

定量的冬期路面評価手法の国際的な比較研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：寒地道路研究グループ（寒地交通チーム）

研究担当者：渡邊政義、高橋尚人、徳永ロベルト、川端優一、切石亮、高田哲哉

【要旨】

冬期路面のすべりやすさは車両の運動に影響を与える要因であることから、欧米では、定量的な指標（すべり摩擦係数等）を冬期路面管理に用いている国がある。また、冬期路面状態を定量的に評価する技術発展に伴い、近年では“連続的”にすべり抵抗値を計測する実用的な機器も開発され、各国において導入が進みつつある。しかし、国によって使用している計測機器、計測原理、計測方法等も異なることから、各国の試験結果や冬期道路サービスを比較することができない。我が国の地域特性に適した冬期道路管理水準・サービス水準を研究していく上で、各国の冬期路面管理手法との比較は重要な項目であり、各国における冬期路面管理基準の設定状況、測定手法及び活用方法の比較を行った。

キーワード：冬期路面、管理水準、すべり抵抗値、評価手法

1. はじめに

冬期路面のすべりやすさは車両の発進・走行・停止に影響を与える要因である（図 1）。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」に基づいて雪寒事業（除雪、防雪、凍雪害の防止および除雪機械の整備）を推進してきた。近年では、1990年代のスパイクタイヤ使用規制以降、冬型交通事故の増加、旅行速度の低下などの冬期交通特性の変化（悪化）に対応するため、凍結防止剤・すべり止め材の散布が本格化するなど、冬期道路管理において路面管理（凍結路面対策）の重要性が高まっている²⁾。

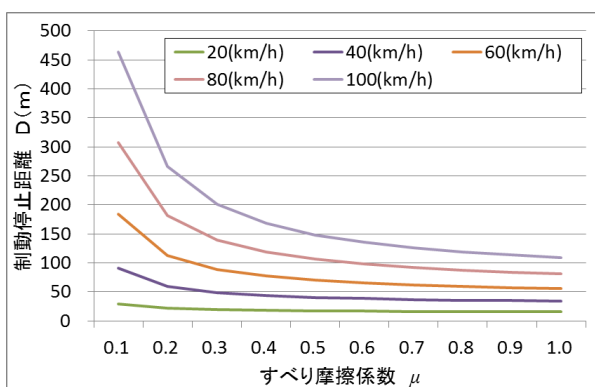


図 1 路面のすべり摩擦係数と制動停止距離¹⁾
(反応時間 $t=2.5$ 秒で計算)

我が国では、目視による路面状態の定性的な評価が冬期路面管理の基本となっているが、欧米では、すべり摩擦係数等の定量的な指標を冬期路面管理の基準として採用している国がある。また、近年では、連続的にすべり抵抗値を計測する実用的な機器も開発されるなど、冬期路面状態を定量的に評価する技術の発展とその導入が進みつつある。

しかし、国によって使用している計測機器、計測原理、計測方法等も異なることから、各国の試験結果や冬期道路サービスを比較することができない。本研究では、我が国の地域特性に適した冬期道路管理水準・サービス水準の検討に資するため、各国における冬期路面管理基準の設定状況、測定手法及び活用方法の比較を行った。

2. 冬期路面管理基準の設定状況、路面状態計測技術に関するレビュー

2.1 冬期路面管理基準の設定状況のレビュー

日本および海外における冬期路面管理基準に関する文献をレビューし、冬期路面管理基準の設定状況を把握した。大まかに区分すると、以下の4類型にまとめることができる。

- ・日本型
- ・ヨーロッパ型（定性的な基準設定）

- ・ヨーロッパ型（定量的な基準設定）
- ・北米型

以下に各類型の特徴を紹介する。

<日本>

日本の冬期路面管理基準は、道路の区分に応じて維持すべき路面状態を目標設定することが特徴である。

北海道の国道では、スパイクタイヤ規制後の冬期路面管理をより効果的・効率的に行うため、国道管理者である北海道開発局は平成9年に「冬期路面管理マニュアル(案)」を策定し、交通量と沿道状況に応じた管理目標を設定している(図2)³⁾。また、札幌市は、上記の「冬期道路管理マニュアル(案)」を参考にして、冬期路面管理基準を定め(表1)、道路種別に応じた路面水準(路面状態)を設定している⁴⁾。

路面分類は、乾燥路面と13種類の路面状態の計14の路面状態に区分されるが、路面状態が正しく判別されるように、雪水の有無、表面の光沢、トレッド跡、雪の色や厚さ等による判別基準を別途設けている。

<ヨーロッパ>

PIARC(世界道路協会) Snow & Ice Databook⁵⁾からヨーロッパの冬期道路管理基準の特徴を整理すると以下のとおりである。

- 道路管理者の大半は、道路ネットワークを三種類以上に区分し、それぞれの区分に対し、交通量と道路構造に応じた管理目標がある。
- 各区分の成果目標を正確に記述している国(デンマーク、エストニア等)があるが、重要度の低い道路

では圧雪路面を容認する一方、交通量の多い区間では幅員全体を露出路面とするなど目標には幅があり、目標サービスレベルに回復するまでの最大許容時間を定めている国もあるなど、基準設定も多様である。

- フィンランド、スウェーデンなどの北欧諸国では、路面摩擦による管理基準が利用されている。
- オーストリア、ベルギー、ドイツ等では、路面状態に関する基準が厳密に規定されていない例もあるが、その場合は、冬期道路管理の手順(工法と時間帯、維持管理対象時間)が、道路区分と気象状況または交通条件を基に設定されている。

○定量的な基準設定の例

北欧4か国(フィンランド、ノルウェー、アイスランド、スウェーデン)では、冬期道路管理基準にすべり摩擦係数を導入している。表2、図3にスウェーデンの冬期道路管理基準を示す。スウェーデンでは、年平均日交

