

## 北海道における雪崩予防柵の設計雪圧に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 24～平 27

担当チーム：雪氷チーム

研究担当者：松澤勝、西村敦史、原田裕介、  
高橋渉

## 【要旨】

本研究では、冬期温暖化の観点から北海道における雪崩予防柵の設計雪圧について再検討を行った。はじめに、北海道と本州における雪崩予防柵の設計の相違点を明確化した。文献の調査や有識者からの聞き取りの結果、スイスで定められた基準に対し、本州は雪質を考慮して係数を変えていることを把握した。つぎに、約 25 年前に観測を行った同一斜面において、雪崩予防柵に作用する雪圧の計測を行った。雪圧は設計雪圧の範囲内であり、設計に用いられる各種係数は、概ね設計の値であった。このことから、現時点において、雪崩予防柵の設計の見直しを行う必要性は低い。一方で、融雪期に計算から求まる雪圧値を上回る柵があった。今後も継続的に雪圧の観測を行い、気象の変化に伴う雪圧の変化を把握する必要性が考慮される。

キーワード：雪崩予防柵、雪圧、クリープ、グライド、積雪の単位体積重量

## 1. はじめに

我が国の積雪寒冷地域は国土のおよそ 6 割を占めており<sup>1)</sup>、道路や集落の雪崩予防対策として雪崩予防柵や吊柵（以下、総称し雪崩予防柵という）が設置されている。特に、昭和 31 年に積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法（雪寒法）が制定されて以降、急速に整備が進められた<sup>1)</sup>。日本国内の雪崩予防柵の設計手法は 1961 年にスイスで作成された「発生地における雪崩制御」<sup>2)</sup>（以下、スイス示方書という）に基づいている。北海道ではスイス示方書の値をそのまま用いているが、湿雪が主体の本州では、豪雪年に雪崩予防柵の倒壊および破損事例が見られたため<sup>3)4)5)</sup>、スイス示方書において示された設計値を割増した値を用いている。

ところで、近年の気象の温暖化の影響により、北海道においても雪質の変化が懸念されており、設計値の見直しの必要に迫られる可能性がある。本研究では、全国各地で採用されている既往の雪崩予防柵の設計手法の整理を行い、北海道と本州における雪崩予防柵の設計の相違点を明確にした。その上で、北海道内に設置されている雪崩予防柵を対象に、現地試験で雪圧、クリープ係数、グライド係数、積雪深、積雪の単位体積重量、斜面勾配等との関係を明らかにし、冬期温暖化による雪質変化に対応した雪崩予防柵の設計手法の検討を行った。

## 2. 雪崩予防柵の設計の相違点の明確化

## 2. 1 雪崩予防柵の設計に関する資料収集

北海道と本州における雪崩予防柵の設計の相違点を明確にするために、各種団体が発刊した基準書類、ならびに各行政機関が定める要領を計 14 編収集した。収集した資料は表 1 に示す。また、雪崩予防柵に関して、国内外の設計にかかる事情について、特にこれまでの設計雪圧の考え方の経緯について、有識者 2 名にヒアリングを実施した。

## 2. 2 雪崩予防柵の設計の考え方、相違点について

斜面積雪に関係する要素として、図 1 に示す設計積雪深  $H_s$ 、斜面に直角な積雪深（柵高） $D_s$ 、スノープリズムを考慮した柵高  $D_k$ （斜面に対して垂直に施

表 1 収集資料一覧

資料名	発行年月	発行元
新編防雪工学ハンドブック <sup>6)</sup>	昭和 63 年 1 月	社団法人 日本建設機械化協会
		社団法人 雪センター
道路防雪便覧 <sup>7)</sup>	平成 2 年 5 月	社団法人 日本道路協会
雪崩予防柵及び吊柵の設計・設置指針 <sup>8)</sup>	平成 5 年 3 月	社団法人 雪センター
集落雪崩対策工事技術指針(案)本編 <sup>9)</sup>	平成 8 年 2 月	建設省河川局砂防部監修
		社団法人 雪センター
道路防雪施設マニュアル[コンクリート構造編] <sup>10)</sup>	平成 20 年 3 月	道路防雪施設検討委員会
2005 除雪・防雪ハンドブック(防雪編) <sup>1)</sup>	平成 16 年 12 月	社団法人 日本建設機械化協会
		社団法人 雪センター
治山技術基準解説(防災林造成編) <sup>11)</sup>	平成 16 年 12 月	林野庁
北海道開発局道路設計要領 <sup>12)</sup>	平成 25 年 4 月	北海道開発局
雪崩予防柵設計の手引き(案) <sup>13)</sup>	平成 13 年 3 月	北海道建設部
福島県土木設計マニュアル[砂防編] <sup>14)</sup>	平成 27 年 3 月	福島県
設計要領[道路編] <sup>15)</sup>	平成 24 年 4 月	北陸地方整備局
道路における雪崩対策調査の手引き(案) <sup>16)</sup>	平成 14 年 11 月	新潟県土木部道路維持補修課
		社団法人 雪センター
新潟県土木部標準設計図集 <sup>17)</sup>	平成 13 年 4 月	新潟県土木部
岐阜県道路設計要領 <sup>18)</sup>	平成 27 年 4 月	岐阜県

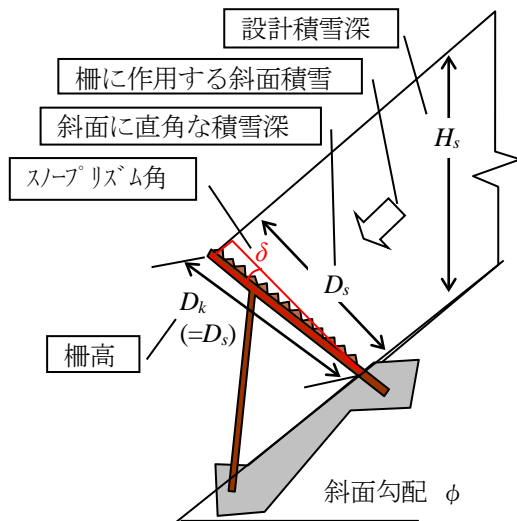


図1 積雪荷重に関わる要素

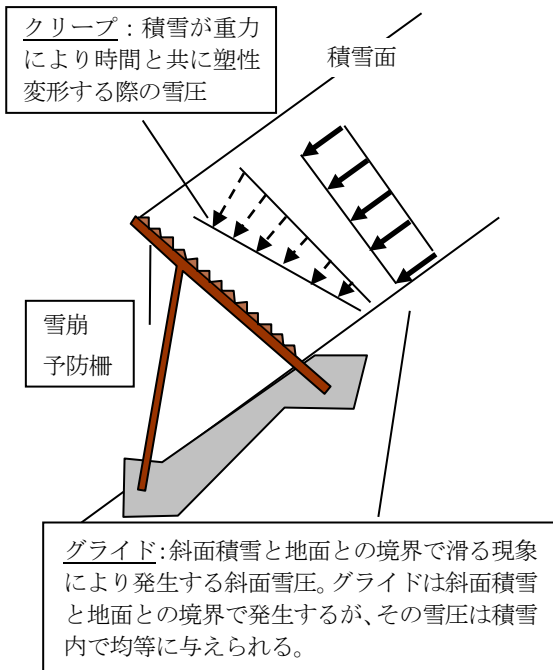


図2 斜面積雪に作用するクリープとグライドの模式図

工する吊柵の場合は  $D_s$ ）、スノープリズム角  $\delta$ 、斜面勾配  $\phi$  が考慮される。また、図2に示すように斜面積雪ではグライドやクリープ現象が発生する。ここでは、雪崩予防柵に作用する荷重を構成する設計条件、およびその変遷について記す。

