

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 可搬型の装置で雪崩の発生を的確に検知する

大雪時には、鉄道沿線斜面の多くに整備されている雪崩対策工が埋没する可能性があり、雪崩の発生抑止効果および線路設備や列車への防護効果が小さくなるのが懸念されます。このような背景を受け、巡回警備などの補助的手段として活用することを目的として開発した可搬型の雪崩検知装置について紹介します。

## 鉄道における雪崩対策

鉄道沿線の雪崩危険斜面の多くには雪崩防止林や雪崩止め柵などの予防工が、また雪崩の走路には雪崩減勢工、線路近傍には雪崩防護擁壁などの雪崩対策工が設備されています(図1)。しかし、大雪時にはこれらの対策工が積雪に埋没し、雪崩の発生抑止効果および線路設備や列車への防護効果が小さくなるのが懸念されます。鉄道では、安全かつ安定的な輸送を確保するために、雪崩の発生原因となる雪庇(雪せき)などの除去に加え、雪崩止め柵や雪崩防護擁壁背後の積雪を除去し、その機能を維持するとともに、過去の雪崩履歴などをもとに降積雪や気象状況を考慮して線路巡回や警備を実施しています。しかし、全ての要注意箇所について除雪を行い、警備員を固定配置することは困難です。また、雪崩発生

に気づかず列車が雪崩デブリ(雪せき)に突入してしまうこともあります。そこで、鉄道沿線斜面で雪崩が発生した場合には、その発生を検知し、その線区を走行する列車を抑止させ、復旧作業を迅速に行うために、その線区を管理する管理室などに雪崩の発生状況を報知することが重要となります。

## 可搬型雪崩検知装置の開発

国内の鉄道において、雪崩を検知する方法は古くから利用されており、現在も一部の線区で用いられています(ワイヤー方式)<sup>1)</sup>。近年においてもさまざまな方法による雪崩検知技術の開発が行われていますが、研究レベルのものも含めて商用電源や重機などを用いた設置工事が必要な常設設備がほとんどです<sup>2)~3)</sup>。

このような背景を受け、大雪時に既



佐藤 亮太  
Ryota Sato  
防災技術研究部  
気象防災研究室  
研究員  
[専門分野] 雪氷学



高橋 大介  
Daisuke Takahashi  
防災技術研究部  
気象防災研究室  
研究員  
[専門分野] 雪氷学



飯倉 茂弘  
Shigehiro Iikura  
防災技術研究部  
気象防災研究室  
室長  
[専門分野] 雪氷学

### 雪庇

地表面の起伏が変化する場所などに風下側に形成される吹きだまりの一種。山地の雪庇の崩落により雪崩の引き金となる場合も多い。

### 雪崩デブリ

雪崩によって運ばれて堆積した雪や氷のこと。一般にデブリは、自然積雪よりも硬い。



図1 雪崩対策工の一例(雪崩止め柵)

