

飽和地盤の熱伝達に関する一考察

鹿児島大学大学院 学生員 ○ 名倉照彦
 鹿児島大学工学部 正 員 北村良介

1 まえがき

地球の温暖化や各種の廃棄物の地盤内への投棄は地盤内の熱的環境の変化をもたらしている。このような変化を定量的に把握し予測することは地盤工学の今後の重要な課題の1つとなるであろう。このような認識のもとに、当研究室では地盤内の熱伝達に関するシミュレーションを行ってきている^{1), 2)}。本報告では飽和地盤内の間隙水の対流も考慮した熱伝達に関するシミュレーションを試みている。

2 熱伝導のモデル化

図-1は、周囲が断熱状態の飽和した地盤を示している。図に示すように地盤は微小なメッシュに分割され、各メッシュを (i, j) 、各メッシュの温度を $T(i, j)$ とする。微小時間 Δt の間にメッシュ (i, j) に流入する単位面積当りの熱量 $\Delta E(i, j)$ は次のように求めている。

$$\Delta E(i, j) = \frac{1}{1+e} \cdot (k_s + e \cdot k_w) \cdot \frac{\Delta t \cdot (T(i-1, j) + T(i+1, j) + T(i, j-1) + T(i, j+1) - 4T(i, j))}{\Delta h} \quad (1)$$

k_s, k_w : 土粒子、間隙水の熱伝導率、 $T(i, j)$: メッシュ (i, j) の温度、 e : 地盤の間隙比

微小時間 Δt の間、メッシュ (i, j) における熱量の増分を $\Delta E(i, j)$ とすると $\Delta E(i, j)$ による温度変化 $\Delta T(i, j)$ は次のようになる。

$$\Delta T(i, j) = \frac{\Delta E(i, j)}{\frac{1}{1+e} \cdot (C_s \cdot \rho_s + e \cdot C_w \cdot \rho_w) \cdot \Delta h^2} \quad (2)$$

C_s, C_w : 土粒子と間隙水の比熱、 ρ_s, ρ_w : 土粒子と間隙水の密度

3 対流のモデル化

間隙水の対流は、温度差に対応する密度差によって生ずる。図-2に示すように隣接する2つのメッシュを考え、その温度が $T(i-1, j) < T(i, j)$ という状態にあったとする。メッシュ (i, j) の間隙水の密度を $\rho_w(i, j)$ とすると浮力 $F(i, j)$ は次のように求められる。

$$F(i, j) = (\rho_w(i-1, j) - \rho_w(i, j)) \cdot V(i, j) \cdot g \quad (3)$$

$V(i, j) = \Delta h^2 \cdot 1$: メッシュ (i, j) の体積

g : 重力加速度

また、浮力による間隙水の動きは次式で表される。

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = a(i, j, t) \quad (4)$$

$$a(i, j, t) = \frac{F(i, j)}{\rho_w(i, j) \cdot V(i, j)} = \frac{\rho_w(i-1, j) - \rho_w(i, j)}{\rho_w(i, j)} \quad (5)$$

微小時間 Δt 秒間にメッシュ (i, j) の間隙水がメッシュ $(i-1, j)$ に流入する流量 $\Delta Q(i, j)$ は次のようになる。

$$\Delta Q(i, j) = \Delta y(i, j) \cdot \Delta h = \frac{1}{2} \cdot a(i, j, t) \cdot (\Delta t)^2 \cdot \Delta h \quad (6)$$

質量保存を満足させるため、ここでは鉛直方向の流量を式(7)によって計算し、さらに式(8)によって水平方向の流量を計算している。

$$\Delta Q_v(i, j) = \Delta Q(i, j) - \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta Q(i, j))}{N} \quad (7)$$

$$\Delta Q_H(i, j) = \Delta Q_v(i, j+1) - \Delta Q_v(i, j) + \Delta Q_H(i-1, j) \quad (8)$$

$\Delta Q_v(i, j)$: メッシュ (i, j) からメッシュ $(i-1, j)$ に流出する流出量

$\Delta Q_H(i, j)$: メッシュ (i, j) からメッシュ $(i, j+1)$ に流出する流出量

メッシュに流入する流体の流量と温度からメッシュの温度 $T(i, j)$ を決定する。

$$T'(i, j) = \frac{1}{\Delta h^2} \cdot \{T(i+1, j) \cdot \Delta Q_H(i+1, j) + T(i, j-1) \cdot \Delta Q_v(i, j-1) + T(i, j) \cdot (\Delta h^2 - \Delta Q_v(i, j) - \Delta Q_H(i, j))\} \quad (9)$$

