

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、中島知幸、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立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だ。

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。しかしながら、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¹⁾、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・路面状態に対して、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路面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

本研究では、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および解析

- 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、いずれも実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 章で冬期路面管理水準の妥当性の検討について、第 4 章で路面におけるすべり特性の把握と診断技術の開発について、第 5 章に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について、それぞれ記載する。

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の実施

実道での路面すべり抵抗モニタリングは、H19～H27 年度の 9 冬期に亘って一般国道 230 号札幌市内（KP1.0～45.0 の区間、L=44.0km）を対象に実施された。

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 (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 は、横力無負荷状態の時に 0、標準舗装路面が乾燥状態の時に 100 とし、その間を 100 等分した値である。HFN の値が小さいほど路面がすべりやすく、その値が大きいほど路面がすべりにくい状態にある。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。なお、HFN データは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 Web サイトに転送される。

図 1 は HFN の出現率である。同図の最下段には 9 冬期間に亘る HFN の出現率の平均を示す。グラフの横軸はキロポスト (KP) を表し、左側の始点 (KP1.0) から、



写真1 連続路面すべり抵抗値測定装置 (CFT)

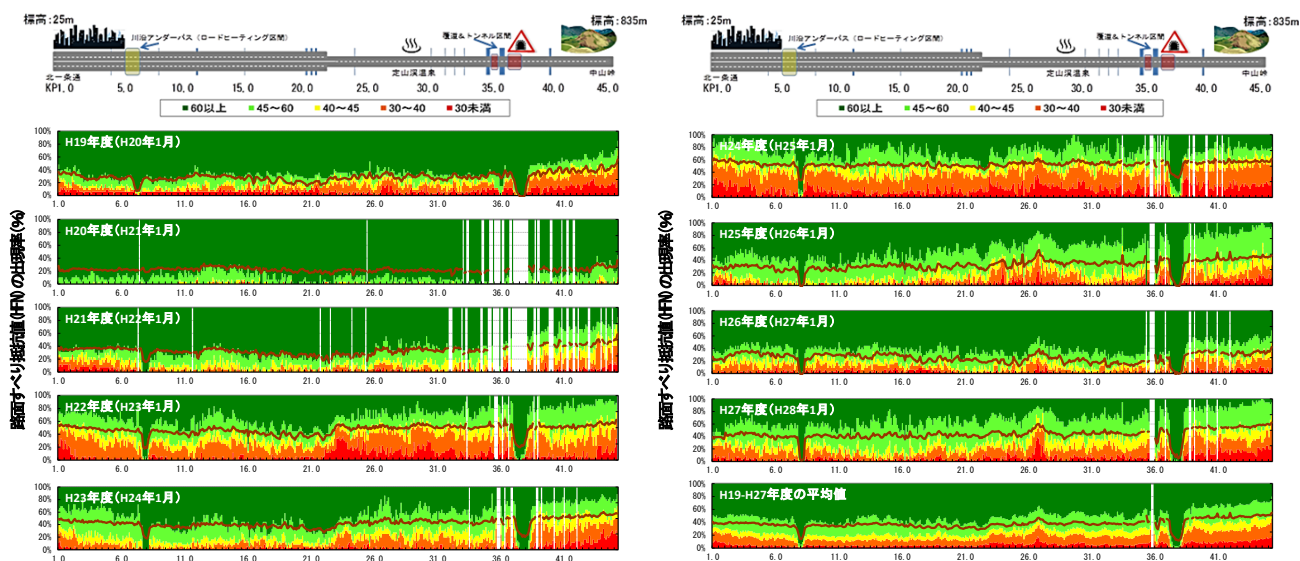


図1 一般国道230号線におけるすべり抵抗値 (HFN) の出現特性 (H19~H27年度・1月)

