

冬期路面管理におけるすべり抵抗値の導入可能性について

—すべり抵抗値計測装置の比較試験—

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○切石 亮
徳永 ロベルト
高橋 尚人

我が国では、冬期路面管理の一環として凍結防止剤や防滑材の散布を行っているが、その意思決定の基となる路面状態の評価は主観や経験に基づいている。このような中、諸外国では定量的な指標であるすべり抵抗値を冬期路面管理の指標として導入している国がある。筆者らは、我が国の冬期路面管理におけるすべり抵抗値の導入可能性について検討を行うため、我が国及び諸外国で使用されている計測装置を用いて比較試験を行った。本稿では、その結果について報告する

キーワード：冬期路面管理、すべり抵抗値

1. はじめに

積雪寒冷な地域では、冬期の降雪や気温の低下により路面状態が悪化し、道路交通機能が低下する。そのため、道路管理者は、凍結防止剤や防滑材の散布を恒常的に実施し路面状態の保持に努めているが、その意思決定は目視判断に基づいて行われているため、判断ミスによる過剰作業や要注意箇所の見落としが生じている可能性がある。

このような中、欧米諸国では車両の運動・制御に直接的な影響を及ぼす路面のすべり抵抗値を路面状態の評価指標として冬期路面管理に用いている例¹⁾がある。当研究所では、我が国の冬期の路面管理において目視判断を補完する技術として、すべり抵抗値の導入可能性を検討するため、我が国及び諸外国で使用されている計測装置を用いた試験研究を行っている。本稿では、冬期路面管理に関する国内外の既往の取組み及び平成21年度冬期に実施した計測装置比較試験の結果について述べる。

2. 既往の取組みについて

(1) 我が国における冬期路面管理の現状

我が国における冬期路面管理では、「圧雪、シャーベット、湿潤」等の路面分類^{1), 2)}に基づく管理が行われている(表-1)。なお、路面状態は道路巡回時や沿道のCCTVカメラ画像から目視で判別する方法を採用している。しかし、路面状態の目視判別は、判断者の主観や個人の経験による影響³⁾を受け、また、目視による路面分類は

表-1 札幌市の冬期道路管理基準

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

定性的な評価であるため、冬期路面管理と道路交通特性の因果関係が不明確なため、冬期路面管理の効果・有効性を定量的に評価することができない。

(2) 諸外国におけるすべり抵抗値の活用状況

欧州では、フィンランド、ノルウェー、スウェーデン、アイスランドで既に冬期路面管理にすべり抵抗値を導入し、気象、時間帯、道路区分、交通量と併せた基準を設定している(表-2)⁴⁾。以上の国では、主に加速度計が使用されている。また、これらの国では、道路管理を民間委託しており、請負業者の監督・道路管理の評価にすべり抵抗値を活用している。

一方、北米の幾つかの積雪寒冷な州でもすべり抵抗値の計測を行っているが、露出路面管理⁵⁾を原則としているため、詳細なしきい値は設定していない。測定方法に統一性はないが、これは露出路面であるか否かの判定が主目的であるためと考えられる⁶⁾。すべり抵抗値の計測結果は、作業意思決定、冬期道路管理の評価(コスト縮減・業績測定)及び道路利用者への情報提供に活用されている。

表-2 フィンランドの冬期路面管理基準

冬期維持管理等級	Is	I	Ib	II	III
通常	0.30	0.28	0.25	交通ニーズによる	交通ニーズによる
摩擦基準	路面温度 -6℃以下 0.25	路面温度 -4℃以下 0.25	砂のスポット 散布 0.25 線状処理 0.22		
夜	22時-05時 0.28	22時-05時 0.25	22時-05時 必要に応じて	22時-06時 必要に応じて	22時-06時 必要に応じて



写真-1 路面すべり測定車 (LWFT)

