

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 21 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350418

研究課題名(和文)浅層地盤における熱伝導率の変動メカニズムの解明と熱交換資源量の評価

研究課題名(英文)Elucidation of the mechanism of fluctuation in the apparent thermal conductivity and evaluation of the heat exchange capacity of shallow grounds

研究代表者

井岡 聖一郎 (Ioka, Seiichiro)

弘前大学・北日本新エネルギー研究所・准教授

研究者番号：40598520

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)：浅層地盤を対象に地盤の見かけ熱伝導率の変動メカニズムの解明とその変動の結果もたらされる熱交換資源量評価を目的として、長さ約8mの地中熱交換器を設置し熱応答試験を実施した。浅層地盤の見かけ熱伝導率の変動を引き起こす要素として地下水面深度の違いを想定し、地下水面深度が異なる5月と9月に熱応答試験を実施した。その結果、地下水面深度が深い9月の試験結果は、熱交換量が少なく熱応答試験の出口温度が5月より高い値を示した。したがって、本研究で対象とした浅層地盤の見かけ熱伝導率変動メカニズムの要因として、地下水面深度の変動が重要であり、地下水面深度が深くなれば、熱交換資源量が小さくなることが示された。

研究成果の概要(英文)：For elucidating the mechanism of fluctuation in the apparent thermal conductivity and evaluating the heat exchange capacity of shallow grounds, a thermal response test was conducted using an underground heat exchanger with a length of approximately 8 m. Based on the assumption that the difference in the depth of the water table causes fluctuations in the apparent thermal conductivity in shallow grounds, a thermal response test was carried out in May, when the water table is generally shallow, and another in September, when the water table is deep. The results showed that the outlet temperature of the thermal response test in September was higher than that in May, and the amount of heat exchanged was smaller in September than that in May. Therefore, as a factor that influences the fluctuation mechanism of apparent thermal conductivity in shallow grounds, considering the variation in the depth of water table is important.

研究分野：地下水文学，地熱工学

キーワード：地中熱 地下水 浅層地盤

1. 研究開始当初の背景

積雪寒冷地域では年間のエネルギー消費の内、化石燃料が大半を占めている。これらの大半は冬季の暖房融雪等によるものであり、融雪時の灯油ポイラーによる化石燃料の使用を抑え二酸化炭素を排出しない、地中熱を利用する融雪システムへの転換が最も有効視されている。さらに、近年では積雪寒冷地域である北日本も年平均気温が上昇し、今後冷房需要の増加が見込まれることから、冷房排熱を大気に放出しない都市部でのヒートアイランド現象を抑制できる地中熱の利用が望まれる。しかし、この地中熱利用冷暖房・融雪システムは、これまで掘削深度が約100~200m 前後という地中熱交換器の掘削設置費用による初期投資額の高額さという問題を有している。それゆえ地中熱利用の拡大・普及のためには、掘削深度を短くして初期投資額を抑制し、かつ長期間にわたり環境負荷を抑制する技術も併せて研究開発する視点が重要であると考えられる。熱交換量を浅層で賄い、掘削深度を抑制するためには、まず、熱交換量を高精度で定量的に明らかにする必要がある。熱交換量は地盤の見かけ熱伝導率が大いほど増加するため、掘削深度の抑制の観点からは、浅層の地盤の見かけ熱伝導率が大いほど有利である。地盤の見かけ熱伝導率は、熱応答試験により評価することが可能である(藤井, 2006)。

掘削深度の短縮の方策としては、深度10mの鋼管製同軸型地中熱交換器を用いる方法が考えられる。過去に、深度10mの鋼管製同軸型地中熱交換器を用いて熱応答試験を実施した青森県田舎館村の事例がある。青森県田舎館村で実施した事例では、地盤への加熱循環時間が30時間に達したあたりから、熱循環媒体の出口温度が一定になっていた。これは、地盤を加熱している熱量と周辺の地盤に伝達されている熱量が平衡に達することにより生じる。したがって、田舎館村における浅層(深度10m)の地盤の見かけ熱伝導率が大きく熱交換量が多いことを示唆している。この結果は、深度10mの鋼管製同軸型地中熱交換器を用いた高効率な冷暖房・融雪システムの構築実現の可能性が高いことを示している。しかしながら、この高い地盤の見かけ熱伝導率と熱交換量は、地下の水文条件の季節変化が生じた場合も常に維持されるものであるのかどうか明らかではない。すなわち、地盤の見かけ熱伝導率や熱交換量も変動する可能性があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、背景において示した青森県田舎館村の事例を基にして、従来顧みられることがあまり無かった浅層地盤における見かけ熱伝導率あるいは熱交換量と地下水面深度の変動との関係を明らかにすることを二つ目の目的とする。

