

第4分科会

地すべりの特性に応じた地すべり調査手法

砂防研究報告会 第4分科会 討議報告

【テーマの背景及び分科会の進め方】

地すべりには、岩盤斜面が崩落するものから土塊が泥濘化、流動化するものまで様々なタイプがある。これらに対する対策計画を立案するためには、地すべりの性状を的確かつ迅速に把握する必要がある。一方で、地すべりの初生的な動きの検知や、泥濘化する地すべりの計測、既存施設の健全性評価など、既存技術では地すべり性状の把握が困難な場合もある。

本分科会では、地すべりの特性に応じた適切な計測技術に関する研究事例や開発技術の紹介をもとに意見交換を行った。

【研究事例や開発技術紹介の概要】

1. 地すべり調査の研究事例紹介

下記1事例の紹介があった。

(1) 地震時の挙動データの取得と活用方法について

地震後に地下水位が上昇した事例及び現在検討中の地震解析モデルの検証（キャリブレーション解析の検討中）の紹介があった。

2. 開発技術の紹介

下記7事例の開発技術紹介があった。

(1) 「山形県七五三掛地すべりにおけるUAV（無人航空機）用いた調査」

UAVを用いた地すべり調査の有効性と調査結果から得られる情報、成果の活用方法の報告があった。

(2) 「阿武隈川水系 塩の川における地すべり観測について」

阿武隈川水系 塩の川地すべりの概要と土木研究所と共同で設置を計画している新たな地すべり観測装置の紹介があった。

(3) 特殊な地すべり環境下で使用する新たな地すべり観測装置

二次災害の危険性が大きいために立ち入りが困難な地すべりや移動量の大きい地すべり、地すべり土塊が泥濘化・流動化到達範囲の予測が難しい地すべりを適切・迅速に計測するための6種類の観測装置の紹介があった。

(4) 既設アンカー緊張力モニタリングシステム

アンカーの適切な維持管理を行うため、既設アンカーに荷重計の設置を可能にした開発技術の紹介があった。

(5) 挿入式孔内傾斜計計測マニュアル（案）

挿入式孔内傾斜計計測マニュアル（案）に記載されている孔内傾斜計の計測における異常値の原因、防止方法等の紹介があった。

(6) RE・MO・TE2（崩壊斜面の緊急計測手法）

計測対象斜面に向けてボーガン（弓）によって矢の先端に装着した蛍光塗料で標的を設置し、トータルステーションでその場所の観測を行うことで、危険斜面を把握する技術の紹介があった。

(7) 地すべりの地表面変位からすべり面形状を推定する技術

地すべりの地表面から得られる情報を基にすべり面の形状を推定する技術の紹介があった。

【総括】

発表者から、動画やパネル・計測機器を用いて研究事例や開発技術を説明していただいたので、理解が得られやすく参加者から技術の適用条件等、活発な質問や意見があった。

東北地方整備局河川計画課
総合土砂災害対策係



発生場所：山形県鶴岡市七五三掛地区
経緯：2月25日 地すべりを観測（山形県）
6月4日 山形県知事の要請で土研に七五三掛地区を含めた大網地区の緊急調査の実施
6月7日 山形県知事へ調査結果の報告
6月11日 山形県知事より国土交通省に対して対策事業の要請
6月12日 直轄砂防災害関連緊急事業の採択（事業費約9.9億円）
6月14日 工事着手



地すべり規模：長さ約700m 幅約400m すべり深度約25m
被害状況：家周辺や田圃に無数の地割れ【七五掛集落7戸のうち5戸自主避難】



●UAVとは？

- Unmanned Aerial Vehicle = 無人航空機

★軍事利用の無人偵察機（MQ-1Cウォーリア）



★民間利用の無人ヘリコプターによる農薬散布



ヤマハHP (<http://www.yamaha-motor.jp/sky/agricultural/index.html>) より

●UAVを用いた地すべり調査の有効性

- 地上からの現地調査に比べ面的に地形変状を確認することが可能
- 地形変状確認に合わせて、広域的に画像撮影、地形データが取得できる
- 航空レーザ測量(LP測量)に比べ低コスト
- GPSを利用した自律飛行により同一箇所の定期観測が可能

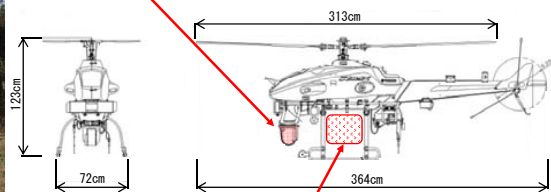
●調査で使用するUAV

自律航行型無人ヘリコプターを使用

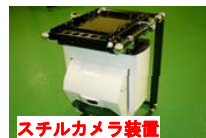


最大離陸重量	94kg (燃料込)
ペイロード	10kg
最高速度	72km/h
燃料タンク容量	11%
飛行時間	90分以上
飛行範囲	基地局から半径5km
飛行制限	雨量5mm/h以下
	地上風速10m/s以下
運用人員	3名+1名 (運航管理者)

★CCDカメラ (ビデオ映像)



