

F B G 型光ファイバセンサを用いた局所変形の検出手法の検討

清水建設 正会員 ○岩城 英朗
 東京大学 武田 展雄

1. はじめに

コンクリート、岩盤などにみられる微小亀裂等、局所変形を歪みゲージを用いて検出する場合、ゲージ長が測定部位と比較し概ね大きいため、測定された歪み量から、亀裂幅など、局所変形量への換算に支障が生じる場合がある。このような場合は、一般に短いゲージ長の歪みゲージを用いる等の対策がとられるが、本論では、FBG 型光ファイバセンサを用いた場合の局所変形の検出手法に関して検討を行う。

2. F B G 型光ファイバセンサの原理

光通信分野で広く用いられているシングルモード光ファイバのコア（直径約 $10\mu\text{m}$ ）上に、屈折率の周期的変動（周期約 $0.5\mu\text{m}$ ）を形成した部分をファイブラッググレーティング（FBG）と呼ぶ。（図1）

光ファイバに沿ってFBGに光を入射すると回折効果によりBragg波長と呼ぶ一定の波長のみを反射するという特性を持つ。この波長 λ_B は、屈折率 n と周期 Λ を用いて以下で表される。

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

FBG に対する外部からの歪み、あるいは温度変化などにより Λ に変動が生じた場合、 λ_B もあわせて変化する。従って λ_B の変化を検知することによってFBGを歪み、あるいは温度センサとして使用することができる。これがFBG型光ファイバセンサの基本原理である。

通常は、歪みゲージと同様に、歪みゲージのゲージ長に相当するグレーティング部（概ね 10mm 程度）に均一に歪みがかかるとして測定部位に設置し、反射光強度が最大となるピーク波長を検出する方法が一般的である。

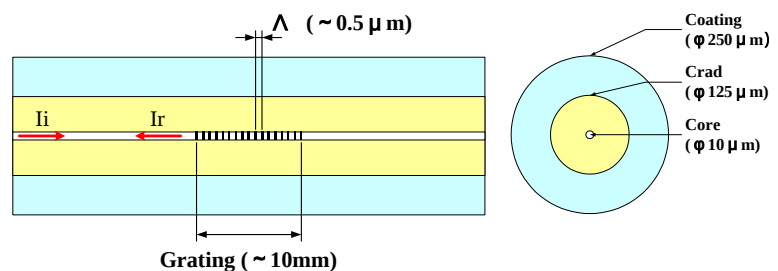


図1 FBG 型光ファイバセンサ

3. F B G 型光ファイバセンサによる局所変形の検出手法

一方、コンクリート、岩盤などにみられる微小亀裂などの局所変形を検出する場合、FBG の一部分に局所歪みが生じる。これを検知するために、グレーティング部のモデル化を行う。ファイバの長さ方向に z 軸をとる円筒座標系を導入し、グレーティング部の長さを L ($0 \leq z \leq L$) とする。また、グレーティング部でのコアの屈折率 $n(z)$ は以下の式に従うとする。

$$n(z) = n_0 + \cos\left(\frac{2\pi \cdot z}{\Lambda}\right) \quad \left(\text{ただし } \left(\frac{\Delta n}{n_0} \ll 1, \frac{\Lambda}{L} \ll 1\right)\right) \quad (2)$$

（ n_0 はグレーティング部のコアにおける平均屈折率、 Δn は屈折率変化量、 Λ はグレーティングの周期）

FBG に対して均一に歪みが加わっている場合、 Λ は一定であるが、局所歪みが生じている場合は、グレーティング部の位置に応じて Λ は変化する。（図2）

この双方に対して、マクスウェル方程式および、FBG 中の進行波と反射波を考慮するモード結合理論を用いた光導波路解析から反射光スペクトルを求めた。結果を図3、図4に示す。使用したパラメータは以下の通りである。

キーワード FBG, 光ファイバセンサ, 光導波路解析, 局所変形, ひびわれ

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設（株）技術研究所 TEL 03-3820-5536

グレーティング長； $L=10\text{mm}$

均一歪み条件；

グレーティング部に $2000\ \mu\epsilon$

局所歪み条件；

$0.3\text{mm}, 0.5\text{mm}, 1.0\text{mm}$ の範囲に
わたり $\epsilon_2=2000\ \mu\epsilon$ の局所歪
みが発生し、それ以外の部分
については歪みがない

