

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（一般勘定）

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：（雪氷T）

加治屋安彦、松澤勝、伊東靖彦、

山田毅、武知洋太、

（寒地機械技術T）

牧野正敏、高松茂、山崎貴志

（道北支所）

高玉波夫、下道純

【要旨】

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、効果的な防雪対策の計画、施工を容易にするため、防雪対策の性能評価法を検討する。また、吹雪対策施設の1つである道路防雪林について、樹木の成長に応じた育成管理手法の検討を行う。

防雪対策の性能評価法に関しては、石狩吹雪実験場に設置した吹き止め式防雪柵において、視程、風速等の観測を行い、性能評価項目の検討を行った。

また、道路防雪林の育成管理に関する調査では、現地調査を通じて生育不良箇所の抽出を行うとともに、そのうちの代表箇所1箇所において、生育不良要因に関する調査を試行した。

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、

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、吹雪対策は北海道の道路交通を確保する上で重要な課題の一つである。

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きている。しかし、それぞれの施設の定量的な効果は明らかとなっていない。このため、効率的な防雪計画の策定や性能規程による対策施設工の発注が困難となっており、積雪寒冷地における適正な社会資本整備の観点から課題となっている。加えて防雪林に関しては、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を行うとともに、効率的な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、技術の普及を図るものである。

本報では実物大防雪柵のフィールド実験、風洞実験による補足データ収集に向けた風洞実験施設の調整、道路防雪林の生育不良箇所の抽出と調査、「道路吹雪対策マニュアル」改訂に向けた道路吹雪対策全般に関する課題整理について報告する。

2吹き止め式防雪柵の性能評価計測

2.1 防雪柵の設置

実物大防雪柵の性能評価計測を行うため、寒地土木研究所・石狩吹雪実験場（北海道石狩市美登位）構内（図1）に吹き止め式防雪柵¹⁾を設置した（写真1）。

この柵は延長102mで構内の平坦地に冬期主風向となる西北西に対し垂直に設置した。

2.2 計測項目と配置

吹き止め式防雪柵の性能として近年、現場ニーズの高い²⁾視程障害緩和効果に着目して計測を行った。

計測項目は視程と風速である。設置した計測機器を表1に示す。

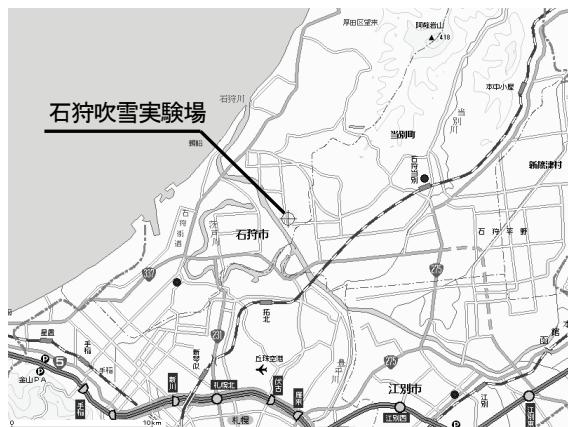


図 1 石狩吹雪実験場(位置図)



写真 1 防雪柵の防雪効果計測状況

視程障害緩和効果を測定のため、反射型視程計を用いた。さらに、データの補足と風速による評価の可能性を探るため、視程計測箇所には風速計も設置した。

機器の配置は図 2 の通りとした。測定機器は柵から 6.5m、17.0m、27.5m、38.0m の距離にそれぞれ設置されている。これらの位置は道路の風上側路側、2 車線道路の風下路側(=4 車線道路の中央分離帯)、4 車線道路の風下路側に相当する。

視程は 1 秒単位、風速は 10 秒単位で出力データを記録した。また風向は 22.5 度単位でロガーに記録される。反射型視程計の出力電圧から視程への換算は風速による補正を伊東ら³⁾に倣って行った。

視程計、風速計の周辺は図 2 に示す①の風向風速計、反射型視程計の周辺を除いて、道路環境に模して常時機械除雪を行った。

本研究では平成 19 年 12 月 5 日～平成 20 年 3 月 5 日(91 日間)に計測したデータを用いた。

また、防雪柵前後 50m の吹きだまり形状の計測を①を通る防雪柵への垂線に沿って吹雪の前後に各 3 回行った。

表 1 設置した観測機器

機器名	製造会社	機種名
風向風速計	コーナーシステム	KDC-S4
反射型視程計	明星電気	TZE-4
レーザー積雪深計	コーナーシステム	KADEC21-YUKI

