

場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究
 (その 11) 年間実験結果ならびに施工実績をもとにしたフィージブルスタディ
**The Development of Geothermal Air-conditioning System Using Ground Heat Exchanger
 utilizing Building's Cast-in-place Concrete Pile Foundation**
(Part 11) Feasibility Study on an Annual Experiment and the Real Construction Cost

正会員 ○関根賢太郎(大成建設) 正会員 大岡龍三(東京大学生産技術研究所)

正会員 横井睦己(大成建設) 正会員 柴 芳郎(ゼネラルヒートポンプ工業) 学生会員 黄 錫鎬(東京大学)

Ryozo OOKA*¹ Kentaro SEKINE*² Mutsumi YOKOI*² Yoshiro SHIBA*³ Suckho HWANG*⁴

*1 IIS, University of Tokyo *2 Taisei Corporation *3 Zeneral Heatpump Industry Co., Ltd *4 University of Tokyo

This paper presents a feasibility study on an annual experiment and the real construction cost. The feasibility study model was the office building of medium scale. The cost pay back time was 17.7 years depending on cost increase of ground heat exchanger pile. Furthermore, the authors tried to find some factors that have the cost pay back time within 10 years. Consequently, it expects that the cost pay back time reduces by executing some factors.

はじめに

本研究は、地中熱利用空調システムの普及・実用化を目的とし、地中熱交換器施工コスト削減のために、場所打ち杭を熱交換器として併用したシステムの検討を行うものである。本報は、実験結果ならびに試験適用を行った施工実績をもとに、標準的な中規模ビルをモデルとしてフィージブルスタディを行った結果に関して述べる。

1. 実大実験

2.1 実験目的

熱交換杭からの採放熱量の把握および運転期間を通じて水冷 HP の COP 算出時の入力データ収集を目的として、既報^{1)~5)}で述べた実大実験装置を用いた年間冷暖房運転実験を行った。実験は、事務所ビルを想定して月曜日から金曜日の9:00~17:00(8h)に水冷 HP を運転した。また昨年度の実験結果^{2),3)}を踏まえ、水冷 HP を実験期間通じて最大能力で運転させるために、室内側に模擬負荷(ルームエアコン: 冷却 2.5kW, 加熱 2.8kW)の設置および負荷除去用 FCU の増設(1 台: 冷却 3.5kW, 加熱 4.4kW)を行った。さらに暖房期間は、夜間運転や杭 1 本での運転、さらに流量調整などの制御を行った。

2.2 採放熱量

表-1, 2 に冷暖房実験時の採放熱量(W/m)を示す。運転方法の違いはあるが、冷房期間全体では、173(杭 A), 189(杭 B)W/m, 暖房時の杭 1 本(流量: 杭 2 本運転時の 1 本分の流量)に変更した期間(2/23~4/1)は、182W/m となり、実験場の土壌物性値における熱交換杭の採放熱量は、目標値の 160W/m 以上得られることを確認した。

表-1 期間平均放熱量(冷房)

期間	運転方法	杭	冷却熱量				
			GSHP→土	土→GSHP	Δt	流量	放熱量
			°C	°C	°C	l/min	W/m
6/16~8/20	模擬負荷あり	A	28.3	26.1	2.2	27.4	206.0
		B	28.3	26.0	2.3	27.3	221.2
8/21~9/30	なし	A	26.8	25.6	1.2	27.5	119.5
		B	26.8	25.4	1.4	27.4	136.4
6/16~9/30	-	A	27.7	25.9	1.8	27.4	173.3
		B	27.8	25.8	2.0	27.3	189.1

表-2 期間平均採熱量(暖房)

期間	運転方法	杭	加熱熱量				
			GSHP→土	土→GSHP	Δt	流量	採熱量
			°C	°C	°C	l/min	W/m
12/1~12/15	杭2本(昼)	A	15.2	15.9	0.7	26.5	70.0
		B	15.1	15.7	0.6	26.7	52.5
12/16~1/26	杭2本(夜)	A	8.6	9.8	1.2	26.2	114.8
		B	8.5	9.7	1.2	26.5	106.4
1/27~2/22	杭1本	B	5.8	7.0	1.2	49.9	211.9
2/23~4/1	杭1本+流量	B	6.3	8.5	2.2	24.5	182.4

