

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：石田樹、高橋尚人、徳永ロベルト、
佐藤賢治、切石亮、藤本明宏

【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、道路維持管理費は削減されており、管理基準が見直されている。こうした状況下において、従来どおりの冬期道路の安全性を維持するためには、管理基準の見直しによる効果と影響を定量的に把握することが不可欠となり、管理の効率化を今まで以上に促進させなければならない。

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的確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、判断支援、路面すべり特性

1. はじめに

道路を良好な状態に維持すること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、路面管理の判断の基本となる路面状態の評価は、目視による維持管理担当者の経験と主観に基づいて行われる場合が多く、凍結防止剤等の過剰散布や散布の見落としが懸念される²⁾。また、時々刻々と変化する気象・路面状態に対し、重点散布区間の選定が適切に行われているかも不明である。今後、冬期道路管理の効率化を促進させるためには、路面状態を把握する技術、さらには凍結防止剤の適切な散布を支援する技術開発が必要となる。

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する指標として路面すべり抵抗値に着目し、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）。

本研究では、前中期計画期間に開発したすべり抵抗値の測定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、道路維持作業の効果の評価技術および判断支援技術の確立に取り組む。

2. 研究実施内容

平成 26 年度は、以下の事項に取り組んだ。

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解析

② 路面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および気象・道路構造等による路線のすべり特性診断技術に関する検討

③ 道路気象と診断技術に基づいた冬期路面管理水準の判断支援技術の検討

なお、研究実施内容①、②および③は関連し、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 章において現道でのすべりモニタリングの実施方法、第 4 章において①のデータ解析結果、第 5 章において②のすべり特性の把握およびその診断技術の検討結果、第 6 章において③の冬期道路管理水準の判断支援技術の検討結果を報告する。

3. 冬期道路管理水準の妥当性の検討

3.1 現道での路面すべり抵抗モニタリング

現道での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。対象路線は、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、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。

路面すべり抵抗モニタリングは、冬期間（1月～2月）の平日に、1日2往復実施した。

すべり抵抗値（HFN: Halliday Friction Number）は、連続路面すべり抵抗値測定装置（CFT: Continuous Friction Tester）³⁾を用いて測定した。CFTは、道路パトロールカーの後部に取り付け可能な装置で、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測定輪に発生する横方向の力からHFNを算出する。

HFNデータは、車両速度データ等と組み合わせて外部記録装置に記録されるとともに、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サイトに反映される。このシステムにより、パトロール員と事務所スタッフはリアルタイムに情報を共有できる。

3.2 路面管理作業データの取得

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提供を受けた。取得したデータは種々の分析を実施するために、冬期道路マネジメントシステムのデータベースに蓄積した。

