

ひずみ分布測定型光ファイバセンサの鋼橋梁モニタリング適応性

○東京工業大学大学院 学生員 水ノ上俊雄
東京工業大学 フェロー 三木千壽

1. はじめに

橋梁の維持管理の必要性が高まるとともに、熟練検査員の目視検査に変わるモニタリングの開発が求められている。しかし、鋼橋梁の損傷箇所は一意的に決まらないため、点での情報しか得られない従来のひずみゲージや変位計などでは、橋梁の規模が大きくなる程、大量のセンサを設置する必要がある。光ファイバひずみ分測定器(BOTDR: Brillouin Optical-fiber Time Domain Reflectmeter)は、光通信網の保守作業に使用する測定器で、数mから数kmにわたる光ファイバの長手方向のひずみ分布を連続的に測定することができ、光ファイバと測定物を一体化させることでセンサとして用いることが可能である。BOTDR型光ファイバセンサは数十 μ 程度の誤差があることや、測定に数分必要であることから活荷重応答は測定できないが、盛土の崩壊、土砂崩れなどのモニタリングにはすでに実用化に向けた実験がなされている。また、近年になり複合構造物やコンクリート構造物に埋め込み、大型構造物のひずみ分布を測定することが可能であることがわかっている。この BOTDR 型光ファイバセンサは鋼橋においても使用が期待できるが、鋼構造物での試験は今まで行われておらず、精度を確認し測定項目についての検討が必要である。また、光ファイバは曲げに弱く簡単に切れてしまうほか、吸水すると測定能力が極端に落ち、わずかなテンションでひび割れが生じてしまう問題があり、現場施工や長期の使用で耐えられる実用的なセンサ用光ファイバの開発も必要である。本研究ではセンサ用に開発した光ファイバを使用し、室内での桁試験体で精度を確認し、野外の桁試験で温度変化による橋梁の変形を測定し、センサの有効性を検討する。

2. ひずみ分布測定型光ファイバ測定器の測定原理

光パルス波の入射によって生じるブリルアン後方散乱光の周波数はひずみ依存性を有し、入射光の周波数と散乱光の周波数の差からひずみを求めている。そのひずみはパルス波の波長が1mであるため、1m区間の平均値をずらしながら得たものである。

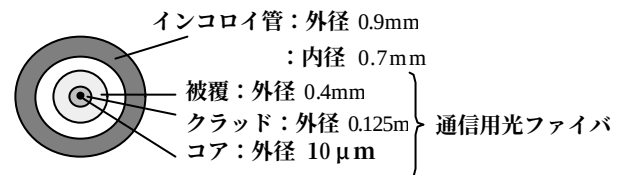


図1：インコロイ型光ファイバの構造

3. センサ用光ファイバ

BOTDR 型光ファイバセンサでは通信用光ファイバをそのまま対象物に接着して使用される。しかし、それでは破損しやすく、また耐久性にも問題があり、ここでは新しく、通信用光ファイバを耐環境性に優れたインコロイ合金の管の中に通し、光ファイバにテンションを与えながらかしめて一体化させてセンサを開発した。安定した応答特性を得るには光ファイバにはプレテンションを与えた状態で構造物に接着する必要がある。しかし、橋梁のような大きな構造物に対して一定のプレテンションを与えて接着することは非常に難しい。新開発のインコロイ型光ファイバはインコロイ管にセットする時点でプレテンションを与えることにより、光ファイバの弛みを取り除き、精度を向上させるとともに、圧縮ひずみを測定できる。インコロイ型光ファイバの構造を図1に示す。また、クランプで固定する際に図2の治具を使用した。治具の溝の深さは金属管と試験体の間で十分な摩擦力が生じるが、内包している光ファイバには側圧を与えないように調節した。

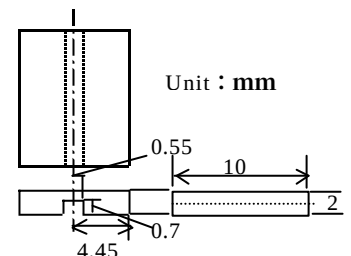


図2：治具の形状と寸法

4. 1. 室内桁試験

図3に示す桁試験体で4点载荷試験を行い、開発した光ファイバセンサの精度、実用性を検討した。

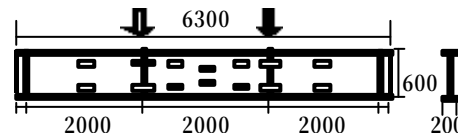


図3：桁試験体の形状と寸法

4. 2. 設置方法

インコロイ型光ファイバはドラムからほどくと軽い癖が付いており、直線に設置するために張力を与えて、下フランジ上面へ1m毎に治具を使用しクランプで固定した。設置状況を図4に示す。比較のために通信用光ファイバとひずみゲージを設置した。



図4：設置状況

キーワード：ひずみ、BOTDR 型光ファイバセンサ、新型光ファイバ

連絡先：〒152-0033 東京都目黒区大岡山 2-12-1 Tel:03-5734-2596 Fax:03-57343578

通信用光ファイバは張力を加えたまま全線を瞬間接着剤で接着させた。ひずみゲージは 50cm 毎に貼付した。

4. 3 室内桁試験の結果と考察

図5に荷重と桁中央のひずみの関係を示す。0.5ton の値をインシヤルとしている。インコロイ型、通信用ともにひずみゲージの値と傾向としては一致している。また、通信用光ファイバとインコロイ型は同等の精度を得た。20ton 時のひずみ分布を図6に示す。両タイプの光ファイバセンサでひずみゲージと良く似たひずみ分布を連続的に測定することが出来ている。両端 (0~0.5m、5.5~6m) で誤差が大きくなっているが、測定原理によるものである。以上から、インコロイ型は通信用と同等の精度のセンサであることを確認した。

