

高規格幹線道路日高自動車道における サーマルマッピングによる路面凍結要注意箇所への抽出

宮本 修司* 浅野 基樹**

1. はじめに

新規供用箇所の冬期道路管理は、それまでの経験の蓄積がないため路面凍結が発生しやすい箇所などについての知識がない。そこで路面凍結の発生に関して、密接な関係にあると考えられる路面温度を線的に測定し、対象路線における路面凍結危険箇所を調査するサーマルマッピングがヨーロッパなどで行われている。

サーマルマッピングについては国内において、一般国道230号中山峠¹⁾や東北自動車道²⁾における測定例などが報告されている。

本文では日高自動車道苫東道路において供用開始前に実施したサーマルマッピングの調査結果と、抽出した路面凍結要注意箇所について報告する。

2. 日高自動車道苫東道路の概要

日高自動車道は苫小牧市と日高管内浦河町を結ぶ延長約120kmの高規格幹線道路であり、その中で通称苫東道路とは、道央自動車道苫小牧東IC分岐点から厚真ICまでの延長約19.7kmの区間である。苫東道路は平成10年3月に日本道路公団管理区間として苫小牧東ICから沼ノ端西ICまでの約4.0km、同年7月に北海道開発局管理区間として沼ノ端西ICから厚真ICまでの約15.7kmが供用開始となった。

3. サーマル・マッピング

サーマル・マッピングは、路面の温度特性を線的に把握して、センサーの適正配置や潜在的に冷えやすい箇所の把握をするもので、国内においては1991/1992



図 - 1 日高自動車道苫東道路の概要 (苫小牧道路事務所のパンフレットより引用)

の冬期に一般国道230号中山峠前後（札幌市川沿～喜茂別町国道276号交点）で初めて実施されている¹⁾。

調査は放射温度計、気温計、GPS センサーなどを搭載した移動気象観測車を用いて連続的に路面温度を測定し、路線の相対的な温度分布を求めるものである。

サーマル・マッピングの結果は、天候条件（放射冷却の有無）別に、晴れた夜で放射冷却の影響が顕著な日と放射冷却の影響が無い日についてそれぞれとりまとめた。

表 - 1 に調査を行った日の概要として、調査日時、

平均気温、平均路面温度、平均風速をそれぞれ示す。

この表より、平均路面温度は平均気温よりも全体的に低く、平均風速は1.0m/s 以下となっている。

3.1 放射冷却の影響が顕著と思われる日

放射冷却の影響が顕著と思われる日の調査結果を図 - 2（表 - 1 中の調査 1）と図 - 3（表 - 1 中の調査 2）に示す。これらの図から、日没前後の時間帯である図 - 2 では、橋梁の冷え込みが特に顕著であり、日没からある程度の時間が経過した状況の図 - 3 では、

表 - 1 サーマルマッピング実施時

	測定日	放射冷却の影響	観測時間		天候	平均気温 ()	平均路温 ()	平均風速 (m/s)
			開始時間	終了時間				
調査 1	平成 9 年 12 月 25 日	影響が大きい日	15時35分	16時16分	晴	0.6	-1.7	0.9
調査 2			19時59分	20時39分				
調査 3	平成 9 年 12 月 16 日	影響が小さい日	20時59分	21時39分	曇	-0.3	-0.3	0.6