2.3 COP

図-1, 2 に実験期間中の外気温・熱源水および冷温水温度データおよびそのデータを用いて、性能計算プログラムにより計算を行った開発を行っている地中熱源対応水冷式ヒートポンプチラー⁶⁾の成績係数(COP)の結果を示す。なお、比較のために外気温からほぼ同能力の空冷 HP の COP についても算出した。表-3 に期間能力と消費電力から算出した熱源の期間成績係数を示す。水冷 HP の COP は 5.57/5.05(冷却/加熱)となり、冷却で空冷 HP の約 2 倍、加熱で約 1.7 倍の COP をとった。

表-3 期間成績係数

	空冷 HP		水冷 HP	
	冷却	加熱	冷却	加熱
期間能力(GJ)	89.9	56.4	101.8	70.8
期間消費電力(kWh)	8,613	5,807	5,079	3,893
期間成績係数	2.90	2.70	5.57	5.05

3. 熱交換杭工事費

地中熱利用空調システムの普及・実用化のためには、地中熱交換器埋設コスト削減が大きな課題となる。提案している場所打ち杭を熱交換器として併用する本システムのインシヤルコスト把握のために、実物件で施工を行った際のコスト把握を行った。

本システムの適用を行った物件は、千葉県に計画された某大学施設である。1階エントランス部分(約100m²)の空調(冷却:2.5kW, 加熱:2.8kW)に用いるために、場所打ち杭(直径:1.5m, 杭長:18m, 1本)に熱交換用配管(PE100 Uチューブ 20A)を外周に8対設置した熱交換杭の施工を行った。図-3に施工状況を示す。

施工時に時間・人工などの確認を行い、併せて行った同形状の通常杭との比較を行い、熱交換杭の工事費を算出した。表-4に施工時の時間・人工の比較を示す。熱交換杭は、配管を杭周囲に結束しながらの施工のため、通常杭よりも施工時間が1.5h増となった。さらに熱交換用配管の結束・支持のための人工が16人h増となった。表-5にこれらをもとに算出した熱交換杭工事費を示す。熱交換杭とすることにより通常杭と比較すると約1.5万円/mのインシヤルコスト増となる結果となった。

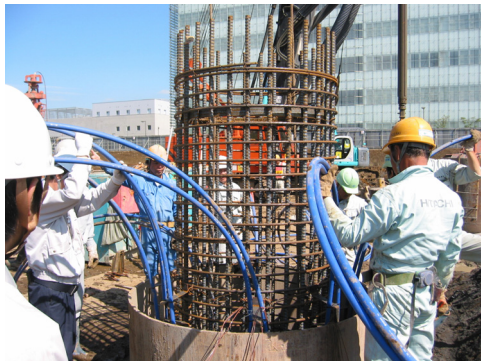


図-3 熱交換杭施工状況

表-4 熱交換杭施工による時間・人工の増分

	作業時間	配管施工	増分
熱交換杭	2.0 h	8 人	16 人 h
通常杭	0.5 h	—	—
増分	1.5 h	—	—

表-5 熱交換杭工事費

	単価	数量	小計
配管費(8対)	600 円/m・対	18m	86,400 円
消耗品雑材	配管工費の10%		3,520 円
杭部配管工費	2,200 円/人 h	16 人 h	35,200 円
杭工事費(増分)	91,350 円/h	1.5h	137,025 円
熱交換杭工事費計			262,145 円
1m 当りの熱交換杭工事費			14,564 円/m
配管工事単価: 2,200 円/人 h = 17,600 円/日 ^{*1} ÷ 8h ^{*4} 杭工事単価: 91,350 円/h = 20,300 円/m ^{*2} × 36m ^{*3} ÷ 8h ^{*4} *1 平成16年度公共工事設計労務単価表(東京都) *2 建設物価 アースドリル工法φ1500×25m(東京) *3 1日1台の杭打ち機で18m 杭を2本打設(36m) *4 1日の就労時間: 8h			

