

# すべり抵抗値活用による冬期路面管理技術 の高度化に関する研究

(独)土木研究所 寒地土木研究所 ○徳永 ロベルト  
舟橋 誠  
高橋 尚人

当研究所では、冬期路面状態の定量的評価と冬期路面管理の業績測定への活用可能性を検討するために、路面のすべり抵抗値を連続的に測定することが可能な「連続路面すべり抵抗値測定装置」を導入し、平成19年度冬期から札幌圏国道のすべり抵抗モニタリングを行うとともに、計測データを用いた「冬期路面すべり抵抗モニタリングシステム」を構築した。本稿では、当該システムの構築に関する概要、道路管理者への情報提供の試行、冬期路面管理の業績測定への活用可能性に関する検討の取組状況について報告する。

キーワード：冬期路面管理，すべり抵抗値，意思決定支援，業績測定

## 1. はじめに

冬期路面状態の把握は、効果的・効率的な冬期路面管理を目指す上で重要な課題<sup>1)</sup>である。しかしながら、冬期の路面状態は道路構造物、沿道環境、天候等によって複雑に変化するとともに把握が難しいのが現状である。

当研究所では、冬期路面管理技術の高度化に資する技術開発の一環として、すべり抵抗値を用いた冬期路面状態の定量的評価と冬期路面管理の業績測定への活用可能性について試験研究を行っている。具体的には、路面のすべり抵抗値を連続的に測定することが可能な「連続路面すべり抵抗値測定装置 (Continuous Friction Tester: CFT)」<sup>2, 3)</sup>を導入し、平成19年度冬期より札幌圏国道のすべり抵抗モニタリングを行うとともに、計測データを用いた「冬期路面すべり抵抗モニタリングシステム」の構築・活用可能性について検証を行っている。本稿では、当該システムの構築に関する概要、道路管理者への情報提供の試行、冬期路面管理の業績測定への活用可能性に関する検討等の取り組み状況について報告する。

## 2. 冬期路面状態の把握手法

### (1) 連続路面すべり抵抗値測定装置の導入

冬期における路面管理<sup>4)</sup>は、目視による路面状態の判断を基本として行われている。しかしながら、目視判断には正確な判別が難しい路面や判断の個人差があることから、客観性・的確性に限界



写真-1 フルロック式路面すべり測定車

がある<sup>5)</sup>。路面の状態を客観的・定量的な指標で表すことができれば、各種冬期道路対策等の効果を定量的に計測することでより適切な冬期路面管理の実現が可能になると考えられる。

我が国において、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-1参照)」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>6)</sup>として使用されているが、非常に高価なため、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、諸外国において冬期路面管理の実務に導入されている計測機器としては、主に北欧諸国で使用されている「加速度計 (写真-2参照)」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が限られていること、オペレーターや測定車両の違いによって測定結果が影響を受けるなどの問題点がある。また、上記の路面すべり測定車と共通する問題点として、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<sup>7)</sup>。

以上のことから、当研究所では我が国において入手可能かつ冬期路面管理の実務に適用が期待できる装置として、米国で開発されたCFT（写真-3参照）を平成18年度に導入し、冬期路面の定量的なモニタリング手法の確立を目指して研究を進めている。このCFTは、フレームに保持された測定輪を牽引する構造になっている。この装置は、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、発生する横力から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（Halliday Friction Number：HFN）は、この装置の開発者（Halliday Technologies社）が独自に設定した値で、横力無負荷状態をHFN：0、乾燥路面状態（路面温度0℃時）をHFN：100とし、その間を100等分した値である。測定輪に掛かる横力が低いほど（路面がすべりやすいほど）HFNは低く、横力が高いほど（路面がすべりにくいほど）HFNは高い値になる（図-1参照）。

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、測定したすべり抵抗値は、走行中に車内でリアルタイムに確認できる他、時刻、測位、速度データ等とともに外部記録装置（GPSロガー・パソコン等）に記録することもできる。当該装置を用いることで、路面のすべり抵抗値の時間及び空間的な変化を詳細に捉えることが可能である。