（平均気温、平均路温、平均風速の値は、それぞれ0.2s 毎にサンプリングした値の平均値）

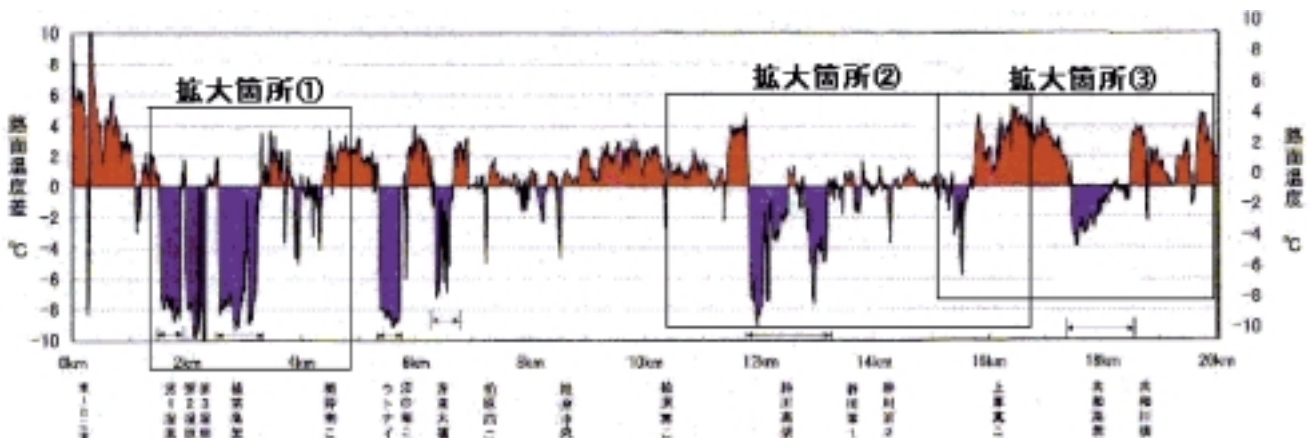


図 - 2 放射冷却が大きいと思われる日におけるサーマルマッピング結果（調査 1：日没直後）

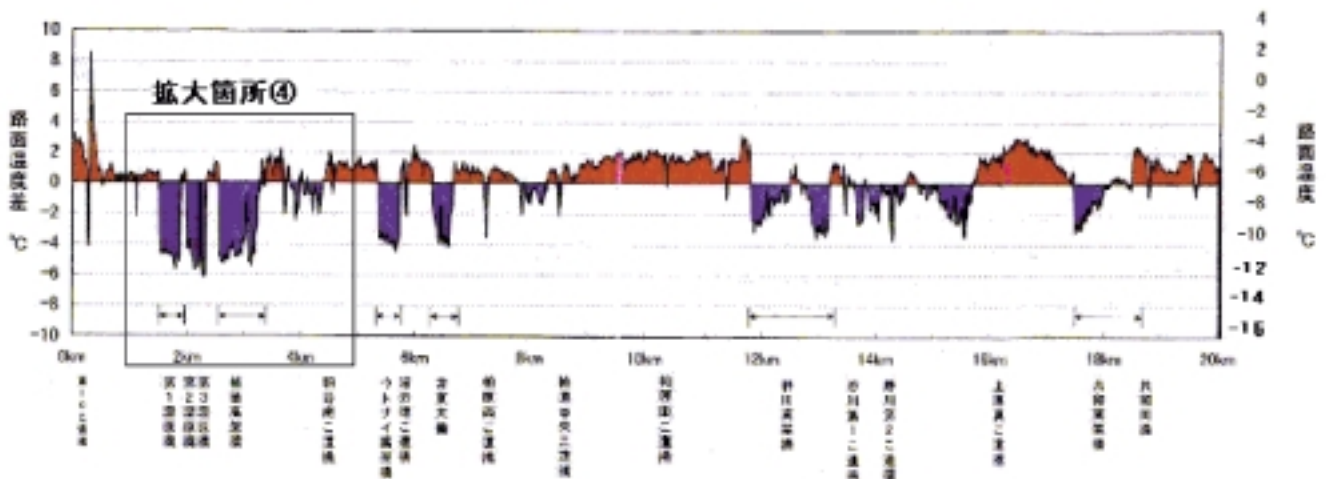


図 - 3 放射冷却が大きいと思われる日におけるサーマルマッピング結果（調査 2：夜間）

土工部と橋梁部の温度の差が徐々に小さくなっている。

ここで図 - 2 で示した日没直後の状況について、調査時の平均気温を表 - 1 で見ると、平均気温はプラス 0.6 であったことがわかる。しかしながら路線全体の平均温度は - 1.7 と平均気温より約 2 低く、さらに路線の中で最も低い路面温度の橋梁では - 11.2 と、気温との温度差が 11.8 と非常に大きい(図 - 4)。このことは放射冷却現象が発生する条件では、まず路面が放射冷却によって急激に温度が低下することを示している。また、この箇所の時間が経過したときの状況については、図 - 5 を見るとやはり路面温度が - 12.3 で気温との温度差は 6.7 に小さくなっている。その後の温度の低下量は土工部等と比較すると少なくなっている。

