共同研究報告書

整理番号第３５２号

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（改訂版）」

平成１９年３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
株式会社エーティック
株式会社興和
株式会社フジクラ
住友電気工業株式会社
昭和電線ケーブルシステム株式会社
長菱制御システム株式会社
西日本菱重興産株式会社
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

共同研究報告書
第352号2007年3月

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（改訂版）」

独立行政法人土木研究所	土質チーム	上席研究員	小橋秀俊
〃	〃	研究員	加藤俊二
〃	〃	交流研究員	古谷充史
		アイレック技建株式会社	
		NTTアドバンステクノロジ株式会社	
		NTTインフラネット株式会社	
		応用地質株式会社	
		株式会社エーティック	
		株式会社興和	
		株式会社フジクラ	
		住友電気工業株式会社	
		昭和電線ケーブルシステム株式会社	
		長菱制御システム株式会社	
		西日本菱重興産株式会社	
		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	

（紙面の都合上土木研究所は改訂に携わった者、土木研究所以外は会社名のみ。）

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、実斜面においてフィールド試験を行った。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て平成15年6月に作成し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（案）に、平成17年度までに実施した計測結果の分析を踏まえて調査や崩壊予測の考え方などの新たな知見を加えた改訂版である。

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、効率的な斜面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、斜面管理、崩壊予測、マニュアル

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、都市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、年々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光ファイバ通信網（通称：情報ボックス）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」を開始し、上記５カ年計画の成果として、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、共同研究で得られた結果を取りまとめ、「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導入マニュアル（案）」を作成した。その後も効果的な表層崩壊危険性斜面の監視・管理と崩壊予測の考え方を確立するために、平成 17 年度まで共同研究を継続し、本マニュアルの改訂に至った。

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 19 年 3 月

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（改訂版）
目　　次

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（改訂版）　・・・・・・・・・・・・・・・・1－1
１．　概　　説
1.1　モニタリングの概要　・・・・・・・・・・・・・・・　1－2
1.1.1 モニタリングの目的と位置づけ　・・・・・・・・・・・・・・・　1－2
1.1.2 モニタリングシステムの導入効果　・・・・・・・・・・・・・・・　1－4
1.1.3 モニタリングの導入が適するケース　・・・・・・・・・・・・・・・　1－6
1.2　光ファイバセンサの特徴　・・・・・・・・・・・・・・・　1－7

２．　調査・計画
2.1　調査・計画の目的　・・・・・・・・・・・・・・・　1－9
2.2　調査・計画の手順　・・・・・・・・・・・・・・・　1－9
2.2.1 既存資料の収集・検討　・・・・・・・・・・・・・・・　1－10
2.2.2 現地概査　・・・・・・・・・・・・・・・　1－11
2.2.3 エリアの選定　・・・・・・・・・・・・・・・　1－12
2.3　計測斜面の調査と崩壊形態・規模の想定　・・・・・・・・・・・・・・・　1－13
2.4　計測計画の策定　・・・・・・・・・・・・・・・　1－14

３．　システム設計
3.1　システム設計の流れ　・・・・・・・・・・・・・・・　1－16
3.2　システム構成　・・・・・・・・・・・・・・・　1－17
3.3　センサの配置計画　・・・・・・・・・・・・・・・　1－18
3.3.1 低密度型のセンサ配置計画　・・・・・・・・・・・・・・・　1－21
3.3.2 高密度型のセンサ配置計画　・・・・・・・・・・・・・・・　1－23
3.4　センサ設置方法の選定　・・・・・・・・・・・・・・・　1－24
3.5　センサ部の選択　・・・・・・・・・・・・・・・　1－26
3.6　伝送部の検討　・・・・・・・・・・・・・・・　1－30
3.7　制御・計測部、表示部の検討　・・・・・・・・・・・・・・・　1－31
3.8　表示画面　・・・・・・・・・・・・・・・　1－32
3.9　積　　算　・・・・・・・・・・・・・・・　1－34

４．　設　　置
4.1　センサ設置の流れ　・・・・・・・・・・・・・・・　1－40
4.2　ラインマーキング　・・・・・・・・・・・・・・・　1－41
4.3　仮設工　・・・・・・・・・・・・・・・　1－42
4.4　光ファイバセンサの設置　・・・・・・・・・・・・・・・　1－44

4.4.1 設置手順 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－44
4.4.2 光ファイバセンサの初期調整 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－48
4.5 制御・計測部の調整 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－49
4.6 伝送部との接続 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－50
4.7 事務所・出張所等への接続 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－52

５． 運 用
5.1 運用管理の基本 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－53
5.2 計測データの整理 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－55
5.3 日常計測・管理 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－57
5.3.1 日常計測・管理の基本的考え方 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－57
5.3.2 対応策の検討 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－61
5.4 降雨時の計測・管理 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－64
5.4.1 降雨時の計測・管理の基本的考え方 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1―64
5.4.2 変位が認められた時の対応 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－68
5.5 地盤変位以外の挙動 ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－69
5.6 メンテナンス ・・・・・・・・・・・・・・・ 1－70

第２章 事例紹介 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－1
１．FBG 方式（高密度型） ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－2
1.1 一般国道 49 号福島県いわき市三和町中三坂 ・・・・・・・・・・・・・・ 2－2
1.1.1 現地状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－2
1.1.2 システム構成及びセンサ配置 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－4
1.1.3 センサの概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－5
1.1.4 計測装置概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－6
1.1.5 運 用 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－6
1.2 一般国道 52 号山梨県南巨摩郡身延町光子沢 ・・・・・・・・・・・・・・ 2－8
1.2.1 現地状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－8
1.2.2 システム構成 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－9
1.2.3 センサ概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－10
1.2.4 計測装置概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－12
1.2.5 運 用 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－12
1.2.6 計測データ例 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－14

２．MDM 方式（高密度型） ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－16

2.1 一般国道 220 号宮崎県日南市鷲巣（オウサ）地区 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－16

2.1.1 現地状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－16
2.1.2 センサ概要とセンサ配置 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－18

2.1.3 計測装置概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－19
2.1.4 運用 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－20
2.1.5 計測データ例 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－23

３．B-OTDR 方式（高密度型） ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－26

3.1 一般国道 19 号長野県水内（ミノチ）郡信州新町水内 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－26

3.1.1 現地状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－26
3.1.2 システム構成及びセンサ配置 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－27
3.1.3 センサ概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－27
3.1.4 計測装置概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－29
3.1.5 運　　用 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－30
3.1.6 計測データ例 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－31
3.1.7 検証試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－32
3.2 一般国道 28 号兵庫県津名郡津名町塩尾 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－33
3.2.1 現地状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－33
3.2.2 システム構成及びセンサ配置 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－34
3.2.3 センサの設置 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－35
3.2.4 計測装置概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－36
3.2.5 運　　用 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－37
3.2.6 計測データ例 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－37
3.2.7 従来型計測器との比較 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－38
3.2.8 計測精度と崩壊前兆 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－40
3.3 一般国道 42 号和歌山県西牟婁郡すさみ町黒崎 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－41
3.3.1 現地状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－41
3.3.2 システム構成 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－42
3.3.3 センサの概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－43
3.3.4 計測装置概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－44
3.3.5 運　　用 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－44
3.3.6 計測データ例 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－45

４．B-OTDR 方式（低密度型） ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－47
4.1 一般国道 19 号長野県筑摩郡生坂村大字池沢地先 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－47
4.1.1 現地状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－47
4.1.2 システム構成 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－48
4.1.3 センサの概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－49
4.1.4 計測装置概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－50
4.1.5 運　　用 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－50
4.1.6 計測データの季節変動と温度補正の考え方 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－52
4.1.7 計測データ例 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－53

4.2　一般国道 28 号兵庫県洲本市炬口　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－55
4.2.1 現地状況　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－55
4.2.2 システム構成及びセンサ配置　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－56
4.2.3 センサの概要　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－56
4.2.4 計測装置概要　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－58
4.2.5 運　　用　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－58
4.2.6 計測データ例　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－58
4.2.7 検証実験（温度ひずみ）　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－59
4.3　一般国道 42 号和歌山県東牟婁郡串本町田原　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－61
4.3.1 現地状況　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－61
4.3.2 センサ設置箇所選定の考え方　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－62
4.3.3 センサ配置　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－62
4.3.4 システム構成　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－65
4.3.5 センサの設置　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－66
4.3.6 運　　用　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－67
4.3.7 計測データ例　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－67

4.4　一般国道 220 号宮崎県日南市宮鶯巣（オウサ）地区　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－70

4.4.1 現地状況　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－70
4.4.2 センサ配置及び設置方法　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－70
4.4.3 計測データ例　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－71
4.4.4 日常計測による崩壊規模及び範囲の予測検討　・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－73

第３章　光ファイバセンサとは　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－1
１．　光ファイバとは　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－1
1.1　光ファイバの構造　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－1
1.2　光ファイバの種類　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－2
1.3　光コネクタ　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－2
1.4　融着接続　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－3

２．　光ファイバセンシング方式について　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－4
2.1　B-OTDR 方式の計測原理　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－5
2.2　OTDR 方式の計測原理　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－7
2.3　FBG 方式の計測原理　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－7
2.4　MDM 方式の計測原理　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－8
2.5　光学ストランド方式（OSMOS 方式）の計測原理　・・・・・・・・・・ 3－9
2.6　光干渉方式の計測原理　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－10
2.7　光センシング方式の比較　・・・・・・・・・・・・・・・・ 3－11

第４章　斜面崩壊監視用標準ソフト　・・・・・・・・・・・・・・・・ 4－1
1）光ファイバ斜面モニタリング表示ソフト取扱説明書（設定編）
2）光ファイバ斜面モニタリング表示ソフト取扱説明書（操作編）

＜参考資料＞
用語集

＜添付 CD＞
光ファイバ斜面モニタリング表示ソフト

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（改訂版）

このマニュアルは、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導入から運用時までの考え方を解説したもので、平成１５年６月に（案）として取りまとめたものに、平成１７年度までに取り組んできた研究により得られた新たな知見を加えて改訂したものである。

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. 概説

1.1 モニタリングの概要

1.1.1 モニタリングの目的と位置づけ

斜面崩壊モニタリングは、斜面崩壊による人的な災害を防止するために、計測機器を用いて斜面を監視して斜面管理における点検を支援するもので、危険箇所の抽出（位置の特定）と、抽出された危険箇所の監視（崩壊予測）を目的とする。

【解説】

(1) 目的

モニタリングシステムを導入するにあたっては、災害の予知・予測・防止の観点から、以下に示すような目的を明確に定めて計画することが重要である。

① 異常箇所の抽出

降雨時や融雪期等に微小変状が発生するような異常箇所を抽出し、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 特定危険箇所の監視

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。

(2) 位置付け

斜面防災におけるモニタリングの位置付けは、斜面管理の基本である目視点検を補間・支援するための手法である。対象となる斜面が道路からの目視点検が困難な距離にあったり、植生に覆われて地盤の確認が容易でない状況にあったりする場合においては、斜面の変状が見逃されやすい。特に、表層崩壊の変状については、崩壊前の地盤の変状が現れにくく目視点検での危険確認および判断が困難であり、線的・面的に斜面をモニタリングして斜面の変状の状況から崩壊危険位置を把握することが、迅速な防災対策の実施につながる。

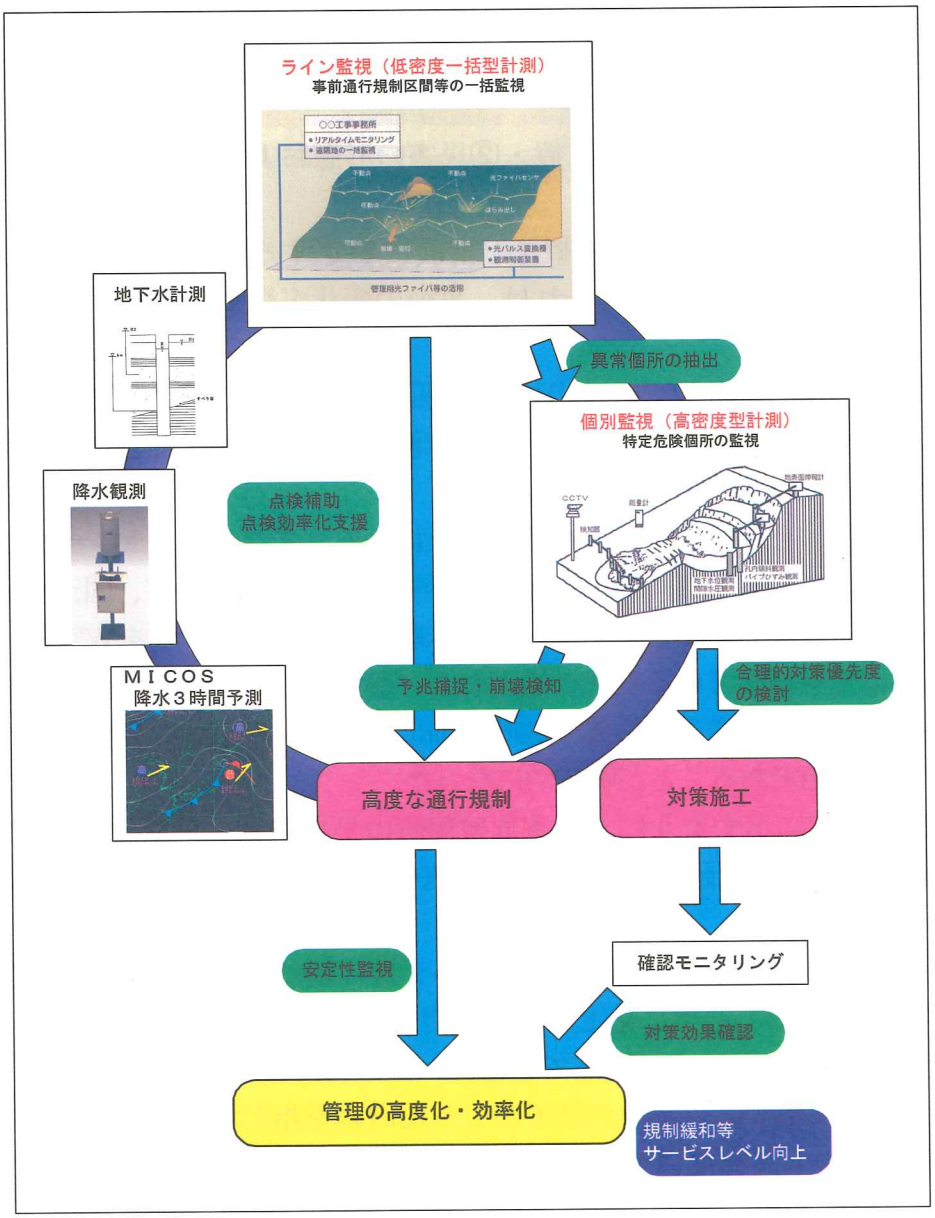


図1.1-1　モニタリングを活用した道路斜面管理のイメージ

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による斜面の高精度・高頻度での監視により、災害危険箇所の早期発見・早期対応、崩壊予測による人的被害の回避が可能となる。

【解説】

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。

これまでは表層崩壊等の発生位置を、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た。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、適切に計測された事例がなく、計測結果の蓄積・検証が課題となっていた。

これらの課題は、土木研究所および民間14社による「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（平成12～17年度）」において、国土交通省の６事務所の協力のもとで実施してきたフィールド試験結果より、センサをW字型に設置することで斜面内にて累積している変状の範囲および移動方向から崩壊危険位置を事前抽出が可能であること、崩壊発生の約２～数時間前に急激な歪み速度の変化があり、これによる崩壊予測が可能であることが明らかになった。

この結果、図1-2に示すように、災害危険箇所の早期発見・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や避難誘導が可能になると期待されている。

道路防災における斜面管理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。

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。

- 目視観察よりも高精度に変状の進行等を判断することにより、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、より効果的な通行規制や避難誘導を行い、安全性の向上を図る。

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ができる。
- 異常箇所を特定することにより、重点的な点検・対策が実施できる。
- 遠隔地や目視点検が容易でない危険箇所の計測を行うことにより点検者の負担を軽減できる。

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

なお、防災対策を実施するにあたっては、計測データとともに、地形・地質状況や変状状況等の現地調査結果を踏まえた総合判断が不可欠である。

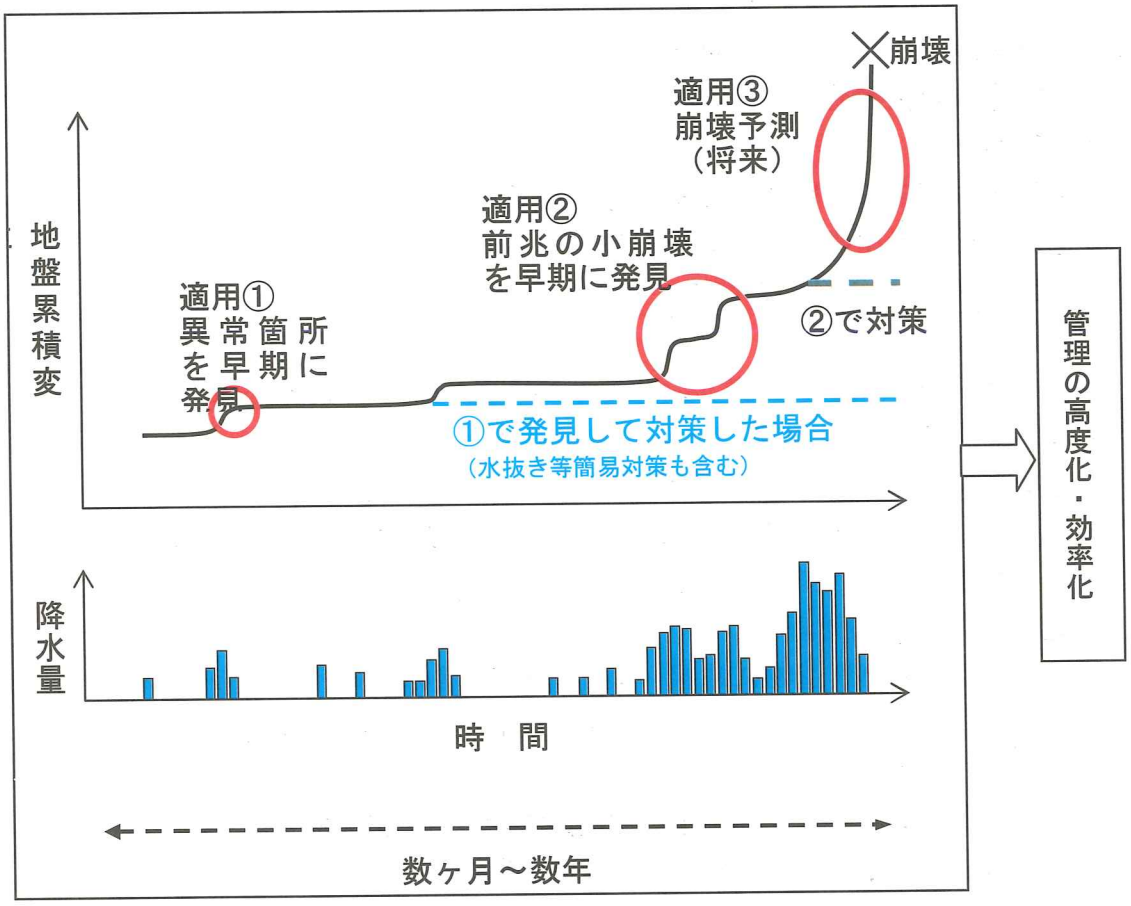


図1.1-2　モニタリングシステムの導入効果

1.1.3　モニタリングの導入が適するケース

(1)中長期のモニタリング
　①斜面崩壊による、人的被害の防止
　②構造物の維持管理
(2)当面のモニタリング
　①対策実施までに時間を要する危険箇所の監視強化
　②崩壊危険箇所の抽出や状況把握
(3)施工中の安全管理のための一時モニタリング

【解説】

斜面管理において、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

①斜面崩壊による、人的被害の防止

・モニタリングに基づく通行規制や避難誘導による道路利用者や住民の安全性の向上

②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

①抜本的対策までに時間を要する危険箇所での監視強化

・用地等の問題で早急な対応が困難な場合

②崩壊危険箇所の抽出や状況把握

・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

・崩壊危険性斜面において、実際に対策が必要な異常箇所（ある程度の降雨などで微小変状を示す箇所）を抽出する場合

(3)施工中の安全管理のための一時的モニタリング

・災害箇所や変状箇所周辺での対策工の施工中の安全管理を図る場合

・切土や高盛土、トンネル掘削などの施工に伴い、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

1.2　光ファイバセンサの特徴

斜面計測における光ファイバセンサの主な利点は次の通りである。

①光ケーブルをセンサとして用いており、光通信網を活用した遠隔監視が可能である。

②センサ部に電源が不要であるため、落雷による電磁誘導を受けない。

③１ラインで複数ポイントの計測が可能なものが多く、少ない結線量で面的あるいは線的な計測ができる。

【解説】

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1.1-3参照）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とが重要である。

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と監視形態※2および計測形態※3を検討する（2.4参照）。

※1　監視方法：計測・検知

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

※3　計測形態：低密度型設置による広域監視、高密度型設置による個別監視

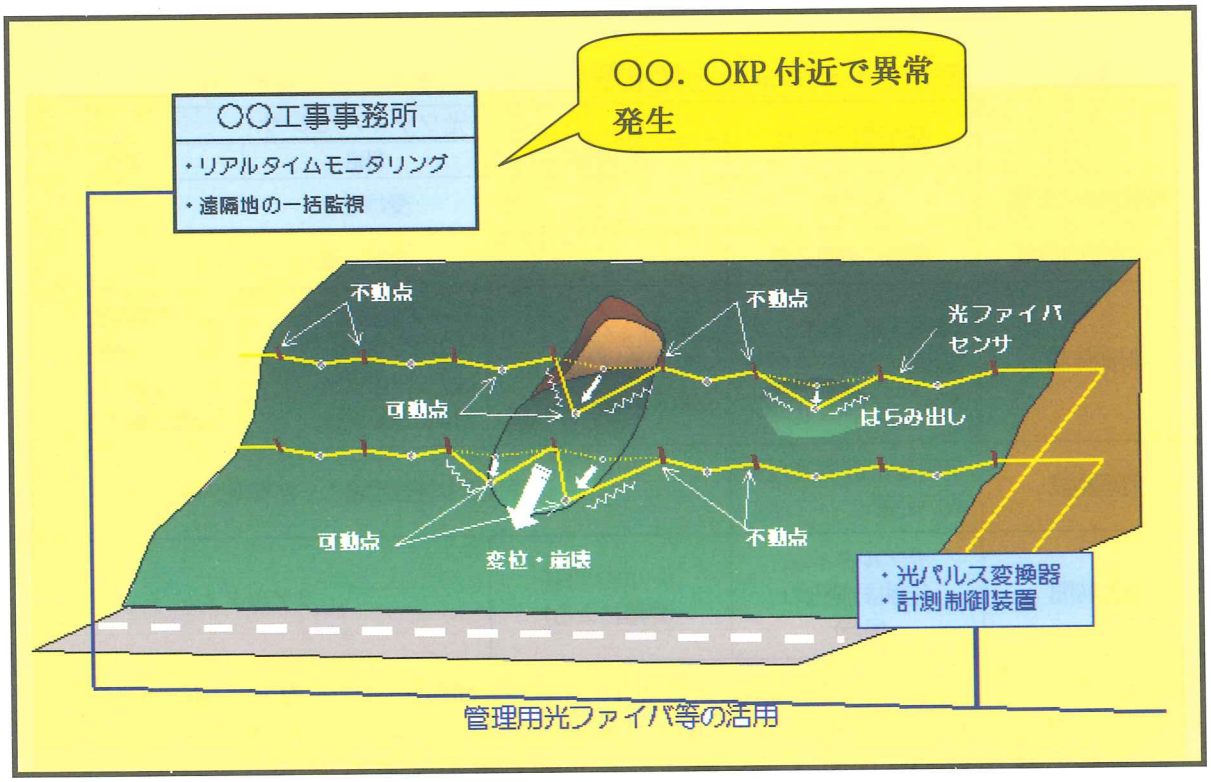


図1.1-3　光ファイバセンサ（イメージ図）

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毎の箇所）について、ひずみ量等を計測できる。*ひずみ発生箇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道路管理用光ファイバケーブル網（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*多数の箇所・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箇所の絞込みが困難であった現象に対しても、対応可能である。

表1.1-1　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（距離による）	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る。センサの特徴や性能を十分に理解し使用目的に応じて適宜適切なセンサを選択する。

2.　調査・計画

2.1　調査・計画の目的

調査・計画は、光ファイバセンサの設置を計画する地区の危険箇所を抽出し、センサ配置計画の基礎資料を得ることを目的として実施する。

【解説】

光ファイバセンサを設置する場合には、光ファイバセンサの特徴を踏まえた上で、計測を計画している地点の危険箇所の状況を把握し、計測形態やセンサの配置および設置方法を決定する必要がある。

2.2　調査・計画の手順

調査・計画においては、以下の手順により計測対象箇所を絞り込む。

①既存資料収集
②現地調査
③エリアの選定
④個別斜面の調査

【解説】

光ファイバセンサには低密度に広い範囲を計測する方法と高密度に限定的な箇所を計測する方法が有る（2.4参照）。したがって、計測を実施する箇所の崩壊形態や危険箇所の分布状況を踏まえた上で計測計画を立案する必要が有る。調査・計画によるモニタリング箇所の絞込み手順と検討対象地域の広さの概念を図1.2-1に示す。

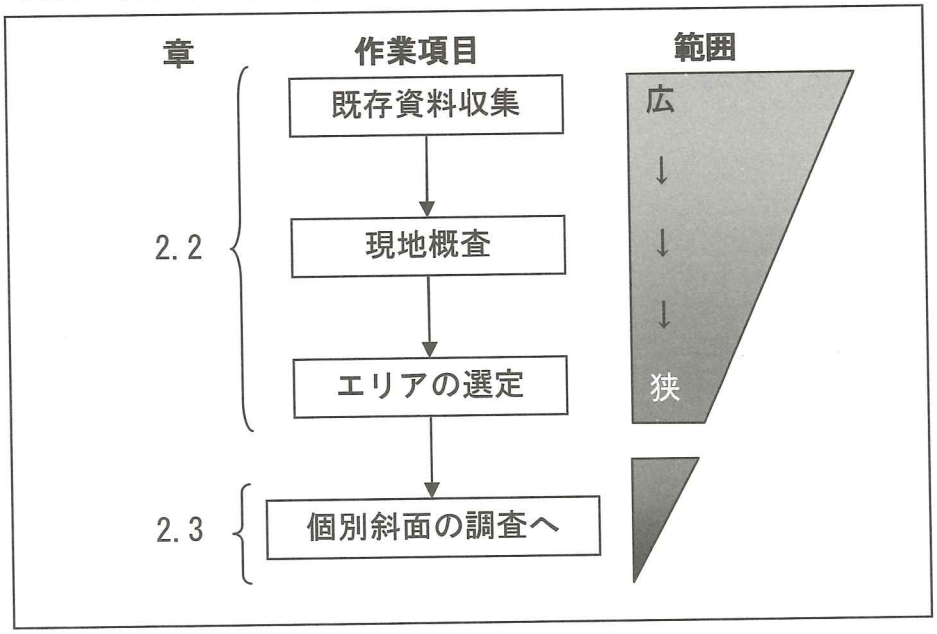


図1.2-1　調査計画の手順

2.2.1　既存資料の収集・検討

既存資料の収集・検討は、災害形態や危険箇所の分布を把握するとともに、対策計画などを参考に計測管理の必要な箇所を抽出する。斜面の危険度や位置、災害の形態を調査するとともに、既往の防災対策工や将来の対策計画を把握する。また、通信インフラの状況を調査する。

【解説】

以下の項目について資料を収集し、光ファイバセンサの設置箇所、設置条件を検討する。

① 既存資料による危険箇所

斜面危険度調査、点検・管理に関連した資料から、危険箇所の位置、災害の形態、規模、対策工の進捗状況、危険度等を確認し、モニタリングが必要な斜面を抽出する。

収集する資料として以下の資料などがある。

・道路防災点検結果、道路防災カルテ

・土砂災害危険区域の調書、ハザードマップ

② 対策工の計画

①で抽出された斜面を対象に、対策工の計画を確認する。対策工の計画の有無、施工時期や規模を考慮し、モニタリングの必要性について検討する。

③ 通信インフラの整備状況

通信インフラの整備状況は、モニタリングシステム全体の構成に大きく関与する。特に光ファイバケーブルの整備状況は、コスト面に大きく影響する。光ファイバケーブルやWAN、LANなど、通信インフラの整備状況を確認する。①及び②から抽出された斜面付近については、ハンドホールの位置等の詳細な資料を入手することが必要である。

2.2.2　現地概査

現地概査は、既存資料の収集・検討において抽出された斜面を対象として実施し、収集した資料の内容および現地との相違の有無、斜面状況、施工条件、道路や保全対象物の状況、通信インフラの状況などを調査することにより、光ファイバセンサによるモニタリングの実行可能性を評価する。(注)

【解説】

現地で確認すべき項目を以下に示す。

① 斜面の点検・管理資料の内容。

対象斜面の範囲、ハザードの位置、対策工の位置や規模、既存資料との相違の有無など。なお、既存資料と現地状況が異なる場合には、計画の修正に必要な項目について調査する。

② 斜面状況

計測対象の状況（岩盤露出、土砂堆積、風化状況等）、斜面の傾斜、起伏状況、植生状況など。

③ 施工条件

光ファイバセンサ設置工事に必要となる資材、機材および仮設条件など。

④ 道路や保全対象の状況

斜面と道路線形や見通しなどの関係、斜面と保全対象物の位置関係など。

⑤ 通信インフラの状況

ハンドホールの位置、CCTVなど既存の施設の位置やハンドホールからの引き込み状況など。

⑥ その他

観測局舎の設置位置や施工を考慮した土地条件など。

(注) 現地概査を実施した結果、モニタリングによる管理が適当でない箇所や、センサ設置工事の実施が物理的に不可能な箇所は候補から除外する場合が有る。

2.2.3　エリアの選定

現地概査を実施した斜面について、路線や地域における計測必要箇所の分布や、計画における優先度等から、モニタリングを実施するエリアを選定する。

【解説】

エリアの選定にあたって考慮すべき項目は以下の通りである。

① 光式計測装置の設置位置等物理的な条件

計測を作成した時点で実用化されている光式計測装置のタイプ、その測定可能範囲及びチャンネル数、通信インフラの整備状況を考慮し、効率的に監視が行える範囲の斜面を選定する。

② 斜面の管理上の条件

事務所からの距離、災害形態と点検の難易性、防災対策の優先度、既設対策工の効果などの斜面管理上の条件を考慮して選定する。

選定されるエリアが多数に及び、光ファイバセンサを設置するエリアの優先度を決める必要が有る場合には、計測エリアを選定する条件として、例えば以下の様なケースでは光ファイバセンサによる計測が有利となる。

ケース１：管理事務所から遠い斜面は、緊急時に現地の確認がしにくい斜面であり、このような斜面は光ファイバセンサによる計測の利点を生かすことのできる箇所である。

ケース２：エリア内あるいは隣接する斜面で過去に表層崩壊が発生し、土質・地質等の条件が類似し対象エリア内での表層崩壊の危険性が高く何らかの対策が必要であるが、明瞭な崩壊箇所が事前に確認できない場合、光ファイバセンサを横断方向にW字型に設置する低密度型（2.4参照）の計測が適している。

2.3　計測斜面の調査と崩壊形態・規模の想定

選定したエリア内にある個別の計測対象斜面について現地踏査を実施する。

① 崩壊の形態・規模の想定

不安定土砂の厚さや分布、微地形、湧水点等から、崩壊の形態と規模を想定する。

② 既存対策工の状況

落石防護柵のポケットの余裕やその配置など、既存の対策工でカバーできる崩壊の規模を想定する。①で想定した崩壊のうち、対策工でカバーできるものは、計測対象から除外できる場合が多い。

以上から、斜面上での計測対象範囲を計画する。

【解説】

現地踏査に関する参考事項を以下に示す。

- 土砂層や強風化層の厚さやその分布を調査する場合は、土層強度検査棒等の簡易な貫入試験器を用いるとよい。
- 微地形調査においては、斜面傾斜の変換点、古い滑落崖、クラック等に注意する。

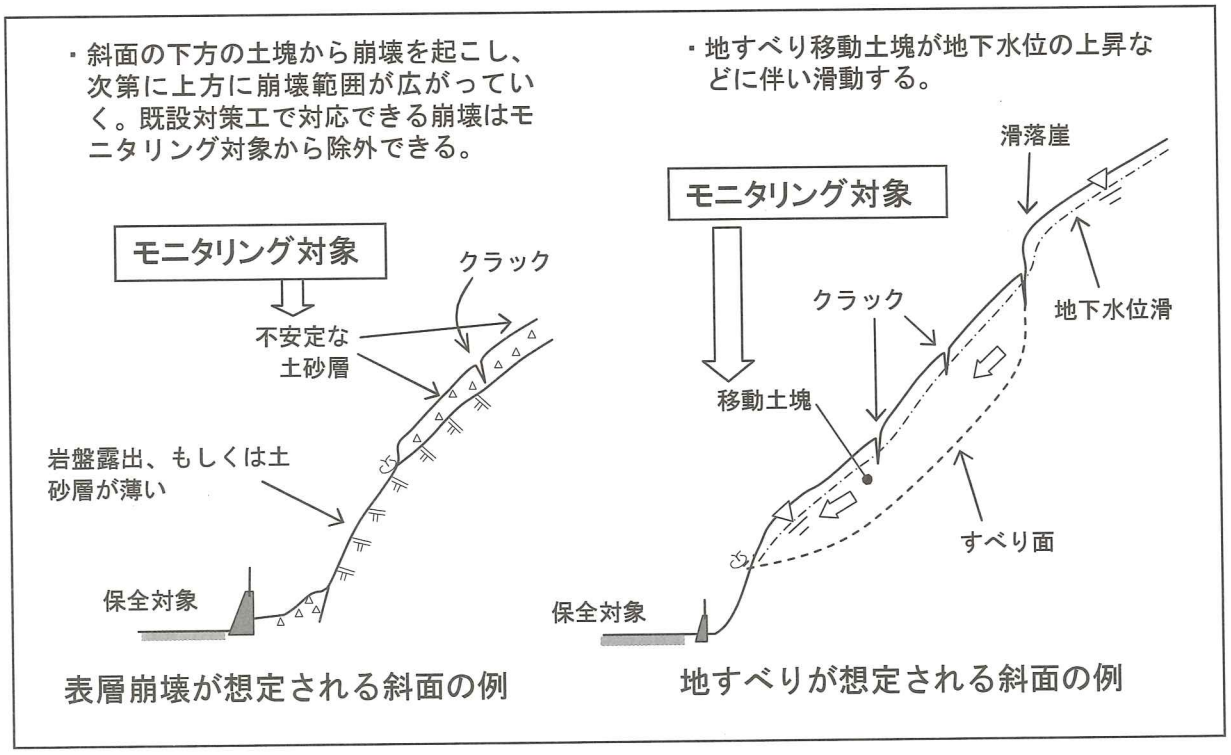


図1.2-2　崩壊形態の例

2.4　計測計画の策定

想定された崩壊形態や規模から、導入する光ファイバセンサの計測形態（低密度型もしくは高密度型）を計画する。

低密度型：計測対象の崩壊の範囲が不明瞭であるため、線的・面的に斜面を広く計測する方法。

高密度型：計測対象の崩壊の範囲が明瞭で、またその箇所数が特定でき、集中的に計測する方法。

【解説】

基本的な光ファイバセンサの監視方法や計測形態及び、低密度型、高密度型の選定方法について以下に示す。

(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)　監視形態

監視形態は、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、原則として道路管理用光ファイバ網等既設通信インフラを活用した全自動計測を標準とする。

(3)　計測形態（低密度型、高密度型）の選定

対象とするエリアおよび斜面の状況や計測目的から、低密度型あるいは高密度型の計測形態を選定する。

低密度型：崩壊範囲が不明瞭な表層崩壊、移動土塊の範囲が不明瞭な地すべりなど

高密度型：地すべり、変状が表面化している法面、崩壊範囲が比較的明瞭な表層崩壊など

光ファイバセンサの計測原理は数種類があり、計測目的や計測形態および現地状況に応じた計測原理を選定する必要がある（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（表1.2-1）。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。各方式が適した崩壊形態は概略以下のようにまとめられる。

表1.2-1　計測原理※6の適用性（計測性能）　（加藤他, 2002に加筆）[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。

3.　システム設計

3.1　システム設計の流れ

広域調査の管理計画や個別箇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。

【解説】

図 1.3-1 に光ファイバセンサを導入するまでの流れを示す。システム設計は、調査・計画で立案した、広域監視（低密度型）あるいは個別箇所の監視（高密度型）の計画をもとに、詳細設計を行う。詳細については、3.2 以降に示す。

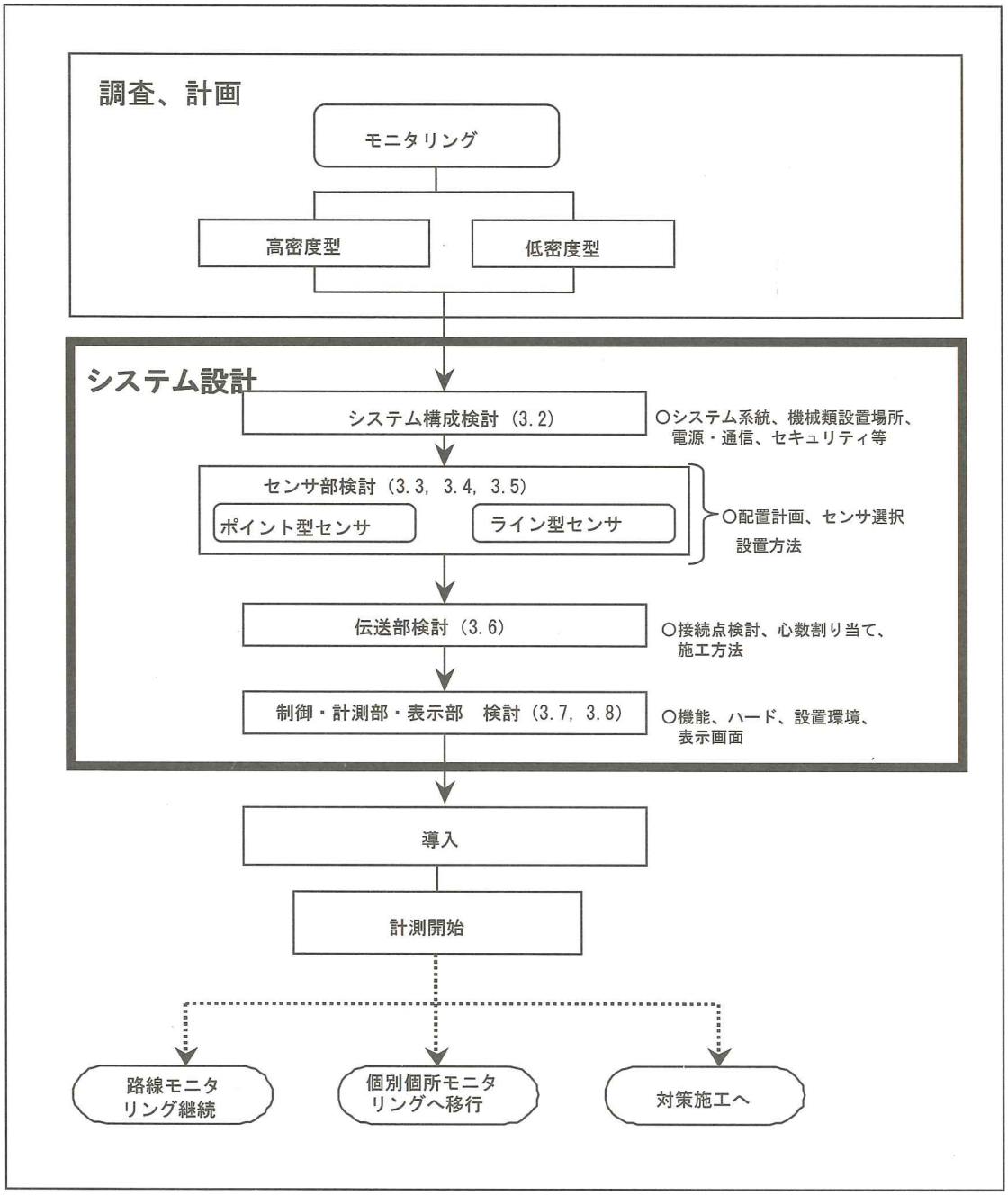


図 1.3-1　光ファイバセンサを導入するまでの流れ

3.2　システム構成

監視方法、計測形態（低密度型、高密度型）の選定結果を踏まえ、センサ部、伝送部、制御・計測部、表示部の構成を検討する。

【解説】

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。センサ部を道路管理用光ファイバ網等の光ファイバケーブルに接続できない場合や計測箇所の近くに事務所や出張所がない場合には、別途、計測小屋を設けるとともに、電話回線等の通信手段の検討が必要である。

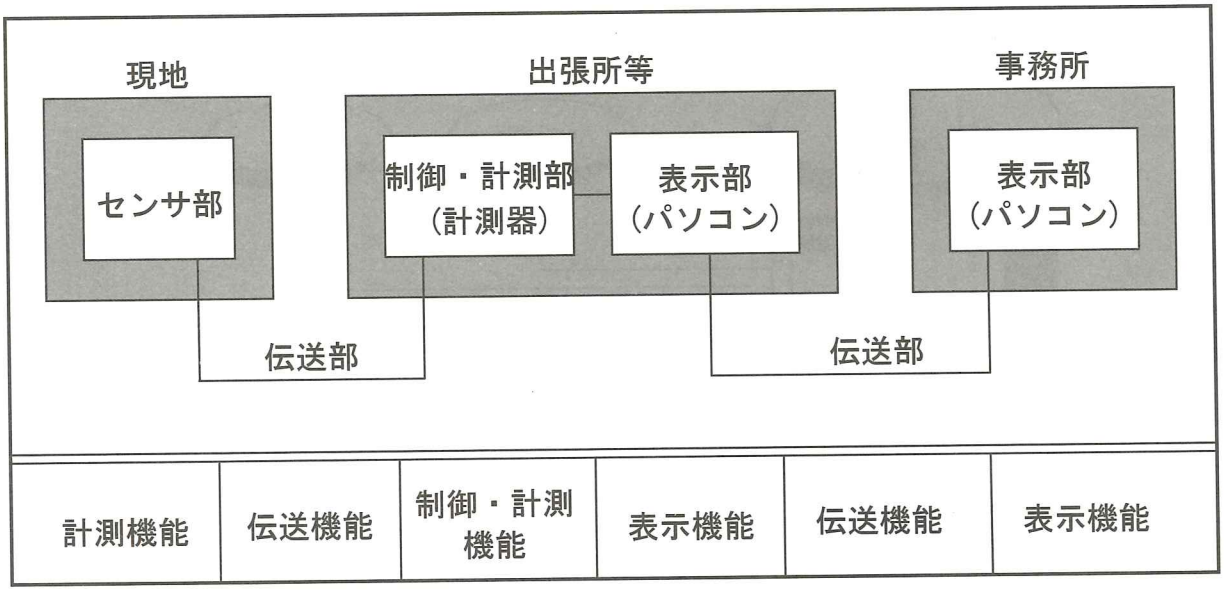


図 1.3-2　システム構成の概念図

それぞれの主な機能は以下のとおりである。

＜　センサ部及び制御計測部　＞

斜面の変状状態を連続的に計測制御する。なお、計測データのサンプリング間隔については「５．運用」を参照すること。

＜　伝送部　＞

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。

＜　表示部　＞

自動監視ならびに警報発信機能を持たせる。必要に応じて計測結果を経時変化図として自動表示する。

■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（光ファイバ網で必要な占用心数等）を勘案しながら決定し、状況によっては、現地に計測小屋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

■システム系統図イメージ
システム系統は複数での管理となるため、一括で管理できる設計を行う。
システム系統のイメージ例を以下に示す。

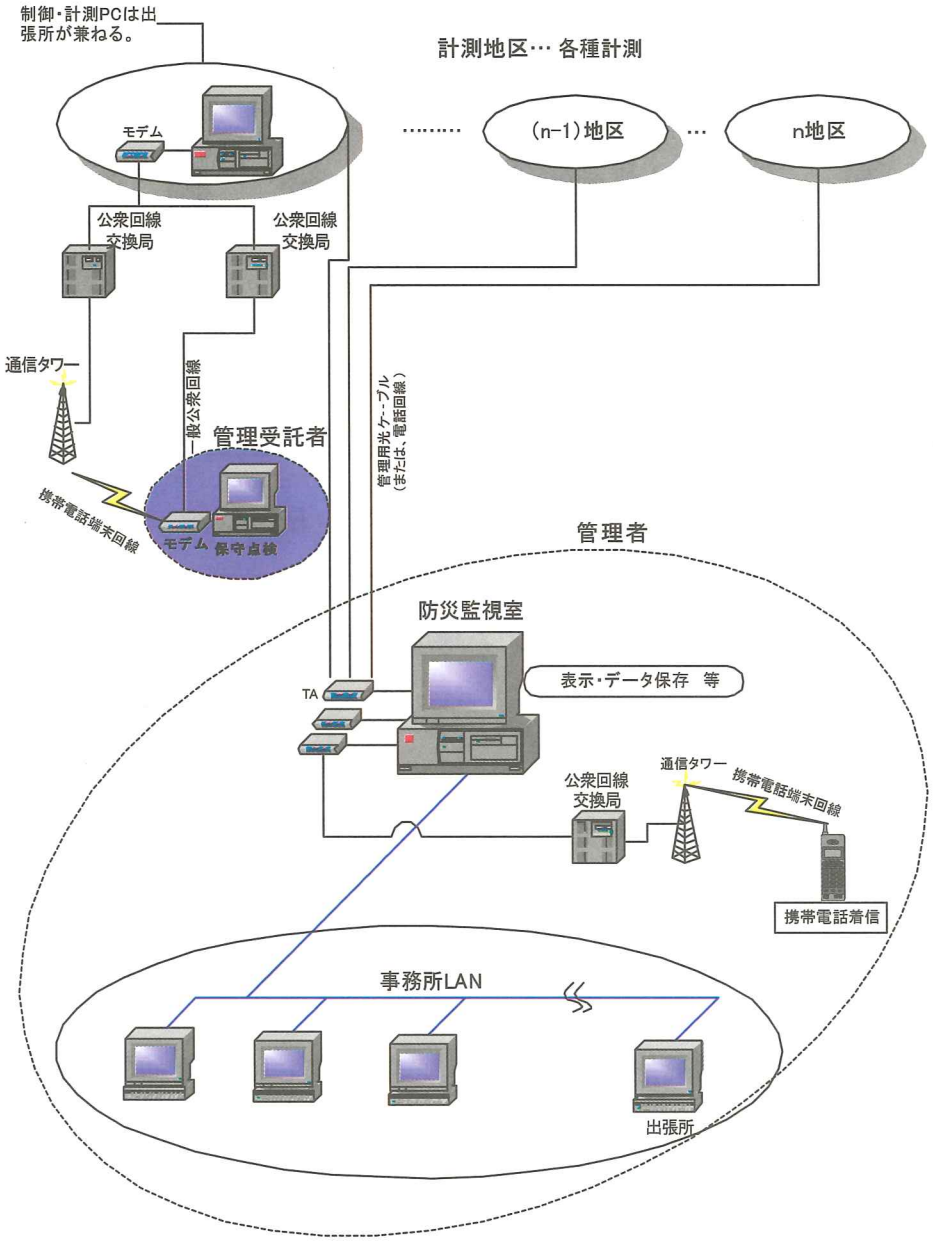


図 1.3-3　システム構成イメージ図（例）

3.3　センサの配置計画

センサの配置計画は、想定される崩壊形態や規模および選定した計測形態の特徴を踏まえ、現地条件やイニシャルコストやランニングコスト等の経済性を考慮して計画する。

【解説】

「２．調査・計画」で想定した崩壊形態や規模および選定した計測形態の特徴を踏まえてセンサの配置を計画する。低密度型、高密度型の特徴は下記の通りで、模式図を図 1.3-4 に示す。

低密度型：計測対象の崩壊範囲が不明瞭で比較的広範囲を計測する場合に有効であり、センサは、既存の対策工の効果を考慮しながら比較的広範囲な計測エリア内をカバーするように線的・面的に配置する。

高密度型：計測対象の崩壊の範囲が明瞭で、またその箇所数が特定できる場合に有効であり、センサは特定箇所に集中的に配置計画する。

また、現地条件として、以下の事項に留意する。

- 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）
- 動植物等による障害（鳥獣害、落石、倒木等による障害）
- 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、強風等）
- 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

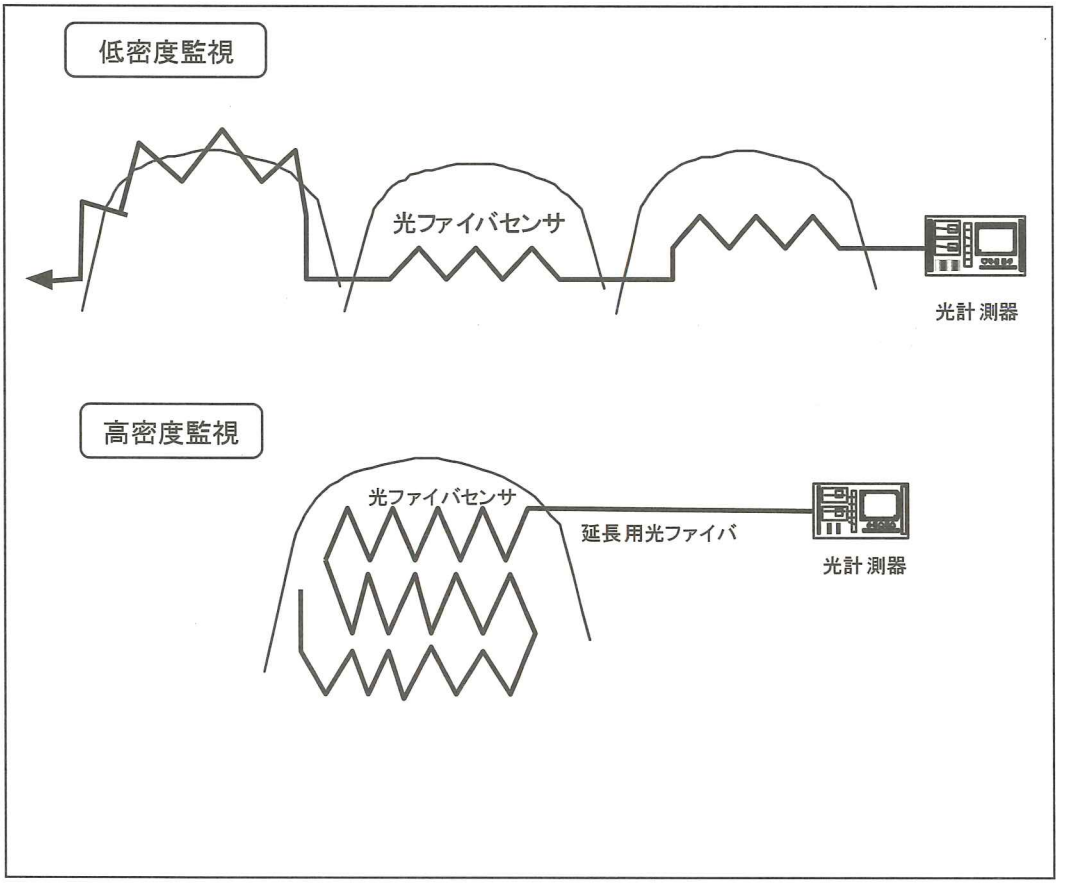


図 1.3-4 低密度型、高密度型の模式図

3.3.1　低密度型のセンサ配置計画

センサは、既存の対策工の効果を考慮しながら計測エリア内をカバーするようにW字での一筆書き形式で線的・面的な配置を計画する。また計画に当たっては、①計測区間長（ライン長）、②センサ配置位置、③センサ固定間隔、④ライン分割、⑤設置方法について検討する。

【解説】

低密度型は、計測対象の崩壊範囲が不明瞭で広範囲な計測エリアの中で崩壊などの危険ポイントの範囲を絞るために用いるもので、線的、面的（W 字の一筆書き形式）に配置する。

センサの配置概念は、対策工の有無及びその対策工の許容される崩壊量を考慮し、対策工で許容できる崩壊部分より下側は対策工でカバーできるため、それより上側の範囲で崩壊が想定される部分にセンサを配置する。崩壊の想定規模が大きい場合は、配置ラインを２段以上必要とする場合もある。配置の概念について図 1.3-5 に示す。

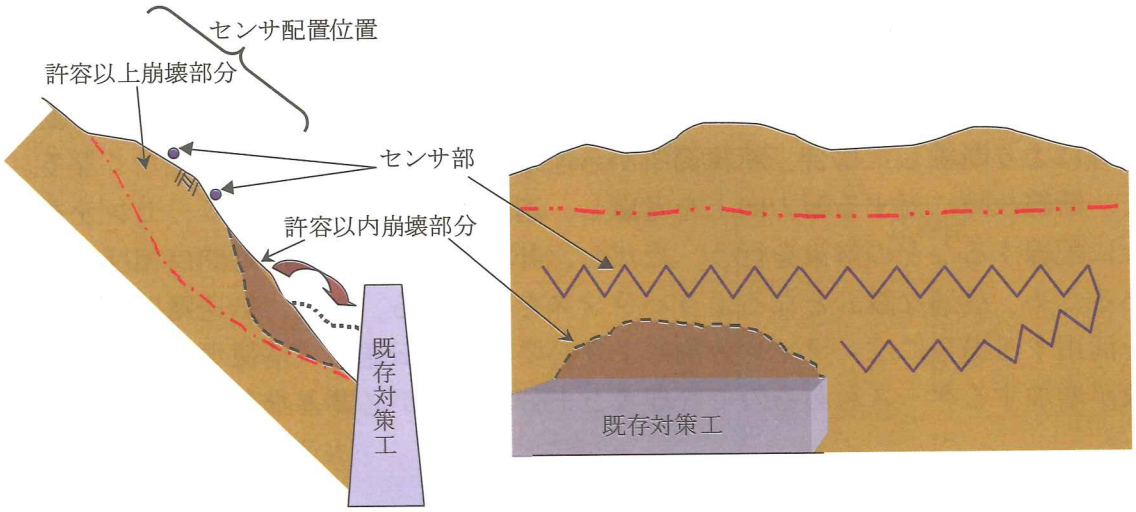


図 1.3-5　センサ配置の概念

配置計画では、以下に示す①計測区間長（ライン長）、②センサ配置位置、③センサ固定間隔、④ライン分割、⑤設置方法について検討する。

①計測区間長（ライン長）

防災カルテ等を参考に計測対象エリアを決定する。また、計測装置の諸元（測定装置からセンサ末端までの許容最大距離等）、伝送路およびセンサ部の光損失等から計測区間長が制限される。これらの条件を踏まえ計測可能なライン長を算定した上で、センサ配置計画を策定する必要がある。

②センサ配置位置（災害特性の観点からの検討）

低密度型は、道路法面上に道路延長方向に設置するのが一般的である。具体的な、センサ設置位置は以下の諸条件を踏まえ決定する。

・災害形態（防災カルテ、過去の災害発生状況を参照）

・災害の素因・誘因
・道路との位置関係
・既設対策工の有無、規模
・住民の立ち入りの有無
・動植物から受ける影響（例　倒木、鳥獣害）

③センサ固定間隔（計測条件の観点からの検討）

固定間隔は、想定される変状が適切に補足できるよう、上記②の諸条件及び計測装置／センサの諸元を総合的に判断して決定する。

光ファイバセンサの弾性変形限界は、ケーブルの仕様によって異なるが、一般的には0.5%程度である。例えば、５ｍセンサ固定間隔の場合、25ｍｍ程度のストロークを確保できる。

センサ固定間隔は、計測装置に設定する距離分解能よりも大きくする必要がある。（計測装置の距離分解能＜センサ固定間隔）

④ライン分割

低密度型は、光ファイバセンサを一筆書き状に配置する。センサの一部が変状の発生等により断線した場合、断線箇所から遠端側はモニタリングが出来なくなる。従って、断線故障に対する耐力向上を考慮し、適宜センサを分割したり、センサをループ上に配線するなどの対策を行う。ただし、計測ライン数と計測時間は相反する関係にあるため、最適な設計となるようバランスを考慮する。また、伝送路に光ファイバ網を活用する場合には、ライン分割により必要とする伝送路（情報ボックス）の光心線数が増加するケースもあるので管理者と十分な調整が必要となる。

⑤設置方法

設置方法は、モニタリング現場の状況、気候を十分考慮して決定する。

一般的なセンサ設置方法は、木杭、単管、鉄筋等を表層土へ打設し、地盤と一体的に変位するセンサ固定点を設けてセンサを設置する（写真 1.3-1 参照）。なお、必要に応じて現場条件に適合するセンサ防護工も設置する。

具体的な設置方法については、「４．設置」を参照のこと。

3.3.2　高密度型のセンサ配置計画

高密度型は崩壊などの危険ポイントの範囲が絞られた中で、崩壊が想定される箇所の変状を適切にとらえるように、その特定箇所に効率的に配置する。

【解説】

計測対象が明確な場合は、危険ポイント地表面の伸縮変動量を集中的に計測するより詳細な監視を計画する。

高密度型のセンサは、適切な位置に設置されていない限り現象の判断が難しく、崩壊形態や発生位置を把握した上で、設置位置には十分な検討が必要である。

センサの配置計画は、以下に留意する。

①測区間長（ライン長）

高密度型のライン分割は、基本的に低密度型と同様であるため、前記 3.3.1　①の諸条件を参照すること。

②センサ配置位置（斜面の変動特性の観点からの検討）

危険ポイントの斜面には、引張亀裂や圧縮亀裂、滑落差が生じるが、これらの亀裂を挟んだり、危険ポイントの主計測線に沿って変動方向に平行に光式センサを設置する。具体的なセンサ設置位置は以下の条件を踏まえて決定する。

- 危険ポイント冠頭部の亀裂を挟んで数箇所設置することが基本である。
- 危険ポイント末端部付近や危険ポイント内に亀裂や段差がある箇所に設置する。
- 危険ポイントが直列的・複数的に分布し、それら個々の危険ポイントの相関を把握するために、連続的にセンサを配置する場合もある。

③センサ固定間隔（計測条件の観点から検討）

固定間隔は、危険ポイントの変動量が適切に計測できるよう、上記②の諸条件及び計測装置／センサの諸元を総合的に判断して決定する。

④ライン分割

高密度型のライン分割は、基本的に低密度型と同様であるため、前記 3.3.1　④の諸条件を参照すること。

⑤設置方法

高密度型のライン分割は、基本的に低密度型と同様であるため、前記 3.3.1　⑤の諸条件を参照すること。

3.4　センサ設置方法の選定

センサ設置方法として、地上に架設、地表に敷設、地中に埋設する方法があり、現地条件を考慮して選択する。

①地上架設：植生が非常に繁茂していて、敷設や埋設が出来ない場合。

②地表敷設：土砂斜面などで見通しが良い場合。

③地中埋設：景観を考えなければならない場合や、積雪などの気候状況を考慮しなければならない場合。

【解説】

センサの設置方法として以下の方法がある。各設置方法にはそれぞれに特徴があるので、設置場所の地形、植生、気象条件等を十分に考慮して、斜面変状以外の要因で断線等が発生しないように設置方法を選定する必要がある。

(1) 地上架設

地上架設は図 1.3-6 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。光ファイバは杭の上部に固定冶具で留め、必要に応じ塩化ビニール管等で保護する。地形や植生の影響を受けにくいが、動物や積雪等の影響を受ける場合もある。

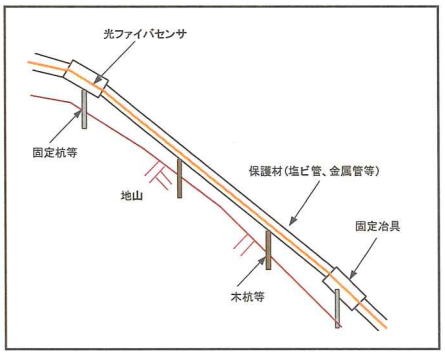


図 1.3-6　地上架設模式図



写真 1.3-1 地上架設の例

(2) 地表敷設

地表敷設は、図 1.3-7 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。

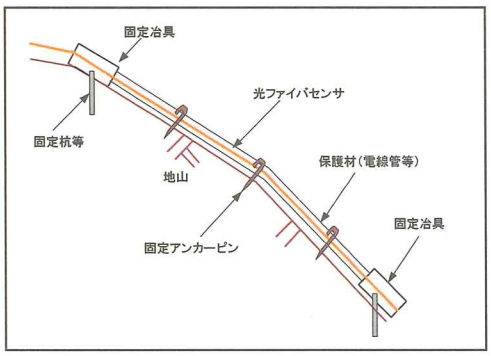


図 1.3-7 地表布設模式図

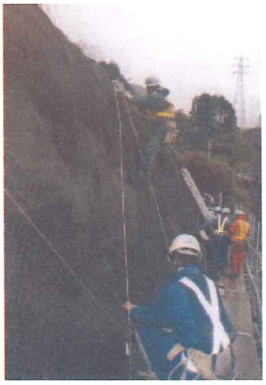


写真 1.3-2　地表布設作業例



写真 3.4-3 モルタル表面への布設例



写真 1.3-4　地表面布設例

(3) 地中埋設

地中埋設は、図 1.3-8 に示すように、設置箇所を 50ｃｍ程度掘削して固定位置に杭を打ち込み、光ファイバを固定冶具で固定し、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。この方法は動植物や風雪の影響を受けないことと、外観上設置しているのがわからないため、景観に配慮できるメリットがある。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。

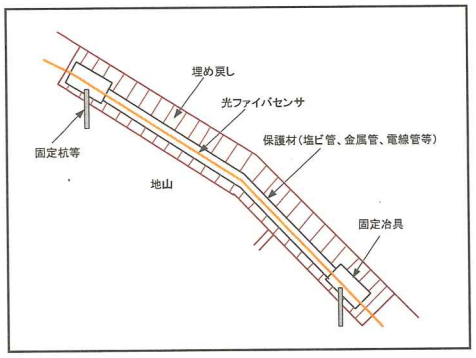


図 1.3-8 地中埋設模式図



写真 1.3-5 地中埋設例（埋め戻し前）

3.5　センサ部の選択

センサ部にはポイント型とライン型があり、モニタリングの対象エリアの大きさ、危険度、モニタリングに係るイニシャルコストやランニングコスト等の経済性などを考慮し、それぞれの特徴を理解したうえで選定する。

【解説】

（1）ポイント型センサ

ポイント型センサは、ライン型センサより高精度であり、なおかつ、リアルタイム性に優れていることが特長である。

しかしながら、設置方法は、従来センサと同様で点的な計測となり、不特定域で発生する崩壊に対して見逃す可能性があり、また、適切な位置に設置されていない限り現象の判断が難しく、設置位置には十分な検討が必要である。

モニタリングの対象エリアが広範囲（多点計測）になる場合、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の制限や計測器 1 台に対するセンサ個数の制限から、線量や結線の面で煩雑になる。また、経済性も低下する。

○センサの種類と構造

光ファイバセンサの種類には表 1.3-1 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。

現在、開発されている主なポイント型センサには、FBG 方式や MDM 方式が用いられることが多い。それらのセンサについて以下に示す。

表1.3-1　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	点的・線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
光式雨量計	雨量

センサ構造は、基本的には従来型に類似していることが多い。つまり、斜面変位量、斜面伸縮量、斜面歪量といった物理量をひずみ量や変位量に変換する。それらの量をFBG方式（図1.3-9、図1.3-10）やMDM方式（写真1.3-6、図1.3-11）等のセンサを用いて計測する。

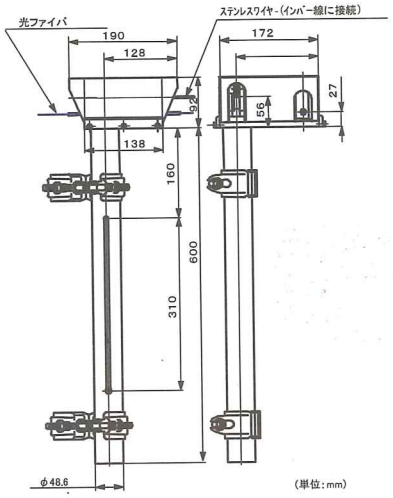


図1.3-9　FBG式地表面伸縮計

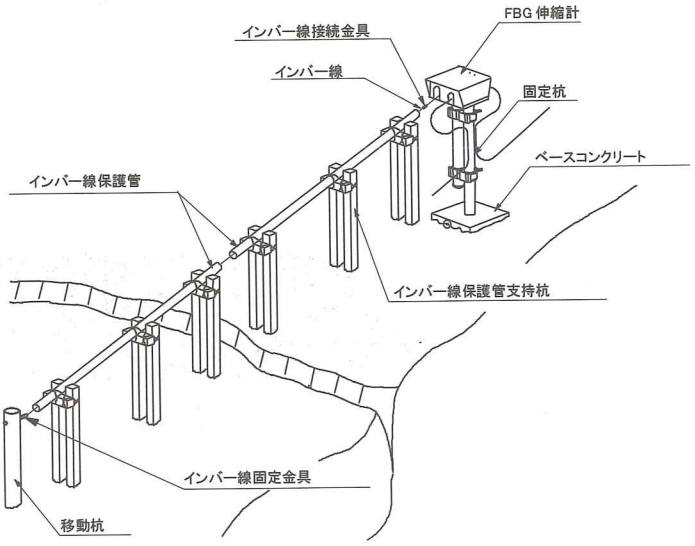


図1.3-10　FBG式地表面伸縮計の設置模式

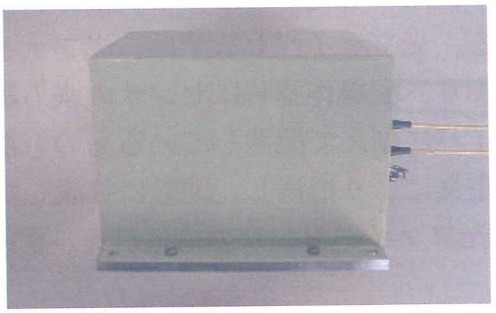


写真1.3-6 MDM地盤伸縮計外観

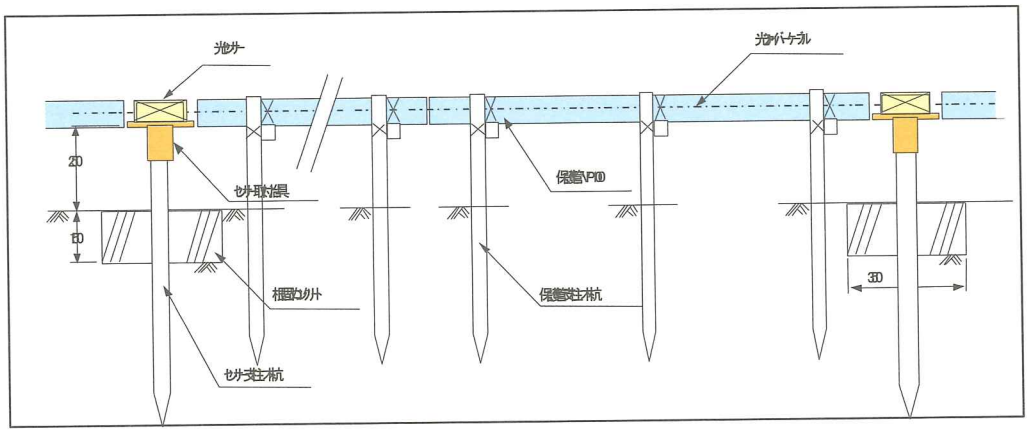


図1.3-11 MDM地盤伸縮計の設置模式

（2）　ライン型センサ

ライン型センサは、表層崩壊発生の恐れのある道路法面等、ある程度面的な広がりがある計測対象に適用される。１本の光ファバセンサをW字に一筆書きのように連続して設置する。各センサ区間は１本の光ファイバセンサから成り、隣り合うセンサは、センサ支持点を共有している。（図 1.3-12 参照）

ライン型センサには、1 本の光ファイバに多数の計測区間を設定できるＢＯＴＤＲ方式が用いられることが多い。

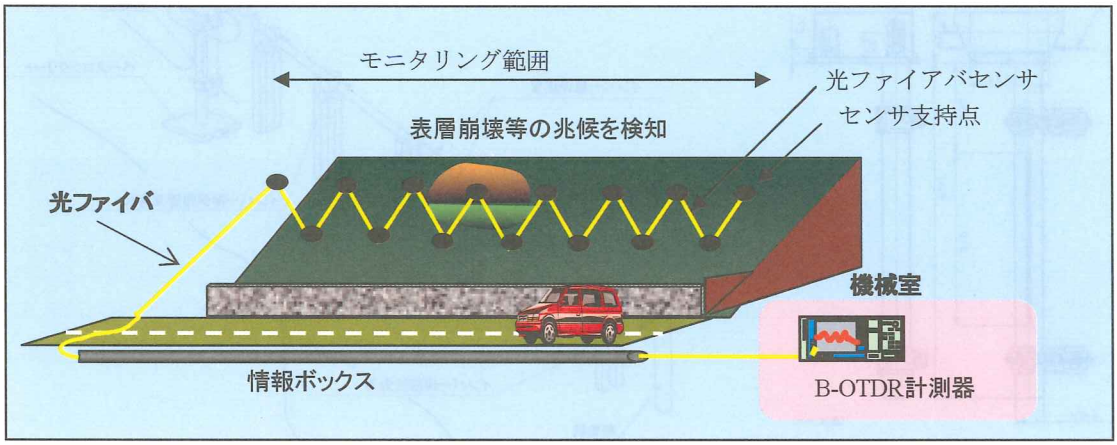


図 1.3-12　ライン型センサ

○センサの種類と構造

ライン型センサシステムに用いる光ファイバセンサは、現場環境、気候条件等を踏まえ適切なものを選択する。光ファイバセンサは、光ファイバをポリエチレン等により被覆する構造を有しており、配線作業時にセンサの張力調整を容易にするためにテンションメンバを光ファイバに副えて配置しているものもある。光ファイバセンサは樹脂製または金属製の固定具により把持し、地盤に打設した杭に固定する構造であることが多い。図 1.3-13 に光ファイバセンサの構造例を、写真 1.3-7 にセンサ固定具を示す。

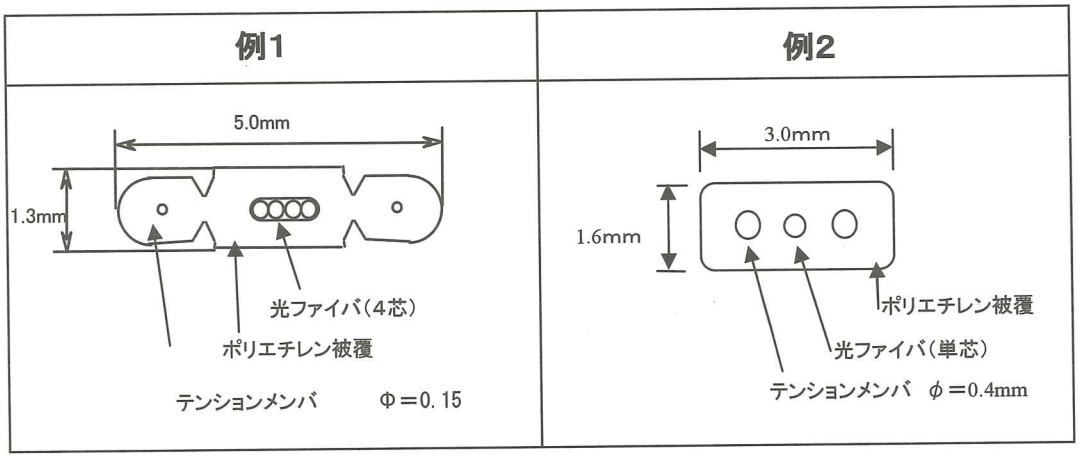


図1.3-13　光ファイバセンサ構造例







写真1.3-7　センサ固定具の例

3.6　伝送部の検討

伝送部は、事務所・出張所とセンサ部および計測器との間で、データや制御信号等を自動伝送する機能を有するもので、現地状況に応じて適切な方法を検討しなければならない。

【解説】

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、道路管理用光ファイバ網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。

道路管理用光ファイバ網が整備されていない道路は、光ファイバケーブルを事務所・出張所（計測管理位置）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、計測する現地に計測器の設置が必要になり、計測小屋・電源等を確保する必要がある。

道路管理用光ファイバ網の利用は、現地状況や占用心数等を考慮して決定する。道路管理用光ファイバ網へ接続する場合、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

　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。

・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（「4.設置」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

3.7　制御・計測部、表示部の検討

(1)　制御・計測部、表示部は、監視方法、計測形態等を考慮して検討する。
(2)　監視方法は原則として自動計測による連続計測としなければならない。
(3)　表示部は、計測結果を経時変化図として自動表示し、必要に応じて自動監視・警報発信機能を持たせる。

【解説】

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、現地の計測小屋の場合と、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。管理基準値は現地状況を考慮して設定する必要があり、「5. 運用」の考え方を参考に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「5. 運用」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

3.8　表示画面

表示画面は道路管理者の所轄位置図やセンサを配置した平面図を明示し、警報機能を持たせる。警報機能は、管理基準値の超過やシステム異常の検出時にブザーを鳴らしたり、管理者にメールや警報電話を発信する。

計測グラフは、崩壊（変位）の場所・時間・規模の判るリアルタイム表示とする。

なお、計測間隔は計測方法や気象条件によって異なるため任意設定が可能になるよう設計する。

【解説】

(1) 表示画面

1) 表示画面には、道路管理者の管轄内の位置図または平面図で計測箇所を明示する。

2) 位置図または平面図には、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) 平面図は管理基準値超過に対して色別機能を持たせる。

