

16.1 冬期路面管理水準の判断支援技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地道路研究グループ（寒地交通）

研究担当者：渡邊政義、高橋尚人、徳永ロベルト、川端優一、切石亮、高田哲哉

【要旨】

積雪寒冷地では、冬期の交通機能確保・維持のため冬期道路管理を実施している。昨今の厳しい財政事情の中、道路維持管理費が削減されており、冬期路面管理についても一層の効率化が求められ、冬期路面管理の管理基準が見直されており、凍結防止剤が削減されている。このような状況下、適切に冬期路面管理を実施することが重要であり、管理基準の見直しによる効果と影響の定量的把握が求められている。

本研究では、道路維持担当者の経験や主観による路面状態の評価を補完し、定量的に路線の冬期路面状態を把握する技術を確認するとともに管理基準の見直しによる効果と影響を適切に把握する技術を開発し、適切な冬期路面管理の実施判断とそれによる信頼性向上に資する研究に取り組んでいる。

キーワード：冬期路面、管理水準、すべり抵抗値、判断支援

1. はじめに

道路を良好な状態に保つのは道路管理者の責務であり、厳しい財政状況下、冬期路面管理をより効率的に行うことが必要である。しかし、路面管理の基本となる路面状態の評価は目視で行われており¹経験と主観に基づいているため、過剰散布や散布の見落としのおそれがある²。また、刻々と変化する気象条件・路面状態に対し、スポット散布箇所を選定が適切に行われているかも不明である。

当研究所では、経験や主観による冬期路面状態の評価を補完し、定量的に路線の冬期路面状態を把握する技術を確認するため、第2期中期計画期間において、定量的・連続的にすべり抵抗値を測定する装置を用いた路面状態の定量的・連続的な評価技術を開発した（特許第4665086号：路面摩擦モニタリングシステム）。しかし、定量的・連続的にすべり抵抗値を測定する汎用性・信頼性のある技術を確認したが、すべり抵抗値データの蓄積や路線として冬期路面管理水準を評価・判断する技術は確立されていない。

本研究では、適切な冬期路面管理の実施による信頼性・効率性向上のため、前中期計画期間において確立した連続路面すべり抵抗値の計測技術を活用した定量的・客観的な路線の冬期路面状態の診断技術、作業の効果の評価技術及び判断支援技術の確立に取り組むものである。

2. 研究実施内容

平成 23 年度は、冬期における安全・円滑な道路交通確保に向けて、効率的・効果的な冬期道路管理の判断支援に資する技術開発を可能とするために、以下の事項に取り組んでいる。

- ①冬期路面管理水準の妥当性の検討：現道でのすべりモニタリングの実施、路面管理作業データの取得及びデータ解析
- ②路線におけるすべり特性の把握と診断技術の開発：路線における冬期路面状態(すべりやすさ)の出現傾向、要注意箇所・条件等の路線のすべり特性の把握
なお、研究実施内容①と②は密接に関連し、いずれも、現道での路面すべり抵抗モニタリングデータが共通の基盤データとなる。本報告では、第3章において①のデータ取得部分について報告し、第4章において、①と②にまたがり、データの解析及び検討結果について報告する。

3. 現道でのすべりモニタリングの実施・路面管理作業データの取得

3.1 現道でのすべり抵抗モニタリング

路線における冬期路面状態の出現傾向や冬期路面管理水準の妥当性を検討するため、現道における冬期路面すべり抵抗モニタリングを実施するとともに、冬期路面管理作業データの取得・整理を行った。

冬期路面すべり抵抗モニタリングは、一般国道 230 号札幌市内 (KP1.0~45.0 の区間、L=44.0km) を対象に実施した (図 1)。対象区間は、始点 (北 1 条西 11 丁目・標高≒25m) から、都心部 (DID 区間)、郊外部、山間部を通過して峠部 (中山峠・標高≒840m) に至り、約 40Km の区間内に気象条件の変化や様々な沿道状況が観測できる区間である。