現在、CFTはアメリカ・オハイオ州にて道路パトロールカーや除雪・散布車両に取り付けて実務に導入・運用されている（写真-4参照）。また、同国の複数の州、カナダのオンタリオ州、スウェーデン等において実務への導入の検討が進められている。その一環として、我が国も含む各国の間で、冬期道路管理におけるすべり抵抗値の活用方法についての意見交換や計測データ等の共有を行っていく予定である。

## (2) 路面すべり測定車とCFTの比較試験

当研究所では、測定装置間（CFT・路面すべり測定車間）の特徴を把握するために、試験走路上に雪氷路面（氷板・圧雪・乾燥路面）を作製（図-2参照）し、両測定装置で各路面のすべり抵抗値を



写真-2 加速度計（減速度計）



写真-3 連続路面すべり抵抗値測定装置（CFT）

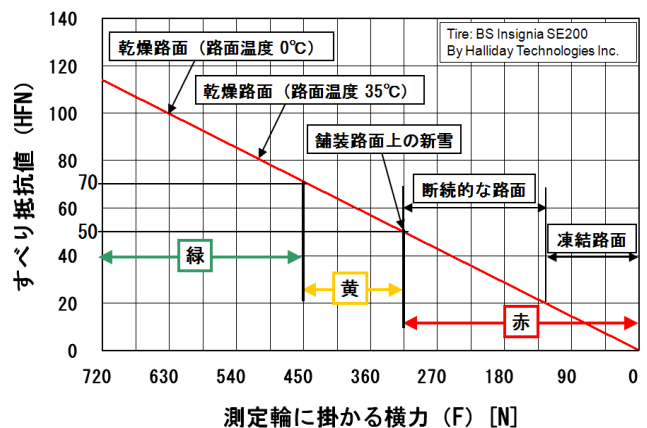


図-1 横力とHFNの関係図



写真-4 除雪・散布車両に取り付けられたCFT (ODOT)

計測した。計測速度は両測定装置共に40 km/hとし、試験時の気温は-6℃～-7℃、路面温度は-4℃～

-7°Cであった。図-3は、当該比較試験の結果を示す。この図の縦軸は、路面すべり測定車で計測されたすべり摩擦係数を100倍にした値をFN (Friction Number) を示し、横軸はCFTで計測されたすべり抵抗値HFNを示している。また、装置間に直線的な関係があるものと仮定し、近似式を示している。この図から、FNは乾燥路面でFN: 79~91, 圧雪路面ではFN: 16~48, 氷板路面ではFN: 15~18という結果を示し、一方、HFNは乾燥路面でHFN: 88~110, 圧雪路面でHFN: 35~64, 氷板路面でHFN: 22~41の範囲に分布していることが分かる。以上の結果から、測定装置間で共に圧雪路面と氷板路面の値が重なる場合もあるが、概ね路面状態別に分かれていると言える。また、近似式による決定係数 ( $R^2$ ) が $\approx 0.8$ となっており、路面すべり測定車及びCFT間に良好な相関関係があることが分かる。

### (3) 実道における冬期路面すべり抵抗モニタリング

すべり抵抗値による冬期路面状態の定量的評価と冬期路面管理の業績測定への活用可能性を検討するため、平成19年12月から平成20年2月下旬までの間の延べ61日間において札幌開発建設部札幌道路事務所所管の一般国道5号、12号、230号、231号及び274号の冬期路面すべり抵抗モニタリング試験を実施した(図-4参照)。

### (4) 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で計測した上記路線のHFN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したデータベースを構築し、モニタリングの結果を電子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-5は、当該システムの概略図を示す。

## 3. 冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムの活用

### (1) 道路管理者への情報提供

筆者らは、実道で計測したHFNデータをインターネット上で容易かつ詳細に確認できるサイトを道路管理者向けに構築した。具体的には、国土院が公開・運用している「電子国土ポータル」の電子国土Webシステム<sup>8)</sup>を活用して「冬期路面すべり抵抗モニタリングサイト」を構築し、情報提供を試験的に行った。なお、CFTによって計測したデータは「JSGI第2版電子国土プロファイル」形式に変換し、システムの地図上にプロットした。