さらに、地中熱の利用による地下の熱擾乱

が、地下微生物活動を活発化もしくは不活性化させて有機物の分解速度に影響を与え、浅層地下水の溶存有機物濃度に影響を与えるかどうかを明らかにすることを二つ目の目的とする。

3. 研究の方法

平成25年度は、青森県田舎館村において3本、深度10mの観測孔の掘削、設置を行い、同時に地質条件を明らかにする(図1)。

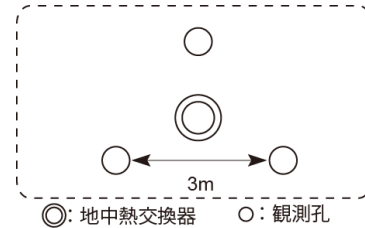


図1 3本の観測孔および地中熱交換器を真上から見た図

次に、これら観測孔と水位計を用いて、地下水面の連続観測による地下水面深度の変動評価と地下水面勾配を算出する。また、地下水を採取し水質分析を行う。採取、分析方法は以下の通りである。観測孔からベラー等を用いて地下水を定期的に採取し、実験室に持ち帰り化学分析を行う。採取は、0.2μm フィルターで濾過し、水の酸素、水素の安定同位体比分析用に14mLの遠沈管に採取し、またイオンクロマトグラフ分析用とICP分析用(酸添加)それぞれ100mLのポリ瓶に採取した。アルカリ度と溶存有機炭素測定用は、無濾過でポリ瓶とガラス瓶にそれぞれ採取した。現地ではポータブルpH/電気伝導率計を用いてpHと電気伝導率を、またポータブル吸光度計でFe²⁺とS²⁻、そしてS-C-Tメーターで地下水温を測定する。なお、地下水温は、1m間隔で深度10mまで測定した。実験室での化学分析項目は、アルカリ度(HCO₃⁻)、F⁻、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Fe、Mn、DOC、酸素・水素の安定同位体比等である。各化学種濃度は、硫酸滴定、イオンクロマトグラフ、ICP発光分光分析装置、全有機体炭素計、水同位体比アナライザー等を用いて分析した。

平成26年度は、3本の観測孔の中心に鋼管製同軸型地中熱交換器を設置し(図1、図2)。

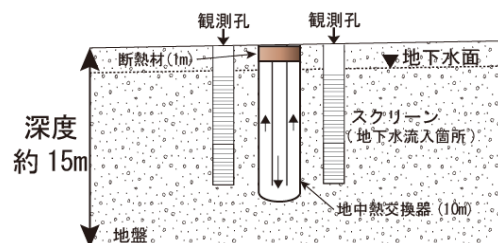


図2 観測孔、地中熱交換器設置概要図

前年度の地下水面深度の観測から顕著な違いが認められた時期に、熱応答試験を行い、

熱伝導率もしくは熱交換量の変化を明らかにする。また継続して、3本の観測孔における地下水面の連続観測、地下水の採取・分析を実施し、地下水面深度の変動及び熱応答試験時における地下の熱擾乱を与えた時の溶存有機物濃度の変化を明らかにする。

平成27年度は、上記の結果を用いて解析を行い、本研究成果をまとめる。さらに、本研究結果から導き出された新たな研究課題について研究を進展させる。

4. 研究成果

はじめに、一つ目の目的の成果を以下に述べる。研究地域は、水平方向の地下水流動が卓越している地域であった。地下水面は深さ約1.6~2.2mの間で変動し、地下水面の平均勾配は約0.06であった。地質条件は、深度約2.5mまでは、表土、シルト質でそれ以深は深度20mまで粗砂を含む砂礫層である。さらに、地下水の水温が一定になる恒温層が本地域では深度10mより浅い深度では認められなかった。深度10mにおいても年間約3の温度変化が認められた。

鋼管製同軸型地中熱交換器は、挿入時の制約により長さ約7.6mで設置した。熱応答試験は地下水面深度が浅い5月と深い9月に実施し、加熱循環時間48時間、5月約1.0kW、9月約1.1kWで実施した。

