



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	空調用エネルギーパイルシステムに関する研究
Author(s)	濱田, 靖弘; 斎藤, 央; 窪田, 英樹 他
Description	第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 1 建築環境とエネルギー利用 . P1-2
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 7-12
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7134
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-1-2_p7-12.pdf



1-2 空調用エネルギーパイルシステムに関する研究

濱田 靖弘 (北海道大学)
窪田 英樹 (北海道大学)
横山真太郎 (北海道大学)
圓山 彬雄 (アープ建築研究所)

○斎藤 央 (北海道大学)
中村 真人 (北海道大学)
落藤 澄 (北海道大学)
照井 康穂 (アープ建築研究所)

はじめに

本報は、筆者らの研究室において有効性の実証を行ってきた地下熱利用システム^{1),2)}における地中熱交換器のコスト面の改善をめざして、建築物の摩擦杭を空調用熱交換器として利用するエネルギーパイル方式を実際の建物に適用し、その導入効果について明らかにすることを目的としたものである。まず、建築の杭基礎の種類と熱利用の可能性について概説するとともに、2000年12月に竣工した対象建築物と導入設備システムの概要を示す。次いで、設備システムの容量設計段階で行った暖冷房負荷の解析と摩擦杭の性能試験結果を報告し、その省エネルギー性の予測計算を実施する。さらに、暖房および冷房運転の測定経過を整理するとともに、運転実績に基づく導入可能性評価を行ったものである。

面の摩擦力を利用するものである。また、杭は、その製造方法と設置方法とによっても種々の形態がある。図-1に既製杭の分類³⁾を示す。木杭、鋼杭、既製コンクリート杭などがあり、本研究では、コンクリート製の摩擦杭(先端閉鎖型 PHC 杭)を対象とし、杭の中空部分を利用して熱交換を行うものとした。支持杭の場合は、支持層の深度によって埋設深さが変化するが、摩擦杭の場合には、予め長さが決まっているため、空調用の設計にも有利な点が多いのが特徴である。

1. 杭基礎の種類とエネルギー利用

建築物の杭基礎は支持力の機構によって、支持杭と摩擦杭に分類される。支持杭は、杭の先端を堅固な支持層まで打ち込み、その支持力を利用するものであり、摩擦杭は、杭周

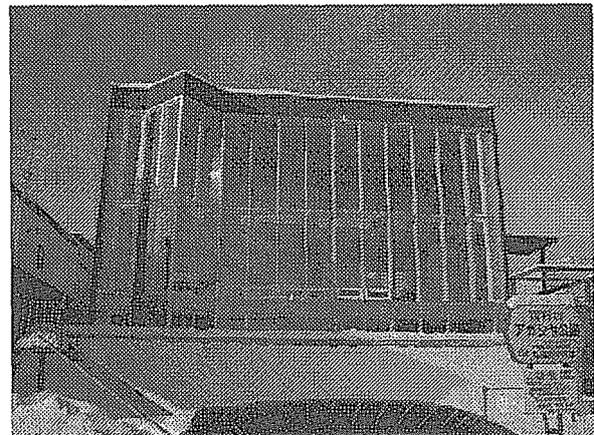


図-2 対象建築物の外観

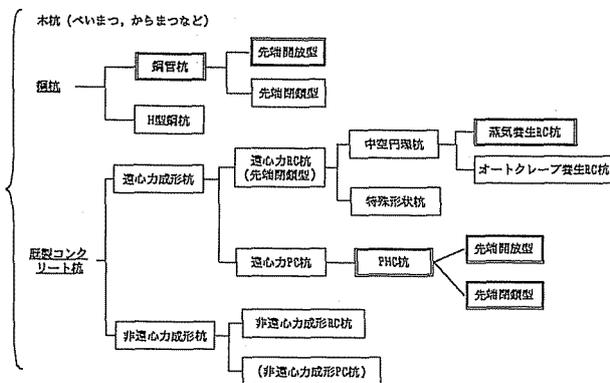


図-1 既製杭の分類

表-1 対象建築物の概要と導入手法

建築概要	
建設地点	札幌市中央区
構造	鉄筋コンクリート造
階数	半地下1階, 地上2階
面積	延床面積247.53 m ² 建築面積92.70 m ² (10.4 m×8.135 m)
導入手法	
建築的手法	外断熱工法 躯体の熱容量利用 日射のバッシブ利用 夏期の日射遮蔽および外気冷房
設備的手法	空調用エネルギーパイルシステム 非フロン系冷媒利用ヒートポンプ 低温水放射射暖房と地下熱直接利用型冷房

