

のり面構造を考慮した雪崩予防対策の費用比較 — 斜面安定と景観向上に寄与する道路の切土のり面に向けて —

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地技術推進室 道央支所 ○横山 博之
// 地域景観ユニット 松田 泰明

積雪寒冷地の道路の切土のり面では、土質等に応じた標準勾配で切土して草本緑化し、その後の堆雪状況などにより雪崩予防柵を設置することが少なくないが、景観面での課題もある。本論文では背後に大きな山を背負っていない地形に切土するという現場条件で、雪崩予防柵による対策と小段幅を広くする対策、そしてのり面勾配を緩くする対策について、モデルケースを設定して経済比較した。その結果、雪崩予防柵による対策に比べ、道路の調査・計画時から雪崩の発生しにくいのり面構造とした方が、斜面安定性、景観性や環境面、維持管理面だけでなく、建設コストの面からも有利になる場合も少なくないことがわかった。

キーワード：切土のり面、調査・計画、コスト縮減、雪崩予防対策、道路景観

1. はじめに

積雪寒冷地の道路事業では、一般的に斜面の安定に基づく標準勾配で切土して草本緑化し、雪庇や雪崩被害の状況に応じ、雪崩予防柵を設置することが多い。

一方、2005 除雪・防雪ハンドブック(防雪編)では、雪崩予防対策としては雪崩予防柵による対策の他に、雪崩予防林の造成やポケットを設ける方法、切土小段幅を30年確率最大積雪深以上に広げる方法、斜面勾配を 60° 以上に立てる方法や 30° 未満に緩くする方法等も有効とされている¹⁾。図-1は、平成16年3月まで使用されていた北海道開発局高規格幹線道路設計要領²⁾による雪崩予防対策の例である。

本論文では、これらの雪崩予防対策の内、図-1に示す3つの対策について、斜面安定性、景観面、環境面および維持管理面から検討を行った上で、建設費の比較を行った。なお、ここでは各々の工法間での雪崩抑止効果の違いについては論じないこととしている。

2. 切土のり面における主な雪崩予防対策工法

道路の雪崩予防対策としては、既設のり面への適用が可能なこともあり、一般的に図-1の(a)の雪崩予防柵による工法が多い(写真-1)。

次に、図-1の(b)の小段幅を30年確率最大積雪深以上に広くする工法(写真-2)は、昭和47年度から49年度にかけて、どのような小段形状がのり面積雪の安定化に適しているかを新潟県中魚沼郡の試験斜面で検証し³⁾、その結果等を踏まえ北陸・関越自動車道や、道央自動車道等で採用されている⁴⁾。なお、小段幅工法については、鋼製品による工法が国土交通省の新技術情報提供システム(New Technology Information System:NETIS)⁵⁾に登録されており、一般国道に設置されている事例もある。

図-1の(c)ののり面勾配を1:1.8以上に緩くする工法は、雪崩は勾配が 30° より緩いと起こりづらい¹⁾ことに着目した工法で、道央自動車道と寒 IC～士別剣淵 IC⁶⁾(写真-3上)、落部 IC～八雲 IC(写真-3下)、深川留萌自動車道の沼田 IC付近等で採用されている。

