

一般社団法人新潟県建設技術センター

平成 29 年度 研究助成事業報告書

雪崩予防柵の雪庇防止・軽減対策に関する事業

平成 30 年 3 月

特定非営利活動法人 なだれ防災技術フォーラム

理事長 下村忠一

目次

1. はじめに.....	1
2. 調査内容の概要.....	1
2.1 雪崩予防柵に堆雪する雪庇形態の把握.....	1
2.2 施設による雪庇成長抑制効果の解明.....	1
3. 調査対象斜面・予防柵の選定.....	2
3.1 小白倉.....	3
3.2 十二峠.....	3
3.3 十日町試験地.....	4
3.3 子安トンネル下部・上部.....	4
4. 雪崩予防杭及び観測機器の設置.....	6
4.1 小白倉.....	6
4.2 十日町試験地.....	6
4.3 子安トンネル下部.....	7
4.4 子安トンネル上部.....	7
4.5 連続写真撮影機器の設置.....	8
5. 冬期観測結果.....	9
5.1 雪庇形成状況.....	9
6. 雪庇形態の把握と施設による雪庇成長抑制効果の分析.....	17
6.1 雪崩予防柵に発生する雪庇形態の把握.....	17
6.2 杭による雪庇成長抑制効果の分析.....	20
6.3 施設の有無による堆雪形状の比較.....	27
6.4 グライド量とクリーブ量の観測結果分析.....	29
7. まとめ.....	30
7.1 気象状況と雪庇発生状況.....	30
7.2 雪崩予防柵に堆雪する雪庇形態の把握.....	30
7.3 施設による雪庇成長抑制効果の検証.....	30
8. 課題（次年度に向けて）.....	31

1. はじめに

雪崩予防柵は、雪崩発生区に設置し雪崩を未然に防ぐ効果的な工法として知られている。一方、道路や集落施設に近接して設置された予防柵は、斜面積雪の崩落を予防できるものの、積雪最盛期になると予防柵上に大きな雪庇が発生し、雪庇の崩落による災害を予防するために人力による雪庇処理が行われている。

この雪庇処理作業は、非常に危険を伴うため管理者が毎年苦慮しており、雪庇の減少、雪庇処理作業の軽減を図る手法が望まれている。

ここで、雪庇の減少とは雪庇の発生を未然に防ぐことであり、既存施設への対策および新設構造への対策である。具体的には、補助施設を設置し、雪庇の成長を抑制・防止する方法などである。

また、雪庇処理作業の軽減とは、雪庇の崩落を予測する手法を明確にし、雪庇除去作業の範囲や危険性の目安を設けるものである。具体的には、現地調査により既設予防柵の縦断方向の積雪特性を解明し、雪庇の危険性を求める方法などである。

本事業は、雪庇形成メカニズムを調査し、雪庇の成長抑制手法および雪庇処理の優先度を明らかにすることを目的とする。

2. 調査内容の概要

調査内容の概要を以下に示す。

2.1 雪崩予防柵に堆雪する雪庇形態の把握

雪庇の成長メカニズムは、施設の形状、材質、斜面方位・勾配、地表面の状況、積雪深、降雪強度、気温等の様々な要因がある。本事業では雪庇形成メカニズムの基礎調査として雪崩予防施設の種類と斜面勾配および縦断方向の積雪特性に着目し冬期間の観測を行った。

これまでの調査では、予防施設の種類に着目したものがあるものの、十分なデータとはいえず更なるデータ蓄積が望まれている。

2.2 施設による雪庇成長抑制効果の解明

雪庇の成長抑制手法は、雪崩施設上に設ける手法と斜面のグライドを抑制し雪庇の成長を防止する手法が考えられる。

前者は、雪庇の崩落を直接防ぐ手法であるものの予防柵の構造毎に形状を設計する必要があることから、施設の補強や取り付け方法が煩雑となる。

対して後者は、斜面に小規模な施設を設けることで斜面積雪のグライドを低減させ雪庇の成長を抑制するものである。グライド抑制手法の一つとして、比較的小規模な雪崩予防杭を用いる手法があり雪崩予防効果も確認されている。

本事業では、初年度に引き続き対策施設の形状等に影響されない雪崩予防杭を用いた手法を検討し、雪庇の成長抑制効果の確認を行った。

3. 調査対象斜面・予防柵の選定

(初年度)

調査対象斜面・雪崩予防柵の選定にあたっては、現道（冬期間通行可）ではないことを条件として選定した。

現道上の雪崩予防柵は、大雪等により雪庇が発達した場合には、管理者による雪庇処理が行われて道路交通の安全確保が図られている。本事業で雪庇の発生・発達状況を調査する対象としては、大雪時でも雪庇処理を行わない（自然状態の）斜面や雪崩予防柵である必要がある。

初年度は上記条件に基づき、新潟県の担当部署からの情報やNPO会員企業からの情報を踏まえ、以下に示す4斜面を調査対象斜面として選定して調査を実施した。

表 3.1 調査対象斜面一覧表（初年度）

地点名	路線番号	路線名 地名	斜面状況			既存予防柵			調査目的
			標高	斜面長	30年確率 積雪深	柵高 設計積雪深	勾配	材質	
小白倉	国道403号	旧道 十日町市小白倉	170～200m	数十m	400～450cm	5.0m	45度	鋼製	雪崩予防柵の雪庇成長抑制効果比較観測調査
十二峠	国道353号	南魚沼市上野十二峠	440～460m	数十m	400～450cm	4.5m	50度	PC製	雪庇成長形態観測調査
種芋原 魚沼側	国道352号	種芋原トンネル脇旧道 長岡市山古志種芋原	280～320m	数十m	550～600cm	3.5m	40度	鋼製 (古)	〃
種芋原 山古志側	国道352号	種芋原トンネル脇旧道 長岡市山古志種芋原	280～320m	数十m	550～600cm	3.5m	40度	鋼製 (古)	〃

(本年度)

本年度は、小白倉地区、十二峠に加え、初年度と同様な条件で新たに選定した3斜面の合計5斜面を対象に調査を行った。なお、初年度調査対象斜面であった種芋原地区については両斜面とも、予防柵上部が一様ではなく(崩れている、凸凹が大きい、幅が8mの柵で特殊である等の理由で、本年度調査斜面から除外した。

表 3.2 調査対象斜面一覧表（2年度）

【継続】

地点名	路線番号	路線名 地名	斜面状況			既存予防柵			調査目的
			標高	斜面長	30年確率 積雪深	柵高 設計積雪深	勾配	材質	
小白倉	国道403号	旧道 十日町市小白倉	170～200m	数十m	400～450cm	5.0m	45度	鋼製	雪崩予防柵の雪庇成長抑制効果比較観測調査
十二峠	国道353号	南魚沼市上野十二峠	440～460m	数十m	400～450cm	4.0m	50度	PC製	雪庇成長形態観測調査

【新規】

地点名	路線番号	路線名 地名	斜面状況			既存予防柵			調査目的
			標高	斜面長	30年確率 積雪深	柵高 設計積雪深	勾配	材質	
子安T N 池尻側坑 口	国道353号	シェルタで対策済みの 斜面 十日町市松の山水梨 子安トンネル坑口付近	280～310m	数十m	500cm	5.6m	35度	鋼製	雪庇成長形態観測調査 雪崩予防柵の雪庇成長抑制効果比較観測調査
十日町 試験地	実験斜面	十日町市川原町 森林総研十日町試験地	北東向き 170～190m	40m	350～400cm	3.2m	40度	鋼製	雪崩予防柵の雪庇成長抑制効果比較観測調査

3.1 小白倉

十日町市小白倉地区の国道 403 号の旧道にあり、切土斜面に同規模の雪崩予防柵が並んでいる斜面である。設置されているのは新潟県標準設計に基づく、設計積雪深 5.0m、斜面勾配 45 度タイプの鋼製雪崩予防柵である。この斜面は切土斜面であるため斜面状況が一様で比較観測に適していることから、雪崩予防柵の雪庇成長抑制効果について、柵の有無や柵高を変えたケースで比較観測調査を行うこととした。



写真 3.1 小白倉 対象斜面・予防柵状況

図 3.1 小白倉 対象斜面・予防柵位置

3.2 十二峠

南魚沼市上野地区の国道 353 号にあり、斜面下の道路上にスノーシェッドが設置されたため、雪庇処理等の管理をする必要がなくなった雪崩予防柵である。設置されているのは PC 製の予防柵で、設計積雪深 4.0m、斜面勾配 50 度タイプと推定される。



図 3.2 十二峠 対象斜面・予防柵位置図



写真 3.2 十二峠 対象斜面予防柵状況

3.3 十日町試験地

調査・実験用に成形された、斜面勾配 40 度の一様な斜面で、草刈り等により、管理がされた斜面である。そのため、斜面状況が一様で比較観測に適していること、横に雪崩予防柵が 2 基並んでいることから、杭の有無による雪崩予防杭の雪庇成長抑制効果の比較観測調査を行うこととした。

斜面の使用に際しては、森林総合研究所十日町試験地との共同研究手続きを行った。



写真 3.3 十日町試験地 対象斜面予防柵状況

3.3 子安トンネル下部・上部

スノーシェルター脇の斜面で勾配は 35 度の斜面である。設置されている雪崩予防柵は設計積雪深 5.6m、横バー 16 本で新潟県標準設計タイプと推測される。シェルター脇の 3 基と、右奥上部の予防柵 3 基が連続しているため、杭の有無や杭高を変えたケースで比較観測調査を行うこととした。



図 3.3 子安 TN 対象斜面・予防柵位置図



写真 3.4 子安 TN 対象斜面予防柵状況



図 3.4 本年度観測斜面位置図 (全体)

4. 雪崩予防杭及び観測機器の設置

初年度の調査では、小白倉地区の斜面に鋼製雪崩予防杭トライパイルを 1.8m 間隔で設置し、雪崩予防杭の雪庇成長抑制効果について比較観測した。本年度の調査では、新たに選定した 3 斜面に木杭を設置し、小白倉地区と同様に比較観測を行うこととした。

