

土石流の連続波形データから得られた振動特性

株式会社総合防災システム研究所
 国際航業株式会社
 株式会社拓和
 北海道大学地震火山研究観測センター

小川 達則
 佐々木 寿
 能和 幸範
 青山 裕

1 はじめに

火山噴火に伴う泥流・土石流（以下、土石流とする）は、噴火時期から噴火後においても長期間にわたり繰り返し発生することが多い。また、荒廃の著しい崩壊地を源頭部に有する溪流でも土石流が頻発することがある。そのため、土石流を繰り返し検知することができる非接触式の検知センサとして、振動センサが多く計画され整備されている。しかし、振動センサはこれまで検討されてきたノイズによる誤作動や検知基準等の判定手法に関わる課題の他に振動センサの据付方法等、設置環境についても不確定要素が多く、土石流の検知が難しい場合もある。そこで土石流検知の精度向上を目的として、設置環境による土石流の振動特性の違いについて調査・解析を行った。

2 振動センサ据付位置および観測方法

有珠山南側を流下する太平左の沢に実験局を設置した（観測期間：2007年6月～2007年11月）。振動センサは地表面設置と構造物設置の2箇所（以下、センサ₁、センサ₂とする）に据付を行い、サンプリング200Hzにて連続データの取得を行った。設置概要を表-1に、機器設置を図-1に示す。

表-1 振動センサ 設置概要

名称	センサ ₁	センサ ₂
設置	地表面設置	構造物設置
位置	土石流の堆積層からなる段丘面（流心からの距離10m）	堤長100m、堤幅2m、堤高2.5mの床固工の袖天端（流心からの距離10m）
固定方法	地表を50cm程度掘削し、その中にコンクリート板の上にセンサを固定	袖天端のコンクリートにセンサを接着固定
機種	L-4C（短周期型速度計，3軸，固有周期1秒）	L-22（短周期型速度計，1軸上下動，固有周期2秒）

*振動センサの他に、土石流の流下規模について把握するため、センサ₂の床固工に「電波水位計」を配置した。
 *解析対象は、上下成分とした。

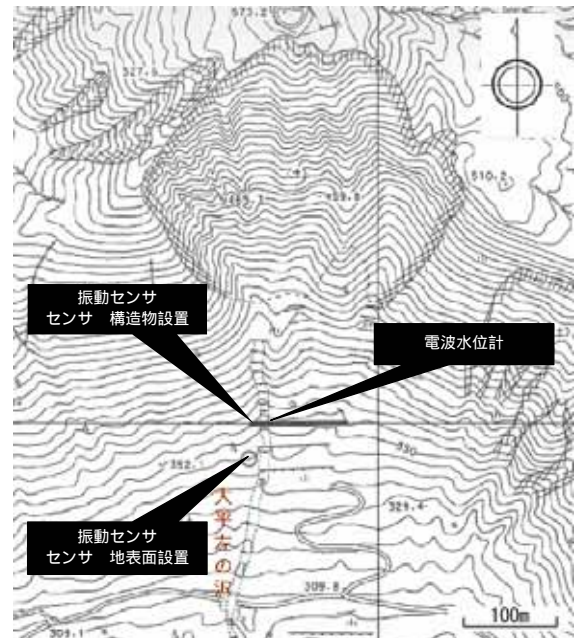


図-1 機器配置図

3 観測結果

3.1 地盤振動試験

設置場所における振動特性の違いを確認するために、地盤振動試験を実施した。土石流の振動は、床固工の落差により土石流が落下、地面に衝撃する際の振動が卓越すると考え、床固工の上から、5kgの重りを落下させ、地面への衝撃振動を計測した。結果、最大振幅値は、センサ₁が9.4mkine、センサ₂が3.4mkineであり、3倍程度の振幅差が生じた。落下衝撃振動の卓越周波数は、センサ₁で35Hz前後、センサ₂で27Hz前後の振動を検出した。

3.2 土石流に伴う振動

最大規模の土石流が発生した2007年9月20日のビデオカメラ画像を写真-1に、イベントデータを図-2に示す。



写真-1 2007年9月20日 土石流流下状況
 （佐々木ら，平成20年度砂防学会研究発表会概要集より転載）

センサの全体的な波形形状は、よく類似してしている。出水始めの湧筋移動の影響を除き、電波水位計による水位波形と双方のセンサが追従する、同期的な挙動を示している。巨礫が床固工から落下した時に発生した衝撃振動（パルス的な波形）に最大振幅が計測されている。

一方、振幅及び周波数成分は、双方のセンサで異なる特性を示している。振幅は、地盤振動試験と同様でセンサの振幅が小さく、2～3倍程度の振幅差が生じた。周波数成分は、図-3に示すとおりセンサが5～40Hzの広帯域に振動成分が含まれているのに対して、センサは15Hzをピークとする5～20Hzで、25Hz付近にて振動成分が大きく減衰し、比較的低い周波数帯域にて振動成分が収束していた。

3.3 ノイズ状況等

土石流時以外に発生する、定常振動や遠方地震振動に対するそれぞれの振動計測特性について整理した。(表-2)。

定常振動は、双方とも0.2mkine、5Hz前後の波形を計測した。ただし、強風時はセンサのみ1～40Hzの広い周波数成分を含む0.9mkine程度のノイズが発生しており、センサ周辺で発生する微小なノイズに対しても敏感に反応する特性がみられた。一方、遠方地震による微小振動は、双方とも3Hz前後の低周波が観測されており、振幅及び周波数成分ともほぼ一致していた。センサは、このように低い周波数帯域の振動に対しては顕著な減衰がみられなかったが、比較的高い周波数帯域の振動は大きく減衰した。