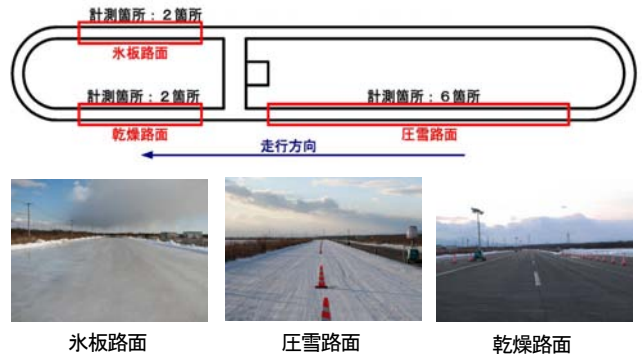


図-2 試験概略図及び設定した各種路面

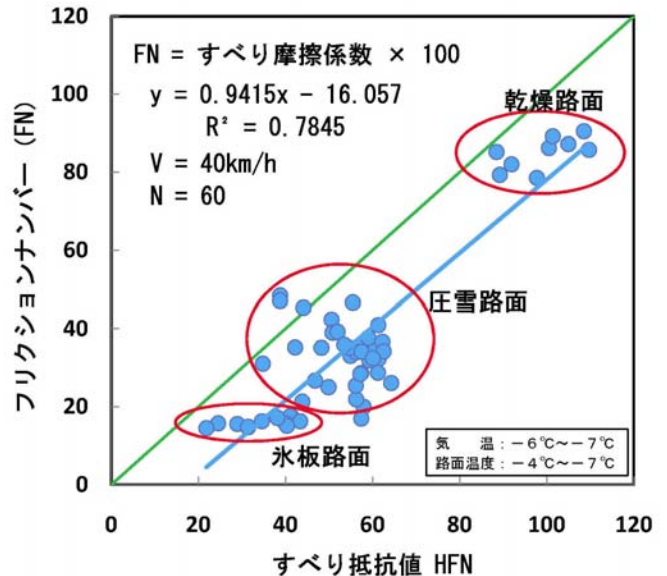


図-3 CFT・路面すべり測定車間比較試験の結果

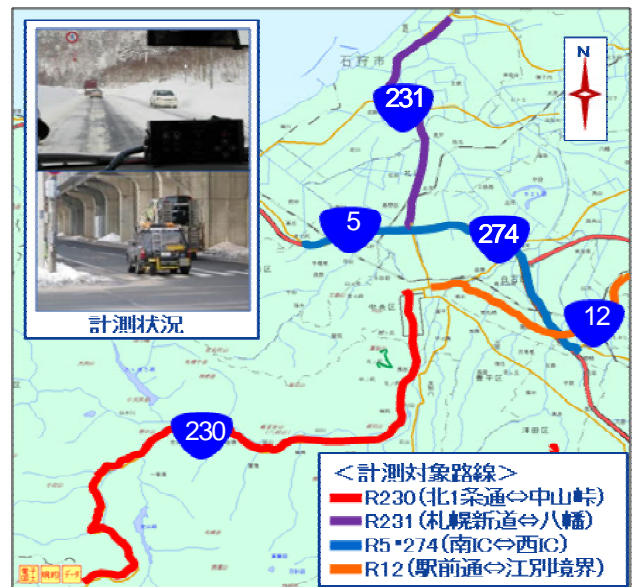


図-4 冬期路面すべり抵抗モニタリング対象路線

計測したすべり抵抗値のサンプリングレートは10Hzであるが、サーバへの負担軽減及び当該サイトの操作性を考慮して、データを5秒毎(0.2Hz)に平均化し、HFN: ~49 (赤・雪氷路面), HFN: 50~69 (黄・断続的な路面), HFN: 70~