4.1 小白倉

小白倉地区に設置されたトライパイルは、斜面に向かって左側から、杭無し、杭高さ 0.5 m、杭高さ 1.0m である。



写真 4.1 トライパイル設置状況（小白倉）

4.2 十日町試験地

十日町試験地では、斜面上部より向かって右側の雪崩予防柵上部に杭高さ 0.5m の木杭を設置、左側は設置無しとした。



写真 4.2 木杭設置状況（十日町試験地）

4.3 子安トンネル下部

子安トンネル下部では、斜面に向かって左側の雪崩予防柵から杭高さ 1.0m、0.5m、杭無しとした。



写真 4.3 木杭設置状況（子安トンネル下部）

4.4 子安トンネル上部

子安トンネル上部でも下部と同様に、斜面に向かって左側の雪崩予防柵から杭高さ 1.0m、0.5m、杭無しとした。



写真 4.4 木杭設置状況（子安トンネル上部）

4.5 連続写真撮影機器の設置

雪庇発生発達状況を自動観測するため、ハイクカムを連続自動撮影機器として設置した。ハイクカムは小白倉のほか、十二峠、十日町試験地、子安トンネル上部・下部の調査各斜面に設置した。



写真 4.5 ハイクカム設置状況（小白倉）



写真 4.6 ハイクカム設置状況（十二峠）



写真 4.7 ハイクカム設置状況（十日町試験地）



写真 4.8 ハイクカム設置状況（子安トンネル下部）



写真 4.9 ハイクカム設置状況（子安トンネル上部）

5. 冬期観測結果

冬期観測として、連続自動写真撮影、定期的に観測員が現地に入っでの写真撮影、もみ殻による積雪移動状況の観測、もみ殻計測に合わせて積雪断面観測を行った。積雪断面観測と積雪移動量観測の結果は巻末に示す。

5.1 雪庇形成状況

今冬期は2月までは平年を上回る降積雪状況となり、各調査地点とも2月中旬に最深積雪を記録した。「十日町試験地」、「小白倉」、「十二峠」については、連続写真撮影や定期写真撮影等で雪庇の形成が確認された。

対して、今冬期新規で調査対象斜面とした、「子安トンネル下部斜面」、「子安トンネル上部斜面」については、まとまった降雪時には予防柵支持面上に積雪が発生するものの、設計積雪深が大きく（設計積雪深 5.6m）、調査対象斜面の中では比較的積雪が少なかったことなどから、雪庇の発生は確認できなかった。

雪庇高さ・雪庇の張出し幅は、予防柵先端の横バー位置を基準とした（下図参照）。

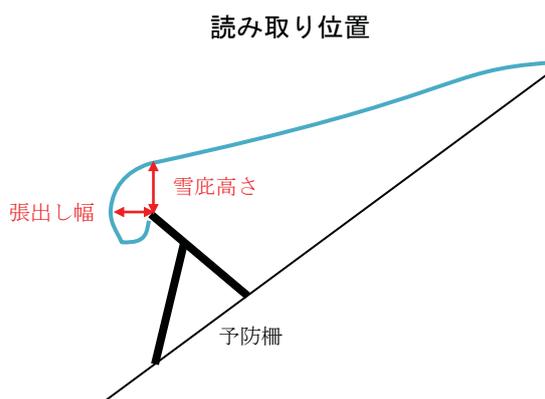


図 5.1 読み取り（計測）位置図

調査対象予防柵の雪庇形成状況（連続写真撮影、定期写真撮影・現地観測より判読・整理）を次ページに一覧で示す。また、「雪庇高さ」及び「雪庇張出し幅」の時系列グラフと、以下の算式で算出した単位幅あたりの「雪庇ボリューム」の時系列グラフもあわせて示す。

単位幅あたりの雪庇ボリューム（雪庇断面積）を以下の算式で定義

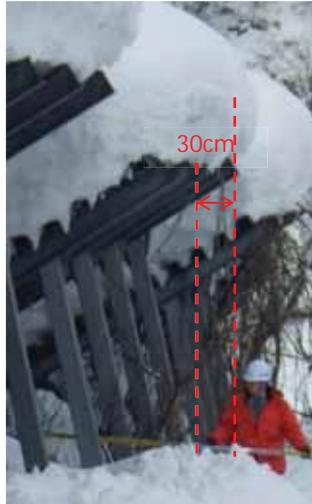
$$\begin{aligned} & \text{単位幅あたりの雪庇ボリューム (m}^3\text{/m)} \\ & = \text{高さ} \times \text{張出し幅} \times \text{変換係数 (0.7)} \end{aligned}$$

表 5.1 雪庇形成状況（小白倉）

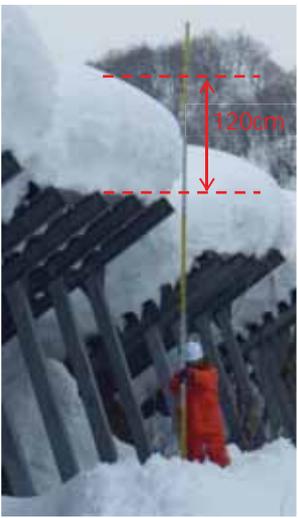
【小白倉】

年月日	トライパイル設置 予防柵 (杭高 1.0m)		トライパイル設置 予防柵 (杭高 0.5m)		杭設置なし 予防柵		備考
	雪庇高さ cm	張出し幅 cm	雪庇高さ cm	張出し幅 cm	雪庇高さ cm	張出し幅 cm	
2月1日	60	10	70	10	70	10	
2月3日	30	5	40	10	55	10	
2月11日	60	30	65	35	70	45	
2月19日	120	30	120	30	140	50	現地計測
2月20日	120	60	125	55	140	55	
2月21日	125	65	125	55	145	60	
2月22日	115	70	115	60	130	70	
2月23日	95	70	95	70	115	75	現地計測
2月25日	85	50	85	40	100	60	
2月27日	70	45	80	45	95	60	
2月28日	55	30	70	35	85	55	
3月1日	40	20	50	25	70	40	
3月4日	25	0	30	15	50	25	

■斜面に向かって右側（トライパイル 高さ 1.0m）



■中央（トライパイル 高さ 0.5m）



■斜面に向かって左側（対策なし）



写真 5.1 雪庇形成状況（小白倉） 平成 30 年 2 月 19 日計測

表 5.2 雪庇形成状況（十日町試験地）

【十日町試験地】

年月日	木杭設置予防柵 (杭高 0.5m)		木杭設置なし予防柵		備考
	雪庇高さ cm	張出し幅 cm	雪庇高さ cm	張出し幅 cm	
2月19日	80	75	72	90	現地計測
2月23日	80	70	70	90	現地計測
3月1日	60	65	55	80	

■実験斜面上部から見て右側（木杭 高さ 0.5m）



■実験斜面上部から見て左側（対策なし）



写真 5.2 雪庇形成状況（十日町試験地）平成 30 年 2 月 19 日計測

表 5.3 雪庇形成状況（十二峠）

【十二峠】

年月日	木杭設置なし予防柵		備考
	雪庇高さ cm	張出し幅 cm	
2月21日	50	30	
2月22日	50	30	
2月23日	40	30	
2月24日	40	20	
2月25日	50	30	現地計測