モニタリング実施期間は、冬期間 (1 月上旬~2 月下旬) の平日約 40 日間で、1 日 2 往復実施した。

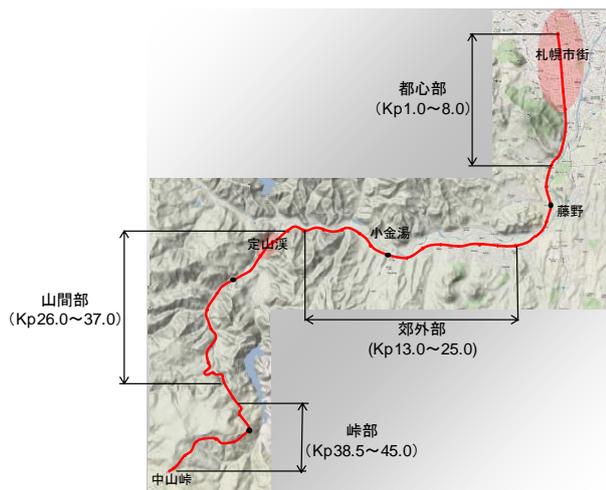


図 1 一般国道 230 号 (KP1.0~45.0 区間)

冬期路面すべりモニタリングには、連続的に路線のすべり抵抗値を測定できる「連続路面すべり抵抗値測定装置 (CFT: Continuous Friction Tester)」³⁾ を用いた (写真 1)。CFT は、道路パトロールカーの後部に取り付け可能な牽引型装置で、測定輪には車両の進行方向に対して 1~2 度程度のトー角が設定されており、牽引車の走行によって横方向に発生する力からすべり抵抗値 (HFN: Halliday Friction Number) を算出する。



写真 1 連続路面すべり抵抗値測定装置 (CFT)

HFN は、この装置の開発者が独自に設定した値で、横力無負荷状態の時に HFN = 0、標準舗装路面が乾燥状態 (路面温度 -17.8°C) の時に HFN = 100 とし、その間を 100 等分した値であり、測定輪にかかる横力が低い (HFN 値が小さい) ほど路面がすべりやすく、横力が高い (HFN 値が大きい) ほど路面がすべりにくい状態にあることを意味する。

HFN のサンプリングレートは、最大 100Hz (通常 10Hz) である。また、走行中、車内に設置されたディスプレイを通してリアルタイムに HFN が確認できる他、年月日、時刻、測位、路面温度、天候 (晴・曇・雨・雪)、路面状態 (乾燥・湿潤・シャーベット・圧雪・凍結)、速度データ等と組み合わせて外部記録装置に記録するとともに通信端末を介して当所が所有する冬期道路マネジメントシステム⁴⁾のサーバーにデータを 15 秒毎に転送し、Web サイトに反映することで、パトロール員と事務所スタッフがほぼリアルタイムに情報を共有できるシステムとなっている。

冬期路面管理作業データは、当該路線を管理する国土交通省北海道開発局からデータ提供を受け、種々の分析を効率的に実施するため、冬期道路マネジメントシステムの改良を行った。具体的には、道路管理者が所管している除雪機械等情報管理システム⁵⁾では凍結防止剤散布車の散布作業情報として散布機械毎の作業日時、散布区間、材料種別、散布量、散布幅等を取得するが、これらのデータを CSV ファイル形式で冬期道路マネジメントシステムに集約し、冬期路面すべり抵抗モニタリングデータ等とマッチングの上蓄積できるように改良した。

4. 取得データの解析

4.1 対象路線における冬期路面状態出現特性と冬期路面管理水準の妥当性の検討

冬期路面すべり抵抗モニタリングデータを用いて、冬期路面管理水準の妥当性の検討、路線におけるすべり特性の把握と診断技術の開発に向け、モニタリング対象路線の冬期路面状態出現特性について分析を行った。なお、経年的な傾向についても検討するため、前中期期間内に実施した路面すべりモニタリングデータも活用した。

