

スパイラル地中熱交換器の採熱性能に関する検討

清水建設 技術研究所 正会員 ○米山 一幸, 鈴木 道哉
イノアック住環境 大江 基明, 小野 雅敏

1. はじめに

地中熱を利用したヒートポンプ空調システムは, 高効率で環境性にも優れ, 近年普及が拡大している。採熱用の地中熱交換器は, 口径 150 ~ 200 mm 程度のボアホール内に U 字型のポリエチレンチューブ (U チューブ) を埋設する方法が一般に用いられているが, 地下水が豊富で地下水流速が早い地域などでは, 図 1 に示すようなスパイラル型の熱交換器 (スパイラルチューブ) が単位深さ当たりの熱交換量が多い点で有利となる可能性があり, 開発・適用が検討されている。本検討では, スパイラル地中熱交換器の採熱性能について, 地下水流速と採熱性能の相関などを数値解析により予測し, 一般的な U チューブと比較評価を行う。



図 1 スパイラルチューブ

2. 予測解析のモデル・条件

地中熱利用における採熱量は, 地盤の熱伝導と地下水の対流 (移流) の効果が加算されたものであり, 地下水流速が早い場合は対流の影響が相対的に大きくなることが知られている。本検討では, 熱伝導と地下水流動を同時に計算する熱 - 浸透流連成解析手法を採用し, 解析プログラムとして TOUGH2/EOS1¹⁾を用いる。図 2 スパイラルチューブ

図 2 に解析モデルの一例を示す。解析モデルはスパイラル構造の 2 周分を抽出し, 対称性を考慮してスパイラル軸を含む縦断面で分割した領域を 3 次元構造でモデル化する。径 800 mm の孔内にスパイラル外径 600 mm の 20A ポリエチレンパイプを設置して空隙を砂で充填する方法を想定し, 地盤, 充填砂, ポリエチレンの物性値を表 1 のように与える。モデルの各境界条件は図 2 に示す通りとし, 地盤の初期温度は 15 , 地下水の初期流速 v は解析パラメータとして 0 ~ 0.2 cm/sec の範囲で設定する。また, パイプ内面温度 (ブライン温度) と地盤初期温度の差 T は 2 ~ 10 の範囲とする。スパイラルピッチは, 図 2 に示す 100 mm の他に 200 mm のケースも設定し, また比較検討のため, 25A ポリエチレンパイプを用いたダブル U チューブについても解析を行う。

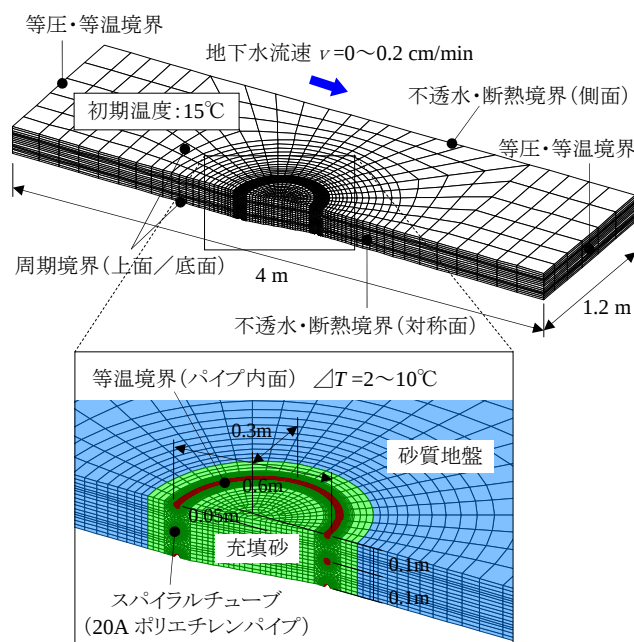


図 2 解析モデル (ピッチ 100 mm スパイラルチューブ)

表 1 地盤・材料の物性値²⁾

	砂質地盤	充填砂	ポリエチレンパイプ
熱伝導率	1.53 W/m		0.4 W/m
比熱	1.52 kJ/kg		1.9 kJ/kg
密度	1990 kg/m ³		950 kg/m ³
透水係数	1.0 × 10 ⁻³ m/sec		-
間隙率	0.4		-

