道路雪崩対策

Counter-Measure for Road Avalanche

上 石 勲*

Isao Kamiishi

はじめに

平成15年1月の長野県白骨温泉で林道を流下し車両を埋雪した雪崩や、今年1月、2月の大雪による北海道での雪崩災害など道路の雪崩災害は毎年のように発生している。道路の雪崩災害対策は冬期の安全な交通確保のために重要である。

道路の雪崩対策の特殊性としてはつぎのことがあげられる。

- ①車両の安全走行を考慮する必要がある。
- ②自然斜面だけではなく道路法面の雪崩対策が重要である。
- ③危険回避のために通行止めが可能である場合がある。

図1は道路を完全に埋雪した雪崩の事例で、対策は必要であると判断されることが多いであろう。図2は夜間吹雪の中で遭遇した雪崩であり、この場合は各種条件（道路線形（勾配、幅員、交通量、谷側の状況、管理方策の可否等）を考慮して対策を検討する必要がある。このように、雪崩は各種条件によって規模や発生時期が変わるので、各種参考文献¹⁾を参考にケースバイケースに対応することが重要である。

1. 道路雪崩対策の一般的な流れ

雪崩災害発生もしくは危険性がある場所について把握したうえで、雪崩危険度評価や交通量、迂回路の有無などから対策の必要性を検討する。

図1 道路を埋雪した雪崩（北海道，2004年2月）

図2 吹雪の夜間に発生した雪崩
（新潟県，2002年1月）

* ㈱アルゴス 雪氷技術センター

（長岡技術科学大学シニアテクニカルアドバイザー 博士（学術）、技術士（建設道路・河川））

2. 雪崩調査

2.1 基本事項

道路の雪崩対策ではつぎの項目について十分検討し対策に活かすようにする。

- ①雪崩が発生する斜面かどうか：地形（斜面勾配、斜面形状）、植生（樹高、疎密度）
- ②雪崩が道路に到達するか：見通し勾配
- ③路線の重要度：交通量、路線のランク、迂回路の有無・安全性
- ④頻度、規模：速度、雪崩量等

2.2 道路雪崩防災点検

道路防災点検の中で雪崩について実施されている（詳細は道路防災点検要領²⁾参照）

(1) 抽出基準

- ①雪寒地域指定
- ②30年確率最大積雪深 1m 以上
- ③発生区の斜面勾配25°以上
- ④発生区の植生で樹高 8m 以上の高木の疎密度が中程度（50%以上）に達していない

(2) 危険度評価（積雪深、地形、植生）

(3) 総合評価

- ①災害要因、②対策工の効果、③被災履歴、④周辺の状況等

以上を参考に専門技術者が災害の規模や影響を総合的に勘案し、今後の対応方針を3段階（要対策、防災カルテ対応、対策不要）に評価することになっている。

(4) 点検方法

現地踏査（積雪期、無雪期）、図面・航空写真判読等から判断する。

本点検は発生の危険度を判断するもので、対策を検討するには箇所ごとの詳細な調査計画が必要である。

3. 計画

3.1 設計値の検討

(1) 設計積雪深

道路対象の最大積雪深の設計値は30年確率値を用いており³⁾、岩井法やトーマスプロット法などにより求める。北海道や新潟県のように積雪深マップが作成されているところもある。

(2) 設計速度

Voellmy 式⁴⁾を用いて求める方法が最も一般的である。経路毎に初速度と終速度を計算することによって速度の変化が求められる。その他の雪崩の運動シミュレーション実施方法は参考文献⁵⁾に詳しい。雪崩の高さ方向の速度分布については、設計に反映できるような測定例が少ないため、今後の研究が待たれるところである。

(3) 斜面雪圧

斜面雪圧は積雪深、積雪密度、斜面勾配グライド係数、クリープ係数から算出される。グライド係数は地表の状況や斜面の向き、北海道と本州などで異なるので、設定する場合はその点を考慮する必要がある。また、従来予防柵に加わる雪圧はスイスの示方書に基づいて計算されていたが、建設省土木研究所では予防柵に覆い被さるほどの積雪深があった場合には、柵の上部や端部に1.5～4倍の雪圧がかかることが測定解析された。これを予防柵の設計計算に反映させた指針も出されている⁶⁾。

