

III-551

要素分割法による地盤凍結工法の熱伝導解析

㈱フジタ技術研究所 正員 ○姚 義久
同上 正員 門田俊一

1. まえがき

従来、潜熱を考慮した熱伝導計算では、差分法や高志ら¹⁾の図式計算が多用されている。本研究は地盤凍結工法への適用を目的とし、要素分割法²⁾による潜熱を考慮した多層系地盤の2次元熱伝導解析手法を示すとともに、潜熱を無視した単層地盤を対象とした場合の理論解との比較を通じて解析精度を検討する。

2. 要素分割法による2次元熱伝導解析³⁾

要素を図-1のように分割し、要素の重心を代表点とする。重心mをとりまわ要素の重心をm-2、m-1、m+1、m+2とする。任意の時刻nおよびΔt時間後における要素mの温度をそれぞれ $U_{m,n}$ 、 $U_{m,n+1}$ とすると、Δt時間内に要素mに入る熱量 $Q_{m,in}$ は次式が成り立つ。

$$Q_{m,in} =$$

$$\Delta t \left[k_{m-2,m} \frac{U_{m-2,n} - U_{m,n}}{d_{m-2,m}} \ell_{m-2,m} + k_{m-1,m} \frac{U_{m-1,n} - U_{m,n}}{d_{m-1,m}} \ell_{m-1,m} + k_{m+1,m} \frac{U_{m+1,n} - U_{m,n}}{d_{m+1,m}} \ell_{m+1,m} + k_{m+2,m} \frac{U_{m+2,n} - U_{m,n}}{d_{m+2,m}} \ell_{m+2,m} \right] \quad (1)$$

また、Δt時間内にmから出る熱量 $Q_{m,out}$ = 0であるため、mに消費される熱量Δ Q_m はm内の温度低下に費やされるから、熱バランス式を作ると次式となる。

$$\begin{aligned} \Delta Q_m &= Q_{m,out} - Q_{m,in} = -Q_{m,in} \\ &= c_m \rho_m A_m (U_{m,n} - U_{m,n+1}) \quad (2) \\ U_{m,n+1} &= U_{m,n} - \frac{\Delta Q_m}{c_m \rho_m A_m} \\ &= U_{m,n} - \frac{\Delta Q_m \alpha_m}{k_m A_m} \quad (3) \end{aligned}$$

次に要素mの容積($A_m \times 1$)の土の凍結潜熱を L_x とすると、 $L_x = 79.5 w \rho_d A_m$ で与

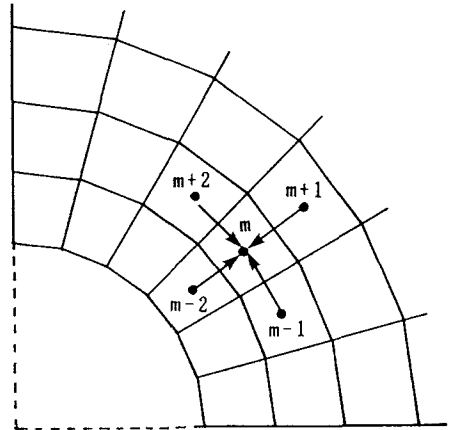


図-1 二次元熱伝導解析モデル

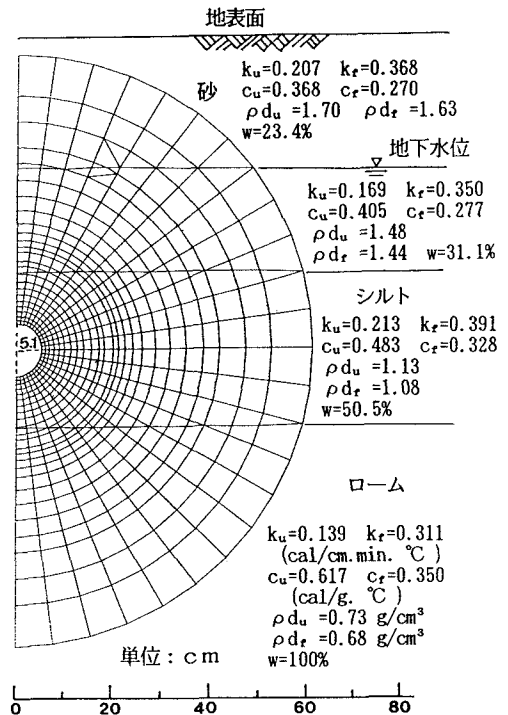


図-2 多層系地盤解析モデル

えられる。以上各記号の説明は文献³⁾を参照されたい。ここで、式(3)の計算では、次のような仮定条件を満たさなければならない。①熱源に初期潜熱として L_x を与える。②土の凍結温度を $U_f = 0^\circ\text{C}$ とすると、 $U_{m,n} > U_f$ の場合には、式(3)に従うが、 $U_{m,n} \leq U_f$ の場合には、 Δt 時間毎に ΔQ_m を積算し、この値を次式とする。

