

不飽和土の巨視的熱伝導率について

岐阜大学工学部 佐藤 健
 岐阜大学工学部 ○野村 英明

1 まえがき

数値計算技法の進歩によって地盤の熱流・応力・浸透の相互作用を考慮した解析も可能になってきた。そのような解析を実施するにあたっては、地盤の熱伝導率を知ることが必要になる。土の凍結・融解の問題を考える際にも、対象となる土の熱伝導率を知ることが重要な問題になる。土の熱伝導率を測定する決められた方法はなく、わずかに、土壌分野での測定法が見受けられただけである。したがって、測定法に関する検討も重要であると思われた。本研究では、モデル的に土の熱伝導率を推定することを試みた。空気・水・土粒子の三相構造からなる不飽和土を念頭に置いて検討している。微視的にみれば、各相間での熱伝導も生じているが通常我々は、連続体と見なしうる大きさにまで粗視化をして熱伝導を考えるので標題のように巨視的と呼ぶことにした。

2 巨視的熱伝導率を推定する従来の方法

いろいろなモデルが提案されているが、比較的良好に用いられていると思われる De Vries¹⁾のモデルについて説明してみる。De Vriesは、図-1に示すように不飽和土を液状相に熱伝導の異なる固相、空気相が浮遊している系と考え、2相系構造に対して提案されたMaxwellモデル²⁾を拡張して巨視的熱伝導率 λ を表現しようとした。ここで、(1)式で用いられている g_i は形状係数と呼ばれるもので、実験値に合わせるように決定されるもので、物理的意味は明確ではない。

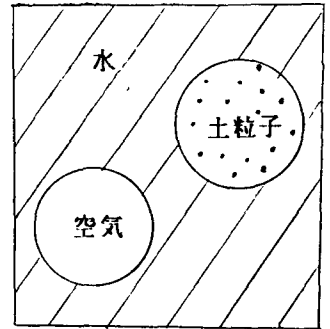


図-1 DeVriesモデル

De Vries式

$$\lambda = (X_0 \lambda_0 + k_1 \lambda_1 X_1 + k_2 \lambda_2 X_2) / (X_0 + k_1 X_1 + k_2 X_2)$$

$$\text{ただし、} k_i = \sum \{ (\lambda_0 / \lambda_i - 1) \cdot g_i + 1 \}^2 \quad i = 1, 2$$

X_0, X_1, X_2 : 水, 空気, 土の体積比

$\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$: " の熱伝導率

g_1, g_2 : 空気, 土の形状係数

3 提案式

筆者らは、De Vries式のような実験定数を用いずに巨視的熱伝導率の表現を試みた。提案する方法の流れを図-2に示したが、微視的空間でもフーリエの熱伝導則が成り立つと仮定し、温度場の支配方程式を(i)式のように考えて、この支配方程式を、フーリエ級数展開によって、順次巨視的空間へと遷移させる。また、空間内での熱伝導率を、確率変数として扱え、(ii)式のような密度関数を仮定した。(iii)式中の計算は、(iv)式の平均化操作によって計算した。筆者らの提案式には、DeVries式のような実験定数は入っていない。したがって、各相の熱伝導率(本当はこの値を測定するのが非常に難しい)が与えられれば、その土の任意の飽和度における熱伝導率は、図-2の手順で推定できることになる。

4 適用例

筆者らの式の適用性を見てみるために、不飽和土の熱伝導率に関する既往の実験データとの比較を行った(図-3)。縦軸に熱伝導率、横軸に体積含水率をとっている。用いた実験データは、農業土木学論文集,第103号²⁾に掲載された北海道落部近辺のクロボク土である。図-3から、筆者らの方法はかなり実験値に近い値になっていることがわかる。De Vries式においては、形状係数 g_i を $1/3$ と仮定している。なお、空気、水の熱伝導率($\text{cal}/\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{C}$)はそれぞれ 5.8×10^{-5} , 1.43×10^{-3} と仮定した。土粒子の熱伝導率については文献³⁾に示された値にもとずき、 2.05×10^3 と仮定し比較している。

5 あとがき

他の実測値に適用して、本推定法の適用性を検討しつつある。また、実際に熱伝導率の測定を実施することによって、推定法の精度を高める予定である。

6 参考文献

- 1) D. A De Vries: Thermal Propertis of Soils, Physics of Environment, W. R. North-Holl and Pub. Co, pp. 210~235, 1963
- 2) 三野 徹, 石田 智久, 丸山 利輔: 三相土壌の熱伝導率モデルと熱伝導率計算による推値, 農業土木学会論文集, 第103号, pp35~43, 1983
- 3) 前田 隆, 相馬 尅之, 池端 克則: 主として保水性からみたクロボク土の熱的性質, 農業土木学会集, 第103号, pp13~20, 1983

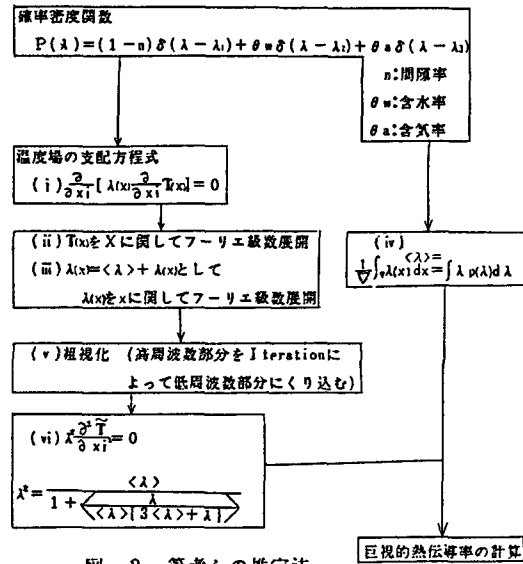


図-2 筆者らの推定法

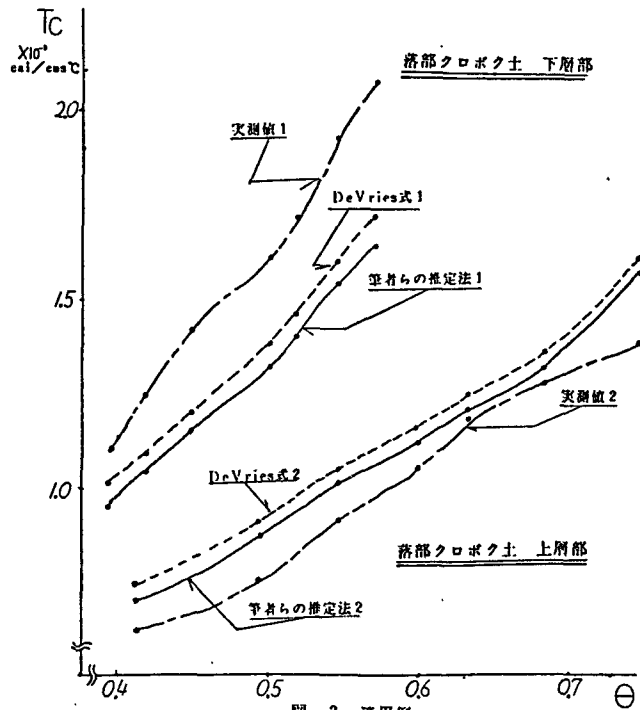


図-3 適用例