

IV-394

橋床構造の違いによる鋼床版橋の伝熱特性

福井大学工学部 学生会員 木曾忠幸
福井大学工学部 正会員 福原輝幸

1. はじめに 冬季における積雪寒冷地域特有の道路安全対策は、機械除雪、地下水の散水による融雪、塩化カルシウム等の薬剤散布による道路の凍結防止、石油・電気等の熱源を用いたロードヒーティングなどが実施されている。しかし、地下水の枯渇や薬剤散布に伴う周辺環境への配慮から、これらの利用に変わる新しい道路凍結防止対策が望まれている。特に、凍結の発生頻度が高い鋼床版橋¹⁾においては上述した問題に加えて、鋼床版自体の劣化や融雪水の流末部における凍結の誘発などが危惧される。

そこで本研究では、鋼床橋内に電熱ヒーターを埋設したロードヒーティングを利用して、橋床構造および橋床底面における断熱の有無を変化した際のロードヒーティングによる舗装体表面への伝熱特性について検討した。

2. 橋床と大気の熱エネルギー伝達理論 電熱ヒーターにより生成される熱エネルギーを考慮するとき、橋梁道路におけるエネルギー保存則は式(1)のようになる。

$$Q_{TO} + Q_{BT} + Q_G + \Delta U = 0 \quad (1)$$

ここに、橋床上部境界(すなわち、舗装体表面)を横切る熱エネルギー Q_{TO} および橋床下部境界(すなわち、橋床底面)を横切る熱エネルギー Q_{BT} は顕熱 S 、潜熱 L および橋梁が吸収する正味放射 R の和によりそれぞれ与えられる。また、 Q_G は電熱ヒーターによる内部発生熱エネルギー、 ΔU は橋床内部熱エネルギーの時間的変化量である。

3. 橋床モデルによる伝熱実験 本実験で使用される電熱ヒーターは、ガラス繊維と炭素繊維を編み込んだ発熱体をシリコーンゴムで被覆した面状ヒーターである。本実験においては公称出力 200 W/m^2 のものを用いた。橋床モデルは、アスファルト舗装体(以下、舗装体と呼称、 $0.2 \times 0.2 \times$ 高さ 0.08 m)、電熱ヒーター ($0.2 \times 0.2 \times$ 高さ 0.0055 m 、ただし発熱体の面積は 0.195×0.195) および鋼床版 ($0.2 \times 0.2 \times$ 高さ 0.015 m) によって構成される。上部から順に舗装体、電熱ヒーター、鋼床版で構成され、底面を断熱したものを CASE1-A、そうでないものを CASE1-B とする。さらに CASE1 の橋床構造と異なり、上部から順に舗装体、鋼床版、電熱ヒーターで構成され、底面を断熱したものを CASE2-A、そうでないものを CASE2-B とする。Fig.1 には CASE1-B の橋床モデルにおける熱エネルギー収支の概念図を示す。各橋床モデル内部には、鉛直方向 15ヶ所にわたって熱電対が埋め込まれ、温度分布が計測される。実験は、最初に各橋床モデルを低温室内(室温 -5°C) に設置し、内部温度が一樣になったことを確認後、電熱ヒーターを発熱させて温度計測を開始する。

4. 実験結果および考察 Fig.2-(a) は CASE1 について、Fig.2-(b) は CASE2 について橋床モデル内部の鉛直方向温度分布を実験開始から 3 時間後まで 1 時間毎に表したものである。なお、両図には式(1)による計算値もそれぞれ示され、それらは実験値を良好に再現している。両図から、底面を断熱した橋床モデルはそうでないものに比べて時間的な温度上昇が高いことがまず判る。底面を断熱した CASE1-A と CASE2-A を比較すると、舗装体上部における温度分布については大きな違いは見られない。しかし、舗装体下部における時間的な温度上昇については CASE1-A で大きい。これは電熱ヒーターが CASE1-A では舗装体と直接的に接しているからである。換言すれば前者で、 Q_G は直接舗装体へ供給されるのに対して後者では、まず鋼床版に供給され、鋼床版を暖めた後舗装体へ供給される。このため、両者の舗装体が得る熱エネルギーは前者に比べて後者の方が相対的に小さくなり、両者の舗装体下部における内部温度分布の時間的な差を生む。このことは、底面を断熱しない CASE1-B と CASE2-B についても同様である。

Fig.3 は、式(1)より算出した各 CASE における Q_{TO} の時間変化を実験開始から 3 時間後まで 30 分毎に表したものである。また同図には CASE1 の橋床モデルで、骨材に高い熱伝導率を有する鉄鉱石を用いたアスフ