★計測器搭載スペース

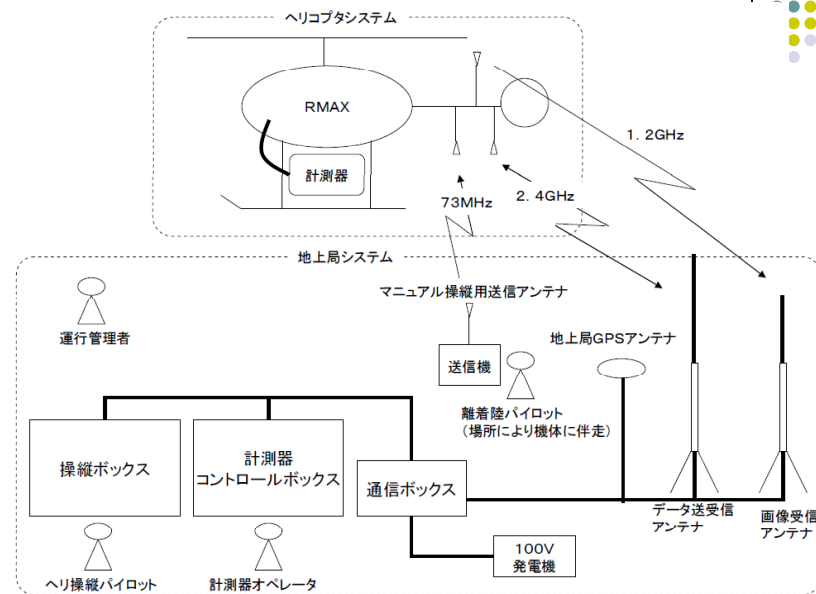


★デジタルカメラ設置

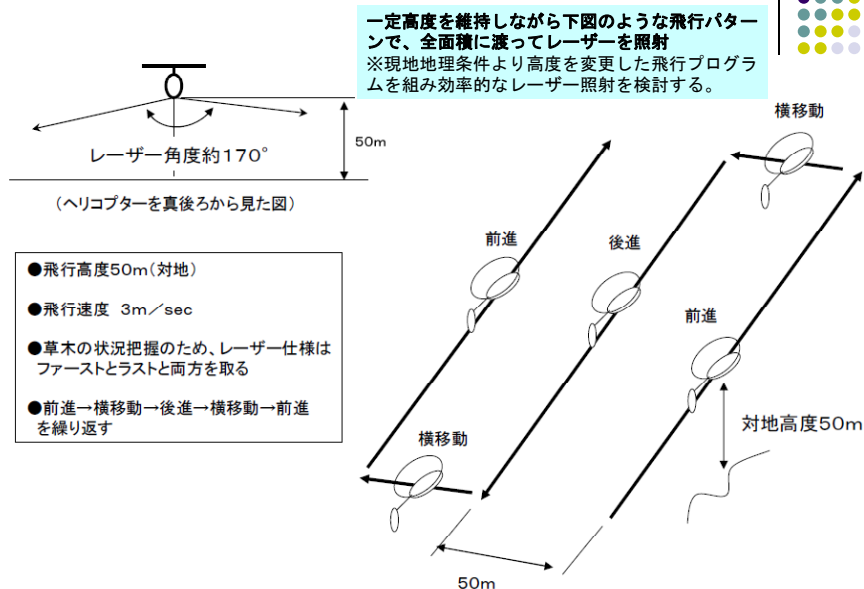


★3次元マッピングシステム

●UAVシステム概要図



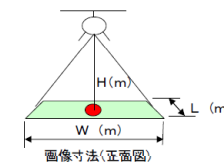
●飛行方法(レーザ測量)



●飛行方法(静止画撮影)

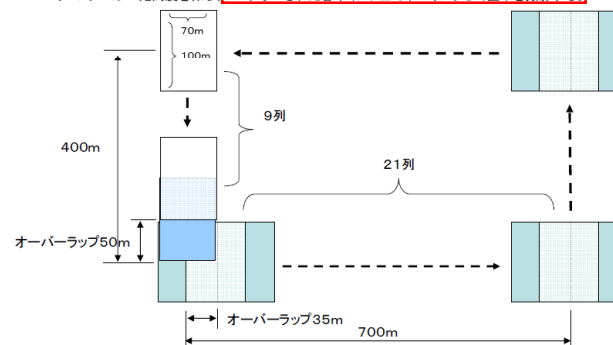
① レンズ仕様と撮影範囲(固定焦点 20mmレンズ使用の場合)

H(m)	W(m)	L(m)
100m	100	70

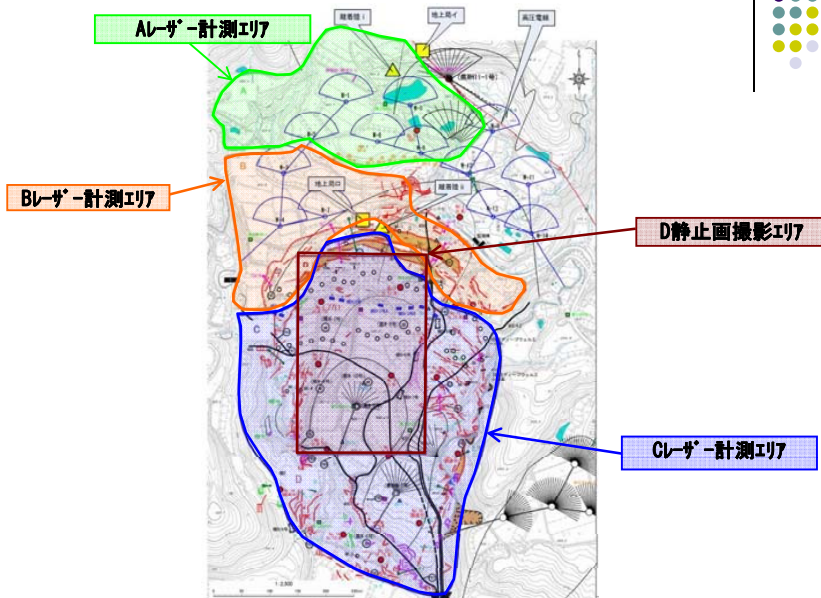


② 撮影飛行仕様(平面図)

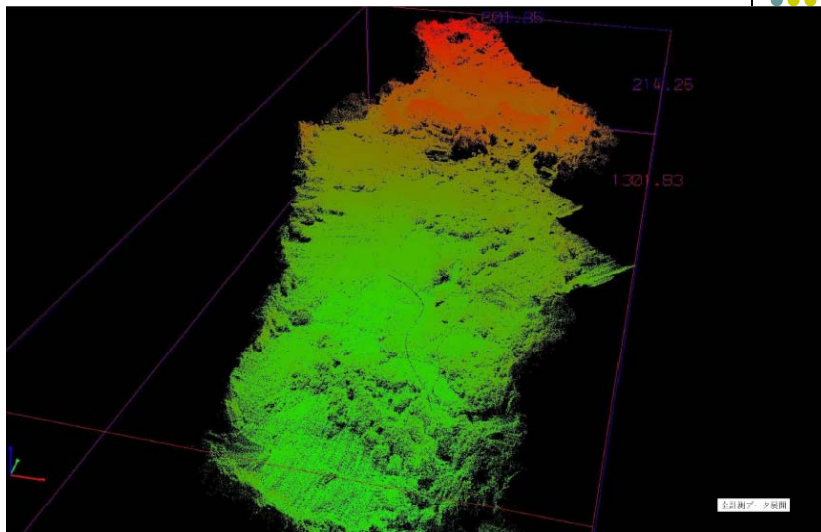
- ・全域を網羅したモザイク写真を作成するため、写真の縦横50%ずつオーバーラップさせて撮影する。
- ・400m×700mを189枚の写真で構成する。
- ・ヘリコプターは一定高度を保ち、プログラムされた各ポイント上でホバリングして直下を撮影する。



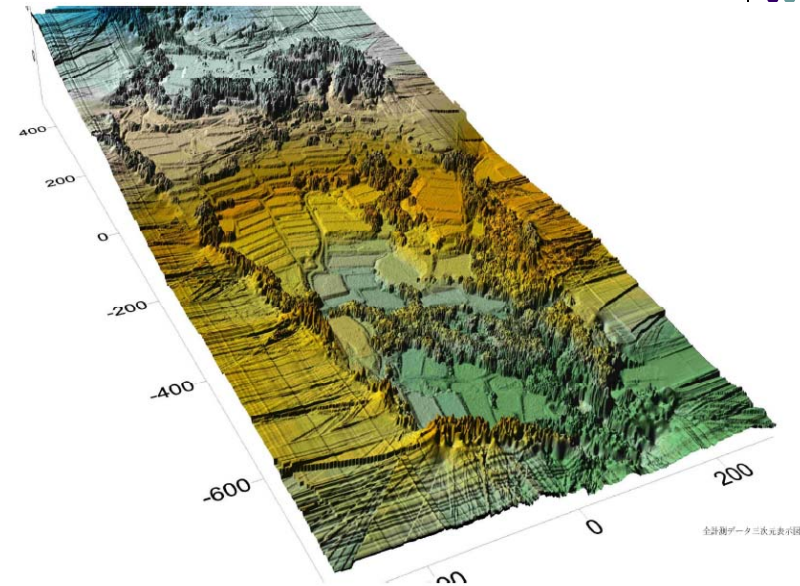
●調査範囲(デモ飛行)



