

冷水循環時におけるライニング地中熱交換器の採熱性能

福井大学 正会員 ○寺崎寛章

福井大学大学院 学生会員 鈴木遥介

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

日本では省エネルギーおよび CO₂ 排出量削減の観点から、再生可能エネルギーの利用が推進されている。とりわけ、地中熱は太陽光や風力よりも天候や地域に左右され難く、CO₂ 排出量削減効果も大きいことから注目されている。その一方で、日本の地中熱利用冷暖房システムの普及は欧米諸国の 1/200 以下と非常に低い。この普及の妨げになっている要因の一つとして、欧米諸国に比して地中熱交換器の設置コストが高いことが挙げられる。例えば、ボアホール方式では掘削孔(深度 100 m 程度)に U 字パイプを 2 本(ダブル U チューブ, 以下 DUT と呼称)挿入して、地中とパイプ内流体との間で熱交換が行われ、その設置コストは条件によるが約 100 万円になる。一方、比較的掘削コストの安価な浅層地中熱に着目した研究も数多く行われている¹⁾。これらはボアホール方式に比べて熱交換量は高くはないものの、保有熱量が大きいことが特徴の一つとして挙げられる。今後、浅層地中熱を有効利用するためにはコスト削減と採熱量を高める最適な利用方法(制御)の研究開発が重要であると思われる。

これらの状況を鑑み、筆者らは水道の管更生に使

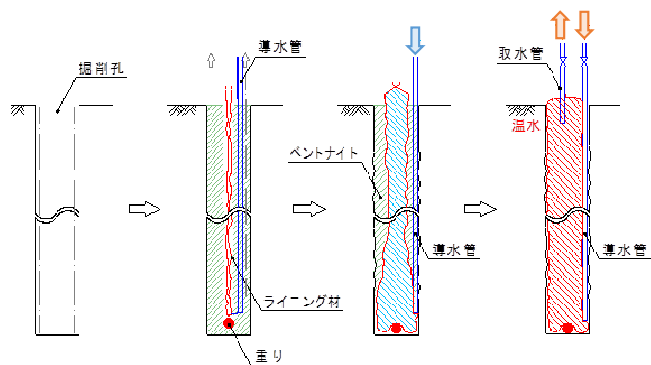


図-1 ライニング地中熱交換器の施工イメージ

用されるライニング材に着目し、それを鉛直掘削孔に応用したライニング地中熱交換器(LBHE)の研究開発を行っている。LBHEは貯水量(貯熱量)が大きいことや掘削孔と密に接触しやすいなどの特徴を有する。

本論文ではLBHEの実施工を行うとともに、採熱試験によりLBHEの伝熱特性に関する基礎的知見を調べたので、その結果の一部をここで紹介する。

2. 施工試験概要およびその結果

本施工試験(2016年5月22日)の実施に際して、まず深度21 m(ビット径168 mm)まで掘削した(掘削孔径:約194 mm, 地上部で実測)。その後、重り(30 kg)と導水チューブ(ブレードホース)を先端に取り付けたライニング材(樹脂:熱硬化樹脂, コア材:たて編ガラス繊維, 内装および外装:フィルムコーティング)を孔内に人力で挿入した。重りが最深部に到達したことを確認した後、ケーシングを引き抜き、地上部のライニング材にヘッダー部(流量計付属)を取り付けた。次に、一定の流量で送水し、水面が地上部に到達したことを確認した後、規定の圧力に達するまで送水を続けた。その結果、地上部から見る限り、孔壁に密着する形でライニング材は膨張したことを確認した。なお、流量および全長 $L(=20 \text{ m})$ から計



図-2 施工試験の様子

キーワード：地中熱，ライニング工法，LBHE，採熱試験，ダブルUチューブ

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 TEL 0776-27-8595

算した貯水量は 0.445 m^3 (DUTの水量の約10倍)であり、これは掘削ビット径の100%以上膨張したことになる。その後、家庭用給湯器(設定温度 50°C)を用いて循環水を加温し、ライニング材の硬化を促進させた。なお、循環開始1時間後には地上部のライニング材が硬化し始め、翌日には地上部が完全に硬化した。またライニング内部の様子を調べるために、6月23日に水中カメラを挿入した結果、最深部まで孔壁に密着する形で硬化していることを確認した。さらに本試験地では比較用にDUTも同深度で施工した。