### 2. 2. 1 斜面雪圧

雪崩予防柵にかかる斜面雪圧は、スイス示方書に掲載された Haefeli の雪圧論による式に基づいている<sup>2)</sup>。斜面雪圧の理論値は、斜面に平行な成分  $S_N$ (kN/m) と斜面に垂直な成分  $S_Q$ (kN/m) ごとに求めている。(式(1)~(2)、図3)

$$S_N = \gamma_s \cdot \frac{H_s^2}{2} \cdot K \cdot N \quad (1)$$

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

$$a = \frac{1 - 2V_s}{2(1 - V_s)} \quad V_s = 0.04\gamma_s \quad (3)$$

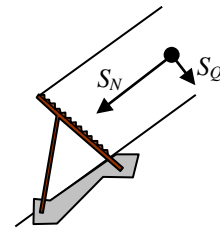


図3 斜面雪圧の模式図

それぞれの雪圧は、斜面に積もる雪を粘性体と考え、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  $\gamma_s$ (kN/m<sup>3</sup>)、斜面勾配  $\phi$ 、積雪係数  $a$  により求められる(図1、表2)。なお、積雪係数  $a$  は、積雪の圧縮ポアソン比  $V_s$  と、積雪の単位体積重量  $\gamma_s$  (式(3)) により求められる。これらは、設計に関するすべての図書に共通している。以下、表2に示す各種係数について述べる。

#### (1) クリープ係数

クリープ係数  $K$  は、積雪の単位体積重量と斜面勾配に依存する(表3)。また、「道路防雪施設マニュアル [コンクリート構造編]」<sup>10)</sup>等では、設計積雪深と斜面勾配でクリープ係数  $K$  が得られる(表4)。この基準では、積雪の他に雪の単位体積重量  $\gamma_s$  が設計積雪深により異なるため、クリープ係数もわずかに異なってくる。

表2 斜面雪圧設計定数の概要

斜面雪圧設計定数	概要
クリープ係数 $K$	積雪密度から決定される塑性変形による雪圧に関する係数である(表3、表4)。
グライド係数 $N$	地表の状態と斜面の向きにより決定されるグライドによる雪圧に関する係数である。斜面向きは北と南の2種類で区分され、地表の状態は4種類で区分される(表5表6)。
積雪の単位体積重量 $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	一般には全平均の積雪密度を近似した単位体積重量として求められる。

表3 クリープ係数

$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
$K/\sin^2 \phi$	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

表4 クリープ係数 (斜面勾配を考慮)<sup>10)</sup>

設計積雪深 H <sub>s</sub> (m)	雪の単位体積重量 γ <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	K/sin2φ	斜面勾配φに対するクリープ係数K			
			30°	35°	40°	45°以上
3.0-4.0	3.50	0.795	0.69	0.75	0.78	0.80
4.5	3.67	0.807	0.70	0.76	0.79	0.81
5.0	3.83	0.818	0.71	0.77	0.81	0.82

(2) グライド係数

グライド係数Nは、地表状態と斜面方位で設定される(表5)。また、「新編防雪工学ハンドブック」や「道路防雪便覧」等では、多雪かつ湿雪地域では斜面勾配に応じた割増補正が望ましいと記載されている。しかし、本州では多雪年に雪崩予防柵等の施設破損が多く見られたことから、建設省土木研究所を筆頭に調査検討がなされた。調査は、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斜面で実施された<sup>5),19),20)</sup>。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倍したものと定義した。

$$y = 1.469x \tag{4}$$

一方、北海道開発土木研究所(寒地土木研究所の前身)では、1988年度から1993年度の6冬期間、北海道内2地点において、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い、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無いことを示した<sup>21)</sup>。その後、建設省が中心の委員会による議論を経て、「雪崩予防柵及び吊柵の設計・設置指針」<sup>8)</sup>が平成5年に発行された。その際、上記の雪圧の実測結果から、本州では一律1.5倍の係数、北海道ではスイス示方書の値をそのまま用いるものとした(表5)。それ以降に発行された指針等では、同様にグライド係数が改正されている。ただし、「道路防雪便覧」や、「治山技術基準解説」の記述は旧来のままである。また、北陸地方整備局や新潟・富山・石川県他で構成された委員会により発刊された「道路防雪施設マニュアル」<sup>10)</sup>では、スイス示方書をベースに勾配割増(30°で1.0、40°で1.5倍)とし、当該地域の設計要領等に反映されている。(表6)

(3) 積雪の単位体積重量

積雪の単位体積重量は、現地における実測値を用いるのを原則としており、実測の無い場合は日本で想定される値について大きく4つの考え方に大別さ

表5 グライド係数

地表の状態 (植生等)	本州		スイス/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 ・大岩の凹凸斜面	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以上の凹凸地面	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

表6 グライド係数 (斜面勾配を考慮)<sup>10)</sup>

地表の状態 (植生等)	北向き斜面			南向き斜面 (東西を含む)		
	30°	35°	40° 以上	30°	35°	40° 以上
I	1.2	1.5	1.8	1.3	1.6	2.0
II	1.6	2.0	2.4	1.8	2.3	2.7
III	2.0	2.5	3.0	2.4	3.0	3.6
IV	2.6	3.3	3.9	3.2	4.0	4.8

※地表の状態(植生等)の詳細は、表5を参照

れる。なお、ここでの単位の記述はSI単位に合わせるため、原著と単位系が異なる場合がある。

- ①実測値の無い場合は、全密度として3.5kN/m<sup>3</sup>を採用してもよい。
- ②最大積雪深4m迄を3.5kN/m<sup>3</sup>とし、4mを超える場合は「建築荷重基準(案)」に基づき7mまでは7mを4.5kN/m<sup>3</sup>とした直線補完で求めてよい。
- ③表層雪崩の場合は3.0~3.5kN/m<sup>3</sup>、全層雪崩の場合は4.0~4.5kN/m<sup>3</sup>とする。
- ④実測値のない場合は、式(5)によって求めてもよい。ここでgは重力加速度である。式(5)は、建設省土木研究所の調査結果である<sup>5)</sup>。

$$\gamma_s = \frac{(0.359H_s - 0.05)g}{H_s} \tag{5}$$

2. 2. 2 設計積雪深

雪崩予防施設は、設計積雪深H<sub>s</sub>により柵高が決定される(図1)。日本では、道路を対象とした場合は、30年再現超過確率年最大積雪深(以下、30年確率積雪深という)を用いることが多い<sup>1)</sup>。集落では、50年確率積雪深または既往最大積雪深のうち大きい値を採用している<sup>1)</sup>。また、治山では、表層雪崩を対象とする場合は50年確率積雪深または既往最大積雪深のうち大きい値を、全層雪崩を対象とする場合は表層雪崩の設計積雪深の70~80%を用いる<sup>11)</sup>。

### 2. 2. 3 スノープリズム

スノープリズムとは、図1の赤枠で示す斜面に垂直な線と柵支持面によって形成される三角形の領域のことであり、支持面を傾けたときに考慮される。スノープリズムの荷重  $G(\text{kN/m})$  は、式(6)で計算される。ここで、 $D_s$  は斜面に直角な積雪深(m)で、式(7)で与えられる。

$$G = \gamma_s \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \tan \delta \quad (6)$$

$$D_s = H_s \cdot \cos \varphi \quad (7)$$

スノープリズムは、スイス示方書から引用された考え方が採用されている。その一方、「雪崩予防柵及び吊柵の設計・設置指針」<sup>8)</sup>では、柵の傾きを多少変化させてもかかる圧力に大きな違いはみられないという結果をもとに、スノープリズムを考慮してもしなくてもよいとの立場を取っている。なお、吊柵等斜面に対して垂直に設置した場合には、スノープリズム荷重を考慮しない。

