

◆ 特集：土砂災害 ◆

雪崩発生斜面における冬期の雪崩発生状況

秋山一弥* 武士俊也**

1. はじめに

雪崩災害を防止するための発生予測には、発生区にできるだけ近い箇所の気象、積雪状況と雪崩発生情報が必要である。しかし、通常は災害発生後に初めて雪崩と認識される場合がほとんどであり、これらの情報が同時に得られる機会は非常に少ない。また、最近は暖冬傾向で顕著な雪崩災害は減少しているが、発生地において毎冬の状況が継続的に把握されていることはないため、雪崩形態の変化や多雪年での発生頻度等といった内容についても不明な点が多い。

このため、過去に災害が発生し、現在でも雪崩の頻発する箇所において、雪崩発生状況把握のための継続観測を開始した。本稿では、このうち、雪崩発生斜面における気象・雪崩発生状況について報告を行うものである。

2. 雪崩試験地の概要

雪崩観測地（新潟県西頸城郡能生町柵口地先）は、日本海へ流れる能生川河口より13kmほど上流にあり、傾斜10度前後の地すべり地に集落が展開し、その西方に約45度の急峻な東向き斜面をもつ権現岳（標高1,104m）が位置している。

当地では昭和61（1986）年1月26日の23時頃に、斜面中腹（標高900～1,000m付近）を発生源とする長さ1,800m、平均幅200mの大規模な表層雪崩が発生し、死者13名の災害が発生した。その後、



写真-1 雪崩観測地(権現岳)

Characteristics of Avalanche Occurrence in Snowy Area.

防護施設が整備され現在に至っている（写真-1）。

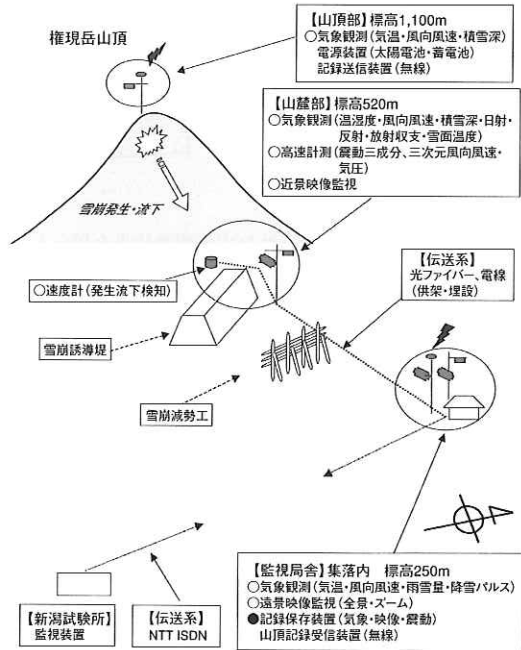


図-1 観測システム概要図

3. 雪崩の観測方法

雪崩観測は気象、雪崩映像、雪崩震動の三項目を主体にシステム化を図っている（図-1）。

3.1 気象観測

雪崩発生区を含む標高別の三箇所において、表-1に示す気象観測機器を設置した。

表-1 気象観測項目

位置	雪崩との関係	標高(m)	要素
権現岳山頂	雪崩発生区上部	1100	風向風速・気温・積雪深
権現岳山麓	雪崩走路～堆積区	520	風向風速・気温・湿度・積雪深・日射・反射・雪面温度・放射収支
柵口集落内	S61.1災害時の雪崩堆積区末端付近	250	風向風速・気温・雨量・降雪パルス

3.2 雪崩映像観測

雪崩発生区直下の山麓部と集落内に高感度カメラを設置し、近遠景の映像で発生斜面を監視して

いる。映像はコマ撮り状態の常時録画および画像遅延保存技術で個々の雪崩発生前後の状況を保存し、後に再生して雪崩発生・形態の判定を行っている。

3.3 雪崩震動観測

雪崩の発生・形態を認識するには映像が効果的であるが、降雪時や月明かりのない夜間は斜面を見通せない場合が多い。このため、雪崩発生流下に伴う地盤震動を計測する目的で、地震計（速度計）を山麓の雪崩走路に埋設し、雪崩発生・流下検知を行うとともに、雪崩発生前後の気象・動画記録保存のトリガーとしても利用している。

4. 冬期の気象状況

アメダス能生（標高55m、能生川河口より約5km上流）における過去の積雪状況は、災害発生年である1985～86年冬期に比較し、試験地で観測を開始した2000～01年冬期以降は最大積雪深で災害発生年の1/3以下であり、一降りの積雪量も少なく少雪傾向にあるといえる。

