



土砂災害の発生検知技術

土木研究所
土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム

背景・目的

・近年大規模な土砂災害が発生している。これらの災害の発生をいち早く察知し住民を避難させるには斜面や河道に機器を設置し災害の発生をいち早く検知することが重要。



斜面崩壊



土石流

土木研究所では、安価かつ実用性に優れた機器として、①斜面崩壊検知センサー、②振動検知式土石流センサーを企業と共同開発した。

①斜面崩壊検知センサー

土砂災害に対する警戒避難は、降雨量を指標として運用が進んでいるが、思うように避難に結びついていないのが実態

降雨量を指標とした場合、切迫性を感じにくいという背景がある。
逆に、その地域周辺で土砂災害が発生し始めているという危険情報を入手できれば、避難行動につながりやすいことが考えられる。

土砂災害が発生していることを知る具体的手法のひとつを提案
→崩壊を検知できるセンサー開発

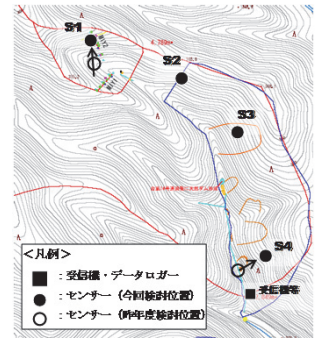


設置事例

管内：国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所

場所：荒谷地区・宮内地区

目的：土砂災害警戒避難体制の強化



主な仕様

1. 検知機能：崩壊した事だけを検知する。
2. 耐用年数：約10年間を想定
3. 電源：バッテリー駆動（電池寿命5年間以上）
4. 伝達方式：無線通信（特定小電力無線）
5. 想定価格：センサ1台数万円程度
6. 設置条件：容易かつ人力で設置可能
7. 耐環境性：気象条件や環境等により機能障害が生じない

斜面崩壊検知センサーの種類

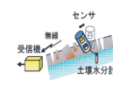
転倒検知センサ



転倒検知 無線伝送

- ・斜面が崩壊しセンサが転倒した場合に検知信号を発生します。
- ・検知信号は無線により受信機まで伝送されます。
- ・無線方式としては、場所に応じて特定小電力無線、低周波地中無線などから現場条件に合ったものを選択します。
- ・タイプによって、サイレン、警光灯との連動が可能です。

傾斜角測定センサ



傾斜角検出 土壌水分計 無線伝送

- ・定期的に斜面の傾斜変化を測定します。
- ・測定信号は特定小電力無線により伝送します。
- ・土壌水分計との接続が可能のため、土壌水分と崩壊の関係を追跡することができます。

斜面変位検知センサ



球落下 無線伝送

- ・斜面の伸び（下方への移動）を検知するタイプです。
- ・検知信号は、センサ内部の鉄球が斜面上に落ちたパイプ中を落下することにより伝送され、番号板の開放及び外部番号出力を行います。