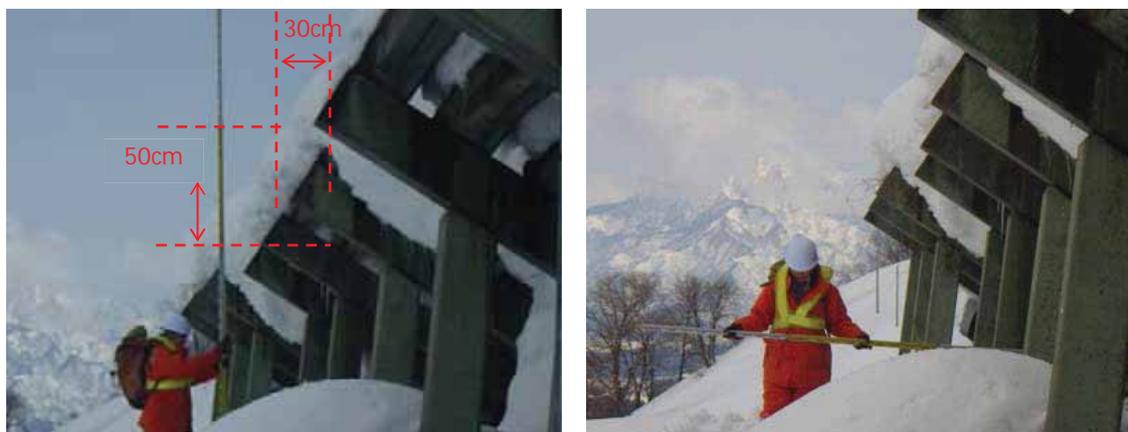
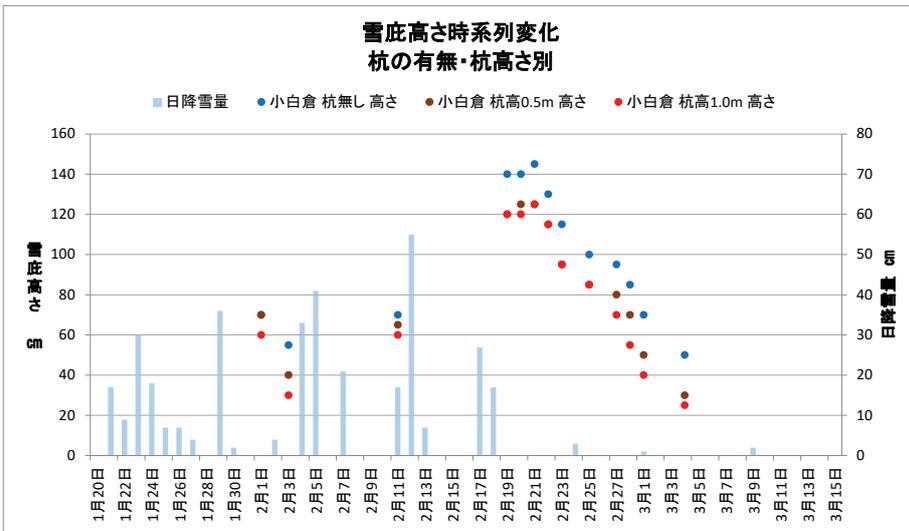
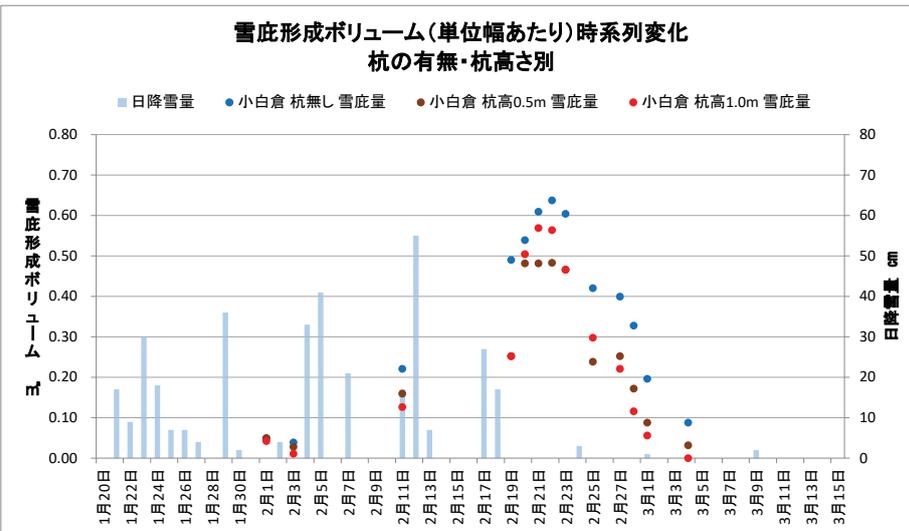
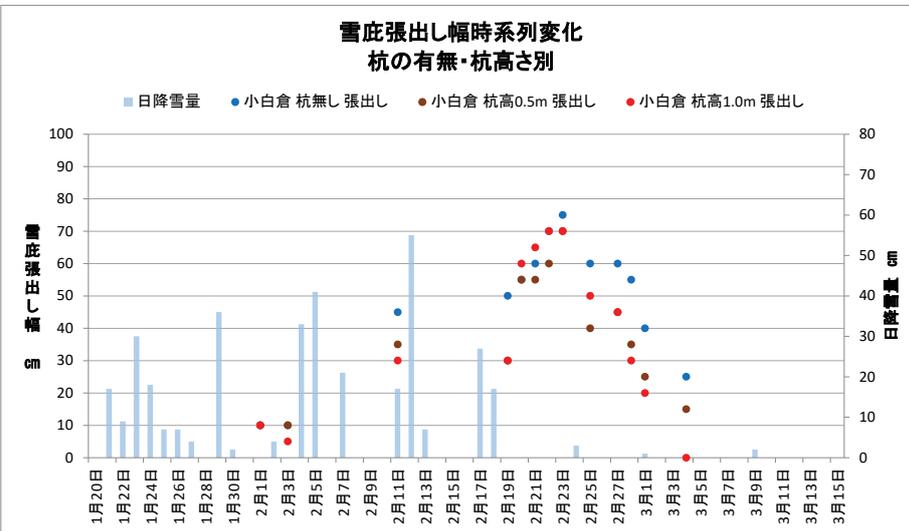


写真 5.3 雪庇形成状況（十二峠） 平成 30 年 2 月 25 日計測

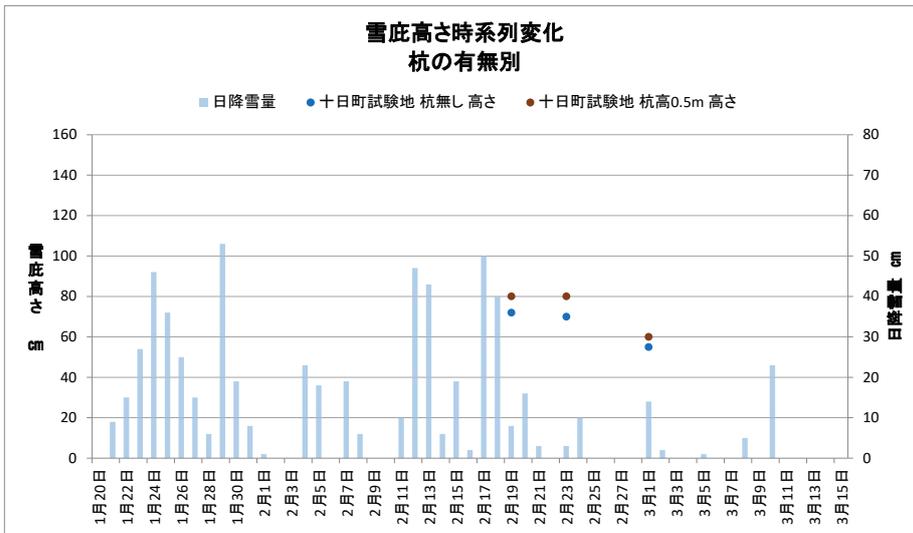


雪庇高さに比較し、張出し幅はやや遅れてピークが出現している

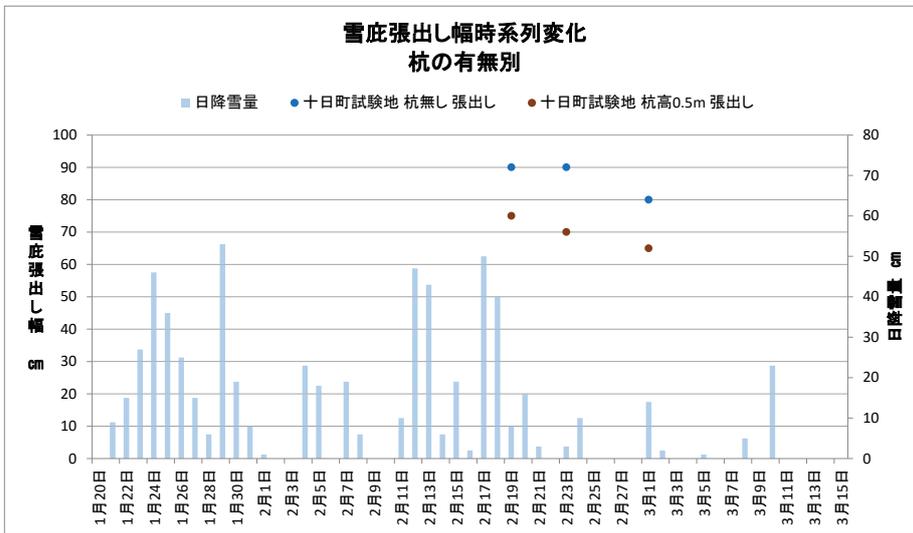


雪庇ボリュームは、杭無し予防柵の方が大きい

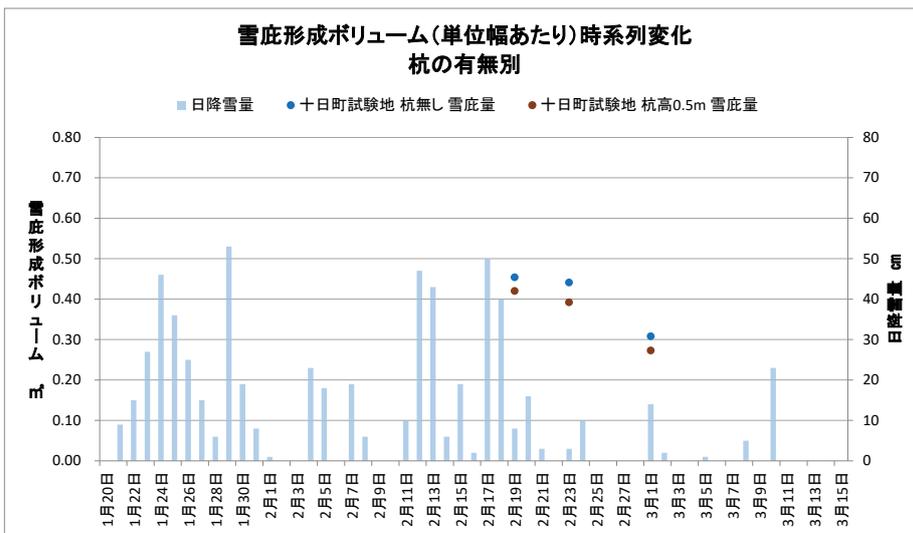
図 5.2 雪庇形成状況の時系列 (小白倉)



雪底高さは、杭無し
予防柵の方が小
さい



雪底張出し幅は、
杭無し予防柵の方
が大きい



雪底ボリューム
は、杭無し予防柵
の方が大きい

図 5.3 雪底形成状況の時系列 (十日町試験地)