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⁵⁾。

同図より、HFN の出現率はいずれの年度も KP1.0 (DID) から KP45.0 (峠) に向けて HFN < 40 の出現率が高くなる傾向にあるものの、その割合は年度毎に異なることが分かる。例えば、H24 年度は HFN < 40 の出現率が高く、逆に H26 年度は HFN > 45 の出現率が高い。こうした相違は気象や道路維持管理等の影響と考えらえる。これら HFN に及ぼす気象や道路維持管理等の影響については 3.3 で検証する。

3.2 路面管理作業データの取得

図 2 に H19~H27 年度に亘る 1 月の除雪および薬剤散布の作業時間の推移を示す。路面管理作業データは国土交通省北海道開発局から提供を受けた。

単位距離あたりの除雪作業時間は 13~23 h/km の範囲にあり、平成 23 年度が最も短く、平成 25 年度が最も長かった。単位距離あたりの薬剤散布時間は 3~4 h/km 程度であり、除雪作業時間に比べてバラつきが小さくかつ短い。

3.3 データ解析

本節では、3.1 および 3.2 で得られた HFN データ (図 1) と道路管理作業データ (図 2) に気象庁札幌管区気象

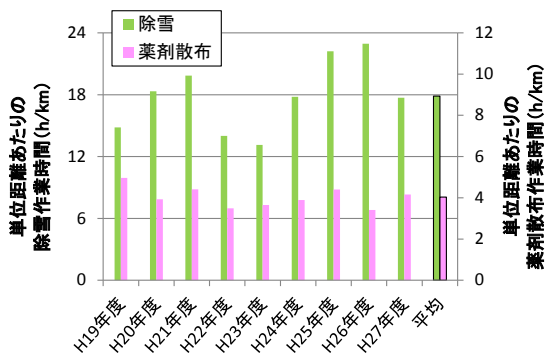


図2 除雪および薬剤散布の作業時間の推移 (H19~H27年度・1月)

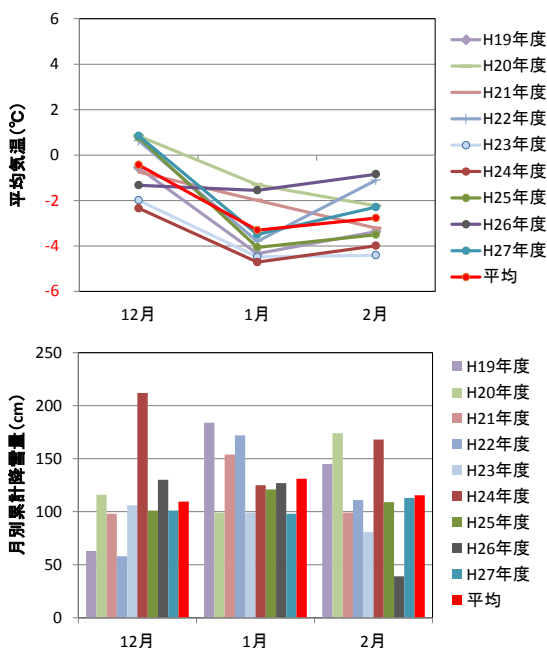


図3 札幌圏の月平均気温・月累計降雪量 (H19~H27年度)

台で観測された気象データを加えて照合し、一般国道230号線を対象に冬期道路管理水準の妥当性を検討する。図3に札幌圏の月平均気温および月累計降雪量の推移を示す。

H26年度のHFN > 45の出現率は他の年度と比較して高い。都市部や郊外部 (KP 1.0~20.0あたり) では大半がHFN ≥ 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。H26年度の1月の月平均気温は-1.6℃、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5冬期間の中で最も高く、月累計降雪量は平年値程度である。また、H26年

