

## 架空光ファイバを用いた土石流の DAS 観測特性

株式会社エイト日本技術開発 八木笙太

### 1. はじめに

光ファイバケーブルを用いた分布型音響計測 (Distributed Acoustic Sensing: DAS) は、敷設された光ファイバの微小なひずみ速度変化を数メートル間隔で高密度に計測できる技術であり、土石流検知への適用が検討されている。

著者らは前報において、桜島野尻川流域の管理用道路沿いに地中敷設された光ファイバケーブルを用いた DAS モニタリングにより、土石流の流下過程を捉えられることを示した。一方、実際の敷設環境では光ファイバの地中化が困難な箇所では架空敷設が採用される場合があり、前報の観測区間においても上流側の光ファイバ経路は架空敷設となっていた。架空敷設されたケーブルは周囲の気象環境の影響を直接受けるため、風雨等の振動を常時受け、土石流発生時の地中敷設区間とは異なる振動応答特性を示すことが確認された。架空敷設区間でも土石流モニタリングを実現するためには、土石流信号と外乱信号の判別の可能性を検討する必要がある。

本研究では、桜島野尻川流域の架空敷設区間を対象として、DAS により得られたひずみ速度波形の時空間的特徴を解析し、風雨等の外乱信号と土石流信号の識別可能性を検討することで、架空光ファイバを活用した土石流モニタリング手法の実現可能性を評価することを目的とした。

### 2. 観測と架空区間について

観測は桜島野尻川流域を対象として実施した。観測期間は 2024 年 9 月 6 日から 9 月 30 日までの 25 日間であり、サンプリング周波数は 2,000 Hz、測定間隔は約 2 m、ゲージ長は 10 m を設定した。観測期間中にはワイヤーセンサの 1 段目が切断される規模の土石流が 1 回記録された。また、現地には光学式雨量計、転倒マス式雨量計、および風速計を設置し、DAS データと気象データを同時に取得した。

架空区間は、タップテストと観測データの分析から、始点からの光ファイバ距離 4,276~4,324 m および 4,374~4,444 m の区間であると判断した。

### 3. 解析方法

#### 3.1 解析対象周波数帯の設定

架空区間における外乱信号と土石流信号の周波数特性を把握するため、図-1 に風の強い期間 (2024/09/23 08:00~09:00) および図-2 に土石流が発生した期間 (2024/09/22 10:00~11:00) のデータを示す。各図において a) は気象データ (1 分間最

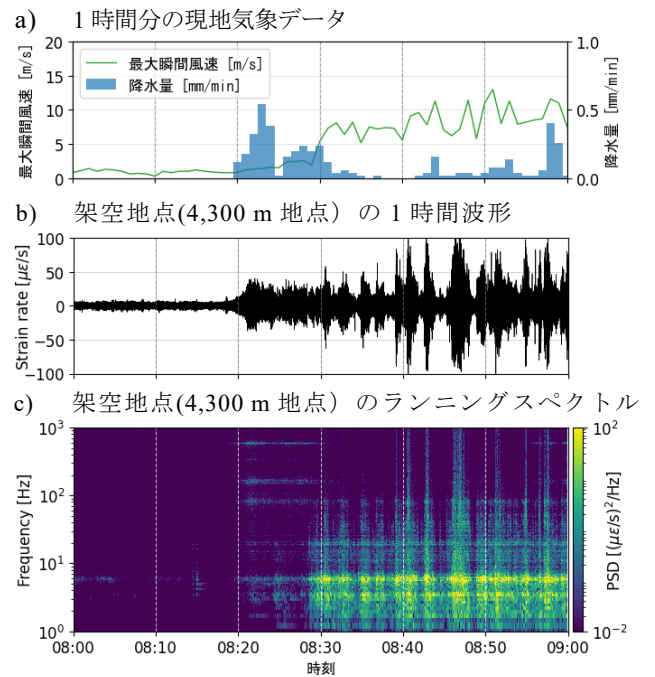


図-1 気象データと DAS の時系列 (2024/9/23 8 時台)