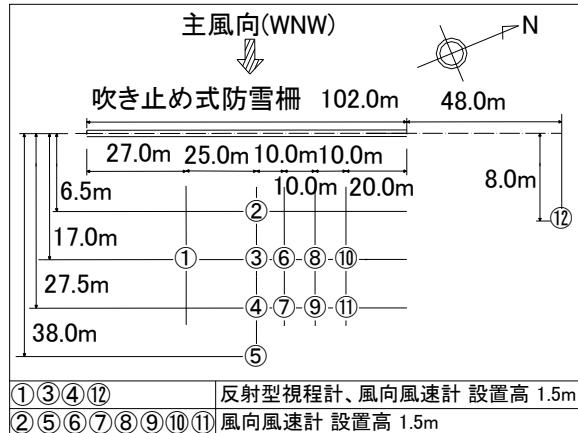


図 2 計測機器の配置図

2.3 昨年までの成果と課題

昨年までの研究では防雪柵の研究事例に関する文献調査により、防雪施設の評価に必要な調査項目を整理した⁴⁾。これらについて石狩吹雪実験場における試験より、防雪柵の性能評価項目の検討を行い、表 2 の結果を得た⁵⁾。

表 2 吹き止め式防雪柵の評価項目等

項目	得られた成果	課題
評価指標	視程比を用いること	風速比の適用については要検討
測定時間	平均視程を用いること。 平均時間は 10 分とする。	
データ抽出条件	基準点視程 200m～500m 時のデータを比較する。	基準点視程 200m 以下の データ取扱は 今後の課題
測定位置	路面高 1.5m 風下路側(2 車線道路)	4 車線道路の横 断位置は今後の 課題
防雪柵の延長	少なくとも 60～100m 以上	最低延長の確定 が今後の課題
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)	
柵背面の堆雪・除雪 の有無の影響		今後の検討課題

今年度は、引き続きの課題となつた風速計測による性能評価の可能性、4 車線道路における測定位置、最低限必要な柵の延長、柵背面の吹きだまりによる防雪効果への影響、除雪による防雪効果への影響について計測と検討を行つた。

なお、今年度も直交風の視程 200m 以下のデータは取得されず、表 2 のうちデータの抽出条件については継続課題となった。

2.4 計測結果

2.4.1 視程比・風速比の定義

表 2 に示した視程比・風速比は以下の通り定義している。防雪柵の視程改善効果は防雪柵未設置区間との視程比較で議論されることが多い。そこで、防雪柵未設置区間つまり基準点に対する柵設置区間の平均視程を視程比と定義した。

なお、吹雪時の視程は時間変動が大きく、防雪柵の性能評価のためには複数台の計器が設置されるため、短期変動を除外して 10 分平均視程を用いた。

$$\text{視程比} = \frac{\text{防雪柵設置区間の 10 分平均視程 (m)}}{\text{基準点の 10 分平均視程 (m)}}$$

なお、基準点は⑫地点とする。同様に風速比についても以下のように定義した。

$$\text{風速比} = \frac{\text{防雪柵設置区間の 10 分平均風速 (m)}}{\text{基準点の 10 分平均風速 (m)}}$$

今回の解析にあたっては基準点⑫における風の柵への入射角が 90~67.5 度かつ視程 500m 以下かつ気温 0°C 以下の場合のデータを抽出して用いた。以降の図 3 ~図 9 はこの抽出データを使用したものである。

2.4.2 風速比の防雪効果評価への適用

防雪柵の減風効果と視程改善効果の関係を把握するため、視程比、風速比の関係を図 3 に示した。図 3 から、視程比が大きくなると風速比が小さく、風速比と視程比の間に一定の関係があると認められた。ただし風速比が高い場合に若干ばらつきが大きく、今後も引き続き検討を行う。

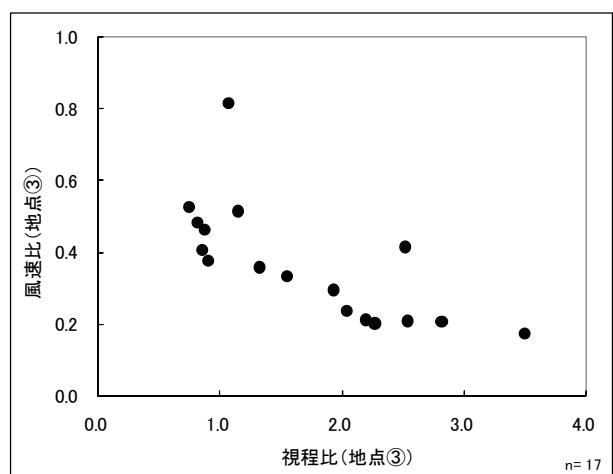


図 3 視程比と風速比の関係

2.4.3 4 車線道路における測定位置

4 車線道路における計測の適当な位置を明らかとするため、防雪柵からの距離と風速比の関係を図 4 に示した。図 4 より防雪柵からの距離 17.0m (4 車線道路の中央分離帯) では風速比が 0.32 となり、27.5m (4 車線道路の風下路側) では 0.39 となり、風速比は柵から離れるに従って大きくなることがわかった。

