

構造の工夫と岩盤への低木緑化による 景観に配慮した雪崩対策事例

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 道央支所 ○横山 博之
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム・地域景観ユニット 松田 泰明
網走開発建設部 興部道路事務所 新岡 勝彦

一般に道路の切土のり面勾配は土質や岩質による斜面安定により決められており¹⁾²⁾、雪崩に対する考慮はされていない。このため、切土工事完了後、斜面の堆雪状況などを見ながら雪崩予防柵が設置されることが多く、しばしば道路沿道景観への悪影響が指摘されている³⁾。

本報文では、平成16年度に施工した「雪崩予防柵に頼らずにのり面構造そのものから見直して雪崩対策を行った工事例」を報告するとともに、『今後の道路のり面緑化のあり方』と『積雪寒冷地に適したな切土のり面設計のあり方』についても述べる。

キーワード：景観、岩盤緑化、雪崩対策、樹木によるのり面緑化、切土のり面設計

1. はじめに

積雪寒冷地の道路のり面では、時に雪崩が発生し、交通に障害を引き起こすことがある。一般に、道路の切土のり面勾配は土質や岩質等による斜面安定から決められており¹⁾²⁾、雪崩に対する考慮はされていない。このため、切土工事完了後、斜面の堆雪状況を見ながら雪崩予防柵が設置されていることが多い。

こうした中、近年の気候変動に伴い短時間に多量の降雪が発生する頻度が高まり、斜面積雪深が雪崩予防柵の高さを超えることが多くなった。このため雪崩予防柵が大型化し、沿道景観への悪影響も指摘されている³⁾。

ここでは、平成16年度に実施した「雪崩予防柵に頼らずに雪崩予防対策を実施した工事例」について報告する。本工事では雪崩が発生しづらい斜面構造とした上で、岩盤を含む斜面に積極的に低木類の導入を行った。

その結果、施工後4年が経過したが雪崩発生は確認されておらず、景観面と環境面でも良好な結果が得られている。

また、本報文では『今後の道路のり面緑化のあり方』と『積雪寒冷地に適したな切土のり面設計のあり方』についても述べる。

2. 現地状況および地元要望

本現場は一般国道239号西興部村の市街地入口にあり(図1)、切土勾配6分～8分のモルタル吹付のり面であった(写真1)。

こののり面では平成11年2月17日に幅100m、高さ25mで全層雪崩が発生し、大量の雪が路肩に崩落した。

以降、写真2に示すように年数回雪落とし・排雪作業を行い雪崩の発生予防に努めていたが、道路維持管理費の負担が大きく、雪崩対策工事を行う事にした。

また、当該地は中心市街地に隣接している(写真3)ため、工事計画を立案するにあたり地元自治体から、「出来るだけ景観に配慮した事業計画を立てていただきたい。」との要望が出されていた。



図1 箇所図



写真1 着工前ののり面



写真2 平成15年冬の雪落とし状況



写真3 現在ののり面

3. 雪崩抑制と景観に配慮した切土のり面設計

一般的な切土のり面設計の考え方は斜面の土質的・地質的安定を基本としており¹⁾雪崩発生を考慮した設計方法とはなっていない。しかし、この現場では景観への配慮を求められたため、雪崩の発生しにくいのり面構造から検討し、道路付属物に頼らないのり面構造を目指した。

一方、道路の切土のり面設計では、新設斜面についての雪崩危険度評価手法は確立されていない。しかし、既存斜面については、「新編防雪工学ハンドブック」⁴⁾（以下：防雪ハンドブック）にあることから、この基準を新設のり面に当てはめることにした（2005除雪・防雪ハンドブック（防雪編）⁵⁾にも同一記述あり）。