3. 解析結果

図 3 は, ピッチ 100 mm のスパイラルチューブについて, 温度差 $T=6$ としたときの単位深さあたりの熱交換量の経時変化を示す。地下水流速 v が 0 のケースでは解析期間を通じて熱交換量の低下が継続するが, 流動があるケースではほぼ一定値に収束しており, 流速が大きいほど早い段階で収束する傾向がみられる。図 4, 図 5 は各解析モデルについて, 収束後の単位深さあたり熱交

キーワード 地中熱, 熱交換器, スパイラルチューブ, U チューブ, 熱抵抗, 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

換量と温度差 T をプロットしており、各流速ごとにほぼ線形の相関が示されている。また、図6はスパイラルチューブ周辺の温度分布の計算例を示し、流速が大きいケースでは対流の効果によりチューブ周辺の温度上昇が抑制され、この結果、チューブ表面での熱交換量が大きくなることからわかる。

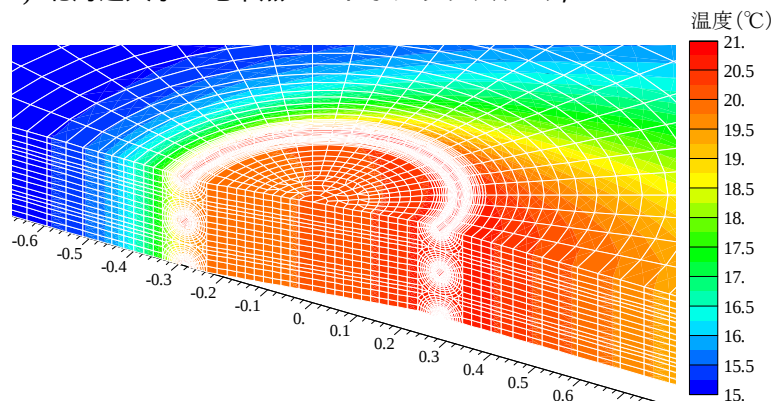
図7は、図4、図5の近似直線の傾きにより定義される熱抵抗と地下水流速の相関を示したもので、流速 v が大きいほど熱抵抗が低下し、熱交換器としての採熱性能が向上することが示されている。スパイラルチューブの単位深さあたりの採熱性能はダブルUチューブの3~5倍程度であり、流速が大きいほど性能差が拡大する傾向が見られる。またスパイラルピッチによる比較では、流速0.2 cm/minでは性能比がピッチ比とほぼ同じ2:1となるが、流速が小さいケースでは性能比が小さくなり、これは図6(1)に見られるように、隣接チューブ間で熱的な干渉が生じることが原因と考えられる。

4. まとめ

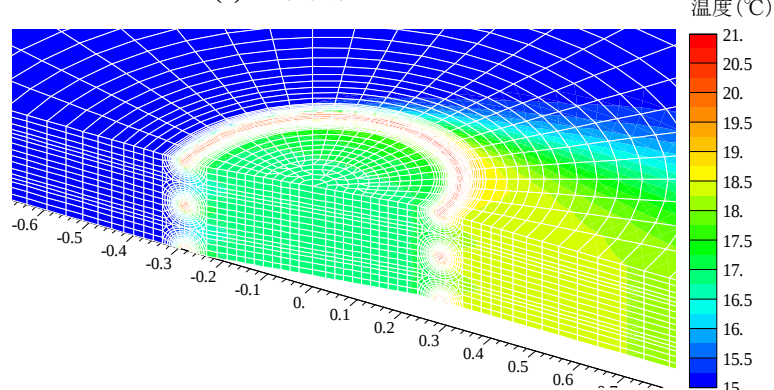
スパイラル地中熱交換器の熱交換量の予測解析結果より、地下水流速が早い場合は、一般的なダブルUチューブと比べ深さあたりで約3~5倍の採熱性能を期待できることが示された。今後、現場実験等により性能を検証する予定である。

