

電波を使った凍結防止剤濃度測定実験について

飯田国道事務所 工務課 電気通信係長 伊知地 誠

1. はじめに

冬季の道路維持管理において、凍結防止剤散布は円滑に道路を機能させる上で欠かせない作業となっているが、路面に散布された凍結防止剤の与える影響は、道路付属施設のほか、自然環境にも影響をもたらしていると一部で報告されている。

しかし、凍結防止剤の散布タイミング、散布量に関しては、規定や基準等が明確になっていない場合が多く、適正な道路管理を行うためには、路面上の凍結防止剤の濃度を客観的にかつ正確に測定することが必要となる。

本報告では、効率的な凍結防止剤散布と沿線における土壌と河川への混入を最小限にする事を目的とし、電波を用いた凍結防止剤の濃度測定の実験結果を報告すると共に、本システムを利用した今後の道路管理の在り方についても報告するものである。

2. 非接触式凍結防止剤濃度計測の概要

2.1. 計測方法の現状

現在、道路上の凍結防止剤濃度を測定する方法として、道路埋設型や接触式の濃度測定器が実用化されている。しかし、埋設式の場合は、走行車両による振動やタイヤチェーンによる衝撃等を直接受けることにより、安定性に不安があると共に、保守面に問題がある。

また、接触式の場合は、人が道路上の液体を直接採取、測定する必要があることから、手間がかかる上に危険を伴う恐れがあるなど、凍結防止剤濃度の測定に関しては、非接触式の測定が前提となる。

2.2. 非接触式凍結防止剤濃度測定について

非接触検出方式である電波を用いた凍結防止剤濃度測定に関して、実道路における測定の可能性（精度、分解能、安定度）に関して実験を行った。

実験は図1に示すように、国道153号線の93.9Kp 治部坂峠（標高1187m）に機器を設置し、2004年の1月～3月の期間（約7週間延べ12日間）で行った。本実験システムのイメージを図2に示す。



図1 実験場所

道路上5.5mに設置した送信アンテナから、2GHz～6GHzの微弱電波（3m地点における電界強度 $35\mu\text{V/m}$ ）を道路に向けて発射し、道路から返ってくる反射電波の受信強度と位相の変化を反射特性（反射率）として取り込むことで、水、凍結防止剤（塩化カルシウムを中心に散布しており以後、塩加と呼ぶ。）の濃度を非接触で測定する。

また、実際の実験装置の設置風景を図3に示す。

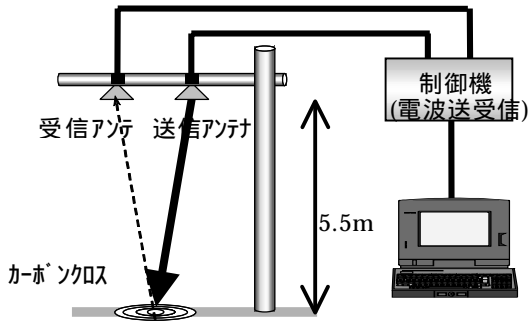


図2 実験イメージ図

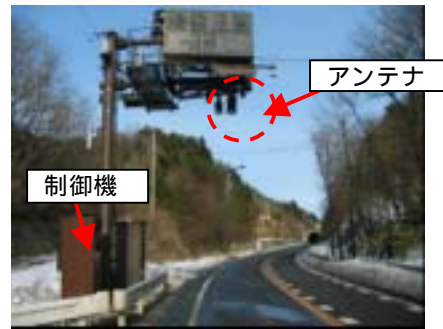


図3 試験設置風景

3. 計測原理及び測定方法

アンテナから路面に向けて発射された電波は、路面上の塩加の濃度や水膜の厚みにより電波の反射特性が変化する。この変化は物体の誘電率が異なることに起因していると考えられ、塩加の濃度と水膜の厚みについても相関にあると考えられる。