(1) 雪崩発生メカニズム⁴⁾

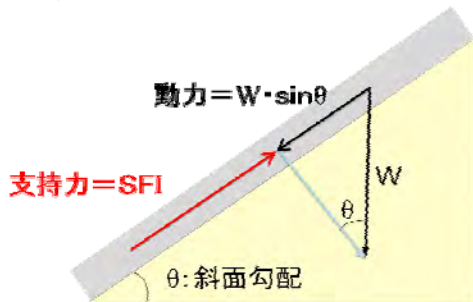


図2 雪崩発生メカニズム

雪崩は斜面に積もった雪が斜面に沿って滑り落ちようとする力（動力）が斜面の雪に対する抵抗力（支持力）を上回った時に発生する⁴⁾（図2）。

『動力』は斜面積雪と斜面勾配により決められ、『支持力』には植生が大きく影響する。このため、勾配を緩くし、植生を工夫すれば雪崩の起きづらい斜面が出来る。

(2) 雪崩の起こりやすいのり面⁴⁾

- 雪崩が発生する斜面であるか否かは、過去の統計から、
- ①最大積雪深（10年確率）が1m以上の地点
 - ②雪崩防止林として有用な森林以外の地点
 - ③斜面勾配が30°～60°の地点

(1:1.73~1:0.57)

等の条件等が重なった斜面で、雪崩発生の危険度が高いとされている⁴⁾。

逆に言うと、10年確率積雪深が1m未満の地域や、雪崩防止林が機能している場所、斜面勾配が極端に急なところや緩いところでは雪崩は発生しにくいと言える。

(3) 雪崩発生要因と斜面の雪崩危険度

雪崩の発生には多くの条件が関係するが、防雪ハンドブックではその要因として、「積雪深」、「植生の疎密」、「斜面の勾配」を取り上げ、それぞれについて、表1のように評価点を与え、表2のように斜面の雪崩危険度を判定し、得点19点以下を雪崩に対して安全な斜面としている。

表1 雪崩発生の要因と階級による評価点⁴⁾

要因	階級	評価点	本のり面
傾斜	30°未満	4点	
	30~40°	7点	39.8° 7点
	40°以上	10点	
植生	裸地、草地、樹高2m未満のカン木 樹冠疎密度20%未満	10点	
	低木：疎密度20~100%	9点	低木緑化9点
	中木：疎密度50%以上	7点	
	高木：疎密度50%以上	4点	
積雪深 (10年確率)	100cm未満	0点	
	100~200cm	6点	130cm 6点
	200~300cm	7点	
	300cm以上	9点	

表2 斜面の雪崩危険度⁴⁾

危険度	得点	評価	雪崩発生確率（10年）
A	27以上	雪崩発生の起こりやすさが大	30~50%以上
B	23~26	雪崩発生の起こりやすさが中	10~30%
C	20~22	雪崩発生の起こりやすさが小	10%未満

(4) 景観に配慮した雪崩対策のり面の設計

本のり面は雪崩対策工事のため、雪崩に対して安全なのり面、これが難しい場合は危険度C（雪崩発生確率10%未満）ののり面造りを目指した。

図3に示すように本工事箇所は延長約200mである。地質調査結果によるとその中心部2~3割程度が安定勾配8分の新鮮砂岩。その前後および上層部は安定勾配1割~1割2分の中風化砂岩および礫質土であった¹⁰⁾。

対策工法を比較したところ表3に示すように4つの案が考えられた⁶⁾。

これまでの一般国道の切土のり面設計では、緑化安定勾配切土案のC案で施工し、供用後の斜面の堆雪状況を見て「雪崩が起こる可能性が大きい」と判断したとき吊柵を設置するというのが一般的である。その場合の吊柵工費は40百万円程度（合計220百万円）。最初から勾配を緩くし、樹木による緑化を目指すD案の方が経済的に優れ（200百万円）、景観上も好ましかった。

しかし、岩盤への木本緑化は難しい技術とされており、活着したとしても効果を発揮するまで数年を要する。

そこで表1の評点項目にはないが、高規格幹線道路の長大のり面に採用する3mの幅広小段⁷⁾を最下段に設置し、万が一雪崩が発生してもこの小段で雪崩エネルギーを減衰させ一般交通には極力支障の出ない計画とした。

