

大変位伸縮量観測可能光ファイバセンサの開発

独立行政法人 土木研究所 新潟試験所 ○丸山清輝, 武士俊也
坂田電機株式会社 長友聖二

1. まえがき

光ファイバセンサは、基本的に引張りひずみの計測を目的として設計されたものである。このため、地すべり斜面の挙動調査に必要な大きな圧縮ひずみの計測を如何にして行うかが大きな課題となる。また、引張りひずみについても、地すべりの挙動が大きい場合には、光ファイバセンサの引張りひずみ量観測可能範囲が 1.0 ~ 1.3 % 程度¹⁾ であるため、光ファイバセンサは破断する。そこで、地すべり挙動調査用光ファイバセンサとして、地すべり斜面の引張りひずみ量が大きい場合でも光ファイバセンサが断線することなく、また、圧縮ひずみ量も観測可能な光ファイバセンサを考案した。本報告では、考案した光ファイバセンサを実用化するための基礎試験を実施したので、その結果を紹介する。

2. 大変位伸縮量観測可能光ファイバセンサの概要

図-1には、考案した光ファイバセンサの模式図を示した。地すべり斜面の伸縮は、コイルバネ2の伸縮として捉え、さらにコイルバネ2の伸縮は光ファイバ1のひずみに変換される。この構造により、本センサは、光ファイバを単独でセンサとするものに比べて、格段に大きな地すべり斜面の伸縮量を観測できる。そこで、この光ファイバセンサを実用化するために、光ファイバの応力-引張変位特性、光ファイバをケース内に収納した場合の光強度損失、光ファイバセンサの変位-ひずみ特性を求める各試験を実施した。

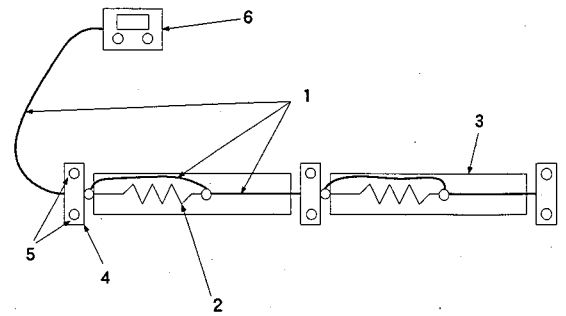
3. 光ファイバセンサの応力-引張変位特性の測定

考案した光ファイバセンサの変位測定精度を決めるためには、光ファイバの応力-引張変位特性（特に弾性係数）を明らかにする必要がある。光ファイバは、B-OTDRを用いたひずみ測定用光ファイバケーブル（フジクラ製薄肉型光ファイバセンサケーブル）である。図-2には、光ファイバの応力-引張変位測定結果を示した。光ファイバの引張変位と応力との関係は、原点を通る良好な線形関係にあり、光ファイバの弾性係数は 25.1N/mm となった。

4. 光ファイバセンサをケース内に収納するためのベンディング損失の測定

光ファイバは曲げられた場合、光ファイバ内を通過する光の強度損失（ベンディング損失）を生じる。ベンディング損失が大きい場合には、光が光ファイバ先端まで届かなくなり、計測が光ファイバ全体にわたってできなくなる恐れがある。そこで、光ファイバをケース内に収納した場合のベンディング損失の測定を行った。

光ファイバを収納するケースは塩ビ管 VP50（内径 50mm）とし、コイルバネを収納するケースは VE36（外径 42mm）としている。したがって、光ファイバは、これら二つのケースの間の直径 42mm、間隙 4 mm の中に収納されることになる。そこで、ベンディング損失の測定は計測器に OTDR を用い、VE36 より外径が小さい VP20（外径 26mm）に光ファイバを巻き付けた場合について行った。その結果、光ファイバ変形前の値は 0.000db であり、



1 光ファイバ 2 コイルバネ
3 保護パイプ 4 光ファイバ固定金具
5 杭 6 計測器

図-1 地すべり挙動調査用光ファイバセンサ

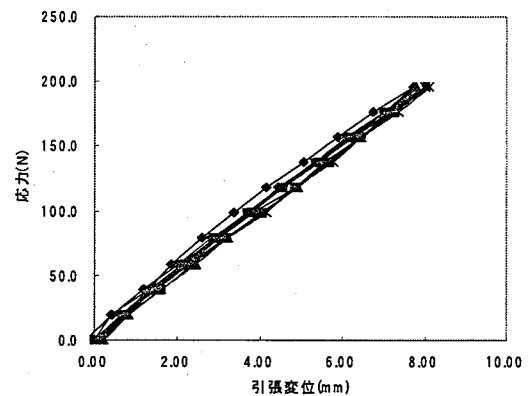


図-2 光ファイバ応力-引張変位測定結果

図-2には、光ファイバの応力-引張変位測定結果を示した。光ファイバの引張変位と応力との関係は、原点を通る良好な線形関係にあり、光ファイバの弾性係数は 25.1N/mm となった。

