

# 凍結防止剤の濃度を連続測定する技術・装置を用いた 乾燥路面における残留塩分量測定機器の開発・実用化試行

酢谷 浩\*1・三上 尚人\*2・山田 健雄\*1・徳永 透\*1

## 1. はじめに

東日本高速道路新潟支社管内の高速道路において、雪氷対策に様々な施策が講じられているが、その中の代表的なもの1つに凍結防止剤の散布作業がある。現在、追加散布作業の高度化の取り組みとして、路面温度と残留塩分濃度を連続測定（車載式塩分濃度測定システムを使用、以下塩分システム）し、その路面判定結果を参考にして、追加散布の判断をサポートする仕組みを取入れている。この仕組みは支社管内全管理事務所に導入し、すでに10年以上運用している。<sup>1)</sup>

このシステムはタイヤからの撥ね上げ水を検知する濃度測定方式のため（写真1）、湿潤路面での使用を前提としている。そのため、乾燥路面や半湿路面での計測ができないという課題がある。しかし、雪氷作業の現場からは、固形または塩水が蒸発した状態で、路面に塩分が残留していることが明確になれば追加散布が不要になるため、その有無を把握したいとの要望が強く出ていた。

そこで、現状運用している塩分システムの改良により、乾燥路面においても撥ね上げ水を発生させ濃度を検知できる仕組み（装置）構築の検討を重ねた結果、乾燥路面における濃度測定が可能となり、実用化のめどが立った。

本稿では、こうした「乾燥路面における塩分量測定システム」（装置名：乾燥路面測定ユニット）の開発の経緯について紹介する。

## 2. 乾燥路面における塩分濃度測定の必要性と可能性 検証

塩分システムのしくみは、タイヤから撥ね上がった水分が濃度センサの検知部（写真1）に付着し、その溶液の塩分濃度を測定するものである。そのため撥ね上げ水が発生する程度の湿潤路面での使用が条件となる。雪氷地域における厳冬期での使用に関しては、湿潤路面がほぼ常態化しているため計測に支障はないが、初冬期・終冬期、また降雪の少ない地域でも低温時に剤散布を行う場合、湿潤路面

の現出頻度が少ないため計測ができないことが多い。

これらの降雪が少ない期間・地域では、夜間・早朝にかけて、気温が0℃近辺になり湿度が高いときや降雨後に、放射冷却によって路面が凍結する恐れがあるため、剤散布を繰り返し実施する。

その結果、路面が残留塩によりかなり白くなるが、乾燥路面で残留塩分濃度が測定できないので、剤散布作業を続ける必要があった。作業軽減のため、路面の塩分残留状況を知りたいとの要望が現場より出ていた。

乾燥路面での計測に必要なものは、第一に水分である。そこで強制的に水分をなんらかの方法で供給する装置を考案することとした。その際、次の課題をクリアする必要があった。①供給水により撥ね上げが発生しセンサが水分を検知できるか、②残留塩分が瞬時に溶解し、濃度を測定できるか、の2点。

この2つを同時に検証するために、実験路にて塩水散布後に乾燥させた路面を作成し、噴霧器にて測定車からセ



写真1 塩分濃度センサ



写真2 ノズルでタイヤに噴射



写真3 簡易走行試験

ンサを装着している後輪に直接水を吹きかけ（写真2）、走行しながら濃度測定ができるかどうかの簡易実験を行った（写真3）。

\*1 山田技研株式会社 \*2 東日本高速道路株式会社 新潟支社

実験の結果、2秒間程度の測定ができた。濃度は1.75%で手測り装置による測定値2%とほぼ同等だった。これにより供給水によって測定に必要な撥ね上げを得ることができ、さらに残留塩は即座に溶解したことが確認できたことから、乾燥路面における塩分濃度測定技術を確立できることが立証できた。

尚、真水を散布することに関して、凍結を助長するのではとの懸念の声があった。しかし、散水する量が微量であること、及びそもそも残留塩があると思われる箇所での散水なので、即塩水となるため問題ないとの確認を道路管理者から得られたので、この前提の元に開発を進めた。

