

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報告書

「光ファイバセンサを活用した斜面崩壊モニタリング
システムの導入・運用マニュアル(案)」

平成15年 6 月

独立行政法人土木研究所
材料地盤研究グループ土質チーム
アイレック技建株式会社
NTTアドバンステクノロジー株式会社
NTTインフラネット株式会社
応用地質株式会社
株式会社エーテック
株式会社興和
株式会社フジクラ
住友電気工業株式会社
昭和電線電纜株式会社
三菱制御システム株式会社
西日本三菱重興産株式会社
日本電信電話株式会社
日本地研株式会社
日立電線株式会社

Copyright ©(2003) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

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報告書

「光ファイバセンサを活用した斜面崩壊モニタリング システムの導入・運用マニュアル(案)」

独立行政法人土木研究所	土質チーム	上席研究員	恒 岡 伸 幸
〃	〃	主任研究員	小 橋 秀 俊
〃	〃	研 究 員	加 藤 俊 二
〃	〃	交流研究員	室 山 拓 生
アイレック技建(株)	取締役開発部	部 長	須 藤 圭 一
NTTアドバンステクノロジ(株)	光センシング技術部	部 長	吉 田 幸 司
NTTインフラネット(株)	事業開発本部	担当部長	一久保 和 幸
応 用 地 質(株)	技術本部技師長室	技師長	上 野 将 司
(株)エ ー テ イ ッ ク	取締役企画本部長		岡 野 成 敏
(株)興 和	企画開発部	次 長	佐 藤 朗
(株)フ ジ ク ラ	ケーブルシステム部	担当部長	石 井 一 治
住友電気工業(株)	技術部部長		檜 林 弘 一
昭和電線電纜(株)	情報通信研究開発部	部 長	田 畑 光 博
三菱制御システム(株)	産業システム技術部	次 長	開 登 喜 雄
西日本三菱重興産(株)	土木部土木設計課	課長	綿 卷 進 也
日本電信電話(株)	NTTアクセスサービスシステム研究所	主幹研究員	藤 橋 一 彦
日 本 地 研(株)	技術第2部設計2課課長		佐 藤 秀 文
日 立 電 線(株)	オプトロシステム研究所 第4部	部 長	中 居 久 典

(土木研究所以外は代表者のみ。平成15年 3 月現在)

要 旨

本共同研究では、光ファイバセンシングにおいて代表的な計測方式である、BOTDR方式、FBG方式、MDM方式の3方式について、斜面崩壊モニタリングの適用性の検討およびモニタリングシステムの開発を目的として、全国6個所の実斜面においてフィールド試験を行った。2個所の現場において、降雨による小崩壊が発生しており、その前兆変位を光ファイバセンサで捉えることができた。また、モニタリングにより崩壊を検知することで、現地確認および応急対策の実施等の迅速な対応が可能となった。また、崩壊が発生していない現場においても、日常変動や動植物による変状といった計測データの判断指標となる有意義なデータが得られた。本報告書は、これらの結果を取りまとめた光ファイバセンサによるモニタリングシステムの導入・運用マニュアルである。

本報告書を活用することにより、光ファイバセンサによる斜面崩壊モニタリングが導入され、効率的な道路管理が実施されることが期待される。

キーワード：光ファイバセンサ、斜面崩壊モニタリング、試験フィールド、マニュアル

共同研究参画者一覧 (平成 15 年 3 月現在)

<土木研究所>

山 辺 晋	材料施工部土質研究室 交流研究員	H12.10～H13.03
森 啓 年	材料地盤研究グループ土質チーム 研究員	H12.04～H13.03
中 野 穰 治	材料地盤研究グループ土質チーム 主任研究員	H12.04～H13.04
田 中 衛	材料地盤研究グループ土質チーム 研究員	H12.10～H13.09
三 木 博 史	材料地盤研究グループ グループ長	H12.04～H14.03
小 川 鉄 平	材料地盤研究グループ土質チーム 交流研究員	H13.04～H14.03
萩 原 良 二	材料地盤研究グループ グループ長	H14.04～現在
恒 岡 伸 幸	材料地盤研究グループ土質チーム 上席研究員	H12.04～現在
小 橋 秀 俊	材料地盤研究グループ土質チーム 主任研究員	H13.10～現在
加 藤 俊 二	材料地盤研究グループ土質チーム 研究員	H12.04～現在
室 山 拓 生	材料地盤研究グループ土質チーム 交流研究員	H14.04～現在

<(株)エーティック>

浮 橋 秀 明	計測部部长	H12.04～H13.09
三 室 俊 昭	地質部部长	H12.06～H14.03
白 石 英 人	計測部計画課主任技師	H12.04～現在
共 放 鳴	計測部開発課課長	H12.04～現在
日 向 洋 一	計測部開発課課長代理	H12.04～現在
角 谷 俊 次	計測部計画課課長	H12.06～現在
岡 野 成 敏	専務取締役企画本部長	H13.09～現在
舟 田 幸太郎	企 画 部 部 員	H14.06～現在

<NTTアドバンステクノロジー(株)>

吉 田 幸 司	光センシング技術部長	H12.04～現在
照 屋 英 雄	センシング技術部 担当課長	H12.04～現在
平 山 健 吾	光センシング技術部	H12.04～現在

<昭和電線電纜(株)>

田 畑 光 博	技術開発センター長	H12.04～現在
香 月 史 朗	技術開発センター情報通信開発室 デバイスG長	H12.04～現在
桑 本 和 博	情報通信システム事業部通信エンジニアリング室 課 長	H12.04～現在
森 田 和 章	技術開発センター情報通信開発室デバイスG 研究員	H13.03～現在

<応用地質(株)>

池 田 善 考	中部支社技術センター 副所長	H12.04～H13.03
佐 野 光 俊	つくば技術開発センター計測技術センター 副所長	H12.03～H14.03
菅 原 紀 明	本社技師長室 技師長	H12.04～現在
上 野 将 司	技術本部技術統括室 技師長	H12.04～現在
水 野 敏 実	技術本部ジオスペイシャル推進室 室 長	H12.04～現在
佐 野 康	つくば技術開発センター計測技術センター リーダー	H12.04～現在
本 木 浩 也	技術本部技術センター道路防災グループ 主 任	H12.04～現在
松 尾 篤 樹	技術本部技術センター道路防災グループ 部 長	H14.04～現在
岩 崎 智 久	つくば技術開発センター計測技術センター	H14.04～現在

<日立電線(株)>

安 斎 裕 一	電線本部電力システム部 部 員	H12.04~H13.03
高 坂 良 介	電線本部電力システム部 部 員	H12.04~H13.03
宮 田 康 弘	技術開発本部オプトロシステム研究所第3部 マネージャ	H12.04~H13.08
小 島 正 嗣	技術開発本部オプトロシステム研究所第3部 部 員	H13.04~H14.03
福 士 盛 久	技術開発本部オプトロシステム研究所第3部 部 員	H13.04~H14.03
川 神 裕 志	技術開発本部オプトロシステム研究所第3部 部 長	H12.04~H14.07
福 地 圭 介	技術開発本部オプトロシステム研究所第4部 部 員	H12.04~H14.12
加 藤 一	産業システム事業本部光プロジェクト部 マネージャ	H12.04~現在
長 田 拓 馬	産業システム事業本部光プロジェクト部 部 員	H12.04~現在
本 郷 晃 史	技術開発本部オプトロシステム研究所第4部 マネージャ	H13.08~現在
菱 田 康 之	技術開発本部 オプトロシステム研究所 第4部 部 員	H13.08~現在
中 居 久 典	技術開発本部オプトロシステム研究所第4部 部 長	H14.07~現在

<(株)フジクラ>

森 本 朋 治	情報通信事業部情報通信技術部技術課 課 長	H12.04~H13.03
栗 井 正 人	信部品事業部開発部 係 長	H12.04~H13.03
早 川 敏 行	情報通信事業部事業部長	H12.04~H13.03
佐 野 章	通信ケーブル事業部開発部 主任研究員	H12.04~H14.03
宮 本 末 広	通信ケーブル事業部開発部 部 長	H12.04~H14.03
石 井 一 治	情報通信事業部 主管部長	H13.04~H14.06
緒 方 和 也	通信部品事業部開発部 課 長	H12.04~現在
門 脇 昭 秀	通信事業部通信技術部 主 査	H12.04~現在
竹 内 正 幸	情報通信事業部 主管部長	H13.04~現在
草 刈 雅 弘	通信ケーブル事業部開発部 係 長	H13.04~現在
小 林 和 永	通信ケーブル事業部開発部 課 長	H14.04~現在
大 橋 圭 二	通信事業部通信技術開発部 部 長	H14.04~現在
中 尾 由 明	通信事業部通信技術部 主席部員	H14.07~現在

<(株)興 和>

坂 井 俊 介	企画開発部 次 長	H12.04~H14.03
本 間 則 之	工 事 部 係 長	H12.04~H14.03
五十嵐 俊 幸	企画開発部 課 長	H14.04~H15.03
南 雲 正 博	調 査 部 部 長	H12.04~現在
佐 藤 朗	先端技術部 部 長	H12.04~現在
森 山 正 廣	先端技術部 課長代理	H12.04~現在
笹 川 孝 義	先端技術部 主 任	H12.04~現在
大 川 滋	先端技術部 主 任	H12.04~現在
斉 藤 浩 之	企画開発室 次 長	H12.04~現在

<住友電気工業(株)>

藤 枝 敬 史	システムエンジニアリング事業部技術部 部 長	H12.04~H13.05
佐 藤 浩 二	システムエンジニアリング事業部技術部 センサ開発室室長	H12.04~H13.09

小林 悟	システムエンジニアリング事業部技術部	主 席	H12.04～H14.07
檜 林 弘 一	システムエンジニアリング事業部技術部	部 長	H13.06～H15.03
川 村 武 司	システムエンジニアリング事業部技術部	設計製造課課長	
			H12.04～現在
石 橋 悦 治	システムエンジニアリング事業部技術部	主 席	H12.04～現在
宮 内 将 和	システムエンジニアリング事業部技術部	設計製造課	
			H12.04～現在
末 谷 正 晴	システムエンジニアリング事業部技術部	設計製造課	
			H12.04～現在
川 本 智 宏	システムエンジニアリング事業部技術部	設計製造課	
			H12.04～現在

<長菱制御システム株式会社>

林 興一郎	システム技術部	部 長	H12.04～H14.03
開 登喜雄	産業システム技術部	次 長	H12.04～現在
小 西 君 夫	産業システム技術部	部 長	H12.04～現在
山 口 憲 幸	産業システム技術部	主 務	H12.04～現在
宮 川 健	産業システム技術部		H12.04～現在

<日本地研株式会社>

小 林 孝 洋	技術二部	部 長	H12.04～H12.11
田 島 恒 美	技術本部常務取締役	部 長	H12.12～現在
佐 藤 秀 文	技術管理部設計	課 長	H12.04～現在

<西日本菱重興産株式会社>

大 橋 義 美	土木部専門	部 長	H12.04～現在
綿 卷 進 也	土木部土木設計	課 長	H12.04～現在

<日本電信電話(株)>

藤 橋 一 彦	NTTアクセスサービスシステム研究所	主幹研究員	H12.04～現在
奥 津 大	NTTアクセスサービスシステム研究所	研究員	H12.04～現在
成 瀬 央	NTTアクセスサービスシステム研究所	主幹研究員	H12.04～現在

<NTTインフラネット(株)>

堀 内 辰 夫	事業開発本部	担当部長	H12.04～H12.04
一久保 和 幸	事業開発本部	担当部長	H12.04～H15.01
比 佐 努	事業開発本部	主 査	H12.04～現在
倉 橋 渡	事業開発本部	担当課長	H12.04～現在

<アイレック技建(株)>

佐々木 進	営業開発部	主 査	H12.04～現在
須 藤 佳 一	取締役開発部	部 長	H12.04～現在
永 井 英 二	営業開発部	担当課長	H12.04～現在
伊 藤 進	営業開発部	担当課長	H13.07～現在
澤 口 明	営業開発部	担当部長	H14.04～現在

(敬称略、役職は当時の最終役職)

はじめに

日本の国土の約7割が山岳地である。このため、私たちの生活基盤を形成する道路の大半が山々に接するかたちで建設され、平野部を除く道路には自然の斜面や切土のり面（以下、道路斜面と呼ぶ）などの多くの斜面が存在する。これら道路斜面では、梅雨や秋雨時の長雨や台風などにより、周辺の地形や地質・土質条件によっては土砂崩壊等が発生し、場合によっては道路交通に支障を来すような大きな災害が発生することがある。降雨による崩壊の可能性のあると考えられる道路斜面は、順次対策工が実施されてきている。しかしながら、道路斜面の数は膨大であり、地形上あるいは経済上の問題から対策工を実施できない（もしくは今後実施する予定ではあるが現在は実施できない）斜面が多数存在する。このような斜面については、連続雨量（連続的に降った雨の総量）による事前通行規制やモニタリング等により斜面崩壊を監視し、道路利用者の安全確保に努めている。

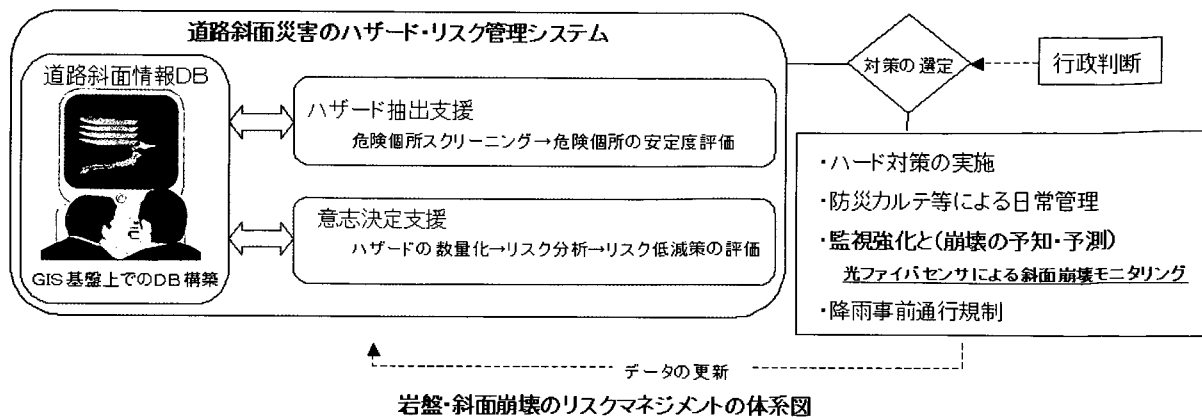
現在、斜面のモニタリングに使用されている伸縮計や傾斜計等のセンサ（以下、従来型センサと呼ぶ）は、ほとんどが電気式であり、落雷による電磁誘導の影響を受けて計測期間中に故障する可能性が高く、実際に斜面の安全管理に支障を来すことがある。また、センサを設置する際には、斜面の調査を行った上で変状の発生地点をある程度予測して設置するが、点・線的な設置となるために計測範囲の連続性が低く、また実際の変状は予測位置に限らず不特定位置に発生することから、斜面の変状を捉えにくいといった問題もある。

一方、光ファイバセンサは、センサ部には電気を利用しないので電磁誘導の影響を受けない。また、線的・面的な設置が可能で計測範囲の連続性が高くなり、狭～広域のエリアを効率的にモニタリングができるようになる。さらに、国土交通省で整備している国道沿いの道路管理用光ファイバ通信網を活用することにより、遠隔地にある事務所・出張所等から複数の斜面を一括してモニタリングすることも可能となる。このように、光ファイバセンサは、従来型センサの弱点を解消し、さらに効率的なモニタリングが期待されるものである。

国土交通省では、新道路技術五カ年計画（平成10年度～14年度）の重点項目の一つとして「岩盤・斜面崩壊のリスクマネジメント技術」の研究開発を実施してきた。この研究開発では、道路斜面防災対策を①ハザードの抽出（評価）②影響軽減技術（管理）③予知技術（監視）④リスクマネジメント技術（説明責任）の4つの側面から捉えて、体系的な斜面管理（図参照）を目指した技術開発を進めてきた。この一環として、平成11年度末より、土木研究所では民間14社との「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」を実施している。本書は、光ファイバセンサによる道路斜面モニタリングを行う際のシステム導入および運用する際の参考図書となるように、共同研究の結果を取りまとめたものである。

本書を活用することにより、光ファイバセンサによる斜面崩壊モニタリングが導入され、効率的な斜面管理が実施されることを期待する。

平成15年 6 月



目 次

はじめに

第1章 光ファイバセンサを活用した斜面崩壊モニタリングシステムの 導入・運用マニュアル（案）

1. 総括編	1- 2
1.1 モニタリングの概要	1- 2
1.1.1 モニタリングの導入が適するケース	1- 3
1.1.2 モニタリングシステムの導入効果	1- 4
1.1.3 モニタリングの目的と位置付け	1- 5
1.2 光ファイバセンサの概要	1- 7
2. システム設計編	1- 9
2.1 システム設計の流れ	1- 9
2.2 システム設計の詳細	1-10
2.2.1 監視方法・計測形態の選定	1-10
2.2.2 計測方法の選定	1-11
2.2.3 システム構成	1-12
2.2.4 センサ部	1-13
2.2.5 伝送部	1-16
2.2.6 制御・計測部、表示部	1-17
2.2.7 積算	1-18
3. 設置編	1-23
3.1 設置計画の作成	1-23
3.2 仮設工	1-24
3.3 ラインマーキング	1-26
3.4 光ファイバセンサの設置	1-27
3.5 光ファイバセンサの初期調整	1-32
3.6 監視処理装置の調整	1-33
3.7 伝送路への接続	1-34
3.8 事務所・出張所等への接続	1-35

4. 運用編	1-36
4.1 システム系統	1-36
4.2 伝送部	1-37
4.3 表示部	1-38
4.4 運用方法	1-40
4.5 各種変位計測データの例	1-43
4.6 メンテナンス	1-47

第2章 光ファイバセンサを活用した

斜面表層崩壊モニタリングシステムの適用事例	2- 1
2.1 一般国道 49 号福島県いわき市三和町中三坂	2- 3
2.2 一般国道 19 号長野県更級郡信州新町水内	2-10
2.3 一般国道 52 号山梨県南巨摩郡身延町光子沢	2-18
2.4 一般国道 42 号和歌山県西牟婁郡すさみ町黒崎	2-28
2.5 一般国道 28 号兵庫県津名郡津名町塩尾	2-35
2.6 一般国道 220 号宮崎県日南市鶯巣地区	2-43
2.7 適用事例のまとめ	2-55

第3章 光ファイバセンサとは

3.1 光ファイバとは	3- 1
3.1.1 光ファイバの構造	3- 1
3.1.2 光ファイバの種類	3- 2
3.1.3 光コネクタ	3- 2
3.1.4 融着接続	3- 3
3.2 光ファイバセンシング方式について	3- 4
3.2.1 B-OTDR 方式の計測原理	3- 4
3.2.2 FBG 方式の計測原理	3- 5
3.2.3 MDM 方式の計測原理	3- 6
3.2.4 光センシング方式の比較	3- 7
3.2.5 計測距離について	3- 8
3.2.6 計測用光ファイバ	3- 8

<巻末資料>

- ・用語集
- ・災害形態と一般的な計測手法

第1章 光ファイバセンサを活用した斜面崩壊 モニタリングシステムの導入・運用マニュアル(案)

このマニュアル(案)は、光ファイバセンサを活用した斜面崩壊モニタリングシステムについて解説したものである。

なお、対象とする災害形態は、主に「崩壊（表層崩壊等の斜面崩壊）」と「地すべり」としている。岩石崩壊等のモニタリングについては、別途資料に整理している。

1. 総括編

1.1 モニタリングの概要

道路防災の基本は防災カルテ等に基づく目視点検であるが、目視点検には限界があるため、必要に応じて機器を用いたモニタリングシステムを導入することにより、管理の高度化・効率化を図ることができる（図1-1）。

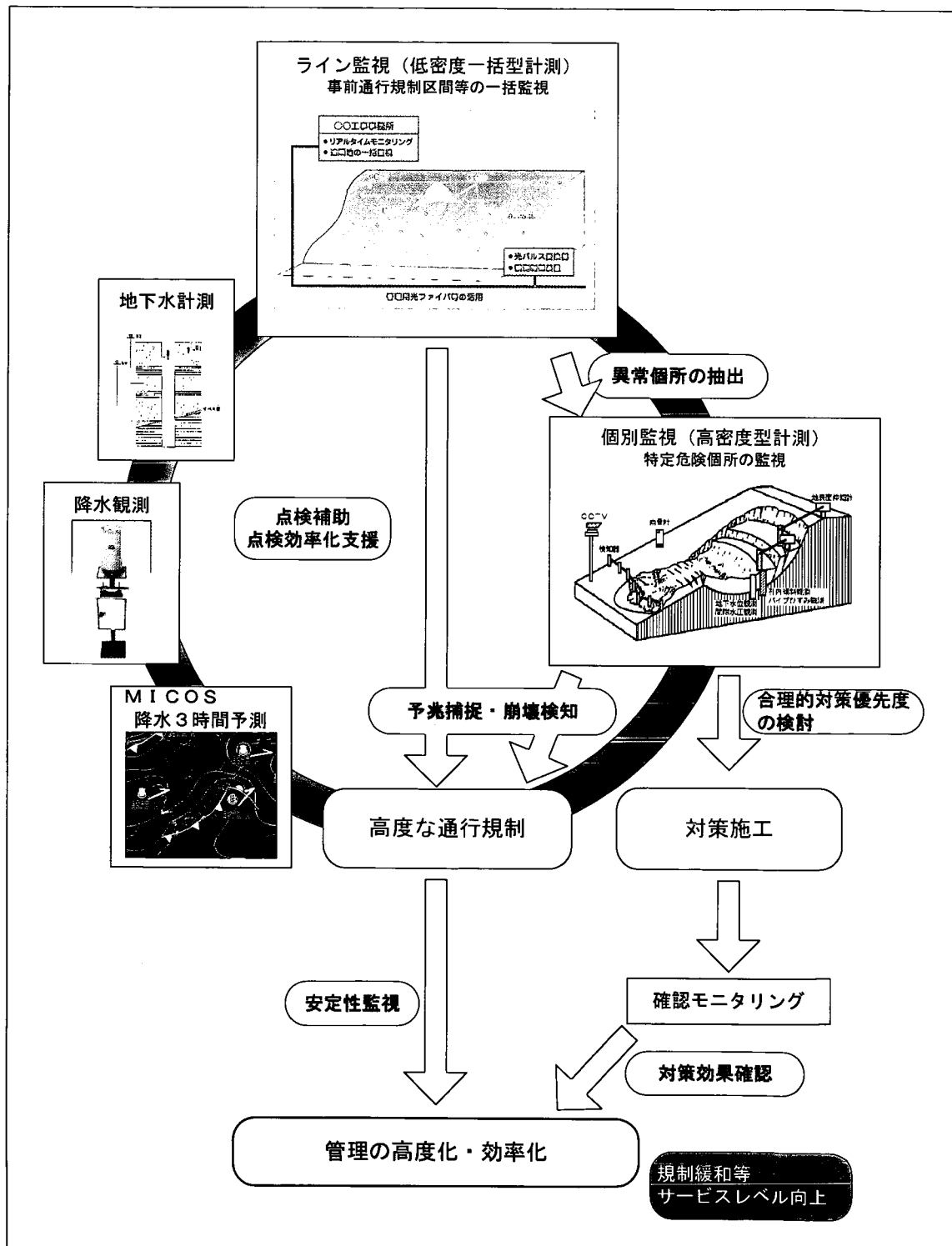


図1-1 モニタリングを活用した道路管理

1.1.1 モニタリングの導入が適するケース

道路管理において、モニタリングの導入が適するケースの例を以下に示す。

(1) 中長期のモニタリング

- ・ モニタリングによる道路利用者の安全性の向上
斜面の変位等の計測を行い、災害防止を図る場合
- ・ 構造物の維持管理
のり枠等の構造物に亀裂・変形等の異常の監視や、グラウンドアンカー等が所定の機能を維持しているかを確認する場合

(2) 当面のモニタリング

- ・ 抜本的対策までに時間を要する危険個所での監視強化
用地等の問題で早急な対応が困難な場合
- ・ 事前通行規制区間の規制緩和・規制解除を検討している場合の状況把握
対策が必要な異常個所（ある程度の降雨などで微小変状を示す個所）を計測により抽出する場合

(3) 施工中の一時的モニタリング

- ・ 変状確認時や災害発生後の監視
変状個所周辺で、計測・検知・画像監視等により監視を行い、道路への影響の把握や施工の安全管理を図る場合
- ・ 切土や高盛土、トンネル掘削などに伴う施工管理
施工に伴い、周辺地山のゆるみやすべりなどの変状等を監視する場合

1.1.2 モニタリングシステムの導入効果

モニタリングシステムの導入により、高精度・高頻度での観察が可能になる。

この結果、図1-2に示すように、災害危険個所の早期発見・早期対応が可能になり、さらに、将来的には崩壊予測による通行規制が可能になると期待されている。

なお、モニタリングは特定の2点間距離など予め定められた情報のみの収集である。このため、総合判断を行うためには、目視点検による状況観察が不可欠である。

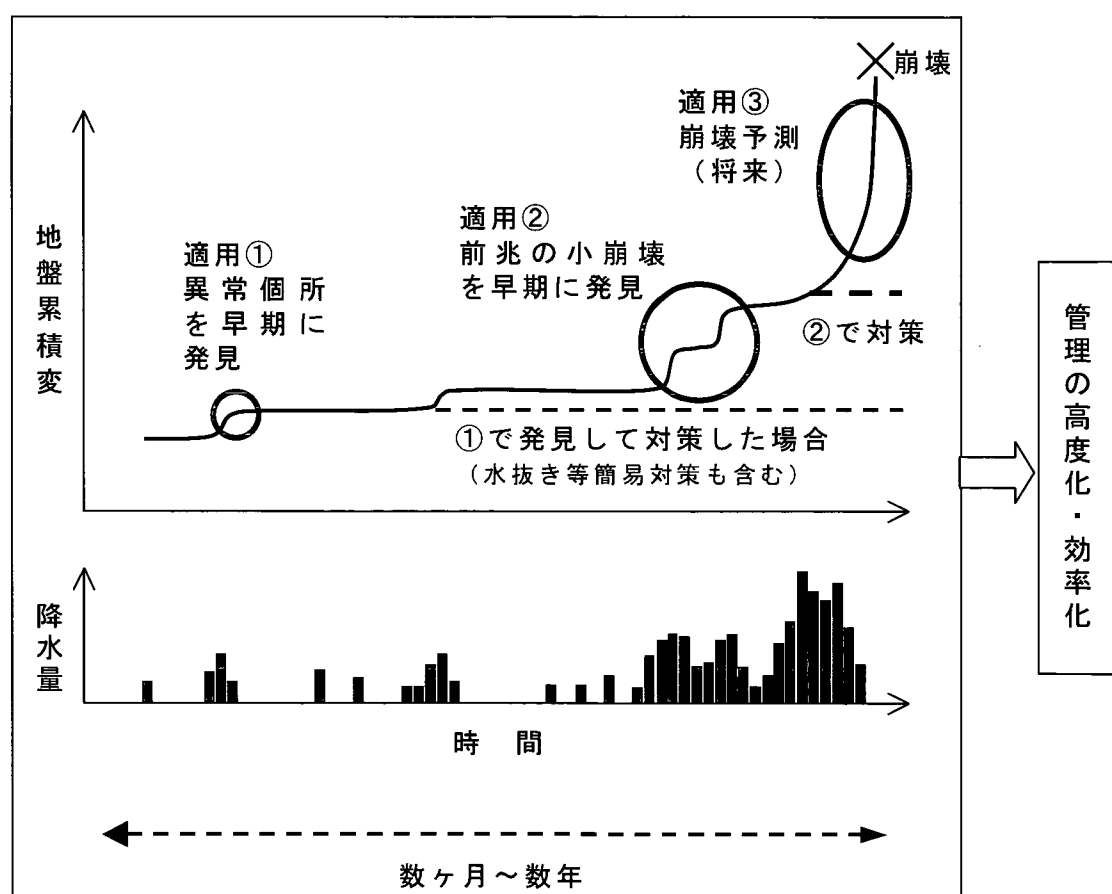


図1-2 モニタリングシステムの導入効果

1.1.3 モニタリングの目的と位置付け

災害の予知・予測では、①発生位置・②災害の形態および規模・③発生時刻の3要素が必要である。

このうち、災害の形態および規模は地形・地質や災害履歴から判断してある程度の想定が可能である。

一方、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。これは、事前の変状が微小であり、目視では発見が困難なためである。

また、発生時刻に関しては、地すべりでの管理基準値や崩壊予測式が知られているが、表層崩壊に対する適用性については、計測結果の蓄積によって検証を行う必要があり、今後の課題となっている。

このようにモニタリングシステムを導入するにあたっては、上記のような予知・予測の現状を踏まえ、位置付けと目的を明確に定めることが重要である。

(1) 目的

斜面災害の予知・予測を目指し、異常個所の抽出（位置の特定）と、特定危険個所の監視（将来的には時刻の予測を目標とする）の二つをモニタリングの目的とする。

なお、状況により、対策済みの個所で対策効果を確認するためにモニタリングを行う場合もある。

① 異常個所の抽出

降雨時や融雪期等に微小変状が発生するような異常個所を抽出し、早期の対応を図る。

広範囲を面的・線的に計測する必要があるため、光ファイバセンサが適する場合が多い。

② 特定危険個所の監視

計測により地盤変位や地下水位変動を把握し、安定性に変化が無いかを監視する。変状メカニズムや変状規模等を考慮して、変位計測や地下水位計測、降水観測等を適宜組み合わせる。

③ 対策効果の確認

対策工施工後の地盤変動・構造物変動を計測することにより対策効果や機能維持を確認する。

これらの取り組みと対策の整備により、当該区間での斜面安定性が確認できれば、事前通行規制区間における規制解除の判断材料となる。

(2) 位置付け

道路防災におけるモニタリングとは、以下のように位置付けられる。

モニタリングは、管理の基本である目視点検を補間・支援し、管理の高度化・効率化を図るための管理手法である。

ここで、“管理の高度化”とは、以下のような内容を指している。

- ・ 客観的数値データを得ることにより、目視観察よりも高精度に変状の進行等を判断する。
- ・ 常時、計測することにより、対応の迅速化を図る。
- ・ 【将来的目標として】計測値による管理基準値を設けることにより、より効果的な事前通行規制を行い、サービスレベルの向上を図る。

また、“管理の効率化”とは、以下のような内容を表している。

- ・ オンライン計測でリアルタイムに現地状況を把握することにより、きめ細かい現地状況の把握を行う。
- ・ 異常個所を特定することにより、重点的な点検を実施する。
- ・ カルテ等の点検における計測を計器で行うことにより点検者の負担を軽減し、その分、点検者は目視観察事項を入念に観察できるようになる。

1.2 光ファイバセンサの概要

光ファイバセンサは、光通信線路の監視・診断方法として開発された技術であり、近年、その特徴を活かして各種分野計測への応用が進められている。

地盤関連分野においても、斜面や道路構造物のモニタリング、河川堤防のモニタリングなど、主に長い線状の対象範囲を計測する手法（図1-3参照）として開発が進められてきた。

光ファイバセンサの導入にあたっては、その特性を活かし、従来型センサと相補うような計測を計画する。

ここでは、光ファイバセンサの特徴を整理し、主に光ファイバセンサと従来型センサの使い分けについて解説する。

この他に、モニタリング方法の選定では、監視方法※¹と計測形態※²を検討する（2.2.1参照）。

※1 監視方法：計測・検知

※2 計測形態：全自動（オンライン）計測・半自動（オフライン）計測・手動計測

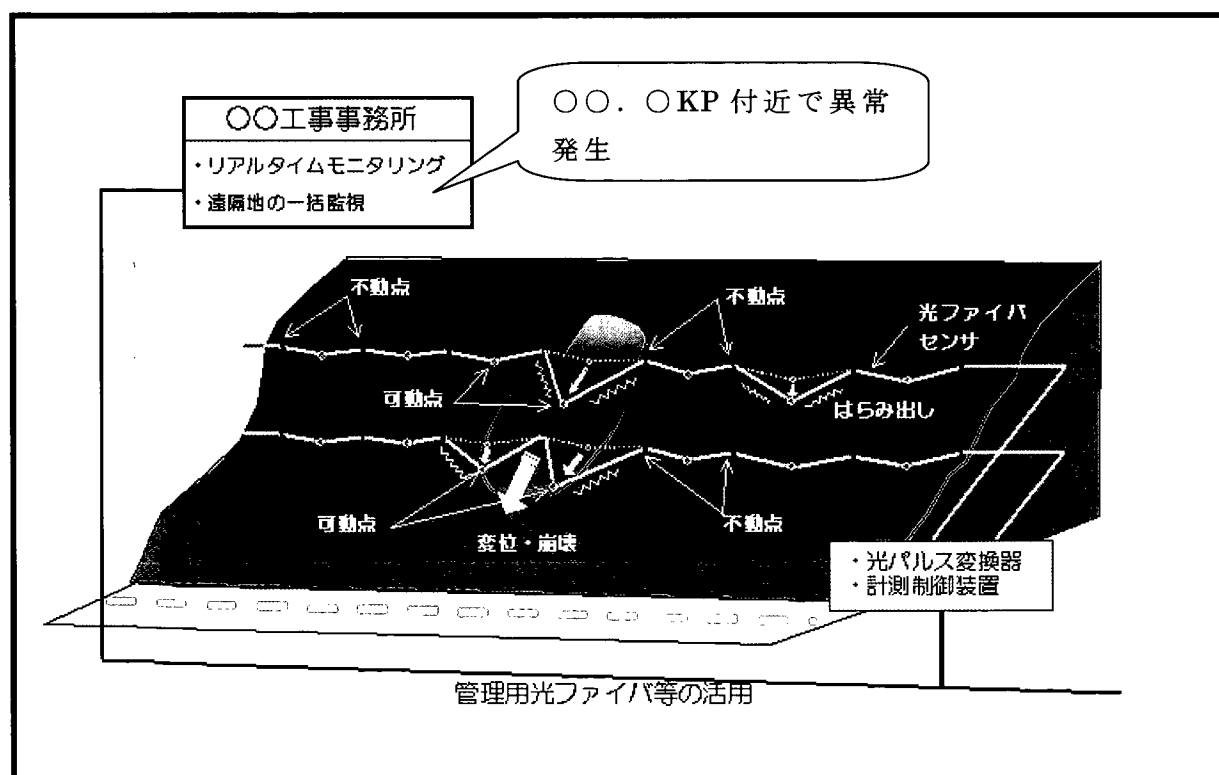


図1-3 光ファイバセンサ（イメージ図）

光ファイバセンサの特徴は、以下のように整理される。

◆特徴

- ・ 光ファイバケーブル自体をセンサとして用いるラインセンサである。
- ・ 光ファイバケーブルの数m毎の区間（あるいは数m毎の個所）について、ひずみ量等を計測できる。**ひずみ発生個所の位置とひずみの程度が把握可能**である。
- ・ 通常、路線長10km程度※を計測できる。
（※ 計測可能距離は各種条件により異なる）
- ・ 光ファイバケーブルは絶縁性に優れるため**雷等の電磁ノイズに強く**、故障が少ない。
- ・ センサ部の構造が比較的単純で故障しにくい。
- ・ 国土交通省で国道沿いに整備されている光ファイバケーブル（情報ボックス）に接続して展開が可能
（情報ボックスの活用）。



- ・ 従来のセンサでは対応が困難であった**多数の個所・広い範囲**の計測（線的計測・面的計測）が可能である。
このため、表層崩壊等の災害発生個所の絞り込みが困難であった現象に対しても、対応可能である。

表1-1 光ファイバセンサと従来型センサの比較※ （加藤他, 2002）¹⁾

	従来型センサ	光ファイバセンサ		
		B-OTDR	FBG	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	線的計測。計測範囲の連続性が低い。	広範囲なエリアの線または面的な計測に優れる。	小～中規模なエリアの線的または面的な計測に優れる。	小～中規模なエリアの線的または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		
計測時間	リアルタイム（自動計測化の場合）	5～10分間隔	リアルタイム	

※光ファイバセンサの原理には、この他にも変位計測用のOTDR方式や破断検知用の透過光測定、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。

2. システム設計編

以下に、システム設計を行うための要点を示す。

2.1 システム設計の流れ

広域調査の管理計画や個別個所での機器配置計画等を検討したうえで、システム設計を行う（下図）。システム設計の詳細については、2.2に示す。

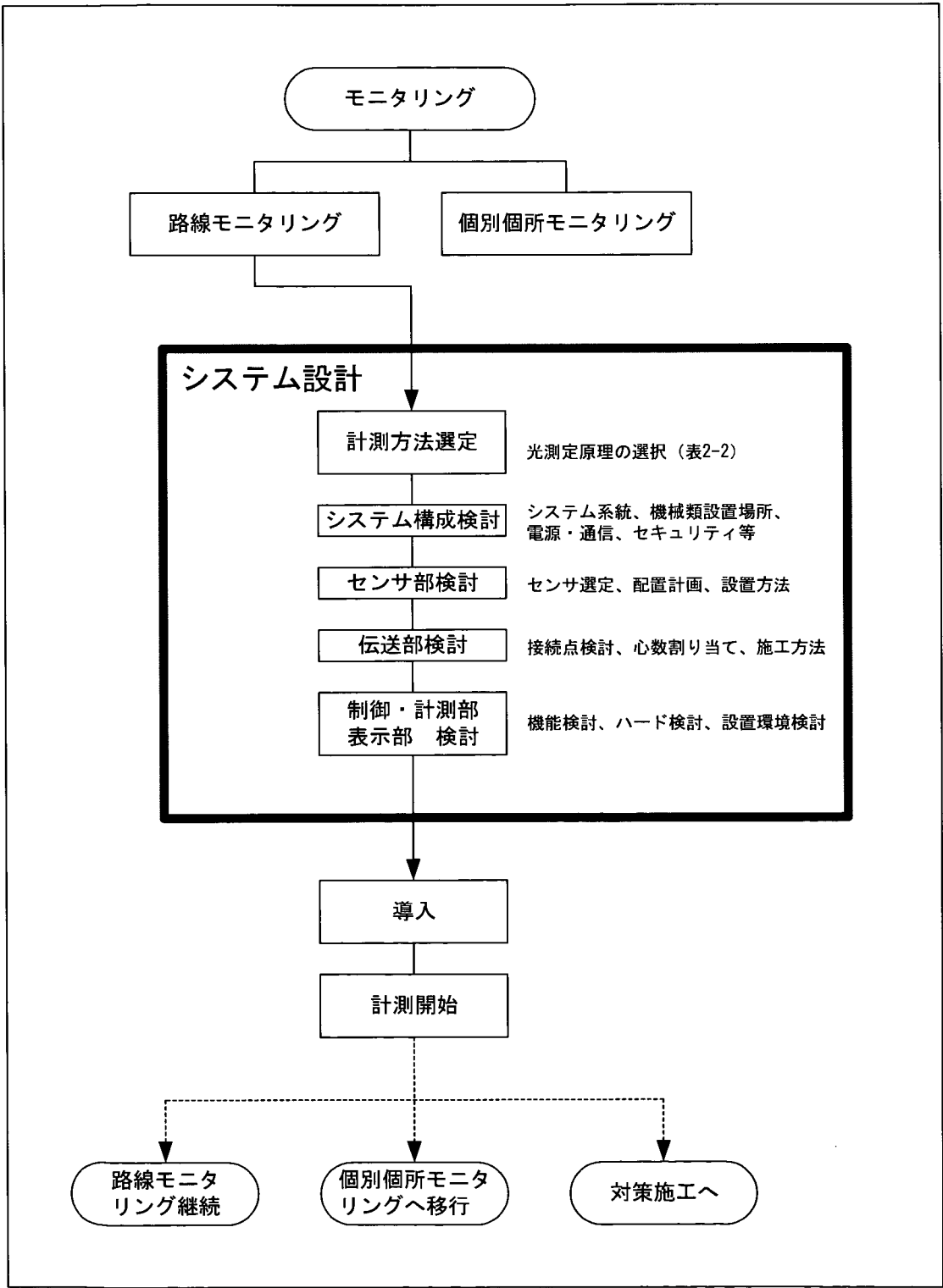


図2-1 光ファイバセンサを導入するまでの流れ

2.2 システム設計の詳細

ここでは、光ファイバセンサを始めとした監視システムを導入する際の検討事項について示す。

2.2.1 監視方法・計測形態の選定

一般に、監視方法と計測形態には以下の種別がある。防災カルテ等を参考に、対象箇所・区間に適した監視方法を採用する。

(1) 監視方法

光ファイバセンサによる路線モニタリングでは、変状の計測を主体に行い、想定規模以下の小規模崩壊や小落石に対しては変状等の検知で対処する。

- ・ 計測 : 計測タイプの光ファイバセンサによるモニタリング
 連続した変化を数値データで取得する。
- ・ 検知 : 検知タイプ（断線検知等）の光ファイバセンサによる
 モニタリング
 事象発生の有無を把握する。

(2) 計測形態

計測形態は、現象を把握する頻度によって、全自動計測（常時オンライン計測）、半自動計測（オフライン計測：計測は常時、データ回収は定期的）、手動計測（巡回時のみ計測）に区分される。

光ファイバセンサによる路線モニタリングでは、原則として情報ボックスを活用した全自動計測を標準とする。

2.2.2 計測方法の選定

光ファイバセンサの計測原理は数種類があり、計測目的や現地状況に応じた計測原理を選定する（計測原理の詳細は3章参照）。

ここでは、現在の光センシング技術の状況から、一般的と思われる適用性を示した。なお、センサ構造の工夫あるいは配置方法・固定方法の工夫等と今後の技術の進展が考えられるので留意が必要である。

表2-1 計測原理※⁶の適用性（計測性能）（加藤他, 2002）¹⁾

	計測エリア		変状の程度		リアルタイム性	変状位置
	広	狭	大	小		
B-OTDR	○	△※ ¹	○	○	△※ ²	○
FBG	△※ ³	○	○	○	○	△※ ⁴
MDM	△※ ⁵	○	○	○	○	△※ ⁴

- ※1 計測器が現状では高価なため、適切な計測エリアの検討が必要である。
- ※2 計測器による分析時間が最低でも5～10分程度必要であるため、崩壊速度が速いと微小な変状過程を捉えきれない場合がある。
- ※3 光ファイバケーブル1ラインに取り付け可能なセンサ数は10個程度までのため、広範囲（多点計測）になる場合、線量の面で煩雑になる。
- ※4 センサを設置した位置より、変状発生位置を確認する。
- ※5 計測器1台に対するセンサ数は16個であるため、広範囲（多点計測）になる場合、結線の面で煩雑になる。
- ※6 光ファイバセンサの原理には、表の他にも変位計測用のOTDR方式や破断検知用の透過光測定、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。

2.2.3 システム構成

システム構成は、下図のように、主にセンサ部、伝送部、制御・計測部、表示部からなる。センサ部は情報ボックスの光ファイバケーブルに接続できる場合には、現地に計測器を置く必要が無く、最寄りの事務所・出張所等に計測器を設置することができる。

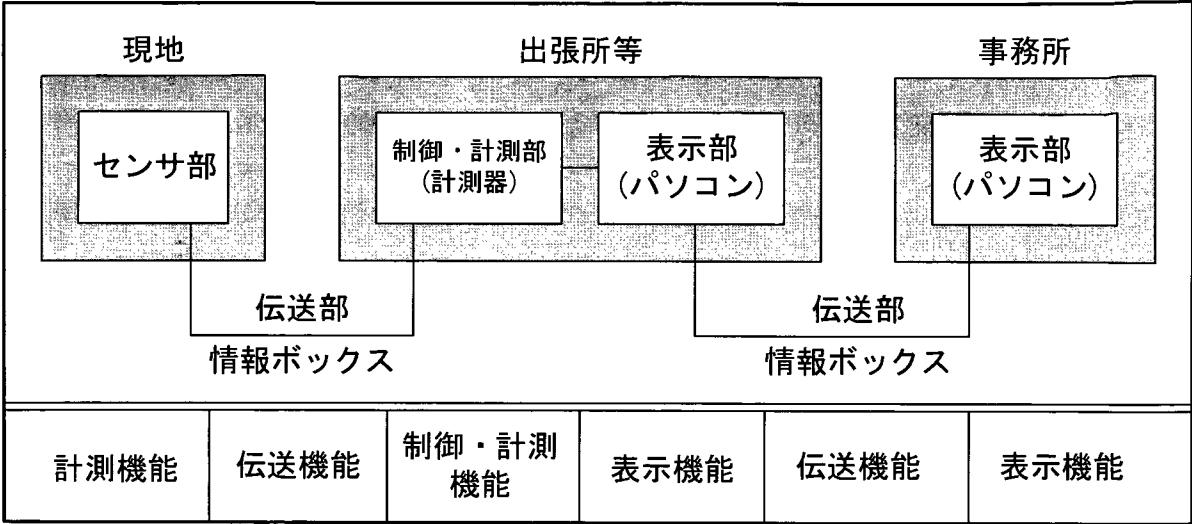


図2-2 システム構成の概念図

システムの主な機能は以下のとおりである。

- ・ 計測機能／制御機能
計測方法は原則として自動計測による連続計測とする。
- ・ 伝送機能
情報ボックス等を活用し、事務所・出張所等と現地の間で、データや制御信号等を自動伝送する機能。
- ・ 表示機能
計測結果を経時変化図として自動表示する。必要に応じて自動監視・警報発信機能を持たせる。

■ システム構成における検討事項

- ・ 光計測器や周辺機器（光スイッチ等）の設置場所
計測器や伝送路の条件にもよるが、路線延長で10km程度を計測する場合が多く、制御・計測部は事務所・出張所等に設置可能である。現地条件や伝送路の条件（情報ボックスの占用心数等）を勘案しながら決定し、状況によっては、現地に計測局舎を設置して収容する。
- ・ 商用電源（現地に光計測器や周辺機器をおく場合には必要。センサ部は不要。）
- ・ データ伝送方法
- ・ システム異常や防犯（侵入警報）等の通報装置

2.2.4 センサ部

現在、開発されている主なセンサには、以下のようなものがある。

ここでは、システム設計・積算の際に必要な事項を以下に示す。

(1) センサの種類と構造

光ファイバセンサの種類には表2-2に示すように数種類がある。計測対象により、必要とする計測項目や計測レンジが定まるので、地盤工学的な特性とセンサの特徴・留意点を踏まえて、センサを選択する。