図 2 は、H19~22 年度の 4 冬期間 (1 月) に計測した一般国道 230 号の路面状態の出現傾向である。グラフの横軸はキロポスト (KP) を表し、左側の始点 (KP: 1.0) から、札幌市都心部の DID 区間、郊外部、山間部を通過して終点 (KP: 45.0) の中山峠部に至る。縦軸は路面状態の出現傾向で、すべり抵抗 (以下、HFN) データを

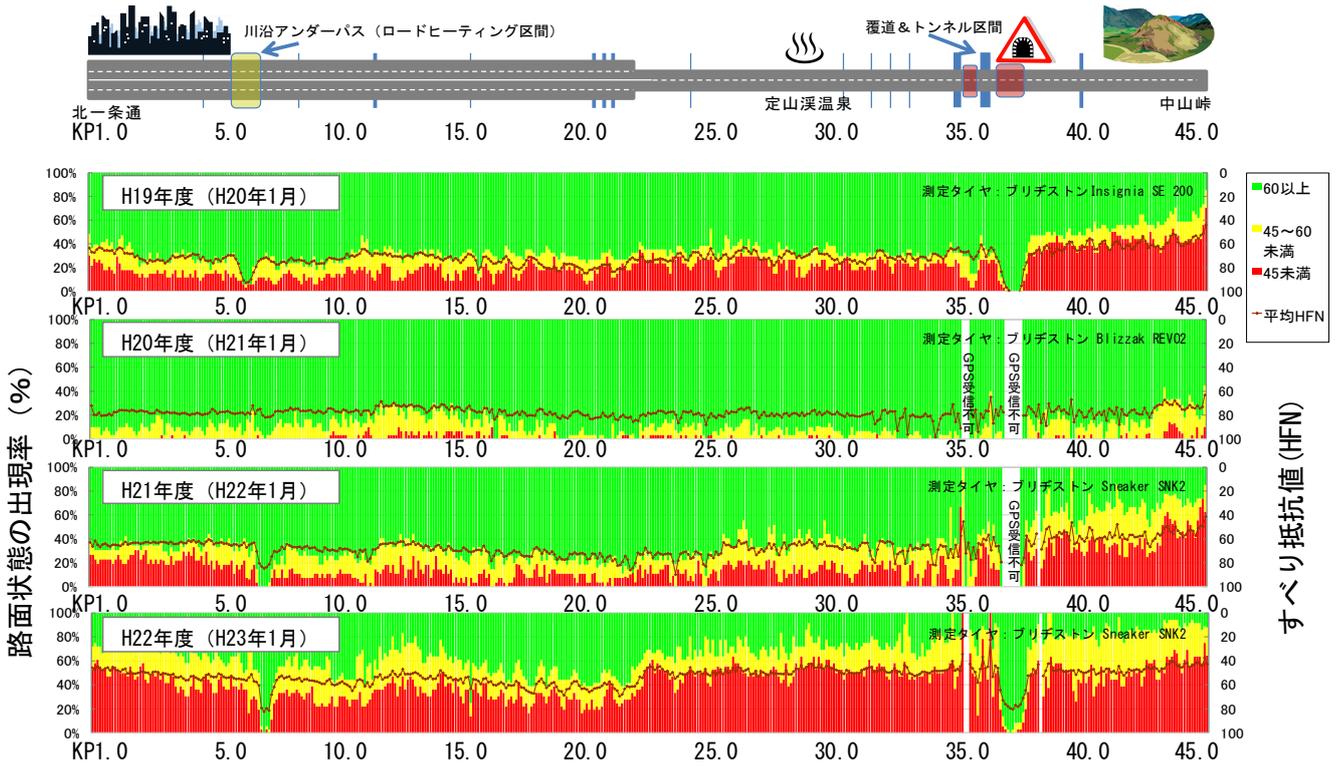


図2 一般国道230号における路面状態の出現傾向 (H18~22年度冬期・1月)

