

## 7. 1 冬期道路管理に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：寒地交通チーム・雪氷チーム

研究担当者：高橋尚人、徳永ロベルト、松澤勝

### 【要旨】

積雪寒冷地では、積雪による道路幅員の縮小や、路面の凍結が発生している。特に、スパイクタイヤの使用規制以降、「つるつる路面」と呼ばれる非常に滑りやすい路面が出現し、渋滞、事故が発生している。本研究は、冬期における安全・快適な道路交通を確保するための適切で効率的・効果的な冬期道路管理手法を可能とするための技術開発を行う。具体的には、熱収支法等を用いた路面凍結予測手法の開発、定量的冬期路面評価による管理手法の開発及び冬期道路の性能評価による適切な管理手法の開発に取り組んでいる。

キーワード：路面凍結予測、熱収支モデル、すべり抵抗、性能評価

### 1. はじめに

積雪寒冷地では、積雪による道路幅員の縮小や、路面の凍結により冬期特有の渋滞・事故などが発生している。特に、スパイクタイヤの使用規制以降、「つるつる路面」と呼ばれる非常に滑りやすい路面が発生するようになり、冬期道路交通機能を確保するために様々な対策が講じられている。

欧米諸国では、道路管理コストの削減を図るため、摩擦係数等を指標とする性能規定発注による冬期道路管理コストの削減に取り組んでおり、我が国においても道路管理コストの削減等に資する冬期道路管理手法の確立が求められている。本研究は、効率的・効果的な冬期道路管理手法の構築に資する技術開発を行うものである。

### 2. 研究実施内容

本研究では、冬期における安全・快適な道路交通を確保するための適切で効率的・効果的な冬期道路管理手法を可能とするための技術開発として、

- (1) 路面凍結予測手法の開発
- (2) 定量的冬期路面評価による管理手法の開発
- (3) 冬期道路の性能評価による適切な管理手法の開発等に取り組んでいる。

### 3. 路面凍結予測手法の開発

#### 3.1 路面凍結予測手法の概要

冬期路面状態を決定する要因には、路面温度と路面上の水分（量と状態）が挙げられる。路面温度や路面上の水分は、気温や降雪など気象の影響を受け、更に、走行

車両や道路構造等の種々の条件の影響を受けて路面温度や路面状態が決定されるため、気象のみならず、このような影響を考慮することが必要となる。

本研究では、路面に出入りする熱の収支から路面温度を求める熱収支法を用い、車両の影響（車体による日射等の遮蔽と車体からの長波放射）と沿道構造物の影響（日射等の遮蔽と沿道構造物からの長波放射）を考慮した路面温度推定モデルを構築した（図1）。また、路面上の水の収支から路面上の水分（水、雪、氷）貯留量を求め、路面状態を推定するモデルを構築した（図2）。

