

冬期路面状態の評価と管理手法に関する研究

A Study on the Evaluation of Winter Road Surface Conditions and Method for Winter Road Maintenance

高橋尚人*, 徳永ロベルト*, 舟橋誠*

Naoto Takahashi, Roberto Tokunaga and Makoto Funahashi

* (独) 土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

In snowy and cold region, icy and narrowed roadways appear during wintertime. These winter conditions lead to winter traffic accidents. About 90% of winter traffic accidents are caused by icy roadways. Road authorities conduct snow and ice control operations to provide as good roadway conditions as possible. Currently in Japan, winter road conditions are visually evaluated for winter road maintenance. However, this visual determination has a potential of erroneous evaluation. In this study, a comparative trial between visual determination and friction values was conducted. As a result, there are differences when road surface conditions are wet or icy. Then, our research group introduced continuous friction tester and developed information system to support and to improve winter road maintenance.

Key Words: Winter Road Maintenance, Winter Road Surface Condition, Erroneous Evaluation

キーワード: 冬期道路管理, 路面状態, 判断ミス

1. はじめに

積雪寒冷な地域では、冬期間の降積雪と気温の低下によって路面状態が悪化し、多くの交通事故が発生している。道路管理者は、凍結防止剤散布等の冬期路面管理を実施して路面状態の保持に努めているが、その実施は路面状態の目視判断に基づくため、判断のミスによって適切な対策が講じられていない可能性がある。

本研究は、目視による路面状態判別の判断ミスの発生状況を明らかにし、判断ミスの防止のための支援ツールを構築することで、冬期路面管理の適確な実施に資することを目的とする。第2章で、冬期路面管理の現状と課題で整理する。第3章で、目視による路面状態判別とすべり摩擦係数の比較試験結果から、判断ミスの発生状況について検証する。第4章では、路面状態判別の判断ミス防止のため、冬期路面管理支援ツールを構築した。第5章で、本研究のまとめと今後の課題について言及する。

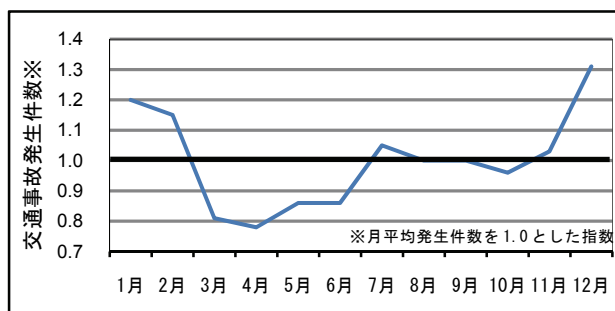
2. 冬期路面管理の現状と課題について

2.1 冬期間の交通事故の発生状況

冬期には、降積雪の影響による道路の有効幅員の減少や気温の低下による路面凍結の発生などで道路条件が悪

化し、夏期より多くの交通事故が発生している。図-1に、平成18年における北海道の月別の交通事故の発生状況を示す。北海道では、平成18年に26,967件(2,247件/月)の交通事故が発生したが、1月、2月及び12月の交通事故発生件数が顕著に多く、12月には月平均発生件数の1.3倍の交通事故が発生した。

次に、冬型事故の発生状況を表-1に示す。冬型事故とは、11月1日から翌年3月31日までの間に発生した交通事故のうち、積雪、凍結、吹雪等の冬期現象が事故発生の直接または間接の要因となったものをいう¹⁾。北海道では、平成18年に約3,500件の冬型事故が発生し、そのうち9割近くをスリップ事故が占めている。



資料) 北海道警察: 交通年鑑

図-1 北海道の月別交通事故発生状況 (平成18年)

表-1 北海道の冬型事故発生状況(平成 18 年)

項目	件数	構成比(%)
スリップ事故	3,079	87.2
視界不良事故	331	9.4
わだち事故	35	1.0
その他	85	2.4
合計	3,530	100.0

スリップ事故：圧雪，凍結路面等のため，特に制動距離が長くなったり，進路が左右方向に変化したもの
 視界不良事故：吹雪，地吹雪等で継続的または一時的に視界不良となったもの
 わだち事故：路面上のわだちによって正常な運転操作が困難になったもの
 その他：上記以外でスキー，そり遊び等