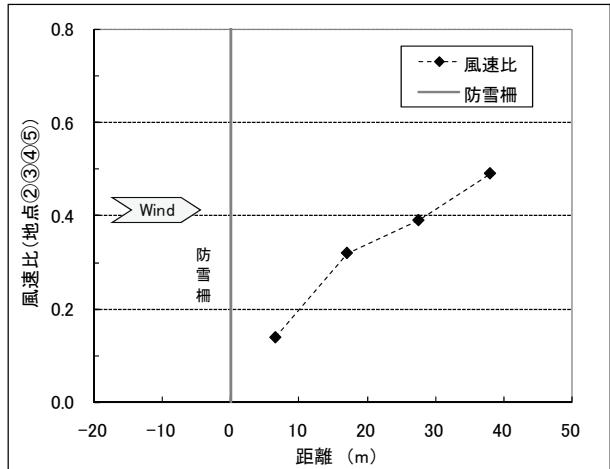


図 4 防雪柵からの距離と風速比の関係

次に防雪柵からの距離と視程比の関係を図 5 に示す。図 5 より視程比は防雪柵からの距離 6.5m で最も大きくなり、17.0m と 27.5m では同程度となった。

防雪効果の評価には道路近傍の防雪効果の低い地点で測定することが適当と考えると、4 車線道路では柵から離れた側の路側が適当といえる。

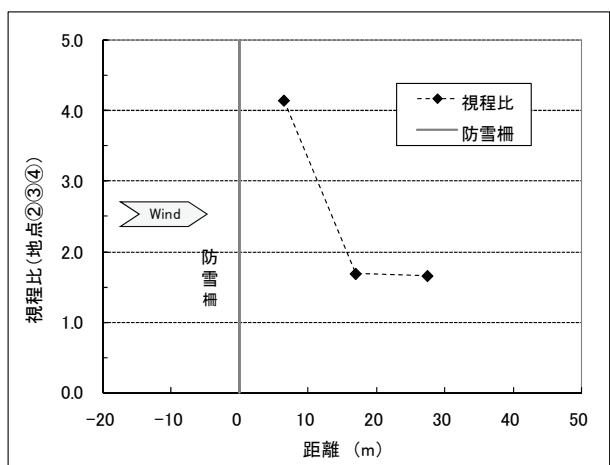


図 5 防雪柵からの距離と視程比の関係

2.4.4 最低限必要な柵の延長

防雪柵の端部では風の巻込みによる視程の変動(エンドエフェクト)が発生する⁶⁾⁷⁾。このため防雪柵の観測はエンドエフェクトの範囲を除外する必要がある。そこで防雪柵端部附近における風速比を求めた。

柵からの距離を異にした2測線におけるそれぞれの、柵端部からの距離と風速比を図6に示した。この折れ線が平行になれば、エンドエフェクトの範囲外といえる。図6よりいずれの測線においても柵の端部から50mの位置に向かい次第に風速比が低下している。

2車線道路(柵からの離れ17.0m)の場合、防雪柵端部からの距離が20mを超えると風速比の低下が緩やかとなり、4車線道路(柵からの離れ27.5m)の場合、防雪柵端部からの距離が30mを超えると風速比の低下が緩やかになる。のことから2車線道路の計測では端部から20m、4車線道路の計測では端部から30m各々離して計測するのが適切と考えられる。

