

戦-78 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

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：寒地交通チーム

研究担当者：高橋尚人、徳永ロベルト、切石亮、
高田哲哉、大日向昭彦

【要旨】

我が国における定量的冬期路面評価手法の研究開発にあたっては、先進欧米諸国の評価手法を参考にすることが極めて重要と考えられる。その際、採用されている原理、手法、機器、測定条件、評価結果の活用方法などは各国で異なることから、これらの状況を調査し実証試験を行うなどの比較研究を行うことにより、我が国の気象・道路管理などに適合した評価手法の確立に資するものである。

キーワード：すべり抵抗値、冬期路面管理、定量的評価、計測機器

1. はじめに

冬期路面管理の評価にあたっては、すべり摩擦係数等の定量的な指標を用いることが欧米諸国にみられる。そして、定量的評価技術の発展に伴い、近年は“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。しかしながら、使用される計測機器、計測原理、計測方法等は各国により異なることから、その試験結果や冬期道路サービスを単純比較することはできない。我が国の気象・道路管理など地域特性に合致した冬期道路管理水準・サービス水準を研究開発していく上で、各国の冬期路面管理手法との比較検討は極めて重要である。そのため、各国の試験、測定手法及び活用方法を特徴を十分に理解し、国際的に比較可能な定量的な路面管理水準について認識することを通じて、我が国の特性に合致した評価手法につなげることが肝要である。

このような背景のもと、本研究課題では以下の4項目について研究を実施した。

- 1) 各国における計測試験実施方法及び試験結果データの共有 (H21～22)
- 2) 各国の評価手法の活用例の比較 (H21～22)
- 3) 測定時に必要な仕様 (測定条件) の検討及び実証試験 (H21～23)
- 4) 国際的に比較可能でなおかつ我が国の特性に合致した定量的な路面評価手法の確立 (H23)。

なお、平成 22 年度研究は、過年度に引き続き、上述の 1)～3)に関連して、各国における定量的冬期路面評価に関する計測試験実施方法や評価手法について調査すると

ともに、苫小牧寒地試験道路において各種機器を用いて計測試験を行った。

2. 冬期路面状態の定量的評価手法

1) タイヤ振動・車両挙動等による路面状態の評価

近年、車両の電子制御技術は高度化し、走行状態を監視するセンシングデバイスが数多く搭載されている。タイヤの振動や、タイヤにかかる微細な荷重や車両の挙動から路面状態を判別する研究開発が進められている。

以下に、国内外での取組状況について調査した結果を整理して述べる。

藤本ら¹⁾は、MASS 車 (MASS : Multi-Axial Sensing System) を用いた摩擦係数計測に取り組んでおり、MASS 車は、車両の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センサで、路面のすべり摩擦係数を精密かつリアルタイム (0.1ms 間隔) に計測することが可能である。MASS 車は高い分解能を有し、試験研究での使用に適するが、特殊な機構を有する高価な装置のため広く実務に導入するには適さない旨が報告されている。

(株)ブリヂストンでは、タイヤの振動の波形から路面状態を決定するセンシングテクノロジータイヤの研究開発に取り組まれている²⁾。

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 (図 1)、タイヤ内面に設置した加速度センサ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連続的に路面状態 (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) が判別される。

平成 20 (2008) 年冬期に北海道士別市で検証試験を行った結果、試験期間中の平均率は 74%で、冬期道路管理への適用可能性を見出した旨が報告されている。出力が定量的なデータではないが、今後の改良と精度向上が期待される技術である。

日産自動車㈱では、積雪寒冷地におけるスリップ事故の低減を目的としたスリップ地点情報提供システムの検証を北海道において実施している³⁾。これは、道路上を走行する車両をプローブカーとみなし、ABS の作動情報を時刻や位置とともにサーバーに送信し、サーバーから周辺を走行する車両に、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である (図 2)。実験は、日産自動車㈱のカーナビゲーションのカーウイングス会員の中からモニターを募り、約 100 名のモニターを対象に平成 19 年 12 月から実証実験を行っている。その結果、一冬期間で約 3,500 件の ABS 作動情報がサーバーに蓄積された。契約ユーザーにのみ配信される情報であり、また、ABS が作動した理由として、路面のすべりやすい状態によるものとは限らないが、リアルタイム的な情報発信はドライバーに注意喚起する効果があり、更に、モニター数が増えてデータが蓄積されることで、すべりやすい路面状態をより正確にとらえられる可能性がある。

Dinkel ら⁴⁾も、車両をフローティング・カー (プローブカー) とし、ワイパー、ヘッドライト、ABS の情報を収集する XFCD (extended Floating Car Data) を用いて、路面状態をより正確に把握するプロジェクトを 2007 年から開始している。しかしながら、基本的な概念が示されただけであり、具体的な成果には至っていない。