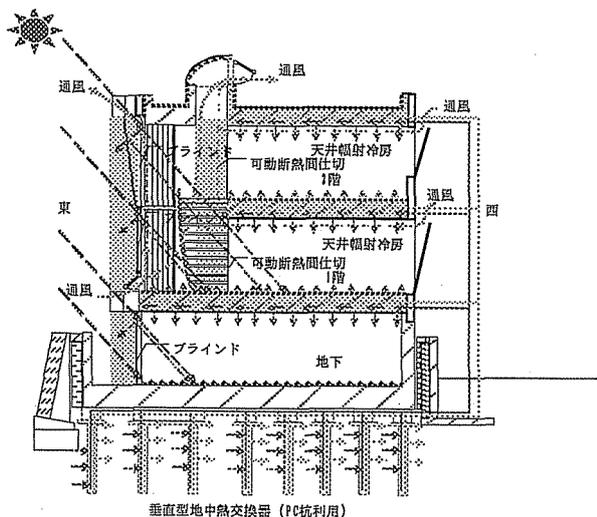


図-3 冷房運転の概念図

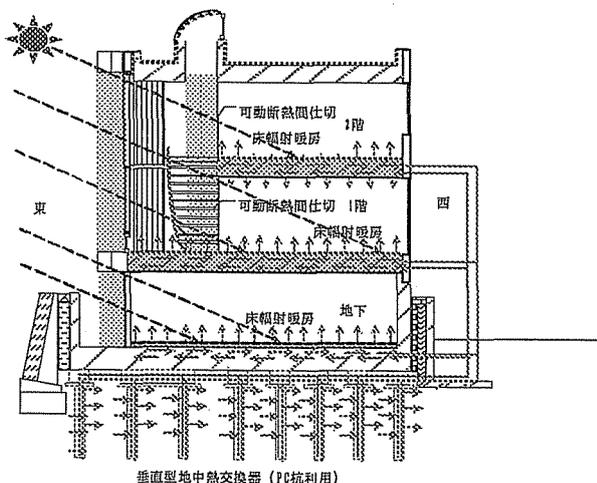


図-4 暖房運転の概念図

2. 対象建築物の概要

2.1 建築物の仕様および導入手法

図-2、表-1 にそれぞれ札幌市中央区に 2000 年 12 月に竣工した対象建築物の外観、およびその仕様と導入手法を示す。建築物の用途は、事務所併用住宅であり、半地下 1 階、地上 2 階建てである。基準階の大きさは 10.4 m × 8.135 m で建築面積が 92.70 m²、延床面積は 247.53 m² である。図-3、図-4 にそれぞれ冷房運転と暖房運転の概念図を示す。鉄筋コンクリート造であり、建物の熱容量は大きい。また、東面に大きな開口部を有するのが特徴である。暖冷房には、建物直下の摩擦杭を利用するものとし、これらを用いて得られた温冷水を床および天井に敷設した配管に送水することによって暖冷房を行う。

