

10.2 光ファイバセンサによる斜面モニタリングシステム

著者	楠見 晴重
雑誌名	岩盤崩壊の考え方：現状と将来展望 (CD-ROM)
発行年	2004
URL	http://hdl.handle.net/10112/6040

10.2 光ファイバセンサによる斜面モニタリングシステム

光ファイバは、現在光通信技術の主要な部分を成しているが、光ファイバの持つ諸特性を応用したセンサ線として、最近注目されている。ここでは、光ファイバのひずみセンサ機能を利用したひずみ計測技術について紹介する。

10.2.1 光ファイバセンサとは？

(1)光ファイバセンサの種類

- ・ ブリルアン散乱応用センサ(写真 10.2.1)
B-OTDR
(ひずみ分布・温度分布)
- ・ ファイバグレーティング応用センサ(写真 10.2.2)
FBG
(ひずみ・温度・変位・圧力)
- ・ レイリー散乱光応用センサ(写真 10.2.3)
OTDR
(光損失分布・ひずみ・変位)
- ・ マイクロベンディング応用センサ(写真 10.2.4)
OSMOS
(ひずみ・変位)

これらの写真はすべて検出器であり、センサそのものは写真 10.2.5 に示す光ファイバケーブルである。



写真 10.2.1 B-OTDR センサ

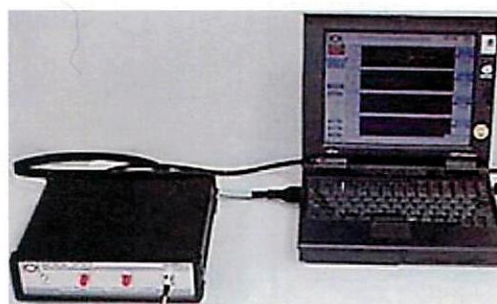


写真 10.2.2 FBG センサ

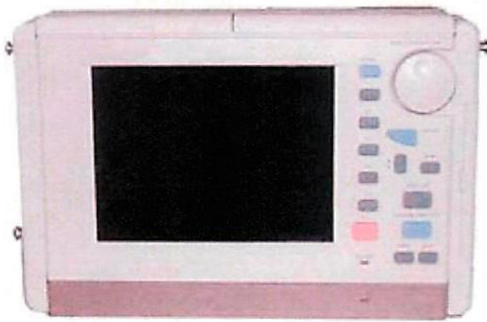


写真 10.2.3 OTDR センサ



写真 10.2.4 OSMOS センサ

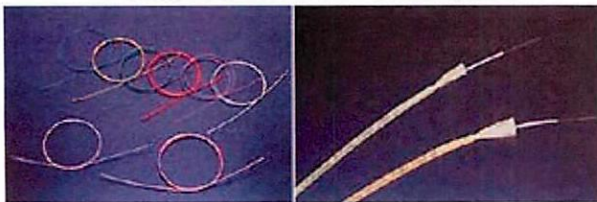


写真 10.2.5 光ファイバケーブル

(2)光ファイバセンサの特徴

- ・ センサ部分は電気信号を一切使用しないため、防爆である。
(耐雷性が強い)
- ・ ファイバのコア部分が純粋石英できており、岩石の主成分と同じであるため、温度による影響を考慮しやすい。
- ・ 通信システムを利用した遠隔監視、制御が可能。
- ・ 長距離の信号伝送が可能のため、広範囲に渡るモニタリングが可能。
- ・ 監視システムの構築が容易。
- ・ B-OTDR はラインセンサとしての応用が可能。

10.2.2 B-OTDR(Brillouin Optical Time Domain Reflectometry)

1 本の光ファイバで広範囲における全長計測が可能

(1)B-OTDR のひずみ測定技術

B-OTDR では、光ファイバ自体をひずみセンサとして、計測対象箇所に設置し、そこで発生するひずみを連続的に計測する技術である。

(2)B-OTDR のひずみ測定原理

図 10.2.1 は B-OTDR の測定原理を示したものである。図の様に光ファイバに光パルスを注入すると、光ファイバのいたるところから後方散乱光が帰ってくる。

その散乱光の 1 種である、ブリルアン散乱光ピークの周波数のシフト量と、ひずみとが比例関係にあるため、光ファイバの任意の地点におけるひずみを計測することが可能となっている。

