野尻川の DAS 観測による土石流計測の試み

国土交通省国土技術政策総合研究所
○海老原友基，赤澤史顕，鈴木啓介

1．はじめに

土石流発生の検知にはワイヤーセンサや CCTV が用いられる。しかし，ワイヤーセンサは一度切断すると復旧までの期間に発生する土石流を観測することができない。CCTV では夜間や荒天時の判読が困難になることが課題とされる。振動計による土石流検知の試みも行われているが，地震動等との区別のための閾値の設定検討が各観測地点で必要であることが，課題となっている。

近年，光ファイバを活用した振動観測の報告がなされており，土石流にともなう振動観測への適用の報告もされている。西村ら(2019)は吾妻山地域において光ファイバと DAS を用いて火山性地震や微動，自然地震を記録した。田口ら（2023）は DAS 記録波形の振幅分布の時間変化より土石流の平均流下速度を推定している。本研究では，野尻川で敷設されている既存の光ファイバを用いた Distributed Acoustic Sensing（以下 DAS）による土石流に伴う振動計測結果について流速を推定し，CCTV による土石流流速の目視判読との比較結果を報告する。

2．DAS の振動観測

DAS 観測は光ファイバのケーブルに外力よりひずみが生じた際にレイリー散乱光が変化する現象を利用して振動を計測する技術である。光ファイバの一端に DAS 計測システムを接続することにより観測が可能となるため，既設の普段使用していない光ファイバ線（ダークファイバ）があれば大がかりな工事をせず線的な振動観測ができるものである。

観測は Lazoc 社製の DAS 計測システムを用いた。システムを接続した光ファイバ線の全長は桜島砂防出張所から野尻川 8 号堰堤までの約 4,400 m，測定間隔約 2.0 m，ゲージ長 10 m，サンプリング周波数 2,000 Hz，総観測点数 2,500 点の観測条件で実施した。そのうち，光ファイバ線が河川の近傍を並行に敷設されている野尻川下流部の野尻橋から野尻川 1 号堰堤に至る区間約 800 m を解析対象区間とした。

野尻川で 2024 年 9 月 22 日 10 時頃に発生した土石流を検討対象とした。この土石流により，野尻川 7 号堰堤に設置されたワイヤーセンサのうち，高さ 60 cmに設置された 1 段目が切断されている。

3．流速比較

3．1　CCTV の土石流流速目視判読

大隅河川国道事務所が設置している CCTV から土石流の流下速度を目視判読した。区間 4 下流端における判読例を図 1 に示す。コンクリート護岸の目地や工事用道路のスロープといった地点を目視判読箇所として，土石流の先頭部が到達した時間を土石流到達時間とした。野尻川 1 号堰堤下流と野尻橋の CCTV 映像を使用して土石流到達時間を判別した箇所を図 2 に示す。地点