HFN : 45 未満 (■ : 雪氷路面)、HFN : 45~59 (■ : 断続的な路面)、HFN : 60~ (■ : 露出路面) の3水準に区分して出現率を表している。なお、出現率は、100m単位で集計しているため、道路構造物区間と若干ずれが生じている。

図2から、一般国道230号札幌市内の冬期路面状態出現特性について基本的な特徴を上げると以下のとおりである。

- ① 都市部から郊外部に向かうほど、すべりやすい路面の出現率が上がる傾向にある。
- ② 年度によって路面すべり抵抗値の出現傾向は大きく異なる。
- ③ 路面のすべり抵抗値出現傾向が急変する区間がいくつかある(たとえば、KP8.0km前後、KP35.0km前後、KP38.0km前後)

路面のすべり抵抗値に影響を与える要因としては、気象条件(気温、降雪量等)・冬期道路管理(除雪、凍結防止剤散布等)・道路交通条件(交通管理、道路条件等)の大きく三つの要因が考えられる。

①と②については、当該路線の道路交通条件に大きな変更がないため、主に気象条件と冬期道路管理が影響し

ていると考えられる。

まず、①について考察を加える。図3に、札幌管区気象台の観測地点(札幌)と国土交通省北海道開発局が中山峠山頂付近に設置している道路テレメータ(東中山)の各冬期の最低気温と降雪量の経年変化を示す。札幌では、冬期間の降雪量が400cm程度、最低気温が-4~-2℃程度だが、東中山では降雪量が1,200cm~1,400cm、最低気温も-10~-8℃と大きく異なり、冬期気象条件の差が顕著である。

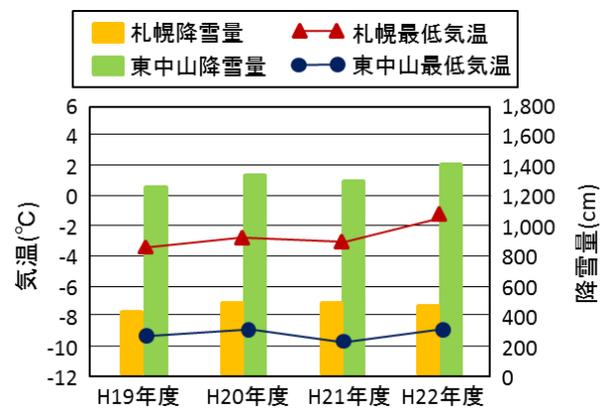


図3 一般国道230号市街地(札幌)および中山峠区間(東中山)における降雪量と最低気温の推移

これに対し、冬期道路管理の作業記録として、各年1月の除雪出動回数を表1に示す。除雪出動回数は、各年度ともに中山峠山頂区間で札幌市街地の4~5倍出動していることから、路面のすべり抵抗値の出現傾向には、冬期気象条件の差が大きく影響している可能性がある。

なお、本報告では除雪の出動回数だけを示したが、その作業量や出動時の気象条件、凍結防止剤散布など他の作業の実施状況も考慮して、路面すべり抵抗値に影響を与える要因とその影響度合い、冬期路面管理水準の妥当性について検討する必要がある、今後の研究においてより詳細に検討する必要がある。

表1 一般国道230号札幌市街地および中山峠区間の各年度1月の除雪出動回数

	札幌市街地	中山峠区間
H19年度	10	44
H20年度	8	43
H21年度	9	54
H22年度	8	45

次に、②について考察を加える。図4に、各年度冬期の平均気温の推移(図4(a))、月累計降雪量(図4(b))

および月降雪日数(図4(c))の推移を示す。平成20年度(平成21年1月)は、4冬期の中では最も気温が高く、降雪量・降雪日数ともに少ない暖冬だった。除雪の出動回数(表1)から、暖冬が路面のすべり抵抗値の出現傾向に影響を与えたと考えられる。

また、月平均気温、月累計降雪量、月降雪日数が類似している平成19年度(平成20年1月)と平成22年度(平成23年1月)を比較すると、平成22年度はHFN60以下の出現率が高くなっている。平成19年度と平成22年度では除雪の出動回数に大きな差はないが(表1)、平成22年度に国土交通省北海道開発局では冬期道路管理の基本方針を見直し、より一層の工夫によるコスト削減に取り組んだ^⑩ことが影響していると考えられる。