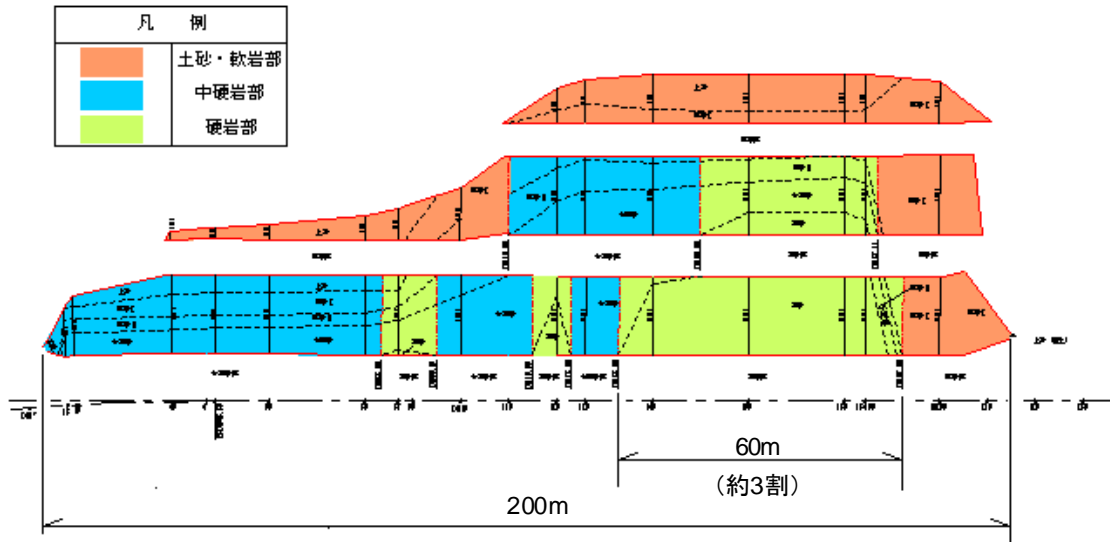


図3 施工箇所の地質状況図¹⁰⁾

表3 対策工法と雪崩の起こりやすさの程度⁶⁾

項目	A案 n=1:3.0 防雪切土案	B案 n=1:0.8~1.2 土質別安定勾配切土案	C案 n=1:1.0~1.2 緑化安定勾配切土案	D案 n=1:1.2 単一勾配切土案
雪崩危険得点 危険度評価	草本緑化 20点 C 低木緑化 19点 安全	草本緑化 26点 B	草本緑化 26点 B	草本緑化 23点 B 低木緑化 22点 C
概算工事費	550百万円	210百万円	180百万円 (吊柵付き220百万円)	200百万円
特徴	雪崩対策上最良 施工費大、補償費大	植生のための補助工法必要勾配の摺付けで施工性劣る	勾配の摺付けで施工性劣る	経済性・施工性良好 環境性・景観性最良

※既存斜面の雪崩危険度評価：表1によると、既存斜面は勾配6分～8分なので傾斜得点は10点、モルタル吹付のり面なので植生得点は10点、この地点の10年確率積雪深は1.3mなので積雪得点は6点となり合計得点は26点となる。この結果、表2による斜面の雪崩危険度はAに最も近いBとなり、雪崩発生確率は30%（10年に3回程度）となる。防雪ハンドブックによる定量的評価によると、既存斜面の雪崩危険度は高いものとなる。

