

# 雪崩検知システムの有効性について

大川 滋\*1・藤野 丈志\*1・栗林 健\*1

## 1 はじめに

積雪地方の道路斜面では、積雪期に発生する雪崩や雪崩発生危険が高まることにより、道路利用者への被害や交通障害などの影響が発生している。その対策として雪崩防護施設の設置が行われているが、完全に防ぐことはできていない。そこで斜面積雪の移動量や移動速度を自動観測するとともに、雪崩の危険がある場合に警報を発信することを目的として、地すべり計測技術を雪崩計測に応用した雪崩検知システムを開発した。このシステムを北海道、東北、北陸各地の道路沿線の雪崩危険斜面に設置し、全層雪崩を対象として計測を実施した。

本報告では実際に雪崩発生を検知した事例を整理し、システムの有効性を検証するとともに、システムの活用について整理した。

## 2 システム概要

斜面積雪の動き（グライド量やその速度）を直接計測し雪崩の発生を予測するセンサーとして、歯車式グライドメータ

ーやそり式グライドメーターが研究・設置されている<sup>1)</sup>。雪崩検知システムは、そり式グライドメーターに分類されるもので、積雪地域の道路斜面などに設置し、雪崩の監視、警報発令、データ蓄積を行うシステムである。

図1に雪崩検知システムの概要を、表1にその仕様を示す。雪崩検知システムは伸縮計と保護ケース等からなる不動部、積雪下面に埋まり積雪とともに移動する移動部、および電源・通信装置から構成される。雪崩の滑り面の位置には表層（積雪の内部）と全層（地面）がある<sup>2)</sup>が、本システムは移動部を地表面に置き、その上に積もった積雪の動きを監視することで、全層雪崩を検知するものである。図2に実際の斜面に設置した状況を示す。移動部は、積雪受け板を取り付けたステンレス製のそりで、ピンや雪を使って斜面に仮固定する。不動部は、計測範囲が3～15mのワイヤーセンサとそれを保護するケースからなり、杭で斜面に固定する。移動部と不動部は炭素繊維ケーブルまたはワイヤーケーブルでつなぐことにより、積雪とともに移動する移動部の動きを計測する。電源はソーラーパネルとバッテリーにより供給される。

