

一般社団法人新潟県建設技術センター

平成 30 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 31 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. 事業の目的	1
2. 調査内容の概要	1
2.1 雪崩予防柵に堆雪する雪底形態の把握	1
2.2 施設による雪底成長抑制効果の解明	1
3. 2年次までの研究成果の概要	3
3.1 雪崩予防柵への雪底発生条件	3
3.2 雪崩予防杭による雪底成長抑制効果	7
3.3 2年次までの成果のまとめ	1 1
4. 本年度冬期の調査内容、結果	1 2
4.1 調査斜面	1 2
4.2 雪底形成状況	1 5
4.3 雪崩予防柵の雪底発生条件（本年度観測データを追加して整理）	1 8
4.4 予防柵上の雪底形成メカニズム	2 3
4.5 雪崩予防杭による雪底成長抑制効果（本年度観測データを追加して整理）	2 5
4.6 本年度までの成果のまとめ	3 1
5. 柵上部への雪底防止工法	3 3
5.1 積雪深と気温	3 3
5.2 実験供試体および観測方法	3 3
5.3 雪底形成メカニズムと雪底防止工の効果	3 5
5.4 雪底防止工の効果	4 1
5.5 まとめ	4 1
5.6 雪底軽減対策実施事例（三俣地区）	4 2
6. 事業のまとめ	4 6

巻末資料

1. 事業の目的

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。

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した。具体的には、補助施設により雪庇の成長を抑制・防止する方法の検討と、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ことである。

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・昨年度（2年次）に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、本年度（最終年次）には雪崩予防杭を用いた手法のほか、予防柵上部に設ける手法の検討を行い、雪庇の成長抑制効果の確認を行った。

表 2.1 年度別調査課題

課題	平成 28 年度 初年度	平成 29 年度 2 年次	平成 30 年度 最終年次
雪底の成長特性の検討			
対策工法による雪底抑制効果検討			
雪崩予防杭による方法			
柵上部への雪底防止工法			
手引書（素案）の作成			

表 2.2 年度別調査対象地点

【平成 28 年度】

地点名	路線番号	路線名 地 名	斜面状況		30年確率 積雪深	既存予防柵			調査目的
			標高	斜面長		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	雪崩予防杭の雪底成長抑制 効果比較観測調査
斜面形状が等斉・平行、柵の配置が均一で、比較観測に適している									
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	雪底成長形態観測調査
斜面が急勾配で雪底の発生・成長の可能性が高い。									
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)	雪底成長形態観測調査
除雪区間の直近、アクセス良									
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)	雪底成長形態観測調査
除雪区間の直近、アクセス良									

【平成 29 年度】

地点名	路線番号	路線名 地 名	斜面状況		30年確率 積雪深	既存予防柵			調査目的
			標高	斜面長		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	雪崩予防杭の雪底成長抑制 効果比較観測調査
H28年度トライパイル設置済、継続観測。									
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	雪底成長形態観測調査
斜面が急勾配で雪底の発生・成長の可能性が高い。									
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 十日町市松之山水梨 子安トンネル坑口付近	280～310m	数十m	500cm	5.6m	35度	鋼製	雪底成長形態観測調査 雪崩予防杭の雪底成長抑 制効果比較観測調査
上段柵があり、上段柵直下のへこみ状況も観測可能。2箇所で観測を計画。									
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	雪崩予防杭の雪底成長抑 制効果比較観測調査
勾配40度程度、等斉斜面（人工斜面）、実験斜面で予防杭の有無による違い（効果）を把握。									

【平成 30 年度】

地点名	路線番号	路線名 地 名	斜面状況		30年確率 積雪深	既存予防柵			調査目的
			標高	斜面長		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	雪崩予防杭の雪底成長抑制 効果比較観測調査
H28年度トライパイル設置済、継続観測。									
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	雪崩予防杭の雪底成長抑 制効果比較観測調査
勾配40度程度、等斉斜面（人工斜面）、実験斜面で予防杭の有無による違い（効果）を把握。									

3. 2 年次までの研究成果の概要

3.1 雪崩予防柵への雪底発生条件

昨冬期は 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底が発生・成長した。

- 雪底の発生・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、「雪底高さ」、「張出し幅」、「雪底ボリューム」との関係を求める指標とした。

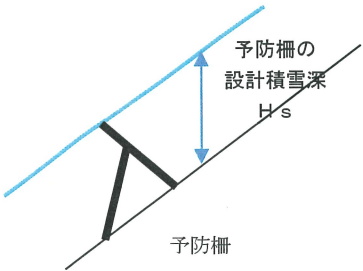


図 3.1 予防柵の設計積雪深

以下に各斜面・予防柵の設計値等を示す。

表 3.1 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

設計積雪深比は以下のように定義し、算式した。

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

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

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

雪底発生条件を把握するため、設計積雪深比（H/H_s）との関係で、雪底高さ、雪底張出し幅、雪底形成ボリューム（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。

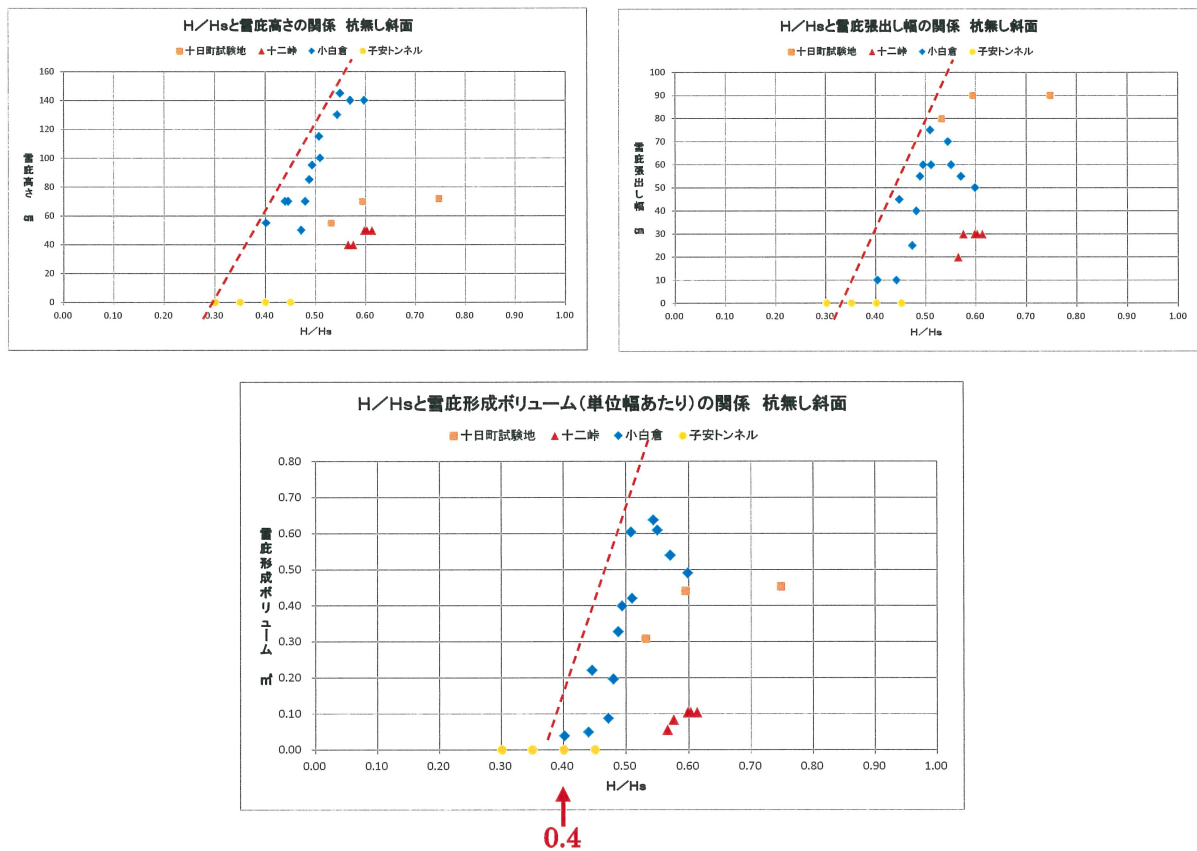


図 3.2 設計積雪深比（H/H_s）と雪底形態の関係 無対策予防柵

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、雪底高さや雪底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、雪底発生の最低条件は、設計積雪深比が0.4以上ということが読み取れる（雪底形成ボリュームの散布図より）。意味合いを下图に示す。

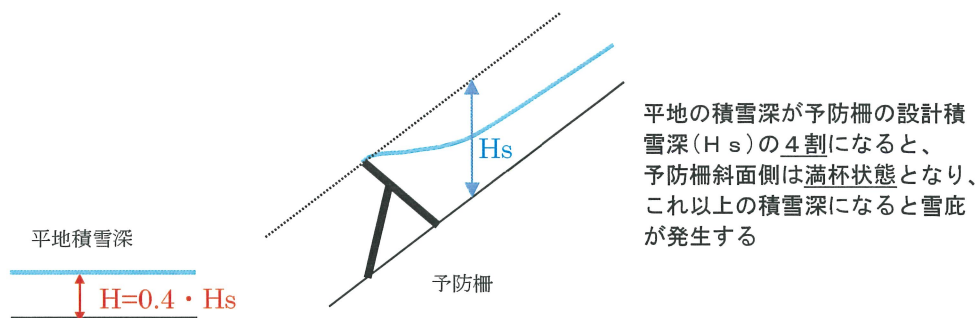


図 3.3 雪底発生条件説明図

初年度（H28 年度）の調査では雪底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。

このデータを本年度観測の雪底高さの散布図に追加したものを以下に示す。このうち、H28 年度と H29 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。

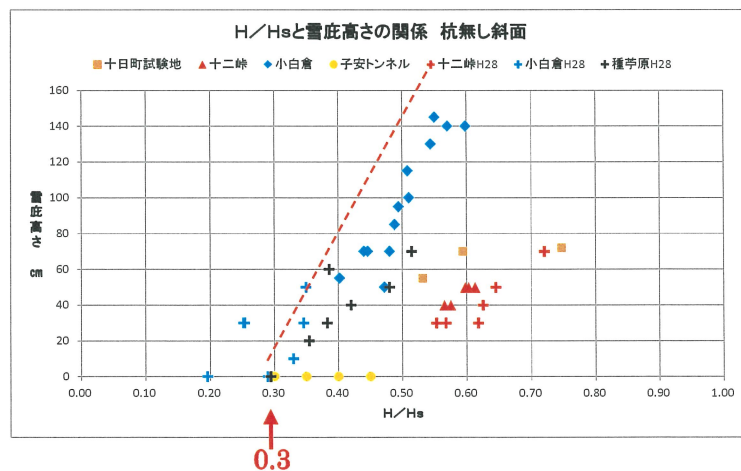


図 3.4 設計積雪深比 (H/H_s) と雪底高さの関係 無対策予防柵

小白倉（青のマーカー）は、設計積雪深比が小さいところに H28 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（赤のマーカー）は、H28 年度のデータは H29 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。

種芋原（黒のマーカー）は H28 年度のみを観測であるが、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。

雪崩予防柵への雪底発生条件（2 年次までの結果）

- ・ 雪底発生の条件は、
設計積雪深比が 0.4 以上
- ・ 予防柵先端部への堆雪発生条件は、
設計積雪深比が概ね 0.3 以上

3.2 雪崩予防杭による雪庇成長抑制効果

初年度は小雪となり、雪庇は発生しなかった。

予防柵先端部への堆雪は見られたが、張り出しがごく僅かで、雪庇状態にならなかった。

2 年次は 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。

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。

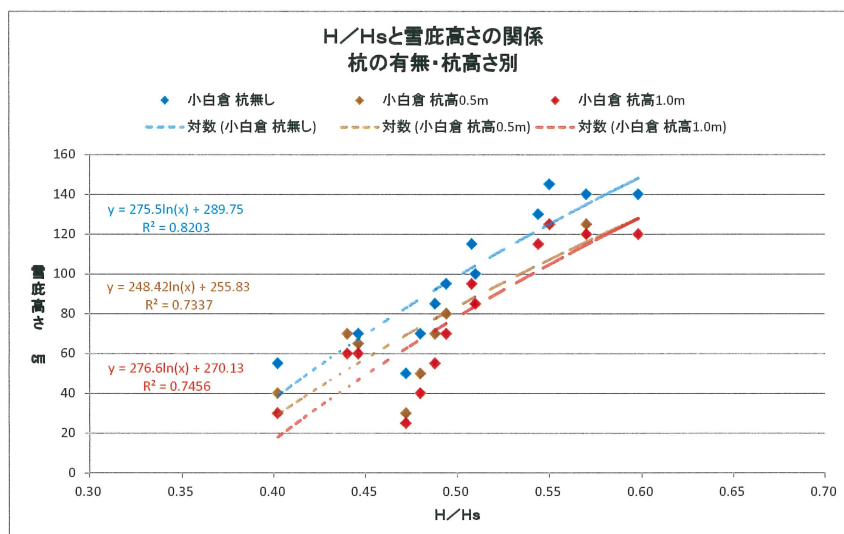
散布図・近似式を次ページ以降に示す。

小白倉の散布図より、以下の傾向が確認できる。

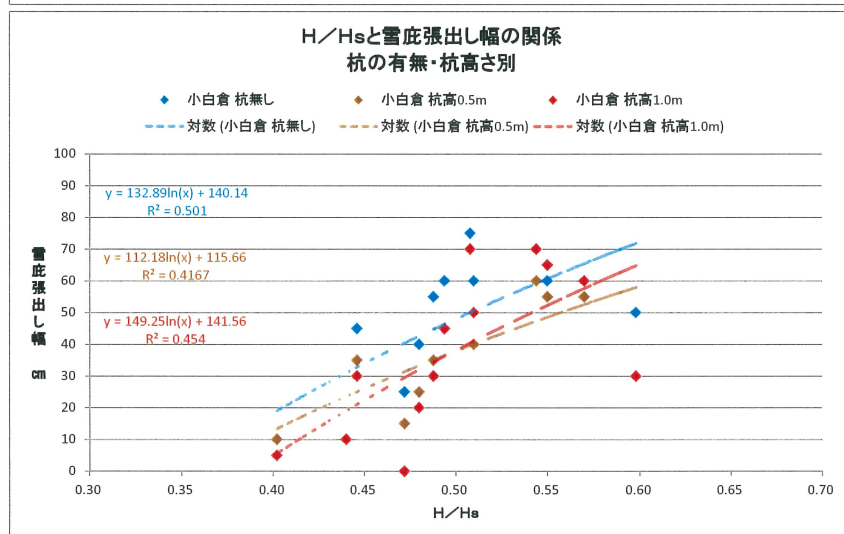
- ・設計積雪深比と雪庇高さ・雪庇張出し幅・雪庇ボリュームに正の相関があり、設計積雪深比が大きくなるほど、雪庇高さや雪庇張出し幅、雪庇ボリュームが大きくなる傾向が確認できる。
- ・雪庇高さは杭の有無により約 20 cm の差が確認でき、雪庇張出し幅も杭の有無により約 10 cm の差が確認できる。杭高による差ははっきりしない。
- ・雪庇ボリュームは設計積雪深比が大きくなるほど杭の有無による差が大きくなる傾向があり、設計積雪深比が約 0.4 で、どちらも収束する（雪庇ボリュームが 0 になる）。