表2-2 代表的な光ファイバセンサ

センサ種類	計測項目
光式斜面変位計	線的・面的配置による地表面の変位量
光式地表面伸縮計	地表面の変位量
光式亀裂変位計	特定亀裂の開口幅の変位量
光式地中変位計	ボーリング孔内の区間変位（すべり面の移動量等）
光式地中ひずみ計	ボーリング孔のパイプのひずみ分布
光式水位計	地下水位 観測孔 $\Phi 78\text{mm}$ $\Phi 90\text{mm}$ $\Phi 115\text{mm}$

センサは、ステンレス等の治具により光ファイバケーブルを保持し、この治具を地盤・構造物に固定する構造であることが多い。図2-3 に一般的なセンサ構造のイメージ図を、写真2-1に典型的なセンサの設置例を示す。

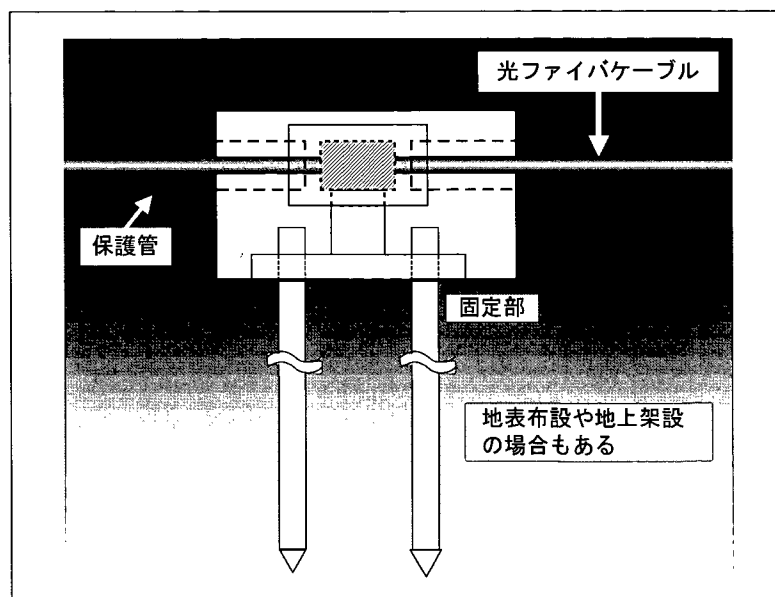


図2-3 センサイメージ（地中埋設の例）



写真2-1 センサ設置例

センサ設計では、以下の制約条件や留意事項を踏まえて設計を行う必要がある。

- ・ センサの技術的条件（固定長や温度補正など）
- ・ 施工上の制約（作業性や固定の可否）
- ・ 動植物や落石などによる障害
- ・ 地被状況（掘削の可否：植生等の保護にも配慮）
- ・ 気象条件（積雪等）
- ・ 用地の制約
- ・ 地元の立入への配慮
- ・ 景観への配慮
- ・ メンテナンスの安全性と作業性

(2) センサ配置計画

光ファイバセンサは、線的・面的に配置できることが大きな特徴であり、この特徴を活かしたセンサ配置を検討する。同時に、センサ配置と密接な関連をもつ設置方法やセンサ保護策も検討する。

配置方法については、今後も技術の進展があるものと考えられる。従って、ここでは配置方法の参考として、既往設置事例でのセンサ配置を第2章に示した。

センサおよびラインの配置計画においては、以下に留意する。

① 計測区間長（ライン長）

防災カルテ等を参考に計測対象斜面を決める。一方、計測条件（伝送路やセンサ部での光の損失）から計測区間長（ライン長）に制限がある。このため、計測可能なライン長を考慮しつつ、配置計画を検討する必要がある。

② センサ配置位置

センサ配置位置は、以下の斜面条件等を考慮して検討する。
災害形態の想定（防災カルテ等を参照）、災害の素因・誘因と計測すべき項目、道路との位置関係、既設対策工、地元の立ち入り

③ センサ固定間隔（その1：災害特性の観点からの検討）

固定間隔は、変状が捕捉できるように斜面条件（②の配置位置の項参照）を総合的に判断して決定する。想定規模以下の小崩壊等に対しては、検知についても検討する。

④ センサ固定間隔（その2：計測条件の観点からの検討）

センサ固定間隔（計測スパン長）と計測区間長（ライン長）および計測器の最大サンプリング数により計測ポイント数を決定する。通常、計測スパン長＝空間分解能（異常位置の特定精度）である。

また、光が減衰するタイプのセンサ（FBG等）では、計測可能なセンサ数が比較的少ないので、効率的な固定間隔の検討が必要である。

⑤ ライン分割

光ファイバセンサでは、その特徴から1ライン（一筆書き）での計測が可能であるが、断線リスクの軽減のため、適宜ラインを分割したり、ループ接続にして両端から計測したりする。このとき計測ライン数が増加するが、計測ライン数と計測時間は相反する関係にあるため、最適な設定を検討する。また、情報ボックスを利用する場合、計測器（あるいはライン切替器）の設置位置によっては、伝送路の占用心数が制約条件になる場合があり、情報ボックス管理者との調整が必要である。

(3) 設置方法

設置方法に関しては3. 設置編を参照。

2.2.5 伝送部

光ファイバセンサは、センサ先端部と計測器が10km程度離れていても計測が可能であり、情報ボックスを伝送部として利用し、事務所・出張所等で計測する。

情報ボックスが整備されていない道路は、光ファイバケーブルを出張所（計測位置）まで配線するか、電話回線を伝送部として利用することができる。電話回線を利用する場合は、計測個所に計測器が必要になり、計測局舎・電源等を確保する必要がある。

情報ボックスの利用方法は、現地状況や占用心数等を考慮して決定する。

情報ボックスへ接続する場合、以下の内容を検討する。

- ・ 必要な通信用光ファイバケーブルの心数の確定と割り当てる心番号の決定
- ・ 管路との接続点の位置
- ・ 伝送路（現地接続点～光計測器設置点〈出張所等〉）の光損失量
事前に伝送路の品質試験を行い、計測可能な範囲の損失量であるか確認する。試験の結果次第では、計測器設置点を見直す。
- ・ 管路との接続方法（3. 設置編参照）
- ・ 対象斜面内のセンサ部から管路接続点までの布設方法

情報ボックスの通信線の割り当てでは、将来の通信線の利用（他地区でのモニタリングシステムの設置、他の道路管理システムの利用、地元自治体や第一種通信業者への開放など）を考慮しつつ検討する。

2.2.6 制御・計測部、表示部

制御・計測部は計測器、周辺機器※、制御およびデータ処理を行うパソコンから構成される。パソコンに表示部のソフトが一体となって組み込まれることが多い。※周辺機器：光スイッチ（チャンネル切り替え器）・通信装置等

制御機器・計測器の設置場所は、現地局舎の場合と、事務所・出張所等の場合がある。それぞれの計測条件や周辺環境に応じてシステム設計を行う。

一方、表示部では、常時、計測データを自動監視し、異常が生じた時には必要に応じて警報を自動発信する。現在の斜面崩壊予知・予測技術レベルでは、地すべり以外では計測による管理基準値が確立していないため、管理基準値を定めずに運用する場合も多いが、将来的に管理基準を定める場合を想定してシステム設計を行う。

以下に、システム設計時や積算時の検討事項を整理した。

① 設置環境

温度（空調により温度一定にする）、湿度（結露なきこと）、防塵、設置スペース、盗難防止、耐震（ラックの転倒防止）

② 構成

光スイッチ（ライン切替器）、計測器、パソコン、通信装置、電源
（機器の詳細については、3章参照）

③ 計測機能・データ処理機能・表示機能

・ 計測間隔

検知の場合は常時計測（瞬時計測の繰返し）を行う。

計測の場合は、通常、システム設計上は10分～1日間隔で指定できるように、ソフトウェアを設計する。運用上の実際の計測間隔は、現地状況や計測器の能力、計測目的と運用方法などを総合的に判断して決定する（運用に関する詳細は4.運用編参照）。

・ 自動表示

計測結果の経時変化図を表示させる。

④ 監視機能（将来の計測管理を想定して機能を持たせて置く）

- ・ 検知器からの異常信号受信
- ・ 計測値の異常（しきい値超過）判定
- ・ システム異常（システムダウン等）の検出

⑤ 警報通報機能

・ 通報方法、通報先、発信解除方法

接点出力等により、ブザーや警報電話自動発信装置を作動する。

・ CCTVとの連携

2.2.7 積算

以下に、計画、設置および計測（メンテナンスを含む）のそれぞれについて、標準的な積算項目を整理した。

表2-3 計画業務標準積算項目

（参照：「全国標準積算資料（土質調査・地質調査）」²⁾）

工種	種別	細別	規格・内訳	単位	摘要
コンサルティング業務費					
	直接業務費				
		直接人件費			
			業務計画	件	
			打合せ・協議	件	
			既往資料整理	件	
			災害形態検討	件	
			計測計画検討	件	設置優先順位検討等を含む
			システム設計	件	
			報文執筆	件	
		直接経費		式	
	間接業務費				
		諸経費		式	
		技術経費		式	
調査業務費					
	直接費				
			現地調査	件	
	間接費				
		調査管理費		式	
		旅費宿泊日当費		式	
	諸経費			式	
業務価格					
	消費税				
請負業務費					

表2-4 計測システム設置業務標準積算項目（業務委託の場合）

(参照:「全国標準積算資料(土質調査・地質調査)」²⁾)

工種	種別	細別	規格・内訳	単位	摘要
コンサルティング業務費					
	直接業務費				
		直接人件費			
			設置計画	件	
			打合せ・協議	件	
			報文執筆	件	
		直接経費		式	
	間接業務費				
		諸経費		式	
		技術経費		式	
調査業務費					
	直接費				
		仮設費			(現地)
			足場設置費(L= m)	空m ³	設置用傾斜地足場、通路
			小運搬	式	
		センサ設置	(含センサ試験・調整)		(現地)
			人件費	式	固定、調整、保護管設置 (、掘削)
			材料費	式	センサ、ケーブル他
			機器損料	式	融着接続器等
			測量費	式	センサ設置位置
		伝送部設置	(含損失試験・通信試験)		(現地)
			人件費	式	アプローチケーブル 布設、接続装置・ハン ドホール等設置、情報 ボックス接続
			材料費	式	同上
			機械経費	式	融着接続器等
		制御・計測・表示部設置			(出張所、事務所)
			人件費	式	設置、試験・調整等
			材料費(ソフト含む)	式	計測器、パソコン、周辺 装置、通信装置、架台等
		総合試験・調整費		式	人件費、機械経費等
		報告書印刷製本費		式	
	間接費				
		共通仮設費			
			準備費	式	
			安全費	式	警備員、機材等
			借地補償費	式	

(次ページに続く)

(前ページより続く)

			営繕費	式	
		調査管理費		式	
		運搬費		式	
		旅費宿泊日当費		式	
	諸経費			式	
業務価格					
	消費税				
請負業務費					

表2-5 計測システム設置工事標準積算項目（請負工事の場合）

費目	工種	種別	細別	規格・内訳	単位	摘要
	センサ設置工					
		センサ設置				(現地)
			労務費		式	固定、調整、保護管設置(、掘削)
			材料費		式	センサ、センサケーブル他
			直接経費	機械経費等	式	融着接続器等
			試験費		式	
			測量費		式	設置個所
		伝送部設置		設置および試験		
			労務費		式	アプローチケーブル布設、接続装置・ハンドホール等設置、情報ボックス接続
			材料費		式	同上
			直接経費	機械経費等	式	融着接続器等
		制御・計測・表示部設置				(出張所、事務所)
			労務費		式	設置、試験・調整等
			材料費	ソフト費含む	式	計測器、パソコン、周辺装置、通信装置、架台等
		試験・調整				
			労務費	通信、総合試験・調整	式	
			機械経費			計測器損料
直接工事費						
	共通仮設費					
		運搬費			式	
		準備費			式	(現地)

(次ページに続く)

(前ページより続く)

		仮設費			式	設置用傾斜地足場、 通路、その他
		事業損失 防止施設費			式	
		安全費			式	
		役務費			式	
		技術管理費			式	
		営繕費			式	
		イメージ アップ経費			式	
純工事費						
	現場管理費				式	
工事原価						
	一般管理費等				式	
工事価格						
	消費税相当額				式	
請負工事価格						

工種別内訳書

表2-6 計測業務標準積算項目

(参照:「全国標準積算資料(土質調査・地質調査)」²⁾)

工種	種別	細別	規格・内訳	単位	摘要
コンサルティング業務費					
	直接業務費				
		直接人件費			
			業務計画	件	
			打合せ・協議	件	
			データ分析	件	
			地盤挙動機構解析	件	
			報文執筆	件	
		直接経費		式	
	間接業務費				
		諸経費		式	
		技術経費		式	
調査業務費					
	直接費				
		データ 回収・整理	人件費	回	(1回／●月程度)
		機器点検	人件費	回	
		消耗品交換			(1回／1年程度)
			人件費	式	
			材料費	式	
		補修			(必要が生じた場合)
			人件費	式	
			材料費	式	

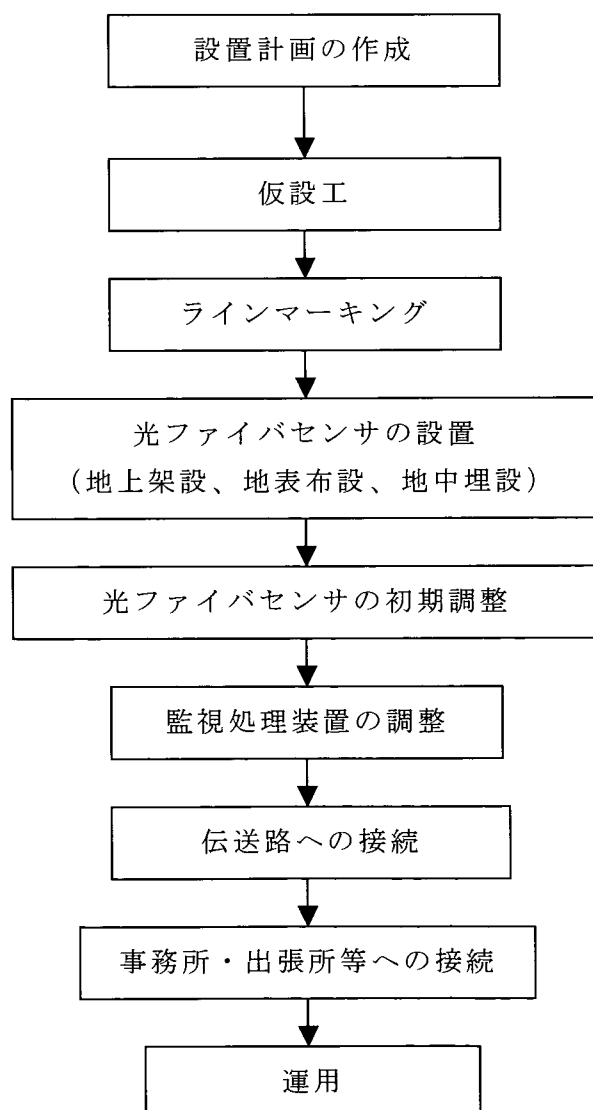
3. 設置編

3.1 設置計画の作成

ブリルアン散乱光による計測 (B-OTDR) 方式、反射波長による計測 (FBG) 方式、透過光強度による計測 (MDM) 方式等の光ファイバセンサは従来型のセンサに比して、雷に強い、線的・面的に配置できるなどの特徴がある。センサとして十分な機能を発揮させるためには、設置方法とセンサの保護について十分な検討を加えた配置計画が必要である。センサ配置は、以下の斜面特性を考慮して決定する。

- (1) 災害形態の想定
- (2) 想定災害の素因、誘因と計測すべき項目
- (3) 道路との位置関係
- (4) 既設対策工
- (5) 地元の立ち入り

光ファイバセンサの設置手順の標準的フローを以下に示す。



3.2 仮設工

斜面上での作業が多いため、配置計画に基づき仮設備を準備する。

(1) 安全通路

急峻な施工現場の場合、作業員の移動用通路の確保が必要になる。単管パイプ等で通路を仮設する方法や現地の支障木等を伐採して地盤をならして通路とする方法等がある。現場条件に合った安全で経済的な方法で行う。

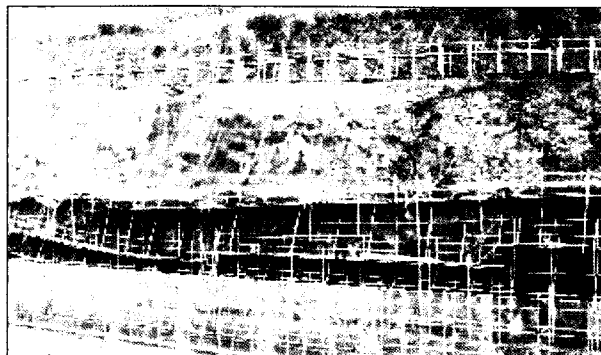


写真 3-1 昇降階段設置例

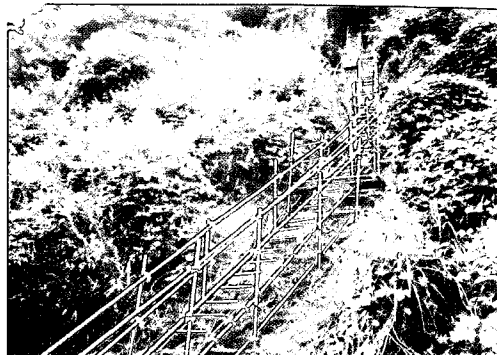


写真 3-2 単管足場の例

(2) 草木の伐採

センサ設置に支障となる草木を伐採する。環境に配慮し、必要最小限にとどめる。

(3) 作業用足場

一般的に単管パイプ足場を用いるが、現場の条件により作業用ロープと法面用安全帯で身体の安定を図るロープ足場工法を用いる場合もある。

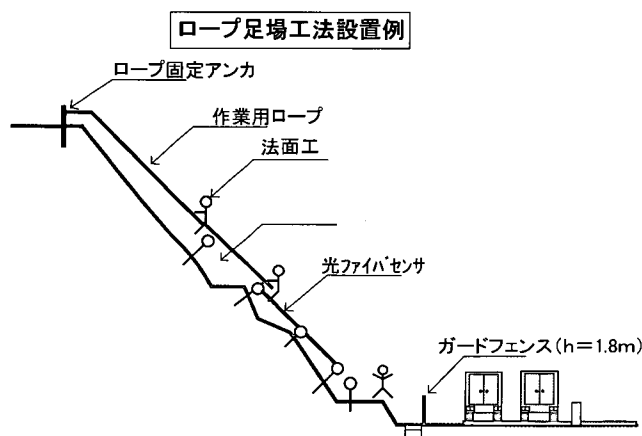


図 3-1 ロープ足場仮設例



写真 3-3 ロープ足場による作業例

(4) 荷役装置

現場条件により使用機器及び材料の運搬に用いるモノレール、索道等を架設する。条件によっては人肩運搬や仮設道路を造成したほうが有利な場合もある。

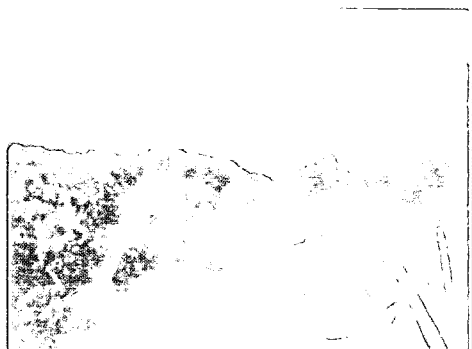


写真3-4 モノレール設置例

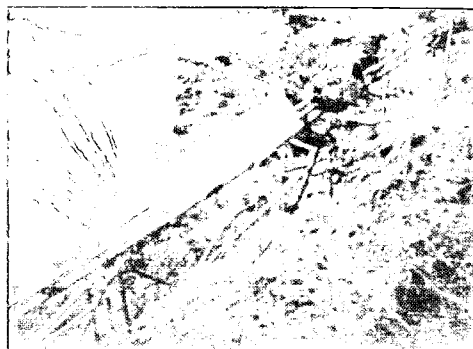


写真 3-5 索道設置例

(5) 第三者防護の為の仮設(落石防護柵等)

斜面上の光ファイバセンサの設置作業に伴い、落石や崩壊を助長する可能性がある。第三者の生命及び財産を守るため、不測の事態に備え落石防護柵等を設置する。



写真3-6 落石防護柵の例

(6) 作業員の安全確保の為の仮設(落石防護網等)

現地調査を実施し、斜面上部からの落石や小規模崩壊の危険があるようならば、作業員を守るための防護網や防護柵を設置する。



写真3-7斜面上の落石防護網の例



写真3-8斜面上の落石防護柵の例

3.3 ラインマーキング

配置計画に基づき、現地で光ファイバセンサの配置予定位置をナイロンロープやペイント等を用いマーキングする。この時点で以下の項目を再確認する。

- (1) 配置計画通り光ファイバセンサが設置可能か
配置計画が変更必要な場合は変更計画を立案する。
- (2) 配置計画通りに光ファイバセンサが機能するか
光ファイバセンサのルートが、実際の斜面形状などに適合しているか確認する。

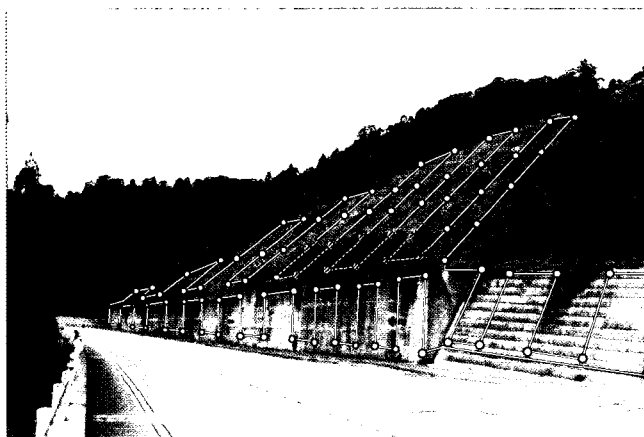


写真 3-9 ラインマーキングのイメージ

3.4 光ファイバセンサの設置

光ファイバセンサの計測方式は3通りあるが、現地のセンサ設置作業手順はほぼ同じである。配置形式は大別して、地上架設、地表布設、地中埋設がある。

3.4.1 配置形式

(1) 地上架設

地上架設は図3-2のように、木杭等を打ち込み、光ファイバを空中に設置する。光ファイバは杭の頭に固定治具で留め、必要に応じ塩化ビニル管等で保護する。地形や植生の影響を受けにくいのが、動物や積雪等の影響を受ける場合もある。

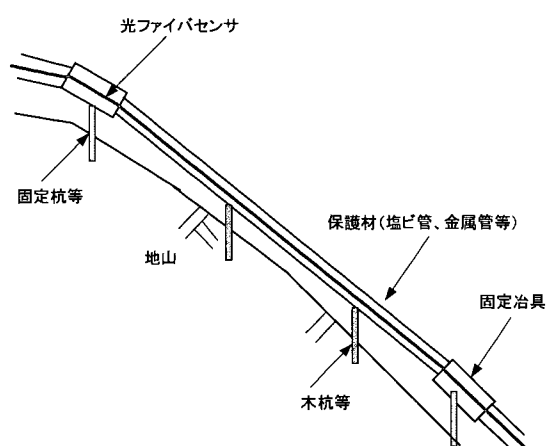


図3-2 地上模式図



写真3-10 地上架設の例

(2) 地表布設

地表布設は、図3-3のようにフレキシブル管等で光ファイバを保護し、地表面を這うように杭等で固定する方法である。この方法は地形の制約を受けないが、竹やツタ類などの繁茂性の高い植物や動物の影響を受ける場合がある。

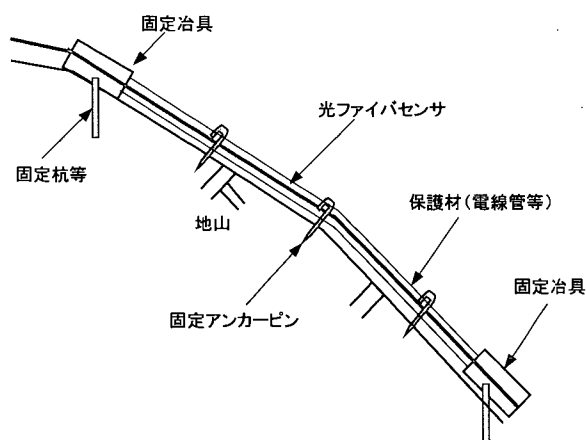


図3-3 地表布設模式図



写真3-11 地表布設作業例

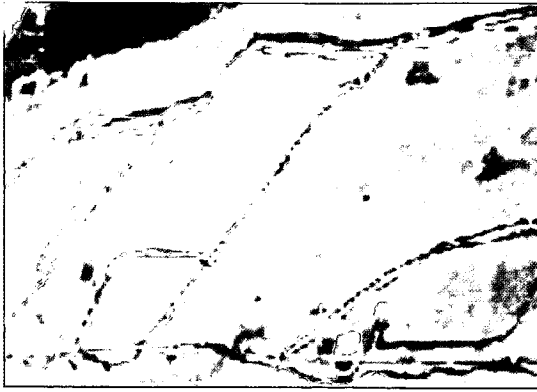


写真3-12 モルタル表面への布設例



写真3-13 地表面布設例

(3) 地中埋設

地中埋設は、図3-4に示すように、設置個所を50cm程度掘削して、光ファイバを塩化ビニール管や電線管で保護して埋設する方法である。光ファイバは杭を打ち込み、固定治具で地盤に定着させる。この方法は動植物や風雪の影響を受けないことと、景観上のメリットがある。選定条件として掘削して埋め戻しができる地質、地形条件と費用面での検討が必要となる。

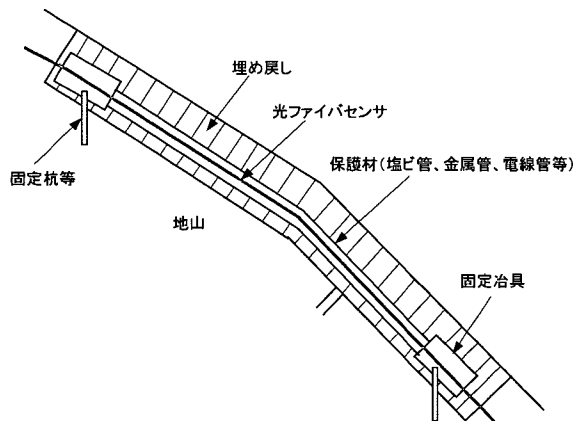


図3-4 地中埋設模式図



写真3-14地中埋設例(埋め戻し前)

3.4.2 設置手順

地上架設、地表布設、地中埋設ともに手順はほぼ同じである。各作業の内容を説明する。

(1) 設置面の整地(地中埋設の場合は掘削)

光ファイバセンサの設置予定地を整地する。支障となる植生等を除去する。地中配置の場合は、設置ラインに沿って所定の断面で掘削する。

急峻な施工個所が多いため、人力による施工が基本になる。傾斜が緩く掘削機械が乗り入れ可能な条件では、掘削機械を使用する場合がある。



写真3-15 人力掘削の例(地中埋設) 写真3-16 機械掘削の例(地中埋設)

(2) 固定点の設置

光ファイバの固定治具や保護材を地盤に定着させるための杭等を設置する。地盤の挙動を光ファイバに伝達する重要な接点である。地質条件により打ち込み杭、コンクリート固定、セメントミルク固定等を選択する。

一例として、岩盤部で削岩機を使用して $\phi 40\text{mm}$ 程度の穴を穿孔し、ボルト(D19 $\times$ 1000mm程度)を挿入後、セメントミルク(W/C50%)を注入し定着させる方法を示す。

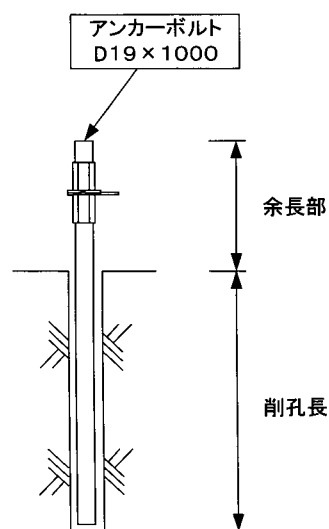


図3-5 固定ボルト構造例

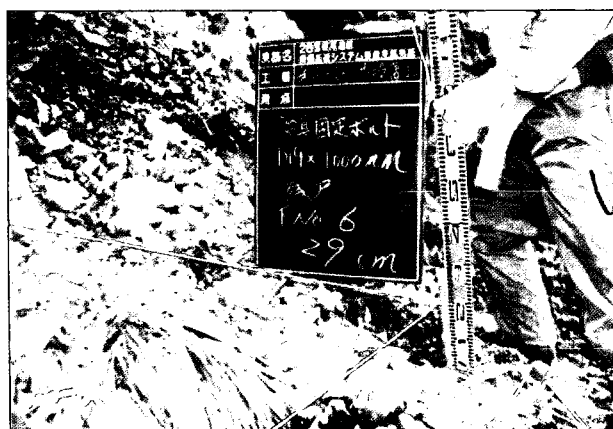


写真3-17 固定ボルトの例(地表敷設)

その他、表土に厚く覆われている場合は、直接ボルト又は木杭等に打撃を与えて打ち込む方法やコンクリート基礎で固定する方法等もある。



写真 3-18 コンクリート固定による杭
(地上架設)

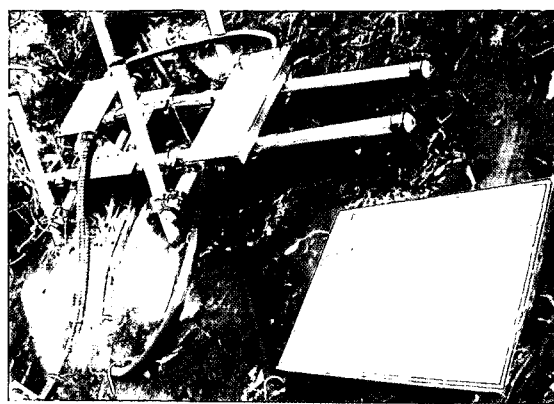


写真3-19 打ち込み杭
(地表布設)

(3) 保護材の設置

光ファイバセンサの保護材として塩化ビニール管、金属管、電線管等を設置する。設置斜面の地形が一定勾配で無い場合、滑車等を設置し光ファイバに曲がりやねじれ等の悪影響を及ぼす応力がかからないようにする。現場条件等により光ファイバセンサを設置後、保護材を後付する方法もある。



写真3-20 保護管の例(地上架設)



写真3-21 保護管の例 (地中埋設)

(4) 光ファイバの通線

固定点、保護材、固定治具設置完了後保護材内部に光ファイバを通線する。地表布設の場合、後からファイバに保護チューブをかぶせる場合もある。



写真 3-22 設置後の保護
チューブ取付例



写真3-23 電線管への通線作業
の例(地表布設)

(5) 光ファイバの取付け

杭などの固定点の設置完了後、固定治具を取り付け光ファイバの固定を行う。

固定治具には、巻き付け固定、はさみ付け固定などの方式がある。

光ファイバセンサを固定治具に取り付ける際には、光ファイバに損傷を与えたり、急激な曲げで伝送性能を阻害したりしないように注意する。

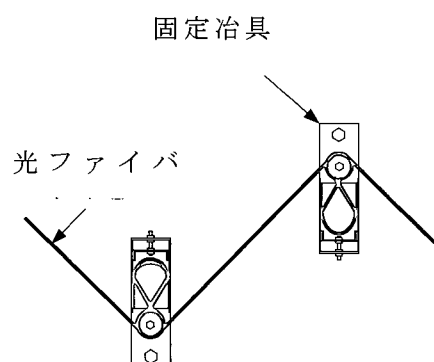


図3-6 はさみ付け方式固定治具例 写真3-24 はさみ付け方式固定治具例

(6) 埋め戻し(地中埋設の場合)

掘削断面を埋め戻す。埋め戻し後は崩壊しないよう転圧を充分に行う。

条件によってはシガラ等を設置し埋め戻す。



写真3-25 地中埋設例(埋め戻し後)

3.5 光ファイバセンサの初期調整

(1) 張力調整

光ファイバセンサ設置後、光ファイバセンサに初期張力を与え、所定の初期ひずみに調整する。

張力調整は、固定治具にあらかじめ取り付けられた、ボルトやナットを締め付ける方法や、ジャッキ等で引っ張っておいてから固定する方法がある。

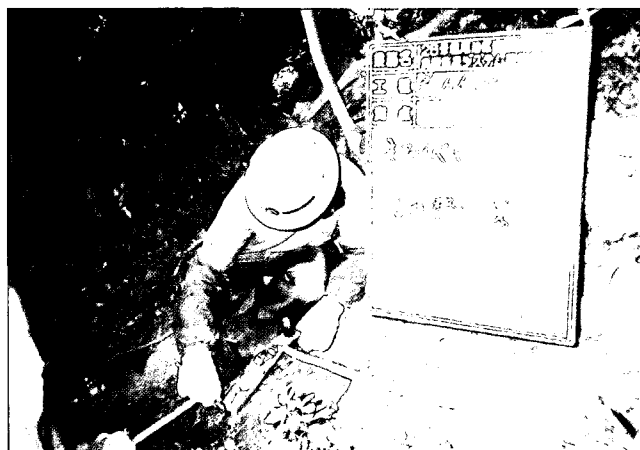


写真3-26 固定治具のボルト回しによる張力調整例

(2) 計測器によるひずみ管理

計測器によりひずみを確認しながら各センサ部のひずみを所定のひずみに設定する。

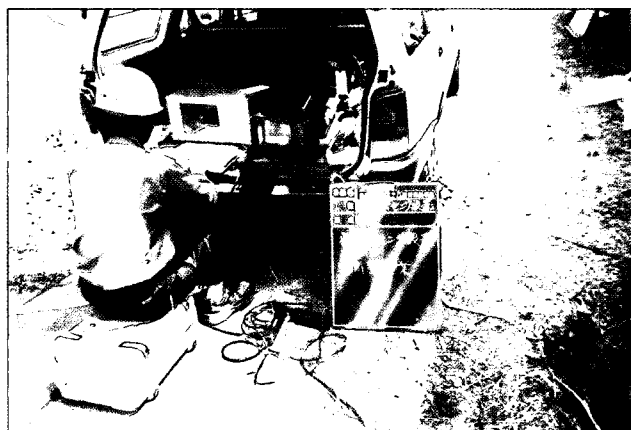


写真3-27 B-OTDRによる初期ひずみ管理の例

3.6 監視処理装置の調整

計測局舎に監視処理装置の設置完了後、機器の総合的な点検・調整を行う。

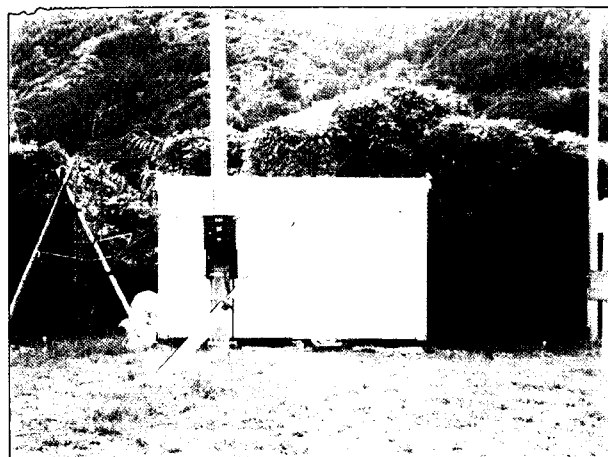


写真3-28 局舎設置の例

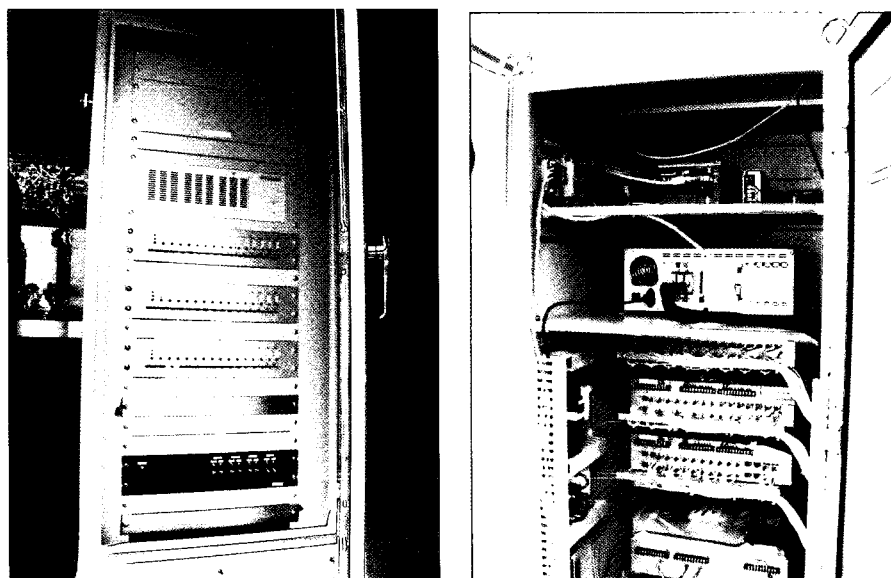


写真3-29 監視処理装置の設置例

3.7 伝送路への接続

情報ボックスのルートと既設の光ファイバの空き心線を確認する。計測地点と情報ボックスのハンドホールやクロージャの距離に応じて、次のような方法で光ファイバを接続する。

- 1) 計測地点の近くに、ハンドホールがありクロージャが設置されている場合はそのハンドホールまで直接管路を新設し光ファイバを接続する。
- 2) 近くにクロージャがない場合は、最寄りのハンドホールまで管路を新設し、そこから既設の情報管路を利用しクロージャまで光ファイバを延長する。
- 3) 近傍にクロージャがない場合は、クロージャを新設する。ただし、クロージャ新設にはハンドホール内に光ファイバの余長が必要である。

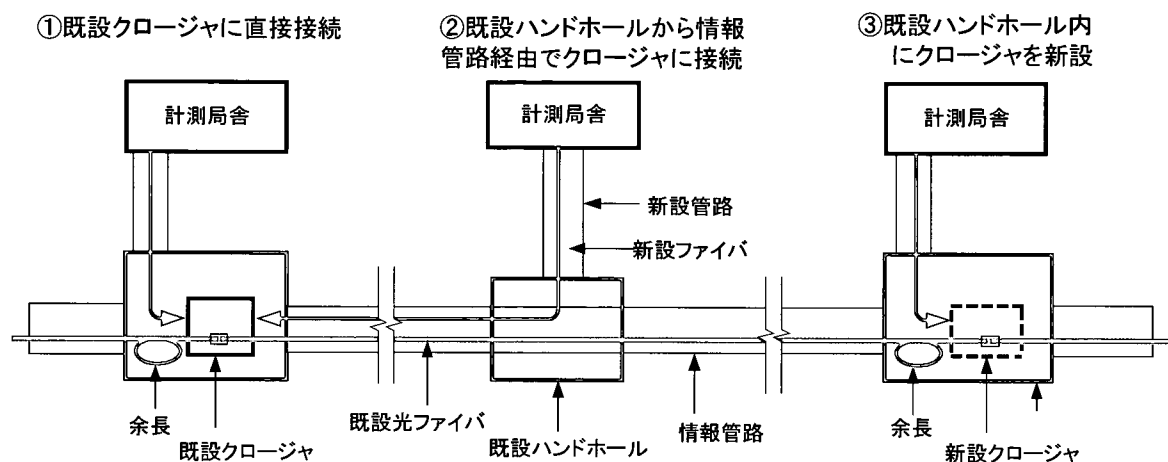


図3-7 情報ボックスへの光ファイバ接続方法

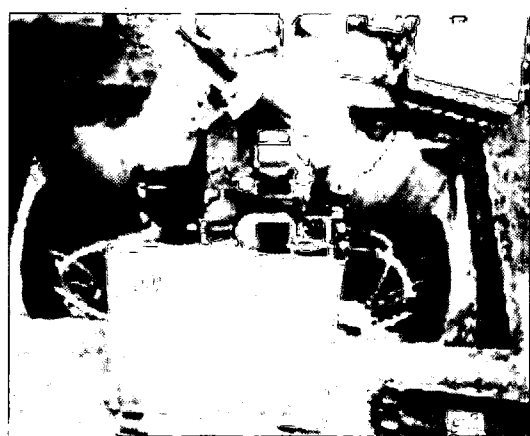


写真3-30 融着作業例

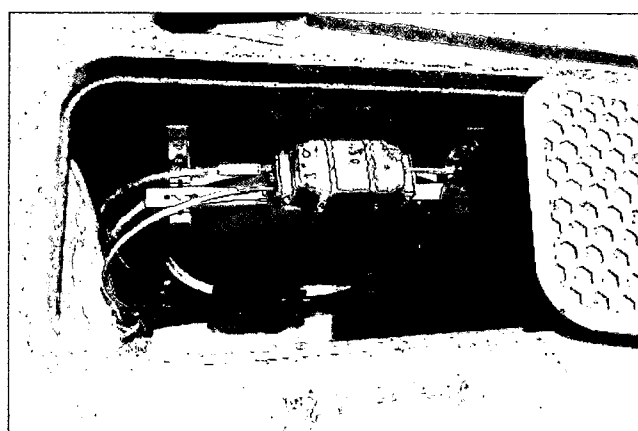


写真3-31 クロージャ接続の例

3.8 事務所・出張所等への接続

管理事務所への光ファイバは通常光成端箱に引き込まれている。そこから分岐して監視処理装置へ接続し通信試験を実施する。

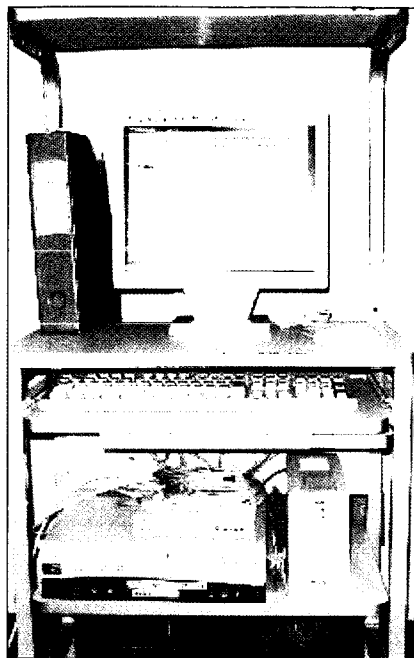


写真3-32 監視端末の例

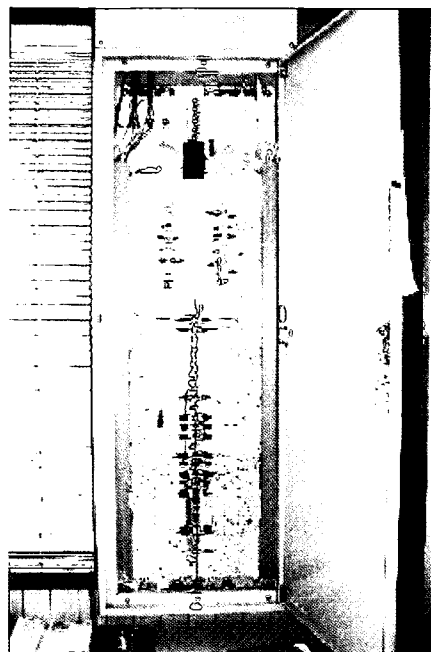


写真3-33 光成端箱の例

- 1) システムは多数の計測地区を一括管理する。
- 2) 計測は全自動オンライン計測を基本とする。
- 3) システム運用は道路管理者（および管理受託者）で実施される。
- 4) 必要に応じて、商用電源、伝送用の電話回線を整備する。
- 5) 緊急時の連絡用の機能を整備する。

4.2 伝送部

光ファイバセンサは、センサ先端部と計測器が10km程度離れていても計測が可能であり、情報ボックスを伝送部として利用し、事務所・出張所等で計測することができる。

情報ボックスが整備されていない道路は、光ファイバケーブルを出張所（計測位置）まで配線するか、電話回線を伝送部として利用する。電話回線を利用する場合は、計測個所に計測器が必要になり、観測局舎・電源等を確保する必要がある。

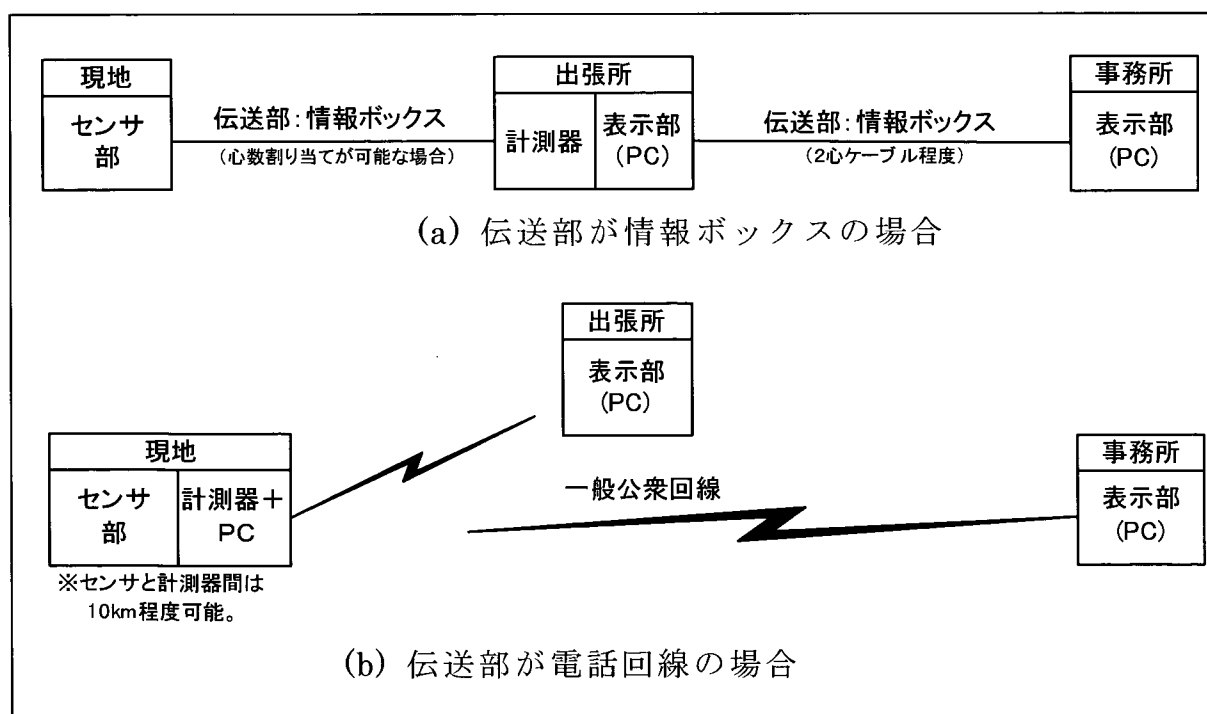


図4-2 伝送区分と計測図

4.3 表示部

(1) 表示画面

設置当初は、計測による管理基準値を定めずに運用される場合が多いが、将来的に管理基準値を定める場合を想定して設計する。

表示画面の一例を図4-3に示す。

- 1) 表示画面には、道路管理者の管轄内の位置図または一覧表で計測個所を明示する。
- 2) 位置図または一覧表には、将来の管理基準値の設定を考慮し、警報機能を持たせる。
管理基準値は任意設定可能とする。
- 3) 各計測個所は、平面図にセンサ位置や計測値表示の機能を持たせる。
- 4) 計測グラフ（経時変化図）は、時、日、週等の表示機能を持たせ、任意設定が可能とする。また、計測値はリアルタイム表示とする。
- 5) 保守機能として、過去のデータ表示、警報・エラーの履歴表示が可能なものとする。
- 6) 警報機能は、計測による管理基準値超過やシステム異常の検出時にブザーを鳴らしたり、警報電話を発信したりさせる。

