

気温メッシュデータによる路面温度予測の広域化検討

藤本明宏*1 中島知幸*1 佐藤賢治*1
徳永ロベルト*1 高橋尚人*1 石田樹*1

1. はじめに

路面温度は冬期道路管理を行う上で欠かせない情報であり、その予測モデルは様々な研究機関で開発されている。最近の当テーマの研究動向は路面雪氷状態・すべり摩擦係数予測への発展およびモデルの広域化である。予測モデルは統計的手法と物理的手法に大別され、本研究では物理的手法に着目する。なお、統計的手法はモデルの構築に必ず気象と路面温度測定を伴う長期の野外観測が必要であり、汎用面に課題がある。一方、物理的手法は場所を選ばないが、多くのパラメータを要するなどモデルが複雑になりやすく、容易に開発はできない。代表的な物理的手法を用いたモデルとして、Chapman and Thornes¹⁾および齊田ら²⁾の研究が挙げられる。Chapman and Thornes¹⁾のモデルは定点の路面温度予測に路面からの天空画像を用いて建物による日射の遮蔽を考慮することで路面温度路線分布 (Thermal Map: TM) の計算を可能にした。一方、齊田らのモデル²⁾は路面上の熱・物質収支を基本とした多地点同時路面温度解析によって予測範囲を点から線・面に拡張したものであり、現在、計算の高速化について研究が継続されている。当研究所では、Chapman and Thornes¹⁾のモデルを参考に熱収支による定点路面温度予測に計測TMを組み合わせることで、TMを予測するモデル (以下、路面温度推定モデル) を構築した (2章に詳述)³⁾。しかしながら、Chapman and Thornesのモデルと同様にこのモデルは、走行試験が必須となり、その労力とコストの負担が対象エリアの拡大、さらにはモデル普及の障害となっている。なお、現在の当研究所モデルの予測延長は約600 kmであり、これまでのモデル開発におよそ10年費やした。参考までに北海道の国道総延長は約6700 kmである。

このように、いずれのモデルも技術的あるいは実務的な課題があり、依然として冬期道路管理に広く普及するに至っていない。そこで本研究では、近年の気象メッシュ予報の空間分解能の精緻化 (1 km) に着目し、気象メッシュを用いた路面温度予測モデルの広域化について検討してきた。本論文では、気象メッシュを用いた路面温度予測の広域化手法を提案するとともに、気温と路面温度の相関性および提案する手法の推定精度について記載する。

2. これまでの研究

2.1 路面温度推定モデル

当研究所では、気象予報データから路面温度および路面状態を予測する手法 (路面凍結予測手法、特許第4742388号) をこれまでに開発した。路面凍結予測手法は、路面温度推定モデル³⁾と路面状態推定モデル⁴⁾から構成される。

図1に路面温度推定モデルの概念を示す。本モデルは、気温、風速、相対湿度、大気放射量、日射量などの気象条件や交通量を入力条件に路面の熱収支を解析して路面温度を出力する。路面温度推定モデルおよびその理論の詳細については参考文献3)を参照されたい。

本研究では取り上げないが、参考までに路面状態推定モデルの概要を以下に記載しておく。路面状態推定モデルは、道路テレメータ地点のみであるが、路面温度に加えて路面状態 (乾燥、湿潤、シャーベット、圧雪、アイスバーン等) を予測できる。

こうした路面凍結予測手法によって科学的・定量的に路面温度や路面状態を知ることが可能になった。これらの情報は道路管理者の意志決定を支援し、適切な冬期道路管理の実施に活用されている。

2.2 路面温度路線分布の作成 (従来の広域化手法)

写真1は計測TM作成ための走行試験の様子である。同写真に示されるように、車体の前部に放射温度計を取り付け、走行しながら路面温度を計測し、この計測データを基に計測TMは作成される。計測は日射の影響を受けない夜間に実施される。一回あたりの計測延長は時間的な

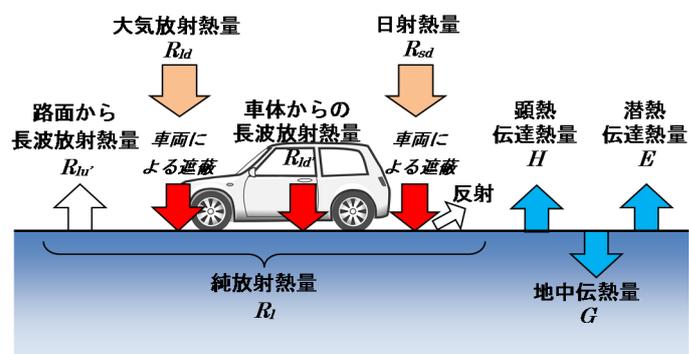


図1 路面温度推定モデルの概念図

*1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム



写真1 計測 TM 作成のための走行試験の様子

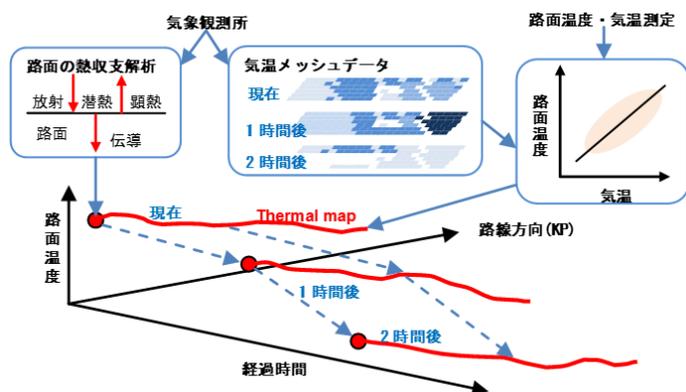


図3 気象メッシュを用いた路面温度予測の広域化手法の概念図

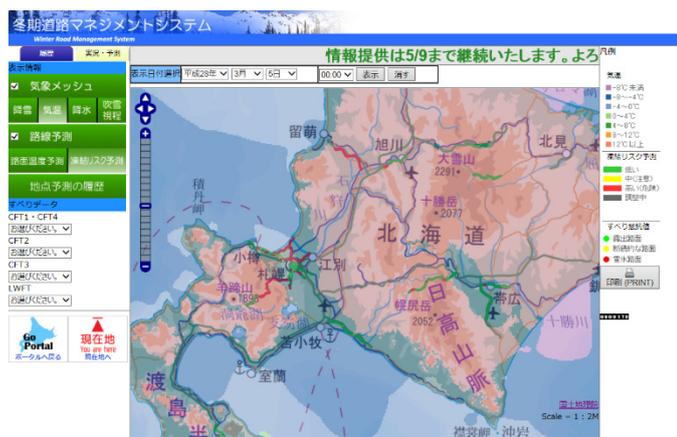


図2 冬期路面管理支援システムの画面

気象変化の影響を受けないように長くても40 km程度とした。

TMの予測では、路面温度推定モデルによって予測される定点の路面温度を基準として、この定点と同じ地点のTMの路面温度を合わせ、定点の路面温度の変動に合わせてTMも変動させる。このようにしてTMは予測される。

2.3 冬期道路マネジメントシステム

路面温度推定モデルによる予測情報は、試行運用ではあるが、冬期道路管理の効率性向上の支援を目的に冬期道路マネジメントシステム（図2）によって道路管理者に提供されている。

当該システムは、冬期路面管理支援システムと冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムの2つのサブシステムで構成され、平成17年度から冬期間に情報提供を始めた。提供される情報は、路線温度予測情報の他に、気象予測情報、路線凍結リスク予測情報、定点路面状態予測情報およびCCTVカメラによる道路状況である。気象予測情報は最大6時間先まで、路線温度予測情報、路線凍結リスク予測情報および定点路面状態予測情報は最大16時間先まで、それぞれ閲覧できる。

3. 気象メッシュを用いた路面温度予測の広域化手法

図3に気象メッシュを用いた路面温度予測の広域化手法の概念図を示す。本手法では、気温と路面温度の相関式を作成し、気温メッシュから路面温度メッシュへ変換することで、TM（以下、統計TM）を作成する。

以下に、理解しやすいように統計TMの作成方法とそれを用いたTM予測の手順をまとめておく。

- i. 実道での路面温度・気温測定の実施
- ii. 気温と路面温度の相関式作成
- iii. ii.を用いて気温メッシュデータから統計TM作成
- iv. 定点路面温度予測(2.2に記述)
- v. ii.とiv.を組み合わせることでTM予測

4. 実道での路面温度・気温測定

測定は2014・2015年の1・2月の平日（約40日×2年）の早朝に行われた。対象路線は図4に示すように一般国道230号の札幌（KP1.0）から中山峠（KP45.0）に至る延長44.0 kmである。同図には、標高Eと日交通量Qについても示す。対象路線の標高は札幌の18 mから中山峠の835 mに向けて高くなる。対象路線の日交通量は札幌の都市部では約4万台/日、小金湯や定山溪温泉の郊外部や山間部では約1万台/日である。

路面温度は写真1に示したように放射温度計を、気温は温度計を、それぞれ使い、いずれも車両に取り付けて走行しながら測定した。

5. 気温と路面温度の相関関係

図5に本研究で得られた気温と路面温度の相関関係を示す。同図(a)は延長44.0 kmの全区間における気温と路面温度の相関関係であり、(b)～(f)は郊外区間、山間区間、アンダーパス区間、トンネル区間および橋梁区間に



図4 実道での路面温度・気温測定の概要

おける気温と路面温度の相関関係である。(a)の全区間に着目すると、図中に示す赤丸で囲った箇所が全体の傾向から外れている。赤丸内は、後述するが、トンネルおよびアンダーパス区間のデータであり、これらの区間では他と比較して同じ気温であっても路面温度が高い。今回の対象区間には1か所のアンダーパスがあり、ロード

ヒーティングが施されている。(b)および(c)の郊外および山間区間を見ると、いずれも気温と路面温度の決定係数は0.92であり、両者の間には高い相関性が認められる。(d)および(e)のアンダーパスおよびトンネル区間は(b)および(c)の郊外および山間区間に比べて路面温度が2~5℃程度高い範囲に分布していることが確認できる。(f)の橋梁区間は(b)および(c)の郊外および山間区間と大差ない。

6. 路面温度路線分布の比較・検証

2016年1月9日夜間を例に測定したTM（以下、TM実測）と計測TMおよび統計TMを用いた予測したTM（以下、計測TM予測、統計TM予測）を比較する（図6）。また、土工部、トンネル、アンダーパスなどの道路構造別の気温と路面温度の相関式を用いて作成した統計TMによるTM予測（以下、統計TM予測'）も併せて示す。今回の例では、計測TM予測はTM実測と概ね一致している。統計TM予測もTM実測よりやや低いものの大差ない。統計TM予測'はTM実測におけるアンダーパスおよびトンネルの区間の温度上昇を概ね再現できた。夜間の計102回の走行試験におけるTM実測と計測TM予測および統計TM予測'の平均二乗誤差RMSEは両者ともに2.3℃で差がなかった。

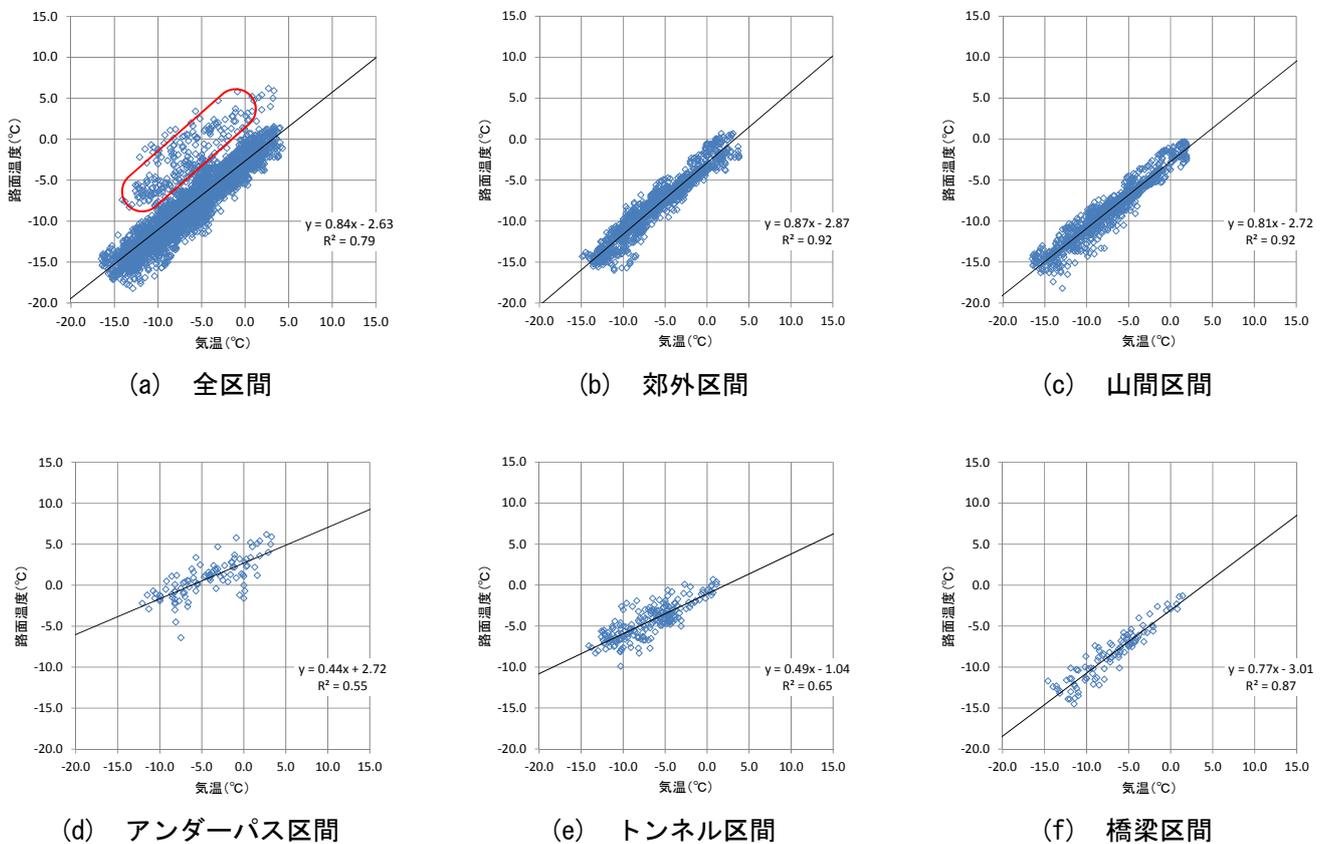


図5 気温と路面温度の相関関係

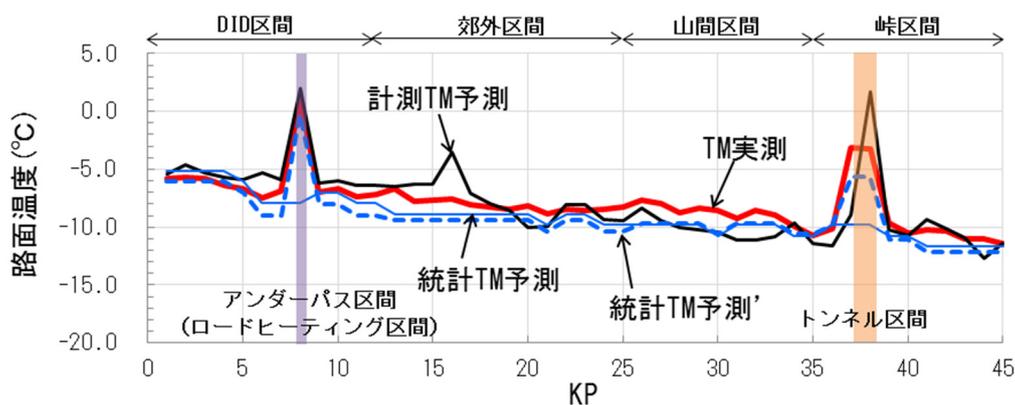


図6 路面温度路線分布の実測値と予測値の比較

7. おわりに

本研究により、夜間かつ土工部であれば気温と路面温度の相関性は高く、従来のThermal Mapを用いた場合と同程度の精度で気温メッシュデータを用いて路面温度予測の広域化ができる可能性が示された。今後は、大気放射熱と気温を説明変数とした路面温度の重回帰式を作成し、気象メッシュデータを用いた路面温度予測の精度向上を目指す。また、降雪メッシュデータを入力条件に加えて、路面状態や路面凍結リスクの広域化について検討を始める。

参考文献

- 1) Chapman, L. and Thornes, J.E.: A geomatics-based road surface temperature prediction model, Science of The Total Environment, 360, 1-3, 68-80, 2006.
- 2) 齊田光、田中雅人、藤本明宏、寺崎寛章、福原輝幸：広域路面滑り－雪氷状態予測モデル、日本雪工学会論文集、32、1、1-16、2016.
- 3) 高橋尚人、浅野基樹、石川信敬：熱収支法を用いた路面凍結予測手法の構築について、寒地技術論文・報告集、21、201-208、2005.
- 4) Takahashi, N., Tokunaga, R., Sato, T. and Ishikawa, N.: Road surface temperature model accounting for the effects of surrounding environment、雪氷、Vol. 72、No. 6、pp. 377-390、2010.

路面雪氷状態予測結果を用いた冬期交通事故分析手法の基礎的検討

齊田光 *1, 平澤匡介 *1, 高橋尚人 *1, 石田樹 *1

1. 研究の背景および目的

積雪寒冷地域における冬期の交通事故発生リスクは、路面雪氷状態に大きく影響されていると考えられており、冬期における交通事故防止を進める上で両者の関係を明らかにすることは重要である。本研究では、路面雪氷状態と交通事故の関係について、路面雪氷状態予測手法を用いた分析手法に関する基礎的な検討を行ったので結果を報告する。

2. 交通事故発生地点における路面雪氷状態の推定方法

事故発生時における路面雪氷状態は冬期に発生した交通事故の要因分析等を行う上で重要な情報となる。しかしながら、警察が作成する事故原票には路面すべり摩擦係数などのような詳細な路面状態は記録されていない。このため、事故発生時の詳細な路面雪氷状態が明らかとなっているケースは事故発生の直前または直後に計測車両による路面雪氷状態計測が行われていた場合などに限られ、その件数は極めて限られている。このため、路面雪氷状態と交通事故の関係について分析を行うためにはより多くの事故について事故発生時の詳細な路面雪氷状態を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、気象要因、地形要因や人為的要因などを考慮し路面雪氷状態を広域に推定する手法（広域路面雪氷状態予測モデル）を用いて、検証対象路線の各地点・日時における路面雪氷状態を求めることで路面雪氷状態推定値と事故率の関係を求めることを試みた。

本研究で用いる広域路面雪氷状態予測モデルは、以下の4つの計算プロセス、すなわち、1)沿道の地形や建物を考慮した道路気象計算、2)路面熱収支計算、3)路面雪氷層を構成する水・氷・空気の収支計算および4)HFN（路面すべり抵抗値、通常0から100の間の値をとり数値が小さいほど路面が滑りやすいことを示す）の計算から成る。

道路気象計算では道路周辺の地形や建築物（沿道地物）の形状をデジタル地形データ等を用いて三角形要素の集合体として再現し、沿道地物による日射の遮蔽、反射および輻射による影響を求める（図1参照）。

路面熱収支計算では図2に示すように路面雪氷層および舗装を模した計算要素に入出入りする熱量を計算し、各計算要素の温度を求める。路面雪氷層の温度 T_s は日射や降水等の気象要因、雪氷層からの水分蒸発や昇華等の相変化に伴う要因、雪氷層の飛散や排水など質量変化に伴う要因、地盤からの熱伝導など種々の要因を考慮して、次式で求められる。

$$(\rho c)_s \frac{\partial(T_s h_s)}{\partial t} = q_{sds} + q_{lds} - q_{lus} + q_{as} + q_{sf} - q_{le} - q_{sa} + q_{lm} - q_{if} - q_{dr} + q_{sp} - q_{st} \quad (1)$$

ここに、

$(\rho c)_s$: 雪氷層の体積熱容量(J/m³K)

T_s : 雪氷層温度(°C)

t : 時間(sec)

h_s : 走行（タイヤ）部の路面雪氷層厚(m)

q_{sds} : 日向・日陰を考慮した日射熱フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{lds} : 雪氷層に入射する長波放射フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{lus} : 雪氷層からの長波放射フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{as} : 車両風・自然風による顕熱フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{sf} : 降雨/降雪顕熱フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{le} : 蒸発・昇華潜熱フラックス (W/m²) (表層のみ)

q_{sa} : 飛散による顕熱フラックス (W/m²)

q_{lm} : 融解・凝固潜熱フラックス (W/m²)

q_{if} : 融雪水の下方浸透による顕熱フラックス (W/m²) (最下層以外)

q_{dr} : 排水による顕熱フラックス (W/m²) (最下層のみ)

q_{sp} : 雪氷層と舗装表面間の熱移動フラックス (W/m²) (最下層のみ)

q_{st} : 日射の透過熱フラックス (W/m²)

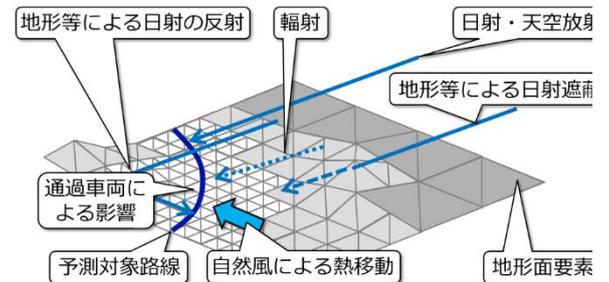


図1 デジタル地形データ等を用いた道路気象計算の概要

* 1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

なお、各項の詳細な計算方法は参考文献2), 3)および4)を参照されたい。

路面雪氷層の質量・体積収支計算では、図3に示すように雪氷層が氷、水および空気の3つの成分で構成されているものとし、各成分について質量および体積収支を求める。雪氷層中の水、氷および空気の質量および体積収支はそれぞれ以下の式で求められる。

$$\frac{\partial M_w}{\partial t} = M_{fw} + M_{lw} + M_{iw} - M_{sw} - M_{dw} - M_{saw} \quad (2)$$

$$\frac{\partial M_i}{\partial t} = M_{fi} + M_{li} - M_{iw} - M_{sai} \quad (3)$$

$$\frac{\partial V_a}{\partial t} = V_{fa} - V_{exa} - V_{oa} - V_{saa} - V_{vca} \quad (4)$$

ここに、

M_{fw} : 降雨フラックス(kg/m²/s) (表層のみ)

M_{bw} : 蒸発・凝結フラックス(kg/m²/s) (表層のみ)

M_{iw} : 融解・凝固フラックス(kg/m²/s)

M_{sw} : 融雪水の下方向浸透フラックス (kg/m²/s)
(最下層以外)

M_{saw} : 飛散により失われる雪氷層中の水分
フラックス(kg/m²/s)

M_{fi} : 降雪フラックス(kg/m²/s) (表層のみ)

M_{li} : 昇華フラックス(kg/m²/s) (表層のみ)

M_{iw} : 融解・凝固フラックス(kg/m²/s)
(>0: 融解, <0: 凝固)

M_{sai} : 飛散氷成分フラックス(kg/m²/s)

V_{fa} : 降雪空気フラックス(m³/m²/s)

V_{exa} : 置換空気フラックス(m³/m²/s)

V_{oa} : 開放空気フラックス(m³/m²/s)

