

八光建設(株) 正員 後迫 茂
 長岡技術科学大学 正員 河原 能久
 長岡技術科学大学 正員 後藤 巖

1. はじめに

ヒートパイプ(HPと略記)と利用した融雪装置の開発が進められている。本研究は地下水流が存在する地盤と熱源とする場合と検討対象とし、現地で見られる複数の層から成る地盤中に設置されたHPへ流入する熱量の算出方法と得る事と目的としている。本報は基礎的な2層からなる地盤を用いた室内実験結果と述べるものである。

2. 実験概要

実験装置の概要を図-1に示す。地盤のモデルとして水槽中央に砂槽($L80\text{ cm} \times H70\text{ cm} \times B30\text{ cm}$)と設け、地盤中央にHPと鉛直に埋設した。地盤は上層(厚さ30 cm, 砂粒径: $d_{50}=0.22\text{ mm}$, 透水係数: $k=1.5 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$)と下層(厚さ40 cm, $d_{50}=0.41\text{ mm}$, $k=1.0 \times 10^{-1}\text{ cm/s}$)の2層から成る。地盤の有効熱伝導率(λ)は上・下層とも $5 \times 10^{-3}\text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot\text{deg}$ である。実験条件を表-1に示す。実験では冷却ジャケットが空の状態から温度(T_c)、流量(q_c)が一定の冷却水を供給しHPから放熱させた。上流端の水温(T_f)をほぼ一定値とし、地下水流速(全断面平均流速: U_m)を変化させた。なお、使用したHPの仕様を表-2に表わす。

3. 実験結果

3.1 非定常状態での結果

図-2はHPへ流入する熱量(Q)の時間的変化を2つのケースについて示したものである。熱量は地下水流速の大小にかかわらず、冷却開始直後に大きく以後漸減し一定値に至る。図-3はHP蒸発部外壁の前後のよどみ線に沿う温度分布(T_e)の経時変化を表わす。時間経過とともにHP外壁温度が低下していき、やがて一定となる。また、層の境界近傍を除いてHP外壁温度はそれぞれの層内でほぼ一様とな

表-1 実験条件

	T_f	U_m	T_c	q_c
1	21.7	0.65	1.50	22.9
2	21.1	0.72	1.45	24.4
3	21.1	1.60	1.45	22.0
4	20.9	3.20	1.60	21.0
5	20.2	6.30	1.45	22.2
6	20.5	8.80	1.55	19.4

($^{\circ}\text{C}$) ($\times 10^{-3}$) ($^{\circ}\text{C}$) (cm^3/s)
 (cm/s)

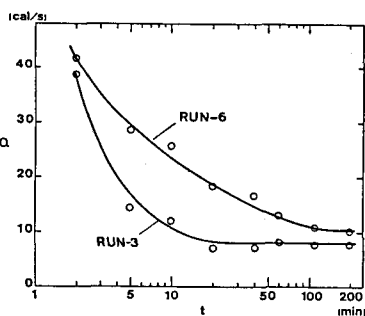


図-2 HPへの流入熱量の時間的変化

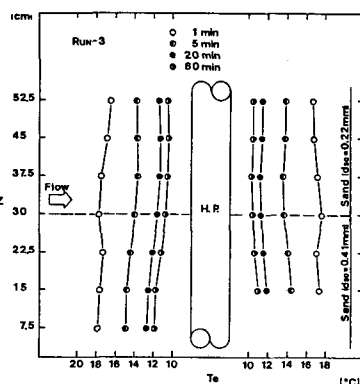


図-3 HP外壁温度の時間的変化

表-2 HP仕様

管材質	スチール
作動流体	アンモニア
遷流方式	重力
全長	100 cm
蒸発部	60 cm
断熱部	10 cm
凝縮部	30 cm
外径	3.4 cm
肉厚	0.34 cm
ウィック	なし
封入流量	蒸気空間の5%
その他	外壁に防錆塗装

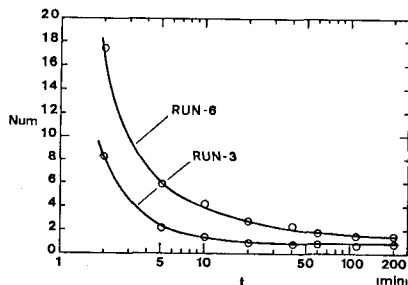


図-4 HP外壁平均セル数の時間的変化

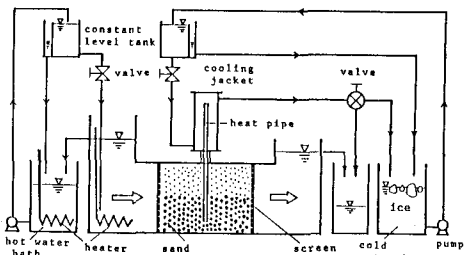


図-1 実験装置概要

っている。HP 蒸発部外壁平均ヌセルト数 ($Num \equiv \alpha_{em} \cdot D_o / \lambda$, α_{em} : HP 蒸発部外壁平均熱伝達率, D_o : HP 外径) の時間的変化と図-4 に示す。平均ヌセルト数も熱量と同様に時間とともに減少し一定値に近づく。以上の結果より、時間経過に伴い、HP 外壁と地温との温度差は増すが、平均熱伝達率がその増分以上に減少するため熱量が減少することが知られる。