5月の試験では、研究開始当初の背景で示した事例のような加熱循環開始後約25時間から加熱循環停止まで出口温度が一定になることはなかったが、約34.5で安定した出口温度を示す時間帯が認められた。また、前述の研究開始当初の背景で示した事例の解析結果から推定された熱応答試験の出口温度の推定値と実際の試験値ではやや異なる値が得られた。

9月の試験では、一定の出口温度を示す時間帯がなく加熱循環開始後約46時間で40に達した。9月の試験では、出口温度の推定値と試験値では、5月の結果よりも大きな差異が認められた。これは、地下水面深度が深い条件である9月に熱応答試験を実施したことにより、地盤の熱交換量に大きな影響を与えたと考えられた。これらの結果から、浅層地盤における熱交換量は、地下水面深度の変動に伴う季節性を有することが示された。

次に、二つ目の目的の成果を以下に述べる。地下水の水質形成に重要な役割を果たす酸化還元反応に係わる溶存有機物濃度(DOC)とまたその分解生成物(HCO₃⁻)濃度にも着目した。

地下環境への熱擾乱のための熱負荷は、前述の熱応答試験により与えた。地下水の水質への影響評価は、熱応答試験開始前からほぼ毎日観測孔からベラーを用いて各観測孔2深度(深度約3mと8m)において地下水の採取を行い、その化学分析結果から実施した。分析結果は、イオンバランスが±3%未満である。

熱負荷前の地下水質の特性は、Fe²⁺やMn濃度も高く還元的でCa-HCO₃型であった。熱応答試験実施後、地下水温が上昇した観測孔において、DOC濃度とHCO₃⁻濃度の上昇が観測された。この結果、熱負荷により地盤に吸着されていた有機物が脱着したか、粒状有機物の分解によりDOC濃度が増加し、またDOCの分解により、HCO₃⁻が上昇したものと考えられる。これらの結果から、研究地域では、熱負荷を与えた場合、地下水中の有機物の分解が促進される可能性が高いことが示された。なお、今回の熱負荷では、酸化還元状態の明瞭な変化(鉄の還元状態から硫酸還元反応)は確認されなかった。

以上の二つの研究成果から、新たな研究課題も導き出された：浅層地盤は熱交換量について季節性を有するが、異常湯水等の非常に降水量が少ない場合、どれくらい熱交換量が減少するのかといった定量的評価、地下の熱擾乱を与えた場合、溶存有機物濃度の変化が生じる場合があるが、それに伴う酸化還元状態の変化は本当に生じないのか等である。今後研究を進展させていきたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Ioka, S., Muraoka, H. An estimate of energy availability via microbial sulfate reduction at a Quaternary aquifer in northern Japan considered for low temperature thermal energy storage. *Water*, 査読有, 2014, 6, 858-867.

doi:10.3390/w6040858

井岡聖一郎, 村岡洋文, 脱窒反応におけるQ₁₀値-帯水層蓄熱と硝酸性窒素浄化の融合を目指して-. *日本水文科学会誌*, 査読有, 2014, 44(3). 123-133.

doi:10.4145/jahs.44.123

[学会発表](計3件)

井岡聖一郎, 村岡洋文, 地下熱環境の擾乱と脱窒. 2013年度日本水文科学会学術大会, 2013年10月20日, 千葉商科大学1号館(千葉県・市川市)

井岡聖一郎, 藤井光, 村岡洋文, 三上綾子, 鈴木陽大, 加藤和貴, 松田雅司, 浅層地盤の地中熱利用における環境影響評価. 日本地熱学会平成26年学術講演会, 2014年10月29日, 弘前大学創立50周年記念会館(青森県・弘前市)

井岡聖一郎, 藤井光, 鈴木陽大, 松田雅司, 村岡洋文, 青森県田舎館村における熱応答試験による浅層地盤の熱交換量の検証. 日本地熱学会平成27年学術講演会, 2015年10月21日, 別府市別府国際コンベンションセンター - B-Con Plaza. (大分県・別府市)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

井岡 聖一郎 (IQKA, Seiichiro)
弘前大学・北日本新エネルギー研究所・准
教授
研究者番号：40598520

(2)研究分担者

藤井 光 (FUJII, Hikari)
秋田大学・大学院国際資源学研究科・教授
研究者番号：80332526