

コンクリート杭を熱交換器とした 地中熱ヒートポンプシステム

建物に外ルーバーなどの省エネのための工夫やクールチューブ・ソーラーチムニーなどの自然エネルギー利用技術が積極的に盛り込まれている東京大学柏キャンパス環境棟。今回はその中でも、自然エネルギー利用技術のひとつとして採用されている「場所打ちコンクリート杭を熱交換器とした地中熱利用ヒートポンプシステム」について、紹介いただいた。

関根賢太郎

大成建設(株) 技術センター 建築技術研究所 環境研究室 主任研究員

大岡 龍三

東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター 准教授

柴 芳郎

ゼネラルヒートポンプ工業(株) 開発部 次長

横井 睦己

大成建設(株)設計本部 設備計画グループ シニア・エンジニア

1. はじめに

東京大学柏キャンパス環境棟は、本郷・駒場キャンパスとともに、東京大学の三極構造の一極を担うとして位置づけられている柏キャンパス内にある。入居する環境学研究系は、新領域創成科学研究科の一翼を担い、環境問題の解決と明日の環境の形成法を研究する学科である。

そのため、建物には外ルーバーなどの省エネのための工夫やクールチューブ・ソーラーチムニーなどの自然エネルギー利用技術が積極的に盛り込まれている。今回は、自然エネルギー利用技術の一つとして採用した『場所打ちコンクリート杭を熱交換器とした地中熱利用ヒートポンプシステム』の概要を紹介する。

2. 建築概要

建物名称：東京大学柏キャンパス環境棟
所在地：千葉県柏市柏の葉5-1-5

事業者：とうきょうアカデミックサービス
計画コンセプト・建築設計ディレクション

：大野秀敏＋東京大学大野研究室

設計：日本設計・大成建設設計共同企業体

監理：日本設計

施工：大成建設千葉支店／関電工千葉支店

建築面積：3,490.36m²

階数：地上7階，地下1階，棟屋1階

延床面積：21,031.77m²

構造：鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）

写真-1に建物外観を示す。建物は、足元のコリドーを作る列柱と断熱鋼板パネルと有孔亜鉛メッキ鋼板のルーバーが各面で異なる表情をつくる上層階から構成されている。

3. 地中熱利用ヒートポンプシステム

図-1に地中温度と外気温度の関係を模式的に示す。地中の温度は、地表面および地表面から10

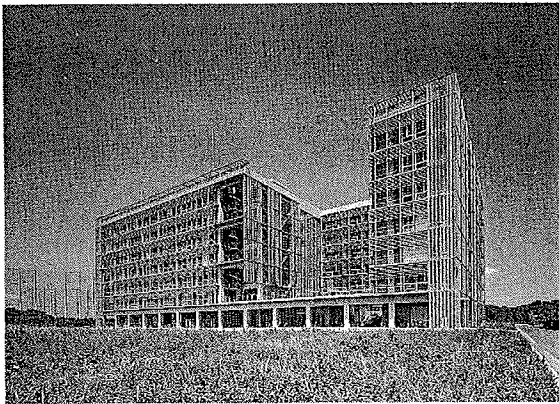


写真-1 建物外観

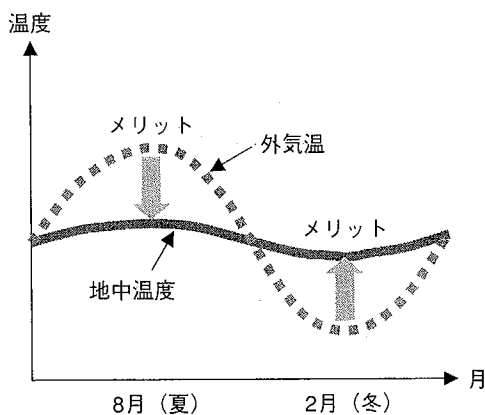


図-1 地中温度と外気温の関係

mより浅い部分は、外気温や日射・積雪などの影響を受け年間で変動する。しかし、10mより深い部分に関しては、その地域の年間平均気温とほぼ同じであり、1年を通じて安定した温度を得ることが可能である。