転倒検知タイプ



斜面崩壊によって、センサーが倒れる際に、検知信号を発生する形式

→構造が単純、消費電力が少ない

傾斜角測定タイプ



崩壊検知だけでなく、傾斜角を常時測定する形式
→崩壊の前兆をとらえることが可能

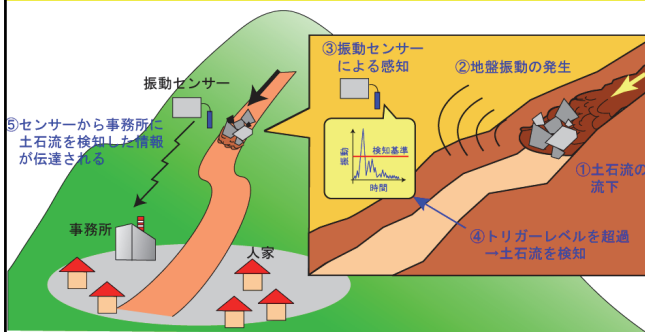
斜面変位測定タイプ



斜面の変位から崩壊を検知する形式

→消費電力が少ない

②振動検知式土石流センサー



土石流の流下にもなって発生する地盤振動を地中に埋設したセンサーで検知する。

設置事例



溪岸に振動を観測できるセンサーを設置する。土石流が発生する地盤振動をとらえて検知する。

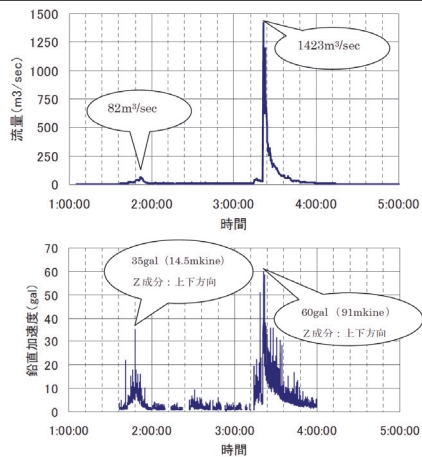
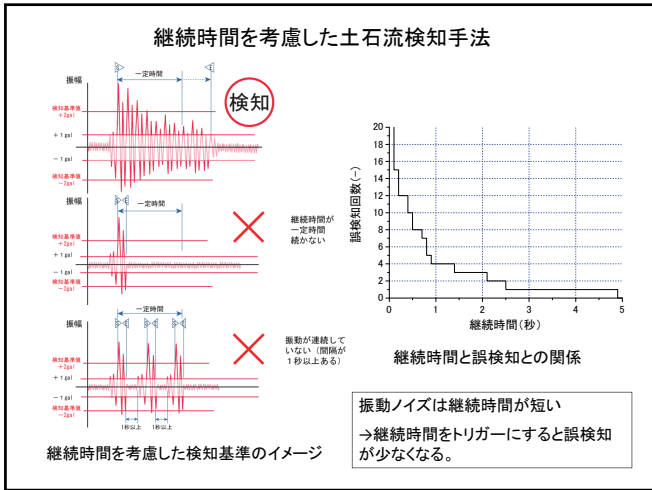
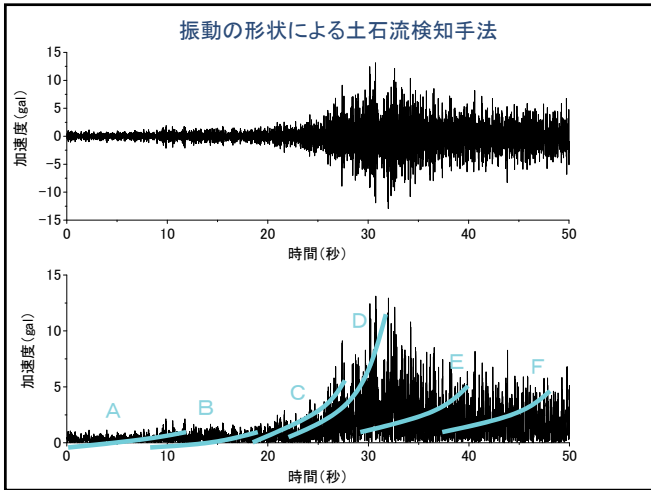


図. 富士山大沢川での検知事例



開発した振動センサー

<h4 style="text-align: center;">既存の振動センサー</h4> <p>特徴: 土石流等の振動を検知して信号を発するセンサー。</p> <p>価格: 約230万</p> <p>閾値: 振幅値</p> <p>状況: 全国で100基以上が設置・運用</p>	<h4 style="text-align: center;">土石流検知特化型</h4> <p>特徴: 閾値に波形の形状を判別するアルゴリズムを組み込んだセンサー。インターネットを介して振動データをダウンロードできるため、現地に行かなくても波形記録を取得できる</p> <p>価格: 約150万</p> <p>閾値: 振幅値+波形形状</p> <p>実績: 桜島で運用中</p>
<h4 style="text-align: center;">現場汎用型</h4> <p>特徴: 閾値に継続時間を組み込んだセンサー。警報値を5段階設置でき、警報の延時状況から、発生規模の推定が可能</p> <p>価格: 約100万</p> <p>閾値: 振幅値+継続時間</p> <p>状況: 桜島・霧島で運用中 (土石流の検知実績あり)</p>	<h4 style="text-align: center;">無線運用型</h4> <p>特徴: ヘリ等で空中から投下・設置できることを目的に開発。センサーから受信部までは無線で伝達</p> <p>価格: 10~20万</p> <p>閾値: 振幅値</p> <p>状況: 桜島で試験運用中 (土石流の検知実績はなし)</p>

