

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12273

研究課題名（和文）地下水流動による地中熱の高性能利用

研究課題名（英文）High performance use of ground source heat using underground water flow

研究代表者

榎 耕太郎（Tsubaki, Koutaro）

佐賀大学・理工学部・助教

研究者番号：70432961

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：実験では、水平方向に設置した地中熱交換器により、雨が降った際に表層付近で地下水流動が起こり、熱交換量に影響を与えることを明らかにした。また、数値シミュレーションではOpenFOAMを用いて、土壌中の地中熱交換器を地下水流れに直交して設置したモデルと並行に設置したモデルに加え角度を変えた地中熱交換器に対応したモデルを作成し、加熱条件などを変えた計算を行った。多孔質体の計算には運動方程式にダルシー則を用いて地中熱交換器の向きを変えた際の伝熱量の変化の詳細を計算した。計算結果から地下水流れに対して垂直な流れでは大きく伝熱量が変わるが、並行から10°程度では影響が非常に小さいことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

局所的な地下水流動が地中熱利用に与える影響についての研究や調査例は殆どない。地下水流動についての主な国内の研究は、建築・土木分野における広域での地下水の履歴などを対象とした数km規模であり、地中熱交換器の性能に影響を与える伝熱学の視点からの数m規模の例は少ない。本研究で実験的に浅部での雨と地下水の影響を、数値シミュレーションでは水平設置の角度の影響を明らかにしたことにより、地下水流動の影響を考慮した長期的な地中熱交換器の性能変化および周囲の土壌温度に与える影響の予測へとつながる。今後地中熱利用の普及が期待される東南アジアは日本と同じく地下水が流れやすい地層であるため、将来的に展開が期待される。

研究成果の概要（英文）：Experiments revealed that horizontally installed ground heat exchangers cause groundwater flow near the surface layer during rainfall, which affects the amount of heat exchange. In numerical simulations, OpenFOAM was used to create models corresponding to groundwater heat exchangers in the soil at different angles in addition to a model with the groundwater flow perpendicular and parallel to the groundwater flow, and calculations were performed under different heating conditions and other conditions. The calculation of the porous media was performed using the Darcy law in the equation of motion to calculate the details of the change in heat transfer when the direction of the groundwater heat exchanger is changed. The calculation results show that the heat transfer rate changes significantly when the flow is perpendicular to the groundwater flow, but the effect is very small when the flow is parallel to the groundwater flow by about 10°.

研究分野：循環型社会システム関連

キーワード：地中熱利用 地下水流動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自然エネルギーに分類される太陽光や風力は発電時間や場所に偏りがあるが、地中熱はその制約がなく電力需要を平準化できる。しかし、現在は国内での利用は少ないため、今後の利用促進が必要とされている。

地中熱交換器の設置場所における熱交換量の予測には、「土壌の見かけの熱伝導率」が用いられ一般的な熱応答試験 (Thermal Response Test; TRT) により算出される。熱応答試験は平成 24 年 (平成 27 年改訂) 環境省による「地中熱利用にあたってのガイドライン」、平成 25 年 10 月、国土交通省による「地中熱利用システム導入ガイドライン」においても指標とされている。この熱応答試験は土壌を均質物質とし熱交換井を中心とした円筒座標系における非定常熱伝導の厳密解を応用しており、地下水の対流の影響は無視している。瞬間的な熱交換性能を知るには有意な値であるが、地下水流動によりペクレ数 10^{-1} 程度の対流と熱伝導の拮抗した状況での伝熱現象は考慮できない。地下水流動の影響を考慮できないことは、設置直後には影響は現れないが、数年後に大きな影響が現れる。地下水流動がない条件では地中熱交換器を中心に、その周りの土壌の温度が上昇していき、熱交換量は経時的に低下するが、地下水流動があると下流側へ流されるため熱交換量の低下を抑えられる。熱交換開始の瞬間は同じ性能であっても地下水流動により、数ヶ月、数年の長期では数倍、数十倍と大きく熱交換量が異なってくる。また、温度の変化した地下水が対流で流されることにより、下流側に別の地中熱交換器を設置した場合の性能低下が問題となる可能性があるため、周囲への影響を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、対流熱伝達と熱伝導の影響が拮抗する条件における地下水流動の影響を評価するために、実験と数値シミュレーションから影響の検討を行うことである。