地中熱利用ヒートポンプシステムは、この土壤の恒温性と莫大な蓄熱能力を活かし、夏期冷房時に土壤をヒートポンプの放熱源（ヒートシンク）、冬期暖房時は採熱源（ヒートソース）として利用することで、熱源機器の高効率運転や季節間を通じた排熱の有効利用による省エネ・二酸化炭素排出削減に貢献する空調システムである。

また、空調排熱を大気に放熱しないため、都市部における熱汚染（ヒートアイランド）防止にも寄与するものと期待できる。しかし、地中と熱交換を行う配管を埋設するための地盤掘削費が高価であることが適用物件増加の障害となっている。

そこで本建物には、地盤掘削費削減を目的に開発を行った建物の基礎杭である場所打ちコンクリート杭と地中熱交換用配管を同時に施工し、熱交換器として利用する地中熱利用ヒートポンプシステムを導入した。

4. システム概要

(1)空調システム概要

図-2にシステム図を示す。地中熱利用ヒートポンプシステムは、本施設利用者の接する機会が多い1階エントランス部分（約100m²）の空調に利用することとした。そこで、総本数90本ある場所打ちコンクリート杭の1本を熱交換杭とした。

熱交換杭は、直径1.5m×深さ18mの杭周囲に熱交換用配管（高密度ポリエチレン管：PE100Uチューブ20A）を8対設置した。

地中熱利用ヒートポンプは、冷却：4.4kW、加熱：5.0kWとし、二次側負荷処理用として除湿型放射冷暖房パネル（冷却：4.4kW（顕熱：2.5kW、潜熱：1.9kW）、加熱：4.6kW）を設置した。写真-2に地中熱利用ヒートポンプ、写真-3に除湿型放射冷暖房パネルを示す。

なおエントランス以外の教室や研究室の空調方式は、個別分散方式（ビルマルチ方式）を採用している。

(2)熱交換杭概要

写真-4に熱交換杭施工時の状況を示す。熱交換用配管は、場所打ちコンクリート杭の構造用鉄筋（鉄筋かご）に直接取り付けず、掘削孔と鉄筋かごの芯がずれないように鉄筋かごに取り付けられている偏芯防止用のスペーサーにインシュロック（ビニル結束紐）で取り付けた。

