

## 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

研究担当者：加治屋安彦、松澤勝、伊東靖彦、  
山田毅

### 【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。研究の前半2カ年(平成18年度～平成19年度)では防雪林もしくは防雪柵の視程障害緩和と吹きだまり防止効果に関する既往の研究文献を収集分類し、観測機器の設置箇所や設置高さによる計測値の違いなど、防雪施設の評価に必要な項目を抽出した。さらに石狩吹雪実験場に標準的な防雪柵として吹き止め式防雪柵の実物柵を設置し、視程、風速等の観測を行い、性能評価項目の検討を行った。

キーワード：防雪柵、防雪林、性能評価、視程

### 1. はじめに

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。一方、北海道における日常生活や社会経済活動における自動車交通への依存は高いため、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。

吹雪対策としては従来、防雪柵や防雪林の整備が進められてきた。近年、複雑な道路構造に対応したり、より高い機能を持つとされる防雪柵がメーカーなどにより開発されてきている。しかし、その性能評価手法が統一されていないため、様々な防雪施設を客観的に比較することが難しい。

そこで本研究では効果的な防雪対策の計画、施工を容易にすることを目的に、防雪対策の性能評価法の検討、その成果を活かした防雪性能を向上した吹雪対策手法の開発、これらを基に「道路吹雪対策マニュアル」の改訂を行うものである。

本報は前半2カ年の研究成果として、防雪柵の研究事例に関する文献調査と吹き止め式防雪柵の視程改善効果について野外観測を行った結果を報告する。

## 2. 既往文献調査

### 2.1. 概要

著者らは防雪柵等の防雪施設の定量的評価手法を検討する序段として、防雪林もしくは防雪柵の視程障害緩和と吹きだまり防止効果に関する既往文献を収集

した。

このうち交通挙動上重要となる視程観測方法のうち、現場観測によるものは、明らかに同一調査のものを重複文献として除いて17件あった。

ここでは概要を記すこととし、詳細は平成18年度重点プロジェクト報告書<sup>1)</sup>を参照されたい。

### 2.2. 既往文献調査から得られた結果

対象文献の観測方法では機械計測が大部分を占めていた。観測箇所は通常遠方にあり、吹雪発生時に現地へ赴いて観測するには限界もあり、機械計測を基本とすることが妥当であると考えられる。

道路横断方向の測定位置(表2)は、道路周辺に点在していたが、道路直上では物理上測定できないため路肩あるいは中央分離帯に限定されることとなる。

測定高さは1.5m、2.0mのいずれかが多く、測定高さは今後の課題といえる。

表1 測定機器

単位: 論文件数

|     | 目視 | 機械計測(視程計種別) |       |       | 計   |
|-----|----|-------------|-------|-------|-----|
|     |    | 透過率型        | 後方散乱型 | 前方散乱型 |     |
| 防雪柵 | 2* | 0           | 5*    | 6*    | 11* |
| 防雪林 | 0  | 3           | 1     | 2     | 6   |
| 計   | 2* | 3           | 6*    | 8*    | 17* |

\* 目視と後方散乱型の併用が1件

\* 後方散乱型と前方散乱型の併用が1件

表 2 測定位置

| 位置 | 柵の風上 | 道路上 | 中央分離帯 | 路肩   |      | その他 | 計 |
|----|------|-----|-------|------|------|-----|---|
|    |      |     |       | 道路風上 | 道路風下 |     |   |
| 件数 | 2*   | 3   | 4     | 2    | 1    | 1   | 9 |

\* 柵の風上と路肩の両方で測定(2件とも)

視程の比較方法では防雪柵もしくは防雪林設置区間と未設置区間の視程を比較する方法が全体の76%と多い(表3)。

表 3 視程の比較

| 視程の比較                    | 件数 |
|--------------------------|----|
| 柵もしくは林設置区間と未設置区間の視程を比較   | 13 |
| 柵風上側と柵風下側の視程を比較          | 1  |
| 各柵設置区間毎の視程を比較            | 2  |
| 林風上側と疎な林風下側と密な林風下側の視程を比較 | 1  |