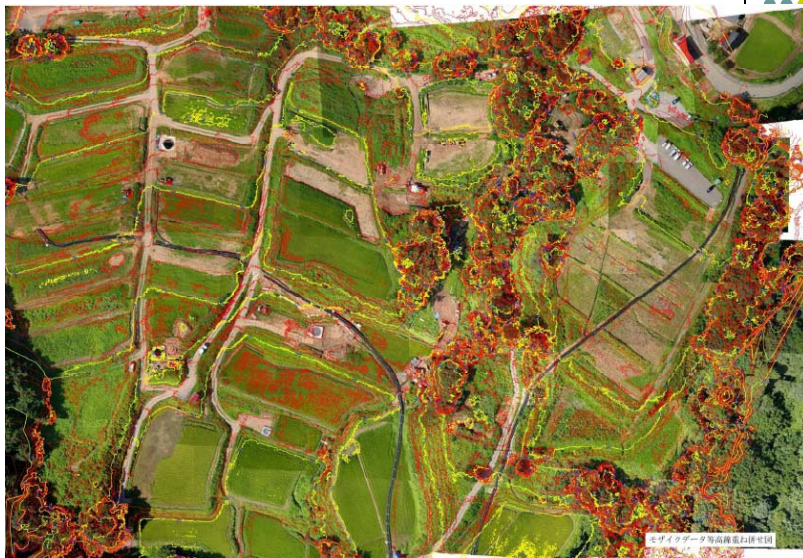
● UAV調査結果(三次元データ)



● UAV調査結果(三次元データ)



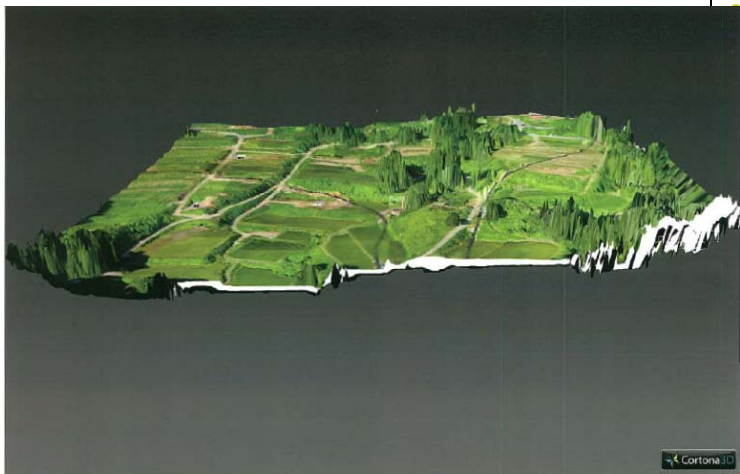
● UAV調査結果(垂直写真と等高線重図)



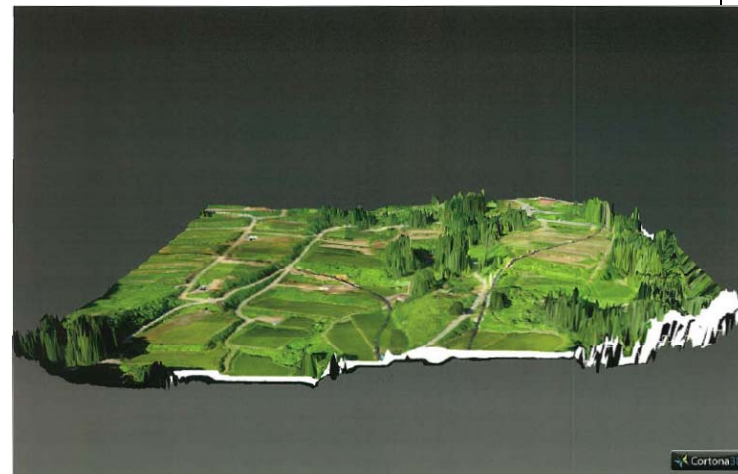
● UAV調査結果(垂直写真)



● UAV調査結果(鳥瞰図)



● UAV調査結果(鳥瞰図)



● UAV調査結果(鳥瞰図)



● UAV調査で取得する情報とその活用

【UAV調査で取得する情報】

- 地すべり地内の全景画像
地すべり地内全体の地すべり小ブロック
- 地すべり地内の地形データ
ブロックの移動量、移動方向

【UAV調査の成果の活用】

- 地すべりブロックの移動量、移動方向を把握することにより、効果的な地盤伸縮計設置や対策工法を検討
- 広域的なモニタリングによる、地すべり対策箇所の効果又は影響評価

地震時の挙動データの取得と活用法について

地すべり防止区域

中部地方整備局 富士砂防事務所



由比地区の概要

由比地区では、江戸時代から土砂災害が多発!!
周辺でも地すべり災害が生じている(S36、S49)
また、東海地震の発生が懸念されている



豪雨及び地震時に発生
する恐れのある地すべり
に対し、対策を実施



地すべりブロックと地震計設置箇所

地震計概要

サーボ型加速度計

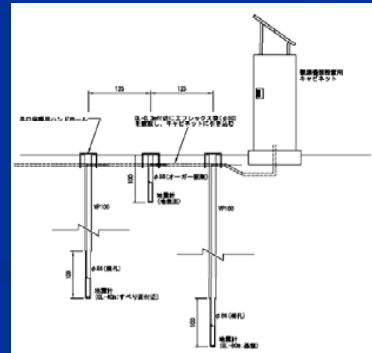
測定範囲: $\pm 2,000\text{gal}$

トリガにより測定開始

サンプリング周波数: 200Hz

電源は、太陽電池を使用

設置深度は、GL-1m、-40m、-80m



地震計

間隙水圧計

平成21年8月11日 地震概要



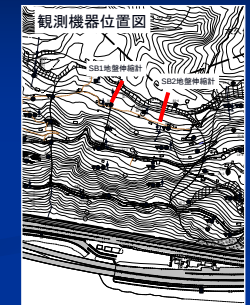
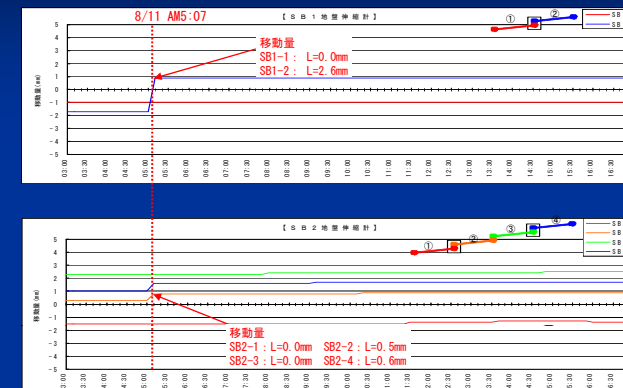
発生時刻: 5時7分

震源地: 駿河湾 北緯34.8度、東経138.5度、御前崎の北東40km付近)

震源の深さは23km、地震の規模(マグニチュード)は6.5と推定
最大震度: 6弱(静岡県伊豆市、焼津市、牧之原市、御前崎市)