2.2 冬期路面管理の実施について

交通事故の発生を防ぎ，道路交通の安全を確保する上で，冬期における道路管理，中でも路面管理が特に重要である。道路管理者は，凍結防止剤散布等の冬期路面管理によって良好な路面状態が保持されるよう努めている。

冬期路面管理では，道路巡回時の目視による路面状態の分類を基に，凍結防止剤の散布判断を行っている。北海道の一般国道での冬期路面管理の一般的手法をまとめた「冬期路面管理マニュアル(案)」²⁾の路面性状分類を表-2に示す。冬期路面管理マニュアル(案)では，乾燥路面の他に12種類の路面状態が示されており，目視で路面上の雪氷の有無，雪の状態，表面の光沢，色等を確認し，路面性状を分類する。

表-2 目視による路面性状分類

雪氷の有無	表面の光沢	車両走行部の雪			路面分類	
		トレッド跡	雪の状態	雪の色 厚さ		
有	光っている	あまり付かない		下層の状況		非常に滑りやすい圧雪 非常に滑りやすい氷板 非常に滑りやすい氷膜 圧雪 氷板 氷膜 こな雪 こな雪下層氷板 つぶ雪 つぶ雪下層氷板 シャーベット 圧雪
				白っぽい		
				黒っぽい	1mm以上	
				(灰，茶色)	1mm未満	
				白っぽい		
				黒っぽい	1mm以上	
	(灰，茶色)	1mm未満				
	光っていない	付く(ぬかる)	さらさら(雪煙が発生)	下層無し	下層氷板、氷膜、非常に滑りやすい圧雪	
					こな雪下層氷板	
					下層無し	
					つぶ雪	
					下層氷板、氷膜、非常に滑りやすい圧雪	
つぶ雪下層氷板						
シャーベット						
圧雪						
無	湿潤				湿潤	
	乾燥				乾燥	

目視による路面性状の分類は，判断する者の経験や明るさなどの周辺環境の影響を受けやすいとされており³⁾，路面状態の判断を誤っている可能性がある。

判断を誤った場合，例えば，対策が不要な路面状態を凍結路面等と判定した場合には，凍結防止剤の過剰散布となる。他方，対策が必要な凍結路面等を見落とした場合には，路面管理が行われず，この場合には，スリップ事故の発生のおそれなど道路交通の安全性低下につながる事となる。

このように，路面分類は，冬期路面管理の効率性と冬期道路交通の安全性を左右する極めて重要な要素であるが，目視による冬期路面状態の判断の確かさを検証した

事例がないため，どの程度の判断ミスが発生しているのか不明である。

3. 目視判別の判断ミスの発生状況の検証試験

3.1 試験の方法

目視判別の判断ミスの発生状況を検証するため，目視による路面判断と路面のすべり摩擦係数の比較試験を行った。試験は，路面のすべり摩擦係数の計測車両に被験者を乗せ，目視による路面分類と摩擦係数計測を同時に行い，両者を比較する方法とした。

試験は，30代の男性1名を被験者として実施した。運転歴は10年で眼鏡を使用，通勤等で車を運転する一般ドライバーである。判断の個人差も懸念されるが，既往研究がないため冬期路面状態の目視判断の精度が不明なため，まずは1名の被験者で試験を行うこととした。

路面のすべり摩擦係数の測定車両には，「路面すべり測定車」(図-2)を用いた。当該車両は，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として使用されている⁴⁾。

計測方法は，当該車両を走行させながら，一定の荷重(W)で接地させた試験輪にフルロック制動を掛けることによって生じる摩擦力(F)と試験輪に掛かる荷重(W)との関係からすべり摩擦係数(μ)を算出する(図-3)。



図-2 路面すべり測定車

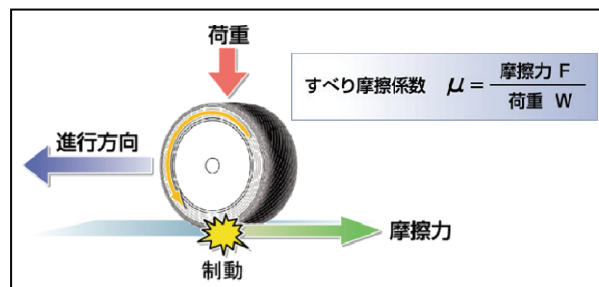


図-3 すべり摩擦係数の計測原理

試験は，平成18年12月から平成19年2月までの間，札幌市内の一般国道5号及び274号(延長21km)で行った(図-4)。試験は，道路巡回が実施されることが多い午前3時，午前5時，午前7時，午後5時に被験者を乗せた路面すべり測定車を走行させ，目視による路面分