### 2. 2. 4 辺縁効果荷重

辺縁効果荷重  $S_R(\text{kN/m})$  は、雪崩予防柵に水平間隔  $A(\text{m})$  を設ける場合、雪崩予防柵上の積雪が連結することで、柵の両端部に付加される積雪荷重をいう。雪崩予防柵の設計では、辺縁効果荷重は斜面に平行な成分  $S_N(\text{kN/m})$  と辺縁効果係数  $f_R$  から求め、図4の  $\Delta l(\text{m})$  に示す辺縁効果の範囲に作用させる (式(8)~(10))。

$$S_R = f_R \cdot S_N \quad (8)$$

$$f_R = (0.92 + 0.65N) \frac{A}{2} \leq 1.00 + 1.25N \quad (9)$$

$$\Delta l = 0.60 \frac{A}{2} \leq \frac{D_s}{3} \quad (10)$$

なお、辺縁効果による荷重は、図4の線分で示した分布が実際の形として推定されるが、計算を簡略化するため点線のように仮定して考える。

辺縁効果荷重は柵と柵に水平間隔を取る場合、その間に発生する積雪荷重を計算することとしている。なお、後述する雪圧係数を考慮している基準書では、辺縁効果荷重に関する記述はされていない。

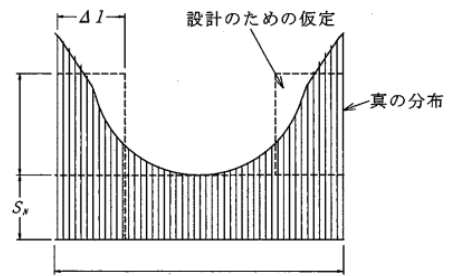


図4 辺縁効果荷重の作用範囲

### 2. 2. 5 雪圧係数

斜面雪圧が柵面の部位により変化するという雪圧特性を考慮した係数であり、日本独自のものである。建設省土木研究所等の調査解析を基に検討された<sup>5),19),20)</sup>。「2005 除雪・防雪ハンドブック (防雪編)」によれば、予防柵の配置が地形の凹凸によって連続配置 (図5 (1)) が困難な場合には、同図(2)に示すように不連続配置となる。この場合、隣接する柵間隔が 1m の場合は、図6に示すような雪圧係数を用いてもよい

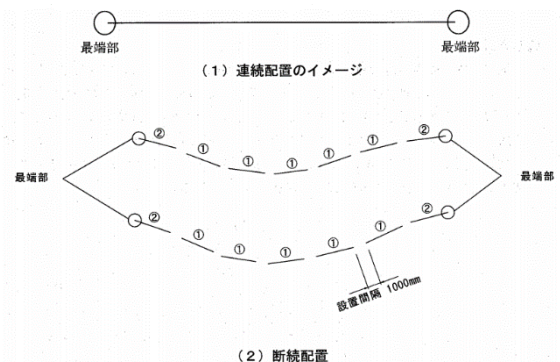


図5 雪崩予防柵の配置

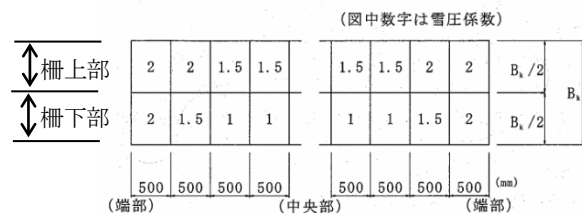


図6 不連続配置間隔 1m の雪圧係数



図7 最端部の雪圧係数



としている。また、最端部には図7に示す雪圧係数を与えている。

スイス示方書には雪圧係数の概念はない。しかし、日本ではグライド係数見直しと同様の調査結果に基づいて雪圧係数が提唱され、「集落雪崩対策工事技術指針(案)」や「2005 除雪・防雪ハンドブック(防雪編)」で採用されている。しかし、その他の収集した図書ではその記載はなく、県や国の設計基準には反映されていない。

### 2.3 まとめ

以上をもとに、雪崩予防柵に作用する荷重に関する設計条件の変遷を表7、基準書類および国や地方自治体の設計要領等の設計条件を表8にとりまとめた。表のうち「2005 除雪・防雪ハンドブック(防雪編)」では、雪密度の小さい地域(北海道)においては4項目(斜面雪圧、スノープリズム、付加荷重、

辺縁効果荷重)を考慮し、それ以外の地域(本州)においては3項目(斜面雪圧、スノープリズム、雪圧係数)を考慮して設計を行う。ただし、北海道においては積雪の条件等に応じて「雪圧係数」と「付加荷重及び辺縁効果荷重」のどちらかを選択できると記載されている。なお、付加荷重とは、バーの設計にあたって斜面雪圧の25%の値を地面から柵高の1/4までの間に作用される荷重のことである<sup>1)</sup>。

### 3 雪圧に関する現地試験

雪崩予防柵の設計値の見直しを検討するため、雪圧の調査を行った。本研究では、2章で示した過去に雪圧を観測した同一斜面を対象に、雪崩予防柵に作用する雪圧と斜面積雪の物性値の観測を行った。

#### 3.1 観測方法及び収集データ

観測は、平成24~26年度冬期に国道230号札幌市中山峠付近(N42°52'20"、E141°8'27"、標高760m)と、国道275号幌加内町朱鞠内(N44°18'16"、E142°15'18"、標高300m)の切土法面で行った。箇所図ならびに、現地の状況写真を図8~10に示す。2地点とも阿部ら<sup>2)</sup>が昭和63~平成5年度に雪圧の計測を行った箇所と同一である。なお、中山峠では過去の観測の対象である柵高2.0mの柵の他に、同一斜面上にある柵高3.5mの柵も観測対象とした。

観測箇所の雪崩予防柵は吊柵が採用されている。法面や雪崩予防柵の設置状況、ならびに設計積雪深は表9のとおりである。

観測項目は、雪崩予防柵にかかる雪圧、斜面積雪

表7 雪崩予防柵の設計荷重に関する考え方の変遷

年度	導入・改訂経緯や取り組み事項	備考
1961 (S36)	スイス示方書が発刊 <sup>2)</sup>	
1966 (S41)	スイス示方書を翻訳し、雑誌「道路」 <sup>22),23)</sup> に掲載	
1968 (S43)	防雪工学ハンドブックが刊行 <sup>24)</sup>	Haefeliの雪圧論が掲載される。
1964 (S39)~1981 (S56)	大雪による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。	56豪雪後、各機関でグライド係数の改訂作業が独自に行われる(標高補正等)。
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。最終年度に「雪崩予防柵設置基準(案)、雪センター」が策定。	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。雪圧係数の概念も導入。
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。	北海道のグライド係数は、スイス示方書と同様で問題無いことを提示。
	雪崩予防施設の設計・設置指針策定委員会(雪センター事務局)において、上記基準(案)の検討を実施。	建設省技術調査室、河川局砂防部、道路部企画課が中心、北海道開発局等
1992 (H4)	雪崩予防柵及び吊柵の設計・設置指針が発行 <sup>8)</sup>	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のままとする。雪圧係数も導入される。
1996 (H8)	集落雪崩対策工事技術指針(案) <sup>9)</sup> 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・防雪ハンドブック発行 <sup>1)</sup>	同上



図8 観測箇所図(国土地理院の電子国土webに箇所を追記)