4) 平面図は各種計測グラフ（変位ベクトル図、経時変化図等）の表示機能を待たせ、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、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、メール発信の機能を持たせる。

標準的な表示画面を図 1.3-14 に示す

（2）計測間隔・計測データの保存

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。

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。

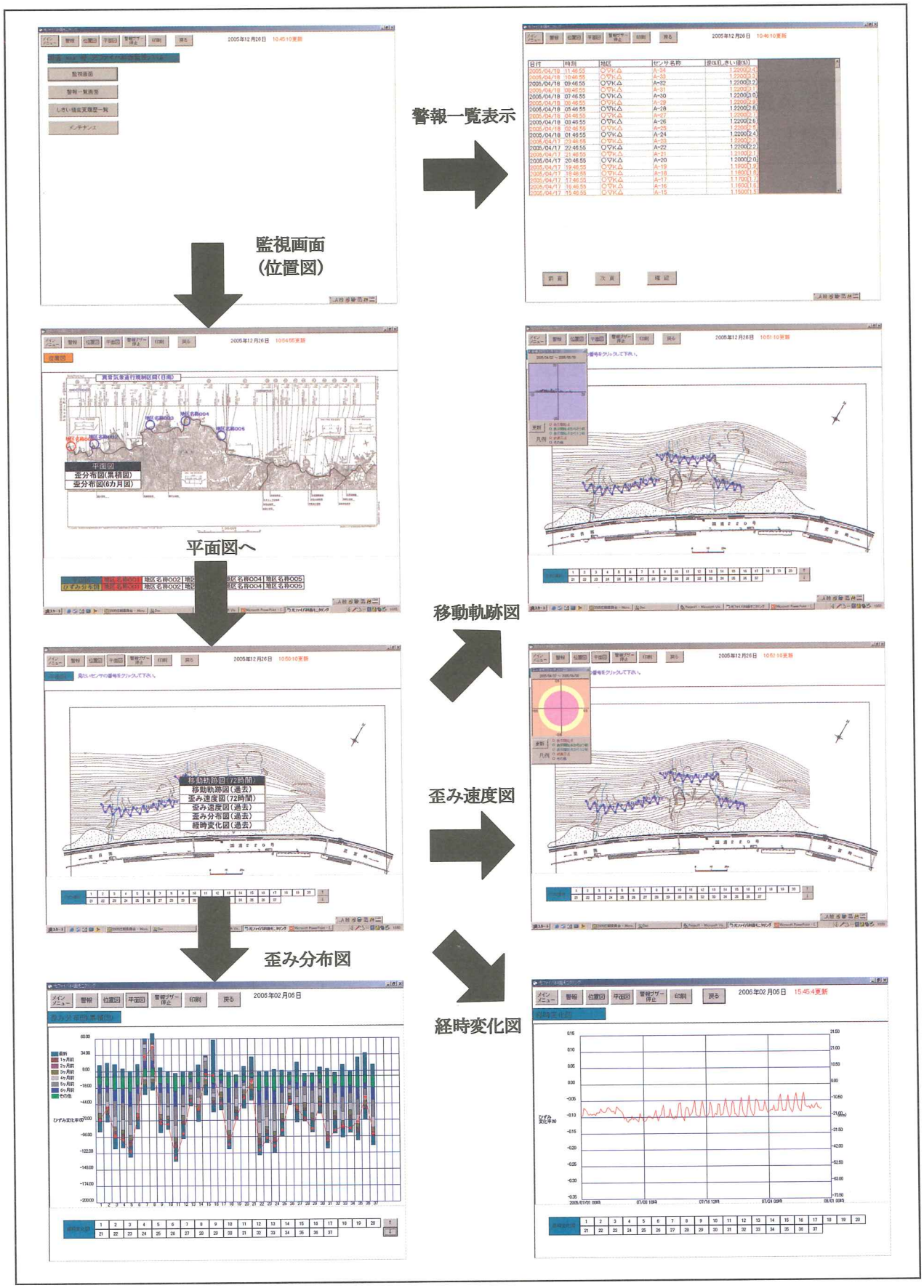


図 1.3-14 標準的な表示画面

3.9　積算

システム構築に係る、調査・計画、システム設計、設置、運用について、現地状況を考慮し、適切に積算しなければならない。

【解説】

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 1.3-2 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	
			調査・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 1.3-3　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	
			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 1.3-4　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	設置箇所
		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）
		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 1.3-5　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	

4．設　置

4.1　センサ設置の流れ

センサの設置は、調査・計画およびシステム設計の結果を踏まえて、現地での設置・調整、伝送部との接続、監視・表示部の設置・調整の流れで行う。

【解説】

光ファイバセンサの設置手順の標準的フローを図 1.4-1 に示す。

センサの設置は、調査・計画およびシステム設計に基づいて行い、始めに計測現場でのセンサ配置の設定および設置作業を行い、次に計測器を用いて初期調整を行う。初期調整終了後にデータ伝送部との接続を行い、事務所や出張所等で表示部の設置と通信確認を行う。

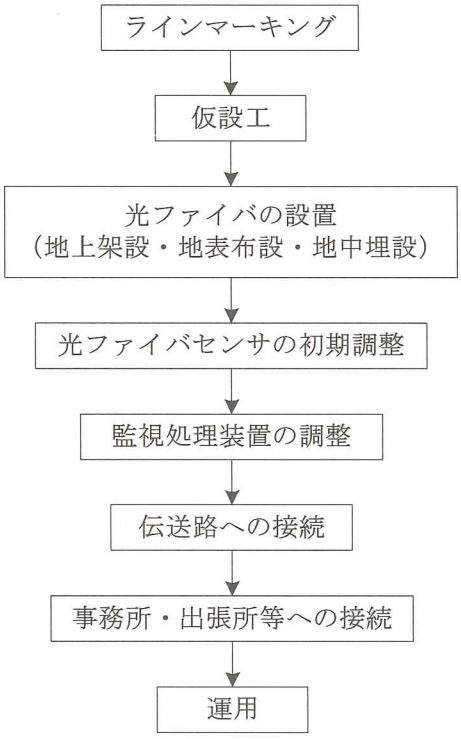


図 1.4-1　設置手順の標準的フロー

4.2　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使用してマーキングをする。

【解説】

ラインマーキングを行う際には、以下の項目を再確認し、配置計画に変更必要な場合は変更計画を立案する。

①配置計画通り光ファイバセンサが設置できるか確認する。

②配置計画通り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断面形状等に適合しているかを確認する。

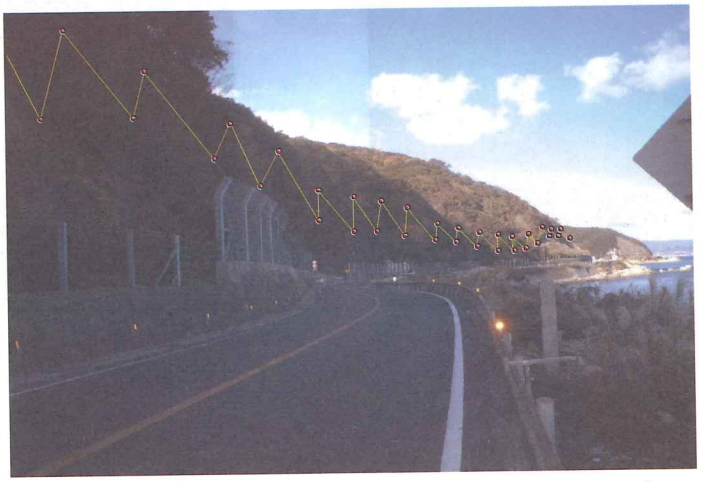


写真 1.4-1　ラインマーキングのイメージ

4.3　仮設工

作業域周辺への安全等に配慮し、作業足場や資材運搬および防護施設等、センサ配置計画に基づき必要な仮設備の準備および仮設工を行う。

【解説】

主な仮設備および仮設工の内容を以下に示す。

(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 1.4-2　単管足場設置例



写真 1.4-3　昇降階段設置例

(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。

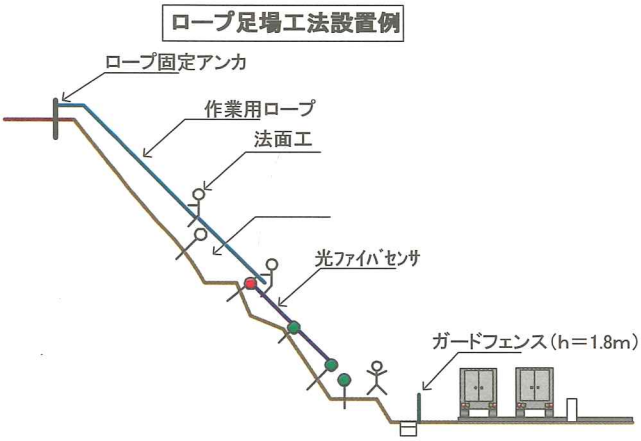


図 1.4-2　ロープ足場仮設例



写真 1.4-4 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 1.4-5　索道設置例



写真 1.4-6　モノレール設置例

(5) 第三者防護のための仮設（落石防護柵等）

斜面上の光ファイバの設置作業に伴い、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 1.4-7　落石防護柵設置例

(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 1.4-8　斜面上の落石防護網設置例

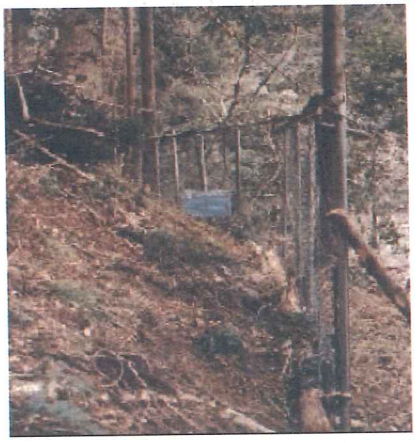


写真 1.4-9　同左設置例

4.4　光ファイバセンサの設置

4.4.1　設置手順

光ファイバセンサの設置は次の手順で行う。

① 設置面の整地（地中埋設の場合は掘削）
　センサ部を設置するためのライン上の整地（掘削）を行う。

② 固定点の設置
　センサ部を固定する治具などを取り付けるための杭などを設置する。

③ 保護材の設置および通線
　光ファイバ(ポイントセンサではインバー線など)を保護するための保護材を設置する。

④ センサ部の取り付け
　固定治具によりセンサ部を固定点へ取り付ける。

⑤ 初期調整（4.4.2 による）
　光ファイバやインバー線などセンサ部の初期張力の調整を行う。

⑥ 埋め戻し（地中埋設の場合のみ）
　地中埋設の場合は掘削した箇所を埋め戻して整地する。

【解説】

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。各作業の内容を以下に示す。

(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。

急峻な施工箇所が多いため、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 1.4-10 人力掘削の例(地中埋設)



写真 1.4-11 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φ40㎜程度の穴を穿孔し、ボルト(D19×1000㎜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。

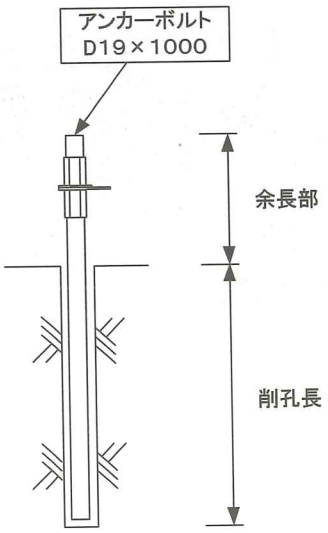


図 1.4-3 固定ボルト構造例

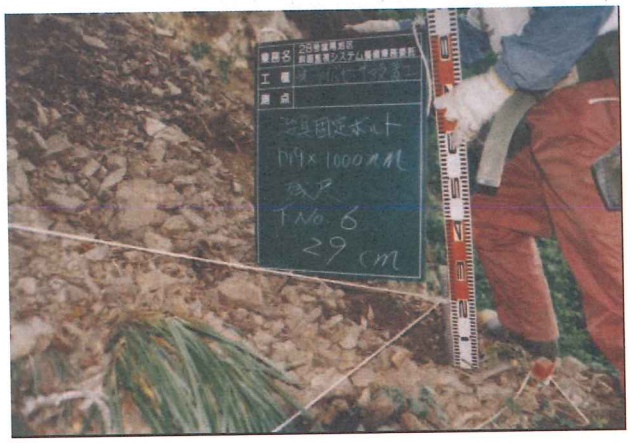


写真 1.4-12 固定ボルトの例（地表敷設）

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 1.4-13 コンクリート固定による杭
（地上架設）

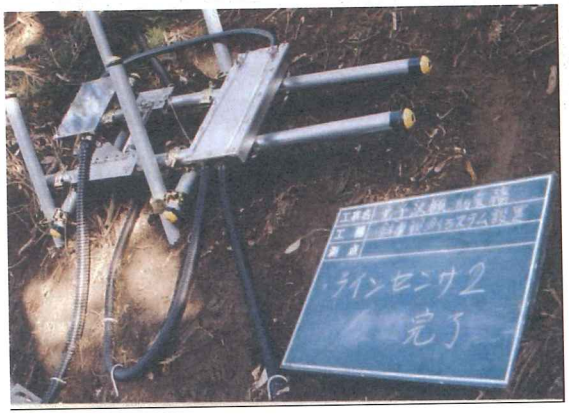


写真 1.4-14 打ち込み杭
（地表布設）

(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 1.4-15 保護管の例（地上架設）



写真 1.4-16　保護管の例　（地中埋設）

(4) 光ファイバの通線

固定点、保護材、固定冶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。

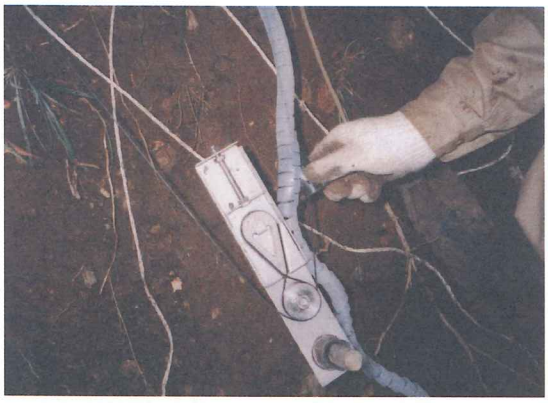


写真 1.4-17　設置後の保護チューブ取付例



写真 1.4-18 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、固定冶具を取り付け光ファイバの固定を行う。固定冶具には、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冶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。

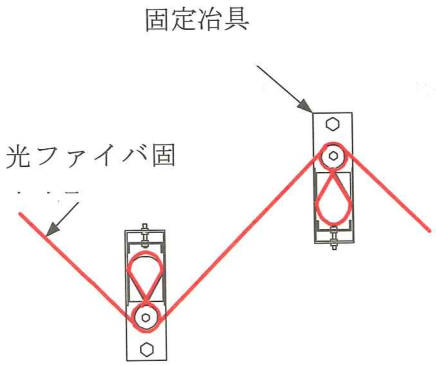


図 1.4-4　はさみ付け方式固定冶具例



写真 1.4-19　はさみ付け方式固定冶具例

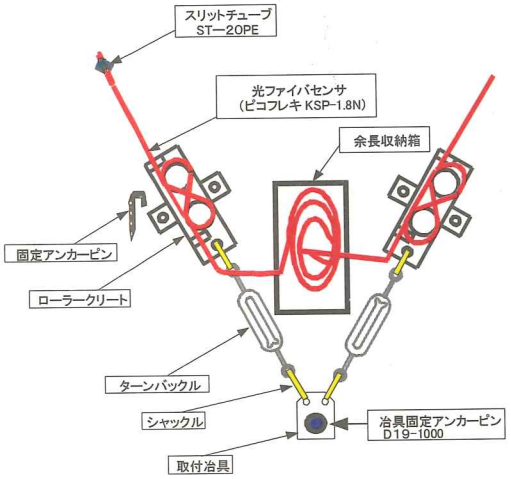


図 1.4-5 巻き付け方式固定治具例



写真 1.4-20 巻き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。埋め戻材は現地発生土の使用を基本とし、崩壊しないよう十分に締固めを行う。

また、掘削ら伴い小崩壊や、浸食が発生する危険性のある斜面では、シガラ等を設置し埋め戻す。



写真 1.4-21 地中埋設例（埋め戻し後）

4.4.2　光ファイバセンサの初期調整

光ファイバセンサ設置後、光ファイバセンサ（ポイントセンサの場合にはインバー線など）に初期張力を与える等、センサが必要とする計測レンジが確保できように調整する。

【解説】

(1) 張力調整

張力調整は、固定冶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 1.4-22　固定冶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 1.4-23　B-OTDR による初期ひずみ管理の例



4.5　制御・計測部の調整

計測が適切に行われるように、計測器および周辺機器、センサ部を含めた総合的な点検・調整を行う。

【解説】

計測が適切に行われるように、計測器および周辺機器、センサ部の総合的な点検・調整を行う。計測小屋を設けて制御・計測部と表示部を分離する場合には、計測小屋内に計測器等を設置した時点で行う。道路管理用光ファイバ網を利用して事務所や出張所等に制御・計測部と表示部を同じ場所に設ける場合には、センサ部を伝送路に接続して事務所・出張所等から行う（4.6および4.7）。

点検・調整においては、以下の点に留意する。

①計画通りセンサが設置してあることを確認する。

②センサの固定、保護状況を確認する。

③計測器が正常に動作するか点検、調整を行う。

④計測器が正常にデータ収集できることを確認する。

⑤避雷装置他、電源のバックアップシステムが正常に稼働することを確認する。



写真 1.4-24 計測小屋の設置例

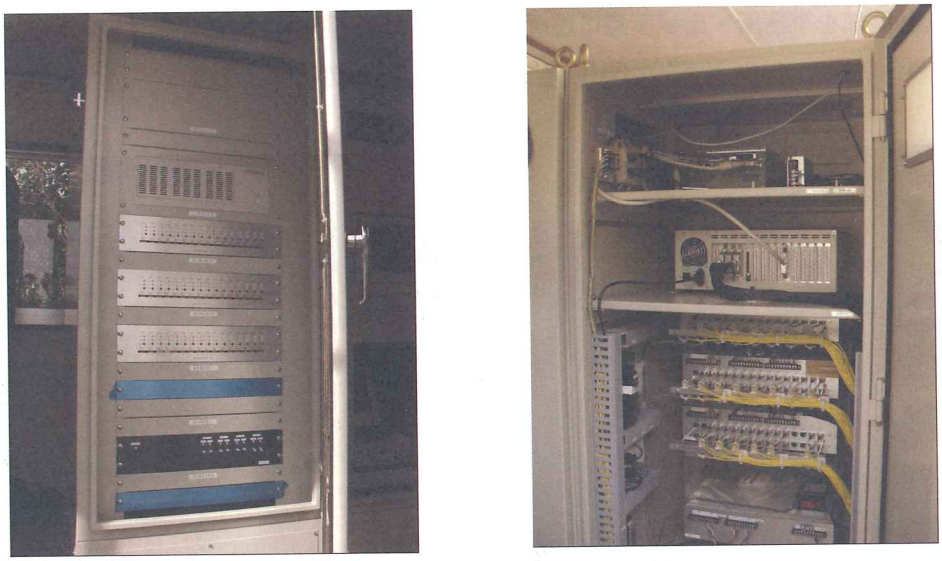


写真 1.4-25 制御・計測器の設置例

4.6　伝送部との接続

「3. システム設計」で計画した伝送部と接続を行う。
伝送部に道路管理用等の光ファイバ網を利用する場合、計測地点とハンドホールやクロージャとの距離に応じて、接続方法を検討する。

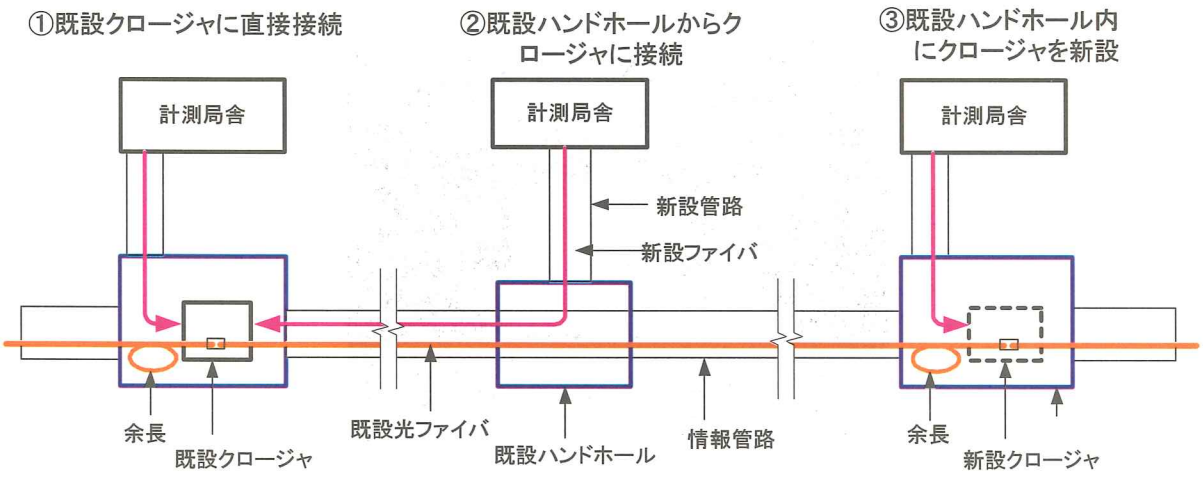
【解説】

伝送部として道路管理用等の光ファイバ網を利用する場合、ハンドホールの位置と既設の光ファイバの空き心線を確認する。計測地点とハンドホールやクロージャとの距離に応じて、次のような方法で光ファイバを接続する。

①計測区間の近くにハンドホールが有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無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無い場合は、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。



※制御・計測部を事務所・出張所等に設置する場合には、図中の計測局舎がセンサ部となる。

図 1.4-6 道路管理用光ファイバ網への接続方法



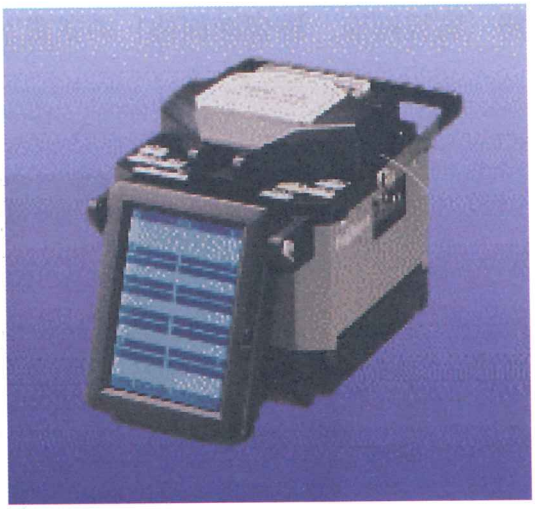
写真 1.4-26　融着作業例



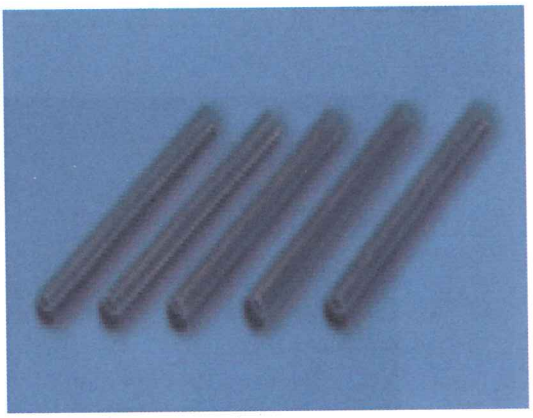
写真 1.4-27 クロージャ接続の例



写真 1.4-28　光ファイバ融着作業例



融着接続機



補強スリーブ

写真 1.4-29　融着接続器及び補強スリーブ

4.7　事務所・出張所等への接続

「3. システム設計」で計画した伝送部と接続し、通信試験を行う。
伝送部に道路管理用等の光ファイバ網を利用する場合は、事務所・出張所内の光成端箱から分岐して制御・計測器あるいは表示部を接続する。

【解説】

事務所・出張所等に光ファイバが引き込まれている場合、通常は光成端箱に引き込まれている。そこから分岐して表示部あるいは制御・計測器へ接続し、通信試験を実施する。通信試験においては、次の点に留意する。

①使用した心線番号を再確認する。
②監視処理装置の正常な動作確認を行う。
③監視処理装置で正常なデータ回収が行えることを確認する。
④仕様で定められた表示部のソフト機能（監視画面、警報画面他）の正常な動作確認を行う。

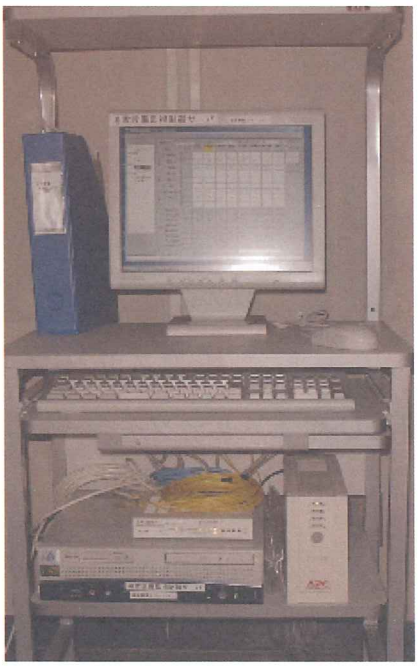


写真 1.4-30 表示部の設置例



写真 1.4-31 光成端箱の例

5．運　用

5.1　運用管理の基本

斜面モニタリングの計測と管理の基本を示す。
(1)計測は日常計測と降雨時の異常監視計測がある。
(2)日常計測は斜面の日常管理を補うもので、変状の累積性を確認して崩壊危険箇所を抽出し、変状範囲と進行状況によって対処法を検討する。対処法は降雨による崩壊に至る前に対策工を実施することが望ましく、対策工を実施するまで計測を継続する。
(3)降雨時の異常監視計測は、管理上やむをえず実施するもので、日常計測により日常的な温度変化等によるひずみ速度から管理基準値を設定し、計測データに急激な変化を確認した場合は周辺の安全確保を行う。

【解説】

(1)　計測間隔

平常時はひずみの変動幅を把握することを目的としているため、その計測間隔は粗くてよい。ただ、光ファイバセンサは温度の影響を受けやすいので、変動幅を正確に把握するには少なくとも１時間間隔での計測が望まれる。

降雨時の計測は、異常な地盤変位の有無を監視することを目的としているため、ひずみ速度の変化を得る必要がある。このため、降雨状況に応じて計測間隔を短くする必要がある。一般的な計測間隔は計測器の最短計測時間から１時間の間で選定する。

(2)　日常計測データに地盤変状を確認した際の対処法

日常計測データに地盤の変状域が確認された場合は、変状域が現れた箇所の現地状況を確認するとともに次の項目について検討を行う。

1)　応急対策工の検討
2)　恒久対策工の検討
3)　継続計測
4)　高密度型計測の導入の検討

対処法は地盤の変状状況によって検討する。基本的には、応急対策や恒久対策といった崩壊を防止する対応策が望ましい。

地盤変状が軽微なものや崩壊予測規模が小さい場合は現状の計測を継続することも考えられるが、既設の防災施設で崩壊を防護できないと考えられる崩壊規模が予想される場合は、詳細調査を実施して応急・恒久対策工の検討を行う。ただし、防災管理上やむを得ない場合には、崩壊範囲を推定してできるだけピンポイントで崩壊現象を計測できるように新たなセンサを配置し、詳細な計測を実施する。

なお、ここで記述する詳細調査とは、崩壊の規模（広さ・深さ）を把握する地質・土質調査および地下水調査を指す。

(3)　降雨時の管理体制

計測で変位を確認した場合は、CCTV などを利用して斜面を監視する。また、日常変動で生じる最大ひずみ速度から設定した管理基準値（しきい値ともいう）を超過するひずみを継続して確認した場合は、必ず現地調査を行い周辺の安全確保に努める。

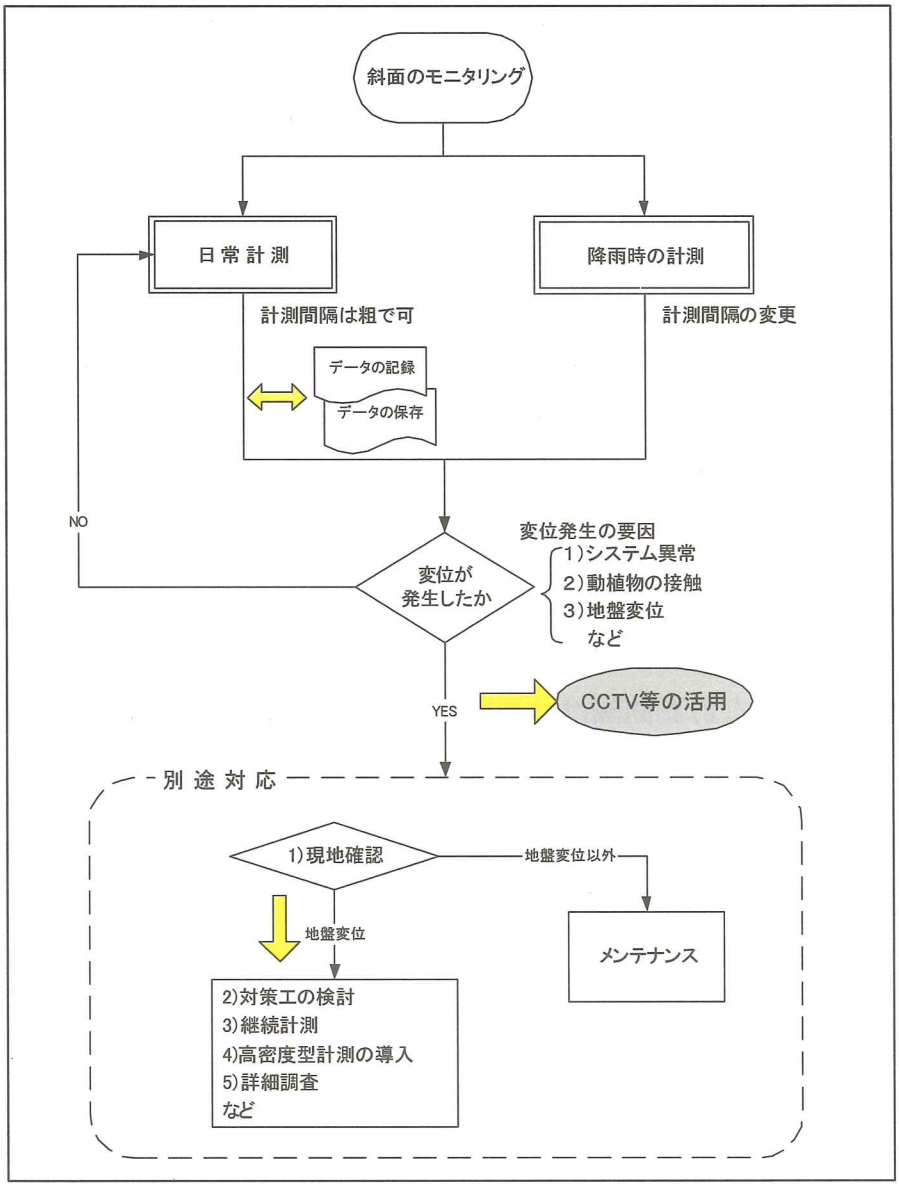


図 1.5-1　管理体制のフローチャート

5.2　計測データの整理

計測データを斜面管理に活用するためにわかりやすく整理し、常に確認できるようにしなければならない。

【解説】

整理で用いる図面は、代表的なものとして次の５種類がある。

(1)　ひずみ経時変化図
(2)　ひずみ速度経時変化図
(3)　ひずみ軌跡図
(4)　ひずみ速度図
(5)　ひずみ分布棒図

ひずみ経時変化図は、各センサのひずみを時系列で表したものである。ひずみ速度は計測データの差分を表示したもので、平常時は１時間間隔の速度で表現される。また、ひずみの代わりに変位量(mm)で表す場合がある。

図 1.5-2 および図 1.5-3 に示すように降水量といっしょに表示すると地盤変位かどうかを判断しやすい。

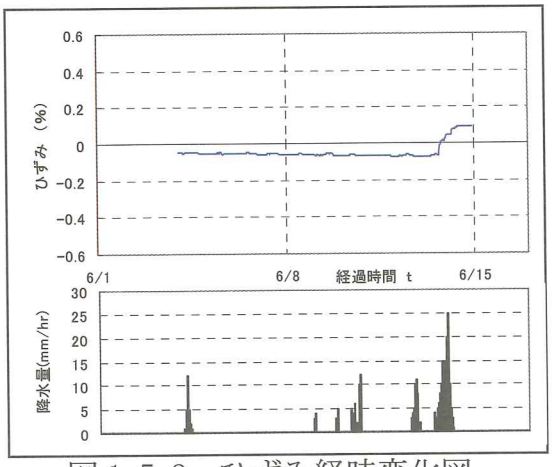


図 1.5-2　ひずみ経時変化図

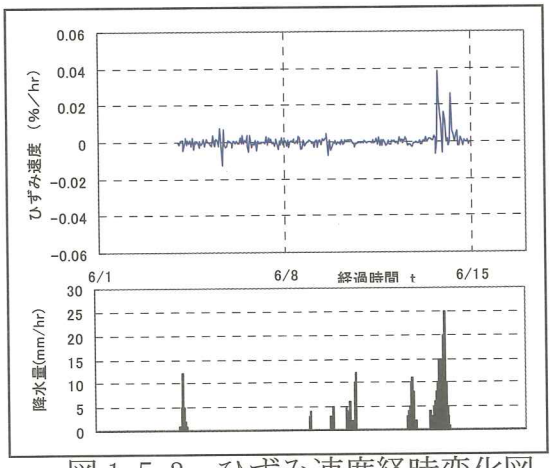


図 1.5-3　ひずみ速度経時変化図

ひずみ軌跡図およびひずみ速度図は、図 1.5-4 に示すW字に配置したセンサの隣り合うセンサのひずみのＸＹ成分を合成してベクトル表示したものである。

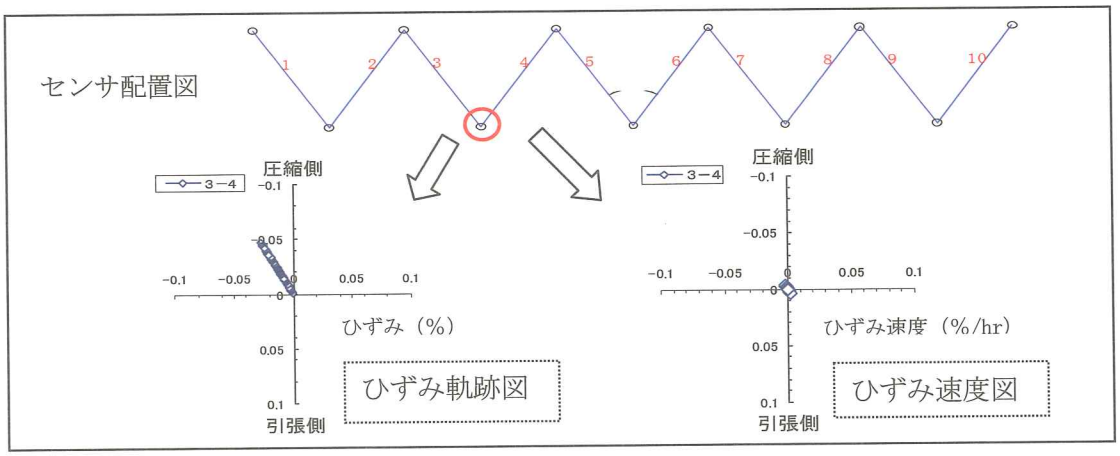


図 1.5-4　ひずみ軌跡およびひずみ速度図

ひずみ分布棒図はセンサを横軸にし、週・月と一定した期間のひずみ量を棒グラフで表したものである。

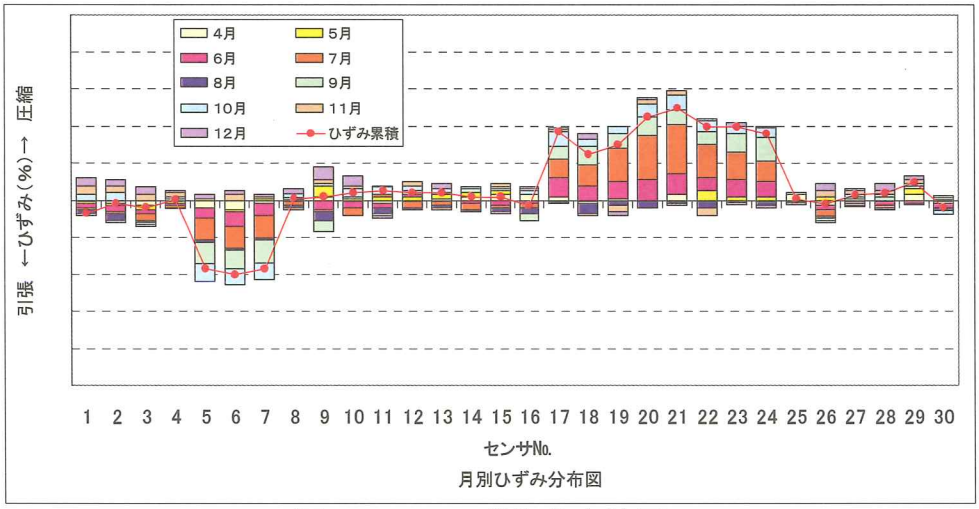


図 1.5-5　ひずみ分布棒図

これらの図の見方については、5.3 以降に具体的に解説する。

5.3　日常計測・管理

5.3.1　日常計測・管理の基本的考え方

日常計測・管理は、以下の内容を基本とする。

(1)　面的･線的に設置したセンサのひずみ軌跡図やひずみ分布棒図を用いて地盤特性を見いだし、斜面内で変状が卓越している箇所を抽出する。

(2)　変状を捉えたら、そのひずみ分布形態から崩壊予想範囲を推定する。

(3)　崩壊予想範囲を推定した後は、今後の対応を検討する。

【解説】

日常計測では、ひずみ軌跡図やひずみ分布棒図などを用いて崩壊危険箇所を抽出し、対応策の検討を行う。

(1)　ひずみ軌跡図

ひずみは、平常時の地盤変位がない期間でも変化する。その要因としては、温度変化によることが大きいが、温度のみでは一定方向の伸張である。ただ、ひずみは温度変化以外にも地盤の乾湿や植物（草木根）の影響を受けるのでその幅は一様でない。

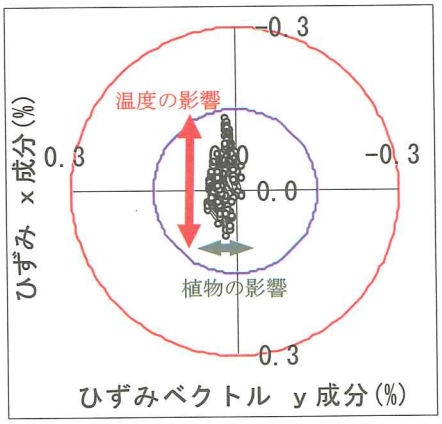


図 1.5-6　平常時ひずみ軌跡図の例

図 1.5-6 は温度と植物の根の成長の影響を受けている事例である。温度の影響は、移動点を共有する２つのセンサの内側で一方向（ほぼ斜面の縦断方向）での往復挙動を示す。一方、植物の値の影響は、その成長に伴い温度による挙動を描く軌跡図を外側に押し出すように徐々に平行移動させる様な形で現れる。このように、表層崩壊の計測管理においては平常時のひずみ軌跡の特性を把握することが肝要である。

ひずみを長期間観測すると、降雨を経験するため図 1.5-6 とは異なるひずみ軌跡を得ることがある。図 1.5-7 は６ヶ月間計測したひずみ軌跡図とひずみ速度図である。降雨による崩壊に至るような大きなひずみ速度の変化は見られないが、ひずみ軌跡図では、不規則な軌跡をたどっており、降雨の影響による地盤の変位を捉えている。

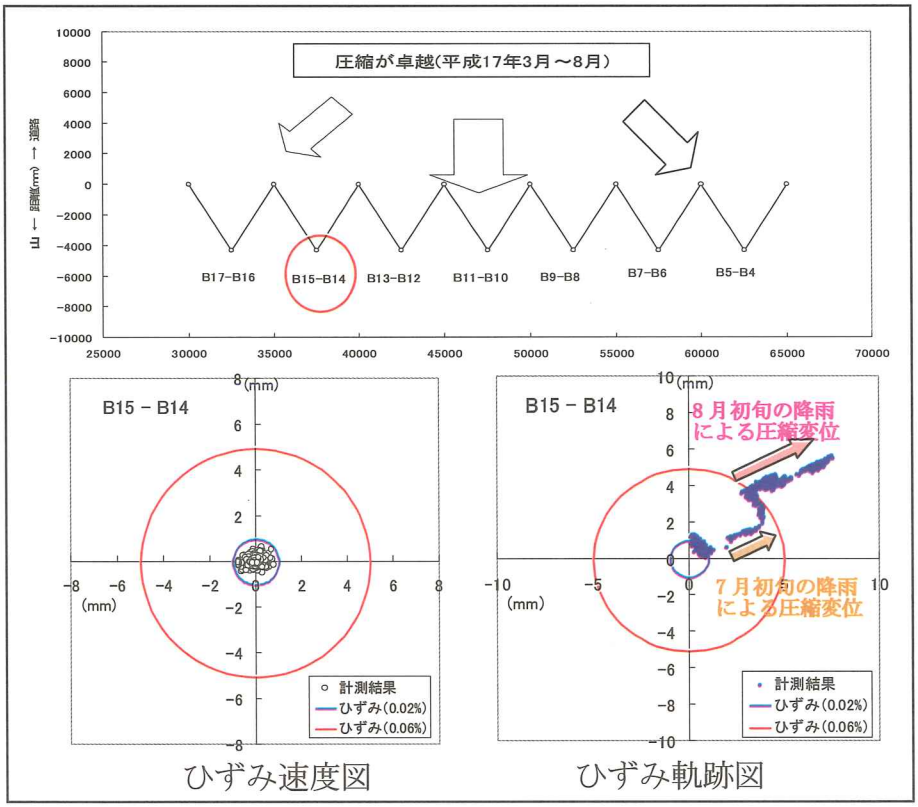


図 1.5-7　A地区の 6 ヶ月間のひずみ速度・ひずみ軌跡図の例

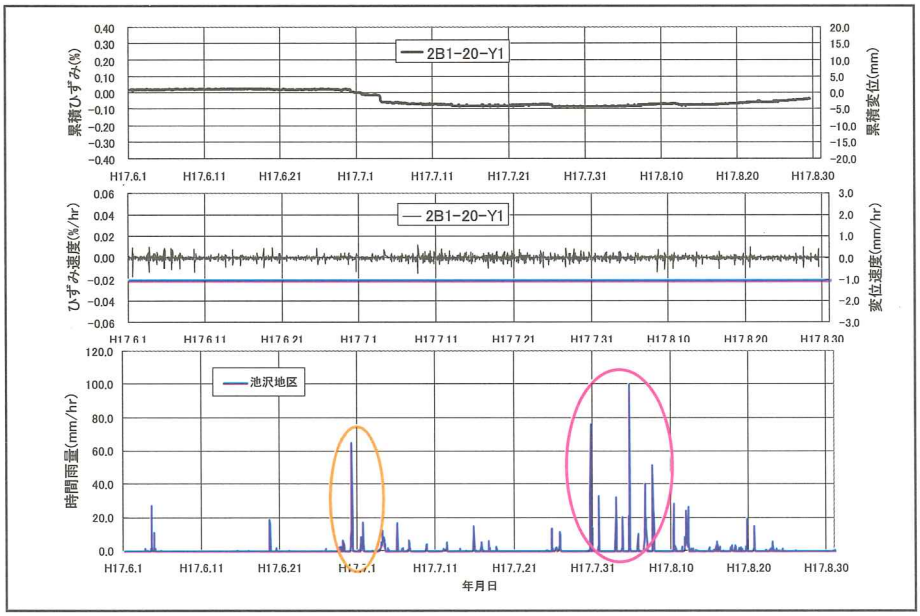


図 1.5-8　図 1.5-7 の事例のひずみ及びひずみ速度経時変化図

図 1.5-9 は前述した事例とは異なる地区でのひずみ軌跡図とひずみ速度経時変化図を示したものである。当地区は温度や草木根の影響を受け、ひずみ変動幅の大きい地区である。この例でもひずみ速度は変位が認められないが、ひずみ軌跡図では明瞭な地盤変位を捉えている。

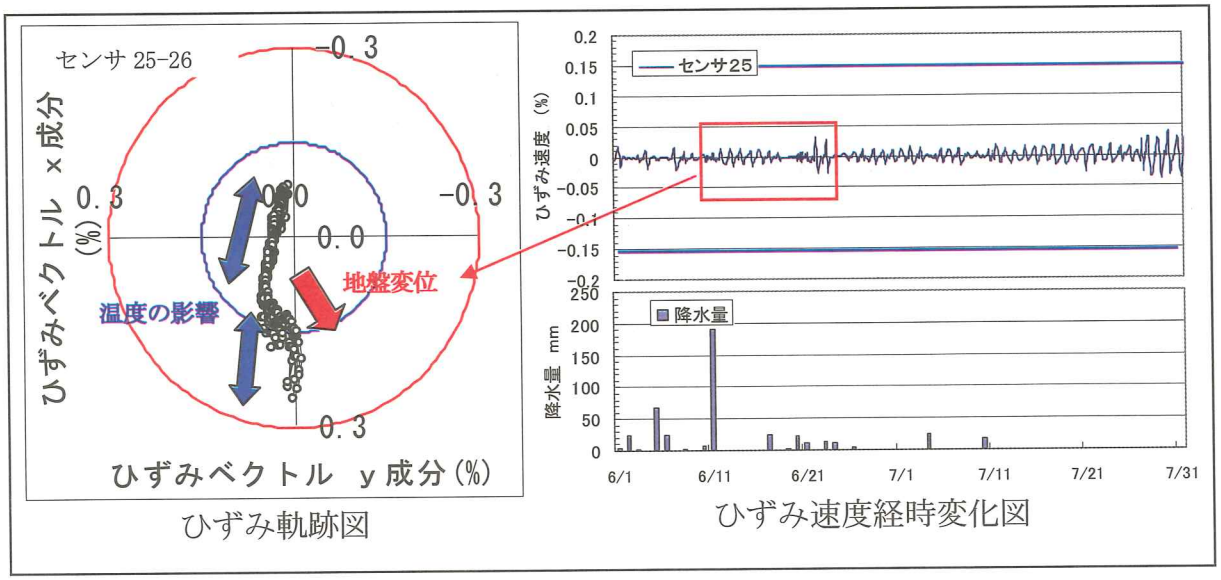


図 1.5-9　B 地区でのひずみ軌跡図・ひずみ速度経時変化図の事例

(2)　ひずみ分布棒図

ひずみ分布棒図は、図 1.5-10 に示すように一定期間のひずみを重ね合わせて表示するもので、変位区間を特定するために用いることができる。図中のセンサNo.5～7 区間は引張方向に変位しており、センサより下方斜面で崩壊の兆しがある。一方、センサNo.17～24 区間は圧縮方向に変位しており、斜面上方からの崩壊が懸念される区間となる。

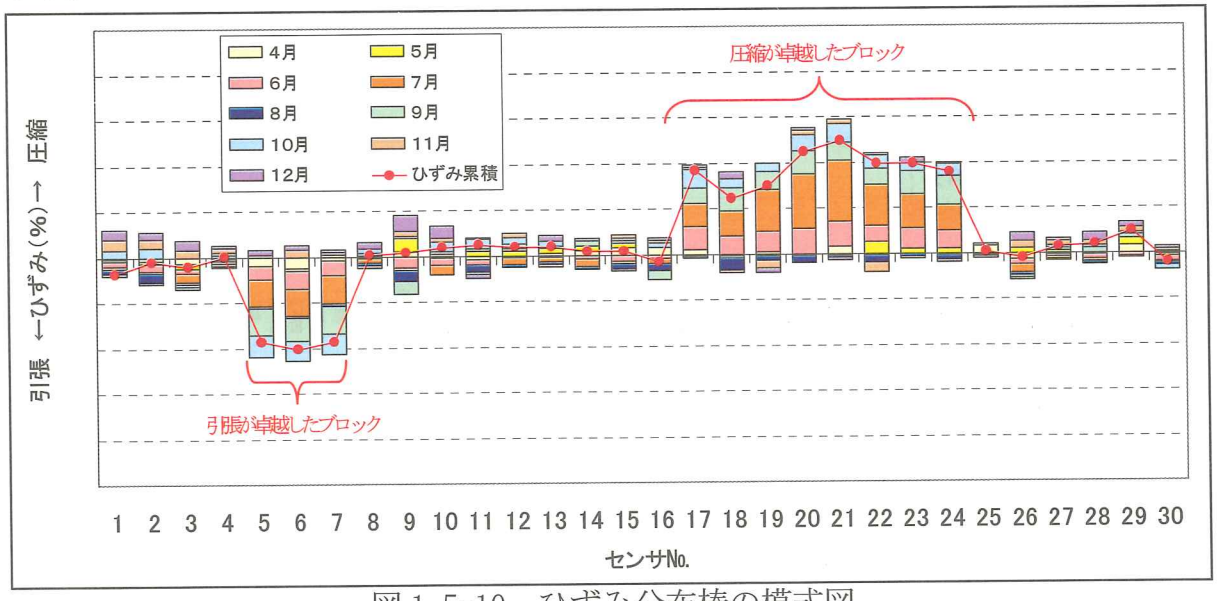


図 1.5-10　ひずみ分布棒の模式図

図 1.5-11 はＢ地区で計測したひずみ分布棒図である。当該地区は、斜面全体が圧縮に変動し、面積の広い崩壊が懸念されている地区であるが、特に９月に圧縮の伸びが大きい。これは台風の襲来により災害には至らなかったが、かなりの降水量であったため、地盤が変位したためである。

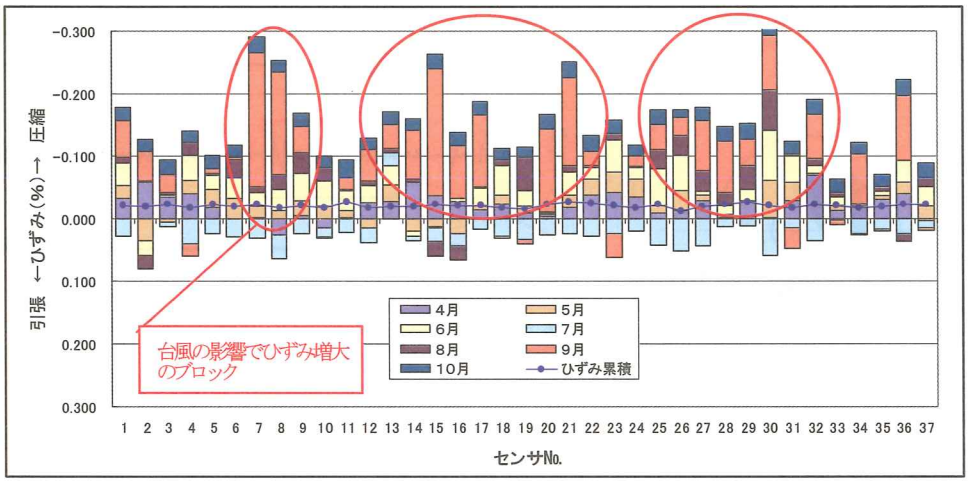


図 1.5-11　Ｂ地区のひずみ分布棒図

図 1.5-12 は他の地区で計測した事例である。月ごとにひずみの状況を把握するため過去の記録は一括表示し、月のひずみ量を表したものである。降雨の多い期間でのひずみ分布を見やすくしている。

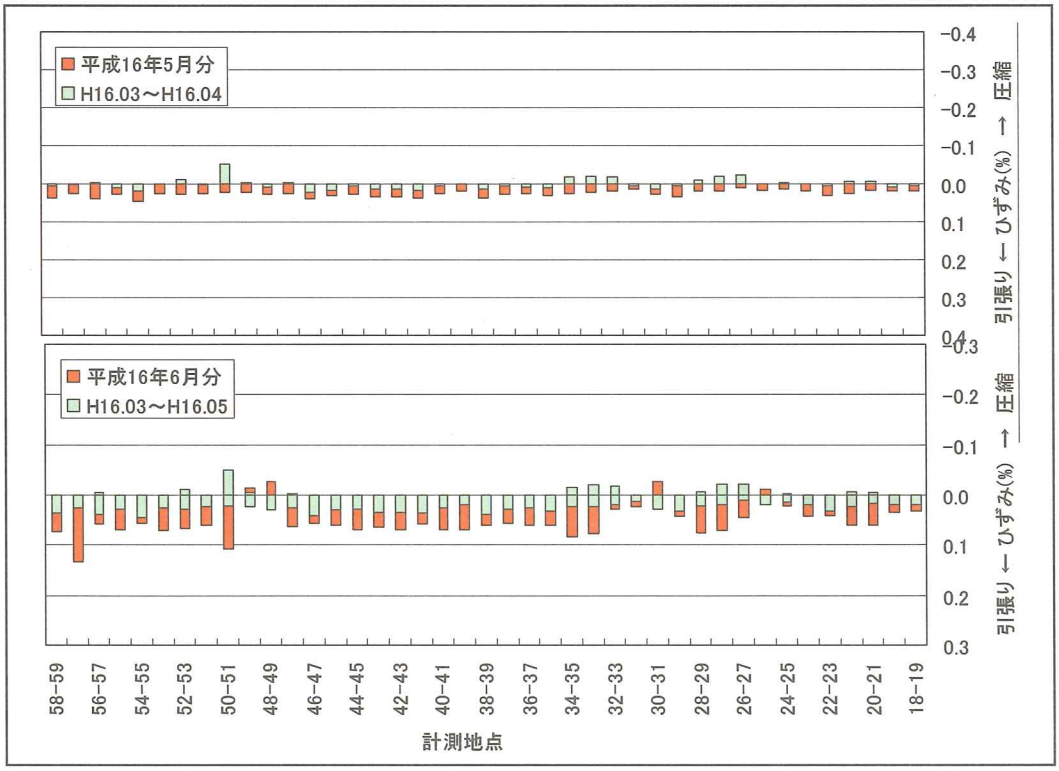


図 1.5-12　Ｃ地区のひずみ分布棒図

5.3.2　対応策の検討

計測データに変状を確認した場合、ひずみ軌跡図およびひずみ分布棒図から変状範囲・方向を推測し、現地での地形・地質踏査を行い、現地条件を踏まえて対応策を検討する。

【解説】

表層崩壊では、この状況では地盤に変状が現れていない場合が多いため、なお、ひずみ分布棒図などから、崩壊が懸念される範囲と推定し、その規模によって大きな災害に繋がると予想される場合は、詳細調査を実施して対策工の検討を行うのがよい。この場合、対策を実施するまでの準備期間中も引き続き計測を継続する。ただし、準備期間が長期になる場合や、防災管理上対策が困難でやむを得ず計測を継続する必要がある場合には、できるだけピンポイントで高密度型の計測形態でセンサを追加設置し詳細計測を実施する。この場合、地表面の変状だけではなく、土壌水分計などで土中水分の変化も併せて計測し、複合的に判断できるようにするとよりよい。

小規模の場合には、直ちに対策を実施するか、応急対策を実施して現状の計測監視を継続する。

○崩壊予想範囲の推定法

5.3.1 で示したひずみ分布棒図では、ひずみ発生区間を抽出し大まかに崩壊危険域を推定している。ひずみ速度図やひずみ軌跡図を活用することでより詳細な崩壊域を推定することができる。以下にひずみ速度図やひずみ軌跡図を活用した崩壊予想範囲の推定法を示す。

センサの配置箇所と崩壊域によって、ひずみの発生する形状が異なる。図 1.5-13～図 1.5-15 は崩壊域とひずみ速度の関係を示したものである。

崩壊域がセンサの下方に出現した場合はひずみ速度は引張として捉え、上方に出現した場合は圧縮として捉える。

また、崩壊域がセンサの間に出現した場合は引張変位となるが、他の領域に出現した場合より大きなひずみ速度となる場合が多い。この場合は、高密度型の計測形態と

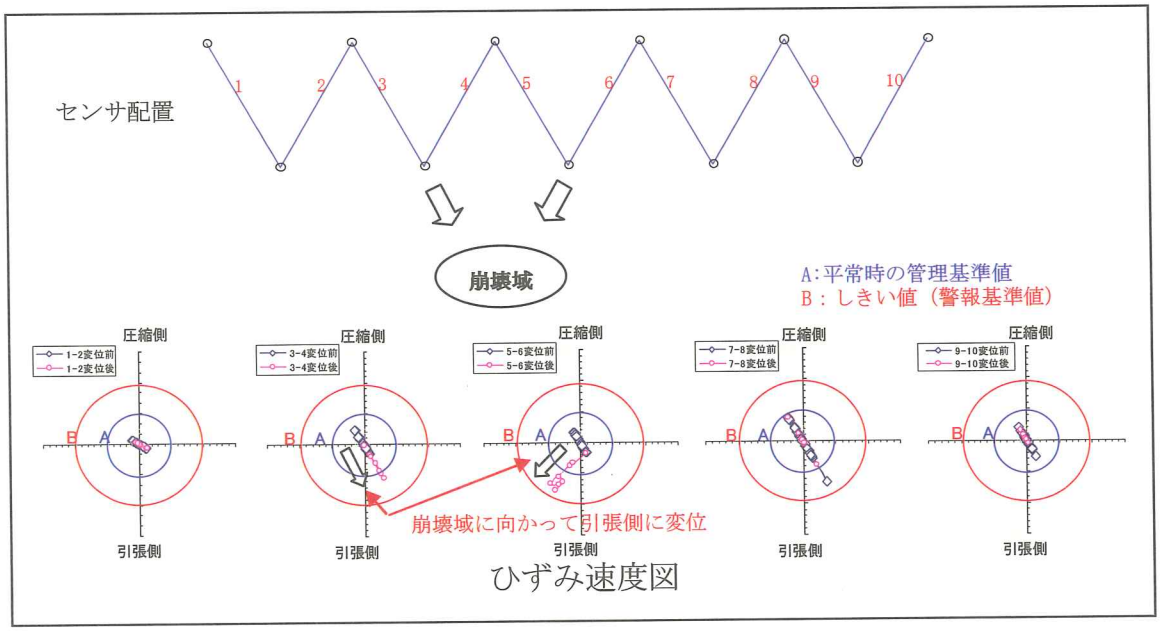


図 1.5-13　崩壊域がセンサ下方に出現した場合の模式図

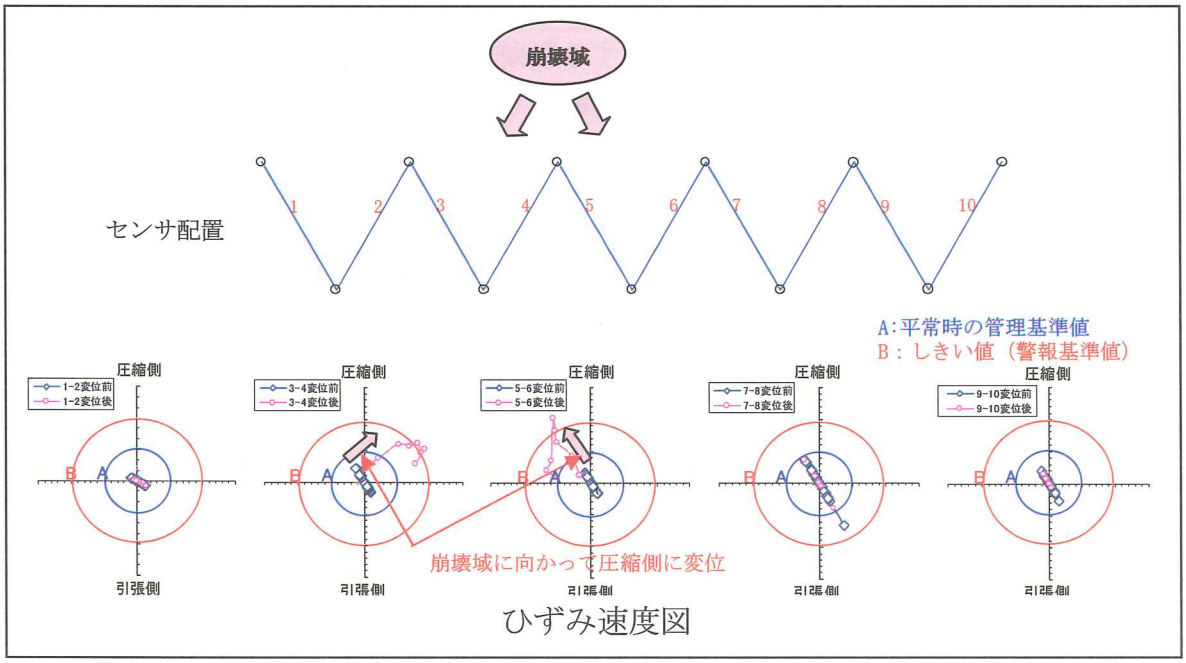


図 1.5-14　崩壊域がセンサ上方に出現した場合の模式図

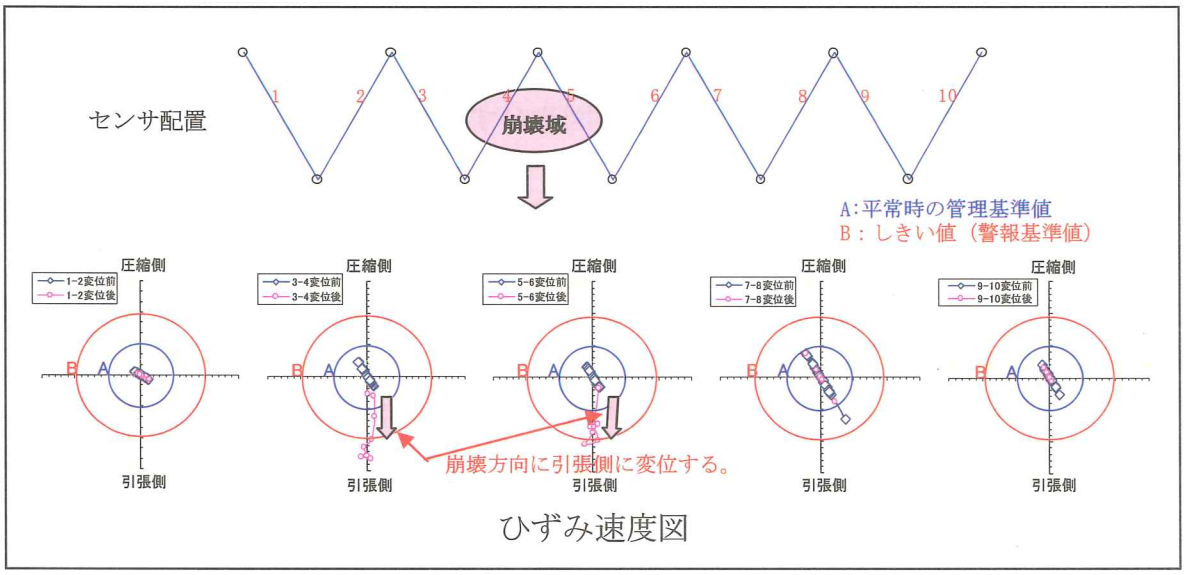


図 1.5-15　崩壊域がセンサの間に出現した場合の模式図

同じ扱いになるので、変位と捉えた後は高密度型の管理手法と同様となる。

図 1.5-16 は 2 種類のセンサ計測結果から崩壊域を推測した事例である。当地区は変位方向より崩壊範囲は沢で分離される。A沢とB沢に挟まれた範囲は、圧縮側に変位しており上方に崩壊域が存在するものと考えられる。

B沢とC沢に挟まれた範囲は、ラインセンサおよびそれより上部斜面のポイントセンサは、圧縮側に変位しており、規模の大きな崩壊が懸念される区間である。それとは別に、ラインセンサより下方斜面は、荒廃し小崩壊の源頭部が多数存在している。この源頭部に設置したポイントセンサは全て引張側に変位している。この範囲は、これらの小崩壊を繰り返しながら、斜面のバランスを失い、大きな崩壊に発達する危険性を秘めている。

この考え方は、ひずみ速度図をひずみ軌跡図に置き換えても同様である。

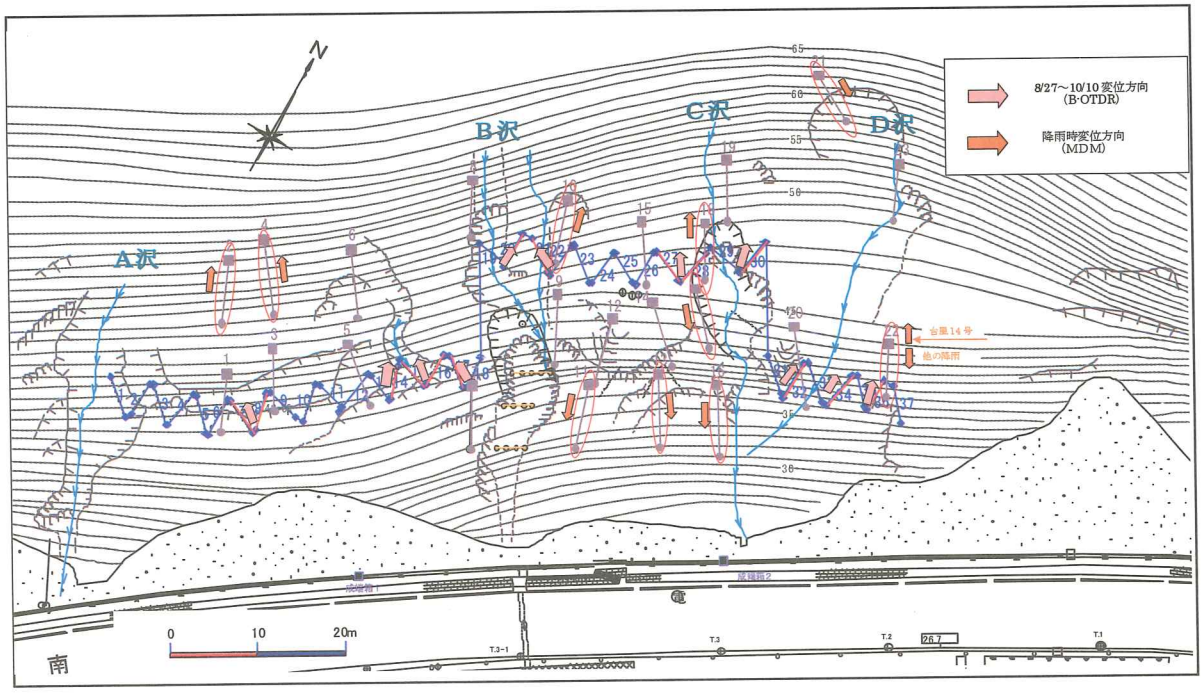


図 1.5-16　B地区での崩壊範囲の推測図

5.4　降雨時の計測・管理

5.4.1　降雨時の計測・管理の基本的考え方

降雨時の計測・管理は、対策工を実施するまでの期間、あるいは管理上対策が困難な場合に実施し、以下を基本とする。

(1)　管理基準値（しきい値）を設定し、それ考慮した管理体制を定めておく必要がある。

(2)　管理基準値（しきい値）はひずみ速度で設定することを基本とする。

(3)　地盤の急激な変化から崩壊が予想される場合は、(1)で定めた管理体制に従い、斜面周辺の安全確保に努めなければならない。

【解説】

(1)　管理基準値（しきい値）の設定

1)　日常変動域の設定（平常時の管理基準値）

光ファイバセンサは温度の影響を受け変動する。よって、その変動幅を把握することは重要なことである。図 1.5-17 は平常時のひずみとひずみ速度の経時変化図である。ひずみは時間とともに変化し、１日ごとの周期がある。１日の温度変化の大きい晴れの日はひずみ変動が大きく現れる。

一方、ひずみ速度は、１時間毎のひずみ変動幅を表現したものであり、Ｙ軸の中心からある一定幅をもって表示され、あまり季節の影響を受けない。この変動幅が平常時の管理基準値となる。

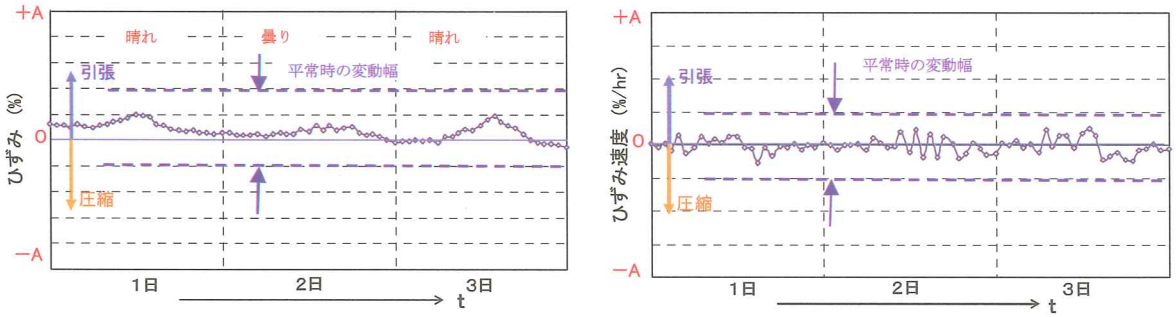


図 1.5-17　平常時のひずみおよびひずみ速度経時変化図

2)　警報基準値の設定（降雨時の管理基準値）

降雨時は、気温が一定しているため地盤の変位を捉えやすい。図 1.5-18～図 1.5-19 は降雨時に地盤変位を捉えたひずみ経時変化図である。地盤変位を捉えたら、現地調査を行い、斜面に崩壊現象が認められるかを確認する。崩壊現象が認められない場合、これが警報基準値の基礎となる。

計測当初は、監視斜面での警報基準値の設定は難しい。この場合は、他の地区での計測事例や既往の技術である地すべりの基準値をもって設定を行い、降雨イベント毎の変位状況を把握し修正を行うのがよい。

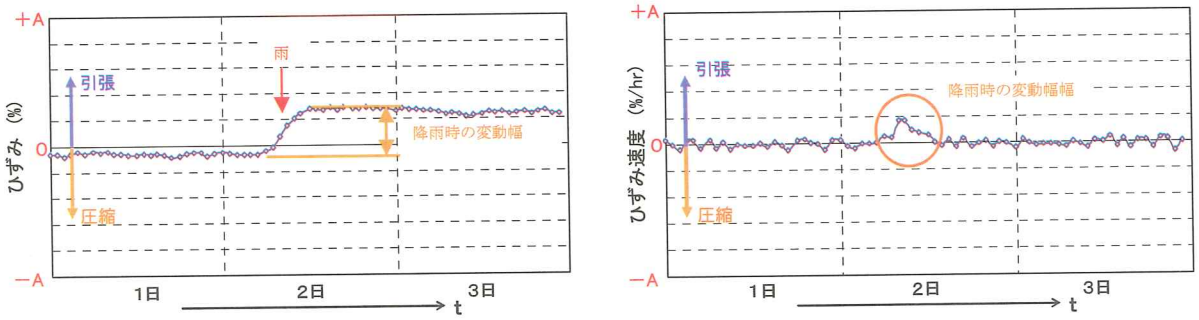


図-5.18　降雨時のひずみおよびひずみ速度経時変化図

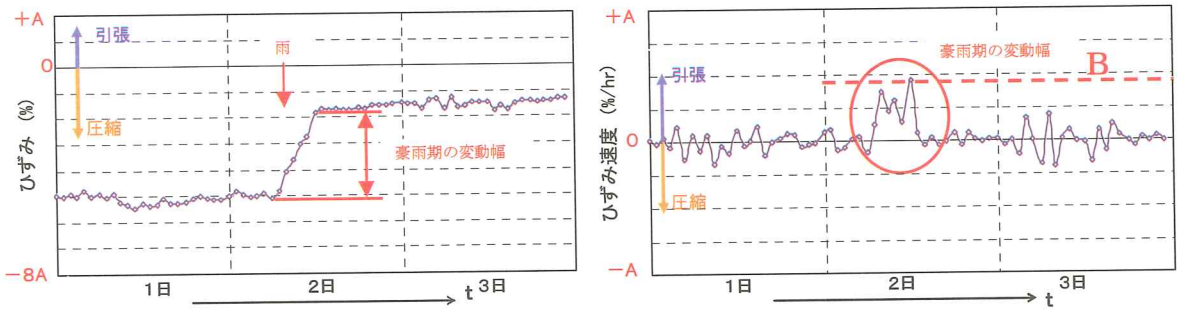


図 1.5-19　豪雨時のひずみおよびひずみ速度経時変化図

(2)　ひずみ速度図の考え方

低密度型における降雨時の計測・管理は、一般にひずみ速度で実施されるため、その考え方を図 1.5-20 に示す。

1)　Aは平常時のひずみ速度の管理基準値である。季節間で多少の誤差が生じるので余裕をもって設定するのがよい。

2)　Bは降雨時の管理基準値(警報基準値)である。計測当初は安全を考えて小さめの値で設定しておくとよい。

3)　平常時のひずみ速度は小さく、中心付近に表示される。センサに何らかの変位が生じると中心から“ずれ”が生じる。

4)　変位を確認した場合は、現地でその状況を確認する。

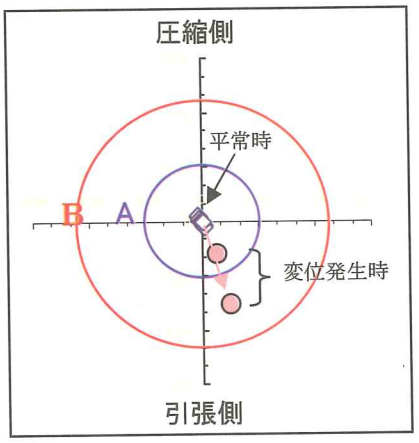


図 1.5-20　ひずみ速度図

降雨により地盤に変位が現れたら、ひずみ速度は平常時のひずみ速度よりも増大する。ひずみ速度は測定間隔毎のひずみの差であるため、常に原点からの距離で表示される。

図 1.5-21 に地盤の変位が収束する場合と変位が伸張した場合の模式図を示す。地盤変位が収束する場合は、一定期間ではひずみ速度は増大するが伸びがなくなり、原点に戻る。一方、斜面崩壊が生じるような場合は、常にひずみ速度が増大する。

