

雪崩の発生を検知する

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

我が国の鉄道は、積雪地域を走る線区が多数存在するため、雪害の克服が大きな課題となっています。その中でも雪崩災害は直接大事故に結びつくものであり、鉄道の安全・安定輸送のためには、雪崩危険斜面への防護工の施工や適切な沿線巡回など、各種対策（ハード・ソフト対策）の実施が欠かせません。ここでは、その対策の一つである雪崩検知方法（雪崩検知装置）について紹介します。

鉄道における雪崩災害

鉄道開業以降、全国の多雪山間線区において、列車の運行を阻害する多くの雪崩が発生しています。近年においても、豪雪時には雪崩が原因と考えられる運行障害が多数報告されており、平成18年豪雪の際には、鉄道沿線において30件以上の運行障害が発生しています。

こうした雪崩による被害を軽減するため、雪崩の発生予測に関する研究がこれまでも行われてきましたが、依然として、時間的・場所的に正確な雪崩の発生予測技術は確立されていませ

ん。そのため、鉄道沿線の雪崩危険斜面の多くは、様々な雪崩対策工（雪崩止柵、雪崩擁壁、雪崩覆、雪崩防止林など）が施工され、鉄道構造物の防護や線路支障を軽減させる方法が取られている他、雪崩検知装置によって雪崩の発生をとらえ、列車を即時に抑止する方法が取られてきました。特に雪崩検知装置は、防護工の施工が困難な箇所では非常に有用な方法であり、重大事故を未然に防ぐ上で重要な設備となっています。

こうした背景を受けて、私たちのグループでは、雪崩発生の危険性を定量



栗原 靖
Yasushi Kurihara
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

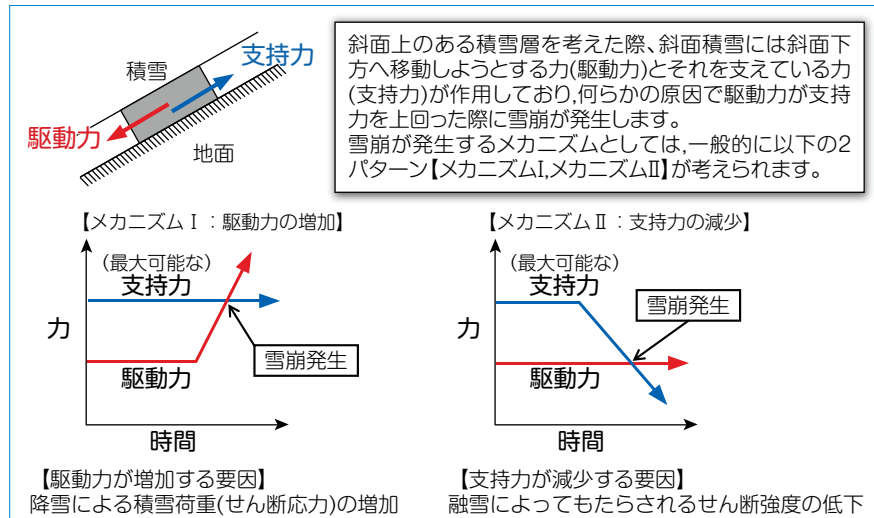


図1 雪崩の発生メカニズム(概念図)

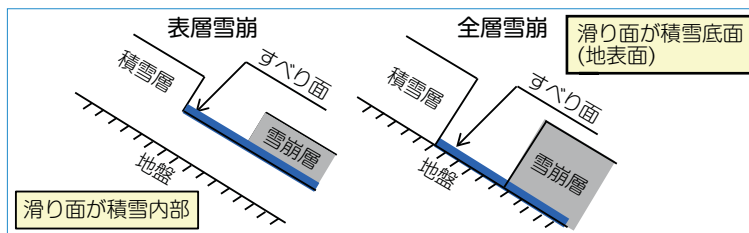


図2 雪崩の種類(表層雪崩と全層雪崩)

