

BOTDR・FBG・OTDR 各方式の光ファイバ変位計の開発

NTT インフラネット(株) ○正会員 藤橋一彦、藤川富夫、前田泰男

大成基礎設計(株) 正会員 平田洋一、柏井善夫

NTT アクセスサービスシステム研究所 正会員 上原幹夫、小松宏至

1. はじめに

光ファイバセンシングは、耐腐食性・防爆性に優れ、落雷被害を受けない、配線がシンプル、センサ部に給電が不要など屋外に設置する計測システムとしての長所を数多く持っている。この光ファイバセンシングには様々な方式があり、またセンサ部も種々開発されてきているが、歪ゲージに代表される電気式センシングに比べて、センサ部の種類が少ない現状である。そこで、筆者らは、光ファイバセンシングの適用領域拡大を目指す一環として、各種光ファイバ変位計を開発した。本稿では、この開発概要について紹介する。

2. 光ファイバ変位計の概要

光ファイバセンシングにはいくつか方式があるが、ブリルアン散乱光を測定解析する BOTDR^{1) 2)}、レーリー散乱光を測定解析する OTDR²⁾、及び Bragg 波長を測定解析する FBG を利用した 3 タイプの変位計を開発した（写真 1,2,3,4）。

2.1. BOTDR 変位計の測定原理

ブリルアン散乱光の周波数シフト量が、光ファイバに作用する歪や温度と比例関係にあることを利用して、距離が既知である 2 点間に張った光ファイバセンサケーブルの歪を測定することにより、2 点間の変位を求める方法が一般的である。しかし、この方法では BOTDR アナライザの最小空間分解能や光ファイバの引張強度の制約から、2 点間距離は 1 m 以上必要であり数 mm～数 cm の変位レンジしか対応できない。そこで、光ファイバをループ状に束にした部分とばね部を直列に配置して、コンパクトで 20cm 変位まで測定できる変位計を開発した。計測される変位 δ は次式で与えられる。変位計に作用する力 P と k_1 、 k_2 の大きさのバランスは、光ファイバに生じる歪レベルが数百 μ 以上（ $\delta=1\text{cm}$ 当たり）になるように調整する必要がある。

$$\delta = (1/k_1 + 1/k_2) \cdot P \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここに、 δ ：変位、 k_1 ：光ファイバのばね値（引張剛性）、 k_2 ：ばね部のばね値

2.2. FBG 変位計の測定原理

Bragg 波長のシフト量が、光ファイバ (FBG 部) に作用する歪と比例関係にあることを利用して、光ファイバ (FBG) とばね部を直列に配置して、コンパクトで 20cm 変位まで測定できる変位計を開発した。この FBG 変位計は、高精度な変位測定が可能であることが特長である。

2.3 OTDR 変位検知計の測定原理

レーリー散乱光強度が光ファイバに作用する曲げに依存して損失量が増加することを利用して、OTDR 変位検知計では、一定の変位以上が作用した場合に光ファイバに一定の曲げが作用する構造とすることにより検知する。従って、この検知計は、管理値の変位を設定して、それを超える変位発生の有無を検知するものであり、定量的な変位量測定はできない。非常にシンプル・コンパクトな構造で安価なことが特長である。



写真1 BOTDR 変位計



写真2 FBG 変位計



写真3 OTDR 変位計 A



写真4 OTDR 変位計 B

Key Word：光ファイバセンサ、変位計、BOTDR、FBG、OTDR

連絡先：〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 2-31-1 浜町セシビル 15F Tel. 03-5643-5301、 Fax.03-5643-5745

3. 各光ファイバ変位計の諸元

今回開発した光ファイバ変位計の仕様を表1に示す。

OTDR-A タイプは光ファイバケーブルを直接引っ張る方式であり、OTDR-B タイプは、ワイヤーを引っ張ることにより光ファイバに曲げを与える方式である。

表1 各種光ファイバ変位計の仕様

項目	BOTDR 変位計	FBG 変位計	OTDR-A 変位計	OTDR-B 変位計
寸法 (mm) : L*H*D	715*100*54	341*160*55	150*100*80	150*116*60
重量(kg)	3.8	2.2	0.9	1.1
目標精度(mm)	±5.0	±0.5	±2.0	±2.0
測定範囲	200mm	200mm	200mm 以内のある点の超過検知	

