

既製杭を用いた地中熱利用の工法開発 第3報 採放熱実験

正会員 ○永坂 茂之* 正会員 木村 崇*
正会員 菅 一雅** 正会員 小松 吾郎**
非会員 今 広人** 非会員 進 一寛***

地中熱 二重らせん状チューブ 採放熱実験

1. はじめに

地中熱利用の普及課題である高額な施工費を削減するために、建物基礎杭内部へのチューブ挿入作業の省力化について検討を行い、杭とチューブを一体で施工する画期的な新工法を開発した¹⁾²⁾。新たに開発した二重らせん状(スパイラル(以下、SP))に加工した採熱チューブを、工場で作られる空洞の既製杭内部に予め設置し、杭挿入時に継手を使わずにチューブを伸長させ、杭施工と同時に設置を完了する。写真1に杭内のチューブ設置状況を示す。杭内壁近傍にチューブを配置しており、行き・還りチューブが交互に位置することによる互いの熱干渉を抑制するべく、チューブ間のピッチを維持している。

開発した採熱チューブは、従来のスパイラルと異なり、スパイラルの中心部に最深部から地上部への垂直立上げ管が無く、杭内設置の施工性を重視した構造をしている。この採放熱特性を明らかにするため、2014年9月より実験を行っており、連続または間欠運転時の単位採放熱係数[W/(m・K)]を明らかにした。

2. 実験概要

採熱チューブは、口径25Aのポリエチレン(以下、PE)製(INOAC製、ISO規格)である。また使用した杭はPHC(A種)で、外径は700mmφ、内径は490mmφである。

比較用に、口径25AのダブルUチューブ(以下、DU)を同時に施工している。PE製チューブ4本を杭内壁近傍に設置するために、塩ビ管の短管をスペーサーとして用いて、チューブ間の離隔を維持した。



写真1 二重らせん状(スパイラル)チューブの杭内設置状況

両杭内には、杭施工時に用いられるソイルセメント(残土とセメントの混合材)が固化したものが、充填されている。

図1に、杭および観測井戸の配置図(上図)と垂直断面図(下図)を示す。2つの杭を8m離して設置し、各杭から2m離れた位置と杭間隔の中心4m位置に観測井戸を設けた。図中の赤い丸印が温度センサー(CHINO製Pt100(クラスA))であり、深さ方向に3点以上設置している。また、杭の中心部と外表面にも温度センサーを設置した。杭長約20mに埋設した各種チューブの深さは、新工法のSPでは18.9m、DUでは16.4mで、チューブ長はそれぞれ約82m、65.6mである。DUの埋設深さが浅いのは、杭設置後にソイルセメント内へのチューブ挿入作業を行った際に、途中で入らなくなったためであり、従来工法の課題が現れた結果である。

地盤は浅層部が関東ローム層や粘土層であり、深度6m以深は砂質土で良好な支持層であった。

熱媒は不凍液(INOAC製プロピレングリコール)であり、放熱時には電気ヒーターで加熱し、採熱時にはINVチャラーで冷却して循環する。各チューブ系統には、容積式流量計(burkert製)と熱媒温度センサー(CHINO製Pt100(クラスA))を設置した。

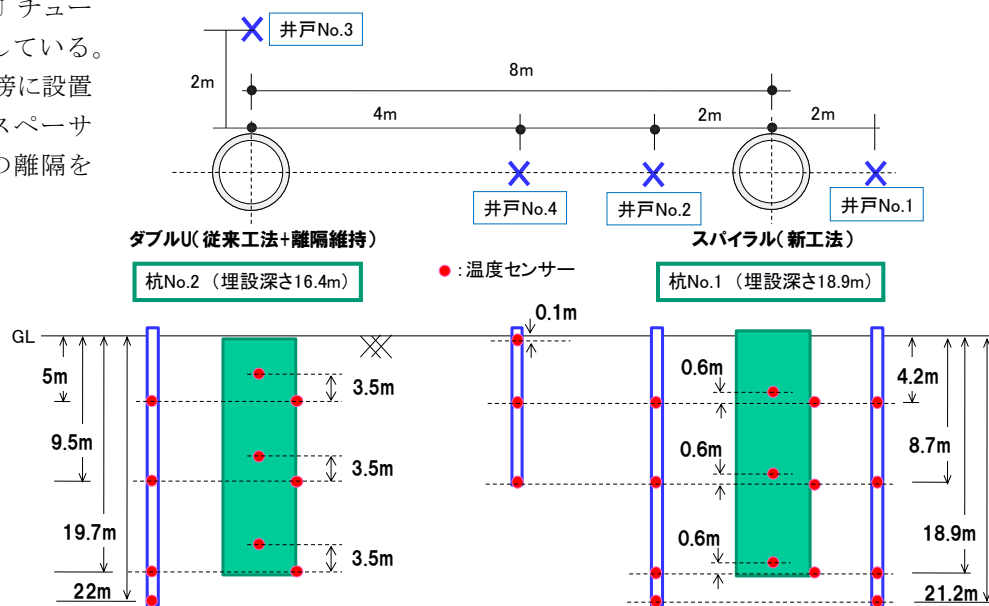


図1 杭および観測井戸の配置(上)と垂直断面(下)

