

7 冬期道路の安全性・効率性向上に関する研究

研究期間：平成 18 年度～22 年度

プロジェクトリーダー：寒地道路研究グループ長 浅野 基樹

研究担当グループ：寒地道路研究グループ（寒地交通チーム、雪氷チーム）
技術開発調整監（寒地機械技術チーム）

1. 研究の必要性

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。

2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、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共に、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削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

3. 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- (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）

4. 研究の成果

本重点プロジェクト研究の個別課題の成果は、以下の個別課題の報告書に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、実施してきた研究の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

冬期における安全・快適な道路交通を確保し、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を行うため、「冬期道路管理に関する研究」において以下の試験等に取り組んだ。

- ・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、意志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、道路テレメータのデータを用いて情報提供範囲を拡大し、北海道全域に展開した。

- ・冬期路面状態の定量的評価技術に関する試験

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。

- ・冬期道路の性能評価による適切な管理手法の開発

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。当該モデルを用い、実際に入手・利用可能なデータを用い、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

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、「寒地交通事故対策に関する研究」において以下の試験等に取り組んだ。

- ・交通事故分析システムの高度化と交通事故分析

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、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、及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の体系的とりまとめ等を行った。

- ・地域特性を踏まえた交通事故対策の開発

ランブルストリップスの適切な整備を促進するため、ガイドライン(案)を公表した。また、新技術活用シ

システム(NETIS)の「推奨技術」に初めて認定された。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。正面衝突事故を更に削減するため、ワイヤーロープ式防護柵の導入可能性を検討した。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。

また、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。

さらに、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とりまとめた。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とりまとめた。

(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

防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を行うため、「防雪対策施設の性能評価に関する研究」において、以下の試験等に取り組んだ。

・ 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で行うこと等、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/分が適切であることを提案した。

・ 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。

・ 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判った。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。

・ 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上に掲載した。

(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

道路交通における視程計測評価方法を定め、吹雪視程障害度の指標化と吹雪時の安全支援に資する走行環境情報提供システムの開発を行うため、「吹雪視程障害に関する研究」において、以下の調査に取り組んだ。

- ・ 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飛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。

- ・ 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。

- ・ 視程障害時の効果的な安全支援方策の開発：

吹雪時の視程と飛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。構築した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に試験的に情報提供を実施し、9 割以上のアンケート回答者から「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。

- ・ 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。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) 凍結防止剤散布量の削減等に資する技術開発

凍結防止剤散布量の低減に資する技術開発を行うため、「凍結防止剤散布量の低減に関する研究」において、以下の試験に取り組んだ。

- ・ 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。

- ・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法で効果があることを確認した。

- ・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とりまとめた。

(6) 雪氷処理の迅速化に関する技術開発

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、除雪作業をマネジメントし、迅速かつ効率的な除雪作業を支援するシステムの技術開発を行うため、「雪氷処理の迅速化に関する技術開発」において以下の試験等に取り組んだ。

- ・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。本システムは、第13回PIARC国際冬期道路会議において口頭発表すると共に、世界道路協会誌（Routes Roads）に掲載される等、国際的に高い評価を得た。

- ・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。

- ・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。