類と、路面すべり摩擦係数の計測を行った。路面すべり摩擦係数計測時の路面すべり測定車の走行速度は40km/hとした。

目視による路面性状の分類は、実務では、冬期路面管理マニュアル（案）に示された路面分類を簡略化し、乾燥路面の他に5分類程度で分類していることが多い。

本研究では、実務で用いられている路面分類を参考に、乾燥の他に、湿潤、シャーベット、こな雪・つぶ雪、圧雪、凍結の5つの分類を設定した（表-3）。

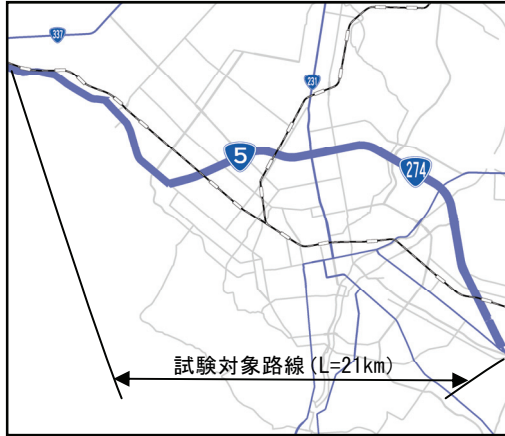


図-4 試験対象路線図

表-3 本試験で用いた路面分類

冬期路面管理マニュアル(案)の路面分類	試験で用いた路面分類
非常に滑りやすい圧雪	凍結
非常に滑りやすい氷板	
非常に滑りやすい氷膜	
氷板	
氷膜	
圧雪	圧雪
こな雪	こな雪・つぶ雪
こな雪下層氷板	
つぶ雪	
つぶ雪下層氷板	シャーベット
シャーベット	
湿潤	湿潤
乾燥	乾燥

3.2 試験結果

目視による路面分類と、目視と同時に測定されたすべり摩擦係数の測定結果を用いて箱ひげ図を作成する。本研究で示す箱ひげ図の凡例を図-5に示す。

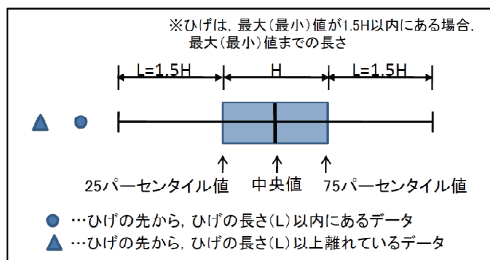


図-5 箱ひげ図の凡例

まず、得られた全データの箱ひげ図を図-6に示す、また、基礎統計量を表-4に、ひげの範囲外となった“外

れ値”の発生状況を表-5に示す。

目視による路面分類とすべり摩擦係数の計測は、全部で3,982回行われた。目視による路面分類で湿潤路面と判断されたケースが最も多く、2,844回(71%)であった。

外れ値の発生状況としては、目視では乾燥路面及び湿潤路面と判断されたがすべり摩擦係数が低かったケース、目視では凍結路面と判断されたがすべり摩擦係数が高かったケースが多く見られ、目視で凍結路面と判別された路面では約1割が外れ値となった。

路面上に雪が少なく、光沢の少ない氷で覆われている場合、“ブラックアイスバーン”と呼ばれる非常にすべりやすい路面が発生するが、舗装路面が黒っぽく見えることから乾燥路面と見誤ったと考えられる。また、路面上に雪が少なく、光沢のある氷で覆われている場合は、“ミラーバーン”と呼ばれる非常にすべりやすい路面が発生する。路面が水膜で覆われている場合も日光やヘッドライトが反射して、凍結しているのか湿潤なのか判別しにくい場合がある。

