

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号： 11401
研究種目： 奨励研究
研究期間： 2021～2021
課題番号： 21H04084
研究課題名 サーマルセルを用いた簡易型地下水流向流速センサの試作

研究代表者

小助川 洋幸 (KOSUKEGAWA, Hiroyuki)

秋田大学・国際資源学研究科・技術長

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 410,000円

研究成果の概要：樹脂容器内にヒーターと温度センサを組み込んだサーマルセルを試作し、室内実験装置を用いて地下水の流速および流向の検出を試みた。地下水流れがない場合を含む3パターンの流速を設定して流速検出の実験を行ったところ、サーマルセル内温度は地下水流れの有無でわずかに変化したが、流速の違いは検出できなかった。同様にサーマルセルを円周上に6個設置して流向の検出を行ったが、明確な結果は得られなかった。これは、サーマルセルに熱伝導率の低い塩ビ材を用いたことにより、センサとしての感度が弱まったことが要因の一つとして考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地下水流れの状態を知ることが、建築や土木、地中熱利用など広い分野で需要がある。現在では地下水流向流速の計測手法は確立されているが、専門業者に調査を依頼する必要があるため、計測から解析までの費用が発生する。本研究で提案したサーマルセルを用いた地下水流向流速センサは、構造が単純であるため、比較的簡単な導入および計測が期待できる。試作したサーマルセルでは地下水流速・流向の検出には至らなかったが、材質や形状などを再検討して研究を継続する予定である。

研究分野： エネルギー資源工学

キーワード： 地下水流速流向 サーマルセル

1. 研究の目的

地中熱ヒートポンプ(Ground Source Heat Pump: GSHP)システムでは、井戸を掘削してその中にU字型の熱交換チューブを挿入した地中熱交換器(Ground Heat Exchanger: GHE)を設置し、チューブに循環させる水を媒体として土壌と熱交換を行う。通常、土壌との熱交換は熱伝導に支配されるが、土壌内に地下水流れがある場合は熱移流効果により熱交換量が大幅に向上することがこれまでの研究により明らかになっていることから、地下水の動向を知ることはGSHPシステムの設計において重要である。

土壌内の地下水流れの有無は、GHE掘削時のカッティングスの観察や、GHE設置後に行う熱応答試験において、熱交換チューブ内に設置した光ファイバ温度計などにより、加温後の温度回復を観測することにより確認できるが、流速や流向の計測は不可能である。一方、地質調査手法による地下水流れの計測には、熱やトレーサの濃度変化を検出する方法や、カメラやレーザーなどにより固体粒子を追跡する方法があり、流速や流向を直接計測することが可能であるが、いずれも専門の業者が計測から解析まで行うため、調査費用が高額になることが懸念される。

そこで本研究では、地下水流向流速測定方法の一つである熱量法を応用した、簡易型の地下水流向流速センサの試作を行う。円筒型の樹脂容器内にヒーターと温度センサを設置し、内部に水などの液体を充填したサーマルセルを複数個組み合わせ、測定箇所を設置する。ヒーターでセル内部を任意の温度に加温し、加温停止後の温度変化から地下水流速および流向を計測する。本方式の特徴として、熱源を熱伝導率の低い容器でセル化することによって、一般的な熱量法と比較して熱対流や熱拡散が抑えられることが期待できるため、安定した計測が可能であると考えられる。

2. 研究成果

(1) 室内実験

図1に、製作したサーマルセルを示す。サーマルセルは、塩ビ材を直径20mm、高さ40mm、厚さ2mmの円筒型に加工した容器の内部に、アルミ管に1mのニクロム線を巻き付けたヒーターと温度センサ(サーミスタ)を設置し、内部に水を充填して構成する。

室内実験装置は、長さ1000mm、幅200mm、深さ400mmの水槽の中央に、内径105mmの孔明管を水井戸として設置し、周囲に粒径を調整した川砂を充填して帯水層を形成した(図2)。帯水層内の流速は上流部と下流部の水頭差によって決定する。また、マルチファンクションI/OデバイスUSB-6212とLabVIEWによって作成したプログラムを組み合わせ構築した計測制御装置により、サーマルセル内温度を計測するとともに、複数のサーマルセル内のヒーター出力をPID制御により個別に調整する。実験時は、サーマルセルを水井戸の中央部に設置し、ヒーターによりセル内の温度を周囲の水温+5℃まで上昇させ、加温停止後の温度変化を計測する。



