

7-3 防雪対策施設の性能評価に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：雪氷チーム、寒地機械技術チーム

研究担当者：松澤勝、伊東靖彦、渡辺崇史、上田真代、
金子学、牧野正敏、小宮山一重、山崎貴志

【要旨】

積雪寒冷地の北海道では、国道における通行止め原因のうち吹雪による視程障害が4割を占めるなど、吹雪による冬期交通障害が多く発生している。本研究では、吹雪による交通障害の防止に向けて「視程障害対策・吹きだまり対策の定量的評価法の検討」、「防雪性能を向上した吹雪対策手法の開発」、「道路防雪林の適切な育成管理に関する調査」、「道路吹雪対策マニュアルの改訂に向けた検討」を実施した。

本研究では、実物大フィールド実験及び風洞実験により、吹き止め柵の防雪性能の現地観測や風洞実験時の定量的評価方法について明らかにした。また、風洞実験により、吹き止め柵と吹雪捕捉溝との併用による防雪性能向上手法を開発した。この他、現地調査により、道路防雪林の生育不良の主な要因が滞水であることを解明し、適切な育成管理手法について提案した。

『道路吹雪対策マニュアル』の改訂では、本研究の成果をマニュアルに盛り込んだほか、『吹雪時を考慮した視線誘導施設マニュアル(案)』の内容を加えることによって、本マニュアル1冊で道路の吹雪対策の全てを網羅できるよう、内容の充実を図った。

キーワード：防雪柵、防雪林、性能評価、視程、風洞実験、生育不良、道路吹雪対策マニュアル

1. はじめに

北海道では国道における冬期通行止め原因のうち吹雪による視程障害が4割を占めるなど、吹雪による冬期交通障害が多く発生している。加えて北海道では日常生活や社会経済活動における自動車交通への依存が高く、吹雪対策は積雪寒冷地域の道路交通を確保する上で重要な課題の一つとなっている。

道路の吹雪対策では、これまで防雪柵や防雪林などの吹雪対策施設が整備されている。しかし、防雪柵等の吹雪対策施設の効果の定量的な評価方法が示されていないため、民間では独自の手法で自社の防雪柵の評価を行っており、信頼性が十分とは言えない現状にある。加えて防雪林に関しては、生育不良が課題となっており、樹木の生長に応じた適切な育成管理の方法を示すことが必要となっている。

そこで本研究では、視程障害あるいは吹きだまり対策手法の定量的な評価手法の提案に向けた検討を行なうと

ともに、性能を向上した吹雪対策手法や道路防雪林の育成管理手法について検討し、道路吹雪対策の計画、施工、維持管理に関わる技術的事項を網羅した「道路吹雪対策マニュアル」の改訂を通じて、技術の普及を図ることとした。

本稿では、防雪柵の防雪機能の定量評価に向けた実物大フィールド実験や風洞実験、吹き止め柵と補助防雪施設の併用による防雪性能向上に関する風洞実験、道路防雪林の生育不良要因に関する現地調査、「道路吹雪対策マニュアル」の改訂に関する経緯と主な改訂の内容について以下に報告する。

2. 視程障害対策・吹きだまり対策の定量的評価法の提案

2.1. 実物大フィールド実験による評価解析

道路の吹雪対策の内、吹雪を直接制御するものに防雪柵と防雪林があり、防雪柵は、吹きだめ柵、吹き払い柵、

吹き止め柵の3種類に分類される¹⁾。この内、吹き止め柵は吹きだめ柵の下部間隙を無くし、柵高を高くすること等により、吹き払い柵の適用限界を超える多車線道路の吹雪対策を目的に開発された²⁾もので、1980年代後半から主に4車線道路の吹雪対策に用いられている。

本稿では、既往文献調査による調査項目の抽出と、石狩吹雪実験場における吹き止め柵の実物大フィールド実験による吹き止め柵の定量的評価手法に関する検討の結果について以下に記載する。

2.1.1. 既往文献調査

防雪施設の性能の定量的評価に向けて、防雪林や防雪柵の視程障害緩和効果に関する既往文献を収集し、測定方法および解析手法について整理した³⁾。収集した126件の文献を観測方法、評価対象、計測項目、計測方法について分類し、現地調査で標準的に用いるべき観測項目を抽出することとした。

