

雪氷作業への新型路面センサの導入

キーワード：高度な雪氷作業、すべり摩擦係数

中日本高速道路株式会社 金沢支社 敦賀保全・サービスセンター 施設担当課 係長 岡田 大輝
中日本高速道路株式会社 金沢支社 敦賀保全・サービスセンター 施設担当課 四本木 久一
中日本高速道路株式会社 金沢支社 環境・技術管理部 品質検査課 課長 中村 貴男

1. はじめに

冬季の高速道路において、お客さま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、「雪氷作業」）が重要な役割を担っている。雪氷作業は、気象・路面状況を注視しながら、NEXCO中日本グループ社員の総力を結集し、各種連携を取りながら迅速かつ適切な作業の実施と対応が求められる。雪氷作業の実施に至る判断フローを図1に示す。

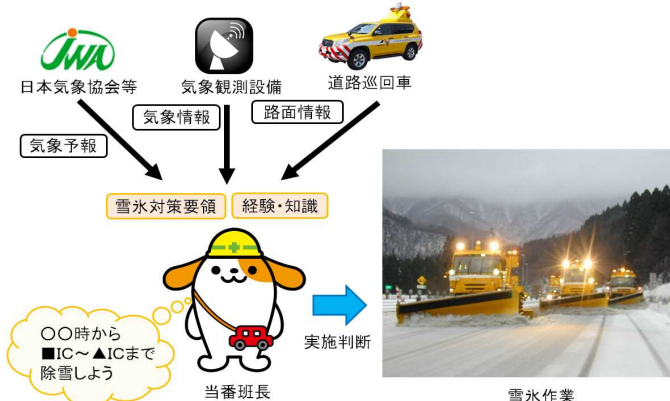


図1. 雪氷作業の判断フロー

2018年2月に北陸地方を襲った北陸豪雪では、道路交通に多大な影響を与え、今後の雪氷作業について、ハード・ソフト面の強化を求められる結果となった。ハード面の強化として、散水融雪・薬液散布、本線監視カメラ設備及び雪氷車両の増強を進めている。また、ソフト面では地域連携、交通運用方法等、種々の訓練により体制強化に取り組んでいる。

2. 今日の雪氷作業における新たな課題

現在表面化している「雪氷作業」での新たな課題を下記に示す。

- ・経験の浅い雪氷車両オペレーターの増加
- ・個人差による雪氷作業判断のバラツキ

雪氷車両のオペレーターは、社会的な労働力不足や熟練者の高齢化・退職を背景に、減少している。雪氷車両の操作は個人の経験・技量に依存する部分が大きく、経験が少ないオペレーターが活躍できるようになるまでに多くの時間が必要となる。

また、当番班長に必要とされる路面状況や、気象予測からの雪氷作業の実施判断には明確な基準が無く、定性的なものとなっている。そのため個人の経験差によるバラツキが生じやすく、同じ気象条件において作業内容が変

わる可能性がある。

上述より、雪氷作業は品質・精度が変動しやすく、経験の浅い者にとって難解なものとなっており、雪氷作業の品質を維持するために、より容易に運用判断が可能な仕組みを構築する必要がある。

3. 新型路面センサの導入

本件は、車載式の新型路面センサ（以下、「路面センサ」）を導入し、雪氷作業全般を支援する枠組みを構築することで課題解決を目指したものである。この路面センサは、現状の気象情報、雪氷巡回等から報告される路面状態等の断片的な雪氷情報を補い、連続データを得ることが可能で、より現地の実態に即したデータ収集が行えると共に、種々のシステム構築にも活用可能なデータとなる。

3-1. すべり摩擦係数

路面センサの重要な機能として、路面管理を定量的に行うためのすべり摩擦係数（以下、「摩擦係数」）が計測できる点がある。摩擦係数は路面が滑りやすくなるほど値が低くなる。（社）日本自動車タイヤ協会が示す積雪と路面の摩擦係数の関係[1]を図2に示す。

