

路面凍結防止剤のモデリング Modeling of road salt

藤本明宏 (土木研究所寒地土木研究所)

Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute

1. はじめに

冬期道路では、機械除雪や凍結防止剤散布を基本に様々な積雪・凍結路面对策が実施されている。路面凍結モデルは路面温度や路面凍結の発生を予測することで積雪・凍結路面对策の適正化を支援する技術として、これまでに国内外の様々な研究機関で提案され、実用化されてきた。1980, 1990年代に開発された初期のモデル^{1)~3)}などの多くは気象や地形などの自然要因に重点を置いたものが多く、車両や凍結防止剤などの人為要因を十分に考慮していなかった。最近になって路面に及ぼす車両の熱的影響に関する研究が進み、車両の影響はモデルに組み込まれるようになった^{4)~6)}など。一方、凍結防止剤のモデリングに関しては車両熱に比べて遅れており、世界的にも未だ研究開発段階の域を出ていない。凍結防止剤を未考慮の路面凍結モデルは路面の凍結を予測できても、散布内容の妥当性(通常の散布量で凍結を回避できるか否か、散布時期が適切か否か等)までを評価できない。

本研究では、路面凍結モデルの改善の一環として、凍結防止剤のモデリングを行っている。本論文では、凍結防止剤散布の効果と課題を整理するとともに、凍結防止剤のモデリングの状況を踏まえて今後の路面凍結モデルに関する課題について述べる。

2. 凍結防止剤散布の効果と課題

冬期路面管理マニュアル(案)では、「凍結防止剤とすべり止め材は、気温と雪氷量を総合的に判断して、状況にあわせて効果的な散布に心がける必要がある。」⁷⁾と記載されている。この事について村國による研究^{8),9)}を参考に今一度考えてみる。

一般的に路面上の水・氷・雪量(以下、路面雪氷量)が増えるほどあるいは温度(ここでは路面温度や気温を意味する)が低下するほど、凍結防止剤の効果は低下する。具体例として、氷膜や氷板に塩化ナトリウムを散布した場合、温度 -10°C では凝固点曲線に準じて塩濃度が約15%の塩化ナトリウム溶液が発生するように氷が融解する。温度 -5°C では塩濃度が約7%の塩化ナトリウム溶液が発生する。これより、温度によって融氷量は異なるため、同じ散布量・路面雪氷量であっても温度が高いと路面凍結を回避できる(適正散布あるいは過剰散布)が、温度が低いと路面雪氷表層の一部のみを融かすだけで路面状態を改善できない(過少散布)場合があることが分かる。また、同じ散布量・温度では融氷量が一定となるため、路面雪氷量が少ないと路面凍結を回避できるが、路面雪氷量が多いと散布効果を十分に得られない場合がある。このように、凍結防止剤散布による融氷量は温度に依存し、有意な散布効果が得られるか否かは路面雪氷量によって決まるので、確かに凍結防止剤の散布は温度と路面雪氷量を総合的に判断して決定する必要がある。ちなみに、現道において比較的測定し易い塩濃度で凍結防止剤の散布量の過不足を判断するような試みには注意が必要である。氷点下では塩濃度は基本的に温度に依存するため、低温下では高濃度であっても路面

雪氷量の多いすべり易い路面は存在し、低濃度だからといって必ずしもすべり易い路面とは限らない。冬期道路管理においては、塩濃度も参考になるが、やはり温度と路面雪氷量（可能であれば路面残塩量）を基に総合的に凍結防止剤の散布内容を決定することが望ましい。

これまでに凍結防止剤の基本的性質は明らかにされ、平衡状態に達した時の融氷量は簡単に求めることができる。それでもなお、適切に凍結防止剤を散布することは容易でない。この理由は、現道の温度および雪氷量の正確な把握、またはこれらの情報を基にした的確な散布の実施が難しいことにある。具体的には、路面温度・気温および路面雪氷量は時間的・空間的に多様に変化する上に、路面雪氷量については現道での実用的な測定技術が確立できていない。また、北海道では重点散布を実施しているが、必要な箇所に必要な量を撒くための改良すべき機械的課題もある。さらに、凍結防止剤を散布機械のホッパ内に残すと固詰の原因になるため、完全に撒き終えなければならないといった管理上の事情も存在する。将来においては、オペレータの高齢化や世代交代に伴う散布作業の習熟度の低下に関する潜在的な不安要素も忘れてはいけない。

3. 路面凍結モデルに関する課題

(1) 凍結防止剤のモデリング

路面凍結モデルは計測機器で得ることが難しい路面温度や路面雪氷量を計算で求めることができる。更に凍結防止剤の影響を加味することにより、散布後の路面雪氷状態（散布が適切か否か）を事前に検証することが可能になるため、凍結防止剤散布の適正化への貢献度は高い。