### 3. 開発目的

冬期路面の特定箇所の残留塩分の有無を確認し、乾燥時の追加散布判断データとして現場で活用し、剤及び剤散布作業コストの最適化を図ることである。

### 4. 装置開発経緯

本格的に車両に装置を設置して試行を実施するため、走行しながら測定できる装置の設計・開発を行い、試作機を完成させ車両に搭載した。

#### 4. 1 装置概要

初期試作機は、塩分システム搭載車に噴霧装置、ポンプ付の水タンクを搭載する所からスタートした。後輪前部に散水ノズルを取付け、専用ボタンにて電動で水を路面や後輪に向けて噴射する(写真4)。

試行によって検証するのは、①水噴射によって安定的に水分撥ね上げ(=水分の感知)を得られるノズルの仕様、②あらかじめ何種類かの $\text{m}^2$ あたりの残留塩分量を設定した試験コースを作成し、測定濃度と残留塩分量の相関関係を分析、③水の噴射量は増やせば水分感知はしやすくなるが、その反面濃度は薄くなるため、塩分量と塩分濃度の相関図作成のための最適噴射量を見極める、の3点である。



写真4 乾燥路面測定ユニット装着車

#### 4. 2 装置開発3年計画

課題を1つずつ解決していくため、1年ずつテーマを決め、3年をめどに取り組んでいくこととした。毎年のテーマは下記の通り。

- 1年目テーマ：水分検知率の向上、巡回車実装に向けた設計検討
- 2年目テーマ：濃度検出率の向上、測定濃度と残留塩分量の関係性検討
- 3年目テーマ：所定量の残留塩分路面における安定した濃度検出、濃度検出率確保のための「システム(しくみ)確立」、残留塩分量と検出濃度の相関データ積み上げ

それぞれのテーマに沿った実験を重ね、最適な装置を作り込んでいくこととした。

#### 4. 3 水分検知率の向上

そもそも濃度を測定するためには、なによりも水分の撥ね上げが絶対条件として必要である。これができなければ濃度の測定ができない。そこでまずは濃度の値は二の次として、水分の安定的な撥ね上げを得られるノズルの仕様を検討した。その際のチェックポイントはノズルの形状、角度、水量などでいくつかの型の実験を実施した(写真5)。

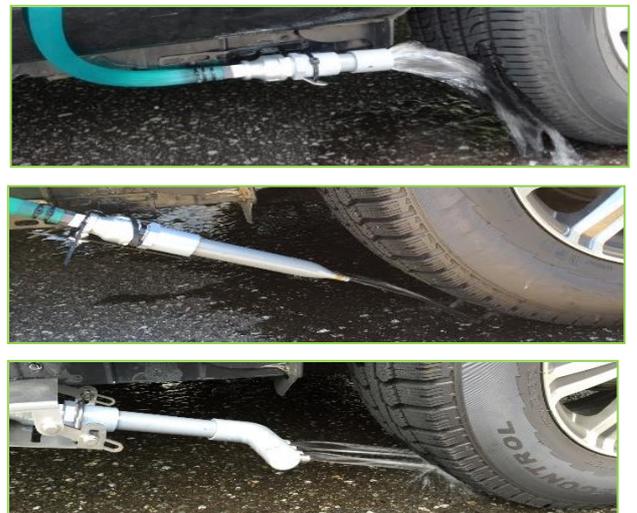


写真5 ノズル型のサンプル(上からタイプ1、2、3)

実験の結果タイプ3を選定した。選定理由としては、タイヤ幅全体を効率よく濡らす形状・角度・水量であったことがあげられる。

タイプ3のノズル形状でテストコースにて走行試験を実施した結果、水分検知率の向上は見られたが、所定量の剤散布路面の塩分量に比して、塩分濃度の値が低かったため( $60\text{ g}/\text{m}^2$ で0.5%)、この測定値の改善が必要であることが判明した。