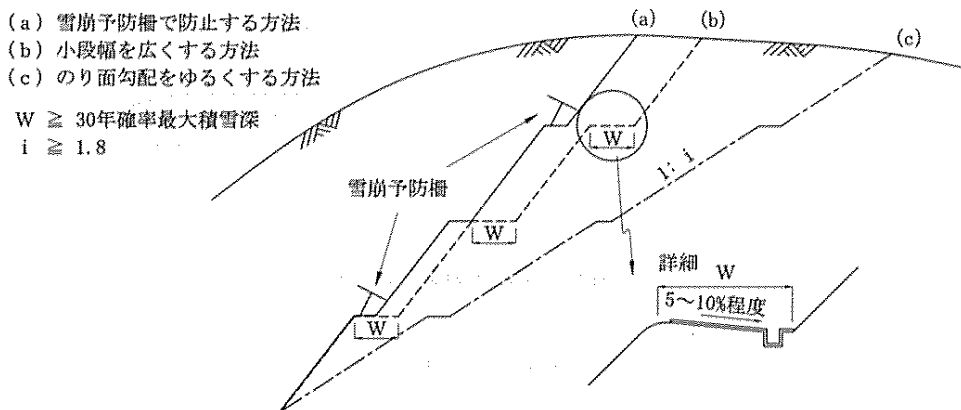


図-1 雪崩予防対策の例²⁾



写真-1 雪崩予防柵による対策



写真-2 小段幅を広くする対策
(最下段のみ拡幅した例)



写真-3 のり面勾配を緩くする対策

3. 各対策工法の機能比較

(1) 斜面安定性からの比較

切土設計では、斜面の安定に基づく標準勾配で切土し草本緑化することが多いが、積雪寒冷地ののり面では凍上現象が起きやすく、切土のり面の崩壊原因のうち、全体の約4割が凍結融解作用によって発生しているとされる¹⁾。このため、特に南・北・北西向きのり面では、普通土や粘性土であっても1:1.5、普通土で凍上のおそれがある場合には、のり面勾配を1:1.5より緩くする必要があることが既往研究で示されている^{7) 8)}。

またのり面の凍上被害では、のり面崩壊を防止するための構造物（グラウンドアンカー工、法枠工、小段排水など）が凍上によって被害を受けるケースがあり⁹⁾、斜面上の構造物がのり面の弱点となる場合がある。

つまり斜面安定から各工法を評価すると、当然ながらのり面を緩勾配にする工法が最も安定し、次いで小段拡幅工法となる。

(2) 景観性からの比較

一般的に考えて、のり面の緩勾配化によって、運転者に与える圧迫感の軽減や安心感の向上が期待される。

また、草間らの研究¹⁰⁾では、北海道の郊外における道路景観の評価について、その対象を表現する任意の印象にどの程度合致するかの手法であるSD法（Semantic Differential method）による被験者実験（617名）を行った。その結果、道路付属物などの人工物の影響が大きく、それらが少ないほどその印象が向上し、良い印象としての北海道らしい道路と認識されているとの結論を得ている。また、他に北海道の道路景観の印象に与える大きな要因として、「スカイラインへの人工物の突出」、「視認できる空の量」などがあった。

各対策工法について、これらの研究結果をふまえて、景観性から比較すると、付属施設が少なく視界も開けやすい、のり面を緩くする対策が他の方法に比べ有利となる。一方、雪崩予防柵による対策では、柵による景観への影響と勾配が相対的に急なことからくる圧迫感の他、場合によっては予防柵がスカイラインから出る場合もあり（写真-1）、最も不利になると言える。

(3) 環境面からの比較

環境への影響を少なくするには、道路による改変を極力少なくすることが重要とされる¹¹⁾。雪崩予防柵による工法は、自然改変面積は最小となる。一般にのり面の緩勾配化は地形の改変面積が大きくなり、伐採面積の増加など自然環境へ与える影響は大きくなる。小段拡幅による工法の自然改変面積は、両者の間に位置する。

一方自然界の植物群落は、草本型→中低木優先型→高木優先型へと自然遷移していくが、表-1に示すように、植生回復の面ではのり面の緩勾配化が最も有利となる。

表-1のり面勾配と目標とする植物群落の目安¹¹⁾

勾配	植物の生育状況
1:1.7より緩勾配	高木が優先する植物群落の成立が可能。 周辺からの在来種の侵入が容易。 (待ち受け型緑化が容易)
1:1.7~1:1.4	周辺環境によっては高木導入が可能。
1:1.4~1:1	中・低木が優占した植物群落の造成が可能。 (低木や)草本からなる
1:1~1:0.8	群落高の低い植物群落の造成が可能。

