

# 光ファイバセンサを用いた計測システム等の検討\*

Study of the monitoring, detecting and controlling systems with the optical fiber sensor etc\*

徳永 法夫\*\* 井上 健一\*\*\* 菊地 秀夫\*\*\*\* 日野 泰雄\*\*\*\*\*

By Norio Tokunaga\*\*, Kenichi Inoue\*\*\*, Kikuchi Hideo\*\*\*\*, Hino Yasuo\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

我が国は、公共投資の積み重ねにより急速な社会ストックの形成がなされるとともに、欧米水準を目標に更に投資が進んでいる。しかし、この社会資本設備の維持更新や構築に当って、我が国の急速な人口の高齢化・少子化は大きな不安要因となっている。

また、貿易の自由化等による公共事業の見直しにより、急速なコスト削減と品質確保による安全なまちづくりが求められており、これらの問題を解決していくことが我々技術者の大きな課題となっている。

このように、複雑・多様化する技術的課題に対し、最近、急速な技術の確立がなされている光ケーブルを利用したセンサ技術の活用を試みた。

以下の本文では、光ファイバセンサ技術の最近の動向と応用事例を紹介し今後の課題を取りまとめた。

## 2. 光ファイバセンサの技術動向

### (1) 光ファイバセンサの特徴

光ファイバは、図 1 に示すようにガラスやプラス

チックで構成された屈折率の高い透明な物質(コア)の周囲を屈折率の低い物質(クラッド)で包んだ構造となっており、

光を全反射の原理を利用しコア内に閉じ込め伝搬させていく。

低損失で大容量の伝送が可能な光ファイバは、高度情報化社会に向けた情報通信ネットワークの基幹として構成されている。

こうした情報伝達機能の他、光ファイバは、センサとしての機能を有しており、更に、次に挙げる特徴を有していることから、実用化に向けて期待されてきている。

電磁ノイズ等の周囲環境の影響を受けづらい。分布型センサとなる。

光ファイバセンサ自体は無電源である。

光ファイバセンサ自体が通信機能をもっている。

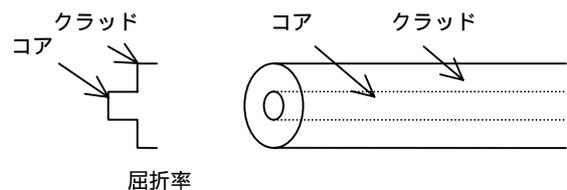


図 - 1 光ファイバの構造

### (2) 光ファイバセンサの原理

光ファイバを利用したセンサは、光ファイバ内部に光が伝搬していく際に光が散乱する現象を利用したものが実用化に向け検討が行われてきており、歪み、圧力、温度、距離、位置等の測定に用いられてきている。

光ファイバセンサに利用される光の散乱現象には、図 - 2 に示すレーリ散乱光、ブリルアン散乱光、及びラマン散乱光がある。その他センサには、光ファイバリング干渉計を用いた光ファイバジャイロ、特

\* キーワード : システム分析、施工計画・管理、防災計画

\*\* 正員 大阪メディアポート(株) 技術室アクセス設備グループ  
〒530-0005 大阪市北区中之島6-2-24  
TEL(06)7501-0636、FAX(06)7501-0639

\*\*\* 大阪メディアポート(株) 技術室アクセス設備グループ  
〒530-0005 大阪市北区中之島6-2-24  
TEL(06)7501-0636、FAX(06)7501-0639

\*\*\*\* (株)フジクラ 通信事業部西日本通信技術部  
〒530-0047 大阪市北区西天満5-1-11  
TEL(06)6364-0376、FAX(06)6364-0354