(2) 計測間隔・計測データの保存

- 1) 計測間隔は計測方法や気象条件によって異なるが、基本は10分から1日間隔で指定できるように設計する。
- 2) 計測データの保存は、テキストファイル（*.txt、*.csv、*.dat等）が望ましい。また、計測値は、将来の管理基準値の設定等の基礎資料とする。

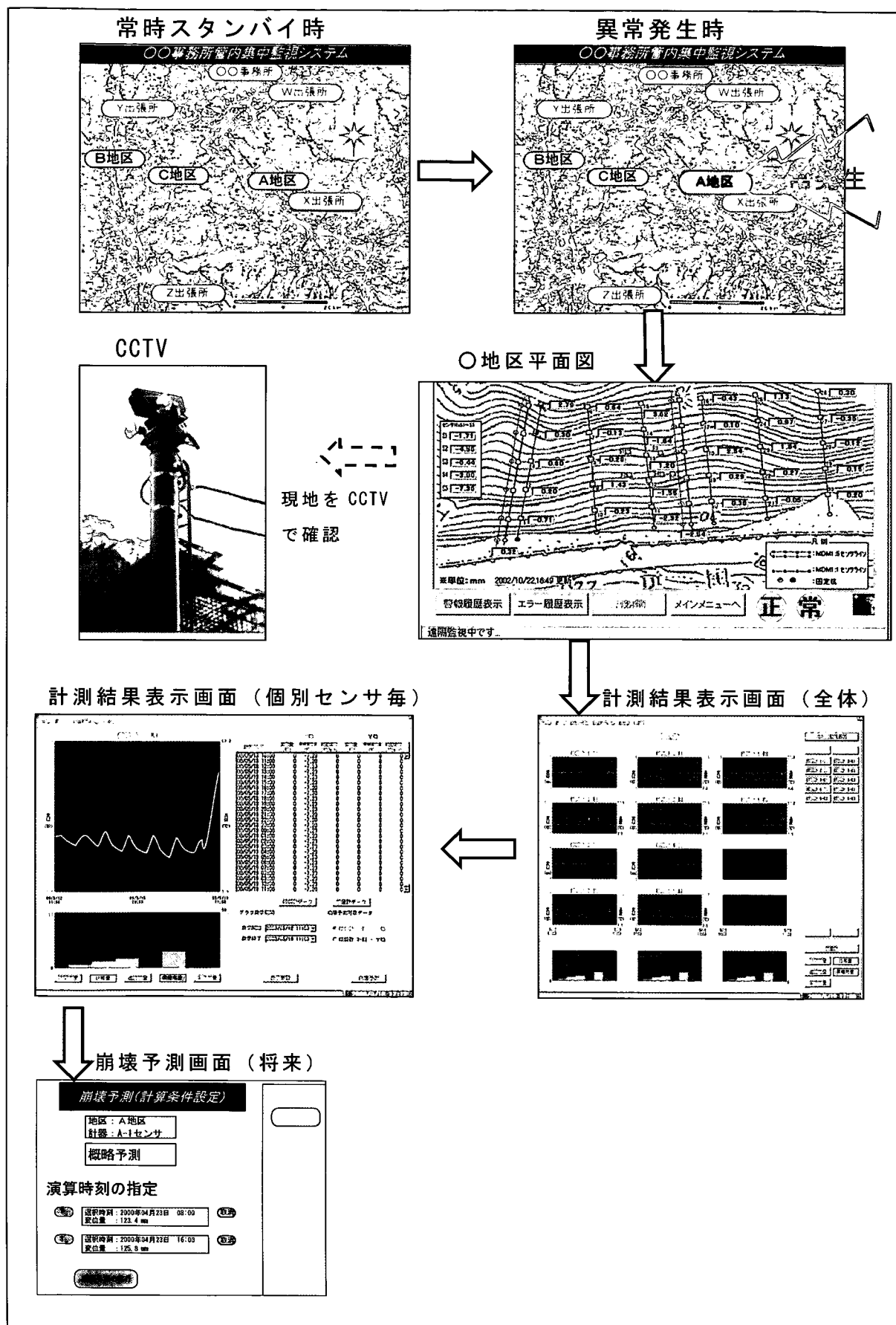


図4-3 表示画面（例）

4.4 運用方法

システム運用は図4-4に従い実施される。

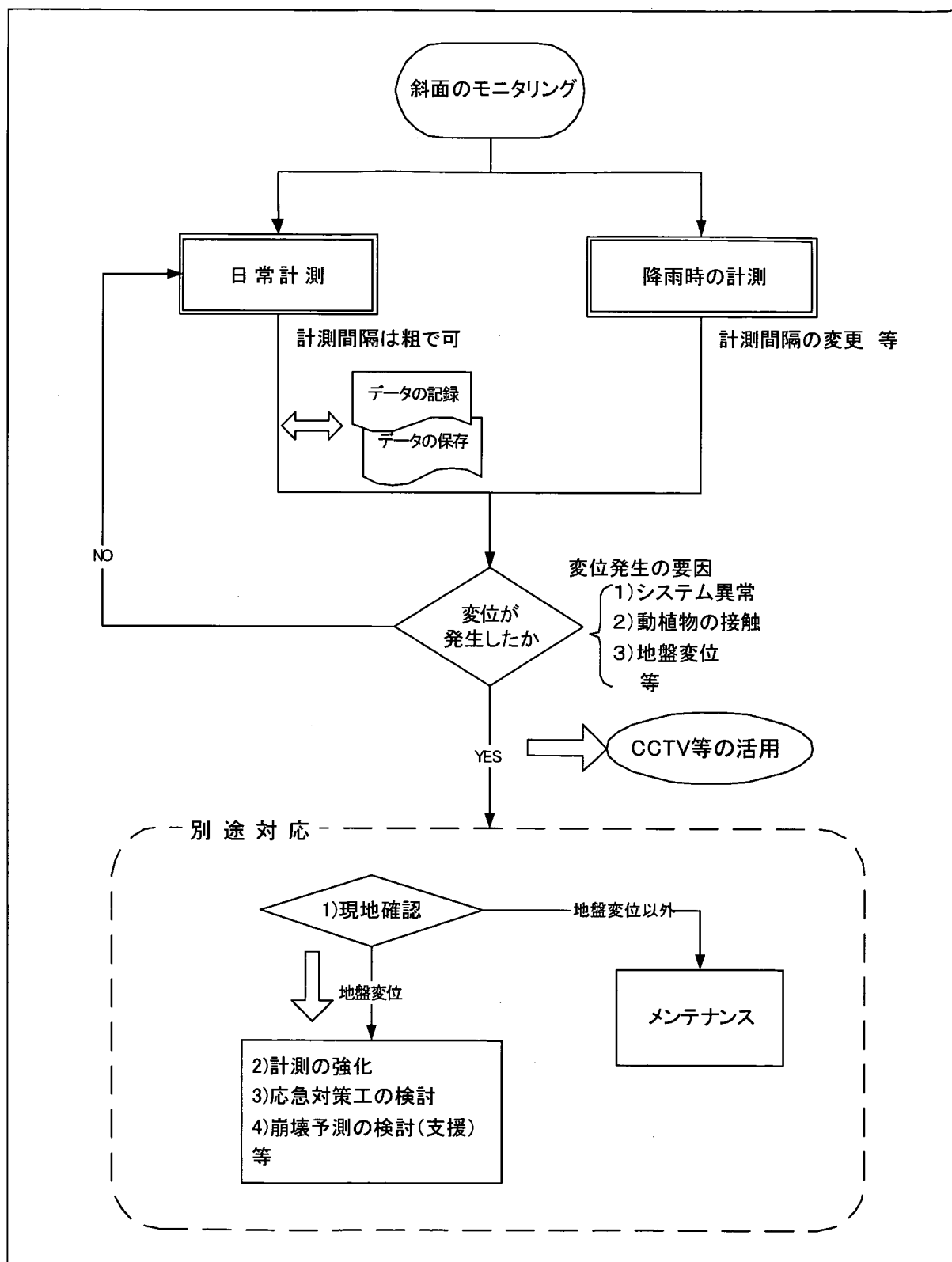


図4-4 管理運用のフローチャート

(1) 日常管理での運用

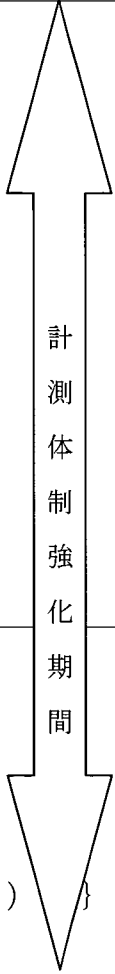
- 1) モニタリングの動作確認は適宜実施し、日常変位範囲を把握する。
- 2) 異常が生じた場合は、それが地盤の変位によるものか否かを判断する必要がある。変位の種類としては①システム異常によるもの、②動植物の接触によるもの、③地盤の変位によるもの等があるが、地盤の変位以外は、降雨に無関係に前兆（微小）変位がなく突如として発生するのが通例である。

(2) 降雨時での運用

降雨時は、雨量状況に応じて計測間隔を短くし、計測体制を強化する。計測値が変位を確認した場合はCCTVなども利用し、対象斜面を監視する。

また、計測時に変位を確認した場合は現地確認を必ず行い、今後の対応について検討する。なお、降雨時では、道路管理者と管理受託者は密な連絡体制をとり、計測を行う必要がある。その一例を以下に示す。

表4-1 崩壊発生時の対応例

日時		道路管理者	管理受託者
○ 日	15:00	●豪雨に伴う変位データの確認	計測体制強化期間 
	16:00	(2mm/時超を確認)	
	17:00	CCTVを利用し、路面と斜面を監視	
	19:30	●変位データの収束を確認 (変位量が10mmに達した後、変位が収束する。ただし、CCTVで路面への土砂流出は認められない)	
◎ 日		報告(崩壊確認) ←	降雨が小康状態になったため、管理者と共に、現地での崩壊規模・周辺状況及び土砂
	8:00	} 現地調査	崩壊計測データの整理
	9:00		
	10:00	} 崩壊斜面の対応を協議	
	13:00		
	...		
△日			
×日		報告 ←	二次崩壊発生の有無確認

(3) 監視強化の考え方

低密度のライン監視斜面は、一定規模以上の斜面の変状が現れたら、現地調査－現地踏査・詳細ボーリング・土壌水分等－を行い、個別（高密度）監視あるいは対策工の必要性を検討しなければならない。

個別監視によって崩壊予測をする場合は、変位量・変位速度等で監視体制を強化しなくてはならない。また、抜本的対策を行う場合は、実施から対策工完了までを監視する。

(4) 管理基準値の設定および運用

斜面モニタリングは図4-5に示す効果が期待されているが、その変位量には、地盤変位のほか温度の影響による変化量もある。また、地盤変位には地域特性や物性・強度などによる固有特性もあり、斜面毎にその変化量は異なる。このため、日常管理で日常変位範囲を把握する必要がある。

よって、管理基準値はモニタリング当初より決定することは難しく、初期段階では暫定値を与え、その後運用しながら決定することが望まれる。

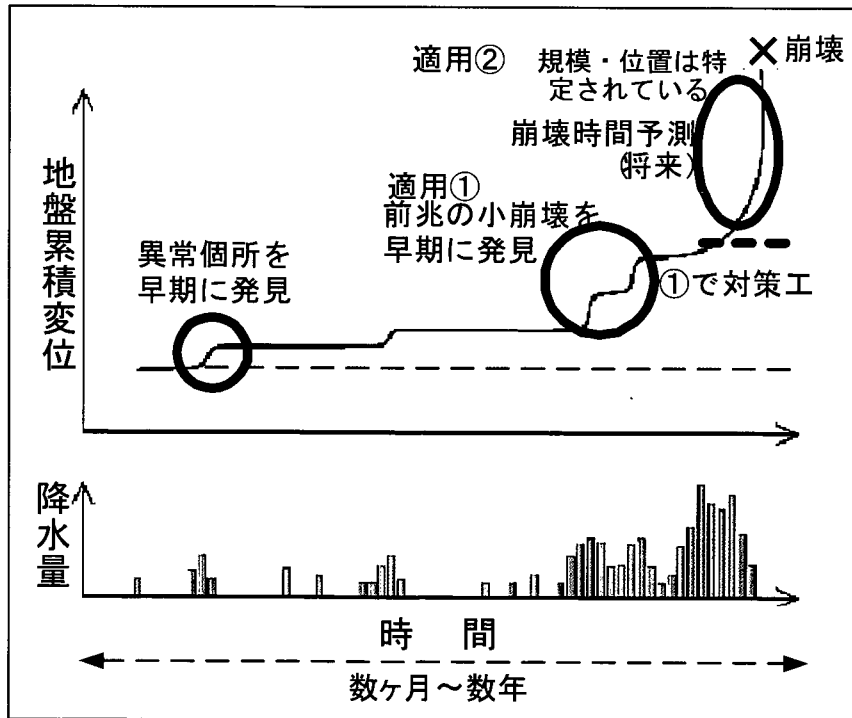


図4-5 モニタリングの効果（再掲）

実際に運用する場合は、既往の変位（ひずみ）速度による検討の他、

- ・ ひずみ速度と降水量の検討
- ・ 地盤定数と斜面勾配の影響
- ・ 既設防災構造物の防災効果を考慮した崩壊許容値

などを考慮し、決定される。

今回の試験フィールドの一例では、モニタリングシステム導入時は、暫定値として既往技術である地すべりの管理基準値 $2\text{mm}/\text{時間}$ で設定していたが、1年間でのモニタリングにおける数回の小崩壊や地盤変位を経て、現在は変位量と規模（センサ個数）で管理基準値を運用している。

4.5 各種変位計測データの例

計測は全国6個所の試験フィールドで表2-3に示す代表的センサ（B-OTDR, FBG, MDM）で実施している。

これらの3方式による計測データの一例を示す。なお、各試験フィールドの詳細については第2章に示した。

1) B-OTDRによる計測事例

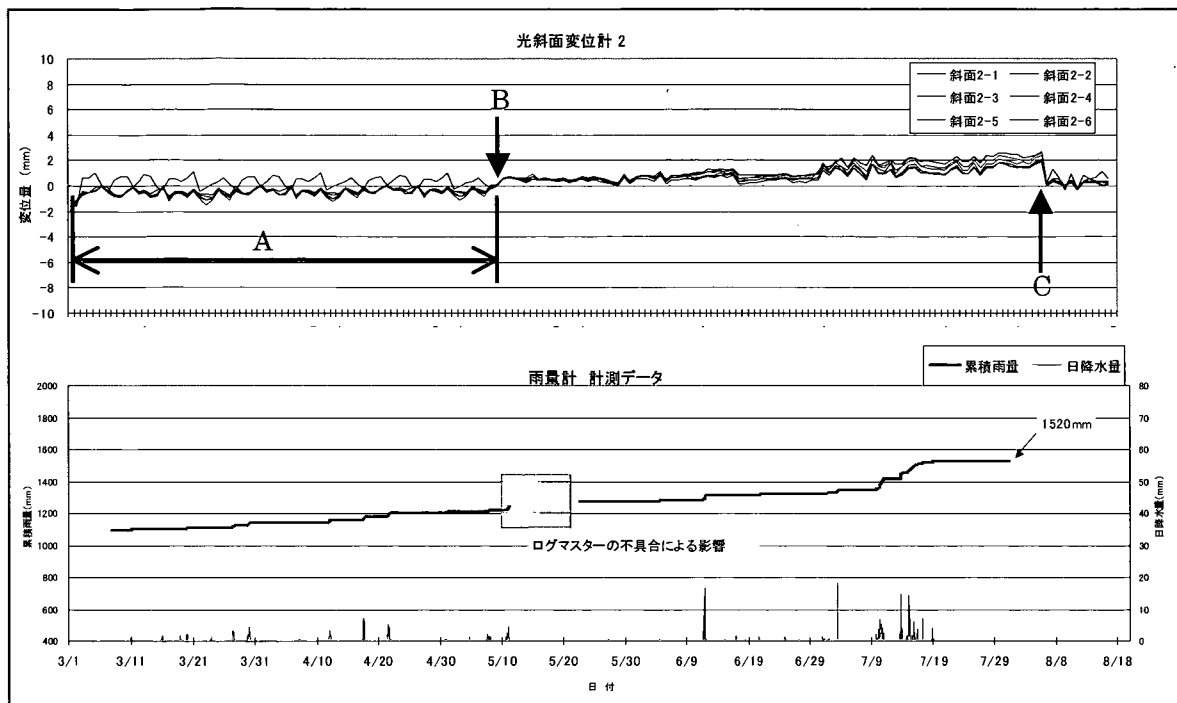


図4-6 センサ固定間隔 5mの場合での計測事例

定時刻のデータを使用し、グラフにプロットしている。Aの期間、データは±1mm程度ばらついており、B点（5/9）で初期値を再設定したところ、データは安定した。6月29日頃からセンサ全体が+2mmの変位が現れ、そのまま推移している。変位が表れる前に、降水は観測されておらず、降水との因果関係は認められない。C点で、データがドリフトしているのは、7月31日にメンテナンスのため、システムを停止させた事による。

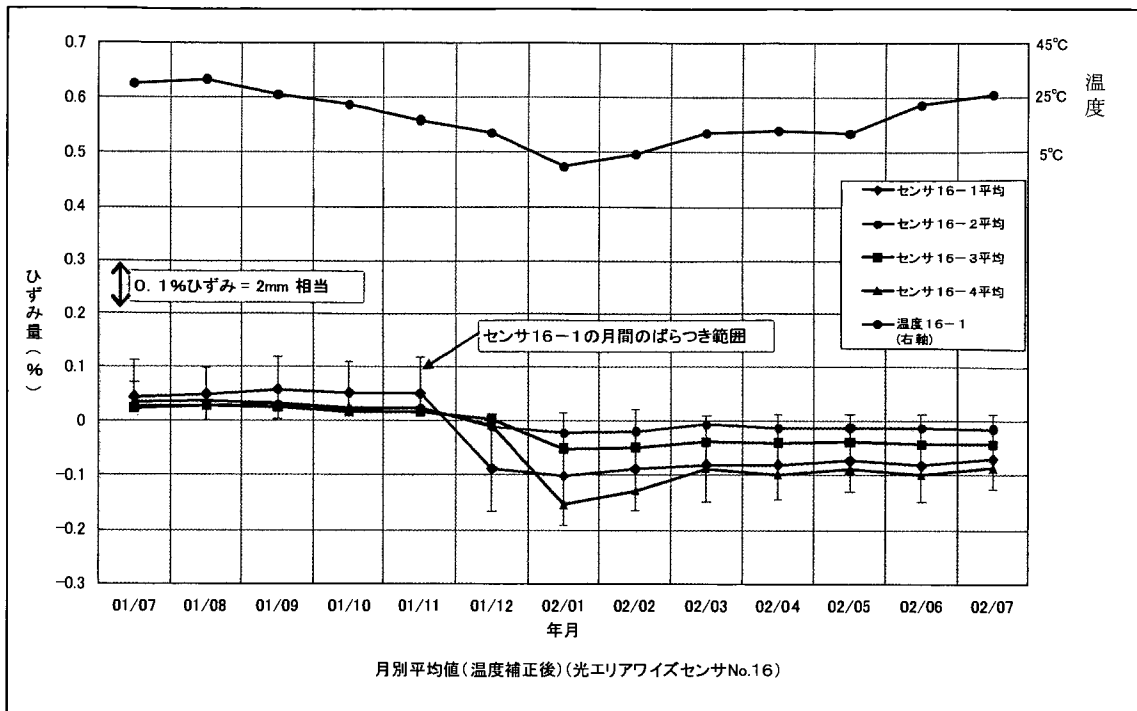


図4-7 センサ固定間隔2mでの吹付法面での計測事例

データ数が多いため、月別平均値をプロットしている。ラインセンサ16-1については、各月の最大・最小値をエラーバーで表示し、ばらつき範囲を示した。精度は、概ね±2mm程度である。一部のデータでは、2001年11月～2002年1月にかけて有意と思われる変動を示している。変動時期は降水の少ない冬期であり、降水との因果関係は認められていない。

なお、温度は基準温度（25℃）との相対値である。

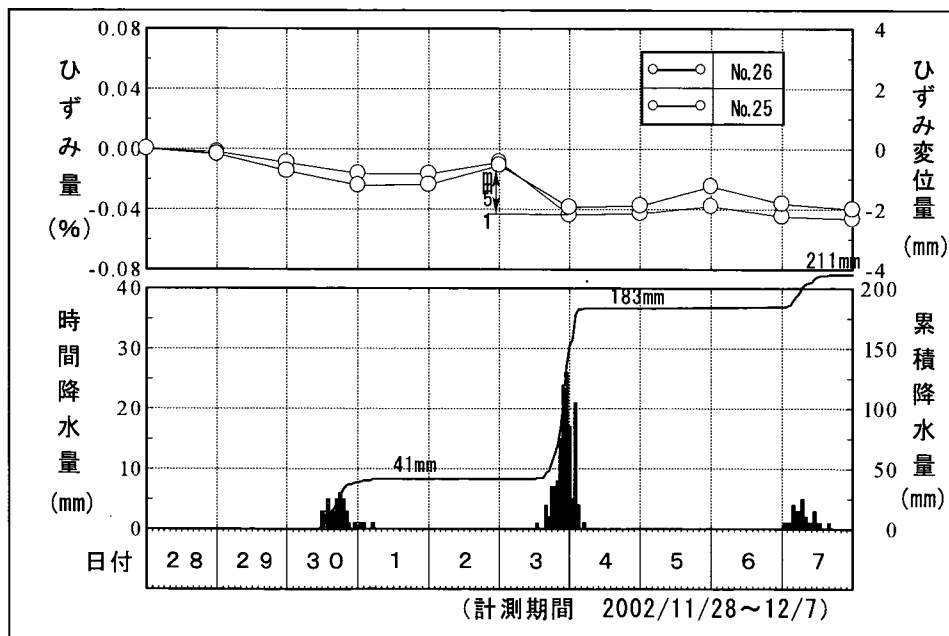


図4-8 日1回計測での地盤変位計測事例

光ファイバセンサは温度の影響を受ける。これを回避するために深夜の1日1回のデータで作成した図である。12月3日から4日にかけての連続降水量100mmの降雨で地盤が変位したことが伺える。

2) FBGによる計測事例

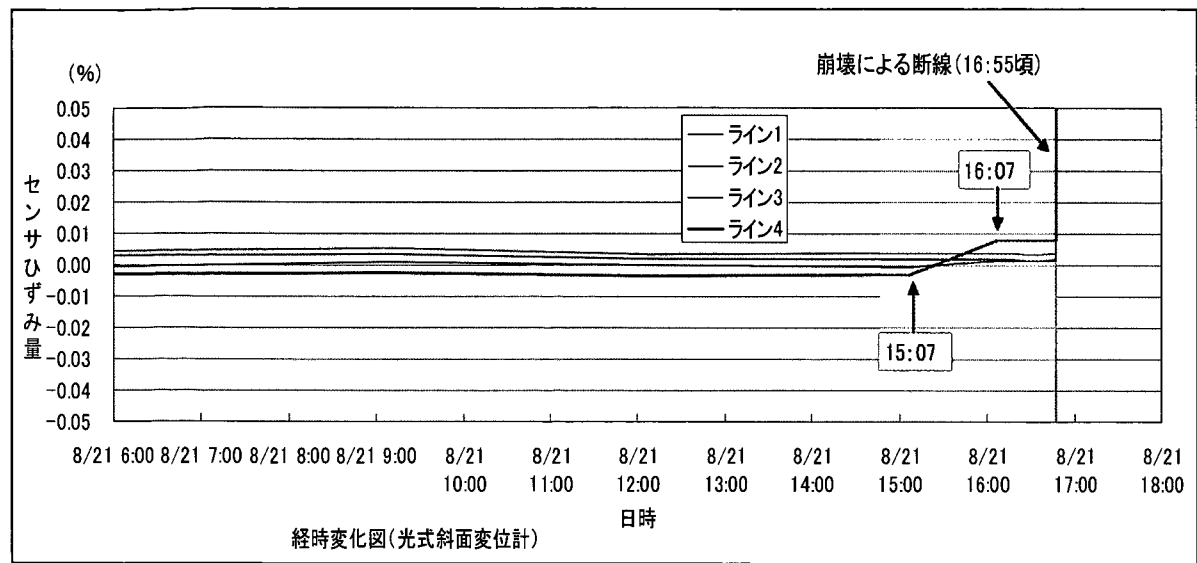


図4-9 ラインセンサの小崩壊検出事例

台風時の小崩壊（表層崩壊）により破断した例。計測間隔は10分。

なお、ラインセンサNo.4では、崩壊の約2時間から周辺部での変位に対応すると見られる異常変動を記録している。

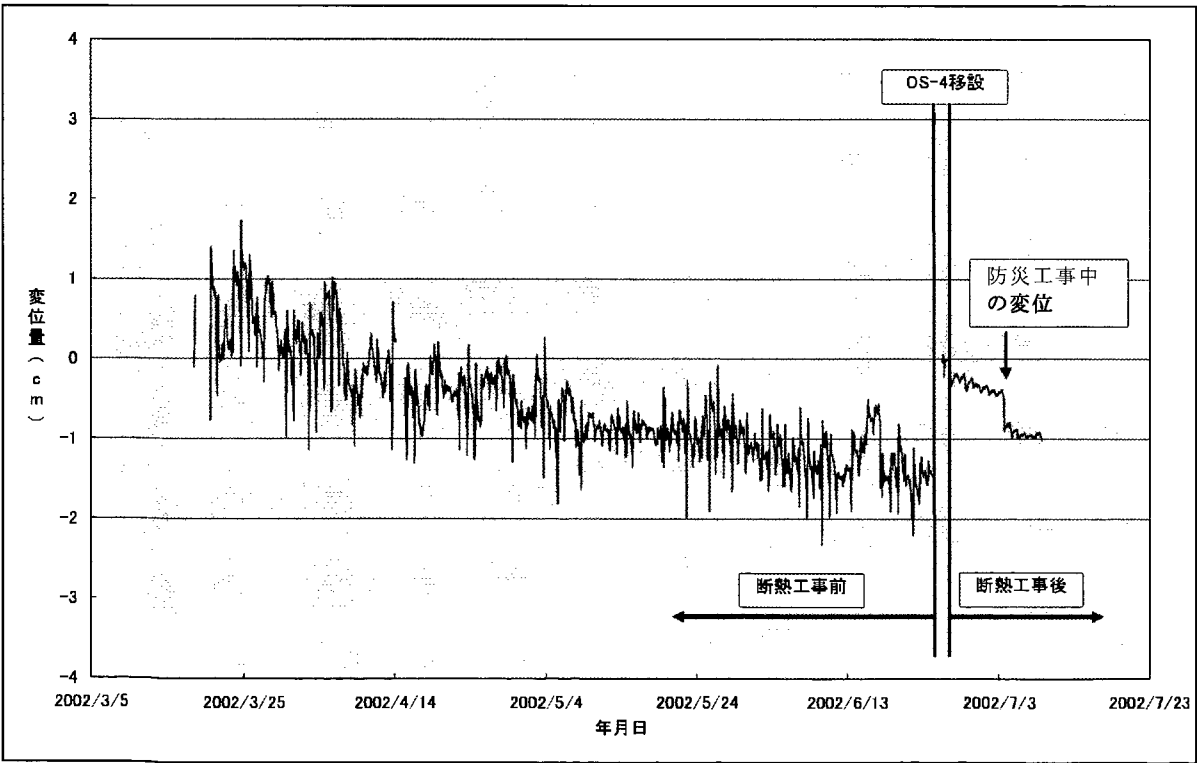


図4-10 温度特性改善例

日照による温度の影響が大きかった個所で、センサ收容箱の断熱化を図って改善した例。なお、長期的には縮み方向の累積的変位がうかがえる。

3) MDMによる計測事例

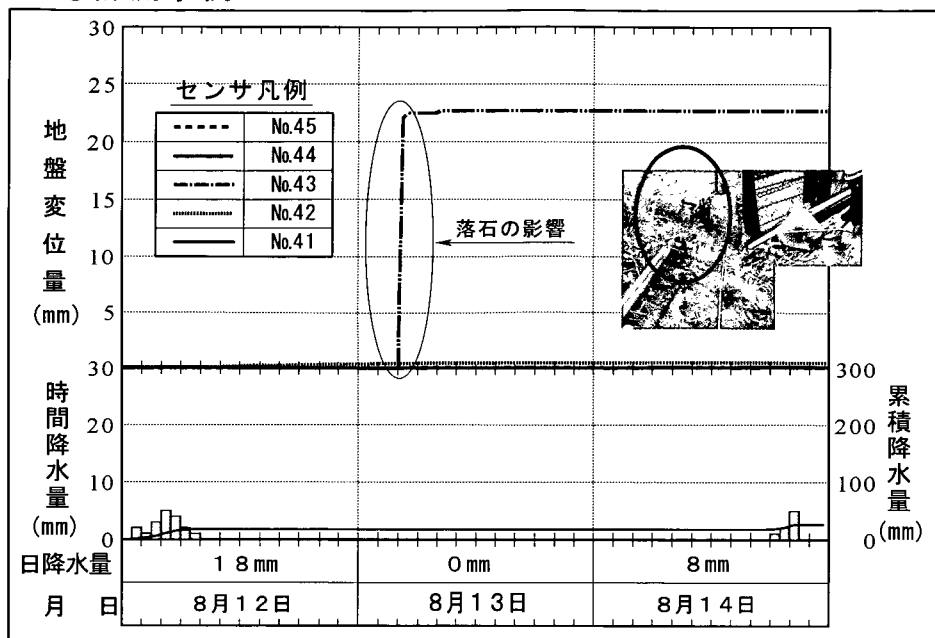


図4-11 落石による破損事例

落石（外的要因）でセンサが破損している。地上架設の場合、他に動植物の接触による異常データを検出する可能性がある。

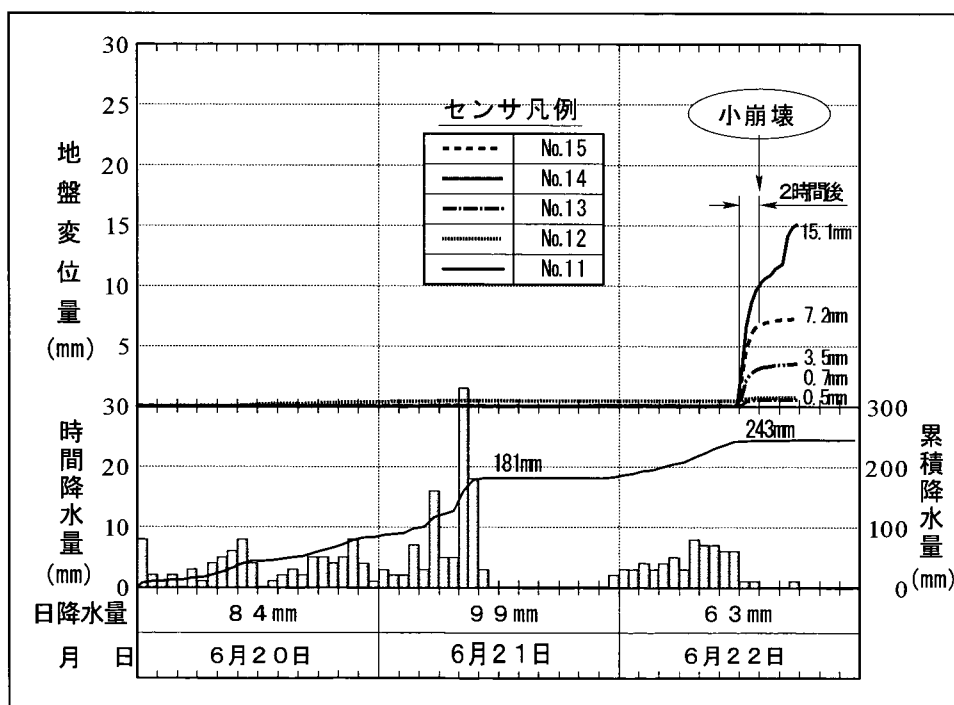


図4-12 小崩壊を検出した事例

平成14年梅雨末期の豪雨で幅6m、長さ20m程度で崩壊した。災害の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、災害発生までの累計では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、No.12のMDM（地盤伸縮）センサで、わずかな変位を観測し、そして、6月22日の12時10分に変位の急変化点が見れ、約2時間後に崩壊に至ったものと考えられる。

No.11が大きく変位したのは、崩壊土が被さって変位したもので、地表面の変位ではない。No.12、No.13の変位が少なかったのは、崩壊とともにセンサも横に滑ったためであった。

4.6 メンテナンス

メンテナンスは①現地センサ個所と②計測器個所（制御器及びパソコン）に分けられる。現地センサ個所はセンサの断裂の有無や計測に悪影響を及ぼす外的要因の除去を目的として実施される。

また、計測器個所は制御・計測部の計測器や表示部のパソコンの動作状況を確認する目的で実施される。

メンテナンスの時期は、点検内容によって異なり次のように設定されるのが標準である。

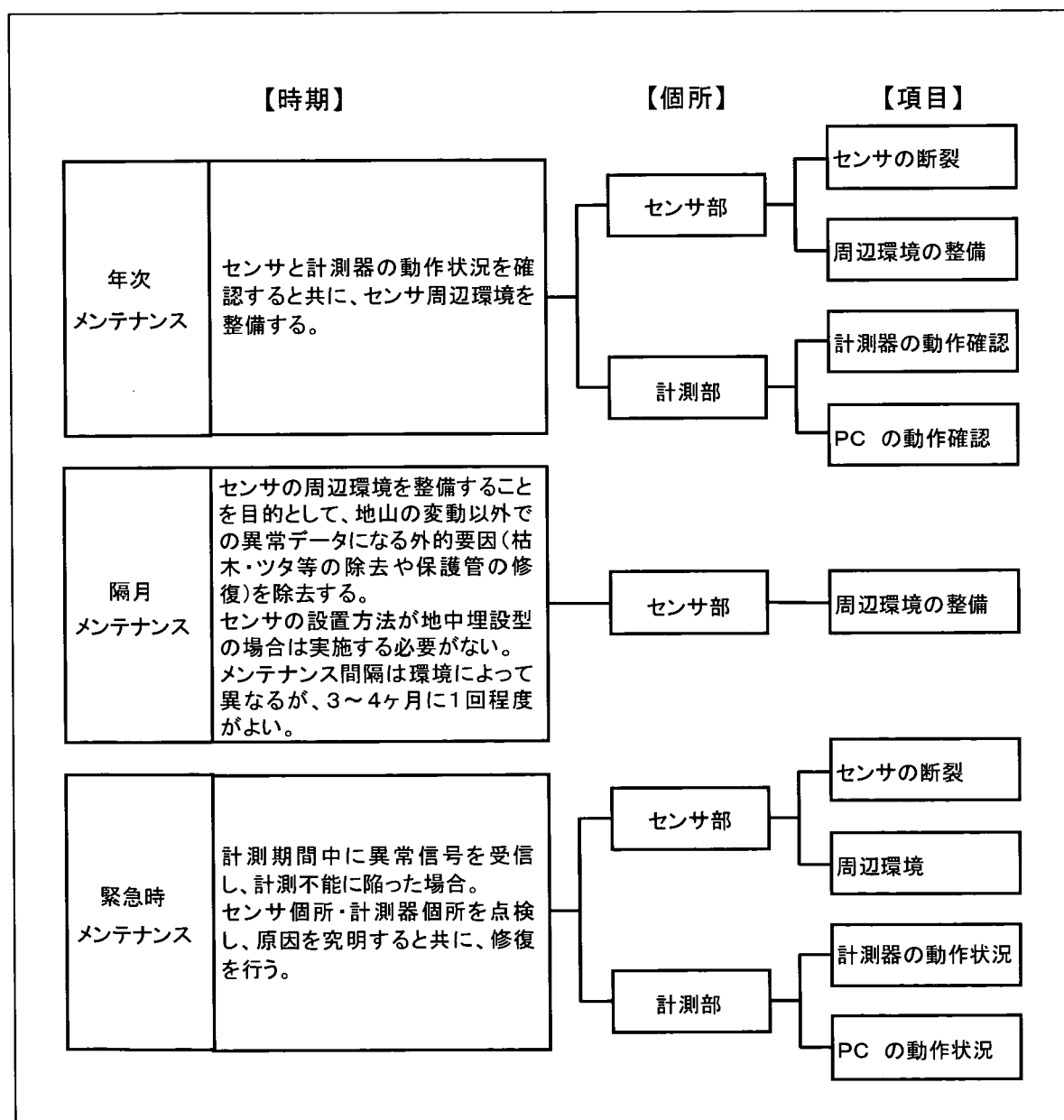


図4-13 メンテナンス時期と項目

各種点検項目は次の通りである。

(1) 現地センサ個所

種 別	項 目	方法	内 容
センサ	ケーブル（センサ）の断裂	計測	断裂の有無の確認
	計測ストロークオーバー	計測	計測範囲を超えている場合は張力調整
保護管・固定治具等	地中埋設型	目視	地表面に露出していないことを確認する
	地表面敷設・地上架設型	目視	固定治具・保護カバーに変形や損傷・腐食が無いことを確認する
			倒木・植物の絡みが無いことを確認する
収納箱	本体	目視	外面の清掃と取付状態を確認する
	融着個所	目視 計測	ケーブルの接続状況を確認し、前回との計測データを比較する

(2) 計測器個所

種 別	項 目	方法	内 容
計測システム	計測器	動作確認	光損失及び発光レベルが規定値以内であることを確認し、前回データとの比較を行う。
	パソコン		動作に異常が無いか確認すると共に、HDの空き領域を確認する。
	無停電装置	目視	表示ランプに異常がないか確認する。
	ケーブル	目視	各ケーブルに損傷がなく、確実に接続されていることを確認する
	光スイッチ	計測	計測時に切り替わることを確認する

◎各計測方法での注意事項

計測方法	
B-OTDR	計測器は使用頻度に応じて定期的に調整・校正を行った方がよい。その時期は使用頻度・設置環境等にもよるが、1～2年毎に実施することが望ましい。 この場合、校正期間は2週間から1ヶ月間を要するため、必ず代替品を用意する必要がある。 計測器の定期点検や突然の故障に保守契約を締結した方がよい。
FBG	FBGを用いた計測システムは、光源、光スイッチ、波長計測器、伝送路、センサ部から構成される。経時的な劣化などを考慮して定期的に確認する必要がある事項としては、光源の出力低下、伝送路部の損失増加、波長計測器の精度低下などである。 光関係の計測器のうち、光源の出力は光パワーメータにより確認することができる。伝送路の損失は、光源＋光パワーメータあるいはOTDRで確認することができる。
MDM	このシステムはパソコンで全て制御表示するシステムである。センサ部と一体に年1回の校正を行い、調整を実施する。

メンテナンスは、専門業者と保守契約を締結して実施することが望まれる。

第 1 章

引用文献

- 1) 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
- 2) (社)全国地質調査業協会連合会：平成10年度全国標準積算資料（土質調査・地質調査）

参考文献

- 「地すべり観測便覧」（社）地すべり対策技術協会、1996
北海道での岩盤計測に関する調査技術検討委員会 中間報告書、2001

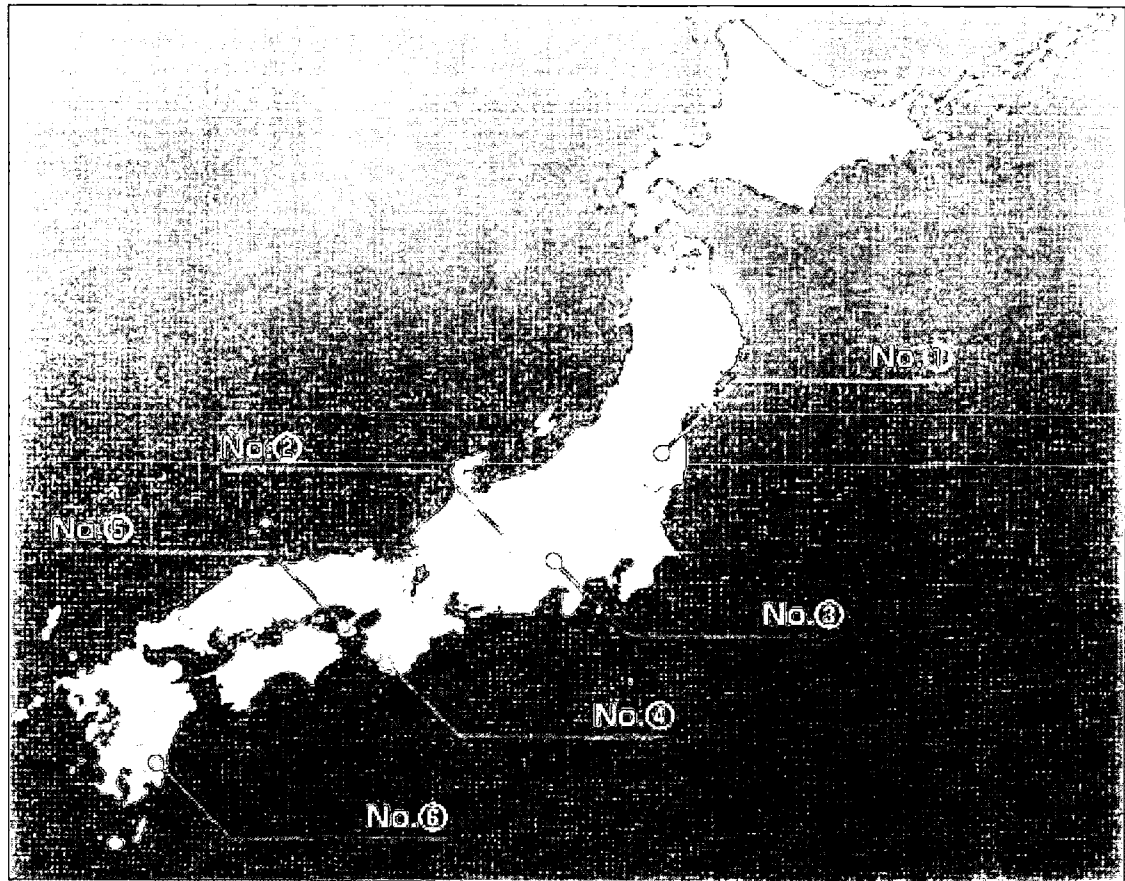
第2章 光ファイバセンサを活用した斜面崩壊

モニタリングシステムの適用事例

下表に光ファイバセンサを活用した斜面崩壊モニタリングシステムの試験フィールドの概要を示す。また、図に試験フィールドの配置図を示す。

試験フィールド概要

No	個所名	事務所	試験フィールド概要
1	一般国道49号 福島県いわき市 三和町中三坂	磐城国道	緩いマサ土からなる崩壊性の斜面。複数の滑落崖があり、特定困難なすべり面の存在が考えられる。FBG方式により地表面変位・地中ひずみ・地下水位・雨量・温度を計測。
2	一般国道19号 長野県上水内郡 信州新町水内	長野国道	崖錐表土で構成される斜面。崩壊の履歴が見られ、トンネル坑口付近擁壁に若干の変状が見られる。B-OTDR方式により地表面変位・地中ひずみを計測。
3	一般国道52号 山梨県南巨摩郡 身延町光子沢	甲府工事	泥岩の風化が著しい斜面。急崖部の崩壊、崩積土の再移動及び地すべりが想定される。近傍にて、H10.9の豪雨による地すべり災害あり。FBG方式により地表面変位・地下水位を計測。
4	一般国道42号 和歌山県西牟婁郡 すさみ町黒崎	紀南工事	砂岩層流れ盤へのモルタル吹付法面（老朽化）。水平クラックやはらみだしが見られる。B-OTDR方式により地表面変位・亀裂変位・吹付表面温度を計測。
5	一般国道28号 兵庫県津名郡 津名町塩尾	兵庫国道	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、ロックネット施工済み。B-OTDR方式により、地表面変位を計測。
6	一般国道220号 宮崎県日南市 大字伊比井字鶯巣	宮崎工事 (現 宮崎河川国道)	泥岩・砂岩互層の水平盤斜面。崖錐堆積物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。MDM方式及びB-OTDR方式により地表面変位（表層崩壊部・岩石崩壊部）を計測。



試験フィールド配置図

2.1 一般国道49号福島県いわき市三和町中三坂

2.1.1 現地状況

現地のセンサ設置以前の全景を写真2.1-1に示す。平面図を図2.1-1、断面図を図2.1-2に示す。

現地はゆるいマサ土からなる崩壊性の斜面であり、崩壊跡地が見られるが平成2年以降の被災履歴はない。伸縮計、パイプひずみ計等を使用して計測中であった。国道工事事務所によれば、若干の動きが見られるとのことであった。

光ファイバセンサとしては、光式地表面伸縮計、FBGパイプひずみ計、FBG水位計を設置し、斜面崩壊をモニタリングすることとした。光ファイバセンサの特徴として、遠隔地から監視が可能である点があげられるが、今回は国道に埋設された光ファイバケーブルへの接続は行わず、国道沿いに計測小屋を設置し、工事事務所等へのデータ配信は電話回線にて行うこととした。



