

II-24 IT (情報技術) を活用した土木構造物総合監視システムについて

中野雅弘*1 津田俊雄*2 松繁幸平*2 佐々木進*3 坂田栄治*3
 Masahiro Nakano Toshio Tsuda Kohei Matsushige Susumu Sasaki Eiji Sakata

【抄録】近年、IT (情報技術) は土木構造物の様々な分野に活用され始めている。特に光ファイバを土木構造物のひずみや地盤の変状および温度等を計測するセンサとして利用する試みが行われている。現在、道路構造物をはじめトンネル、河川、切り土斜面等への構造物に設置され計測が行われているが、より精度を向上させるための解析手法の検討や構造物への設置方法の改善、および経済性の向上についての課題があり、それらを解決するための技術的検討が必要である。また、さらに GIS 技術等を活用しリアルタイムで膨大なデータを処理し、分析可能な点検システムのあり方を検討するとともに、情報通信ネットワークを活用し、監視から維持管理を一連に行うことが可能な総合監視システムの構築についても検討を進める必要がある。

【キーワード】施設管理、情報管理、防災技術、マルチメディア、インターネット、光ファイバ、BOTDR、ネットワーク、ITS、情報 BOX

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。光ファイバセンサ (以下 BOTDR という) の特徴としては、次のことが挙げられる。

- ① 従来の電気ひずみ計が点計測の離散的な情報にならざるをえないのに対し、光ファイバ自体をセンサとして用いるため、長手方向に沿った連続的なデータ取得が可能であり、その配線形態によっては面的広範囲な計測が可能である。
- ② センサへの電力供給が不要であり、雷・高圧線等の電氣的誘導を受けない。
- ③ 光ファイバの低損出特性により計測対象箇所からの遠隔監視が可能である。
- ④ 計測対象箇所にて光ファイバセンサが損傷した場合、部分的な取替えが可能である。

現在、危険箇所あるいは災害・事故発生時の社会基盤設備の健全性・被災状況は、その大半を現地での目視確認や I T V カメラ等による映像監視に頼っているが以下の問題点があげられる。

- ① 点検対象施設・構造物の常時監視が困難である
- ② 危険作業が伴う
- ③ 災害発生の事前予知が難しい
- ④ 広域災害時の情報収集が困難である

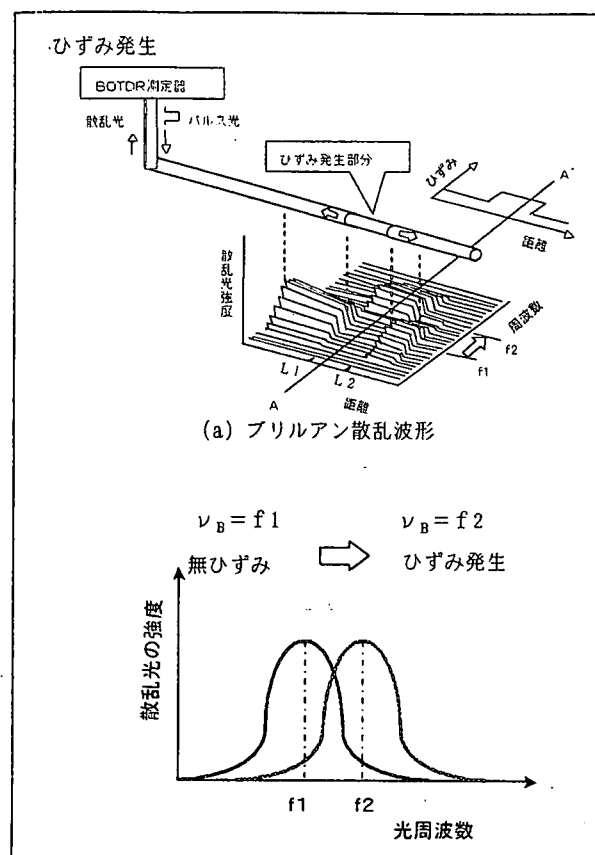
今回、線的・面的に大規模な常時観測が可能なセンシング技術として期待される光ファイバセンサ (BOTDR) の適用例について紹介するとともに、さらに IT を活用した土木構造物の総合的な監視システムのあり方について述べる。

2. BOTDR の原理

光ファイバに入射された光は、光ファイバ中を伝播する過程で、光ファイバガラスの微小な密度や組成のゆらぎにより散乱される。代表的な散乱光には、レイリー散乱、ラマン散乱、ブリルアン散乱などがある。BOTDR ではブリルアン散乱光を利用する。