表層崩壊の計測・管理は、どの位置で地盤変状が発生しているかを適切に把握することであり、ひずみ速度に一定向の伸張が現れた時点で、ＣＣＴＶ等も活用し斜面を監視する。また、一定方向の伸張が進む場合は、早急な現地確認と対応策の検討を行う必要がある。

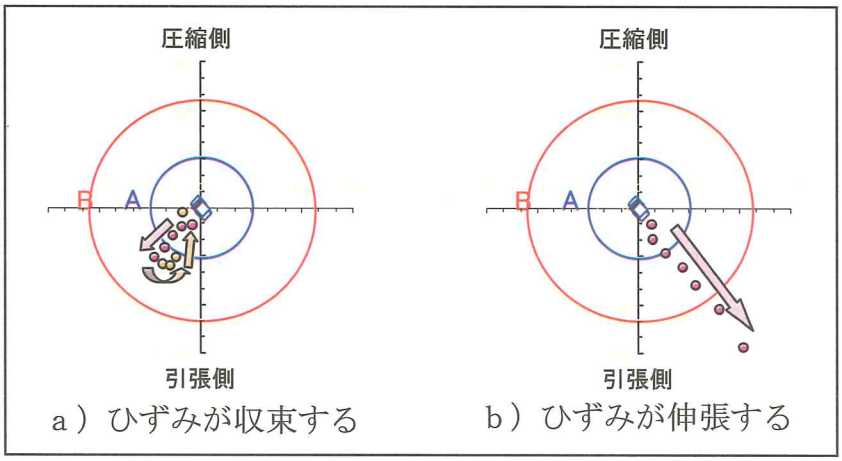


図 1.5-21　ひずみ速度図の見方

(3)　計測事例

図 1.5-22 はC地区で崩壊を捉えた事例である。C地区は、降雨時の警報基準値として変位速度 6mm/hr (0.06%) で管理していたが、20 日 13:00 よりひずみが増え始め、雨量強度がピークに達した 16:00 頃崩壊に至った。

ひずみ速度図において、ひずみ速度の増加を捉え、またその方向も崩壊域と一致している。

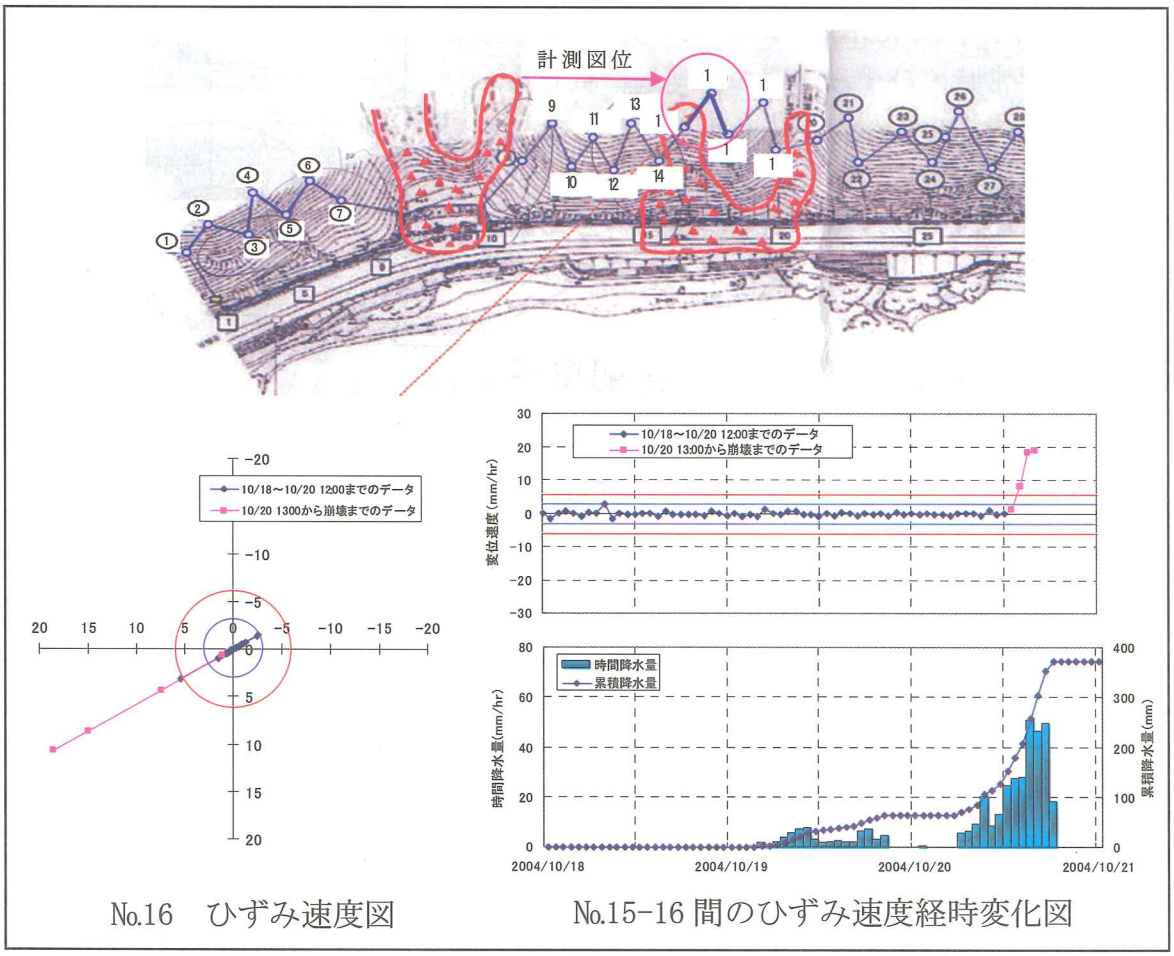


図 1.5-22　C地区での崩壊事例

図1.5-23は、Ｂ地区の高密度型で斜面崩壊を捉えた経時変化図である。崩壊は、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る。

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である。

この図でわかるように先行雨量があった場合や常時地下水位が高いところや、集水地形で地下浸透水の供給が考えられるところでは、降雨終了後でも２～３時間後には、斜面が崩壊することがあるので、降雨が終了しても変位状況には注意しておくことが必要である。

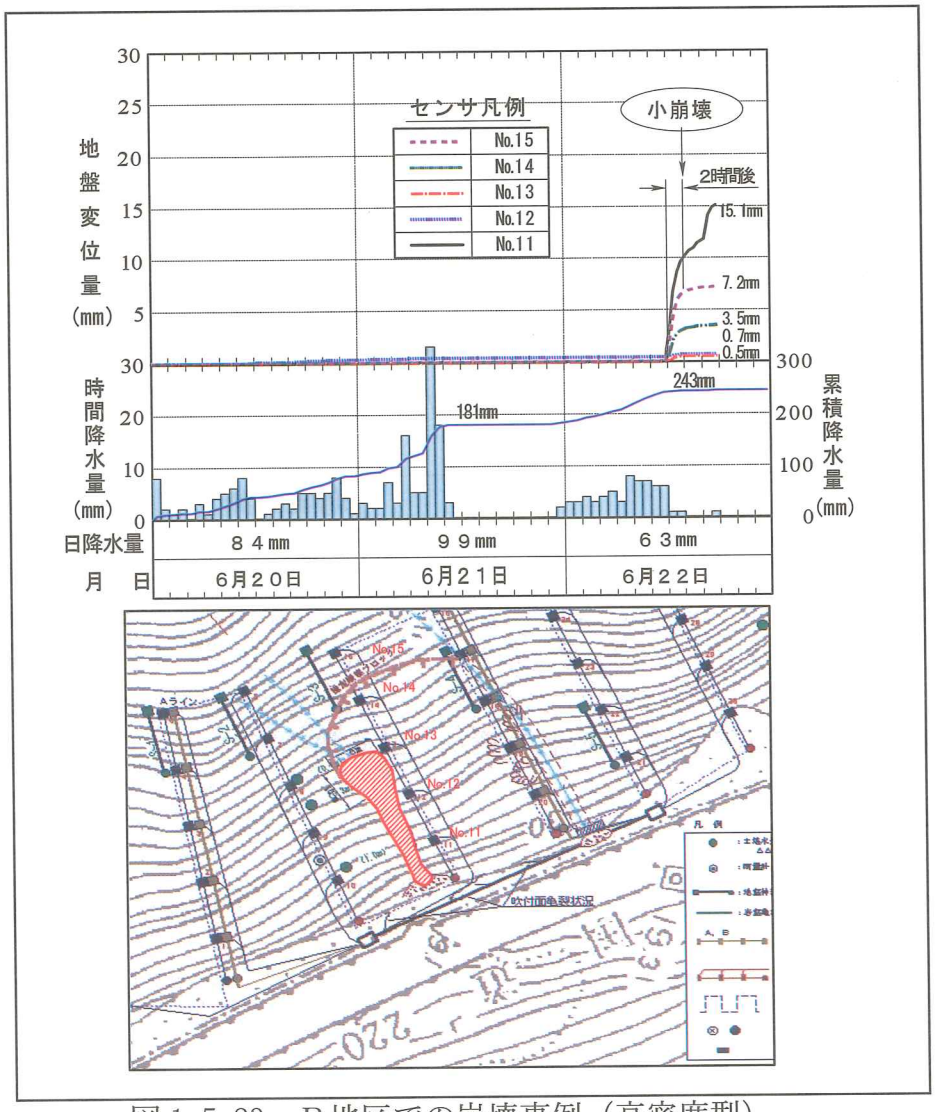


図 1.5-23　Ｂ地区での崩壊事例（高密度型）

5.4.2　変位が認められた時の対応

計測時に変位を確認した場合は現地確認を必ず行い、周辺の安全確保に努めるとともに、今後の対応について検討する。

【解説】

計測データに変位を確認した場合には、必ず現地調査を行い崩壊等の現象の有無を確認し、5.3.2 を参考に崩壊域の有無を推定し、状況に応じて必要な対応を検討する。特に降雨時には崩壊が起こっている可能性が高いので、第一に周辺の安全確保に努め、計測データと現地状況を考慮して、適切な対応を検討する必要がある。

降雨時の対応例を表 1.5-1 に示す。

表 1.5-1　崩壊発生時の対応例

<table>
<tr><th colspan="2">日時</th><th>管理者</th><th>管理受託者</th></tr>
<tr><td>○日</td><td>15:00

16:00
17:00

⋮

19:30</td><td>●豪雨に伴う変位データの確認
しきい値2㎜/時超を確認
CCTVを利用し、路面と斜面を監視
●変位データの収束を確認
（変位量が 10㎜ 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）
報告（崩壊確認）
●崩壊規模・影響が小さいため翌日の現地調査を決定する</td><td>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・周辺状況及び土砂の流出状況を確認</td></tr>
<tr><td>◎日</td><td>8:00
9:00
10:00
⋮
13:00
…</td><td>現地調査
崩壊斜面の対応を協議
{協議内容：応急対策工・計測強化等}</td><td>崩壊計測データの整理</td></tr>
<tr><td>△日</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>×日</td><td></td><td>報告</td><td>二次崩壊発生の有無確認</td></tr>
</table>

計測体制強化期間

5.5　地盤変位以外の挙動

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 地盤の変位によるもの

② 動植物の接触や落石によるもの

③ システム異常によるもの　等

があるが、①の地盤の変位以外は、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。

【解説】

図 1.5-24 は落石（外的要因）でセンサが破損した事例である地上架設の場合、他に動植物の接触による異常データを検出する可能性もある。そのような場合には、瞬間的に変化してもとの状態に戻ることが多い。

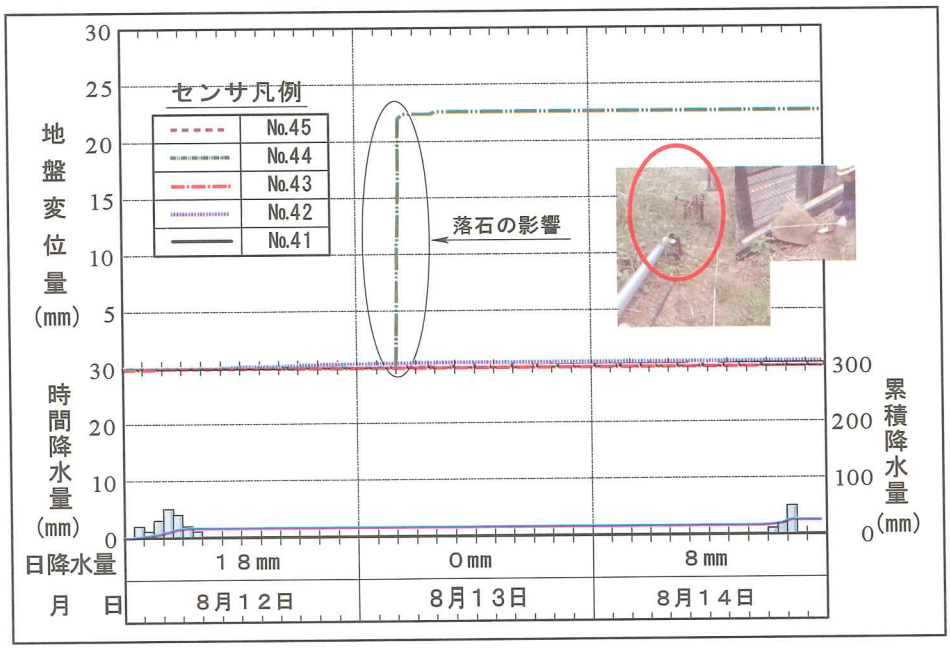


図-5.24　落石による異常変位

5.6　メンテナンス

センサ部および計測器のメンテナンスを行い、計測に悪影響がないようにつとめなければならない。

【解説】

メンテナンスは、①現地センサ箇所と②計測器箇所（制御器及びパソコン）で実施する。現地センサ箇所のメンテナンスは、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。

計測器箇所のメンテナンスは、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、年単位、隔月あるいは月単位等の定期および緊急時があり、点検内容は時期によって異なり、図 1.5-25 に示すように設定されるのが標準的である。

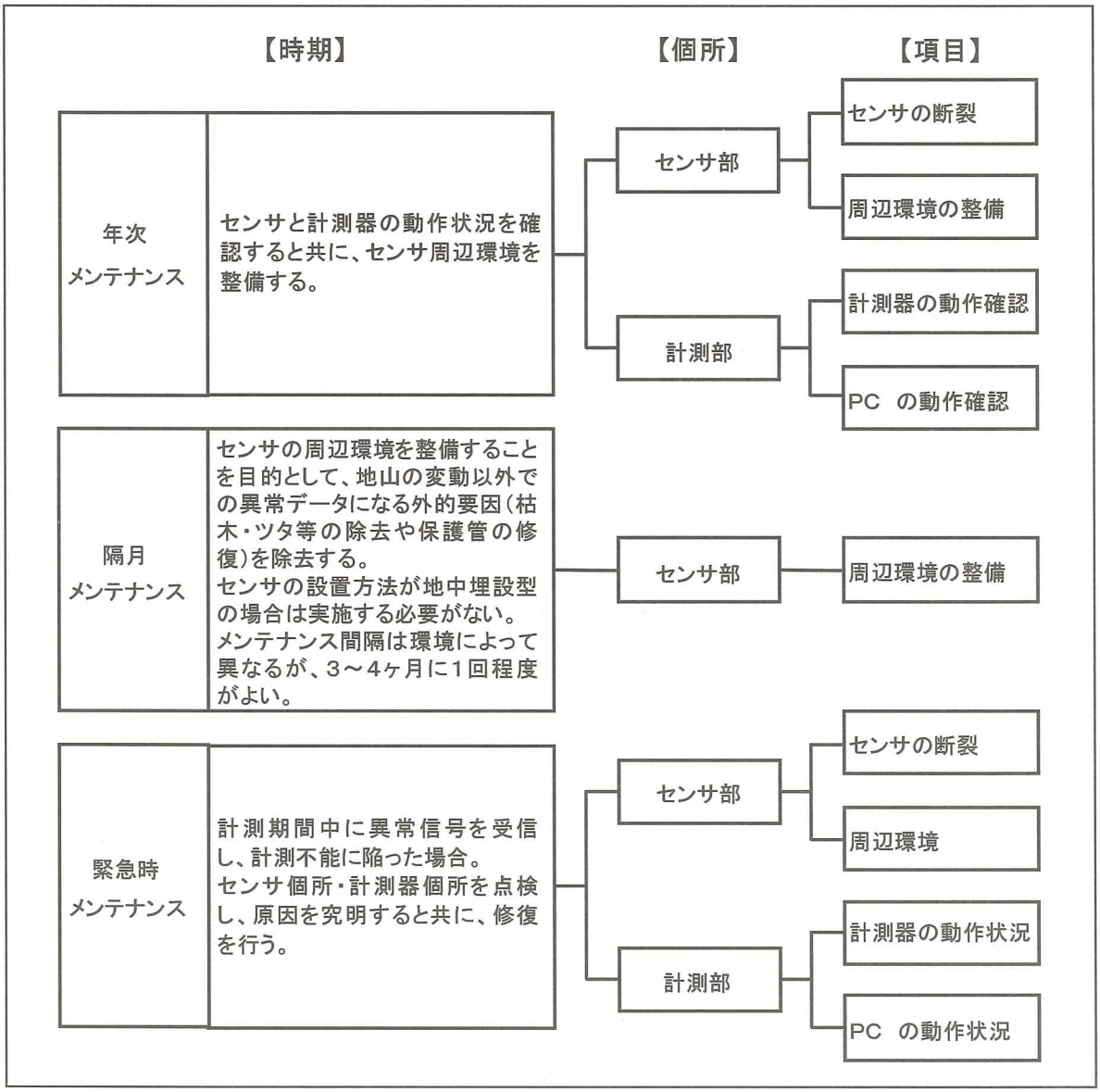


図1.5-25　メンテナンス時期と項目

各種点検項目は次の通りである。

(1)　現地センサ箇所

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。
	融着箇所	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)　計測器箇所

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のある事項としては、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。

なお、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。

参考文献：
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，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）

第２章　事例紹介

平成12年度より、光ファイバセンサによるモニタリングシステムのフィールド試験を実施してきた。その結果、第１章で示したような調査・計画から設計、設置、運用に至るまでの導入・運用マニュアルを作成することができた。

この章では、光ファイバセンサによるモニタリングを実施するに当たって、マニュアルを活用する際の参考となるよう、国土交通省の６事務所の協力により実施してきたフィールド試験の実施例について計測原理ごとに紹介する。

１．ＦＢＧ方式（高密度型）

1.1　一般国道49号福島県いわき市三和町中三坂

1.1.1　現地状況

現地のセンサ設置以前の全景を写真2.1.1-1に示す。平面図を図2.1.1-1、断面図を図2.1.1-2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。

光ファイバセンサは、ＦＢＧ方式の光式地表面伸縮計、光式パイプひずみ計、光式水位計を設置し、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、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2.1.1-1　現地全景

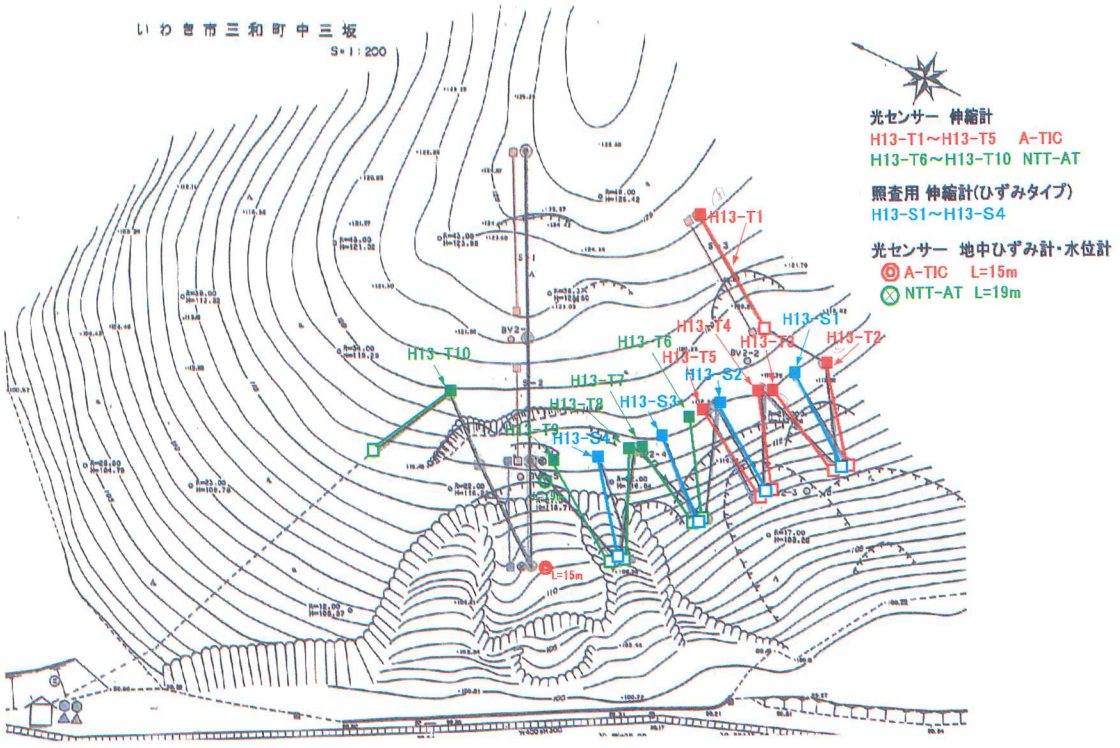


図2.1.1-1　平面図

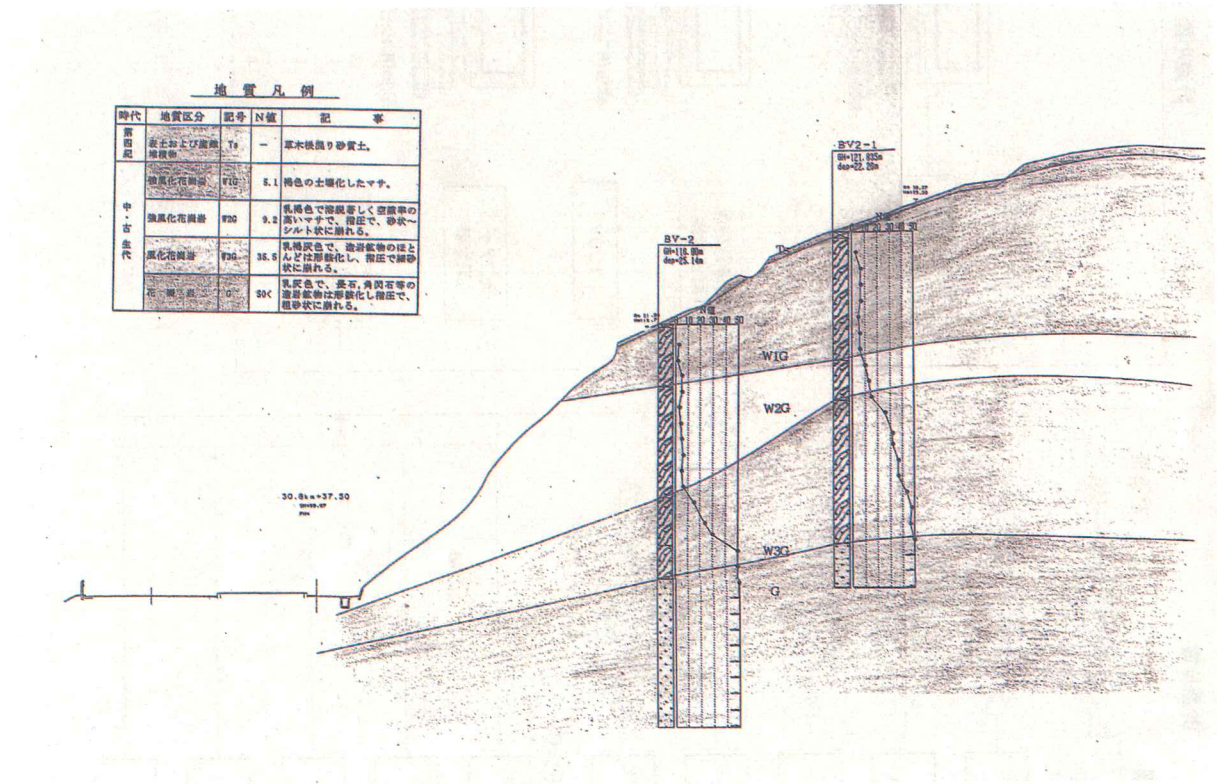


図2.1.1-2　断面図

1.1.2　システム構成及びセンサ配置

システム構成を図2.1.1-3に示す。

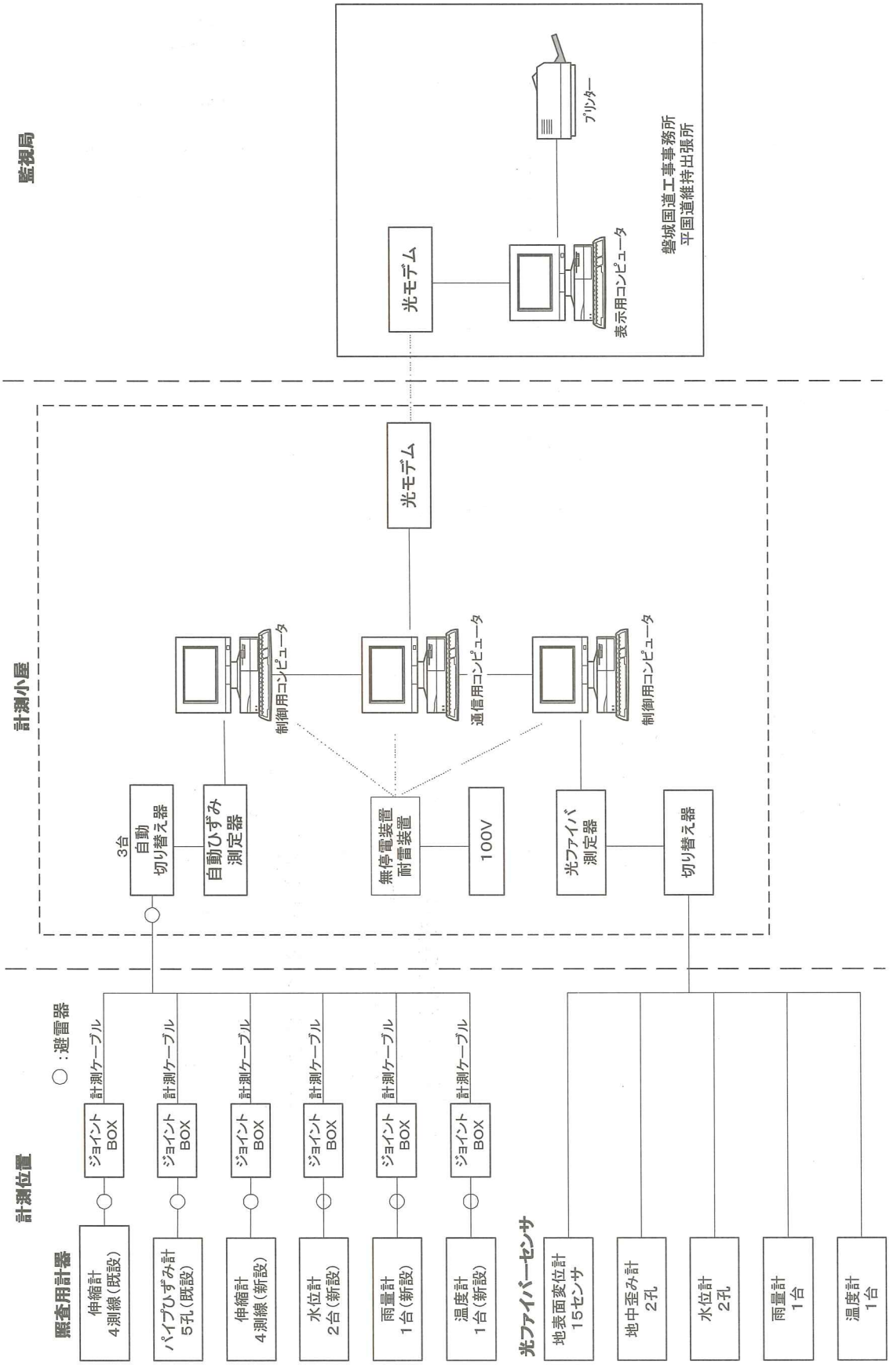


図 2.1.1-3　システム構成図

1.1.3　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写真2.1.1-2に、全体の構成を写真2.1.1-3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。

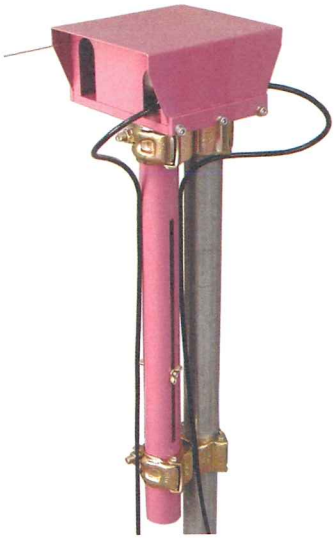


写真2.1.1-2　光式地表面伸縮計外観



写真2.1.1-3　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。写真2.1.1-4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78mmφ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110mmφとした。



写真2.1.1-4　FBG水位計

1.1.4　計測装置概要

計測小屋に設置した主な計測システムの全景を写真2.1-5に示す。



写真 2.1.1-5　計測システム

1.1.5　運用

平成13年度から平成14年度まで計測試験を行い、平成15年度に防災対策の実施のために、計測システムを撤去した。

監視画面を図2.1.1-3に示す。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、電話回線により出張所に転送し、平常時のインターバルは1時間に1回である。なお、計測期間中は、降雨による地下水位の若干の上昇が確認された他は、異常な地盤の変状は見られなかった。計測データ例を図2.1.1-5に示す。

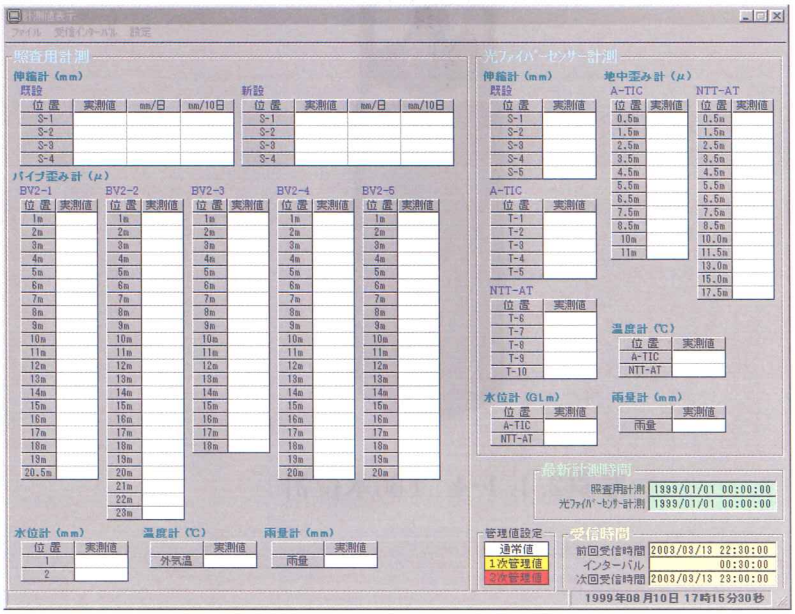
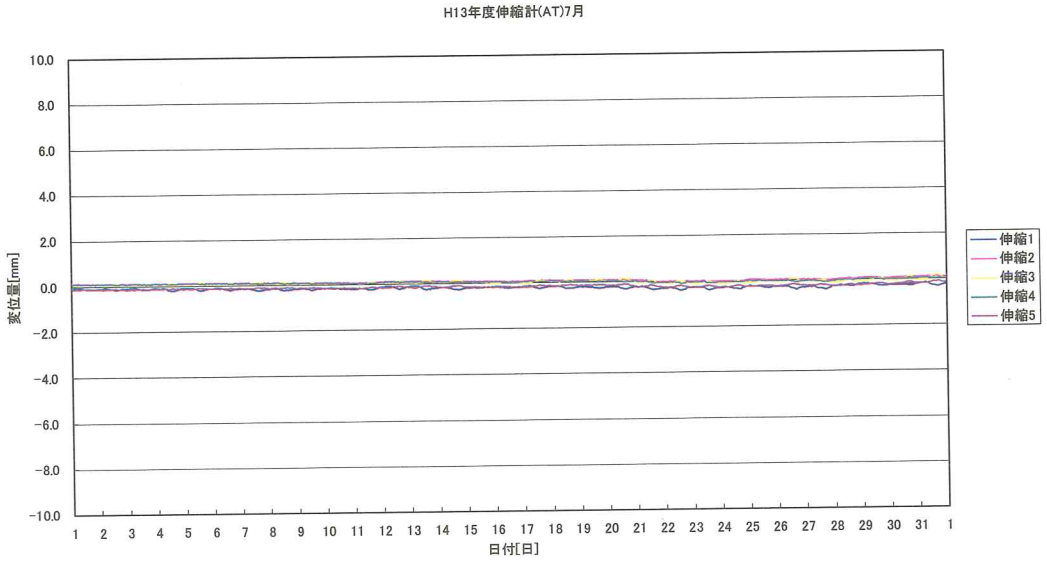
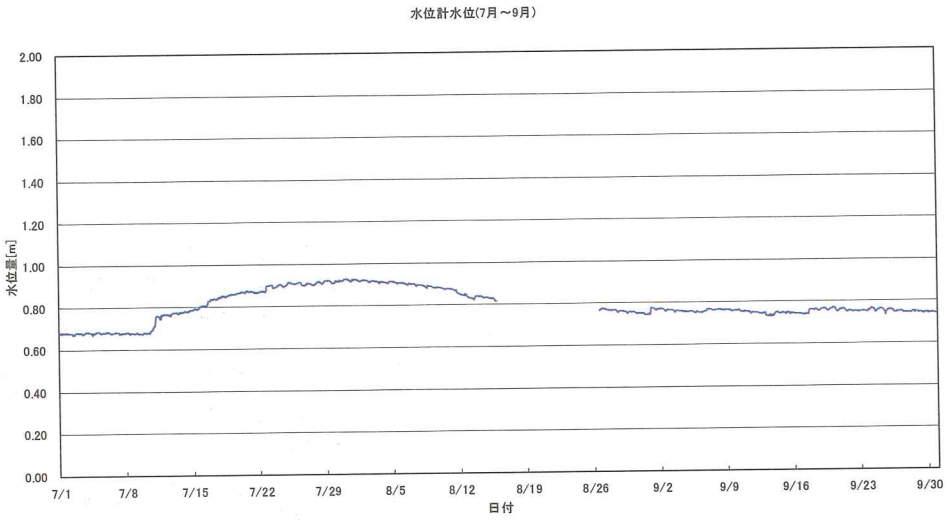


図2.1.1-4　監視画面





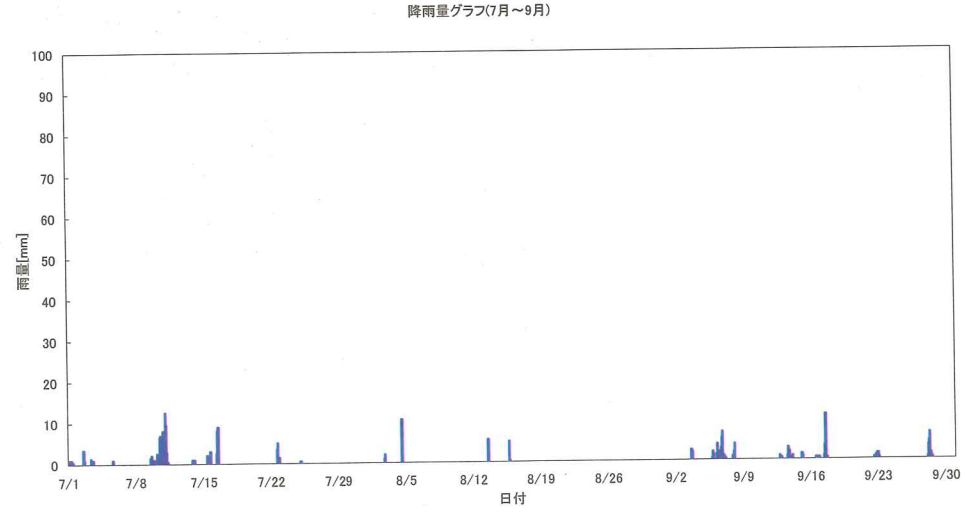


図2.1.1-5　計測データ例

1.2　一般国道52号山梨県南巨摩郡身延町光子沢

1.2.1　現地状況

現地の全景を写真2.1.2-1に示す。平面図を図2.1.2-1、断面図を図2.1.2-2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測器により手動で行った。

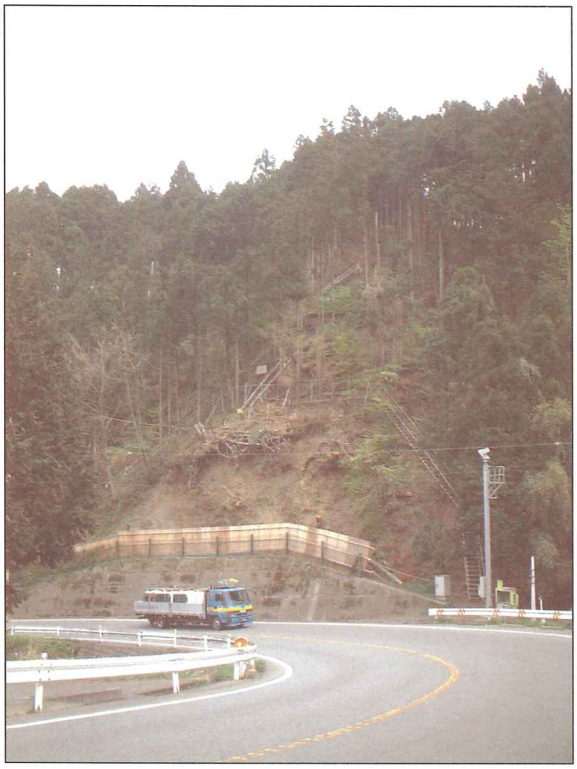


写真 2.1.2-1　現地全景

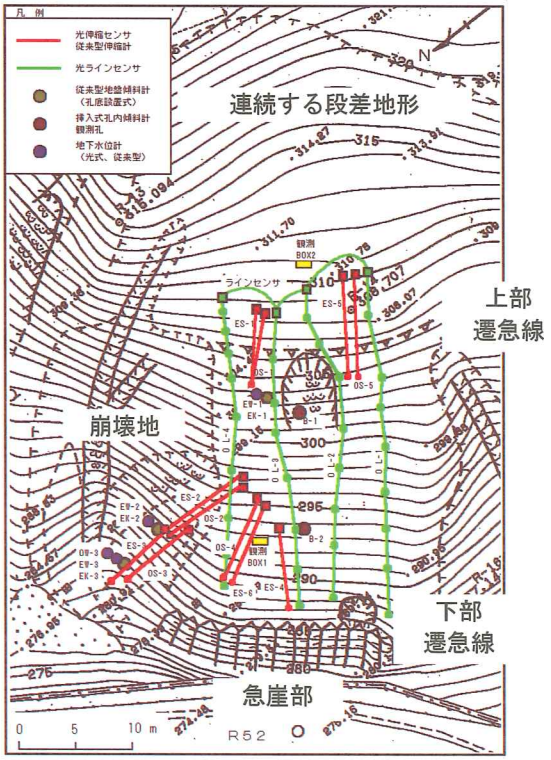


図 2.1.2-1　平面図

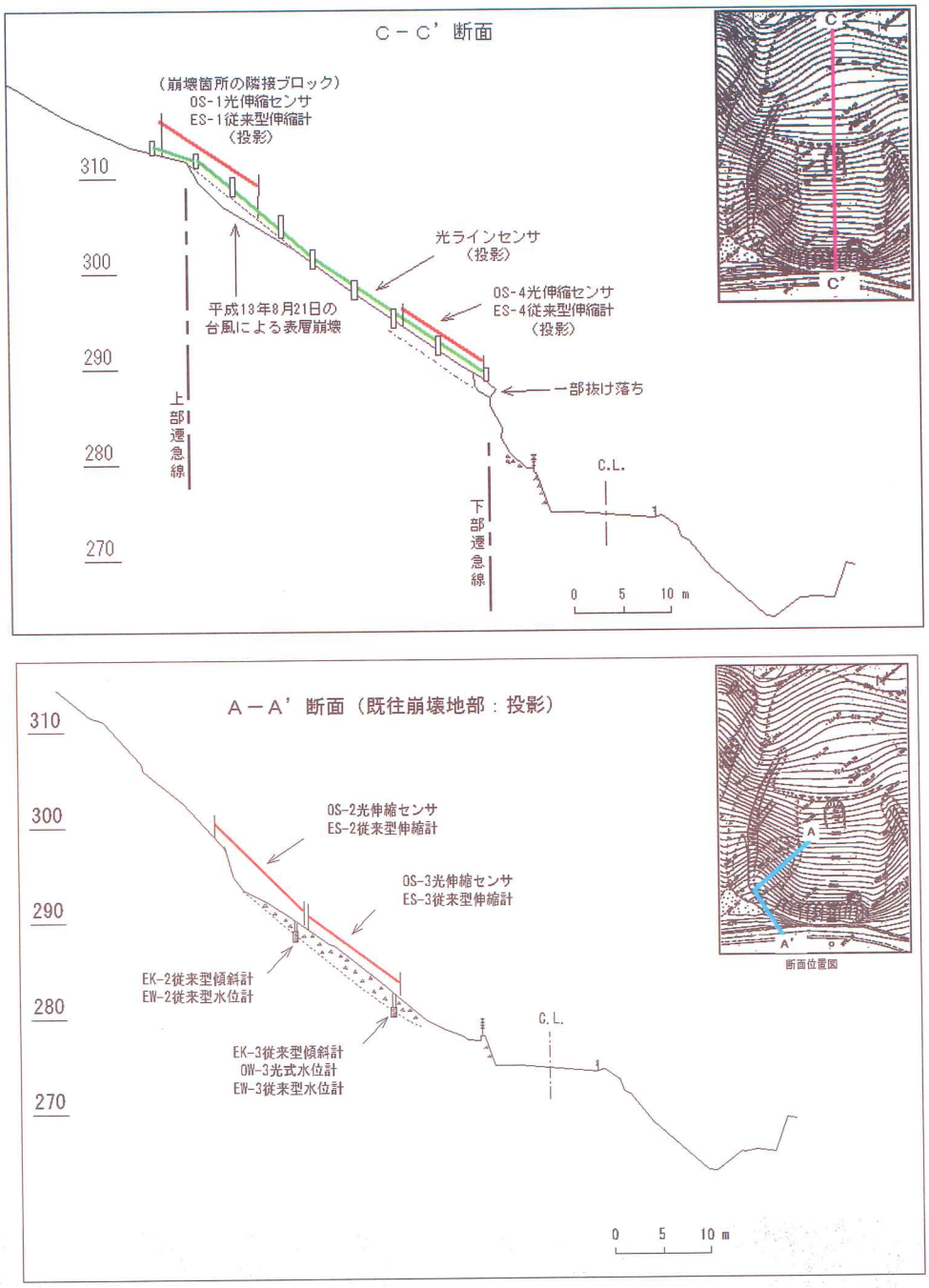


図 2.1.2-2　断面図

1.2.2　システム構成

システム構成を図2.1.2-3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。

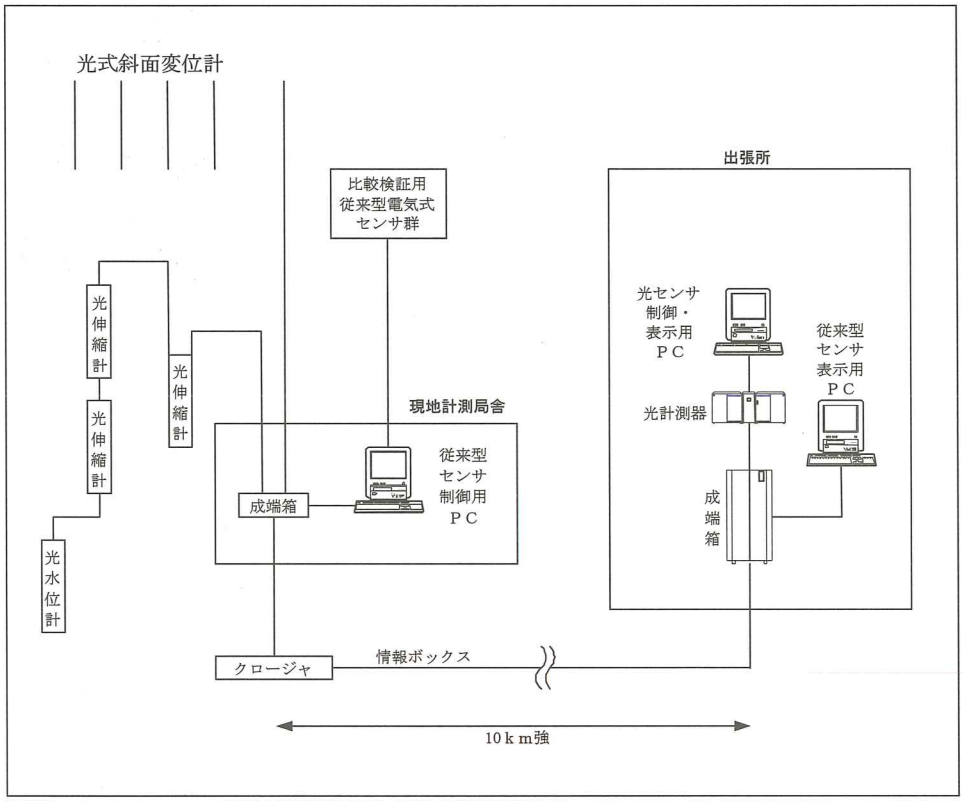


図 2.1.2-3　システム構成図

1.2.3　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。

a）光式地表面伸1縮計

光式地表面伸縮計の外観および設置状況を写真2.1.2-2、写真2.1.2-3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、架設式とした。



写真 2.1.2-2　光式地表面伸縮計外観



写真 2.1.2-3　設置状況

b) 光式斜面変位計

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2.1.2-4に検知部の外観を示した。なお、配線は写真2.1.2-5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2.1.2-4 光式斜面変位計外観



写真2.1.2-5 布設状況（地表面布設）

c) 光式水位計

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2.1.2-6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2.1.2-4に示した。



写真2.1.2-6 光式水位計

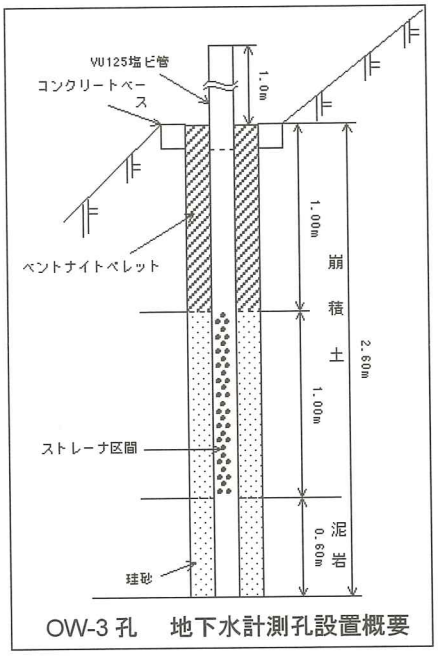


図2.1.2-4 計測孔構造図

1.2.4　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2.1.2-7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2.1.2-7　計測システム
（右が光式用、左は電気式用）

1.2.5　運用

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行っていない。

(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

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。崩壊箇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箇所は、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】光センサ設置箇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）

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 16時50分頃 崩壊(12立米)発生 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		12:00　降雨終了
13:50	状況確認・規制解除 現地詳細調査	13:30　連続雨量打ち切り (無降雨2時間経過)
8/23		

1.2.6　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12m^3）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2.1.2-5)。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。

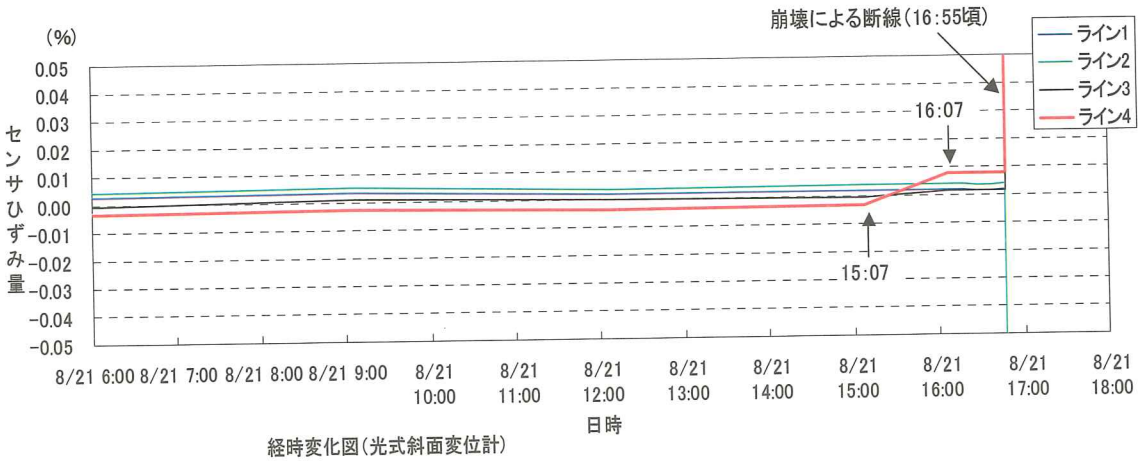


図2.1.2-5　小崩壊に先立つ異常データと破断による異常値
(光式斜面変位計)

(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2.1.2-6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。

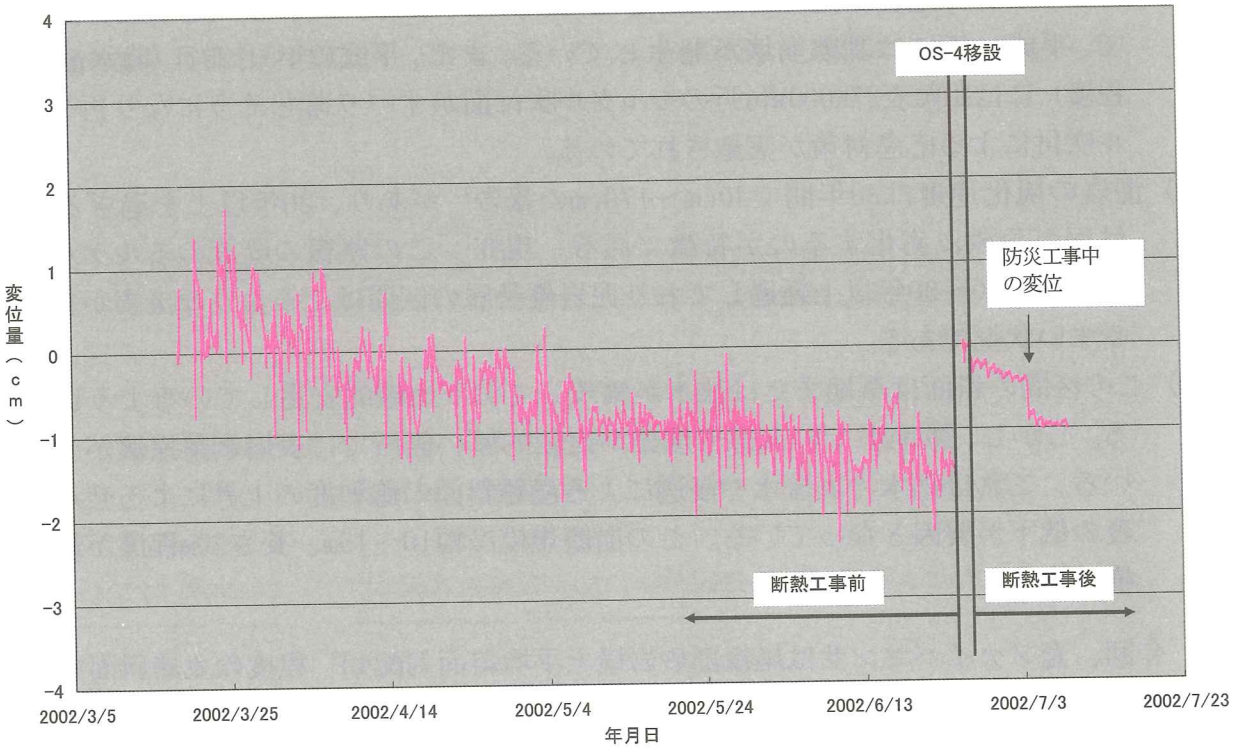


図2.1.2-6　センサ断熱化による精度向上例

２．MDM方式（高密度型）

2.1 一般国道220号宮崎県日南市鷲巣（オウサ）地区

2.1.1　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150m^{3}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みえる。しかし、微地形での沢部や崖錐が比較的厚い箇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実施した。



写真2.2.1-1　現　地　全　景

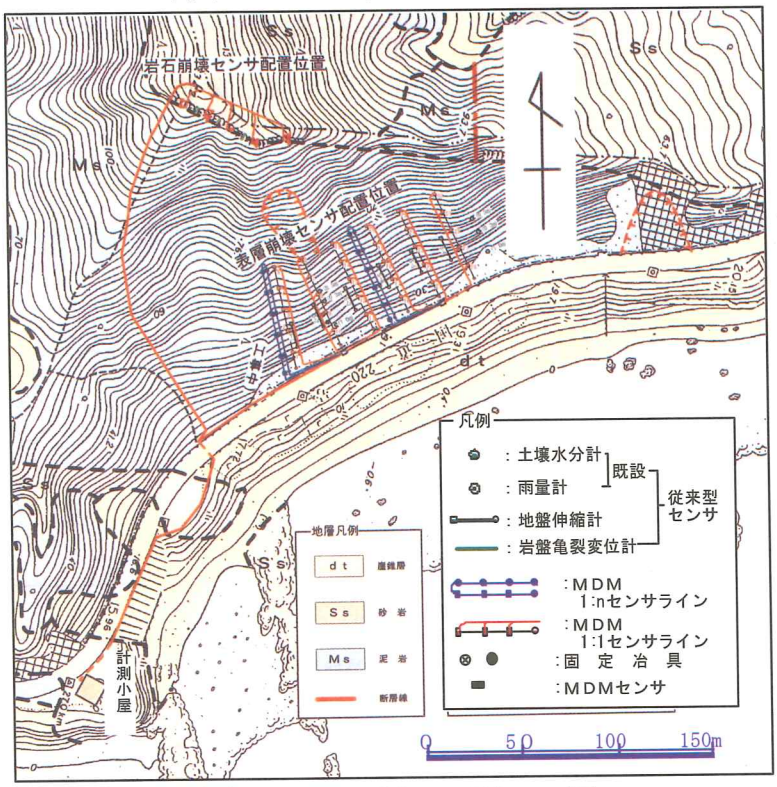


図2.2.1-1　平　　面　　図

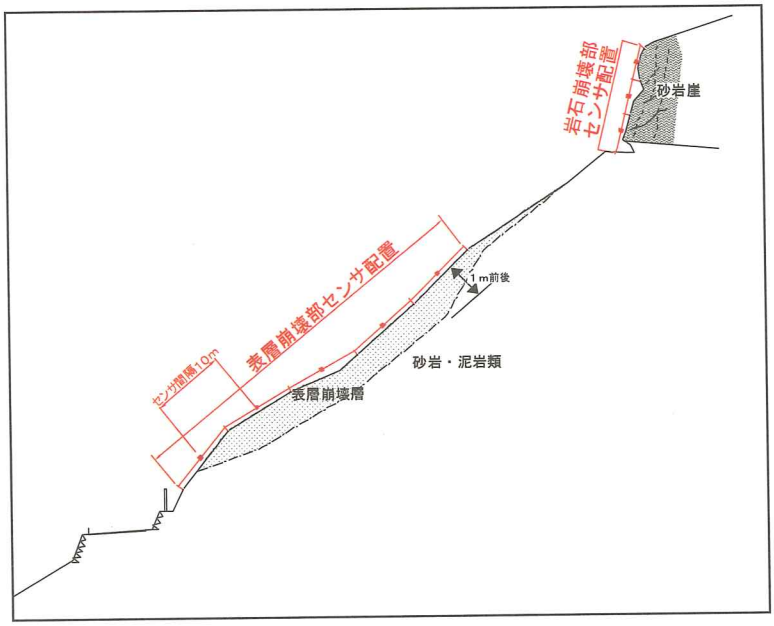


図2.2.1-2　断　　面　　図

2.1.2　センサ概要とセンサ配置

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2.2.1-2に示し、設置概要を図2.2.1-3に示す。

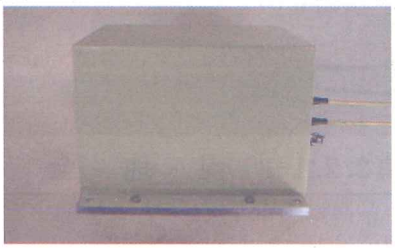


写真2.2.1-2 MDM地盤伸縮計外観

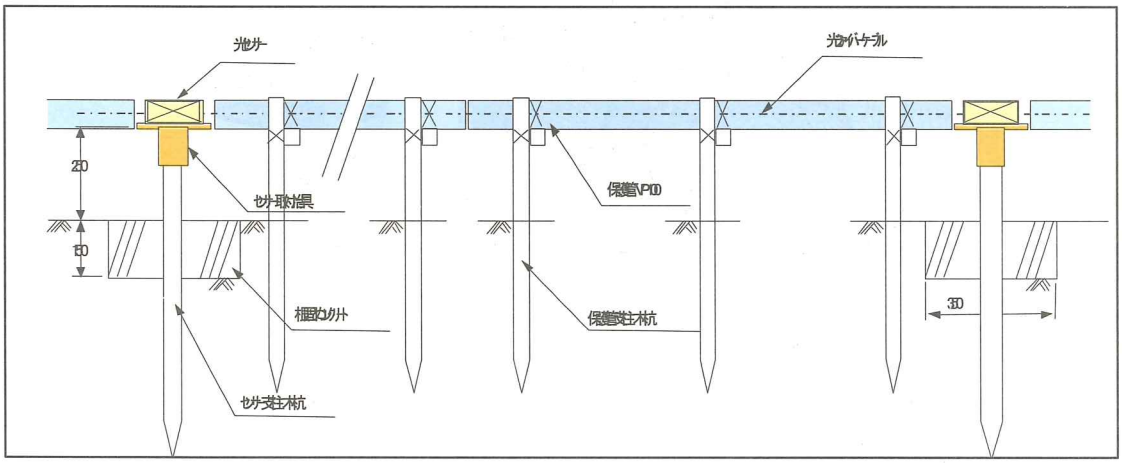


図2.2.1-3　設置概要図

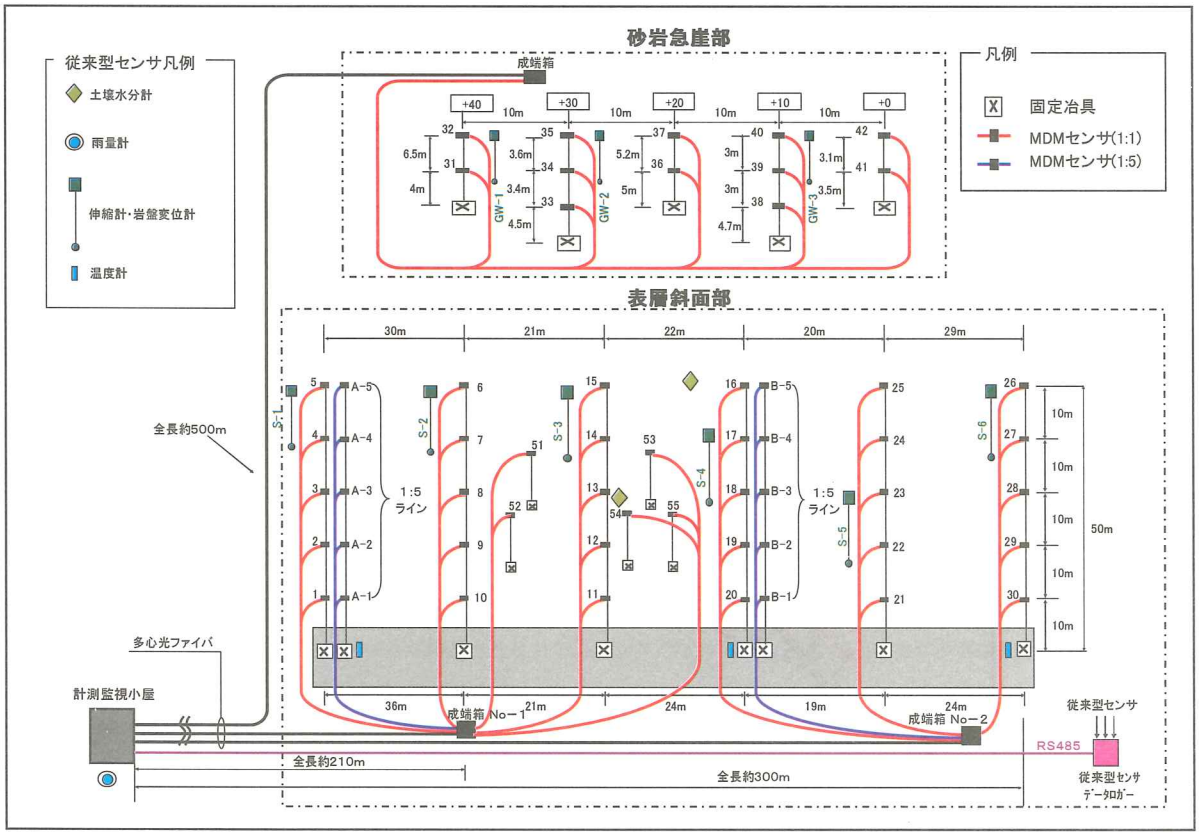


図2.2.1-4　センサ配置図

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2.2.1-3のようになり、従来型のセンサと同じである。

なお、写真2.2.1-4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。

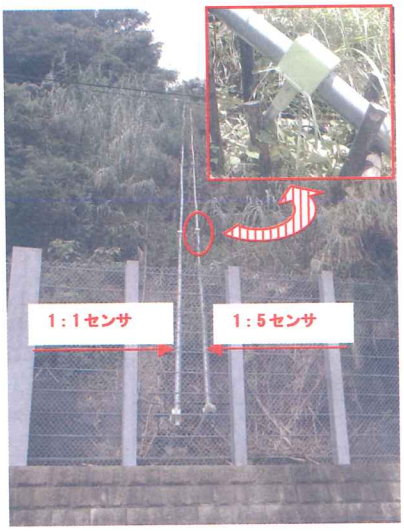


写真2.2.1-3　センサ設置完成



写真2.2.1-4　センサ設置完成

2.1.3　計測装置概要

計測小屋に設置した計測システムは写真2.2.1-5に示す。

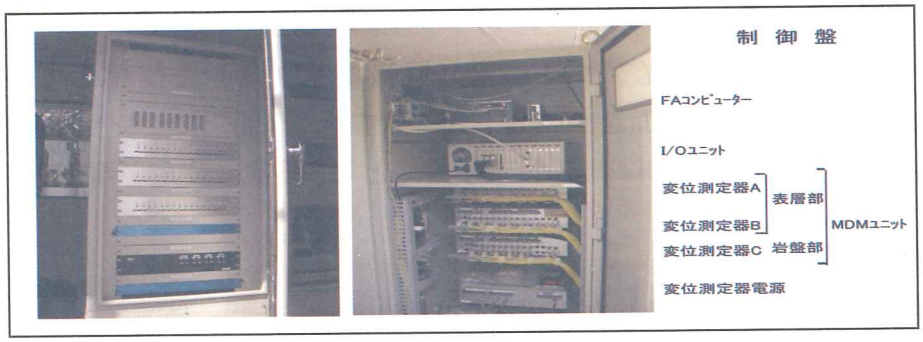


写真2.2.1-5　計測システム

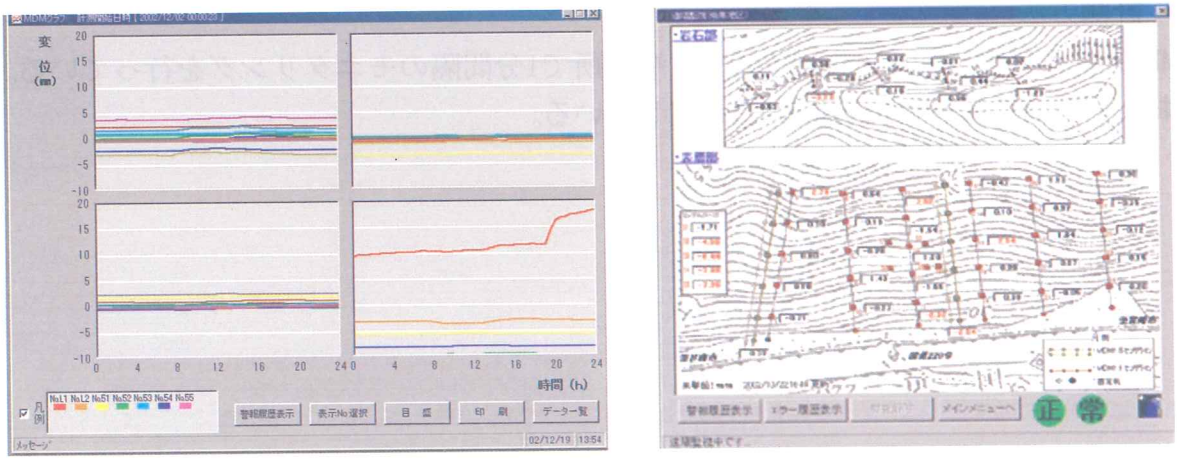


図2.2.1-5　監 視 画 面

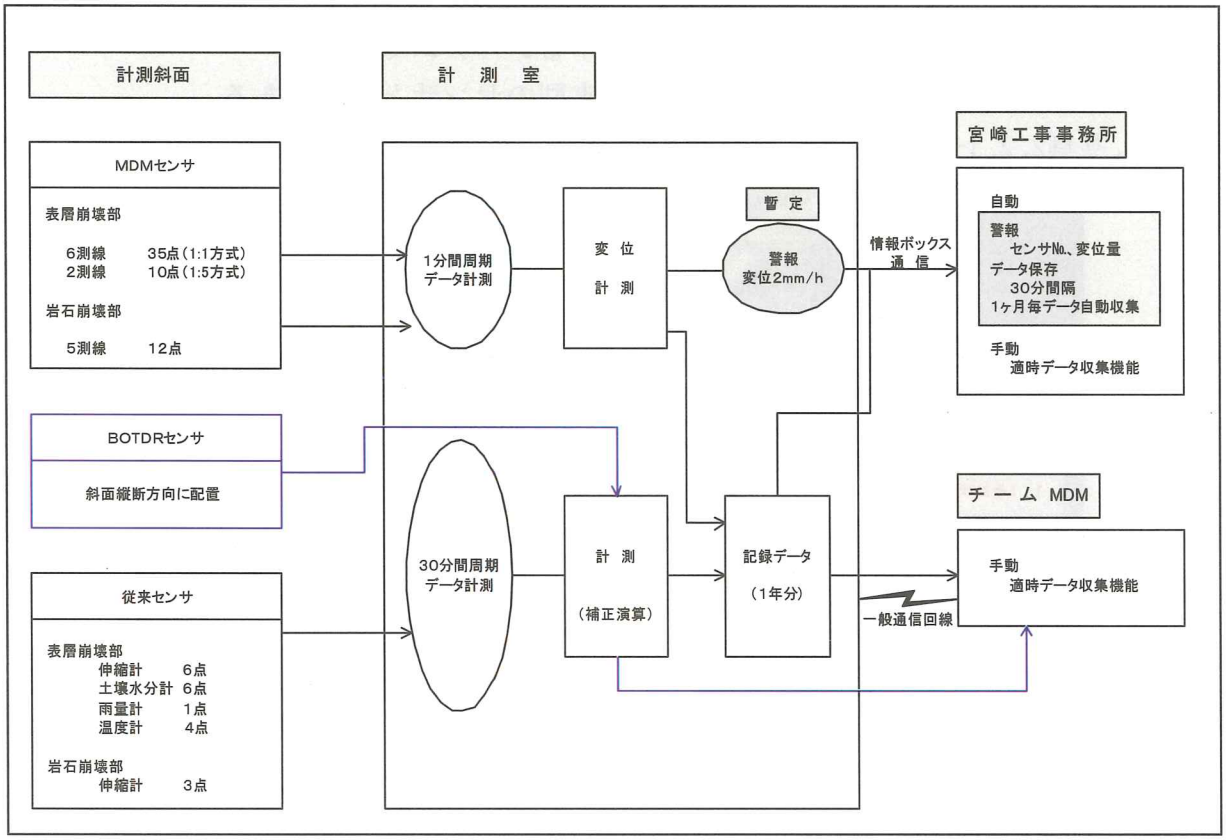


図2.2.1-6　システム構成図

計測データは道路管理用光ファイバ網（情報ボックス）を使用して事務所で自動計測を行っている。監視画面を図2.2.1-5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。

2.1.4　運用

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

MDM方式は計測当初より計測を行い、事務所で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。

(2) 計測期間

計測期間での主な内容を示す。

表2.2.1-1　計測期間の運用状況

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）
	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
	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

※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と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2.2.1-2　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		データ収集。異常なし
10	**計測強化体制解除**	
11		
12		
13		
14		
15		
16		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	CCTVと共にモニタリング監視	17:30頃現地着 現地調査
18		
19	19:30頃　崩壊規模が小さいため　翌日現地調査決定。	崩壊規模・周辺状況を把握。事務所連絡
20		
22日 21		
5		
6	現地調査	
7		
8		崩壊個所のセンサ応急復旧
9		
10	tel連絡	9:55応急復旧終了
11		24日より随時計測結果報告を決定
23日 12		
25日		現地でシステム修復作業
26日		定期報告
27日 午前	防災ドクターと現地調査	2次災害の可能性がないことを報告
午後		今後の方針等について事務所と協議
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。