上記の原因で、目視では乾燥路面、湿潤路面及び凍結路面の正確な判別が困難で、多くの外れ値が多く発生したと考えられる。

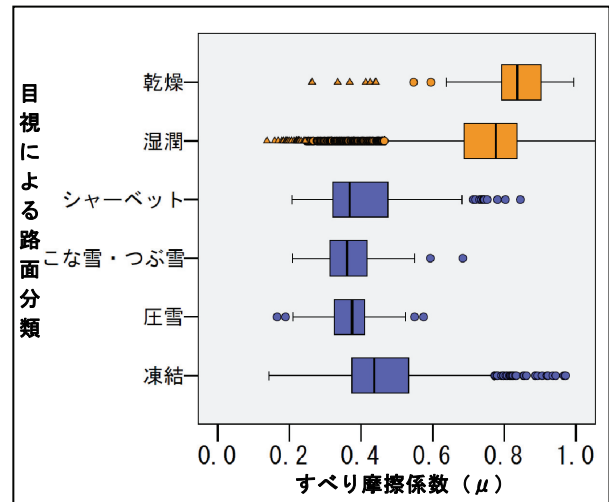


図-6 試験結果（全データ）

表-4 基礎統計量（全データ）

路面分類	データ数	平均値	中央値	最大値	最小値	25パーセンタイル	75パーセンタイル	標準偏差	分散
乾燥	113	0.81	0.84	0.99	0.26	0.79	0.90	0.14	0.02
湿潤	2,844	0.74	0.78	1.05	0.14	0.69	0.84	0.15	0.02
シャーベット	337	0.40	0.37	0.85	0.21	0.32	0.48	0.13	0.02
こな雪・つぶ雪	59	0.37	0.36	0.68	0.21	0.31	0.43	0.09	0.01
圧雪	353	0.37	0.38	0.58	0.17	0.33	0.41	0.06	0.00
凍結	276	0.48	0.44	0.97	0.14	0.37	0.53	0.18	0.03

表-5 外れ値の発生状況（全データ）

路面分類	データ数	下方外れ値		上方外れ値		計	
		回数	(%)	回数	(%)	回数	(%)
乾燥	113	10	(8.8)	-	(-)	10	(8.8)
湿潤	2,844	209	(7.3)	-	(-)	209	(7.3)
シャーベット	337	-	(-)	13	(3.9)	13	(3.9)
こな雪・つぶ雪	59	-	(-)	2	(3.4)	2	(3.4)
圧雪	353	2	(0.6)	2	(0.6)	4	(1.1)
凍結	276	-	(-)	31	(11.2)	31	(11.2)

目視による路面判別と、判別の際に測定されたすべり摩擦係数の発生割合を図-7に示す。

グラフは、大きく分けると、すべり摩擦係数 0.3 をピークにする山と、0.7~0.8 をピークにする山に二分される。前者は、路面に雪氷がある雪氷路面（こな雪・つぶ雪、シャーベット、圧雪、凍結）で、後者は、路面上に雪氷がない非雪氷路面（乾燥、湿潤）である。

また、目視で、こな雪・つぶ雪、シャーベット及び圧雪路面と判別された路面のすべり摩擦係数の発生割合はほとんど同じであり、最もすべりやすいはずの凍結路面のすべり摩擦係数の方が高い値を示す結果となった。以上のことから、目視では、雪氷路面の種類を細分化して判別するのが困難であることが分かった。

目視による路面分類は、雪氷路面であるか非雪氷路面であるかを判別することは可能であるが、雪氷路面と判断された路面ですべり摩擦係数が著しく高い場合、非雪氷路面と判断された路面ですべり摩擦係数が著しく低い場合があり、路面判別の判断ミスが生じていることが分かる。

