

光ファイバセンサを活用した斜面崩壊モニタリングの実現

現場計測 技術開発

独立行政法人

土木研究所 正会員 加藤 俊二
 日本地研株式会社 正会員 松田 直樹
 日本地研株式会社 正会員 佐藤 秀文
 長菱制御株式会社 宮川 健

1. はじめに

主に降雨に起因する土砂系斜面の表層崩壊は、地形・地質条件や植生条件等により崩壊形態やパターンが多様であり、また崩壊発生箇所を特定することが困難であるため、広範囲の斜面を網羅的かつ面的に監視可能な監視・計測システムが必要とされている。

本実験は、宮崎県南部海岸線沿いの斜面を試験フィールドとして、光ファイバセンサを設置し現場実証試験を行い、センサの開発や設置方法、監視・計測の運用方法を構築し、その技術を習得することを目的としている。

2. 現地状況

試験フィールドは、宮崎県宮崎市と日南市の行政境界に位置する日向灘を望む南向斜面である。付近の地形は宮崎層群の堆積構造に支配されており、宮崎側に当たる東向斜面は緩斜面であるが、南向斜面は急峻で明瞭な沢の発達はない。

この斜面の災害履歴は昭和 57 年 7 月に距離表 27K000 付近で約 150m³ 程度の斜面崩壊が発生し片側通行止めになっている。また、災害にならない表層崩壊・落石等は毎年のように発生し、既設のストンガードのポケット部には落石が多く確認されている。

当区間における落石・崩壊の特徴は次の 4 点である。

- (1) 尾根部の砂岩部は多亀裂で崖下での地質の硬軟の差が著しいため浸食され奥行き 2m 程度の隙間が生じている。この位置からの崩壊による落石が顕著である。
- (2) 宮崎側はモルタル吹付が施工されているが老朽化が激しく、水平亀裂や剥離が著しい。これは地質が泥岩主体であるため、スレーキングによる風化の進行が原因で、平成 11 年には剥離崩壊が発生している。また、平成 12 年 5 月 28 日(降水量 250mm 程度)には距離表 27K000 付近のモルタル吹付面がすべり落ちそうになり再モルタル吹付による応急対策が実施されている。
- 3) 泥岩の風化速度は 30 年間で 40cm ~ 170cm の報告¹⁾があり、20 年以上を過ぎると吹付面が急激に劣化するのが特徴である。現在、この路線の既設のモルタル吹付のり面は 20 ~ 30 年以上経過しており泥岩優勢層の区間はこのような災害が発生しやすい状況である。
- (4) この区間の斜面は草地または雑木が繁茂しており比較的安定しているように見える。しかしながら微地形での沢部や崖錐が比較的厚い個所では表層剥離崩壊が生じている。これは雨水の表流水や浸透による崖錐斜面の飽和度の上昇によるせん断強度の低下が要因となっている。この崩壊規模は幅 10 ~ 15m、長さ 20m 程度が最大規模である。

今回、光ファイバセンサは平均斜面勾配 40° 程度の表層斜面を対象に MDM 及び B-OTDR 方式で実施した。

3. 光ファイバセンサの性能

光ファイバセンサは従来型の変位センサと比較して現場に電源が不要で、雷などによる電磁誘導の影響を受けない特徴がある。また、従来型は点・線の計測であるが、光ファイバセンサは線・面的な計測が可能であり、変状箇所が特定できない斜面では効率的な計測手法である。

表 3-1 光ファイバセンサと従来型センサの比較 (加藤他、2002)²⁾

	従来型センサ	光ファイバセンサ		
		B - OTDR	F B G	MDM
電磁誘導の影響	受ける	受けない		
センサ部の電源	現場に電源必要	電源不要		
計測体制	線の計測。計測範囲の連続性が低い。	広範囲なエリアの線のまたは面的な計測に優れる。	小～中規模なエリアの線のまたは面的な計測に優れる。	
管理施設	現場毎に施設が必要	遠隔地より複数現場の一括管理が可		
計測時間	リアルタイム	5 ~ 10分間隔	リアルタイム	

光ファイバセンサの原理は、この他にも変位計測用の OTDR 方式や破断検出用の透過光測定、温度測定用のラマン散乱方式等があり、使用目的に応じて適宜選択する。

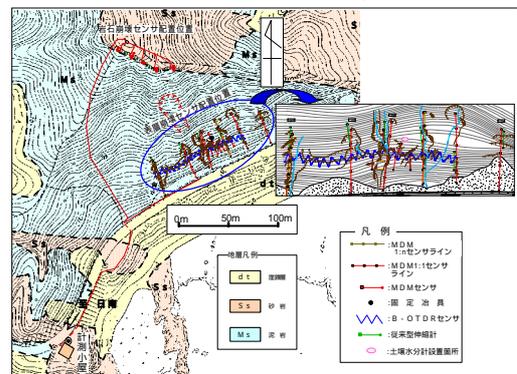


図-2.1 計測箇所平面図

Achievement of monitoring of slope collapse by using optical fiber sensor

Shunji Kato/ Public Works Research Institute

Naoki Matuda

Hidefumi Sato/Nihon Chiken

Takesi Miyagawa/Choryo Control System

4. 計測データ

4.1 MDM センサ

実験地はMDM センサで平成 13 年度に 3 回の小崩壊と平成 14 年度に 2 回の地盤変位を検出している。ここでは、平成 13 年 6 月 22 日の梅雨での崩壊事例を示す。