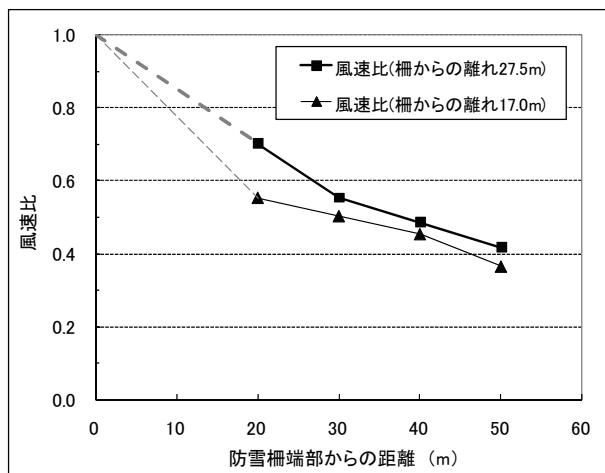


図6 防雪柵端部の風速比

2.4.5 柵背面の吹きだまりと防雪効果

防雪柵背面の吹きだまりと柵の防雪効果の関係を把握するため、防雪柵背面の吹きだまり量と風速比の関係を図7に示した。

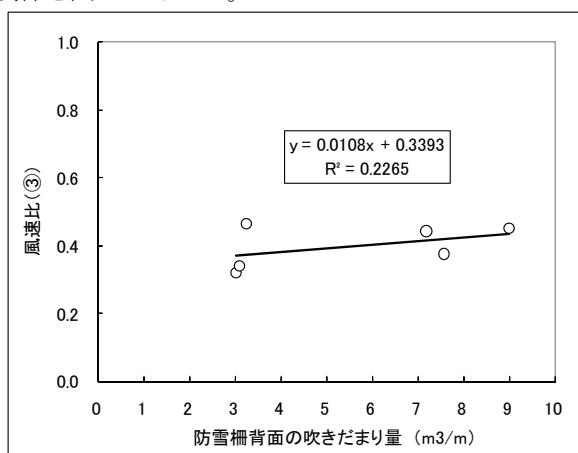


図7 防雪柵背面の吹きだまり量と風速比

吹きだまり量の算出にあたっては、風上側最遠点の積雪深を平地積雪深に設定した。図7から、吹きだまり量が増加すると風速比が緩やかに増加する傾向が見

られるが、その傾きは小さい。今回の計測では吹きだまり量が少なく、最も堆雪した時期においてもその吹きだまりのピーク高さは2.15mであり、柵高の半分程度であった。

このことから今回計測した吹きだまりの範囲においては、吹きだまり量による減風効果の違いは無視できると考えられる。

次に防雪柵背面の吹きだまり量と視程比との関係を図8に示す。今回得られたデータは少なく、そのデータもまた吹きだまり量の違いは少ないため、明瞭な関係の把握には至らなかった。今後もデータの取得を行っていきたい。

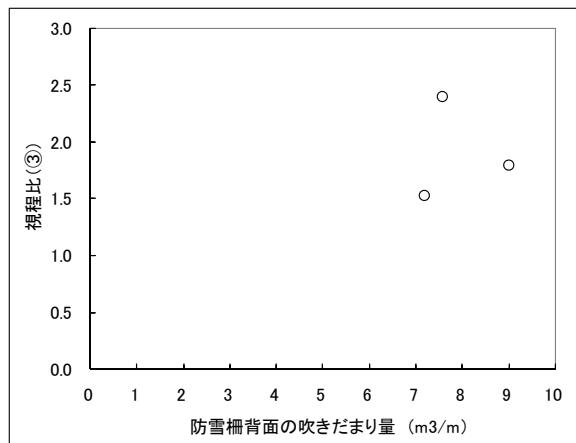


図8 防雪柵背面の吹きだまり量と視程比

2.4.6 除雪の有無と防雪効果

除雪の有無と防雪柵の防雪効果の関係を把握するため、除雪なしの①地点と除雪有りの③地点の視程比を比較した(図8)。図8から、除雪なしの視程比が除雪ありに比べて僅かに大きい程度であった。このことから、除雪の有無による視程改善効果の違いは無視できる程度と考えられる。

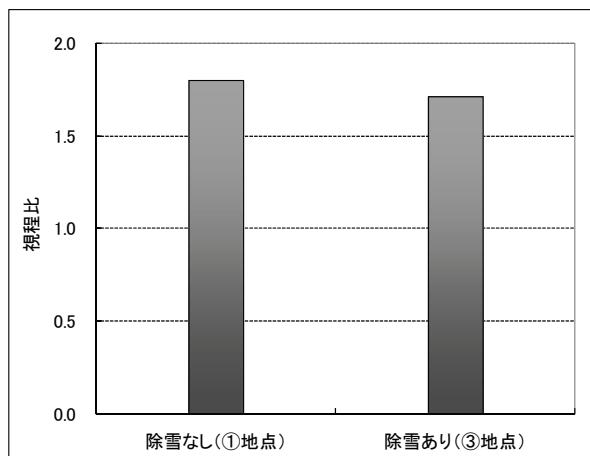


図9 除雪の有無と視程比

2.5 まとめ

風速計測による性能評価の可能性については、視程比と風速比に一定の関係があると認められたが、風速比が高い場合に若干ばらつきが大きく、今後も引き続き検討を行う。

柵端部の影響については、4車線道路の場合で柵端部から30m範囲で認められ、この部分を避けて計測する必要があるといえる。

柵背面の吹きだまりによる防雪効果への影響については、今回計測した吹きだまりの範囲においては、吹きだまり量による減風効果の違いはないと考えられる。また視程改善効果についてはサンプル数が少ないともあり、明瞭な関係の把握には至らなかった。

