

## FBG 光ファイバセンサによる傾斜計の開発と現地適用

飛島建設 正会員 ○田村 琢之  
 飛島建設 正会員 本山 寛  
 飛島建設 正会員 熊谷 幸樹  
 東横エルメス 峯尾 卓光  
 東横エルメス 樋川 健次

### 1. はじめに

近年光ファイバセンサの建設分野への適用が進んでいる。光ファイバセンシング技術は主にひずみや変位を計測する技術として、電気式センシング技術に比べ無誘導性・耐腐食性・長距離伝送性等で優れた特性を持っており、なかでも FBG (Fiber Bragg Grating) によるセンシング技術は FBG が素子としてセンサの機能を果たすことから、これを用いた各種土木用計測器の開発が可能である<sup>1)</sup>。ここでは、FBG 技術を用いて開発した傾斜計の機構を示すとともに、実用化に向けて実施した計測精度の検証結果と現地適用状況について報告する。

### 2. FBG 傾斜計の機構

FBG 傾斜計の仕様を表-1 に、構造図を図-1 に示す。外径は 48mm で、構造物に設置するだけでなく地盤内のボーリング孔に設置することが可能な寸法としている。当傾斜計では、内蔵された一对の FBG が傾斜によって発生するひずみ量を波長変化量として感知し、2 つの波長変化量の計算処理により傾斜角を算出する。FBG を含む 2 本の光ファイバは、筐体の傾きに拘束されないおもりを傾斜計の中心軸から対称の位置で懸垂し、傾斜計の傾きにより一方の FBG ではひずみが増加し、他方では減少する。ひずみの変化は絶対量が等しいことから、FBG 出力値の絶対値を平均することにより誤差が小さい計測値が得られ、同時に 2 つの FBG に同等に作用する温度ひずみは相殺される。この機構により、誤差と温度依存が小さいひずみ量が得られ、傾斜角度に対するひずみの回帰係数を求めることにより計測器に作用する傾斜角度を求めることができる。

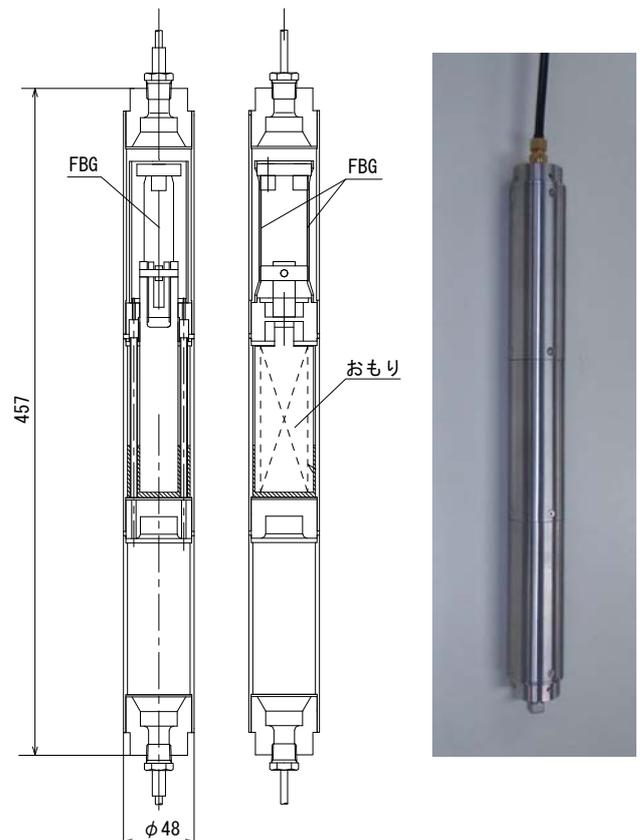


図-1 FBG 傾斜計の構造

表-1 FBG 傾斜計の仕様

寸法	$\phi 48 \times 457$
測定範囲	1軸方向 $\pm 5^\circ$
定格出力(R.O.)	2000 $\mu\epsilon$ 以上
非直線性	$\pm 1\%$ 以内
分解能	0.0125°

なお、時間分割多重化方式(TDM : Time Division Multiplexing)による FBG センシング技術は、波長分割多重化方式(WDM : Wavelength Division Multiplexing)に見られる多重化による定格出力の制限がなく、表-1 に示す分解能や計測精度(非直線性)を保持したまま多点計測が可能であり、大規模な計測サイトへの対応が容易である<sup>2)</sup>。

キーワード 光ファイバセンサ, FBG, 傾斜計, 非直線性, ヒステリシス

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

### 3. 室内試験結果

計測精度の確認を目的とした室内試験では、定常温度における非直線性とヒステリシスの検証を行なった。図-2 は付与した傾斜角度に対する出力値（ひずみ）の変化を示しているが、 $\pm 300'$ （ $5^\circ$ ）の角度変化に対し約 $\pm 2100\mu$ の定格出力が得られ、その相関は十分に良いものであった。非直線性・ヒステリシスを算定した結果、最大値はそれぞれ0.43%、0.51%であった（図-3）。なお図-2 に示すひずみは、前述の通り2つのFBG から得られるひずみの平均値である。

