

光ひずみセンサによる岩盤斜面の動態観測手法に関する研究

Observation methods of displacement on rock slope by optics strain sensor

斉藤浩之*・楠見晴重**・藤枝敬史***・向瀬光雄***

Hiroyuki SAITO, Harushige KUSUMI, Keishi FUJIEDA & Mitsuo MUKOSE

The optics fiber is usually used to the basic main lines of informatics transmission. In recently, it has been attracted special interest that the optics fiber can be used to the strain sensor lines applicable on the some characterizations of this fiber.

In this paper, the observation methods of the displacement on rock slope by the fiber optics strain sensor are discussed. Especially, the some fundamental studies in related with the output characterizations of the fiber optics strain sensor against the application on the displacement of rock slope and the field measurements applied on the natural rock slope by the fiber optics strain sensor are done.

1. はじめに

光ファイバは情報伝送の基幹線として重用されているが、光ファイバの持つ諸特性を応用したセンサ線としても最近注目されてきている。中でも、光ファイバがひずみセンサの機能を有することが確認され、ひずみ計測技術が確立されてからはその応用技術が種々検討されている¹⁾。

一方、北海道豊浜トンネルの岩盤崩落事故²⁾以来、岩盤斜面の計測監視技術の確立が大きな問題となっているが、特に急峻な岩盤斜面で長期にわたって多くの測点について計測する必要がある。

本研究は、光ファイバのひずみ計測技術に着目し、光ファイバを岩盤斜面のひずみ計測に適用するための基礎的研究を行うとともに^{3) 4)}、実際の岩盤斜面を対象として、斜面上にファイバを設置して、斜面の動態観測を実施した。光ファイバに光パルスを注入した時、レーリー光の一方のサイドに現れるブルリアン光の特性を利用してひずみ計測を実施するものであるが、光ファイバを岩盤斜面上に長期間設置するために問題となる耐久性を有する光ファイバを新たに開発して、そのひずみ特性についても検討した。更に、光ひずみセンサを岩盤斜面上に張り巡らして、一部分は人工的に岩盤を変位させて、そのときの光ひずみセンサの出力特性について検討するとともに、人工的に変位させた箇所には、変位計、傾斜計を設置して、これらの計測結果と光ひずみセンサの出力結果との比較検討も行った。

* 正会員 (株)興和 調査部

** 正会員 工博 関西大学 工学部土木工学科

*** 住友電工(株) 公共システム開発部

2. 光ひずみセンサの基本原理

図-1は、光ファイバに光パルスを入力した時のパルス伝搬過程において、ファイバ中の各地点で発生する散乱光の周波数スペクトラムを示したものである。この散乱光の内、ブリルアン散乱光を利用し、光ファイバをラインひずみセンサとして利用する基本技術が開発されてきた。

このセンサの原理は、注入パルス λ_p の周波数に対し、ブリルアン散乱光のシフト量 λ_b 分が、光ファイバの伸びひずみに比例する特性を利用してひずみ量を把握するものである⁵⁾。また、散乱光の反射発生時間により、ひずみの発生場所を特定することができる。

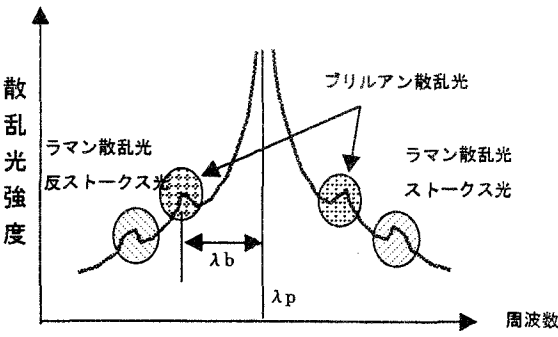


図-1 散乱光の周波数特性モデル

3. 光ファイバの特性

ひずみセンサに使用される光ファイバは、通常の通信に使用されるシングルモード(SM)ファイバである。このファイバは、監視対象物からの外力を光ファイバの伸縮動作に変換し、ひずみを検出できるセンサを構成する。この時、外力と光ファイバのひずみ特性は、図-2に示す様に直線的な関係にある。また、計測可能な最大ひずみは2%程度である。