写真2.1-1 現地全景

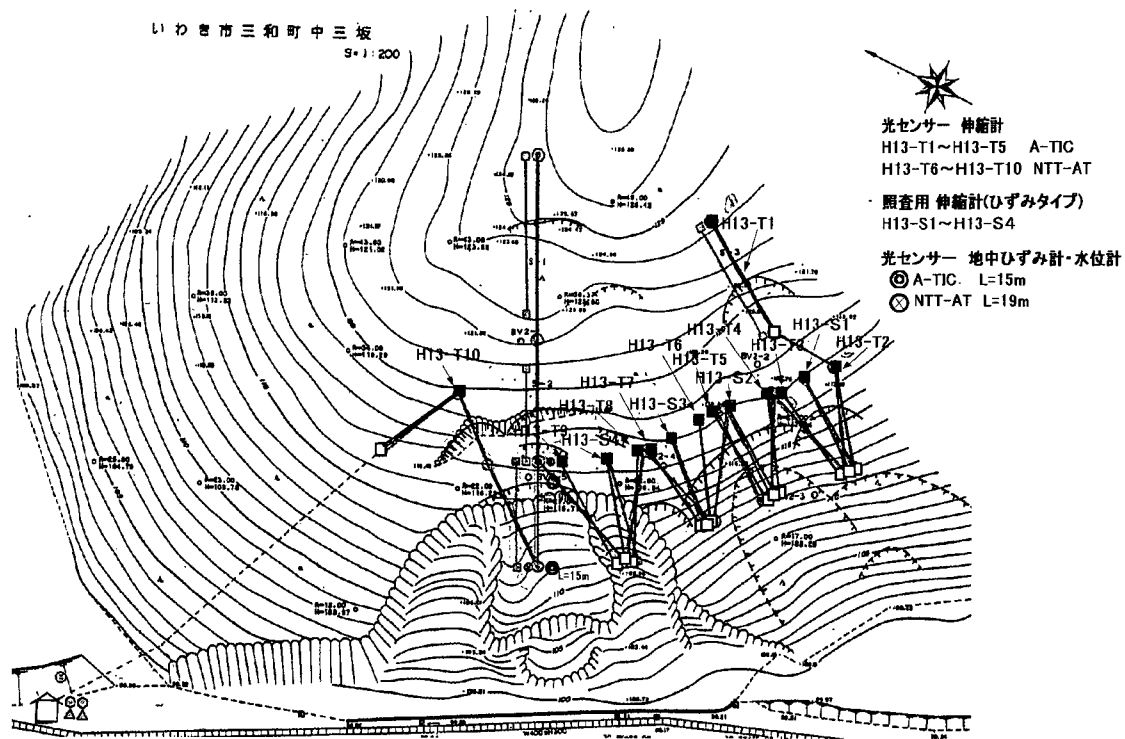


図2.1-1 平面図

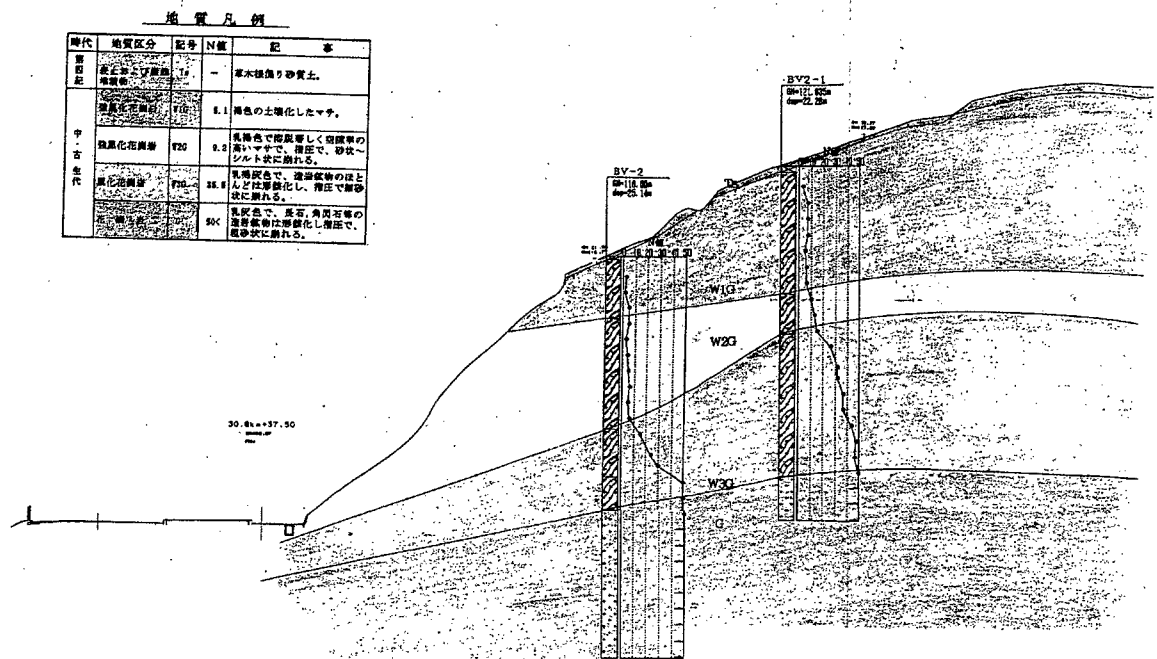


図2.1-2 断面図

2.1.1 システム構成及びセンサ配置

システム構成を図2.1-3に示す。

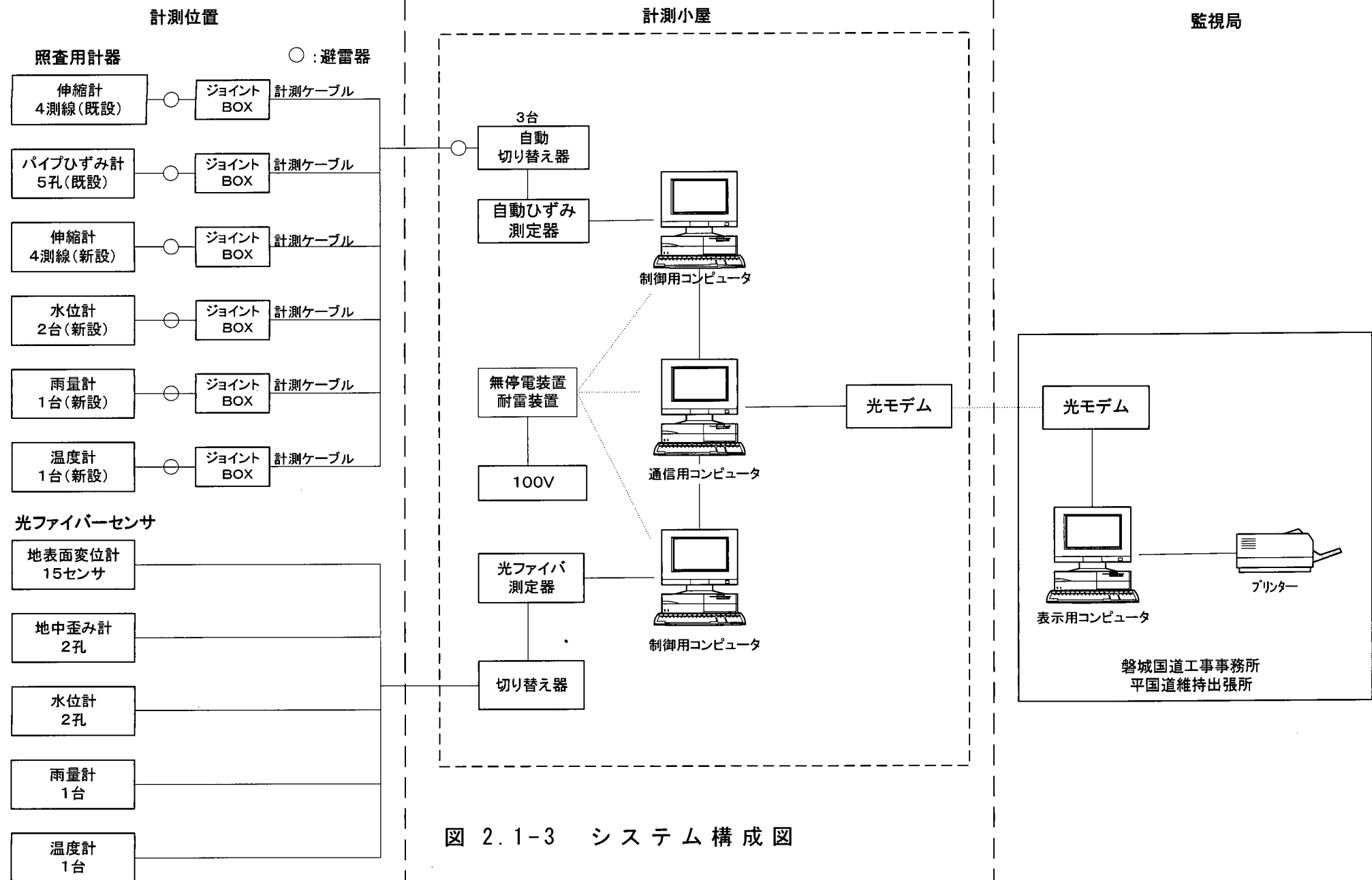


図 2.1-3 システム構成図

2.1.3 センサの概要

(a) 光式地表面伸縮計

光式地表面伸縮計の外観を図2.1-4に示す。全体の構成を図2.1-5に示す。計測部分にFBGを用いているが外観等は従来型のセンサと同様である。

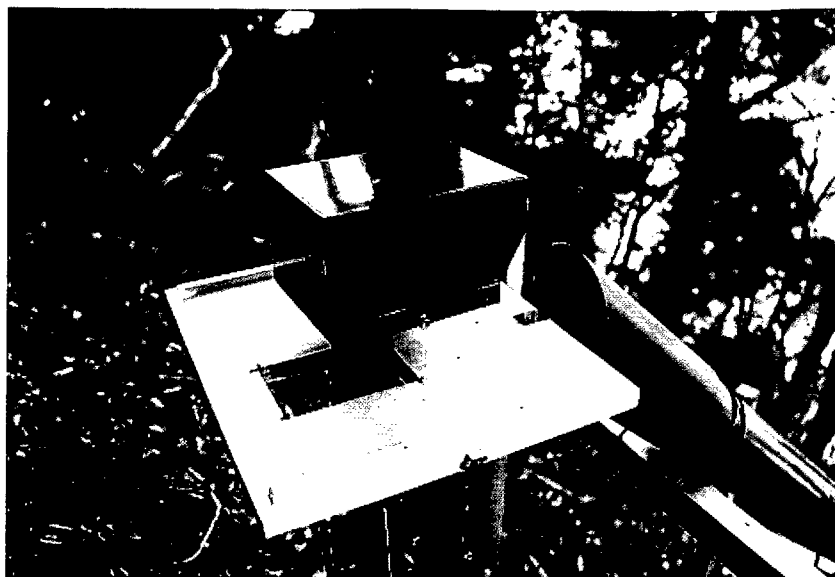
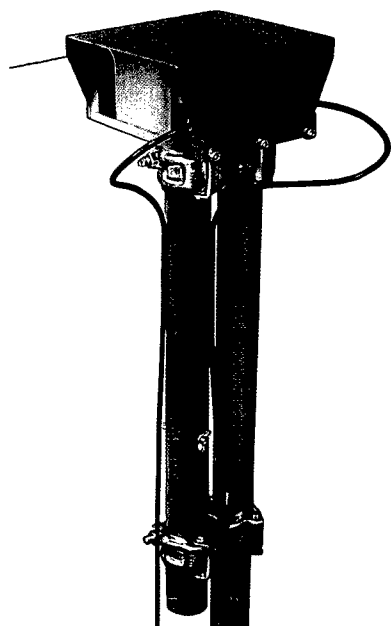


図2.1-4 光式地表面伸縮計外観

図2.1-5 光式地表面伸縮計構成

(b) FBG水位計

斜面の地下水位を連続的に計測するため、FBG水位計を開発した。図2.1-6に外観を示す。今回開発したFBG水位計は、光ファイバを装置内で折り返しする必要があることから、外径が78mm ϕ 程度となっている。このため、水位計用にはボーリング孔を110mm ϕ とした。

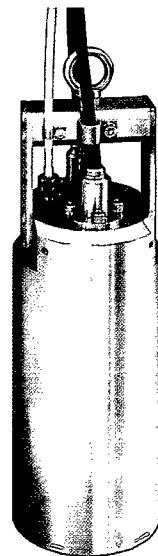


図2.1-6 FBG水位計

2.1.4 計測装置概要

観測小屋に設置した主な計測システムの全景を写真2.1-2に示す。

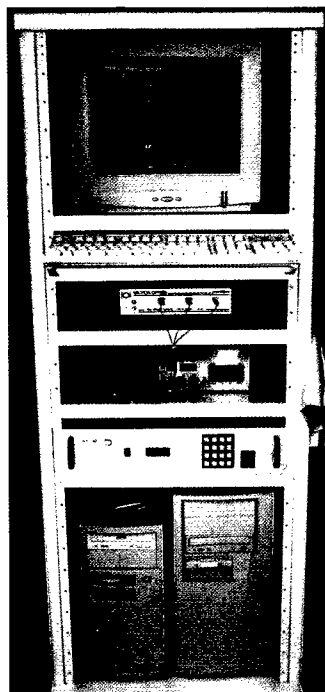


写真 2.1-2 計測システム

2.1.5 運用状況

計測データは電話回線により、平維持出張所に転送している。監視画面を図2.1-7に示す。

現状は計測と定期的なデータ分析のみを行っており、管理基準値を設定しての警報発信等は行っていない。計測データは平成13年度末から転送しており、平常時、1時間に1回転送している。

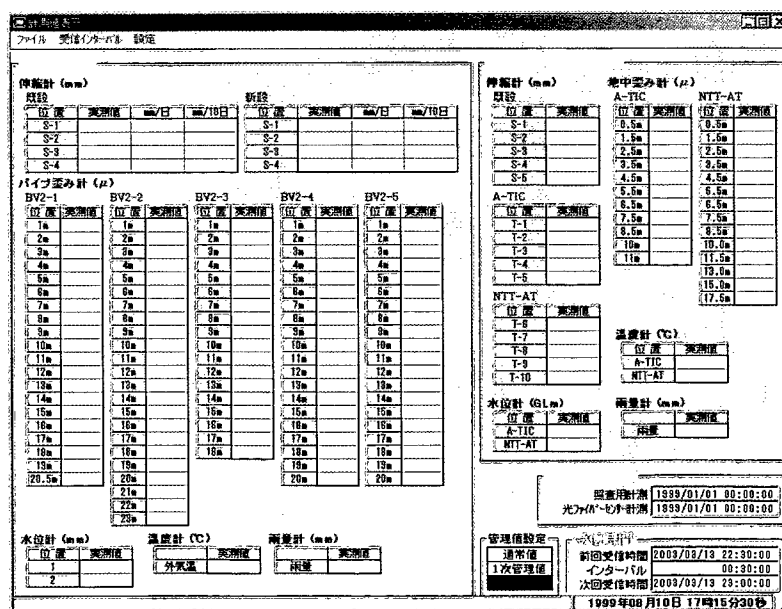


図2.1-7 監視画面

計測データ例を図2.1-8に示す。

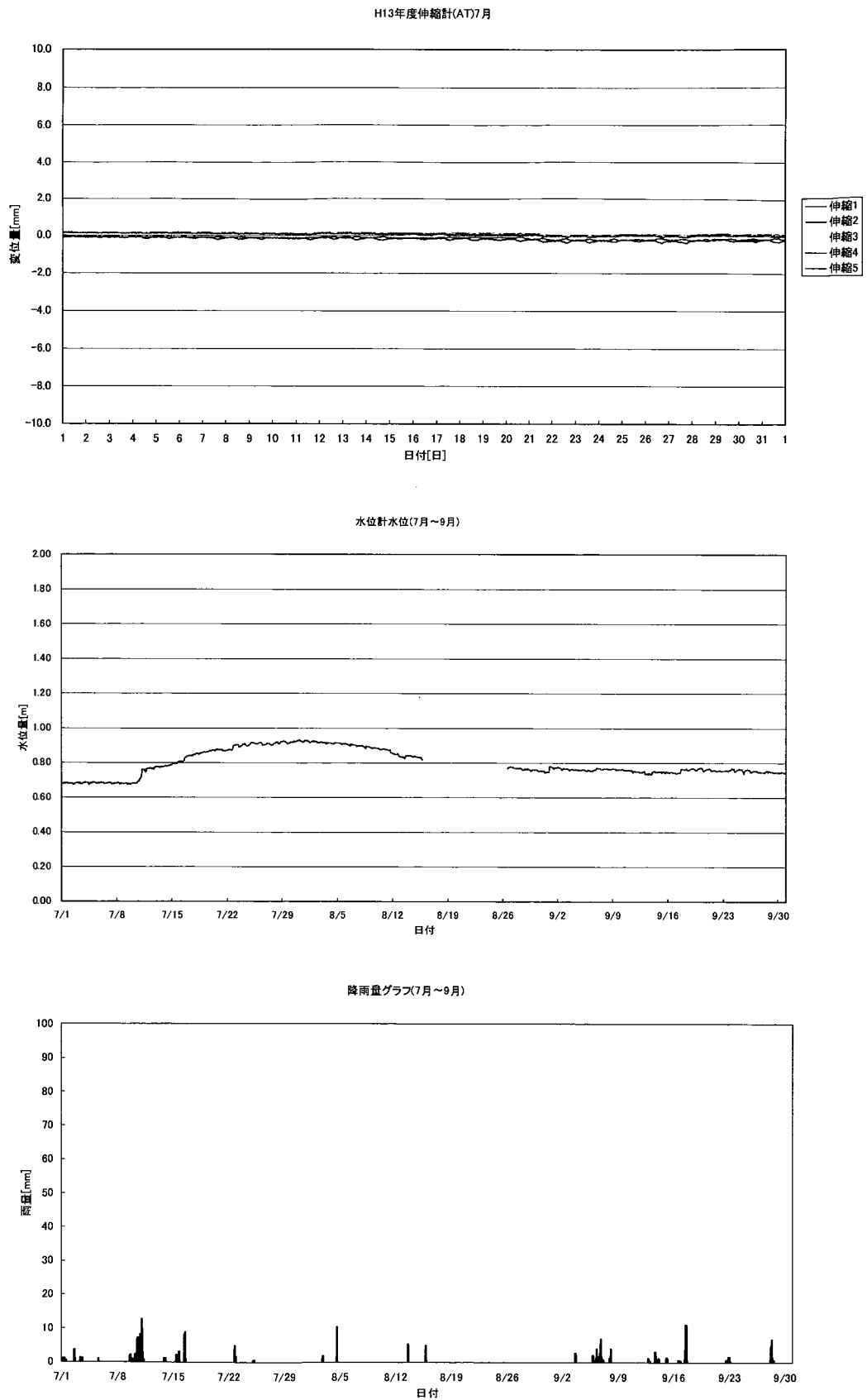


図2.1-8 計測データ

2.1.6 考察

本試験フィールドにおいては、図2.1-3に示すように照査用の伸縮計、光式地表面伸縮計等を設置し、斜面の挙動を計測してきたが、計測開始以来地表面の目立った挙動は見られていない。

しかしながら、光式の地表面伸縮計、地中ひずみ計、水位計については、安定したデータが取得されており、光式センサの共通の課題である温度補償の問題は解決されたと考えられる。伸縮計の基底変動量は0.1mm以下であり、また水位計は1cm以下である。これにより、従来型のセンサと同等の精度を有する光式の地表面伸縮計、水位計を提供できる見通しが得られた。

2.2 一般国道19号長野県上水内郡信州新町水内

2.2.1 現地状況

センサ設置以前の現地斜面全景を写真2.2-1に、平面図およびセンサ設置概要を図2.2-1にそれぞれ示す。

現地斜面は、崖錐表土で構成されており、小崩壊の履歴が見られトンネル坑口付近擁壁に若干の変状が確認される。

斜面表層崩壊のモニタリングにあたっては、ブリルアン散乱光を利用したB-OTDR方式を用いることとし、光斜面変位計、光地中変位計、光地中水位計、光擁壁変状センサA/Bを設置した。B-OTDR計測器は国道工事事務所出張所内に設置し、情報ボックス内の光ファイバケーブルを利用して、遠隔により斜面モニタリングを行うこととした。

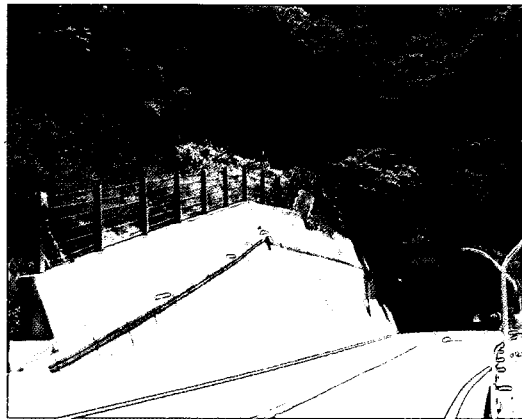


写真 2.2-1 現地全景

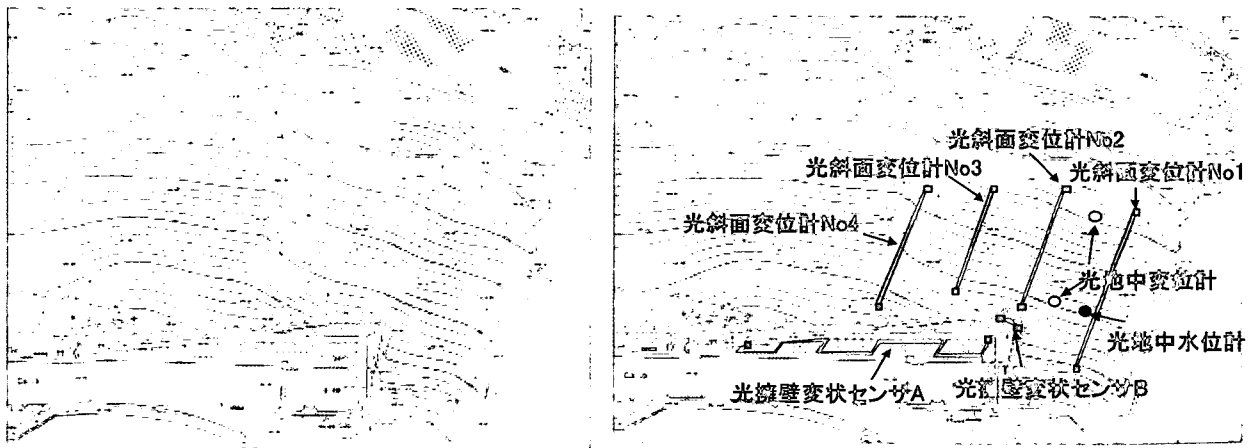


図 2.2-1 平面図およびセンサ設置

2.2.2 システム構成及びセンサ設置

システム構成およびセンサシステムを図2.2-2に示す。

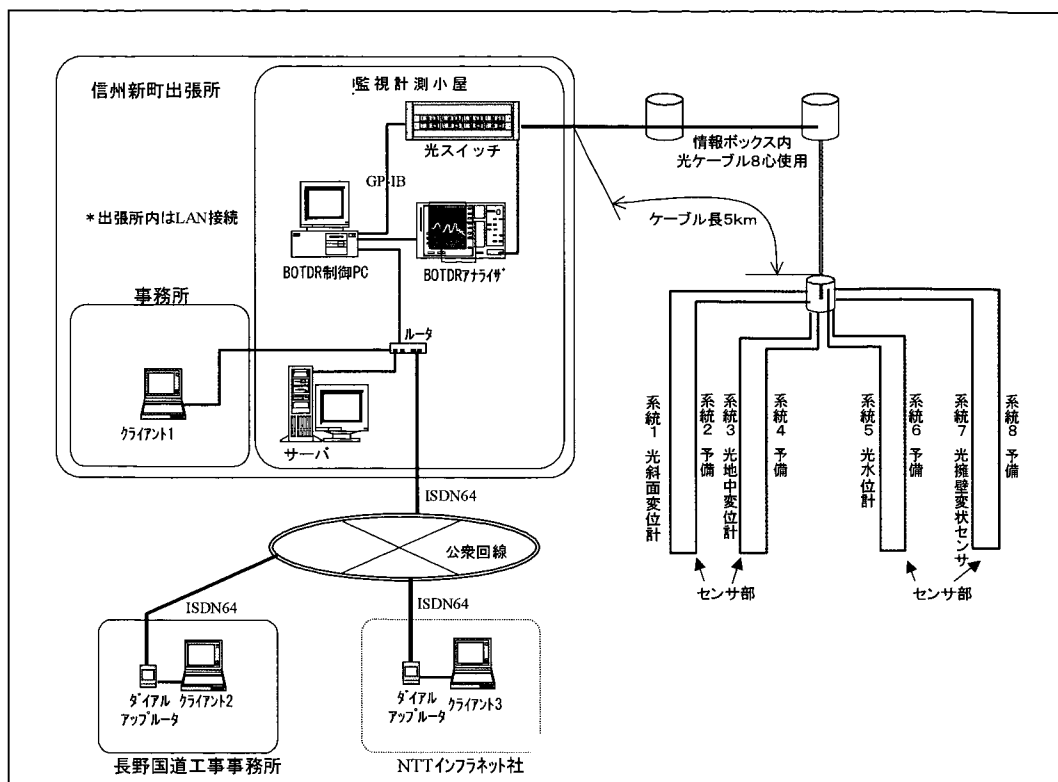


図 2.2-2 システム構成図

2.2.3 センサの概要

現地に設置したセンサの概要を以下に示す。

(1) 光斜面変位計

センサは地中埋設方式とし、斜面表層部が降雨の影響により、表層崩壊に至る前兆の検知および、変位を計測する目的で設置した。図2.2-3に光斜面変位計の構成、写真2.2-2に施工中の状況を示す。

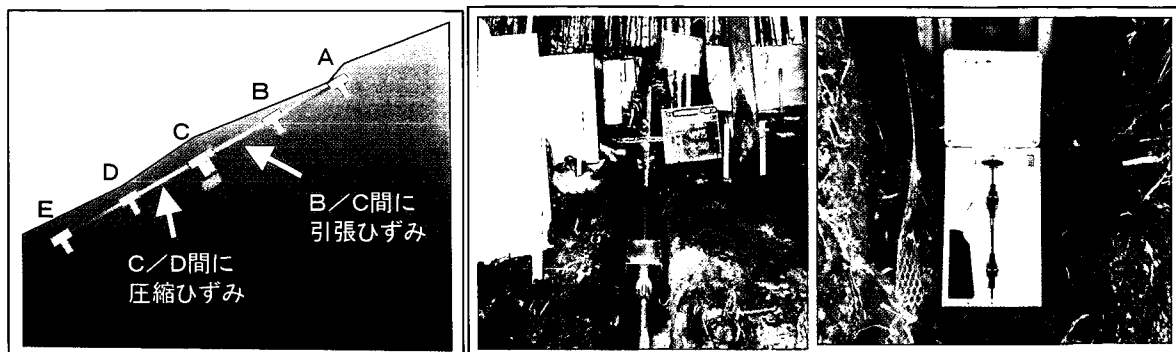


図 2.2-3 光斜面変位計構成

写真 2.2-2 施工状況

(2) 光地中変位計（光パイプひずみ計）

光地中変位計は、地中の変位を捉えることにより、表層崩壊の前兆を検知することや地中のすべり面を特定することを目的とする。図2.2-4に光地中変位計概要を、写真2.2-3に設置状況をそれぞれ示す。

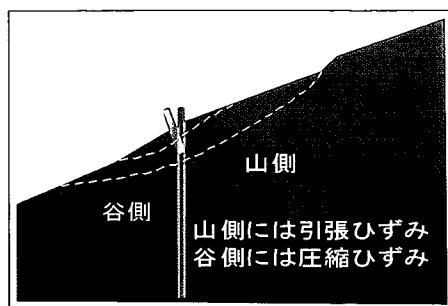


図 2.2-4 光地中変位計概要



写真 2.2-3 設置状況

(3) 光地中水位計（光ファイバ水位計）

降雨、融雪等の影響により変化する地下水位を連続的に計測する。写真2.2-4に水位計を、図2.2-5に構造概要を、図2.2-6に水位計設置状況をそれぞれ示す。

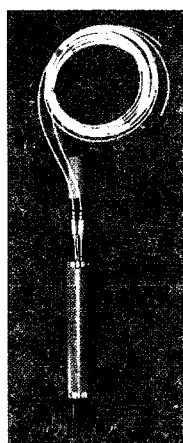


写真 2.2-4 水位



図 2.2-5 水位計概

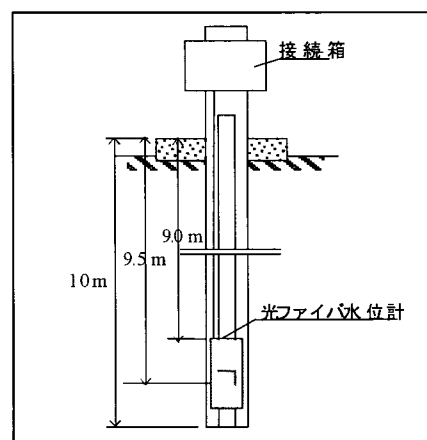


図 2.2-6 設置状況

(4) 光擁壁変状センサA

コンクリート埋め込み方式とし、斜面土圧の影響による擁壁コンクリートの変状を、線的、面的に計測する。図2.2-7に概要を、写真2.2-5に設置状況をそれぞれ示す。

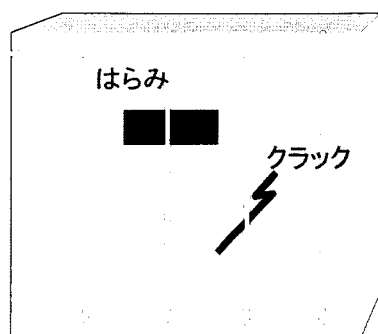


図 2.2-7 センサ概要

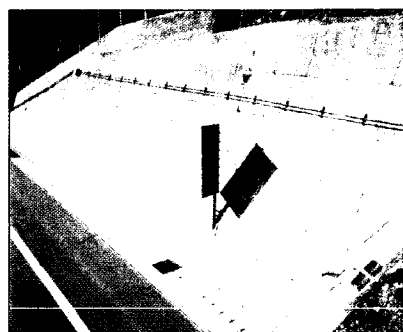


写真 2.2-5 設置状況

(5) 擁壁センサB

石積み擁壁部の開口亀裂の経時変化を計測するため、滑車を応用したクラックセンサを設置した。図2.2-8にセンサ概要を、写真2.2-6に設置状況をそれぞれ示す。

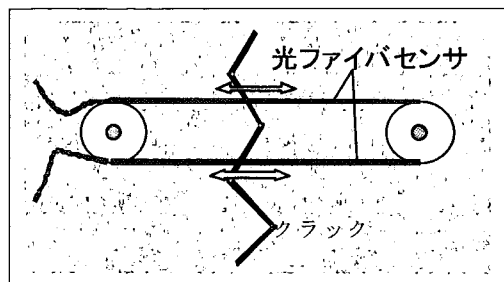


図 2.2-8 センサ概要



写真 2.2-6 設置状況

2.2.4 計測装置概要

計測小屋に設置した計測システム装置は、B-OTDR計測器、光スイッチ、制御パソコン、サーバパソコンにて構成されている。写真2.2-7に各装置を、図2.2-9にB-OTDR遠隔計測システム構成をそれぞれ示す。

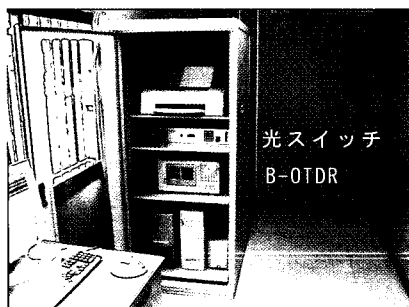


写真 2.2-7 計測システム装置

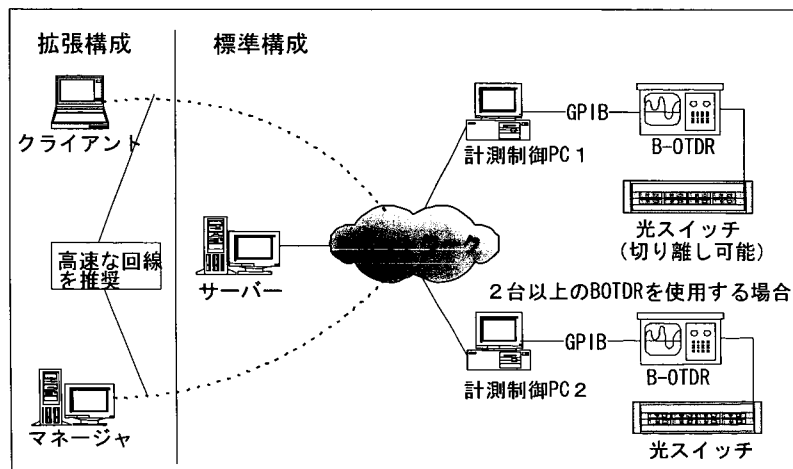


図 2.2-9 システム構成

2.2.5 運用状況

(1) 計測期間

平成13年4月から平成14年3月

- ・ 光斜面変位計、光地中変位計、光水位計、光擁壁変状センサA/B

平成14年4月から平成14年7月

- ・ 光斜面変位計、光地中変位計、光水位計、光擁壁変状センサA/B

平成14年8月以降

- ・ 光擁壁変状センサA/B

モニタリング斜面において、防災工事着手により、光斜面変位計、光地中変位計、光水位計は撤去となり、光擁壁変状センサのみ計測している。

(2) 計測間隔

当初は180分間隔で、1日8回の計測を行っていたが、平成14年3月からは240分間隔の1日6回の計測としている。

(3) 計測データ

計測データは、パソコンに自動的に収集され、管理している。また、計測データのバックアップは月1回、定期的に行っている。また、取得したデータについては、整理、解析後に点検結果と共に毎月報告している。

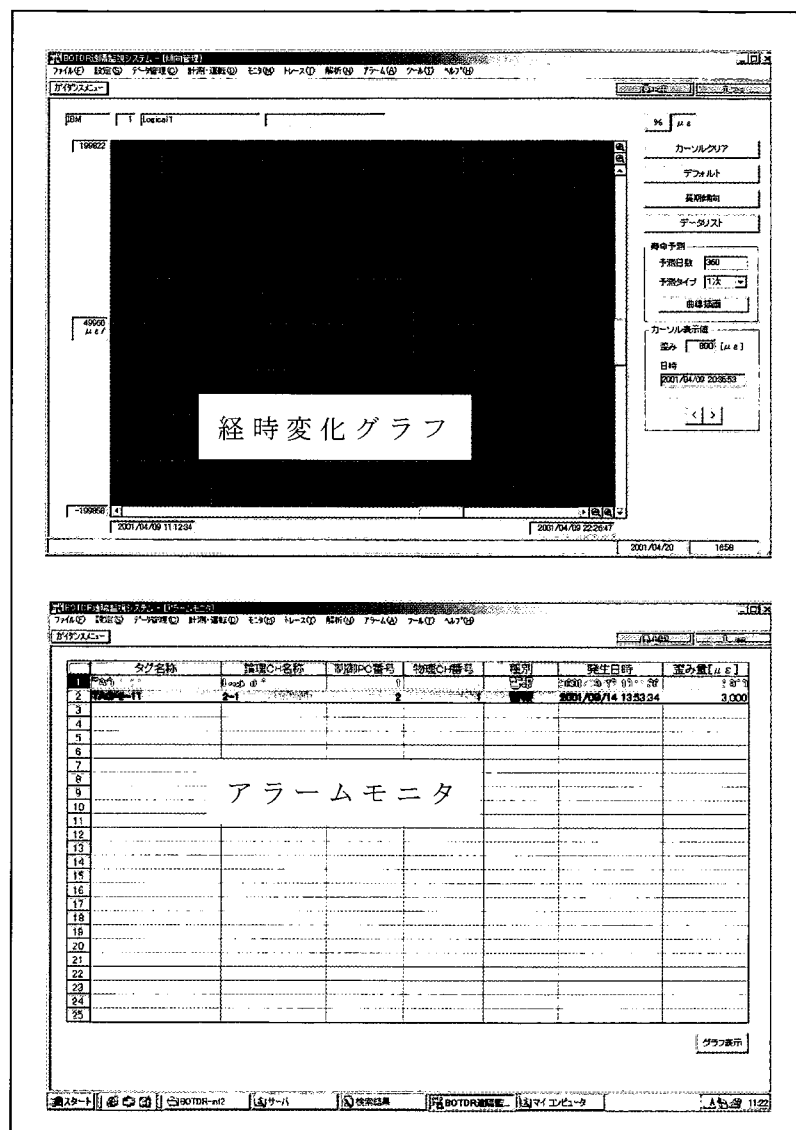


図 2.2-10 監視画面

(4) 保守

計測データバックアップ時に現地のセンサの状況および、計測システムの動作確認等の保守を点検表により実施した。

(5) 日常運用

遠隔計測により、国道工事事務所、出張所等においてアラーム発生等を監視している（図2.2-10）。また異常時の運用については、斜面崩壊につながる変状が発生しなかったため、今後、関係各方面と十分な打ち合わせを持ち異常時の運用について検討を行っていく。

2.2.6 計測データ例

各センサ別の計測データ例を図2.2-11に示す。なお、計測データはひずみ量かパーセントでの出力となるので、変位置量に換算した。

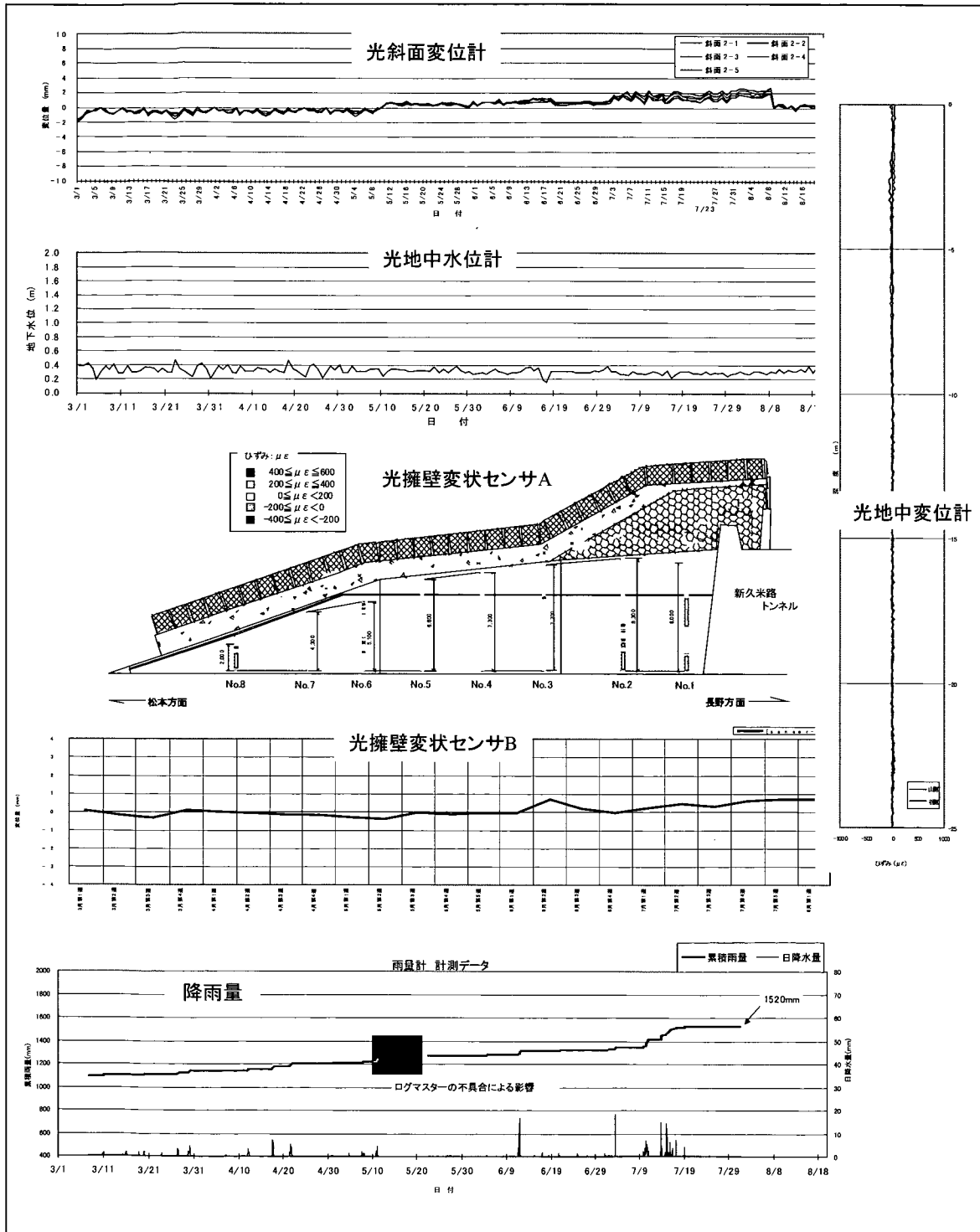


図 2.2-11 計測データ例

2.2.7 検証試験

光ファイバセンサを設置した斜面において表層崩壊等の事象がおこらなかったのを、平成14年8月に現地斜面において、光斜面変位計、光地中変位計に強制的に変位を段階的に与え、その時のひずみを計測し、与えた変位量との比較検証を行った。

図2.2-12は光斜面変位計に段階的に変位を与えた時の計測波形グラフである。段階的に与えた変位量は、1mm、5mm、7mm、10mm、20mm、30mmで、それぞれの変位量に対し、ひずみはほぼ理論値に近い値が計測された。図2.2-13に計測した変位量と理論値を示す。

光地中変位計にも同様に、段階的に変位を与え、ひずみを計測し検証した。変位量は1mm、5mm、10mmから160mmまでの7ステップで与えた。発生したひずみの波形を図2.2-14に、変位量を図2.2-15に示す。

検証試験により与えた変位に対し、リニアにひずみが発生していることを計測確認した。

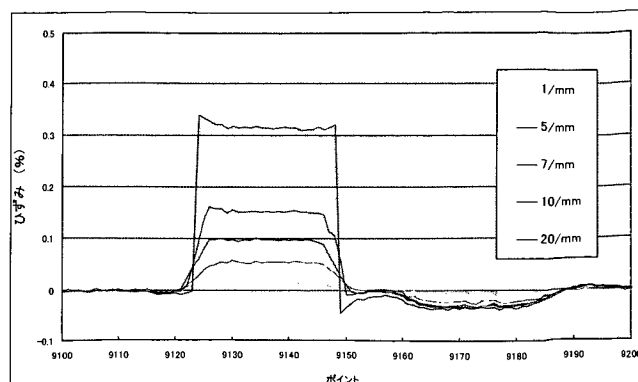


図 2.2-12 ひずみ分

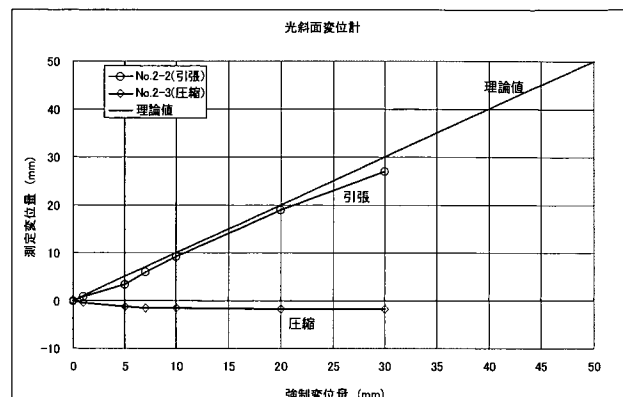


図 2.2-13 計測変位量

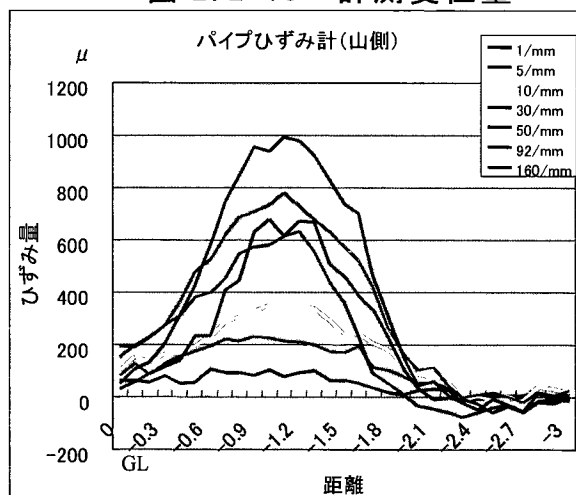


図 2.2-14 波形グラフ

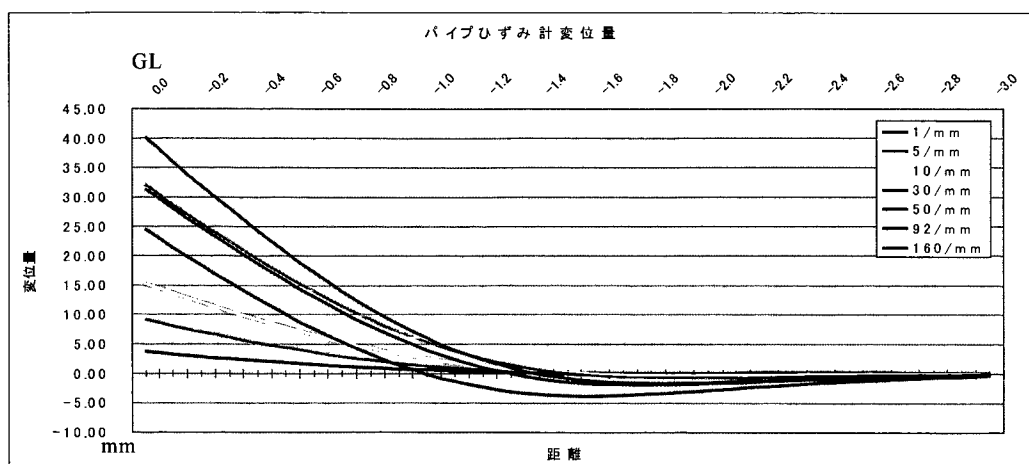


図 2.2-15 変位量

2.2.8 考察

モニタリング斜面においては、顕著な変位はなかったが、四季を通したフィールドでの自然環境下での光ファイバセンサによる長期間にわたる計測の問題点等を明確にすることができた。

(1) 光ファイバセンサ

検証試験により、光斜面変位計、光地中変位計に強制的に変位を与えた場合のひずみを計測し、光ファイバセンサの有効性が確認できた。また、光水位計は、NTTの研究所内において長期計測試験を実施しており、良好なデータが取れている。