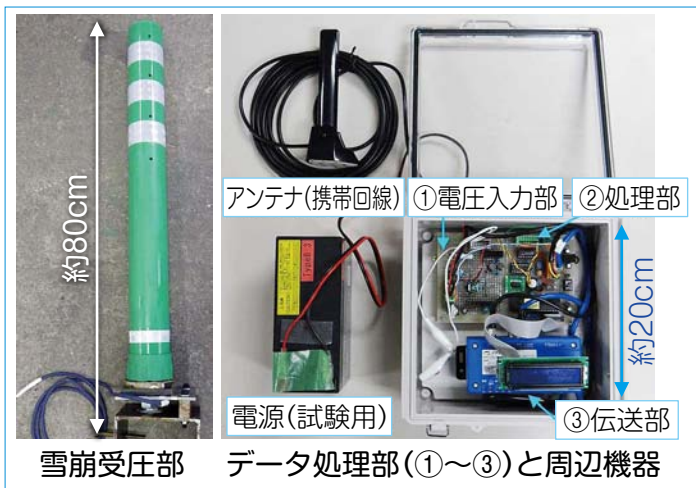


図2 雪崩検知装置(試作器)の外観

存の対策工などへの仮設、撤去が人力で容易に行え、線路巡回や固定警備などの補助として役立てることができる可搬型の雪崩検知装置の開発に取り組むことにしました。

### 可搬型雪崩検知装置の概要

開発した雪崩検知装置<sup>4)</sup>(以下、本装置と呼びます)は、雪崩受圧部とデータ処理部で構成されます(図2)。以下にその概要を示します。

既存の対策工は大雪時にその背面が埋没したとしても対策工の前面の支柱などは露出していることが多い(図1参照)、雪崩受圧部はこのような対策工の鋼材を利用して設置することを想定しています。棒状の雪崩受圧部が既存の対策工よりも上に出るように仮設することで、埋没した対策工の上を通過する雪崩の衝撃力を利用して検知する仕組みとしました(図3)。

データ処理部では、雪崩受圧部が出力する信号をもとに、雪崩の発生検知およびその規模に関する情報を作成し、伝送する機能を有します。さらに、商用電源のない山岳地においても人力で仮設できるように、市販の乾電池や小容量のバッテリーで長期間駆動するように省電力かつ小型となるようにしました。

次項から、雪崩受圧部の構造とデータ処理部の構成について紹介します。

### 雪崩受圧部の構造

雪崩の衝撃力を利用する検知方法では、雪崩受圧部が受けた衝撃荷重や変位をセンサーで電気信号に変換する機構が必要となります。

#### (1) センサーの選定

本装置は商用電源がない山岳地などでの使用を想定しているため、省電力であることが重要です。そこで、用いるセンサーは、稼働電力を必要としない圧電素子を用いました。

圧電素子は薄く、曲面にも接着でき、大きな変形に対する柔軟性も十分あります。さらに、動的な荷重や変形を加えると電荷が発生しますが、静的な荷重に対しては電荷の発生が抑えられるため、雪崩のような動的な現象を捉えるには適しています。本装置に使用した圧電素子は荷重に対する電荷の出力が大きいため、一般的な記録計で圧電素子の出力を記録できます。さらに、積雪地域の温度域である0℃以下において圧電素子に加わる衝撃荷重と圧電素子から出力される電圧との間に良い相関関係があることを確認できたので、本装置に組み込むことにしました。

#### (2) 雪崩検知の仕組み

本装置の雪崩受圧部は、ポリウレタン製の棒と2枚のステンレスプレート(水平プレートと鉛直プレート)、圧電

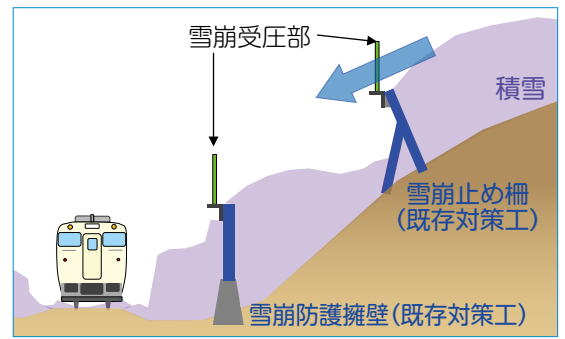


図3 雪崩受圧部の設置イメージ



図4 雪崩受圧部の構造

素子で構成されます(図4)。ポリウレタン製の棒に雪崩の衝撃が加わると、棒と水平プレートの接合点に大きなひずみが生じるため、この接合点付近に圧電素子を接着し、そこに生じるひずみを電圧信号に変換して出力します。

#### (3) 雪崩受圧部の性能確認試験

塩沢雪害防止実験所(新潟県南魚沼市)の構内に雪崩実験シュート(図5:長さ10.8m,幅0.9m,傾斜角度41°)を製作して、雪崩受圧部の出力確認試験を実施しました。試験は、シュート上端の集雪用バケツ(長さ1.8m,幅0.9m)内に雪を入れ、バケツを傾けてシュート内に雪を流下させて小規模の人工雪崩を発生させ、シュート下部に設置した雪崩受圧部および荷重測定用の受圧装置(ロードセルにポリウレタン製の棒を半割にして取り付けたもの)に衝撃を加えることで行いま

