

# 路面のすべり抵抗値を用いた冬期道路マネジメント手法の高度化に関する研究\*

## A Study on Winter Road Management Sophistication based on Road Surface Friction\*

徳永ロベルト\*\*、高田哲也\*\*、高橋尚人\*\*、浅野基樹\*\*

By Roberto TOKUNAGA\*\*, Tetsuya TAKADA\*\*, Naoto TAKAHASHI\*\* and Motoki ASANO\*\*

### 1. はじめに

我が国では、「積雪寒冷地域における道路交通の確保に関する特別措置法」に基づき、除雪機械整備、除雪率向上等が図られ、近年では路面管理に重きを置いて冬期道路交通機能の確保・強化がなされてきた。しかしながら、昨今の人口構造の変化、予算制約、環境負荷懸念等の社会的動向から、冬期道路交通機能を向上・維持するためには、よりの確かつ効率的であるとともに透明性及び説明性の高い冬期道路マネジメント手法を構築する必要がある。

当研究所は、冬期道路マネジメントの一環である冬期路面管理サービスに主眼を置き、冬期路面の定量的評価に基づいたより効果的・効率的な冬期路面管理手法の構築・提案を目指している。具体的には、路面のすべり抵抗値を連続的に計測することが可能な測定装置を用いて実道における冬期路面のモニタリングを試行し、冬期路面管理の意思決定支援ツールを製作するとともに、冬期道路管理とすべり抵抗値の関係把握、すべり抵抗値と冬期交通特性の関係把握等を行い、冬期路面管理サービスの性能評価への活用可能性について検討している。本報では、本研究におけるこれまでの取り組みと今後の展望について述べる。

### 2. 冬期路面の定量的評価手法の導入

これまで、我が国では冬期道路の性能評価において埋設型トラフィックカウンターやプローブカーによる車両速度データを用いて冬期交通特性の把握・評価が行われてきているが、車両の運動性能に直接的な影響を及ぼす路面のすべりやすさは指標として殆ど活用されていないのが現状である。

冬期路面状態の定量的な評価が可能な装置としては、フルロック式路面すべり測定車(写真1)が挙げられる。この車両は、我が国における路面のすべり摩擦係数の標準的な計測装置<sup>1)</sup>として使用されているが、導入費用及



写真1 フルロック式路面すべり測定車



①測定速度を保持する。 ②測定箇所で1秒間、急制動をかける ③通常走行する



図1 加速度計による測定方法

び維持管理費用が高額なため、試験・研究目的の保有に限られており、実務導入には適さない。一方、諸外国では冬期路面管理の実務に導入されている計測機器として主に北欧諸国で使用されている「加速度計(図1)」が挙げられる。この機器は比較的安価であるが、路面のすべり摩擦係数を計測する際に車両に急制動を掛けるため、測定可能な道路交通条件に限られている他、オペレーターの運転技能や測定車両の技術的な違いによって測定結果に影響を受けるなどの短所がある。また、上記の路面すべり測定車と共通する課題として、地点での計測となるため、連続的に変化する路線の路面状態を評価することができないことが挙げられる。

このような中、近年では路面のすべりやすさを連続的に計測することが可能な装置の開発が欧米諸国において進められている<sup>2)</sup>。本研究では、わが国で入手可能かつ

\*キーワード：冬期道路、性能評価、すべり抵抗値

\*\*正員、(独) 土木研究所寒地土木研究所

〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34

TEL: 011-841-1738、E-mail: roberto-1097ga@ceri.go.jp

冬期路面管理の実務に適用可能な汎用性のある装置として開発された「連続路面すべり抵抗値測定装置（CFT：Continuous Friction Tester）（写真2）」<sup>3</sup>を導入した。

