

敦賀保全・サービスセンターにおける雪氷対策作業の高度化に向けた取り組み

岡田 大輝*1、松本 滋*2

1. はじめに

冬季の高速道路では、お客様の安全な交通を確保するため、路面凍結、積雪の防止・抑制、除雪等の作業（以下雪氷対策作業）が重要な役割を担っている。各地の保全・サービスセンター（以下HSC）では、当番班長が雪氷対策要領と気象予報、気象情報、路面情報を基に雪氷対策作業のタイミング、区間、内容を判断する。（図1）



図1. 雪氷対策作業の判断フロー

当番班長は、適切なタイミング、区間、内容で雪氷対策作業を行うために多くの経験・知識を求められる。敦賀HSC管内においては平野部等の一般的な気象条件だけでなく、山間部も考慮する必要がある。山間部は、気象が急変しやすく、気象予報に現れない局所的な降雪もあるため自力走行不能車両が発生しやすい。また、路面状態によっては晴天でも路面が凍結する場合もある。

2. 雪氷対策作業の課題

本稿では現状の雪氷対策作業における以下の課題に焦点を当て、解決を目指す。

- ・人の主観に依存した情報
- ・雪氷対策要領のあいまいさ
- ・雪氷対策基準のあいまいさ

2-1. 人の主観に依存した情報

路面状況の管理は定量的に行われているとはいえない。現地の路面状況を目視にて判断し、当番班長へ結果を報

告する形で行っている。路面状況は明確な判断基準が無いため、同一の状況においても巡回員によって結果が異なる場合が想定される。（図2）



図2. 路面状態管理における課題イメージ

2-2. 雪氷対策要領のあいまいさ

現状の雪氷対策要領では、雪氷対策作業の実施基準が明確に示されていない。（図3）そのため、現地状況が同一であっても、当番班長の感覚や経験・知識に依存し雪氷対策作業の実施内容が異なる可能性がある。

体制		摘要
警戒体制	監視	気象予測により降雪や凍結の恐れがある場合、路線沿いの気象情報等の監視体制を強化する段階。
	散布	降雪の初期又は、凍結の恐れのある場合に凍結防止剤を散布する段階。
	除雪	除雪車が出動し普通タイヤ車にチェーン装着を行う段階。
異常降雪	気象予測により、異常降雪を発生する場合、または状況が悪化し全車両にチェーン等の装着を行う規制が出される段階	

図3. 敦賀HSC雪氷対策要領（H29.11月版）抜粋

2-3. 雪氷対策基準のあいまいさ

現状は路面の塩分濃度を雪氷対策作業のための管理基準として定めているが適正なものであるとは言えない。敦賀HSCの融雪設備には酢酸カリウムやロードヒーティング等塩分を用いない設備が採用されている。また、設備への塩害を防ぐため塩を撒かないトンネル内も塩分濃度での管理は困難である。

以上より、現状の実施されている雪氷対策作業は、同一条件であっても人の感覚や経験・知識に依存して、内容が同一・適切でない可能性がある。また、経験浅い者にとっては非常に難しい判断を迫られる場合も考えられる。

*1中日本高速道路(株) 金沢支社 敦賀保全・サービスセンター 施設担当課

*2中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支店 施設技術部

より明確で適切な路面管理を行うためには、計測機器等を用いた定量的な路面管理手法が求められる。また、特定の薬剤・成分によらず定量計測が可能な汎用性の高い雪氷対策基準が求められる。

3. 新たな雪氷対策基準の提案

本稿では、2章で述べた課題の解決策として、雪氷対策基準にすべり摩擦係数を用いた路面管理手法を提案する。すべり摩擦係数は、物体のすべり易さを表す指標として用いられる。寒地土木研究所では、目視路面の分類とすべり摩擦係数との関係[1]を整理している。(図4)

路面分類	すべり摩擦係数	すべり摩擦係数					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1	非常に滑りやすい氷板	~0.15					
	非常に滑りやすい圧雪	~0.20					
2	氷板	0.15 ~ 0.20					
	こな雪下層氷板	0.15 ~ 0.30					
3	つぶ雪下層氷板	0.20 ~ 0.30					
	圧雪	0.25 ~ 0.35					
4	こな雪	0.25 ~ 0.35					
	つぶ雪	0.45 ~					
5	シャーベット	0.45 ~					
	潤滑						
乾燥							

※測定条件 使用タイヤ : 冬期路面調査用標準タイヤ ※すべり摩擦係数は各目視路面分類
 タイヤサイズ : 165/80 R13 毎の実測値のうち、概ね50%累積
 タイヤ空気圧 : 1.9kgf/cm2 値までの範囲を示している。
 設定荷重 : 400kgf