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。

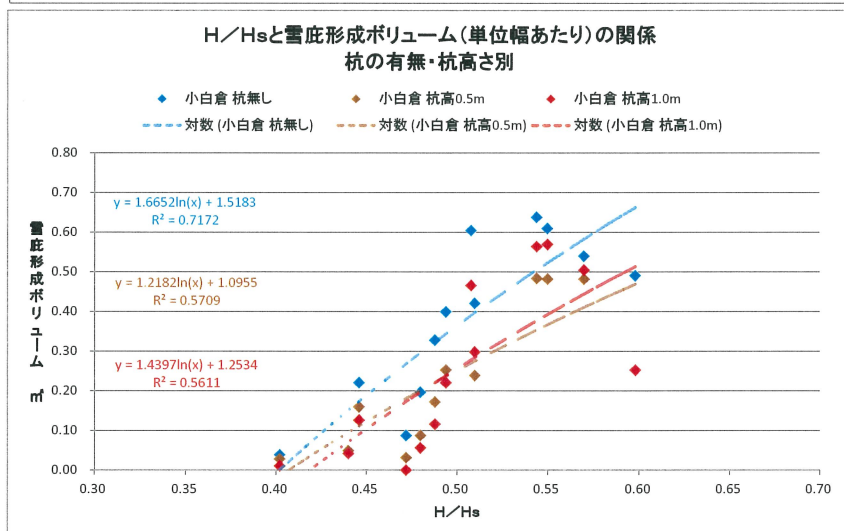
- ・雪庇張出し幅は杭の有無により約 17 cm の差が確認できる。



設計積雪深比と雪底高さに正の相関
杭の有無により約
20 cmの差あり

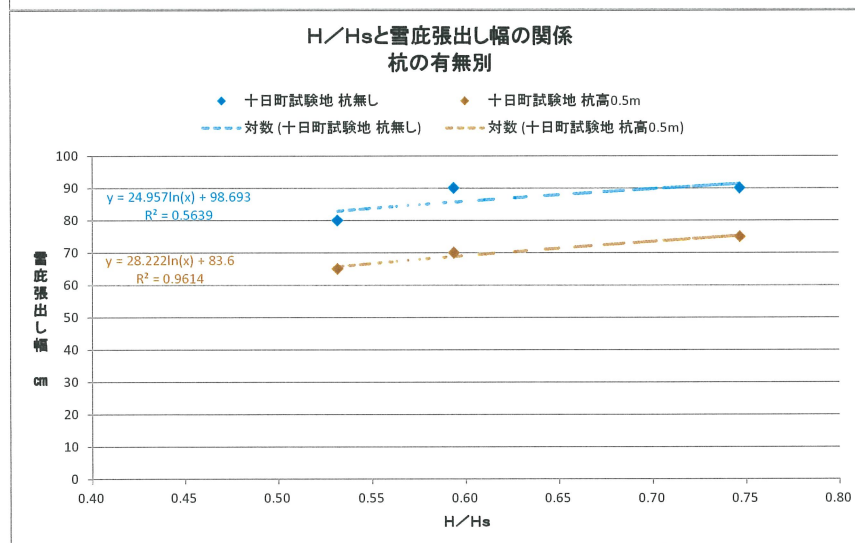
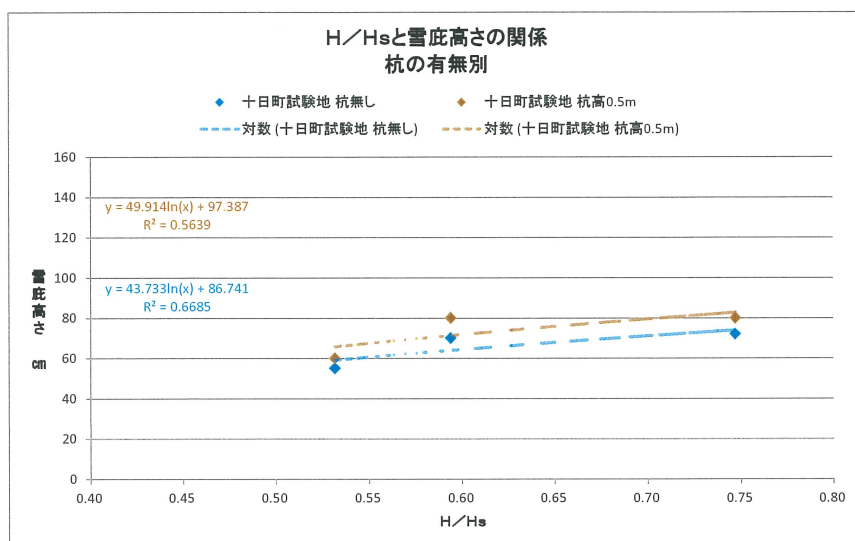


設計積雪深比と雪底張出し幅に正の相関
杭の有無により約
10 cmの差あり



設計積雪深比と雪底ボリュームに正の相関
設計積雪深比 0.4
に収束

図 3.5 設計積雪深比と雪底形成状況の関係 (小白倉)



設計積雪深比と雪底張出し幅に正の相関
杭の有無により約17 cmの差あり

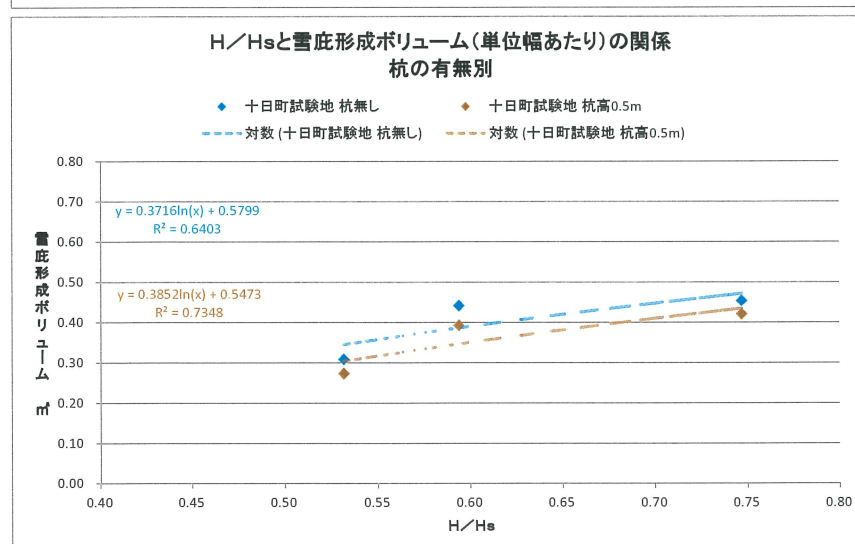


図 3. 6 設計積雪深比と雪底形成状況の関係 (十日町試験地)

雪底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。
 雪底ボリューム低減率は以下のように定義し、算定した。

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

小白倉ではばらつきが大きいものの、雪底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。

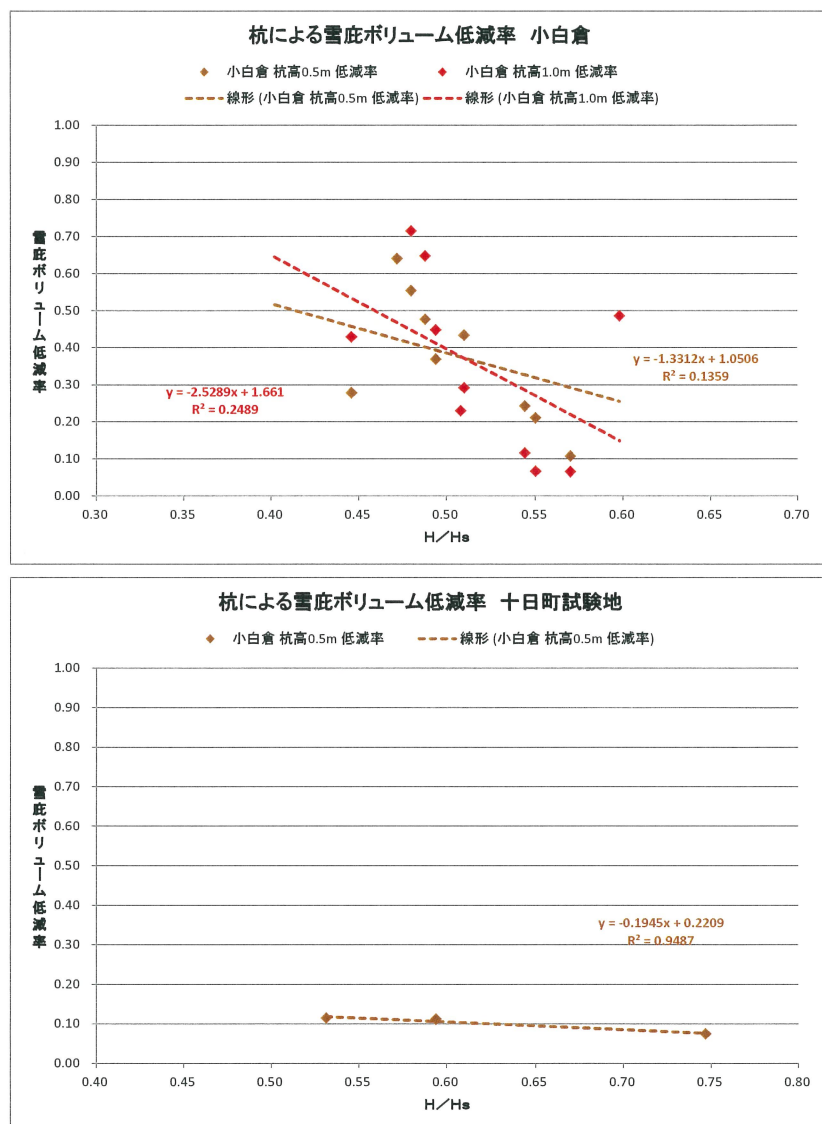


図 3.7 設計積雪深比と雪底ボリューム低減率の関係（小白倉、十日町試験地）

3.3 2年次までの成果のまとめ

雪崩予防杭による雪底成長抑制効果の2年次までの成果を以下に示す。

(1) 設計積雪深比と雪底ボリューム

■小白倉

- ・杭高 1.0m と杭高 0.5m の近似式は概ね同様に、杭設置無しの近似式と比較して傾きが緩く、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（杭設置斜面の雪底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

- ・杭設置無しの近似式と杭高 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。

(2) 設計積雪深比と雪底ボリューム低減率

■小白倉

- ・設計積雪深比と雪底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。
- ・雪底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。

雪崩予防杭の雪底成長抑制効果（2年次までの結果）

- ・雪底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。
- ・施設による雪底ボリュームの低減率は、10%～30%程度が期待できるが、雪底ボリュームが大きい時は概ね 10%と判断できる。

4. 本年度冬期の調査内容、結果

4.1 調査斜面

本年度は調査地点を絞り、カメラを集中的に配置した観測体制をとった。調査地点は、小白倉と十日町試験地とした。

表 4.1 カメラ設計箇所一覧

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	雪崩予防杭の雪底成長抑制 効果比較観測調査
H28年度トライパイル設置済、継続観測。									
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	雪崩予防杭の雪底成長抑制 効果比較観測調査
勾配40度程度、等斉斜面（人工斜面）、実験斜面で予防杭の有無による違い（効果）を把握。									

【小白倉】

小白倉は、事業初年度より調査斜面とした地点である。横に並んだ同仕様の柵 3 基を対象として、トライパイル 0.5m、1.0mを設置して、設置なしの柵との比較観測を行った。



図 4.1 小白倉 対象斜面・予防柵位置



写真 4.1 トライパイル設置状況（小白倉）

また、同地点の別の柵を対象に、柵上部への雪底防止工法の効果調査を実施した。杭による効果は間接的なものでほかの要素に影響を受けるため、直接的な工法として効果調査を実施したものである。詳細は「5. 柵上部への雪底防止工法」を参照。

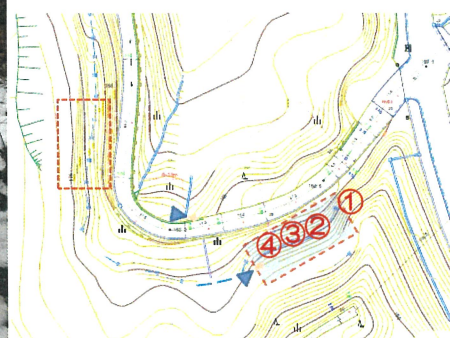
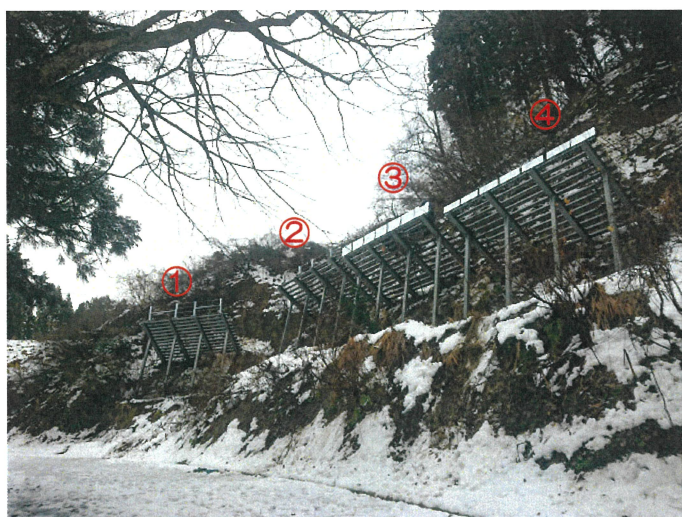


写真 4.2 柵上部雪底防止工法設置状況（小白倉）

図 4.2 小白倉 対象斜面・予防柵位置図

①ワイヤー1m ②ワイヤー0.5m ③三角板 0.5m ④三角板 0.3m

【十日町試験地実験斜面】

十日町試験地は、2 年次調査から調査斜面とした。
実験斜面下部に予防柵が 2 基横並びに設置されており、木杭 0.5m を設置して、設置なしの柵との比較観測を行った。