収集した文献の内、現場にて視程を計測していた事例は17件となっていた。視程計測高さは、1.5mが5件と最も多く、2.0mが3件で、その他は記載が無かった。また、視程障害緩和効果については、防雪施設未設置区間または風上側と、設置区間の視程の比較によるものが17例中16例と多く、評価の指標は多い順に平均視程(8例)、視程変動(5例)、視程改善率(4例)、視程頻度(3例)等となっていた。既存事例が多くデータの比較や処理が容易なことから、評価指標には基準点と柵風下側の視程の、短期変動を除外した10分平均視程の比を用いることが適切と考えられた。また、既存事例では吹雪時のデータに着目してデータを抽出しているケースが多く、それらを参考にして視程500m以下または200m以下のデータを抽出して解析を行なうこととした。なお、視程計測高さについては実験により検討することとした。

2.1.2. 実験方法

吹き止め柵の性能評価の標準的手法を提案するため、石狩吹雪実験場(図1)に高さ5m、延長102mの吹き止め柵を設置し、観測を平成18~19年度冬期に実施した。文献調査の結果に基づき、測定は風速、視程、測定位置、防雪柵延長に着目して行なった。

2.1.3. 実験結果

防雪柵の視程障害緩和効果の評価では、従来の研究では風速や視程が指標として用いられている。観測した視程と風速との関係について図3に示す。なお、ここでは

基準点と防雪柵設置区間の平均視程の比を視程比、同様に平均風速の比を風速比として表わす。

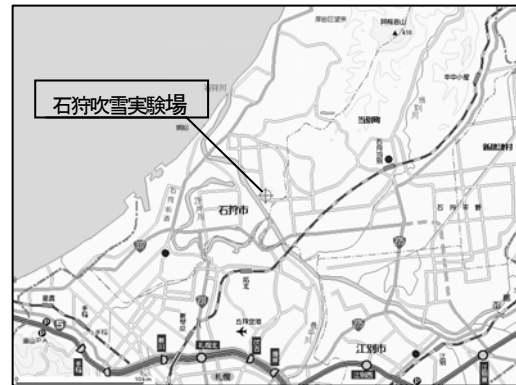


図1 実物大フィールド実験箇所



図2 観測機器配置図

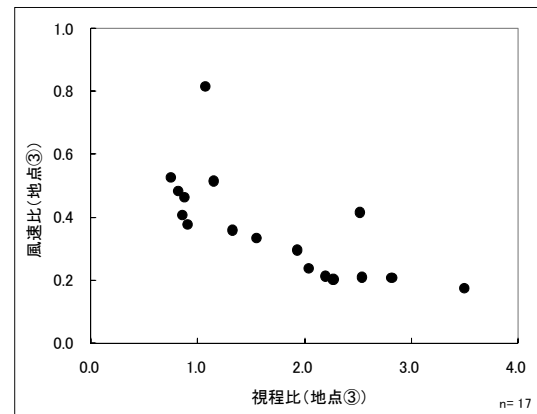


図3 視程比と風速比との関係

視程比と風速比の間には、概ね反比例の関係が認められたものの、風速比が小さい場合、風速比のわずかな変化により視程比が大きく変化することが判ったため、風速比よりも視程比を評価指標として用いることが望ましいと考えられる。

防雪柵からの距離と、視程比との関係について、図4に示す。視程比は防雪柵に最も近い6.5mの位置で最も高く17.0mと27.5mでは同程度となっていた。また、図に

は示していないが、平成18年度に行なった高さ2.5mの観測では、視程比は7~10.5と1.5mよりも高く、防雪柵からの距離による違いも見られなかった。ドライバーの視線高さに近い高さ1.5mは、高さ2.5mよりも視程の条件が厳しく、柵からの距離の影響も大きいため、防雪効果の評価にあたっては、高さ1.5mの風下側路側位置での測定が適切であると考えられる。

防雪柵の端部では風の巻き込みによる強風域ができ、視程に影響(エンドエフェクト)を与える⁴⁵⁾と言われている。風速比と柵端部からの距離との関係について、図5に示す。実験の結果、エンドエフェクトは柵端部から20mまでの範囲で顕著に見られた。観測は柵端部から30m以上離れた位置で行なうことが必要であり、フィールド実験の際の防雪柵の必要な延長は60m以上となることが判った。

