

36. 凍結防止剤散布作業時の連続路面すべり抵抗値計測試験について

(独)土木研究所寒地土木研究所 ○岸 寛人
(独)土木研究所寒地土木研究所 牧野 正敏
(独)土木研究所寒地土木研究所 小宮山 一重

1. はじめに

積雪寒冷地では冬期の凍結路面対策として、凍結防止剤散布車等を用いた凍結防止剤と防滑材の散布が行われている。散布の実施形態には、凍結箇所を事前に予測して散布する「事前散布」と、凍結が発生している箇所に散布する「事後散布」がある。このうち、事後散布の実施判断は、道路巡回や凍結防止剤散布車オペレータの目視による路面状態判別に基いているが、「凍結しているのか濡れているだけなのか」など判別が難しい路面状態や個人差があるため、凍結箇所の見落としや凍結していない箇所への過剰散布の可能性がある。また、道路巡回等による路面状態判別から出動、散布までに時間を要するため、すべりやすい路面状態が続くことがある。

そこで、当研究所では路面のすべり抵抗値を計測することにより凍結路面を客観的に判別し、散布が必要な箇所に的確に凍結防止剤等を散布する技術の開発を行っている。本稿では、凍結防止剤散布車に「連続路面すべり抵抗値測定装置（以下、CFT-UT: Continuous Friction Tester - Under Truck）」を取り付け、試験道路にて実施した5種類の路面のすべり抵抗値計測試験の結果および、実際の凍結防止剤散布作業中の路面のすべり抵抗値を計測した結果について報告する。

2. 連続路面すべり抵抗値測定装置の概要

路面のすべり摩擦係数の標準的な測定装置として利用されている「すべり試験車」や「加速度計」は、測定輪や測定装置を搭載した車両に制動をかけて計測を行うため、断続的な地点での計測となる¹⁾。一方、凍結防止剤散布車による散布作業は、走行しながら実施するため、路面のすべり摩擦係数を測定する度に制動をかける必要がある測定装置を凍結防止剤散布車に適用することは現実的ではない。そこで当研究所では連続的に路面のすべり抵抗値を計測できるCFT-UTの凍結防止剤散布車への導入について検討を行っている。

CFT-UTとそれを搭載した凍結防止剤散布車を図-1に示す。図-1中央下がCFT-UT本体であり、

測定輪とセンサが組み込まれたハブ、鋼製フレーム、装置の昇降と衝撃を緩衝する油圧ユニットにより構成されている。凍結防止剤散布車へは図-1上のように、後前軸の直前の位置に取り付けた。



図-1 CFT-UT と CFT-UT を搭載した凍結防止剤散布車および計測原理

表-1 CFT-UT 主要仕様

寸 法	(長さ)1.2m×(幅)1.3m×(高さ)1.2m
重 量	約230kg(油圧ユニット約30kg)
測定タイヤ	205/65R15
測定可能温度範囲	-54℃～121℃
出力データ	計測開始からの走行距離、すべり抵抗値、ステアリング角、速度
データ出力間隔	0.1s, 1s, 2s, 5s, 10sから選択

CFT-UT の計測原理を図-1 右下に示す。CFT-UT の測定輪は車両進行方向に対して傾きをもたせて取り付けられている。そのため、走行中は常に斜めに引きずられながら回転することになり、測定輪の軸方向には横力が発生する。この横力をハブ内のセンサにより計測し、すべり抵抗値（以下、HFN: Halliday Friction Number）に換算する。HFN

は路面温度 0℃の乾燥路面を 90、無負荷状態を 0 とし、その間を 90 等分して路面のすべりを数値化するもので、すべりやすい路面ほど小さい値を示す。HFN は運転室内に取り付けられた CFT-UT 制御・表示部（図-1 左上）に表示される。CFT-UT はステアリング角（操舵角）の計測も行っている。これは CFT の構造および計測原理上、ステアリング角の絶対値が 16 度以上では HFN が正しい値を示さないため、この範囲の計測値を除外する必要があるためである。なお、ステアリング角の除外範囲は車両ごとに異なるため、キャリブレーション時に設定する必要がある。表-1 に示す HFN 以外の出力データも CFT-UT 制御器に収集され、パソコン等と接続することにより、記録およびリアルタイム表示ができる。

