

福島県内で実施した TRT と TCP による見かけ熱伝導率について

新協地水株式会社 ○幸田 英顕, 原 勝重, 藤沼 伸幸

国立研究開発法人産業技術総合研究所再生可能エネルギー研究センター 富樫 聡, 石原 武志

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り、その利用のためには地下水の流れの影響を含む地盤の見かけ熱伝導率を求めることが重要である。見かけ熱伝導率は、熱応答試験 (TRT) ¹⁾ やケーブル方式熱応答試験 (ケーブル TCP) ^{2), 3)} などの方法によって求めることができる。2022 年度は、福島県内の 2 地点において同一地点同一孔で時季を変えて TRT を複数回測定することにより、見かけ熱伝導率が測定期間内に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 ⁴⁾。筆者らは、2022 年から 2023 年にかけて見かけ熱伝導率が大きく変動した福島県鏡石町 (K2 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の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、2023 年 6 月から 2024 年 1 月にかけて同一孔の時季を変えた TRT およびケーブル TCP を概ね深度 GL-20~30m において実施して見かけ熱伝導率 (λa) を求めた結果について報告する。

2. 方法

図-1 に示すように、B-1, B-2, P-1, P-2 は地中熱交換器であり、B-No. 3, B-No. 4 は機械ボーリングを行い TCP 測定用のロッドを設置した。2023 年度は TRT を 2 孔 (B-1, P-1), ケーブル TCP を 2 孔行った。TRT は、温水循環試験を実施した。TRT 装置は 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 ⁵⁾ に則った認定装置である。また、ケーブル TCP は $\phi 66\text{mm}$ で掘削したボーリング孔 B-No. 3 孔と B-No. 4 孔に $\phi 40.5\text{mm}$ の測定用ロッドを設置して、測定にはヒーターケーブルとセンサー間隔 1.00m の温度センサーケーブルを使用し、加熱試験と回復試験を行った。熱応答試験と別に観測孔を 2022 年

に 2 ヶ所 (観測孔 No. 1, No. 2), 2023 年に 1 ヶ所 (観測孔 No. 3) 設置して地下水観測を行った。自記水位計によって 2022 年 9 月から観測孔内の水位を計測した。

3. 結果

図-2 に K2 地点の B-No. 3~B-No. 4 間および B-No. 3~B-No. 2 間の地層断面図を示す。GL-20~25m まで粘性土主体で礫混じり砂をはさみ、それ以深は、風化凝灰岩である。表-1, 図-3 ⁶⁾ に TRT, ケーブル TCP の見かけ熱伝導率および観測孔の水位を示す。TRT の結果では、KB1 孔は他の 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 3.1)。その他の 3 孔の見かけ熱伝導率は、最大値 3.4 (KB2, 2022 年 9 月), 最小値 1.0 (KP2, 2023 年 1 月) 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、測定のたびに見かけ熱伝導率は低下した。2023 年の中間期および夏季に行った TRT では、前年の測定結果と比べて、見かけ熱伝導率の低下の幅は小さかった。

ケーブル TCP の結果は加熱時の各深度の平均値である。TCP-No. 3 孔では最大値 1.6, 最小値 1.3, TCP-No. 4 孔では最大値 1.6, 最小値 1.4 となり、全体としては変動が