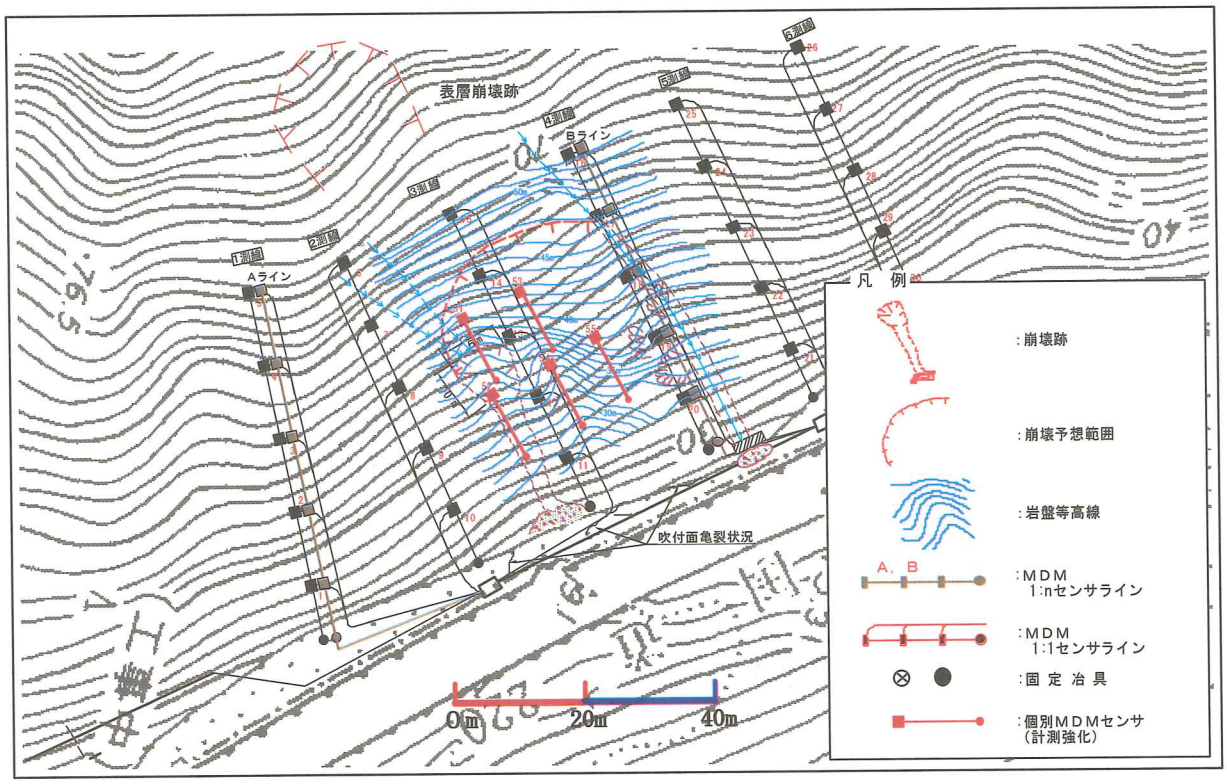


図2.2.1-7　監視強化センサ配置図

2.1.5　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。

(1)　3ライン…平成13年度6月22日の表層崩壊

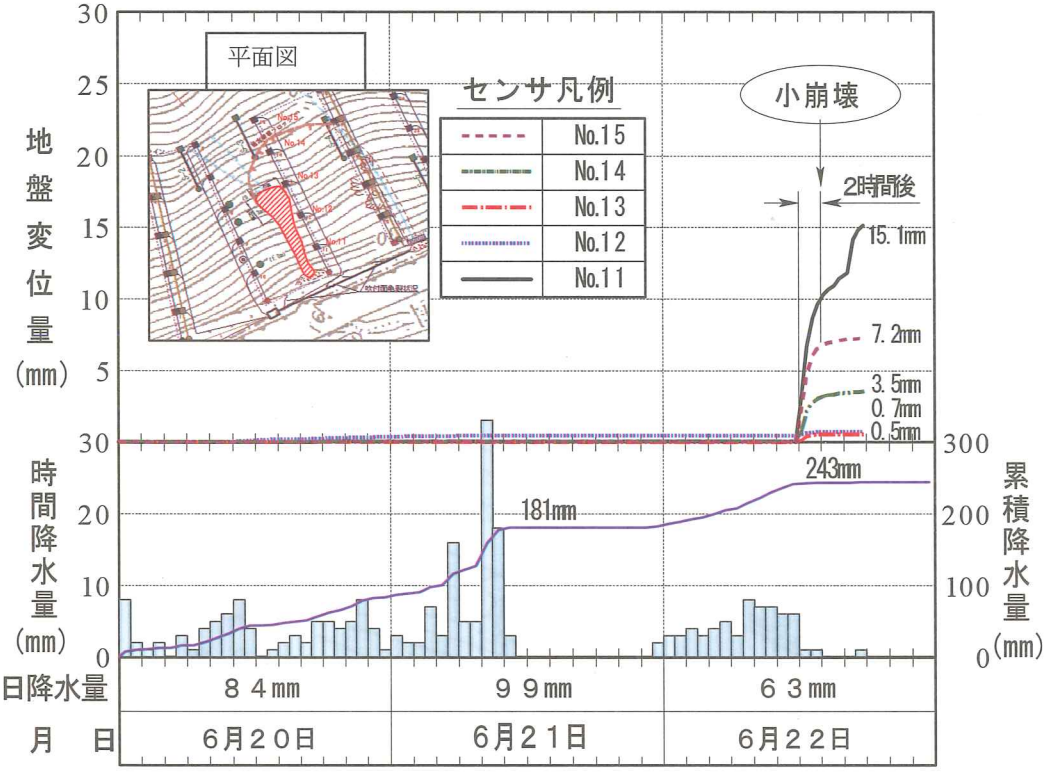


図2.2.1-8　表層崩壊変位図（3ライン…1:1センサ）



写真2.2.1-6　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

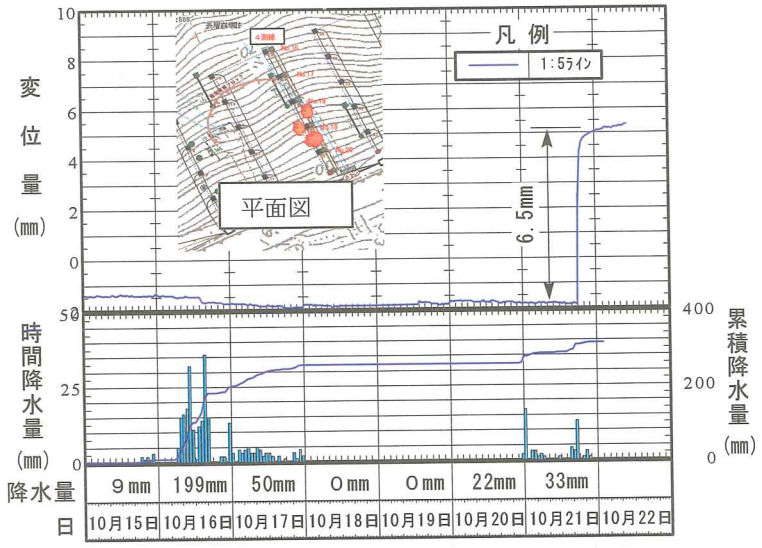


図2.2.1-9　表層崩壊変位図（4ライン…1:5センサ）

参考文献

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

３．B-OTDR方式（高密度型）

3.1　一般国道19号長野県上水内（ミノチ）郡信州新町水内

3.1.1　現地状況

センサ設置以前の現地斜面全景を写真2.3.1-1に、平面図およびセンサ設置概要を図2.3.1-1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 2.3.1-1　現地全景



図 2.3.1-1　平面図およびセンサ設置概要図

3.1.2　システム構成及びセンサ配置

システム構成およびセンサ系統を図2.3.1-2に示す。

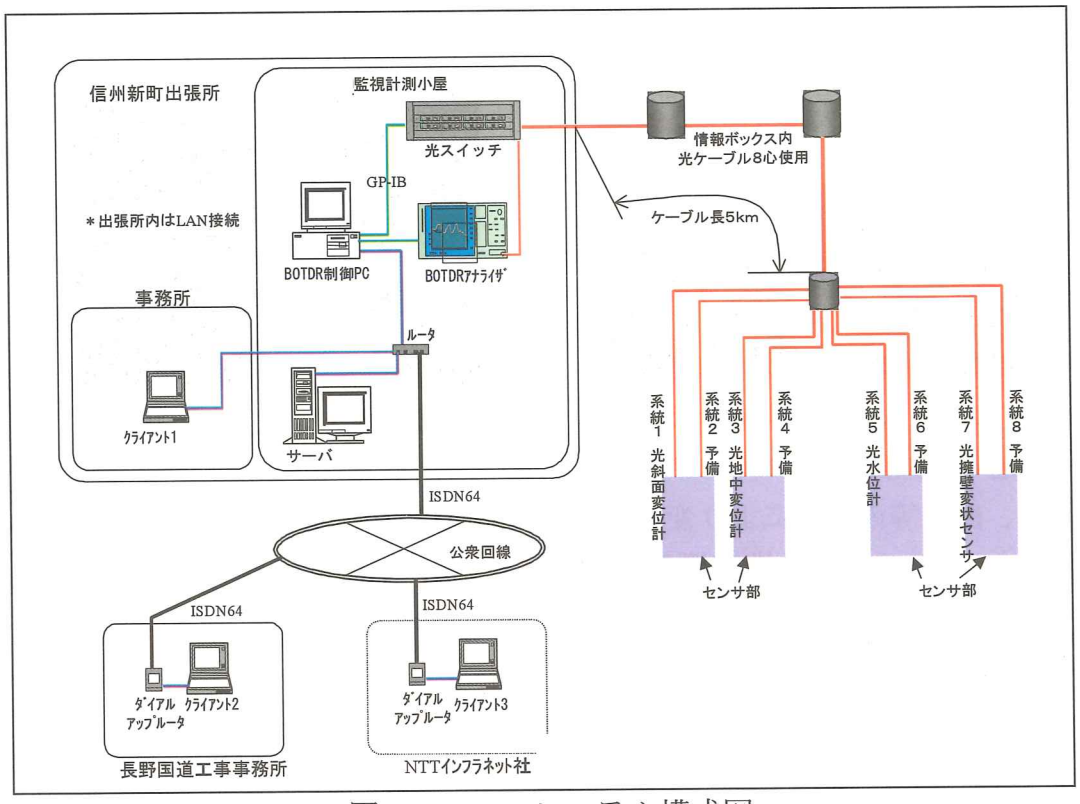


図 2.3.1-2　システム構成図

3.1.3　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2.3.1-3に光斜面変位計の構成、写真2.3.1-2に施工中の状況を示す。

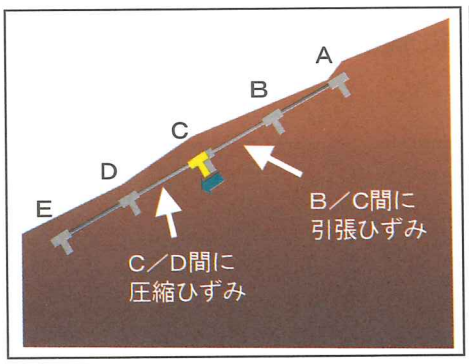


図 2.3.1-3　光斜面変位計構成



写真 2.3.1-2　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2.3.1-4に光地中変位計概要を、写真2.3-3に設置状況をそれぞれ示す。

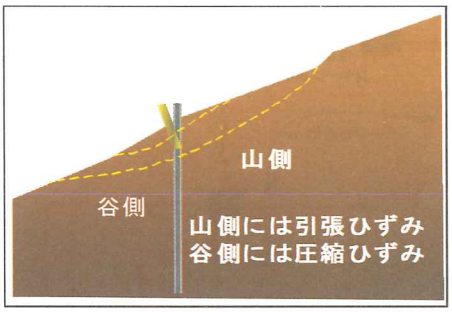


図 2.3.1-4　光地中変位計概要



写真 2.3.1-3　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2.3.1-4に水位計を、図2.3.1-5に構造概要を、図2.3.1-6に水位計設置状況をそれぞれ示す。



写真 2.3.1-4 水位計



図 2.3.1-5　水位計概要

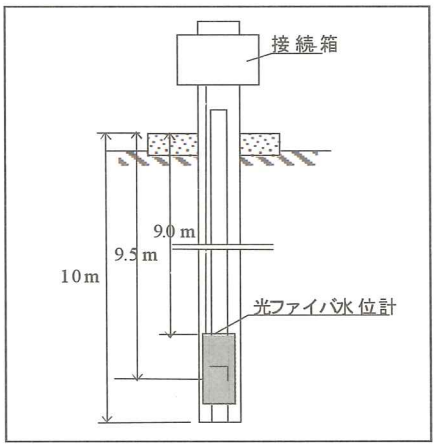


図 2.3.1-6　設置状況

(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2.3.1-7に概要を、写真2.3.1-5に設置状況をそれぞれ示す。

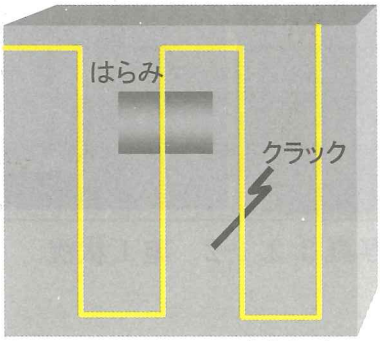


図 2.3.1-7　センサ概要



写真 2.3.1-5　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2.3.1-8にセンサ概要を、写真2.3.1-6に設置状況をそれぞれ示す。

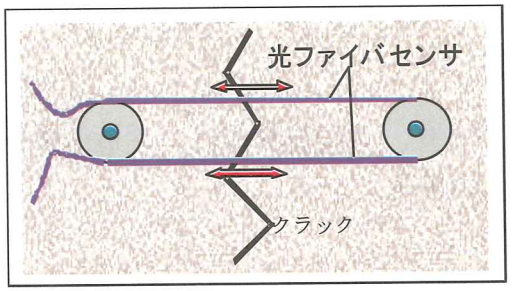


図 2.3.1-8　センサ概要



写真 2.3.1-6　設置状況

3.1.4　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2.3.1-7に各装置を、図2.3.1-9にB-OTDR遠隔計測システム構成をそれぞれ示す。



写真 2.3.1-7　計測システム装置

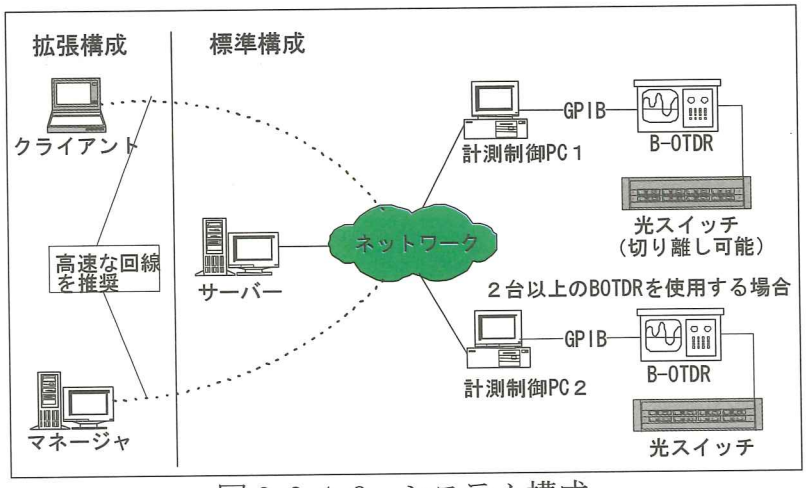


図 2.3.1-9　システム構成

3.1.5　運用

(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回の計測とした。

(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を行った。

(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) 運用

遠隔計測により、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2.3.1-10)。異常時については、斜面崩壊につながる変状が発生しなかった。



図 2.3.1-10　監視画面

3.1.6　計測データ例

各センサ別の計測データ例を図2.3.1-11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、変位量に換算した。

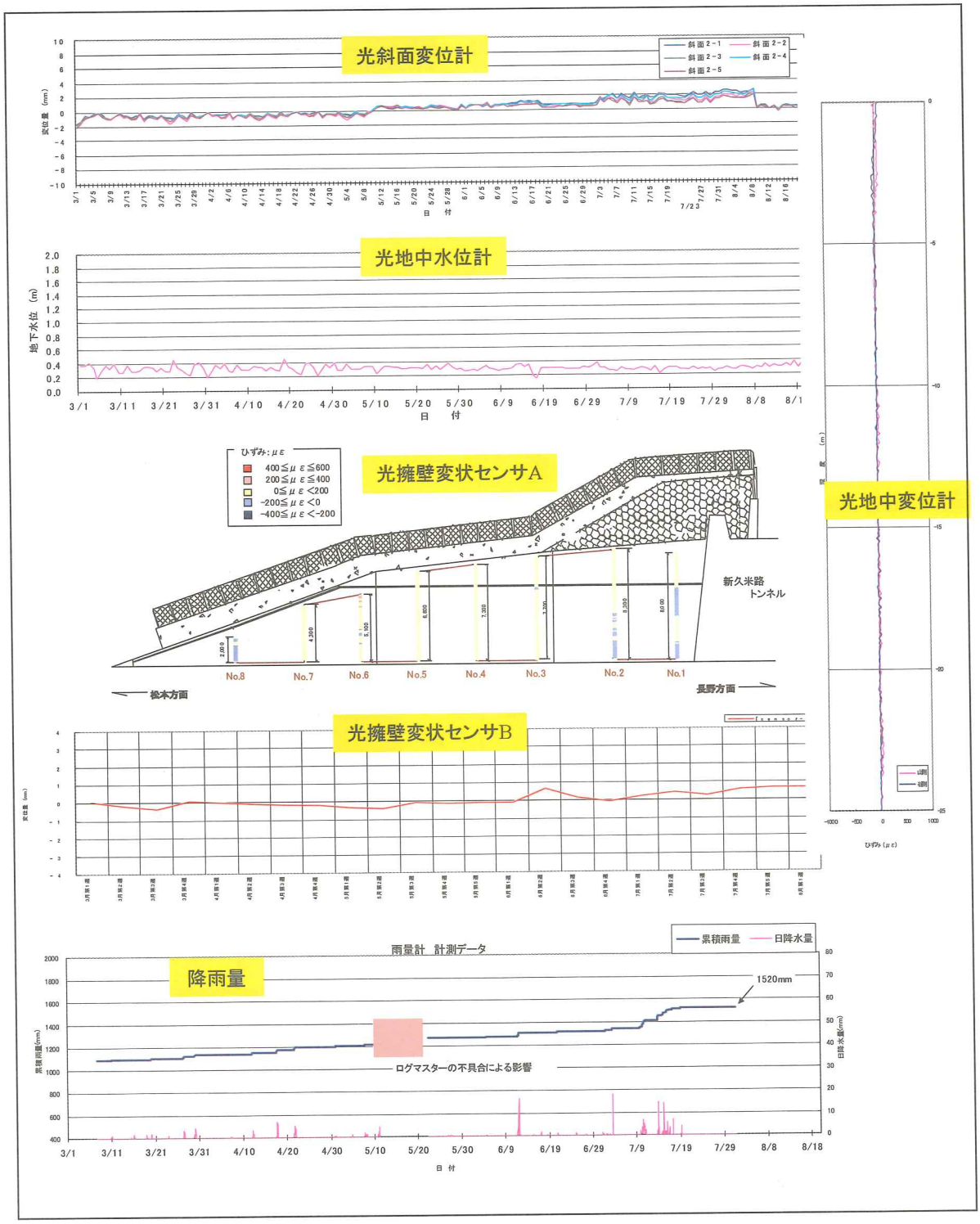


図 2.3.1-11　計測データ例

3.1.7　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で、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2.3.1-12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2.3.1-13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2.3.1-14に、変位量を図2.3.1-15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。

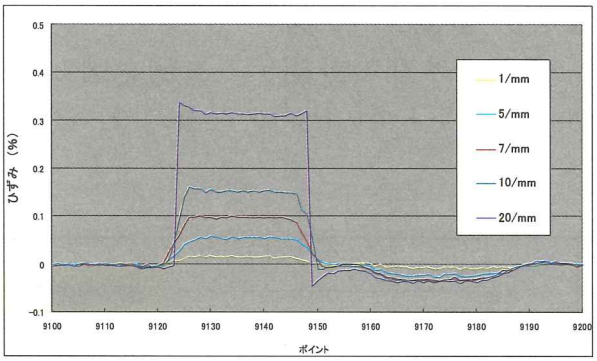
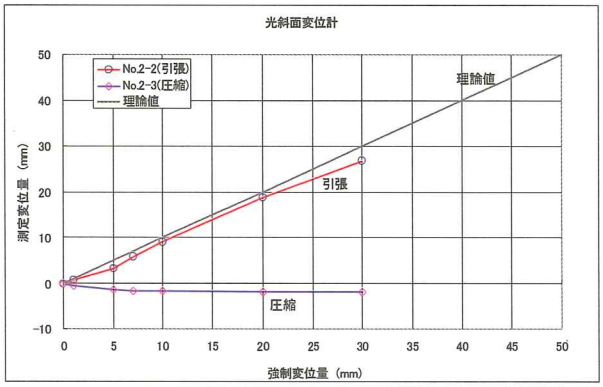


図 2.3.1-12 ひずみ分布



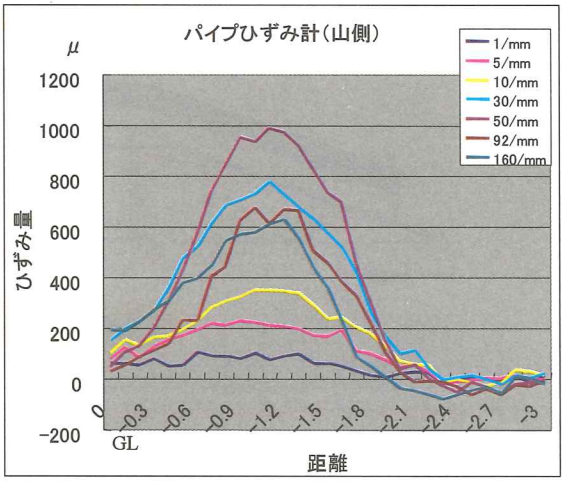


図 2.3.1-14 波形グラフ

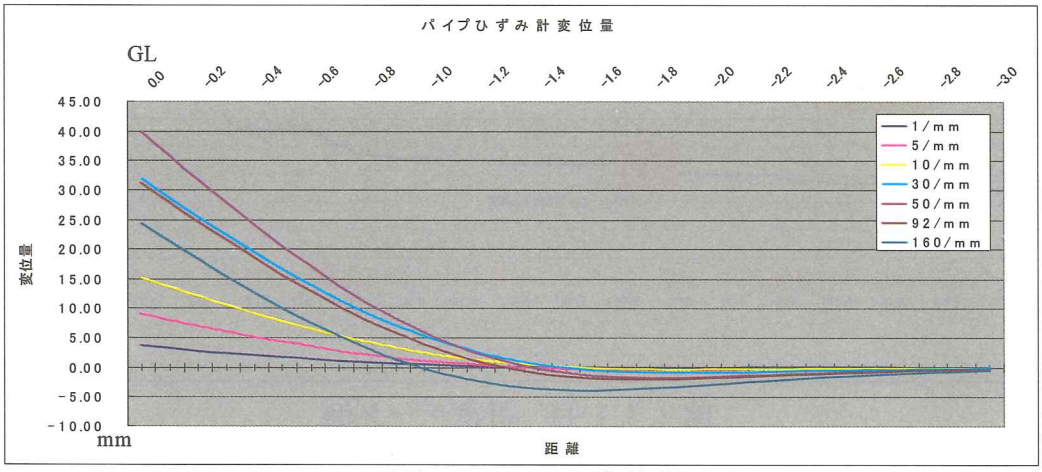


図 2.3.1-15　変位量

3.2　一般国道28号兵庫県津名郡津名町塩尾

3.2.1　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8m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。また、平成16年10月20日には、台風23号の大雨の影響で大規模な斜面崩壊が発生した。

計測斜面の全景を写真2.3.2-1および写真2.3.2-2に示す。また断面図を図2.3.2-1に示す。



写真2.3.2-1　現地全景



写真2.3.2-2　道路と海岸線状況

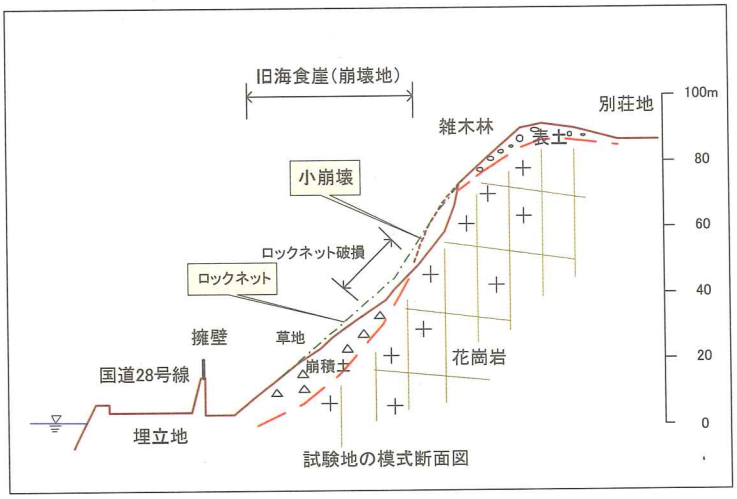


図2.3.2-1　断面図

3.2.2　システム構成及びセンサ配置

斜面には、光ファイバセンサをW字状に張り、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を用いて自動計測を行った。

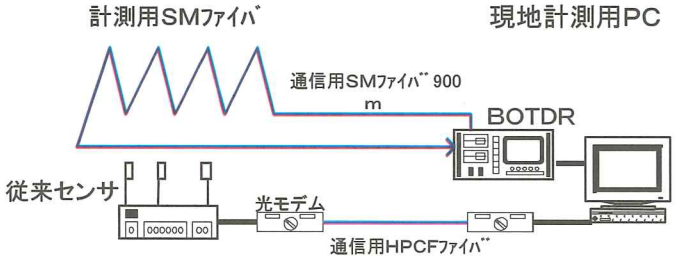


図2.3.2-2　システム構成

センサの概略配置を図2.3.2-3に示す。

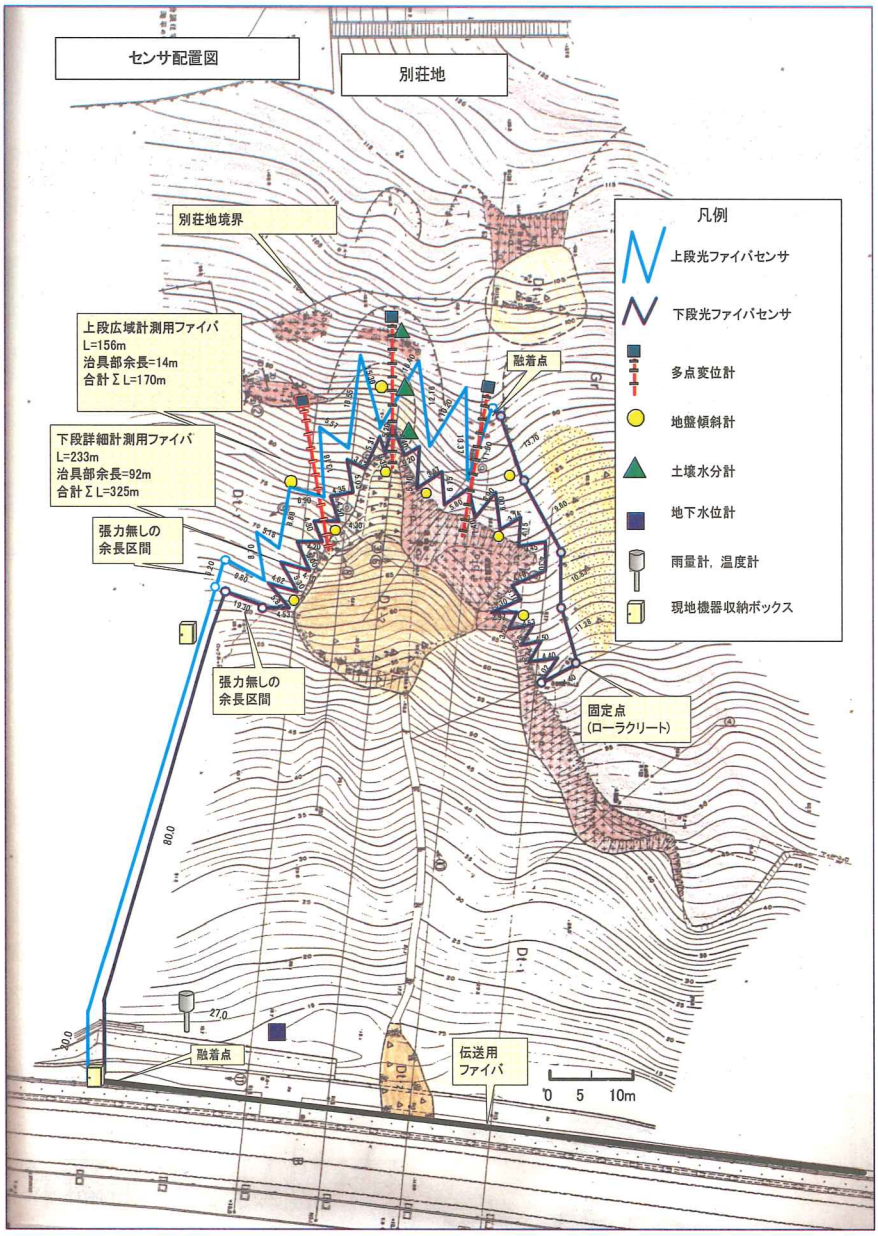


図2.3.2-3　センサ配置

3.2.3　センサの設置

光ファイバセンサは上下2段に設置した。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冶具で設置した。上段は、6～18mの長い計測区間を設け、固定には挟み付け型の冶具を使用した。

表2.3.2-1　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

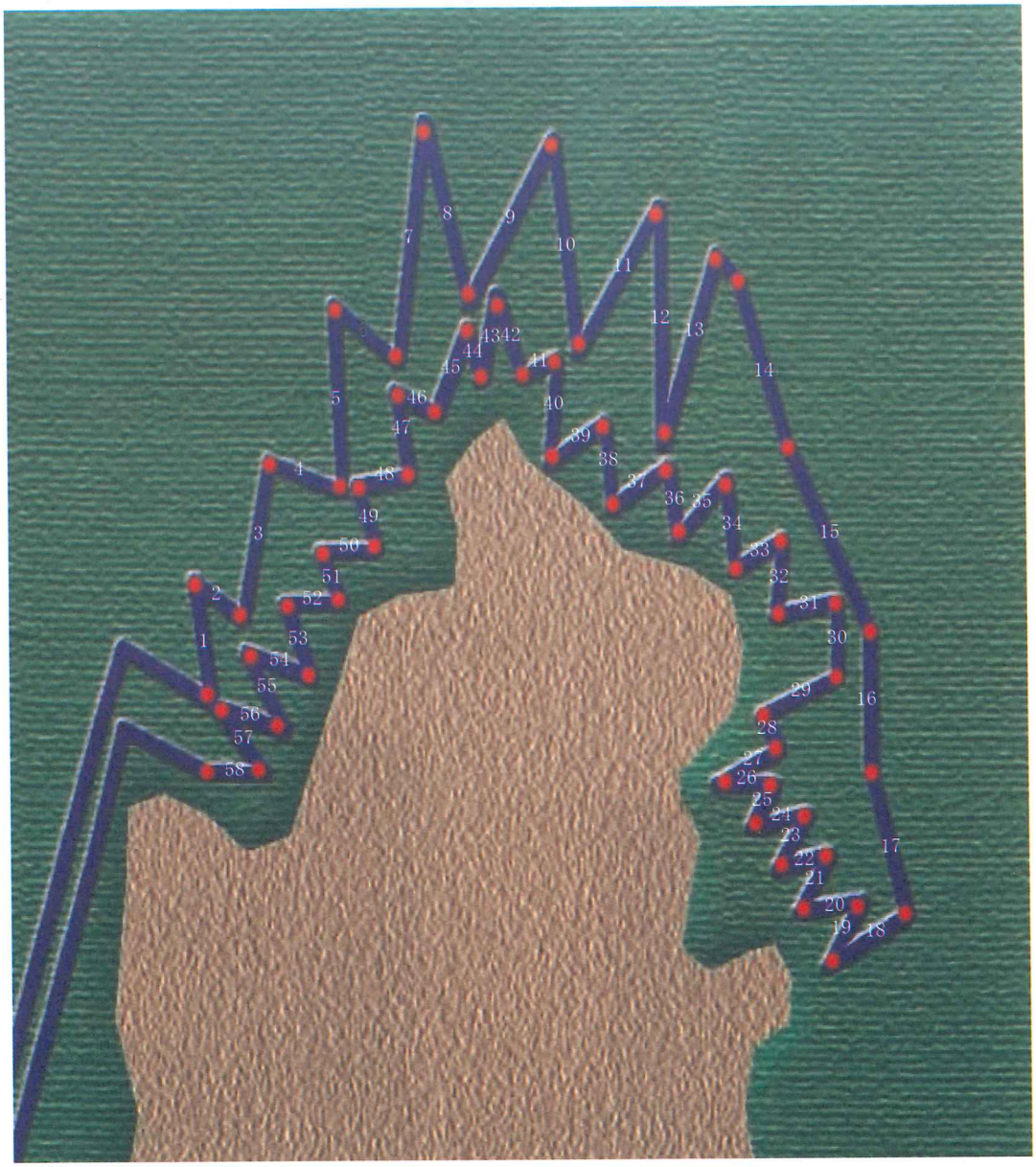
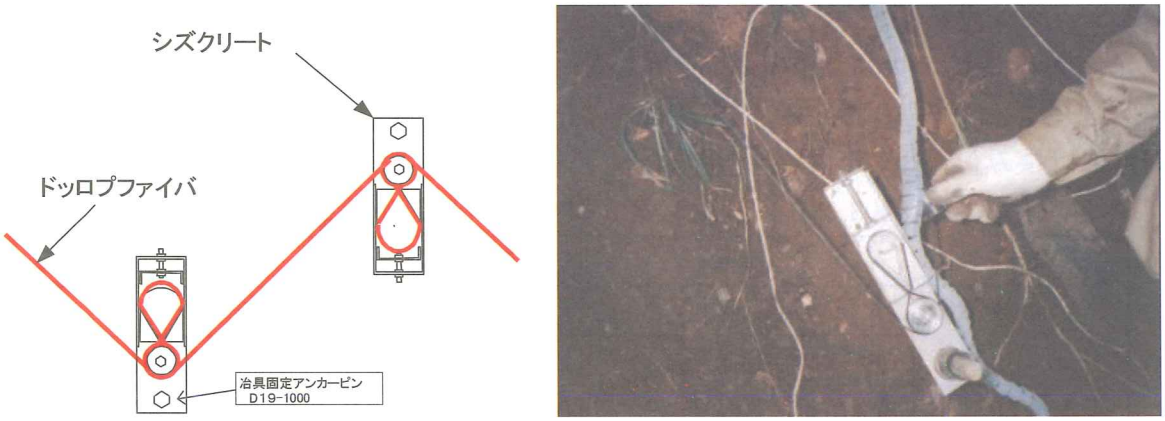
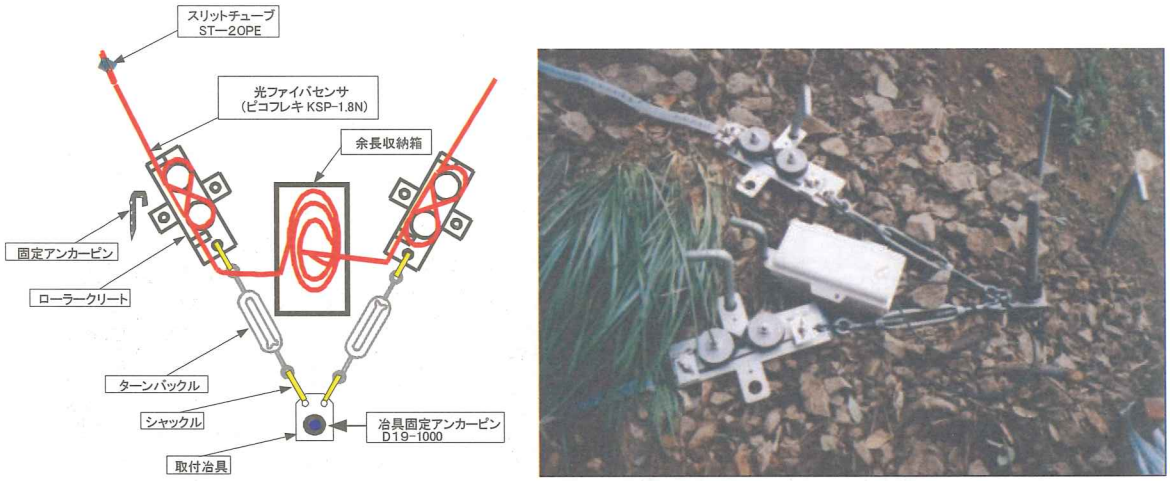


図 2.3.2-4　計測区間とファイバ敷設状況



シズクリート方式　（挟み付け固定、区間長6～18m）

図2.3.2-5　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2.3.2-6　巻き付け固定によるファイバセンサの布設

3.2.4　計測装置概要

計測小屋に設置した主な計測システムの状況を写真2.3.2-3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2.3.2-3　計測システム（外観と内部計器）

3.2.5　運用

計測施設は平成13年5月に設置され、平成16年11月までの約3年間、1時間に1回の自動計測を続けてきた。蓄積されたデータは、携帯電話の回線により、ほぼ1日1回のペースで現地からの回収を行った。現地の監視画面を図2.3.2-7に示す。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。

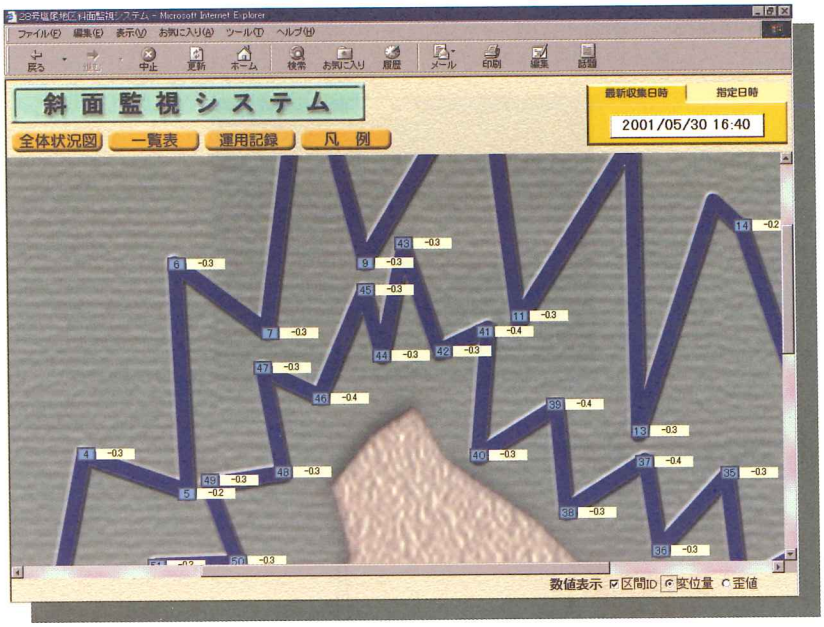


図2.3.2-7　監視画面

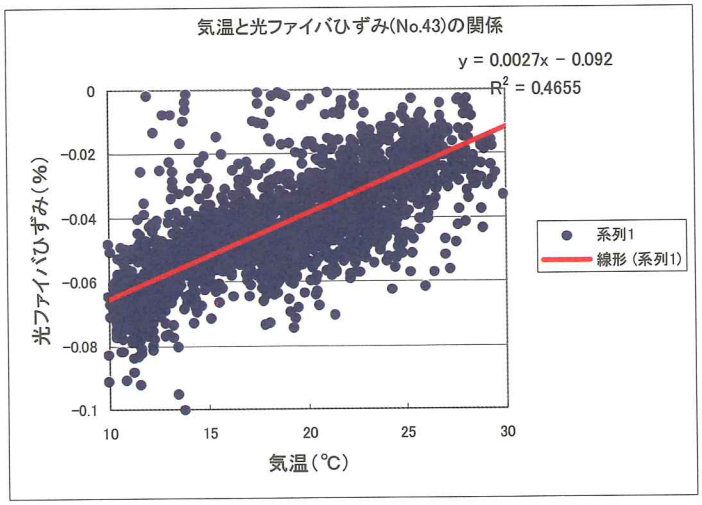
3.2.6　計測データ例

光ファイバセンサは、気温や機器の計測条件に依存する変動が見られた。図2.3.2-8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、

(a) 温度上昇に対して、ひずみ量が増加（+0.003%／℃）する傾向にある。

(b) 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、固定冶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ってくる。



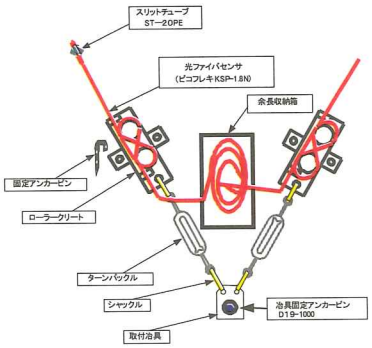


図2.3.2-8　気温と光ファイバセンサのひずみの関係例（下段、No.43）

塩尾地区では、平成16年4月末と8月末に落石の影響で計測用ファイバセンサが切断された。また、同年10月20日には台風23号通過に伴う豪雨の影響で大規模な斜面崩壊が発生し、計測用ファイバ3箇所が損傷した。

崩壊の前兆から崩壊にいたるまでの歪み量変化の計測グラフ（代表例）を図2.3.2-9に示す。累積降水量が事前通行規制基準雨量160㎜を越えた15時頃から歪み量にも変化が見られ、16時の計測データをピークとし、17時の計測データでファイバが切断した（斜面崩壊による切断）。

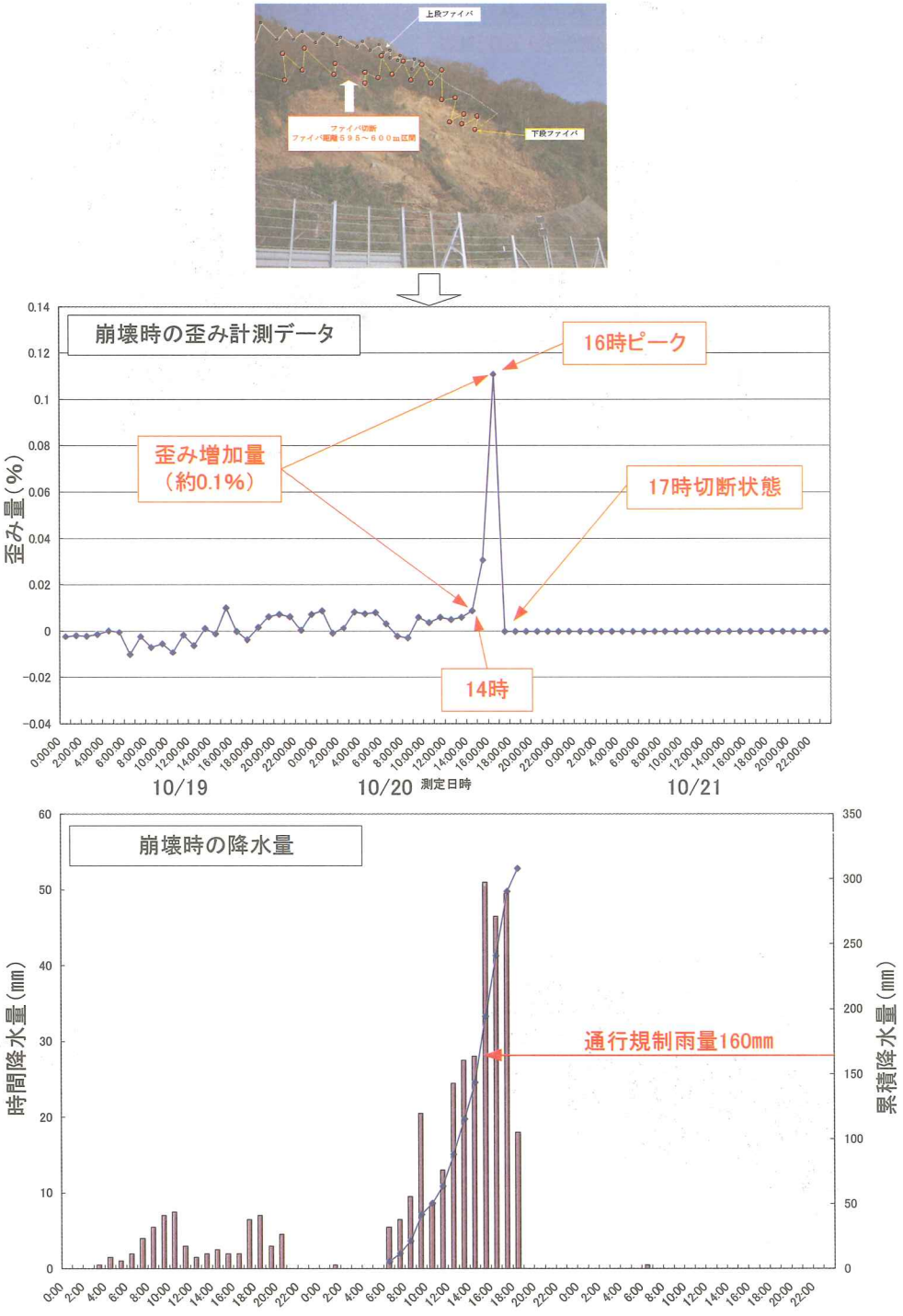
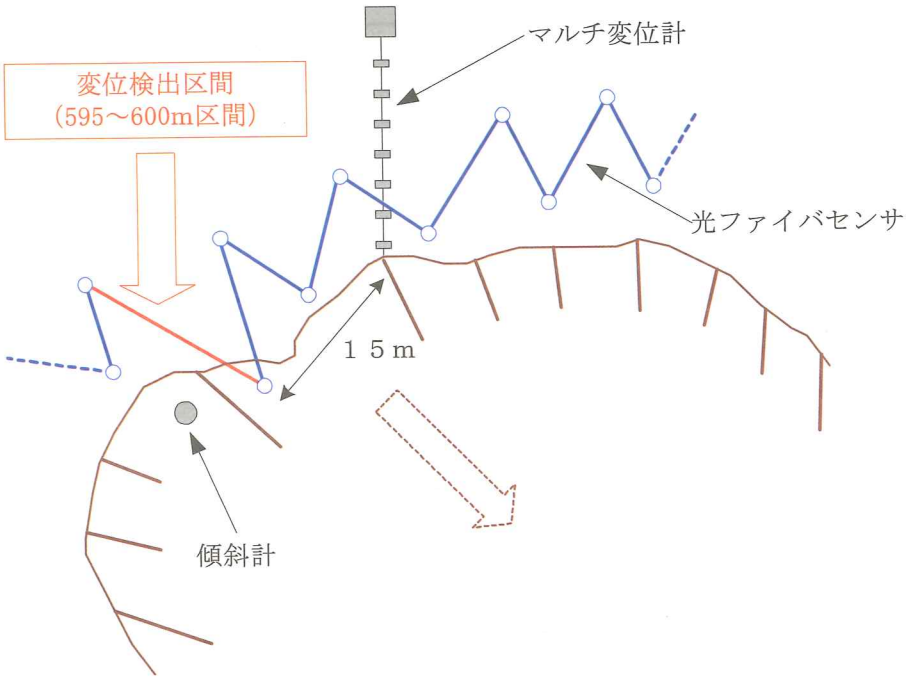


図2.3.2-9　台風23号時のセンサの変化

3.2.7　従来型計測器との比較

塩尾地区では、光ファイバセンサの比較検証用に従来型の計測器として傾斜計や多点変位計を設置している。台風23号通過時の斜面崩壊時には、これらの従来型計測器でも斜面の変状を捉えていた。

光ファイバセンサと従来型計測器の計測値比較結果を以下に示す。



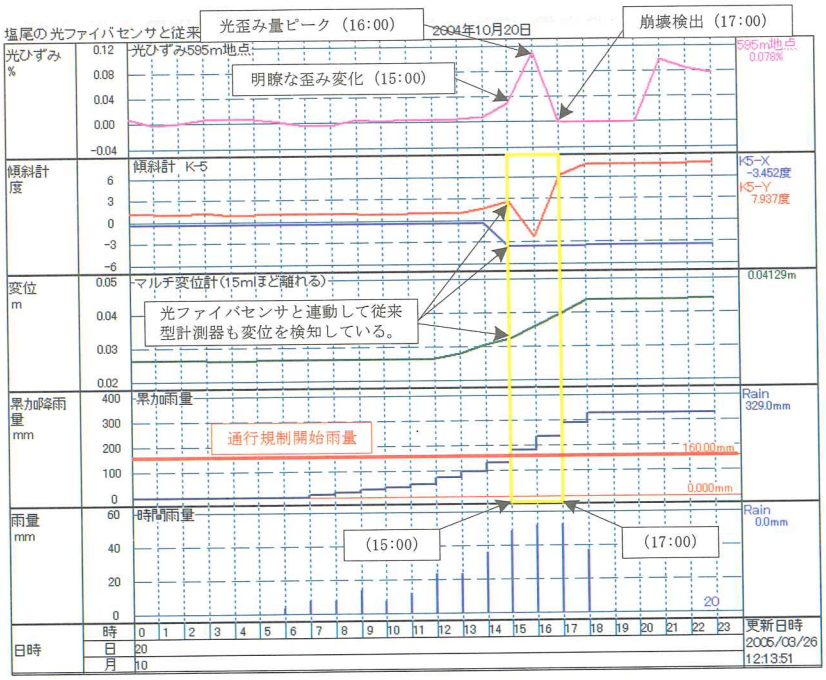


図2.3.2-10　光ファイバセンサと従来型計測器の比較値

上図に示すように、累積降水量が160㎜を越える15時頃から各計測器で斜面変状計測され、時間雨量がピークとなる16時まで計測値の累積傾向が続いている。

3.2.8　計測精度と崩壊前兆

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2.3.2-2に示す基本性能を有する。一般的な室内性能では、歪み測定精度は0.01%である。

表2.3.2-2　光ファイバセンサの基本性能（室内試験）

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が基本
	歪み分解能	0.0001%	初期張力0.1%以内
	歪み測定精度	0.01%	
自動計測	計測間隔	1時間毎	測定所要時間＝5～15分

2)光ファイバセンサの屋外性能

実際の屋外斜面では温度変化、治具の緩み、風雨等の要因で測定精度が低下する。特に、温度変化に関しては、1°Cあたり0.0012～0.003%の歪み測定誤差が生ずることが分かった。これは、光ファイバセンサ10m区間で、1日の温度変化が10°Cとすると「光歪み量0.03%＝変位量3㎜」の変化に相当することになる。

表2.3.2-3　屋外計測における歪み量と変位量（伸縮）の誤差

測定誤差	原因	歪み誤差	変位量換算の誤差
温度変化の影響	気温の変化	±0.03%	3.0㎜
長期的な変動	温度他の要素	±0.06%	6.0㎜
単発的な誤差	計測タイミング	±0.2%前後	20.0㎜

10m区間あたりの変位量（㎜）＝区間長（m）×歪み変化量（%）×10

3)光ファイバセンサと従来型測定器の比較

平成16年の台風23号の雨の影響による土砂崩壊で、光ファイバセンサが切断される前に検出された最大歪み量は、0.03～0.4%であった。また、光歪み量の変化が1時間当たり0.03%以上あれば、地盤変動を誤差と識別できることが判明した。

なお、光歪み量の変化が識別できた「光ファイバセンサ10m区間で1時間当たり0.03%＝変位量3㎜相当」の変化は、地すべり警報等の「時間4㎜の変位」に近い値である。

表2.3.2-4　光ファイバセンサと従来型センサの斜面崩壊の前兆検出例

計測機器	前兆検出時間	計測項目	検出量	設置条件と変位量換算
光ファイバセンサ	崩壊2時間前	光歪み	0.03%/h	10m区間で3㎜移動相当
傾斜計	崩壊2時間前	傾斜角度	0.5°/h	1m深度で4㎜移動相当
変位計	崩壊3時間前	水平移動量	3㎜/h	20m区間に設置
累加雨量	崩壊2時間前	累加降雨量	累計160㎜	当該区間の通行規制雨量

平成16年10月20日：台風23号通過時の塩尾の観測結果より（計測間隔1時間）

3.3　一般国道42号和歌山県西牟婁郡すさみ町黒崎

3.3.1　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。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、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2.3.3-1に、平面図を図2.3.3-1に、断面図を図2.3.3-2に示す。



写真2.3.3-1　現地全景（設置前）

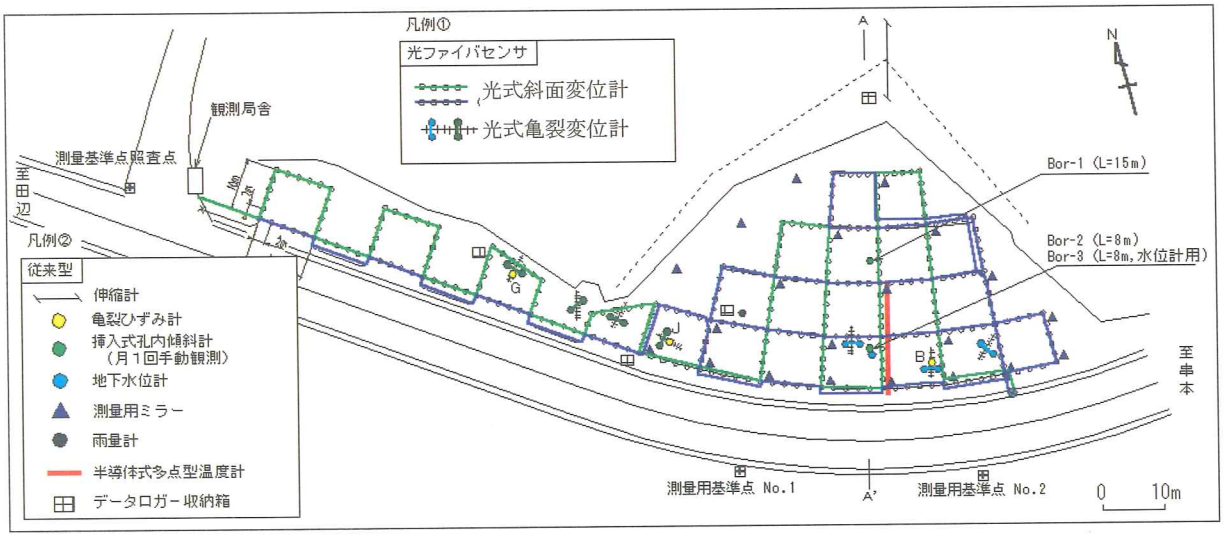


図2.3.3-1　平面図

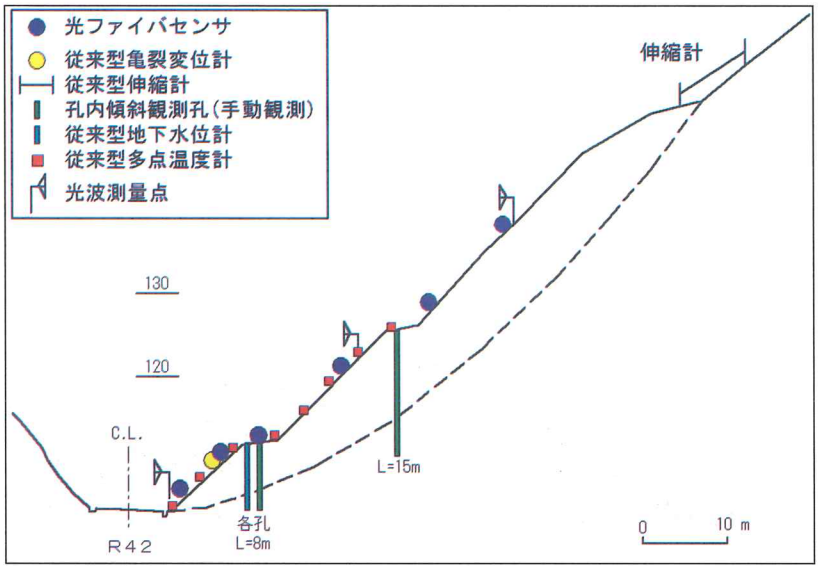


図2.3.3-2　断面図

3.3.2　システム構成

システム構成を図2.3.3-3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計測小屋に収容した。

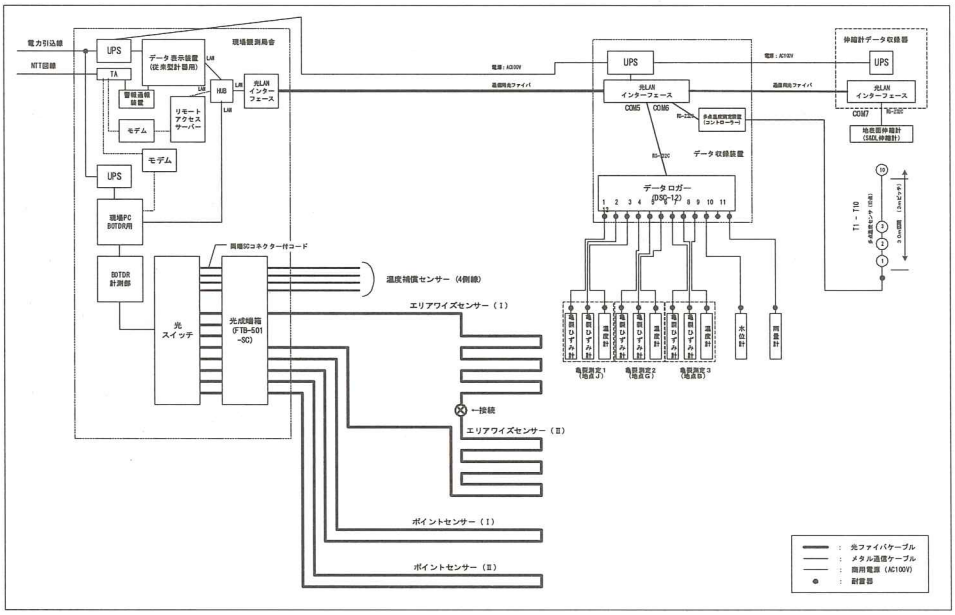


図2.3.3-3　システム構成

3.3.3　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。

設置状況を写真2.3.3-2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（φ10mm程度）で把持冶具を固定した。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2.3.3-2　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。

3.3.4　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2.3.3-3に示す。

出張所内に光計測器や制御・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2.3.3-3　計測システム

3.3.5　運用

(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行っていない。

(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、途中、停電等による欠測期間もあったが、平成13年4月より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箇所が数箇所あり、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箇所では、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。

3.3.6　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2.3.3-4に示すような経時変化を示すことが多い。ただし、図2.3.3-5に示すような変動の可能性があるデータが計測されている。図2.3.3-4を見ると、日常的な変動範囲は概ね±0.5mm程度である。時々大きなノイズ成分（±2mm程度）が入るが、要因は不明である。図2.3.3-5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2.3.3-6に示した。図2.3.3-6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。

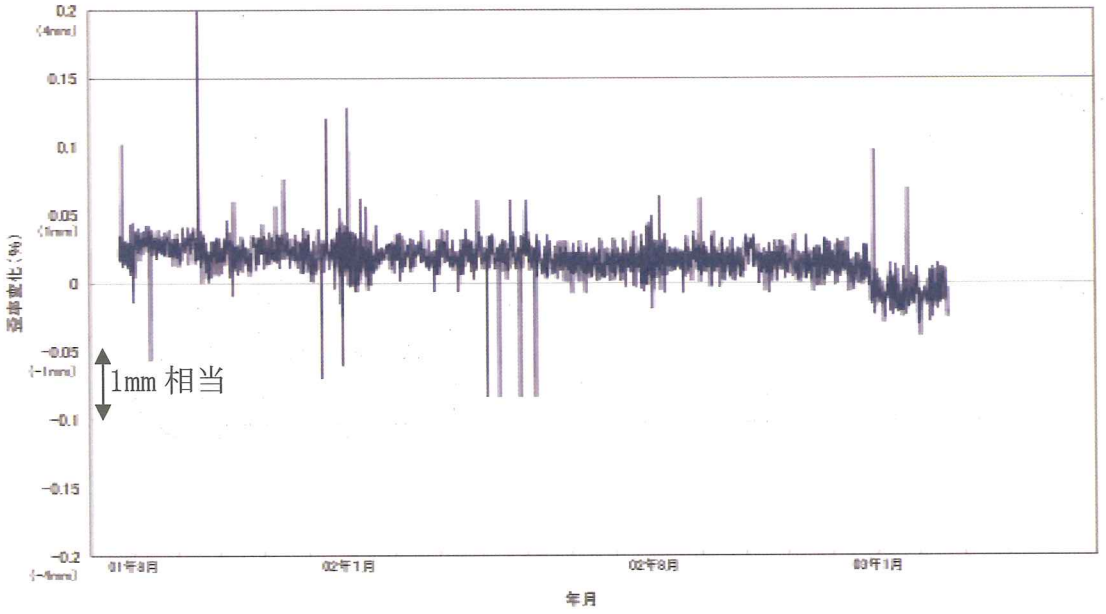


図2.3.3-4　特に異常な動きが無い例（光式斜面変位計No.15区間）

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。

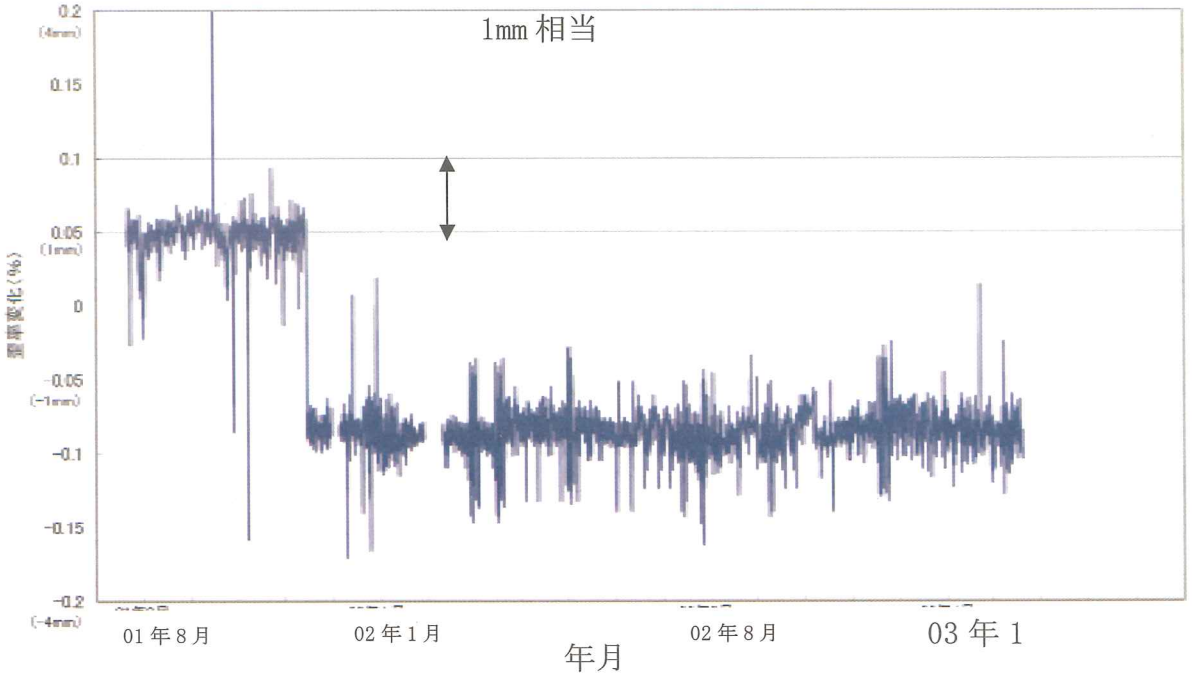


図2.3.3-5　変動が見られるデータの例（光式斜面変位計No.16-1区間）

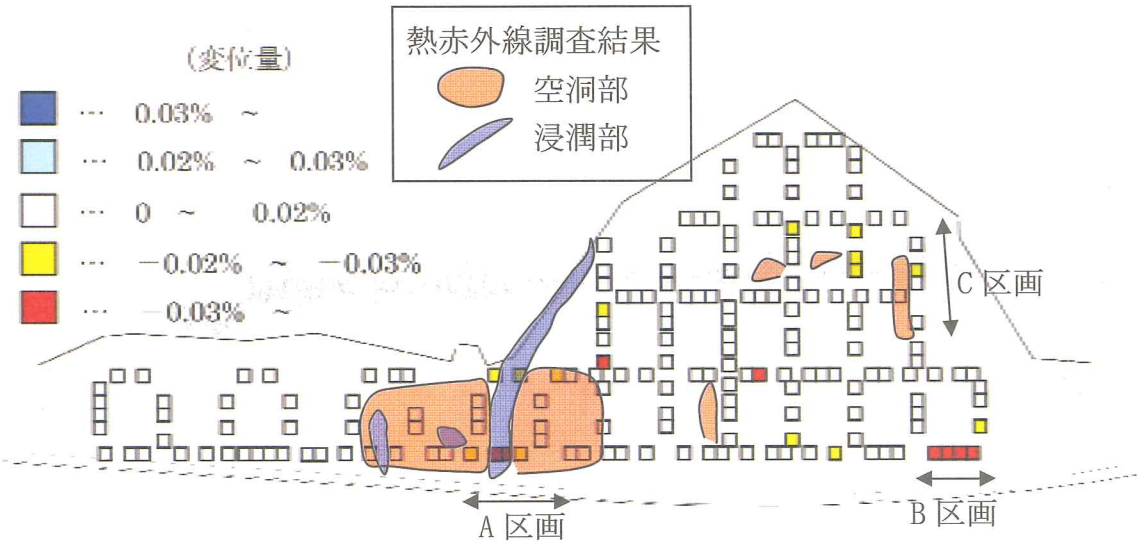


図2.3.3-6　データ変動が見られる区間の分布図

４．B-OTDR方式（低密度型）

4.1　一般国道 19 号長野県筑摩郡生坂村大字池沢地先

4.1.1　現地状況

写真 2.4.1-1 に、現地の全景を示す。現地は、幅 1,000m×斜面高さ 200m 程度の斜面で、緩い尾根と谷が連続している傾斜 30 度程度の雑木林である。斜面内には横断方向に連続して崩壊跡があり、表層にその崖錘が堆積している。ここでは、斜面に道路延長方向約 200mの区間に光ファイバセンサを設置して計測を行っている。

計測位置は、斜面上部で発生した過去の崩壊による崖錘が堆積していること、高木層のケヤキとスギの人工林との境にあたること、スギの根まがりとともに周辺に小崩落跡が多数見られることから、表層崩壊が起こりやすいと判断される。

現地では、計測位置において図 2.4.1-1 に示すように、簡易貫入試験を行って推定表土層厚分布図を作成し、植生や地形等の斜面状況と併せてセンサの設置位置を決定することとした。図 2.4.1-2 に B-OTDR 方式光ファイバセンサの配線図を示す。センサは、平成 16 年度前半（第 1 期）、平成 16 年度末（第 2 期）の 2 回にわたって設置した。

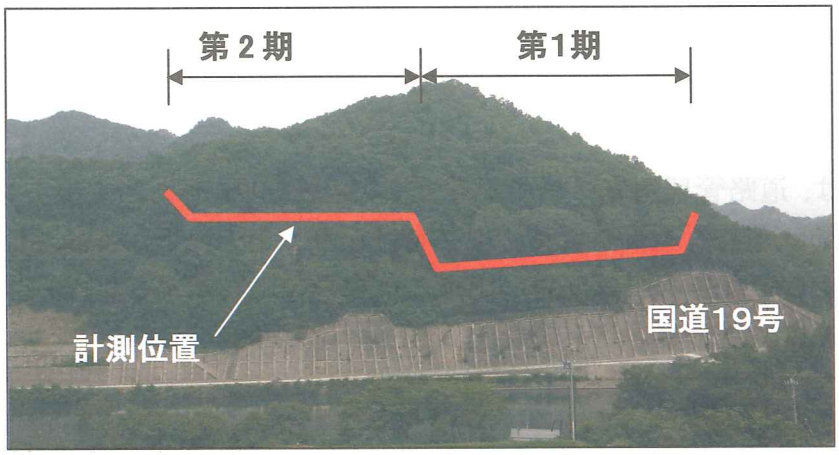


写真 2.4.1-1　計測現場全景

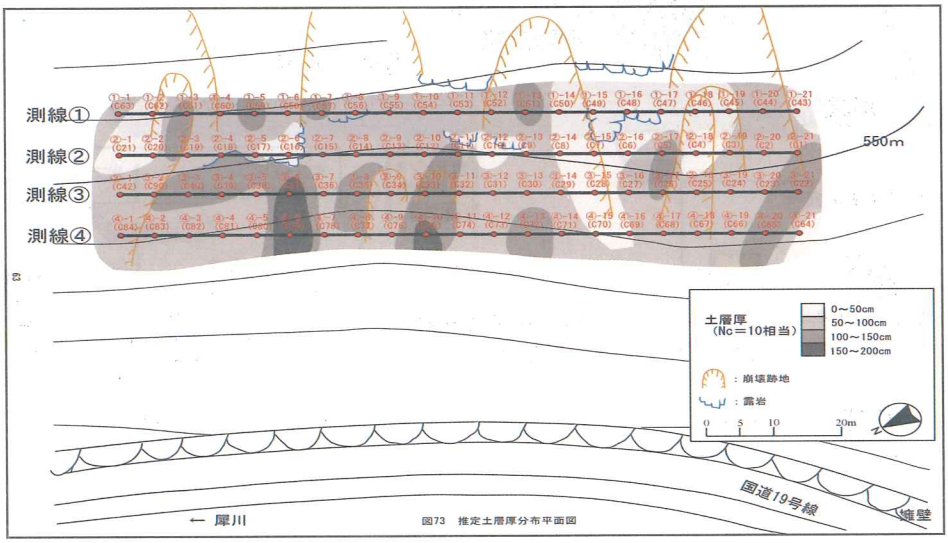


図 2.4.1-1　推定表土層厚分布図

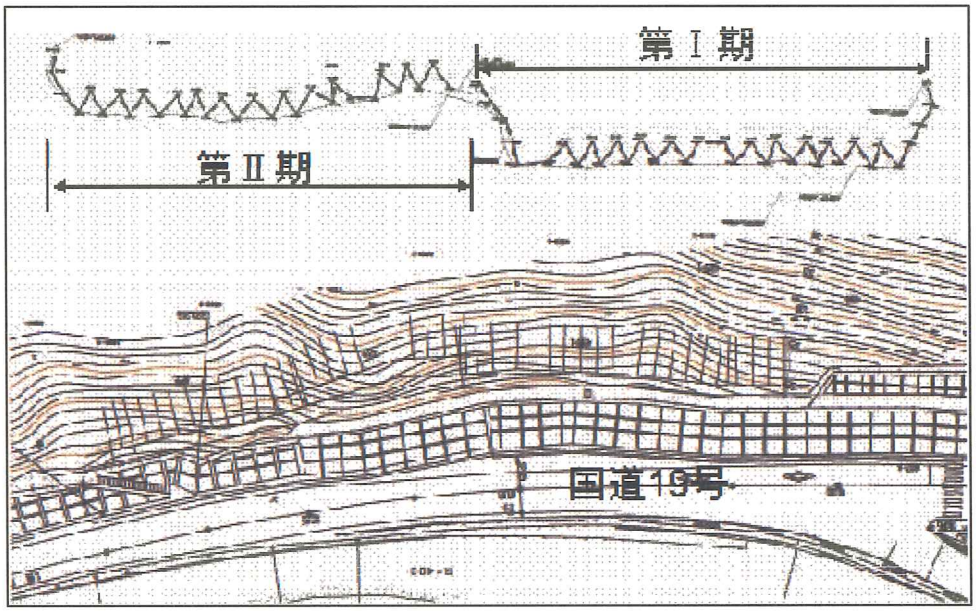


図 2.4.1-2　センサ配線図

4.1.2　システム構成

計測機器は、道路管理用光ファイバを介して、約 500m 離れた生坂トンネル防災放送機械室に収容し遠隔によりモニタリングを行なうこととした。なお、計測データは NTT 公衆回線を介して事務所から確認が出来る仕組みにしている。

システム構成および、センサ系統を図 2.4.1-3 に示す。

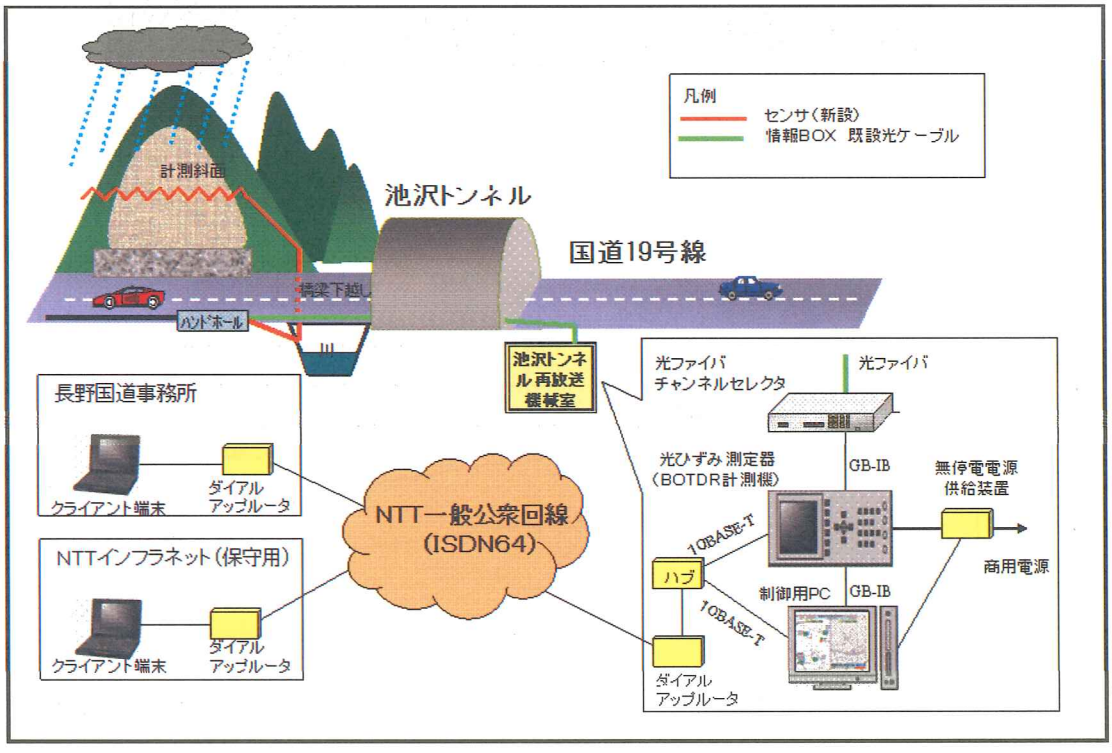


図 2.4.1-3　システム構成図

4.1.3　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。

図 2.4.1-4 にセンサ構造を、写真 4.4.1-2 にセンサ設置状況を示す。光ファイバセンサの設置方式は、経済性、現地の気候を考慮し地上架設方式とし、64 区間の光ファイバセンサをW字に連続して設置した。計測エリアの冬季の積雪量（40cm 程度）であることから、積雪の影響を回避できるよう、光ファイバセンサの標準地上高を 60cm とした。各センサ区間は 1 本の光ファイバセンサからなり、一筆書きのように連続的に設置されている。隣り合うセンサは、コンクリートにより根固めをした単管（Φ=46.8mm）を固定点として共有し、センサを固定した単管が表層土ともに変位した場合、光ファイバセンサにはひずみが発生し、B-OTDR 測定器によって遠隔から変位を計測する仕組みになっている。また、隣り合うセンサは開口角を有することから崩壊の方向がわかる。

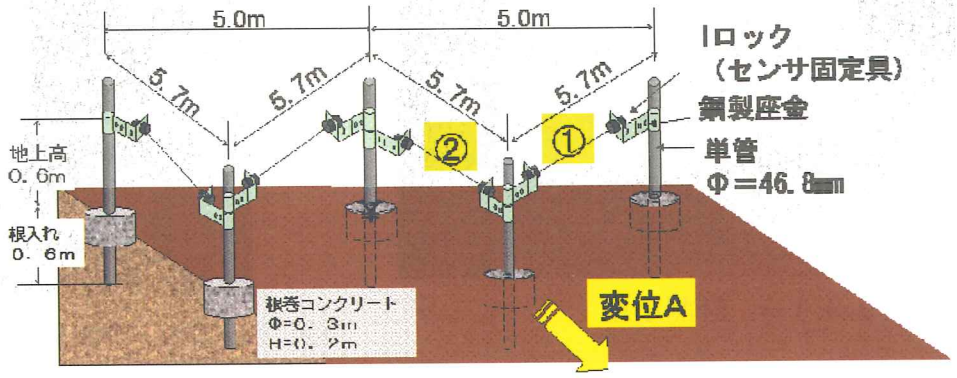


図 2



写真 2.4.1-2　センサ設置状況

4.1.4　計測装置概要

計測小屋に設置した計測システムは、B-OTDR アナライザ、光チャンネルセレクタ、制御・データ記録用 PC 等にて構成されている。写真 2.4.1-3 に装置類を収容した計測現場近傍にあるトンネル電力室、また、写真 2.4.1-4 に計測システムの外観を示す。