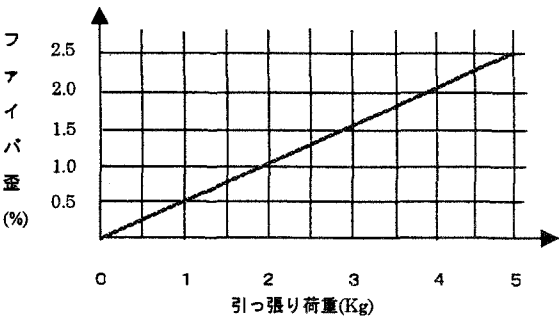


図-2 ファイバのひずみと荷重の関係

4. 光ひずみセンサの室内実験結果

光ファイバを斜面に設置して岩盤挙動監視センサとするには、岩盤の挙動をファイバへ側圧として伝える方法と、直接岩盤にファイバを取り付けて伸びひずみを発生させる2方法が考えられる。また、光ファイバをひずみセンサとして実用化するには、脆弱なファイバに大きな外力が直接掛からない保護構造とすることがあり、図-3のようなSUS管入りの構造を持つファイバセンサが考えられる。

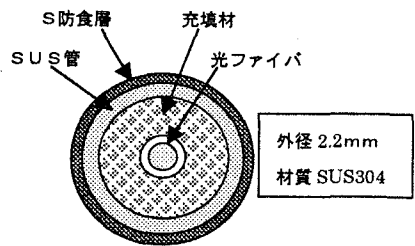


図-3 SUS管入りファイバ

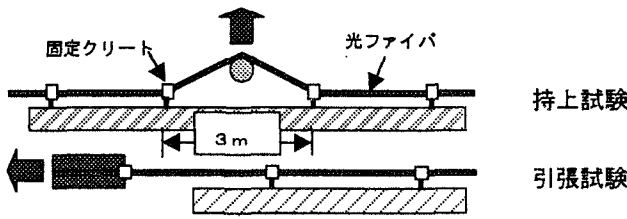


図-4 室内模擬実験構成

室内実験は、図-4に示すような光ファイバの持上試験と引張試験を実施した。室内実験における理論的伸びひずみ値と実測結果を図-5、図-6に示す。図中の理論値と実測データの間の差は、保護のための被覆材と光ファイバの一体化が完全ではなかったためと考えている。しかし、今回の室内実験データから、岩盤斜面の崩落等による変位を監視するセンサとして、岩盤への設置方法次第で数ミリメートル程度の岩盤挙動が検出できるということを裏付けるデータが得られた。

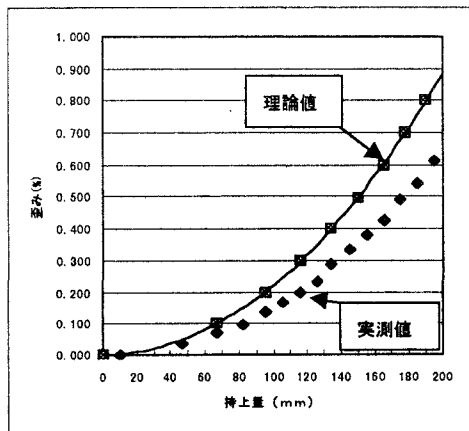


図-5 持上試験データ

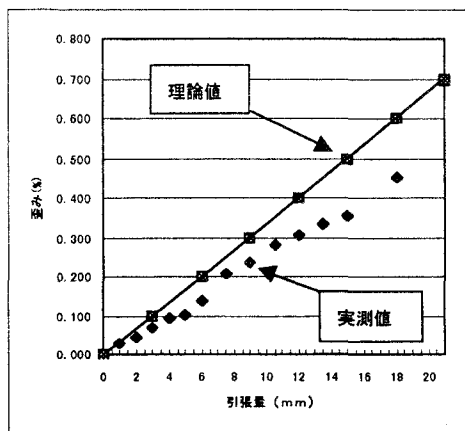


図-6 引張試験データ

5. 現地実験概要

現地実験は、新潟県西蒲原郡巻町越前浜地内の岩盤斜面で実施した。岩盤斜面は高さ約8m、延長約23mの規模であり、この斜面にひずみセンサ部分となる光ファイバを斜面の上下方向に折り返しながら張り巡らして岩盤変状監視を行った。

今回実験に用いた光ファイバは、SUS管入ファイバと単芯光ファイバコードである。室内実験により、SUS管入りファイバの被覆材であるSUS管と光ファイバの一体化が完全でないという問題点から、この一体化を保つための充填材を逆になくしたタイプの単芯光ファイバコードを比較のために設置した。この2種類の光ファイバを図-7に示したように岩盤斜面に並列な状態で設置した。現地実験では、人工的に岩盤崩落及び岩盤変位を生じさせるため、静的破砕剤をクラックに注入した。その岩盤崩落及び岩盤変位のターゲットは、図-7に示したように1-上、1-下、2-上、2-下の4箇所とした。この4箇所には、光ひずみセンサのひずみ量変化と比較するため、2種類の光ファイバの他に一般的な変位計、傾斜計を設置した。

