

凍結防止剤散布後の路面すべり摩擦係数推定に関する研究

鴻池組 正会員 ○宮本 真吾
 福井大学 非会員 大皿 和正
 福井大学 正会員 藤本 明宏

1. はじめに

凍結防止剤(以下、塩)散布は、凝固点降下を利用して路面表面水の凍結を未然に防ぐ冬期道路管理の一つである。道路予算の縮減や道路インフラや沿道構造物の塩害問題を背景に、その効率化は益々重要になっている。しかしながら、凍結防止剤散布効果の評価方法は十分に確立されておらず、事前にいつ・どれくらい散布すればよいか、事後に散布が適切であったか否かを、道路管理者が適切に判断することは依然として難しい。

本論文では、路面すべり摩擦係数(μ)による凍結防止剤散布効果の評価手法(以下、WiRIS)の概念や計算例を紹介するとともに、WiRISの構築に必要な固相塩の溶解速度を室内実験から同定したのでその一部を紹介する。

2. WiRISの概要と課題

図-1にWiRISの概要図を示す。入力条件は、路面温度(本論文では気温と同値とする)、降水量、降雪量、交通量、塩散布量および路面状態(路面水・氷量、残留塩量)である。WiRISはこれらを基に、路面上の水・氷・塩の質量収支を計算し、散布後の μ を出力する。その手順を図-1に照らし合わせながら以下に記載する。

(i) 路面水量 $M_w(\text{g/m}^2)$ を凝固、降雨および車両通過

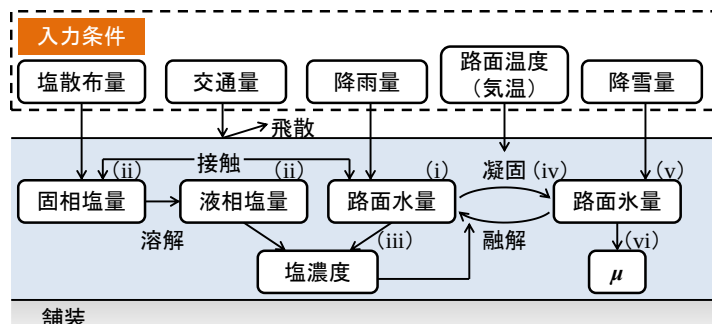


図-1 WiRISの概要図

に伴う飛散¹⁾によって変化させる。

- (ii) 散布された固相塩量 $M_{ss}(\text{g/m}^2)$ を M_w との接触によって溶解させ、液相に変化させる(3.に詳述)。また、液相塩量 $M_{sl}(\text{g/m}^2)$ と M_{ss} はともに車両通過によって飛散させる¹⁾。
- (iii) M_w と M_{sl} より、塩分濃度 C_s を求める。
- (iv) 凝固開始濃度 C_{sc} を路面温度 $T_s(^{\circ}\text{C})$ と凝固点曲線から求め、 $C_s = C_{sc}$ になるように $C_s < C_{sc}$ の場合には M_w を凝固させ、 $C_s > C_{sc}$ の場合には路面氷量 $M_i(\text{g/m}^2)$ を融解させる。
- (v) M_i を M_w の凝固および降雪によって変化させる。
- (vi) μ を M_i と μ の関係から求める。

WiRISの課題は、(ii)の固相塩の溶解速度および(vi)の M_i と μ の関係であり、本論文では(ii)について次章で述べる。

3. 固相塩の溶解速度実験

本研究では、固相塩の溶解速度定数 $K(\text{m/s})$ は C_s の時間変化が実験値と計算値で一致するように決定される。

本実験は低温恒温槽で行われ、図-2に示すように舗装上に作成した水膜に固相塩を散布し、固相塩の溶解に伴う C_s の上昇を屈折計で測定する。表-1に実

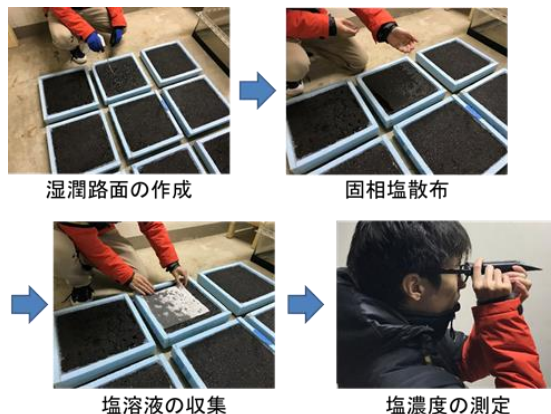


図-2 固相塩の溶解速度実験の様子

キーワード：冬期道路、路面凍結、凍結防止剤散布、すべり摩擦係数、溶解速度、効率化

連絡先：〒910-8507 福井市文京 3-9-1 福井大学工学部建築・都市環境工学科 地盤工学研究室 TEL 0776-27-8594

験条件の一覧を示す。

以下に C_s の時間変化の計算方法を述べる。本計算では、路面に散布された塩を球体と見做すことで、塩の溶解現象を数値化して表現する。微小時間 t における固相塩の溶解量 $dm_{ss}(\text{g/m}^2)$ の変化は、Noyes-Whitney の式を用いて次式で与えられる。

