

# 光ファイバセンサを活用した道路斜面モニタリング

独立行政法人土木研究所 小橋 秀俊・加藤 俊二  
応用地質株式会社 安藤 伸・佐野 康  
日本地研株式会社 佐藤 秀文・松田 直樹  
通信ケーブル事業部 中尾 由明\*1・門脇 昭秀\*1

## Application for the Roadway Slope Monitoring Method Using Optical Fiber Sensor

H. Kohashi, S. Katou, S. Ando, K. Sano  
H. Sato, N. Matsuda, Y. Nakao & A. Kadowaki

近年、光ファイバセンサは、広大な斜面のモニタリングシステム構築の可能性を有することから、道路斜面防災監視技術として注目されている。わが国では、土木研究所を中心に平成11年度末より「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共同研究」が開始され、これにわれわれも参加する機会を得た。本報では、現場フィールド試験における光ファイバセンサの斜面への設置方法を述べるとともに、今回の測定によって得られたデータを示している。これにより、われわれは光ファイバセンサが道路斜面モニタリングに有効な方法であり、現場据付においても多様な設置方法が可能であることを報告する。

Recently, optical fiber sensor is noticed as a countermeasure technology for roadway slope failure, and can be built into a wide area monitoring system. We have jointed in "the research and development of the roadway slope monitoring by mean of optical fiber sensing technology", started by the Public Works Research Institute since 2000. In this paper, we report the installation methods of optical fiber sensors on slopes and the results of the actual measurement. We found that the method using optical fiber sensors are useful for the roadway slope monitoring with high flexible installation availability.

### 1. ま え が き

近年、光通信線路の監視・診断方法として開発された光ファイバセンサ技術は、①センサ部が電氣的な影響を受けず、②長距離区間における測定が可能であり、③データの連続性が確保でき、④狭～広域の斜面への線的・面的配置が可能であるという特徴を有することから、地盤関連分野における斜面や道路構造物のモニタリングなど当該個所の維持・監視と、広範囲の一括監視を目的とした防災モニタリング技術として注目されている<sup>1)2)</sup>(図1, 図2)。

このような背景をもとに、平成11年度末より土木研究所と民間14社で、主要国道における事前通行規制区間での道路斜面の安全性向上を目的とした道路防災技術の開発研究が開始された。引き続き平成12年度からは現場フィールド試験が開始され、光ファイバセンサの斜面への設置方法・施工上の留意点・適応条件などについても現場据付、検討を行い、モニタリング技術の実証試験を進

めてきた。

本報告は、われわれが参加した実証試験フィールドでの、光ファイバセンサモニタリングシステムによる変状検知の可能性に関する中間報告である。

### 2. 実 施 概 要

道路防災の分野においては、災害の形態および規模は、地形・地質や災害履歴等から判断してある程度の想定が可能となりつつあるが、表層崩壊等の発生位置は、事前に特定することが困難であり、予知・予測の重要な課題となっている。このため、特に異常個所の抽出(位置の特定)と、特定危険個所の監視のために、モニタリングシステムの導入が必要とされることが多い。

道路防災分野に光ファイバセンサを適用したモニタリングシステムを導入するにあたり、広域監視に適すると思われ、われわれに関連する光ファイバセンサ技術を表1に整理、追加して示した。

#### 2.1 目 的

本研究では、監視対象斜面を一括して広範囲に面的・線的な計測を行うために、ブリルアン方式(B-OTDR)

