

V-171 掘削杭熱交換システムによる国道8号線中川峠の無散水融雪—第2報—

福井大学工学部	学生員	○ 渡邊 洋	*
建設省近畿地方建設局	正 員	清水 亨	**
建設省近畿地方建設局	正 員	宮風 均	**
福井大学工学部	正 員	福原輝幸	*

1. はじめに

近年では道路雪氷災害対策においても風力、地中熱、太陽熱などの有効活用が目立つつつある¹⁾。しかしながら、これらを利用した融雪設備は維持費用の低減が実現できる一方で、初期の投資費用に依然として大きな負担が生じる。そのような背景から、研究開発においては、より効率良くエネルギーを利用する努力が、設備の導入に際しては、より大きな効果を期待できるような箇所を選定する配慮が、重要となる。そこで筆者らは、融雪水の2次的な凍結が懸念される散水融雪流末区間²⁾が、無散水融雪設備の適用箇所の1つであると考えた。

本研究では、掘削杭熱交換システム(Borehole Heat Exchanger System - BHES)による主要国道における無散水融雪の有効性を述べた昨年の報告³⁾に加え、1999年冬季の計測データを基に、放射冷却が卓越するような路面凍結時および降雪時におけるBHESの熱的な挙動と路面温度特性から、その有効性について得られた知見を報告する。

2. 掘削杭熱交換システムと概要

福井県坂井郡金津町中川峠における無散水融雪システムは、8本の熱交換杭(長さ100mのポリエチレン製同軸2重管)から構成され、融雪面積は約246m²(片道幅員3.5mで、設置延長35m)である。また、気象条件により変化する路面温度および融雪エネルギーの挙動を評価するために、熱交換杭の内管および外管、舗装体の出入口水温および深さ0.02mの通常路面温度 T_n と無散水融雪路面温度 T_p が、1時間毎に自動収集される。また、ポンプの稼働は T_p の変化を監視し、任意に設定された閾値を用いて自動制御を行う。なお、本システムの詳細については参考文献3)を参照されたい。

図-1はBHESの熱流挙動の概要図である。循環パイプを埋設した無散水融雪舗装体(以下、融雪舗装体と呼称)と熱交換杭は水理的に閉回路で連結され、ポンプ(定格出力:2.2kW)により流体が循環する。冬季の場合、地盤温度は相対的に舗装体温度より高い。舗装体内を循環する間に冷えた流体は熱交換杭に向かい、熱交換杭の内管を杭先に向かって下降した後、外管を上昇する過程で、相対的に温度の高い周囲地盤から低温度の流体に向かって熱移動が生じる。温められた流体は、舗装体内の循環パイプより、その温熱エネルギーを舗装体へ放出する。温められた舗装体では路面の温度低下が抑制される。この過程で冷えた流体は、再び熱交換杭内で、地盤から温熱エネルギーの供給を受ける。

3. 観測結果

写真-1に1月24日16時における融雪状況を示す。写真手前(福井県側)がBHESによる融雪区間を、その奥手(石川県側)が非融雪(通常舗装)区間を示している。轍部は除雪車の走行と一般車両の攪拌により、いち早く消雪され、写真では両者の差は認め難い。しかしながら、車線中央部の残雪状況を観るとBHESによる融雪効果は明瞭である。また、丸枠で非融雪区間から持ち込まれた残雪があるものの、融雪舗装体からの熱供給により、すぐに融雪されたことから、車両の通行に支障はなかった。

図-2に1月17日0時から20日0時までの融雪舗装体温度 T_p (○)、通常舗装体温度 T_n (□)、気温 T_a (△)および単位融雪面積当たりの熱エネルギー抽出密度 En (▼)の経時変化を、それぞれ示す。当該期間の天候は概ね晴れで、18日および19日の早朝は強い放射冷却下にあり、最低気温(△)はそれぞれ