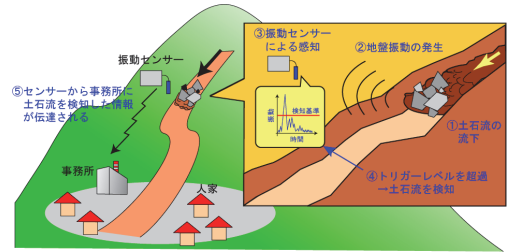


振動検知式土石流センサー

- 独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム
- 日本工営株式会社
- 株式会社拓和
- 坂田電機株式会社

1. 振動検知式土石流センサーとは (振動センサー)

土石流の流下にもなって発生する地盤の振動を振動センサーで計測し、土石流の発生を検知するセンサーです。



2. 主な振動センサーの設置・観測目的

住民の警戒避難



工事の安全管理



土砂移動の監視



道路の通行止等



3. 土石流検知センサーの現状と問題点

土石流検知センサーとしてワイヤーセンサーが最も多く使われている。ワイヤーセンサーは、渓流を横断する形でワイヤーを張りそのワイヤーが土石流の流下により切断されることで検知する。

しかし、

- 一度切れると再び張り直さなければならない張り直すまで欠測となってしまう。
- 落石・動物等により切断・誤報の可能性がある。
- 出水等により河床高が変化すると設置・計測が困難になる場合がある

そこで、

非接触で繰り返し検知可能な**振動検知式土石流センサー**が開発されたが、ワイヤーセンサーに変わるほど普及には至っていない。

振動センサーに対する課題と開発テーマ

■振動センサーを普及させるための課題①

- 土石流以外の現象で誤検知する（誤発報）

開発テーマ

土石流検知センサーとして必要な性能
→土石流を確実に検知し、土石流以外の事象を可能な限り棄却する検知手法を搭載した振動センサー

■振動センサーを普及させるための課題②

- ワイヤーセンサーに変えて、あえて振動センサーを使う理由・メリットがない
- （ワイヤーセンサーと比べて）価格が高い
→さらなる付加価値が必要

開発テーマ

振動検知式土石流センサーとして重要な性能
→振動センサーを活用することの付加価値を分析し、それに対する追加機能を搭載した振動センサー

4. 開発した振動センサー

既存の振動センサー



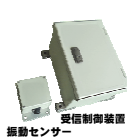
特徴：土石流等の振動を検知して信号を発するセンサー。
価格：約230万（A社）
剛性：振動値
実績：全国で100基以上が設置・運用

土石流検知特化型



特徴：閾値に波形の形状を判別するアルゴリズムを組み込んだセンサー。インターネットを介して振動データをダウンロードできるため、現地に行かなくても波形記録を取得できる
価格：約150万を想定
剛性：振動値+波形形状
実績：桜島で運用中

現場汎用型



特徴：閾値に継続時間を組み込んだセンサー。警報値を段階設定可能。警報の継続状況から、発生規模の推定が可能。
価格：約100万
剛性：振動値+継続時間
実績：桜島・霧島・和歌山で運用中（土石流の検知実績あり）

無線運用型

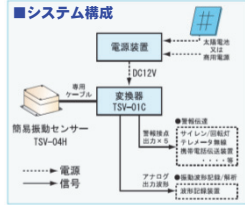


特徴：ヘリ等で空中から投下・設置できることを目的に開発。センサーから受信部までは無線で伝達
価格：10~20万を想定
剛性：振動値
実績：桜島で試験運用中（土石流の検知実績はなし）