(2) 情報化施工

斜面防災工事において、情報化施工の一つとして、光擁壁変状センサにより斜面挙動を常時監視し、施工中の斜面崩壊等による擁壁のひずみを計測する事により施工中の安全管理に役立てた。今後の展開に期待できる。

(3) 今後の課題

B-OTDR方式の場合、光計測器が高価なため、ポイント的に光ファイバセンサを設置するのではなく、B-OTDRの最大の特徴である広範囲を線的に計測可能な点を最大限に生かした設置方法等により創設費用をいかに抑えるかが課題である。

さらに日常、異常時の運用方法においては、管理基準値を定めた形による監視体制作り、計測データを通行止めの判断や対策工などにどのように反映させるか、と言った点が課題として挙げられる。

2.2.9 まとめ

今後、光ファイバセンサは道路斜面監視、情報化施工等さまざまな分野での活用が考えられる。また、計測による危険個所の抽出、対策整備計画の立案、実施、また、通行止めなどの災害防止への反映など、より合理的に行う事が可能になるものと考えている。

2.3 一般国道52号山梨県南巨摩郡身延町光子沢

2.3.1 現地状況

現地の全景を写真2.3-1に示す。平面図を図2.3-1、断面図を図2.3-2に示す。

現地は身延衝上断層に近く、スレーキングにより風化が進行した泥岩からなる斜面である。斜面全体が大きな地すべり地形を呈しており、斜面上部には連続した段差地形が明瞭に見られる。地すべり地形に向かって左側（起点側）の側方境界部では侵食が進んでおり、崩壊地形を形成している。この崩壊地形の中では、急傾斜基盤上に不安定な崩積土が厚さ2m程度で堆積している。一方、斜面内では遷急線が2箇所（上部と下部）に見られ、平成13年の台風時には、上部の遷急線を頂部とする表層崩壊が発生している。また、道路に面した遷急線の下部は傾斜70度近い急崖部を形成しており、一部には抜け落ち跡が見られる。なお、当該斜面から終点側（甲府側）に200mほどの地点では、平成10年に地すべり災害が発生している。

この斜面では、以下の4つの災害形態が想定されている。

- a. 急崖部の崩壊 b. 上部遷急線を頂部とする崩壊
- c. 崩壊地内の崩積土の再移動 d. 地すべりの滑動

このうち、a.～c.を計測する目的で、光ファイバセンサを設置した。光ファイバセンサは、いずれもFBG方式で、光式地表面伸縮計、光式斜面変位計（5m間隔で固定）および光式水位計を設置した。なお、d.の地すべりに対する計測としては、月一回、ボーリング孔を利用した孔内傾斜計測を従来型電気式計器により手動で行っている。

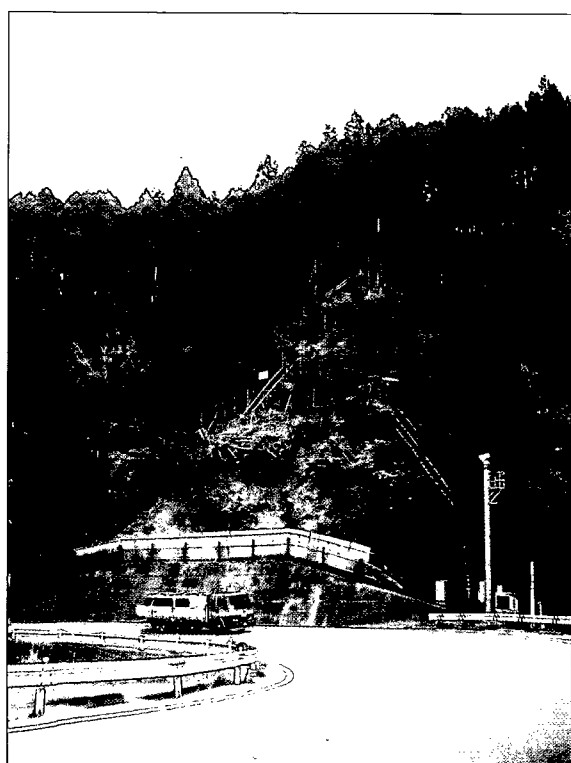


写真2.3-1 現地全景

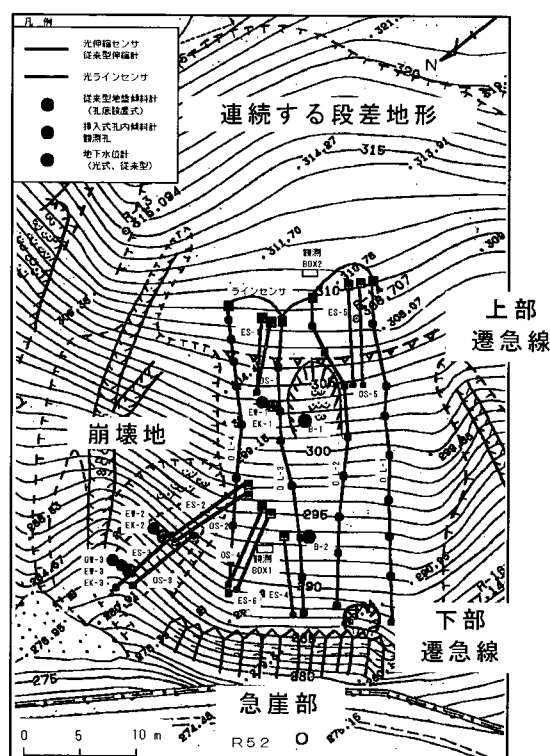


図2.3-1 平面図

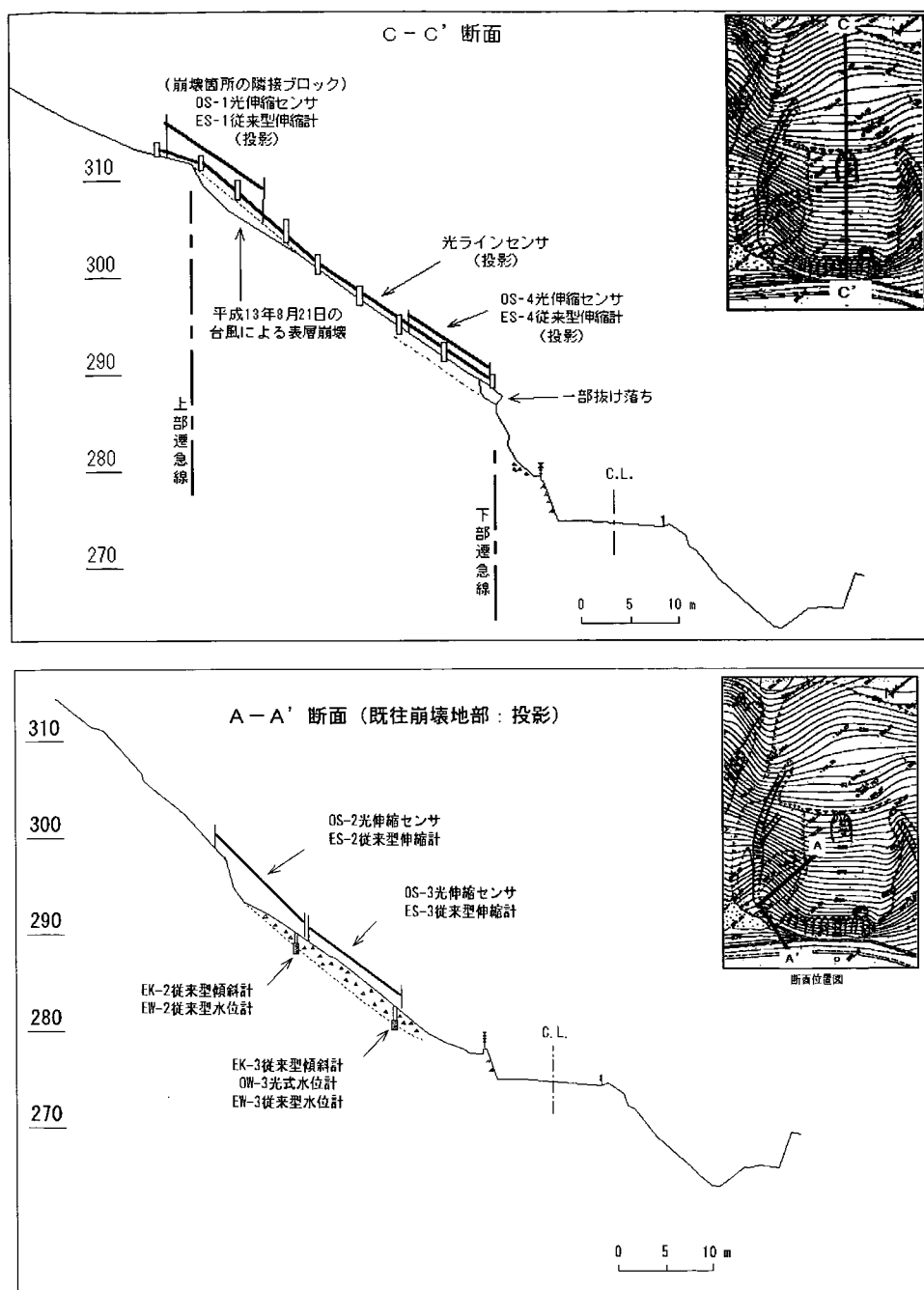


図2.3-2 断面図

2.3.2 システム構成

システム構成を図2.3-3に示す。光計測器は現地から10kmあまり離れた出張所内に設置した。現地の光センサと出張所内の光計測器は、情報ボックスの光ファイバケーブルを介して接続した。なお、従来型機器は現地局舎内のパソコンで制御・処理し、情報ボックスを利用して出張所にデータを伝送した。

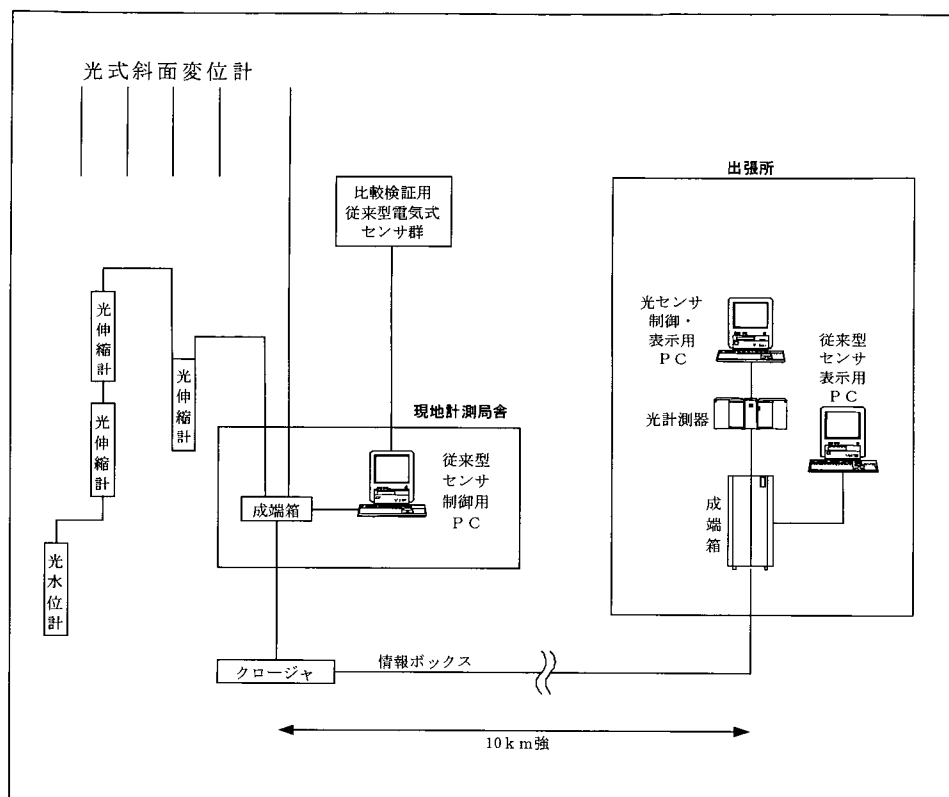


図2.3-3 システム構成図

2.3.3 センサの概要

現地に設置したセンサの概要を以下に示す。

a) 光式地表面伸縮計 (FBG方式)

光式地表面伸縮計の外観および設置状況を写真2.3-2～2.3-3に示す。センサ部分にFBGを用いている。センサ部と支柱（移動杭）を、従来型の伸縮計と同様にインバール線で結び、2点間の距離変化（地盤の相対変位）がFBGのひずみに変換される。なお、インバール線部の設置は従来型と同様、架空式とした。

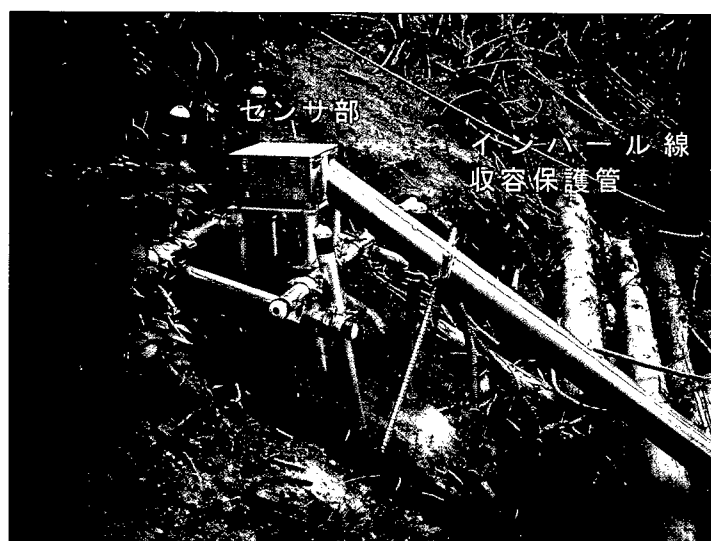


写真2.3-2 光式地表面伸縮計外観

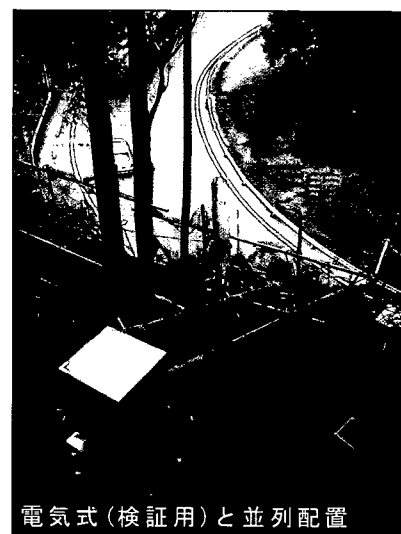


写真2.3-3 設置状況

b) 光式斜面変位計（FBG方式）

地表面伸縮計が特定2ポイント間の変位を計測するポイント型センサであるのに対し、斜面変位計は、連続した区間を計測して異常変位の発生を検知するタイプである。固定杭は5m間隔であり、延長約150mを計測している。写真2.3-4に検知部の外観を示した。なお、配線は写真2.3-5のように地表面布設型とし、設置作業の効率化を図った。

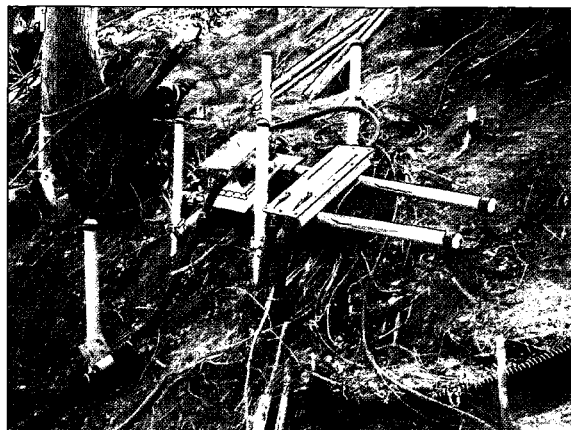


写真2.3-4

光式斜面変位計検知部外観



写真2.3-5

布設状況（地表面布設）

c) 光式水位計（FBG方式）

斜面の地下水位を連続的に計測するため、光式水位計を設置した。写真2.3-6に外観を示す。外径が97mmφであり、ボーリング孔はφ115mmとした。センサの小型化が今後の課題である。なお、計測孔の構造は図2.3-4に示した。

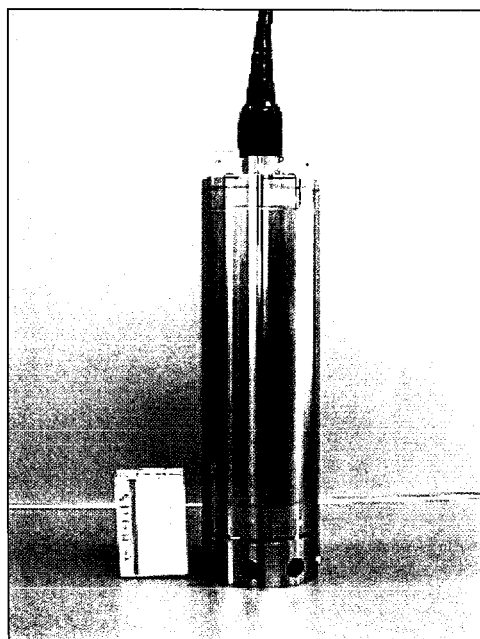


写真2.3-6 光式水位計

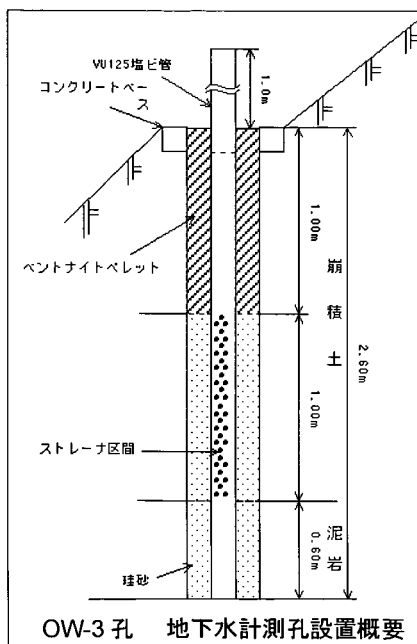


図2.3-4 計測孔構造図

2.3.4 計測装置概要

出張所に設置した主な計測システムを写真2.3-7に示す。

情報管路の成端架から引き込んだ光ファイバケーブルを光計測器（アナライザ）に接続し、制御・表示用のパソコンと併せて計測システムを構成している。



図2.3-7 計測システム
(右が光式用、左は電気式用)

2.3.5 運用状況

平成13年3月末より計測している。以下に、運用状況を整理した。

(1) 計測方法

計測器は、情報管路を介して現地の光ファイバセンサと接続した。10分間隔の連続自動計測を実施している。

計測データを定期的に回収し、手動でデータ分析を行っている。光センサに管理基準値を設定しての警報発信等はない。

(2) 計測期間

光子沢地区では、当初より二ヶ年計画での設置であったが、台風による小崩壊の発生や新規亀裂の発生に対応して、適宜、復旧や増設を行っている。

平成13年3月 第一次設置分設置

平成13年8月 台風被害により一部計器損壊

平成13年8月～10月 被害計器復旧

平成14年3月 第二次設置分設置

平成14年6月 新規亀裂の発生に対応し、増設＋一部計器移設

(3) 主な出来事および対応

① 概要

平成13年 2月 設置作業と前後して、30年来の豪雪。上部斜面で倒木が大量発生し、上部斜面が荒廃。

平成13年 8月 台風時に小崩壊（12立米）が発生。崩壊場所は上記の（次頁詳述）豪雪で荒廃した上部斜面。崩土に巻き込まれ、光式および電気式計器の約半数が計測不能になった。

光ファイバの迂回等で早期復旧可能な計器は直ちに復旧。

～平成13年10月 台風時に損壊した計器も順次復旧。

平成14年 4月 新規の亀裂が発生。

～平成14年 7月 調査、暫定監視強化（光式センサ移設、電気式センサ増設）、対策施工（秋に施工予定だったものを、前年の台風被害を考慮し、梅雨末期前に前倒し施工）。

② 台風11号による小崩壊発生時の経過と対応

平成14年8月21日の台風11号襲来時の状況を、以下に整理した。

日時	峡南国道出張所	状況、雨量
8/21 13:00	監視強化	14時台 雨量17.5mm/h 15時台 雨量35.5mm/h 16時台 雨量53.5mm/h 14時～ ES-2伸縮計 0.05～0.20mm/h 伸び <u>16時50分頃 崩壊(12立米)発生</u> 幅4m、長さ9m、厚さ1m程度 光式斜面変位計1ライン 破壊 光式地表面伸縮計1基 破壊 電気式地表面伸縮計1基 破壊
17:00	計測値の異常を現認 ↓ CCTVで現地状況確認	17時以降 降雨小康状態 (2～17mm/h程度) 計測値も小康状態
18:00	計測値小康を確認	
23:30	雨量による通行規制 開始 監視継続 ↓	
8/22 13:50	状況確認・規制解除	12:00 降雨終了 13:30 連続雨量打ち切り (無降雨2時間経過)
8/23	現地詳細調査	

台風による変状を受けた一連の対応は、以下のとおりであった。

台風襲来前に監視強化体制を敷いた。

↓

異常発生（小崩壊：道路の手前で停止）を検知

（1時間前～2時間前の間に予兆と思われる微小変動有）

↓

ただちにCCTVカメラで路面に土砂が堆積していないことを確認。

その後、雨量による通行規制に入る。

↓

台風後、道路直上の遷急線付近まで不安定土塊が堆積していることを確認。崩壊個所の拡大防止策を含め、応急対策をただちに実施

↓

通信線断線による計測不能個所は、早期に復旧。

機器増殖により監視体制強化（従来型は用地交渉終了後、ただちに増設。光センサは、破壊センサの新規製作、移設による設計変更もあったため、光式水位計用保護管の設置作業完了後に増設・移設を実施。

⇒ 【課題】光センサ設置個所では増設や修復に備え、センサや固定治具、ケーブルを予めストックしておく必要がある。）

↓

翌年度、対策施工（施工時期を秋から5～6月に早める）

2.3.6 計測データ例

(1) 台風時の異常データ

平成13年8月21日の台風11号襲来時に、上部遷急線付近で小崩壊（約12m³）が発生した（崩土は斜面下部で停止した）。

この崩壊は、平成13年2月の30年来の豪雪により斜面上部で倒木が大量に発生し、上部斜面が荒廃して崩壊に至ったものである。当初見込みでは上部遷急線付近の崩壊発生の可能性は相対的に低いものと思われたため、上部遷急線付近に計器を配置しておらず、直接的に崩壊までを計測したデータは得られなかった。しかし、近くに設置してあった光式斜面変位計が崩壊1時間前に異常な変動を捉えた（図2.3-5）。また、崩土到達域で光ケーブルが破断されたため、光式斜面変位計が異常値を示し、検知ワイヤーの断線から、光式地表面伸縮計にも変位がみられた。想定地域外での崩壊について、計測機能は発揮できなかったが、検知機能は発揮された。

(2) センサ設置方法の改善例

微小なひずみを計測するFBGセンサは温度特性が大きく、一部のセンサでは日射の影響によりかなりの日周期変動が見られた。このため、精度向上策として、センサの断熱化（発泡スチロール等の箱で覆う）を図ったところ、図2.3-6に見られるように、精度が1cm程度から2mm程度へと向上

した。

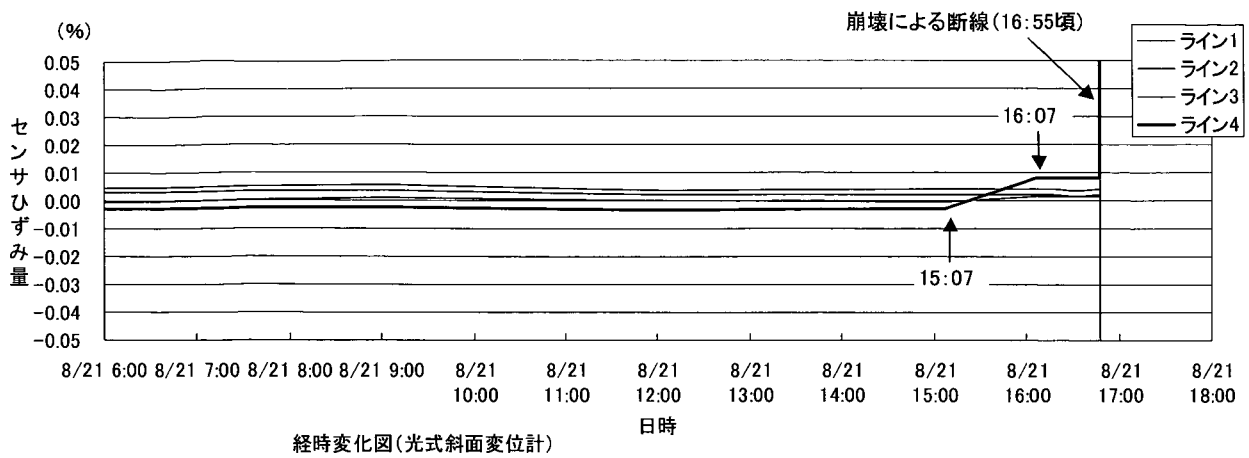


図2.3-5 小崩壊に先立つ異常データと破断による異常値 (光式斜面変位計)

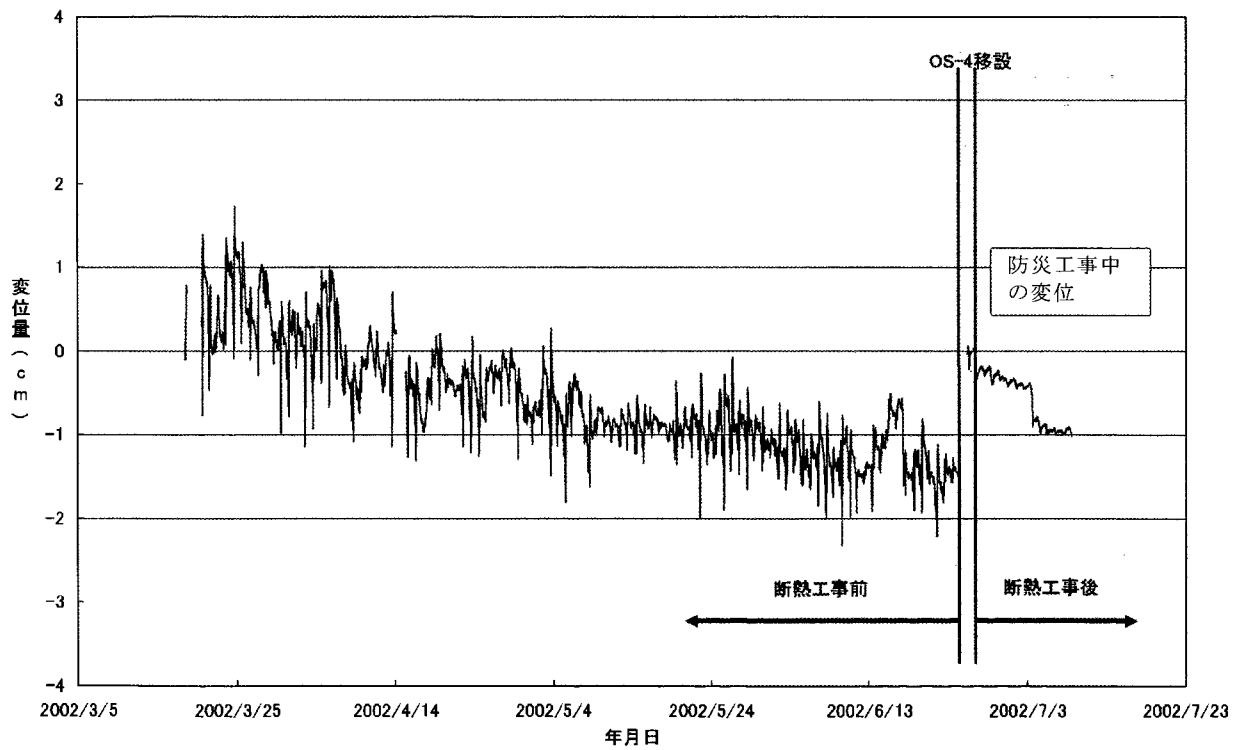


図2.3-6 センサ断熱化による精度向上例

2.3.7 考察

光子沢地区での計測から得られた知見を以下に整理した。

(1) センシング技術に関して

FBGは高精度であるが計測範囲が小さい。このため、土砂地盤の変動を計測するには、計器の変換倍率を大きくする必要がある。今回設置したセンサでは計測範囲を30cmとしており、30cmの地盤変位が0.01mmのFBGの伸縮に変換されている(2nmのFBG波長変化に相当)。このため、センサを固定している台座の温度変化に伴う収縮・膨張による計測誤差が大きかった。改良策として、センサ構造や設置方法で断熱化を図ることにより、±2mm程度の精度を確保できることが確認された。

なお、断熱効果を十分に発揮するには、現状では大きな断熱箱を設置する必要がありコストや施工効率の点で好ましくない。このため、温度変化の影響を少なくするようにセンサ構造を改良することが今後の課題である。

(2) 道路管理への活用について

台風による変状(小崩壊)発生時の経過と対応をもとに、光ファイバセンサの道路管理での活用方を、以下に整理した。

a) 日常管理の支援

① 異常個所の抽出による監視強化

光子沢地区の計測結果では、台風による小崩壊発生に先立ち、崩壊個所の周辺部で異常変動が検出された。崩壊が発生するような状況では広範囲で異常変動が発生し、その一部が局所的に崩壊する可能性がある。このため、崩壊個所のピンポイントにセンサ固定部が無いような場合でも、周辺部の変動として、ある程度、異常の把握ができると推測される。

異常個所が抽出された場合、ポイントを絞って機器を増設して監視強化を図ることが可能である(増殖型機器による計器増設)。

この場合、速やかな増設を求められることが多いが、材料の調達に時間を要する場合があります。運用上の課題である。実運用時には、予め増設や補修用の資材(固定治具、ケーブル、成端箱等)をストックしておくと共に、光スイッチのチャンネル数に余裕を持たせておく等、増殖型への拡張性を考慮したシステム設計とすることが望ましい。

② 道路パトロールや目視点検の支援

今回の小崩壊は斜面内で停止したため、直ちに災害には至らなかったが、気づかずに放置していれば、次の豪雨時に不安定土塊が道路に崩落した可能性がある。

斜面内部での異常は、路面からは観察が困難で発見が遅れがち

であるため、計器による危険個所の監視が、日常の道路パトロール（通常巡回）を支援・補間する機能を有すると考える。

また、目視点検では発見困難な植生内の微小変状も把握可能であり、日常管理の支援となる。

b) 異常気象時／変状発生時の管理支援

① 計測機能による崩壊の予兆把握の可能性

通行規制に本システムを適用するためには、今後の計測実績の蓄積が必要であるが、現段階では注意喚起（監視強化）のための管理基準値を設定することができるものと考えられる（注意喚起は日常変動幅を参考とする）。

② 崩壊発生を検知による異常気象時の管理支援

計測により崩壊の予兆を把握できれば防災管理上最も有効であるが、今回は、結果的に崩壊発生後の検知として機能した。発生検知となった場合でも、CCTVによる路面監視と併せることにより、異常気象時の監視強化に有効と考えられる。

③ 大規模崩壊の予兆であるような小規模崩壊捕捉

今回は幅4m程度の小崩壊を検知しており、大崩壊の予兆として発生するような小崩壊が捕捉可能である。

c) 防災計画の検討支援

当該斜面は対策施工の予定個所であり、施工時期を台風襲来の翌年の秋に計画していたが、梅雨末期の豪雨に備え、翌年5～6月に施工を早めて実施した。

このように、ハード対策の優先度・実施時期の判断に、計測結果を用いることができる。要対策個所が多数ある場合、当面は計測により監視強化を図り、異常変位が見られる個所から対策を実施していくなど、対策整備計画を調整していくことが可能と考える。

また、ソフト対策として、計測による異常個所の抽出により、設備計画（CCTV、道路情報板等）において、防災の観点からの配置検討を、より合理的に行うことが可能となる。

2.4 一般国道42号和歌山県西牟婁郡すさみ町黒崎

2.4.1 現地状況

現地は、砂岩層の切土のり面で、比高は最大50mに及ぶ。昭和50年代に吹付工が施工され、クラック等の変状が見られる。ブリルアン後方散乱光を用い、のり面の表面変位（はらみ出し）や亀裂の開口変位の計測を行っている。

現地の全景を写真2.4-1に、平面図を図2.4-1に、断面図を図2-4.3に示す。
当該のり面では、変状形態として表層の風化帯の崩壊を想定している。

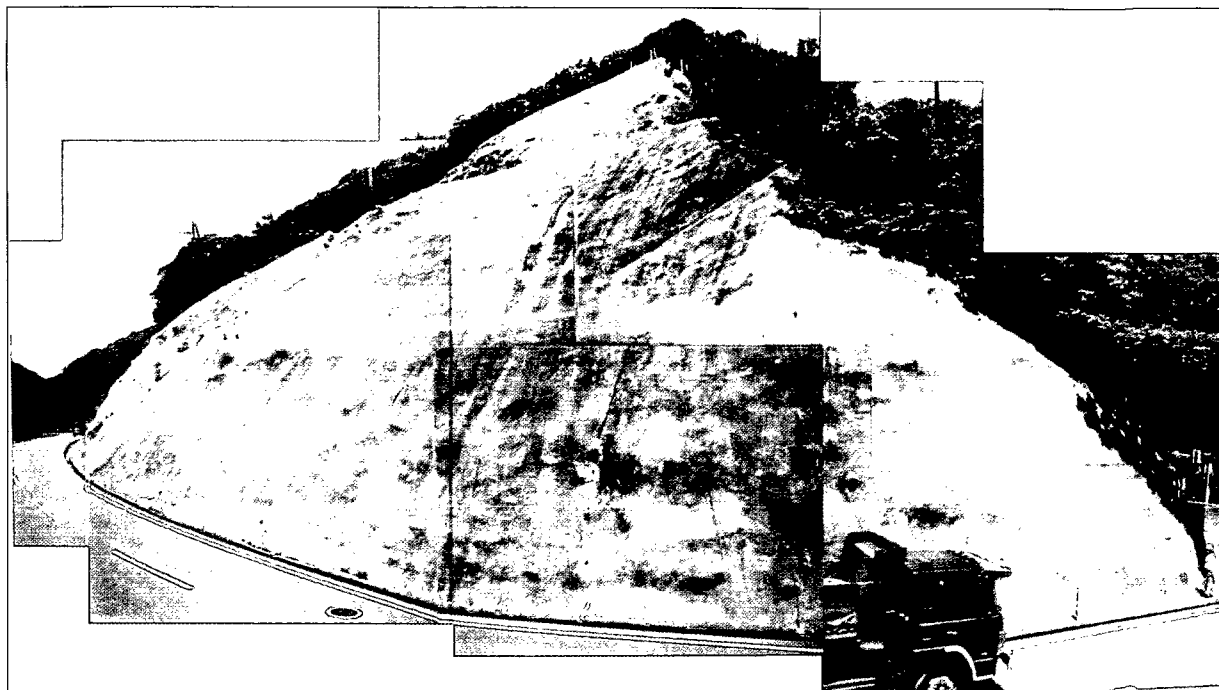


写真2.4-1 現地全景（設置前）

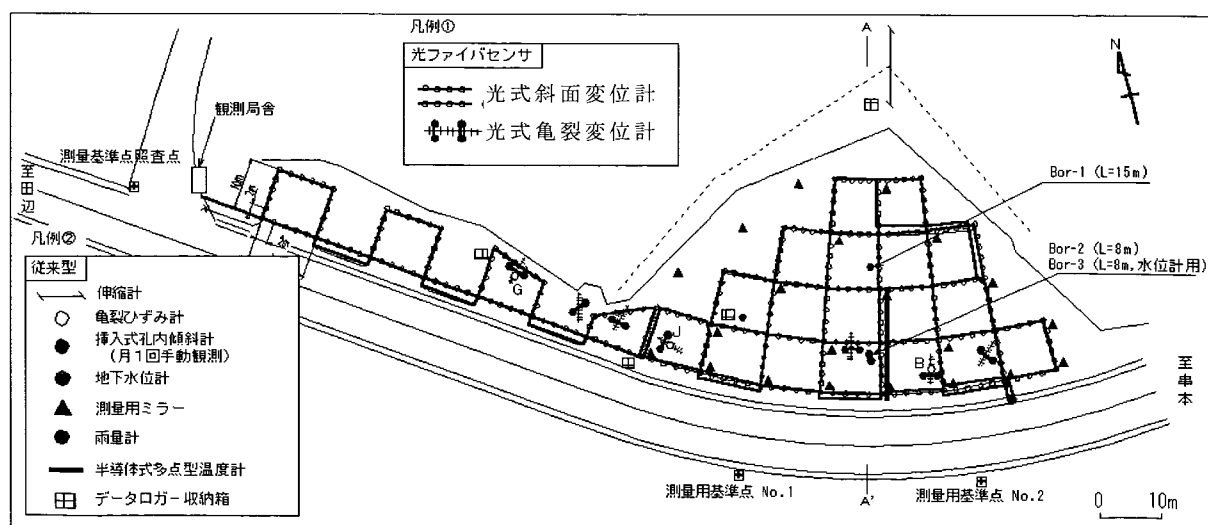


図2.4-1 平面図

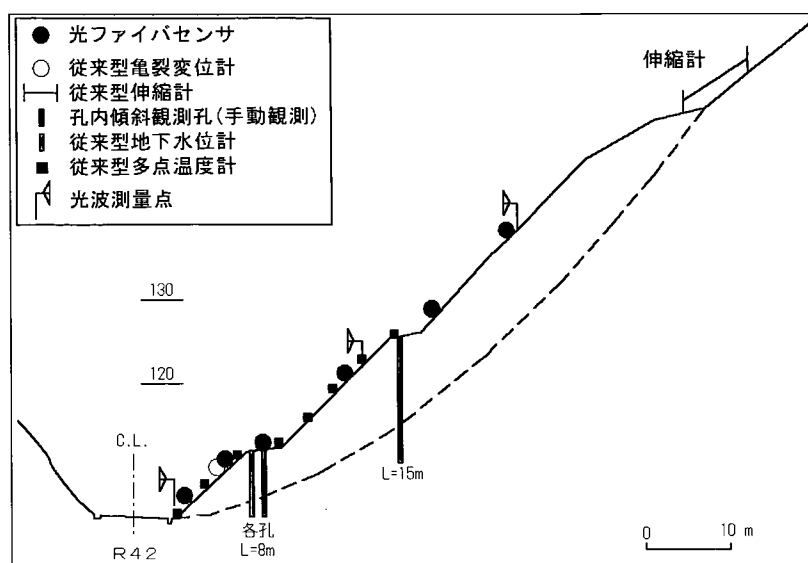


图2.4-2 断面图

2.4.2 システム構成

システム構成を図2.4-3に示す。

のり面表面を面的に計測する光式斜面変位計（のり面上に格子状に配置）と、開口亀裂等の特定部分を計測する光式亀裂変位計を配置した。光式センサは、いずれもB-OTDR方式である。光式斜面変位計と光式亀裂変位計は、センサの配置が異なるのみで、材料や設置方法は同じである。また、光式センサの検証等を行うために、従来型の電気式センサを開口亀裂に設置し、のり面には測量用ミラーを設置して光波測量を実施した。その他、従来型電気式センサで、雨量計や地下水位計、伸縮計（以上は全自動計測）、挿入式孔内傾斜計（手動計測）を行っている。

光計測器は現地に設置した観測局舎内に収容した。

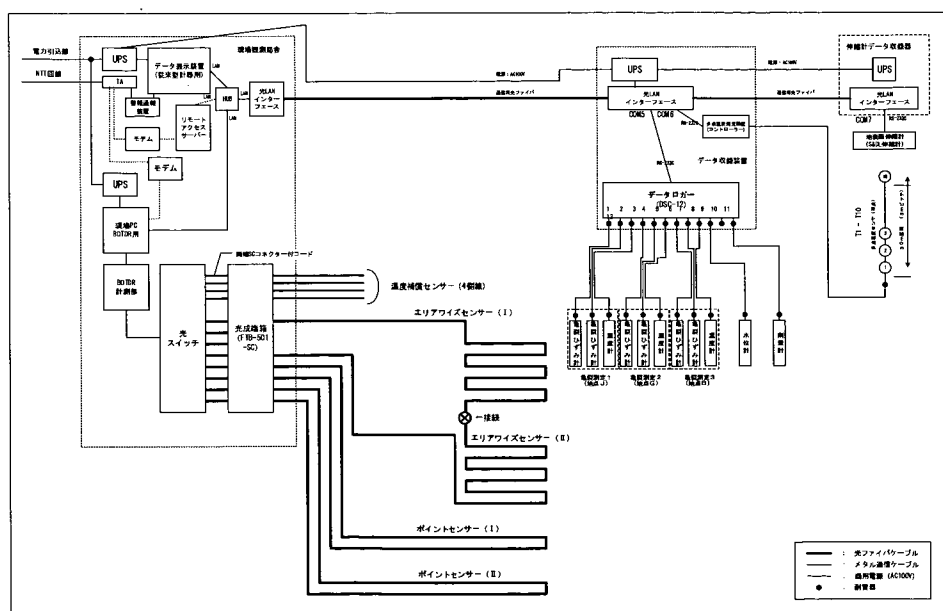


図2.4-3 システム構成

2.4.3 センサの概要

現地に設置したセンサの概要を以下に示す。

設置状況を写真2.4-2に示す。光式斜面変位計では、光ファイバケーブルを10m四方の格子型に配置し、各辺を2m間隔で固定している。このため、基本となる計測スパンは2mである。この2m区間の平均ひずみを計測により求め、変位量に変換している。

固定は、吹付材に削孔してアンカーボルト（ $\phi 10$ 程度）で把持治具を固定した。次にケーブルを固定し、張力をかけて緊張した。

吹付のり面の表面では温度変化が大きく、計測結果に与える温度の影響が懸念されたため、センサケーブルに並行して温度補償用ケーブルを設置し、温度ノイズの相殺を図っている。

設置上の課題として、のり面表面の凹凸が激しい部分では、所定の緊張状態にできないスパンが多数あり、適用上の課題となっている。

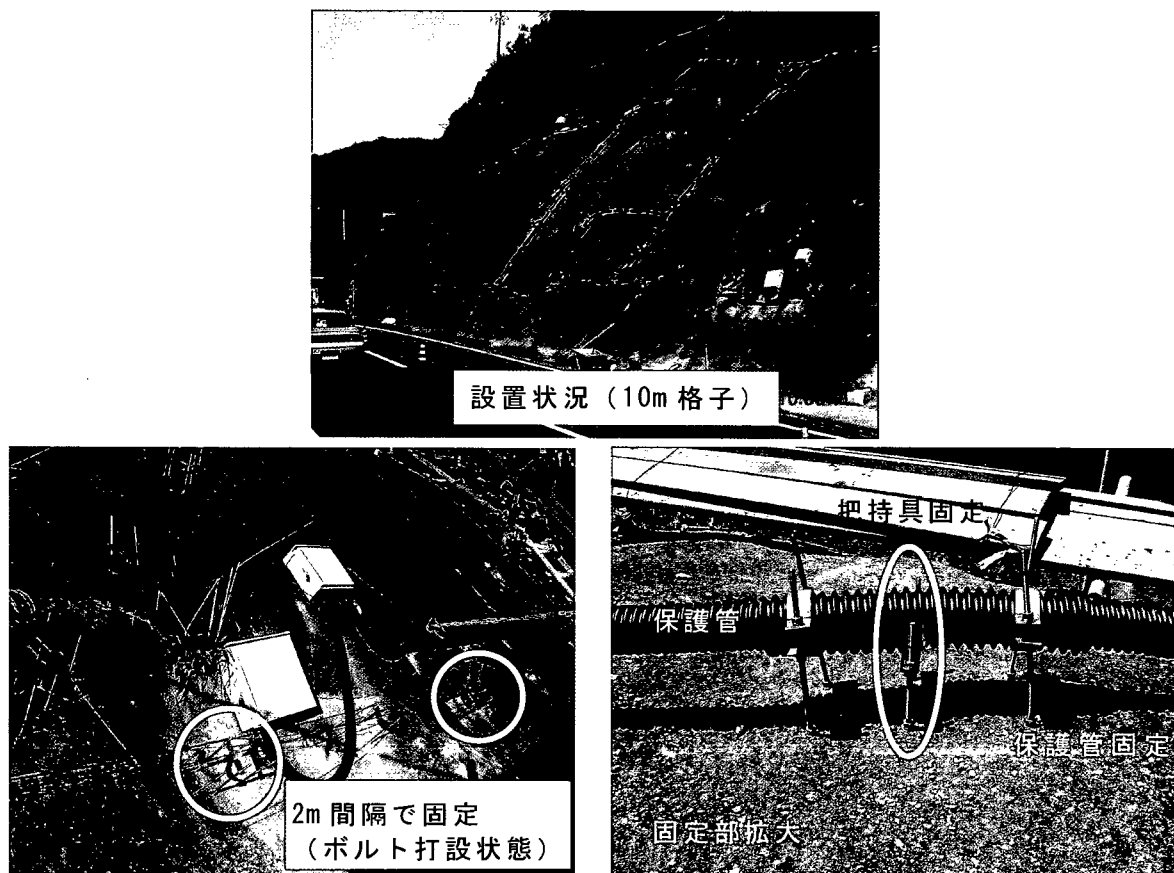


図2.4-2 光式斜面変位計設置状況

開口亀裂をまたいで設置した光式亀裂変位計も、基本構造や設置方法は光式斜面変位計と同一である。

2.4.4 計測装置概要

出張所に設置した主な計測システムを写真2.4-3に示す。

出張所内に光計測器（B-OTDR）や制御・処理パソコンを設置した他、温度補償のためのキャリブレーション用として恒温槽を設置し、ケーブル余長部を収容している。

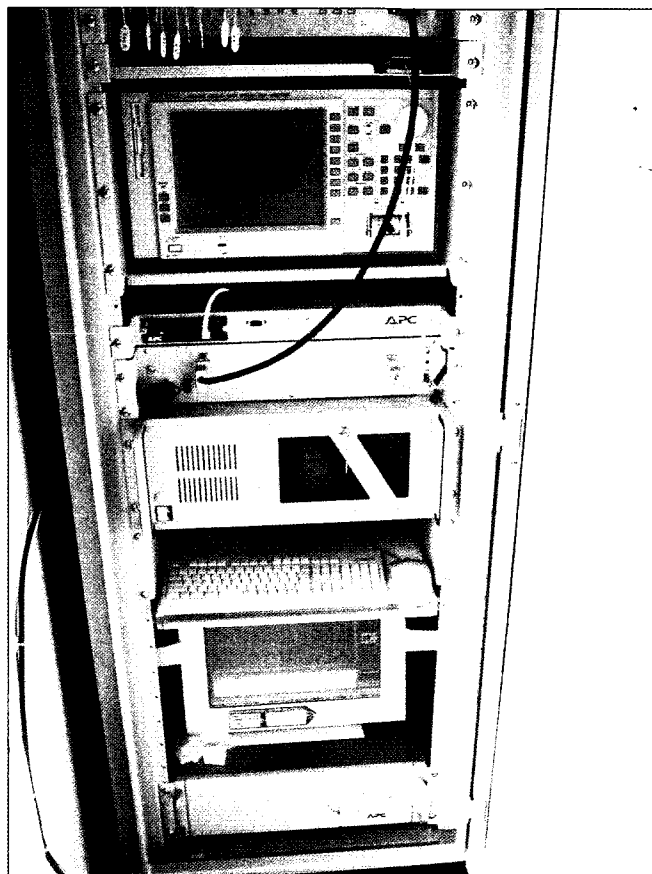


写真2.4-3 計測システム

2.4.5 運用状況

(1) 計測方法

ラインを多数に分割しているため、計測の一巡は2時間となっている。また、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、通常運用時には計測の休止時間を設け、2時間計測したら2時間休止している。このため、通常時は4時間間隔の計測としている。なお、異常時には、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が可能である。