水野ら⁵⁾は、GPS と車両運動センサー (SR センサー) を搭載した車両から得られた車両運動データを用い、摩擦係数と相関性を有する変数による統計的モデルを用いてすべり摩擦係数の推定を行った。収集した 20 変数の車両運動データのうち、すべり摩擦係数と相関の高い前後方向加速度、横方向加速度、上下方向加速度、回転角速度、前後輪スリップ比の 6 変数を入力値とし、多層型ニューラルネットワークモデルにより、すべり摩擦係数の推定を行った結果、前後方向の最大加速度をトリガーとした場合においても十分な決定係数が得られなかった。さらに、主成分分析により 10 主成分のスコア値から形成されるデータを多層型ニューラルネットワークモデルにより解析することで、既存の解析的モデルと同程度の精度 (決定係数≒0.7) が得られた。しかし、決定係数 0.7 が、実務において十分な精度を有するか不明であること、

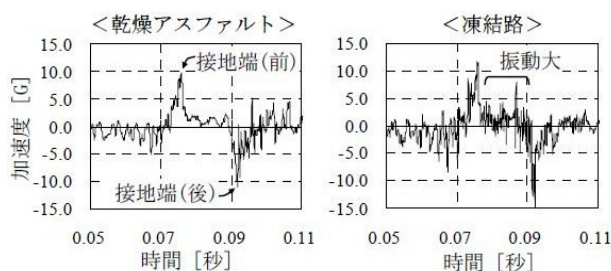


図 1 タイヤトレッド内面周方向波形例



資料 : <http://www.nissan-global.com/JP/SAFETY/ITS/HOKKAIDO/>

図 2 スリップ地点情報提供システム概要図

加速時と減速時にすべり摩擦係数を出力したが、郊外の平坦な単路部などを走行している場合には閾値 (トリガー) 以上の最大加速度が発生しない可能性があることから、より低い閾値で、より高い精度が得られるモデルの改善が期待されている。

鈴木ら⁶⁾は、走行中の車両から速度、ABS (アンチロックブレーキシステム) や TCS (トラクションコントロールシステム) などの安全装置の作動情報、外気温などを GPS による位置情報、時刻と合わせて移動体通信網を経由してサーバーに収集し、収集した情報の分析を行ってすべりやすい箇所の抽出を行っている。前後車輪速度差からタイヤのスリップ率を計算し、スリップ率の変化の状況を GPS で位置を測定し、それらの関係から、路面のすべりやすい箇所を推定する手法である。スリップした場所 (実際に ABS が作動した箇所) とスリップしやすい場所 (当該手法によって抽出された箇所) に関する情報は、インターネット上の専用ホームページに公開され、一般道路利用者の注意を喚起する社会実験 (秋田つるナビ社会実験) を行っている (図 3)。

これは、日産自動車㈱の取組と同様に、道路利用者への注意喚起効果が高いと思われるが、本手法によって抽出された箇所のすべり摩擦係数の計測による検証は行わ

れておらず、冬期道路管理への導入可能性は不明である。

現在、車両自体をセンサとして路面状態を把握する取り組みは、車両の挙動データを精密に測定できる特殊な車両を必要とする。また、路面状態の判別精度の検証が不十分であるため、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。車両は走行しながら各種デバイスによって走行状態を監視し、走行環境をモニタリングしながら車両を制御しているため、今後、汎用性のある技術開発が進み、それらのデータを冬期道路管理に活用していくことが期待される。

2) 非接触センサを用いた計測装置

Saarikivi ら⁷⁾は、スリップ事故の多い地点や管理者が見落としがちな地点を抽出する Cold Spot プロジェクトの一環として、車両にパイサラ社の光学式の路面状態センサと路面温度センサを設置した車両を用い、摩擦係数計測と路面温度モニタリングを実施した(図4)。過年度紹介した TWO によるすべり摩擦係数と比較した結果、良好な相関が得られ、これらのセンサを使用することで Cold Spot の検出が可能であると報告している。しかし、どのようなアルゴリズムで光学センサからすべり摩擦係数を求めるのか明らかになっていないため、現時点では、冬期道路管理への導入可能性を検討することはできない。

3. 寒地試験道路における比較試験

現在、日本国内においては、路面状態を把握する新たな技術の開発が進められているが、その正確性や既存の技術との関係が不明な点が多いことが指摘されている⁸⁾。

そのため、本研究では、過年度に引き続き日本の道路分野におけるすべり摩擦係数の標準的な計測装置である「路面すべり測定車」⁹⁾、「連続路面すべり抵抗値測定装置」、「車両運動測定車(加速度計CORALBA)」等を用いてこれらの特性と相関を把握することを目的として比較試験を行った。また、計測試験実施方法及び試験結果データ共有のため、国内の民間会社や他機関が所有する計測機器も当該試験に参画した。具体的には、パイサラ社製の「光学式路面状態センサ及び三菱電機特機システム社製「マイクロ波放射式路面状況センサ」を用いた。なお、これらによる計測データの結果は精査中であり、平成23年度中実施予定の、国際的に比較可能なおかつ我が国の特性に合致した定量的な路面評価手法の検討・取りまとめにおいて活用する予定である。