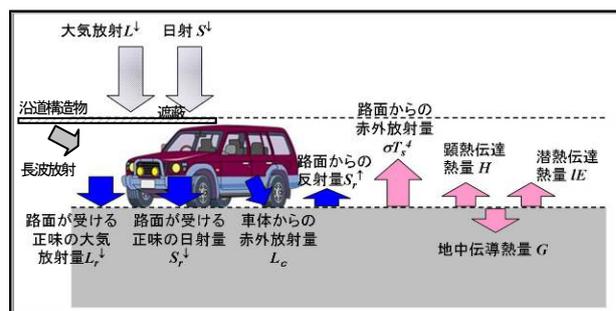


図1 路面温度推定モデルの概念図

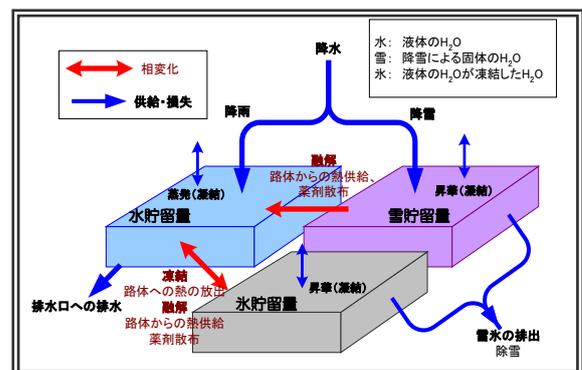


図2 路面状態推定モデルの概念図

平成 21 年度はトンネル部における冬期路面温度予測モデルの構築に取り組むとともに、モデルの改良や検証データの蓄積を行った。夜間から未明にかけて多く実施される凍結防止剤散布等の冬期道路管理を的確かつ効率的に実施するため、大気の状態の指標であるパスکیل安定度(図 3)を用いて路線の夜間の路面温度分布推定手法を検討した。2009 年 2 月 4 日早朝に行った 2 回分のサーマル・マッピングデータを用いて路面温度の予測精度を検証した。サーマル・マッピング実施時はともにパスکیل安定度は G であり、推定された路面温度分布を実測路面温度と重ねた結果、推定誤差 (RMSE) は、1 回目が 0.9℃、2 回目では、0.7℃であった。局所的に大きな誤差が生じているが、RMSE が 1℃以内と良い精度が得られた(図 4)。

地上風速 (m/s)	日中(日射量)			日中・夜間		夜間	
	強	並	弱	曇量(8~10)	上層雲 (5~10) 中・下層 曇量(5~7)	G	曇量(0~4)
<2	A	A-B	B	D	G	G	
2~3	A-B	B	C	D	E	F	
3~4	B	B-C	C	D	D	E	
4~6	C	C-D	D	D	D	D	
>6	C	D	D	D	D	D	

図 3 パスکیل安定度

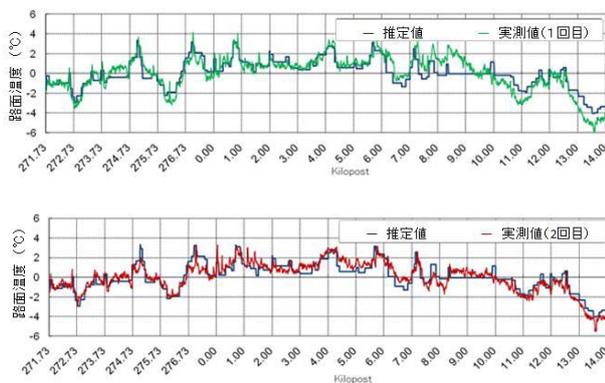


図 4 路面温度計算結果例 (上: 1 回目、下: 2 回目)

次に、予測情報提供地点の広域化の検討のため、北海道開発局管内の道路テレメータ 100 地点選定し、路面予測情報を提供した。このうち 30 地点を対象に冬期路面予測モデルの検証を行った。路面温度の推定誤差 (RMSE) はほとんどの地点において 2.0℃未満となった(図 5)。

### 3. 2 冬期路面管理支援の試行

平成 17 年度より、降雪予測情報等の気象予測情報と路面凍結予測情報を発信する「冬期路面管理支援システム」の運用を行っている。平成 21 年度は、道路テレメータデータを活用して適用エリアの広域化について検討した

(図 6)。

システムへのアクセス数は着実に伸びており、平成 21 年度冬期 (平成 21 年 12 月 1 日から平成 22 年 3 月 31 日まで) のアクセス数は約 2 万 5 千件となり、平成 17 年度冬期からの累計アクセス数は 13 万件を超えた。

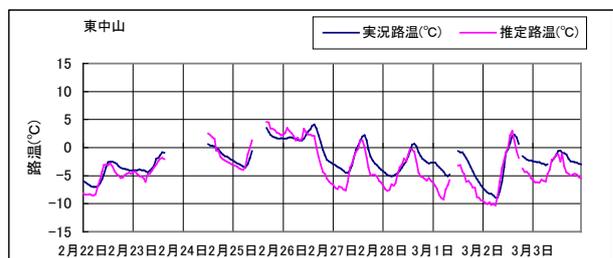
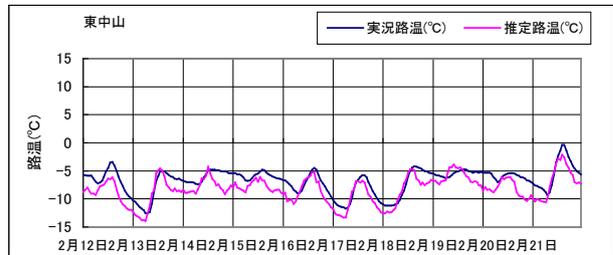


図 5 路面温度計算結果例 (一般国道 230 号東中山)