CFTは、フレームに保持された測定輪を牽引する構造で、牽引車の進行方向に対して測定輪に一定のトー角が与えられており、牽引車の走行に伴い試験輪に発生する横力から路面のすべり抵抗値を算出する。CFTから出力されるすべり抵抗値（HFN：Halliday Friction Number）は、この装置の開発者が独自に設定した値である。この値は、横力無負荷状態の時にHFN0、舗装路面が乾燥状態（路面温度 $-17.8^{\circ}\text{C}$ ）の時にHFN100とし、その間を100等分している。即ち、測定輪にかかる横力が低いほど路面がすべりやすく、横力が高いほど路面がすべりにくいことを意味する（図2）。なお、当該装置から出力されるHFNについては国内の標準機器であるフルロック式路面すべり測定車のすべり摩擦係数（ $\mu$ ）との相関が良好であることが確認されている<sup>4</sup>。CFTは、牽引車または測定輪を制動させる必要がないため、走行しながら周辺車両の交通に支障を及ぼすことなく路面のすべり抵抗値を連続的に測定することができる。また、測定に特別な操作（機器操作、速度維持等）を要しないという利点もあり、現在、北米の一部の州で実務への導入が進められている他、スウェーデンでは導入を前提とした実証試験及び活用方法の検討が行われている。

当該装置による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確認できる。更に、時刻、測位、路面温度、牽引車・試験輪速度データ等と組み合わせて外部記録装置（GPSロガー・モバイルPC等）に記録するとともに通信端末を介して記録データをサーバーに転送することも可能である。

### 3. 冬期路面すべり抵抗モニタリング

本研究では、CFTによる冬期路面状態の定量的評価と冬期路面管理への活用可能性を検討するため、H19年度から冬期間（12月～2月）において札幌圏内の一般国道5号、12号、36号、230号、231号、274号、337号、453号等（図3）の冬期路面すべり抵抗モニタリング試験を実施している。

#### (1) 冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムの構築

当研究所は、CFTの計測データを用いて、デジタル道路地図の道路区間とリンク付けたデータベースを構築し、モニタリングの結果をGISの地図上に表示する他、蓄積したデータを用いた種々の分析が可能な「冬期路面すべり抵抗モニタリングシステム」を構築した（図4）。



