

『下枝の枯れ上がりが見られる防雪林の 管理手法に関する技術資料(案)』の概要

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム ○松島 哲郎
同上 西村 敦史
同上 寒地機械技術チーム 植野 英睦

道路防雪林とは、道路の風上側、または両側に、冬期でも葉が落ちないアカエゾマツなどの常緑針葉樹を整備し、風速を弱めることで、吹雪時の視界不良を軽減する防雪施設である。

防雪林造成時には、苗木を密に植林することから、成木へと育成する際に、裾枝払い、間引作業など、適時適切なメンテナンスが必要である。しかし、作業するタイミングを逸すると、下枝に枯れ上がりが生じ、林帯が疎な状態となることで、防雪機能が低下してしまう。

このような下枝の枯れ上りによる防雪機能の低下を防ぐための管理手法を検討し、技術資料(案)として、令和5年3月に公表したことから、その概要と、これまでの関連研究の経緯を以下のとおり報告する。

キーワード：道路防雪林、視界不良、生育不良、枯れ上がり

1.はじめに

当チームでは、吹雪による視界不良発生時の安全性向上などの研究開発を行っているが、それらは第8期北海道総合開発計画の目標のひとつである「強靱で持続可能な国土の形成(図-1)¹⁾」に資するものである。

防雪施設のうち、本稿で報告する道路防雪林(写真-1、図-2)は、防雪機能を発揮するまでに、長い時間を要するため、成長過程で、樹木の生育不良が発生してしまう場合もある。その一例として、下枝の枯れ上りによる防雪機能の低下した事例が見受けられる。

本稿では、防雪林の管理手法を検討し、技術資料(案)として、令和5年3月に公表したことから、概要と、これまでの関連研究の経緯を報告する。

2. 既往調査から得られた知見や現在までの経緯

平成14年度に、伊東²⁾が現地踏査を行い、樹木の育成不良状況を調査した結果、下枝の枯れ上がりが発生している箇所が見受けられることが報告された。

また、伊東ら³⁾は、道北地方のトドマツで構成された防雪林の林齢15年程度までの林齢、樹高、樹冠幅の関係を導き、樹冠閉鎖時期を考察した。

次に、武知ら⁴⁾、伊東ら⁵⁾、山田ら⁶⁾が調査した、防雪林の視界不良軽減効果や、下道ら⁷⁾による現地調査結果から得られた課題を踏まえ、山田ら⁸⁾が、風洞実験装置での可用性検討を行い⁹⁾、防雪機能の低下を防ぐ樹木密度などを考察した¹⁰⁾。

下枝の枯れ上りの発生度合いによる防雪機能の変化を



写真-1 一般国道238号 浜頓別町 山軽防雪林の現況(稚内市に向かい撮影:令和3年1月)



図－1 北海道総合開発計画の3つの目標¹⁾



図－2 標準的な防雪林における堆雪状況横断面図

詳細に把握するため、現地調査箇所のスクリーニングを行った。北海道内の防雪林整備箇所のうち、平成26年度現在で、整備から20年以上経過した防雪林を表－1に示す。平成6年度に、当所で防雪林の管理手法検討した際、北海道内の防雪林を調査した報告書^{11)、12)}と、現地踏査結果を比較し、樹木の生育状態や枯れ上がりの進行状況を確認し、調査箇所を選定した。

結果、一般国道40号天塩町雄信内、一般国道44号浜中町茶内、一般国道238号浜頓別町山軽、一般国道391号小清水町水上を、主な現地調査箇所と選定した。

その後、上田ら^{13)、14)、15)}、伊東ら¹⁶⁾により、アカエゾマツの生育状況の調査結果から、樹冠と呼ばれる茎・葉・花などの、地上にある植物部の生育状態を調査することで、防雪機能の指標となることが示された。

次に、伊東¹⁷⁾により、一般的な造林や防風林、鉄道防雪林との相違点に着目し、道路防雪林の特徴や現況、植栽密度などの調査結果が報告された。

さらに、櫻井ら¹⁸⁾により、下枝の枯れ上がりが見られる道路防雪林の気象計測結果から、防雪林の空隙率と視界不良発生との関係性が示された。

それらの調査結果を踏まえ、山崎ら^{19)、20)}、幸田ら²¹⁾、太田ら²²⁾、齋藤ら^{23)、24)}が、寒地機械技術チームで保有している風洞実験装置を活用し、様々な条件で、下枝の枯れ上がり状況を再現し、防雪機能への影響や、補助柵設置位置の最適化など、多種多様な検証を行った。

