

地中熱の利用に向けた地盤の熱伝導特性試験

川田工業 正会員 ○畠中真一 石下誠治 佐藤義則 清水礼二
川田工業 フェロー 越後滋 ジオシステム 高杉真司 館野正之

1. はじめに

積雪地方では冬に温かい地中の温度を、融雪の熱源として利用する例が徐々に増加している¹⁾。地中の温度は年間を通じて一定しており(本稿の図3にて詳述)、気温との温度差を利用したヒートポンプを導入することで、少ない電気エネルギーで冷・温熱源が得られることから、CO₂ 排出削減やヒートアイランドを抑制する効果に期待が寄せられている。しかしながら、地中熱の利用に必要な熱交換用の深い井戸の掘削にかかる高いコストが、普及を妨げていることから、筆者らは、構造物の基礎杭を利用した熱交換器に着目し、実用化について検討を進めてきた²⁾。本文では、地中熱ヒートポンプを導入するにあたっての事前調査として、深さ 20m の基礎杭を熱交換器として使用した場合の地盤の熱伝導特性測定試験を行ったので、その結果を報告する。

2. 試験方法

試験を実施した場所は、栃木県芳賀郡にある自社敷地内の試験フィールドであり、深さ 20m の 3 種類の熱交換器、

- ①PC 杭(PHC-A 種, 外径 400mm)
- ②鋼管杭(STK400, 外径 406.4mm)
- ③U 字管(ポリエチレン製, 外径 34mm)

をそれぞれ 3 本ずつ、図1に示す配置に敷設した。基礎杭の先端は杭施工前に密閉し、地表部にも密閉できる鋼製蓋を取り付け、図2に示すように中空部に湛水して循環できる構造とした。

これとは別に、1箇所に地中温度観測井戸(深さ 30m)、熱交換器を取り囲む三角形の頂点となる位置に地下水観測井戸(深さ 15m)を敷設した。

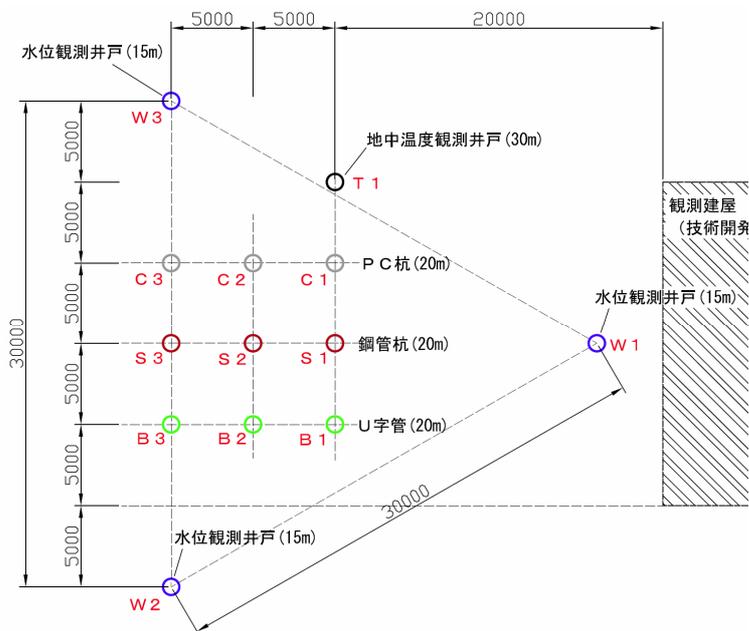


図1 熱交換器配置図

(1) 深度別温度測定

地中温度観測井戸には、深さ 30m, 20m, 15m, 10m, 5m, 2m, 0.1m に熱電対を設置し、気温の変動とともに長期間の温度変化を観測した。

(2) 熱応答試験

地中に設置した熱交換器に対して、一定の熱量(U 字管 2kW、杭 3kW)を与えながら、一定の流量(20L/min)で水を循環させ、約9日間にわたり送側と還側の循環水の温度を計測した。これらの観測データから当該地層における熱交換器の熱抵抗を解析した。解析において、地層の密度および比熱を仮定して、地層の熱伝導率の評価を行った。

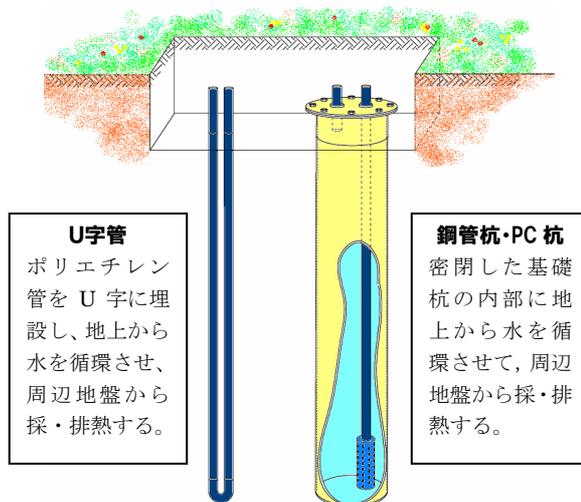


図2 検討対象とした熱交換器形状

キーワード 地中熱、熱応答試験、熱伝導率、熱抵抗、Uチューブ、基礎杭

連絡先 〒321-3325 栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台 122-1 川田工業株式会社 技術研究所 TEL028-687-2217

