

冬期道路の安全性・効率性向上に関する研究

浅野 基樹¹⁾ 加治屋 安彦²⁾ 小笠原 章³⁾ 葛西 聡⁴⁾ 高橋 尚人⁵⁾
平澤 匡介⁶⁾ 宗広 一徳⁶⁾ 徳永 ロベルト⁶⁾ 切石 亮⁷⁾ 高田 哲哉⁷⁾
武本 東⁸⁾ 舟橋 誠⁸⁾ 秋元 清寿⁸⁾ 小寺 紳一⁸⁾ 佐藤 圭洋⁸⁾
大日向 昭彦⁸⁾ 松澤 勝⁹⁾ 中村 浩¹⁰⁾ 金子 学¹¹⁾ 伊東 靖彦¹²⁾
川中 敏朗¹³⁾ 上田 真代¹⁴⁾ 松下 拓樹¹⁴⁾ 武知 洋太¹⁴⁾ 渡邊 崇史¹⁴⁾
松島 哲郎¹⁵⁾ 松山 雄馬¹⁵⁾ 緒方 聡¹⁵⁾ 山田 毅¹⁵⁾ 柳沢 雄二¹⁶⁾
牧野 正敏¹⁷⁾ 国島 英樹¹⁸⁾ 小宮山 一重¹⁹⁾ 石川 真大²⁰⁾ 大上 哲也²¹⁾
岸 寛人²¹⁾ 中村 隆一²¹⁾ 五十嵐 匡²²⁾ 山崎 貴志²³⁾ 佐々木 憲弘²⁴⁾
小出 涼平²⁴⁾ 宮本 修司²⁵⁾ 戸川 卓治²⁵⁾ 三田村 宏二²⁵⁾ 田所 剛²⁵⁾
菅原 彰人²⁵⁾ 坂口 勝利²⁵⁾ 光野 明宏²⁶⁾ 大山 健太郎²⁶⁾ 吾田 洋一²⁶⁾
木村 崇²⁶⁾ 佐藤 大輔²⁷⁾ 小岩 祐太²⁷⁾ 岩崎 徹²⁷⁾ 上野 仁士²⁷⁾
神 賢治²⁷⁾ 佐藤 武志²⁷⁾ 尾崎 佑介²⁷⁾ 蛭名 健二²⁸⁾ 幸田 勝²⁸⁾
斎藤 勉²⁸⁾ 真下 一人²⁸⁾ 西山 章彦²⁸⁾ 佐々木 智章²⁸⁾

Research on Winter Road Safety and Efficient Use

ASANO Motoki, KAJIYA Yasuhiko, OGASAWARA Akira, KASAI Satoshi,
TAKAHASHI Naoto, HIRASAWA Masayuki, MUNEHIRO Kazunori, TOKUNAGA Roberto,
KIRIISHI Makoto, TAKADA Tetsuya, TAKEMOTO Azuma, FUNAHASHI Makoto,
AKIMOTO Seiju, KOTERA Shinichi, SATOU Takahiro, OBINATA Akihiko,
MATSUZAWA Masaru, NAKAMURA Hiroshi, KANEKO Manabu, ITO Yasuhiko,
KAWANAKA Toshiro, UEDA Masayo, MATSUSHITA Hiroki, TAKECHI Hirotaka,
WATANABE Takashi, MATSUSHIMA Tetsuro, MATSUYAMA Yuma, OGATA Satoshi,
YAMADA Takeshi, YANAGISAWA Yuji, MAKINO Masatoshi, KUNISHIMA Hideki,
KOMIYAMA Kazushige, ISHIKAWA Masahiro, OGAMI Tetsuya, KISHI Norihito,
NAKAMURA Ryuichi, IGARASHI Tadashi, YAMAZAKI Takashi, SASAKI Norihiro,
KOIDE Ryohei, MIYAMOTO Syuji, TOGAWA Takuji, MITAMURA Koji,
TADOKORO Takeshi, SUGAWARA Akihito, SAKAGUCHI Katsutoshi,
KONO Akihiro, OYAMA Kentaro, AZUTA Yoichi, KIMURA Takashi,
SATO Daisuke, KOIWA Yuta, IWASAKI Toru, UENO Hitoshi, JIN Kenji,
SATO Takeshi, OZAKI Yusuke, EBINA Kenji, KODA Masaru, SAITO Tsutomu,
MASHITA Kazuhito, NISHIYAMA Akihiko, SASAKI Tomoaki

要旨

積雪寒冷地では、積雪による道路幅員の縮小や路面の凍結、吹雪による著しい視程障害の発生により冬期特有の渋滞・事故・通行止めなどが発生している。特にスパイクタイヤの使用規制以降、「つるつる路面」と呼ばれる非常に滑りやすい路面が発生し、渋滞、事故が多発している。また、吹雪による通行止めは、北海道の国道の通行止めの4割を占めるなど、除雪、冬期路面対策及び吹雪対策等は

重要な課題となっている。そのため、本研究では、連続的なすべり抵抗の測定による冬期路面管理技術、地域特性に合致した交通事故対策、吹雪対策施設の定量的評価や吹雪対策マニュアルの改訂、吹雪視程障害対策技術、凍結防止剤散布量の削減のための技術及び除雪機械の効率的運用による雪氷処理の迅速化技術の開発を行った。

キーワード：冬期路面管理、吹雪視程障害、交通事故対策、除雪、凍結防止剤

Synopsis

In cold and snowy region, they have traffic congestions, traffic accidents and road closures in winter caused by plowed and compiling snow inducing reduced effective road width, road surface freezing and severe poor visibility in snow storm. Particularly, since the regulation of studded tire, very slippery road surface has occurred. That causes the much more traffic congestion and accidents since then. On the other hand, the road closure by snow storm is almost forty percent among the whole road closures of the general national highway road closures in the Hokkaido island.

In this study, these researches and developments have been conducted such as the winter road surface maintenance technology by the continuous friction measurement, the traffic accident countermeasures applying the regional road circumstances, the quantitative evaluation of snow storm countermeasures, the revision of the snow storm countermeasures manual, the low visibility countermeasures caused by snow, the technology for reduction of anti-icing agents and the technology for prompt snow removal by efficient operation of snow removal machines.

Keywords: winter road maintenance, snow storm, poor visibility, traffic accident, snow removal, anti-icing agent

- 1) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ長
- 2) 元独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ長
- 3) 元独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ長
- 4) 元独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 寒地交通チーム 上席研究員
- 5) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 寒地交通チーム 総括主任研究員
- 6) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 寒地交通チーム 主任研究員
- 7) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 寒地交通チーム 研究員
- 8) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 寒地交通チーム 研究員
- 9) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム 上席研究員
- 10) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム 総括主任研究員
- 11) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム 主任研究員
- 12) 元独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム 主任研究員
- 13) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム 研究員
- 14) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム 研究員
- 15) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム 研究員
- 16) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地機械技術チーム 上席研究員
- 17) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地機械技術チーム 主任研究員
- 18) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地機械技術チーム 主任研究員
- 19) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地機械技術チーム 研究員
- 20) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地機械技術チーム 研究員

- 2 1) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地機械技術チーム 研究員
- 2 2) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地機械技術チーム 研究員
- 2 3) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地機械技術チーム 研究員
- 2 4) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地機械技術チーム 研究員
- 2 5) 元独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地技術推進室 道央支所 研究員
- 2 6) 元独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地技術推進室 道南支所 研究員
- 2 7) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地技術推進室 道北支所 研究員
- 2 8) 前独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地技術推進室 道東支所 研究員

冬期道路の安全性・効率性向上に関する研究

目 次

1. 序論	1
1. 1 研究の背景と目的	1
1. 2 研究の達成目標	1
1. 3 本論文の構成	1
2. 冬期道路管理に関する研究	2
2. 1 概説	2
2. 2 路面凍結予測手法の開発	2
2. 3 定量的冬期路面評価による管理手法の開発	3
2. 4 冬期道路の性能評価	7
2. 5 まとめ	7
3. 寒地交通事故対策に関する研究	9
3. 1 概説	9
3. 2 交通事故分析システムの改良検討と交通事故分析	9
3. 3 地域・道路構造特性を踏まえた交通事故対策の開発	10
3. 4 まとめ	14
4. 防雪対策施設の性能評価に関する研究	15
4. 1 概説	15
4. 2 視程障害対策・吹きだまり対策の定量的評価法の提案	15
4. 3 防雪性能を向上した吹雪対策手法の開発	18
4. 4 防雪林の育成管理手法の提案	19
4. 5 道路吹雪対策マニュアルの改訂に関する検討	20
4. 6 まとめ	21
5. 吹雪視程障害に関する研究	22
5. 1 概説	22
5. 2 道路交通における吹雪視程計測手法の提案	22
5. 3 吹雪視程障害度の指標の提案	26
5. 4 視程障害時の効果的な安全支援方策の開発	28
5. 5 冬期道路の走行環境情報提供システムの開発	32
5. 6 まとめ	35
6. 凍結防止剤散布量の低減に関する研究	37
6. 1 概説	37

6. 2	凍結防止剤散布による環境負荷と予防手法の検討	37
6. 3	環境負荷の小さい散布剤等の散布手法	38
6. 4	薄氷処理技術の開発	39
6. 5	まとめ	40
7.	雪氷処理の迅速化に関する技術開発	41
7. 1	概説	41
7. 2	基幹システムの概要	41
7. 3	除雪機械マネジメントシステムの基本構想	41
7. 4	除雪機械マネジメントシステムの開発	42
7. 5	システム利用状況及び改善要望調査	44
7. 6	携帯電話用WEBサイトの提供	45
7. 7	システムアクセス状況調査	45
7. 8	除雪作業履歴の分析による作業効率の評価	46
7. 9	冬期道路積雪状況計測技術の開発	47
7. 10	まとめ	48
8.	結論	49
8. 1	研究の成果	49
8. 2	成果の事業・社会への貢献	52

1. 序論

1.1 研究の背景と目的

積雪寒冷地では、積雪による道路幅員の縮小や、路面の凍結、吹雪による著しい視程障害の発生により冬期特有の渋滞・事故・通行止めなどが発生している。特に、スパイクタイヤの使用規制以降、「つるつる路面」と呼ばれる非常に滑りやすい路面が発生し、渋滞、事故が多発している。また吹雪による通行止めは、北海道の国道の通行止めの4割を占めている。これらの地域では、日常生活や社会経済活動における自動車交通への依存はきわめて高く、路面凍結対策、吹雪対策は重要な課題となっている。

本研究では、このような背景を受けて、土木研究所の重点プロジェクト研究として実施したものである。

1.2 研究の達成目標

本研究では、冬期の安全・快適な道路交通を確保するための効率的・効果的な道路管理に資する技術開発を行うための研究に取り組む。また、防雪対策施設の定量的評価手法を開発するとともに、性能規定の考え方を取り入れた道路吹雪対策マニュアルの改訂に取り組むことで、効率的な防雪施設の計画・整備を可能とし、冬期道路の安全性・効率性向上に資するため、以下の達成目標を設定した。

- ① 効率的・効果的な冬期道路管理手法を可能とするための技術開発
- ② 科学的な事故分析に基づく地域特性に合致した交通事故対策の策定のための技術開発
- ③ 吹雪対策施設の定量的評価と性能向上および「吹雪対策マニュアル」改訂に向けた技術開発
- ④ 道路交通上の視程計測手法と吹雪視程障害度の指標化および安全支援方策の開発に向けた技術開発
- ⑤ 凍結防止剤散布量等の低減等に資する技術開発
- ⑥ 雪氷処理の迅速化に関する技術開発

上記の目標を達成するために、以下に示す研究課題を設定し、実施した。

- (1) 冬期道路管理に関する研究（平成 18～22 年度）
- (2) 寒地交通事故対策に関する研究（平成 18～22 年度）

- (3) 防雪対策施設の性能評価に関する研究（平成 18～22 年度）
- (4) 吹雪視程障害に関する研究（平成 18～22 年度）
- (5) 凍結防止剤散布量の低減に関する研究（平成 20～22 年度）
- (6) 雪氷処理の迅速化に関する技術開発（平成 20～22 年度）

1.3 本論文の構成

本論文の構成を要約すれば、以下のようになる。

第 1 章「序論」では、本研究の背景と目的、研究の範囲と全体構成を述べる。

以下、第 2 章から第 7 章まで、本研究を構成する研究課題で実施した研究概要とその成果を取りまとめる。

第 8 章「結論」では、本研究で得られた達成目標ごとの成果を総括した。

2. 冬期道路管理に関する研究

2.1 概説

積雪寒冷地では、積雪による道路幅員の縮小や、路面の凍結が発生する。特に、スパイクタイヤの使用規制以降は「つつる路面」と呼ばれる非常に滑りやすい路面が出現し、渋滞、事故等の要因となっている¹⁾。

本研究では、冬期における安全・円滑な道路交通の確保に向けて、効率的・効果的な冬期道路管理を可能とするために、熱収支法等を用いた路面凍結予測手法の開発、定量的冬期路面評価による管理手法の開発及び冬期道路の性能評価による管理手法の開発に取り組んだ。

2.2 路面凍結予測手法の開発

2.2.1 路面凍結予測手法の概要

冬期路面状態を決定する要因には、路面温度と路面上の水分（量と状態）が挙げられる。この路面温度と路面上の水分は、気温や降雪など気象条件の影響に加えて、走行車両や道路構造等の外的条件の影響を受ける。そのため、冬期路面状態の決定にあたっては、気象条件のみならず、走行車両や道路構造等の影響を考慮することが重要となる。

本研究では、一般的な熱収支法を用いて路面に出入りする熱の収支から路面温度を求める際、気象条件から構成される熱収支モデルに対して、沿道構造物と走行車両の影響を考慮する改良を加えた。すなわち、車両の影響（車体による日射等の遮蔽と長波放射）と沿道構造物の影響（沿道構造物による日射等の遮蔽と長波放射）を考慮することにより、固定観測地点における新たな路面温度推定モデルを開発した（図-2.1）²⁾。

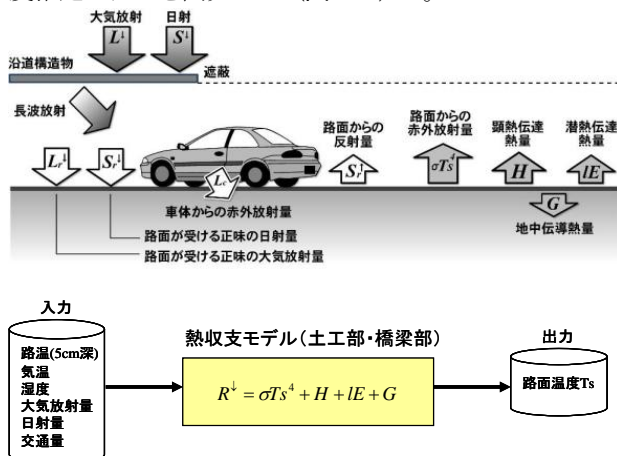


図-2.1 路面温度推定モデルの概念図

さらに、路面温度推定モデルに路面上の水の収支（降雨、降雪、蒸発、昇華、融解、凍結等に伴う路面上の水の出入り）を組み込むことで路面上の水・雪・氷の貯留量を求め、路面状態を推定するモデル（路面状態推定モデル）を開発した（図-2.2）。

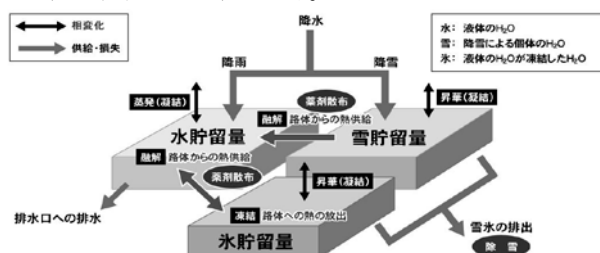


図-2.2 路面状態推定モデルの概念図

路面温度推定モデルによる推定結果として、路面温度の推定精度は、全日で1.6°C向上し、誤差（RMSE）は全日で1.9°C、昼間で2.4°C、そして夜間で1.3°Cとなった（図-2.3）。特に、凍結防止剤散布が多く行われる夜間の路面温度推定精度が向上したことは有意義であり、冬期道路管理の意思決定支援に大きく寄与すると考えられる。

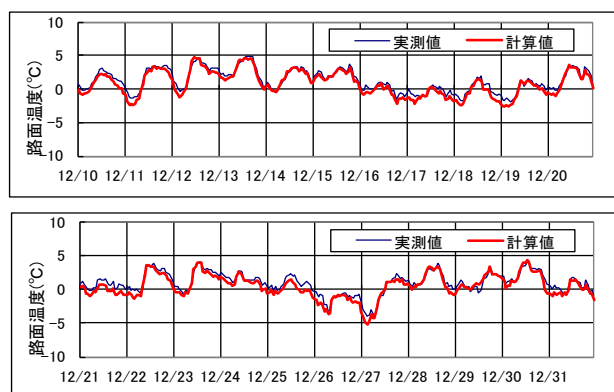
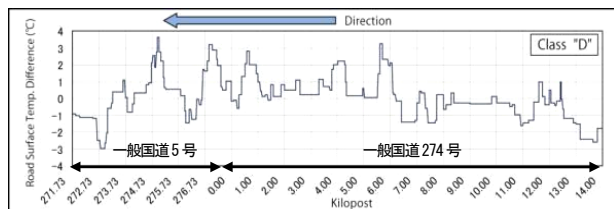


図-2.3 固定観測点における路面温度計算結果例

また、本推定式は、固定観測点としての予測手法であるため、路線（延長方向）としての路面凍結予測に応用する必要がある。そのため、大気安定度（パスکیل安定度）（表-2.1）を用いて固定観測点と任意点の路面温度差分布図（図-2.4）を作成することにより、路線の路面温度分布を推定する手法を開発した（特許第4742388号：固定観測点及び路線における路面状態推定システム）。

表-2.1 大気安定度 (パスキル安定度)

地上風速 (m/s)	日中(日射量)			日中・夜間		夜間
	強	並	弱	雲量(8~10)	上層雲 (5~10) 中・下層 雲量(5~7)	雲量(0~4)
<2	A	A-B	B	D	G	G
2~3	A-B	B	C	D	E	F
3~4	B	B-C	C	D	D	E
4~6	C	C-D	D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D	D

図-2.4 一般国道5号・274号の路面温度差分布図
(パスキル安定度D)

2.2.2 冬期路面管理意思決定支援システムの開発と運用

図-2.5に示すように、冬期路面管理の意思決定には二つの段階が挙げられる。一つは、気象条件及び路面状態の変化を予測し、路面が凍結する前に路面管理の作業内容や薬剤散布の必要性を的確に判断することである。次に、道路パトロール等により路面状態の変化を把握し、各種対策の必要性について判断することである。しかし、実際には冬期道路管理の基本となる路面状態の予測・評価は主観や経験に基づいて行われているのが現状である。例えば、路面管理作業の実施判断を行う際の路面凍結の予測は気象情報等を参考に意思決定責任者の経験値で行われている。また、路面状態の評価は目視によって路面上の雪氷の状況を判別して路面を分類する方法が主体であり、評価の客観性・信頼性には疑問がある。以上のことから、当研究所では上記の二つの段階における意思決定を支援するツールとして、冬期の気象予測情報、路面凍結予測情報及び冬期路面すべり抵抗モニタリング情報を含む冬期路面管理意思決定支援システムを構築した。具体的には、前述の路面凍結予測手法とともに、後述の定量的冬期路面評価手法を活用した路面凍結予測及びすべり抵抗値情報を気象予測情報と合せて発信するために、WebGISを活用した冬期路面管理意思決定支援システムを開発・運用した(図-2.6)。なお、予測に必要なデータ収集にあたって、北海道開発局の設置する道路テレメータを利用することにより、当該システムの適用範囲を拡大し、北海道全域を対象に情報提供を行うことができた。

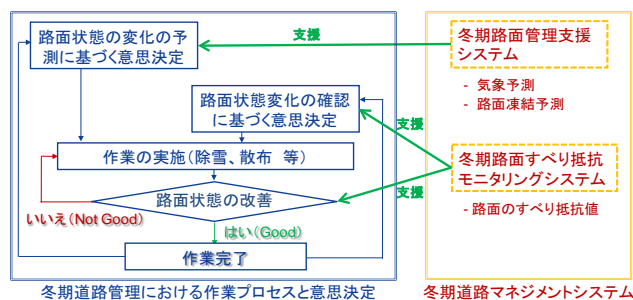


図-2.5 冬期道路管理における意思決定支援システムの役割

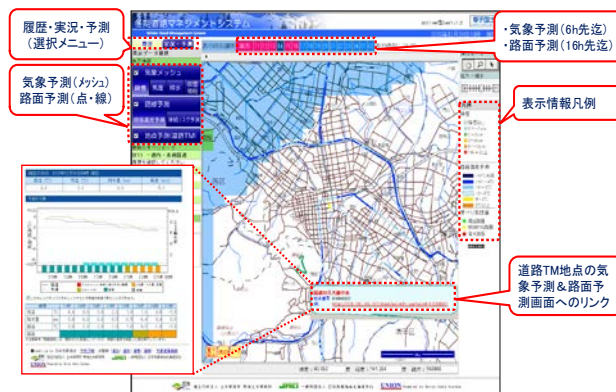


図-2.6 情報提供システムの表示画面

2.3 定量的冬期路面評価による管理手法の開発

2.3.1 定量的路面評価手法の確立

これまでの我が国における冬期路面管理は、目視による路面状態の判断を基本としてきた³⁾。しかし、目視による路面状態の判断は、判定者の個人差に加えて、特定の路面状態においては正確な判別が難しい等客観性・的確性に問題が残る⁴⁾。

そのため、本研究では目視による路面評価と機器による路面すべり計測を同時に試験し、相互の関連性を把握・評価した。その結果、目視による路面状態の評価は、雪氷路面であるか否かを「概ね」判別することには有効であるが、実際の路面のすべりやすさと必ずしも合致しないことが明らかになった⁵⁾。これは例えば、すべり摩擦係数の高い路面を凍結路面と誤判断する場合に不要な“凍結路面”対策を行う可能性、又は、すべり摩擦係数の低い路面を乾燥または湿潤と誤判断をする場合にすべりやすい状態を放置する可能性があることを意味する。

冬期路面のすべりやすさは、冬期道路の交通特性、安全性に影響する重要なファクターである。既に北欧等では路面のすべりやすさ(摩擦係数)を冬期道路管理の指標として採用している例があるが⁶⁾、冬期路面状態の定量的な評価に関する既往研究のレビューを行ったところ、

測定の連続性と汎用性に課題があることが明らかになった⁷⁾。そのため、本研究では、我が国において冬期路面状態を定量的・客観的に計測評価するために必要な連続的なすべり計測技術に関する検討を行った。具体的には、連続路面すべり抵抗値測定装置（Continuous Friction Tester: CFT）（写真-2.1）を導入し、路面のすべり抵抗モニタリング手法を開発した。CFTは、フレームに保持された、回転可能な測定輪を牽引する構造となっている。測定輪には、車両進行方向に対して1～2度の角度が与えられ、タイヤが回転する際に発生する横力から路面のすべり抵抗値を測定する（図-2.7）。当該装置は、測定輪に制動をかける必要がなく、走行しながら一般の交通の支障とならずに路面のすべり抵抗値を連続して測定することができる。測定に特別な操作（機器操作、制動及び走行速度維持等）を必要としないという利点もあり、現在、アメリカの一部の州とスウェーデンでも試験的な導入と活用方法の検討がなされている。



写真-2.1 連続路面すべり抵抗値測定装置

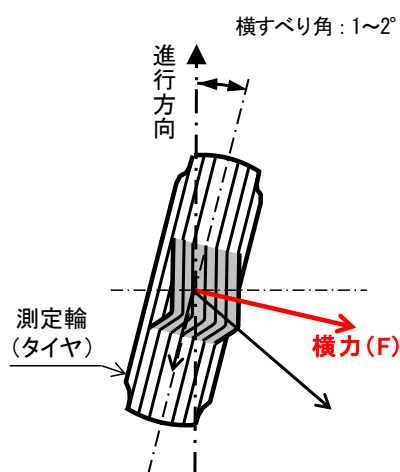


図-2.7 測定概念図

本研究ではCFTを用いて、すべり抵抗値（Halliday Friction Number: HFN）を活用した冬期路面管理手法の

高度化に関する研究を行った。具体的には、これまで国内の道路分野における路面状態評価の標準機であった路面すべり測定車（Locked Wheel Friction Tester: LWFT）とCFTとの比較試験⁸⁾や、実道での計測試験を行うことにより、当該装置の冬期道路管理への適用性を確認した。なお、比較実験による結果である図-2.8の縦軸は、路面すべり測定車で計測されたすべり摩擦係数（ μ ） $\times 100$ の値をフリクションナンバー（FN）と定義し、横軸にはCFTで計測されたHFNを示す。この結果から、両測定装置は共に圧雪路面と氷板路面の値が重なる計測結果となるデータもあったが、概ね路面状態毎に分かれた結果となった。また、近似式による決定係数（ R^2 ）は0.87となり、LWFT及びCFT間に概ね良好な相関関係が認められる。

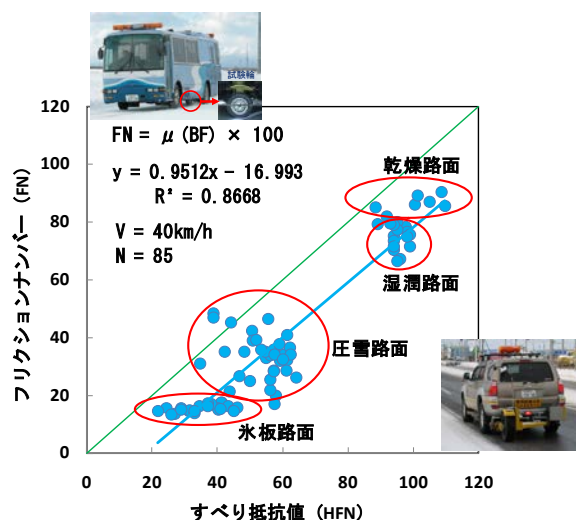


図-2.8 路面すべり測定車とCFTの比較

2.3.2 路面すべり抵抗モニタリング

CFTによる冬期路面状態の定量的評価が、実道における冬期路面管理に対して活用可能かを検討するため、札幌圏内の一般国道を中心に冬期路面すべり抵抗モニタリング試験を実施した（H19年度から22年度の毎冬12月～2月）。また、CFTの冬期道路管理への適用性・意思決定の迅速性を高めるため、HFNデータを測定位置、路温、速度等とともに記録し、道路区間とリンク付けして表示・蓄積・分析することができ、さらに、これら計測データをリアルタイムで転送可能とするシステムとして、「冬期路面すべり抵抗モニタリングシステム（特許第4665086号・路面摩擦モニタリングシステム）」を開発した（図-2.9、図-2.10）。

当該支援ツールにより、道路管理者は目視による判定に加えて、道路巡回時や作業実施前後等の路面状態を、

客観的なデータに基づき判断・確認ができるようになった。これにより、凍結防止剤等の過剰散布防止、要対策区間の見落とし回避、作業実施の説明根拠など、幅広い活用が考えられる⁵⁾。

また、当該モニタリングシステムに蓄積したデータを基に、路線の路面の HFN の出現傾向の分析、凍結防止剤散布効果の検証、薬剤散布等の意思決定支援及び HFN と気象・交通特性の関係把握等の分析を試みた。

