

放熱管を埋設したコンクリート舗装の冬期路面温度に関する解析的研究

日本大学 学生会員 ○何 宗耀 正会員 前島 拓 フェロー 岩城 一郎
(株)NIPPO 正会員 白井 悠 高田地研(株) 非会員 高田 厚

1. はじめ

東北地域をはじめとする積雪寒冷地では、冬期の降雪により路面凍結および積雪が生じ、車両スリップ事故や転倒事故も少なくない。この内、歩道や駐車場においては、人力での路面除雪作業が一般的であるものの、近年では舗装内部に埋設した放熱管に熱媒体を循環させる無散水舗装が開発/実装されている。しかし、既存の無散水舗装は地下熱などを熱源としているために設置箇所が限定され、また豪雪地帯ではより強力な熱源が必要となることから、地域によってはイニシャル/ランニングコストが高額となることが懸念される¹⁾。そのため、膨大な歩道や駐車場の安全性を確保するためには、簡易且つ安価に路面凍結を抑制し得る新たな舗装を開発するとともに、地域の環境作用に応じた断面設計手法の構築が望まれている。

そこで本研究では、安価且つ簡易な無散水舗装の開発を目的とし、日本大学工学部構内に放熱管を埋設したコンクリート舗装を施工して通年の温度変化を計測するとともに、本舗装の凍結抑制効果を解析的に評価した。

2. 放熱管を埋設したコンクリート舗装の路面温度変化

本検討では福島県郡山市日本大学工学部構内に施工した放熱管を埋設したコンクリート舗装(図-1)を対象とした。本舗装は、自然土上に厚さ70mmの単粒碎石(13mm)を敷き詰め、水セメント比51%のコンクリート版を敷設している。舗装の寸法は、長さ8300mm、幅6200mm、厚さ150mmであり、埋設する放熱管のかぶり厚さを30mm、70mm、100mmの3条件(C30、C70、C100)として、各工区の熱伝達を遮断するため瀝青繊維質目地で3分割した状態で上下鉄筋バー型スペーサー上に配管した。放熱管にはポリエチレンパイプ管(内径 ϕ 21.5mm)を用い、路盤およびスペーサー上に設置したワイヤーメッシュに取り付けて配管した。また、本検討では地下水を採取する施設を必要としない簡易構造を用い、屋外に設置したタンク内に水道水を貯水し、小型ポンプを用いて放熱管内に循環させた。本検討では、データロガーを用いて各工区の路面温度や熱流量を計測した(図-1)。

図-4に冬期の計測データとして、2020年1月16日0時から48時間の各データの推移を示す。タンク内の2日間の平均水温は8.8°Cであった。各工区の最低路面温度は、C30>C70>C100であり、かぶりが小さいほど路面温度が高くなる傾向であった。また、いずれの工区も気温が氷点下(図中の0~10時間、45~48時間)であっても、路面温度が0°Cを下回ることとはなく、C100においても路面凍結を抑制し得ることが示された。各工区の熱流量の推移は、C30では外気温に応じて大きく変動する傾向を示したのに対して、C70およびC100では100W/m²前後を推移する傾向を示した。以上の実験結果より、本舗装は屋外タンク内の水を熱媒体として循環させるという簡易な構造形式であるものの、福島県郡山市内という寒冷地においても路面凍結抑制が可能であることを示した。

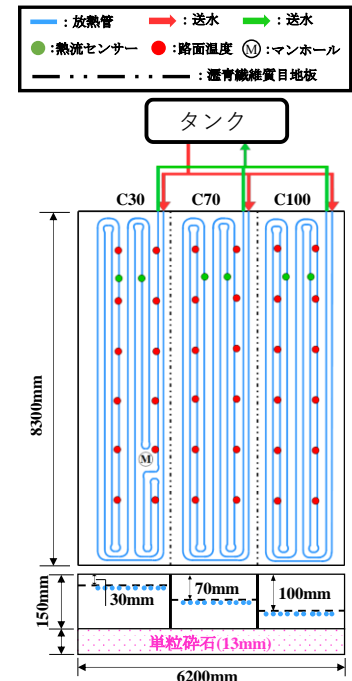


図-1 舗装の概要

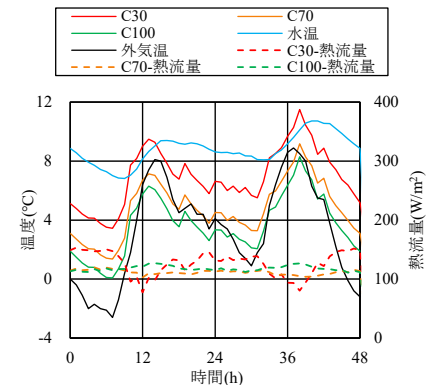


図-2 冬期における各データ推移

キーワード 積雪寒冷地, 路面除雪, 無散水舗装, 解析

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1 構造・道路工学研究室 TEL024-956-8729