3. すべり抵抗値による路面状態分類試験

平成 22 年 1 月、苫小牧寒地試験道路にて、乾燥、湿潤、圧雪、氷膜、氷板の 5 種類の路面を作成し、CFT-UT を凍結防止剤散布車に取り付け HFN の計測を行った。図-2 は乾燥－氷膜－乾燥と路面状態が変わる試験区間を時速 20km で走行した場合の計測結果である。乾燥路面から氷膜路面へ入ると HFN が約 50 程度低下していることがわかる。また同図で、ステアリング角が大きく下がっている部分では HFN が変化していないが、これはステアリング角が-16 度を下回り、HFN を除外したためである。

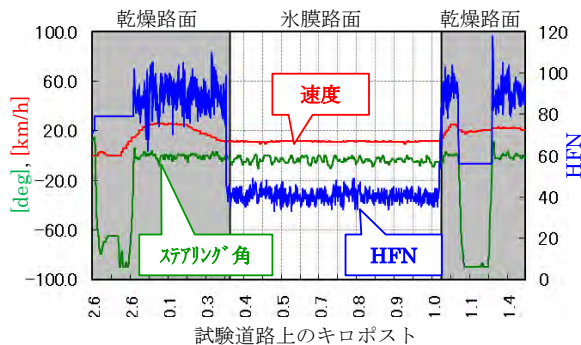


図-2 乾燥と氷膜路面における計測結果の一例
(データ記録間隔：10Hz)

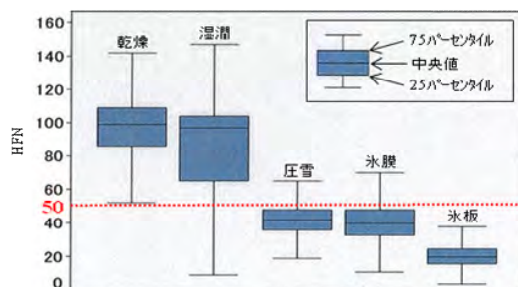


図-3 路面状態別すべり抵抗値

また、前述の 5 種類の路面について、すべり抵抗値の計測試験を行い、路面別に集計した結果を図-3 に示す。この図から、HFN=50 付近を境に乾燥や湿潤などの比較的すべりにくい路面と、圧雪や氷膜、氷板などのすべりやすい路面を区別することができる可能性がある。

4. 凍結防止剤散布作業時のすべり抵抗値計測試験

4.1 試験概要

路面のすべりやすさと散布作業の関係の実態調査を行うことを目的として、北海道深川市の一般国道 12 号と 233 号で実際の凍結防止剤散布作業を行う凍結防止剤散布車に CFT-UT を取り付け、平成 23 年 1 月～3 月にすべり抵抗値計測試験を行った。主な計測項目は表-2 のとおりであり、これらを計測するセンサ及び記録装置を凍結防止剤散布車に取り付けた。凍結防止剤散布車のオペレータには、HFN とは無関係に通常の散布作業を行ってもらい、その内、散布スイッチ ON/OFF 信号等を記録装置に記録した。

表-2 主な計測項目

計測項目	検出方法
位置座標	GPSによる
すべり抵抗値(HFN)	CFTによる
散布スイッチ ON/OFF信号	オペレータが散布スイッチを押したタイミングを検出
散布材放出信号	散布剤放出部に取り付けた光電センサにより、散布材がセンサ前を通過したタイミングを検出
路面温度	路面温度計による

本稿では、HFN と散布スイッチ ON/OFF 信号を比較することで、路面のすべりやすさとオペレータの目視判別により散布した位置との関係について調査を行った結果について述べる。