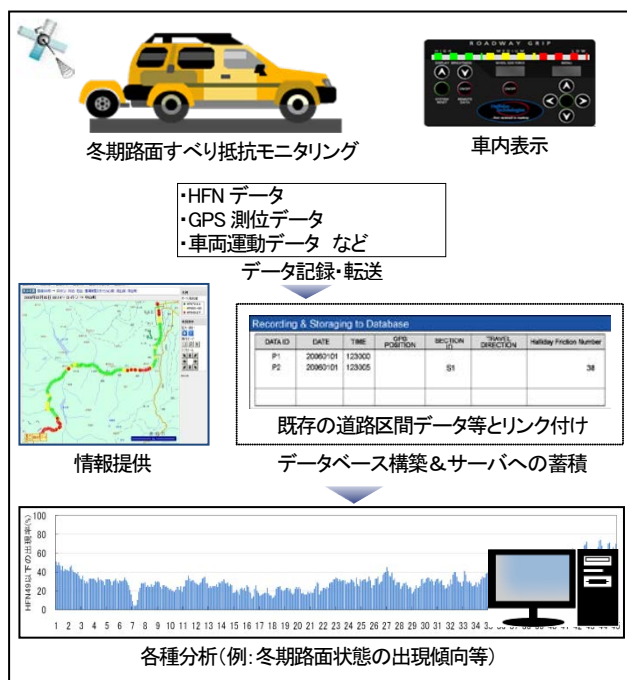


図-2.9 冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムの概要

一般国道 230 号における HFN の出現傾向 (図-2.11) については、H20 年 1 月、H22 年 1 月では山間部方向に雪氷路面と露出路面が混合した断続的な路面及び雪氷路面の出現率が高くなり、特に、KP38.0 付近のトンネル坑口から中山峠の区間において断続的な路面及び雪氷路面の出現率が最も高くなった。また、アンダーパスやトンネル坑口付近において路面状態が急変する機会が多いことが分かった⁹⁾。このような計測データの活用は、冬期路面管理の適正化に有効と考えられる。

また、降雪量による HFN 及び走行速度への影響について (図-2.12) は、都市部においては、降雪量が多くなるに従って HFN が低下し、走行速度も低下すること、また、速度のばらつきが大きくなることが分かった。これは、降雪による路面状態の悪化によって当該区間における走行速度が低下するとともに旅行時間の定時性が損なわれることを意味する。一方、郊外部の場合、降雪量が多くなるに従って HFN が都市部と同様に低下するものの、走行速度については都市部のような著しい低下及び分散は見られない。その理由として、信号交差点の数や間隔、交通量等が影響しているものと考えられる。

このように、降雪量による HFN 及び走行速度への影響を評価するにあたっては、地域や道路構造などの特徴を考慮することが重要であることが明らかになった。今後、各路線や地域における路面管理水準、対策手法、実施頻度等の策定や妥当性の検討にあたって有効と考えられる。

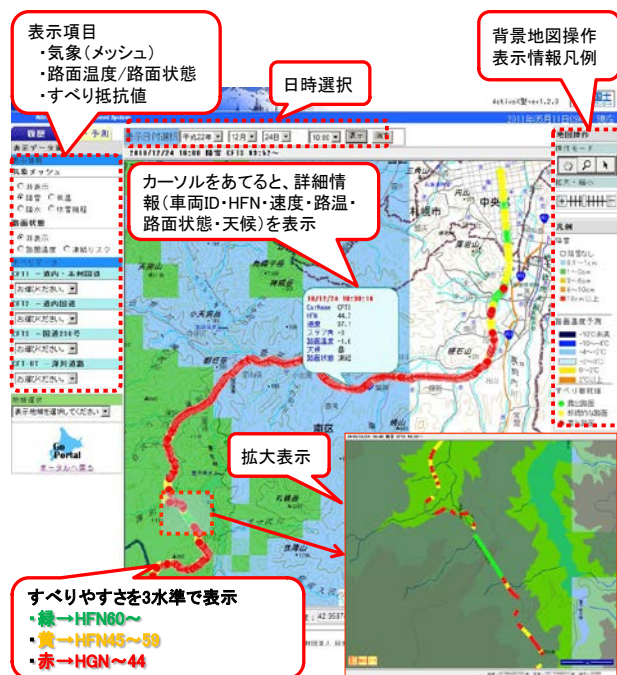
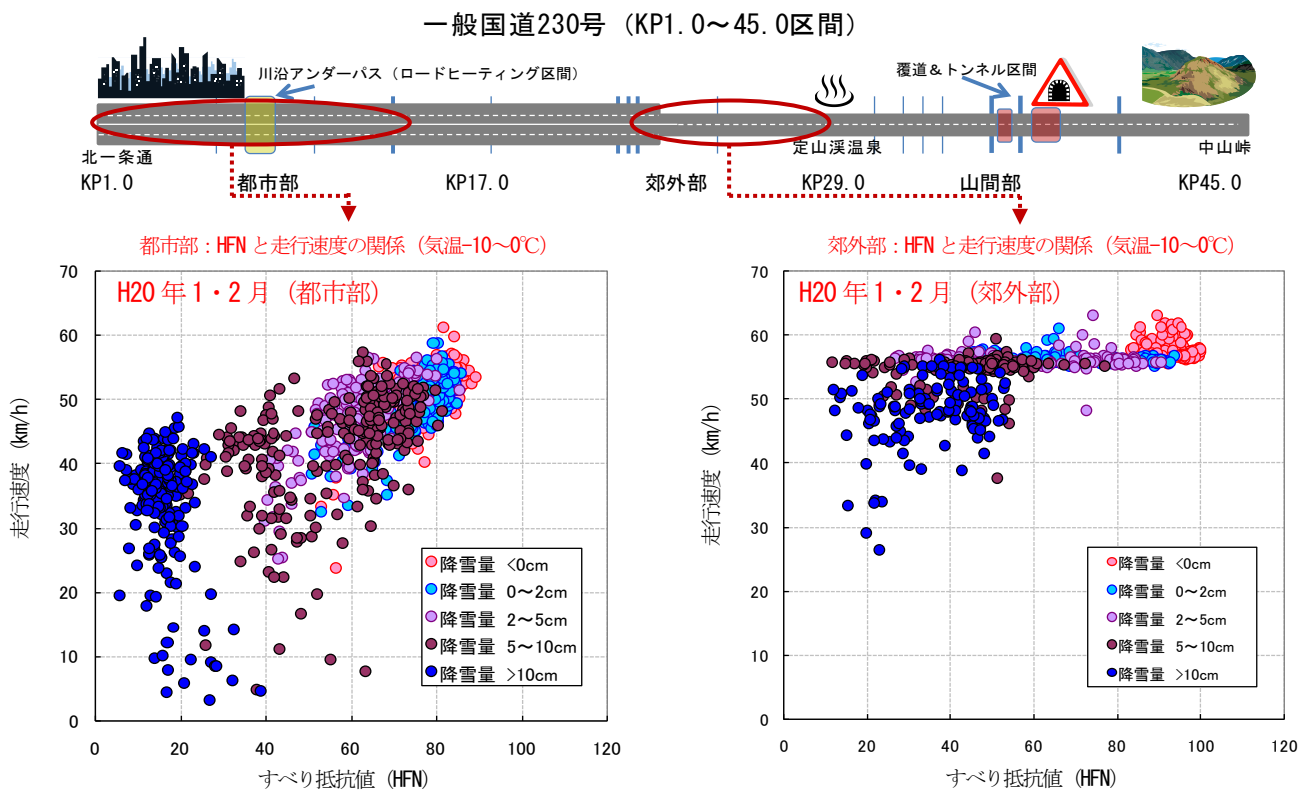
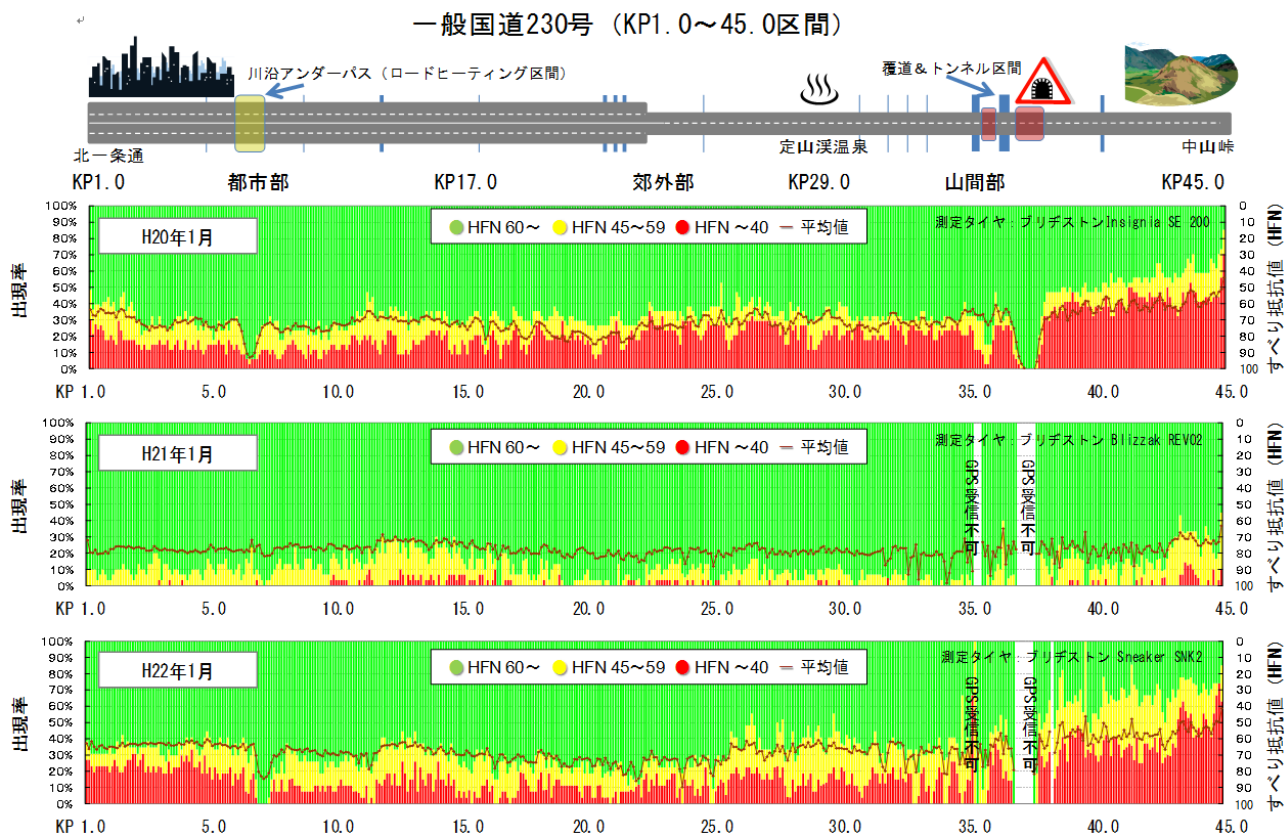


図-2.10 冬期路面すべり抵抗モニタリングサイト



2.4 冬期道路の性能評価

近年、様々な事業活動における生産管理や品質管理などの管理業務を効果的に進める手法として、PDCAサイクルによるマネジメントが提唱されている。道路行政では、数値目標を設定し(Plan)、施策・事業を実施(Do)、達成度の評価(Check)を次の行政運営に反映(Action)する「道路行政マネジメント」に取り組まれているところであり、冬期道路管理においても、本マネジメントサイクルの考え方が重要と考えられる。このため、本研究では、冬期道路の性能評価を行うことを目的に、冬期道路管理のロジックモデルを開発した¹⁰⁾(図-2.13)。

ロジックモデルは、原因と結果の連鎖関係を明らかにしながら、最初の資源投資が、最終的に受益者に対してどのような改善効果(=成果)を与えるかの道筋を表すものである。そして、評価を行う際の必要な要素を「投入(インプット)→活動(アクティビティ)→結果(アウトプット)→成果(アウトカム)」の流れ図を使って整理することにより、各要素の因果関係を視覚的に理解することを可能とした¹⁾。

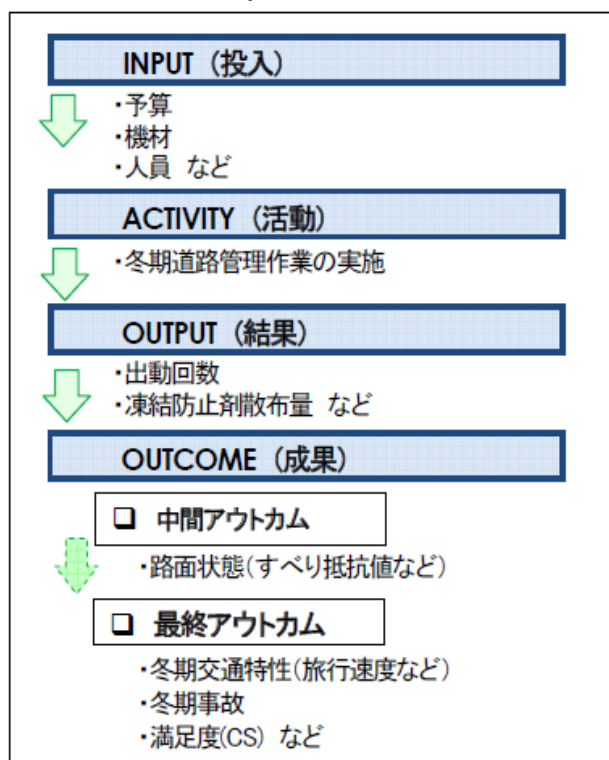


図-2.13 冬期道路管理のロジックモデル

本モデルでは、冬期道路管理における直接的な指標(路面状態の改善)であるすべり抵抗値を「中間アウトカム」とし、冬期道路管理の最終目標である交通の安全性・快適性を表す定量的な指標として冬期交通特性や冬期交通

事故、利用者満足度を「最終アウトカム」と位置付けることなどにより、冬期道路管理のインプット、アウトプット、アウトカムの一連の流れを明らかにした。また、本研究では、開発したロジックモデルを用い、道路管理に関して実際に入手・利用可能なデータに基づき、冬期道路管理の性能評価を行うための業績測定(図-2.14)を試行するなど、冬期道路管理マネジメントのモデル化の可能性について示した。

今後は、業績測定の対象路線を増やし、路面のすべり抵抗に関するデータ、道路交通特性、気象及び道路交通管理に関するデータを蓄積し、冬期道路交通に影響を与える道路構造など様々な要因の分析を進めながら、冬期道路管理のプロセス間の因果関係を明らかにしていくことが必要である。

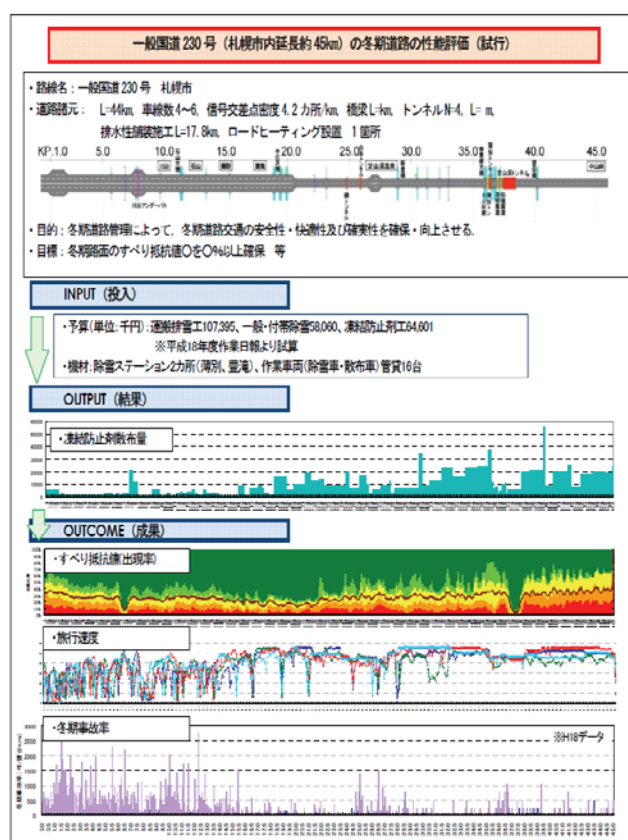


図-2.14 ロジックモデル適用例

2.5 まとめ

本研究では、冬期における安全・快適な道路交通を確保するための効率的・効果的な冬期道路管理を可能とするために、路面凍結予測手法、定量的冬期路面評価手法を開発し、これらを活用した路面凍結予測及びすべり抵抗値情報を発信する情報提供システムを開発運用する等、冬期道路管理の意思決定を支援する技術開発を行った。

また、道内外各地の実道ですべり計測を行うこと等を

通じて、路線毎のすべり抵抗値の出現特性の分析、凍結防止剤散布前後のすべり抵抗値の変化の把握、冬期路面管理（凍結路面对策）改善のためのすべり抵抗値の活用可能性を提案した。また、すべり抵抗値のモニタリング結果と道路管理に関して実際に活用可能なデータを用いて冬期道路管理の業績測定を試行するなど、冬期道路管理マネジメントのモデル化の可能性について示した。

参考文献

- 1) 浅野基樹：北海道における冬期道路管理の政策評価に関する研究、北海道開発土木研究所報告、第 125 号、2006
- 2) Naoto TAKAHASHI, Roberto TOKUNAGA, Takamitsu SATO and Nobuyoshi ISHIKAWA: Road surface temperature model accounting for the effects of surrounding environment、雪氷、第 72 巻第 6 号（2010 年 11 月）、pp. 377-390、日本雪氷学会、2010
- 3) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル（案）、1997
- 4) Imad L. Al-Quadi, et al. : Feasibility of Using Friction Indicators to Improve Winter Maintenance Operations and Mobility、NCHRP Web Document 53 (Project 6-14): Contractor's Final Report、2002
- 5) 高橋尚人、徳永ロベルト、舟橋誠：冬期路面状態の評価と管理手法に関する研究、土木学会安全問題研究論文集、Vol. 3、pp. 17-22、2008
- 6) PIARC Technical Committee 3.4 Winter Maintenance : Snow & Ice Databook Edition 2006、ISBN 2-84060-287-7、2006
- 7) 高橋尚人、徳永ロベルト、浅野基樹、石川信敬、岡村智明：冬期路面管理の高度化に関する実践的研究、土木計画学研究・論文集、Vol. 26、pp. 901-912、2009
- 8) たとえば、舟橋誠、徳永ロベルト、高橋尚人：冬期路面管理における路面状態の定量的計測技術について、第 52 回（平成 20 年度）北海道開発技術研究発表会、2009
- 9) 徳永ロベルト、高田哲哉、高橋尚人：連続路面すべり抵抗データを用いた冬期道路の性能評価の試行について、第 55 回（平成 23 年度）北海道開発技術研究発表会、2012
- 10) 浅野基樹：冬期道路管理の業績評価とマネジメントについて、日本評価学会第 8 回全国大会発表要旨集録、pp. 101-108、2007

3. 寒地交通事故対策に関する研究

3.1 概説

北海道の交通事故は、関係者による様々な対策が奏功して事故死者数は年々減少傾向にあるが、都道府県比較では依然として全国ワースト上位を占める状況が続いている。その一因は、スリップ事故等の冬型交通事故の多発であり、安全・安心な社会資本整備を進めていく上で、寒地交通事故対策は喫緊の課題となっている。

このような状況下、本研究では、道路管理者が分析データに基づいた科学的なアプローチによる交通事故対策を検討するための交通事故分析システムの高度化や、地域特性を踏まえた冬型交通事故対策等の研究開発を行った。

3.2 交通事故分析システムの改良検討と交通事故分析

3.2.1 新交通事故分析システムの開発

北海道における交通事故の要因を分析し、効果的な事故対策を立案するためのツールとして、国道交通事故データ（H元年～H21年で約15万件）、気象データ、道路構造データ、センサデータを、デジタル道路地図（GIS）上で統合し、事故の位置表示や事故率の算出等を可能とする新交通事故分析システムを開発した。

本システムでは、従来の位置表示や事故率の算出機能に加え、気象データや道路構造データ等の各種データによる検索機能、交通安全対策箇所の事前事後分析の機能（図-3.1）、交通安全の観点で道路診断するためのチェックシート、様々な交通安全対策手法をデータベース化した交通安全対策支援ツールを備えるなど、道路管理者が交通安全事業の推進に資する機能の充実を図った。

この交通事故分析システムは、北海道開発局により平成18年度から導入されたが、その後随時改良が加えらるとともに、システム活用を支援するための講習会を毎年開催するなど、普及に努めた。

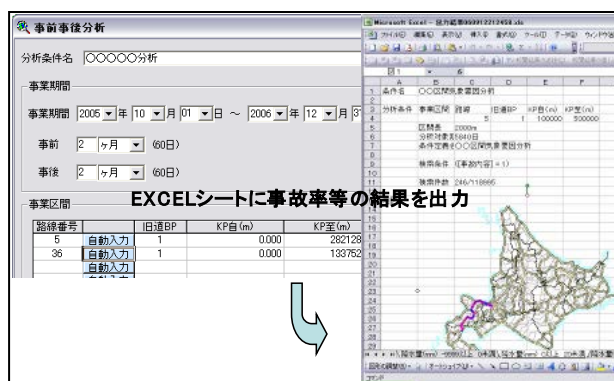


図-3.1 事故分析システムの対策評価機能（交通安全対策実施区間の事前事後分析）

また、北海道の国道で発生した交通事故データ（平成12年から19年まで）を取りまとめた「北海道の交通事故 国道統計ポケットブック」を作成し、あわせてダウンロードサイト（<http://www2.ceri.go.jp/jiko/>）を開設した。この交通事故のデータベースが、道路管理や交通安全に関する基礎資料として活用できるほか、一般の道路利用者にとっても安全運転の参考となるよう、内容の改良と普及に努めた（図-3.2）。



図-3.2 北海道の交通事故 国道統計ポケットブックダウンロードサイト

3.2.2 交通安全診断手法の体系化の検討

新交通事故分析システムを活用し、事故死者数が減少した要因分析、道路付属施設等の整備効果分析、道路構造と事故発生の関係分析等の各種事故分析を行うことを

通じて、交通安全対策検討の基礎資料を作成した。

これにあわせて、最近5年間の交通事故データ分析(平成14年～18年)に基づき、99箇所の事故対策必要箇所を抽出した。このうち63箇所で現地の交通安全担当者(北海道開発局道路事務所など)と協力して交通安全診断を行い、道路交通環境やドライバー特性に即応した効果的な交通安全対策の提案を行った(図-3.3、図-3.4)。

このように、危険箇所選定から、データ収集整理、現地安全診断、要因分析、対策工の立案までの一連のプロセスを体系的に実施し取りまとめた。

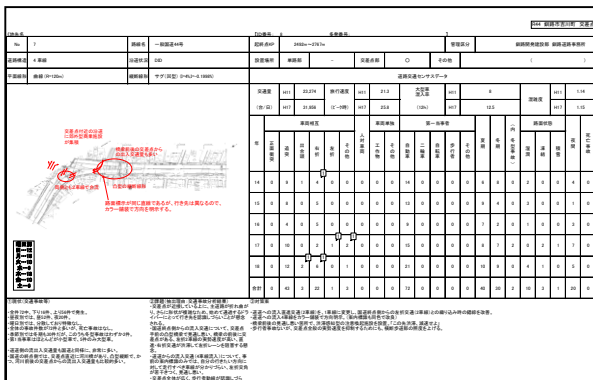


図-3.3 診断カルテ

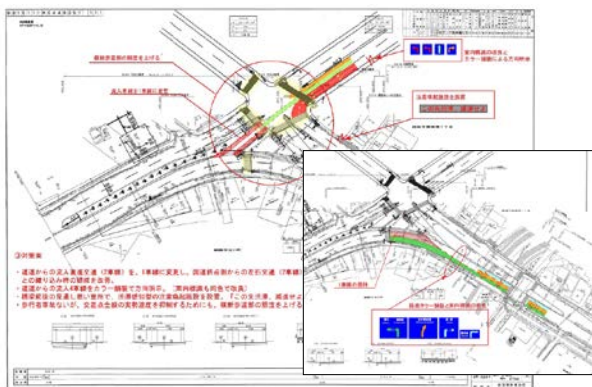


図-3.4 診断結果(事故対策の提案)

3.3 地域・道路構造特性を踏まえた交通事故対策の開発

3.3.1 ランブルストリップスの普及と応用

ランブルストリップスは、舗装路面に切削溝を連続して配置することにより、車線逸脱車両に対し、音や振動で注意を喚起する交通事故対策である。特徴として、施工費が安く、道路鋸等の凸型の対策と比較して除雪作業の支障とならず、耐久性も高いことが挙げられる。ランブルストリップスが、平成14年から18年の5年間に施工された38路線、総延長534kmにおいて、施工前2年と施工後2年間の正面衝突事故発生状況を調査した。その結果、事故件数は55%減少し、死者数は69%減少

したことが分かった(図-3.5) 1)。

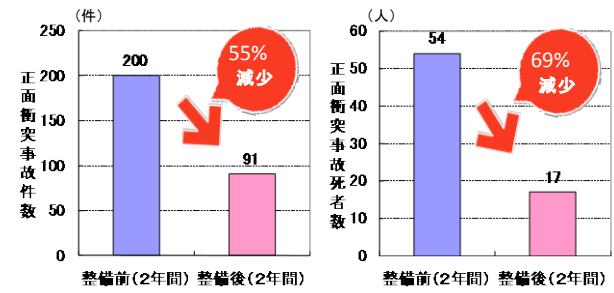


図-3.5 ランブルストリップスが整備された箇所の正面衝突事故件数と死者数(H14～H18、総延長534km)

ランブルストリップスが正面衝突事故防止の有効な対策であるとの評価が高まるにつれて、その整備延長は増加し、平成22年3月末現在で、北海道内の整備延長は、1,338kmに達した。さらに北海道外でも、上信越道、磐越道や一般国道等で導入が進み、その整備延長は336kmを超えるなど、全国合計で1,675kmに達した(図-3.6、図-3.7)。

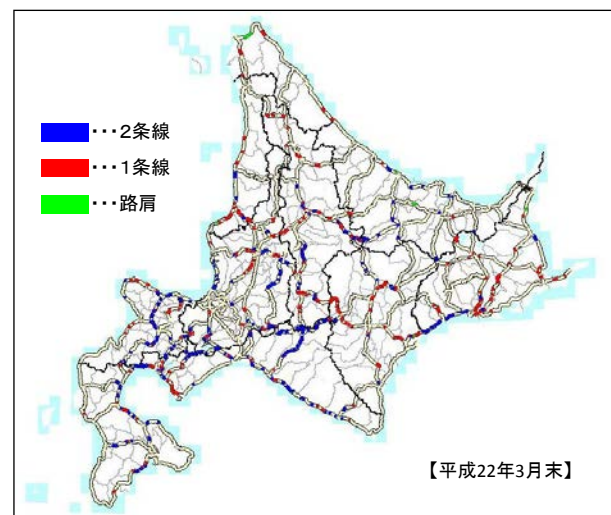


図-3.6 北海道の国道におけるランブルストリップスの設置箇所

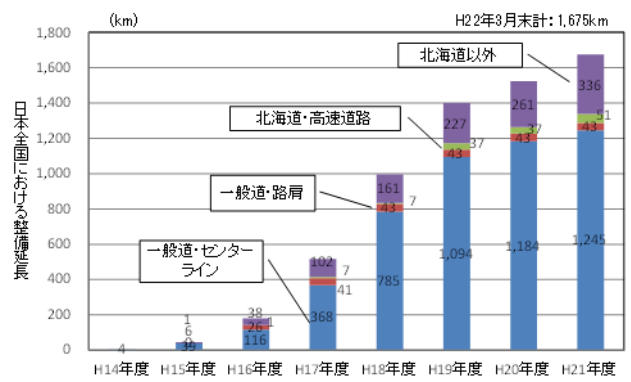


図-3.7 ランブルストリップスの整備延長の推移

ランブルストリップスを広く普及するため、整備に向けた基本的な考え方、具体的な規格や施工方法、設置の際の留意事項を取りまとめた「ランブルストリップス整備ガイドライン(案)」(図-3.8)を作成し、ホームページ上からダウンロードできるサービスを開始した(<http://www2.ceri.go.jp/rumble/index.html>)。

平成21年度末までに7百件を超えるダウンロード実績があった。うち道外からのダウンロード件数が約半数を占めるなど、国外も含め広い関心を集めていることが分かった。

ランブルストリップスは平成21年度にNETIS(新技術情報提供システム)の推奨技術第1号に選定された(技術名称:「ランブルストリップス(センターライン対応型)」)。