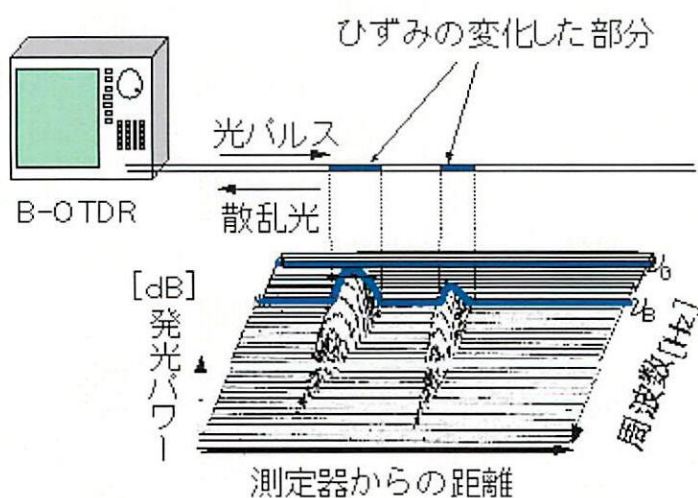


図 10.2.1 B-OTDR の測定原理

図 10.2.2 はブリルアン散乱光の周波数シフト量とひずみの関係を示したものである。この様にブリルアン散乱光は、光ファイバで発生したひずみと比例関係をもっている。

よって、ブリルアン散乱光のシフト量をひずみに換算することで、光ファイバのひずみ量が算出される。

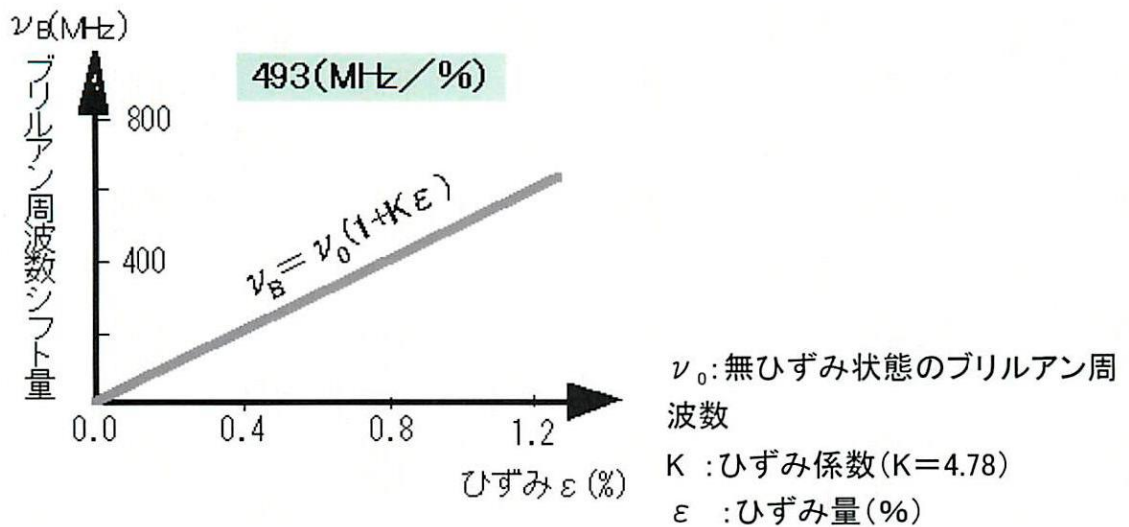


図 10.2.2 ブリルアン散乱光の周波数シフトとひずみの関係

(3)現場への適用例



写真 10.2.6
 岩盤斜面への光ファイバセンサ敷設状況
 図



写真 10.2.7 B-OTDR センサ

写真 10.2.6 は、実際の現場において亀裂性岩盤斜面上に光ファイバセンサを敷設した例を示している。光ファイバセンサの終端は、観測所内にある B-OTDR センサと解析用パソコン(写真 10.2.7)に接続され、瞬時に任意の地点での光ファイバの伸縮量を確認することが可能である。

