

不飽和土の熱伝導率に関する一考察

鹿児島大学大学院 学生員 宮本裕二
鹿児島大学工学部 正 員 北村良介

1. 概要

地盤は日射、降雨等の自然環境により含水状態が変化する。地表面の熱収支は地盤下層へと伝熱し、土中の間隙流体の相変化に影響を与える。土中の伝熱には熱伝導、対流、輻射が考えられるが、ここでは土中の伝熱に最も影響する熱伝導を取り上げる。熱伝導は熱伝導率により表されるが、不飽和土を検討する場合、含水状態、土粒子の組成、温度により熱伝導率が変化するため確立した表現方法は見いだされていない。本報告ではしらすを用いた温度計測を行い、不飽和土の熱伝導率を算定し、北村らにより提案されている不飽和土の熱伝導モデル^{(1)・(2)・(3)}を用いて数値実験を行い、不飽和土の熱伝導に関する検討を行う。

2. 不飽和土の温度計測

本報告では、不飽和土の熱伝導を検討するため、鹿児島県肝属郡高山町で採取したしらすを1.30mmでふり分けし、鹿児島大学地域共同研究センター実験室にて計測を行った。表-1に測定に用いたしらすの物性値を示し、図-1に測定装置の概要を示す。

図-2は計測した1995年10月8日～10月10日のデータを取り出したものである。測定測定では地表面に湿度計を設置したので温度と共に湿度も示している。

表-1 しらすの物性値

間隙比	0.855
含水比	7.65 [%]
比重	2.44
飽和度	21.83 [%]

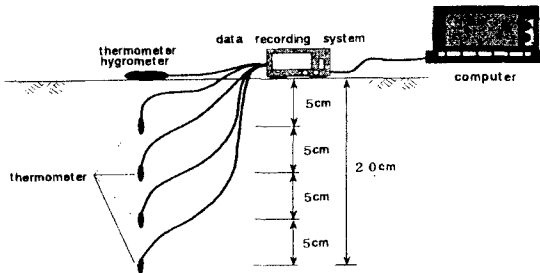


図-1 測定装置の概要

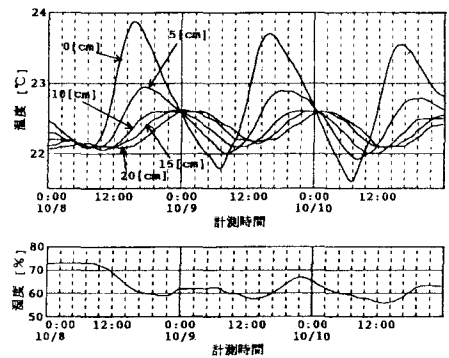


図-2 測定データ

3. 熱伝導率の算定

熱伝導とは物質の移動なしに熱が高温部から低温部に伝達される現象をいう。熱量の移動は単位厚さ[1m]当たり、単位温度[1K]の差があるとき、単位面積[1m²]を通して流れる単位時間[1秒]当たりの熱量[J/(sec・m・K)=W/(m・K)]を用いて表すことができ、これを熱伝導率k[J/(sec・m・K)]という。本報告では1次元熱伝導を考えるので、熱伝導の支配方程式は次式により示される。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial h} \left(k_s \frac{\partial T}{\partial h} \right) \quad \dots (1)$$

ここに、T; 温度、t; 時間、ρ; 密度、
c; 比熱、k; 熱伝導率。

式(1)を変形すると次式となる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial h^2} \quad \text{ここに、} \alpha = \frac{k_s}{\rho \cdot c} \quad \dots (2)$$

式(2)を差分近似式(前進差分)で示すと本計測での熱伝導率kを次式により算定できる。

$$k = \alpha \cdot \rho \cdot c \quad \dots (3)$$

$$\alpha = \frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{T_{i-1,j} - 2T_{i,j} + T_{i+1,j}} \cdot \frac{\Delta h^2}{\Delta t} \quad \dots (4)$$

ここに、T_{i,j}; 時間jでの空間iにおける温度。

図-2に示される計測結果を用いて、式(3)、(4)によ

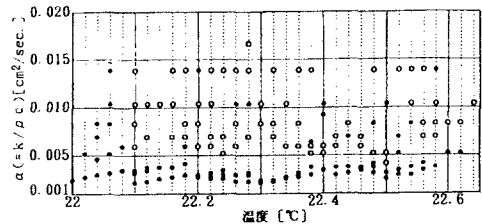


図-3 計算結果 [α = (k / ρ c)]