\*\*\*\*\* 正員 工博 大阪市立大学大学院工学研究科教授

定の波長のみ選択的に反射するように光ファイバの

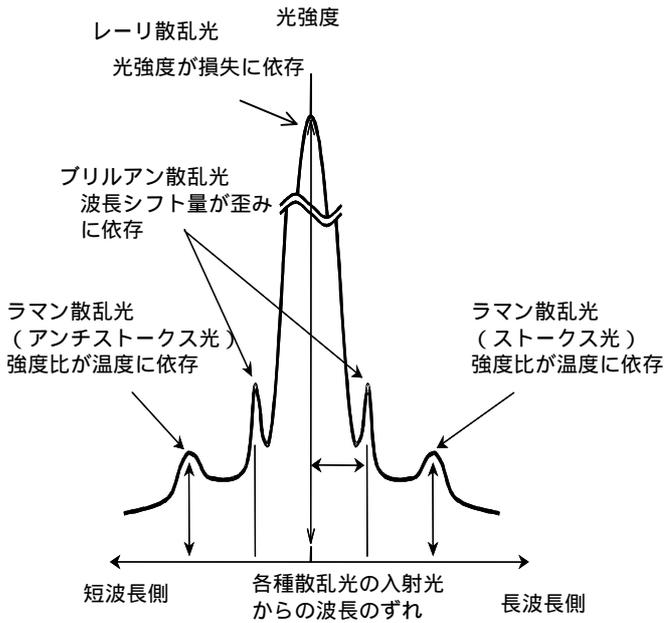


図 - 2 光ファイバセンサに利用される各種散乱光

コア部の屈折率を一定周期で変化させたファイバグレーティングを用いたもの等がある。

表 - 1 に、現在実用化に向け検討が行われている代表的な光ファイバセンサについて基本原理と合わせ紹介する。

### 3. 光ファイバセンサの応用事例

ここでは、2項に挙げた各種光ファイバセンサの内、ブリルアン散乱光検出方式を利用した光ファイバセンサの応用事例について紹介する。

ブリルアン散乱光は、歪みを検出することができ、それを利用した光ファイバセンサとしては、地盤の変動、橋梁の歪み、土砂・岩盤崩落の前兆、堤体観測等、様々な用途が考えられる。

以下で、土砂・岩盤崩落の動態観測の技術分野への応用事例について紹介する。

#### (1) 観測法の応用例

##### a) 計測方式

光ファイバを安定地盤と崩壊土塊に交互に固定し、表層の変位を計測することで土砂・岩盤崩落の動態観測を行う。この方式ではあらかじめ光ファイバを監視斜面全域に渡り地盤の動きを予測する必要があ

る。センサ配置としては、崩壊が予想される土塊に外付けブイを設置し、土塊の動きに伴って外付けブイが連結ワイヤを介し、間接的に光ファイバに歪みを与える方式にすることで、図 - 3 に示す様に集中監視したいエリアと散漫監視するエリアを任意に設定が可能となり、コスト面、拡張性の点から利点となる。

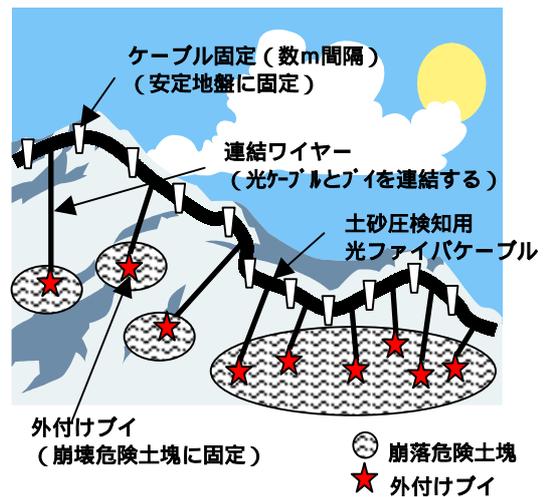
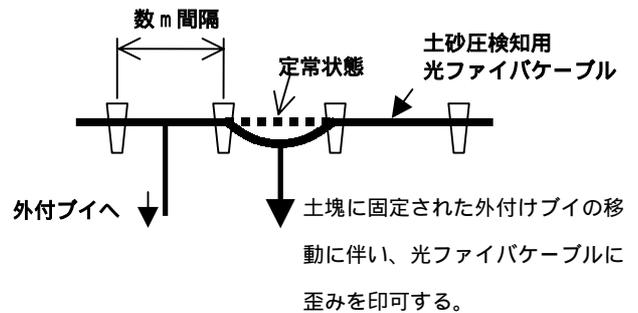