視程の評価指標としては平均視程を指標としたものが多い。吹雪視程は時間的変動が大きいため、平均視程だけでなく視程変動も評価指標としているものが見られた(表4)。

表 4 防雪効果の評価指標

| 評価指標 | 平均視程 | 視程変動 | 視程改善率 | 視程傾度 | 最低視程 | 視程低下時間 |
|------|------|------|-------|------|------|--------|
| 件数*  | 8    | 5    | 4     | 3    | 2    | 2      |

\* 1文献で複数指標を利用しているものはそれぞれカウントしている。

また測定期間は一冬通しての計測と単一日のみがあるが、その必要条件は十分に明示されるに至っていない。また測定データの抽出については平均風速、気温、視程で条件付けているものもあった。データの必要量と抽出条件は今後の課題といえる。

上記を含めて文献調査の結果に基づいて防雪施設の評価に必要な調査項目は表5に整理された。

表 5 防雪施設の評価に必要な調査項目

|                               |
|-------------------------------|
| ・ 観測機器の道路上の設置箇所による差異          |
| ・ 観測機器の設置高さによる差異              |
| ・ エンドエフェクトの影響範囲と観測機器の道路上の横断位置 |
| ・ 観測記録の時間変動                   |
| ・ 吹きだまり形状による視程への影響            |
| ・ 吹雪量と視程値との関係                 |

### 3. 吹き止め式防雪柵の性能評価計測

#### 3.1. 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)構内に防雪柵の代表柵として吹き止め式防雪柵を設置した。(写真1)石狩吹雪実験場の位置を図1に示す。

吹き止め式防雪柵は多車線道路の防雪を用地内で

行うことを目的に開発されたもので1980年代後半から用いられ始めた形式<sup>2)</sup>であり、主として4車線道路の吹雪対策に用いられている。

設置した吹き止め柵は北海道開発局の標準型(柵高5m)で、下半分が無孔板、上半分が空隙率約30%の有孔板で構成され、上端に”忍返し”と呼ばれる風上への傾斜がある。

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

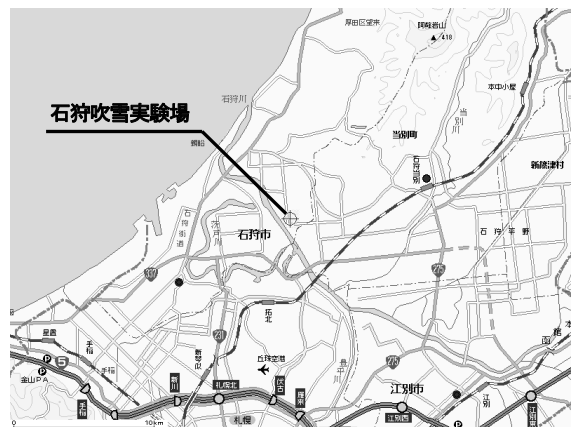


図 1 石狩吹雪実験場(位置図)



写真 1 防雪柵の防雪効果計測状況

#### 3.2. 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<sup>3)</sup>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、吹雪量、積雪深である。このうち、吹雪量、積雪深は参考データとして計測したものであり、本報告内では整理に用いていない。

視程の計測では視程計による機械計測が一般的であり、今回の計測でも機械計測に依った。ただし機械計測は視程計が高価で台数も限られていること、計測に一定の対象とする(均一な)空間が必要で一定の施設設置延長が必要になるなど、計測は比較的困難である。

視程を計測するのが最も直接的な方法であるが、風速の測定は比較的簡易であり、風速と吹雪輸送量との間には一定の関係(竹内<sup>4)</sup>)が見られることからこれまでの研究では指標として用いられていることも多い。そこで、視程計と風向風速計を防雪柵の風下に設置して測定を行った。

評価計測にあたっては、既往文献調査(2)の結果から、表6に示した性能評価に必要な課題を念頭に機器の配置等を決定した。柵からの距離は6.5m、17.0m、27.5mにそれぞれ設置しているが、これら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。設置した計測機器を、写真2、表7に示す。

