

雪崩によって生ずる地震動の観測

今西伸行¹, 森谷武男², 山田知充¹, 西村浩一¹

(1:北大低温研 2:北大理)

1. はじめに

地震計で雪崩発生を検知する試みは, Lawrence and Williams(1976)により始められ, 日本でも森谷・岡野(1983)が全層雪崩の震動波形と, 雪崩発生の前兆となる積雪の動きに起因するパルス状の波形を捕らえることに成功している.

近年, 欧米諸国や日本で研究が続けられてきているが, 震動データから雪崩の発生規模, 及び発生場所を推定する手法は未だ確立されていない. そこで本研究では発生する雪崩をビデオカメラと地震計を併用して観測し, 得られた震動波形の特徴について議論を行い, 震動波形を解析することで雪崩発生域とその規模を推定する手法の確立を試みた.

2. 観測地点・観測方法

観測は, 北海道大学天塩研究林内にある, 低温科学研究所雪崩観測施設(N45°, E142° 標高250m)周辺(1000m×1500m)の斜面を対象として実施された. 観測期間は, 2001年1月下旬~4月中旬迄の約80日間である.

雪崩による震動を捕える地震計は, 固有振動数2Hzの地震計を2台(A, D), 14Hzの地震計を2台(B, C), それぞれ土中に埋設した. いずれも上下動のみを検知する地震計である. 地震計から観測施設までケーブルを敷設し, データロガーに記録した.

対象斜面における雪崩の発生位置と時刻を確認するため, 雪崩観測施設の屋上にビデオカメラを1台, 南隣の尾根上のタワー(高さ15m)にデジタルビデオカメラを1台設置した. 観測施設屋上のカメラはタワーのある尾根の北向き斜面を連続撮影し, タワー上のカメラは小屋のある尾根の南向き斜面を30秒間隔で撮影した. 雪崩の質量は積雪観測により推測した. 図1に対象斜面の地形図と地震計の設置場所を示す.

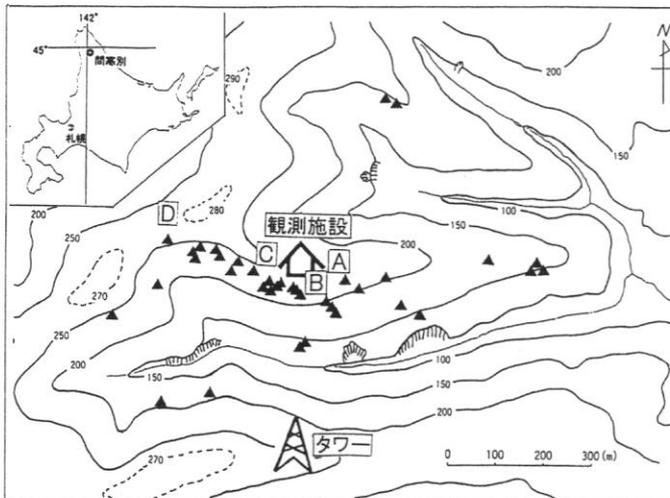


図1. 対象斜面の地図
 ・A, B, C, D...地震計の設置場所
 ・▲...発生点を確認できた雪崩発生箇所 (37箇所)

3. 観測結果

観測期間中に記録された、雪崩による震動波形は計50例（総て全層雪崩）で、これは対象域内で発生した雪崩総数の約80%に相当、このうち37例はビデオ映像等から発生位置の確認が可能であった（図1参照）。この中で震動波形全体が記録できたのは25例で、地震計が4台設置されていることから、全体で約100例の震動波形が得られたことになる。これらを3つの型に分類した。図2に各型の典型的な波形を示す。減衰型（Ⅰ型）：震動開始直後の振幅が最も大きく、その後徐々に減衰するタイプ。紡錘型（Ⅱ型）：震動波形が紡錘型を示すタイプ。混合型（Ⅲ型）：震動開始直後に最大振幅が存在し、その後は紡錘型を示すタイプ。各型の発生頻度はいずれも30%前後であった。またこの3つの型以外に、波形の終端部に振幅の大きいパルス状のピークが観測された例もある。