参考文献

- 1) K. Pruess et. al : TOUGH2 user's guide, ver.2, 1999
- 2) 北海道大学 : 地中熱ヒートポンプシステム, 2007



(1) 地下水流速 $v = 0.02$ cm/sec



(2) 地下水流速 $v = 0.2$ cm/sec

図6 地盤温度分布 ($T = 6$)

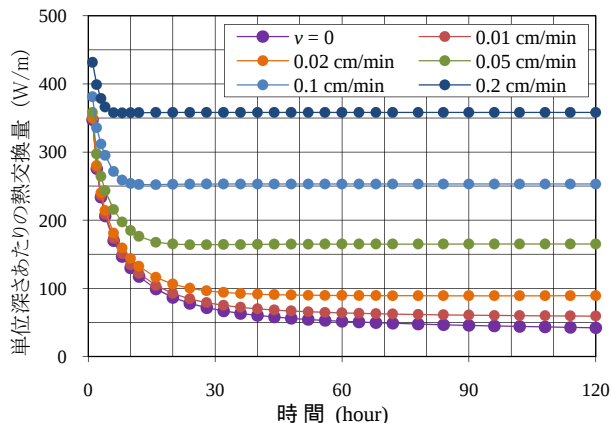


図3 熱交換量の時間変化 ($\Delta T = 6^\circ\text{C}$)

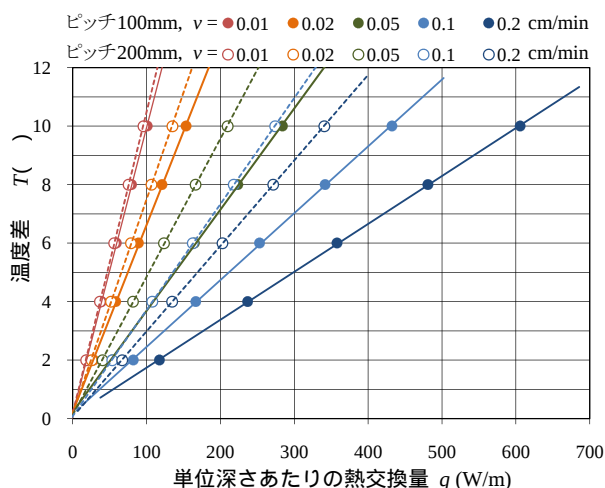


図4 採熱性能 (スパイラルチューブ)

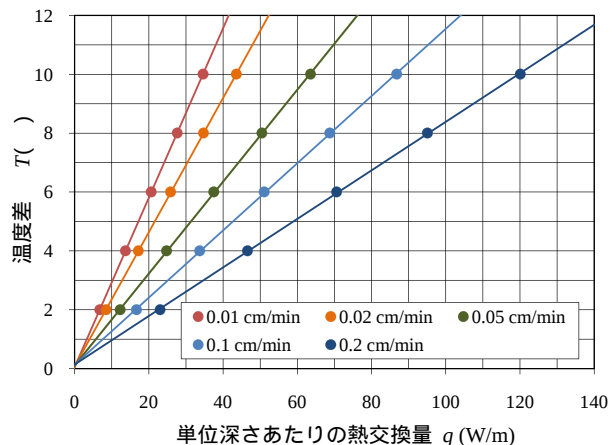


図5 採熱性能 (Uチューブ)

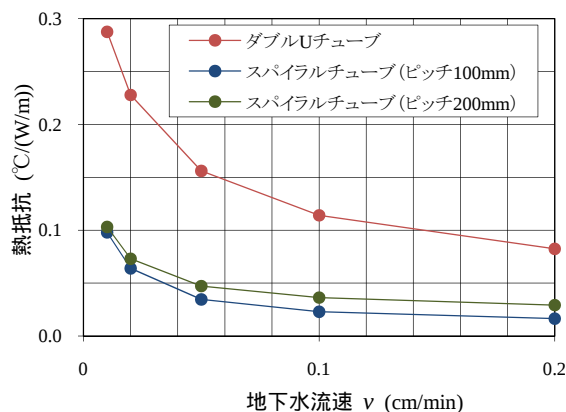


図7 地下水流速と熱抵抗の関係