計測データは定期的に回収し、データ分析を行っている。光センサに管理基準値を設定しての警報発信等はない。

(2) 計測期間

黒崎地区では、初年度一ヵ年で全ての計器を設置し、平成13年4月より計測を継続している。

途中、停電等による欠測期間もあったが、現在（平成15年2月現在）まで、2ヵ年弱、計測を継続している。

(3) 主な出来事および対応

当該地区は台風の常襲地区であるため、台風の度に監視強化を図っている。現在のところ、崩壊等の地盤の異常は発生していない。しかし、設置当初は台風時の強風で保護管が外れた個所が数箇所あり、修復と補強を行っている。吹付けのり面等で風当たりの強い個所では、十分な固定が必要である。

また、吹付けのり面は表面温度が夏期には50度近くに上がるなど温度変化が大きく、十分な温度補正を必要とした。このため、計測局舎内に恒温槽を設置してケーブル余長部を収容し、温度一定のケーブル区間を作ることによってキャリブレーションを行った。

2.4.6 計測データ例

全般的に、顕著な変動を示すような異常データは少なく、図2.4-4に示すような経時変化を示すことが多い。ただし、一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2.4-5）。

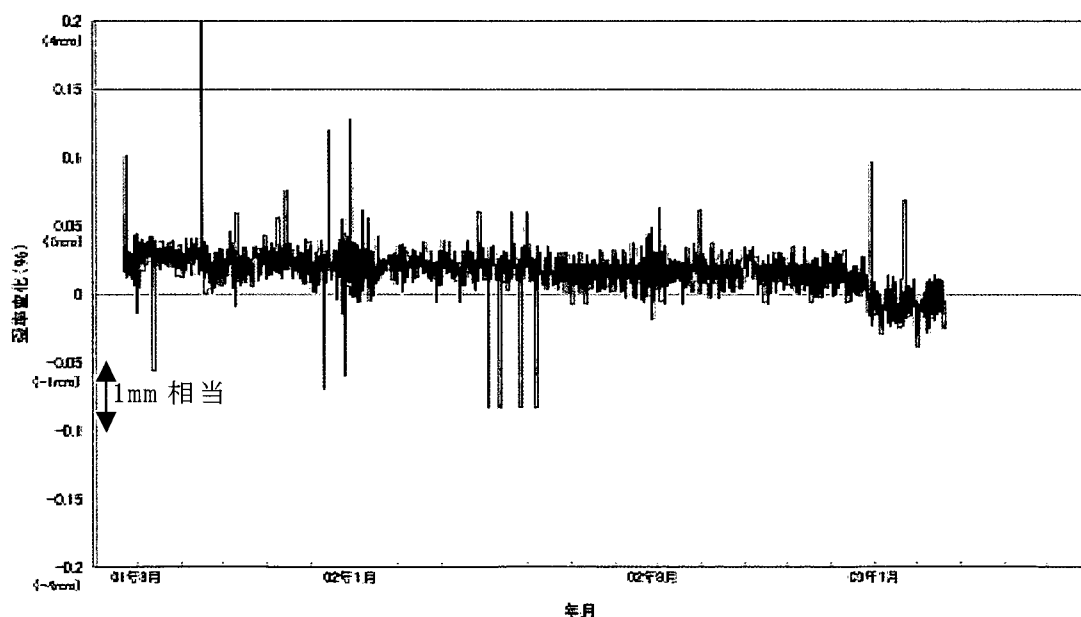


図2.4-4 特に異常な動きが無い例（光式斜面変位計No. 15区間）

図2.4-7を見ると、日常的な誤差の範囲は概ね±0.5mm程度であるが、時々大きなノイズ成分が入り、このノイズ成分は±2mm程度あることが多く、精度は±2mm程度といえる。

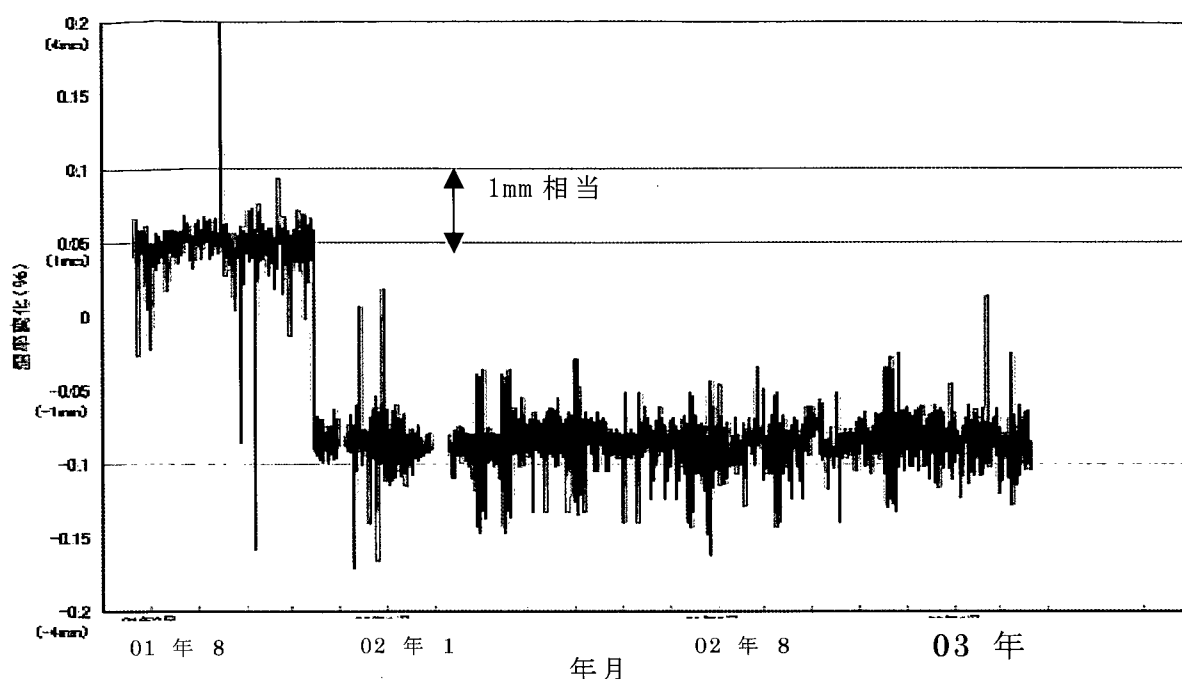


図2.4-5 有意なデータが見られる例（光式斜面変位計No.16-1区間）

図2.4-5では、2001年12月に縮み方向の変位が計測されている。この他、幾つかの区間で、2001年11月～2002年1月にかけて有意と思われる変動を示している。変動時期は降水の少ない冬期であり、降水との関係は認められていない。これらの変動を示している区間の位置と熱赤外線調査による空洞部および湿潤部を図2-4.9に示した。

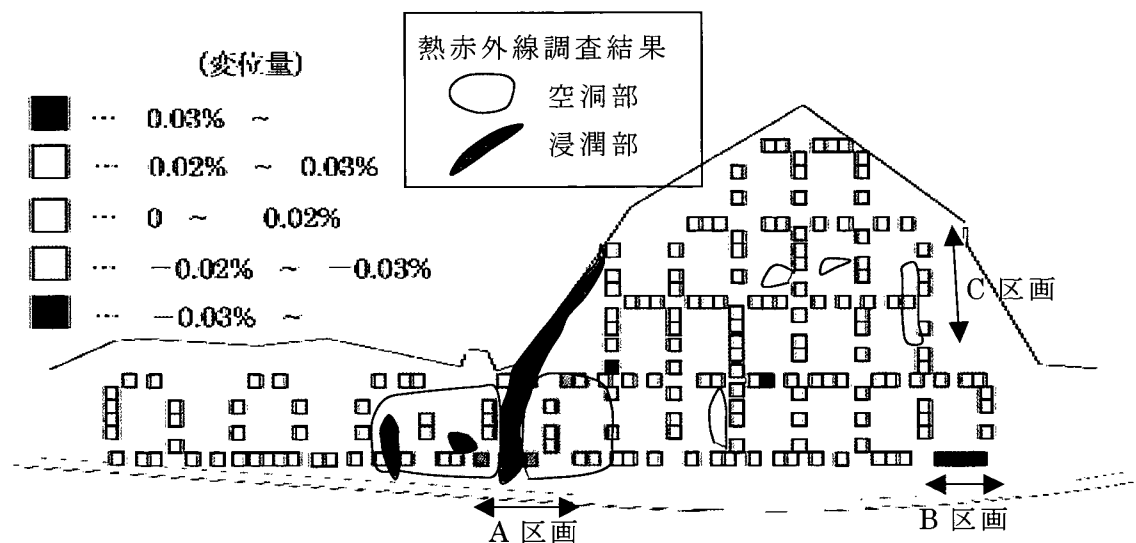


図2.4-6 データ変動が見られる区間の分布図

図2.4-6のA区画では開口亀裂等の変状が著しく、従来型電気式亀裂計でも最大年2mm程度の亀裂開口が確認されている。熱赤外線結果では、ここに空洞部と湿潤部の分布が想定されている。この部分は、地形的には長大のり面の周縁部にあたり、オーバーハングや崩壊跡と思われる凹部も認められる。このため、この区間では地山の変状（背面の表層地山の変位など）

が起っている可能性があり、光ファイバセンサものり面の微小な変位を検出したものと思われる。

下段串本側（向かって右側）のB区画では、光ファイバセンサの変位が顕著に表れているが、空洞等は想定されていない。今後、継続して観察し、状況に応じてコア抜き等で地山状況を確認することが望ましい。

上段串本側のC区画では、下段のB区画ほどではないが光ファイバセンサで変位が確認されている。この部分は、熱赤外線調査の空洞が想定される範囲と概ね一致している。これらの変位は微小なものであるため、今後計測を継続して、変状範囲や規模を検討することが望ましい。

2.4.7 まとめ

光ファイバセンサの基礎性能として、温度変化の激しい構造物表面でも、温度補正を加えた場合には±1mm程度の精度での計測が可能であることが判った。

当該斜面では、目視観察や熱赤外線調査で変状が著しい区間（図2-4.9のA区間）で、光ファイバセンサも変位を検出しており、吹付けのり面の変位計測に適用できる可能性が高まった。しかし、設置上の課題として、凹凸の激しい吹付けのり面では、ケーブルを緊張してセンサとして用いることが困難な区間が少なからずあった。計測計画を検討する際、特に吹付けのり面では、この点に留意が必要である。

当地区では熱赤外線調査を実施しており、吹付けのり面の空洞や湿潤部に光ファイバセンサが検出した変位が認められた。このため、光ファイバセンサの設置に先立ち熱赤外線調査が実施されている場合、この結果を参考にして配置を設計すべきである。

2.5 一般国道28号兵庫県津名郡津名町塩尾

2.5.1 現地状況

計測地点は淡路島の中央部の津名郡津名町塩尾地内である。対象斜面は、一般国道28号沿いの大阪湾に面する東向きの斜面で、規模は幅80m×高さ70m、平均勾配40度ほどの急傾斜地である。

斜面の基盤は花崗岩で、表層には風化岩や被覆土が分布する。平成9年と平成11年に、斜面の上部が幅5～8m、長さ8程度の範囲で崩壊し、土砂が斜面下部の道路擁壁付近まで流下している。

現地の斜面の全景を写真2.5-1と2に示す。また断面図を図2.5-1に示す。



写真2.5-1 現地全景



写真2.5-2 道路と海岸線状況

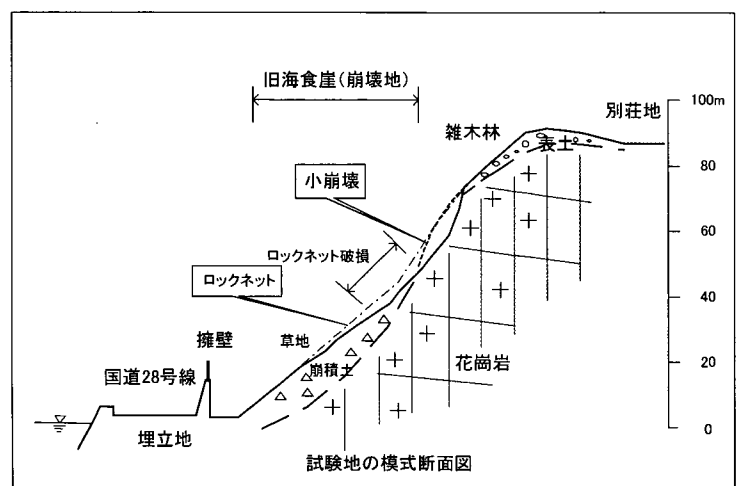


図2.5-1 断面図

2.5.2 システム構成及びセンサ配置

斜面には、光ファイバセンサがジグザグに張られ、全体で58区間の光式斜面変位計を設置し、300mほど離れた計測局舎でB-OTDRを用いて自動計測している。

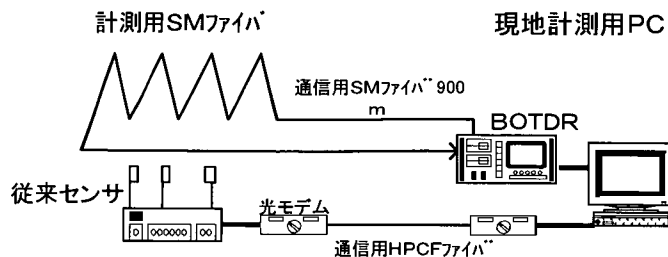


図2.5-2 システム構成

センサの概略配置を図2.5-3に示す。

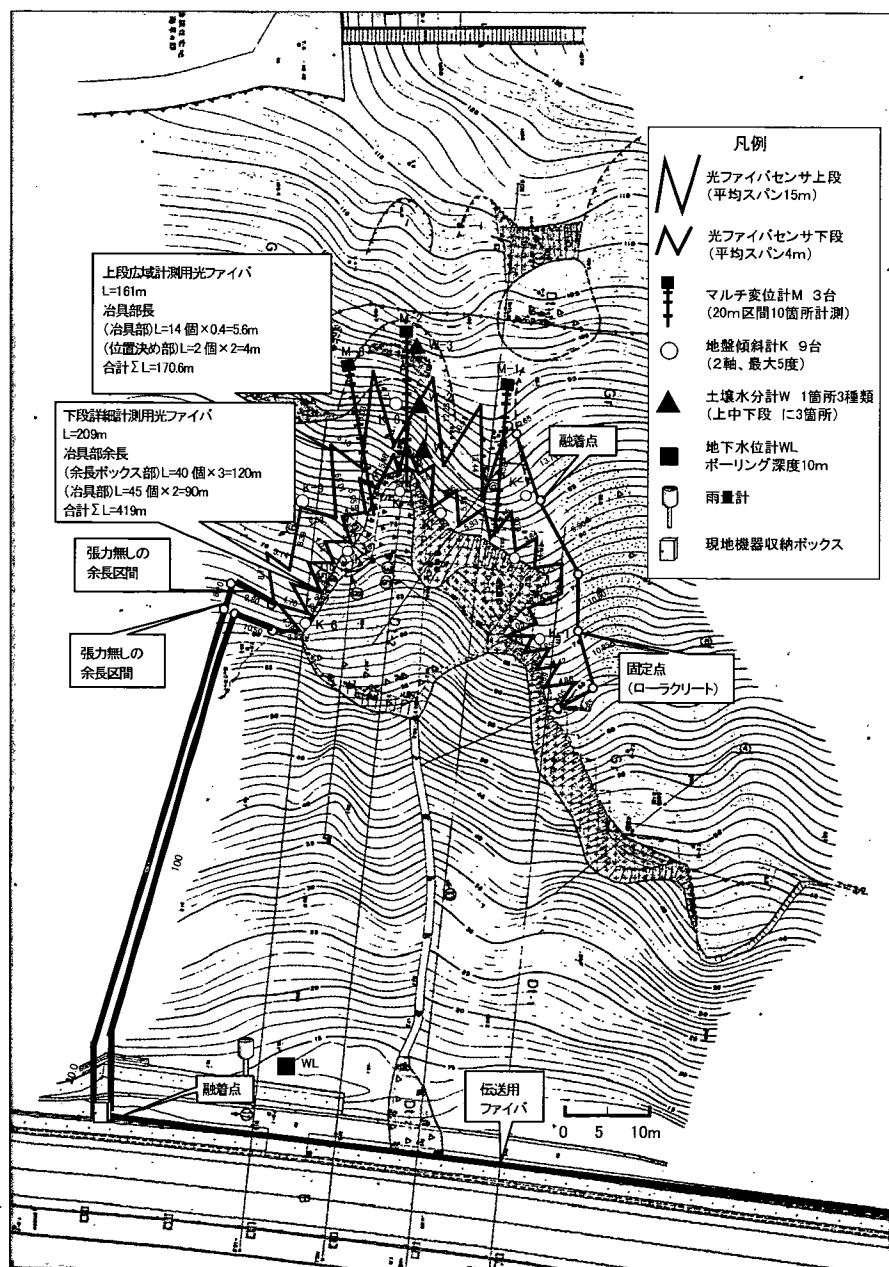


図2.5-3 センサ配置

2.5.3 センサの概要

光ファイバセンサは上下2段に設置されている。下段は2～4mに比較的短い区間で、ファイバを巻き付け型の固定治具で張っている。上段は、6～18mの長い区間を計測しており、固定には挟み付け型の治具を使用している。

表2.5-1 設置した光ファイバセンサの基本性能

項目	諸元	数量・性能	備考
センサ数量	ひずみ計測区間	58区間	累計327m
	ひずみ計測区間長	2～183m	平均区間長5.64m
基本性能	位置特定分解能	0.5m	1mが標準
	ひずみ計測精度	0.01%	初期張力0.1%前後
	計測距離レンジ	2km	(10～20km可能)
自動計測	計測間隔	1時間毎	計測所要時間＝15分

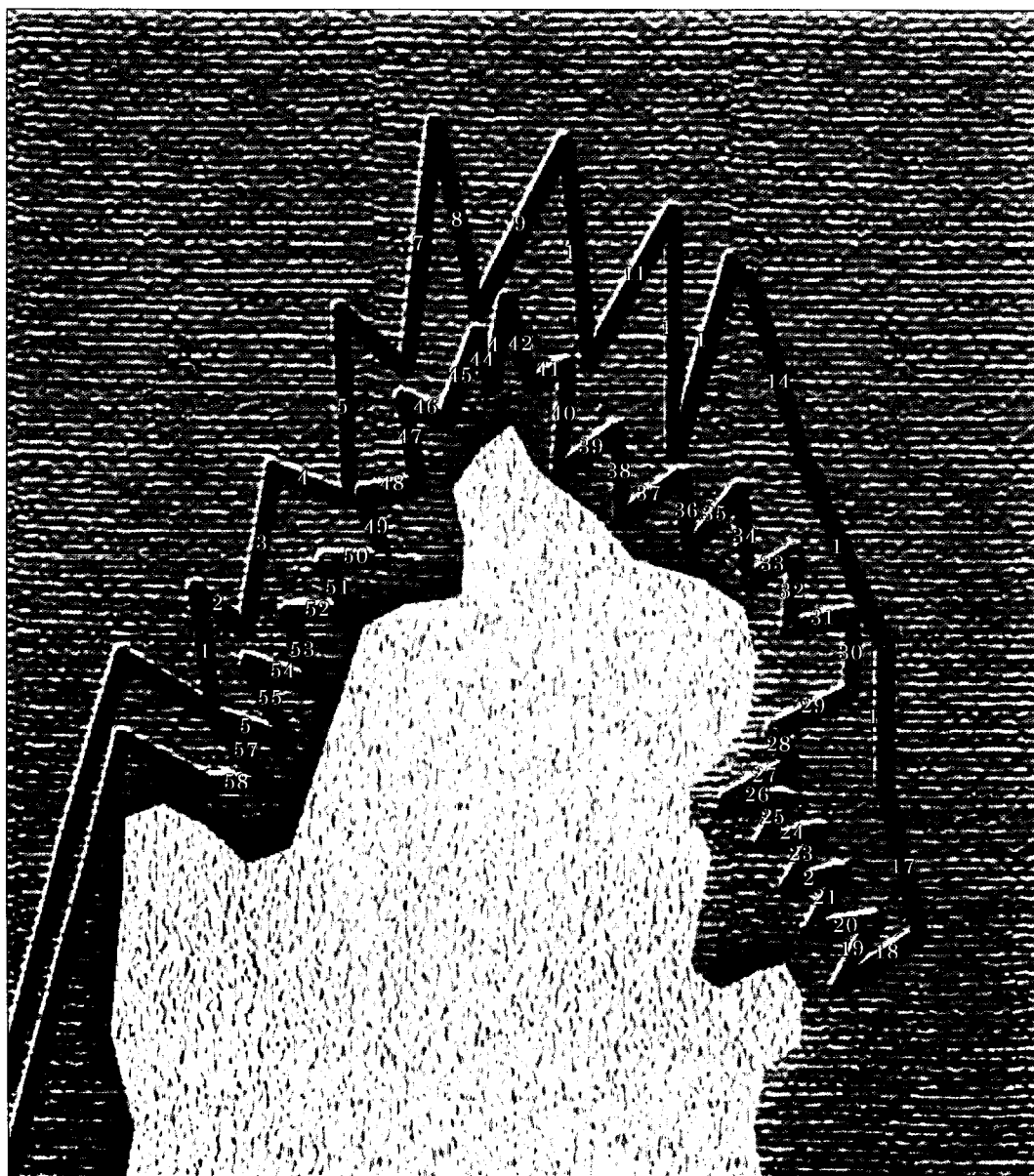
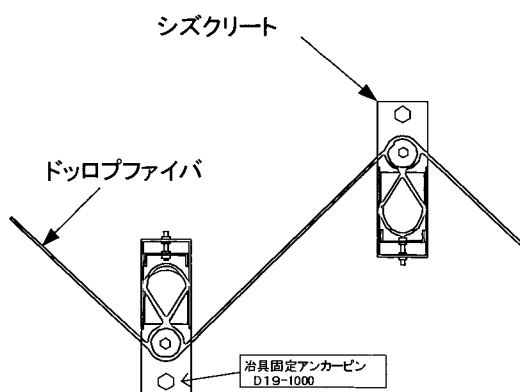
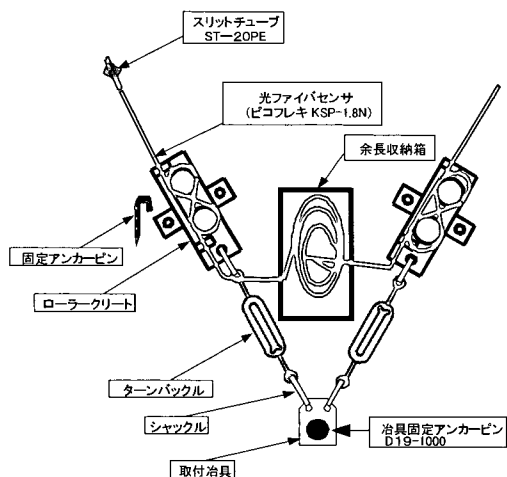


図 2.5-4 光ファイバセンサの計測区間とファイバ敷設状況



シズクリート方式（挟み付け固定、区間長6～18m）

図2.5-5 挟み付け固定によるファイバセンサの布設



下段：ローラークリート方式（巻き付け固定、区間長2～4m）

図2.5-6 巻き付け固定によるファイバセンサの布設

2.5.4 計測装置概要

計測局舎に設置した主な計測システムの状況を写真2.5-3に示す。主な計測器はB-OTDRと自動計測用パソコンである。

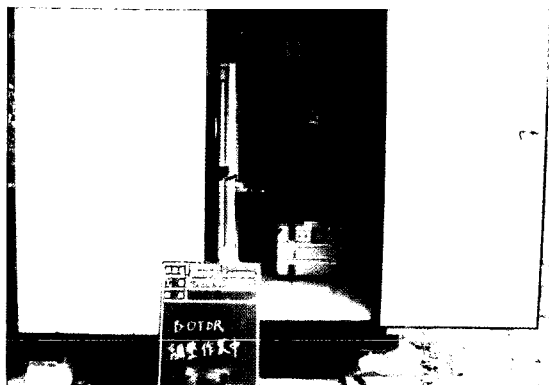


写真2.5-3 計測システム（外観と内部計器）

2.5.5 運用状況

計測施設は平成13年5月に設置され、現在まで約2年間、1時間に1回の自動計測を続けている。蓄積されたデータは、携帯電話の回線により、1日1回のペースで現地から吸い上げている。現地の監視画面を図2.1-7に示す。現状は計測と定期的なデータ分析のみを行っており、管理基準値を設定しての警報発信等を行っていない。

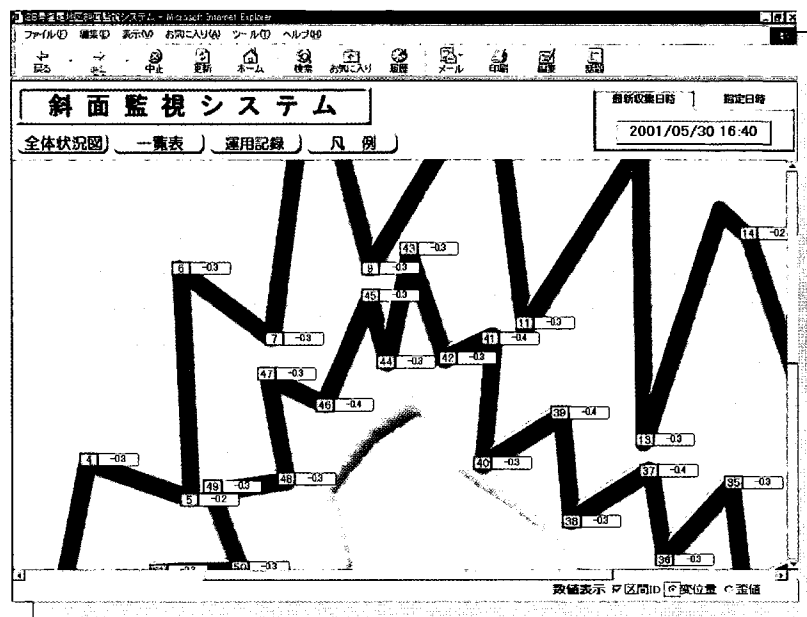


図2.5-7 監視画面

2.5.6 計測データ例

今回の計測期間中に斜面内で地盤の変状を捉えたような変化は無かったが、気温や機器の計測条件に依存する変動が見られた。図2.5-8は気温とひずみ量変化の相関関係の一例である。この例では、

- (1) 温度上昇に対して、ひずみ量が増加 (+0.003%/℃) する傾向にある。
- (2) 温度変化以外の、ひずみ量のばらつきも±0.03%程度ある。

温度の影響は、光ファイバ以外にも、固定治具などの熱膨張にも関係していると思われ、場所によって特性は異なる。

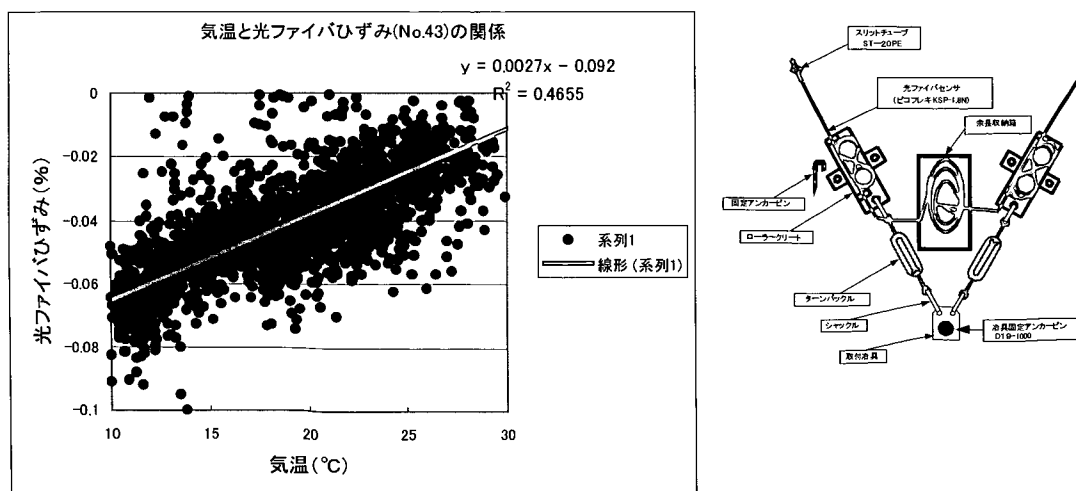


図2.5-8 光ファイバセンサの気温とひずみの関係例（下段、No.43）

光ファイバセンサの計測データの一例を図2.5-9に示す。光ファイバセンサのひずみ計測データに、温度変化に関係すると思われる月単位や日単位の変化が生じている。また、温度変化以外にも、単発的な計測誤差がある。これらの計測誤差は、計測器の性能向上によって最近改善されつつあるが、データの解析上注意を要する。

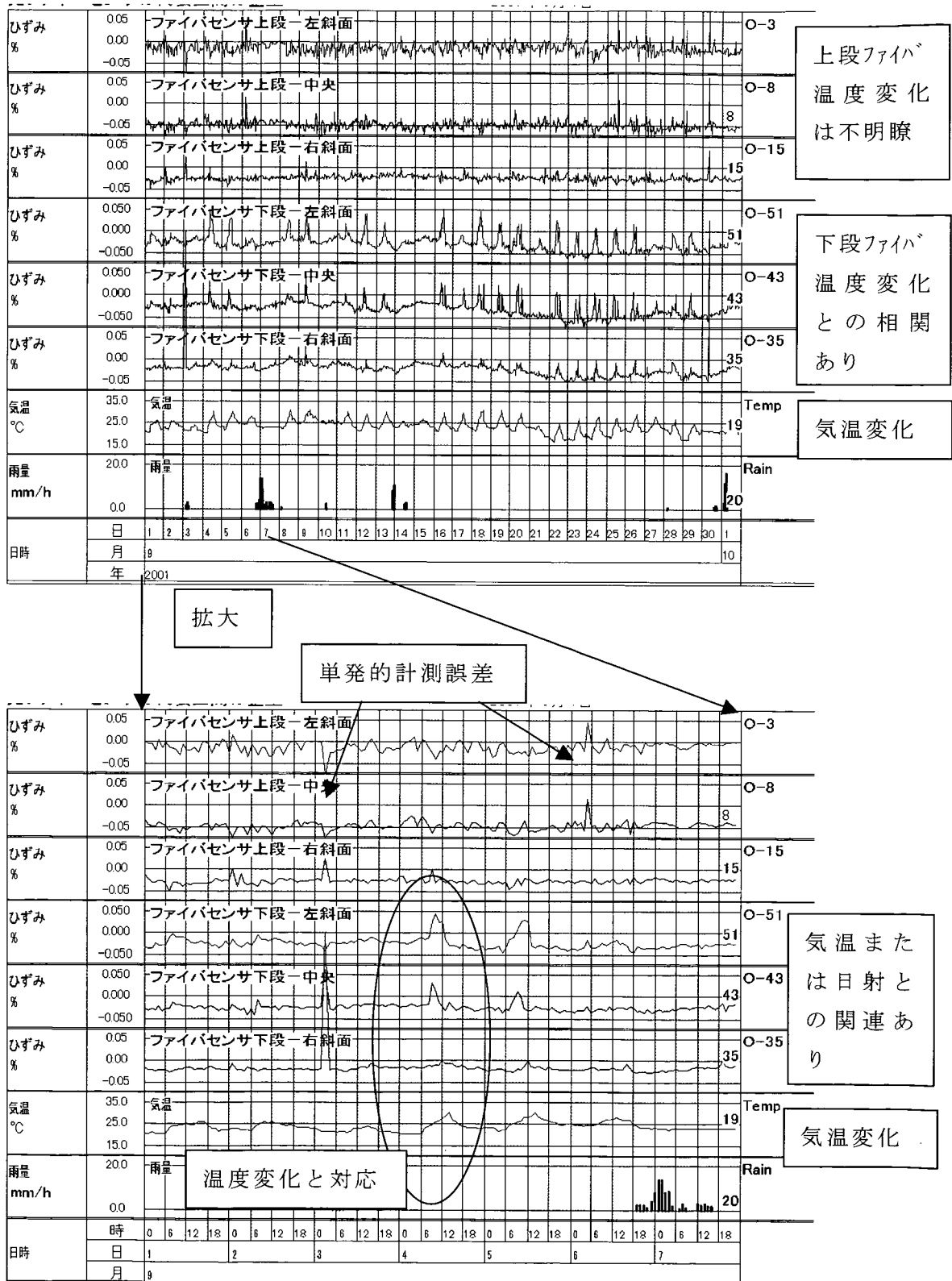


図2.5-9 計測データ例（計測区間58のうち代表的な6区間）

2.5.7 考察

約2年間の計測期間の間に、地盤の変状や斜面崩壊が発生しなかったため、斜面崩壊に対する監視能力の直接的な評価はできていないが、光ファイバセンサの基本的な計測性能と、野外における耐久性に関し多くのデータが得られた。

(1) 光ファイバセンサの基本性能

光ファイバセンサと計測器のB-OTDRは表2.5-2に示す基本性能を有する。一般的な室内試験の性能としては、ひずみ計測精度は0.01%である。

表2.5-2 今回設置した光ファイバセンサの基本性能

項目	諸元	性能	備考
基本性能	位置特定分解能	0.5m	長距離計測の場合1mが標準
	ひずみ分解能	0.0001%	初期張力0.1%以内
	ひずみ計測精度	0.01%	
	計測距離レンジ	2km	(10～20km可能)
自動計測	計測間隔	1時間毎	計測所要時間＝15分

(2) 光ファイバセンサの実斜面における精度と誤差

実際のフィールドにおいては、温度変化、冶具の緩み、風雪などの要因により、計測精度が低下する。今回の計測では光ファイバセンサについて次の誤差が生じた。

- 1) 温度変化の影響：気温の日変化で±0.03%程度のひずみ相当変化発生。
- 2) 長期的な変動：温度他の要素で±0.06%程度の変動が生ずる。
- 3) 単発的な計測誤差：計測タイミングで±0.1～0.3%の誤差が単発的に発生。

表2.5-3 光ファイバセンサにおけるひずみと変位（伸縮）量の誤差

誤差要因	ひずみ誤差	ひずみ誤差の区間変位量(伸縮)への換算値 ※1		
		5m区間	10m区間	15m区間
温度変化の影響	±0.03%	1.5 mm	3.0 mm	4.5 mm
長期的な変動	±0.06%	3.0 mm	6.0 mm	9.0 mm
単発的な誤差	±0.2%程度	10.0 mm	20.0 mm	30.0 mm

※1 区間変位量(mm)＝区間長(m)×ひずみ変化量(%)×10

以上まとめると、実斜面における光ファイバセンサの精度は、単発的な誤差を除き以下の通りである。なお、単発的な計測誤差については、今後の計測器や計測ソフトの改良で、小さくすることが可能であろう。

<実斜面における光ファイバセンサの精度>

- ・ 光ファイバのひずみ計測精度：0.03～0.06%
- ・ 変位量換算の計測精度：5～10mm（区間長5～15m）
- ・ 変位量の計測可能範囲：100～300mm(5～10m区間、ひずみ3%上限の場合)

(3) 従来型センサとの対比

今回、併設された伸縮計や傾斜計などの従来型センサと比較して次の特徴がある。

- 1) 光ファイバセンサは、地盤傾斜計、伸縮計、変位計に比べると、微小変化の検出能力は1桁ほど劣る。
- 2) ただし、従来型計器は計測範囲が点（傾斜計）、線（伸縮計、多点変位計）であるのに対し、光ファイバセンサは、ある程度広範囲の面的な計測ができる。
- 3) 光ファイバセンサを地表または地中に布設した場合、空中にワイヤーを張った伸縮計より断線や倒木、獣害の障害が少ない。

(4) 光ファイバセンサの斜面監視への適応性

光ファイバセンサ自体のひずみ計測精度は0.01% (5m区間で0.5mmの変位)であるが、実際の斜面に設置した場合の場合、多くの誤差要因があり、総合的な誤差は、10mの計測区間に対し、変位量で5～10mmである。一方、光ファイバセンサは、数10kmの区間を、まとめて計測できるため、狭い範囲の高精度を目指すより、広い範囲を計測し、危険箇所を抽出するような用途に適すると考えられる。

今回は、1斜面で伝送部も含め、約1km区間の計測データを取得しているが、計測器の性能からすれば、同様な斜面10箇所程度をまとめて計測することが可能であるため、広域連続区間の監視などに有効であろう。

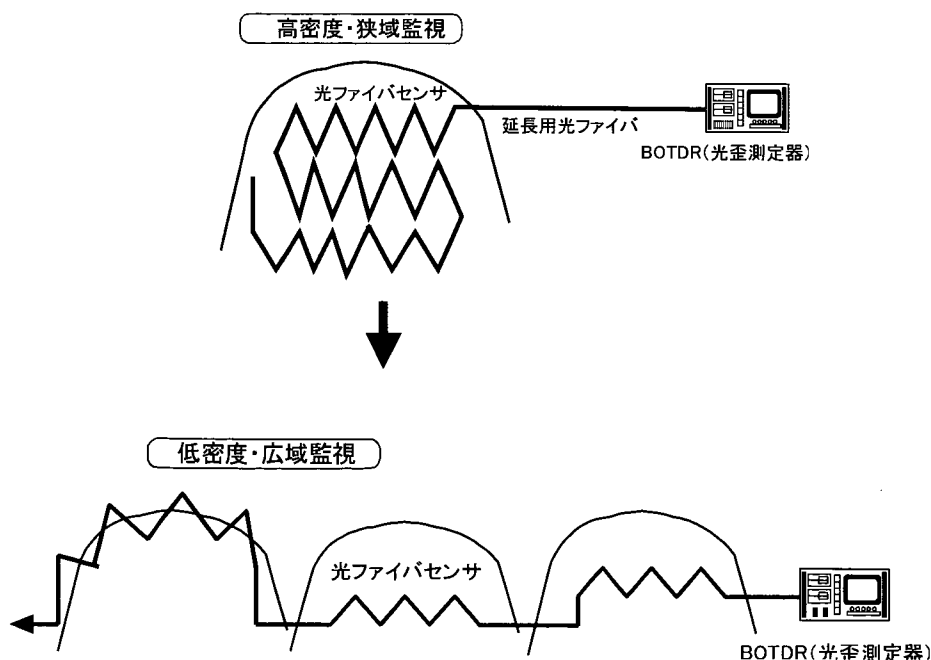


図2.5-10 光ファイバによる広域監視の概念

2.6 一般国道220号宮崎県日南市^{オウサ}鶯巣地区

2.6.1 現 地 状 況

一般国道220号の宮崎市折生迫～日南市風田間（延長約32km）は、異常気象時の事前通行規制区間であり、防災管理上の監視・計測体制の強化を図ることが課題となっている路線である。

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側斜面である。宮崎側の東斜面は地層の傾斜に支配された緩斜面であるが、南側斜面は急峻になっており、明瞭な沢の発達はない。

この斜面は、災害履歴としては昭和57年7月に距離標27K080M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27K000M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、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尾根部砂岩崖と平均斜面勾配40°程度の表層斜面を対象にMDM及びB-OTDR方式で実施した。