写真 4.3 木杭設置状況（十日町試験地）

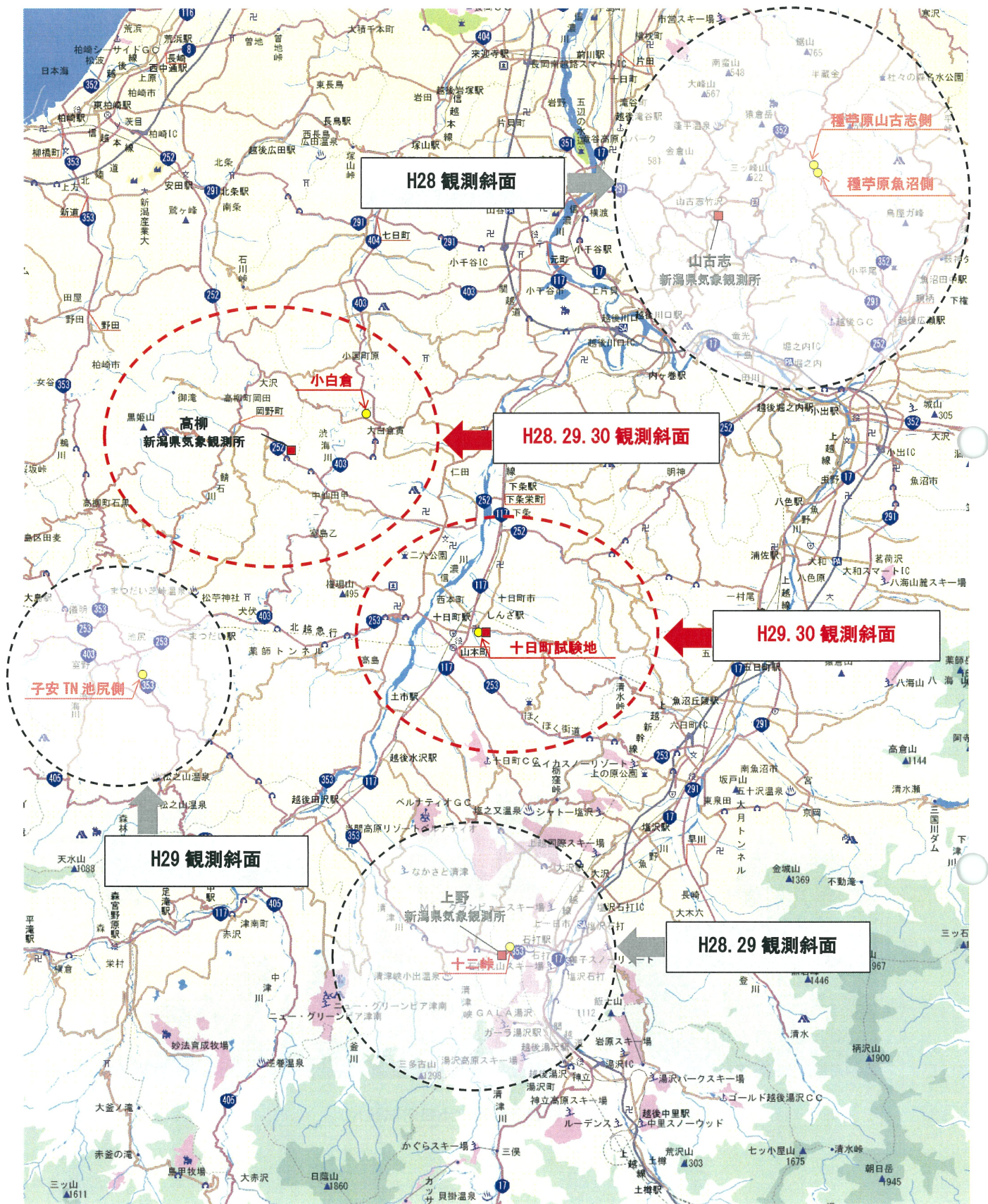


図 4.3 本年度観測斜面位置図（全体）

4.2 雪底形成状況

冬期観測として、調査対象斜面において連続自動写真撮影、定期的に観測員が現地に入っている写真撮影、積雪断面観測を行った。積雪断面観測の結果は巻末に示す。

今冬期は暖冬傾向で、「小白倉」、「十日町試験地」とともに平年を下回る降積雪状況であった。このため、連続して長期間雪底状態となることはなく、大きな雪底に成長することなかったが、連続写真撮影や定期写真撮影等で小規模な雪底の形成が確認された時期があった。

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

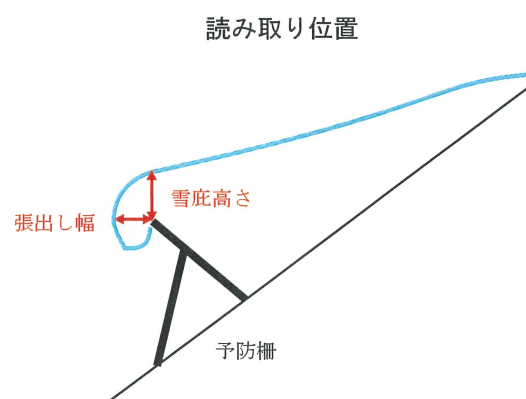


図 4.4 読み取り（計測）位置図

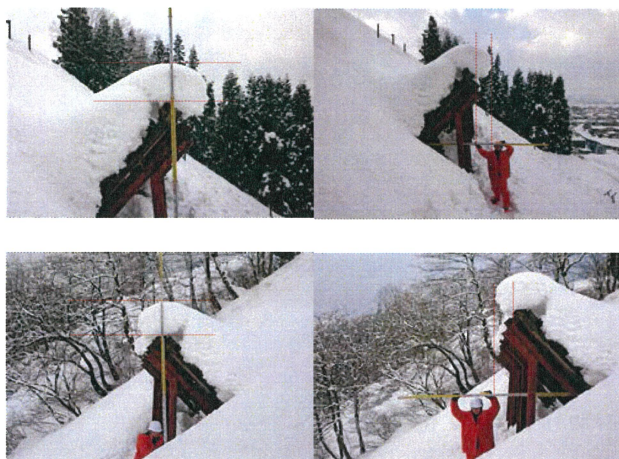
調査対象予防柵の雪底形成状況（連続写真撮影、定期写真撮影・現地観測より判読・整理）を次ページに一覧で示す。また、「雪底高さ」及び「雪底張出し幅」の時系列グラフと、以下の算式で算出した単位幅あたりの「雪底ボリューム」の時系列グラフもあわせて示す。

単位幅あたりの雪底ボリューム（雪底断面積）を以下の算式で定義

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

【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	
1月29日	50	35	60	30	現地計測
2月1日	65	30	70	30	
2月3日	50	15	50	30	
2月10日	40	10	45	25	
2月13日	45	10	45	30	
2月15日	40	25	40	45	



平成 31 年 1 月 29 日計測

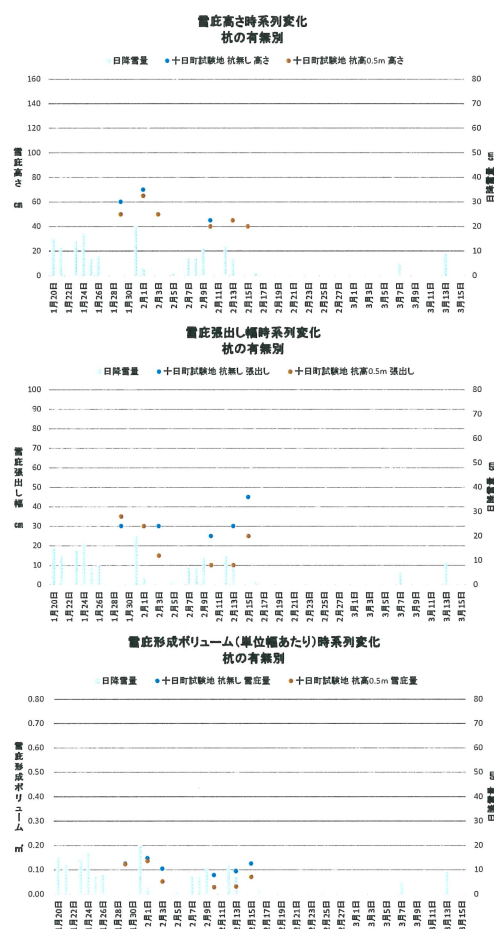
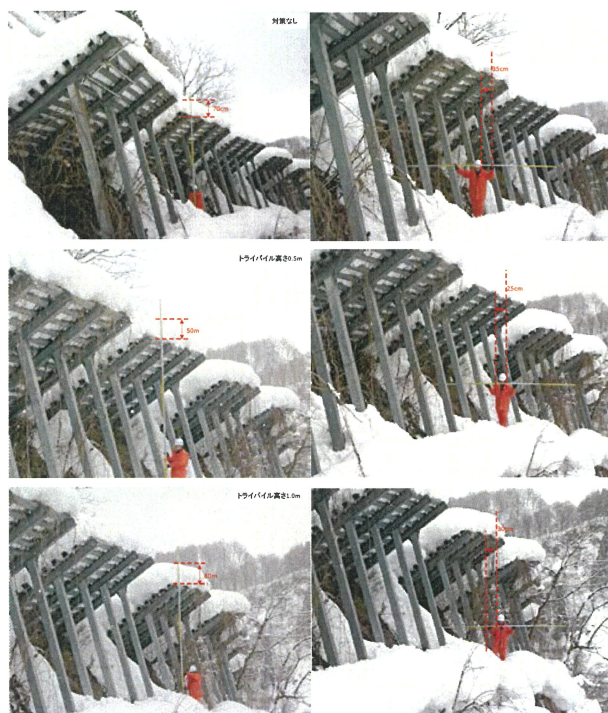


図 4.5 雪庇形成状況（十日町試験地）

【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
	雪底高さ cm	張出し幅 cm	雪底高さ cm	張出し幅 cm	雪底高さ cm	張出し幅 cm	
1月27日	55	25	50	30	70	40	
1月28日	50	30	45	25	65	40	
1月29日	45	25	40	25	60	35	現地計測
1月30日	50	25	40	30	60	30	
1月31日	45	20	35	25	55	25	
2月3日	30	15	30	15	40	20	
2月10日	30	20	25	15	45	25	
2月15日	40	25	40	20	50	30	
2月17日	35	15	30	15	45	20	
2月18日	35	15	30	15	40	20	
2月19日	30	10	20	10	30	15	



平成 31 年 1 月 29 日計測

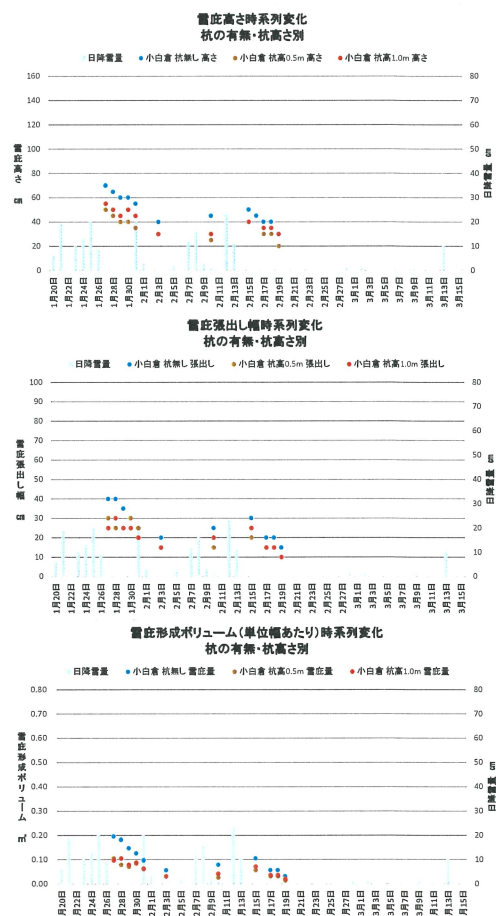


図 4.6 雪底形成状況（小白倉）

4.3 雪崩予防柵の雪庇発生条件（本年度観測データを追加して整理）

次ページに、昨年度と本年度の代表的な雪庇発生時（確認時）の各斜面の状況写真を示す。合わせて各予防柵と斜面の断面図を参考のために示した。

同じ大きさ（高さや張り出し幅）でも、H29 年度は下図のように積雪にくぼみが無く、クリープなどの力は斜面下部方向に働くため、気象状況次第では雪庇が張り出して大きく成長し、落下に至る恐れがある。

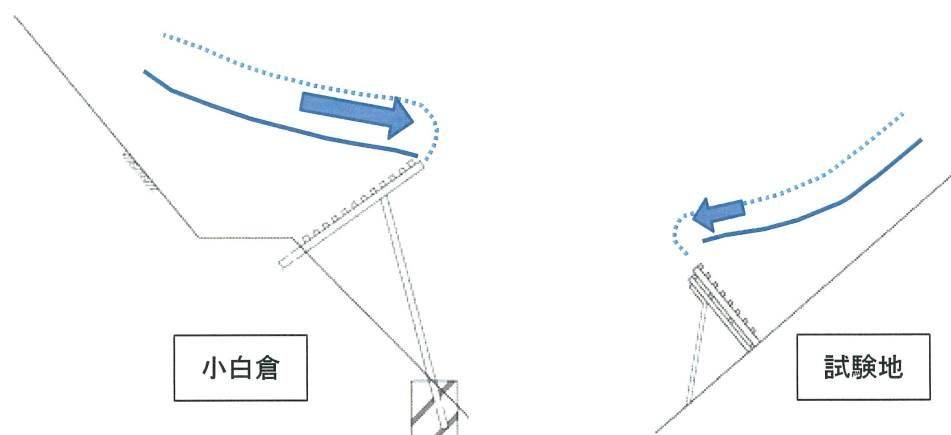


図 4.7 H29 年度雪庇形成状況模式図

対して本年度（H30 年度）は柵前面の斜面側にくぼみがあり、柵の先端部へ積雪しただけで、これらと危険な（落下が雪崩の誘因になる、または大きな塊で道路へ落下するような）雪庇とは区別すべきと思われる。

本年度観測した雪庇については、ほとんどが下図のような状況であった。

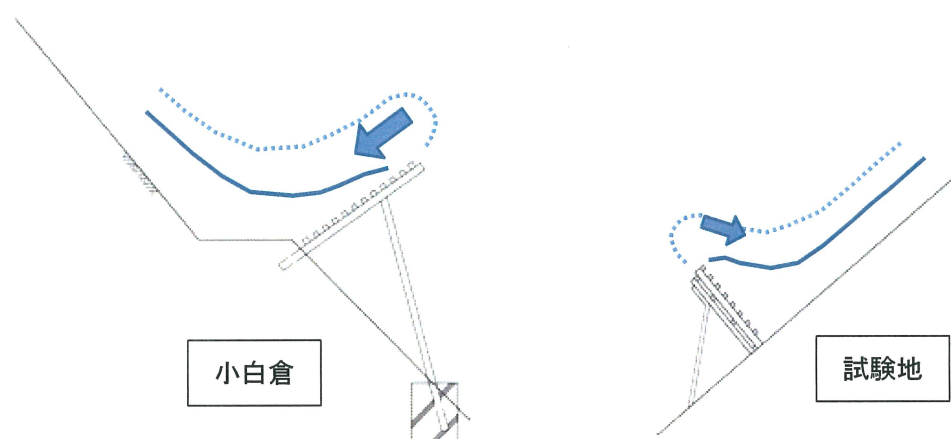
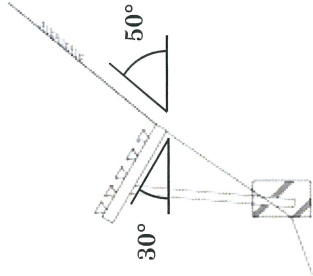