表8 雪崩予防柵の荷重に関する設計条件の整理結果

	資料名	設計積雪深	斜面雪圧 計算式	クリープ係数	グライド係数	積雪の単位体積重量	スノープリズム	辺縁効果荷重	雪圧係数
基 準 図 書	新編防雪工学ハンドブック <sup>6)</sup> (S63.1)	30年確率値	$S_N = \gamma_s H^2 / 2KN$ $S_Q = a / N \tan \theta SN$	積雪単位体積重量毎 にK/sin2θを整理	スイス示方書と同様(ただし多 雪・湿雪地は勾配に応じた割増)	3.5kN/m <sup>3</sup>	考慮する	考慮する	考慮しない
	道路防雪便覧 <sup>7)</sup> (H2.5)	30年確率値	$S_N = \gamma_s H^2 / 2KN$ $S_Q = a / N \tan \theta SN$	積雪単位体積重量毎 にK/sin2θを整理	スイス示方書と同様(ただし多 雪・湿雪地は勾配に応じた割増)	3.5kN/m <sup>3</sup> 基本。4m以上の場 合、7mを4.5kN/m <sup>3</sup> で補完	考慮する	考慮する	考慮しない
	雪崩予防柵及び吊柵の設 計・設置指針 <sup>8)</sup> (H5.3)	30年確率値(道路) 50年確率値(集落)	$S_N = \gamma_s H^2 / 2KN$ $S_Q = a / N \tan \theta SN$	積雪単位体積重量毎 にK/sin2θを整理	本州はスイス示方書に1.5倍割 増(勾配無関係)	実測の無い場合は、 (0.359H-0.05)g/Hで算出	考慮してもしな くてもよい	考慮しない	最端部等の雪 圧係数を考慮
	集落雪崩対策工事技術指 針(案)本編 <sup>9)</sup> (H8.2)	50年確率値または 既往最大	$S_N = \gamma_s H^2 / 2KN$ $S_Q = a / N \tan \theta SN$	積雪単位体積重量毎 にK/sin2θを整理	本州はスイス示方書に1.5倍割 増(勾配無関係)	実測の無い場合は、 (0.359H-0.05)g/Hで算出	考慮しない	考慮しない	最端部等の雪 圧係数を考慮
	道路防雪施設マニュアル [コンクリート構造編] <sup>10)</sup> (H20.3)	30年確率値	$S_N = \gamma_s H^2 / 2KN$ $S_Q = a / N \tan \theta SN$	積雪単位体積重量毎 にKを整理	スイス示方書をベースに勾配割 増(30°で1.0、40°で1.5倍)	3.5kN/m <sup>3</sup> 基本。4m以上の場 合、7mを4.5kN/m <sup>3</sup> で補完	考慮する	考慮する	考慮しない
	2005 除雪・防雪ハンドブッ ク(防雪編) <sup>11)</sup> (H16.12)	30年確率値	$S_N = \gamma_s H^2 / 2KN$ $S_Q = a / N \tan \theta SN$	積雪単位体積重量毎 にK/sin2θを整理	本州はスイス示方書に1.5倍割 増(勾配無関係)	3.5kN/m <sup>3</sup>	考慮する	考慮する	最端部等の雪 圧係数を考慮
	治山技術基準解説(防災林 造成編) <sup>11)</sup> (H16.12)	表層:50年確率値また は既往最大 全層:表層の70~80%	$S_N = \gamma_s H^2 / 2KN$ $S_Q = a / N \tan \theta SN$	積雪単位体積重量毎 にK/sin2θを整理	スイス示方書と同様(ただし現 地積雪状況に応じた割増)	表層:3.0~3.5kN/m <sup>3</sup> 全層:4.0~4.5kN/m <sup>3</sup> 前後	考慮する	考慮する	考慮しない
国 お よ び 地 方 自 治 体 の 設 計 要 領	北海道開発局道路設計要 領 <sup>12)</sup> (H27.4)	30年確率値	$S_N = \gamma_s H^2 / 2KN$ $S_Q = a / N \tan \theta SN$	積雪単位体積重量毎 にK/sin2θを整理	スイス示方書と同様	3.5kN/m <sup>3</sup>	考慮する	考慮する	考慮しない
	設計要領[道路編]北陸地 方整備局 <sup>15)</sup> (H24.4)	30年確率値	$S_N = \gamma_s H^2 / 2KN$ $S_Q = a / N \tan \theta SN$	積雪単位体積重量毎 にKを整理	スイス示方書をベースに勾配割 増(30°で1.0、40°で1.5倍)	3.5kN/m <sup>3</sup> 基本。4m以上の場 合、7mを4.5kN/m <sup>3</sup> で補完	考慮する	考慮する	考慮しない
	新潟県土木部標準設計図 書 <sup>17)</sup> (H13.4)	30年確率値	$S_N = \gamma_s H^2 / 2KN$ $S_Q = a / N \tan \theta SN$	記載なし <sup>※3</sup>	スイス示方書をベースに勾配割 増(30°で1.0、40°で1.5倍)	3.5kN/m <sup>3</sup> 基本。4m以上の場 合、7mを4.5kN/m <sup>3</sup> で補完	記載なし <sup>※2</sup>	記載なし <sup>※2</sup>	考慮しない
	岐阜県道路設計要領 <sup>18)</sup> (H27.4)	30年確率値	記載なし	記載なし	スイス示方書をベースに勾配割 増(30°で1.0、40°で1.5倍)。 さらに整数値にラウンド。	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし

※1 資料名の()は、最新版の発行年月を示す。

※2 収集資料のうち、設計積雪深についての記述しかない資料は本表から割愛した(雪崩予防柵設計の手引き(案)<sup>13)</sup>北海道(H13.3)、福島県土木設計マ  
ニュアル[道路編]<sup>14)</sup>(H27.3)、道路における雪崩対策調査の手引き(案)<sup>16)</sup>新潟県(H14.11))。

※3 基準としての記載はないが、計算例をみると考慮されている。

※4 設計積雪深に関して、道路における雪崩対策調査の手引き(案)<sup>16)</sup>新潟県(H14.11)では、30年確率積雪深に標高補正を施すことが記述されている。



図9 雪圧観測箇所（中山峠）



図10 雪圧観測箇所（朱鞠内）

表9 観測法面の概況、設計値

	中山峠	朱鞠内
法長 (m)	36	52
勾配 $\psi$	1:1.1(42°)	1:1.2(40°)
法面状況	コンクリート法枠と張芝	張芝
向き	南向き	北向き
列間斜距離 (m)	13	10
柵幅 (m)	5.5	5.5
柵高 (m)	2.0   3.5	2.0
設計積雪深 <sup>25)</sup> $H_s$ (m)	3.5	2.6
設計単位体積重量 <sup>12)</sup> $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	3.5	3.5
設計クリープ係数 $K$	0.791	0.783
設計グライド係数 $N$	2.4	2.0
柵間距離 $A$ (m)	1.0	1.0
設計斜面雪圧 $S_N$ (kN/m)	40.7	18.5
辺縁効果係数 $f_R$	1.24	1.11
辺縁効果荷重 $S_R$ (kN/m)	50.5	20.5
辺縁効果荷重の作用範囲 $\Delta$ (m)	0.3	0.3

表10 各年度における測定項目

	H24	H25	H26
中山峠	○●	○●	○●☆
朱鞠内		○●	○●

○: 雪圧観測 ●: 積雪深、密度観測  
☆: グライド、クリープ観測、断面観測

深、積雪断面観測、積雪の単位体積重量および斜面積雪のクリープ・グライドである。年度ごとの観測状況を表10に示す。

### 3. 1. 1 雪圧の観測方法について

雪圧観測は、法面に配置された雪崩予防柵を支持しているワイヤーケーブルに引張型荷重計（共和電業社製:LU-5TE）を設置し、1時間ごとの引張荷重(kN)をデータロガーに記録した（図11）。1基の雪崩予防柵は3本のワイヤーケーブルにより支持されており、それぞれの引張荷重(kN)の合計値が、雪崩予防柵全体に作用する荷重値となる。柵幅で除することにより、雪崩予防柵に作用する雪圧(kN/m)が求まる。