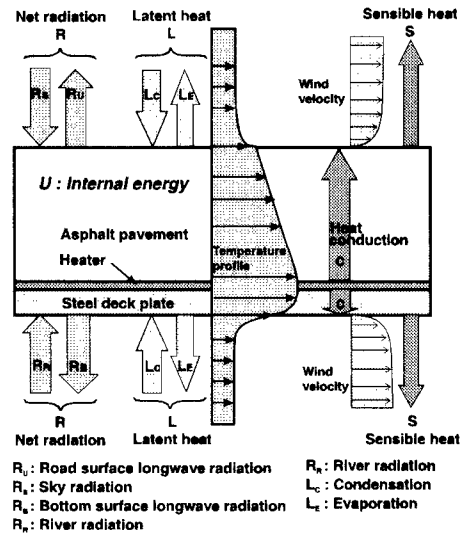


Fig.1 電熱ヒーターを埋設した橋床モデルにおける熱エネルギー収支の概念図

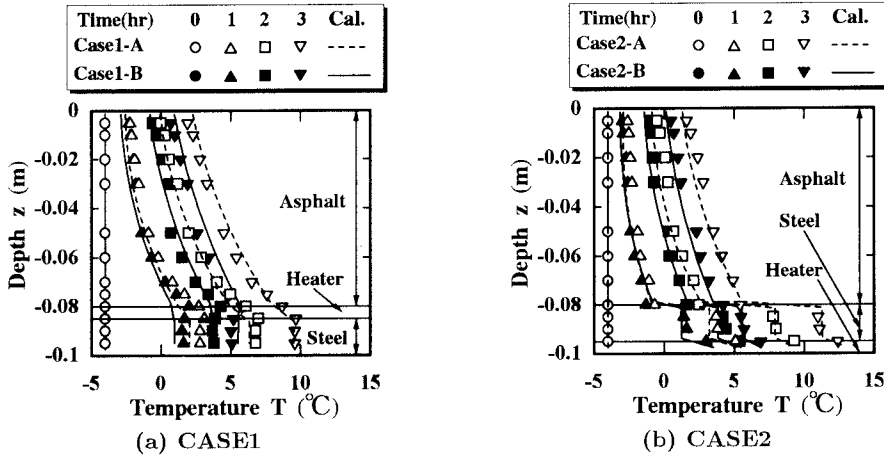


Fig.2 橋床内部温度分布の経時変化

アルト舗装体（以下、高熱伝導舗装体と呼称）に変えた CASE3-A（底面断熱有）の Q_{TO} （□）および 3-B（底面断熱無）の Q_{TO} （■）もそれぞれプロットされる。同図から、各 CASE とも舗装体表面へ供給される熱エネルギーは、底面を断熱したものの方がそうでないものに比べて大きいことが判る。従って橋床底面の断熱は、舗装体表面に供給される熱エネルギー（すなわち、 Q_{TO} ）の増加に対して効果的であると言える。

次に、橋床構造が異なる場合の Q_{TO} の違いについて述べる。底面を断熱した CASE1-A（○）と CASE2-A（△）を比較すると、3時間を通じて前者の Q_{TO} は後者のそれよりも大きく、その差は時間の経過とともに増加している。底面を断熱しない CASE1-B（●）と CASE2-B（▲）を比較しても同様である。これらの Q_{TO} の時間的な差からも、上述した両者の Q_G の舗装体への供給過程の違いが示唆される。以上のことから、通常の鋼床版橋に電熱ヒーターを埋設して道路凍結に備える場合には、その橋床構造は CASE2 に比べてより多くの熱エネルギーを舗装体へ供給することのできる CASE1 の構造にするのが望ましい。

最後に、底面を断熱した CASE3-A と CASE1-A における Q_{TO} の比較を行う。同図より 3時間を通じて前者の Q_{TO} は後者のそれに比べて大きいことが知れる。両者とも同様の橋床構造であることから両者の Q_{TO} の差は、それぞれの舗装体を持つ熱物性値の違いに起因すると考えられる。すなわち、前者が持つ温度拡散係数 κ は $7.57 \times 10^{-3} \text{ (m}^2/\text{h)}$ であるのに対して、後者の κ は $3.01 \times 10^{-3} \text{ (m}^2/\text{h)}$ であり、前者は後者に比べて約 2.5 倍大きい。従って高熱伝導舗装体は、通常の舗装体に比べてより多くの熱エネルギーを舗装体表面へ供給することができると言える。

5. おわりに 本実験を通して、一般の鋼床版橋に電熱ヒーターを埋設して凍結防止に備える場合には、電熱ヒーターの埋設位置はアスファルト舗装体と鋼床版の間が望ましいことが示された。加えて、鋼床版底面の断熱は、電熱ヒーターからアスファルト舗装体へ供給される熱エネルギーの増加に対して効果的であると言える。また、電熱ヒーターの埋設に伴用して温度拡散係数の高いアスファルト舗装体を用いることで、より効率的な舗装体表面への熱エネルギー供給を期待できる。

最後に、本実験は（株）栗本鐵工所の畑山安雄氏および（株）ウイズムインターナショナルの佐々木恒司氏の協力を得た。ここに、記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 渡辺 洋・福原輝幸：橋梁道路と大気間との間の熱・水分輸送と路面凍結現象、水工学論文集、第 39 巻、1995。

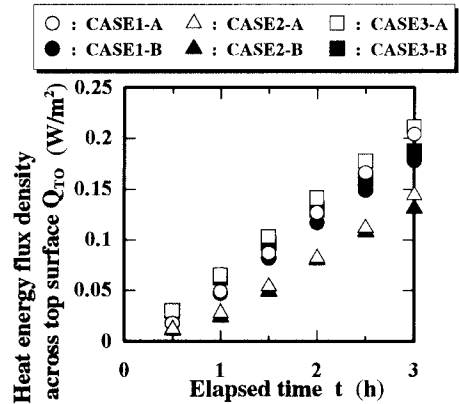


Fig.3 橋床モデルの上部境界を横切る熱エネルギーの経時変化