

基礎杭用掘削孔におけるライニング地中熱交換器の水温特性

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
福井大学大学院	非会員	岩本知也
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
株式会社ホクコン	非会員	谷口晴紀
ミサワ環境技術株式会社	正会員	田中雅人

1. はじめに

日本では近年、時間・場所的に利用制限の少ない地中熱が注目されており、特に地中熱利用冷暖房は高い省エネ性から利用に期待が高まっている。しかしながら、既存の地中熱交換器(例えばダブルUチューブ)は掘削費が高く、それが地中熱利用設備の普及を妨げている。このような背景を踏まえて、当該研究室では熱源コストを削減するために水道の管更生に使用されるライニング材を応用した新たな地中熱交換器(Lining Borehole ground Heat Exchanger, 以下LBHE)の研究開発を行っている¹⁾。既存の地中熱交換器は通常100 m程度の掘削を行うために、施工費や時間がかかることが指摘されている。

そこで本研究では、LBHEの施工汎用性の向上を目標として、基礎杭用の口径で掘削された縦孔内にLBHEを施工し、ライニング材の挿入状況を調べた。また、LBHEの伝熱モデル構築の前段として、LBHE内の水温鉛直分布を調べるために放熱試験を行ったので、その結果を報告する。

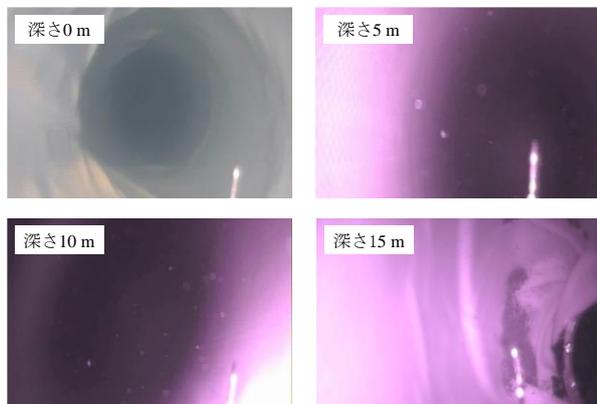


図-1 LBHE 内の様子

2. 試験概要

試験は、2018年8月7日に株式会社ホクコン本社(福井県福井市)の敷地に施工されたLBHE(長さ15 m)を用いて行われた。本試験に用いたLBHEは、ベントナイトが充填された縦孔(直径約400 mm)にライニング材(拡張時の直径:200 mm)を膨張させて施工した。なお、施工概要については寺崎ら¹⁾を参考にされたい。

図-1は本試験で施工したLBHE内を水中カメラで撮影した様子を示す。本施工では各深度において掘削壁面による凹凸は見られず、十分にライニング材が膨張していることが確認できた。

図-2は試験の概要を示す。本試験では電気ヒーターで加熱した水をLBHE上部から循環ポンプを用いて一定流量(20 L/min)で流し、测温抵抗体により循環水の出入口水温を、熱電対によりLBHE内の水温、地温および外気温を、電磁流量計により循環流量を、それぞれ測定した。なお、加熱前に約15分間、予備循環を行った。また、入口水温が35°Cに達した後は35°C一定となるようにヒーターの出力を調整した。

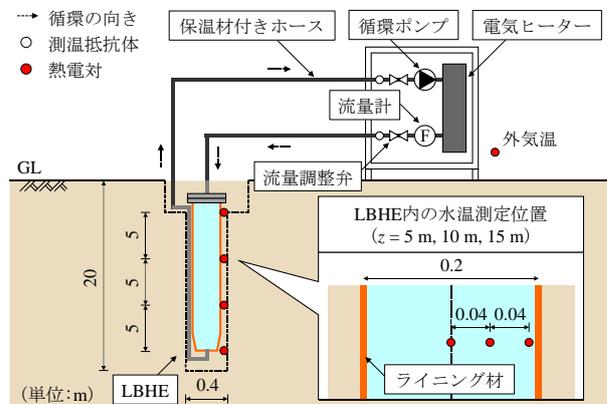


図-2 試験概要

キーワード：地中熱，ライニング材，ライニング地中熱交換器，基礎杭用掘削孔，水温分布

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

LBHE内水温は深さ $z = 5$ m, 10 mおよび15 mにおいて, その中心部, 中間部および外周部の半径方向3箇所, LBHE外周部付近の地温は深さ $z = 0$ m, 5 m, 10 mおよび15 mで, それぞれ測定した.

3. 試験結果

図-3 は循環水の入口水温 T_{wi} (°C) および出口水温 T_{wo} (°C) を示す. T_{wo} に連動して T_{wi} は緩やかに上昇し, 加熱から 128 分後までの出入口水温差 $\Delta T_{io} (= T_{wi} - T_{wo})$ は平均で 2.8°C であった. それ以降, T_{wi} が 35°C に達し, 電気ヒーターの設定熱量を 4 kW から 2 kW に下げたため, ΔT_{io} は 1.5°C 程度であった. また, 加熱から約 80 分後までは階段状に推移しており, 両水温が概ね一定の時間帯が確認された. これは予備循環によって初期温度が概ね一定となった LBHE 内の貯留水が加熱されて, ピストン流の状態で流入したためと推測される. ここで LBHE を直管(直径 200 mm)と仮定すれば, レイノルズ数は 2300 以下となり, LBHE 内の流れは層流とみなすことができる.