即ち、放射冷却の影響を顕著に受ける橋梁部においては、日没直後に急激に温度が低下し、日没時から深夜にかけての温度の変化は少ないが、土工部などについては夜間に気温の低下と共に路面温度が低下していることが分かる。

3.1.1 路面凍結要注意箇所

今回の調査結果より、路面凍結に特に注意を要する箇所として、以下の地点を抽出することができた。これらの地点は、特に路面温度が低下しやすい箇所や路面状態の不連続が発生しやすい箇所である。

近傍の気象観測機器設置箇所よりも温度が低い箇所(例えば：図 - 6)

このような箇所については、気象観測機器が示す路面温度よりも実際の路面が低くなっているため、気象観測機器による測定結果がプラスの路面温度を示している場合においても、実際の路面温度はマイナスになっていることが考えられる。

そのため路面温度の測定値より低い路面温度となっていることを念頭に道路管理を行う必要がある。

気象観測機器設置箇所と温度変化の傾向が異なっている箇所(例えば：図 - 7 や、橋梁と土工部の境界付近)

一般的にトンネルの出入り口や、橋梁と土工部の境界などでは、路面温度の急激な変化による融解水の凍結が発生しやすい。

また、図 - 7 に示した箇所は連続している橋梁の中で、橋梁形式の違いが路面温度の違いとなって発生している例である。ここで示す静川高架橋は、実際には 10 橋の橋梁から成立しておりそれぞれ静川高架橋 A

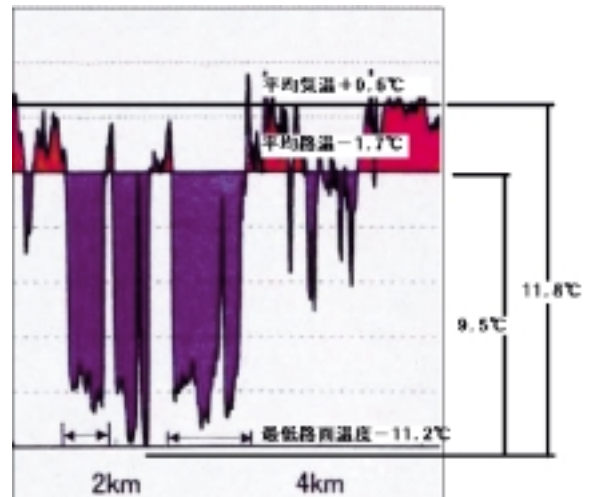


図 - 4 路面温度の最も低い地点付近の拡大図(拡大箇所)

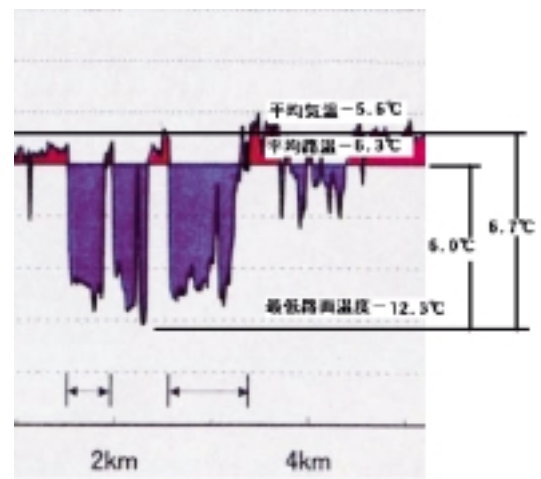


図 - 5 路面温度の最も低い地点付近の拡大図(拡大箇所)

