



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Design and performance evaluation methodology of thermal piles with large diameter and heat capacity [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	YANG, Kunning
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15853号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91750
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	YANG_Kunning_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 YANG Kunning

審査担当者 主 査 准教授 葛 隆生
 副 査 教 授 長野 克則
 副 査 特任教授 林 基哉
 副 査 教 授 森 太郎

学位論文題名

Design and performance evaluation methodology of thermal piles with large diameter and heat capacity

(熱容量を持つ大口径基礎杭利用地中熱交換器の設計・性能評価手法に関する研究)

人類が直面する最大の環境問題は地球温暖化であり、その主な原因は二酸化炭素等の温室効果ガスの排出である。温室効果ガスの主な原因は、化石燃料の大量消費であり、特に、建築物のエネルギー消費、その中でも冷暖房のエネルギー消費は大きな割合を占めている。地中熱ヒートポンプ (GSHP) システムは、冷暖房のエネルギー消費を削減できる熱源システムとして住宅や商業ビルへの導入が進められている。しかし、地中熱交換器 (GHE) の設置には大きなコストを要することから、拡大が妨げられている。

建物の基礎杭を GHE として利用するサーマルパイルは、基礎杭と GHE を兼用するため GHE 設置に要する掘削が不要となり、設置コストが小さくなるという利点がある。更に、大口径で熱容量が大きいこと、優れた採放熱性能を有している。しかしながら、サーマルパイルの動特性を考慮したシミュレーションや採放熱性能の評価手法は世界でも確立されていないのが現状である。本論文は既成コンクリート中空杭である PHC 杭に二重スパイラル管を設置したサーマルパイルを対象として、動特性を考慮したシミュレーションと採放熱性能の評価手法を確立し、更にはシミュレーションを応用して、PHC 杭に二重スパイラル管を設置したサーマルパイルの最適なスパイラル間隔について、評価を行っている。

以下に各章の内容を記載する。

第 1 章は序論であり、研究の背景を説明している。また、サーマルパイルの設計と性能評価のための新しい方法論の考案に焦点を当て、研究の目的を概説している。

第 2 章では、サーマルパイルに関する既存の研究について文献レビューを行っている。この章では、既往の研究で生じている研究ギャップを明らかにし、本論文で提案する新しい設計・評価手法の開発に関する研究の位置づけを確立している。

第 3 章では、PHC 杭に二重スパイラル管を設置したサーマルパイル GHE 内部の伝熱計算手法の構築とその応用である。本論文ではサーマルパイル内部の伝熱計算手法として、Capacity Resistance Model (CaRM) を採用しているが、スパイラル GHE の垂直断面が床暖房の断面に類似していることから、床暖房の伝熱計算を行う際に導入するフィン効率を応用している。構築された GHE 内部の伝熱計算手法の精度については、札幌市の事務所建物に導入された、PHC 杭に二重スパイラル管を設置したサーマルパイルを用いた GSHP システムの実測データとの比較により検証している。

結果として、計算はよい精度が得られることが確認され、CaRM とフィン効率を適用することで、実用的な精度と計算速度が得られることを明らかにしている。

第 4 章では、事務所建物に導入された PHC 杭に二重スパイラル管を設置したサーマルパイル GHE の性能分析についてである。本章では、GHE の性能をより正確に評価するために、単位採放熱係数という指標を導入し、更には単位採放熱係数のヒストグラムを作成することで、可視化を試みている。この方法により、サーマルパイル GHE の単位採放熱係数を約 $4 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ と評価し、従来のボアホールシングル U チューブ型 GHE と比較して採熱量が約 2 倍となることを示している。更に収集したデータを用いて、期間平均 COP や GHE の年間採熱量/放熱量を評価しており、建物の高断熱化と気候の温暖化によって冷房負荷が相対的に増大し、時には冬の暖房需要を上回ることがあることを示している。

第 5 章では、第 3 章で紹介した PHC 杭に二重スパイラル管を設置したサーマルパイル GHE の内部温度計算手法と、第 4 章で示した性能評価指標を組み合わせて開発した、サーマルパイルの最適設計手法を示している。具体的な手法として、二重スパイラル管 GHE の内部温度計算手法をもとに GHE の単位採放熱係数を計算し、建物の熱負荷に応じた必要な GHE の長さとお本数を求めて、GHE の配管コストや設置コストが最小となる最適なピッチ間隔を計算している。本章ではまず、この最適化設計法の計算手順について述べている。さらに本章では、この開発した手法を応用して 1 日の稼働時間、不易層温度、地盤の有効熱伝導率、杭の長さ、杭の直径など、様々な条件を変化させたときの最適なピッチ間隔を求めている。そして第 3 章で紹介したサーマルパイルではスパイラルの最適ピッチが約 300mm であることを示している。

第 6 章では、本研究で得られた知見をまとめ、今後の研究の展望について述べている。

これを要するに筆者は、サーマルパイルなどの内部に大きな熱容量を有する GHE に対して、実用的な精度と計算速度を有している計算モデルとシミュレーションを開発し、更にはそれを応用してスパイラルのピッチ間隔等の最適仕様を求める方法を示している。これは GHE の最適設計の実現、ひいては再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に貢献し、エネルギー環境工学の発展に寄与することが大きいと考える。よって筆者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。