### 3. 1. 2 クリープ・グライドの観測方法について

Haefeli の雪圧論<sup>24)</sup>において、図12に示すような傾斜 $\phi$ 、積雪深 $H$ で、十分に広く一様な雪斜面を考える。雪面上における斜面下方での移動量を $U_A$ 、沈下量を $V_A$ 、地面における斜面下方への移動量を $U_G$ とすると、クリープ係数 $K$ とグライド係数 $N$ は式(11)(12)で定義される。

$$K = \frac{\sin 2\phi}{3} \sqrt{\frac{2}{\tan \phi \tan \beta}} \quad (11)$$

$$N = \sqrt{1 + 3n} \quad (12)$$

$$\tan \beta = \frac{V_A}{U_A - U_G} \quad n = \frac{U_G}{U_A - U_G}$$

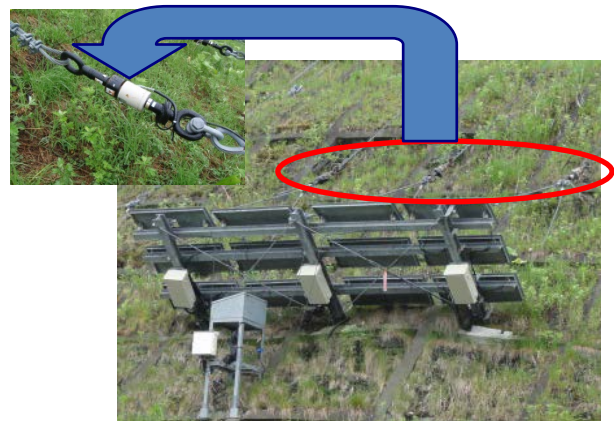


図11 雪圧観測を行った吊柵と引張型荷重計（中山峠）



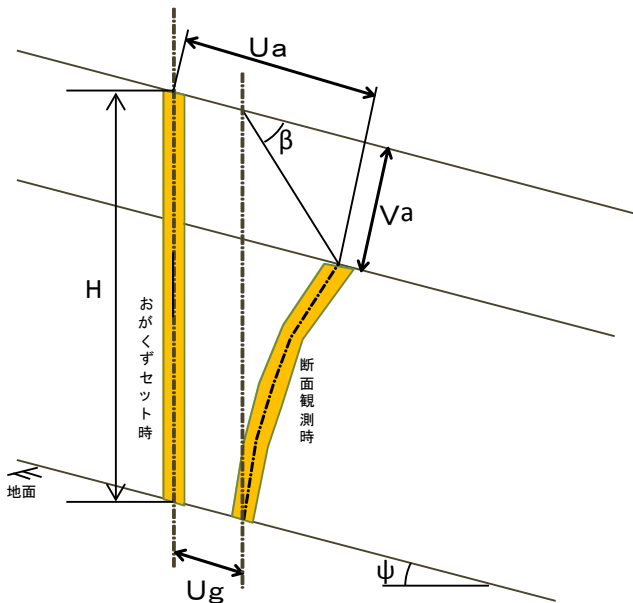


図 1 2 クリープとグライドの観測方法

なお、設計で用いられるクリープ係数  $K$  は、式における  $\tan \phi \times \tan \beta$  が雪密度に応じて一定値を取ることを考慮し、設計では密度に対応した固定値を与えている。また、グライド係数  $N$  は、スイス連邦雪・雪崩研究所(SLF)の長年にわたる測定値に基づき、斜面の向きや植生に応じた固定値を与えている。

本観測は、本郷(1998)<sup>26)</sup>に倣い、雪崩予防柵近傍の無対策斜面( $L=14\text{m}$ )において、おがくずによりグライド係数とクリープ係数を算出した。平成 27 年 3 月 9 日に斜面 5 箇所積雪に穴を開け、目印(杭)を設置しおがくずで充填した。2 週間後の平成 27 年 3 月 23 日に調査箇所の積雪断面が見えるよう掘り、設置した目印を原点としておがくずの移動量を観測した。

### 3. 1. 3 その他の観測、収集データについて

斜面積雪深および積雪の単位体積重量は、雪圧を観測している雪崩予防柵とその上部の雪崩予防柵の列間を対象に、平成 24 および 25 年度は 3 月下旬に、平成 26 年度は 2~4 月に約 2 週間ごとに観測した。

収集データとして、中山峠は南西 4km に位置する北海道開発局東中山テレメータ(標高 830m)、朱鞠内は西南西 8km に位置する気象庁朱鞠内アメダス(標高 250m)における気温、積雪深、降水量データを収集した。

## 3. 2 観測結果

### 3. 2. 1 雪崩予防柵にかかる雪圧の時系列変化

本観測によって得られた雪圧の時系列変化と、式(1)に基づき、設計積雪深から計算した設計雪圧を図 1 3~1 5 に示す。本研究では、吊柵にかかる雪圧を対象とするため、水平方向の雪圧のみを考慮する。

雪圧は観測直後より増加を続け、3 月 15 日~26 日に最大値を観測し、その後減少へと転じた。なお、平成 25 年度朱鞠内では、4 月 5 日からの降雪後に再度雪圧が増加した。また、平成 24 年度と 26 年度の中山峠柵高 2.0m の柵においては、雪圧の影響でケーブル断線や、データロガーの不具合があり、最大雪圧を観測した直後から欠測となっている。どの地点とも、設計雪圧より観測雪圧の方が小さかった。観測期間における最大雪圧は中山峠柵高 2.0m の柵で 15.3kN/m 中山峠柵高 3.5m の柵で 24.3kN/m、朱鞠内で 11.8kN/m であった。

### 3. 2. 2 斜面積雪の物性値

中山峠、朱鞠内で行った全積雪層密度測定の結果、雪崩予防柵の列間斜距離の積雪の単位体積重量  $\gamma$  は 2.16~4.24(kN/m<sup>3</sup>)であった(図 1 6、1 7)。また、各調査時における現地斜面積雪深と、近傍の気象観測点における積雪深との相関関係を表 1 1 に示す。

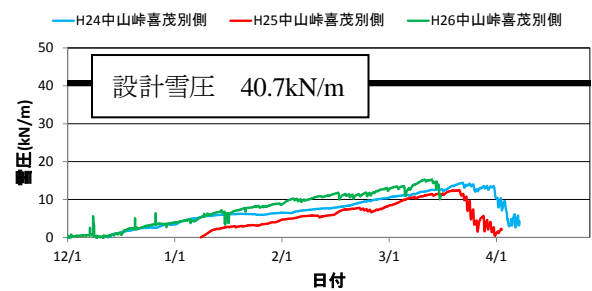


図 1 3 雪圧観測結果  
(H24~H26 年度 中山峠(柵高 2.0m))

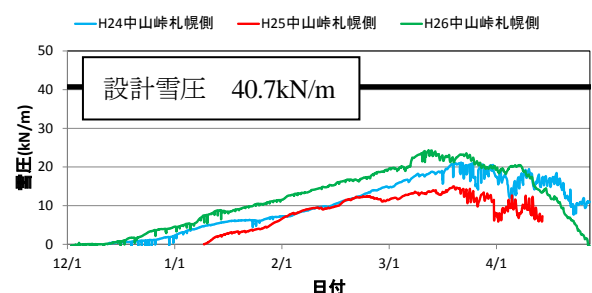


図 1 4 雪圧観測結果  
(H24~H26 年度 中山峠(柵高 3.5m))