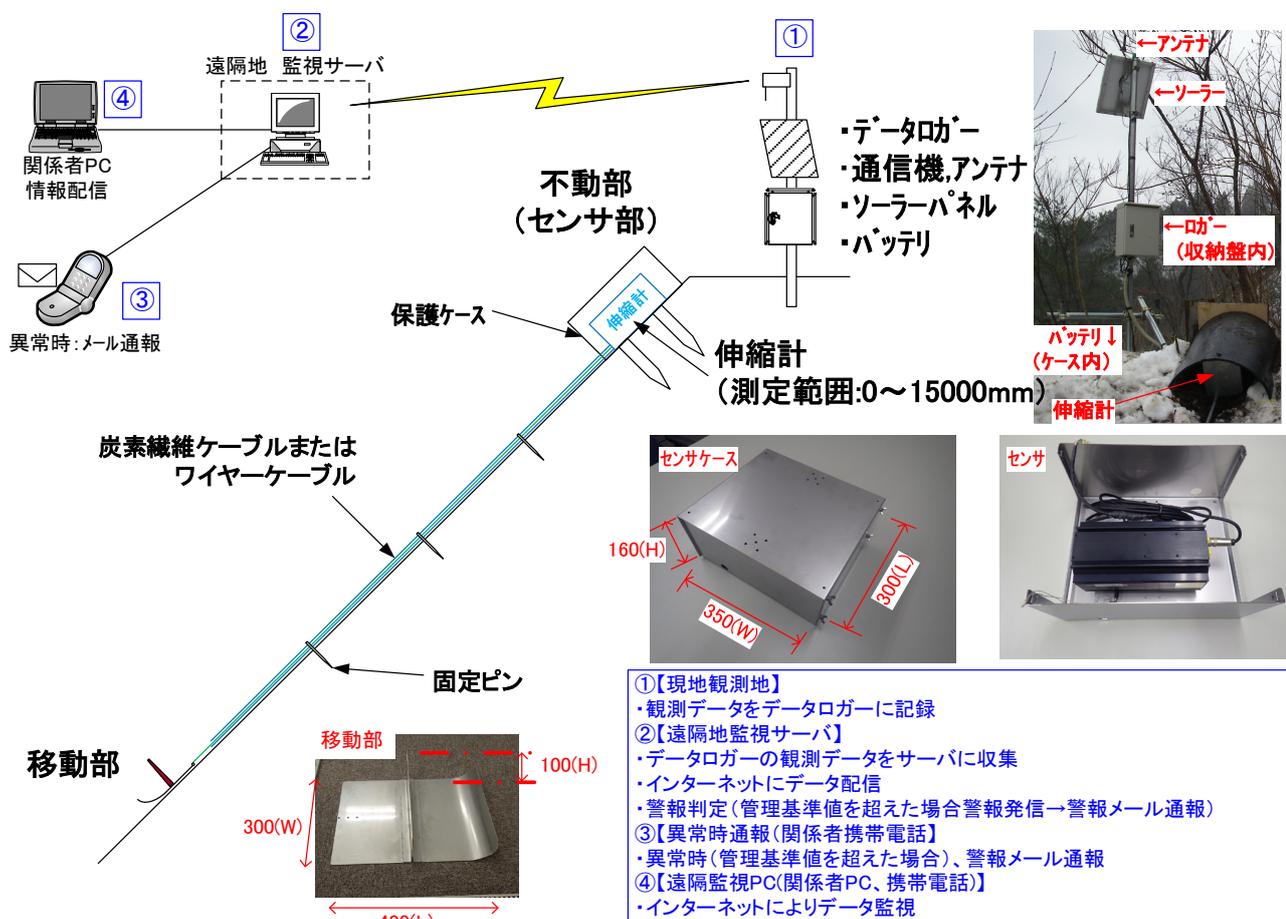


図1 雪崩検知システム概要

\*1 株式会社 興和

積雪の積算グライド量とグライド速度、および警戒発令や警報発令時刻のデータはリアルタイムに記録され、インターネット上に公開し、関係者が閲覧できる。また、積算グライド量とグライド速度それぞれに警戒値と警報値を設定しておくことにより、登録したアドレスへ警戒発令と警報発令を電子メールで発信することができる。また、温度計、積雪深計、雨量計などもオプションで設置可能である。

表 1 雪崩検知システム仕様

伸縮計・移動部	
測定距離	3~15 mで選択
出力信号	DC 0 ~ 10 V
電源	DC 14 ~ 27 V (ソーラー・バッテリー可)
消費電流	30 mA MAX
保護ケース	SUS製、3~5m型 W214×H216×L310 mm 15m型 W3204×H160×L300 mm
移動部	SUS製、W300×H100×L400 mm
警報ユニット	
センサー入力	アナログ 0 ~ 9.999 V
センサー電源	DC 12V前後、300 mA MAX
記録容量	最大 9999 データ
警報出力	ドライ接点出力 ×1
表示器	液晶パネル、計測値や時刻表示
通信	RS-232C
電源	DC 11~15 V (ソーラー・バッテリー可)
消費電流	約 1.5 mA (待機時) ・ 約 25 mA (計測時)
外形	W149×H105×D25.5 mm



図 2 雪崩検知システム設置状況

### 3 雪崩検知事例

#### 3.1 新潟県中越地方の事例①

新潟県中越地方における雪崩検知システムの設置状況を図 3 に示す。県道脇のこの斜面は高さ約 25 m、傾斜 22~60° で、毎年雪崩の発生がある。斜面下部には雪崩防護柵が設置されているものの、雪崩の一部は県道まで流れ落ちることがある。そこで安全な道路交通の確保を目的として雪崩検知シ