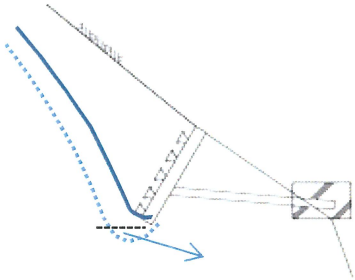
図 4.8 H30 年度雪庇形成状況模式図

小白倉	断面図		H29 雪庇写真	H30 雪庇写真
十日町試験地	断面図		H29 雪庇写真	H30 雪庇写真

十二峠		
断面図	H29 雪庇写真	H30 雪庇写真
		

十二峠は斜面が急で柵の傾きも小さく、小白倉の様に柵と斜面の間に小段部分がない。

このため予防柵斜面側はすぐに満杯状態となって雪庇が大きく成長する状況と
思われたが、写真に示すように柵の先端部からの張出しが少なく、柵上の積雪が
頻繁に柵から落下するため、雪庇が成長しにくいものと考えられる。



以下に前項で示した、設計積雪深比 (H/H_s) との関係で、雪底高さ、雪底張出し幅、雪底形成ボリューム (単位幅あたり) の傾向をとりまとめた昨年度作成した散布図に、本年度のデータを追加した散布図を示す。

昨年と同様、対象斜面は杭を設置していない斜面 (無対策斜面) とした。また、計測データの確認を再度行い、雪底の張出し幅が 30cm 以下の小規模のデータは除外した。同様に数日間の連続降雪直後の計測データ 1 件も条件が異なることから解析対象から除外した。

※しきい値の 30cm は、予防柵横バー間隔の一般的な値を参考に設定したものである。

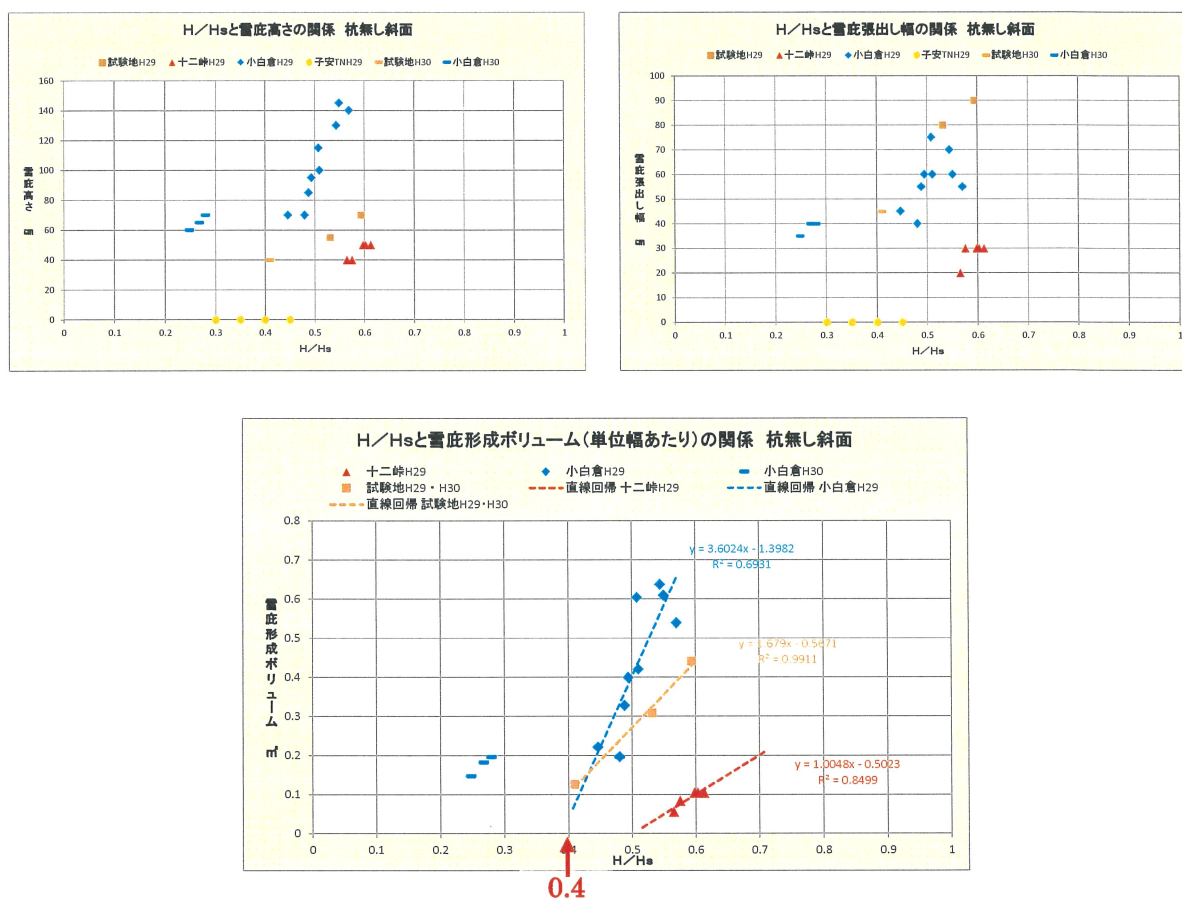


図 4.9 設計積雪深比 (H/H_s) と雪底形態の関係 無対策予防柵

上記散布図より各斜面で傾向が異なっていることが確認できる。

小白倉は昨年度と本年度で大きく分布が異なっており、本年度のデータは小規模のものがほとんどのため近似式の対象データから除外した。近似式より雪底発生条件は設計積雪深比が 0.4 以上と判断される。

十日町試験地の近似式は小白倉と比較し傾きが緩く、雪底発生条件は設計積雪深比が 0.3 以上と判断されるが、0.4 以下では小規模な雪底がほとんどと推測される。

十二峠では雪底発生条件として設計積雪深比が 0.5 以上と判断されるが、前ページに示した斜面状況と予防柵の特性と考えられる。

雪崩予防柵への雪庇発生条件（本年度までの結果）

- ・雪庇発生条件は、
設計積雪深比が 0.4 以上
- ・設計積雪深比が 0.4 以下でも雪庇は発生するが、クリープ等で大きく成長する雪庇ではない（柵先端部への冠雪によるもの）。

4.4 予防柵上の雪庇形成メカニズム

予防柵上の雪庇形成メカニズム（概略）の例を下図に示す。

降雪直後は斜面にはほぼ均一な積雪となるが、重力の作用によりグライドが発生し、下方の予防柵方向へ押し固められる。

予防柵斜面側のポケットが満杯になるとその後の降雪で予防柵上部から雪庇が張出し成長する。

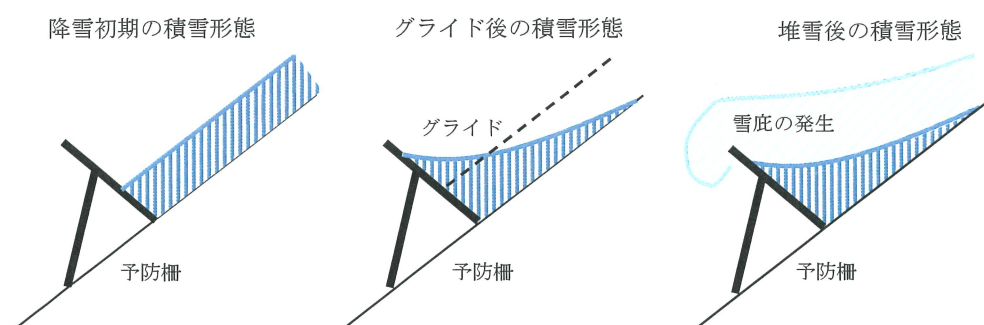


図 4.10 予防柵上の雪庇形成状況模式図

以下に示す写真は、今冬期の 1 月 29 日、1 月 22 日の十日町試験地の状況である。

手前の予防柵の斜面側に高さ 0.5m の木杭を設置している。雪面に杭によるグライド抑制の結果と推測される凹凸が見られ、予防柵上部への堆雪も奥側の無対策予防柵と比較し、やや少ない状況が確認できる。

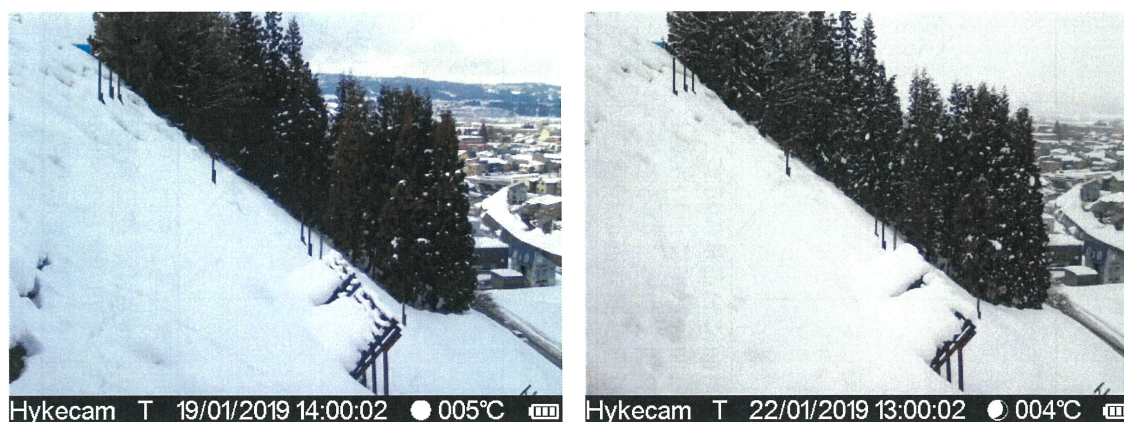
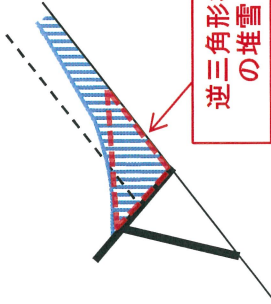
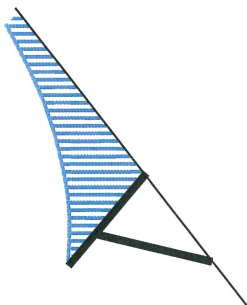
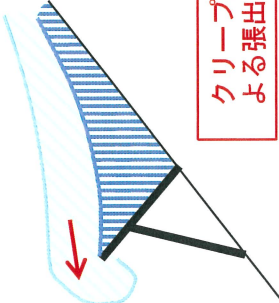


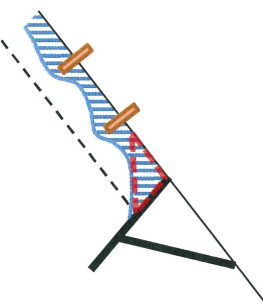
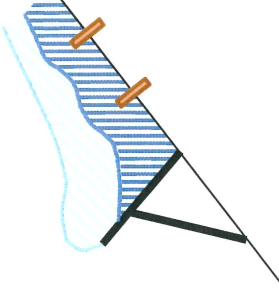
写真 4.4 杭の有無による堆雪状況の違い（十日町試験地）

次ページに自然斜面と杭によりグライドを抑制した場合の雪庇発生・成長の過程をイメージで示す。

■自然斜面

			
・降雪初期に、予防柵上部斜面に一定量の積雪が発生すると、積雪はグライドや圧密により下方の予防柵方向へ押し固められる。 ・その結果、予防柵直近の雪面が水平に近い状態に盛り上がり、柵と斜面との間に逆三角形の堆雪が形成される。 ・予防柵直近が平らな雪面形状となっており、その後の降雪やクリープにより早く予防柵上部へ堆雪が達する。 ・その後の降雪で柵上部の冠雪が柵背面の積雪と同じ層でつながって一体化し、柵背面の雪がクリープして柵上部を超えて雪庇が発達する	逆三角形の堆雪	クリープによる張出し	

■杭設置斜面

			
・杭等によってグライドが抑制されることにより、降雪初期の斜面積雪が下方の予防柵方向へ押し固められることが抑制されることから、予防柵直近の雪面の盛り上がり小さく、逆三角形の堆雪は自然斜面に比較して小さくなる。 ・その結果、その後の降雪により予防柵上部へ堆雪が達するのが遅くなる。 ・したがって、同様な降雪状況であれば、杭等のグライド抑制施設がない場合に比較し、雪庇の発達を抑えられる（遅れる）と推測される。			

4.5 雪崩予防杭による雪底成長抑制効果（本年度観測データを追加して整理）

2 年次のグラフに本年度のデータを追加したのが以下のグラフである。

本年度のデータが、設計積雪深比で小白倉ではほぼ 0.3 以下、十日町試験地で 0.4 前後となったため、昨年度解析できなかった設計積雪深比 0.4 以下も含めて効果傾向が解析できた。

ただし、本年度が小雪であり、かつ杭の有無による差が小さかったことから、雪底ボリュームの低減効果は 2 年次に比べて設計積雪深比が小さい場合はより小さくなる結果となった。

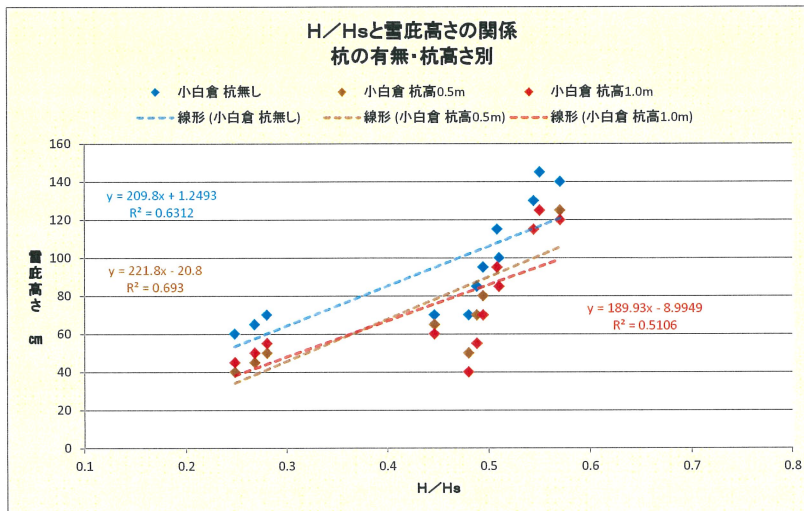
昨年度は、線形回帰よりやや相関係数が高かったため近似式を対数関数としていたが、本年度観測データを追加すると相関係数の差が僅かであったため、近似式は直感的にわかりやすい線形回帰とした。

小白倉の散布図より、2 年次と同様に以下の傾向が確認できる。

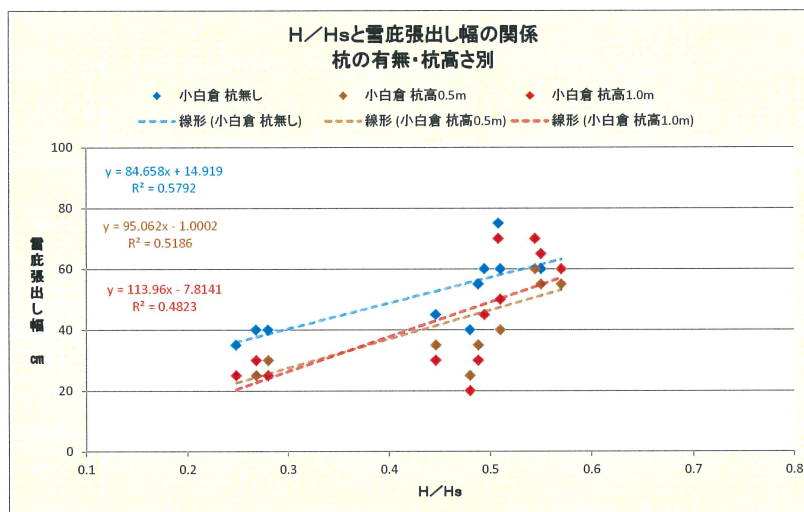
- ・設計積雪深比と雪底高さ・雪底張出し幅・雪底ボリュームに正の相関があり、設計積雪深比が大きくなるほど、雪底高さや雪底張出し幅、雪底ボリュームが大きくなる傾向が確認できる。
- ・雪底高さは杭の有無により約 20 cm の差が確認でき、雪底張出し幅も杭の有無により約 10 cm の差が確認できる。杭高による差ははっきりしない。
- ・雪底ボリュームは設計積雪深比が大きくなるほど杭の有無による差が大きくなる傾向があり、設計積雪深比が約 0.2 で、どちらも収束する（雪底ボリュームが 0 になる）。