写真2 連続路面すべり抵抗値測定装置（CFT）

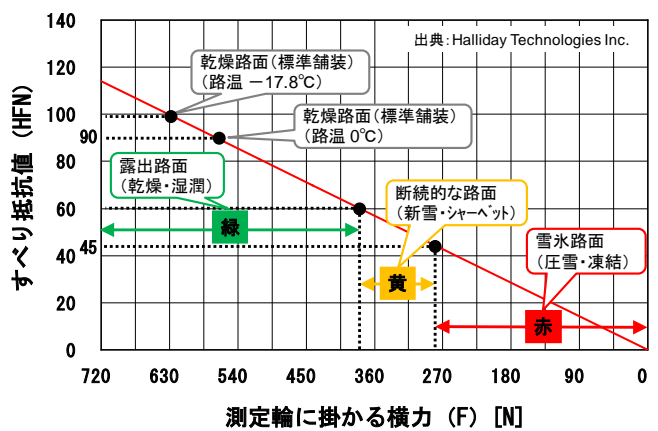


図2 HFNと横力の関係図（2009年仕様）



図3 札幌圏内における調査対象路線概略図

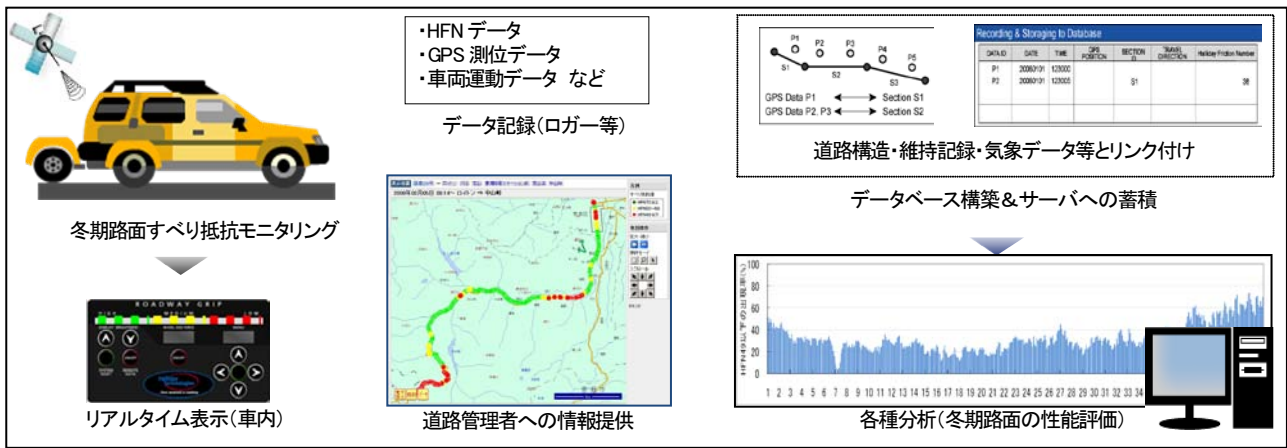


図4 冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムの概略図

(2) HFN を用いた意思決定支援ツールの構築

本研究では、冬期路面すべり抵抗モニタリングにおいて得た HFN データを用いて冬期路面管理を支援するため、国土地理院の電子国土 Web <sup>5)</sup> を背景地図として活用した「冬期路面すべり抵抗モニタリングサイト」を構築し、道路管理者へのリアルタイムな情報提供を昨年度冬期より試行的に開始した。閲覧者は、インターネットに接続された PC を介してサーバーに蓄積された HFN 及び気象データ (降雪量・気温等のメッシュデータ) の実況及び履歴を任意の倍率及び任意の区間で表示・確認することができる (図 5)。

なお、CFT による HFN は通常 10Hz で記録されるが、当該サイトの閲覧しやすさを考慮して 5 秒毎の平均 HFN を 3 段階 (赤色: HFN44 以下、黄色: 45~59、緑色: 60 以上) に色分けして表示している。

当該支援ツールにより、道路管理者は道路巡回時や作業実施前後等の路面状態を目視のみに限らず、客観的なデータに基づいた路面判断・確認ができるようになり、凍結防止剤等の過剰散布や対策が必要な区間の見落とし

回避の他、作業実施の説明根拠等として活用することで、よりの確な維持作業が可能になるとともに日々の作業実施をフィードバックできるようになった。

また、前述のとおり、計測された HFN は車内のディスプレイ上に数値及び色で表示されるため、道路巡回員は車内でリアルタイムに HFN (路面状態) を容易かつ的確に確認できる。更に、モニタリング結果は車載の記録装置に記録するとともに通信端末を利用してリアルタイムにサーバーに送信されており、計測区間の路面状態を事務所等でもリアルタイムに確認することができる。これらにより、道路巡回員と事務所等の職員が同一の情報を同時に共有することで、作業判断の迅速性と確実性が向上し、迅速かつ的確な凍結路面対策の実施が期待される。

4. HFN を用いた冬期道路の性能評価の試行

著者らは、路面の HFN を用いた冬期道路の性能評価を試みるため、上記モニタリングシステムに蓄積している HFN データ、気象データ、道路維持管理データ等を用いて分析を行った。以下に、幾つかの分析例を紹介する。

(1) 冬期路面状態の特徴把握

図 6 は、H19・20・21 年度冬期 (1 月) に計測した一般国道 230 号 (KP1.0~45.0 区間) の HFN データを HFN : ~44 (赤色・雪氷路面)、HFN : 45~59 (黄色・断続的な路面)、HFN : 60~ (緑色・露出路面) の 3 水準で路面状態を分類して表現したものである。路面状態の出現率は、100m 単位で集計しているため、道路を構成する構造物区間と若干ずれが生じているが、とりわけ 19・21 年度は山間部方向に断続的な路面及び雪氷路面の出現率が高くなっていることが分かる。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い。これは、山間部の標高に加え、山の斜面等によって日射が遮られ、日中でも路面が雪氷化