風洞実験装置で、枯れ上がりが生じた防雪林の風況を再現することは困難の連続であった。寒地機械技術チームでは、数々の技術改良や、条件設定の試行錯誤を繰り返して精度向上に務めた(写真－2、3、4)。

補助柵設置などの対策を施した事例として、原田ら²⁵⁾

表－1 北海道内で整備から20年以上経過した防雪林

No	国道	開建	市町村名	地区名	No	国道	開建	市町村名	地区名
1	39	網走	大空町	湖南	12	239	網走	西興部村	奥興部
2	40	旭川	中川町	国府	13	241	帯広	上士幌町	居辺
3	40	留萌	天塩町	雄信内	14	241	帯広	上士幌町	北居辺
4	40	稚内	稚内市	サラキトマノイ	15	241	帯広	士幌町	東雲
5	44	釧路	浜中町	茶内	16	243	釧路	弟子屈町	仁多
6	238	網走	網走市	東浜	17	272	釧路	中標津町	俵橋
7	238	網走	紋別市	共和	18	276	小樽	京極町	北岡
8	238	網走	紋別市	小向	19	334	網走	斜里町	朱円
9	238	稚内	枝幸町	岡島	20	334	網走	羅臼町	幌萌
10	238	稚内	枝幸町	ヤマウス	21	391	網走	小清水町	水上
11	238	稚内	浜頓別町	山軽					

により、釧路開発建設部 根室道路事務所管内で、既に補助柵が設置されていた、一般国道44号浜中町茶内防雪林における防雪機能の効果検証結果が報告された。

続いて、筆者ら²⁶⁾が、留萌開発建設部 羽幌道路事務所管内の、一般国道40号天塩町雄信内防雪林で行った調査結果を報告した。そこでは、樹木下枝の枯れ上がりを原因とした防雪機能の低下が危惧された。風速を低減可能な補助柵を新規設置した結果、国道上での視界不良軽減効果が確認された。

最後に、筆者ら²⁷⁾が、稚内開発建設部 浜頓別道路事務所管内の、一般国道238号浜頓別町山軽防雪林で行った調査結果では、山側・西側の林帯は、下枝の枯れ上がりは認められず、適切な防雪機能を発揮しているため、視界不良対策の好事例として報告した。

これら、継続的に行われた多数の調査結果から得られた知見を集約し、本技術資料が構成されている。

3. 技術資料(案)の作成目的

本技術資料(案)は、前述した、樹木の下枝の枯れ上がりにより、防雪機能の低下が懸念される道路防雪林に対して、補助柵設置などの応急的対策も含め、防雪機能を回復することを目的としている。

現時点での防雪機能を評価したのち、適切なメンテナンスを施すことで、樹木が十分に防雪機能を発揮できるための環境整備、管理手法などを検討した。後述する現地調査や検討結果から得られた知見も加味し、表－2に示す章立構成で編纂した。