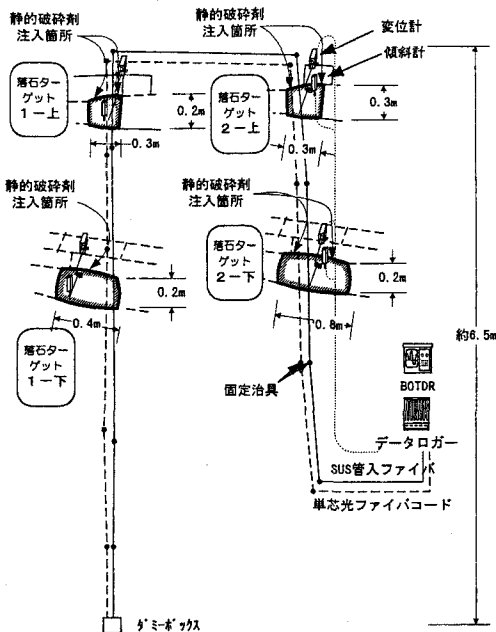


図-7 センサ設置概要図

6. 現地実験斜面の地質

現地実験斜面は、新潟平野西側にそびえる角田山麓北端に位置する。角田山は、新第三系の角田層（新潟県標準層序寺泊層相当）の安山岩の溶岩・凝灰角礫岩・火山岩礫から構成されている。

現地の実験斜面には安山岩の溶岩が分布し、比較的明瞭な節理構造を持つ箇所や風化が進み、細かい亀裂の発達した岩塊、また岩塊状で抜け落ちた跡も多くみられる。図-7に示した落石ターゲットの2-上と2-下付近の岩盤斜面の平面スケッチを図-8に示す。

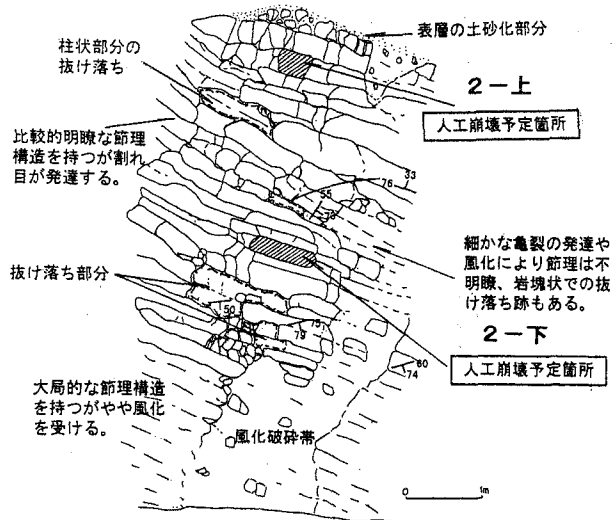


図-8 岩盤斜面の平面スケッチ

7. 現地実験結果

人工的に岩盤崩落及び岩盤変位を生じさせるため、1-上、1-下、2-上、2-下の落石ターゲットのクラックに静的破碎剤を注入した。しかし、静的破碎剤注入後に1-上、1-下付近の光ファイバの固定治具が緩み、光ひずみセンサによるひずみ量は計測できなかった。したがって、本論では2-上、2-下の計測結果について述べる。

落石ターゲットである2-上の光ひずみセンサのひずみ量と変位計、傾斜計の変位量の経時変化を図-9に示した。図-9より、静的破碎剤注入後の変位計の変位量経時変化と単芯光ファイバコードのひずみ量経

