

R&D

ホットコーナー

先端技術

光ファイバセンシング技術を活用した道路災害モニタリングシステムの開発

NTTアクセスサービスシステム研究所

ふじはし かずひこ うさはら ひでき おくつ まさる こまつ こうじ
藤橋 一彦 / 上原 秀幹 / 奥津 大 / 小松 宏至

NTTアクセスサービスシステム研究所は、光ファイバセンシング技術を活用して道路の災害発生を監視するシステムの開発に取り組んできました。光ファイバセンシング技術は長距離を線的に計測可能なため、管理を必要とする道路延長が膨大であり、発生箇所をあらかじめ特定することが困難な道路災害の監視に優れています。道路災害監視のためのさまざまなセンサの開発および計測器の制御、データの処理等を行うソフトウェアの開発について紹介します。

光ファイバセンシング技術とは

光ファイバセンシング技術とは、光ファイバにレーザ光を入射し、その反射光または透過光を受光し、その特性を分析することにより歪み、温度、損失等を計測する技術です。光ファイバセンシング技術にはいくつかの方式があり、NTTはBOTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectometer) 方式を開

発、NTTインフラネット

発・実用化してきました^{(1),(2)}。この方式では、光ファイバに光パルスを入射したときに発生する後方散乱光の1つであるブリルアン散乱光^{*1}の周波数分布が光ファイバの軸歪みに比例してシフトするという特性を利用して、光ファイバに沿って連続的に歪みを計測することができます(図1)。一方、OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) 方式はレイリー散乱光^{*2}の光パワーを計測することにより光ファイバ長手方向の損失の計

測、接続点の位置の特定、光ファイバの長さの算出などをすることができます。

- *1 ブリルアン散乱光: 光ファイバに光を入射すると、そのエネルギーの一部が光ファイバ中に超音波を発生させ、これにより入射光の一部は光周波数が若干シフトされて散乱されます。このときの散乱光をブリルアン散乱光と呼びます。
- *2 レイリー散乱光: 光ファイバに本質的に存在する屈折率の揺らぎによる散乱光。散乱光の周波数の変化を問わず、光ファイバ中で発生する散乱光の中でもっとも強い散乱光であり、従来から光ファイバの光損失測定や破断点の検出に利用されています。

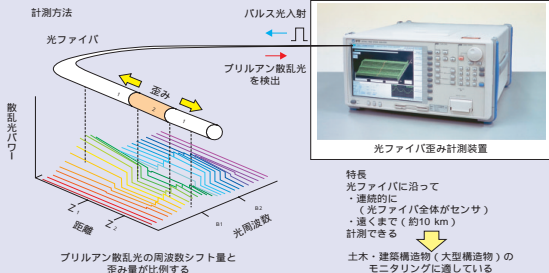


図1 BOTDR方式概要

特長
光ファイバに沿って
・連続的に
(光ファイバ全体がセンサ)
・遠くまで(約10 km)
計測できる

土木・建築構造物(大型構造物)の
モニタリングに適している

開発の背景と現状の課題

日本は地形が急峻なうえ、台風、積雪、地震といった厳しい自然環境にあるため、さまざまな災害を経験してきました。道路もこのような災害とは無縁ではなく、またいったん災害が発生すると人命、社会・経済活動に大きな影響を与えます。一部で対策工事が行われていますが管理を必要とする道路延長が膨大であり、危険箇所の特定が困難なため、万全とはいえません。また、センサなどによる遠隔監視も行われていますが大部分が巡回点検に依存しており、安全性と即応性に欠ける面があります。さらに、センサなどによる監視が点的であることやメンテナンス、更改のサイクルが短く、ランニングコストが負担となることなどが課題となっています。これらの課題を解決する方法として、NTTアクセスサービスシステム研究所では長距離を線的に遠隔で監視可能かつ耐候性に優れたシステムとして光ファイバセンシング技術を活用したシステムの開発に着手しました。

さらに光ファイバセンシング技術が道路災害監視に適していると考えられる背景として、国土交通省など道路管理者が道路沿いに情報BOXを整備中であり、道路管理用の光ファイバを敷設していることが挙げられます。この光ファイバ網を基盤として、必要な箇所でセンサ用に光ファイバを分岐することができるため、広域をカバーするシステムの構築には大きなメリットとなると考えられます。