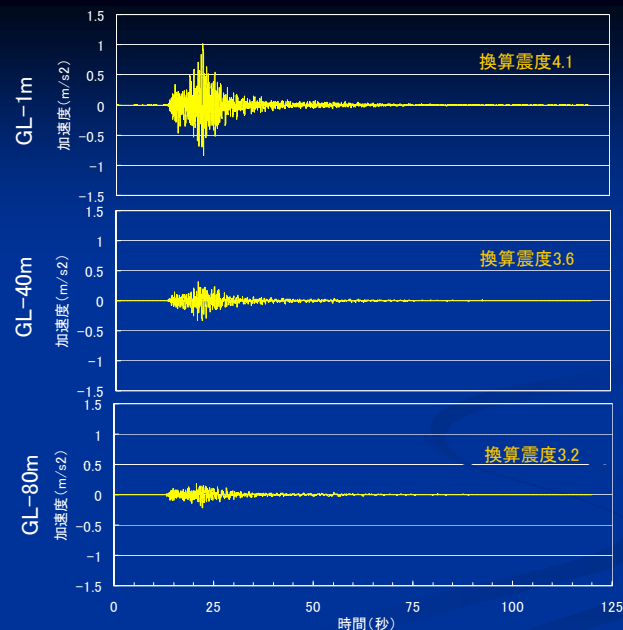
動態観測結果(1) 地盤伸縮計

蜂ヶ沢ブロック

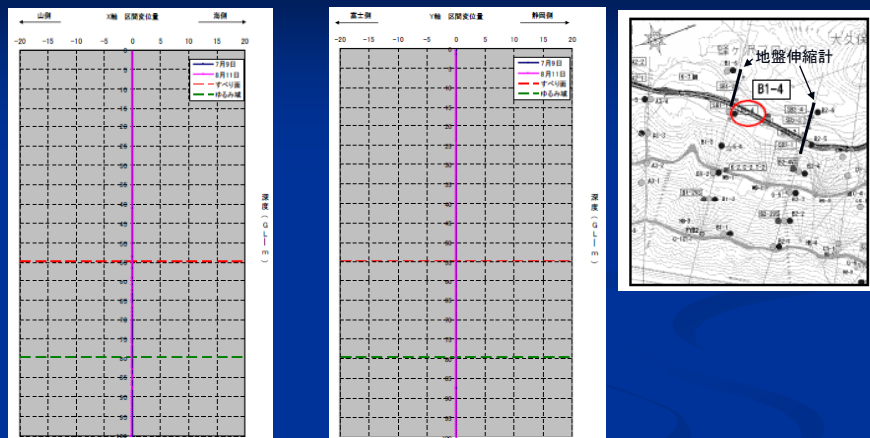


○地盤伸縮計の観測結果では、蜂ヶ沢ブロックにおいて、**最大2.6mmの移動**を確認したが、地震終了後の移動は確認できないことから、地すべり活動は生じていないものと判断

由比地区において観測された地震波形

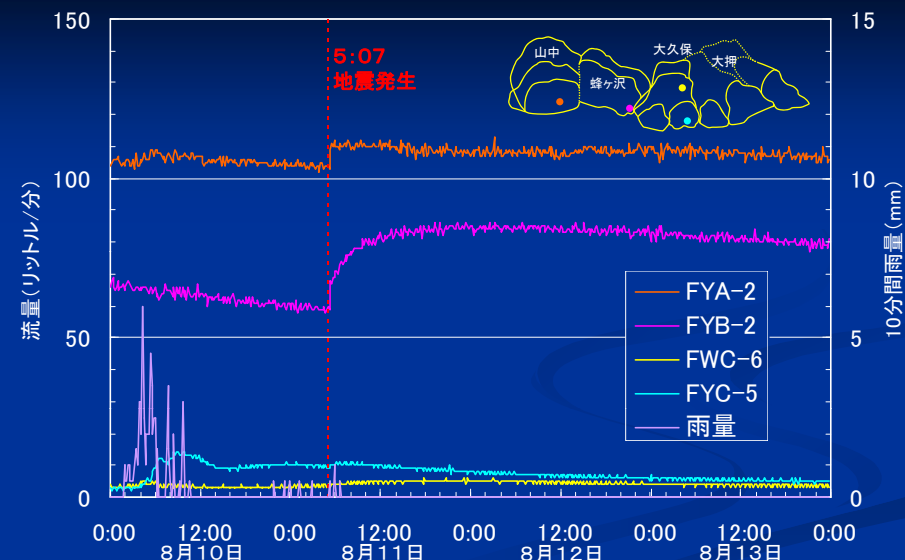


動態観測結果(2) 孔内傾斜計



○地盤伸縮計付近に設置されている孔内傾斜計の観測を行ったが、地震による影響は確認されていない。

動態観測結果(3) 流量計



○抑制工の設置数が少ない山中・蜂ヶ沢ブロックにおいて地震発生後に流量が増加する傾向があった。

取得した各種データの利用について

○現在検討中の地震解析モデルの検証(キャリブレーション解析)に用いた。

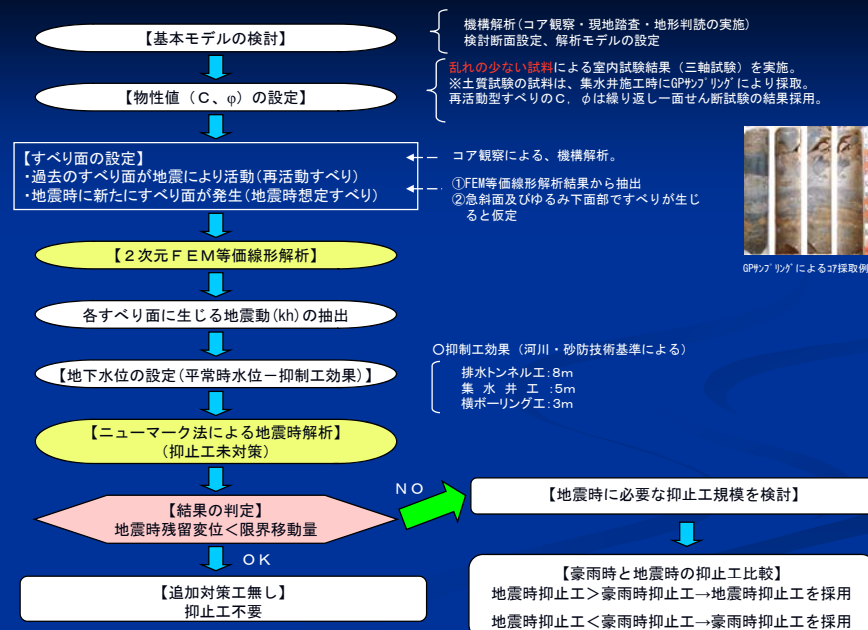


・キャリブレーション結果により地震解析モデルに用いる物性値を確定させる

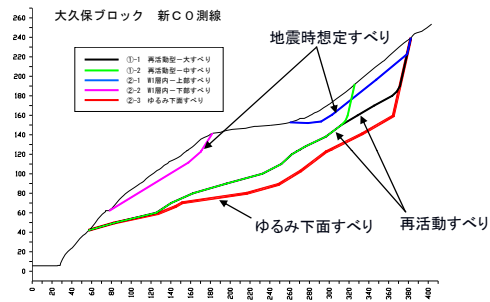
計算条件

・観測データ(地盤伸縮計等): 約2mm程度動いているが、他の計器に変動が見られないため、移動量=0と考えた。

由比地すべり地震解析 (解析概要フローチャート)