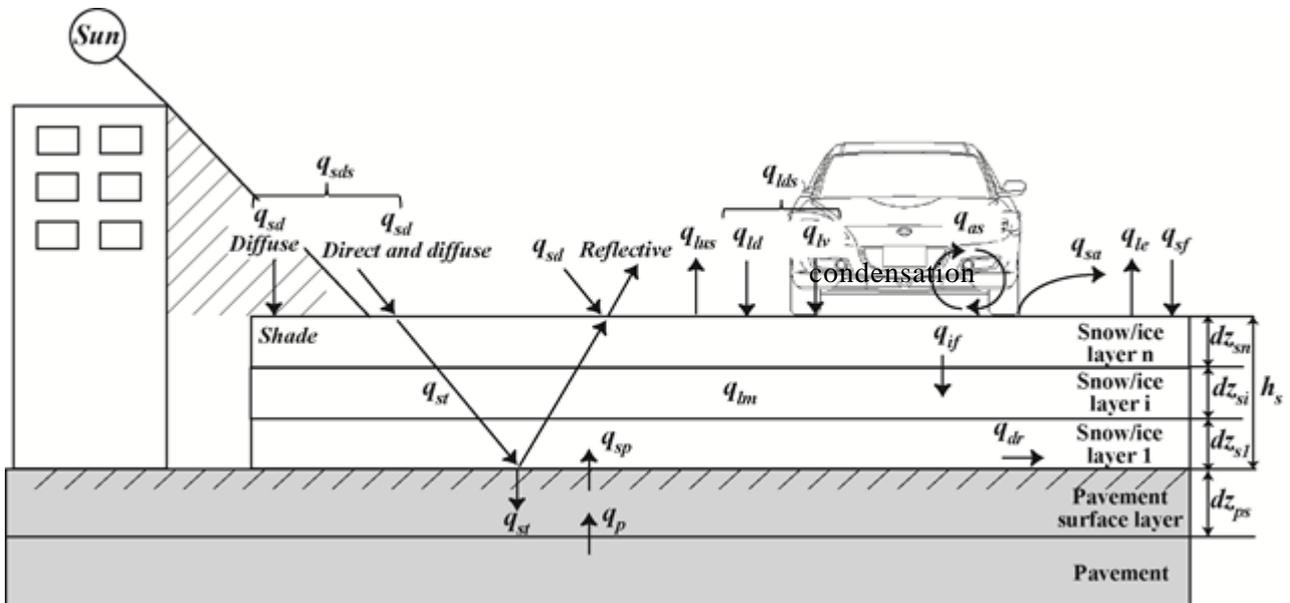


図2 舗装および路面雪氷層における熱収支計算の概念図

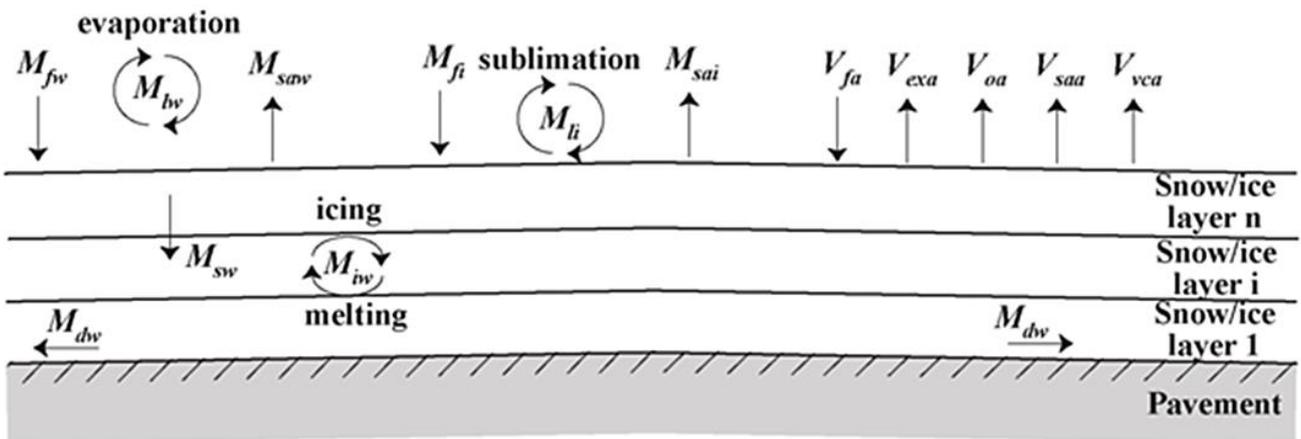


図3 路面雪氷層における体積収支計算の概念図

V_{sea} : 雪氷層中の飛散空気成分フラックス ($m^3/m^2/s$)

V_{car} : 車両が 1 台通過した時の粘性圧縮による排出空気フラックス ($m^3/m^2/s$)

である。各項の詳細については参考文献3), 4)および5)を参照されたい。

最後に、HFNの計算ではこれらの過程を経て得られた路面雪氷状態計算結果を用いて次式で求められる。

$$HFN = 49.303(\theta, h_s)^{0.076} \quad (5)$$

ここに、

θ : 雪氷層の体積含水率

これらの計算が完了すると路面温度、路面雪氷状態（路面の積雪深、路面雪氷層の含水率、含水率など）や路面すべり抵抗値の空間・時間分布が出力される。

3. 路面雪氷状態推定精度の検証

3.1 検証方法

広域路面雪氷状態予測モデルを用いると事故発生時の路面雪氷状態推定値を用いた詳細な交通事故分析が出来るが、両者の関係を正確に分析するためには路面雪氷状態を良好に推定する必要がある。そこで本研究では一般国道 230 号線のうち北海道札幌市の市街地を通過する区間 (1kp~15kp) を対象として広域路面雪氷状態予測モデルの計算精度検証を行った。検証では、HFNの分布を 2014/1/10:00 から 1/16:00 にわたり計算した。次に、同路線で平日の午前 8:00 および 10:00 に計測された HFN 分布実測値と HFN 計算値を比較し、HFN 計算値の絶対誤差や誤差の傾向などについて考察を行った。なお、計算では沿道地物形状データとして国土地理院 基盤地図情報数値標高モデルを基に作成した空間解像度 50m のデジタル地形データおよび株式会社ゼンリンが発行するデジタル

表 1 一般国道 230 号線 1~15kp における HFN 計算誤差および的中率

日時	MAE	MBE	的中率(%)
1/7 8:00	16	9	48
10:00	12	-1	74
1/8 8:00	17	-15	48
10:00	9	-6	87
1/9 8:00	15	-15	47
10:00	8	-6	93
1/10 8:00	11	-11	78
10:00	11	-6	77
1/14 8:00	10	-3	74
10:00	11	-1	70
1/15 8:00	9	6	81
10:00	11	-10	73
全日時平均	12	-5	71

住宅地図データに含まれる建築物形状データを用いた。

3.2 検証結果

表 1 は検証対象区間における HFN 計算誤差 (Mean Absolute Error, MAE および Mean Bias Error, MBE) と計算的中率 (全区間長に対する MAE<15 となった区間長の比率) の時間分布を示す。MAE は日時によって変化し、1/7:00 および 1/8:00 では特に大きくなった。この理由としては、両日時の前には 0.5mm/h 未満のごく弱い降水があり、これにより生じる薄い雪氷層の性状を正確に再現できなかったためと考えられる。一方で、それ以外の晴天・曇天時や降雪時では精度よく HFN を再現できており、全期間にわたる MAE は 12、的中率は 71% であった。また、MBE の全期間平均値は -5 であり、本手法は実際よりも HFN をわずかに低く見積もる傾向にあった。これらの結果より、本研究に用いる広域路面雪氷状態予測モデルは実際の路面雪氷状態を良好に再現可能であることが確認された。

4. 路面雪氷状態推定値-事故率の関係検証

4.1 検証方法

本研究では、一般国道 230 号線の札幌市内区間を対象として路面雪氷状態と事故率の関係について検証した。検証では、2008 年から 2012 年の冬期における月毎の路面雪氷状態平均値を 2. で述べた方法により概ね 500m 区間毎に推定した。また、人身事故データおよび交通センサスを用いて上述の期間および区間毎の事故率を求め、両者の関係について考察を行った。

4.2 検証結果

図 4 に 2008 年から 2012 年の一般国道 230 号線 札幌市内区間における各期間・区間の HFN 推定値の平均と事故率の関係を示す。本結果より、事故率は平均 HFN が 65 程度となる区間・期間で最も大きくなった。一方で、平均 HFN がより小さく滑り易い区間・期間における事故率は低くなり、

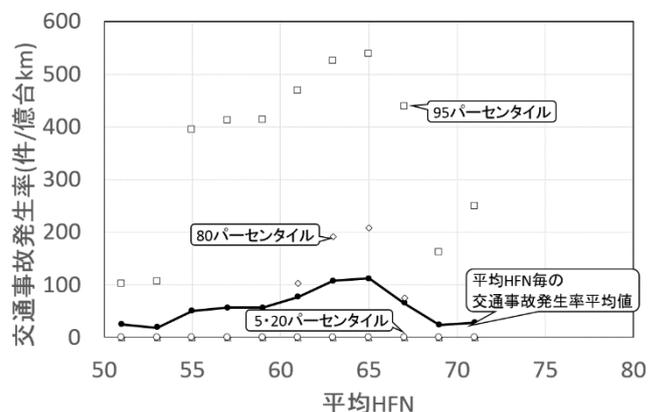


図 4 一般国道 230 号線 札幌市内区間の各期間・区間における HFN 平均値と事故率の関係

全体として図5に示した一般国道230号線札幌市内区間における事故発生時のHFN実測値と事故件数の関係と同様の傾向が見られた。この理由としては、平均HFNが小さい区間・期間では走行速度が低下し人身事故の発生率が低下するとともに、人身事故には至らない軽微な事故が発生しやすくなるためと推察される。

以上のように、本研究で対象とした一般国道230号線札幌市内区間では路面のすべり易さがやや低下した条件下において人身事故件数および事故率が増加し、さらに路面が滑り易くなると人身事故件数および事故率は少なくなる傾向が見られた。しかしながら、本研究では限られた区間および期間で発生した人身事故のみを対象としており、この傾向が他の区間や期間においても同様であるかについては今後検証すべき課題である。

5. 結論

本研究で示す手法により、路面すべり抵抗値などの路面雪氷状態推定値と事故率の関係を調査可能であることが示唆された。今後は路面雪氷状態が交通事故に与える影響をより広域にわたり詳細に検証する。

参考文献

- 1) 徳永ロベルト, 舟橋誠, 高橋尚人, 浅野基樹, 中野雅充: 連続路面すべり抵抗値による冬期路面管理の高度化に関する研究, 寒地土木研究所月報, No.661, pp.11-18, 2008.
- 2) 齊田光, 藤本明宏, 福原輝幸: 熱収支法による広域路面温度予測モデル-乾燥路面の路線温度分布予測-, 土木学会論文集E1(舗装工学), Vol.69, No.1, pp.1-11, 2013.
- 3) 藤本明宏, 渡邊洋, 齊田光, 福原輝幸: シャーベット路面のすべり摩擦特性, 日本雪工学会誌, Vol.28, No.2, pp.99-106, 2012.
- 4) 藤本明宏, 渡邊洋, 福原輝幸: 輻射-透過を伴う路面薄雪氷層の融解解析, 土木学会論文集E, Vol.63, No.2, pp.202-213, 2007.
- 5) 藤本明宏, 渡邊洋, 福原輝幸: 多層路面雪氷状態モデル, 日本雪工学会誌, Vol.24, No.1, pp.3-11, 2008.

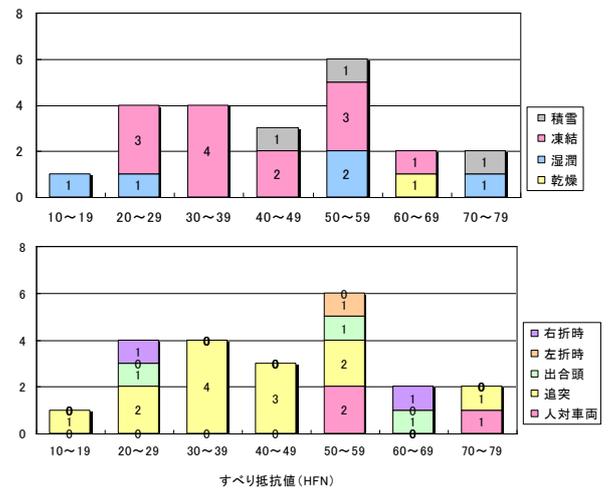


図5 平成26年1~2月の一般国道230号札幌市内区間における事故発生時のHFNと事故件数の関係

防雪盛土の路側雪堤が吹きだまり形成に及ぼす影響

小中隆範*1 伊東靖彦*1 松澤勝*1 武知洋太*1

1. はじめに

積雪寒冷地における厳冬期において、爆弾低気圧や強い冬の気圧配置に起因する暴風雪により発生した吹きだまりが、交通障害を引き起こしている。このため、様々な吹雪対策の整備が進められている。それらの内、道路構造による吹雪対策の一つに防雪盛土がある。盛土構造の路面では、盛土斜面を吹き上がる風の収束によって風が強くなった結果、路面上の積雪は吹き払われやすい状況となり、吹きだまりが形成されにくくなる。また、ある程度の盛土高があれば、除雪された雪を路外に堆雪させ雪堤の高さを低くできるため、雪堤による視程障害や吹きだまりを軽減することができる¹⁾。これが防雪盛土と言われる吹雪対策の仕組みである。しかし、除雪により路外の積雪が多くなり路側に雪が堆積し雪堤が形成されると、雪堤から飛び出す飛雪によりドライバーの目線位置での視程障害をもたらし、雪堤が風の障害物になり吹きだまりの原因となる¹⁾。盛土高と雪堤の高さの関係は竹内ら²⁾の調査により、盛土高が高い方が雪堤高は低くなり、その関係は概ね線形となることが示されている。その結果を基に「道路吹雪対策マニュアル」¹⁾では、防雪盛土に必要な盛土高さを「少なくとも現地の最深積雪（30年確率）の1.3倍とし、路側に雪堤が形成される場合にはその雪堤高を加えた高さとする。」としている。しかし、盛土高と路側雪堤の高さの関係は風速や平地積雪深などの気象条件や除雪方法によっても異なると考えられるため、竹内らの調査を補完すべく、盛土高と路側雪堤高さの関係を調査した。

また、現地観測データの不足を補う手法として作成した数値シミュレーションプログラムを使用し、吹きだまりと盛土高及び路側雪堤高さの関係を検討した。

2. 現地観測における盛土高と雪堤高の関係

2. 1 観測概要

盛土高と雪堤高の関係を明らかにするため、名寄市から美深町にかけての一般国道40号及び石狩市内の一般国道231号において、積雪状況について現地観測を行った（図-1）。一般国道40号においては2015年3月と2016年1～2月（2冬季）に5箇所（計10箇所）、一般国道231号においては2015年3月（1冬季）に5箇所積雪状況の観測を行った。積雪形状については、図-2の観測項目のとおり整理することとして地盤高・雪面高をオートレベルにより観測し、変化点毎にその差から積雪深を求めた。また、吹雪時においては観測を迅速に行うため、測深棒により積雪深を観測した。



図-1 調査箇所位置図

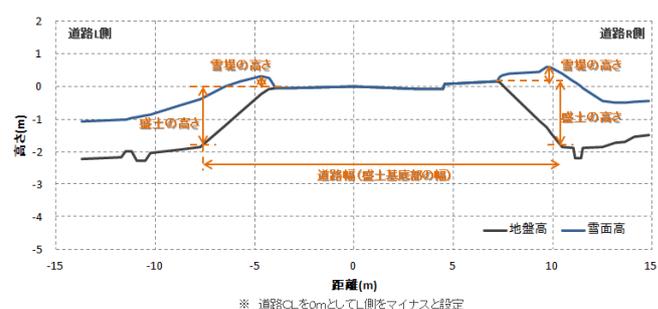


図-2 観測項目

2. 2 観測結果

現地観測を行った一般国道40号（名寄市～美幌町）と一般国道231号（石狩市）について、近傍のアメダスより気象条件を整理した。まず、一般国道40号（名寄市）の気温・風速・積雪深について、アメダス名寄のデータ（2015年及び2016年の1～3月の値と平年値）を整理した（図-3）。続いて一般国道231号（石狩市）の気温・風速・積雪深について、アメダス厚田のデータ（2015年の1～3月の値と平年値）を整理した（図-4）。図-3、図-4の縦軸に平行な赤線は雪堤の観測日を示している。

次に盛土高と雪堤の高さの関係について、本研究での代表的な計測結果及び、竹内ら²⁾による計測結果と線形回帰直線（式1）を示したのが図-5である。

$$y = -0.3037x + 1.4317 \quad (1)$$

y：雪堤の高さ（m）、x：盛土の高さ（m）

*1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

この関係式(1)を基に防雪盛土の設計が行われていることから、これを基準として現地計測結果の評価を行うこととした。

図-3、図-4、図-5より、気象条件と盛土高・雪堤高を比較し、傾向を分析した。

2015年3月の観測時期直近の気象条件は、アメダス名寄、アメダス厚田共に平年より気温が高く、積雪深が小さかったが、風速は平年と大きな差はなかった(図-3上、図-4)。図-5より2015年の計測結果を見ると、盛土高4m未満では雪堤高にばらつきがあるが、盛土高が大きいほど雪堤高は小さくなる傾向にある。しかし、盛土高4m以上では盛土高が大きくなるほど雪堤高が大きくなる傾向が見られた。

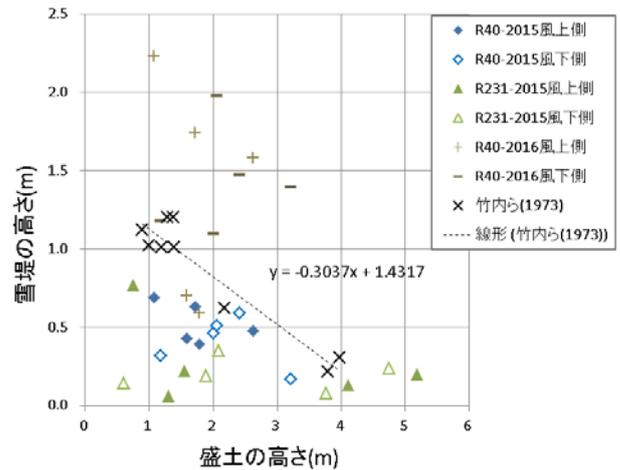


図-5 盛土高と雪堤高の関係

2016年の現地観測は、名寄市近郊で3回行った。それぞれの観測時期直近の気象条件はアメダス名寄で平年より気温が高く、積雪深が大きかったが、風速は平年と大きな差はなかった(図-3下)。図-5より2016年の計測結果を見ると、雪堤高にばらつきがあるが、盛土高が大きくなるほど雪堤高が小さくなっている。また、2015年に比べ雪堤が高いことと、積雪深が大きいことが特徴である(図-3)。すなわち、積雪の増加に伴い新雪除雪も増加したことで、路側雪堤が大きくなったものと考えられる。

3. 数値シミュレーションによる雪堤と吹きだまりの検証

3.1 数値シミュレーションの精度検証

数値シミュレーションによる解析を行う前に、その再現性の精度や妥当性について検討するために精度検証を行った。

表-1 吹雪の発生条件

気 温	吹雪発生臨界風速	
	降雪あり	降雪なし
0～-5℃	6m/s以上	11m/s以上
-5℃以下	5m/s以上	10m/s以上

表-2 事例ケースの気象条件(盛土)

(2012/2/7 14:40~2012/2/8 13:50, 23h)

イベント					
開始		終了	時間(h)		
2012/2/7 14:40		2012/2/8 13:50	23		
気象条件					
平均風速(m/s)		風向	降雪量(cm)	雪密度(kg/m ³)	降水強度(mm/h)
全期間	吹雪時				
7.5	8.5	西北西	8	210	0.35

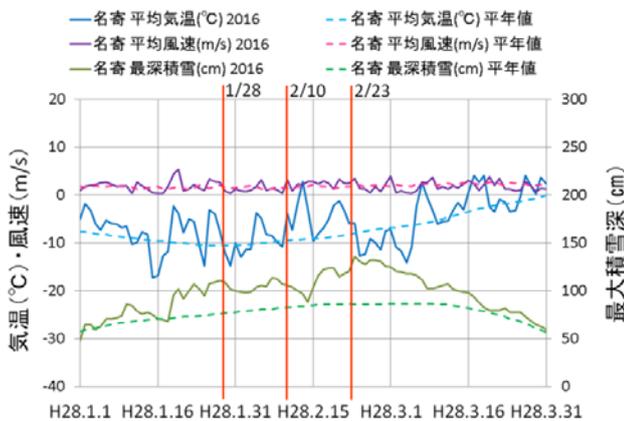
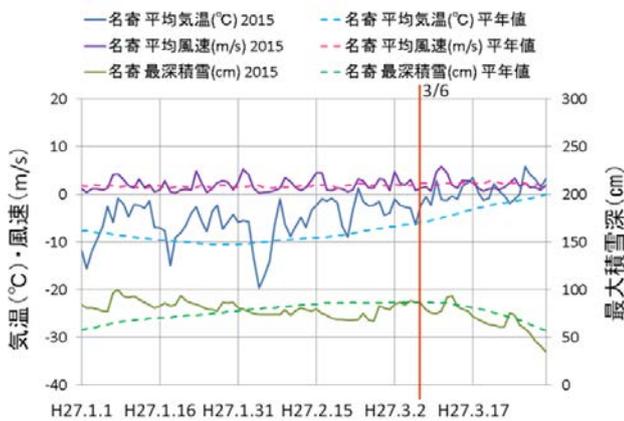


図-3 気温・風速・積雪深(アメダス名寄)
(上:2015年、下:2016年)

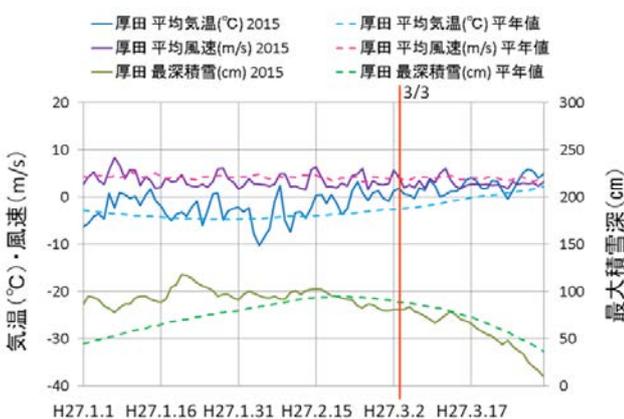


図-4 気温・風速・積雪深(アメダス厚田)

表-1の吹雪の発生条件及び表-2に示す現地観測事例の気象条件を用いて、シミュレーションによる再現解析を行い、その解析結果と野外調査結果の比較により、精度検証を行った。その結果、盛土道路の吹きだまりを概ね再現する事が出来た(図-6)。

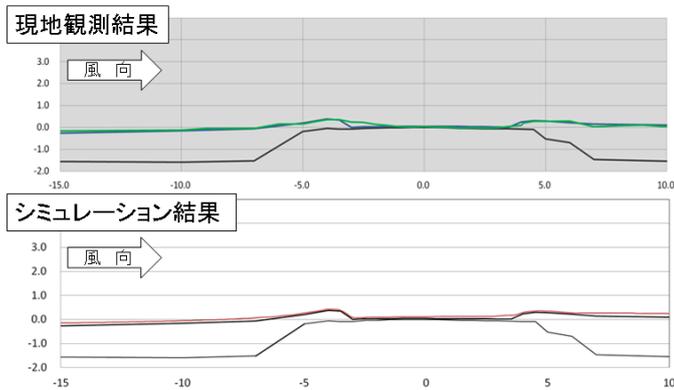


図-6 現地観測結果(上)と精度検証シミュレーション結果(下)(それぞれ緑線、赤線が吹雪後(計算後)の積雪深である)

3. 2 数値シミュレーションによる解析

数値シミュレーションにより、吹きだまりと盛土高・雪堤高の関係について解析を行った。盛土・雪堤等の基本条件(初期条件)については、表-3のとおりとした。雪堤高は竹内ら²⁾の関係式(1)より決定した。なお、竹内ら²⁾が現地調査した箇所の積雪深は110cmであるが、数値シミュレーションを行う際の積雪深を100cmで行うため、雪堤高については比率により算出した。但し、路側高さ4m以上で路外逸脱の可能性が高い場合は一般的に車両用防護柵を設置することが多い⁴⁾ので、盛土高5mでは防護柵高の0.75mとした。法面勾配は盛土材として一般的な砂質土を使用した時の標準値(盛土高5m以下)とした⁶⁾。数値計算は代表的な気象条件(風速10m/s、降水量1mm/h、継続時間12h)と実際の吹雪発生時(2013年3月2日、湧別)の気象条件(表-4)の2通りで行い比較することとした。

演算した結果、盛土高別の吹きだまり形状を気象条件別に表したのが図-7、図-8である。また、その解析結果を基に盛土高と吹きだまり深さ及び吹きだまり量の関係を表したのが図-9、図-10である。

道路上の最大吹きだまり深さについては、代表的気象条件で、雪堤高が最も小さかった盛土高3mの場合に最も小さかった。また、吹雪事例の気象条件でも、図-9より車線上では盛土高3mの場合に吹きだまり深さが最も小さかった。