図5 冬期路面すべり抵抗モニタリングサイト

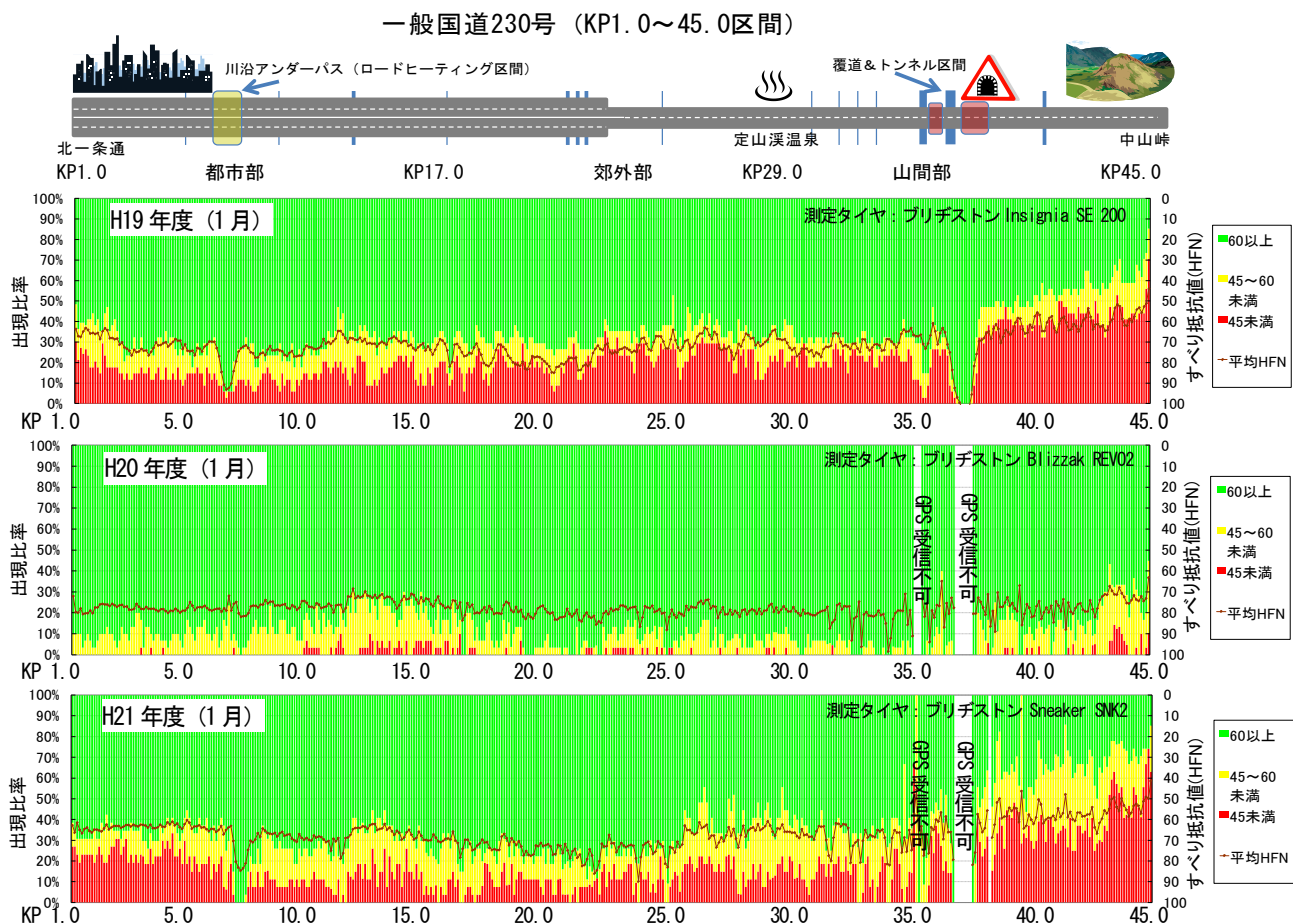


図6 一般国道230号 KP1.0~45.0 区間における路面状態の出現率 (%) の結果例

し易いためであると考えられる。

更に、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ケースが多いことも確認できた。このような計測データの活用は、冬期路面管理の適正化を目指す上で過剰作業の予防や注意を要する区間の抽出に有効である。また、同じ図において3冬期間の計測結果をみると、冬期間によって路面状態の出現率が異なることが伺える。これは、其々の期間のすべり抵抗モニタリング試験において使用した測定タイヤが異なったことも要因として考えられるが、H20年度冬期の平均気温が3期間中最も高かつ日平均気温が0°Cを上回った日が最も多かったこと、また、降雪量においても3期間の中で日降雪量が10cmを超えた日が最も少なかったこと等が路面状態の出現率の違いとして表れたものと考えられる(図7)。

(2) 降雪による路面状態の変化と交通特性の関係

図8は、H19年度(1・2月)の一般国道230号都市部10km区間(冬期の12時間交通量約22,000台)及び郊外部5km区間(冬期の12時間交通量約8,000台)における平均HFNとCFT牽引車の走行速度(区間内の最大速度)を降雪量別に抜粋し例として分布図で表している。なお、

