

放熱管の伝熱性能評価法

福井大学大学院工学研究科 学生会員 ○齊田 光
 セキスイ管材テクニクス(株) 正会員 奥山 哲弘
 福井大学大学院工学研究科 正会員 藤本 明宏
 福井大学大学院工学研究科 正会員 福原 輝幸

1. はじめに

日本は国土の60%が積雪寒冷地に属しており、道路や歩道の除排雪および凍結防止に費やすエネルギーは無視し得ないと考えられる。例えば、青森県では機械除排雪とロードヒーティングなどの融雪(無散水消雪)に要するエネルギーは原油換算で年間およそ 24,000kl である(2000年度の推計値)。これは同県のエネルギー総消費量の約0.4%に相当する¹⁾。融雪に係わるエネルギーの削減技術は今後のCO₂の排出削減のみならず、環境技術の発展に不可欠である。中でも自然エネルギー(地中熱、風力、河川・湖水熱)を熱源とするロードヒーティングは温度レベルの低い熱を利用するために、無散水舗装の放熱性能を向上させることが上記問題解決の鍵となる。

そこで、筆者らは無散水舗装中に埋設される放熱管に注目し、放熱管内を循環する流体(管内流体)の熱をできるだけ多く路面に伝えるための改良技術を検討している。

本研究では、放熱管の伝熱性能を評価するための実験方法および数値解析を紹介する。

2. 伝熱実験

図-1 に本研究で使用した実験装置の流体の流れ経路を、図-2 に実験装置全体の写真を、それぞれ示す。実験

装置は豊浦標準砂を充填したカラム、恒温水槽、貯水槽およびポンプから構成される。カラムは内径 390mm、高さ 530mm の塩化ビニル樹脂製である。放熱管はカラム中央に垂直に設置され、流体は恒温水槽→貯水槽→放熱管内を循環する。図中に示すバルブによって、貯水槽から出てきた流体を放熱管へ向かう流れと再び貯水槽に戻る流れに振り分け、その循環流量を調整した。水温は恒温水槽によって調節した。本実験で使用した放熱管は、外径 17mm の架橋ポリエチレン管および外径 16mm の SMTX 管(セキスイ管材テクニクス製)である。SMTX 管の特徴は、樹脂管の内側に熱伝導率の大きなアルミ管を装着している点にある。

実験は温度 20℃、湿度 50%の恒温恒湿室内で行った。まず、最初にカラムを室内に2日間放置することで土壌温度を一樣にした。次に、恒温水槽を 10℃に設定し、恒温水槽→貯水槽の間にのみ流体を循環させた。その後、両水槽の水温が共に 10℃になったことを確認し、速やかにバルブ操作をして流体を放熱管内に流した。

土壌温度はカラム底面から高さ 275mm において、放熱管外縁からの距離 $r = 5, 10, 25, 50, 75, 100$ および 150mm の位置に設置された熱電対から、管内流体温度は