吹きだまり量については、代表的な気象条件の方が盛土高さに関係なく吹きだまり量は多かったが、どちらの気象条件でも雪堤高が最も小さい盛土高3mの場合に吹きだまり量が最も少なくなった(図-10)。障害物の風下では、大小の

表-3 基本条件

盛土高(m)	雪堤の高さ(m)		法面勾配	備考
	積雪深100cm			
1.00m	1.00m		1:1.5	
2.00m	0.73m		1:1.5	
3.00m	0.45m		1:1.5	
5.00m	0.75m		1:1.5	防護柵の高さ

表-4 吹雪事例の気象条件(湧別アメダスより)

日時	降水量(mm)	気温(°C)	風向・風速(m/s)	
			風速	風向
2013/03/02 13:00	0.0	-4.6	11.8	西北西
2013/03/02 14:00	0.0	-5.5	11.4	西
2013/03/02 15:00	1.0	-5.7	13.8	西北西
2013/03/02 16:00	2.5	-5.4	16.4	北西
2013/03/02 17:00	1.5	-5.5	15.3	北西
2013/03/02 18:00	2.0	-5.5	16.0	北西
2013/03/02 19:00	1.5	-5.4	17.0	北西
2013/03/02 20:00	2.0	-5.1	19.8	北西
2013/03/02 21:00	1.5	-4.8	16.8	北西
2013/03/02 22:00	0.5	-4.7	15.8	北西
2013/03/02 23:00	1.0	-4.9	13.8	北西
2013/03/03 00:00	0.5	-5.1	13.6	北西
2013/03/03 01:00	0.0	-5.0	14.6	北西
2013/03/03 02:00	0.0	-4.9	13.2	北西
2013/03/03 03:00	0.0	-5.4	10.5	北西

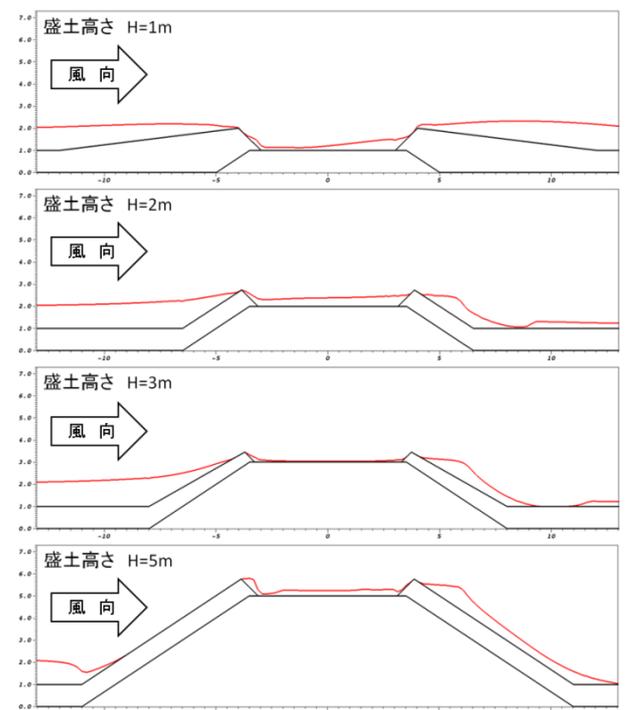


図-7 盛土高さと吹きだまり形状(風速10m/s、降水量1mm/h、継続時間12hでの計算結果。計算後の積雪深を赤線で示す。)

乱流渦が発生し、風の輸送エネルギーが渦のエネルギーに変換され飛雪粒子の輸送力が低下することで吹きだまりが発生する⁵⁾とされている。今回行った数値シミュレーションでは、雪堤が障害物となり吹きだまり発生誘因となっていたため、

雪堤高が最も小さく、雪堤風下の風の乱れの影響が最も小さかった、盛土高3mの時に吹きだまり量が最も小さくなったと考えられる。また、雪堤高がほぼ同じであった盛土高2mと5mでは、盛土高5mの方がどちらの気象条件でも吹きだまり量が少なくなった。これは風上側法面上の貯雪空間が大きく、風により道路上を輸送される飛雪粒子が少ないためと考えられる。

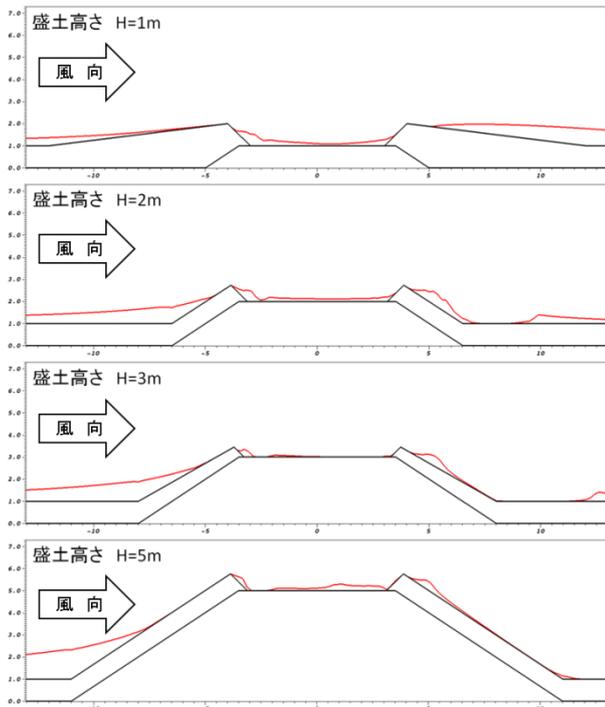


図-8 盛土高さと吹きだまり形状

(表-4に示す気象条件での計算結果。計算後の積雪深を赤線で示す。)

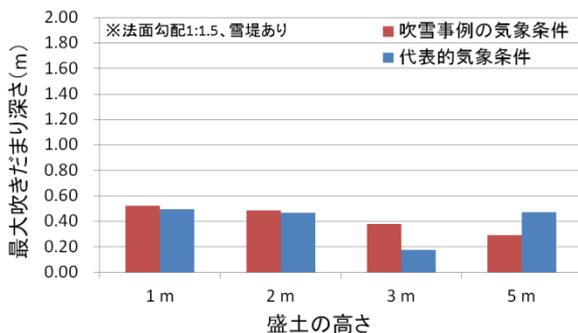


図-9 盛土の高さと吹きだまり深さとの関係

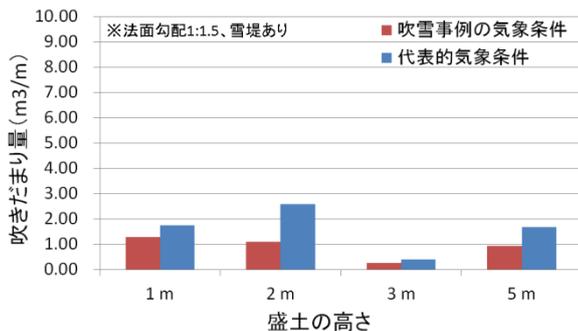


図-10 盛土の高さと吹きだまり量との関係

4. まとめ

現在、防雪盛土の設計を行う際には、竹内ら²⁾の調査により示されている、盛土高と雪堤の高さの関係式を基にして、防雪盛土に必要な盛土高さを求めている¹⁾。しかし、盛土高と路側雪堤の高さの関係は風速や平地積雪深などの気象条件や除雪方法によっても異なると考えられるため、竹内ら²⁾の調査を補完すべく、盛土高と路側雪堤高さの関係を調査した。

今回行った現地調査では、気象条件が2015年は平年より少雪で、2016年が平年より多雪であったため、計測結果にばらつきが見られたが、盛土高と雪堤高の関係は、竹内ら²⁾によって示されている関係式と同様に、盛土高が大きくなるほど雪堤高が小さくなっていった。また、盛土高が4mを越えた時には、雪堤高が大きくなる傾向が示されたが、これは車両用防護柵を設置する区間では、雪堤高が大きくなるのが要因であると考えられる。

数値シミュレーションプログラムを使用し、盛土高及び路側雪堤高さが吹きだまり形成にどのような影響を及ぼすか解析を行ったところ、気象条件に関係なく、盛土高3mの時に道路上の吹きだまり深さが最も小さかった。また、吹きだまり量は気象条件に関係なく盛土高3mの時に最も少なくなった。また、雪堤高が同じ場合、盛土高が高い方が吹きだまり量が少なかったが、これは風上側法面上の貯雪空間が大きく、風によって道路上を輸送される飛雪粒子が少ないためと考えられる。

5. おわりに

今回の調査では盛土高3mを閾値として雪堤高の変化が小さくなり、それに伴って吹きだまり量も少なくなることが示されたが、竹内らの調査を補完するためのデータを満足に取得する事が出来なかった。今後も観測データの蓄積を図り、成果の精度を上げて行くことが必要である。

参考文献

- (独) 土木研究所寒地土木研究所：道路吹雪対策マニュアル (平成23年改訂版)、2011
- 竹内政夫、鎌田新悦、福沢義文：道路積雪実態調査、第15回(昭和46年度)北海道開発局技術研究発表会論文集、pp248-253、1972
- 日本雪氷学会北海道支部：雪氷調査法、pp19、1991.
- (社)日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説、pp.6-7、2008
- 松澤勝、金子学：道路における吹雪対策の現状と課題、日本風工学会誌第37巻第1号、pp10-16、2012
- 北海道開発局：北海道開発局道路設計要領第1集道路、pp1-3-31

冬期道路管理の国際比較 ～PIARC雪氷データブック2014年版より～

松澤 勝 *1

1. はじめに

積雪寒冷地は、我が国の国土面積の約60%を占める。積雪寒冷地の多くは過疎化という課題を抱えており、自動車交通の分担率が高いという特徴がある。しかし、冬期には、凍結路面や吹雪による視程障害など、車の運転には非常に厳しい環境条件が存在している。このため、積雪寒冷地における社会活動を支えるために、適切な冬期道路管理を行い、安全・確実な冬期道路サービスを提供することが、ますます重要になっている。

著者は、2009年から世界道路協会（PIARC）の冬期サービス委員会の委員を務めている。諸外国でも、我が国と同様に凍結や積雪による冬期の課題を抱えており、海外における冬期道路管理手法の中には、我が国においても参考になるものがあると考えられる。雪氷データブック（Snow and Ice Databook）は、PIARCが発行する世界各国の冬期道路に関するデータを掲載した資料集である¹⁾。田崎²⁾は、雪氷データブック2010年版と、2014年にアンドラ公国で開催された第14回国際冬期道路会議の発表を元に、近年の冬期道路管理の国際動向として、諸外国でも財政的な制約が強まっているという課題があること、効率的・効果的な冬期道路管理の外注のために複数年契約が行われること等を述べている。本報は、その後刊行された、雪氷データブック2014年版に基づき代表的な冬期道路管理目標などについて紹介する。

2. 雪氷データブック2014年版

最初の雪氷データブックは、2002年に札幌で開催されたPIARC(世界道路協会)主催の第11回国際冬期道路会議に合わせて発刊された。これ以降、4年に一度、PIARC国際冬期道路会議の際に改訂版が刊行されている。初版では15カ国のデータが掲載されていたが、その後改訂を重ねる毎に掲載国が増加し、2014年版では、27の国と地域（アンドラ、オーストリア、ベルギー、カナダ、カナダ・ケベック、チェコ、デンマーク、エストニア、フィンランド、フランス、ドイツ、アイスランド、イタリア、日本、ラトビア、リトアニア、モロッコ、ニュージーランド、ノルウェー、スロベニア、韓国、スペイン、スウェーデン、スイス、オランダ、イギリス、米国）のデータが掲載されている。また、2014年版からは、従来の英語版、フランス語版に加え、スペイン語版も刊行されている。

雪氷データブックにおける各国の記載部分の章立ては、以下の通り規定されている。しかし詳細な内容については、各国に一任されている。

- 1) 国や道路網の概要
- 2) 気候
- 3) 冬期道路管理
- 4) 現在取り組み中の研究開発

以下では、“3)冬期道路管理”の項目から、代表的な冬期道路管理に関するサービス水準や契約方法について述べる。

3. 冬期道路サービス水準

諸外国では、冬期道路サービスの提供が目的で、冬期道路管理はそのための手段という考えが主流になりつつある。

3.1 道路クラス分類

冬期道路サービス水準を設定するため道路クラス分類が行われている。これは、日本における道路構造を決めるための〇種〇級などの道路水準とは異なる。そのクラス分け方法は、大きく以下の3つに分けられる。

- ① 道路の性格（自専道・国道・地方道など）による分類：カナダ、スイス、オランダなど
- ② 交通量に応じた分類：スウェーデン、フィンランドなど
- ③ 上記の組み合わせによる分類：ノルウェー、オーストリア、カナダ・ケベックなど

3.2 目標とするサービス水準

道路クラスごとに管理目標とするサービス水準が記されている。上位クラスの道路では、“ベア”（路面に雪氷を残さない）を目標とする国が多い。

摩擦係数 μ の水準を定めているのは、フィンランド、スウェーデン、アイスランドのように北欧が多い。フィンランドは、最上位クラスの道路（Is）で $\mu=0.30$ （気温が -6°C 未満の場合は 0.25 ）としている。また、スウェーデンでは最上位クラスの道路では、気温が -6°C 以上では“ベア”、 $-6\sim-12^{\circ}\text{C}$ は、摩擦係数 $\mu>0.35$ などであり、気象条件を付帯している。アイスランドでは、最上位クラスの道路で $\mu>0.25$ 、その次のクラスの道路で $\mu>0.15$ としている。

路面積雪に関する水準を定めているのは、フィンランド、アイスランドなどである。フィンランドの上位クラスの道路

*1 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム

(Is, I, Ib) では最大4cm、アイスランドの最上位クラスの道路では最大5cm、その次のクラスの道路では最大12cmとしている。

また、具体的な数値を示していない国や、気象条件に応じて水準を変えている国もある。オーストリアでは強い降雪(10cm/3h以上)や吹きだまり発生時と弱い降雪時に分けたサービス水準を示している。例えば、自専道や主要国道においては、弱い降雪時は全車線の通行を確保し、強い降雪時は一方1車線以上を確保することとしている。

3. 3 除雪や凍結防止作業の出動基準

積雪深による除雪の出動基準(Trigger)が示されていた国は、スウェーデン、カナダ、チェコである。我が国も路面積雪深を除雪出動の目安に用いている。スウェーデンの上位クラスの道路では、積雪1cm以上が除雪の出動基準である。またカナダでは、高速道路や国道は2cm以上、地方道は8cm以上であり、それぞれ目標値は“ベア”と、滑り止め処理した圧雪である。

スウェーデンは摩擦係数に基づく凍結防止剤・滑り止め材散布の出動基準を有する。例えばスウェーデンの上位クラス(クラス1~3)の道路では、走行車線部分で0.3、路肩で0.25である。ただし、フィンランドのように、出動基準(Trigger)を示していない、すなわち、明確にサービス水準と出動基準を分けていない国も多い。

作業開始までの時間(Call-Out)について、デンマークは幹線道路の塩散布を45分、除雪を60分としている。ただし、目標値を“ベア”としているだけで、積雪深や摩擦係数に基づく出動基準は示していない。

3. 4 サイクルタイム

降雪などが続くと、継続的に作業を行う必要がある。除雪や凍結防止作業を何時間おきに行うか、サイクルタイム(Cycle Time) いて各国の事例を記す。

オーストリアでは、国道や自専道(Highway and Motorway)で3時間、日降雪量5000台以上の地方道(Regional Road)で5時間としている。ノルウェーでは、最も上位クラスの道路のサイクルタイムは除雪、凍結防止作業とも1.5時間以内で、その次のクラスの道路は2時間以内である。エストニアは除雪、凍結防止作業とも、高速道路で最大2時間、幹線道路で最大5時間としている。

3. 5 完了までの時間

目標とするサービス水準に回復するまでの時間目標(完了時間)を定めている。ただし国によってばらつきが多い。ノルウェーの最上位クラスの道路のうち日交通量6000台以上の路線では2時間以内、6000台未満の路線では4時間以内として

いる。カナダでは高速道路で4~12時間、国道で12時間としている。フィンランドでは、最上位のクラスの道路では、除雪は2.5時間、摩擦係数確保は2時間としている。

またベルギーでは全ての道路クラスにおいて、作業開始後4時間以内に完了しなければならないと記している。

なお、この完了時間の起点について、降雪や凍結事象(イベント)発生時と記載している国と、降雪終了時と記載している国がある。ただし、降雪中は作業が繰り返し行われるので、降雪終了後と考えて良いと考えられる。

3. 6. 各国の事例

前節までの紹介と重複する部分があるが、いくつかの代表的な国・地域の例を紹介する。

(1) スウェーデンの例

表-1はスウェーデンの冬期道路管理のための道路クラス分類である。日交通量(AADT)に応じて5段階に分けている(表-1)。

除雪や凍結防止剤散布の出動基準は、管理レベル上位の路線で新雪1cm以上、摩擦係数0.3(車道上)となっている(表-2)。また作業完了までの時間は、最上位のクラス1の道路で降雪後2時間、クラス2の道路で3時間などと、道路クラスに応じた時間を設定している。

さらに、完了時間後(すなわち通常時の)管理目標はクラス1~3の道路の車道では、気温が-6℃以上では“ベア”、-6~-12℃は、摩擦係数 $\mu > 0.35$ などと、気象条件を付帯している(表-3)。

表-1 スウェーデンの冬期サービスの道路クラス分類

日交通量	道路クラス
≥16,000	1
8,000-15,999	2
2,000-7,999	3
500-1,999	4
< 500	5

表-2 スウェーデンの出動基準と完了時間(クラス1~3)

	出動基準		完了時間(h)		
	降雪	降雨	道路クラス		
	積雪深	摩擦係数	1	2	3
車道	1 cm	0.3	2	3	4
路肩	1 cm	0.25	4	6	8

表-3 スウェーデンの摩擦係数の管理目標(クラス1~3)

	路面温度		
	-6℃以上	-6 ~ -12℃	-12℃ 未満
車道	“ベア”	0.35	0.25
路肩	0.25	0.25	0.25

(2) カナダ・ケベックの例

表-4は、カナダ・ケベックの例である。スウェーデンと異なり、シンプルな管理目標となっている。

表-4 カナダ・ケベックの管理目標

道路分類	日交通量	サービスレベル
高速道路		完全に”ベア”
国道	>2500台 ≤2500台	完全に”ベア” 一部”ベア”
地方幹線道	>2500台 ≤2500台	完全に”ベア” 一部”ベア”
補助道路	>2500台 500~2500台 ≤500台	”ベア” ”ベア” 圧雪(最大3cm)

(3) オーストリアの例

オーストリアは郊外道路と市街地道路で異なる基準が示されている。表-5は郊外道路の管理目標である。実際はカテゴリD（日交通量1000台未満）までであるが、紙面の都合で略している。なお、激しい吹雪時などの通行止めの基準は示されていない。また国道と高速道路では示されたサービスレベルを24時間提供しているが、地方道では、夜間はこのサービスレベルを保証していない。

また、表-6は市街地の基準である。元の表には歩道や自転車道路を含めて7クラスの分類がされている。そのうち一部を抜粋している。

表-5 オーストリアの管理目標(郊外道路, 抜粋)

道路分類	カテゴリー A	カテゴリー B	カテゴリー C
	国道、高速道路	地方道、日交通量5000台以上	地方道、日交通量1000~5000台
弱い降雪	全車線走行性確保。凍結防止剤で完全に雪氷除去。	全車線走行性確保。凍結防止剤使用を推奨。路面積雪は10cmまで(22~6時を除く)。	全車線走行性確保。凍結防止剤または滑り止め材を使用。路面積雪は10cmまで(20~7時と週末を除く)。
強い降雪(10cm/3h以上)や吹雪	一方向1車線走行性確保。凍結防止剤を使用。完全な雪氷除去を推奨。	一方向1車線走行性確保。凍結防止剤使用を推奨。10cmを超える積雪を許容。	一方向1車線走行性確保。凍結防止剤または滑り止め材を使用。10cmを超える積雪を許容。
激しい吹雪、雪崩、凍雨	走行性を保証しない。通行止めもありうる。警察やメディアを通じて道路利用者に情報提供を行う。		
サービス時間	0-24時	4-22時	5-20時
サイクルタイム	最大3時間	最大5時間	最大5時間

表-6 オーストリアの管理目標(市街地道路, 抜粋)

道路分類	P1	P2	P3
	都市内の主要道路、バス路線、病院や消防署へアクセスする道路	非主要道路。住宅地域や商業地域の支線道路、山岳地域の道路	地方の集落道路
処理	除雪、凍結防止剤	除雪、凍結防止剤を推奨	除雪、滑り止め材、凍結防止剤(必要な場合)
サービス時間	4-22時	5-22時	6-22時
最大の許容積雪	10cm	10cm、夜間はこれ以上	10cm、夜間はこれ以上
サイクルタイム	最大5時間	最大12時間	最大12時間
処理後の路面	乾燥・湿潤	乾燥・湿潤、部分的な凍結を許容	雪氷路面を許容

4. 外注契約

ほとんどの国で冬期道路管理を民間に委託している。契約方法の詳細については、田崎²⁾が『道路』2014年4月号で紹介しているように、フィンランドなど、管理目標を示して性能規定として契約を行っている国が多い。また冬期道路管理を複数年契約している国がいくつか見られる。代表的な国と期間として

ベルギー：1~3年

オーストリア：3~5年

エストニア：5~8年

フィンランド：5~7年

などである。雪氷データブックには載っていないが、田崎²⁾によると第14回国際冬期道路会議アンドラ大会の発表では10年で行っている事例もあるとのことである。

ベルギーは地域によって契約期間や内容が異なる。ブリュッセル都市域では、1年契約であるが、2回更新が可能としている。フランダース地域では3年契約である。これらの契約ではオペレータとダンプトラックを民間が用意し、凍結防止剤散布装置と塩を発注者側が提供する。(なお、入札方法、支払い方法についての記述は無い。)

フィンランドでは、2010年に、フィンランド道路庁が、鉄道庁などと合併し、フィンランド交通省(FTA:Finland Transportation Agency)が発足した。FTAの下に、9の地域部局があり、冬期道路管理の契約を担当している。契約は、価格と品質によるコンペティションによって受注業者を決定し、国内で81のエリアに分けて5~7年の管理契約が結ばれる。各エリアの管理延長は500~2000kmである。フィンランド交通省は毎春に道路利用者の満足度調査を行う。総委託費の0~2%に相当する満足度に応じたボーナスが支払われる。しかし、

利用者満足度は、受注業者の作業努力よりも気象条件に強く影響されるため、期待していたような効果が見られていないとの記述がされている。なお、フィンランドの冬期道路管理と契約について田崎²⁾や浅野・舟橋³⁾に詳しい。

スウェーデンでは、競争入札 (competitive bidding) によって受注業者が決定される。契約年数については記述は無いが、浅野・舟橋³⁾によると2005年時点では、基本は3カ年契約で2年までの延長が可能とのことである。受注業者は官側から提示された要求仕様を常に保つことが要求される (きわめて厳しい気象状況で規定の完了時間に作業が間に合わない場合を除く)。また、気象条件に基づく単価契約による支払いが行われている。受注業者の努力で散布する塩を節約した場合は、ボーナスが支払われる。この際、ウェザーインデックス (凍結路面や降雪、吹きだまりの発生しやすさを示す指標) とソルトインデックス (推奨散布量と実際の散布量との比較を表す指標) が用いられている。

ノルウェーでも同じ様な冬期指標があるが、「冬期管理委託の支払い補償に用いるには不十分」であると記している。ノルウェーも競争入札 (competitive bidding) で受注業者を決定する。受注業者は冬期道路管理基準の達成に責務を持つだけでなく、冬期管理計画、道路状況調査、適切な対応を行わなければならない。ノルウェー公共道路庁 (NPRA:Norwegian Public Roads Administration) はランダムに道路上の雪氷の厚さ、滑り摩擦係数の計測を行い、受注業者が要求仕様 (基準) を満たす管理を行っているか検査を行う。もし、仕様を満たさない場合は、ペナルティとして支払額が減額される。そのペナルティの大きさは、違反の回数、深刻さ、道路利用者に与える危険性などによって決められる。受注業者のパフォーマンス (ペナルティの数を含む) はNPRAによって年2回評価される。この評価結果は入札時に考慮される。

オーストリアは、250の道路サービスセンターに道路マスター (road master) と呼ばれる管理者が置かれている。道路マスターは夏冬通じた道路管理の判断権限を持つ。冬期道路管理の委託契約は、道路庁が示したリクワイアメント (要求仕様書) に依る入札 (tender) で業者を決定する。プラウや凍結防止剤散布装置は官貸である。契約期間は3~5年である (発注時の要求仕様に基づく)。

なお、海外では専用の除雪車や凍結防止剤散布車は少なく、一般にダンプトラックにプラウ装置や凍結防止剤散布装置を取り付ける場合が多い。このため、民間が汎用的なダンプトラックを用意し、官が冬期道路管理のための装置を貸与するケースが多い。写真-1は、ポーランドの除雪基地で保管されている、プラウと凍結防止剤散布装置である。



写真-1 保管中のプラウと凍結防止剤散布装置

5 通行止め

通行止めに関する基準は掲載されていない国が多い。また記載されていても、吹きだまり時や雪崩発生時などとされている程度である。

アイスランドは、道路管理を行う ICERA (アイスランド道路庁) の雪崩危険度や洪水などの情報を元に、警察が通行止めを行う。オーストリアは、激しい吹雪や雪崩、凍雨発生時に“走行性 (Trafficability) を保証しない。通行止めがあり得る”とだけ示している。ドイツも同様である。

ノルウェーでは、大型車に対して凍結の恐れがある場合のチェーンの携行を義務づけている。(注: ノルウェーはスパイクタイヤ使用を認めている)。峠は吹雪時は一時的に通行止めを行うことがある。除雪車を先頭と最後尾に配置した隊列走行 (コンボイ走行) により、一般車両を通行させるとしている。いくつかの峠は冬期間を通じて通行止めを行う。雪崩は、北部の海岸道路ではシビアな問題であり、雪崩発生危険性の高い斜面は、火薬で積雪を処理している。

6 おわりに

PIARC雪氷データブック2014年版より、海外における冬期道路管理の基準や契約などについて紹介した。PIARCでは、2018年にポーランド・グダンスク市で第15回国際冬期道路会議を開催する。この会議に向けて、雪氷データブックの改訂が行われる予定である。引き続き、海外事例を調査し国内に還元することで、効果的な冬期道路管理に寄与したいと考えている。

参考文献

- 1) PIARC (2014) : Snow and Ice Databook 2014, 235pp, <http://www.piarc.org/en/order-library/22913-en-Snow%20and%20Ice%20Databook%202014.htm>
- 2) 田崎忠行 (2014) : キーワードは「財政制約」と「複数年契約」道路, 2014年4月号, 85-86.
- 3) 浅野基樹、舟橋誠 (2005) : 冬期道路管理に関する北欧調査, 寒地土木研究所月報, 625, 40-48.