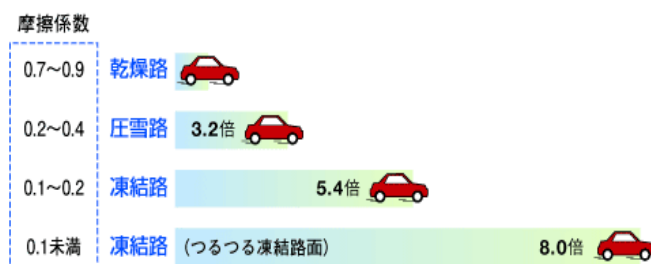


図2. 積雪と路面の摩擦係数の関係

他の地方では、路面の残留塩分濃度を路面管理の指標としている所もあるが、北陸では塩化化合物に加えてロードヒーティング（以下、「RH」）や酢酸等を併用し路面管理を行っている。以上から摩擦係数を用いて管理に反映することが、定量化するために望ましいと判断した。

3-2. 路面センサの概要

路面センサは路面に赤外線を照射し測定する原理で、摩擦係数に加え、外気温測定等も可能なオールインワン機能となっている。道路巡回車への路面センサの取付位置を図3に、センサの仕様を下記にそれぞれ示す。



図 3. 道路巡回車の路面センサ構成

路面センサ 仕様

測定方式) 光学式 (赤外線)

測定間隔) 0.5sec

測定項目) 摩擦係数、路温、気温、湿度、
露点温度、路面状態、厚さ

路面センサが取得した諸データは、車載端末で閲覧できる他、Web を介して雪氷本部の PC へ送られる。端末の車載例を図 4 に、雪氷本部で閲覧する各地点の計測データ例を図 5 にそれぞれ示す。



図 4. 端末の車載例

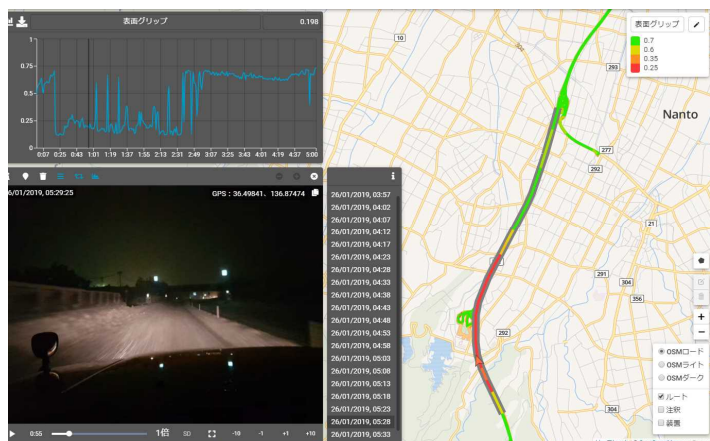


図 5. 雪氷本部での計測結果閲覧例

雪氷本部では、路面センサを搭載した車両が走行した経路の計測結果をリアルタイムに閲覧することが

できる。計測データは地図上に軌跡がプロットされ、数値に応じて着色される。その数値はグラフでも閲覧できる他、同箇所の走行映像も同時に確認できる。この様に場所毎のデータが視覚化されるため、重点的な雪氷作業が実施でき、効率化につながる。また、計測データによって、定量的な基準を設定することできめ細やかな雪氷作業を実現できる。

4. 路面センサの精度検証

今回導入した路面センサは、既に欧州で運用されており、路面の摩擦係数を含め各種データを定量的に計測することが出来る。寒地土木研究所では、同メーカーのセンサと、車両に取付けた試験輪に発生する横反力を測定することで摩擦抵抗値を算出する装置とを比較し、精度の検証を行っている[2]。同論文では、検証結果として、2種類の測定結果には良い相関関係があり、路面状態を確認するには十分な精度であると述べている。

しかし欧州や寒地土木研究所のある北海道と北陸では緯度が異なる。緯度が高ければ気温・湿度も低下し、雪も湿気を含まない粉雪となる。一方、北陸は湿度が高く気温低下も少ないため、雪は水気を含んだ重い雪となる。これらから、今回導入した路面センサが北陸地方特有の重い雪においても対応可能か確認するために現地検証を行った。