(3) 既往研究のレビュー

舟橋ら⁷⁾は、平成17年度にすべり摩擦係数を計測する我が国の標準機器である「路面すべり測定車 (以下LWFT)」 (写真-1) と北欧諸国の実務に用いられている「加速度計」 (写真-2) を使用して圧雪及び氷板における比較試験⁷⁾を実施した。試験の結果、LWFTと加速度計の間に良好な相関は認められなかった。理由として、圧雪の性状によって計測値にばらつきが生じたと考えられたため、更なる検討が課題とされた。

また、舟橋ら⁸⁾は平成18・19年度にLWFT及び走行しながら連続測定が可能な「連続路面すべり抵抗値測定装置 (以下CFT)」 (写真-3) を使用して乾燥、圧雪及び氷板で両装置の比較試験⁸⁾を行った。試験の結果、LWFTとCFTの計測値には良好な相関関係が認められ、冬期路面管理におけるCFTの有用性を確認したが、その他の路面状態 (湿潤・氷膜等) も含めた比較データを更に蓄積し、各路面状態におけるすべり抵抗値の再現性等に関する検証が課題とされた。

更に、切石ら⁹⁾は平成20年度に我が国においてCFTに使用する測定用タイヤを選定するため、CFT初期タイヤ (米国製) と日本国内で一般的に使用されている冬用タイヤ (写真-4) を用い、LWFTとの比較試験を行った。試験の結果、LWFTとCFTの計測値の相関関係は初期タイヤ、冬用タイヤともに良好だったが、初期タイヤを装着した場合の方がすべり抵抗値の変動幅が大きく、路面状態の変化を敏感に捉えたことから、CFTの測定用タイヤには、初期タイヤ或いは同等のタイヤを使用するのが望ましいとした。



写真-2 加速度計



写真-3 連続路面すべり抵抗値測定装置 (CFT)



写真-4 CFT 測定用タイヤ

(左: 初期タイヤ、右: 冬用タイヤ)

3. 平成21年度冬期の計測装置比較試験について

本研究では、既往研究の結果・課題を踏まえ、CFTの有用性とすべり抵抗値の再現性を検証するため、路面状態を5種類 (乾燥、湿潤、圧雪、氷膜及び氷板) に増やした。また、冬期路面管理におけるすべり抵抗値を用いた基準設定の検討に資するため、LWFT、CFT及び欧州の冬期路面管理において使用されている加速度計を用いて比較試験を行った。

(1)計測装置

表-3に本試験で使用した計測装置の主な特徴を示す。

a)路面すべり測定車 (LWFT)

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-2)。なお、LWFT に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¹⁰⁾を使用した。

b)加速度計

加速度計による路面のすべり摩擦係数の計測方法は、加速度計を搭載した車両に急制動をかけ、その時に得られる負の加速度 (減速度) を計測することにより急制動時のすべり摩擦係数が算出される (図-1)。なお、加速度計搭載車両では、市販のスタッドレスタイヤを使用した。

c)連続路面すべり抵抗値測定装置 (CFT)

本試験において使用したCFTは乗用車の車体後方に測定装置を接続する構造である。CFTによる路面のすべり抵抗値の計測方法は、試験輪を車両の進行方向に対して1~2度程度の角度を与えることにより、試験輪の回転時に生じる横力からすべり抵抗値 (HFN) を連続的に算出する装置である (図-3)。なお、CFTでは初期タイヤ同等品を使用した。

表-3 各計測装置の主な特徴

計測装置	速度による影響	測定の連続性	計測値の再現性	曲線部での計測
LWFT	有り	無し	良好	不可
加速度計	有り	無し	車両や運転者の影響あり	不可
CFT	無し	有り	良好	一定の曲線まで可