十日町試験地の散布図でも、2 年次と同様に以下の傾向が確認できる。

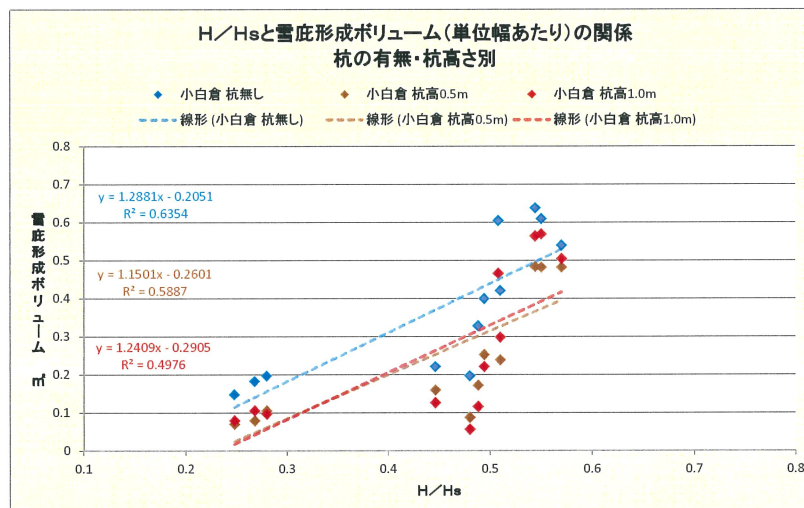
- ・雪底張出し幅は杭の有無により約 10～20 cm の差が確認できる。



設計積雪深比と雪底高さに正の相関
杭の有無により約
20 cmの差あり

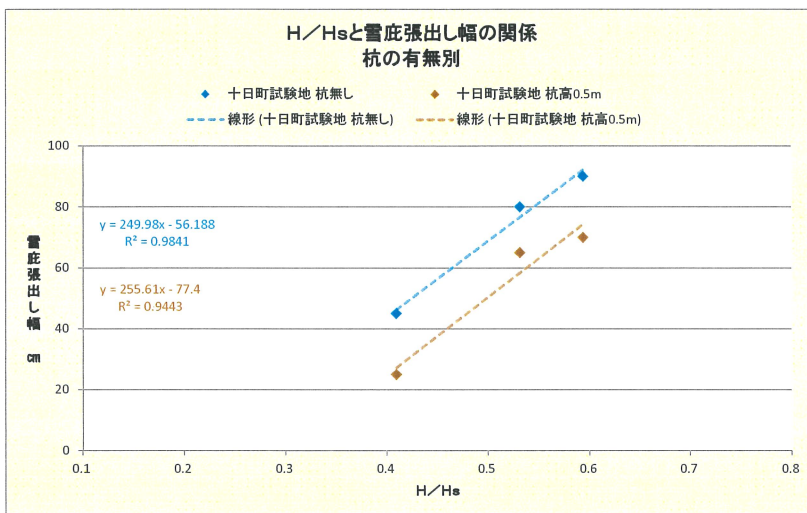
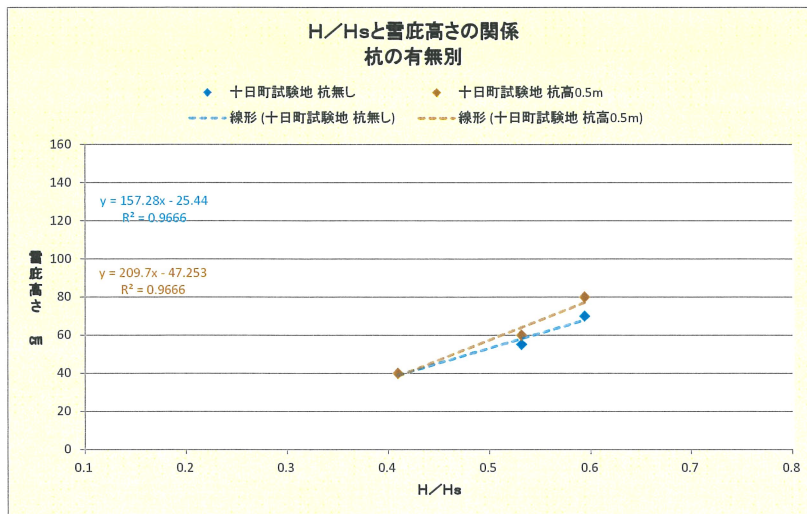


設計積雪深比と雪底張出し幅に正の相関
杭の有無により約
10 cmの差あり



設計積雪深比と雪底ボリュームに正の相関
設計積雪深比 0.2
に収束

図 4.11 設計積雪深比と雪底形成状況の関係（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20 cmの差あり

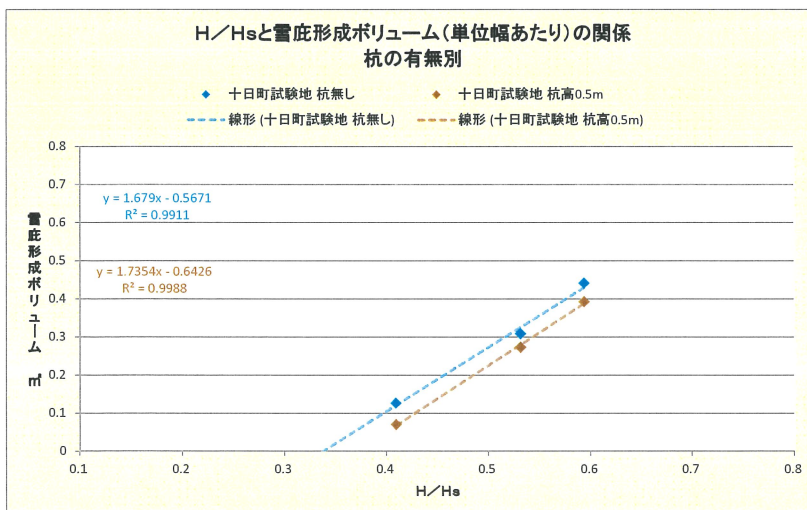


図 4.12 設計積雪深比と雪庇形成状況の関係（十日町試験地）

解析された近似式により、杭無し・杭（0.5m、1.0m）の雪底形成ボリューム、雪底高さ、雪底張出し幅の比較を以下に示す。

杭高さの違いによる差は僅かであるが、杭の有無による差は少なくない。

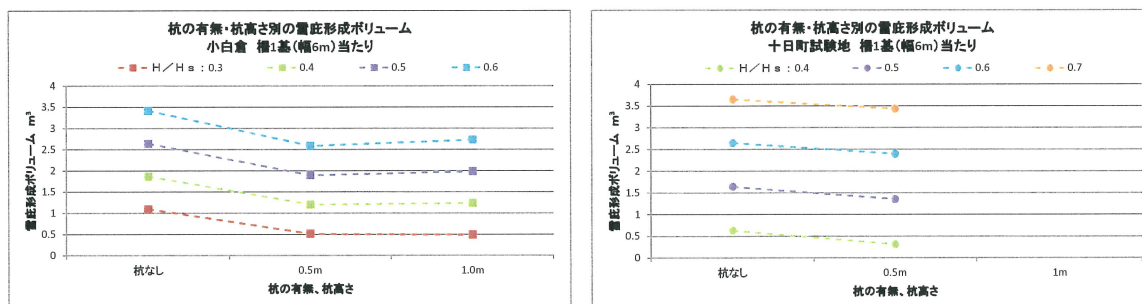


図 4.13 杭の有無・杭高さ別の雪底ボリューム<柵1基当たり>（小白倉、十日町試験地）

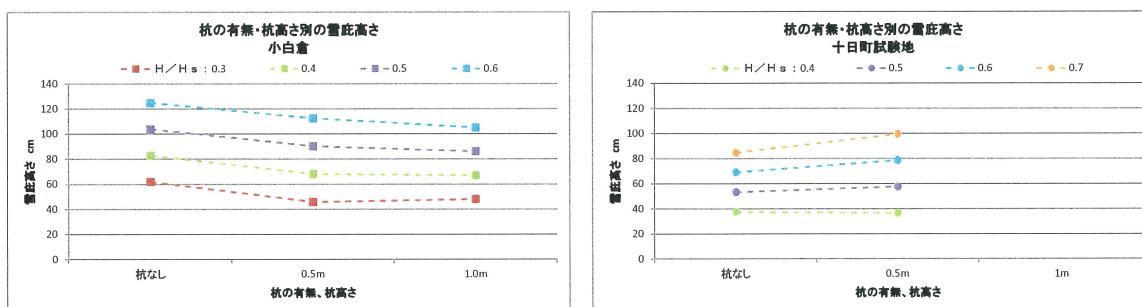


図 4.14 杭の有無・杭高さ別の雪底高さ（小白倉、十日町試験地）

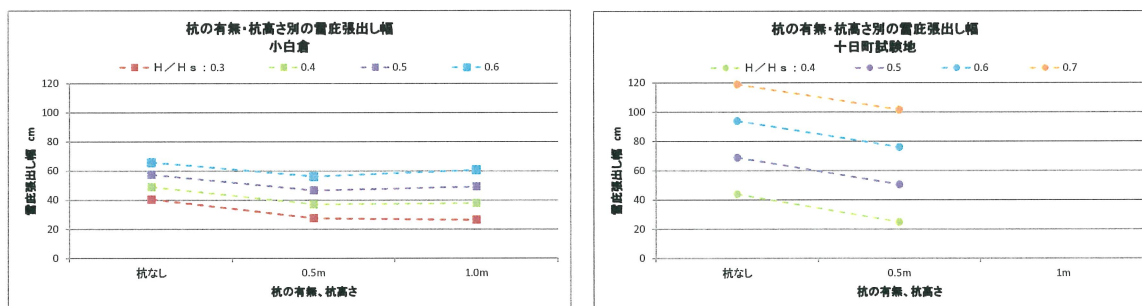


図 4.15 杭の有無・杭高さ別の雪底張出し幅（小白倉、十日町試験地）

雪底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。

はばらつきが大きいものの、両地点とも雪底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、観測地点や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、設計積雪深比が 0.3 のとき 0.5、0.6 のとき 0.1～0.2 の低減率が期待できる結果となった。

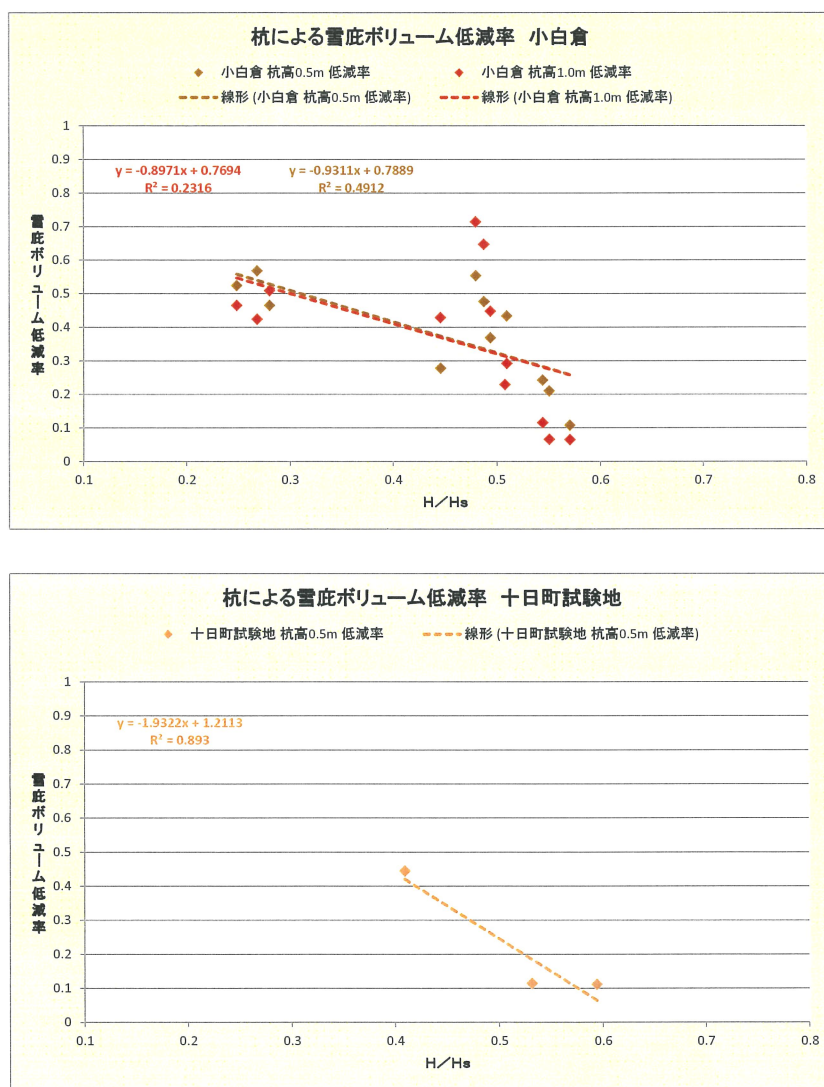


図 4.16 設計積雪深比と雪底ボリューム低減率の関係（小白倉、十日町試験地）

設計積雪深比と雪底形成ボリュームの関係、雪底形成ボリューム低減率の関係について、小白倉と十日町試験地をまとめたグラフを以下に示す。

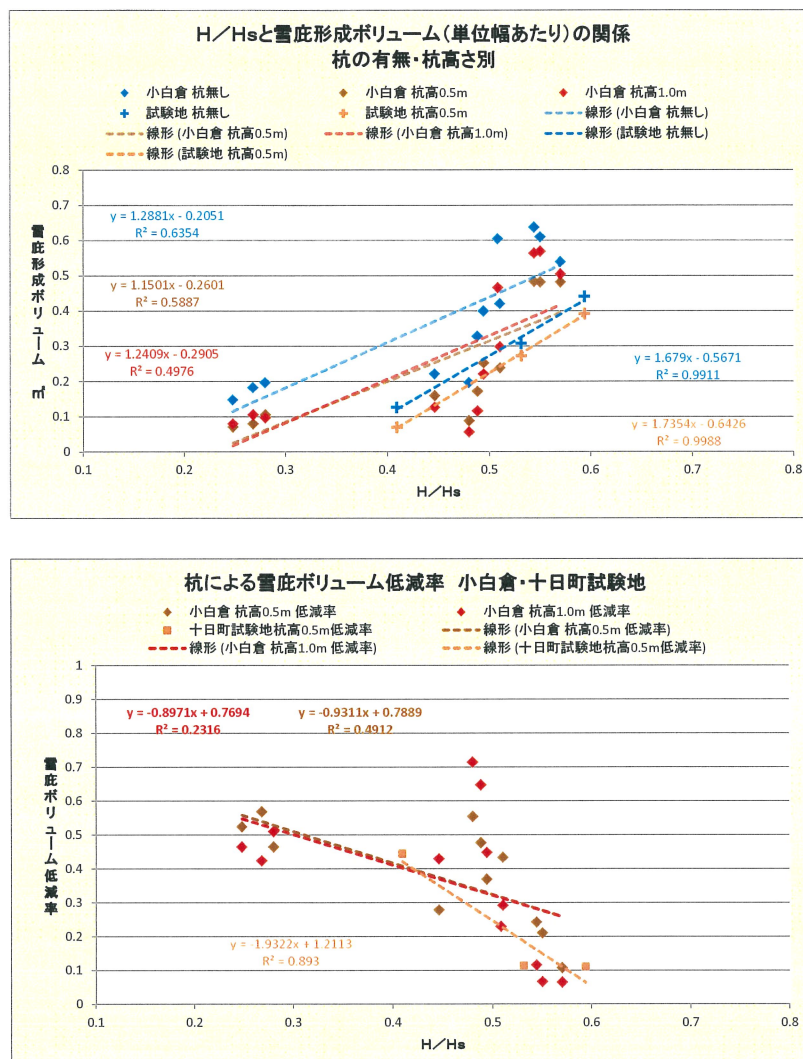


図 4.17 設計積雪深比と雪底ボリューム低減率の関係（全体）

4.6 本年度までの成果のまとめ

(1) 設計積雪深比と雪底ボリューム

■ 小白倉

- ・ 杭高 1.0m と杭高 0.5m の近似式は概ね同様で、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 0.15 m³ の抑制効果 (杭設置斜面の雪底ボリュームが小さくなる) が期待でき、設計積雪深比が 0.2 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 0.05 m³ の抑制効果が期待できる。