4.2 解析手法

散布作業は毎回、一般国道 12 号（往復約 34km）および 233 号（往復約 40km）の決まった範囲で行われる（図-4）が、GPS が計測する凍結防止剤散布車の走行軌跡は少しずつ異なる。そこで、図-4 の地図上の範囲を格子状に区切り、各格子内の中心座標（緯度・経度）をその格子の位置座標として与え、同一格子内に含まれるデータは同一位置のデータとして扱った。本解析では、地図の経度方向距離を約 30km、緯度方向距離を約 20km、格子幅を 40m に設定した。

次に、HFN と散布スイッチ ON/OFF 信号の比較手法について述べる。3 章で述べた、5 種類の路面状態におけるすべり抵抗値計測試験の結果から、すべりやすい路面とすべりにくい路面の閾値を

HFN=50 とした。しかし、既出の図-2 に見られるように HFN は 1 秒に 10 回記録しており、小刻みに変動する。そこで、HFN の閾値に下限値 (HFN =45) と上限値 (HFN=55) を設け、その間は本比較の対象外とし、さらに HFN データの 10 個毎の移動平均を取り、データを平滑化した。そして、これらの閾値を用いて、表-3 のようにデータを 5 つのパターンに分類した。表-3 の 1~5 のパターンそれぞれの出現回数を前述の格子内毎に集計し、出現率として表すことで、「すべりやすくなりやすい箇所 (HFN<45 の出現率が高い箇所)」や「すべりやすい箇所と散布している箇所は一致しているのか」などについて調査した。結果については 4.4 節で述べる。

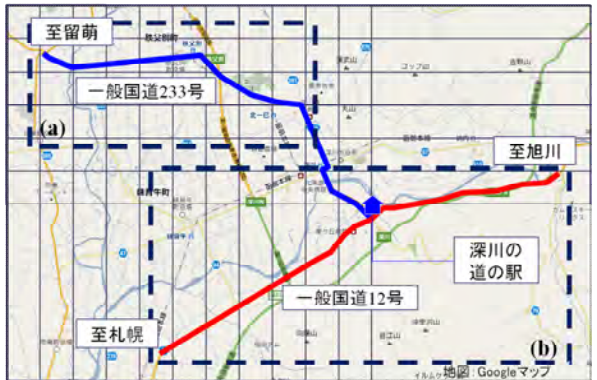


図-4 対象凍結防止剤散布車の作業工区と解析に用いた地図範囲および格子化イメージ (黒い実線)。破線枠および枠内の (a)、(b) は 4.3 節の図-5 に対応

表-3 すべり抵抗値と目視判別による散布箇所の比較のためのパターン分類

呼称	パターン
パターン1	HFN $\geq$ 55 かつ 散布している
パターン2	HFN $\geq$ 55 かつ 散布していない
パターン3	45 $\leq$ HFN<55
パターン4	HFN<45 かつ 散布している
パターン5	HFN<45 かつ 散布していない

4.3 散布指定箇所調査

当該工区の凍結防止剤の散布作業は、工区全体に渡り、一様に連続的に散布するのではなく、道路管理者により指定された区間に散布する「スポット散布」という手法で行われている。指定されている散布箇所は、表-4 のように「散布箇所名、起点 (散布開始位置) と終点 (散布終了位置)」などが記載された凍結防止剤・防滑材散布記録用紙に一覧表となっており、実際の散布作業もこれに基づき実施されている。当該工区内で指定されている散布箇所数は、一般国道 12 号で 35 箇所、233

号で 65 箇所 (両国道とも一部重複区間あり) であり、1 箇所当たりの延長も最短 40m から最長 2300m までとまちまちである。

表-4 凍結防止剤・防滑剤散布記録用紙記載内容

No	散布箇所名	散布KP(km)		延長 m	...
		起点	終点		
1	道の駅	0.01	0.11	100	...
2	〇〇横断歩道	0.53	0.69	160	...
3	...	...	...	...	...

