

既製コンクリート杭を利用した基礎杭型ライニング地中熱交換器の伝熱特性

福井大学大学院	学生会員	○鈴木	遙介
福井大学	正会員	寺崎	寛章
広島工業大学	正会員	福原	輝幸
株式会社エコ・プランナー	非会員	草間	政寛

1. はじめに

地中熱を利用した冷暖房システムは高い省エネ性に加えて、環境負荷が低いことから東京 2020 オリンピック施設にも導入されるなど、知名度が高まりつつある。日本では近年、地中熱交換器設置のための掘削費を抑えるために、建築物等の基礎杭を地中熱交換器として利用する研究¹⁾が進められている。特に既製コンクリート杭(PHC 杭)の中空部に熱輸送流体(水)を貯めて循環する方式(直接循環方式)は熱交換効率が大きく、鋼管杭を利用する場合よりも導入コストを抑えられる利点を有する。しかしながら、この方式では杭内部の貯留水の漏れや杭の内壁から溶出したカルシウムが配管中で析出し、機器能力の低下が生じることが指摘されている¹⁾。一方、杭内部に挿入されたU字状のチューブに熱輸送流体を循環させ、空隙部に水や珪砂などのグラウト材を充填する方式(U チューブ方式)では熱抵抗が増し、直接循環方式に比べて熱交換効率が低下することが課題として挙げられる。

そこで筆者らは、上下水道などの管更生に用いられるライニング(内面被覆)工法に着目し、杭の内部を被覆された貯水槽として利用する新たな地中熱交換器の研究開発を進めている。本研究では、PHC 杭にライニング工法を応用した基礎杭型地中熱交換器を実施し、伝熱性能の指標である熱抵抗を調べるために熱応答試験を実施したので、その結果を報告する。

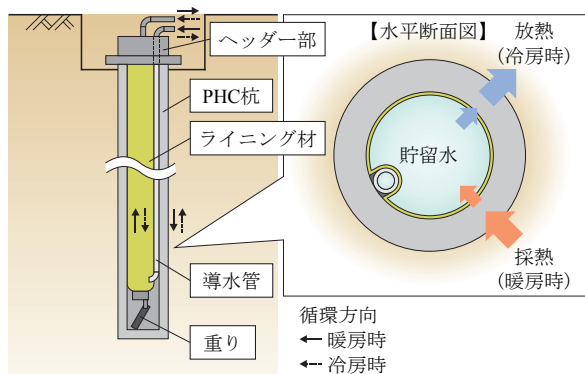


図-1 基礎杭型ライニング地中熱交換器の概要

2. 基礎杭型ライニング地中熱交換器の概要

図-1 は基礎杭型ライニング地中熱交換器の概要を示す。本地中熱交換器は PHC 杭、袋状のライニング材、導水管および付帯設備を有するヘッダー部などから構成される。特徴として、1)密閉されたライニング材により貯留水がコンクリートの内側壁面と接触しないこと、2)U チューブ方式と比べて熱輸送流体の熱交換面積が増加することが挙げられる。

3. 施工手順

基礎杭型ライニング地中熱交換器は福井大学構内の敷地にて施工された。また後述する熱応答試験の比較対象として、U チューブ方式も併せて施工した。図-2 はライニング方式の主な施工手順を示す。まず、縦孔(掘削径: 400 mm, 深さ: 21.5 m)を掘削し、PHC 杭(外径: 300 mm, 内径: 180 mm, 長さ: 7 m)を継ぎ足しながら、合計 3 本分(長さ: 21 m)を埋設した。次に、専用のリールジグを杭の中心に据え付け、リールに導水管および熱硬化樹脂を含浸したライニング材を取り付けた。そして、導水管にライニング材を巻き付けながら杭内部に挿入した。その後、ライニング材の内部が満水になるまで導水管へ注水し、上部にヘッダー部を取り付けた。さらに、ヘッダー部に注水してライニング材を加圧膨張させた後、ボイラーを接続して循環水を加温し、ライニング材を硬化させた。



図-2 施工フロー

キーワード: 地中熱, 基礎杭, PHC 杭, ライニング工法, 熱応答試験

連絡先: 〒910-8507 福井市文京 3-9-1 福井大学工学部建築・都市環境工学科 環境水工学研究室 TEL0776-27-8595

4. 熱応答試験概要

熱応答試験は2016年11月10日から17日にかけて、ライニング方式およびUチューブ方式を対象に行われた。図-3は本試験の概要および条件を示す。本試験で得られたデータはケルビンの線源理論に基づく作図法によって解析し、両方式の循環水と杭内側壁面間の熱抵抗 R (mK/W)を算出する。なお、試験方法および解析方法は参考文献2)を参考にした。

5. 試験結果

図-4はライニング方式における循環水の地中熱交換器入口温度 T_{in} (°C)、出口温度 T_{out} (°C)および杭の単位長さあたりの放熱量 q (W/m)の経時変化を示す。 T_{in} および T_{out} は加熱開始から10時間後までにそれぞれ約6°Cおよび約4°C上昇するものの、その後の昇温は緩やかであった。 q は平均値である44 W/m程度を推移し、概ね電気ヒーターの加熱量相当が地中に放熱された。