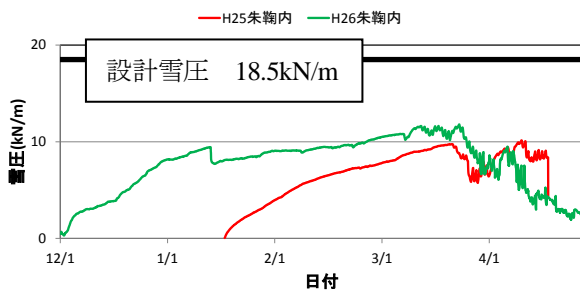


図 15 雪圧観測結果  
(H25～H26 年度 朱鞠内)

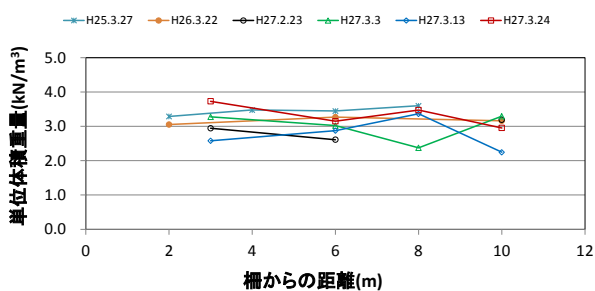


図 16 中山峠における積雪単位体積重量

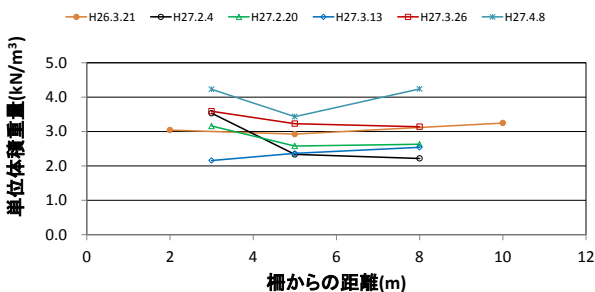


図 17 朱鞠内における積雪単位体積重量

表 1 1 斜面積雪深  $y$  と気象観測点における積雪深  $x$  との相関関係

	相関式	決定係数	観測数
中山峠(柵高2.0m)-東中山TM	$y=0.67x+54.32$	0.16	7
中山峠(柵高3.5m)-東中山TM	$y=1.07x-49.26$	0.62	8
朱鞠内-朱鞠内アメダス	$y=0.92x+24.46$	0.85	5

表 1 2 クリープ係数・グライド係数観測結果  
(中山峠)

	2m	5m	8m	11m	14m
クリープ係数K	0.676	0.886	1.087	0.868	1.160
グライド係数N	1.00	1.16	1.00	1.00	1.00

高さ(cm)	層厚(cm)	雪質	粒径(mm)	雪質	記号
190 ~ 100	90	○	3.0-6.0	新雪	+
100 ~ 83	17	○●	2.0-0.5	こしまり雪	/
83 ~ 80	3	○	1.0-3.0	しまり雪	●
80 ~ 73	7	●	0.3-0.5	ざらめ雪	○
73 ~ 69	4	○	1.0-2.0	こしもざらめ雪	□
69 ~ 53	16	●	0.3-0.5	しもざらめ雪	△
53 ~ 47	6	○	1.0	氷板	-
47 ~ 0	47	●	0.2-0.5	表面霜	V
				クラスト	▽

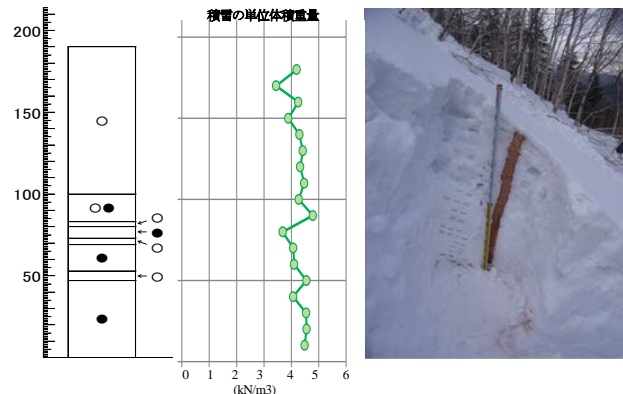


図 1 8 断面観測結果(中山峠 H27.3.23)

中山峠でおがくずを用いたクリープ・グライドの観測結果を表 1 2 に示す。グライドは最大で 5.4cm であり、グライド係数  $N=1.16$  であった。クリープ係数  $K$  は 0.676~1.160 の範囲であった。なお、おがくずを設置していた期間中に最大雪圧を観測した。法肩から 8m の位置における積雪断面観測結果を図 1 8 に示す。これより、積雪の上面はざらめ雪であり、ざらめ雪としまり雪が混合する層を挟んで、下面にしまり雪が存在していた。

#### 4 雪崩予防柵の設計雪圧の計算手法の検討

##### 4. 1 現行の設計に用いられる値の妥当性について

積雪の単位体積重量については、図 1 6~1 7 に示す結果より  $\gamma$  は 2.16~4.24(kN/m<sup>3</sup>) となった。基準の値<sup>26)</sup> ( $\gamma=3.5$ kN/m<sup>3</sup>) を適用することも妥当であると言える。

クリープ係数  $K$  については、表 1 2 に示す結果より 0.676~1.160 であり、設計の値( $K=0.791$ ) を適用することも妥当であると言える。

グライド係数  $N$  については、表 1 2 に示す結果より最大でも 1.16 という結果であった。設計の値 ( $N=2.4$ ) と比べて小さな値となっている。考えられる要因として、観測箇所底面が法面保護用の金網に覆われていたこと。観測箇所下方に小段が存在したことなどから、グライドが抑制されたものと考えられる。グライドの係数の観測は、1 冬期の観測であったこと、設計値を超える値ではなかった。このよう

な状況を加味して、現時点では安全側に作用するものであり、適用には問題がないものとする。

#### 4. 2 過去の観測結果との比較

雪圧の時系列データが存在する昭和63～平成2年度<sup>27)</sup>(以下、前回という)と、平成24～26年度(以下、今回という)との雪圧及び気象観測結果を表13、14に示す。なお、中山峠の値は前回との比較なので、柵高2.0mの柵を記載する。

最大雪圧は、今回の中山峠で、15.3kN/m(H26)、朱鞠内で11.8kN/m(H26)を観測した。前回は中山峠で10.0kN/m(H2)、朱鞠内で6.5kN/m(H1)であったことから、今回の方が大きい値が観測された。

最大積雪深は、今回の中山峠で281～288cm、朱鞠内で216～270cmを観測した。前回は中山峠で172～240cm、朱鞠内で145～180cmであったことから、今回の観測時に積雪深が大きい結果となった。

図19～20は今回、図21～22は前回の観測で得られた雪圧と積雪深の関係を示したものである。図には積雪深を変化させて求めた雪圧(以下、計算雪圧)のグラフを併せて表示した。なお、積雪深は表11に示した相関式より求めた。その結果、両地点とも今回と前回との傾向に変化がないことが伺え

表13 中山峠における最大雪圧、最大積雪深、冬期平均気温

	中山峠(柵高2.0m)					
	今回			前回		
年度	H24	H25	H26	S63	H1	H2
最大雪圧(kN/m)	14.4	12.5	15.3	2.9	8.0	10.0
最大雪圧観測日	3/25	3/24	3/16	3/12	2/21	3/19
最大積雪深(cm)	288	282	281	—	172	240
最大積雪観測日	2/23	2/19	3/11	—	3/13	3/15
冬期平均気温(°C)	-7.7	-6.3	-4.9	-4.9	-5.2	-5.0