光ファイバに光パルスを入射すると光ファイバ内で発生するブリルアン散乱光は、ある特定のパワースペクトル (周波数分布) を有し、光ファイバの長手方向の伸縮 (歪み) に比例してそのパワースペクトルがシフトする。この周波数シフト量を検出することにより相対的な歪みを算出する。歪みの発生位置は、光ファイバにパルスを入射してから散乱光が戻ってくるまでの時間により特定される。従って、連続的な光ファイバケーブルをセンサとして計測対象箇所に設置することにより計測箇所の変状 (歪み) を連続データとして計測することが可能である。図-1 に BOTDR による歪み測定原理を示す。

*1: 大阪産業大学工学部、*2: NTT インフラネット(株)、*3: アイレック技建(株)



図－１ BOTDR 計測による歪み測定原理

3. 土木構造物の計測事例

このような BOTDR を用いて、現在までに実施された土木構造物の挙動を計測する例について構造物の種類ごとに分けて説明する。

1) 道路構造物

まず、道路下に埋設される管路の工事においてしばしば問題となる路面沈下を監視する計測や、擁壁背面路盤の沈下計測の事例があり、これらの特徴として比較的浅い位置での計測においても、広い範囲、縦方向での計測が可能である。

2) 河川構造物

河川堤防については、集中豪雨等による堤体の不等沈下や崩壊を監視するために堤体軸方向に光ファイバを敷設し堤体の動きを BOTDR により計測する例がある。これも BOTDR の長手方向計測が連続的に可能であるという特徴を活かしたものである。

3) トンネル構造物

トンネルについては、コンクリート覆工された都市内のシールドトンネルに近接工事が行われる事例において、トンネルへの影響を BOTDR を用いて常時計測している例がある。事例では近接する工事により

トンネル横断方向の応力が開放されてトンネルが扁平された状況が計測されている。これらは、トンネル断面方向と軸方向を同時に計測し総合的に 3 次元的挙動を把握できた結果である。

また、NATM 工法による山岳トンネルの事例では、先受鋼管内に光ファイバを挿入し、周辺地山の応力状況を常時監視している例もある。これにより、従来のひずみセンサではできなかった連続的かつ常時の計測が可能となっている。

4) 土構造物（斜面、法面等）

道路盛土、斜面の変状監視のためにすべりやすい斜面に対して、抑止杭を設置し、その動きを BOTDR によって計測して斜面の挙動を監視する事例がある。また、崩れやすい法面に対して、崩壊防止ネットを張り、そのネットに光ファイバを連続的に敷設し、そのネットの挙動により法面の挙動を監視する事例がある。さらに、落石の多い個所では、落石による衝撃を感知するようなマットを工夫し、BOTDR により計測している例もある。これらは共に、人が近寄ることが困難かつ日常監視しにくい場所においても、常時監視ができるという大きな特徴を有している。

以上が既に実施されている土木構造物への適用例であるが、さらに今後、鉄道、上下水道、ガス、電気、通信施設からなるライフライン構造物の様々なひずみや温度変化を計測することにより、都市供給機能の安定性を確保することが可能となる。

4. IT（情報技術）を活用した土木構造物総合監視システム

近年、最先端の情報通信技術を用いて人と道路と車両との一体システムとして構築することにより、ナビゲーションシステムの高度化、有料道路等の自動料金収受システムの確立、安全運転の支援、交通管理の適正化、道路管理の効率化等を図り、安全性、輸送効率、快適性の向上を図る ITS（高度道路交通システム）が現在構築されつつある。土木構造物光監視システムとこのような ITS システムを有機的に融合することにより、IT（情報技術）を活用した土木構造物総合監視システムの構築が可能となる。

1) 土木構造物光監視システム

災害危険箇所敷設された光ファイバと情報通信インフラの接続により、物理的、地理的制約の克服が可能となる。施設管理者は集中管理された事務所におい

て24時間常時、求める情報を瞬時に入手でき、災害発生の前予知、維持管理業務の効率化が図られる。管理事務所内の土木構造物に対する BOTDR 計測システムの適用イメージを図-2に示す。

2) 土木総合監視システム

以上のべてきた土木構造物監視システムは防災管理業務を支援するシステムの中では「監視システム」と考えられ、「点検システム」とともに「収集系システム」と考えられる。(図-3)

