

(株) 精 研 (正員) 松岡啓次, (正員) 高志 勲

" 大川一善, 田中玄成, 柳本申二

## 1. 緒 言

近年ヒートパイプは、各方面に利用され、土木関係ではトンネルのつらら防止・融雪等の目的に利用されつつある。本実験の目的は、ヒートパイプ(以下単にHPと記す)を地中に埋設し、冬期の低温外気を冷熱源として地中に凍土を造成し、夏期の空調及び貯蔵庫等の冷熱源、又は土木工事の仮設構造物としての可能性を調べることにある。HPの能力に関しては、既に室内実験(1)を行つた。この結果を基にして、同じ構造のHPを用いて昭和56年12月より2年間の予定で北海道釧路地方で野外実験を開始している。ここに昭和57年3月までの実験結果の中間報告をする。

## 2. 実験装置及び方法

図-1の構造のHP(外径114.3mm、長さ11m)を地中に埋設し、地中温度測定用に2本の測温管(外径48.6mm、長さ9m)をHPから約0.5m、1.0m離して埋設した。実験場所の土質は、G.L.-3mまではビート層、それ以深は粘土層であり、地下水位はG.L.-2.5m程度である。HPは地中を蒸発部、地上を凝縮部とした熱サイフォン型で、地下熱を外気へ一方方向にのみ輸送する熱流ダイオード素子である。凝縮部は、外気との熱交換を増す為フィン(面積約14.5m<sup>2</sup>)を取付け、蒸発部は冷媒(R-22)の蒸発温度の均一化を図る為、図-1の様な構造とした。地表面は、外気からの直接の影響を抑える目的で断熱材を敷いた。

測定は、①冷却源である外気温度 ②HPの凝縮部管内温度 ③HP蒸発部の冷媒液温度 ④測温管No.1, No.2のG.L.-2, -4, -6mの地中温度等を自記記録計で連続計測した。又、HPが深さに依らず一様に冷却しているのを確認する為、測温管内の深度別測定をした。

## 3. 実験結果と考察

図-2にHP埋設完了日(昭和56年12月16日)を起点とした日平均外気温度、その積算寒度、地中温度変化を示す。HP作動前の初期地中温度は、G.L.-2, -4, -6mでそれぞれ8.2℃, 7.8℃, 7.3℃であった。65日目まで地中温度は順調に降下し、No.1で上から1.8℃, 2.2℃, 2.5℃、No.2で3.8℃, 4.3℃, 4.4℃となつた。それ以後は、温度降下は鈍く又は若干上昇しているが、G.L.-2mでは、断熱材があるにも拘らず外気の影響を受けて低下している。図-3は、98日目の地中温度の深度別測定結果である。G.L.-3m以浅と-7m以深では、それぞれ外気からの冷却と地中からの加熱による影響が現われていると思われるが、G.L.-3~-7mでは温度差が1℃前後ではば一定と見なせることから、HPは深度方向にむらなく作動し

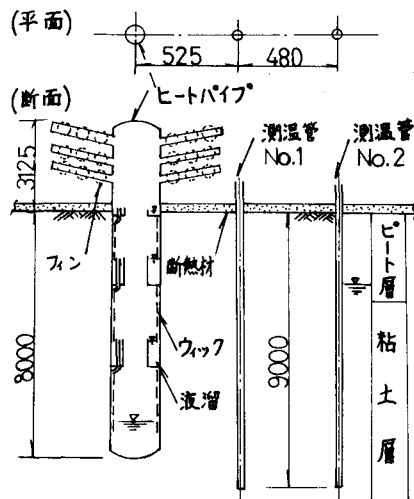


図-1 実験概要図

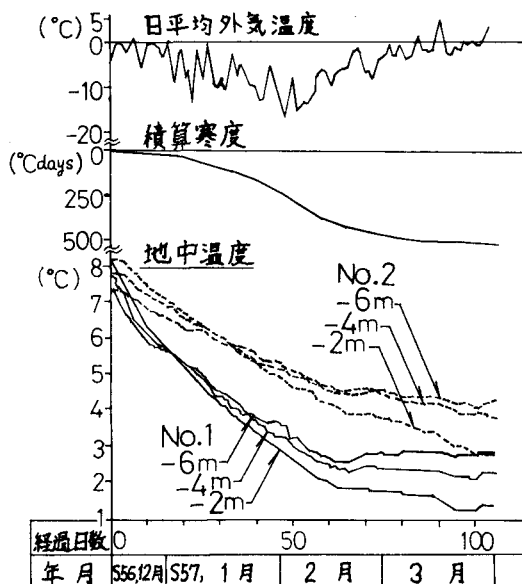


図-2 日平均外気温度、積算寒度

地中温度の経時変化

ていと言え。図一4は凍結半径、HPの冷却による地中温度降下が生じる影響半径及びHP 1 m当りの冷熱蓄熱量を推定したものである。HPは、凝縮部温度が蒸発部温度より低い時に作動し、その逆の時に停止する。停止時は、地上への熱移動がなくなり地中からHPへの熱流によりHP蒸発部温度が上昇する。この温度上昇から一次元円筒座標のExplicit形階差式(2)を用いて凍結半径を推定した。凍結半径は60日目頃に最大となり約40 cm程度であるが、その後解凍が進んでいる。

