

土研新技術ショーケース2012 in 東京



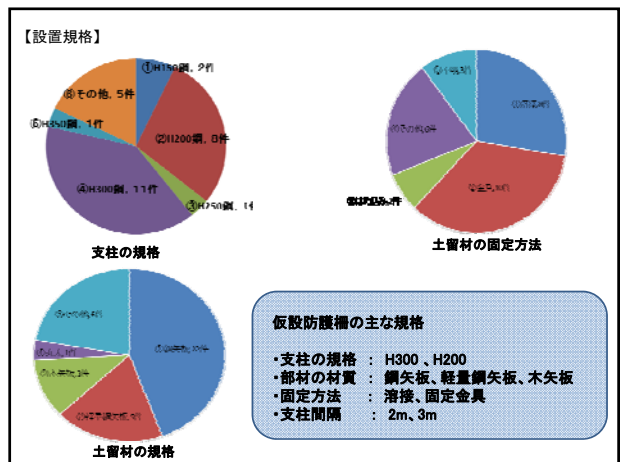
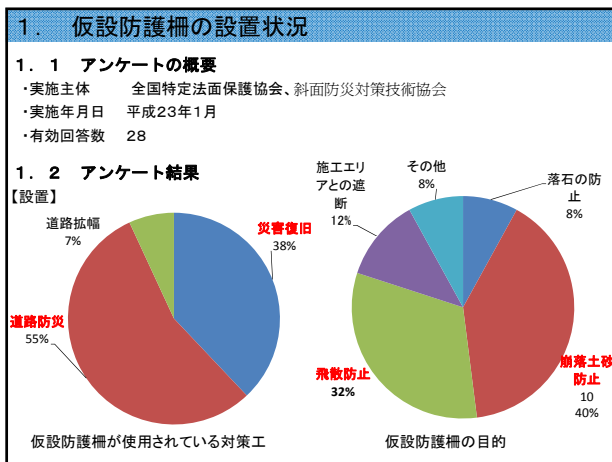
## 仮設防護柵に設置する斜面崩落検知 センサと検出システムの開発

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 千田 容嗣

本センサー及びシステムは、独立行政法人土木研究所と民間4社（株式会社大林組、応用地質株式会社、川崎地質株式会社、日本工営株式会社）が、共同研究「斜面の崩落の検知センサーと検出システムの開発」（平成21～23年度）での成果です。

### 発表内容



1. 仮設防護柵の設置状況
2. 背景と目的
  - 2.1 仮設防護柵の被災事例
  - 2.2 大規模崩落に至るまでの落石・小崩落観測事例
  - 2.3 まとめ
3. 開発したシステム、センサの概要
  - 3.1 崩落検出システムのイメージ
  - 3.2 開発したセンサの概要
4. 検証実験
5. 問い合わせ先



### 2. 背景と目的

#### 2.1 仮設防護柵の被災事例

##### (1)被災事例 1

(a) 全景 (b) 仮設防護柵が被災した状況

**写真-1 H19.1月に奈良県で発生した事例**

- ・幅約30m、高さ約35m、崩壊土砂量約1,100m<sup>3</sup>の規模の崩落が発生し、通りかかった自動車1台が崩土に巻き込まれ、乗車していた3名の方が亡くなる災害が発生した。
- ・現場では、約2週間前に幅約20m、高さ約30m、土量100 m<sup>3</sup>の規模の崩落（1回目）が発生し、数日後に、1回目の崩落地内で幅約18m、高さ約25m、崩壊土砂量80m<sup>3</sup>の崩落（2回目）が発生している。

##### (1)被災事例 2




(a) 仮設防護柵の被災状況 (b) 崩壊地の上部からの状況

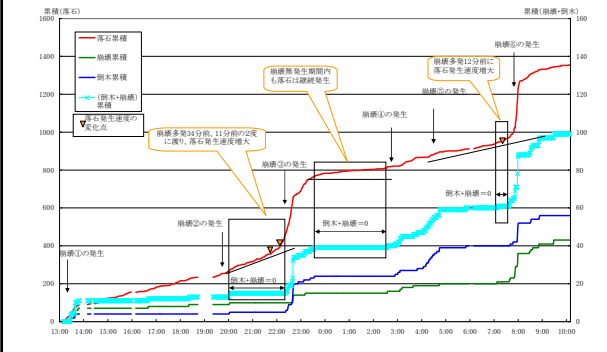
**写真-2 H23.2月に静岡県で発生した事例**

- ・延長約40m、高さ約40m、崩壊土砂量約3千m<sup>3</sup>の崩壊が発生した。
- ・この崩壊で軽トラック1台が崩壊土砂に巻き込まれ、1名は自力で脱出したが、1名は閉じこめられる災害が発生した。
- ・現場は、約5か月前（9月の台風による豪雨）、約3か月前（11月の降雨後）に崩壊が発生しており、今回もその隣接斜面で崩壊が発生した。