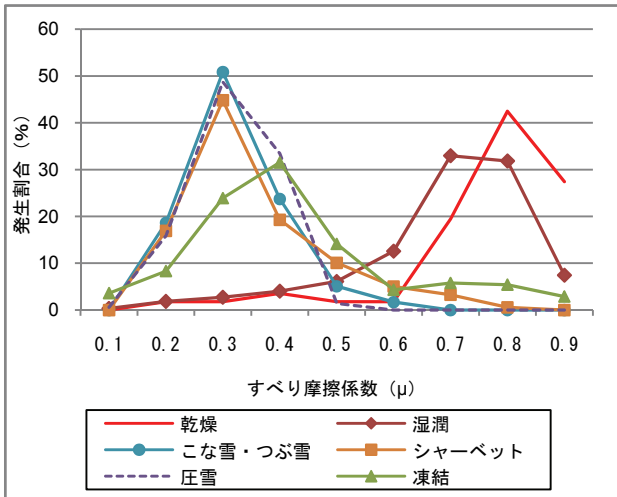


図-7 乾燥・湿潤・凍結路面と目視判断された路面のすべり摩擦係数の発生割合

次に、目視による判別は、周囲の環境（明るさ）に影響されると考えられるため、午前3時台（暗い時間帯）と午前7時台（明るい時間帯）に行った試験結果を示す。

図-8、表-7及び表-8は、午前3時台に行った試験結果の箱ひげ図、基礎統計量、外れ値の発生状況を表す。午前3時台の試験では、目視による路面分類とすべり摩擦係数の計測は1,091回行われた。目視で「こな雪・つぶ雪」と判別された路面はなかったが、圧雪路面、凍結路面と判別された割合が高かったのは、夜間に気温が低下するので妥当な結果と考えられる。

外れ値は、全データを集計した結果と同様の傾向・発生率を示した。これは、観測を行った4時間帯のうち、午前3時、午前5時、午後5時は周囲が暗い時間帯で、暗い時間帯での試験データが大半を占めたためである。

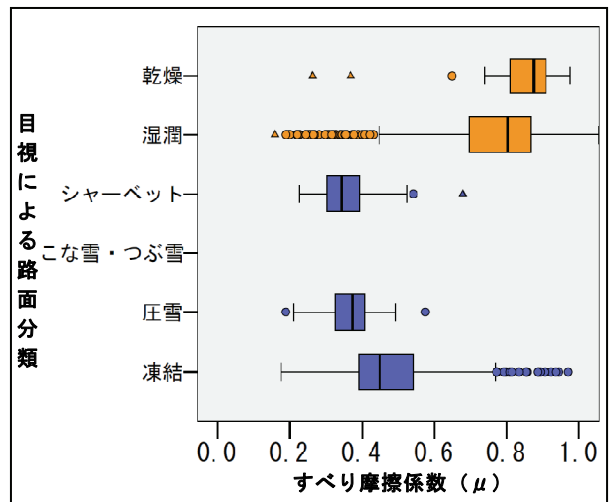


図-8 試験結果（午前3時台）

表-7 基礎統計量（午前3時台）

路面分類	データ数	平均値	中央値	最大値	最小値	25パーセンタイル	75パーセンタイル	標準偏差	分散
乾燥	46	0.83	0.88	0.98	0.26	0.81	0.91	0.16	0.02
湿潤	598	0.75	0.80	1.05	0.16	0.70	0.87	0.17	0.03
シャーベット	81	0.36	0.34	0.68	0.23	0.30	0.39	0.08	0.01
圧雪	192	0.36	0.37	0.58	0.19	0.33	0.41	0.06	0.00
凍結	174	0.49	0.45	0.97	0.18	0.39	0.54	0.16	0.03

表-8 外れ値の発生状況（午前3時台）

路面分類	データ数	下方外れ値		上方外れ値		計	
		回数	(%)	回数	(%)	回数	(%)
乾燥	46	4	(8.7)	-	(-)	4	(8.7)
湿潤	598	39	(6.5)	-	(-)	39	(6.5)
シャーベット	81	-	(-)	3	(3.7)	3	(3.7)
圧雪	192	1	(0.5)	1	(0.5)	2	(1.0)
凍結	174	-	(-)	16	(9.2)	16	(9.2)

次に、午前7時台に行った試験結果の箱ひげ図、基礎統計量、外れ値の発生状況を図-9、表-9及び表-10に示す。午前7時台の試験では、目視による路面分類とすべり摩擦係数の計測は822回行われた。目視で乾燥と判別された路面はなかったが、湿潤路面・シャーベット路面と判別される割合が高く、圧雪路面や凍結路面と判別された割合は低かった。

