

P12. 広域を対象とする地中熱導入可能性の評価手法に関する一提案

A Simple Evaluation Method of Geothermal Source Heat Pump System Application Possibility for Wide-area

○富樫 聡, 西山浩平, 山本 晃, 檀 智之, 高橋 努 (八千代エンジニアリング)
Akira Tomigashi, Kohei Nishiyama, Akira Yamamoto, Tomoyuki Dan, Tsutomu Takahashi

1. はじめに

GSHP (Geothermal Source Heat Pump System) の普及促進にはポテンシャル評価に基づく導入適地の選定が重要となるが, 地下水地盤環境の定量化が難しいこともあり, 現状では地下熱のポテンシャル評価手法は一般化されていない. そこで本研究では, 既往研究報告¹⁾も参考にして, 比較的収集が容易な水理地質情報を用いた地中熱ポテンシャルの定量評価手法を考案し, これをモデル地域に適用した.

2. 地中における熱伝導の理論とパラメータの考え方

地中熱交換井周辺の熱伝導現象は, 以下に示す円筒座標系の熱伝導方程式で表すことができる.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{(\rho C)} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (1)$$

ここに, T は地層の温度[K], t は時間[hr], r は半径[m], λ は地層の平均熱伝導率[W/m/K], (ρC) は地層の平均体積熱容量[kJ/m³/K]である. また, ρ は地層の平均土粒子密度[kg/m³], C は地層の平均比熱[J/kg/K]である. したがって, 地域特性を示すパラメータは, λ と (ρC) の2つであることがわかる. 以降では簡単のため, λ を地層の熱伝導率, (ρC) を地層の体積熱容量と呼ぶ.

地層の熱伝導率 λ は, 固相, 液相, 気相が混合した地層を代表する熱伝導率となり, 本研究では直列, 並列混合モデル²⁾を採用して λ を評価する. 同様に, 地層の体積熱容量 (ρC) も混合系として扱う²⁾. これにより, 地下水面高さで決定される飽和度 S_w から λ , (ρC) を求めることとなり, 地下水面高さを熱交換効率評価に関連付けることができる. なお本研究では, 難透水基盤上部の帯水層のみを対象として, 熱交換井長さ 100m 区間における S_w を概算した. ちなみに, 間隙率 n , 固相の熱伝導率 λ_s , 固相の体積熱容量 $(\rho C)_s$ は地質の構成材 (層相) により異なることから, これら物性の平面および鉛直分布と地下水面高さの情報が, 地中熱ポテンシャルの地域特性を表現する情報となる.

また, 地中熱交換型の GSHP は, 移流が卓越する場所では, 熱伝導のみで熱交換する場合に比べて熱交換効率の向上が期待できる. そこで本研究では, 大久保ほか³⁾の研究を参考にペクレ数 P_e を変数として, λ を基に見かけの熱伝導率 λ_a を概算する係数の算出式を提案し, ポテンシャル評価に移流効果を見込むこととした. P_e を求めるためには, 予め対象地域でのダルシ

一流速 u の面分布を把握する必要があるが, これは数値解析モデルでも求めることができるが, 本研究では簡単のため, 入手可能な水理地質情報を基に, Sobel 法とダルシー則を適用して概算した.

3. 広域を対象としたポテンシャル評価手法

GIS を用いて対象地域をメッシュ分割し, 必要な物性値を各メッシュにおいて整理することになる. ただし, 熱交換井の必要本数を求めるには, 各メッシュの λ , (ρC) から決定される地中熱交換井単位長さあたりの熱交換量 Q [W/m] を評価する必要がある. そこで, GSHP 設計・性能予測ツールとして多く活用されている GroundClub を用いる地中熱システム運用シミュレーションにより Q を求め, 熱交換井の必要本数を概算することとした.

なお, 広域を対象とする場合, メッシュの数だけ λ と (ρC) の組合せができることから, すべてのメッシュにおいて GroundClub で計算することは現実的でない. そこで, Q の評価には λ と (ρC) を変数とする近似式を適用し, これを全メッシュに展開することとした. GroundClub で算出した Q を λ , (ρC) で近似する場合, 次式のとおり双二次多項式で表すことができる.

$$Q \cong \beta_0 + \beta_1 \lambda + \beta_2 (\rho C) + \beta_3 \lambda^2 + \beta_4 (\rho C)^2 + \beta_5 \lambda (\rho C) \quad (2)$$

ここに, $\beta_0 \sim \beta_5$ はパラメータである.

4. 地中熱ポテンシャルの評価指標

地中熱ポテンシャルは, 一般市民や事業者の意識醸成および GSHP の導入判断に資する基礎情報と位置づけ, マップとしての情報提供を想定する. したがって, 前述のような合理的手法に基づくポテンシャルの定量化と共に, 一般市民にとってわかりやすい指標を用いた評価が重要となる. 定量化の指標には, 既往報告では熱伝導率, 熱交換量, エネルギー賦存量等が用いられているが, わかりやすい指標とするため, 本研究では「1. システム導入時に必要となる熱交換井本数」, 「2. 熱交換井の概算初期費用」, 「3. ランニングコスト削減効果」の2つを採用した.