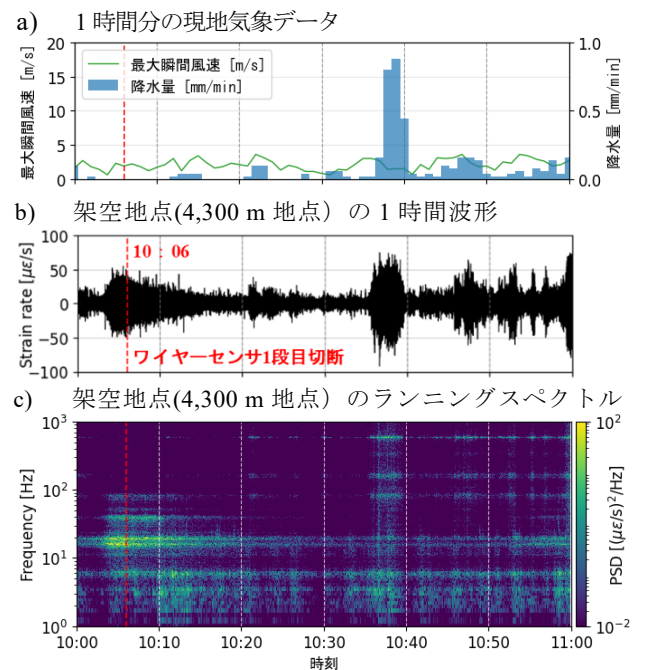


図-2 気象データと DAS の時系列 (2024/9/22 10 時台)

大瞬間風速と雨量), b) は架空地点 (4,300 m 地点) のひずみ速度波形, c) は b) のランニングスペクトルである。図-1 c) より、風の強い時間帯には 3 Hz および 6 Hz 付近、図-2 c) より、土石流発生時には 20 Hz 付近に卓越周波数が確認された。また、降雨時には風や土石流のような強い周波数ピーク

を伴わず、700 Hz 程度までの広い周波数帯にわたって Power Spectral Density: PSD が増加する傾向が見られた。

以上の周波数特性を踏まえ、風の影響が卓越する1~10 Hz と、土石流信号が卓越する10~30 Hz<sup>2)</sup>の両帯域にバンドパスフィルタを適用したひずみ速度波形を解析に用いた。

### 3.2 RMS および RMS 比の定義

各帯域のバンドパスフィルタ適用後の波形に対して、1秒間の窓幅を用いて二乗平均平方根 (Root Mean Square: RMS) を算出した。土石流信号の検知指標として、各帯域の RMS 値、および1~10 Hz 帯に対する10~30 Hz 帯の RMS 比を用いた。主に風に起因する外乱が増大する場合には1~10 Hz 帯の RMS が増加するため、比を取ることでその影響を抑制し、土石流に起因する RMS の増加を強調できると考えた。

## 4. 結果と考察

図-3 に架空地点 (4,300 m 地点) における風期間および土石流期間の1時間分の RMS 値の推移を示す。図-3 a) の1~10 Hz 帯では、風期間において高い RMS 値が記録されており、外乱の影響が卓越していることが確認された。図-3 b) の10~30 Hz 帯では、土石流発生直後に RMS が急激に増加する一方、風期間にも一定程度の RMS の上昇が確認された。図-3 c) の RMS 比では、風期間が低く抑えられ、土石流発生時には明瞭なピークが現れており、比を取ることで外乱の影響を相対的に低減し、土石流信号を際立たせる効果が確認された。なお、RMS 比の増加はワイヤーセンサの切断に先行して確認できた。

図-4 に架空敷設区間を含む4,250~4,450 m 区間に対して同様の解析を適用した結果を示す。土石流発生時には架空区間全体で RMS 比の増加が確認され、架空光ファイバによる土石流検知の有効性が示唆された。一方、架空区間の両端部では RMS 値が小さくなる傾向を確認した。さらに、架空区間では地中敷設区間よりも土石流由来の振動に対して早い応答開始が確認されるが、RMS 比の上昇期間が短い傾向が見られた。他の計測結果より、土石流発生時の音波は概ね250 Hz 付近までの成分として確認されていることや、本研究で着目した先行応答は10~30 Hz 帯を中心とする RMS 比の増加であるため、これを音波に起因する現象と解釈するのは難しい。むしろ、架空光ファイバの支持条件や張力、スパン長に規定される力学的な応答特性などの可能性が考えられるが、このメカニズムの解明については今後の課題である。