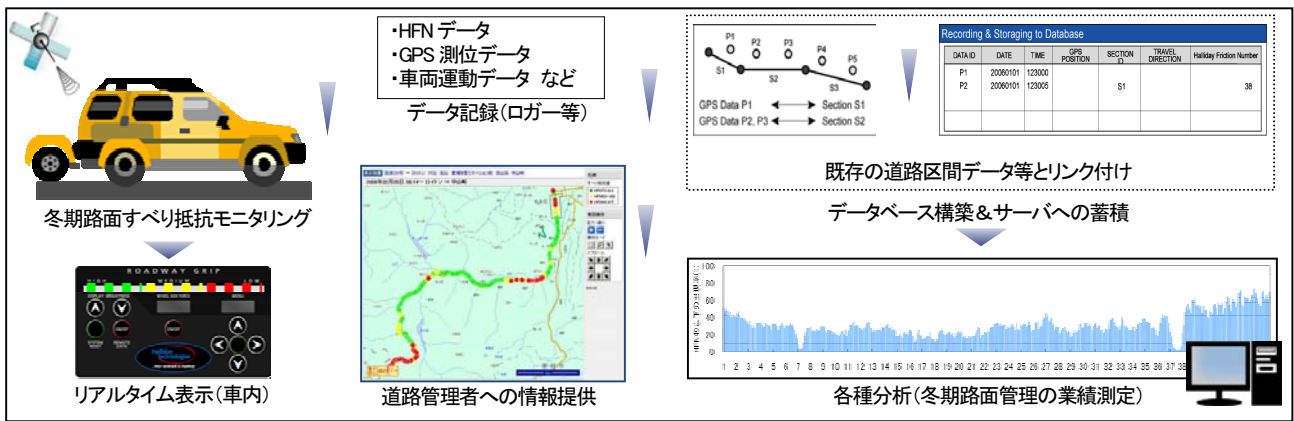


図5 冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムの概略図

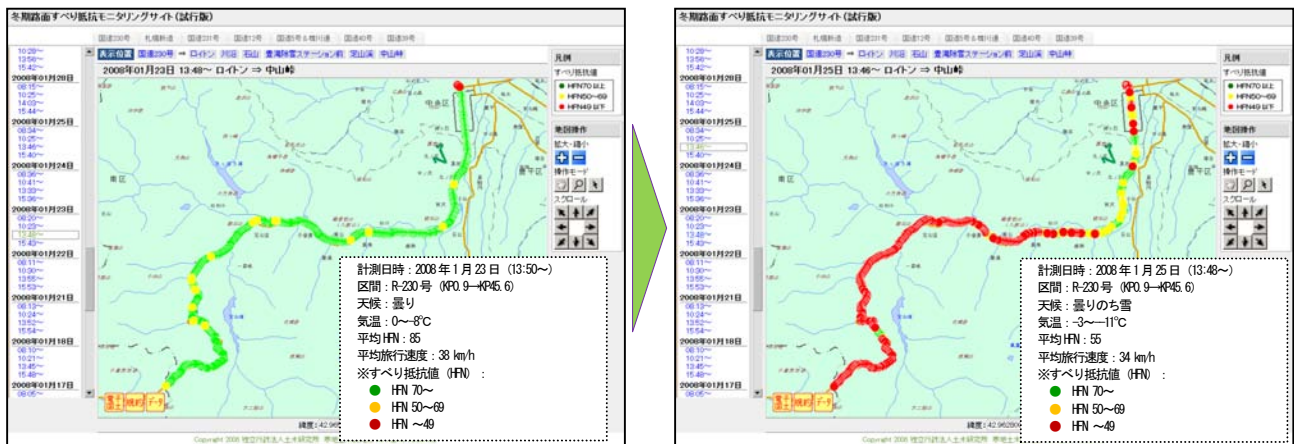


図-6 天候の違い・時間経過による冬期路面状態の変化を示すサイト画面のサンプルと走行条件

(緑・露出路面)の3段階・3色に分類して表示している。

図-6は、CFTによるHFNデータを天候の変化及び時間経過による路面状態の違いを示したものである。道路管理者は、本サイトを介して特定の路線及び日時の測定結果を任意に選択・閲覧し、すべり抵抗値の分布状況を任意の倍率・区間で道路構造(土工区間・橋梁区間・トンネル区間等)、時間経過、対策実施前後等による路面状態の変化や発生頻度を詳細に把握できる。これにより、各種冬期路面対策の効果を定量的に評価することが可能となることや対策が必要な区間の見落としの回避等、より適切な意思決定や作業実施に資することが期待される。