筆者らはこれまでに凍結防止剤の溶解熱や凝固点降下を考慮したモデルを提案し、塩化ナトリウム溶液の凍結過程¹⁰⁾と固形散布後の霜凍結過程¹¹⁾について室内実験を通してモデルの妥当性を検証した。しかしながら、これらのモデルは道路外への凍結防止剤の流出がない条件下での検証に留まっており、現道へ適用するには道路上で起こ



図1 寒地土木研究所版路面凍結モデル

る凍結防止剤の移動の定量化が必要となる。現在、道路上の凍結防止剤の移動を車両による飛散、車両への付着および道路勾配に伴う排水に分け、それぞれ野外実験を通して定量化を試みており、別の機会に報告したい。

(2) 予測範囲の拡大

当研究所では独自に路面凍結モデルを構築し、平成24年度の実績として国道主要24路線の総延長570 kmに亘る路面温度および路面凍結リスクの予測情報を道路管理者へ提供している¹²⁾。当モデルは道路気象テレメータ地点の路面温度・路面雪氷状態予測とサーマルマッピングで作成した路面温度路線分布を組み合わせることで、面的な路面温度および路面凍結リスクの予測を可能にした。しかしながら、この手法は予測範囲の拡大にサーマルマッピングが必須となり、多大な時間と労力を要する。従って、今後の課題はサーマルマッピングの実行回数の最小化検討やサーマルマップとは別の方法による予測の広域化検討が挙げられる。最近では、齊田ら¹³⁾は山岳地形データ、太陽の軌跡、気象モデルを組み合わせ、路面温度の路線分布を熱収支のみで推定する広域路面温度モデルを提案しており、早期の実用化が待たれる。

4. おわりに

本論文では、凍結防止剤散布と路面凍結モデルの現状と課題について紹介した。今後、路面凍結モデルに凍結防止剤の影響を組み込み、さらに計算精度や予測範囲を改善することにより、今まで以上に合理的かつ客観的な道路管理方法を提案できる可能性は高まる。しかしその一方で、現状の道路維持作業は、予算の縮減等、様々な制約下にあり、いくら正確で豊富であっても道路維持作業への反映が困難な情報は好まれない。従って、冬期道路管理の効率化を推進させるためには、“研究者が提供できる情報”と“管理者が実施できる作業”を照合する機会を増やし、路面凍結モデルの改善と並行して、モデルの有効的な活用方法を検討することが益々重要になると考える。こうした課題を乗り越え、冬期道路管理の歯車に路面凍結モデルが噛み合った時、路面凍結モデルは今まで以上に冬期道路管理の効率化に貢献できるであろう。

【参考・引用文献】

- 1) Thones, J. E. , 1984: The prediction of ice formation on motorways. Ph.D. thesis, *University College*, 1-392.
- 2) Rayer, P. J. , 1987: The Meteorological Office forecast road surface temperature model. *Meteor. Mag.*, **116**, 180-191.
- 3) 武市靖, 前野紀一, 久保宏, 1992: 路面凍結の検知と推定手法に関する研究, *土木学会論文集*, **440**, 155-164.
- 4) Prusa, J. M. et al. , 2002: Conceptual and scaling evaluation of vehicle traffic thermal effects on snow/ice-covered roads, *J. Appl. Meteor.*, **41**, 1225-1240.
- 5) 石川信敬ら, 2000: 凍結路面の発生メカニズムに関する熱収支的考察, *寒地技術論文・報告集*, **16**, 382-388.
- 6) Fujimoto, A., Saida, A. and Fukuhara, T. , 2012: A New Approach to Modeling Vehicle-Induced Heat and Its Thermal Effects on Road Surface Temperature, *J. Appl. Meteor.*, **51**, 1980-1993.
- 7) 北海道開発局, 1997, *冬期路面管理マニュアル (案)*, 16.

- 8) 村国誠, 1993 : 冬期路面管理に使用する薬剤 (2) 薬剤の事前散布効果, *ゆき*, **11**, 87-94.
- 9) 村国誠, 1993 : 冬期路面管理に使用する薬剤 (3) 薬剤の融雪メカニズム, *ゆき*, **12**, 97-103.
- 10) 藤本明宏, 渡邊洋, 福原輝幸, 2009 : 凍結に伴う NaCl 湿潤アスファルト舗装のすべり抵抗低下, *日本雪工学会誌*, **24**, 2, 3-11.
- 11) 藤本明宏, 齊田光, 福原輝幸, 2011 : 固形塩化ナトリウムの溶解を伴う路面霜凍結解析, *日本雪工学会誌*, **27**, 4, 3-13.
- 12) 高橋尚人, 浅野基樹, 石川信敬, 2005 : 熱収支法を用いた路面凍結予測手法の構築, *寒地技術論文・報告集*, **21**, 201-208.
- 13) 齊田光, 藤本明宏, 福原輝幸, 2013 : 熱収支法による広域路面温度予測モデル—乾燥路面の路線温度分布予測—, *土木学会論文集*, 掲載決定.