ステムを設置した。雪崩のすり抜けが起きたことがある斜面中央に移動部を設置し、伸縮計は斜面上部に固定した。また、温度計も併設した。電力供給はすべてソーラーパネルによる発電でまかなった。また、積雪深は近傍の道路情報システムのデータを利用した。

2010 ~ 2011 年に観測された積雪のグライド速度、積算グライド量、気温および積雪深を図 4 に示す。30 cm 程度の積雪深となった 12 月 26 日以降、斜面の積雪はグライドを開始し、12 月 30 日ころまで グライド速度は 2~3 mm/h で推移した。12 月 31 日からグライド速度が大きくなり、1 月 1 日 11 時には 85.2 mm/h の極大値を記録したが、雪崩は発生しなかった。後の解析で、このグライド速度の増加は降雨によるものということがわかった。1 月 2 日以降、気温が上昇したときにグライド速度が増加する傾向を示し、積雪深が 70 cm 程度まで増加した 1 月 9 日以降は 5 mm/h 前後のグライド速度となった。1 月 11 日早朝にかけて 20 cm の降雪があり、同時にグライド速度が大きくなり始め、8 時には警戒値の 20 mm/h を超えた。9 時 47 分頃には警報値の 100 mm/h を超えたとみられ、10 時頃雪崩が発生した。



図 3 設置事例 (新潟県中越地方①)

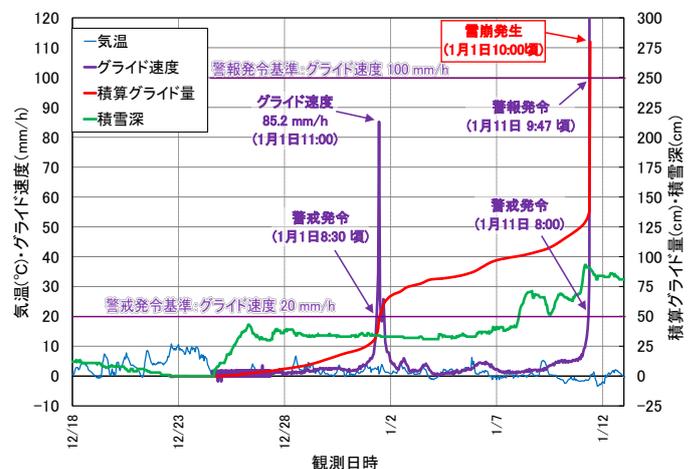


図 4 雪崩監視事例 (新潟県中越地方①)

全観測期間を通して、グライド速度が 20 mm/h を超えたのは 3 回あった。雪崩発生時刻または最大移動時刻の前に、グライド速度が 20 mm/h 以上となったのは、2~4 時間前であった。また、雪崩発生時刻または最大移動時刻の前に、グライド速度が 10 mm/h 以上となったのは、5~9 時間前であった。この結果から、1 月 21 日に警戒発令基準を 20 mm/h、警報発令基準を 100 mm/h に設定して以後運用した。

### 3.2 新潟県中越地方の事例②

新潟県中越地方における別な道路斜面でも 2012 年に実験的に雪崩検知システムを設置した。ここでは道路部から高さ 10 m 程度に移動部を設置して雪崩の自動観測を行った。

観測開始の 1 月から雪崩発生直前までの期間全体を通して積雪のグライド速度はほぼ 3 mm 以下であった。一方、雪崩発生時は前日の 4 月 22 日から徐々にグライド速度が増加し、発生 20 ~ 30 分前に 20 mm/h を越えて警戒発令し、9 時 20 分 ~ 30 分に雪崩が発生した。

