

地盤内温度分布に与える積雪の影響

Influence of Snow Cover for Temperatures in Underground

北海道大学工学部土木工学科
北海道大学大学院工学研究科
鹿島建設(株) 札幌支店
北海道大学大学院工学研究科
北海道大学大学院工学研究科

○学生会員
フェロー
正会員
正会員
正会員

藤井秀樹 (Hideki Fujii)
三上 隆 (Takashi Mikami)
池田 隆 (Takashi Ikeda)
蟹江俊仁 (Shunji Kanie)
佐藤太裕 (Motohiro Satou)

1. まえがき

積雪とは、周囲の地面の 1/2 以上を覆って積もった状態をいい¹⁾、雪には、断熱効果があるといわれている。そこで本研究では、準定常熱伝導理論に基づき、雪の中でも性質の違う透明氷と新雪があるときの地盤内の温度分布を比較することで、積雪の影響を明らかにすることを目的とする。

2. 解析モデルおよび解析手法

2.1 解析モデル及び支配方程式

解析モデルは図-1に示すように地盤に積雪がある二層モデルで地盤は半無限と仮定する。

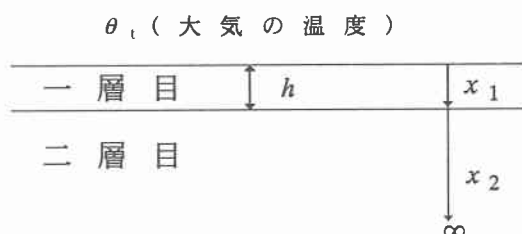


図-1 二層のモデル

支配方程式及び境界条件等は以下の式で与えられる。

$$\text{支配方程式: } \frac{\partial \theta_1}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial x_1^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta_2}{\partial t} = a_2 \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial x_2^2} \quad (2)$$

$$\text{境界条件: } \begin{cases} -\lambda_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x_1} \Big|_{x_1=0} = \alpha_c (\theta_1 - \theta_1|_{x_1=0}) \\ \theta_2|_{x_2=\infty} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{連続条件: } \begin{cases} \theta_1|_{x_1=h} - \theta_2|_{x_2=0} = 0 \\ \lambda_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x_1} \Big|_{x_1=h} - \lambda_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial x_2} \Big|_{x_2=0} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

一層、二層の順に番号をつけ各層の諸元は以下に示す。表面からの距離 x_1, x_2 (m), 温度伝導率 a_1, a_2 (m²/hour), 熱伝導率 λ_1, λ_2 (kcal/m · h · °C), 温度 θ_1, θ_2 (°C), 又一層目の厚さ (m), 熱伝導率 α_c (kcal/m² · h · °C), 時間 t (hour), 大気のを θ_1 (°C), とする。

2.2 空間領域の離散化

図-1に示す地盤は、半無限でありここでは有限領域に変換するために指数写像²⁾を用いて式(2)の独立変数 x_2 を有限領域の変数に変換する。空間領域の離散化は以下のようなになる。すなわち、選点法を用い内部選点に Legendre 多項式の零点を採用する。支配方程式の残差の条件と、境界条件、連続条件が得られる条件式より未知量を内部選点における温度のみで表すと式(5)に示す時間に関する常微分方程式が得られる。

$$\left\{ \frac{d\theta}{dt} \right\}_c = [\alpha_1] \{\theta_c\} + [\beta_1] \{f_1\} \quad (5)$$

2.3 時間領域の離散化

時間領域の離散化にクランク・ニコルソン法を用いることにする。

$$\{\theta_c\}_{t+\Delta t} = [\alpha_2] \{\theta_c\}_t + \{f_2\} \quad (6)$$

Δt は時間刻みである。

3. 計算例

3.1 本手法の精度

大気のを $\theta_1 = \sin(2\pi t/T)$ で与える。一層目が透明氷、二層目が地盤で各層の諸元は以下に示す。 $a_1 = 4.32 \times 10^{-3}$, $a_2 = 3.28 \times 10^{-4}$, $\lambda_1 = 1.89$, $\lambda_2 = 0.1$, $h = 0.1$, $\alpha_c = 1$, $\Delta t = 24$ (hour), $T = 365 \times 24$ (hour)。図-2は、本解析手法による結果と厳密解³⁾による一層目の表面と地盤内温度分布を示したものである。図-2より良好な一致を示している。