#### 4. 4 濃度検出率の向上

濃度検出率の向上のためには、路面塩分の溶解をより容易になるように装置を改善する必要があった。試行錯誤の結果、ノズル2つの内、1つを後タイヤ前方の路面に噴射し、あらかじめ路面を濡らして事前に塩分の溶解を促し、その次にタイヤに噴射した水で跳ね上げをしやすい構造に改良した(図1)。

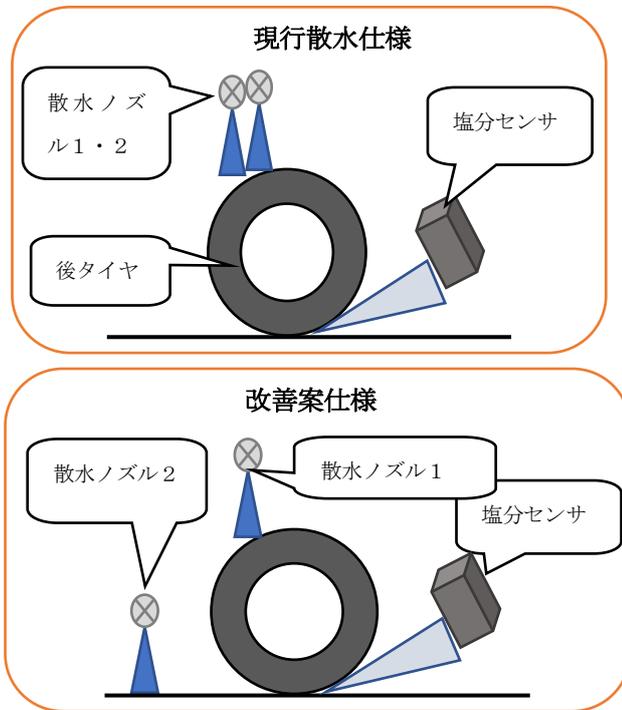


図1 ノズル位置の改良イメージ

この改良装置を搭載した車両を用いて、専用テストコースにて走行試験を実施した。

##### a. 試験概要

試験は、所定量の塩を路面に均一になるように撒いた後、噴霧器で塩を溶かして乾燥させたヤード(図2の「塩分区間」)を速度条件 70km/h で走行したときの塩分濃度検出値と真値を比較した。真値は、食塩を散布した面積当たりの塩分量 ( $g/m^2$ ) とした。

- ・塩分区間：幅 1 m × 長さ 2 5 0 m
- ・塩分区間の数：4 カ所
- ・散水開始タイミング：走行開始直後 (3 0 秒で自動停止)

##### b. 試験コースの作成

試験に先立ちテストコースに 4 本のヤード及び加減速区間を設定した。次に  $1 m^2$  毎に必要な塩を、軽量スプーンを使って散布し、噴霧器にて水を散布して塩を溶かし乾燥させた。