図-3.8 ランブルストリップスホームページとランブルストリップス整備ガイドライン(案)

さらに、ランブルストリップスの技術を応用して適用範囲を拡大するため、①白線破線区間での施工規格の決定と提案、②トンネル区間での施工技術、③道路横断方向に設置した凹型溝の開発、そして④車線逸脱防止効果と耐久性に優れる“切削型区画線”を開発した(図-3.9)2)。



図-3.9 切削型区画線の施工状況

3.3.2 区画線の塗り替え判定ソフトの開発

区画線の点検・塗り替え方法等の維持管理業務の適正化を図るために、①区画線維持管理の現状、②通過車両の走行位置測定、③道路利用者の視認性評価試験、④耐久性試験などの観点から、区画線の塗り替え基準の検討

を行い、「区画線の維持管理ガイドライン(案)」として取りまとめた3)。また、ガイドライン(案)の塗り替え基準を、デジタル画像を使って簡単に判定出来るツールとして、区画線塗り替え判定ソフト作成した(図-3.10)。

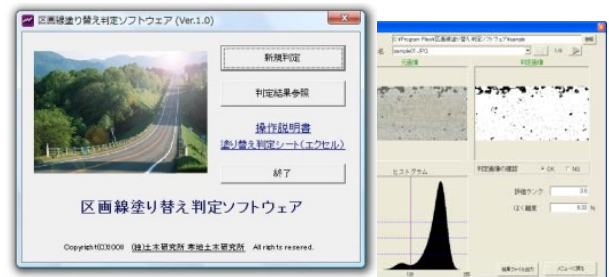


図-3.10 区画線塗り替え判定ソフト

3.3.3 衝撃吸収型ボラードによる工作物衝突事故の対策

衝撃吸収ボラードは、歩行者の空間と自動車の通行路を区分するために設置されるボラードの基礎部分に衝撃吸収カートリッジを設け、衝突時の衝撃を吸収しながら歩行空間への進入を防ぐ施設である。透過性が高く、除雪の妨げにならないことから、本研究において、トンネル坑口や橋梁親柱等の工作物衝突事故対策として導入を検討した。そのような箇所では、スペースの制約からガードレール等の防護柵が設置できず、車両が衝突した時には重大事故に至る可能性が高いため、省スペース型で全方位からの衝突に対応し、車両への衝撃を吸収できるボラードの設置を提案した(図-3.11)。

その結果、平成22年度末までに北海道内の国道の57箇所に設置された(図-3.12)。

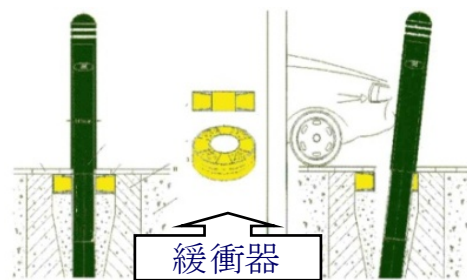


図-3.11 衝撃吸収型ボラード



図-3.12 衝撃吸収型ボラードの設置状況

3.3.4 ワイヤロープ式防護柵の導入可能性の検討

ランブルストリップスは、正面衝突事故対策として大きな効果を挙げているが、縦断勾配が大きい区間や曲線半径が厳しい区間では、十分な効果は発揮できない。このような区間で正面衝突事故を防ぐには、物理的に車線を区分する中央分離帯の設置が必要となる。しかし、従来の中央分離帯では、拡幅等を伴うため費用が高額になるため、設置は限られる。

このような条件下における中央分離構造として、欧米では、ワイヤロープ式防護柵を採用している事例がある(図-3.13)。ワイヤロープ式防護柵は、設置に必要な幅員が少なく、製品コストも安い。また、ガードレールやコンクリート製の分離構造に比較して変形しやすい支柱を用いることにより、衝撃吸収能力に優れ、交通死亡事故を抑制するなどの利点がある。



図-3.13 ワイヤロープ式防護柵(スウェーデン)

一方、日本における導入可能性を検討するにあたっては、我が国の防護柵設置基準への適合性、施工方法の確認、冬期除雪作業など維持管理上の問題点の有無などをクリアする必要がある。

そのため、まず、防護柵設置基準に規定された試験を実施し、性能確認を試みた。国外メーカーの製品を輸入し、一般国道に設置できるたわみ性防護柵の分離帯用 Bm 種の衝突試験を平成 20 年度に行った(図-3.14)。試験の結果、防護柵設置基準における車両の逸脱防止性能、乗員の安全性、車両の誘導性能、構成部材の飛散防止性能の基準を満足した。これにより、ワイヤロープ式防護柵は一般国道の規格(B種)に適合することが確認できた。

次に、施工方法を確認するため、苫小牧寒地試験道路に試験施工するとともに、冬期間における凍結融解の影響や除雪作業による支柱への影響を確認する試験を実施した(図-3.15)。これらの試験結果により、導入可能性を確認することができた⁴⁾。



図-3.14 分離帯用 Bm 種の衝突試験の状況



図-3.15 試験施工と除雪作業に伴う支柱への影響の確認

3.3.5 高齢ドライバーの運転特性の把握

高齢ドライバーの運転特性を把握し、高齢者が関連する交通事故を抑制することを目的として、高齢者交通事故多発区間である一般国道 5 号小樽市において、高齢ドライバーの運転特性調査を行った。

調査は、加速度計・ジャイロセンサー等を搭載した運転挙動測定車により、30～40 歳代の被験者 15 人と 60 歳以上の被験者 50 人の走行速度、加減速度、ブレーキ回数、安全確認回数を測定した。調査区間を 7 つに分けて集計した結果、特に事故多発区間の②、④では、総じて 30～40 歳代の被験者に比べ、60 歳以上の被験者の走行速度がやや低いこと、また、最大加速度と最大減速度が大きく、ブレーキ回数、安全確認回数は多いことが分かった。特に、最大加速度とブレーキ回数、安全確認回数は、ばらつきが大きく、高齢者の運転特性は個人差が大きいことが確認された(図-3.16)⁵⁾。

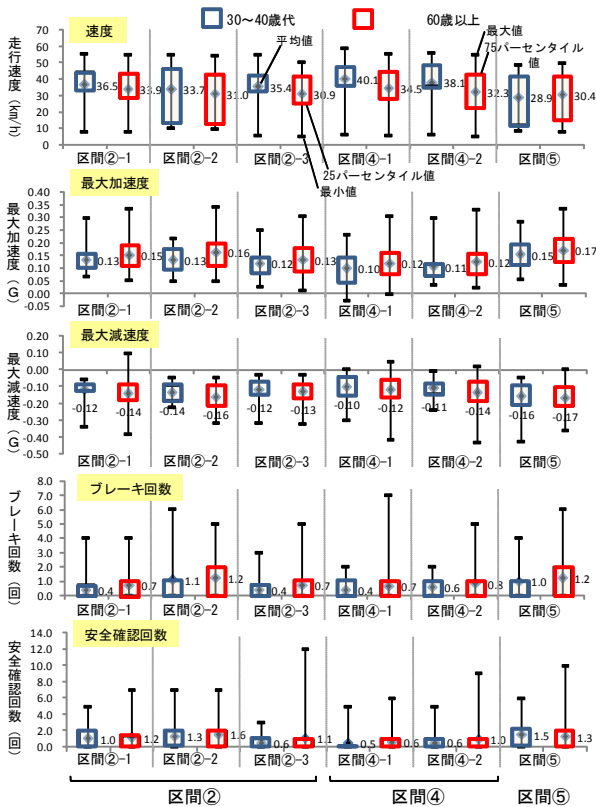


図-3.16 運転挙動データの集計結果



図-3.18 視認性試験の状況

これらの研究成果から得られた知見を基に、実際の事故を例に取り対応策、改善策などを記載した寒地交通事故事例集を作成した(図-3.19)。また、経験の浅いオペレーターへの安全施工の技術継承を目的として、除雪工事請負業者の熟練オペレーターからの聞き取りを基に、除雪作業における注意点を「除雪車安全施工ガイド」として取りまとめた(図-3.19)。

また、一般ドライバーに対しては、事故調査分析結果を基に、寒地土木研究所寒地機械技術チームのHP上に「除雪機械に注意」というコーナーを開設し、通常知られていない除雪車の特殊な動き等について説明し、注意喚起に努めた(図-3.20)。

3.3.6 除雪車が関係した交通事故への対策

北海道開発局管内において発生した除雪車が関係した事故について、関係者ヒアリング、現地調査、分析を寒地土木研究所の各支所と合同で行った。その結果、除雪車後方から一般車が追突する事故が多いこと(図-3.17)が明らかになった。その対策を検討するため、除雪車の制動灯、方向指示器等の一般車からの見え方についての試験(図-3.18)を行い、回転灯等の位置などを検討していく必要性を確認した⁶⁾。

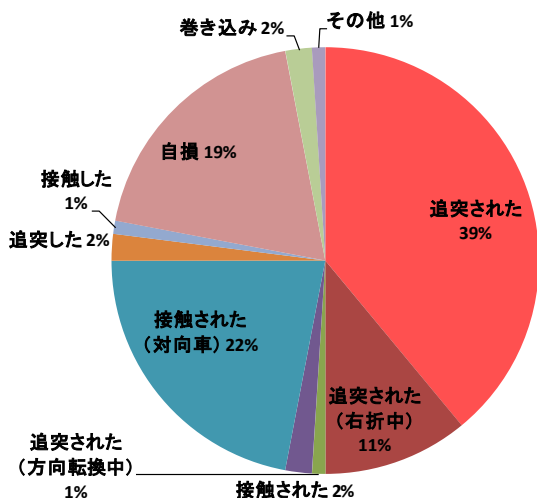


図-3.17 北海道開発局における除雪車事故の分類

図-3.19 寒地交通事故事例集と除雪車安全施工ガイド



図-3.20 Web サイト：「除雪機械に注意」

- 6) 木村崇、佐々木智章、石川真大：除雪車が関係する交通事故の発生状況と対策に関する調査試験、第53回北海道開発技術研究発表会、2010

3.4 まとめ

本研究では、寒地交通事故対策について、大きく2つの視点から研究開発のアプローチを行った。まず、①交通事故分析システムに関する取り組みとして、新交通事故分析システムの開発、そのシステムを利用した実地での交通安全診断手法の検討・運用を行った。

次に、②地域特性・道路構造特性を踏まえた交通事故対策の開発に関する取り組みとして、「ランブルストリップスの普及と応用技術の開発」、「区間線塗り替え判定ソフトの開発」、「衝撃吸収型ボラードによる工作物衝突事故の対策」、そして、ランブルストリップスを補完する新しい正面事故対策として「ワイヤーロープ式防護柵を中央分離施設として適用する可能性」を確認した。

さらに、「高齢者ドライバーの運転特性の把握」、「除雪車が関連した交通事故への対策」など、様々な視点から研究開発を行った。

参考文献

- 1) 平澤匡介、葛西聡、相田尚：正面衝突事故対策としてのランブルストリップスの開発と整備効果、建設の施工企画、11月号（第717号）、pp.4-8、2009
- 2) 平澤匡介、浅野基樹、相田尚：切削型区画線の開発について、第27回交通工学研究発表会論文報告集、pp.113-116、2007
- 3) 平澤匡介、武本東、葛西聡：北海道における区画線塗り替え基準の検討について、寒地土木研究所月報、第686号、pp.19-29、2010
- 4) 平澤匡介、武本東、葛西聡：2車線道路におけるワイヤーロープ式防護柵の導入可能性の検討、第53回北海道開発技術研究発表会、2010
- 5) 平澤匡介、武本東、葛西聡：高齢ドライバーの運転特性と高齢者事故対策の開発に関する研究、第30回交通工学研究発表会論文集、2010

4. 防雪対策施設の性能評価に関する研究

4.1 概説

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

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

そこで本研究では、視程障害あるいは吹きだまり対策手法の定量的な評価手法の提案に向けた検討を行うとともに、性能を向上した吹雪対策手法や道路防雪林の育成管理手法について検討し、道路吹雪対策の計画、施工、維持管理に関わる技術的事項を網羅した「道路吹雪対策マニュアル」の改訂を通じて、技術の普及を図ることとした。

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

4.2 視程障害対策・吹きだまり対策の定量的評価法の提案

4.2.1 実物大フィールド実験による評価解析

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

既往文献調査による調査項目の抽出と、石狩吹雪実験

場における吹き止め柵の実物大フィールド実験による定量的評価手法に関する検討の結果について述べる。

4.2.1.1 既往文献調査

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

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

4.2.1.2 実験方法

吹き止め柵の性能評価の標準的手法を提案するため、石狩吹雪実験場(図-4.1)に高さ5m、延長102mの吹き止め柵を設置(図-4.2)し、観測を平成18~19年度冬期に実施した。文献調査の結果に基づき、測定は風速、視程、測定位置、防雪柵延長に着目して行った。



図-4.1 実物大フィールド実験箇所



図-4.2 観測機器配置図

4.2.1.3 実験結果

防雪柵の視程障害緩和効果の評価では、従来の研究では風速や視程が指標として用いられている。観測した視程と風速との関係について図-4.3に示す。なお、ここでは基準点と防雪柵設置区間の平均視程の比を視程比、同様に平均風速の比を風速比として表わす。

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

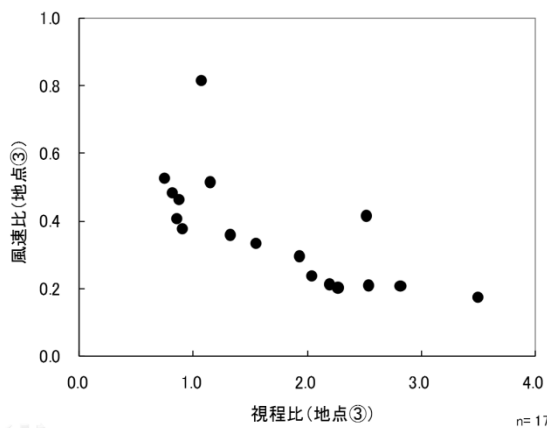


図-4.3 視程比と風速比との関係

防雪柵からの距離と、視程比との関係について、図-4.4に示す。視程比は防雪柵に最も近い6.5mの位置で最も高く17.0mと27.5mでは同程度となっていた。また、図には示していないが、平成18年度に行った高さ2.5mの観測では、視程比は7~10.5と1.5mよりも高く、防雪柵からの距離による違いも見られなかった。ドライバーの視線高さに近い高さ1.5mは、高さ2.5mよりも視程の条件が厳しく、柵からの距離の影響も大きいため、

防雪効果の評価にあたっては、高さ1.5mの風下側路側位置での測定が適切であると考えられる。

防雪柵の端部では風の巻き込みによる強風域ができ、視程に影響(エンドエフェクト)を与える^{4), 5)}とされている。風速比と柵端部からの距離との関係について、図-4.5に示す。実験の結果、エンドエフェクトは柵端部から20mまでの範囲で顕著に見られた。観測は柵端部から30m以上離れた位置で行うことが必要であり、フィールド実験の際の防雪柵の必要な延長は60m以上となることが分かった。

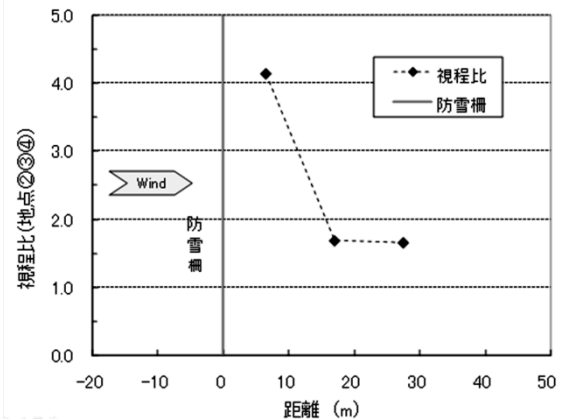


図-4.4 防雪柵からの距離と視程比との関係

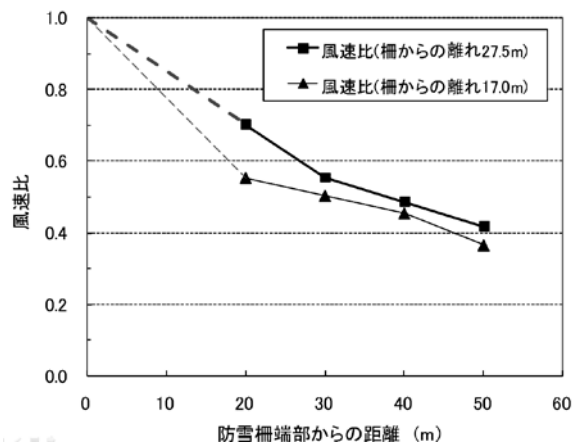


図-4.5 吹き止め柵端部の風速比

4.2.1.4 吹き止め柵の定量的評価法の提案

既往文献調査と実物大フィールド実験の結果に基づき、吹き止め柵の定量的評価手法について、以下の表に取りまとめた(表-4.1)。

表-4.1 吹き止め柵の定量的評価法（案）

項目	内容	備考
評価指標	防雪柵未設置区間の視程に対する柵風下側の視程の比（視程比）を用いる	フィールド実験より風速比が小さい場合、風速比のわずかな変化により視程比が大きく変化するため、視程比を基本とした
測定時間	10分平均視程を用いる	文献調査により妥当性を確認
データ抽出条件	風上側基準点視程500m(または200m)以下	文献調査により妥当性を確認
測定位置	路面高1.5m柵の風下側路側(2車線道路の場合)	フィールド実験により妥当性を確認
防雪柵の延長	60m以上	フィールド実験におけるエンドエフェクトの範囲から決定
周辺環境	十分に開けた平坦地(風上に200m以上の凹凸のない空間があることが望ましい)	除雪・防雪ハンドブック ⁶⁾ より

4.2.2 風洞実験による吹きだまり防止機能の評価のための実験条件

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

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

4.2.2.1 実験方法

本実験では、全長21m、測定洞長さ6m、測定洞断面1.2×1.2mの回流型風洞を使用した（図-4.6）。模型縮尺は本州四国連絡橋風洞試験要領の記述（風洞閉塞率5%

以下、模型縮尺1/100以上）を参考に、1/100に設定した。模型雪としては、安息角が実際の雪に近く、吹雪風洞実験での使用実績が多い活性白土を用い、模型設置位置の風上5mの位置から供給量380g/minで発生させた。なお、風洞風速は測定洞中央に設置したピトー管により測定した風速により制御することとし、風速の鉛直プロファイルは文献⁷⁾を参考に田園地帯を想定してラフネスと乱流格子の組み合わせにより調整した。

以上の設定条件下において、吹き止め柵の模型（図-4.7）について、風洞風速5～8m/sで風洞実験を行った。

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

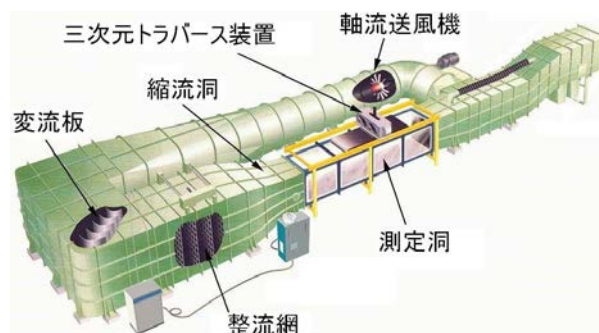


図-4.6 風洞実験装置

図-4.7 防雪柵模型（単位：mm）

4.2.2.2 実験結果

吹雪風洞実験により生じた吹きだまりの例を写真-4.1に、また、吹き止め柵に関する実験時間120minにおける吹きだまり形状を図-4.8に示す。図中、縦横軸は防雪柵の高さで除して無次元化して表わし、野外観測の結果についても付記した。



写真-4.1 吹きだまり実験状況

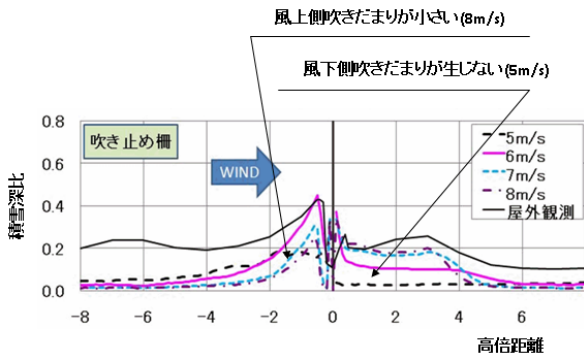


図-4.8 風洞実験及び野外観測における吹きだまり形状

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

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

4.2.2.3 風洞実験による定量的評価法の提案

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

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

4.3 防雪性能を向上した吹雪対策手法の開発

北海道の道路では、吹雪対策として吹きだめ柵や吹き払い柵、吹き止め柵等、各種の防雪柵が用いられている。この中で、吹き止め柵は多車線道路に対応できるように柵高を高くし、下部間隙を無くした比較的新しい形式であり、利用範囲が広く、性能に優れている。しかし、吹

き止め柵は、主に柵の風上に雪を貯める方式であるため、十分な防雪容量を確保するためには柵高を大きくする必要がある。しかし、ドライバーの視界確保の観点等から、標準的な柵高は 5m 以下に制限されている⁸⁾。このため気象条件によっては防雪容量が不足する恐れがある。

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

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

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

4.3.1 研究方法

今回の検討では、吹き止め柵の風上側に幅 3m の吹雪捕捉溝を設けた「捕捉溝 (小) 併用時」、吹雪捕捉溝の寸法を 2 倍に拡大した「捕捉溝 (大) 併用時」、高さ 2m の補助防雪柵を設けた「補助防雪柵併用時」と、併用施設の無い「吹き止め柵単体」の 4 種類について、風洞実験により吹きだまりの成長過程を確認した。実験モデルについて図-4.9 に示す。

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

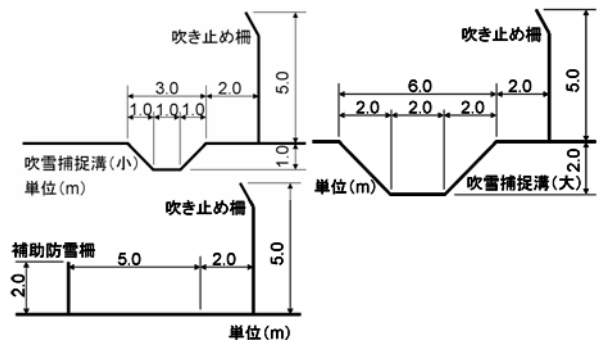


図-4.9 実験モデルとした吹き止め柵と併用防雪施設

4.3.2 実験結果

実験により得られたモデルごとの吹きだまり形状を図-4.10に示す。なお、図中では、縦軸、横軸とも柵高(5m)で除して無次元化している。

実験終了時(120分経過)の風上側の吹きだまりは、吹き止め柵単独の場合と補助防雪柵併用時には、防雪柵に近い位置で柵高の0.5倍程度となっていた。一方、捕捉溝併用時は、風上側吹きだまりが捕捉溝の影響により風上側に移動し、吹きだまり高さも柵高の0.3倍程度に抑えられていた。なお、捕捉溝(小)は60分まで、捕捉溝(大)は90分まで凹みの形状が維持できていた。

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

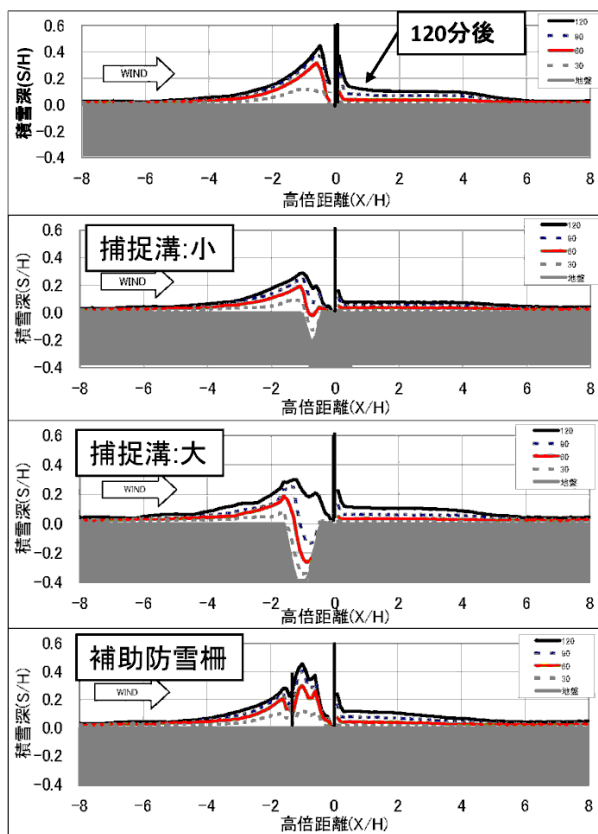


図-4.10 風洞実験結果

4.4 防雪林の育成管理手法の提案

道路防雪林は、吹雪による道路上の吹きだまり防止と視程障害の緩和を目的に、道路に沿って造成される林帯である。しかし、道路防雪林の造成箇所の拡大に伴い、植栽後の生育の遅れが課題となってきた(9)、(10)、(11)。

そのため、生育不良の原因を探るため3箇所の防雪林について、生育基盤の現地調査を実施した。

4.4.1 調査箇所

本調査は、一部枯死を含む樹木の生育不良がみられるA防雪林と、概ね生長が良好なB防雪林、生育状態にばらつきが見られるC防雪林の3箇所について行った(図-4.11)。

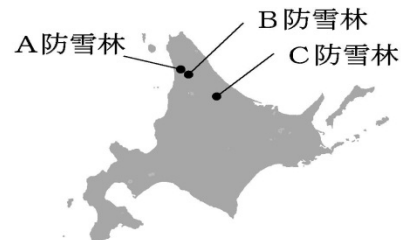


図-4.11 調査箇所

A防雪林の樹種はアカエゾマツで、平成17年に植樹され、樹高は約0.4~1.1m程度の幼木である。B防雪林の樹種はヨーロッパトウヒで、昭和57年~平成15年の期間に植樹された。樹高、約2.0m~12.5m程度の成長木であり、生育状況は概ね良好である。C防雪林は平成4年にアカエゾマツが植栽されているが、樹高は1.5m~5.0m程度と生育状態が不揃いである。生育状況について写真-4.2に示す。

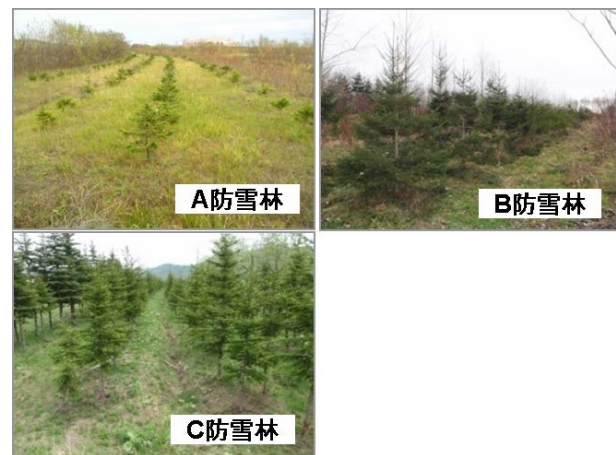


写真-4.2 防雪林の生育状況

4.4.2 調査方法

A防雪林の12箇所、B防雪林の8箇所、C防雪林の12箇所の合計32箇所で1m四方、深さ80cm程度の試孔を掘削し生育基盤の土壌調査を行った。調査は生育基盤の物性に着目することとし、それぞれの試孔について、長谷川式土壌貫入計による土壌硬度を測定した。これに併せて、調査箇所周辺の生育状況について調査した。

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

4.4.3 調査結果

A防雪林の土壌の深さ0~10cmにおける長谷川式土壌硬度S値(cm/drop)と、不良率の関係について図-4.12に示す。試孔内に滞水が見られた箇所では不良率が高い箇所が複数見られた他、不良率のばらつきが大きかった。不良率には様々な要因が関係すると考えられるが、定量的に明らかではなく、今後検討が必要と考えられる。また、非滞水箇所ではS値が小さく土壌が堅く密な程生育が悪い傾向となることが分かった。