表1 札幌市における路面管理基準⁴⁾

道路種別	LOSと対象道路状況
主要幹線、幹線	路面水準4(日中):粉雪、つぶ雪、シャーベット
補助幹線A	路面水準3(日中):圧雪、つぶ雪、下層氷板
補助幹線B	原則として路面水準3:圧雪、つぶ雪下層氷板
生活道路	路面水準2(日中):氷板、つぶ雪下層氷板等

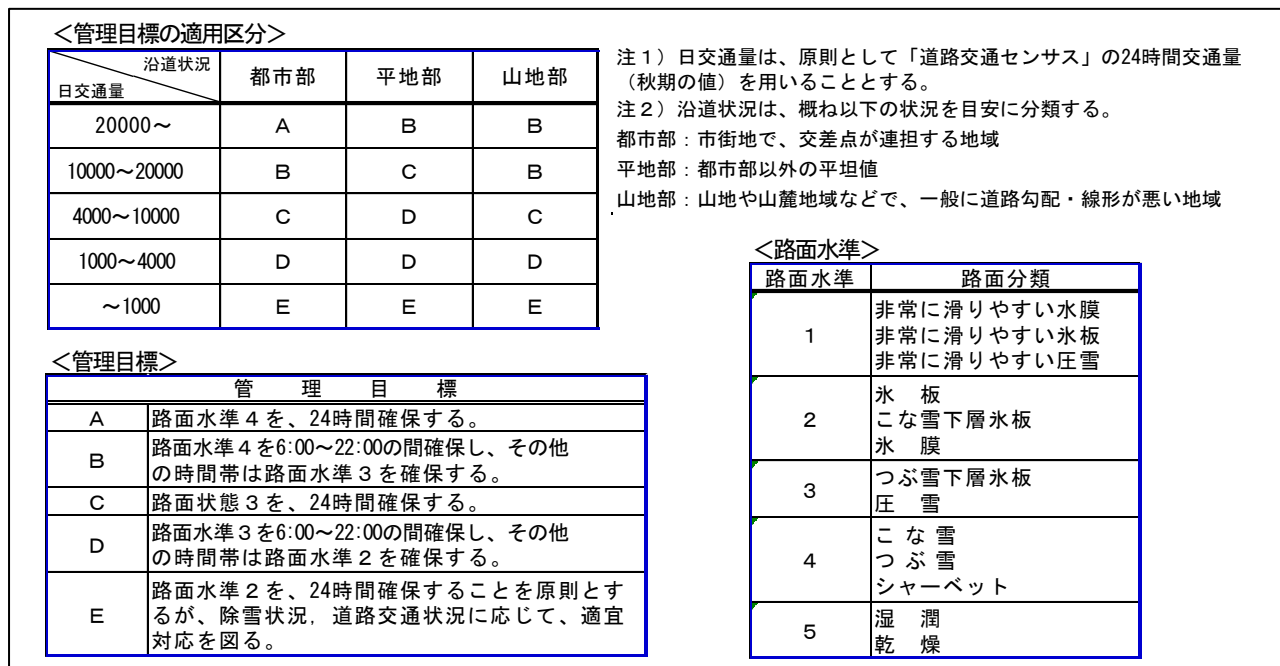


図2 北海道の国道における冬期路面管理目標³⁾

通量のみで管理水準の適用区分を設定している。路面のすべり摩擦係数の計測には、4 か国とも加速度計（コラルバ社製）を使用している。計測方法は、加速度計を設置した車両が一定速度で走行し、測定箇所ですべて1秒間急制動をかけ、得られた加速度（減速度）からすべり摩擦係数を計算する（図4）。

フィンランドでは、加速度計を用いたすべり摩擦係数の測定方法を詳細に規定している⁶⁾。

- 荒い雪轍、-5°Cの状況で摩擦係数が 0.29 を示すようにキャリブレーションを行う。
- 測定は速度 60km/h、2%を超える上り下り傾斜のない直線道路で実施する。
- 摩擦係数は、計測する車線幅の少なくとも半分が基準を満たしていなければならない。
- 計測によって一般交通に支障を与えてはならない。

北米では、北欧4か国のような詳細な基準設定はされていない。北米では、露出路面（ベア・ペーブメント）管理が原則であることが理由として挙げられる⁷⁾。表3に、カナダのオンタリオ州の冬期道路管理基準を示す。

北米では、路面のすべり計測も行われているが、露出路面であるか否かの判定が主であるため、使用する機器や測定方法には統一性がない。

○定性的な基準設定の例

図5にエストニアの冬期道路管理基準を示す。サービスレベルは4段階で設定され、適用区分は、道路種別と日平均交通量で分類される。自動車専用道路と日平均交通量8,000台以上の幹線道路では最も高い管理基準が適用され、1日24時間路面に雪氷がない状態を保つこととしている。

表2 交通量と管理水準（スウェーデン）

年平均日交通量(AADT)	冬期管理水準
≥16,000	1
8,000-15,999	2
2,000-7,999	3
500-1,999	4
<500	5



図4 加速度計（上）と測定原理（下）

断面構成	降雪等の間に維持すべき路面状態／降雪等の終了後の対応時間						降雪等の終了後の対応時間超過後、降雪等を伴わない気象条件で維持すべき路面状態			
	対応閾値		対応時間(時間)				摩擦係数(μ)			平坦性 (cm)
	降雪	降雨	管理水準				-6°C<路面温度	-12°C<路面温度<-6°C	路面温度<-12°C	
	新雪の深さ (cm)	摩擦係数 (μ)	1	2	3	雪氷がないこと	0.35	0.25		
管理水準	管理水準	管理水準	管理水準	管理水準	0.25	0.25	0.25			
車道	1	0.30	2	3	4	0.25	0.25	0.25	1.5	
路肩	1	0.25	4	6	8	0.25	0.25	0.25	1.5	
路側施設	1	0.25	4	6	8	0.25	0.25	0.25	1.5	