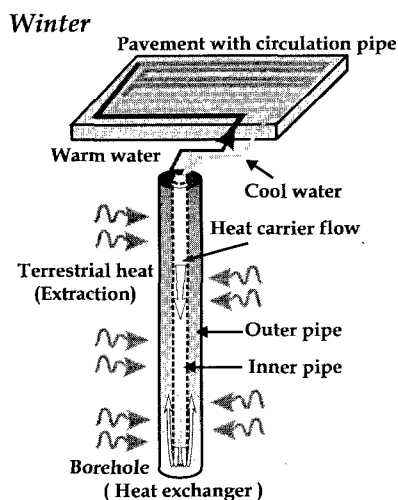


図-1 掘削杭熱交換方式無散水融雪システムにおける熱流挙動の概要

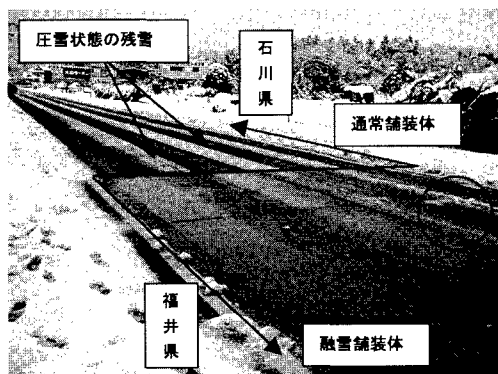


写真-1 通常および無散水融雪舗装体における道路融雪状況の比較(1999年1月24日16時撮影)

キーワード: 道路融雪, 地中熱エネルギー, 掘削杭熱交換システム, 路面凍結, 凍結防止剤

* 〒910-8507 福井市文京 3-9-1 TEL:0776-23-0500 EXT.2809 FAX:0776-27-8746
 ** 〒918-8015 福井市花堂南 2-14-7 TEL:0776-35-2661 FAX:0776-36-0971

-2.7℃および-0.7℃であった。まず、18日午後からのTpの変化に注目すると、Tpは時間の経過と共に低下し、0時頃に最低値5.1℃程度となる。その後、Tpは1～1.5℃程度上昇した後、7℃付近を推移する。一方、同日のEnはTpの低下と共に急増し、最大値0.31kW/m²を境に急激に低下する。次に、19日のTpおよびEnの経時変化は、18日のそれと定性的に酷似しており、Tpの最低値は18日と同じく5.1℃を、Enの最大値は0.38kW/m²を、それぞれ記録した。

ここで、両日で観測された急激なTpの低下とEnの増加は、気温の低下に加えて、晴天時の結露凍結現象に配慮した凍結防止剤の散布に起因する。これらの結果より、凍結防止剤の散布に伴う路面温度低下（氷点降下）は、Enの増大を助長させることから、無散水融雪区間におけるその散布が、必ずしも有効とはいえない。

図-3に降雪時におけるTp(○)、Tn(□)、Ta(△)およびEn(▼)の経時変化を、それぞれ示す。同日は北陸地方に強い寒気団（2月3日午前9時における輪島上空500hPaの気温は-42.3℃を観測）が入り込み、強い冬型の気圧配置にあった。まず、Tnの経時変化に注目すると通常舗装体上に積雪があることから、0℃付近を推移する。また、Taは昼間の一部で0℃を越えるものの、それ以外は氷点下にあり、4日の未明に-4.1℃の最低値を、5日の早朝に-4.9℃の最低値を、それぞれ記録した。一方、Tpについては夜間でも常に5℃以上を保持（昼間では5～9℃程度の範囲）しており、余熱運転による舗装体の保温効果が知れる。

次に、EnとTpの関係を注目すると、両者は逆位相にある。すなわち、Enは路面温度低下時に増加し、路面温度上昇時には減少する。このように融雪舗装体の熱エネルギー需要に対応するようにEnが自然に供給されることから、BHESは効果的に機能を果たす。なお、当該期間でEnは0.05～0.2kW/m²の範囲にあり、放射冷却時の結果に比べ、経時変化の起伏は小さい。