図 1　区間 4 の下流端到達時の CCTV。
土石流の先頭部を赤丸で示す。

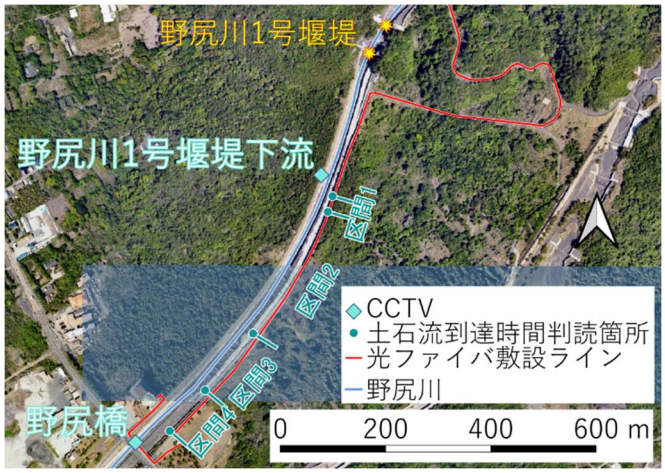

図 2　対象範囲

間の距離は目視判読地点の直線距離として，各地点間の土石流流下速さを算出した。

3．2 DAS による土石流検知時間推定

10 時 1 分から 10 時 25 分までの期間で，解析対象区間内の 377 地点の 1 秒毎のひずみ速度データについて，RMS（二乗平均平方根）を計算した。前 10 分間の RMS 最低値に対し倍数を乗算した値を閾値とし，前 10 秒間の RMS 最低値が閾値を超過した時点を，観測地点の直近河道で土石流が流下したと仮定した。倍数は 3 倍から 6 倍まで 1 倍ずつでそれぞれ検討した。DAS による観測データのうち，CCTV 判読箇所の最近傍の観測データを抽出し，地点間の距離は光ファイバの敷設距離として，各地点間の土石流流下速さを算出した。

CCTV 判読箇所と DAS の観測データでそれぞれにおいて，各区間の土石流流下速度を算出し，比較した。

３．３ 結果と考察

RMS の計算値を図 3 と図 4 に示す。観測点最近傍に土石流が流下すると CCTV の画像から判定された時刻より 1 分程度前に RMS の急激な増大が見られ，土石流に伴う振動をとらえていると考えられる。RMS 値の急増以前の時間帯における RMS 値は瞬間的な増減がときおりみられるものの，各時間帯の下限値は概ね一定であった。土石流接近による RMS 値の急増時間は上流の DAS 観測地点でより早く観測されており，RMS 値の急増時刻を流下方向に追跡することにより土石流の流下時刻も追跡できるものと考えられる。RMS が急増したのちは数分間にわたり RMS 値が大きい状態が継続しており，土石流流下を検出しているものと示唆された。

３倍～６倍に倍率を変更して土石流検知時間の違いを求める感度分析を行った結果を図 5 に示す。観測区間の上流端から約 130 m 上流に野尻川 1 号堰堤があるが，今回検討した倍率の範囲では堰堤による解析への影響は見られなかった。倍率６倍においては特定の観測点において土石流流下の検知が他の検討倍率を比較して極端に遅れることがあった。区間 2 より下流においては倍率（3 倍～5 倍）を変化させても土石流検知時間の大きな変化が見られなかった。流下方向に対して土石流検知時刻の逆転が一部みられるものの，土石流の流下に対応して検知され，土石流の流下時刻をとらえることができた。

３倍～５倍に倍率を変更してそれぞれ流速を判読した結果を表１に示す。土石流流速を求めると 1.1～3.9 m/s となった。CCTV から判読した土石流流速は 2.6～3.3 m/s であり，DAS による流速推定に一定の精度があるものと思われる。

４．まとめ

土石流の流下過程を DAS による振動観測結果を RMS 解析することにより流下過程を追跡することができた。RMS について閾値を設定して土石流通過時間を判別し，土石流流速を求め DAS による流速推定でも一定の精度があると示唆された。

DAS による土石流解析事例は数が少なく，今後もデータ蓄積と分析が必要である。また，周波数特性の検討により土石流の流下形態の検討や，流下方向に連続的に振動観測ができることを活かした土石流検知技術の検討も今後の課題である。

謝辞

野尻川の観測において便宜を図っていただきサイトを提供いただいた大隅河川国道事務所，桜島砂防出張所のみなさまには御礼申し上げます。

参考文献

1) 西村 太志，江本 賢太郎，中原 恒，三浦 哲，山本 希，杉村 俊輔，植田 尚大，石川 歩，木村 恒久：光ファイバーと DAS を用いた吾妻山における地震観測，日本火山学会講演予稿集，2019 巻，pp. 54，2019

2) 田口 貴美子，西村 太志，中原 恒，廣瀬 郁，中道 治久，江本 賢太郎，濱中 悟:DAS システムにより観測された 2022 年 11 月 29 日桜島野尻川沿い土石流に伴う地盤振動波形の解析，日本火山学会講演予稿集，2023 巻，pp. 93，2023 形の解析

