

令和元年6月11日現在

機関番号：82405

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00595

研究課題名(和文) 地中熱利用システム普及による地下熱環境への影響予測と監視手法の確立

研究課題名(英文) Evaluation of the impact on the subsurface thermal environment by ground source heat exchanger system

研究代表者

濱元 栄起 (HAMAMOTO, HIDEKI)

埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・専門研究員

研究者番号：40511978

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：地中の熱環境の変化を調べる方法として、地盤沈下観測井などの内部に精密な温度計を設置しその変化を検知する手法がある。この方法で地下温暖化現象を観測井内の温度計でとらえる研究は多数なされてきた。そこで同様の原理を用いて、地中熱システムによる温度影響をとらえることが可能かを自然状態の温度検層を行ったうえで数値実験によって確認した。その結果、地中熱システムによる影響は、120日程度の運転では熱交換井から数メートルの範囲に留まることが分かった。一般に地盤沈下観測井は熱交換井から数km以上離れたところに位置しているため検知することが難しい。そこで本研究では設置現場で熱監視する新たな方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地中熱システムを将来的に普及させるうえで地下熱環境の変化を予測し、環境負荷を最小限に抑えた持続的な運用が可能な設置方法(設置密度等)や監視方法を明らかにしたうえで、計画的に導入を進めることが必要である。特に国内最大の都市域を形成する関東平野では、多数導入されることが予想されており、その影響評価を行うことが喫緊の課題である。その観点から本科研の成果は将来の監視手法まで議論し社会的な意義も大きいと考えている。

研究成果の概要(英文)：As a method of investigating the change of the subsurface thermal environment, there is a method of installing a high precise thermometer inside a subsidence observation well. There have been a number of studies that use this method to reveal subsurface warming using the method. Therefore, using the same method, we have conducted. As a result, we found that the effect of the geothermal heat exchanger system is in the range of several meters from the heat exchange well after about 120 days of cooling operation. Generally, it is difficult to detect subsurface subsidence observation wells because they are located several kilometers away from the heat exchange wells. In this study, we proposed that thermal monitoring in the geothermal heat exchanger system is effective.

研究分野：地球科学

キーワード：地中熱利用システム 地下温度 地下水流動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地中熱利用システムは、省エネルギー効果によって従来の空気熱源エアコンや灯油ストーブ当に比べ温暖化ガスの排出量が少ないことや大気中へ排熱しないという特徴があり地球温暖化対策や都市のヒートアイランドの抑制など環境負荷低減効果の高い技術として期待されている。近年設置台数が急増しつつあり、特に都市部では、今後急速に普及が進むことが予測されている。しかしこのシステムは地中環境で人為的な採排熱（熱交換）を行うため、無秩序な設置が進めば熱的な負荷が大きくなり、地中への環境影響が生じることが懸念される。例えば土壌の加温試験等から地下温度が上昇すると「ヒ素」や「ホウ素」が溶出し地下水質に悪影響が生じたり、土壌微生物の菌叢（病原菌を含む）が変化したりする可能性が指摘されている。さらに北欧では、システムの高密度な設置により、近隣システムと熱干渉し、効率が低下した事例も報告されている。

2. 研究の目的

地中熱システムを将来的に普及させるうえで地下熱環境の変化を予測し、環境負荷を最小限に抑えた持続的な運用が可能な設置方法（設置密度等）や監視方法を明らかにしたうえで、計画的に導入を進めることが必要である。特に国内最大の都市域を形成する関東平野では、多数導入されることが予想されており、その影響評価を行うことが喫緊の課題である。

そこで本研究では、関東平野を対象として、自然状態の地下環境を把握し、地下熱輸送シミュレーションを行い地中熱利用システム稼働時の稼働による熱影響を評価することを第一の目的とする。次に、これらの評価結果をもとに地中熱利用システムの熱的な影響を監視する手法の提案を行うことを第2の目的とする。