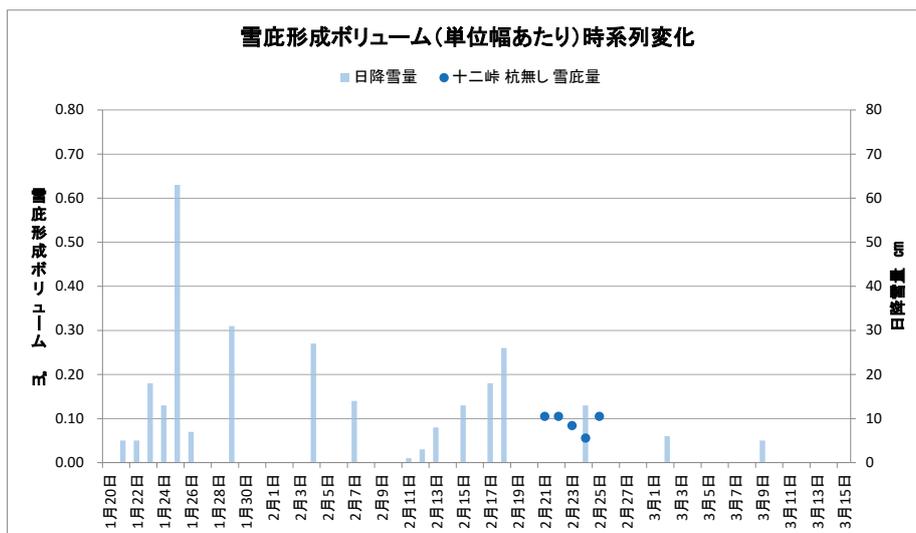
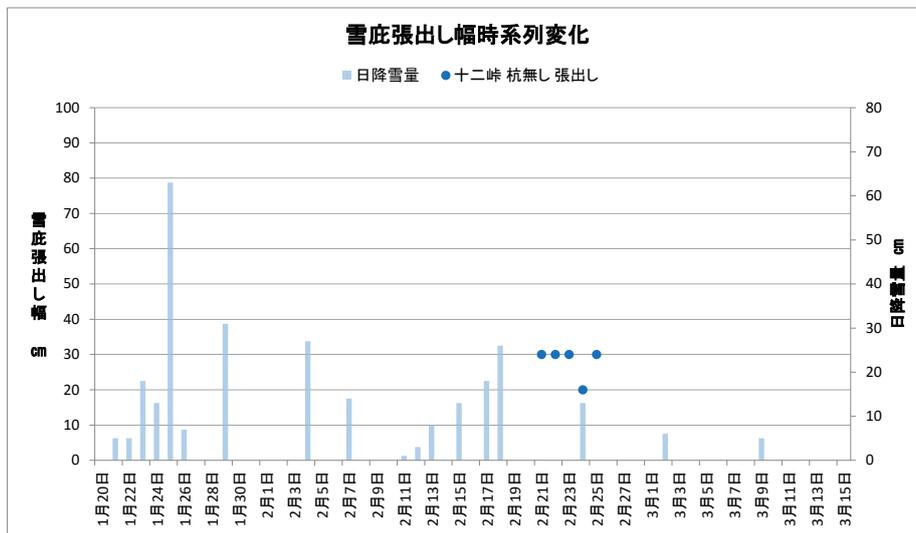
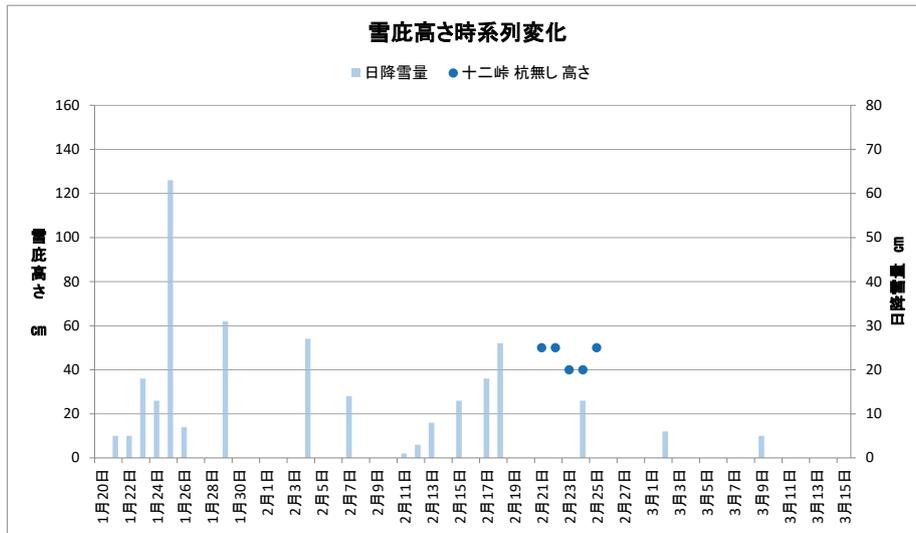


図 5.4 雪庇形成状況の時系列 (十二峠)

6. 雪庇形態の把握と施設による雪庇成長抑制効果の分析

6.1 雪崩予防柵に発生する雪庇形態の把握

今冬期は2月までは平年を上回る降積雪状況となり、十日町試験地、小白倉、十二峠では予防柵上に雪庇が発生、発達した。

雪庇の発生・成長に影響する要素としては、

- ・ 予防柵の規模（設計積雪深）に対するその時点の積雪深の比率
- ・ 降雪状況（日降雪量、連続降雪量）
- ・ 柵面の傾きや斜面勾配

などが考えられる。

ここでは予防柵の設計積雪深に対するその時点の積雪深の比率を「設計積雪深比」と定義し、「雪庇高さ」、「張出し幅」、「雪庇ボリューム」との関係を求める指標とした。

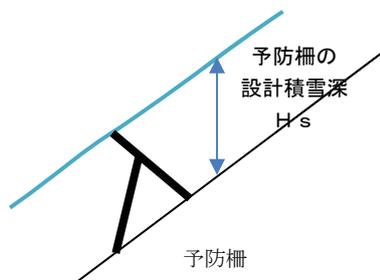


図 6.1 予防柵の設計積雪深

以下に各斜面・予防柵の設計値等を示す。

表 6.1 予防柵設計値一覧

地点名	斜面		予防柵				
	30年確率積雪深 新潟県1/30確率積雪マップ (m)	斜面勾配 (°)	柵面の長さ (m)	設計積雪深 柵の大きさより算出 (m)	柵面の傾き 水平より (°)	柵タイプ (°)	柵面の傾き 法線より (°)
十日町試験地	350~400cm	40	2.5	3.2	50	-	0
小白倉	400~450cm	50	3.8	5.0	35	45	10
十二峠	400~450cm	50	2.6	4.0	30	50	10
子安トンネル池尻側坑口 下部斜面、上部斜面	500cm	35	5.0	5.6	40	35	15

設計積雪深比を以下の算式で定義

$$\text{設計積雪深比 (H/Hs)} = \text{積雪深 (H)} \div \text{予防柵の設計積雪深 (Hs)}$$

例えば、小白倉（設計積雪深 5m）で積雪深が 200 cm の日の設計積雪深比は

$$H/Hs = 200 \text{ cm} \div 500 \text{ cm} = 0.4 \text{ となる。}$$

本項では雪庇発生形態を把握するため、設計積雪深比（ H/H_s ）との関係で、雪庇高さ、雪庇張出し幅、雪庇形成ボリューム（単位幅あたり）の傾向をとりまとめた。

なお、対象斜面は杭を設置していない斜面（無対策斜面）とした。それぞれの散布図を以下に示す。

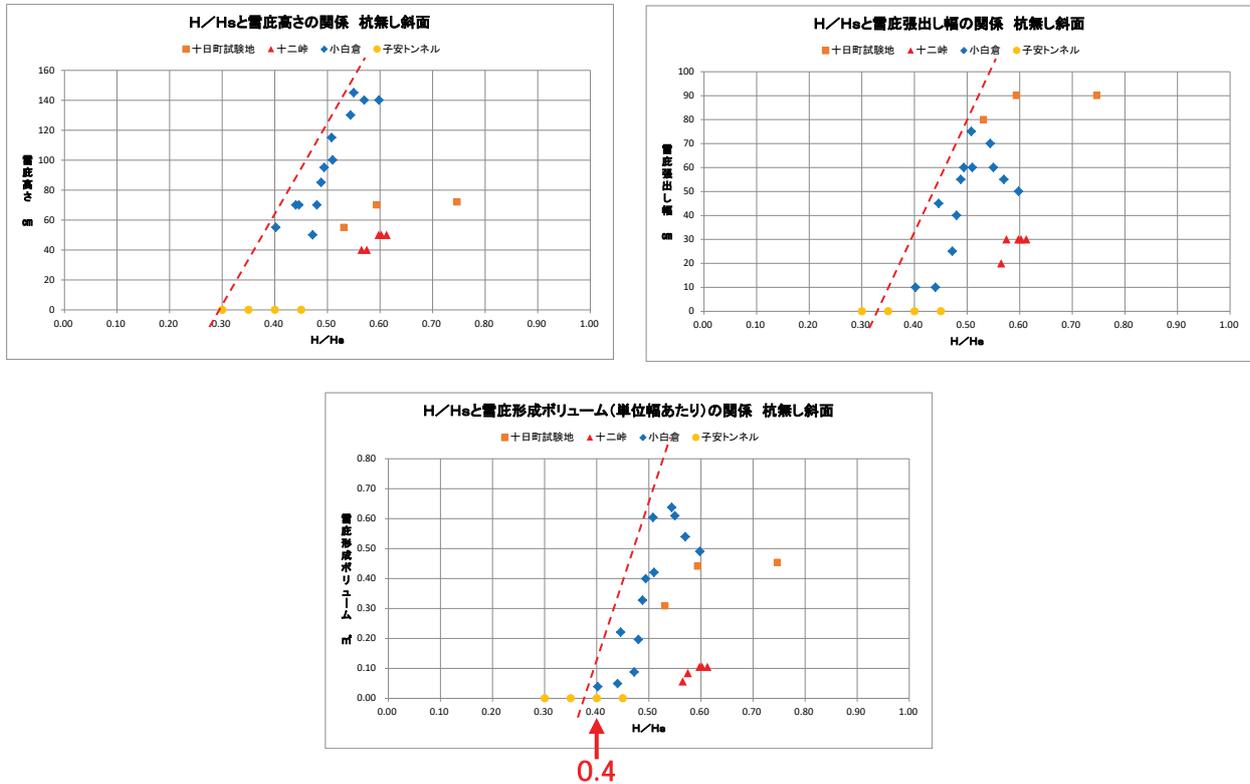


図 6.2 設計積雪深比（ H/H_s ）と雪庇形態の関係 無対策予防柵

各斜面・予防柵とも、積雪深が増える（設計積雪深比が大きくなる）ほど、雪庇高さや雪庇張出し幅が大きくなる傾向が確認できる。その増加率（傾き）は斜面毎にやや異なっており、斜面や予防柵の性状によるものと推測される。

