

光ファイバセンサを用いた鋼橋のヘルスマニタリング

その1：鋼材の静的引張試験における出力特性

豊橋技術科学大学	正会員	○山田	聖志
同 上	正会員	中澤	博之
トピー工業	正会員	酒井	吉永

1. はじめに

平均橋齢が約 80 年に達し補修等の膨大な支出が財政問題化しているニューヨーク市はもちろんのこと、日本でも橋梁の維持管理については重要な課題となっている。橋梁の維持管理する上での点検作業では、管理する橋を定期点検して実態を把握し、比較的大きな地震を受けた際には改めて異常時点検を行うことが重要である。そうした実橋の点検は、特に地方自治体の管理する大多数の橋梁では目視点検のみに頼る場合が少なくなく、現状では定量的な点検データをカルテとして蓄積している場合は少ない。こうした状況に対して、近年、ISIS カナダ¹⁾の先駆的試行など、実橋の構造モニタリングの事例が報告され始めた。それら計測用センサの中で、筆者らは²⁾、定期点検用として、常時の計測装置設置が不要で簡便な、ブラッグ回折格子（FBG）型光ファイバセンサに注目している。しかしその計測事例の公表は少ない。本研究では、鋼材に直接貼付した場合の出力特性を示し、特に、塑性化領域での FBG 反射波スペクトル形状の変化を明らかにし、除歪時でも塑性化経験をスペクトル形状情報の中に記憶できることを論ずる。

2. 計測システムと実験方法

FBG センサから得られる反射波（以下、ブラッグ波）の波長 λ_B を用いて、歪 ε への換算は次式で行うことができる²⁾。

$$\varepsilon[\mu] = 833[\mu/\text{nm}] \times (\Delta\lambda_B[\text{nm}] - K[\text{nm}/^\circ\text{C}]\Delta T[^\circ\text{C}])$$

ここで、 $\Delta\lambda_B (= \lambda_{Bi} - \lambda_{B0})$ はブラッグ波長のシフト量、 K は温度補正係数、 ΔT は温度変化である。図1に本実験で用いた計測システムの概略を、写真1に計測システムの構成を示す。計測の概要は、光源から出力された光パルスをFBG センサへ入射し、それと同時に基準光源から基準波を光検出器へ入射する。FBG センサへ入射された光パルスのうち、ブラッグ回折格子により波長 λ_B の光成分だけが反射される。このブラッグ波も光検出器で受光することにより、基準波とブラッグ波の到達時間差 Δt が既知となる。この到達時間の変化を波長計測器で測定することにより、ブラッグ波長のシフト量を検出することができる。更に、波形計測器を用いることで、写真2に示すように、ブラッグ波の光パワーの時刻歴も任意の荷重レベルで測定できる。

試験体には、SM490A 材（板厚 12mm）を使用しており、試験体形状は、図2に示すように、JIS Z 2201 に準じた1号試験片とした。FBG センサは試験片中央に2液系エポキシ樹脂を用いて接着している。FBG センサから10mm 板幅方向に離れた位置と裏面中央には、電気抵抗を求める従来の箔ゲージ（以下、歪ゲージ）を貼付している。载荷には、2000kN アムスラー引張試験機を用いており、波長測定およびデータロガーのデータのサンプリングは共に1秒間隔とし測定開始を同時に行っている。