(2) 設計積雪深比と雪底ボリューム低減率

■ 小白倉・十日町試験地

- ・ 設計積雪深比と雪底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。
- ・ 雪底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 0.35であった。

雪崩予防杭の雪底成長抑制効果 (本年度までの結果)

- ・ 雪底ボリュームの低減率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い。
- ・ 設計積雪深比と雪底ボリューム低減率に負の相関性がみられ、平均では約 35%であった。
- ・ 施設による雪底ボリュームの低減率は、10%～40%程度が期待できる。
- ・ 雪底ボリュームが大きい時は概ね 10%～20%と判断できる。

(3) 成果まとめ、手引書への展開（適用範囲など）

雪崩予防杭の雪庇成長抑制効果は下記の通りである。

- ・雪庇ボリュームの低減率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い。
- ・負の相関性がみられ、平均では約 35%であった。
- ・施設による雪庇ボリュームの低減率は 10%～40%程度が期待できるが、雪庇ボリュームが大きい時は 10%～20%程度と判断される。

予防柵山側斜面のグライド抑制が、予防柵の雪庇発生抑制や雪庇成長抑制につながるメカニズム（前記）から、その効果は間接的に発揮されるものであり、直接的なものではなく、気象状況（降積雪状況）次第でその効果は大きく変動すると推測される。

例えば一時期にまとまった雪が降れば、効果は限定的となる可能性が高く、降雪初期に逆三角形の堆雪が形成されないことによる効果も、その後の風雪による吹きだまり等で埋まってしまい、効果が発揮されない状況になることも考えられる。

このようなことから、気象状況にかかわらず確実な雪庇防止効果を得たい場合（ケース）には雪崩予防杭による方法は適さない。

雪崩予防杭による方法を適用する際には、以下の項目の検討が必要である。

適用範囲

- ・杭の設置が容易（杭を設置する際の施工性が高い）
- ・N 値 2 以上の土質斜面（杭が倒壊しない）
- ・費用対効果

5. 柵上部への雪底防止工法

5.1 積雪深と気温

十日町の積雪深と気温の関係を図 5.1 に示す。

2019 年の積雪は、12 月 27 日頃から増加し、1 月 20 日～1 月 29 日の寒気により 2 月上旬で 1.5m 程度まで積雪が増加した。最大積雪深は、2 月 14 日の 1.4m であり、例年に比べ積雪深は少ない。

雪底防止工を設置した小白倉地内の積雪においても、概ね観測点の積雪深と同等であり、最大積雪深は、1.5m 程度である。

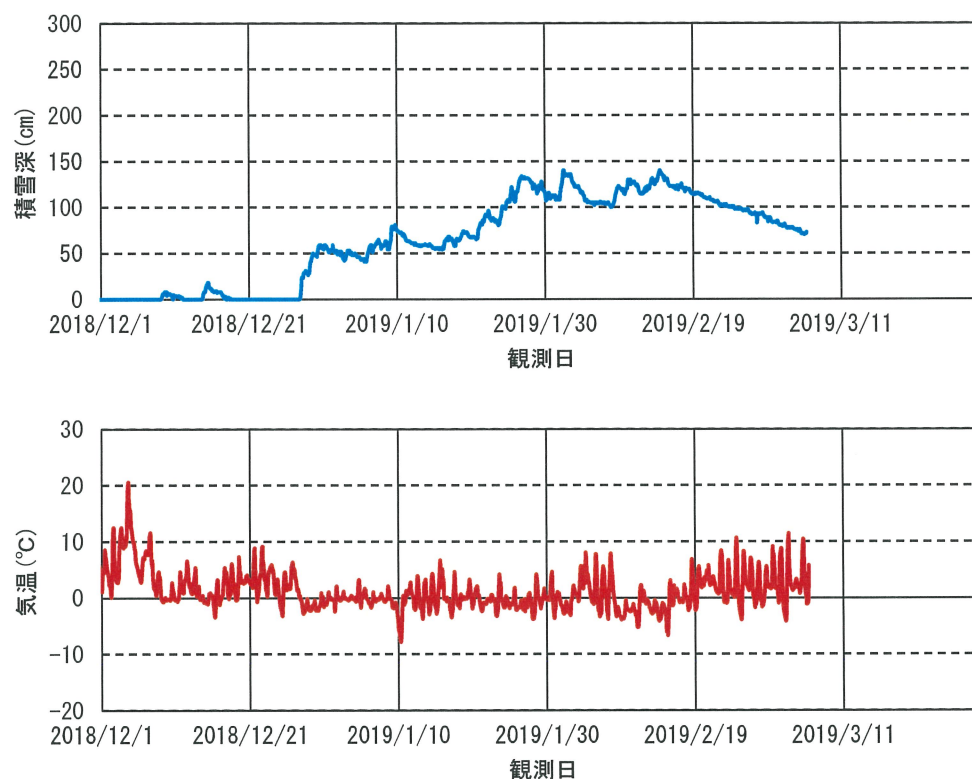


図 5.1 十日町市の積雪深と気温

5.2 実験供試体および観測方法

雪底防止工は、高さ 30cm～1m の供試体を設置した。供試体の諸元を表 5.1 に示す。

供試体は、雪底防止版構造とワイヤロープ構造の 2 種類とし、高さの影響および雪底防止効果を比較した。

観測方法は、通信機能付き定点観測カメラを供試体側面および正面に設置し、1 時間毎にサーバーに記録した。

表 5.1 供試体の諸元

種別	高さ/構造	備 考
PL-30	柵高 30cm、鋼板	三角板タイプ
PL-50	柵高 50cm、鋼板	〃
F-50	柵高 50cm、H 鋼支柱、ワイヤロープ	ワイヤロープタイプ
F-100	柵高 100cm、H 鋼支柱、ワイヤロープ	〃

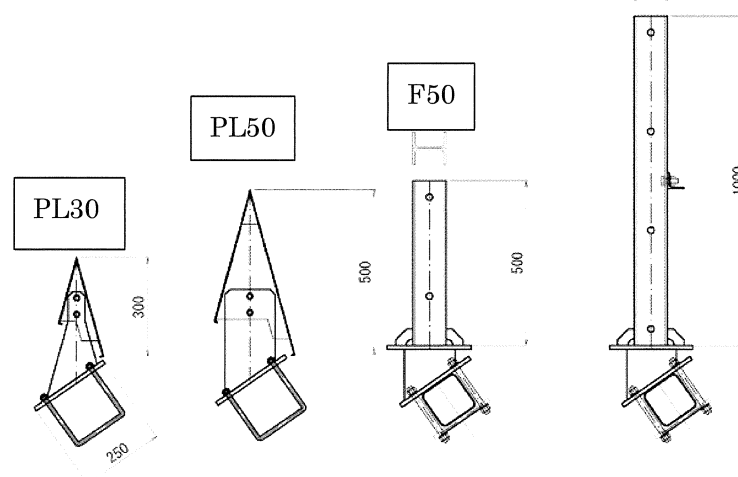
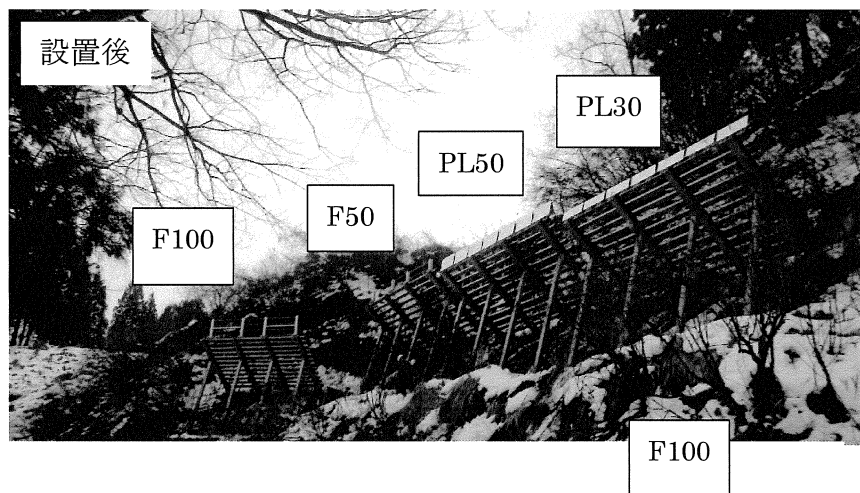


図 5.2 実験供試体

5.3 雪底形成メカニズムと雪底防止工の効果

雪崩予防柵上の雪底形成メカニズムは、積雪深の増加と積雪のクリープ現象により柵先端から張り出し、気温の上昇によって積雪ブロックが落下することが明らかになった。

図 5.3 に現地での観測状況を示し、図 5.4 に 2 月 14 日～2 月 25 日までの定点観測写真を示す。

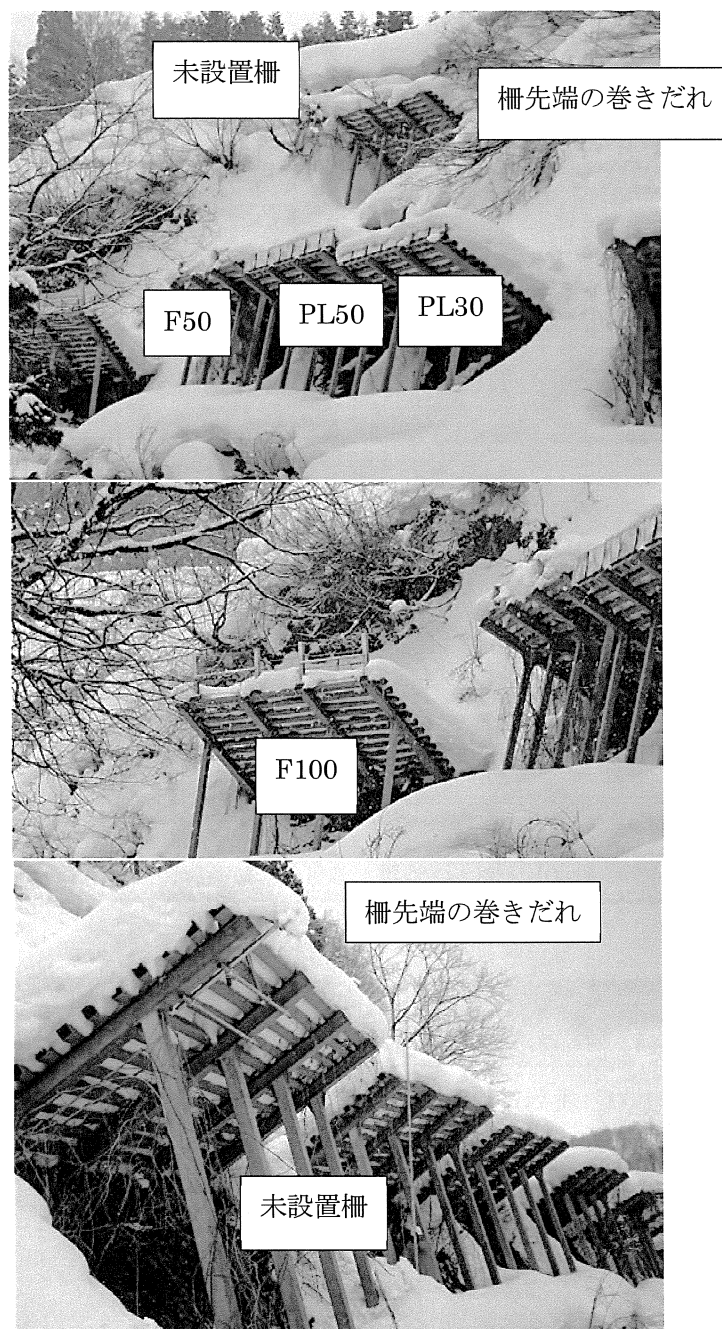
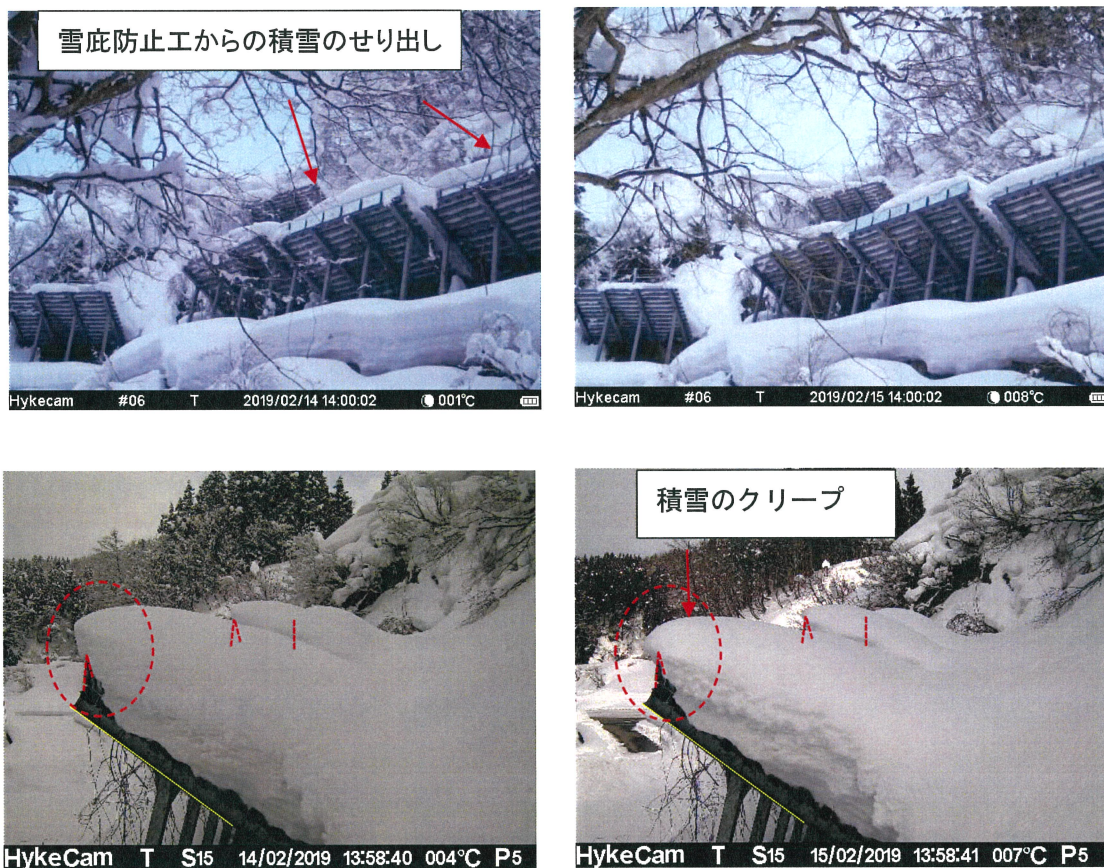