実際に各濃度の水溶液を路面に散布し、路面上の水膜厚の変化過程に合わせて電波の反射特性を連続的に測定した結果が図4である。路面に対する実際の測定では、測定値が図4のどの位置に表示されるかによって、塩加の濃度が測定できることになる。

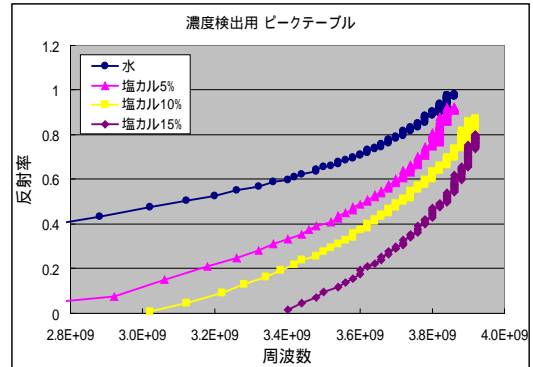


図4 各濃度に対するピーク点の変動

4. 実験結果

実験場所の測定路面状況の一部を図5に示す。

実験結果として、時間経過とともに測定データが変化していく様子を図6に示す。

図中の点(●)は手持式屈折計を用いて、塩加濃度を測定した結果(以後、実測値と呼ぶ)、点(▲)はセンサによる測定結果(以後センサ値と呼ぶ)である。この結果から、センサ値と実測値が良く一致していることが分かる。また、試験的な塩加散布とあわせて、実際の凍結防止剤散布車の通過に伴う塩加濃度の上昇も確認できる。さらに、塩加散布後、弱い降雪により濃度が希釈されていく様子も的確に測定されていることが確認できる。



図5 積雪状態の測定路面

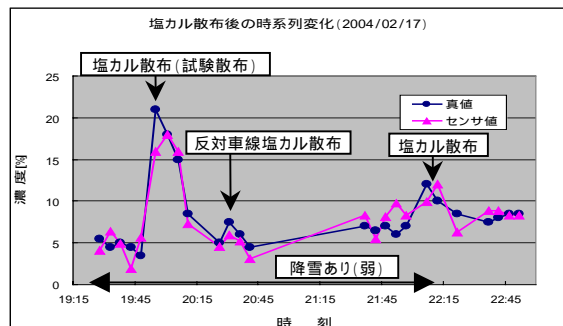


図6 塩カル濃度時系列変化

4.1. 精度評価

今回の実験期間では、延べ 522 回の測定を行った中で乾燥状態の路面は 307 回、湿潤状態（塩加濃度 0%）の路面は 114 回であった。この両者の区別すなわち、乾燥と湿潤（水膜）の区別は 100%の精度であった。

また、塩加濃度が存在する水膜状態の路面は 101 回計測した。101 回の測定結果に対して、精度を評価するため、平均絶対濃度誤差を式(1)のように定義した。結果を表 1 に示す。結果、塩加濃度が計測された全データの平均絶対濃度誤差は 2.1%であるが、塩加濃度 5%未満の危険な状態における誤差は 1.6%となり、危険状態での精度が高い傾向がある。

$$\text{平均絶対濃度誤差} = \frac{|\text{センサ値(自動計測)} - \text{実測値(人による計測)}|}{\text{全サンプル数}} \dots (1)$$

表 1 センサ値と実測値の平均絶対濃度誤差

	全データ (101 回)	塩カル濃度 5%以下 (56 回)	塩カル濃度 5%以上 (45 回)
平均絶対濃度誤差	2.1%	1.6%	2.8%

さらに、実測値の測定上の誤差を考慮し、平均誤差範囲を $\pm 2.5\%$ とした場合の正解率(式(2))を表 2 に示す。表 2 の結果から、実測値に対して、約 80%の正解率で測定が可能であることが確認できた。

$$\text{正解率}(\%) = \frac{\text{実測値から } \pm 2.5\% \text{ 以内のセンサ値のサンプル数}}{\text{全サンプル数}} \times 100 \dots (2)$$