除雪による防雪効果への影響については、比較的軽微であり、無視できるものと考えることができる。

3 風洞実験装置風速分布特性調整

3.1 風洞実験装置

防雪柵等の防雪施設の定量的評価手法を検討するための模擬実験として、北海道開発局所有の風洞実験装置（図10）を使用して風洞実験を行うこととした。

本風洞実験装置は粉体風洞実験装置としては大型であり、これまで、本風洞実験装置を用いて防雪対策事業箇所全体などの比較的小縮尺(1/300)の実験が行われてきた⁸⁾。

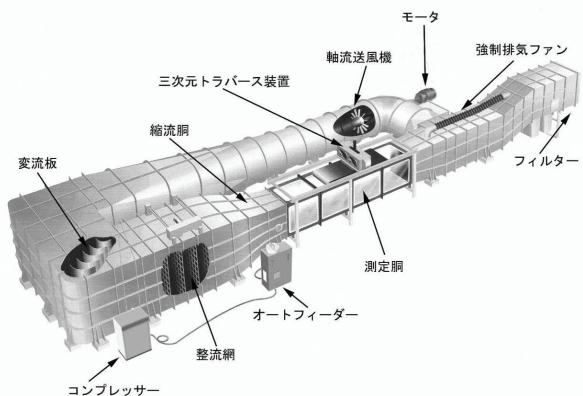


図 10 風洞実験装置

本研究においては防雪施設の性能評価に使用するため、より大縮尺の模型を利用することで吹きだまり形状などの防雪効果をより詳細に得られると考えられる。

これまでと利用形態が異なり、また、詳細な風況特性を把握する必要があることから、本風洞実験装置内の風速分布等基本性能の確認と実験に適した自然の風環境を再現するため風洞実験施設の調整を行った。

3.2 風速分布特性調整

3.2.1 柵背面の吹きだまりと防雪効果

風洞内風速分布の調整の方針については、横断方向の風速分布を一様にすることはもちろんあるが、実験精度を高めるためには風洞内風速分布を自然の風環境に類似させることが必要となる。

風環境設定の目標となる指標としては、地表面粗度による(1)べき指数、(2)乱流強度、(3)接地層厚がある。このうち、べき指数については「建築物荷重指針・同解説⁹⁾の低草原に相当する0.15を、乱流強度については「建築物風洞実験ガイドブック2008」¹⁰⁾の田園地帯における最下層に相当する0.2~0.25程度を目標とした。また接地層厚については、実験の運営上厚い方が模型縮尺の自由度が高くなるため望ましいが、他の風洞実験施設を参考に30cm程度確保を目標とした。

3.2.2 風速分布調整

バリヤ、スパイヤー、ラフネス、乱流格子を組み合わせて風洞内に設置することにより、風洞内風速分布の調整を行った。用いた組み合わせのパターンは19パターンとなり、写真2に示したパターンの風速分布が最も当初の目標に近いものとなった。風洞設定風速7m/sにおける風速計測結果を図11、図12に示す。なお、風洞内の座標は図13の通り設定したものである。