現場では静的破碎剤を用いて、岩盤を人工的に破碎し、その岩盤の挙動を従来の変位計と光ファイバセンサで捉えた。

図 10.2.3 はその際の光ファイバセンサと変位計との経時変化について比較したものである。

この様に、従来の変位計と光ファイバセンサとは非常によく一致し、B-OTDRによる計測が、岩盤斜面において有効であることが分かる。

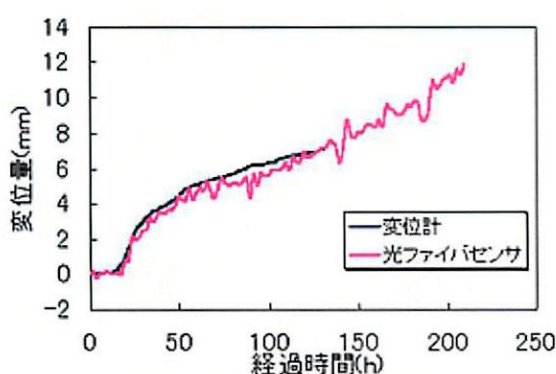


図 10.2.3 光ファイバセンサと変位計の比較

10.2.3 FBG(Fiber Bragg Grating)

任意の点における高精度計測や動的計測が可能。

(1)FBG のひずみ測定技術

FBG センサは光ファイバのコア部に屈折率が変化する部分を設け、そこで反射する光信号の変化からひずみを計測する技術である。

(2)FBG のひずみ測定原理

コアの一部に屈折率が異なる部分(グレーティング)を設けた光ファイバに光パルスを入射すると、特定の波長成分のみを共振反射する。ブラッグ波長は光ファイバのひずみに比例してシフトする。

FBG は、このブラッグ波長のシフト量を計測することにより、光ファイバのひずみ量を

測定する。また、1本の光ファイバケーブルにグレーティング部を複数設置する事により、連続した計測ポイントのひずみを測定することができる。

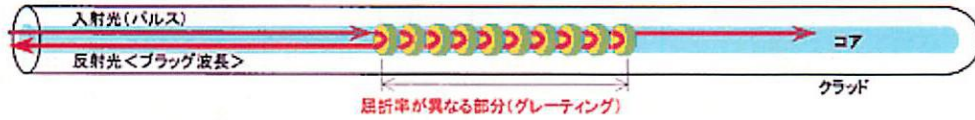


図 10.2.4 光ファイバケーブルのグレーティング部とブラッグ波長の反射の様子

FBG(Fiber Bragg Grating)