4.1 現場汎用型の詳細



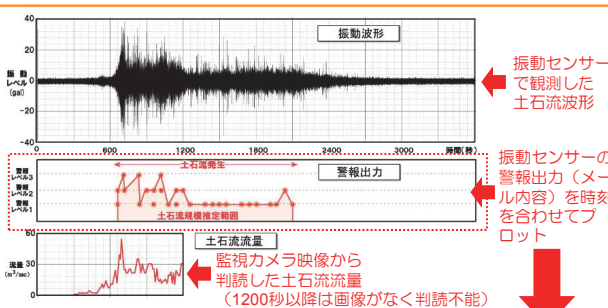
項目	内容
検知手法	振幅値+継続時間
検知信号レベル	5段階の警報値
波形記録	別途記録装置追加で可能
振動波形記録の回収方法	別途記録・伝送装置による
センサーと受信制御装置間の信号伝送方法	有線
電源	太陽電池・バッテリー



①現場汎用型（簡易振動センサー）の特徴

	開発した簡易振動センサー	従来製品
設置	小型・軽量なため、容易に持ち運べ 迅速に設置・観測が可能 > 設置は山間地域が多く運搬・設置が困難	高重量かつ精密機器で 取扱には注意が必要 容易には設置困難
価格	センサー部を土石流検知に必要な精度に限定し、 MEMS 振動センサーを使用し、機器の価格の 低廉化を実現した > 高精度地測計の精度で価格が高い	従来の半値以下
精度	振動の強さおよび振動の継続時間の2種類の検 知基準により判定し、検知精度の向上を行った > 高精度化	振動の強さ設定のみ
機能	段階の検知レベル設定で、概略の土石流規模 の推定を可能とした > 機能の高度化	1段階の設定で 検知の有無のみ
拡張	国土交通省で使用されているデータ伝送装置で あるテレメータ伝送装置に直接接続可能とした > システムの整合性	別途制御装置が必要

②警報出力活用例



警報出力から、土石流の検知および概略の流出規模（上図の赤で塗られた面積）が想定可能と考えられる

③簡易施工方法

- ① 渓流沿いの最適な場所にセンサーを設置するコンクリート枡程度の穴を掘る
- ② 安定した計測を行うため穴を開け固める
- ③ コンクリート枡にセンサーを水平に設置し、ボルト等で固定する
- ④ 配線・防水保護等を行い蓋を開ける
- ⑤ 機器や配線等傷付けないように埋め戻す
- ⑥ 埋め戻し、メンテナンス時の目印の為・容易に人が入れないように囲い等をもうける

④設置調整試験

※試験調整を行い、検知基準値を設定します。

ランマーによる連続振動発生

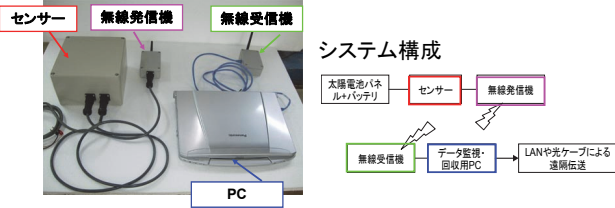


⑤活用設置実績

- 平成20年度10月～ 22年度末まで
土木研究所と共同研究「振動検知式土石流センサーを活用した土石流監視手法に関する共同研究」を開始
- 平成22年7月～ 現在継続中
九州地方整備局大隅河川国道事務所管内桜島野尻川の試験フィールドにて試験機の実証試験開始
- 平成23年2月
九州地方整備局宮崎河川国道事務所霧島新燃岳土石流監視システムとして、3式設置
- 平成23年9月
近畿地方整備局台風12号で発生した河道閉塞の土砂災害発生検知センサーとして、1式設置



土石流検知特化型



項目	内容
検知手法	波形の形状
検知信号レベル	1段階の警報値
波形記録	記録装置をつければ可
振動波形記録の回収方法	遠隔地からダウンロード可能
センサーと受信機間の信号送信方法	無線
電源	ソーラーパネル+バッテリー(波形記録の場合、商用電源が必要)