$$L_{sm} = \sum_{\Delta t} [\Delta Q_m] \quad (4)$$

③ $L_{sm} > L_x$ の場合には式(3)に従うが、 $L_{sm} \leq L_x$ の場合には、 $U_{m,n+1} = 0^\circ\text{C}$ とする。④ $L_{sm} < 0$ の場合には、 $L_{sm} = 0$ とする。

3. 計算結果および考察

地盤凍結工法への適用の第一歩として、ここでは、単管について詳細に検討することとした。解析では、凍結管の半径を5.1 cmとし、境界条件は熱源で -118°C とし、初期条件は、熱源を除いて全領域一様に 14°C とした。解析モデルは図-2に示すような砂、シルト、ロームで構成される多層系地盤である。式(3)より計算した結果を図-3に示す。計算に用いた時間間隔は $\Delta t = 10 \text{ sec}$ である。一方、 $w = 0$ を用いて、土の物理的性質や熱的性質をすべてシルト層と見なした場合の計算結果を表-1に示す。比較のため、潜熱を無視した理論近似解⁴⁾も同表に示す。

4. まとめ

これらの計算結果から本報告で提案した要素分割法による熱伝導解析手法は、従来行なわれてきた地盤凍結計算法に比較して、さらに詳細な検討が可能である。今後は、管群の場合についても検討する予定である。

参考文献

- 1) 高志勤・和田正八郎：土壌凍結工法について(I), Vol. 36, No. 408, pp. 9.
- 2) 稲田善紀・重信純, 1983: 液化天然ガスを地下岩盤内空洞に貯蔵した場合の空洞周辺の温度分布, 日本鉱業会誌 99, 1141, pp. 179 ~ 185.
- 3) 姚義久・門田俊一, 1992: 潜熱を考慮した多層系地盤の熱伝導解析, 第24回岩盤力学シンポジウム pp. 91 ~ 95.
- 4) Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C., 1980: Conduction of heat in solids. 2nd Edition, Oxford, pp. 335 ~ 336.

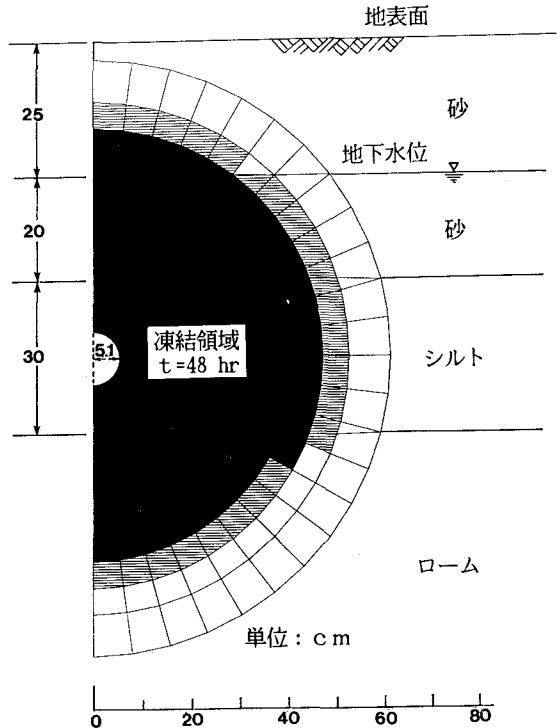


図-3 解析結果

表-1 要素分割法と理論解の比較
($t = 1 \text{ hr.}$ 後)

凍結管の 中心から の距離 cm	温度分布, $^\circ\text{C}$	
	理 論 近 似 解	要 素 分 割 法
5.10	-118.00	-118.00
5.43	-108.19	-106.72
6.13	- 89.65	- 88.35
7.00	- 70.03	- 68.32
8.00	- 51.25	- 49.54
9.00	- 35.85	- 34.24
10.13	- 21.96	- 20.33
11.38	- 10.30	- 8.93
12.63	- 1.85	- 0.81
14.00	4.50	5.30
15.50	8.86	9.34