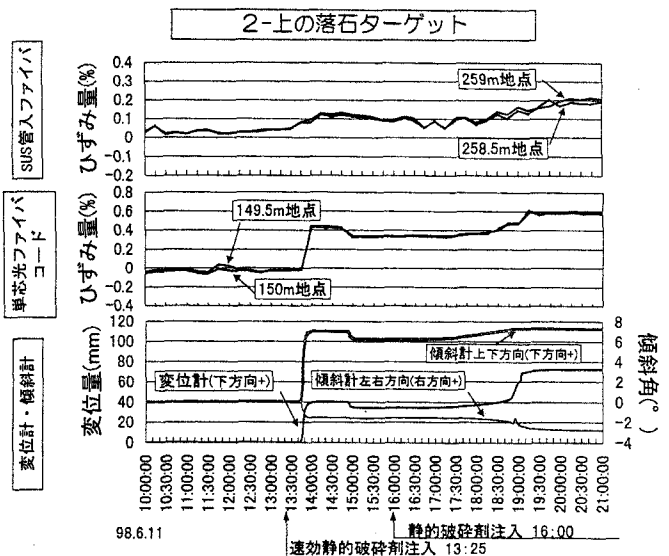


図-9 2-上の計測結果

時変化を比較すると、非常に良く一致した動きを示していることがわかる。また、傾斜計の上下方向の経時変化とも良く一致した動きをしている。

落石ターゲットである2ー下の光ひずみセンサのひずみ量と変位計、傾斜計の変位量の経時変化を図-10に示す。2ー下と同様な傾向であり、変位計、傾斜計の変位量経時変化と単芯光ファイバコードのひずみ量経時変化が良く一致した動きをしている。

図-9、10のSUS管入りファイバについては、ひずみ量変化は現れているものの単芯光ファイバコードに比べると顕著に現れていない。これは室内実験結果で述べたように、被覆材であるSUS管と光ファイバの一体化が十分でないためと考えられる。

8. おわりに

今回の光ひずみセンサの室内実験及び現場実験結果より、被覆材と光ファイバを充填材で一体化しない構造の単芯光ファイバコードのひずみ量変化と一般的な変位計や傾斜計の変位量変化を比較すると、非常に良く一致した結果を得られた。このことから、この光ひずみセンサを岩盤斜面全体に張り巡らすことによって岩盤斜面を面的に挙動監視することが可能であることがわかった。現在、この光ひずみセンサを岩盤斜面に長期間設置し、耐久性の試験を実施しており、この試験終了後に崩落の危険性が高い実際の岩盤斜面に設置し、計測監視を実施する予定である。

9. 参考文献

- 1) 倉嶋、薄、田中、佐藤、加賀谷：光ファイバセンサを用いたコンクリート構造物の歪み分布測定、Proceedings of 19th Meeting on Lightwave Sensing Technology May, 1997.
- 2) 豊浜トンネル崩落事故調査委員会：豊浜トンネル崩落事故調査報告書、1996.
- 3) 藤枝敏史、那倉裕二、楠見晴重、南雲政博、外山裕一：光ひずみセンサを利用した岩盤傾斜計測に関する基礎的研究、第33回地盤工学研究発表会、pp. 291～292、1998.
- 4) 斉藤浩之、坂井俊介、斉藤貴典、楠見晴重、石橋悦治、向瀬光雄、森恒夫：光ひずみセンサを用いた岩盤斜面モニタリングの現地実験、第33回地盤工学研究発表会、pp. 293～294、1998.
- 5) T. Kurashima, M. Tateda, K. Shimizu, T. Horiguchi, and Y. Koyamada, "A high performance OTDR for measuring distributed strain and optical loss" TuD. 3. 7, ECOC'96, 1996. 9.

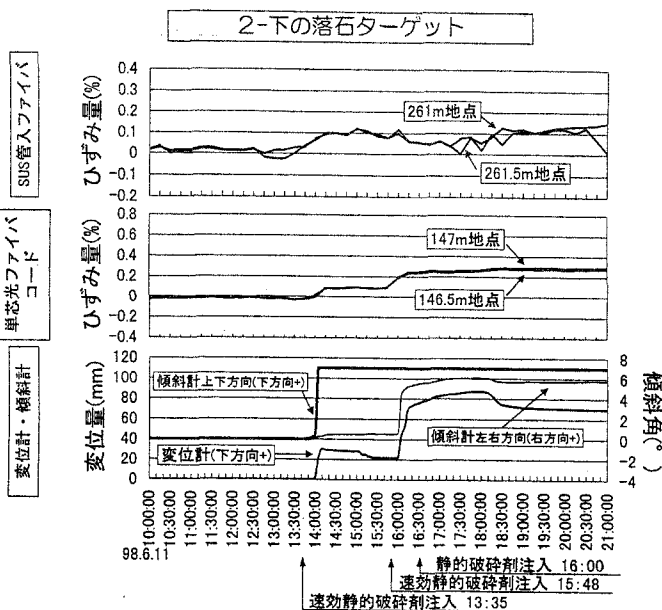


図-10 2ー下の計測結果