3.1 試験に用いた計測機器

3.1.1 路面すべり測定車

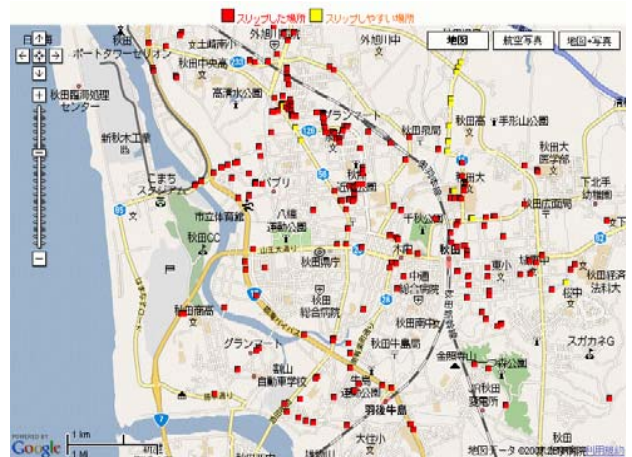


図3 路面凍結地点の表示例



図4 パイサラ社のセンサを搭載した車両



図5 路面すべり測定車(LWFT)(左:全景、右:試験輪)

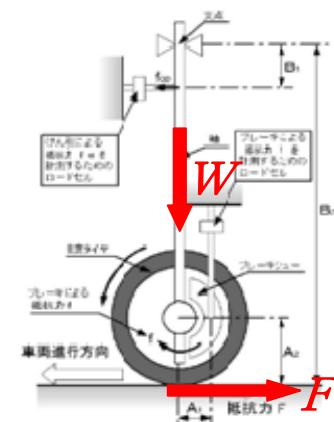


図6 LWFTの測定装置概要及び原理

路面すべり測定車 (Locked-Wheel Friction Tester : LWFT) は、バス型の車体に通常の走行用タイヤの他に測定輪を設けている (図5)。路面と測定用タイヤ間のすべり摩擦係数 (μ) は車両を走行させた状態で、測定輪にフルロック制動を掛けることで発生する抵抗力から算出される (図6)。

なお、LWFTでは測定用の標準タイヤが設定されていることから、本試験においては、冬期路面測定用標準タイヤに選定されているスタッドレスタイヤ¹⁰⁾を使用した。

3.1.2 連続路面すべり抵抗値測定装置

連続路面すべり抵抗値測定装置 (Continuous Friction Tester : CFT) は、乗用車の車体後方に測定輪を接続する構造である (図7)。測定輪は車両の進行方向に対し1°程度 のトー角が与えられている。路面と測定用タイヤ間のすべり抵抗値 (HFN) は、車両および装置の進行に伴って測定輪に発生する横力から算出される (図8)。

3.1.3 車両運動測定車 (加速度計CORALBA)

加速度計CORALBAを搭載した車両運動測定車 (図9) は、急制動をかけることにより、その時に得られる加速度 (減速度) を測定し、すべり摩擦係数を求める。

この加速度計は海外製であるが、車両設置が容易な機器である。しかし、急制動後、車両が停止するまで測定する必要があり、実道での測定には支障を来す可能性がある。

3.2 すべり計測に関する比較試験

平成23年1月19日～26日の間の3日間、寒地土研所有の苫小牧寒地試験道路 (図10、11) にて試験を行った。試験では、試験路の直線部分に設けられた乾燥、湿潤、圧雪、氷膜および氷板の路面上 (図12) を各試験車両が順次走行した。

なお、乾燥路面は細粒度ギャップアスコンによる舗装路面、湿潤路面は乾燥路面に散水した路面、圧雪路面は舗装上に厚さ約15cmに敷きならした雪の上を300台の通過車両を走行させた状態の路面、氷膜路面は湿潤路面を凍結させた路面、氷板路面は舗装上に厚さ約15cmの氷板を作製した路面である。

LWFT、CFT およびCORALBA測定車の走行速度は40km/hとして各路面状態の計測を行った。

計測項目は、 μ 、加速度計の加速度、HFN、BPN、気温、路面温度および時刻とした。試験時の気温は-11.8℃～4.1℃、路面温度は-5.7℃～5.6℃であった。



図7 連続路面すべり抵抗値測定装置 (CFT)
(上：全景、下：測定輪)