3. 定常状態での結果

図-5 は地盤内温度分布の測定例 (Run-6) である。ただし、HP 前面、背面のよどみ線の延長上の温度である。また、HP 外壁温度は後述のように下層の方が高い。地盤内温度は HP から等距離の位置では上層より下層の方が高くなっている。また、等温線は層境界付近を除くとほぼ HP 管軸に平行となっている。HP への流入熱量と地下水流速との関係を表わしたものが図-6 である。地下水流速はペクレ数 ($Pe \equiv U_m D_o (\rho C)_w / \lambda$, $(\rho C)_w$: 水の熱容量) の形で表現してある。地下水流速が増すにつれ、熱量は増大する。図-7 は上下層内の HP 外壁平均温度 ($\bar{T}_e$) と地下水流速との関係を示している。HP 外壁温度は地下水流速の大きい下層の方が高く、上下層間の HP 温度差は地下水流速が増すにつれて増加する。図-8 は HP 蒸発部全体の平均ヌセルト数 (Num) と地下水流速との関係を表わす。地下水流速が増加するにつれ、平均ヌセルト数も増大する。

2層地盤中に設置された HP への流入熱量の算出を試みる。計算手順は次のようである。①それぞれの地盤について算術平均温度 ($\frac{1}{2}(T_f + \bar{T}_e)$) での透水係数を計算する。②各層内の断面平均流速と実験装置上下流端のピエゾ水頭差より求める。③断面平均流速より各層内のペクレ数が得られるので、1層のみの地盤で得られた $Num \sim Pe$ の関係¹⁾より各層の HP 外壁平均ヌセルト数を求める。④各層内の HP 外壁平均熱伝達率が計算されるので、各層ごとに HP へ流入する熱量が算出される。計算された HP への流入熱量 ($Q_1 + Q_2$) と測定値 (Q_{obs}) とを比較したものが図-9 である。図中の丸印に付けられている横線は温度測定用の熱電対の誤差 ±0.1℃とした場合の測定値の幅を示す。計算値の方が測定値よりもやや大きい値となっている。温度測定の誤差、地盤の締固めの不均一さ、HP 端部の影響を考慮すると、計算値と測定値は良好に一致していると考えられる。

4. おわりに

地下水流れの存在する2層地盤中に HP を設置すると、層境界付近を除き、各層内の地盤、HP 外壁温度が HP 管軸方向にはほぼ一様となる。このことと均質地盤での結果から HP への流入熱量と算出したところ測定値とほぼ再現した。今後、地盤材料を変えた実験と数値シミュレーションを検討する予定である。

参考文献 1) 後迫, 河原, 後藤: 第39回年講, 659-660, 1984

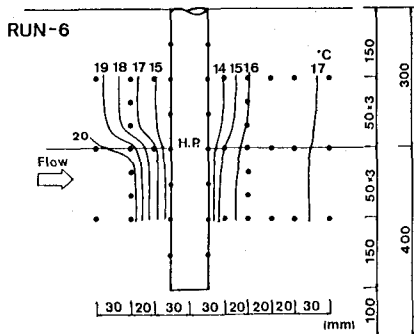


図-5 地盤温度分布例

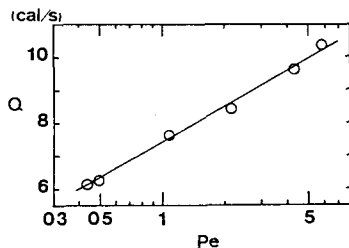


図-6 HPへの流入熱量と地下水流速の関係

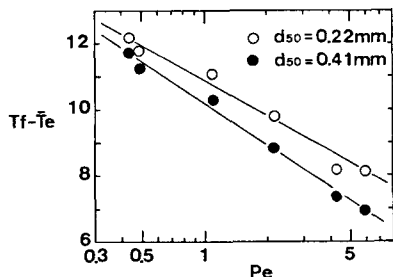


図-7 HP外壁平均温度と地下水流速の関係

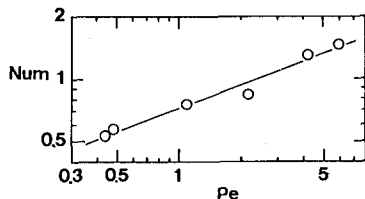


図-8 HP平均ヌセルト数と地下水流速との関係

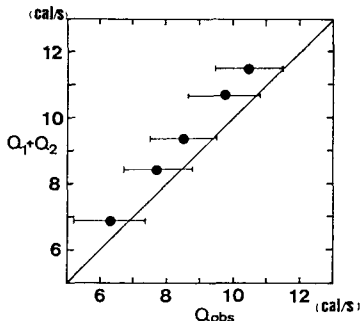


図-9 HPへの流入熱量の比較