崩壊は 3 測線の左側、MDM センサの 11 から 13 あたりで発生した。崩壊規模は幅 6m、長さ 10m の小規模なものであり、道路には到達せず災害には至らなかった。崩壊発生時の時間降水量は 1mm で、それまでに 6 月 20 日に 84mm、6 月 21 日に 99mm の日降水量があり崩壊発生までは 243mm の累積降水量があった。

崩壊の兆候としては、6 月 20 日昼頃から、12 の MDM センサでわずかな変位を計測し、そして 6 月 22 日の 12 時 10 分に変位の急変化点が現れ約 2 時間後に崩壊に至ったものと考えられる。

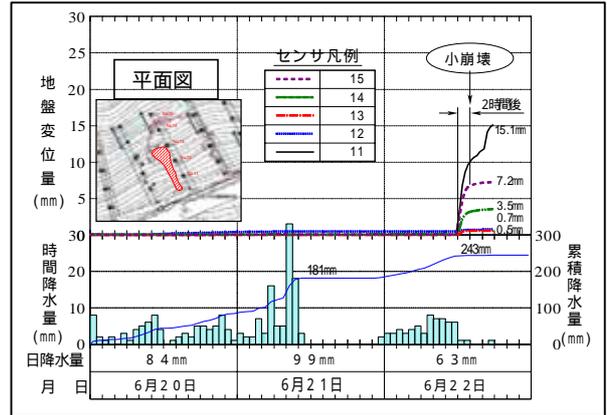


図-4.1 表層崩壊変位図 (MDM センサ)

4.2 B-OTDR センサ

B-OTDR センサは平成 15 年 2 月より計測を開始し平成 15 年 5 月 13 日に崩壊を検出している。

変位状況はひずみ分布図 (棒グラフ) と隣りあうセンサ間の合成ベクトル図で示した。これらのグラフから崩壊状況は十分捉えていると考えられる。

B-OTDR センサは温度変化を受け、リアルタイム計測に劣る欠点があるが、広域計測に優れる特徴がある。センサの設置方法や計測結果の表示方法に工夫を加えれば、崩壊の場所・大きさを特定することが可能になることが今回の計測結果で判明した。

5. 考察

斜面の崩壊を予測するには「どこで (場所)」「いつ (時間)」「どのような (規模)」を事前に知る必要がある。今回の計測事例で光ファイバセンサは、各センサの特長を活かし、十分斜面監視に利用できることが判明した。また、今後の運用方法については次のように考察する。

- (1) MDM センサは従来型センサと同様個別センサであり、リアルタイム性に優れ、時間の特定は可能である。
- (2) B-OTDR センサは、温度変化を受け、リアルタイム計測に劣る欠点があるが、一筆書き (設置が容易) で広域計測に優れる特徴がある。

また、計測結果の表示方法を工夫すれば、変位 (崩壊) 場所と大きさを捉えることは可能である。

- (3) 表層崩壊危険斜面で崩壊場所を予測することは、既往の計測技術では困難であったが、B-OTDR センサを用いればその場所を特定することは可能になる。
- (4) B-OTDR センサで危険斜面を抽出した後は、その危険度合いを詳細 (地質・地下水) 調査で把握し、対策工の実施や MDM センサによる詳細モニタリングを行うことが肝要である。

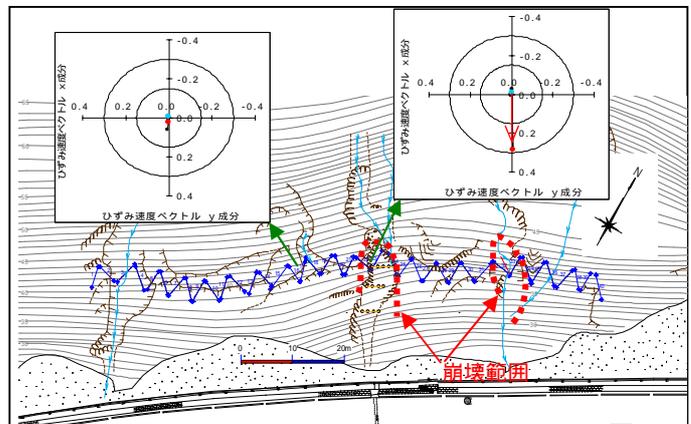


図-4.2 表層崩壊平面および変位ベクトル図 (B-OTDR)

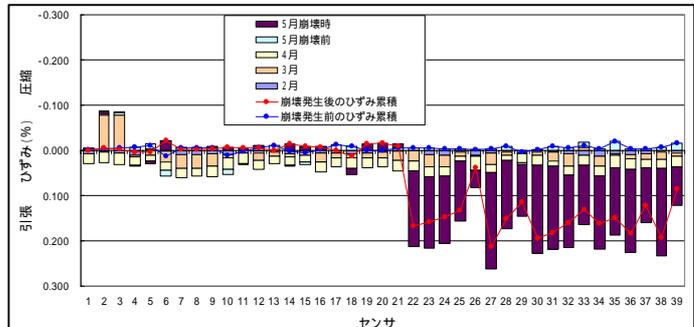


図-4.3 月別ひずみ分布図

【参考文献】

- 1) (社) 地盤工学会九州支部(1995): 九州・沖縄の特殊土地盤の設計と施工, pp.261
- 2) 加藤俊二, 三木博史, 恒岡伸幸, 田中衛, 小川鉄平: 光ファイバセンサによる道路斜面崩壊モニタリングに関する検討, 土木技術資料 44-4, pp.44-49, 2002)