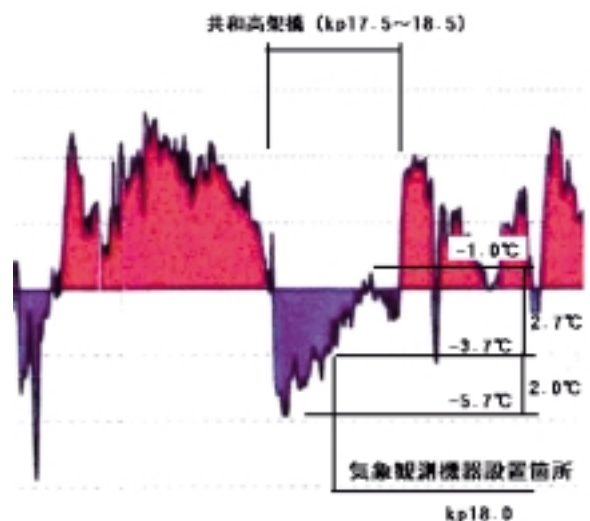


図 - 6 路面凍結要注意箇所(拡大箇所：近傍の気象観測機器よりも路面温度が低い箇所)

橋～静川高架橋J橋と呼ばれている。その中で今回の調査で路面温度に違いが発生した箇所は、H橋と呼ばれている部分であり、この箇所は静川高架橋の中では唯一の鋼床版の箇所となっている。他の報告³⁾⁸⁾によれば、橋梁の床版構造の違いが冬期間の路面状態の違いの原因となることが報告されている。

このような箇所は、同じ橋梁であるにも係わらず路面状態の違いとなつて現れたり、温度がプラスになっている箇所から、マイナスになっている箇所へ溶けだした水分が流れることによる路面凍結が発生することも考えられる。

このことについて道路利用者は、このような道路構造上の違いがあることを全く認識できない箇所であり、高架橋上における路面状態の不連続を発生させないことが道路管理上の課題となる。

今後このような箇所については、気象観測機器とは別にモニタリングを行うことや、気象観測機器での温度計測データと当該ポイントとの路面温度との関連を明らかにする必要がある。

