

戦-47 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）

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】

各国により異なる定量的な冬期路面状態の評価手法の計測機器、計測原理、計測手法やその活用方法を比較検討するとともに、測定時に必要な仕様（測定条件）についての検討、実証試験の実施により、我が国の特性に合致した定量的冬期路面評価手法の確立に向けた検討を行う。

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

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が、冬期路面状態を定量的に評価する技術の発展に伴い、近年、“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合致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、その前段として各国の試験、測定手法及び活用方法を比較し、国際的に比較可能な定量的な路面管理水準等について認識するとともに、我が国の特性に合致した評価手法の検討が必要である。

このような背景のもと、本研究課題では以下の4項目についての研究を実施する。

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)。

平成 21 年度は、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

北欧諸国（フィンランド、ノルウェー、スウェーデン、アイスランド）では路面のすべり摩擦係数等を冬期道路管理に用いており、これ以外の国や機関においても路面のすべり摩擦係数等を計測する技術に関する研究や実証試験が行われている²⁾。しかしながら、各機関の使用機器や測定原理が異なっていることから、冬期道路管理サービスの比較・評価が難しい³⁾。そのため、日本において路面のすべり摩擦係数等を活用した冬期道路管理サービス水準の検討を行うためにも、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重要である。

路面のすべり摩擦の計測機器は、各国において各種の機器が使われているが、大まかに5種類の方式に分けられる。すなわち、ブレーキを掛けた車両の減速測定、車輪のフルロック、一定のすべり角、固定すべり率、可変すべり率による計測機器がある。

車両の減速測定では、北欧の冬期道路管理において路面すべり摩擦係数の把握に利用されている加速度計（減速度計）がある（写真-1）。この方法の利点は、使用が簡単であって、比較的安価であるということである。しかしながら、以下に示すような欠点がある。

- ①測定者や搭載車両の影響
- ②測定箇所が限定される（点での測定）
- ③道路の傾斜の影響

スウェーデンでは道路管理者が加速度計を搭載した車



写真-1 加速度計（減速度計）

両を定期的にBV11、サーブフリクションテスター、またはBV14に対してキャリブレーションを必要としている。

測定輪のフルロック方式では、米国では、40以上の州によって一般的なすべり摩擦試験に使用されているが、冬の試験は行われていない。日本では、標準の計測装置としてバス型試験車が使われているが、高額のため主に研究目的に使われている。

一定のすべり角を持つ装置としては、SCRIM(Sideway force Coefficient Routine Investigation Machine)とRT3 (Real Time Traction Tool)ユニットなど、一定のすべり角を与えられた自由に回転する測定輪に作用する横方向の力として路面すべり摩擦を測定する。イギリスで使用されているSCRIMの場合では、測定輪は前輪と後輪の軸の間にあり、スリップ角は20度である。RT3はトラックの車台に付けられるか、または牽引車の後ろで牽引できる測定輪を使用し、スリップ角は1度程度である。冬期の道路維持管理作業の意志決定や効果の把握に使用される。米オハイオとヴァージニア州DOTでは、現場で使用されており、ユタ、ワイオミングDOTとオンタリオMOTの研究プロジェクトで使用されている。一定のすべり角の装置の利点は、連続測定が可能で、タイヤの摩耗が少ないことがあげられる。

固定すべり率の装置は、通常、10~20%のすべり率の間で操作される。フィンドライアーバイン株式会社によってイギリスのために開発されたEnglish GripTesterは、固定すべり率トレーラのひとつで、イギリスで広く使用されている。スウェーデンで使われている、BV11、BV14、およびサーブフリクションテスター(SFT)は、固定すべり率の装置である。米ミネソタDOTはEnglish GripTesterとBV14の試験をしている。Pon-Cat Traction Watcher One(TWO) (写真-2)も固定すべり率装置のひとつである。この装置には2個の試験輪があり、すべり摩擦は、より遅い試験輪の抵抗で発生する力から計算される。ASFT T2Go(写真-4)は小さいタイプの固定すべり率装置であり、歩道や横断歩道での摩擦係数計測装置として期



写真-2 TWO



写真-3 ASFT T2Go⁴⁾

待されている装置で、すべり摩擦データとGPSデータを同時に記録することができる。固定すべり率装置の利点は、連続測定が可能で、最適な制動摩擦を選択できタイヤの摩耗を最小にすることができることである。