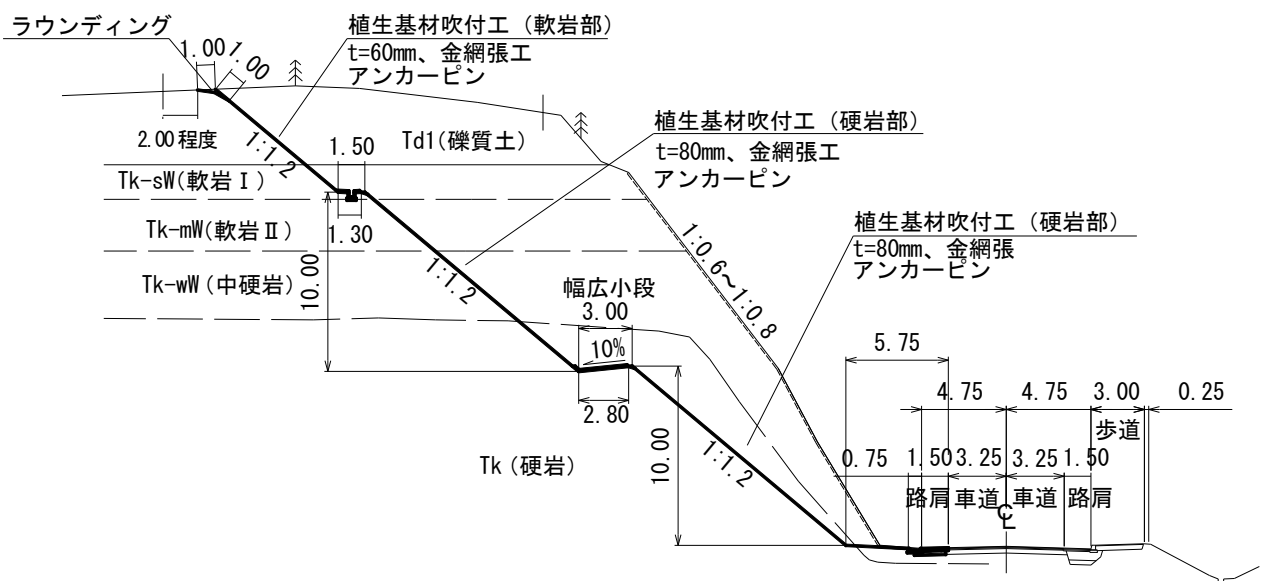


図4 既存のり面定規図と計画面定規図⁶⁾

4. 岩盤を含むのり面への低木緑化

(1) のり面への樹木導入の背景

本のり面では、雪崩に対する斜面抵抗力（支持力）を高めるために低木緑化以上を目指す必要があった。

樹木は草本植物に比べ根張り空間が大きく、根系の引張り強度が大きいため、のり面保護力が草本類に比べ優れている。このため、樹木の根が活着すると、大雨時等にも災害が起こりづらい斜面となる⁸⁾。

しかし、北海道の道路のり面での樹木による緑化はこれまでは積極的には行われて来なかった。

このため、本のり面の樹木による緑化にあたっては、過去の施工例・研究例を収集・分析して設計・施工方針を決定した。

(2) 樹木によるのり面緑化の要点

過去の施工例・研究例の分析による斜面への樹木導入の要点は以下のとおりである。

- ①のり面勾配が1割より緩いと成功する確率が高い⁸⁾。
- ②植栽工施工時期～樹木の苗や種子は発芽・活着に6ヶ月程度かかる⁸⁾。このため秋口から初冬期の、苗や種が休眠している時期に植栽工を施工すると良い。
- ③樹木は草本との競合に弱い⁸⁾¹¹⁾¹²⁾ので、苗で導入する場合は苗の周りをマルチングする¹¹⁾。
- ④のり面保護のため草本種子を導入する場合は、草本種子の配合を通常の1/100程度¹¹⁾¹²⁾にする。
- ⑤植生基材吹付工には、NETIS登録（申請中を含む）されている新工法の中で、樹木の生育に有利な「根粒菌（フランキア）」を投入したり、植物の生育に適した「団粒構造の植生基材」を使うなど、樹木の生育に適したものを使うと良い⁸⁾。

(3) 低木緑化を目指した理由

樹木の根は斜面の傾斜角が大きくなるほど、斜面の奥方向や上部方向に伸張するようになる⁸⁾（図5）。このため、1割2分（ 39.8° ）の斜面勾配で樹高10m以上の高木を導入すると、根張り空間が充分には取れないため、将来生育基盤が不安定になる危険性がある⁸⁾。また岩盤斜面なので植生基盤も厚くは見込めない¹¹⁾。