3.1.2 橋梁の路面温度低下量

サーマルマッピングの結果、放射冷却現象の顕著な日は特に橋梁部の路面温度低下が著しいことが明らかとなった。

ここで放射冷却による路面温度の低下は、路面からの赤外線放射によって発生するものであり、放射冷却の度合いは、周囲の地形や橋梁自体の特性に影響されると考えられる。

苫東道路の合計17の橋梁について、橋梁毎の路面温度の低下量を図-8にまとめた。ここで路面温度の低下量とは、路面温度の測定結果ではなく、橋梁前後の

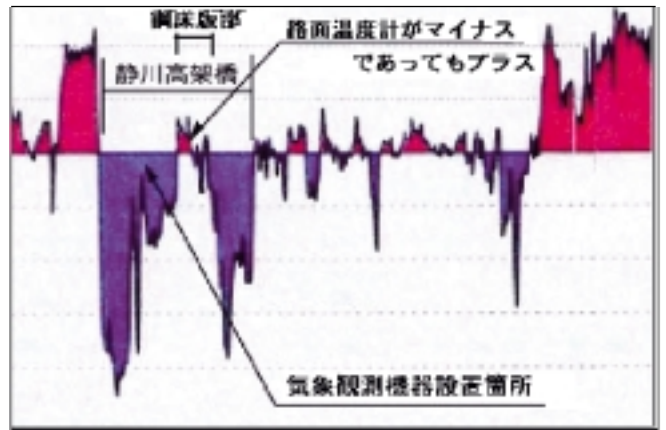


図-7 路面凍結要注意箇所（拡大箇所：近傍の気象観測機器と路面温度が異なっている箇所）

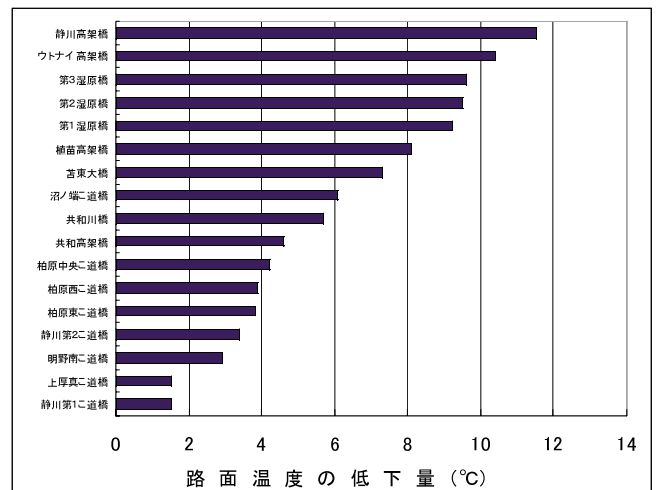


図-8 橋梁別の路面温度低下量

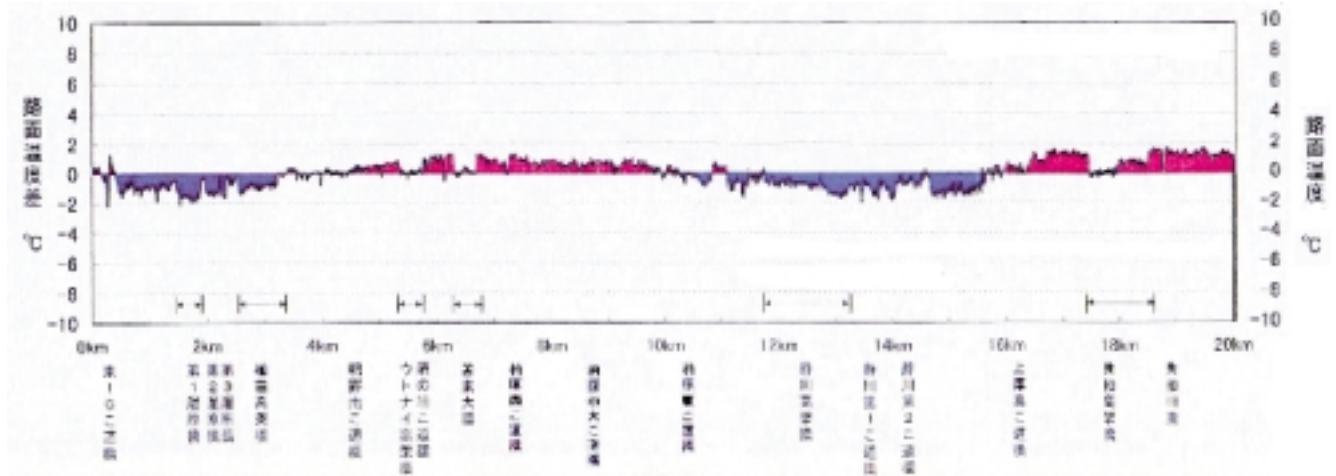


図-9 放射冷却の影響を受けない条件でのサーマルマッピング結果

土工部との路面温度差を示している。その結果苫東道路において、最も平均値との路面温度の差が大きかったのは静川高架橋であり、橋梁前後の土工部と比較して11 以上温度の違いが発生している。

このように放射冷却の度合いは、箇所によって異なるものであり、今後はこの測定結果をマイコスランを用いて路面温度を予測する際に考慮しなければならない事項であると考えられる。

3.2 放射冷却の影響がほとんど見られない日

放射冷却の影響がほとんど見られない日における調査結果を図 - 9 に示す。この図から放射冷却の影響がほとんど見られない日の路面温度は、橋梁部と土工部の温度路面温度の違いが小さく、路線の中で急激に路面温度が変化している箇所は見られない。

また表 - 1 によると平均路面温度と平均気温がほぼ一致している。

これらのことより、このような条件の日における路面凍結対策は、スポット的な対策よりも路線全体に対する対策が重要となる。

3.3 サーマルマッピングについてのまとめ

今回のサーマルマッピングの結果より、苫東道路の路面管理については、放射冷却の度合を考慮しながら実施する必要があり、放射冷却の影響によって路面温度に大きな低下と不連続が見られた。