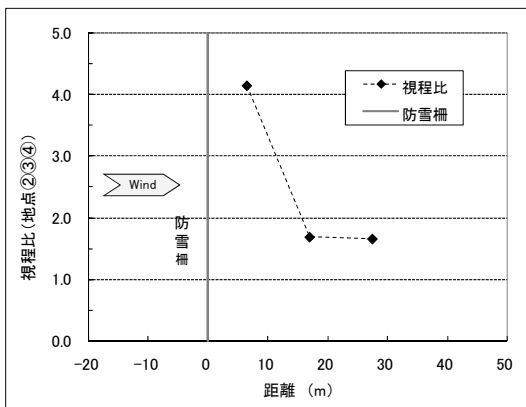


図4 防雪柵からの距離と視程比との関係

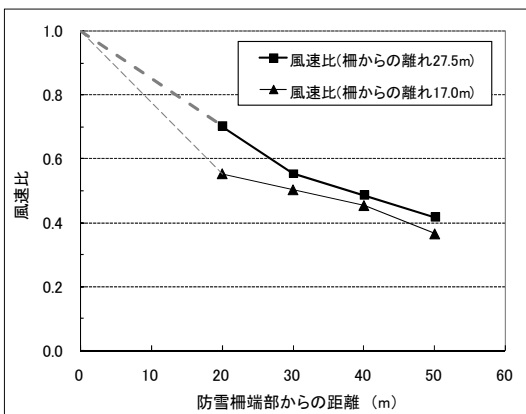


図5 吹き止め柵端部の風速比

2.1.4 吹き止め柵の定量的評価法の提案

既往文献調査と実物大フィールド実験の結果に基づき、吹き止め柵の定量的評価手法について、以下の表に取りまとめた(表1)。

表1 吹き止め柵の定量的評価法(案)

項目	内容	備考
評価指標	防雪柵未設置区間の視程に対する柵風下側の視程の比(視程比)を用いる	フィールド実験より風速比が小さい場合、風速比のわずかな変化により視程比が大きく変化するため、視程比を基本とした
測定時間	10分平均視程を用いる	文献調査により妥当性を確認
データ抽出条件	風上側基準点視程500m(または200m)以下	文献調査により妥当性を確認
測定位置	路面高1.5m柵の風下路側(2車線道路の場合)	フィールド実験により妥当性を確認
防雪柵の延長	60m以上	フィールド実験におけるエンドエフェクトの範囲から決定
周辺環境	十分に開けた平坦地(風上に200m以上の凹凸のない空間があることが望ましい)	除雪・防雪ハンドブックより

2.2. 模擬実験による吹きだまり防止機能の評価

道路の吹雪対策施設として、多くの種類の防雪柵が開発されているが、防雪柵等の吹雪対策施設の効果の定量的な評価方法が示されていないため、民間では独自の手法で自社の防雪柵の評価を行なっており、信頼性が十分とは言えない現状にある。こうした防雪柵については同一条件下での評価がなされておらず、性能の相互比較が未だ行なわれていない。防雪柵の性能の視程による評価では、フィールド実験により一冬で多数のデータの取得が可能であるが、吹きだまり量による評価の際には、フィールド実験では一冬では限られたデータしか取得できず、長い年月の観測データの蓄積が必要となる。こうした場合、吹きだまりの検討事例の多い風洞実験によって、防雪対策施設の性能評価を行なうことが有効と考えられる。風洞実験による防雪柵の評価方法を明らかにするため、北海道開発局所有(当時)の風洞実験装置を用い、実験条件を変化させて風洞実験を行なった。

平成20年度は、風洞内の気流を実際の吹雪条件に近づけるための風洞実験装置(ラフネス、乱流格子等)の調整を、平成21~22年度は吹き止め柵について吹雪風洞実験を実施し、防雪柵前後の吹きだまり形状が野外観測の結果に近似する実験条件を求めることとした。

2.2.1. 実験方法

本研究では、全長21m、測定洞長さ6m、測定洞断面1.2×1.2mの回流型風洞を使用した(図6)。模型縮尺は本州四国連絡橋風洞試験要領の記述(風洞閉塞率5%以下、