以上の理由により本斜面では低木緑化を目指した。

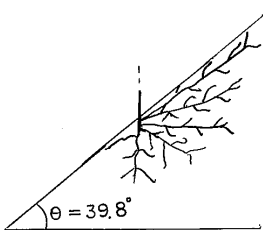


図5 根系の伸張イメージ



写真4 タニウツギ（6月頃ピンクの花が開花）

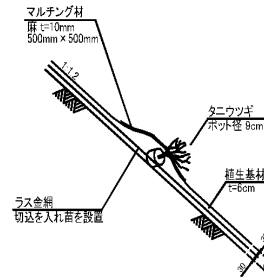


図6 苗木設置吹付工
タニウツギ施工図

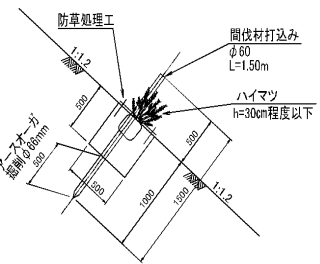


図7 植栽工
ハイマツ施工図

(4) 導入手法と導入樹種の選定

低木類の導入に際しては、現地調査・文献調査を行い、次のような条件を満たす樹種を選択した¹¹⁾。

- ①地域に自生のあること。
- ②落葉低木の中では花が綺麗で潤い感を与える樹種。
- ③1年中緑の存在を意識できるような常緑樹を含める。
- ④こぼれ種で容易に増える繁殖力を持つこと。
- ⑤乾燥や薄い表土など厳しい環境に耐え得る樹種。

(a) 苗木設置吹付工 ～ タニウツギの苗

「苗木設置吹付工」⁸⁾⁹⁾は、のり面に低木類を確実に導入する手法として実績があったので採用した。本のり面での導入樹種は、タニウツギ（スイカズラ科）とした（写真4）。ポット苗9cmを4㎡に1カ所、雪圧防止のため斜面に垂直に設置後、やや下方斜めになるようにして植えた¹¹⁾（図6）。草本との競合防止と乾燥防止のため麻布のマルチング（50cm×50cm）を設置した¹¹⁾。

(b) 植栽工 ～ ハイマツの幼木

植栽工は確実にのり面に木本類を定着させることを目的とした工法である⁸⁾（図7）。本のり面での導入樹種はハイマツ（マツ科）とした¹¹⁾（写真5）。

植栽密度は25㎡に1本程度とし、麻布のマルチング（50cm×50cm）を設置した¹¹⁾。

(c) 播種工 ～ エゾヤマハギの種子

植栽工の導入樹種はエゾヤマハギ（マメ科）とした（写真6）。ヤマハギの種子については、市場では全体使用量で8万円程度の韓国製の種子しか流通していなかった。道内の斜面から採取した種子を使うと全体使用量で80万円程度と多少高価であった。しかし、地域の生態系保全のためと全体工事費における差額の影響が0.5%程度と小さかったので、道内産種子を使用し、0.12kg/100㎡程度、吹き付ける植生基材に混入した。



写真5 ハイマツ
（常緑針葉樹）



写真6 エゾヤマハギ（8～9月頃紅紫の花が開花）



写真7 植生基材吹付工の施工状況

本のり面は岩盤を含む斜面なので「植生基材吹付工（有機質系）」が標準工法¹⁰⁾となる。しかし、有機質基材を用いた植生基盤は雨水等の浸食に弱い¹²⁾ため、のり面を草本植物で被覆保護する必要がある。しかし発芽・生育の遅い樹木は草本植物との競合に負けやすい⁸⁾¹¹⁾¹²⁾ので、標準工法では樹木によるのり面緑化は難しかった。

そこで、本のり面では植生基材吹付工にNETIS(新技術情報提供システム)登録を目指していた工法の中から、樹木による緑化に適する「団粒構造」の植生基盤⁸⁾が生成され、樹木による緑化に特に必要とされる窒素分の供給が可能な「根粒菌」等が投入⁸⁾されている「土と根のリサイクル工法」を採用した。

