

Ⅱ-14 光ファイバを用いた土木構造物リアルタイム計測システムの事例研究

中野 雅弘*1

奥野 正富*2

川野 勝*2

佐々木 進*3

坂田 栄治*3

Masahiro Nakano

Masatomi Okuno

Masaru kawano

Susumu Sasaki

Eiji Sakata

【抄録】光ファイバは通信分野において、高速・広帯域・大容量の通信が可能な伝送媒体として広く用いられているが、近年、光ファイバをセンサとして利用する研究が盛んに行われており、土木構造物のひずみや地盤の変状並びに温度等を計測する技術として注目されている。光ファイバセンサの特徴として、劣化に強い(高耐久性)、電気的な誘導ノイズの影響を受けない、長距離の信号伝送が可能、電源が不要等の特徴があり、これらの特徴を活かした各種の計測システムについて開発が進められている。

【キーワード】光ファイバ、モニタリング、防災、計測、落石、トンネル、OTDR、B-OTDR

1. はじめに

光ファイバは、大容量通信が可能な伝送媒体として広く用いられているが、通信機能の他に光ファイバ内で発生する後方散乱光を利用し、光ファイバ長手方向に発生する歪みを測定することができる。

線的・面的に大規模な常時観測が可能なセンシング技術として期待される光ファイバセンサの適用例について、ここでは、光ファイバセンサを利用したOTDRによる落石検知システムとB-OTDRによるトンネル計測システムについて報告する。

対象箇所に設置することにより、長距離区間において変化点を検出することが可能である。

2.2 ブリルアン散乱光応用センサ (B-OTDR)

ブリルアン散乱により発生する反射光は、光ファイバに発生する歪量に比例して、その周波数がシフトする。このブリルアン散乱光の周波数シフト量と光パルスを入射してから戻り時間を計測することによって、光ファイバの長手方向の歪分布の測定が可能である。

2. 光ファイバセンサの概要

光ファイバに光パルスを入射すると、光が伝播するときに、入射方向と逆方向へ反射光が発生する。これを「後方散乱現象」といい、光ファイバセンサの計測原理として利用している。この後方散乱現象には、「レーリー散乱」、「ブリルアン散乱」、「ラマン散乱」等があり、それぞれの特性により、下記に示すようなセンサへの活用が可能である。

2.1 レーリー散乱光応用センサ (OTDR)

レーリー散乱により発生する反射光の強度を計測することにより、光ファイバ自身の長さ方向の減衰特性や接続点等における入射パルスの損失量の測定、および光ファイバの屈曲等の変化を検出することが可能である。損失発生位置は、光ファイバにパルスを入射してから反射光が戻ってくるまでの時間から算出する。したがって、光ファイバをセンサとして計測

2.3 FBG (ファイバ・ブラッグ・グレーティング)

光ファイバの長手方向のある一定部分に、等間隔に断面の屈折率が異なる部分(グレーティング)を設けることにより、ブラッグ波と称する反射光が発生する。この反射光は、グレーティング部分の伸縮量に比例して波長がシフトする。この波長シフト量を計測することにより、グレーティング部分の歪み、温度の測定が可能である。

2.4 ラマン散乱光応用センサ

光の伝播の際に、光ファイバ組成材料(ガラス)の分子振動により発生するエネルギーを授受し反射する光をラマン散乱光と言う。この光は分子振動により短波長(ストークス光)と長波長(アンチストークス光)にずれ、その強度比は温度の違いによる分子振動に依存する。

このラマン反射光の戻り時間、およびストークス光とアンチストークス光の比率を計測することにより、光ファイバに沿った温度分布を測定することが可能である。

*1: 大阪産業大学 工学部

〒574-8530 大阪府大東市中垣内 3-1-1

*2: NTTインフラネット(株) 関西支店

〒541-0056 大阪府中央区久太郎町 2-4-11 クラウド・ネットワークビル 14F

*3: アイテック技建(株) 関西支店

〒550-0002 大阪府西区江戸堀 1-22-17 西船場辰巳ビル 4F

3. 計測事例

3.1 落石検知システム

3.1.1 概要

本システムの設置場所は、県境にある国道沿いの峠であり、崩壊しやすい岩盤地で、落石が点在している傾斜地である。また、主要幹線道路に面しており、交通量も多い路線でもあることから、落石発生時には、交通事故や人身事故等の二次災害に繋がる危険性が高い箇所と推定された。