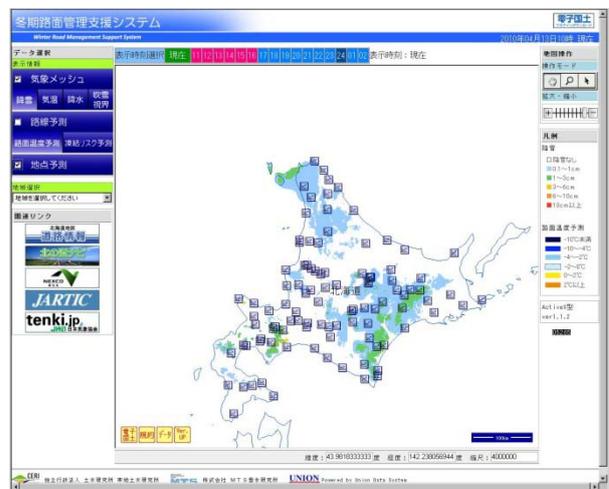


図 6 冬期路面管理支援システム (全道広域画面)

## 4. 定量的冬期路面評価による管理手法の開発

### 4. 1 すべり抵抗モニタリングの実施

我が国における冬期路面管理は、目視による路面状態の判断を基に行っている。しかし、目視による路面状態の判断には、正確な判別が難しい路面や個人差があることから、客観性・的確性に問題が残る。

冬期路面状態を定量的・客観的に評価し、より適正で的確な冬期路面管理を行うための研究を行っている。具体的には、連続路面すべり抵抗値測定装置 (Continuous

Friction Tester: CFT) (図7) を導入し、路面のすべり抵抗モニタリング手法の構築と、すべり抵抗値を活用した冬期路面管理手法の高度化に関する研究に取り組んでいる。

CFT は、フレームに保持された回転可能な測定輪を牽引する構造となっている。測定輪には車両進行方向に対して 1° 程度の角度が与えられており、発生する横方向の力（横力）からすべり抵抗値を算出する装置である。CFT は、測定輪や搭載車両に制動を掛けることなく、走行しながら連続して路面のすべり抵抗値を測定可能であり、現在、アメリカの一部の州とスウェーデンにおいても試験的な導入と活用方法の検討がなされている。



図7 連続路面すべり抵抗値測定装置 (CFT)

過年度に続き、CFT を用いて北海道内の国道の路面すべり抵抗モニタリングを実施した (図8)。平成21年度は全道の主要国道(峠区間・高規格道路)においてもすべり抵抗モニタリングを実施した。CFT を用いることで路線の路面すべり抵抗値の分布状況を詳細に把握でき、すべり抵抗値の低い箇所、すべり抵抗値の変動の大きな区間等の要注意箇所の把握が可能である。



図8 実道におけるモニタリング

#### 4.2 路面すべり抵抗モニタリングサイトのリアルタイム化

CFT によって測定されたすべり抵抗値を時刻や GPS 測位データ等とともにデータロガー等に記録し、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することで測定結果を地図上に表示し、更に、蓄積したデータを用いて種々の分析が可能な“路面すべり抵抗モニタリングシステム”を構築している (図9)。さらに、モニタリング結果を、GIS を活用した「路面すべり抵抗モニタリングサイト」を構築し、道路管理者への情報提供を試行している。運用開始当時は、日々の測定終了後にデータを回収してサイトにアップロードしていたが、情報の速達性を確保するため、CFT、車載 PC、アプリケーションサーバーによるシステム構成を構築し、リアルタイムでの情報提供を可能とした。

情報提供のリアルタイム化により、作業の状況や時間の経過に伴って路面状況が変化していることが確認でき (図10)、冬期路面管理における意志決定や路面管理作業の効果を把握するためのツールとしての活用が可能となると考えられる。

また、モニタリングサイトを運用しながら、逐次インターフェース等の改善を行った。主な改良点としては、表示されている点にマウスカーソルを合わせると、その地点でのすべり抵抗値等の情報が参照できるようにした。また、複数台の車両で路面のすべり抵抗値を測定したことから、車両毎のデータを参照できるようにした (図11)。