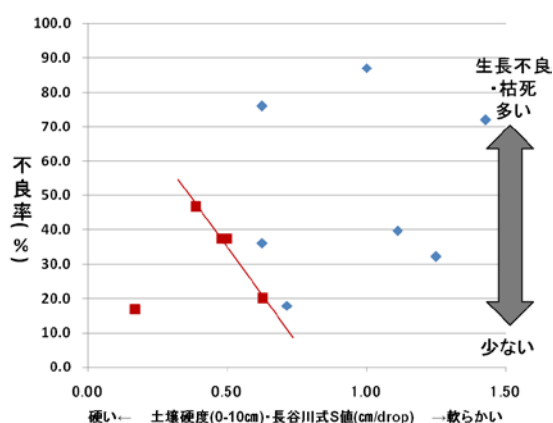


図-4.12 A防雪林の土壌硬度と不良率

B・C防雪林の土壌の深さ0~10cmにおける長谷川式土壌硬度S値と年平均生長量との関係について図-4.13に示す。滞水箇所では年平均生長量が小さかった他、非滞水箇所ではS値が小さい程年平均生長量が小さい傾向にあることが分かった。

図-4.13 B・C防雪林の土壌硬度と生長量

4.4.4 適切な育成管理手法の提案

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

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

4.5 道路吹雪対策マニュアルの改訂に関する検討

効果的な吹雪対策施設の整備や維持管理には、最新の成果の公開が重要となる。このため本研究では、道路吹雪対策の計画、施工、維持管理に関わる技術的事項を網羅した「道路吹雪対策マニュアル(H23改訂版)」¹²⁾を取りまとめ、技術の普及を図ることとした。

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

4.5.1 主な改訂内容について

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

「防雪林編」では、防雪林の維持管理に必要な管理用道路や生育不良対策として有効な排水工について明記した。この他、防雪林の生育状況と評価に関する表を作成し、生育段階に応じた生育状況の評価区分を明示し、生育不良の判定を容易に行えるようにし、生育基盤の堅さの改良等についても記載した。

「防雪柵編」では、従来対象としていた道内22箇所の気象官署の他、アメダス地点を追加して風速の再現期待値の計算を行い¹³⁾、合計177箇所の設計風速を示すことによって、より正確なデータに基づく設計計算を可能とした。

今回の改訂で、「その他の対策施設編」を新たに設け、『吹雪時を考慮した視線誘導施設マニュアル(案)』¹⁴⁾の内容を盛り込むことにより、本マニュアル1冊で道路

の吹雪対策の全てを網羅できるよう内容の充実を図った。

4.6 まとめ

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

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

参考文献

- 1) (独)北海道開発土木研究所：道路吹雪対策マニュアル、北海道開発局、2003
- 2) 藤田英郎・倉橋良雄・山口守之・長岡佳美・竹内政夫：多車線道路における防雪柵の計画、第30回北海道開発局技術研究発表会論文集、pp. 91-96、(財)北海道開発協会、1988
- 3) 山田毅、伊東靖彦：吹雪対策施設のための視程計測方法に関する文献調査、日本雪工学会誌、22(4)、pp. 17-18、2006
- 4) 福沢義文、加治屋安彦、畠山拓司：防雪柵端部付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)、pp. 358-359、(社)日本道路協会、2001
- 5) 伊東靖彦、福澤義文、松澤勝：防雪柵開口部における視程障害に関する考察、土木学会第58回年次学術講演会講演概要集、pp. 539-540、2003
- 6) (社)日本建設機械化協会、(社)雪センター編：除雪・防雪ハンドブック 2005 除雪編、防雪編、2004
- 7) 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
- 8) 竹内政夫：道路雪氷対策技術の変遷(1)一時代背景と防雪柵一、北の交差点、Vol. 2、pp. 12-17、1997
- 9) 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、pp. 47-50、(独)北海道開発土木研究所、2002
- 10) 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)、pp. 12-16、2009
- 11) 伊東靖彦：[技術報告] 防雪林の課題について一雪氷研究大会(2009・札幌)の企画セッションにおける討議を基に一、日本雪工学会誌、26(1)、pp. 9-15、日本雪工学会、2010
- 12) (独)土木研究所 寒地土木研究所：道路吹雪対策マ

ニュアル、2011

- 13) 伊東靖彦・山田毅・松澤勝・西田浩平：粗度区分を考慮した防雪柵の設計風速に関する検討、北海道の雪氷、No. 29、pp. 16-19、2010
- 14) (独)土木研究所 寒地土木研究所：吹雪時を考慮した視線誘導施設マニュアル(案)、2007

5. 吹雪視程障害に関する研究

5.1 概説

北海道内の国道においては、吹雪による視程障害が原因で通行止めや多重衝突事故が発生するなど、吹雪に起因した冬期交通障害が多く発生している。このため、冬期道路においては吹雪時の視程障害状況を参考に道路防雪林、防雪柵などの整備、通行規制、情報提供が吹雪視程障害対策とし道路管理者によって取り組まれている。

世界気象機構 (WMO) によると、気象学上の視程は、昼間において空を背景とした黒ずんだ目標を肉眼で認めることのできる最大距離と定義がされており、夜間においては集光されていない中程度の光度 (25~100cd) をもった白色の灯火の見える距離から換算するとされている。近年では、観測者の主観が入るなどの問題や連続的な観測ができないなどの課題から、大気透過率や反射率から求めた気象光学的距離(MOR)¹⁾が視程に用いられており、道路においてもこの値が視程として観測されている。

現在、道路交通管理で用いられてきている「視程」は気象学上で定義されたものが利用されている。しかし、道路に用いられる気象学上の視程は道路利用とは異なる観点で定義されたものである。このため、現状では道路交通管理のための視程とその計測法の定義が十分に確立されていない。

そこで、本研究では道路交通に於ける視程の評価方法を新たに定義し、総合的かつ定量的に視程障害の厳しさを把握する“吹雪視程障害度”の指標化を行い、より効果的かつ効率的な吹雪視程障害対策による冬期道路管理の実現を図ることを目的として実施した。

冬期道路でのより安全な運転走行を道路利用者へ促していくには、リアルタイムに変化する冬期道路の視界や路面状況を考慮した冬期道路の走行環境情報を提供することが有効と考えられる。

そこで、本研究では、道路に適した吹雪時の視程を把握するための計測手法や道路利用者が感じている道路上の視認性や運転意志を指標とした吹雪時の視程障害度の評価手法について検討し提案を行った。さらに、吹雪視程障害時における道路利用者への安全支援方策として、吹雪時におけるリアルタイムな視界情報や冬期道路の経路別での走行環境情報を提供するシステムを構築し、道路利用者への情報提供を試験的に行い効果の検証を行った。

5.2 道路交通における吹雪視程計測手法の提案

ここでは、気象学上定義される視程や視線誘導施設の視認性と気象状況との関係、道路上と道路の風上近傍で吹雪時に計測される気象データの差異などについて調査を行い、道路交通における吹雪視程の計測手法について検討した。

5.2.1 吹雪時の視程と気象状況の関係に関する調査

5.2.1.1 調査概要

気象学上定義される視程や視線誘導施設の視認性の調査は、5~10名の被験者を集め石狩吹雪実験場（北海道石狩市美登位）の屋外において、吹雪の発生した平成20年2月13日、28日及び平成21年2月15日、17日、21日、3月11日及び平成22年2月6日、7日、20日及び平成23年1月17日の日中、薄暮、夜間の時間帯に行った。参加した被験者の年度別の属性は表-5.1に示す通りである。

表-5.1 被験者の属性

性別	年度			
	H19	H20	H21	H22
男	13	21	11	10
女	7	20	0	0
計	20	41	11	10

年代	年度			
	H19	H20	H21	H22
20代	5	8	11	1
30代	9	24	0	3
40代	3	3	0	1
50代	3	2	0	1
60代以上	0	4	0	4
計	20	41	11	10

なお、気象学上定義される視程評価には、気象学上定義されている視程の目標物¹⁾に該当する視角0.5°以上5°以下の黒色の視程板(写真-5.1)を用いた。なお、視程板の設置高は地上からの中心高を概ね2.0~2.5mとした。



写真-5.1 視程板の設置状況

また視線誘導施設の視認性評価には、伸縮式デリニエータ(以下、スノーポールとする)と北海道の道路で主

に用いられる非発光式及び自発光式の固定式視線誘導柱
(以下、矢羽根とする) (写真-5.2) を用いた。

【伸縮式デリニエータ (スノーポール)】
【固定式視線誘導柱(矢羽根)】



写真-5.2 視線誘導施設の設置状況

5.2.1.2 気象学上定義される視程の調査方法

調査では、観測小屋より前方10～255mに設置した視程板9枚を被験者5人1組に10秒間視認させ、視認できた枚数から算出した5人の視認距離を平均した値（以下、視程板視認距離(Vb)とする)を調査毎に把握した。なお、調査は各組数十回行った。

視認距離の評価では、視程板が最大1枚以上見えないと評価された場合のみ視認距離を評価した。

5.2.1.3 視線誘導施設の視認性の調査方法

調査では、被験者に試験道路の直線区間の起点に配置した観測車両又は観測小屋の中より、270m先までに配置した各視線誘導施設1本毎の吹雪時における視認性についてアンケート調査を各被験者に対し十数回行った。なお、アンケート調査では視認性を「見える」「見えない」の2段階で評価した。

視線誘導施設の実際の視認距離は、被験者に「見える」と評価された最も遠方の施設までの距離より長く、「見えない」と評価された施設までの距離より短い。そこで、「見える」と評価された最も遠方の施設と「見えない」と評価された施設の中間地点までの距離を視線誘導施設の視認距離（以下、視線誘導施設視認距離(Vd)）と定義し、Vdを整理した。

5.2.1.4 調査時における気象状況の把握方法

実験時には、視程板及び視線誘導施設が設置された箇所の上流近傍の表-5.2に示す高さで、透過型視程計(明星電気(株)製 TZE-2T)及び飛雪流量測定装置(新潟電機(株)製 SPC-S7)を用い、視程(m)（以下、機械視程計測値(Vm)）及び単位時間当たり単位空間を通過する飛雪粒子の質量である飛雪流量(g/m²/s)を計測した。なお、機械視程計測値、飛雪流量のサンプリング間隔は1秒と

した。さらに、SPCで観測した雪粒子の粒径分布から任意の単位断面積を単位時間に通過する雪粒子の投影面積を累計した投影面積フラックスを算出した。

また、併せて積雪深計(ノースワン(株)製 KADEC21 - YUKI)を用い計測機器周辺の積雪深を計測した。

表-5.2 計測機器の設置高さ

年度	計測項目	計測高さ(m)		
		1.5	2.1	3.0
H19	機械視程計測値	—	○	○
	飛雪流量	—	○	○
H20	機械視程計測値	○	○*	○
	飛雪流量	○	○	○
H21	機械視程計測値	—	○	—
	飛雪流量	—	—	—
H22	機械視程計測値	—	○	—
	飛雪流量	—	—	—

※計測値に異常値有り

5.2.1.5 気象学上定義される視程と気象データの比較

図-5.1は、日中の視程板視認距離(Vb)と機械視程計測値(Vm)との関係を示したものである。なお、平成20年度については機械視程計測値(Vm)に異常値が見られたため集計対象から除外した。また近似曲線は、平成21、22年度の調査結果はバラツキが大きかったことから、平成19年度の調査結果を基に回帰した。

図-5.1より、VbはVmと相関性が高く、Vmより短い傾向が見られた。その関係は式(1)に示す通りである。

$$Vb = 0.611 \times Vm^{0.894} \dots (1)$$

Vb [m]: 視程板視認距離

Vm [m]: 機械視程計測値

また本研究では、Vbは飛雪流量や飛雪粒子の投影面積フラックスとも相関性がVmと同様に非常に高い²⁾ことが明らかとなった。

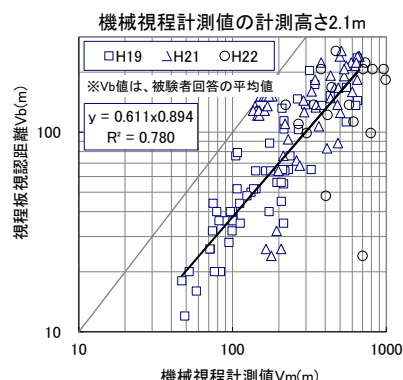


図-5.1 機械視程計測値と視程板視認距離(日中)

5.2.1.6 吹雪時における視線誘導施設の視認距離

図-5.2は、日中における各視線誘導施設視認距離(Vd)と試験道路上及び風上近傍で計測された機械視程計測値

(Vm)との関係を調査年度毎に評価した結果である。また、併せて図-5.1 で得られた視線誘導距離(Vb)と機械視程計測値(Vm)の関係を図-5.2 に記載した。

図-5.2 より、矢羽根の Vd は非発光・自発光式の違いによって差はあまり見られず、スノーポールの Vd に比べ長い傾向が見られた。また、矢羽根の Vd は Vm より短く Vb より長い傾向が見られ、スノーポールについては Vb と同程度かそれより短い傾向が見られた。

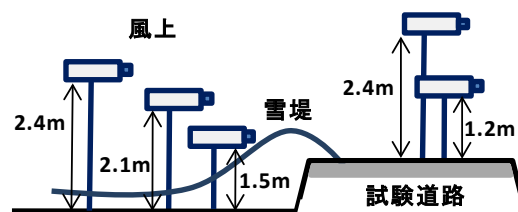


図-5.3 観測機器設置位置の概要 (H22)

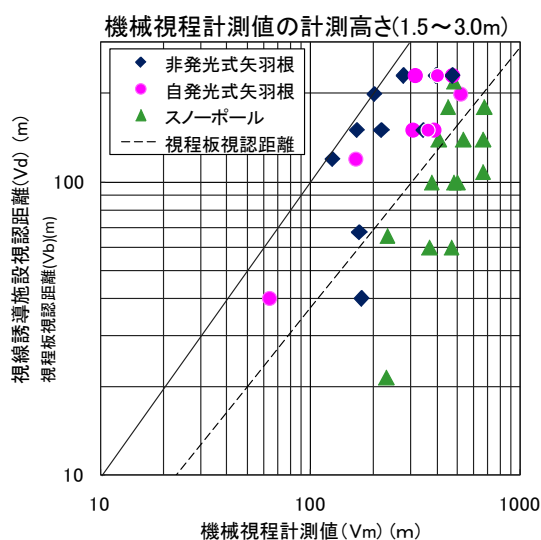


図-5.2 機械視程計測値と視線誘導施設の視認距離 (日中)

5.2.2 吹雪時の気象データの計測位置に関する調査

5.2.2.1 調査方法

吹雪時における道路上の視程を評価する上で必要となる気象データの適切な計測位置を明らかにするため、平成 20～22 年度の冬期間に石狩吹雪実験場の試験道路(片側 1 車線)及び試験道路の風上側近傍で Vm と飛雪流量の計測を 1 秒間隔で行った。なお、試験道路は定期的に除雪を行い、計測はなるべく試験道路上が除雪された状態でいった。

また、計測中は試験道路の風上側路側の雪堤、風上側の計測機器周辺にスノーポールを立て静止画を撮影することで積雪深を把握した。

試験道路での計測位置(平成 22 年度)は、図-5.3 に示した通りドライバーの目線に最も近いと考えられる中央分離帯の地上高 1.2, 2.4m とした。また、試験道路の風上側近傍での計測位置は、計測位置と高さの違いによる試験道路での Vm と飛雪流量との差異を把握するため、試験道路の計測位置から風上側へ 30m 程離れた地上高 1.5、2.1、2.4m とした (図-5.3)。ただし、地上高 2.1m では

Vm のみ計測を行った。

なお、Vm 及び飛雪流量の計測には透過型視程計、飛雪粒子測定装置を用いた。また、静止画像の撮影には静止画カメラ(ノースワン(株)製 KADEC-EYE II)を用いた。

5.2.2.2 調査結果

計測位置の違いによる吹雪時の気象データの差異については、積雪や雪堤の高さの違いによって結果が異なることが想定される。そこで、積雪深や雪堤高さの影響にも考慮するため積雪深や雪堤が比較的小さい状況と大きい状況で厳しい吹雪が発生した平成 23 年 1 月 7 日 15～16 時、1 月 17 日 12～13 時の期間に観測されたデータを分析の対象とした。

分析では、対象期間で視程障害が厳しかった 10 分間の Vm 及び飛雪流量の計測データを抽出し、Vm 及び飛雪流量から推定される視程(以下、推定視程とする)の平均値、最低値を計測位置別に集計し、計測データの差異を比較した。なお推定視程は、既往研究で明らかとされている飛雪流量と視程の関係³⁾より推定した。

図-5.4 は、横軸に計測された Vm 及び推定視程、縦軸に計測高さを取り計測位置別に計測値の平均値及び最小値、最大値を示したものである。

図-5.4 より、積雪深や雪堤がそれぞれ 96 cm 及び 80 cm と大きい場合には積雪深や雪堤がそれぞれ 34 cm 及び 40 cm と小さい場合と比較すると、試験道路の中央分離帯の地上高 1.2m で計測した Vm の平均値や最小値は試験道路の中央分離帯及び風上近傍の地上高 2.4m で計測した Vm と大きく異なる傾向が見られる。この原因には、飛雪空間濃度は高さが低いほど指数関数的に大きくなることが考えられる。一方、試験道路の中央分離帯の地上高 1.2m で計測された Vm は風上近傍の地上高 1.5m の高さで計測された Vm と概ね一致した。

またこれらの傾向は、推定視程の平均値、最小値においても同様であった(図-5.4)。

H23/1/7 【15:00-15:10】 (積雪深: 34 cm 雪堤: 40 cm)

H23/1/17 【12:10-12:20】 (積雪深: 96 cm 雪堤: 80 cm)

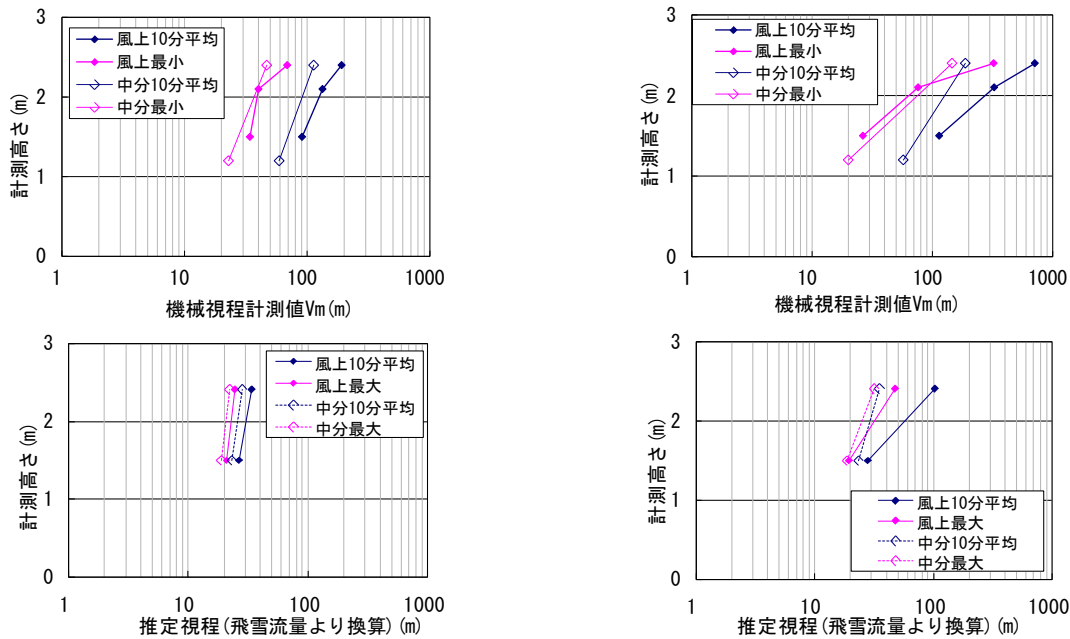


図-5.4 機械視程計測値及び飛雪流量から推定した推定視程の計測位置による違い

5.2.3 道路交通における吹雪視程計測手法

現在、道路の視程障害の監視には、一般に視程計が用いられているが、国内では視程計の具体的な設置方法については定められていない。米国連邦道路庁(FHWA)の示した基準⁴⁾について見てみると、視程計は道路端から約 10~15mに設置した気象観測塔の高さ約 2~3mに設置することが示されている。しかし、霧と異なり吹雪の場合、高さや場所によって視程は大きく異なり、吹雪時の視程障害を把握するための設置方法、計測方法が必要である。

そこで本研究では前述の結果を基に、より道路に適した吹雪時における視程の計測方法について検討し、表-5.3 の通り吹雪時の視程計測手法とその留意事項を整理した。

5.2.1.5 項において、吹雪時に評価した被験者の視程板の視認距離は視程計測値、飛雪流量及び雪粒子の投影面積フラックスとの相関が高く、各々の要素間の相関係数に大きな違いが無かった。

このことから、道路利用者の感じる吹雪時の視程評価に必要な計測項目については機械視程計測値、飛雪流量、雪粒子の投影面積フラックスのいずれかが必要と考えられる。また、機械視程計測値については、人間が感じる気象学上の視程や視線誘導施設の視認距離より短い傾向があることから別途 5.2.1.5 項の式(1)による補正などが必要と考えられる。

さらに計測位置については、5.2.2.2 項の計測結果を踏まえると、道路上の視程を計測するには、道路の風上近傍、地上高 1.5m で計測することが妥当と考えられる。

表-5.3 吹雪時の視程計測手法とその留意事項

吹雪時の視程計測手法		留意点等
計測項目	機械視程計測値(光学式視程計) 又は 飛雪流量、飛雪粒子の投影面積フラックス(SPC)	機械視程計測値については気象学上定義される視程や視線誘導施設の視認できる距離より長く評価される傾向があるため、本研究の成果を基に視程計測値を用いる場合は計測値を補正することが望ましい。
計測高さ	地上高1.5m 又は 最大積雪深+0.5m程度 ※どちらか高い方とする	路側の雪堤や積雪深が大きい場合には、ドライバー目線の高さでは飛雪空間濃度が非常に濃くなり、計測高さの違いによる計測値の差異が大きくなる。このため、計測高さはドライバー目線の高さに近い位置が望ましい。路外では積雪面から計測位置までの高さ、路側の雪堤高とドライバー目線の高さとの差なるべく一致していることが望ましい。ただし、計器が積雪に埋没しないよう設置高は最大積雪深より高くする。
計測位置	可能な限り道路近傍	風上に障害物の存在しない最も吹雪の発生しやすい区間が望ましい
計測値の処理	計測値の平均処理: 10分以下	道路利用者への情報提供の観点からは、平均視程値に併せて統計期間内の視程不良の頻度の情報ニーズが高い。 視程変動の考慮: 視程不良の頻度(例えば200m以下の割合など)

なお、計測箇所の積雪深が 1.5m 以上に達する場合には計測機器が埋もれてしまう恐れがあるため、積雪面上 0.5m 程度以上を確保することが良いと考えられる。

ただし、各計測日の試験道路風上側の積雪深と道路雪堤は概ね一致していたため、路側雪堤が風上側の積雪深と大きく異なる場合には傾向が異なる可能性がある。

5.3 吹雪視程障害度の指標の提案

ここでは、吹雪時における視程障害度の評価方法を確立するため、吹雪時の道路映像を用い視程障害度評価に関する屋内被験者実験を行い、吹雪視程障害度の指標やその評価方法について検討した。

5.3.1 吹雪時における冬期道路の視程障害度評価調査

調査は、寒地土木研究所内の講堂に平成 19～22 年度の各年度に表-5.4 に示した被験者を集め、日中の吹雪時に撮影した走行中の道路映像を各被験者に見せ行った。

表-5.4 被験者の属性

性別	H19	H20	H21			H22
			グループ1	グループ2	グループ3	
男	55	50	17	16	10	30
女	52	50	20	22	29	17
計	107	100	37	38	39	47

年代	H19	H20	H21			H22
			グループ1	グループ2	グループ3	
20代	17	25	4	8	16	12
30代	44	38	20	16	8	9
40代	25	17	5	8	7	16
50代	11	11	2	2	3	8
60代以上	10	9	6	4	5	2
計	107	100	37	38	39	47

視力	H19	H20	H21			H22
			グループ1	グループ2	グループ3	
0.7未満	未計測	未計測	0	0	0	0
0.7以上1.0未満			11	12	13	14
1.0以上1.5未満			9	8	12	20
1.5以上			17	18	14	13
計	107	100	37	38	39	47

調査では、ドライバーが吹雪時の運転中に感じている吹雪視程障害度を評価するため、各道路映像を見せた後に各道路映像について「視認距離」「運転意志」について図-5.5 に示す内容のアンケートを行った。ただし、「運転意志」については平成 21～22 年度にのみ調査を実施した。

問1. 視認距離

問2. 運転意志

選択肢	道路映像から想定される運転行動
5	視界が比較的良好いため、通常の走行を継続
4	視界が悪いため、ゆっくりと走行を継続
3	かろうじて走行可能だが、コンビニやGSなどの駐車スペースがあれば停車
2	運転が困難で本当は停止したいが、やむを得ず走行
1	運転することができず、停止

図-5.5 視認距離及び運転意志の設問内容

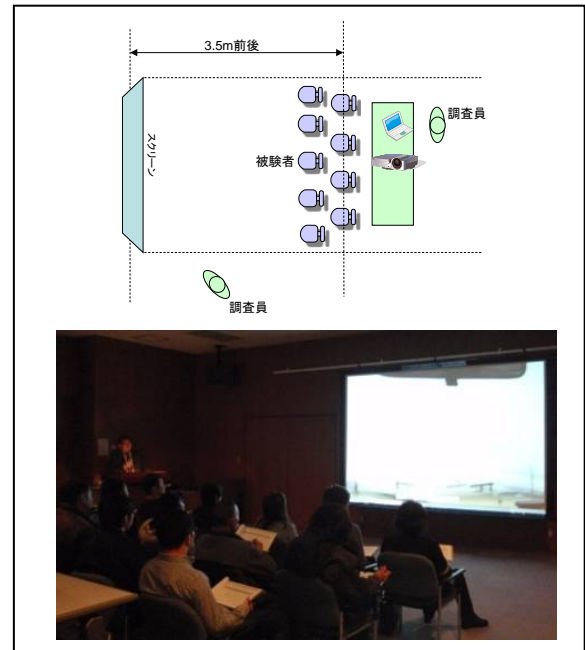


図-5.6 調査方法(上:レイアウト、下:実施状況)

なお、被験者の道路映像を見る位置は、運転時と映像の視角が概ね同等となるようスクリーン(2.10×3.05m)から概ね 3.5m 手前とし、1 回の調査では 10 名前後の被験者を対象とした (図-5.6)。

また、視的目標物になり得ると考えられる視線誘導施設(自発光式・非発光式固定式視線誘導柱、非発光式視線誘導標)、防雪対策施設(吹き止め柵・吹き払い柵)、連続した林帯、防護柵など連続した沿道施設、沿道家屋、電柱の有無などの沿道施設の有無がドライバーの感じる視程障害度に与えている影響についても評価が行えるよう、調査ではこれらの条件が異なる吹雪時の道路映像を用いた。調査に用いた道路映像は計 172 ケースとし、各道路映像の時間は全て 10 秒間とした。各年度に用いた道路映像数は表-5.5 に示す通りである。

表-5.5 調査に用いた年度別の道路映像数

	調査年度					
	H19	H20	H21			H22
			グループ1	グループ2	グループ3	
日中の道路映像数	17	15	32	30	32	46
計			172			

なお、調査に用いた道路映像はビデオカメラ、前方散乱型視程計(明星電気(株)製 TZF-4)を搭載した視程障害移動気象観測車(写真-5.3)を用いて、吹雪の発生した冬期間に北海道石狩市近郊の道路で計測しており、撮影時には併せて視程(以下、機械視程計測値(Vm))を取得した。