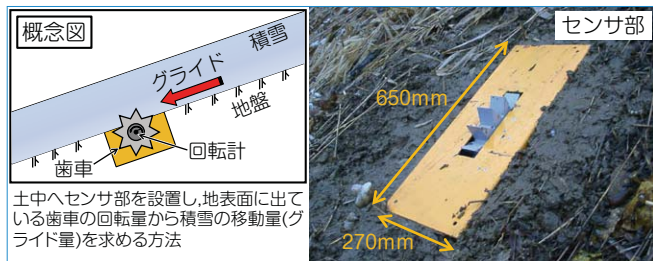


図3 歯車式グライドメータによるグライド量の測定方法(概念図)とセンサー部の写真

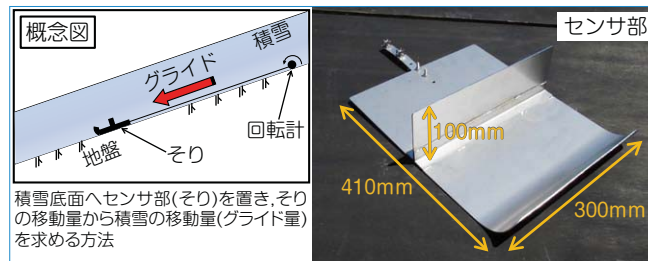


図4 そり式グライドメータによるグライド量の測定方法(概念図)とセンサー部の写真

的に評価する方法(雪崩発生危険度の算出方法)について研究を進めるとともに、鉄道への適用を踏まえた新たな雪崩検知装置の開発に取り組んできました。ここでは、雪崩の発生を検知する方法を取り上げ、研究段階の成果も含めて国内外でみられる雪崩の検知方法を紹介するとともに、これまで日本の鉄道で用いられてきた雪崩の検知方法、および鉄道総研で開発した雪崩検知方法について紹介します。

雪崩の種類と発生メカニズム

雪崩の発生を検知するためには、雪崩発生時の斜面積雪の挙動を把握することが重要です。一般的に、斜面積雪は斜面下方へ移動しようとする力(駆動力)とそれを支えようとする力(支持力)のつり合いによって成り立っており(図1)、駆動力が支持力を上回ったときに雪崩が発生します。また雪崩は、滑り面の位置によって表層雪崩と全層雪崩の2種類に大別されます(図2)。表層雪崩は、滑り面が積雪層内にあり、滑り面より上部の積雪が崩落する雪崩のことを指します。低温下で多量の降雪が観測された直後に(駆動力の増加に伴い)発生することが多く、この場合は崩落する雪が乾いているために雪崩によっては雪煙をあげながら流下するという特徴がみられます。

一方、全層雪崩は滑り面が積雪底面(地表面との境界)に位置し、積雪全層が崩落する雪崩のことを指します。全層雪崩の多くは、気温の上昇に伴い、融雪水や降雨が観測される融雪期にみられます。これは、積雪底面へ水が供給されることにより、積雪の支持力が低下し、積雪の移動(グライド)が促進されるためだと考えられます。なお、グライドは積雪の状況や時期によってその量は変化しますが、一冬通してみられる現象であり、全層雪崩発生前に急増するという特徴がみられます。そのため、全層雪崩発生前の斜面積雪にはクラック等の前兆現象がみられることがあります。

国内外でみられる雪崩検知方法の紹介

近年、雪崩の発生予測に関する研究と並行して、雪崩検知に関する研究が積極的に進められています。ここでは、研究段階の成果も含めて、国内外でみられる雪崩の検知方法について紹介します。

(1) 地震計方式

雪崩により生じる地盤の振動を地震計でとらえることにより、雪崩の発生を検知する方法です。主に道路の雪崩監視として、ノルウェーやアイスランドなどで使用実績があります¹⁾。

(2) マイクロホン方式

超低周波マイクロホンを積雪内に埋設し、雪崩によって発生する低周波を計測することにより、雪崩の発生を検知する方法です。現在、スイスの研究機関を中心として雪崩の発生場所や雪崩規模の推定に向けた研究が行われています²⁾。

(3) 画像認識方式

斜面を見渡せる箇所にカメラを設置し、画像の変化をとらえることにより、雪崩の発生を検知する方法です。国内においても雪崩の他、土石流や落石の検知方式として採用された実績があります³⁾。

(4) ドップラーレーダー方式

雪崩により生じる雪煙をドップラーレーダーでとらえることにより、雪崩の発生を検知する方法です(表層雪崩が対象)。アラスカ鉄道では雪崩が頻発する斜面にドップラーレーダーと地震計を併設し、雪崩監視を行った実績があります⁴⁾。

(5) グライドメーター方式

斜面積雪の移動量をグライドメーターと呼ばれる計測器でとらえることにより、雪崩の発生を検知する方法です(全層雪崩が対象)。グライドメーターは、主に図3に示す歯車式(歯車の回転量からグライド量を求める方法)と、図4に示すそり式(積雪底面にそりを設置し、その移動量からグライド量を求める方法)の2種類に分類



図5 グライド量観測斜面の一例(植生:裸地,平均傾斜:37°)