視程および風速は1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<sup>5)</sup>に倣って行った。

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

なお本文で使用したデータの計測期間は平成18年12月15日～平成19年3月15日(91日間)である。

表6 性能評価に必要な課題と機器配置

| 課題                          | 使用機器               | 機器配置等                                      |
|-----------------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| 観測機器の設置高さによる差異              | 風向風速計<br>反射型視程計    | H=1.5m、2.5m                                |
| 観測機器の道路上の設置箇所による差異          | 風向風速計<br>反射型視程計    | 柵からの離れ<br>6.5m、17m、27.5m                   |
| エンドエフェクトの影響範囲と観測機器の道路上の横断位置 | 風向風速計              | 柵端部からの離れ<br>20m、30m<br>柵からの離れ<br>17m、27.5m |
| 観測記録の時間変動的検討                |                    |                                            |
| 除雪の有無による観測値への影響             | 風向風速計<br>反射型視程計    | 除雪有り箇所<br>除雪無し箇所                           |
| 吹きだまり形状による視程改善効果への影響        | レーザー積雪深計<br>反射型視程計 | 柵背面の積雪深を計測                                 |

表7 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    |
| 吹雪粒子計    | 新潟電気     | SPC-S7 ver. 1.4 |

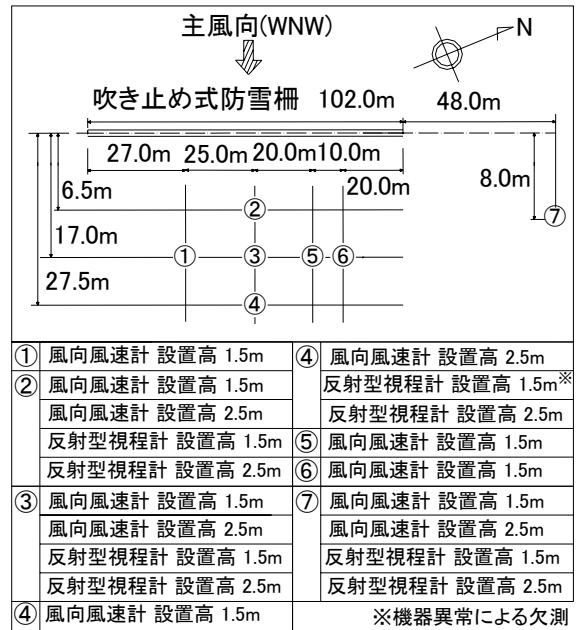


図2 計測機器の配置図



(左) 風向風速計

(右) 反射型視程計

写真2 設置した計測機器

### 3.3. 視程の測定結果

#### 3.3.1. 視程比・風速比の定義

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(表3)。

ここで、防雪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、以降の議論を進めることとしたい。また、基準点は柵遠方の風上点でもよいと考えられる。

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分平均視程を用いることとした。

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

なお、視程比は設置高が同じセンサーで比較することとする。同様に風速比についても以下のように定義した。

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

### 3.3.2. 吹き止め式防雪柵の高さ、位置と視程比

視程比は吹雪の程度に応じて変化する可能性があるため、基準点の平均視程と視程比の関係を図 3、図 4 に整理した。図 3 は測定高 1.5m、図 4 は測定高 2.5m のデータである。

データは柵への入射角が 90 度(直交風)の場合を抽出したものである。直交風の場合が最も減風機能が発揮され<sup>6)</sup>、効果も高いと考えられる。グラフは基準点の平均視程 100m 毎にその範囲で測定された視程比のデータを平均して 1 プロットで示した。平均視程 100m 以下の計測データは取得されなかった。

基準点平均視程と視程比との関係は、測定高 1.5m(図 3)では基準点平均視程が伸長するにつれて視程比は増大する傾向が見られる。一方測定高 2.5m(図 4)では若干減少している。

