

光ファイバセンサを用いた斜面の表層崩壊モニタリングシステムに関するフィールド試験

国土交通省土木研究所（正会員）○^(*)山邊 晋、恒岡 伸幸、中野 穰治
同上（正会員）加藤 俊二、（正会員）森 啓年
応用地質株式会社 上野 将司
（^(*) 川崎地質株式会社 前国土交通省土木研究所 交流研究員）

1. まえがき

降雨による崩壊の可能性のある道路のり面・斜面について、危険度の高いものは適宜対策工が実施されている。しかしながら、道路沿いの自然斜面の大半は、地形上あるいは経済上の問題により抜本的な対策工を早期に実施することが困難な斜面である。これらの斜面については、モニタリングにより斜面崩壊を監視していく必要があり、現在でも傾斜計や伸縮計を用いたモニタリングは実施されている。しかしながら、現状の計測機器は、落雷による電磁ノイズに弱い、線あるいは点的な計測で監視密度が粗いため斜面の変状を捉えにくい等の問題がある。本報では、光ファイバセンサのメリットを生かした、斜面の表層崩壊モニタリングシステムの開発を目的にフィールド試験を開始したので、その現状を報告するものである。

2. 試験概要

(1) 概要

本試験では、3種類の測定原理を基にした光ファイバセンサに対して全国6個所にてフィールド試験を行い、表-1に示す項目について検討を行うこととした。今回は、①～③までの項目について検討を行った。④以降の項目については、現在、検証中である。

(2) 光ファイバセンサの測定方式

今回設置した光ファイバセンサの測定方式としては次の3種類である。

- (i) BOTDR 方式：ブリルアン後方散乱光の検出により変位・歪みを測定。光ファイバに加わる任意の場所の歪み分布の連続検出が可能である。
- (ii) FBG 方式：光ファイバに加わる変状により、FBG センサ部で反射する波長が変化する特性を利用することにより高精度の歪み測定が可能である。
- (iii) MDM 方式：光ファイバの屈曲率と透過光強度に一定の関係があることを利用し、透過光強度の検出により変位測定を行う。

(3) 従来型センサとの得失比較

表-2 に示すように従来型センサと比較すると光ファイバセンサには、センサ部に電源が不要で、電磁誘導の影響を受けないという特徴があり、長期計測において非常に優位である。また観測体制では、微小変位の短時間かつ高精度な計測(地点毎)や、変状箇所が特定できない広範囲な斜面の連続的計測等、より効率的な斜面モニタリングが可能となる。管理についても、光ファイバセンサのセンサ部の機構・構造は簡素なものが多いため従来型に比べ故障の可能性が低くなるといった利点がある。

キーワード：光ファイバセンサ、表層崩壊、斜面モニタリング

連絡先：国土交通省土木研究所（〒305-0804 つくば市大字旭1番地 Tel:0298-64-2211）

表-1 研究実施項目

	項 目
①	設置斜面の選定・調査
②	設置するセンサの種類、設置パターンの決定
③	従来型との比較による、実施工上の留意点等の抽出
④	耐候性・耐久性の確認
⑤	降雨時の検知能の確認
⑥	センサ及び設置手法の改良
⑦	⑥を受けた再設置・再検証
⑧	光ファイバセンサによる斜面の表層崩壊モニタリングシステムの構築

表-2 センサの得失比較

	従来型センサ	光ファイバ型センサ		
		BOTDR	FBG	MDM
電磁誘導の影響	受ける	受けない		
センサ部	現場に電源が必要	電源不要		
観測体制	点及び線の計測により設置密度に限界がある	点・線・面的計測により、小～広範囲なエリアを面的に計測することが可能である		
管理体制	現場毎に観測管理用施設が必要	遠隔地より複数の現場を一括管理が可能		
計測時間	リアルタイム（自動計測化）	5～10分間隔	リアルタイム	

