

国土技術政策総合研究所：○桜井 宜・泉山寛明・高原晃宙（現 国土交通省砂防部）

産業技術総合研究所：倉島優一、叶嘉星、樋口哲也、小林健

## 1.はじめに

土石流に対する警戒避難体制を整備する上で、土石流検知センサーは重要であり、これまで様々な検知センサーが開発されてきた。検知センサーは接触型と非接触型に大別され、これまで接触型であるワイヤーセンサーが多用されてきた<sup>1)</sup>。構造が簡単で検知が確実なためであるが、連続して発生する土石流が検知できないほか、地形条件が厳しい渓流内では、設置や張り替えに手間を要するという短所がある。一方、非接触型は光、音響、振動センサー等があり連続検知が可能であるが、検知精度等の問題もあり、振動センサーの使用実績が少數ある以外は、ほとんど普及していない。振動センサーについては、研究実績<sup>2,3)</sup>があるが、確実に検知するためのトリガー設定が難しく、さらに土石流以外の振動による誤検知の可能性も高い点が普及を妨げていると考えられる。そこで、本研究では、連続検知が可能である振動センサーの改善を目指し、パターン認識手法の一種であるサポートベクターマシンを用いた土石流発生時、非発生時の振動波形の機械学習（教師あり学習）<sup>4)</sup>により誤検知を無くし検知精度を高めることを検討した。また試作した検知センサーを鹿児島県桜島の野尻川に設置し、検証をおこなった。

## 2.センサーシステムの概要

新たな検知センサーは、複数のセンサー子機と受信機から成るセンサーシステムを構成する。受信機ではマイコンによる振動波形の解析を行い、機械学習により検知した振動波形が土石流によるものか判断を行う。将来的には、センサー子機にもマイコンを設置し、リアルタイムで振動波形を解析し、土石流の判定結果のみを受信機に送信することにより通信に対する消費電力等の負荷軽減も可能である。また複数センサーを設置することにより、多数決判定による検知精度の向上やセンサーの破損および流失等に対してフェールセーフの確保が期待できる。材料費が1万円程度とセンサー単体を低コストにすることにより、複数センサーの設置が可能になったと言える。

図-1にセンサーの概要を示す。今回試作したセンサーは、市販のガーデニングライトに充放電回路を追加し、ソーラーパネルにより電力供給を行う。振動センサーは3軸加速度センサーを搭載し、センサーからの振動波形は920MHz帯、送信出力10mWの電波で受信機に信号として送り、市販PCのHDDに1時間おきにデータを保存する。PCへの電源供給は、商用電源を利用し、PCからUSBで受信機に給電する構造となっている。ソーラーパネルは出力最大1.5Wであり、



図-1 センサー子機外観



図-2 センサー、受信機設置状況

システム全体の消費電力は0.13Wのため、一度リチウムイオン電池に満充電すると2週間弱はソーラーパネルによる発電が無くてもセンサーを稼働できる。

センサーのサイズは全長が15cm程度（アンテナ、バッテリーグラウンド部を除く）であり、重量も一人で数個のセンサーを運搬できるほど軽量で、設置も非常に容易である。検証のため実際に現地に設置したセンサーは、市販の電気ドリルで岩や砂防構造物に削孔し、ネジ止めをする構造であり、作業に習熟すると1つのセンサーについて5分程度の時間で設置が可能であった。これは地形等の自然条件が厳しい砂防事業の現場において、設置や維持管理面で大きなアドバンテージになると期待できる。

## 3.土石流検知センサーの現地検証

試作した検知センサーを、動作の検証および機械学習用に用いる振動波形データを取得するため、平成29年3月に土石流が頻発する鹿児島県桜島にある野尻川の野尻川第7号、8号堰堤付近に設置した（図-2）。

図-3に代表的な観測事例として、2018年5月2日に観測された振動波形データを示す。土石流の通過に伴う大きな振動を捉えていることが分かる。観測箇所では、ワイヤーセンサーが併設されているが、ワイヤーセンサーが切断される直前の約30秒前から大きな