また、例えば図 - 4 に示した平均気温と路面温度の最も低い箇所との比較から、放射冷却の作用によって路面温度が気温よりも10 以上低くなることがわか

り、このことは気温がプラスであっても、路面凍結の危険性があることを示している。

放射冷却の影響が無い日については、路面温度の気温との差や、大きな変動は見られず比較的安定した状態となる。

4. 凍結防止剤散布からみた路面状況

苫東道路のうち北海道開発局管理区間 (kp4.0 ~ kp19.7) では、凍結防止剤の散布回数を0.1km 毎に集計している。

全線がほぼ平坦で、地点毎に特に散布を行う基準を変えていない苫東道路では、散布を行った回数が多い箇所ほど路面凍結の発生頻度が高い地点と言える。

尚、苫東道路に於いて、凍結防止剤を散布する判断条件は、以下の通りである。

気象予測による判断

日没前など時間の経過とともに気温が低下し、氷点下の温度となることが予想される日。

その他の判断

除雪作業 (路面正整) の終了後、今後の車両走行によって非常にすべり易い路面の発生が予想されるとき、あるいは既に発生した非常にすべり易い路面状態を改善するとき。

の主に2つの条件で散布を行っている。

図 - 10 は、平成10年度 ~ 平成12年度の3年間に於ける0.1km ポスト毎の凍結防止剤散布回数を集計した結果を表している。この集計は実際の凍結防止剤散布作業において、散布を行ったときにそのキロポストをチェック表に記録したものを、集計したものである。

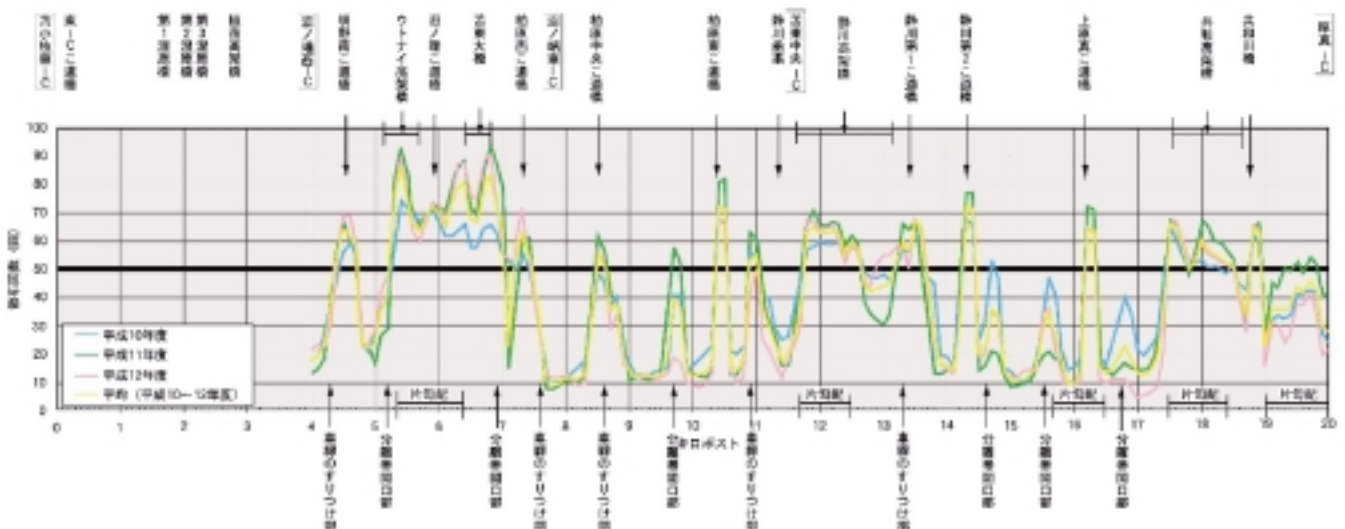


図 - 10 苫東道路の凍結防止剤散布回数分布

4.1 道路構造と散布回数

まず散布部所別の凍結防止剤散布回数を図 - 11に示すが、この図から凍結防止剤の散布回数が最も多くなっているのは、橋梁部であり、一般土工部の2倍以上の散布回数となっている。