光ファイバを外径 26mm の塩ビ管に巻き付けた場合の値は-0.009db. となった。測定結果から、光ファイバのベンディング損失は、光ファイバを外径 26mm の塩ビ管に巻き付けた場合にはなく、外径 26mm 以上のラセン状に変形した場合には出る恐れがないことが確認された。

5. 地すべり挙動調査用光ファイバセンサの変位-ひずみ量特性試験

図-3には、図-1に示した地すべり挙動調査用光ファイバセンサの構成図を示した。ひずみ量を測定する光ファイバの長さは、光ファイバセンサのひずみ発生位置の分解能が 1,000mm であり、ひずみ量は長さ 1,000mm の区間平均値として測定されることを考慮して 1,500mm とした。これは、光ファイバセンサの長さを前述した測定性能をもとに 1,000mm にした場合、測定器の誤差によりひずみ量測定区間が実際のひずみ区間と一致しない恐れがあるためである(長さ 1,500mm では、計測器に誤差を生じて、ひずみ量測定区間が実際にひずみを生じている区間内に必ず入る)。なお、引張バネは、地すべり移動の測定範囲を引張・圧縮各 100mm として、光ファイバの弾性係数をもとにバネ定数 0.952N/mm、長さ 250mm のものを用いた。この他、センサ全体の長さは 2,000mm とした。

本光ファイバセンサは、引張・圧縮の地すべり移動量各 100mm を観測するために、本センサ設置時にセンサの変位量を 100mm まで引張させておき、圧縮移動量はセンサの収縮により観測する構造になっている。したがって、引張及び収縮時の変位量とセンサのひずみ量との関係が、変位量 0 ~ 200mm の間で線形関係にある必要がある。

図-4には、本光ファイバセンサの引張収縮時の変位量(0 ~ 200mm 変位時)とひずみ量との関係を示した。引張時のひずみ量は、変位量が 150mm まで非常に良い線形関係にあるが、200mm に達した時点でひずみ量が大きくなり線形関係がやや悪化している。また、収縮時のひずみ量は、引張時のひずみ量より大きくなっている。これは、本光ファイバセンサが 150mm 以上の引張変位(光ファイバのひずみ量は約 0.4%)に達した時点で塑性変形したためと考えられる。

図-5には、本光ファイバセンサの引張収縮時の変位量(0 ~ 100mm 変位時)とひずみ量との関係を示した。引張時のひずみ量は、変位量が 100mm まで非常に良い線形関係にある。また、収縮時のひずみ量は、引張時のひずみ量と良く一致しており、本センサが変位量 0 ~ 100mm の間で弾性変形していることが分かる。

以上のことから、本センサを引張・圧縮各 100mm として地すべり挙動観測に用いた場合、圧縮変位観測時では本センサが弾性変形することから観測誤差は小さいが、引張変位観測時では引張変位量 50mm 以上で本センサが塑性変形するようになるため観測誤差は若干大きくなることが分かった。

6. あとがき

今後は、センサを試作し、現地試験を実施する計画である。

参考文献

- 丸山清輝, 吉田克美, 武士俊也: 光ファイバセンサを用いた地すべり移動計測方法に関する検討, 平成 14 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.216-217, 平成 14 年 5 月

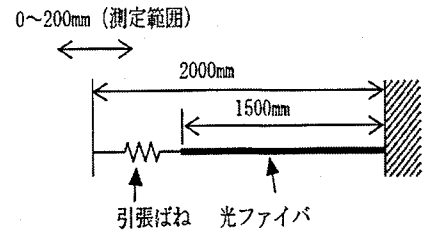


図-3 光ファイバセンサ構成図

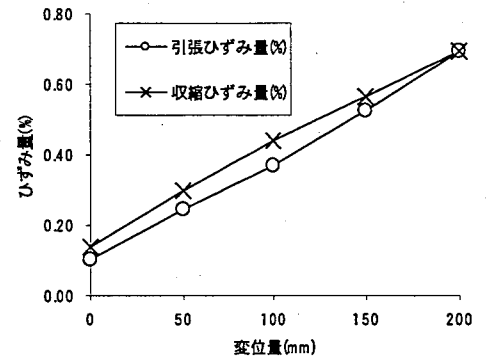


図-4 変位量とひずみ量との関係 (0~200mm変位時)

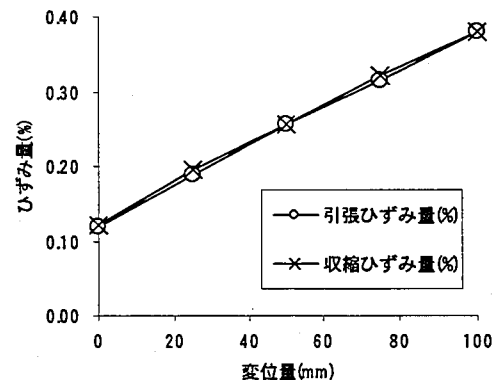


図-5 変位量とひずみ量との関係 (0~100mm変位時)