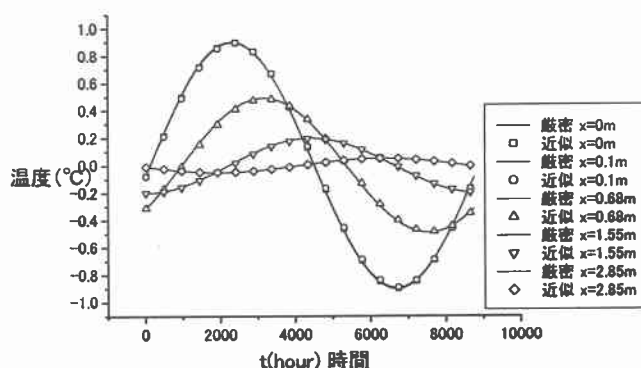


図-2 近似解と厳密解による温度分布

3. 2 積雪の地盤内温度分布に与える影響

図 3-1~4 は、前述の大気温度と、雪層を $h=0.1, 0.5, 1, 5$ とした時の地盤表面の温度に着目し、一層目が透明氷と新雪における半年間の比較をしたものである。なお新雪の定数は $a_f=2.93 \times 10^{-3}$, $\lambda_f=0.14$ である。

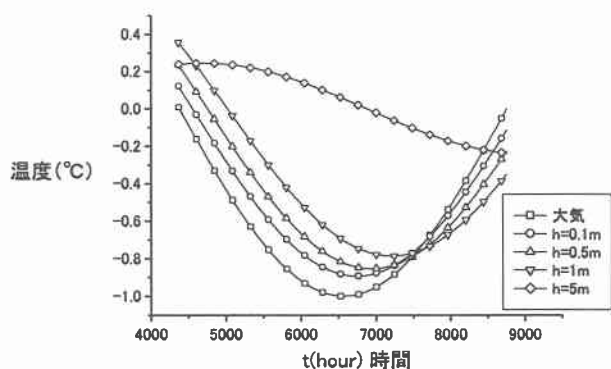


図-3-1 透明氷における地盤表面の温度分布($\alpha c=1$)

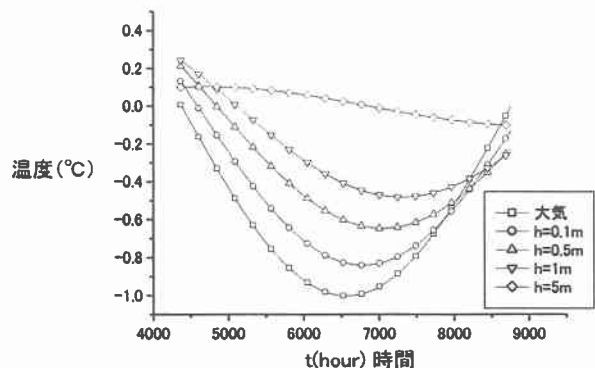


図-3-2 新雪における地盤表面の温度分布($\alpha c=1$)

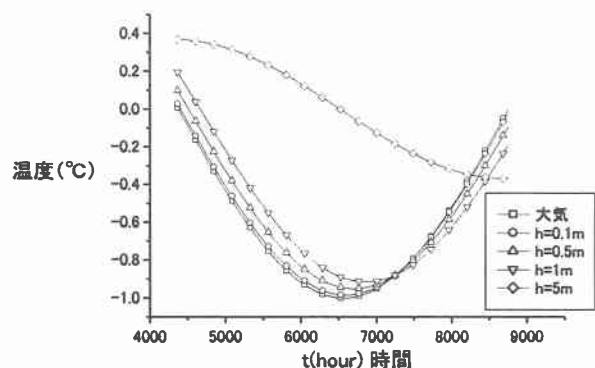


図-3-3 透明氷における地盤表面の温度分布($\alpha c=5$)