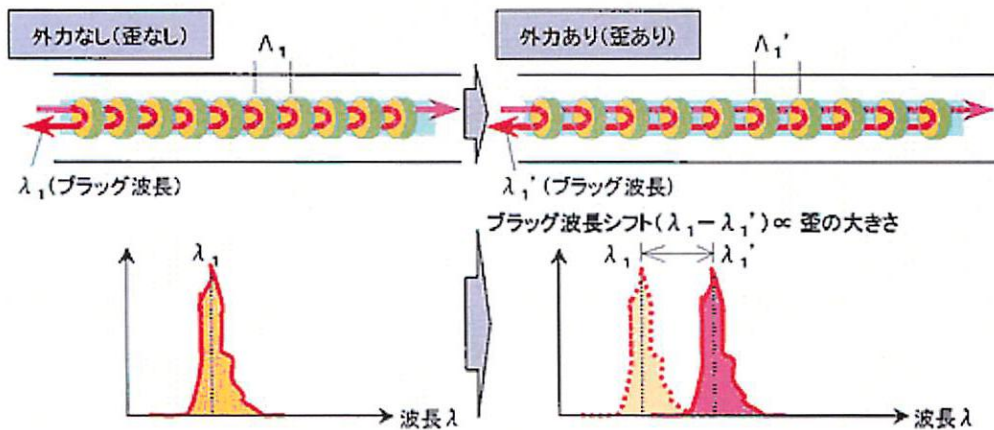


図 10.2.5 ブラッグ波長シフトとひずみの関係

ブラッグ波長のシフト量とひずみの関係は図 10.2.6 の様な比例関係となり、光ファイバのひずみ量を算出することが可能となっている。

・現場への適用例

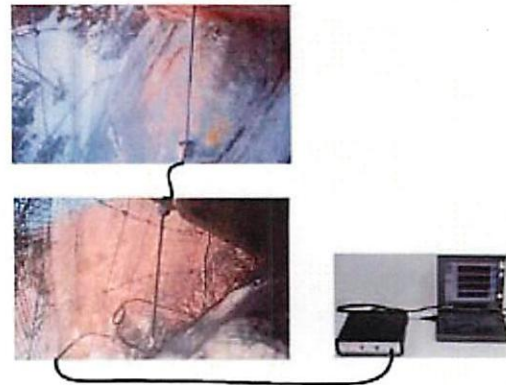
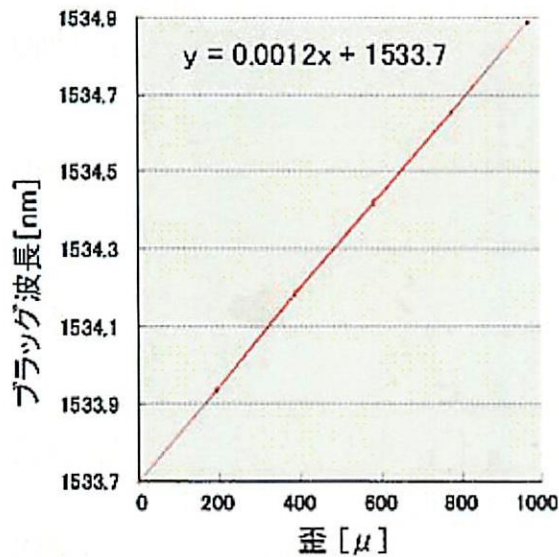


