

FBG 光ファイバセンサを用いた水位計の開発

飛島建設 正会員 ○本山 寛 飛島建設 正会員 熊谷 幸樹
飛島建設 正会員 田村 琢之 東横エルメス 狩野 勝幸

1. 目的

近年、光ファイバセンサを用いた計測技術は、建設分野において構造物や地すべりなど様々な場所に適用されている。光ファイバセンサは、電磁ノイズの影響を受けず、また耐腐食性、長距離伝送性に優れている。なかでも FBG (Fiber Bragg Grating) 光ファイバセンサは、ひずみゲージと同等の精度を持ちながら、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ため¹⁾、広域かつ大規模な建設構造物の計測や、斜面等の変状を監視するための計測に適したセンサといえる。

筆者らは、地すべり・斜面の変状等を監視する目的で FBG 光ファイバセンサを用いた計測器を開発しているが、本稿では、その一つである FBG 水位計の測定精度等室内試験結果について報告する。

2. FBG 水位計の概要

FBG 水位計は、地すべり・斜面変状の重要な要因である地下水位の変動を計測することを主目的として開発した。FBG 水位計の計測原理を図-1に示す。FBG 水位計の内部には、カンチレバーを中心にして緊張を与えた FBG を前後に1つずつ配置している。水压は、水位計下部にある蛇腹状の水圧検知部により変位に変換され、その変位が軸棒によりカンチレバーへ直接伝えられる。このとき、その変位により一方の FBG は伸び、もう一方は縮むことにより Bragg 波長が変化し、水压を感知することができる。また、温度変化に対し2つの FBG の波長が同じ変化をするため温度補償が可能となり、別途温度計を必要としない機構となっている。

表-1に、FBG 水位計の基本仕様を示す。本センサの測定精度は、従来方式である電気式と同等である。



写真-1 FBG 水位計

表-1 FBG 水位計仕様

項 目	仕 様
寸 法	φ 48×300mm
測 定 範 囲	0～10m
定格出力 (R.O.)	2000με以上
非 直 線 性	±1%以内
分 解 能	0.005m
許 容 動 作 温 度	0～+40℃ (氷結を除く)

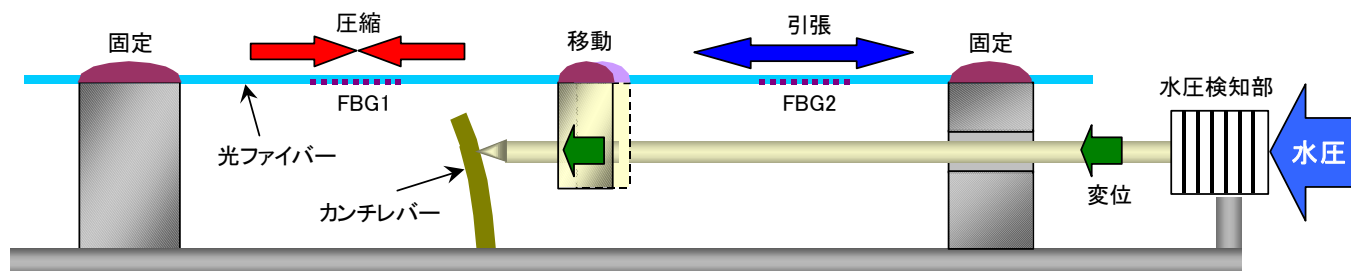


図-1 FBG 水位計の計測原理

3. 測定精度試験の概要および試験結果

測定精度検証試験は、水圧検知部に水压を変化させることのできる器具を取り付け、水压を 0kPa の状態から 10kPa 毎に上昇させる。水位変化約 10m 分に相当する 100kPa まで上昇させた後、逆に 10kPa 毎に水压を低下させる。このとき、各水压で 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

キーワード 光ファイバセンサ, FBG, 水位計

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

換算することにより測定精度を検証した。

図-2 に、水圧と FBG が検知したひずみの関係を示す。両者の間には高い相関が認められ、水圧を 0kPa に戻した際の残留ひずみは 2μ であった。FBG を計測した際のひずみのばらつきは 5μ 程度であるため、残留ひずみはほとんどない。図-3 に、非直線性およびヒステリシスを示す。非直線性は、20kPa および 60 kPa においてその値が 0.5% をわずかに超えたが、それ以外の水圧においては 0.5% 以内に収まっていた。ヒステリシスは、30 kPa から 70 kPa の間で 0.5% を超えていたが、測定範囲内では 1% 以内であることが確認された。