XバンドMPレーダデータを用いた吹雪検知の可能性

大宮哲*1 國分徹哉*1 松澤勝*1 山田朋人*2

1. はじめに

近年、急激に発達した低気圧によってもたらされる暴風雪による雪氷災害の発生が散見される^{1),2)}など。暴風雪の特徴の1つに、発生局地性と突発性が挙げられる。それゆえ、吹雪の発生有無を面的かつリアルタイムに把握することは、暴風雪被害を軽減するうえで重要であり、道路管理のみならず、一般ドライバーの行動判断を支援する際にも有用である。

国土交通省は、近年多発傾向にある集中豪雨や局所的豪雨の監視体制強化を目的に、従来の気象レーダであるCバンドレーダ（以下、Cバンド）に加え、2008年よりXバンドMPレーダ（以下、X-MP）の配備を全国的に進めてきた。X-MPは従来のCバンドに比べて解像度が高く（Cバンド：1kmメッシュ、X-MP：250mメッシュ）、情報提供までの時間も短い（Cバンド：5分、X-MP：1分）ため、局地的かつ突発的な豪雨を観測するうえで非常に有用な観測手段として定着している。

図1に、CバンドおよびX-MPによって観測された降水強度の一例を示す。この図からも明らかなように、X-MPはCバンドよりもきめ細かな情報を提供することができ、またCバンドでは観測されない強雨についても観測できていることが分かる。

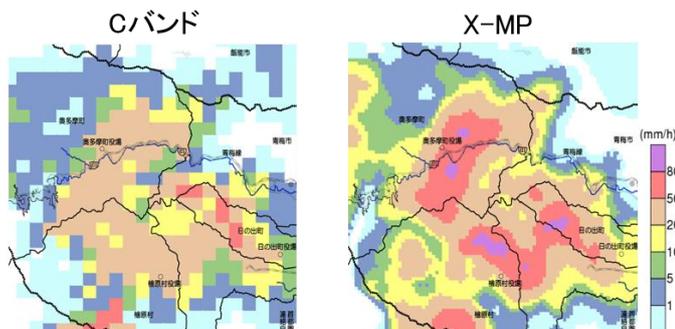


図1 CバンドとX-MPの比較

北海道では、集中豪雨災害もさることながら、吹雪に伴う雪氷災害が毎年発生している。本研究の目的は、北広島市および石狩市に既設の2台のX-MPによる観測データを用いた吹雪検知の可能性について明らかにすることである。

なお、本報では、吹雪検知の可能性を探るための前段として、X-MPによって観測されたレーダ雨量と、その直下における地上降雪量（水量換算値）の比較結果について報告する。

2. 降雪観測における現状の課題

(1) X-MP観測における課題

X-MPは従来のCバンドと異なり、2種類の電波（水平偏波と垂直偏波）を用いている。X-MPの最大の特長は、落下中の雨滴の扁平量から雨滴の大きさを正確に把握することであり、降水強度を精度良く計測できることである。しかしながら、降雪粒子は気象条件の違いによってアラレや雪片、ミゾレなど様々な状態に変化するため、降雪粒子の形状や密度も様々である。それゆえ、X-MPを用いた降雪の観測精度については課題点が多く残されており、その研究例も少ないのが現状である^{3),4)}など。

(2) 地上観測における課題

X-MPによる降雪観測値の精度を把握するうえで地上観測値との比較は必須であるが、地上においても降雪を正確に計測することは容易でない。一般的な降雪物理量として降雪量および降雪強度が挙げられる。降雪量は“一定時間内に新しく降り積もった雪の深さ”として定義されており、現在気象庁では、積雪深計を用いて計測された時間積雪深差を時間降雪量としている。しかし、実際は雪が降っている場合でも、強風による吹き払い効果や積雪自身の圧密沈降効果によって積雪深が増加しなかった場合には、時間降雪量がゼロとして記録される。

また、降雪強度は“単位時間・単位面積に降った雪の重さに等しい水の深さ”として定義づけられており、アメダス等の一般的な気象官署では、転倒ますタイプの雨量計が用いられることが多い⁵⁾。しかし、降雪粒子は降水粒子よりも風の影響を受けやすく、雨量計の受水口に対する捕捉率は強風時ほど大きく低下する^{6),7)}など。そのため、多くの場合には本来の降雪強度を過小評価しているケースが多い。なお、観測誤差の補正処理方法など、実測値を真値に近づけるための試みが国内外の研究機関において行われているが、その内容については割愛する。詳しくは参考文献 8)～11)を参照されたい。

3. 研究方法

(1) 研究実施イメージおよび地上観測サイト

本研究の実施イメージを図2に記す。ここでは、X-MP観測により得られる上空の情報（レーダ雨量、ドップラー速度など）と、地上における各種気象観測結果（降雪強度、風向風速、吹雪量など）の関係を比較・解

*1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

*2 北海道大学 工学研究院

析し、X-MPデータから地上現象を説明するための方策について検討する。なお、地上観測は当研究所が所有する石狩吹雪実験場にて実施した。本実験場は札幌市中心部より北方に約17km、X-MP石狩局の東方約5kmに位置し、北海道内においても有数の吹雪頻発エリアにある。図3に、2基のX-MP（北広島局・石狩）および石狩吹雪実験場の位置関係を記す。

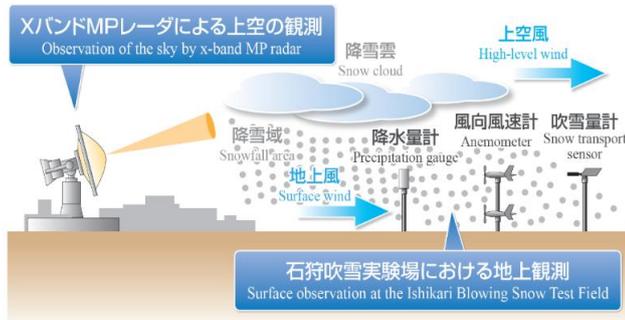


図2 本研究の実施イメージ



図3 2基のX-MP および石狩吹雪実験場の位置関係

(2) 使用したX-MPデータ

地上観測との比較には、北海道開発局より提供いただいたレーダデータのほか、地球環境情報統融合プログラム(DIAS)¹²⁾よりダウンロードしたデータを使用した。なお、結果比較には石狩吹雪実験場の直上のレーダ雨量データを用いている。

(3) 降雪観測の方法

本地上観測では二重柵基準降水量計(Double Fence Intercomparison Reference, 以下、DFIR)を使用した¹³⁾。DFIRは国連の世界気象機関(WMO)が推奨する高精度の降水量計であり、DFIRによる計測値に対して補正式⁷⁾を適用して換算した値を真値とみなしてよいとしている。図4および図5に、石狩吹雪実験場内に設置してあるDFIRの平面図および外観を示す。

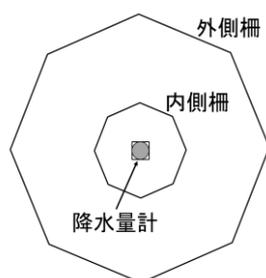


図4 DFIR 平面図

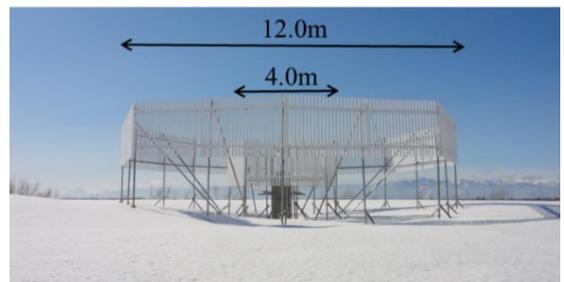


図5 DFIRの外観

DFIR はサイズの異なる2つの正八角形の風除け柵(外側柵・内側柵の対角長はそれぞれ12.0m、4.0m)からなり、中央部に降水量計が設置されている。なお、外側柵・内側柵は、ともに長さ1.5mの板からなり、柵部分の空隙率は50%、内側柵の上部と降水量計の受水口が等しい高さになるように設置されてある。本観測では図6に示す重量式降水量計を使用している。この計測原理は、不凍液が入れられた貯留バケツの内部に雪粒子が取り込まれた際の重量変化を計測し、水量換算するものであり、一般的な転倒ますタイプの計測分解能(0.5mm)に比べて高分解能である(0.1mm以下)。



図6 重量式降水量計の外観(左)と貯留バケツの様子(右)

4. 結果

本報では、北海道内で大雪となることが多い以下の3パターンについての事例解析結果を示す。

- ・冬型低気圧
- ・低気圧の移動
- ・石狩湾小低気圧

(1) 冬型低気圧

冬型低気圧時の例として、2015年12月27日および2016年1月7日の事例について示す。両日の午前9時における地上天気図¹⁴⁾を図7に示す。両日とも典型的な西高東低の気圧配置を示していたことが確認できる。

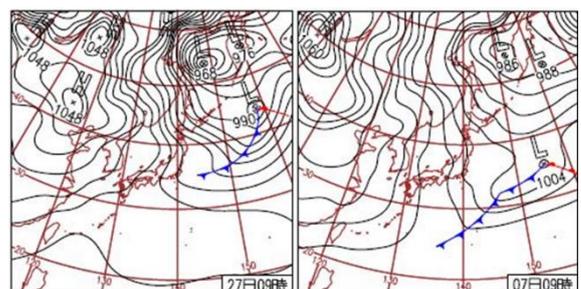


図7 冬型低気圧時の地上天気図

(左: 2015年12月27日、右: 2016年1月7日)

この事例における観測結果を図8と図9にそれぞれ示す。ここでは、DFIRによる地上実測値を真値に換算した降雪量（水量換算値）とレーダ雨量の10分値の結果について比較してある。また、図中には高度10mにおける前10分平均風速および最頻風向（16方位）を付記してある。両日ともに常時西寄りの強風が吹き続けた事例であった。なお、図中に示していないが、両事例とも気温は常に氷点下であった。降雪について、レーダ観測結果と地上での降雪検知のタイミングは概ね一致し、その変化傾向についてもほぼ一致することが確認された。しかし量的には差異が見られ、レーダ雨量は地上降雪量を過大評価する傾向があった。

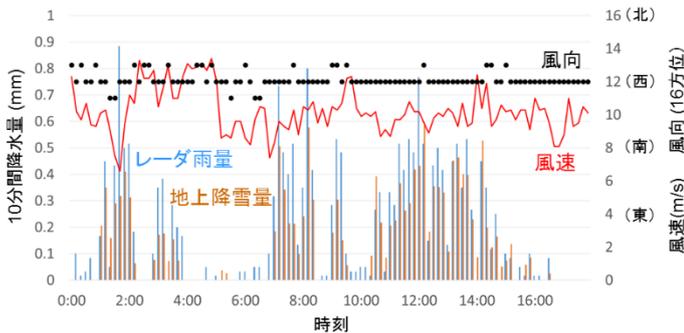


図8 地上降雪量とレーダ雨量の関係(1)
(2015年12月27日の冬型低気圧事例)

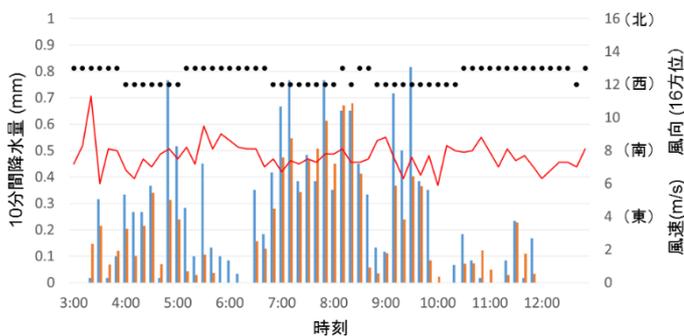


図9 地上降雪量とレーダ雨量の関係(2)
(2016年1月7日の冬型低気圧事例)

(2) 低気圧の移動

低気圧移動の一例として、2016年2月20日～21日の事例について示す。両日の午前9時における地上天気図¹⁴⁾を図10に示す。この事例は典型的な南岸低気圧であり、

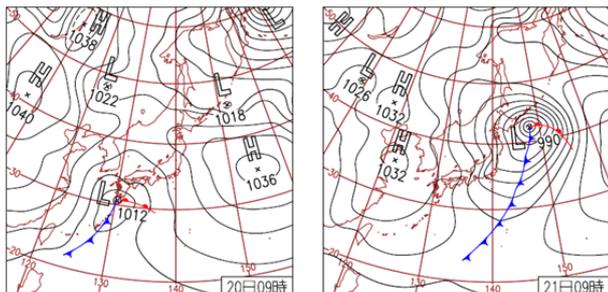


図10 低気圧移動時の地上天気図
(左：2016年2月20日、右：翌21日)

20日から21日にかけて本州南岸を低気圧が急激に発達しながら北東進した。

この事例における観測結果を図11に示す。20日22時頃まで東寄りだった風が、低気圧の移動に伴い23時過ぎ頃から北西寄りへと変化した。また、平均風速は常に5m/s以下とさほど強くはなかった。降雪について、前述した冬型低気圧事例の時と同様、レーダ雨量はDFIRを用いて得られた地上降雪量を過大評価する傾向が確認された。しかしながら、上空と地上とで観測される降雪量（水量換算値）のピークには時間的差異が見られ、レーダによる観測雨量値のピークの方が、地上で観測されるピークよりも早い傾向があった。また、レーダ観測結果と地上での降雪検知のタイミングについても差異があることが確認される。

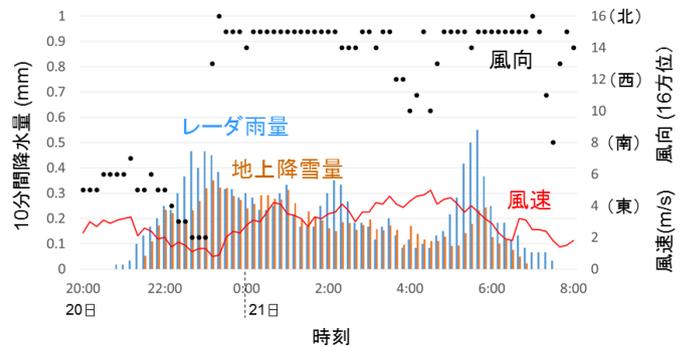


図11 地上降雪量とレーダ雨量の関係(3)
(2016年2月20～21日の低気圧移動時の事例)

(3) 石狩湾小低気圧

石狩湾小低気圧とは、冬型気圧配置が緩んだ時に石狩湾上で発生することが多い低気圧のことである。低気圧の大きさは10～100kmと小さく、また継続時間も数時間から半日程度、長くても3日間と短い。また、1～2hPa程度の低気圧であるため、一般の天気図には表示されず、予測が困難であるとされている低気圧である。規模の小さな低気圧でありながら、局地的に大量の降雪をもたらす、日降雪量は1mを越えることもある¹⁵⁾。図12に、石狩湾小低気圧が発生していた2015年12月30日午前9時の地上天気図¹⁴⁾を示すが、この天気図から石狩湾上に低気圧を確認することはできない。一方、図13に示すGPV気象予報¹⁶⁾における午前9時時点の実況図によると、石狩湾上に明瞭な風の渦が形成されていることが確認され

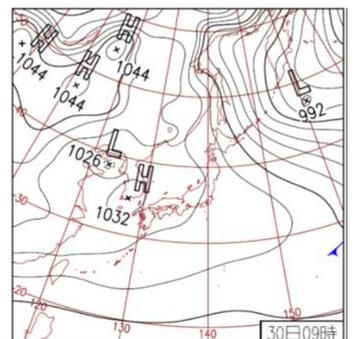


図12 石狩湾小低気圧発生時の地上天気図
(2015年12月30日午前9時)

分)、またそれに応じて石狩平野に帯状降雪雲が入っている。

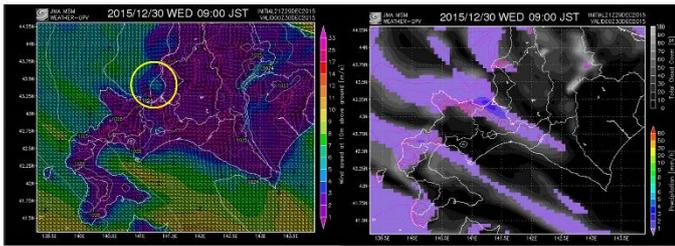


図 13 2015年12月30日午前9時のGPV気象予報
(左：高度10mの風向風速、右：降水強度)

この石狩湾小低気圧時における観測結果を図14に示す。この事例では、低気圧移動時と同様、レーダ観測結果と地上での降雪検知のタイミングに差異があることが確認された。しかし、レーダ雨量と地上降雪量の関係については、冬型低気圧時や低気圧移動時とは異なり、一義的な傾向は確認されなかった。午前7時頃まではレーダ雨量が地上降雪量を過大評価していた一方で、それ以降は両者の関係が逆転していた。

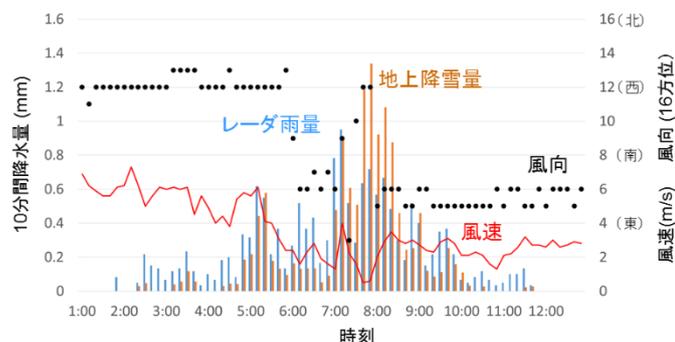


図 14 地上降雪量とレーダ雨量の関係 (4)
(2015年12月30日の石狩湾小低気圧時の事例)

5. まとめと課題

XバンドMPレーダデータを用いた吹雪検知の可能性について探るため、その前段として、レーダによる上空観測結果とその直下における地上観測結果について比較した。本報では北海道内で大雪となることが多い3パターン(①冬型気圧配置、②低気圧移動時、③石狩湾小低気圧)についての事例解析を行った。その結果、冬型低気圧時にはレーダ観測結果と地上での降雪検知のタイミングは概ね一致し、その変化傾向についてもほぼ一致することが確認された。低気圧移動時には上空と地上とで観測される観測値のピークに時間的差異が見られ、レーダにより観測される雨量のピークの方が、地上で観測されるピークよりも早い傾向があった。冬型気圧配置時、低気圧移動時ともにレーダ雨量は地上降雪量を過大評価する傾向があった。石狩湾小低気圧時も低気圧移動時と同様、レーダ観測結果と地上での降雪検知のタイミングに差異があることが確認された。しかし、レーダ雨量と地

上降雪量の間には一義的な関係はなかった。

今後、さらに多くの事例についてデータを収集・解析することにより、より系統立った傾向の把握に臨む。また、レーダデータより上空風と地上風の関係について検討し、落下中の降雪粒子の水平移流量や降雪粒子が地面に到達するまでのタイムラグ等についても考慮に入れる必要がある。加え、レーダと地上観測による検知タイミングおよび量的ズレの一因についても検討したい。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、北海道開発局よりXバンドMPレーダデータを提供していただいた。本誌に記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 松岡ら(2013):北海道の雪氷, 32, 62-65.
- 2) 武知ら(2008):北海道の雪氷, 27, 99-102.
- 3) 林ら(2013):水文・水資源学会誌, 27(2), 67-76.
- 4) 板戸ら(2016):雪氷研究大会(2016名古屋)講演予稿集, 246.
- 5) 気象庁HP, 雨量計/障害事例と対策
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/b3.html (2016年10月24日閲覧) .
- 6) 横山ら(2003):雪氷, 65, 303-316.
- 7) Goodison et al. (1998): WMO Solid PreCipitation Measurement InterComparison Final Report, WMO, 212.
- 8) 大野ら(1998):雪氷, 60, 225-231.
- 9) 上野ら(2000):雪氷, 62, 375-383.
- 10) Yang et al. (1993): ProC. Eastern Snow ConferenCe, 50th Meeting, 105-111.
- 11) Goodison et al. (1998): WMO Solid PreCipitation Measurement InterComparison Final Report, WMO, pp. 299.
- 12) 地球環境情報統融合プログラムHP,
<http://www.diasjp.net/> (2016年10月24日閲覧).
- 13) Sevruk(1985): Summary report. CorreCtion of PreCipitation Measurements, Swiss Federal Institute of TeChnology, ZuriCh, 13-23.
- 14) 気象庁HP, 日々の天気図,
<http://www.data.jma.go.jp/fCd/yoho/hibiten/> (2016年10月24日閲覧)
- 15) 大川(1992):北海道の動気候. 北海道大学図書刊行会, 169.
- 16) GPV 気象予報HP, <http://weather-gpv.info/> (2016年10月24日閲覧).