3. 研究の方法

(1) 自然状態の地下温度把握の調査方法

自然状態の地下温度を知るうえで、地盤沈下監視用の観測井などで温度検層を行うことが有効である。ただし地下温度は地表から影響（年周変動や土地利用変化、地球温暖化や都市のヒートアイランドなど）を受けているため、過去の温度検層結果などと比較し時系列的な解釈をする必要がある。

(2) 地中熱の地下への熱影響の評価方法

地中熱利用システムを稼働させた際の地下熱影響について本研究では数値シミュレーションを用いて評価する。具体的には有限要素法を用いた熱輸送シミュレータを活用する。

(3) 監視手法の提案

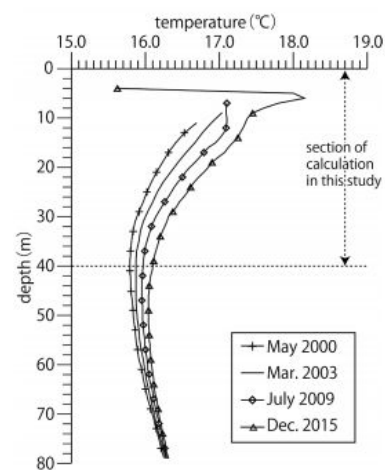
一般的に地下熱環境の監視を行う場合には、代表となる観測井で高精度の温度測定を行うことがなされている。地中熱利用システムの熱影響の監視にもこの方法が適用可能かどうかは(2)による結果を踏まえて議論する。

4. 研究成果

(1) 自然状態の地下温度把握

本研究では関東平野を対象として地下の熱環境調査を行う。地下の熱環境を調べるもっとも直接的な方法は、深さ数十メートルから数百メートルの地下水観測井で地下の温度分布を計測することである。本研究では関東中央部の埼玉県において6地点の観測井(川口、八潮、三芳、熊谷、戸田、和光)で地下温度調査を実施した。調査深度は平均200mであり、地中熱利用システムのための評価として十分な深度まで測定できた。測定は分解能0.001Kの温度センサーを用いて、1~2m間隔で温度が平衡状態に達し安定したことを確認して計測値とした。実際にはパソコンと連動するデジタルマルチメータを用いてパソコン上でリアルタイムの温度変動を監視しながら計測した。また和光と戸田については、温度の長期的な振る舞いを計測するためのロガーも設置した。他の地点については、既存研究のデータを収集し、データ整理した。図1に過去の温度検層結果を比較した例を示す。その結果からこの地点の地下温度は自然状態においても、地下温暖化現象によって温度上昇傾向にあることが分かった。また地中への熱負荷を考えるうえで、地表の熱需要も調べる必要があることから観測井小屋近傍で大気温度のモニタリングを行った。本研究の主たるモデル地域は、関東平野であるが、地域間の違いを明らかにするため国内では大阪平野などのデータ収集や解析も行った。

さらに、地下温度は、地表面温度に大きく影響を受けていることから面的な評価を行った。面的に地表面温度を評価する場合一般には気象観測点などで測定される気温データなどを利用するが、これはあくまで点データにすぎない。そこで本研究では、人工衛星画像を用いた解析を



地下温度プロファイル(2000年3月, 2003年5月, 2009年7月, 2015年12月)

図1 温度検層比較の例

(宮越ら 2018 で成果発表)

行うことで面的な地表面温度を得た。用いた画像はNASAの人工衛星であるTERA/AQUAによって得られたMODISデータを活用した。さらに地表付近で気温測定を本研究で実施している妻沼観測井付近の外気温と人工衛星解析によって得られた時系列的なデータと比較したところ、総合的な傾向が得られた。以上の検討によって人工衛星によって得られたデータを地下温度構造推定の上面の境界条件として活用できることが確かめられた。