図-1 加速度計計測方法

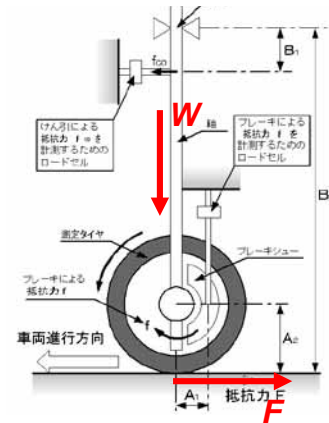


図-2 LWFT 計測原理

(2)試験概要

試験は2010年1月18日から2月3日までの期間の内6日間、寒地土木研究所所有の苫小牧寒地試験道路で試験を行った。表-4に各試験日における試験条件を示す。試験では、試験路の直線部分に設けられた各種の路面上 (図-4) を各計測装置で順次走行し、乾燥、湿潤、圧雪、氷膜 (約600m) および氷板 (約200m) におけるすべり抵抗値の計測を行った。路面状態は、乾燥は細粒度ギャップアスコンによる舗装路面、湿潤は乾燥に散水した路面、圧雪は舗装上に厚さ約15cm に敷きならした雪の上をタイヤローラや乗用車等を用いて転圧した状態の路面、氷膜は湿潤を凍結させた路面、氷板は舗装上に厚さ約15cm の氷板を作製した路面である。計測装置の走行速度は約40km/hとした。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。

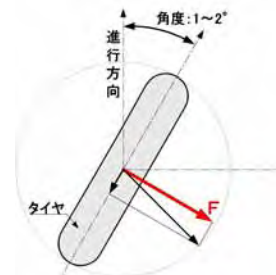


図-3 CFT 計測原理

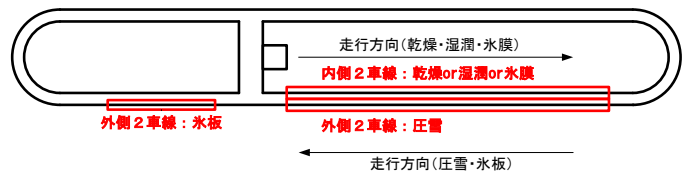


図-4 苫小牧寒地試験道路計測路面配置

表-4 各計測日の試験条件

試験日	2010/1/18	2010/1/20	2010/1/25	2010/1/26	2010/1/27	2010/2/3	
天候	晴	曇	曇	曇	曇	晴	
気温 (°C)	最高温度	0.7	4.9	1.9	-3.7	3.7	-6.5
	最低温度	-11.2	2.8	-4.7	-11.4	2.1	-16.9
	最高温度	1.9	3.5	2.3	0.9	6.8	1.4
路温 (°C)	最高温度	1.9	3.5	2.3	0.9	6.8	1.4
	最低温度	-5.2	1.5	-3.6	-6.6	1.9	-9.2
路面状態	湿潤・氷膜・圧雪・氷板	湿潤	湿潤・氷膜	氷膜・圧雪・氷板	湿潤	乾燥・氷膜・圧雪・氷板	

4. 試験結果

(1) 各計測装置における計測値

図-5、表-5に各種路面における計測値の箱ひげ図、基礎統計量をそれぞれ示す。箱ひげ図については、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。尚、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。

各装置で取得した合計サンプル数は、LWFT及びCFTではそれぞれ185個、加速度計では35個であった。各路面状態における各装置による計測値の標準偏差を計算したところ、氷膜・氷板におけるCFTの計測値の標準偏差がLWFT、加速度計と比較して大きな値となった。氷膜・氷板のすべり易さは、路温や氷の状態によって大きく異なるが、CFTは雪氷路面のすべり易さの違いを敏感に評価可能であることを示す結果となった。

