

# 地中熱利用を目的とした垂直移流効果を伴う熱応答試験の実証例

新協地水(株)

○藤原 靖史、谷藤 允彦、藤沼 伸幸、松本 健

## 1. はじめに

近年、再生可能エネルギーに対する需要は高まっている。太陽光発電は急拡大する一方で、地層を採熱及び放熱の対象とした地中熱の利用は、普及が遅れており、今後の導入拡大が課題となっている。

地中熱利用の熱交換器はU字型の採熱管パイプを地中に挿入し、水や不凍液を循環させ熱交換する「クローズドループ」が一般的であるが、熱交換する循環水に地下水を利用するオープンループも存在する<sup>1)</sup>。

福島県では井戸による地下水の利用頻度が高く、オープンループによる地中熱利用が期待できるが、今後、水井戸使用との併用による地中熱利用の普及・拡大が見込まれる。

地中熱利用においては地下水流による熱の移流の影響が大きいと考えられる。今回、地中熱利用における既存井戸の揚水による移流効果を検証するため、既存の水井戸(φ100 mmのボーリング井戸)を使用して揚水の実施と熱応答試験を同時に実施し、見かけの有効熱伝導率(W/m/K)を求めることでその評価を実施した。

## 2. 熱応答試験と有効熱伝導率について

検討にあたっては、熱応答試験により見掛けの有効熱伝導率を求め、地盤の有効熱伝導率の数値を比較することで実施した。

### (1) 熱応答試験

(Thermal Response Test)

熱応答試験(Thermal Response Test: TRT)は地中熱交換器内に熱負荷を与えた循環流体を循環して得られる循環流体温度や地中温度の経時変化により、地盤の熱物性や熱交換能力を推定する試験<sup>2)</sup>であり、地盤や地下水流動の影響により大きく変化する原位置の熱交換能力を把握し、地中熱利用システムの設計に供する目的で実施する。なお、循環流体は水または不凍液を使用する。

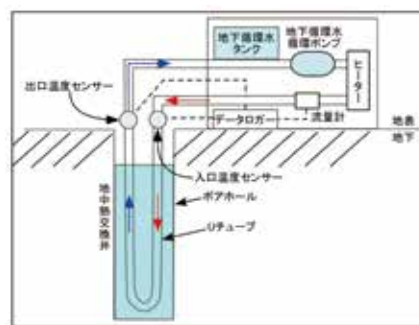


図-1 熱応答試験概要図(温水循環試験の例)

### (2) 地盤の有効熱伝導率

有効熱伝導率は熱の伝わりやすさを示す数値であり、地中熱利用システムの設計にかかわる重要な指標となる。土壌および岩盤の熱伝導率については、目安となる値(表-1)があるが、有効熱伝導率は地盤構成や地下水の状況により大きく変化する。

表-1 土壌・岩盤の有効熱伝導率と熱容量<sup>2)</sup>

	有効熱伝導率[W/(m・K)]		熱容量[MJ/(m <sup>3</sup> ・K)]	
	飽和	不飽和	飽和	不飽和
砂	1.53	1.19	3.03	2.15
砂礫	2.00			
シルト	1.44			
粘土	1.27	0.92	3.13	2.14
火山灰	1.18	0.90	3.05	2.01
泥炭	1.22	0.88	3.20	2.07
ローム層	1.00	0.72		
岩(重量)	3.10			
岩(軽量)	1.40			
花崗岩	3.50			

### 3. 試験箇所の地層状況

今回の試験は福島県内の2箇所で行った。試験に使用する井戸は掘削口径φ100 mmのボーリング井戸であり、試験地Aは掘削深度50 m、試験地Bは掘削深度100 mである。試験箇所の概略の地層状況を図-2に示す。

試験地Aは花崗岩地域であり、深度25 m付近までまさ土および風化花崗岩、深度約40 m以深は新鮮な花崗岩類が分布している。

試験地Bは郡山盆地内に位置しており、深度約30 mまではシルトおよび礫混じり砂が主体で、薄い砂礫層を挟んでいる。深度30 m以深では礫岩、凝灰岩を挟む砂岩が主体となる。