防雪林の防雪機能調査に関する風洞実験

幸田 勝*1 山崎貴志*2 住田則行*1 太田 広*1

1. はじめに

防雪林は樹木の生長に応じて間引きが必要であるが、間引きにより一時的に防雪機能は低下する。冬期道路交通環境を維持する上で防雪機能の低下をできるだけ抑えた間引きは重要であり、そのためには間引きと防雪機能の関係を把握する必要がある。しかし、その関係は未だ定量的には明らかになっていない。

そこで、防雪林の間引きや風向変化による防雪機能への影響を把握することを目的に、模型防雪林を用いた風洞実験による調査を行った。

2. 実験条件及び計測方法

実験には寒地土木研究所の風洞実験装置(図-1)を使用した。測定洞内の鉛直方向風速分布は、上空ほど風速が増す自然の風を模擬するため、ベキ法則(ベキ指数は田園地帯を想定した0.15¹⁾)に近似するよう調整した。調整は、乱流格子、スパイヤー、バリヤーを組み合わせた風速調整装置を測定洞の上流に設置することにより行った。調整前後の風速分布を図-2に示す。

実験風速は、老川ら²⁾による実験で吹きだまりの再現性が高いとされる4.5 m/s前後(地面からの高さH=50 mmでの風速)を参考に、7 m/s(H=400 mmでの風速。このとき前述のベキ法則においてH=50 mmでは5.1 m/s)とした。

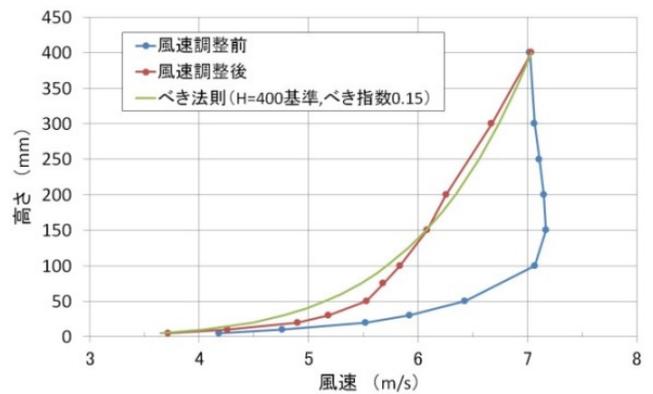


図-2 鉛直方向風速分布

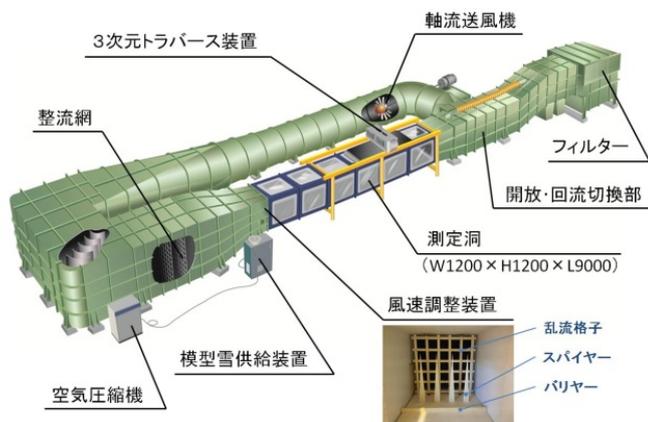


図-1 風洞実験装置

本実験では、老川ら²⁾が建物近傍を対象とした吹雪風洞実験において重要としている、移動臨界摩擦速度比、安息角、ストークスパラメータについて考慮し、模型雪として活性白土を使用した。模型雪を測定洞上流のノズルから圧縮空気とともに風洞内に供給することにより、人工的な吹雪を発生させている。模型雪の供給量は、本実験装置でPIV(粒子画像流速測定法: Particle Image Velocimetry)が可能であることを確認している230g/minとした。

2.1 樹木模型

実験に使用する樹木模型は、数種類の形式を検討した結果²⁾、形式の差による実験結果への影響は少ないと考え、製作上の効率等を考慮した図-3に示す形式のものとした。

模型縮尺は、間引きを行う時期とされる樹高6m前後⁴⁾の樹木を想定し、この樹木の縮尺模型を設置した場合における測定洞(高さ1.2m)の閉塞率を5%程度以内¹⁾とするため、1/100とした。

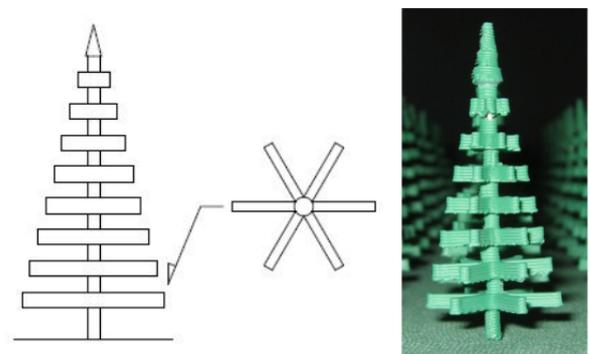


図-3 樹木模型

*1 (国研) 土木研究所 寒地土木研究所 *2 国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部 (前 寒地土木研究所)

2. 2 計測方法

流速の計測方法はPIVとした。PIVは、流れに沿って移動するトレーサー（追跡子）を連続撮影した画像の解析により流速を計測する方法であり、面的な流れ場を把握することができる。なお、模型雪の動きは空気の流れと完全には一致しないため、計測結果は風速ではなく模型雪の移動速度としての流速となる。この流速から流速比を求めることで防雪機能を評価する指標として利用できる³⁾。本実験においても流速比を防雪機能の評価指標とした。なお、流速比とは、各地点における流速を防雪林がない場合の同一地点における流速で除した値である。画像の撮影は毎秒2,000枚で5秒間行い、2枚の画像から1組得られる流速分布を5,000組分平均したものを計測結果とした。計測面は3項では鉛直面、4項では水平面（図-4）とした。

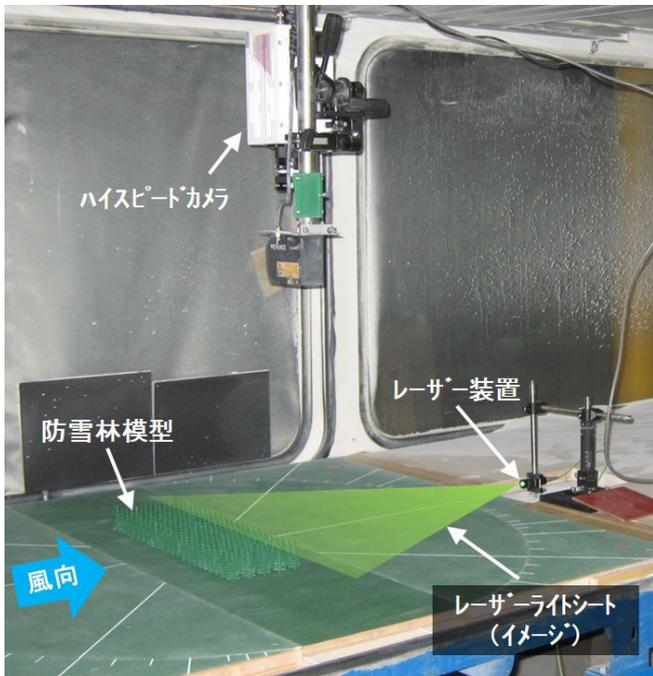


図-4 PIV計測（水平面計測）

3. 間引きと樹高・枝下高の影響調査

間引きの有無、樹高の違い、枝下高の違いが防雪機能に与える影響について調査を行った。

3. 1 実験パターン

防雪林を構成する樹木について、樹高と樹冠直径は道路吹雪対策マニュアル⁴⁾等を参考に、間引きを行う目安とされる隣接する樹木の樹冠が触れあう時期を想定して4種類（樹木A、B、C、D）設定した（図-5）。

植栽配置は同マニュアルにおける標準林2.0mタイプを想定した樹木列数5列と、これより列数が少ない場合の影響を把握するための3列とし、それぞれ間引きしないものと千鳥間引きをしたものの計4パターン（配置A、B、C、D）と

した（図-6）。列間及び苗間については同マニュアルにおける標準林の植栽配置に準じて列間30mm、苗間20mmとした。樹木4種類についてそれぞれ配置パターン4種の計16パターンで実験を行った。計測面は風洞中心線上の鉛直面とした。

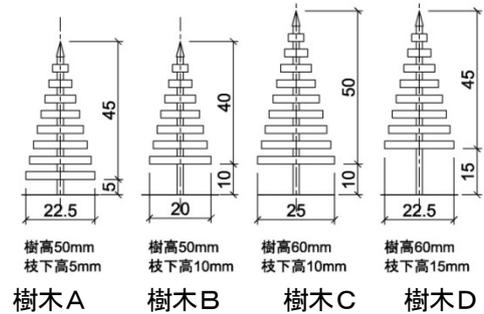


図-5 樹木模型

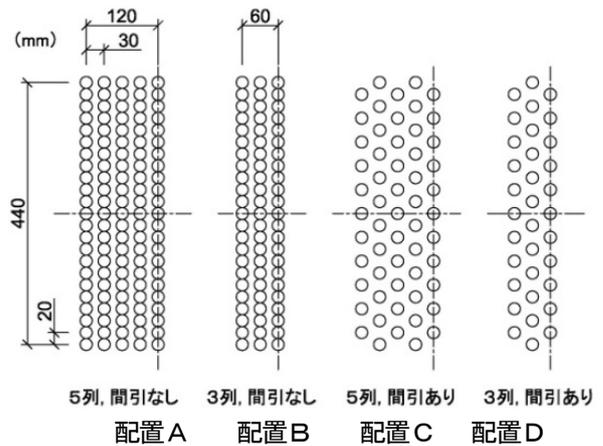


図-6 植栽配置

3. 2 実験結果

「樹木A、配置A」および「樹木D、配置A」における流速分布をそれぞれ図-7、8に示す。これら2つのパターンにおける樹木模型の樹冠の大きさは同じであるが、減風される範囲は枝下高が低い方が広範囲となっている。ここでは図示していないが他のパターンとの比較においても枝下高が高いほど地面付近の流速は速くなっており、枝下部分では気流が吹き抜けやすくなっていると考えられる。

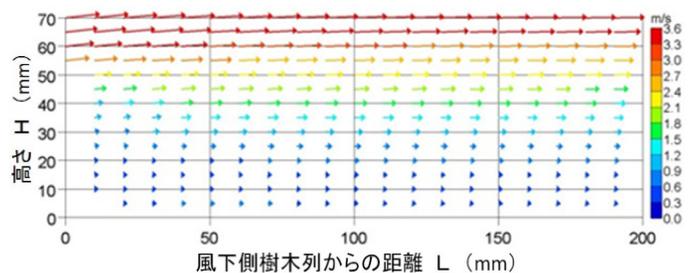


図-7 流速分布（樹木A、配置A）

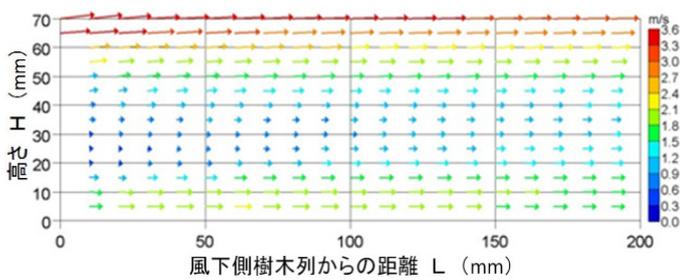


図-8 流速分布 (樹木D、配置A)

樹木A、Dについて、地面からの高さ $H=15\text{ mm}$ における流速比をそれぞれ図-9、10に示す。風下側樹木列からの距離 $L=100\text{ mm}$ 以遠で流速比の値はほぼ一定となっており、この区間での流速比は間引きによりおおむね $0.2\sim 0.3$ 上昇している。また、「間引なし」において、枝下高が 5 mm から 15 mm になることで流速比は $L=100\text{ mm}$ 地点で 0.3 程度上昇している。このことは、枝下高が高くなることによる防雪機能の低下は、樹木の本数が半分となる間引きによる防雪機能の低下に相当する場合があることを示唆している。

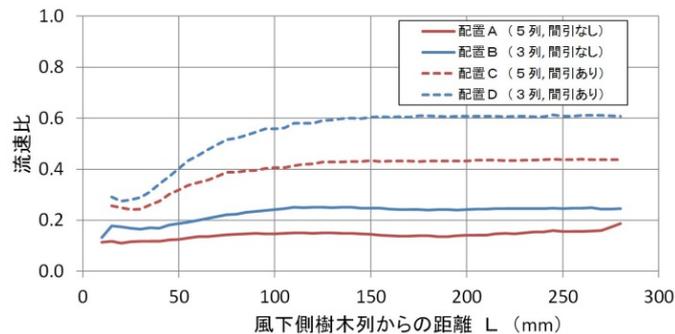


図-9 流速比 ($H=15\text{ mm}$ 、樹木A)

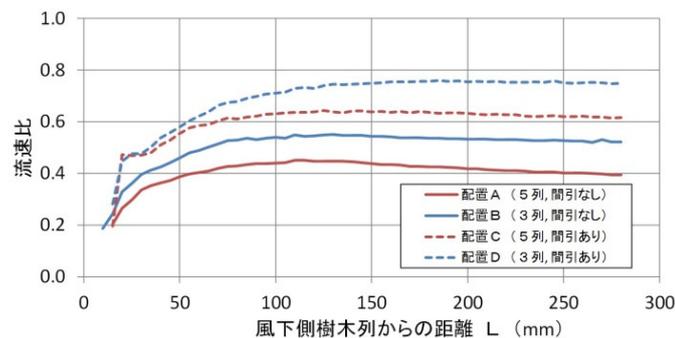


図-10 流速比 ($H=15\text{ mm}$ 、樹木D)

配置Aについて、 $L=100\text{ mm}$ (風上側路肩付近を想定)における流速比の鉛直分布を図-11に示す。流速比について、 $H=20\text{ mm}$ 程度以下の範囲では地面に近いほど樹高に比べ枝下高の影響を強く受けている。

$H=40\text{ mm}$ 程度以上の範囲では枝下高の違いによる流速比の違いはほとんどなく、樹高の違いによる流速比の違いが大きくなっている。乗用車の目線高さが 1.5 m (実験スケールで 15 mm)程度であることを考慮すると、道路防雪林として高い機能を発揮させるためには、樹高を高めることよりも、枝下高を低く抑えることが重要と考えられる。

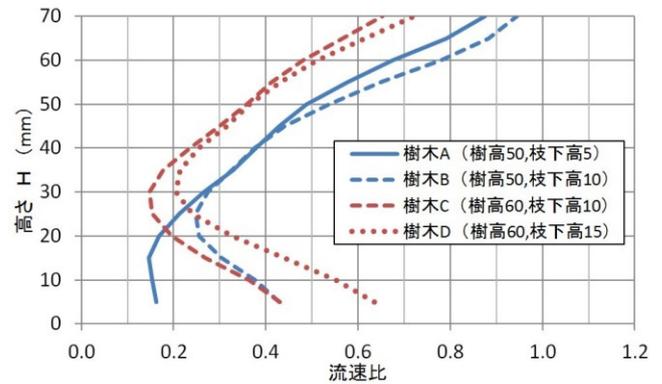


図-11 流速比 ($X=100\text{ mm}$ 、配置A)

4. 間引きと風向の影響調査

間引きパターンの違い (千鳥間引きと列間引き) および風向が防雪機能に与える影響について調査を行った。

4.1 実験パターン

樹木模型は、前項で最も防雪機能が高かった樹木A (樹高 50 mm 、枝下高 5 mm)とした。植栽配置は前項と同様5列と3列とし、それぞれ間引きを行わないもの、列間引き及び千鳥間引きを行ったものの計6パターンとした (図-12)。風向が防雪林帯に対して直角の場合のほか、 16 方位で1および2方位ずれた場合の防雪機能を調査するため、これらの模型をそれぞれ風向に対して 90° 、 67.5° 、 45° に設置して計測を行った。

また、風向が防雪機能へ与える影響をより詳細に調査するため、樹木列数3列の列間引きと千鳥間引きについて、図-13に示す植栽配置の模型 (列間、苗間は図-12と同一)を風向に対して 90° 、 82.5° 、 75° 、 60° 、 56.3° 、 45° 、 36.9° 、 30° に設置して計測を行った。なお、 56.3° は千鳥間引きにおいて3本の樹木が風向方向に並ぶ風向角、 36.9° は列間引きにおいて3本の樹木が風向方向に並ぶ風向角である (図-14)。

実験パターンの一覧を表-1に示す。計測面は実スケールにおいて乗用車の目線高さに相当する、地面からの高さ $H=15\text{ mm}$ の水平面とした。

表-1 実験パターン

No.	樹木列数	間引きパターン	風向角
P1	3列	間引なし	90°, 67.5°, 45°
P2		列間引	
P3		千鳥間引	
P4	5列	間引なし	
P5		列間引	
P6		千鳥間引	
P7	3列	列間引	90°, 82.5°, 75°, 60°, 56.3°, 45°, 36.9°, 30°
P8		千鳥間引	

4. 2 実験結果

実験パターンNo. P1~P3について、風下側樹木列における風洞中心線に最も近い樹木背後および樹木間中央(図-15)での流速比分布を図-16~18に示す。

図-16(P1)より、L=150mm以下における風向変化に対する流速比の変化や、樹木背後と樹木間中央との流速比の差はほとんど見られない。L=150mm以上において風向角45°で流速比の上昇がみられるが、これは植栽端部の影響と考えられる。

図-17、18(P2、P3)より、P1と比較して全体的に流速比が高くなっており、間引きにより防雪機能が低下していることがわかる。また、樹木背後と樹木間中央の流速比の差は、樹木間からの吹き抜けによるものと考えられるが、この差は下流ほど小さくなっている。列間引き(P2)では風向変化による流速比の変動が大きく、風向角が45°では流速比が低い半面、風向角が90°では流速比が高くなっている。一方、千鳥間引き(P3)では、風向変化に対して流速比は安定しており、列間引きと比較して流速比は高くない。ここでは図示していないが、樹木列数5列(P4~P6)の場合は、樹木列数3列の場合よりも全体的に流速比が低くなっており、高い防雪機能を発揮しているが、風向変化に対する傾向は樹木列数3列の場合と同様となっている。

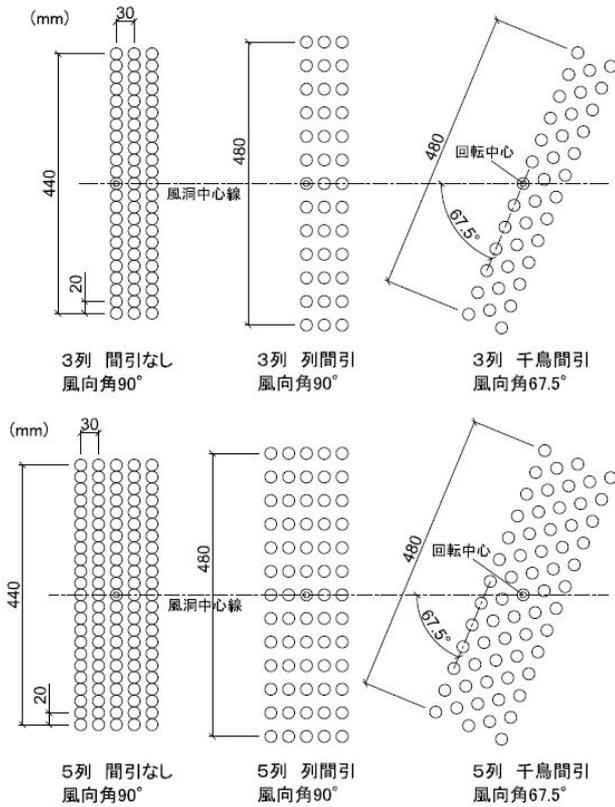


図-12 植栽配置

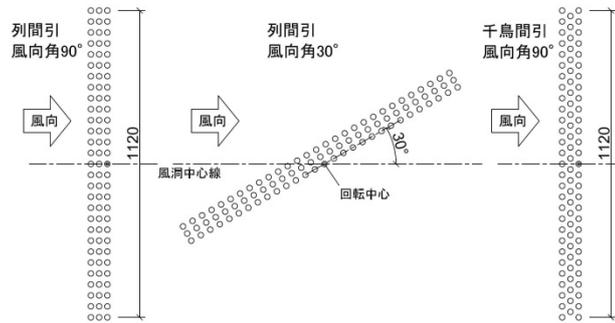


図-13 植栽配置

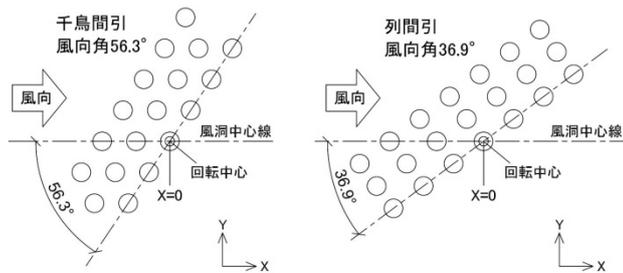


図-14 植栽配置(詳細)

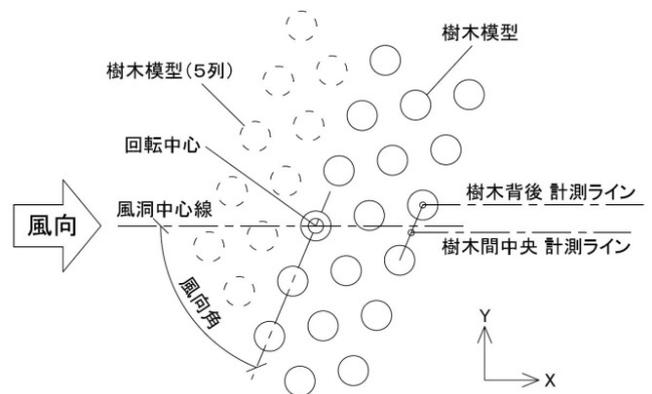
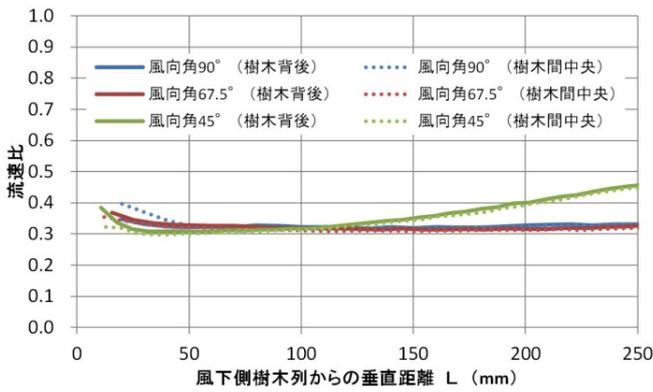
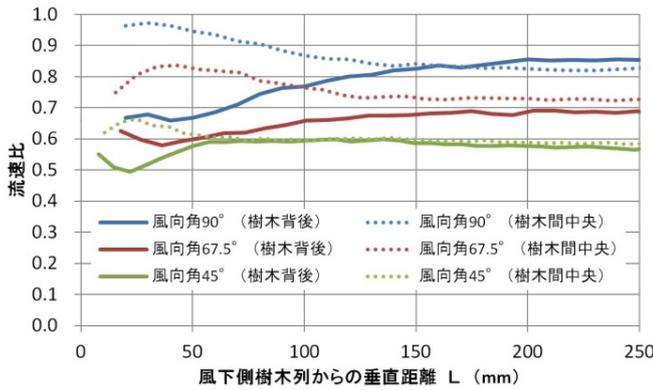


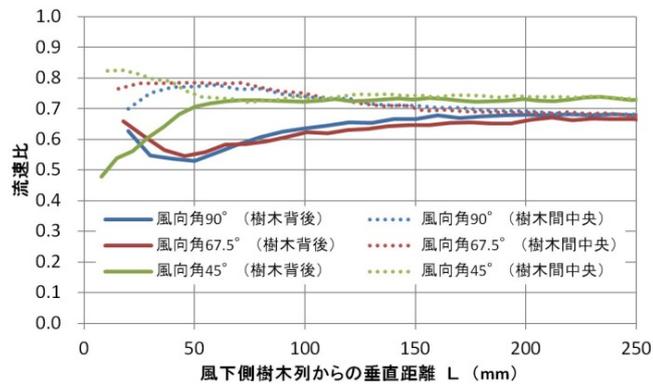
図-15 計測平面図(千鳥間引)



図一 16 流速比（樹木列数3列、間引なし、P 1）



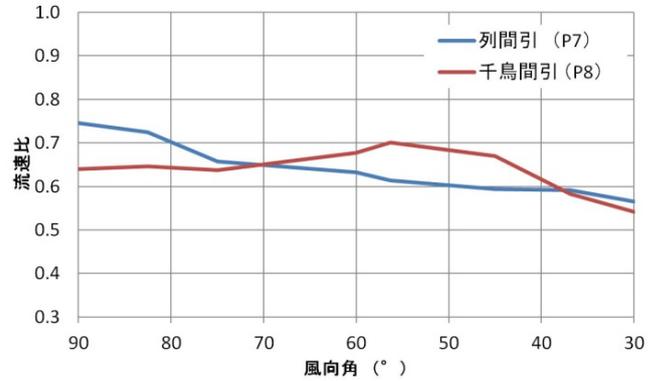
図一 17 流速比（樹木列数3列、列間引、P 2）



図一 18 流速比（樹木列数3列、千鳥間引、P 3）

P 7、P 8における風洞中心線上L = 150 mmでの風向角と流速比の関係を図一 19に示す。L = 150 mmは、道路吹雪対策マニュアル⁴⁾の標準林における基本林の道路側樹木列から道路中心線（片側1車線道路を想定）までの距離約1.5 mを想定している。流速比は風向角が90～70°程度の範囲では千鳥間引きの方が低く、風向角が65～40°程度の範囲では列間引きの方が低くなっている。千鳥間引きでは風向角56.3°で3本の樹木が風向方向に並び、流速比のピークが現れているが、列間引きでは3本の樹木が風向方向に並ぶ風向角36.9°においても明確なピークは現れ