(2) 各路面状態における計測値

各装置毎における路面状態別の計測値は、LWFTの場合、平均値（ $\mu \times 100$ ）が17から83の範囲で推移した。また、t検定を行った結果、氷膜・氷板間を除いて、その他の路面状態間に有意差が認められた。また、CFTの場合は、平均値（HFN）が29から91の範囲で推移した。t検定の結果は、乾燥・湿潤を除いて、その他の路面状態間に有意差が認められた。更に、加速度計の場合、平均値（ $\mu \times 100$ ）が17から52の範囲で推移した。t検定を行った結果は、乾燥・湿潤及び氷膜・氷板間を除いて、その他の路面状態間に有意差が認められた。

このことから、何れの計測装置においても路面状態が露出路面状態（乾燥又は湿潤）であるか、雪氷路面状態（圧雪又は氷膜又は氷板）であるかで、計測値が分かれる傾向が確認できた。その中でもCFTのみが雪氷路面状

態である圧雪、氷膜、氷板の各路面状態間の計測値に差があることが判った。

(3) 各計測装置の関係

図-6にLWFTに対するCFT、加速度計の相関図を示す。各装置間の相関関係は、LWFTとCFT間で決定係数 $R^2=0.85$ 、LWFTと加速度計間で決定係数 $R^2=0.73$ であり、前者の相関関係が後者より良好であった。また、近似式を用いてすべり摩擦係数及びすべり抵抗値の比較を行うと、LWFTの計測値が $\mu=0.3$ の場合、加速度計では $\mu=0.26$ 、CFTではHFN=47に相当することが判った。

5.まとめと今後の予定

本研究では、我が国の冬期路面管理におけるすべり抵抗値の導入可能性を検討するため、我が国及び諸外国で使用されている計測装置を用いて比較試験を行った。

本研究の結果、CFTは、多様な路面状態の評価が可能

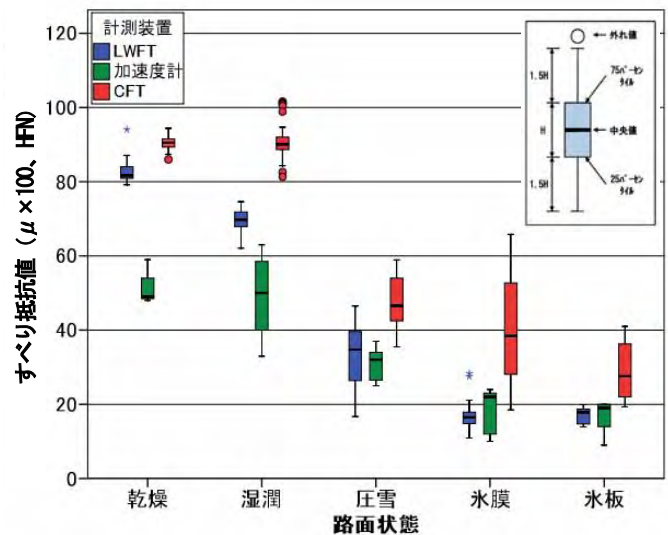


図-5 路面状態別計測値

表-5 基礎統計量

路面状態	乾燥			湿潤			圧雪			氷膜			氷板		
	計測装置 ($\mu \times 100$)	計測装置 ($\mu \times 100$)	CFT (HFN)	計測装置 ($\mu \times 100$)	計測装置 ($\mu \times 100$)	CFT (HFN)	計測装置 ($\mu \times 100$)	計測装置 ($\mu \times 100$)	CFT (HFN)	計測装置 ($\mu \times 100$)	計測装置 ($\mu \times 100$)	CFT (HFN)	計測装置 ($\mu \times 100$)	計測装置 ($\mu \times 100$)	CFT (HFN)
サンプル数	12	3	12	60	8	60	42	7	42	57	10	57	14	7	14
平均値	83	52	90	70	49	91	33	31	48	17	19	40	17	17	29
中央値	82	49	91	70	50	90	35	32	47	17	22	38	18	19	28
標準偏差	4.0	6.1	2.2	2.8	10.9	4.3	8.6	4.8	6.8	3.1	5.5	13.5	2.2	4.3	7.6
最大値	94	59	94	75	63	102	47	37	59	28	24	66	20	20	41
最小値	79	48	91	62	33	81	17	25	36	11	10	19	14	9	19
25パーセンタイル	81	49	89	68	40	89	26	27	43	15	12	28	15	14	22
75パーセンタイル	84	54	92	72	59	92	40	34	54	18	23	53	19	20	36
平均値+SD	87.0	58.1	92.2	72.8	59.9	95.3	41.6	35.8	54.8	20.1	24.5	53.5	19.2	21.3	36.6
平均値-SD	79.0	45.9	87.8	67.2	38.1	86.7	24.4	26.2	41.2	13.9	13.5	26.5	14.8	12.7	21.4