4. 冬期路面状態およびすべり抵抗値の出現特性

図1は、H19～H26年度の8冬期間（1月）に計測された一般国道230号のHFNの出現率である。グラフの横

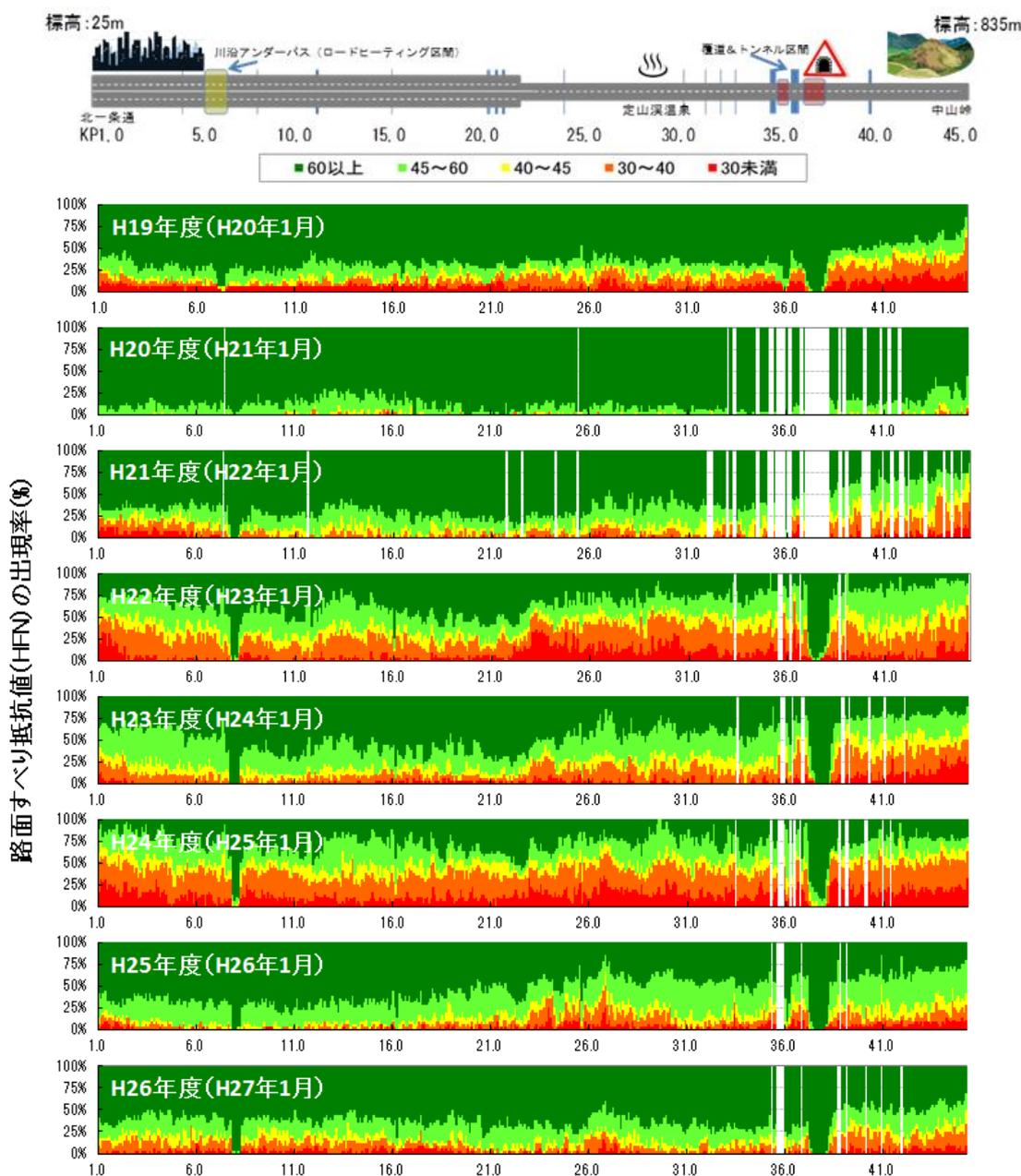


図1 一般国道230号線におけるすべり抵抗値（HFN）の出現特性（H19～H26年度・1月）

軸はキロポスト (KP) を表し、左側の始点 (KP 1.0) から、札幌市都市部の 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 HFN の出現率である。HFN の出現率は HFN : 30 未満 (赤色)、HFN : 30 以上~40 未満 (橙色)、HFN : 40 以上~45 未満 (黄色)、HFN : 45 以上~60 未満 (黄緑色) および HFN : 60 以上 (緑色) の 5 水準に区分して示される。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併せて示す。

同図より、平成 26 年度の HFN は、他の年度と比較して比較的高いことが知れる。都市部や郊外部 (KP 1.0~20.0 あたり) では大半が HFN \geq 45 (黄緑色と緑色) であり、良好な路面が長期間に亘り継続したことが分かる。山間部や峠部 (KP 26.0~45.0) においても、HFN < 40 (橙色と赤色) の出現率は例年の半分程度である。

次に、月平均気温、月累計降水量およびゼロクロッシング日数の推移 (図 2) を通して、HFN の出現率を考察する。H26 年度の 1 月の月平均気温は約 -1.6°C 、月累計降雪量は約 127cm であった。平年値と比較すると、月平均気温は過去 8 冬期間の中で 2 番目に高く、月累計降雪量は平年値程度である。このように H26 年度の 1 月は比較的穏やかな気象条件であり、H26 年度の HFN は比較的高い傾向を示した。その一方、ゼロクロッシング日数のグラフを見ると H26 年 1 月はゼロクロッシング日数 (1 日の中で気温が 0°C 以上から 0°C 以下に、あるいは 0°C 以下から 0°C 以上に推移した日の数) は 22 日であり、例年に比べて多い。ゼロクロッシングが起これば路面上の雪や氷の融解とその後の再凍結が生じるため、HFN の低下が推測される。以上を踏まえて、H25 年度と H26 年度の 1 月を比較すると、月累計降雪量は同等であり、平均気温は H25 年度が低い。しかしながら、HFN は KP1.0~21.0 の範囲で H26 年度が H25 年度より低い傾向にある。この要因の一つとして、H26 年度が H25 年度よりゼロクロッシング日数が多かったためと推察できる。