この散布指定箇所を 4.1 節の計測試験結果に取り入れるためには、表-4 の散布 KP に対応する緯度・経度情報を与える必要がある。そこで GPS データロガーとマーキングスイッチを用いて、走行しながら、散布箇所の起点/終点に到達したらマーキングスイッチを ON/OFF するという手法で現地調査を実施した。結果は 4.2 節の調査結果と合わせて、次節で述べる。

4.4 結果と考察

平成 23 年 3 月 4 日~28 日の期間で計測したデータを用いて、HFN と目視判別により凍結防止剤を散布した位置を比較した結果を図-5 に示す。図-5 は、図-4 の地図を寝かせ、鉛直方向にデータを表示し、これを斜め上方向から見た図とした。図中の凡例は表-3 の呼称と対応しており、水平面の 2 つの軸は経度と緯度を表している。鉛直軸は、表-3 のパターン 1~5 が各グリッド内で現れた出現率をパーセント表示したものである。出現率データは、図-4 の国道上工区の経路に乗るようにした。

また、出現率データの下側に断続的に現れている線は、4.3 節で述べた散布指定箇所調査の結果で特定した箇所である。

まず、図-5 の左上側の破線で囲われた範囲 (a) について述べる。HFN だけに着目してみると、HFN $\geq$ 55 (パターン 1 と 2) の割合と HFN < 45 (パターン 4 と 5) の割合がほぼ同じくらいになっている。次に散布を行った位置 (パターン 1 と 4) について着目すると、範囲 (a) では、非常にまばらになっていることがわかる。これは 4.3 節で述べたスポット散布を行っているためであり、散布指定箇所調査の結果と比較すると、おおよそ一致している。また、範囲 (a) 左端の橋梁や中央付近のカーブ区間などパターン 1 と 4 (およびパターン 3) のみで占められている区間は、HFN が高い場合でもほぼ毎回散布が行われており、逆に、範囲 (a) の左半分にある平坦な直線路などパターン 2 と 5 (およびパターン 3) で占められる箇所は、HFN が低い場合であっても散布をすることがない区間であることがわかった (図-5 では、パターン 3 に含まれる散布の有無は判別できないため、HFN 上限=下限=50 の図を作成し、別途確認した)。その他の細か

く分かれている箇所は、主に信号がある交差点である。このように散布実態と指定箇所調査の結果がほぼ一致している一方で、範囲 (a) の右側 2 箇所のように、指定されていない区間であるが散布している箇所もあることがわかる。このようなケースについては今後、実態について聞き取り調査を行う予定である。

次に範囲 (b) について見てみると、 $\text{HFN} \geq 55$ の出現率 (パターン 1 と 2) は 50~60% くらいであり、一般国道 233 号よりもすべりにくい状態が多いという結果になっている。また、範囲 (a) では HFN によらず散布する橋梁やカーブ区間が存在したが、範囲 (b) では少なくなっている。次に道の駅から旭川側に 2 つの長い散布区間があるが、道の駅から 1 つ目の区間は道路の南側に擁壁がある区間で、日中でも日陰になる区間であり、2 つ目の区間はこの工区の中では急勾配となっている箇所である。この 2 つの長い散布区間に挟まれた区間は、指定された箇所ではないが、パターン 1~5 までの全パターンが現れていることがわかる。この区間のように全パターンが現れている箇所は、オペレータの経験などの主観に基づき散布を行っている箇所と考えられるが、CFT-UT を用いて HFN を常時オペレータに提供し、散布の判断材料として活用することで、パターン 1 や 5 を減らし、より適切な散布作業を行える可能性がある。

