

雪崩予防柵にかかる設計雪圧の考え方と 北海道における現地試験

寒地土木研究所 雪氷チーム

○伊東 靖彦
原田 裕介
大宮 哲

国内の雪崩予防柵の設計手法は、40年以上前に作成されたスイスの示方書に基づいている。その際に用いるグライド係数について、本州で割増して使用している事例がある。

一方、近年の冬期温暖化の影響により、雪質の変化が懸念されている。そこで資料収集を通じて各機関における雪崩予防柵設計の相違点を明確化するとともに、北海道における雪崩予防柵に関わる雪圧を再検討するため現地観測等を行ったので経過を報告する。

キーワード：雪崩・雪圧・グライド

1. はじめに

国内の雪崩予防柵の設計手法は、基本的に40年以上前に作成されたスイス国営雪崩工事示方書(以下、スイス示方書という。)に基づいている。

雪崩予防柵の損傷が一部で見られたことから、1980年代からかかる雪圧の検証が行われ、そのグライド係数について雪質を考慮して、本州ではグライド係数を割増して使用している。一方、北海道ではスイス示方書の値をそのまま用いている。

近年の冬期温暖化の影響により、北海道において湿雪雪崩の発生がみられるなど、雪質の変化が懸念されている。そこで雪崩予防柵の設計に関する資料収集を通じて、改めて設計思想と変遷の整理、および各機関における雪崩予防柵設計の相違点を明確化するとともに、北海道における雪崩予防柵に関わる雪圧を再検証するための現地観測を行っている。

2. 雪崩予防柵の設計基準の変遷と適用

現在使われている雪崩予防柵の設計手法は、Haefeliの雪圧論による式が掲載されたスイス示方書に基づいている。

このスイス示方書の内容は、1965年の「雪と雪崩に関する国際シンポジウム」の際に日本に持ち込まれた「発生地におけるなだれ制御」を翻訳する形でまとめられ¹⁾、1968年発刊の「防雪工学ハンドブック」²⁾に掲載された。

以降これを踏襲する形で代表的な防雪施設の設計基準となっている「防雪・除雪ハンドブック(防雪編)」⁴⁾「集落雪崩対策工事技術指針(案)」³⁾をはじめ、道路管理者や自治体で独自に作成された設計要領等の少なくとも8件で同様の記載がされている。

現在用いられる斜面雪圧の理論値は、斜面に平行な成分(S_N)と斜面に垂直な成分(S_Q)毎に求めている(図1、表2)。それぞれの雪圧は積雪深(H_s [m])、クリープ係数(K)、グライド係数(N)、積雪の単位体積重量(γ [kN/m³])、斜面勾配(ϕ)、積雪係数(a)から求められる。さらに積雪係数は積雪の圧縮ポアソン比(ν_c)と積雪の単位体積重量(γ)から求められる。

$$S_N = \gamma \cdot H_s^2 / 2 \cdot K \cdot N \quad (1)$$

$$S_Q = \frac{a}{N \tan \phi} \cdot S_N \quad (2)$$

$$a = \frac{1 - 2\nu_c}{2(1 - \nu_c)}, \nu_c = 0.4\gamma \quad (3)$$

設計要領によらず雪圧を求める式は同じであるが、入力条件は異なり、特にグライド係数については差が大きい。

スイス示方書に掲載されているクリープ係数は、SLF(スイス雪・雪崩研究所)の長年にわたる測定値に基づいて定められたもので、日本にもたらされた当時から日本の雪への適用は課題とされた²⁾。昭和56年の豪雪前後に本州で雪崩予防柵の破損事例が見られたため^{6)・9)}、設計定数の見直しが進んでいる。

石平らは斜面上のクリープ、グライド及び雪圧について豪雪年を含む1982年度から最大5冬期間、新潟県上越地域の4地区10斜面で調査した^{10)・13)}。この結果、グライド係数については測定したグライド係数(Y)とスイス示方書によるグライド係数(X)との間に式(4)の関係式を得て、本州のグライド係数はスイス示方書の値を約1.5倍したものと結論を得た。

$$Y = 1.469 X \quad (4)$$

一方、阿部らは、1988年度から1993年度の6冬期間、道内2地点(図2)において、道路脇の切土法面に設置された吊柵に作用する雪圧計測を行った¹⁴⁾。その結果、6冬期間を通し吊柵に掛かった総雪荷重の最大値は、中山峠で約79kN、朱鞠内で約59kNであることを示し、スイス示方書に記載されているグライド係数の準用に問題ないことを示した。