写真 2.4.1-3　計測小屋

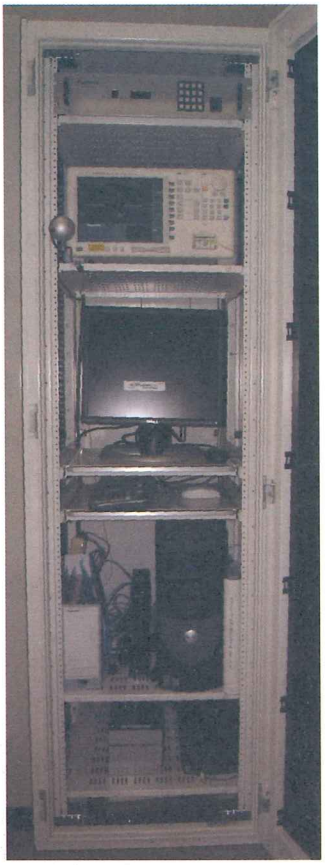


写真 2.4.1-4　計測システム

4.1.5　運用

（1）計測期間

第１期設置箇所については、平成１６年 10 月から、第２期設置箇所については、平成 17 年 3 月からモニタリングを開始した。

（2）計測間隔

当初は 120 分間隔で、１日 12 回の計測を行っていたが、平成 16 年 11 月からは 60 分間隔の計測（１日 24 回）を行っている。

（3）計測データ

計測データは、パソコンに自動的に蓄積される。また、計測データのバックアップは３か月毎に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、毎月整理・解析し報告している。

（4）保守

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ている。また、数十ミリ規模の降雨が観測された場合は、センサの点検を実施している。弾性限界を超えるひずみ量がセンサにかかる前に、センサ張力の開放・調整を行い、光ファイバの破断を回避している。

（５）運用体制

計測データは、現場に設置した制御・データ記録用 PC に蓄積されており、降雨等のイベント発生時は、NTT 公衆回線（ISDN 回線）を介して遠隔で状況を確認している。また、自動アラーム発信機能を有しており、異常な変状が発生した場合、事務所、出張所等の関係者へアラームを送信することとしている。

（６）表示画面例

計測データは、ひずみ量を変位量に変換して出力している。図 2.4.1-5、図 2.4.1-6 に表示画面の例を示す。図 2.4.1-5 はマルチ表示であり、各センサの変位量、最新のアラーム、累積変位量、経時変位量が解るようになっている。図 2.4.1-6 は各センサの経時変化グラフである。

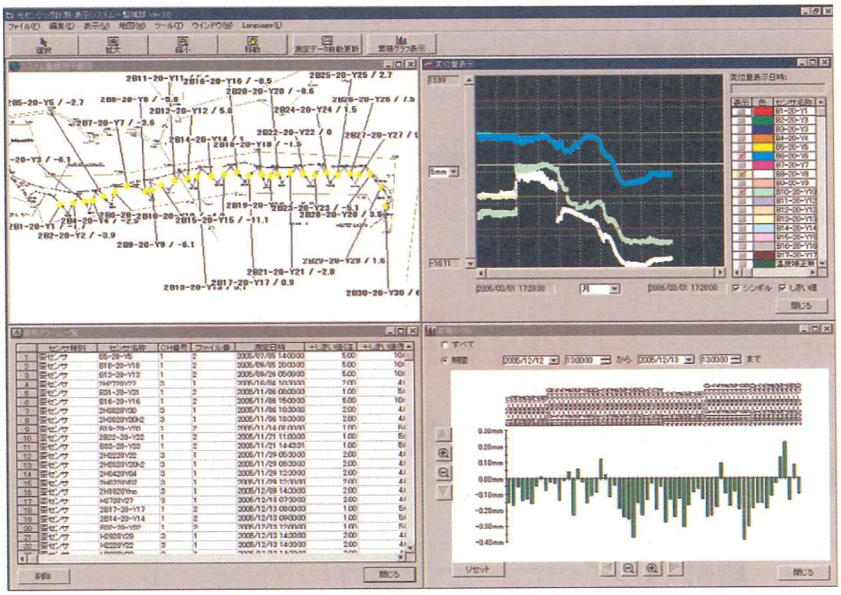


図2.4.1-5　表示画面例（その１）

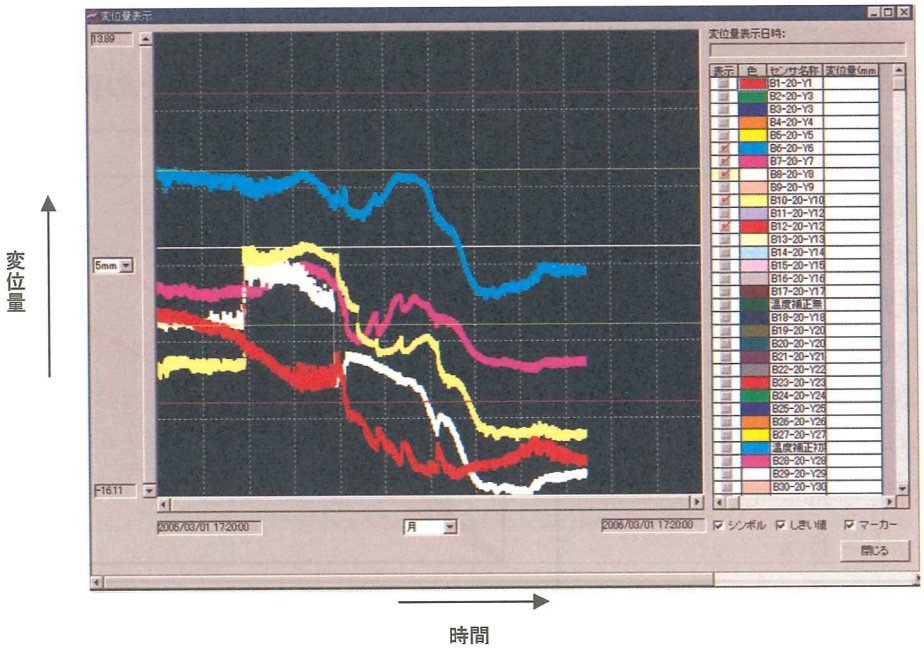


図2.4.1-6　表示画面例（その２）

4.1.6　計測データの季節変動と温度補正の考え方

B-OTDR 方式はブリルアン周波数シフトとの比例関係によりひずみ量を算出するが、このブリルアン周波数は、温度変化によってもシフトする特性がある。また、温度変化により光ファイバケーブル自体も伸縮する。このため、計測データは地盤の変位がない場合でも変化する。温度とひずみは比例関係にあり、ひずみ変化量は光ファイバの種類によっても異なる。図 2.4.1-7 のように気温変化（赤）に伴って、歪量（青）は変化している。これは実際の変位ではなく、光ファイバセンサの温度特性での変化である。言い換えると、変位が発生してなくとも、気温の変化によりひずみの変化が発生する為、変位が発生するように見えてしまうのである（日変動、季節変動と呼ぶ）。

日変動、季節変動はセンサの設置している箇所で決まるが、変化の傾向はどのセンサでも温度変化と同じ傾向を示すので、図 2.4.1-7 に示すように地盤の変化とは分離できる。また、崩壊前兆を判断する場合、時間あたりの変位あるいはひずみの変化量で判断するため、温度の影響は小さい。ただし、より精度の高い管理をするためには、温度補正を行うことが有効である。

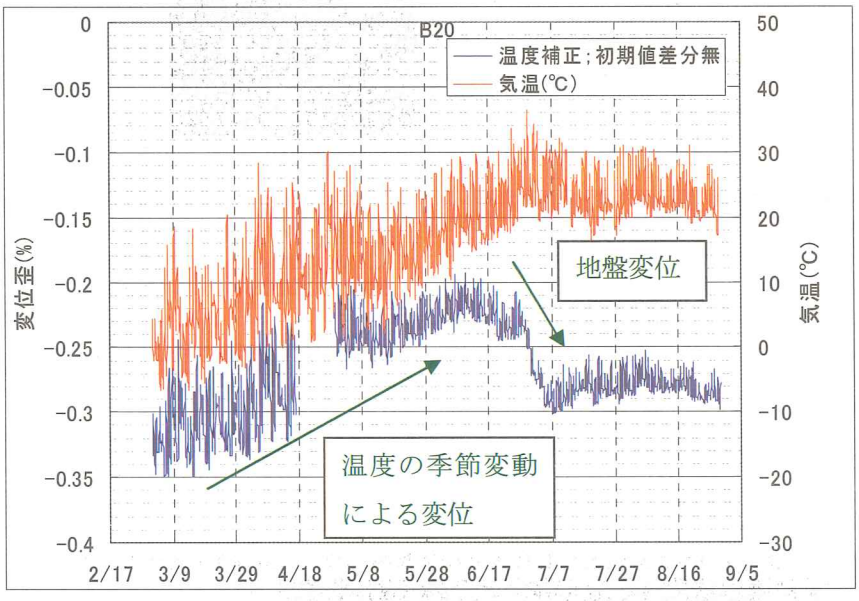


図 2.4.1-7　気温の変化と光ファイバセンサのひずみ量の変化の例

以下に、BOTDR 方式の温度補正方法を検討した結果を示す。

温度補正方法はセンサとして初期張力を与えた有張力部と余長としている無張力部のひずみの変化の傾きを補正する事で実施した（図 2.4.1-8）。この傾きを補正する係数：ｋを実験により導いて、

$\varepsilon a = A x \quad \varepsilon b = B x$

$B x - k \times A x = 0$

とする事により、温度変化による両

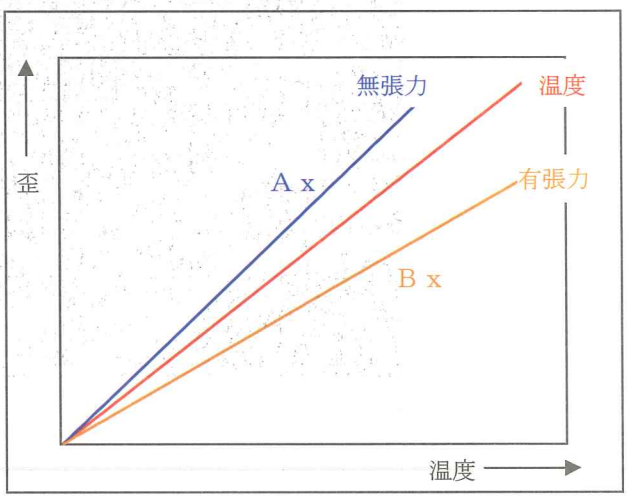
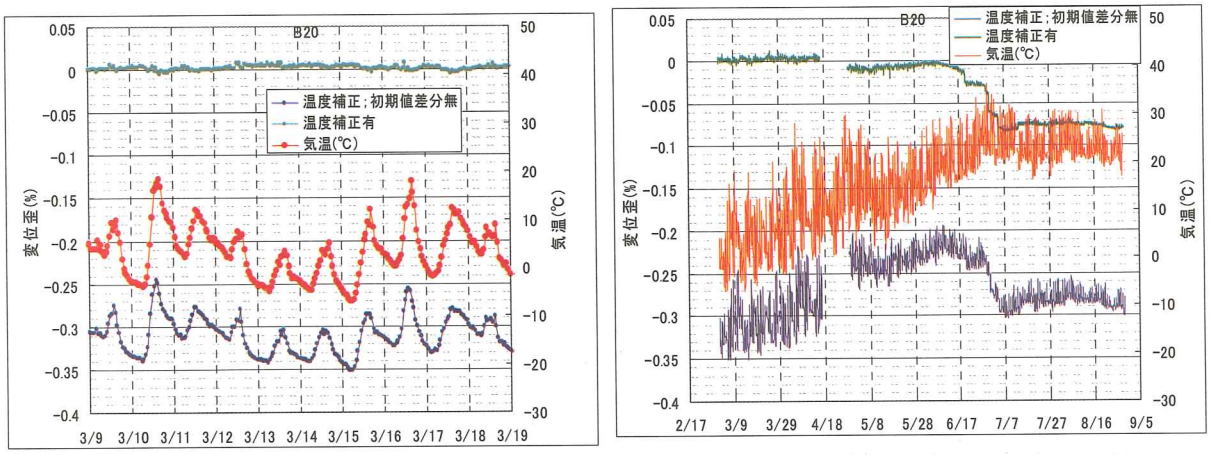


図 2.4.1-8　光ファイバの温度特性

者のひずみの変化の傾きを補正し、センサ部から余長部のひずみ量を差分することにより、温度補正を行った。図 2.4.1-9 にその結果を示す。図中の緑色の線が温度補正後データである。青の補正していないデータに比べ、温度補正後は温度の影響が少ない。一日の昼夜の温度変化の影響により、補正前後のデータを見ると温度の補正がうまく動作している事が解る。これにより温度変化に伴う歪変化をキャンセルできており、変位のみを捕らえるセンサとして動作する。

なお、使用するセンサケーブルの種類、余長部センサ部の設置方法より補正係数が異なる。このため温度補正を行なう場合には、現場環境を考慮した設置方法等を踏まえて、慎重な事前実験により係数を求める事が必要である。



（日変動の状況）　　（季節変動の状況）

図 2.4.1-9　温度補正の有無による違い

4.1.7　計測データ例

第Ⅰ期 34 区間のセンサ設置を平成 16 年 9 月末に完了し計測を開始した(第Ⅱ期 30 区間は H17.2 計測開始)。同年 10 月は日本列島へ二つの台風が接近し各地に被害を及ぼしたが、当計測現場においても計測開始からの実効降雨量（半減期 72 時間で算出）が最大 165mm を記録し、10 月 20 日 22 時ごろ計測区間の一部において表層崩壊が発生するに至った（写真 2.4.1-5 参照)。当時は、当該斜面の他にも国道 19 号線沿いや聖高原一帯で多数の斜面が崩壊し、広域災害となった。



写真 2.4.1-5　表層崩壊発生箇所

図 2.4.1-10 に第Ⅰ期に設置した 34 区間のセンサにより計測した変位量と実効降雨量を示す。センサは 9 月末の設置直後から、40mm/日程度の降雨毎に微小な変位を繰り返していたが、台風 22 号接近により実効降雨量が 110mmに達した 10 月 9 日に大きな変位が発生している。その後、約 10 日間は降雨がほとんど無かったことから小康状態を保っていたが、台風 23 号接近にともなう豪雨により変位が急激に増大し表層崩壊の発生に至った。崩壊規模は、幅約 15m, 長さ約 30m、深さ 1～2m で土砂は斜面に沿いに約 50m 流下して落石防護柵で停止したが、少量の泥水が国道まで達した。この

ことから、本計測区間においては、実効雨量が約 100mm を越えると表層崩壊の前兆として変位量が増大し始め、実効雨量が 150ｍｍを越えるあたりで崩壊にいたるものと考えられる。また、表層崩壊が発生した周辺のセンサのデータを分析した結果、変位量の急増（崩壊の前兆）から層崩壊発生までは約２～４時間であった。

また、図 2.4.1-11 に、計測結果から算出した表層土の変位方向と変位量（10 月 29 日）を表層土厚分布データに重合わせて例示する。この図は、斜面山側のセンサ固定点（図中上側）を不動点と仮定し、斜面谷側のセンサ固定点（図中下側）の仮想変位を赤い矢印で方向と変位量を示したものである。青い破線で囲んだ宇分を見ると、矢印が図中上部側を指している。これはセンサは圧縮ひずみを計測していることを示しており、センサ設置位置より斜面上部に移動土塊があることがわかる。[2)]

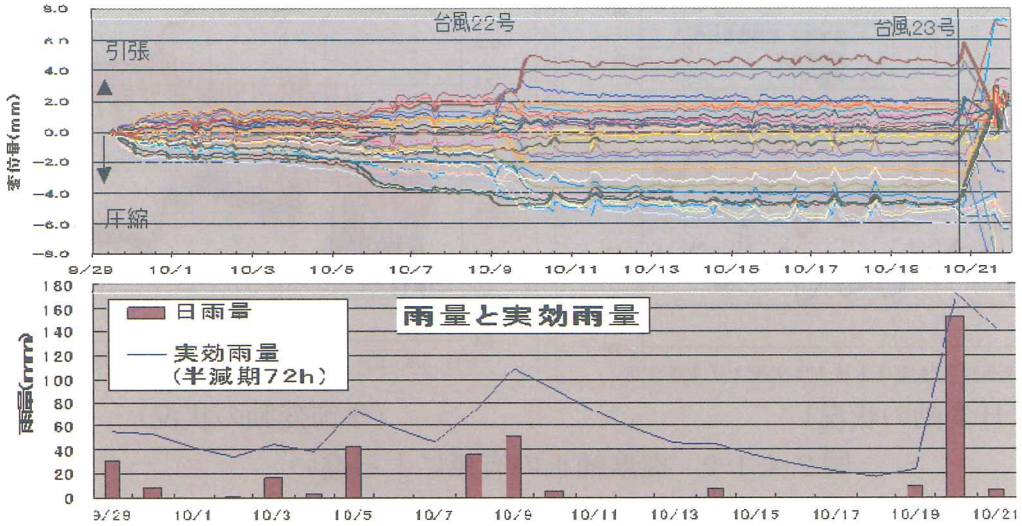


図 2.4.1-10　崩壊までの変位量と実効雨量

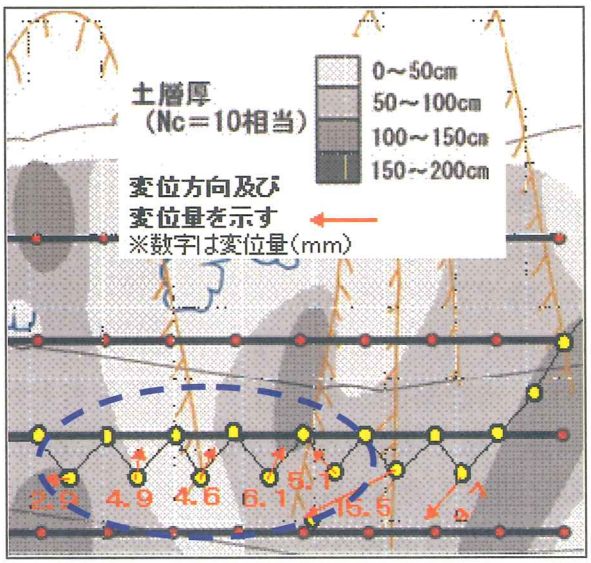


図 2.4.1-11　表層土の変位方向と変位量

＜参考文献＞

1)加藤、石倉、小松：B-OTDR による道路斜面崩壊個所の事前検知技術の検討（その２），土木学会第 60 回年次学術講演会概要集 3-430

4.2 一般国道28号兵庫県洲本市炬口

4.2.1　現地状況

計測地点は、淡路島のほぼ中央部の洲本市炬口地内である。対象斜面は、大阪湾に面した東向きの一連斜面で、道路防災点検区間に指定されている。斜面の基岩地質は花崗岩であり、表層部には強風化状のマサ土、被覆土が分布している。

計測期間は平成16年2月～平成16年10月で、平成16年10月の台風23号通過に伴う豪雨の影響で、計測区間を含む道路施設が大きな被害を受けた。

計測斜面の全景を写真2.4.2-1に示す。また断面図を図2.4.2-1に示す。

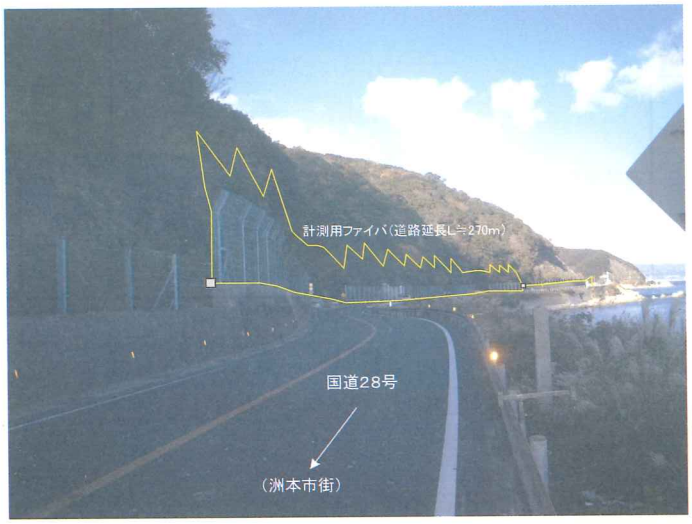


写真2.4.2-1　計測値全景

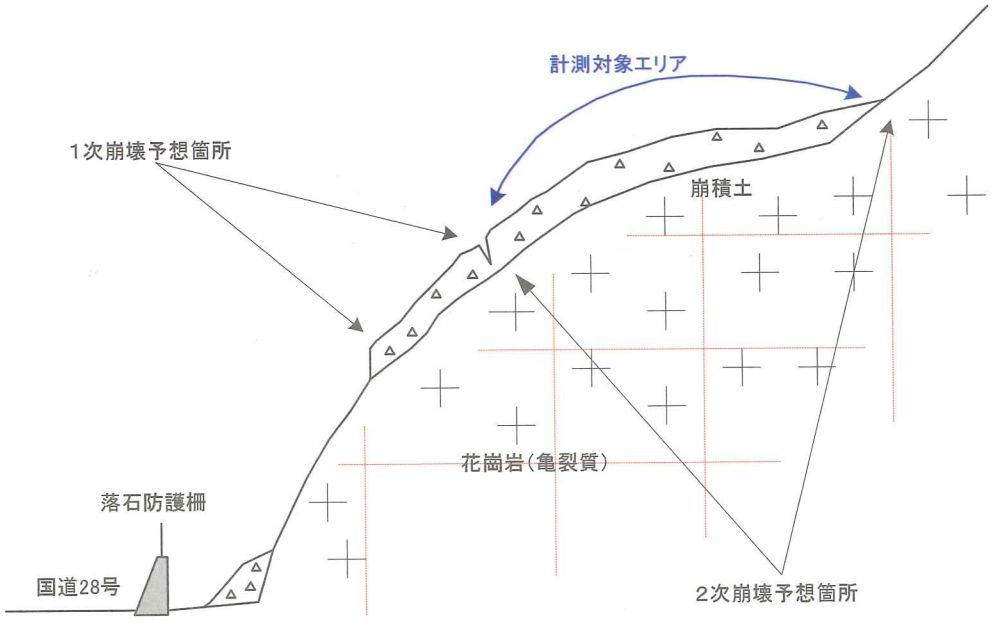


図2.4.2-1　斜面状況模式断面図

上図の模式断面図に示すように、計測斜面の崩壊パターンは、1次崩壊と2次崩壊が予想された。1次崩壊の発生土量は、既設の擁壁のポケット内に収まる。しかし、2次崩壊が発生した場合、土砂が国道に流出し大きな被害となる。したがって、光ファイバセンサによる計測は、2次崩壊の発生予想エリアとした。

4.2.2　システム構成及びセンサ配置

平成16年2月に、約260ｍ区間に光ファイバセンサを設置し計測を開始した（図2.4.2-2)。通信方法は、ハンドホール内の既設ファイバを利用し、約6㎞離れた塩尾地区の計測小屋で、塩尾地区の計測データとともに集中管理を行った。

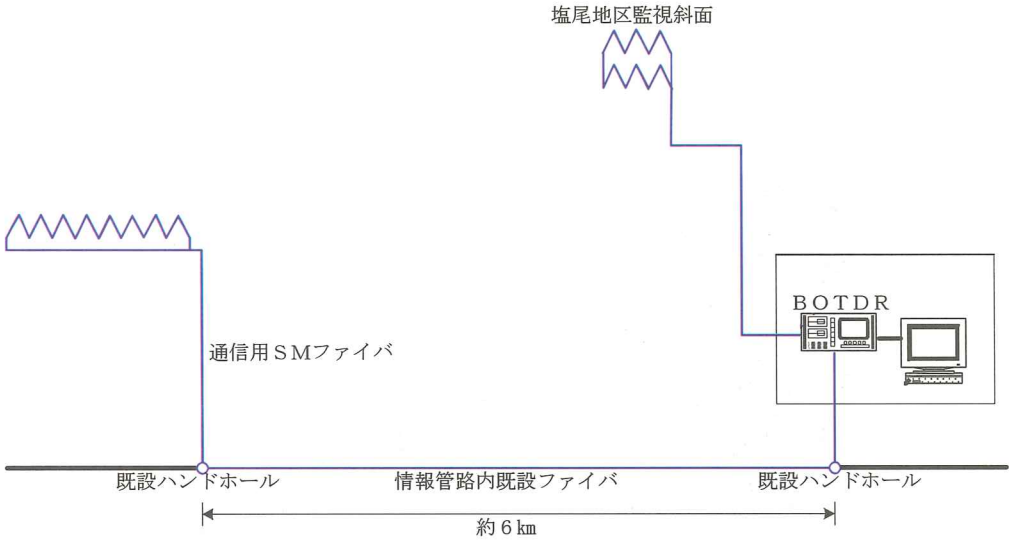


図2.4.2-2　システム構成

センサの概略配置図を図2.4.2-3に示す。

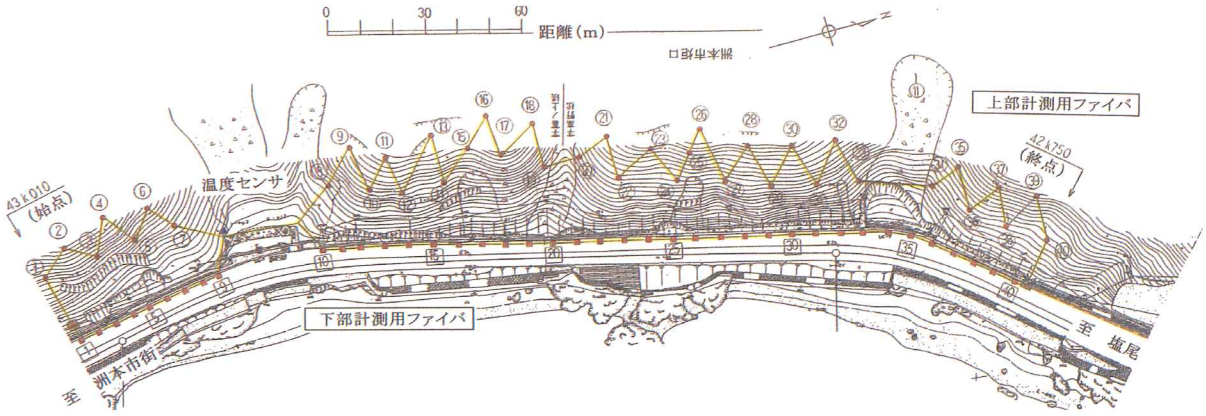


図2.4.2-3　センサ配置図

4.2.3　センサの概要

＜上部光ファイバセンサ＞

斜面変状を面的により効率良く捉えられることができるように光ファイバセンサはW字状に、また、崩壊時の地盤変位量を効率的に捉えられるように予想さる土砂移動方向に平行に近い状態で設置した（計測区間長の平均約10m)。

＜下部光ファイバセンサ＞

斜面下方の落石防護柵に、落石発生の検知を目的に光ファイバセンサを設置した（計測区間の平均長6m)。

表2.4.2-1　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	歪み計測区間	71区間	固定点数＝80箇所
	歪み計測区間長	6.00～13.70m	平均検出区間長＝5.64m
	歪み計測区間長計	570.10m	ファイバ総延長＝1020.00m
性能（現状測定）	位置特定分解能	1.0m	通常1m
	歪み分解能	0.01%	温度ドリフト等総合的に考慮
	測定距離レンジ	10km	10～20km可能

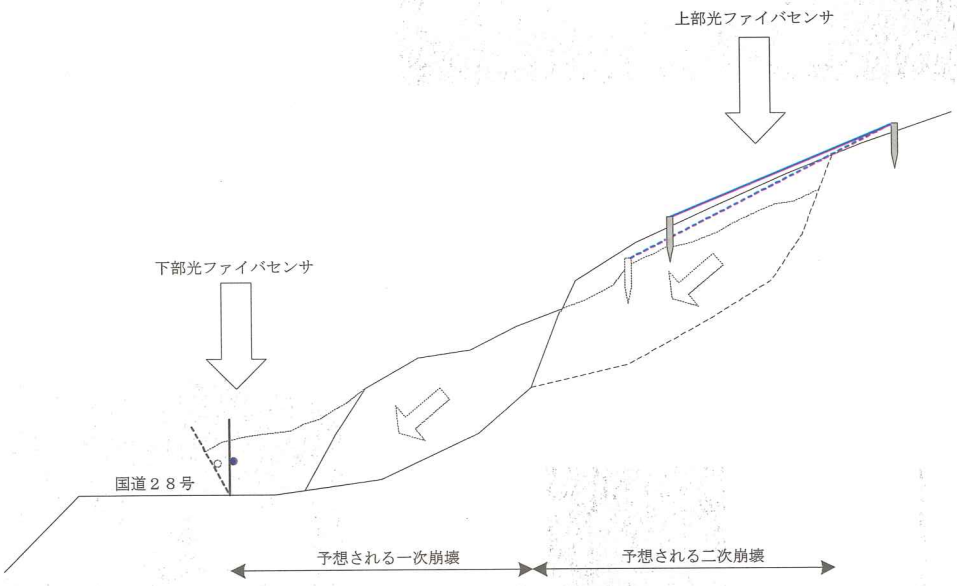


図2.4.2-4　光ファイバセンサの設置状況

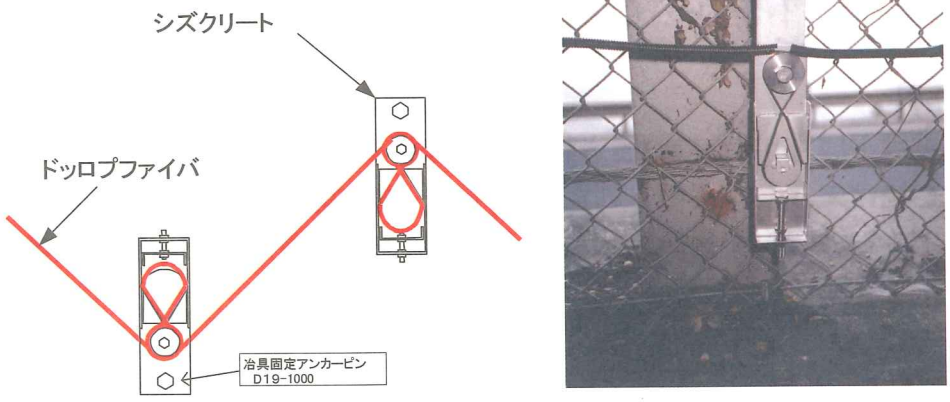


図2.4.2-5　挟み付け固定によるファイバセンサの設置（下部）

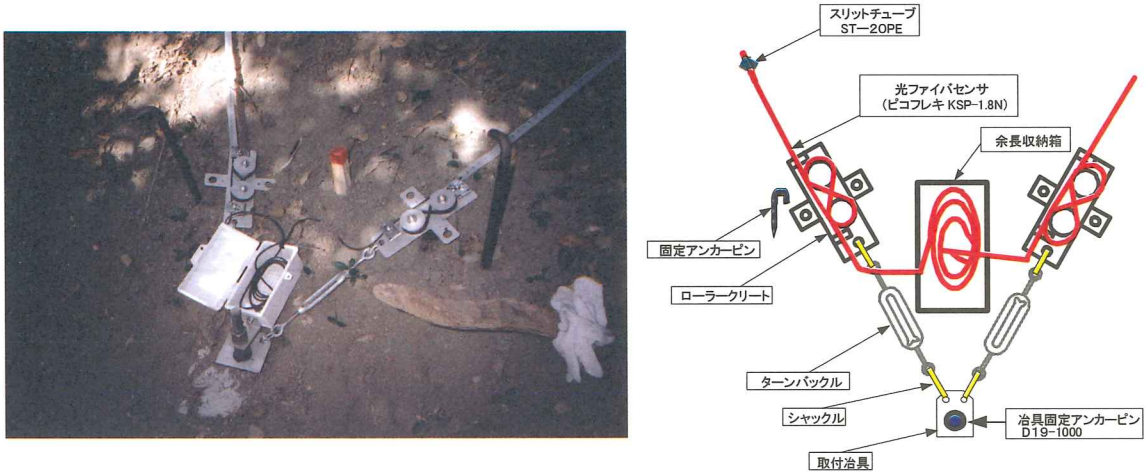


図2.4.2-6　巻き付け固定によるファイバセンサの布設（上部）

4.2.4　計測装置概要

計測小屋に設置した主な計測システムの状況を写真2.4.2-2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2.4.2-2　計測システム（外観と内部計器）

4.2.5　運用

計測施設は平成16年2月に設置され、平成16年10月までの約8ヶ月間、1時間に1回の自動計測を続けてきた。蓄積されたデータは、携帯電話の回線によりほぼ1日1回のペースで現地からの回収を行った。なお、管理基準値を設定しての警報発信等は行っていない。

4.2.6　計測データ例

炬口地区では、10月20日の台風23号通過に伴う豪雨の影響で崩壊が発生しファイバが切断している代表的な計測データとして、崩壊の前兆と崩壊にいたるまでの歪み量変化の計測グラフの例を図2.4.2-9に示す。

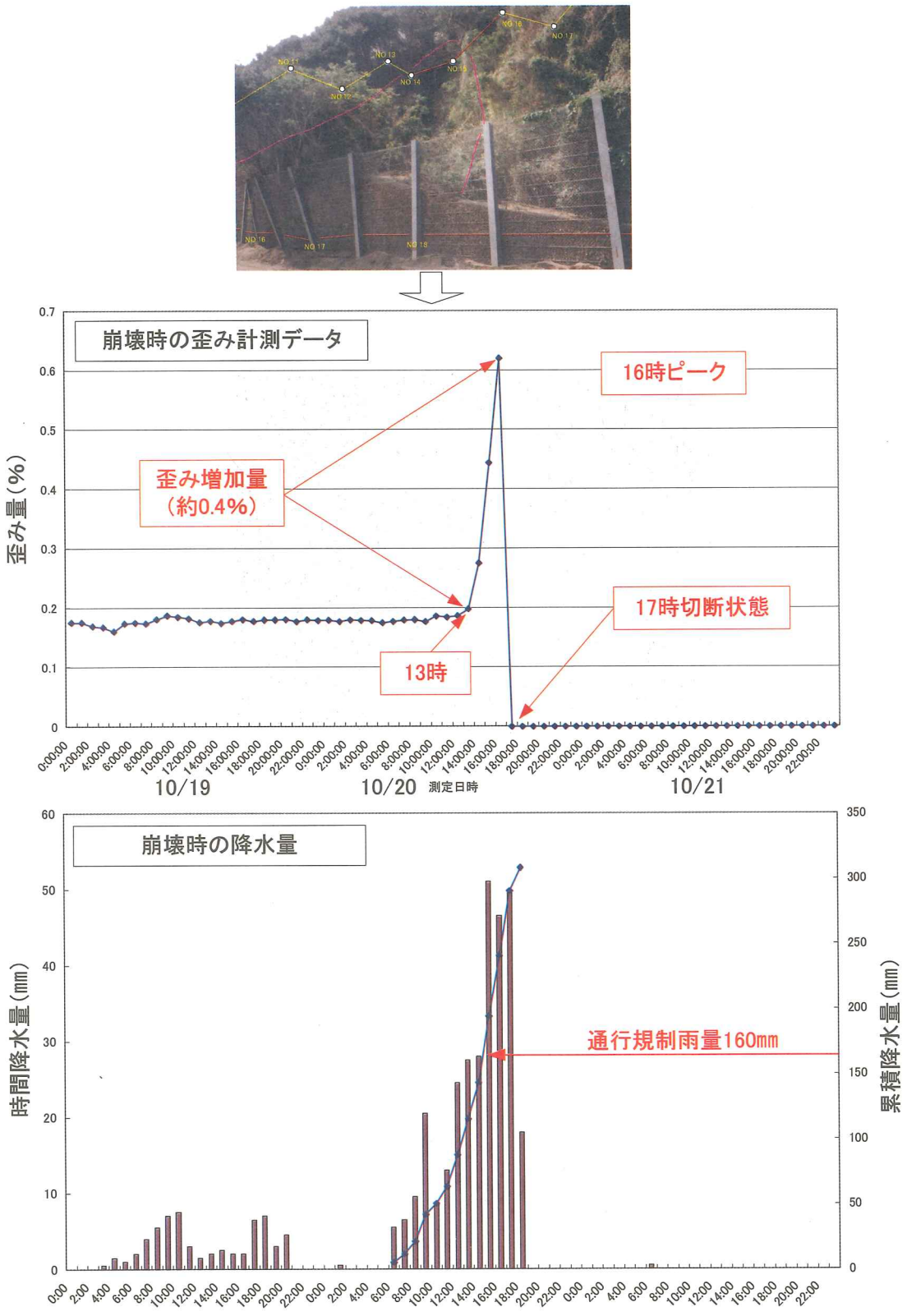


図2.4.2-9　崩壊検知区間の歪み変化（ファイバ固定点15－16間）

4.2.7　検証実験（温度ひずみ）

光ファイバセンサは歪が一定でも、温度変化によって、見かけ上の光ひずみ測定値が変化する性質がある。

そこで、光ファイバセンサの無張力区間（本来光ひずみ変化＝０）に、電線管に温

度センサ直接取り付け、温度と光ひずみ量の変化を比較した。

光ファイバの温度変化により、光ひずみ量が、見かけ上変化する量は、温度 1℃上昇で、光ひずみ量 0.0012%の増加と推定される。たとえば 1 日の気温変化が 10℃とすると、約 0.012%の誤差が生ずることになる。

したがって、実際の計測区間では、これに固定金具の熱膨張なども加わるため、温度による影響はさらに大きくなる。この地区の計測例では、張力区間の光ひずみの温度変化は、温度1℃上昇あたり、0.003%という値があった。これは、日温度変化10℃当たり0.03%の変化に相当する。このことから、この地区で用いている光ファイバセンサのデータを判定する際、1日当たり、約0.03%程度の変動幅を考慮する必要がある。



写真2.4.2-3　沢横断部の光ファイバセンサ
（電線管を通し無張力状態にある）

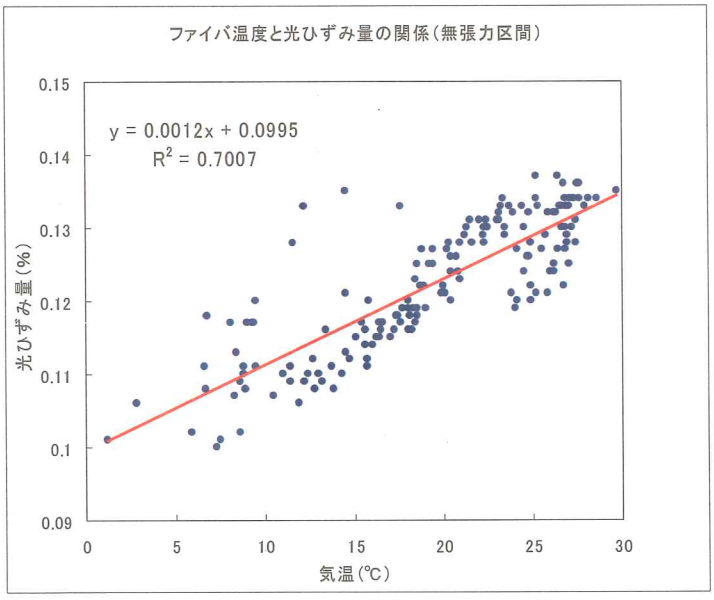


図2.4.2-8　光ファイバセンサの無張力区間の温度と光ひずみの関係

4.3　一般国道42号和歌山県東牟婁郡串本町田原

4.3.1　現地状況

現地は吹付けのり面や傾斜 40～50 度の急傾斜の自然斜面が連続する。老朽化した吹付けのり面は、全体に亀裂が発達し、その一部では背面の泥岩が風化して抜け落ち、空洞を形成している箇所が見られる。自然斜面中には、岩盤斜面や表土の小崩壊が多く見られる。道路付近まで崩土が供給されている箇所も見られる。





写真 2.4.3-1　対象箇所全景

モルタル吹付け部は、全体に亀裂が発達している。脚部の傾斜が急であり、道路とのクリアランスは狭い。断面的には図 2.4.3-1 のようになっている。特に遷緩線付近には亀裂が発達し比較的大きなブロックでの崩壊が懸念される。法面上部で日常的な道路付近からの点検では確認が難しい範囲である。

モルタル吹付け部と、岩盤斜面に挟まれる植生斜面は、斜面脚部に土砂層が薄く露岩している箇所が多く見られるが、中間部は土砂層が比較的厚く、起伏に富んだ地形が見られる。中間部付近の土砂層の厚さは平均 0.5m 程度、最大 1.5m 程度ある。一方、土砂層の下部には強風化

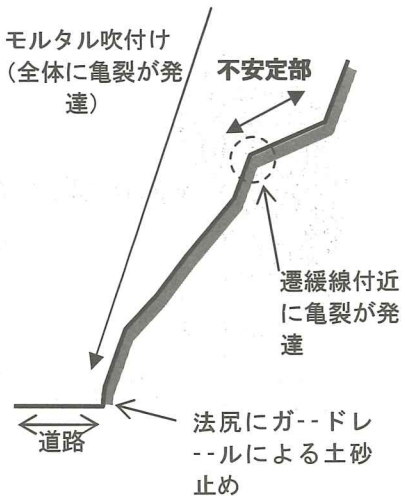


図　2.4.3-1　吹付け部の模式断面図

した泥岩層が見られ、不安定層の厚さを増加させている。

岩盤斜面部は、下部に岩盤が露出、上部に岩盤が突出した部分と、土砂が溜まった部分が見られる。下部の岩盤は表面が風化し、細かい亀裂が発達しており、表面の小規模な崩壊が主体と考えられる。上部の岩盤突出部は、明瞭な分離面などは見られないが、急傾斜部の突出部であり地震時などの不安定化が懸念される。上部の土砂溜まりは、山頂部の強風化岩盤からの土砂の供給と、土砂溜まり末端部からのガリーへの土砂の流出が見られ、不安定な状態が伺える。また、面の側部でもガリー侵食がみられ、主に細片状の風化泥岩からなる土砂を斜面下部に供給している。



写真 2.4.3-2　吹付け部脚部の状況
（亀裂、小規模な剥落が見られる）



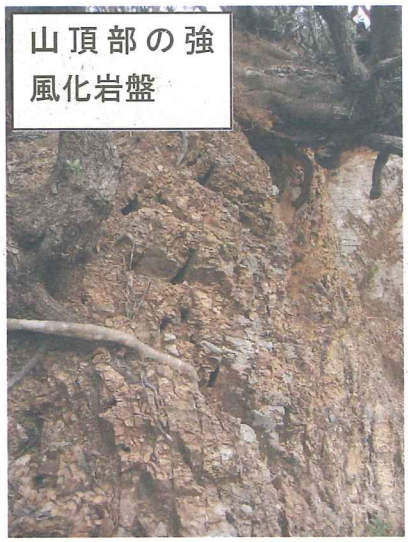






写真 2.4.3-3　岩盤斜面部の状況

4.3.2　センサ設置箇所選定の考え方

本サイトでは、以下の点を考慮して規制区間内でセンサの設置箇所を選定した。

＜概略位置＞

①防災カルテで高ランクの点検箇所。

②管理者のヒアリングにおいて、気になっていると言われた箇所。

③現地概査で計測によるモニタリングが適していると思われる箇所。

＜詳細位置＞

①日常の点検（道路付近からの目視等）で、状況が分かりにくい斜面の上部、遷緩線の上、植生が密な箇所など。

→点検の補助

②抽出された斜面の現地精査により、地形の変換点、崩壊痕等、崩壊が起こった場合の道路への影響等（規模、高さなど）を検討。

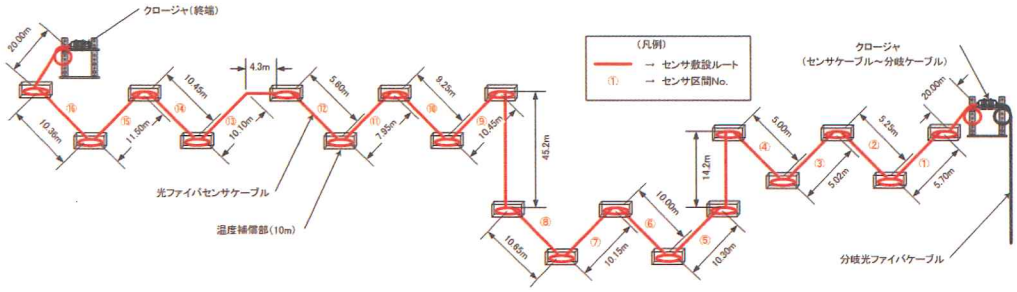
→効率的な測線配置

4.3.3　センサ配置

吹付けのり面及び表土の被りがある自然斜面、S042B111 は風化岩盤斜面である。吹付けは亀裂が多く見られ、自然斜面とのすりつけ部は背面の地山との隙間が開いている箇所も見られる。自然斜面は、傾斜 40～50 度の急傾斜斜面に表土が被っている箇所と、風化した岩盤が露出した箇所が見られる。自然斜面中には小崩壊痕も多く見られ、一部は斜面下部まで押し出している。

自然斜面部は、斜面下部に若干の平場があるため、斜面脚部の崩壊は道路まで至らないと考えられるため、斜面中腹部と上部を対象にセンサを配置する。吹付けのり面下部と道路の間のポケットは小さいため、自然斜面に比べ、下部も計測の対象としてセンサを配置することとした。図 2.4.3-2 にセンサ配置を示す

図 古座地区 センサ設置図



古座地区センサ設置仕様

センサNo.	ケーブル長	設置面種別	固定具種別	中間リールの有無	センサNo.	ケーブル長	設置面種別	固定具種別	中間リールの有無
1	5.70m	モルタル吹付け	単管⇔ボルト	手前から3.85m地点に設置	9	10.45m	土塊	単管⇔単管	無
2	5.25m	モルタル吹付け	ボルト⇔ボルト	無	10	9.25m	土塊	単管⇔単管	無
3	5.02m	モルタル吹付け	ボルト⇔ボルト	無	11	7.95m	土塊／岩盤	単管⇔ボルト	無
4	5.00m	モルタル吹付け	ボルト⇔ボルト	無	12	5.60m	岩盤／土塊	ボルト⇔単管	無
5	10.30m	土塊	単管⇔単管	無	13	10.10m	土塊	単管⇔単管	無
6	10.00m	土塊	単管⇔単管	無	14	10.45m	土塊	単管⇔単管	無
7	10.15m	土塊	単管⇔単管	無	15	11.50m	土塊	単管⇔単管	無
8	10.65m	土塊／岩盤	単管⇔ボルト	手前から5.65m地点に設置	16	10.36m	土塊	単管⇔単管	無

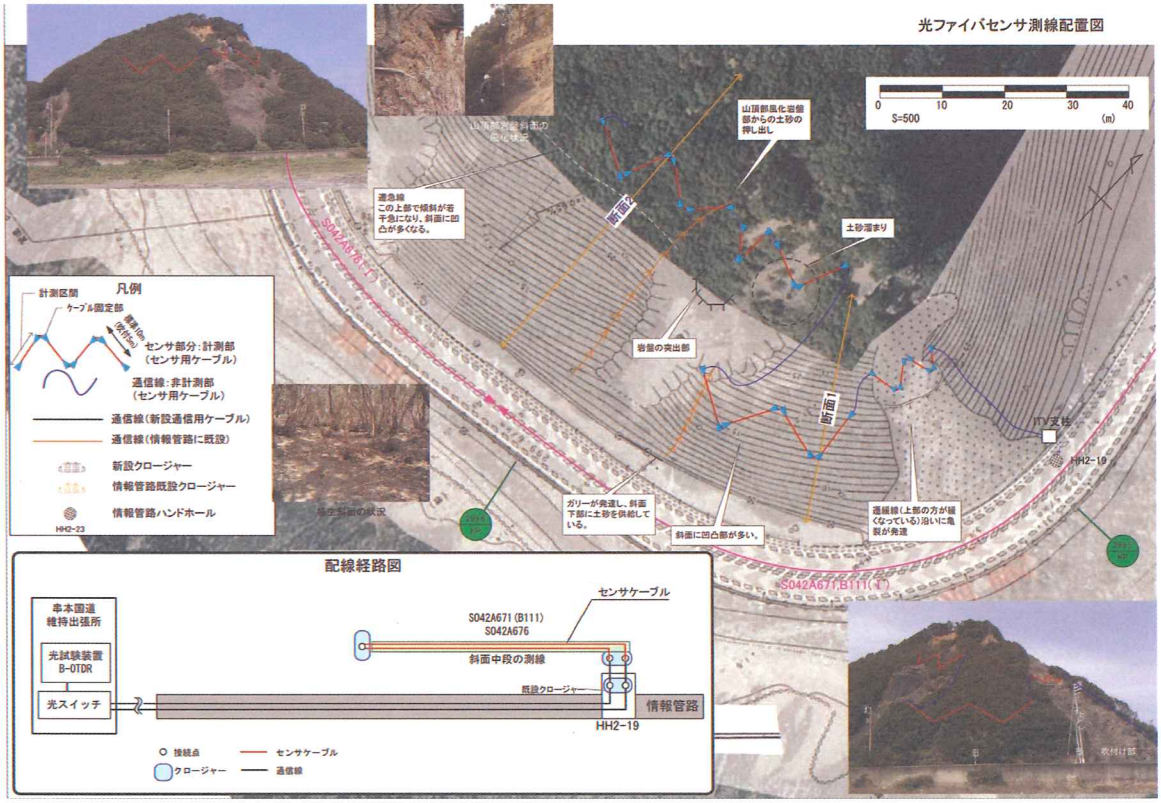


図 2.4.3-2　センサ配置図

4.3.4　システム構成

本サイトでは、光試験装置を最寄りの串本国道維持出張所に設置し、情報管路を経由して、現地の光ファイバセンサと接続した。光試験装置の計測データは、既存の防災系 LAN を使用し、紀南河川国道事務所の管理装置に配信されている。

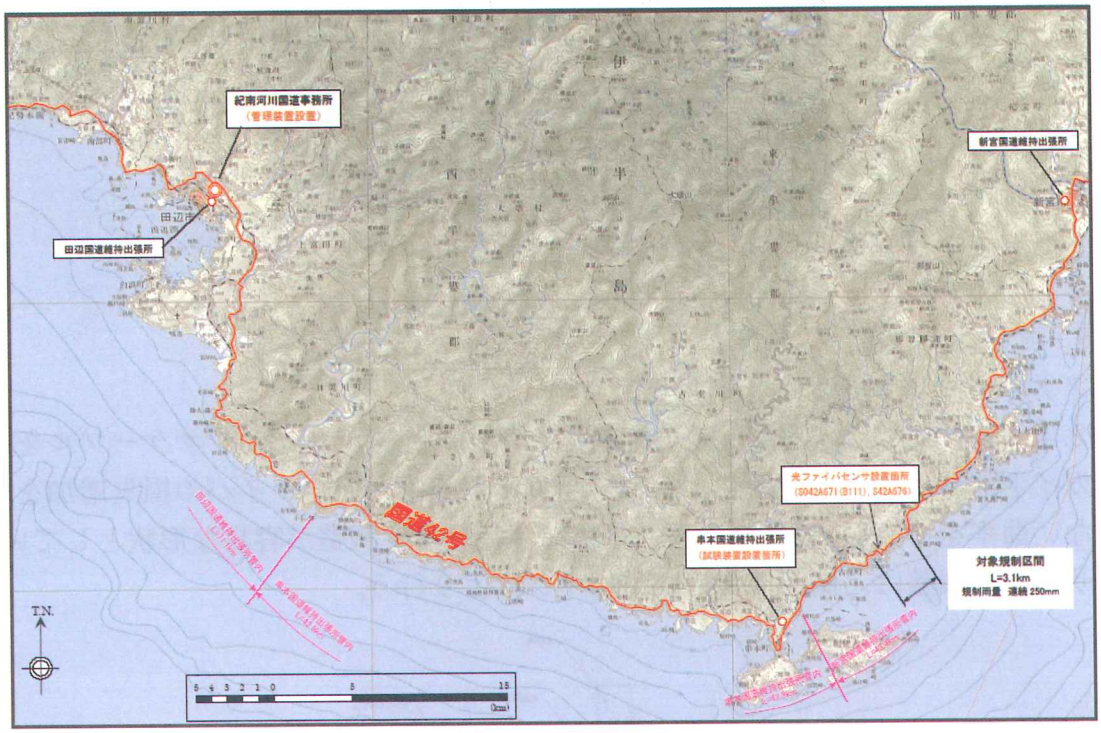


図 2.4.3-3　位置図

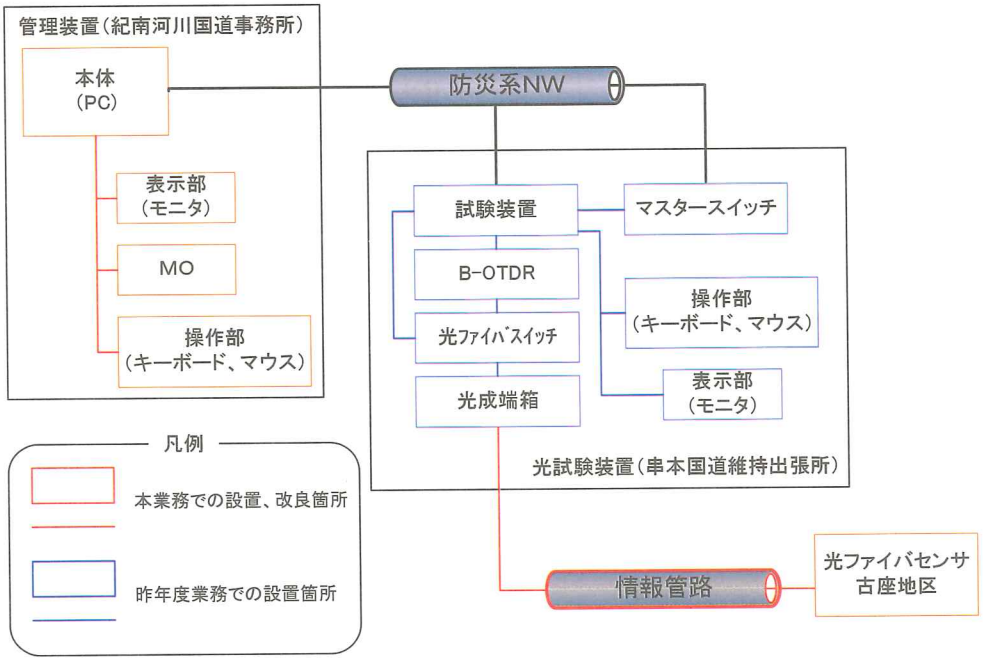


図 2.4.3-4　システム構成図



写真 2.4.3-4　試験装置の設置状況（出張所通信室）

4.3.5　センサの設置

＜光ファイバセンサ構造＞

図 2.4.3-5 に光ファイバセンサの構造図を示す。光ファイバセンサケーブルをケーブルガイド部にセットし使用し、ケーブルガイド部は、光ファイバの損失増加をもたらさない曲率を持つ形状及び、法面の変状に合わせ角度調整が容易な形状としている。センサの張力調整は、側面の張力調整用ネジにより行う。

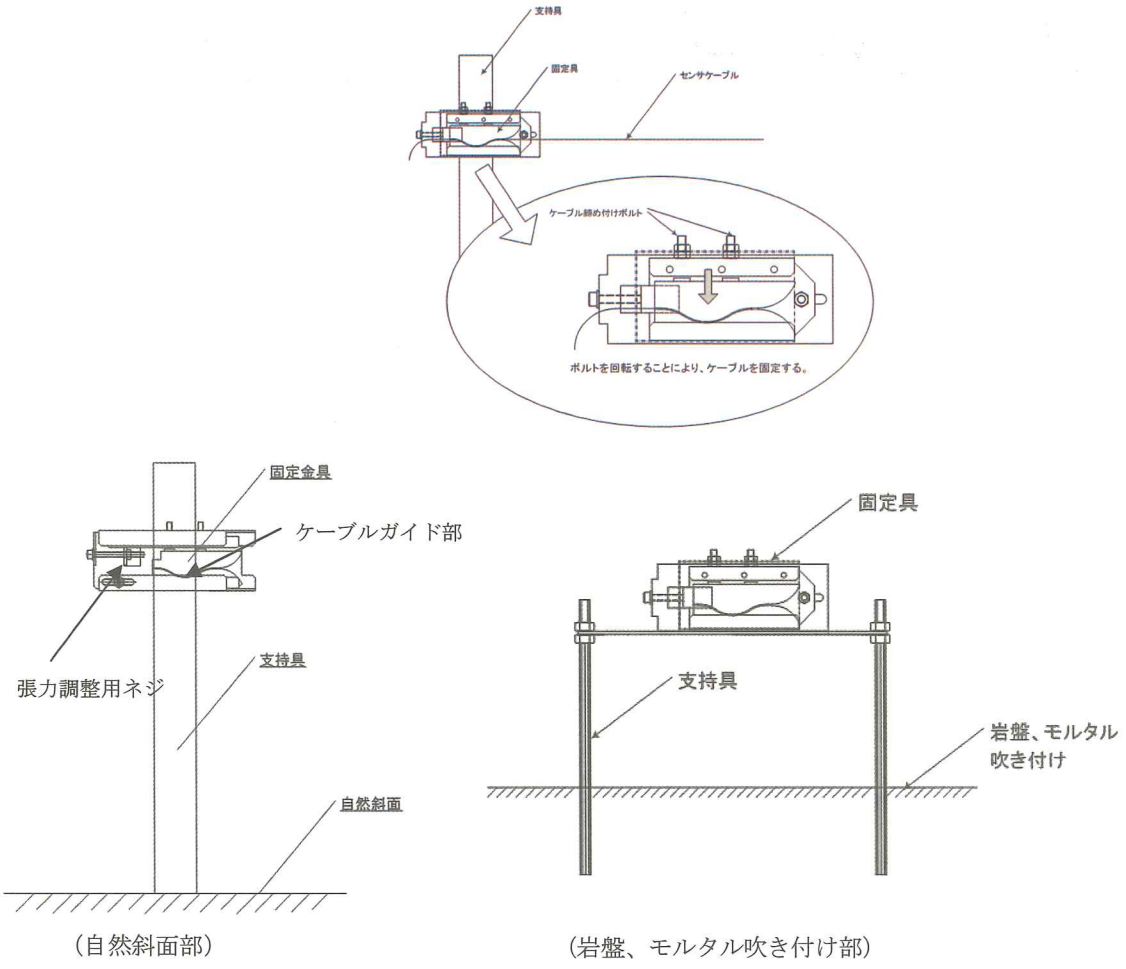


図 2.4.3-5　光ファイバセンサの構造

＜光ファイバセンサ設置＞

設置にあたっては、急斜面かつ地表面の激しい凹凸形状である斜面に対し、以下のように設置を行った。

①センサケーブルが外力を受けないように、対となる固定間の高さ調整を法面の変状に合わせ行った。

②固定間の斜面の起伏が著しく大きい法面に対しては、法面の動きに合わせスムーズにケーブルが引っ張られるように中間にリールの設置を行った。

③様々なセンサ固定間隔による張力調整は、張力調整用ネジで調整を行った。

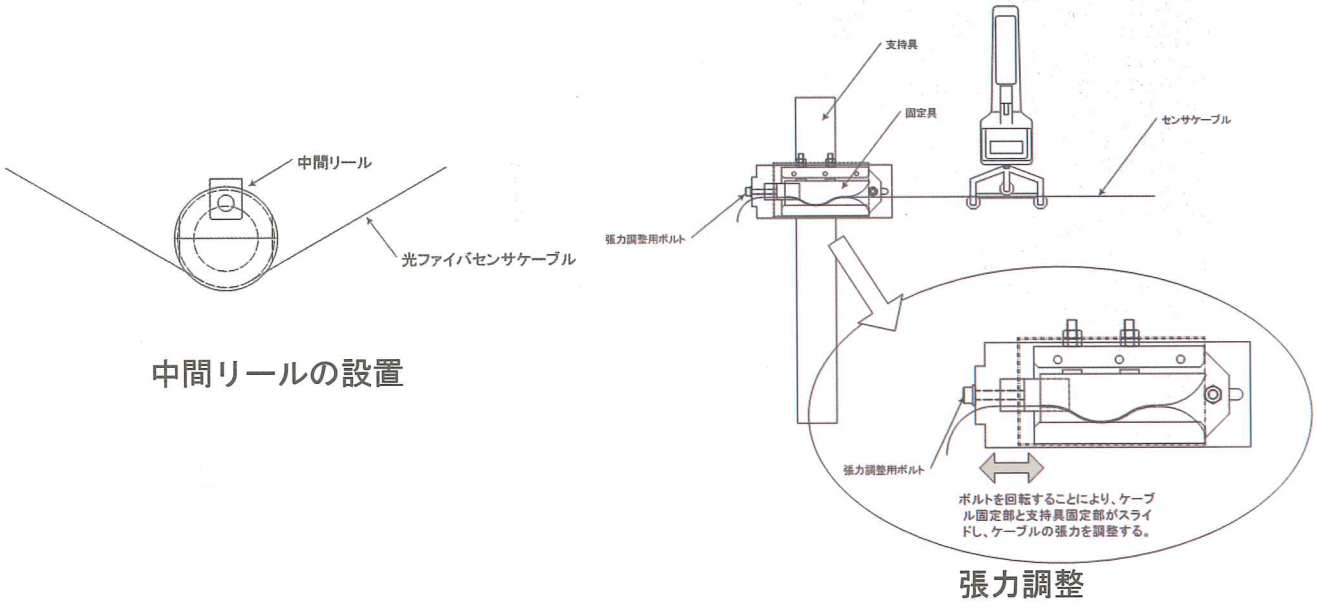


図 2.4.3-6　設置図

4.3.6　運用

現在の計測システムの機能が充実していない点や、計測データの分析が進んでいないため、現在は以下のような条件で運用している。

閾値は、10m、5m とも 0.2%歪み程度としてある。

降雨時の試験頻度は、出張所の担当者が手動で変更している（通常時 1 回/4 時間。規制雨量 250mm に対し、連続雨量 150mm で連続運転に変更、連続雨量 0mm で通常試験に戻す。）

4.3.7　計測データ例

これまでの計測状況と分析結果を以下に示す。

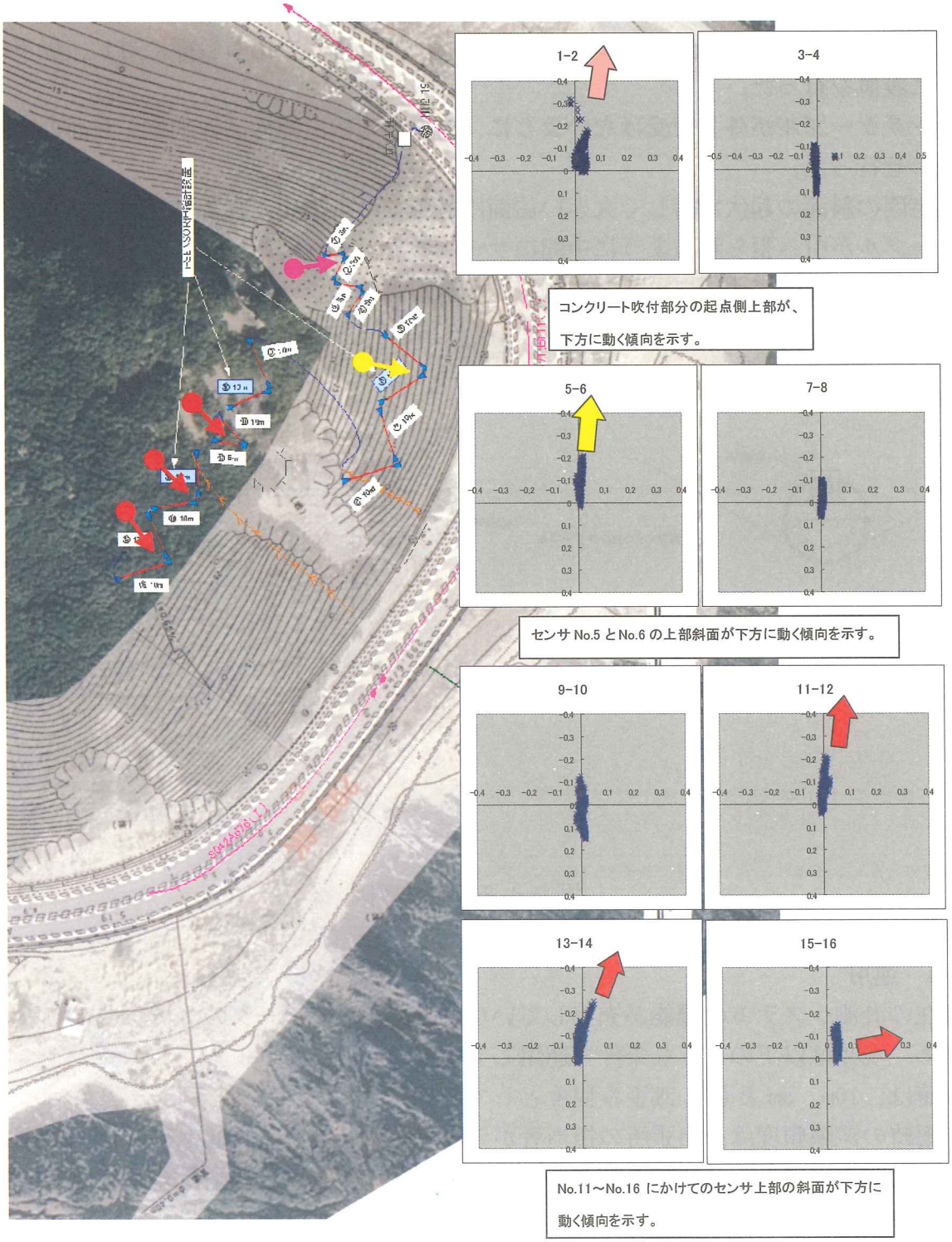


図 2.4.3-7　８月からの斜面の挙動

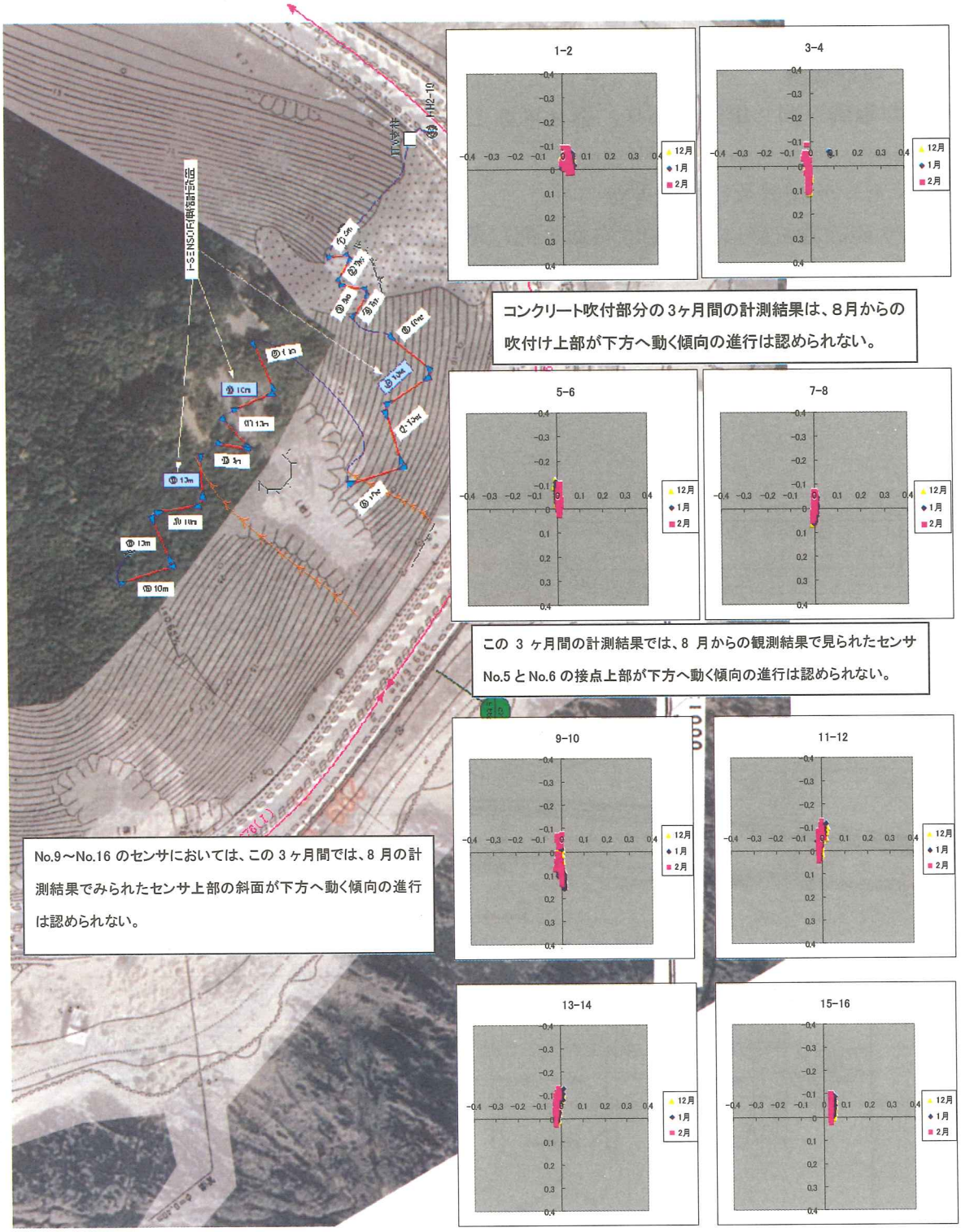


図 2.4.3-8　12～２月期の斜面の挙動

4.4　一般国道 220 号宮崎県日南市宮鷲巣（オウサ）地区

4.4.1　現地状況

MDM の事例と同じ場所であり、第２章 2.1.1 を参照のこと。

4.4.2　センサ配置及び設置方法

センサの設置位置は、現地は斜面下部に落石防護柵がありかつ吹付コンクリートにより保護されているため、下方での崩壊は小規模崩壊で回避可能であると判断されることから、センサ位置より上方に源頭部があるような中規模以上の崩壊を捕捉できるように考慮して設置している。その位置を図 2.4.4-1、設置方法を図 2.4.4-2 に、計測条件を表 2.4.4-1 に示す。

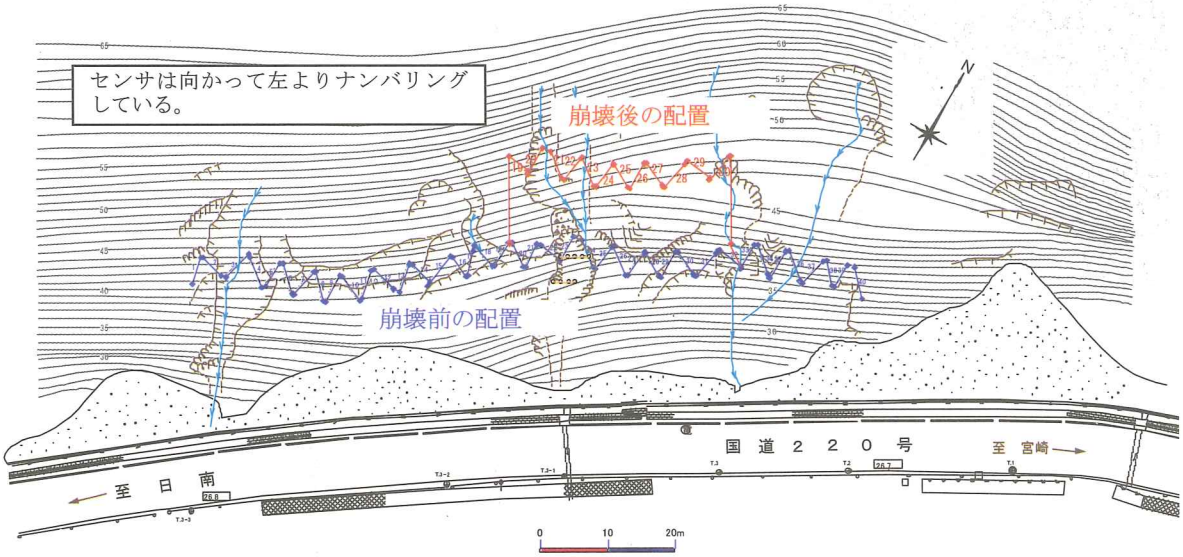


図 2.4.4-1　計測箇所平面図

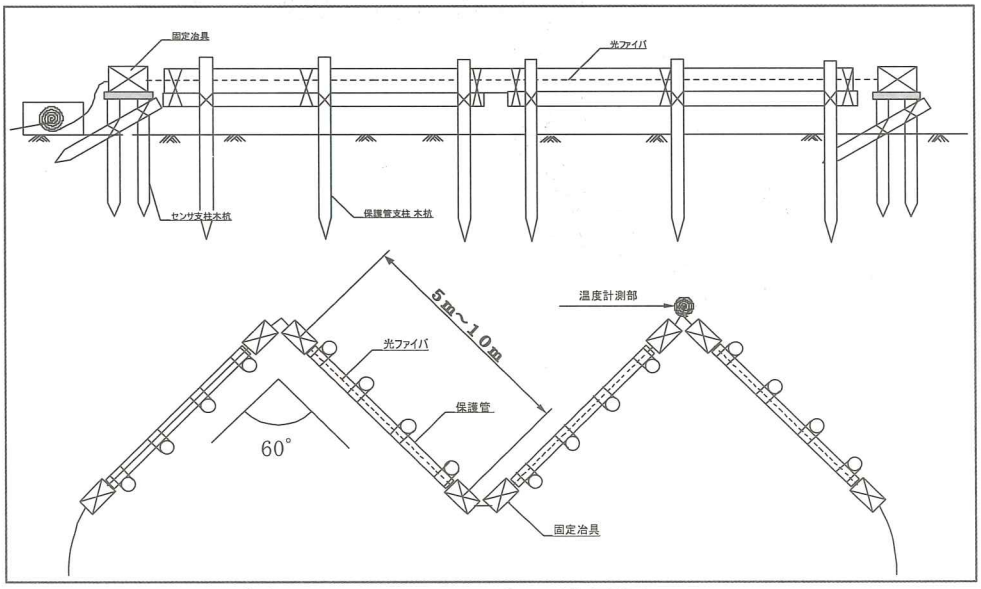


図 2.4.4-2　センサの設置図

表 2.4.4-1　計測条件

センサ長	5m	平成 15 年 5 月に小崩壊が発生し、B-OTDR で崩壊を捉えた。崩壊発生後は 37 センサで斜面を計測している。
センサ角度	60°	
センサ数	39	
計測間隔	4 時間	