4 まとめと今後の課題

設置環境が異なる観測位置における土石流等の振動特性の違いについて比較検討を行った。その結果、それぞれの振動特性及び今後解決すべき課題について、ある程度明らかになった。以下に整理して記す。

- (1) 地表面に設置したセンサは、地盤振動との応答性が高く、比較的土石流等の振動を高感度に検出した。ただし、センサ設置場所で発生するノイズに対しても敏感に検出した。
- (2) 構造物に設置したセンサは、一定周波以上(15Hz以上)の振動減衰が顕著であり、地盤振動試験による重り落下衝撃振動や土石流振動の振幅が小さく検出された。これは、地盤振動が構造物を揺らす過程で、構造物の質量・剛性の影響により一定周波以上の成分が特に減衰し応答性が低くなったものと考えられる。
- (3) 振動センサは、発振源・伝搬経路・受振点の条件及びセンサの特性により、本結果とは異なる振動特性を示す可能性がある。特に地表面設置(センサ)は、地質や地形条件の伝搬経路の不確定要素が多く、構造物設置(センサ)は構造物の構造による影響が大きい。これらの設置環境に着目して、データの蓄積、検証を進め、設置条件による振動特性について検討を進めていくことが重要である。
- (4) また、振動センサにおける土石流検知の精度向上をはかるためには、設置場所(環境・条件の違い)の振動特性だけでなく、設置場所の違いによる維持管理に必要な動作確認手法、波形特性を考慮した観測データの運用・活用方法等の総合的な検討が重要である。

観測期間中に、動物によるケーブル損傷によるノイズの発生や振動センサの経年劣化の影響による振動応答特性が変化するなどの障害が発生していた。本報告にはこれらの障害が発生していない時期のデータを極力使用しているが、障害の影響を受けている可能性は否定できない。今後は、センサの動作状況にも留意して調査・検討を行いたいと考えている。

- 【参考文献】 1)独立行政法人土木研究所(2005):振動検知式土石流センサ設置マニュアル(案),土木研究資料,第3974号
 2)佐々木ら:非接触センサの連続観測から得られた火山泥流の振動特性,平成20年度砂防学会研究発表会概要集
 3)小川ら:非接触センサの連続観測による土砂動態モニタリングの可能性,砂防学会誌,Vol.61, No.6, 2007

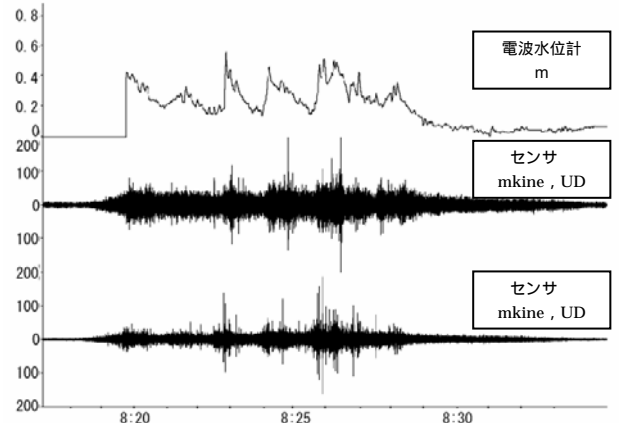


図-2 2007年9月20日に発生した火山泥流の観測データ

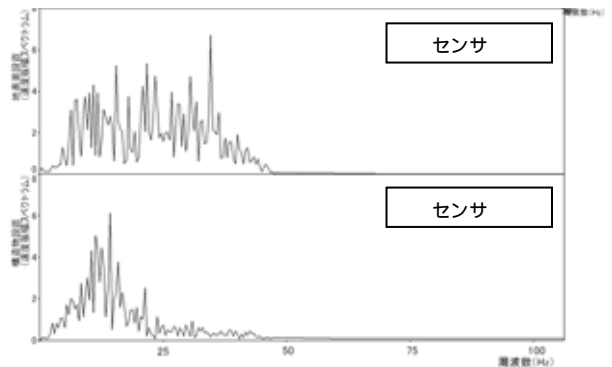


図-3 速度振幅スペクトラム (出水ピーク時, 2007年9月20日8:22)

表-2 振動イベント別最大振幅値整理表

振動イベント	最大振幅(卓越周波数 ¹)		振幅比 (/)	備考
	センサ mkine	センサ mkine		
地盤振動試験	9.4 (35Hz)	3.4 (27Hz)	2.8	
土石流 (巨礫落下)	306.7 (20Hz)	186.3 (12Hz)	1.6	09/9/20-8:26
泥流 (水位 50cm) ^{*2}	27.5 (22Hz)	20.5 (12Hz)	1.3	09/9/20-8:11
泥流 (水位 40cm) ^{*2}	33.5 (22Hz)	20.5 (12Hz)	1.6	09/9/20-8:12
泥流 (水位 30cm) ^{*2}	25.5 (22Hz)	10.5 (12Hz)	2.4	09/9/20-8:13
泥流 (水位 20cm) ^{*2}	17.5 (22Hz)	6.5 (12Hz)	2.7	09/9/20-8:14
定常振動	0.2 (5Hz)	0.2 (5Hz)	1.0	09/7/21-0:00, 夜間, 低ノイズ時
強風時振動	0.9 (5Hz)	0.2 (30Hz)	4.5	09/10/21-14:40, 伊 達, 平均風速10m
地震時	4.1 (3Hz)	4.1 (3Hz)	1.0	09/7/24-15:54, M4.1, 深さ14km, 南西沖

¹ 1Hz以下の低周波成分を除いた時の卓越周波数
² 巨礫落下に伴うパルス状の振動を除いた泥流状の流れの振幅値