検討項目

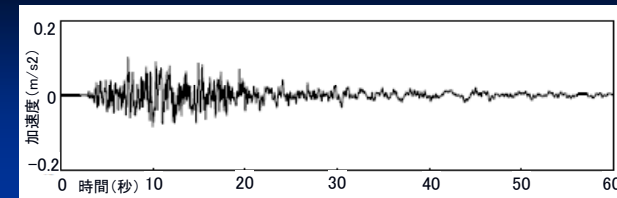


地震解析におけるすべり面設定位置

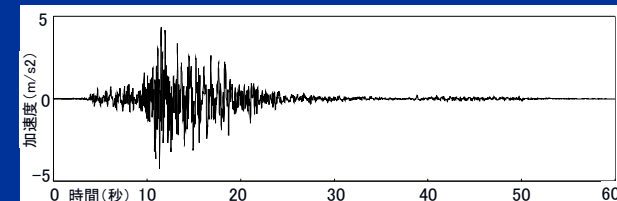
解析面と検討項目一覧表(大久保ブロック)

想定すべり面	せん断強度を把握した試験	
再活動すべり (大)	繰返し一面せん断試験	完全軟化強度
		残留強度
再活動すべり (小)	繰返し一面せん断試験	完全軟化強度
		残留強度
再活動すべり (小)	リングせん断試験	完全軟化強度
		残留強度

入力地震波



今回観測した地震波からFEM基盤入力波を作成したもの



内閣府にて想定している東海地震の地震波からFEM基盤入力波を作成したもの

キャリブレーションに用いた加速度は想定よりもかなり小さいことがわかる

キャリブレーション解析結果

想定すべり面	せん断強度を把握した試験		残留変位	安全率	
			(mm)	地震前	地震中最小
再活動すべり(大)	繰返し一面せん断試験	完全軟化強度	0	1.213	1.164
		残留強度	1	1.028	0.986
	リングせん断試験	完全軟化強度	∞	0.995	0.954
		残留強度	∞	0.875	0.839
再活動すべり(小)	繰返し一面せん断試験	完全軟化強度	0	1.366	1.296
		残留強度	0	1.161	1.101
	リングせん断試験	完全軟化強度	0	1.125	1.067
		残留強度	∞	0.990	0.939

