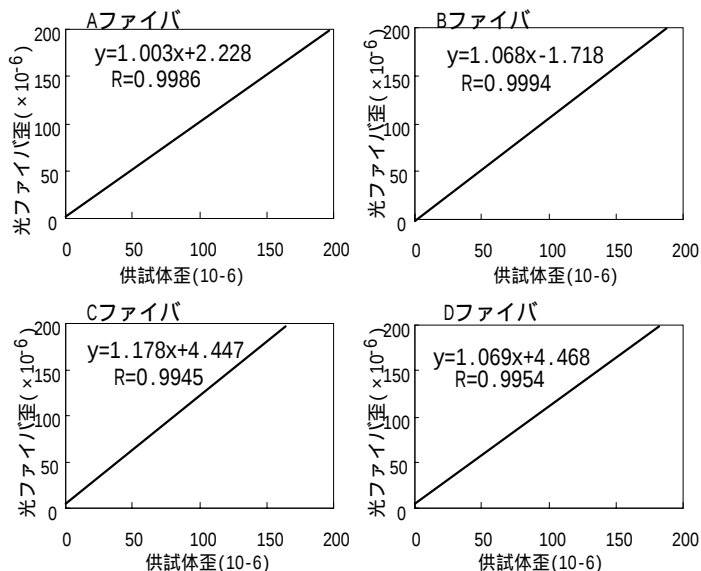


図 - 3 光ファイバの歪みと供試体の歪みの関係

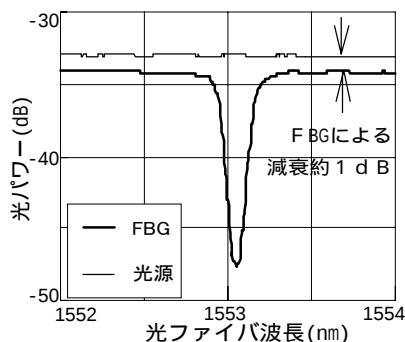


図 - 4 FBGによる光のパワー減衰

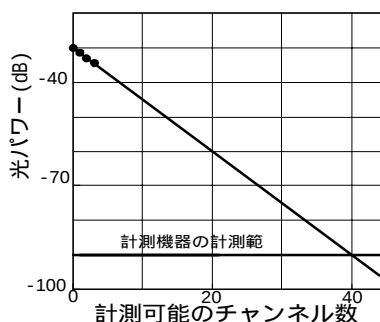


図 - 5 計測チャンネル数の推定

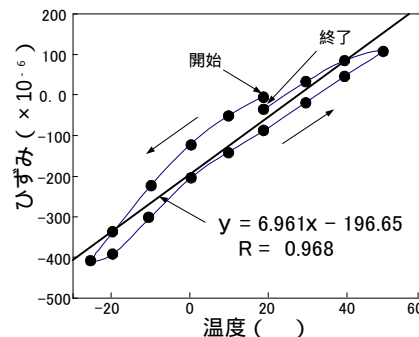


図 - 6 温度試験結果

よる光パワーの減衰は約 1 dB である。図 - 5 の FBG のパワー減衰によるチャンネル数推定図より、光のパワーによる 1 本のファイバでの最大計測チャンネル数は約 40 であるが、光源の波長帯域とパワー、スペクトラムアナライザの分解能、及びファイバの連結方法による光パワー減衰などにも影響されるため、実際に 1 本ファイバの最大計測チャンネル数は 40 以下と考える。

(3) 温度による FBG の出力影響

図 - 6 に示すように、FBG のブラッグ波長は温度の変化に伴って変化した。温度と FBG の直線回帰関係計算の結果は、比例係数は 6.961 であり、ガラスの熱膨張係数であろうと考えるが、温度上昇時の曲線勾配と温度降下時の曲線勾配の相異、及び低温段の非直線性が現れている。この現象はファイバセンサの被覆影響及びファイバコア材料の密度が温度変化に伴う物性値変化によるものと考えられる。この結果より、FBG センサを温度変化の激しいフィールドで使う場合、計測精度向上のために温度補正を行う必要があると考えられる。

5. まとめ

- (1) FBG センサのブラッグ波長の変化率は光ファイバの歪みに正比例することが確認された。また、光ファイバの歪みが供試体の歪みに比例し、比例係数は約 1 であった。
- (2) 1 本のファイバの最大計測チャンネル数は、光源波長帯域とパワー、スペクトラムアナライザの分解能、及びファイバの光パワー減衰と連結方法による光パワー減衰に依存する。
- (3) FBG センサの出力は温度の影響を受け、温度の変化にほぼ直線的な関係を持っているが、温度補正曲線の勾配と直線性はファイバの被覆状況に影響される。

【参考文献】

- 1) 水波 徹 : 光ファイバー回折格子, 応用物理, 第 67 巻, 第 9 号, pp. 1029 - 1033, 1998, 9.
- 2) 共, 日向他 : 光ファイバによる土木構造物の診断, 第 2 回構造物診断に関するシンポジウム, pp.163 - 170, 1999, 8.