4.2 サーマルマッピングによる

路面温度の計測結果と凍結防止剤散布回数

ここでサーマルマッピングによる路面温度の計測結果と凍結防止剤散布回数の相関を見るため、橋梁部と土工部のそれぞれについて0.1km毎の凍結防止剤散布回数と、サーマルマッピングによって計測した路面温度と平均路面温度との差（以下路面温度差と記す）との関係を図 - 12と図 - 13に示した。

その結果、路面温度差と凍結防止剤散布回数との相関係数は土工部で0.05、橋梁部で0.18と全く相関が見られない。このことより苦東道路での散布判断条件による凍結防止剤散布の回数と路面の温度には特段の関係は見られないと言える。

5.まとめと提案

今回の調査結果より、供用開始前に実施する必要がある冬期の路面凍結対策のための、検討項目を以下に示す。これまで供用開始前の事前調査として実施していることも含め再度提案を行う。

5.1 サーマルマッピングの活用

今回のサーマルマッピング調査によって、苦東道路では橋梁部の路面凍結に特に注意を要することや、その他の潜在的な路面凍結危険箇所を抽出することができた。

このようにサーマルマッピングを実施することによって、あらかじめ凍結危険箇所を予測することができる。

5.2 既存の気象データの活用

新規供用区間において、既存の気象データを活用することは当然のことであるが、その中で平均気温、降雪量等の他に、放射冷却の発生頻度、冬期間の日照時間のデータを活用する。即ち放射冷却現象の発生頻度が高い場合には、特に橋梁部の路面温度の低下頻度が高く橋梁部の路面对策が特に重要であることが想定される。

また除雪水準の高い国道においては、除雪後の雪の厚さが薄く、日中に融解され路面凍結の発生割合を高

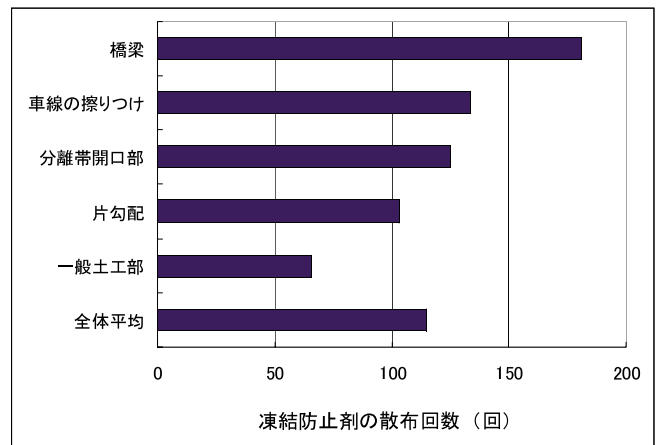


図 - 11 道路構造別の凍結防止剤散布回数

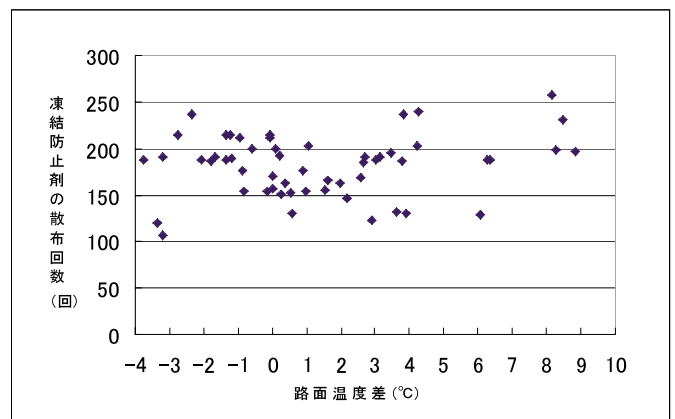


図 - 12 凍結防止剤散布回数と路面温度との関係 (橋梁部)