また、強風時には1~10 Hz 帯域の RMS と風速との間に正の相関が確認されたことや、降雨時に高周波成分の増加が確認されたことから、架空光ファイバが風速計測や雨量観測へ応用できる可能性も副次的な知見として得られた。

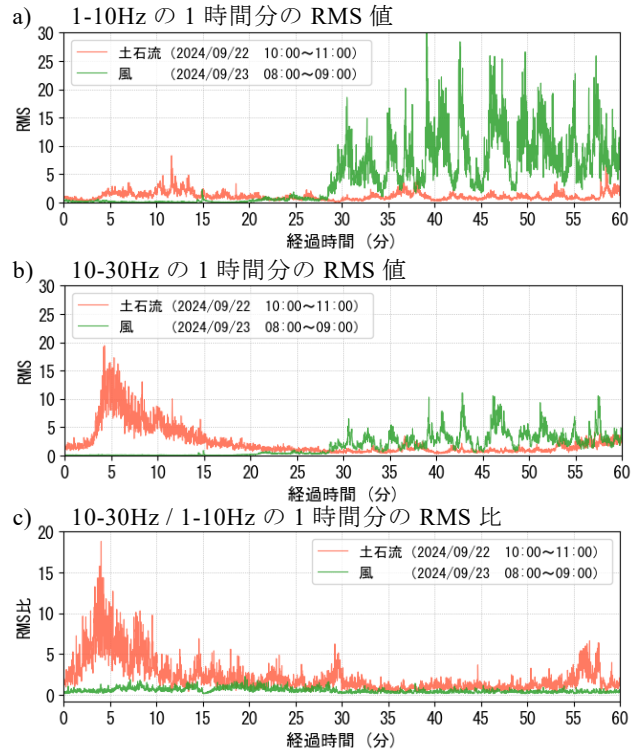


図-3 周波数帯別の二時期の RMS 値の推移

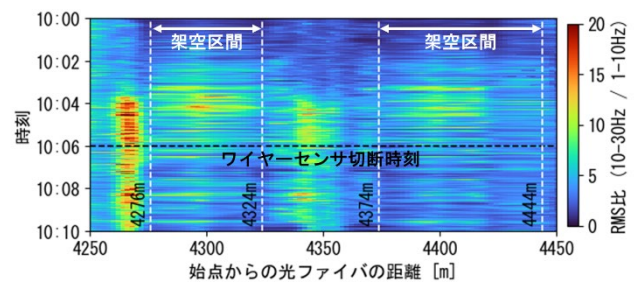


図-4 土石流発生時の架空区間全体の RMS 比分布

## 5. おわりに

本研究では、架空敷設の光ファイバを用いた DAS による土石流モニタリングの実現可能性を検討した。帯域別の RMS およびその比を用いることで、風雨等の信号と土石流の信号を識別できる可能性を示した。ただし、本観測で得られた土石流イベント数は限られており、手法の汎用性を確認するためにはさらなる事例の蓄積が必要である。今後は観測事例を蓄積し、風速や雨量計測への応用も含めた手法の高度化を進めたいと考える。

**謝辞:** 本研究の実施にあたり、国土交通省国土技術政策総合研究所砂防研究室、大隅河川国道事務所および桜島砂防出張所には、テストフィールドや各種施設、情報のご提供を賜り、深く感謝申し上げます。また東北大学の西村教授にも、貴重な助言および情報をご提供いただき、深く感謝申し上げます。

**参考文献:** 1) 八木ら (2025): 桜島での光ファイバセンシング(DAS)を用いた土石流モニタリング手法, 令和7年度砂防学会研究発表会概要集, pp.179-180.

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