図 3 に H19~H26 年度の 8 冬期間 (1 月) に亘る除雪および薬剤等散布の作業時間の推移を示す。H26 年度の 1 月は 8 冬期において除雪の作業時間が最も長く、薬剤散布等の作業時間が最も短い。上述したように、H26 年度は 1 月の平均気温が比較的高く、薬剤の散布作業は例年より少なくて済んだと推測される。他方、除雪の作業時間については、当該月の累計降雪量が比較的多かったことが考えられるが、過去の最長時間を更新した原因については今後の調査が必要である。

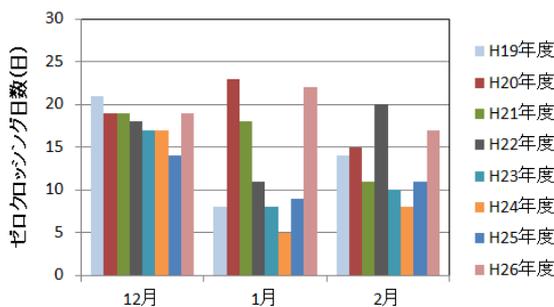
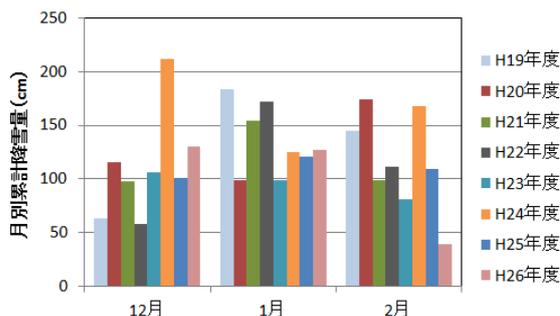
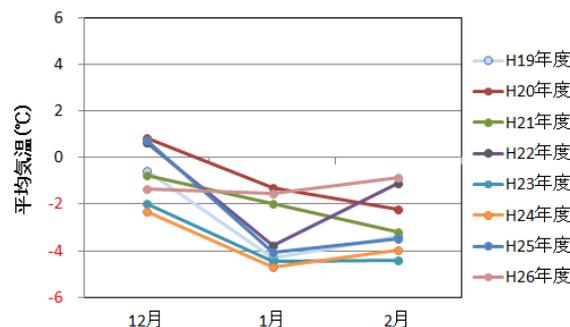


図 2 札幌圏の月平均気温・月累計降雪量・ゼロクロッシング日数 (H19~H26 年度)

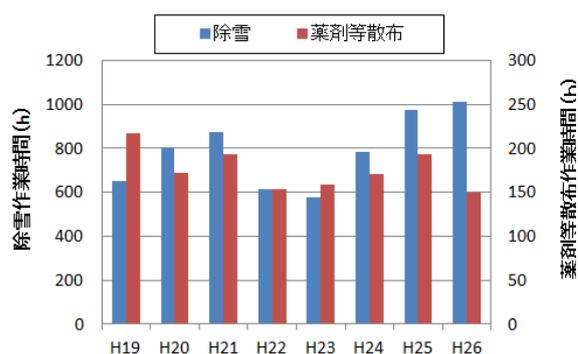


図 3 除雪および薬剤等散布の作業時間の推移 (H19~H26 年度・1 月)

今後はこれまでに得られたデータを分析し、ゼロクロッシング日数も含め、低 HFN 区間の発生要因を気象や道路維持作業内容など多方面から検証し、明らかにする必要がある。

5. 路線におけるすべり特性の把握と診断技術の確立

5.1 気象条件・路面状況の区別

本章では、路線のすべり特性を把握するため、一般国道 230 号で得られた HFN データを気象条件および前日の路面状況で分類し、気象条件・路面状況別の HFN 分布を構築するとともに、その再現性を検証した。HFN 分布を構築することにより、気象条件や前日の路面状態毎に路線のすべり特性を把握することが可能になる。表 1 に気象条件・路面状況別のカテゴリを 13 に設定した場合の分類要素、その詳細および測定 (Run) 数を示す。13 分類では、冬期道路管理マニュアル (案) や除雪・防雪ハンドブックを参考に、凍結防止剤と防滑材の切り替えの基準の目安である気温 -8°C 、機械除雪の出動基準の目安である降雪量 5cm を閾値にとり、HFN 分布データを気温で 3 区分、降雪量で 3 区分、前日の路面状況で 2 区分に分けた。分類要素の組み合わせを同表に示し、以下では各分類を P13-1~P13-13 と呼ぶことにする。

