

計測技販（株）

正員 猪又 秀一

北海道開発局 開発土木研究所 正員 中井 健司

北海道開発局 開発土木研究所 正員 日下部 祐基

1. はじめに

従来、構造物の変状を監視するために、歪ゲージ式等の電氣的なセンサを用いて計測されているが、構造物全体の変状を連続的に計測するためには、多くのセンサが必要であり、各センサには信号ケーブルが必要なことから、センサの設置や計測時の維持管理の面からも問題点が多い。また、現在の技術では「点」の情報にならざるを得ず、「線」・「面」としての連続的な計測は不可能であった。

近年、歪ゲージに変わる手法として、光ファイバ自体をセンサとして用いる分布型光ファイバセンサが注目されている。分布型光ファイバセンサは、光ファイバの長さ方向の任意の点が外的要因（歪み、温度など）に対してセンサ機能をもつため、物理量を連続的に計測することができる。本稿では、歪み・損失統合型OTDR⁽¹⁾の基本構成、動作原理、実験例⁽²⁾を紹介すると共に、変位計測を行う上での今後の課題を述べる。

2. 歪み・損失統合型OTDR

歪み・損失統合型OTDRは、従来のOTDRが持つ光損失分布測定機能に加え、光ファイバの長さ方向に発生した歪み量及び発生位置を連続的に測定することができる。図-1に歪み・損失統合型OTDRの基本構成を示す。本測定器では、測定モードを切り替える事により、光ファイバの長さ方向の①ひずみ測定器、あるいは②光損失測定器として機能する。

2-1. 歪み分布測定⁽¹⁾

図-2に光ファイバの計測概念図を示す。光ファイバの一端からパルス光を入射すると、そのパルス光はファイバ内部で散乱し入射した端に戻ってくる。この散乱光の一つにブリルアン散乱光があり、光ファイバの長さ方向の歪みに比例して周波数が変化するという特性を利用するものである。ブリルアン散乱とは、光ファイバに入射された光が光ファイバ中を伝搬する過程で引き起こす屈折率の周期的変化（音波）により散乱され、その周波数がシフトする現象である。歪み測定では、入射光パルスの光周波数を変化させることにより、光ファイバ各位置でのブリルアン散乱光のパワーが最大となる光周波数を求めている。

2-2. 光損失分布測定

光損失測定では、光周波数変換器を使用せずにパルス光を光ファイバに入射し、光ファイバ中のレイリー散乱光をコヒーレント受信し、レイリー散乱光の強度変化から光り損失を求めることができる。

歪み及び光り損失の発生位置は、パルス光を入射してから戻ってくるまでの時間差を測定することにより特定することができる。なお、距離分解能はパルス光のパルス幅に依存する。

