

地震計による雪崩と地震動の識別検知手法の検討

○伊藤陽一¹・富樫香流²・石井靖雄³

(1 土木研究所 雪崩・地すべり研究センター, 2 国際航業株式会社, 3 筑波大学)

1 はじめに

大規模な雪崩が流下すると、付近の地震計に振動が記録されることが知られている¹⁾。このことを利用して、道路などに達する雪崩を検知して警報につなげるシステムが海外で開発されている^{2), 3)}。ただし、地震計には雪崩のほかに地震動や落石などに起因する様々な振動も記録されることから、雪崩とその他の振動源を識別する方法が重要となる。既存のシステムでは、既知の振動波形等とのファジィ論理による比較²⁾や10個のパラメータ計算結果の組み合わせ³⁾で振動源を識別する手法が用いられているが、簡便とはいえ緊急時にシステムを構築するのは難しい。本研究では、雪崩災害が予想される豪雪時に地震計を雪崩危険箇所に設置し、雪崩による振動を簡便に識別して発生を検知する方法を提案するために、雪崩頻発地域における地震計データを用いて解析を行った結果を報告する。

2 方法と結果

2.1 地震計を用いた雪崩観測

1986年に雪崩災害が発生した新潟県糸魚川市柵口地区において、権現岳（標高1,108 m）山麓の雪崩走路付近に3成分地震計を設置し、雪崩による振動の観測を2000-01年冬期から行っている。0.2 mkine（ $\times 10^{-3}$ cm/s）をトリガレベルとし、トリガレベルを超えた時刻の30秒前からの振動がサンプリング周波数100 Hzで自動的に記録される。このほか、CCDカメラや気象測器なども設置し、雪崩の形態や発生時の気象条件なども観測している。

平成18年豪雪時の2006年1~3月における10 mkine以上の比較的振幅の大きいデータは、雪崩18例、地震12例であった（表1）。なお、雪崩の発生時刻をみると夜間の発生が半数であり、目視が困難な雪崩の発生も捕えられていることがわかる。

2.2 RMS エンベロープ比を用いた解析

土石流についても雪崩と同様に地震計による検知が可能であるが、この分野では地震・ノイズとの識別手法として「RMS エンベロープ比」（RMS：二乗平均平方根）を用いる方法が提案されている⁴⁾。

$$\text{RMS エンベロープ比} : \frac{\text{RMS}_{(10-500\text{Hz})}}{\text{RMS}_{(0.1-10\text{Hz})}}$$

（ローパスフィルタ（0.1-10 Hz）およびハイパスフィルタ（10-500 Hz）に通した振動データのRMS エンベロープの比）

土石流は10 Hz以上の高周波成分を多く含むため、土石流による振動データのRMS エンベロープ比を計算すると地震動によるものと比べ大きな値となり、振動源の識別が可能となる。

2.3 結果

表1の雪崩・地震データについてRMS エンベロープ比を計算し、雪崩と地震が識別できるか検討した。

雪崩および地震データの時間一周波数分布をみると、地震には15 Hz以上の周波数成分が非常に少ない（図1）一方、雪崩は50 Hz付近まで達する周波数成分が確認できる（図2）。ただし、雪崩にも地震と同様に高周波成分が少ない場合も2例確認された（表1のNo.1, 4）。

5 Hz毎のバンドパスフィルタに雪崩・地震データを通して波形全体のRMS値を求めてみると、0~5 Hzでは地震のRMSが雪崩より大きい一方、20~25 Hz付近では雪崩のRMSが地震より大きくなること

わかった (図 3)。

そこで、雪崩・地震データを 0~5 Hz および 20~25 Hz のバンドパスフィルタ (バターワース 10 次) に通し、両者の RMS エンベロープ比を計算した。その結果、RMS エンベロープ比 > 0.08 を雪崩判定の指標として使用できることが示された (図 4)。

表 1 2006 年 1~3 月に観測された振動データ
(最大振幅 10 mkine 以上)

No.	月/日	時刻	振動源	最大振幅	
1	01/04	16:44:54	雪崩	20.4	
2		16:58:25	雪崩	13.3	
3	01/05	00:05:49	雪崩	42.3	
4		00:26:39	雪崩	15.5	
5	01/14	23:51:55	雪崩	13.6	
6	01/15	00:29:51	雪崩	16.9	
7		03:41:29	雪崩	16.4	
8	01/17	20:34:24	雪崩	49.3	
9	01/18	23:26:18	地震	11.3	宮城県南東沖 M5.7
10	01/28	02:06:11	地震	11.5	地震あり M7.2
11	02/01	20:36:20	地震	77.2	千葉県北部 M5.1
12	02/03	13:37:34	地震	28.1	茨城県東方はるか沖 M5.9
13		15:10:45	地震	10.7	茨城県東方はるか沖 M5.3
14		18:28:20	雪崩	16.2	
15	02/11	02:26:30	雪崩	54.9	
16	02/13	17:23:46	地震	43.9	山形県北部 M4.8
17	02/14	19:06:13	雪崩	25.4	
18	02/15	07:49:43	雪崩	17.9	
19	02/20	08:51:10	雪崩	23.5	
20		11:27:08	雪崩	28.4	
21	02/24	10:47:17	雪崩	10.6	
22	02/26	12:59:57	雪崩	10.1	
23		19:22:50	雪崩	18.6	
24	03/07	12:46:53	地震	17.6	新潟県中部 M3.8
25	03/10	09:21:10	雪崩	26.1	
26	03/14	12:01:58	地震	101.1	新潟県南部沖 M3.5
27	03/23	07:12:20	地震	72.9	新潟県南西部 M2.6
28	03/26	09:44:27	地震	22.7	能登半島 M3.9
29		16:22:27	地震	17.8	新潟県中部 M3.2
30	03/30	17:21:15	地震	17.6	新潟県中部 M3.7

