

短尺鋼管製の同軸型地中熱交換器を用いた熱負荷試験について

川田工業 正会員 ○勝俣 盛

川田工業 正会員 畠中 真一

川田工業 フェロー 越後 滋

1. はじめに

近年、地球温暖化対策やヒートアイランド対策に、再生可能エネルギーの一つである地中熱利用技術が注目されている。地中温度は、深度数十メートルであれば季節や気候変動の影響が少なく、一年を通じて安定しており熱利用できる。特に、諸外国では温度差を建物空調の熱源に用いた地中熱ヒートポンプシステム(以下、GSHP)の利用が急伸しており、今後我が国でも広く普及すると考えられる。

そこで、イニシャルコスト低減および熱交換性能改善を目的に、短尺鋼管製の同軸型地中熱交換器を開発した。これを浅層土壤に埋設して熱負荷実験¹⁾を行ったので以下に概説する。

2. 熱負荷試験

(1)試験概要：熱負荷試験は、弊社事業所(栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台)地内の試験設備を用いて実施した。3 坪スーパーハウス(以下、計測ハウス)室内に定格出力 2kW の直膨式 GSHP (FHP 製；EC007-1HZC)を設置して、計測ハウス直近に埋設した地中熱交換器(Ex-①～④)で排熱、採熱した(図 1, 図 2)。

(2)試験環境：芳賀町は年間冷暖房負荷が 460MJ/㎡・年以下(平成 11 年度基準)で、暖房負荷よりも冷房負荷が大きい。地理的には宝積寺台地に位置しており、土壤は関東ローム(含水比 103.7%)が表層から深さ 20m 近くまで堆積している。層中には鹿沼土と呼ばれる軽石層が挟まれており、地中熱交換器の埋設深度に滞水層は認められない。GSHP には不利な土壤である。

(3)地中熱交換器の特徴：中小規模の空調設備を想定して、地中熱交換器は鋼管製で同軸管方式の工場製品にした。形状と寸法は、クレーン付きトラックでの輸送と自走式の車両系建設機械を用いた掘削・設置を条件に決定した。また、熱交換器の表面積(フィン有無)と熱拡散率の異なる埋戻し材による熱特性を比較するため、芯間隔 5m、直径 600 mm、深度-7m の縦孔に Ex-①～④を埋め戻した(表 1、図 2)。

(4)試験方法：温度観測井①、③および Ex-①、②の上段(深度-2.5m)、中段(深度-4.5m)および下段(深度-6.5 m)に T 型熱電対を貼付して、熱負荷に伴う地中温度および熱交換器表面温度の経時変化を計測した。また、プロピレン系不凍液を 20%に希釈した熱媒の温度計測は、各熱交換器の出入口に設置した测温抵抗体で行った。なお、本報では Ex-①、②を並列に配管して流量を約 8.50 /min に調整した設備で、冷房運転(期間：H23. 7. 15 ～9. 1)と暖房運転(期間：H24. 1. 23～3. 25)を行った測定結果について考察する。



(a) GSHP (b) 地中熱交換器

図 1 試験設備

表 1 地中熱交換器

	熱交換器 Ex-①	熱交換器 Ex-②	熱交換器 Ex-③	熱交換器 Ex-④
鋼管寸法	φ355.6mm×t6.4mm×L5000mm (JIS G 3444)			
フィン	なし		あり	
埋戻し材	山砂	黒ボク土	山砂	黒ボク土