表1 13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 ≥ 0℃
	冬日	0℃ > 日最低气温 > -8℃
	厳冬日	-8℃ ≥ 日最低气温
降雪量	無降雪日	降雪量 0cm
	少雪日	0cm < 夜間12時間降雪量 < 5cm
	多雪日	夜間12時間降雪量 ≥ 5cm
前日のHFN	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・すべりにくい前日	33
P13-2	厳冬日・無降雪日・すべりにくい前日	10
P13-3	冬日・無降雪日・すべりやすい前日	25
P13-4	厳冬日・無降雪日・すべりやすい前日	28
P13-5	冬日・少雪日・すべりにくい前日	20
P13-6	厳冬日・少雪日・すべりにくい前日	3
P13-7	冬日・少雪日・すべりやすい前日	17
P13-8	厳冬日・少雪日・すべりやすい前日	12
P13-9	冬日・多雪日・すべりにくい前日	5
P13-10	厳冬日・多雪日・すべりにくい前日	3
P13-11	冬日・多雪日・すべりやすい前日	7
P13-12	厳冬日・多雪日・すべりやすい前日	7
P13-13	非冬日	5

度の除雪作業時間は過去5冬期間の中でも最も長い。これらの事から、H26年度のHFNは比較的穏やかな気象条件および充実した除雪作業が要因となって比較的高い傾向を示したと考えられる。平成27年度は月平均気温、月累計降雪量および除雪および薬剤散布の作業時間がいずれも各平均値程度であり、HFNの出現率も平均値と類似した。本解析により、HFN、気象および路面管理作業データは相互に関連することが分かった。

このように、実道での路面すべり抵抗モニタリングを実施することで、冬期道路管理水準の妥当性を検証することが可能になる。

4. 路線におけるすべり特性の把握と診断技術の確立

本章では、路線のすべり特性を把握するために、一般国道230号で得られたHFNデータを基にHFN路線分布図(フリクションマップ)を作成する。フリクションマップは気象条件および前日の路面状況に依存すると考えられるため、本研究ではHFNデータを気温、降雪量および前日のHFNで分類した。また、フリクションマップの信頼性を検証するとともに、フリクションマップの分類条件および作成に必要なデータ数を検討した。

4.1 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

(1) 気象条件・路面状況の区別

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 HFN 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。

(2) HFN 分布 (フリクションマップ) の作成方法

フリクションマップは、Shaoら⁶⁾ 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、Run毎に対象区間におけるHFNの空間平均値 ($\overline{\text{HFN}}_{\text{ave}}$) を求め、HFNと $\overline{\text{HFN}}_{\text{ave}}$ の差 ($\Delta\text{HFN} = \text{HFN} - \overline{\text{HFN}}_{\text{ave}}$) を算出する。

次に、表1に示す気象条件・前日のHFN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。 $\overline{\Delta\text{HFN}}$ は分類毎の路線のすべり特性を意味し、 $\overline{\Delta\text{HFN}}$ の路線分布図がフリクションマップである。

4.2 気象条件、道路構造等による路線のすべり特性診断技術の確立

図5は一例としてP13-11 (厳冬日・多雪・すべりやすい前日) の7つのRun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。同図では、アンダーパス区間で高い $\overline{\Delta\text{HFN}}$ が観測されたものの、橋梁区間では特徴的な $\overline{\Delta\text{HFN}}$ の変化は観られなかった。

図6にKP1.0~20.0における13分類のフリクションマップを示す。P13-10 (厳冬日・多雪・すべりにくい前日) はKP1.0~4.5の間で負の値が特徴的に見られた。P13-10のRun数が5と他の分類と比較して少なく、偶然KP1.0~4.5の間で低いHFNのデータが集まった可能性が考えられる。フリクションマップ作成に必要なHFNのデータ数については次章で述べる。

