

冬期道路における路面温度と舗装温度に関する研究

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○川端 優一
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 藤本 明宏
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 高橋 尚人

冬期道路管理を適切に行う上で、気象情報、道路テレメータデータが活用されているが、道路テレメータの路面温度センサは舗装に埋設されているため、その観測値（舗装温度）は気象条件や道路雪氷状態によって、路面温度と乖離が生じる場合がある。本報では、苫小牧寒地試験道路において野外観測を行い、路面状態別の路面温度と舗装温度（深さ5cm）の関係について得られた知見を報告する。

キーワード：除雪・防雪、冬期路面管理、路面状態、路面温度

1. はじめに

積雪寒冷地では、除雪や凍結防止剤散布等による冬期路面管理^{1,2)}を行っている。冬期路面管理を適切に行うには、気象情報、道路テレメータデータおよび現況確認から、より正確な路面状態および路面温度を把握することが重要となる。しかしながら、道路テレメータは、舗装に埋設されている温度センサで観測した舗装温度を表示するため、気象条件や道路雪氷状態によっては舗装温度と路面温度に乖離が生じる場合がある。秋元ら³⁾は、一般国道5号（KP=273.6~273.9）において、冬期の気象観測および舗装温度鉛直分布の観測を実施した。その結果、道路構造や気象条件によっては深さ5mmと150mmの舗装温度に大きな差異があることを示し、正確な路面温度を観測するという観点から、路面温度センサの設置深度は浅いほど望ましいことを報告した。

このように、道路テレメータから得られる舗装温度は必ずしも路面温度と一致しないといった報告はあるものの、様々な雪氷性状を呈する冬期道路において、両者の関係は十分に定量化されていない。

そこで本研究では、苫小牧寒地試験道路において乾燥、湿潤、氷膜及び圧雪状態を模した路面（以下、模擬路面と記す）を対象に野外観測を実施した結果、冬期道路における路面温度と舗装温度（深さ5cm）の関係について新たな知見を得たので、ここに報告する。

2. 野外観測の概要

野外観測は、平成24年1月20日から平成24年3月10日までの間の21日間に亘り、当研究所が保有する苫小牧寒地

表-1 野外観測条件

観測期間	模擬路面	備考
1月20日 ～ 1月22日	氷膜路面	厚さ 0.8~1.0mm
1月26日 ～ 2月5日	乾燥路面	
2月16日 ～ 2月22日	圧雪路面	厚さ 10cm
3月9日 ～ 3月10日	湿潤路面	

試験道路で行われた。試験道路は水平で平坦な密粒度アスファルト舗装（13F）であり、舗装表層厚は3cmである。本観測では、試験道路上に氷膜、乾燥、圧雪および湿潤の4種の模擬路面を作製し、舗装温度および路面温度の観測を実施した。また、試験期間には気象観測を併せて実施した。表-1に、野外観測条件を示す。

気象観測は、写真-1に示すように試験道路の路側帯に設置した気象ポール（高さ3m）に、日射計、風速計及び気温計を取り付けて行った。日射計及び風速計は地上から高さ3mの位置に、気温計は地上から高さ2mの位置にそれぞれ取り付けた。表-2に気象観測の概要を示す。

舗装温度（以下、Tpと記す）は、試験道路の外側線から2m、路面から5cmの深さに埋設された熱電対を用いて測定した。氷膜、乾燥、圧雪および湿潤路面の表面温度（以下、Trsと記す）は、路面から50cmの高さに設置した放射温度計を用いて測定した。なお、これらの観測データは、10分毎にデータロガーに自動で記録された。

以下に、模擬路面の作製方法について述べる。氷膜路面は、平成24年1月20日の午前中に散水を行い、気温の低下を利用して自然に氷結させて作製した（写真-2左）。氷膜厚さは0.8～1.0mmである。乾燥路面では、平成24年1月26日の午前中に路面清掃車および人力により路面の清掃を行い、ゴミや水溜まり等が無いように努めた。圧雪路面は、平成24年2月16日の午前中にトラクタショベルにて雪を集積し、タイヤローラにて締め固めて作製した。圧雪厚さは約10cmとした（写真-2中）。湿潤路面は、平成24年3月9日の午前中に人力により散水を行い、作製した（写真-2右）。



写真-1 観測機器設置状況

3. 野外観測の結果

(1) 気象

図-1は、観測期間中の日射量と平均風速の経時変化である。なお、気温の経時変化は図-2に示す。

日射量の日最大値は、曇りであった1月22日及び2月1日を除けば、概ね500～800W/m²の間であった。平均風速は、日中に強くなる傾向が観られた。日最大値は、大半が4.0m/s以下であったが、1月22日、2月17日、2月21日は、6.0～8.0m/sを観測した。気温は、氷膜路面の観測期間中（1月22日）に、僅かに0℃を上回ったが、それ以外は

