

振動検知式土石流センサーの検知基準設定方法について

(独) 土木研究所 ○武澤永純 山越隆雄 西本晴男
 (財) 砂防フロンティア整備推進機構 田中秀基
 高知大学農学部 笹原克夫

1. はじめに

一般に、土石流には石礫が数多く含まれており、中には1mを超えるような巨礫が含まれていることもある。そのような石礫が秒速数m～十数mの速度で流下するため、土石流は周辺地盤に大きな振動を与える。振動検知式土石流センサーはこの地盤振動を捉え、土石流の発生を検知するセンサーである。非接触で土石流を検知するため、繰り返し発生する土石流に対しても対応できる等、従来よく使われているワイヤーセンサーと比べて有利な点が数多くある¹⁾。しかし、土石流と認定するための振動の大きさ(検知基準値)の定め方が決まっていないことが課題である。著者らは検知基準値の設定方法に関して研究を実施してきた。本研究では、その結果をとりまとめて報告する。

2. 検知基準設定手法について

2.1 土石流の振動と流量の関係について

検知対象の土石流流量から地盤振動強度を推定する場合、流量と振動の関係を示さなければならない。ここで、日本国内において土石流による地盤振動と流量が計測された事例を用いて、その関係式の導出を検討した。

図1は、富士山大沢において2000年11月20日に土石流が発生した際に建設省中部地方建設局富士砂防工事事務所(現 国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所)が計測した地盤振動波形とハイドログラフである。なお、ここに示す振動波形は、1秒間の最大振動振幅の絶対値をつないだものである。この図によると、土石流による地盤振動は、土石流の流量に応じて増減していることが分かる。

既往の文献によれば、焼岳上々堀沢²⁾、桜島野尻川³⁾においても土石流による地盤振動が計測されている。それらをまとめたものを表1に示す。これより、土石流のピーク流量と地盤振動が観測された事例は4つであり、それぞれ震源から12～66mの距離を離して設置されたセンサーによって、ピーク流量83～1423m³/secの土石流による振動の大きさは、速度値に換算すると、5～91mkineという値が計測されている。既往の観測事例について土石流のピーク流量と最大地盤振動強度の関係を示したものを図2に示す。これより流量と振動強度には正の相関が確認できる。ここで、表1に示した事例

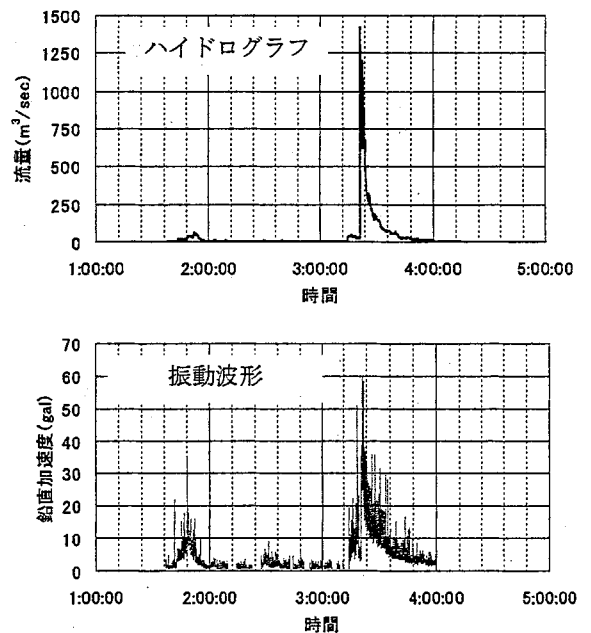


図1 2000年11月20日に計測された土石流のハイドログラフと地盤振動波形

表1 土石流による地盤振動計測事例

溪流名	計測日時	設置距離 (m)	最大速度値 (mkine)	土石流ピーク 流量 (m ³ /s)	備考
富士山大沢川	2000/11/20 1:50頃	25	14.5	83	
富士山大沢川	2000/11/20 3:20頃	25	91	1423	
焼岳上々堀沢	1997/7/17	12	5	130	出典 参考文献2)
桜島野尻川	1997/9/16	66	65	641	出典 参考文献3)

では、センサーの設置距離が溪流毎に異なるため、富士山大沢における設置距離（25m）を標準距離と定め、後述する地盤振動強度の距離減衰の評価方法によって、設置距離が異なる他の事例についても、標準距離における地盤振動強度を算定し、図2上にプロットしている。