## (2) HFNデータを用いた分析

当研究所では、札幌開発建設部札幌道路事務所所管の一般国道230号をケーススタディとして、平成19年12月から平成20年2月までの40日間(2往復/日)において計測したHFNデータ、CFT牽引車の旅行速度データ及び交通事故データ等を用いて当該区間における冬期路面状態の実態について基礎的な分析を試みた。

図-7は、上段から対象路線の主な特徴、HFN: 49以下の出現率(%), CFT牽引車による1km毎の平均旅行速度(方向別)及び平成8~17年の冬型事故(1月~3月, 11月, 12月に発生した人身事故)の発生率(件/億台km)を100m単位で集計したものである。なお、冬型事故とは、雪氷路面上のスリップ事故、吹雪視程障害による事故、轍による事故など冬期特有の交通事故を意味する。路面のグラフの横軸はキロポスト(KP)を表し、始点(KP: 1.0)から、札幌市中心部のDID区間(KP: 1.0~17.0)、郊外部(KP: 17.0~29.0)、山地部(KP: 29.0~)を通過して終点(KP: 45.0)の中山峠部に至る。今回は、一路線のみを試行であるとともに、HFNデータ・旅行速度データと交通事故データの年度及び蓄積年数が不揃いであるため、これらの関係について詳細な分析を行うことはできないが、当該区間の基本的な実態把握が可能である。

当該区間において計測したHFNデータから、冬の雪氷路面状態を示すHFN: 49以下の出現率を抽出すると、出現率が40%を超える区間はKP: 1.0~3.0(札幌市中心部)、KP: 27.0付近(郊外部市街地)、KP: 35.0~37.0(橋梁区間)であること