図4. 目視路面分類とすべり摩擦係数の関係

すべり摩擦係数を用いて路面状態を定量的に計測が可能であるか検証する。その後、各路面状態、雪氷対策作業を実施することによる値の変動データを収集し、雪氷対策作業の実施基準を整理する。本路面管理手法により雪氷対策作業の高度化を実現する。

4. 車載路面状態計の導入

4-1. 路面状態計の選定

路面のすべり摩擦係数を計測する機器の選定を行い、レーザー式センサを採用した。比較結果を図5に示す。




名称	レーザー式センサ	ポータブルスキッドテスタ	すべり測定車
写真			
定量計測	○	○	○
連続計測	○	×	○
コスト	○	×	×
備考	冬季路面の計測に特化	気温による補正が必要	車両と計測設備が一体

図5. すべり摩擦係数計測機器の比較

スキッドテスタのような路面に直接設置して計測する方式は、機器自体は比較的安価に調達可能である。しかし、連続計測が困難であるため今回の路面状態計としては適さないと判断した。

すべり測定車は連続計測が可能であるが、従来の雪氷体制要員に加えて運転手、オペレータが必要となる。また、測定車自体も高額であるため路面状態計としては適さないと判断した。

レーザー式センサは連続計測が可能であり、費用も安価である。また、計測精度については寒地土木研究所による検証結果[2]をもって十分であると判断した。

4-2. 車載路面状態計の構成

4-1にて選定したセンサー含む車載路面状態計を構築した。車載路面状態計の構成を図6に示す。



図6. 車載路面状態計の構成

路面状態計は波長の異なる3種類のレーザーを路面に当て水、氷、雪の膜厚を計測する。計測した各膜厚から相対的なすべり摩擦係数の算出を行う。計測結果の抜粋を図7に示す。

計測日時	緯度	経度	気温 [C]	路温 [C]	すべり摩擦係数	水の膜厚 [mm]	雪の膜厚 [mm]	氷の膜厚 [mm]
2018/2/7 23:02	35.56528	135.90395	0.3	-1.1	0.8	0.03	0	0
2018/2/7 23:02	35.56486	135.90377	0.3	-1.4	0.76	0.12	0	0
2018/2/7 23:02	35.56444	135.9036	0.3	-1.7	0.74	0.18	0	0
2018/2/7 23:02	35.56418	135.90348	0.3	-1.8	0.74	0.18	0	0
2018/2/7 23:02	35.56334	135.90312	0.3	-1.3	0.72	0.24	0	0
2018/2/7 23:02	35.56302	135.90299	0.2	-1.3	0.72	0.19	0	0
2018/2/7 23:02	35.56274	135.90288	0.2	-1.4	0.72	0.2	0	0
2018/2/7 23:02	35.56248	135.90276	0.2	-1.4	0.73	0.14	0	0
2018/2/7 23:02	35.56203	135.90252	0.1	-1.4	0.73	0.1	0.02	0.04
2018/2/7 23:02	35.56157	135.90228	0.1	-1.1	0.27	0	0.18	0.13
2018/2/7 23:02	35.56134	135.90213	0.1	-1	0.22	0	0.6	0.03
2018/2/7 23:02	35.5611	135.902	0.1	-1.3	0.22	0	0.6	0.03
2018/2/7 23:02	35.56085	135.90192	0	-1.5	0.22	0	0.6	0.03
2018/2/7 23:02	35.56061	135.90189	0	-1.5	0.7	0.05	0.03	0.05

図7. 計測結果 (抜粋)

車載路面状態計を搭載した車両が走行した箇所は、Webを介してHSCから計測結果が閲覧できる。計測結果の例として敦賀市内を走行した結果を図8に示す。

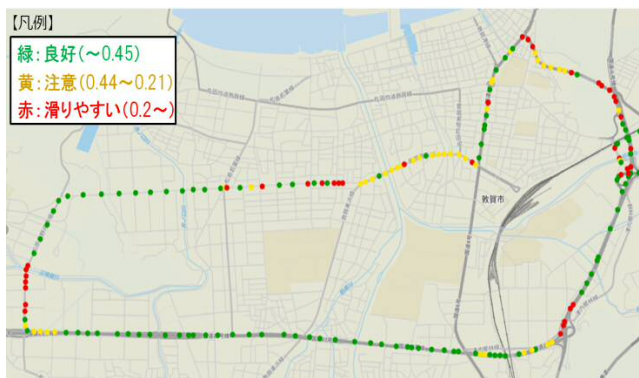


図8. 敦賀市内の走行結果

本設備を導入することにより現地の路面状態が悪い箇所を遠隔で即座に視覚的に把握できる。計測結果から要対応箇所が明示されているため、行うべき雪氷対策作業の実施順序を決定しやすい。また、部分散布、部分除雪といった従前の情報だけでは難しかった細かな作業指示の判断まで支援が可能となる。