写真-5.3 視程障害移動気象観測車

5.3.2 吹雪視程障害度に関する評価指標の取りまとめ

吹雪視程障害時に、その障害の度合いを評価する軸・項目を考えると、客観性の高い評価指標として吹雪現象に伴って直接影響を受け変化する要素で、視程との相関が高いとされる光の透過率等から推定した気象光学距離(MOR)^{1)、2)、5)、6)}や飛雪粒子の単位時間当たり単位断面積を通過する量である飛雪流量(g/m²/s)から推定した推定視程^{2)、3)}があげられる。

しかし、この指標では道路上に設置された吹雪対策施設など視的目標物となる沿道施設の効果が考慮されないため、道路の視程障害度や運転上の危険度を評価することは難しい。このため、本研究では5.3.1項で評価した吹雪時の運転意志(図-5.5)から想定される運転困難度を吹雪視程障害度の指標として提案し評価手法を検討した。

図-5.7は、各道路映像を見て被験者が評価した視認距離と運転意志のそれぞれ中央値を集計し、関係を示したものである。図-5.7より、道路の視認距離が短いほど運転意志が低くなり、運転困難度の評価は高い傾向が見られた。また、その相関係数(R=0.917)も高い結果が得られた。

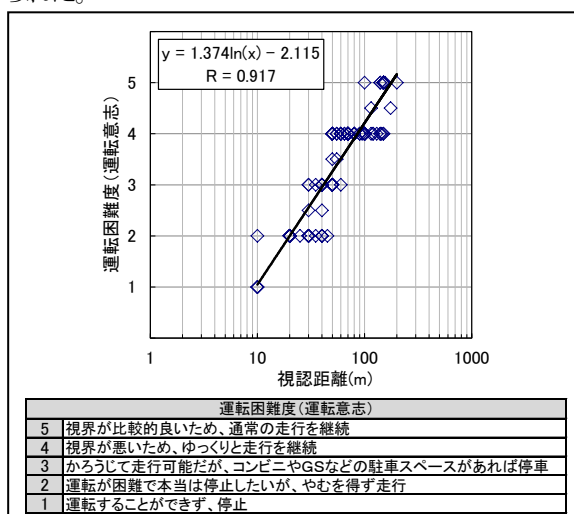


図-5.7 視認距離と運転困難度(運転意志)

このことから、道路利用者が吹雪時に感じている道路上の視認距離を推定することによって、運転意志を基にした吹雪視程障害度を評価することが可能と考えられる。

そこで、被験者が吹雪時の道路映像から評価した道路上の視認距離を目的変数、機械視程計測値、視程変動強度⁷⁾、降雪の有無や視線誘導施設、吹雪対策施設、電柱、沿道家屋の有無といった気象条件や沿道施設条件を説明変数として多変量解析を行った。ただし、視認距離には被験者が評価した結果の中央値を用いた。なお、機械視程計測値及び視程変動強度⁷⁾以外の説明変数は全てカテゴリ変数であることから、分析手法には数量化I類を用いた。

その結果、表-5.6に示したカテゴリースコアの通り、各説明変数の影響度が明らかとなった。この説明変数毎のカテゴリースコアを基に、気象条件と沿道施設条件から視認距離を推定する評点表を表-5.7(上)に作成した。さらに、推定された視認距離より図-5.7に示した視認距離と運転困難度との関係を用いて、吹雪視程障害度を5段階の指標で判定する表を表-5.7(下)に示す通り取りまとめた。なお、この吹雪視程障害度の評価指標とその評点表を用いることにより、視程計では評価できなかった視線誘導施設などの吹雪視程障害対策としての効果にも考慮した定量的な視程障害度が把握可能と考えられる。

また、この評価手法は平成23年度以降に取り組んでいる「暴風雪による吹雪視程障害予測技術の開発に関する研究」や「路線を通した連続的な吹雪危険度評価技術に関する研究」において活用していく予定であり、今後よりドライバーの視点に立った吹雪視界情報の提供や吹雪危険度の評価に寄与していくものと考えられる。

表-5.6 数量化I類による多変量解析の結果

目的変数	説明変数	カテゴリー数	
視認距離	機械視程計測値Vm(m)	4	
	視程変動強度	3	
	降雪	2	
	固定式視線誘導柱	2	
	防雪対策施設等	2	
	電柱	2	
	家屋	2	
重相関係数=0.7411			
決定係数(重相関係数の2乗)=0.5492			
アイテム	カテゴリー	カテゴリースコア	偏相関係数
機械視程計測値Vm(m)	1	-33.5504	0.6521
	2	-17.3166	
	3	16.9696	
	4	40.1106	
視程変動強度	1	1.7069	0.0604
	2	-1.8146	
	3	-1.8766	
降雪	1	-3.9284	0.3139
	2	24.2249	
固定式視線誘導柱	1	6.8296	0.2031
	2	-6.3692	
防雪対策施設等(防雪柵・林帯・防護柵)	1	12.1277	0.2837
	2	-8.5254	
電柱	1	8.9204	0.2623
	2	-9.1303	
家屋	1	13.0103	0.2826
	2	-7.7098	
定数項		72.8779	

表-5.7 吹雪視程障害度の評価手法(案)

項目	評価基準	評点
a.視程計測値 (対象期間の平均値)	～50m	-34
	50～100m	-17
	100～200m	17
	200m～	40
b.視程変動強度	～50%	2
	50%～	-2
c.降雪	有	-4
	無	24
d.固定式視線誘導柱	有	7
	無	-6
e.吹雪対策施設等 (防雪柵・防護柵)	有	12
	無	-9
f.電柱	有	9
	無	-9
g.家屋	有	13
	無	-8
h.合計(=a+b+c+d+e+f+g)		
i.視認距離(=h+73)		m

障害度ランク	視認距離	判定
ランクA	～15m	運転は極めて困難
ランクB	15～30m	運転は困難で危険性が非常に高い
ランクC	30～60m	運転はかろうじて可能だが危険性が高い
ランクD	60～125m	減速、徐行による運転が可能
ランクE	125m～	通常の運転が可能

5.4 視程障害時の効果的な安全支援方策の開発

近年、北海道では急激に発達した低気圧によって、これまで吹雪発生頻度が比較的低かった地域においても吹雪による交通障害が発生する事例が見られている^{8)、9)}。

このため、限られた道路事業費の中で早期に対策を進めていくには、従来の防雪柵などのハード対策に加えて冬期道路の吹雪情報を提供し、道路利用者に適切な運転行動を促すなどのソフト的な安全支援対策も重要である。

本研究では、吹雪時における適切かつ安全な運転行動を道路利用者へ促すなどの安全支援方策とし、吹雪時の視界情報をリアルタイムに道路利用者に提供するため2つの情報提供システムを構築し試験運用を行った。

5.4.1 吹雪視界情報提供システム

5.4.1.1 吹雪時の視程推定手法

冬期道路における吹雪時の視界状況や路面状況などの走行環境情報をリアルタイムに道路利用者に提供する有効な手段のひとつには、道路画像の情報を提供することが考えられる。既往研究^{10)、11)}においても、冬道の安全を考慮した道路利用者の運転計画において道路画像の情報は非常に重要であることが明らかとされている。

しかし、北海道地区道路情報(国土交通省北海道開発局提供)において、例えば一般国道5号(函館市(起点)～札幌市(終点))の延長約300kmの区間で提供されている

道路画像の情報は4箇所のみであるなど、道路画像の情報を入手できる箇所は数が限られており、冬期道路の連続した経路上の視界状況をよりきめ細かく道路利用者に提供するには道路画像の情報のみでは不十分と考えられる。

このため、冬期道路の吹雪時における視界状況を情報提供していくには、広域なエリアで視程をリアルタイムに推定することが重要である。

既往研究及び本研究^{2)、3)}において吹雪時の視程は、単位時間当たり単位空間を通過する飛雪粒子の質量である飛雪流量($g/(m^2s)$)との相関性が非常に高く、式(2)に示す関係が明らかとされている。

$$Vis = 10^{-0.886 \times \log Mf + 2.648} \quad \dots (2)$$

Vis [m]: 視程

Mf [$g/(m^2s)$]: 飛雪流量

なお、飛雪流量は単位空間当たり存在する雪粒子の質量である飛雪空間濃度(g/m^3)と風速(m/s)の積によって把握することが可能である。

このため、飛雪空間濃度をリアルタイムに把握することができれば、視程を推定することが可能となる。しかし、飛雪空間濃度は気象庁が設置しているアメダスや道路管理等のために設置している気象テレメータにおいては通常計測が行われておらず、現状では容易に入手することが困難である。

一方、松澤は比較的容易に入手することが可能である降雪強度、風速、気温から任意の高さ z での飛雪空間濃度を推定する手法を提案している¹²⁾。

$$N(z) = \frac{P}{w_f} + \left(N_t - \frac{P}{w_f} \right) \left(\frac{z}{z_t} \right)^{-\frac{w_b}{kU_*}} \quad \dots (3)$$

$N(z)$ [g/m^3]: 任意高さ z での飛雪空間濃度

P [$g/(m^2s)$]: 降雪強度

w_f [m/s]: 降雪粒子の落下速度(=1.2[m/s])

w_b [m/s]: 浮遊粒子の落下速度(=0.35[m/s])

z_t [m]: 基準高度(=0.15[m])

N_t [g]: 基準高度 z_t における飛雪空間濃度(=30[g/m^3])

U^* [m/s]: 摩擦速度(=0.036 $\times V_{10}$)

ただし、 V_{10} は、高さ10mでの風速

k : カルマン定数(=0.4)

そこで、本研究ではこの式(3)の関係式を基に飛雪流量を把握し、式(2)より吹雪時の視程を推定することとした。

なお、式(3)の第1項(降雪項)は降雪粒子に起因した飛雪空間濃度、第2項(乱流拡散項)は雪面から舞上がった雪粒子に起因した飛雪空間濃度である。このため、式(3)第2項の計算条件として雪面から雪流粒子が浮遊

して舞い上がる（高い地吹雪が発生する）かを判定することが必要である。

そこで、飛雪空間濃度の推定においては、既往研究¹³⁾及び本研究¹⁴⁾で得られている高い地吹雪の発生する気象条件を参考に、降雪時と降雪の無い場合における式(3)第2項の計算条件を各々設定した。

5.4.1.2 吹雪時の視界状況情報処理システム構築

本研究では、気象庁よりメソ数値予報モデル及び解析雨量データを入力し、前項で述べた吹雪時の視程推定手法を基に、吹雪時の視程を推定する情報処理システムを構築した。

この演算処理システムでは、図-5.8に示した通り気象庁から配信されたメソ数値予報モデル及び解析雨量データから北海道内の5kmメッシュ毎の気温、風速データ及び1kmメッシュ毎の降雪強度データを抽出し、北海道内の1kmメッシュ毎の視程値を30分毎に推定させた。

なお、本研究で情報提供した吹雪の視界状況は、既往研究¹⁵⁾において取りまとめられている吹雪時の視程とドライバーの運転挙動の関係を参考に、5段階に区分し判定した。設定した吹雪の視界状況は「良好(1000m以上)」「やや不良(500~1000m)」「不良(100~500m)」「かなり不良(100~200m)」「著しい視程障害(100m未満)」である。

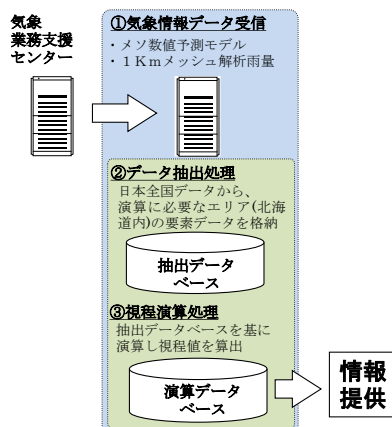


図-5.8 吹雪視程の推定に関する情報処理システム概要

5.4.1.3 吹雪視界情報提供システムの概要

吹雪の視界情報の提供エリアは、北海道内に限定し、気象庁が発表している気象警報・注意報のエリア区分を参考に区分した道内46エリアとした。

吹雪の視界情報は、前項で構築した吹雪時の視程推定処理システムにより推定された各エリアの代表地点での視程値を基に各エリアの吹雪の視界状況を5段階で判定し、マップ上で色分けにより提供した。なお、寒地土木

研究所では、北海道内の道路情報を総合的に取りまとめた北海道道路情報総合案内サイト「北の道ナビ」¹⁶⁾の運営を行っている。このため、情報提供は「北の道ナビ」のサイトを通じパソコン及び携帯電話向けに情報提供を行った。

図-5.9は、パソコンで実際に提供した平成23年3月4日10時30分の情報を示したものである。なお、パソコン向けの情報は平成21年2月11日より平成23年4月28日までの冬期間に試験提供を実施した。

また、携帯電話向けの情報は、平成23年2月14日より平成23年4月28日まで試験提供を実施した。



図-5.9 吹雪の視界情報提供画面（PC版）

5.4.1.4 吹雪視界情報提供システムの効果

図-5.10は、パソコン版情報ページの公開を行った平成21年2月11日～平成23年3月12日までの日当たりのアクセス数を年度別に示したものである。

図-5.10より、平成20年度、21年度、22年度と年度の経過とともに、吹雪の視界情報への平均アクセス数は増加し、平成23年1月7日には日最大の3391件のアクセスが見られ、平成23年1月6日～21日にかけてはアクセス件数が1000件を超える日が続いている。

平成22年度12月～3月までの札幌アメダスで観測された気象データ（図-5.11）を見てみると、1月初旬から下旬にかけて日降雪の多い日が続いており、札幌での荒天が続いた日により多く利用されていたことが分かる。このため、吹雪の視界情報は吹雪や降雪等による視界不良が予想される荒天時に最も有効な情報であると考えられる。

さらに、「北の道ナビ」¹⁶⁾ウェブサイト上でパソコン

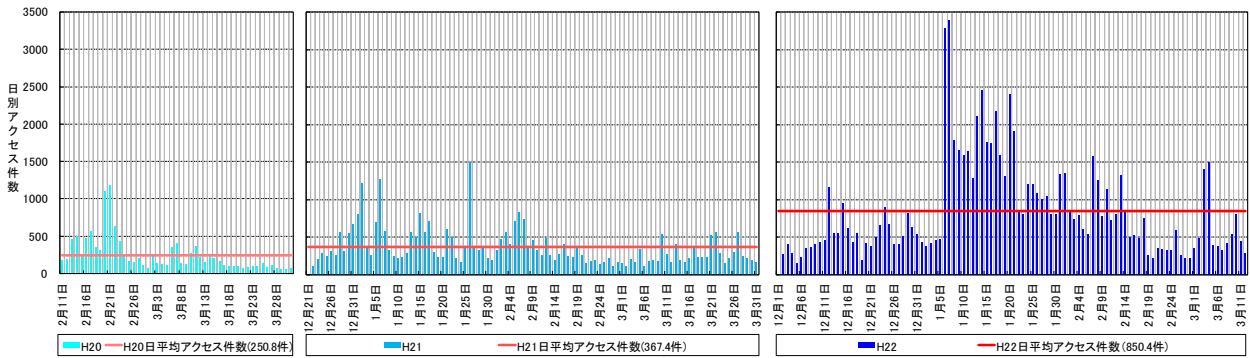


図-5.10 吹雪の視界情報へのアクセス数

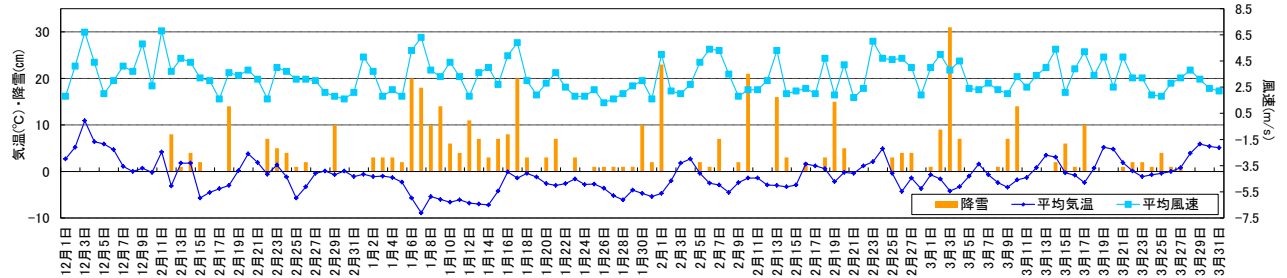


図-5.11 平成22年度の札幌市内の気象状況（札幌アメダスより）

版「吹雪の視界情報」の有効性や効果についての有効性や効果についてアンケート調査を行った。

平成22年3月9日～3月22日までにを行ったアンケートでは、計118名の「北の道ナビ」利用者からアンケートに対する回答が得られた。図-5.12は、その結果を示したものである。

図-5.12より、パソコン版「吹雪の視界情報」を道外・道内在住に関わらず9割以上の回答者が、「役立つ」「やや役立つ」と回答しており「吹雪の視界情報」が道路利用者にとって有効であることが明らかとなった。

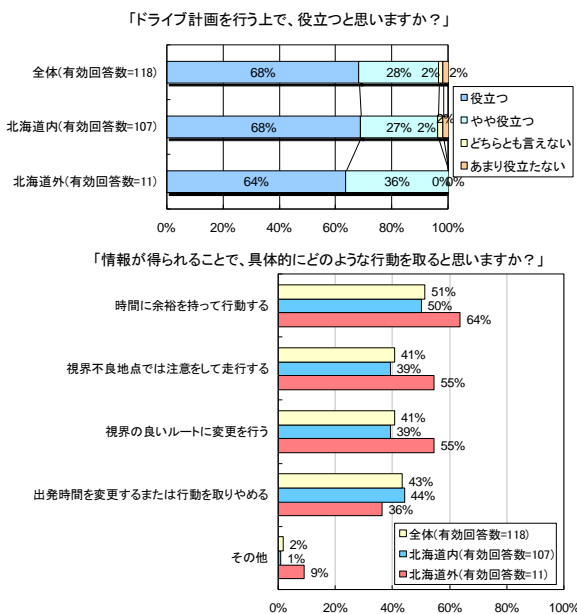


図-5.12 吹雪の視界情報の効果
(北の道ナビ上でのアンケート結果)

さらに、パソコン版「吹雪の視界情報」を得ることによって5割以上の回答者が「時間に余裕を持って行動する」との回答が得られ、また4割以上の回答者は「視界不良地点では注意をして走行する」「視界の良いルートに変更を行う」「出発時間を変更する又は行動を取りやめる」との回答が得られており運転計画の検討や変更にも利用される有効な情報であると考えられる。

5.4.2 吹雪情報（吹雪の投稿情報）提供システム

ここでは、前述の「吹雪の視界情報」の補完、吹雪災害発生時などにリアルタイムな道路情報を道路利用者へ迅速に提供していくため、道路利用者から吹雪に関する道路情報を収集し、提供するシステムを構築し試験運用を行った。

5.4.2.1 吹雪情報（吹雪の投稿情報）提供システムの概要

道路利用者から携帯電話又はパソコンを用いて、吹雪時の視界状況、天候、道路上の静止画像などの情報を投稿してもらい、パソコン向けのウェブサイト上で収集した情報を提供する情報提供システムを構築し、道路利用者から情報を収集し提供するシステムの試験を平成23年1月27日～4月28日まで行った。

図-5.13は平成23年2月7日に実際提供した情報を示したもので、情報ページには投稿者の住まい、ニックネームと投稿された道路情報の市町村、路線、吹雪の視界状況、天候、コメントを表形式で掲載した。なお、情報



図-5.13 「吹雪情報(吹雪の投稿情報)」の提供画面

ページに表示される情報は閲覧時から前3時間までに投稿された情報のみとした。

ただし、別途過去の日付を指定することによって、過去に投稿された情報を1日毎に表示可能とした。

5.4.2.2 吹雪情報(吹雪の投稿情報)提供システムの効果

図-5.14は、情報ページの公開を行った平成23年1月27日～平成23年3月12日までの日当たりの情報ページへの投稿件数とアクセス数を示したものである。なお、情報を公開した平成23年1月27日～3月12日までの期間には情報投稿者に38名の登録があり、計77件の吹雪情報の投稿が見られた。

図-5.14より、「吹雪情報(吹雪の投稿情報)」ページへの日平均のアクセス数は208件見られ、集計期間では札幌アメダスで記録された日降雪の多かった平成23年2月1日に日最大733件、最も降雪の多かった平成23年3月3日の荒天時(図-5.11)には日当たり投稿件数が9件と最も多く、452件の情報ページへのアクセスがみられた。

また、これまでの情報と同様に「北の道ナビ」ウェブ

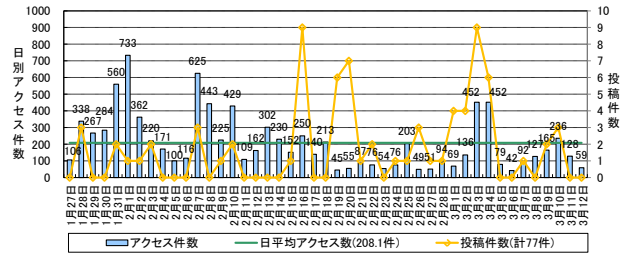


図-5.14 吹雪情報(吹雪の投稿情報)へのアクセス数

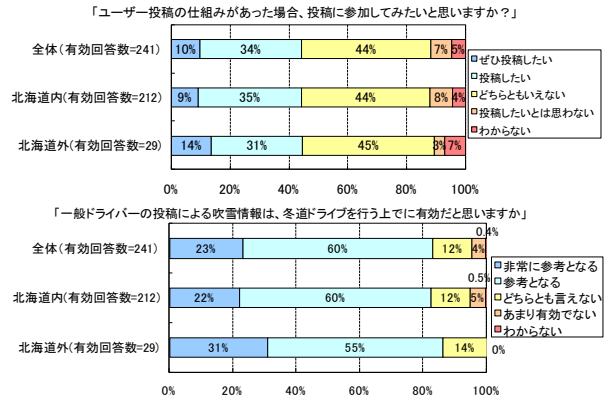


図-5.15 「吹雪情報(吹雪の投稿情報)」の効果(北の道ナビ上でのアンケート結果)

サイト上で平成23年2月18日～3月7日までの18日間に「吹雪情報(吹雪の投稿情報)」の有効性や実用に向けた可能性に関するアンケート調査を行い、241名からアンケートに対する回答が得られた。図-5.15は、その結果を示したものである。

図-5.15より、9割以上の回答者が「役立つ」「やや役立つ」と回答しており「吹雪の視界情報」同様に有効性が明らかとなった。また、アンケートの結果、4割以上の回答者から「吹雪情報」を投稿したいとの意思表示が示された。

「吹雪情報(吹雪の投稿情報)」では、きめ細かく信頼性の高い情報を安定的に提供していくことは非常に難しいが、本結果より道路利用者から吹雪情報を収集し提供していくことは十分に可能と考えられる。このため、暴風雪時などの吹雪状況をリアルタイムに収集し道路利用者へ迅速に情報提供することは可能と考えられ、吹雪災害時に運転計画の変更や安全運転を道路利用者に促す対策として「吹雪情報(吹雪の投稿情報)」は有効と考えられる。

ただし、道路の吹雪状況などを道路利用者から継続的に収集し提供していくことによって、情報投稿者や利用者の拡大や定着を図ることが重要と考えられる。

5.5 冬期道路の走行環境情報提供システムの開発

積雪寒冷地の冬期道路では、吹雪による視程障害や雪氷路面などの発生による厳しい走行環境での走行を道路利用者は強いられている。このため、冬期道路のリアルタイムな走行環境に応じた情報提供を経路別に行っていくことは道路利用者の安全支援として重要と考えられる。本研究では、冬期のリアルタイムな吹雪時の視界状況や冬の所要時間の情報などを経路別に提供する「冬期道路の走行環境情報提供システム」を構築し、試験運用を開始した。

5.5.1 冬期道路の走行環境情報の提供に向けた課題

前述の「北の道ナビ」では、北海道内の市町村や主要空港等を出発地・目的地に指定させることで、出発地から目的地までの経路やその距離、無積雪期の所要時間などの情報を提供している(以下、「距離と時間検索」¹⁷⁾)。このため、本研究ではこの機能を拡充する方法でシステムを構築し、情報提供を行った。

なお、リアルタイムな吹雪時の視界状況を経路別に提供するためには、リアルタイムに経路上の吹雪時の視界視程を推定することが必要となる。そこで本研究では、5.4.1.2 項で構築した吹雪時の視界状況演算処理プログラムを用い、経路上の吹雪時における視程をリアルタイムに推定することによって、経路上の吹雪時の視界状況を市町村別に判定し情報提供することとした。

また、冬の所要時間を情報提供するためには、冬期道路の走行速度に影響を与えていると考えられる吹雪時の視界状況や路面状況の走行速度への影響を定量的に把握することが重要である。

しかし、既往研究では吹雪時の視界状況や路面状況と走行速度の関係について調査された事例が少なく、走行速度への影響を視界や路面状況別に体系的に整理することは難しい。

5.5.2 冬の所要時間情報の推定手法

5.5.2.1 冬期道路の視界・路面状況と走行速度の関係

本研究では、冬期道路の所要時間情報の提供に向け、北海道内の郊外部を走る一般国道の縦断勾配がほとんどない直線区間5箇所において、冬期間の走行速度と視界及び路面状況の関係について調査を行った。その結果、冬期道路の郊外部直線区間における視界や路面状況の影響による走行速度の低下割合が表-5.8 に示すとおりとなった¹⁸⁾。

表-5.8 積雪期の走行速度の低下割合 (郊外平地部/直線区間)

直線区間	視界状況					
	1000m以上	500-1000m	200-500m	100-200m	100m未満	
郊外平地部	乾燥	0.0%	1.4%	3.3%	-4.0%	—
			6.7% ~ -3.2%	3.3% ~ 3.3%	4.6% ~ -12.7%	—
	湿潤	-2.5%	-4.3%	-5.9%	-9.9%	-14.6%
		-0.2% ~ -5.7%	-2.0% ~ -5.1%	-3.2% ~ -9.5%	-1.6% ~ -14.6%	-14.1% ~ -15.0%
	シャーベット	-8.0%	-7.6%	-10.4%	—	—
		-5.7% ~ -12.1%	-6.0% ~ -8.3%	-8.8% ~ -13.0%	—	—
積雪	-4.0%	-5.1%	-7.9%	-12.2%	-16.8%	
	-0.2% ~ -10.1%	-1.6% ~ -10.6%	-4.1% ~ -14.5%	-6.2% ~ -17.1%	-10.2% ~ -27.4%	
凍結	-1.3%	-3.2%	—	—	—	
	0.9% ~ -2.9%	-1.6% ~ -4.8%	—	—	—	

凡例：
 平均値 (※観測箇所5箇所の平均値) -10%以上
 最大 ~ 最小 (※観測箇所5箇所での、最大及び最小値) -10%未満-20%以上
 -20%未満
 該当データなし

※数値は乾燥路面かつ視界1000m以上での走行速度に対する速度の低下割合

表-5.8 より、視界状況1000m以上かつ乾燥路面での走行速度より走行環境の悪化に伴って、各走行環境条件での走行速度は低下する傾向があり、視界状況100m未満の積雪路面で最大27.4%の速度低下が見られる。

5.5.2.2 冬の所要時間情報の推定方法

前述した通り、「距離と時間検索」¹⁷⁾では出発地から目的地までの経路やその距離などの情報に併せて、無積雪期の所要時間の情報を既に提供している。

そこで、本研究ではこの無積雪期の所要時間データと積雪期の視界及び路面状況に応じた走行速度の低下割合を基に、冬の所要時間を推定し情報提供することとした。

冬の所要時間は、視界状況が「視界良好1000m以上」「視界不良200~1000m」「著しい視界不良200m未満」の3段階、路面状況が「湿潤・乾燥」「雪氷路面」の2区分に分けて推定することとし、無積雪期の走行速度に対する各走行環境条件での速度の低下割合は表-5.8より走行環境毎に速度の低下割合が最も大きい値(最小値)を抽出し、表-5.9に示した通り設定した。なお、所要時間の推定は、山間部等の郊外平地部以外の全て地域について、同様の走行速度の低下割合を用いて行うこととした。