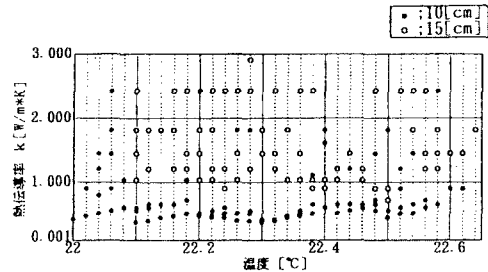


図-4 計算結果 [熱伝導率 k]

る α 、 k の計算結果を図-3、図-4に示す。

4. 数値実験

ここでは北村らが提案している熱伝導モデルを用いて図-2に対応する温度～時間関係を求めるための数値実験を行う。数値実験のフローチャートを図-5に示す。また数値実験に用いた入力値を表-2に示し、表-3に間隙モデル¹⁾の入力値、表-4に間隙モデルによる地盤の特性をそれぞれ示す。表層の入力温度を正弦関数で与えた数値実験による地盤の温度変化を図-6に示す(図-2に対応)。

表-2 入力値

層の数	5	湿度	100 [%]
層の面積	100 [cm ²]	土粒子の比熱	0.8 [J/(g・K)]
層の厚さ	5 [cm]	土粒子の比重	2.44
初期温度		熱伝導率	
第1層	20 [°C]	気相	0.03 [W/(m・K)]
第2層	20 [°C]	固相	0.9 [W/(m・K)]
第3層	20 [°C]	表層(第1層)	
第4層	20 [°C]	体積含水率	30 [%]
		入力温度	$\sin(t)+20$ [°C]

表-3 間隙モデルの入力値

試料	しらす
素体積高さ	2.000×10^{-3} [cm]
管径の平均	1.200×10^{-3} [cm]
管径の標準偏差	8.000×10^{-4} [cm]
管傾 θ pdfの最低高さ	1.590×10^{-1}
水の粘性係数	1.161×10^{-5} [gf・s/cm]
水の表面張力	7.500×10^{-2} [gf/cm]
土粒子と水の接点角 α	0.00 [DEG.]

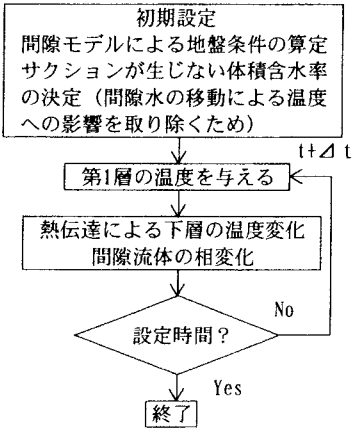


図-5 フローチャート

表-4 間隙モデルによる地盤の特性

間隙比	0.8195
飽和体積含水率	41.03 [%]
透水係数	1.75×10^{-3} [cm/sec.]
初期体積含水率	30.0000 [%]
第1層	
第2層	30.5354 [%]
第3層	31.0756 [%]
第4層	31.6074 [%]

5. まとめ

本報告では温度計測による不飽和土の熱伝導率の算定と不飽和土の熱伝達モデルを用いて数値実験を行い、不飽和土の熱伝導に関する検討を行った。土の熱的性質は、間隙流体の相変化を伴うため複雑な現象となり解析が困難である。しかし、自然環境下での土の挙動を検討するとき、熱や温度は地盤工学の諸問題に関わる重要なパラメータである。本報告では不飽和土の熱伝導の定量的な評価するための一手法を提案した。今後は本手法を用いた数値実験結果と地盤の実測値を比較し、土の熱的性質の定量的評価、地盤工学問題への適用を検討したいと考えている。

本研究に対して平成7年度科研費(一般(c))の助成をいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 北村、宮本：間隙流体の相変化を考慮した数値力学モデルの提案、第30回土質工学研究発表会、pp. 1125-1128、1995。
- 2) 北村、宮本：不飽和土の熱伝導に関する数値力学モデル、土木学会第50回年次学術講演会、pp. 180-181、1995。
- 3) 北村、宮本：熱を考慮した不飽和土の数値力学モデルの提案、不飽和地盤の透水にかかわる諸問題シンポジウム(投稿中)、1996。
- 4) 北村、福原：間隙モデルに関する一考察、土木学会代49回年次学術講演会、pp. 206-207、1994。

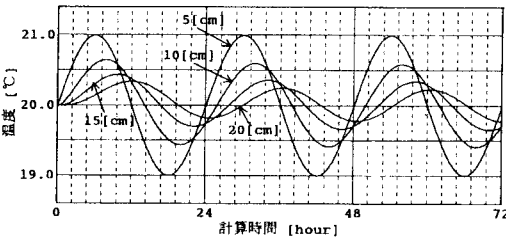


図-6 数値実験による地盤の温度変化