\*1 通信技術部

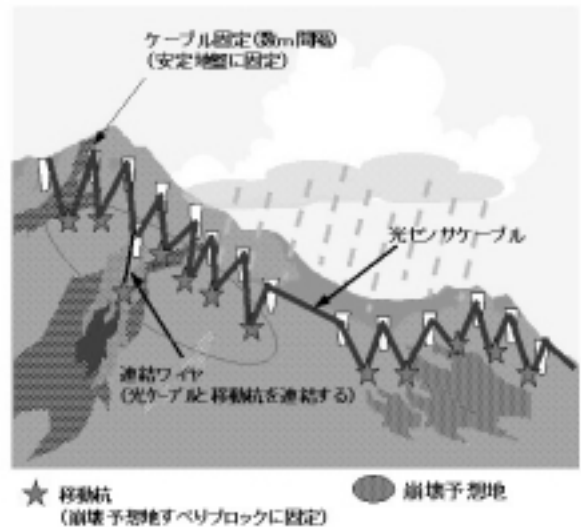
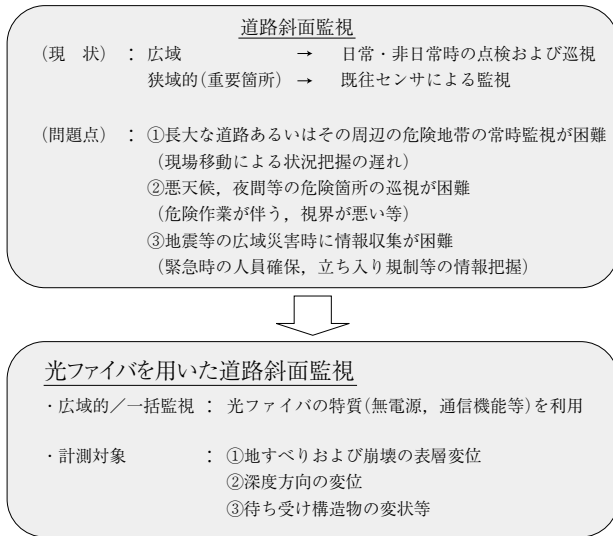


図1 道路斜面監視の現状について  
 About the present conditions of road slope monitoring

図2 道路斜面監視イメージ  
 Image of a road slope monitoring

表1 光ファイバによるセンシング方式の比較  
 Comparison of optical fiber sensing methods

項 目	従来型センサ	光ファイバセンサ			
		B-OTDR	OTDR	MDM	FBG
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			
計測可能な変状の程度	大	○	○	○	○
	小	○	△	○	○
計測原理	電気抵抗等の変化を計測し、センサに加わる変位を計測	ブリルアン散乱光の周波数シフト量の歪み依存性を利用し、光ファイバの伸び歪み分布を計測	ファイバに加わる曲げ形状に伴うレーリ散乱光の変化から変位量を計測	ファイバの曲げ形状に伴う透過光強度変化から変位量を計測	ファイバ内部に設けたBragg格子による反射光の変化から変位量を計測
計測体制	線的計測。計測範囲の連続性が低い。	広範囲なエリアの線・面的な計測に優れる。	広範囲なエリアの線・面的な計測に優れる。	小～中規模なエリアの線的・面的な計測に優れる。	小規模なエリアの線的・面的な計測に優れる。
管理施設	現場毎に計測管理施設が必要	遠隔地より複数現場の一括管理が可	遠隔地より複数現場の一括管理が可	遠隔地より複数現場の一括管理が可	遠隔地より複数現場の一括管理が可

による光ファイバセンサモニタリングシステムを導入した。なお、今回の実証試験におけるモニタリングシステム導入にあたっては、降雨時に発生する異常個所の抽出を目的に、その妥当性の評価が行われた<sup>3) 4)</sup>。

2.2 実施場所

土木研究所が主催する検討委員会の指導に基づき、当初6箇所が監視対象斜面として選定され、このうち下記2箇所について、当社の光ファイバセンサによるモニタリングを実施した。

- (1) モルタル吹付け対策工斜面 (1981年施工)  
 紀南河川国道事務所管内 一般国道42号  
 和歌山県西牟婁郡ささみ町黒崎地区
- (2) 未対策工斜面 (表層崩壊斜面)  
 宮崎河川国道事務所管内 一般国道220号  
 宮崎県日南市鶯巣地区

2.3 測定期間

各現場の計測期間は概略下記のとおりである。

- (1) 紀南河川国道事務所管内 黒崎地区

平成12年6月～平成15年3月

- (2) 宮崎河川国道事務所管内 鶯巣地区  
 平成14年11月～平成15年3月

2.4 検証内容

今回の現場測定にあたっては、下記の項目に留意した内容でデータ収集・評価を行った。

①異常個所の抽出

斜面の広範囲な部分に光ファイバセンサを面的・線的に配置・監視を行うことで、降雨時等に微小変位が発生するような異常個所を抽出し、早期の対応に活用できるデータが取得できるか検証を行った。

②特定危険箇所

特定危険箇所については、別途設置された斜面変位計、水位計等により地盤変位や地下水位変動が監視されており、これと光ファイバセンサによるモニタリング結果との比較検証を行った。