4.4.3　計測データ

鶯巣地区では平成 14 年末より B-OTDR による低密度計測を開始し、平成 15 年 5 月 13 日 20:00 ごろ、２箇所で災害にならないほどの小崩壊が発生した。その位置はセンサNo.22 とNo.25 の間とNo.31 とNo.33 の間で発生しており、その規模はそれぞれ 25m^{3}程度のものであった。代表箇所のひずみ速度図を図 2.4.4-3 に示すが、崩壊箇所は崩壊時に斜面下方に大きくずれている。

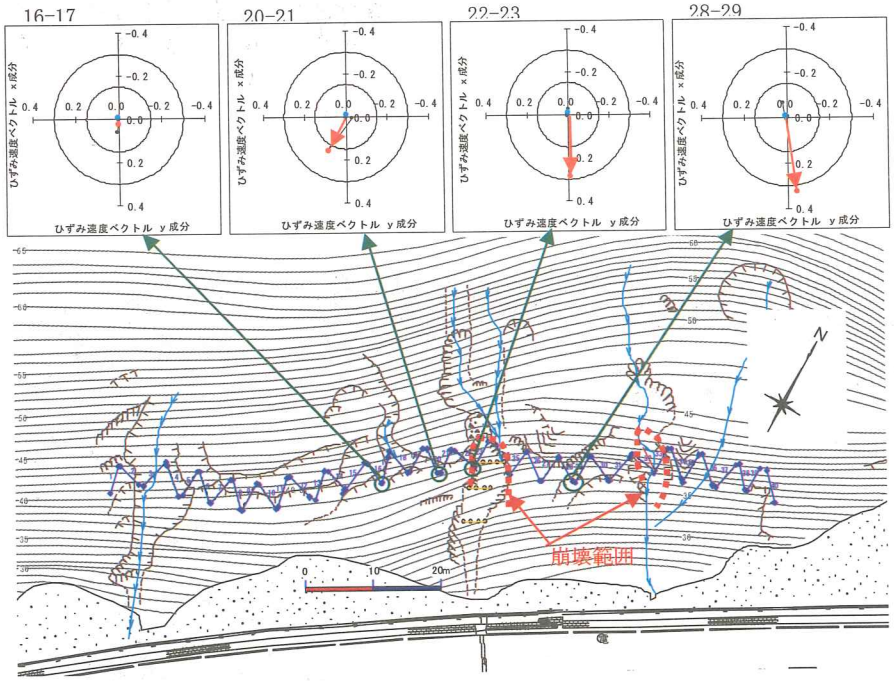


図 2.4.4-3　表層崩壊平面図およびひずみ速度図

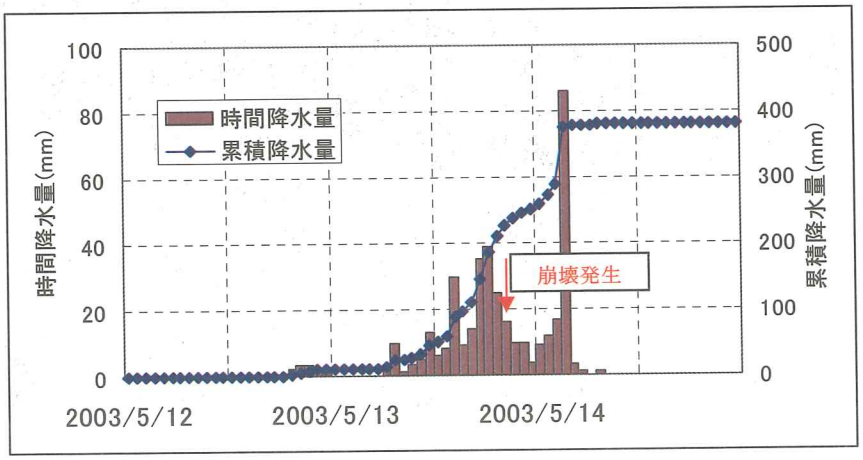


図 2.4.4-4　表層崩壊時の降雨状況

図 2.4.4-5 は、計測開始から崩壊までのひずみ棒図を示したものであるが、崩壊発生時に引張側にひずみが大きく現れている。ここで注意を要することは、崩壊範囲の周辺でもひずみが大きくなっていることであり、今後No.27 以降で崩壊の危険性が高くなっている。

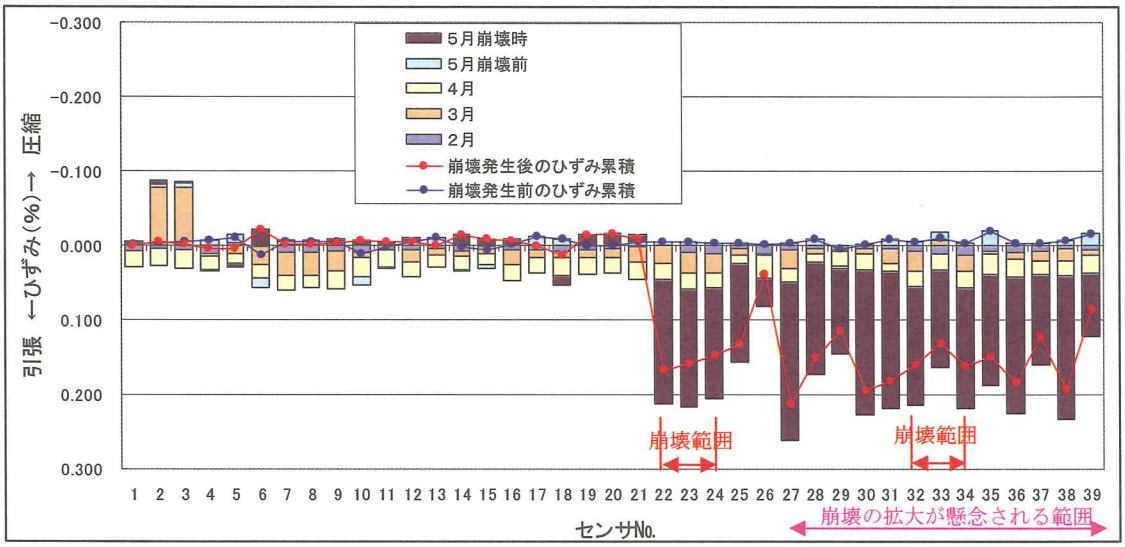


図 2.4.4-5　月別ひずみ分布図





崩壊面頭部状況



破損したセンサ冶具部（源頭部付近）

写真 2.4.4-1　崩壊位置の状況

4.4.4　日常計測による崩壊規模及び範囲の予測検討

宮崎地方では、平成 17 年度の 9 月 4 日～7 日にかけての台風 14 号による記録的な豪雨や８月末期の集中豪雨を記録した。計測斜面では、崩壊に至るようなひずみ変動はなかったが、長期計測による「場所」と「規模」の崩壊予想範囲の推測を行った。

(1)　降水量状況

図 2.4.4-6 に鶯巣地区の月別降水量を示す。平成 17 年度は平年値に比べて年間降水量の少なかった年であるが、8 月・9 月の月降水量は平年値より大きかった。これは、図 2.4.4-7 に示す集中豪雨と台風 14 号の影響である。

両降雨の降雨パターンは異なるが、累積雨量は 330mm 程度とほぼ同じであった。

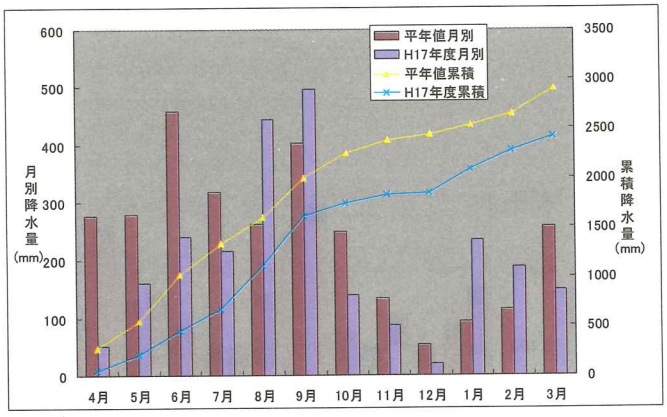
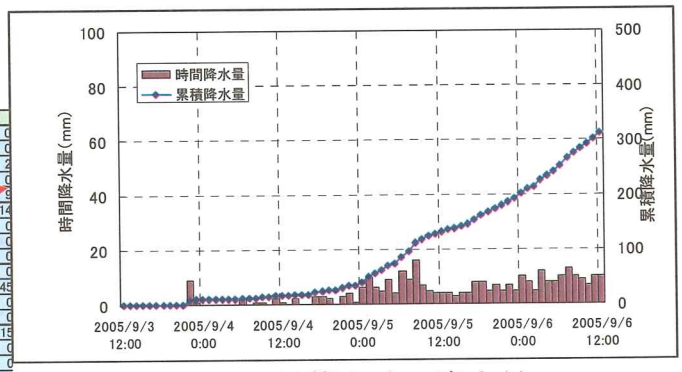
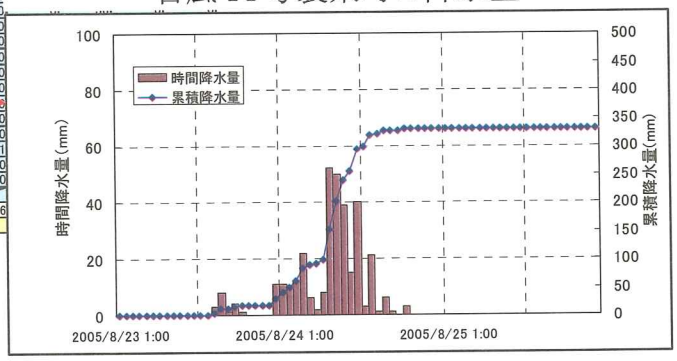


図 2.4.4-6　鶯巣地区月別降水量

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
1日	0	19	0	0	0	0	0	0
2日	0	3	48	0	0	0	0	0
3日	0	0	0	0	2	10	2	2
4日	0	0	0	0	1	31	4	0
5日	0	44	0	8	0	161	20	9
6日	0	82	0	62	13	138	8	14
7日	3	0	0	0	38	0	0	0
8日	0	0	0	55	1	0	14	0
9日	0	0	1	14	0	18	0	0
10日	1	0	0	0	0	65	0	0
11日	1	0	8	0	0	33	1	45
12日	6	0	0	1	0	0	11	0
13日	0	0	0	0	0	0	0	0
14日	0	0	3	0	0	0	12	15
15日	0	0	4	0	0	0	30	0
16日	0	0	5	0	0	0	0	0
17日	0	0	0	3	0	0	0	0
18日	0	4	0	0	0	0	0	0
19日	0	0	13	0	0	0	0	0
20日	37	0	0	0	5	0	0	0
21日	0	0	49	0	36	0	0	0
22日	0	4	22	0	0	0	0	0
23日	0	0	81	0	28	0	0	0
24日	0	0	0	13	302	0	0	0
25日	0	0	0	1	0	0	0	0
26日	0	0	5	0	0	0	6	0
27日	0	0	0	0	0	0	0	0
28日	0	0	0	2	0	5	30	1
29日	0	2	0	0	0	30	1	0
30日	3	1	0	42	13	4	0	0
31日		0		14	5		0	
合計	51	159	239	215	444	495	139	86



台風 14 号襲来時の降水量



8 月 24 日　集中豪雨降水量

図 2.4.4-7　8 月末集中豪雨と台風 14 号降雨状況

(2)　日常時計測結果

4 月から 10 月までの月別ひずみ分布棒図を図 4.4.4-8 に示す。ひずみは 9 月に大きく、圧縮側に変位している。9 月は台風 14 号が襲来した時期であり、降雨との関連があると考えられる。

ひずみはNo.7・No.8 とNo.12 からNo.17 とNo.20 からNo.23 およびNo.25 から 32 と凸部があ

り、個別に変位しているものと考えられる。

次にひずみ軌跡図を図 2.4.4-9 に示す。8 月末からの降雨期には明らかに温度変化とは異なるひずみ軌跡を示しており、地盤の変位があったと考えられる。

このひずみ軌跡を平面図上に示すと、降雨期間のひずみは、微地形で沢になっている箇所に向かって圧縮側に変位していることが判る。

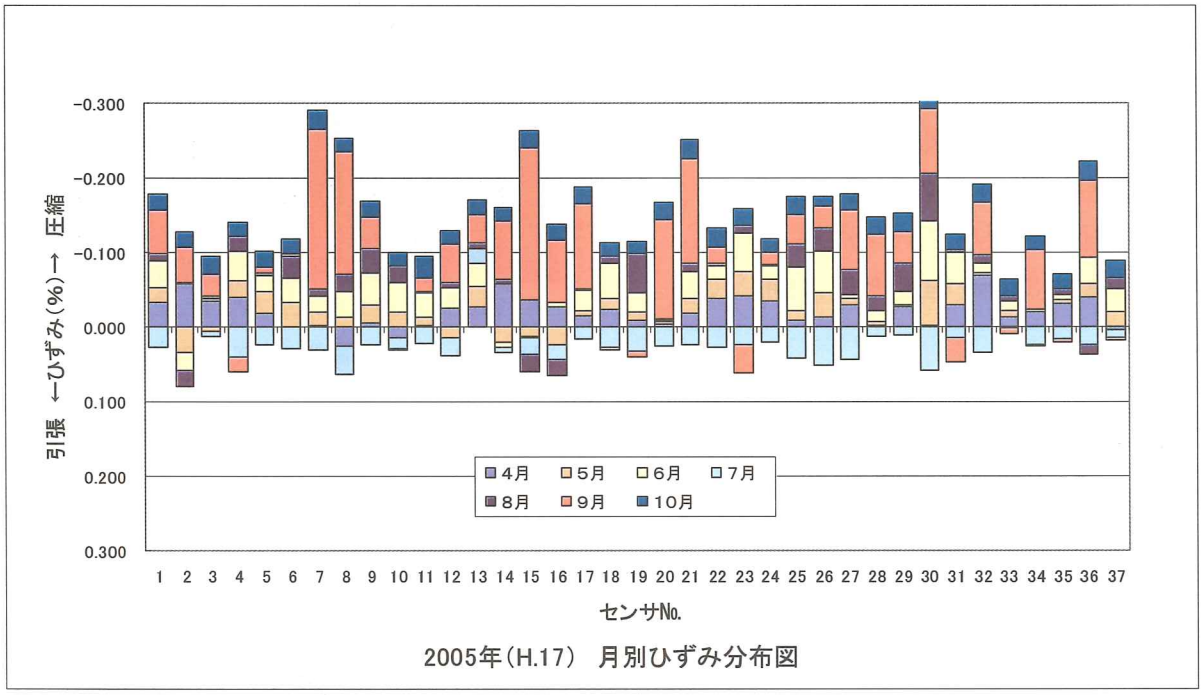
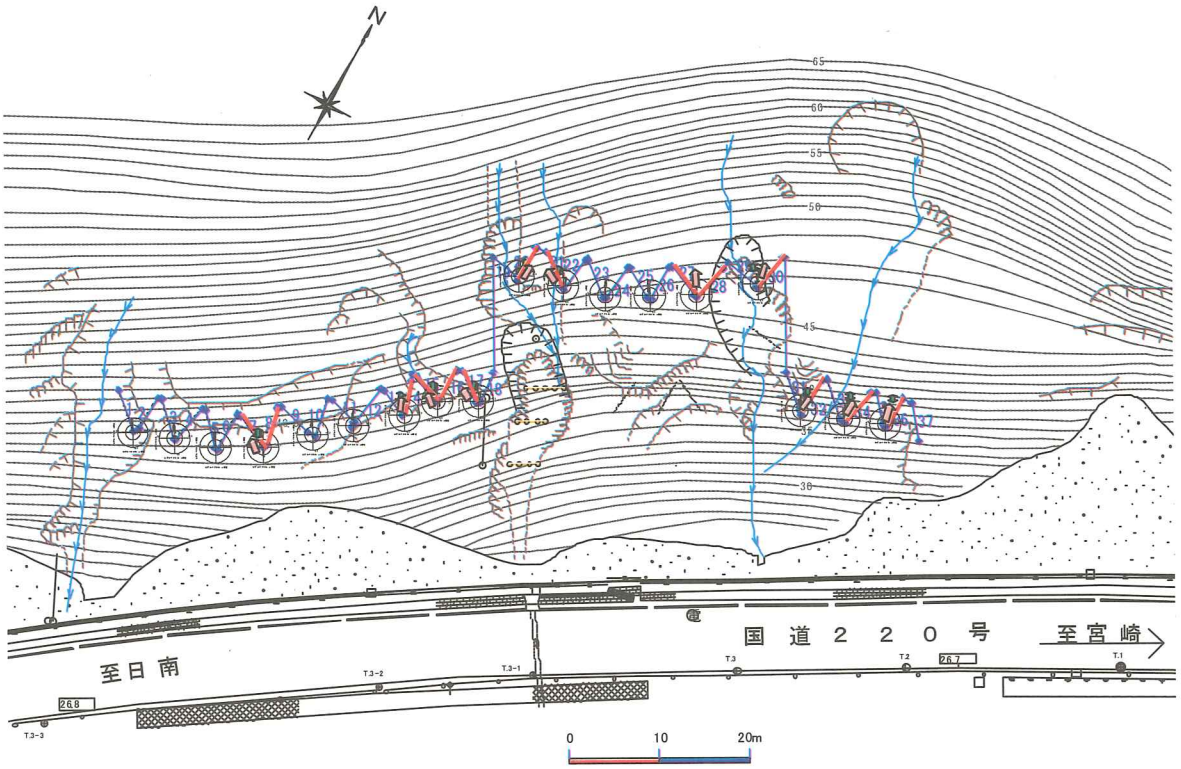


図 2.4.4-8 B-OTDR 月別ひずみ分布棒図



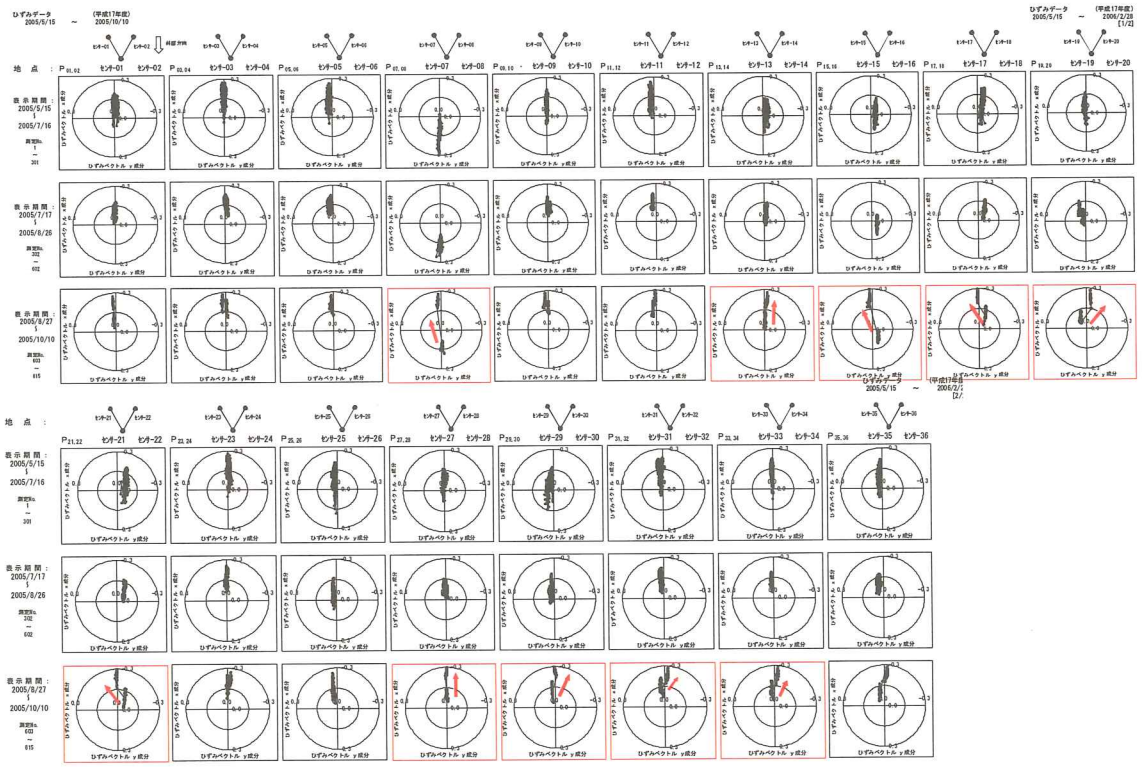


図 2.4.4-9　ひずみ軌跡　総括図

(3)　崩壊範囲の予測

鶯巣地区では、B-OTDR の低密度型計測のほかに MDM による個別計測を行っている。両計測結果をもとに崩壊範囲の予測－危険箇所の抽出を行った。

1)　Ａ沢・Ｂ沢に挟まれた領域

B-OTDR センサおよび MDM センサともに圧縮側に地盤は変動している。変動量は小さく、中央部付近しか変位していないため、大きな崩壊までには時間を要すると考えられる。しかしながら、崩壊した場合は、道路防災施設の規模より災害を防御できないと考えられる。

2)　Ｂ沢・Ｃ沢に挟まれた領域

Ｂ沢・Ｃ沢は計測開始後３回程度崩壊を検出した箇所であり、崩壊の危険性が一番高い区間である。

B-OTDR センサ設置箇所より下方斜面は、荒廃し小崩壊の源頭部が多数存在している。この源頭部に設置したＭＤＭセンサは全て引張側に変動している。この崩壊規模と道路防災施設の関係から、ＭＤＭセンサは、現在３個のセンサが同時に 2mm/時間超過した場合に管理者に通知する“しきい値”を採用している。今後も、継続監視が必要である。

B-OTDR センサおよび上部の MDM センサは全て圧縮側に変位しており、崩壊域は上方斜面であり、大きな崩壊が発生する可能性を秘めている。ただ、Ａ沢・Ｂ沢間の変動方向とは異なるため、崩壊域は分離されると考える。

3)　Ｃ沢・Ｄ沢に挟まれた領域

他の領域と同じように同じように圧縮側に変位している。単独で崩壊するかどうかは不明である。

大きな崩壊が予想される崩壊域は、沢で分離され、Ａ沢・Ｂ沢間とＢ沢・Ｃ沢（Ｄ沢）の危険斜面は分離されると考えられる。また、Ｂ沢とＣ沢に挟まれた荒廃地は小崩壊の危険性が高いことが判明した。

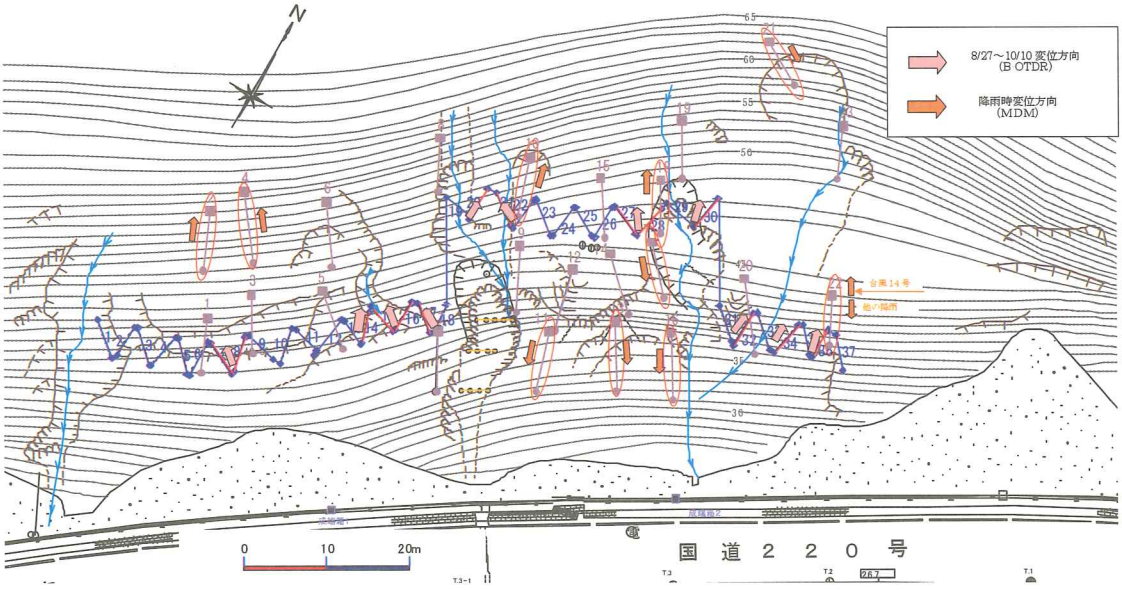


図 2.4.4-10　平成 17 年度の計測結果図

第3章　光ファイバセンサとは

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。

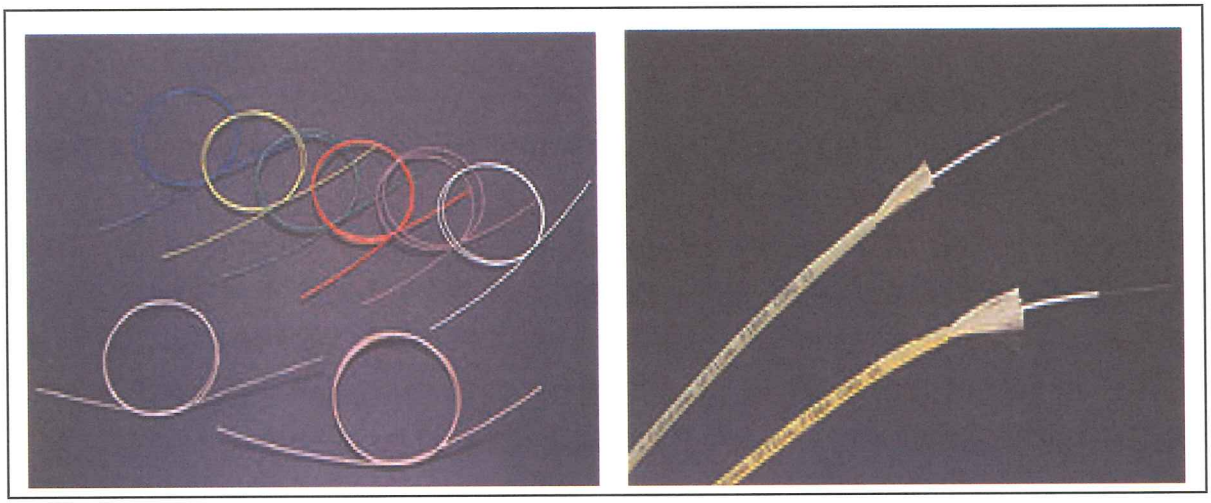


写真 3.1-1　光ファイバ及び心線

1.1　光ファイバの構造

光ファイバは直径 125μm(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。

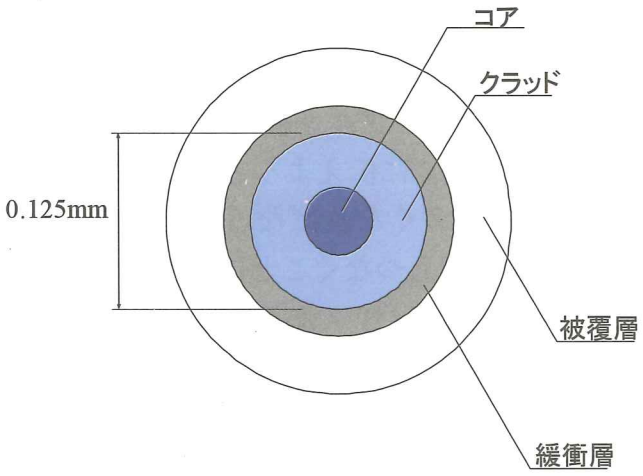


図 3.1-1　光ファイバ断面

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)。

シングルモード（SM）光ファイバはコア径が 10μm 以下と細く、一つのモードのレーザ光を伝送する。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、マルチモード（GI）光ファイバは、コア径が 50μm 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。

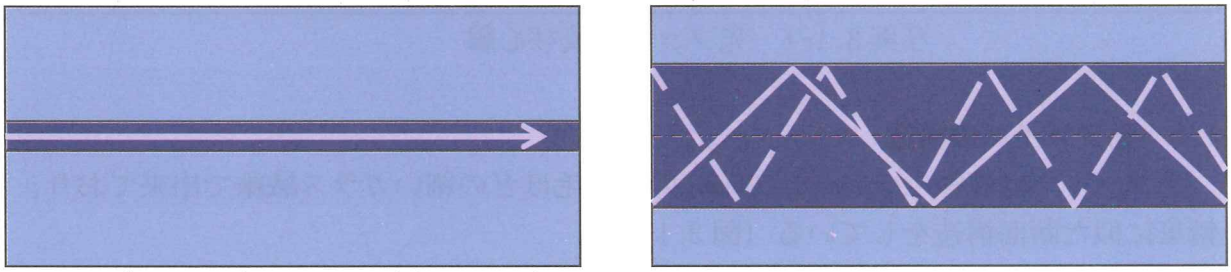


図 3.1-2　光ファイバの種類

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)

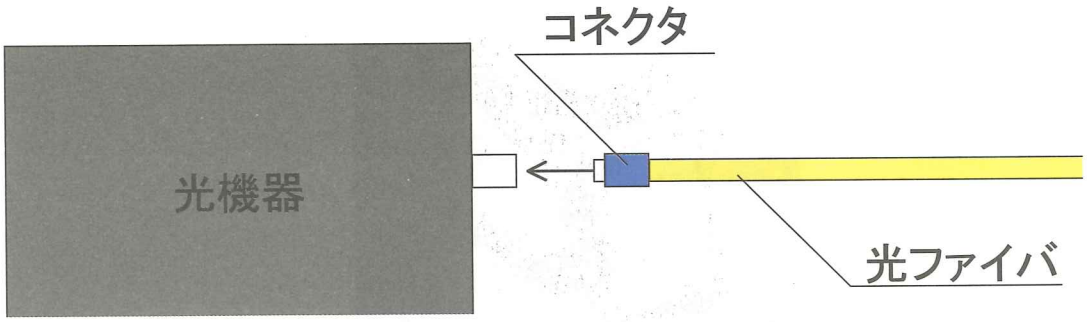


図 3.1-3　コネクタ接続のイメージ

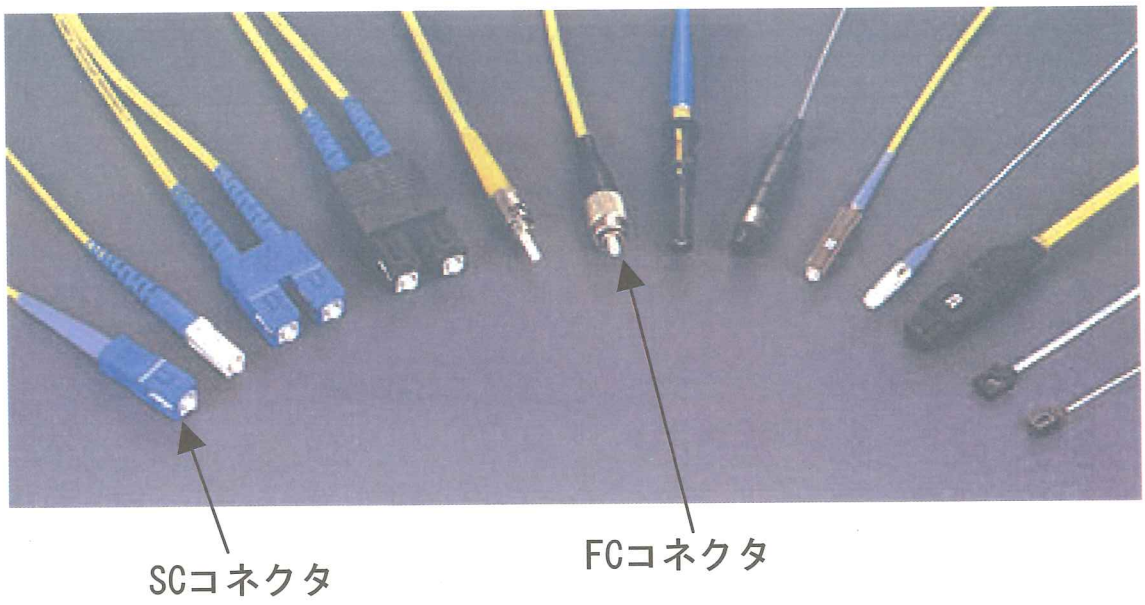


写真 3.1-2　各種コネクタ

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。

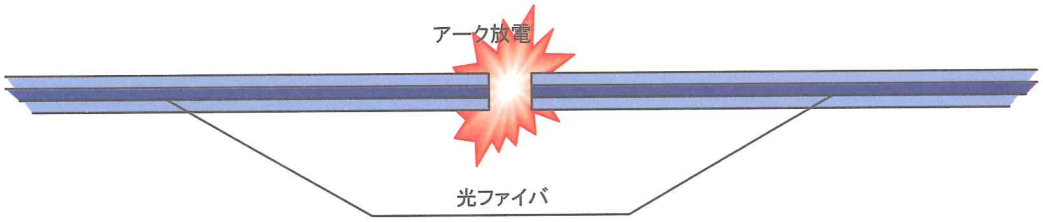
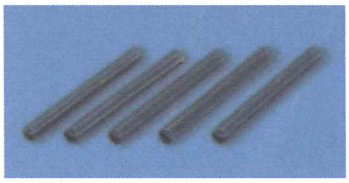


図 3.1-4　融着接続



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（再掲）

２．光ファイバセンシング方式について

光ファイバセンシングにはいろいろな方法がある。それぞれに特徴があり、その特徴を理解した上で方式を選定する必要がある。ここでは、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、光損失を用いた OTDR 方式、赤外線の漏れ量を用いた OSMOS 方式、光干渉を利用する SOFO 方式やファブリ・ペロー方式の計測原理について説明する。

2.1　B-OTDR 方式の計測原理

光ファイバに光パルスを入射すると光ファイバのいたる処で散乱光が発生し、そのうち光の入射端側に帰ってくる散乱光を後方散乱光と呼ぶ。散乱光にも、いろいろな種類と特徴があり、そのひとつにブリルアン散乱光がある（図 3.2-1）。

ブリルアン散乱光は、ピーク値を有する一定域の周波数分布を示すが、光ファイバの伸縮（ひずみ）により、その部分で発生したブリルアン散乱光の周波数分布が変化する特徴がある。B-OTDR 方式は、これを応用した計測方法である（図 3.2-2）。

この方式は、光ファイバ線自体がセンサとなるので、従来の計測では実現できなかった線的や面的な計測および監視が可能である。ただし１回の計測に十数分を要する。

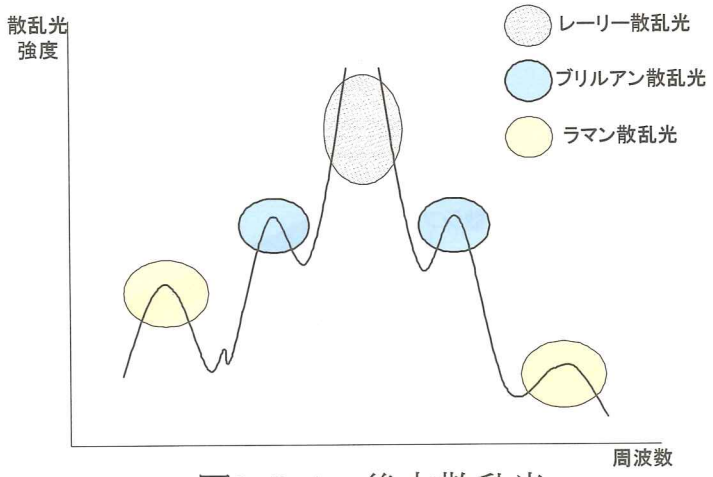


図3.2-1　後方散乱光

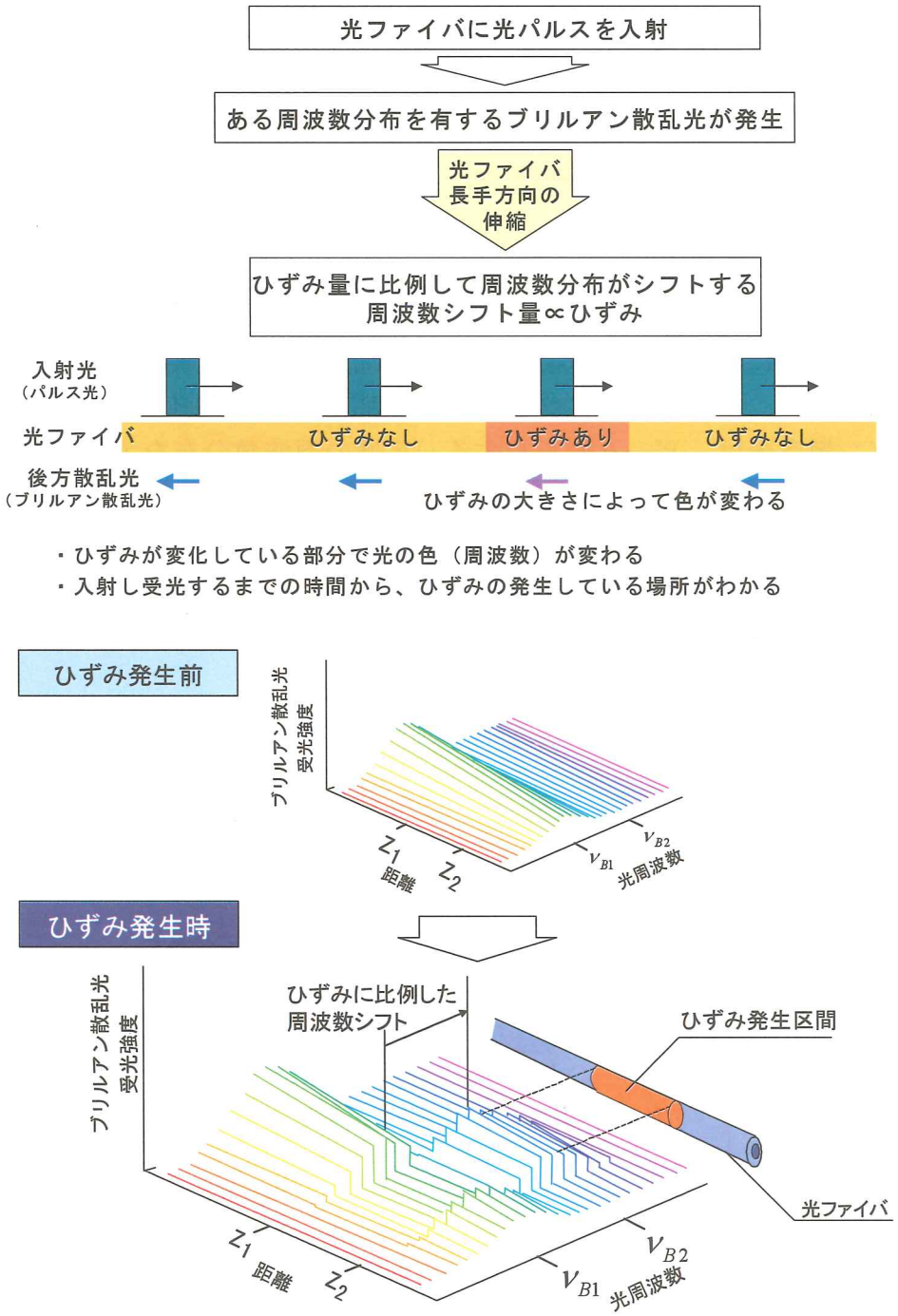


図 3.2-2　B-OTDR 方式のひずみ計測原理

2.2　OTDR 方式の計測原理

OTDR 方式は、光伝送損失量や光ケーブル接続点の損失量の計測などの光線路試験技術として広く用いられている技術である。この方式は、B-OTDR 方式で述べた散乱光のうちの、レーリー（後方）散乱光を利用している（図 3.2-1）。レーリー散乱光は、光ファイバに過度の曲げが発生するとレーザ光の一部はコアの外へ放射されて光の強度が減衰する。これに伴いレーリー散乱光の強度も減衰するため、曲げの発生した箇所から戻ってくる散乱光の受光レベルも減少し、計測対象の異常個所を検出することができる。

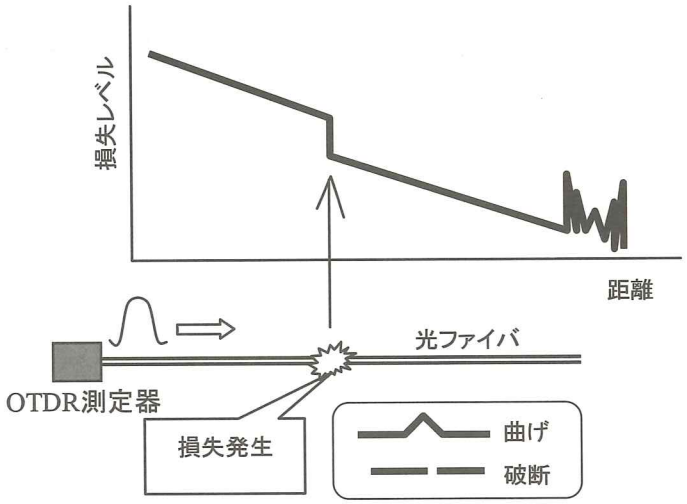


図 3.2-3　OTDR 方式の計測原理

2.3　FBG 方式の計測原理

FBG 方式は図 3.2-4 に示すように、光ファイバのコアの一部に屈折率の異なる部分（グレーティング）を一定間隔で格子状に並べ、この部分をひずみセンサ（FBG センサ）として利用するものである。格子は１ｃｍに 2 万枚という高密度で作成されている。

光パルスを入射すると、特定の波長（ブラッグ波長）が格子の部分で反射して戻ってくる。光ファイバに伸縮（ひずみ）が生じて格子の間隔が変化すると、反射するブラッグ波長も比例してシフトする（図 3.2-4）。このブラッグ波長のシフト量を計算することにより、光ファイバのひずみ量を計測する技術である。1 本の光ファイバケーブルにグレーティングを複数設置することにより連続したポイントのひずみを計測することができる。

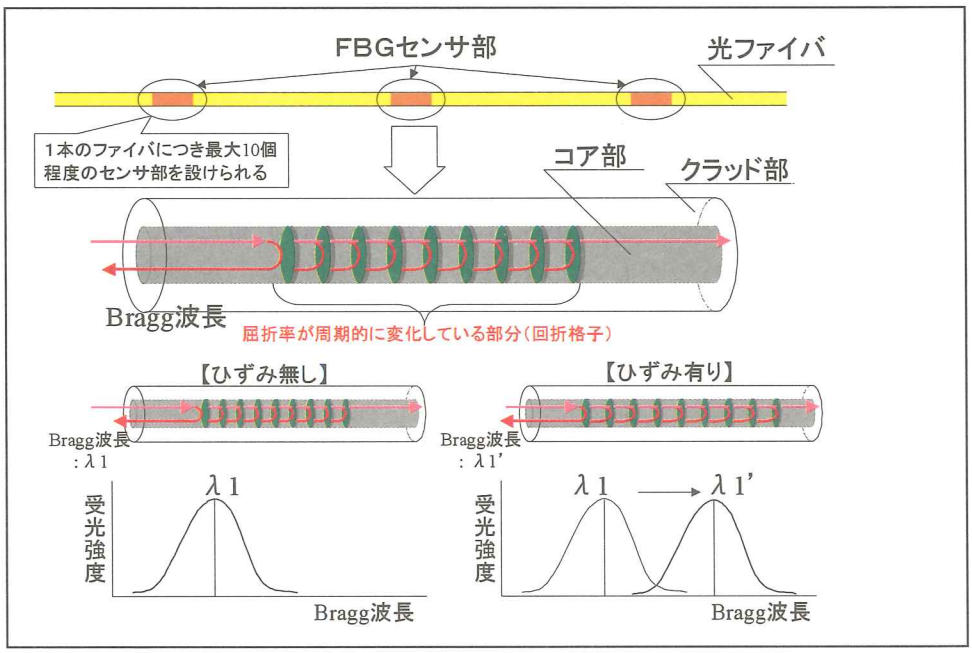


図 3.2-4　FBG 方式の計測原理

2.4　MDM 方式の計測原理

光ファイバに規定値以下の曲がりを与えると、光の一部が光ファイバの外部に漏光して透過光強度が減少することを利用したもので、変位に応じて透過光強度が減少する径での光ファイバの巻き取り量を変化させ、それによって生じる透過光強度の変化により伸張（ひずみ）を計測する。

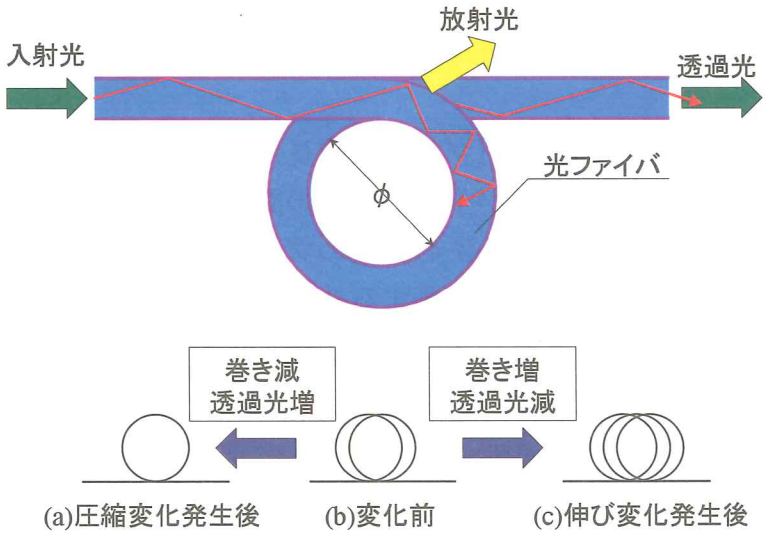


図 3.2-5　MDM 方式の計測原理

2.5　光ストランド方式（OSMOS 方式）の計測原理

OSMOS 方式に代表される光ストランド方式は、３本の光ファイバをより線にして作成したもので、光ファイバ内に赤外線を通し、光ファイバに曲がりあると、その部位で赤外線が外部に漏れ、光ファイバ内部を通過する赤外線の強度は減少する。この原理を用いて、赤外線の漏れ量を検出することで、構造物の変形やひずみを計測する。

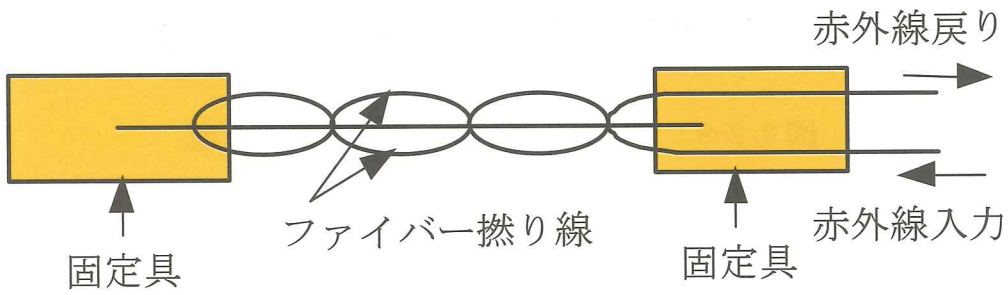


図 3.2-6　OSMOS 方式の計測原理

2.6　光干渉方式の計測原理

光干渉方式はセンサ部における光干渉を利用するもので、SOFO 方式、ファブリ・ペロー方式に分けられる。

SOFO 方式は、テンションをかけた計測用光ファイバとテンションをかけない参照用光ファイバの２本をセンサ部に内臓し、ＬＥＤから発射した光がファイバ端部に置かれた鏡または反射器で反射して戻ってくる時間を計測し、２本の光ファイバの時間差（位相差）データを比較して変位量を直接捉えることでひずみを計測する。

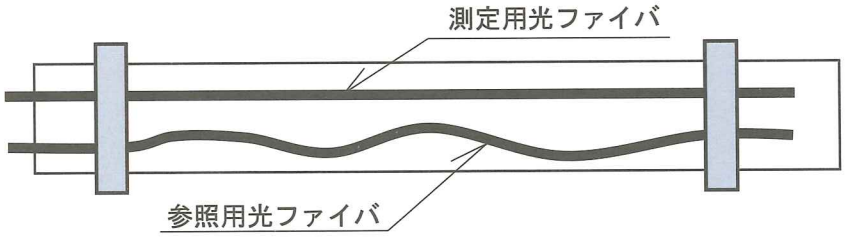


図 3.2-7　SOFO 方式の計測原理

ファブリ・ペロー方式は、光ファイバの先端に加工された２つのミラー（半反射鏡）で区切られた空間（キャビティ）をセンサとして利用する。入射した光がミラー間で繰返し反射されることにより干渉波が生じ、その波長を計測することにより、センサ部のひずみを計測する技術である。ひずみは高精度に計測できるが、センサ１点に対し１本の光ファイバを必要とするため、面的なひずみ計測には不向きともいえる。

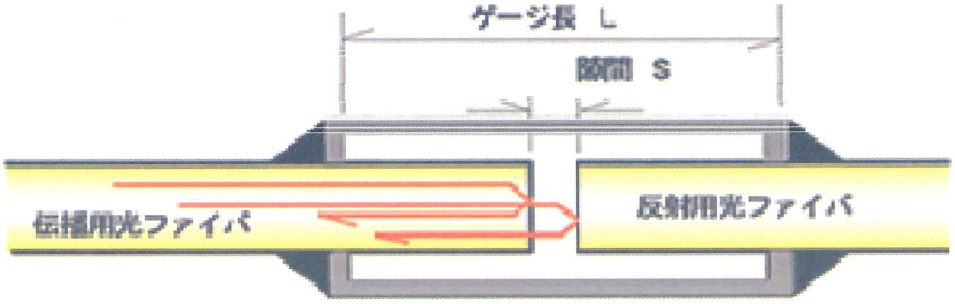


図 3.2-8　ファブリ・ペロー方式の計測原理

2.7　光センシング方式の比較

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（１）

全般	名称	B-OTDR	OTDR	FBG	MDM
	英語表記	Brillouin Optical Time Domain Reflectometory	Optical Time Domain Reflectometry	Fiber Bragg Grating	Macro Distortion Monitoring System
説明	光源	パルスレーザー	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	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。	通信用光ファイバを使用。	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。	ファイバ物質からのレーリー散乱光の特性から、光損失を計測し、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	2, 5, 10m	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	±30με	機種による	±4με	±0.01%
	動的計測	不可能：データ処理に数十秒を要するため	不可能（10sec）	可能（250HZ 程度の実績）	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	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

表 3.2-2　光センシング方式の比較表（２）

全般	名称	OSMOS	SOFO	ファブリ・ペロー (FPI)
	英語 表記	Optical Strand Monitoring System	Surveillanced' Ouvrages par Fibres Opliques	Fabry-Perot Interferometer
説明	光源	赤外線	パルスレーザー	連続発生の広帯域光
	ﾌｧｲﾊﾞ	ＳＭファイバ	ＳＭファイバ	ＧＩファイバ
	ｾﾝｻ 構造	２点の固定具間に複数の光ファイバケーブルの撚り線で構成。	２本の光ファイバで構成。それぞれプリテンションとノンテンション構造。	光ファイバ先端に作られた直面する２つのミラーで区切られた空間をセンサ化。
	計測 原理	複数の光ファイバケーブルの撚り線で構成される光ファイバセンサ（光学ストランド）を用いて２点間の相対変位を計測する。	センサ部の光ファイバは、それぞれ構造物の変位に追随する、追随しない構造。この２本の光ファイバの位相差データを比較しひずみを計測する。	対面ミラー間で反射される光波長の変調特性から、センサ空間長の変化を計測する。
特性	計測 範囲	センサ長（0.15～10m）の 0.5%	0.25m～10m	±1000～±5000με
	精度	±0.02～±0.004 mm	±0.2000%	±2με
	動的 計測	可能（20～200Hz）	不可能（7sec）	可能（20～1000Hz）
	長手 方向 の歪 分布 計測	原理的には複数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２本のファイバで可能、ただし多数のセンサ部が必要。	１本のファイバで１点の変位を計測

第４章　斜面崩壊監視用標準ソフト

斜面監視を行う場合、計測器を制御しデータ取得を行うデータ取得プログラムと、計測したデータを分析して監視用画面に表示する分析・表示プログラムの２つが必要である。これまでに斜面計測・監視を行ってきた事例を見ると、ほとんどの場合がこの２つを一体化したソフトウェアを個々に作成している。このため、モニタリングシステムを導入するためにはソフトウェアの製作コストも必要である。

また、システム上の問題が生じた場合、上記２つのプログラムが一体化していると、データ取得上の問題かその後の分析・表示上の問題なのか、あるいは計測器本体の問題なのかが瞬時に判断できない。さらに、分析・表示のみの問題でもシステム全体がダウンするため、本来蓄積していくべきデータが取得されないことがある。

したがって、システム構築を行う場合には、トラブルが発生したときにも対応が容易に行うことができるように、できる限り分化することが必要である。

そこで本共同研究において、第３章で述べた表層崩壊危険性斜面の日常管理および降雨時の異常監視の考え方および判断方法を踏まえ、データ取得後の分析・表示を行う斜面崩壊監視用標準ソフトを開発した。このソフトを用いるためには、別途計測器のデータ取得ソフトのみを作成すればよい。

以下に、監視用標準ソフトの取扱説明書を示すとともに、巻末に本ソフトを添付するので、斜面監視システムを導入する際に、活用頂ければ幸いである。

光ファイバ斜面モニタリング表示ソフト

取扱説明書（設定編）

独立行政法人土木研究所

長菱制御システム(株)

目 次

頁

はじめに 1

1 表示ソフトのインストール 2

2 プログラム設定変更 6

2.1 表示ソフトの初期設定 7

2.2 位置図情報の設定 8

2.2-1 位置図画像ファイル 9

2.2-2 計測地区の設定 10

2.3 各計測地区のセンサ情報の設定 12

2.3-1 センサ情報ファイル 12

2.3-2 平面図画像ファイル 13

2.4 X、Y座標の考え方 15

3 ファイル仕様 17

3.1 初期ファイル 17

3.2 地区名称ファイル 20

3.3 計測ファイル 21

3.4 センサ情報ファイル 22

はじめに

本書では、「光ファイバ斜面モニタリング表示ソフト」のインストール方法と導入時の設定方法について説明しています。

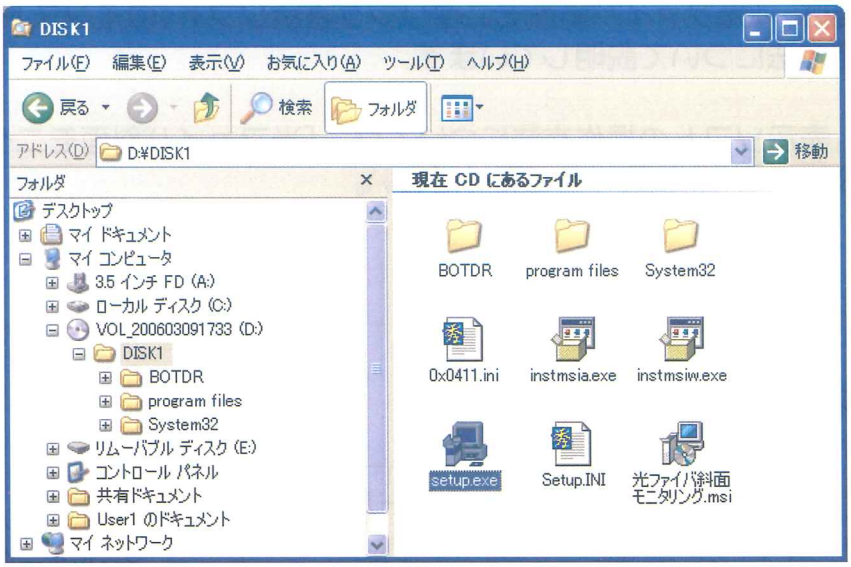
なお、表示ソフトの操作方法については、「光ファイバ斜面モニタリング表示ソフト　取扱説明書(操作編)」をご覧ください。

インストールおよび設定方法の流れ

1　表示ソフトのインストール	P2～5　参照 インストール方法 フォルダー構成
↓	
2　プログラムの設定変更	P6～16　参照
2.1　表示ソフトの初期設定	
2.2　位置図情報の設定	
2.3　センサ情報の設定	

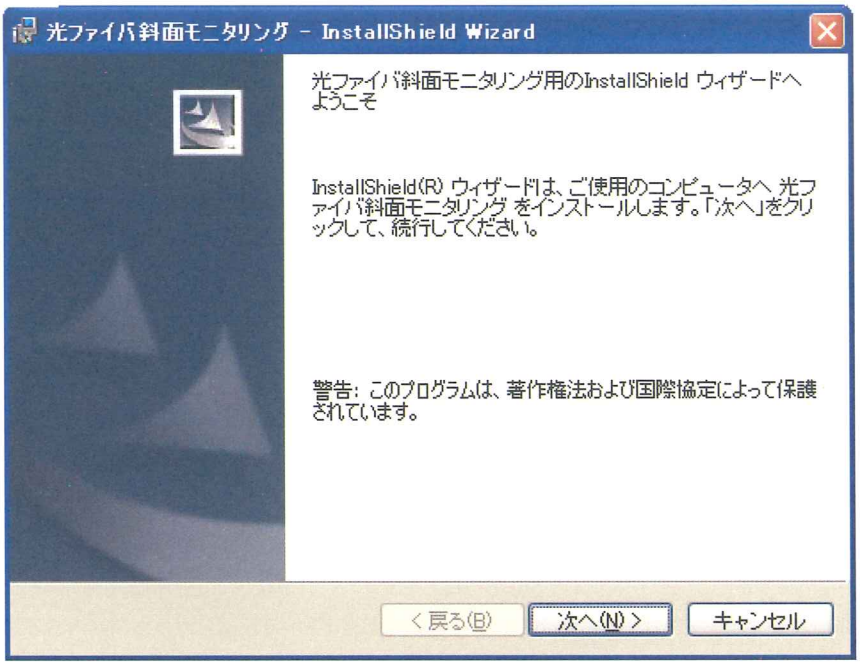
1. 表示ソフトのインストール

インストール用ＣＤ内のファイル一覧を表示します。

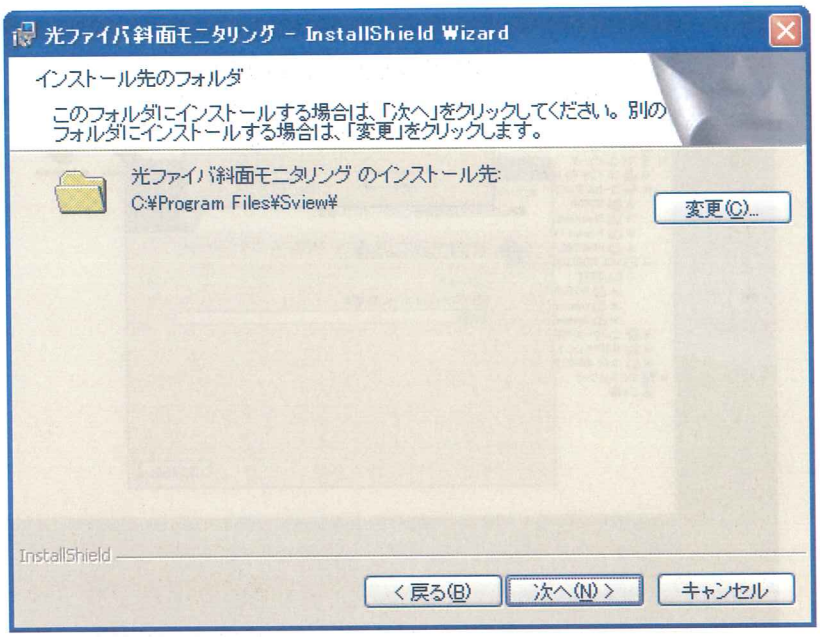


①  をクリックします。

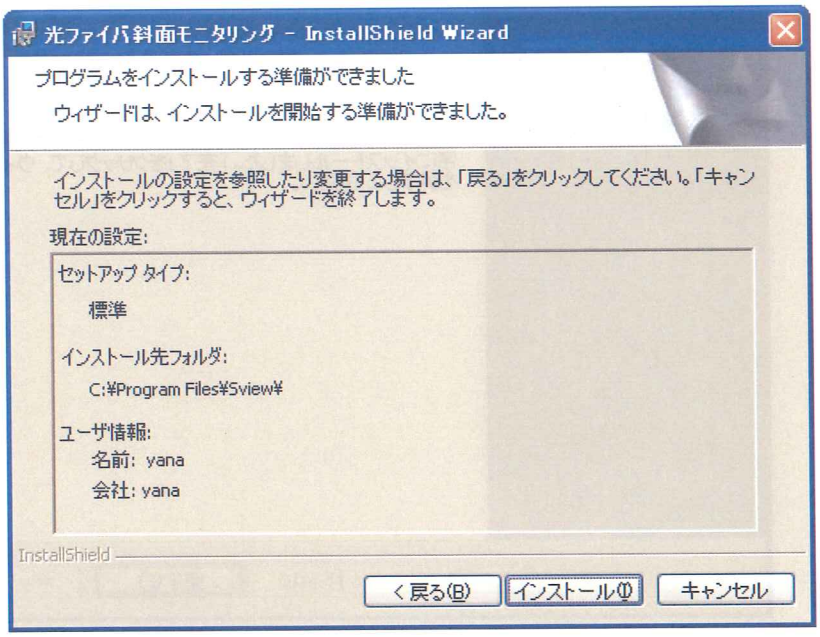
setup.exe



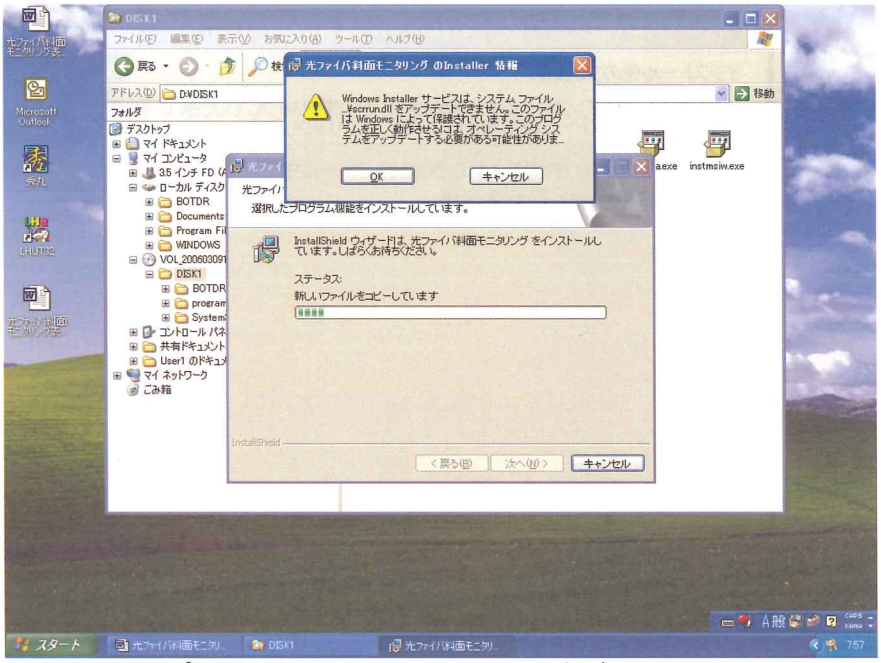
② 次へ(N)> を選択します



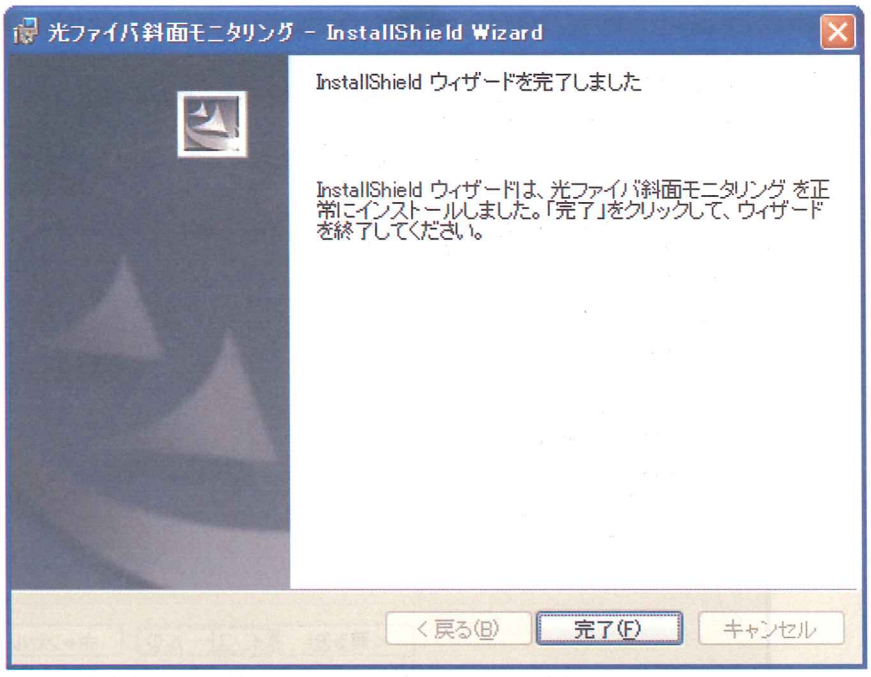
③ 次へ(N)> を選択します
インストール先を変更する場合は、変更を押してインストール先のフォルダーを指示してください。



④ インストール(I) を選択します。



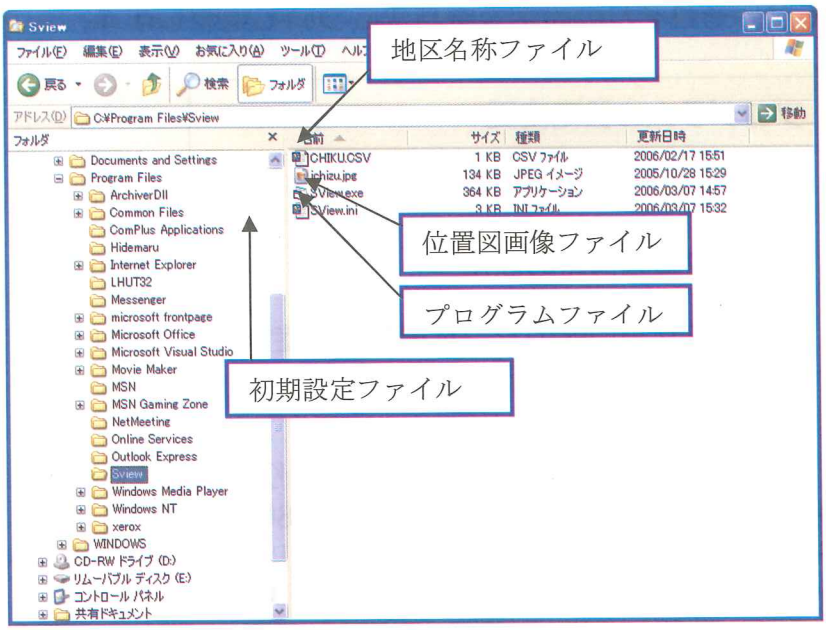
⑤ scrrun.dll のアップデートに関するメッセージが表示された場合は OK を選択します。



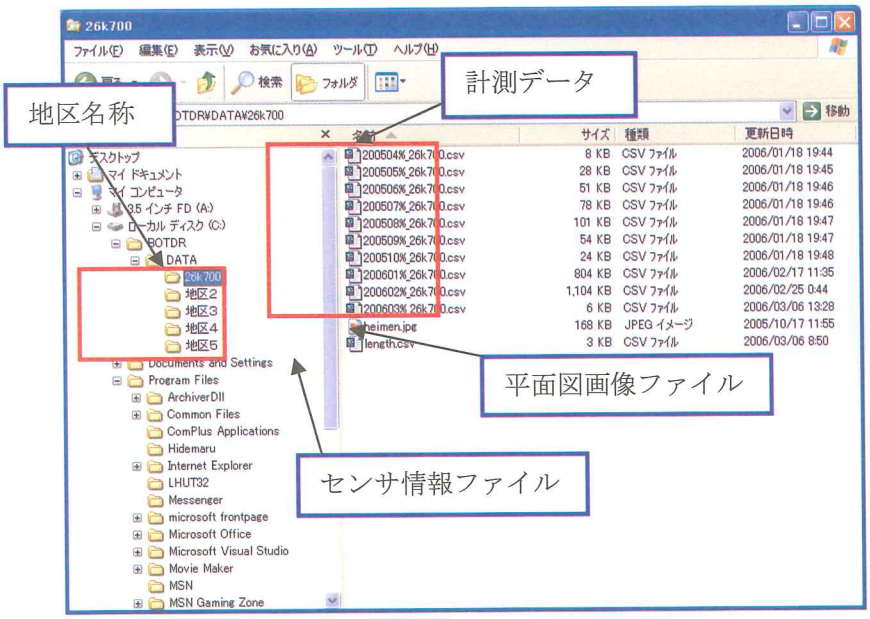
⑥ これでインストールは完了です。

⑦ インストールが終了すると、下記のフォルダーが新規に作成されます。

・ プログラム　C:\Program Files\Sview



・ 計測データ　C:\BOTDR\DATA



2　プログラム設定変更

表示ソフト導入に際し、下記の設定を変更する必要があります。
ここでは、それぞれの設定変更方法について説明します。

2　プログラムの設定変更	
2.1　表示ソフトの初期設定	P 7　参照
2.2　位置図情報の設定	P 8～ 10　参照
2.3　各計測地区のセンサ情報の設定	P11～16　参照

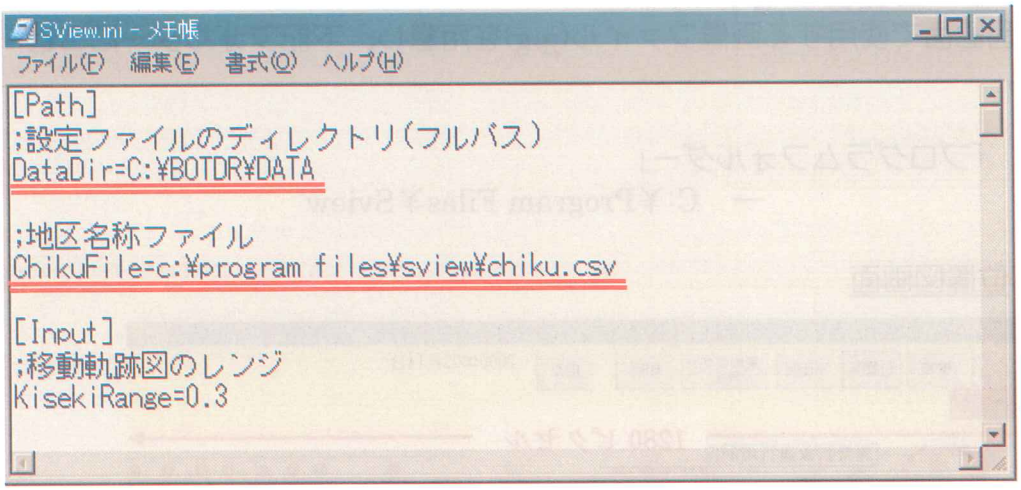
なお、ここではパソコンの設定が以下の通りであること前提としております。

- パソコン画面の解像度　→　1280×1040 ピクセル
- プログラム　フォルダー　→　C:\Program Files\Sview
- 計測データ　フォルダー　→　C:\BOTDR\DATA

2.1　表示ソフトの初期設定

ここでは、「計測データ」と「地区名称ファイル」の保管場所を設定します。

プログラム フォルダー内にある　”Sview.ini”　メモ帳等のエディタで開いて下さい。インストール時は下図のようになっております。
ファイルの書式については 3.1 初期ファイルを参照して下さい。



「計測データ」又は、「地区名称ファイル」の保管場所を変更する場合、
下線部を変更してください。

(例)
「計測データ」を D ドライブに保管する
DataDir= C:￥BOTDR￥DATA
↓
DataDir= D:￥BOTDR￥DATA

「地区名称ファイルを」を D ドライブ(￥BOTDR)に保管する
ChikuFail= C:￥Program Files￥Sview￥chiku.csv
↓
ChikuFail= D:￥BOTDR￥chiku.csv