5. 1. 野外試験概要

図7に示す実橋サイズの試験体を野外に設置し、温度変化による橋梁の変形を測定した。比較としてスパン中央と中央から 3m、5.5mの箇所にひずみゲージを貼った。また、光ファイバセンサは原理上の理由から $20\mu/\text{°C}$ で温度補正が必要で、ひずみゲージに関しても、実際の伸びを表すには線膨張係数の $11\mu/\text{°C}$ の温度補正をする必要があり、ひずみゲージと同位置の桁温度を熱伝対で測定した。

5. 2. 施工方法

室内桁試験と同様の方法で日向側の下フランジ上面にインコロイ型光ファイバを設置した。設置状況を図8に示す。

5. 3. 野外試験の結果と考察

2/27の19:00から3/1の14:00までの約2日半の間、1時間毎に測定を行った。

測定開始時のひずみをインシヤルとした。図9に下フランジ中央のひずみの時刻歴を示す。ひずみゲージはなだらかに変化しているのに対して、インコロイ型光ファイバセンサはばらつきが大きい。昼間は比較的一致している。夜間は測定器の使用環境温度を大きく下回る温度下で使用したため、誤差が大きくなったと考えられる。

比較的値が等しい昼間の2/28、14:00の下フランジのひずみ分布を図10に示す。両端部は測定原理上、1mの平均ひずみを測定しているため、一致しないが、その他の位置では良く一致している。

6. おわりに

安定性や精度に改善の余地があるが、BOTDR 型光ファイバセンサは橋梁のモニタリングに適応可能である。また、新開発のセンサ用光ファイバも通信用光ファイバと同程度の性能を有することが証明された。

〈参考文献〉

- 1) 成瀬央ら、“光ファイバによる堤防ひずみ計測”、信学会技報、OFT98-19,1998
- 2) 倉嶋利雄ら、“光ファイバを用いたコンクリート構造物の歪み分布測定”、Proceeding of 19th Meeting on lightwave sensing technology, LST 19-4,1997

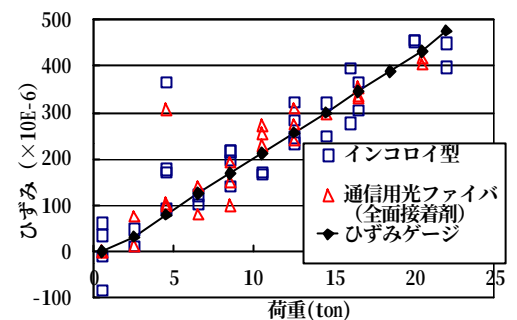


図5：荷重と下フランジ中央のひずみ

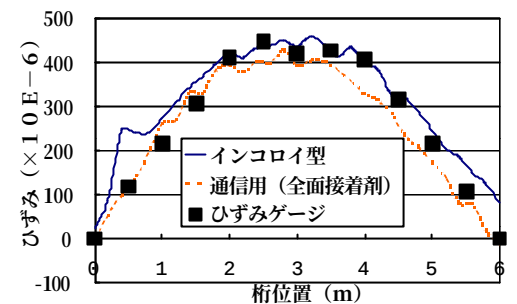


図6：ひずみ分布 (20ton 時)



図8：野外試験体への設置状況

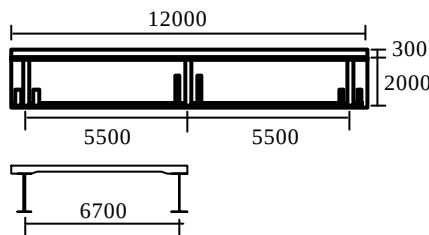


図7：野外試験体の形状と寸法

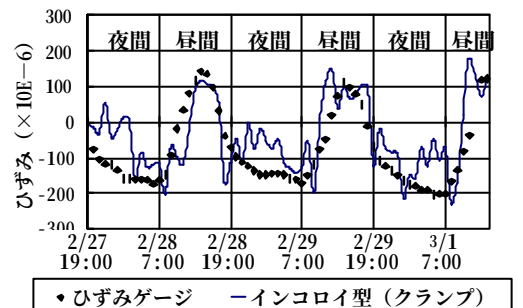


図9：下フランジ中央のひずみ時刻歴

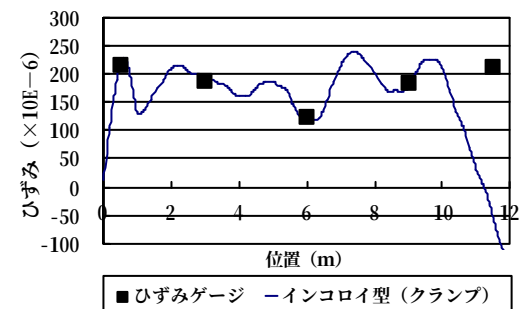


図10：ひずみ分布