○上記の結果から、由比地区で考えているモデルでは繰返し一面せん断試験結果の方が実現象と整合することがわかる。

○完全軟化強度と残留強度では、違いがあまり見られなかったが、現地の地質調査や機構解析結果から、現状ではすべり面が残留強度まで低下していないと判断している。

今後の検討項目

- 想定東海地震に対応した適正な抑止工規模の検討
- 抑制工の効果検証
- 各種計測機器の維持管理

阿武隈川水系 塩の川における 地すべり観測について

東北地方整備局
福島河川国道事務所
工務第一課 山影 修司

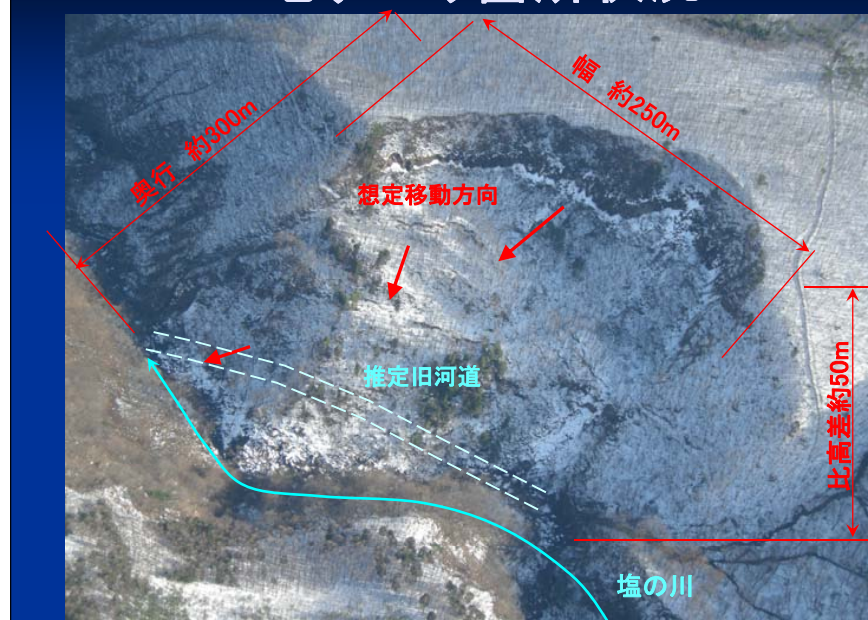
地すべり箇所について



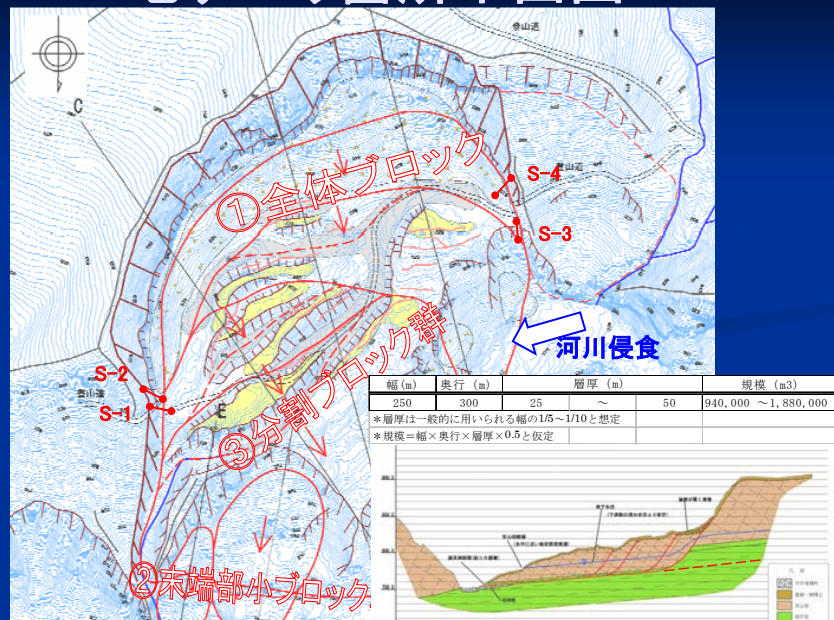
地すべり箇所の地質について



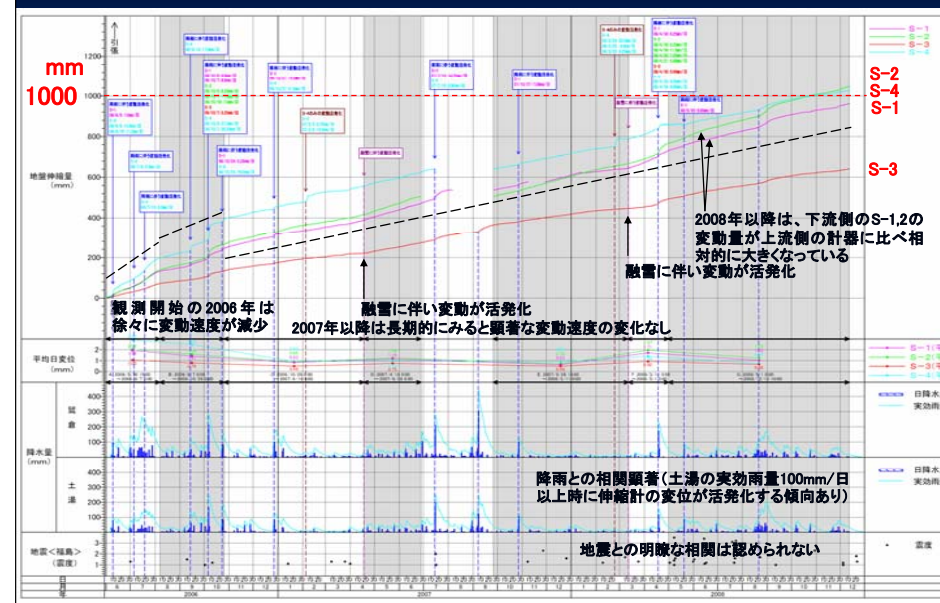
地すべり箇所状況



地すべり箇所平面図

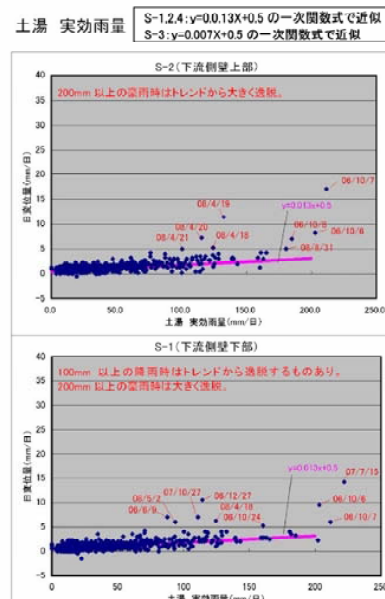


伸縮計による観測

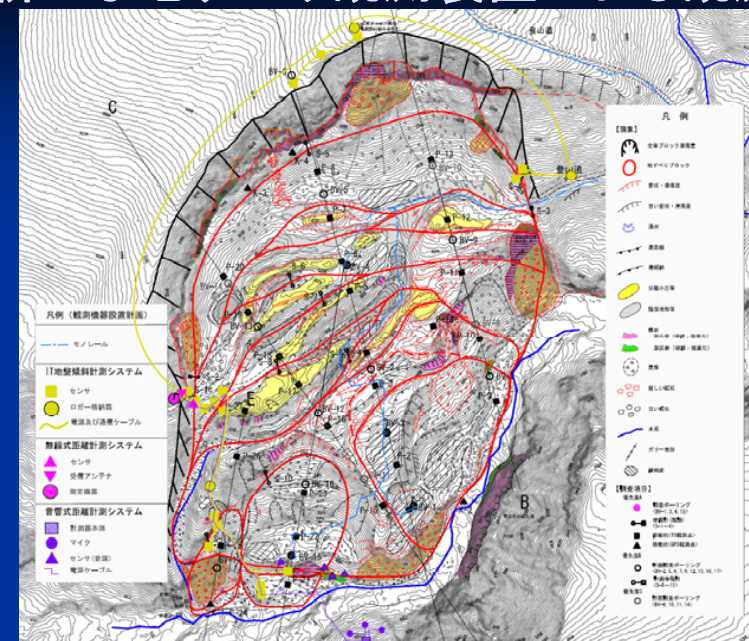


伸縮計による観測

- ・各伸縮計とも、ほぼ一定に近い速度で変動している。2006～2008では0.7mm～1.1mm(変動A)と活発
- ・降雨との相関では、降雨量の増加とともに変動量が増加する傾向が見られ、特に実効雨量との相関する傾向が見られる。
- ・融雪期においても変動速度の増大が認められる。



新たな地すべり観測装置による観測

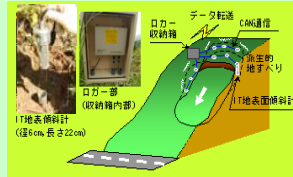


新たな地すべり観測装置

①IT地盤傾斜計測システム

■拡大崩壊が懸念される現場で役立ちます！

- ・地盤の微小な傾きの変化を計測するセンサです。
- ・地すべり背後斜面への崩壊の拡大や影響範囲(派生的な地すべりの検出)を監視することができます。
- ・単管を打設した後、センサを単管に挿入するだけで設置ができます。
- ・1本のケーブルに最大50台のセンサを接続できます(CAN通信)。



設置イメージとセンサの外観

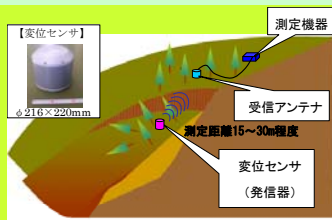
■センサの基本仕様

- ・測定レンジ: $\pm 20\text{deg}$
- ・測定精度: $\pm 0.01\text{deg}$ 、温度特性: $\pm 0.008\text{deg}/^{\circ}\text{C}$
- ・長期安定性: $\pm 0.001\text{deg}/\text{day}$
- ・電源: AC100V又はDC12V
- ・センサ軸数: 2軸、ケーブル総延長100m(1本当り)、測定数最大100台(ケーブル2~3本使用時)
- ・使用温度範囲: $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 、記録メモリ付

④無線式距離計測システム

■計測機器が土砂に埋まることが想定される現場に重宝します！

- ・センサから発する低周波数の電磁波を安全な場所に設けた受信アンテナでキャッチし、その信号強度から2点間の距離を計測するシステムです。
- ・低周波数の電磁波の特徴を生かして、計測機器(変位センサ)が土中や水中に埋まった条件下でも地すべり移動量(距離)を計測できます。



設置イメージとセンサの外観

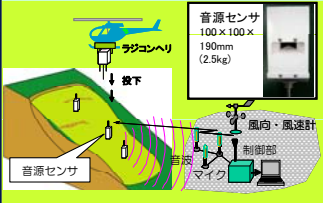
■センサの基本仕様

- ・測定レンジ: 15~30m程度(受信アンテナと変位センサ間)
- ・測定精度: 距離30mで5cm以下
- ・変位センサ電源: 内蔵バッテリー(バッテリー寿命: 6ヶ月(4.5h間隔測定時))、測定機器電源: 外付け鉛蓄電池またはAC100V

⑤音響式距離計測システム

■立ち入りが困難な地すべり現場に重宝します！

- ・地すべり移動土塊内にラジコンヘリから投下設置した音源センサが発する音波を安全な場所に設けたマイクで受信し、その音波の到達時間から2点間の距離(または音源センサの位置)を計測するシステムです。
- ・立ち入りが困難な地すべり地でも安全に設置できます。
- ・通信測定範囲が200m程度と長く、大きな地すべり移動量(距離)を計測できます。



設置イメージとセンサの外観

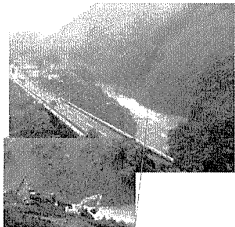
■センサの基本仕様

- ・測定レンジ: 0~200m程度(音源センサとマイク間)
- ・測定精度: $\pm 1\%$
- ・音源センサ電源: 内蔵バッテリー(寿命: 1ヶ月(5分間隔測定時))、制御部電源: AC100V

RE・MO・TE 2 (Remote Monitoring Technology 2)

