

## 審査の結果の要旨

氏名 関根 賢太郎

本論文は、省エネルギー技術である地中熱空調システムを日本の都市部で利用できる技術として確立するため、場所打ち杭を利用した新たな熱交換器の提案、実大実験による熱特性の把握・低コスト施工法の検討・採放熱量予測モデルを用いた地中熱交換器の最適化の検討・東京の事務所ビルをモデルとしたフィージビリティスタディを行い、技術資料として整備したものである。

地中熱空調システムは、恒温性のある土壌をヒートポンプの採放熱源として利用することで、季節間を通じた排熱の有効利用を図り、省エネルギーや二酸化炭素排出削減に貢献するシステムであるとともに、都市部における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、日本では地中熱交換器を埋設するための地盤掘削費が高く、適用の障害となっている。

そこで本論文では、掘削費削減のため、都市部で利用が増加している場所打ち杭を地中熱交換器として利用するシステムについて検討を行う。さらに日本独特の地質性状を考慮した熱特性や設計・施工方法、イニシャルコストを反映した投資対効果などについても検討を行った。

本論文の構成は、第1章の研究背景と目的を含め、全8章から構成される。

第2章は、これまでの研究と地中熱交換方式をまとめ、問題点を整理している。また場所打ち杭を利用した新たな地中熱交換方式の提案を行っている。この方式は、直径800～4000mmの場所打ち杭の外周部に樹脂製の熱交換用配管を複数本設置する。杭径外周部に設置することにより、構造設計上の断面欠損を回避し、熱交換用配管同士の熱干渉を抑え、採放熱量を最大化させることを意図している。熱交換用配管は樹脂製配管を使用し、半永久的に利用可能としている。

第3章は、提案した場所打ち杭を利用した地中熱交換器の熱特性(地中採放熱量)の把握や各種データの収集を目的に実大実験装置を構築し、事務所ビルを想定した冷房・暖房実験を行った結果を述べている。その結果、(1)平均採放熱量は170～190W/m本(22.5W/m対)となり、杭長20mの場合、杭1本で約2フロア分の空調負荷を負担できる。(2)熱源COPは、4.65(冷却)、4.00(加熱)となり、空気熱源ヒートポンプと比較すると50～60%効率が良いことを明らかにしている。

第4章は、提案した地中熱交換器を実際の建物で施工し、知見の収集やイニシャルコストの算出を行っている。その結果、(1)通常杭と比較した場合、施工時間および人工が増え、約1.5万円/mのイニシャルコスト増となる。(2)一般的なボアホール方式と比較すると単位採放熱当りのコストは72円/mとなり、ボアホール方式の約1/4であることを明らかにしている。

第5章は、地中熱交換器のイニシャルコスト削減に向けた新たな施工法と工法に適した配管材に関する検討を行った結果を述べている。その結果、(1)地上部で鉄筋かごに熱交換用配管をあらかじめ取り付けしておく工法(配管接続工法)を提案した。(2)配管接続工法に適した配管材および接続方法の検討を行った結果、耐衝撃性硬質塩化ビニル管(HIVP)が適している。(3)HIVP の場合、先端部に緩衝材を 2mm 巻くことで熱応力による疲労破壊を防げる。(4)イニシャルコストは 6153 円/m となり、試験適用時の約 60%の削減が可能であることを確認している。

第6章は、モデル建物での地中熱交換器の最適化の検討を地下水流も考慮した地中熱移動シミュレーションを用いた採放熱量予測モデルで行った結果に関して述べている。その結果、(1)杭周囲の配管対数(4・8・16 対)を比較した結果、熱源水温度が冷房時低く、暖房時高い 8 対が最も適している。(2)管内流速(1/2・1・2 倍)を比較した結果、2 倍が最も適しているがポンプ動力が増えるため、乱流( $Re > 2100$ )となる流速とし、循環水と地中の温度差を大きくすることが重要であることを確認している。

第7章は、東京の中規模事務所ビルをモデルとして、地中熱空調システムと他熱源システムとのフーズブルスタディを行い、ライフサイクルなどを評価している。その結果、(1)空冷ヒートポンプシステムを 100%とした場合、地中熱システムは 7%のエネルギー削減効果がある。(2)ランニングコストは約 30 万円/年のコストダウンとなる。(3)熱交換杭を配管接続工法にした場合、単純投資回収年数は 8.0 年となる。(4)LCCO<sub>2</sub>は 7%の削減となり、地球環境保全の立場からも有効なシステムであることを確認している。

第8章は、結論と今後の展開を述べ本論文のまとめを述べている。

以上を要約すると、本論文は地中熱空調システムを日本の都市部の事務所ビルで利用できるシステムとして確立するために、掘削費削減を目的に近年利用が増えている場所打ち杭の周囲に熱交換用配管を設置した新たな熱交換器の提案を行い、実大実験による熱特性の把握や利用配管材も含む施工法の検討を行ったことは、システムの普及に資するところが極めて大きい。さらに熱交換器形状の最適化の検討を日本独自の地層状況である地下水流を加味したシミュレーションにより行い、最後にモデル建物でのフーズブルスタディにより運転月や時間を考慮することにより、従来 50~60 年と言われている投資改修年数が 10 年以内となることが可能であることを示したことは、今後の地中熱利用システムの設計・検討資料として極めて重要かつ有効であり、建築環境工学に寄与するところ大である。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。