図 5.3 現地での観測状況

雪底防止工を設置した予防柵の柵先端の積雪形態を考察すると、次のことがいえる。

- ① 積雪により、柵上の積雪深が増加
- ② 気温の上昇により、積雪のクリープによって柵先端および側面から積雪がせり出す。
- ③ 雪底防止板および雪底防止柵のワイヤロープから積雪がせり出す。
- ④ 気温の上昇により、小規模な雪塊が崩落を繰り返すことで、雪底の形成を抑制する。

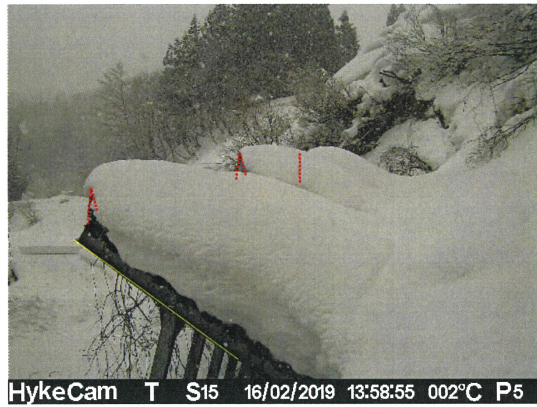


雪底防止工の状況

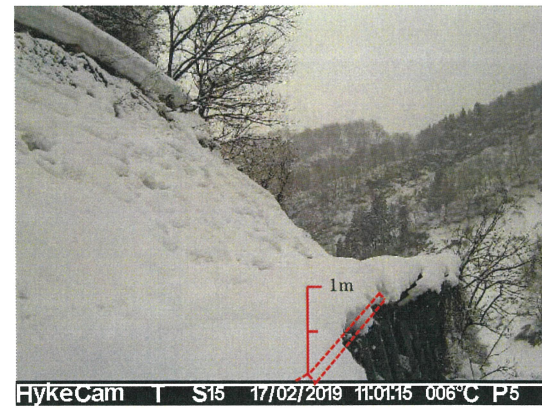


雪底防止工未設置の状況

図 5.4(a) 定点観測写真(2/14, 15)

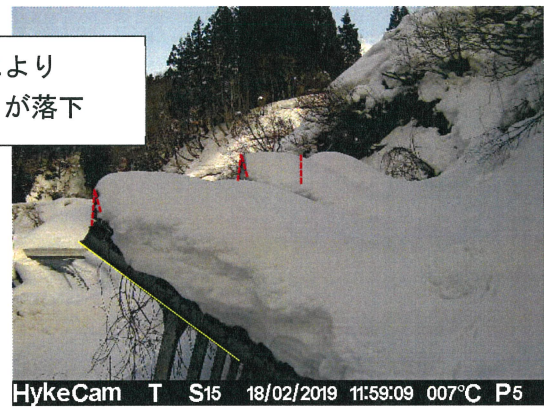
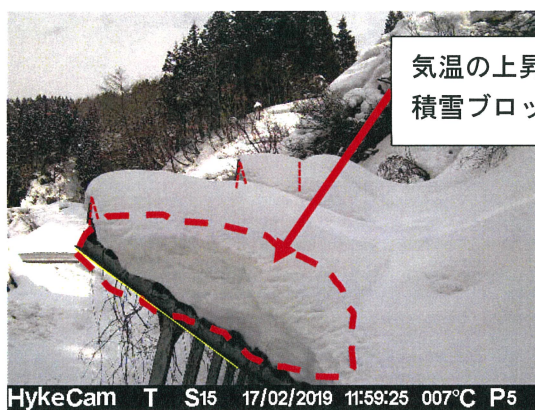


雪底防止工の状況

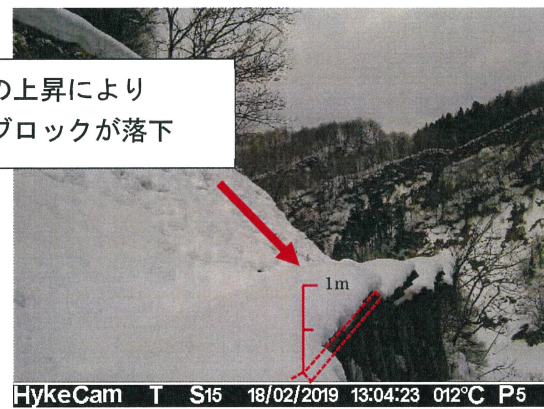
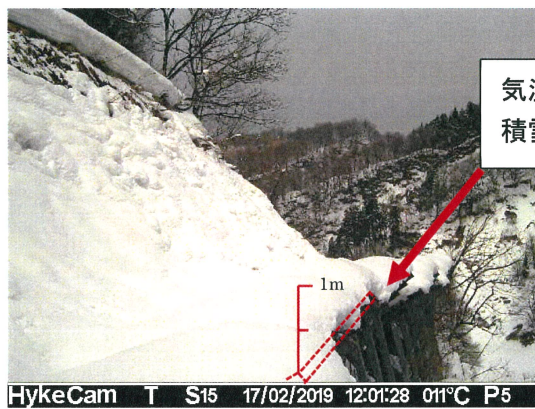


雪底防止工未設置の状況

図 5.4(b) 定点観測写真(2/16, 17)

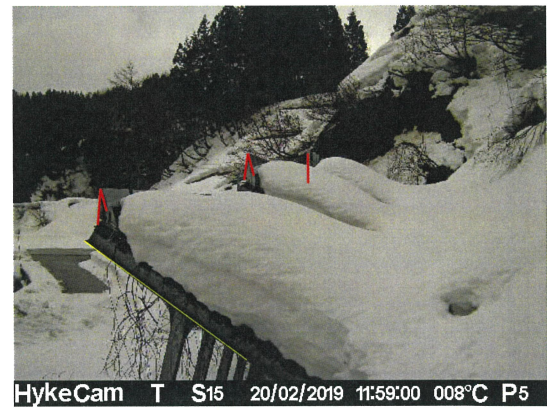
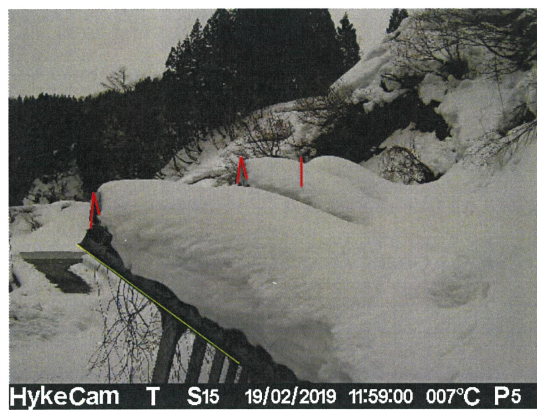


雪庇防止工の状況

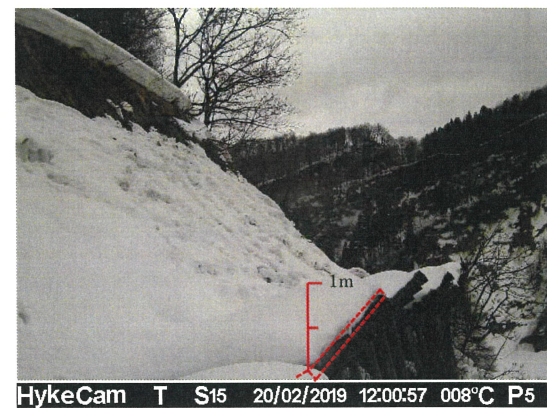
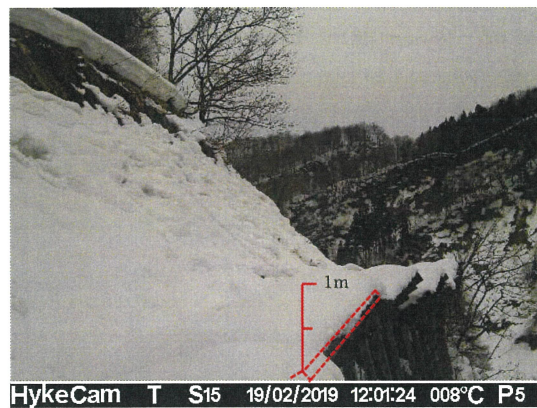


雪庇防止工未設置の状況

図 5.4 (c) 定点観測写真 (2/17, 18)



雪庇防止工の状況

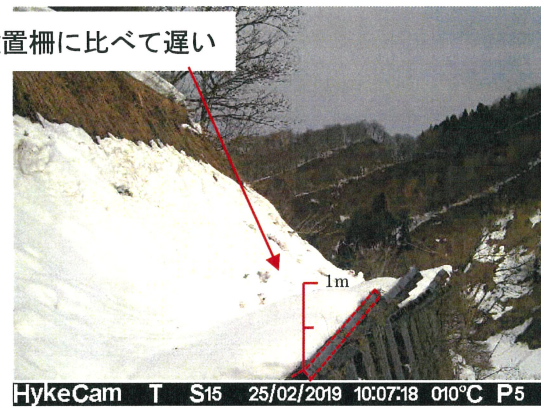


雪庇防止工未設置の状況

図 5. 4(d) 定点観測写真 (2/19, 20)



雪底防止工の状況



雪底防止工未設置柵の融雪は、雪底防止工設置柵に比べて遅い

雪底防止工未設置の状況

図 5. 4(e) 定点観測写真 (2/21, 25)

5.4 雪底防止工の効果

雪底防止工は、柵先端からのクリープによる巻きだれを切断することで、雪底の形成を抑制している。今回の観測では、雪底防止板構造の PL-30 および PL-50 に冠雪がみられたものの、雪底の形成に至っていない。

ワイヤロープタイプの F-50 および F-100 は、積雪深 1.5m 程度のとき小規模な着雪がみられたものの、気温の上昇によって雪底が切断され雪底成長抑止効果を發揮している。

雪底防止板の高さの影響は、今回の積雪深の範囲において、優位な差を確認することができなかった。

ワイヤロープタイプは、ロープの隙間からの積雪の張り出しがあるものの、気温の上昇により消失し、雪底の成長を抑制している。また、ロープからの雪底のせり出しは、観測期間中に発生していない。また、雪底防止板構造に比べて融雪速度が速い。これは、柵先端側の積雪表面が露出することで、融雪を促進したものと考えられる。

5.5 まとめ

本研究により観測した雪底防止工は、積雪深 1.5m の範囲では、十分な雪底抑制効果を發揮しており、雪底形成の防止効果として有用な対策であるものといえる。

雪底成長抑止効果を考察すると、気温の上昇や積雪の沈降により柵先端からの雪底を小規模な積雪ブロックとして切断することで、雪底の成長を抑制している。

5.6 雪庇軽減対策実施事例（三俣地区）

国道 17 号三俣地区の予防柵先端部に設置されている雪庇防止工は、過年度に雪庇（巻きだれ）抑制対策の検討を実施した際に設置された施設で、当時の場所からは移設されている。対策工は横バータイプと格子タイプの 2 種類で、高さはいずれも 1.4m である。

連続自動撮影カメラ（ハイクカム）を 2 月初旬に設置し、対策工の効果を確認するため隣接の予防柵と雪庇発生状況について比較を行った。

以下に近傍の気象庁観測点である湯沢アメダスの日最深積雪の時系列変化等を示す。



H30	最大積雪深	累計降雪量
12月	123	191
1月	184	187
2月	185	89
冬期間	185	467

カメラを設置した 2 月 3 日の現地状況の写真を以下に示す。

設置日の前約 2 週間にわたり断続的に降雪があつて、対策工設置予防柵の背後はほぼ満杯状態になっており、対策工背後の柵上端部では対策工高さ（1.4m）と同程度の堆雪となっている。対策工を乗り越えての雪庇は発生していない。

一方、対策工が設置されていない奥側の予防柵には雪庇が形成されている。対策工の高さとの関係から、雪庇高さは約 1.5m、張出し幅は約 70cm と推定される。

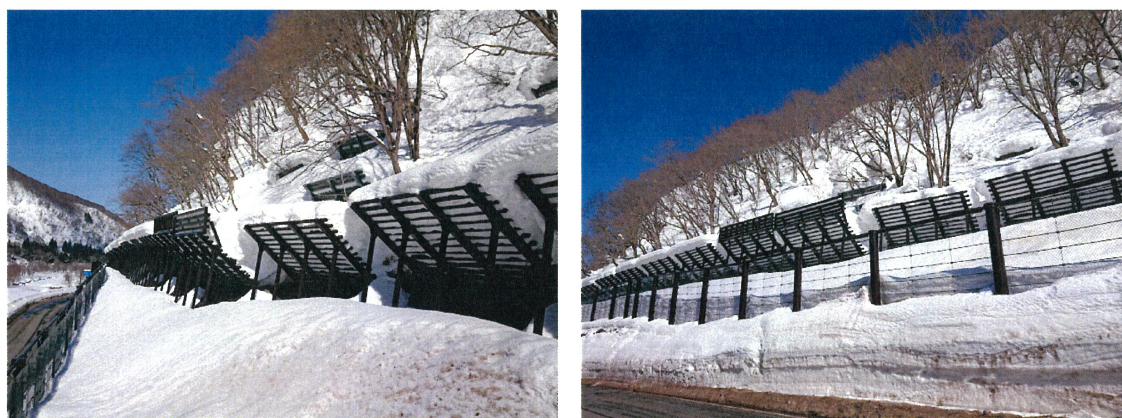


写真 5.1 対策工設置予防柵と未設置予防柵の状況（三俣）



写真 5.2 対策工設置予防柵と未設置予防柵の状況（三俣）

カメラを設置した 2 月 3 日から 2 月 15 日までの日毎の自動撮影写真を以下に示す。2 月 8 日から 10 日まではカメラへの着雪により欠測となった。

設置から 2 月 7 日までほとんど降雪がなく気温も高めだったことから、2 月 7 日には無対策の予防柵上の雪庇はほぼ解消している。対策工設置予防柵も対策工背後の堆雪高さが減少している。