土石流検知特化型 振動センサーの特徴とポイント

①センサーにて、リアルタイムに加速度波形の演算処理を行い、土石流発生の有無を判定。

ポイント

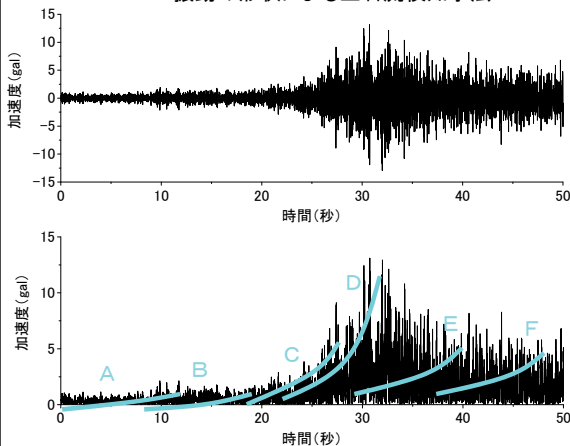
⇒『振動の形状による土石流検知手法』を実装

②無線通信にて情報を伝達。

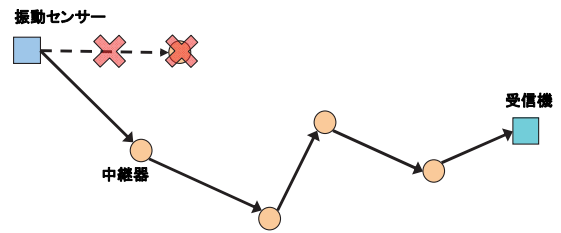
ポイント

⇒『自律的なセンサーネットワーク』構築が可能

振動の形状による土石流検知手法

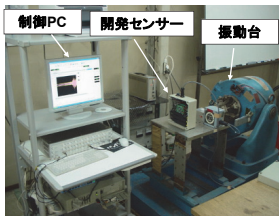


自律的なセンサーネットワーク (マルチホップ機能)



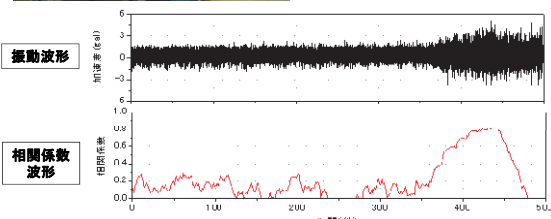
Zigbee (無線周波数帯 2.4GHz) を搭載

室内振動台試験による動作検証



・観測土石流振動波形を振動台に入力

・波形の立ち上がりとともに、相関係数の増加を確認



5. まとめ

■現状の問題・課題を踏まえ、新しく3種類の振動センサーの開発を行った。

- ①現場汎用型 → リアルタイムで事象検知
- ②土石流検知特化型 → 新しい検知手法
- ③無線運用型 → 無線伝送

■桜島の実証試験や霧島火山噴火監視対応、和歌山河道閉塞監視対応等実際に活用されている。

無線運用型振動検知式土石流センサの開発

坂田電機株式会社 才田 誠

1. はじめに

現在、土石流の発生の検知において最も広く使われているワイヤセンサは検知精度が高いものの、土石流が発生してワイヤが切断された後には、それが張り替えられるまで土石流の検知ができないデメリットがある。そこで、振動検知式土石流センサのように遠隔から連続して発生する土石流を検知することができる非接触型の振動検知式土石流センサの利用が有効である。しかし、既往の振動検知式土石流センサはワイヤセンサに比べて高価であり、土石流発生を判定するしきい値の設定が困難であるという課題がある。そこで、土木研究所と共同研究を実施し、安価な無線型振動検知式土石流センサの開発を行ったことについて報告する。