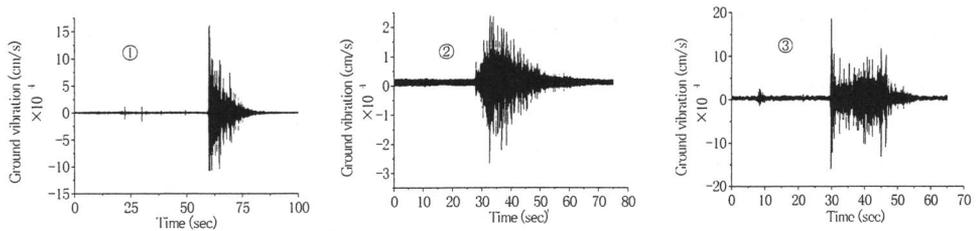


図2. 観測中得られた震動波形の波形分類

① Ⅰ型（減衰型），② Ⅱ型（紡錘型），③ Ⅲ型（混合型）

3.1. 雪崩発生前に観測された震動

50個の観測例の内、20%強に相当する11例で、雪崩発生前にパルス状の波形が検知された。その典型例を図3に示す。パルス波形の発生間隔は徐々に短くなり、雪崩発生に至っている。このパルス状震動は4台の地震計ほぼ全てで記録されており、雪崩発生の前兆となる積雪の破壊もしくは移動で発生したパルス波形と推定される。

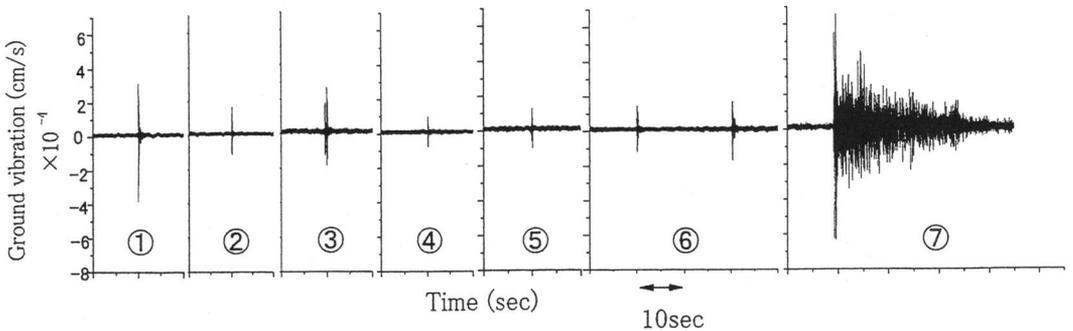


図3. 雪崩発生前と発生時に観測された震動の記録

①. 約6時間前 ②. 50分前 ③. 40分前 ④. 15分前
⑤. 8分前 ⑥. 1分前 ⑦. 雪崩による震動

3.2. 震動波形の比較

図4は、近接した場所で発生した2つの湿雪全層雪崩の震動波形を比較したものである。雪崩の発生規模（質量）は一桁異なるが、波形は非常に良く似ている。この様な例が他にも多数見られることと、乾雪全層雪崩と湿雪全層雪崩の波形を比較しても非常に類似しているものがあることから、雪崩の流下走路、及び発生域から地震計までの地盤状態が等しければ、震動波形は類似することが示唆される。

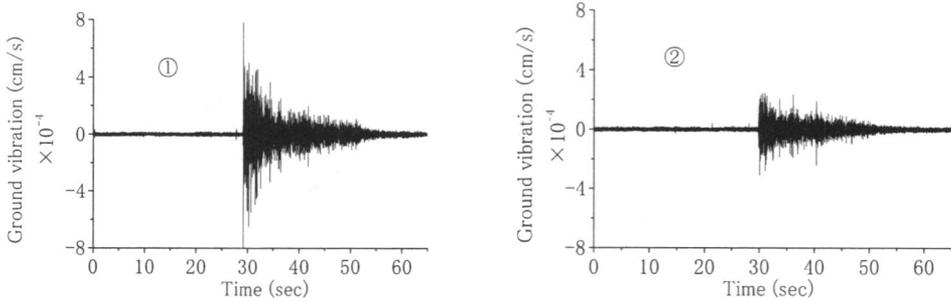


図4. 同じ地点で発生した湿雪全層雪崩の震動波形の比較
①・・・質量880t ②・・・質量81t

4. 震動波形の解析

4.1. 雪崩発生域の推定

雪崩により誘起された震動は、地中もしくは地表面を伝播するに伴い、高周波成分が減衰し低周波成分が卓越すると考えられる。そこでA, Dの地震計で記録された震動データの卓越周波数(f)を求め、雪崩発生点から地震計までの距離(L)の関係を調べた。卓越周波数(f)はFFT法(高速フーリエ変換)を用いて、雪崩に起因する震動部分の最初5秒間の周波数解析を行い決定した。