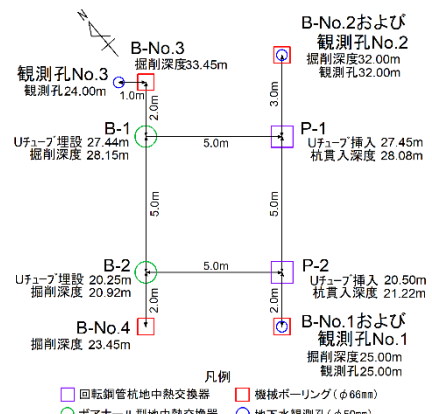


図-1 平面位置図

〈凡例〉

地層名	記号	深度 (GL-m)			N値
		B-No. 2	B-No. 3	B-No. 4	
盛土	Bn	0.00~1.60	0.00~1.25	0.00~0.75	2, 3, 7
ローム	Lm	1.60~3.65	1.25~2.50	0.75~2.00	2, 3, 4
第1粘性土層	Dc1	3.65~8.70	2.50~8.85	2.00~7.40	0~32
第1砂質土層	Ds1	8.70~13.45	8.85~13.00	7.40~13.25	4~41
第2粘性土層	Dc2	13.45~25.00	13.00~19.45	13.25~19.25	3~13
第2砂質土層	Ds2	-	19.45~23.95	19.25~23.00	4~41
風化凝灰岩	Tf-w	25.00~32.05	23.95~33.45	23.00~23.34	20~50以上

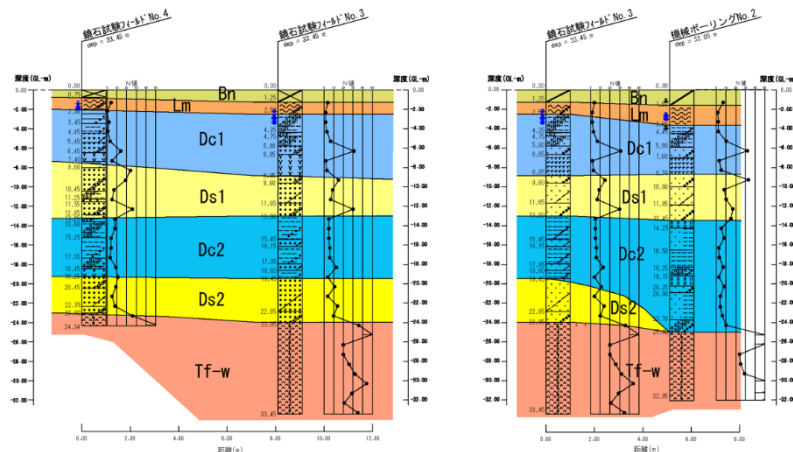


図-2 地層断面図 (K2 地点 B-No. 3~B-No. 4, B-No. 3~B-No. 2)