(2) 地中熱の地下への熱影響

地中熱ヒートポンプは海外では広く普及しつつあり、アメリカや中国、ヨーロッパで導入件数が多いが、日本ではまだ2000台程度と少ない。例えば人口規模や面積が比較的日本に近いドイツでは、既に21万台相当が導入されている。一方、地中熱システムの増加による地中への人為的な採排熱による環境への影響も懸念されているが、これまで地下熱環境への評価はなされていない。この検討には、関東平野で測定した自然状態の地下温度データも基礎情報として活用し、120日間(夏の冷房運転期間に相当)地中熱利用システムを稼働した場合の熱影響を数値シミュレーションによって解析した(図2)。この数値シミュレーションは有限要素法による。計算の結果、地中熱システムによる影響は、120日間の運転では熱交換井から数メートルの範囲に留まることが分かった。またその影響範囲は土質の熱伝導率によっても異なることを明らかにした。

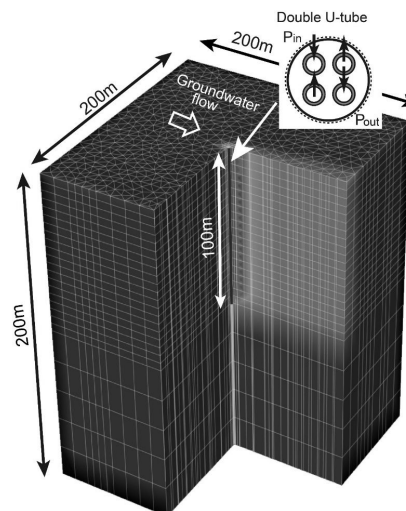


図2 数値シミュレーション例

(3) 地下熱環境の監視手法の提案

地下温度変化を監視する方法として、地盤沈下観測井などの内部に精密な温度計を設置することでその変化をモニタリングする手法が挙げられ、これまで地下温暖化を把握する研究で用いられている。ただし、地盤沈下観測井は熱交換井から数km以上離れたところに位置しているためこの手法で監視することは難しい。そこで本研究では地中熱交換のU字パイプ内の出入口温度と流量をモニターし、地中へ排熱または採熱を熱源による熱量で監視し、場所ごとに適正な基準を設ける方法を新たに提案し、実際の現場に適用した(図3)。将来的には無線通信回線を通じて影響を監視するデータセンターへ逐次情報を送信することで広域的な地中の熱環境の監視も可能である。

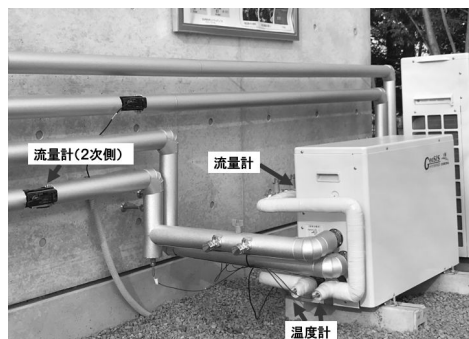


図3 現場での熱監視の適用例

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

大阪平野における地下温暖化履歴の推定, 2016, 濱元 栄起, 有本 弘孝, 谷口 真人, 岸本 安弘, 中戸 靖子, 小林 晃, 地盤工学会「一地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム」学術論文集, 153-158

Evaluation of the shallow geothermal potential for a ground-source heat exchanger: A case study in Obama plain, Fukui Prefecture, Japan, 2018, Hamamoto, Y. Miyashita and D. Tahara, Water-Energy-Food Nexus - Human-Environmental Security in the Asia-Pacific Ring of Fire-, Springer, 69-84

宮越 昭暢, 林 武司, 濱元 栄起, 八戸 昭, 2018, 埼玉県南東部における地下温度の長期観測結果に認められた地下温暖化とその成因, 地下水学会誌, 495-510, Doi.org/10.5917/jagh.60.495

Susanne A. Benz, Peter Bayer, Philipp Blum, Hideki Hamamoto, Hirotaka Arimoto, Makoto Taniguchi, 2018, Comparing anthropogenic heat input and heat accumulation in the subsurface of Osaka, Japan, Science of the Total Environment, 643, 1127-1136, Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.253

[学会発表](計2件)

Urban Subsurface Heat Islands in Asian Megacities, 2016, Hamamoto, H, Seminar of institute of Applied Geoscience in Karlsruhe institute of technology, Karlsruhe, Germany, 2016-12-01

