

スパイラル地中熱交換器の採熱性能に関する現場実験

清水建設 技術研究所 正会員
イノアック住環境

米山 一幸, 鈴木 道哉, 雨宮 沙耶
大江 基明, 小野 雅敏

1. はじめに

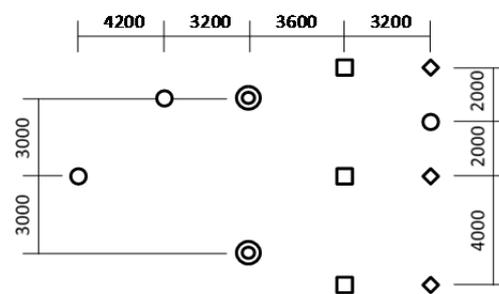
地中熱を利用したヒートポンプ空調システムは、高効率で環境性にも優れ、近年その普及が進められている。採熱用の地中熱交換器としては、口径 150~200mm 程度のボアホール内に U 字型のポリエチレンチューブ (U チューブ) を埋設する方法が一般的だが、地下水流速が速い地域などでは、図 1 に示すようなスパイラル型の熱交換器が採熱性能の面で有利となる可能性がある。筆者らはスパイラル地中熱交換器の長さ当たりの熱交換量について熱-浸透流連成解析を実施し、地下水流速が 0.1~0.2cm/min 程度の場合、一般的なダブル U チューブの約 3~5 倍の採熱性能を期待できることを示した¹⁾。本検討では、実地盤にスパイラル地中熱交換器を設置して空調運転に利用する現場実験を実施し、実測された採熱量を予測解析の結果と比較することにより、上記解析手法の妥当性の検証を行う。また、実験設備の建設などから得られた知見をもとに、スパイラル地中熱交換器のコスト検討を行う。



図 1 スパイラル型熱交換器

2. 現場実験の概要

現場実験設備は、東京都江東区越中島の研究棟新築に伴い、研究棟で実際に用いる空調施設として計画された。地中熱交換器は図 1 のスパイラル型熱交換器と、比較対象用にシングル U チューブおよびダブル U チューブを設置した。各熱交換器の材質はポリエチレン材 (PE100) を使用し、スパイラル型は呼び径 20、深さ 20m で、スパイラルの径・ピッチは図 1 に示す寸法とした。シングル・ダブル U チューブは呼び径 25、深さは 70m とした。図 2 は各熱交換器の配置を示しており、スパイラル型は 2 本、シングル・ダブル U チューブは各 3 本を設置した。なお、建設地は粘土質が主体の地盤で、地下水流速は非常に小さいと推測される。



- ◎ : スパイラル型熱交換器 (深さ20m)
- : ダブルUチューブ型熱交換器 (深さ70m)
- ◇ : シングルUチューブ型熱交換器 (深さ70m)
- : 温度計測点

図 2 現場実験の熱交換器配置

研究棟は 2013 年に竣工し、同年 6 月から 9 月の冷房に本実験設備が利用され、大きなトラブルなく運転が行われている。

3. 再熱量の実測値と解析結果の比較

数値解析による現場実験の再現解析の解析条件、解析モデルを表 1 および図 3 に示す。地盤の熱定数は現地で行ったサーマルレスポンス試験の結果を用い、充填砂およびポリエチレンの物性は文献などより設定する。解析モデルについては、スパイラル構造の 2 周分を部分的に切り出してモデル化しており、地表温度が鉛直方向の熱流動に与える影響や、隣接する熱交換器による熱干渉は考慮されていない。解析プロ

表 1 解析条件

	地盤	充填砂	ポリエチレンパイプ
熱伝導率 (飽和) (W/mK)	1.85	1.53	0.4
比熱 (飽和) (kJ/kgK)	1.61	1.52	1.9
密度 (kg/m ³)	1990	1990	950
透水係数 (m/sec)	5.0 × 10 ⁻⁶	5.0 × 10 ⁻⁵	-
間隙率 (-)	0.4	0.4	-