加治屋ら<sup>7)</sup>によると、吹雪時の視程低下に伴う道路交通への影響については視程 500m ぐらいから徐々に速度が低下し、200m 以下ではその割合が大きくなり、100m 以下のなると顕著になると指摘されている。このため、防雪柵に視程改善機能が求められるのは視程 500m 以下の範囲といえる。道路交通に影響する範囲では、視程 200m~500m の範囲で平均視程の差異による視程比に大きな違いは無い。

平均視程 100m~200m では測定高 1.5m(図 3)で視程比が低くなった。この平均視程範囲のデータは 1 データ(10 分間)と少ない。計測時の風速、気温は視程 200m 以上の計測時と比べて大きく変わらず、この視程比低下のメカニズムについては、今後ともデータの蓄積とともに検証してゆきたい。これ以降の論述は視程比に違いの少ない視程 200m~500m でのデータについて進める。

測定高 1.5m では②地点(柵からの距離が 6.5m)でも視程比が 300%程度であるのに対して、柵から 17.0m 離れた③地点での視程比が 10.4 程度と違いが大きい。一方、測定高 2.5m では視程比 7.0~10.5 程度で地点間の差は少ない。防雪柵の下部は無孔板で構成されており、飛雪は防雪柵の上部あるいは上を横断して風下に飛来する。このため、比較的防雪柵に近接した②の地点では視程比が高くなり、距離が離れた③地点では定常的な地吹雪の濃度鉛直分布に近づき、地面に近い測定高 1.5m の視程比が小さくなったと考えられる。

視程改善効果の評価には道路近傍の視程比の低い地点、計測高で測定することが適当と考えられることから、計測した地点中では柵からの離れ 17.0m、計測高 1.5m が適当といえる。

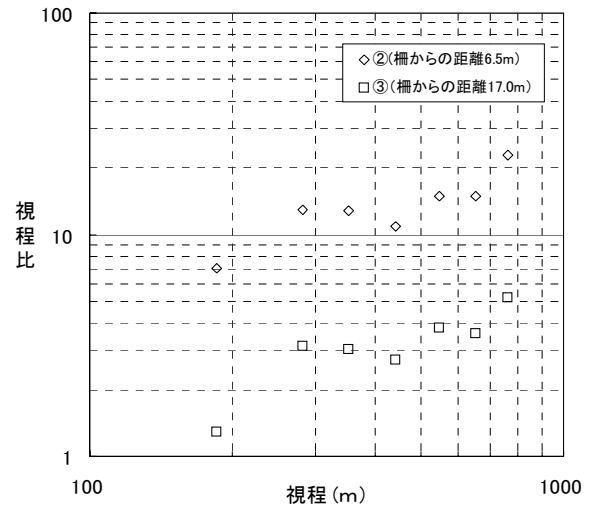


図 3 基準点平均視程と視程比  
(測定高 1.5m)

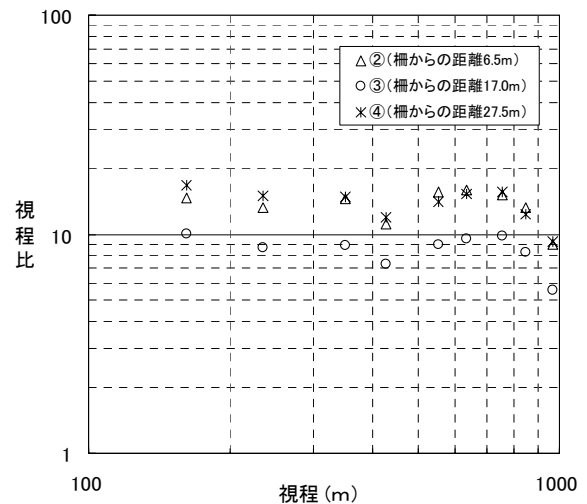


図 4 基準点平均視程と視程比  
(測定高 2.5m)

## 3.4. 風速の測定結果

### 3.4.1. 風速と視程の相互関係

次に、吹雪時における風速比と視程との関係について示す。図 5 は基準点視程 500m 未満時の風速比と視程の関係を示したものである。各プロットは計測箇所での直交風時データを平均したものである。