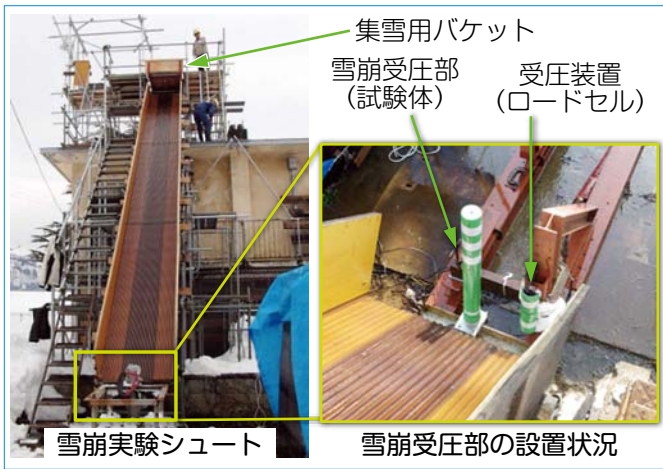


図5 雪崩実験シュートの外観

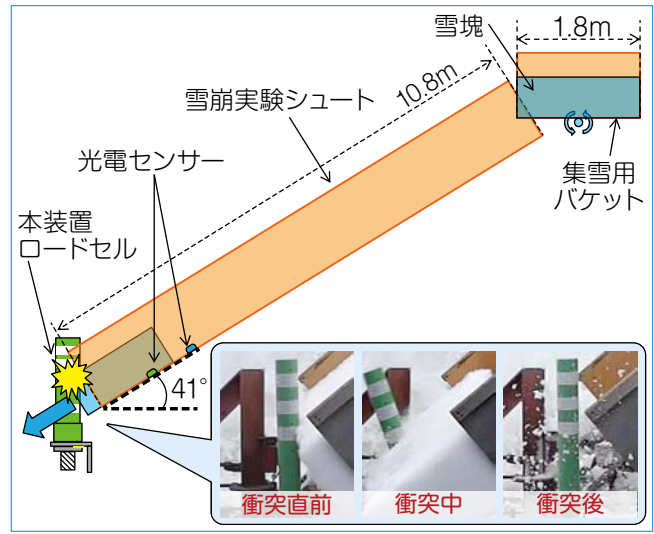


図6 雪崩実験シュートの模式図

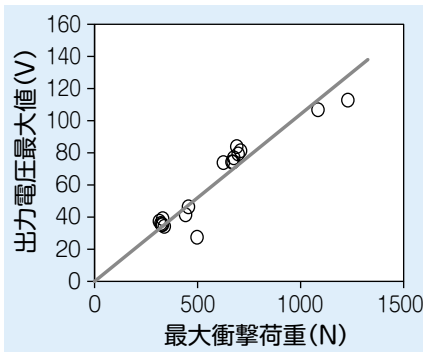


図7 衝撃荷重と最大電圧の関係

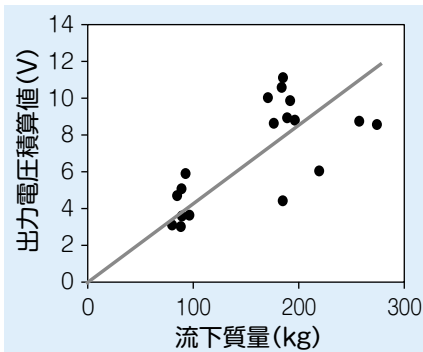


図8 流下質量と平均電圧の関係

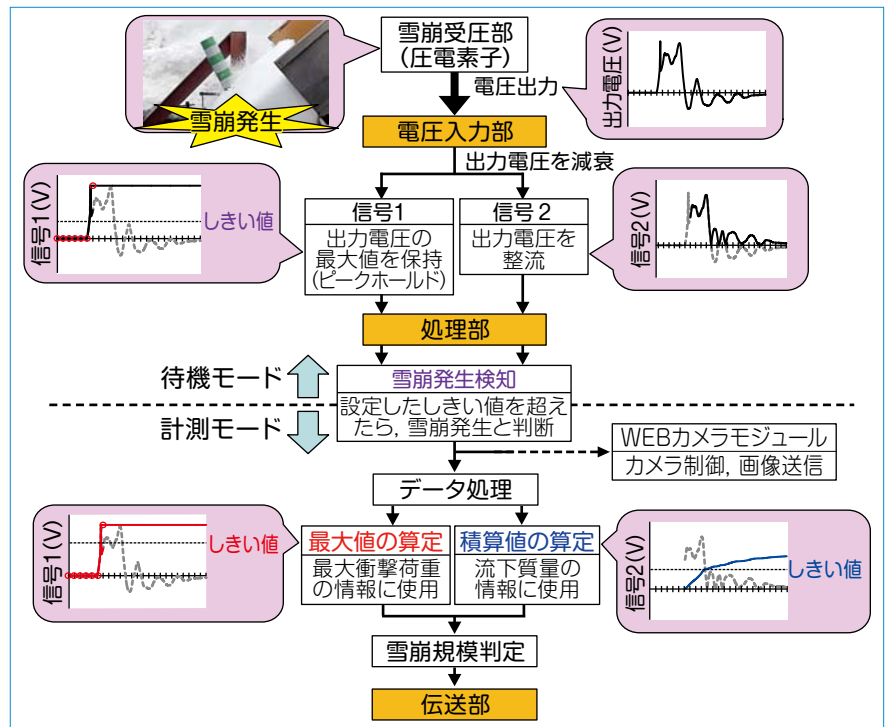


図9 出力信号の処理例

した(図6)。

雪崩受圧部からの電圧信号と、雪崩の衝撃荷重との関係について調べたところ、雪崩の最大衝撃荷重が大きくなるほど、出力電圧の最大値も大きくなり、両者には良い相関があることが確認できました(図7)。また、雪崩の規模を表す流下質量について検討したところ、雪崩衝突後の一定時間内における出力電圧の積算値は、ばらつきがあるものの、流下質量が増大するに従い、出力電圧の平均値も大きくなる傾向にあることがわかりました(図8)。この

