

地下水利用型ヒートポンプシステムの地盤蓄熱効果に関する解析検討

清水建設 技術研究所 正会員 ○米山 一幸，フェロー会員 百田 博宣

1. はじめに

地中熱を利用したヒートポンプシステムは、高効率で環境負荷の少ない空調システムとして、近年普及が進められている。地中熱の利用方法には、地中に設置した熱交換器（ヒートパイプ）を介して間接的に採熱する「密閉型」と、地下水を揚水してヒートポンプの熱源に直接利用する「開放型」があり、現在では立地上の制約が少ない密閉型が主流となっている。一方、地下水が豊富で十分な揚水量が確保できる地域では、井戸設備などを簡素化できる開放型がコスト面で有利と考えられており¹⁾、経済的なシステムとして今後の普及が期待されている。本検討では、開放型の地下水利用型ヒートポンプシステムについて、システムの運転時の地中温度・熱源水温度の変化を数値シミュレーションにより予測し、取水井・注水井間の干渉や地盤の蓄熱効果を考慮した効率的な井戸配置に関して検討を行う。

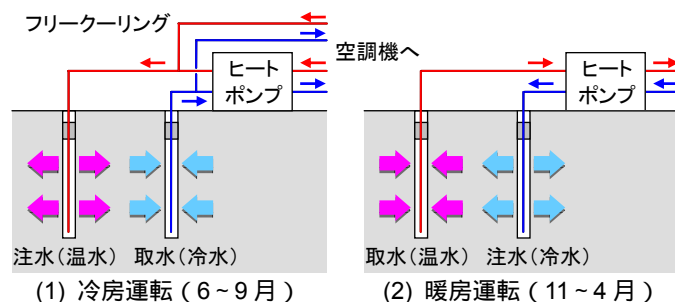
2. 検討条件

検討システムの概念図と運転条件を図1に示す。取水／注水用の井戸を複数配置し、夏季の冷房運転と冬季の暖房運転で取水／注水を切り替えることにより、季節間の地盤の蓄熱効果を有効利用する。取水した地下水はヒートポンプの熱源に利用する他、冷房運転時に取水温度が一定温度以下の場合には空調機に直接送水するフリークーリング方式を併用し、システム全体効率の向上を目指す。供給対象地域としては次世代省エネ基準の地区を想定し、同区分の平均的な負荷に基づき図1の運転条件を設定する。

図2には解析モデルの一例の概念図と地盤物性を示す。対象地域の地質は地表から深度100mまで均質な砂層が分布すると仮定し、深度20～80mの区間を対象に取水／注水を行う計画とする。初期地下水位は地表面-10mとし、自然状態で地下水流動がない場合とある場合のそれぞれについて検討する。解析には熱・多相流連成解析コード(TOUGH2)を用いる。

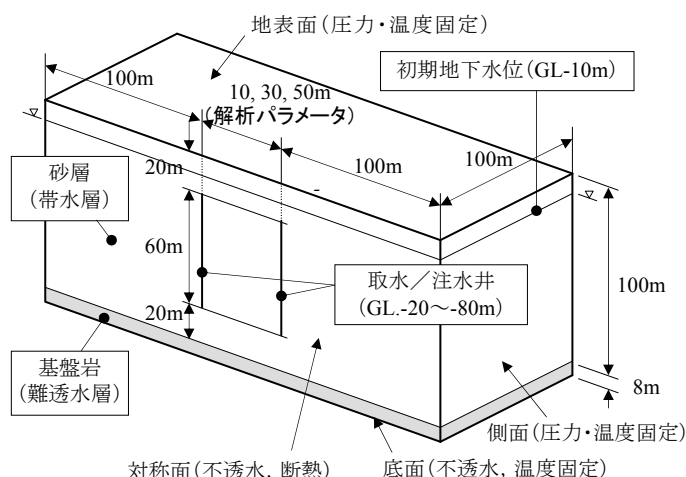
3. 検討結果

自然状態の地下水流動がない条件で、取水井と注水井の離間距離が10, 30, 50mの各ケースについて運転時の取水温度を予測した結果を図3に示す。離間距離10mのケースでは、熱源としての利用後に注水井から地中に還元された水が取水井から再度取水される「ショートサーキット」が生じており、この結果、運転継続に従い取水温度が大きく変化し、シ



