

建設省土木研究所 南哲行 ○山田孝 水野秀明  
 U.S.Geological Survey, Cascades Volcano Observatory  
 Richard G. LaHusen  
 建設省九州地方建設局大隅工事事務所 吉川弘弘  
 八千代エンジニアリング株式会社 永田謙二

### 1. 研究の目的

土石流に対する警戒避難体制のより一層の整備を図るためには、土石流をメンテナンスフリーで検知できる現場実用型の振動センサーを開発することが重要であると考え、現在、そのための基礎的な研究を行っている。研究課題の一つとして、振動センサーの設置範囲を決める上で必要となる「土石流の流下に伴う地盤振動の減衰機構」があげられる。そこで、平成9年9月上旬に桜島野尻川上流域において、本研究課題の共同研究機関である米国地質調査所が製作した簡易型振動センサーを野尻川5号砂防ダム右岸の斜面に3基(ch-0,1,2)設置した(図-1)。同年9月16日に野尻川で土石流(VTR判読によれば、5号砂防ダムでのピーク流量は約640m<sup>3</sup>/sec)が発生し、幸いにもこれらのセンサーからデータを得ることができた。

本論ではそれらの解析を元に土石流の流下に伴う地盤振動の減衰の特性について考察した。

### 2. 米国地質調査所が開発・製作した振動センサーの概要

本振動センサーは、振動センサー本体部分、自動信号監視装置(AFM)、デジタル式波形記録装置から構成される。センサーは1方向の振動(感知できる周波数域:10~300HZ)を検知し、自動信号監視装置は主に振動センサーからのアナログ信号をデジタル信号に変換する機能、トリガーの設定機能等を有している。土石流の流下に伴う地盤振動の振幅(1ブロック内のデータ出力値の絶対値における最大値)が基準値(トリガレベル)を上回っている限り1分間隔でデータを送信する。今回は、最も流路に近いセンサーをトリガー兼用のセンサーとし、その出力値が基準値(今回は100mVに設定)以上であればデータの記録を開始し、基準値未満であれば記録を停止するように設定した。データの記録は1ブロック(10秒間)・1センサーあたり、512個である。なお、これらは電圧(mV)データとして記録され、所定の係数を乗じる事により振幅速度に変換出来る。

### 3. 土石流の流下に伴う地盤振動の減衰特性

図-2に観測された各センサーの振動波形を示す。流路からセンサー設置個所までの距離が短いほど、振幅速度のピーク値が大きい。例えば、流路から最も近い距離に設置したch-0のセンサーで得られた振幅速度のピークは約0.08cm/secであり、流路から最も遠い距離に設置したch-2のセンサーのそれの約5.3倍に相当する。また、各センサーにおける振幅速度のピークの時間的なタイムラグは認められず、振幅速度はほぼ同じように変動している。

図-3に地盤振動波形の最大値と流路からの距離との関係を示す。地盤振動を最も敏感に感知したch-0センサーの振幅速度の変動状況(図-2)から10個の観測時間を選定し、各々の時間で得られたデータの中から振幅速度の最大値を抽出した。8:52:24~9:01:20までのデータ、ならびに9:07:24~9:25:24までのデータについては、振動源(流路)からセンサーまでの距離をrとすると、これらの振幅速度は1/rにある程度比例して減衰していると思えることができ、縦波、横波の減衰特性と共通している<sup>1)</sup>。土石流のピーク流量時に相当する9:06:50のデータについては、ch-1のデータのみが非常に高い値(0.065)を示しており、減衰傾向が異なっている。そのときの土石流の運動状況を撮影したビデオによると、土石流は右岸を偏流しながら越流し、アスファルトに覆われた右岸部のフラットな台地上にあふれている。土石流のピーク周辺とその前後で地盤振動の減衰の仕方が異なる理由について良くわからない点が多いが、表面波が地盤材料と比較して減衰しにくいアスファルト被覆部に土石流の一部が氾濫したことが影響しているのかもしれない。ちなみに、過去に、下流の流路工区間(コンクリート三面張り)で音響センサーによって観測されたデータによると、土石流の流動深が低下しても音響信号レベルは急激には低下しない事が報告されている<sup>2)</sup>。

以上の土石流の振幅速度の距離に伴う減衰傾向を考慮すると、以下に示す半無限均質弾性体における振動の減衰式が活用できるのではないかと考えられる。即ち、地面を半無限の均質な弾性体とすれば、1点を中心として広がる波動は、幾何減衰と呼ばれる距離rのn乗に反比例する減衰の項と、伝搬媒質の内部減衰による項との関数で表され、減衰が振幅に及ぼす影響は(1)式のように示される<sup>3)</sup>。

$$v = v_0 \left( \frac{r}{r_0} \right)^{-n} \cdot \exp[-\alpha(r-r_0)] \dots (1)$$