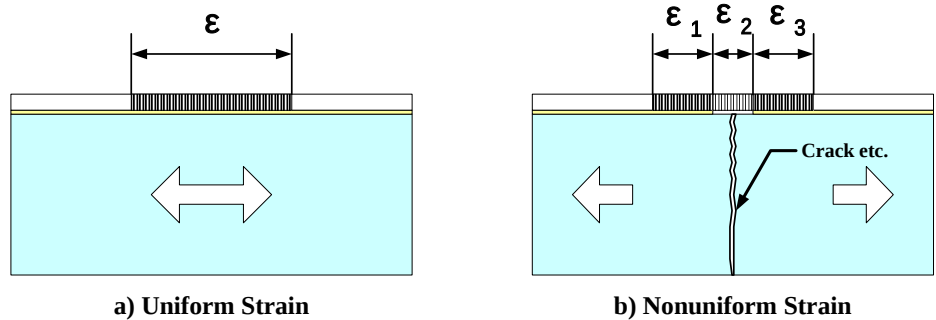


図2 局所変形検出モデル

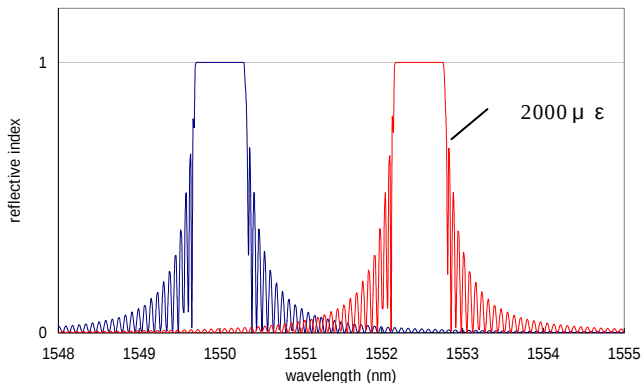


図3 均一歪み条件での反射光スペクトル

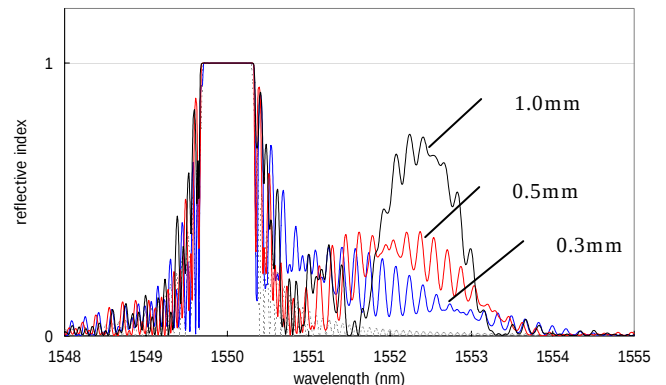


図4 局所歪み条件での反射光スペクトル

4．考察

FBG に均一な歪みが加わった場合を想定した反射光スペクトルは、歪みが加わっていない状態から概ねスペクトル全体がシフトした形状を保っており、歪み量への換算はピーク波長の差分から求めることができる。一方、局所歪みが加わっている FBG の反射光スペクトルは、スペクトル幅の増大や、反射光量のピークが複数現れる等の現象が見られる。このスペクトルから局所歪み量を推定する場合、これら因子に注目して歪みが加わっていない状態のスペクトルとの比較を行う必要がある。

また、実際の測定においては、局所変形が生じた箇所の周囲に発生する FBG と測定対象物の界面剥離も考慮する必要がある。いずれにせよ、従来用いていた反射光強度が最大となる波長を検出する方式に加え、スペクトル全体形状に注目することにより、局所変形量に対する計測への可能性を示すことができた。

5．おわりに

本論で検討した手法を今後、実験等の実施を通じ、適用可能性の確認を行う予定である。

謝辞

本論文の作成にあたり、光導波路解析プログラムの提供および、ディスカッションを行わせていただいた、東京大学大学院新領域創成科学研究科武田展雄研究室の水谷忠均、矢代茂樹両氏に対し謝意を表し、ここに記します。

参考文献

- ・ Rao ほか「In-Fibre Bragg Grating Sensors」 Measurement Science Technology 1997 年 8 月号 pp355-375
- ・ 岡本勝就「光導波路の基礎」コロナ社
- ・ Huang ほか「Bragg intragrating structural sensing」 Applied Optics Vol.34 No.22 1995 年 8 月 pp5003-5009