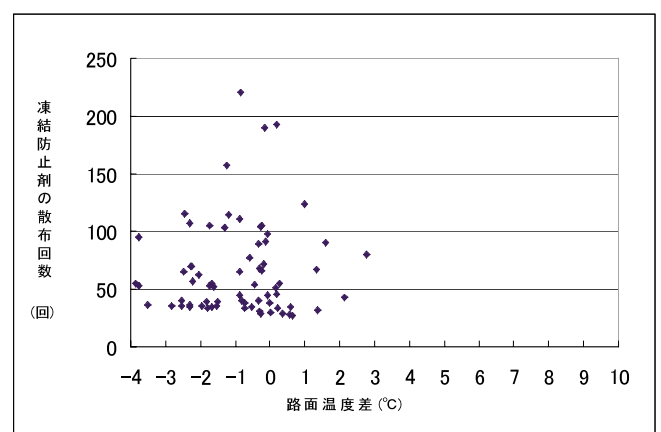


図 - 13 凍結防止剤散布回数と路面温度との関係 (土工部)

める可能性がある⁷⁾。

5.3 路面凍結を起こしやすい箇所の抽出

日高自動車道における凍結防止剤散布回数が多い箇所を見ると、路面上に水分が残りやすい構造になっていることが多い。

このような箇所は、橋梁部、曲線片勾配部、中央分離帯開口部等であり、サーマルマッピングの結果とは別に、路面管理上の問題箇所を見つけることが重要である。

6. あとがき

今回の報告は、北海道開発局で初めて管理する高規格道路である日高自動車道の冬期路面管理について、供用開始前に実施したサーマルマッピングの結果と供用後の実状を比較した。その結果サーマルマッピングの結果と道路の箇所毎の構造を組み合わせることで、路面凍結の危険度が高い箇所を抽出することができると考えられる。

また、苫東道路は、ほとんど標高差がないが、標高差が大きい道路では、道路の標高差に起因する路面状態の変化が生じるため標高差による影響も考慮する必要もある¹⁵⁾。 今後は気象観測機器やCCTVカメラの設置位置決定についてもサーマルマッピングの結果を参照して、最も路面凍結の危険度が高い箇所に設置することも有用であると考えられる。

最後に、このサーマルマッピングの結果と凍結防止剤散布回数の集計資料を提供していただいた室蘭開発建設部苫小牧道路事務所、および実際に凍結防止剤散

布回数を計測した株式会社小金沢組の関係各位に対し、感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 松沢勝, 加治屋安彦, 高橋勝宏, 中山峠におけるサーマルマッピングと冬期路面状況, 開発土木研究所月報, No479, 1993年4月
- 2) 川上俊一, 浅野基樹, 宮澤勉, 宮本修司, 金田安弘, 日高自動車道苫東道路における冬期路温出現特性と維持管理への利用について, 第14回寒地技術シンポジウム, 1998年12月
- 3) 宮本重信, 室田正雄, 蓄熱材封入による鋼床版橋路面の凍結抑制 - 閉断面リブ鋼床版橋での計測 -, 第13回寒地技術シンポジウム, 1997年11月
- 4) 伊藤憲和, 森宏樹, 冬期路面温度測定結果とその考察, 第24回日本道路会議, 2001年10月
- 5) 宮本修司, 大友忠幸, 工藤秀一, 日高自動車道における路面排水溝切り工の効果, 第16回寒地技術シンポジウム, 2000年11月
- 6) 高橋勝宏, 加治屋安彦, 松沢勝, 同一路面出現率から見た石勝樹海ロードの冬期路面, 開発土木研究所月報 No488, 1994年1月
- 7) 宮本修司, 浅野基樹, 仁平陽一郎, 地域気象条件を考慮した冬期路面管理についての一考察, 第17回寒地技術シンポジウム, 2001年11月
- 8) 洲崎治平, 井上要三, 仙黒邦行, 飯塚敏樹, 矢島篤: 橋梁部における路面凍結調査, 雪と道路 No 21 1989年10月



宮本 修司*

Syuji MIYAMOTO
北海道開発土木研究所
道路部
交通研究室研究員



浅野 基樹**

Motoki ASANO
北海道開発土木研究所
道路部
交通研究室室長