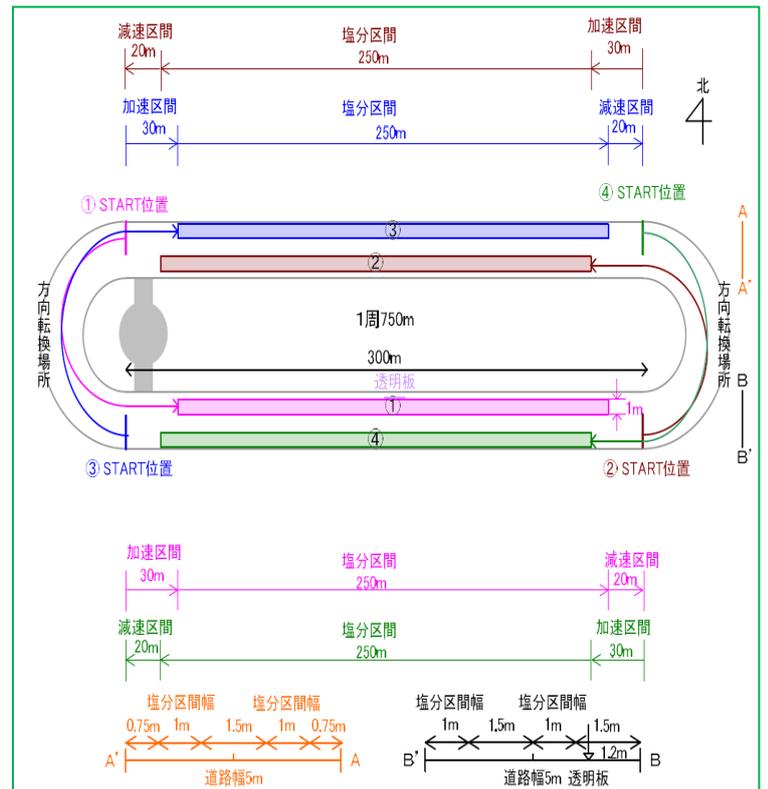


図2 試験コース概要

試験は、左周回コースの試験条件①②と、右周回コースの試験条件③④に分けて行なった。走行は①  $10 g/m^2$ 、②  $20 g/m^2$ 、③  $40 g/m^2$ 、④  $60 g/m^2$  の順で実施した。



写真6 試験コース作成の様子



写真7 試験コースでの測定に使用した測定車

c. 試験車両外観

試験車両の外観写真を上記に示す (写真7)

d. 試験結果

試験は、①～④の4周を1セットとし、それぞれ21セット、計84週の測定を実施した。

結果はそれぞれの塩分量で濃度データが測定され、概ね塩分量が多いヤードほど高い濃度が検出された (図3)。ノズルの位置を2箇所に変更したことによる効果が見られた。また、濃度検出にはある程度タイヤが濡れる必要があるため、長い試験距離 (250m) を確保できたことも改善の要因と言える。

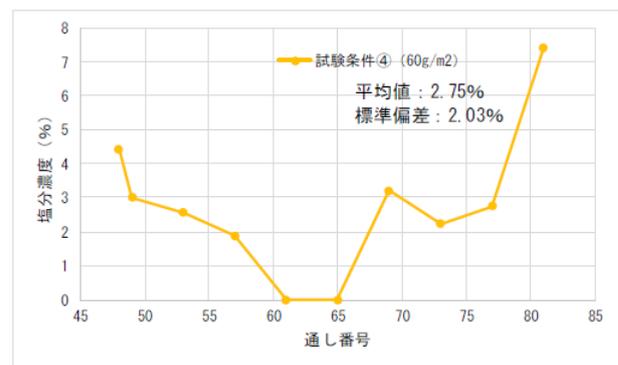
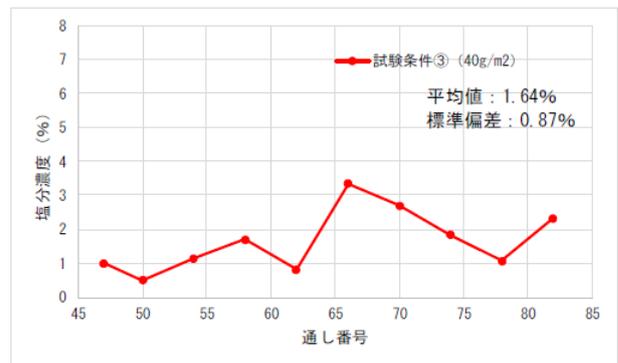
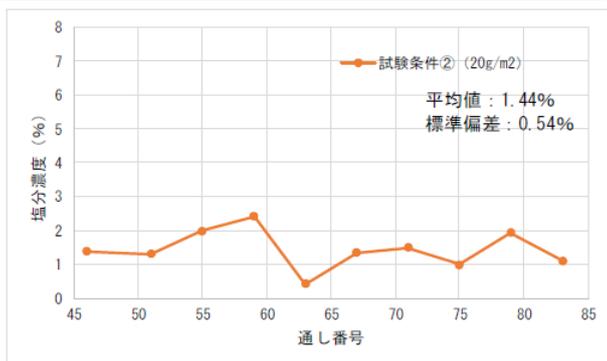
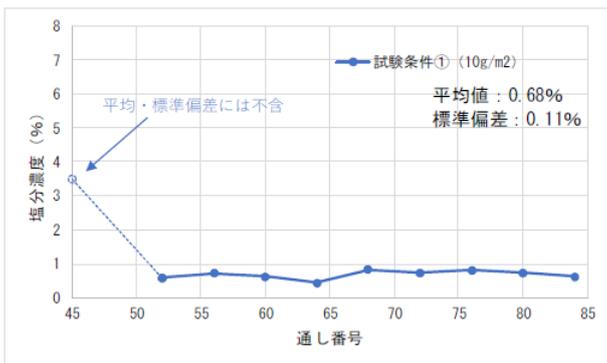