また、雪庇発生最低条件は、設計積雪深比が 0.4 以上ということが読み取れる（雪庇形成ボリュームの散布図より）。意味合いを下図に示す。

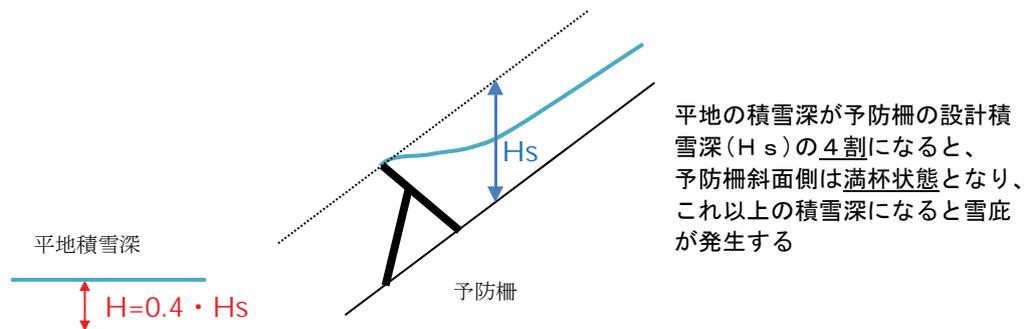


図 6.3 雪庇発生条件説明図

初年度（昨年度）の調査では雪庇の張出しは無かったが、予防柵先端横バー部の積雪高さを読み取って整理している。昨年度のデータを以下に示す。

表 6.2 初年度柵先端部積雪高さ一覧表

年月日	小白倉		十二峠		種苧原		備考
	柵先端積雪高さ cm	張出し幅 cm	柵先端積雪高さ cm	張出し幅 cm	柵先端積雪高さ cm	張出し幅 cm	
1月26日	30	0	—	—	60	0	
2月1日	0	0	30	0	0	0	
2月8日	30	0	40	0	20	0	
2月15日	50	0	70	0	70	0	
2月22日	10	0	50	0	40	0	
3月1日	0	0	30	0	30	0	
3月8日	30	0	30	0	50	0	

このデータを本年度観測の雪庇高さの散布図に追加したものを以下に示す。このうち、初年度と本年度の2ヶ年のデータがあるのは小白倉と十二峠である。

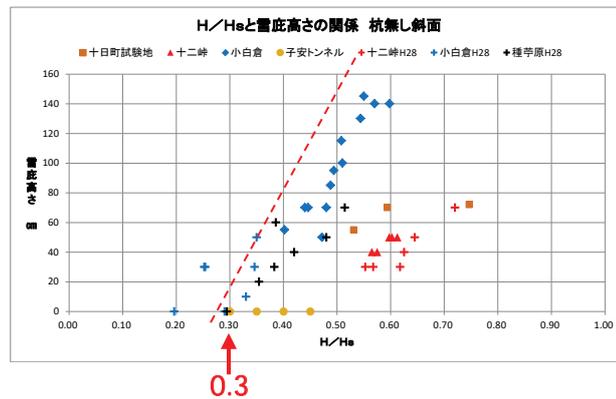


図 6.4 設計積雪深比 (H/Hs) と雪庇高さの関係 無対策予防柵

小白倉（青のマーカ）は、設計積雪深比が小さいところに初年度のデータが埋まり、傾きがやや異なるものの、2ヶ年全体としてほぼ直線的な傾向を示している。

十二峠（赤のマーカ）は、初年度のデータは本年度のデータを取り囲むように分布し、2ヶ年全体として小白倉より傾きが緩いほぼ直線的な傾向が確認できる。

種苧原（黒のマーカ）は昨年度のみ観測であるが、1点を除くとほぼ直線上にのる高い相関性を示している。

この散布図より、予防柵先端部への堆雪は、設計積雪深比が概ね 0.3 以上ということが読み取れる。

6.2 杭による雪庇成長抑制効果の分析

5.1 項に示した「雪庇高さ」、「張出し幅」、「雪庇ボリューム」の時系列変化で、杭無し斜面に比較し、杭設置斜面がほとんどの時点で低減していることから、杭による雪庇成長抑制効果が確認できる。

本項では、杭による雪庇成長抑制効果の活用に向けて、雪庇高さ、雪庇張出し幅、雪庇ボリューム、雪庇ボリューム低減率について、設計積雪深比との関係を分析した。

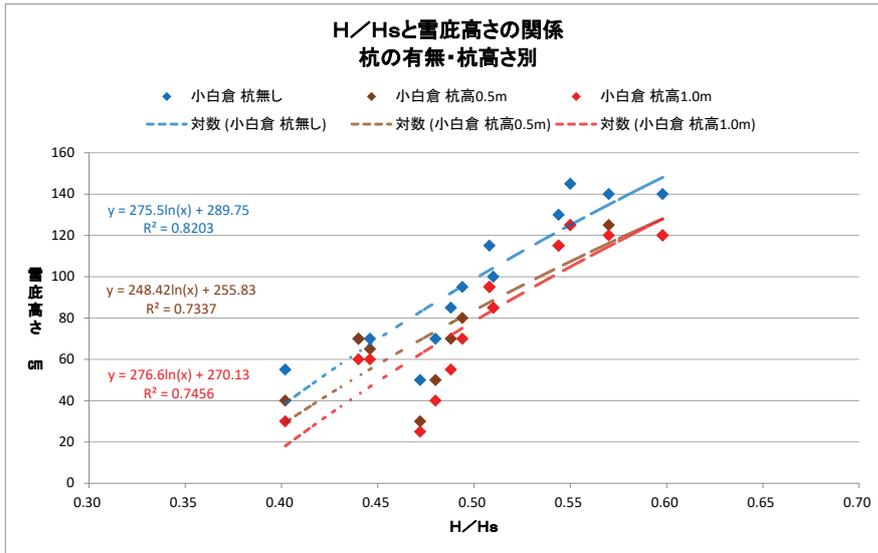
散布図・近似式を次ページ以降に示す。なお、降雪状況等の違いを考慮し本年度のデータのみでの比較とした。

小白倉の散布図より、以下の傾向が確認できる。

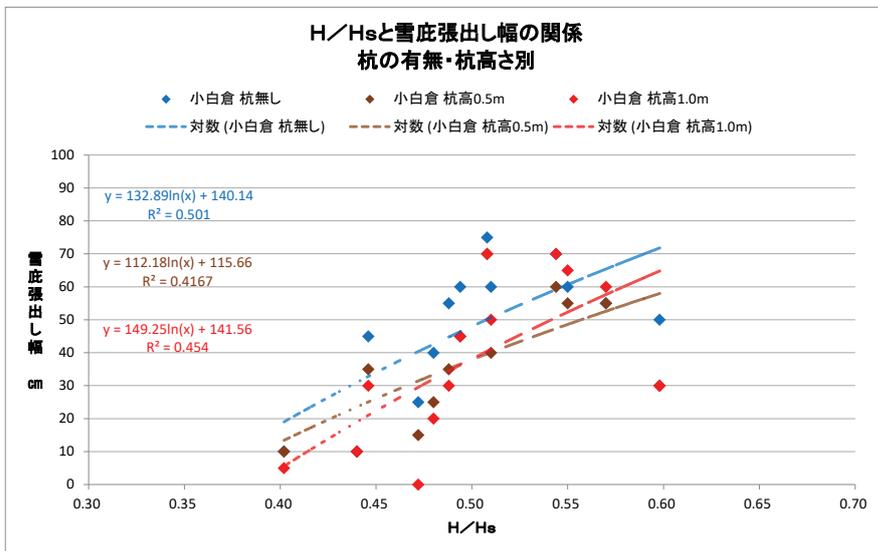
- 設計積雪深比と雪庇高さ・雪庇張出し幅・雪庇ボリュームに正の相関があり、設計積雪深比が大きくなるほど、雪庇高さや雪庇張出し幅、雪庇ボリュームが大きくなる傾向が確認できる。
- 雪庇高さは杭の有無により約 20 cm の差が確認でき、雪庇張出し幅も杭の有無により約 10 cm の差が確認できる。杭高による差ははっきりしない。
- 雪庇ボリュームは設計積雪深比が大きくなるほど杭の有無による差が大きくなる傾向があり、設計積雪深比が約 0.4 で、どちらも収束する（雪庇ボリュームが 0 になる）。