$$\frac{dm_{ss}}{dt} = K(C_{sa} - C_s)A_{ssi}\rho_s \quad (1)$$

ここに、 C_{sa} は飽和塩濃度 (kg/kg)、 A_{ssi} は 1 m^2 あたりの固相塩と水膜の接触面積 (m^2/m^2) および ρ_s は塩密度 (g/m^3) である。ここで、溶解が生じて塩の形状は球体を維持するものとして、 dm_{ss} に相当するように球体の半径を縮小させ、塩の体積と表面積を減少させる。式(1)において、 C_{sa} と ρ_s は定数であり、 C_s は M_w (ここでは一定) と溶解した塩量 (dm_{ss} の時間積分) の比によって求められる。よって、 K を定めると、式(1)を用いた m_{ss} および C_s の繰り返し計算により、 C_s の時間変化を求められる。

図-3 は C_s の実験値 C_{sm} と計算値 C_{sc} を比較したものである。 C_{sm} は散布直後から急激に上昇し、 $t = 30\text{ min}$ ほど経過すると概ね一定になった。 $K = 16.5\text{ m/s}$ において C_{sc} は C_{sm} と良好に一致した。

4. WiRIS の計算例

図-4 は、夜間に気温低下によって、湿潤路面から凍結路面に変化することを想定した μ の推移である。塩を散布しない場合(プロット)、気温が氷点下になる 23:00 に μ は急減し、0.26 となる。ここで、冬期路面における μ の管理水準を 0.35 とすると、この条件では散布が必要と判断されることになる。この状況に対して、WiRIS の計算例として、散布時刻を 22:00 に固定し、散布量を 10、20 および 30 g/m^2 に変化させた場合の μ を同図に示す。

散布量 20 および 30 g/m^2 は $\mu = 0.36$ および 0.40 に漸近するように推移し、いずれも管理水準の μ を満たす。ただし、管理水準が $\mu = 0.35$ であれば散布量 30 g/m^2 は過剰散布と考えられる。一方、散布量 10 g/m^2 は $\mu = 0.30$ となり、明らかに散布量不足である。このように、WiRIS を用いて散布後の μ を計算することで適切な散布量を事前に知ることができる。また、散布時間を変えた計算を行えば、最適なタイミングでの散布が可能になる。

表-1 実験条件の一覧

室内温度		0℃
水膜厚		0.5 mm
凍結防止剤	種類	塩化ナトリウム
	量	75 g/m ²
	形状	粒状
舗装供試体	種類	密粒度舗装(13F)
	サイズ	幅0.3×長さ0.3×厚さ0.05 m
測定時間		2、7、15、30、60、120 分

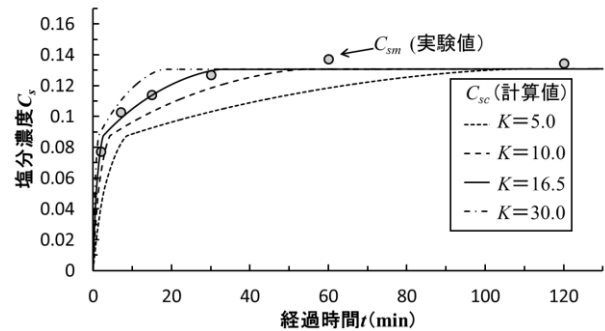


図-3 塩濃度の経時変化

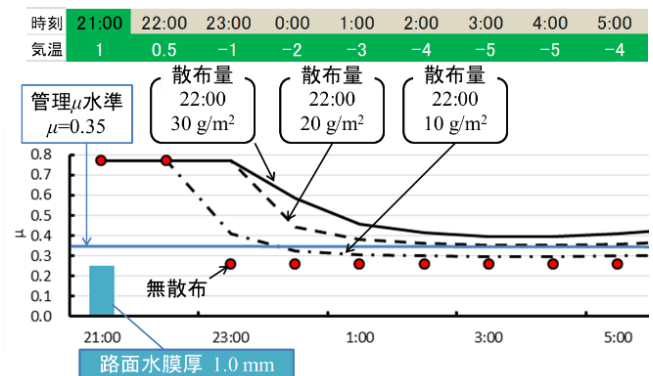


図-4 WiRIS による μ 予測

5. おわりに

本研究では、室内実験により塩の溶解速度を明らかにし、これらの知見を基に WiRIS を構築した。また、WiRIS の計算例からその有用性を示した。今後は現道試験を通じて WiRIS の妥当性を検証する。

参考文献

- 1) 藤本明宏他：通過車両の影響を考慮した凍結防止剤事後散布の路面すべり抵抗推定法の構築と検証、土木学会論文集 E1、71、2、81-96、2015。
- 2) 久本晴己他：歩道舗装材料のすべり抵抗性に関する研究、土木学会論文集 641/V-46、15-28、2000。