

# 全地連「技術フォーラム2023」横浜 福島県内で測定した見かけ熱伝導率の季節変動について

新協地水株式会社

○幸田 英顕、原 勝重、藤沼 伸幸

## 1. はじめに

地中熱利用は、省エネルギーによって脱炭素に寄与する有力な手段である。熱応答試験は、地盤の熱物性や地中熱交換器の熱交換能力を推定する地盤調査試験であり、地下水の流れの影響を含む見かけ熱伝導率を求めて、地中熱利用のための熱交換器長の設計データとして利用される。原ほか<sup>1)</sup>、2019は、福島県内の8地点16回の熱応答試験によって、概ね20～30mという比較的浅い深度では見かけ熱伝導率は1.2 [W/(m・k)] 以上であり、地中熱ヒートポンプシステムの設計に用いることのできる値であることを示した。筆者らは、地点、回数を増やして2019年までのデータと合わせて図-1に示す福島県内の11地点41回の熱応答試験を行った。このうち2地点において、地中熱を空調に利用する機会が多い低気温時と高気温時における見かけ熱伝導率の違いの有無や季節的な地下水変動の影響を確認するため、各地点複数孔において年間を通して熱応答試験を行い、見かけ熱伝導率 ( $\lambda a$ ) を求めた。また、地下水観測を行ったのでこれらの結果について報告する。

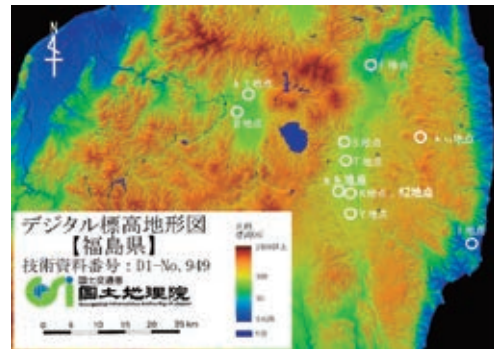


図-1 福島県内におけるTRT実施地点<sup>2)</sup>

## 2. 方法

2022年から2023年にかけて夏季(7月から9月)、中間期(5月から6月または10月から11月)、冬季(12月から2月)に福島県須賀川市(sk地点)および鏡石町(K2地点)の2地点各4孔の概ね深度20～30mの地中熱交換器において熱応答試験を行った。熱応答試験は、一定加熱・温水循環方式熱応答試験(TRT)技術書<sup>3)</sup>に準拠して温水循環試験を実施した。温水循環試験に続いて、地中熱交換器に予め概ね2.5m間隔の深度に設置したT型熱電対を使用して温度回復試験を実施した。熱応答試験を行うTRT装置はアグリクラスター製のAGC-003であり、2017年2月15日にNPO法人地中熱利用促進協会から発行されたTRT装置認定申請の手引き<sup>4)</sup>に則って認定され、2020年8月5日および2023年3月31日に認定を更新している。熱応答試験と別に観測孔を2022年にsk地点に1ヶ所、K2地点に2022年に2ヶ所、2023年に1ヶ所設置して地下水観測を行った。自記水位計(ジオファイブ製S&DLmini水位計)

によってsk地点およびK2地点で2022年9月から観測孔内の水位を計測しており、流向流速計（アレック電子株式会社製地下水流向流速計GFD3A）によって、K2地点で2023年1月、2023年5月に流向および流速を計測した。また、機械ボーリングによる地質調査を行い、sk地点、K2地点のボーリング柱状図を作成した。

### 3. 結果

図-2、図-3にsk地点、K2地点の地層断面図を示す。sk地点では機械ボーリングの実施深度はGL-30mであり、GL-20mまで粘性土主体で砂質シルトや凝灰岩シルトが主となり、それ以深は、風化凝灰岩、凝灰岩であった。K2地点では機械ボーリングの実施深度はGL-20m、GL-30m、でありGL-20～25mまで粘性土主体で礫混じり砂をはさむ。それ以深は、風化凝灰岩であり、ボーリング孔間の距離は10mであるが分布深度が大きく変化している。

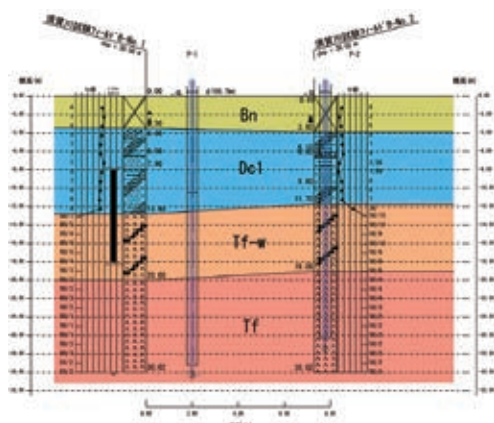


図-2 地層断面図 (sk地点)

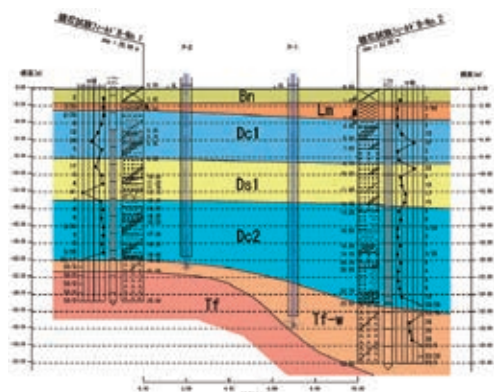


図-3 地層断面図 (K2地点)