表 1 13 分類の要素と詳細

分類要素	区分	閾値
日最低気温	非冬日	日最低気温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$
	冬日	$0^{\circ}\text{C} > \text{日最低気温} > -8^{\circ}\text{C}$
	厳冬日	$-8^{\circ}\text{C} \geq \text{日最低気温}$
降雪量	無降雪日	降雪量 0cm
	少雪日	$0\text{cm} < \text{夜間 12 時間降雪量} < 5\text{cm}$
	多雪日	夜間 12 時間降雪量 $\geq 5\text{cm}$
前日路面状況	すべりにくい日	前日 HFN 値 > 60
	すべりやすい日	前日 HFN 値 ≤ 60
分類	詳細	Run 数
P13-1	冬日・無降雪日・すべりにくい日	19
P13-2	厳冬日・無降雪日・すべりにくい日	12
P13-3	冬日・無降雪日・すべりやすい日	22
P13-4	厳冬日・無降雪日・すべりやすい日	24
P13-5	冬日・少雪日・すべりにくい日	22
P13-6	厳冬日・少雪日・すべりにくい日	9
P13-7	冬日・少雪日・すべりやすい日	18
P13-8	厳冬日・少雪日・すべりやすい日	14
P13-9	冬日・多雪日・すべりにくい日	5
P13-10	厳冬日・多雪日・すべりにくい日	1
P13-11	冬日・多雪日・すべりやすい日	7
P13-12	厳冬日・多雪日・すべりやすい日	8
P13-13	非冬日	5

5.2 気象条件・路面状況別の HFN 分布 (フリクションマップ) の作成方法

気象条件・路面状況別の HFN 分布は、Shao⁵⁾ が提案した路線の路面温度分布図 (サーマルマッピング) を参考に作成した。以下に、作成方法を記述する。図 4 に示されるように、対象区間における HFN の空間平均値 (HFN_{ave}) を求め、HFN と HFN_{ave} の差 ($\text{HFN} - \text{HFN}_{\text{ave}}$) から ΔHFN

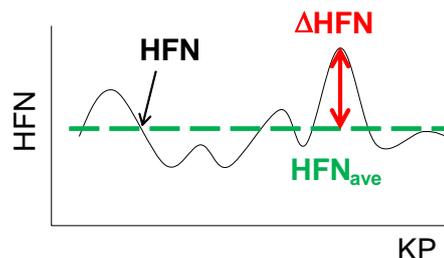


図 4 HFN_{ave} 及び ΔHFN の概念図

を算出する。

次に、表 1 に示す気象条件・路面状況の分類に従い、同じ気象条件に該当する Run の ΔHFN の平均値 ($\overline{\Delta\text{HFN}}$) を求める。 $\overline{\Delta\text{HFN}}$ は気象条件・路面状況毎の路線のすべり特性を意味し、ここでは $\overline{\Delta\text{HFN}}$ の路線分布図をフリクションマップと呼ぶ。

一例として、図 5 に P13-1 (冬日・無降雪日・すべりにくい日) の 13 ケースの ΔHFN と $\overline{\Delta\text{HFN}}$ (赤色) の KP 変化を示す。同図の横軸は、路線の KP を示し、縦軸は ΔHFN と $\overline{\Delta\text{HFN}}$ を示す。こうしたフリクションマップの作成により、各気象条件における路線のすべり特性を定量的に表現することが可能になると考える。なお、フリクションマップの再現性については後述する。

5.3 気象条件・路面状況別のフリクションマップ

図 6 に DID 区間 (KP1.0~8.0) における 13 分類のフリクションマップを示す。ただし、P13-10 は Run が一つしかないため、ここでは除外した。

非冬日の P13-13 の ΔHFN に着目すると、KP1.0~4.5 の間ではゼロ前後を推移し、KP4.5~6.5 では 0~5 程度に下がった。これに対して、他の分類では概して KP1.0~4.5 では負の値をとり、KP4.5~6.5 では正の値となった。これは、冬日では KP1.0~4.5 のように信号や渋滞に起因した通過車両の停車時間が長く、停止・発進回数が多い箇所では、車両からの熱供給やスタッドレスタイヤの回転による氷面の平坦化によって、HFN が下がり易いと推察される。