また、十日町試験地の散布図では、以下の傾向が確認できる。

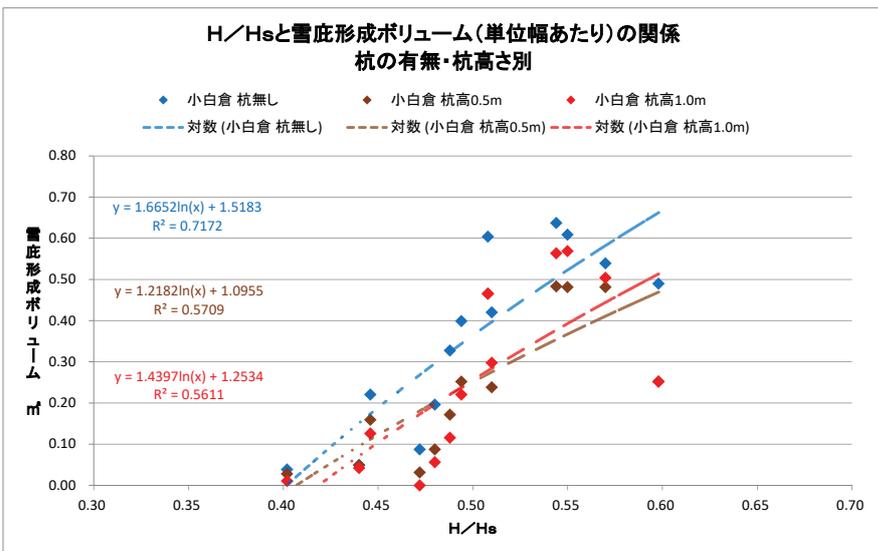
- 雪庇張出し幅は杭の有無により約 17 cm の差が確認できる。



設計積雪深比と雪庇高さに正の相関
杭の有無により約
20 cmの差あり

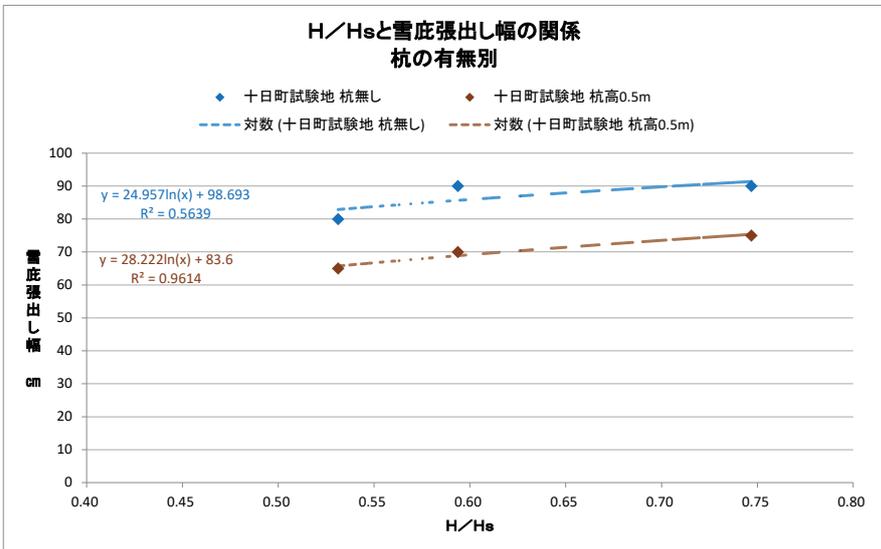
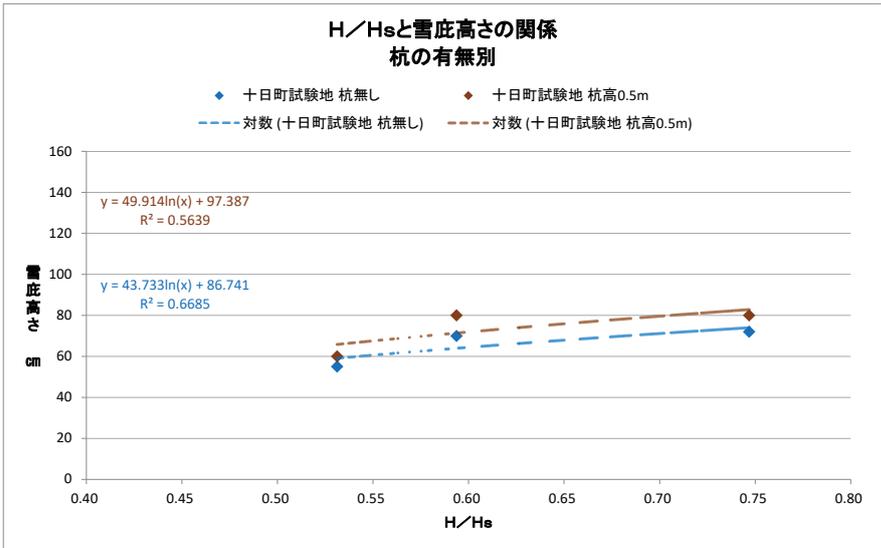


設計積雪深比と雪庇張出し幅に正の相関
杭の有無により約
10 cmの差あり



設計積雪深比と雪庇ボリュームに正の相関
設計積雪深比 0.4
に収束

図 6.5 設計積雪深比と雪庇形成状況の関係 (小白倉)



設計積雪深比と雪庇張出し幅に正の相関
杭の有無により約17 cmの差あり

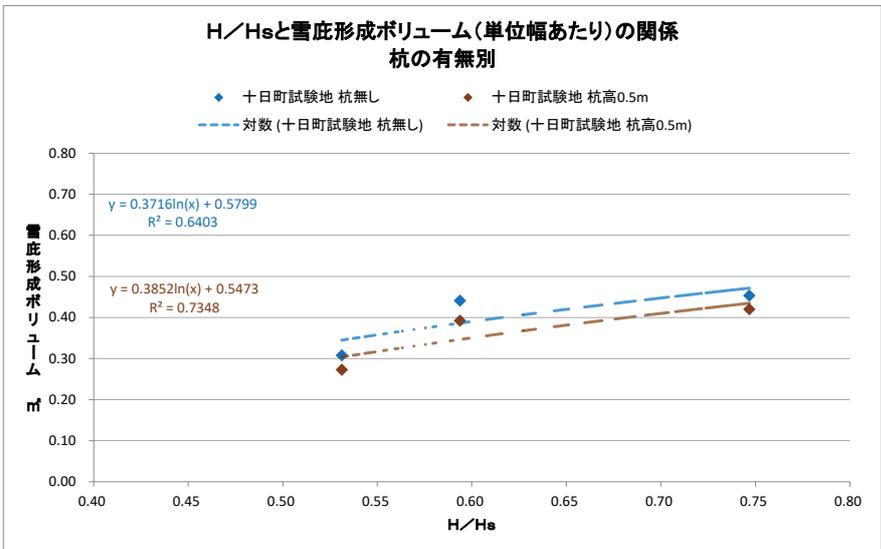


図 6.6 設計積雪深比と雪庇形成状況の関係 (十日町試験地)

次に、雪庇ボリューム低減率の時系列変化について示す。

雪庇ボリューム低減率は以下のように定義し、算定した。

$$\text{雪庇ボリューム低減率} = \frac{(\text{杭無し斜面の雪庇ボリューム} - \text{杭設置斜面の雪庇ボリューム})}{\text{杭無し斜面の雪庇ボリューム}}$$

小白倉では、降雪直後に 0.1 以下だった低減率が、日数が経過するに従い 0.6 以上まで増加している。

十日町試験地では、大きな増加は見られず、0.1 前後で推移している。

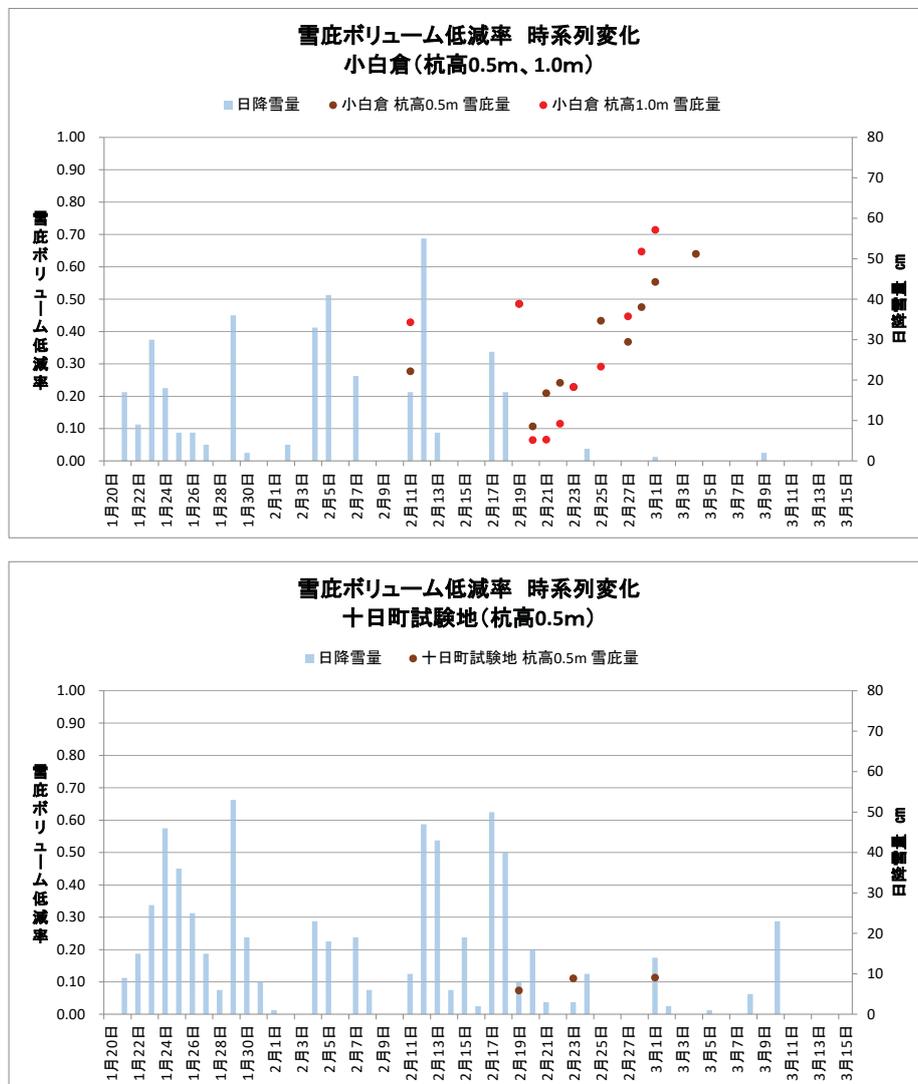


図 6.7 雪庇ボリューム低減率の時系列 (小白倉、十日町試験地)

雪庇ボリューム低減率の設計積雪深比との関係について示す。

小白倉ではばらつきが大きいものの、雪庇ボリューム低減率に設計積雪深比と負の相関がみられる。また、杭高により近似式の傾きにやや違いがあるものの顕著な差はなく、約0.1~0.7の範囲にばらついている。平均値は約0.3であった。

