

沖縄島嶼における地中熱冷房システムに関する研究開発（その1）

— 沖縄島嶼沿岸域における潮汐変動の測定 —

中村英二郎、赤嶺欣哉、平良直秀

地中熱冷房システムは、ヒートポンプを利用し地下に埋設した管に不凍液や水を循環させて熱交換する方法である。地中における排熱効率は、熱交換器周辺の地質の熱伝導率や周囲の地下水の動きによる熱移流効果の影響を大きく受ける。四方を海に囲まれた沖縄県で掘削される井戸の場合、潮汐変動の影響で生じる地下水の動きによる熱移流が期待される。そこで、沿岸地域での内沿岸隣接地域の実証地点において、潮汐変動の影響評価を実施したので報告する。

1 はじめに

沖縄県では、エネルギー供給源の大部分を石炭や石油などの化石燃料に依存しているため、「省エネルギー」により新たなエネルギー需給構造を構築することが重要である。当センターでは、エネルギー需要を削減することを目的に省エネルギー技術の一つとして注目されている地中熱冷房システムの活用について、タイガー産業株式会社、沖水化成株式会社及び国立研究開発法人産業技術総合研究所と連携して研究開発を行った。

地中熱冷房システムは、ヒートポンプの熱源として空気熱の代わりに地中熱を利用し、地下に埋設した管に不凍液や水を循環させて熱交換する方法である。地中における排熱効率は、熱交換器周辺の地質の熱伝導率や周囲の地下水の動きによる熱移流効果が大きく影響する。四方を海に囲まれた沖縄県では埋立地または沿岸部に隣接した事業所も多く、それら地域で掘削される井戸においては、潮汐により地下水の動きへの効果が期待される。

そこで、本研究では、沖縄県内沿岸隣接地域の実証地点において、潮汐変動の熱交換への影響評価を実施したので報告する。

2 実施内容

図1に示す沖縄県うるま市勝連南風原のタイガーグローバル株式会社敷地内に掘削・設置された観測井において、2020年12月11日、2021年2月25日及び2021年8月27日に深度毎の電気伝導度（以下EC、塩濃度の指標）測定及び水温変化を測定し、得られたデータの比較を行った。

観測井の掘削深度は50 m、ケーシング径が10 cmのポリ塩化ビニル製で、地上部に35 cm立ち上がり、地下部では底部（50 m）までスリッドが施されている。

水温及びECの測定は、応用地質社製水位計（S&DL mini MODEL-4800）及びダイバー社製水位計（DIK-



図1 観測井の場所

603D-C1) を用いた。

長期的観測は水位計を観測井の深度15 mに設置し、2020年12月10日～2021年7月10日の水位変化及び同深度での地下水温、ECを計測し、同期間中の潮汐変化及び降雨量との比較を行った。

潮汐変化については、気象庁ホームページ潮位表（天文潮位）中城湾港りのデータを引用した。また、降水量については、気象庁ホームページから沖縄県胡屋の気象データ²⁾をダウンロードして使用した。

3 実験結果及び考察

3-1 観測井の水温とEC

測定日2021年8月27日の測定における観測井の温度とECの変化を図2に示す。

ECの結果から深度8 m付近まで淡水層が存在し、それ以深の塩水層と成層していることを確認した。また、深度毎の水温変化から淡水層では地表の影響を反映しており、深度15 m以下の塩水層では約24℃であることが判明した。

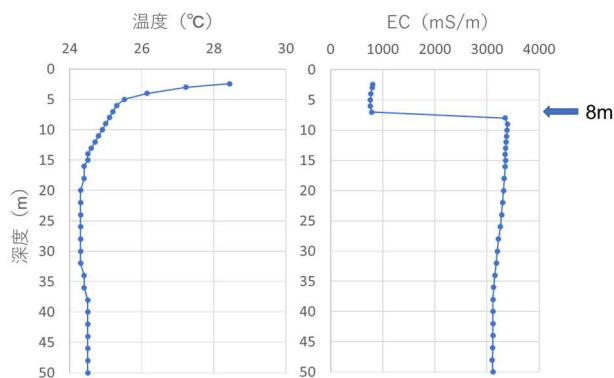


図2 観測井における深度毎の水温と電気伝導度

3-2 観測井の深度毎塩濃度の経時変化

図3に、観測井における深度毎のECの掘削後からの変化を確認するため、2020年12月11日、2021年2月25日及び8月27日の測定結果を示す。

2020年12月11日のECは、全ての深度において海水（4000 mS/m程度）に比べ、全体的に低い値となっている。測定時は掘削作業（11/11～11/30）から約1～2週間経過した時点であり、掘削のために淡水を注水したことによる影響があったものと考えられる。調査ボーリングは海成砂礫などが含まれることから、地下水の動きが

比較的生じやすく、周りの地層の塩濃度の高い地下水と入れ替わり始めたため、他深度と比較して、ECがやや高くなったと考えられる。

表層部でECが低いのは雨水の影響によるものであり、25 m以深は緻密な泥岩層であることから、地下水の動きは小さく、掘削時の注水の影響からの回復が遅いと考えられる。