2. 開発方針と機器選定

開発方針から必要な仕様を抽出し、検討した結果から以下の試作機を製作した。

開発方針 : 繰返し使用可能な安価な多点運用型センサ

安価なセンサ : ピエゾ型のセンサを採用

あらかじめ設定した振動振幅超過で検知

受信装置 : 1台の受信機で複数台のセンサを同時に管理

通信方法 : 特小無線を採用 (写真 1,2 参照)

低消費電力 : 単一電池 4ヶ、稼働期間 3ヶ月



写真1 センサ外観



写真2 受信器外観

3. 実証試験

桜島の野尻川の砂防堰堤上に開発した振動検知式土石流センサを設置し、振動検知式土石流センサの設置方法と振動振幅の検知しきい値の検証、システムの安定性の検証、土石流監視手法の検証を目的に実証試験を実施した。

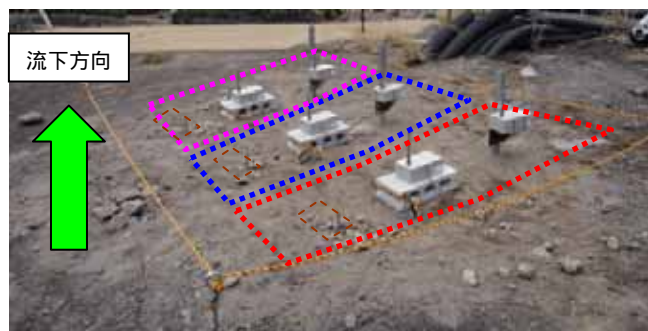


写真3 実証試験配置

(1) 設置方法としきい値の検証

【設置・しきい値の条件】

センサ設置方法：埋設型、ブロック設置型、単管設置型の3タイプで検証（写真3参照）

センサ検知しきい値：10gal、20gal、50galの3タイプで検証（写真3参照）

振動検知式土石流センサの検知と近傍の既設ワイヤセンサの検知結果と比較した結果を図2、表1に示す。

表1はセンサの設置方法とセンサの検知しきい値別に振動検知式土石流センサの検知総数、ワイヤセンサが検知した時期の振動検知式土石流センサの検知回数および、ワイヤセンサの検知と振動検知式土石流センサの検知が一致した割合を示している。ブロック設置型と埋設型の50galは検知総数が少なく、土石流の検知を逃していたと想像できたため表1から除外している。表1においてワイヤセンサ検知との一致率を比較すると埋設型が70%程度と良好な結果が得られた。上記に示す結果を総合的に判断すると埋設型の10~20galが適していると考える。