③データ評価

今回の計測に関しては、検討委員会メンバー(われわ

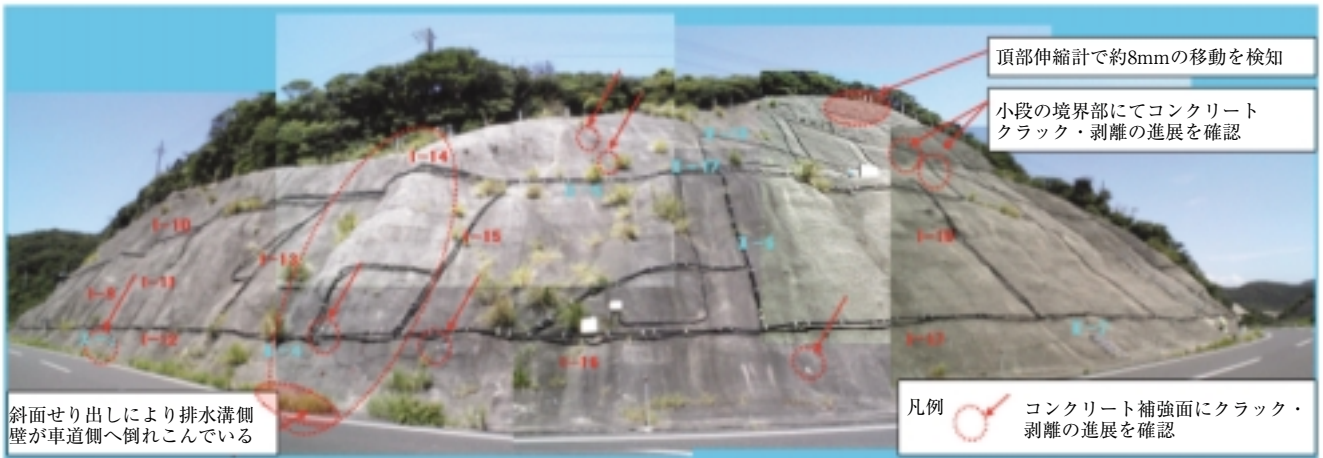


図3 一般国道42号黒崎地区斜面状況  
The slope situation of Kurosaki-district

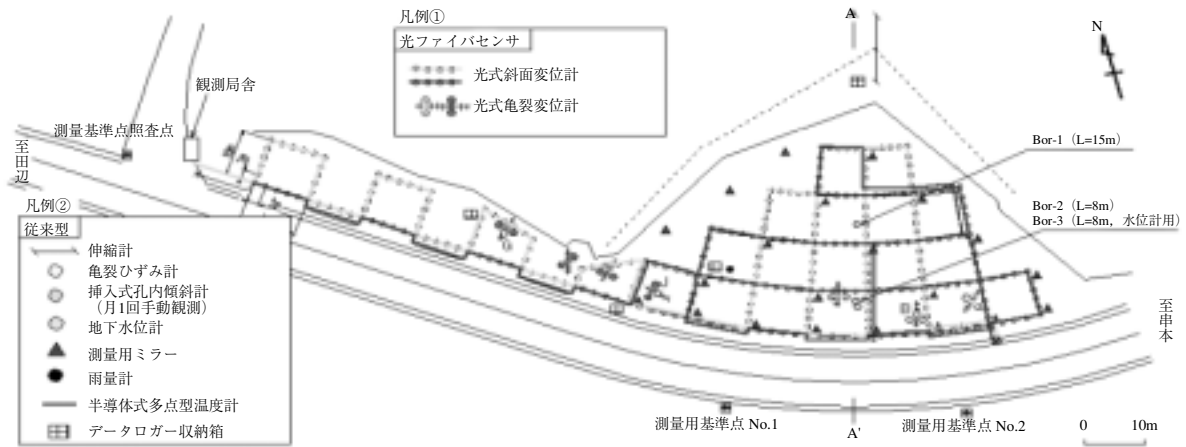


図4 黒崎地区斜面光ファイバセンサレイアウト  
Optical fiber sensors layout of Kurosaki-district

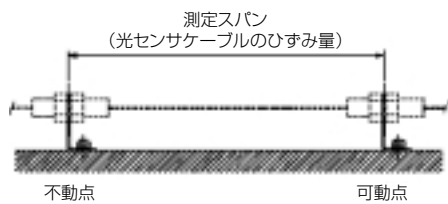


図5 光ファイバセンサ斜面設置状況  
Setting situation for optical fiber sensors

れに関しては土木研究所，紀南河川国道事務所，宮崎河川国道事務所，応用地質，日本地研）によるデータ評価が必要不可欠であり，極力長期間にわたる計測結果の蓄積に努め，これに基づく評価，検証を行うものとして運用された。