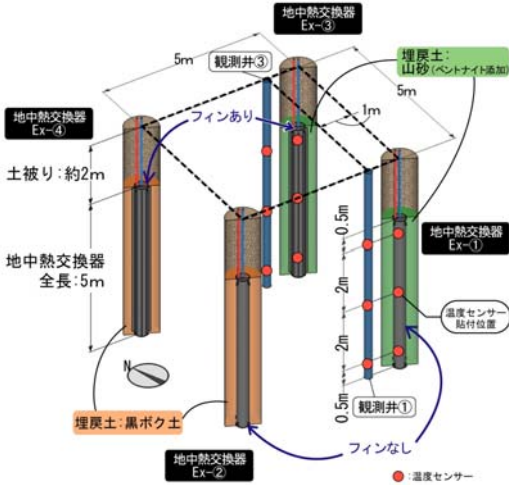


図 2 熱交換器配置と温度センサー貼付位置

表 2 試験ケース

項目	単位	種別	Case-4	Case-5	Case-6
運転方法	—	—	冷房運転		暖房運転
運転期間	H23 年度	月/日	7/15～8/8	8/8～9/1	1/23～3/26
制御方法	—	モニタ	熱媒温度		
		位置	熱媒出口 天井近傍		
制御温度	℃	停止	40.0	28.0	20.2
		再始動	39.8	28.2	20.0
		GSHP	平日の昼中 9 変動		
日稼働	時間	循環ポンプ	連続 24		
熱媒流量	ℓ/min	—	約 8.5		

キーワード GSHP, 地中熱交換器, 短尺鋼管, 同軸型, 関東ローム, 浅層土壤
連絡先 〒321-3325 栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台 122-1 川田工業(株) 技術研究所 TEL028-687-2217

3. 試験結果と考察

冷房運転時と暖房運転時の温度変化を図3に、ケース毎の期間平均値を表3に示す。Case-4(冷房時)では、熱拡散率が山砂の半分程度である黒ボク土で埋戻したEx-②の方が、交換効率が高くなった。これは、Ex-①は既往試験¹⁾により蓄熱されたのに対して、Ex-②は本試験で初めて熱負荷した影響と考える。継続熱負荷したCase-5では、交換効率はEx-①の方が高くなり当初予測した結果になった。Case-6(暖房時)は、試験初期に流量計が故障したので参考値を示す。熱媒温度が約-2℃に低下するとGSHP内部のサーモスタットが作動してヒートポンプが停止した。この結果、交換効率は冷房時の1/3程度であった。

次に、温度観測井①とEx-①の表面温度の経時変化を図4に示すとともに、期間中熱影響がない観測井③の計測値を表4に併記する。図4(a)より、冷房運転で上昇した熱交換表面温度は夜間あるいは土日にGSHPを休止することで、急速に温度回復していることがわかる。一方、図4(b)に示す暖房運転は主に夜間となったために、日当たりの温度回復が僅かであった。

4. おわりに

本研究では、大規模な掘削工事が不要となる高効率な地中熱交換器の開発を目的に、短尺鋼管製の同軸型を用いた熱負荷試験を実施した。この結果、熱交換の性能は短期的にはフィン効果などの熱抵抗の影響が著しく、長期的には周辺土壌の熱性能の影響が卓越する。したがって、GSHPの稼働目的に即した熱交換器と埋戻し材を選定することでイニシャルコストを低減できる。今後は熱交換率の改善と費用効果を検討する予定である。

表3 地中熱交換器の熱特性

項目	単位	熱交換器	Case-4	Case-5	Case-6
熱媒流量	ℓ/min	Ex-①	8.51	8.61	7.81 [※]
		Ex-②	8.43	8.52	7.49 [※]
熱交換器で発生する温度差 (冷房時+, 暖房時-)	℃	Ex-①	1.50	1.53	-0.53
		Ex-②	1.63	1.47	-0.51
交換効率 (冷房時+, 暖房時-)	W	Ex-①	894	922	-290
		Ex-②	962	877	-267

※試験途中に流量計故障のため参考値

表4 観測井の温度

位置	深度 (m)	冷房運転 (℃)				暖房運転 (℃)			
		観測井①		観測井③		観測井①		観測井③	
		開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了
上段	-2.5	16.9	21.8	19.4	19.0	17.2	10.8	17.4	15.3
中段	-4.5	18.4	22.6	20.9	18.5	17.9	11.5	18.1	17.5
下段	-6.5	18.2	21.6	20.1	18.4	17.6	12.3	17.5	17.3