4. 温度特性および耐水圧試験結果

FBG 水位計を開発するにあたり、測定精度検証試験以外に温度特性試験、耐水圧試験を行った。

温度特性試験は、恒温水槽内に FBG 水位計を静置させ 0～40℃ の範囲で 10℃ 毎に変化させたときの反射波長を計測し温度特性を求めた。

図-4 に、恒温水槽内の水温とその温度変化により発生するひずみの関係を示す。FBG 水位計の温度特性は、内蔵されている 2 つの FBG に発生するひずみの平均値で表されるが、ひずみと温度変化の間には相関が認められる。また、水位計各部材の線膨張による FBG のひずみが $21\mu/\text{℃}$ 、FBG の温度に対する屈折率変化によるひずみが $9\mu/\text{℃}$ であり、それらの和である $29\mu/\text{℃}$ が FBG 水位計の温度特性の理論値となる。それに対し、水温の温度変化とひずみの関係を示した近似式の係数は $26\mu/\text{℃}$ であり、実測値と理論値との差は $4\mu/\text{℃}$ とかなり小さい値を示している。

耐圧試験は、ケーブルを含む FBG 水位計を耐水圧容器内に入れ、試験水圧を 150 kPa (定格出力の 150%) として行った。66 時間試験を行い、その後 FBG の出力確認と計測器の止水性の確認を行ったが、特に異常は見られなかった。

5. まとめ

開発した FBG 水位計は、分解能が 0.005m 未満で、非直線性も 1% 以下の性能を有していることが分かった。今現在、現場への適応性および長期耐久性を検証する目的で、本水位計と電気式水位計を並べて設置し長期現地検証試験を実施している。

今後は、長期耐久性、高精度、長距離伝送による遠隔監視という FBG 光ファイバセンサの特長を利用し、同時に開発した FBG 伸縮計、FBG 傾斜計と併用して地すべり・斜面安定の監視、または、工事現場における地下水位変動の監視に適用していく予定である。

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, 2006.5, pp.88-90

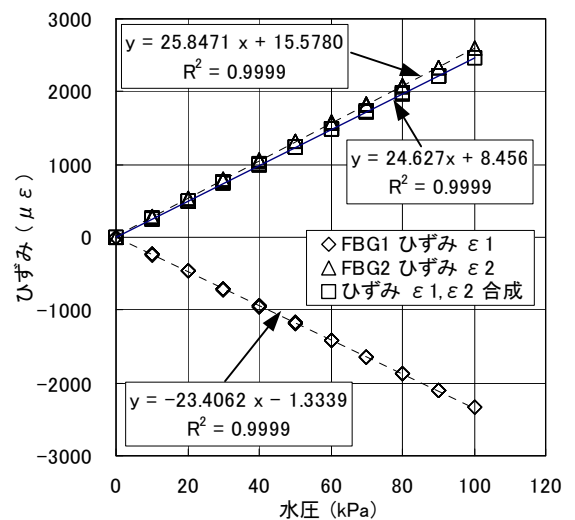


図-2 水圧とひずみの関係

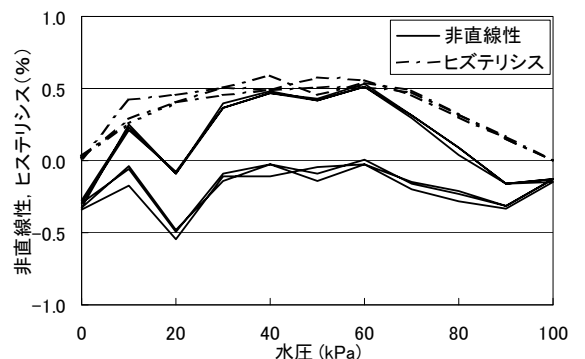


図-3 非直線性とヒステリシス

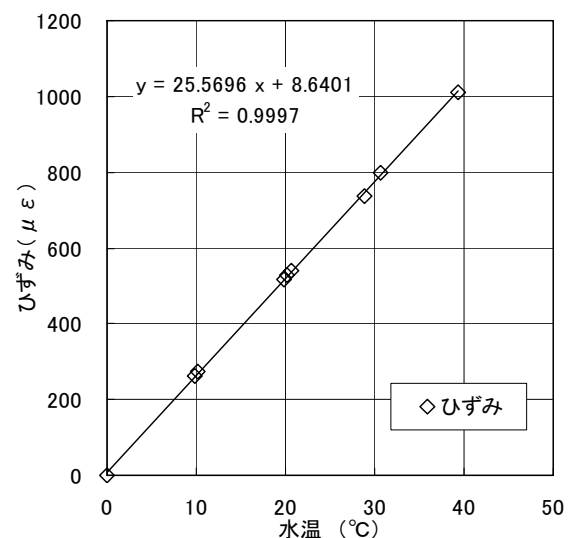


図-4 温度特性