3. 採熱試験概要およびその結果

施工後、まずLBHE内に5 mの鉛直間隔で熱電対を設置した。次に、図-3に示すように陸上ポンプと冷水槽をLBHEとDUTに接続した。その際、採熱量を調べるためにLBHEとDUTの出入り口に熱電対を設置した。その後、冷水槽に氷を適宜投入して氷水(水温: 約 0°C)を作り、一定流量($Q=12.5 \text{ L/min}$)でLBHEとDUTに同時に流し、約6時間かけてLBHE内の水温分布ならびに出入り口水温の経時変化を調べた。

図-4はLBHEの出入り口水温差 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ の経時変化を示す。循環開始直後はLBHE内に蓄えられた温かい水が出口より流出するため、出口水温は高く、概ね 17°C であった。循環開始約40分後には ΔT の低下は鈍化したことから、LBHE内の貯留水は循環水(冷水)に切り替わったと思われる。なお、流量から貯水量相当分の吐出に要する時間は約36分であり、両時間は概ね一致した。なお、循環開始から5時間以降の ΔT の時間変化は小さく、約 2.5°C となった。

図-5は出入り口水温から計算されたLBHEとDUTの採熱量 $H_{ex}(=60 \times q \times \Delta T / (0.86 \times L), \text{ W/m})$ の比(採熱比) $R(-)$ の経時変化を示す。循環開始40分以降の R は常に1以上であり、概ね一定値(1.3~1.5)を推移した。これはLBHEの方がDUTよりも熱干渉が少なく、また採熱面積が大きいことに起因すると考えられる。これより、今後LBHEを有効利用するためには二次側の負荷に応じて流量を制御するなど、熱利用効率を高める工夫が重要であると考えられる。

4. おわりに

本研究では地中熱の利用促進を目標に深度20 mのLBHEの施工試験を実施し、施工方法を確認するとともに、冷水循環方式による採熱試験を実施し、LBHE

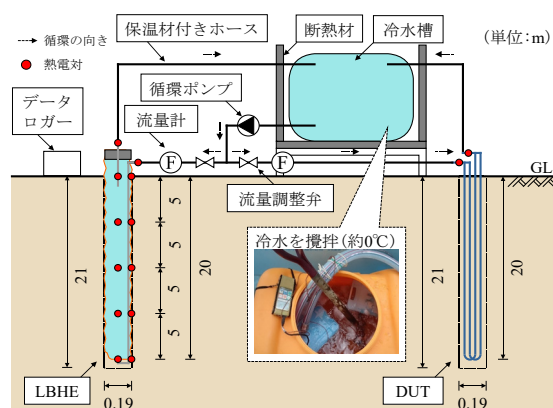


図-3 冷水循環方式による採熱試験

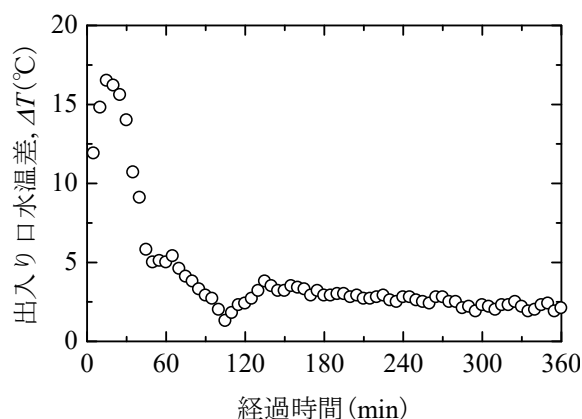


図-4 LBHEの出入り口水温差の経時変化

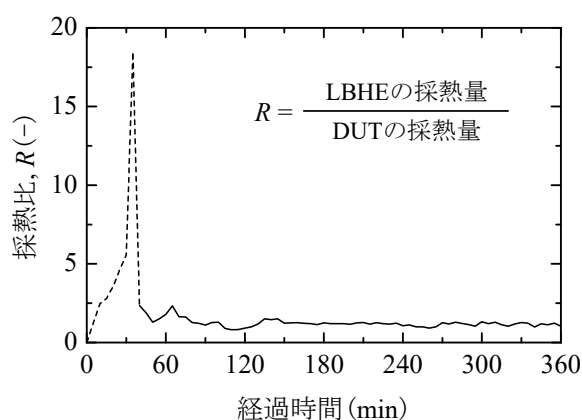


図-5 LBHEおよびDUTの採熱比の経時変化

内の水温の挙動をDUTと比較した。その結果、(1)本施工では掘削ビット径の100%以上膨張した。(2)本試験におけるLBHEの採熱能力はDUTより30~50%高くなった。

謝辞

本研究はみち環境技術協会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る。

参考文献

- 例えば、福原輝幸、小寺健太郎、浅田與志男、河合源悟：地中熱を利用した貯水槽集熱システムの性能評価，土木学会論文集，Vol. 741，pp. 143-153，2003。