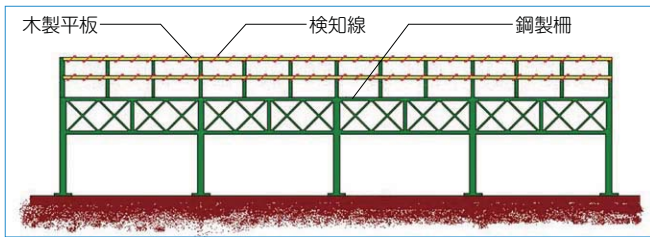


図7 鉄道沿線の雪崩危険斜面に設置されている雪崩検知装置(センサ部)

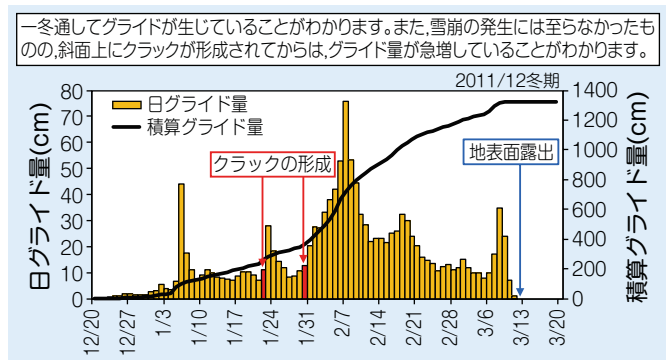


図6 グライド量観測データの一部(観測機器:そり式グライドメータ)



図8 振動センサを用いた雪崩検知装置とそのシステムの構成

表1 鉄道省仙台鉄道局での雪崩検知装置の成績(1923年度~1927年度)

鉄道災害記事, 鉄道省(1923年度~1927年度)に一部加筆

	装置の設置箇所数	雪崩の発生件数	検知数	検知率
	[箇所]	[件]	[件]	[%]
1923年度	97	16	14	88
1924年度	89	54	29	54
1925年度	104	40	20	50
1926年度	75	46	35	76
1927年度	74	72	60	83
統計値(5年間)		228	158	69

されます⁵⁾。現在、鉄道総研をはじめ、日本の研究機関を中心として、全層雪崩発生の前兆であるグライド量の時間変化をとらえる試みが行われています(図5, 6)。

日本の鉄道における雪崩の検知方法

日本の鉄道においては、鉄道省仙台鉄道局によって開発された雪崩検知(警報)装置が1922年2月に奥羽

本線赤岩・板谷駅間の6箇所(総延長約200m)にはじめて設置されました。この装置は、雪崩危険斜面の線路脇に支柱を建て、そこに張られた電線(検知線)が雪崩の通過によって切断されることで雪崩を検知するものです(図7)。開発当初の装置は雪崩によって検知線が切断されると専用線によって近傍の警戒番舎(固定警戒員が雪崩の発生を監視するための小屋)、および発生箇所の両端の駅で電鈴が鳴る仕

組みでした⁶⁾。現在では、雪崩検知装置が雪崩の発生を検知すると専用信号(特殊信号発光機)が作動するとともに近傍の駅へ通報され、駅関係者や運転士が雪崩の発生を直接知ることができるようになっています。

ここで、装置開発時における雪崩検知装置の5年間の成績(仙台鉄道局)をまとめたものを表1に示します。装置設置箇所において発生した雪崩に対して、雪崩検知装置が検知した雪崩の割合は約70%(5年間の平均値)であり、雪崩危険箇所に雪崩検知装置を設置することは、雪崩災害を未然に防ぐ上で非常に有用であることがわかります。この成果を受けて、雪崩検知装置は全国の雪崩危険箇所で使用されるようになり、1962年度には全国で126箇所、総延長15.2kmにわたって設置されました⁷⁾。現在においてもハード対策が難しい一部の線路において、同様の雪崩検知装置が設置されています⁸⁾。