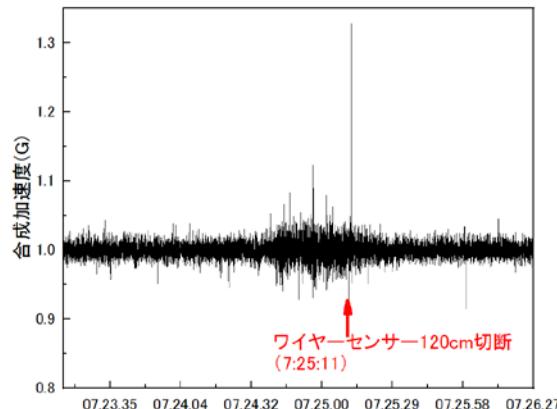


図-3 土石流発生前後の合成加速度

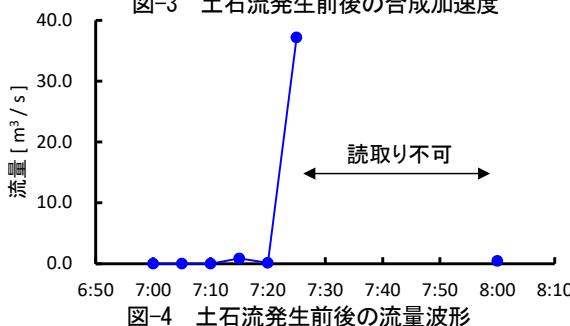


図-4 土石流発生前後の流量波形

振動を捉えはじめ、ワイヤーセンサー切断と同時刻の7時25分11秒に最大の振動を観測している。また先頭部の通過とともに、発生前と同じレベルまで振動が減衰している。これは併設したビデオカメラ映像の結果から、土石流先頭部に巨礫を含み、後続流は濃度が低下する典型的な土石流であり、振動波形もこのような土石流の流下形態を反映したものと考えられる。またCCTVの画像解析を行い、土石流の流量波形も求めた(図-4)。ピーク流量は37m³/s程度と推定され、この程度の規模の土石流なら十分に土石流の振動を検知できることを示した。

#### 4. AI(機械学習)による検知の仕組み

2017年6月3日～7月4日における3回の土石流について、サポートベクターマシンによる土石流判定が可能か否か、検討を行った。概要を図-5に示す。まず、振動波形データを1分おきに5分間のデータ区間に分け、8835区間を生成した。その後、2つの過程を経て判定を行うこととした。まず、第一ステップ(異常度計算部)では、部分空間法により土石流や多数の雨滴衝突、強風による異常な振動と平時の振動を区別する。これは、第二ステップ(土石流検知部)での計算時間を短縮することを目的としている。今回の場合は、異常な振動データ区間は619区間となった。第二ステップでは、土石流発時の振動データを学習したサポートベクターマシンにより、第一ステップで異常と判定された619データ区間を基に土石流の検知を行う。今回は、交差検証法を用いた。これは、3回の土石流のうち2回のみ学習させ、学習していない残りの1回の土石流が検知できるかを確認する手法である。組み合わせからして検証は3回行うことが可能である。検

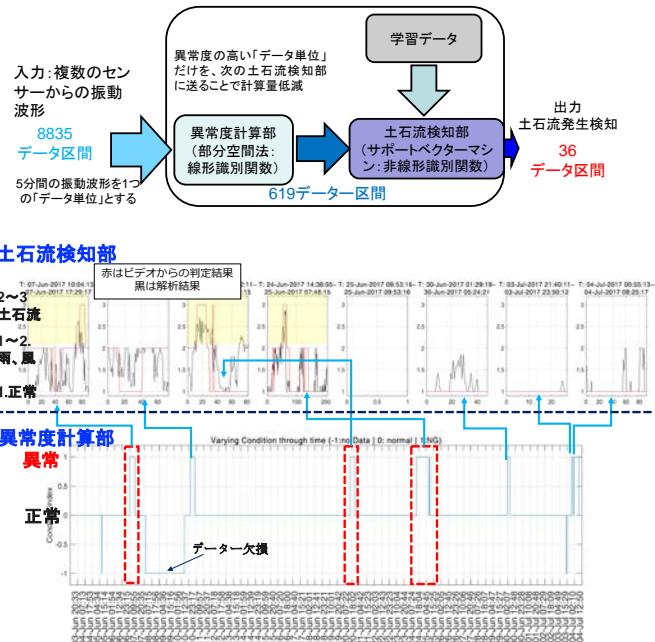


図-5 上段：判定プロセス 下段：判定イメージ

証の結果、計36データ区間が土石流と判定され、判定されたデータ区間の時間帯と実際の土石流発生時刻を比較すると、実際の土石流発生期間と一致した。このように、機械学習により、実際に取得した振動データを用いて検証したところ、土石流と判定することができる事が実証された。

#### 5.まとめ

今回開発した機械学習による土石流判定の手法を、これまで収集した振動波形データに対して適用した結果、土石流の検知が可能であった。しかし、今後発生する土石流に対して、リアルタイムの検知可否に関する検証はこれからである。機械学習により土石流振動波形をさらに取得し解析数を増やすことにより、検知精度を向上させていく予定である。またソーラーパネルによる発電では、曇天が続いた場合に電力が不足することも懸念された。今後は実際の普及に向けて、残された課題を解消し少しでも早く実用化できるよう、精力的に取り組んでいく予定である。

最後になりますが、現地観測に対して多大なご協力を頂いた国土交通省大隅河川国道事務所および同桜島出張所の皆様に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 山田ら (1998) : 土石流防止のためのセンサー開発の現状と今後の課題、砂防学会誌 Vol.50, No.5, p.60-64
- 2) 大角ら (2008) : 野尻川における振動センサーを用いた土石流検知自動判定システムに関する一考察、砂防学会誌 Vol.61, No.1, p.3-10
- 3) 吉永ら (2015) : 可搬型振動センサーを用いた土石流振動の現地計測、砂防学会誌 Vol.68、No.1、p.52-59
- 4) Jiaxing, YE et al. (2018) : Journal of World Wide Web Internet and Web Information Systems(投稿中)