2.2. 位置図情報の設定

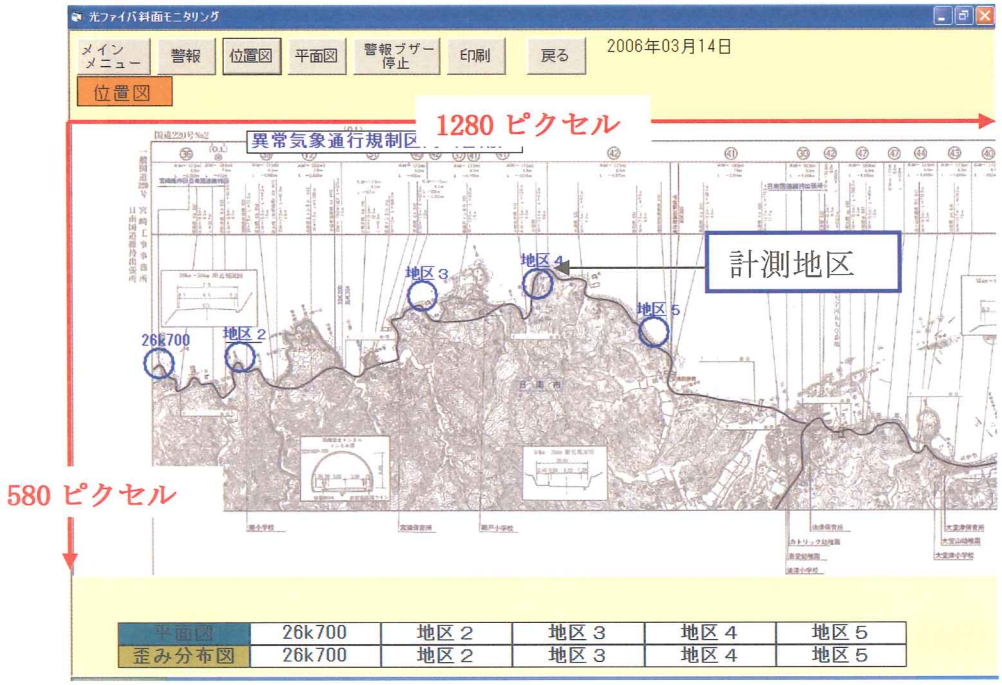
ここではパソコンの設定が以下の通りであること前提としております。
- パソコン画面の解像度　→　1280×1040 ピクセル
- プログラム　フォルダー　→　C:\Program Files\Sview
- 計測データ　フォルダー　→　C:\BOTDR\DATA
- 地区名称ファイル　→　chiku.csv

2.2 - 1　位置図画像ファイル

位置図画面で使用する画像ファイル(jpg)を用意し、下記フォルダーにコピーしてください。

「プログラムフォルダー」
→　C:￥Program Files￥Sview

・ 位置図画面



※画像ファイルの注意点

解像度は 1280 ピクセル×580 ピクセル程度にしてください。このサイズを超えた部分は表示されません。

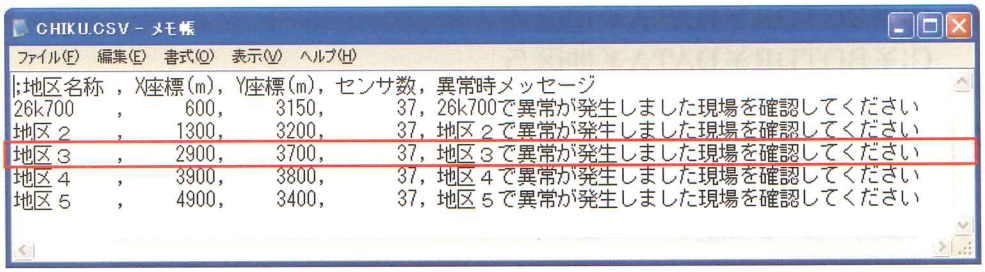
画像ファイル名は　”ichizu.jpg”　で保存してください。

2.2 - 2　計測地区の設定

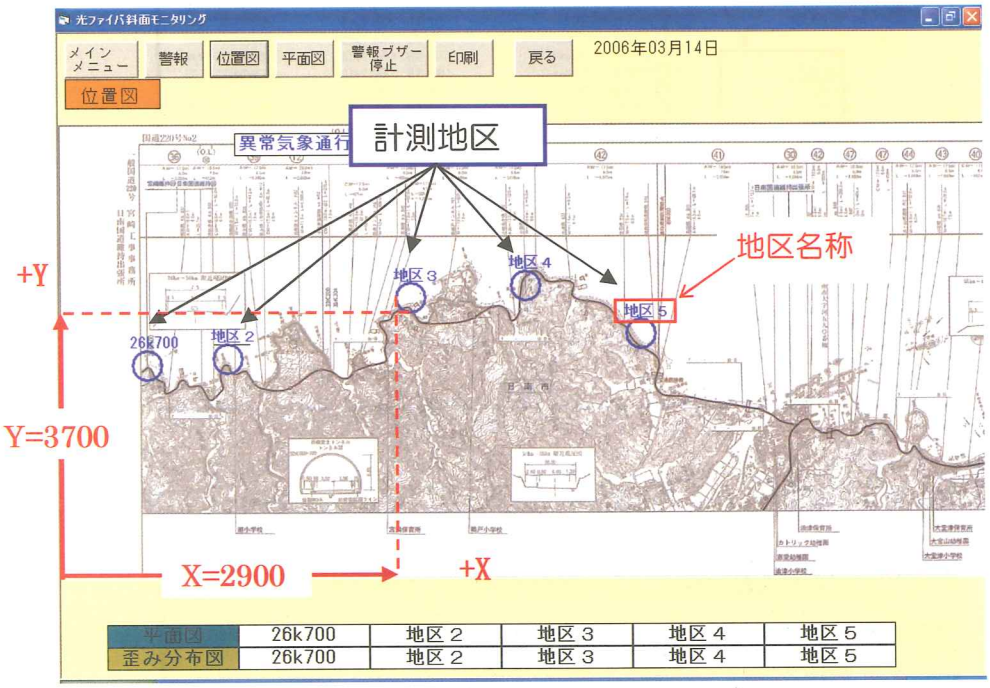
ここでは、位置図画面上に表記する「計測地区」の設定を行います。

プログラ フォルダー内にある　”chiku.csv”　をメモ帳等のエディタで開いて下さい。インストール時は下図のようになっております。

ファイルの書式については 3.2 地区名称ファイルを参照して下さい。



・ 位置図画面

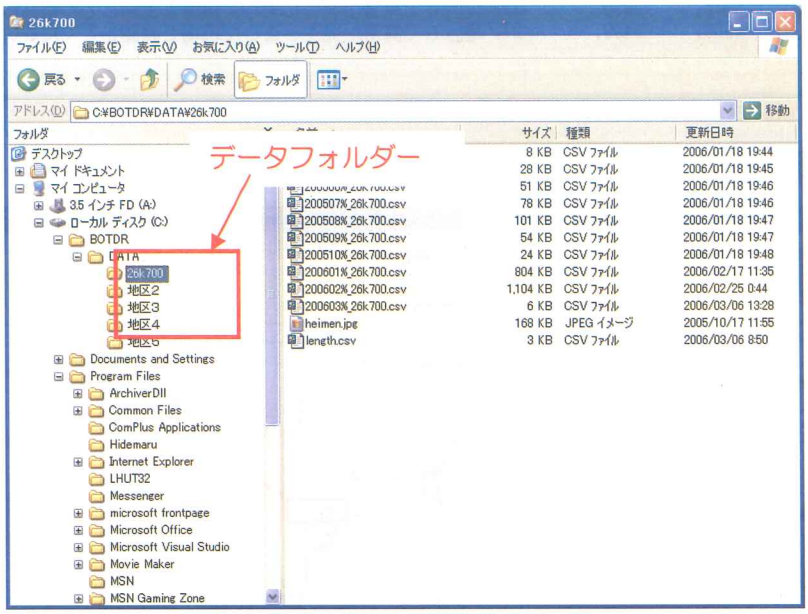


各計測地区の計測データファイルは、「地区名称」と同名のフォルダー内に保存されています。

（各計測地区のデータフォルダー）

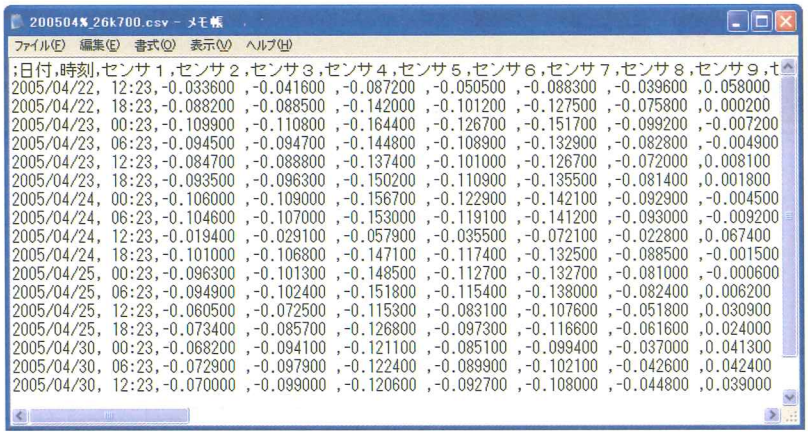
C:￥BOTDR￥DATA￥26k700
C:￥BOTDR￥DATA￥地区２
C:￥BOTDR￥DATA￥地区３
C:￥BOTDR￥DATA￥地区４
C:￥BOTDR￥DATA￥地区５

・ 各計測地区のデータフォルダー



・ 計測データファイル

ファイルの書式については 3.3 計測ファイルを参照して下さい。



新規に計測地区を作成する場合は「chiku.csv」に、下記の様に書き加え、計測データフォルダー内に「地区名称」と同名のフォルダーを作成してください。

（例）

;地区名称 , X 座標(m), Y 座標(m), センサ数, 異常時メッセージ
26k700 , 600, 3150, 37, 26k700 で異常が発生しました現場を確認してください
地区２ , 1300, 3200, 37, 地区２で異常が発生しました現場を確認してください
地区３ , 2900, 3700, 37, 地区３で異常が発生しました現場を確認してください
地区４ , 3900, 3800, 37, 地区４で異常が発生しました現場を確認してください
地区５ , 4900, 3400, 37, 地区５で異常が発生しました現場を確認してください
NO.1 , 1000, 2000, 10, NO.1 で異常が発生しました現場を確認してください

（新規計測地区のデータフォルダー）

C:￥BOTDR￥DATA￥26k700
C:￥BOTDR￥DATA￥地区２
C:￥BOTDR￥DATA￥地区３
C:￥BOTDR￥DATA￥地区４
C:￥BOTDR￥DATA￥地区５
C:￥BOTDR￥DATA￥NO.1

2.3 各計測地区のセンサ情報の設定

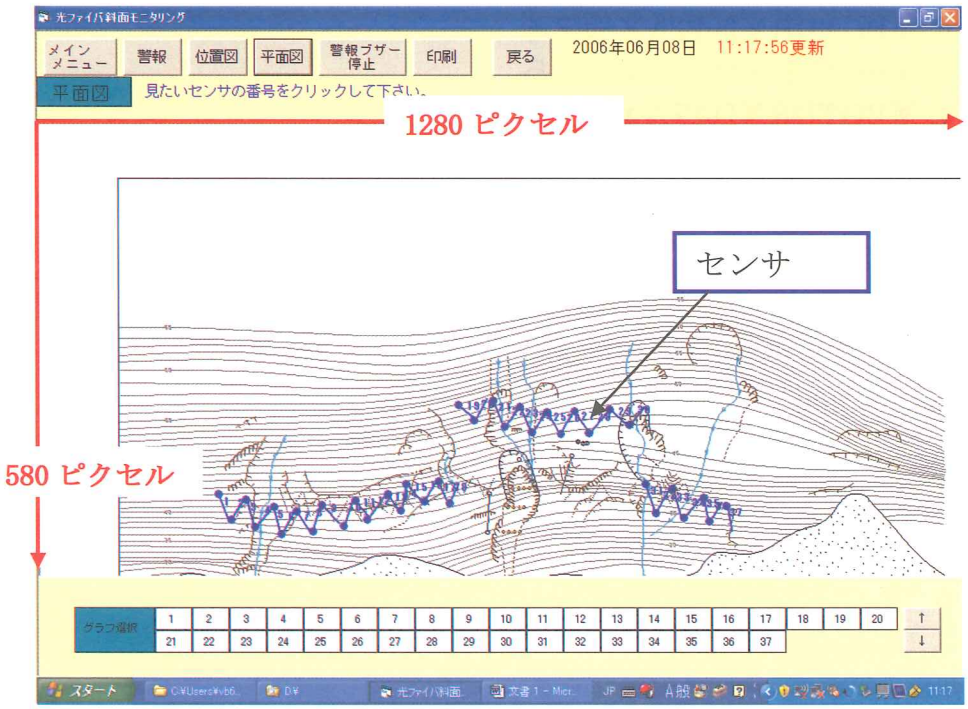
ここではパソコンの設定が以下の通りであること前提としております。
- パソコン画面の解像度　→　1280×1040 ピクセル
- プログラム　フォルダー　→　C:\Program Files\Sview
- 計測データ　フォルダー　→　C:\BOTDR\DATA
- センサ情報ファイル　→　length.csv

2.3-1　平面図画像ファイル

平面図画面で使用する画像ファイル(jpg)を用意し、下記フォルダーにコピーしてください。

「計測データフォルダー」　※地区名称「26k700」の場合
→　C:￥BOTDR￥DATA￥26k700

・ 平面図画面



※画像ファイルの注意点

解像度は 1280 ピクセル×580 ピクセル程度にしてください。このサイズを超えた部分は表示されません。

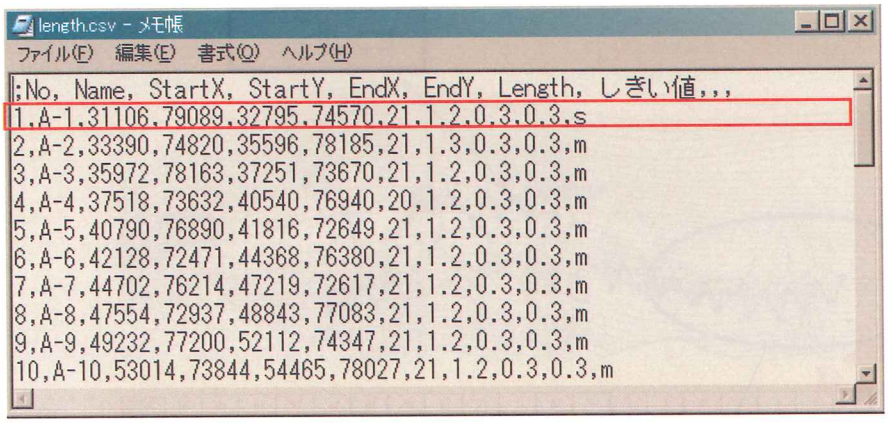
画像ファイル名は　”heimen.jpg”　で保存してください。

2.3-2 センサ情報ファイル

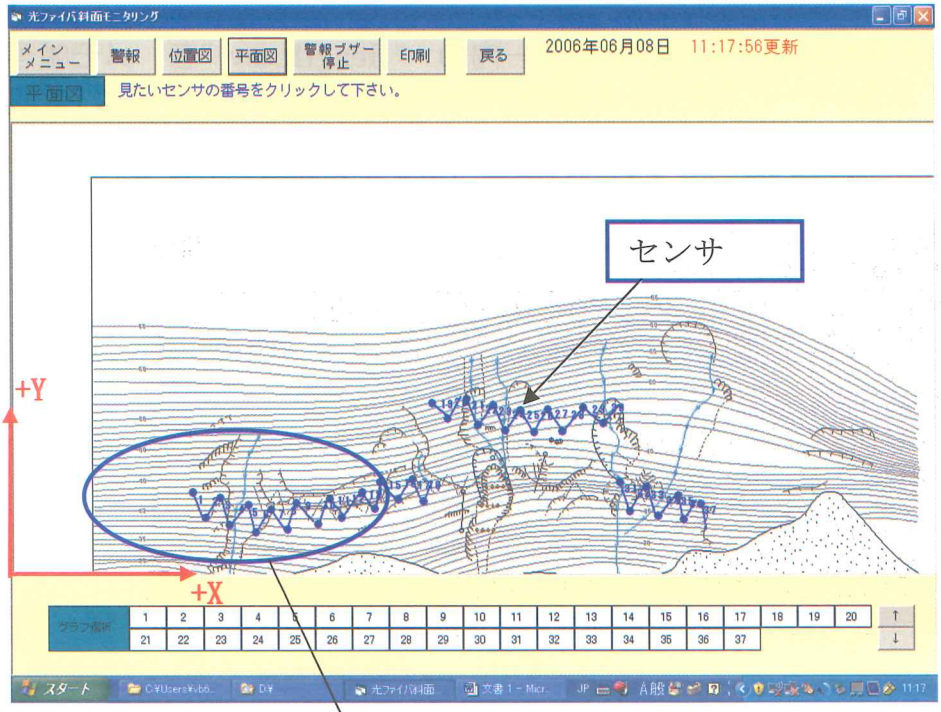
ここでは、「センサ情報」の設定を行います。

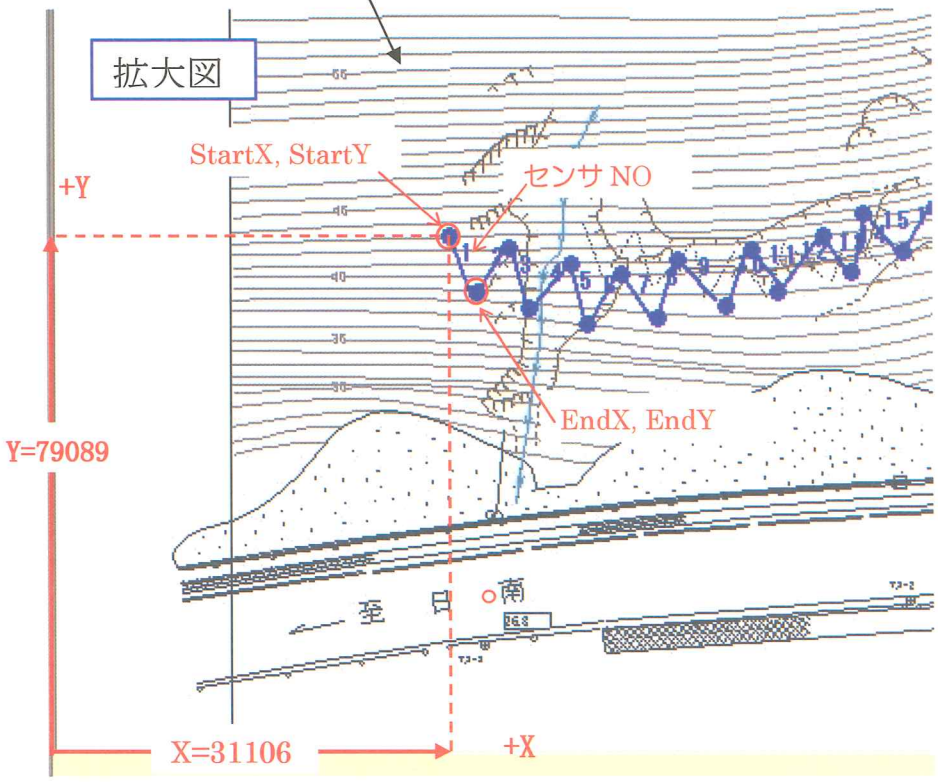
計測地区毎に作成されているフォルダー内の ”length.csv ”を メモ帳等のエディタで開いて下さい。インストール時は下図のようになっております(※地区名称「26k700」の場合)。

ファイルの書式については 3.4 センサ情報ファイルを参照して下さい。



・ 平面図画面

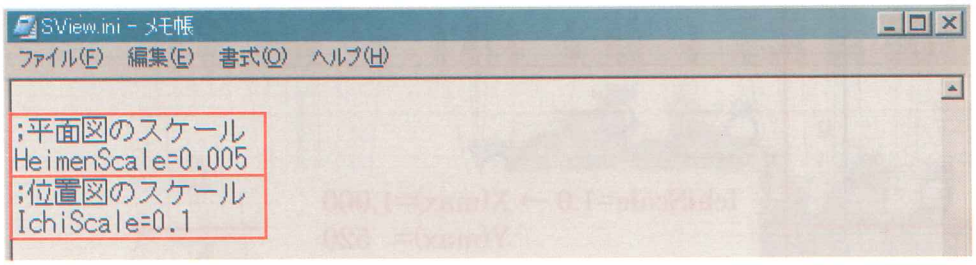

光ファイバ斜面モニタリング
メイン メニュー
警報
位置図
平面図
警報ブザー 停止
印刷
戻る
2006年06月08日 11:17:56更新
平面図
見たいセンサの番号をクリックして下さい。
センサ
+Y
+X
グラフ選択
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37
スタート


拡大図
StartX, StartY
センサ NO
+Y
EndX, EndY
Y=79089
至 日 ○南
X=31106
+X

2.4　X、Y座標の考え方

地図の左下を原点（0，0）として右側がXのプラス方向、上側がYのプラス方向となります。

プログラム フォルダー内にある　”Sview.ini”　メモ帳等のエディタで開いて下さい。インストール時は下図のようになっております。



Ｘ座標およびＹ座標の最大値の算出方法は以下のとおりです。

(位置図スケール)

画面解像度(1280×1040)　の場合

X(max)　=　1000／IchiScale　=　10,000

Y(max)　=　520／IchiScale　=　5,200

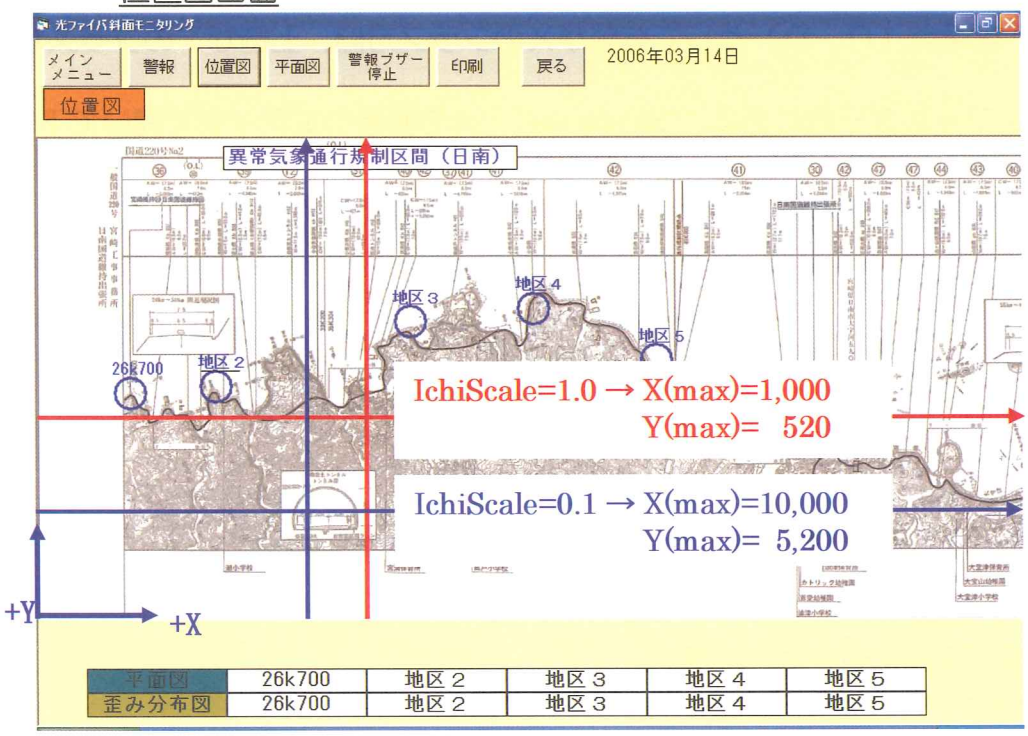
(平面図スケール)

画面解像度(1280×1040)　の場合

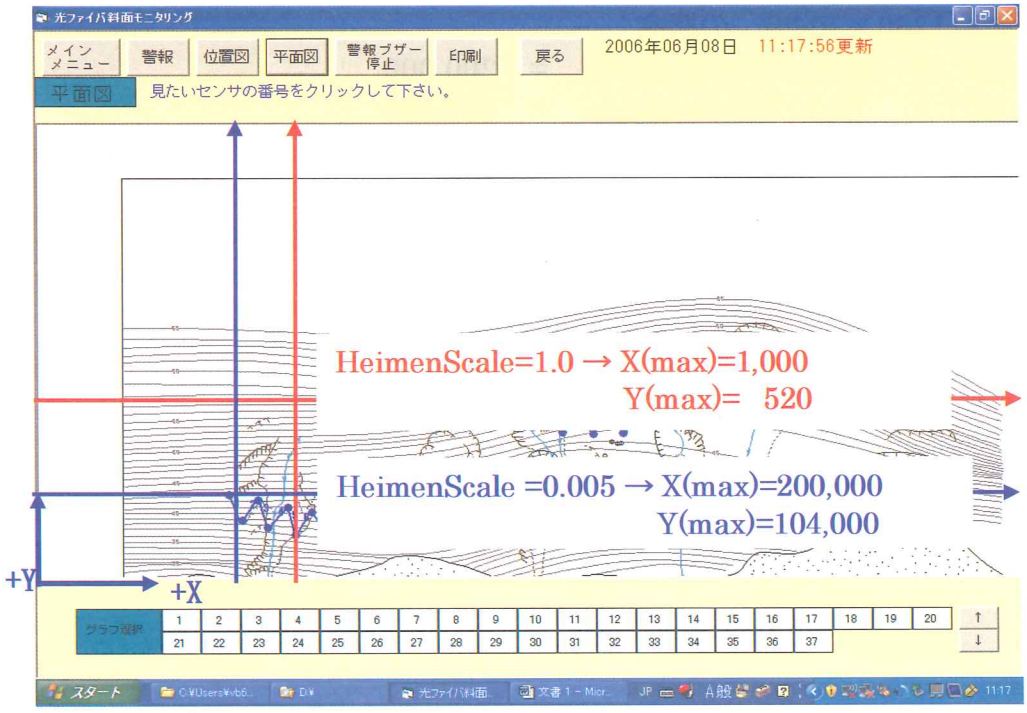
X(max)　=　1000／HeimenScale　=　200,000

Y(max)　=　520／HeimenScale　=　104,000

・ 位置図画面


光ファイバ斜面モニタリング
メイン メニュー
警報
位置図
平面図
警報ブザー 停止
印刷
戻る
2006年03月14日
位置図
異常気象通行規制区間（日南）
地区３
地区４
地区５
26k700
地区２
IchiScale=1.0 → X(max)=1,000
Y(max)= 520
IchiScale=0.1 → X(max)=10,000
Y(max)= 5,200
+Y
+X
平面図 26k700 地区２ 地区３ 地区４ 地区５
歪み分布図 26k700 地区２ 地区３ 地区４ 地区５

・ 平面図画面


光ファイバ斜面モニタリング
メイン メニュー
警報
位置図
平面図
警報ブザー 停止
印刷
戻る
2006年06月08日 11:17:56更新
平面図
見たいセンサの番号をクリックして下さい。
HeimenScale=1.0 → X(max)=1,000
Y(max)= 520
HeimenScale =0.005 → X(max)=200,000
Y(max)=104,000
+Y
+X
グラフ選択
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37
スタート

3　ファイル仕様

3.1 初期ファイル（SView.ini）

初期ファイル内容を以下に示します。

```
[Path]
;設定ファイルのディレクトリ(フルパス)
DataDir=C:¥BOTDR¥DATA

;地区名称ファイル
ChikuFile=c:¥program files¥sview¥chiku.csv

[Input]
;移動軌跡図のレンジ
KisekiRange=0.5

;歪み速度図のレンジ
SpeedRange=0.5

;経時変化図のレンジ
KeijiMax=0.15
KeijiMin=-0.35


;歪み分布図の最大値、最小値
HizumiMax=60
HizumiMin=-200

;経時変化図の最大値、最小値
KeijiMax=0.15
KeijiMin=-0.35


[Color]
;1=黒:2=緑:3=うすい青:4=茶色:5=紫:6=山吹:7=うすい灰色:水色:8=灰色
;9=青:10=黄緑:11=水色:12=赤:13=ピンク:14=黄色:15=白:0=黒
;Form の背景色
FormBackColor=4

;ポイント表示色
; [PStart_Color]=表示開始点
; [PEnd_Before2_Color]=表示終点から2つ前
; [PEnd_Before1_Color]=表示終点から1つ前
; [PEnd_Color]=表示終点
; [POthers_Color]=その他

PStart_Color=5
```

```
PEnd_Before2_Color=2
PEnd_Before1_Color=3
PEnd_Color=4
POthers_Color=1

;センサ(正常時の色)
Color_Normal=9
;センサ(選択時の色)
Color_Select=13
;センサ(異常時の色)
Color_Over=12

;歪み分布図
; [RuisekiEtc_Color]=7ヶ月以前
; [Ruiseki6_Color]=6ヶ月前
; [Ruiseki5_Color]=5ヶ月前
; [Ruiseki4_Color]=4ヶ月前
; [Ruiseki3_Color]=3ヶ月前
; [Ruiseki2_Color]=2ヶ月前
; [Ruiseki1_Color]=1ヶ月前
; [Ruiseki0_Color]=最新
RuisekiEtc_Color=10
Ruiseki6_Color=9
Ruiseki5_Color=8
Ruiseki4_Color=7
Ruiseki3_Color=6
Ruiseki2_Color=5
Ruiseki1_Color=4
Ruiseki0_Color=3

[Time]
;データ読込インターバル(分単位)
DataInputTime=1
;アニメーション時の作画間隔(mm秒)
DrawWaitTime=5

[Mail]
;警報をメールで知らせるか否か
;SendMail=Y であれば知らせる
;SendTo は送り先アドレス、複数指定する場合はカンマで区切る
;    例 xxxx@xxxxxx, xxxx@xxxxxx, xxxx@xxxxx
;SendFrom は送り元アドレス
;※SendTo,SendFrom 共に本パソコンのメールソフトの
;  アドレス帳にあらかじめ登録してください
SendMail=n
SendTo=xxxx@xxxx.co.jp,xxxx@xxxx.co.jp
```

```
SendFrom=xxxx@xxxx.co.jp

[Etc]
;タイトル
Title=異常気象通行規制区間(日南)
SysTitle=国道**号　光ファイバ斜面監視システム Ver1.00

;平面図のスケール
HeimenScale=0.005
;位置図のスケール
IchiScale=0.1

;規制区間
StartX=0
EndX=500

[Debug]
;デバッグ情報をファイルへ出力する(通常は OFF)
Debug=OFF
```

3.2　地区名称ファイル(chiku.csv)

```
;地区名称 , X 座標(m), Y 座標(m), センサ数,  異常時メッセージ
26k700    ,      600,     3150,      37,  26k700 で異常が発生しました現場を確認してください
地区2     ,     1300,     3200,      37,  地区2で異常が発生しました現場を確認してください
地区3     ,     2900,     3700,      37,  地区3で異常が発生しました現場を確認してください
地区4     ,     3900,     3800,      37,  地区4で異常が発生しました現場を確認してください
地区5     ,     4900,     3400,      37,  地区5で異常が発生しました現場を確認してください
  ①              ②         ③         ④        ⑤
```

①地区名称
②地区Ｘ座標(m)
③地区Ｙ座標(m)
④センサ数
⑤異常時メッセージ

3.3　計測ファイル

3.3-1　データフォルダー

データは、以下のフォルダーに保存する。
保存先　C:\BOTDR\DATA\地区名
　例）○▽K△　地区の場合
　　保存先　C:\BOTDR\DATA\○▽K△

3.3-2　ファイル名

1ヶ月分のデータを1つのファイル(******.csv)とする。
月が変わると新しいファイルを作成される。
　例）2006年1月の計測データファイル名
　　200601%__地区名．ｃｓｖ　・・・　歪み量（%）のデータ

3.3-3　データフォーマット

ファイル保存時のデータフォーマットを以下に示します。
計測ソフトウェア部により歪み（%）のデータが作成される。

```
；date      ,   time    , A-1 , A-2, ・・・, B-29,B-30
2006/01/01, 00:00:00,     0,    0, ・・・,    0,    0
2006/01/01, 01:00:00,     0,    0, ・・・,    0,    0
2006/01/01, 02:00:00,     0,    0, ・・・,    0,    0
2006/01/01, 03:00:00, 0.01, 0.02, ・・・, 0.05, 0.2
        ・
        ・
2006/01/01, 20:00:00, 0.01, 0.15, ・・・, 0.04, 0.1
2006/01/01, 21:00:00, 0.01, 0.02, ・・・, 0.05, 0.2
2006/01/01, 22:00:00, 0.01, 0.02, ・・・, 0.05, 0.2
2006/01/01, 23:00:00, 0.01, 0.02, ・・・, 0.05, 0.2
    ①          ②                ③
```

①日付；計測開始日
②時刻；計測開始時刻
③計測データ；各センサのデータ（%）

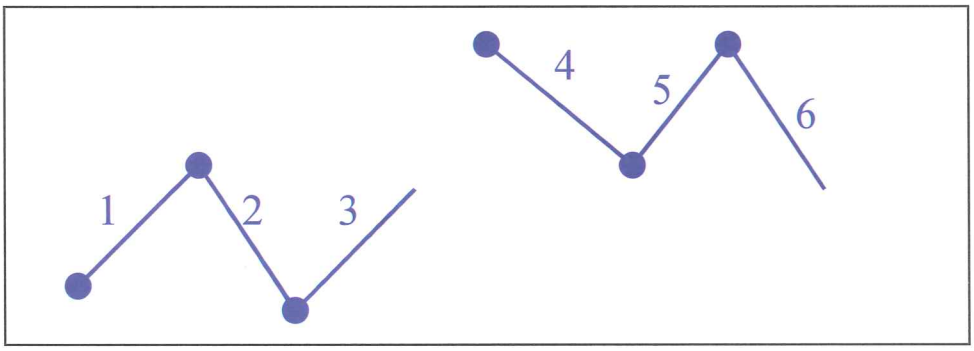
3.4　センサ情報ファイル(length.csv)

各センサの距離情報を入力する。本ファイルは、計測 ファイルを保存しているフォルダーに保存する。

```
; No,  Name,  StartX,  StartY,   EndX,   EndY, Length,Threshold,First,Second,Position
1,A-1, 31106.00, 79089.00, 32795.00, 74570.00, 21.00, 1.20, 0.30, 0.30,s
2,A-2, 33390.00, 74820.00, 35596.00, 78185.00, 21.00, 1.30, 0.30, 0.30,m
          .
          .
36,A-36, 116786.00, 74565.00, 118804.00, 77778.00, 19.00, 1.36, 0.30, 0.30,m
37,A-37, 119766.00, 77125.00, 120558.00, 72961.00, 21.00, 1.37, 0.30, 0.30,e
 ①  ②      ③          ④          ⑤          ⑥       ⑦   ⑧   ⑨   ⑩⑪
```

①連番
②センサ名称
③始点Ｘ座標(mm)
④始点Ｙ座標(mm)
⑤終点Ｘ座標(mm)
⑥終点Ｙ座標(mm)
⑦区間長（m）
⑧各センサの警報しきい値（%）
⑨歪み速度図一次しきい値（%）
⑩歪み速度図二次しきい値（%）
⑪ｾﾝｻ位置情報（ｓ：始点、ｍ：中間点、ｅ：終点）

1 と 4 は始点で s、2 と 5 は中間点で m、3 と 6 は終点で e となります。終点の場合、移動軌跡図及び歪み速度図を見ることはできません。



光ファイバ斜面モニタリング表示ソフト

取扱説明書（操作編）

独立行政法人土木研究所

長菱制御システム(株)

目　次

頁

１．初期画面（メイン画面）とボタン毎の機能　．．．．　1-1
２．警報一覧画面　．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．　2-1
　２．１　未確認データを確認済にする　．．．．．．．　2-3
　２．２　データの表示．．．．．．．．．．．．．．．．　2-4
３．しきい値変更履歴一覧画面．．．．．．．．．．．．．　3-1
４．メンテナンス画面．．．．．．．．．．．．．．．．．．　4-1
　４．１　データの表示．．．．．．．．．．．．．．．．　4-3
　４．２　地区名称の選択．．．．．．．．．．．．．．．　4-4
　４．３　センサデータの更新．．．．．．．．．．．．．　4-4
　４．４　データ読込間隔の更新．．．．．．．．．．．．　4-5
　４．５　移動軌跡図・歪み速度図・歪み分布図の
　　レンジ設定．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．　4-5
５．位置図．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．　5-1
　５．１　平面図へ移行する．．．．．．．．．．．．．．　5-2
　５．２　歪み分布図（累積図）へ移行する．．．．．．　5-3
　５．３　歪み分布図（６ケ月図）へ移行する．．．．．　5-4
　５．４　警報が発生した場合．．．．．．．．．．．．．　5-5
６．平面図．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．　6-1
　６．１　移動軌跡図（７２時間）．．．．．．．．．．　6-3
　６．２　移動軌跡図（過去）．．．．．．．．．．．．．　6-4
　６．３　歪み速度図（７２時間）．．．．．．．．．．　6-5
　６．４　歪み速度図（過去）．．．．．．．．．．．．．　6-6
　６．５　歪み分布図（過去）．．．．．．．．．．．．．　6-7
　６．６　経時変化図（過去）．．．．．．．．．．．．．　6-8
　６．７　移動軌跡図（過去）、歪み速度図（過去）
　　の複数同時表示する．．．．．．．．．．．．．．．　6-9
　６．８　作画シミュレーション．．．．．．．．．．．　6-10
７．個別グラフの表示設定．．．．．．．．．．．．．．．　7-1
　７．１　移動軌跡図の個別表示の設定．．．．．．．．　7-2
　７．２　歪み速度図の個別表示の設定．．．．．．．．　7-3
８．印刷．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．．　8-1

頁

９．印刷. 9-1
１０．エラーコード. 10-1

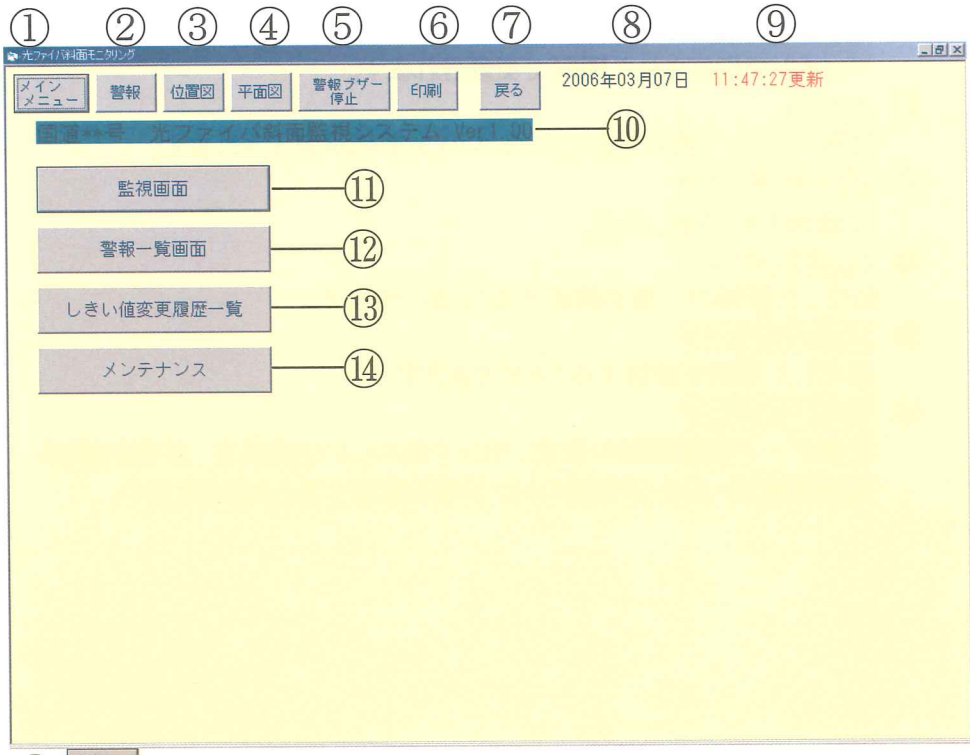
はじめに

本書では運用中の基本操作要領についてのみ説明しています、その他については以下の取扱説明書を必要に応じてご覧ください。

インストール機能：取扱説明書（設定編）
地区名称等基本データの定義及び設定：取扱説明書（設定編）

1. 初期画面（メイン画面）とボタン毎の機能

メインメニューを表示し各種データー覧やメンテナンス画面へ移行することができます。



① メイン メニュー

上記画面を表示します。

② 警報

現在までに発生した警報の一覧を表示します。

③ 位置図

地区の位置を示す図を表示します。

④ 平面図

地区毎にセンサ位置を示す図を表示します。
平面図から移動軌跡図・歪み速度図・経時変化図をセンサ毎に呼出すことができます、また歪み分布図を呼出すことができます。

⑤ 警報ブザー 停止

警報ﾌﾞｻﾞｰが鳴って警報箇所が赤色で点滅していれば警報ﾌﾞｻﾞｰと赤色点滅を停止します。

⑥ 印刷

画面イメージを印刷します。

⑦ 戻る

前画面に戻ります。

⑧ 日付

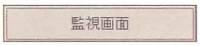
現在の日付を表示します。

⑨ 最新更新時間

最後に計測データを確認した時刻を示します。計測データが無くても初期ファイルで指定された間隔で更新されます。

⑩ タイトル

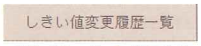
初期ファイルで指定されたタイトルの文字列が表示されます。

⑪ 

位置図を呼び出します。

⑫ 

発生した警報の一覧を確認することができます。

⑬ 

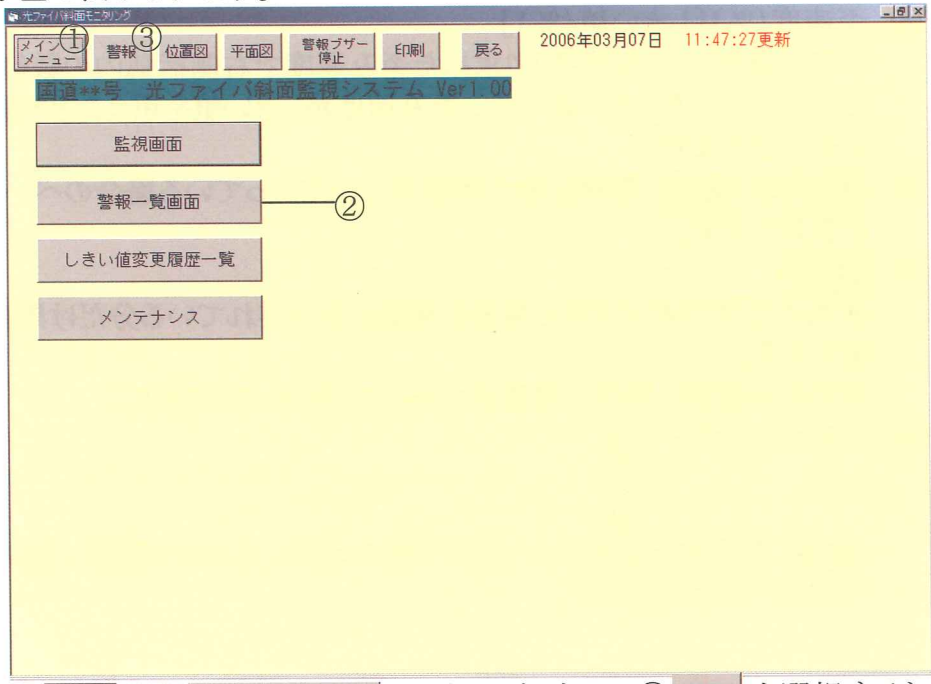
変更した履歴を確認することができます。

⑭ 

計測データ確認間隔の設定、センサ毎のしいき値設定、移動軌跡図・歪み速度図・歪み分布図のレンジ等を設定することができます。

2. 警報一覧画面

1頁に最大 20 個の警報記録が表示され、新に発生した警報は赤色で表示されます。



①メイン メニュー、②警報一覧画面の順に選択するか③警報を選択すると警報一覧画面が表示されます



日付	時刻	地区	センサ名称	歪速度(%)[しきい値(%)]
2006/02/17	20:30:00	26k700	A-20	1.014[0.5]
2006/02/17	20:30:00	26k700	A-19	1.006[0.5]
2006/02/17	16:30:00	26k700	A-19	1.006[0.5]
2006/02/17	16:30:00	26k700	A-20	1.018[0.5]
2006/02/17	12:30:00	26k700	A-19	1.023[0.5]
2006/02/17	12:30:00	26k700	A-20	1.036[0.5]
2006/02/17	08:30:00	26k700	A-19	1.004[0.5]
2006/02/17	08:30:00	26k700	A-20	1.010[0.5]
2006/02/17	04:30:00	26k700	A-20	1.006[0.5]
2006/02/17	04:30:00	26k700	A-19	1.011[0.5]
2006/02/17	00:30:00	26k700	A-19	1.009[0.5]
2006/02/17	00:30:00	26k700	A-20	1.006[0.5]
2006/02/16	20:30:00	26k700	A-19	1.007[0.5]
2006/02/16	20:30:00	26k700	A-20	1.005[0.5]
2006/02/16	16:18:45	26k700	A-20	1.042[0.5]
2006/02/16	16:18:45	26k700	A-19	1.069[0.5]
2006/02/16	16:03:35	26k700	A-1	1.085[0.5]
2006/02/16	16:03:35	26k700	A-2	1.053[0.5]
2006/02/16	16:02:30	26k700	A-2	1.001[0.5]
2006/02/16	16:02:30	26k700	A-1	1.000[0.5]

＜説明＞

④～⑦ 警報が発生した日時、地区、センサ名称です

⑧ 歪速度(%)[しきい値(%)]
左側の数値は計測結果より求めた歪み速度で右側括弧内の数値は予め設定されていたしきい値です。歪み速度がしきい値を超えたとき警報一覧に表示されます。

⑨ 前 頁 ⑩ 次 頁 警報記録が複数頁にまたがっている場合のページ操作に使用します。

⑪ 確 認
赤色の文字で表示された警報を画面に表示されている分だけ黒色に変えます。
赤色は未確認、黒色は確認済であることを示しています。

⑩ スクロールバー 

 矢印またはスクロールバー内の ボタンによって警報一覧のスクロールができます。

2．1　未確認データを確認済にする

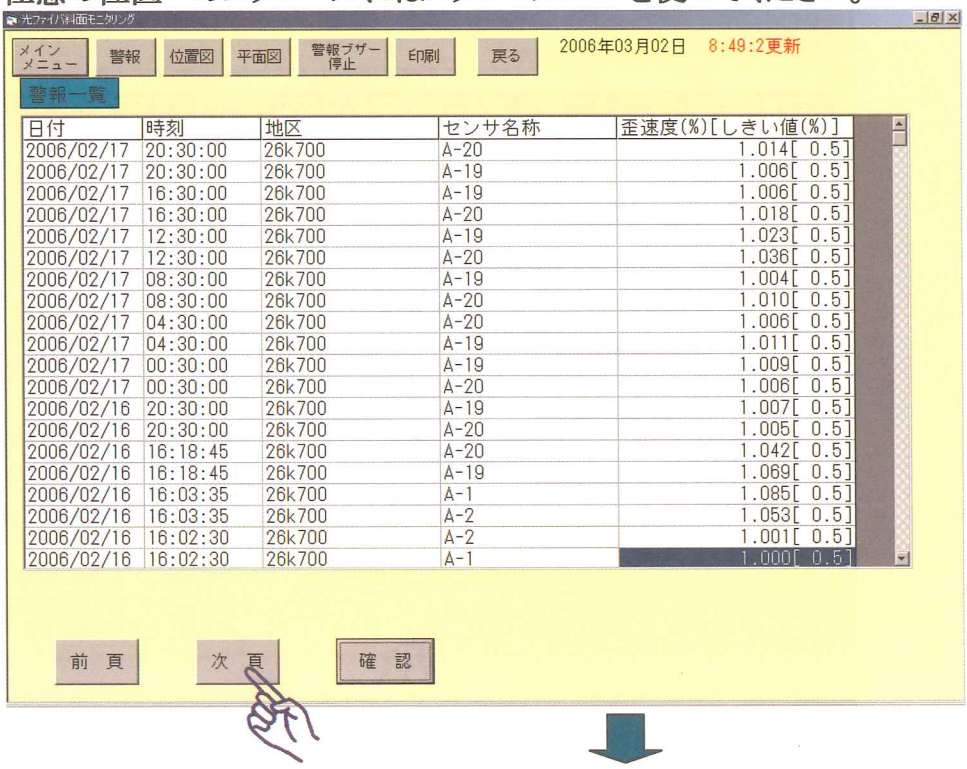
確　認　を押して確認します





2. 2 データの表示

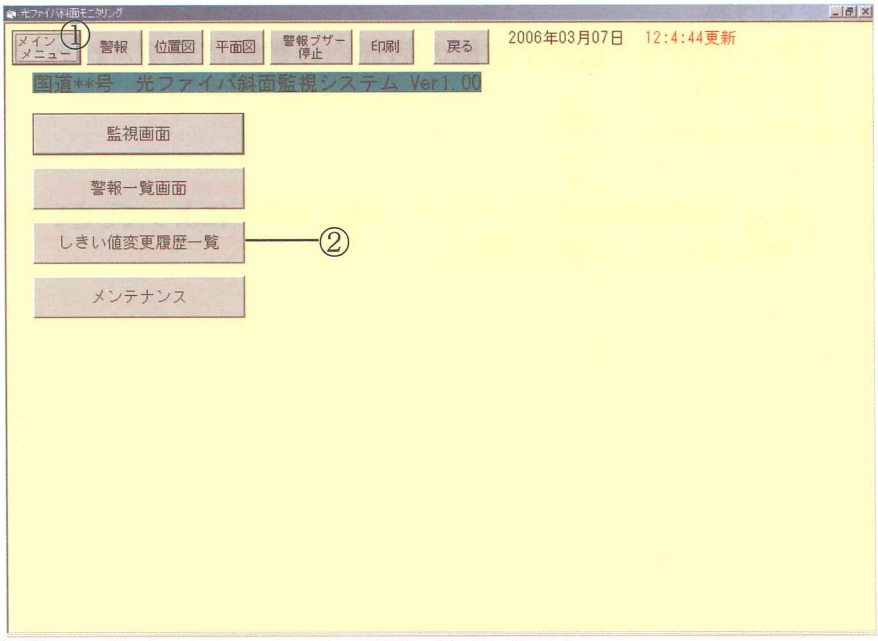
次 頁 ボタンを押して次の頁のデータを表示します。
前頁のデータを表示するには 前 頁 ボタンを押してください。
任意の位置へのスクロールにはスクロールバーを使ってください。





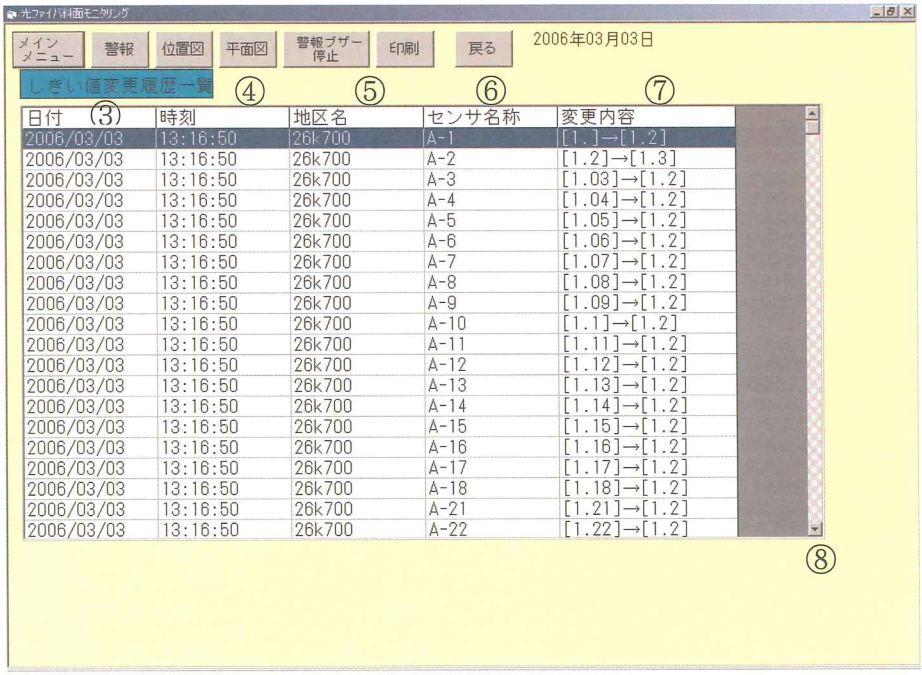
3. しきい値変更履歴一覧画面

しきい値を変更した履歴を見ることができます。



① メイン メニュー 、② しきい値変更履歴一覧 の順に選択すると

しきい値変更履歴一覧画面が表示されます



日付	時刻	地区名	センサ名称	変更内容
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-1	[1.]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-2	[1.2]→[1.3]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-3	[1.03]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-4	[1.04]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-5	[1.05]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-6	[1.06]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-7	[1.07]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-8	[1.08]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-9	[1.09]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-10	[1.1]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-11	[1.11]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-12	[1.12]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-13	[1.13]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-14	[1.14]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-15	[1.15]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-16	[1.16]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-17	[1.17]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-18	[1.18]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-21	[1.21]→[1.2]
2006/03/03	13:16:50	26k700	A-22	[1.22]→[1.2]

＜説明＞

③～⑥ しきい値を変更した日時、地区、センサ名称です

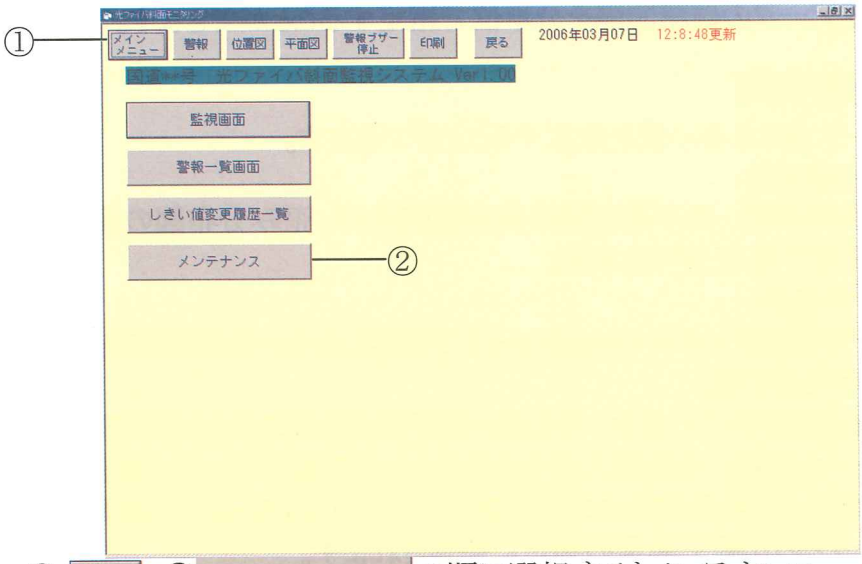
⑦ 変更内容
左側の括弧内の数値が右側の括弧内の数値に変更されたことを表しています。

⑧ スクロールバー 

 矢印またはスクロールバー内の ボタンによってしきい値変更履歴一覧のスクロールができます。

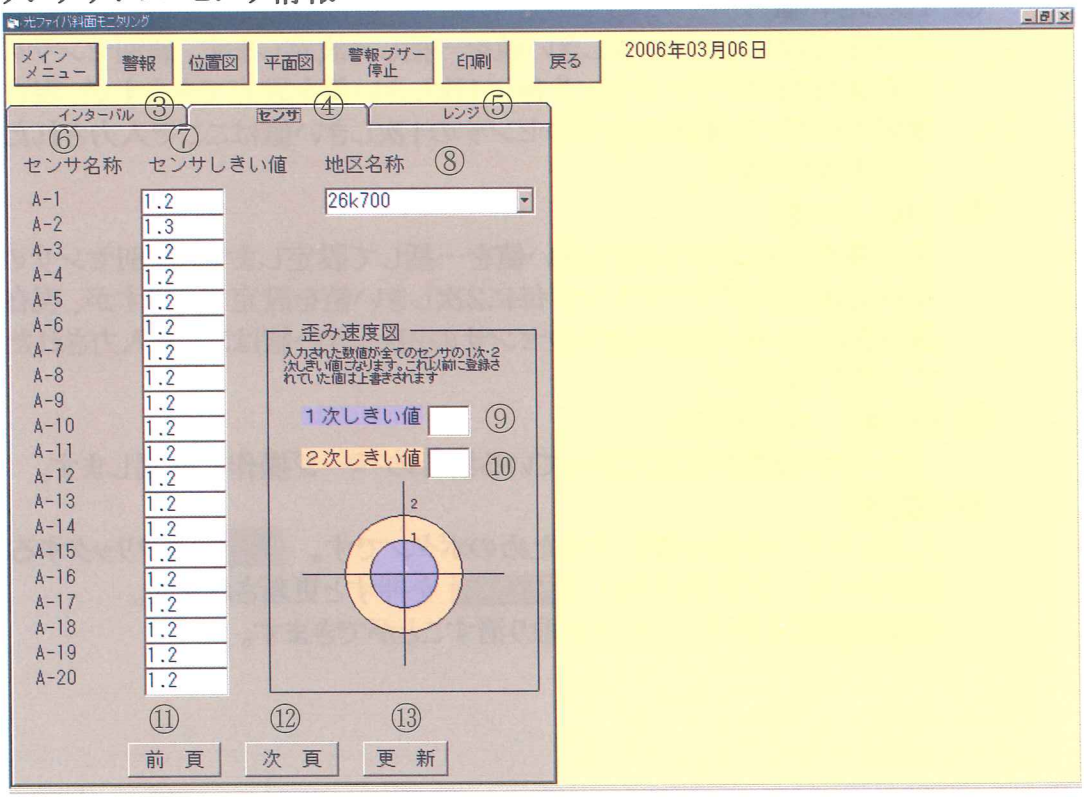
4. メンテナンス画面

グラフのレンジやセンサのしきい値を設定するための画面です。

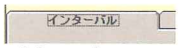


① メイン メニュー 、② メンテナンス の順に選択するとメンテナンス画面が表示されます

メンテナンス・センサ情報



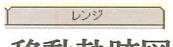
＜説明＞

③ 

計測データの確認間隔を分単位で指定することができます。

④ 

センサ毎のしきい値を設定することができます。

⑤ 

移動軌跡図、歪み速度図の表示範囲及び、歪み分布図の最大値・最小値を設定することができます。

⑥ センサ名称
センサ情報ファイル（ length.csv ）で定義したセンサ名称が表示されます

⑦ センサしきい値
現在設定されているセンサしきい値が表示されます。しきい値の表示枠にカーソルを置いて数値入力することでセンサ個々にしきい値を設定できます。ここで入力された値はセンサ情報ファイル（ length.csv ）に保管され、計測データとの比較で異常の判定に使用されます。

⑧ 

地区名称ファイル（ chiku.csv ）で定義した地区名称が表示されます。ここで地区を選択するとその地区のセンサ名称・センサしきい値を表示します。

⑨ 1次しきい値
歪み速度図における1次しきい値を一括して設定します。個別センサの歪み速度図のグラフでセンサ毎に1次しきい値を設定できますが、現在選択されている地区の全てのセンサの1次しきい値はここで入力された値で上書きされます。

⑩ 2次しきい値
歪み速度図における2次しきい値を一括して設定します。個別センサの歪み速度図のグラフでセンサ毎に2次しきい値を設定できますが、現在選択されている地区の全てのセンサの2次しきい値はここで入力された値で上書きされます。

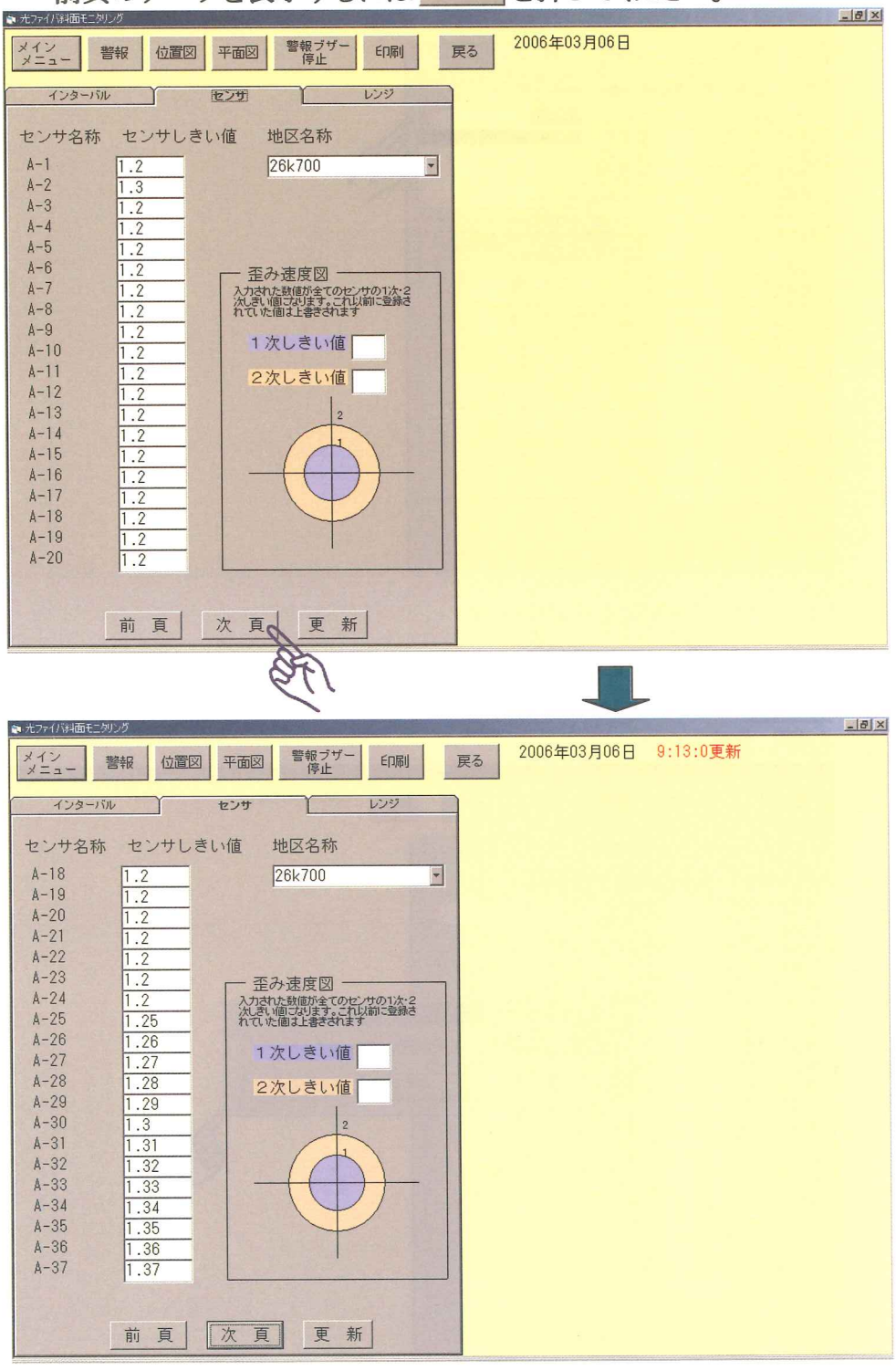
⑪ 前 頁 、⑫ 次 頁
センサが複数頁にまたがっている場合のページ操作に使用します。

⑬ 更 新
入力したデータを有効にするためのボタンです。 更 新 をクリックすると確認メッセージが表示され OK を押すと更新されます。
キャンセル を押すと、入力を取り消すことができます。

4. 1 データの表示

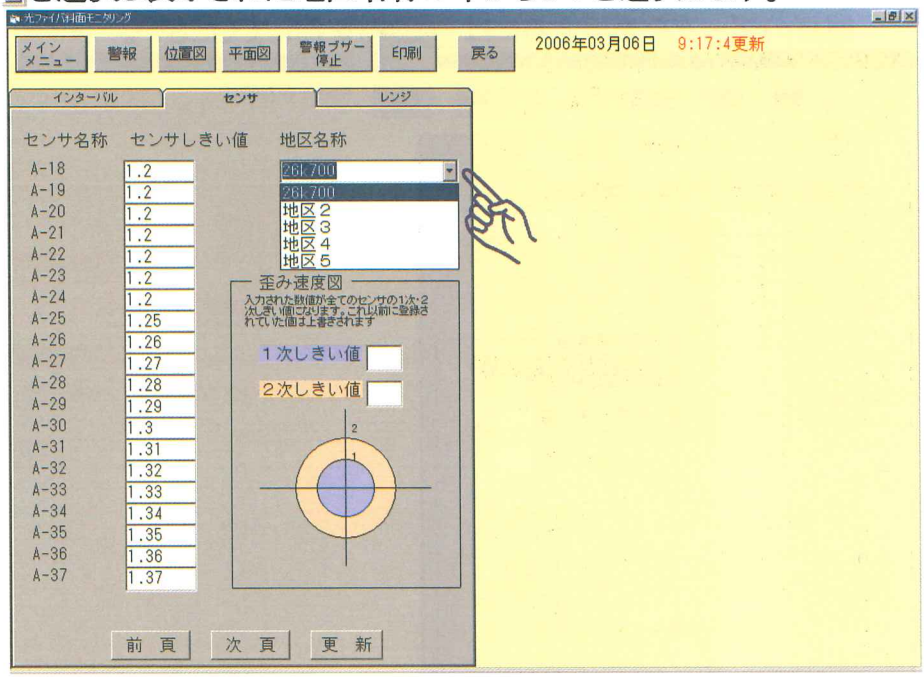
次 頁 を押して次のデータを表示します。

前頁のデータを表示するには 前 頁 を押してください。



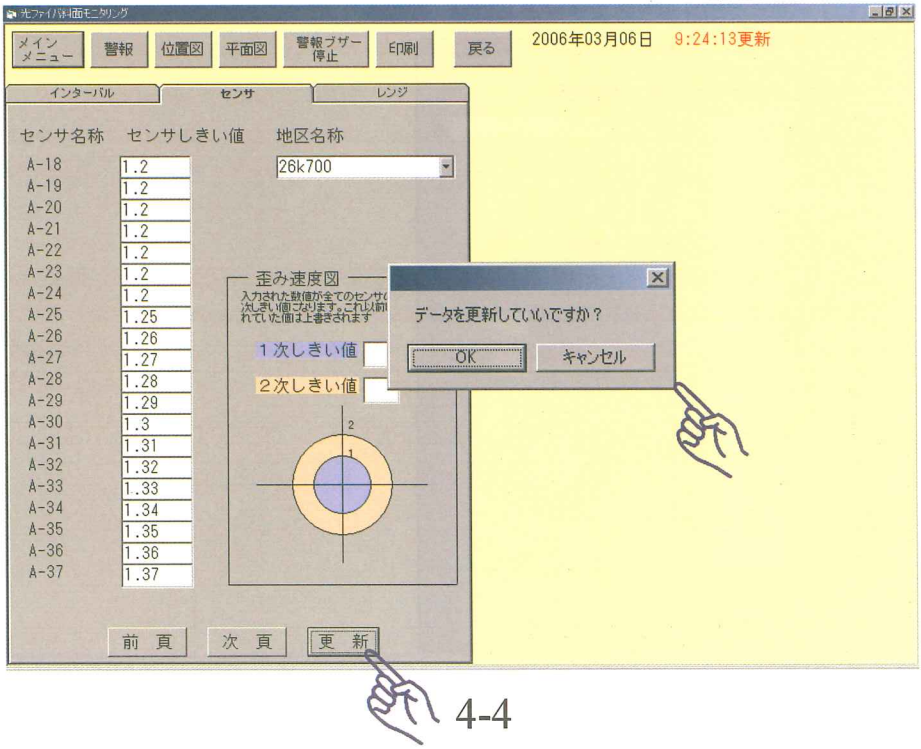
4. 2 地区名称の選択

を選択し表示された地区名称の中から1つを選択します。



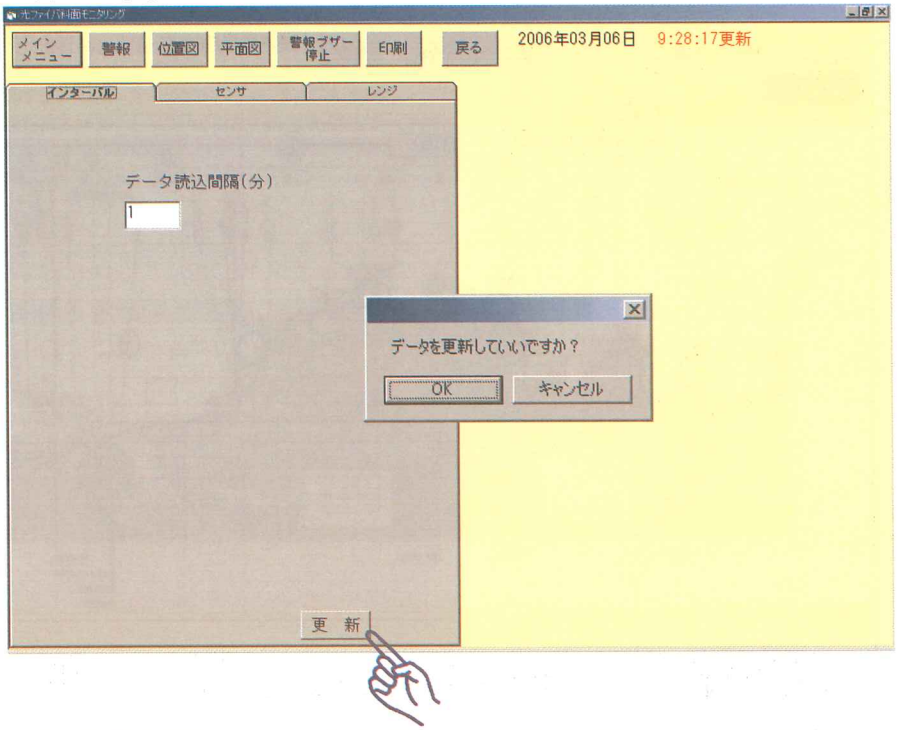
4. 3 センサデータの更新

更 新 を押すとメッセージが表示されるので OK 又は キャンセル を押します。



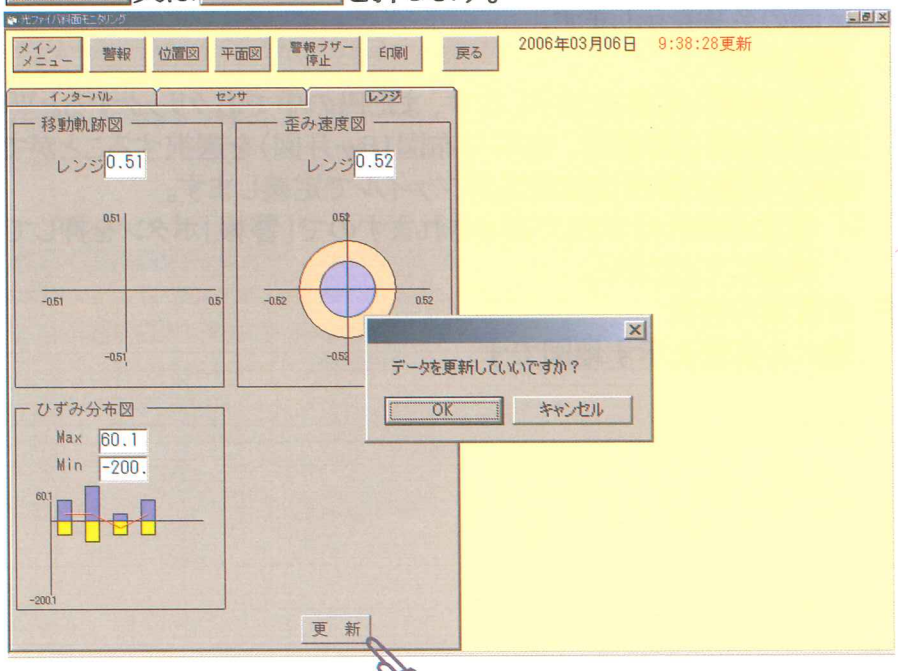
4. 4 データ読込間隔の更新

更　新 を押すとメッセージが表示されるので OK 又は キャンセル を押します。



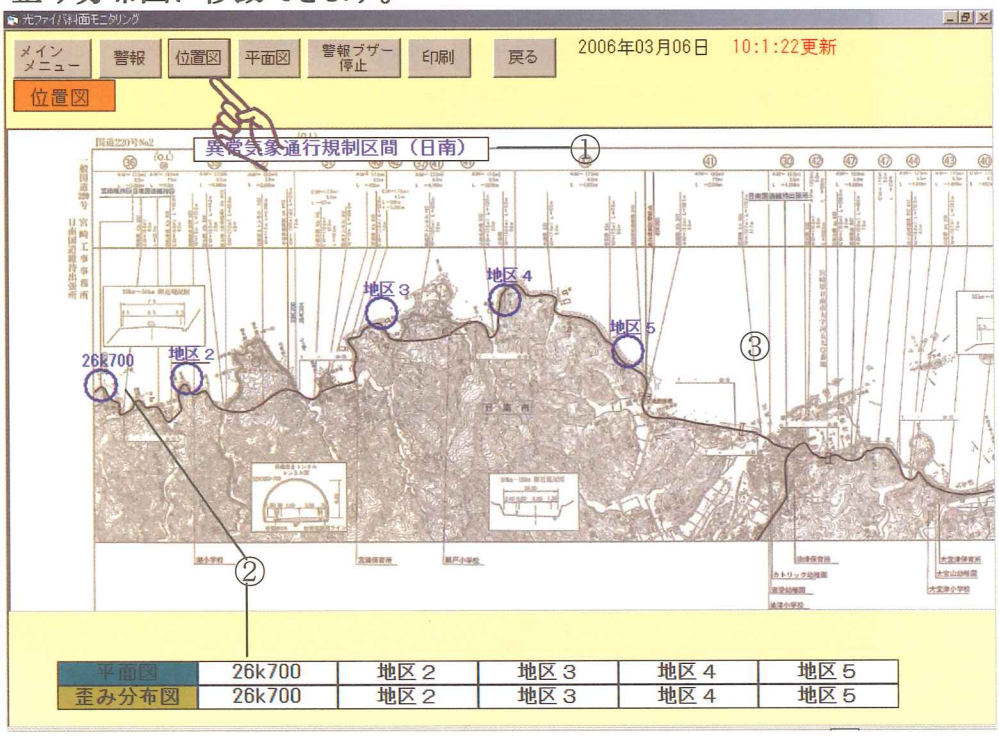
4. 5 移動軌跡図・歪み速度図・歪み分布図のレンジ設定

レンジの値を入力して 更　新 を押すとメッセージが表示されるので OK 又は キャンセル を押します。



5. 位置図

地図上で地区の位置を示す画面です。位置図から各地区の平面図と歪み分布図に移動できます。



＜説明＞

① タイトル

区間の名称を示します。

② 地区名称

地区の場所と名称を表示します、また円の中で右クリックすると平面図、歪み分布図（累積図）、歪み分布図（6ヶ月図）を選択することができます。

地区の名称と場所は地区名称ファイルで定義します。

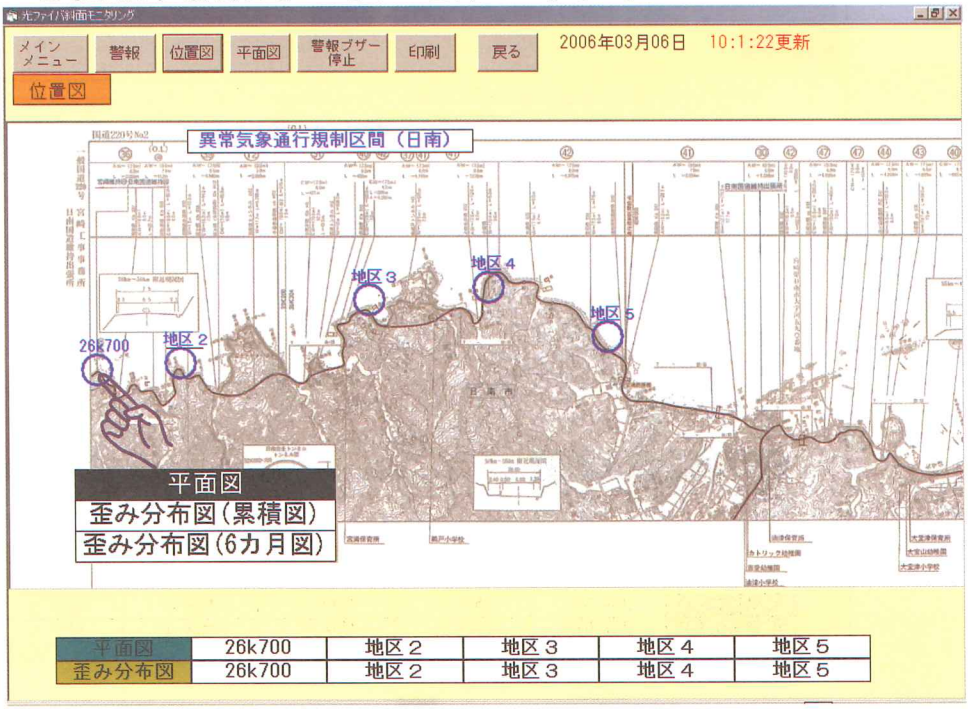
※ 異常があれば赤色で表示されますので[警報]ボタンを押して内容を確認してください。