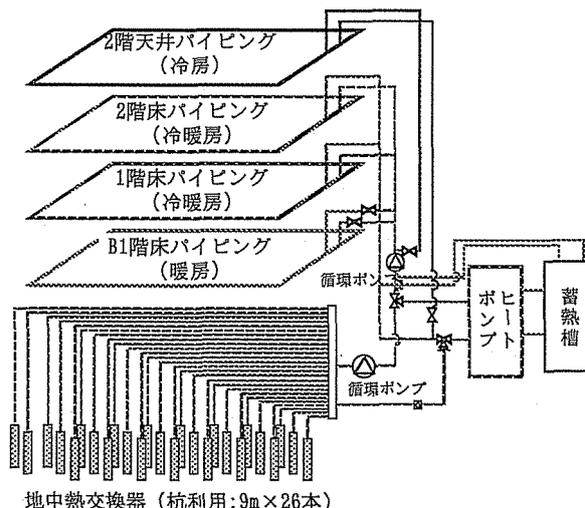


図-5 暖冷房設備の系統図

本研究では、以下の項目に焦点を当てた実測と評価を行うものである。

- 1) 外断熱工法により建設された高熱容量型の建築物における暖冷房負荷および室内環境
 - a) 外断熱による暖房負荷の低減
 - b) コンクリート躯体による室内気温の平準化
 - c) 年間にわたる窓からの太陽熱
- 2) 空調用エネルギーパイルシステムの地中採熱・放熱特性
 - a) 地中採熱量および放熱量
 - b) 地盤内温度の変動特性
- 3) 非フロン系冷媒 (R290) を用いたヒートポンプの運転特性
 - a) 期間成績係数
 - b) 冷媒サイクルの蒸発・凝縮特性
- 4) 低温水放射暖房および同システムによる地下熱直接利用型放射冷房における居住性
 - a) 躯体の蓄熱特性
 - b) 送水温度および運転方法
- 5) 夏期における日射遮蔽および外気冷房

2.2 暖冷房設備の概要

図-5 に暖冷房設備の系統図を示す。暖房方式は、地盤熱源ヒートポンプ (Ground Source Heat Pump: GSHP) であり、深さ 9 m、合計 26 本のコンクリート製摩擦杭 (外径 302 mm、内径 232 mm) を地中熱交換器として用いる。杭

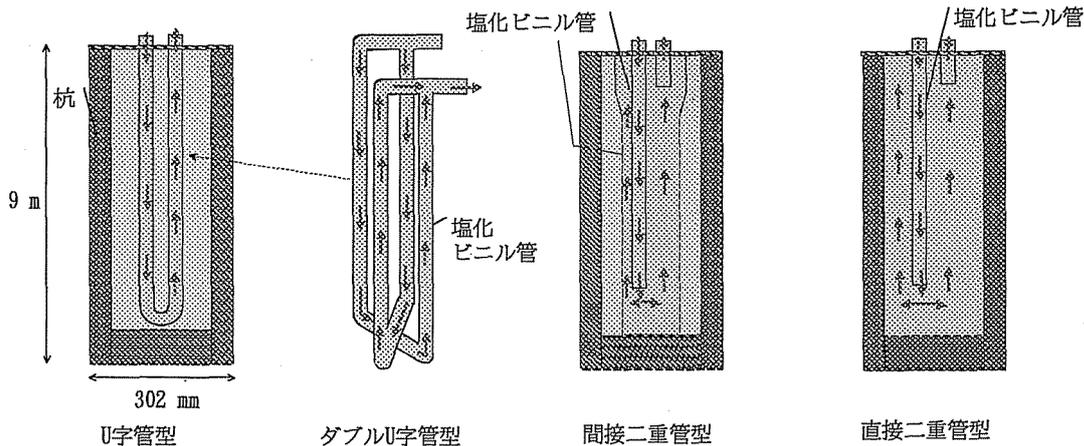


図-6 摩擦杭内部の各種仕様

表-2 暖冷房負荷の計算結果

集中定数系適用手法 ⁵⁾			
最大暖房負荷 (11時間間欠)	45.6 kW		
時刻別熱負荷計算プログラム ⁶⁾			
連続運転	年間暖房負荷	101.41 GJ	457.84 MJ/m ²
	年間冷房負荷	33.02 GJ	149.09 MJ/m ²
	最大暖房負荷	17.3 kW	
	最大冷房負荷	17.4 kW	
間欠運転 (11時間)	年間暖房負荷	80.65 GJ	364.13 MJ/m ²
	年間冷房負荷	30.64 GJ	138.33 MJ/m ²
	最大暖房負荷	49.7 kW	
	最大冷房負荷	23.5 kW	
熱損失係数	2.41 W/(m ² ·K)		

