水平スリンキー型熱交換パイプを利用した浅層地中熱採集システムの評価 -その1-

福井大学大学院	学生員	〇山本 仁
福井大学大学院	正会員	寺崎寛章
福井大学大学院	正会員	福原輝幸

1. はじめに

近年,土木,建築,農業分野等における省エネ・CO₂ 排出削減対策の1つとして,地中熱ヒートポンプによ る冷暖房や無散水融雪システムなどが導入されている. 今後,更なる地中熱利用促進のためには,地盤掘削費 の削減および採熱性能の向上が必須となる.

筆者らは浅層地中熱に着目し、水平スリンキー型熱 交換パイプを用いた採熱システム(以下、水平採熱シス テムと呼称)の高効率化を目指している.水平採熱シス テムは地盤掘削時に特別な重機を必要としないため、 地盤掘削費の大幅な削減が可能となる.その一方で浅 層地中熱の温度レベルは従来の地表面下 100m 程度の それに比して低いため、採熱効率を上げる必要がある. しかしながら、浅層地中熱の採集性能向上に関する研 究は、大気との熱的相互作用に関する考察も含めて十 分とは言い難い.

そこで本研究では、水平採熱システム(以下,採熱 システムと呼称)の採熱性能に関する基礎的知見を得 るために、浅層地中熱を対象にした野外採熱試験を行 ったので、試験結果の一部を報告する.

2. 採熱試験設備概要

本試験設備は,熱交換パイプ,送水管,タンク,チ ラーおよびラインポンプから構成され,熱交換パイプ 流入水温はタンクおよびチラーで手動または自動制御 される.なお,熱輸送流体には水を用いた.システム 稼動時,熱輸送流体は熱交換パイプを循環する間に地 盤から熱を吸収,または地盤へ熱を放出する.

図 1 は水平スリンキー型熱交換パイプの埋設状況 を示す. 同図(a)のように小型のバックホーで深さ 1.5m(長さ12m,幅1.5m)まで掘削した.次に(b)のよ うにポリエチレン管(外径34mm,厚さ3.4mm,以下, 熱交換パイプと呼称)を直径1.0m,重ね合わせピッチ を0.5mとしたループ状に配置し,地表面下1.5mに 埋設した.最後,(c)のように掘削溝を発生土で埋め 戻した.熱交換パイプの総延長は約80mとなった.

3. 試験概要

本試験は静岡県磐田市で2月4日から2月8日までの5日間,毎日9時間(8:00~17:00) 採熱システムを稼動させた. 試験条件は,循環流量10ℓ/min,タンク内制御設定温度4.8℃であった.

熱交換パイプ入口水温,出口水温および地盤温度は測 温抵抗体(CHINO 製)および熱電対(CHINO 製)により測 定した.また,採熱システムの地盤温度と気象条件との 熱的相互関係を明らかにするために,発電風速発信機(牧 野応用計測機器研究所製),転倒ます型雨量計(武田計器 工業製),放射収支計(Kipp&Zonen 製),熱電対および温



図1 水平スリンキー型熱交換パイプの埋設状況

キーワード: 浅層地中熱採集システム,スリンキー型熱交換,熱交換パイプ 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

-293-

湿度計(Vaisala 製)を試験設備の近くに設置した.なお, 本試験では熱交換パイプの入口水温および出口水温,地 盤温度,流量および気象データ(気温,湿度,風速,雨量, 短波放射量および長波放射量)を10分間隔で測定した.

4. 試験結果

ここでは, 採熱システムを手動で稼動させた試験初日(2016年2月4日)の試験結果のみを紹介する.

4.1 気象

図2は2月4日の気温 T_a (\mathbb{C}),短波放射量 R_s (W/m^2) および長波放射量 R_L (W/m^2)を示す. 天候はほぼ快晴で あり, T_a (\bigcirc)は14:30頃に最高気温10.4 \mathbb{C} , R_s (\triangle) は最大で642.9 W/m^2 となった.また同図には示さないが, 稼動時の平均風速は4.9m/sであった.

4.2 地温

図3は採熱システム稼動開始直前(2月4日 8:00(〇)) および稼動停止直後(2月4日 17:00(□))の地温 T_s (℃) の鉛直プロファイルを示す.地表面下 50mm(z=-50mm) の地温は日射の影響を受け上昇した.地温の日変化は 地表面下 0.5m までの表層部分に限られた.熱交換パイ プの埋設深さより上下方向 75mm 離れた 2 点(z=-1.43m および-1.58m)の平均地温 T_g (℃)は、地盤から熱交換パ イプへの熱移動のために、稼動後は稼動前よりも約 1.1℃低下した.しかしながら、上下方向 0.3m 離れた 2 点(z=-1.2m および-1.8m)における稼動前後の T_s の差は 0.4℃と熱交換パイプから離れるに従い小さくなる.

4.3 水温

図 4 は熱交換パイプ入口水温 $T_{w-in}(\mathbb{C})$,出口水温 $T_{w-out}(\mathbb{C})$ および $T_{w-in} \geq T_g$ の差 $\Delta T(=T_g - T_{w-in})$ の経時変化 を示す.本試験において $T_{w-in} \geq T_{w-out}$ の差 ΔT_w の平均値 は 1.5℃であった. ΔT は概ね 4.9~6.1℃の範囲にあり, 時間とともに減少する傾向にあった.なお, T_{w-in} に変動 が見られるが,これは外的な要因(気象条件の変化)で はなく,チラーの特性に起因する.

本試験で得られた熱交換パイプ長さ当たりの採熱量 q_{hu} (W/m)は、循環流量および ΔT_w を基に次式で計算された.

$$q_{hu} = (\rho c)_{w} Q (T_{w-out} - T_{w-in}) / L$$
 (1)

ここに, (*pc*)_wは水の体積熱容量(J/m³/K), *Q* は循環流 量(*l*/min)および *L* は熱交換パイプ長(m)をそれぞれ示 す. その結果, 実験期間中の *q*_{hu}の平均値は 13.4W/m と なった.



5.おわりに

本研究では、浅層地中熱に着目した水平採熱システムの性能評価を行った.その結果、本研究におけるパイプ長さ当たりの平均採熱量は13.4W/mであった.今後は熱交換パイプを改良し性能評価を行うとともに、シミュレーションモデルの構築および妥当性検証に努め、システムの最適制御方法を検討する.