5. 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確立

5.1 フリクションマップの分類数と信頼性の検討

フリクションマップの分類数と信頼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

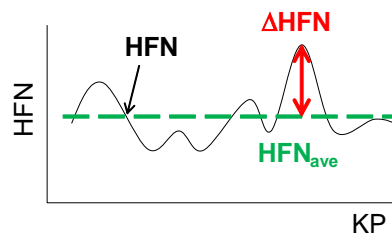


図4 フリクションマップの概念図

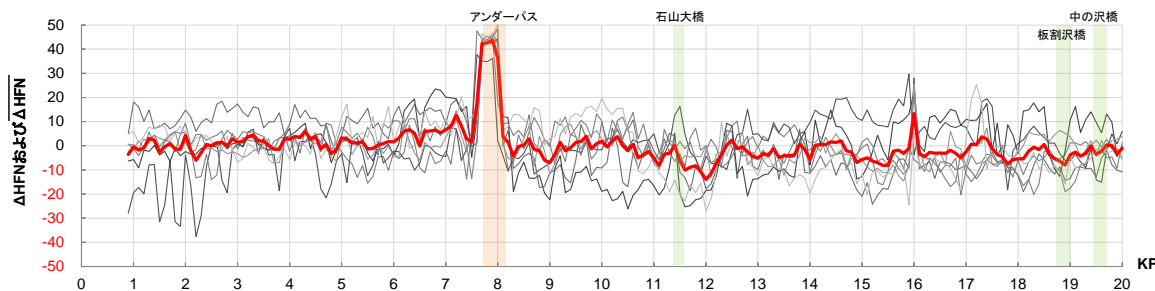


図5 P13-11 (厳冬日・多雪・すべりやすい前日) の ΔHFN と $\overline{\Delta\text{HFN}}$ のKP変化

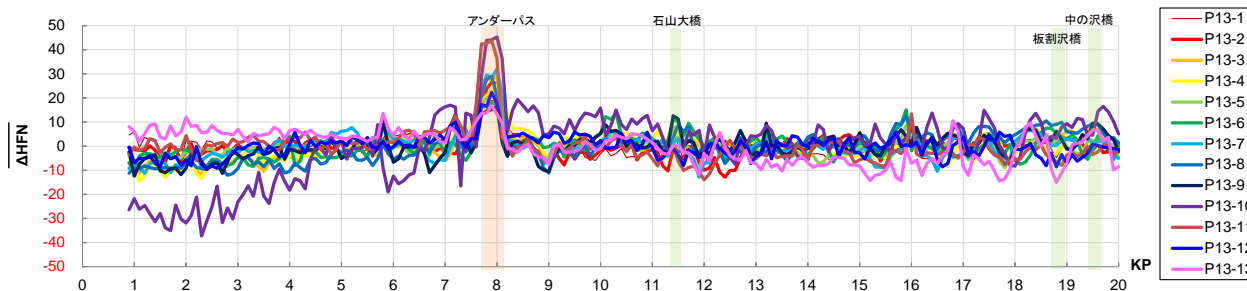


図6 13分類のフリクションマップ

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。本研究では、前述の13分類に加えて、5分類および3分類を検討した。表2および表3に5分類および3分類の条件を示す。

図7および図8は5分類および3分類のフリクションマップである。5分類のフリクションマップでは、P5-2、P5-3およびP5-4の $\overline{\Delta HFN}$ はKP5付近からKP0側(都心部側)で小さい。3分類のフリクションマップではP3-2の $\overline{\Delta HFN}$ がKP5付近からKP0側で小さい。これらのことから、降雪、0°C以下の日最低気温、前日が低いHFNの条件では交通量の多い都市部で傾向的に滑り易くなると考えられる。

表4に13分類、5分類および3分類のフリクションマップの信頼性検討の結果を示す。各分類の出現率の平均値を比較すると、13分類ではE±6で0.48およびE±12で0.78、5分類ではE±6で0.47およびE±12で0.76、3分類ではE±6で0.47およびE±12で0.76であった。出現率は分類数を問わずE±12で0.76以上の高い値を示し、13分類、5分類および3分類で相違が小さかった。以上より、フリクションマップは3分類であっても、冬期の様々な気象下における路線の危険箇所・区間を特定できると考えられる。なお、フリクションマップ作成は走行試験を伴うため、予算上、分類数は少ない方が望ましい。

5.2 フリクションマップに必要なデータ数の検討

P13-1 をケーススタディとして、フリクションマップに必要なデータ数を検討した。P13-1のRun数は33である。本検討では、全RunのHFNデータからランダムに規定数のRunのHFNデータを抽出し、出現率を求めた。