3. 試験結果と考察

地中温度測定井戸 T1 で観測した深さ-30m, -10m, -5m, -2m, -0.1mにおける地中温度、および気温(気温には日射の影響が幾分か含まれている)の毎正時の測定結果を図3に示す。図3によれば、夜間と日中の気温変化は 15~20℃程度であるのに対し、深さ-0.1m の地表付近ではその日の平均気温を中心として、3~5℃程度の変動にとどまっている。深さ-2m では気温や地表の温度変化に連動した日単位の規則的な変動が見られなくなり、季節による温度変化が気温より2~3ヶ月遅れて顕れている。さらに-5m 以深の地中では 15~16℃程度の一定温度を保持して、気温や日射の影響をほとんど受けないことが確認された。近隣の気象官署(宇都宮)での平均気温 13.4℃より、地中温度は約 2℃高い温度で安定していると言える。

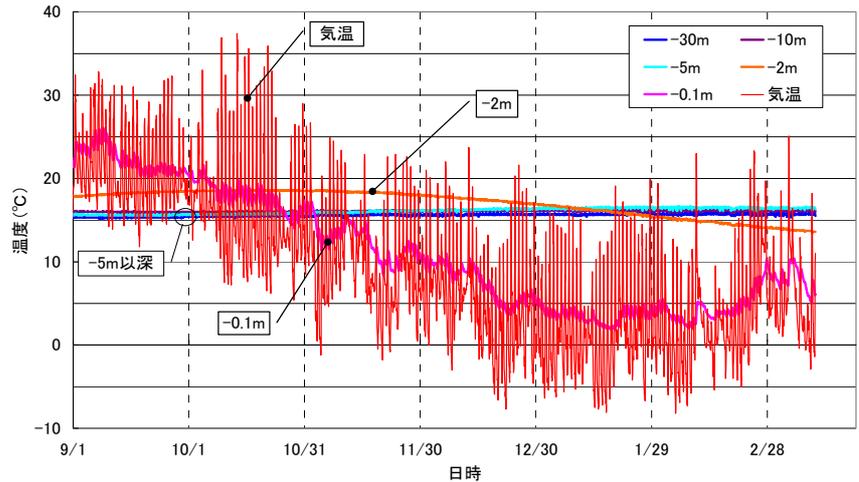


図3 地中温度の変動(2009年9月~2010年3月)

図4は、U字管の熱応答試験の結果である。この図のように時間軸を対数で表記すると、充分時間が経過した後の温度変化は直線近似され、有効熱伝導率 λ_{eff} および熱抵抗 R_b が求められる。得られた熱応答試験結果を表1に示す。熱交換器周辺の土質は殆どローム($\lambda_{eff}=0.72$ W/(mK)程度³⁾)であるが、その一般的な値よりも大きい値が観測されたことより、地盤の水飽和率等の影響があるものと考えられる。また、熱抵抗 R_b についても、熱交換器の種類によって値が大きく異なり、最も普及しているU字管に比較するとPC杭では約半分、鋼管杭では1/3以下の熱抵抗値を示していることから、基礎杭を使用することにより地中での排熱や集熱が比較的効率的に機能するものと考えられる。

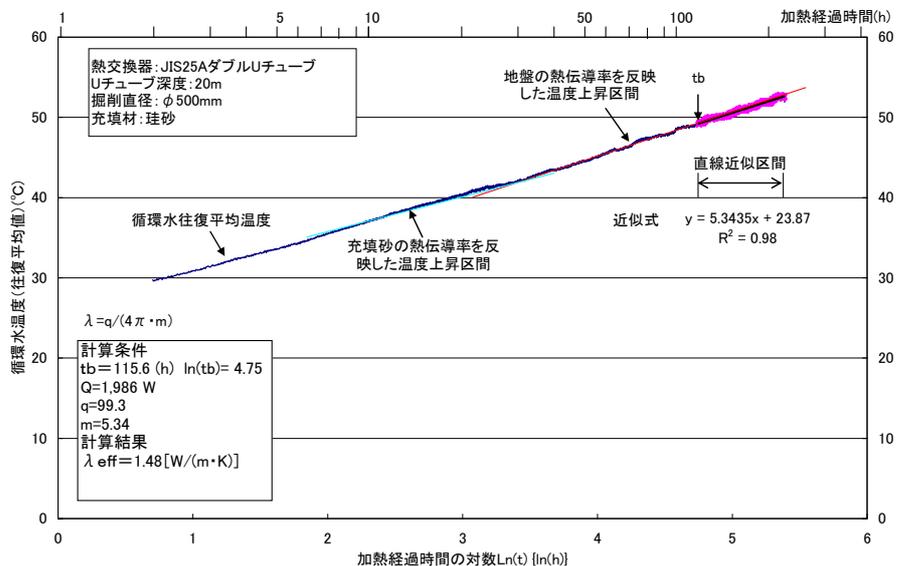


図4 有効熱伝導率の解析結果(U字管の例)

表1 熱応答試験結果

	有効熱伝導率 λ_{eff}	熱抵抗 R_b
PC杭	1.15 W/(mK)	0.09 K/(W/m)
鋼管杭	1.27 W/(mK)	0.057 K/(W/m)
U字管	1.48 W/(mK)	0.21 K/(W/m)

4. おわりに

今回の試験で関連が示唆された、地盤の水飽和率などの影響について今後検討を加えるとともに、ヒートポンプを接続して実際の熱供給性能に関するデータを収集し、実務に有効な地中熱の活用方法について改良を行ってゆく予定である。

【参考文献】 1)たとえば齊田ら： 和田トンネル融雪システムのエネルギー収支，土木学会第63回年次学術講演会，H20.9
 2)畠中ら： 埋蔵エネルギーの取り出し方(地中熱交換器の基本性能の観測 第一報)，川田技報 Vol.29, 2010年1月
 3)北海道大学地中熱利用システム工学講座： 地中熱ヒートポンプ，p.92, 平成19年9月