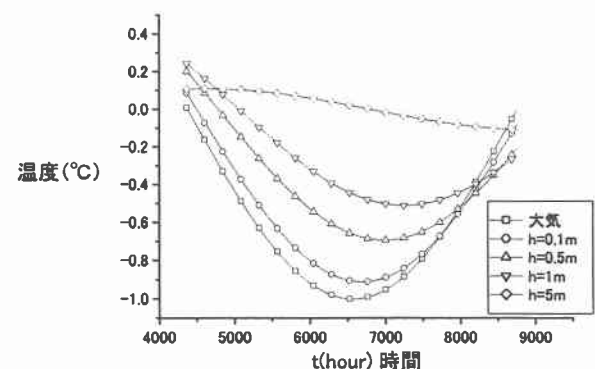


図-3-4 新雪における地盤表面の温度分布($\alpha c=5$)

これらの図から、一層目が新雪の時や厚さが厚くなる方が断熱効果があるといえる。又新雪の方が位相遅れが大きい。これは、新雪は透明氷と比較し、温度伝導率が小さい影響によるものである。

図 4-1 と図 4-2 は雪層が 1m の状態で一層目が透明氷と新雪の時の地盤内温度の比較をした。 x は、一層目の表面からの距離を示す。

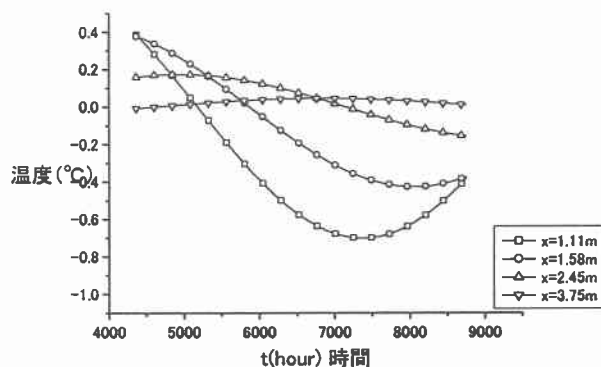


図-4-1 透明氷における地盤内の温度分布

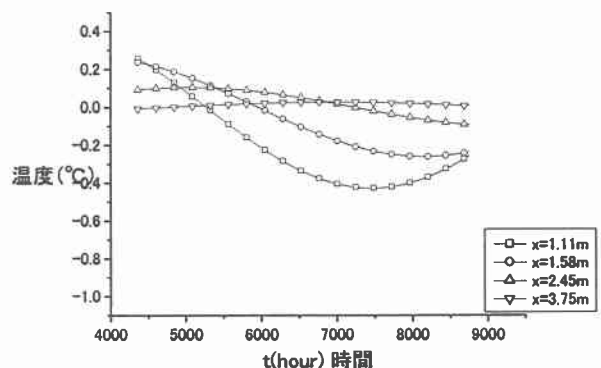


図-4-2 新雪における地盤内の温度分布

新雪の方が地盤内の温度のピーク値が小さく、断熱効果があることがわかる。又両者とも $x=3.75\text{m}$ では、恒温層となっている。

4. あとがき

本研究は、積雪の地盤内温度分布に与える影響を調べたものである。今後は、本解析手法を用いコンクリート舗装やアスファルト舗装等の道路舗装の地盤内温度分布に与える積雪の影響の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) (社)日本建設機械化協会：新防雪工学ハンドブック,1997.
- 2) 三上隆, 浅井孝徳, 蟹江俊仁：一次元半無限移動境界値問題の一解析法,応用力学論文集,Vol.5,2002.
- 3) 国井宏幸：矢板工法で施工された寒冷地道路トンネルの温度特性について 平成 13 年度土木学会北海道支部論文報告書 第 58 号,2002.