模型縮尺の1/100以上)を参考に、1/100に設定した。模型雪としては、安息角が実際の雪に近く、吹雪風洞実験での使用実績が多い活性白土を用い、模型設置位置の風上5mの位置から供給量380g/minで発生させた。なお、風洞風速は測定洞中央に設置したピトー管により測定した風速により制御することとし、風速の鉛直プロファイルは文献⁶⁾を参考に田園地帯を想定してラフネスと乱流格子の組み合わせにより調整した。

以上の設定条件下において、吹き止め柵の模型(図7)について、風洞風速5~8m/sで風洞実験を行なった。

風洞実験の妥当性の検証には、石狩吹雪実験場における2008年2月15日の吹きだまりの野外事例を用いた。

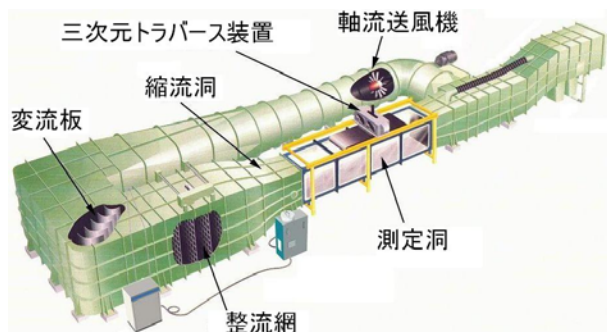


図6 風洞実験装置

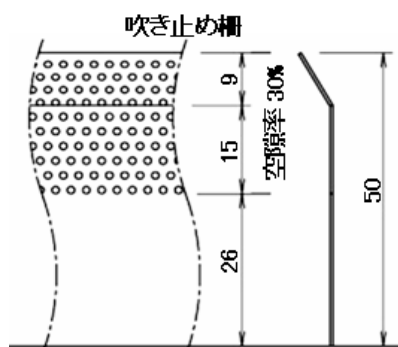


図7 防雪柵模型

2.2.2. 実験結果

吹雪風洞実験により生じた吹きだまりの例を写真1に、また、吹き止め柵に関する実験時間120minにおける吹きだまり形状を図7に示す。図中、縦横軸は防雪柵の高さで除して無次元化して表わし、野外観測の結果について



写真1 吹きだまり実験状況

も付記した。

実験風速6~7m/sの場合、概ね野外観測と類似した吹きだまり形状を示していたが、実験風速が低い(5m/s)条件では、柵風下側に吹きだまりが生じておらず、実験風速が高い(8m/s)条件では風上側の吹きだまりが成長しない等、野外観測の結果と異なる傾向を示していた。以上より、風洞を用いた定量的評価方法としては、実験風速6~7m/s、実験時間2時間、活性白土供給量380g/minの実験条件が望ましいことが判った。

なお、風洞風速6m/sの場合の吹きだまりの断面積は風上側で2000mm²、風下側で1500mm²で、現地での35 m³/mの吹きだまり量に相当し、石狩地方をはじめとする北海道内の多くの地域の一冬の吹雪量(30m³/m)を再現可能であることが判った。また、防雪効果については、「道路上の吹きだまりが生じないこと」や「防雪柵が埋没し難いこと」等で判断することが適切と考えられる。

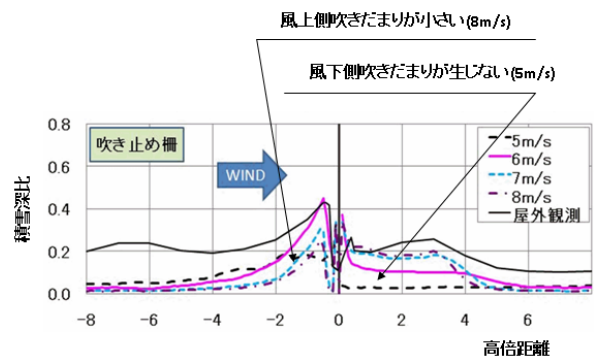


図8 風洞実験及び野外観測における吹きだまり形状

2.2.3. 模擬実験による定量的評価法の提案

防雪柵の防雪機能に関する風洞実験と野外観測結果との比較により、一冬の吹雪を再現する風洞実験の実験風速(6~7m/s)、実験時間(2時間)、活性白土供給量(380g/min)を提案した。