上記の現地状況から、落石発生の検知と落石位置の特定をリアルタイムに実施するため、OTDR（レーリー散乱光応用センサ）を用いた落石検知システムを構築した。

3.1.2 システム構成

本システムは、大別して管理事務所災害対策室内に設置されたOTDR測定器を含む監視装置と既存の情報BOX光ファイバ網を利用した伝送路および現地の

落石検知装置の大きく3つで構成される。システム構成を図-1に示す。落石の発生は監視装置のパーソナルコンピュータに即時通報され、画面地図上に記された各センサ部が落石規模に応じて3種類の色分け表示されると同時に警報を発する。また、検知履歴や測定結果グラフの表示機能を有している。ソフト表示画面を図-2、図-3、図-4に示す。

3.1.3 落石検知装置

今回採用した光ファイバセンサについては、落石時に光ファイバに曲げを生じさせる仕組みが必要であるため、落石による力を間接的に利用した仕組みを考案した。

落石検知装置の設置に関しては、既存の防護フェンスの支柱を利用し、支持部を取り付ける方式とし、検知板は法面の傾斜に応じた角度調整機構を持たせる機構とした。落石検知装置の概要を図-5、センサBOXの概要を図-6に示す。

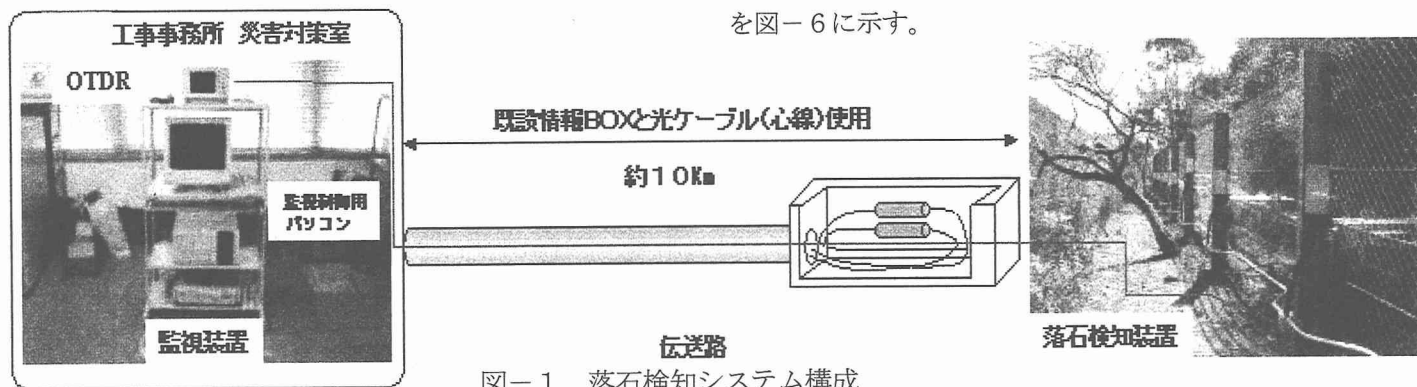


図-1 落石検知システム構成

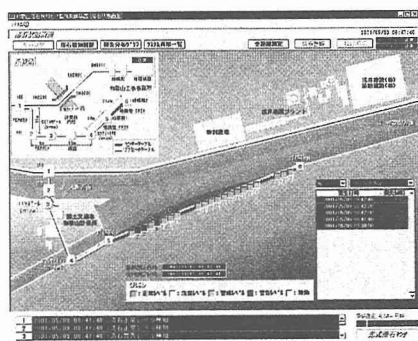


図-2 監視画面

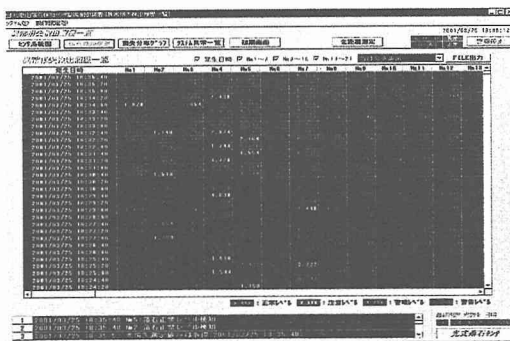


図-3 履歴画面

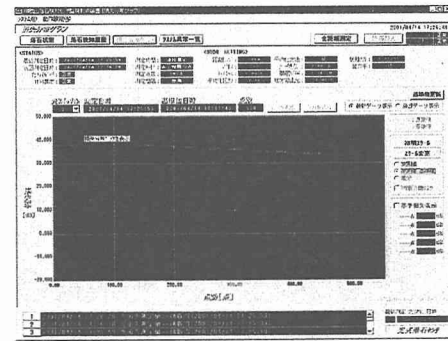


図-4 測定結果画面

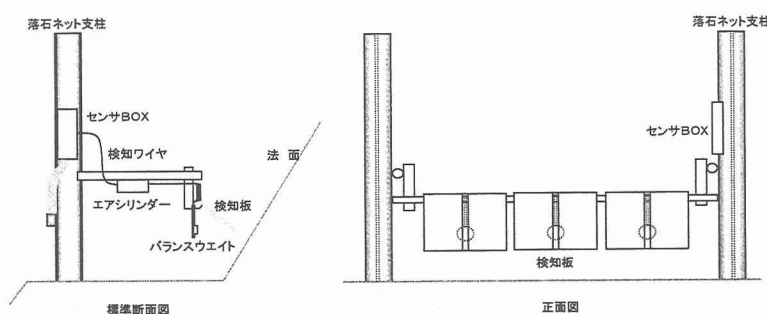


図-5 落石検知装置