3. 結果

(1) 試験地の概要

今現在、各フィールドにセンサ設置が完了しており、実測データを基に、上記の内容について検討中である。
各試験地の概要について表-3 に示す。

表-3 試験地の概要

試験地	センサ形式	斜面概要
1	FBG 式	緩いマサ土からなる崩壊性の斜面である。 光ファイバセンサを線的に設置することにより地表面変位（インバー線式）・層別沈下計・水位計を配置することにより地表面変位、水位を計測する。 また、FBG 雨量計も配置し、降雨量と地表面変位との関係を把握する。
2	BOTDR 式	崖錐表土による含水量の多い均一な斜面。坑口付近擁壁にも若干の変状がみられる。 光ファイバセンサを面的に設置し、ブリルアン後方散乱光の検出により地表面変位・地中歪みの計測を行う。
3	FBG 式	泥岩の急崖及び崩積土の堆積している崩壊地よりなる。近傍にて、H10.9 の豪雨による地すべり災害履歴がある。 光ファイバセンサにより線的に地表面変位の計測を行う他、光ファイバセンサによる地下水位の計測も計画している。
4	BOTDR 式	泥岩砂岩互層流れ盤へのモルタル吹付斜面（老朽化が進行）。水平クラック、側溝の変状が見られる。 光ファイバセンサを面的に設置することにより、地表面変位・亀裂変位・吹付表面温度を計測する。
5	BOTDR 式	下方に厚い崖錐堆積物をともなう、風化花崗岩からなる崩壊性の急崖斜面。H9 以降 2 度の崩壊履歴があり、待ち受け擁壁施工済み。 光ファイバセンサを崩壊部付近に面的に設置し、地表面変位の位置と量の計測を行う。
6	MDM 式	崖錐表土の表層崩壊と上部砂岩の落石が想定される。その他連続する区間に崩壊履歴多数あり。 光ファイバセンサ（インバー線式）を線的（地上設置）に設置し、地表面変位（表層崩壊部・岩石崩壊部）の位置と量の測定を行う。

(2) 施工上の留意点についての検討

固定点の設置に関しては、ピンや杭等を地中に打込む方法を用いており、特筆すべき留意点はみられないが、光ファイバケーブル取扱いについては、折曲げによる破損や、接続に融着が必要であるといった課題が挙げられる。

一方、動植物による誤作動対策や耐候性（風雪など）については、従来型に比べ設置形式が地上・地表・埋設と多様化しており、防護策についても選択肢が多く、光ファイバセンサの方が柔軟な対応が可能と考えられる。

表-4 施工上の留意点の検討

施工上の留意点	対策方法	
	従来型（変位計）	光ファイバ型（変位計）
動植物及び風雪	塩化ビニル管によるインバー線の保護	塩化ビニル管による保護（地上設置）
		フレキシブル（変形可能な）管による保護（地表設置）
		ケーブル防護管の埋設による保護（地中設置）
固定点の設置	杭の打込み 60cm 以上、杭間隔 20m 以内で設置するインバー線の張力（20N 以内）によるモーメントで杭が傾かないようする	設置間隔は測定規模に応じて適宜選定し、杭を地盤に打込むことにより固定（地上設置）
		鋼性のピンを地盤に打ち込み、保護管にて防護されたファイバを地表面に固定させる（地表設置）
		表層部に埋設してある保護管を、杭等を打込むことにより固定する（地中設置）
備考	BOTDR 方式の場合、最低でも設置間隔は 2m 以上とする	
備考	センサ設置形式が従来型に比べ多様化しており、保護工についても柔軟な対応が可能である	

5. まとめ

- (1) 光ファイバセンサを用いた斜面モニタリングを 6 箇所のフィールド試験にて開始したことを紹介した。
- (2) 現状における施工上の留意点としては、以下の項目が挙げられた。
 - ・光ファイバケーブルの取扱いには細心の注意が必要となり作業性に課題がある。
 - ・外部環境からの防護策は従来型と比して光ファイバセンサの方が柔軟な対応が可能である。
- (3) 今後は、計測を重ねることにより耐候性、センサの検知能、設置パターン、設置手法等についてさらに検証を行い、その結果を受けて設置法・センサの改善を行っている予定である。

尚、本試験は国土交通省土木研究所および民間 14 社による共同研究「光ファイバセンサを活用した道路斜面モニタリングに関する研究」の一環で行っているものである。