施工に際しては写真7に示すように、苗のピッチ割を優先せず、水分と栄養分が苗に補給されやすい様、岩盤の凹んだ所に苗を設置するようにした。

その他、木本が根付くまでの斜面面安定のための草本種子として、ヨモギ、クリーピングレッドフェスク、オーチャードグラスをそれぞれごく微量(0.001kg~0.003kg/100 m², 通常の1/100の量)使用した。

5. 斜面への低木緑化の導入結果について

本のり面緑化の時間的変化を写真8~11に示す。

本現場の植生工と播種工は、苗と種子が休眠している晩秋~初冬期に行った。施工完了直後の積雪が種子や苗にとって保温材の役割(北海道の積雪下の地表面付近の温度は0℃前後)を果たし、良好な結果につながっていると考えられる。



写真8 H17春



写真9 H17秋



写真10 H18春



写真11 H19秋



写真12 H20夏のタニウツギ



写真13 H20夏のエゾヤマハギ



写真14 H20夏の状況



写真15 ヤマハンノキ
(周りから種子が飛来)

(1) 「苗木設置吹付工」で導入したタニウツギ

写真12に施工後4年目にあたるH20.7.11現在の「タニウツギ」の生育状況を示す。のり面全体に樹高30cm~1m程度に成長していることが確認された。スポットの調査結果ではあるが活着率は80~100%であったので「苗木設置吹付工」は良好な結果であったと言える。

(2) 「植栽工」で導入したハイマツ

平成20年夏の現地調査ではハイマツの姿は確認出来なかった。成長の早い周りの植生に隠れている可能性もあるが、今回の施工では良好な結果は得られなかったと言える。

(3) 「播種工」で導入したエゾヤマハギ

写真13に平成20年夏(H20.7.11)のエゾヤマハギの生育状況を示す。また、写真14に示すように、苗木設置吹付工で植えたタニウツギの周りにエゾヤマハギが数株ずつ成長しているのが、斜面のいたるところで確認できた。本斜面における播種工による樹木緑化は良好な結果であったと言える。

(4) その他

人為的に導入した樹種他に、写真15に示すヤマハンノキのように付近の山から遷移してきた樹木が生息・成長している様子が、平成20年夏の調査では数多く見られた。現地では活発に植物遷移が進行していた。

(5) 斜面への樹木による緑化のまとめ

本のり面では、「苗木設置吹付工」と「植栽工」と「播種工」で積極的に樹木による緑化を行い、「苗木設置吹付工」と「播種工」で樹木による緑化に成功し、植物遷移も進んでいる。その要点は以下の通り。

- ①成功する確率が高い1割2分の切土勾配とした⁸⁾。
- ②秋口から初冬期にかけて植栽工・播種工を施工した。
- ③苗の周りにはマルチングした¹¹⁾。
- ④草本種子の量は、通常の1/100程度¹¹⁾¹²⁾に抑えた。
- ⑤植生基材吹付工は木本緑化に適した工法を採用した。

6. 今後の道路のり面緑化のあり方

最近の道路のり面緑化では浸食防止や崩壊防止の手段ばかりでなく、自然に類似した群落の再生によって、生態的、防災的、景観的な調和が望まれている⁸⁹⁾。

樹木による緑化は、のり面での雪崩抑止効果が期待できるばかりでなく、樹木の根は草本の根に比べ根張り空間が大きく、かつ強靱であるため⁹⁰⁾、木の根が大地を被覆する斜面は大雨にも崩れにくく、自然景観との調和が容易で、土木工事で改変した環境の改善に有効である。また、生態系の回復が早く、かつ永続的で、植生管理費も少なく済むとされている⁸⁹⁾。

これらの理由により、今後の道路のり面緑化では、視距確保などを求められる部分を除き、『樹木による緑化』が好ましい⁸⁹⁾ことが多いと考えられる。

7. 積雪寒冷地に適した切土のり面設計のあり方

平成15年7月の道路構造令の改正により全面改訂された「道路構造令の解説と運用」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。」¹³⁾と述べられている。しかし、現在までのところ、切土のり面設計は全国標準的な考え方で行われており、雪崩予防対策は施工後の道路付属物に依存している状況である。