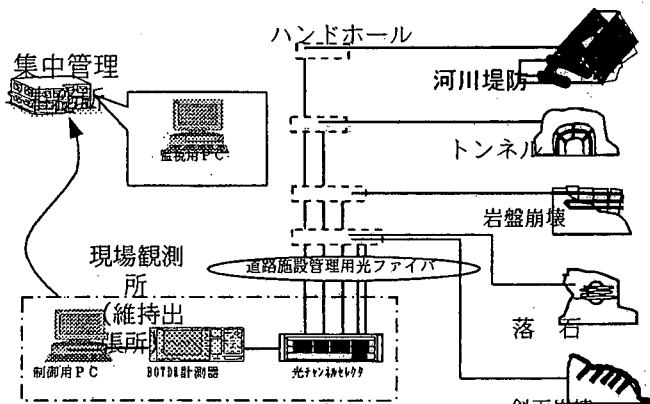


図-2 土木構造物光監視システムのイメージ

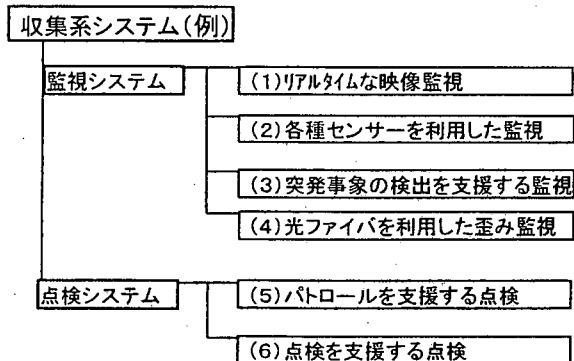


図-3 監視システムおよび点検システムのサブシステム（例）

「監視システム」は、頻繁に点検できない箇所を中心に定期的に観測するために整備されたシステムである。BOTDR もこの監視システムであり、それ以外に①リアルタイムな映像監視システム②各種センサによる監視システム③画像処理による事象検出システム等がある。

一方、「点検システム」は、人力による日常的な情報収集業務を支援するもので、ITの活用により、業務の効率化と高精度化を図るものである。このように、日常における設備監視対策を強化し充実化するためには、様々な支援システムの整備が必要であり、かつ、各システムを組み合わせた総合システムの構築が必要である。このように考えると、システムは大きく分けて収集系、処理/蓄積系、提供/変換系で構成され、加えて各システムをスムーズに情報伝達するネットワークが必要である。(図-4)

また、このシステムには情報の変化を的確に察知し、知らせる機能が求められ、さらに災害時等に的確な情報判断と情報伝達が行えることが最大の条件である。

このように、IT（情報技術）やネットワーク技術を駆使したシステムを整備することにより、日常監視業務や点検業務の強化が図られ設備管理者だけでなく、波及効果として設備利用者や地域社会へと広範囲な便益をもたらすことができる。