これらの調査を基に現在、本州ではグライド係数の割り増しが行われ、北海道においてはスイス示方書の値をそのまま適用して現在も雪圧算出が行われている。

表1 雪崩予防柵設計基準の変遷

年度	導入・改訂経緯や取り組み事項	備考
1961 (S36)	スイス示方書を翻訳し、雑誌「道路」に掲載	
1968 (S43)	防雪工学ハンドブック刊行	Haefeliの雪圧論が掲載される。
1964 (S39)~1981 (S56)	大雪により多くの雪崩予防柵が破損した。特に、昭和56年豪雪時には多数の施設が破損した。	
1988 (S63)~1990 (H2)	建設省土木研究所が、雪崩予防施設の設計雪圧の見直しを前提とした研究を本州で実施。	本州のグライド係数は、スイス示方書の1.5倍となることを提示。
1988 (S63)~1993 (H5)	北海道開発局開発土木研究所が、北海道において吊柵に作用する雪圧の計測実施	スイス示方書のグライド係数で十分との結果
1992 (H4)	「雪崩予防柵及び吊柵の設計・設置指針」編纂	グライド係数はスイス示方書の1.5倍となることを提示。なお、北海道はスイス示方書の値そのままとする。
1996 (H8)	「集落雪崩対策工事技術指針(案)」編纂	「雪崩予防柵及び吊柵の設計・設置指針」に従う。
2004 (H16)	「2005除雪・防雪ハンドブック」改訂・編纂	同上

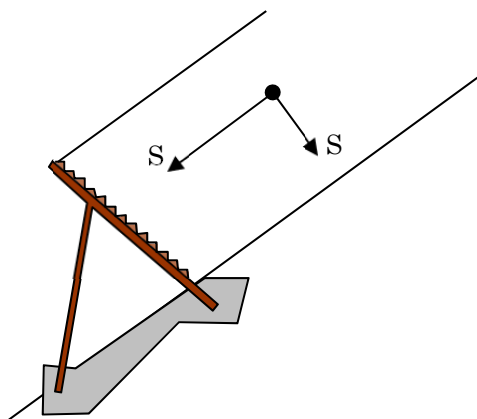


図1 斜面雪圧の模式図

表2 グライド係数

地 表 の 状 態 (植生等)	本 州		北 海 道	
	北向き 斜面	南向き 斜 面 (東西を 含む)	北向き 斜面	南向き 斜 面 (東西を 含む)
I ・ 玉石(φ30cm以上)の斜面 ・ 大岩の凹凸面	1.8	2.0	1.2	1.3
II ・ れき(φ30cm以下)の斜面 ・ 丈1m以上の灌木地 ・ 50cm以上の凹凸値	2.4	2.7	1.6	1.8
III ・ 小さい灌木地 ・ 50cm以下の凹凸地面 ・ 草地	3.0	3.6	2.0	2.4
IV ・ 平滑岩盤 ・ 葉の長い草地 ・ 湿地	3.9	4.8	2.6	3.2

3. 北海道内における再計測

近年の冬期温暖化の影響により、北海道において湿雪雪崩の発生がみられるなど¹⁵⁾、雪質の変化が懸念されている。

そこで改めて北海道内2箇所の雪崩予防柵(吊柵)が設置された法面において雪圧計測を行った。

(1) 雪圧計測の概要

計測箇所は図2に示す中山峠と朱鞠内の2地点で、いずれも阿部らが過去に計測を行った法面¹⁴⁾である。

中山峠では2012-2013と2013-2014の2冬期間、朱鞠内では2013-2014の1冬期間計測を行った。

中山峠は、法長36m、法面勾配は1:1.1で、コンクリート法枠と張芝が施工された南向き斜面である。吊柵は法面に断続配置され、吊柵の列間斜距離は13m、柵幅5.5m、柵高2mである。