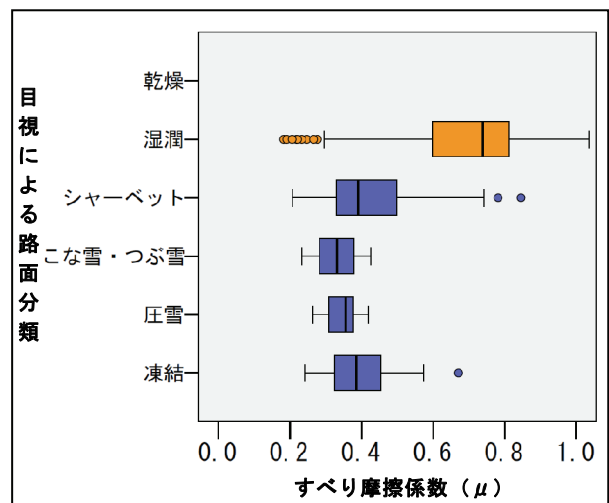


図-9 試験結果（午前7時台）

表-9 基礎統計量 (午前7時台)

路面分類	データ数	平均値	中央値	最大値	最小値	25パーセン タイル	75パーセン タイル	標準偏差	分散
湿潤	607	0.69	0.74	1.04	0.18	0.60	0.81	0.17	0.03
シャーベット	157	0.42	0.39	0.85	0.21	0.33	0.50	0.13	0.02
こな雪・つぶ雪	3	0.33	0.33	0.43	0.23	0.23	0.43	0.10	0.01
圧雪	8	0.35	0.36	0.42	0.27	0.31	0.38	0.05	0.00
凍結	47	0.40	0.39	0.67	0.24	0.32	0.46	0.09	0.01

表-10 外れ値の発生状況 (午前7時台)

路面分類	データ数	下方外れ値		上方外れ値		計	
		回数	(%)	回数	(%)	回数	(%)
湿潤	607	15	(2.5)	-	(-)	15	(2.5)
シャーベット	157	-	(-)	2	(1.3)	2	(1.3)
こな雪・つぶ雪	3	-	(-)	-	(-)	-	(-)
圧雪	8	-	(-)	-	(-)	-	(-)
凍結	47	-	(-)	1	(2.1)	1	(2.1)

札幌市内では、通勤時間帯に良好な路面状態が保たれるよう、明け方に凍結防止剤を散布することが多い。圧雪路面・凍結路面と判別された路面の割合が低かったのは、気温の上昇の他に凍結防止剤が散布されたことによる路面状態の改善があったと推察される。

外れ値は、湿潤路面、シャーベット路面及び凍結路面で発生しているものの、夜間に比べると外れ値の発生割合が大幅に減少した。観測されなかった路面状態、データ数の少ない路面状態があるが、夜間に比べると、明るい昼間の方が目視で路面状態を判別しやすい環境にあるといえる。

4. 目視判別の判断ミス防止対策の検討及び実施

4.1 判断ミス防止対策の検討

試験結果から、目視による雪氷路面状態の判別は、雪氷路面か否かを判別することが可能だが、判断のミスがあり、特に夜間における路面判別が難しいことが明らかとなった。

そこで、本研究では、目視による路面判断の精度向上と判断ミスの防止のため、路面状態を連続的に測定可能な「連続路面すべり抵抗値測定装置」を試験導入し、路面状態の定量的モニタリング結果を情報提供する冬期路面管理支援ツールを構築した。以下に、連続路面すべり抵抗値測定装置の概要と、当該装置を活用した冬期路面管理支援システムについて詳述する。

4.2 連続路面すべり抵抗値測定装置の導入

本研究で用いた路面すべり測定車は、専用の車両を必要とするため高価であり、実務への導入には的さない。我が国で入手でき、かつ、冬期路面管理の実務への適用が期待できる装置として、米国で開発された“連続路面すべり抵抗値測定装置”(Continuous Friction Tester: 以下「CFT」と略す)を試験導入した(図-10)。

CFTは、測定輪を車両進行方向に対して1~2°程度の角度を与えることで発生する横方向の力(横力)から路面のすべり抵抗値を算出する(図-11)。CFTは測定輪や搭載車両に制動を掛ける必要がないため、走行しながら