掘削から日数が経過するにつれ、8 m以深の深度間のECの値の差は小さくなり、8月には約3500 mS/mを示した。また、上層部の淡水層との成層も明確になった。8 m付近の地層中で入れ替わった高塩濃度の地下水は比重が重いため、徐々に下層の井水と混合され、それ以深ではほぼ一定になると考えられる。

これらの結果を踏まえ、TGパイル熱交換器のスリッド位置は、地下水の動きが期待される8 m前後で施工するのが最適であると決定した。

3-3 潮汐や雨水が地下水に与える変動

図4に観測井における水位、EC、温度変化に及ぼす降雨、潮位を示す。

図から水位の変動は降雨後に上昇し、その後徐々に低下することが確認できた。また、最大1.4 m程の水位変化が確認できた。

降水後に水位が上昇しその後徐々に下がることから、上昇した水が周辺の海等に出ていくことで、横方向の水の動きが生じているものと考えられる。

図5に5日間の水位変化と天文潮位を拡大して示した。図より潮汐変動による1日2回の水位変化は数cm程度観測された。これにより、緩やかな地下水の入れ替えが

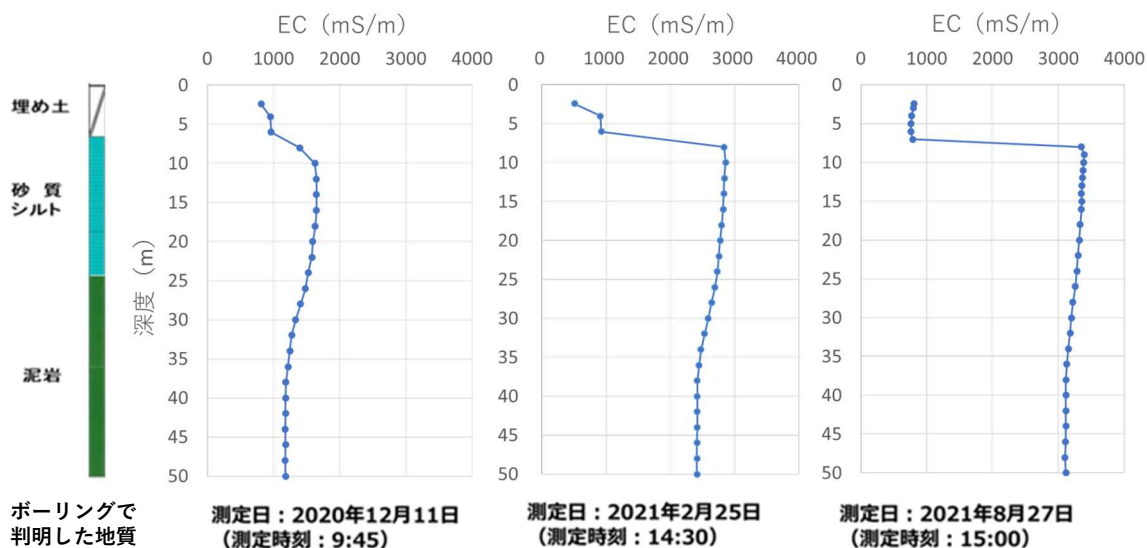


図3 観測井の深度毎の塩濃度変化

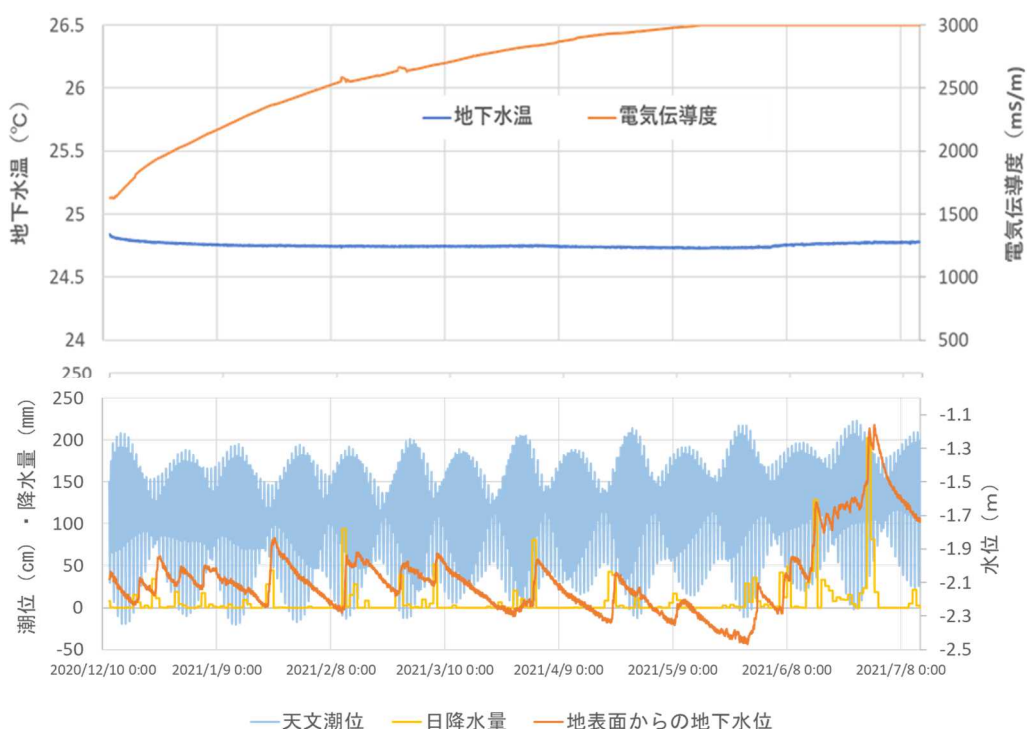


図4 観測井における水位、電気伝導度 (EC)、温度変化に及ぼす降雨、潮位の影響 (水位計設置深度：GL-15m)

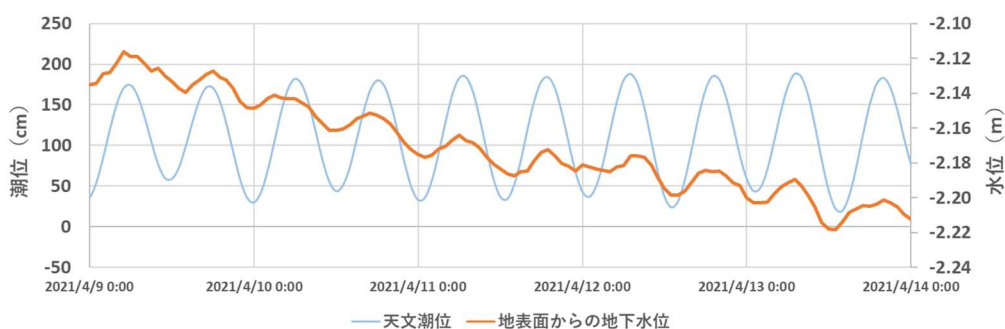


図5 観測井における水位変化と天文潮位

随時行われていると推察される。

図4から深度15 mでは季節変動、降水変動、潮汐変動の影響による水温変化はほとんどなく、約25°Cの一定した値であった。

図4よりEC値は2020年12月の測定開始から徐々に上昇して、2021年5月はじめ頃に、計器の測定上限値(3000 mS/m)に達し、その後の値は計測できなかったが、前述した結果と同様の上昇をしていると推察する。掘削時に注水された淡水が徐々に地層中の地下水と置き換わったためと考えられる。

今回得られた降水後の水位変動や潮汐の緩やかな影響により、地層中の地下水が徐々に入れ替わることで熱がとどまらず、高い熱移流効果が推測される。

従って、県内の類似の沿岸地域においても、降水や潮

汐変動を活用した高効率な熱交換の可能性が期待できる。

4 まとめ

- ・観測井における深度毎のEC測定により、深度8 m付近までの淡水層の存在と、それ以深の塩水層との成層を確認した。
- ・観測井における深度毎のECの掘削後からの変化を確認したところ、掘削時の注水によって井水が希釈され、その後、徐々に塩濃度が上昇し海水の塩濃度に近づき、8 m以深は均一となっていくことを確認した。
- ・観測結果から、深度8 m前後で地下水の動きが期待される事が推測されたため、TGパイル熱交換器のスリットを施工するのが最適な位置であると決定した。