写真－2 枯れ上がりを再現した樹木の模型

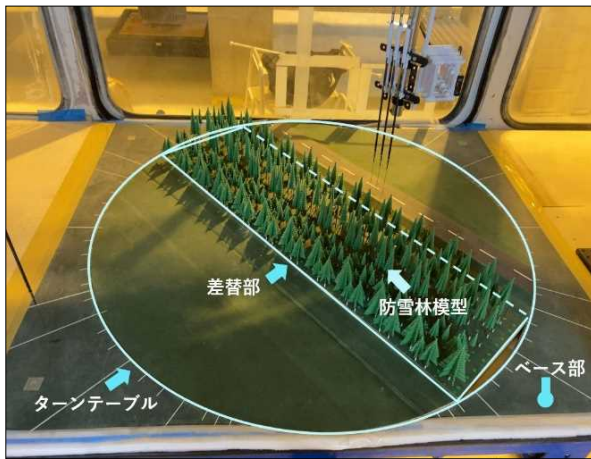


写真-3 風洞実験装置による風況調査状況



写真-4 活性白土を用いた林帯内の積雪・着雪再現状況

表-2 技術資料(案)の章立構成および内容

技術資料(案)の章立構成	内容
第1章 総則	
1. 目的	・本資料の目的を提示
2. 適用範囲	・補助対策、間引きを必要とする防雪林
3. 本技術資料案の構成	・本資料の構成を提示
第2章 防雪林の防雪機能の評価	
1. 下枝の枯れ上がりと防雪機能	
1-1. 防雪林の成長と防雪機能	・成長に従って防雪機能が変化
1-2. 下枝の枯れ上がりと機能低下	・下枝の枯れ上がりに伴う機能低下
1-3. 機能低下が懸念される防雪林	・機能低下が懸念される防雪林判別方法
2. 防雪林の機能評価	
2-1. 評価の概要	・調査および評価の概念、流れを解説
2-2. 防雪林風上側の風速の設定	・気象観測などで得たデータの解析方法
2-3. 林縁、林内の現地樹木調査	・防雪林の枯れ上がり状態の調査方法
2-4. 防雪機能の評価	・空隙率、風速による定量的な評価
2-5. 空隙率の調査	・ビデオカメラ撮影映像からの算出方法
第3章 管理手法の検討	
1. 検討の概要	・管理手法の検討の概要や流れを解説
2. 管理手法の選定	・防雪機能や、樹木調査結果より検討
3. 補助柵設置による機能低下対策	・柵の配置位置、仕様などを検討
4. 間引きによる機能低下抑制	・間引きの考え方や例を解説
資料編	
1. 検討の実施例	北海道：留萌・宗谷地方の2箇所を対象とした防雪機能の評価、管理手法の検討例 北海道：天塩町で実施した補助柵の設置方法と留意点、図面、設計計算例など
2. 補助柵の併設例	

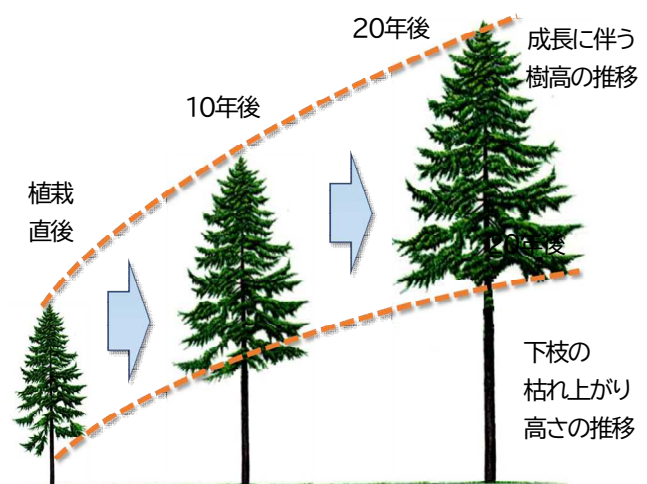


図-3 樹木の成長に伴う樹高と下枝の枯れ上がり高さの推移イメージ

以前に整備された防雪林は、防風林や鉄道防雪林の基準に準拠し、高い密度で植栽された箇所が多い。

樹木の成長に伴い、隣接する樹木により日照が遮られ、光合成による栄養源の確保が困難となる。かつ、風通しが悪化することで高温多湿状態が継続し、樹木の育成に悪影響を及ぼす。

枝先が隣同士の樹木と触れ合い、写真-5に示すように、頂芽が衰弱したり、光合成が困難な葉が落ちることで、下枝の枯れ上がりが生じてしまう。

常緑針葉樹の葉の寿命は、エゾマツやヨーロッパトウヒは最大で7年程度、アカエゾマツは10年程度の生存が確認されている²⁹⁾。なお、光合成能力は、2年生葉が最大値を示し、徐々に低下していく³⁰⁾。

落葉した後、その枝から、再度、葉が芽吹き、生育することはない。写真-6、7に示すように、枝のみが残る状態となる。

さらに、積雪深よりも下に位置する枝は、雪の圧密で生じる沈降力で、枝自体が損傷してしまうことがある³¹⁾。

雪の圧密による長時間の沈降では、枝が折れず、幹から枝が引き抜かれてしまう場合もある³²⁾。

4. 下枝の枯れ上がりの原因

図-3に示すとおり、樹木は、植栽後、成長とともに樹高が高くなると同時に、葉が張り巡らされることで空間密度が向上し、風を弱める効果が発揮される。

その後、少なくとも一部で樹冠閉塞、森林のうっ閉化により、光合成が困難な葉が落ちることで、下枝に枯れ上がりが生じ、空隙率が増加することで、防雪機能は減少に転じてしまう。