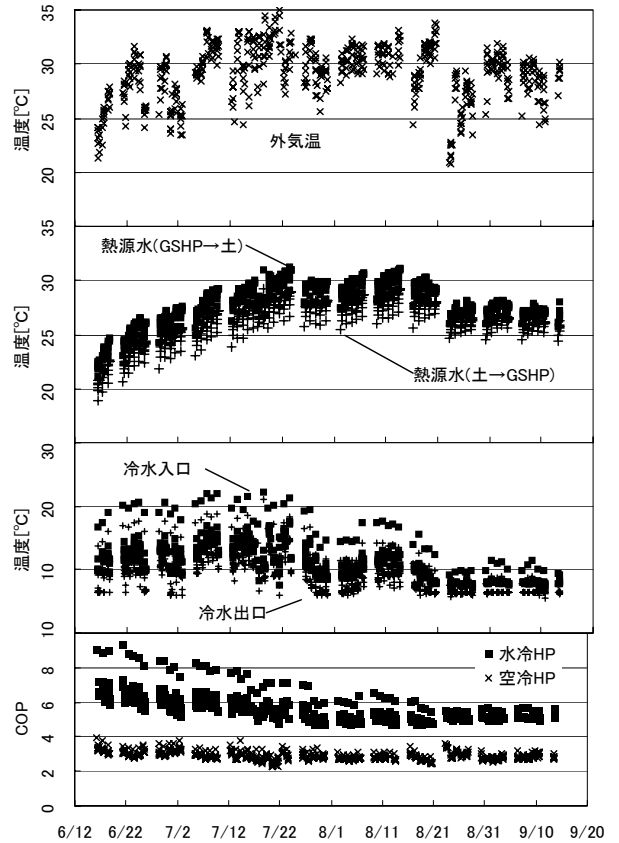


図-1 実験結果と COP (冷房)

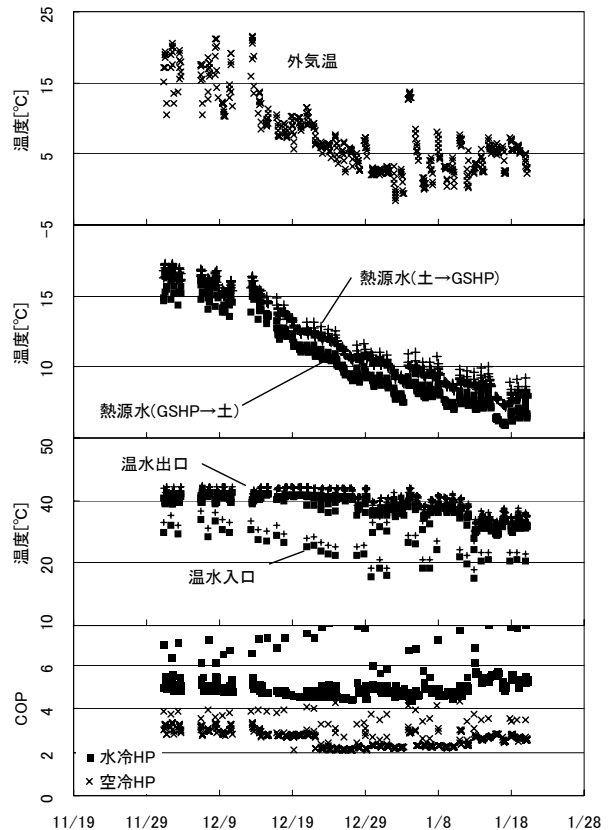


図-2 実験結果と COP (暖房)

4. フィージブルスタディ

4.1 モデル設定

実験結果ならびに施工実績をもとに、中規模事務所ビル^⑨をモデルとしたフィージブルスタディを行った。表-6 に建物概要、図-4 にモデル建物基準階平面図、図-5 に杭伏図を示す。検討地域は東京とし、杭方式および本数は場所打ち杭(直径：1.5m, 杭長 20m, 30 本)と仮定した。

4.2 空調システム設定

図-6 に比較を行った空調システムを示す。比較を行う空調システムは、熱源機器を台数分割して設置した中央熱源方式とし、通常システムは一般的な空冷 HP 方式、地中熱利用システムは、空冷 HP を台数分割した1台を地中熱利用の水冷 HP に置き換えたシステムとした。

表-7 にそれぞれの空調システムの熱源容量設定を示す。熱源容量は、冷房のピーク負荷で決定した。まず、地中熱利用システムの水冷 HP 容量を実大実験結果より、地中からの採放熱量 160W/m・本とし、160W/m・本×20m×30 本=96kW(27RT)と算出した。残りの負荷を空冷 HP 2 台で分割し、1 台 58RT とした。比較を行う通常システムは、水冷 HP 27RT を空冷 HP に置き換えたシステムとした。

4.3 計算条件と計算方法

計算は、設定した条件および HP の期間成績係数などから部分負荷効率も考慮した年間エネルギーシミュレーションにより各システムのランニングコストを算出した。次に熱源システムに関わる部分(地中熱利用システムに関しては熱交換杭・熱源水配管・ポンプも含む)のインシヤルコストを施工から算出した熱交換杭施工費などから算出し、インシヤル・ランニングコスト差から単純投資回収年数を算出した。なお計算比較対象は通常システムの一部分が地中熱利用システム(水冷 HP+熱交換杭)に置き換わった部分のみに限定した。