### 3. 結果概要

われわれが参加した実証試験現場について，以下にその概要を示す。

#### 3.1 一般国道42号和歌山県西牟婁郡すさみ町黒崎

##### 3.1.1 現地状況

現地は一般国道42号の切土法面であり，主に砂岩層で形成されている。また，現場斜面は比高が最大50mに達する斜面で，昭和50年代にモルタル吹付工が施工されているが，クラック等の変状が観察された。このため，ここに光ファイバセンサを配置することで，B-OTDR方式による法面の表面変位（はらみ出し）や亀裂の開口変位の計測を行うものとした。現地の全景を図3に，平面図を図4に示す。

3.1.2 センサ配置概要

斜面の変位を計測するため、光ファイバセンサを10m四方の格子型に配置し、各辺を2m間隔で固定した（これにより変位量はこの2m区間の平均ひずみとして求めている）。また、固定は、モルタル吹付材に削孔してアンカーボルト（φ10程度）で把持治具を取付・固定し、これに光ファイバセンサを通線し、張力をかけて緊張固定した。現地の光ファイバセンサの設置状況を図5に示す。

3.1.3 観測状況

(1) 計測方法

今回の斜面では、長期連続運用における計測器の安定性と耐久性を確保するため、以下のような運用も可能なシステムとした。

- ・通常運用時：計測の休止時間を設け、2時間計測、2時間休止のインターバル計測を行うものとした。
- ・異常時対応：異常データを示す特定ラインのみを30分の短時間間隔で連続計測を行うものとした。

なお、今回の実証試験では、道路法面における光ファイバセンサによる計測の可能性を確認することが目的のため、別途設置された従来型の電気式センサ（雨量計、水位計、斜面伸縮計、挿入式孔内傾斜計等）による計測データと、当社設置のB-OTDR方式による光ファイバセンサによる計測データの比較評価がなされた。

(2) 計測期間

黒崎地区では平成13年4月より計測を開始し、途中、停電等による欠測期間もあったが、今回報告以降も計測を継続する計画としている。なお、当該地区は台風の常襲地区のため、台風の度に監視強化が図られているが、これまでのところ崩壊等の地盤の異常は発生していない。

3.1.4 計測データ例

吹付け法面は、表面温度が夏期には50℃近くに上がるなど、温度変化が大きいことから、計測局舎内に恒温槽を設置してケーブル余長部を温度一定のケーブル区間とすることで温度補正を行った。

これまでの計測結果では、顕著な変動を示すような異常データは少なく、図6に示すような経時変化を示すことが多いが、特定区間で有意な変動の可能性があるデータが計測されている。（図6、図7、図8）

なお、今回の測定ではモニタリングに必要な管理基準値を設定しての警報発信等は行わず、計測データを定期的に回収してデータ分析を行った。

3.2 一般国道220号宮崎県日南市鶯巣地区

3.2.1 現地状況

現地は、一般国道220号の宮崎県宮崎市と日南市の行政境界に位置する事前通行規制区間にあり、日向灘を望む南側斜面である。当該監視区域の南側斜面は急峻で、草地あるいは雑木が繁茂しており、微地形での沢部や崖錐

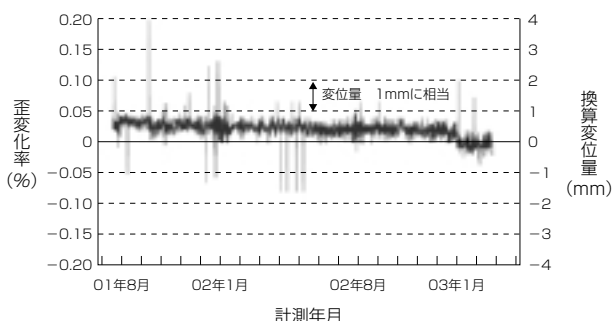


図6 No.15区間測定結果（異常変位認められず）  
Measurement results of No.15 section  
(Abnormal displacement is not detected)