中空部に配管を施し、熱媒を循環させるものとし、空隙部分にはモルタルを充填している。建物側の暖冷房方式については、床および天井に敷設した配管を用いた低温水放射暖房と同系統による簡易冷房を採用した。冷房時には、ヒートポンプを使用せずに、熱媒を直接建物側に循環させることによって、地下の冷熱を取り入れる。暖房に用いるヒートポンプの冷媒にはR290を採用している。地盤側不凍液温度 0°C、建物側温水温度 50°Cの場合の電力消費量、成績係数は、それぞれ3.8 kW、3.3である⁴⁾。温水側には、補助電気ヒーター (4 kW) 内蔵型の蓄熱槽 (200 L) を設けている。

3. 暖冷房負荷の解析

対象建築物の熱負荷特性を把握することを目的として、窪田ら⁵⁾による集中定数系適用手法と熱負荷計算プログラム SMASH⁶⁾による解析を行った。建築物は設計に従い14室に分割した。窓は Low-E ペアガラス (熱貫流率 1.38

表-3 地中熱交換器の性能試験結果

	U字管型	ダブルU字管型	間接二重管型
熱媒送り温度 [°C]	17.79	18.90	21.07
熱媒戻り温度 [°C]	16.21	16.98	19.33
送り・返り平均温度 [°C]	17.00	17.94	20.20
循環流量 [L/min]	4.38	4.06	4.60
放熱率 [W/m]	53.81	54.76	68.71
U字管型基準放熱比 [-]	1.00	1.02	1.28

W/(m²·K)) を用いている。自然換気回数は、1.0回/h として計算を行った。運転時間については、事務所を想定した日中の11時間、および連続運転のそれぞれについて計算を行った。また、暖房時、冷房時の設定温度は、それぞれ20°C、26°Cとした。表-2に暖冷房負荷の計算結果を示す。集中定数系による最大暖房負荷の計算値は、45.6 kWであった。間欠運転における時刻別計算による暖冷房負荷の期間積算値は、それぞれ80.7 GJ (最大暖房負荷49.7 kW)、30.6 GJ (最大冷房負荷23.5 kW) という結果になった。また、建物の熱損失係数は、2.41 W/(m²·K)であった。

4. エネルギーパイルの性能試験

摩擦杭内部の仕様の設計にあたっては、図-6のような四種類の熱交換の方式が考えられる。熱媒が水の場合には、伝熱特性の観点から、直接二重管型が最も望ましい構造と考えられる。一方、不凍液の使用を前提とした場合には、万一の液の漏洩に備える必要があり、U字管型、ダブルU字管型、間接二重管型が考えられる。したがって、今回はこれら三種類