5. まとめ

凍結防止剤散布車へ CFT-UT を取り付け、一般国道で実作業中に HFN の計測を行い、オペレータの目視判別に基づく散布作業との比較・集計を行い、全体像を把握した。その結果、基本的には指定された散布箇所にスポット散布を行っているが、経験等に基づき散布を行っていると思われる箇所もあり、散布していても HFN が高い場合や、散布していないが HFN が低い場合があることがわかった。このような箇所についての実態調査を行い、その結果と合わせて、CFT-UT を用いてオペレータの散布判断支援を行うことで、より適切な散布作業を行える可能性がある。また、除雪期間を通して HFN を集計し、路線の各地点におけるすべりやすさを定量的に把握することにより、すべりやすい箇所の抽出や散布箇所の再検討にも活用できると考える。

今後は、個別のデータの解析を行うとともに、上記の活用についても検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 舟橋誠・徳永ロベルト・浅野基樹：連続路面すべり抵抗値測定装置 (RT3) の導入について、寒地土木研究所月報, No.651, pp.40~47, 2007

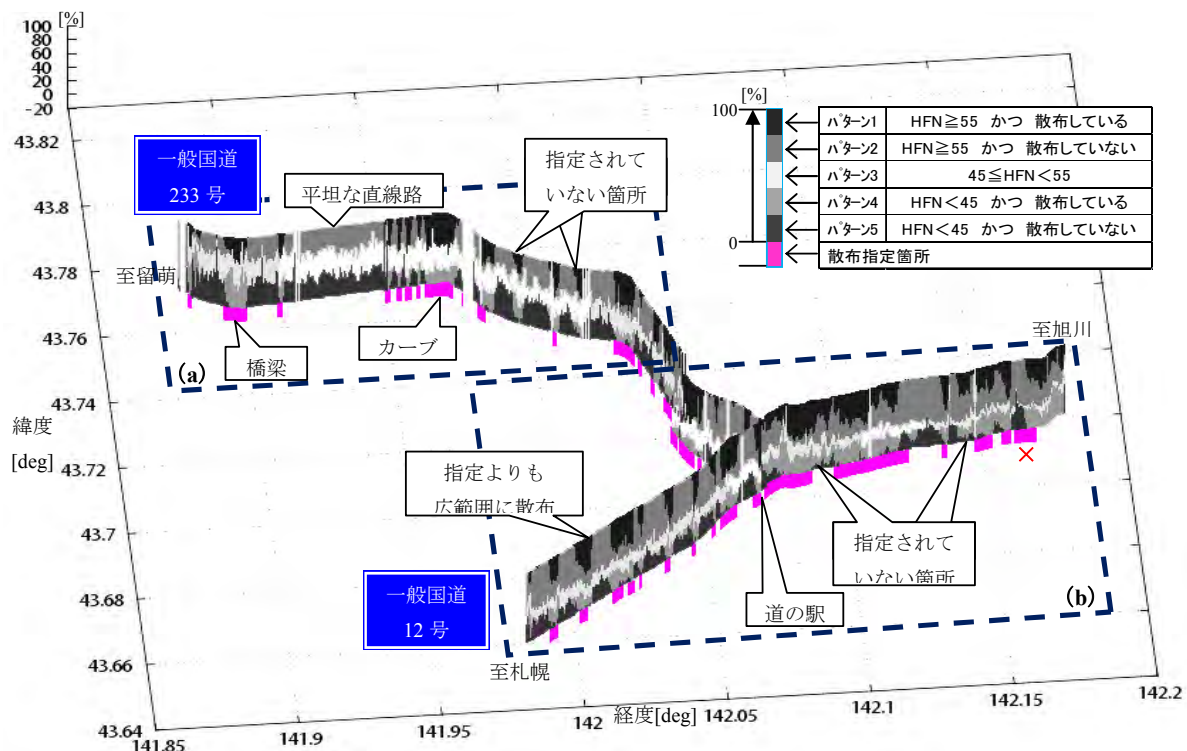


図-5 HFNと目視判別による散布箇所の比較（一般国道12号を旭川方向に、233号を留萌方向に走行した場合。なお、図右下の範囲 (b) の右端の×印の箇所は、散布指定箇所調査時の計測ミスにより大きなずれが生じた箇所であり、考察には含めていない）