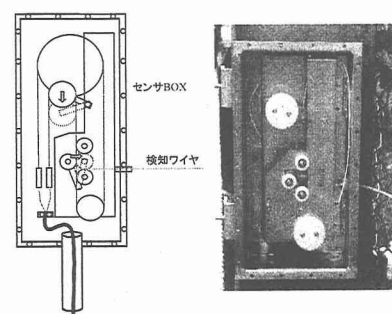


図-6 センサBOX

3.2 地下鉄工事近接施工に伴う通信用トンネル

計測システム

3.2.1 概要

地下鉄工事の通信用トンネルへの近接施工に伴い、通信用トンネルへの影響を光計測システムにより計測を行ったものである。地下鉄工事の駅舎部、シールド部の近接区間が約2.5 kmと広範囲であり、縦断的な計測が必要となったことからB-O TDRセンサを用いて、地下鉄施工による影響を最小限に抑制することを目的とし、通信用トンネルの変状を計測することとした。ここでは、図-7に示す駅舎構築部での計測状況について述べる。

3.2.2 センサ設置方法

通信用トンネル内のセンサ設置は、縦断、横断両方向とし、縦断方向については、土留構築時、掘削時などの影響を把握することとして、通信用トンネルの90°、270°の位置に、光ファイバセンサの固定点を5 m毎に設けて、連続的に設置した。

横断方向については、トンネル断面方向の変形を的確に把握することを目的として鉛直、水平方向に設置した。設置方法の概要を図-8に示す。

3.2.3 計測結果

図-9に土留杭(SMW)が施工された時の軸方向センサの計測データの一例を示す。土留杭(SMW)が側方に設置される際の影響を $\pm 40 \sim 60 \mu$ 程度という微妙なひずみレベルで圧縮、引張も明確にとらえており、軸方向に発生する微妙な曲げひずみを計測していることがわかる。

図-10には、同じく断面方向の内空変位のデータを示す。軸方向センサと同様に、土留杭(SMW)施工時の水平方向が伸び、垂直方向が縮むという現象を的確に捉えている。この傾向は、各土留杭(SMW)の施工ごとに該当する位置で軸方向センサ、断面方向センサが反応しており、本計測が従来の計測方法にはない構造物の連続した計測を可能としていることを示している。