断面構成	降水終了後の対応時間超過後、乾燥気象条件で維持すべき路面状態						降雨等の間に維持すべき路面状態／降雪等の終了後の対応時間						
	対応閾値			対応時間			対応閾値			対応時間(時間)			
	新雪の深さ (cm)	摩擦係数 (μ)	平坦性 (cm)	積雪深／摩擦 (時間)	平坦性(時間)	降雪	降雨	新雪の深さ (cm)	摩擦係数 (μ)	対応時間(時間)			
	管理水準	管理水準	管理水準	管理水準	管理水準	管理水準	管理水準	管理水準	管理水準				
	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5			
車道	2	3	0.25	1.5	5	6	48	72	2	3	0.25	5	6
路側施設	2	3	0.25	1.5	8	8	48	72	2	4	0.25	8	8

図3 スウェーデンの冬期道路管理基準⁵⁾

<北米>

表3 カナダ オンタリオ州の冬期道路管理基準⁷⁾

維持管理等級	クラス1	クラス2	クラス3	クラス4	クラス5
管理目標	原則、露出路面	原則、露出路面	原則、露出路面	原則、露出路面	圧雪
降雪後、管理目標を達成するまでの時間(超過してはならない)	8時間	16時間	24時間	車線中央部は24時間以内、状況が許せば原則、露出路面	24時間

日平均交通量	サービスレベル			
	主要幹線道路	幹線道路	補助幹線道路	地方道路
自動車専用道路 >8000	4	—	—	—
6000~8000	3	3	3	—
3000~6000	3	3	2	—
1000~3000	3	3	2	2
200~1000	3	1	1	1
200以下	—	1	1	1

サービスレベル	適用時間帯
自動車専用道路 4	1日24時間
3	6:00~22:00 その他の時間帯はサービスレベル2
2	7:00~21:00 その他の時間帯はサービスレベル1
1	道路所有者の判断による

指標	管理基準			
	1	2	3	4
路面状態				
雪	圧雪/凍結路面を容認。ただし危険な箇所凍結防止対策	圧雪/凍結路面を容認。ただし幅員幅で凍結防止対策	タイヤ通過部分に雪氷なし。事前散布	路面に雪氷なし。幅員幅で事前散布
許容される新雪の深さ	<10cm	<5cm	タイヤ通過部分で <3cm	路面露出
許容されるスラッシュ/塩と雪の混合物の深さ	<6cm	<3cm	タイヤ通過部分で <2cm	路面露出
両路肩の堆雪間の幅	>6m 最低でも幅員幅	>8m 最低でも幅員幅	車道+路肩の全幅	車道+路肩の全幅
平坦度				
許容される轍深さ/圧雪にできた凹凸	<4cm	<3cm	タイヤ通過部分の圧雪層 <2cm	路面露出。 気温<-12℃のときは タイヤ通過部分の圧雪層 <1cm

図5 エストニアの冬期道路管理基準⁵⁾

2.2 路面状態計測技術に関するレビュー

本節では、国内外で使用されている路面状態の計測技術をレビューし、測定原理で類型化した。

2.2.1 制動停止距離によるすべり摩擦係数計測

諸外国での冬期路面を対象としたすべり摩擦係数の計測は、1940年代に空港の滑走路の安全性を確認するために開始された⁸⁾。測定は、砂を搭載した大型トラックを時速30kmで走行させ、急制動をかけて停止するまでの時間と距離から路面のすべり摩擦係数を算出する。

2.2.2 測定輪の制動による計測

我が国では、建設省(現国土交通省)等で“路面すべり測定車”を保有し、これを道路管理分野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いる。

“路面すべり測定車”は、車両に測定輪(第5輪)を設置した試験車両である(図6)。測定輪を制動(ロック)し、一定荷重で接地させた状態で車両が一定速度で走行



図6 路面すべり測定車

した際に発生する摩擦力と荷重の比からすべり摩擦係数を求める(図7)。アメリカでは、測定輪を搭載した装置をけん引するトレーラータイプを導入している交通局(DOT: Department of Transportation)がある⁹⁾。

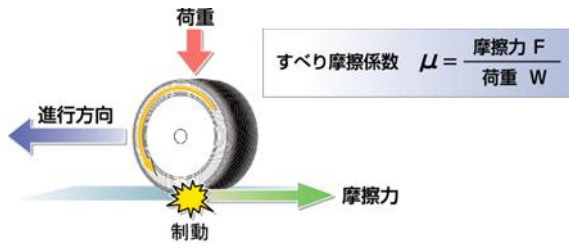


図7 すべり摩擦係数の測定原理

測定輪を制動（ロック）して計測する方式は、測定の信頼性は高いが、車両に大幅な改良を要するため高価で、タイヤ制動箇所計測することから路面のすべりやすさを連続測定できないことが欠点である。

2.2.3 加速度計

加速度計は、車両が急制動した場合に発生する加速度（減速度）から路面のすべり摩擦係数を算出する。加速度計の長所は、機器が安価で設置に際して車両に特別な改造を必要としないことがあげられる。短所は、オペレータ及び車両の違いによる影響を受けること、データを記録できる機器がほとんどないこと、交通量の多い道路での使用に適さないこと、地点での測定であること及び道路勾配が測定値に影響を与えることが挙げられる⁹⁾。