(4) 維持管理面からの比較



写真-4 雪崩予防柵上の雪玉落とし状況

雪崩予防柵は、人力による柵上の雪落とし作業などの必要が生じる場合がある(写真-4)。しかし、30°より緩い勾配とする工法では、雪崩予防柵がないのでこの管理費用は掛からない。小段幅による対策は、突起物がないので、雪崩予防柵による対策に比べ雪庇は出来づらい構造と考えられる。

また雪崩予防柵は、一般に夏期間に施設点検が必要で、損傷していると修理・更新する必要があるが、小段幅やのり面の緩勾配化による対策は点検・補修する必要はあるものの、作工物の更新に比較すると低廉な維持管理費となることが見込まれる。

ゆえに維持管理面からは、のり面の緩勾配化、小段幅、雪崩予防柵という順になると考えられる。

4. 費用比較における道路設計の基本条件

(1) 道路設計の基本条件

- ・想定した道路は図-2に示す山間部を通る2車線、郊外部、歩道なしの一般国道で総幅員15.00mとした¹²⁾。
- ・切土断面は背後に山を背負っていない平地とした。
- ・10年確率最大積雪深は1.4m、30年確率最大積雪深は1.8mとした。
- ・切土深さは長大のり面として25m、一般のり面として15mとした。
- ・緑化については、土質・地質状況から求まる斜面の安定に基づく標準勾配に応じて、表-1に基づき選定した。
- ・雪崩予防柵の積雪深とのり面勾配による設置間隔は、表-2、その時の斜面積雪深の取り方と雪崩予防柵の水平設置間隔は図-3による。



図-2 モデルとした道路定規図¹²⁾

表-2 積雪深と予防柵の列間隔¹⁴⁾

H_s (m) \ θ	30°	35°	40°	45°
2.0	30	14	10	8

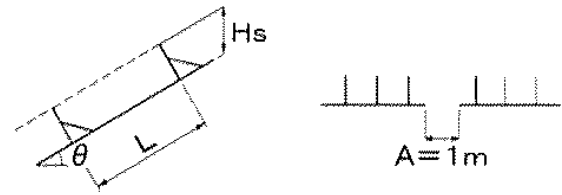


図-3 積雪深(Hs)と雪崩予防柵の水平設置間隔¹⁴⁾

(2) 切深25mのケースでのその他の設計条件

切深25mのケースでの雪崩予防方法別断面図を図-4に示す。土質・地質状況は、施工済みの工事文献¹³⁾を参考に、地表から深さ4.0mまでを土砂部、その下に厚さ8.5mの軟岩部、最下層を厚さ12.5mの硬岩部とした。

a) 雪崩予防柵による対策工法の設計条件

雪崩予防柵による対策の費用計算は、以下の条件で行った。硬岩部の標準掘削のり面勾配は1:0.8程度であるが¹⁴⁾、のり面保護工は植生工を優先的に採用するとされており¹⁴⁾、1:0.8の勾配に植生するには補助工法が必要のため¹¹⁾、この場合1:1.0の勾配にして緑化した方が安価なので¹³⁾、のり面勾配は1:1.0とした。

のり面の緑化については、勾配1:1.0の部分が大半なので表-1より草本緑化とした。なお、土質・地質による緑化方法は、土砂部は硬岩部は植生基材吹付工(有機質系)3cm、軟岩部は植生基材吹付工(有機質系)5cm、硬岩部は植生基材吹付工(有機質系)8cmとした¹⁴⁾。