表2 5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	$0^\circ\text{C} >$ 日最低気温
降雪量	無降雪日	降雪量 0cm
	降雪日	0cm < 夜間12時間降雪量
前日のHFN	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
P5-1	冬日・無降雪日・すべりにくい前日	43
P5-2	冬日・無降雪日・すべりやすい前日	53
P5-3	冬日・降雪日・すべりにくい前日	31
P5-4	冬日・降雪日・すべりやすい前日	43
P5-5	非冬日	5

表3 3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	$0^\circ\text{C} >$ 日最低気温
降雪量	無降雪日	降雪量 0cm
	降雪日	0cm < 夜間12時間降雪量
分類	詳細	Run数
P3-1	冬日・無降雪日	43
P3-2	冬日・降雪日	127
P3-3	非冬日	31

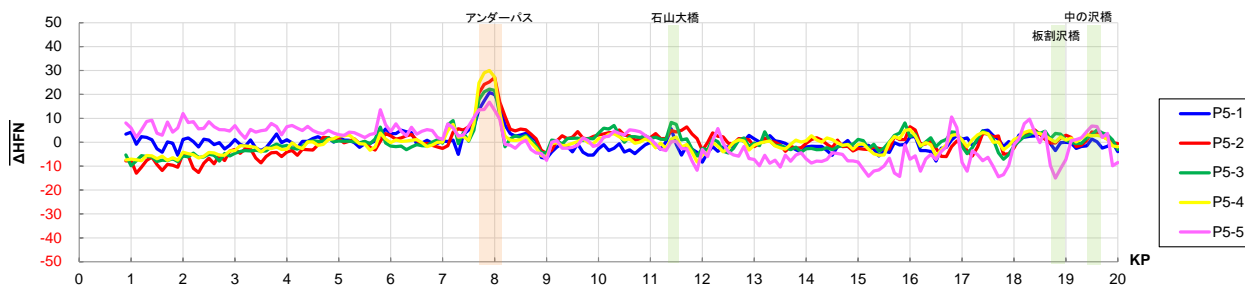


図7 5分類のフリクションマップ

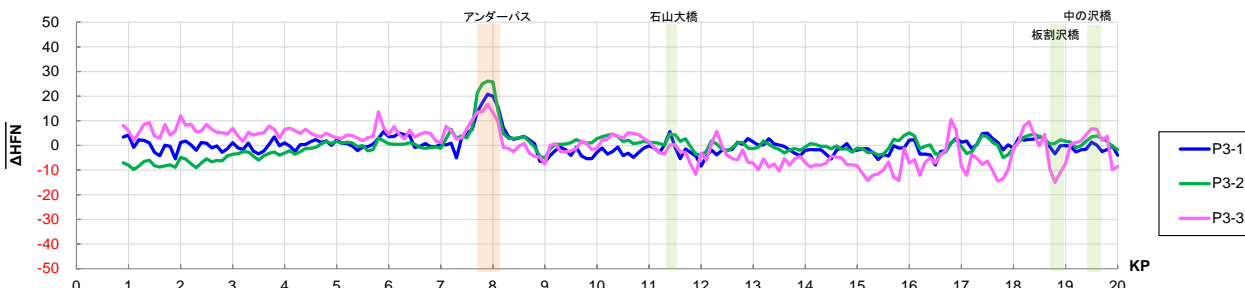


図8 3分類のフリクションマップ

表4 フリクションマップの信頼性検討

13分類			5分類			3分類		
分類条件	出現率		分類条件	出現率		分類条件	出現率	
	±6	±12		±6	±12		±6	±12
P13-1	0.52	0.79	P5-1	0.51	0.78	P3-1	0.51	0.78
P13-2	0.49	0.77	P5-2	0.45	0.73	P3-2	0.45	0.74
P13-3	0.44	0.72	P5-3	0.53	0.82	P3-3	0.46	0.76
P13-4	0.44	0.75	P5-4	0.41	0.70			
P13-5	0.59	0.85	P5-5	0.46	0.76			
P13-6	0.56	0.89						
P13-7	0.39	0.68						
P13-8	0.39	0.70						
P13-9	0.56	0.87						
P13-10	0.43	0.75						
P13-11	0.55	0.84						
P13-12	0.46	0.75						
P13-13	0.46	0.76						
平均	0.48	0.78	平均	0.47	0.76	平均	0.47	0.76