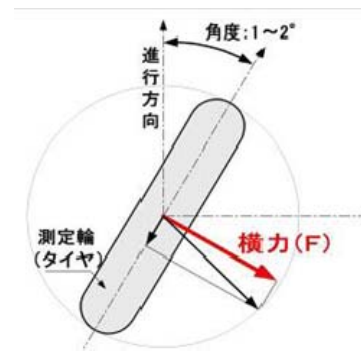


図8 CFT の計測概念図



図9 加速度計CORALBA



図10 苫小牧寒地試験道路

3.3 試験結果

LWFT と各計測機器の計測値は、概ね路面状態毎に分かれた結果となった(図13)。また、近似式より決定係数(R^2)が0.8以上と、LWFT と各計測機器の計測値は良好な相関が得られていることが判り、各機器の測定値の信頼性を確認できる結果となった。

また、LWFT の計測値を1とした場合、CFT の計測値は1.2及び加速度計の計測値は0.8の関係となっている。即ち、LWFT と比べて、加速度計による計測値の変動範囲が小さい反面、CFT による計測値の変動範囲は大きい。このことから、本研究に用いた計測機器の中で、CFT が様々な路面状態を最も詳細に計測できると考えられる。

4. まとめ —今後に向けて—

今後とも、各種計測機器の比較試験や各国の計測試験実施方法及び試験結果について整理分析することなどを通じて、国際的比較に対応可能で、なおかつ我が国の特性に合致した定量的な路面評価手法の研究開発を引き続き取り組んで行く考えである。

参考文献

- 1) 藤本明宏他: 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. 23-No. 4、(Ser. No78)、pp. 26-35、2005年。
- 2) 花塚泰史他: 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、札幌、2009年。
- 3) 塚田悟之他: 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、CD-ROM、2008年
- 4) Alexander Dinkel, Axel Leonhardt, Horst Badelt: FUSION OF XFCD AND LOCAL ROAD WEATHER DATA FOR A RELIABLE DETERMINATION OF THE ROAD SURFACE CONDITION, 14th Intl. Road Weather Conference, CD-ROM. 2008年
- 5) 水野秀樹他: 車両運動データに基づいた冬期路面状態推定のための統計的モデル、土木計画学研究・講演集 Vol. 34、CD-ROM、2006年。
- 6) 鈴木理他: プローブデータを用いた車両スリップの検知に基づく路面凍結情報提供システムの構築、土木計画学研究・講演集 Vol. 35、CD-ROM、2007年
- 7) Pirkko Saarikivi, Marjo Hippa, Pertti Nurmi and Jussi Sipilä: Observing the variability of road and weather conditions with hybrid mobile and fixed sensors, 14th Intl. Road Weather Conference, CD-ROM. 2008年

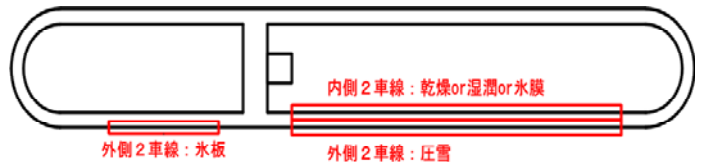


図11 試験コースの設定



図12 試験状況

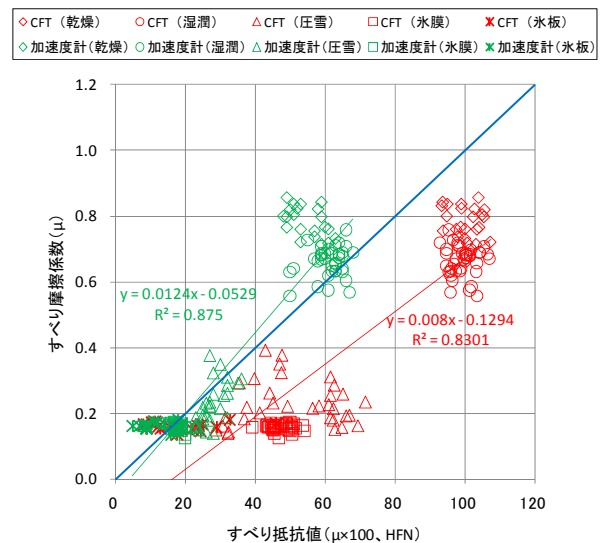


図13 比較試験結果の一例

- 8) 福原輝幸: 連続滑り抵抗測定車による路面雪氷と滑り摩擦に関する研究、平成20年度TC研究助成成果報告書、pp. 21-24、2009年。
- 9) 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、2002年。
- 10) 財団法人高速道路調査会 路面すべり測定標準タイヤ研究検討会: 冬期路面すべり測定用標準タイヤ仕様に関する検討報告書、2000年。