図 - 3 地盤変位計測のセンサー部設置イメージ

#### b) 計測性能 (精度・レンジ・エリア・時間)

##### 計測精度

表 - 2 に光測定部の仕様について示すが、その測定精度は、最もパルス幅の狭い 10ns の試験条件で、その間の変位を  $\pm 0.01\%$  の精度で計測することができる。この試験条件で計測を行う場合、距離分解能は 1m であることから、光ファイバは最低 1m の標点距離で固定する必要がある。その間の変位は  $\pm 0.1\text{mm}$  の精度で計測することができる。

##### 計測レンジ

地すべり等の不可逆性の動態観測用として用いる場合、光ファイバの破断伸び (2~3%) まで計測が

可能である。ここで、初期に印加した張力分を考慮する必要がある。また、計測対象となるものが可逆的なものである場合には、材料構成によっても異なるが、弾性領域内（～0.5%）での計測となる。

#### 計測エリア

表 - 2 のダイナミックレンジの仕様から、最大で約 10km の距離に渡り計測可能であることが分かる。

#### 計測時間

加算回数等の試験条件によって異なるが、±0.01%の測定精度で計測を行うためには、数分程度の時間を要す。

からに挙げた計測性能から、ブリルアン散乱光検出方式を利用し土砂・岩盤崩落の動態観測を行うにあたっての計測性能は、計測レンジ 20mm、計測精度±0.1mm、計測間隔数分で、最大約 10km エリアを 1 側線の光ファイバセンサーケーブルでカバーできることが分る。表 - 3 に参考として地すべりの管理基準<sup>1)</sup>を示したが、30 日 10mm 以上で点検・要注意レベル、5 日 5～50mm 以上で対策検討レベルとなっており、初期異常検知の観点から実用可能のレベルにある。

#### c) コスト

伸縮計、水位計等、現状の電気式計器はポイント型であるので、監視箇所単位で計器が必要となり、監視する場所が広範囲になるほど、計器数、伝送装置及び伝送路が増加しコスト高になる。一方、光ファイバセンサはライン型であるので、長距離ほど監視箇所当りのコストは低下する傾向にある。その他、光ファイバセンサを用いたシステムでは、各縣市町村の自治体 LAN との接続が容易である為、システムとしての拡張性が高い。

### (2) 地域総合自動観測システムの応用事例

道路整備五箇年計画では、持続可能な経済・社会の構築と安全で安心できる暮らしの実現を図るための重要施策の一つとして「安全で安心できる暮らしの確保」を挙げている。我が国では、海洋性地震の東海地震、内陸直下の活断層性地震の危険性が高く、地震防災対策上、大地震発生後の二次被害防止、応急復旧対策のため緊急輸送路等の健全度を確認することが非常に重要である。前項で紹介したブリルアン散乱光を利用した光ファイバセンサは道路のよう

に延長距離が長い構造物の計測に効果を発揮するもので、橋梁、斜面等の道路構造物の変状をリアルタイムに捉え、その健全度を効果的に把握することが可能になる。また、積雪寒冷地域では、冬期の安全で安心な生活を支え、他の地域との交流、連携を強化する意味で、道路の除雪・凍害等の対策は重要であり、ラマン散乱光を利用した温度センサも同じように延長距離が長い構造物の計測に効果を発揮する。光リング干渉計を利用した光ファイバセンサは落石検知用のほか、超音波用としても実用化が望まれている。

これら、各種光ファイバセンサを総合的に管理することで地域防災に役立て、住民が経済的な豊かさと、精神的な豊かさを併せて享受できる国土を創造するシステムとなるものと思われる。