未だ詳細が確認できていないが、ワイヤセンサ検知の前（降雨時）に振動センサによる検知が確認できていることから、土石流の前兆現象を捉えている可能性が伺えた。

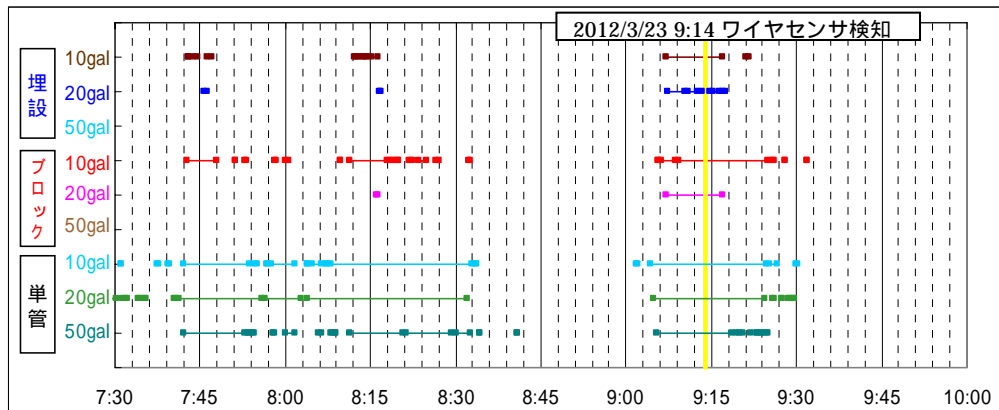


図2 ワイヤセンサ検知と振動センサ検知の関係

表1 検知性能の検証結果

設置方法	検知しきい値	土石流センサの検知総数	降雨時の土石流センサ検知数	ワイヤセンサが検知した時期の土石流センサ検知回数	ワイヤセンサの検知と土石流センサの検知が一致した割合% (/)
単管	10gal	6010	2374	26	0.4%
	20gal	5747	2147	37	0.6%
	50gal	1505	708	58	3.9%
ブロック	10gal	253	213	121	47.8%
	20gal	77	73	48	62.3%
埋設	10gal	115	111	80	69.6%
	20gal	114	105	85	74.6%

(2) システムの安定性

図3および写真4に示す受信システムは約2年間にわたり正常に動作し、不具合なく稼動していた。また、携帯電話網を用いた遠隔通信で振動検知式土石流センサの検知記録を遠隔で確認することができた。

センサの電池寿命は目標の3ヶ月に対し、9ヶ月の稼動した実績を確認した。

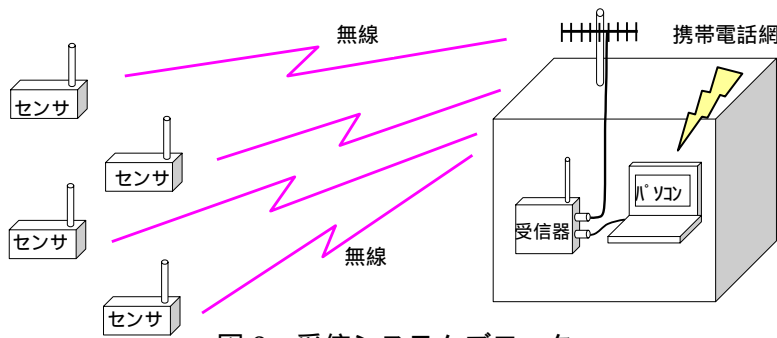


図3 受信システムブロック



写真4 受信システム設置状況

(3) 土石流監視手法の検証

土石流の監視方法として河川の上下流にセンサを配置し、土石流流下に伴う時間差を振動検知式土石流センサの検知時間から捉えるという運用手法について検証した。

上下流の位置に設置した振動検知式土石流センサの検知時間と土石流の発生時間を図4に示す。2回の土石流について整理した結果、上流側が先に検知しているものの上下流のセンサの検知の時間差が600秒以上生じる場合があった。上流側と下流側のセンサの設置位置は約400mであり、土石流が時速20kmと仮定すると不合理である。原因は土石流の規模や地形の違い、土石流の流路の変化に伴って土石流による振動の伝わり方が状況により、刻々変化しているためと考えている。

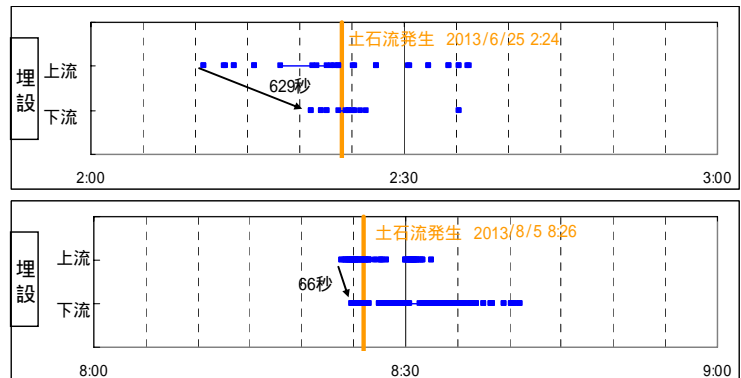


図4 ワイヤセンサ検知と上下流の振動センサ検知の関係

4. おわりに

開発した無線式振動検知式土石流センサは実証試験において基本的なセンサの性能およびシステムの安定性が確認することができた。また、ワイヤセンサの検知以前に振動センサによる検知が確認できたことで土石流の前兆現象を捉えている可能性が伺えた。

以上