ように、雪崩受圧部から雪崩の衝撃の大きさに依存した電気信号が出力されることを確認しました。また、ポリウレタンパイプは適度な剛性を持つため、雪崩の衝撃荷重によって変形しても復元することを確認しました(図6参照)。そのため、実使用場面において繰り返し雪崩が発生しても付け替えの必要がないと考えられます。

### データ処理部の構成

データ処理部は防水ボックスに格納されており、①電圧入力部、②処理部、

③伝送部から構成され、周辺機器(電源、アンテナ)が付随します(図2参照)。データ処理部におけるデータ処理の流れを図9を用いて説明します。

#### ①電圧入力部

圧電素子からの出力電圧は数百Vと大きいので、その後の処理がしやすいよう電圧入力部で減衰させます。この電気信号を、最大値を常時更新して保持する(ピークホールド)信号1と、整流された信号2とに分けて事後の信号処理に用います。

#### ②処理部

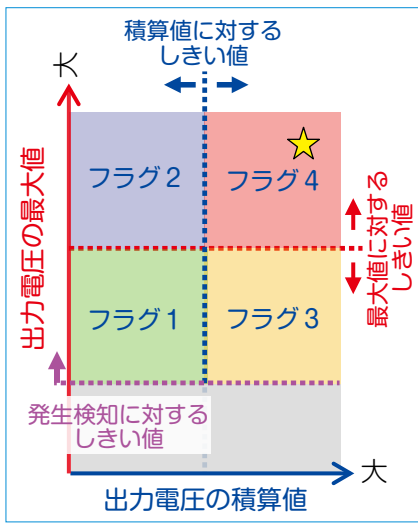


図10 雪崩規模の判定種別

処理部では、信号1と信号2をデジタル値に変換します。デジタル値に変換するためのA/D変換のサンプリング周波数については、省電力化を図るため2種類に分けています。雪崩が発生する前の待機状態では0.25秒ごとに変換を行い(待機モード)、雪崩の発生を検知したあとには0.0001秒ごとに変換を行い(計測モード)、雪崩現象を捉えます。