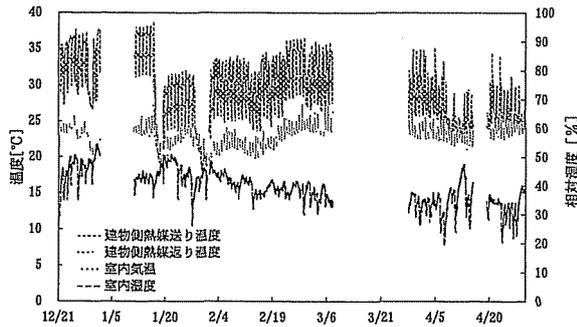


図-10 建物側熱媒温度
および室内温湿度の変動（暖房期間）

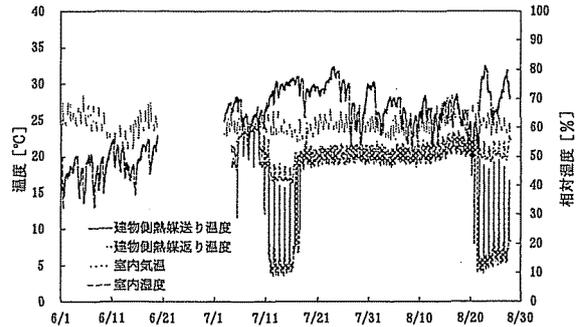


図-12 建物側熱媒温度
および室内温湿度の変動（冷房期間）

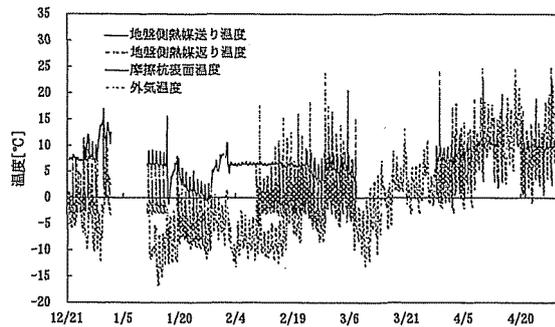


図-11 地盤側熱媒温度，摩擦杭表面温度
および外気温度の変動（暖房期間）

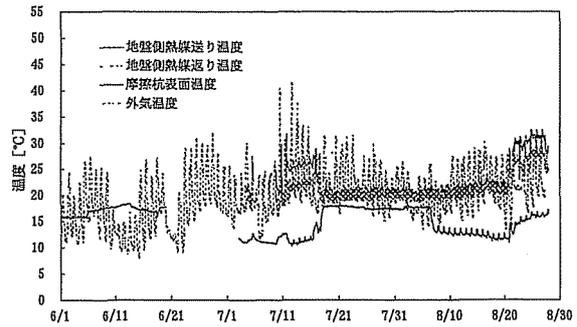


図-13 地盤側熱媒温度，摩擦杭表面温度
および外気温度の変動（冷房期間）

表-4 暖房システムの運転実績
（期間平均値）

室内気温	[°C]	23.3
室内湿度	[%]	38.9
地盤側熱媒温度 [°C]	送り	-0.6
	返り	2.4
摩擦杭表面温度（5点平均）	[°C]	6.7
建物側熱媒温度 [°C]	送り	30.4
	返り	28.4
日積算暖房負荷	[MJ/日]	503.8
日積算ヒートポンプ・変圧器電力消費量	[MJ/日]	173.3
日積算ヒートポンプ稼働時間	[h/日]	14.3
日積算搬送・制御系電力消費量	[MJ/日]	27.5
COP [=Q _h /E _t]	[-]	3.9
SCOP ₁ [=Q _h /(E _t +E _p)]	[-]	3.2
SCOP ₂ [=Q _h /(E _t +E _p +E ₁)]	[-]	2.8

表-5 冷房システムの運転実績
（期間平均値）

室内気温	[°C]	24.4
室内湿度	[%]	60.9
地盤側熱媒温度 [°C]	直接型	送り21.2・返り20.0
	ヒートポンプ	送り27.8・返り24.3
摩擦杭表面温度（5点平均）	[°C]	15.3
建物側熱媒温度 [°C]	直接型	送り20.0・返り21.2
	ヒートポンプ	送り9.5・返り20.0
日積算冷房負荷	[MJ/日]	342.6
日積算ヒートポンプ・変圧器電力消費量	[MJ/日]	97.5
日積算ヒートポンプ稼働時間	[h/日]	10.8
日積算搬送・制御系電力消費量 [MJ/日]	直接型	14.9
	ヒートポンプ	21.4
COP [=Q _c /E _t]	[-]	3.1
SCOP ₁ [=Q _c /(E _t +E _p)]	[-]	2.5
SCOP ₂ [=Q _c /(E _t +E _p +E ₁)]	[-]	2.0
簡易冷房時SCOP ₃ [=Q _c /E _p]	[-]	18.4

所の平均), 図-11 に地盤側熱媒温度, 摩擦杭表面温度 (測定点 5 箇所の平均) および外気温度の変動を示す. 1 月 16 日頃までは建物側熱媒返り温度を 35°C に設定して運転を行っており, 室内気温は 20~26°C の範囲となった. また, 地盤からの返り温度についても平均 2.4°C で安定した推移を示した. 1 月中旬の補修工事に伴う配管内への空気の混入によって, 地盤からの返り温度が一時 -10°C 程度まで低

下したが, 2 月初旬には回復している (空気抜きのため 2 月 8 日まで地盤側熱媒温度測定を中断). また, 摩擦杭表面温度は 2 月の平均が 6.1°C, 4 月の平均が 9.6°C であり, 暖房期間終了時にはほぼ回復している. 表-4 に暖房期間における運転実績を示す (Q_h: 暖房熱量, E_h: ヒートポンプ電力消費量, E_p: 搬送・制御系電力消費量, E₁: 変圧器電力消費量). 蓄熱槽における損失を含む成績係数 (COP) は 3.9 であ