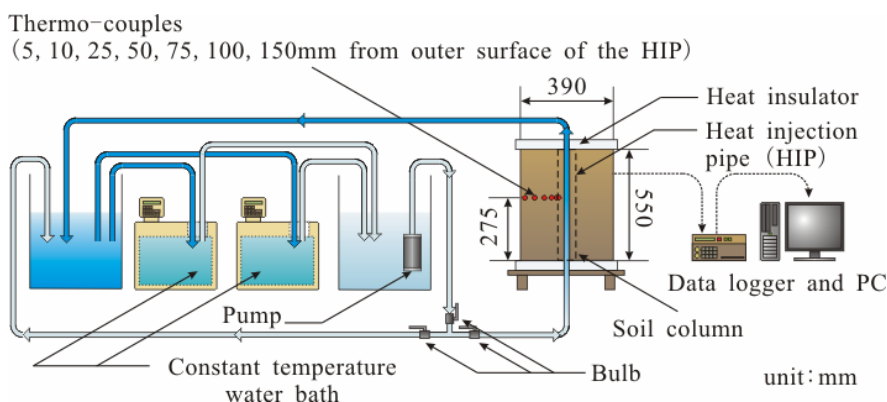


図-1 放熱管伝熱性能評価実験装置

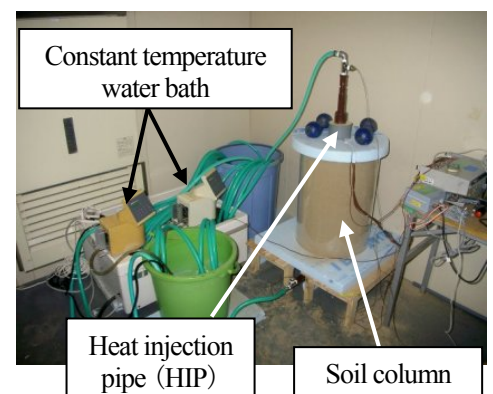


図-2 実験装置写真

キーワード：放熱管、伝熱性能、無散水融雪、有限差分法

連絡先：〒910-8507 福井市文京 3-9-1 福井大学工学部建築建設工学科環境熱・水理研究室 TEL 0776-27-8595

放熱管の出入り口に取り付けた熱電対から、それぞれ計測した。なお、サンプリング間隔は1分とした。

3. 伝熱理論

本論では、管内流体－放熱管周辺土壌間の熱貫流率 α (W/m²K) を放熱性能の指標として捉える点に特徴がある。ここでは、 α を求めるための伝熱モデルを示す。

管内流体温度 T_p は放熱管内で一様および土壌中の円周(θ) 方向の熱移動を無視すると、土壌中の熱移動は r 方向の1次元熱伝導方程式に帰着する。

$$(\rho c) \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (1)$$

ここに、 λ : 土壌の熱伝導率(W/mK), (ρc) : 土壌の体積熱容量(J/m³K), T : 土壌温度(°C)および t : 時間である。

放熱管を横切る熱フラックス q_l は、ニュートンの冷却則を用いて次式で表される。

$$q_l = \alpha(T_p - T) \quad (2)$$

境界条件として、 T_p は測定値を与える。解析には有限差分法を使用した。

4. 解析結果

4-1. 土壌温度分布

図-3 は架橋ポリエチレン管および SMTX 管周辺($r=5$ mm)の土壌温度 T の経時変化を示す。なお、同図には計算値(実線)も併せて示した。架橋ポリエチレン管の T は実験開始から20分後に最大0.6°C低下したのに対し、SMTX 管での最大温度低下は10分後で1.7°Cであった。これ以降は、周辺土壌からの熱供給により両者の T は再び増加した。以上より SMTX 管の伝熱性能が相対的に高いことが知れる。

4-2. 熱貫流率

図-4(a) と (b) に、架橋ポリエチレン管および SMTX 管周辺の土壌温度 T の半径方向分布 $T(r)$ の経時変化を示す。上述したように SMTX 管は、土壌から管内流体へ向かう熱量が架橋ポリエチレン管よりも高いために、放熱管周辺の低温域は SMTX 管の方で相対的に広がる。

次に、熱貫流率 α に関する結果の一例を述べる。循環流量 $Q=0$ (ℓ/min) の時、SMTX 管の α は 30.0 W/m²K に対して、架橋ポリエチレン管の α は 8.0 W/m²K となり、前者は後者の 3.8 倍となった。

5. おわりに

筆者らは無散水舗装の放熱性能を向上させるという目的の前段として、管内流体とその周辺物質(土壌)間の

熱貫流率を基に、放熱管の伝熱性能を評価する方法を提案し、結果の一例を示すことができた。予想通り、架橋ポリエチレン管よりも SMTX 管の地中熱吸収性能は高いことが分かった。

参考文献

- 1) 青森県エネルギー総合対策局：青森県地域省エネルギービジョン，平成15年3月。

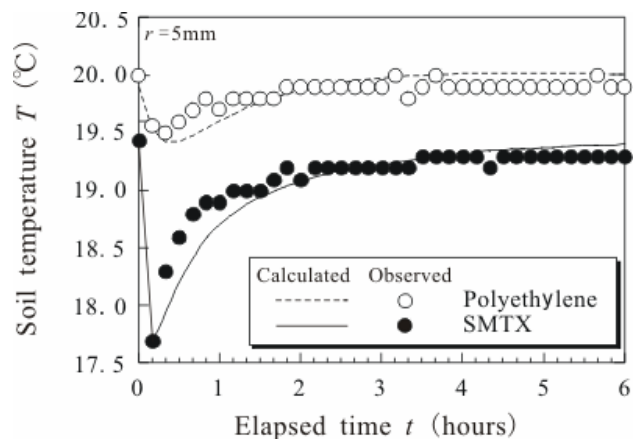


図-3 架橋ポリエチレン管および SMTX 管周辺の土壌温度分布経時変化

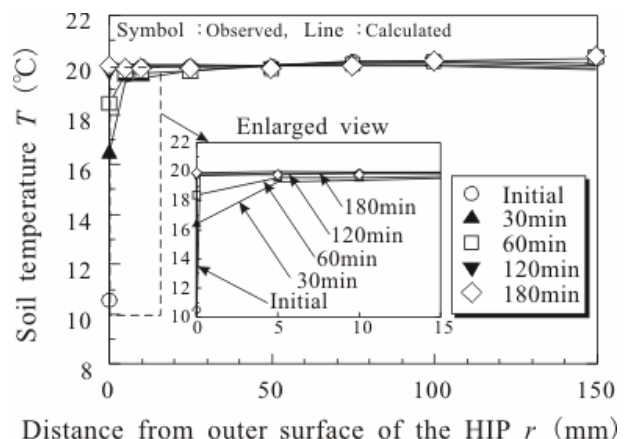


図-4(a) 架橋ポリエチレン管周辺の土壌温度分布

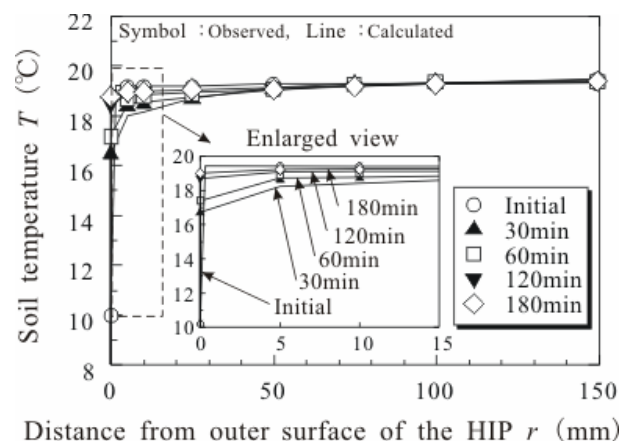


図-4(b) SMTX 管周辺の土壌温度分布