

ハル市における凍結深さの予測と現地観測

ハル工業大学工学部(正) 飛田 善雄

1. 概要 ハル市において冬期間の土の凍結深さをメチレンアルコール凍結深度計を用いて観測を続けている。この観測値と平衡地表面温度の算定に特に留意した土壌凍結深さ推定モデルによる予測値と比較、検討した。

2. 現地観測の概要 ハル市における凍結深さの観測を、メチレンアルコール凍結深度計を用いて、昭和61年度、昭和62年度卒業論文のテーマとして行っている。メチレンアルコール凍結深度計については、文献1)に詳しいので省略する。昭和61年度はハル工業大学用地区と東北自動車道ハル線付近(図1参照)に設置した。昭和62年度は、凍結断面の観察もテーマとしていて、設置箇所は工業大学敷地内のみとした。

3. 土壌凍結深さ推定モデルの概要 土壌凍結深さ推定モデルとしては、福田・石井²⁾により開発されたプログラム(福田氏により提供された)を使用した。提供されたプログラムに、データ・管理・入力と容易にするためのプログラムを付け加えた。このモデルは、特に気温と地表面温度・差が凍結深さの推定に及ぼす影響を重視し平衡地表面温度の算定に意を払っている。この事は、ハル市・様々、冬期間においても、まれに暖かい日が表われる様な地域・凍結深さの推定には重要と考えられる。

平衡地表面温度の算定は、地表面を介して大気への熱伝導と雪による潜熱収収式に基づいて行われる。

$$R_n + LE + H + S = 0,$$

ここに、 R_n : 放射収収量、 LE : 地表面からの水蒸気輸送による潜熱伝達量、 H : 大気と地表面の温度差による顕熱交換量、 S : 地中伝達熱流量を示している。これらの各項が相加の気象要素(気温、日射量、風速、気圧、雲量、雲形)から推定し、上式を満足させる様に反復計算を行い、地表面の平衡温度を求める。

この平衡地表面温度が1)の境界となり、又6)へ浴び、季節による恒温となる局を決定し、これと他らの境界条件とする。

地中温度分布の決定 凍土、未凍土の熱伝導方程式は、

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K_f}{C_f \rho} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1), \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K_u}{C_u \rho} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (2)$$

ここに、 K_f, K_u : 凍土、未凍土の熱伝導率、 C_f, C_u : 凍土、未凍土の比熱を表す。 ρ は土の密度である。

凍結による潜熱を K については、この分を比熱 C 、凍結深度付近で比熱が大きくばると考えた。潜熱を L の範囲に、温度を、 $0^\circ\text{C} > T > -1^\circ\text{C}$ に設定した。この時の熱伝導方程式は、

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K_u}{L \cdot W + \frac{1}{2}(C_u \rho + C_f \rho)} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (3)$$

となる。ここに L : 潜熱、 W : 含水率(全体に占める水の体積)である。以上の様子を図2に示している。

これらの偏微分方程式を、前述の2)の境界条件と計算初期に設定する地中温度分布の初期条件を用いて解析する。

解析は2cm毎に分割し、時間間隔を86400秒(1日)として、図2. 各式の適用範囲と熱容量の分布

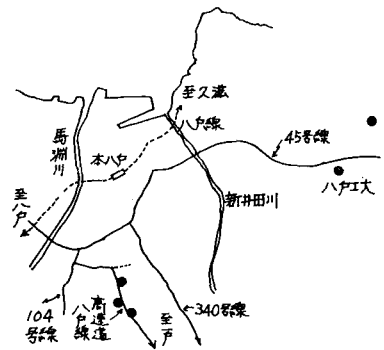
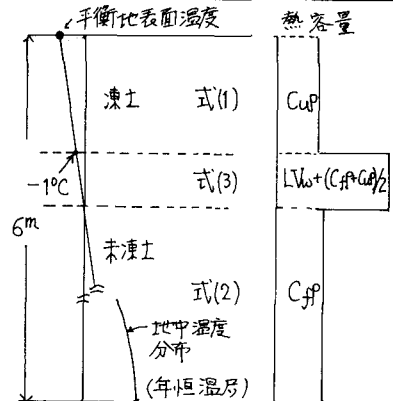


図1. メチレンアルコール設置位置(昭和61年度)