表-1、図-4、図-5、にsk地点とK2地点の見かけ熱伝導率および観測孔の水位を示す。

表-1 温水循環試験による見かけ熱伝導率 $\lambda a$ (W/(m·K))

地点	番号	中間季 (5~6月)	夏季 (7~9月)	中間季 (10~11月)	冬季 (11~2月)
sk	SP1	2.4	2.5	2.2	2.2
	SP2	2.6	3.8	2.6	2.6
	SB1	2.7	2.8	2.7	2.7
	SB2	2.1	2.7	2.7	2.7
K2	KP1	2.1	2.1	2.1	1.7
	KP2	2.9	2.4	1.0	1.0
	KB1	8.7	7.3	6.3	6.3
	KB2	3.4	2.8	1.2	1.2

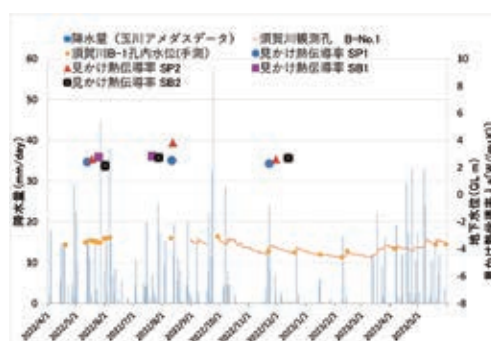


図-4 見かけ熱伝導率および観測孔水位 (sk地点)

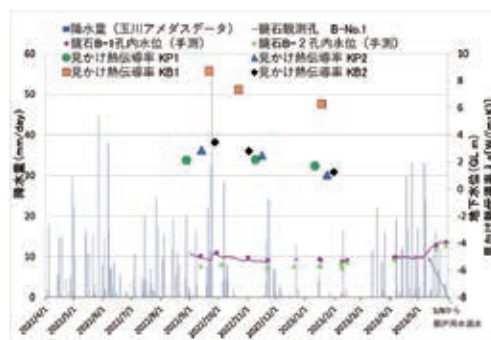


図-5 見かけ熱伝導率および観測孔水位 (K2地点)

sk地点の4孔で年間を通した見かけ熱伝導率 $\lambda a$  [W/(m·K)] は、最大値3.8 (SP2、8月)、最小値2.1 (SB2、6月)、平均値2.6と測定したそれぞれの見かけ熱伝導率の差は小さかった。sk地点では観測孔水位が豊水期と渇水期で1mを超える程度の変動があり、気象庁アメダス、観測地点「玉川」<sup>5)</sup>の日合計降水量と観測孔の水位計測結果を比較により降雨後の水位上昇も見られるが、見かけ熱伝導率は降水の影響を受けていないようであった。

K2地点ではsk地点と異なり、KB1孔では他の3孔よりも見かけ熱伝導率は大きな値を示している (最大値8.7、最小

値6.3)。その他の3孔の見かけ熱伝導率は、最大値3.4 (KB2、9月)、最小値1.0 (KP2、1月)、平均値2.1である。見かけ熱伝導率は4孔ともに大幅に変動しており、冬季に小さい値を示している。

K2地点では観測孔内の水位は、自記水位計による測定を開始した2022年9月からGL-5m程度であったが、2023年5月に1m程度上昇した。KB1孔において、温度回復試験のために地中熱交換器の充填剤内に設置したT型熱電対の温水循環時の温度上昇は、GL-7.4m、GL-9.9mでは他の深度よりも小さく、地下水流動の影響が考えられる。2023年5月にKB1孔から2mに位置する観測孔（鏡石B-No.3）の地下水流向・流速測定を行った結果、GL-6.5m、GL-9.5m、GL-23mに地下水流動が見られた。その流速は、GL-6.5mは0.02cm/min、GL-9.5mは0.01cm/min、GL-23mは0.18cm/minであった。

#### 4. まとめと今後の課題

複数地点ごとに複数孔の年間を通した見かけ熱伝導率の比較および地下水観測によって、同一孔でも見かけ熱伝導率が時季により大きく変動する地点とあまり変動しない地点があることを確認した。機械ボーリングや流向流速測定を実施した結果、見かけ熱伝導率が時季により変化する要因として地層状況・地下水状況（地下水位の変動・地下水流動）の影響が考えられる。地中熱利用システムの利用にあたり、より適切な地中熱利用の設計を実施するためには見かけ熱伝導率の時季的な変化の把握が重要であり、地質調査による地下水のデータがある場合は、特に考慮が必要であることがわかった。

今回の報告において鏡石では自記水位計による水位および流向、流速の測定は2022年12月からであったため、継続して夏季のデータを含む年間を通した測定を行っている。2023年度からは、K2地

点で年間4回の計画でボーリング孔にてヒーターケーブルを加熱して深度1mごとの見かけ熱伝導率を求める熱応答試験（TCP）を実施している。TRTによって求めた見かけ熱伝導率、地下水観測結果と合わせて見かけ熱伝導率の季節変動の評価を行っていきたい。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 原勝重、藤沼伸幸、幸田英顕（2019）：福島県内の有効熱伝導率測定結果について、全地連技術フォーラム2021論文集、論文No.83。
- 2) 国土地理院ウェブサイト、2019.7（最終確認日：2023.6.2）、<https://www.gsi.go.jp/common/000215429.jpg>
- 3) NPO法人地中熱利用促進協会編：一定加熱・温水循環方式熱応答試験（TRT）技術書、2017.4
- 4) NPO法人地中熱利用促進協会編：TRT装置認定申請の手引き、2017.2.15
- 5) 気象庁アメダス：観測地点「玉川」（最終閲覧日 2023.6.2）、<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>