雪崩観測地である権現岳における2000～01年冬期の気象状況を図-2に示す。気温は厳冬期でも0℃を上回る暖地性積雪地域の傾向を示している。当地では平均で0.72℃/100mの気温減率で、気温の逆転現象はほとんどみられない。また、積雪深はアメダス観測地点も含め標高差が非常に大きく、少雪傾向とはいえ高標高部では雪崩発生に十分な積雪量を有していることがわかる。

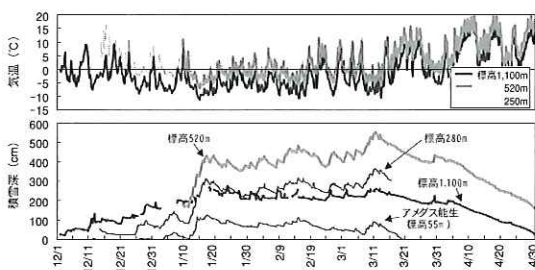


図-2 2000～01年冬期の気象・積雪状況

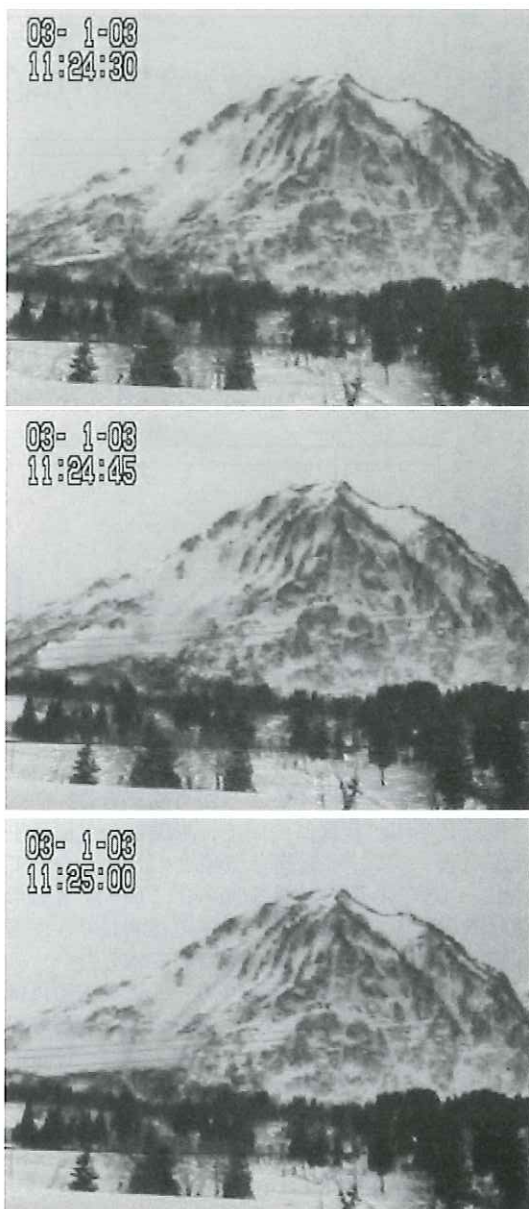


写真-2 雪崩流下状況(全景、面発生乾雪表層雪崩)

5. 雪崩発生の状況

雪崩映像観測による発生状況の一例を写真-2に示す。近遠景の映像を用いることにより、発生時刻、形態は明瞭に判別可能である。

雪崩震動は雪崩流下に従い震幅が増加する紡錘形状を示し、卓越周波数は7～10Hz近くにあること、継続時間が5秒以上あることなど、小規模なものを除いて他の震動源との区別は可能であり¹⁾、対象とする現象の発生日時検知による監視のほか、振幅を用いた雪崩規模の推定²⁾や運動

表-2 形態別雪崩発生状況

観測期間	2001～02 比率(%)		2002～03 比率(%)	
	127日(欠側9日)	125日	125日	125日
乾雪表層雪崩	19	4.3	30	7.5
湿雪表層雪崩	48	11	36	9
全層雪崩	148	33.9	162	40.7
雪崩震動のみ(映像不可)	222	50.8	170	42.7
計	437		398	