2.2 土石流から発生される地盤振動の推定方法について

図2に基づいて、想定される土石流の流量に対する振動センサーの検知基準値を決定するために、土石流の流量から振動センサーで検知される地盤振動強度を推定する式を作ることにした。

諏訪ほか(1999)は、土石流によって生じる地盤振動は、流量の3/2乗に比例することを示した⁴⁾。

$$P = C Q^{3/2} \quad \dots (1)$$

ここで、 P ：土石流による地盤振動の強度、 Q ：土石流の流量 (m^3/sec)、 C ：比例係数である。

この図に回帰曲線を引き、式(1)の比例係数を求めたところ、 C を0.003とした時に最もよく適合した。したがって、標準距離（25m）だけ離れた地点で、流量 Q の土石流の通過に伴って計測される地盤振動強度を求める式は以下の通りとなった。

$$P_{STD} = 0.003 Q^{3/2} \quad \dots (2)$$

ここで、 P_{STD} ：標準距離（25m）だけ離れた地点で計測される地盤振動強度 (mkine) である。データの数が限られており信頼性は十分ではない。データをさらに多く収集して回帰式の信頼性を高めることが今後の重要な課題である。

2.3 地盤振動強度の距離減衰の評価式について

前述の式(2)は、標準距離（25m）に振動センサーを設置した場合に、その溪流で発生する流量(Q)の土石流によってもたらされる地盤振動の強度である。よって、任意のセンサー設置距離における地盤振動強度を推定する手法が必要となる。そこで、一般的に用いられている半無限均質弾性体における振動減衰式(式(3))を用いて距離減衰を評価することとした。

$$p = p' \left(\frac{d}{d'} \right)^{-n} \cdot e^{-\alpha(d-d')} \quad \dots (3)$$

ここで、 d, d' ：振動発生源からの距離、 p, p' ：距離 d, d' の位置での振動強度、 n ：幾何減衰係数(=0.75)、 α ：内部減衰係数である。

この式の d' に標準距離（25m）、 d に実際の設置位置に対応した設置距離、そして、 p' に標準距離における土石流による地盤振動強度(P_{STD})を代入すれば、ある流量(Q)の土石流が発生した場合に、ある設置距離に設置した振動センサーが感知する地盤振動強度を計算することができる。

3. まとめ

本研究では、既往の観測事例を用いて土石流の地盤振動を推定する手法についてこれまで検討してきた結果について報告した。ここで報告した検知基準値の決定方法は、根拠となるデータ数が少ないため、今後さらに土石流の振動波形データを集め、信頼性を高める必要がある。

参考文献 1) 南 哲行、山田 孝、水野秀明 (1998)：土石流災害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、pp.60-64 2) Suwa, H., Akamatsu, J. and Nagai, Y. (2003)：Energy radiation by elastic waves from debris flows, Proceedings 3rd international Debris Flow Hazard Mitigation Conference, Davos, Switzerland, pp.895-904. 3) 南 哲行、山田 孝、水野秀明、R. G. LaHusen、吉川知弘、永田謙二 (1998)：土石流の流下に伴う地盤振動の減衰特性、平成10年度砂防学会研究発表会概要集、pp.366-367 4) 諏訪 浩、山越隆雄、佐藤一幸 (1999)：地盤振動計測による土石流の規模推定、砂防学会誌、Vol.52、No.2、pp.5-13

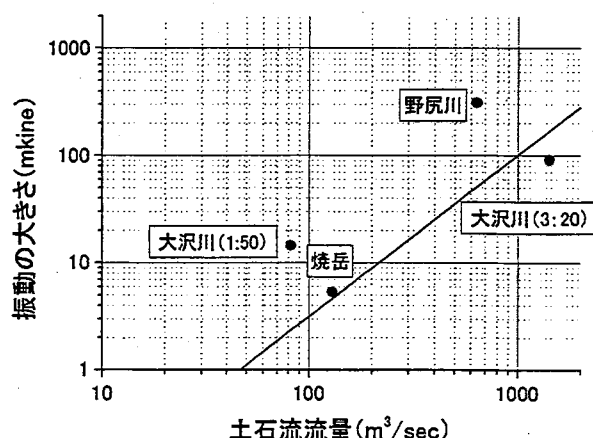


図2 既往の観測事例から推定した土石流のピーク流量と最大地盤振動強度の関係 (標準距離(25m)における値)