この点についても①と同様に、冬期道路管理の作業量や出動時の気象条件、凍結防止剤散布など他の作業の実施状況も考慮して、路面すべり抵抗値に影響を与える要因とその影響度合い、冬期路面管理水準の妥当性について検討する必要がある、今後の研究においてより詳細に検討する必要があるが、これらの結果は、管理基準の見直しによる効果と影響を示すための説明ツールとして活用できるとともに、適切な路面管理水準の判断に資すると思われる。

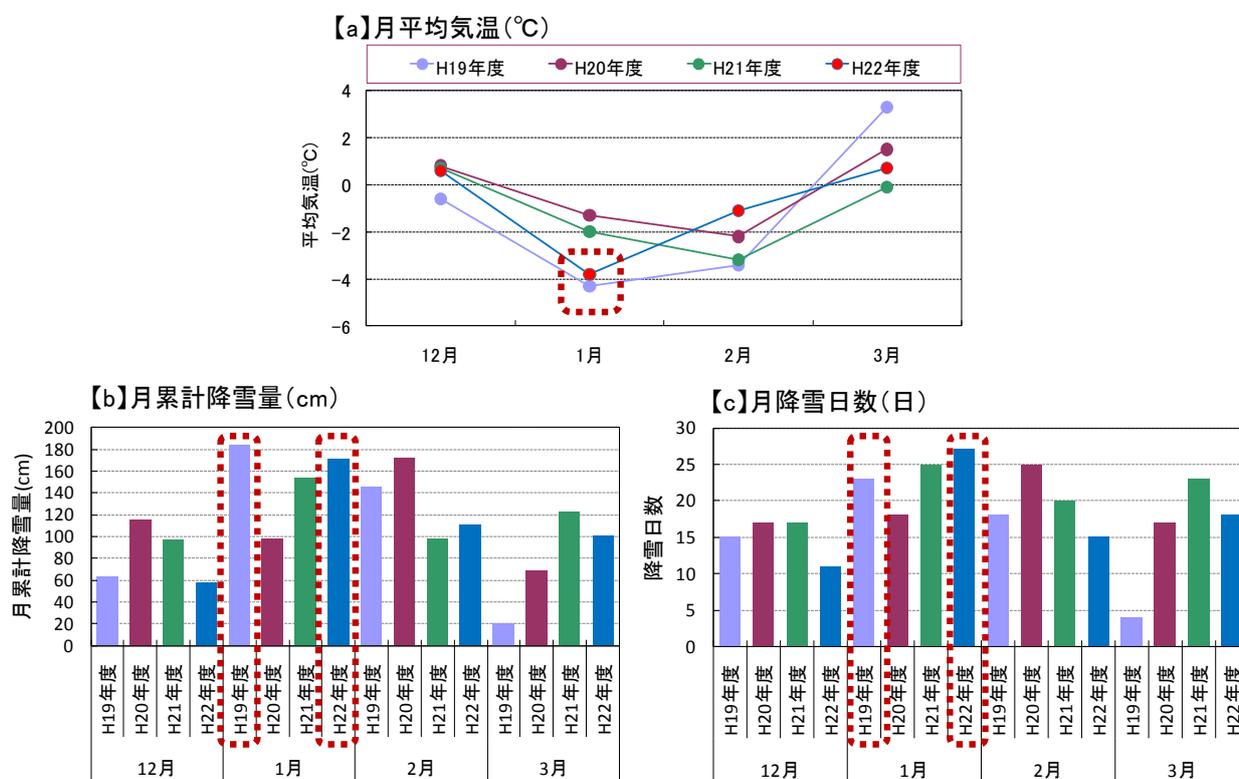


図4 過去4冬期間における札幌市内の月平均気温・月累計降雪量・月降雪日数

4.2 路線における冬期路面状態(すべりやすさ)の出現傾向、要注意箇所・条件等の路線のすべり特性の把握と診断技術の開発

次に、③について考察を加える。KP8.0km 区間では、HFN60 未満の路面状態がほとんど出現しないが、この区間はアンダーパス区間でロード・ヒーティングを敷設していることが路面すべり抵抗値の出現率となって表れていると考えられる。更に、KP35.0~KP38.5km の区間では、トンネルや橋梁などの道路構造の変化が路面状態の出現傾向に影響を与えていると考えられる。図2において、当該区間を抽出した図を図4および図5に示す。図5は平成20年1月のすべり抵抗値の出現率を、図6は平成20年1月下旬から2月中旬に実施したモニタリング結果のうち、類似の気象条件(気温0℃以下、降雪あり)のモニタリング結果を注した図である。

定山溪トンネルでは、計測期間を通じてすべりやすい路面状態の出現率が低いが、薄別トンネルでは比較的すべりやすい路面状態の出現率が高い。これには、トンネルの延長や道路線形、風向、前後地形による影響などが考えられるが、坑口付近で路面状態が急変する場合があります、出現傾向の違いや要因を詳細に分析することが今後の研究課題である。