図-5は本試験によって得られた R および同現場にてボアホール型地中熱交換器(深さ:95 m)を対象に行った熱応答試験³⁾による R を示す。基礎杭のライニング方式およびUチューブ方式の R はボアホールよりもそれぞれ49%および21%小さかった。基礎杭とボアホールのライニング方式を比べると、掘削壁面(直径:180 mm)に凹凸を有するボアホールよりも壁面内側が平滑な基礎杭(内径:180 mm)の方が、ライニング材が空隙を生じさせることなく壁面に密着することで、熱交換効率が高くなり R が低下したと推察される。また珪砂を充填したボアホールのUチューブ方式に対して、中空部が水で充填されている基礎杭のUチューブ方式は自然対流の影響を受けて R が低下したと考えられる。一方、基礎杭におけるライニング方式の R はUチューブ方式よりも64%小さく、その低下率はボアホールの両方式を比較した場合の1.4倍であった。したがって、伝熱性能の観点から基礎杭にライニング工法を応用することはボアホールの場合よりも効果的であると考えられる。

6. おわりに

本研究ではライニング工法をPHC杭に応用した新たな地中熱交換器を施工し、伝熱特性を把握するために熱応答試験を実施した。その結果、ライニング方式の熱抵抗は従来のUチューブ方式のそれよりも64%小さくなり、ボアホールの場合よりも熱抵抗の

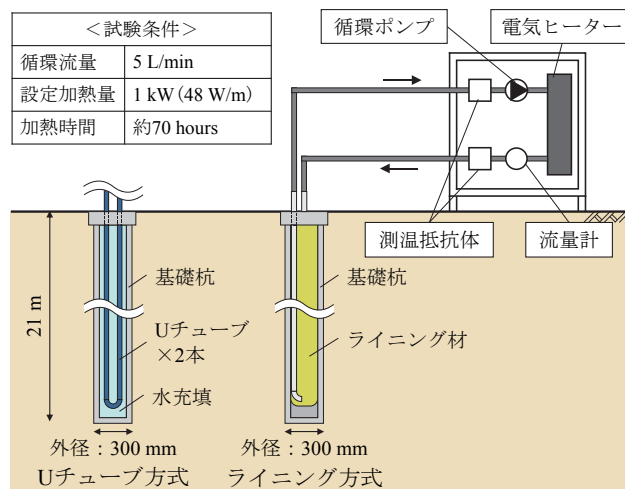


図-3 熱応答試験概要

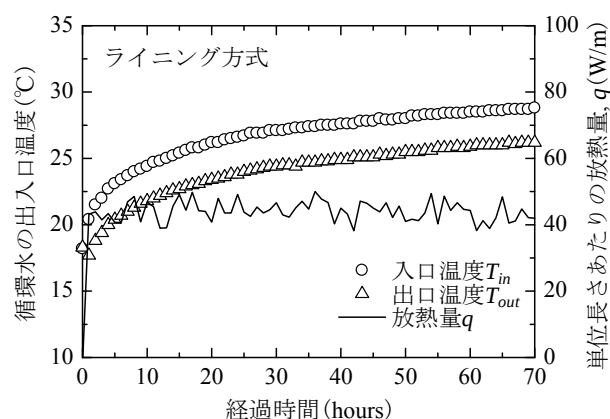


図-4 循環水の出入口温度および放熱量の経時変化

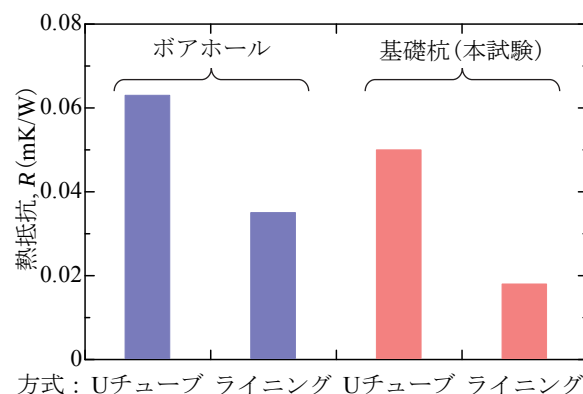


図-5 熱抵抗の比較

低下率が大きいことが分かった。

謝辞

本研究はNEDOによる平成28年度「新エネルギーベンチャー技術革新事業」の助成を受けて行われた。また、みち環境技術協会から多大なご協力を頂いた。ここに深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 大岡龍三:「地中熱利用ヒートポンプシステム」建物基礎杭を利用した地中熱空調システム, 日本地熱学会誌, Vol. 28, No. 4, pp. 431-439, 2006.
- 2) 国土交通省:官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン(案) (<http://www.mlit.go.jp/common/001016159.pdf>), 2021年3月31日確認.
- 3) 寺崎寛章, 鈴木遥介, 福原輝幸, 草間政寛, 谷口晴紀, 田中雅人:ライニング地中熱交換器の伝熱特性, 土木学会論文集G(環境), Vol. 74, No. 7, pp. III_383-III_390, 2018.