

積雪地域の地すべりに対応した光ファイバ伸縮計の開発

独立行政法人 土木研究所 雪崩・地すべり研究センター ○丸山清輝, 花岡正明
坂田電機株式会社 久保周太

1. はじめに

光ファイバセンサは、光ファイバに入射させた光パルスの一部が光ファイバに生じる引張りずみや曲げひずみ等により反射光となって戻ってくることを利用して、ひずみ量や温度等を計測することができる。また、光ファイバセンサによるひずみ測定方式には、B-OTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectometer), FBG (Fiber Bragg Grating), 光学ストランドなどがある。B-OTDR, FBG 方式は、1本の光ファイバ上にセンサと長距離のデータ伝送の機能を持つとともに、複数地点における長距離区間の連続計測ができる。これは、電気式センサにはない機能である。また、積雪地域の地すべりの挙動を把握するための課題として、①伸縮計を積雪のある時期に地表面に設置できない、②地すべり挙動が顕著に表れていない時点では伸縮計の適切な配置ができない、などがある。これらの課題を解決するためには、伸縮計を地中に広範囲にわたって連続して設置する必要があり、光ファイバを直接地中に埋設する方法が提案されている¹⁾。しかしながら、大きな変位を生じた場合に光ファイバが破断するという課題がある。

当センターでは、平成14年度から積雪地域の融雪期の地すべり挙動把握のために、地中に埋設可能な光ファイバ伸縮計の開発を行っており、±100mm程度の伸縮量が観測できるB-OTDR方式²⁾とFBG方式の光ファイバ伸縮計の開発を行ってきた。今回は、FBG方式の埋設型光ファイバ伸縮計が実用段階に入ったので報告する。

2. FBGセンサを用いた埋設型光ファイバ伸縮計の開発

図-1は、FBGを用いた埋設型伸縮計(計測範囲±100mm)

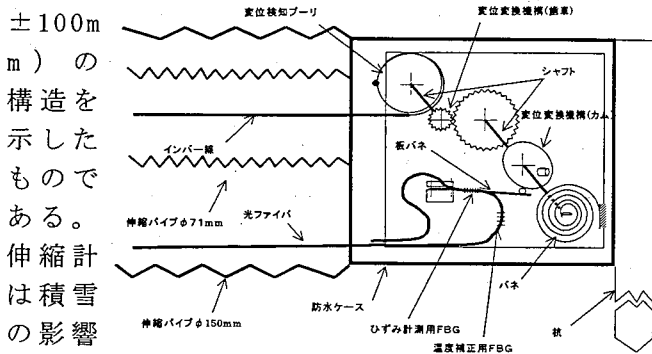


図-1 FBGを用いた伸縮計の構造に地中に埋設するため、小型で防水性能が高いものにする必要があることから、以下に示す機構を考案した。地すべり斜面の伸縮は、プーリーに巻かれたインバー線により回転運動に変換され、さらに歯車とカム、板

バネにより上下運動に変換される。板バネにはFBGが接着されており、板バネの上下運動はFBGによりひずみ量の変化に変換される。なお、地すべり斜面の伸縮量をひずみ量に変換する際には、伸縮計の計測精度を一定にするために伸縮量とひずみ量との関係を線形関係にする必要がある。ちなみに、板バネの形状を単純な長方形にした場合には、伸縮量とひずみ量との関係は非線形の関係になる。このことについては、三角形の形状の板バネを採用することで解決した。また、FBGは温度の変化により計測されるひずみ量が変動することから、

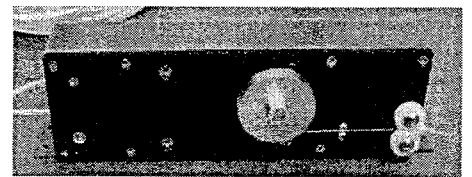


写真-1 伸縮計計測部

温度補正をするために温度変化のみによるひずみ量の変化を計測するためのFBGを、ひずみ計測用FBGの近くに配置している。写真-1には、開発した伸縮計を示した。伸縮計の寸法は、高さ66mm、長さ230mm、奥行き55mmであり、現在ある同種のものに比べて半分以下の大きさとなっている。

2.1 伸縮計の変位量-ひずみ量特性試験

図-2には、伸縮計に与えた変位量(以後、真値とする)とFBGにより計測されたひずみ量との関係を示した。真値とひずみ計測用FBGひずみ量との関係は、変位量0~200mmの間

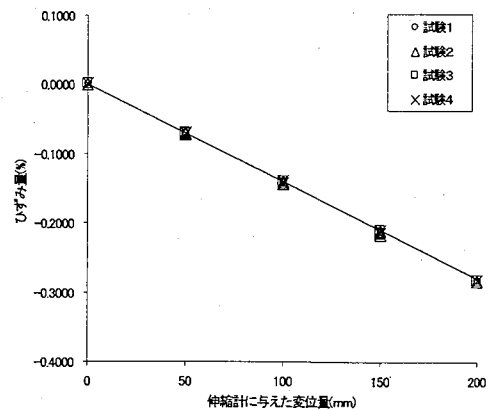


図-2 変位量-ひずみ量の関係

で線形関係を示しており、設計通りの性能を得ることができた。

2.2 温度変化に対する伸縮計の変位-ひずみ特性試験

光ファイバセンサは、データの温度補正をする必要があることから、温度変化に対する伸縮計の変位量とFBGひずみ量との関係を試験により求めた。試験は、伸縮計を恒温槽内に設置し、恒温槽内の温度を変化させて実施した。図-3には、真値を100mmに固定し、恒温槽内温度を-5~45℃まで変化させた場合のひず