5. 実地検証

4章で述べた車載路面状態計を高速道路本線に導入し、すべり摩擦係数の計測を行った。計測にあたり、2章で述べた塩分濃度では計測ができない酢酸カリウム散布装置やロードヒーティングを設置した箇所を対象とし、すべり摩擦係数による計測が可能であるか検証を行った。計測結果を図9～11に示す。

なお、図9～11に示す計測はそれぞれ以下の箇所で行った。

- ・図9 舞鶴若狭自動車道 三方五湖PA Aランプ
- ・図10 北陸自動車道 上り線 刀根TN～刀根PA
- ・図11 北陸自動車道 上り線 刀根PA～柳ヶ瀬SS

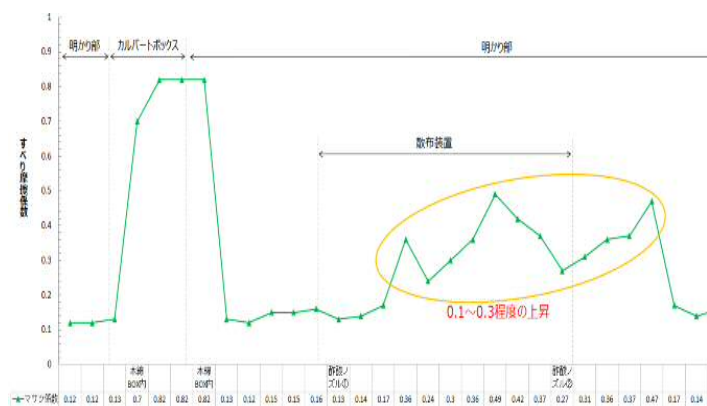


図9. 三方五湖PA Aランプ 計測結果

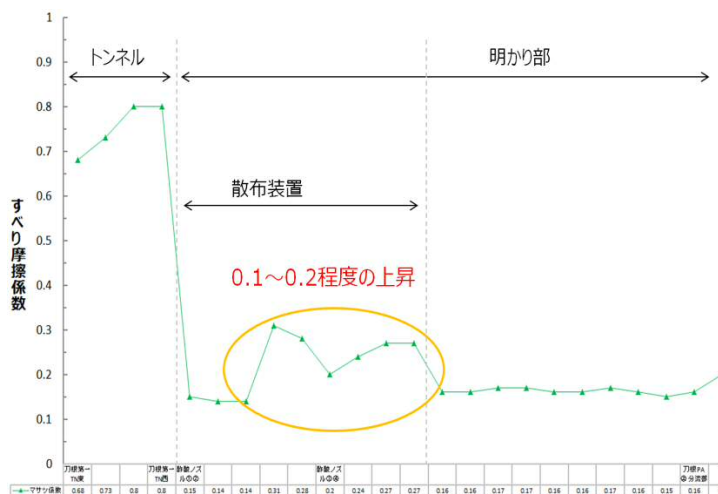


図10. 刀根TN～刀根PA 計測結果

図9, 10より、車載路面状態計を用いたすべり摩擦係数の計測を行うことで、酢酸カリウム散布装置による効果が計測可能であった。酢酸カリウムは、ノズルから散布された後、車両の走行により引きずられ、ノズルの数十m程度下流側まで効果があることが確認できた。

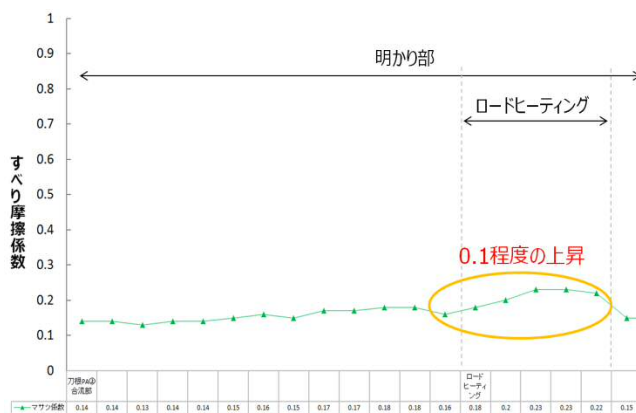


図11. 刀根PA～柳ヶ瀬SS

図11より、同じくロードヒーティングによる効果が計測可能であった。ロードヒーティングは加熱ユニットが埋設された箇所では効果が表れることが確認できた。

本線の計測を通して、トンネル部やカルバートボックス、明かり部、各融雪設備設置箇所の各状況の違いをすべり摩擦係数の値として計測が可能であった。計測精度については、3章で述べた目視路面の分類とすべり摩擦係数との関係と酷似した結果となった。