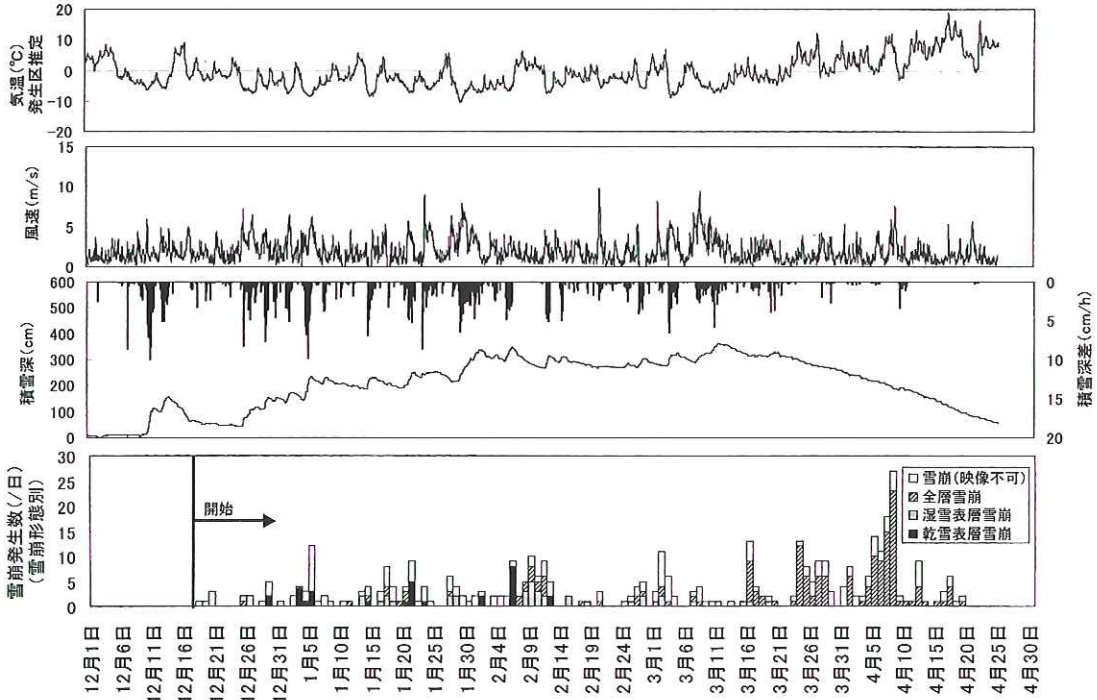


図-3 2002～03年冬期の気象と雪崩発生状況

機構の解明にも利用することが可能である。

最近2冬期の状況について、形態別の雪崩発生状況を表-2に、各雪崩と気象との対応について2002～03年冬期の結果を図-3に示す。雪崩形態は雪崩映像を用いたが、映像では判読できず雪崩震動だけ記録された場合も含めて示した。

乾雪表層雪崩は発生数が少なく、2月下旬以降映像上では発生していない。湿雪表層・全層雪崩は2月末まで散発的に発生するが、気温が連続的に正值になる3月には全層雪崩が多発していた。

全体的な発生パターンは2冬期とも類似しており、近年の少雪時における発生状況を表しているものと考えられる。

6. 乾雪雪崩の発生

映像で判読される乾雪表層雪崩の発生と降雪について2冬期の状況を照合した結果、およそ8割が降雪期間中に発生していた。そこで、降り積もる新雪層内の安定度評価について次式³⁾を用いて行い、乾雪表層雪崩発生との比較を行った。

$$SI_i = \frac{SFI_i}{\tau_i} = \frac{B \left\{ \left(\frac{n}{C} \right) \cos^2 \theta \int_{t_0}^t W_i dt + \rho_{init} \right\}^{m/n}}{W_i \cos \theta \sin \theta}$$

ここで、 SI_i は新雪層*i*の安定度、 SFI はせん断強度指数(N/m^2)、 τ はせん断応力(N/m^2)、 W_i は*i*層

上の積雪荷重で $C=0.392N/m^2 \cdot s \cdot (kg/m^3)^n$ 、 $n=4.1$ 、 $B=3.10 \times 10^{-4} N/m^2 \cdot (kg/m^3)^{-m}$ 、 $m=3.08$ である³⁾⁴⁾。

初期密度 ρ_{init} は $90kg/m^3$ 、積雪の傾斜は 45° とし、6時間ごとに形成される各種雪層のSI値のうち最小値を積雪層の安定度とした¹⁾。

乾雪表層雪崩の発生する2月中旬までの気象とSI値、雪崩発生の関係について、2002～03年冬期の結果を図-4に示す。このうち、気温は発生区の推定値、降雪量は標高520m地点で計測している1時間積雪深を6時間分積算した値である。また、雪崩規模は映像を見ただけでは主観を伴うため、形態別に震動振幅の時間積分値として評価し、発生した時間にプロットした。

SI値は降雪により低下し、その後上昇するが、映像より判明した乾雪表層雪崩のほとんどはSI値が低い周辺で発生しており、その多くは小規模なものである。観測開始後最も規模が大きい2002年12月29日に発生したものはSI値が1.7の時に発生した。また、雪崩震動のみを検出した場合の多くは気温が負の時で、これを乾雪表層雪崩と仮定すると同様に低SI値時に多く発生しており、降雪期間中の雪崩は新雪の安定度によりある程度の評価が可能であると考えられる。