既往調査結果²⁹⁾では、樹種の違いによる下枝の枯れ上がり開始時期が示されている。アカエゾマツ18年後、ヨーロッパトウヒ12年後、トドマツ18年後である。

なお、樹高が6.0mに達すると、樹冠直径は2.0mとなり、樹冠が閉鎖、隣同士の樹木と触れ合うことで、枯れ上がりが始まる場合もある。

平成23年度改訂版「道路吹雪対策マニュアル」制定



写真-6 枯れ上がりの調査状況を令和3年5月に撮影



写真-7 枯れ上がりが生じている林帯内を令和3年2月に撮影



写真-5 衰弱した枝先と健全な枝先の差異

5. 防雪林の機能評価

本技術資料(案)では、道路上の風速から吹雪の発生を推定し、防雪機能の評価を行う一例として、以下の3項目の調査手法を示している。

- ✓ 防雪林風上側の風速の推定
- ✓ 空隙率の調査
- ✓ 林縁、林内の樹木調査

調査箇所から、概ね5km以内の距離に、国土交通省北海道開発局が設置した道路テレメーターが存在する場合は、既往計測データが活用可能である。過去10年間の年最大風速などを用い、現地での風速の推計を行う。

空隙率の算出は、一般的なデジタルカメラやビデオカメラで撮影された画像を用いる。画像をトリミング後、白黒2値化を行い、白黒各ピクセル数をカウントすることで、空隙率を算出する。

樹木調査状況を写真-8に示す。樹木の樹高、下枝高さ、枯れ上がり高さ、枝張、幹周などを計測する。近接する樹木の枝と干渉状況も確認することが望ましい。



写真-8 樹高などの調査状況を令和2年6月撮影

6. 間引きによる機能低下抑制

前述のとおり、防雪林整備時は、高密度で植栽された箇所が多く、葉の枯死による下枝の枯れ上がりを防ぐために、間引きを行う必要がある。

ただし、一度に多くの樹木の間引くと、周辺環境や、風況に変化が生じ、防雪機能が低下する^{20、22}。

図-4に、標準的な林帯幅を有する場合の間引き例を示す。初めに、道路側の林帯を1本おきに間引きを行い、数年間、冬期間の視界不良発生状況や風況を確認したのちに、残りの半数を間引くなど、段階的に施工することが望ましい。

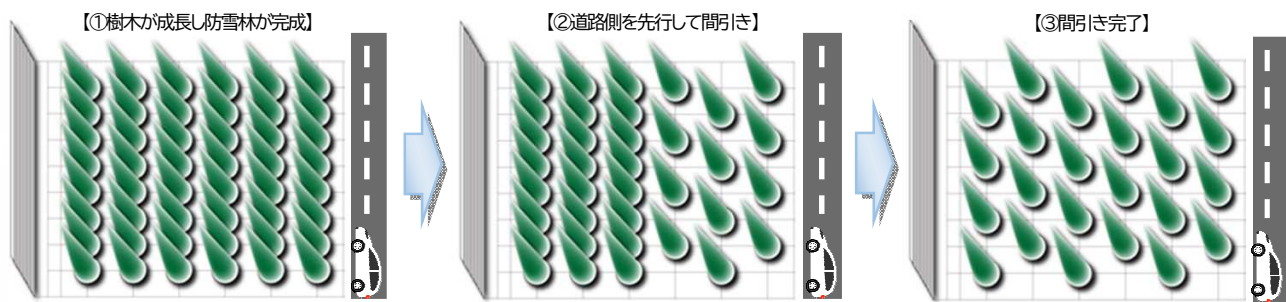


図-4 樹木成長後に千鳥配置で間引きを行う順番の一例



写真-9 補助柵を設置した事例(令和3年4月撮影)



写真-10 冬期間の補助柵周辺の状況(令和3年2月撮影)

7. 補助柵設置による機能低下対策

防雪林内部は、枝が張り出し狭隘であるため、油圧ショベルなどの建設機械による施工は困難である。よって、人力で施工可能な対策が望ましい。

既往調査結果^{24)、25)}から得られた知見から、風上や林内に防風ネット柵などの補助柵を設置すると、視界不良の軽減が可能である。さらに、中低木の活用を含め、多様な植生の活用方法が検討されている^{33)、34)}。

本技術資料(案)では、資材の入手性や経済性を考慮し、写真-9、10に示す、ホームセンターなどで市販されている、単管パイプと防風ネットを組み合わせた補助柵設置を提案した。