4. 光ファイバ変位計の室内試験結果

4.1. 試験方法

光ファイバ変位計に、一定間隔で単純引張変位を与え（ダイヤルゲージにて測定）、それぞれのタイプのアナライザで計測を行った。最大ストロークまで達した後は、一定の間隔でゼロまで戻しながら測定を行った。

4.2. 試験結果

① BOTDR 変位計

与えた変位と光ファイバに生じる歪の関係を図1に示す。これより高い直線性が実現できていることがわかる。この図から歪・変位の換算式を出し、その誤差を求めると最大で-4.5mmであり、目標とした±5.0mmを達成することが出来た。

② FBG 変位計

与えた変位とFBGの波長変化量の関係を図2に示す。これより極めて高い直線性が実現できていることがわかる。この図から波長シフト量・変位の換算式を算出し、その誤差を求めると最大で-1.7mm（BOTDRの約3倍の高精度）であったが、目標とした±0.5mmをクリア出来なかった。温度の較正などを改善し精度向上を図る必要がある。

③ OTDR 変位計

与えた変位と光ファイバの曲げ損失量の関係を図3に示す。200mmを越すと曲げが光ファイバに発生するようにあらかじめ調整しておいたので、201mmを超えると急激に曲げ損失が増大した。目標とした精度±2.0mmを実現することが出来た。

5. おわりに

今回開発した光ファイバ変位計は、それぞれの特徴に合わせて通信用トンネル・共同溝・道路トンネル等の継ぎ手部、橋梁の上部工、ロックフェンスなどの実構造物の挙動計測に適用していく予定である。

参考文献

- 倉嶋、佐藤ら：光ファイバセンサを用いたコンクリート構造物の歪分布測定、電子情報通信学会第19回光センサ技術講演会（pp23-29,1997.5）
- 藤橋、奥津ら：光ファイバセンサを利用した雪氷災害モニタリングシステムの開発、土木学会第58回年次学術講演会（VI-181）

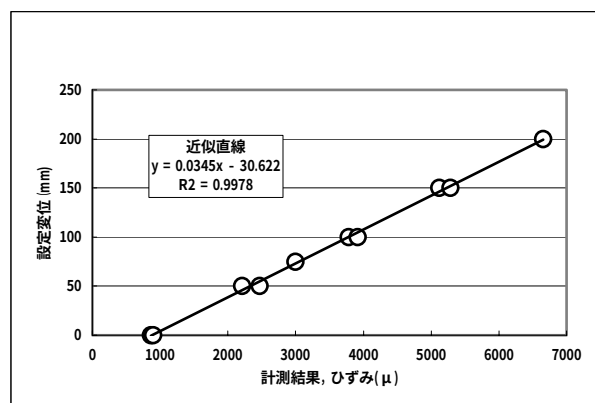


図1 BOTDR 変位計の試験結果

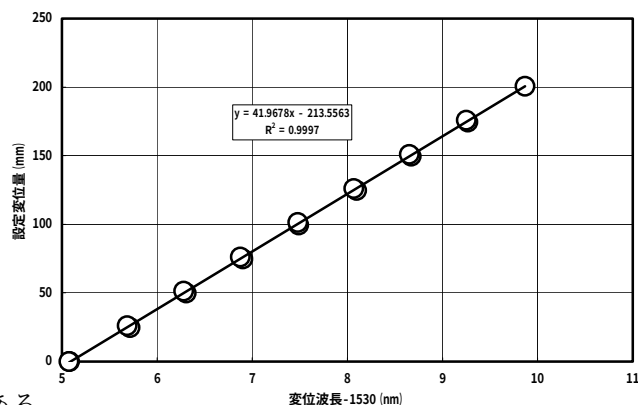


図2 FBG 変位計の試験結果

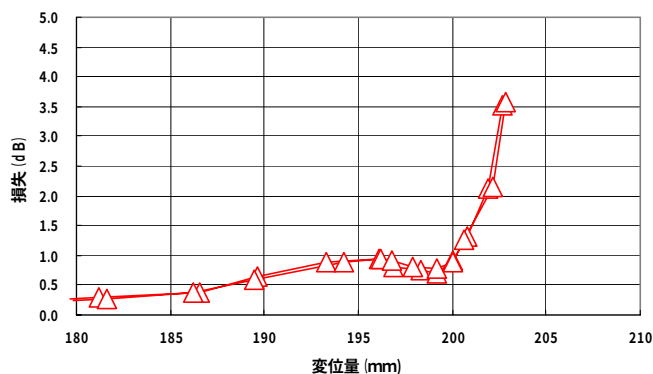


図3 OTDR 変位計の試験結果