表-2 気象観測の概要

観測項目	使用機器	備考
日射量	日射計	
風速	風速計	測定範囲：0～50m/s
気温	気温計	測定範囲：-50～+50℃
舗装温度	熱電対	埋設深度：5cm
路面温度	放射温度計	測定範囲：-25～+25℃



写真-2 模擬路面作製状況（左：氷膜路面、中：圧雪路面、右：湿潤路面）

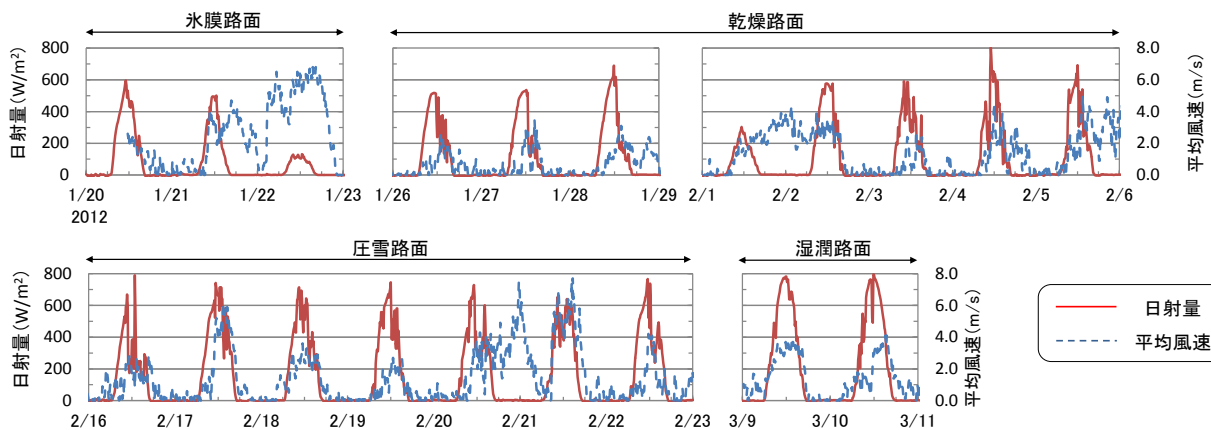


図-1 日射量と平均風速の経時変化

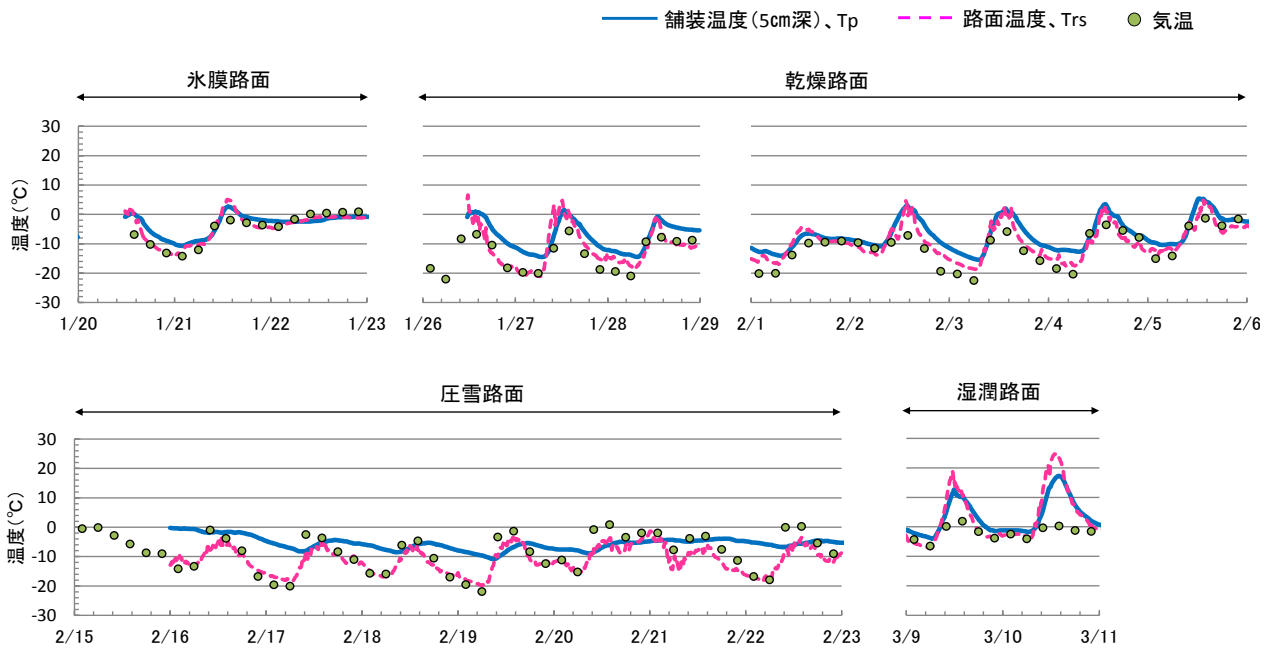


図-2 舗装温度 (5cm深)、路面温度および気温の経時変化

殆ど氷点下であった。乾燥路面の観測 (1月26日～1月28日、2月1日、2月3日～2月4日) および圧雪路面の観測 (2月17日、2月19日) に、 -20°C を下回るような厳しい冷え込みがあった。湿潤路面の観測 (3月9日～3月10日) では、夜間に気温が氷点下になったことから、路面は凍結したと推測される。

(2) 舗装温度および路面温度

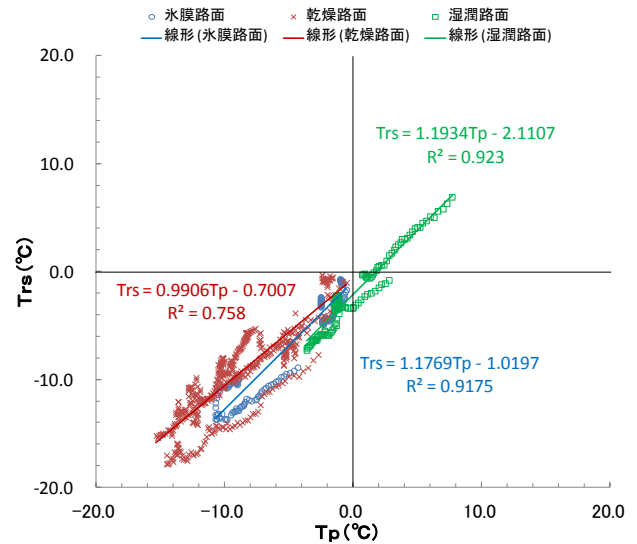
図-2は、上段左から氷膜路面、乾燥路面、下段左から圧雪路面、湿潤路面における舗装温度および路面温度の経時変化を示す。すべての観測条件で、 T_p および T_{rs} は、概ね気温に伴うように変化し、日中に $T_p < T_{rs}$ 、夜間に $T_p > T_{rs}$ の傾向が観られた。

氷膜路面の観測 (1月20日～1月22日) では、 T_{rs} は、 T_p より夜間に最大で 4°C 程度低い。乾燥路面の観測 (1月26日～2月5日) では、 T_{rs} は日中に日最大値を示した後に急激に低下し、 T_p を下回った。夜間における T_{rs} は、 T_p より最大で 6°C 程度低い。圧雪路面の観測 (2月16日～2月22日) では、 T_{rs} は $-20\sim 0^{\circ}\text{C}$ の間で変動したのに対し、 T_p は $-10\sim 0^{\circ}\text{C}$ の間で変動しており、気象の変化に対する反応は T_{rs} と比較して T_p の方が明らかに鈍い。湿潤路面の観測 (3月9日～3月10日) では、 T_{rs} は、 T_p を日中に $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ 程度上回り、夜間に $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 程度下回った。