### (3) 導入にあたっての課題

#### a) 計測精度

ブリルアン散乱光を利用し岩盤の表層変位を計測するにあたっては、気温の日変化や年変化の大きい屋外雰囲気下にあるため、計測物理量であるブリルアン周波数シフト量の温度依存分（約 1.0MHz/ ）を無視することができない。この他、光ファイバセンサーケーブルや固定具等の構成材料の温度伸縮、及び計測器のドリフト等の測定誤差等が計測値には含まれており、計測値からこれら誤差分を取り除き、真の計測値を導き出す必要がある。

#### b) 計測間隔

ブリルアン散乱光を利用した計測には、通常 1 回あたり数分～数十分を要する。更に、光ファイバ切替器を利用し 1 台の測定器で複数の現場を計測していくと、計測間隔は、現場の数だけ長くなっていく。当然、この間の変位を捉えることは難しく、土砂・岩盤崩落の動態観測に適用するに当たっては、土砂・岩盤崩落の速度をあらかじめ考慮し、システム設計する必要がある。

## 4. まとめ

本検討では光ファイバセンサの特徴と原理を整理

し、この新技術の適用可能な対象物と各計測方式を表に取りまとめた。また、具体的事例としてブリルアン散乱光検出方式を用いた土砂の岩盤崩落の動態観測について BOTDR 光測定部の仕様をもとに、計測の精度・レンジ・エリア・時間の検討を行った結果、地すべり地における伸縮計の基準をみることが分かった。更に、システムとしての拡張性が高く、複合的項目について地域を総合的に観測することが可能で地域防災計画との連動が考えられる。しかし、実用化にあたって、課題も残されておりこれらの課

題を克服するとともに官民一体となって事業者のニーズを適確に把握したシステムを構築していくことがマンパワーの省力化、品質の維持向上、コスト削減等に結びつくため、積極的に実証試験に取り組み、新技術の定着を図ることで、社会資本の維持更新や新たな構築にあたって貢献が可能となる。

**参考文献**

- 1) 社団法人土木学会：岩盤斜面の安定解析と計測、第1版-3冊、1999

表 - 1 光ファイバセンサの方式別適用可能対象

	レーリ方式	ブリルアン方式	ラマン方式	F B G方式	光リング干渉方式
計測原理	光ファイバの損失分布を計測する。	散乱光の周波数シフト量の歪み依存性を利用し、光ファイバの歪み分布を計測する。	散乱光の温度依存性を利用し、光ファイバの温度分布を計測する。	特定の波長のみ選択的に反射するグレーティング部の歪み依存性を利用し、波長を計測する。	光ファイバリングに加わった周波数による干渉状態を計測する。
計測項目	変位(又は破断)の有無	伸縮歪み量	温度	伸縮歪み量	周波数
計測物理量	後方散乱光強度	後方散乱光周波数シフト量	後方散乱光強度比	反射 Bragg 波長	干渉光のレベル
応用開発例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・浸水監視</li> <li>・岩盤崩落監視</li> <li>・マンホール等の蓋開閉監視</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河川堤体監視</li> <li>・道路斜面監視</li> <li>・トンネル監視</li> <li>・水位計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・路面凍結監視</li> <li>・トンネル火災監視</li> <li>・水位計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落石監視</li> <li>・クラック計測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落石監視</li> </ul>

表 - 2 ブリルアン散乱光 OTDR ( BOTDR ) 光測定部の仕様

測定波長	1 . 5 5 μ m 帯				
光源パルス幅 (ns)	1 0	2 0	5 0	1 0 0	2 0 0
ダイミット (dB)	2	6	1 0	1 3	1 5
距離分解能 (m)	1	2	5	1 1	2 2
歪測定精度 (%)	± 0 . 0 1 ( ± 0.004%(2 ) )		± 0 . 0 0 5 ( ( ± 0.004%(2 ) ) )		

表 - 3 地すべりの管理基準 ( 高速道路調査会による管理基準値から抜粋した )

対応区分 計器区分と計測器	点検・要注意 または観測強化	対策の検討	警戒・応急対策	嚴重警戒・一時退避
伸縮計 地表面の変位速度	10mm以上 / 30日	5 ~ 50mm / 5日	10 ~ 100mm / 日	100mm以上 / 日