～ 崩壊斜面の緊急計測手法～

技術開発の背景



地すべりなどで土砂が崩落・堆積した場合、道路通行や河道の確保、人命救助などのために、土砂の除去作業を緊急に行う場合があります。このような崩壊斜面では、背後の地すべり誘発や再崩落による二次災害の危険性があるため動態監視を行う必要がありますが、計測装置の設置自体、危険な斜面に立ち入ることからリスクの高い作業になります。

【従来の監視手法の問題点】

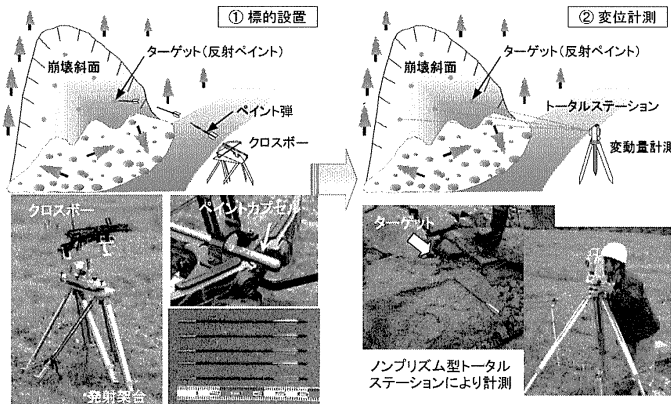
- 目視調査、伸縮計、GPS測量、トータルステーションなど
- ◆高精度だがセンサーや測量ターゲットの設置は危険を伴う
- ◆ターゲットを用いない計測(ノンプリズム型トータルステーションなど)の安全性は高いが、データの精度が低い。



そこで、土木研究所では民間企業3社※との共同研究で、①危険な斜面に立ち入ることなく、②速やかに、③精度良く、地盤の変位計測を可能とする緊急計測手法「RE・MO・TE2」を開発しました。 ※株式会社興和、株式会社バスコ、株式会社レイディック

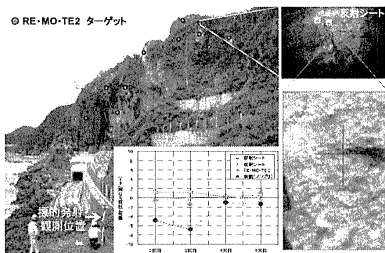
RE・MO・TE2の概要・特長

◆ 再崩壊や被害の拡大が予想される斜面に遠隔からターゲットを設置し、ノンプリズム型トータルステーションでターゲットを視準することで地盤変位を精度良く計測する技術です。

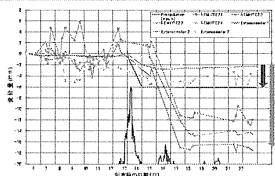


- ◆ クロスボー
資格・免許や特殊な技能不要
(18歳以上なら誰でも可)
- ◆ ターゲット
反射強度の高いガラスビーズ
(φ50μm) 入りのペイント
- ◆ ターゲット設置可能範囲
仰角-10度～+40度
最大水平距離360m
最大高さ130m
- ◆ ターゲット設置精度:
±30cm/300m
- ◆ 計測精度: ±3mm

現場への適用

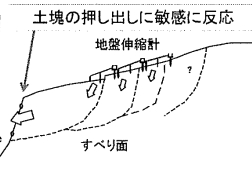


■ 岩盤急峻斜面計測への適用例(輪島市)



■ 崩壊斜面における計測例

- ◆ 伸縮計の約3倍の変位量を観測



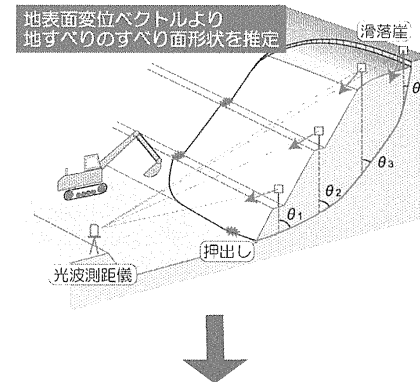
地表面変位ベクトルから地すべりのすべり面を推定する技術

■ はじめに

地すべり災害が発生した場合には、対応の遅れが被災規模の拡大を招くことから、地すべり発生初期の応急緊急対策の実施が重要です。そのためには、迅速に地すべり規模、特にすべり面の形状を把握する必要があります。しかし、従来から行われてきた調査ボーリングによるすべり面の把握は、調査日数を要することや、地すべり地内での作業であることから安全面に問題がありました。そのため、地すべり地外から得られる情報を利用してすべり面形状を推定する技術の構築が、すべり面形状把握の迅速性や調査の安全性の向上を図る上で重要です。

本技術は、地すべり土塊の地表面変位ベクトルを用いて迅速かつ安全に地すべりのすべり面を推定するものです。

■ すべり面を推定する技術の概要



地表面変位ベクトル、及び滑落崖と押出しの位置から地すべりのすべり面を推定する手法、またパーソナルコンピュータ上で動作可能なすべり面推定プログラムを作成しました。地表面変位ベクトルが地下に存在するすべり面の勾配を表していること※を利用し、幾何学的解法によりすべり面形状を求めます。

※ 地すべりが剛体的に挙動すると仮定したとき

特徴

- ① 二次元断面で計算
- ② パーソナルコンピュータで迅速に計算
- ③ 比較的小さな変位量でも適用可能

入力項目

- ① 測線の地形、地表面変位計測点の座標
- ② 地すべりの滑落崖と押出し位置の座標
- ③ 地表面変位ベクトル

すべり面推定プログラムによる計算

現在土木研究所地すべりチームでは、災害現場等での活用を目指して、民間企業との共同研究によりすべり面推定プログラムの改良、並びにすべり面推定プログラム操作マニュアルの作成を進めています。

すべり面推定プログラム



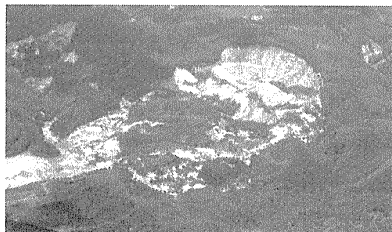
独立行政法人 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 Tel. 029-879-6787 Fax. 029-879-6729
<http://www.pwri.go.jp/team/landslide/index.htm>



独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム
〒305-0516 茨城県つくば市南原1-6 TEL : 029-879-6787 FAX : 029-879-6729 <http://www.pwri.go.jp>

地すべり地における 挿入式孔内傾斜計計測マニュアル(案)の紹介

マニュアル(案)作成の背景

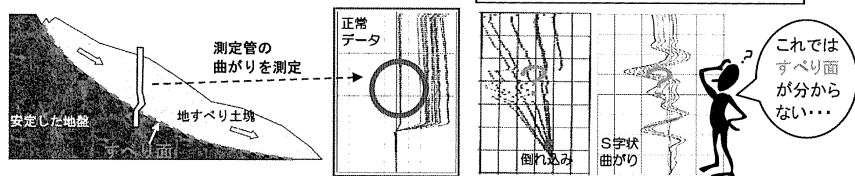


平成 20 年度 岩手宮城内陸地震で発生した岩手県栗原市栗駒の荒砥沢地区地すべり(平成 20 年 6 月 15 日撮影)