可変すべり率の装置では、ノルウェーで一般的に使用されるROAR(写真-4)は可変すべり輪を持つ連続測定装置である。ROARは、被牽引車内に水タンクを搭載しており、冬期だけではなく夏期も単体ですべり抵抗値が計測可能である。すべり抵抗値は、測定輪のすべり率によって測定を行うもので、すべり率は自由(0~100%制動)に変えられる。この機器は、他の冬期路面管理の測定装置のキャリブレーション装置や事故調査にも使用されている。



写真-4 ROAR Mk III⁵⁾

これまで述べた機器のほとんどは、特殊な専用車・専用タイヤを使用することや計測車両が高額なことなど、我が国での路面管理へ導入するには課題がある。

その他として、赤外線ビームによる非接触式のVaisala センサが開発され、研究されているが、これによるすべり摩擦は、実際に観測されたすべり摩擦と良い相関が得られておらず、更なる研究が必要とされている。

米国において開発されオハイオなどで実務に導入されているRT3(連続路面すべり抵抗値測定装置(CFT))は、その使いやすさや低コストという優位性から、冬期道路管理への導入が期待され、当研究チームでデータ測定お

よび各種分析を実施しているところである。

3. 寒地試験道路における比較試験

日本の冬期路面管理に導入可能な技術が開発され、また国内においても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⁶⁾。

そこで、本研究では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」⁷⁾、「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VC-3000)」、ポータブルスキッドテスト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。

3. 1 試験に用いた計測機器

3. 1. 1 路面すべり測定車

写真-1 に示すように、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。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-1)。

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⁸⁾を使用した。



写真-5 路面すべり測定車 (LWFT)
(左：全景、右：試験輪)

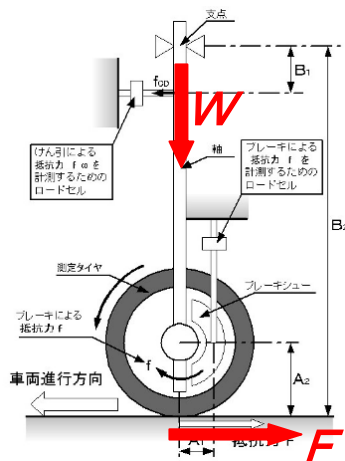


図-1 LWFT 測定概要

3. 1. 2 連続路面すべり抵抗値測定装置

写真-6 に示す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。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-2)。



写真-6 連続路面すべり抵抗値測定装置 (CFT)
(上：全景、下：測定輪)

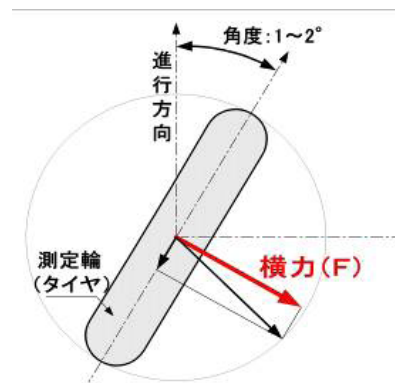


図-2 CFT の計測概念図

3. 1. 3 車両運動測定車(加速度計VC-3000搭載)

写真-7に示す加速度計VC-3000搭載を搭載した車両運動測定車は、急制動をかけ、そのときに得られる加速度(減速度)を測定することによりすべり摩擦係数を求める。

この加速度計は海外の加速度計であり、車両設置が容易な機器である。しかし、この加速度計は急制動後、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。



写真-7 加速度計VC-3000

3. 1. 4 ポータブルスキッドテスタ

写真-8 に示すポータブルスキッドテスタ (PST) は、エネルギー保存の法則を用いたもので、英国で開発された。手軽に路面の摩擦係数を測ることができるので広く使われている。

測定方法は、ゴムのスライダーを取り付けた振り子を所定の高さから振り下ろし、振り子が路面を擦って振り上がる高さを読み取る。

得られた値は、BPNという単位で表され、この値を100で割った値が40km/hでのタイヤと路面のすべり摩擦係数を表す。



写真-8 ポータブルスキッドテスタ

3. 2 比較試験

平成22年1月18日～2月3日の間、CERI所有の苫小牧寒地試験道路 (写真-9) 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-3) 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 および車両運動測定車の走行速度は40km/h とし、CFT は20km/h、40km/h、60km/h および60km/h 以上の4種類に変化させ、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-16.9℃～4.9℃、路面温度は-9.2℃～6.8℃であった。