越えることはなかったため警戒発令や警報発令はなかった。



図6 設置事例（新潟県上越地方）

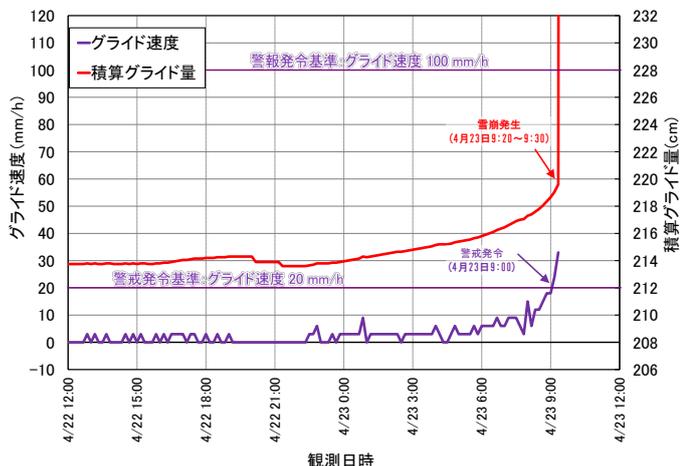


図5 雪崩監視事例（新潟県中越地方②）

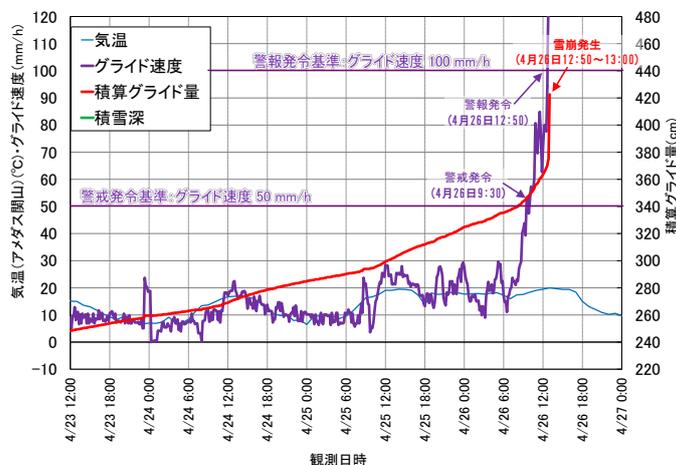


図7 雪崩監視事例（新潟県上越地方4月）

### 3.3 新潟県上越地方の事例

新潟県上越地方の県道沿いの斜面に設置した事例を図 6 に示す。この県道では、100 m ~ 150 m ほど上部の斜面で雪崩が発生する危険があり、2012 年 3 月 21 日の現地調査前から長期間全面通行止めとなっていた。現地調査の結果、通行止め解除のためには積雪の移動観測および監視が必要であるという判断となった。全面通行止めから夜間通行止めへ規制変更することを目的に雪崩検知システムを設置し、継続的に観測と監視を行った。<sup>3)</sup>

2012 年 3 月 23 日 ~ 5 月 4 日までの観測の結果、2 回雪崩が発生した。1 回目の発生時のグラフを図 7 に示す。4 月 26 日 9 時 30 分に警戒発令し、同 12 時 50 分に警報発令し、その直後に雪崩が発生している。2 回目の発生時のグラフを図 8 に示す。5 月 4 日 20 時 21 分に雪崩が発生しているが、発生前に警戒発令基準のグライド速度 50 mm/h を