連続して路面のすべり抵抗値を測定することが可能であり、測定の際には特別な操作(機器操作や走行速度維持等)を必要としないため、操作ミスを防ぐことが可能である。



図-10 連続路面すべり抵抗値測定装置 (CFT)

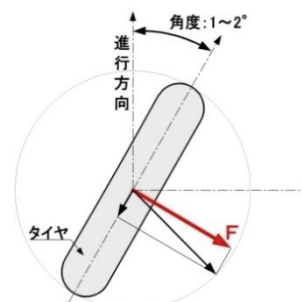


図-11 CFTの測定概念図

CFTで算出されるすべり抵抗値は、装置開発者の名前から、HFN (Halliday Friction Number) と呼ばれ、測定輪が空転する横力無負荷状態を0、乾燥した舗装路面(路面温度0℃)における横力負荷状態を100とし、その間を100等分したものである。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は低くなり、横力が高いほど(路面がすべりにくいほど)HFNは高くなる。

路面すべり測定車とCFTの測定原理は異なるが、比較試験を実施したところ両者の測定値に高い相関関係($R^2 \approx 0.8$)があることを確認した(図-12)。

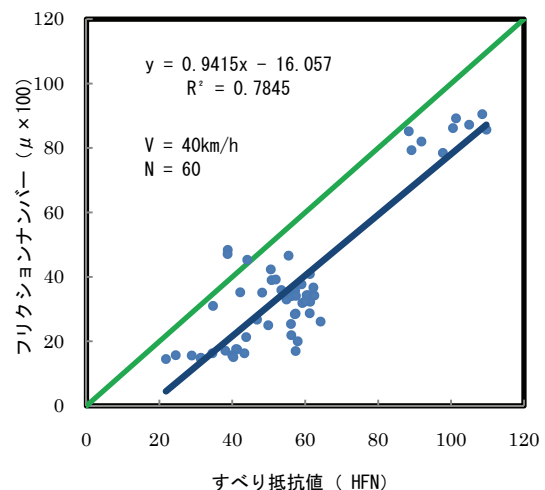


図-12 路面すべり測定車とCFTの比較試験結果

4.3 冬期路面管理支援ツールの構築

CFT で測定した HFN は、車内に設置された表示装置で走行しながらリアルタイムに確認できる他、時刻や GPS 測位データ等とともにデータロガー等に記録することも可能である。

測定後にデータを回収し、モニタリング結果を国土地理院の電子地図（電子国土 Web）⁵⁾ を利用して道路管理者・維持請負業者へ情報提供する冬期路面管理支援ツールを構築した。HFN は、0.1 秒間隔、0~100 の整数値で記録されるが、閲覧しやすさを考慮して 5 秒間隔、3 段階（49 以下、50~69、70 以上）に色分けして表示している。サーバーに蓄積された走行結果を任意に選択し、測定時の HFN の分布状況を任意の区間・倍率で表示することができる（図-13）。

これにより、道路管理者は、道路巡回時や作業実施前後等の路面状況を地図上で確認し、日々の道路巡回や路面管理作業にフィードバックできるようになった。



図-13 冬期路面管理支援ツール

5. まとめと今後の課題

本研究では、従前から判断の正確性に問題があるとされていながら検証されなかった、目視による路面性状判別の判断ミスの発生状況を、すべり摩擦係数の計測結果との比較試験によって検証した。本研究では、経験年数などの違いによる判断の個人差を考慮できなかったが、今後、比較試験データを蓄積し、路面判断を誤りやすい条件・判断の個人差等を明らかにしていきたい。

また、路面の定量的評価は、現在、目視による路面判別の判断ミスを防止するための補完材料として使われているが、定量的な路面評価に基づく冬期路面管理手法の確立を目指して研究に取り組んで参りたい。

謝辞

本研究の実施にあたって、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部には冬期路面管理の実施状況に関する聞き取り調査や現道でのモニタリング試験などで多大なるご協力を賜った。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 北海道警察本部交通部：交通事故統計原票作成の手引き，平成 7 年 1 月
- 2) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル（案），平成 9 年 11 月
- 3) Feasibility of Using Friction Indicators to Improve Winter Maintenance Operations and Mobility, NCHRP Web Document 53, November 2002
- 4) 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、ISSN1346-7328、平成 14 年 11 月

（2008 年 8 月 22 日受付）