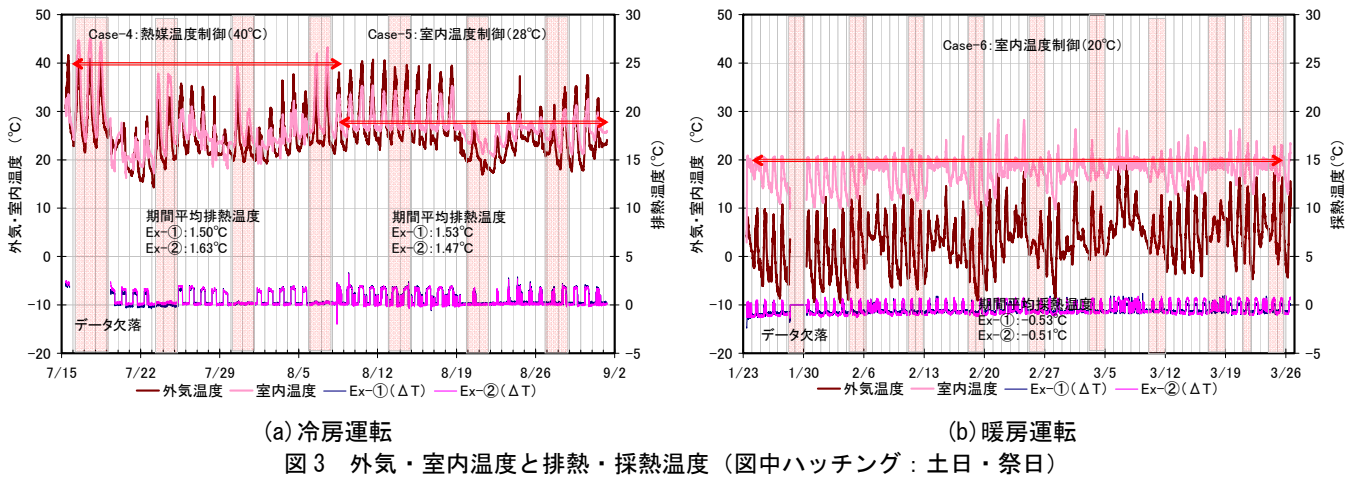


図3 外気・室内温度と排熱・採熱温度 (図中ハッチング: 土日・祭日)

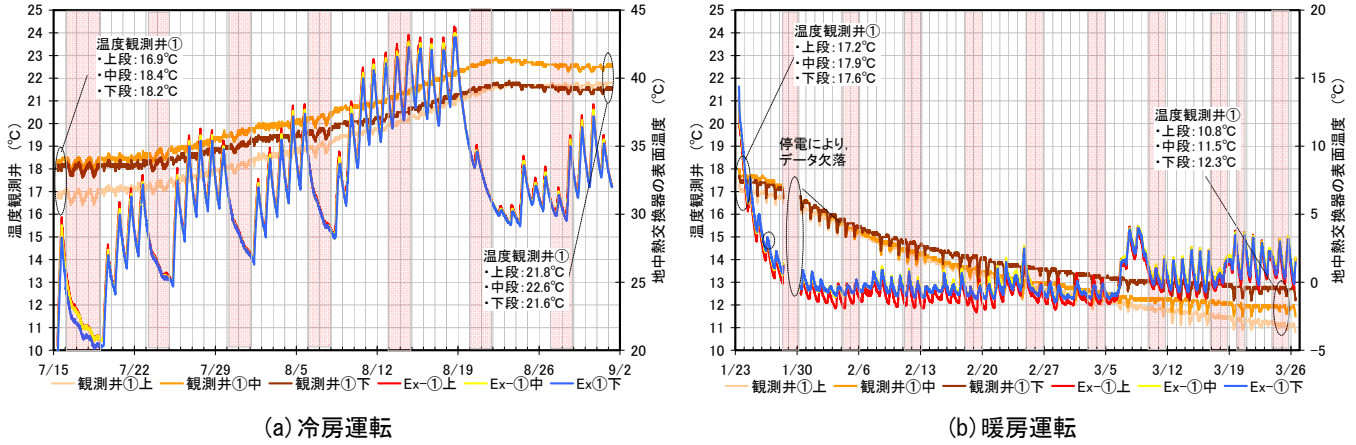


図4 温度観測井①の熱交換器①の温度変化 (図中ハッチング: 土日・祭日)

参考文献 1) 勝保ほか: 浅層土壌における地中熱利用空調の実験的検討, 川田技報, Vol. 31, 2012. 1.