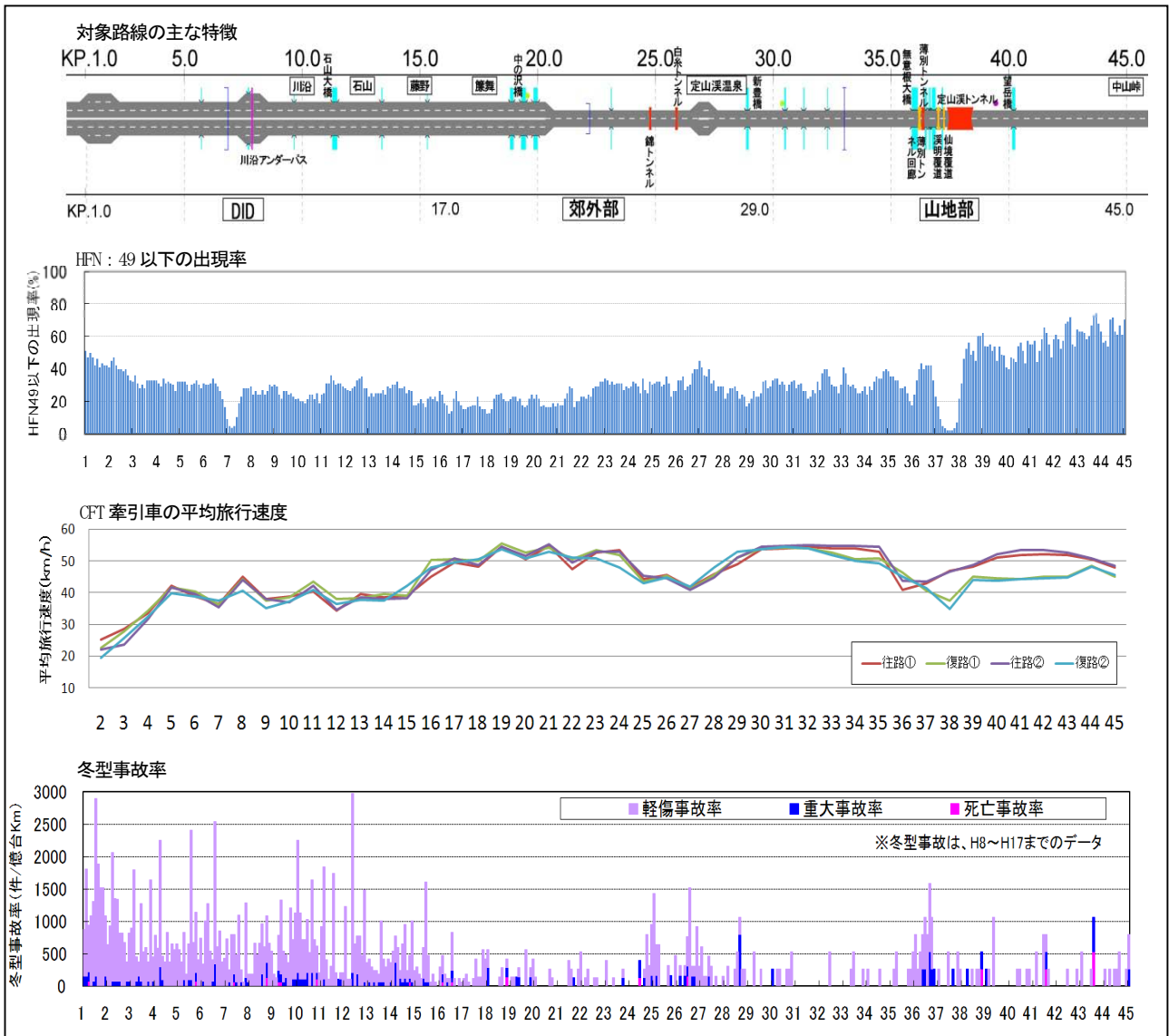


図-7 一般国道230号におけるHFN測定結果，CFT牽引車の平均旅行速度及び冬型事故発生状況

が分かる。更に，KP：37.0付近のトンネル以降は峠に至る山間部で出現率が顕著に高くなり，出現率が60%を超える区間がある。他方，ロードヒーティングが設置されているKP：7.0付近及びトンネル内となるKP：37.0付近では，HFNが49以下になることがほとんど無い。理由として，沿道の建造物・地形による日射の遮蔽，各種対策の特徴，道路構造物，山間部特有の気象条件等が影響しているものと考えられる。

CFT牽引車による平均旅行速度は，DID区間に近づくに従って低下している。これは，都心部における交通量の増加や錯綜する交通が多くなるものが影響しているものと考えられる。なお，図-8はDID区間・郊外部・山地部におけるCFT牽引車の平均旅行速度と平均HFNの関係を示している（但し，オフピークである14時台の測定結果を用いている）。この図からは，DID区間ではHFNの変動にも関わらず平均旅行速度が他の区間に比べ

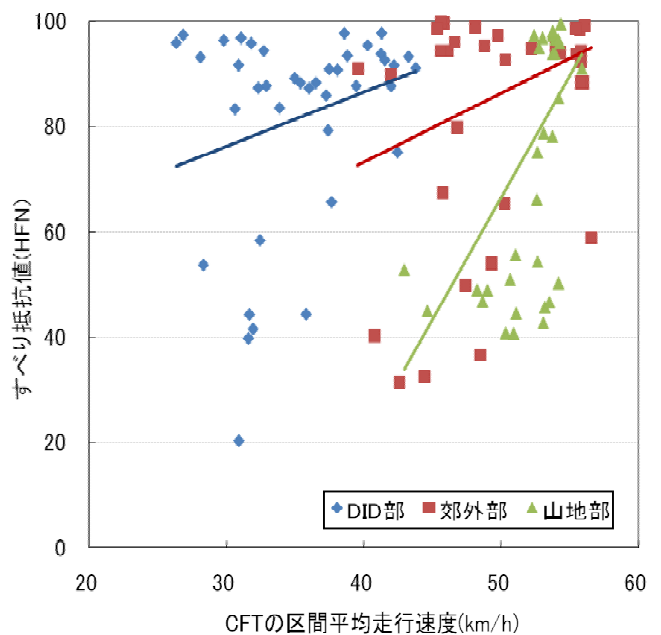


図-8 平均HFNとCFT牽引車の旅行速度の関係

て低い半面、山地部では、HFNの変動に寄らず走行速度が高い傾向にあることが伺える。

当該路線の冬型事故発生率は、DID区間で高い他、KP：25.0～27.0付近及びKP：37.0付近で高いことが分かる。特に、山地部では橋梁・覆道・トンネルの前後やHFN：49以下の出現率が60%に達している区間において局所的に重大・死亡事故率が他区間に比べて高い。