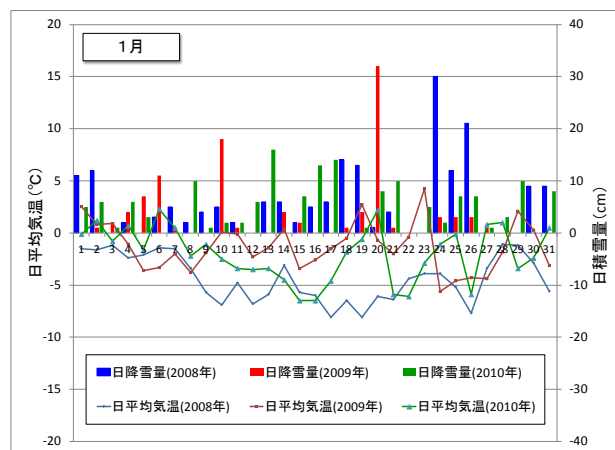


図7 過去3冬期間における札幌市内の1月の日平均気温及び日降雪量(出典:気象庁札幌管区気象台)

ここで述べる降雪量はHFN計測時から8時間前までの累積降雪量である。都市部(左)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他、後者のばらつきが大きくなっていることが分かる。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

一般国道230号 (KP1.0~45.0区間)

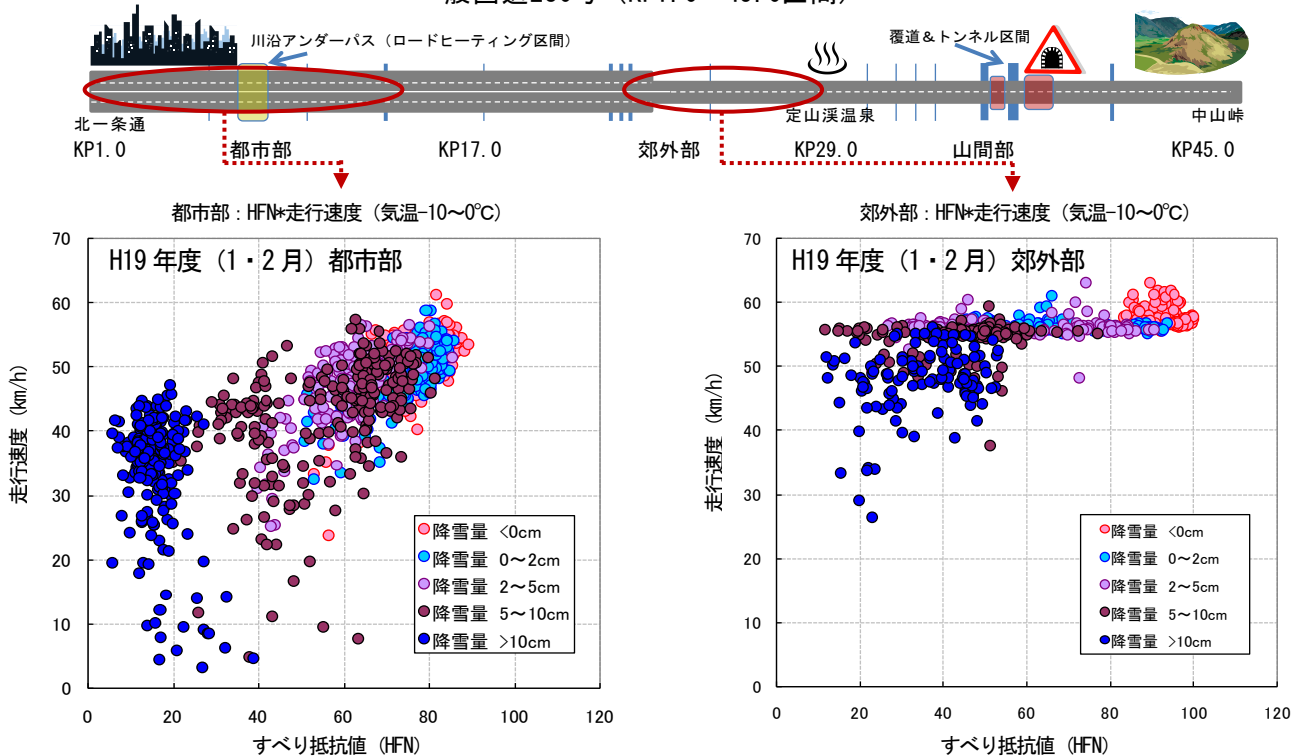


図8 降雪量による HFN 及び走行速度への影響 (左: 都市部、右: 郊外部)