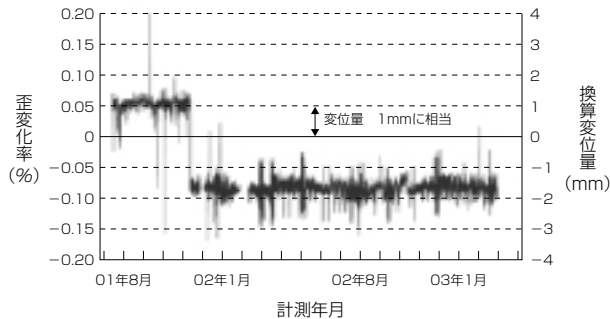


図7 No.16-1区間測定結果（異常変位検知）  
Measurement result of No. 16-1 section  
(Detection of abnormal displacement)

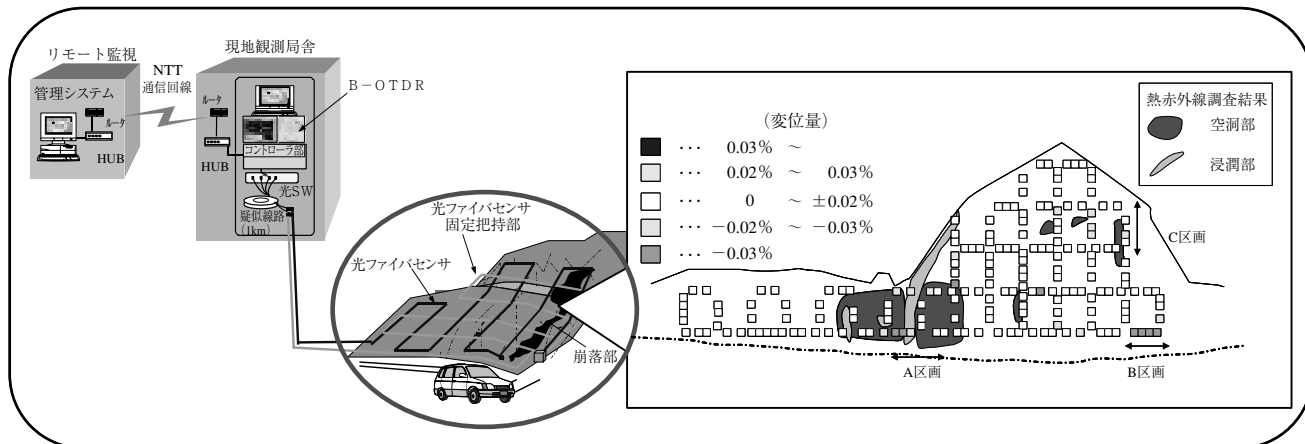


図8 黒崎地区斜面測定結果概要  
Measurement results of Kurosaki-slope

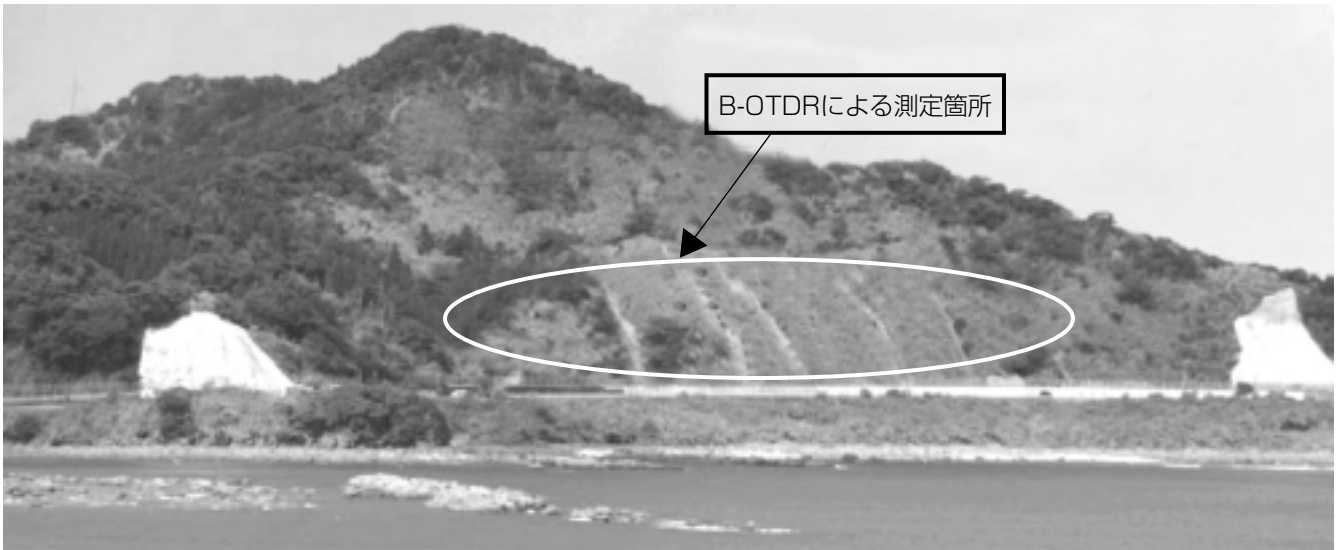