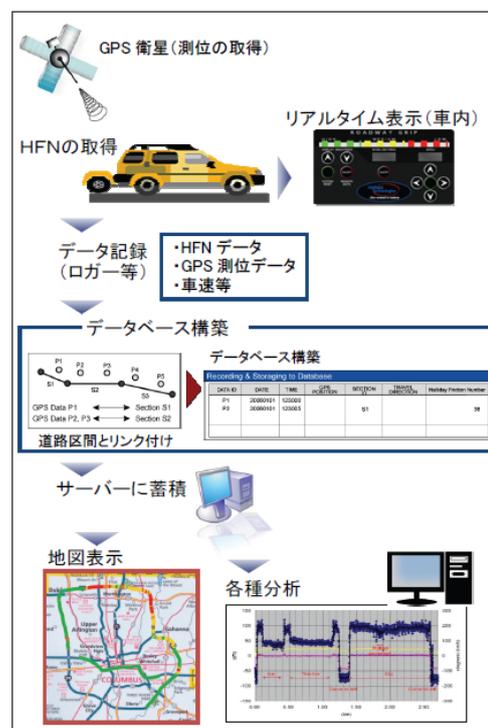


図9 路面すべり抵抗モニタリングシステム概念図

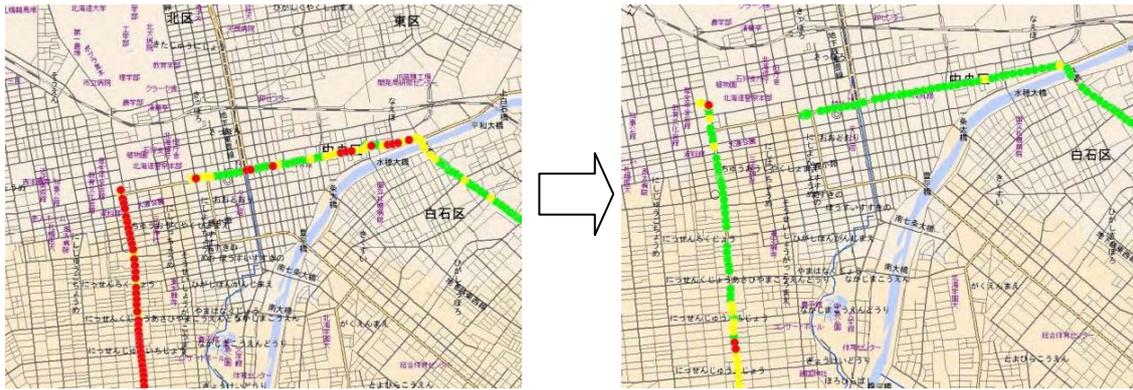


図10 平成22年1月6日 すべり抵抗値の変化状況 (上: 3:00頃、下: 8:30頃)



図11 詳細情報

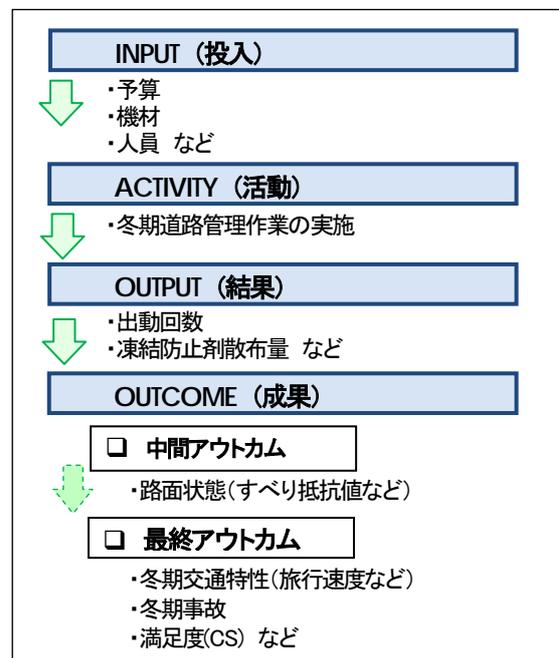


図12 冬期道路管理のロジックモデル

## 5. 冬期道路の性能評価による適切な管理手法の開発

### 5.1 冬期道路の性能評価について

本研究では、冬期道路の性能評価を行うにあたり、ロジックモデル（論理モデル）を採用した。ロジックモデルは、原因と結果の連鎖関係を明らかにし、最初の資源投資が最後に受益者に起こる改善効果（＝成果）を引き起こすまでの道筋を表すもので、プログラム評価を行う際に広く用いられている。

図12は、冬期道路の性能評価を行うため、冬期道路管理のロジックモデルを構築したものである。インプットには、冬期路面管理に投入する予算、機材、人員とし、アウトプットは、出勤回数、凍結防止剤散布量とした。アウトカムには、中間アウトカムとして路面のすべり抵抗値、最終アウトカムとして冬期交通特性、冬期事故、旅行時間信頼度及び満足度を設定した。

冬期道路管理の実施は、道路状態の改善を図るものであり、その最終目標は、道路利用者（顧客）に安全で快適な道路交通環境を提供することであるため、冬期路面管理の直接の成果である路面のすべり抵抗値を中間アウトカム、道路交通現象として計測可能な交通特性等を最終アウトカムとした。