(4) 設計に用いられる各種密度

その他、積雪密度、防護施設設計に使用する流動中の雪崩密度などがある³⁾。流下中の雪崩密度については雪崩の種類、気象積雪状況、地形状況、雪崩の速度によって異なり、さらに高さ方向の変化を把握するためにも雪崩の動態観測が必要である。

3.2 対策方法の種類と選定

雪崩対策には、施設による対策と管理による対策がある（図3）。

4. 道路の雪崩対策の実施例

ここでは法面と自然斜面別に施工例を示す。

4.1 法面雪崩対策

道路の法面雪崩対策として図4に示す種類がある。このうち、バケット型防護柵とスノーネットについては新編防雪工学ハンドブック³⁾の施設選択表に掲載されていないが、条件によっては有効な対策である。また、防雪小段は全層雪崩だけに対応することとなっているが、表層雪崩対策としての基準作り（斜面規模、積雪、勾配ごとの小段幅と法高を求める方法）も必要な課題である。

図3 雪崩対策の種類

	防雪小段	せり出し防止柵	吊 柵	予防柵
施工例				
主な適用条件	・土工（小段掘削可能箇所） ・道路との斜面との幅が広い箇所	・小段上への施工可能箇所 ・比較的短い斜面 ・落石考慮の場合は落石防護柵	・設計積雪深4m以下 ・土質状態が悪く強固な基礎には不適當な斜面	・斜面勾配55°以下 ・土質良好箇所 ・表層・全層雪崩対応 ・積雪深6mまで対応
利点	・安価	・比較的安価	・急斜面でも施工可能	・雪崩発生予防効果大
留意点	・全層雪崩のみ ・必要小段幅確保のため地形によっては切り取り量大	・大雪時、ローリー投雪時管理必要	・ロープの管理必要	・基礎工が必要

雪崩防護柵	雪崩防護擁壁	バケット型防護柵	スノーシェッド	スノーネット
・道路と斜面との間に設置スペース必要 ・発生区対策不可能箇所 ・発生区範囲大	・道路と斜面との間に設置スペース必要 ・発生区対策不可能箇所 ・発生区範囲大	・短い斜面長で堆雪量が比較的少ない箇所	・道路と斜面と隣接していた方が良い ・落石考慮の場合はロックシェッド	・景観配慮箇所
・スノーシェッドよりも安価	・スノーシェッドよりも安価	・スノーシェッドよりも安価	・効果確実	・景観良好 ・使用部材軽量
・衝撃力大きい場合は基礎大 ・堆雪スペース必要	・景観に悪影響 ・衝撃力大きい場合は基礎大 ・堆雪スペース必要	・景観に悪影響 ・設計手法が確立されていない	・通行車両からの視界不良 ・高価	・日本国内の設計基準作成必要

図4 法面の雪崩対策

(1) 吊柵の施工例

吊柵は北海道(図5)での施工例が多い。自然斜面にも設置されるが、急傾斜の法面や基礎条件の悪い箇所でも施工可能である。

(2) せり出し防止柵の施工例

せり出し防止柵は斜面の下部や小段上に設置され、斜面積雪のグライドを防止するものである。予防柵や吊柵と併用されることも多い(図6)。大雪の場合や除雪した雪がポケットに堆雪した場合には除去する必要がある。

(3) スノーネットの設置例

景観に配慮した雪崩対策工としてスノーネットが最近施工された(図7)。スイスでは古くから使用されてきたもので、ネット、支柱、控えロープからなるフレキシブルな構造で斜面積雪を抑えるものである。最近の研究例では、同じ積雪深であれば予防柵への雪圧よりも2割削減されるという報告もあり、