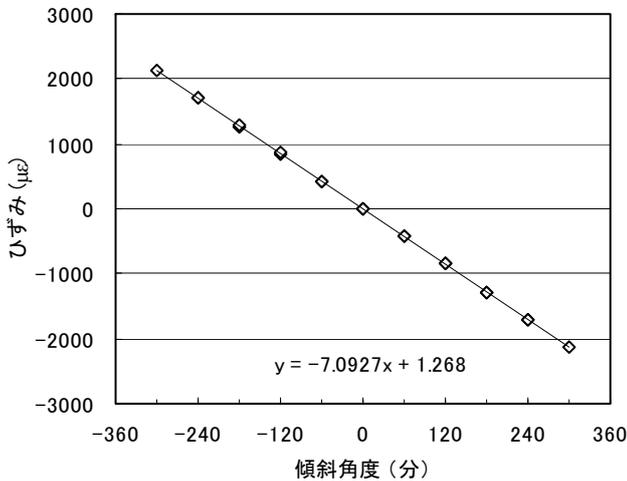


図-2 傾斜角度に対する出力値（ひずみ）の変化

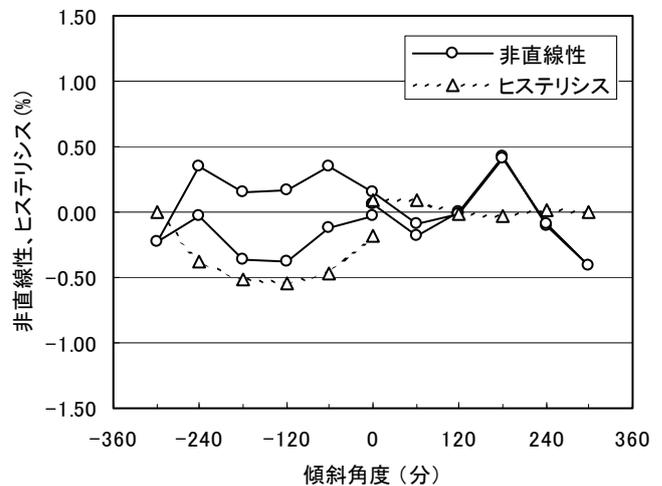


図-3 非直線性・ヒステリシス

### 4. 現地適用状況

当 FBG 傾斜計を仮設構造物の変位計測に試験的に適用した結果を図-4 に示す。施工深度 35m の SMW 壁の芯材（H-700×300）に固定した2本のガイド管（ $\square$ -60×60）の内部に電気式傾斜計（東横エルメス製 DC-300B）と当 FBG 傾斜計を同深度（GL-10m）に設置し、掘削に伴う土留壁の傾斜を比較計測した。FBG 傾斜計の計測では計測システムの調整等による欠測期間があるものの、両者の計測結果はよく一致しており、現地適用においても期待される性能を発揮し十分な精度を確保することができた。

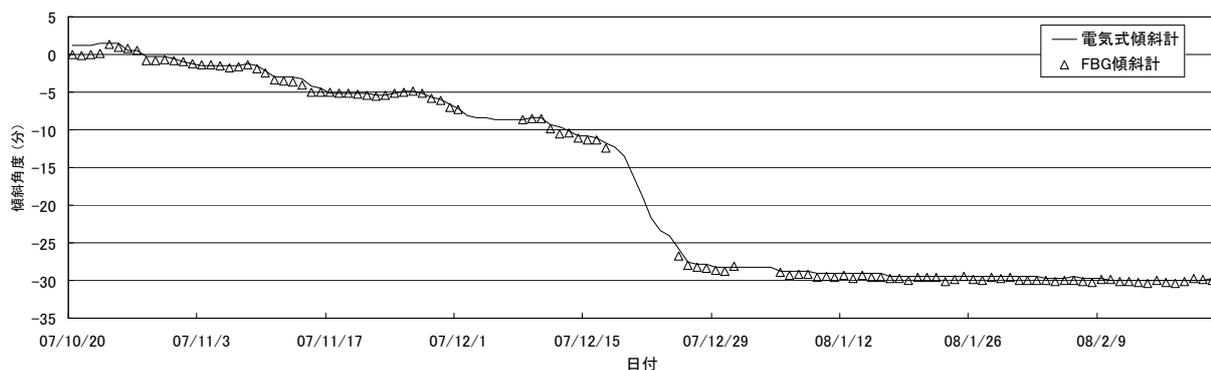


図-4 土留壁傾斜角計測値の経時変化

### 5. おわりに

FBG 傾斜計は十分な計測精度を持ち、現地適用において汎用の電気式傾斜計と同等に計測できることが確認された。FBG センシング技術は光ファイバセンサの特長である無誘導性・長距離伝送性等を生かした様々な計測器の開発が可能であり、実用化に向けた検証を積み重ね、信頼性を向上させていくことにより、今後一層防災監視や構造物の健全性監視に寄与することが可能であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 阿保寿郎, 塩谷智基, 熊谷幸樹, 田村琢之, 近久博志: ヒステリシスを軽減する機構を有した片持ち梁式大容量変位計の開発, 土木学会全国大会第 61 回年次学術講演会, 2006. 9, pp. 519-520.
- 2) 熊谷幸樹, 塩谷智基ほか: 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, 2006. 5, pp. 88-90.