4-1. 気象観測データとの関係

高速道路に設置された気象観測局の気温、路温データと、路面センサが測定したデータの相関を求めた。データ間の相関を表したグラフを図 6, 7 にそれぞれ示す。

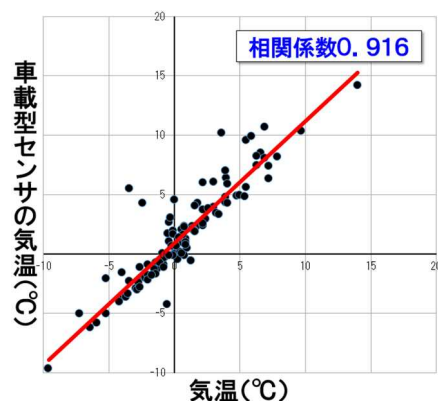


図 6. 気温データとの相関

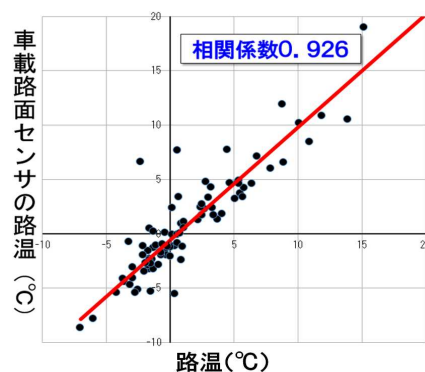


図 7. 路温データとの相関

一般に、二つの要因間の相関係数が0.7～1.0のとき、かなり強い正の相関があると判断できる。現地検証の結果、路側の気象観測局の気温、路温と路面センサの値は、いずれも相関係数が0.9を超えており、極めて高い相関が得られた。

4-2. 路面摩擦係数との関係

積雪路面等の摩擦係数を図8に示すポータブルスキッドテスト(British Pendulum Number, 以下、「BPN」と)と路面センサが計測したデータの相関を求めた。検証の結果、相関係数0.8と高い相関が得られた。データ間の相関を表したグラフを図9に示す。



図8. BPN

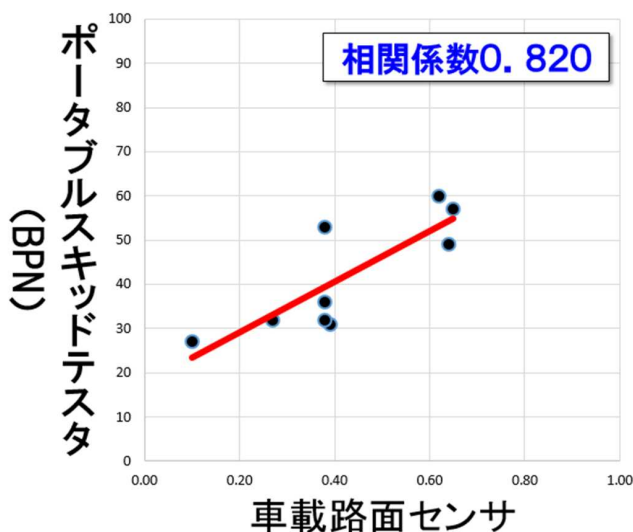


図9. BPNとの相関

現地にて、気象観測データ、BPNと路面センサとの相関関係を検証した結果、いずれも強い相関関係があることが確認できた。検証結果から、北陸地方においても、路面センサは十分活用可能と考える。

5. 雪氷作業支援ナビゲーションシステム

路面センサの実用性が確認できたことから、NEXCO中日本で開発された車両位置情報システム(以下、「VPIS」)との連携を図り、新たに雪氷作業支援システムの開発中である。雪氷作業支援システムの全体イメージを図10に示す。