これによると視程比の増加に伴って風速比が減少している傾向が見られる。このことから測定の比較的容易な風速比が視程比の代替となる可能性が見いだせる。しかし④の測定高 2.5m では他の測定箇所と違う傾向があり、この精査は今後の課題である。

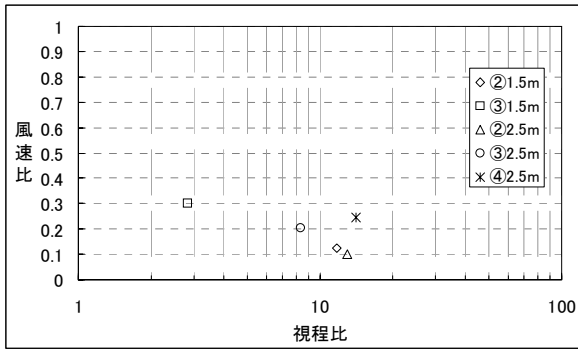
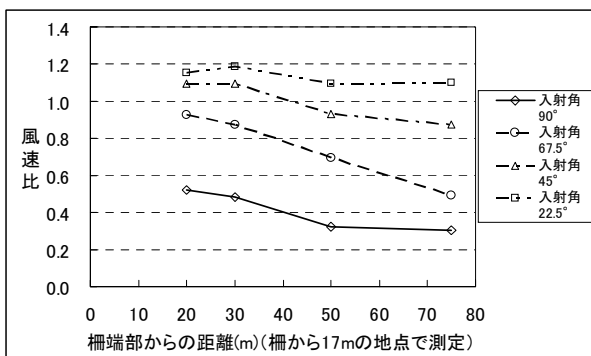


図 5 防雪柵風下における視程比と風速比の関係

### 3.4.2. 防雪柵端部の影響範囲

防雪柵の端部では風の巻き込みによる視程の変動(エンドエフェクト)が発生する<sup>8)9)</sup>。このため防雪柵の観測にあたってはエンドエフェクトの範囲を除外して計測する必要がある。

今回柵端部近傍に風向風速計を設置してエンドエフェクトの範囲について測定を行った。図 6 は風の入射角毎に柵から 17.5m 離れた地点における柵端部からの距離と風速比を示したものである。これによると、柵端部から 30~50m の範囲でエンドエフェクトの発生が認められる。今後測点を増やして、エンドエフェクトの影響範囲を確定する必要があると考える。

図 6 柵端部からの距離と風速比の関係  
(入射角別)

## 4. 防雪柵の性能評価項目の検討

### 4.1. 評価項目の検討

これまでの計測結果、既往研究のとりまとめから、防雪柵の性能評価項目の検討を行った。性能評価の項目等を表 8 に示す。

今回の検討は吹き止め式防雪柵を野外観測により評価を行う場合であり、模擬実験による場合は別途検討する必要があると考えられる。

表 8 吹き止め式防雪柵の評価項目等

| 項目              | 内容                                           | 備考                        |
|-----------------|----------------------------------------------|---------------------------|
| 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。<br>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<br>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<br>(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                   |

### 4.1.1. 評価項目

防雪柵の有無、もしくは道路近傍と風上遠点とを比較することとする。現状では「視程」を計測することを原則とする。風速の測定による代替や飛雪量については、今後の課題として引き続き検討を行う。

視程改善効果は基準点との視程比により行う。基準点は近傍同条件の防雪柵非設置区間もしくは柵風上遠点とする。

### 4.1.2. 測定時間

視程センサーの時間分解能が数秒で設定されていること、短時間の視程低下は交通への影響が比較的軽微であること、データ処理が簡便であることから当面平均視程により評価することを基本として提案し、視程変動強度や最低視程の取扱については「7.4 吹雪視程障害に関する研究」の枠内での課題としたい。

また平均時間は「7.4 吹雪視程障害に関する研究」における研究成果から短時間変動を考慮し 10 分平均をとることを提案したい。

### 4.1.3. データの抽出条件

基準点で交通挙動に影響する視程環境下で比較することし、基準点視程 500m 以下を対象とする。また、吹き止め柵では基準点視程 200~500m では柵風下の視程比変動は比較的少ない。