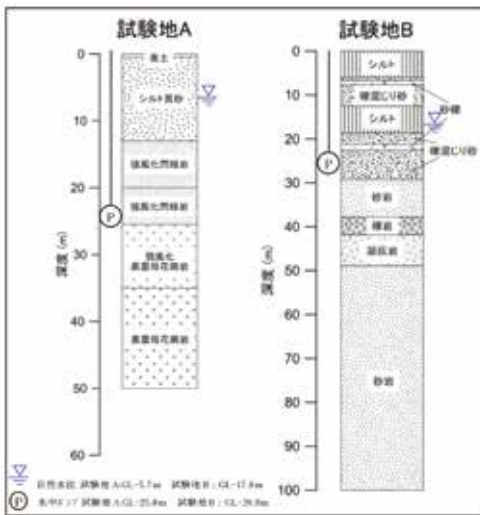


図-2 試験地の模式柱状図

#### 4. 試験方法と試験結果

##### (1) 採熱管について

熱応答試験の実施にあたり、ボーリング井戸(φ100 mm)を使用したのが、一般的な採熱管であるUチューブでは水中ポンプと同時に挿入することが困難であったため、採熱管としてはUチューブと同等の性能が見込める代用品としてステンレス管を使用し、U字型に加工した先端部に接続後、連結しながら井戸孔内に挿入して水中ポンプの稼働を妨げないような工夫を施した。

この採熱管については、精度を確認するため水中ポンプ設置前の井戸孔内で通常のUチューブとステンレス管とで熱応答試験を実施した。試験結果から、採熱管の違いにより約10%~30%の差が生じる結果となった。

##### (2) 試験結果

2箇所の試験地で既存井戸を使用した垂直移流効果を伴う熱応答試験を実施した。試験は揚水を実施しない場合と水中ポンプによる垂直移流を発生させた場合について測定した。結果を表-2に示す。なお、柱状図の土壌・岩盤から求められる平均熱伝導率[W/(m・K)]は試験地Aが2.42、試験地Bが1.95である。

表-2 揚水を伴う熱応答試験から求めた有効熱伝導率[W/(m・K)]

井戸の揚水量 (L/min)	有効熱伝導率[W/(m・K)]	
	試験地A	試験地B
0 (自然状態)	2.68	2.49
15.0	9.02	14.06
30.0	9.15	12.26
30.0 (断続運転) [運転40分・回復4時間]	9.69	3.96

#### 5. 試験結果のまとめ

揚水による垂直移流を伴う熱応答試験で求めた地盤の有効熱伝導率は、揚水実施

前の自然状態の有効熱伝導率よりも3.0倍以上高い値を示すことを確認した(図-3)。

また、揚水を行わない自然状態での熱応答試験で求めた有効熱伝導率は、地層構成から予想される有効熱伝導率と比較し、ほぼ同じ~やや高い値を示す。これは、地下水の有無が有効熱伝導率の値に大きく影響している結果と考えられる(自然水位:試験地A GL-5.68 m、試験地B GL-17.8 m)。

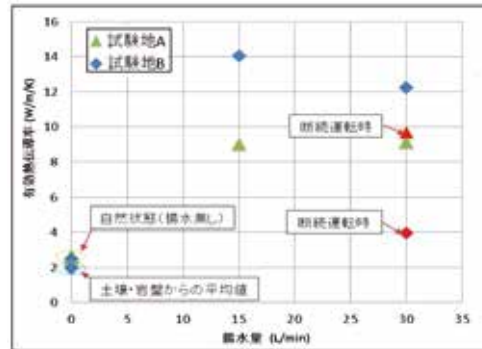


図-3 揚水量と有効熱伝導率の関係

今回の試験結果では、揚水量の変化と有効熱伝導率の変化とが比例関係とならず、試験地Bでは揚水量15.0(L/min)が揚水量30.0(L/min)よりも有効熱伝導率が高い値を示した。これは、試験時の平均加熱負荷は4.5~5.0(kw)程度であり、揚水量15.0(L/min)を超えると与えた熱負荷よりも垂直移流の効果が十分に大きいため、循環水温度の経時変化がほぼ一定の温度で推移した結果と推定される。

一般家庭における地下水利用を想定した断続揚水時の有効熱伝導率は、試験地Aと試験地Bで結果に大きな違いが生じた。ほぼ同深度に水中ポンプを設置したが、井戸深度に倍の違いがあり、今後はより詳細な条件設定で試験を実施する必要がある。しかし、試験地Aでは断続揚水の実施でより高い有効熱伝導率を得られることを確認した。

本実証から垂直移流を考慮した地中熱利用は、既存井戸を含む一般家庭用の井戸を地中熱交換井として活用する高効率な地中熱利用システムの開発を可能とし、今後の地中熱利用の普及に寄与できるものと考えている。

本試験は「平成28年度 福島県産総研連携再生開発エネルギー等研究開発補助事業」の中で実施したものである。

本事業の実施にあたりご協力頂いた関係各位に感謝の意を表します。

##### 《引用・参考文献》

- 1) 特定非営利開発法人 地中熱利用促進協会: 地中熱利用ヒートポンプの基本がわかる本, p.50, 2012.10.
- 2) 北海道大学地中熱利用井システム工学講座地中熱ヒートポンプシステム, pp.92, 2007.9.