これにより、熱交換用配管が構造設計で決定された杭径内部ではなく杭径外周部に配置されるため、鉄筋のかぶり厚さ確保と断面欠損による構造耐力の低下を防止している。

また杭外周部に設置することにより、隣接する熱交換用配管との離隔をとり、配管同士の熱干渉

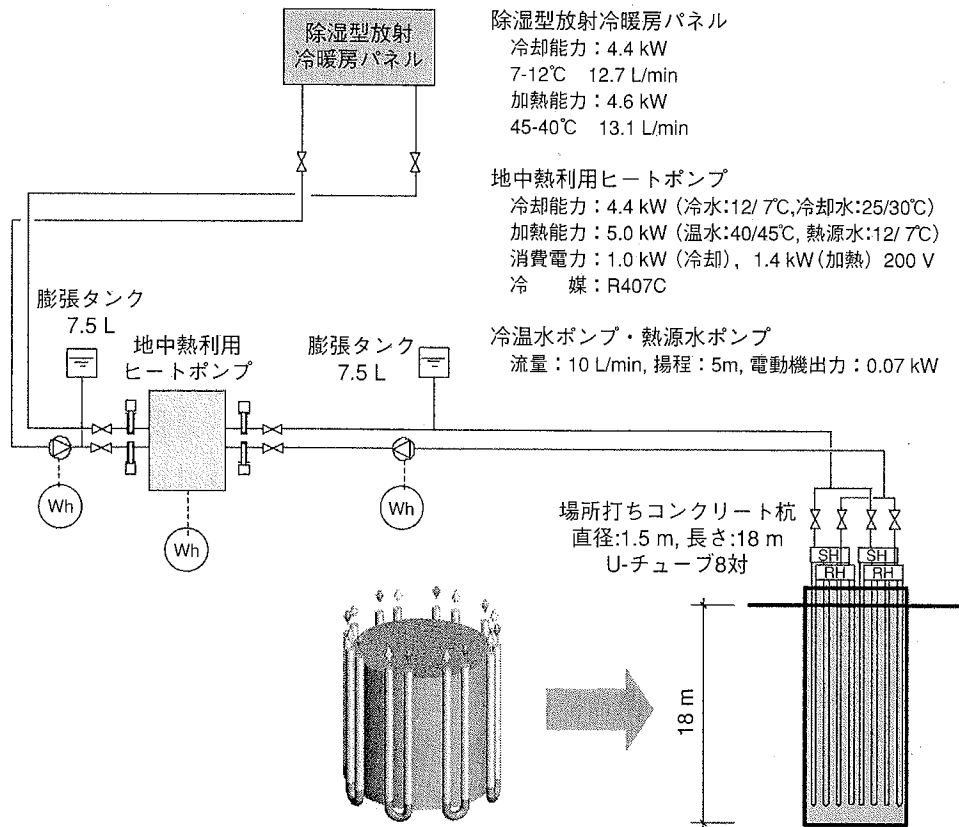


図-2 システム図

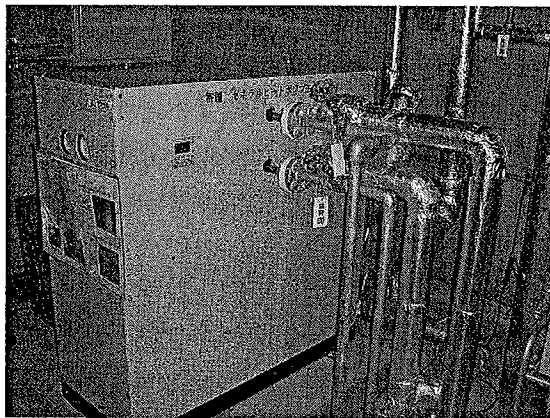


写真-2 地中熱利用ヒートポンプ

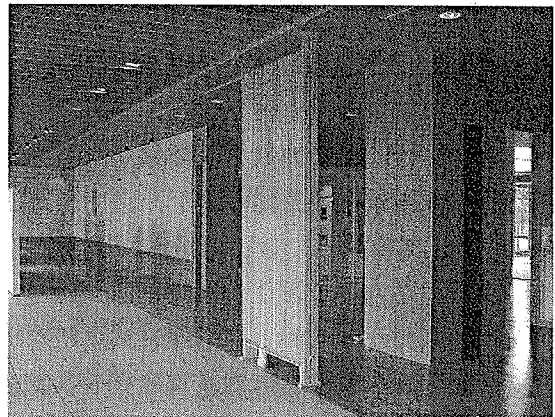


写真-3 除湿型放射冷暖房パネル
(エントランスに設置)

をできる限り抑え、地中採放熱量を最大化させることも意図している。

施工実績をもとに算出した熱交換杭の単位採放熱量当たりのインシャルコストは、一般的に用いられるボアホール方式と比較すると約1/4であり、インシャルコスト削減効果が確認できた。

5. 運転実績

施設は、2006年4月から利用が始まった。そこで本システムの実負荷での運転性能の把握を行った。運転期間および時間は以下の通りである。
 冷房期間：2006年7月6日～9月30日