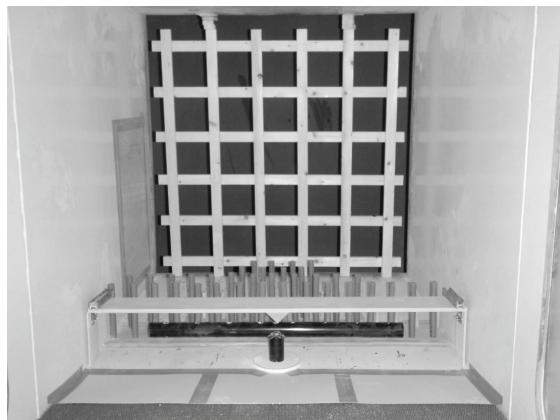


写真 2 風速調整装置

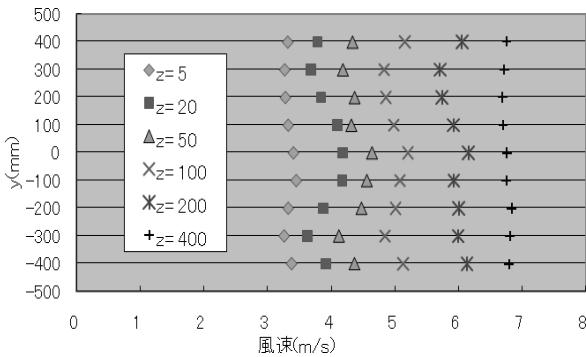
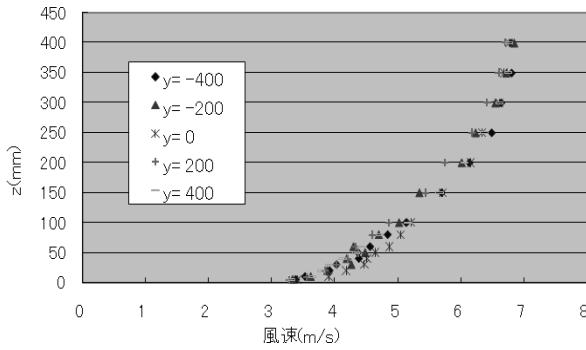
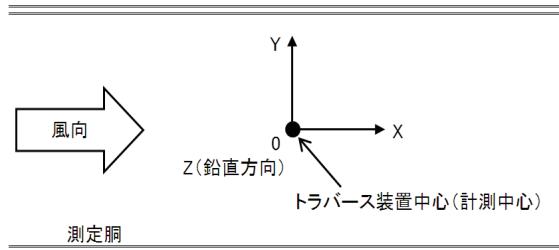
図 11 横断方向風速分布 ($X=0$)図 12 鉛直方向風速分布 ($X=0$)

図 13 風洞内風速計測座標系

図 11 より、横断方向の風速分布は最大 0.5m/s の範囲でおおむね均一となっている。また、図 12 より、べき指数は 0.16~0.20、風速がおよそ一定となる接地層厚については 350mm 程度となっている。乱流強度は最下層で 15%程度であった。この接地層厚確保により、高さ 5m の防雪対策施設の縮尺 1/100 の模型を考えた場合でも模型高さ 50mm の 7 倍程度の高さがあるため、実験を行うにあたっては十分な接地層厚であると考える。

3.2.3 まとめ

ラフネス、乱流格子による風速調整装置により、風洞装置内の風況の安定化が図られた。べき指数、乱流強度、接地層厚ともに当初の目標に概ね合致し、防雪施設の実験に十分耐えうると考えられる。引き続き粉

体実験により現地観測との整合を解析する予定である。

4 防雪林の育成管理に関する調査

4.1 調査概要

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帶である。

近年、造成が進むにつれていくつかの課題も指摘されてきている^{11) 12)}。この中で初期生长期に生育が遅い防雪林があることが指摘されている。防雪林の生育不良原因として、堆雪や強風や生育基盤が堅固であることなどがあるが¹³⁾、まだその調査は十分といえるほどの事例はない。

そこで本章では、平成 20 年度は典型的な防雪林の生育不良について、その原因解明に向け調査を行った。

まず全道的に防雪林の箇所が多い¹⁴⁾道北圏の全国道防雪林 32 箇所を現地踏査し、調査箇所 2 箇所を選定した。一部枯死を含む樹木の生育不良がみられる A 防雪林と、比較調査箇所として、良好に生長を遂げている B 防雪林である。両者の距離は約 15km である。



写真 3 A 防雪林の現況



写真 4 B 防雪林の現況

A 防雪林の土壤断面調査箇所の樹種はアカエゾマツ、平成 17 年に植樹され、樹高は約 0.5~1m 程度の幼木で

ある。(写真 3)

B 防雪林の樹種はヨーロッパトウヒで平成 7 年に植樹され、樹高は約 7~8m 程度に達しており、生育状況は概ね良好である。(写真 4)

A 防雪林では、生育状況の異なる 8 箇所の樹木周辺で、B 防雪林では、樹木間 1 箇所で、1m 四方、深さ 80 cm 程度を掘削し各種土壤断面調査を行った。(写真 5)



写真 5 土壤断面調査の状況
(採土器による密度の測定状況)

調査は生育阻害の要因を造成基盤の物性に着目し、北海道立林業試験場の助言を得て項目を選定した。調査項目は、それぞれの掘削孔やその近傍で、土壤硬度(山中式)計測を行った。また土壤を採取し、三相分析を実施した。