雪崩予防柵の柵高は、30年確率最大積雪深が1.8mの時、斜面勾配が45°の場合、 $1.8m \times \cos 45^\circ = 1.27m$ 以上必要となるため1.5mとした¹⁴⁾。雪崩予防柵の列間隔(L)は、斜面勾配が45°、30年確率最大積雪深=1.8m \leq 2.0mなので、表-2よりL=8mとした。

b) 小段幅を広くする対策工法の設計条件

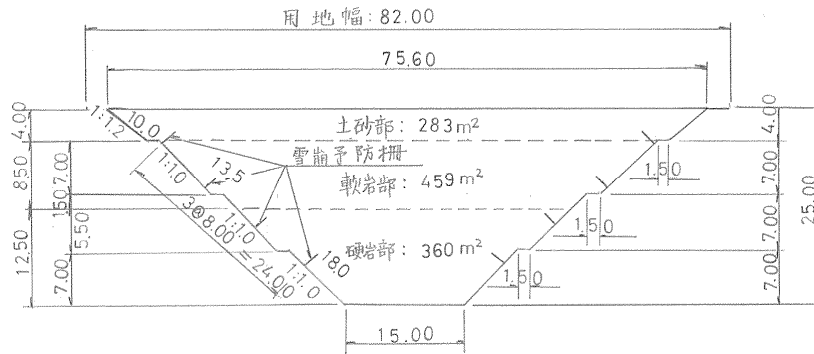
小段幅を広くする対策方法では30年確率最大積雪深以上の小段幅が必要なので、設計条件から小段幅は1.8m以上必要となるので50cmラウンドで2.0mとした²⁾。緑化についてはa)と同様とした。

c) のり面勾配を緩くする対策工法の設計条件

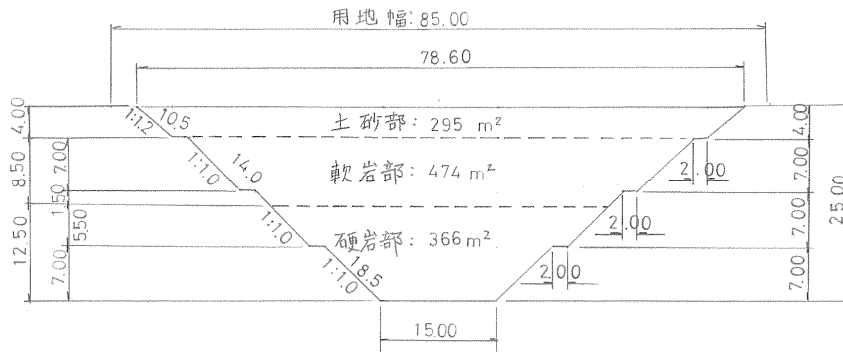
勾配1:1.7より緩い勾配では、表-1より待ち受け型緑化が可能となるので、NETIS登録工法による待ち受け型緑化とした。

なお、1:1.0~1:1.2(斜面勾配45°~40°)程度の場合の植生基材吹付工ではラス網(金属製の金網)が必要となる。

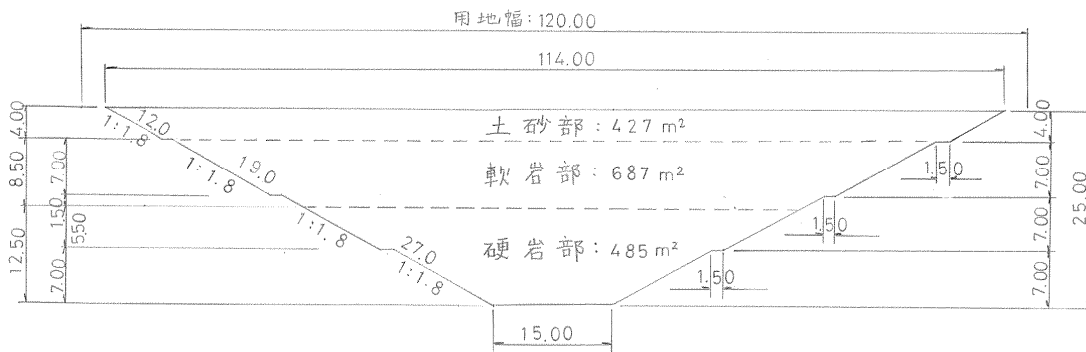
北海道ののり面で新技術活用効果調査が実施されているNETIS登録緑化工法は平成22年11月時点で25工法あった。



