



Title	Study on new thermal response test analysis with partial groundwater flow and its application for ground source heat pump system design [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	蔡, 浩秉
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第14680号
Issue Date	2021-09-24
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/83260
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Hobyung_Chae_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

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 Hobyung Chae

審査担当者 主 査 教 授 長野 克則
副 査 教 授 濱田 靖弘
副 査 教 授 田部 豊
副 査 准教授 葛 隆生

学位論文題名

Study on new thermal response test analysis with partial groundwater flow and its application for ground source heat pump system design

(部分的に地下水流れが存在する地層に対する新しい熱応答試験の解析方法と地中熱ヒートポンプシステム設計への応用)

再生可能エネルギー熱を利用した地中熱ヒートポンプ (GSHP) システムは暖冷房・給湯システムに適用でき、nZEB(ネットゼロエネルギービル)には欠かせないアイテムの一つである。GSHP は地中から採放熱するためにボアホール型地中熱交換器 (BHE) を複数本設置することが多い。しかし、BHE 構築費用が高価なための確かな BHE 規模算定が求められるが、それに欠かせない地盤の有効熱伝導率 λ_e の推定には熱応答試験 (TRT) の実施が世界標準である。これは一定加熱時の BHE 内熱媒温度変化から λ_e を推定する方法である。一方、我が国をはじめ世界の都市の多くは歴史的に扇状地や川筋に沿って発展してきた。これらの地域では地下水が豊富に存在し、TRT から推定された λ_e はその地質特有の λ_e よりも大きな値を取ることがしばしばある。これは、地盤内熱移動において地下水の移流効果に加わったことによる。しかし、標準的な TRT の解析には熱伝導のみを考慮した Kelvin の線源理論が適用されるので、本来、顕著な地下水流れ場には適用できないことに加え、この方法で得られた λ_e を用いて規模算定を行うと過大設計になることが示されている。そのため顕著な地下水流れが存在する地盤に対しては、伝導と移流を別々に定量化できる新たな TRT 解析方法が必要である。

本論文は、地層の一部に顕著な地下水流れが存在する条件において、 λ_e と u を推定する新たな TRT 解析方法を提案した。加えて、本提案の TRT 解析方法により推定した λ_e と u を用いて 30 年間の長期性能予測シミュレーションを行い、BHE の必要長さや本数、ライフサイクルコスト (LCC) を算定し、従来の解析方法に比べて BHE の必要長さや LCC が大幅に削減される結果から、本論文で提案する TRT 解析方法の優位性を示したものである。

本論文は 7 章から構成されている。

第 1 章は、研究背景と研究開発の傾向、研究目的である。

第 2 章では、地中温度計算手法、GSHP シミュレーションツール、TRT と解析方法を整理し、本研究の動機を示した。

第 3 章は、地盤を一つの層として扱った場合の地層の平均的な λ_e と u を同時に推定する TRT 解析方法を提案した。これは、移動線熱源理論 (MLS) を適用して実際の TRT の熱媒温度の時間変化との最小二乗平均平方根誤差 (RMSE) が最小となる λ_e と u の組み合わせを求めるものである。実際に

秋田県鹿角市で実施した TRT 結果を本方法で解析し、得られた λ_e と u を用いてこの地点に建つ事務所ビルの 2 年間の冷暖房時の BHE 熱媒温度変化を計算したところ、従来法に比べてより精度良く再現できる結果が得られた。

第 4 章では、地下水流速に応じて複数の層に分割する方法論と各層の λ_e と u を推定する方法を提案した。ここでは、地下水流れによる移流効果の強度の指標として加熱終了後にある温度にまで回復するまでの無次元温度緩和時間 (RTT^*) を新たに導入して、それに応じて地層を分割する。各層における λ_e と u の推定方法は前章と同じである。前章と同じ対象建物について計算を行ったところ、熱媒温度の誤差はさらに小さい結果となった。

第 5 章では、GSHP システムの LCC について、鹿角市に加え、カナダ、中国の地下水流れが観測される地点において第 4 章で開発した TRT 解析方法を用いて推定した λ_e と u を用いて長期性能予測を行った。一部の地層にある程度の地下水流れがあれば、BHE の総延長は 30~40 % 削減でき、この条件において長年稼働しても BHE の熱媒温度の低下はほとんど見られず高効率に運転され、LCC も 15~20 % 削減されることが示された。

第 6 章は、複層地盤を対象に伝導・移流による熱移動を考慮した GSHP 冷暖房システムの設計性能予測ツールの作成である。本論文で提案した TRT 解析から得られた各層の λ_e と u を入力すると、建物に導入された GSHP 冷暖房システムの長期性能予測と LCC の計算が可能である。

第 7 章では、本研究で得られた結論を総括し、今後の研究の展望について記した。

これを要するに、著者は地層の一部に地下水流れが存在する地点での地中熱ヒートポンプ (GSHP) システムの設計において適切な BHE 規模算定に必要な地盤の有効熱伝導率 λ_e と地下水流速 u を熱応答試験から定量的に推定する新たな解析方法を提案し、この有効性を現場データから実証すると共に、本解析結果を用いて算定した BHE の必要長さは従来方法に比べて 30~40 % 削減できる可能性を示した。これは環境設備工学、空間性能システム学の進展に寄与するところ大である。

よって著者は、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。