差分化し、陰解法を用いて解いている。

このモデルの計算に必要な量は、前述の気象データ他に、土の熱的性質（熱伝導率、比熱）物理的性質（密度、含水率）である。今回の計算には、シルトを想定し、福田らによる^{21,3)}地盤定数をそのまま使用した。このため、現実の地盤とは異なる状況下で推定を行う、点となる。しかし、これら各種パラメータの変化や凍結時の推定に及ぼす影響は、意外に小さい。（例えば、潜熱に大きな影響を及ぼす含水率を0.3, 0.4, 0.5と変化した推定値は、2cm（約10%）の差しかもたらさない。）この事より、現地状況は異なるものの表す可物性値で、推定できるものと考えた。

このモデルは、工学的凍結解凍のものよりもさらに重要な凍上現象を有する工に対しては、余り良い結果を示さないとされている。これは、水分移動を考慮していないためであるが、次項に示す様に、凍上現象を有する工（ほとんどの設置箇所はこれに相当する）の凍結解凍推定にも、地下水位が地表面近傍でなければ、ある程度の精度で、使用可能な事と考えよう。

4. モデルによる推定値と実測値の比較

図3は、昭和61年度の推定値（日々のデータによる。）と実測値の範囲を比較したものである。実測データの範囲はハッチングされたものであり、実線が推定値である。ちなみに凍結解凍の計算は日々の平均気温でも、月の平均気温でも行える。最大凍結深の推定に関しては、両者差程差は見られぬが、月毎のデータでは、図3に示す様な気温の変動による凍結面の停滞、進退、後退は表現できない。

図4は、暖冬異変といわれる昭和62年度の気温、推定値、実測値の範囲を示した図である。凍結解凍の絶対値は勿論小さく、年末年始及び1月半ばの暖い日が続いたところで、凍結は消滅している。推定値もこの様な変動を十分にシミュレートしている。しかし、計算そのものは、図4の様な急激な気温の変化については、平衡地表面温度を求める事はできず、適当な回数及び計算で、打ち切り、以下、地中温度分布を求めている。

今までに得られた結果の中で、最も重要と思われる事は、土の凍結深が、予測の中では取り扱う事のできない要因（例えば、木の影になる日や当らない。北向き斜面の日や当らない。）に大きく支配され、変動する事であろう。その地域での最大凍結深という考え方が現在の主流であるが、これらの要因の影響も考慮する必要がある。

謝辞 推定に用いたプログラムは北大佐野河福田氏より提供されたものである。現地観測は昭和61年度は衣田・茂澤両君、昭和62年度は周山君により実施された。以上、記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本道路協会：「道路土工、道路排水工指針」、1979。
- 2) 福田・石崎：平衡地表面温度による土壌凍結推定モデル、雪氷、42巻2号 PP71~80
- 3) 木下誠一：「凍土の物理学」第6章、凍結と凍上・数値解析

表1: 土の物性値

含水率 (W)		0.3 (m ³ /m ³)
熱伝導率	凍土 (Kf)	0.00144 (cal/cm·sec·°C)
	未凍土 (Ku)	0.00108 (")
熱容量	凍土 (Cf)	0.50 (cal/cm ³ ·°C)
	未凍土 (Cu)	0.60 (cal/cm ³ ·°C)

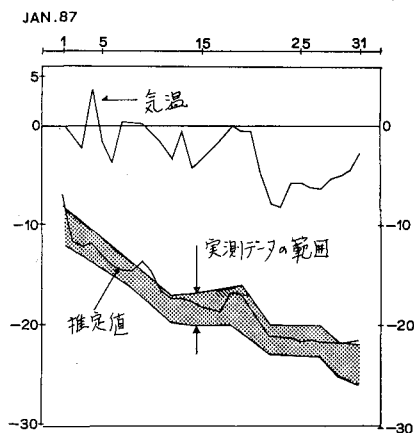


図3 モデルによる推定値と実測値(昭和61年度)

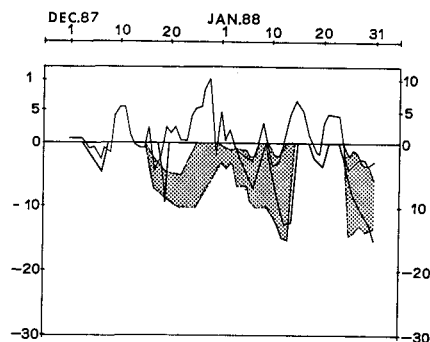


図4 モデルによる推定値と実測値(昭和62年度)