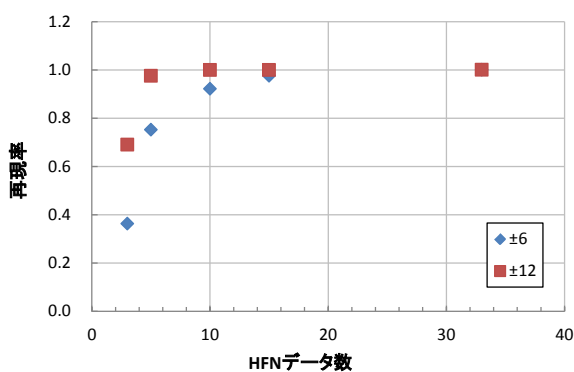


図9 再現率とHFNデータ数の関係

検討した規定数は、15回、10回、5回および3回とした。

図9はHFNデータ数と再現率の関係を示す。再現率とは、全データ数の出現率に対する規定数の出現率の割合を意味する。再現率はデータ数が10個までおよそ1.0であったが、10個未満になると再現率が低下した。以上、フリクションマップの再現性を確保するには、少なくとも10個のHFNデータが必要である。

6. まとめ

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立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だ。

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を気象と除雪および薬剤等散布の作業時間から解析を行った。本解析により、HFN、気象および路面管理作業データは相互に関連することが分かった。また、これらのデータより冬期道路管理水準の妥当性を検証できた。

- (ii) HFN路線分布図(フリクションマップ)の作成方法を示した。また、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基に気象条件に加えて前日の路面状況で13分類に分けたフリクションマップを作成した。フリクションマップの作成により、路線における要注意箇所を把握できるとともに、道路気象や道路構造を考慮して路線のすべり特性の評価・診断が可能になる。
- (iii) 13分類、5分類および3分類のフリクションマップを作成し、 ΔHFN と $\overline{\Delta\text{HFN}}$ の差の絶対値(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)からフリクションマップの分類数と信頼性を検討した。その結果、出現率は分類数を問わずE±12で0.76以上の高い値を示し、13分類、5分類および3分類で相違が小さかった。これより、3分類のフリクションマップであっても冬期の様々な気象下における路線の危険箇所・区間を特定できると考えらえる。
- (iv) 全データ数の出現率に対する規定数の出現率の割合(再現率)を求め、フリクションマップに必要なデータ数を検討した。再現率はHFNのデータ数が

10 個未満になると低下した。よって、フリクションマップの再現性を確保するには、少なくとも 10 個の HFN データが必要となる。

- (v) 上記(iii)、(iv)より、フリクションマップ作成の分類数とデータ数、すなわちフリクションマップ作成に必要な走行試験の回数(分類数×データ数)を明らかにすることができた。本研究により信頼性と再現性のあるフリクションマップの作成が可能になった。フリクションマップの活用によって、気象や前日の路面状態を考慮して今まで以上に適切な路面管理作業の実施が期待できる。

今後は、本成果を講習会やマニュアルを通じて道路管理者に周知するとともに、引き続き道路管理者と緊密な連携を図り、より効率的な冬期道路管理の支援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) 徳永ロベルト、藤本明宏、切石亮、高橋尚人、石田樹：積雪寒冷地における冬期路線のすべり特性について、第 30 回寒地技術シンポジウム、H26 年 12 月
- 6) 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,
NAKAJIMA Tomoyuki 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