a) 雪崩予防柵による方法



b) 小段幅を広くする方法



c) のり面勾配を緩くする方法

図-4 切深25mの場合の雪崩予防方法別断面図

平成 22 年 11 月末～12 月初旬にこれら 25 工法の全社に電話聞き取りにより調査した結果、1:1.2 より緩い勾配では鹿被害が多いのり面など特殊な場合を除きラス網は基本的に不要との回答を得た。このため、のり面勾配を緩くする方法ではラス網を省略した。

また、同調査ではのり面勾配を 1:1.8 にした場合の基材厚も聞き取りした。その結果、工法的に該当する全社より、勾配が 1:1.2 程度の場合の厚さより 1 ランク薄く施工して良いとの回答を得たので、のり面勾配を緩くする方法では各々の土質・地質で 1 ランク薄くした。

(3) 切深 15m のケースでのその他の設計条件

切深 15m のケースでの雪崩予防方法別断面図を図-5 に示す。切深 15m の時の土質・地質状況は、一般に低い切土の場合、岩盤を含まず土砂のみの現場が多いので土砂 1 層とした。

a) 雪崩予防柵による対策工法の設計条件

雪崩予防柵の柵高は、30 年確率最大積雪深 1.8m、斜面勾配 40° の場合、 $1.8\text{m} \times \cos 40^\circ = 1.38\text{m}$ 以上が必要になるため 1.5m とした¹⁴⁾。雪崩予防柵の列間隔(L)は、斜面勾配 40° 、30 年確率最大積雪深 2.0m 迄の時、表-2 より $L=10\text{m}$ とした¹⁴⁾。緑化については勾配 1:1.2 では、表-1 より中低木緑化が可能となるので、NETIS 登録工法による中低木緑化とした。

b) 小段幅を広くする対策工法の設計条件

30 年確率最大積雪深が 1.8m の場合、小段幅は 1.8m 以上必要になるため 2.0m とした²⁾。緑化については a) と同様、NETIS 登録工法による中低木緑化とした。

c) のり面勾配を緩くする対策工法の設計条件

緑化については表-1 より、切深 25m の場合と同様、NETIS 登録工法による待ち受け型緑化とした。

5. 対策工法別の費用比較

(1) 費用比較における適用単価

費用比較はすべて直接工事費とし、適用した単価は以下によった。

- 用地・補償費は700円/m²とした¹⁵⁾。
- 土砂・軟岩・硬岩掘削単価および雪崩予防柵単価は、平成22年度国土交通省土木工事標準積算基準書によった。
- 掘削単価は平積み0.6m³バックホー掘削積込+片道0.3kmの11tダンプトラック運搬+残土受け入れ地での残土処理とした。
- 雪崩予防柵単価は柵高1.5m長さ5.5mの製品を水平設置間隔1.0mに配置する(図-3)として、440,000円/6.5m=67,692円/m≒68,000円/mとした。
- 草本緑化・ラス網単価は、国土交通省標準歩掛によった。
- 中低木緑化・待ち受け緑化は、NETIS登録A工法により施工することを前提に、北海道開発局暫定歩掛により算出した。中低木緑化は4m²に1本程度を苗木設置吹付工で施工すると仮定した。このときの単価は、苗木400円/個+マルチング300円/箇所+作業手間800円/4m²=1,500円/4m²=375円/m²≒400円/m²をNETIS登録A工法の単価に加算して算定した。

(2) 費用比較の結果と考察

雪崩予防対策に要する費用を、切深25mと15mのケースについて、各々の対策工法を費用比較した結果が表-2である。表-2のa)は用地・補償費および掘削費用と雪崩予防柵の費用で、表-2のb)はのり面緑化に要する費用と全体の金額である。