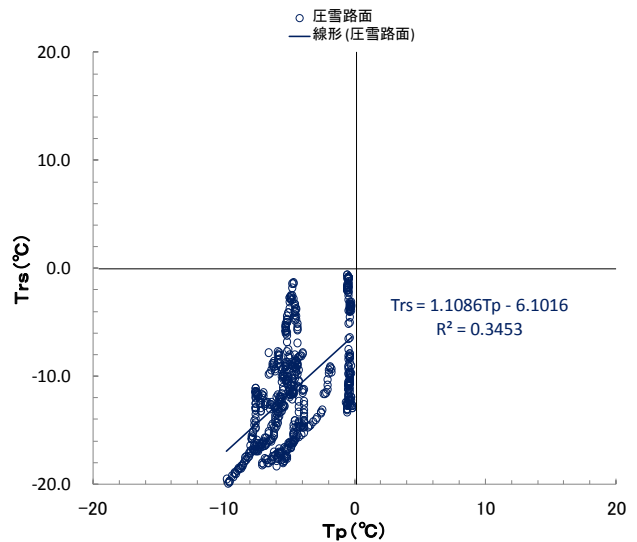
4. 考察

ここでは、夜間における4種の模擬路面の T_p と T_{rs} の関係について考察する。

図-3は T_p と T_{rs} の関係である。同図(a)に氷膜、乾燥および湿潤路面の結果を、同図(b)に圧雪路面の結果をそ



(a) 氷膜路面、乾燥路面、湿潤路面



(b) 圧雪路面

図-3 舗装温度 (5cm深) と路面温度の関係

れぞれ示す。試験データは十分ではないものの、氷膜、乾燥および湿潤路面における T_{rs} と T_p はいずれも比例関係にあり、以下の式で表される。

$$\text{氷膜路面} : T_{rs}=1.18T_p-1.02$$

$$\text{乾燥路面} : T_{rs}=0.99T_p-0.70$$

$$\text{湿潤路面} : T_{rs}=1.19T_p-2.11$$

上記の関係式の決定係数 R^2 は氷膜、乾燥および湿潤路面でそれぞれ0.92、0.76および0.92であり、氷膜、乾燥および湿潤路面では T_p と T_{rs} の間に良好な相関関係が認められる。一方、圧雪路面における T_{rs} と T_p の関係は、

$$\text{圧雪路面} : T_{rs}=1.11T_p-6.10$$

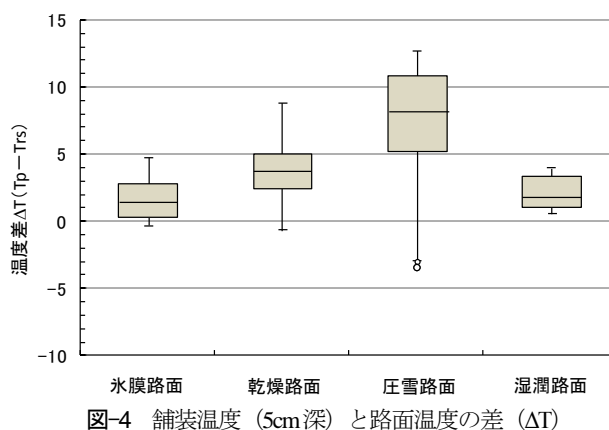
で表される。しかしながら、 R^2 は0.35であり、相関性は低い。

図-4は、氷膜、乾燥、圧雪および湿潤路面における T_p と T_{rs} の差、 ΔT (T_p-T_{rs})を箱ひげ図で示す。箱ひげ図の見方について述べる。箱の下端は、全観測データの第1四分位(25%)を、上端は第3四分位(75%)を、箱の中の水平線は、中央値(ΔT 中央値)を示す。箱から上下に延びるひげの上下端は、箱の高さの1.5倍以内にある最大値あるいは最小値までの距離をそれぞれ示す。最大値以上あるいは最小値以下は、外れ値として、「○」で示す。

ΔT 中央値は、氷膜、乾燥、圧雪および湿潤路面でそれぞれ1.5°C、3.8°C、8.3°Cおよび1.8°Cであり、圧雪路面が他の模擬路面と比べて高い値を示した。箱の高さ及びひげの長さも、圧雪路面が最も大きく、圧雪路面の ΔT が広く分布したことが判る。

5. まとめと今後の課題

本研究では、冬期道路における路面温度と舗装温度の関係を調べるため、苫小牧寒地試験道路において、4種の模擬路面を作製して野外観測を行った。観測の結果、限られた条件及び期間であったものの、冬期道路における路面温度と舗装温度の間に明確な差異があることを示した。中でも、圧雪路面においては、夜間における路面温度と舗装温度の差が顕著に現れており、路面温度は



舗装温度よりも大きく低下することが判った。これは、今回観測を実施した苫小牧寒地試験道路では、舗装温度を観測する熱電対が舗装表面から5cmの深さに埋設されており、厚さ10cmの圧雪層を含めると、熱電対の深さが圧雪表面から15cmにもなること、圧雪路面が断熱材のような役割を果たし、日射量の有無に係わらず舗装温度の上昇および下降が緩やかに推移したこと、が要因と推察される。これより、夜間に道路テレメータが表示する舗装温度は、実際の路面温度よりも高く示されると推察される。

冬期路面管理、特に凍結防止剤等の散布作業を行うにあたっては、舗装温度よりも路面温度を把握することが重要である。既設の道路テレメータ(舗装温度)で適切な冬期路面管理を行うためには、舗装温度と路面温度の定量的な関係式の構築が望まれる。本研究では、圧雪厚さ約10cmのみを対象としたが、今後は、様々な圧雪厚さや気象条件下での路面温度観測を継続し、更なるデータの蓄積を行う所存である。

参考文献

- 1) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル(案)、平成9年11月
- 2) 社団法人日本建設機械化協会：除雪・防雪ハンドブック(除雪編)、平成15年
- 3) 秋元清寿、舟橋誠、徳永ロベルト、高橋尚人、浅野基樹：気象の時間変動と道路構造別冬期路面温度特性に関する研究、北海道の雪氷No.24(平成15年)、62-65