3. 放熱管を埋設したコンクリート舗装の温度解析

温度解析は3次元温度応力解析ソフト“ASTEAMACS”を用いて、前述した舗装と同構造のモデルを作成した(図-5)。表-1に放熱管とタンクの材料特性を示す。放熱管とタンクの材料特性については実験に用いられた材料と同様となるように設定した。解析は、実気温のみを入力値とした条件と、日射量による温度補正および風速変化に伴うコンクリート版の熱伝達率を補正した条件の計2条件とした。ここで、日射量より補正した気温(補正気温)は以下の式より求められる。

$$T_{eq}(t) = T_0(t) + q/\mu \quad (1)$$

$T_{eq}(t)$: 補正気温(°C), $T_0(t)$: 実気温(°C), q : 日射量(W/m²), μ : 路面の熱伝達率(W/m²・°C)である。また、風速によりコンクリート表面の熱伝達率が大きく変動することが既往の研究²⁾より知られており、解析の精度向上のため、以下の式²⁾を用い、風速によりコンクリートの熱伝達率 μ を補正した。

$$\mu = 19v + 14 (v < 1) \quad (2)$$

$$\mu = 7v + 26 (v > 1) \quad (3)$$

ここで、 v : 風速(m/s)である。なお、解析は実験と同期間に渡って実施したが、本稿では冬期(2021年1月16日)の放熱管かぶり厚さ30mm(C30)の結果のみを示す。

図-6に外気温を入力値とした解析結果を示す。図より、解析値は実測値とほぼ同様な挙動を示したものの、実測値より4°C程度低くなった結果であり、外気温のみ考慮した解析は放熱管を埋設したコンクリート舗装の実際の路面温度を反映されなかった。そこで、日射量および風速変化により補正した解析結果を図-7に示す。図中の補正気温は日射量を考慮して温度補正した外気温である。図より、解析値は実測値と概ね一致しており、本解析モデルに対して日射量および風速を考慮した温度補正を行うことで、一定の精度で路面温度を評価し得ることが示された。このことから、本舗装を適用する際には、適用箇所の日射量を含めた気象条件を事前に見積もった上で温度解析を行い、適切な舗装構造および循環水温を評価することが重要であると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見は以下に示す。

- 1) 屋外タンク内の水を放熱管に循環させるという簡易構造形式の無散水舗装を開発し、福島県郡山市という寒冷地においても路面凍結抑制が可能であることを示した。
- 2) 本舗装の解析モデルを作成し、気温、日射量、風速といった気象データを入力することにより、路面温度を解析的に再現可能であることを明らかとした。

参考文献

- 1) 何宗耀ら:放熱管を埋設したコンクリート舗装の路面凍結抑制および路面温度低減効果, 土木学会論文 E1, Vol.70, No.2, pp163-170, 2021.
- 2) 師山裕ら:各種養生方法の熱伝達率と風速の関係についての実験的検討, 土木学会第59回年次学術講演会, pp913-914, 2004.

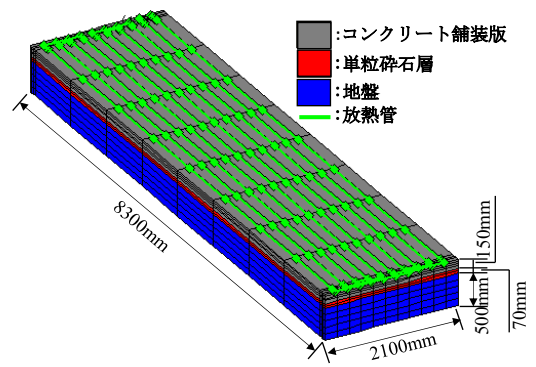


図-5 舗装の解析モデル

表-1 放熱管とタンクの材料特性

放熱管特性		タンクの特性	
内径	21.5 mm	容量	300 L
管厚	3 mm	放熱面積	1 m ²
総延長	86070 mm	熱伝達率	0.05 W/m ² ・°C
熱伝達率	240 W/m ² ・°C	初期水温	5.5 °C
流速	230 cm/s	通水時間	672~ Hour

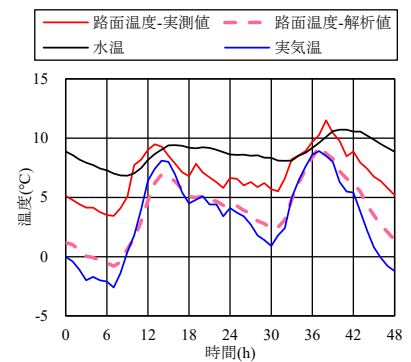


図-6 解析結果

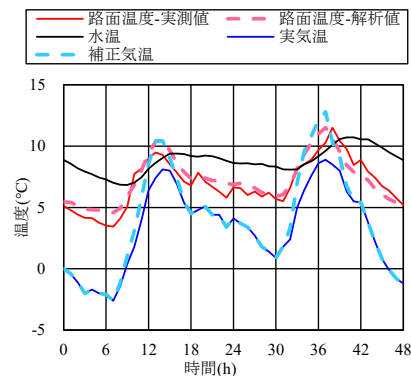


図-7 補正した解析結果