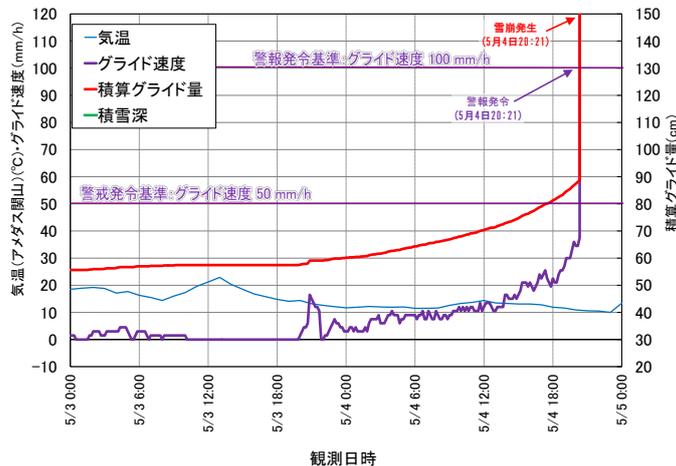


図8 雪崩監視事例（新潟県上越地方5月）

### 3.4 宮城県の事例

宮城県の国道脇の斜面に 2012 ~ 2013 年に設置した事例を図 9 に示す。国道から 100 m ~ 150 m ほど上部にある沢地形となっており、過去に何度か雪崩が発生した。道路は冬期通行止めとなるが、雪崩対策工の施工を冬期も行うため、雪崩発生を監視する必要があった。本格的な積雪期の前にこ

の斜面に雪崩検知システムを設置した。

図 10 に雪崩監視結果を示す。3 月 26 日 15 時にグライド速度 10 mm/h の警報が発令し、27 日 1 時には積算グライド量の警報が発令した。28 日 17 時には最大グライド速度 120 mm/h を記録し、翌 29 日 11 時 ~ 12 時に雪崩が発生した。



図 9 設置事例 (宮城県)

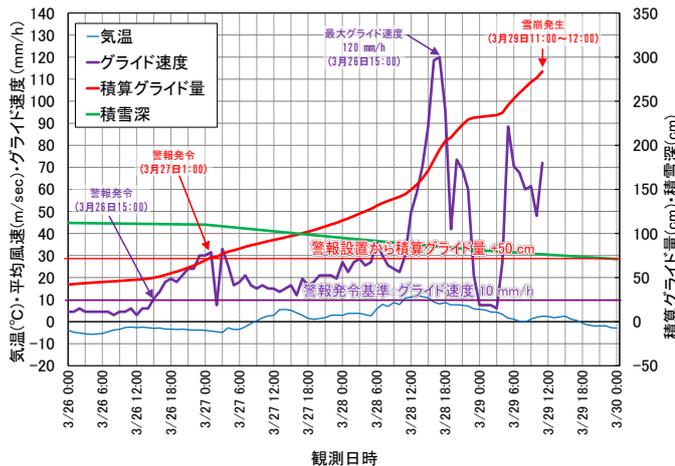


図 10 雪崩監視事例 (宮城県)

#### 4 雪崩検知システムの活用

##### 4.1 雪崩発生予測・警報発令の基準

雪崩の発生は、現地の斜面状況や気象条件など、様々な要因と関係している。本システムでは、雪崩の専門家の意見をもとに、設置する斜面ごとに警戒や警報発令の設定値を設けて運用している。現在までに設置した地区では、警戒発令の基準に初期値として 10 ~ 50 mm/h のグライド速度を設定しているところが多い。

表 2 に雪崩発生直前の積算グライド量 (設置後の累計移動量) と雪崩発生 1 時間前のグライド速度の観測例を示す。雪崩検知システムを設置してから雪崩が発生するまでの移動量は、88.8 cm から 375 cm まで観測されている。雪崩発生 1 時間前のグライド速度は、最小 12 mm/h、最大 63 mm/h が

観測されている。グライド速度について、図 11 に雪崩発生から 24 時間前までの積雪のグライド速度を示す。傾向としては、雪崩発生 6~9 時間前からグライド速度が増加する傾向がみられる。しかしながら、宮城県の事例のように 100 mm/h を超える移動量を示しながら一旦落ち着くこともあった。

20 mm/h のグライド速度を警戒発令の基準値とした場合、中越地方①では雪崩発生 2 ~ 4 時間前に警戒発令され、中越地方②では雪崩発生 20 分前と雪崩発生の直前となる。中越地方②では警戒値をもっと小さな値に変更し、通行止め等の対応の時間をとるといった検討が考えられる。

大きいグライド速度が記録された宮城県の事例では、継続調査の結果でも同様の傾向が見られれば、もっと大きいグライド速度を警戒値や警報値とする、といった検討が考えられる。

この事例のように、雪崩監視システムで得られた雪崩発生前の積雪の積算グライド量とグライド速度のデータを積み重ねることにより、その斜面における雪崩発生数時間~数十分前の予測に役立つと考えられる。