表-3 雪崩予防対策の費用比較結果

a) 用地・補償費および掘削金額と雪崩予防柵の費用

切深 (m)	雪崩抑制方法	用地・補償費(林地)			土砂部掘削			軟岩部掘削			硬岩部掘削			雪崩予防柵			小計 (円/m)
		単価 (円/m ²)	面積 (m ²)	金額 (円)	単価 (円/m ³)	土量 (m ³)	金額 (円)	単価 (円/m ³)	土量 (m ³)	金額 (円)	単価 (円/m ³)	土量 (m ³)	金額 (円)	単価 (円/m)	規格 (個/箇所)	金額 (円)	
25	a)雪崩予防柵	700	82	57,400	510	283	144,330	860	459	394,740	1,770	360	637,200	68,000	8	544,000	1,777,670
	b)小段拡幅	700	85	59,500	510	295	150,450	860	474	407,640	1,770	366	647,820				1,265,410
	c)緩勾配化	700	120	84,000	510	427	217,770	860	687	590,820	1,770	485	858,450				1,751,040
15	a)雪崩予防柵	700	63	44,100	510	522	266,220						68,000	4	272,000	582,320	
	b)小段拡幅	700	85	45,500	510	531	270,810										316,310
	c)緩勾配化	700	81	56,700	510	657	335,070										391,770

b) のり面緑化に要する費用と全体の金額

切深 (m)	雪崩抑制方法	土砂部のり面緑化				軟岩部のり面緑化				硬岩部のり面緑化				ラス網工			小計 (円/m)	合計金額 (円/m)	対雪崩 予防柵 (%)
		単価 (円/m ²)	規格 (cm)	面積 (m ²)	金額 (円)	単価 (円/m ²)	規格 (cm)	面積 (m ²)	金額 (円)	単価 (円/m ²)	規格 (cm)	面積 (m ²)	金額 (円)	単価 (円/m ²)	面積 (m ²)	金額 (円)			
25	a)雪崩予防柵	1,750	草本3	20	35,000	2,550	草本5	27	68,850	3,900	草本8	36	140,400	1,250	83	103,750	348,000	2,125,670	100
	b)小段拡幅	1,750	草本3	21	36,750	2,550	草本5	28	71,400	3,900	草本8	39	152,100	1,250	88	110,000	370,250	1,635,680	77
	c)緩勾配化	500	待受+1	24	12,000	1,500	待受+3	38	57,000	2,500	待受+5	54	135,000				204,000	1,955,040	92
15	a)雪崩予防柵	1,850	中低木3	56	103,800								1,250	56	70,000	173,800	755,920	100	
	b)小段拡幅	1,850	中低木3	58	107,300								1,250	58	72,500	179,800	496,110	66	
	c)緩勾配化	500	待受+1	72	36,000											36,000	427,770	57	

比較の結果、雪崩予防柵を設置する対策工法が切深25mの場合も15mの場合も一番高額となった。このことから、背後に大きな山を背負っていない現場条件において、雪崩予防柵の設置の可能性が考えられるのり面では、この工法を採用する前に他の対策工法と比較検討することが望ましい。

切深25mの場合、雪崩予防柵による対策を100とした時、小段幅は23%、のり面の緩勾配化は8%のコスト縮減となった。これよりこの工法は背後に大きな山を背負っていない現場条件において、他の工法と同じような雪崩対策効果が期待できるとするならば、特に長大のり面で、コスト縮減効果が大きい工法と言える。

切深15mの場合、雪崩予防柵による対策を100とした時、小段幅は34%、のり面の緩勾配化は43%のコスト縮減となった。これより、のり面勾配を緩くする工法は切土高さが小さい時、大きなコスト縮減効果が期待できる工法と言える。