4.4 計算結果

表-8 に通常システムと地中熱利用システムの年間での消費電力量を示す。地中熱利用システムは、熱源水ポンプの消費電力量が付加されるが、COP が高く HP 消費電力量が減るため、消費電力量削減率は 20% となった。

表-9 に単純投資回収年を示す。単純投資回収年は、施工実績からのインシヤルコストおよび開発を行っている水冷 HP の COP では 17.7 年となり、普及・実用化の一つの目安となる 10 年以内とはならなかった。しかし、

表-6 モデル建物概要

検討地域	東京
用途	事務所
延床面積	6,600m ² (空調面積：4,840m ²)
建物規模	地上 8 階，地下なし
運転時間	平日：8 時～18 時(日・祭日・土：なし)

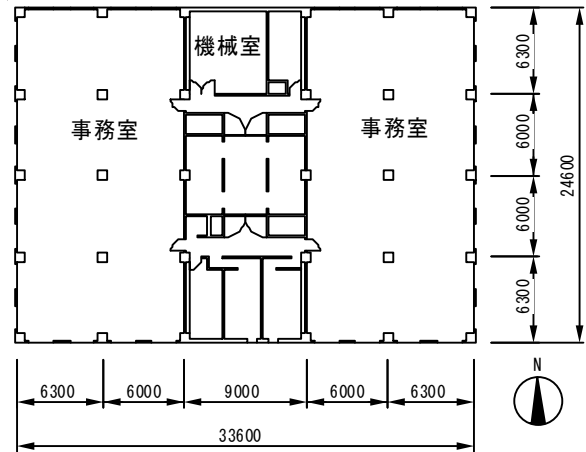


図-4 モデル建物基準階平面図

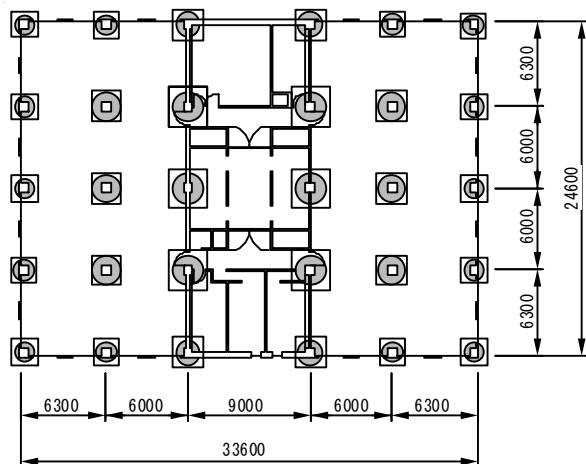


図-5 モデル建物杭伏図

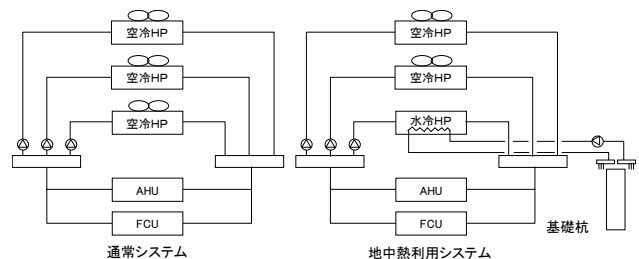


図-6 空調システム図

表-7 空調システム

	通常システム (空冷 HP)	地中熱利用システム (空冷,水冷 HP 併用)
冷房負荷[GJ/年]		1,418
冷房ピーク[MJ/h]		1,825
暖房負荷[GJ/年]		628
暖房ピーク[MJ/h]		1,013
地中採放熱量[W/m 本]		160
杭本数[本]		30
杭長[m]		20
熱交換用配管[対本]		8
地中採熱量[kW]		96
熱源容量	空冷 HP	27RT×1 58RT×2
	水冷 HP	— 27RT×1
	合計	144RT

表-8 省エネルギー効果

	通常システム	地中熱利用システム
HP 消費電力量[kWh]	215,297	167,454
ポンプ消費電力量[kWh]	—	3,327
消費電力量合計[kWh]	215,297 (100%)	170,781 (80%)
差[kWh]	—	44,516 (20%)