ていない。また、風向角が40°程度以下では列間引きと千鳥間引きにおける流速比に明確な差はみられない。風向角90～45°の範囲における流速比の最小値と最大値の差は列間引きで0.15、千鳥間引きで0.06程度となっており、列間引きでは風向変化にともなう流速比の変動が大きく、千鳥間引きでは変動が小さくなっている。



図一 19 流速比（P 7、P 8）（L = 150 mm）

5. まとめ

道路防雪林について、間引きの有無、樹高・枝下高の違い、間引きパターンの違い及び風向が防雪機能に与える影響を把握することを目的に、模型防雪林を用いた風洞実験を行った。

間引きと樹高・枝下高の影響調査の結果、枝下高が防雪機能に与える影響が大きく、枝下高が高くなることによる防雪機能の低下が、樹木数が半分となる間引きによる防雪機能の低下に相当する場合があることや、樹高や樹冠の大きさに比べて大きく影響することがわかった。このため、安定した防雪機能を発揮させるためには、枝下高を高くしないこと、すなわち下枝の枯れ上がりを防ぐことを優先する間引き管理が重要と考えられる。

間引きと風向の影響調査の結果、間引きにより防雪機能が低下することや、間引きパターンの違いにより風向変化に対する防雪機能の変動の傾向に違いがあることがわかった。列間引きでは風向の変化にともなう防雪機能の変動が比較的大きく、風向角90°付近での防雪機能は低いが、風向角が減少するに従い防雪機能は高くなった。一方、千鳥間引きでは、風向の変化に対して防雪機能は比較的安定しており、列間引きのような風向角90°付近での防雪機能の低下はないが、風向角65～40°程度の範囲では列間引きよりも防雪機能は低くなった。このことから、実際の間引きを行う際には、現地の冬期主風向を考慮して間引きパターンを変えることにより、間引きによる防雪機能の低下をある程度抑えられるものとする。

今後、下枝の枯れ上がりがある防雪林の再現模型を用いた風洞実験により、詳細な調査を行うとともに、防雪機能低下を軽減する対策について検討する予定である。

参考文献

- 1) 財団法人日本建築センター：実務者のための建築物風洞実験ガイドブック、2008
- 2) 老川進、苫米地司、石原孟：建物近傍の雪吹きだまりの風洞相似則に関する考察、日本雪工学会誌、Vol. 23、No. 2、PP. 13-32、2007.
- 3) 山崎貴志、住田則行、中村隆一：吹雪風洞実験における防雪林縮尺模型とPIVについて、雪氷研究大会（2014・八戸）講演要旨集、P240、2014
- 4) 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所：道路吹雪対策マニュアル（平成23年改訂版）第2編 防雪林編、2011

防雪柵前後の吹きだまりに関する現地観測

金子 学^{*1}、松澤 勝^{*2}、渡邊 崇史^{*3}

1. はじめに

北海道の冬期道路では、吹雪による視程障害や吹きだまりへの対策として、防雪柵の整備が行われてきている。防雪柵の設計にあたっては、現地の最大吹きだまり量が必要となるが、吹きだまり量の計測は容易ではないため、吹きだまり量を吹雪量の累計と等しいと見なし、累計吹雪量を用いる例も少なくない。防雪柵前後の吹きだまり量と吹雪量との関係について調査するため、筆者らは石狩市郊外の実験施設（石狩吹雪実験場、図-1）において、平成21年度冬期に吹き止め柵前後の吹きだまり量を計測し、吹雪量の経験式による推定値との比較を行なった¹⁾。この報告は1冬期の2回の吹雪に関するものであり、さらに多くの観測データを得ることが望ましいことから、その後の2年間現地観測を継続した。



図-1 石狩吹雪実験場位置図

本論文では、平成21～23年度冬期に観測した吹き止め柵が捕捉した吹きだまり量と、経験式により求めた吹雪量との関係について比較を行ったので報告する。

表-1 対象とした吹雪イベント及び気象概況

吹雪イベント	日時	風速 (m/s)	時間降雪 (cm)	累計積雪 (cm)	気温 (°C)
1	平成22年1/25, 16:00 ～1/27, 11:30	2.8～17.7	0～4	14	-7.6～-8.5
2	平成22年2/ 2, 11:00 ～2/ 8, 11:00	0.0～16.5	0～5	37	1.1～-17.1
3	平成23年2/ 1, 12:00 ～2/ 2, 09:00	0.6～11.9	0～4	11	-4.3～-9.3
4	平成23年2/ 6, 12:00 ～2/ 9, 09:00	0.1～15.1	0～3	16	1.6～-9.3
5	平成24年1/22, 16:00 ～1/24, 13:00	0.0～11.7	0～5	31	0～-7.5
6	平成24年2/ 7, 16:00 ～2/ 9, 14:00	1.7～15.8	0～5	14	1～-8.6

※ 風速（高さ10m）及び気温は石狩吹雪実験場観測値、降雪は石狩AMEDASの値

2. 観測方法

石狩吹雪実験場において、平成21～23年度の3冬期に観測した6回の吹雪イベント（表-1）について、高さ5mの吹き止め柵の風上側50mから風下30mの範囲において吹きだまりの形状及と積雪密度の測定を、それぞれ行なった（図-2）。吹雪イベント毎の気象概況を示すため、表-1には観測日及び時間帯、高さ10mの風速、気温、時間降雪量、累計降雪量（降雪は石狩吹雪実験場の西南西約8kmに位置する石狩AMEDASのデータ）を付記した。

りの積雪密度を求めた。

なお、吹きだまり形状の測定は5m間隔を基本とし、これに雪丘形状変化点を加え、レベルを用いて測定した。また、積雪密度については、図-2に示す吹き止め柵風上側の4点で、スノーサンプラーを用い、吹雪前後の全層の積雪密度を計測した。吹雪前後の質量の差分を、吹雪前後の積雪深の差分とスノーサンプラーの断面積(20cm²)とで除し、吹雪イベント中に生じた吹きだま

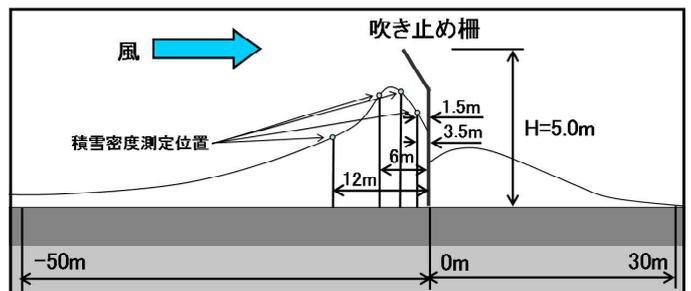


図-2 吹きだまり測定範囲と積雪密度測定位置

*1 寒地土木研究所 道北支所 *2 寒地土木研究所 雪氷チーム *3 函館開発建設部 江差道路事務所

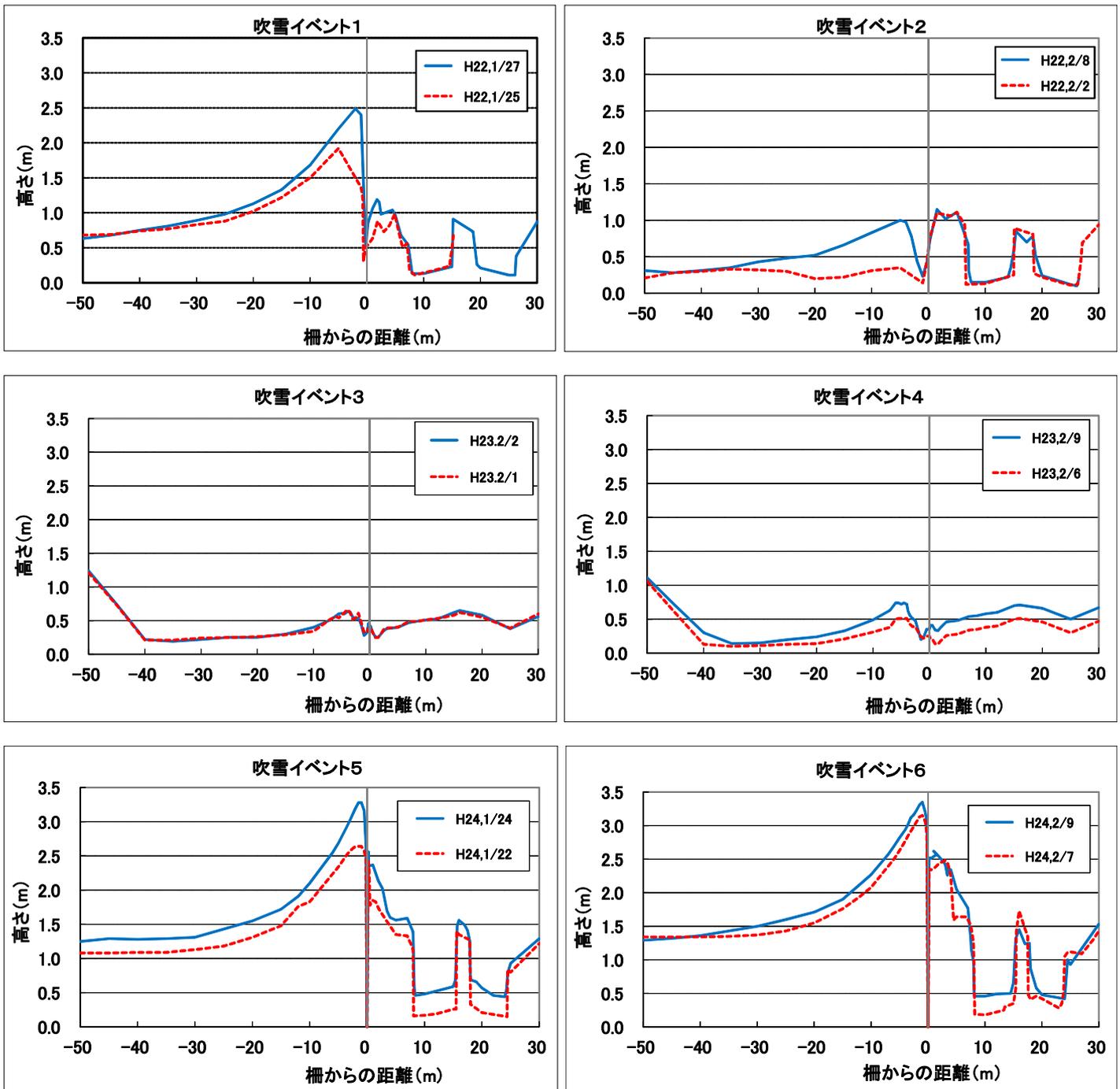


図-3 各吹雪イベント前後における吹きだまり形状

各吹雪イベントの前後に測定した吹き止め柵前後の吹きだまり形状について、図-3に示す。ただし、吹き止め柵設置区間は、実験場内の通路となっているため、除雪の影響により、風下側の吹きだまり形状については正確に把握できていない。

3. 観測結果

吹雪イベント毎の吹きだまり量については、吹雪前後の吹きだまり断面積の差分と、吹雪イベント中に生じた吹きだまりの積雪密度（吹雪前後の質量の差分について、吹雪前後の積雪深の差分とスノーサンプラーの断面

積(20cm²)とで除した値)から求めた。ここで、積雪密度については、吹き止め柵の風上側4点で観測したが、誤差を取り除くため、最大と最小の値を除く2つの値を平均したものを積雪密度として採用した。ただし、吹雪イベント3及び5については、誤差が非常に大きかったため、角形サンプラーによる吹雪後の積雪表面の密度の測定値を用いた。なお、除雪の影響により、吹き止め柵風下側の吹きだまり形状が正しく測定できていないが、「吹き止め柵風下側の吹きだまり量は全吹きだまり量の30%となる²⁾」とみなし、風上側吹きだまり断面積の10/7倍を、吹きだまりの全断面積とした。

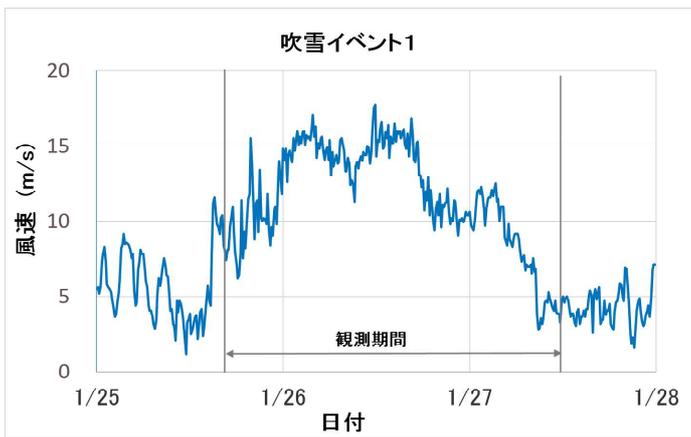


図-4 実験場内の風速（吹雪イベント1）

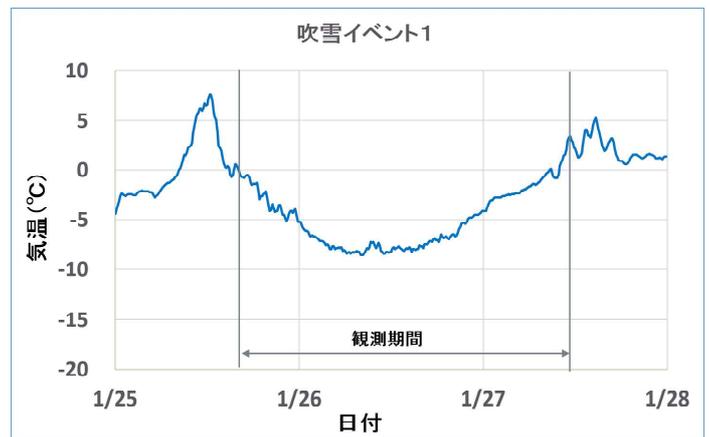


図-5 実験場内の気温（吹雪イベント1）

表-2 吹き止め柵前後の吹きだまり量と経験式による推定吹雪量

吹雪イベント	位置 (m)	吹雪前		吹雪後		積雪密度計算値 (kg/m ³)	断面積 (m ²)	吹きだまり量 (kg/m)	推定吹雪量 (kg/m)	捕捉率 (%)
		積雪深 (cm)	積雪密度 (kg/m ³)	積雪深 (cm)	積雪密度 (kg/m ³)					
1	-12.0	135	320	160	329	376	9.45 × 10 / 7 =13.5	4,350	9,100	48
	-6.0	185	340	210	349	410				
	-3.5	200	372	245	305	10				
	-1.5	140	281	250	275	268				
	積雪密度採用値 = (376+268) / 2 =									
2	-12.0	27	270	92	208	182	5.41 × 10 / 7 =7.7	1,690	5,750	29
	-6.0	36	258	92	257	255				
	-3.5	25	152	83	248	290				
	-1.5	19	184	25	182	175				
	積雪密度採用値 = (182+255) / 2 =									
3	-12.0	23	102	27	167	531	0.36 × 10 / 7 =0.5	54	495	11
	-6.0	32	93	31	150	-1,625				
	-3.5	37	113	33	152	-208				
	-1.5	44	118	39	159	-200				
	積雪密度採用値 (吹雪後の角形サンプラーの値)									
4	-12.0	27	270	42	235	170	5.46 × 10 / 7 =7.8	1,640	5,780	28
	-6.0	43	329	66	287	204				
	-3.5	33	357	50	310	215				
	-1.5	34	258	35	275	850				
	積雪密度採用値 = (204+215) / 2 =									
5	-12.0	184	322	198	316	232	12.21 × 10 / 7 =17.4	1,530	2,150	71
	-6.0	225	304	250	340	648				
	-3.5	246	341	265	297	-263				
	-1.5	270	327	298	253	-452				
	積雪密度採用値 (吹雪後の角形サンプラーの値)									
6	-12.0	206	375	220	361	154	5.44 × 10 / 7 =7.8	1,050	4,490	23
	-6.0	253	374	271	339	-147				
	-3.5	283	359	303	343	113				
	-1.5	315	390	330	387	327				
	積雪密度採用値 = (154+113) / 2 =									

実測した吹きだまり量と、経験式による推定吹雪量とを比較するため、実験場内及び観測した風速データを高さ1.2mの値に換算し、以下に示す吹雪量Qと風速Uの経験式³⁾に代入して吹雪量を算出した。

$$Q=0.005U^4 \quad \dots \text{経験式 (松澤ら2010³⁾)}$$

吹雪量の算出にあたり、風速には10分平均値を用い、10分毎の吹雪量の合計を推定吹雪量とした。また、気温については、現地で氷点下となる場合のみ、吹雪発生と判断した。現地で観測した風速（高さ10mの値）と気温の例をそれぞれ図-4及び図-5に示す。

吹雪量の経験式の適用にあたっては、吹雪発生臨界風

速の設定が必要となるが、いずれの吹雪イベントも降雪を伴うものであったこと（表-1）から、観測期間中は降雪があったものと仮定し、風速5m/s以上で吹雪が発生するものとして経験式を適用した。吹雪前後の積雪深と積雪密度の計測値及び吹きだまり量の計算値、経験式により求めた推定吹雪量、吹き止め柵による捕捉率（吹きだまり量を推定吹雪量で除した値）について表-2に示す。

4. 考察

積雪密度の計算値は、比較的ばらつきが大きかった。特に、吹雪イベント3では、吹雪後の積雪深が吹雪前を下回り、吹雪イベント中の新たな積雪深を正しく計算できなかった。また、各吹雪イベントとも吹雪前後の観測の間に数日が経過しており、吹きだまりの風食や圧密の影響等により誤差を生じたものと考えられる。本論文では全層サンプラーの測定値の吹雪前後の差分から積雪密度を求めたが、吹雪イベント中に生じた吹きだまりが小さい場合には誤差が大きくなり、角形サンプラーにより表面の積雪の密度を直接求めることが必要となった。

吹き止め柵の捕捉率について見ると、吹雪イベント1と5の事例では、吹き止め柵により吹雪中の雪粒子の5～7割程度が防雪柵によって捕捉されている結果となった。捕捉率は、全体では11～71%とばらつきが大きかった。これは、防雪柵が吹雪を捕捉していないということではなく、経験式は、吹雪量のポテンシャルを表すもので、条件によっては吹雪量を過大に見積もる可能性があるためである。このように、吹雪量の経験式の適用には限界があるため、正確な吹雪量の把握には、S P C（吹

雪粒子計）の活用など、今後の課題と考えられる。

5. まとめ

平成21～23年度冬期の6回の吹雪について、実験場にて防雪柵前後の吹きだまり量の現地観測を行ない、経験式により求めた推定吹雪量との関係について比較を行った。その結果、吹き止め柵の捕捉率は11～71%とばらつきが大きく、吹雪が飽和状態に達していない例が多かったものと考えられる。経験式は、吹雪量のポテンシャルを表すもので、実際の吹雪では吹雪量を過大に評価する可能性があり、正確な吹雪量の把握にはS P Cの使用が望ましい等、今後の課題と考えられる。また、各吹雪イベントとも吹雪前後の観測の間に数日が経過しており、吹きだまりの風食や圧密の影響等により、スノーサンプラーによる積雪密度の測定に誤差を生じた事例があった。

寒地土木研究所雪氷チームでは、平成28年度から「広域的な吹雪視程障害予測技術の開発に関する研究」に着手しており、正確な吹雪の発生条件の判別や、高さ毎の飛雪流量と吹雪量の関係の把握を進めることとした。

参考文献

- 1) 金子学ほか(2011);防雪柵前後の吹きだまり量等に関する現地観測, 第54回北海道開発局技術研究発表会
- 2) 北海道開発局(2003);道路吹雪対策マニュアル, 3-4-5.
- 3) 松澤ほか(2010);高さ1mの飛雪流量と全吹雪輸送量との関係, 雪氷研究大会, C3-07.
- 4) 日本雪氷学会北海道支部(1991);雪氷調査法, pp19.

農村地帯での道路新設に伴う防雪林計画について

関夏実*1、金田晴仁*1、富田旭*1

1. はじめに

一般国道275号は、札幌市を起点とし当別町・月形町・浦臼町等を経由し、浜頓別町に至る延長約282kmの幹線道路であり、道央圏と道北圏を連絡する重要な路線となっている。

このうち、江別市角山から篠津に至る江別北道路(以下、本事業)は、ボトルネックとなっている2車線区間の交通混雑の緩和や交通事故の低減を図り、道路交通の定時制、安全性の向上を目的とした延長3.5kmの4車線拡幅事業である(図1.1)。

本稿では、本事業のうち、冬期間の走行環境の安全性向上のため、冬期視程障害の緩和や地吹雪の解消、事故対策を目的とした、防雪林造成計画及び平成27年度に実施した第1工区No.4～No.6の防雪林の施工状況について紹介する(図1.2)。

2. 地域の現状と防雪対策の必要性

本事業では、『道路吹雪対策マニュアル』で対象とする路線の防雪対策検討の必要性の基準となる5項目のうち、「吹雪頻度が10%以上の区間」、「最大吹溜り量が20m³/mの区間」、「吹雪時の交通事故が過去に多発している」の3項目が該当している(表2.1)。

特に、当該区間における過去4年間の人身事故24件の内、約6割の14件が冬期間に発生しており、吹雪による視程障害や吹溜り等が解消することにより、視程障害による二次災害や潜在的な事故未遂も含め、事故件数の減少が期待出来るものである(図2.1)。

表2.1 防雪対策工を検討する項目

<p>◆吹雪対策工の必要性は、以下の基準を目安として対策工の有無を検討</p> <ul style="list-style-type: none"> 吹雪頻度が10%以上の区間 :○ 最大吹溜り量が20 m³/m以上の区間 :○ 吹雪による通行止めが過去に10回以上発生している 吹雪時の交通事故が過去に多発している :○ 吹溜りにより除雪作業に支障をきたしている <p>過年度の冬期気象調査結果より、吹雪による障害の危険性があるとされている。</p> <p>以上の要件より、本計画区間では、防雪対策工を検討する必要性がある。</p>
--



図1.1 江別北道路の位置図

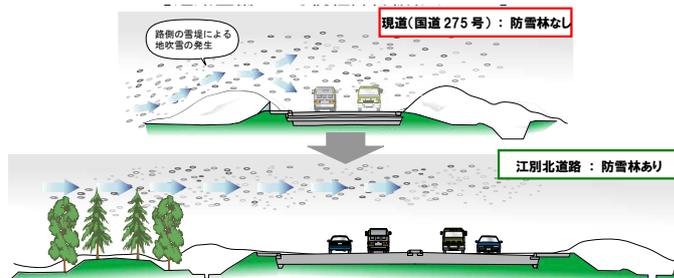


図2.1 道路整備による視程障害緩和イメージ

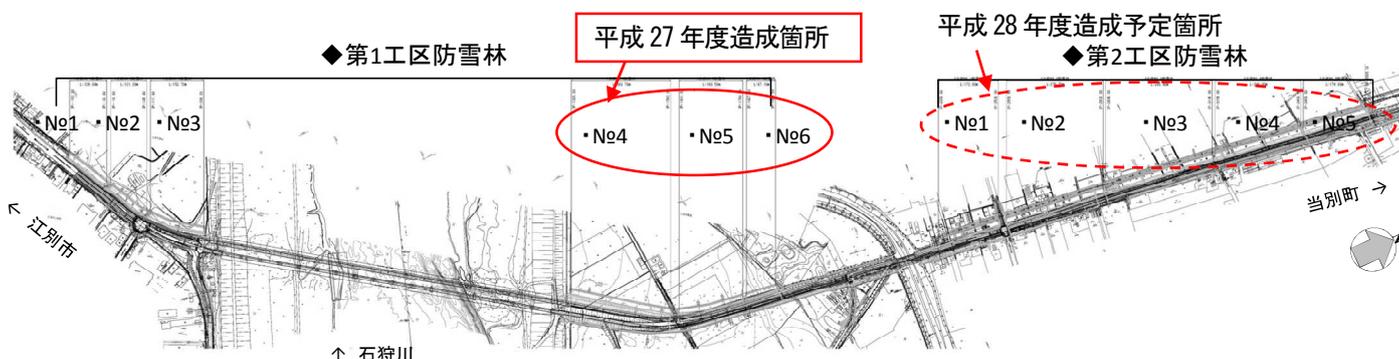


図1.2 防雪林施工実施箇所

*1 国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部 札幌道路事務所

3. 防雪対策工法の選定

防雪対策工法は、道路構造がほぼ平坦であること、吹雪量・視程障害頻度が高いこと、用地の確保が可能であったことから防雪林(標準林)と防雪柵(吹き止め柵)の2つを選定した。さらに、冬期気象条件より、卓越風向は北西～西となり多風向対策が必要となることや、西風による斜風を対象とした場合には道路に対して鋭角に作用することもあるため、標準防雪柵を適用した場合、主風向との角度は概ね45度程度であり、高性能斜風対応柵等の検討が必要であった。