一般国道230号 (KP1.0~45.0区間)

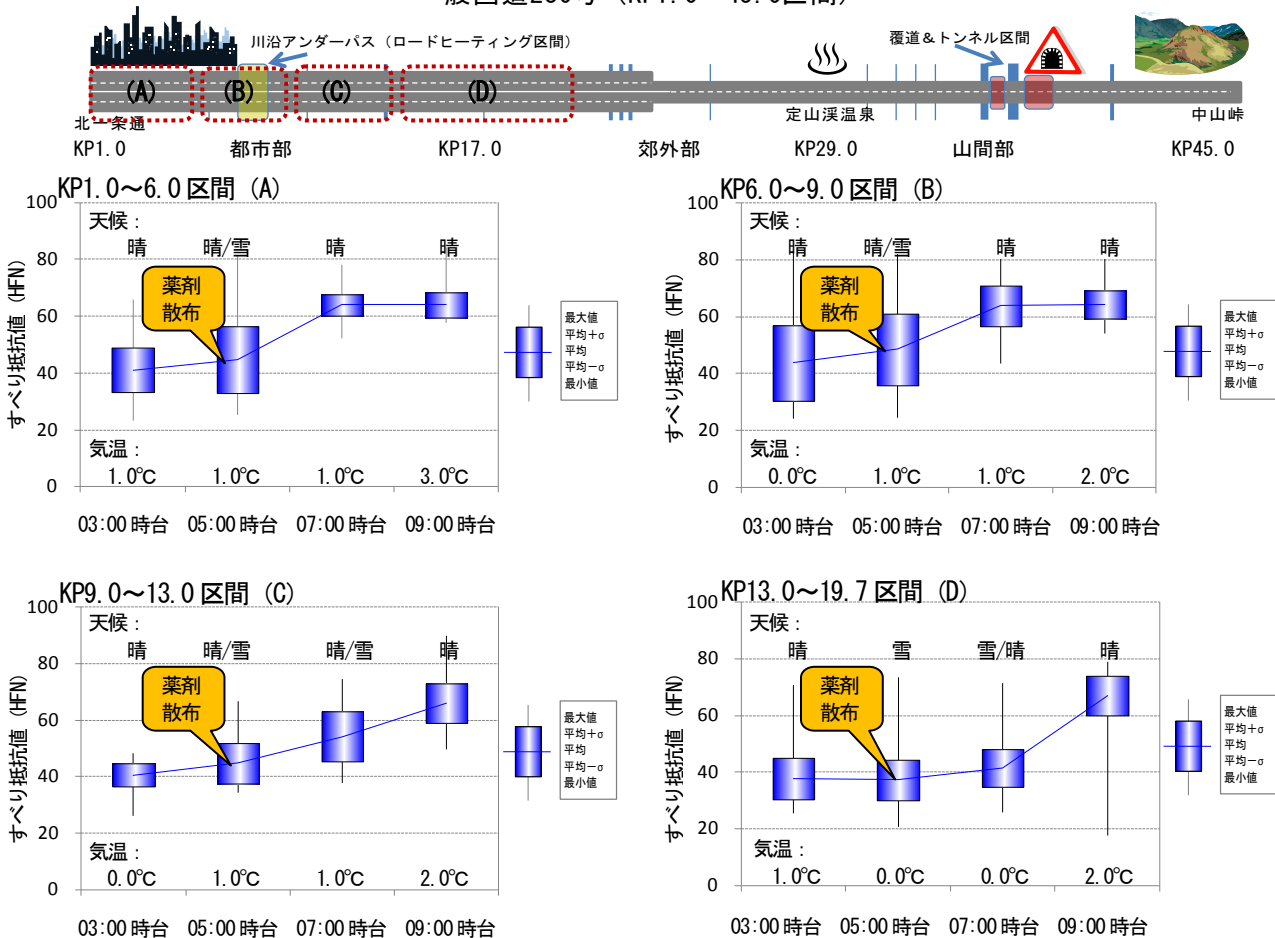


図9 一般国道230号 (KP1.0~19.7区間) における薬剤散布前後の HFN の変動例

われていることを示している。

一方、郊外部（右）においては降雪量が多くなるに従って HFN が都市部と同様に低下しているが、走行速度は若干低下するものの都市部のような著しい低下及び分散は見受けられない。理由として、信号交差点数や間隔、交通量等が各区分によって異なることが影響しているものと考えられるが、降雪による路面状態の変化によって旅行速度等に及ぼす影響の度合いが地域の特徴によって異なることが表現されており、このような結果は各路線や地域における今後の路面管理水準、対策手法、実施頻度等の策定や妥当性の検討に有用である。

### (3) 冬期路面管理の効果

図9は、H22年2月23日(03:00時台～09:00時台)の一般国道230号のKP1.0～6.0(A)、KP6.0～9.0(B)、KP9.0～13.0(C)及びKP13.0～19.7(D)区分における薬剤散布前後のHFNの推移を表している。当日のすべり抵抗モニタリング試験では、KP1.0を起終点及びKP19.7を折返し地点とし、03:00時台、05:00時台、07:00時台及び09:00時台において4回の往復計測を行った。試験実施時の天候は、図に示す通り区分及び時間帯によって「晴」・「雪」・「晴雪(晴のち雪)」及び「雪晴(雪のち晴)」が混合していた。また、この時の気温に関しても区分及び時間帯によって0～3℃の間で推移した。当該区分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(NaCl)の固形剤で、散布量は平均15g/m<sup>2</sup>だった。

全体の結果からは、時間の経過とともにHFNが約40から約65に向上しており、路面状態の改善が確認できるが、区分によってHFNの変動に違いあることが分かる。都市部側のKP1.0～6.0(A)、KP6.0～9.0(B)及びKP9.0～13.0(C)の3区分においては、薬剤散布後の07:00時台にHFNの上昇が確認できるが、郊外部側のKP13.0～19.7(D)の区分については日の出後の09:00時台までHFNの上昇が認められない。これは、各区分における天候及び気温の違いが影響しているものと考えられる。特に、KP13.0～19.7(D)の区分においてHFNが上昇しなかった理由として、薬剤散布時に天候が「雪(気温:0℃)」であったためと考えられる。