2.2.4 スリップ率を利用した計測装置

走行車両の対路面速度とタイヤの回転速度に差がある場合をスリップ率のあるすべり摩擦状態といい、スリップ率は式(1)で表すことができる¹⁰⁾。タイヤが自由に路面上をころがっている場合のスリップ率は0%で、車輪がロックされた状態はスリップ率100%となる。前節で紹介した測定輪を制動させる計測方式は、スリップ率100%の状態での計測に該当する。

$$\text{スリップ率} = \frac{\text{試験車の対路面速度} - \text{タイヤの回転速度}}{\text{試験車の対路面速度}} \times 100 \quad (1)$$

スリップ率を利用した方式はスリップ率固定方式とスリップ率変動方式があり、前者には、TWO (Traction Watcher One) (図8) などがある。TWOの測定輪は2輪あり、1つの車輪がもう1つの車輪より遅く回転し、遅く回転する車輪から発生した抵抗力からすべり摩擦係数を計算する⁹⁾。比較的安価だが、特殊な専用タイヤを用いることが欠点である。

スリップ率変動方式では、ノルウェーで用いられているRoAR (Road Analyser and Recorder) Mark III (図9) や OSCAR (Optimum Surface Contamination Analyzer & Recorder) がある。RoAR Mark IIIは速度20km/h～130km/hで測定でき、単独機器としての利用も、車両牽引も可能だが、機器コ

ストは著しく高い。OSCARは、RoAR Mark IIIの測定値検証用として1台だけ存在する⁹⁾。



図8 TWO



図9 RoAR Mark III

2.2.5 横力による計測装置

タイヤが進行方向と同一方向に回転している時にタイヤ面に直角方向に外力が働いた場合、タイヤの接地面でのこの力に抵抗する横力 (side force) が働く。この横力と輪荷重の比から横すべり摩擦係数を算出する。具体的には、測定輪を進行方向に対して一定の角度 (slip angle) を与え、走行しながら測定輪にかかる横力を計測する。

横力による代表的な測定装置には、英国で開発されたSCRIM (Sideway-force Routine Investigation Machine) がある¹¹⁾ (図10)。測定輪は前輪と後輪の間に設置され、測定輪のslip angleは20度で固定されている。SCRIMは連続測定が可能だが、測定輪にかかる大きな横力に対抗するため計測車両の車体が大きくなること、測定部取り付けのため本体補強が大きくなり、結果として計測車両が高額になることが欠点である。



図10 SCRIM

近年では、SCRIM の欠点である大きな横力を解消する計測装置が開発されている。連続路面すべり抵抗値測定装置 (Continuous Friction Tester : CFT) (図 11) 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で、測定輪の slip angle を 1~2 度と小さくすることで測定機構及び牽引車両の小型化に成功している。

CFT によって計測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°C) における横力負荷状態を 100 とし、その間を 100 等分した整数値である。

CFT は、アメリカおよびカナダの一部の州、スウェーデン等で計 67 台が導入されている (2010 年 5 月時点)。CFT は、走行しながら 0.1 秒間隔で連続測定が可能だが、横力を計測する方式の欠点として、牽引車両のハンドル角度が変化すると測定輪の slip angle が変化して測定値に影響することが挙げられる。CFT ではハンドル角が ± 14 度以内で路面のすべり抵抗値を計測し、ハンドル角の影響を補正可能である。



図 11 CFT

2.2.6 タイヤ振動・車両挙動等による計測

近年では、車両の電子制御技術が高度化し、走行状態を監視・制御するセンシングデバイスが数多く搭載されている。タイヤ振動や、タイヤにかかる微細な荷重や車両挙動から路面状態を判別する技術開発が進んでいる。

たとえば、路面と唯一接している部品であるタイヤにセンシング機能を付加し、タイヤの振動の波形から路面状態を決定する研究開発が進められている¹²⁾。タイヤの振動は路面状態ごとに特徴的な波形を示すことに着目し、タイヤの内面に設置したセンサーの接地面における加速度波形の時系列及び周波数特徴から路面状態 (乾燥、湿潤、ハイドロプレーニング、シャーベット、積雪、圧雪、凍結) に判別する。

他にも、タイヤと路面間に作用する 3 軸方向力と、制動時のブレーキ力を精緻に計測する MASS 車 (MASS : Multi-Axial Sensing System)¹³⁾、ABS の作動情報をサ

ーバーに送信し、車両位置周辺における最新及び過去の ABS 作動情報と過去のスリップ事故発生情報を発信する取り組み¹⁴⁾等、数多くの研究開発が行われている。

車両そのものをセンサーとして路面状態を把握する取り組みは、現在までのところ、車両の挙動データを精密に測定できる特殊な装置・車両を必要とするか、または、路面状態の判別精度の検証が不十分であり、道路管理に適用することが可能であるか現時点で明確ではない。今後、汎用性のある技術開発が期待される。

2.2.7 非接触センサーを用いた計測装置

ここまで紹介してきた計測技術は、基本的にタイヤと路面間に発生する力の計測等、いずれもタイヤと路面の接触、車両の運動 (走行) を測定の前提条件としており、測定タイヤによる測定値の違い、測定車両が停止している状態では路面状態を評価できないといった欠点がある。

近年では、タイヤと路面の接触を要しない、非接触式センサーの開発が進んでいる。測定機構を設ける必要が無く、車両の走行状態にかかわらず (すなわち車両停止状態でも) 計測できるメリットがある。

計測には、近赤外線¹⁵⁾、可視光¹⁶⁾およびマイクロ波放射計¹⁷⁾を用いるセンサーの開発が進んでいる。近赤外線による計測装置は、ヨーロッパのロードアイディア・プロジェクト (<http://www.roadidea.eu/default.aspx>) で試験が行われ、加速度計の計測値と良好な相関を示したことが報告される¹⁸⁾など、欧米での試験検証が進められている。