## 2.2 大規模崩落に至るまでの落石・小崩落観測事例

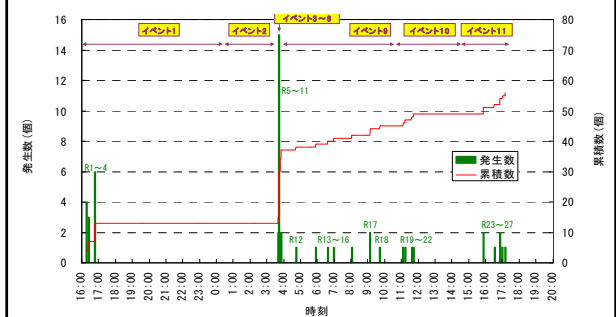
### (1) 落石・小崩壊事例 1

- ・規模 幅150m、長さ135m、移動土塊量約265,000m<sup>3</sup>
- ・落石回数 累計1,352回



### (2) 落石・小崩壊事例 2

- ・規模 幅40m、長さ80m、崩壊土砂量14,000m<sup>3</sup>
- ・落石回数 累計 1,352回
- ・2回目のイベント時(イベント3~8)に落石が集中してみられた(44%)。



## 2.3 まとめ

山間部では、道路斜面の災害時や工事中に多くの場合仮設防護柵が用いられている。しかし、仮設防護柵で対応不可能な規模の落石や崩落が発生し、仮設防護柵もろとも道路利用者が被災する事例も報告されている。

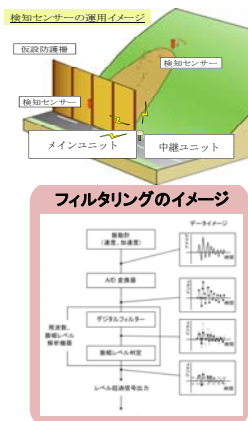
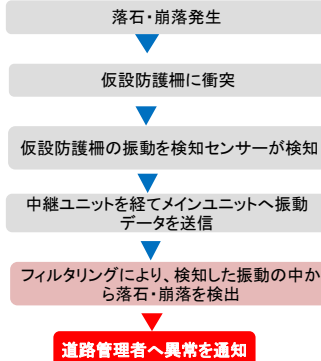
そこで、仮設防護柵で対応不可能な落石・崩落が発生した際にも被災者を出さない道路管理手法の開発が求められている。



一般的に大規模斜面崩落の前兆現象として、落石や小崩落が発生し、それが増加する傾向がみられることがあるに着目し、仮設防護柵に振動計を用いたセンサー設置することにより落石や崩落を検知し、斜面変動が発生していることを道路管理者へ通知するシステムについて紹介します。

## 3. 開発したシステム、センサの概要

### 3.1 崩落検出システムのイメージ



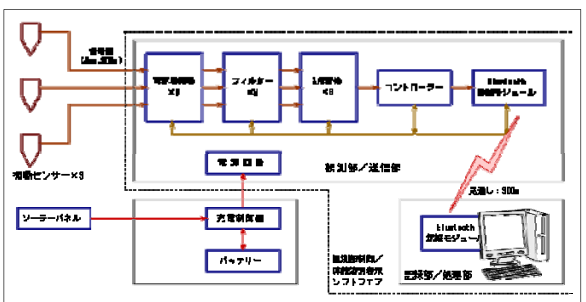
## 3.2 開発したセンサの概要

### (1) 速度型振動計を用いたセンサ

速度型振動計を用いたセンサの仕様

種類	数量	仕様	要求仕様
振動センサー	1成分1個	形式: MC型小型地震計 (速度計: 水平動のみ) 固有周波数: 14Hz (25Hz可)	
観測部/送信部	3成分1台	周波数: 200Hz~500Hz サンプリング: 1kHz (1msec) 分解能: 16bit以上 通信方式: Bluetooth (通信距離: 見通し300m) 記録方式: 波形の連続出力方式 (トリガー無し)	
記録部	1台	装置形式: WindowsXP7 パソコン 通信方式: Bluetooth (通信距離: 見通し300m) 記録方式: 連続記録方式 (100GByteまで200日)	
処理部 (記録部と兼用)	1台	モニター機能: 波形を即時表示することによる監視 トリガー機能: ソフトウェアトリガー方式 (10秒間隔の設定) ノイズ除去機能: 帯域周波数: 300Hz (変更可) 以下はノイズ 振動継続時間: 0.1S (変更可) 以下は空室ノイズ 波形区分機能: 落石、自動車、落石 (変更可)、工事など 波形処理機能: 振動エネルギー、検知位置計算*、振動エネルギー計算* 処理結果表示機能: 1時間別 (変更可) 落石イベントグラフ 1時間別 (変更可) 振動エネルギーグラフ 1時間別 (変更可) 最大振幅 (質量) の時間変化グラフ 検知位置の平面分布と時間変化グラフ	
通信機能		通信機能: TCP/IP通信により 波形と処理結果を遠隔地に送出	

