

落石現象に対する振動センサーの検出限界に関する一考察

(財)砂防・地すべり技術センター
国土交通省雲仙復興事務所

〇山口恭史、澤田悦史、松井宗廣
秦 耕二、石坪昭二

1、はじめに

雲仙普賢岳には、約1億m³とも言われる溶岩ドームが形成されたままになっている。その直下で進められる砂防施設工事は、今後、より溶岩ドームに近い上流域に工事を進めていくことから、溶岩ドームからの落石等による二次的な災害を防ぐため、これらの現象に対する監視を強化、避難体制の充実を図っていくことが、工事従事者の安全確保の面から必要となっている。なお、雲仙普賢岳周辺には既設の地震計（速度計）が5基設置され、現在、土石流発生を検知するための振動センサーとして運用している。また、平成19年度から、落石発生を検知するための振動センサーが、山頂（溶岩ドーム）1km以内に2基設置・稼働する予定である。

本発表では、落石現象を振動センサーによって捉え、危険度判定（事前対処）や落石発生時の避難（事後対処）に結びつけていくために、現地において実施した人工的な振動発生による測定実験の結果を報告するとともに、振動センサーの落石現象に対する検知感度、地盤振動特性（地盤振動の減衰状況）、および定常ノイズ等について評価し、落石現象に対する振動センサーの検出限界（検知レベル、検出限界距離）について考察した結果を報告する。

2、実験方法

人工的な振動発生（起振）による測定実験は、おしが谷下流観測局の短周期型地震計（L-4C型、Z軸1成分、1.0~20Hz、動電式速度計）で実施した。起振方法は、岩塊の重さ、高さを変え、重機（0.45バックホウ）により落下させた。また、起振場所は、センサー近傍地点~230m離れた地点の間で約30mピッチに設定した。なお、センサー近傍地点では、現地状況から人力によるカケヤ打ちにより起振させた。（図-1参照）

[起振方法と起振地点]

- ①重機による岩塊落下
 - 岩塊重量：0.5t、1.0t、1.5t
 - 落下高さ：1.5m、3.0m
 - 起振地点：6箇所（85m、115m、140m、170m、200m、230m）
- ②人によるカケヤ打ち
 - 重量：8ポンド（3.6kg）
 - 落下高さ：2.5m
 - 起振地点：6箇所（5m、10m、15m、25m、40m、85m）



図-1 現地振動実験位置図（起振地点）

3、実験結果

実験概況として、重機による岩塊落下では、すべての起振動をセンサーで計測することができた。（図-2）また、人によるカケヤ打ちでは、40m離れた地点まで起振動を計測することができた。（85m地点は判別不能）

①振幅-距離グラフ

振動センサーの振幅と起振地点のセンサーからの距離をグラフにプロットし、累乗近似により、落石規模毎に距離減衰曲線を求めた結果、各距離減衰曲線は同様の減衰傾向を示した。（図-3参照）

距離減衰曲線のうち、最も急な勾配（最も安全側の設定が可能）となる岩塊1.0tを3.0mから落下させたケースでは、定常ノイズレベルを1.5mとした場合に、約700mまで検出可能との結果が得られた。（図-3の太線、 $y=410.09x^{-0.8415}$ ）

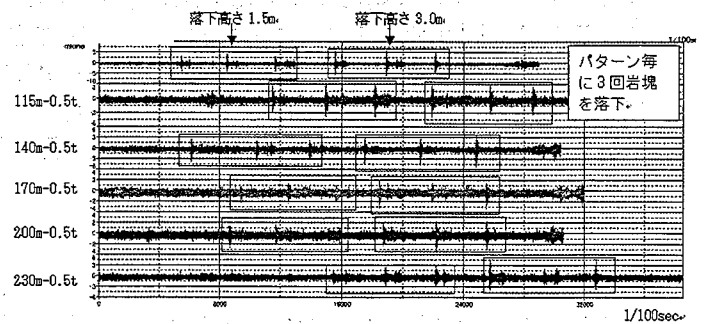


図-2 重機による岩塊落下の波形例（1.5t×1.5m・3.0mの場合）

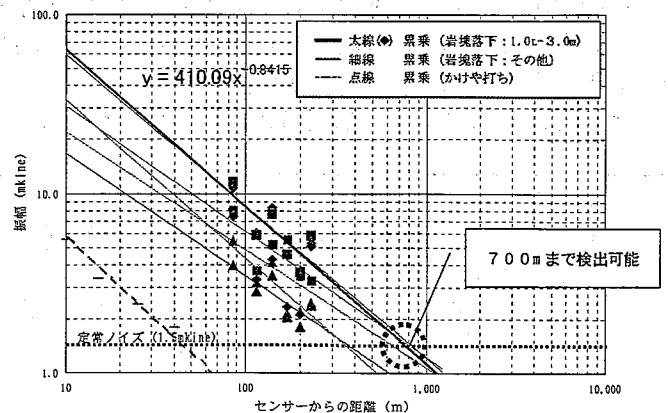


図-3 落石規模毎の最大振幅-距離グラフ

②振幅-位置エネルギーグラフ

次式を用いて、実験の岩塊の重量と落下高さから、落石規模を示す位置エネルギーを算出した。(表-1 参照)

$$\text{位置エネルギー} = \text{質量} \times \text{重力加速度} \times \text{高さ}$$

$$E_p = mgh \text{ [J]}$$

また、算出した位置エネルギーと対応する振幅値(実験結果)をグラフにプロットし、落石規模と振幅との関係を確認した。(図-4 参照)

