

光ファイバ偏波変動による変位計測システムに関する基礎研究

独立行政法人土木研究所（正会員） 加藤 俊二、（正会員） 古谷 充史
 株式会社エーティック（正会員） ○日向 洋一、（正会員） 共 放鳴
 同上 高 栄麗、（正会員） 舟田 幸太郎
 株式会社応用光電研究室 山田 秀人、 牟禮 勝仁

1 はじめに

光ファイバセンサを活用したモニタリング技術は、先端的な道路斜面崩壊監視技術として注目を集めている¹⁾。本研究では、低コストな広域モニタリングシステムの開発を目的として、光ファイバ中の偏波変動を用いた変位計測システムの研究を行った。本稿では基本原理と計測システム構成の概要および基礎実験結果について報告する。

2 基本原理及びシステム構成の概要

光ファイバ中を伝搬する光に、磁界、応力、振動、温度変化が加わった場合、光強度は変化しないが、偏波状態が大きく変化する。応力による光ファイバの偏波変動の発生概念図を図-1に示す。光ファイバの断面方向に応力が加わると複屈折が生じ、光のx方向成分とy方向成分の位相速度が変わり、偏波変動が発生する。本研究は、これらの原理を応用した新たな変位計測技術の開発を行うものである。

計測システムの構成を図-2に示す。各センサは光学的には1/n波長板として動作し、その回転角から変位を算出することができる。センサによる光の偏光状態はジョーンズベクトルで表記される²⁾。

入射光のジョーンズベクトルを $\begin{bmatrix} E_{ix} \\ E_{iy} \end{bmatrix}$ 、出射光のジョーンズベクトルを $\begin{bmatrix} E_{ox} \\ E_{oy} \end{bmatrix}$ とすると、1/n波長板を通る光の

偏光状態の変化は式(1)のように記述される(図-3参照)。

$$\begin{bmatrix} E_{ox} \\ E_{oy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \exp\left(\frac{2\pi}{n}\right) \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{ix} \\ E_{iy} \end{bmatrix} \quad \dots(1)$$

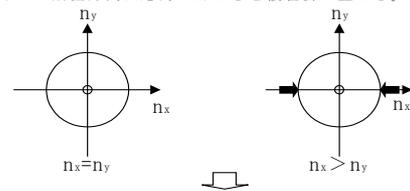
3 基礎実験

本研究の技術的課題は、次の3点が挙げられる。

- ① 変位検出原理の検討
- ② 変位 - 偏波変動のキャリブレーション
- ③ 複数センサの分離・識別方法

以下、基礎実験結果についてまとめる。

光ファイバの断面方向に応力が加わると複屈折が生じる。



光のx方向成分とy方向成分の位相速度が変わる⇒位相子として働く

光ファイバを巻くことによってリールの半径方向に向かってファイバに応力が加わり、複屈折性が生じる。

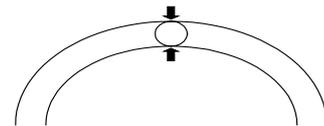
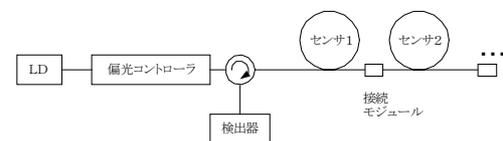