運転区分		平均取水量	注水温度
冷房運転	フリークーリング (取水温度 $\leq 16^{\circ}\text{C}$)	239 t/day	取水温度 $+2^{\circ}\text{C}$
	ヒートポンプ (取水温度 $> 16^{\circ}\text{C}$)	96 t/day	取水温度 $+5^{\circ}\text{C}$
暖房運転 (ヒートポンプ)		58 t/day	取水温度 -5°C

図1 ヒートポンプシステムの運転概念と運転条件



項目	砂層	基盤岩
透水係数 (m/s)	10^{-5}	10^{-8}
有効間隙率	0.20	0.05
熱伝導率 (W/mK)	1.53	2.70
比熱 ($\text{MJ/m}^3\text{K}$)	3.03	2.32

図2 解析モデルと地盤条件¹⁾

キーワード 地中熱，地下水，ヒートポンプ，冷暖房，地盤蓄熱，数値解析

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所 TEL. 03-3820-5557

ステムの効率が低下する。一方、離間距離 30, 50m ではショートサーキットは生じず、ほぼ安定した取水温度が維持される。図 4 には、離間距離 30m のケースの地盤温度分布を示す。注水により井戸近傍に温度変化領域が形成され、これが季節間で保持されることにより蓄熱効果として利用される。自然状態の平均水温は約 13.3 であり、これと図 3 の取水温度の差が蓄熱による効果となる。

図 5 は井戸間隔が 30m で、自然状態で井戸列と垂直方向に地下水流動（動水勾配 0.05）を仮定した場合の取水温度変化を、地下水流動がないケースと比較して示す。井戸配置は 2 孔の場合と、正方形に 4 孔を配置し、下流側で取水、上流側で注水を行う場合の両方を想定する。図 6 には各モデルにおける深度 50m の水平断面内の温度分布を示す。自然状態で地下水流れがあると、注水による温度変化領域が下流側に移動することにより地盤の蓄熱効果が低減され、取水温度は暖房時に低下、冷房時に上昇する。これは 2 孔モデルで顕著だが、4 孔モデルでは注水位置よりも下流側で取水することにより、注水した水を回収する割合が増加し、蓄熱効果の低減を抑制することができる。この結果より、地下水流動がある地域でも、適切な井戸配置とすることにより、蓄熱効果を利用した効率的な運転が可能であると考えられる。

4. まとめ

地下水利用型ヒートポンプシステムについて熱・地下水連成解析により地盤温度・取水温度の予測解析を行い、井戸の離間距離や地下水流動による影響を示した。この成果は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務として実施したものです。