図 12 非接触式センサー (近赤外線)

3. 路面すべり計測機器の比較試験

3.1 試験対象機器の選定

前章のレビューを踏まえ、本研究で比較対象とする路面すべり計測機器を選定する。本研究では、我が国の道路分野における路面のすべり摩擦係数の標準的な機器である路面すべり測定車のほか、加速度計、CFT (連続路

面すべり抵抗値測定装置) および非接触センサー (近赤外線) を選定した。

選定のポイントは以下のとおり。

<加速度計>

北欧で路面すべり計測機器として使用されている。測定上の課題はあるが、加速度計の測定値と比較することで基準値の検討に資する。

<CFT>

特別な機器操作が不要、連続測定が可能かつ道路巡回車を測定車両として利用できる可能性がある。欧米での導入・測定実績も多く、日本の冬期道路管理への導入可能性が高いと期待できる。

<非接触センサー (近赤外線) >

測定実績が少なく測定の信頼性が不確かだが、装置が小型なため道路巡回車への設置が容易、都市部の交差点などで車両が停止している状態でも測定が可能などの長所があり、測定の信頼性を検証して導入可能性検討に資する。

3. 2 試験方法

当研究所所有の苫小牧寒地試験道路周回路 (図 13) において上記計測機器を用いた比較試験を実施した。

比較試験は、試験道路周回路の直線部分における乾燥路面の他、湿潤路面、圧雪路面、氷膜路面及び氷板路面 (図 14、図 15) を人工的に作製し、当該路面上を各計測機器が走行して路面状態の評価を行った。乾燥路面 (L=600m) は、細粒度ギャップアスコンによる舗装路面とした。湿潤路面 (L=600m) は、乾燥路面に散水車で散水して作製した (膜厚: 0.5~1.0mm)。圧雪路面 (L=600m) は、舗装上に厚さ約 15cm (平坦性: 20mm 以下) に敷きならした雪の上を 300 台の通過車両を走行させて作製した。氷膜路面 (L=600m) は、気温低下時に散水して凍結させた (膜厚: 0.5~1.0mm)。氷板路面 (L=200m) は、舗装上に厚さ約 15cm の氷板 (平坦性 5mm 以下) を作製した路面である。

比較試験実施時の気象条件は、天候が概ね晴れ又は曇り、気温-16.9℃~4.9℃、路面温度-9.2℃~6.8℃であった。各装置を搭載した試験車両は、約 40km/h で定速走行しながら計測を行った。計測項目は、すべり摩擦係数 (μ)、すべり抵抗値 (HFN)、気温、路温、路面状態及び時刻とした。

路面すべり測定車と加速度計搭載車は、あらかじめ指定した地点において試験輪のみ又は車両に約 1 秒間の急制動を掛け、すべり摩擦係数を計測した。一方、CFT 及び非接触センサーを搭載した試験車は試験路を連続的に

計測し、他の計測装置の計測値と比較ができるように、指定した地点でデータのマーキング (取得データに目印を付ける) を行った。

3. 3 試験結果

3.3.1 各計測装置における計測値

本報では、平成 23 年度冬期に行った比較試験の結果を例として紹介する。当該比較試験において各装置で取得した合計サンプル数は、路面すべり測定車、加速度計、CFT、非接触センサー各々で 176 個であった。



図 13 苫小牧寒地試験道路

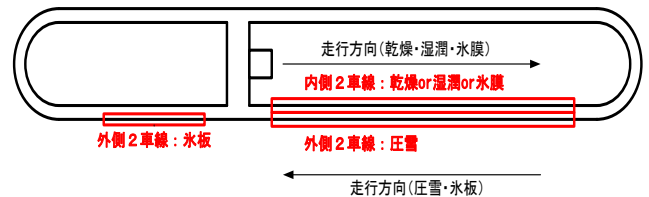


図 14 苫小牧寒地試験道路計測路面配置



図 15 各種路面状態 (左上: 乾燥、右上: 湿潤、中央: 氷膜、左下: 圧雪、右下: 氷板)

表 4 及び図 16 に、取得した測定結果を装置別・路面別に基礎統計量と「箱ひげ図 (Box Plot)」で示している。なお、箱ひげ図の箱の中の太線は中央値を示しており、この箱の上端 (75 パーセンタイル値) から下端 (25 パーセンタイル値) の間には全データの半分のデータが含ま

表 4 計測結果の統計量

路面状態	乾燥				湿潤				圧雪				氷膜			
	LWFT ($\mu \times 100$)	加速度計 ($\mu \times 100$)	CFT (HFN)	赤外線 ($\mu \times 100$)	LWFT ($\mu \times 100$)	加速度計 ($\mu \times 100$)	CFT (HFN)	赤外線 ($\mu \times 100$)	LWFT ($\mu \times 100$)	加速度計 ($\mu \times 100$)	CFT (HFN)	赤外線 ($\mu \times 100$)	LWFT ($\mu \times 100$)	加速度計 ($\mu \times 100$)	CFT (HFN)	赤外線 ($\mu \times 100$)
データ数	48	48	48	48	64	64	64	64	32	32	32	32	32	32	32	32
平均値	83	53	101	80	49	53	101	75	22	28	53	30	15	19	40	32
中央値	83	55	101	80	49	54	102	76	17	29	52	27	15	19	40	16
標準偏差	4.0	10.0	3.2	0.6	3.2	5.9	2.6	9.9	10.2	4.3	3.9	14.9	2.1	1.0	4.0	28.2
最大値	93	67	111	81	59	64	106	82	52	35	62	82	20	20	53	80
最小値	77	24	92	79	44	14	94	19	13	13	45	14	12	16	30	12
75パーセン タイル	86	59	103	80	52	56	103	80	26	32	56	31	17	20	42	53
25パーセン タイル	80	52	98	80	47	52	100	74	15	26	51	23	14	18	38	14