運転時間：月～金 10：00～17：00

(1)冷房運転状況

図-3に夏期冷房期間（代表週）の運転状況を示

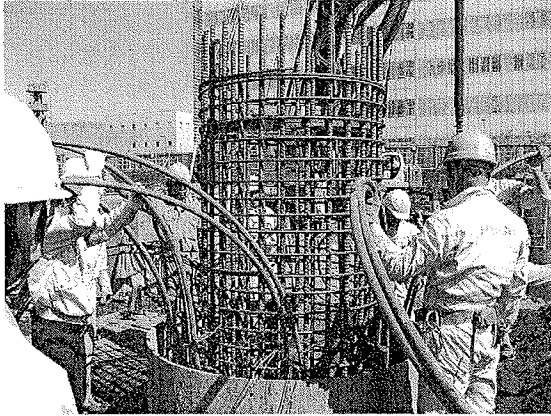


写真-4 熱交換杭施工状況

す。

熱源水行き（ヒートポンプ→地中）の温度は、26.8℃から32.6℃で運転しており、代表週の運転期間平均温度は、30.6℃であった。一方、地中へ放熱した後の熱源水還り（地中→ヒートポンプ）の温度は、22.9℃から28.2℃で運転し、期間平均温度は26.2℃であり、熱源水往還温度差は平均4.4℃であった。

一方、夏期冷房期間（代表週）での空調運転時間の外気温度は、26.0～35.6℃、平均外気温度は29.7℃であり、熱源水還り（地中→ヒートポンプ）の期間平均温度との差は3.5℃であった。このことから運転期間中は、地中熱の利用により大気を利用した熱源よりも効率の高い運転ができたこと