図-1 光ファイバ偏波変動の発生概念図



各センサは光学的には1/n波長板として動作しその回転角から変位を算出する

- ・光の偏光状態をジョーンズベクトルで記述する
- ・センサによる偏光状態の変化をジョーンズ行列で記述する

図-2 システム構成図

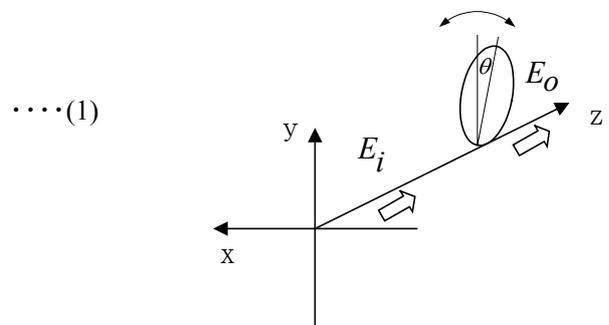


図-3 変位検出原理

キーワード 光ファイバ 偏波変動 変位計測システム

連絡先 〒063-0801 札幌市西区二十四軒1条5丁目6-1 (株)エーティック TEL011-644-2845

3. 1 変位計測のキャリブレーション実験

偏波変動量と光ファイバに加わる変位量との関係に着目し、キャリブレーション実験を実施した。なお、光ファイバの変位形態は、①ねじれ、②ループ径変化の2種類とした。

実験は、変位中の光ファイバを伝搬する光の偏光状態を測定し、得られる偏波変動量と変位量との関係を求めた(図-4 参照)。偏光状態の測定は①透過光、②反射光の2方式で実施した。結果は変位量と偏光状態(出力角 θ)との間に高い相関性が認められ、ねじれ、ループ径変化における相関係数は、各々 $R=0.998$ 、 $R=0.998$ であった。また、同じ実験条件で複数回の実験を行った結果、いずれもほぼ同等の値が得られており、高い再現性が確認された。図-5 は透過光式における変位に変換したループ径変化と出力角 θ との関係の例である。

3. 2 複数センサの分離・識別実験

複数センサの分離・識別は、接続モジュールによる反射光測定により認識する。今回、表-1 に示す4種類の接続モジュールの挿入損失を測定した結果、No.4 接続モジュールの挿入損失 0.49dB が最も小さいことが分かった。また、この接続モジュールを10ヶ所直列に設置し、反射光における偏光状態と光強度を確認したところ、全ての接続個所での反射が確認され、干渉によるふらつきも発生しないことが分かった。

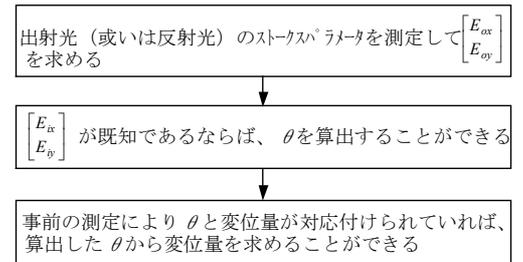


図-4 キャリブレーション実験フロー

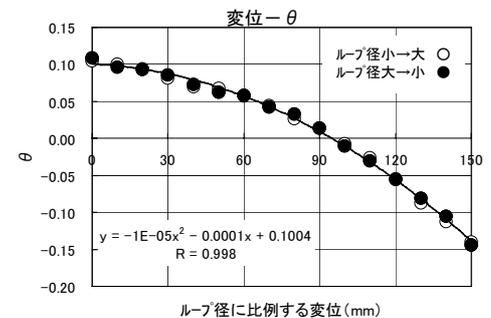


図-5 変位量と出力角 θ との関係

表-1 接続モジュールの構造

No.	構造形式	模式図
No.1	フェルール突合せモジュール (片側 8°、片側平面)	SC (Angled) → 平面研磨 / 8° 研磨 → PC
No.2	フェルール突合せモジュール (両側平面、隙間あり)	SC (Angled) → 平面研磨 / 平面研磨 → PC
No.3	10%ミラー付ポリイミドフィルタモジュール	SC (Angled) → 平面研磨 / 10%ミラー / 平面研磨 → PC
No.4	対向コリメータモジュール (片側 8° AR 付、片側平面 AR なしコリメータ)	SC (Angled) → 8° 研磨 / レンズ / レンズ / 平面研磨 → PC

4 まとめ

光ファイバ偏波変動原理を応用した変位計測手法の検討を行い、以下の結論が得られた。

- 1) 光ファイバの変位と偏波変動量のキャリブレーションを行った結果、高い相関性及び再現性が得られ、新たな変位計測方法としての可能性が確認された。
- 2) 接続モジュールによる複数センサ識別方法を検討し、モジュールを用いた反射測定法により測定チャンネルの分離が可能であることが分かった。しかも、この手法は融着接続を必要としないため、斜面現場におけるセンサ設置作業の作業性・効率性の向上が期待されるものである。

今後、多チャンネルの分離・計測の研究・開発を進めると共に、光ファイバ偏波変動の特性を応用して変位、傾斜および振動などのセンサとシステムの開発を行う予定である。

<参考文献>

- 1) 加藤、小橋、古谷：光ファイバセンサによる斜面表層崩壊モニタリング技術に関する検討、第2回土砂災害に関するシンポジウム論文集、pp.1~6,2004.
- 2) 鶴田匡夫 応用光学2 (初版第5刷 1988) 第5章偏光