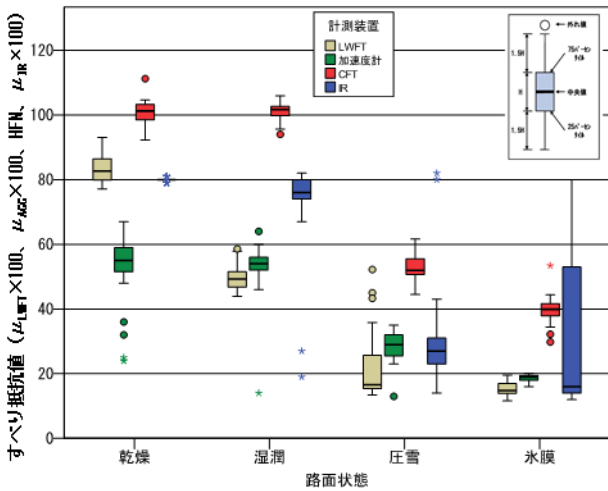


図 16 路面状態別計測値

まれている。箱から伸びるひげの上端から下端の間には外れ値を除く全データが含まれている。なお、外れ値とは箱から伸びるひげ（長さは箱の高さの 1.5 倍）を超えたデータであることを指す。

各計測装置における計測値は、LWFT では平均値 ($\mu_{LWFT} \times 100$) が 15 (氷膜) から 83 (乾燥) の範囲で推移した。加速度計では平均値 ($\mu_{ACC} \times 100$) が 19 (氷膜) から 53 (乾燥、湿潤) の範囲で推移した。CFT では平均値

(HFN) が 40 (氷膜) から 101 (乾燥、湿潤) で推移した。非接触センサーでは平均値 ($\mu_{IR} \times 100$) が 30 (圧雪) から 80 (乾燥) の範囲であった。計測値の標準偏差は、乾燥における加速度計、圧雪における LWFT・非接触センサー、氷膜における非接触センサーが大きな値となった。

標準偏差が大きくなった原因としては、圧雪の路面状態が均一でなかったことに加え、加速度計では、計測時のブレーキ操作を運転手が行うため、計測値にブレーキの踏み方の影響が現れることが考えられる。また、非接触式センサーでは、センサー内部で演算処理を行っており、計測値の出力に 4~7 秒のタイムラグが発生したことで、計測値が大きくばらついたと考えられる (図 17)。図 18 に LWFT の計測値に対する他の計測装置との相関を示す。その結果、CFT で決定係数 (R^2) が 0.69 と最も高く、比較的良好な相関を得られたことを確認した。加速度計は決定係数 (R^2) が 0.58、非接触式センサーは決定係数 (R^2) が 0.53 であった。加速度計及び CFT の決定係数 (R^2) は、過去の試験結果¹⁸⁾ ($R^2 > 0.7$) に比べて低くなっているが、加速度計の近似式は平成 22 年度と同じであり、CFT についても平成 22 年度に近い近似式となった。

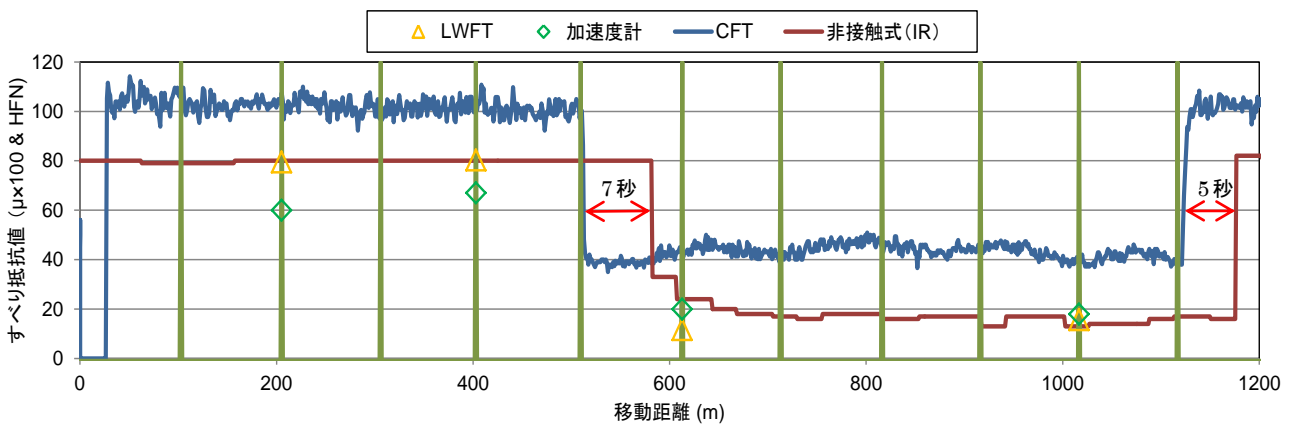


図 17 1 月 25 日の試験結果 (乾燥・氷膜路面)