み計測用 FBG 及び温度補正用 FBG の各ひずみ変化量 (-5℃を基準値とする) を示した。ひずみ計測用 FBG 及び温度補正用 FBG の各ひずみ変化量は、恒温槽内の温度変化に伴い変化している。また、各 FBG の温度に対するひずみ変化量は異なっており、ひずみ計測用 FBG の方が大きくなっている。

図-4には、伸縮計変位量を 100mm 及び 200mm に各々固定した場合における温度変化時のひずみ計測用 FBG と温度補正用 FBG の各ひずみ量との関係を示した。

図-3温度変化と各FBGのひずみ変化係は、伸縮計の変位量に影響されことなく線形関係を示している。

図-5は、真値 200mm に対する恒温槽内温度変化時における温度補正後の伸縮計による計測変位量を示したものである。

図-4 温度変化とひずみ計測用 FBG 及び温度補正用 FBG の各変化量なお、温度補正後の伸縮計による計測値は、線形回帰式を用いて(1)式により求めた。

$$D = -704.916 \Delta \lambda + 0.193 \quad (1)$$

ここで、D : 温度補正後の伸縮計による計測変位量 (mm), $\Delta \lambda$: $\Delta \lambda_s - 2.124 \Delta \lambda_t$, $\Delta \lambda_s$: ひずみ計測用 FBG ひずみ変化量(%), $\Delta \lambda_t$: 温度補正用 FBG ひずみ変化量(%)である。

温度補正後の伸縮計による計測値の誤差は、恒温槽内における-5 ~ 45℃の温度変化に対して±1mm 以内となっていることが分かる。

2.3 伸縮計の設置方法

図-6には、本伸縮計の現場設置時の全体図を示し

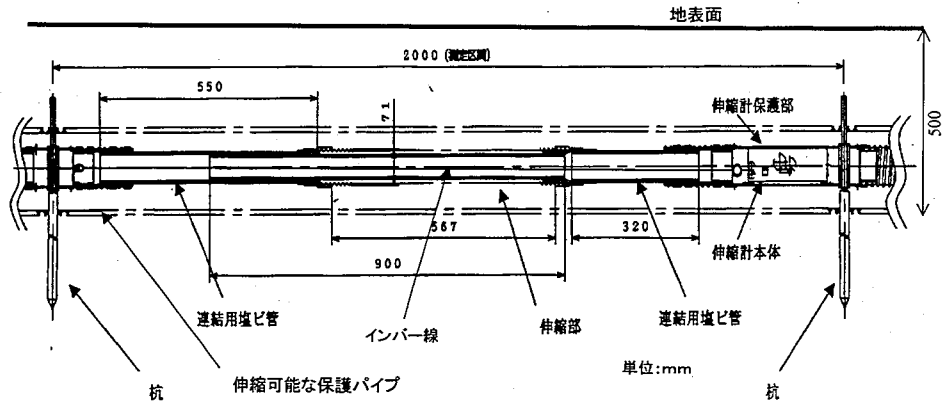


図-6 伸縮計現場設置図

たものである。伸縮計は、幅 70cm、深さ 60cm の溝を格子状や線状に掘り、その中に連結して設置する。斜面の伸縮

量は、伸縮計 図-5 温度補正後の伸縮計計測変位量本体を杭に固定し、伸縮計と次の杭をインバー線で結び計測する。なお、伸縮計とインバー線は、伸縮計保護部、連結用塩ビ管及び伸縮部で保護する。また、連結用塩ビ管及び伸縮部が斜面と一体となって伸縮できるように、これらを伸縮可能な保護パイプで覆う。この他、杭間距離は 2m としているが、調査目的に応じてインバー線の長さを長くすることで最大 10 m にすることができる。

3.まとめ

FBG 方式光ファイバ伸縮計として、変位量とひずみ量との関係を線形関係にし、データの温度補正ができる地中埋設型のものを開発した。本伸縮計は、地すべり斜面地中に埋設し積雪地域の地すべりの挙動の伸縮量 (±100mm) を観測でき、計測器の価格が B-OTDR 方式の半分以下となるほか、従来の伸縮計に置き換えて使用することもできる。今回の試験は室内におけるものであり、地すべり現場での耐久性試験が残されており、今後は現場における耐久性試験を実施し、実用化したい。

参考文献

- 丸山清輝, 吉田克美, 武士俊也: 光ファイバセンサの地すべり挙動調査への応用, 土木技術資料 Vol.46, No.2, pp.40-45, 2004
- 丸山清輝, 花岡正明, 長友聖二: 大変位伸縮量観測可能光ファイバセンサの開発 (その2), 平成 17 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.142-143, 平成 17 年 5 月