今後も調査研究が必要である⁷⁾。

(4) バケット型防護柵

バケット型防護柵はスノーシェッドのように谷側に基礎を必要としない構造で、比較的小規模な雪崩に対しての対策として用いられる(図8)。

4.2 自然斜面の対策例

(1) 防護擁壁

防護擁壁は流下してきた雪崩をその場で堰止める構造物である。そのため、擁壁と斜面との間に雪崩を堆積させる空間が必要となる(図9)。また、防護擁壁の高さは「設計積雪深+雪崩層厚」が最低限確保されていなくてはならない。雪崩層厚については大規模雪崩では流下距離100mで1m増加するという事例もあるが⁶⁾、流下延長が長いと巨大構造物になる。雪崩の種類、雪質、雪崩の速度に依存すると考えられるが、今後設定方法を明瞭にしていく必要がある。ポケット量を求める際に必要な堆雪形状

図5 吊柵の法面への施工例(北海道, 2003年2月)

図6 せり出し防止柵と予防柵の併用
(山形県, 2004年2月)

図7 スノーネットの施工例
(新潟県, 2004年2月)

についても同様で雪質や雪崩速度、地形勾配によって異なることが予想される。定量化については今後の研究課題である。

(2) 減勢工

雪崩減勢工は雪崩の勢いを弱め道路に到達する前に停止されるもので、縦杭主体と横杭主体（図10）のものがある。減勢工の雪崩減勢効果については現地での計測例は少ないが、一部で雪崩が衝突したあとの挙動が観測されている事例もある⁸⁾。

(3) 予防柵

予防柵は北陸地方では最も一般的な雪崩対策工である。最上段位置は破断線から設計積雪深の2～3倍以内とし、最下段位置は、斜面勾配が 30° 以下となる所まで設置する。ただし、斜面勾配が 30° 以上であっても道路からの見通し角（全層は 24° 、表層 18° ）やシミュレーション（複雑な地形の場合など実施）も参考として、予防柵設置範囲を特定する。

図8 バケット型防護柵（富山県，2002年2月）

図11は平成8年5月2日の雪崩発生後の調査により発生位置、原因などを把握した上で予防柵を設置した事例で、設計積雪深が6mと大きい構造である。5月でも2m程度の雪が斜面上に残っており幅100mが道路を埋雪した。

5. 雪崩管理の事例

雪崩の処理は斜面上の不安定な積雪を人的（図12）または機械的に処理する方法（図13）と、防護・減勢施設として雪堤を斜面上に設置する方法等⁹⁾がある。また、爆発物を利用して人工雪崩を発生させる方法もある¹⁰⁾。

6. 道路雪崩対策の課題

道路雪崩対策の課題としては上記したものをはじめつぎのような項目が挙げられる。

図9 雪崩防護擁壁（新潟県，2002年2月）

図10 雪崩減勢工（北海道，2002年5月）

図11 雪崩予防柵（新潟県，2002年6月）

図12 人力による法面の雪処理
(新潟県, 2004年2月)

図13 機械力による法面雪の処理
(山形県, 2004年2月)

図14 樹林帯から発生した雪崩
(長野県, 2004年2月)

図15 樹林帯から発生した雪崩
(北海道, 2003年2月)

① 雪崩危険箇所設定

道路防災点検などの危険度判定では雪崩危険斜面の大きさをファクターとしていない。実際は雪崩の規模により雪崩の到達範囲が異なる。雪崩発生量と到達位置については一部研究がなされている¹¹⁾が、今後データ収集解析が必要である。

② 危険度評価優先順位決定

雪崩危険度を定量的に把握する方法は各方面で実施されているが検証された例が少ない。そのため、雪崩規模、頻度、保全対象との関係などから雪崩危険度を評価する方法を確立する必要がある。

③ 環境景観を考慮した対策

景観にすぐれた雪崩対策施設としてスノーネットや耐候性鋼材を利用した防護施設などが設置されてきた。今後は間伐材の利用等資源の再利用等、環境問題を考慮した新しい工法の開発が望まれている。

④ 対策済み斜面からの雪崩発生への対応

吊柵の設置斜面から雪崩が発生して道路を埋める等の障害が出ている。設計積雪深を設定する上で標高や吹きだまりなどの影響をあらかじめ把握するなどの対処が必要と考える。

⑤ 施設の配置計画の基準づくり

予防施設の配置には正確な発生区範囲の把握と予防施設が抑える斜面積雪範囲の設定が必要である。また、防護施設の延長決定には斜面規模や地形状況に応じた雪崩の流路の想定が必要である。そのためにも、斜面規模に応じた施設や構造の設定や3次元の運動シミュレーションの利用が必要となる。