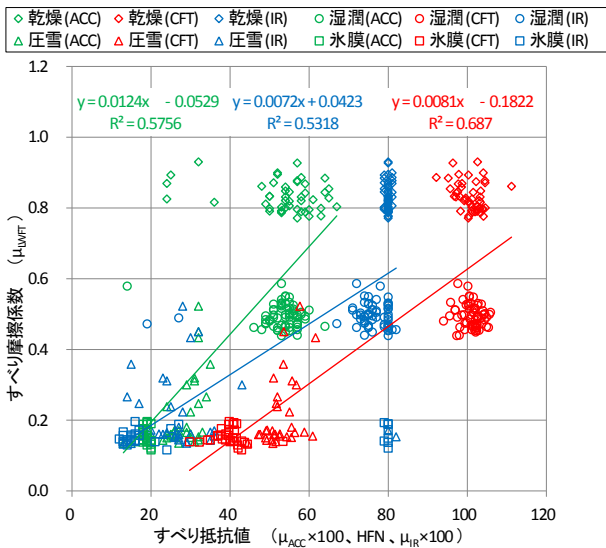


図 18 LWFに対する他の計測装置の相関

4. まとめ

本研究では、我が国の地域特性に適した冬期道路管理水準・サービス水準の検討に資するため、各国における冬期路面管理基準の設定状況、測定手法及び活用方法について検討した。本研究の成果と今後の研究課題について以下に記す。

4.1 本研究の成果

本研究で得られた成果は以下のとおりである。

(1) 冬期路面管理基準の設定状況

日本および欧米における冬期路面管理基準に関する文献をレビューし、冬期路面管理基準の設定は、日本型、ヨーロッパ型 (定性的な基準設定)、ヨーロッパ型 (定量的な基準設定)、北米型の 4 区分に大別されることを確認した。

ヨーロッパでは、北欧 4 か国において路面のすべり抵抗値を管理基準として採用しており、交通量や道路区分、気象条件に応じた詳細な基準設定をしていて、また、すべり抵抗値の計測機器、計測方法も定められている。これに対し、北米では路面のすべり計測を行っているが、ベア・ペーブメント (露出路面) 管理を基本としているため詳細な基準値設定をしておらず、また、路面のすべり計測も路面露出を確認することが主目的なため計測機器や計測機器には統一性がないことが分かった。

日本では、沿道状況や交通量に応じた管理目標を設定していること、緯度の割に多雪寒冷な気象条件下にあることを考慮すると、路面管理にすべり計測や定量的な基準を導入することを検討する場合、主に北欧 4 か国のす

べり計測方法・基準設定を参考に検討するのが望ましいと考えられる。

(2) 路面状態計測技術の開発・導入状況

国内外で使用されている路面状態の計測技術をレビューし、測定原理ごとに類型化した。路面のすべり計測の歴史は古く、1940年代から行われてきた。車両自体の制動停止距離を計測する計測方法から始まり、測定輪の制動 (フルロック)、スリップ率、測定輪に角度をもたせて横力を計測するなど様々な計測原理を有する計測装置が開発されてきた。

特殊な車両や測定タイヤを必要とする装置や、測定輪に大きな負荷を与えるため計測車両の大型化を余儀なくされたり、地点での計測しかできないなど、計測の汎用性や連続性の面で課題があったが、近年では、道路巡回車に設置可能で、計測に特別な操作を要しないで連続測定可能な実用性の高い装置の開発が進められてきている。

なお、路面のすべり計測では、タイヤと路面の間に生じる力の計測を基本としてきた (すなわち、車両の運動が測定の前提条件となっている) が、測定タイヤや道路条件が測定値に影響を与えたり、測定車両が停止している状態では路面状態を評価できないといった欠点がある。

さらに、近年では、測定機構を設ける必要が無く、道路条件や車両の走行状態にかかわらず計測可能な、タイヤと路面の接触を要しない非接触式センサーの開発が進んでいることを確認した。

(3) 路面すべり計測機器の比較試験

本研究では、北欧で導入されているすべり抵抗値の基準値の比較・検討、連続測定可能な装置、および今後の技術開発が期待される新たな計測技術の検証を目的として、我が国の道路分野における路面のすべり摩擦係数の標準的な機器である路面すべり測定車に加え、加速度計、CFT および非接触センサーを選定し、比較試験を実施した。試験の結果を概説すると以下のとおり。

①CFT の測定するすべり抵抗値 (HFN) は、路面すべり測定車の測定値と良好な相関関係があり、また、路面状態の変化も的確にとらえることができた。一定以上のハンドル角になると測定できなくなる短所があるが¹⁹⁾、現時点では、日本の道路条件下で最も信頼性と実用性の高い計測装置と考えられる。

②加速度計は、CFT には及ばないが路面すべり測定車の

測定値と比較的良好な相関関係を示した。計測には急制動（フルブレーキ）を必要とするので、日本の冬期道路管理への導入には向かないが、試験道路での計測を行って基準値の比較検討に活用可能である。

③非接触式センサーは、一定の路面状態が継続する場合には良好な結果を得られたが、路面状態が急変する場合に7秒程度のタイムラグが発生した。現時点で日本の道路管理に導入することは難しいが、計測装置が小型で設置が容易といったメリットもあるため、今後の技術開発・精度向上が期待される。

なお、本装置は近赤外線によって路面上の水分量を計測することで路面状態を評価するため、路面上に防滑材など水分以外の物質がある場合の測定精度については未検証であり、今後の検証が必要である。

4. 2 今後の研究課題

本研究の実施内容・研究成果を踏まえると、今後の研究課題は以下のとおりである。

(1)継続的な情報収集および比較試験の実施

路面のすべり計測分野では、様々な技術の開発が進められていて、今後も技術開発が進むと考えられる。現時点では、路面すべり測定車を測定の標準機器とし、連続測定可能なCFTを組み合わせて路面のすべり計測を行うことが、我が国の道路条件、冬期道路管理に最も適していると考えられるが、技術の進展に応じて、我が国の道路条件と冬期道路管理により適した計測装置を導入していくことが必要である。

道路管理者に有用な提案を可能とするため、各計測装置の特性（実用性や測定の信頼性、長所と短所）を明らかにすることが必要であり、机上での情報収集に加えて試験道路での試用、比較試験の実施を行い、新たな技術開発に柔軟に対応していくことが必要である。