以上のような結果は、路面のすべり抵抗値(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、当該指標は日々の路面管理において薬剤の種類、散布区分、散布量、散布タイミング等の確かな意思決定支援やフィードバックのためのツールとしても有用性が高いことを示している。

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、冬期道路の性能評価による効果的・効率的な冬期路面管理手法の構築・提案に向け、冬期路面のすべり抵抗値(HFN)の活用可能性について検討し、その有用性を確認した。具体的には、著者らが構築した冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムの各種蓄積データ(HFNデータ、走行速度データ、維持管理記録、気象データ等)を用いて、道路構造、気象条件、路面対策等を踏まえた冬期道路の性能評価が可能であることを示した。今後は、HFNデータの蓄積を継続し、気象条件、道路構造、時間経過等による路面状態(HFN)の出現率、冬期路面管理と交通特性の関係等について更なる分析を行い、冬期道路の性能評価のための指標としての再現性及び妥当性を実証していく予定である。また、HFNを用いた冬期路面管理手法の基準(均一性、回復時間等)の構築・提案を目指すとともに、冬期道路に関する迅速な情報発信や冬期道路の性能評価に活用可能な各種技術の開発を進める所存である。

## 参考文献

- 1) 建設省土木研究所交通安全研究室:路面すべり測定車合同比較試験結果、土木研究所資料第1336号、1978年
- 2) Transportation Association of Canada (T.A.C.): Winter Maintenance Performance Measurement Using Friction Testing、2008年9月
- 3) Halliday Technologies Inc.: From Racetrack to Roadway、URL: <http://www.hallidaytech.com/>、2009年12月
- 4) 舟橋誠、徳永ロベルト、高橋尚人、葛西聡:冬期路面のすべり抵抗値計測試験について。北海道の雪氷No.27、57-60、2008年9月
- 5) 国道交通省国土地理院:電子国土ポータル、URL: <http://portal.cyberjapan.jp/>、2003年5月