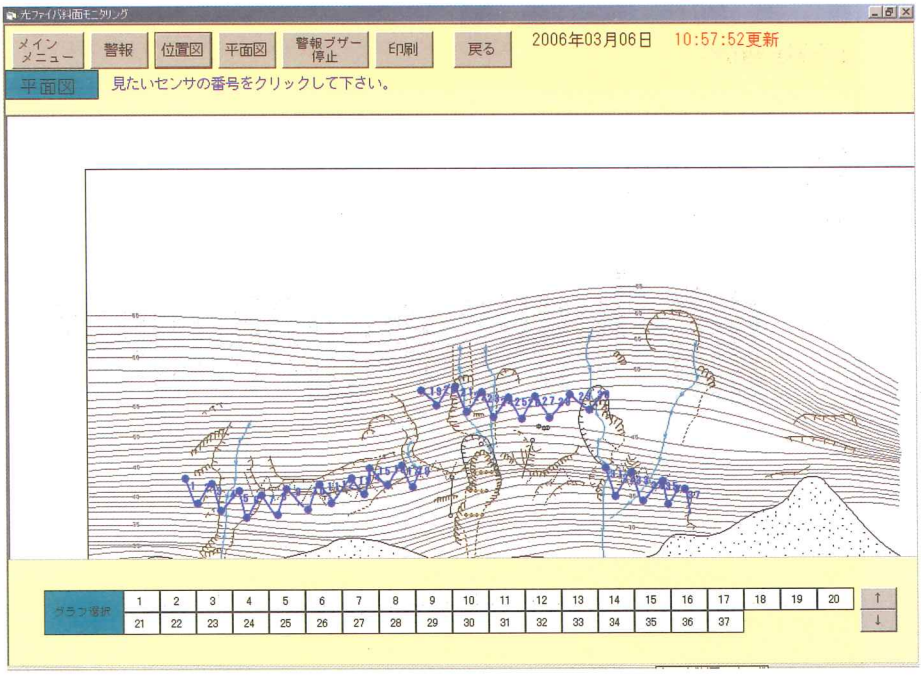
③ 位置図の画像

地区の位置を示す地図です。

5．1　平面図へ移行する

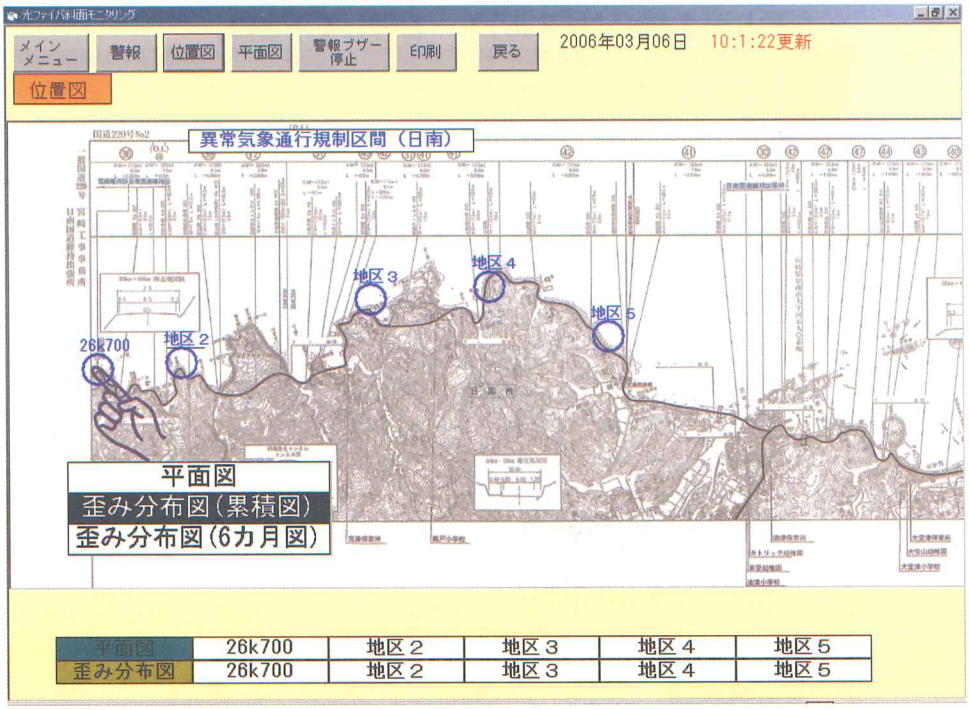
目的の地区の円の中で右クリックするとポップアップメニューが表示されますので平面図を選択すると選択された地区の平面図へ移行します。メニューを取り消す場合は[Esc]キーを押して下さい。





5．2　歪み分布図（累積図）へ移行する

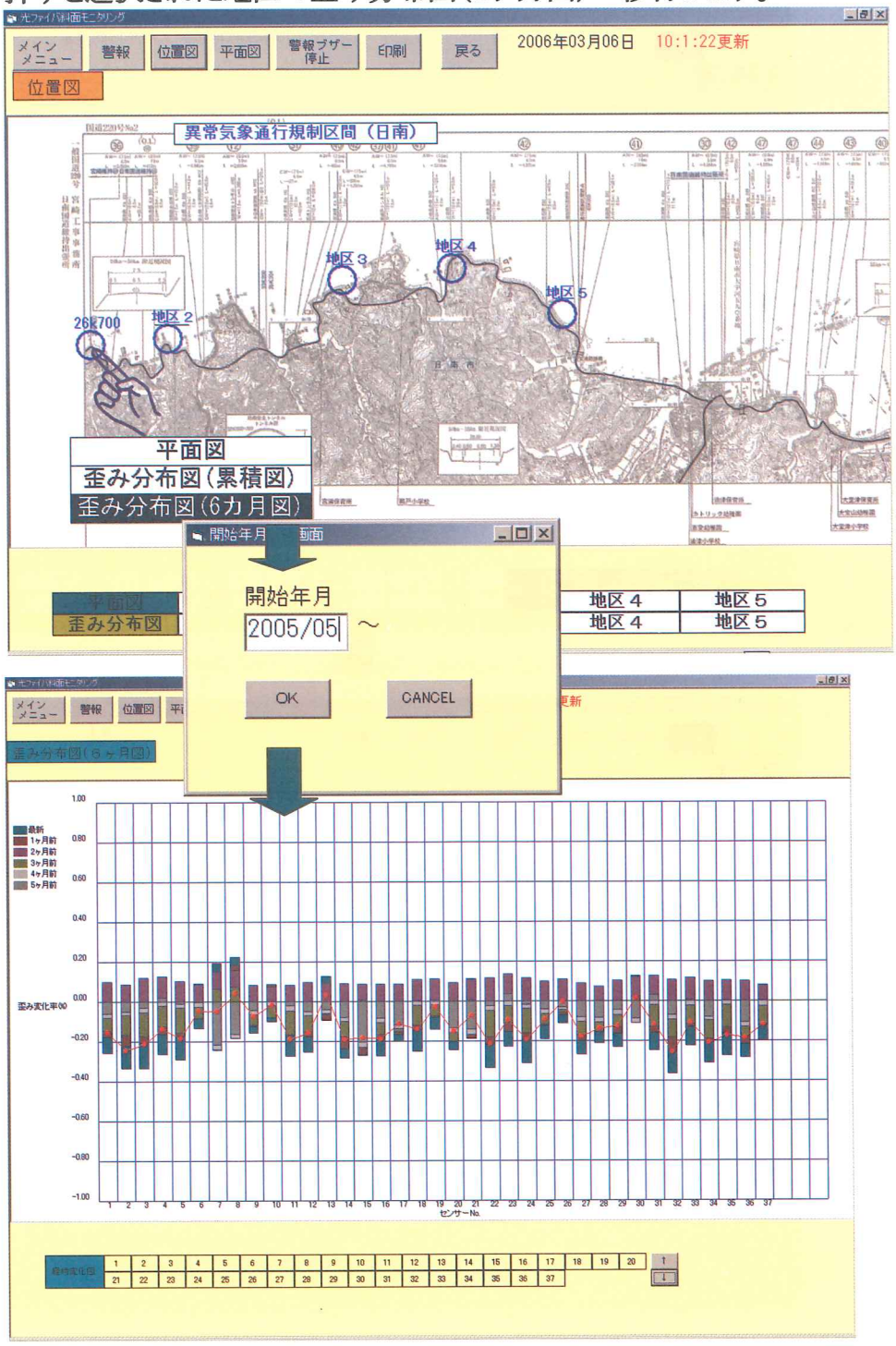
目的の地区の円の中で右クリックし歪み分布図（累積図）を選択すると選択された地区の歪み分布図（累積図）へ移行します。





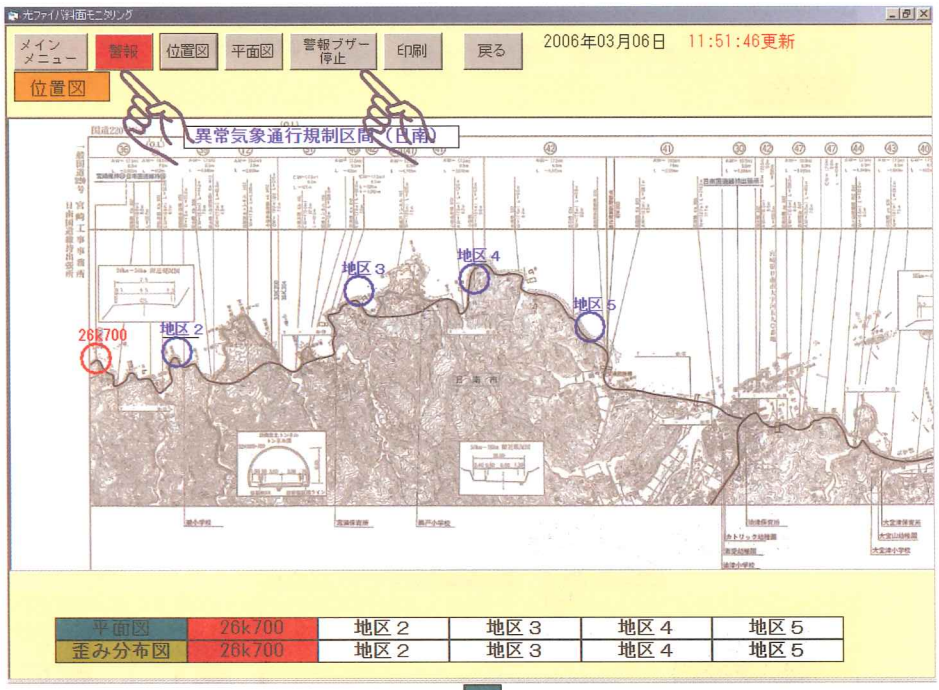
5．3　歪み分布図（6ケ月図）へ移行する

目的の地区の円の中で右クリックし歪み分布図（6ケ月図）を選択すると開始年月を指定する画面が表示されますので年月を入力して [OK] を押すと選択された地区の歪み分布図（6ケ月図）へ移行します。



5. 4 警報が発生した場合

警報ﾌﾞｻﾞｰが鳴っているとき 警報ブザー停止 ボタンを押すとﾌﾞｻﾞｰが停止します。
警報 ボタンを押すと警報一覧画面へ移行します。

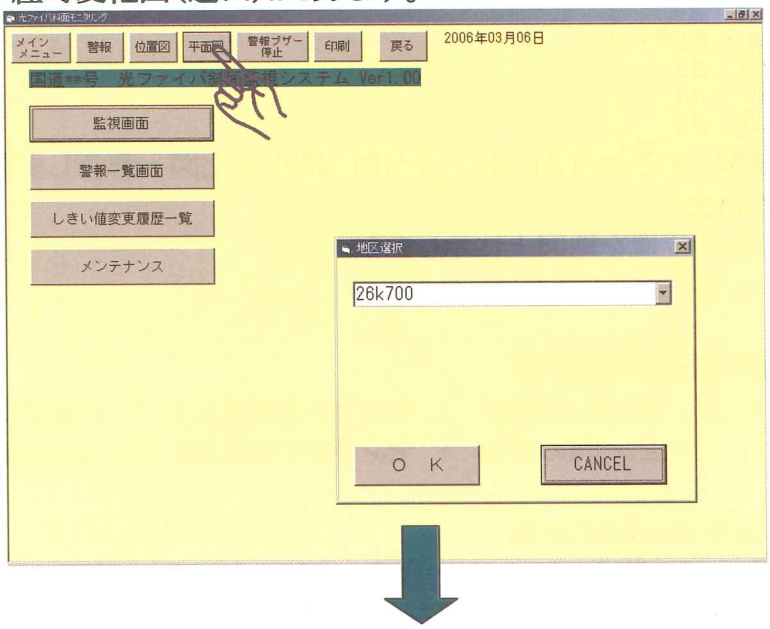


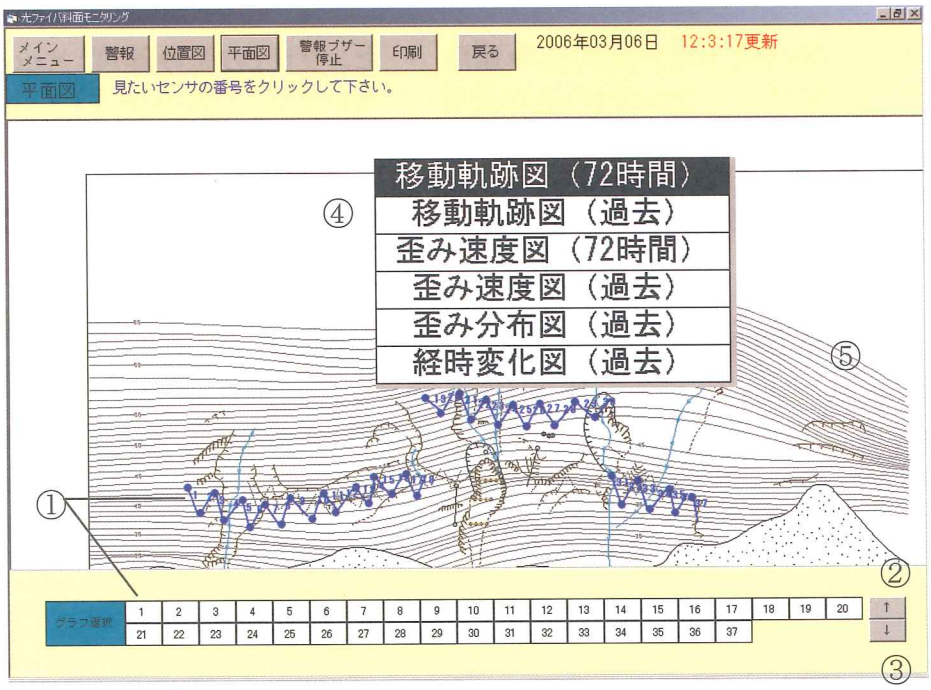


日付	時刻	地区	センサ名称	歪速度(%)[しきい値(%)]
2006/03/06	10:30:00	26k700	A-20	1.014[0.5]
2006/03/06	10:30:00	26k700	A-19	1.006[0.5]
2006/02/17	16:30:00	26k700	A-20	1.018[0.5]
2006/02/17	16:30:00	26k700	A-19	1.006[0.5]
2006/02/17	12:30:00	26k700	A-20	1.036[0.5]
2006/02/17	12:30:00	26k700	A-19	1.023[0.5]
2006/02/17	08:30:00	26k700	A-20	1.010[0.5]
2006/02/17	08:30:00	26k700	A-19	1.004[0.5]
2006/02/17	04:30:00	26k700	A-20	1.006[0.5]
2006/02/17	04:30:00	26k700	A-19	1.011[0.5]
2006/02/17	00:30:00	26k700	A-20	1.006[0.5]
2006/02/17	00:30:00	26k700	A-19	1.009[0.5]
2006/02/16	20:30:00	26k700	A-20	1.005[0.5]
2006/02/16	20:30:00	26k700	A-19	1.007[0.5]
2006/02/16	16:18:45	26k700	A-20	1.042[0.5]
2006/02/16	16:18:45	26k700	A-19	1.069[0.5]
2006/02/16	16:03:35	26k700	A-2	1.053[0.5]
2006/02/16	16:03:35	26k700	A-1	1.085[0.5]
2006/02/16	16:02:30	26k700	A-1	1.000[0.5]
2006/02/16	16:02:30	26k700	A-2	1.001[0.5]

6. 平面図

平面図は5章で述べた位置図からの呼び出しの他、画面上部の 平面図 ボタンを押して地区を選択することでも表示されます。平面図は地区内のセンサの位置を地図で示します。また平面図から各センサの個別グラフを呼び出すことができます。個別グラフには移動軌跡図（72時間）、移動軌跡図（過去）、歪み速度図（72時間）、歪み速度図（過去）、歪み分布図（過去）経時変化図（過去）があります。





＜説明＞

① センサ番号
各位置のセンサ番号を表示します。

② ↑ ③ ↓ センサが複数頁にまたがっている場合のページ操作に使用します。

④ ポップアップメニュー



移動軌跡図、歪み速度図、歪み分布図、経時変化図へ移行します

⑤ 平面図の画像
地区のセンサ位置を地図上に示します。

その他

1. 移動軌跡図の座標計算

X=(−1 × センサiの歪み + センサi+1の歪み) × cos(60°)
Y=(センサiの歪み + センサi+1の歪み) × sin (60°)

2. 歪み速度図の座標計算

センサの歪み速度=(センサiの現在の歪み−センサiの前回の歪み)×
{ 1 ÷ (センサiの現在の時刻 − センサiの前回の時刻) }

X=(−1×センサiの歪み速度 + センサi+1の歪み速度)×cos(60°)
Y=(センサiの歪み速度 + センサi+1の歪み速度)×sin(60°)

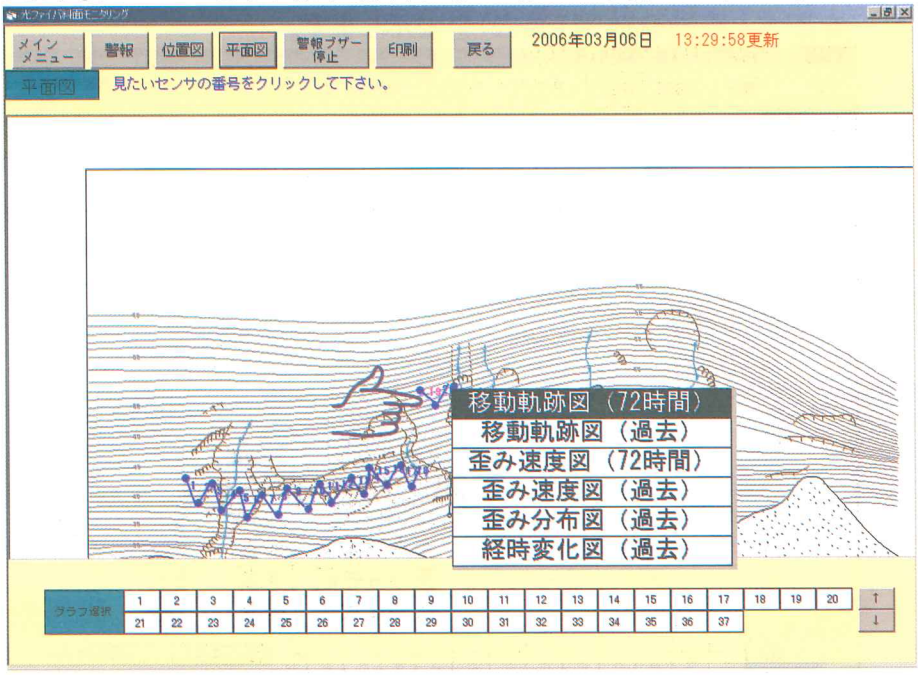
3. 歪み分布図の計算

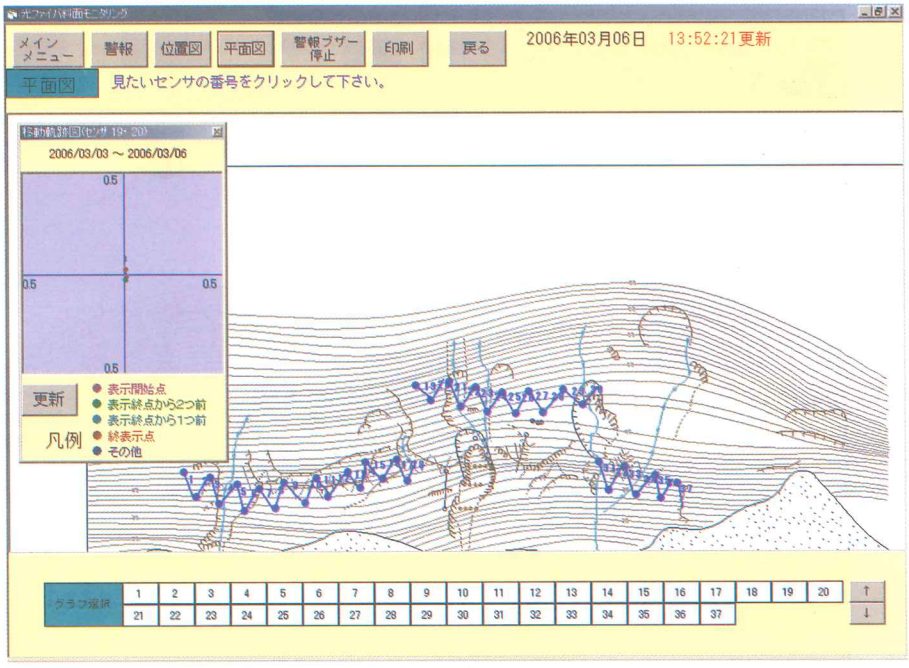
計測された歪み値を月毎(「月初め」と「月終わり」の差)に求める。

※見方は運用マニュアルを参照して下さい。

6．1　移動軌跡図（72時間）

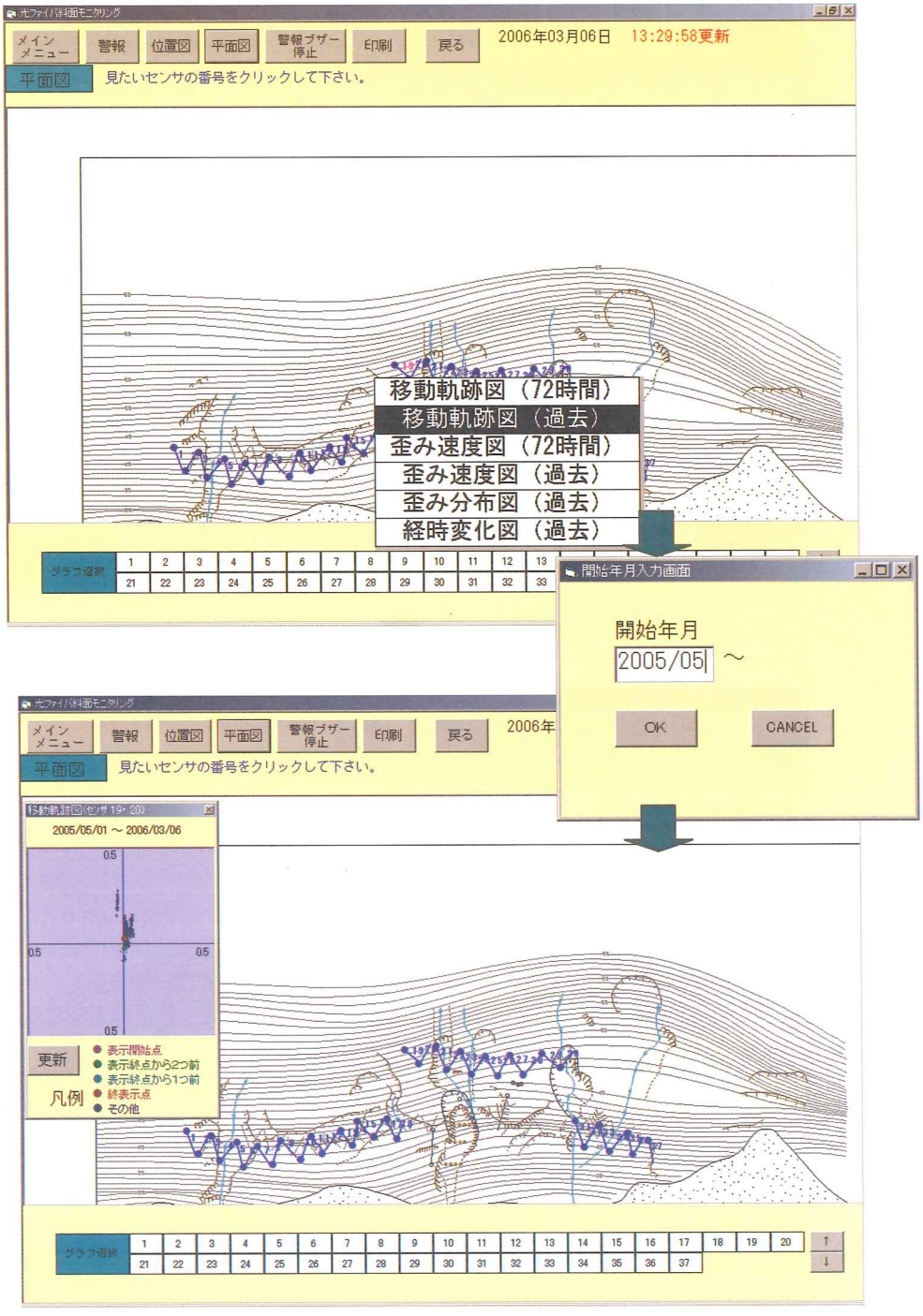
平面図上のセンサ番号又は画面下部のセンサ番号をクリックするとポップアップメニューが表示されますので移動軌跡図（72時間）を選択します。メニューを取り消す場合は[Esc]キーを押して下さい。





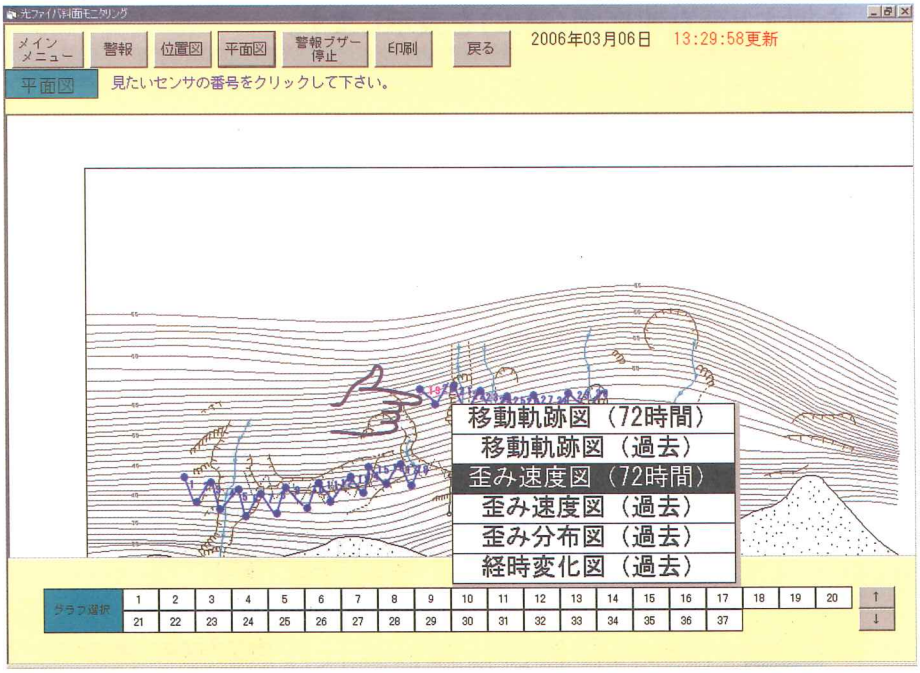
6．2　移動軌跡図（過去）

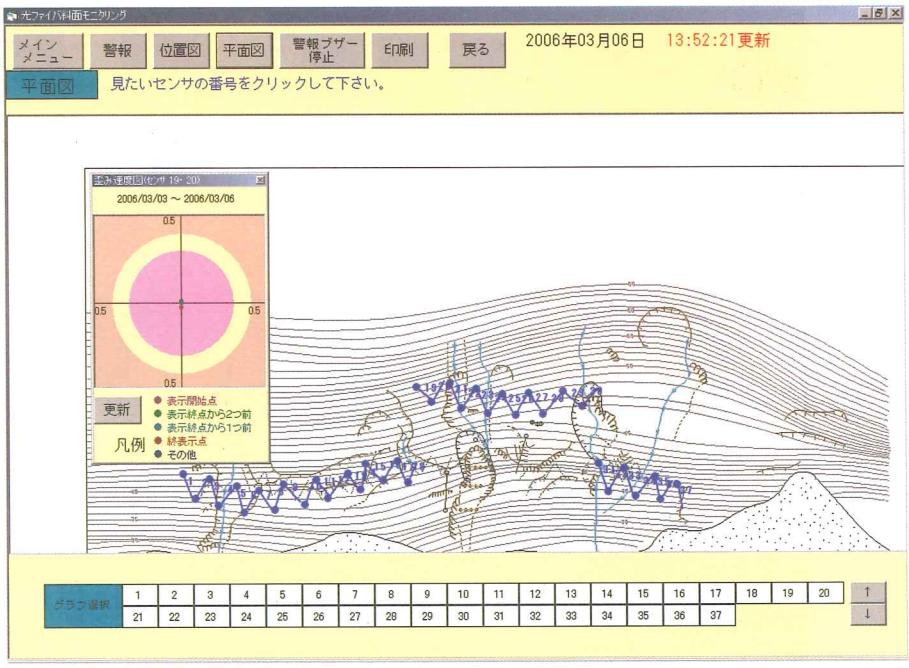
平面図上のセンサ番号又は画面下部のセンサ番号をクリックするとポップアップメニューが表示されますので移動軌跡図（過去）を選択します。開始年月入力画面が表示されますので年月を入力し OK を押すと移動軌跡図（過去）を表示します。



6．3　歪み速度図（72時間）

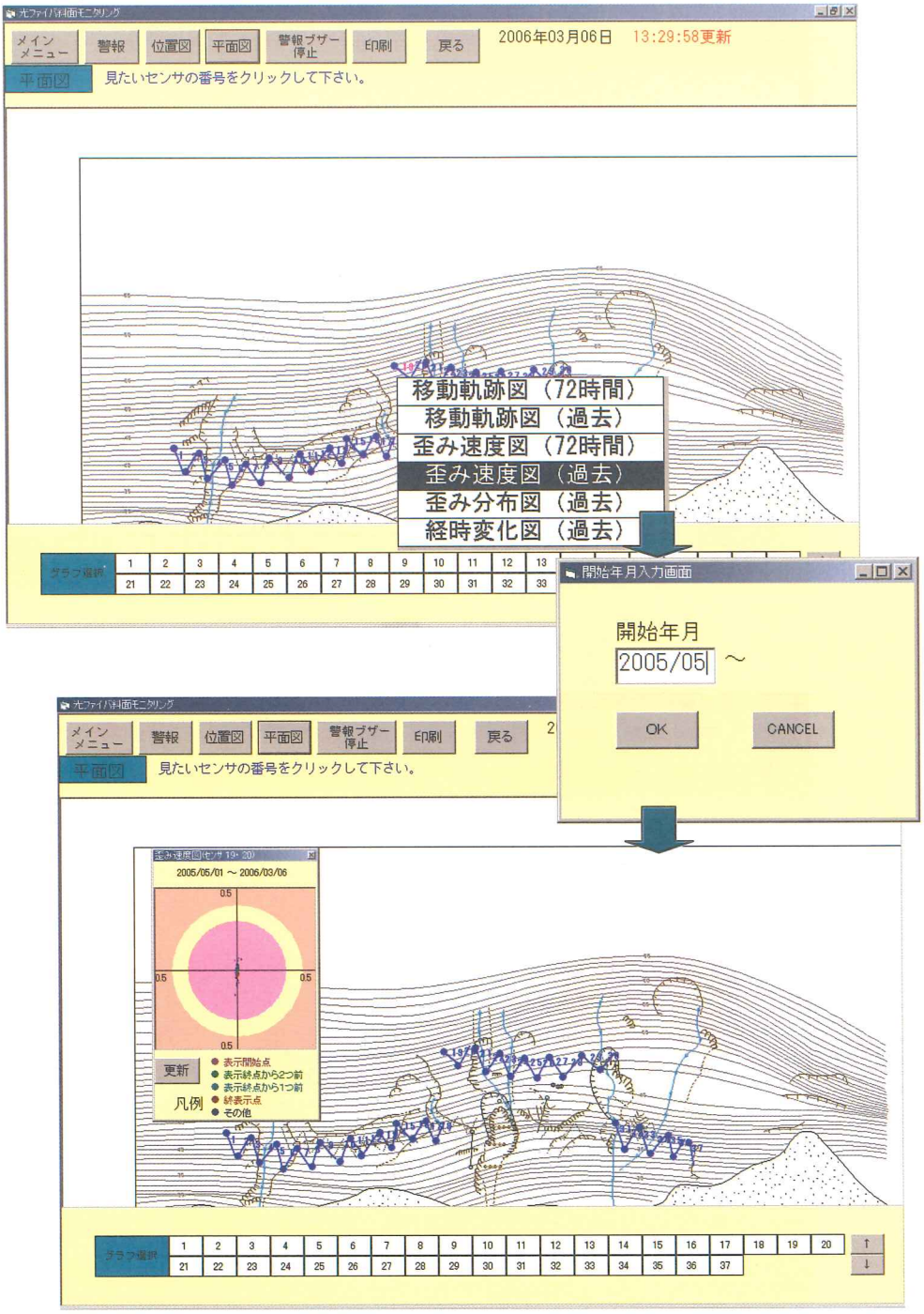
平面図上のセンサ番号又は画面下部のセンサ番号をクリックするとポップアップメニューが表示されますので歪み速度図（72時間）を選択します。





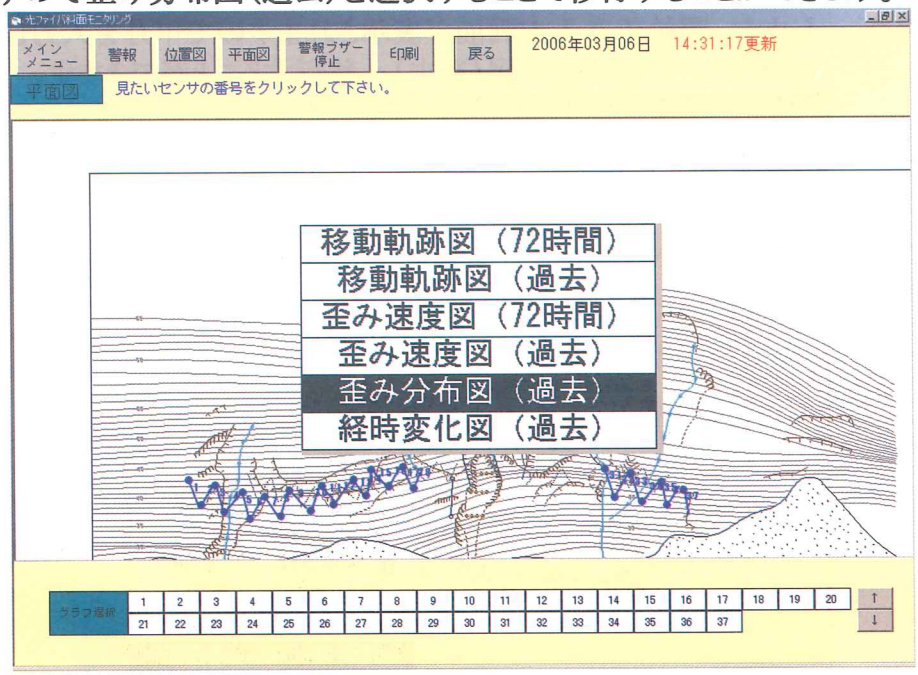
6．4　歪み速度図（過去）

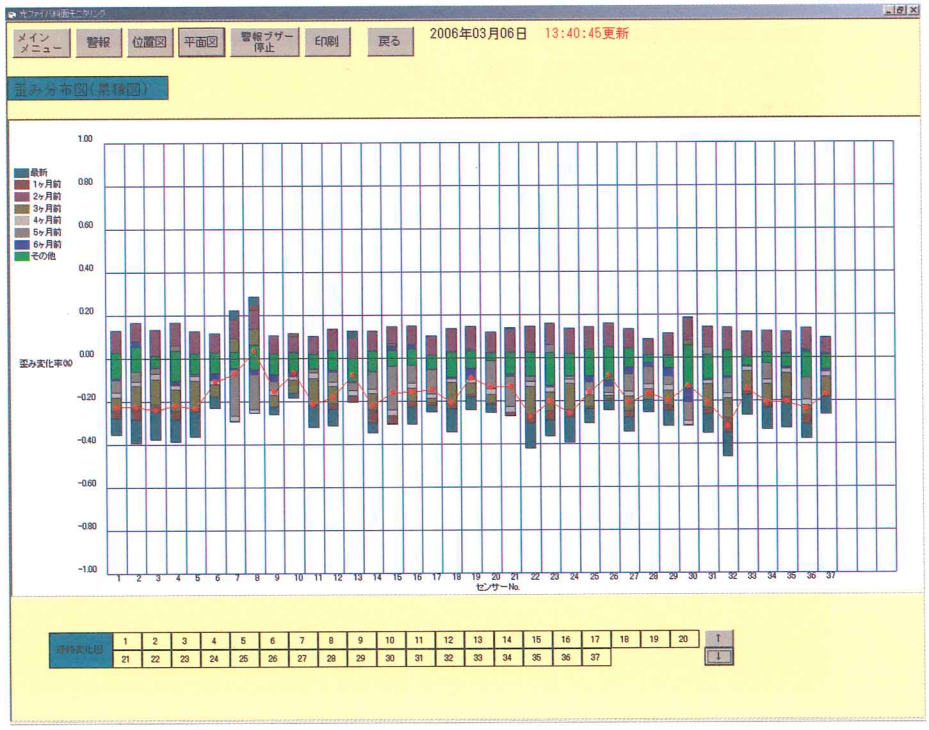
平面図上のセンサ番号又は画面下部のセンサ番号をクリックするとポップアップメニューが表示されますので歪み速度図（過去）を選択します。開始年月入力画面が表示されますので年月を入力し OK を押すと歪み速度図（過去）を表示します。



6．5　歪み分布図（過去）

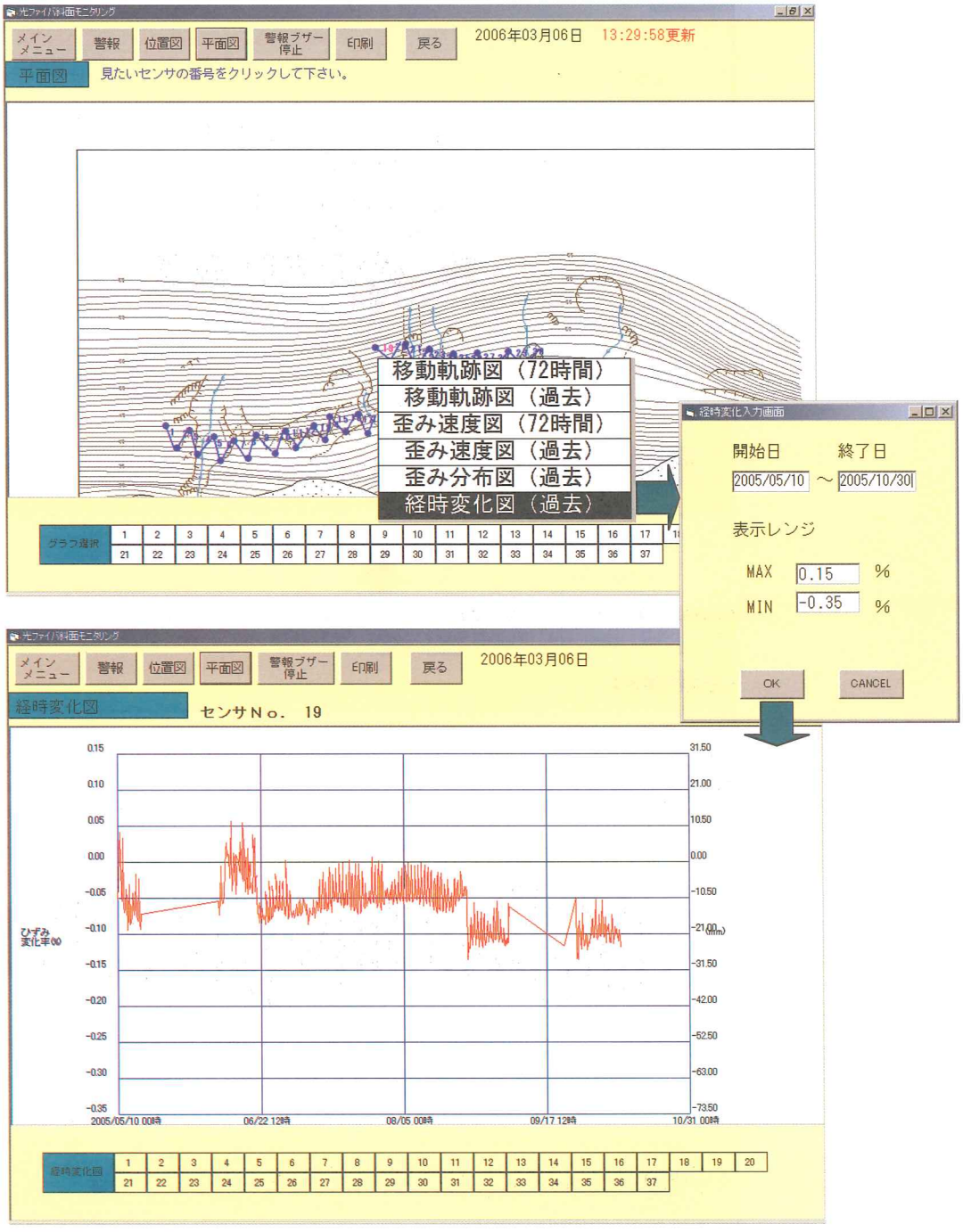
平面図上の任意の位置で右クリックするとポップアップメニューが表示されますので歪み分布図（過去）を選択することで移行することができます。





6．6　経時変化図（過去）

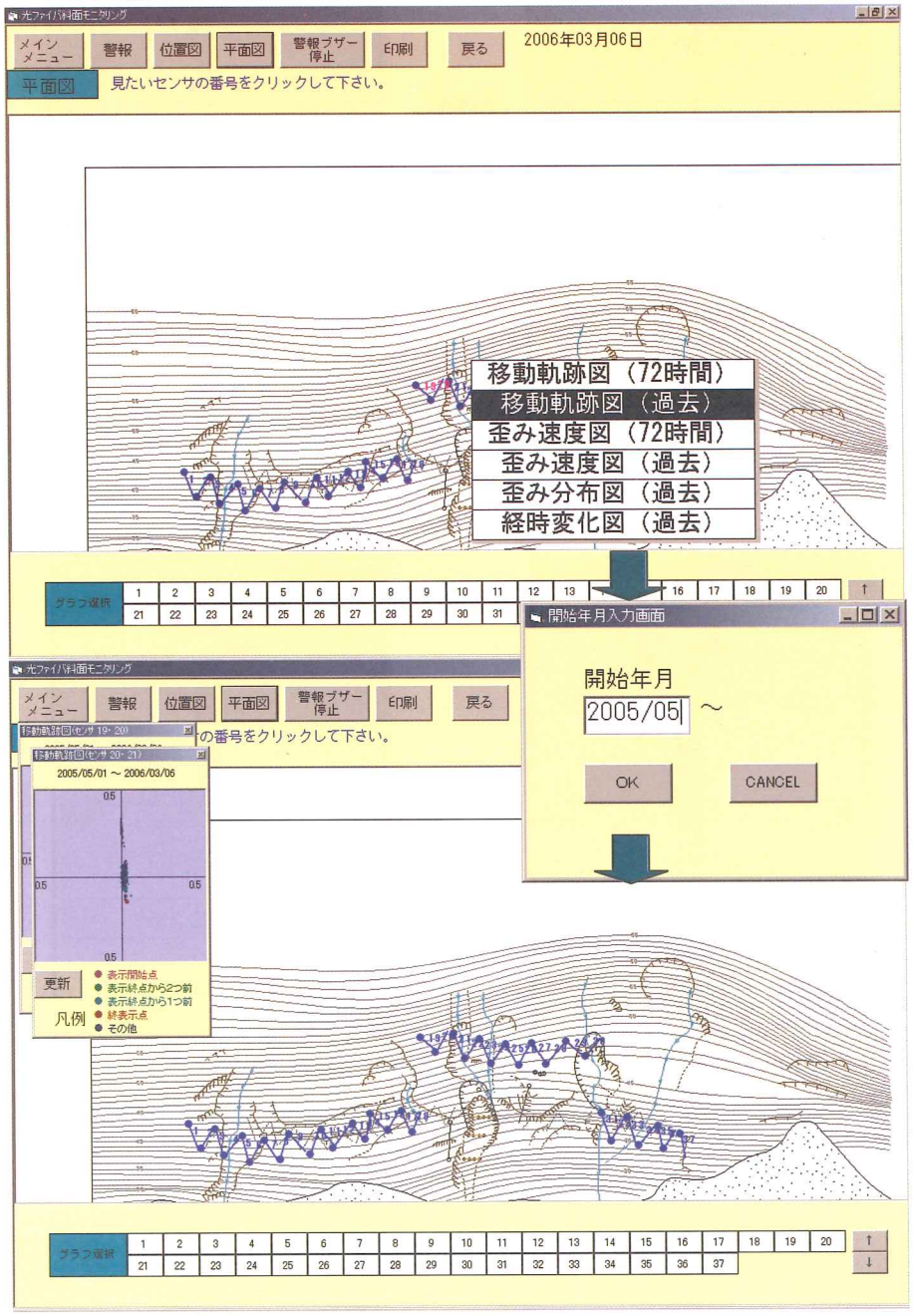
平面図上のセンサ番号又は画面下部のセンサ番号をクリックするとポップアップメニューが表示されますので経時変化図（過去）を選択します。開始年月入力画面が表示されますので年月を入力しOKを押すことで経時変化図（過去）へ移行することができます。



6．7　移動軌跡図（過去）、歪み速度図（過去）の複数同時表示

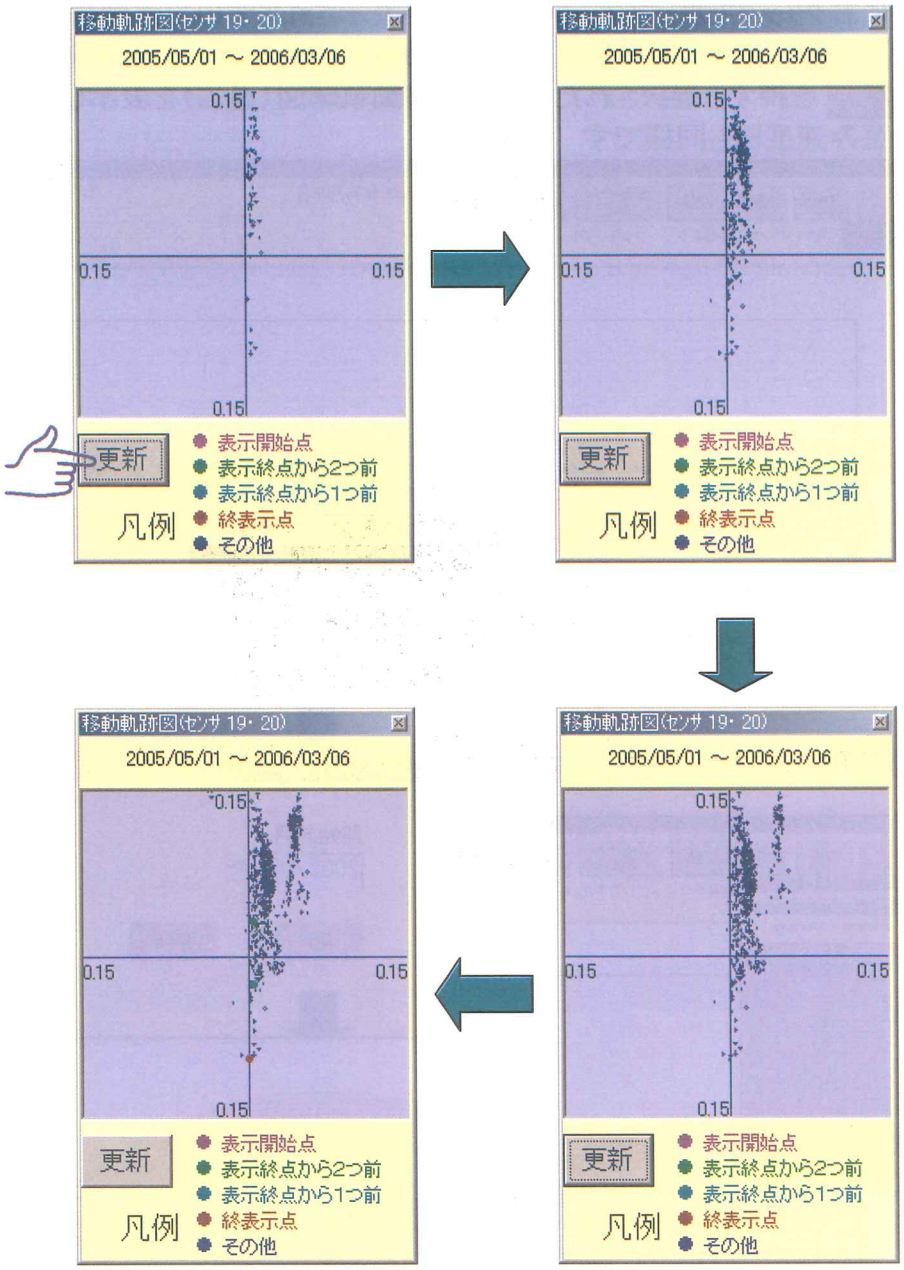
平面図上のセンサ番号又は画面下部のセンサ番号を[Ctrl]キーを押しながらクリックしていくと複数のセンサを同時に選択することができます。次に右クリックでポップアップメニューが表示されますので移動軌跡図（過去）を選択します。開始年月入力画面が表示されますので年月を入力し OK を押すと選択されたセンサの移動軌跡図（過去）を表示します。

※歪み速度図も同様です



6．8　作画シミュレーション

更新 を押すと初期ファイルの DrawWaitTime=xで指定された間隔でデータを描画します。

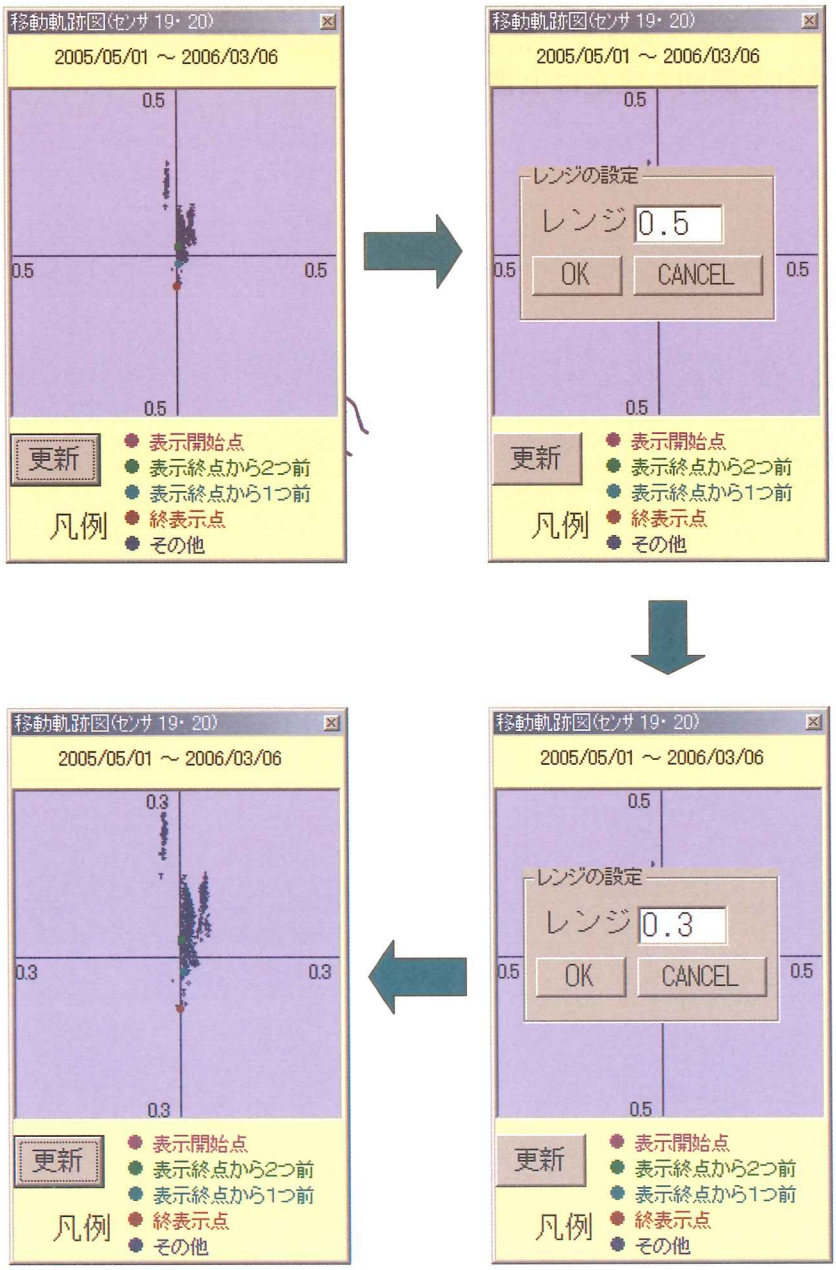


7. 個別グラフの表示設定

移動軌跡図、歪み速度図の表示レンジ、しきい値は各センサ毎に個別に設定することができます。
前述の手順で移動軌跡図を呼出して図の中を右クリックすると設定のポップアップメニューが表示されます。
(注)メンテナンス画面で一括設定すると、ここで設定された個別の設定は上書きされます。

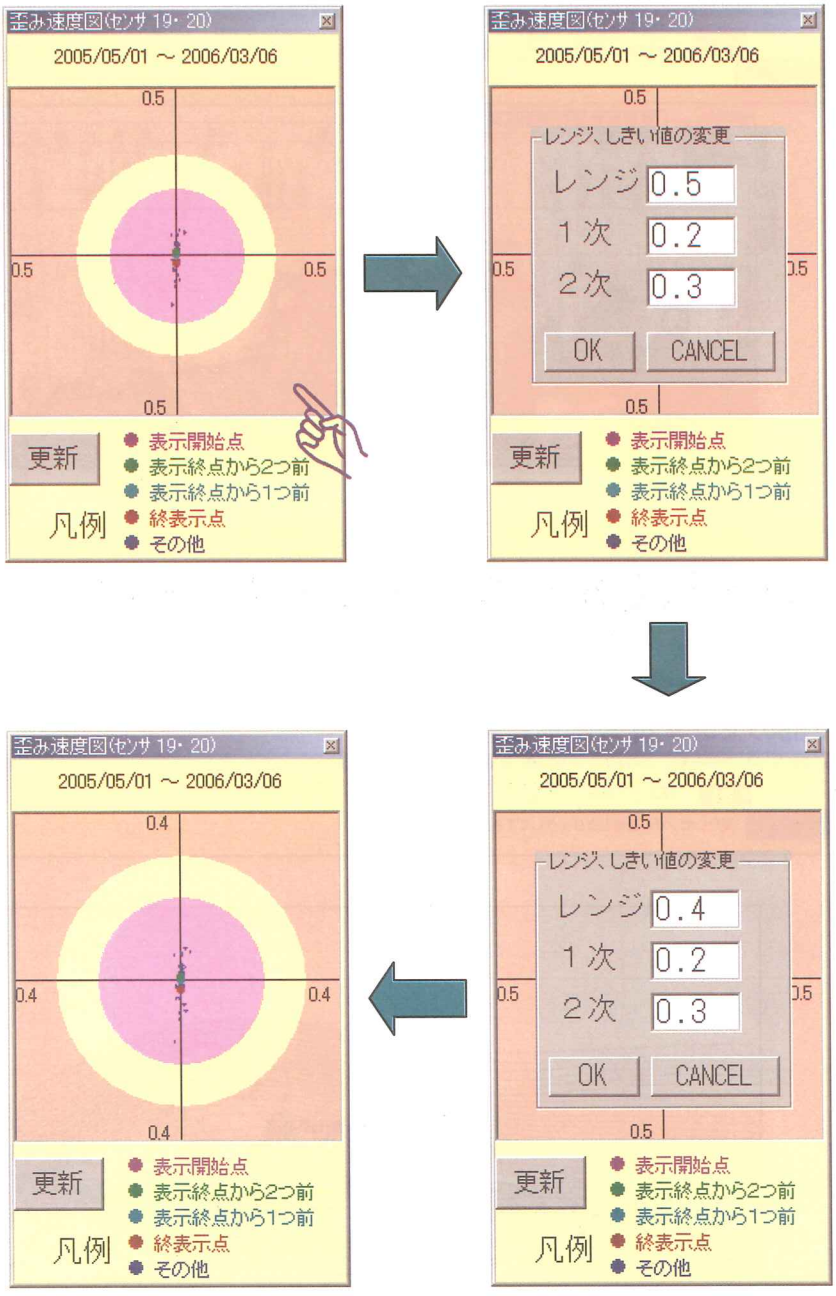
7．1　移動軌跡図の個別表示の設定

グラフ領域で右クリックするとレンジの設定画面が表示されますので
レンジを入力して OK を押すと指定されたレンジでグラフを再描画
します。



7．2　歪み速度図の個別表示の設定

グラフ領域で右クリックするとレンジの設定画面が表示されますので
レンジを入力して　OK　を押すと指定されたレンジでグラフを再描画
します。

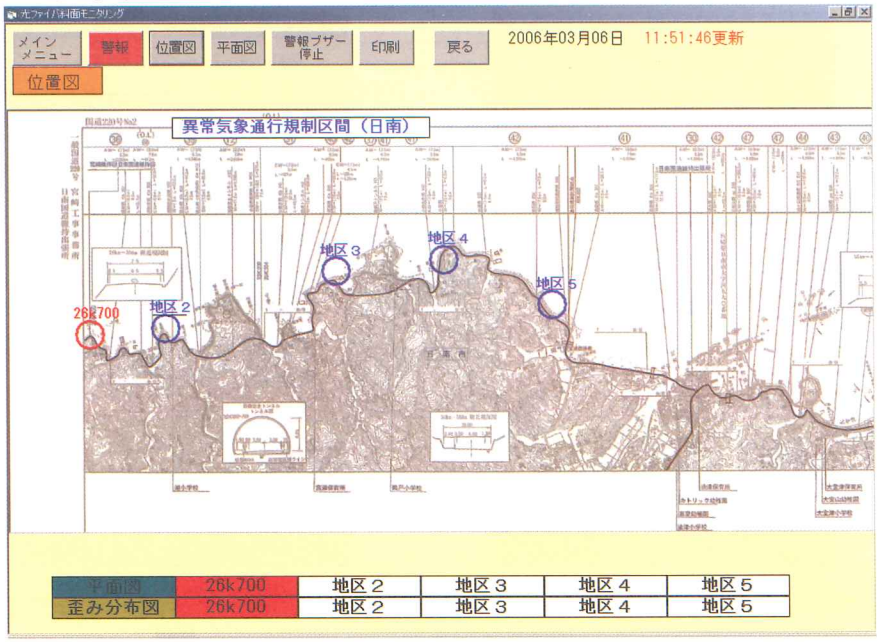


8. 警報発生時の表示

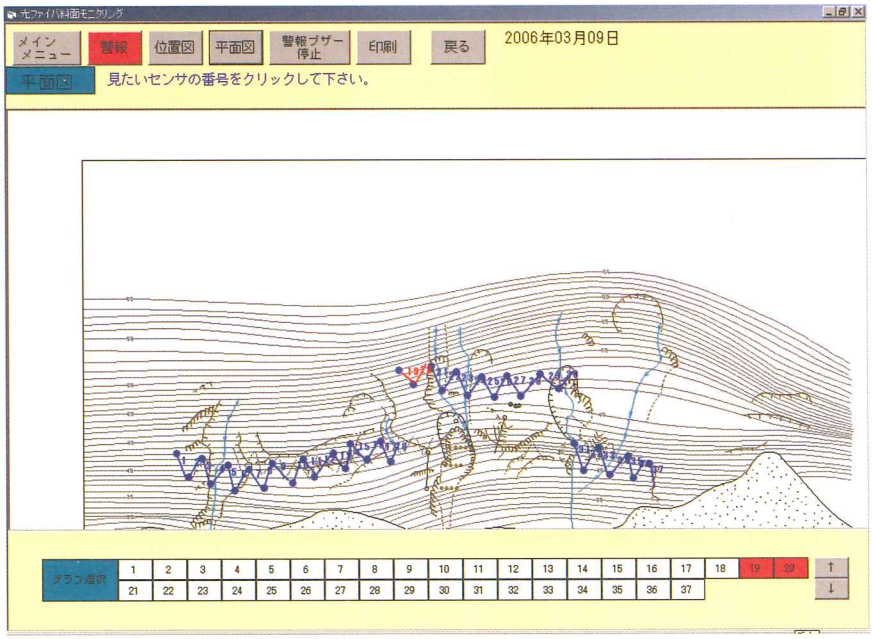
警報発生時には前述の警報一覧の他下記の表示があります。

(1) 画面上部の共通ボタンエリアの 警報 ボタンの色が赤に変わります。

(2) 位置図において地図上の警報が発生した地区の表示と画面下部の地区名称のボックスの色が赤に変わります。

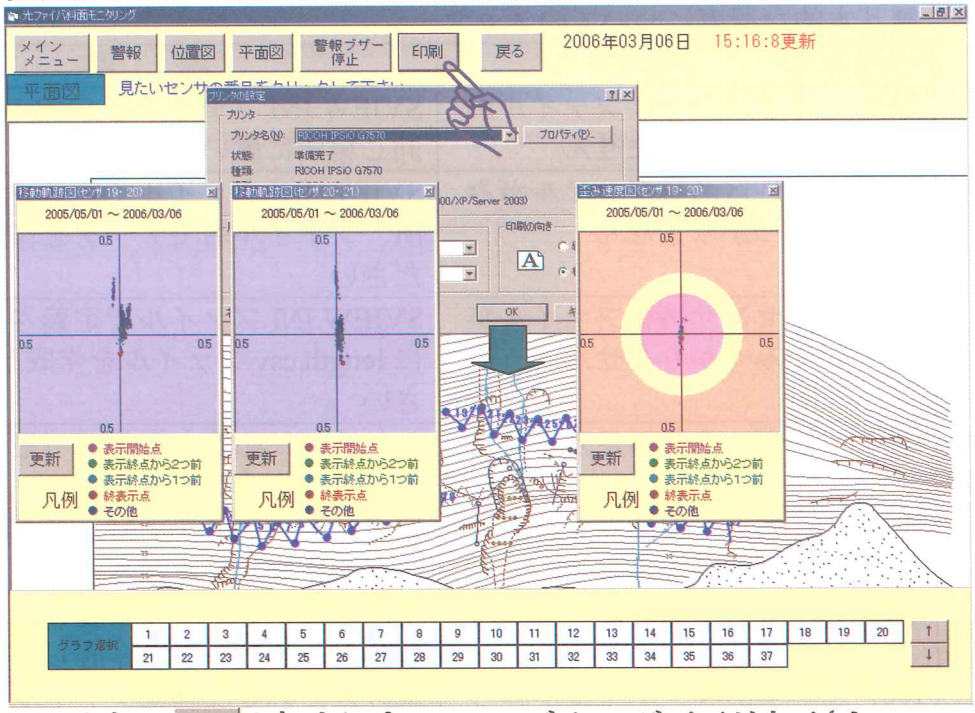


(3) 平面図上で警報の発生したセンサについて地図上のマークと画面下部のセンサ番号が赤に変わります。

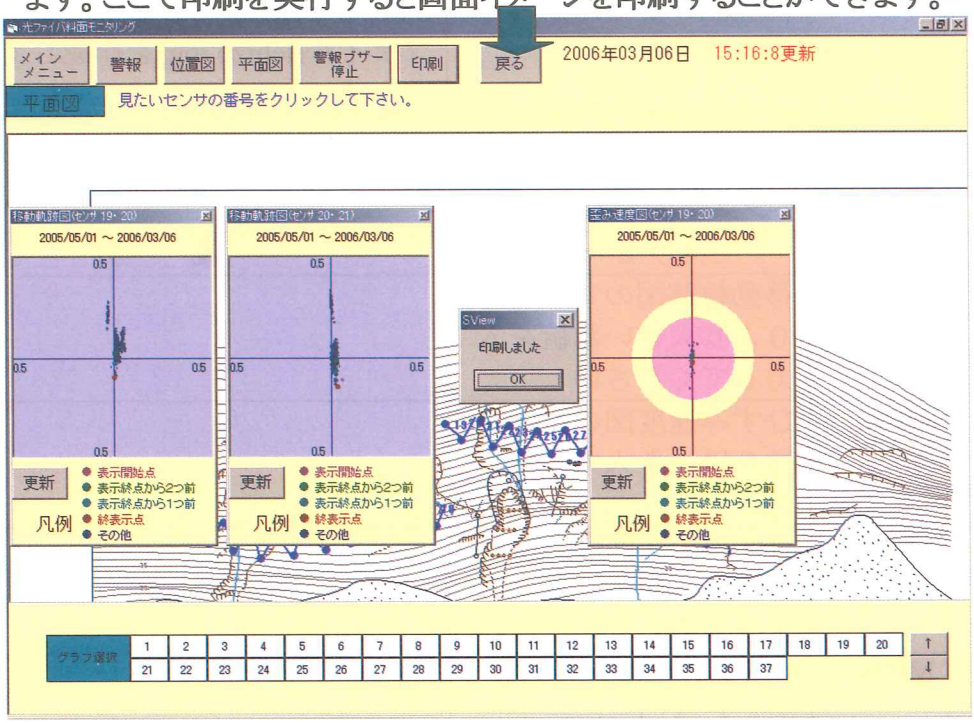


9. 印刷

現在表示されている画面イメージを印刷することができます。



画面上部の 印刷 を押すとプリンターのダイアログ画面が表示されます。ここで印刷を実行すると画面イメージを印刷することができます。



10. エラーコード

■基本的な環境についてのメッセージ

コード	メッセージ	説　　明
I001	イニシャルファイルがみつかりません	SVIEW.INI ファイルを SVIEW.EXE と同じ場所に置いてください
I002	地区名称ファイルがみつかりません	SVIEW.INI ファイルで定義された場所、ファイル名でデータを作成してください
I003	センサ情報ファイルがみつかりません	SVIEW.INI ファイルで定義された場所に length.csv ファイルを作成してください
I004	データ数が足りません	センサ毎に必要な情報が不足しています、全て作成してください
I005	始点・中間点・終点の区別ができません	始点は S、中間点は M、終点は E でデータを作成してください
I006	センサ数が足りません	地区名称ファイルで定義されたセンサ数分センサデータを作成してください
I007	平面図ファイルがみつかりません	地区毎に必要な画像ファイル(heimen.jpg)を作成してください
I008	位置図ファイルがみつかりません	SVIEW.EXE と同じ場所に位置図画像ファイル(ichizu.jpg)を作成してください

■メンテナンスに関わるメッセージ

コード	メッセージ	説　　明
M001	移動軌跡図のレンジは０より大きい数値を入力してください	
M002	ひずみ速度図のレンジは０以上を入力してください	
M003	ひずみ分布図は、Ｍａｘ　＞　Ｍｉｎとなるよう入力してください	
M004	1 以上の整数を入力してください	

M005	２次しきい値　＞　１次しきい値となるよう入力してください	
M006	１次しきい値は０より大きい数値を入力してください	
M007	２次しきい値は０より大きい数値を入力してください	

■通常の操作に関わるメッセージ

コード	メッセージ	説　　明
U001	同時に複数箇所を選択することはできません	経時変化図の場合、複数のセンサを選択することはできません。１つだけ選びなおして実行してください
U002	日付が正しくありません	入力された日付が正しくありません。正しい日付を入力してください
U003	表示レンジを入力してください	正しい表示レンジを入力してください
U004	表示レンジ Max > Min ではありません	表示レンジは Max の値を Min より大きく入力してください
U005	警報ファイルはありません	警報が発生していない場合は警報ファイルがないのが正常です
U006	しきい値変更履歴ファイルはありません	しきい値を変更していなければしきい値変更履歴ファイルがないのが正常です
U007	終点なので表示できません	センサ情報ファイルで終点に指定されたものは表示されません

■その他のメッセージ

コード	メッセージ	説　　明
D001	該当するデータがありません	指定された期間、または全く計測データがありません

用語	説明	類義語
あ		
アプローチケーブル	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	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	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。誤動作としては、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	温度膨張が１μ／°Ｃ以下のワイヤー線	インバール線
ＳＭファイバ	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	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	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	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、補正係数を求める。	温度補償
か		
画像監視	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	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
岩石崩壊（岩盤崩壊）	岩盤斜面より不安定岩体が落下する現象。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	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、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）	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。	
亀裂	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区別が必要。	クラック、割れ目
クロージャ	光ｹｰﾌﾞﾙの直線接続点、分岐接続点で、光ﾌｧｲﾊﾞの融着接続部とその余長を安全に収納している函。	光クロージャ、端子函
経時変化図	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	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回の計測に要する時間	測定時間
計測小屋	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

用語	説明	類義語
計測システム	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	センサ部・伝送部・計測処理部の総称	
計測精度	繰り返し計測した場合いの、計測データのばらつき	測定精度
計測レンジ	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	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	現地に設置してあるセンサ部の点検	
後方散乱光	入射方向に散乱される光	
誤作動	（異常変動の項参照）	
固定冶具	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	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、	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。	
さ 災害メカニズム	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	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	光ファイバセンサの固定冶具の一種。ファイバを雫形の金具で、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	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	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	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	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	光ファイバによるセンサ以外の、電気式などのセンサ。	従来型、電気式、従来センサ
手動計測	計測を手動で行う方法。	
情報管路	国土交通省の道路管理用光ファイバ網（情報ボックス）の管路部の呼び名	

用語	説明	類義語
情報ＢＯＸ	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ぶ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	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	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	計測器をパソコンにより制御しかつ、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	光ﾌｧｲﾊﾞ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	計測センサを線的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	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	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	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	地下水の水位を知るために設置する計測器	
地上架設	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	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	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	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	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	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	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	レ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	信号を伝送するために、レ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	物体（光ファイバ）を通過した光の事	光パワー
土壌水分計	土壌の間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	道路管理において毎日行う通常の斜面等の点検、または計測システムのシステムの動作点検。	
半自動計測	計測は自動的に行い、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	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	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	光ﾌｧｲﾊﾞ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,光セレクタ、光ファイバスイッチ
光ファイバ	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	

用語	説明	類義語
光ファイバケーブル	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	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		歪、歪み、歪量
表層崩壊	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、光ファイバー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	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	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	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	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	崩壊の兆候と挙動を検出し、周知させること	
崩壊予測	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	インバー線や伝送線を保護する管	
保護材	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	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	光ファイバの心線同士の先端を、融かしてつき合わせ接続すること。融着接続機を使用する。	
余長	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	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	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	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。	

用語	説明	類義語
リアルタイム	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	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	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。	

「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
「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