参考文献

- 1) 北海道大学：地中熱ヒートポンプシステム，2007

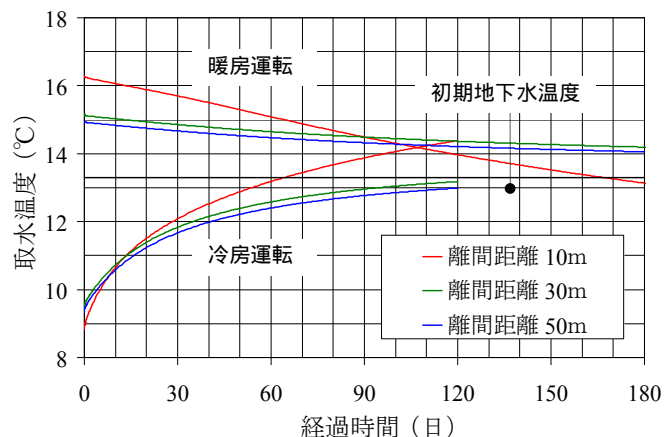


図 3 運転時の取水温度変化（地下水流動なし）

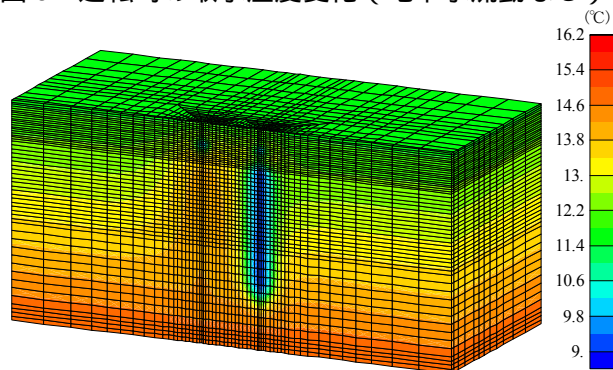


図 4 暖房運転完了時の温度分布（井戸間隔 30m）

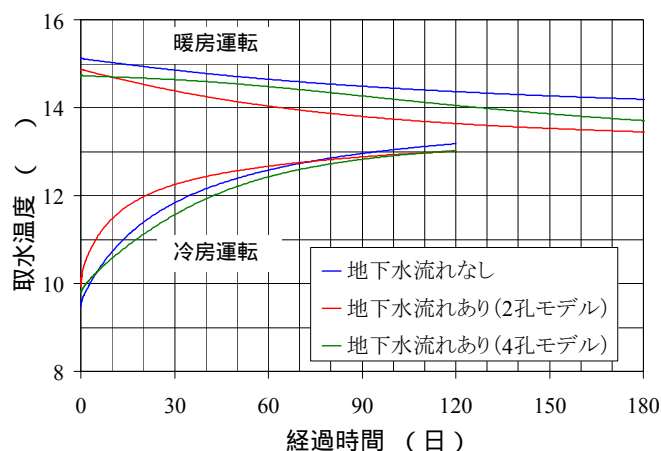
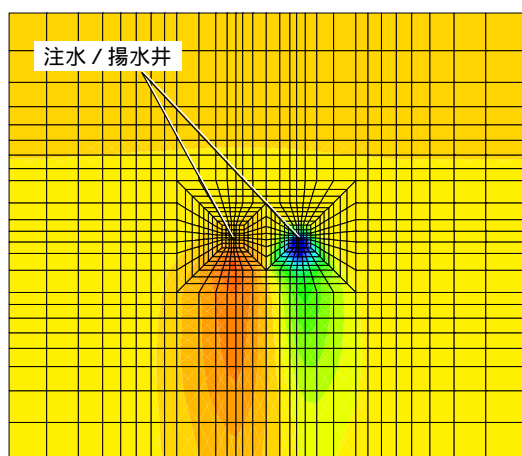
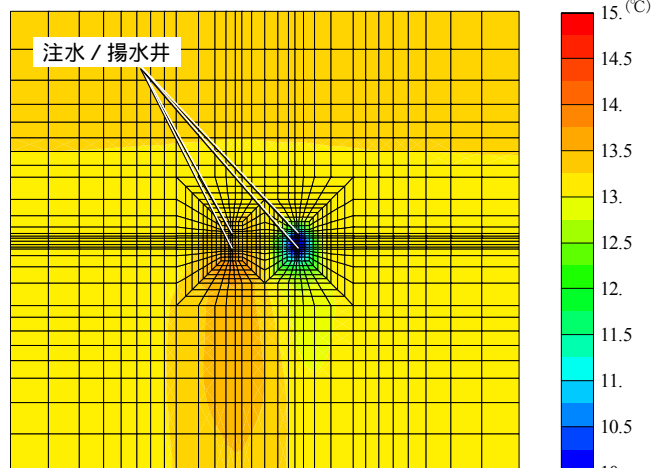


図 5 運転時の取水温度変化（井戸間隔 30m）



(1) 2 孔モデル



(2) 4 孔モデル

図 6 暖房運転完了時の温度分布（深度 50m 水平断面）