また、無意根大橋区間では、路面が著しくすべりやすい場合、土工区間とすべり抵抗値の差がほとんどない場合が観測された(図5)。既往研究において、橋梁区間では橋梁下面でも熱の収支があり、また、土工区間より熱

伝導率が高いことから、橋梁区間のみが凍結している場合、橋梁区間の路面温度が土工区間と同じかそれ以上に高まっていることがあるが、路面のすべり抵抗値として表れていると考えられる。

図7および図8は、H24年1月31日(03:00時台~10:00時台)の一般国道230号の都心部及び峠部における路面のすべり抵抗値(HFN)の時間帯(凍結防止剤散布前後)による変動特性を例として示している。この日の天候は、都心部及び峠部ともに曇りのち晴れだった。また、この時間帯の気温は都心部で7~2℃、峠部で-13~-12℃で推移した。なお、当該区間における薬剤散布は05:00時台に行われた。薬剤の種類は塩化ナトリウム固形剤で、散布量は平均15g/m²だった。

都市部においては、薬剤散布後に路面温度及びHFNが上昇するが、標高の高い峠部ではHFNの上昇度合いが少ない。これは、各区間における気温や路温の違いが凍結防止剤散布の効果に影響しているものと考えられる。路面すべり抵抗計測時の気象条件を考慮する必要があるが、路面のHFNを路面管理の必要性や薬剤散布による路面状態の改善効果を裏付ける客観的な指標として活用可能であることを示している。

また、路面のすべり抵抗値は、日々の路面管理において薬剤の種類、散布区間、散布量、散布タイミング等の的確な意思決定支援や、散布作業判断が的確であったか、効果があったか等の冬期路面管理作業の診断技術としても有用性が高いことを示している。

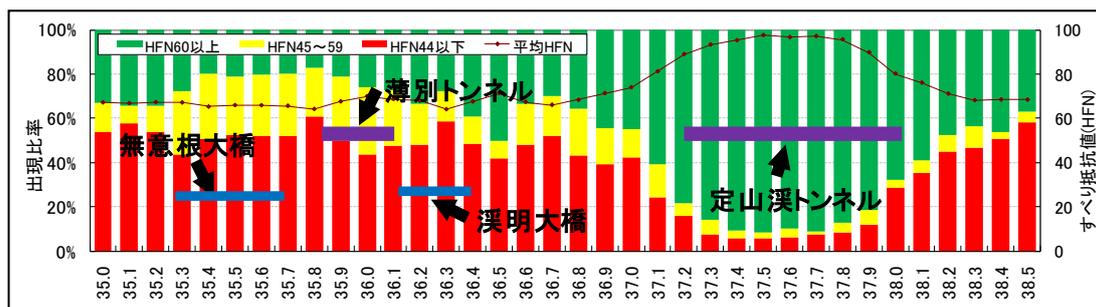


図5 国道230号山間部におけるすべり抵抗値の出現率(H20年1月)