- ・降水後の水位変動や潮汐の緩やかな影響により高い熱

移流効果が推測された。県内の類似の沿岸地域においても、高効率な熱交換の可能性が期待できる。

本取り組みは「令和3年度先端技術活用によるエネルギー基盤研究事業補助金」（2019技015）で実施したものである。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ、各種データ・資料、潮位表中城湾港、テキストデータ版
- 2) 気象庁ホームページ、各種データ・資料、過去の気象データ、沖縄県胡屋、降水量

Research and development of a geothermal cooling system in Okinawa islands (Part 1)

-Measurements of tidal fluctuations along coastal areas in Okinawa islands-

Eijiro NAKAMURA, Kinya AKAMINE, Naohide TAIRA

Okinawa Industrial Technology Center

A geothermal cooling system is a system by which heat is exchanged through the circulation of anti-freeze liquid or water in piping buried in the ground using a heat pump. The heat exhaust efficiency in the ground is highly sensitive to the heat conductivity of the ground around a heat exchanger or the effect of heat advection due to the movement of the surrounding groundwater. For water wells drilled in Okinawa Prefecture, which is surrounded on all four sides by sea, heat advection is expected to occur due to the movement of groundwater associated with tidal fluctuations. Therefore, we describe our evaluation of the effect of tidal fluctuations at demonstration points along areas adjacent to the coast among coastal areas.

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。