図9 一般国道220号鶯巣地区斜面状況  
Slope situation of Ousa-district

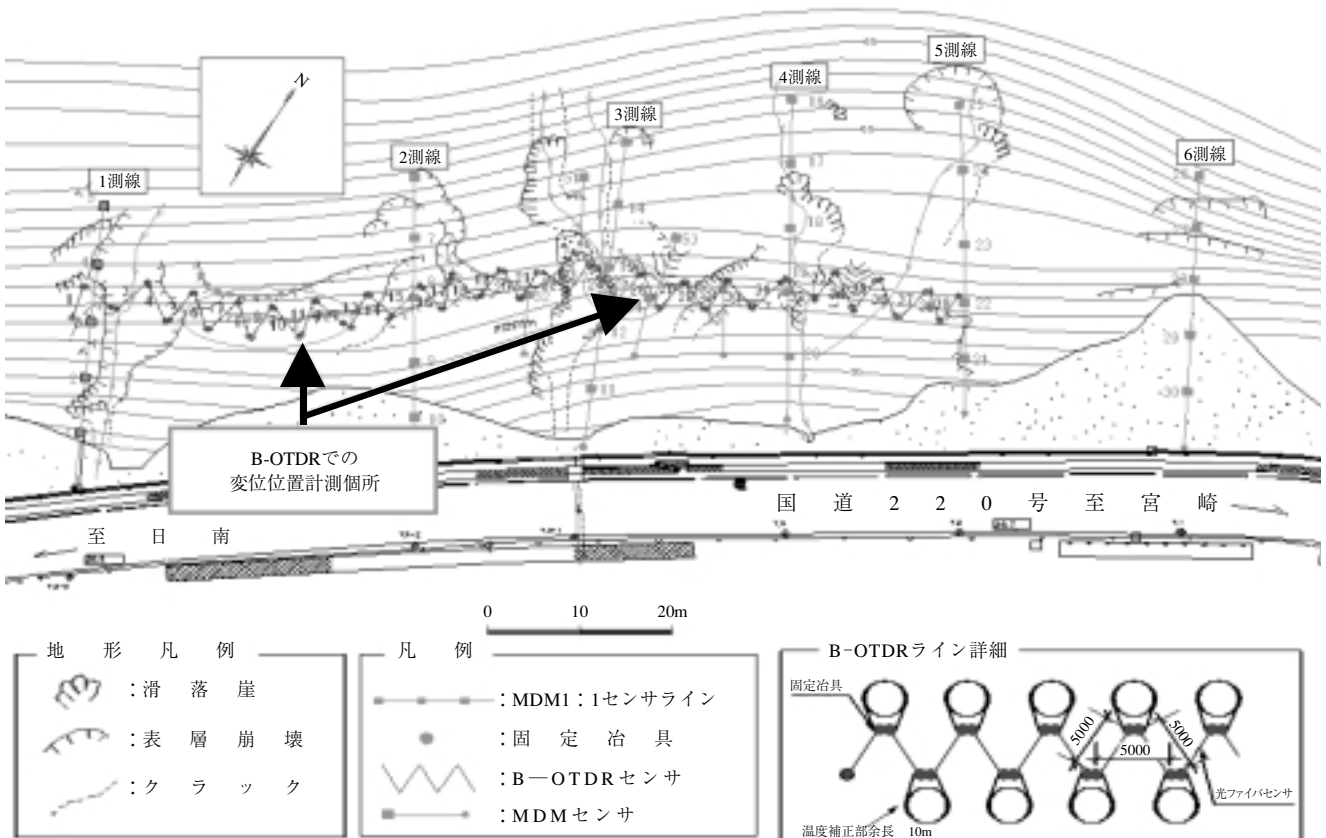


図10 鶯巣地区斜面光ファイバセンサレイアウト  
Optical fiber sensors layout of Ousa-district

が比較的厚い箇所では最大規模で幅10～15m、長さ20m程度の表層崩壊、落石が確認されている。なお、この斜面では、昭和57年7月に距離標27K080M付近で約150m<sup>3</sup>程度の斜面崩壊が発生し、片側通行止めとなった災害履歴がある。