表 2 雪崩発生時の積雪移動状況の観測例

地区	雪崩発生までの積算グライド量 [cm]	雪崩発生 1 時間前のグライド速度 [mm/h]	雪崩発生前の積雪移動状況
新潟県 中越地方①	138.1	33	一度 85 mm/h を記録したが雪崩発生せず、10 日後に雪崩発生。
中越地方②	219.6	12	雪崩発生 11 時間前までほとんど移動なし。
上越地方	1	375.0	20 mm/h 程度の移動が 20 時間ほど続いた後に雪崩発生。
	2	88.8	36
宮城県	283.0	60	50~90 mm/h の移動が 7 時間ほど続いたのち雪崩発生。

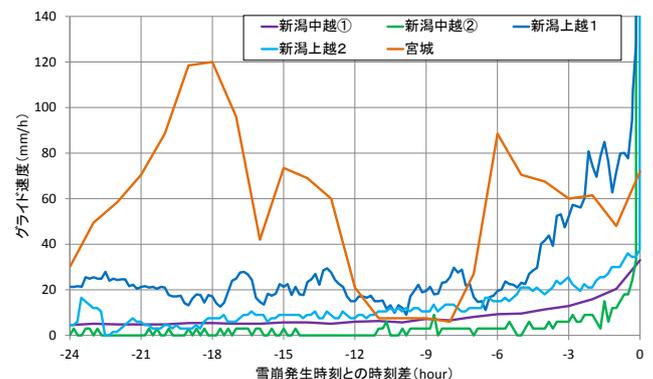


図 11 雪崩発生から 24 時間前までのグライド速度

表 3 警戒発令基準と雪崩発生までの時間

地区	警戒発令の基準となる グライド速度	警戒発令後に雪崩が発生 するまでの時間
新潟県 中越地方①	20 mm/h	2～4時間
新潟県 中越地方②	20 mm/h	20～30分
新潟県 上越地方	50 mm/h	0～4時間
宮城県	10 mm/h (警戒発令基準)	8～68時間

注) 宮城県の事例では警戒発令基準のみ設定した



図 13 設置状況

#### 4.2 雪崩対策施設効果調査

山形県最上郡金山町において、切土斜面に試験施工された雪崩防止施設の対策効果の調査がおこなわれた。積雪の安定状況を積雪のグライド量から把握する目的で、雪崩検知システムを設置した<sup>4)</sup>。設置状況を図 12 および図 13 に示す。試験施工された雪崩防止施設の一部 2 か所、雪崩防止施設未施工部 2 箇所合計 4 箇所の積雪のグライド状況の観測を雪崩検知システムでおこなった。

観測結果を図 14 に示す。観測開始とともに降雪が続き、新雪の動き（斜面方向への動きと沈降の動き）が大きいことから、1月中旬まで1日当たりの動きは大きく、その後は減少した。雪崩防止柵の有無により差はあるものの、1月中旬以降は徐々にグライド量が少なくなり、移動部は小段の手前でほぼ止まった。これは階段状に施工された切土法面の雪崩抑制効果と考えられた。また No.1 と No.4 は小段と雪崩防止柵の両方の効果により積雪の移動が抑制されていることがわかった。