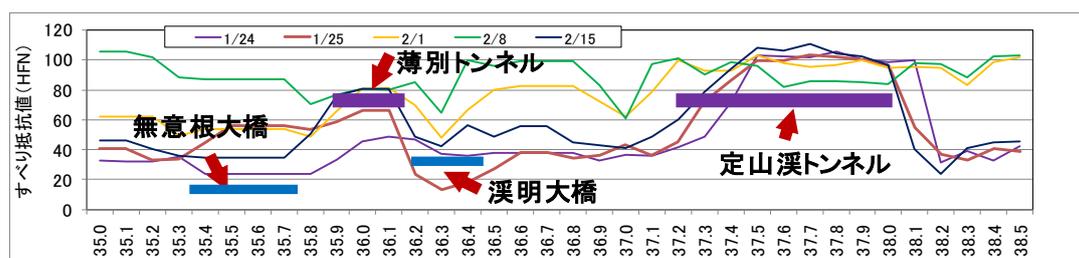


図6 国道230号山間部のすべり抵抗値の変動特性(H20年・気温0℃以下・降雪あり)

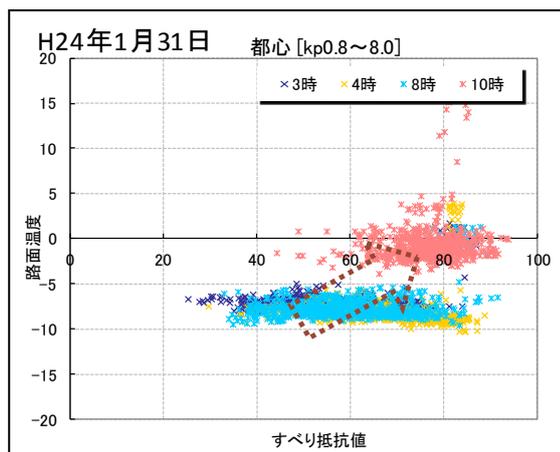


図7 都心部の時間帯によるすべり抵抗変動特性
(一般国道230号、平成24年1月31日)

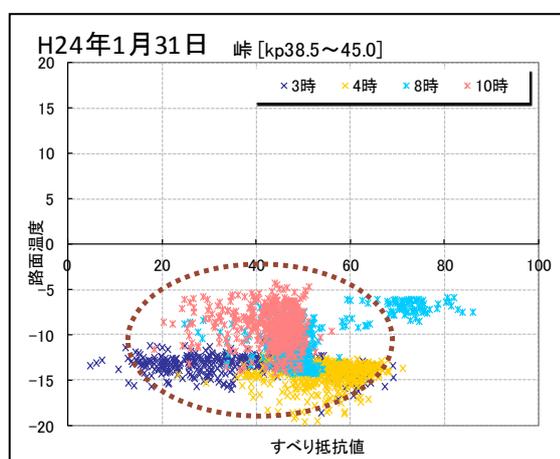


図8 峠部の時間帯によるすべり抵抗変動特性
(一般国道230号、平成24年1月31日)

5. まとめと今後の課題

平成23年度は、冬期における安全・円滑な道路交通確保に向けて、効率的・効果的な冬期道路管理の判断支援に資する技術開発を進めるために、現道での冬期路面すべり抵抗モニタリングの実施、冬期路面管理水準の妥当性検討および路線におけるすべり特性の把握と診断技術の開発に関する検討を行った。

現道での路面すべり抵抗モニタリングでは、一般国道230号札幌市内を対象に、連続路面すべり抵抗値測定装置ですべり抵抗モニタリングを実施した。冬期路面管理水準の妥当性検討では、現道での路面すべり抵抗モニタリング調査データに加えて、冬期道路管理作業記録データを取得し、効率よく分析するために冬期道路マネジメントシステムの改良を行った。