5.4 フリクションマップの再現性の検証

フリクションマップの再現性を定量的に評価するため、 ΔHFN と $\overline{\Delta\text{HFN}}$ の差の絶対値 ($|\Delta\text{HFN} - \overline{\Delta\text{HFN}}| = E$) を算出し、対象路線において E が ± 6 (路面すべり摩擦係数 $\mu \pm 0.05$ に相当) 以内および ± 12 ($\mu \pm 0.10$ に相当) 以内に収まる割合 (出現率) を調べた。表 2 に 13 分類のフリクションマップの再現性の検討結果を示す。同表には、

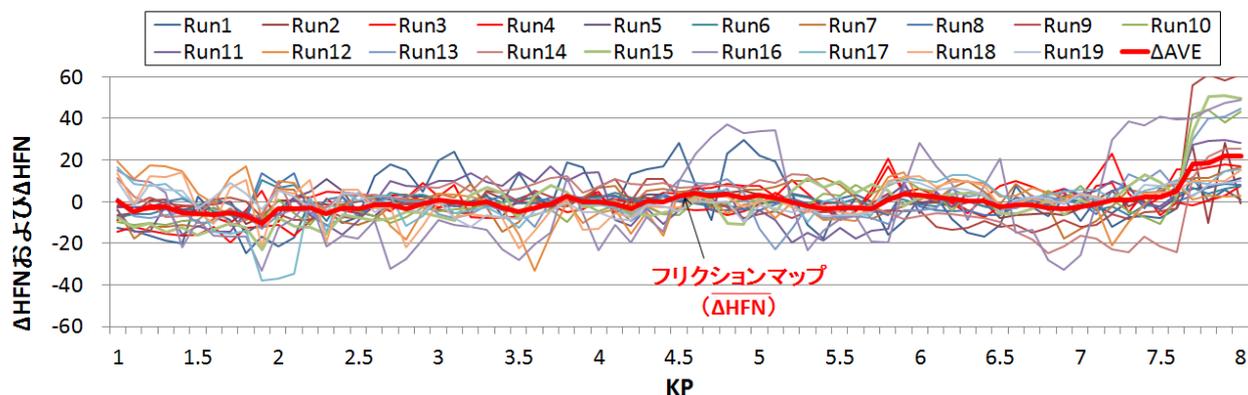


図5 P13-1 (冬日・無降雪日・すべりにくい日) の ΔHFN と $\overline{\Delta HFN}$ のKP変化

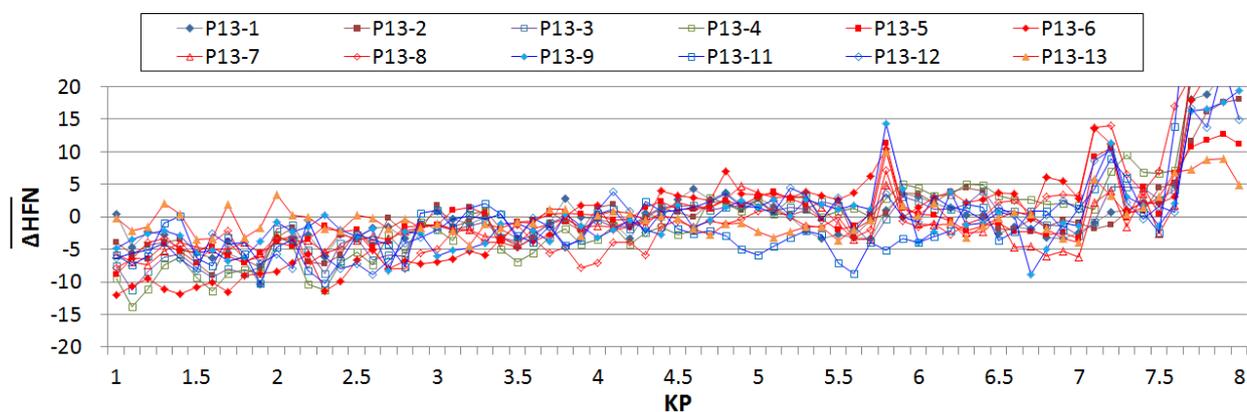


図6 13分類のフリクションマップ (DID 区間)