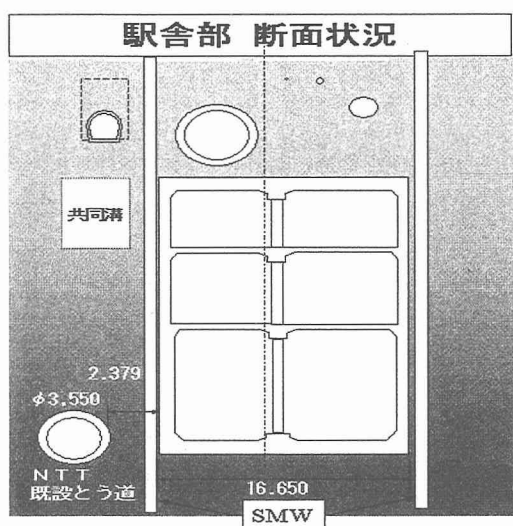


図-7 駅舎構築部断面図

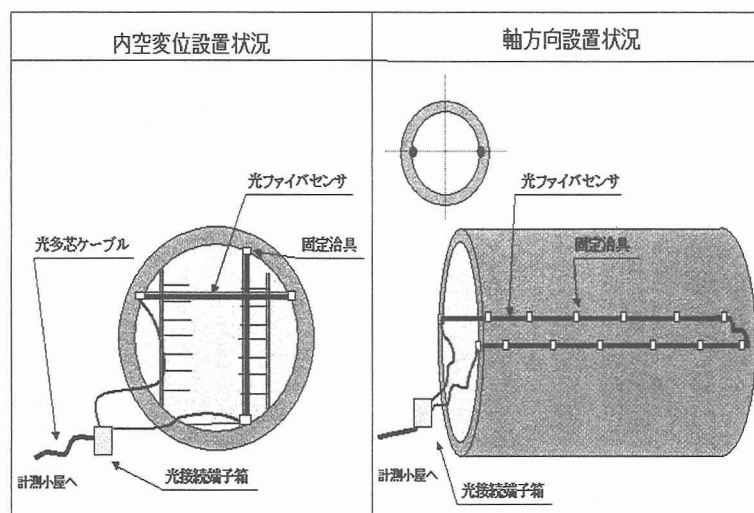


図-8 センサ設置

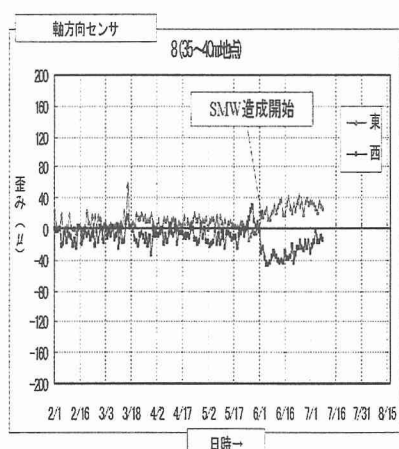


図-9 軸方向センサ計測データ

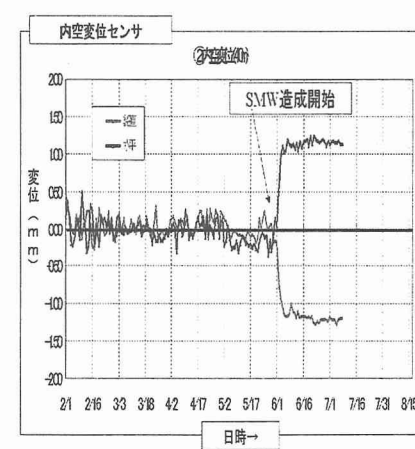
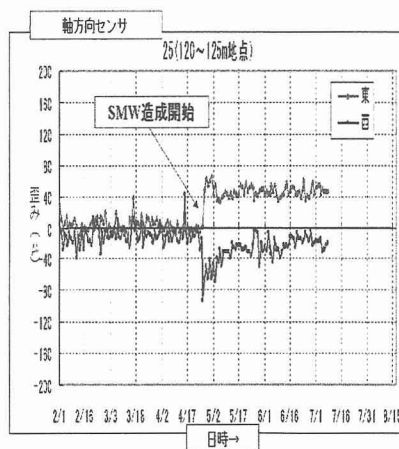


図-10 断面方向センサ計測データ

4. 課題と今後の展開

4.1 課 題

今回の設置事例を含め、現在、道路構造物をはじめトンネル、河川、地盤変状等に光ファイバセンサが設置され計測が行われているが、更なる適用拡大を図るためには、以下の課題に対する検討が必要と考える。

1) 測定精度の向上

計測データの信頼性の向上のため、更なる計測精度の向上が望まれる。

2) 計測結果表示の平易性向上

危険個所の計測、災害発生の前予測知としてリアルタイムな監視、判断が必要であることから、監視結果を簡単に理解できるビジュアルなソフト開発等にも取り組む必要がある。

3) 設置性の向上

設置、施工に関しては、光ファイバセンサの効率的な設置方法を確立することにより、更なるコストダウンを図っていく必要がある。

4.2 適用領域の拡大

これらの課題に対する技術検討を進めていくことにより、光計測システムの信頼性を更に向上させ、様々な土木構造物や地盤変状の計測、更には、1 台の計測器により、図-11に示すように各種構造物を広範囲に遠隔で監視できる計測システムへと適用拡大を図りたい。これらにより、災害危険箇所に敷設された光ファイバと情報通信インフラが有機的に結合され、物理的、地理的制約の克服が可能となり、施設管理者は集中管理された事務所において、求める情報がリアルタイムに入手可能となり、災害発生時の事前予測知、維持管理業務の効率化が図れることとなる。