式(3)～(9)を用いた数値シミュレーションの手順を示したフローチャートを図-3に示す。

4 数値実験

図-1のような地盤を設定し、図のように9つのメッシュに区分する。それぞれのメッシュに図のような番号をつける。メッシュ番号5の位置に熱源(温度 T_0)があり、他のメッシュの初期温度が T ($T_0 > T$)である場合の熱の伝導をシミュレートする。表-1は数値実験に用いた入力データ³⁾および、実験条件である。図-4は熱伝導による数値実験結果を示している。図において縦軸は温度、横軸は時間を示しており、各層の経時的な温度変化が示されている。また、図-5は、対流による数値実験結果を示している。熱伝導と対流を比較すると、対流の方が、後半(100秒以降)の温度の上昇が遅いが、前半(100秒未満)では対流の方が速く温度が上昇する。

5 あとがき

地盤内での熱伝達のメカニズムを解明するための二次元モデルを提案した。蒸発問題への発展、さらには熱による有効応力の変化を定量的に評価し、浸透、透水、圧密、圧縮、せん断問題と結びつけていきたいと考えている。本研究に対し、(財)河川環境管理財団より研究助成金をいただいたことを付記し、謝意を表します。

(参考文献)

- 1) 名倉、北村：平成3年度土木学会西部支部研究発表会概要集，pp.518-519, 1992
- 2) 名倉、北村：土木学会第47回年次学術講演会概要集，pp.1116-1117, 1992
- 3) 理科年表：p.439, p.442, p.474-477, 国立天文台編，丸善，1992

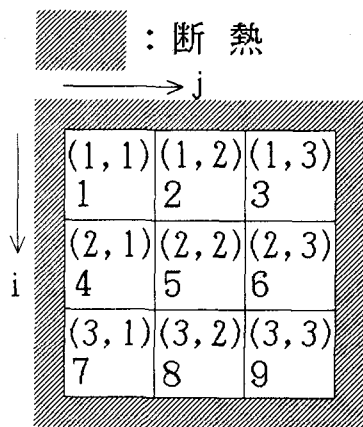


図-1：地盤モデル

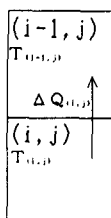


図-2：対流モデル

表-1：入力条件

計算時間間隔	0.1秒
メッシュのサイズ	1cm×1cm
固 体 デ ー タ	
熱伝導係数	7.35 Wm·°C
比熱	0.795 J g·°C
間隙比	2.65 g/cm³
熱源温度	80 °C
他の部分の温度	20 °C

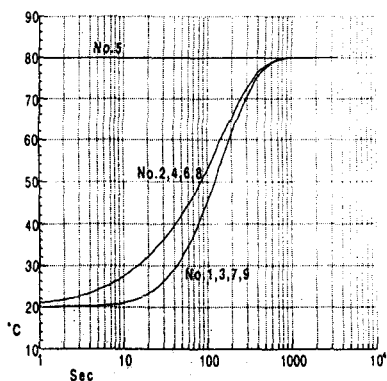


図-4：熱伝導計算結果

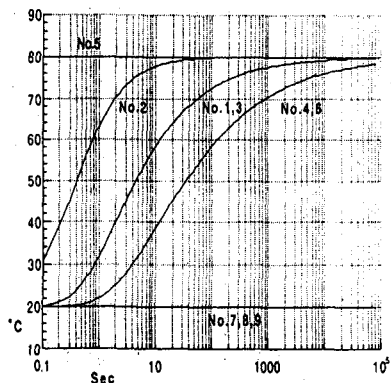


図-5：対流計算結果

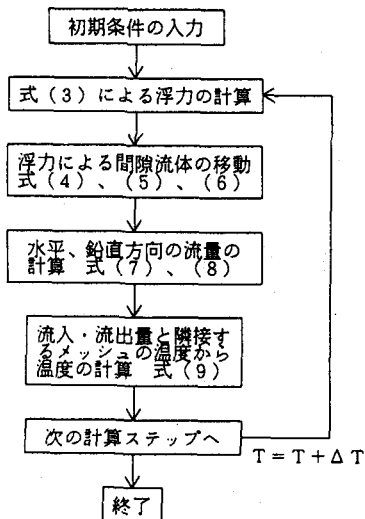


図-3：対流モデルのフローチャート