写真2.6-1 現地全景

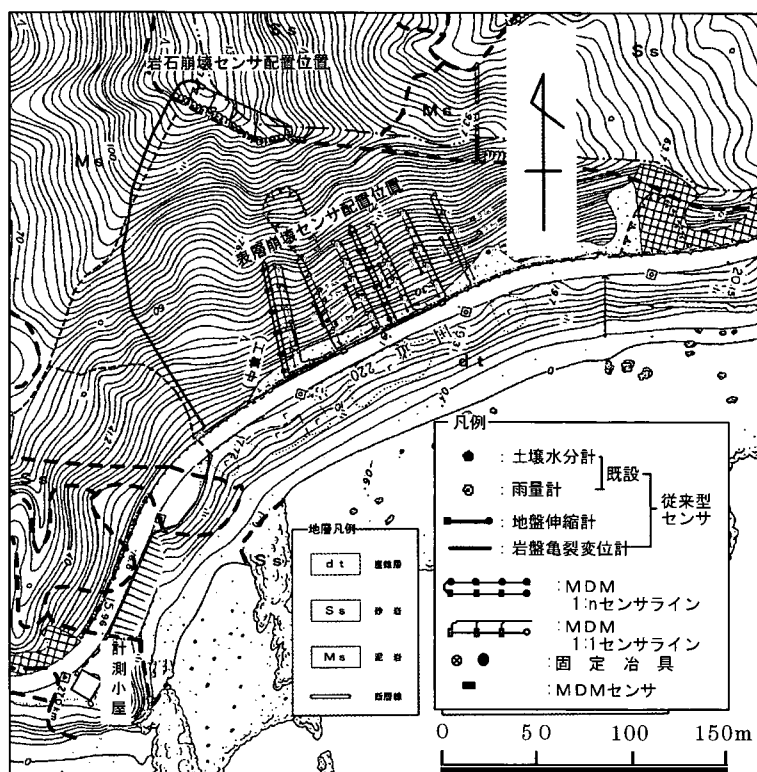


図2.6-1 平面図

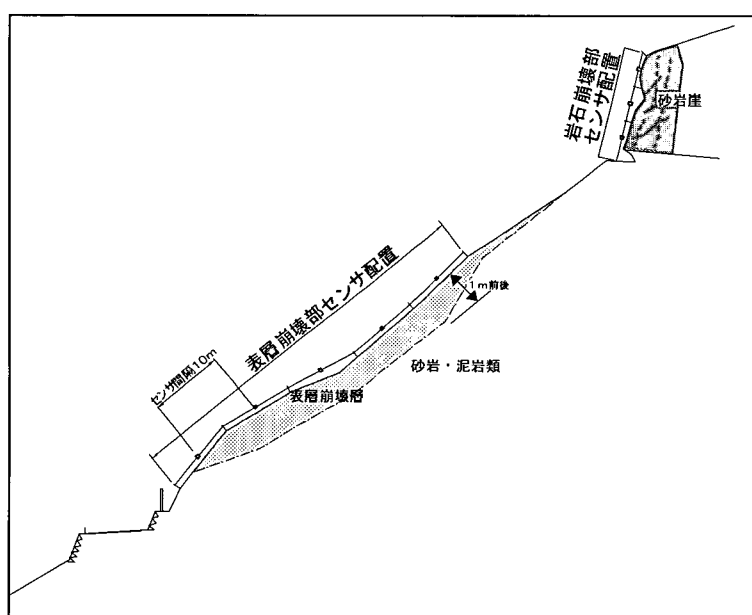


図2.6-2 断面図

2.6.2 MDM地盤伸縮計の概要とセンサ配置

現地に設置した光ファイバセンサのうちMDM地盤伸縮計は当該斜面しか事例がないため、その外観を写真2.6-2に示し、設置概要を図2.6-3に示す。

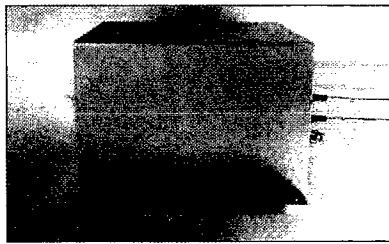


写真2.6-2 MDM地盤伸縮計外観

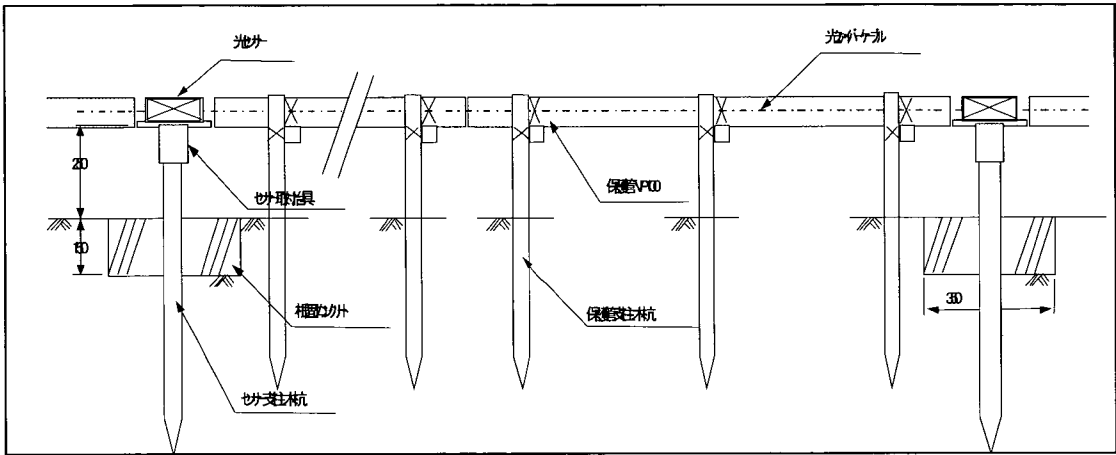


図2.6-3 設置概要図

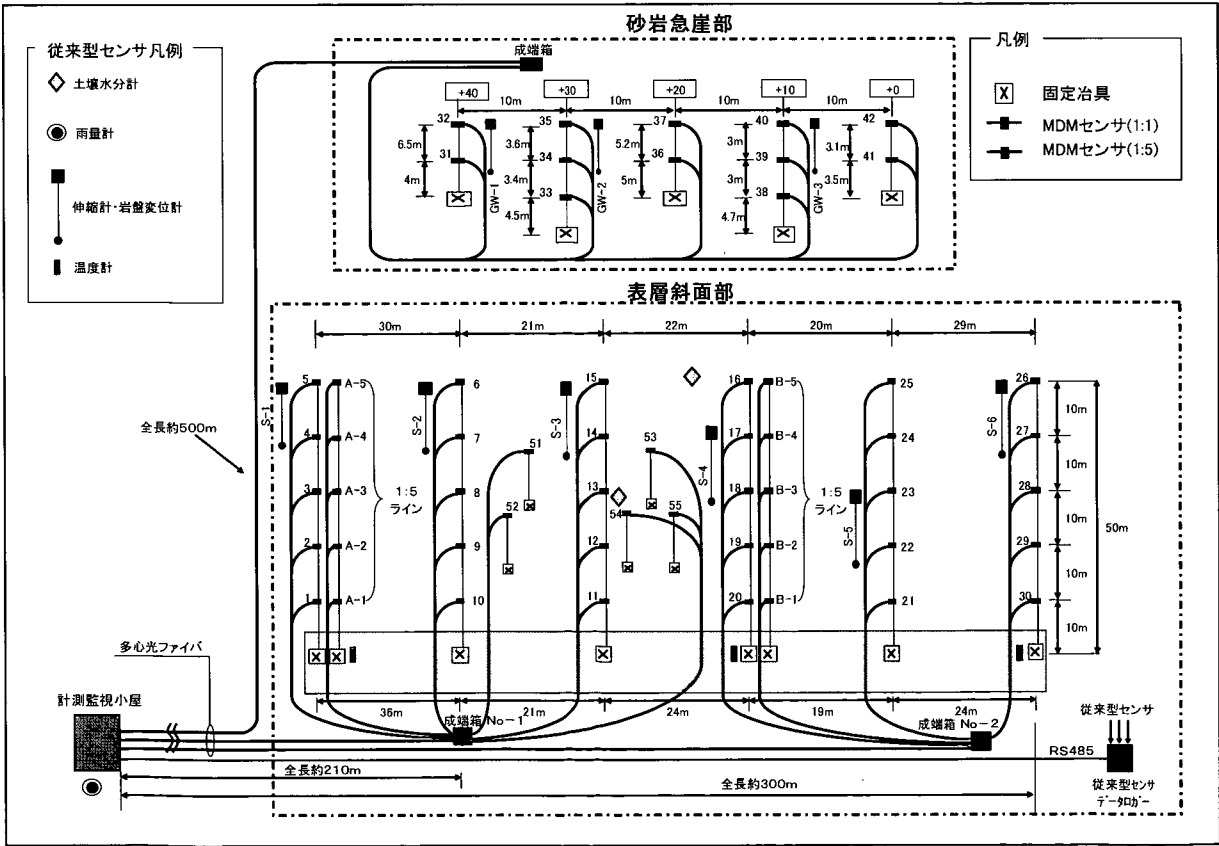


図2.6-4 センサ配置図

MDMセンサ(1:1)は、個別センサでセンサ1点毎に変位計測を行う。MDMセンサ(1:5)は、ラインセンサでセンサ5点を一括で計測するシステムである。

設置完成は写真2.6-3のようになり、従来型のセンサと同じである。

なお、写真2.6-4は保護管に波状電線管を用いて、地形なりに布設した状況である。

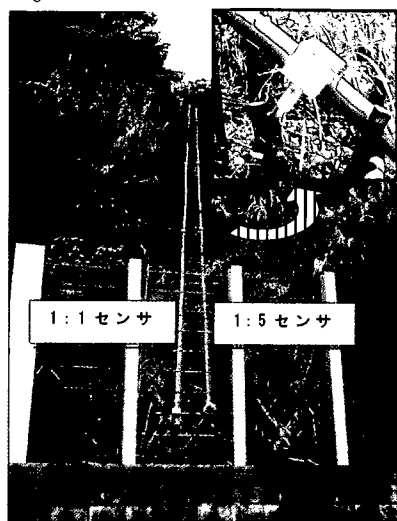


写真2.6-3 センサ設置完成



写真2.6-4 センサ設置完成

2.6.3 計測装置概要

計測小屋に設置した計測システムは写真2.6-5に示す。

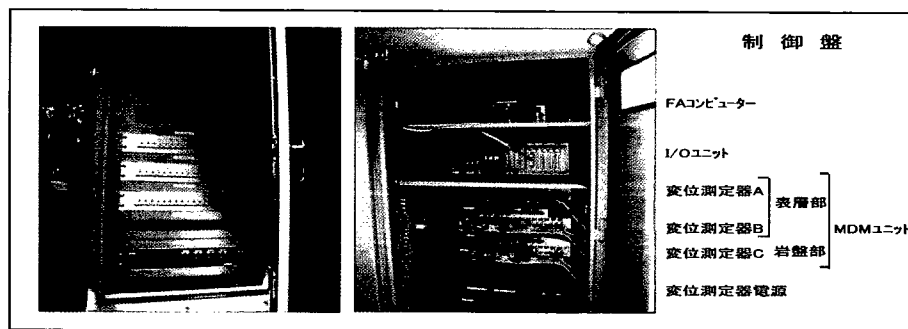


写真2.6-5 計測システム

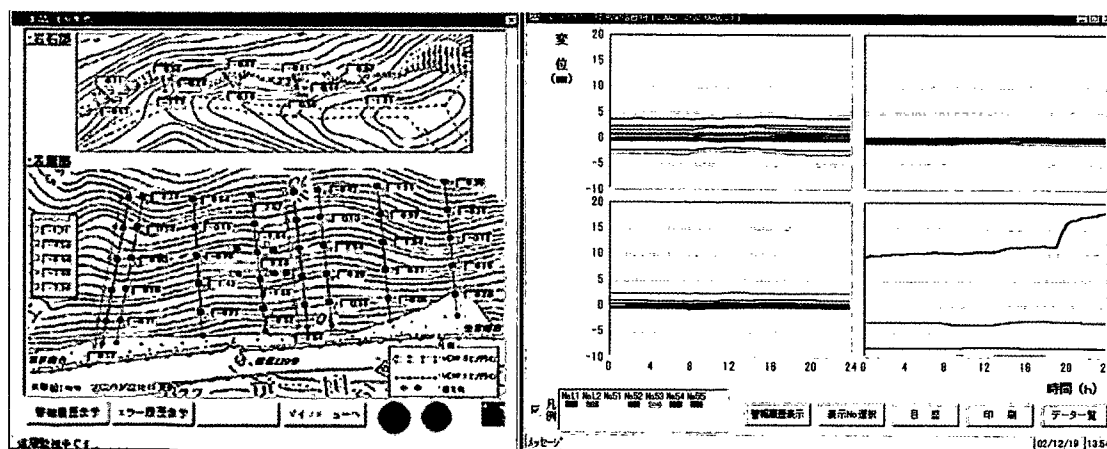


図2.6-5 監視画面

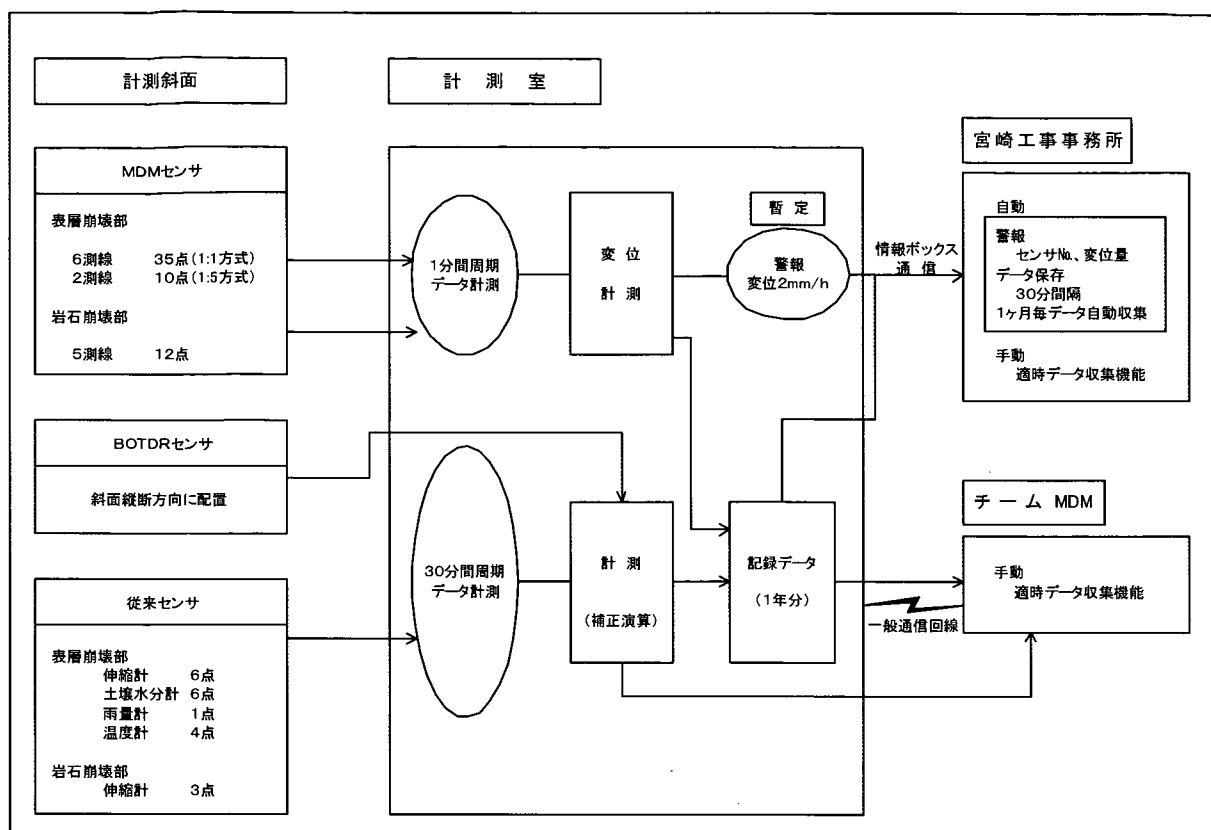


図2.6-6 システム構成図

計測データは情報ボックスを使用して宮崎工事事務所で自動計測を行っている。監視画面を図2.6-5に示すが、平面図にセンサ位置と変位量を示している。また、変位グラフは日グラフを標準とし、任意に設定が可能としている。

2.6.4 運用状況

計測は平成13年4月より開始した。以下に運用状況を示す。

(1) 計測方法

当サイトではB-OTDR方式とMDM方式の2タイプによる計測を行っている。

MDM方式は計測当初より計測を行い、宮崎工事事務所で、その特長である1分間隔のモニタリングを行っている。なお、データの保存は30分間隔で設定している。

B-OTDR方式は平成14年後半から低密度計測を視野にいれ、センサ間隔を5m、計測間隔を4時間として計測を行っている。なお、計測値は受託側のみの取得で、計測値の分析を行っている。

(2) 計測期間

計測期間での主な内容を示す。

年月日		調査内容・モニタリング運用状況
平成12年	11月～ 3月	センサ設置。モニタリングシステムの暫定版までを完成させる。(伝送形態：専用回線)
平成13年	4月	モニタリング開始
	6月22日	梅雨末期の豪雨で3測線崩壊 MDMで崩壊検知(警報発令)
	6月末	3測線の修復作業
	7月 3日	岩石急崖部のMDMNo.36で落石検知
	7月19日	人的要因で伝送ケーブル切断 モニタリング復旧(7/21)
	10月21日	台風21号で4測線崩壊 MDMで崩壊検知(警報発令)
	10月末	4測線の修復作業
	10月～11月	3・4測線間での簡易貫入試験等の詳細調査
	12月	土壌水分計データ不要で回収。センサのキャリブレーション。雨量計再設置
	2月	伝送を光ファイバ(情報ボックス)に変更
平成14年	6月	3・4測線間にMDMセンサ(個別センサ)を設置 詳細モニタリングを追加。土壌水分計の再設置
	6月29日	1測線で変位検出
	7月 5日	個別センサNo.55で変位検出(警報発令)
	10月	B-OTDR設置(低密度一括型)
	11月8日	B-OTDRモニタリング開始 ただし、データ取得は受託側のみ
	2月14日	管理基準値を変位量から「変位量+MDMセンサ数」に変更および管理者の携帯電話への通知をシステムに追加
※ 崩壊および変位検知時は警報が発令されている。ただし、崩壊規模が小さいことやセンサ1個の変位であり道路災害までに至っていない。 ※ 管理基準値(警報発令)は当初1センサで2mm/時間(暫定値)としていたが、警報発令状況および崩壊規模・既設防災工を考慮し、3センサが同時刻に2mm/時間変位で設定する。		

(3) 崩壊発生での現地対応

1) 崩壊発生時の運用

異常気象時は道路管理者と管理受託者は密な連絡を取り計測を強化したが、その一例として平成13年度6月22日の小崩壊の対応例を示す。

表2.6-1 崩壊発生時の対応（平成13年6月22日）

	道路管理者	管理受託者
20日	異常気象による通行規制発令	1日2回(9:00・16:00)のデータ収集に変更
21日	午後通行規制解除	
8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21	計測強化体制解除 ● CCTVと共にモニタリング監視 ● 19:30頃 崩壊規模が小さいため 翌日現地調査決定。	● データ収集。異常なし ● データ収集 変位を検知 16:30宮崎工事にtel連絡と共に現地出発 17:30頃現地着 現地調査 崩壊規模・周辺状況を把握。事務所連絡
22日 5 6 7 8 9 10 11 12	● 現地調査 tel連絡	● 崩壊個所のセンサ応急復旧 ● 9:55応急復旧終了 24日より随時計測結果報告を決定
25日		● ● ● 現地でシステム修復作業 定期報告 2次災害の可能性がないことを報告 今後の方針等について事務所と協議
26日		
27日 午前● 防災ドクターと現地調査 午後		
7月12日		● 現地調査 簡易貫入試験・土質試験試料採取

2) 計測強化

平成13年度は梅雨末期の豪雨と台風期にそれぞれ小崩壊を検知した。この小崩壊と、その後の現地調査（簡易貫入試験）の結果より、3測線と4測線の間の沢に挟まれた斜面は、最も危険な斜面であると判断され、MDM方式による個別センサを配置し監視を強化した。

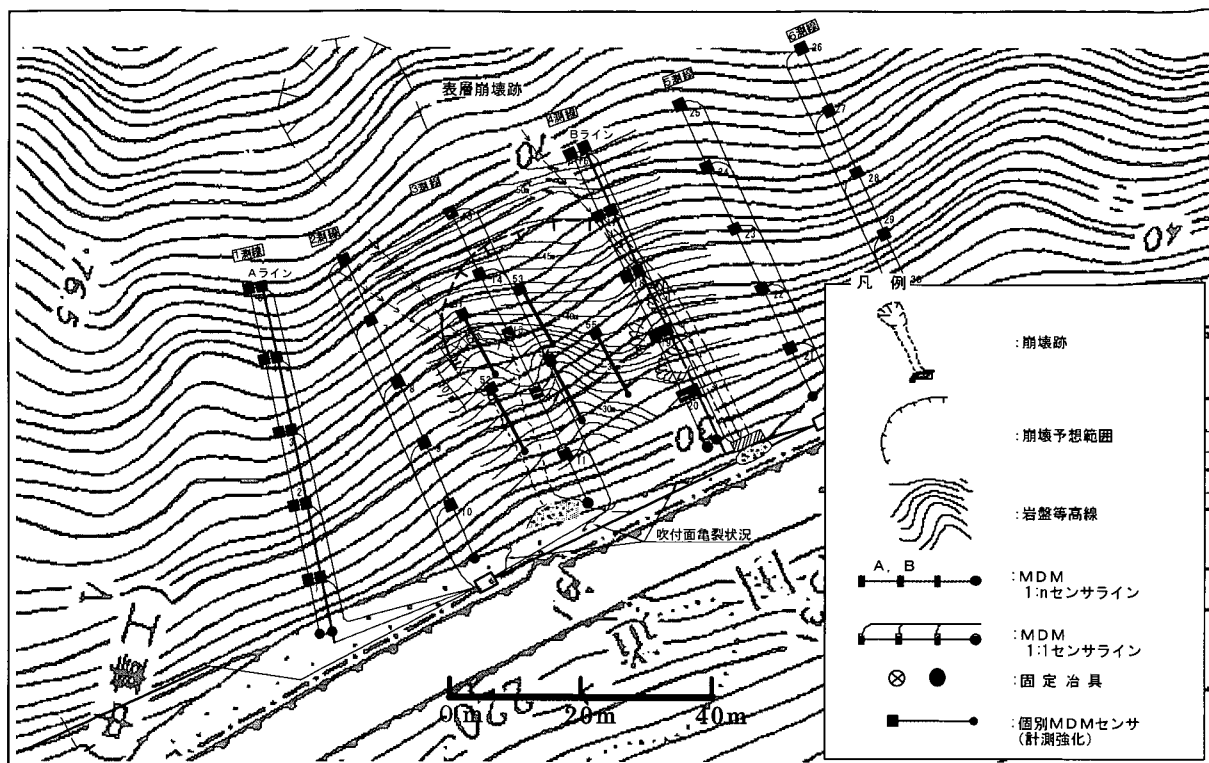


図2.6-7 監視強化センサ配置図

2.6.5 計測データ例

宮崎サイトは、MDM方式で平成13年度に3回の小崩壊を検知している。

表層崩壊部	3ライン	1:1センサ	平成13年 6月22日	梅雨
表層崩壊部	4ライン	1:5センサ	平成13年10月21日	台風21号通過時
砂岩急崖部	No.36センサ		平成13年 7月 3日	梅雨

センサ説明

1:1センサ…個別センサで各々のセンサで変位量を知ることが可能である。1センサで1chのアンプが必要。

1:5センサ…5個のセンサで総括して合計変位量を知ることができる。

5個のセンサで1chのアンプ対応と経済的には安価になるが、各々のセンサの変位量を知ることにはできない。

ここでは、表層崩壊部での崩壊検知のデータを示す。また、B-OTDR方式でも平成14年12月3日の連続降水量142mm時に地盤変位を計測しているため、その事例も示す。

(1) MDM方式による計測例

1) 3ライン…平成13年度6月22日の表層崩壊

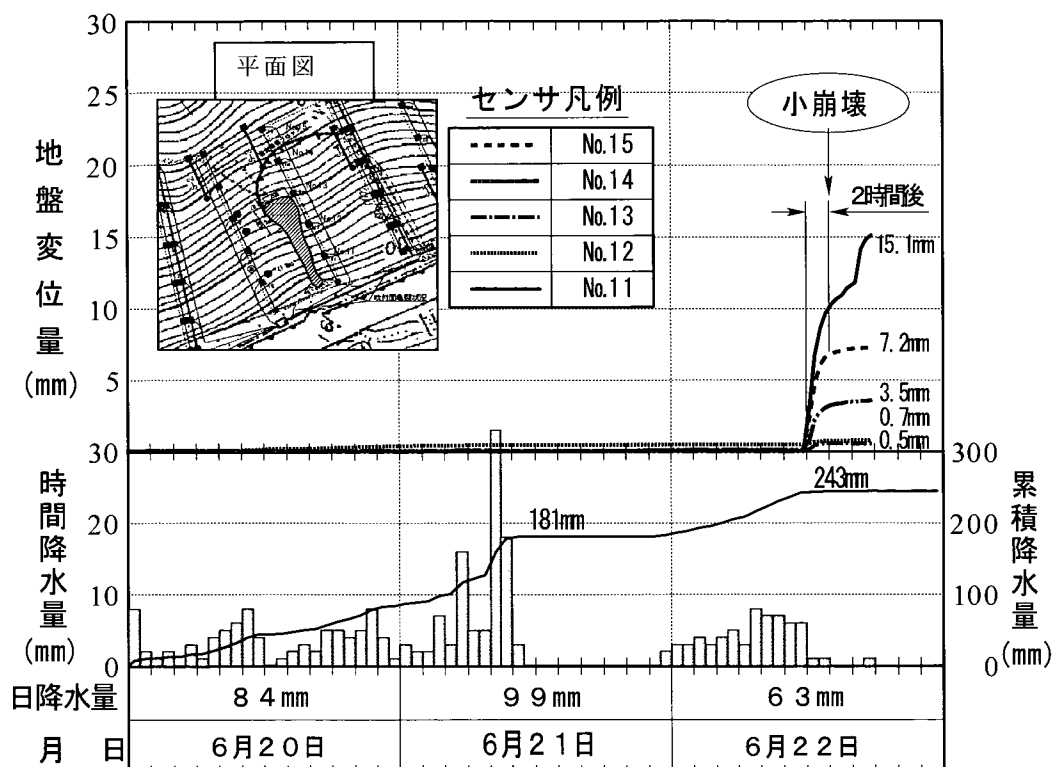


図2.6-8 表層崩壊変位図
3ライン…1:1センサ



写真2.6-6 滑落崖状況

崩壊は、ライン3の左側、MDMセンサのNo.11からNo.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、No.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。

2) 4ライン…平成13年度10月21日の表層崩壊

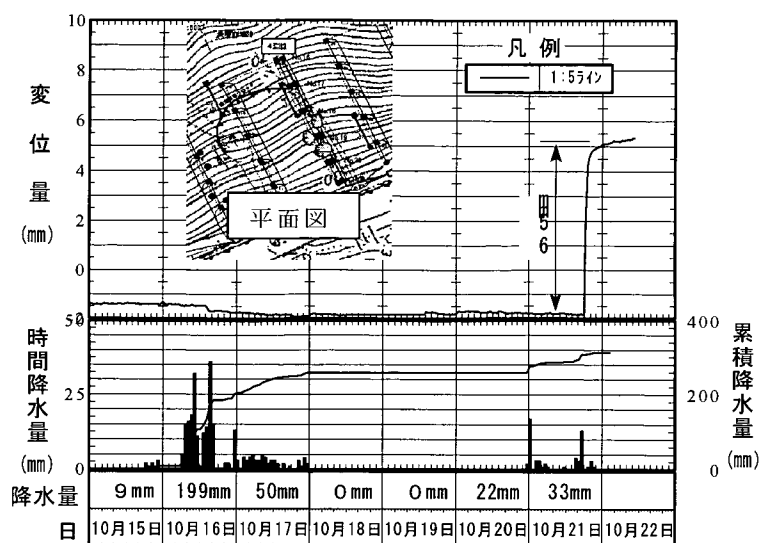


図2.6-9 表層崩壊変位図 (4ライン…1:5センサ)

(2) B-OTDR方式の計測例

B-OTDR方式による計測は温度変化の影響を受けやすい。今回の計測では4時間間隔での計測を行っている。図2.6-10は温度補正した計測ひずみ量を表しているが0.05～-0.04%の間で変化し、地盤の変位状況が解りづらい。

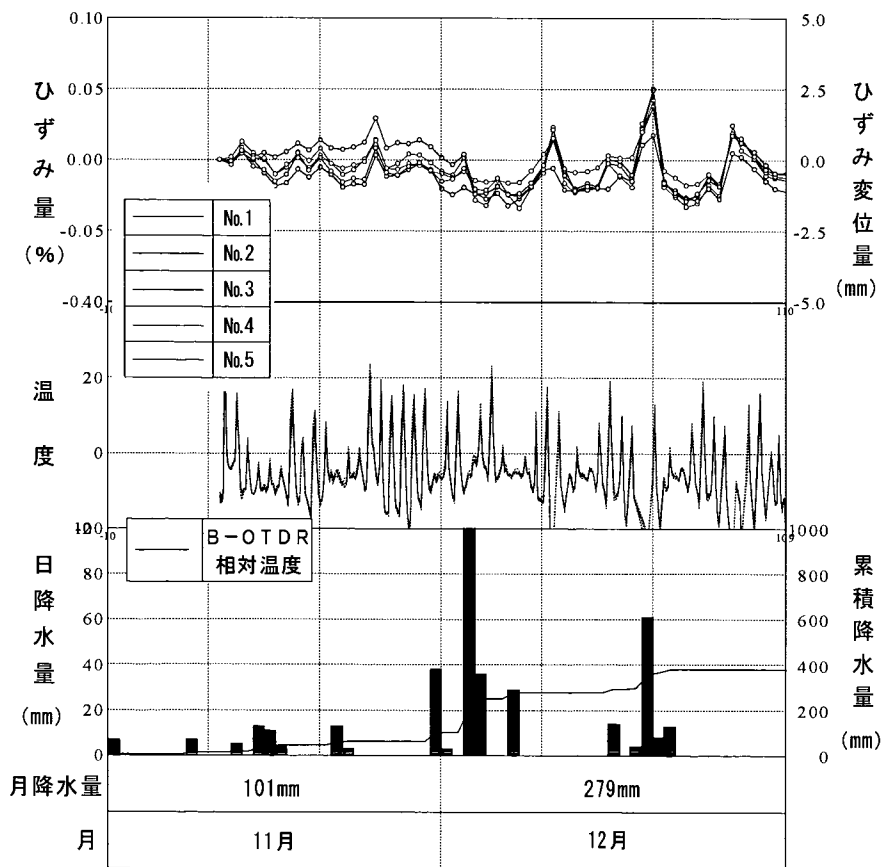


図2.6-10 B-OTDRによる計測

ここで、一日のうちで温度がほぼ一定している深夜0時頃の値のみを採用すると12月初旬の降水時は図2.6-11のようになる。

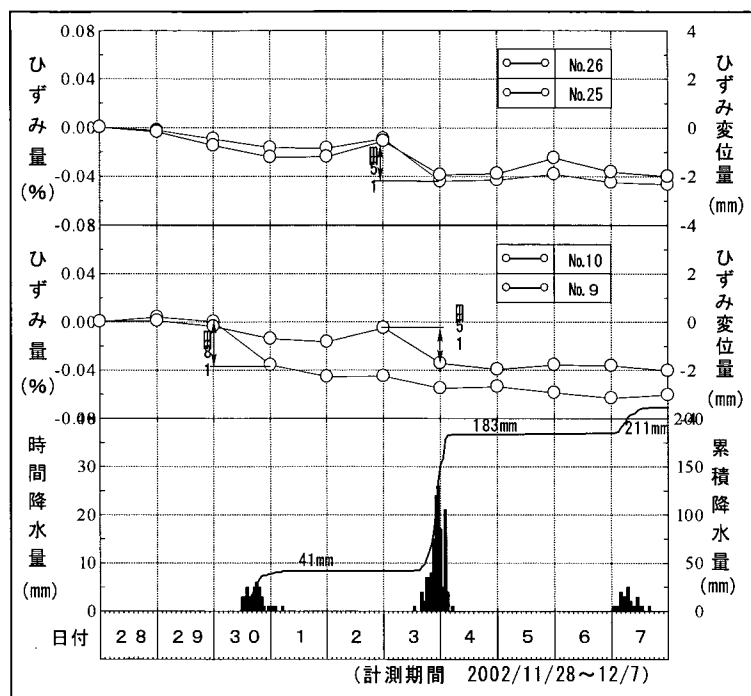


図2.6-11 1日間隔での計測図

図は計測値に山谷が無くなりなめらかになっている。また、降水時にひずみ変化が現れていることがより解る。

計測位置を図2.6-12に示すが、道路縦断方向に斜面を計測する手法は、斜面の異常を知るには有効な配置法であることが判明した。しかしながら、B-OTDRによる計測では温度補正などの課題があり、当面は1日間隔での計測値による判断が妥当と思われる。

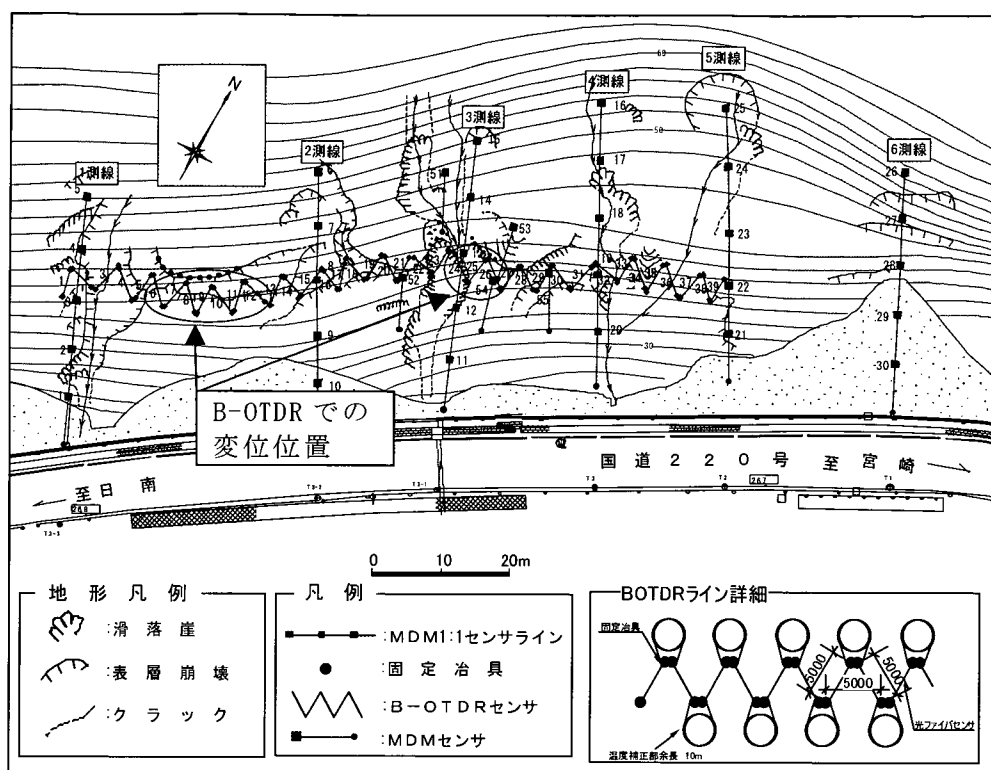


図2.6-12 計測位置図

2.6.6 考察

光ファイバセンサによる斜面モニタリングの運用は、鶯巣地区で2年間実施した。それを整理すると次の通りである。

- (1) MDMラインセンサで崩壊や地盤変位を検知した。崩壊変位事例から判断して、崩壊発生約2時間前から計測値は前兆を捉えている。この約2時間の余裕は「通行規制」の検討判断資料になり得る。
また、異常個所の発見になる微小変位は崩壊2日前から生じていた。
- (2) 日常管理での異常個所の抽出は、監視強化や対策工の優先順位の基礎資料となる。また、道路からの観察が困難な斜面個所では日常の道路パトロールの支援機能は発揮された。したがって、MDMセンサは今後十分に本格運用が可能と判断される。
- (3) 平成14年の11月からは路線管理を視野にいたしたB-OTDRによる低密度設置モニタリングを開始した。計測結果は、連続雨量142mm時に微小変位を検知している。今後、梅雨や台風での豪雨期の検証は必要であるが、運用は可能と考える。ただし、計測値には温度補正や計測器固有の変動幅があり、計測技術や設置方法の改良が必要である。
- (4) MDMセンサは計測エリアが中～小規模に適した個別センサである。当該地のようないつ崩壊してもおかしくない危険斜面では、計測のリアルタイム性が高く（瞬時計測が可能）、崩壊によるセンサ断線があっても他のセンサが有効に作動する特長を持ったMDMセンサは有利である。

B-OTDRセンサはリアルタイム性が劣る欠点があるが、計測エリアが広い
ため、今後、路線管理を展開するうえでは有利な計測手法である。
しかし、前述のような課題が残されており、本格的に運用するため
には検証が必要と考える。

参考文献

- 1) 「九州・沖縄の特殊土地盤の設計と施工」 P. 261、(社) 地盤工学会九州
支部、1995

2.7 まとめ

2.7.1 フィールド試験結果の総括

本章の冒頭に示すように、B-OTDR方式（ライン型センサ）を3個所、FBG方式（ポイント型センサ）を2個所、MDM方式（ポイント型センサ）およびB-OTDR方式の併用を1個所、計6個所実斜面において、光ファイバセンサを用いた斜面崩壊モニタリングシステムの試験検討を行ってきた。

このうち、2個所において小規模の崩壊を捉え、表層崩壊における前兆と判断される変位（崩壊の約2時間前から発生）を計測することができた。この前兆変位の継続時間は、道路上の災害となるような比較的大規模な崩壊では、さらに長い時間になると考えられ、変位データによる効率的な斜面管理の可能性を示すものである。他の試験フィールドにおいても崩壊には至っていないが斜面の変状と思われるデータ、気温変動、動植物等による地盤変位以外の変位など、光ファイバセンサにより斜面管理を行うための有意義なデータを得ることができた。

また、研究開始当初の光ファイバセンサの共通の課題である温度の影響については、センサ構造の工夫や補正方法により軽減または解消できるようになり、安定した計測も可能となった。斜面全体を管理する面的な計測の場合には $\pm 0.1\%$ 程度、局所的に計測するポイント型センサの場合には $\pm 0.01\%$ 程度である。面的な計測の場合には、いたずらに高精度にする必要はない。

さらに、これらのフィールド試験では、地表面変位のみではなく、地中変位計や地下水位計などの斜面計測において必要とされるセンサの開発も併せて実施しており、これらについても実用化の見通しが得られた。

これらの結果から、個々の斜面計測の面において光ファイバセンサは、ほぼ実用段階に達したものと判断される。

2.7.2 道路管理における活用

(1) 異常個所の抽出による監視強化

崩壊を捉えた2個所のデータを見ると、崩壊個所の周辺部での変状が確認されている。崩壊が発生するような状況では、広範囲で変状が発生し、その一部が局所的に崩壊に至るものと考えられる。したがって、発生した崩壊が小規模で崩壊個所にピンポイントでセンサが無いような場合でも、近傍にセンサがある場合には、周辺部の変状として捉えることが可能である。このため、斜面の対策工の実施状況等を踏まえて、捕捉する最小崩壊規模を想定したセンサ配置を行うことで、効率的に異常個所の抽出を行うことが可能であると考えられる。抽出された異常個所については、斜面の状況によっては崩壊予測に適するように高密度にセンサを増設して監視強化を図ることができる。

(2) 道路パトロールや目視点検の支援

今回捉えた2個所の崩壊は、いずれも小規模崩壊で斜面内あるいは既設の落石防護柵で停止したため災害に至らなかったが、降雨により残った不安定土塊が崩壊して道路に到達するような災害となる可能性があった。この2個所では、光ファイバセンサで異常を検知したことにより、早急の応急対策やセンサの増設による監視強化が可能となった。

斜面内で止まるような小規模の崩壊は、斜面内は植生に覆われている場合があるために路面からの観察では発見が遅れがちであるが、光ファイバセンサの計測データを活用することにより、変状が発生した個所をピンポイントかつ迅速に確認・点検を実施することが可能となると考える。

(3) 降雨時／崩壊発生時の管理支援

① 降雨時の監視強化のための管理基準値の設定

前兆現象を事前通行規制の管理基準に用いるためには、今後の計測実績の蓄積が必要であるが、現段階では注意喚起（監視強化）のための管理基準値を設定した計測値の活用が考えられる。この際に設定する管理基準値は基底変動量（日常変動幅）を参考にして設定することが必要である。モニタリングシステムの導入当初は、計測データが無いことから地すべり等の既往の管理基準値を参考にして暫定的な値を設定し、計測データを蓄積していきながら見直していくのがよい。

② 異常値確認後の現地支援

(2)でも述べたように、計測データは道路パトロールや目視点検の支援機能を持つ。異常値を確認した場合には、CCTV画像による現地状況の確認と併せて、道路管理者はピンポイントでの現地確認等の迅速な対応が可能となる。

③ 大規模崩壊の被害軽減あるいは防止支援

大規模崩壊は、長期の通行止めを伴うなど社会的な影響が大きく、その前兆の早期発見が重要である。早期発見により、排水工等の早期対策で崩壊を未然に防止することが考えられる。また、崩壊抑止が困難な場合や、大規模崩壊につながる可能性がある小規模崩壊を捕捉した場合には、現地調査に基づきセンサを増設して監視を強化することにより、大規模崩壊時の被害を軽減することが可能であると考えられる。

センサを増設する場合には、材料の調達に時間を要する場合があるので、初期の設置時に予め、増設や補修用の資材（固定治具、光ケーブル、成端箱等）をストックしておくとともに、光スイッチのチャンネル数に余裕を持たせ、情報ボックスを活用する場合には、増設用の心線を確保しておくなど、拡張性を考慮したシステム設計をしておくことが望ましい。

④ 防災計画の検討支援

ハード対策の優先度・実施時期の判断に、計測結果を用いることができる。路線全体の斜面を線的に監視し、異常変位が見られる個所から適宜対策工や監視強化の検討を実施するなど、対策整備計画の調整が可能となる。

また、計測による異常個所の抽出により、CCTVや道路情報板等の整備計画においても、防災の観点からの配置検討をより合理的に行うことが可能となる。

第3章 光ファイバセンサとは

3.1 光ファイバとは

これまでの通信回線は銅線ケーブルを使用していた。銅はよく電気を通す金属であるが、大量の情報を高速で遠くに伝えようとするすると減衰してしまうため、途中で増幅する必要がある。情報量が多くなればなるほど減衰が大きくなり、ケーブルを何本かに分けるか、増幅器を何個もつなぐことになり、高価な通信設備となる。

そこで、登場したのが「光ファイバ」である（写真3.1-1）。銅線ケーブルの場合、ケーブル1本で電話2千台分の情報を10km程度伝えるのが限界であるが、光ファイバでは、1本の光ファイバで電話20万台分の情報を100km以上伝えることが可能である。今後、技術が進歩して、電話2千万台分の大量情報が伝えられる事も可能になると言われている。

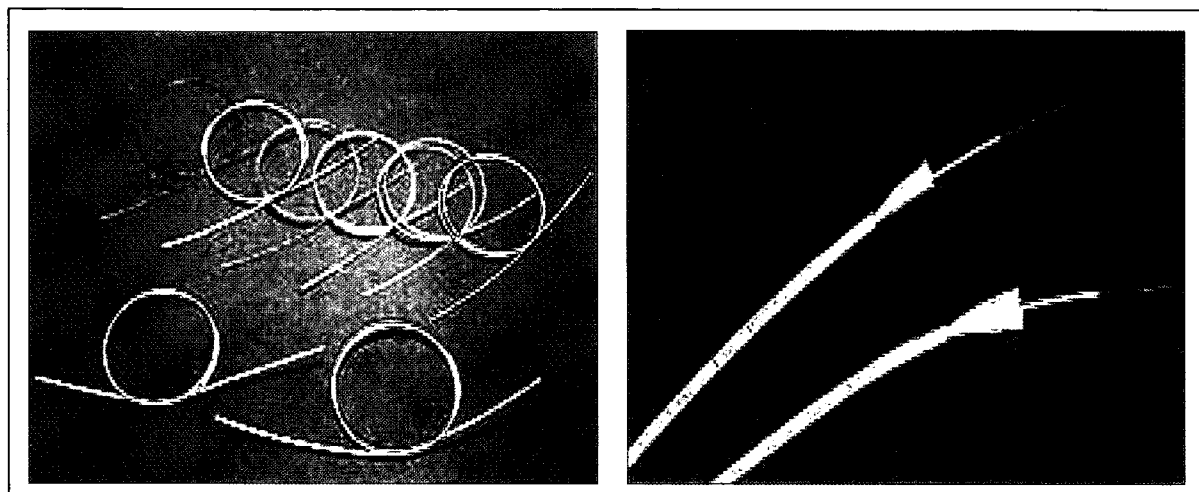


写真3.1-1 光ファイバ及び心線

3.1.1 光ファイバの構造

光ファイバは直径 $125\mu\text{m}$ (0.125mm) の髪の毛ほどの細いガラス繊維で出来ており、鉛筆に似た断面構造をしている（図3.1-1）。

中心部はコアとその周辺のクラッドから構成されている。コアの屈折率はクラッドの屈折率よりやや大きく設計されており、光はコア内に閉じ込められて伝播するため、極めて低損失な光の伝送路を形成している。

クラッドの周囲は、光ファイバの補強、機械特性の改善等のために、使用目的に応じて各種の被覆層が施されている。

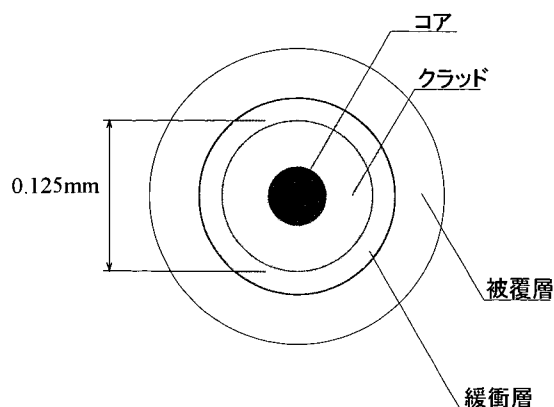


図3.1-1 光ファイバ断面

3.1.2 光ファイバの種類

光ファイバの種類は、コアおよびクラッドの屈折率分布形状とコア内を伝播するモードの数により分類されている（図3.1-2）。

単一（シングル）モード光ファイバはコア径が $10\mu\text{m}$ 以下と細く、一つのモードのレーザ光を送る。光の分散が少なく高速・長距離伝送ができるため、主に通信用として利用されている。一方、多（マルチ）モード光ファイバは、コア径が $50\mu\text{m}$ で、異なるモードの光が全反射を繰り返しながら進む。内部での分散や、到達時間のズレが生じるため伝送距離が短いLANなどの内部通信に利用されている。

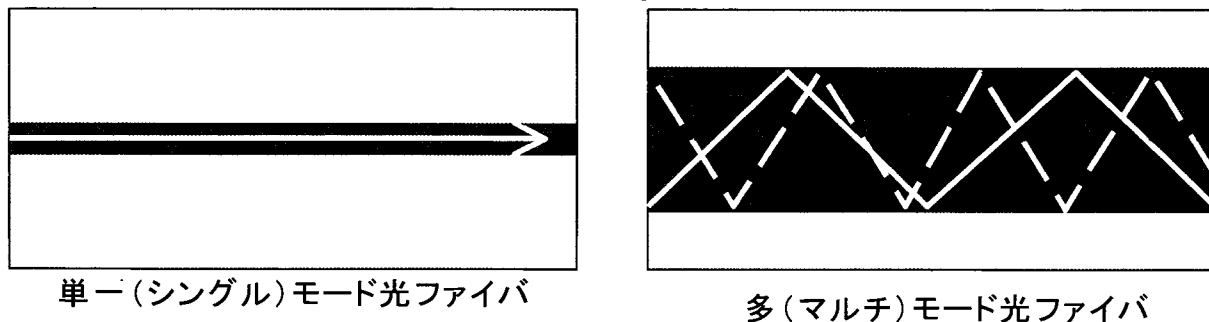


図3.1-2 光ファイバの種類

3.1.3 光コネクタ

光ファイバコードまたは光ファイバケーブルにコネクタを取付けることにより、光ファイバと光ファイバ、又は光学機器等とを簡単かつ確実に接続することができる（図3.1-3）。

代表的なコネクタとしては、SCコネクタ、FCコネクタがある。他に数多くの種類のコネクタがあり、単心用、テープ心線用、研磨方法などいろいろなバリエーションが選択できる（写真3.1-2）。

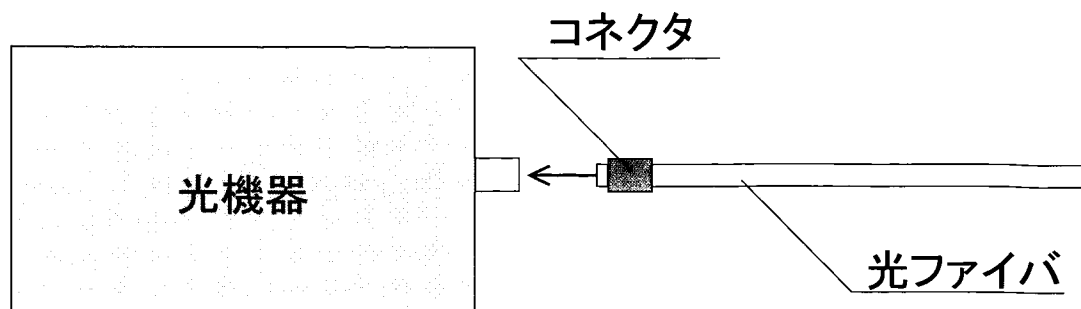


図3.1-3 コネクタ接続のイメージ

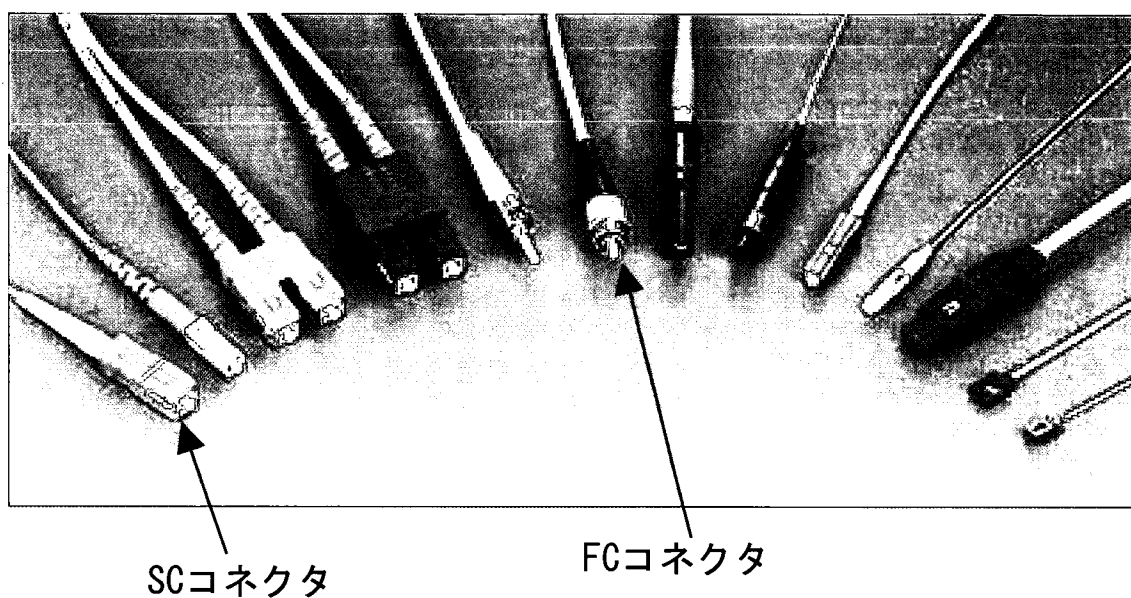


写真3.1-2 各種コネクタ

3.1.4 融着接続

融着接続は、光ファイバの永久接続方法の一つであり、光ファイバ同士を向かい合わせにし、その突合せ部分を加熱・軟化させて融着することによって一体化する。融着接続部は熱収縮補強スリーブにより補強する。