図-4 は試験結果の一例として, $z = 15$ m における中心部水温 T_{wc} , 中間部水温 T_{wm} および外周部水温 T_{we} (°C) の比較を示す. 本試験においては, T_{wc} と T_{wm} , T_{wc} と T_{we} には明瞭な差異は見られず, LBHE の断面内の温度差は非常に小さい. また $z = 5$ m および 10 m においても同様な傾向がみられた.

図-5 は断面内の平均水温 T_{w-ave} (°C) および LBHE 外周部付近の地温 T_g (°C) の鉛直分布を示す. いずれの経過時間においても, 地表部 ($z = 0$ m) の T_g は外気温の影響により $z = 5$ m 以深より高い. また, $z = 15$ m の T_g は $z = 10$ m のそれよりも 2°C 以上低く, この地点の有効熱伝導率が高いと推察される. 加熱開始時の T_{w-ave} は $z = 15$ m において, $z = 10$ m のそれよりも 1.8°C 高く, 予備循環によって地表付近の温まった貯留水が流入したと考えられる. 加熱後の T_{w-ave} の鉛直温度勾配は徐々に小さくなり, 加熱から 80 分後の $z = 0$ m および 15 m の温度差 ΔT_{tb} は 2.9°C であったが, 160 分後の ΔT_{tb} は 1.5°C に減少した. これより, LBHE 内の鉛直水温分布の非一様性は加温水の循環により徐々に小さくなることが確認できた.

4. おわりに

本研究では基礎杭用掘削孔を対象にLBHEを施工し, 放熱試験からLBHE内の水温鉛直分布を調べた. その結果, 基礎杭用掘削孔に対してライニング材は

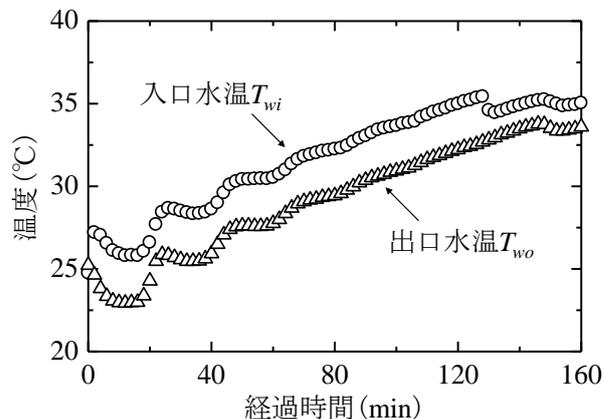


図-3 LBHE の出入口水温の経時変化

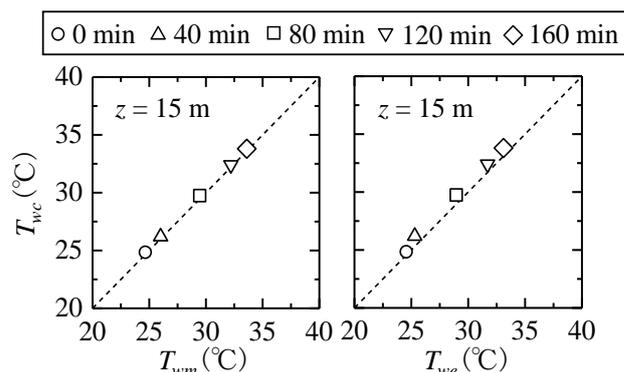


図-4 半径方向のLBHE内水温の比較 ($z = 15$ m)

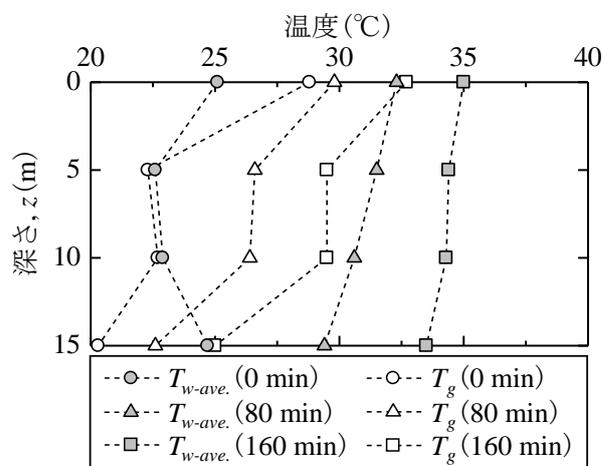


図-5 LBHE内平均水温とLBHE外周部地温の鉛直分布

十分に膨張したことを確認した. また本試験条件下においては, 半径方向の温度差は殆どなく, 鉛直方向の温度勾配は加温水の循環により小さくなることが分かった.

謝辞

本研究はNEDOによる平成29年度ベンチャー企業等による新エネルギー技術革新支援事業(フェーズC)の助成を受けて行われた. また, ホクコンマテリアル株式会社からの多大な協力を受けて行われた. ここに深甚の謝意を表す.

参考文献

- 1) 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.