### <参考> 仮設防護柵の落石・崩落の規模を推定するシステム



✓速度型振動計(地震計)をベースに「メモリー機能」と「高度な演算処理機能」を追加したハイスぺックなシステムの提案

(2) 加速度型振動計を用いたシステム

加速度型振動計を用いたセンサの仕様



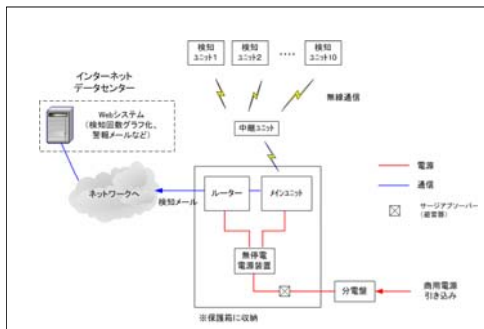
知知ユニット

中継ユニット

メインユニット

■ 共通	
電源方式	特定小電力無線 ARIB-T17準拠
無線周波数	429.25MHz~429.7375MHz、12.5kHz間隔、40chの中から10ch使用
送信電力	10mW
送信距離	100m(環境条件による)
	※知知ユニット~中継ユニット間100m、中継ユニット~メインユニット間100m
検知ユニット最大数	10台(中継ユニット当たり)
■ 知知ユニット	
検知センサー	加速度センサー(ボール接点式、30gal以上で検知)
知覚検出センサータイプ	非接触型エッジ検出型、3軸
A/D変換	サンプリング500Hz、分解能10bit
フィルタリング	デジタルフィルタ(ハイパスフィルタ、ローパスフィルタ)
検知レベル設定	4段階、設定下限値0.05G、設定上限値4G ※メインユニットからの変更可能
電 源	アルカリ単三電池2本
動作時間	約1年(常時警戒モードの場合)
動作温度	-10~60℃(結露なきこと)
材質、保護等級	ポリカーボネート、IP54準拠
寸 法	80(W)×120(H)×40(D)mm(突起物含まず)
■ 中継ユニット	
通信制御	不感帯時間(10秒)による受信待機機能
電 源	アルカリ単一電池2本
動作時間	約1年(常時警戒モードの場合)
動作温度	-10~60℃(結露なきこと)
材質、保護等級	ポリカーボネート、IP54準拠
寸 法	80(W)×160(H)×56(D)mm(突起物含まず)
■ メインユニット	
ネットワーク機能	10BASE-T/100BASE-TX、RJ45コネクタ
警報機能	圧電ブザー
接点出力機能	無電圧タイプ、1接点、接点容量DC30V2A以下
電 源	3Sリチウム水素電池(2本)
バックアップ電源	3.3Vニッケル水素電池(バック1本(動作時間:1時間程度))
動作温度	-10~60℃(結露なきこと)
材質、保護等級	ポリカーボネート、IP54準拠
寸 法	135(W)×200(H)×50(D)mm(突起物含まず)

<参考> 仮設防護柵への落石・崩落の発生のみを検知するシステム



✓ 加速度型振動計(MEMSセンサ)をベースに、基本機構のみによるロスベックなシステムの提案

3. 3 加速度型振動計のシステムと速度型振動計のシステムの特徴

(1) 取得情報

加速度型振動計	速度型振動計
<ul style="list-style-type: none"> <li>・落石の発生回数</li> <li>・検知時刻</li> <li>・監視カメラや警報機との組み合わせることにより、落石が落石防護柵に衝突する位置の確認が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検知時刻、最大振幅・周波数、継続時間、波形種別</li> <li>・落石の衝突位置、斜面崩壊の発生位置の推定も可能。</li> </ul>
<p>落石検知回数のWeb閲覧画面</p>	<p>自動分析処理画面</p>