本評価手法の確立に向けて、一冬30m³/mを超える吹雪を対象とする際の適切な実験条件等を調査検討することが必要と考えられる。

3. 防雪性能を向上した吹雪対策手法の開発

北海道の道路では、吹雪対策として吹きだめ柵や吹き払い柵、吹き止め柵等、各種の防雪柵が用いられている。この中で、吹き止め柵は多車線道路に対応できるように柵高を高くし、下部間隙を無くした比較的新しい形式であり、利用範囲が広く、性能に優れている。しかし、吹き止め柵は、主に柵の風上に雪を貯めるため柵高を高くする必要があり、上部を風上側に傾斜させ(忍び返し)

空隙率の高い有孔板を用いる等、ドライバーの視界確保に工夫が必要となっている⁷⁾。

ここでは、吹き止め柵を原型として、更に防雪性能の向上を図ることとしたが、既にドライバーの視界確保の工夫が必要なことから、更に柵高を高くすることは難しい。このため、補助防雪施設との併用による性能向上を図ることとした。

吹雪捕捉溝は、風上側に道路と平行に設けた水路状の溝により、地表面付近の地吹雪の雪粒子を捕捉するものである。吹雪の鉛直分布は、地表面付近で最大となるため、まず風上側の吹雪捕捉溝により地表面付近の雪粒子を捕捉し、次に比較的高い吹雪を吹き止め柵により防ぐ構造について評価することとした。また、吹き止め柵の風上側に小さな補助防雪柵を立て、より風上側で吹雪を捉えることで、防雪容量を向上させることも可能と考えられた。

これらのことから、吹き止め柵の風上側に吹雪捕捉溝や補助防雪柵を設けた構造について、風洞実験による吹き止め柵の性能向上に関する検討を行なった。

3.1. 研究方法

今回の検討では、吹き止め柵の風上側に幅3mの吹雪捕捉溝を設けた「捕捉溝(小)併用時」、吹雪捕捉溝の寸法を2倍に拡大した「捕捉溝(大)併用時」、高さ2mの補助防雪柵を設けた「補助防雪柵併用時」と、併用施設の無い「吹き止め柵単体」の4種類について、風洞実験により吹きだまりの成長過程を調査した。実験モデルについて図9に示す。

2章において、実験風速としては6~7m/sが適切との知見が得られたため、実験風速は6m/sとし、2章と同様に活性白土供給量380g/min、模型縮尺1/100の条件で実験を行なった。吹きだまり形状の測定は30分、60分、90分、120分経過時に実施した。