大阪平野における地下温暖化履歴の推定, 2016, 濱元栄起, 有本弘孝, 谷口真人, 岸本安弘, 中戸靖子, 小林晃, 地盤工学会「—地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—」, 大阪市立大学, 2016-11-18

大阪都心部における地下温暖化の実態(その2), 2016, 有本弘孝, 谷口真人, 濱元栄起, 岸本安弘, 中戸靖子, 小林晃, 地盤工学会「—地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—」, 大阪市立大学, 2016-11-18

別府温泉の流動経路と微動アレイ探査による S 波速度分布との関係, 2016, 宮下雄次, 濱元栄起, 山田 誠, 先名重樹, 成富絢斗, 三島壮智, 柴田智郎, 大沢信二, 日本地下水学会2016年秋季講演会, 長崎大学, 2016-10-20

Reconstruction of the Thermal Environment Evolution from Subsurface Temperature Distribution in and around Bangkok and Tokyo, 2016, Hamamoto, H., M. Yamano, S. Goto, A. Miyakoshi, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2016, 13th Annual meeting, Bejin, China, 2016-08-03

首都圏における地下温度の経年的な上昇とその要因 - 地下温度の長期モニタリングによる検証と評価 -, 2016, 宮越昭暢, 林武司, 川合将文, 川島眞一, 国分邦紀, 濱元栄起, 八戸 昭一, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ, 千葉, 2016-05-25

Relation of groundwater to shallow subsurface heat energy of Borehole heat exchanger, 2017, H. Hamamoto, Y. Miyashita, D. Tahara, M. Fujii, M. Taniguchi, International workshop on RIHN project R08: Human-Environmental Security in Asia-Pacific Ring of Fire: Water-Energy-Food Nexus

The efficiency of Borehole heat exchanger system by regional differences, 2017, H. Hamamoto, Y. Miyashita, P. Blum, A. Limberg, and M. Taniguchi, IAG-IASPEI 2017

Reconstruction of the Thermal Environment Evolution from Subsurface Temperature Distribution in and around in four cities of Asia and Europe, 2017, H. Hamamoto, M. Yamano, S. Goto, A. Miyakoshi, P. Blum, S. Benz, A. Limberg, H. Arimoto, M. Taniguchi, JpGU-AGU Joint Meeting 2017

Evaluation of groundwater environment changes due to urbanization in the Tokyo metropolitan area, Japan: Application of long-term monitoring of subsurface temperature and groundwater levels, 2017, A. Miyakoshi, T. Hayashi, H. Hamamoto, S. Hachinohe, M. Kawai, S. Kawashima, K. Kokubun, International Association of Hydrogeologists

A study of the groundwater protection and ground thermal utilization in artesian flowing well area, 2017, Y. Miyashita, H. Hamamoto, International workshop on RIHN project R08: Human-Environmental Security in Asia-Pacific Ring of Fire: Water-Energy-Food Nexus

地下環境による地中熱ポテンシャルの地域差, 2017, 濱元栄起, 宮下雄次, 田原大輔, 谷口真人, 日本地熱学会

首都圏における地下温度の経年的な上昇とその要因—地下温度の長期変化に認められる地下水開発の影響—, 2017, 宮越昭暢, 林 武司, 川合 将文, 川島 眞一, 國分 邦紀, 濱元 栄起, 八戸 昭一, 日本地球惑星科学連合 2017 年連合大会

Hideki Hamamoto, Yuji Miyashita, Yoshihiro Someya, Shoichi Hachinohe, Takashi Kakimoto, Takashi Ishiyama, Hidetaka Shiraiishi, 2018, Potential Map of a Ground Source Heat Exchanger System and its Thermal Influence on the Subsurface Thermal Conditions of Geology and Groundwater, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2018, 15th Annual meeting

Miyashita Yuji, Hamamoto Hideki, Senna Shigeki, Taniguchi Makoto, 2018, Elucidation of a flowing artesian well discharge mechanism by microtremor survey: A case study in an artesian well area of Otsuchi, Iwate Prefecture, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2018, 15th Annual meeting

