

## FBG 光ファイバセンサによる地盤変位計の開発

飛島建設 正会員○田村琢之 正会員 熊谷幸樹

飛島建設 正会員 塩谷智基 正会員 本山 寛

構研エンジニアリング 正会員 小林一人

Insensys Robert Knapp

### 1. はじめに

近年、建設分野において光ファイバセンサを用いた地盤や構造物の計測技術が開発されている<sup>1),2)</sup>。光ファイバセンサの一般的な特長であるデータの長距離伝送性や耐久性、電磁波に対する無誘導性に加え、FBG (Fibre Bragg Grating) 方式の光ファイバセンサはひずみゲージと同等の精度を持ち、1本の光ファイバで直列に多点計測が可能であるという特長も併せ持っている。

本稿では、優れた特長を有するFBGを応用して開発したFBG地盤変位計の構造および計測方法を示すとともに、計測精度の検証を目的とした室内実験結果および現地適用例について報告する。

### 2. FBG 地盤変位計の構造および計測方法

FBG地盤変位計は、地盤のゆるみや膨張などの変状に起因する地盤や構造物の変位計測を目的として開発した。FBG地盤変位計の構造を図-1に示す。構成部材は、FBGを含む光ファイバをFRP材で保護したセンサ本体と、変位計全体の長さを調整するためのFRP製ロッドである。地中に設置する際は塩ビパイプ製の保護管内部に収納し、先端部を地盤内の不動点に、もう一方の端部を計測対象点に固定する。

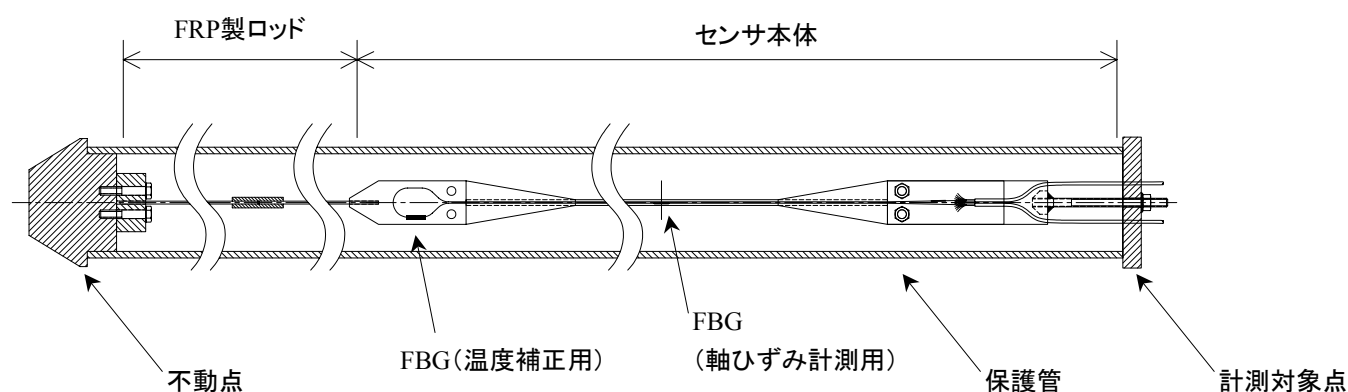


図-1 FBG 地盤変位計の構造

計測方法は、FBG地盤変位計を不動点と計測対象点の間に引張力を与えて設置し、2点間の距離の変化をセンサ本体の軸ひずみとして計測する。ひずみは波長の変化量として出力され、換算されたひずみとセンサ長から2点間の距離の変化が求められる。図-2はトンネルインバートの盤ぶくれ計測適用例で、不動点を変質部下部の堅硬な岩盤に設置し、計測対象点をインバートコンクリート内に設置する。変質部の膨張によりインバートに盤ぶくれが発生すると、本計測器の全長が変化してFBGがひずみを検知することにより、インバート鉛直方向の変位を計測することができる。

なおFBGは温度依存性があることから、外力を受けないFBGをセンサ本体に内蔵し(図-1参照)、温度の影響を差し引くことで温度補正を行っている。

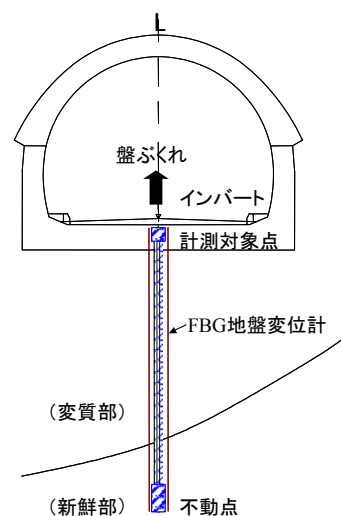


図-2 盤ぶくれ計測例

キーワード : 光ファイバセンシング, FBG, 地盤変位計, 精度, 耐水性

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/>

### 3. 計測精度の検証

センサ本体の計測精度を確認するため、センサ本体に軸方向の引張力を与え、伸び量と波長変化量の相関を確認する室内試験を実施した。図-3 に伸び量と波長変化量の関係を示す。