表 2 水膜状態での塩分濃度正解率

	全データ (101 回)	塩カル濃度 5%以下 (56 回)	塩カル濃度 5%以上 (45 回)
正解率 ($\pm 2.5\%$ 以内)	80.2%	80.4%	80.0%

本実験結果から、微弱電波を用いた非接触式の凍結防止剤濃度計測方式が十分に実用可能なことが確認できた。この他、本測定方式では、1 回の測定に当たり、約 4 分を要すが、測定時間中の通過車両や降雪の影響は受けなかった。

5. 今後の道路管理の在り方

4.実験結果により、塩加濃度の非接触測定に関して、実用可能なシステムであることが確認できた。これに伴い、本測定センサを利用した路面状況管理について、整理検討を行った。

5.1. 危険な路面の把握

図 7 では、塩加濃度と凍結温度の関係（点実線：凍結温度曲線）に対して、測定時点の温度と共に、センサ値（点）をプロットしたグラフを示している。すなわち、センサ値（点）の位置が凍結温度曲線のどちらに存在するかにより、危険状態であるかどうか把握可能となる。

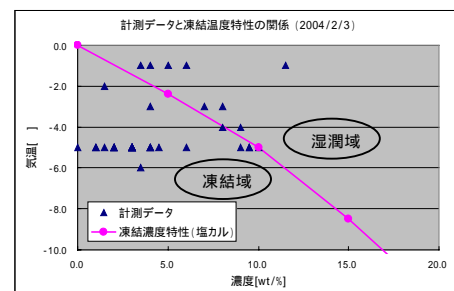


図 7 濃度と凍結温度の関係

5.2. 道路線形に対応した安全走行支援および凍結防止剤散布量の最適化

実験を行った峠や橋梁のように、急勾配の坂道や凍結しやすい箇所では、他の平坦な場所とは異なり、圧雪、凍結状態によるスリップ事故への危険性が高い。このような危険状態の発生しやすい箇所に対しては、現状の路面状態を明確に把握すると共に、凍結防止剤自動散布装置との連携により、凍結防止剤の自動散布を行うことでリアルタイムな雪氷対策が可能となり、安全走行支援、事故防止に関して効果的な対処が可能となる。



また、市街地や平坦な道路においては、前回の凍結防止剤散布による効果が持続している可能性があるため、湿潤状態の判断のみで、凍結防止剤を散布することは過剰な散布となることも考えられる。このような状況においても、明確に情報を把握することで適切な凍結防止剤の散布タイミングと量の最適化が図られ、過剰散布の抑制効果を持つことから、環境への影響も低減できる事が考えられる。

6. まとめ

冬季の道路管理情報として、利用可能な凍結防止剤の濃度測定に関して、微弱電波を用いた新しい非接触式の測定方法のフィールド実験を行った結果から、次のことが言える。

1. 自然環境下における、電波による凍結防止剤濃度計測は平均絶対濃度誤差約2%、平均正解率約80%となり、実用化に向けて十分な性能を確認できた。
2. 非接触式センサを用いた、今後の雪寒対策に関しては、路面の凍結危険状態の早期把握と凍結防止剤の散布タイミング及び、散布量の適正化に利用すればコストダウンに繋がる。
3. 散布車との融合により、凍結防止剤散布場所の状況に応じた自動散布化も可能になることから、雪寒車両の操作支援にも繋がる。
4. 本装置の利用向上を高めるため、冬季以外のセンサとしての利用方法が必要。

なお、今回の実験については、実験ポイントが1箇所であったが、面的管理（路面全体）がリアルタイムで出来るように、路面の凍結状態の早期把握と凍結防止剤の散布タイミング及び、散布量の適正化に向けて、さらなるセンサの精度向上と散布量の改善の実態調査を行っていく必要がある。これらの検討、調査を行っていくことで、5.2項でイメージした冬季の道路維持管理における雪寒対策への適用を現実のものとしていく予定である。