しかし、2003年1月3日のようにSI値が上昇中に発生する場合や、降雪後期間がたって発生する

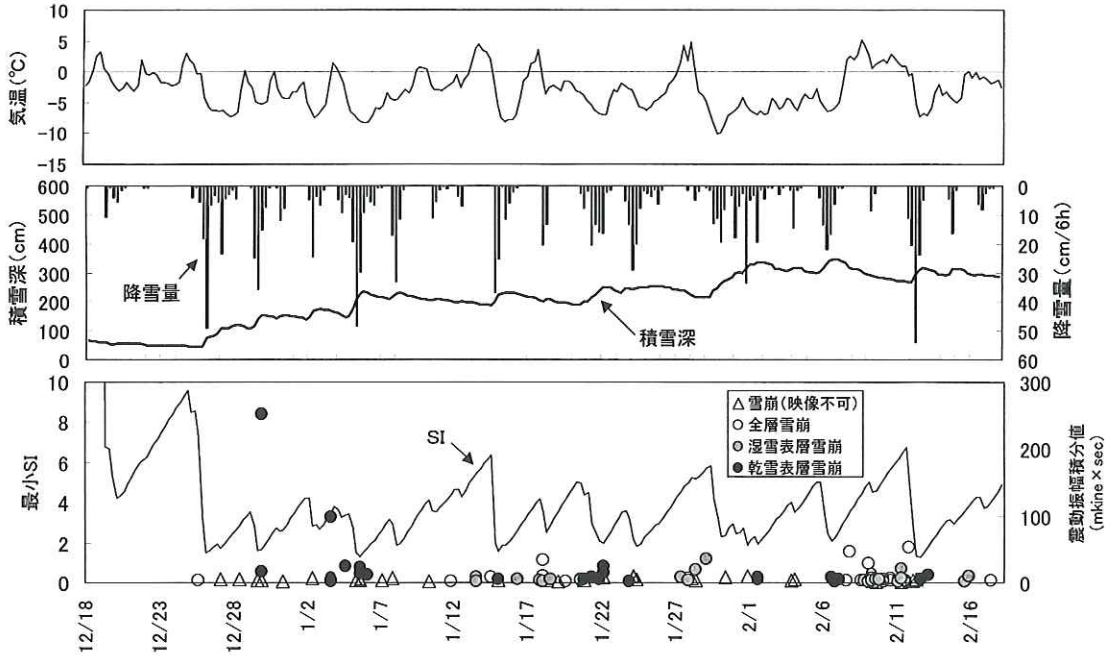


図 - 4 2002 ~ 03 年冬の気象と雪崩発生状況

場合もあり、これらについては積雪層内の脆弱層形成と積雪荷重による安定性など別のモデルを考える必要がある。

7. おわりに

雪崩の映像と震動を併用した雪崩発生の検出は効果的で、時系列的に雪崩の発生日時や形態に関する情報を得ることが可能で、気象や積雪と関連づけ、発生予測モデルを作成し検証することで精度のよい予測手法が開発できると期待される。

ただし、雪崩発生による震動を正確に抽出しほとんどの雪崩発生は特定できるものの、雪崩震動の積雪や距離による減衰特性、雪崩量との関係による雪崩規模の詳細な評価、映像では判読できない場合の雪崩形態別震動特性など未解明な部分が残されている。脆弱層形成についても今後の課題である。また、全層雪崩の発生については従来より気温だけで議論される場合がほとんどであるが、当地では規模の大きい高速の全層雪崩も発生しており、災害防止の観点からは各形態別のより高度な発生予測、運動機構の解明が必要であり、これらは以後の継続観測で明らかにしたい。

参考文献

1) 秋山一弥、武士俊也：地震計による雪崩検知と雪崩発生の特徴，寒地技術論文・報告集，19巻，

pp.256-263, 2003年11月

2) 今西伸行・関口辰夫・森谷武男・西村浩一・山田知充：雪崩によって生じる地震動の観測（Ⅲ），2002年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集，p.30, 2002年10月
 3) 遠藤八十一：雪崩の分類と発生機構，基礎雪氷学講座Ⅲ，前野紀一・福田正巳編，古今書院，p.13-51, 2000年2月
 4) 遠藤八十一・小南裕志・山野井克己・庭野昭二：粘性圧縮モデルによる時間降雪深と新雪密度，雪氷，64巻1号，pp.3-13, 2002年1月

秋山一弥*



独立行政法人土木研究所
新潟試験所主任研究員
Kazuya AKIYAMA

武士俊也**



独立行政法人土木研究所
新潟試験所所長
Toshiya TAKESHI