未凍土内温度は、凍結面と測温管No.1との間の領域とNo.1の外側の領域に分け、前者を $\theta_{in}$ 、後者を $\theta_{out}$ とし、それぞれ対数分布になっているものと仮定すると、

$$\theta_{in} = (\theta_1 - \theta_f) \ln(r/R) / \ln(r_1/R) + \theta_f \quad \text{----- (1)}$$

$$\theta_{out} = (\theta_2 - \theta_1) \ln(r/r_1) / \ln(r_2/r_1) + \theta_1 \quad \text{----- (2)}$$

となる。但し、 $\theta_1, \theta_2$  : No.1, No.2の温度、 $\theta_f$  : 氷点(0℃)、 $r_1, r_2$  : HPの中心からNo.1, No.2までの距離(m)、 $R$  : 凍結半径(m)。実験は、地表面近くで行ったので外気の影響を受けた。その為、無限遠地中温度 $\theta_\infty$ を下式(3)を用いて補正した。

$$\theta_\infty = \theta_0 \cdot \text{erf}\{Z / (2\sqrt{Kt})\} \quad \text{----- (3)}$$

但し、 $\theta_0$  : 初期地中温度、 $Z$  : 深度(m)、 $K$  : 未凍土の温度伝播率(0.00145 m<sup>2</sup>/h)、 $t$  : 経過時間

図一4の影響半径 $Re$ は(3)式の $\theta_\infty$ が(2)式の $\theta_{out}$ と等しくなる $r$ の値とした。影響半径は75日目まで滑らかに増加し、3 m前後となるが、それ以後増加しているのは、HPの冷却より解凍が優勢となった為、温度は対数分布に近似出来ないと思われる。

凍土内の蓄熱 $g_1$ は、

$$g_1 = \pi(R^2 - a^2)(\theta_0 C_2 \rho_2 + L \rho_1) \quad \text{----- (4)}$$

として求めた。但し、 $a$  : HPの半径(0.05715 m)

$C_2 \rho_2$  : 未凍土の熱容量(842.8 Kcal/m<sup>3</sup>℃)、

$L \rho_1$  : 凍結潜熱(47,700 Kcal/m<sup>3</sup>)とした。

未凍土内の蓄熱 $g_2$ は、下式より求めた。

$$g_2 = \int_R^{r_1} 2\pi r C_2 \rho_2 (\theta_\infty - \theta_{in}) dr + \int_{r_1}^{Re} 2\pi r C_2 \rho_2 (\theta_\infty - \theta_{out}) dr \quad \text{----- (5)}$$

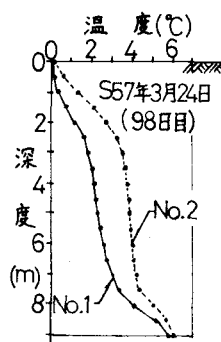
図一4で $g_2$ は、G.L.-4 mと6 mの平均値である。 $g_1$ は60日目頃より減少し、その減少した蓄熱は $g_2$ に振り替っただけで、全蓄熱量( $g_1 + g_2$ )は減少せず常に増加傾向を示している。

以上の結果を総括すると次の様になる。①HPは長くても内部構造の工夫により一様に冷却出来る。②実験場所は比較的積算寒度の小さい所であるが、それでも一冬で一本のHPで半径40 cm程度の凍土造成が可能である。③冷熱蓄熱量は、HP 1 m当り $5 \times 10^4$  Kcal程度と推定される。

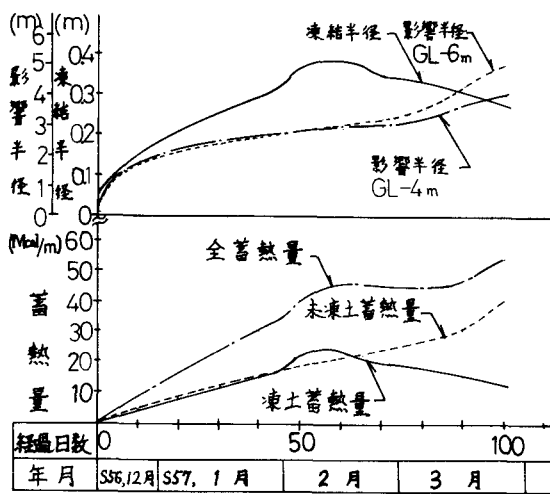
今後の課題としては、①外気温度と凍結半径及び蓄熱ととの解析、②夏期の凍土の解凍及び蓄熱量の状態、③多数のHPを埋設した場合の凍結範囲及び蓄熱量の推定、などがある。

終りに実験場所の提供と多大の御協力をいただいた株式会社製薬工場釧路工場の方々に深く感謝致します。

参考文献 (1) 高志・大川・松岡・柳本：地盤凍結に応用するためのヒートパイプ室内基礎実験、昭和56年度日本雪氷学会講演予稿集P-146  
(2) 藤井・片山他：伝熱工学の進展, Vol. 3 養賢堂  
(3) 川下研介：熱伝導論, オーム社



図一3 深度別測定



図一4 凍結半径、影響半径、ヒートパイプ1 m 当りの蓄熱量の経時変化