であり、冬期路面管理における路面状態の評価ツールとして活用可能であると言える。

また、本研究では、すべり抵抗値を用いた基準設定の検討に資するために加速度計との比較も行ったが、基準の設定には、基準値だけではなく、適用の区分や冬期路面管理における位置づけを含めた十分な検討が必要であり、今後もすべり抵抗値計測・収集・分析を継続的に進める所存である。

参考文献

- 1) Snow & Ice Databook 2010、PIARC Technical Committee B5、2010
- 2) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル（案）、1997.11
- 3) 高橋尚人、徳永ロベルト、舟橋誠：冬期路面状態の評価と管理手法に関する研究、土木学会安全問題研究論文集 Vol. 3、pp.17-22、2008
- 4) 舟橋誠、高橋尚人、浅野基樹：フィンランドの冬期道路維持管理における性能規定書の概要と運用の実態、第49回北海道開発局技術研究発表会、2006.2
- 5) Liping Fu and Feng Feng：Probabilistic Models for Discriminating Roads Surface Conditions Based on Friction Measurements Final Report、2008
- 6) 高橋尚人、切石亮、徳永ロベルト、浅野基樹：冬期道路管理における定量的指標の導入と活用について、北海道の雪氷 No.29、pp.73-76、2010.9
- 7) 舟橋誠、高橋尚人、浅野基樹：雪氷路面のすべり摩擦係数測定機器に関する研究と海外の事例報告、第50回北海道開発局技術研究発表会、2007.2

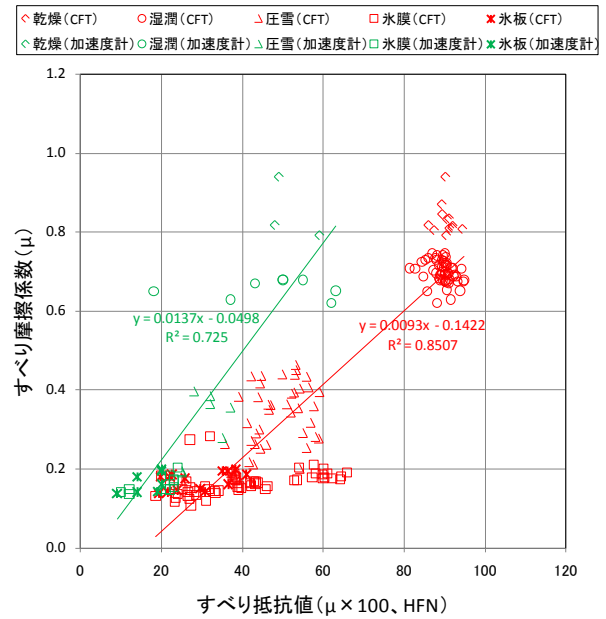


図-6 LWFT に対する CFT、加速度計の相関

- 8) 舟橋誠、徳永ロベルト、高橋尚人：冬期路面管理における定量的計測技術について、第52回北海道開発局技術研究発表会、2009.2
- 9) 切石亮、徳永ロベルト、高橋尚人：冬期路面評価技術に関する試験研究、雪氷研究大会 2009 札幌、2009.9
- 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、2000.11