A 防雪林は枯死している樹木もあり、生育不良の程度により、枯死、半枯死、その他の 3 段階に区分し、枯死及び半枯死本数の割合を不良率として定義した。

4.2 調査結果

A 防雪林のうち、ほぼ枯死状態の樹木を採取したところ、その根は地下 10~15 cm 程度しかなく生育阻害が生じていたことが分かる(写真 6)。

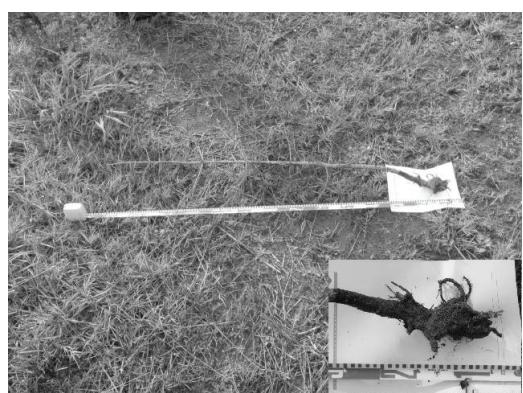


写真 6 生育不良樹木の根の状況

そこで土壤深度 20cm の土壤において、硬度計測と三相分析を実施した(図 15)。B 防雪林の不良率は調査

出来ていないが、図中では、比較的健全に生育していることを考慮し 5%と仮定した。

4.2.1 土壌硬度と不良率

山中式硬度計による土壤硬度と不良率の関係を図 14 に示す。なお A 防雪林で掘削時に滯水が見られた箇所を区別して図示した。「植栽基盤整備ハンドブック」¹⁵⁾「植栽基盤整備技術マニュアル(案)」¹⁶⁾によると山中式硬度計による土壤硬度の最適値は 11~20 とされる。図 14 より採取した土壤は概ねこの範囲に入る土壤硬度であったが、不良率は低くはなかった。

掘削時に滯水が認められた箇所(写真 7)においては全般に不良率が高い傾向にあるが、必ずしも硬度が高くなる程不良率が高くなる傾向は認められなかった。一方、B 防雪林の生育は良好であるが、土壤硬度は 25.3 と高い値を示した。

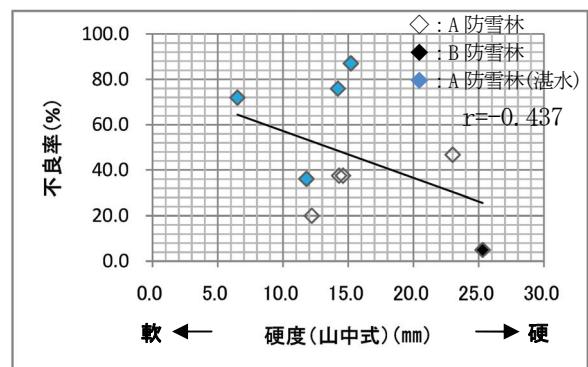


図 14 硬度(山中式)と不良率



写真 7 滞水箇所の状況

4.2.2 気相率と不良率

三相分布のうち、気相率について不良率との関係を図に示す(図 15)。B 防雪林の気相率は、A 防雪林が 20~30% 程度であるのに対して、40.1% と高かった。また掘削時に滯水が認められた箇所について不良率がや

や高い傾向にあるが、全体としては気相率が低い程、不良率は高くなる傾向を示していた。

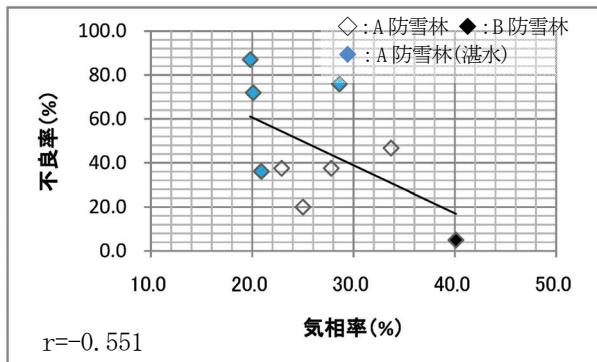


図 15 気相率と不良率

4.3まとめと今後の予定

今回の調査データにおいては、不良率と土壤硬度との関係は明確に認められなかったが、気相率が低い程、不良率は高くなる傾向を示していた。また、湛水が認められた箇所は概して不良率が高かった。