朱鞠内は、法長52m、法面勾配は1:1.2の張芝斜面で、1.5m幅の小段が設けられた北向き斜面である。吊柵は法面に断続配置され、吊柵の列間斜距離は12m、柵幅5.5m、柵高3.5mである。

なお、30年確率最大積雪深は各々約350cm、260cmである¹⁶⁾。

(2) 計測方法

中山峠、朱鞠内の両箇所とも、法面に設置された既設の吊柵(図3)を支持しているワイヤーケーブルに引張り型荷重計(図4)を設置し、1時間毎の雪荷重をデータロガーに記録した。1基あたりの吊柵は、3本のワイヤーケーブルによって支持されているため、ケーブル1本ごとに引張り型荷重計を設置してそれぞれにかかる雪荷重を計測し、それらの値を合計した。



図2 計測地点 (計2地点)



図3 道路沿い斜面に設置されている吊柵
(札幌市中山峠)



図4 引張り型荷重計

(3) 計測結果

本計測によって得られた雪荷重、防雪・除雪ハンドブックに基づいて積雪深から計算した雪圧値、および積雪深の時系列変化を図5~図7に示す。積雪深は、場所と年度によって計測が異なり、独自に現地で観測したもの、計測地点近傍の道路テレメータもしくは気象庁アメダスの値を用いている。また雪圧 (kN/m) は、柵幅 1m あたりにかかる積雪による斜面平行方向の荷重を示してい

る。

計測の結果、黒川ら¹⁷⁾と同様、いずれも融雪が始まる3月~4月に最大積雪荷重が得られることが確認された。

中山峠で計測された最大積雪荷重(右各図の雪圧に柵幅 5.5m を乗じたもの)は、2012-13 冬期に 79.4kN、2013-14 冬期に 80.5kN、朱鞠内で計測された最大積雪荷重 (2013-14 冬期) は 58.5kN であり、いずれも阿部らが計測した最大積雪荷重約 78kN、59kN に近いものであった。ただし阿部らが示した最大積雪荷重は 6 冬期間分のものである。

一方、式(1)に 30 年確率最大積雪深を代入して得られる柵設置地点の斜面平行方向雪圧(設計雪圧)は、中山峠が 39.2kN/m、朱鞠内が 18.1kN/m であり、本計測によって得られた最大雪圧と同等、もしくは十分大きいことがわかった。つまり、雪圧(理論値)は実測値より大きく、この結果からは北海道におけるグライド係数を見直す必要は無いと示唆される。



図5 中山峠における雪圧計測結果(2012-13)

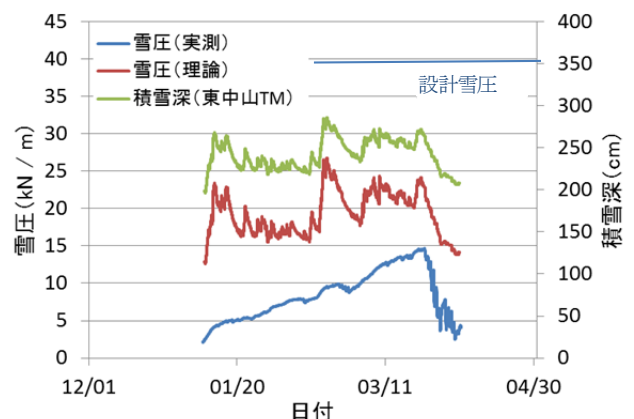


図6 中山峠における雪圧計測結果(2013-14)

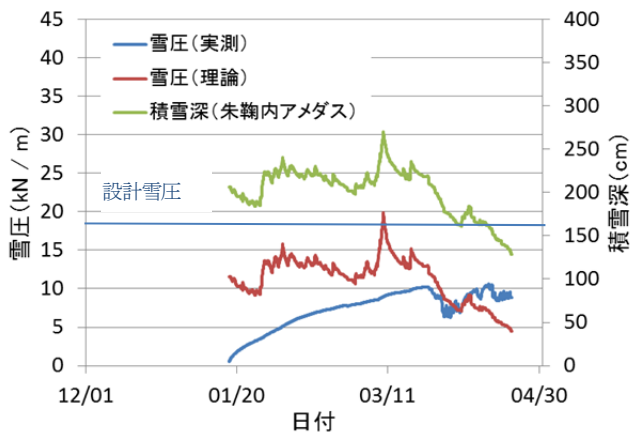


図7 朱鞠内における雪圧計測結果(2013-14)