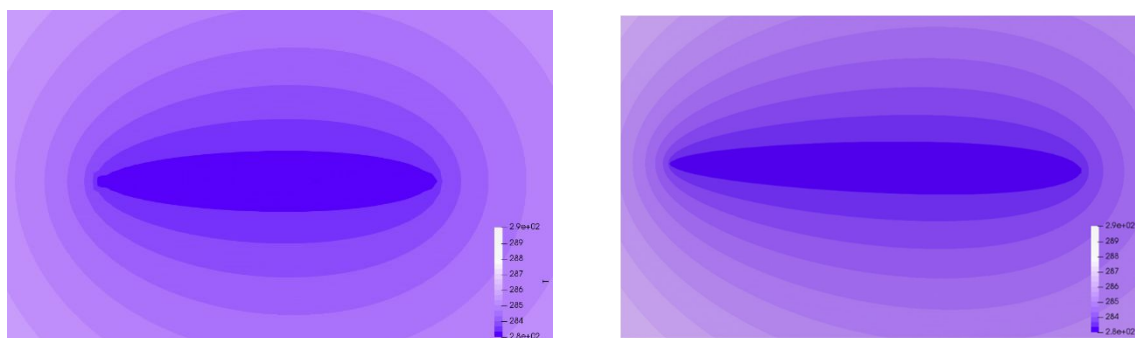
3. 研究の方法

数値シミュレーションでは OpenFOAM を用いて、土壌中の地中熱交換器を地下水流れに対して設置角度を変えたモデルを作成し、加熱条件などを変えた計算を行った。多孔質体の計算には運動方程式にダルシー則を用いて地中熱交換器は平板でモデル化した。

実験では地中熱交換器を 2 基、佐賀市の清掃センター敷地内に設置した。地上に設置した恒温槽により、地中熱交換器の入口温度を一定とし、出入口温度と循環する水の流量から伝熱量を求めた。

4. 研究成果

数値シミュレーションでは計算結果から地下水流れに対して垂直な流れでは大きく伝熱量が変わるが、並行な流れでは影響が非常に小さいことが分かった。また、長期的な運転をした場合の伝熱量の変化を明らかにした。地下水流動の方向と地中熱交換器の設置方向の角度の関係で地下水流動の影響が大きく変わることを明らかにした。流れの影響が小さくなる角度の範囲が並行から 15° 程度と小さい範囲であった。数値シミュレーション結果の地中熱交換器周りの温度分布を図 1 に示す。



(a) 地中熱交換器と地下水流動が直交 (90°) (b) 地中熱交換器と地下水流動の角度 15°
図 1 数値シミュレーション結果 (186120 s 後)

実験では長期的な地下水流動の影響は捉えることができなかったが、雨が降った際に表層付近で地下水流動が起こり、地中熱交換器の熱交換量に影響を与えることを明らかにした。図 2 に熱交換量の時間変化を示す。実験開始より 10 日程度で熱交換量が 2 日間程度低下している。この時に雨が降っていたことから、地表面付近の地下水流動が起こり、その影響を受けたと考えられる。

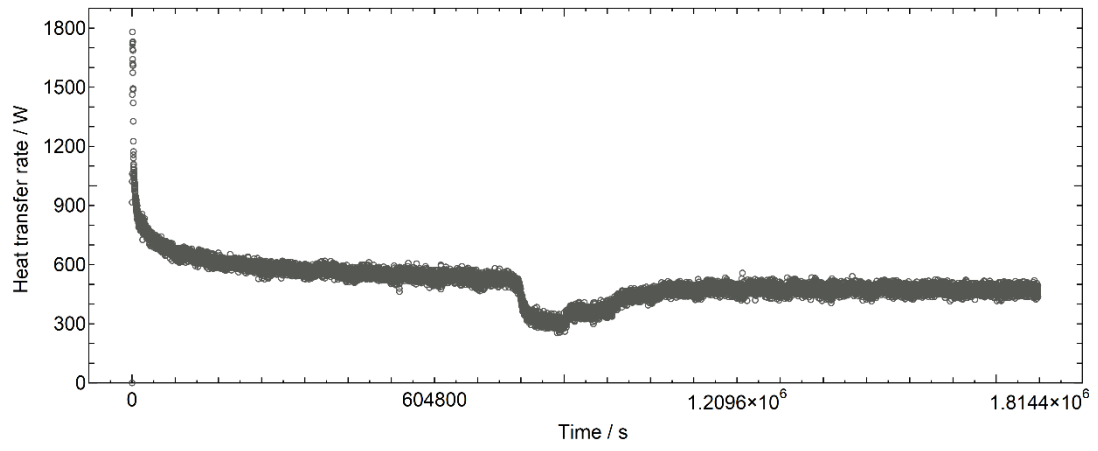


図2 表面付近の地下水流動の影響を受けた熱交換量の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Koutaro Tsubaki, Retsu Harada
2. 発表標題 Effect of Groundwater Flow on Horizontal Ground Heat Exchanger
3. 学会等名 9th Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎耕太郎, 森叶葉, 原田烈
2. 発表標題 水平に埋設した地中熱交換器による地下水流れの地中熱利用
3. 学会等名 第26回動力・エネルギー技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 叶葉, 榎 耕太郎, 原田 烈, 甲斐 夕加里, 渡瀬 ゆかり, 光武 雄一
2. 発表標題 水平埋設した地中熱交換器における地下水流れの伝熱への影響
3. 学会等名 日本機械学会九州支部第 74 期総会・講演会講演論文集
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------