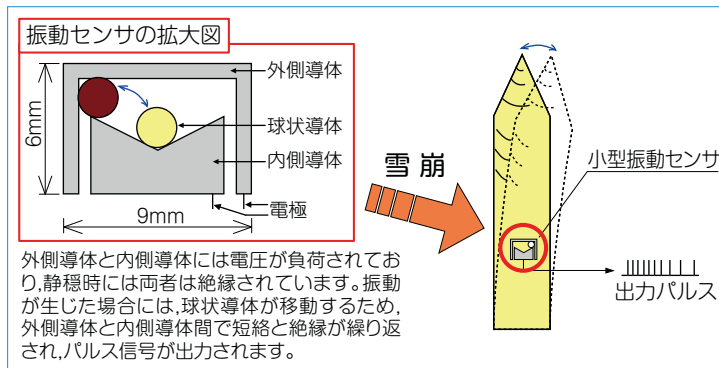


図9 小型振動センサの構造とパルス出力のイメージ

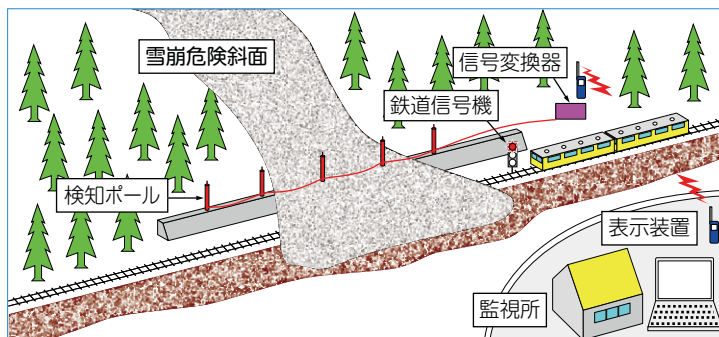


図10 鉄道総研式の雪崩検知装置を鉄道沿線に設置した場合のイメージ

既存の雪崩検知装置の長所と短所

既存の雪崩検知装置の長所として、システムが単純であり、電線を長く張ることにより検知すべき延長を長くすることができる点が挙げられます。一方で、雪の重さで検知線が切断される恐れがあることや雪崩の規模によっては検知線が切断されないこと等の弱点があった他⁹⁾、現場へ行かないと雪崩の規模がわからない等の課題がありました。

振動センサーを利用した(鉄道総研式)雪崩検知装置の開発

鉄道総研では、上記の課題を解決するための一助として、振動センサーを用いた新たな雪崩検知方法・装置(図8)を開発しました¹⁰⁾。本検知方法は、線路の脇に設置した検知ポールに雪崩が当たることによって生じる振動を小型振動センサー(検知ポール内蔵)によってとらえ、雪崩の発生を検知するものです(図9, 10)。本検知方法の

最大の特徴は、検知原理が単純であるため、装置を簡単かつ安価に構成できることです。また、小型の振動センサー(直径9mm、高さ6mm)と軽量かつ耐候性の良いFRP製のポールを使用したことで、検知部(検知ポール)の小型・軽量化を実現することができました。そのため、現場施工も従来の雪崩検知装置に比べて容易になっています。また、性能の面においても、雪崩の発生を検知する機能に加えて、雪崩規模に応じた警報出力機能を有していることから、列車の運転抑止の他、現地の線路除雪作業や点検作業の必要性の有無を判断する際の情報として用いることができます。

おわりに

鉄道沿線における雪崩の発生は小規模でも重大事故につながる可能性があります。そのため、鉄道沿線の雪崩危険斜面には各種対策(ハード・ソフト対策)が施されてきました。今回紹介した雪崩検知装置もソフト対策の一つ

であり、雪崩対策工の施工が困難な場所では非常に有用な手段となっています。ただし、雪崩検知装置は雪崩の発生そのものを抑止するものではないため、雪崩による被害を軽減させるためには、沿線巡回等のソフト対策と併用して活用することが求められます。

上記に関係して、鉄道総研ではこれまでに雪崩警備期間の設定方法¹¹⁾についても検討・提案を行っていますので、そちらも併せてご参照下さい。

RRR

文献

- 1) B.Bessason, G.I. Baldvinsson, and O.Thorarinsson: Detection and analysis of avalanches using wave measurements, Proceedings of the fourth international conference on snow engineering, pp.33-40, 2000
- 2) V.Chritin, M.Rossi, and R.Bolognesi: Acoustic detection system for operational avalanche forecasting, Proceedings of International Snow Science Workshop, pp.129-133, 1996
- 3) 日本雪氷学会: 3.27左保谷雪崩災害調査報告書, pp.44-46, 2001
- 4) J.Macpherson: Railroad aims to predict avalanches.2001 <<http://www.alaskarails.org/>>
- 5) 山田穰: 斜面積雪グライドの新測定法, 国防防災科学技術センター研究報告, Vol.18, No.18, pp.85-115, 1977
- 6) 永田潔: 雪崩報知機に就いて, 信号, Vol.10, No.1, pp.17-19, 1937
- 7) 引田精六: なだれに備えて, 新線路, Vol.18, No.3, pp.14-15, 1964
- 8) 箱守和重: 除雪設備の概要, 新線路, Vol.47, No.11, pp.20-23, 1993
- 9) 上津和雄, 田口雄三: JR東海における冬への対策, 新線路, Vol.44, No.11, pp.8-10, 1993
- 10) 飯倉茂弘, 河島克久, 遠藤徹, 泉並良二, 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, 鉄道総研報告, Vol.12, No.12, pp.17-22, 1998
- 11) 飯倉茂弘, 栗原靖, 鎌田慈, 穴戸真也, 高橋大介: 雪崩の警備に気象情報を活かす, RRR, Vol.67, No.9, pp.28-31, 2010