5. 課題と今後の展望

前述した土木総合監視システムにおける光監視システム等のさらなる適用拡大を図っていくためには、下記のような課題を解決していかななくてはならない。

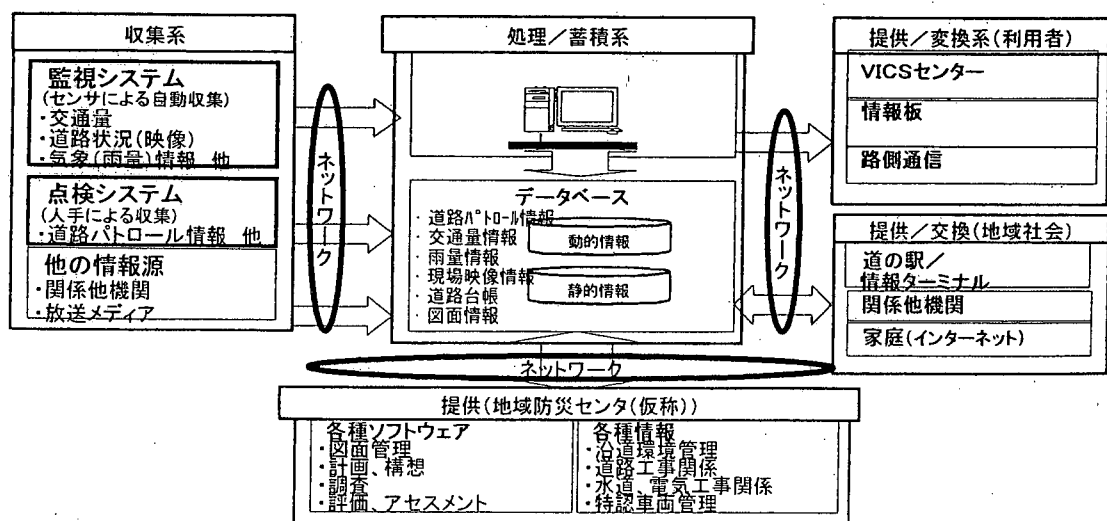


図-4 設備管理支援システム（全体構成）

1) 課題

①技術的解決

i) 測定精度の向上

現在の BOTDR 計測精度は100マイクロ程度であり、数十マイクロオダの計測精度が望まれる。

ii) 信頼性（安定性）の確保

光総合監視システムとしては長期間における計測のさらなる安定性が重要であり、既に構築された光監視システム等において、今後その検証を進めていかななくてはならない。

iii) 作業性の向上

光監視システムのコストダウンを進めていくためには、光センサおよび取付け治具等の改良を行い作業性を高める必要がある。

iv) 結果表示の平易性

監視結果をより平易に理解できるためには、ビジュアル化するためのソフト開発等に取り組む必要がある。

v) 危険度の定義

光監視システムで得られた様々な状態を分析し、構造物としての「危険度」を定義する必要がある。

②情報の共有化

設備データ、監視データ等の幅広い情報の共有化はさらに進めていく必要があり、さらにインターネットにより情報公開する方法等も考えられよう。

③各システムの相互連携

各システムの相互連携は今後ますます必要であり、ネットワーク技術を駆使したトータルとしての機能

を発揮するシステム構築が必要であろうが、その際、情報BOXの活用が有望であろう。

④データベースの充実（GISとの連動）

光監視データと施設管理データ等について、GIS活用によるデータベースの充実化が望まれる。

2) 今後の展望

本論文で紹介したシステムは、設備管理を中心に支援するシステムの事例の紹介及び提案であるが、ITS等のITを活用したシステムは施設管理者や利用者に対して多大な便益が図れるものと期待している。それらを導入することにより、住み良い町づくりと地域の活性化を目指し、技術開発における産・官・学のさらなる連携を深めつつ地域社会を守り、さらには環境・エネルギー問題への対応など幅広く地域社会の発展に寄与することが可能となろう。（図-5）

参考文献

- 1) 倉嶋、田中、薄：光ファイバを用いた歪分布計測、土木学会、岩盤力学に関するシンポジウム、1997.1
- 2) 中野 雅弘：IT（情報技術）で変わる建設分野、防災技術研究会定例研究会、2001.6.
- 3) 中野 雅弘：地震防災分野へのITの活用、関西ライフライン研究会、2001.7.
- 4) Nakano, Yano：ITS Applications Utilized of Telecommunications Network System to Disaster Prevention and Road Management Field, 8th World Congress on ITS in Sydney, Australia, 2001.10

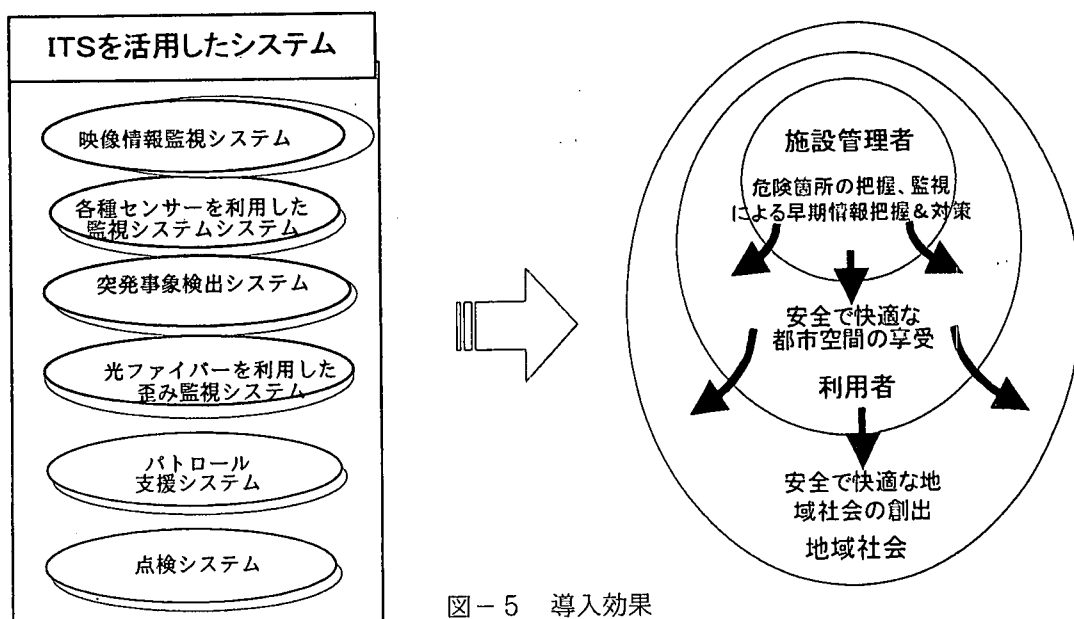


図-5 導入効果