キーワード：OTDR、光ファイバ、変位測定

連絡先：〒065-0020 札幌市東区北20条東 15-3-1, TEL011-731-2489, FAX011-731-2469

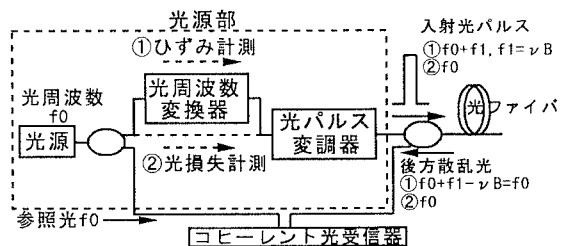


図-1 歪み・損失統合型OTDRの基本構成

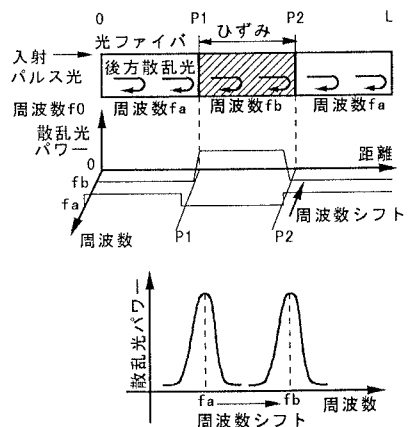


図-2 計測概念図

3. O T D Rを用いた実験例

ここでは、地盤の変形状態を光ファイバを用いて測定するための基礎的な実験⁽²⁾を紹介する。地盤の変形を模擬するために、鋼製型枠(W500mm×L1000mm×H1000mm)を18個並べ、外径0.9mmのナイロン被覆光ファイバを貼付けた長さ18mの塩ビ管(φ30)と歪みゲージを両端から500mm 離して1mごとに貼付けた長さ18m のアクリルパイプ(φ30)を型枠内に設置し、型枠内に粘土を充填したブロックに変形を与え、光ファイバに生じた歪みと、歪みゲージによる歪みとの比較を行った。移動量は、図-3に示すように、ジャッキで測定器側から10番目のブロックを最大40mm移動させ、その前後のブロックを10mmずつ階段状に減少させた状態にした。

粘土ブロックを用いた変形試験の試験結果の一例を図-4に示す。●印が各位置の歪みゲージの測定結果であり、○印が各ブロックでの光ファイバによる歪み分布測定結果の平均値を表している。図-4から光ファイバの歪み分布測定結果と歪みゲージによる各位置ごとの測定結果が、ほぼ同様な傾向を示していることが分かり、歪み・損失統合型O T D Rが、測定対象物に発生した歪みを連続的に計測できることが判明した。

4. 変位計測を行う上での今後の課題

近年、地震や岩盤崩落などが発生する度に重要な構造物が破壊しているが、現状の監視技術では災害の予知・予測は極めて困難である。光ファイバを重要構造物などに設置し、変状測定を行うためには、次に上げるような課題が残る。

1. 現在、各種実証試験では、各メーカーから市販されている光ファイバケーブルを使用している。今後、橋脚やトンネル内面等条件が厳しい場所に設置する場合に、各現場・用途に適したセンサ用光ファイバケーブルの開発が必要である。
2. 光ファイバで構造物の変位を「線」もしくは「面」で連続的に計測する場合、光ファイバを測定対象物と一体化する設置が望ましいが、実際には、人が容易に近づけない場所が多い。今後、この様な場所への光ファイバの設置及び配線方法の確立が必要である。
3. 構造物などに光ファイバを配線または設置し、長期間安定したデータを得るための、固定材（接着剤）等を選定する必要がある。
4. 気象条件による、光ファイバの経年変化及びデータの長期安定性を調べる事が重要である。

本稿では、歪み・損失統合型O T D R及び、本測定器を用いた地盤変形模擬実験について紹介した。さらに、これまでの実験結果を基に、変位計測を行う上での課題について検討した。

今後、実際の橋脚などでの長期フィールド試験を行い、上記の課題を解決していきたい。また、光ファイバを用いた計測技術の限界を明確にし、有効な適要分野を調べるとともに、歪み・損失統合型O T D Rを用いた歪み計測技術を、構造物の変状を計測するためのセンサとして発展させ、今後、新たな計測手段として、光ファイバを用いた構造物変位計測の手法を確立していきたい。

【参考文献】

- 1) 倉嶋利雄：方端から非破壊で光ファイバの歪み・損失を測定，N T T技術ジャーナル，1997. 6
- 2) 倉嶋利雄，田中郁昭，薄 知規：光ファイバ歪みセンサを用いた構造物歪み測定法の提案，地盤工学会北海道支部技術報告集，第37号，PP41～46，1997. 7

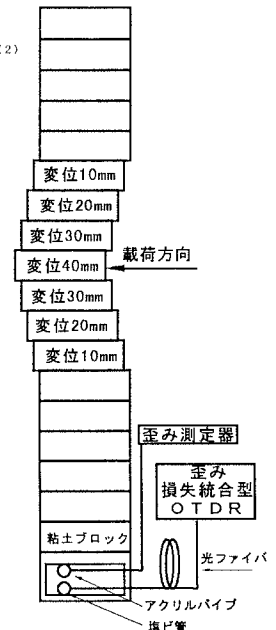


図-3 粘土ブロックの変形試験

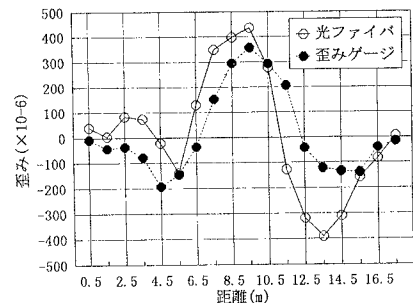


図-4 試験結果