図3 試験条件別 塩分濃度平均値 (通し番号は試験の順番)



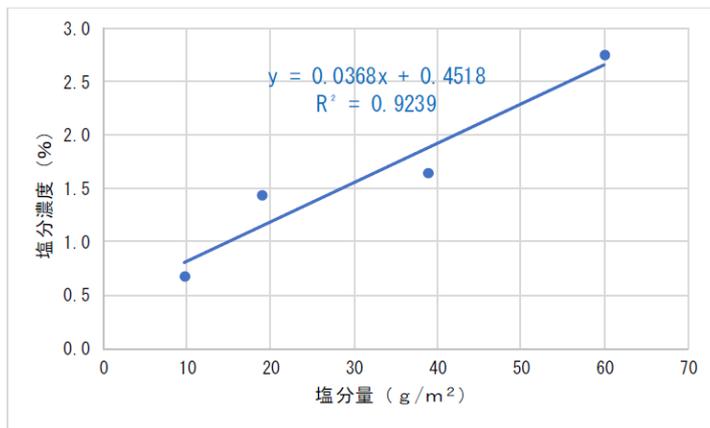


図4 検出塩分濃度と残留塩分量の関係

そして以下の相関式が得られた。

$$y = 0.0368x + 0.4518 \quad R^2 = 0.9239$$

(図4,  $R^2$ は決定係数、1に近い程相関性がある)

この試験により、2年目のテーマであった測定濃度と残留塩量の相関性を求めることができる可能性が得られた。

#### 4.5 試験運用に向けての最終準備

3年目のテーマを達成するため、装置の最終仕様確立の検討を行った。施工モデルは初期のものを基本とし、水タンクの仕様や、ノズルの形状・位置などに改良を加えた仕様とした。測定データはクラウドを経由してすぐその場でPCにて閲覧できるシステムを構築した。

この車両を用いて夏場に散水実験を繰り返した。そして冬期に高速道路本線にて安定した濃度検出ができるかを試すこととした。ところが、この年の冬は暖冬傾向が強く、降雪がかなり少なかったため、本線における湿潤路面の現出回数が極端に少なかった。そのため本線での実験がほとんどできなかった。

そこで急遽テストコースでの試験を行うこととし、前回よりさらに広い施設で行った

試験方法は概ね前回テストコースと同様だが、より長いコースを使用した関係上、ヤードの作成は手作業ではなく、散水車や車載式散布機を用いての作業を行った。

走行は  $10 \text{ g/m}^2$  を省き、①  $20 \text{ g/m}^2$ 、②  $40 \text{ g/m}^2$ 、③  $60 \text{ g/m}^2$  の3種類で実施した。試験は、①～③の試験を1セットとし、10セット計30周の測定を実施した。