図-4に1998年1月から1999年3月に亘るTp(○)およびTn(△)とTaとの関係を、それぞれ示す。また、同図にはBHESに設定された自動制御に関する閾値（冬期は5℃で稼働し、10℃で停止する。また、夏期は25℃で稼働し、20℃で停止する。）も矢印で併記した。まず、TnとTaの関係に注目すると、両者は傾き1となるような相関関係（Tn=Ta）にあり、夏期（Taが高気温時）におけるTnの最高温度は、50℃程度まで上昇することが判る。なお、図中に併記した領域Aは冬期（Taが低温時）において、通常舗装体上に積雪があることを意味している。次に、TpとTaの関係に注目すると、冬期でTpは常に5℃以上であり、夏期で路面温度の上昇は30℃程度までに抑えられていることが判る。以上より、BHESの冬期における舗装体の昇温機能および夏期におけるその冷却機能が明らかとなった。

4. おわりに

国道8号線中川峠の無散水融雪システムにおける、地中熱エネルギーによる融雪効果および路面温度制御機能が確認され、熱エネルギー抽出密度に及ぼす凍結防止剤の影響についても明らかとなった。

参考文献

- 1) 雪センター：冬期路面対策事例集，社団法人雪センター，1997。
- 2) 渡邊洋・福原輝幸：サーマルマッピングによる冬期道路の路面温度特性，日本雪工学会誌，Vol. 14, No. 2, pp. 11-18, 1998。
- 3) 渡邊洋・吉田輝人・宮風均・福原輝幸：熱交換杭を利用した国道8号線中川峠の無散水融雪システム，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，VII-207, pp. 414 - 415, 1998。

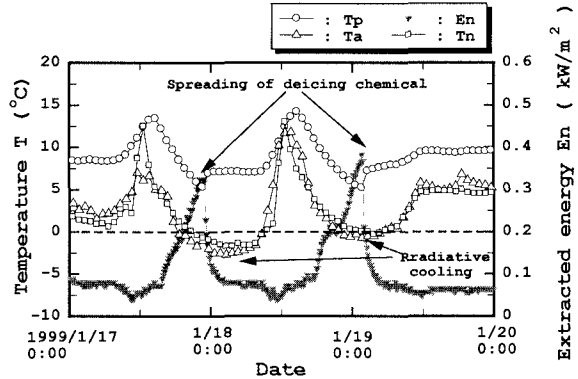


図-2 気温、融雪および通常舗装体の路面温度および熱エネルギー抽出密度の経時変化（放射冷却時）

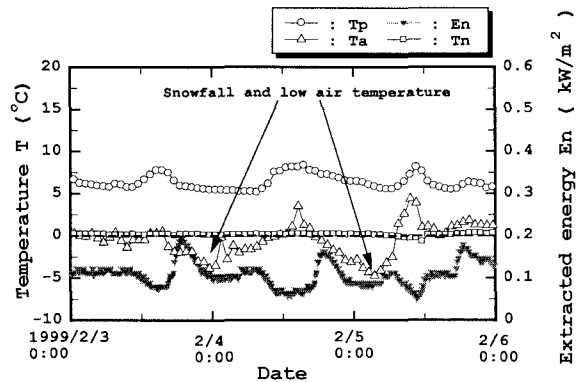


図-3 気温、融雪および通常舗装体の路面温度および熱エネルギー抽出密度の経時変化（降雪時）

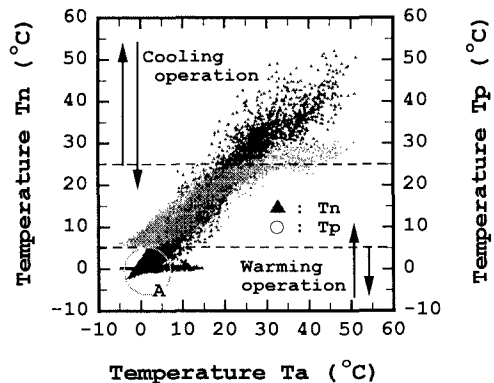


図-4 融雪および通常舗装体の路面温度と気温の関係