Takashi Kakimoto, Hideki Hamamoto, Takashi Ishiyama, Shoichi Hachinohe, 2018, Creation of a Detailed Groundwater Quality Map and its Application to a Water-Adequacy Evaluation for an Open-Loop Ground Source Heat Exchange System, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2018, 15th Annual meeting

Hideki Hamamoto, Makoto Yamano, Akiko Tanaka, Takumi Matsumoto, Youhei Uchida, Shusaku Goto,

2018, Heat flow determination in the central part of Japan, 日本地球惑星科学連合 2018 年連合大会

濱元栄起, 染谷由浩, 八戸昭一, 柿本貴志, 石山高, 渡邊圭司, 白石英孝, 2018, 関東中央部における地中熱ヒートポンプによる地中温度変化, 日本地熱学会平成 30 年学術講演会

Shoichi Hachinohe, Yu Morishita, Hideki Hamamoto, Takeshi Hayashi, Akinobu Miyakoshi, 2018, Ground surface deformation induced by groundwater development in the central part of Saitama Prefecture, Japan, detected by ALOS/PALSAR, 日本地球惑星科学連合 2018 年連合大会

Hisami Honda, Yuji Miyashita, Hideki Hamamoto, Jun Shoji, Ryo Sugimoto, Tomohiko Kawamura, Osamu Tominaga, Makoto Yamada, Makoto Taniguchi, 2018, Simultaneous observation of the land-ocean connection along the coast of Akahama Otsuchi: Detection of submarine groundwater Discharge, 日本地球惑星科学連合 2018 年連合大会

Yuji Miyashita, Hisami Honda, Hideki Hamamoto, Jun Shoji, Ryo Sugimoto, Tomohiko Kawamura, Osamu Tominaga, Makoto Yamada, Makoto Taniguchi, 2018, Simultaneous observation of the land-ocean connection along the coast of Akahama Otsuchi: Mesurments of groundwater flow Velocity, 日本地球惑星科学連合 2018 年連合大会

松林修, 濱元栄起, 2018, 関東地方の 1m 深地温変動と衛星熱赤外データによる地表温度変動の比較, 日本地熱学会平成 30 年学術講演会

〔図書〕(計 3 件)

八戸昭一、濱元栄起、白石英孝、石山高、柿本貴志, 2018, 埼玉県環境科学国際センター Iボーリング柱状図集 埼玉県地質地盤資料集 2 0 1 8 年度版, pp.1007

濱元栄起、八戸昭一、石山高、柿本貴志、白石英孝、宮越昭暢、林武司, 埼玉県環境科学国際センター, II地下温度データ及び地中熱ポテンシャル 埼玉県地質地盤資料集 2 0 1 8 年度版, pp.16

柿本貴志、石山高、濱元栄起、八戸昭一, 2018, 埼玉県環境科学国際センター, III地下水質データ集 埼玉県地質地盤資料集 2 0 1 8 年度版, pp.17

〔産業財産権〕

〔その他〕

ホームページ等

埼玉県環境科学国際センター 濱元栄起

<https://www.pref.saitama.lg.jp/cess/torikumi/kenkyuin-list/hamamoto-hideki.html>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：八戸昭一

ローマ字氏名：Hachinohe Shoichi

所属研究機関名：埼玉県環境科学国際センター

部局名：土壌・地下水・地盤担当

職名：担当部長

研究者番号(8桁): 70415397

研究分担者氏名：宮越昭暢

ローマ字氏名：Miyakoshi Akinobu

所属研究機関名：産業技術総合研究所

部局名：地圏資源環境研究部門

職名：主任研究員

研究者番号(8桁): 30392666

(2)研究協力者

研究協力者氏名：宮下雄次

ローマ字氏名：Miyashita Yuji

研究協力者氏名：小泉謙

ローマ字氏名：Koizumi Ken

研究協力者氏名：石山高

ローマ字氏名：Ishiyama Takashi

研究協力者氏名：柿本貴志

ローマ字氏名：Kakimoto Takashi

研究協力者氏名：白石英孝

ローマ字氏名：Shiraishi Hidetaka

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。