3. 実験結果

2014年9月12日から採放熱実験を開始し、まずはTRT（サーマルレスポンステスト）を兼ねて70日間の放熱実験を行った。TRTの結果、初期土壌温度は18.3℃、有効熱伝導率は2.0 W/(m・K)であった。

2015年11月までの結果を表1に示す。運転方法は、加熱または冷却の連続運転と、12時間毎に放熱と放置を繰り返す間欠運転の2種類である。連続運転では、循環流量の違いによる放熱特性を確認した。運転切替時には、運用日数と同程度の放置期間を設け、土壌温度を回復させてから次の実験を行った。

表中には、熱媒入口温度と出入口温度差、採放熱率 W/m（単位深さあたりの採放熱量）と採放熱率を初期土壌温度と熱媒出入口平均温度との差で除した単位採放熱係数を示している。単位採放熱係数を用いて、流量が同条件の下、任意の熱媒温度における採放熱率を推定することができる³⁾。

連続運転において、流量が5.4L/minと同じ場合の採放熱率は、熱媒と初期土壌との温度差が大きい放熱時の方が採熱時よりも大きいが、単位採放熱係数は2.9W/(m・K)と等しくなった。また、流量が増えると出入口温度差は小さくなるが採放熱率は増加し、単位採放熱係数は3.1W/(m・K)であった。間欠運転では、運用日数が同じならば、連続運転よりも熱媒出入口温度差と採放熱率が大きくなり、単位採放熱係数は4.2 W/(m・K)であった。

図2に、連続運転時の日平均放熱率の変化を示す。初期は土壌温度が低いため、熱媒の出入口温度差が大きく

なって放熱率は大きいが、約10日後にはほぼ一定になっていることがわかる。運転前後の杭外表面および杭中心の垂直温度は、期間合計372.4MJの放熱後に、それぞれ10℃以上、18℃以上高くなった。また、観測井戸への温度影響は、杭から2m離れた地点（井戸No.2）の深さ8.7m付近で3℃以上となり、4m離れた地点（井戸No.4）で1℃以上であった。

図3に、間欠運転68日目の放熱率の時刻別変化を示す。熱媒入口温度を一定にした運用では、運転開始時に大きく、時間の経過と共に徐々に低下することがわかる。

4. まとめ

- 1) TRTの結果、実験場所の土壌の有効熱伝導率は2.0W/(m・K)であった。
- 2) 連続運転において、流量5.4L/minの単位採放熱係数は2.9W/(m・K)であり、10L/minでは3.1 W/(m・K)であった。
- 3) 間欠運転では、運用日数が同じならば連続運転よりも熱媒出入口温度差、採放熱率が大きくなり、単位採放熱係数は4.2 W/(m・K)であった。

【参考文献】

- 1) 永坂茂之ら：既製杭を用いた地中熱利用の工法開発 第1報、日本建築学会学術講演梗概集（関東）（2015）、pp.1371-1372
- 2) 小松吾郎ら：既製杭を用いた地中熱利用の工法開発 第2報、日本建築学会学術講演梗概集（関東）（2015）、pp.1373-1374
- 3) 葛隆生、長野克則、中村靖：地中熱ヒートポンプにおける地中熱交換器仕様設計方法に関する研究 その1 地中熱交換器の採放熱量の定量化とその応用、日本建築学会環境系論文集、第76巻 第659号（2011）、pp.59-66

表1 実験結果

運転方法	運用日数	流量	安定時				
			熱媒入口温度	熱媒出入口温度差	平均採放熱率	単位採放熱係数	
連続	放熱	70日	5.4 L/min	40.9℃	3.3℃	60.4 W/m	2.9 W/(m・K)
	採熱	70日	5.4 L/min	7.2℃	1.5℃	30.4 W/m	2.9 W/(m・K)
	放熱	35日	10 L/min	43.7℃	2.3℃	75.9 W/m	3.1 W/(m・K)
間欠※	放熱	69日	5.9 L/min	37.5℃	3.6℃	73.4 W/m	4.2 W/(m・K)

※運転12h-放置12h

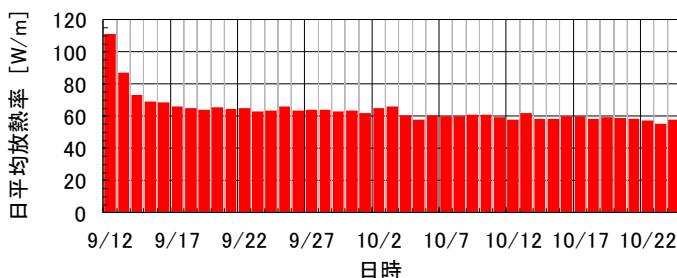


図2 日平均放熱率の変化（連続運転時）

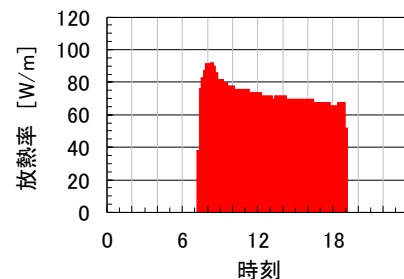


図3 放熱率の変化（間欠運転 68日目）

* 新日本空調株式会社
 ** ジャパンパイル株式会社
 *** 株式会社イノアック住環境

* SHIN NIPPON AIR TECHNOLOGIES CO.,LTD
 ** JAPAN PILE CORPORATION
 *** INOAC Housing & Construction Materials Co.,Ltd.