その後の降雪でも 2 月 3 日の状態を上回る雪庇の形成は見られず、対策工設置予防柵では降雪時に対策工への若干の冠雪がみられた程度であった。

日時	自動撮影写真	雪庇形成状況
2019/2/3 12:00		対策工設置予防柵の雪庇張出し無し 無対策予防柵に高さ約 1.5m、張出し約 70cm の雪庇形成
2019/2/4 12:00		
2019/2/5 12:00		
2019/2/6 12:00		

日時	自動撮影写真	雪底形成状況
2019/2/7 12:00		無対策予防柵上の雪底はほぼ解消
2019/2/8～10		カメラへの着雪により欠測
2019/2/11 12:00		
2019/2/12 13:00		対策工へ僅かに冠雪
2019/2/13 7:00		対策工へ僅かに冠雪
2019/2/14 10:00		対策工へ冠雪 無対策予防柵の雪底張出しは僅か

6. 事業のまとめ

本事業3冬期のまとめを以下に示す。

■雪崩予防柵への雪庇発生条件

(2年次までの結果)

- ・雪庇発生の最低条件は、設計積雪深比が0.4以上
- ・予防柵先端部への堆雪発生条件は、設計積雪深比が概ね0.3以上

↓

(最終結果)

- ・雪庇発生の最低条件は、設計積雪深比が0.4以上
- ・予防柵の仕様、斜面条件で傾向が異なる。
- ・設計積雪深比が0.4以下でも雪庇は発生するが、クリープ等で大きく成長する雪庇ではない（柵先端部への冠雪によるもの）

■雪崩予防杭の雪庇成長抑制効果

(2年次までの結果)

- ・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。

↓

(最終結果)

- ・雪庇ボリュームの低減率は、10%～40%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%～20%と判断できる。
- ・杭高さの違い（0.5mと1m）による差はほとんどない。

■柵上部への雪庇防止工法

雪庇防止板タイプ・ワイヤーロープタイプ共に、本年度の気象・降積雪状況下（最大積雪深1.5m程度）では十分な雪庇抑制効果を発揮している。

事業実施3冬期中、2冬期が暖冬小雪となり、やや大きな雪庇が形成されたのは1冬期にとどまった。

データ数としては少ない状況ではあるが、「雪崩予防柵への雪庇発生条件」、「雪崩予防杭の雪庇成長抑制効果」についてとりまとめを行った。

柵上部への雪庇防止工法については暖冬年での調査となったため、平年から大雪年での効果確認はできていない。

3冬期で得られた成果を基に、「手引き書（素案）」を作成する計画であるが、引き続き多くの調査データを収集し、「手引き書」へ反映することが課題である。

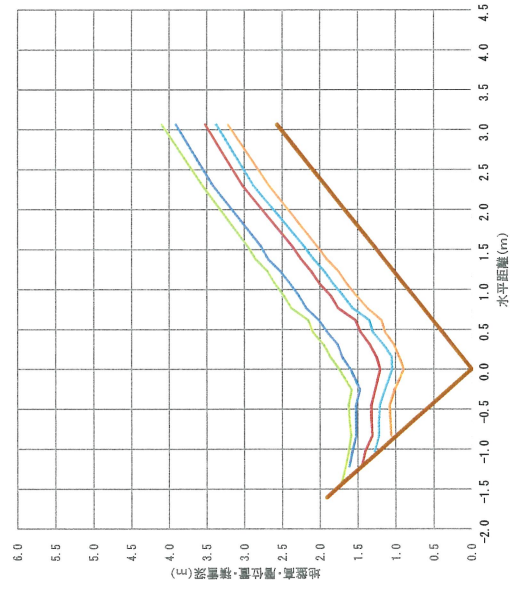
卷末資料

資料 1 断面観測結果

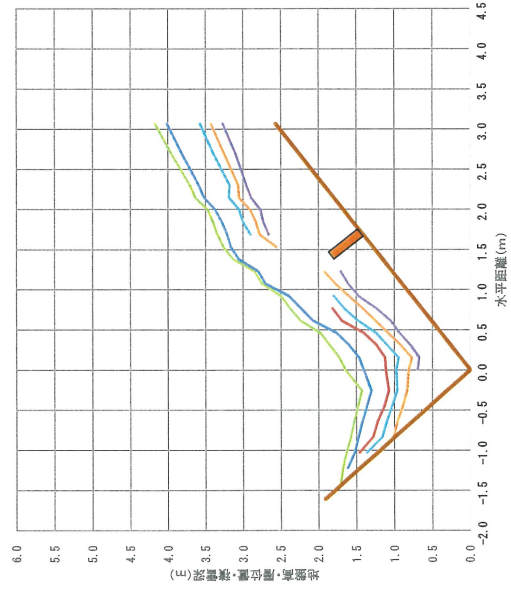
資料 2 積雪深データ

十日町試験地 断面観測

十日町試験地 杭なし



十日町試験地 杭0.5m



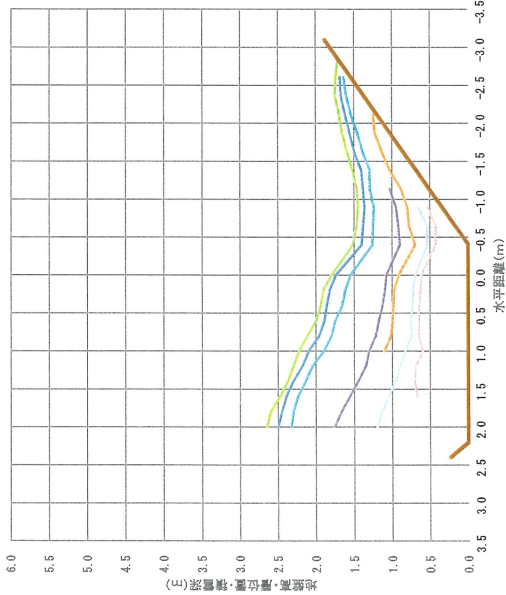
昨年度と同様に、以下に示す積雪層の状況から杭によるグライダー抑制効果が確認できる。

- 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大きな窪みが確認できる。
- 杭設置なし斜面でも雪面及び積雪層に窪みは見られるが、杭設置斜面に比較して小さく、全体的にはほぼ斜面に平行となっている。

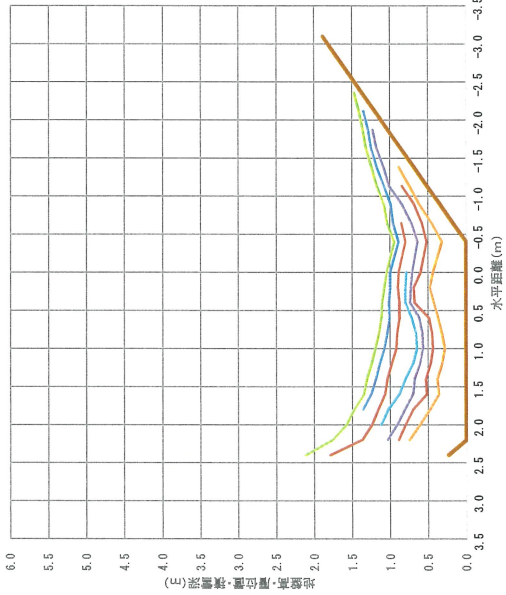


小白倉 断面観測

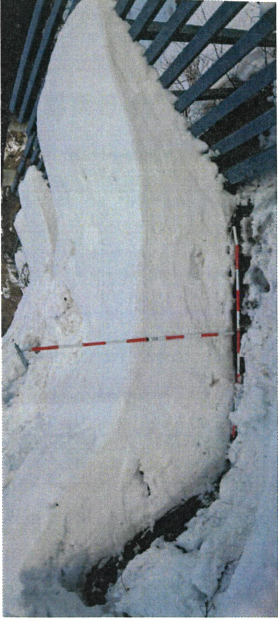
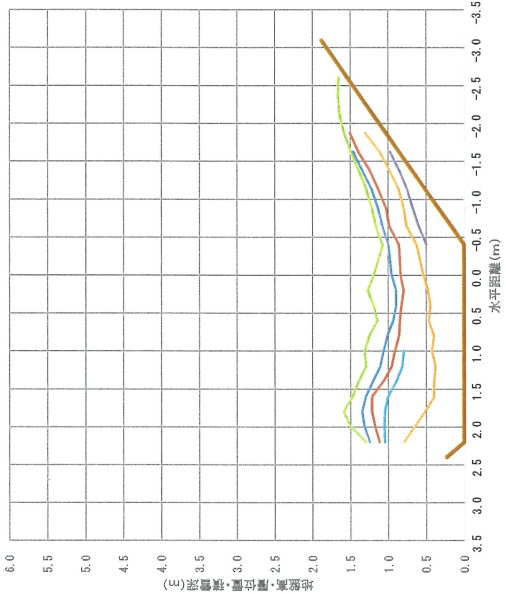
小白倉 杭なし



小白倉 トライパイル0.5m

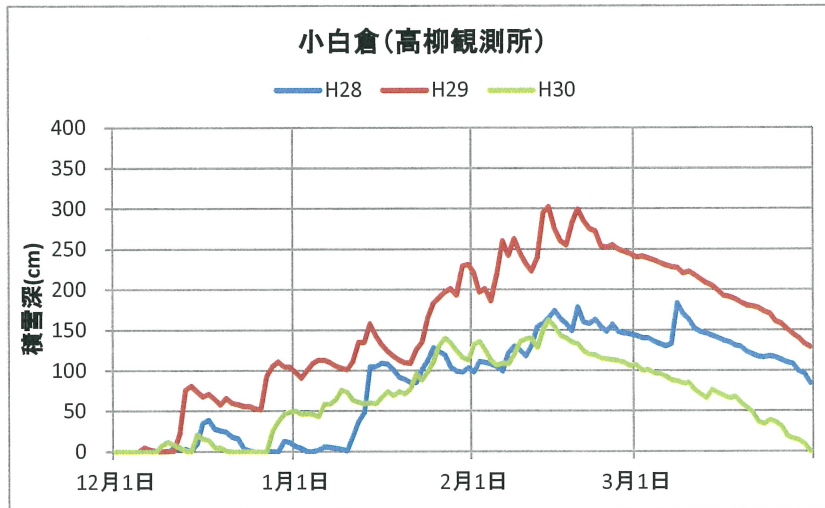


小白倉 トライパイル1.0m

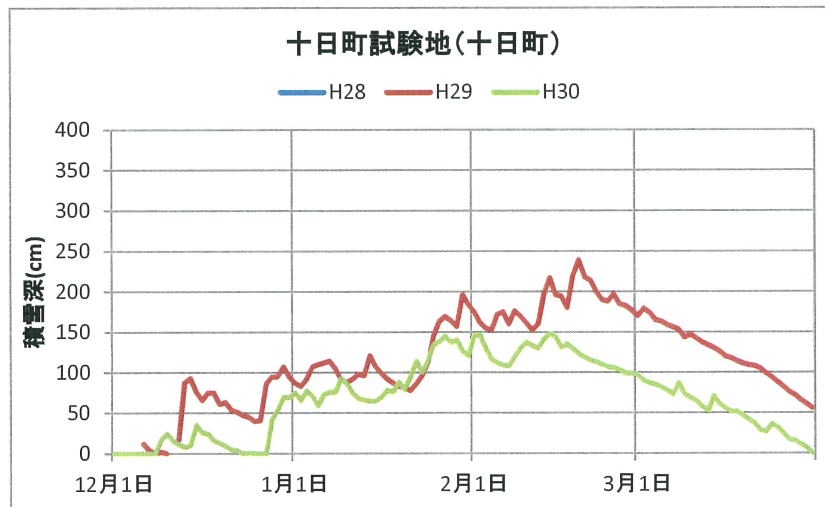


- ・トライパイル設置斜面では、雪面及び積雪層ともに予防柵先端と斜面の間の窪みが大きく、初年度・昨年度と概ね同様な傾向が確認できる。
- ・トライパイル設置なし斜面では設置斜面と同様に窪みに確認できるものの、設置斜面より小さい。
- ・トライパイル 0.5m設置斜面の平坦部の積雪層の乱れは降雪初期の雪塊の落雪によるもの。

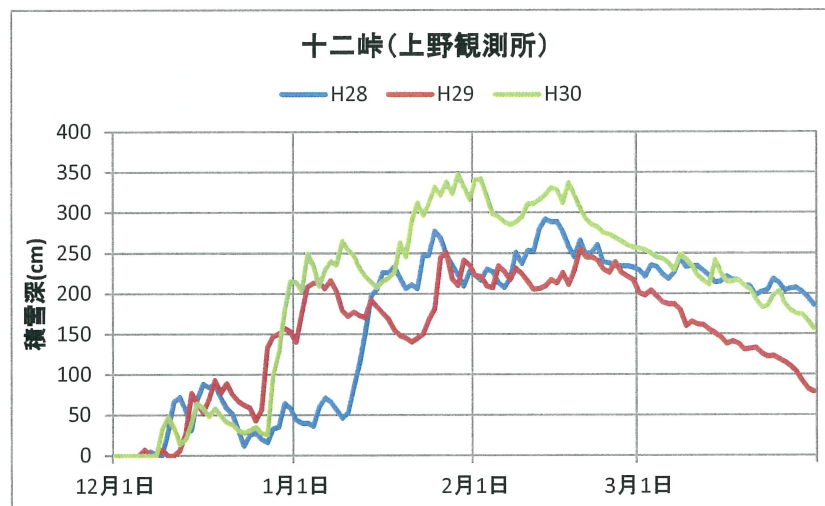
調査3 冬期の積雪深データ



H28	最大 積雪深	累計 降雪量
12月	39	56
1月	128	162
2月	178	143
冬期間	178	361
H29	最大 積雪深	累計 降雪量
12月	111	156
1月	231	209
2月	302	225
冬期間	302	590
H30	最大 積雪深	累計 降雪量
12月	49	83
1月	140	152
2月	162	72
冬期間	162	307



H28	最大 積雪深	累計 降雪量
12月		
1月		
2月		
冬期間		
H29	最大 積雪深	累計 降雪量
12月	107	185
1月	196	196
2月	239	172
冬期間	239	553
H30	最大 積雪深	累計 降雪量
12月	70	128
1月	145	177
2月	148	53
冬期間	148	358



H28	最大 積雪深	累計 降雪量
12月	88	202
1月	277	317
2月	292	148
冬期間	292	667
H29	最大 積雪深	累計 降雪量
12月	157	257
1月	251	253
2月	255	123
冬期間	255	633
H30	最大 積雪深	累計 降雪量
12月	215	303
1月	347	331
2月	342	73
冬期間	347	707