十日町試験地では、同様に負の相関がみられるが近似式の傾きはごく僅かである。平均値は0.1であった。

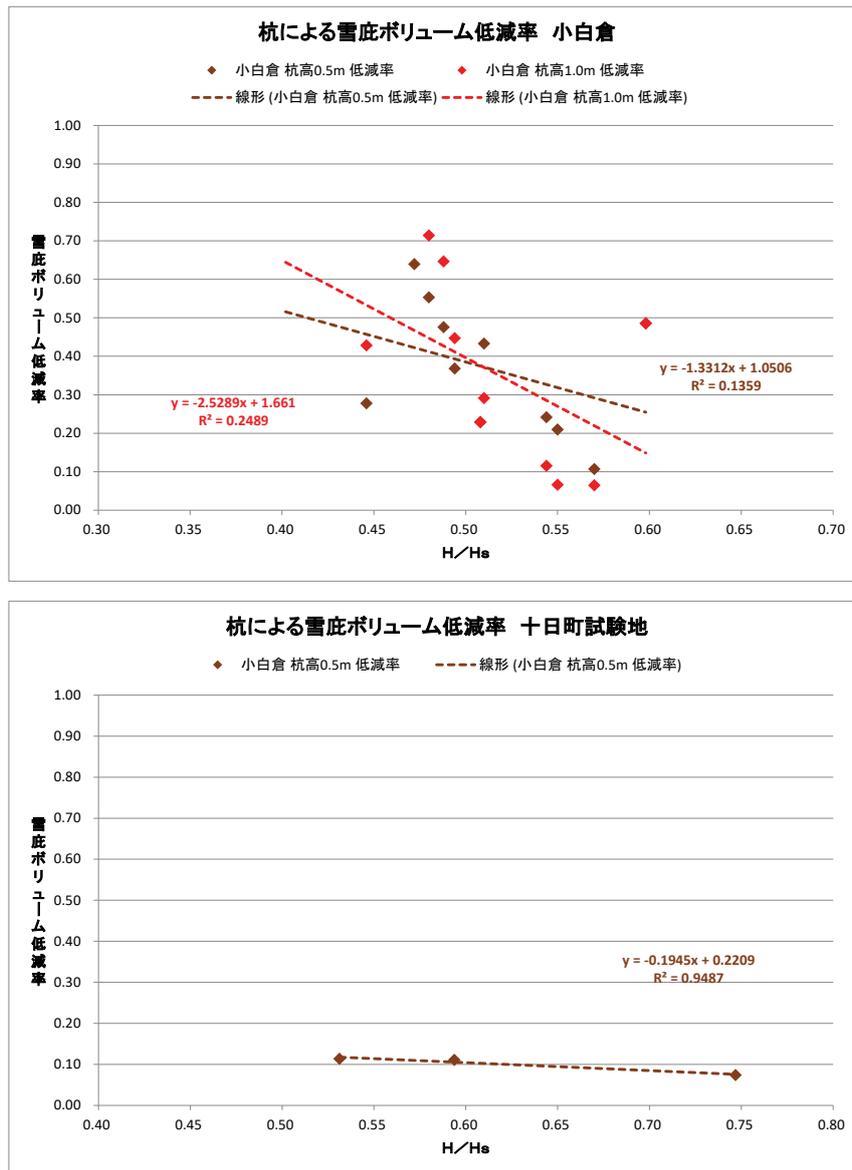


図 6.8 設計積雪深比と雪庇ボリューム低減率の関係（小白倉、十日町試験地）

解析された近似式に基づき、雪庇成長抑制効果について以下に示す。

表 6.3 近似式による設計積雪深比別の雪庇状態（高さ、張出し幅、ボリューム）の推定

【小白倉】

設計積雪深比	区分	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
雪庇高さ	杭無し	-345	-154	-42	37	99	149	191	228	260	290
	杭0.5m	-316	-144	-43	28	84	129	167	200	230	256
	杭1.0m	-367	-175	-63	17	78	129	171	208	241	270
張出し幅	杭無し	-166	-74	-20	18	48	72	93	110	126	140
	杭0.5m	-143	-65	-19	13	38	58	76	91	104	116
	杭1.0m	-202	-99	-38	5	38	65	88	108	126	142
雪庇ボリューム	杭無し	-2.32	-1.16	-0.49	-0.01	0.36	0.67	0.92	1.15	1.34	1.52
	杭0.5m	-1.71	-0.87	-0.37	-0.02	0.25	0.47	0.66	0.82	0.97	1.10
	杭1.0m	-2.06	-1.06	-0.48	-0.07	0.26	0.52	0.74	0.93	1.10	1.25

【十日町試験地】

設計積雪深比	区分	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
雪庇高さ	杭無し	-14	16	34	47	56	64	71	77	82	87
	杭0.5m	-18	17	37	52	63	72	80	86	92	97
張出し幅	杭無し	41	59	69	76	81	86	90	93	96	99
	杭0.5m	19	38	50	58	64	69	74	77	81	84
雪庇ボリューム	杭無し	-0.28	-0.02	0.13	0.24	0.32	0.39	0.45	0.50	0.54	0.58
	杭0.5m	-0.34	-0.07	0.08	0.19	0.28	0.35	0.41	0.46	0.51	0.55

(1) 設計積雪深比と雪庇高さ

■ 小白倉

- ・ 杭設置無しと杭高 1.0m の近似式は概ね並行で、設計積雪深比にかかわらず約 20 cm の抑制効果（杭設置斜面の雪庇高さが小さい）が期待できる。
- ・ 杭高 0.5m の近似式は傾きがやや緩く、設計積雪深比が大きい場合（0.6 程度）は杭高 1.0m と同様に約 20 cm の抑制効果、設計積雪深比が小さい場合（0.4 程度）は約 10 cm の抑制効果が期待できる。

■ 十日町試験地

- ・ 杭高 0.5m の近似式は、杭設置無しに比較して傾きがやや急で、設計積雪深比が大きい場合（0.8 程度）は約 10 cm、設計積雪深比が小さい場合（0.5 程度）は約 7 cm の逆傾向（杭設置斜面の雪庇高さが大きい）となっている。

(2) 設計積雪深比と雪庇張出し幅

■ 小白倉

- ・ 杭高 1.0m の近似式は、杭設置無しに比較してやや急になっており、設計積雪深比が大きい場合（0.6 程度）は約 7 cm の抑制効果、設計積雪深比が小さい場合（0.4 程度）は約 13 cm の抑制効果が期待できる。
- ・ 杭高 0.5m の近似式は傾きがやや緩く、設計積雪深比が大きい場合（0.6 程度）は約 14 cm の抑制効果、設計積雪深比が小さい場合（0.4 程度）は約 5 cm の抑制効果が期待できる。

■ 十日町試験地

- ・ 杭高 0.5m の近似式は、杭設置無しに比較して傾きがやや緩く、設計積雪深比にかかわらず約 17 cm の抑制効果（杭設置斜面の雪庇張出し幅が小さい）が期待できる。

(3) 設計積雪深比と雪庇ボリューム

■ 小白倉

- ・ 杭高 1.0m と杭高 0.5m の近似式は概ね同様に、杭設置無しと比較し傾きが緩く、設計積雪深比が大きい場合 (0.6 程度) は約 0.2 m³ の抑制効果 (杭設置斜面の雪庇ボリュームが小さくなる) が期待でき、設計積雪深比が 0.4 程度で抑制効果はほぼ 0 となる。

■ 十日町試験地

- ・ 杭設置無しと杭高 0.5m の近似式は概ね並行で、設計積雪深比にかかわらず約 0.04 m³ の抑制効果 が期待できる。

(4) 設計積雪深比と雪庇ボリューム低減率

■ 小白倉

- ・ 設計積雪深比と雪庇ボリューム低減率に、ばらつきが大きいものの負の相関性がみられる。
- ・ 雪庇ボリュームの低減率に杭高による顕著な差はみられない。平均値は約 0.3であった。

■ 十日町試験地

- ・ 十日町試験地ではばらつきは少なく平均値は 0.1 であった。

6.3 施設の有無による堆雪形状の比較

グライド防止対策（トライパイル）による予防柵斜面側の堆雪形状への影響は、初年度と本年度の小白倉の断面観測結果より以下の様に確認できた。以下の状況はトライパイルのグライド防止効果によるものと推測される。

- ・初年度のトライパイル設置斜面では、雪面及び積雪層ともに予防柵先端と斜面の間に窪みがあり、本年度の観測結果も概ね同様な傾向である。
- ・初年度、本年度ともに、トライパイル高さ 1m のほうが 0.5m よりもやや窪みが大きい傾向がある。
- ・設置無し斜面では、初年度、本年度ともに雪面及び積雪層には窪みが見られず、予防柵から斜面に向かって緩やかに上昇している。
- ・本年度の設置なし斜面では、柵と斜面間の平坦部積雪がトライパイル設置斜面に比較して明らかに多い傾向が見られる。グライド等の影響により予防柵と斜面間の平坦部へ積雪が溜まった状態と考えられる。

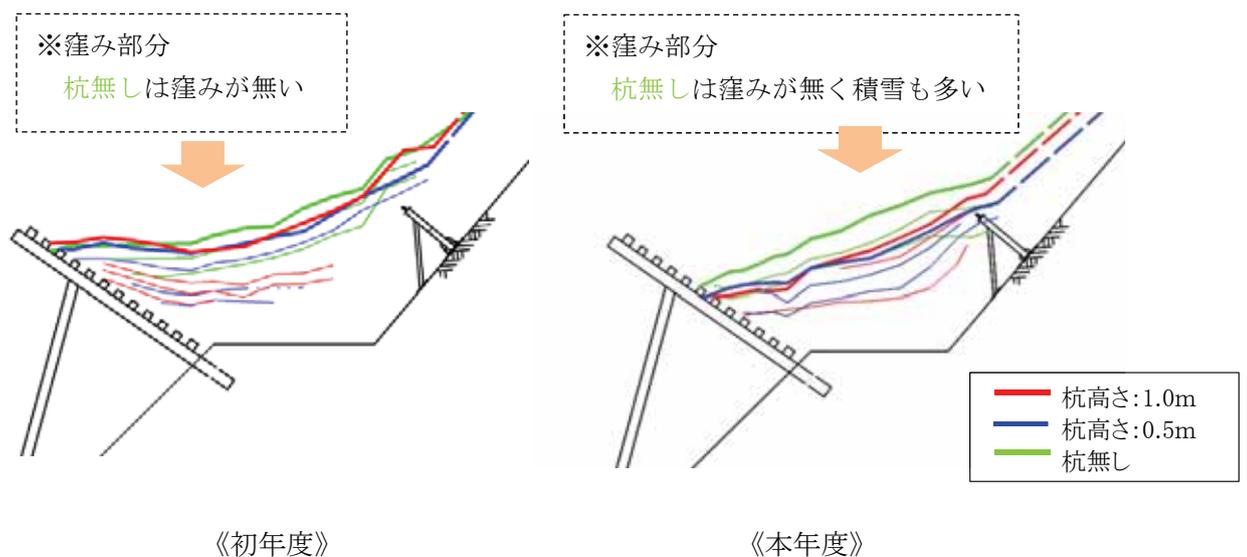


図 6.9 小白倉 断面形状合成図（3 断面を合成）

十日町試験地における観測結果でも以下の様に小白倉と同様な傾向が見られ、木杭によるグライド防止効果と推測される。

- ・杭設置斜面では、雪面及び積雪層ともに木杭と予防柵の間に窪みが確認できる。
- ・杭設置なし斜面では、雪面及び積雪層に窪みは見られず、ほぼ斜面に平行となっている。