り、比較的高い値が得られている。一方、搬送・制御系の電力消費量、変圧器損失を考慮したシステム成績係数 ($SCOP_3$) は 2.8 であった。

冷房運転は、6 月上旬より行っている。図-12 に冷房期間における建物側熱媒温度および室内温湿度 (測定点 4 箇所) の平均、図-13 に地盤側熱媒温度、摩擦杭表面温度 (測定点 5 箇所) の平均) および外気温の変動を示す。7 月中旬から 8 月中旬までは、地下冷熱を直接建物に取り入れる簡易冷房を行っており、この期間の建物への送り温度は約 20°C であり、室内気温は $23\sim 26^{\circ}\text{C}$ を推移している。表-5 に冷房期間における運転実績を示す (Q_c : 冷房熱量)。簡易冷房時のシステム成績係数 ($SCOP_3$) は 18.4 であり、非常に高い値が得られた。

ま と め

- 1) 摩擦杭を空調用熱交換器として利用するエネルギーパイルシステムを 2000 年 12 月に竣工した札幌市内の事務所併用住宅に適用した。
- 2) 杭内部の仕様の設計にあたって、三種類の性能試験を実施した結果、経済性、施工性、安全性などの観点から、U 字管型を採用することとした。
- 3) 数値解析により予測を行った結果、暖房期間採熱量、冷房期間放熱量は、それぞれ 59.2, 62.6 GJ であった。両者は比較的近い値となっており、熱収支の均衡のとれた年間サイクルが得られると考えられる。また、従来方式に対する一次エネルギー削減率は、57.4% となった。
- 4) 2000 年 12 月中旬より開始した暖冷房とその測定経過を整理した。暖房期間平均の地盤側返り温度は 2.4°C 、摩擦杭表面温度は 6.7°C であった。室内気温は $20\sim 26^{\circ}\text{C}$ を推移している。また、ヒートポンプの COP は 3.9、簡易冷房時の $SCOP_3$ は 18.4 となった。

本研究における対象建築物は、株式会社アーク建築研究所の設計・監理によって、岩田住宅商事株式会社が施工し、2000 年 12 月に竣工したものである。本研究の一部は、科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業における“環境低負荷型の社会システム”研究領域〔研究統括：茅陽一名誉教授(東京大学)〕の公募研究“自立型都市をめざした都市代謝システムの開発”〔研究代表者：柏木孝夫教授(東京農工大学)〕によった。

[参考文献]

- 1) K. Ochifuji et al.: Ground-source Heat Pump Systems in Japan, IEA Heat Pump Centre Newsletter, 17-1(Mar., 1999), pp.13~14
- 2) 落藤 澄: 地下蓄熱の現状, 建築設備&昇降機, 21(1999-9), pp.10~15
- 3) 杭基礎の調査・設計から施工まで改訂編集委員会: 杭基礎の調査・設計から施工まで, 土質工学会(1993-5)
- 4) Stiebel Eltron: Wärmepumpen-systeme planung und installation(Mar., 2000), pp.33~37
- 5) 窪田英樹ら: RC 造建物における間欠暖房時の室温と最大暖房負荷の集中定数系適用による把握, 日本建築学会計画系論文集, 530(2000-4), pp.19~24
- 6) 建築環境・省エネルギー機構: 住宅用熱負荷計算プログラム SMASH for Windows Ver. 2 ユーザーマニュアル(2000-9)
- 7) 濱田靖弘・落藤 澄ら: 地盤熱利用を導入した自律型エネルギーシステムの解析と評価, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2000-9), pp.1541~1544
- 8) 濱田靖弘・中村真人ら: 自然エネルギーをハイブリッドに活用したエネルギー自律型住宅に関する研究(第 3 報) 数値解析による年間エネルギー収支および土壌熱源ヒートポンプの評価, 空気調和・衛生工学会論文集, 80(2001-1), pp.77~86
- 9) 成田樹昭・落藤 澄ら: 札幌市における低温都市排熱の利用に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, 59(1995-10), pp.49~59