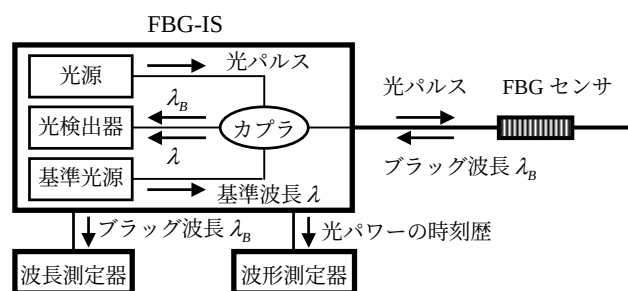


図1 計測システムの概略



写真1 計測システム

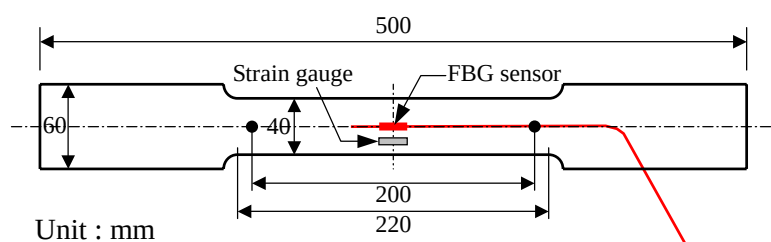


図2 試験体形状

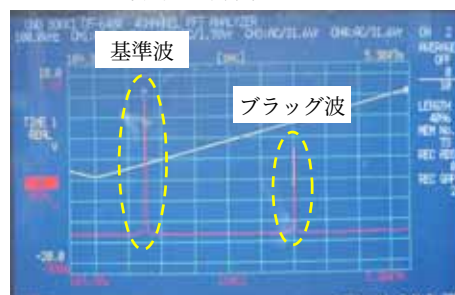


写真2 光パワーの時刻歴の接写例

キーワード 光ファイバセンシング, FBG センサ, 波長測定, 波形測定, 光パワースペクトル

連絡先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 建設工学系 TEL 0532-44-6849

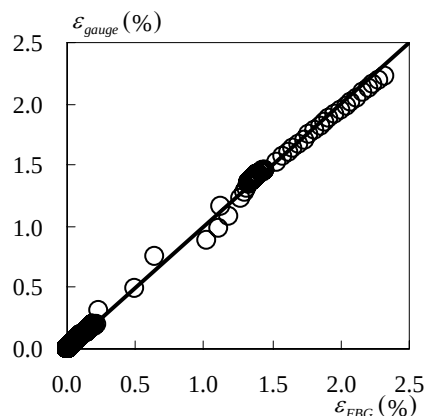


図3 歪出力の比較（実験 A）

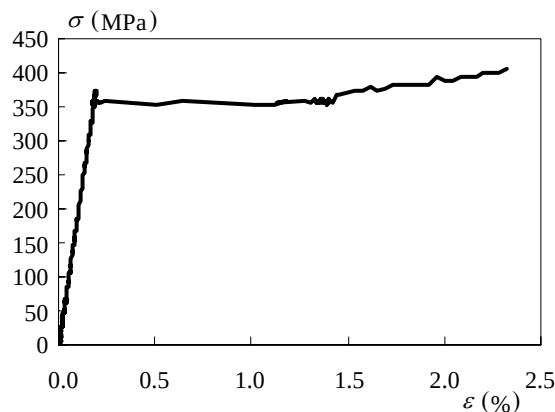


図4 波長測定による応力歪曲線（実験 A）

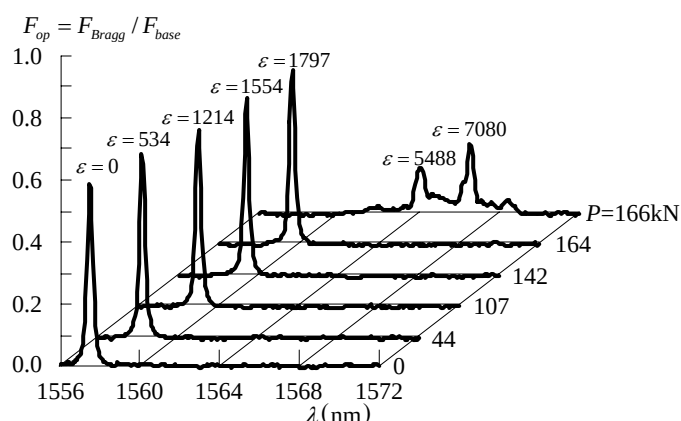


図5 実験 A での光パワースペクトル変化

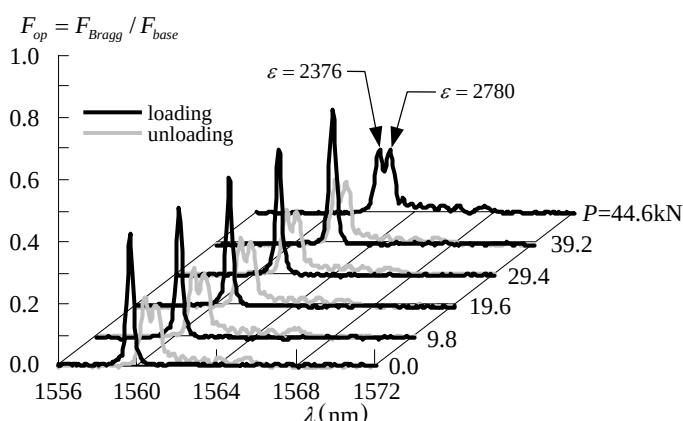


図6 実験 B での光パワースペクトル変化

3. 実験結果および考察

実験は、単調荷荷による引張破壊実験（実験A）と、降伏歪経験後に除荷する負荷除荷荷（実験B）の2種類である。

図3～5は実験Aの結果で、図3には、横軸にFBGセンサから得られたブラッグ波長 λ_B に前節で述べた歪換算式を適用して求めた歪を、縦軸にFBGセンサと同じ面に貼付した歪ゲージの歪をプロットし、両者の出力特性を比較している。図より、FBGセンサと歪ゲージとの差は5%程度となっており、良く一致した計測となっている。図4は、FBGセンサの波長測定より得られた応力・歪関係である。図4においてはFBGセンサは23000 μ まで計測でき、その後センサの破断が見られた。図5に波形測定から得られた光パワースペクトルの例を示す。