図 10.2.6
ブラッグ波長のシフト量と歪の関係

写真 10.2.8 FBG 岩盤亀裂変位センサ

10.2.4 OTDR(Optical Time Domain Reflectmeter)

1 本のファイバで長距離の計測が可能

(1)OTDR のひずみ測定技術

光ファイバ自体をセンサ線として対象箇所に設置し、入射光パルスの反射光損失を連続的に計測することにより、屈曲等の異常を検出する技術である。

(2)OTDR のひずみ測定原理

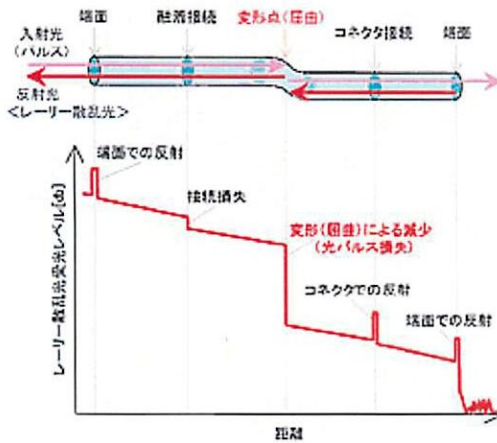


図 10.2.7 光ファイバケーブルとレーリー散乱光の関係

光ファイバに光パルスを入射するとレーリー散乱光が発生する。

このレーリー散乱光の受光レベルは、通常光ファイバの長手方向で一定であるが、光ファイバに屈曲等の変形が生じると減少する。

OTDR は、レーリー散乱光の受光レベル減少量を計測することによって、光ファイバ長手方向の光パルス損失を測定する技術である。

損失発生位置は、光パルス入射時間とレーリー散乱光受光時間から算出する。

従って光ファイバケーブルをセンサとして計測対象に設置することにより、連続区間において異常個所を検出することができる。



写真 10.2.9 落石検知センサへの適用例 OTDR

10.2.5 OSMOS(Optical Strand Monitoring System)

光ファイバの 2 点間の動的・静的計測可能

(1)OSMOS のひずみ測定原理

光ファイバが曲がることにより漏洩する赤外線量が変化することを利用し、変位を測定する。

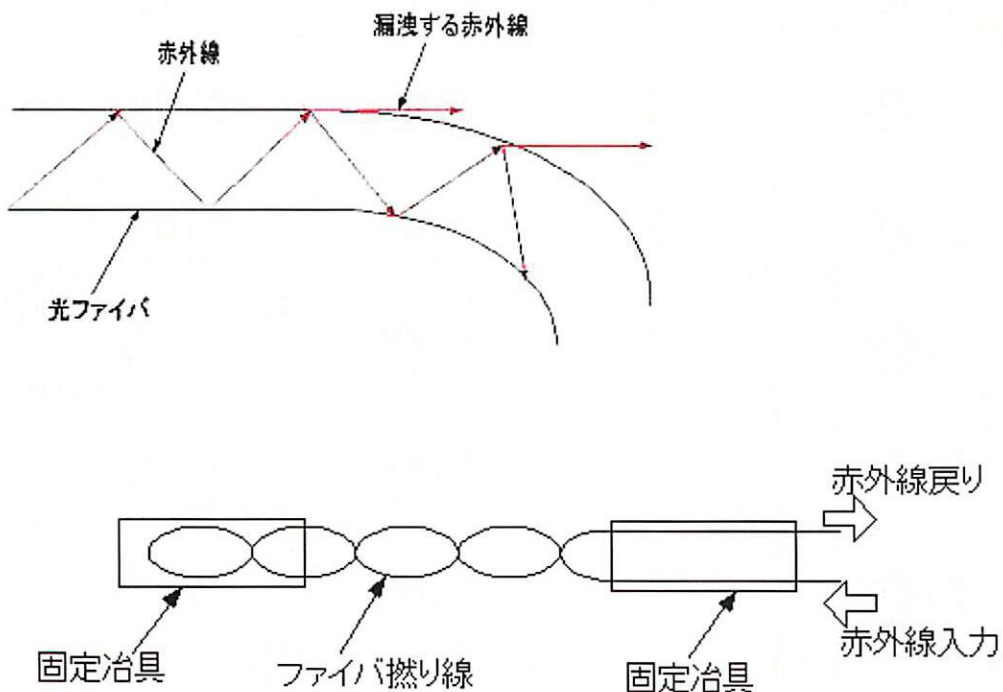


図 10.2.8 OSMOS のひずみ測定原理

[参考文献]

- 1) 楠見晴重, 成田一真, 前田稔, 川端裕子, 小熊一郎: 光ひずみセンサの V 字型敷設による岩盤斜面のモニタリング手法, 第 11 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, CD-R
- 2) H.Kusumi, K.Fujieda, H.Saito & K.Narita: Monitoring system of tension strain on rock slope by optical strain sensor, Proceedings of the ISRM Regional Symposium Eurock2001, pp.125-130, 2001.6
- 3) H.Kusumi, K.Narita, Y.Hasegawa, T.Katayama: The Development of Monitoring System of Rock Slope by Optical Fiber Sensor, ISRM International symposium on

Rock Engineering for mountainous Regions, Eurock 2002, 2002.11

4) NTT InfraNet 光ファイバセンシング資料

写真10.2.6 岩盤斜面への光ファイバセンサ敷設状況図



図10.2.7 光ファイバケーブルとレーザ散乱光の関係

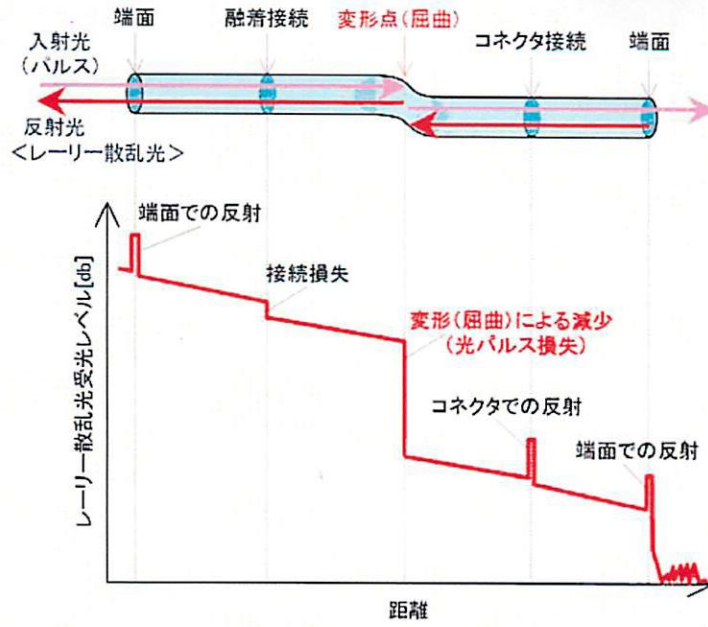


写真10.2.8 FBG岩盤亀裂変位センサ

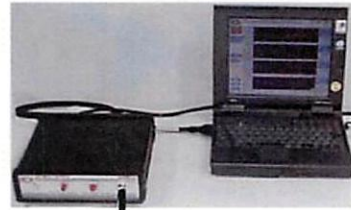


写真10.2.9 落石検知センサへの適用例 OTDR