#### 4.1.4. 測定位置

吹き止め式防雪柵では柵風下直近では視程比が大きくなり、遠方では視程比が小さくなる。また、測定高による影響が認められ、測定高 2.5m に比べ測定高 1.5m の視程が低下している。

視程はドライバーの目線高さ附近で測定するのが適当であり、道路の厳しい環境下で比較するのが適当と考えられることから、路面高 1.5m 前後での測定が測定結果からは妥当といえる。

また、測定箇所の横断位置は 2 車線道路の場合風下側路側が他の横断位置に比べて視程が低下するため適当といえるが、4 車線道路の場合は今後の検討課題となる。

#### 4.1.5. 測定対象施設の延長

柵端部では風の巻込みによる強風域ができ、視程計測に影響を与える。このため計測はエンドエフェクトの影響範囲外で行う必要がある。図 6 で示したようにエンドエフェクトは端部から 30m ないし 50m の範囲で発生している。このため比較対象となる防雪柵は最低 60-100m 延長があるところで計測することが必要となる。

#### 4.1.6. 周辺環境

十分に開けた平坦地とする。「2005 除雪・防雪ハンドブック(防雪編)」<sup>10)</sup>によれば、少なくとも吹走距離 200m までの範囲では吹走距離の増加に伴って吹雪量が増加し、吹雪が発達するとされている。よって、風上に 200m 以上の開けた空間があることが望ましい。

### 4.2. 今後の検討課題

#### 4.2.1. 風速や吹雪量による測定

風速比と視程比には一定の傾向が認められたが、すべての観測点に適用できるまでには至っておらず、風速による観測での代替性は今後共検討していく必要がある課題となっている。

#### 4.2.2. 4 車線道路における測定箇所について

2 車線道路においては道路風下路側での測定が適当であると今回の計測から結論づけられたが、4 車線道路における計測の適当位置は今後の課題である。

#### 4.2.3. エンドエフェクトの範囲について

今回の計測ではエンドエフェクトの影響範囲について、計測箇所の制約で確定できなかったので、引き

続き計測箇所の増設によりその範囲を確定する必要があると考えている。

#### 4.2.4. 柵背面への吹きだまり発達・除雪の有無による影響

測定事例の蓄積によって、柵背面の吹きだまり形状の変化による効果の時間変化が考えられる。また、今回は周辺を除雪した環境で測定を行ったが、除雪による影響についても検討を行う必要があると考えている。

### 参考文献

- 1) (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
- 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) 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。
- 4) 竹内政夫：ワイオミングの吹雪とその対策，第 24 回北海道開発局技術研究発表会論文集，pp442-449，(財)北海道開発協会，1981
- 5) 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
- 6) 伊東靖彦、松沢勝、加治屋安彦：現地観測による吹き止め式防雪柵の防雪効果について，北海道の雪氷，22，p. 53-56，2003
- 7) 加治屋安彦、松沢勝、鈴木武彦、丹治和博、永田泰浩：降雪・吹雪による視程障害条件下のドライバーの運転挙動に関する一考察，寒地技術論文・報告集，20，pp325-331，(社)北海道開発技術センター，2004
- 8) 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
- 9) 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
- 10) (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)，pp49-50，2005

## STUDY ON EVALUATING PERFORMANCE OF SNOW-PROTECTION FACILITIES

**Abstract** : In Hokkaido, snowstorms can cause road closures in winter. In this study, a method for evaluating the performance of snow-protection facilities was investigated for effective planning and construction. In FY2006-2007, previous studies on the performance of snow-protection facilities were reviewed. The items for evaluating the performance of snow-protection facilities (e.g., measurement location and height) were determined. In addition, wind speed and visibility around the real-size snow fence were measured in the Ishikari Blowing Snow Test Field, and the data were analyzed to suggest the evaluation items.

**Keywords** : snow fence, snowbreak woods, performance evaluation, visibility