ここに、 $v$ ：震源から  $r$  (m) 離れている点の振幅振動、 $v_0$ ：震源に近い基準距離  $r_0$ (m)の点の振動振幅  
 $\alpha$ ：媒質の内部減衰、 $n$ ：半無限弾性体の自由表面を伝わる実体波（縦波・横波）の場合  $n=2$ 、媒質内を伝搬する実体波（縦波・横波）の場合  $n=1$ 、半無限弾性体の表面を伝搬する（レーリー波）場合  $n=0.5$  ここで、(1)式の自然対数をとると(2)式のように表される。

$$LN(v_0) - LN(v) = n \cdot LN\left(\frac{r}{r_0}\right) + \alpha(r - r_0) \dots (2)$$

ch-0のデータから  $v_0$ 、 $r_0$ を設定し、 $n$ は、図-3の傾向を基に0.5とした。ここで、 $\alpha$ は伝搬速度、損失係数、周波数といったパラメーターに依存している。今回の観測では、それらの値は未知であるが、前述の10時期のch-1,2のデータを用いて(2)式から、 $\alpha$ を逆算すると0.01~0.02程度となる。ちなみに、内部減衰  $\alpha$ は、地盤の種類によっても変化し、関東ローム、粘土、シルトなどでは0.01~0.05の範囲にある<sup>3)</sup>。今回、振動センサーを設置した所の地盤は、主に空隙の多い溶岩流堆積物と火山灰堆積物との互層から構成されている。その場合の伝搬速度は関東ローム、粘土、シルト等よりも速く、従って内部減衰  $\alpha$ はそれらの場合よりも比較的小さな値をとると考えられる。

#### 4. おわりに

今回の観測の結果、土石流の流下に伴う地盤振動の振幅速度は距離の逆数に比例して減衰すること、内部減衰は0.01~0.02程度の値をとることが明らかにされた。

土石流の流下に伴う地盤振動の減衰は、振動源からの距離のみならず、振動伝播の媒体である地盤の異なる地層の重なり方、土質、地下水位、振動源である土石流の流量規模、その構成材料(例えば巨礫の含有程度等)によっても変化する。様々な現場での色々なタイプ・規模の土石流や土砂流を対象に、精度の高い観測を行い、 $n$ 、 $\alpha$ の値の領域をより詳細に検討し、それらの結果を基に土石流の流下に伴う地盤振動の距離減衰、内部減衰の予測式を作成する必要がある。

#### 参考文献

- 1)宮田利雄(1982):分かりやすい振動の知識、鹿島出版、pp.172-173.
- 2)例えば、建設省大隅工事事務所(1995):桜島の土石流、
- 3)(社)日本騒音制御工学会技術部会低周波音分科会編(1996):Blast発破による音と振動、山海堂 p.71.

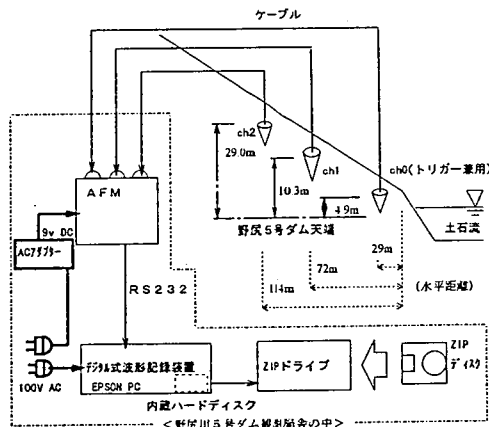


図-1 桜島野尻川5号ダムにおける振動センサーの設置状況

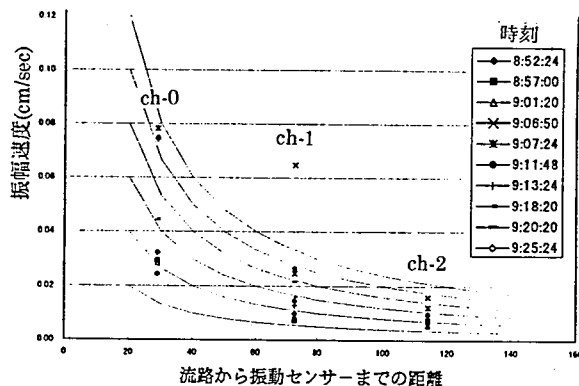


図-3 土石流の振幅速度の減衰  
 (時刻は図-2に示したハイドロの●に相当)

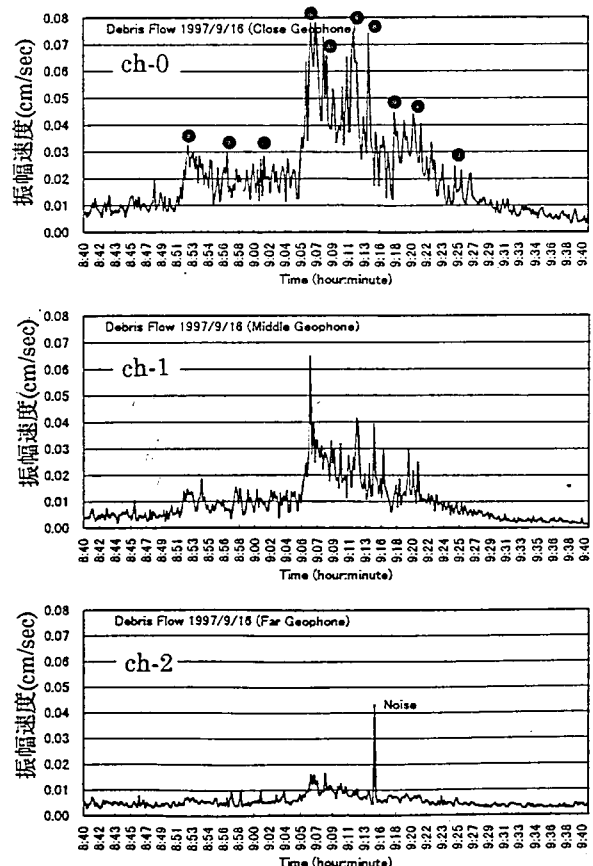


図-2 振動センサーによって得られた土石流の振動波形(振幅速度表示)  
 (●：図-3に於いて減衰性を検討するために抽出した観測時間)