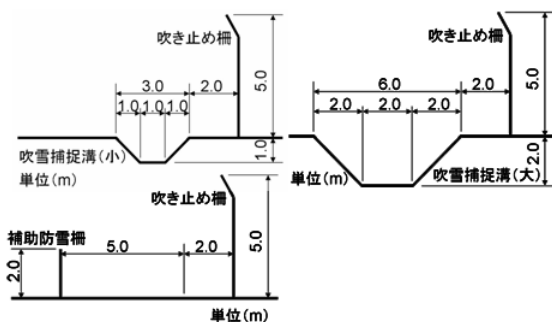


図9 吹き止め柵と併用防雪施設

3.2. 実験結果

実験により得られたモデルごとの吹きだまり形状を図10に示す。なお、図中では、縦軸、横軸とも柵高(5m)で除して無次元化している。

実験終了時(120分経過)の風上側の吹きだまりは、吹き止め柵単独の場合と補助防雪柵併用時には、防雪柵

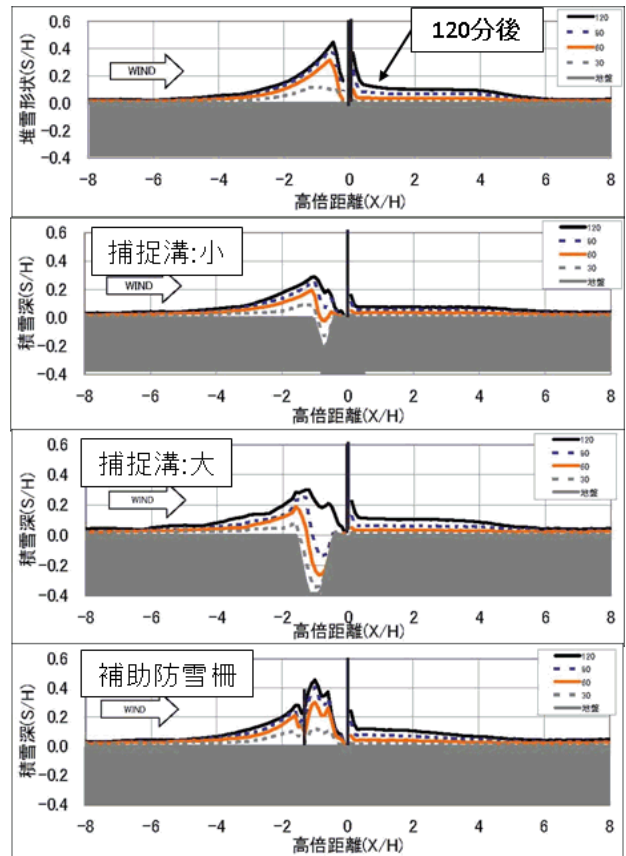


図10 風洞実験結果

に近い位置で柵高の0.5倍程度となっていた。一方、捕捉溝併用時は、風上側吹きだまりが捕捉溝の影響により風上側に移動し、吹きだまり高さも柵高の0.3倍程度に抑えられていた。なお、捕捉溝(小)は60分まで、捕捉溝(大)は90分まで凹みの形状が維持できていた。

吹き止め柵の風上側に吹雪捕捉溝を設置することにより、吹き止め柵単体の場合と比べ、防雪柵風上側の吹きだまり高さを低く抑えることができることが判った。これにより、吹き止め柵の埋没を防ぎ、長期にわたり防雪機能を保つ効果が期待できる。

4. 防雪林の育成管理手法の提案

道路防雪林は、吹雪による道路上の吹きだまり防止と視程障害の緩和を目的に、道路に沿って造成される林帯である。

しかし、道路防雪林の造成の進展に伴い、植栽後の生育の遅れが課題となってきている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。そのため、生育不良の原因を探るため3箇所の防雪林について、生育基盤の現地調査を実施した。

4.1. 調査箇所

本調査は、一部枯死を含む樹木の生育不良がみられるA防雪林と、概ね成長が良好なB防雪林、生育状態にばらつきが見られるC防雪林の3箇所について行なった(図11)。

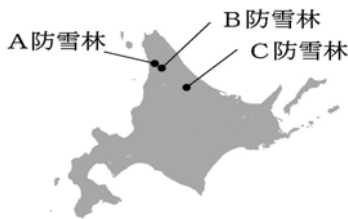


図11 調査箇所

A防雪林の樹種はアカエゾマツで、平成17年に植樹され、樹高は約0.4~1.1m程度の幼木である。B防雪林の樹種はヨーロッパトウヒで、昭和57年~平成15年の間に植樹された。樹高、約2.0m~12.5m程度の成長木であり、生育状況は概ね良好である。C防雪林は平成4年にアカエゾマツが植栽されているが、樹高は1.5m~5.0m程度と生育状態が不揃いである。生育状況について写真2に示す。