結果として、起振地点によりばらつきがあるが、落石規模と振幅の関係は認められた。

なお、岩塊落下させた6地点のうち、センサーから200m離れた地点が最も緩い勾配(最も安全側の設定が可能)となった。(図-4の太線、 $y = 0.0266x^{-0.4701}$)

4、振動センサーの検出限界の評価

①検知レベルの評価

気象庁(薊谷観測局)で観測された落石震動日時から、溶岩ドーム周辺に設置した速度計の有意な波形を抽出し比較した結果、落石震動の継続時間は10~35秒程度であった。また、同様に定常ノイズについて比較した結果、一部を除き定常ノイズは1.5mkine以下であった。

②センサーの検出限界距離の評価

平成16年度に実施された三次元落石シミュレーション解析では、表-2に示す3ケース(小、中、大)の落石規模を想定している。今回の検出限界距離に評価にあたって、既往の落石シミュレーションの規模を前述式を用いて位置エネルギーを換算し、実験結果から得られた関係(図-4の太線、200m地点のケース、 $y = 0.0266x^{-0.4701}$)から、振幅値を想定した。(表-2 参照)

更に、最も急な勾配(最も安全側の設定が可能)となる距離減衰曲線(図-3の太線、 $y = 410.09x^{-0.8415}$)と同じ勾配で外装した結果、①より落石の検出レベルは1.5mkineと考えられるので、ケース小(8.6t)の1.5m落下の場合は、約1kmまで検出可能と推定される。

(図-5 参照)

5、まとめ

定常ノイズとの分離性を考慮した場合、1.5mkine程度の検出レベルが適当と判断される。また、インパルスノイズの除去や既往データの落石振動波形を考慮した場合、落石の感知には、10秒程度の継続時間を設定するのが適当と判断される。なお、センサーの検出限界距離については、設置点から1km以内であれば比較的小規模な落石(ケース小程度)でも検出できる可能性が見い出せた。また、ケース中~大程度の落石が発生した場合、より遠距離まで振動を計測できることから、既設のセンサーの落石検知のための利用や複数のセンサーを用いれば、落石発生域の特定に結びつけられる可能性も考えられる。

6、おわりに

今回の結果は、1観測局を対象とした実験からの検討結果である。今後、山頂1km以内に落石検知のためのセンサーが稼動することを受け、現地実証試験や実際の落石現象との比較により、検出レベルや検出限界距離等の検出限界(適用条件)の精度向上を図っていくことが必要である。

表-1 岩塊落下実験 位置エネルギー

区分	重量 (kg)	高さ (m)	位置エネルギー (J)
岩塊落下①	500	1.5	7,350 (7.4E+03)
岩塊落下②	500	3.0	14,700 (1.5E+04)
岩塊落下③	1000	1.5	14,700 (1.5E+04)
岩塊落下④	1000	3.0	29,400 (2.9E+04)
岩塊落下⑤	1500	1.5	22,000 (2.2E+04)
岩塊落下⑥	1500	3.0	44,100 (4.4E+04)

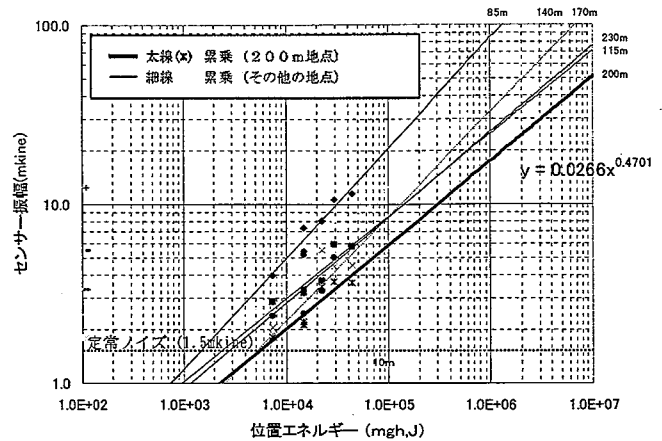


図-4 起振地点毎の振幅-位置エネルギーグラフ

表-2 落石シミュレーション規模における振幅値の試算

ケース	質量 (t)	落下高さ (m)	位置エネルギー (J)	振幅値 (mkine)
小	8.6	1.5	125,738 (1.3E+05)	6.6
		3.0	251,476 (2.5E+05)	9.2
中	68.4	1.5	1,005,903 (1.0E+06)	17.6
		3.0	2,011,807 (2.0E+06)	24.4
大	232.9	1.5	3,423,998 (3.4E+06)	31.4
		3.0	6,847,995 (6.8E+06)	43.5

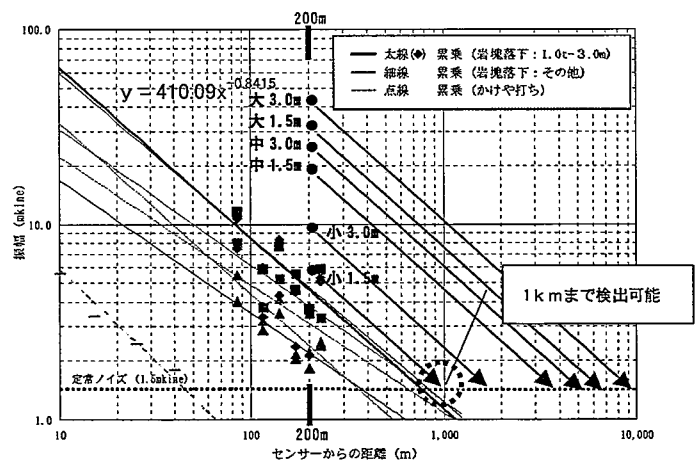


図-5 落石シミュレーション規模の外挿