

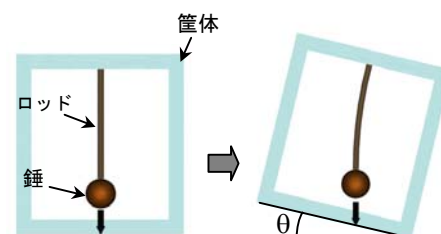
FBG を用いた片持ち梁式傾斜計の開発

飛島建設 正会員 ○田村琢之 正会員 阿保寿郎
 飛島建設 正会員 塩谷智基 正会員 熊谷幸樹
 山口大学 正会員 近久博志
 Insensys Robert Knapp

1. はじめに

FBG (Fibre Bragg Grating) は、光ファイバコアに周期的に屈折率が変化した回折格子を施したもので、反射光の波長が格子間隔に比例して変化する性質を利用してひずみや温度を計測することができる。この FBG は、雷などの電磁ノイズの影響を受けず、多点同時計測ができる特長を有している。

筆者らは、地盤や構造物の健全性を計測するための計測システムの開発を進めており¹⁾、地盤や構造物の傾斜角を計測する FBG を用いた片持ち梁式傾斜計（以下、FBG 傾斜計とする）を試作した。本報告では、その計測精度を検証した室内実験結果について報告する。



重力方向

図-1 傾斜計の原理

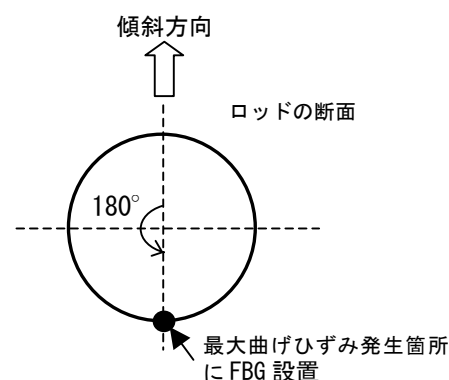


図-2 ロッド断面上の最大曲げひずみ発生位置

2. FBG 傾斜計の機構と試作器の概要

図-1 に示すように、筐体の上部端より先端に錘のついた円柱形のロッドを吊り下げ固定する。筐体が傾斜すると、錘の重力によりロッドに曲げが発生し、この曲げひずみを FBG により計測して傾斜角を算出する。ここで、図-2 に示すように、ロッド側面の傾斜方向軸上で、曲げによるひずみが最大となる。

試作器では、FBG をロッドの軸方向傾斜に対し最大曲げひずみを与える位置に設置し、傾斜角に対するひずみを計測する。錘は、重さ 6kg の鉄製とし、ロッドは直径 6mm で、ポリアセタール製($E=3.5\text{GPa}$)とした。FBG は、ロッドの固定部から 2cm 下の位置にシアノアクリレート系接着剤で接着した。写真-1 に、製作した試作器を示す。錘を吊り下げる梁材および柱材は高い剛性を持ち、傾斜によって計測値に与える影響を無視できる。

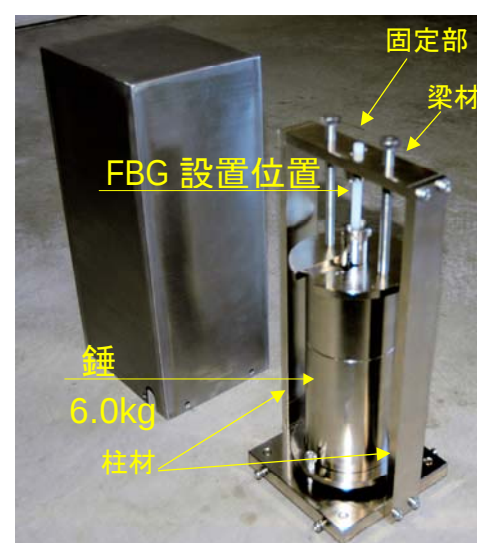


写真-1 傾斜計試作器

3. 室内実験の概要

写真-2 に示すように、傾斜角度 θ を任意に与えることのできる高さ調整器具上に試作器を設置する。試作器を水平に置いた状態から、 $\angle\theta = 0.3^\circ$ 毎に傾斜角を大きくする。 $\theta = 5.1^\circ$ を最大傾斜角とした後、逆に傾斜角を 0.3° 毎に小さくする。各傾斜角 θ で、FBG から検知される反射波長を計測し、波長変化量に係数を乗じてひずみに換算する。

キーワード : 光ファイバセンシング, FBG, 傾斜計, 分解能, ヒステリシス, 非直線性
 連絡先 : 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 TEL 04-7198-7572 FAX 04-7198-7586
<http://www.tobi-tech.com/>