### 5.2 冬期路面状態の特徴把握

路面のすべり抵抗値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。

H19・20年度冬期（1・2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：～49（赤色・雪氷路面）、HFN：50～69（黄色・断続的な路面）、HFN：70～（緑色・露出路面）の3水準に路面状態を分類して表現した（図13）。

路面状態の出現率は、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、

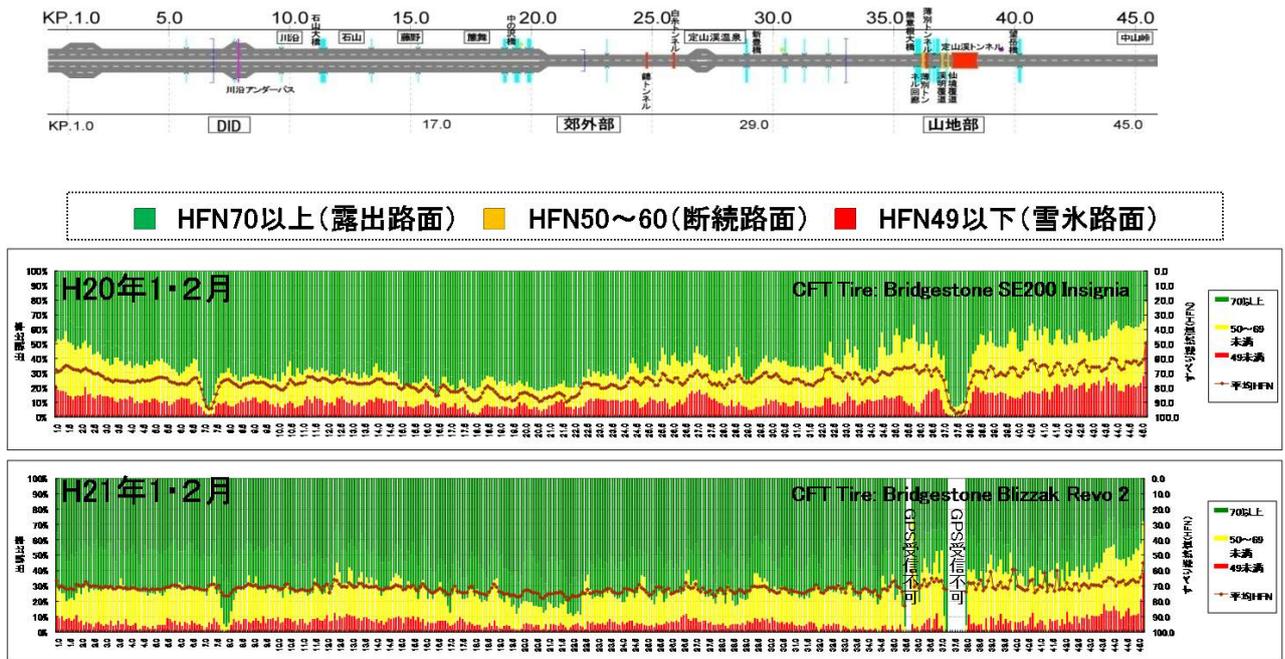


図13 一般国道230号 KP1.0~45.0 区間における路面状態の出現率(%)の結果例

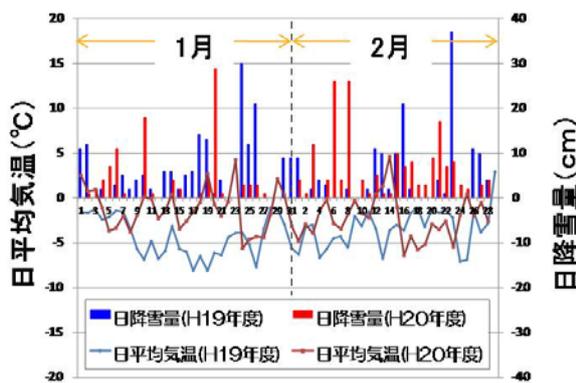


図14 札幌市内の日平均気温・日降雪量

況により都心部、郊外部、山間部、峠部の4区間に分けて、すべり抵抗値と速度の関係について検討した(図15、16、17)。H19の峠部を除きすべり抵抗値の低下が速度の低下に影響していることが分かる。また、都心部から峠部に向かいすべり抵抗値の低下による速度低下の割合が小さいことが分かる。すべり抵抗値の低下により速度は低下するが、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信号交差点数や間隔、交通量等地域の特徴によって異なることが表現されている。このことから、周辺状況の違いによる路面管理の適正化に有効なものと考えられる。