表2 13分類フリクションマップの再現性の検討結果 (DID 区間)

分類		N	E		出現率 (%)	
			最大値	最小値	±6	±12
P13-1	冬日・無降雪日・ $HFN > 60$	19	42.3	-33.2	58%	85%
P13-2	厳冬日・無降雪日・ $HFN > 60$	12	61.5	-23.8	64%	90%
P13-3	冬日・無降雪日・ $HFN < 60$	22	36.8	-28.5	62%	88%
P13-4	厳冬日・無降雪日・ $HFN < 60$	24	34.9	-38.3	57%	88%
P13-5	冬日・小雪日・ $HFN > 60$	22	35.5	-42.9	65%	90%
P13-6	厳冬日・小雪日・ $HFN > 60$	9	31.4	-25.2	57%	87%
P13-7	冬日・小雪日・ $HFN < 60$	18	43.1	-45.7	59%	85%
P13-8	厳冬日・小雪日・ $HFN < 60$	14	30.9	-39.3	59%	86%
P13-9	冬日・多雪日・ $HFN > 60$	5	24.6	-22.5	62%	91%
P13-10	厳冬日・多雪日・ $HFN > 60$	1	-	-	-	-
P13-11	冬日・多雪日・ $HFN < 60$	7	31.4	-27.6	64%	91%
P13-12	厳冬日・小雪日・ $HFN < 60$	8	34.1	-28.6	60%	85%
P13-13	最低気温 $\geq 0^{\circ}C$	5	33.4	-19.9	80%	96%

Eの最大値および最小値も併せて示す。

気象条件毎の出現率の平均値が高い順に述べると、P13-13 (冬日・無降雪日・すべりにくい日) の出現率はE±6で80%およびE±12で96%と最も高かった。それ以外の分類の出現率はE±6で57~64%の範囲に、E±12で85~91%の範囲にあった。

以上、気象条件と路面状況を13分類したフリクションマップの再現性は、E±12で85%以上有ることが分かった。

6. 道路気象と診断技術に基づいた冬期路面管理水準の判断支援技術の検討

フリクションマップの作成には複数の HFN データが必要となるが、気象条件と路面状況の条件のカテゴリ分け（分類数）が少ない方が HFN を測定する回数が少なく済む。そこで、本章ではフリクションマップのカテゴリ分けを統合して 13 から 5 に減らし、5 分類のフリクションマップの再現性を検証した。

表 3 に 5 分類の分類要素、詳細および Run 数を示す。5 分類では冬日と厳冬日の区別および少雪日と多雪日の区別はせずに、気温を 2 区分、降雪量を 2 区分に減らした。同表に示すように、分類要素の組み合わせを P5-1～P5-5 と呼ぶことにする。

表 3 5 分類の要素と詳細

分類要素	区分	閾値
日最低气温	非冬日	日最低气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$
	冬日	$0^{\circ}\text{C} >$ 日最低气温
降雪量	無降雪日	降雪量 0cm
	降雪日	夜間 12 時間降雪量 $\geq 0\text{cm}$
前日路面状況	すべりにくい日	前日 HFN 値 > 60
	すべりやすい日	前日 HFN 値 ≤ 60
分類		
P5-1	冬日・無降雪日・すべりにくい日	
P5-2	冬日・無降雪日・すべりやすい日	
P5-3	冬日・降雪日・すべりにくい日	
P5-4	冬日・降雪日・すべりやすい日	
P5-5	非冬日	

図 7 は DID 区間における 5 分類のフリクションマップである。13 分類と同様に、非冬期の P5-5 はゼロ前後を推移した。しかしながら、KP7.0 以上では 0～10 の範囲と全体に対してプラス方向に変化した。これは当該区間に敷設されたロードヒーティングの影響である。P5-1～P5-4 は KP1.0～4.0 の範囲において相対的にマイナス側にあり、KP4.5 以上では総じてプラス側にある。

表 4 に 5 分類のフリクションマップの再現性を示す。フリクションマップの出現率は ± 6 では 58～80%の範囲、 ± 12 では 85～96%の範囲にあり、13 分類の出現率と比べて大差はなかった。このことから、冬期道路のすべり易さの分布を 5 分類のフリクションマップで網羅できる可能性が示された。