日本の各所で、大雨や地震により地すべりなどの土砂災害が毎年のように発生し、道路や住宅が被害を受けています。

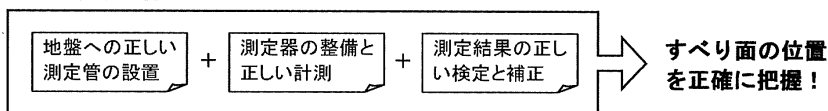
地すべりによる被害を防ぐためには、地すべりが動かないような対策をする必要があります。そのためにはすべり面の位置(地すべりが動いている深さ)を調べなければなりません。

孔内傾斜計計測で発生する不良データの例



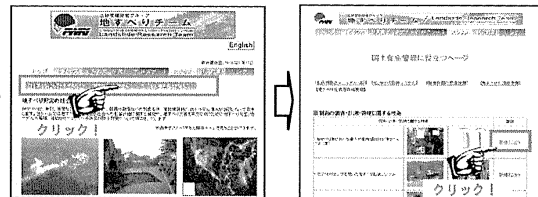
挿入式孔内傾斜計は、地すべりのすべり面を決める際に多く使われますが、地盤の動きとは思えないデータが得られることがあります。その場合は適切な対策設計が行えません。そこで、土研地すべりチームではそのような不良データ発生の予防や適切な補正を行う方法を記載した「マニュアル(案)」を作成しました。

どのような内容か?



入手方法は?

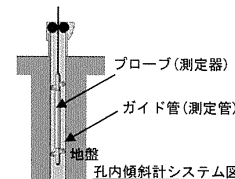
「地すべりチーム」で web 検索！
または以下のアドレスを入力
<http://www.pwri.go.jp/team/landslide>
⇒ 地すべりチームトップページ



マニュアル(案)の構成

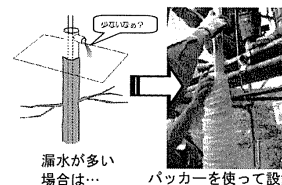
はじめに

- ・マニュアル(案)作成の背景
- ・用語の統一や解説



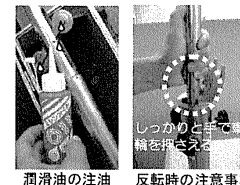
第1章 観測孔の設置

- ・ガイド管の適切な設置
- ・亀裂地盤でのバックカー使用



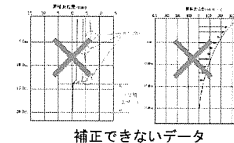
第2章 観測

- ・測定器の整備
- ・正しい取り扱いによる計測



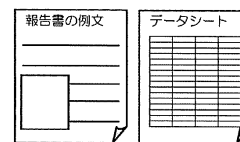
第3章 測定値の検定・補正

- ・測定値の検定
- ・倒れ込み現象の補正が可能な条件、補正方法



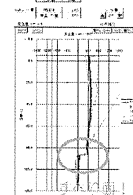
第4章 観測結果の報告方法

- ・報告書などへの記載



付録 解析支援ソフト(Excel)

- ・「倒れ込み」を直すソフト



倒れ込みの量が基準を超えた場合は...

再測定・計器の検定を推奨

計測器の機械誤差により「倒れ込み」現象が発生することがあります。

本ソフトは、その誤差分を補正して倒れ込みを直すものです。ただし、この補正は計測器メーカーの補償する基準内である場合に適用されます。

今後の実験データや、本マニュアル(案)の公開後に寄せられたご意見・ご要望を反映させて、平成 21 年度末には 挿入式孔内傾斜計計測マニュアル(正式版) を書籍として発行する予定です。

本マニュアル(案)は、応用地質株式会社・坂田電機株式会社・日本工営株式会社と、土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチームとの共同研究により作成したものです。



【お問合せ先】 独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム

〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 TEL:029-879-6787 FAX:029-879-6729 <http://www.pwri.go.jp>

既設アンカーへの設置を可能にした新型アンカー荷重計！ 既設アンカー緊張力モニタリングシステム

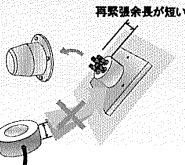


■既設アンカーの課題 現在のアンカー緊張力、把握されていますか？

アンカーを適切に維持管理していくためには、アンカーに作用している緊張力を把握することが重要である。

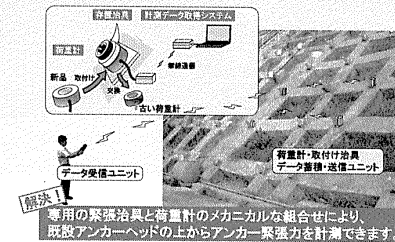
しかしながら、

- 多くのアンカーは荷重計が取付けられておらず、現在のアンカー緊張力がどうなっているか不明である。
- 今から荷重計を取付けようとしても、構造的な制限により困難である。



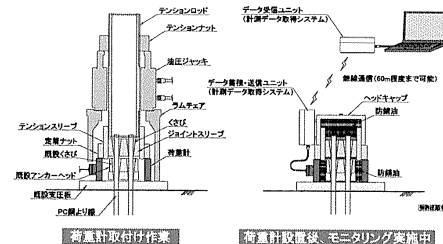
課題！
既設アンカーは、荷重計を取付けるだけの十分な再緊張余力が確保されていない

■システムの運用イメージ



■システムの構成 500kNタイプ、1,000kNタイプを開発

1. 専用緊張治具（設置時使用治具：緑色、存置治具：桃色）
 2. センターホール型荷重計（ひずみゲージ式、差動トランス式、油圧式）：青色
 3. 計測データ取得システム（データ蓄積・送信ユニット、データ受信ユニット）：白色
- ※環システムでは、再緊張余力が500kNタイプで60mm以上、1,000kNタイプで70mm以上必要です。

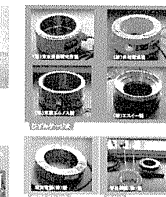


■システムを構成する3つの技術 500kNタイプを掲載

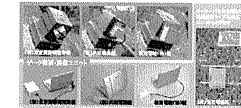
■専用緊張治具



■センターホール型荷重計

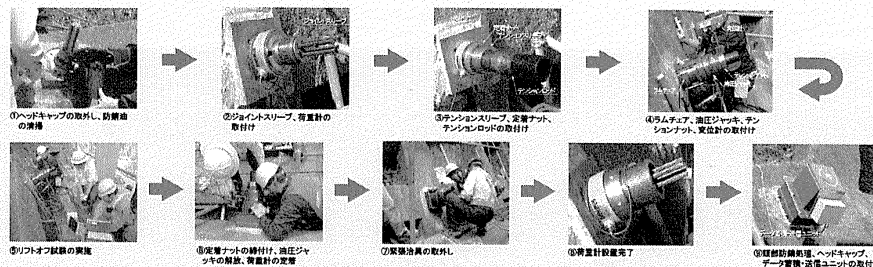


■計測データ取得システム



◆製品の仕様及び外観は、改良のために予告無く変更される場合があります。

■既設アンカーへの荷重計取付け手順



本システムは「共同研究」アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発にて開発しました。

【メンバー】 独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム・日神建設株式会社・守谷鋼線株式会社・ライ工業株式会社
株式会社共和電業・株式会社エヌイー・株式会社京東エムス・坂田電機株式会社・株式会社東京測器研究所

連絡先

独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム
FIRI 〒305-8516 茨城県つくば市南厚1-6 TEL:029-679-6767

Ver.050&28