日中でも路面が雪氷化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機会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 H19・20 年度における二冬期間の計測結果からは、各々の冬期路面状態の出現率が異なることが伺える。H21 年 1・2 月の平均気温が前年に比べて高かつ日平均気温が 0°C を上回った日が数日間あったこと、また、当年 1 月の日降雪量が前年の同月に比べて少なかったこと等が影響し、路面状態の出現率に違いが表れたものと考えられる。

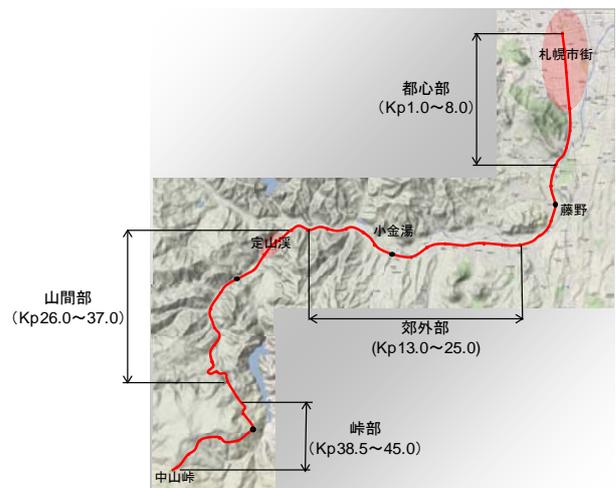


図15 分析検討区間図

### 5.3 周辺状況による路面状態と交通特性の関係

H19・20 年度冬期において、一般国道230号を周辺状

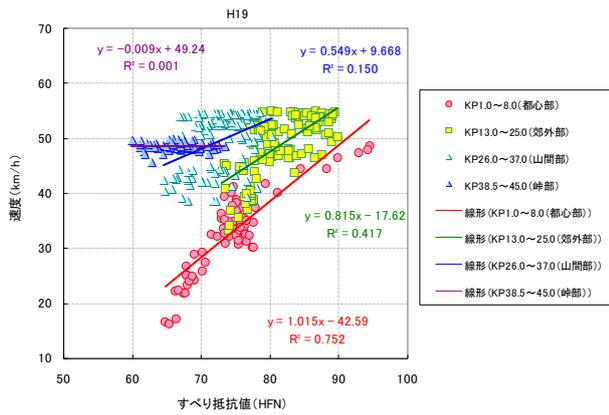


図16 すべり抵抗値と速度 (H19年度)

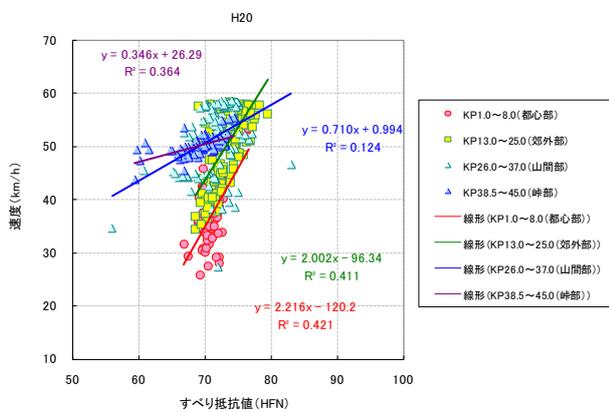


図17 すべり抵抗値と速度 (H20年度)

## 6. まとめ

変化の多い我が国の冬期路面の実情に対応できるよう路面予測精度の向上や連続すべり抵抗値の活用方法の確立に向けて更に研究を進めるとともに、道路管理者との連携を図りながら適切な水準で効率的・効果的な冬期路面管理の実施を可能とする技術開発を進め、冬期道路のマネジメントや道路管理者の説明責任達成に貢献していきたい。

## **RESEARCH ON WINTER ROAD MANAGEMNT**

**Abstract** : In this research, Traffic Engineering Research Team and Snow and Ice Research Team perform research on technological developments that improve the efficiency and effectiveness of winter road management to secure road safety and mobility in cold, snowy regions. From FY 2006 to FY 2009, the teams perform research on development of a road-icing forecasting method with applying heat balance model, development of management method of winter road surface's friction and examination of performance measurement of winter road maintenance.

**Key words** : winter road management, road-icing forecast, friction, performance measurement