ボアホール方式の36～58年⁸⁾と比較すると1/2以下となり、システムの採用の可能性は高くなったと考える。

次に施工実績から試算した結果をもとに、回収年数が10年以内となるための要因抽出を行った。まず、熱交換用配管結束箇所削減などの省力化を行い、実施工時の施工時間が1h、配管施工が4人(増分4人h)と仮定した場合、10.8年となり回収年数の大幅な削減が可能である。さらに、水冷HPのCOP向上(6.00/5.43)により、10.1年、水冷HPの価格を約12%コストダウンすることにより9.4年となり、10年以内が可能である。

5. まとめ

- 1) 実大実験装置を用いた年間冷暖房運転実験の結果、提案した熱交換杭の期間平均採放熱量は、160W/m以上となった。
- 2) 実験期間中の外気温・熱源水および冷温水温度データから算出したGSHP(開発機)の期間平均COPは、5.57/5.05(冷却/加熱)となった。
- 3) 実際の施工実績から算出した熱交換杭工事費は、約1.5万円/mのインシヤルコスト増となった。
- 4) 中規模事務所ビルをモデルとしたフィージブルスタディにより現状では、回収年数は17.7年となったが、熱交換杭施工費の更なる削減や水冷HPのCOP向上により、普及・実用化の一つの目安とな

る10年以内となる可能性があることを確認した。

今後、これらの省力化工法ならびに水冷HPの高効率化について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 横井睦己・大岡龍三・加藤信介・関根賢太郎・黄錫鎬・宋斗三, 場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究(その1)システムおよび性能実験施設の概要, 2004年度日本建築学会学術大会学術講演会梗概集, 2004年8月
- 2) 関根賢太郎・大岡龍三・深尾仁・横井睦己・黄錫鎬, 場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究(その2)夏期および冬期性能実験, 2004年度日本建築学会学術大会学術講演会梗概集, 2004年8月
- 3) 大岡龍三・関根賢太郎・黄錫鎬, 場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究(その4)地中採放熱量と熱源成績係数, 2004年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2004年9月
- 4) 大岡龍三・関根賢太郎・黄錫鎬・南有鎮, 場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究(その6)冷・暖房実験による性能評価, 2005年度日本建築学会学術大会学術講演会梗概集, 2005年9月
- 5) 関根賢太郎・大岡龍三・横井睦己・黄錫鎬, 場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究(その7)中規模ビルによる省エネルギー効果とコスト試算, 2005年度日本建築学会学術大会学術講演会梗概集, 2005年9月
- 6) 柴芳郎・大岡龍三・関根賢太郎, 場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究(その12)水冷式ヒートポンプ高効率化のための性能計算プログラムの開発, 2005年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2005年8月
- 7) 社)空気調和・衛生工学会:設計用最大熱負荷計算法
- 8) 相賀 洋ほか3名:地中地盤蓄熱システムの総合評価に関する研究 その4 経済性評価, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2001), p.845～848

本研究の一部は、2003年10月より平成15年度(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構『エネルギー使用合理化技術戦略的開発 エネルギー使用合理化技術実用化開発 大都市における基礎杭を利用した地中熱空調システムの普及・実用化に関する研究(研究代表者 東京大学 大岡龍三助教授)』による。

表-9 単純投資回収年

空調方式	通常システム [千円]	地中熱利用システム				
		施工実績値	杭施工費減	COP向上	HP価格ダウン	
[千円]						
期間成績係数	冷房/暖房	2.90/2.70	5.57/5.05	5.57/5.05	6.00/5.43	6.00/5.43
ランニングコスト		20,282	19,614	19,614	19,569	19,569
差額	通常システムと地中熱	-	668	668	713	713
空冷HP価格*	106 kW	6,020	-	-	-	-
水冷HP価格	高効率型 138千円/RT 27 RT	-	3,726	3,726	3,726	-
"	廉価機 122千円/RT 27 RT	-	-	-	-	3,297
熱源水ポンプ*	7.5kW 65mm 多段 275.2 l/min	-	695	695	695	695
同上設置工事*		-	56	56	56	56
熱源水配管工事*		-	3,062	3,062	3,062	3,062
熱交換杭工事	¥14,564 20m 30本	-	8,738	-	-	-
"	¥7,875 20m 30本	-	-	4,725	4,725	4,725
純工事費計		6,020	16,277	12,264	12,264	11,835
一般管理費	15%	903	2,442	1,840	1,840	1,775
請負金額		6,923	18,719	14,104	14,104	13,611
差額	通常システムと地中熱	-	11,796	7,181	7,181	6,688
回収年数		-	17.7	10.8	10.1	9.4

* 月刊建設物価 2005年2月号より算出