6. 考察

6-1. すべり摩擦係数による路面状態管理

冬季路面管理手法として、車載路面状態計を用いたすべり摩擦係数による路面管理は有用であると考えます。実地検証の結果から、路面状態計を載せた車両で巡回するだけですべり摩擦係数による定量的な路面状態を把握・管理できると考えます。計測の精度についても3章で述べた目視路面の分類とすべり摩擦係数との関係と酷似しており、路面管理を行う上では十分な精度であると考えます。これらより2章で述べた人の主観やあいまいさによる影響を低減できます。

今後も検証を継続し、すべり摩擦係数による新たな雪氷対策基準の決定、雪氷対策要領への反映を行う必要がある。今回の検証だけではデータが不足しており、各雪氷対策の実施基準を明確に示すには至っていない。事故発生時や除雪作業後の路面状態等、自力走行不能車両が発生しうるすべり摩擦係数、各雪氷対策作業の閾値等が必要となる。また、過去の自力走行不能車両の発生状況から、平坦部と比較して、上り勾配部は自

力走行不能車両の発生割合が高いため、平坦部と勾配部で異なる基準値を定める必要があると考える。

6-2. すべり摩擦係数と塩分濃度の比較

雪氷対策基準としてすべり摩擦係数は塩分濃度よりも汎用性の高い基準であると考え。実地検証の結果から計測可能な項目の比較表を図12に示す。

基準	塩分散布	酢酸カリウム	ロードヒーティング	トンネル
塩分濃度	○	×	×	×
すべり摩擦係数	○	○	○	○

図12. すべり摩擦係数と塩分濃度の比較

2章で述べたとおり、従来の雪氷対策作業の管理基準として塩分濃度を採用している。塩分濃度による路面状態管理では、路面上に残留した塩分の濃度を計測し、計測した値に応じて湿塩散布等の雪氷対策作業を行うものである。

塩分濃度による路面状態管理では、塩分のみしか測定ができない。酢酸カリウム散布装置やロードヒーティング、トンネル部の路面状態管理は困難であった。

すべり摩擦係数では、塩分濃度では管理できなかった酢酸カリウム散布装置やロードヒーティング等の融雪設備設置箇所についても計測が可能であった。また、トンネル部やカルバートボックスにおいても明かり部や融雪設備設置箇所と同様に計測が可能であった。これらより、すべり摩擦係数を雪氷対策基準に用いることは塩分濃度と比較して汎用性が高く、現地の変化を把握するために適していると考え。

7. まとめと今後の課題

本稿では、雪氷対策作業において、より明確で正確な路面管理を行うためにすべり摩擦係数による管理手法を提案した。車載可能なレーザー式センサを計測機器として採用し、Webを介して遠隔で状況把握を可能とした。実地検証にて酢酸カリウムやロードヒーティング等塩分濃度によらない融雪設備においてもすべり摩擦係数であれば計測可能であることを確認した。

車載路面状態計を用いることで、すべり摩擦係数を計測し、人の感覚や経験・知識に依存することなく、定量的に路面状態を管理できる。現地のデータ収集を継続し、基準値を提示することにより雪氷対策作業の高度化に寄与できると考える。

今後、本格的な運用が可能となるよう、データ収集と基準値の決定を行っていく。自力走行不能車両の発生箇所や雪氷対策作業による効果等のデータ計測を行い、各雪氷対策作業の効果（すべり摩擦係数の上昇量）、閾値

（実施基準）を定める必要がある。また、平坦部と上り勾配では異なる基準値を設ける必要があると考える。これらを反映した雪氷対策作業の基準を決定し、雪氷対策要領の改訂を行う。

参考文献

- [1] 独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所「路面のすべり摩擦係数測定機器の紹介」, <www2.ceri.go.jp/jpn/news/koutsu/panf/masatusokutei.pdf>, 2018年8月1日閲覧.
- [2] N.Takahashi, M.Kirishi, R.Tokunaga, "Comparative Study of Friction Measurement Devices", Proceedings of SIRWEC17th International Road Weather Conference, 2014.