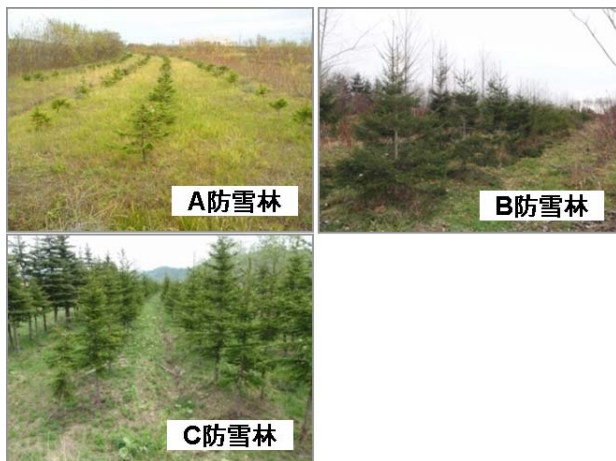


写真2 防雪林の生育状況

4.2. 調査方法

A防雪林の12箇所、B防雪林の8箇所、C防雪林の12箇所の合計32箇所です1m四方、深さ80cm程度の試孔を掘削し生育基盤の土壌調査を行った。調査は生育基盤

の物性に注目することとし、それぞれの試孔について、長谷川式土壌貫入計による土壌硬度を測定した。これに併せて、調査箇所周辺の生育状況について調査した。

生育状況を表す指標として、幼木であるA防雪林については全樹木に対する枯死及び半枯死本数の割合を不良率(%)と定義して使用した。また、成長木であるB及びC防雪林については年平均成長量(m)を用いた。なお、年平均成長量は(調査時の樹高-植樹時の樹高)/(植樹からの経過年)とした。

4.3. 調査結果

A防雪林の深さ0~10cmにおける長谷川式土壌硬度S値(cm/drop)と、不良率の関係について図12に示す。試孔内に滞水が見られた箇所で不良率が高く、これを除く非滞水箇所ではS値が小さく土壌が堅く密な程生育が悪い傾向となることが判った。

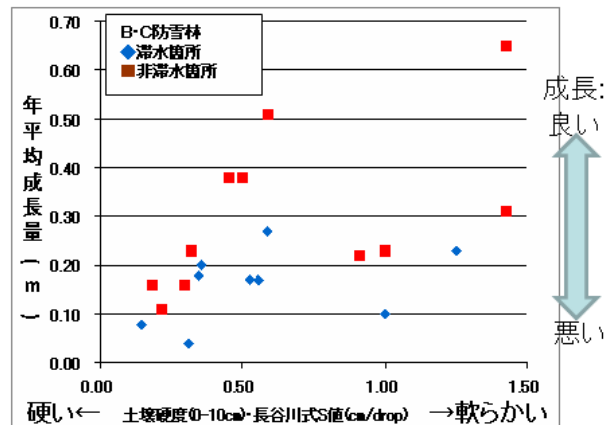


図12 A防雪林の土壌硬度と不良率

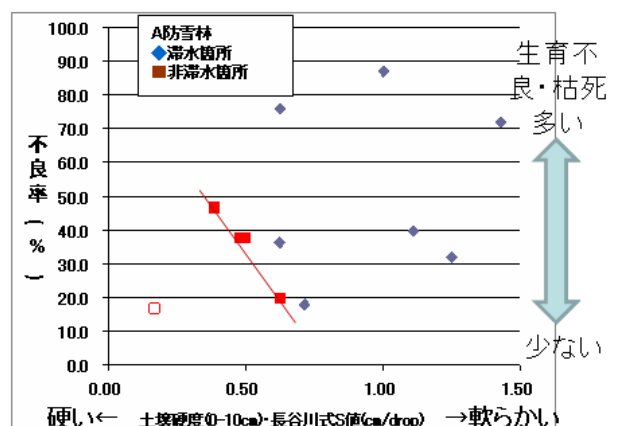


図13 B・C防雪林の土壌硬度と生長量

B・C防雪林の深さ0~10cmにおける長谷川式土壌硬度S値と年平均成長量との関係について図13に示す。滞水箇所では年平均生長量が小さかった他、非滞水箇所

ではS値が小さい程年平均成長量が小さい傾向にあることが判った。

4.4. 適切な育成管理手法の提案

防雪林の生育不良の要因について、生育基盤の土壌硬度等の物性に着目した現地調査を行なった結果、滞水が生育阻害の主な要因であることや、土壌の堅固が樹木の生育に影響を与えていることが判った。

このため、防雪林の列間の耕耘による生育基盤の堅さの改良や、列間への暗渠排水の設置による生育基盤の排水性の改良等、維持管理段階での対策手法について道路吹雪対策マニュアルに記載することとした。

5. 道路吹雪対策マニュアルの改訂に関する検討

効果的な吹雪対策施設の整備や維持管理には、最新の成果の公開が重要となる。このため本研究では、道路吹雪対策の計画、施工、維持管理に関わる技術的事項を網羅した「道路吹雪対策マニュアル（H23改訂版）」を取りまとめ、技術の普及を図ることとした。