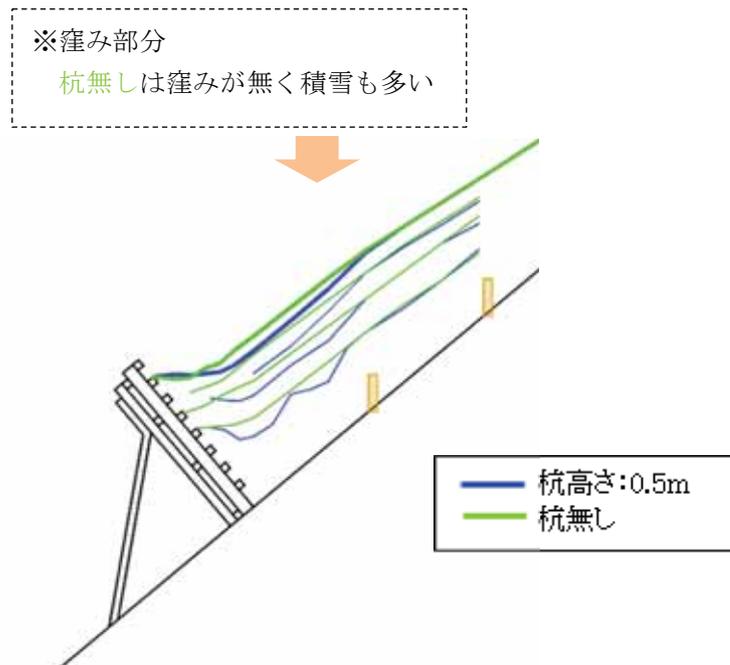


図 6.10 十日町試験地の断面形状合成図（2断面を合成）

柵先端から斜面の間の積雪層に窪みがある場合は、積雪層上部の雪の移動が抑えられて、結果として柵先端からの雪庇の張出しが抑えられると考えられる。小白倉と十日町試験地での積雪断面観測で確認できた積雪層の形状より、雪崩予防杭（トライパイル、木杭）によるグライド防止効果が雪庇成長抑制につながったことが推測される結果が得られた。

6.4 グライド量とクリープ量の観測結果分析

グライド量を斜面別・上下別に比較したグラフを以下に示す。

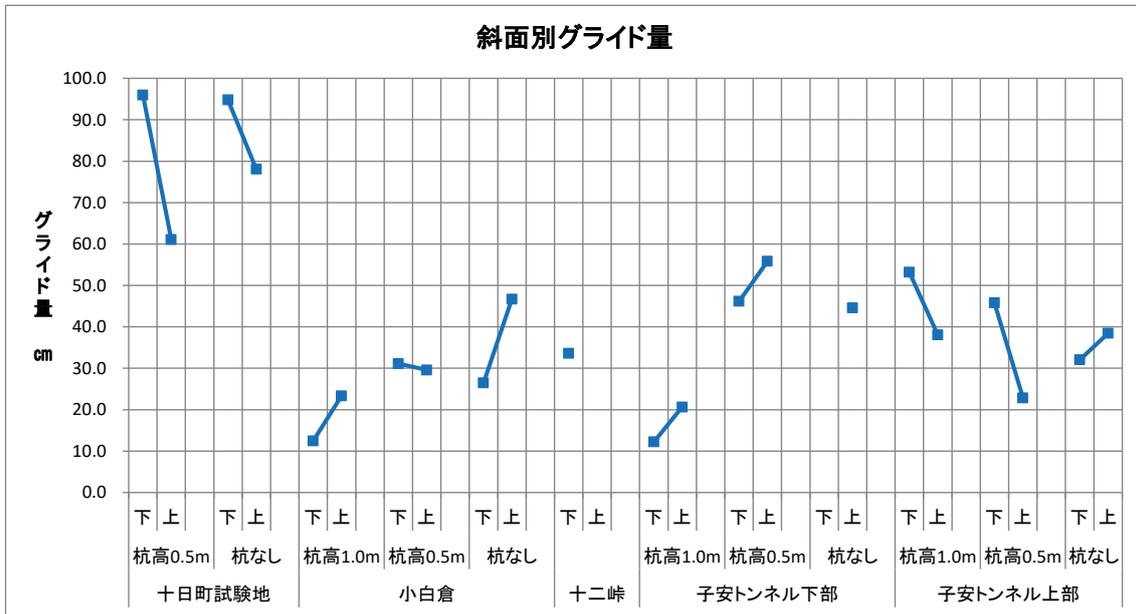


図 6.11 斜面別グライド量

「新編防雪工学ハンドブック」に右図が示されている（調査斜面は十日町試験地と推測される）。斜面上に何らの施設を持たない場合のグライド速度の調査結果である。

本年度の調査は、B・Cの状態（斜面上部にクラック発生）での実施であるので、斜面上部の方がグライド量が大きくなる傾向を示すのが一般的であると判断できる。

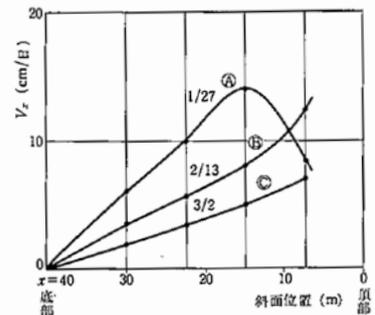


図 2-2-33 斜面のグライド速度分布

調査結果では、小白倉、子安トンネル上部の杭無し斜面で上記傾向が確認できる。一方で十日町試験地の杭無し斜面では逆の傾向であった。

子安トンネル上部の杭設置斜面では下側のグライドの方が大きく、杭設置の影響（効果）と推測される。

7. まとめ

以下に今冬期の気象状況と本年度事業の成果をまとめて示す。

7.1 気象状況と雪庇発生状況

今冬期は2月中旬までは平年を上回る降積雪状況となり、1月下旬の連続降雪で各調査斜面とも予防柵上の積雪が先端部より谷側へ張り出す雪庇が発生した。雪庇の張出し幅は発生当初は小さかったが、その後次第に大きくなり2月中旬にピークとなった。2月下旬になるとまとまった降雪はほとんど無くなり、3月の高温傾向もあって3月上旬には雪庇は解消した。

7.2 雪崩予防柵に堆雪する雪庇形態の把握

昨年度と本年度2か年の対策無し（杭設置無し）斜面での調査結果の分析より、以下の結果が得られた。

- ・ 予防柵先端部への堆雪発生（張出し無しを含む）は、設計積雪深比が概ね0.3以上であった。
- ・ 雪庇発生（張出し有）の最低条件は、設計積雪深比が0.4以上であった。
- ・ 各斜面・予防柵とも、積雪深が増える（設計積雪深比が大きくなる）ほど、雪庇高さや雪庇張出し幅が大きくなる傾向を確認（一般的な傾向をデータで確認）した。
- ・ 設計積雪深比との関係（増加率・傾き）は斜面毎にやや違いがあり、斜面や予防柵の性状によるものと推測された。

7.3 施設による雪庇成長抑制効果の検証

本年度の調査結果の分析より、以下の結果が得られた。

- ・ 施設の有無による雪庇形成状態（大きさ）の比較より、トライパイルや木杭の設置による雪庇成長抑制効果を確認した。
- ・ 雪庇ボリュームの低減率は、小白倉では杭高による顕著な差はなく、10～70%の範囲でばらつきが大きく、平均では約30%であった。十日町試験地ではばらつきは少なく約10%であった。
- ・ 施設による雪庇ボリュームの低減率は、10%～30%程度が期待できるが、雪庇ボリュームが大きい時は概ね10%と判断できる。
- ・ 雪崩予防杭（トライパイル・木杭）設置斜面と設置無し斜面では、グライド防止効果と推測される堆雪状況の違いがみられ、雪崩予防杭によるグライド防止効果が雪庇成長抑制につながっていることが推測される結果となった。

8. 課題（次年度に向けて）

初年度・本年度の観測調査で、雪崩予防杭によるグライド防止が雪庇成長抑制に効果があり、その効果量は、雪庇ボリュームの低減率にして 10%～30%であることが解析された（ただし雪庇ボリュームが大きい時は 10%程度の低減率になると推測される）。

しかしながら、初年度は小雪であり、本年度は 2 月末からまとまった降雪がほとんど無く 3 月は暖かい日が続くなど、例年にない気象状況であった。

このような状況から、引き続き斜面条件の異なる斜面等で雪崩予防杭の雪庇成長抑制効果の検証調査を実施し、適用条件などを整理・検証していくことが必要であり課題と考える。

また、雪崩予防杭による雪庇成長抑制効果は間接的な効果であり、その効果量は気象条件などに大きく影響を受けると考えられる。このため、直接的な対策施設として、予防柵先端部への施設設置等についてもあわせて検討していくことが必要と考える。