一方、防雪林は、林帯幅で吹雪を堆雪させるため、斜風向対応に適した構造である。

本事業は、用地確保が可能であり景観性も高く安価であること等から、防雪対策工法として防雪林(標準林)を選定した。

4. 防雪林造成計画の検討

4.1. 道路緑化・景観としての防雪林

防雪林は、防雪対策としての機能を有する他に、道路景観や自然環境保全・創出の機能も有しているため、周辺環境である江別市の『景観形成基本計画』や隣接する当別町の『当別町景観形成基本計画』との整合を図る必要性があった。これらを踏まえた結果、本事業は「農村部の景観」領域に入り、農地防風林や屋敷林の現況に合わせた樹種選定等が必要となった。このことにより、緑化方針を「防雪林及び修景の緑化」、「対象地の防風林と整合する林帯の形成」、「道路緑化は針葉樹・広葉樹の混交林」とした。

4.2. 防雪林の基本構造

防雪林の基本構造として、『道路吹雪対策マニュアル』から現地最大吹溜り量と対応して標準林10mタイプを選定した。配植間隔は、基本林が苗間が2.0m、列間が3.5mで方形に配置、前生林が苗間2.0m、列間0.5mで配置した(図4.2.1)。

樹種は、緑化方針から現地の自生種を基本とし、強度の剪定に耐える種や萌芽回復や、成長の早い種を選定すること等から、基本林には道路側にトドモミ、民地側にアカエゾトウヒの2種類とした。基本林の樹種は、防雪林の場合には、一般的に伸長成長と肥大成長が求められ、さらに葉面積密度が高いことが必要とされるが、これらの要求を満たすために、道路吹雪に対して安全側を勘案して2種類とした。また、単一樹種で植えた場合、病虫害の発生により、一斉枯損する恐れにも留意した(表4.2.1)。

前生林は、基本林の初期成長時の風害等からの保護機能を目的として植栽するものであり、現地の自生種のうち耐湿地性樹木を選定することから、ハルニレ、ヤチダモ、ドロノキ、ヤナギ類とした。

表4.2.1 基本林の樹種選定理由

基本林	選定理由
トドモミ (道路側)	<ul style="list-style-type: none"> 耐塩害性に優れるため、凍結防止剤の影響が懸念される道路側で配置。 自生種であり、市場性に優れ資材の調達が容易。
アカエゾトウヒ (民地側)	<ul style="list-style-type: none"> 枝がやや垂れ下がる樹形特性より、裾の防風効果を得るため民地側に配置。 自生種であり、市場性に優れ資材の調達が容易。

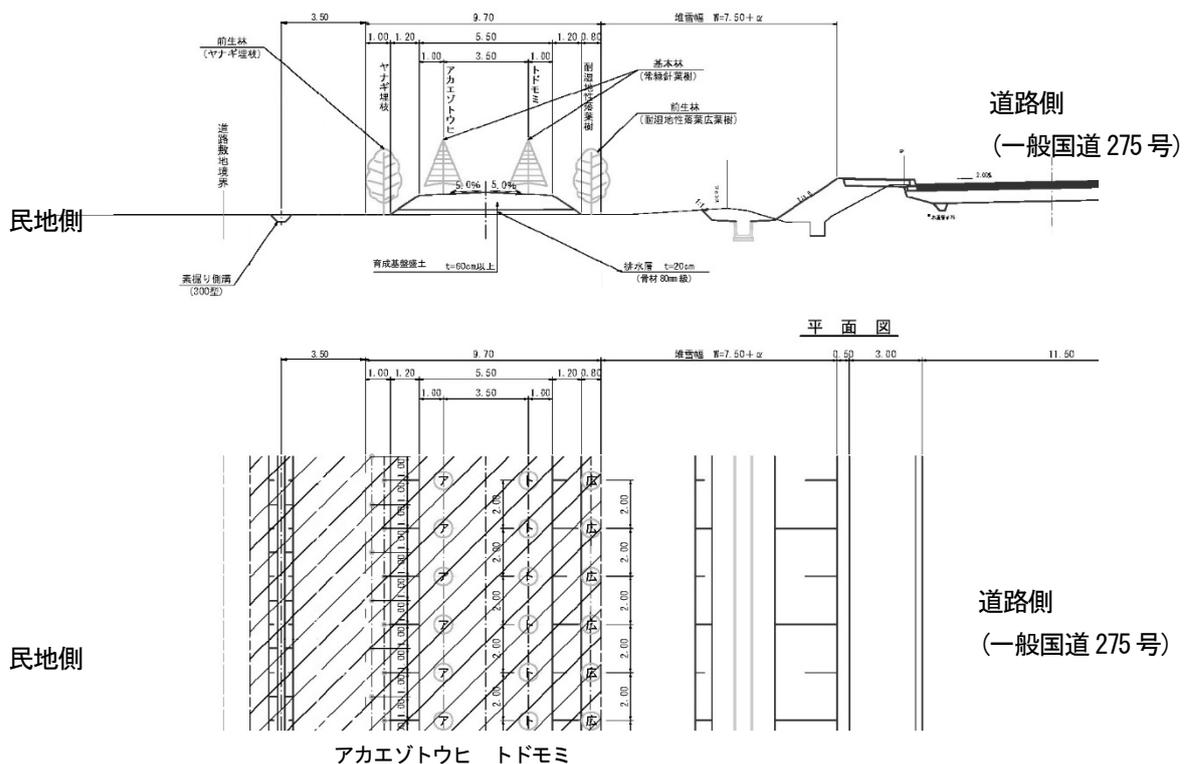


図4.2.1 防雪林の標準断面図(上)と配植平面図

4.3. 緑化工法

防雪林として厳しい生育環境及び、施工に伴う苗木への影響の軽減のため、最適な緑化工法を検討する必要がある。

本事業では、既往調査により対象地の現況地盤が植栽に不適な泥炭、シルト(粘土質)が主体となっており、現状の地盤に植栽した場合、排水不良による成長の低下が懸念された。

したがって、現地盤への植栽を避け、盛土による育成基盤を造成した。育成基盤の上層は60cm厚、下層は20cm厚の有効土層厚を80cmとして、現況地盤に両側を1:1.5勾配ですり付けた。育成基盤盛土材は透水性・通気性のある土質とし、下層は排水が良好な骨材(0~80mm)とした(図4.3.1、図4.3.2)。

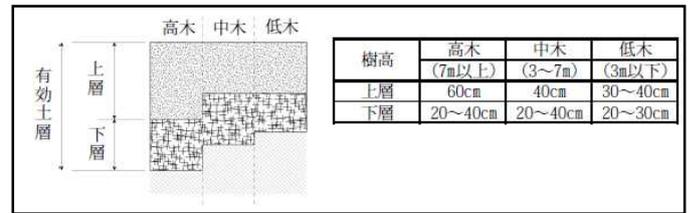


図4.3.1 植物の生育に必要な最小有効土層厚

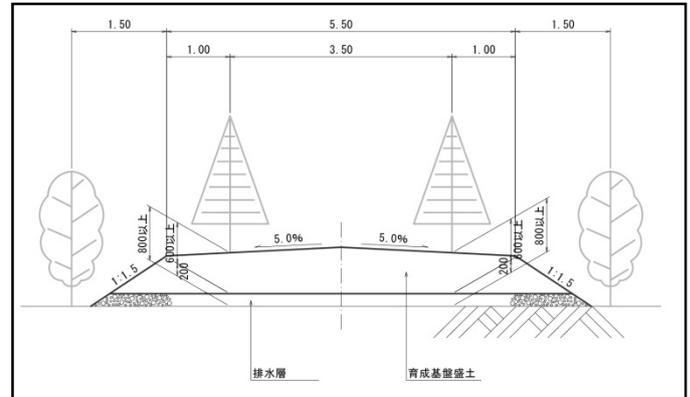


図4.3.2 育成基盤断面図

5. 防雪林施工時の状況

5.1. 前生林造成の指摘

防雪林造成に関する工事説明会を開催した際、周辺農家から前生林造成の樹種に対し、種子によるヤナギ類の農地への侵入や落葉の農作物への混入等の営農上の問題が指摘され、基本林のみ先行して植栽を行った。そのため、竹支柱による積雪からの苗木の保護を実施した。

5.2. 有識者の助言と現地指導

防雪林の施工に際して、有識者にヒアリングを実施し、下記の助言を頂き、施工者に対して現地指導を実施した。

- ① 基本林に関して、積雪により苗木の頂部が折れることを防止するために竹支柱に固定すること。また、固定の際には、地際付近を縄で縛り、苗木の頂部から地上付近の固定箇所まで螺旋状に軽く縛ることや、用いる竹材は苗木の頂部より高くなる丈の長い竹材を用いること。さらに縄を固定したままだと苗木の成長に影響を及ぼすので留意が必要(写真5.2.1)。
- ② 植栽後の育成に関して、苗木の成長を促すための下草刈りや、苗木が枯損した場合に防雪効果を維持させるための補植を実施することが望ましい。
- ③ 現地指導に際して、良い苗木の見分け方や植え穴は根の広がりよりも若干大きめにすること。また、苗木を植栽する際には、降雨等により水が溜まる可能性があることから、最初は植え穴の半分くらい土を入れて足で固め、次に根元が若干盛り上がるくらい土を入れることが望ましい。(写真5.2.1~5.2.3)。
- ④ 前生林に関して、基本林に針葉樹だけ植栽すると害虫に弱いことから、前生林に広葉樹を植栽することが望ましいことや、ヤナギ類やヤチダモは雄株を用いると種子の飛来を行わないため周辺の畑に影響が少ないこと、また、前生林の植栽後、基本林が十分に成長したのを確認し、前生林を間引きすることも可能であること等、これらを踏まえて、前生林について再検討すること。



写真5.2.1 竹支柱による基本林の苗木の固定状況



写真5.2.2 基本林の苗木と盛土の状況



写真5.2.3 有識者による現地指導状況

6. 施工後1年目の状況

対象地である第1工区(560.6m)のNo.4(287.0m)、No.5(186.5m)、No.6(87.1m)では、平成27年10～12月に市場性及び積雪深を考慮した樹高1.0m程度のトドモミ257本、アカエゾトウヒ275本の合計532本の苗木を植栽した(写真6.1～6.3、表6.1)。

春期調査(平成28年5月)において、目視による雪害の有無を確認した結果、雪害の影響による頂部の折れや枝の欠損は確認されなかった。

ただし、苗木の全532本中522本が生育し(活着率98%)、トドモミで2本、アカエゾトウヒで8本の計10本が全枯損や部分枯損しているのを確認した。

今後は、秋期調査において樹高や枝張り、健全度等の確認を行い、枯損度合から補植等の対応も検討していく。



写真6.1 防雪林造成状況

7. 今後の課題と予定

今後、防雪林造成と施工後の生育確認や育成管理が課題となってくる。

施工後の生育確認として、植栽した苗木の生育状況を把握するには、葉・幹・枝先の状態等を観察して総合的に判断する必要がある。そのため、生育の判定は、巡回点検を実施し、施工から1～5年間継続して実施する。

育成管理として、雑草による苗木の被圧を防止する下草刈り、枯損木の処理・補植、枝打ち、苗木を健全に育成するため幹頂が複数立ち上がった場合、優勢部を残し劣勢部を切除する等の複梢整理等を実施していく予定である(図7.1)。

前生林造成についても、有識者からの助言のとおり、雄株のみを使用することや基本林の成長後に前生林を撤去する等といった、前生林を造成できる検討を再度行い、地域住民と協議を行いながら、地域住民と防雪対策の双方にとってより良い防雪林を造成していく。

さらに、吹溜り箇所や視程状況等の冬期気象状況を調査し、防雪林は造成後、何年経過すると防雪効果を発揮できるのかといった、効果検証も併せて実施していきたいと考えている。



写真6.2 基本林の配植状況(左: 民地側、右: 道路側)



写真6.3 生育状況(左: トドモミ、右: アカエゾトウヒ)

表6.1 平成27年度の基本林植栽本数

樹種/防雪林No.	No.4	No.5	No.6	計
トドモミ	132本	89本	36本	257本
アカエゾトウヒ	133本	102本	40本	275本
合計	265本	191本	76本	532本

8. おわりに

今回は、江別北道路における防雪林計画から施工まで報告したが、本事業は、まだ造成半ばである。今後も有識者から助言を頂きながら、地域住民と協議を行い、より良い防雪林の造成を目指し、防雪林が有効となり地吹雪の解消が図られ、冬期の視程障害が緩和されることによって冬期走行環境の安全性向上に取り組んでいく。

最後に、防雪林造成についての助言を頂いた有識者である環境林づくり研究所所長の斎藤新一郎氏に感謝の意を表します。

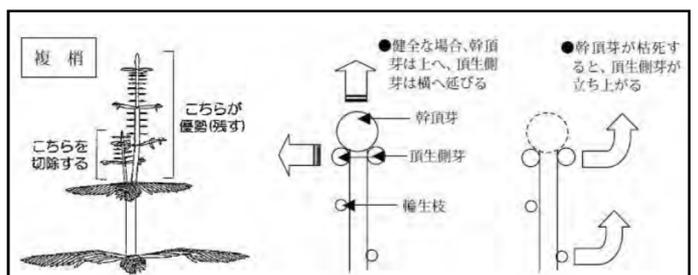


図7.1 複梢整理の概要図

車両情報位置システムを用いた雪氷車両位置情報の提供

坂宗樹^{*1}、木原晃^{*1}、松本剛明^{*2}

1. はじめに

中日本高速道路株式会社 金沢支社（以下、「金沢支社」という）では、高速道路の冬期安全確保を目的に毎年、雪氷対策を行っている。雪氷対策の作業として、除雪作業のための除雪車及び、路面凍結防止作業の凍結防止剤散布車の走行時には低速作業になるため、後続に渋滞が発生し、高速道路をご利用されるお客様にご迷惑をおかけしている。更に、管内では晴天時にトンネル内の湧水によってつららが発生するため、つらら落し作業時には頭押さえを伴う低速作業となり、お客様から多くの苦情をいただいている。また、つらら落し作業では、明かり部での天候が良く、路面上に雪が積もっていない状態で行うこともあるため、お客様のご理解を得づらい状況にある。

この状況を改善するため、雪氷作業を行っている車両位置情報をお客様に提供することで、最寄りの休憩施設への立ち寄りや高速道路の利用タイミングの判断に役立てていただくこととした。併せて、雪氷対策のご理解とご協力を図ることを目的とした。上記の具体策として、金沢支社では、作業車両位置情報及び作業内容をリアルタイムで確認できる車両位置情報システム（VPIS）（図1）から得られた位置情報を利用して、お客様へ情報提供を行った。本件は、この情報提供のために構築した雪氷車両広報システムの内容と得られた情報から見てきた課題について報告を行うものである。

2. 固定端末による情報提供の実施と問題点

雪氷車両広報システムの試行運用として、平成26年度は情報提供区間を限定した上で、10インチタブレットを使用したシステムを構築した（写真1）。

試行に当たり設定した条件は下記のとおり。

選定した区間は、北陸自動車道の木之本IC～武生IC間、舞鶴若狭自動車道の小浜IC～敦賀JCT間とした。タブレットの設置箇所は、下り賤ヶ岳SAと上り南条SAの2箇所とし、コンシェルジュ受付先に設置した（写真2）。また、利用したお客様には任意でアンケートに答えていただくことにより次年度改善へ繋げることにした。



写真1 タブレット画面



写真2 タブレット設置状況

結果、回答アンケート数は7件と少ないものの、「除雪作業状況が分かり易い」、「リアルタイム情報で参考になる」等、一定の評価を得ることができた。しかしながら、効果の把握及び次年度改善意見のサンプルとしては十分な情報が得られないといった問題点があった。また、コンシェルジュ受

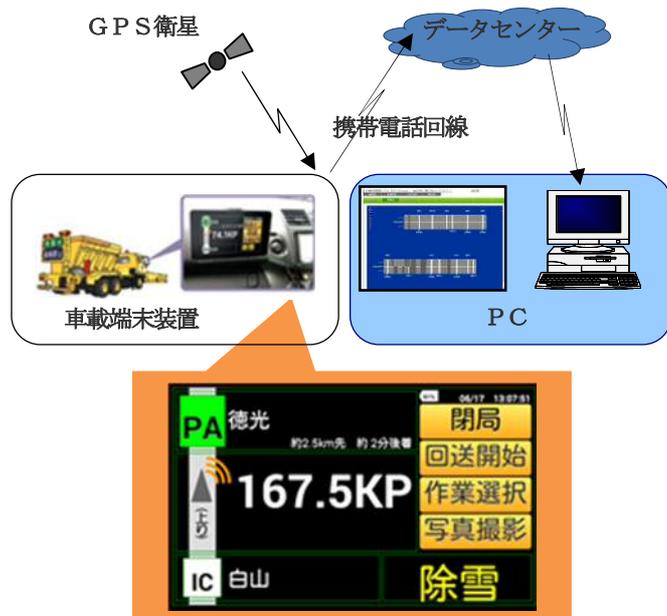


図1 車両位置情報システム概要

^{*1}中日本高速道路株式会社 金沢支社 保全・サービス事業部 保全チーム

^{*2}中日本パウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 施設技術部 施設技術課

付先での情報提供だったため、コンシェルジュ営業時間外での情報提供ができず、雪氷対策作業が増加傾向になる夜間の情報提供が行うことができなかつた。

3. スマートフォン専用Webによる情報提供

固定端末による情報提供時の問題点を改善するため、平成27年度は、スマートフォン専用Web画面による情報提供方式へ改善した(写真3)。

この改善によって、お客様所有の携帯端末を使用するため、24時間リアルタイムの情報提供が可能となり、Web閲覧数を用いて利用頻度の統計ができるといった効果及び利点が期待できる。特に、利用頻度の統計ができるため、効果を容易に把握することが可能となる。また、Web内でのアンケート取得も可能であるため、自主的ではあるものの利用者の意見も容易に収集可能となる。加えて、専用端末の用意及び設置が不要となる。以上の利点を活かすため、情報提供区間を支社管内全路線に拡大し、運用することとした。なお、情報提供は平成28年1月9日～3月16日の計68日間行った。

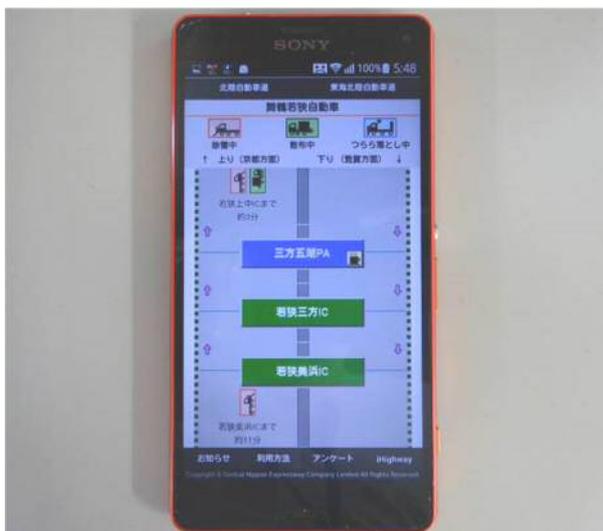


写真3 Web画面

4. 改善した雪氷車両広報システムの仕様

スマートフォン専用Webについては、スマートフォン市場の大半を占めているiPhone及びAndroid端末で操作閲覧可能なものとした。また、作業車両情報を5分間隔で自動更新する機能を備えリアルタイム性を保つものとした。提供する作業車両情報は、「除雪作業」、「湿塩散布作業」、「つらら除去作業」のいずれかを行っている車両を対象とする。

また、利用者に対しての「お知らせ」、「利用方法」、「アンケート」ページを用意し、「お知らせ」ページでは利用者にお知らせしたい文章を管理者画面より任意で登録できる仕様とした。「利用方法」ページではシステム利用方法の

他、「除雪作業」、「湿塩散布作業」、「つらら除去作業」についての簡易説明を記載し、雪氷対策作業への認知度を高めるものにした。「アンケート」ページは利用者に任意で入力してもらうことを考え、選択式主体のアンケート方式とした(図2)。

システムの広報として広報用ポスターを作成し、金沢支社管内の各SA・PA及び各コンシェルジュにて掲示・配布による広報を行った。広報用ポスターにはWeb画面へ直接アクセスできるQRコードを掲載し、簡単にアクセスできるよう配慮した。



図2 Web表示画面内容

4. 運用結果

情報提供中のログイン数は図3のとおりとなる。

Webへの初めてのログイン数は1月中に急激に増加し、その後2月からサービス終了までの間、緩やかに増加し、総計1,139回となった。総計人数と同人数のお客様にご利用いただけたと推察される。また、総アクセス数は7,89

4回に及び、1日平均116回のログインを確認できた。雪氷車両稼働時間と重ねてみると、稼働時間増加時に日別アクセス数も増加する傾向がみられ、雪氷対策作業中に多く利用されていることが推察される。

時間帯別にログイン数を集計すると図4のとおりとなる。この図から、通勤時間帯の8・9時及び17・18時と休憩時間帯の11・12時及び20・21時にその他の時間帯に比べ増加傾向がみられ、仕事目的で利用されていると推察される。

アンケートについては下記の8項目について行った。①性別、②年代、③利用用途、④サイトの感想、⑤文字の大きさ、⑥画面構成、⑦提供情報の内容、⑧ご意見・感想 最後のご意見・感想の自由意見を除き、アンケートは選択肢から選ぶ形をとった。アンケートは23名の投稿があり、集計結果は図5のとおりとなる。

アンケートの結果、利用目的は仕事目的が最も多かった。また、感想は「悪い」の評価はなく、全体の約65%にあたる15名から「良い」の回答をいただき、おおむね好評であったと思われる。提供情報の内容では全体の約87%に及ぶ20名の方から「普通」以上の評価をいただいている。しかしながら3名の方から「悪い」の評価をいただいた。内、1名は自由意見での記載があり、「リアルタイムに表示してほしい」との意見であった。

5分間隔で更新を行っているためリアルタイム性については確保できていると考えるが、「〇〇時〇〇分現在」等の取得情報を表示していなかったため、この点については改善の余地がある。

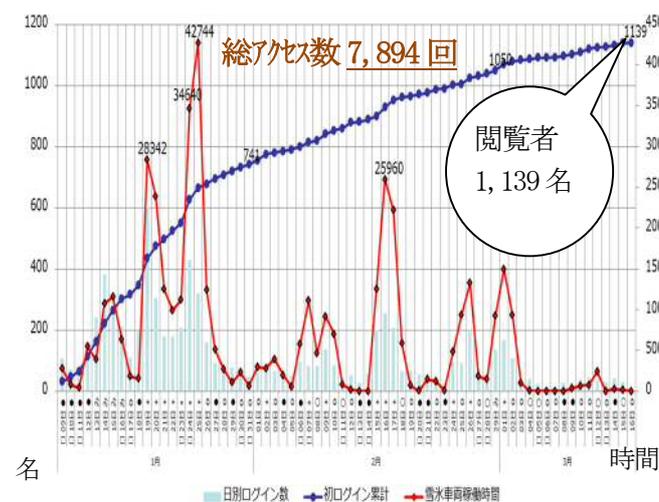


図3 日別ログイン数

アンケートの内、自由意見であるご意見・感想では、好意的意見として、「分かり易い」、「他道路管理会社への採用要望」等、評価のご意見をいただいている。改善要望意見としては、通行止め情報、除雪区間、除雪準備中車両の情報表