※VPISとは、車載端末に内蔵したGPSから位置情

報を取得し、高速道路本線での位置情報を乗務員が確認するためのものである。また、同端末を搭載した車両の位置情報は雪氷本部のPCからも確認できる。

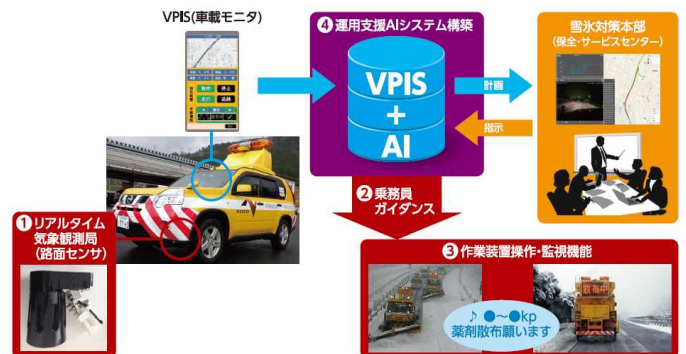


図10. 雪氷作業支援システムの全体イメージ

5-1. リアルタイム気象情報収集

VPISと路面センサとの連携により収集データが一元化される。これにより、道路管理に必要な気象関連データベースがより高度化される。

路面管理を行う際に特別な技能や知識を必要とせず、車両を走行するだけで必要なデータの収集が可能となる。このデータを活用し、種々の作業と情報が共有され、効率よく作業が行える。

5-2. 乗務員ガイダンス機能

路面センサの取得データから得られた作業内容をリアルタイムにオペレーターへVPISから視聴覚情報として伝達することで、オペレーターに委ねていた作業を画一的に指示できるようになり、品質と精度が向上される。また、合わせオペレーターの経験・技量への依存も軽減される。乗務員ガイダンスのイメージを図11に示す。



図11. 乗務員ガイダンスのイメージ

5-3. 作業装置操作・監視(自動制御含)

雪氷車両の作業装置は一般的な建設機械と異なり、特にオペレーターの経験・技量が必要な作業となる。また、製造メーカーや型式等の違いから様々な仕様の機器が統合されることなく設置されている。

本機能はVPISの車載端末に作業装置のインターフェイスを簡略化して取込み、オペレーターの技量、判断に左右されない簡単な操作端末を開発する。また、将来、訪れる「女性、高齢者対応」も見据え、汎用性

を向上させた自動制御の導入を計画している。作業装置のインターフェイスのイメージを図12に示す。



図12. 作業装置のインターフェイスのイメージ

5-4. AIシステムの構築

前項までに述べた各種機能の実現を踏まえ、気象予測、現地測定データ等定量化されたデータ群から、最適な作業計画を立案する「AIシステム」の構築を進めている。AIシステムの導入により、個人の経験・技能差による判断のズレを解消し、より安全で効率的な雪氷作業が実現される。

現在、AIシステム構築に必要となるデータを蓄積する環境を整え、雪氷作業を通じてデータ蓄積を行い、実用化を目指す。

6. まとめと今後の展望

本件では、経験の浅い雪氷車両オペレーターの増加、個人差による雪氷作業判断のバラツキという従来の雪氷作業における課題を解決するため、路面センサにより摩擦係数を計測し、路面管理を行う手法を見出した。現地検証の結果、路面センサを用いることで、人の経験や知識、感覚に依存することなく、定量的に路面状態を計測することが可能であると確認できた。

今後、路面センサとVPISを連携させた雪氷作業支援システムを構築に向け、路面センサを設置する道路巡回車の台数を増やし、データ蓄積を進める。また、路面センサを雪氷車両へ展開し、作業のシステム化に向けた実証実験を行う。これにより雪氷作業の管理目標に応じた設定値を確立させていきたい。

また、雪氷車両の操作環境の改善に加え、オペレーターに課せられる定型業務の効率化・自動化（Robotic Process Automation, 以下「RPA」）の検討に着手し、導入を目指す。RPAの導入により、雪氷作業に付随して発生していた書類作成等の業務が低減され、働きやすい就労環境が整い、人材確保の一助となる。

雪氷作業は、高速道路事業だけでなく、寒冷地域を支えるインフラ事業に共通した管理技術テーマである。今後もこれら技術の開発と高度化を図り、日本の物流の根幹を支えるインフラの安心・安全・信頼性向上に寄与して行きたい。

参考文献

- [1]一般社団法人 日本自動車タイヤ協会「適正使用に関する安全情報の提供」,
<<http://www.jatma.or.jp/winterdrive/>>, (2019年9

月17日閲覧)

- [2] N.Takahashi, M.Kiriishi, R.Tokunaga, “Comparative Study of Friction Measurement Devices”, Proceedings of SIRWEC17th International Road Weather Conference, 2014.