縦軸は、ブラッグ波の光パワーを、写真2の基準波の光パワーで除して正規化している。歪が2000 μ 程度までは単一ピークのスペクトル形状が右にシフトしているのみであった。その後、2000 μ 以上と降伏歪を超過すると、2ピークのスペクトル形状に変化しそれらピーク振幅も大幅に低下した。これは、FBGセンサ近傍が塑性化し歪分布が局部的に不均一となることで、ブラッグ格子間隔に粗密が生じて、複数のブラッグ波長を反射したことによる²⁾と考えられる。

図6は、実験Bの結果で、スペクトル形状が変化したことを確認した後、速やかに除荷を行ったものである。この除荷過程でのスペクトル形状はいずれも2ピーク型を保持していることが注目される。その結果、完全除荷時では、残留歪が約600 μ と降伏歪の半分以下であるにも拘らず、スペクトル形状は弾性荷荷過程でのそれと全く異なったものとなった。強地震を経験した橋梁が、振動の過程で降伏したか否かを地震終了後の点検時に判断することは、単に残留歪値だけからでは危険側の評価となる。そうした際には、こうしたスペクトル形状の変化という情報は極めて有用であると考えられる。

4. おわりに

本研究は、FBG 型の光ファイバセンサを用いた橋梁のヘルスマモニタリングの可能性を検討するため、鋼材に光ファイバセンサを貼付した静的引張荷荷実験を行い、その基本的な出力特性として、(1)波長測定より得られた歪値と従来の箔ゲージで計測した歪値とは良く一致すること、(2)鋼材が塑性化すると歪分布の局部的不均一性が顕著になり波形測定で得られる光パワースペクトル形状が弾性時の単一ピーク型から複数ピーク型に変化することを明らかにした。特に、後者は、実橋の震災後点検時の損傷評価に、本計測法が有用であることを示唆するものである。

参考文献

- 1) <http://www.isiscanada.com>
- 2) 山田聖志, 中澤博之, 小宮巖: 光ファイバセンサを用いた FRP 母材の損傷モニタリング, 土木学会第 58 回年次学術講演会 論文集, 第 1 部, pp.1401-1402, 2003.