(4) 今後の予定

降積雪は年々の変動を伴うことから、引き続き今年度も2地点において雪圧を観測を行っている。今後の観測を含めた結果を解析して、設計雪圧の計算手法について検討する次第である。

4. まとめ

近年の冬期温暖化の影響により、雪質の変化が懸念されている。そこで資料収集を通じて各機関における雪崩予防柵設計の相違点を明確化するとともに、北海道において斜面雪圧の現地観測を行った。

現在雪崩予防柵の設計においては、1980年代に行われた調査を基に、グライド係数を北海道ではスイス示方書の値を用いており、本州においては割り増し行われて差異が見られる。

また雪圧観測では、1990年代初頭に行った測定と同様の傾向が測定されており、これまでのところ従前の設計が妥当との結果が出ている。年々の変動も伴うことから、引き続き観測を続けていく所存である。

謝辞：雪崩予防施設に関わる設計の変遷について、下村忠一氏、若林隆三氏から、お話を伺った。また、雪圧の計測において、札幌開発建設部札幌道路事務所ならびに旭川開発建設部士別道路事務所の協力を得ている。ここに記して謝辞に代えたい。

参考文献

- 1) なだれ防御構造物の設計指針(その1)－発生地におけるなだれ制御－(スイスにおける示方書の翻訳と解説), 道路, 301, pp63-74, 1966
- 2) なだれ防御構造物の設計指針(その2)－発生地におけるなだれ制御－(スイスにおける示方書の翻訳と解説), 道路, 302, pp64-74, 1966
- 3) (社)日本建設機械化協会:防雪工学ハンドブック, 1968
- 4) (社)日本建設機械化協会・(社)雪センター: 2005 除雪・防雪ハンドブック(防雪編), 2004
- 5) 建設省河川局砂防部(監修): 集落雪崩対策工事技術指針(案), (社)雪センター, 1996
- 6) 石平貞夫・下村忠一: 雪崩予防柵の雪圧に関する日本の考え方(前編), ゆき, 84, pp21-25, 2011
- 7) 石川政幸・渡辺成雄・大関義男・佐藤正平:雪崩予防柵の破壊調査, 日本雪氷学会秋季大会講演予稿集昭和 49 年度, 日本雪氷学会, 1974
- 8) 石川政幸・渡辺成雄・大関義男:雪崩予防柵の破壊調査(2), 日本雪氷学会秋季大会講演予稿集昭和 51 年度, 日本雪氷学会, 1976
- 9) 道路と雪に関する調査研究打合せ会議: 昭和 52 年度防雪柵調査資料集, 1978
- 10) 石平貞夫・中島久男: 雪崩予防柵に作用する雪圧特性グライド係数の検討, 平成 3 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p11, 日本雪氷学会, 1991
- 11) 建設省土木研究所・(社)鋼材倶楽部: 雪崩予防施設の設計・設置法に関する共同研究報告書(その 1), 建設省土木研究所, 1989
- 12) 建設省土木研究所・(社)鋼材倶楽部: 雪崩予防施設の設計・設置法に関する共同研究報告書(その 2), 建設省土木研究所, 1990
- 13) 建設省土木研究所・(社)鋼材倶楽部: 雪崩予防施設の設計・設置法に関する共同研究報告書(その 3), 建設省土木研究所, 1991
- 14) 阿部英樹・石本敬志・黒川閑夫: 北海道における雪崩予防用吊柵にかかる雪圧と荷重分布について, 寒地技術論文・報告集, 10, pp123-126, (社)北海道開発技術センター, 1994
- 15) 松下拓樹・松澤勝・加治屋安彦: すり抜け現象を伴う雪崩の発生条件と対策について, 平成 19 年度北海道開発局技術研究発表会発表論文, 2008
http://thesis.ceri.go.jp/db/documents/public_detail/26765
- 16) 北海道開発局: 設計積雪深に関する資料, 2001
- 17) 黒川閑夫・女池高啓: 雪崩防止用吊柵に作用する雪圧の計測結果について, 第 35 回(平成 3 年度)北海道開発局技術研究発表会講演概要集(2), pp103-108, 1992