表-5.9 無積雪期からの走行速度の低下割合 (郊外平地部/直線区間)

	雪氷路面	湿潤・乾燥
著しい視界不良200m未満	27%	15%
視界不良 200~1000m	15%	10%
視界良好 1000m以上	12%	6%

5.5.3 冬期道路の走行環境情報提供システムの概要

5.5.3.1 冬の詳細路線情報の提供方法

本研究では、「距離と時間検索」¹⁷⁾で検索されたこれらの経路情報に加え冬期道路のリアルタイムな「市町村毎の吹雪の視界状況」や「冬の所要時間」、国土交通省北海道開発局が北海道地区道路情報¹⁹⁾で提供している「道路画像」、「気象テレメータ」の情報をパソコン及び携帯電話向けに提供する「冬の詳細路線情報」ページを構築し、平成23年2月14日より道路利用者に対し試験公開を行った。

パソコン版「冬の詳細路線情報」ページでは、図-5.16に示した通り上方に出発地から目的地までの距離と無積雪期の所要時間、その下方左側に路線毎の経路、下方右側に経路が通過する市町村毎の「吹雪の視界状況」と「吹雪視程の推定に用いた気象情報」を表示させ、情報提供を行った。なお、道路のCCTV画像やテレメータデータが存在する場合には、図-5.16に示した通り各情報への誘導を行った。

5.5.3.2 冬の所要時間情報の提供方法

図-5.16に示した通り、パソコン版「冬の詳細路線情報」ページでは、無積雪期の所要時間情報の上方には冬の所要時間を検索するためのボタンを設け、図-5.17に示す冬の所要時間が検索できる情報ページへの誘導を行った。

この情報ページでは、5.5.2.2項で設定した視界状況「視界良好 1000m 以上」「視界不良 200~1000m」「著しい視界不良 200m 未満」の3段階、路面状況「湿潤・乾燥」「雪氷路面」の2区分を利用者に選択させることで、事前に利用者が指定していた出発地と目的地までの冬の所要時間を表-5.9を基に推定し表示した。



図-5.16 「冬の詳細路線情報」の提供画面と情報コンテンツ(パソコン版)
(吹雪の視界状況(右上)、道路の気象テレメータ(右下(左))、道路画像(右下(右)))



図-5.17 冬期道路の走行環境情報提供画面

5.5.4 冬期道路の走行環境情報提供システムの効果

図-5.18 は、パソコン版「冬の詳細路線情報」「冬の所要時間」ページの公開開始翌日から平成 23 年 3 月 12 日までの日当たりのアクセス件数を示したものである。

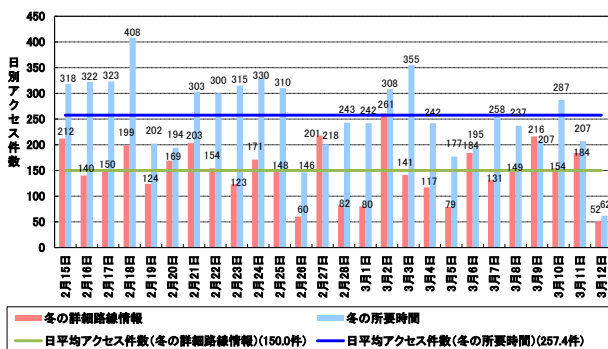


図-5.18 冬の詳細経路情報へのアクセス数

図-5.18 に示した通り、パソコン版「冬の詳細路線情報」ページの日平均のアクセス件数は 150 件見られ、集計期間では札幌アメダスで記録された日降雪が 31 cm と最も多かった平成 23 年 3 月 3 日の前日に日最大 261 件のアクセスが見られた。このように、「冬の詳細路線情報」は「吹雪の視界情報」と同様に荒天時に最も有効な情報

であると考えられる。

さらに、「冬の所要時間」ページは日平均アクセス件数が「冬の詳細路線情報」よりも多い 257 件見られた。

また、「冬の詳細路線情報」「冬の所要時間情報」ページでは図-5.16、図-5.17 に示した通り情報利用者に対し情報の有効性や参考となる情報内容についてアンケート調査を行った。図-5.19、図-5.20 はそれぞれ平成 23 年 3 月 7 日までにパソコン版「冬の詳細路線情報」を利用した 57 名及び、パソコン版「冬の所要時間」を利用した 192 名から得られたアンケートの回答を集計したものである。

図-5.19 より、パソコン版「冬の詳細路線情報」ページは北海道在住の利用者全員、北海道外在住の約 9 割の利用者から「役立つ」と評価され、「冬の詳細路線情報」は有効な情報であることが確認された。さらに、パソコン版「冬の詳細路線情報」利用者の 7 割以上が「吹雪の視界情報」を参考になると回答しており、提供した情報コンテンツの中で最も参考になると評価された。このことから、経路上のリアルタイムでの吹雪の視界状況を市

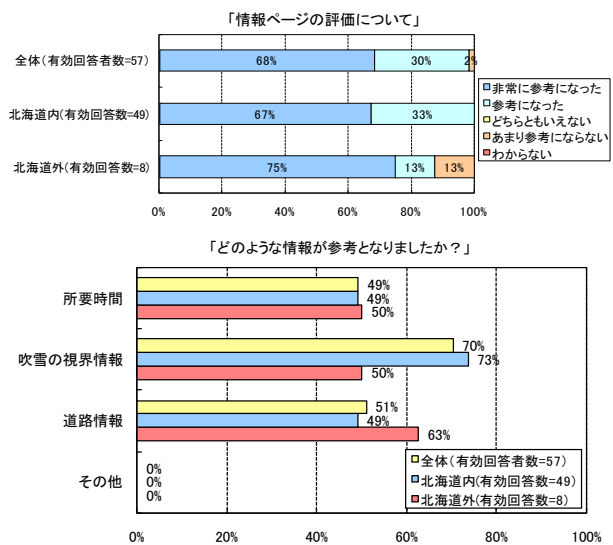


図-5.19 「冬の詳細路線情報」(パソコン版)の効果 (情報利用者へのアンケート結果)

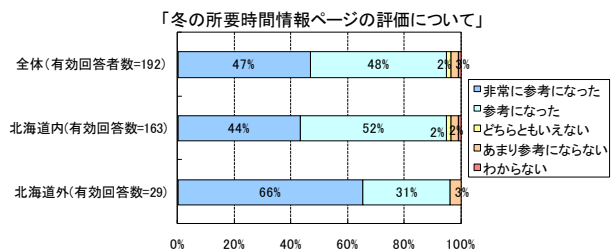


図-5.20 「冬の所要時間情報」の効果 (情報利用者へのアンケート結果)

町村毎に5段階で提供することは道路画像などの道路情報と同等以上に有効な情報であると考えられる。

また、図-5.20よりパソコン版「冬の所要時間情報」ページについても北海道内・外在住に関わらず9割以上の利用者から、「役立つ」と評価され有効な情報であることが確認された。加えて、「北の道ナビ」¹⁶⁾ウェブサイト上においても平成23年2月18日～3月7日の18日間、パソコン版「冬の詳細路線情報」ページの利用場面や有効性についてアンケート調査を行った。その結果、計241名の「北の道ナビ」利用者から回答を得た。図-5.21はその結果を示したものである。

図-5.21より、「冬の詳細路線情報」を8割以上の回答者が「天気予報で悪天候が予想されるときに活用する」と評価し、「出発、到着時間検討の参考とする」と評価している。このことから、視界不良など厳しい走行環境が予想される場合での道路利用者の運転計画に「冬の詳細路線情報」は有効な情報であると考えられる。

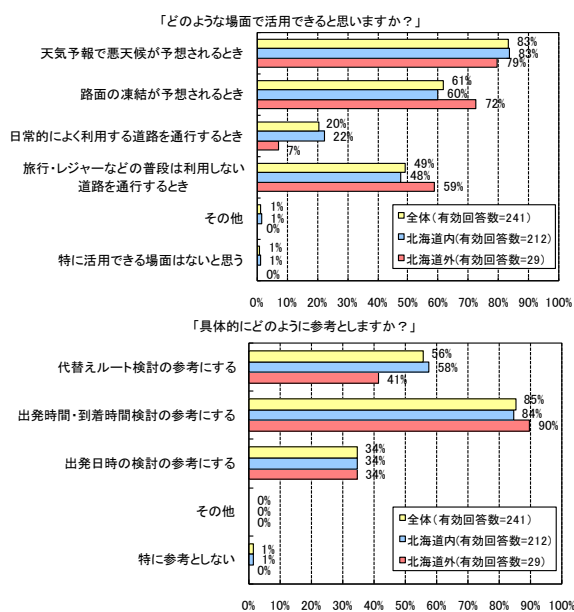


図-5.21 冬の詳細路線情報の効果
(北の道ナビ上でのアンケート結果)

5.6 まとめ

本研究では、道路に適した吹雪時の視程を把握するための計測手法や評価指標について検討を行った。その結果、視程計等を用いて視程を計測する場合、風上側路側近傍高さ1.5mで計測を行うことが適切であること、計測値の補正が必要であること等を提案した。また、道路

利用者が感じている道路上の視認性や運転意志を指標とした吹雪時の視程障害度の評価手法(表-5.7)を取りまとめた。

さらに、吹雪視程障害時における道路利用者への安全支援方策として、吹雪時におけるリアルタイムな視界情報(図-5.9、図-5.13)や冬期道路の経路別での視界状況や道路画像、走行環境に応じた冬の所要時間などの走行環境情報(図-5.16、図-5.17)を提供するシステムを構築し、道路利用者への情報提供を試験的に行い、アンケート調査やアクセス数から情報の有効性について検証した。

参考文献

- 1) 気象庁：地上気象観測指針、(財)気象業務支援センター、2002
- 2) 武知洋太、松澤勝、中村浩：吹雪時に人間が感じる視程と視程計や吹雪計による計測値との関係、北海道の雪氷、日本雪氷学会北海道支部、No. 28、pp. 17-20、2009
- 3) 松澤勝、竹内政夫：気象条件から視程を推定する手法の研究、日本雪氷学会誌 雪氷、第64巻1号、pp. 77-85、(社)日本雪氷学会、2002
- 4) John Manfredi, et al. : Road Weather Information System Environmental Sensor Station Siting Guidelines、FHWA-HOP-05-026、2005.
- 5) 竹内政夫：吹雪時の視程に関する研究、土木試験所報告、北海道開発局土木試験所、No. 74、1980
- 6) 竹内政夫、福沢義文：吹雪時における光の減衰と視程、日本雪氷学会誌 雪氷、第38巻4号、pp. 165-170、(社)日本雪氷学会、1976
- 7) 石本敬志：視程変動強度の表現について、平成4年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集、(社)日本雪氷学会、p. 126、1992.9
- 8) 武知洋太、伊東靖彦、松下拓樹、山田毅、松澤勝、加治屋安彦：2008年冬期に北海道で発生した吹雪災害状況と課題について(1)～2008年2月・長沼近郊での事例について～、北海道の雪氷、日本雪氷学会北海道支部、No. 27、pp. 99-102、2008
- 9) 伊東靖彦、武知洋太、松下拓樹、山田毅、松澤勝、加治屋安彦：2008年冬期に北海道で発生した吹雪災害状況と課題について(2)～2008年4月・釧路根室地方での事例について～、北海道の雪氷、日本雪氷学会北海道支部、No. 27、pp. 103-106、2008
- 10) 松島哲郎、加治屋安彦、山際祐司：インターネット冬期道路情報提供における表現方法と行動変化につ

- いて、第 60 回年次学術講演会概要集、土木学会、
pp. 649-650、2005
- 11) 加治屋安彦、松田泰明、松島哲郎：冬期道路情報の表現方法が道路利用者の交通行動決定に与える影響、寒地土木研究所月報、No. 651、寒地土木研究所、pp. 2-9、2007. 8
 - 12) 松澤勝：吹雪時の視程推定手法とその活用に関する研究、寒地土木研究所報告、寒地土木研究所、第 126 号、2006. 5
 - 13) 竹内政夫、石本敬志、野原他喜男、福沢義文：降雪時の高い地吹雪の発生臨界風速、昭和 61 年度日本雪氷学会全国大会予稿集、日本雪氷学会、p. 256、1986
 - 14) 武知洋太、中村浩、松澤勝、川中敏朗：地吹雪発生時の気象条件に関する一考察、雪氷研究大会(2010・仙台)講演要旨集、日本雪氷学会、日本雪工学会、p. 216、2010
 - 15) 加治屋安彦、松澤勝、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 vol. 20、(社)北海道開発技術センター、pp. 325-331、2004
 - 16) 寒地土木研究所：北海道の道路情報総合案内サイト「北の道ナビ」：
<http://www.northern-road.jp/navi/>
 - 17) 寒地土木研究所：距離と時間検索（北の道ナビ）：
<http://time-n-rd.jp/>
 - 18) 武知洋太、松澤勝、中村浩、金子学、川中敏朗：冬期道路の視界と路面状況による走行速度への影響について、寒地土木研究所月報、No. 691、pp. 2-12、2010. 12
 - 19) 北海道開発局：北海道地区 道路情報：
<http://info-road.hdb.hkd.mlit.go.jp/index.htm>

6. 凍結防止剤散布量の低減に関する研究

6.1 概説

積雪寒冷地の冬期道路管理においては、凍結路面対策として大量に凍結防止剤が使用される等¹⁾、維持管理コストの増大、環境への負荷などが懸念されている。

このため、本研究では、環境負荷の小さい散布剤等の散布手法の開発、薄氷処理技術の開発及び冬期路面管理による環境負荷の予防など、凍結防止剤の散布量の削減等に資する技術開発を行った。

6.2 凍結防止剤散布による環境負荷と予防手法の検討

凍結防止剤散布による環境負荷を評価するために、北海道内の国道沿道で地下水の水質調査および土壌成分調査を実施した(図-6.1、写真-6.1)。その際、凍結防止剤散布の影響を受ける可能性のある項目(水質 12 項目、土壌 6 項目)(表-6.1、表-6.2)を分析項目として設定し、季節変化・経年変化を把握した。

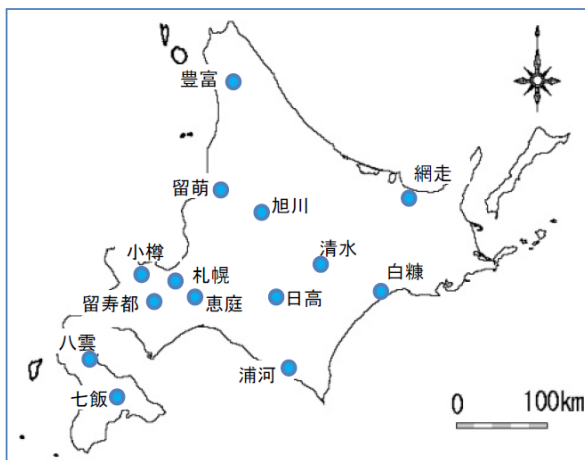


図-6.1 沿道環境調査実施箇所

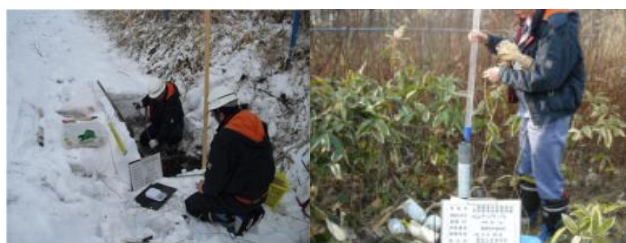


写真-6.1 現地調査

(左：土壌サンプル、右：地下水採取)

表-6.1 水質分析項目と分析方法

分析項目	分析方法	
電気伝導度	JIS K0102 13	電気伝導率測定法
水素イオン濃度	JIS K0102 12.1	ガラス電極法
ナトリウムイオン	JIS K0102 48.2	フレイム原子吸光法
カルシウムイオン	JIS K0102 50.2	フレイム原子吸光法
マグネシウムイオン	JIS K0102 51.2	フレイム原子吸光法
塩素イオン	JIS K0102 35.5	イオンクロマトグラフ法
硫酸水素イオン	JIS K0101 25.2 及び 25.1	赤外線分析法
カリウムイオン	JIS K0102 49.2	フレイム原子吸光法
硫酸イオン	JIS K0102 41.3	イオンクロマトグラフ法
硝酸イオン	JIS K0102 43.2.5	イオンクロマトグラフ法
ホウ素	JIS K0102 47.1	メチレンブルー吸光法
フッ素	昭和46年 環境庁告示第59号付表6	イオンクロマトグラフ法

表-6.2 土壌分析項目と分析方法

分析項目	分析方法
水素イオン濃度	土壌および作物栄養の診断基準(分析法-改訂版) III.1.1 ガラス電極法 * 1
塩基置換容量	土壌および作物栄養の診断基準(分析法-改訂版) III.1.8 ショーレンベルガー法 * 1
置換性ナトリウム	土壌および作物栄養の診断基準(分析法-改訂版) III.1.7 フレイム原子吸光法 * 1
置換性カルシウム	土壌および作物栄養の診断基準(分析法-改訂版) III.1.7 フレイム原子吸光法 * 1
置換性マグネシウム	土壌および作物栄養の診断基準(分析法-改訂版) III.1.7 フレイム原子吸光法 * 1
塩素イオン	土質試験法 JGS 0241*2 イオンクロマトグラフ法

*1. 北海道中央農業試験場(1992)

*2: (社)地盤工学会(2000)

その結果、水質成分については、関係する環境基準等に照らし、全ての項目で基準値を満たした。そのため、凍結防止剤散布による地下水への影響はないと評価された。

一方、土壌成分については、散布期間中に一部項目(塩素イオン)の数値が農用地土壌評価レベルを超過した。その測定時期は3月(融雪期)であったが、同年10月の測定値は大幅に低下して規定値内に回復したことから、土壌成分に関する影響については、さらに詳細な調査を行うことが望ましいと考えられる。

凍結防止剤による環境負荷予防手法については、上記調査結果を踏まえ、フィンランド等で行われている凍結防止剤の沿道環境負荷予防手法に関する文献調査を行った²⁾。その結果、沿道に地下水脈が近接する場合に凍結防止剤の散布を抑制または中止(それに伴い必要に応じて規制速度を変更)する例、凍結防止剤の効果的な使用(抑制)に努めた維持事業者に対して金銭的インセンティブが付与される例などが確認された。

6.3 環境負荷の小さい散布剤等の散布手法

環境負荷の小さい散布剤等の散布手法等の開発に向けて、効果的・効率的な塩化物の散布手法による環境負荷低減および塩化物以外の凍結防止剤・防滑材の導入可能性検討の観点から試験研究を実施した。

まず、各種凍結防止剤について、屋内低温実験室で融氷試験を実施し、融氷特性を把握した。その結果、①凍結防止剤の性能は、温度が低下するほど融氷量が低下すること、②塩化カルシウムは塩化ナトリウムに比べて速効性に優れるものの、最終的な融氷量では塩化ナトリウムに劣ること、を定量的に確認した³⁾ (図-6.2)。

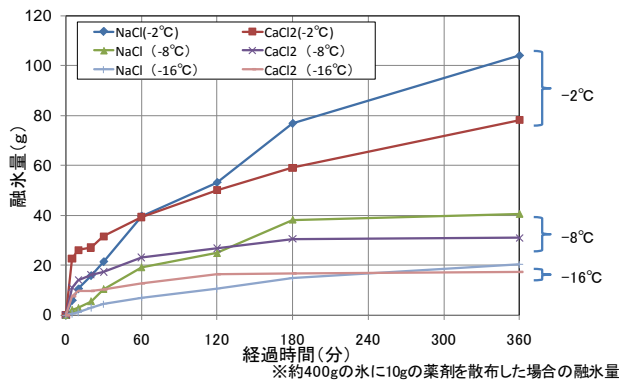


図-6.2 凍結防止剤の融氷試験結果例(塩化ナトリウムと塩化カルシウムの融氷量の比較)

また、苫小牧寒地試験道路において、散布試験を行った結果、①凍結防止剤を路面凍結後に事後散布するよりも、路面凍結前に事前散布することが有効であること、②路面温度が-2℃程度、路面上の雪氷量が少ない場合には塩化ナトリウム 20g/m²の散布で路面状態の改善が可能なこと、一方③路面温度が-10℃近い低温下では凍結防止剤散布では対応できないこと、そして④総合的に塩化カルシウムより塩化ナトリウムが有効であると判断できること、を確認した⁴⁾ (図-6.3)。

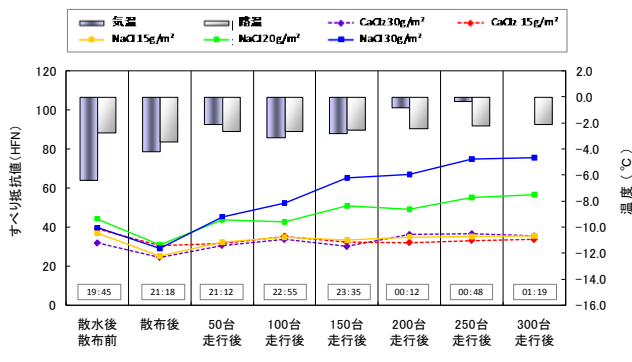


図-6.3 試験結果例(事後散布、路面温度-2℃程度)

次に、塩化物以外の凍結防止剤・防滑剤の導入可能性を検討するため、塩化カルシウム水溶液にかわる湿式剤として、北米などで使用実績のある糖蜜液の散布試験を行った。その結果、湿式剤としての使用法と比較して、予め固形剤に含浸させる使用法の効果が高いことを確認した(図-6.4)。

さらに、産業リサイクル促進の観点から、精糖過程で発生する残渣(ライムケーキ)(図-6.5、写真-6.2)について、防滑材としての活用可能性について実験した。苫小牧寒地試験道路での試験結果を図-6.6に示す。試験対象としたライムケーキは3種類で、ライムケーキAおよびライムケーキBは三角柱形状で配合が異なるもの、ライムケーキCは球状に造粒したものである。試験道路における実験では一定の性能が得られたため、引き続き一般国道での散布試験を実施し、路面すべり抵抗値の改善を確認できた⁵⁾。

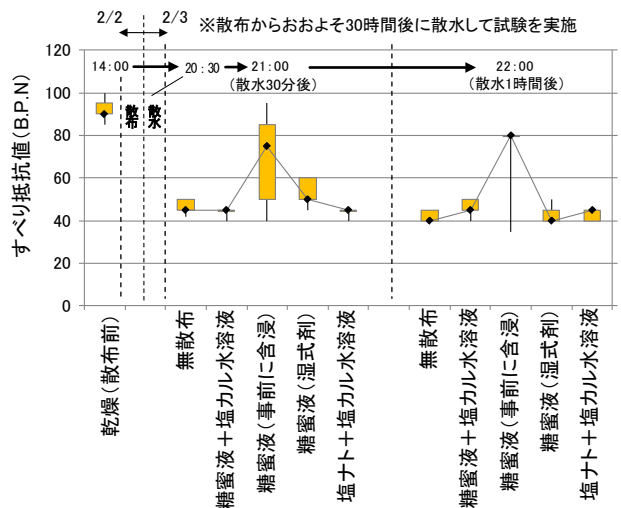


図-6.4 糖蜜液の散布試験結果例

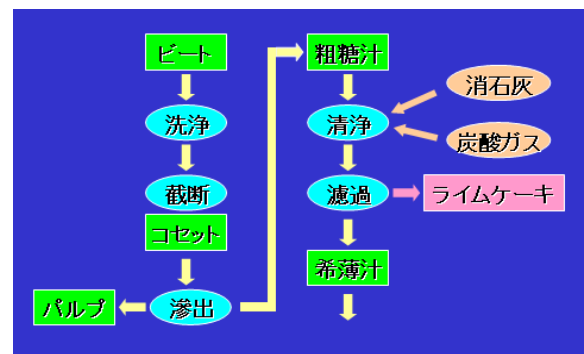


図6-5 ライムケーキ発生過程



写真-6.2 ライムケーキ防滑材



写真-6.3 ブラシ式除雪試験装置

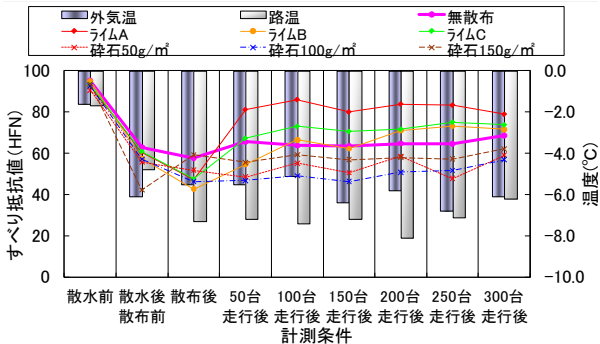


図-6.6 ライムケーキの散布試験結果例 (苫小牧寒地試験道路)

6.4 薄氷処理技術の開発

凍結防止剤の散布量削減に資する技術開発を目的に、ブラシ式除雪試験装置による薄氷処理技術の検討を行った。試験は、既存の維持除雪用機械をベース車両とするブラシ式除雪試験装置及び凍結防止剤散布車を使用して、試験道路に設定した氷厚 2mm 程度の路面に対する薄氷処理を行い、すべり摩擦係数の改善効果を計測した。

ブラシ式除雪試験装置 (写真-6.3) は、横軸縦回転式で、①平鋼線を面状の束とし放射線状に配列した平鋼線ブラシ (写真-6.4 左)、②波状に縮れた丸鋼線をスパイラル状にピッチ巻きした縮毛丸鋼線ブラシ (写真-6.4 中)、③樹脂をリング状にピッチ巻きした樹脂ブラシ (写真-6.4 右) の3種類にて確認を行った。

試験の結果、ブラシ施工により、路面のすべり摩擦係数の改善が確認できた。また、ブラシ式除雪試験装置又は凍結防止剤散布車の単独施工よりも、ブラシ装置及び散布装置の組合せ施工は路面のすべり摩擦係数の改善傾向が高いこと、ブラシ式除雪試験装置の施工は気温・路温共に温度による影響が少ないこと、一方、舗装に影響を与えずに薄氷を完全に除去することは困難であることを確認した (図-6.7、図-6.8)。

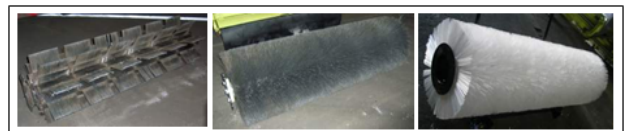


写真-6.4 使用したブラシ材 (左: 平鋼線ブラシ、中: 縮毛丸鋼線ブラシ、右: 樹脂ブラシ)

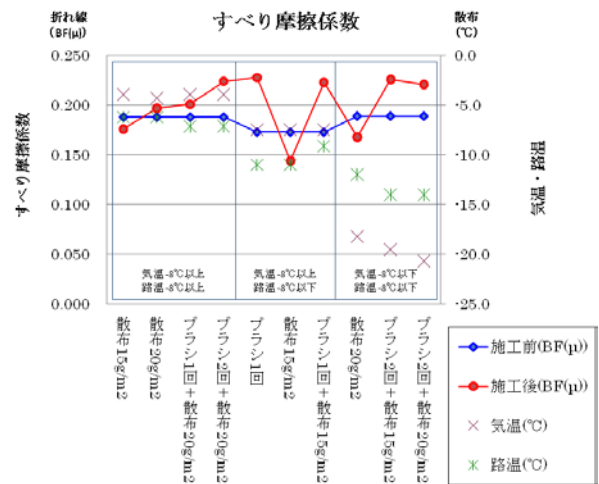


図-6.7 凍結防止剤との組合せ施工試験結果 (平鋼線ブラシ)