### 3.2.2 センサ配置概要

鶯巣地区斜面では、尾根部砂岩崖と平均斜面勾配多数

に分割・配置したMDMセンサによる斜面観測が開始された。その後、土木研究所の検討結果に基づき、広域斜面の一括計測（低密度計測）による路線管理への適用可能性を検証するために、株式会社フジクラのB-OTDR方式による監視測定が追加実施された。

今回、B-OTDR方式による監視測定としては、光ファイバセンサを5mスパンでV字配置（これにより変位量は



図11 光ファイバセンサ斜面設置状況  
Setting situation for optical fiber sensors

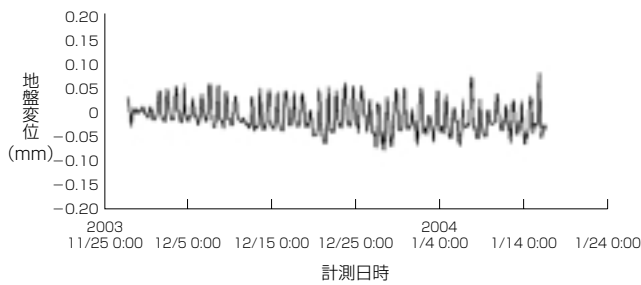


図12 B-OTDRによる表層変位計測例 (補正なし)  
Outer layer displacement data by B-OTDR (no revised)

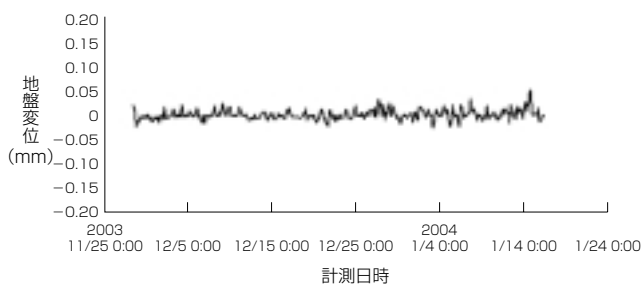


図13 B-OTDRによる表層変位計測例 (補正あり)  
Outer layer displacement data by B-OTDR (revised)

この5m区間の平均ひずみとして求めている)し、低密度計測をすることで、斜面の崩壊規模を捉えることを目的とした。

光ファイバセンサは、斜面の表層風化堆積層に木杭を打込み、その頭部に把持治具を取付け・固定し、これに光ファイバセンサを緊張固定した。現地に設置した光ファイバセンサの設置状況を図11に示す。

3.2.3 観測状況

(1) 計測方法

今回の斜面における監視計測では、既存のMDMの計測ラインとは別のシステムとしてB-OTDR方式による低密度監視が導入され、長期連続運用における計測器の安定性と耐久性を確保するため、前述の一般国道42号黒崎地

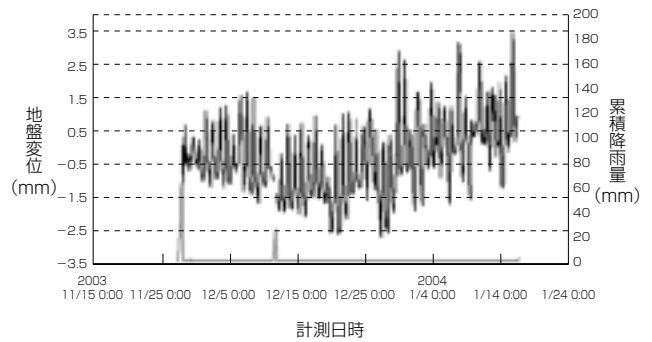


図14 B-OTDRによる表層変位計測例 (補正なし)  
Long-term displacement data of tensile direction (no revised)

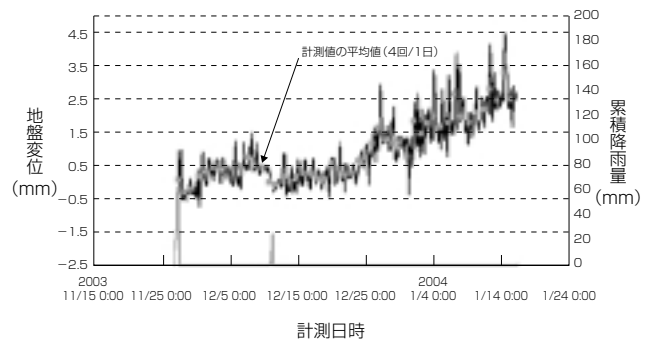


図15 B-OTDRによる表層変位計測例 (補正あり)  
Long-term displacement data of tensile direction (revised)