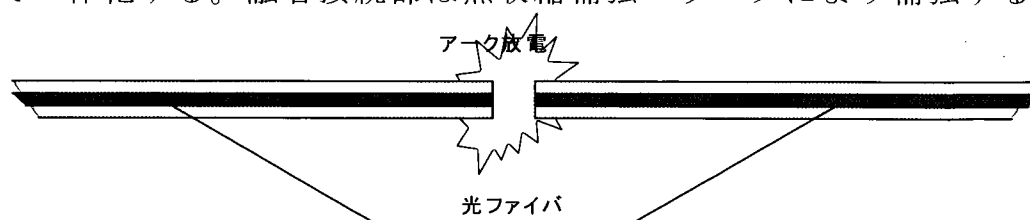
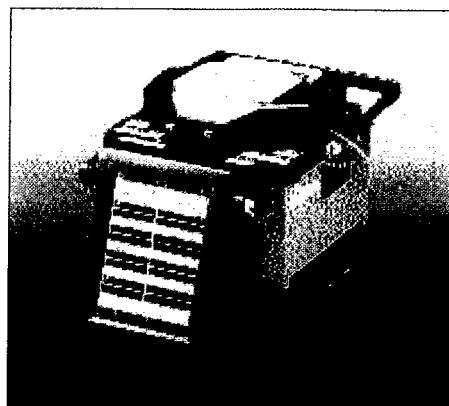


図3.1-4 融着接続



融着接続機



補強スリーブ

写真3.1-3 融着接続機および補強スリーブ

3.2 光ファイバセンシング方式について

センシングは、いろいろな分野において重要な技術の一つである。手段としては、電気を用いたり、音波を用いたり、光を用いたり、センサは「千差万別」である。どの手段を使うかは、その手段がある量を測るのに都合が良いか、安価か、あるいは他の手段では不可能なことを可能にしているか、などを考慮する必要がある。

光は、センシングの手段としてもユニークな特徴を持っており、以下に、後方散乱光を用いたB-OTDR方式、特定波長の反射を用いたFBG方式、透過光を用いたMDM方式について説明する。

3.2.1 B-OTDR方式の計測原理

光ファイバに光を入射すると入射光は光ファイバ内で散乱され、その一部が後方散乱光（図3.2-1）として入射端に戻ってくる。B-OTDR方式は、その後方散乱光の一つであるブリルアン散乱光の周波数分布が、光ファイバに生じているひずみに比例してシフトする性質を利用したひずみ計測方法である。

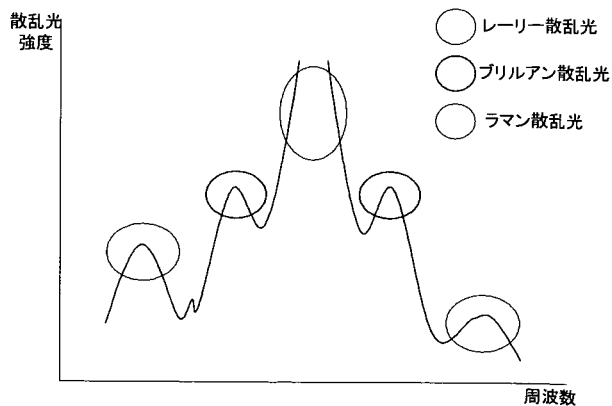


図3.2-1 後方散乱光

光ファイバに光パルスを入射し、その反射光の周波数分布を解析することにより、光ファイバに生じているひずみを計測する。

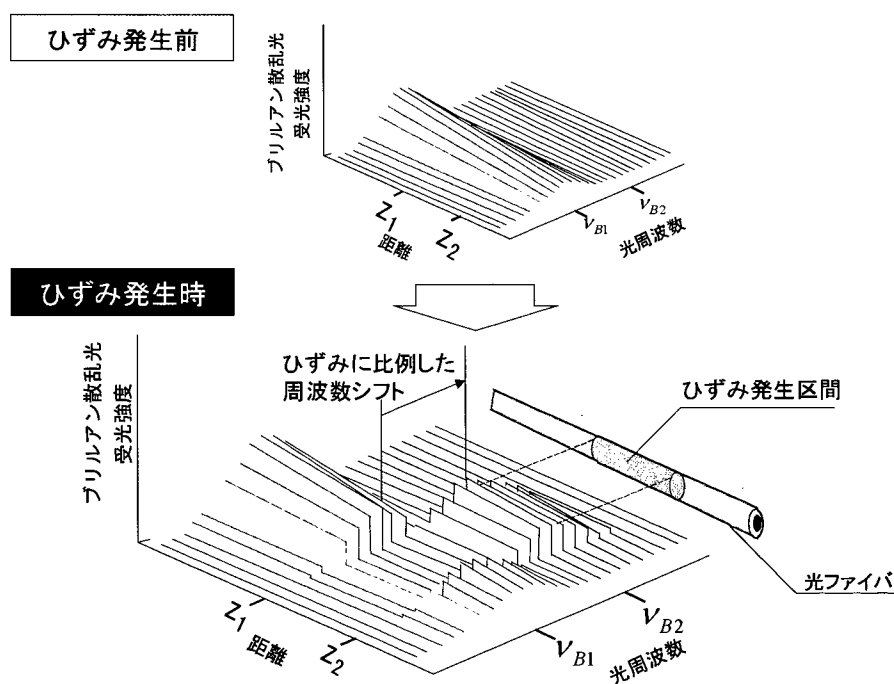
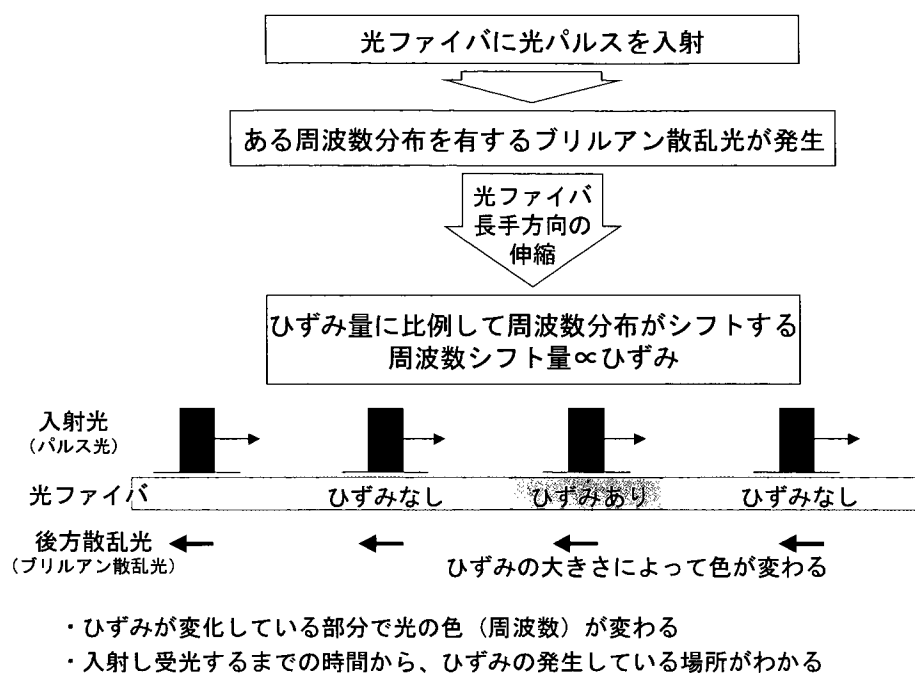


図3.2-2 B-OTDR方式のひずみ計測原理

3.2.2 FBG方式の計測原理

FBGは図3.2-3に示すように、光ファイバのコアに紫外線を照射し屈折率を一定周期で変化させたもので、特定の波長（Bragg波長）のみ反射する。

ファイバ(センサ部)にひずみが生じると、反射光の波長がひずみの大きさに比例してシフトする。

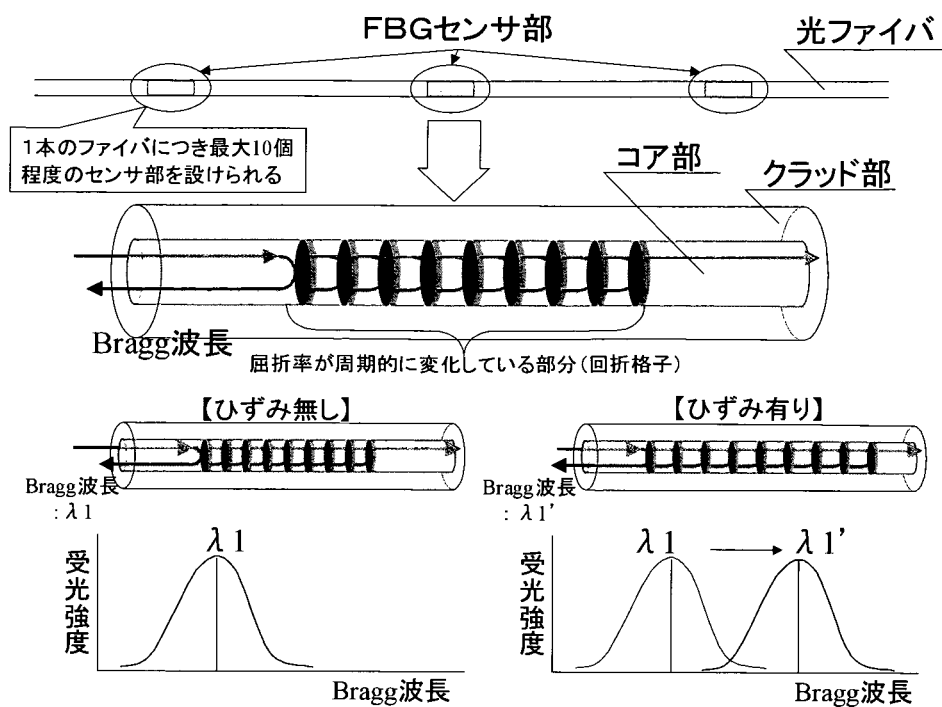


図3.2-3 FBG方式のひずみ計測原理

3.2.3 MDM方式の計測原理

MDM方式は、光ファイバの曲率と透過光強度に一定の関係があることを利用している。

MDMセンサは、ループ径(約 $\phi 15\text{mm}$)の円柱に長さ L の光ファイバを巻き付けている。変位が発生すると円柱が回転して光ファイバ長が変化し、曲率が変わるために透過光強度が増減する。この変位と透過光強度の関係より、変位を計測する。

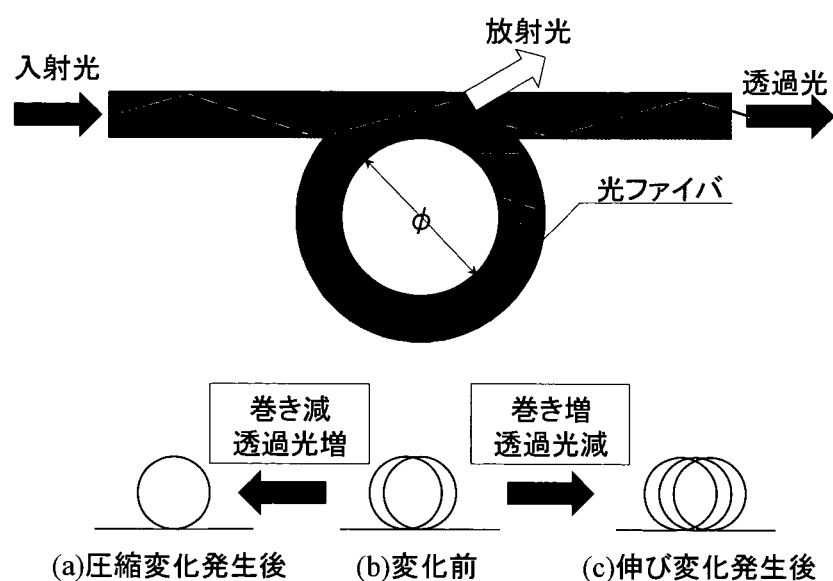


図3.2-4 MDM方式の計測原理

3.2.4 光センシング方式の比較

B-OTDR、FBG、MDMの各方式についての比較を表3.2-1に示す。

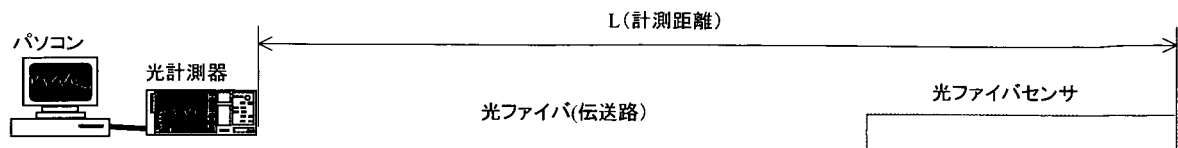
表3.2-1 光センシング方式の比較表

全般	名称	B-OTDR	FBG	MDM
	英語表記	Brillouin Optical Time Domain Reflectometry	Fiber Bragg Grating	Macro Distortion Monitoring System
説明	光源	パルスレーザー	連続発生の 広帯域の光	連続発生の 広帯域の光
	ファイバ	SMファイバ	SMファイバ	SMファイバ
	センサ 構造	通信用光ファイバを使用。最近ではセンシング専用の光ファイバを各メーカーが開発している。	光ファイバの所々にブラッグ格子と呼ばれる回折格子を作りセンサ化。	変位によりファイバの曲率を変化させるセンサ。
	計測原理	ファイバ物質からのブリルアン散乱光の特性からひずみを計測し、戻り時間から位置を同定する。	ファイバ内部につけた特殊格子から反射するブラッグ光特性の変化からひずみを計測する。	光ファイバの曲率変化に比例する透過光強度変化から変位量を計測する。
特性	計測範囲	距離分解能による。 距離分解能： 1, 2, 5, 11, 22m	1～10cm／センサ部位 センサ部位を多数用意することで長さを確保	1～10m
	精度	±0.0030%	±0.0004%	±0.0100%
	動的計測	不可能：データ処理に数十秒を要するため	可能（研究段階では50Hzまでの実績）	可能（1秒計測の実績有り）
	長手方向のひずみ分布計測	原理的には1本のファイバで可能	原理的には1本のファイバで可能。ただし多数のセンサ部が必要	原理的には1本のファイバで1点の変位を計測

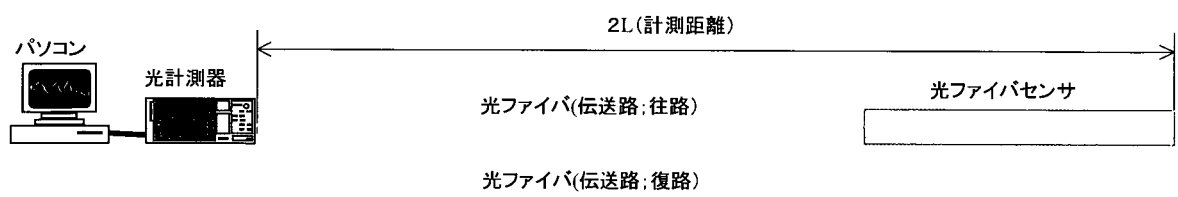
3.2.5 計測距離について

(1) 計測方式による計測距離

光センシングにおける計測距離とは、B-OTDRやFBG方式などの、反射光による片端計測方式の場合、光計測器の光出力部から光ファイバの終端までの距離となる。また、MDM方式などの透過光による計測方式の場合、光計測器の光出力部から光入力部までの距離となる。



(a) 反射光計測方式



(b) 透過光計測方式

図3.2-5 計測距離のイメージ

(2) 計測可能距離

光センシングにおける計測可能距離は、光がファイバケーブルを通過する際に生じる光損失の大きさにより決まる。光損失の主な原因としては、ファイバケーブルを通過する際に生じる光の自然減衰による損失（距離に比例して損失は大きくなる）、融着、コネクタなどによる接続損失、光スイッチによる損失などが挙げられる。

標準的な各方式の計測可能距離は、B-OTDR方式では計測条件により異なってくるが、最大損失15dBで20km程度、FBG方式では、最大損失15dBで約30km程度、MDM方式は最大損失30dBで約3km程度である。

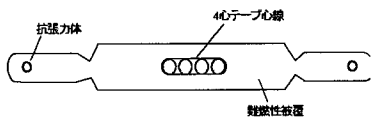
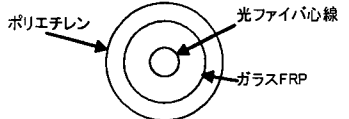
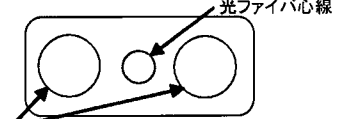
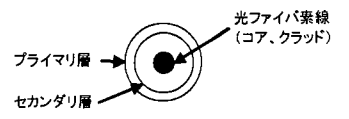
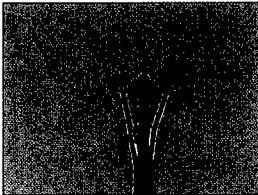
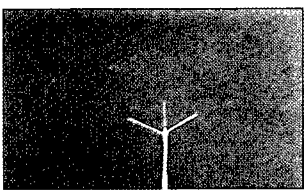
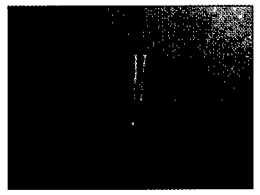
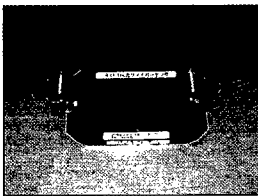
表3.2-2 要因別光損失量

損失要因	単位	損失量
光ファイバケーブル	km	$\leq 0.5\text{ dB}$
光チャンネルセクタ	台	$\leq 1.2\text{ dB}$
融着接続	個所	$\leq 0.1\text{ dB}$
コネクタ接続	個所	$\leq 0.5\text{ dB}$

3.2.6 計測用光ファイバ

計測に用いる光ファイバは、計測目的、設置環境等に応じて適切に選定する必要がある。表3.2-3に計測に用いられている光ファイバの例とその特徴を示す。

表3.2-3 計測に用いられている光ファイバの例とその特徴

	1	2	3	4	5
名称	4心薄肉センサケーブル	ガラスFRP被覆ファイバ	ドロップファイバ	UV被覆心線	4心光ファイバテープ
形状					
写真					
寸法	H1.2mm×W5.0mm	外径2.2mm	H1.6mm×W3.0mm	外径0.25mm	H0.3mm×W1.1mm
固定治具		なし		接着など	接着など
特長	・ひずみ伝達が大変良好 ・構造物等への取り付けが容易である。 ・難燃性シースにより、燃えにくい。 ・屋外使用に対し、耐蝕性がある。	・側圧強度が高く、施工性に優れる。 ・ひずみ伝達が良好である。 ・コンクリート内等の強アルカリ環境での耐環境性に優れる。	・外傷に強い ・外圧による損失が増加しにくい ・電柱に配線されたケーブルから宅内へ引き込む必要数ファイバと自重を支える支持線が一体化されたケーブル	・ひずみ伝達性に優れる ・強度が弱く、取り扱いや施工に細心の注意を要する	・ひずみ伝達性に優れる ・強度が弱く、取り扱いや施工に注意を要する
屋外	○	○	○	×	×
屋内	○	○	○	△	△

卷末資料

< 卷末資料－1 > 用語集

< 卷末資料－2 > 災害形態と一般的な計測手法

＜卷末資料－1＞ 用語集

用語解説

	用語	掲載箇所(章・編)	説明	類義語
あ	アプローチケーブル	2-6.	光ファイバセンサの測定部と計測機器の間を接続する光ファイバケーブル	接続ケーブル、延長ケーブル、伝送ケーブル
	異常気象時等通行規制	1-4、2-6	気象等の起因して災害発生のおそれがある時に実施する通行規制。豪雨時に雨量を基準として通行規制を実施する異常気象時通行規制区間の他、雪崩・越波等による特殊通行規制区間がある。	事前通行規制（災害が発生する前に“事前に”通行止めにするとの意味で使われる）
	異常変動	1-4.	基底変動の範囲を超えた計測値を示す変動。実際の地盤の滑動等異常変位と、誤作動の二つがある。誤作動としては、センサへの落石や動物の衝突、センサへの蔓の侵入等植生の影響、落雷によるシステム異常、計器故障や通信回線・電源の異常等がある。	
	インバー線	2-5.	温度膨張が $1\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ 以下のワイヤー線	インバー線
	SMファイバ	2-2、3	伝播モードとして基本モードしか持たないファイバ	シングルモードファイバ
	FBG方式	2-2.	FBG反射光の波長シフト量をひずみに換算する方式	FBG
	MDM方式	2-2、2-6、3	ファイバの曲率半径を変化させ、それによる透過光量の変化を歪に換算する方式	MDM(Macro Distortion Monitor)
	温度補正	1-4、2-5、2-6	温度変化によるセンサの伸縮量を計測値から加減し、真の地盤変動量を算出すること。一般には、計測値とセンサに併設した温度計による温度計測結果を用いて、センサや計測システム全体の温度特性を把握し、補正係数を求め	温度補償
	画像監視	1-4、2-6.	CCTVカメラなどで対象物の変状の有無を確認すること。最近では、画像処理技術により、CCTV画像を自動監視し、異常現象の発生を警報する技術もあり、今後の災害監視への応用も期待される。	
	滑落崖	2-6.	崩壊や地すべりの滑動により地盤に生じた段差地形。モニタリング箇所では観測対象となることが多い。	段差地形
か	岩石崩壊（岩盤崩壊）	2-6.	岩盤斜面より不安定岩体落下する現象。落石より大規模。最終の崩壊段階での運動は急激である。予兆段階での変動は未解明な部分が多いが、地すべりと比べて微小な場合が多く、高精度での観察を必要とする。	
	管理基準値	1-4、2-6	通行規制のための準備体制・注意体制・警戒体制等を敷き、通行規制を実施したり、解除するための計測結果の基準値。異常気象時通行規制区間における雨量基準値が代表例。モニタリング箇所では、条件が整えば、地表面変位量や地下水位による管理基準値を設定する。地すべりでは、地表面伸縮計による変位量を管理基準値として設定している事例が多くある。	しきい値（規制体制用基準値とまではしなくても、注意喚起等の意味合いで基準値を設定する場合があります、単に“しきい値”と呼ぶことがある）、基準値
	基底変動（日常変動）	1-4.	機器による計測値に現れる日常的な変動。通常、サイクリックな変動を示し、日周期のものと年周期のものが顕著である。主な要因は温度変化であり、実際の地盤・構造物が変動（実変動）と、センサ・各種機器・通信線等のシステムの温度特性に起因する変動がある。	
	局舎	1-3、2-5、2-6	センシング部近傍に、計測器や処理装置、通信装置を設置するための空調設備を有する建屋	観測用局舎、観測ボックス、観測局舎
	亀裂	2-6.	土塊や岩盤、構造物に生じる裂け目。しばしば、崩壊時に分離面となる。崩壊等に先立つ予兆として、亀裂の変化（開口幅の増大、亀裂長の伸長等）を観察する。なお、構造物の場合、施工中・施工直後に発生する微細亀裂との	クラック、割れ目
	クロージャ	1-3.	光ケーブルの直線接続点、分岐接続点で、光ファイバの融着接続部とその余長を安全に収納し、また	光クロージャ
	経時変化図	1-4、2-2、2-6、3	計測結果をグラフ表示する時に、変位量などの計測結果を縦軸に、時間を横軸に表したもの。変位量等のグラフと併せ、雨量等の誘因の経時変化図も表示することが望ましい。	時系列表示
	計測	1-3、1-4、2-2、2-5、2-6、3	機器を用いて測定すること。	観測：（観察し測定する）、測定：（はかり求めること）
	計測時間	1-4、2-5、2-6	1回の計測に要する時間	測定時間
	計測システム	2-2、2-5、3	計測器と計測用アプリケーションの搭載された処理装置とを組み合わせた構成	観測システム、計測システム
	計測システム	1-4、2-2、2-6、3	センサ部・伝送部・計測処理部の総称	
	計測精度	2-5.	繰り返し計測した場合の、計測データのばらつき	測定精度
	計測レンジ	2-2、3	計測器からの計測可能範囲（最小1kmから最大80kmまで）	測定レンジ、計測範囲
	検知	1-4、2-2、2-6、3	事象が起こったことを検出すること。落石や土石流など、予兆の把握が困難な災害現象での監視では、検知が主な手段となる。検知により速やかに異常発生を認識し、CCTVで現地状況を確認することにより、災害発生時には信号機や表示板等により迅速な対応を図ることが可能になる。	
	現地点検	1-4.	現地に設置してあるセンサ部の点検	
	後方散乱光	2-2、3	入射方向に散乱される光	
	誤作動	1-4.	（異常変動の項参照）	
	固定金具	1-3、2-5、2-6	光ファイバセンサを地盤に固定する器具の総称。杭やボルトの頭に取り付ける固定用金具などを指す。	固定金具、固定具
	固定点	2-6.	監視対象物に発生したひずみを光ファイバに伝達するために、所定間隔でファイバと対象物を固定する点	不動点、ファイバ固定点、センサ固定点
	コネクタ接続、	2-2、3	コネクタ加工された光ファイバ同士をつき合わせて接続すること。	

用語解説

用語	掲載箇所(章・欄)	説明	類義語
災害メカニズム	1-1, 1-2, 2-6	崩壊等が発生し、道路に影響を及ぼすメカニズム。崩壊等が発生する素因・誘因に加え、落下（流下）領域の評価（道路まで到達するか、斜面内で停止するか）、道路への影響（道路際での待ち受け対策工が機能するか、どのような被害や社会的影響が生じるか）等を総合的に判断する。	
CCTV	1-4, 2-5	有線テレビやそのシステムのこと。入力装置（ビデオカメラ）から出力装置（モニター）までが一体となったシステムの総称。ここでは道路防災監視カメラシステムを指す	
シズクリート	2-5,	光ファイバセンサの固定部。ファイバを竿形の金具で、くさび状に挟み地盤の変位をファイバに歪として伝達させるもの。	
システム異常	1-4,	落雷や機器故障、電源異常あるいは観測局舎内の異常高温等環境異常による動作不良、通信回線の異常やノイズ混入等、本来の観測異常以外の機器・回線等のハード・ソフトに起因する異常	
システム構成	1-4, 2-2, 2-5, 2-6, 3	計測器、処理装置、通信機器などのハードウェアとセンサ機器の構成	
地すべり	1-1, 1-2, 2-2, 3	すべり面上の土塊が活動滑動する現象。予兆段階での変状は比較的緩慢かつ継続的に起こる場合が多く、亀裂等の変状が認められる場合が多い。また、予兆段階での変位量は大きい。異常箇所が特定されやすいため、モニタリングによる管理事例も多い。	
自動計測	1-4, 2-5, 2-6	パソコンにより制御し、リアルタイムに計測データを確認できる	自動監視、自動観測
従来型センサ	2-5, 2-6	光ファイバによるセンサ以外の、電気式などのセンサ。光ファイバセンサと従来型センサの比較については、表1-3（pp. 1-8）参照。	従来型、電気式、従来センサ
手動計測	2-6,	計測を手動で行う方法。	
情報管路	1-3,	情報ボックスの管路部の呼び名	
情報BOX	1-4, 2-6	e-Japan重点計画の一環である高度通信情報ネットワークの基幹通信網として、国土交通省が管理する道路路面下等に埋設した通信回線およびその収容空間。CCTV画像を始めとした各種管理情報の通信線として利用される他、光ファイバセンサにおいては、出張所等に設置した計測器と現地センサ部を結合伝送部として利用する。また、沿線自治体や通信事業者への開放も予定されている。	情報管路（目的や規模により、情報管路として設置される場合や、共同溝の活用などがある。）
情報ボックス	1-4, 2-6	道路管理者が道路管理用光ファイバを収容するための設備	情報BOX
初期ひずみ	1-3,	光ファイバセンサ布設後、あらかじめ張力を掛けて発生させる初期状態におけるひずみを指す。	初期歪、初期張力
制御・表示システム	1-4, 2-6	計測器をパソコンにより制御し、計測データをビジュアル的に表示するシステム	制御ソフト、表示ソフト
成端箱	1-3, 2-6	光ファイバの接続部およびコードの余長収納を目的とする	光成端箱
線計測	2-6,	計測センサを線状に配置するか線状のセンサを配置し地盤の動きなどを計測すること。	
全自動計測	2-6,	計測・送信・処理・表示・蓄積をすべて自動的に行う方法。	オンライン観測、全自動観測
耐雷トランス	2-6,	誘雷による障害事故から機器を守るため入力電源ラインに挿入し、誘導雷サージ波の進入を防止する装置	ノイズカットトランス
端末	1-3,	上位のサーバ機からデータを受け取り、表示等を行う機能を有するデバイス	
地下水位計	2-5,	地下水の水位を知るために設置する計測器	
地上架設	1-3, 1-4, 2-6	光ファイバセンサの敷設形態。杭等の上部に光ファイバやインバー線を固定し、空中張る方法。	地上設置、架空設置
地中埋設	1-3, 1-4	光ファイバセンサの敷設形態。地面を掘削して、光ファイバを張り、埋め戻す方法。	地中設置
地表布設	1-3, 1-4, 2-2, 2-6, 3	光ファイバセンサの敷設形態。地表面を這うように、光ファイバを張る方法。	地表設置、地表敷設
地表面伸縮計	2-6,	地すべり等の頭部滑落崖に設置し、土塊の移動量・移動速度を知る計測器	伸縮計
張力調整	1-3,	光ファイバセンサの固定点間にかかる荷重を変え、光ファイバセンサのひずみ量を調整すること。	予緊張、ひずみ管理、テンション調整
データロガー	2-6,	測定値の演算・収録・処理などの機能を有する測定器	
点計測	2-6,	亀裂など、特に重点監視すべき箇所にセンサを配置し計測すること。	
伝送システム	1-4,	レーザー光などを搬送用に用いるための、周辺装置類	伝送方法、情報伝達方法
伝送路	1-3, 2-2, 3	信号を伝送するために、レーザー光などを搬送波として用いた信号路、およびそのシステムの総称	光伝送路
透過光	2-2, 3	物体（光ファイバ）を透過した光の事	光パワー
土壌水分計	2-6,	土壌の空隙に保持されている水分を取り出すのに必要な圧力を測定する計測器	水分計、土壌水分センサ
日常点検	1-4,	システムの動作確認を行うこと	

用語解説

は

用語	掲載箇所(章・編)	説明	類義語
半自動計測	2-6,	計測は自動的にを行い、データを定期的に収集し、処理・蓄積を行う方法。半自動計測のシステムは、全自動計測システムから通信装置を除いたもの。	オフライン観測、半自動観測
ハンドホール	1-3,	クロージャ等の接続部を収容する矩形コンクリート構造物	HH
BOTDR方式	2-2, 2-5, 2-6, 3	ブリルアン散乱光の周波数シフト量をひずみ分布に換算する方式	BOTDR
光スイッチ	2-2, 3	光ファイバのメカニカル切り替えスイッチ	光切り替え器、光切り替え装置、光セレクト、光ファイバスイッチ
光ファイバ	1-3, 2-2, 2-5, 2-6, 3	光を導波する細い繊維。材料によりガラスファイバとプラスチック	
光ファイバケーブル	1-3, 1-4, 2-2, 2-6, 3	光ファイバによる通信では、電波による影響などを受けず、また光の伝達では信号の減衰が少ないことから、メタリックケーブルでは不可能な遠距離通信も可能になる。	光ケーブル、伝送用ファイバ、通信用ファイバ
光ファイバセンサ	1-3, 1-4, 2-2, 2-5, 2-6, 3	光ファイバそのものでひずみや温度などが計測できる特徴を生かしたセンサ	センサ用ファイバ、センサ用ファイバケーブル、計測用ファイバ
ひずみ	1-3, 1-4, 2-2, 2-5, 2-6, 3		歪、歪み、歪量
表層崩壊	1-1, 1-2, 1-4, 2-2, 2-6, 3	崩壊の一形態。基盤となる岩盤上に乗った表土の層が崩壊して落下するもので、崩壊の厚さは数10cm～数m程度。規模は小さいが、発生頻度は最も多く、しばしば路面に到達して災害となる。従来は発生位置の予見が困難であったため、道路防災の課題となることが多かった。 今後は、光ファイバセンサの活用により、表層崩壊にたいしても、危険箇所の抽出と監視を図ることが期待される。	
避雷装置	2-6,	突然の誘導雷の被害から重要な設備を守るために、雷の侵入を防止する装置	避雷器、耐雷装置、耐雷器、サージアブソーバ
ブリルアン散乱光	2-2, 3	媒質中にある強度以上の光が入射したときに生じる入射光と周波数の異なる光で、歪に応じて周波数が変化する	
変状	1-4, 2-2, 2-5, 2-6, 3	崩壊に至る可能性がある亀裂や、小崩壊が発生した状態。その他にも擁壁等構造物の傾斜や、斜面の浸食、表面が薄く剥落する肌落ち等、様々な変状がある。	
崩壊	1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2-2, 2-5, 2-6, 3	このマニュアルで主要な対象としている災害形態。斜面を形成する土砂や岩盤が強風化したものなどが、集合体として落下する現象。地すべりと異なり、急速かつ短時間に落下する。豪雨時や地震時に発生することが多く、しばしば道路に被害をもたらす。素因である不安定な土砂等を把握することと、誘因である地下水状況を把握することが重要である。	
崩壊検知	1-4, 2-6	崩壊の兆候と挙動を検出し、周知させること	
崩壊予測	1-4,	崩壊の前兆を定量的に把握し、崩壊の予測時間を予測すること	
保護管	2-5,	インバー線や伝送線を保護する管	
保護材	1-3, 1-4, 2-6	光ファイバを、植生、動物、積雪などの地盤変位以外の外力から保護する部材。	保護管、保護カバー、補強材
モニタリング	1-4, 2-2, 2-6, 3	変状の有無や進行を、常時あるいは定期的に計測し確認する、あるいは検知センサにより監視すること。機器を用いて常時・高精度で自動計測する場合が多い。	監視（モニタリングを行い、常時、計測結果を判断し、必要に応じて対応を図るとの意味合いがある）
融着接続	1-3, 2-2, 3	光ファイバの心線同士先端を、融かしてつぎ合わせ接続すること。融着接続機を使用する。	
余長	1-3,	光ファイバの線路の途中に設ける作業用の予備延長である。光ファイバの接続点付近や、管路の途中などに設ける。	
予知・予測	1-4,	一般に、将来の出来事や状態を前もっておしはかること、または、その内容を指す。防災では、「予知」は「どのあたりで、どのような現象が起きそうな状態になった」と判断すること、「予測」は「どこで、何時間後頃に、どの程度の災害が発生しそうだ」と判断するといった意味合いで使われる場合が多い。	
ラインマーキング	1-3,	センサ配置図面等に基づき、現地で光ファイバセンサの敷設予定位置をロープやペイントで、実際に示すこと。	位置出し
落石	1-3, 2-6	斜面内の不安定な岩塊が単体（あるいは少数）で落下する現象。豪雨や強風、地震等に伴い発生する場合も多いが、明瞭な誘因が認められない場合もあり、事前の変動量も微小と見られるため、発生の予見は困難とされ、発生検知用のセンサーで対応されている箇所もある。	
リアルタイム	1-4, 2-6	計測値や異常信号を、可及的速やかに管理者に伝達すること。通常は現地制御機器が異常を検出したら瞬時に管理者へ通報できるように、通信回線および制御ソフトを設計する。実際には、計測内容や計測条件により、計測間隔は瞬時（常時連続）～数時間と様々であり、リアルタイム化しても、計測間隔分のタイムラグ（時間遅延）は発生する。	
リアルタイム表示	1-4, 2-6	測定値を瞬時に処理し、PC画面に表示すること	
ローラクリート	2-5,	光ファイバセンサの固定部。ファイバを2つのローラに巻きつけて地盤の変位をファイバに歪として伝達させるもの。	

参考：「土木施工管理技士のための土木用語集」土木施工管理技術研究会 平成12年5月 第6刷発行
「通信・ネットワーク用語ハンドブック 2000年版」日経BP社 2000年3月 1版1刷

ま

や

ら

＜巻末資料－2＞

災害形態と一般的な計測手法

＜巻末資料＞ 災害形態と一般的な計測手法

斜面災害の形態には、主に落石、崩壊、岩石崩壊（岩盤崩壊）、土石流、地すべりがある。このマニュアルでは、崩壊を主要な対象として記述している。ここでは崩壊と地すべりについて、その形態と一般的な計測手法を解説し、両者の違いを明らかにする。

1. 崩壊

（1）形態

一般に急傾斜の斜面で、不安定な土砂や岩塊が急激に落下する移動現象を指す（図-1）。崩壊域から落下した土砂礫は、瞬時に堆積域に到達する。堆積域での崩落土塊は、通常、原地盤の構造を留めない。

（2）素因・誘因

素因としては、地形と地質が挙げられる。地形的には30度以上の急斜面、特に明瞭な遷急線を持つ斜面で発生することが多い。地質的には、浸食に弱い土質や割れ目密度の高い岩盤で発生しやすい。

誘因としては、降水（あるいは融雪）による間隙水圧の上昇が多い。また、風や地震が誘因となり発生する崩壊も多く見られる。

（3）規模

地すべりよりは小規模な場合が多い。特に深さ数m程度までの表土層が崩壊する表層崩壊が、豪雨時に多く発生する。なお、地質構造によっては深い崩壊が発生することもある。

（4）対応

地すべりに比べて前兆段階での変位が小さい。このため、目視で異常個所を特定することが難しく、従来は予見が困難とされてきた。光ファイバセンサによる面的・線的計測で異常個所を抽出できれば、崩壊危険個所での管理を高度化できるものと期待されている。計測事例が少ないので、計測データの蓄積と、管理基準の確立が今後の課題である。

また、崩壊時の移動速度が大きいため、対応を図るまでの時間的余裕が少なく、迅速な通行規制等の対応方法も課題である。

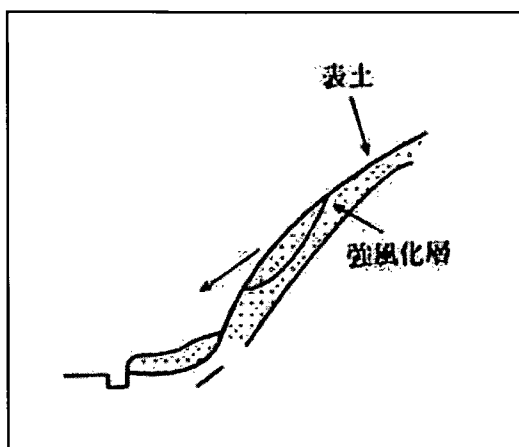


図 1-3 崩壊模式図³⁾

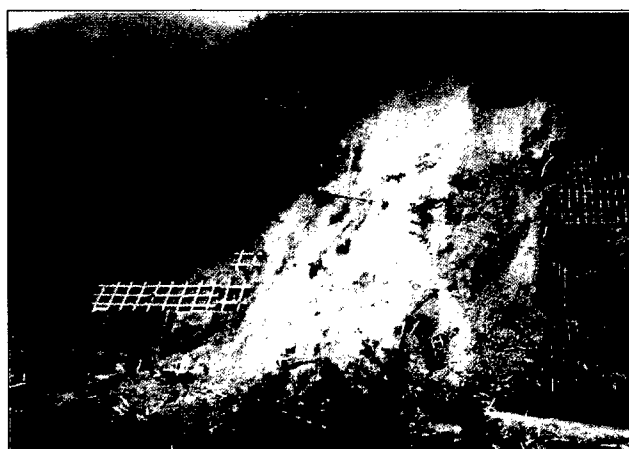


写真 1-1 崩壊事例²⁾

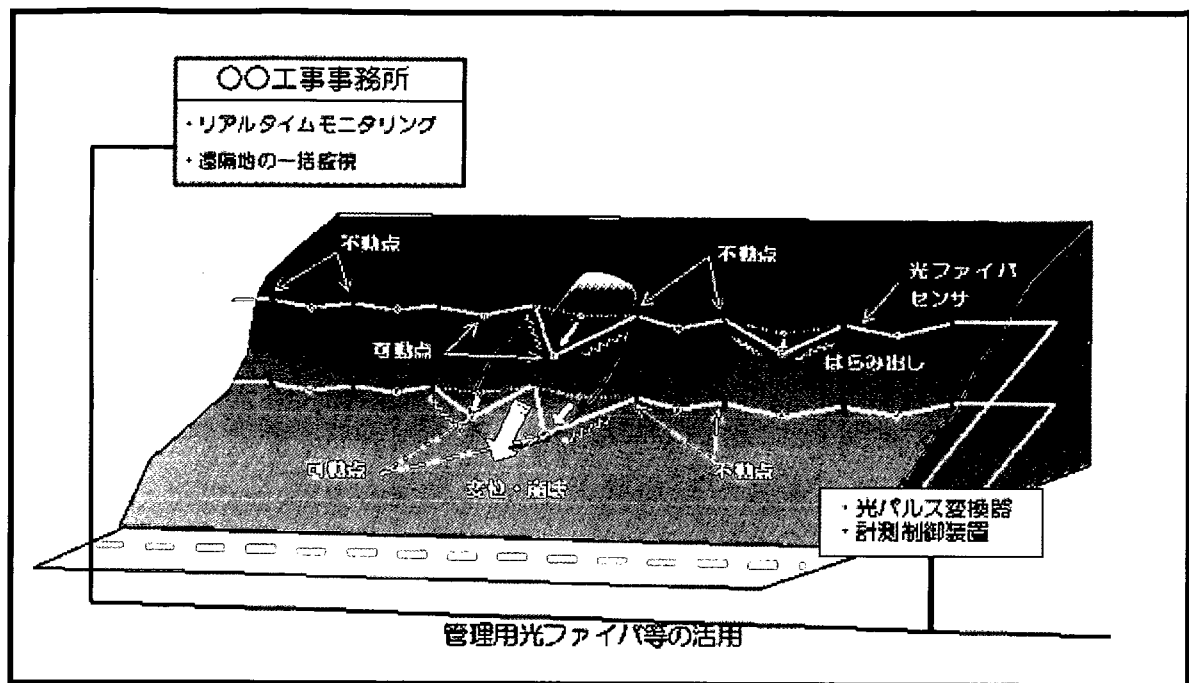


図 1-4 崩壊に対するモニタリングシステム

2. 地すべり

(1) 形態

比較的緩傾斜の斜面で、不安定な土塊が緩慢かつ継続的（あるいは断続的）に滑動する場合が多い。なお、活動の末期には急激に移動する場合もある。地盤内に形成されるすべり面付近では構造が乱れるが、それよりも上位の移動土塊内では、崩壊に比べ原地盤の構造を保っている。

(2) 素因・誘因

素因として地質構造が挙げられ、基盤岩上に位置する崩積土や粘性土がすべる場合や、岩盤内の割れ目や地層境界ですべる場合、断層等の弱線に起因してすべる場合、岩盤の風化部がすべる場合などがある。

誘因としては、降水（あるいは融雪）による間隙水圧の上昇が多い。また、地震が誘因となり発生する場合も見られる。

(3) 規模

崩壊より大規模な場合が多く、大きな抑止力を要するため、水抜き等の抑制工も併用されることが多い。

(4) 対応

地すべりでは滑落崖等の地すべり地形を伴うことが多く、地形図判読や空中写真判読、現地踏査によって、地すべり地を抽出できることが多い。また、移動が緩慢かつ継続的であり、かつ移動量も大きいため、開口亀裂等の変状が早期に発見されることが多い。

また、移動が緩慢かつ継続的であり、かつ移動量も大きいいため、開口亀裂等の変状が早期に発見されることが多い。

このため、地すべり（地）を確認してから対応を図る時間的余裕があることが多く、十分な調査やモニタリングを行い、対応を図っている場合が多い。

計測事例が多いため、各種の計測量による管理基準値が設定されており、移動速度による崩壊予測も適用されている。

地すべりの中には抑止不可能な巨大なものがあり、水抜き等の抑制工と併せ、モニタリングでの監視体制を構築している個所もある。

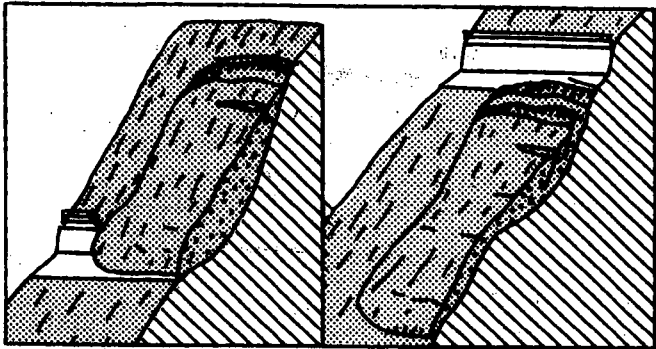


図 1-5 地すべり模式図³⁾

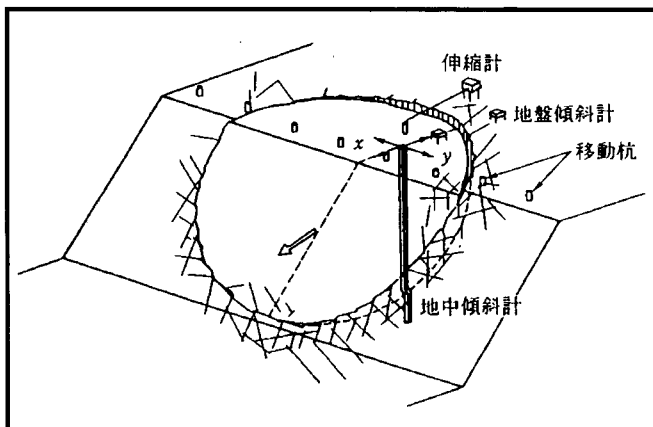


図 1-6 地すべり計測システム⁶⁾



写真 1-2 地すべり事例²⁾

＜斜面災害および斜面モニタリングに関する参考文献＞

- 1) 斜面災害の予知と防災、高橋・大八木・大滝・安江、白亜書房、1986
- 2) 斜面地質学、日本応用地質学会、1989
- 3) 道路土工指針 のり面工・斜面工安定工指針、(社)日本道路協会、1999
- 4) 防災カルテ作成・運用要領、(財)道路保全技術センター、1996
- 5) 「地すべり観測便覧」(社)地すべり対策技術協会、1996
- 6) 岩盤斜面の安定解析と計測、(社)土木学会、1994