以上のことから、冬期路面すべり抵抗モニタリング時期と交通事故データの取得年度が異なるため確言はできないが、路面状態の急激な変化が起きやすく、かつすべり易い路面の出現率及び平均旅行速度が高い区間において重大・死亡事故率が高くなっている可能性があることから、今回用いた各種データの蓄積・更新・時間的マッチングを行った上で更なる分析を進める必要がある。

#### 4. まとめと今後の課題

本研究では、CFTを用いて冬期路面状態の時間的・空間的变化を定量的・連続的にモニタリングすることが可能であることを示した。また、冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムを構築し、モニタリング結果を閲覧できるようにするとともに、蓄積したデータを用いて、地域特性、道路構造、各種対策等による路面状態と冬期交通特性（渋滞・事故等）の関係について比較・分析が可能であることが分かった。以下に、本研究における今後の展望について記述する。

- ・ 道路管理者・維持請負業者等が路面のすべり抵抗値の分布状況をほぼリアルタイムで確認できるよう調査車両に通信端末を搭載し、意思決定・作業実施・効果把握までの時間短縮を図る。
- ・ 現在、実務への導入を検討しているCFTを凍結防止剤等散布車両に設置することを検討し、冬期路面状態を連続的にモニタリングしながらすべり抵抗値が低い箇所を検出・注意喚起するとともに、瞬時に凍結防止剤を散布することが可能な散布技術の開発を試みる。
- ・ 現道の冬期路面すべり抵抗値データを更に蓄積し、既存の道路維持管理データ、道路気象データ、交通事故データ等と時間的・空間的

マッチングを行い、定量的なデータに基づいた要注意箇所の抽出や各種対策効果の把握・評価に資するシステムの早期実現・提案を目指す。

諸外国においても連続的にすべり抵抗値を測定する装置が導入され、冬期道路管理への活用及び活用の検討がなされているが、各国の使用機器や測定原理が異なるため、冬期道路管理サービス等の比較・評価が難しい。そのため、測定データ共有のための情報交換や測定手法の整合を図るための検討が国際的に進められており、当研究所も他国関係機関と研究交流を推進し、路面のすべり抵抗値を活用した冬期道路管理サービス水準等の提案に資する研究に取り組む所存である。

#### 参考文献

- 1) NCHRP & TRB: Feasibility of Using Friction Indicators to Improve Winter Maintenance Operations and Mobility, NCHRP Web Document No. 53 (Project 6-14), November 2002.
- 2) Halliday Technologies Inc.: From Racetrack to Roadway, URL: <http://www.hallidaytech.com/>, December 2007.
- 3) 徳永ロベルト, 舟橋誠, 高橋尚人, 浅野基樹, 中野雅充: 連続路面すべり抵抗値による冬期路面管理の高度化に関する研究, 寒地土木研究所月報第661号, 2008年6月.
- 4) 北海道開発局: 冬期路面管理マニュアル(案), 1997年11月.
- 5) 舟橋誠, 徳永ロベルト, 浅野基樹: 連続路面すべり抵抗値測定装置(RT3<sup>TM</sup>)の導入について, 北海道の雪氷 No. 26 (2007), 日本雪氷学会北海道支部機関誌, 2007年7月.
- 6) 国土技術政策総合研究所: 路面すべり測定車合同比較試験報告書, 国土技術政策総合研究資料No.57, 2002年11月.
- 7) 舟橋誠, 高橋尚人, 浅野基樹: 雪氷路面のすべり摩擦係数測定機器に関する研究と海外の事例報告, 第50回(平成18年度)北海道開発局技術研究発表会, 2007年2月.
- 8) 国土地理院: 電子国土ポータル, URL: <http://portal.cyberjapan.jp/>, 2003年5月.