8. 技術資料(案):資料編

資料編では、一般国道40号天塩町雄信内、一般国道238号浜頓別町山軽の両防雪林における、防雪機能の評価事例、補助柵の設置検討事例を示している。

道路テレメーター雄信内局、浅茅野局で計測された気象データから、各防雪林整備箇所の風速を推定し、吹雪の発生如何を判断している。

9. インターネットでの技術資料(案)閲覧方法

本技術資料(案)は、誰でも容易に閲覧できるように、令和5年3月に、図-5に示す、当所寒地道路研究グループWebサイトに、PDF全編を無償で公表した。

ロボット型検索エンジンに対するWebサイトの最適化(SEO: Search Engine Optimization)にも配慮しており、

GoogleやYahoo! Japanなどの検索サイトで「防雪林 技術資料」と入力すると、PDFダウンロードページが1番上位、次に「道路吹雪対策マニュアル」のダウンロードページが、2番目に表示される。

なお、ダウンロードページには、「防雪柵開口部の対策施設に関する技術資料(案)」も掲載している。新たな配置で副防雪柵を設置することで、防雪柵開口部における視界不良発生の抑制や、急激な視界の悪化を緩和し、道路利用者の安全性向上に資する技術である。防雪対策を施す際に、参考としていただけると幸いである。



図-5 寒地道路研究グループWebサイト
https://www2.ceri.go.jp/jpn/index.htm



謝辞:

本稿で報告した技術資料を作成するにあたり、以下の機関の方々にご尽力いただいた次第である。この場を借りて、お礼申し上げ、深く感謝の意を表す。

現場提供、各種資料提供:

✓ 北海道開発局 留萌開発建設部 羽幌道路事務所
✓ 同 稚内開発建設部 浜頓別道路事務所
補助柵設置作業、除雪作業:

✓ (株)鹿兒島建設 (本社: 天塩郡天塩町)
気象観測機器設置・計測・資材準備等:

✓ (株)雪研スノーイーターズ (本社: 札幌市)
✓ (株)北水エンジニアリング (本社: 札幌市)
✓ (株)ホクエイ 営業第2本部 ノースプラン部
(本社: 札幌市)

参考文献:

- 1) 国土交通省:北海道総合開発計画についてWebサイト、2016。
https://www.mlit.go.jp/hkb/hkb_tk7_000059.html (令和5年12月閲覧)
- 2) 伊東靖彦:道路防雪林の生育課題について、寒地土木研究所月報、No.595、pp.48-50、2002。
- 3) 伊東靖彦・福沢義文・松澤勝・加治屋安彦・孫田敏・阿部正明:道路防雪林の林型に関する考察、(社)北海道開発技術センター、寒地技術論文・報告集18、pp.318-323、2002。
- 4) 武知洋太・伊東靖彦・松澤勝・加治屋安彦:道路防雪林の防雪効果について、第17回ふゆトピア研究発表会論文集、2005。
- 5) 伊東靖彦:道路防雪林の視程障害緩和効果について、寒地土木研究所月報、No.664、pp.34-39、2008。
- 6) 山田毅・伊東靖彦・松澤勝:疎密の異なる道路防雪林の視程改善効果、第52回(平成20年度)北海道開発技術研究発表会。
- 7) 下道純・松島哲郎・伊東靖彦:道北地方の国道防雪林の現状と課題について、第52回(平成20年度)北海道開発技術研究発表会、2009。
- 8) 山田毅・伊東靖彦・加治屋安彦・小杉健二・根本征樹・今西伸行:風洞実験による防雪林の樹木形態と防雪効果の関係について、(社)日本雪氷学会北海道支部、北海道の雪氷No.25、2006。
- 9) 寒地土木研究所:「防雪林の防雪効果に関する研究」パンフレット、2008。(令和5年12月閲覧)
<https://www2.ceri.go.jp/jpn/pdf2/panf-200807-snowbreakwoods1.pdf>
- 10) 山田毅・伊東靖彦・松澤勝・根本征樹・小杉健二:視程改善効果を維持する道路防雪林の樹木密度の検討、ゆきみらい、2009in高岡、第21回ゆきみらい研究発表会、CD-ROM、2009。
- 11) 北海道開発局開発土木研究所・(財)北海道森林保全協会:防雪林育成・管理業務報告書、1996。
- 12) 北海道開発局開発土木研究所・(財)北海道森林保全協会:防雪林育成・管理手法検討業務報告書、1995。
- 13) 上田真代・渡邊崇史・松澤勝:防雪林の植栽木としてのアカエゾマツの生長過程について、寒地土木研究所月報、No.711、pp.26-33、2012。
- 14) 雪氷チーム:道路防雪林の生育不良の要因について、寒地土木研究所月報、No.704、pp.31-34、2012。
- 15) 上田真代・渡邊崇史・松澤勝:道路防雪林における葉面積の測定について、寒地土木研究所月報、No.745、pp.46-51、2015。
- 16) 伊東靖彦・渡邊崇史・高玉波夫・松澤勝・佐藤圭洋・鈴木哲・渡