この調査事例のように、雪崩の発生を防止したかしないかの判断より、グライド量の抑制状況を数値化する点で、一歩先に進んだ分析に役立つと考えられる。

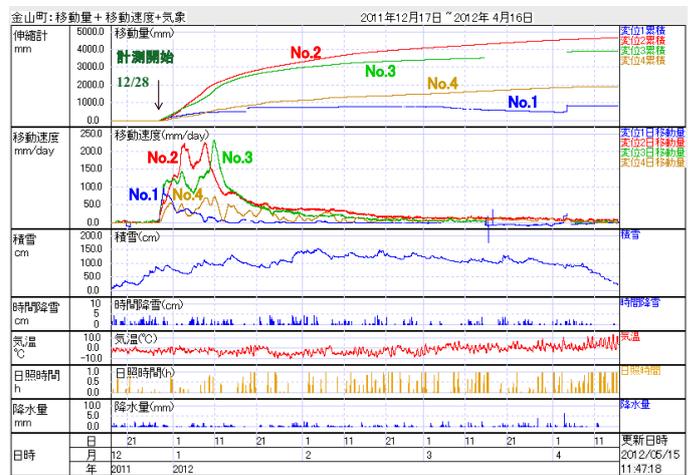


図 14 観測結果

#### 5 課題と今後の展開

雪崩検知システムは開発後 20 箇所以上の現場で設置・運用している。その中で明らかになった課題等について以下に述べる。

グライド量を測定する伸縮計はワイヤーの引き出し距離を電気信号に変換して計測するワイヤーセンサ（計測範囲 3 m ～ 15 m）を使用している。雪崩発生によりワイヤーが一気に引き出されるとオーバーレンジとなり、センサが故障してしまう事例があった。この対策として、現在オーバーレンジとなっても故障しないセンサと、計測機構の改良を進めている。

移動部のそりは、積雪期前に設置する場合は地表面に置き、積雪後に設置する場合は図 15 のように雪崩危険箇所の雪を掘って移動部を積雪内に埋めている。地表面に設置すると、地表の凹凸にそりが引っかかり動かなくなる事例があった。そこで斜面に設置台を据え付けて、その上にそりを仮固定する方法で積雪の動きを正しく測定できるか検証を進めている。

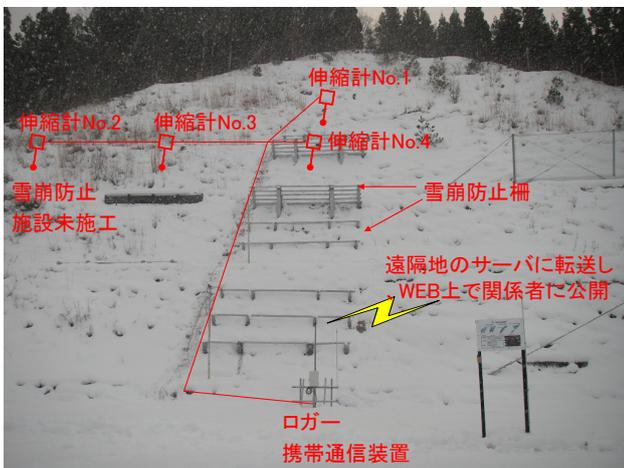


図 12 調査地全景



図 15 積雪後のそり設置例

## 6 まとめ

雪崩検知システムを設置することで積雪期全般に渡り積雪移動をとらえ、雪崩の予測に有効なデータを取得することができた。また道路や作業現場などに隣接した雪崩危険斜面で当システムを設置することで、斜面積雪の常時監視が可能となり、雪崩の前兆をとらえて速やかに警報発令が行えた。

雪崩検知システムで蓄積されるグライド量とその速度のデータは、雪崩発生を予測したり、雪崩対策工の設計、道路や工事現場の安全管理などに役立つと考えられるので、今後もデータの蓄積と検証を重ねていきたい。

## 参考文献

- 1) 上石 勲, 2009 : センサーを用いた雪崩の検知・予知技術, 日本雪工学会誌 Vol. 20 (2004) No. 3 P 294-297
- 2) 日本雪氷学会, 1998 : 日本雪氷学会雪崩分類, 雪氷, 60, 419-436
- 3) 大川滋, 斉藤浩之, 上石勲, 2012 : 雪崩検知システムの開発、平成24年度 建設技術報告会 報文集, P 69-72
- 4) 大川滋, 栗林健, 斉藤浩之, 熊谷晃, 小杉健二, 阿部修, 塚原初男, 東海林隆, 2012 : 斜面積雪の移動量と速度に関する研究, 雪氷研究大会 (2012・福山) 講演要旨集, P 40.