なお、のり面勾配を緩くする工法は、切土量が多くなるため、切土区間で流用土を確保したい現場においては、より有利となる。また、切土量確保のために縦断線形を深く切り込む必要がなくなる利点もある。

6. まとめ

今回、モデルケースにおける雪崩予防対策工法の違いによる費用比較を行った結果、以下の結果を得た。

雪崩予防柵による対策と、小段幅を広くする対策、勾配を緩くする対策を、各々の工法間での雪崩抑止効果の違いについては論じないとして、斜面安定性と景観面、環境面、維持管理面でその機能を比較検討した結果と、切深25mと15mでモデルケースを想定し、大きな山を背後に背負っていない平坦な地形に切土するという現場条件で、費用比較した結果を表4にまとめた。

表4 各雪崩対策工法の比較検討結果

	斜面安定性	景観性	環境面	維持管理面	建設コスト※	
					切深25m	切深15m
雪崩予防柵	△	△	-	△	△	△
小段幅	○	○	-	○	◎	○
緩勾配化	◎	◎	-	◎	○	◎

※ 今回のモデルケースの場合

表より、雪崩予防柵による対策に比べ、道路の調査・計画時から雪崩の発生しにくいのり面構造とした方が、斜面安定性、景観性および維持管理面はもとより、設計条件によっては建設コストにおいても有利になる場合があることがわかった。したがって、積雪寒冷地の道路の切土のり面では、道路の調査・計画時から、雪崩の危険性の予測と併せて、対策工法の比較検討を行うことが必要であると考えられる。

7. おわりに

平成15年7月に改正された道路構造令では、「地域に適した道路構造を採用することが重要である。」と述べられている。

今回の検討結果がコスト縮減面だけでなく、凍結・融解を含めた長期的な斜面安定や景観および環境に配慮した積雪寒冷地の道路づくりに役立つことを期待する。

謝辞：本論文の作成にあたっては、日本雪氷学会・日本造園学会・地盤工学会の各北海道支部の皆様、およびネクスコエンジニアリング北海道の皆様にご協力を頂いた。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- (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).
- 高規格幹線道路設計要領検討委員会編集・(社)北海道開発センター発行,高規格幹線道路設計要領(案),平成13年3月.
- 村国誠他,切土法面崩落雪予防柵と積雪安定に関する調査,日本道路公団試験所報告,昭和60年12月.
- 村国誠他,高速道路における切土法面崩落雪予防柵の標準設計,雪と道路 Vol.10((社)北陸建設弘済会),1987(昭和62年).
- 新技術情報提供システム (NETIS) <http://www.netis.mlit.go.jp/RenewNetis/Explanation/MainExplanation.asp>
- 道北日報ヘッドライン,北海道中央自動車道,2003年, <http://www.tesio.net/~dhpress/special/2003dhspecial/highway/kousoku.htm>
- 北海道開発局土木試験所,寒冷地における切土法面工便覧(案),昭和56年3月.
- 西川純一、寒冷地におけるのり面安定工法,土木技術,vol.49,No.2,1994年.
- (社)地盤工学会北海道支部 斜面の凍上被害と対策に関する研究委員会,斜面の凍上被害と対策のガイドライン,平成22年3月.
- 草間祥吾・松田泰明・三好達夫,北海道における道路景観の印象評価に影響を与える要因について,寒地土木研究所月報 No.691,2010年12月.
- (社)日本道路協会,道路土工一切土工・斜面安定工指針,平成21年6月.
- 北海道開発局建設部道路計画課,北海道における道路構造の考え方(案),平成17年3月.
- 横山博之・松澤勝・松田泰明・新岡勝彦,のり面構造の工夫と岩盤への木本緑化による雪崩対策のり面の設計・施工,第24回寒地シンポジウム,2008年.
- 北海道開発局,北海道開発局道路設計要領,平成22年4月.
- 山林価格, <http://www.tahara-kantei.com/column/column53.html>
- (財)経済調査会編,土木施工単価,10-10秋号.