※S63中山峠の積雪深は機器の不調により不明  
 ※H24、H26中山峠はピーク値観測後に欠測  
 ※H2中山峠はピーク値直前まで欠測  
 ※中山峠の気温、積雪深は東中山テレメータを使用

表14 朱鞠内における最大雪圧、最大積雪深、冬期平均気温

	朱鞠内				
	今回		前回		
年度	H25	H26	S63	H1	H2
最大雪圧(kN/m)	10.1	11.8	4.9	6.5	5.1
最大雪圧観測日	4/13	3/26	3/18	3/27	4/3
最大積雪深(cm)	270	216	180	177	145
最大積雪観測日	3/9	3/13	1/29	2/14	3/2
冬期平均気温(°C)	-5.2	-3.5	-3.7	-4.5	-4.0

※朱鞠内の気温、積雪深は朱鞠内アメダスを使用

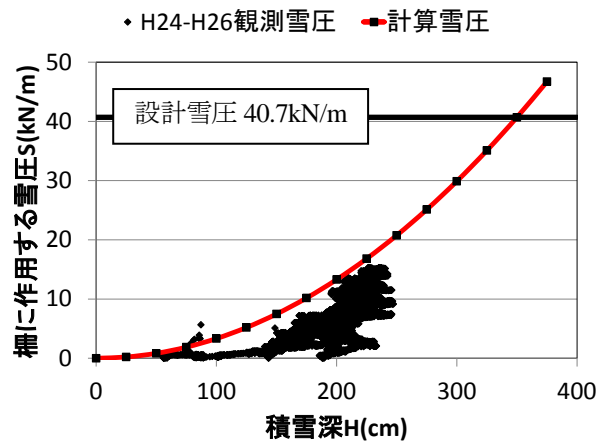


図19 積雪深と雪圧観測結果(中山峠(柵高2.0m)H24～H26)

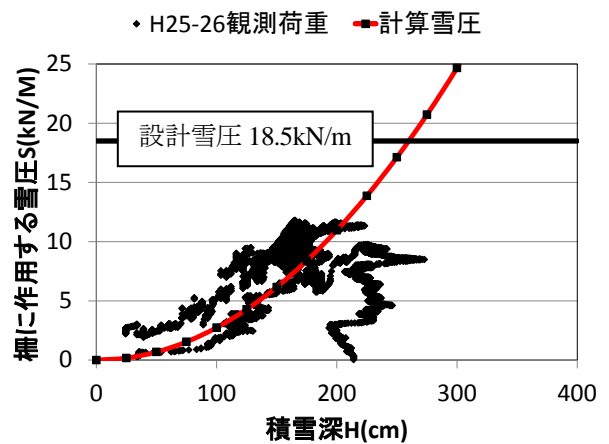


図20 積雪深と雪圧観測結果(朱鞠内 H25～H26)

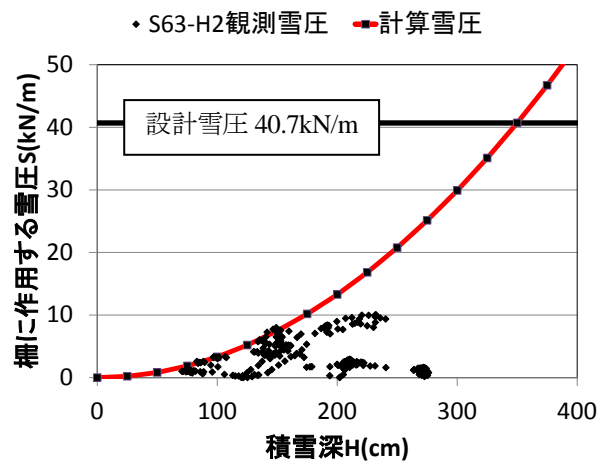


図21 積雪深と雪圧観測結果(中山峠(柵高2.0m)S63～H2)

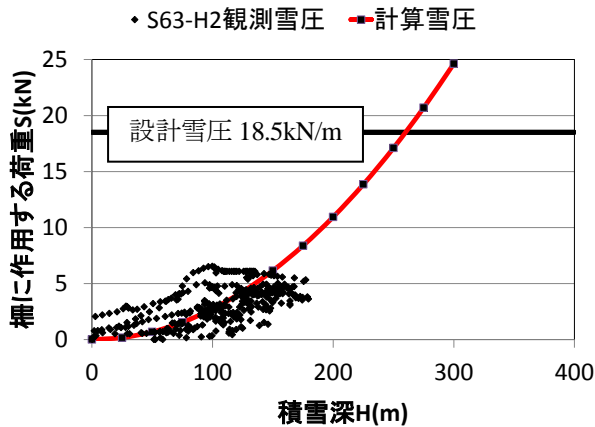


図 2.2 積雪深と雪圧観測結果  
(朱鞠内 S63~H2)

る。以上のことから、今回と前回の観測時において雪質が変化したとは言い難く、式(1)からも積雪深の差が雪圧の差として現れたことを示している。

#### 4. 3 柵の条件の違いと観測結果との比較

今回の観測において、中山峠の同一斜面で柵高 2.0m の柵と柵高 3.5m の柵、柵高が異なる柵を対象に雪圧の観測を行った。表 1.5 に今回の観測で得られた年度毎の雪圧の最大値と観測日、表 1.3 と同様に最大積雪深と観測日、冬期平均気温を記載する。

これによると、いずれの年度においても柵高 3.5m の柵が、柵高 2.0m の柵よりも雪圧が大きい結果となった。また、年度の違いによる雪圧の大小は一致し、最大雪圧を観測した日付もほぼ一致していた。

図 1.9 と同様に、柵高 3.5m の柵で得られた雪圧と積雪深の関係を図 2.3 に示す。これによると、柵高 2.0m の柵と比べ、積雪深に対応した計算雪圧を上回る例が多かった。柵高 3.5m の柵における計算雪圧と観測雪圧の差の時系列を図 2.4 に示す。これによると、観測雪圧が計算雪圧を上回るのは 3 月以

表 1.5 柵高の違いによる最大雪圧、最大積雪深、冬期平均気温 (中山峠)

	中山峠					
	柵高3.5m			柵高2.0m		
年度	H24	H25	H26	S63	H1	H2
最大雪圧(kN/m)	21.1	15.1	24.1	14.4	12.5	15.3
最大雪圧観測日	3/24	3/22	3/15	3/25	3/24	3/16
最大積雪深(cm)	288	282	281	288	282	281
最大積雪観測日	2/23	2/19	3/11	2/23	2/19	3/11
冬期平均気温(°C)	-7.7	-6.3	-4.9	-7.7	-6.3	-4.9

※H24、H26中山峠(H=2.0m)はピーク値観測後に欠測  
※中山峠の気温、積雪深は東中山テレメータを使用

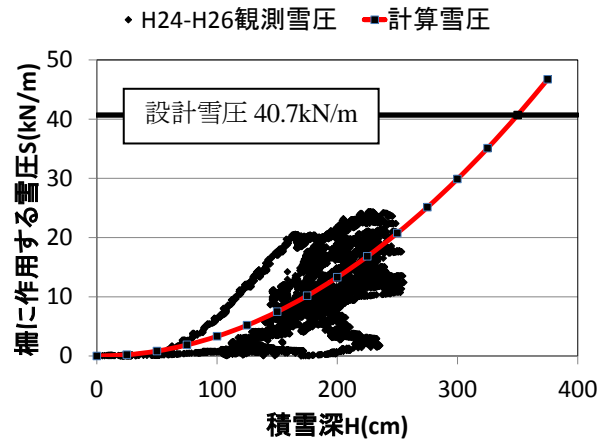


図 2.3 積雪深と雪圧観測結果  
(中山峠(柵高 3.5m)H24~H26)