表2 吹雪対策技術検討会構成員

役職	氏名	所属
座長	竹内 政夫	NPO法人雪氷ネットワーク
委員	石本 敬志	財団法人日本気象協会北海道支社参与
委員	斎藤新一郎	環境林づくり研究所所長
委員	苔米地 司	北海道工業大学空間創造学部建築学科教授
委員	鳥田 宏行	独立行政法人北海道立総合研究機構 森林研究本部 林業試験場 森林環境部 環境グループ研究主幹
委員	松澤 勝	独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム首席研究員



写真3 吹雪対策技術検討会実施状況

道路吹雪対策マニュアルは、平成2年に発刊され、平成15年に改訂を行なっており、改訂から7年が経過したことから、前回の改訂以降の新しい知見を盛り込むこととした。改訂にあたっては、行政機関やコンサルタントを対象としたアンケート調査により課題を抽出し、有識者で構成する吹雪対策技術検討会を設置して、記載内容の精査と検討を行なった（表2、写真3）。

5.1. 主な改訂内容について

共通編では、対策の主目的や道路条件により1種類の対策工を選定できた従来の吹雪対策工の選定フローを廃止し、これに代わって複数の対策工や併用可能な施設を示す吹雪対策工選定表を作成し、比較検討や現地条件に合わせた柔軟な対策工の選定を可能とした。

防雪林編では、防雪林の維持管理に必要な管理用道路や生育不良対策として有効な排水工について明記した。この他、防雪林の生育状況と評価に関する表を作成し、生育段階に応じた生育状況の評価区順を明示し、生育不良の判定を容易に行なえるようにした。

防雪柵編では、従来対象としていた道内22箇所の気象官署の他、アメダス地点を追加して風速の再現期待値の計算を行ない¹¹⁾、合計177箇所の設計風速を示すことによって、より正確なデータに基づく設計計算を可能とした。

今回の改訂で、その他の対策施設編を新たに設け、『吹雪時を考慮した視線誘導施設マニュアル(案)』の内容を盛り込むことにより、本マニュアル1冊で道路の吹雪対策の全てを網羅できるよう内容の充実を図った。

6. おわりに

本研究の結果、視程障害や吹きだまり対策の定量的評価手法や、防雪性能を向上した吹雪対策手法、防雪林の主たる生育不良要因の解明と維持管理段階での対策方法の提案について一定の成果を得ることができた。

また、道路吹雪対策マニュアルに、本研究の成果を盛り込み、さらに視線誘導施設の内容を充実させることによって、総合的な吹雪対策を網羅した技術指針とすることができた。

7. 参考文献

- 1) (独)北海道開発土木研究所：道路吹雪対策マニュアル，北海道開発局，2003
- 2) 藤田英郎・倉橋良雄・山口守之・長岡佳美・竹内政夫：多車線道路における防雪柵の計画，第30回北海道開発局技術研究発表会論文集，pp91-96，(財)北海道開発協会，1988
- 3) 山田毅，伊東靖彦：吹雪対策施設のための視程計測方法に関する文献調査，日本雪工学会誌，22(4)，pp17-18，2006
- 4) 福沢義文，加治屋安彦，畠山拓司：防雪柵端部附近における視程障害と対策，第24回日本道路会議一般論文集(A)，pp358-359，(社)日本道路協会
- 5) 伊東靖彦，福澤義文，松澤勝：防雪柵開口部における視程障害に関する考察，土木学会第58回年次学術講演会，pp539-540，2003
- 6) 財団法人日本建築センター：実務者のための建築風洞実験ガイドブック，2008
- 7) 竹内政夫：道路雪氷対策技術の変遷—時代背景と防雪柵—，北の交差点Vol2，pp.12-17，1997
- 8) 伊東靖彦：[技術資料]道路防雪林の生育課題について，北海道開発土木研究所月報，595，pp47-50，(独)北海道開発土木研究所，2002
- 9) 伊東靖彦：北海道における道路防雪林の現状，日本雪工学会誌，25(1)，pp12-16，2009
- 10) 伊東靖彦：[技術報告]防雪林の課題について—雪氷研究大会(2009・札幌)の企画セッションにおける討議を基に—，日本雪工学会誌，26(1)，pp9-15，日本雪工学会，2010
- 11) 伊東靖彦・山田毅・松澤勝・西田浩平：粗度区分を考慮した防雪柵の設計風速に関する検討．北海道の雪氷，16-19，2010