[mkine]

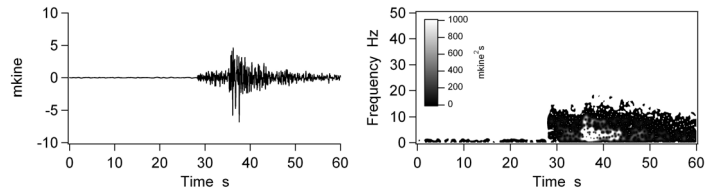


図 1 地震 (No.30) の波形 (左) と時間一周波数分布 (右)

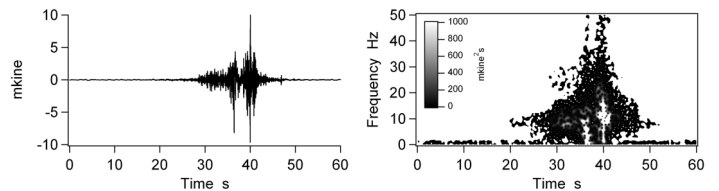


図 2 雪崩 (No.2) の波形 (左) と時間一周波数分布 (右)

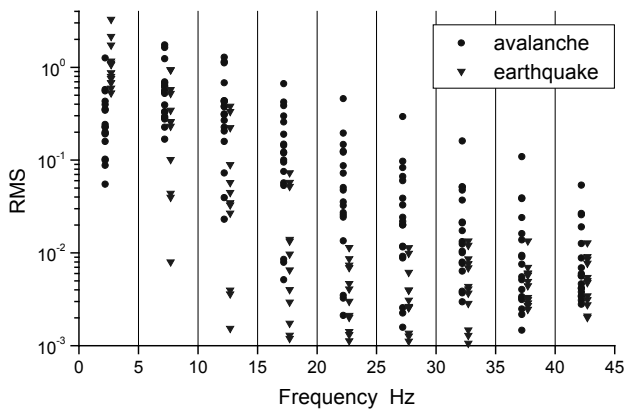


図 3 5 Hz 毎のバンドパスフィルタに通した雪崩・地震データ全体の RMS

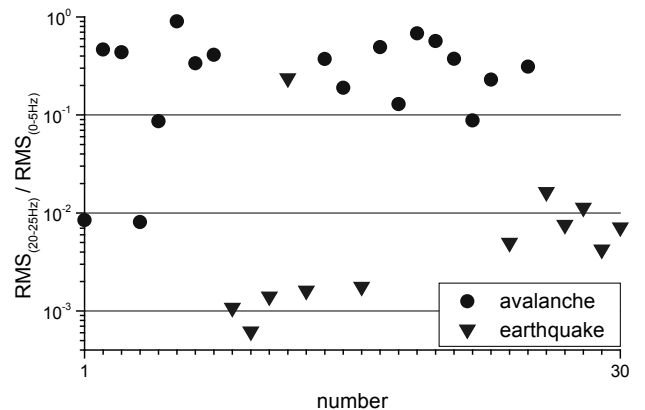


図 4 雪崩・地震データの RMS エンベロープ比 (横軸は表-1 の No.に対応, トリガ後 10-20 s の平均)

参考文献

- 1) 佃為成・溝上恵 (1988): 地震計が捉えた雪崩震動. 地震, 第 2 輯, 第 41 巻, 47-57.
- 2) Leprettre, B.J.P., J.P. Navarre and A. Taillefer (1996): First results from a pre-operational system for automatic detection and recognition of seismic signals associated with avalanches. Journal of Glaciology, Vol.42, No.141, 352-363.
- 3) Bessason, B., G. Eiríksson, Ó. Thórarinnsson, A. Thórarinnsson and S. Einarsson (2007): Automatic detection of avalanches and debris flows by seismic methods. Journal of Glaciology, Vol.53, No.182, 461-472.
- 4) 大角恒雄・長山孝彦・榎納智裕 (2007): 振動センサーによる土石流・地震・ノイズ識別検知に関する開発. こうえいフォーラム, 第 16 号, 93-101.