更に、蓄積した過年度のすべり抵抗モニタリングデー

タ等も用いて、冬期路面状態出現特性を把握し、気象条件、冬期道路管理作業の実施状況と路面すべり抵抗値の出現傾向に対する基礎的な考察を加え、冬期路面管理水準の妥当性の検討に向けたデータの解析を行った。

次いで、路線における冬期路面状態の出現傾向から、すべりやすい路面の出現頻度が高く、また、急変しやすい要注意箇所の抽出などの路線のすべり特性を把握するための基礎的分析を行った。更に、凍結防止剤散布前後のすべり抵抗値の変化から、凍結防止剤散布作業の実施判断が的確であったか、効果があったか等の冬期路面管理作業の診断技術確立のための基礎的検討を行った。

今後は、引き続き道路管理者と緊密な連携を図りながら現道におけるすべり抵抗モニタリングを継続し、路線におけるすべり特性の把握と診断技術の確立を目指すとともに、気象値等と組み合わせた冬期路面管理水準の判断支援技術の確立に取り組む所存である。

なお、路面のすべり抵抗値には、冬期路面管理作業とともに冬期の気象条件が影響するが、道路管理としては除雪、凍結防止剤散布などの作業、気象としては気温、降雪などの多様な要素が含まれることから、どの要素が、どの程度影響しているのかを評価する技術が必要である。欧米では、冬期の気象条件を指標化し、冬期道路管理の作業実施量等の評価を行う冬期の厳しさ指数 (Winter Index) の開発が進められている⁸⁾。本研究においても、冬期気象の厳しさの指標化を今後検討していくことが必要である。

参考文献

- 1) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル (案)、1997
- 2) 高橋尚人、徳永ロベルト、舟橋誠徳：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
- 3) Halliday Technologies Inc.: RT3 Friction Measurement Technology Saves Lives & Money, URL: <http://www.hallidaytech.com/>, April 2012
- 4) 徳永ロベルト、切石亮、高橋尚人：冬期道路管理の高度化に資する意思決定支援システムの構築について、第29回日本道路会議論文集、H23年11月
- 5) 佐々木憲弘、小野寺敬太、豊島真生：除雪機械のリアルタイムな位置情報を活用した除雪工区の弾力的な運用システムの開発、第53回年度北海道開発技術研究発表会、http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/gijyutu/giken/h21_pre_intra/pdf_files_h20/FY/FY-8.pdf、H22年2月
- 6) 北海道開発局道路維持課：今冬の除雪の基本方針について、

国土交通省北海道開発局報道発表資料、2011

- 7) Naoto Takahashi, Roberto A. Tokunaga, Motoki Asano and Nobuyoshi Ishikawa: Modeling to Predict Bridge Pavement Temperature for Winter Maintenance Decision, 86th Annual Meeting, Transportation

Research Board, 2007

- 8) PIARC Technical Committee B5 Winter Service: Snow & Ice Databook - 2010 Edition, 2010

A STUDY ON DECISION SUPPORT TECHNOLOGY FOR WINTER ROAD SURFACE MANAGEMENT LEVEL

Budgeted: Grants for operating expense
General account

Research Period: FY2011-FY2015

Research Team: Cold Region Road Engineering
Research Group (Traffic
Engineering Research Team)

Author: WATANABE Masayoshi
TAKAHASHI Naoto
TOKUNAGA Roberto
KAWABATA Yuichi
KIRIISHI Makoto
TAKADA Tetsuya

Abstract:

In cold and snowy region, in order to secure and maintain a safe and functional traffic during the winter, the road administrators are permanently providing road maintenance services. However, due to budget constraints in recent years, more efficient and effective winter road management is required. In that situation, it is important to carry out the winter road surface management properly based on quantitative evaluation. And it is necessary to evaluate quantitatively the effects of management standards.

In this study, the authors research and develop technologies to contribute in the improvement of decision making on level of service in the winter road management by using continuous friction devices.

Key words: winter road surface, service level, friction, decision support