システムの概要

道路災害モニタリングシステムは、斜面表層崩壊監視機能、雪氷災害監視機能、橋梁監視機能、トンネル監視機能の4つの機能があります(図2)。これらの機能を実現するため、次のようなさまざまなセンサの開発、設置方法・施工性・耐久性の検討を行うとともに、計測器の制御、データの処理などを行うソフトウェアの開発に取り組みました。

斜面表層崩壊監視機能

斜面の表層崩壊は、地形・地質・植生などの条件により崩壊形態が多様であ

り、また崩壊発生箇所を特定することが困難です。そこで、広域をカバーできる光ファイバセンシング技術の長所を生かして、小規模な崩壊でも検知し、道路管理者が早期に災害を把握できる機能の実現を目指しました。この開発に先立ってNTTアクセスサービスシステム研究所は、独立行政法人土木研究所を中心とした民間十数社との「光ファイバセンサを活用した道路斜面崩壊モニタリングに関する共同研究」に参加しています。この共同研究においてNTTアクセスサービスシステム研究所はNTTインフラネット、アイレック技建と組んで光斜面変位計、光地中変位計、光ファイバ水位計を開発し、長野市近郊の国道19号線沿線の斜面において現場計測を実施しました(図3)。降雨などによる表層崩壊は発生しませんでした。また、現地を確認することができました。また、現地で強制的に変位を発生させて試験を行った結果、良好な計測特性を確認することができました。

雪氷災害監視機能

日本の国土の約60%は積雪寒冷地域

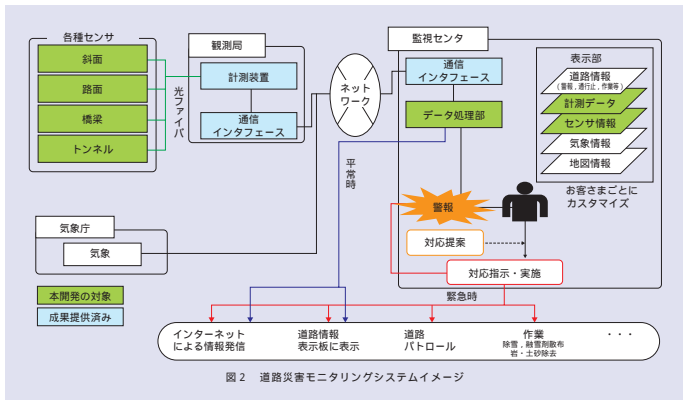


図2 道路災害モニタリングシステムイメージ

であり、冬季の道路管理は重要な課題です。適切な除雪，融雪（融雪剤散布，ロードヒーティング）を行うことにより安全性を確保しつつ，道路維持管理費用および環境負荷の抑制が求められています。経済的に道路交通の支障となる雪崩や路面凍結を検知し，管理者に通報する機能の実現を目標とし，BOTDR方式の積雪計，路面温度計およびOTDR方式の雪崩検知計，吹雪検知計を開発しました（図4）。これら新開発のセンサ等の機能確認のため，北海道小樽土木現業所様のご協力を得て，道道998号沿線（積丹半島）で昨年12月から本年5月にかけて現場実験を行いました。いずれのセンサもほぼ目標としていた機能を満足していたことを確認しました。

橋梁監視機能

橋梁は日常のみならず災害時においても輸送・交通の要衝であり，道路管理者にとって維持管理，安全性確保，耐震性向上が重要なテーマとなっています。橋梁モニタリングには，上部構造の劣化モニタリングと地震後の橋の変形（桁移動，橋脚の傾斜等）モニタリングがありますが，それぞれの要求精度と現状での計測器の精度を考慮した結果，後者を開発対象としました（図5）。地震直後に橋の健全性，交通の可否を判定するために橋桁の移動量を計測・検知することを目的として変位計を試作しました。具体的には，BOTDR方式で変位量を定量的に計測すると同時に，OTDR方式で管理基準値を超えたか否かを判定する仕組みを組み合わせたセンサを試作し，室内試験，ヒートサイクル試験などによりその機能を確認しました。

トンネル監視機能

近年，鉄道トンネルなどでコンクリート片の剝離・落下事故が報告されています。NTT事業会社が所有するとう道については，このような構造物の変状を監視する目的で光ファイバセンシング技術（BOTDR方式）を活用した構造監視機能を「とう道マネジメントシステム」の一機能として2001年度から導入を開始しています。NTTとう道ではセ