本のり面では、雪崩発生メカニズムを検討した上で、雪崩の起こりづらいのり面造りを目指した。検討の結果、切土勾配を緩くし、植生を工夫して雪崩に対する抵抗力を上げた方が、供用後に雪崩予防柵を設置するより、コスト的に有利で、景観的・環境的な相乗効果も期待できた。

こののり面は施工後4年が経つが、現在まで雪崩の発生はなく、良好な景観が形成されている(写真3)。

しかし、今回行った雪崩対策のり面設計では、既存斜面についての雪崩発生要因と雪崩危険度評価を新設斜面に摘要したため、1段当たりの斜面長と3mの幅広ステップは雪崩発生(抑制)要因とはしていない。ここで、斜面長の大小は雪崩発生要因の1つでもあり⁴⁵⁾、幅広ステップは雪崩抑制に有効であるので、この2つの要素については切土のり面設計時には評価項目に入れるべきと考える。

積雪寒冷地では、既存斜面については道路付属物による雪崩予防対策が基本になると考える。しかし、改良斜面や新設斜面においては道路付属物に依存しない切土のり面設計手法の開発を行う必要があると考える。

8. おわりに

環境や景観との調和が求められる今後の道路工事では、樹木によるのり面緑化が求められる事例も多いと考える。しかし、樹木は、地域(道央、道北、道南、道東)や現場条件(内陸地、海岸線など)により適合樹種が違う。また、市場で流通している種苗が限られる点にも留意する必要がある。

最近の道路のり面では、NETIS登録工法によるのり面緑化が盛んに行われており、それらの中には、樹木による緑化に適した工法も複数ある。しかし、現場条件の違いによるNETIS登録工法の選定資料はデータベース化されていない。そこで、

- ① 地域や現場状況に応じた樹種選定資料の作成
- ② 樹木による緑化に適したNETIS登録工法の整理

について、現場担当者の負担が極力少なくなるような調査・研究が必要と考え、現在実施しているところである。

今後は、樹木の雪崩抑止効果の調査・研究と、のり面の雪崩発生要因と階級および評価点に関する研究を実施し、「積雪寒冷地における最適な切土のり面設計手法」を提案していきたいと考えている。

謝 辞

本のり面の緑化計画・施工指導では(有)緑花計画の笠原三郎氏、本論文の写真提供では(株)日東建設の野口友樹氏、雪崩発生メカニズムの説明においては

(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の阿部修総括主任研究員に大変お世話になった。

この場を借りて厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 北海道開発局：道路工事設計施工要領,平成16年4月
- 2) 北海道開発局：道路工事設計要領,pp1-3-14~1-3-20,pp1-4-7~1-4-8,平成20年4月
- 3) 北海道開発局：北海道の道路デザインブック(案),資6-47,2007年3月
- 4) (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,pp133-135,pp173-176,1988年3月.
- 5) (社)日本建設機械化協会編：2005防雪・除雪ハンドブック(防雪編),pp120-123,平成16年12月.
- 6) 網走開発建設部：一般国道239号西興部村西興部防雪対策実施設計外一連業務業務報告書,2003年3月.
- 7) 北海道開発局：高規格幹線道路設計施工要領(案),2002年3月.
- 8) 小橋澄治/室井宏編：のり面緑化の最先端,ソフトサイエンス社,pp91-208,1995年4月.
- 9) (社)日本道路協会：道路土工のり面工・斜面安定工指針,pp207-306,平成11年3月.
- 10) 網走開発建設部：一般国道239号西興部村西興部法面地質調査業務業務報告書,2003年1月.
- 11) 網走開発建設部：興部道路維持事業所管内植樹管理等検討業務業務報告書,2004年12月.
- 12) 北海道三祐(株)：新技術報告書(土と根のリサイクル工法),2004年12月.
- 13) (社)日本道路協会：道路構造令の解説と運用,P60,2004年2月.