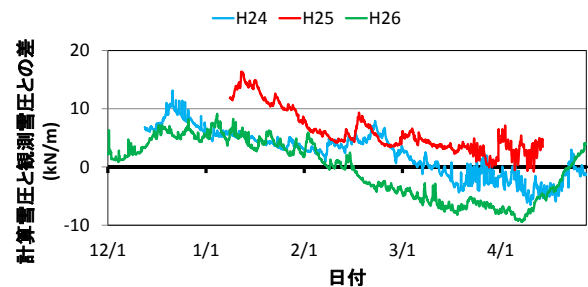


図 2.4 計算雪圧と観測雪圧の差  
(中山峠(柵高 3.5m)H24~H26)

降の融雪期に多く見られた。ただ、いずれの年度においても、設計雪圧を上回ることにはなかったため、柵の設計としては安全である。

#### 4. 4 気温と雪圧について

今回の観測結果に注目すると、冬期平均気温が高かった H26 年度に、中山峠、朱鞠内ともに最大雪圧は大きくなった。また、計算雪圧を超過する例も、H26 年度が多かった。一方で、最大積雪深は他の年が大きかったことから、気温の大小が、雪圧を大きくさせる要因であったことがうかがえる。

吾田ら<sup>28)</sup>は、有限要素法による斜面積雪の解析結果により気温が高いと柵にかかる力が大きくなることを示した。このことは、気温が高くなると、圧縮粘性係数が小さくなり<sup>29)</sup>、柵に作用する力が増えることに起因するとされている。このことから、気温の違いが雪圧に与える影響は大きいものと考えられる。

#### 4.5 雪質変化に対応した雪崩予防柵の設計雪圧の提案

本観測期間において、設計雪圧を上回る雪圧を観測することはなかった。設計に用いられる値も、積雪の単位体積重量、クリープ係数については設計要領に定める値が適当であると判断されるが、グライド係数については非常に小さい値であった。

前回と比較して、今回の観測結果は、雪圧は大きな値を観測したが、同一の柵においては、計算荷重と観測荷重を比較では、雪質が変化を示す傾向は確認できなかった。以上のことから、雪崩予防柵に作用する雪圧の設計については現行のままとする事が妥当と考える。

#### 5. まとめ

本研究は、北海道と本州における雪崩予防柵設計の相違点を明確にした。つぎに、過去に観測した同一斜面を対象に雪圧の観測を行い、過去の観測結果と比較することにより、雪質の変化に対応した雪崩予防柵の設計雪圧の提案を試みた。観測の結果から、設計雪圧を超えることはなく、過去の観測との比較でも、雪質の変化を示すものは見られなかった。

しかし、柵高の違いで、融雪時期に計算雪圧を上回る傾向は顕著であった柵もあり、冬期平均気温の上昇が雪圧の上昇の起因となることも言われている。本研究で得られた結果は、2箇所3冬期の観測に基づくものであり、雪崩予防柵の設置されている条件や年によっては傾向が異なる可能性もある。冬期の気候は変化を続けており、今後も継続的な観測によって、雪圧の変化傾向、気象との関係を研究する必要性は高いものとする。

#### 参考文献

- 1) (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
- 2) Lawinenverbaum Anbruchgebiet Richtlinien für den permanenten Stützverbau:Mitteilungen des Eig. Institutes für Schneeund Lawinenforschung, Nr, 15, Februar 1961
- 3) 石川政幸, 渡辺成雄, 大関義男, 佐藤正平：積雪グライドと雪崩による雪崩防止柵の被害(1), 雪氷, 40, pp. 128-138, 1978
- 4) 石川政幸, 渡辺成雄, 大関義男：積雪グライドと雪崩に

- よる雪崩防止柵の被害(2), 雪氷, 41, pp. 131-141, 1979
- 5) 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, p122, 1989
- 6) (社)日本建設機械化協会編:新編防雪工学ハンドブック, 森北出版株式会社, pp. 157-243, 1988
- 7) (社)日本道路協会:道路防雪便覧, 丸善株式会社, pp. 23-98, 1990
- 8) (社)雪センター:雪崩予防柵及び吊柵の設計・設置指針, p113, 1993
- 9) 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, pp. 53-130, 1996
- 10) 道路防雪施設検討委員会編:道路防雪施設マニュアル[コンクリート構造編], (社)北陸建設弘済会, pp. 139-177, 2008
- 11) 林野庁(監修):治山技術基準解説(防災林造成編), pp. 201-323, 2004
- 12) 国土交通省北海道開発局:北海道開発局道路設計要領, 第2集 道路付帯施設, p2-2-14-2-2-21, 2015
- 13) 北海道:雪崩予防柵設計の手引き(案), p81, 2001
- 14) 福島県:土木設計マニュアル[砂防編], 第3編 6-1-6-6, 2015
- 15) 国土交通省北陸地方整備局:設計要領[道路編], pp. 11-69-11-74, 2012
- 16) 新潟県土木部道路維持課監修:道路における雪崩対策調査の手引き(案), (社)雪センター, p178, 2002
- 17) 新潟県:新潟県土木部標準設計図集 p7-1-7-112, 2001
- 18) 岐阜県:岐阜県道路設計要領, pp15-1-15-38, 2015
- 19) 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, p124, 1990
- 20) 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, p117, 1991
- 21) 阿部英樹, 石本敬志, 黒川罔夫: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, pp. 123-126, (社)北海道開発技術センター, 1994
- 22) なだれ防護構造物の設計指針(その1)ー発生地における雪崩制御ー(スイスにおける示方書の翻訳と解説), 道路, 301, pp. 63-74, 1966
- 23) なだれ防護構造物の設計指針(その2)ー発生地における雪崩制御ー(スイスにおける示方書の翻訳と解説), 道路, 302, pp. 64-74, 1966
- 24) (社)日本建設機械化協会:防雪工学ハンドブック



pp. 47-178, 1968

25) 北海道開発局:設計積雪深に関する技術資料, 2001

26) 本郷栄次郎:送電用鉄塔脚部に作用する積雪荷重について, 雪氷, 60, pp. 473-490, 1998

27) 黒川圀夫・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大会, 1992

28) 吾田洋一・松澤勝・松下拓樹:有限要素法による斜面積雪解析, 北海道の雪氷, 30, pp. 103-106, 2011

29) 前野紀一・黒田登志雄:基礎雪氷学講座 I 雪氷の構造と物性, 古今書院, p168, 1986

## A STUDY ON THE DESIGN SNOW PRESSURE OF SNOW BRIDGES IN HOKKAIDO

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2012-2015

Research Team : Cold-Region Road Engineering

Research Group

(Snow and Ice Research Team)

Author : MATSUZAWA Masaru

NISHIMURA Atsushi

HARADA Yusuke

TAKAHASHI Wataru

**Abstract** : In this study, the authors re-examined the design snow pressure of snow bridges from the point of the winter warming. We clarify the difference between the designs for snow bridges used in Hokkaido and those used in Honshu. We examined various books and conducted interviews with experts. We found that the coefficients used in the design formulas, which were adopted from the standard used in Switzerland, had been modified in consideration of the snow quality of Honshu. Next, snow pressure of snow bridges was re-measured on the slope where snow pressure measurements had been done 25 years ago. The newly measured snow pressure is in the range of design. Various coefficients used in the design standards were found to be about the same as the measured values. In light of the above, the necessity to review the design snow bridges is low at present. However, the snow pressures measured in snowmelt period were frequently greater than those obtained from calculations by the snow bridges. It is highly necessary to continuously observe the changes of snow pressure due to changes in the weather .

**Keywords:** snow bridges, snow pressure, creep, glide, unit weight of snowpack