したがって、防雪林の生育阻害の要因として、気相率・水分の2項目が関係しているものと推察されるが、未だ調査データは十分とは言えず、次年度以降は新たな現地調査データを蓄積して分析を進めたい。

5 道路吹雪対策に関する課題の整理

5.1 研究の概要

本章では「道路吹雪対策マニュアル」の改訂に向けて、道路吹雪対策全般に関する課題を抽出し、整理を行った。

課題は、道路管理者、建設コンサルタント、造園業者、防雪柵メーカーからアンケートに意見を聴取し、これに現マニュアル発刊以降に寒地土木研究所で受けた技術相談項目とともに、整理分類した。

表 3 道路吹雪対策に関するアンケートの配布先と回答数

対象	回答数
北海道開発局(維持)	18
北海道開発局(改築)	24
北海道(土木現業所)	11
建設コンサルタント	23
造園業者	12
防雪柵メーカー	7
合計	95

アンケートの対象は表3に示す通りで、95機関からの回答を得た。

5.2 道路吹雪対策に関する課題

整理した課題は、204件に分類された。代表的な、道路吹雪対策に関する課題は表4に示す通りで、今後改訂に向けて、既往研究資料の収集やデータの分析を行っていきたい。

表 4 道路吹雪対策に関する課題(代表例)

共通編	・両側からの吹雪の対応
	・吹雪危険度評価の区間割りの考え方
	・防雪柵や防雪林の定量的効果
	・斜行風時の防雪効果
	・現地調査、模擬実験の実施要件
防雪林編	・吹雪対策工の効果計測手法
	・管理道路の必要性と詳細規定
	・生育不良時の対応方法
	・除伐時期の明確化
防雪柵編	・併用柵の撤去時期
	・撃取の適用範囲の明確化
	・地域ごとの設計風速の明示
	・設計計算の修正

6 参考文献

- 1) 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
- 2) 伊東靖彦、福澤義文、加治屋安彦:吹雪対策技術のニーズと課題について, 第45回(平成17年度)北海道開発局技術研究発表会発表概要集(CD-ROM), (財)北海道開発協会, 2002.
- 3) 伊東靖彦、山田毅、武知洋太、松澤勝:樹木形態の異なる道路防雪林の視程改善効果, 第23回日本雪工学会大会論文報告集, pp15-16, 日本雪工学会, 2006
- 4) (独)土木研究所:平成18年度重点プロジェクト研究報告書, pp301-305, 2007
- 5) (独)土木研究所:平成19年度重点プロジェクト研究報告書, 2008
- 6) 福澤義文、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
- 7) 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

7.3 防雪対策施設の性能評価に関する研究

- 8) 原田都雷、東原博晃、桜井司：防風・防雪及び視程障害に関する調査試験、第 50 回（平成 18 年度）北海道開発局技術研究発表会発表論文、2007
http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/gijyutu/pdf_files_h18/06fuyu/fy-03.pdf
- 9) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説(2004), 651p, 2004
- 10) (財)日本建築センター：実務者のための建築物風洞実験ガイドライン 2008 年度版, 157p, 2008
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 伊東靖彦、道路防雪林の生育阻害要因に関する調査、寒地技術論文・報告集, 20, (社)北海道開発技術センター, 2006
- 14) 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発表論文, 2009
http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/gijyutu/giken/h20_pre_intra/pdf_files_h20/kankyou/KK-9.pdf00
- 15) (社)日本造園建設業協会：植栽基盤整備ハンドブック、p. 88、(社)日本造園建設業協会、2005
- 16) 建設省都市局公園緑地課緑地対策室(監修)：植栽基盤整備技術マニュアル(案)、(財)日本緑化センター、1999

STUDY ON EVALUATING PERFORMANCE OF SNOW-PROTECTION FACILITIES

Abstract : Winter traffic disturbances caused by snowstorms occur frequently in Hokkaido, where snowfall-related visibility hindrance causes 40% of all national highway closures. This study presents a performance evaluation method for snow-control measures to facilitate their effective planning and implementation. It also discusses a method of growth management for roadside snowbreak forests, which are used as a snowstorm countermeasure, depending on the growth levels of trees.

Concerning the performance evaluation method for snow-control measures, visibility, wind velocity and other measurements were made at a collector snow fence installed at the Ishikari Blowing-Snow Test Field to enable consideration of these performance evaluation variables.

In the study on growth management of roadside snowbreak forests, sections exhibiting poor growth were identified through a field survey, and the causes of poor growth were examined in one such section.

Keywords : snow fence, snowbreak forest, performance evaluation, visibility, wind-tunnel experiment, poor growth