また、IT技術を活用し、情報通信ネットワーク技術を駆使したシステムを構築することにより、各種システム、例えば、ITSシステムと連動することによる道路防災への適用拡大、インターネットによる災害危険個所のリアルタイムな監視情報の公開等を可能にし、地域防災への適用拡大など、幅広い計測システムの構築が可能になるものと考えている。

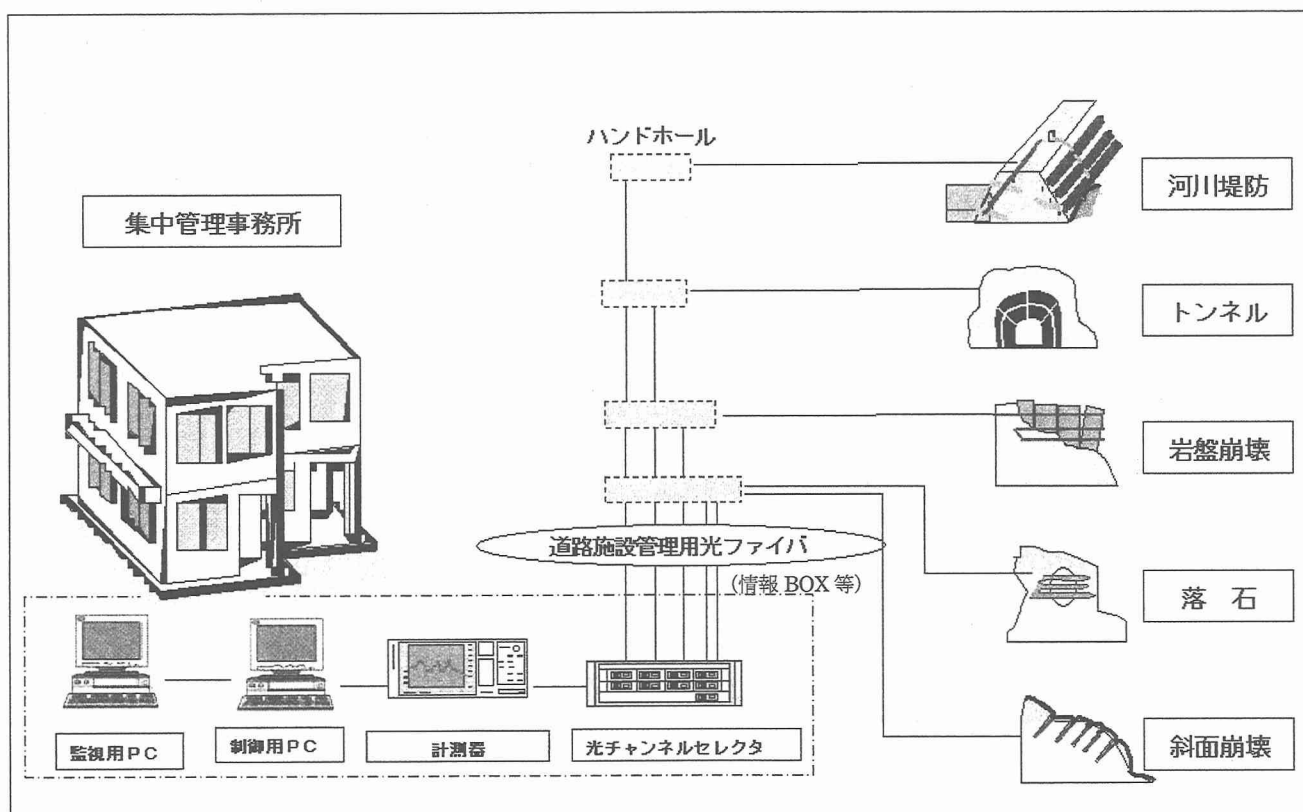


図-11 土木構造物光監視システム