(2)非接触式センサーの検討

先述のとおり、タイヤと路面の間に生じる力を計測する方法の大きな欠点として、測定車両が停止している状態では路面状態を評価できないことが挙げられる。これを冬期道路管理に当てはめて考えると、交通量の多い都市部の交差点など管理上特に注意が必要な区間の路面状態の評価ができないことを意味する。

このため、現時点ではタイムラグ等の技術的課題があるものの、計測車両の走行状態にかかわらず路面状態を評価可能な非接触式センサーは、冬期道路管理分野において導入が進むものと考えられる。今後、非接触式セン

サーの技術開発動向の継続的なレビューおよび防滑材散布路面の評価など未検証事項の検証が必要である。

なお、本研究では、近赤外線を用いたセンサーを試験したが、定点観測で高い路面判別精度が報告されているマイクロ波放射計¹⁷⁾の利用可能性などについても検証していくことが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 道路構造令の解説と運用 平成16年2月, 社団法人日本道路協会, 2004
- 2) 高島巧: スパイクタイヤ規制後の評価と今後の課題について, (社)雪センター「ゆき」第51号, pp.26-33, 2003
- 3) 北海道開発局: 冬期路面管理マニュアル(案), 1997
- 4) PIARC Technical Committee B5 Winter Service: Snow & Ice Databook - 2010 Edition, 2010
- 5) PIARC Technical Committee 3.4 Winter Maintenance: Snow & Ice Databook - 2006 Edition, 2006
- 6) フィンランド道路庁: 道路の冬期維持管理性能規定書, 2005
- 7) Ontario MOT: Probabilistic Models for Discriminating Roads Surface Conditions Based on Friction Measurements
- 8) Al-Qadi, I., Loulizi, A., Flintsch, G., Roosevelt, D., Decker, R., Wambold, J. C., and Nixon, W.: Feasibility of Using Friction Indicators to Improve Winter Maintenance Operations and Mobility, NCHRP Web Document 53 (Project 6-14): Contractor's Final Report, 2002
- 9) Baard Nonstad: The use of friction measurement techniques in winter maintenance in Norway, 11th International Winter Road Congress, CD-ROM, 2002
- 10) 小野田光之: 路面のすべり, アルファルト第46巻第214号, ISSN0912-0793, pp.3-10, 2003
- 11) Hosking, J R and Woodford, G C: MEASUREMENT OF SKIDDING RESISTANCE. PART 1: GUIDE TO THE USE OF SCRIM, Transport and Road Research Laboratory, Report Number: TRRL LR 737, 1976
- 12) 花塚泰史, 森永啓詩, 若尾泰通: センシングテクノロジータイヤによる路面状態判別—冬季道路管理への活用—, 雪氷研究大会(2009・札幌), 2009
- 13) 藤本明宏, 渡邊洋, 福原輝幸, 武士俊也, 小林一治, 宮崎長生, 小川明子, 浅野基樹: MASS車によるすべり摩擦と道路雪氷との関係, 日本雪工学会誌 Vol.23No.4(Ser.No78), pp.26-35, 2005

- 14) 塚田悟之, 上田真紀, 高橋正起: プローブ情報を活用した安全運転支援システムの開発—積雪寒冷地域のスリップ地点を対象として, 第39回土木計画学研究発表会(春大会), CD-ROM, 2008
- 15) Taisto Haavasoja and Yrjö Pilli-Sihvola: Friction as a Measure of Slippery Road Surfaces, 15th SIRWEC conference, CD-ROM, 2010
- 16) Nuerasimuguli Alimasi, 高橋修平: 光学センサーを用いた路面凍結検知計開発の研究, 北海道の雪氷第28号, 2009
- 17) 渡邊直樹, 榎本浩之, 館山一孝, 山本朗人, 田中聖隆, 高橋修平, 岩本明子, 佐々木亮介, ヌアスムグリアリマス: マイクロ波放射計を用いた路面状態自動判別システムの開発, 雪氷73巻4号, pp.213-224, 2011
- 18) 切石亮, 徳永ロベルト, 高橋尚人: 冬期路面状態評価手法の比較試験について, 寒地土木研究所月報第702号, pp.50-55, 2011
- 19) Transportation association of Canada: Winter maintenance performance measurement using friction testing, 2008

AN INTERNATIONAL COMPARISON STUDY ON QUANTITATIVE EVALUATION METHODOLOGY OF WINTER ROAD SURFACE

Budgeted :	Grants for operating expenses General account
Research Period :	FY2009-2011
Research Team :	Cold Region Road Engineering Research Group, Traffic Engineering Research Team
Author :	WATANABE Masayoshi TAKAHASHI Naoto TOKUNAGA Roberto KAWABATA Yuichi KIRIISHI Makoto TAKADA Tetsuya

Abstract: Road surface friction, which directly affects the motion and control of vehicles, are used as an index to evaluate road surface conditions for winter road management in some Western countries. However, the measuring equipment, principles and procedures used for this purpose vary from country to country, making it difficult to simply compare the test results and winter road services of different countries. In order to study the feasibility of introducing friction values as an index for winter road management in Japan, we performed a comparison test using various types of measuring device; for example, a locked-wheel friction tester (LWFT), a continuous friction tester (CFT), an accelerometer and an infra-red device on different types of winter road surfaces made artificially on a test track. Based on the test results, the characteristics of the measuring devices and the relationships linking them were examined. This report presents the results of comparative testing conducted from FY2009 to FY2011 and discusses the feasibility of friction usage to evaluate or compare winter road maintenance services between Japan and different countries.

Key words: road surface friction, friction measurement devices, comparison studies