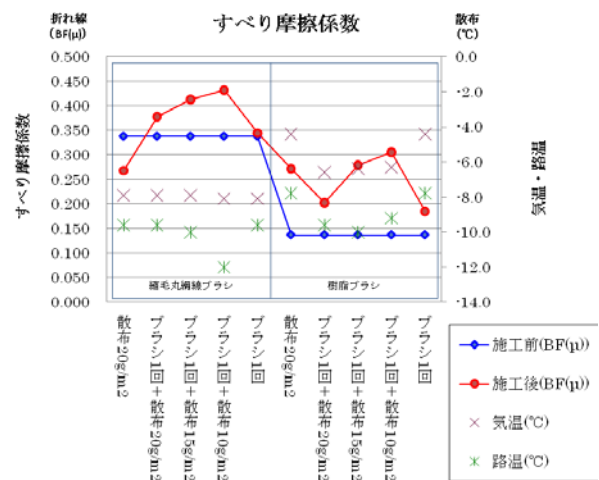


図-6.8 凍結防止剤との組合せ施工試験結果 (縮毛丸鋼線ブラシと樹脂ブラシ)

これらの結果より、凍結防止剤散布とブラシ施工を同時並行して実施できる機械施工が効果的であることが分かったが、ブラシの種類別による明らかな差異は見られなかった。このことから、既存の凍結防止剤散布車にブラシ式装置及びブロー装置を搭載する機械の仕様を開発した。

主要諸元を以下に、外観図を図-6.9 に示す。

凍結防止剤散布車

(10t 級、6×6、ブラシ装置+ブロー装置付)

ホップ容量	2.5m ³
溶液タンク容量	700L
最大作業幅	2,500mm
ブラシ回転速度	230~700rpm
最高作業速度 (ブラシ作動時)	40km/h
ブロー風量	280m ³ /min

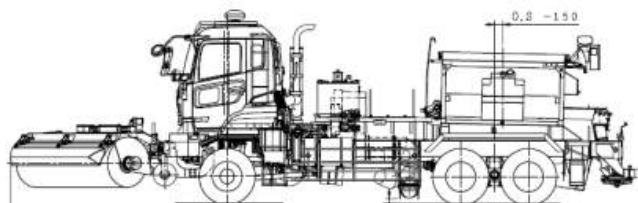


図-6.9 凍結防止剤散布車外観図

6.5 まとめ

本研究では、凍結防止剤環境負荷の評価と予防手法の検討、環境負荷の小さい散布剤等の散布手法の開発及び薄氷処理技術の開発など凍結防止剤の散布量の削減等に資する技術開発を行った。これにより得られた成果は、道路管理者に検討資料として提供するとともに、冬期道路管理の基準見直し (凍結防止剤散布基準) において、試験結果・知見が活用された。また、物理的に雪氷路面を除去する機械装置の検討を行うなど、道路管理者の要請に対応した技術開発に取り組んだ。

参考文献

- 1) 浅野基樹：北海道における冬期道路管理の政策評価に関する研究、北海道開発土木研究所報告、第 125 号、2006
- 2) PIARC Technical Committee B5 : Snow & Ice Databook 2010、2010
- 3) 熊谷卓士、佐藤圭洋、徳永ロベルト：融氷特性を考慮した凍結防止剤の選定手法に関する一考察、第 52

- 回 (平成 20 年度) 北海道開発技術研究発表会、2009. 2
- 4) 大日向昭彦、高田哲也、徳永ロベルト：凍結防止剤の散布手法に関する基礎的研究、第 54 回 (平成 22 年度) 北海道開発技術研究発表会、2011. 2
- 5) 大日向昭彦、徳永ロベルト、高橋尚人、河端淳一：精糖残渣 (ライムケーキ) を活用した新たなすべり止め材の散布効果について、平成 21 年度 ゆきみらい研究発表会、2010. 2

7. 雪氷処理の迅速化に関する技術開発

7.1 概説

北海道は、都道府県の中で最も広い約 83,500km²の面積を有しており、人口が4万人を超える都市間の平均距離が約 60km¹⁾の広域分散型の積雪寒冷地域である。

北海道の国道を管理する国土交通省北海道開発局（以下、開発局という）は、平成 22 年度現在 1,029 台の除雪機械を用いて、一般国道 6,610km の除雪を行っている。北海道における国道の除雪延長は年々増加しているが、除雪事業費は道路予算の縮減により、減少傾向にある。一方で道路利用者は、常に良好な路面管理、異常気象時における迅速な除雪作業を求めている。そのため、現有する除雪機械を有効に活用し、効率的・効果的な除雪作業の実施を支援するための技術が必要である。

本研究では、道路維持管理業務のより一層の効率化、高度化のため、開発局で平成 17 年度に導入された、除雪機械の動態を把握可能な基幹システムをベースに、除雪機械のマネジメント及び弾力的な運用支援が可能なシステムを開発することとした。

7.2 基幹システムの概要

除雪機械には GPS 及び各種作業センサーが設置されており、除雪機械の位置・作業情報（除雪中、回送中等の作業状態）を車載端末でリアルタイムに収集し送信する。基幹システムは、除雪機械から送られてくる情報を収集・管理し、リアルタイムな除雪進捗状況の確認や、過去の詳細な除雪作業履歴の確認を行うことが可能なシステムである（図-7.1）。



図-7.1 除雪機械位置の確認・作業履歴の確認

7.3 除雪機械マネジメントシステムの基本構想

基幹システムで入手した除雪機械の位置・作業情報と、道路管理情報（気象観測等）を連携させ、道路管理における除雪マネジメントが可能な機能について検討を行った。除雪マネジメントとは、除雪計画の策定（Plan）、実施（Do）、評価（Check）、処置（Action）といった「PDCA」サイクルを実現させ、道路維持管理業務の効率化及びサービスレベルの継続的な向上を図ることを指す。

除雪機械マネジメントシステム（以下、本システムという）の基本構想である 5 つの支援機能について説明する²⁾、³⁾、⁴⁾。

7.3.1 除雪計画支援

除雪工区の見直しや除雪機械の適正配置を検討するため、除雪機械の稼働情報や気象データをデータベース化することで、必要な分析が容易となり、効率的・効果的に除雪計画を策定することが可能となる。

7.3.2 出動判断支援

除雪出動判断は、担当者の経験により決定されているが、除雪機械の稼働情報や気象データを分析し、現在の気象情報から判断した出動タイミングをガイダンスすることで、経験が少ない監督職員、除雪工事請負業者（以下、除雪業者という）でも効率的な待機・出動判断が可能となる。

7.3.3 ダイナミック工区シフト支援

除雪作業は、通常割り当てられた担当工区内のみ実施されるため、局所的な大雪などの異常気象時には隣接工区間で除雪終了時刻に大幅な差異が生じ、路線全体では除雪の遅延が生じることがある。

本システムにより、隣接した工区の除雪進捗状況をリアルタイムに確認し、それぞれの工区における除雪終了時刻をシミュレーションする。除雪の応援が可能であれば、工区境（除雪機械の転回場所）をシフトすることで、路線全体の除雪時間の短縮（平準化）を図ることが可能となる。

7.3.4 豪雪災害対応支援

除雪作業時の除雪機械の位置や作業進捗状況の把握は、無線や携帯電話による通信手段を用いているため、状況把握や指示に時間を要している。

豪雪災害時には本システムを活用し、応援可能な機械や作業進捗状況をリアルタイムに確認し、出動指示を行

うことで、情報の共有化による迅速な災害対応が可能となる。また、時系列データの自動作成を行うことで、対応結果の効率的な確認・整理が可能となる。

7.3.5 凍結防止剤等散布情報収集・管理支援

凍結防止剤等の散布作業は、気象条件、路面状況により、適切な凍結防止剤・防滑材を用い、適正な散布量で実施する必要がある。これらを管理する散布日報は、決められた様式に手作業で記入するため、除雪業者の大きな負担となっている。

本システムにより、凍結防止剤散布車の操作パネルの散布設定情報と位置情報を自動で収集・管理し、地図上に散布箇所及び散布量を表示することで、詳細な散布情報の確認や効率的な散布情報管理が可能となる。

7.4 除雪機械マネジメントシステムの開発

本システムの基本構想に基づき、蓄積データが多なくても機能する「ダイナミック工区シフト支援システム」、「除雪作業状況確認システム」、「散布情報収集・管理システム」の開発、試行を行った。

7.4.1 ダイナミック工区シフト支援システム

道路管理者は、管轄路線を分割して工区を設定し、各工区毎に除雪工事業者を割り当てて除雪作業を行っている。通常の除雪作業では、担当工区内のみを実施するため、局所的な大雪など異常気象時には、隣接工区間で除雪終了時刻に大幅な差異が生じ、路線全体では除雪の遅延が生じることがある。その様な時に、隣接工区からの除雪の応援が可能であれば、工区境をシフト（ダイナミック工区シフト）し応援を行うことで、路線全体としての除雪時間の短縮・平準化を図ることが可能である。

工区シフト実施の判断を支援する機能として、ダイナミック工区シフト支援システムの開発を行った。

7.4.1.1 ダイナミック工区シフト支援システムの開発

ダイナミック工区シフト支援システムは、通常時の転回場所（工区境）以外にあらかじめ複数の転回可能地点を登録しておき、監督職員が指定する場所で除雪機械が転回した場合、出発地点（除雪ステーション等（以下、除雪STという））に何時に戻ってくるか「作業終了予想時刻」を提供するものである。監督職員はこの作業終了予想時刻を参考に、工区シフト実施の判断を行うことができる。

図-7.2は、実際に工区シフトを行うことを想定したシ

ステム画面である。一般国道 39 号で除雪車Aが、一般国道 333 号で除雪車Bが除雪作業を行っている。仮に一般国道 39 号の除雪作業が遅れている場合、それぞれの除雪車の除雪ルート及び通過時間を表示する。さらに新たな転回場所を指定し、シフト後の予想ルート及び作業終了時刻（除雪 ST 到着時刻）をシミュレーションすることにより、監督職員は工区シフト実施の判断を行う。なお、作業終了予想時刻は、通常時の使用を想定した過去の平均的な除雪速度から算出した時刻と、豪雪災害時や特定箇所の異常気象時の使用を想定した直近の平均除雪速度から算出した時刻の 2 種類の提供を行う。



図-7.2 ダイナミック工区シフト画面

7.4.1.2 ダイナミック工区シフト支援システムの試行

ダイナミック工区シフト支援システムで予想する除雪作業終了時刻のシミュレーション試験を網走開発建設部（以下、開発建設部を開建という）が実施する工区シフト試行に合わせて実施した。

平成 21 年 2 月 28 日に網走開建網走道路事務所管内で実施した工区シフト位置図を図-7.3 に示す。

一般国道 334 号の小清水工区が、転回場所を約 8km シフト（シフト区間①）し、隣接する女満別工区を支援する。支援を受けた女満別工区は、一般国道 39 号で、

転回場所を約14kmシフト（シフト区間②）し、網走工区の一部を支援する。

上記の工区シフト試行において、小清水工区の除雪トラックがシフト（女満別工区に応援）しなかった場合のシミュレーション結果を図-7.4に、シフトした場合のシミュレーション結果を図-7.5に示す。

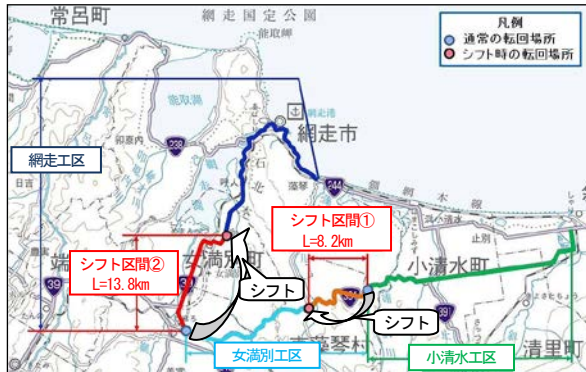


図-7.3 網走道路事務所管内工区シフト位置図



図-7.4 シフト無しシミュレーション(小清水工区)



図-7.5 シフト有りシミュレーション(小清水工区)

斜里ステーションを4時に出勤してから現在（シフトシミュレーション実施時刻）までの作業ルートは点線で表示され、転回場所を指定した後の予定ルートは実線で表示されている。各地点の予想時刻は、上段は過去1年間の平均作業速度より算出した到着予想時刻、下段は現

在の作業速度より算出した到着予想時刻を提供している。

システムで計算された到着予想時刻（図-7.5）と、実際の除雪ステーション到着時刻を比較してみると、過去の作業速度より算出した時刻が6時43分、現在の作業速度より算出した時刻が7時21分であったのに対し、実際の到着時刻は6時22分であった。シミュレーション結果の妥当性判断の基準がないため、除雪作業時間を5時間程度と想定して10%（30分）以内を妥当性判断の目安と考え、過去の作業速度より算出した到着予想時刻と実際の到着時刻の差が21分であったことから、シミュレーション結果としては概ね妥当と判断した。

また、試行を行った結果、下記のような問題点があることが分かった。

- ① 除雪機械があらかじめ登録した作業予定ルートから外れるとエラーが生じる。
- ② 表示までに時間がかかる。
- ③ 応援する機械、応援される機械を対で指定しなければならない。

7.4.2 除雪作業状況確認システムの開発

前述で説明した「ダイナミック工区シフト支援システム」において、使い勝手における問題点が判明した。

そこで、機能、表示情報項目、操作性、見やすさ等について、必要な要件を整理し、除雪進捗情報の共有と、指定した地点における除雪機械到着予想時刻の提供に特化した、除雪作業状況確認システムを開発した。

開発したシステム画面を図-7.6、図-7.7に示す。

このシステムにより、監督職員は除雪作業の進捗状況の把握が容易になり、工区境の臨機なシフト（ダイナミック工区シフト）や、除雪機械の他工区への柔軟な応援を行うことが可能になる。また、今後の除雪ルートを指定することにより、除雪終了予想時刻がシミュレーションできるので、除雪終了予想時刻に基づいた工区シフト判断を行うことが可能になる。



図-7.6 除雪作業状況確認システム



図-7.7 到着予想時刻の表示画面

7.4.3 散布情報収集・管理システム

凍結防止剤散布車による凍結防止剤散布作業は、運転室に設けられた「操作パネル」にて、散布の ON/OFF、散布剤の種類（塩類、砂類）、散布量（ g/m^2 ）、散布幅（m）、散布方向、水溶液混合割合を都度設定している。このうちいずれかの操作があった場合に、散布設定情報と位置情報を収集し地図上に表示することで、「いつ」、「どこで」、「何を」、「どれだけ散布したのか」が地図上で把握可能になる。また、散布設定情報に走行距離情報を付加することで、日散布量の算出が可能となるほか、散布時刻や散布位置等の散布履歴情報一覧をダウンロードすることによって、詳細な散布情報を CSV 形式で取得できるため、除雪業者が作成している散布日報の作成時に利用することが可能となる。

散布情報収集・管理システムを使用し、実際の凍結防止剤散布車から取得した散布情報データの提供画面を図-7.8に示す。

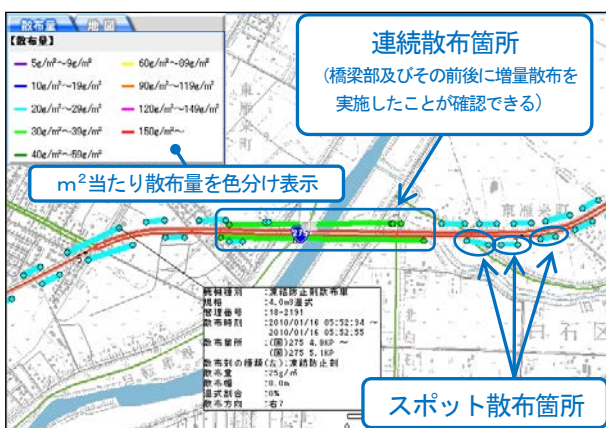


図-7.8 散布履歴情報の表示例

散布位置は道路の進行方向に対して左側にマークされ、○印は散布開始・終了地点、線がつながっている場所は

連続して散布した箇所を表し、交差点付近ではスポット散布を行っていることも確認できる。

設定散布量は凡例にあるように色分けして表示され、一般部は $20\sim 29g/m^2$ で凍結防止剤を散布しているが、橋梁部では $30\sim 39g/m^2$ で散布したことが確認できる。また、○印にカーソルを合わせるとその地点での散布時刻、位置（KP）などの詳細な散布設定情報が表示される。

7.5 システム利用状況及び改善要望調査

本システム（基幹システム含む）の利用状況及び改善点等を調査するため、平成 21 年 3 月に札幌・網走開建の道路維持・機械担当職員及び除雪業者を対象に、WEB によるアンケート調査を実施した。また、網走開建管内の各道路事務所職員及び各除雪業者に対して、本システムをどのように利用したか、また、本システムに対する要望事項等のヒアリング調査を実施した。

7.5.1 システム利用状況

調査結果より得られた「除雪機械位置の確認の利用頻度」を、図-7.9に示す。

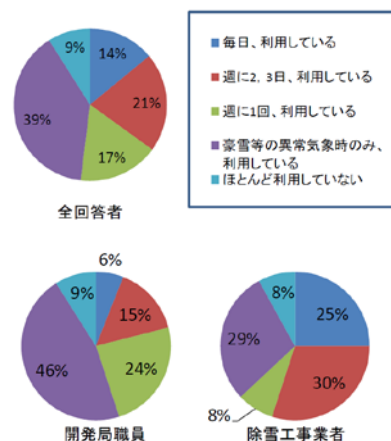


図-7.9 除雪機械位置の確認の利用頻度

この結果、利用頻度は、「毎日利用」から「週 1 回利用」が 52%、「豪雪時のみ利用」を合わせると 91%となり、除雪機械の位置情報が除雪作業において有効に活用されている実態が分かった。また、利用目的・用途については、「担当工区所属の除雪機械位置・作業内容の確認」、「散布履歴で指定した場所への散布がされているかの確認に利用した」等の回答があった。

次に、道路管理者は「道路利用者からの問い合わせや警察からの散布要請に対し、システムを確認して現在の作業状況を説明した」、「豪雪時に除雪業者との連絡が取りにくくなった時の除雪進捗状況の確認に利用した」等

の回答があった。また、平成 21 年 2 月 21 日の網走地域の豪雪時には「救急車の先導の依頼に対し、近くで作業している除雪車をシステムで探した」、「システムを見て隣接工区の除雪が遅れていると判断し、応援を送った」という事例もあった。

これらの調査結果を取りまとめ、本システムの普及を図るため、活用事例集を作成した（図-7.10）。

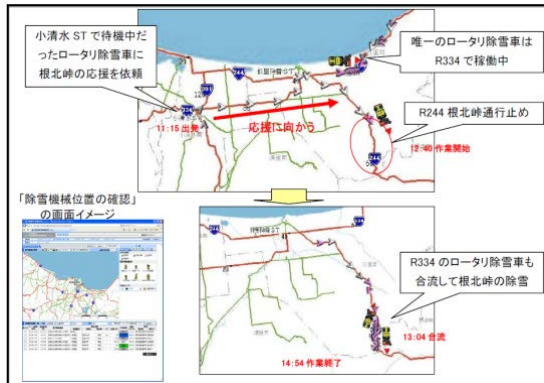


図-7.10 活用事例集の一例
(他工区の応援を行った例)

7.5.2 マネジメントシステムの改善

改善要望調査の結果、本システムの表示速度改善と、付加機能として気象情報、通行規制情報、道路カメラ画像等の関連情報の表示に対する要望が多く出された。

これらに対し、表示速度の改善は、地図ファイルを 7 段階から 10 段階に細分化し、それぞれの地図ファイルの容量低減を行った。

また、気象情報、道路カメラ画像等の表示は、開発局で提供している「北海道地区道路情報」へリンクを行い、システム画面上に表示することとした（図-7.11）。

これにより、除雪作業がどのような気象状況・路面状況で行われているのか同一画面上で把握可能となり、除雪作業の妥当性、除雪作業遅延要因等を容易に確認することができる。

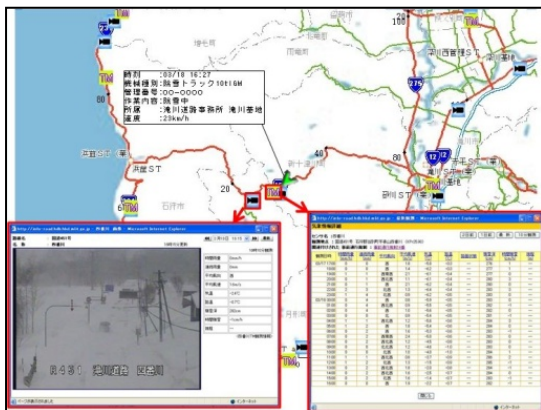


図-7.11 気象情報・道路カメラの表示例

7.6 携帯電話用 WEB サイトの提供

除雪業者の現場代理人は、除雪作業中は現場に出ることが多いため、除雪 ST 等において自ら PC 等で除雪作業情報を確認できないことがあり、現場においても必要な除雪作業情報の取得を可能とする携帯電話用 WEB サイト（以下、携帯サイトという）の必要性が要望としてあげられていた。

携帯サイトの機能、表示情報項目、操作性等について検討を行い、WEB サイトを開発した（図-7.12）。



図-7.12 携帯電話用 WEB サイト表示画面

この携帯サイトの提供により、除雪業者の現場代理人が現場にいても担当工区及び隣接工区の除雪機械の作業状況が確認可能となり、工区境の除雪タイミングを合わせるなど、除雪作業の臨機で効率的な運用に寄与することができるものとする。

7.7 システムアクセス状況調査

本システムの利用状況を分析するため、平成 20 年度（2008 年 11 月 1 日～2009 年 3 月 31 日）、平成 21 年度（2009 年 11 月 1 日～2010 年 3 月 31 日）、平成 22 年度（2010 年 11 月 1 日～2011 年 1 月 31 日）の 3 カ年におけるアクセス状況の調査を行った。調査対象は、開発局の各開建道路管理者及び除雪業者とし、調査項目は、アクセス回数、時間帯、アクセス時の気象状況及び除雪機械稼働状況とした。

7.7.1 開発建設部別アクセス状況

本システムの各開建のアクセスログ集計から、道路管理者、除雪業者ともに平成 20 年度から本システムを提

供している札幌開建と網走開建での利用が多い傾向にあることが分かった。

7.7.2 携帯電話用WEBサイトアクセス状況

携帯サイトの各開建のアクセスログ集計から、道路管理者では、札幌開建での利用が多く、次いで室蘭開建、釧路開建、函館開建で利用があるのみで、その他の開建では使われていない状況であった。

除雪業者では、札幌開建と網走開建での利用が多く、次いで室蘭開建、稚内開建の利用があるのみであった。

7.7.3 凍結防止剤散布履歴アクセス状況

平成22年度(2010年11月1日～2011年1月31日)における、凍結防止剤散布履歴のアクセス状況を調査した結果、室蘭開建、帯広開建、釧路開建のアクセスが多く、少雪でも路面凍結リスクが高い地域での本システムの有効性を確認した。

7.7.4 時間帯別アクセス状況

平成22年度(2010年11月1日～2011年1月31日)における利用時間帯別のアクセス状況を調査した結果、除雪機械の稼働状況に応じてシステムのアクセスが増える傾向にあることを確認した。道路管理者のアクセスログでは、8時台のアクセスが多いことから、除雪作業の確認を監督職員が出勤直後に行っていると思われる。

除雪業者のアクセスログでは、除雪作業のピーク後にアクセスが多いことから、除雪作業が終了する頃に確認を行っていると思われる。

7.7.5 まとめ

システムアクセス状況調査により、各開建のアクセス状況に偏りがあることがわかった。これは除雪車に搭載する車載端末が札幌開建と網走開建から先行して配備されたことと、その他の開建では散布系除雪機械にしか配備されていないことが、要因の一つと考える。

今後は、車載端末を搭載する除雪機械が増えていくことで、その他の開建でも本システムが除雪作業において有効に活用されていくものと考えられる。

7.8 除雪作業履歴の分析による作業効率の評価

本システムのサーバに蓄積された位置・作業情報データを分析し、除雪作業の効率性評価の可能性について検討を行った。

7.8.1 除雪機械稼働グラフの作成

除雪機械の作業日時、作業内容(本体、各装置の稼働)、作業箇所(KP)等が記録された作業データは、CSV形式での取得が可能である。このデータを分析するため、X軸に時刻、Y軸に距離標(KP)を取ったグラフを作成し、除雪作業状況を可視化した。(図-7.13)。

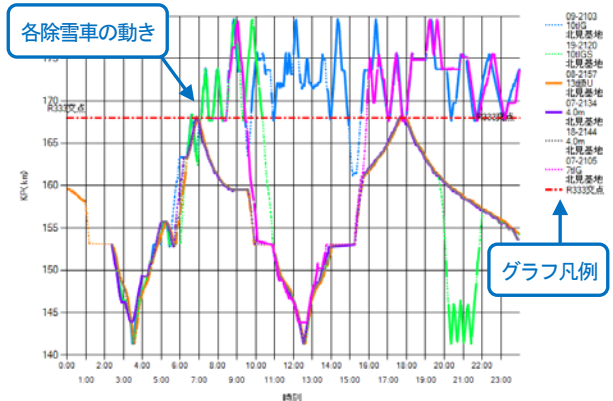


図-7.13 除雪作業状況の可視化例

これにより、時間経過に伴う除雪機械の作業状況が可視化されるため、時間経過に伴う除雪作業の進捗状況や速度変化の把握が容易になる。また、複数台数の表示も可能であるため、除雪梯団構成等の作業形態の変化も把握できる。

7.8.2 除雪機械作業状況の分析

除雪作業データを基に通常時と豪雪時、除雪時間帯の違いによる除雪作業形態の変化を確認した。

札幌開建札幌道路事務所花畔ステーションに配置されている除雪機械の担当工区である、一般国道231号(以下、R231という)及び一般国道337号(以下、R337という)において、通常時と豪雪時の作業形態をグラフ化し比較を行った結果、変化が見られた例を紹介する。

図-7.14に工区概要図を示す。



図-7.14 工区概要図

図-7.15、図-7.16 に示す、平成 23 年 1 月 7~8 日の事例は 5cm 程度の降雪であり、一般的な除雪作業といえる。花畔 IC 付近を 10 台の除雪機械で除雪し、その後 6 台は R337 銭函方面から R231 札幌市街方面、残りの 4 台は R337 当別方面から R231 八幡方面へ向かって除雪している。両方向とも梯団を崩すことなく除雪作業を実施しており、概ね 6 時には除雪作業を終了していることから、除雪作業は工区全体の車線確保が目的だったことが確認できる。

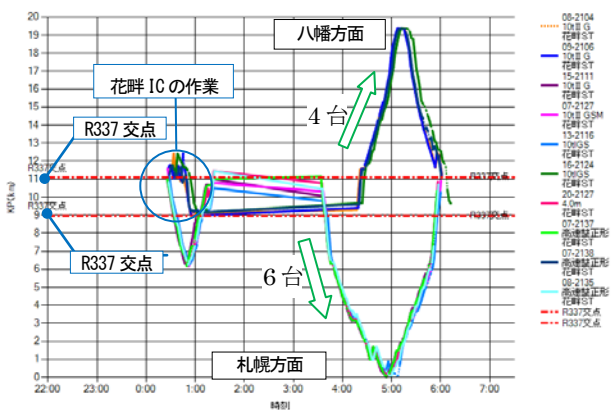


図-7.15 一般国道 231 号の除雪状況 (通常時、H23 年 1 月 7~8 日)

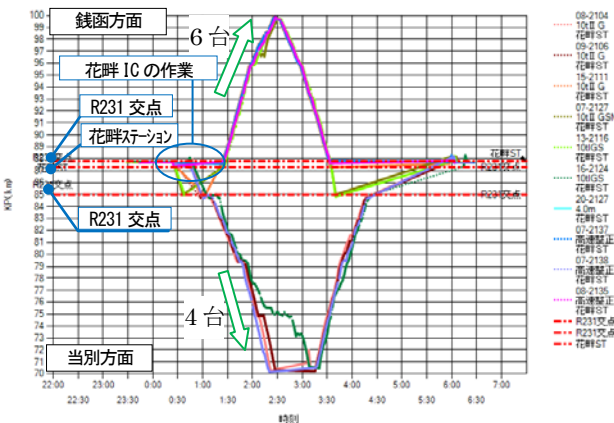


図-7.16 一般国道 337 号の除雪状況 (通常時、H23 年 1 月 7~8 日)