図1 サーマルセル

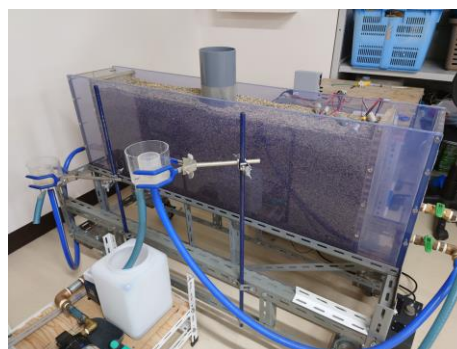


図2 室内実験装置

まず、1個のサーマルセルを用いて、流速0(流れなし)を含む3段階の流速に設定した場合のセル内温度変化を観測した。図3に実験結果を示す。X軸に対数の経過時間、Y軸にサーマルセル内外の温度差をとり、プロットしたグラフの温度変化が直線的に推移する区間の傾きで比較した。傾きが大きくなることにより地下水流速が速いと判断できる。実験の結果、水の流れにより傾きが急峻になる傾向が見られたが、流速がない場合と比較してその差はわずかであり、流速による違いもほとんど見られなかった。この要因として、通常、壁面(隔壁)と流体の間には境界熱抵抗が存在し、流速に伴ってこの熱抵抗が小さくなり、全体の伝熱係数が向上するが、本実験条件では境界熱抵抗変化が全体の熱抵抗に対して小さく、センサとしての感度が弱いということが考えられる。

次に、サーマルセルを円周上に6個配置し、同様の流速条件において流向の測定を試みたが、前述の問題点に加え、各サーマルセル内の初期温度にばらつきが生じることから、明確な結果は得られなかった。

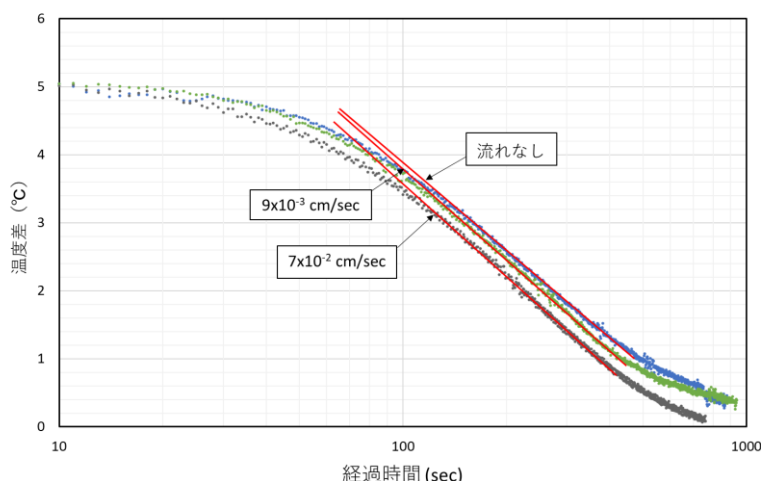


図3 流速によるサーマルセル内温度変化

(2) 数値シミュレーション

室内実験結果の確認のため、簡易的な数値シミュレーションを行った。図4に数値モデルの概要、表1に各要素の物性値を示す。数値モデルは、DHI-WASY社製FEFLOW 7.1を用いて構築し、モデルのサイズはx方向1m、y方向1m、z方向0.64mとした。レイヤーは10層で、レイヤー4と7に樹脂容器の両端、レイヤー5～6に円筒部を設定した。初期温度は、サーマルセル内部を20℃、外部を15℃とし、地下水流れはモデル両端に水頭差を与え、室内実験と同程度(約 1×10^{-2} cm/sec)の流速を発生させた。このモデルをベースに、流速測定の場合はサーマルセルを1個、流向測定の場合は6個設置し、地下水流速の有無を含めて4パターンの数値モデルを作成した。

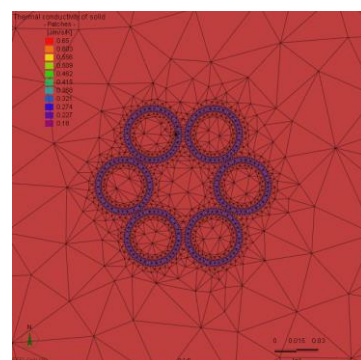


図4 数値モデルの2次元表示(サーマルセル6個)

表1 数値モデルの物性値

	熱伝導率 (W/m/K)	透水係数 (m/day)	孔隙率 (-)
樹脂容器	0.18	0	0
水	0.65	70 (全方向)	1

流速測定のシミュレーションでは、地下水流速によるサーマルセル内の温度低下が、室内実験よりやや大きく表れた。また、流向測定のシミュレーションでは、上流側のサーマルセルの温度低下が他よりわずかに速くなる傾向はあるものの、流れの方向に対するサーマルセルの位置と温度変化の相関が見られなかった。室内実験における流向測定では、初期温度のばらつきにより各サーマルセルの温度変化が不明瞭であったが、初期温度を統一して行ったシミュレーションにおいても明確な結果が得られなかったことから、サーマルセルの設計を見直す必要がある。

(3) まとめ

本研究では、試作したサーマルセルによる地下水流速・流向の検出には至らなかった。サーマルセル内の加温時における外部への熱の拡散を抑えるため、熱伝導率の小さい塩ビ材を用いて容器を製作したが、これが地下水流れの検出の妨げになったものと考えられる。今後は数値シミュレーションを併用してサーマルセルの材質や形状などを再検討する予定である。

主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

研究組織（研究協力者）

氏名	ローマ字氏名
----	--------