f は図5に示すように L が増加するに従って減少している。従って f を算出することで地震計から雪崩発生点迄の距離 L の推測が可能であることがわかる。地震計を複数設置した場合には、それぞれの記録から求められた L をもとに雪崩発生域を絞り込むことも可能となる。

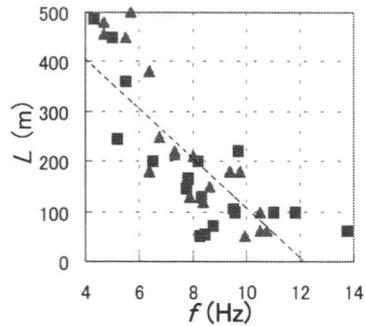


図5. L と f の関係

L : 地震計から雪崩発生域迄の距離 (m)

f : 卓越周波数(Hz)

相関係数 -0.82

■・・・地震計A のデータ

▲・・・地震計D のデータ

4.2. 震動波形の積分値による雪崩質量の推定

地震計により観測された波形は、流下する

雪崩が走路上の地面に及ぼした震動を反映すると考えられる。そこで雪崩の流下に起因する震動波形の積分値(I)を求め、これを雪崩の運動エネルギーを示す指標と考えた。

一般に雪崩の質量(M)が大きくなるに伴い、震動波形の振幅も増大する傾向が認められる為、雪崩の運動エネルギーに対応すると考えられる波形の積分値 I と質量 M の関係に着目する。なお、個々の雪崩質量に大きな差があるため、質量階級 $M.M$ ($\log_{10} M$)を用い、その差を小さくしている。また、雪崩走路中間点から地震計までの距離: Lc 、雪崩の流下距離: R というパラメータを導入する。震動の振幅が伝播距離 L に一次で減衰すると仮定すると、雪崩本来の運動エネルギーに対応する量としては、 $I \times Lc$ となる。雪崩が斜面にした仕事(雪崩の位置エネルギーの変化)に対応する量は、 $M \times R$ となる。図6に示すように両者の間には正の相関があり、 I 、 Lc 、 R がわかれば雪崩質量の推定も可能となる。

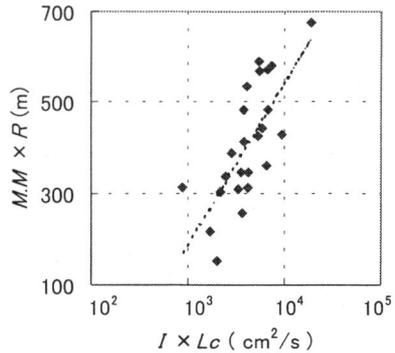


図6. M と I の関係

M : 雪崩の質量(t)

I : 震動波形の積分値(cm^2/s)

相関係数 0.69

地震計Bのデータを使用

5. 結論

観測期間中、観測対象斜面で発生した雪崩総数の80%に達する50例の震動波形が捕らえられ、さらに、雪崩発生の前兆現象に対応すると考えられるパルス状の波形を捕らえる事にも成功した。よって地震計による雪崩の計測が雪崩発生のモニタリング及び、発生予測に有効であると証明された。

ほぼ同一の場所で発生した雪崩の記録は類似した震動波形を示すことから、震動波形は、雪崩発生域及び発生場所から地震計に至る伝播経路の地盤状態に依存していると考えられる。

波形を解析した結果、震動波形の卓越周波数(f)から雪崩発生域が、また、震動波形の積分値(I)から雪崩質量が、それぞれ推測できることがわかった。

【参考文献】

Lawrence, W. and Williams, T.R. 1976 Seismic signals associated with avalanches.

Journal of Glaciology. 17(77), 521-526.

岡野正, 森谷武男 1983 地震計で得られた斜面積雪に起因する振動(序法) 昭和58年

日本雪氷学会全国大会講演予稿集 p.148