(2) 配線、配置

加速度型振動計	速度型振動計
<ul style="list-style-type: none"> <li>・メインユニット1台に対し、最大10台までの検知センサーの設置が可能。</li> <li>・検知センサー~中継ユニット間、中継ユニット~メインユニット間で無線通信が可能。⇒計器設置時の配線作業が不要。</li> <li>・インターネットを使用して検知情報を事務所などに送信が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メインユニット1台に対し、最大3台までの検知センサーの設置が可能。複数のメインユニットを並列して稼働させることが可能。</li> <li>・岩盤や土砂地盤にも検知センサーを設置が可能。</li> <li>・中継ユニット~メインユニット間は、無線通信(Bluetooth通信により見通し距離で約300mまで)が可能。⇒計器設置時の配線作業が不要。</li> <li>・インターネットを使用して、波形データやその処理結果を事務所などに送信が可能。</li> </ul>

(3) 観測

加速度型振動計	速度型振動計
<ul style="list-style-type: none"> <li>・省電力機能により乾電池で最長で約1年間の検知が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GPS時計による自動校正システムを内蔵。</li> <li>・トリガーを設定せず全ての波形を連続記録するので、設定ミス等による欠測がない。</li> </ul>

4. 検証実験

4. 1 システムの設置状況



試験地の状況(全景)

(1) 加速度型振動計を用いたシステム



✓画素300万画素、高感度(被写体最低照度0.005Lux以上)のデジタル監視カメラ



ハロゲンライト



✓加速度型崩落検知システムと連動するように設置・設定し、検知時の落石状況を撮影

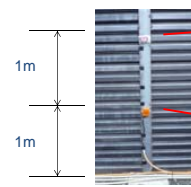
✓カメラの画像データにより、検知システムを検証

監視カメラの設置状況

(2) 速度型振動計を用いたシステム



観測部制御、記録、収録装置(速度型)



1m

1m



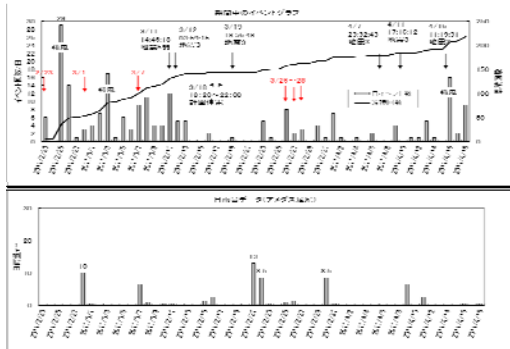
MEMS加速度センサによる検知ユニット



速度型振動計(速度型)

振動計、観測小屋の配置状況

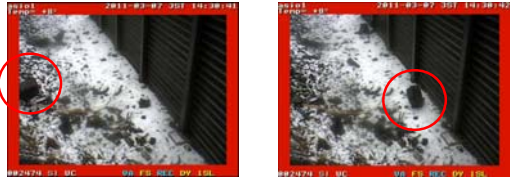
4. 3 観測結果



実験期間中のイベントの発生状況と降雨の関係

○加速度型振動計を用いたシステム

—監視カメラの組み合わせによる落石衝突位置の推定—



直径30cm大の落石が直撃



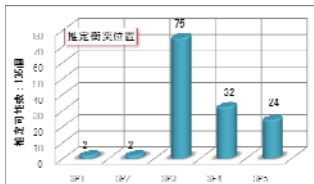
監視カメラによる比較的大きな落石発生状況

(3月7日14:31)

○速度型振動計を用いた崩落検知システム

—落石衝突位置の推定—

✓鉄球振り子試験結果をもとに衝撃位置を挟む2つの振動計の振幅比を算出し、振幅比による衝撃位置推定方法の定式化



振幅比を用いた衝撃位置推定結果

✓長期検証実験結果で、70%以上、1スパンの誤差を許せば90%以上の的中率

監視カメラ結果による検証結果

種類	回数	比率	平均距離	備考
○	39	72.2%	265.3	
△	11	20.4%	90.3	隣のスパン
×	4	7.4%	68.3	2スパン外
合計	54	100.0%	66.6m	

5. 本システムに関する問い合わせ先

○システム全般

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

○個別技術

(1) 加速度型振動計を用いたシステム

応用地質株式会社 計測システム事業部 技術部  
〒305-0841 茨城県つくば市御幸が丘43  
TEL:029-851-5078 FAX: 029-851-7290  
URL : http://www.oyo.jp e-mail : seihin@oyo.jp

(2) 速度型振動計を用いたシステム

川崎地質株式会社 技術本部  
〒108-8337 東京都港区三田 2-11-15  
TEL:03-5445-2077 FAX:03-5445-2093  
URL : http://www.kge.co.jp e-mail : kgetec@kge.co.jp



ご清聴ありがとうございました