辺淳・佐藤嘉昭:道路防雪林におけるアカエゾマツの樹高および枝張の推移、寒地土木研究所月報、No.773、pp.12-20、2017。

- 17) 伊東靖彦:道路防雪林の特徴、寒地土木研究所月報、No.756、pp.18-23、2016。
- 18) 櫻井俊光・伊東靖彦・高橋渉・武知洋太・松澤勝・高橋丞二:下枝の枯れ上がりが見られる道路防雪林の防風・防雪効果について、寒地土木研究所月報、No.793、pp.11-20、2019。
- 19) 山崎貴志・住田則行・石川真大:風洞実験による道路防雪林の防雪・防風機能調査、第56回(平成24年度)北海道開発技術研究発表会、ふ-09、2012。
- 20) 山崎貴志・住田則行・中村隆一:風洞実験による道路防雪林の間引き管理に関する検討、第57回(平成25年度)北海道開発技術研究発表会、ふ-04、2014。
- 21) 幸田勝・太田広・住田則行・山崎貴志:風洞実験による道路防雪林の防雪機能調査、日本造園学会北海道支部大会、2016。
- 22) 太田広・幸田勝・伊藤義和・住田則行:道路防雪林の防雪機能を維持するための間引き管理に関する研究、平成29年度土木学会全国大会第72回年次学術講演会、講演概要集、2017。
- 23) 齋藤勉・植野英睦・菅原彰人:風洞実験による防雪林の枯れ上がりの影響把握について、寒地土木研究所月報、No.812、pp.28-33、2020。
- 24) 齋藤勉・植野英睦・山崎貴志:下枝の枯れ上がった防雪林の補助対策設置位置の違いにおける風洞実験による風況把握について、寒地土木研究所月報、No.838、pp.10-15、2022。
- 25) 原田裕介・高橋渉・櫻井俊光:補助工法が導入された道路防雪林の効果検証に向けた現地観測～2020年3月一般国道44号浜中町茶内防雪林の事例、第64回(令和2年度)北海道開発技術研究発表会、pp.425-430、2021。
- 26) 松島哲郎・高橋渉・原田裕介・櫻井俊光・西村敦史:既設道路防雪林の機能向上に関する一考察(第1報)～一般国道40号天塩町雄信内での補助柵設置による視界不良対策事例、寒地土木研究所月報、No.826、pp.27-40、2022。
- 27) 松島哲郎・高橋渉・武知洋太・原田裕介・櫻井俊光・西村敦史:既設道路防雪林の機能向上に関する一考察(第2報)～生育状況良好:一般国道238号浜頓別町山軽のベストプラクティス、寒地土木研究所月報、No.830、pp.49-66、2022。
- 28) 寒地土木研究所・(株)雪研スノーイーターズ:平成24年度道路防雪林の生育と植栽基盤に関する調査業務報告書、2013。
- 29) 香山雅純:トウヒ属樹木の蛇紋岩土壌における適応機構の解明と環境修復に関する研究、北海道大学演習林研究報告、第63巻第1号、pp.33-78、2006。
- 30) 小池孝良:樹木生理生態学、朝倉書店、264pp、2004。
- 31) 阿部正明・斎藤新一郎・佐藤金八:道路防雪林の下枝の枯れ上がりについて～事例からみた対策、北海道の雪氷、No.36、pp.73-76、2017。
- 32) 斎藤新一郎:生きものの工法としての道路防雪林の造り方について、公益社団法人日本雪氷学会、北海道の雪氷、No.39、pp.77-80、2020。
- 33) 櫻井俊光・伊東靖彦・松澤勝:多様な植生を活用した吹雪対策とその付加価値～米国のLiving Snow Fenceに関する調査研究から、第61回(平成29年度)北海道開発技術研究発表会、2018。
- 34) 寒地土木研究所:「新たな樹種構成や複合的施設配置による防雪林の機能確保・向上技術に関する研究」パンフレット、2022。
<https://www2.ceri.go.jp/jpn/pdf2/panf-202207-bousetsurin.pdf> (令和5年12月閲覧)