示等の要望意見をいただいた。

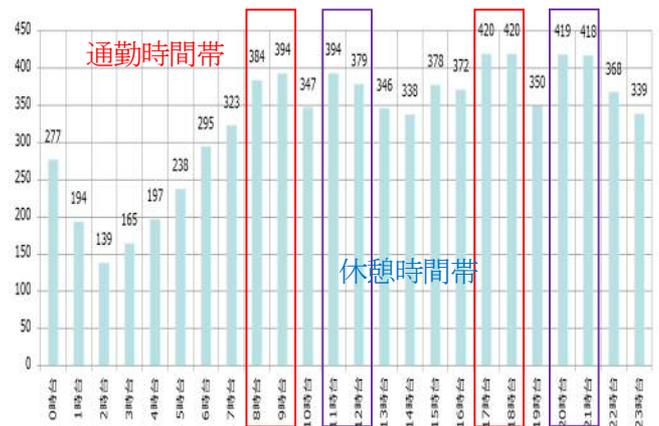


図4 時間帯別ログイン数

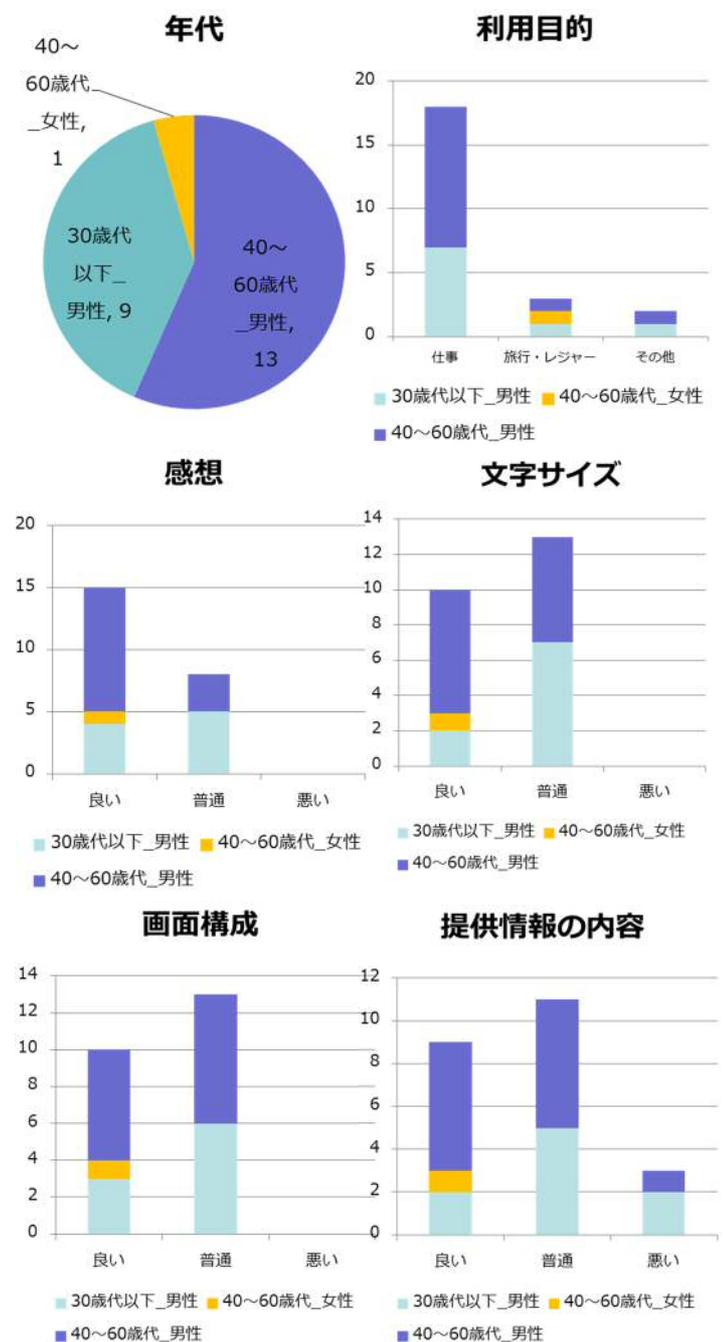


図5 アンケート集計画面

5. 今後の課題

アンケートのご意見・感想に上げられた改善要望として、通行止めや除雪区間、除雪準備情報と、より詳細な情報提供を求める声があった。今後も利用していただけるよう、また、利用者数を増やす為にも改善要望を取り込めるよう検討していきたい。

加えて、正確な利用傾向や改善要望をつかむため、ログイン数やアンケート回答数やログイン数を増やす必要がある。こちらは、情報提供期間や広報の方法も含め検討していく必要がある。

6. おわりに

平成27年度に改善した雪氷車両広報システムは、スマートフォンでのWeb形式閲覧システムに改善したことにより、アクセス数による統計がとれ、利用頻度の傾向わかり、効果的な情報提供方法であったと思われる。

また、アンケート集計では23名と少ないながらも貴重なご意見をいただき、改善要望も得ることができた。今後は、休憩施設の立ち寄りや高速道路利用時間の判断に利用していただけているのか検証できるよう改良していきたい。今後も、お客様の利便性と安全性の向上及び雪氷対策作業へのご理解・ご協力を図れるよう、既存の情報提供媒体に加わる新たなツールとして活用していただけるよう本システムをより良いものに改善していきたい。

【スマートデバイスを活用した除雪機械整備効率化の有効性について】

石道 国弘*1、吉田 公明*1、林 朋幸*2、五十嵐 匡*2

北海道開発局が保有し、維持除雪工事に貸付している除雪用機械等が作業中に故障した場合、職員が現地や工場に赴き故障状況や修理方法を確認した後に機械を整備している。そこでスマートデバイスを用い、遠隔地から迅速に状況を確認する手法を試行した。スマートデバイスのスペックや運用方法について検証を行うとともに整備効率化の有効性について報告する。

1. はじめに

札幌道路事務所管内の『路線概要』は、以下のとおりである。

- (a) 北海道開発局が管理する道路延長は、約6,730kmで、うち札幌道路事務所では、国道5号、12号、36号、230号、231号、274号、275号、337号、453号の9国道、総延長にして約272kmの維持・管理を行っている。
- (b) この内、札幌市を中心に8路線の起・終点となる道路を維持管理しており、各路線は半環状に迂回、もしくは放射状に広がるように整備されている路線特性がある。

除雪ステーション（以下:除雪ST）は、図1のとおり8箇所にて点在しており、これ以外にも4箇所の業持ち車庫があり、計12箇所の除雪基地にて除雪体制を整えている。水色の円弧状の線は、事務所からの直線距離であり、最も遠いところで約40km、車で約1.5時間かかる位置関係となっている。

また、整備工場の位置関係についても、この半径約20km圏内に7箇所点在しているが、都市部であるため車での移動には、約1.0時間要するところもあり、除雪車の基地及び整備工場が広域分散型の配置となっている。

機械台数は、表1のとおり、除雪機械で101台の機械を維持管理している。

このような状況において、著者らは、機械が作業中に故障した場合、故障状況や修理方法を、迅速かつ正確に課題を解決するためスマートデバイスを用い、遠隔地から状況を確認する手法を試行し、スペックや運用方法について検証を行うとともに整備効率化の有効性について検討を行った。

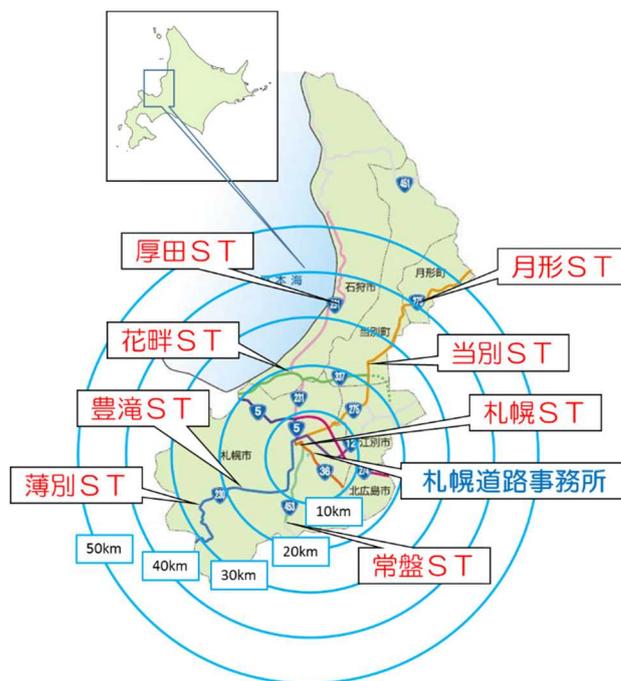


図1 札幌道路事務所除雪ST位置図

表1 除雪STごとの配置機械台数

除雪ST	除雪機械(台)
札幌ST	45
薄別ST	7
豊滝ST	9
常盤ST	8
花畔ST	18
厚田ST	5
当別ST	6
月形ST	3
合計	101

2. 機械故障時の修理における問題点と対策

2.1 現状の問題点

国が保有する除雪用機械は、物品管理法上、除雪工事受注者に貸与（以下、官貸）する際の引き渡しと返納時の受け取り時に機械1台ごとに検査を行う必要がある。また、機械の修理を実施している機械修繕単価契約においても作業完了時の検査を行わなければならない。

官貸中に機械の故障が発生した場合、第1ステップ：工事受注者より電話やメールによる連絡→第2ステップ：職員が除雪STに移動→第3ステップ：機械を確認、返納検査→第4ス

*1 国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部 札幌道路事務所 第2工務課

*2 国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部 施設整備課

テップ：工場へ修理の指示、連絡、機械を工場へ輸送→第5ステップ：工場にて修理を実施→第6ステップ：職員が工場へ移動→第7ステップ：修理完了の検査→第8ステップ：機械を除雪STに輸送→第9ステップ：職員が除雪STに移動→第10ステップ：除雪STにて検査を実施し、除雪工事受注者に引き渡す。図2にフローと所要時間を示しているが、標準的な故障対応時間は機械1台につき約5時間（修理時間を除く）要している。

特に除雪STや故障発生現場が、遠方の場合、職員の移動に時間を要することで、修理開始が遅くなり、修理完了までの間、除雪作業に支障がでるケースが想定される。

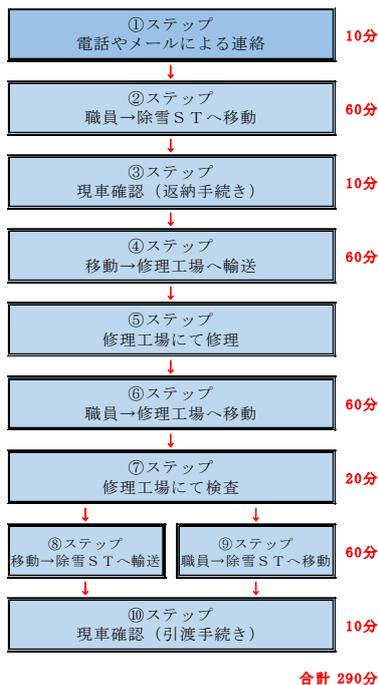


図2 機械故障時の対応フロー図

2.2 対策

札幌道路事務所では、業務効率化の試みとして機械故障時の確認作業（第2,9ステップ）を外部委託する「整備確認業務」（以下、確認委託業務）を実施しているが、更なる時間ロスを解消する試みとして、スマートデバイスを用いてその有効性の検討を行うこととした。

これにより、確認委託業務で約120分短縮し、スマートデバイスで、更に（第6ステップ）60分短縮となり、通常対応する場合に比べて約180分減の約2時間で円滑に対応できた（図3）。

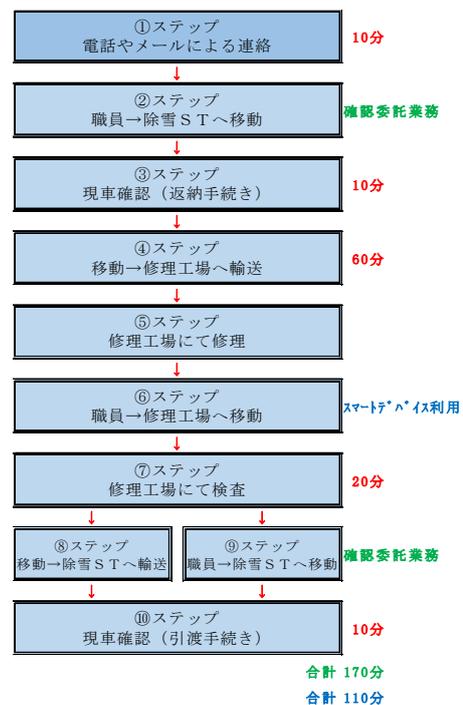


図3 対策後のフロー図

3. スマートデバイス試行における問題点と対策

3.1 問題点

確認委託業務において、スマートデバイスを使った検査の遠隔確認の試行として、タブレット端末を使用し、機械側にいる除雪工事受注者及び修繕単価契約受注者と遠隔地にいる監督職員及び検査職員の双方が中間検査や完成検査時においてスマートデバイス画面で確認行為を行うことを試行することとして、以下を特記仕様書に明記していた。

- ・タブレット端末Wi-Fiモデル 9～11インチ 2台
- ・タブレット端末Wi-Fiモデル 7～8インチ 1台
- ・Wi-Fiルータ 携帯型 3台

しかし、通信速度の条件明示が不足であったため、リアルタイムでの双方間の動画受信に障害が発生した。表2はモバイルルータの各通信会社毎の仕様（リース契約）を比較したものである。

試行当初は、表2の緑破線枠内の機器にて通信試験を実施し、ソーシャル・ネットワーキング・サービス（SNS）、動画、片方向動画などの各種アプリケーション（以下、アプリ）を使用した。画像が途切れ途切れになったり、画像の解像度が悪く、細かな故障状態を確認できなかったり、音声と画像に時差が生じるなど良い結果にならなかった。

また、試行で使用スマートデバイスは、一般のインターネット回線を使用するため、セキュリティーポリシー上、業務で使用行政端末と直接ファイルやメールやりとりを行うことができないことから、写真などのファイルの授受について工夫する必要があった。

3.2 対策

そこで、確認委託業務受注者と協議を実施し、送り側（上り：受注者側のみ）の回線速度の速いモバイルルータを表2で示した赤破線枠内の機器37Mbps（←15.4Mbps）に変更した。その結果、画像の鮮明度や動画速度、音声など良好な状態で確認及び通話などが可能となり、監督及び検査職員が執務室にてモバイル検査をすることができた（写真1）。

また、確認委託業務からの写真提出も初期の段階ではスマートデバイス上でのみ確認を実施し、業務終了時には北海道開発局の電子納品要領に基づき、CDなどの媒体にコピーしたものを提出してもらうことで、セキュリティポリシー上の課題も解決した。

表2 モバイルルータの仕様一覧（リース契約）

通信会社	機種	通信速度 (最大/Mbps)		通信制限	キャリア	備考 (使用料) 円/月
		下り	上り			
D社	H〇〇型	225	50	7GB	D社	7,100
A社	W〇〇型	220	10	7GB	A社	5,885
Y社	3〇〇型	112	37	7GB	S社	3,696
B社	W〇〇型	100	50	7GB	D社	3,218
W社	U〇〇型	40	15.4	無制限	A社	3,209

緑：当初契約 赤：変更契約

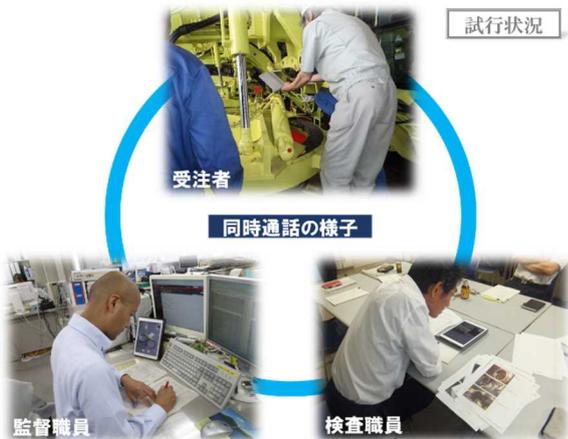


写真1 スマートデバイス試行時のモバイル検査の様子

4. 通常の定期整備業務での活用

次に、通常の定期整備業務における立会・確認などの省力化・効率化も検討を行った。前述のとおり、機械を配置している除雪STは札幌道路事務所から距離的にも移動時間的にも遠隔地にある。このことは通常時の整備業務においても大きな問題点の一つである。また、機械故障時にスマートデバイスを使いこなせなければ、いざという時に操作ミスなどの支障をきたす恐れもある。そのため、当該確認委託業務で、(4-1)定期整備前、完了時の立会・確認業務の省力化・効率化、(4-2)管理・保管文書の携帯化、(4-3)インターネット回線を利用した情報収集や利活用状況について報告する。

4.1 定期整備前、完了時の立会・確認業務の省力化・効率化

(a) 立会状況時の問題点

機械の定期整備は、個々の機械状態が異なるため、機械定期整備中の分解時の中間検査や機械整備終了後の完成検査の確認をその都度職員が行う必要がある。通常では整備工場に向かい確認を行うところであるが、工場までも片道1時間以上かかる箇所もあるため、移動時間のロスが大きく、他業務にも影響がでることが懸念された。

機械の定期整備業務においては、規定により、整備開始直後の中間検査時に道路事務所の監督職員、整備完了時に道路事務所の検査職員、更に本部施設整備課の職員による工場における臨場での検査が必要であるため、それぞれの職員が工場まで移動する必要があった。

(b) 対策

工場での機械の状況報告を、クラウドストレージサービスを利用して、迅速に対応できるようにした。スマートデバイスで直接写真や動画などを撮影し、機械の個々の管理記録を図4のように、インターネット経由でクラウド上に大量のデータを保存し、指定した端末間でのみ共有した。これにより、執務室（本部施設整備課及び道路事務所）・整備工場間でリアルタイムに状況確認できるようになり、モバイルでの立会が可能となった。

また、写真2は、クラウドストレージサービス内で保存、共有された写真データをスマートデバイス上で表示したものである。



図4 データ共有の概要図

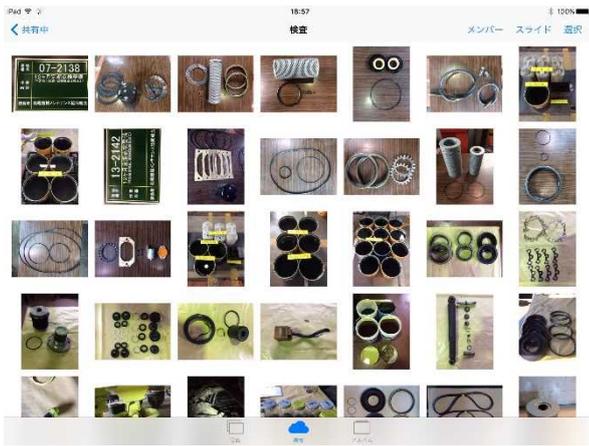


写真2 写真データ共有の概要図

(c) 効果の検証

a) 道路事務所監督職員の使用状況

整備工場でのリアルタイムな状況確認ができ(写真3)、現地で実際に実施する場合と同等程度の状況で確認することができた。また、整備工場は屋内で、かつ機械の装置内部は暗い箇所があり、スマートデバイスで使用した端末にはフラッシュ機能がついていなかったことから、撮影の補助としてライトの必要性があった。



写真3 中間時のモバイル検査時状況

b) 確認委託業務受注者の使用状況

今回スマートデバイスを初めて使用したことから、アプリ操作方法から苦戦した(今回は、ビデオ通話アプリを使用)。写真・映像を送る場合、受注者が撮影している画像のワイプ画面が小さく、受注者が表示内容を確認することが困難だった。また、今回使用した受注者の端末は、8インチであったため機械の狭い箇所での撮影では、邪魔になることが判明し、ひとまわり小さい端末の方がより利便性が良いことが分かった(写真4)。



完成検査状況写真

写真4 受注者による撮影状況

c) 道路事務所検査職員の使用状況

スマートデバイスを用いた検査は、ごくたまに通信状況が悪く、画像・音声途切れることがあったが、機械の動作確認及び修理箇所の確認も十分可能と判断でき、整備工場での臨場検査する場合と同様だった。特に整備工場までの往復移動時間を効率化することができた。今後においてもモバイル検査の継続希望があった(写真5)。



完成検査状況写真

写真5 完成時のモバイル検査状況(道路事務所にて)

d) 本部施設整備課検査職員の使用状況

試行当初は、回線接続状況が度々不安定(動作確認時に画像が途切れる。等)であったが、上りの通信速度(ルータ)を変更したことにより、回線が安定し改善された。遠隔検査においては、当初心配していた回転灯のフラッシュや塗装面も確認可能であった。定期整備での検査において有効な手段であり、また、突発的な修繕が起きた場合でも、整備工場及び事務所で状況確認にも有効なツールであると感じた(写真6)。



完成検査状況写真

写真6 本部職員による完成時の検査状況(施設整備課にて)

4.2 管理・保管文書の携帯化

従来までは仕様書や設計図書等は紙ファイルにして持ち歩き、共通仕様書や各種基準などは道路事務所で確認するところであるが、今回はスマートデバイスと「クラウドストレージサービス、PDF 閲覧ソフト等」を使用することで、北海道開発局ホームページに公開されているものと機密性1情報の文書のみを電子化して、時間や場所を選ばず確認できるようにした。格納した書類、文書は以下のとおりである。

- a) 自動車修繕単価契約書類（機密性1情報のみ）
- b) 発注業務資料（機密性1情報のみ）
- c) 機械工事仕様書
- d) 機械工事塗装要領(案)・同解説
- e) 監督実務要覧
- f) 道路・河川工事仕様書
- g) 道路管理施設等点検整備標準要領(案)
- h) 参考文献等

以上すべてを紙で換算すると、数千頁以上の枚数が図5のようにスマートデバイス内に整理して格納され、容易に閲覧できるため、業務のスピードアップが図れるとともに、紙資源の使用を大幅に減らすことができた。



図5 格納した書類一覧画面

また、その他にも必要に応じて機械関連に関する説明資料等をスマートデバイスに格納することで、外部機関の現場視察や勉強会・説明会でのプレゼンをスマートデバイスを用いて実施できた(写真7)。



写真7 除雪工事受注者向け勉強会での使用

4.3 インターネット回線を利用した情報収集や利活用

これは、普及が拡大しているスマートフォンでも可能なことであるが、図6のように使用するスマートデバイスの画面上にショートカットを作成し、すぐに必要情報が取得できるようにして、天候や道路状況の変化に迅速に対応できるようにした。



図6 ショートカット表示した画面

また、道路事務所で活用している情報共有システム（以下、ASP）についても、使用するスマートデバイスの画面上にショートカットを作成し(図7)、現場でのちょっとした空き時間等に閲覧ができるようにすることで、業務の効率化に繋がった。情報の取得などについてはスマートフォンでも対応できるが、ASP等の利用については大画面の方が適しているのではないかと考える。



図7 スマートデバイス表示画面

5. スマートデバイス使用における課題

スマートデバイス使用における課題は、以下のとおりである。

- (a) 確認委託業務内のみでのデータのやりとりや閲覧については問題ないが、道路事務所使用の行政端末とクラウドストレージサービスとの直接のデータ閲覧、コピーがセキュリティポリシー上の問題があり、行政端末との円滑なデータのやりとりができなかった。
- (b) スマートデバイスの取扱いや使用ソフトの選択に試行錯誤を繰り返したため、本業務の試行を円滑に使用できるようにするためには、事前に一定の準備期間や操作慣れが必要である。

- (c) スマートデバイスを活用してモバイル検査を実施するためには、通信環境が整っていることが前提となるため、現場によっては使用できない環境も未だ多くある。

6. まとめ

今回の試行で認識したことは、スマートデバイスを利用する事により、広域分散している整備工場や除雪ST、除雪工事の現場等、現地までの移動が必要な業務では、移動時間ロスを軽減することで、機械整備の効率化を図ることが出来る非常に有効な手段であり、移動に伴うCo2排出削減など環境対策としても寄与することができる。今後は通信環境の整備やスマートデバイスのさらなる普及が見込まれるため、その他の業務にも利活用することも可能であると考えられる。今後ともスマートデバイス利用における課題を認識しつつ、ICTを活用した「機械関係業務の省力化・効率化」に関する時間・距離の課題克服に努めて参りたい。

謝辞：本論文を作成するにあたり、当該確認委託業務受注者の環境開発工業(株)には、当該業務並びに貴重なアドバイス等をいただいたこと、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) スマートデバイスを活用した維持・除雪機械整備効率化の有効性について（平成27年度 北海道開発局技術研究発表会）