図-3 より、伸び量と波長変化量の間には良好な線形性が見られた。また、図-4 に示す非直線性を見ると、その最大値は測定範囲の 0.52% で、伸び量に換算して約 0.03mm であることから、実用上十分な精度を有していることが確認できた。なお、FRP 製ロッドで本計測器の全長を調節すれば測定範囲を拡大することが可能で、全長 10m の場合には測定範囲は 45mm となる。センサ本体の性能をまとめると表-1 の通りである。

表-1 センサ本体の性能

|      |                           |
|------|---------------------------|
| センサ長 | センサ本体 1250mm              |
| 測定範囲 | 5.6mm (4,500 $\mu$ ひずみ相当) |
| 分解能  | 0.001mm (1 $\mu$ ひずみ相当)   |
| 非直線性 | 0.03mm (0.52%相当)          |

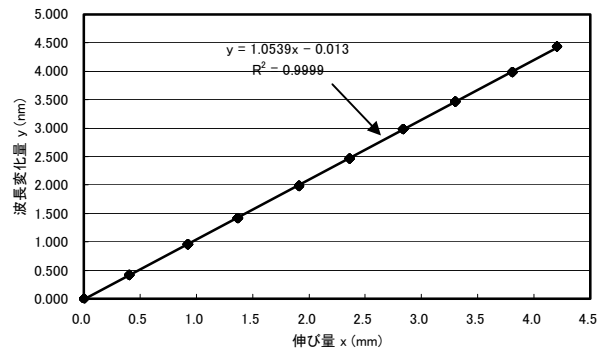


図-3 伸び量と波長変化量の関係

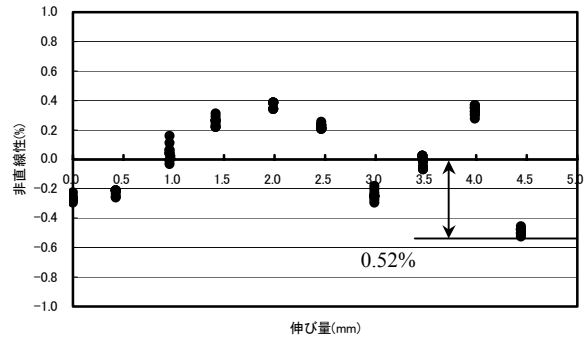


図-4 非直線性

### 4. トンネルインバートの盤ぶくれ計測における適用例

適用例として、寒冷地域の道路トンネルにおいて平成 18 年 1 月から実施されている FBG 地盤変位計によるインバートの盤ぶくれ計測事例を示す。計測箇所は坑口から約 1km 坑内に位置するが、光ファイバセンシングの長距離伝送性を活用して、坑外の計測室に波長測定機器等を設置し常時遠隔で計測を行っている。

盤ぶくれ変位量は図-3 に示すように、平成 18 年 3 月に最大 0.8mm 隆起した後、沈下する挙動を示しており、H18 年 10 月以降は -0.7mm 程度のほぼ一定の値で推移していることがわかる。

なお、計測データの検証のために併設した電気式のワイヤー変位計は 1 ヶ月程度で計測不能となった。これは、計測箇所の地下水位が高くボーリング孔内は常に満水状態であるため、絶縁不良が発生したためと考えられる。一方、FBG 地盤変位計はステンレス製固定金具を除き非金属部材で構成されており、計測値の乱れは見られていない。

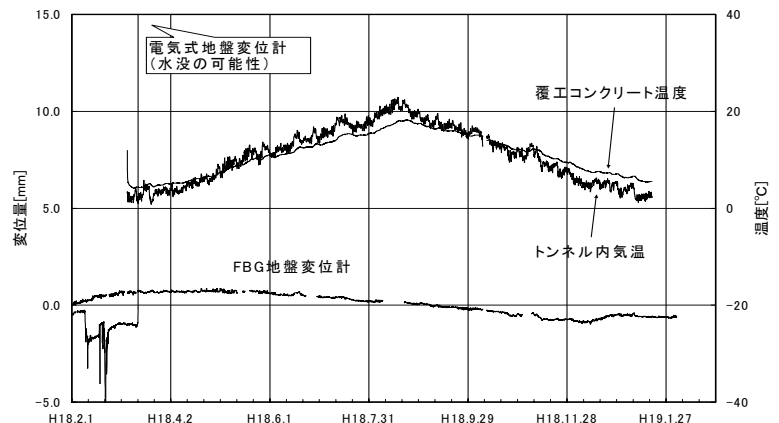


図-5 盤ぶくれ変位量の経時変化

### 5. おわりに

本光ファイバセンシングでは、FBG 光ファイバセンサの多重化は時間分割多重化 (TDM: Time Division Multiplexing) を採用しており多点計測が可能である<sup>1)</sup>。上記適用サイトでは地盤変位計の他、覆工表面変位計など合計 100 点の計測を 1 つの計測システムで構築している。また、計測期間は平成 19 年 3 月末時点で 1 年以上経過しており、引き続き計測が行われることにより、耐久性の面でもその特長が明確になると考えられる。今後の計測結果については機会を得て報告したい。

**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, pp88-90, 2006.5. 2) 阿保寿郎, 塩谷智基, 熊谷幸樹, 田村琢之, 近久博志, Robert Knapp: ヒステリシスを軽減する機構を有した片持ち梁式変位計の開発, 土木学会第 61 回年次学術講演会, pp519-520, 2006.9.