写真-9 苫小牧寒地試験道路

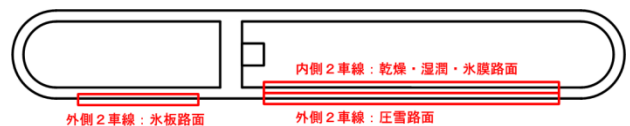


図-3 試験コース設定



写真-10 試験状況

3. 3 試験結果

図-4 に試験結果例を示す。この図において、縦軸は、LWFT で測定されたすべり摩擦係数を、横軸には各計測機器で測定されたすべり摩擦係数等を表示した。この図は、LWFT で測定されたすべり摩擦係数 μ (BF) に対する各計測機器の測定値 (CFT (HFN)、加速度計 (μ)、PST (BPN)) となっており、対角線上にデータがプロットされている場合は、路面すべり測定車と 1 対 1 の関係があることを示す。

この図より、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。また、近似式より決定係数 (R^2) が 0.8 近くと、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わかる。各機器の測定

値の信頼性を確認できる結果となった。

なお、すべり摩擦係数等が小さい領域での信頼性が、冬期路面評価にかかわるものと思われるが、すべり摩擦係数が約 0.5 より小さい領域において各機器の計測値のばらつきを見ると、CFT が他の機器に比べ小さくなっている。このことから、今回試験した計測機器の中ではCFTの信頼性が高いことを示しているものと思われる。

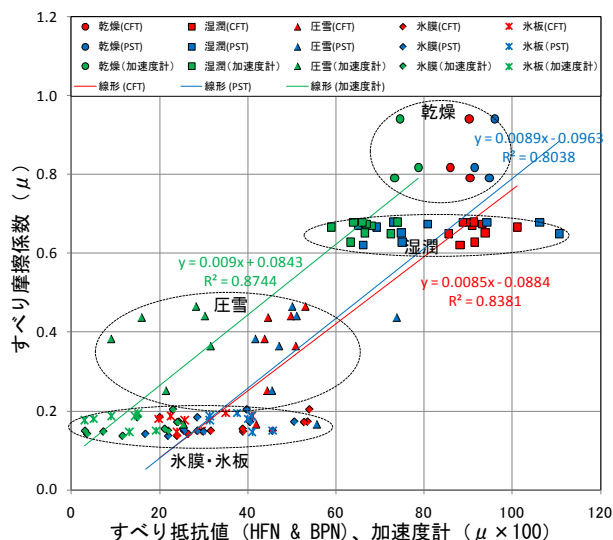


図-4 比較試験結果の一例

4 今後の課題

今後も各国における計測機器や計測手法に関する情報収集を行うとともに、検証試験を継続し、データの蓄積および検証を行う。また、CFT、LWFT、それら以外の新たな計測機器を加えて比較を行い各機器の特性（正確性、相関性）を明らかにし、冬期路面状態の評価技術向上ならびに測定手法の確立を図りたい。

参考文献

- 1) Transportation Association of Canada : Winter Maintenance Performance Measurement Using Friction Testing, 2008.9
- 2) The World Road Association(PIARC) : Snow & IceData book Edition 2006, 2006.3
- 3) 徳永ロベルト, 舟橋誠, 高橋尚人: 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, 第 25 回 (平成 20 年度) 北海道開発技術研究発表会, 2009.2
- 4) ASFT (<http://www.asft.se/>)
- 5) Norsemeter Friction AS (<http://www.norsemeter.no/>)
- 6) 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, 2009.6

7) 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, 2002.11

8) 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, 2000.11

INTERNATIONAL COMPARISON RESEARCH ON QUANTITATIVE WINTER ROAD EVALUATION TECHNIQUE

Abstract : In this research, Traffic Engineering Research Team performs researches on technological developments to improve the efficiency and effectiveness of winter road management, to secure road safety and mobility in cold, snowy regions. In winter road maintenance, it is important to distinguish road surface conditions. It needs to determine conditions in objective and quantitative manners. The team performs research on the comparison of friction measuring devices on snowy/icy roads.

Key words : friction, winter road surface management, quantitative evaluation, measuring device