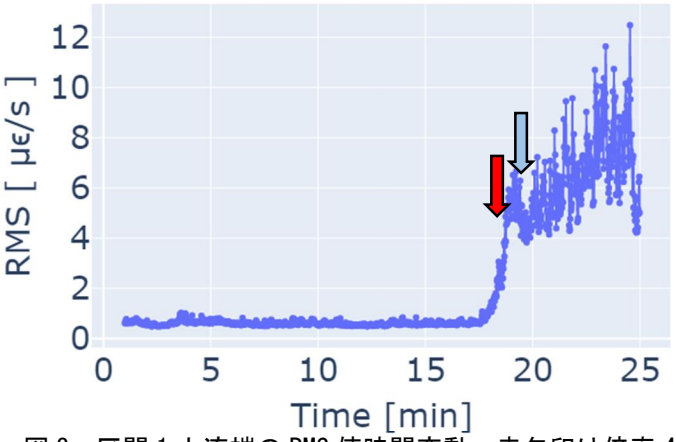

図 3　区間 1 上流端の RMS 値時間変動。赤矢印は倍率 4 倍検知時刻，青矢印は CCTV 判読時刻を示す。

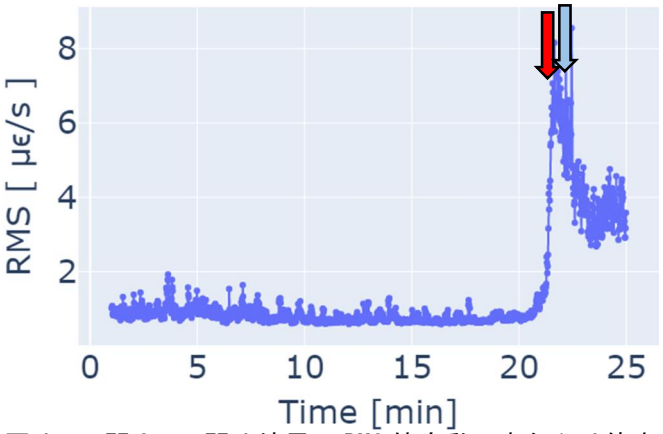

図 4　区間 3～区間 4 境界の RMS 値変動。赤矢印は倍率 4 倍検知時刻，青矢印は CCTV 判読時刻を示す。

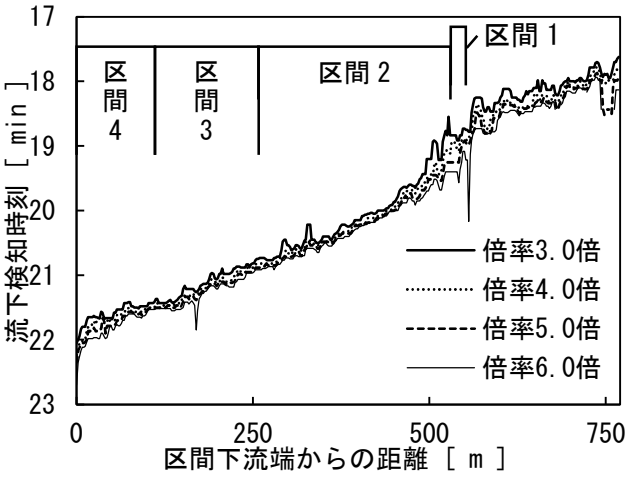

図 5　各倍率における土石流検知時刻

表 1　CCTV 判読及び DAS による流下速度推定

区間	CCTV 判読流速 [m/s]	DAS 推定流速 倍率 3 倍 [m/s]	DAS 推定流速 倍率 4 倍 [m/s]	DAS 推定流速 倍率 5 倍 [m/s]
1	3.1	1.1	1.1	1.1
2	2.6	2.4	2.4	2.8
3	3.2	3.6	3.6	3.9
4	3.3	2.9	2.5	2.2