この試験の結果とこれまでの蓄積データを重ね合わせて、最終的に次の相関図を作成した(図5)。

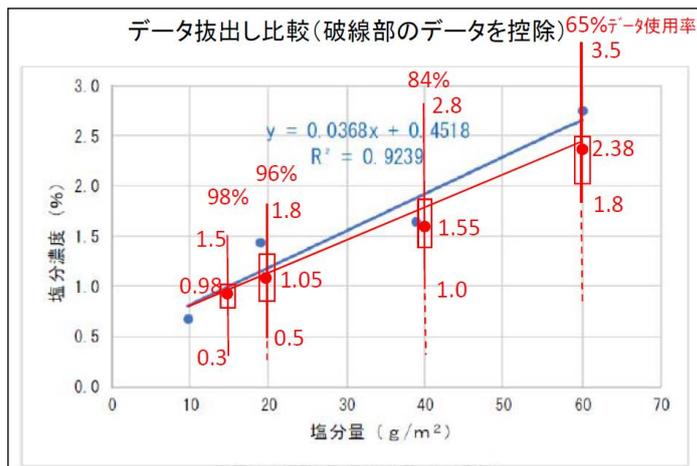


図5 検出塩分濃度と残留塩分量の関係

この相関図により通常の散布作業における散布基準である  $20 \text{ g/m}^2$  の値の時に、約1%ぐらいの値が出ることで導き出された。これを元に安全側の指標として、濃度1.25%以上が計測されれば、路面に  $20 \text{ g/m}^2$  の残留塩があるというアルゴリズムを設定することとした。

#### 4.6 現場における試行

新潟支社管内には4つの管理事務所があり、各事務所が塩分システム搭載車を有している(写真8)。



写真8 塩分システム搭載車



写真9 塩分濃度センサと散水ノズル

各事務所に1セットずつ乾燥路面測定ユニットを設置し、すべての事務所でも試行ができるよう準備を行った(写真9)。

また、ソフト面でも、車内のモニタへの表示方法や、データ参照用ソフトウェアへの反映方法を検討した。PCソフトウェアの表示は散水している時の情報を横軸がKPを表す濃度測定グラフに帯を1本追加し、3つの色で状況を示した。青は最初に水を出した状態で水分検知がない状態。黄は水分を検知し残留塩分が $20\text{ g/m}^2$ より少ない状態（濃度1.25%未満、表示は「残少」）、同じく緑は残留塩分が $20\text{ g/m}^2$ 以上ある状態（濃度1.25%以上「残有」）というようにシンプルに規定した。尚、この場合の濃度は通常の濃度測定値ではなく、散水時にアルゴリズムにより算出された平均濃度を指す。この規定をソフトウェアに組み込み、1シーズン各事務所にて計測作業を実施してもらった。そのうちの結果サンプルを2つ下記に紹介する（図6）。



図6-1 ソフトウェア表示例（残少）



図6-2 ソフトウェア表示例（残有）

試行の結果、実用に支障のない結果を得ることができた。

## 5. まとめ

以上の取組みによって、既に実用化されている車載式塩分システムを基本とし、後輪等への水噴射機能の追加により（写真10）、一時的にタイヤを湿潤状態にして、路面に付着している塩分量を測定することが可能となった。現場には下記の要領で運用してもらうこととした。

5.1 実施タイミング：路面乾燥時に降雪予報もしくは放射冷却による凍結が想定される場合に、追加散布が必要か判断しなければならない時に巡回を実施する。

5.2 仕様：散水スイッチを押すと30秒間散水（約1.4リットル）し、自動的に止まる。時速80km/hで走行した場合、1回の散水で約660m区間の測定が可能。36リットルタンクが満タンの場合、25回散水でき、トータル約16.5km区間の測定が可能。

5.3 データ活用：任意の場所で測定を行い、路線（IC間）について評価して、全線散布もしくは部分散布の必要可否を判断する。

湿潤路面の残留塩分濃度のみならず、乾燥路面の残留塩分量が把握できることにより、さらなる冬期路面管理の最適化に寄与し、凍結防止剤の削減や作業回数の削減につながっていくとともに、巡回時の車外での人による塩分測定の危険作業が低減できることが期待される。

今後、新潟のような雪氷地域のみならず、むしろ雪の少ない剤散布作業中心の地域での活用も広がっていくよう働きかけていく所存である。



写真10 ノズルの最終仕様と水噴射の様子

## 参考文献

- 1) 酢谷 浩、阿部 公一：“濃度管理図を用いた凍結防止剤の追加散布手法の試行”、日本雪工学会誌 2016.10