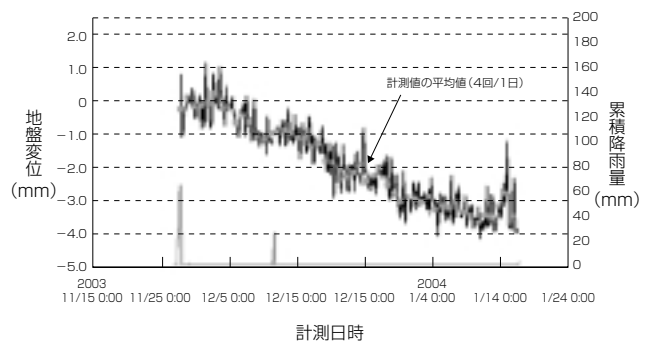


図16 B-OTDRによる表層変位計測例 (補正あり)  
Long-term displacement data of compression direction (revised)

区と同様、通常運用時には計測の休止時間を設け、2時間計測、2時間休止の4時間間隔でのインターバル計測として運用した。また、異常時における対応として、特定ラインのみを短時間の時間間隔で連続計測することも可能なシステムとした。

3.2.4 計測データ例

今回の斜面観測データでは、全般的に顕著な変動を示すような異常データは少なく、短期的には日間温度変化の影響を、長期的には年間温度変化の影響を受けるため図12に示すような経時変化を示すことが多い。

ここで、先に述べるような温度補正を行った結果を図13に示す。これによれば、日間温度変化による影響は1/2~1/3程度まで低減されており、年間温度変化によるばら

つきもかなり改善されていることがわかる。

この結果をもとに、有意な変動の可能性がある区間について同様の温度補正を行った結果を図14～図16に示す。

この結果、図に示された計測値の変化が小さくなり、この平均値のトレンドをとることで、降水時にひずみ変化が現れていることを確認できた。

したがって、今回の計測で適用したように道路縦断方向に斜面を計測する手法は、斜面のマクロ的な変状を知るには有効な配置法であることが判明した。

#### 4. む す び

今回の計測で適用したように道路縦断方向に斜面を計測する手法では、データの温度補正が重要であり、これから得られる時系列データの変動から、斜面のマクロ的な変状を知ることができる可能性のあることがわかった。これにより、今回の検討技術が、通行規制区間における道路斜面の安全性の向上を目的とした道路防災技術の開発研究に有効な配置法として期待できることがわかった。

また、現場施工にあっては、斜面の崩落部にかかる部分について、ファイバセンサケーブルは所定の設置条件を満足することがかなり困難な場合もあり、現場対応における課題となることが判明した。

今回の実証試験に関しては、今後も監視を継続実施するとともに、さらに実用的な監視システム構築に向けた改良検討を進めるものである<sup>5)6)</sup>。

なお、本開発研究を進めるにあたり、懇切なる御指導並びに御協力を頂いた独立行政法人土木研究所殿、応用地質(株) 殿、日本地研(株) 殿ならびに関連共同研究各社の関係各位に厚く御礼申し上げるとともに、現場適用に際し御尽力いただいた社内関係各位に対して厚く御礼申し上げる次第であります。

#### 参 考 文 献

- 1) 加藤, 三木, 恒岡ほか: 光ファイバセンサを活用した表層崩壊モニタリングシステムの構築に関する取り組み, 地盤工学会四国支部シンポジウム, 2001
- 2) 山辺, 恒岡, 加藤ほか: 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, 土木学会講演会講演概要集, 第3部, 56巻, 2001
- 3) 加藤, 三木, 恒岡ほか: 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, 独立行政法人土木研究所土木技術資料, 2002
- 4) 小川, 恒岡, 加藤, 田中: 光ファイバセンサによる表層崩壊検知結果及びその考察, 土木学会講演概要集, 第3部, 57巻, 2002
- 5) 三木: 岩盤・斜面リスクのマネジメント技術の開発, 土木学会誌プロジェクトレポート, 2002
- 6) 加藤, 恒岡, 室山: B-OTDRによる道路斜面崩壊危険個所のスクリーニング技術の検討, 土木学会講演概要集, 第3部, 58巻, 2002