今回の 5 分類では冬日における気象条件と前日の路面状況によるフリクションマップの差異は明確に表れなかった。その理由として、道路維持管理の有無や頻度によって同じ気象条件であっても異なる HFN 分布であった可能性が考えられる。今後、フリクションマップを冬期道路管理に役立てるに、更にデータを精査するとともに分類の数とその要素を見直し、フリクションマップの再現性の向上を図りつつ、フリクションマップの活用方法について検討を行う。

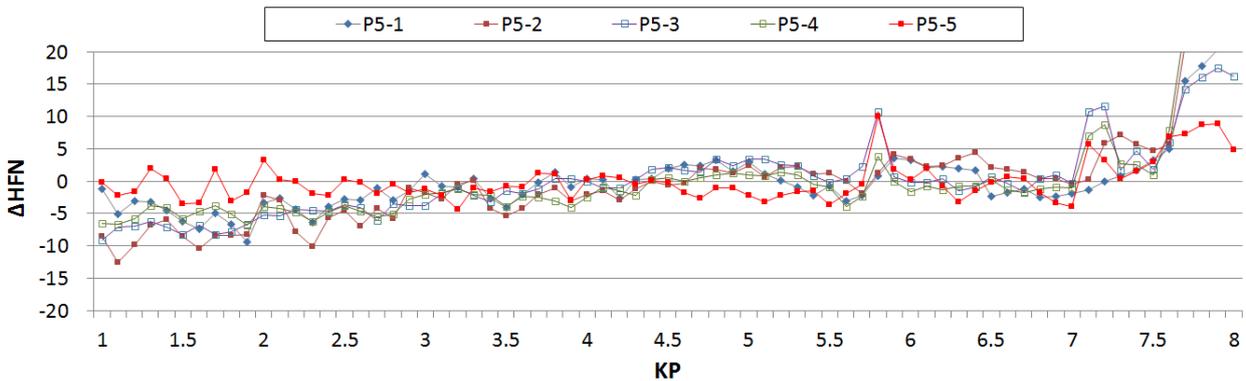


図 7 5 分類のフリクションマップ (DID 区間)

表 4 5 分類フリクションマップの再現性の検討結果 (DID 区間)

分類	N	E		出現率 (%)	
		最大値	最小値	± 6	± 12
P5-1	31	59.2	-33.4	60%	87%
P5-2	46	36.4	-36.8	59%	88%
P5-3	37	45.8	-40.5	59%	86%
P5-4	47	45.9	-42.7	58%	85%
P5-5	5	33.4	-19.9	80%	96%

7. まとめと今後の課題

平成 26 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。以下に主な成果を列挙する。

- i. 一般国道 230 号において、路面すべり抵抗モニタリングデータと道路維持管理作業記録データを取得し、HFN の出現率について気象と除雪および薬剤等散布の作業時間から分析を行った。平成 26 年度は、累計降雪量は平年値よりも多かったものの、気温が比較的高かったため、HFN は比較的高い値を示した。また、過去 8 冬期間の中で、除雪作業が最も長かったことも高い HFN になった理由と推察される。
- ii. 路線のすべり特性を把握するために、一般国道 230 号線で得られた路面すべり抵抗モニタリングデータを、気象条件に加えて前日の路面状況で 13 分類に分け、各分類のフリクションマップを作成し、それらの再現性を検証した。その結果、13 分類のフリクションマップは出現率±12 (路面すべり摩擦係数±0.1 に相当) で 85%以上の再現性を有することが分かった。
- iii. フリクションマップのカテゴリライズを統合して 13 分類から 5 分類に減らし、5 分類のフリクションマ

ップの再現性を検証した。その結果、5 分類のフリクションマップの出現率は±6 では 58～80%の範囲、±12 では 85～96%の範囲にあり、13 分類の出現率と同程度であった。このことから、冬期道路のすべり易さの分布を 5 分類のフリクションマップで網羅できる可能性が示された。

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路面すべり抵抗モニタリングを継続し、路線のすべり特性の把握と診断技術の確立を目指すともに、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。

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) J. Shao, P.J. Lister, G.D. Hart and H.B. Pearson, Thermal Mapping: Reliability and Repeatability, 8th International Road Weather Conference Proceedings, pp. 235-242, 1996

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: ISHIDA Tateki,
TAKAHASHI Naoto,
TOKUNAGA Roberto,
SATO Kenji,
KIRIISHI Makoto and
FUJIMOTO Akihiro

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 conditions, service level, friction, decision support