5. モデル地域への適用例

図-1 に示す長野県中西部に位置する松本盆地をモデル地域とする. 安曇野市, 松本市, 塩尻市等7市町村にまたがる松本盆地は, 盆地面積約 480km² を有し, 山地や丘陵と, この間に南北に細長く延びる段丘面や

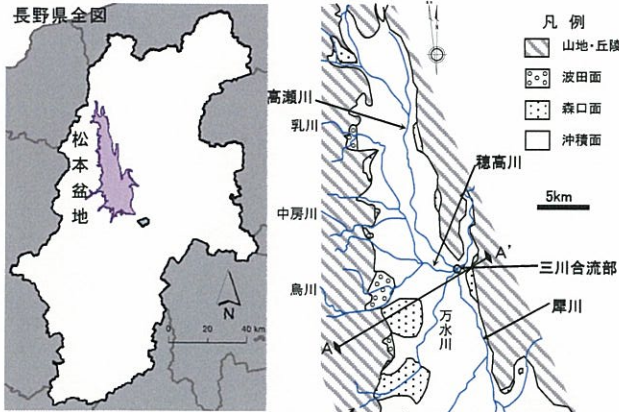


図-1 松本盆地の位置図(上)と地形分布(右)



図-2 松本盆地の想定地質断面

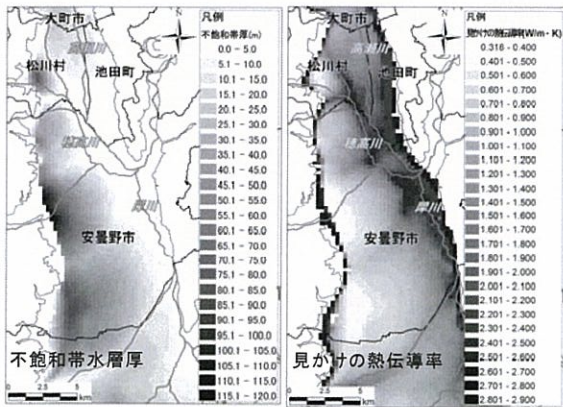


図-3 作成した水理地質のメッシュデータ一例

沖積面からなる。また図-2 に示す想定地質断面⁴⁾のとおり、当該地域には砂礫層を主とする厚い帯水層が存在しており、地下水資源が豊富な地域である。

まずは松本盆地における水理地質のメッシュ情報を作成した。作成データの一例として、不飽和帯厚さ d_1 [m] (地表からの地下水面深さ)、見かけの熱伝導率 λ_a を図-3 に示す。これらを基に、前述の方法により熱交換井必要本数、概算初期費用、ランニングコスト縮減効果を指標として、ポテンシャルマップを評価した。ここでは熱交換井必要本数を指標とするポテンシャルマップを図-4 に示す。本研究では一般的な戸建住宅の冷暖房負荷を想定しており、評価した熱交換井

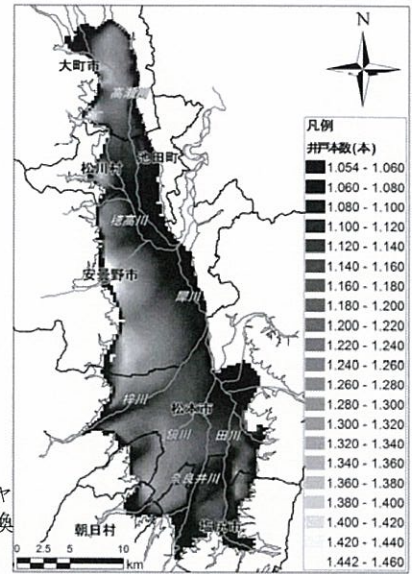


図-4 地中熱ポテンシャルマップ (熱交換井の必要本数)

の必要本数は概ね実態と一致している。したがって、本研究の提案手法によるポテンシャル評価の妥当性が確認できたと考えられる。なお、初期概算費用は 150 万~200 万円程度、従来システム (灯油ボイラー+空冷チラー) に対する年間のランニングコスト縮減額は 10 万~15 万円程度と、それぞれ評価された。

6. おわりに

本研究で提案した手法の特筆すべき点は、水理地質データの充足する地域では、比較的容易且つ短時間で GSHP の導入判断に資するポテンシャルマップを作成できることにある。今後はより実践的な条件設定を反映して、地中熱ポテンシャルを簡便且つ精度良く評価できるように工夫し、自治体が主体となる地域の地中熱利用事業の普及活動に貢献したいと考えている。

謝辞

本研究の実施にあたり、(独)産業技術総合研究所内田洋平主任研究員には大変有益なご助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

文献

- 1) 例えば、吉岡・内田・與田・藤井・宮本 (2010) : 地中熱利用適地の選定方法その 2 地下水流動・熱輸送解析を用いた熱交換量マップの作成, 日本地熱学会誌, Vol.32, No.4, pp.241-251.
- 2) 藤縄・富樫(2011): 地下熱利用技術 9. 地下熱利用のための数値解析技術, 地下水学会誌, Vol.54, No.1, pp.39-52.
- 3) 大久保・藤井・糸井(2009): 同軸型地中熱交換器の室内モデル実験および数値モデリング, 日本地熱学会誌, Vol.31, No.1, pp.51-62.
- 4) 山本・伊藤・谷保・猿田・高橋(2005): 松本盆地の地下水の現状と課題, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会要旨, pp.18-21.