⑥ 通行止めの基準の検討

雪崩による通行止めは、今年(平成16年)1,2月に北海道で発生している。斜面状況・気象・降積雪状況、迂回路の有無など総合的に勘案すべきである

が、雪崩の危険性の増加と減少、通行止めの解除のタイミングなどの規準化に向けた研究が望まれる。

⑦ 費用対効果

雪崩対策施設の効果を定量的に把握するには、施設の無いときの道路への影響を把握する必要がある。これには運動解析等を利用する方法が発表されている¹²⁾。今後雪崩対策についても費用対効果を定量的に把握していくことが重要視されていくと考えられる。

⑧ 効率的な維持管理

古くなった雪崩対策施設の補修、更新等を考慮しライフサイクルコストを考慮した雪崩対策の維持管理システムの構築も必要である。

⑨ 工事用道路の雪崩対策計画

建設中のダムの工事用道路のように将来道路一般供用したり管理用道路として使用する場合など、想定する雪崩の確率値の設定方法が異なってくる。このような道路の種類に合わせた雪崩対策の計画方法の指針が必要である。

7. 地域による道路雪崩対策の特徴

東北～北陸以西の比較的標高の低い箇所では雪質は湿って重いため、雪崩の種類としては湿雪雪崩の発生が多い。その対策として道路雪崩対策では発生区対策としての予防柵と防雪小段、せり出し防止柵が施工されてきた。56豪雪や59豪雪のような大雪になると比較的大きな斜面で乾雪表層雪崩が発生し大きな被害を与えた。北海道では雪質が乾いているため乾雪雪崩の頻度も多い。また、斜面雪圧を求める際のグライド係数が本州に比較して2/3であり、北海道の雪対策は吊柵が中心である。

北海道道東や本州高標高部は積雪がそれほど多くなく気温が低いので霜ざらめ雪地域である。この地域では大量降雪があると、樹木が比較的密生している箇所でも雪崩が発生し樹木の間をすり抜けて道路へ到達する場合がある(図14, 図15)。

最近で北陸以西では平野部の雪が少なくなっているが、山間部の最大積雪ではあまり変化していない。

また、北海道道東では観測史上最大の積雪を観測している¹³⁾。温暖化によって逆に弱層ができやすくなることも予測されるなど、今後は、予想されない規模や箇所でも雪崩が発生する可能性がある。気候の変動の影響を考慮した道路雪崩対策も検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 上石 勲, 雪崩対策関連図書の紹介と指針等の比較, 日本雪工学会会誌, 14巻4号, 1998
- 2) 舗道路保全技術センター, 雪崩に関する安定度評価手法, 平成8年度道路防災点検要領, 1996
- 3) 新編防雪工学ハンドブック, (株)日本建設機械化協会編, 昭和63年3月
- 4) 青山清道他, 雪崩対策工, 斜面防災・環境対策技術総覧, 産業技術サービスセンター, 2003
- 5) 砂防学講座 第8巻 雪崩(株)砂防学会監修, 山海堂, 平成5年2月
- 6) 建設省河川局砂防部, 集落雪崩対策技術指針(案), (株)雪センター, 1996
- 7) 相村成一他, 景観に配慮した雪崩対策工の検討, 第16回 雪と道路の研究発表会論文集, 2004
- 8) 菊池俊秀他, 北海道中札内における雪崩減勢工の効果観測, 第19回寒地技術シンポジウム報告集, 2003
- 9) 町田 誠, 雪崩発生の予知と対策, 除雪対策研究会
- 10) 上石 勲, 雪崩制御, 気象研究ノート, 第190号, 1998
- 11) 上石 勲他, 雪崩規模と到達範囲を考慮した雪崩危険度マップの作成, 第18回寒地技術シンポジウム報告集, 2002
- 12) 伊東靖彦他, 道路雪崩対策の投資効果計測に関する検討, 第20回日本雪工会大会論文集, 2003
- 13) 暴風雪・豪雪への対応速報(平成16年1月・平成16年2月)(北海道開発局),
<http://northern-road.jp/navi/>