4. 実験結果と考察

本計測器は、傾斜角を求めるものであるが、ここではヒステリシスおよび非直線性について検討するため FBG より直接求めるひずみについて考察する。以下に、室内実験から得られた結果を示す。

- (1) 図-3 の横軸は傾斜角度 θ を、縦軸は FBG のひずみ ε を示す。図より両者には線形性が認められる(相関係数 0.9989)。しかしながら、水平($\theta=0^\circ$)に戻す際に、残留ひずみが約 40μ 発生した。
- (2) 最大傾斜角 $\theta = 5.1^\circ$ において計測されたひずみは 2791μ であった。このことから、FBG で計測できるひずみの分解能を 5μ とすると、式(1)から、この試作器の分解能 α は、 0.01° 未満となる。
- (3) 図-4 は、傾斜角度 θ とひずみ ε の実測値から求めた回帰直線と実測値との差分の最大ひずみに対する比率、すなわち非直線性を示している。非直線性は、実験した傾斜角度の範囲内において 1.0%以下であることがわかる。
- (4) 傾斜角度の増加時と減少時のひずみの差分を最大ひずみで除して得られるヒステリシスは最大で 1.7%であった。その最大値は、 1.0° 以内の傾斜角度を与えた際に発生した。

上記(1)、(4)で示した残留ひずみとヒステリシスは、傾斜角度の増加時においてロード表面に発生した曲げひずみに FBG を固定した接着剤が追従できずに局所的にはがれたため、傾斜が減少しても FBG が初期の状態に戻り切れなかったと考えられる。FBG をロードに接着する方法を改善することで、この現象は軽減できると考えられる。



写真-2 実験状況
(高さ調整器具を使用)

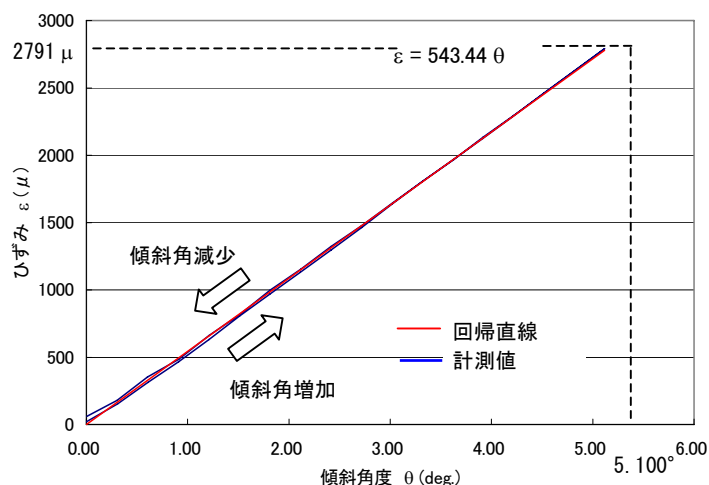


図-3 傾斜角度とひずみの関係

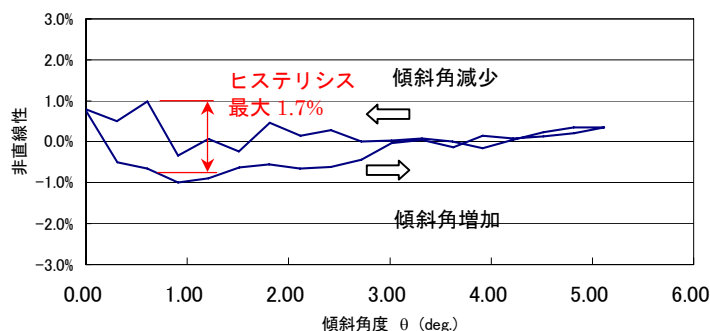


図-4 傾斜角度と非直線性

5. まとめ

開発した FBG 傾斜計は、分解能 α が 0.01° 未満で、非直線性 1.0%以下の特長を有していることを実験により示した。

今後は、本計測器を応用し傾斜方向と最大傾斜角を計測できる2次元傾斜計を開発する予定である。

参考文献

- 1)熊谷幸樹, 塩谷智基, 田村琢之: 時間分割多重化による FBG 光ファイバ計測システム, 電力土木, No.323, 2006.5. (掲載予定)

$$\alpha = \text{FBGの分解能} \times \frac{\text{最大傾斜角}}{\text{最大傾斜時のひずみ}} \dots \text{式(1)}$$

$$= 5\mu \times \frac{5.100^\circ}{2791\mu} = 0.009^\circ < 0.010^\circ$$