出力電圧が設定されたしきい値を超えた場合には、処理部で雪崩発生と判断し、雪崩規模判定のためのデータ処理を行います。出力電圧の最大値および積算値を算定することで、雪崩の衝撃荷重の大小(図7参照)と流下質量の多寡(図8参照)を推定します。それらの処理が終わると、得られた情報から雪崩規模に関する判定を行います。判定は、図10に示す4つに分類(雪崩フラグ1~4)されます。例えば、衝撃荷重、流下質量ともにそれぞれに設定されたしきい値を超える場合には、規模の大きい雪崩(雪崩フラグ4: 図10 中星印)と判定されます。以上のような手順で雪崩規模の判定を行い、その情報を伝送部に送ります。

### ③伝送部

伝送部は、処理部によって雪崩の発生が検知された場合に雪崩の発生時刻、雪崩の規模に関する判定情報(雪崩フラグ1~4)、検知装置番号(位置情報)



図11 WEBカメラと伝送画像(動作確認試験時)

などを、携帯電話回線を介してe-mailで伝送します。雪崩の発生から判定情報を受信するまでの時間は、受信サーバーの状況にもよりますが、おおむね4分です。

### 消費電力

本装置は、雪崩判定手順を先述のように単純化したことで低消費電力の8ビットのIC(マイクロコントローラー)を用いることができるとともに、スリープ機能を組み込むことでICの稼働時間を短縮しています。さらに、前述したように待機時間のA/D変換のサンプリング周波数を低くしたことで省電力化を図り待機モードでの消費電力は約13mW以下であることを確認しました。一方で、雪崩発生後の定時通信時における消費電力は約180mWとなるものの、雪崩発生時の演算処理時間などを短く(約100μs)することで、省電力化を実現することができました。

### 付加機能

本装置はWEBカメラのモジュールを接続することで雪崩の発生を検知したときに画像を送付する機能を付加することができます。WEBカメラの機能試験では雪崩検知信号をトリガーとしてカメラを制御させ、取得画像が送付できることを確認しました(図11)。画像撮影時におよそ9Wの電力を消費しますが、1日に1~2回程度の画像の送信(定時通信)を行うとしても作動時間が短いため、バッテリーなどの

電源を用いることができます。画像情報は視覚的に現地の状況を判断できるため、除雪の必要性やその方法の判断に役立てることができます。

### まとめ

雪崩対策工が埋没するような大雪時に仮設して用いる可搬型の雪崩検知装置を開発しました。本装置は、雪崩の衝撃力を圧電素子を用いて電圧信号に変換して、雪崩を検知する仕組みです。また、圧電素子からの出力電圧を処理することで、雪崩の規模を判定する機能を有します。消費電力が小さく小型なため、商用電源がない山岳地においてもバッテリーを用いて使用することができます。

本装置は、雪崩以外にも土砂崩れなどの災害検知にも応用できると考えており、ほかの斜面災害検知手法への発展も今後、検討していく予定です。[RRR]

### 文献

- 1) 福島民報：赤岩、板谷駅間に崩雪報知機を装置、1922年2月10日記事、1922
- 2) 山田穰、五十嵐高志、納口恭明：総合的雪崩予知システムの開発、豪雪地帯における雪害対策技術の開発に関する研究、科学技術研究開発局、pp.115-135、1988
- 3) 飯倉茂弘、河島克久、遠藤徹、藤井俊茂：振動センサを利用した雪崩発生検知システムの開発、雪氷、Vol.62、No.4、pp.367-374、2000
- 4) 佐藤亮太、高橋大介、飯倉茂弘：仮設型雪崩検知装置の開発、鉄道総研報告、Vol.30、No.3、pp.17-22、2016