# FBG センサを用いた変位分布計測用センサユニットの開発

飛島建設	技術研究所	正会員	〇田村	琢之
飛島建設	技術研究所	正会員	上明月	Ħ 昇
	東横=	東横エルメス		敏之

## 1. はじめに

光ファイバセンサは、光ファイバ経路上の信号伝送損失が少なく、数kmの範囲の計測が可能な技術であり、 大規模な構造物の計測に適している.この特長を活かし、構造物の軸方向のひずみを計測し、計算により任意 の位置の軸直角方向の変位を求めることができれば、橋梁やトンネルなど、軸方向に長い構造物全体の変状を 把握することができる.筆者らは、この方法に対し、軸方向のひずみを高精度で計測する FBG 光ファイバセ ンサ (FBG センサ)を適用すれば、軸直角方向の変位分布を構造物の変状監視に適用可能な精度で求められ ることを明らかにしている<sup>1)</sup>.本稿では、軸直角方向の変位分布を高精度で求めるために FBG センサを用い て新たに開発したセンサユニットの構造を示し、室内試験で実施した計測精度の検証結果を報告する.

С

## 2. センサユニットの構造

センサユニットの構造を、図-1に示す.外径 74mm, 長さ 3m のアルミガイド管を複数接続し、ガイド管の内 部に、2 次元の軸直角方向の変位を算出できるよう、3 本の FBG センサを設置した.FBG センサは、1m 間隔 で FBG 素子を配置した光ファイバの素線を、繊維強化 プラスチックで被覆した、外径 3mm のロッド状のセン サである.これをガイド管の中心から等距離の位置に 固定するため、ガイド管の継手にドーナツ状の固定治 具を取り付け、FBG センサを固定治具の穴に通し、穴 の部分で半割の金具とネジで絞めつけて固定した.ま た、センサユニットが変形する際、FBG センサがガイ ド管の内部で移動しないよう、内部に無収縮モルタル を充填した.

#### 3. 精度検証試験の概要

精度検証試験の概要平面図を図-2 に示す.長さ 10m のセンサユニットの両端を固定し,中央部に所定の変 位が生じるよう,センサユニットに対して,3台のジャ ッキで側面から変位を与えた.変位を与える方向は, 
 ガイド管
 固定治具

 ガイド管
 固定治具

 ガイド管
 アイト管

 変位
 方向

 アイmm
 アイトー

 図-1
 センサユニットの構造

 (右の写真はガイド管端部側面)

 センサユニット長 10m

 変位計11個(1m間隔)

FBGセンサ



図-1のx軸に直交する矢印の方向とし、A、Bの2つのFBGセンサのひずみ値 $\mathcal{E}_1(x), \mathcal{E}_2(x)$ と、両センサのx 軸からの距離Rから、(1)式を用いてセンサユニット上の各断面の曲率を計算し、この2階積分値をセンサユ ニットの端部から合計して求めた.

$$\phi(x_i) = -\frac{\varepsilon_1(x_i) - \varepsilon_2(x_i)}{2R} \tag{1}$$

センサユニットに与える変位の形状は、両端をピンでとめ回転端とした場合(ケース1)と、金具で挟みこ み固定端とした場合(ケース2)の2通りとした.ケース1ではセンサユニットの中央部に20mmの変位が生 じるよう変位を与え、ケース2では両端の固定による過負荷でセンサユニットに塑性変形が生じないよう、10 キーワード 光ファイバ、FBG、変状監視

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設㈱技術研究所 TEL 04-7198-7572

mmの変位とした.前記の条件において,ひずみの計測間隔の違いが,軸直角方向の変位分布の精度に与える 影響を明らかにするため,ケース1,2のそれぞれについて,1mから4mまでの4パターンのひずみ計測間隔 で軸直角方向の変位を1m毎に計算し,センサユニットの側面に設置した変位計の計測値と比較した.なお, x軸以外の,例えばy軸の直角方向の変位は,前記と同様に,AとCのFBGセンサのひずみ値と,y軸からの 距離 Rから求めることができる.

## 4. 精度検証試験の結果

センサユニットの精度検証試験結果を図-3,図-4に、 誤差(変位計の計測値との差)の最大値の一覧を表-1 に示す. ひずみの計測間隔が 1m の場合と 2m の場合で は、ケース1、ケース2の両方で誤差の最大値が1.0mm 未満と、小さい値であった.一方、ひずみ計測間隔が 3mの場合の誤差の最大値は、ケース1では1.9mmであ ったが、ケース2では3.6mmとなり、10mmの最大変 位に対して大きな誤差が発生した.また,ひずみ計測 間隔が4mの場合は、誤差の最大値がケース1で2.5mm、 ケース2で10.0mmとなり,さらに大きな誤差が発生し た.これは、ひずみの計測間隔が3m以上の場合、10m の長さのセンサユニットの変形に対して、ひずみの計 測間隔が大きく、センサユニットに生じるひずみの変 化を十分に捕捉することができなかったためである. これに対し、ひずみの計測間隔が2m以下の場合は、セ ンサユニットのひずみの変化を適切に捉えることがで きたため, 誤差は 1mm 未満と十分小さくなった.

#### 5. おわりに

本研究で FBG センサを用いて製作したセンサユニッ トは、精度検証試験の結果、軸方向のひずみの計測間 隔を 2m 以下にしたとき、10m の区間のたわみについて、 軸直角方向の変位分布を誤差 1mm 未満の精度で求めら れることが明らかとなった。軸直角方向の変位分布を 求めようとするたわみの区間が長くなれば、誤差は大 きくなるが、変位の既知点を適宜追加して誤差の拡大



ひずみ間隔	1m	2m	3m	4m
ケース1	0.4	0.7	1.9	2.5
ケース2	0.2	0.8	3.6	10.0

を抑制すれば、構造物が長い場合でも、軸直角方向の変位分布を求めることが可能であると考えられる.また FBG センサに、仕様上最大 100 個の FBG 素子の多重化が可能な時間分割多重化方式を用いれば、1 本のセン サユニットを十分に長くすることができる.これにより、橋梁やトンネルなどの変状監視が可能となり、さら に地盤の沈下計測、軌道近接施工時の影響監視など、さまざまな計測・モニタリングへも適用を広げることが できる.今後は、開発したセンサユニットを実構造物へ適用し、軸直角方向の変位分布計測の有効性を確認し ていく所存である.

#### 参考文献

- 田村琢之,上明戸昇:FBG センサを用いた構造物軸直角方向の変位計測精度の検証,土木学会第65回年次 学術講演会講演概要集 I-517, pp.1033-1034, 2010.9.
- 2) 熊谷幸樹,田村琢之,上明戸昇,森山守:TDM 方式 FBG 光ファイバセンシングによるトンネル吹付け覆工 の長期健全性監視,第43回光波センシング技術研究会講演論文集,pp.155-160,2009.6.