ンサケーブルを2 m間隔でトンネル内部の軸方向に固定し，主にひび割れの発生を監視しています。道路トンネルには，この技術を応用することとしました。また，トンネルの傾斜を監視するための光

ファイバセンサを使った水盛式沈下計を試作し，室内実験によりその性能を確認しました（図6）。

道路災害モニタリングソフトウェア

これまで述べてきた各種計測器を制御

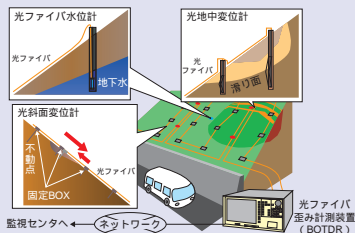


図3 斜面表層崩壊監視機能概要

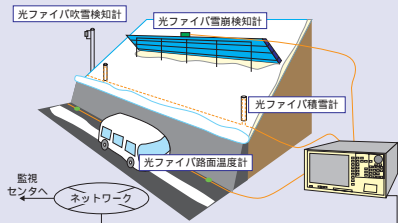


図4 雪氷災害監視機能概要

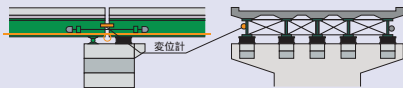


図5 橋梁監視機能概要

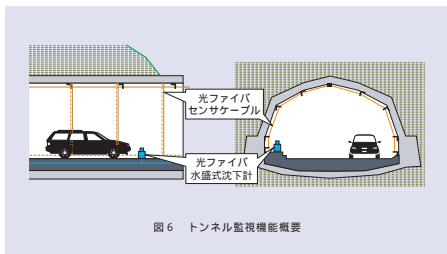


図6 トンネル監視機能概要



図7 道路災害モニタリングシステム画面イメージ

表1 道路災害モニタリングソフトウェア機能概要

機能	概要
計測器制御	計測器 (BOTDR, OTDR) の各種計測条件の設定や定期計測のためのタイムテーブルの設定
計測データ表示	計測データ (歪み, 損失) の表示, 保存データの読み込みおよび表示, 表示したデータのIM形式への変換
センサ情報登録・表示	個々のセンサに関する各種情報の登録・表示 センサ種別, センサ名, チャンネル番号, ルート長, センサ区間, 補正区間, 管理基準値, 校正係数 など
地図表示	監視対象エリアの地図表示 (拡大・縮小・移動), 登録したセンサの地図上への表示
データ処理・表示	計測したデータから各種物理量 (変位量, 温度など) または各種判定を行い, 時系列データとして表示
アラーム	管理基準値を超えた場合に地図上に色で表示するとともにアラーム音を発生 「注意」「警戒」といったアラーム履歴は保存される

し, 各種センサのデータを収集・分析・表示するソフトウェアを開発しました (図7)。このソフトウェアを含めたモニタリングシステム全体は, 各種センサ, 光スイッチ, BOTDR, OTDR, 制御用PC, 監視用PCによって構成されます。このソフトウェアの主な機能は, 表1のとおりです。

今後の展開

光ファイバセンシング技術を活用した道路災害モニタリングシステムは, 道路を主なターゲットとしていますが, その他の土木構造物などへの応用も可能であり, 事業会社を通じてさまざまな分野へ展開していくことが期待されます。

参考文献

- (1) 成瀬: “光ファイバひずみ計測技術の土木構造物への応用,” NTT技術ジャーナル, Vol.11, No.5, pp.69-71, 1999.
- (2) 倉嶋: “片端から非破壊で光ファイバの歪み・損失を測定,” NTT技術ジャーナル, Vol.9, No.6, pp.87-89, 1997.



(左から) 小松 宏志 / 奥津 大/
藤橋 一彦 / 上原 秀幹 (右上)

NTT独自技術であるBOTDRを活用したモニタリングシステムは, 従来型計測システムの課題を解決するものとして, 近年社内外から大いに期待されています。今後は事業会社への支援を行うとともにさらなる高機能化を目指し, 研究開発を進めていきます。

問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
シビルシステムプロジェクト
TEL 029-868-6240
FAX 029-868-6259
E-mail botdr@ansl.ntt.co.jp