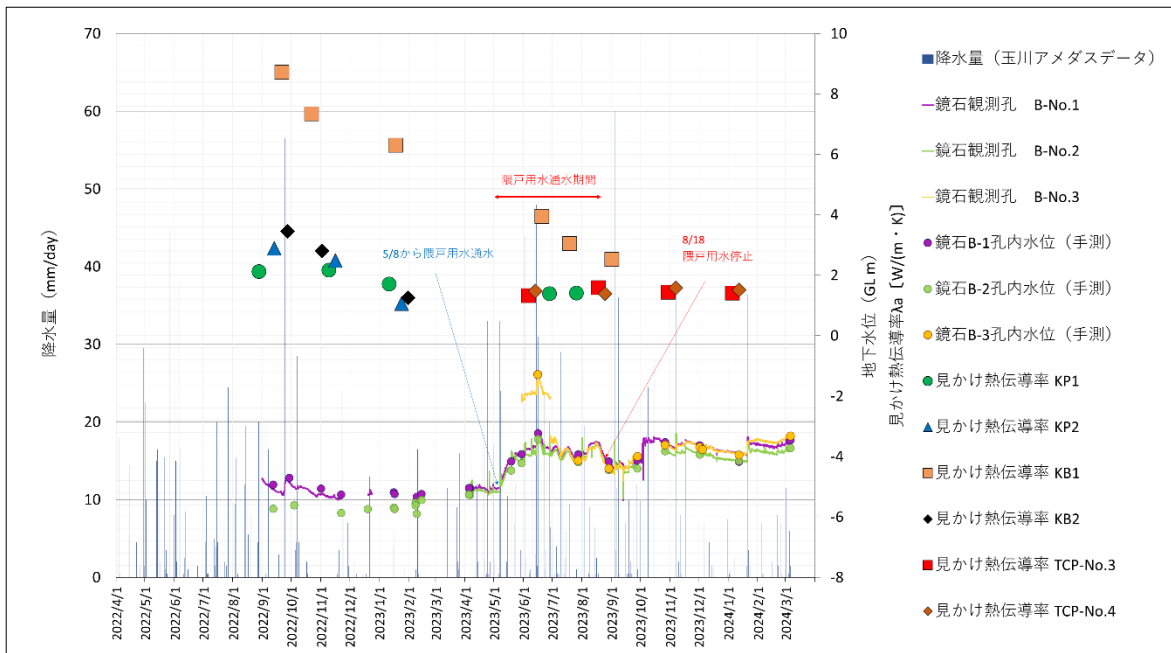


図-3 見かけ熱伝導率および観測孔水位(K2地点)⁶⁾

表-1 加熱時の見かけ熱伝導率 λ a[W/(m・K)]

年度	方法	試験孔	番号	中間季	夏季	中間季	冬季
				(5~6月)	(7~9月)	(10~11月)	(11~2月)
2022	TRT	P-1	KP1		2.1	2.1	1.7
		P-2	KP2		2.9	2.4	1.0
		B-1	KB1		8.7	7.3	6.3
		B-2	KB2		3.4	2.8	1.2
2023	TRT	P-1	KP1	1.4	1.4		
		B-1	KB1	4.0	3.1	2.5	
	TCP	B-No.3	TCP-No.3	1.3	1.6	1.4	1.4
		B-No.4	TCP-No.4	1.5	1.4	1.6	1.5

小さかった。一方、深度によっては、見かけ熱伝導率は時季によって変動しており、概ね観測孔の水位である GL-4 ~6m 程度は大幅に変動した (図-4)。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、その後の付近の農業用水の通水停止時に0.5m 程度の水位が低下しており、農業用水通水時に水位が高くなっている。

4. まとめと今後の課題

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大きく変動する箇所や深度があることを確認した。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。また、試験地周辺の造成や注水などの工事による人為的な影響による見かけ熱伝導率の変動も考えられる。今後の地中熱利用設備の計画にあたり、より適切な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や、測定箇所周辺の工事等の人為的な影響の考慮が重要である。また、TRT とケーブル TCP、鋼管杭を使用した TRT のように複数の方法を選択肢として見かけ熱伝導率を推

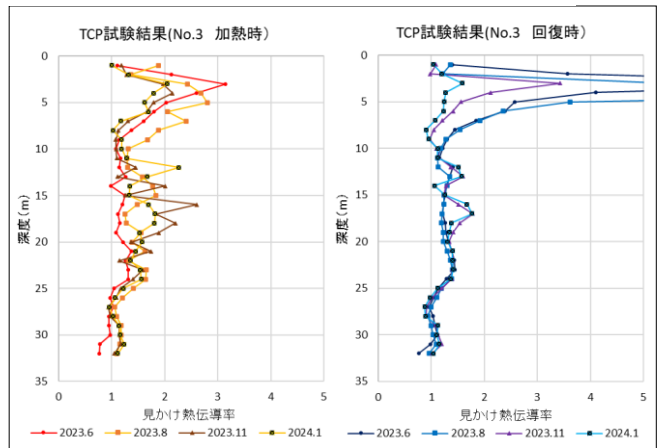


図-4 ケーブル TCP 試験結果(No.3)

定することが必要であると考えている。

《引用・参考文献》

- 1) 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，2018.8, p1-11.
- 2) 神宮寺元治，竹原孝，山口勉，国松直(2002)：貫入試験装置を用いた原位置地盤熱伝導率探査法，日本地熱学会誌，第24巻，第4号，p349-356.
- 3) 石原武志，富樫 聡，シュレスタ ガウラブ，内田洋平(2023)：地質調査孔を用いたケーブル方式熱応答試験の有効性実証，日本地熱学会誌，第45巻，第2号，p103-119.
- 4) 幸田 英顕，原 勝重，藤沼 伸幸(2023)：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，全地連技術フォーラム2023論文集，論文No. C049.
- 5) NPO 法人地中熱利用促進協会編：TRT 装置認定申請の手引き，2019.10, p1-9.
- 6) 気象庁アメダス：観測地点「玉川」(最終閲覧日2024.3.6), <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsd1/index.php>