キーワード 地中熱, 熱交換器, スパイラル, U チューブ, 数値解析, 現場実験

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

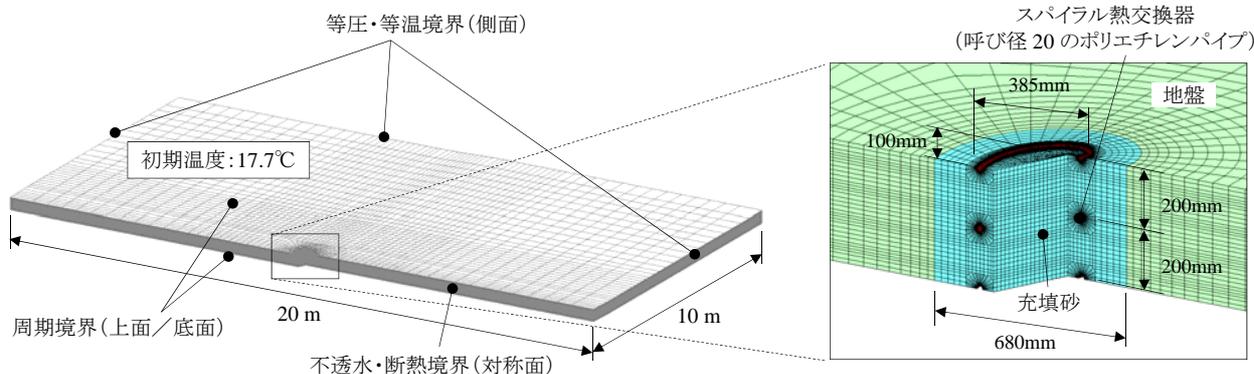


図3 解析モデル

グラムには前報¹⁾と同様に TOUGH2/EOS1²⁾を用いる。

解析においては、まず地盤温度の長期的な変化を予測するため、実験期間を運転開始から 0～30 日、31～63 日、64～93 日の 3 期間に分割し、各期間における熱交換器からの放熱量の積算値を期間で除した平均熱流量を境界条件とする解析を行う。図 4 はこの解析より得られた運転開始から 63 日目の地盤温度分布を示す。次にこの地盤温度を初期条件として、運転開始から 64 日目の運転における熱交換器内の熱媒体の温度変化データを用い、熱交換量の時間変化の予測解析を行う。図 5 は 64 日目の運転 (8/5 22:10～8/6 1:50) における熱媒体の往還温度の実測値を示しており、解析ではその平均温度を熱交換器内面の境界条件として与えている。図 6 は同日の運転における熱交換器の長さ当たりの熱交換量の実測値と解析結果の比較を示す。解析結果は実測値を良好に再現しており、解析手法の妥当性が確認できたと考えられる。

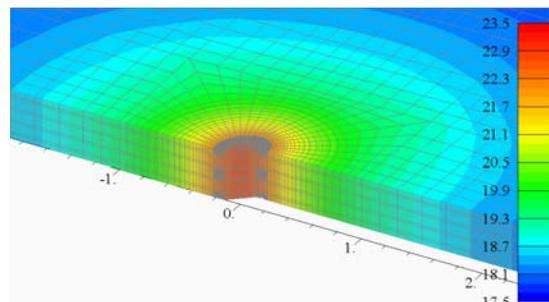


図4 地盤温度分布の解析結果 (63 日目)

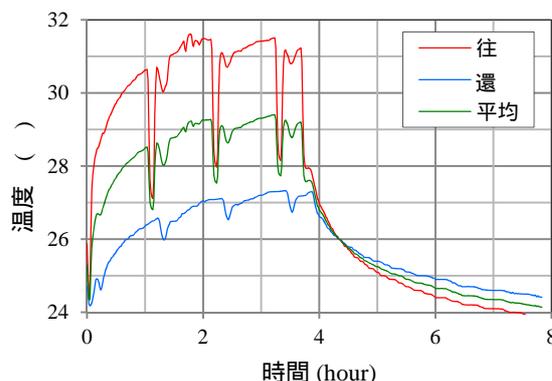


図5 熱媒体温度の実測値 (64 日目)

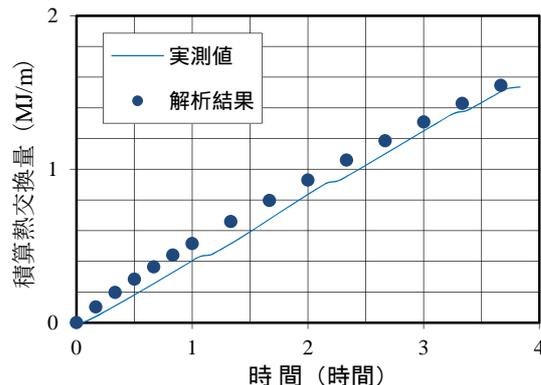


図6 熱交換量の実測値と解析結果

4. コスト検討

スパイラル地中熱交換器の採熱量当たりの建設コストについて、ダブルUチューブとの比較検討を行う。検討では熱交換器の材料費・加工費と、掘削設置工事費を考慮する。また、建設地は砂礫質の地盤を想定し、地下水流速は 0.1cm/min と仮定して、前報¹⁾の解析より予測される採熱量を用いる。図 7 は算出された各熱交換器の採熱量当たりの建設コスト比を示しており、スパイラル地中熱交換器はダブルUチューブに比べて建設コストが約 3 割低減するという結果が得られた。

5. まとめ

スパイラル地中熱交換器の採熱性能について現場実験を行い、採熱量の予測解析手法の妥当性を確認するとともに、建設コストの優位性について見通しを得た。

参考文献

- 1) 米山他：スパイラル地中熱交換器の採熱性能に関する検討，第 68 回土木学会年次学術講演会論文集，2013
- 2) K. Pruess et. al：TOUGH2 user's guide, ver.2，1999

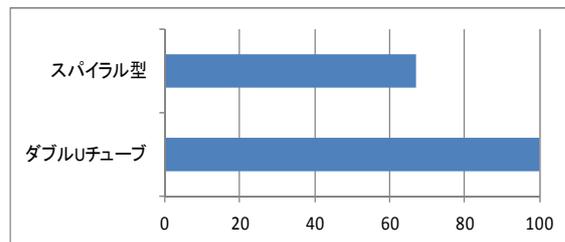


図7 採熱量の当たりの建設コスト比