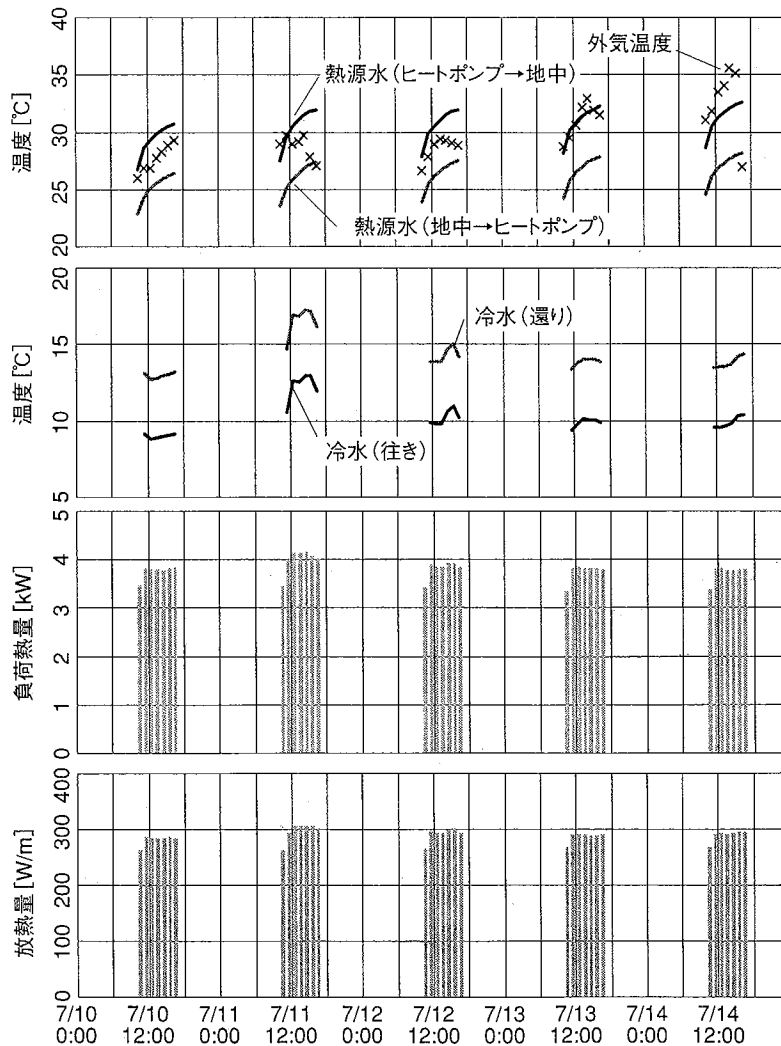


図-3 夏期冷房期間（代表週）運転状況

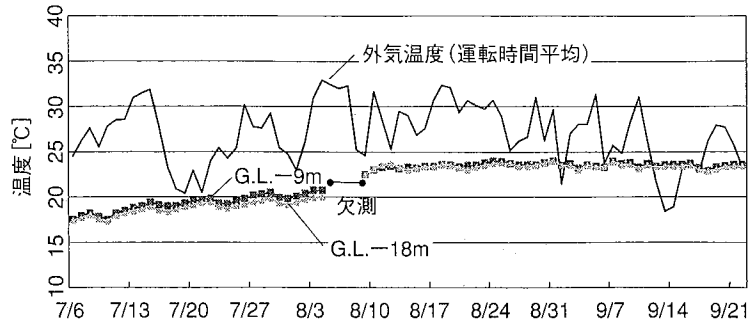


図-4 冷房期間地中温度変動

になる。冷水（行き）温度は、8.8～13.0℃、平均10.3℃と設計値に比べ若干高いが、冷水（還り）との温度差も約4.0℃であった。

負荷熱量は、夏期冷房期間（代表週）中3.4～4.2kW、平均3.8kWであった。夏期冷房期間（代表週）の負荷熱量合計は、133.5kWh、ヒートポンプ消費電力量は31kWhであり、機器単体COPは4.31とほぼ定格通りの運転を行うことができた。

地中への杭長さ当たりの放熱量は、264～307W/m・本、期間平均で290W/m・本であった。杭1本当たり熱交換用配管は8対設置しているため、熱交換用配管1対当たりにすると約36W/m・対であり、計画時に敷地条件（造成地〔盛土〕）を考慮して行った事前シミュレーション結果とほぼ同じ値となった。

(2)地中温度

図-4に冷房期間中の地中温度変動を示す。なお、地中温度測定点は単独で設置しておらず、地中熱交換杭の配管表面に設置した温度センサで代用した。そのため、運転中の配管温度の影響を受けないようにするため、運転開始直前の9:00の温度をグラフ化した。

G.L.-9m（杭深さ方向中央）と-18m（杭最深部）では、大きな差は見られなかった。運転開始時の7/6は17.5℃であった地中温度は、放熱の影響を受け運転開始から徐々に上昇し、運転終了時の9/21は23.5℃となった。このことから、運転開始から終了までの空調排熱の影響で地中温度は約6.0℃上昇したことになる。

空調運転時間の外気温度の平均と地中温度を比

較すると冷房期間後半で外気温度が地中温度を下回る日が出現するが、それ以外は地中温度が低く、地中熱利用の有効性が確認できた。

6. おわりに

本施設は、2007年3月末で1年を経過した。今回示したデータをもとに、より効率的な運転となるよう調整を行い、今後も長期での運転実績データを蓄積し、本システムの有効性を検証していく予定である。なお本システムは、東京都内の某事務所ビルにて杭本数20本、杭長37mでの適用が決定し、現在施工中である。この施設においても竣工後の運転実績データのフォローを行う予定である。

今後も環境配慮型建築などに本システムを積極的に提案し、省エネと地球環境保全に対して貢献していく予定である。

本研究の一部は、平成15・16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）』によった。

謝辞 除湿型冷暖房放射パネルの導入に際しては、ピーエス社のご協力を得た。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 関根賢太郎・大岡龍三・横井睦己・柴芳郎・黄錫鎬・南有鎮：場所打ち杭を用いた地中熱空調システムの普及・実用化に関する研究（第1報）実験による熱特性の把握とフィージブルスタディ、空調和・衛生工学会論文集No.107（2006年2月）