図-7.17、図-7.18 に示す平成 23 年 1 月 8~9 日の事例は最大 30cm 程度の降雪があり、豪雪に対応した除雪作業といえる。R231 では、除雪機械が単独で R231 八幡方面へ向かっている。これは降雪が多かったため、最低限の車線確保のための除雪作業である。その後、4 台の梯団は R337 当別方面を重点的に除雪し、残りの 6 台は R337 銭函方面から R231 札幌市街の除雪を概ね 6 時までで終了した後、全車両 10 台で R231 八幡方面の除

雪作業を実施していることから、除雪作業は優先ルートを検討することが目的だったことが確認できる。

双方の除雪機械稼働状況の分析から、通常は梯団編成を崩さずに作業効率を重視した除雪ルートで除雪を実施し、豪雪時には最低限の車線確保と優先除雪ルートを検討した除雪がなされていることが分かる。

この様に、除雪作業履歴を分析することにより、除雪作業の効率性評価に活用できることを確認した。

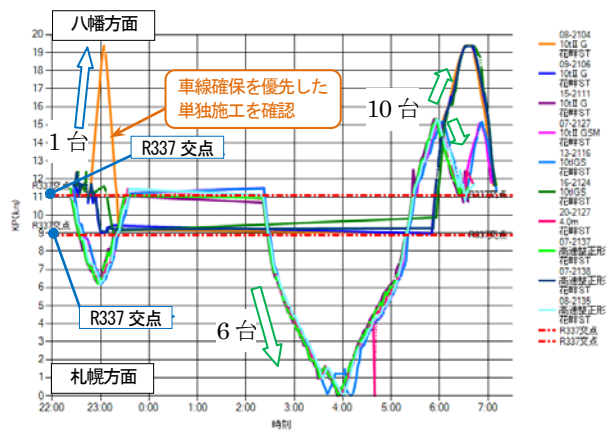


図-7.17 一般国道 231 号の除雪状況 (豪雪時、平成 23 年 1 月 8~9 日)

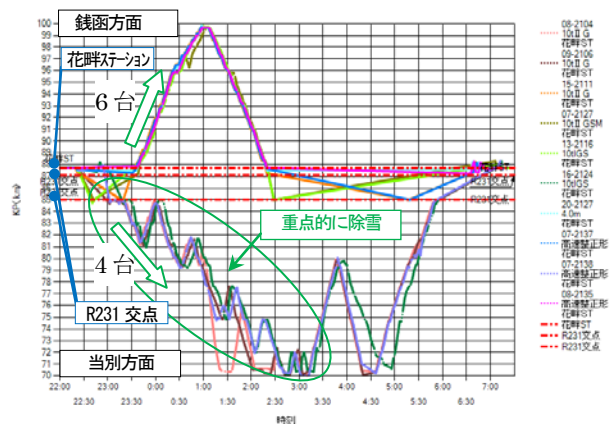


図-7.18 一般国道 337 号の除雪状況 (豪雪時、平成 23 年 1 月 8~9 日)

7.9 冬期道路積雪状況計測技術の開発

現在、開発局における運搬除雪作業の施工管理は、ダンプトラックに積み込まれた雪量の計測と、運搬したダンプトラック台数のカウントにより実施しているが、それらは人力作業のため、データの正確性や監督職員・作業員の負担軽減が求められている。本研究では、運搬除雪作業において、人力で行っている雪量計測を自動化して施工管理を効率的に行う、運搬除雪雪量計測システムを開発した。

雪量計測方法は、ロータリ除雪車の進んだ距離を計測し、同時にロータリ除雪車のオーガ前方の雪堤断面形状をロータリ除雪車に設置した 2 台のレーザースキャナ（図-7.19）で一定の移動距離毎に計測する。この 2 つの計測値から除雪した雪量（体積 m^3 ）を求めるものである。

2 台のレーザースキャナによる計測は、プログラム上で 2 つの断面計測形状を合成するため、矩形断面においても死角なく計測することができる（図-7.20）。

その一方で、2 台のレーザースキャナの位置、傾き等を精度良く調整し、計測面を一致させなければならないためキャリブレーション作業の煩雑さが増える。この作業を容易にするため、プログラム上でスキャナ位置、傾きをモニタできるようにした。これにより、若干の改善余地はあるが、2 台のレーザースキャナキャリブレーションの時間短縮を図った。

また、レーザースキャナによる計測は、オーガで前方に飛ばされた雪による影響を防ぐために斜め前方の雪量を計測し、実際に積み込んだ雪量よりも多く計測するが、多く計測した雪量を差し引くことで、従来手法による雪量計測との差を、7 計測断面カットの場合で平均 6.2%、8 計測断面カットの場合で平均 2.2%程度に抑えることができた。

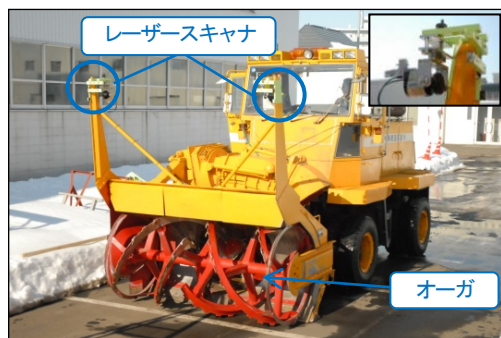


図-7.19 レーザースキャナ設置状況

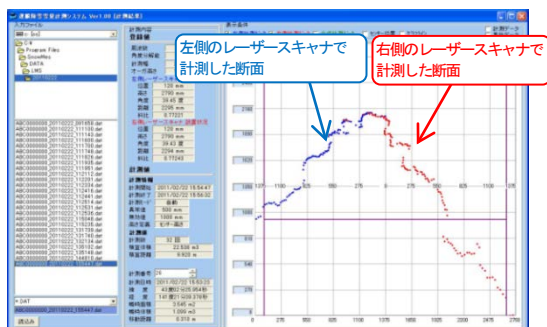


図-7.20 断面計測形状（雪堤）

7.10 まとめ

本研究では、冬期道路利用者の旅行速度確保及び異常気象時における迅速な雪氷処理作業の対応を目的に、除雪機械のリアルタイムな位置・作業情報を収集・提供し、除雪機械のマネジメント及び弾力的な運用を支援するマネジメントシステムの構築を目指して、「ダイナミック工区シフト支援システム」、「除雪作業状況確認システム」、「散布情報収集・管理システム」を開発し、道路管理者及び除雪業者に提供した。

本システムの利用状況について、アクセスログや活用状況等を調査し、有効に活用されていることを確認した。また、蓄積された除雪作業履歴を基に除雪作業の分析を行い、除雪作業の効率性評価に活用できることを確認した。

冬期道路積雪状況計測技術の開発では、運搬除雪作業の施工管理の効率化のため、雪量計測技術の開発及び実際の現場で試験を行い、除雪前の雪堤断面形状から効率的に運搬除雪の雪量計測ができることを確認した。

参考文献

- 1) 北海道 ITS 推進フォーラム HP 資料室：北海道開発局冬期道路管理、<http://www.hokkaido-its.jp/>
- 2) 中村隆一・佐々木憲弘・小野寺敬太：除雪機械等情報管理システムの展望—除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発、建設施工と建設機械シンポジウム論文集、2008
- 3) 牧野正敏・佐々木憲弘・中村隆一・小野寺敬太：除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発、第 24 回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集、2008
- 4) 牧野正敏・佐々木憲弘・中村隆一・小野寺敬太：除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発、第 21 回ゆきみらい研究発表会論文集、2009

8. 結論

8.1 研究の成果

本研究では、冬期道路の安全性・効率性向上に資するため、冬期の安全・快適な道路交通を確保するための効率的・効果的な道路管理に資する技術開発を行うための研究、及び防雪対策施設の定量的評価手法を開発するとともに性能規定の考え方を取り入れた道路吹雪対策マニュアルの改訂に取り組んだ。第1章で示した本研究の達成目標に関して、成果を要約すると以下のとおりである。

(1) 効率的・効果的な冬期道路管理手法を可能とするための技術開発（個別課題：冬期道路管理に関する研究）

本課題では、冬期における安全・円滑な道路交通の確保に向けて、効率的・効果的な冬期道路管理を可能とするために、熱収支法等を用いた路面凍結予測手法の開発、定量的冬期路面評価による管理手法の開発及び冬期道路の性能評価による管理手法の開発を行った。

①路面凍結予測手法の開発：

汎用性に富む熱収支法を用いた路面温度推定モデルと路面上の水分（水・雪・氷）貯留量から路面状態を推定するモデルから構成される路面凍結予測手法を開発した。路面温度推定モデルでは、沿道構造物と走行車両の影響を考慮することで、特に、凍結防止剤散布が多く行われる夜間の路面温度推定精度が高く、冬期道路管理作業における意思決定の的確性向上に寄与した。

地点によって異なる路面温度の分布を把握するため、大気安定度（パスキル安定度）ごとの路面温度差分布図を作成し、路線の路面温度分布を推定する手法を構築した。気象予測情報とともに、路面凍結予測及びすべり抵抗値情報を発信するGISを活用した情報提供システムを構築・運用し、また、道路管理者が所管する北海道の国道沿道にある道路テレメータデータを用いて情報提供範囲を北海道全域に展開した。

②冬期路面の定量的評価による管理手法の開発：

測定の連続性・汎用性を備えた測定装置として、「連続路面すべり抵抗値測定装置」を導入し、既往の路面すべり測定車との比較試験を行い、当該装置の冬期道

路管理への適用性を確認した。

当該装置の冬期道路管理への適用性・意思決定の迅速性を高めるため、計測データのリアルタイム転送、すべり抵抗値データとともに位置、路温、速度等を記録し、道路区間とリンク付けしてすべり抵抗値測定結果の表示・蓄積・分析を可能とする「冬期路面すべり抵抗モニタリングシステム」を開発した。

冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムを、路線の路面のすべり抵抗値の出現傾向の把握、凍結防止剤散布効果の検証、薬剤散布等の意志決定支援及びすべり抵抗値と気象・交通特性の関係把握のための分析に活用した。

③冬期道路の定量評価による適切な管理手法の開発・試行：

冬期道路管理の性能評価のためのロジックモデルを構築した。当該モデルでは、冬期道路管理の直接の成果（路面状態の改善）を表すすべり抵抗値を中間アウトカムとし、冬期道路管理の最終目標である冬期道路の安全性・快適性を表す定量的な指標として冬期交通特性や冬期交通事故、利用者満足度を最終アウトカムと位置付けることで、冬期道路管理のインプット、アウトプット、アウトカムの一連の流れを示した。

実際に入手・利用可能なデータを用いて、当該モデルによる冬期道路管理の業績測定を試行した。

(2) 科学的な事故分析に基づく地域特性に合致した交通事故対策の策定のための技術開発（個別課題：寒地交通事故対策に関する研究）

本課題では、道路管理者が分析データに基づいた科学的なアプローチによる交通事故対策を検討するための交通事故分析システムの高度化や、地域特性を踏まえた冬型交通事故対策等の研究開発を行った。

①新交通事故分析システムの開発：

北海道の交通事故の要因を分析するために、GISを活用し国道交通事故データにより交通事故分析を行う交通事故分析システムに気象データ、道路構造データ、センサデータおよびデジタル道路地図を統合し、事故の位置表示や事故率の算出等を可能とする新交通事故分析システムを開発した。

また、交通安全対策箇所の事前事後分析の機能、道路の交通安全を診断するためのチェックシート、様々な交通安全対策手法をデータベース化した交通安全対

策支援ツールを加えた。

本システムを活用し、交通事故死者数減少要因の分析、道路付属施設等整備効果の分析、道路構造と事故発生との関係分析、現地の交通安全担当者（北海道開発局道路事務所など）との交通安全診断およびそれによる具体箇所の交通安全対策立案までの一連の流れを体系的に取りまとめた。

②地域特性に合致した事故対策の開発：

ランブルストリップスの適切な整備を促進するため、ランブルストリップスの企画、施工方法および設置の際の留意事項を取りまとめたガイドライン(案)を公表した。また、新技術活用システム(NETIS)の「推奨技術」に最初に認定された。ランブルストリップスの適用拡大のため、白線破線区間での施工規格の決定と提案、トンネル区間での施工技術、道路横断方向に設置した凹型溝の開発及び“切削型区画線”を開発した。区画線の塗り替え判定ソフトを作成し、区画線の維持管理ガイドライン(案)を取りまとめた。

路外逸脱事故対策として、衝撃吸収型ボラードの導入を提案した。また、正面衝突事故を更に減らすため、ワイヤーロープ式防護柵の導入可能性を検討し、既存製品が防護柵設置基準の B 種（一般国道）に適合し、導入可能性があることを確認した。

高齢者交通事故多発区間において走行試験を行い、高齢ドライバーの運転特性を明らかにした。

北海道開発局管内の除雪車が関係する事故について、事故発生要因の分析と対策の検討を行った。除雪車への追突対策として、除雪車の制動灯、方向指示器の視認性の改善策等を検討し、寒地交通事故事例集に取りまとめた。また、除雪作業中の注意点等を整理した除雪車安全施工ガイドを取りまとめた。

(3) 吹雪対策施設の定量的評価と性能向上および「吹雪対策マニュアル」改訂に向けた技術開発（個別課題：防雪対策施設の性能評価に関する研究）

本課題では、視程障害あるいは吹きだまり対策手法の定量的な評価手法の提案に向けた検討を行うとともに、性能を向上した吹雪対策手法や道路防雪林の育成管理手法について検討し、道路吹雪対策の計画、施工、維持管理に関わる技術的事項を網羅した「道路吹雪対策マニュアル」の改訂を行った。

①視程障害対策・吹きだまり対策の定量的評価手法の

提案：

吹雪対策施設の効果に関する文献調査を実施し、視程障害緩和効果の評価における検討すべき課題を抽出するとともに、石狩吹雪実験場で実物大防雪柵での観測を実施し、現地観測による吹雪対策施設の視程障害緩和効果の評価に当たっては、①防雪柵の未設置区間と柵の風下で計測した視程の比（視程比）を評価の指標として用いること、②視程は 10 分間の平均視程をとること、③視程観測は高さ 1.5m で行うことなど視程障害対策の評価方法について提案を行い、道路吹雪対策マニュアルに掲載した。

また、風洞実験による防雪柵の吹きだまり対策効果評価方法を明らかにするため風洞実験により柵前後の吹きだまり形状が野外観測結果に近似する実験条件を求めた。その結果、防雪柵の防雪性能を評価するためには、実験風速は 6～7m/s、実験時間は 2 時間、活性白土の量は 380g/min が適切であることを提案した。

②防雪性能を向上した吹雪対策手法の開発：

吹き止め柵について、風洞実験により、柵の風上側に溝（吹雪捕捉溝）を設置することで、吹き止め柵単独の場合よりも、柵の風上側の吹きだまりの高さが低くなることが示された。即ち、吹き止め柵と捕捉溝を併用することにより、長期にわたり防雪機能を保つ効果が期待できる手法を開発した。

③道路防雪林の育成管理手法の提案：

道路防雪林の生育不良の原因を探る現地調査を実施した結果、滞水が生育阻害の主な要因であること、滞水の無い箇所では土壌が堅く密な程、生育が悪い傾向にあることが分かった。

防雪林の列間の耕運による生育基盤の堅さの改良や、列間への暗渠排水の設置による生育基盤の排水性の改良など維持管理段階での対策手法について提案し、道路吹雪対策マニュアルに記載した。

④道路吹雪対策マニュアルの改訂：

効果的な吹雪対策施設の整備には、研究成果の公開が重要であるため、道路吹雪対策の計画、施工、維持管理に関わる技術的事項を網羅した「道路吹雪対策マニュアル（H23 改訂版）」を取りまとめ、技術の普及を図ることとした。本マニュアルでは、1 冊で吹雪対策施設の全てを網羅するように内容の充実を図った。

主な改訂点は、共通編の吹雪対策施設の選定フローを廃止して、対策施設の適否表に変更することで、複

数の候補から対策施設を選定できるようになった点、および、防雪林編に管理用道路や排水工を新たに設けて説明した点である。有識者で構成する「吹雪対策技術検討会」を設置し、記載内容の精査と検討を行った。また、多くの方による成果の活用を図るため、完成したマニュアルを Web 上に公開した。

(4) 道路交通上の視程計測手法と吹雪視程障害度の指標化および安全支援方策の開発に向けた技術開発（個別課題：吹雪視程障害に関する研究）

本課題では、道路に適した吹雪時の視程を把握するための計測手法や道路利用者が感じている道路上の視認性や運転意志を指標とした吹雪時の視程障害度の評価手法について検討した。さらに、吹雪視程障害時における道路利用者への安全支援方策として、吹雪時におけるリアルタイムな視界情報や冬期道路の経路別での走行環境情報を提供するシステムを構築し、道路利用者への情報提供を試験的に行い効果の検証を行った。

① 道路交通における吹雪視程計測手法の提案：

道路利用者が感じている吹雪時の視程について石狩吹雪実験場内において被験者実験を行った結果、被験者の視程板の視認距離は機械視程計測値より短い傾向があり、機械視程計測値の補正方法を提案した。

また、道路上及び道路の風上近傍の異なる高さにおいて計測した機械視程計測値や降雪流量等のデータを基に計測位置の違いが計測値に与える影響を分析した結果、積雪深が大きいほど視程計測高さの違いによる計測値の差異が大きくなるなどの特性があり、道路上の視程と道路の風上側高さ 1.5m で計測された視程が概ね一致することを把握した。

これらの結果を基に、道路上の吹雪時における適切な視程計測方法として、視程計等を用いて視程を計測する場合、風上側路側近傍高さ 1.5m で計測を行うこと、計測値を補正する必要があること等を提案した。

② 吹雪視程障害度の指標の提案：

道路上で計測した機械視程計測値、降雪の有無、視線誘導施設、防雪対策施設等の有無などのカテゴリーを説明変数とし、ドライバーの感じる道路の視認距離、運転困難度を目的変数とする手法を提示し、吹雪時の視程障害度を 5 段階で示す指標を提案することができた。その結果、視程計のみによる評価が難しい視線誘導施設の効果を定量的に示すことが可能となった。

③ 視程障害時の効果的な安全支援方策の開発：

吹雪時の視程と降雪流量との関係や地吹雪の発生条件について分析検討を行い、降雪強度、気温、風速などの気象データを基にリアルタイムな吹雪時の視程を推定する情報処理システムを構築した。この情報処理システムを基に、吹雪時の視界状況を 46 エリアに区分した北海道全域において 5 段階で情報提供するシステムを開発。パソコン及び携帯電話の情報端末を通じ道路利用者へ試験的に情報提供を実施し、アンケート回答者の 9 割以上から「役立つ」と評価され、日最大 3391 件の情報ページへのアクセスが見られるなど情報提供の有効性について検証を行った。さらに、ドライバーからの投稿によりリアルタイムな冬期道路の吹雪状況等の情報を収集し、PC で情報提供するシステムを開発し、試験運用を行った。

④ 冬期道路の走行環境情報提供システムの開発：

冬期道路の走行速度に与える吹雪時の視界状況や路面状況の影響について調査を行い、視界及び路面状況の不良によって郊外部の直線区間では視界良好時の乾燥路面より最大 27% の速度低下が見られるなどの走行速度と走行環境の関係について把握した。

走行環境情報の提供方法について道路利用者のニーズを把握し、冬期道路の経路別におけるリアルタイムな視界状況や道路画像、走行環境に応じた冬期所要時間に関する情報を提供するための走行環境情報提供システムを開発し、試験提供を実施した。

冬期道路の走行環境情報の提供によって「出発・到着時間検討の参考とする」など運転行動の安全支援に有効であることを確認した。

(5) 凍結防止剤散布量等の削減等に資する技術開発（個別課題：凍結防止剤散布量等の低減に関する研究）

本課題では、環境負荷の小さい散布剤等の散布手法の開発、薄氷処理技術の開発及び冬期路面管理による環境負荷の予防など、凍結防止剤の散布量の削減等に資する技術開発を行った。

① 凍結防止剤環境負荷の評価と予防手法の検討：

凍結防止剤散布の沿道環境影響基礎的データ収集のため、沿道での地下水水質調査、土壌成分調査を実施した。

水質成分は、「地下水の水質汚濁に係る環境基準につ

いて」及び「水質基準に関する省令」に照らし、全ての項目で基準値を満たし、また、季節変化・経年変化傾向から、凍結防止剤散布による影響はないと判断される結果となった。

土壌成分については、散布期間中に一部項目の数値が農用地土壌評価レベルを超えた。因果関係についてさらに詳細な調査を行うことが望ましいと考えられる。凍結防止剤による環境負荷予防手法については、上記調査結果を踏まえ、地下水脈近傍での散布抑制等のフィンランド等で行われている凍結防止剤による沿道環境負荷予防手法に関する文献調査を行った。

②環境負荷の小さい散布剤等の散布手法の開発：

効率的な凍結防止剤散布手法、塩化物以外の凍結防止剤・防滑材の導入可能性検討の両面から試験研究を行った。試験道路における散布試験において、路面凍結前に凍結防止剤を散布する事前散布が有効であることを確認した。

建設リサイクル促進の観点から、精糖過程で発生する残渣（ライムケーキ）を防滑材として活用する可能性について検討を行った。北海道開発局の協力によって現道で散布試験を実施し、路面すべり抵抗値の改善を確認した。

塩化カルシウム水溶液にかわる湿式剤として、北米・カナダで使用実績のある糖蜜液の使用可能性を検討するため、試験道路で散布試験を行った。湿式剤として使用するよりも、事前に固形剤に含浸させる使用方法で効果があることを確認した。

③薄氷処理技術の開発：

ブラシ式除雪試験装置による薄氷処理技術の検討を行った。ブラシの材質、形状及び配列を変えて試験を行った結果、舗装に影響なく薄氷を完全に除去することは困難であるが、ブラシ施工によりすべり摩擦係数の改善が確認できた。

凍結防止剤散布前にブラシ施工を加える組み合わせ施工により、散布量の低減が可能である。薄氷処理技術として既存の凍結防止剤散布車にブラシ式装置及びブロー装置を搭載する機械の仕様を取りまとめた。

(6) 雪氷処理の迅速化に関する技術開発（個別課題：雪氷処理の迅速化に関する技術開発）」

本課題では、道路維持管理業務のより一層の効率化、高度化のため、北海道開発局で平成 17 年度に導入され

た除雪機械の動態を把握可能な基幹システムをベースに、除雪機械のマネジメント及び弾力的な運用支援が可能なシステムを開発した。

①除雪機械等情報管理システム（マネジメントシステム）の構築：

GPS や各種作業センサーにより得られる除雪機械の位置・作業情報をもとに、隣接する除雪の工区境の臨機な変更を支援する機能（ダイナミック工区シフト支援）、指定した経路で除雪する場合の終了時刻を予想する機能（除雪作業状況確認システム）、凍結防止剤の詳細な散布情報を収集・管理する機能（散布情報収集・管理システム）を作成した。

ダイナミック工区シフトでは渋滞損失額低減効果を試算し機能の有効性を確認できた。さらに、ユーザーニーズに基づき気象観測情報や道路カメラ画像の表示など機能の充実を図った。

②除雪情報等提供システムの構築：

インターネットを介して除雪に関する各種情報を道路管理者及び除雪工事請負業者に提供するシステムを構築し、除雪作業情報を共有することが可能となった。また、携帯電話用 WEB サイトを開発したことにより、現場代理人等が現場でも除雪作業情報を取得することが可能となり、臨機で効率的な運用指示が可能となった。

③冬期道路積雪状況計測技術の開発：

運搬除雪作業において、従来人力で行っているダンプトラックの荷台に積載した雪量の計測にかえて、ロータリ除雪車の除雪装置に装着した 2 台のレーザースキャナを用いて、除雪前の雪堤断面形状を計測する積雪状況計測技術を開発した。除雪前の雪堤断面形状から効率的に雪量を計測できることを確認した。

8.2 成果の事業・社会への貢献

前節で示した本研究の成果の事業・社会への貢献を要約すると以下のとおりである。

(1) 効率的・効果的な冬期道路管理手法を可能とするための技術開発（個別課題：冬期道路管理に関する研究）

本研究で構築した、気象予測情報、路面凍結予測手

法、定量的冬期路面評価手法を活用した凍結及びすべり抵抗値情報を発信する情報提供システムは、冬期道路管理における意思決定をする際の判断資料として使用できる。なお、当該意思決定支援システムに対するアクセス件数は、平成22年度で11,876件、累計では121,193件に達するなど、技術の普及・活用が図られたと考える。

また、札幌市内のロードヒーティング停止箇所のすべり計測、北海道内の一般国道、東北・中部・中国方整備局管内の一般国道ですべり計測を行い、路線のすべり抵抗値の出現特性の把握、凍結防止剤散布前後のすべり抵抗値の変化の把握など、冬期路面管理（凍結路面対策）改善の基礎資料として活用されている。

(2) 科学的な事故分析に基づく地域特性に合致した交通事故対策の策定のための技術開発（個別課題：寒地交通事故対策に関する研究）

ランブルストリップスの設置延長は1,675km（内、北海道1,338km）（H23.3末）となった。H14～H18年度に施工した38路線、延べ534kmでは、ランブルストリップス設置箇所の正面衝突事故件数は55%の削減、死者数は69%の削減となった。衝撃吸収ポラーダの設置箇所は57箇所となった（H23.3末）。

(3) 吹雪対策施設の定量的評価と性能向上および「吹雪対策マニュアル」改訂に向けた技術開発（個別課題：防雪対策施設の性能評価に関する研究）

北海道開発局をはじめとして、自治体や北海道内外のコンサルタント（東京・大阪・山形等含む）等からの技術相談が多数となった（H19:40件、H20:42件、H21:42件、H22:25件）。

雪みらいやふゆトピアで論文査読、座長を務めるとともに、研究紹介の展示を行った。

(4) 道路交通上の視程計測手法と吹雪視程障害度の指標化および安全支援方策の開発に向けた技術開発（個別課題：吹雪視程障害に関する研究）

「吹雪時を考慮した視線誘導施設マニュアル(案)」を策定（H19.5）し、北海道開発局の道路設計施工要領に採用されて全道の現場で活用されている。吹雪時の視程推定手法を用い46エリアに区分した北海道全域の「吹雪の視界情報」をPC及び携帯電話に提供する実験を

実施（H21.2～）した。また、冬期道路の吹雪時の視界状況や視界や路面を考慮した所要時間など走行環境に関する情報を北海道内の国道及び主要道道を対象とし経路別に提供する実験を実施（H23.2～）した。

(5) 凍結防止剤散布量等の削減等に資する技術開発（個別課題：凍結防止剤散布量等の低減に関する研究）

沿道環境調査結果、凍結防止剤・防滑材に関する各種試験結果は、国土交通省における冬期路面管理改善の基礎資料として活用されている。また、冬期道路管理の維持管理基準見直しのうち凍結防止剤散布基準について、当研究所の試験結果、知見が基準検討の資料として活用された。

(6) 雪氷処理の迅速化に関する技術開発（個別課題：雪氷処理の迅速化に関する技術開発）

自工区や隣接工区の除雪進捗状況の把握と除雪作業終了時刻の予想が可能となり、臨機な工区シフトや工区連携などの弾力的な運用が行われた。散布情報収集・管理システムは、詳細な散布箇所や散布量の設定情報を自動で収集し、地図上に表示する機能を有しているため、凍結防止剤散布作業の施工管理の向上に寄与した。迅速で効率的な除雪作業が可能となるとともに、救急車先導依頼への迅速な対応に役立つなど積雪寒冷地の社会生活向上に貢献している。