

掘削杭熱交換方式による地熱利用と路面融雪システム

ミサワ建設技術 正員 森山和馬、林 拓男
 福井大学 正員 福原輝幸、学生員 渡辺 洋
 大林組 正員 足立克己

1. はじめに

筆者らは数年前から岩盤蓄熱に注目し、掘削杭熱交換方式(Borehole Heat Exchange System、通称 BHES と称する)による道路融雪に取り組んでいる¹⁾。この方式は長さ 50 ~ 200 m の掘削杭を熱交換器として活用する。この掘削杭は西岡・山田²⁾と同じような一種の向流式熱交換杭(2重管循環方式)ではあるが、杭長が5~7倍も長く、地表から100 m以深の深層地熱の採熱に特徴がある。また、宮本ら³⁾の基礎杭(長さ22 m)を使ったパイル内対流方式とは内部構造的な違いがあり、杭内の循環方式も異なる。海外でも、例えばスウェーデンの Lulea で長さ 60 m、直径 0.115 m の BHES による蓄熱が行われている⁴⁾。

こうした現状に鑑みて、筆者等は BHES による地熱採熱の効率化と融雪システムを確立すべく研究を行っている。ここでは、BHESの融雪および掘削杭と地盤との間の熱移動について得られた知見を報告する。

2. 掘削杭熱交換方式(BHES)による融雪システム

BHES による融雪システムは Fig. 1 に示されるように、無散水融雪装置と掘削杭熱交換器(以下、杭熱交換器と呼ぶ)から成る。その構造は以下の通りである。

(1) 無散水融雪装置: 舗装体内部に、放熱管(口径 ϕ 15 mm 鋼管)を多重平行流型に配置し、ラインポンプによってパイプ内を流体(循環水)が循環する。

(2) 杭熱交換器: 長さ 200 m、 ϕ 150 mm の掘削杭中に内管(ϕ 50 mm)と外管(ϕ 82 mm)のポリエチレン製2重管が挿入され、これが杭熱交換器となる。無散水融雪装置から戻ってきた流体は内管を杭先に向かって下降した後、再び外管を上昇する。この流体移動の間で周囲地盤と流体との間で熱交換が生じる。

3. 融雪状況およびBHESの熱エネルギー特性

Photo. 1 は 1994 年 2 月 12 日の実験場(ミサワ建設技術(株)、実験施設)における無散水融雪路面の融雪過程を表す。同日および 2 月 10 日の積雪深の経時変化を Fig. 2 に示す。参考のために非融雪路面のそれも併示される。2 月 12 日は降雪が激しく、非融雪路面の積雪深は測定開始時(8時)に 36.5 cm あり、時間と共に積雪深は減少したが、測定終了時(17 時)に 23.5 cm の残雪となった。一方、無散水融雪路面では初期に 10 cm の雪があったが、急速に融けて13時には消雪した。2 月 10 日の

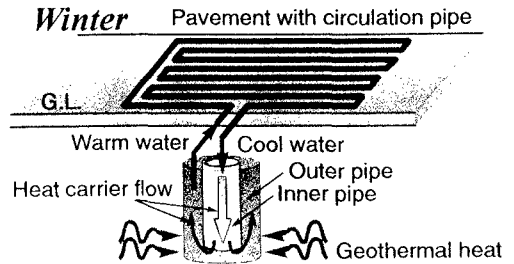


Fig. 1 BHES による融雪システム

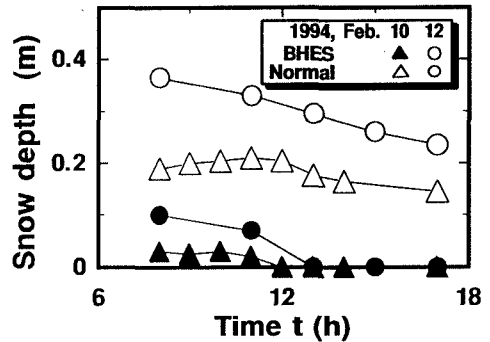


Fig. 2 積雪深の経時変化

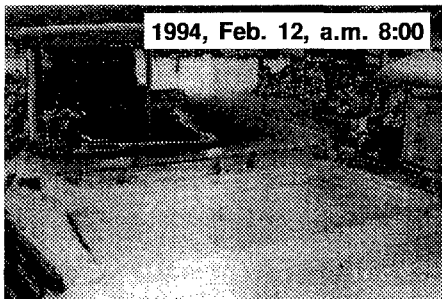


Photo. 1 無散水融雪路面の融雪過程

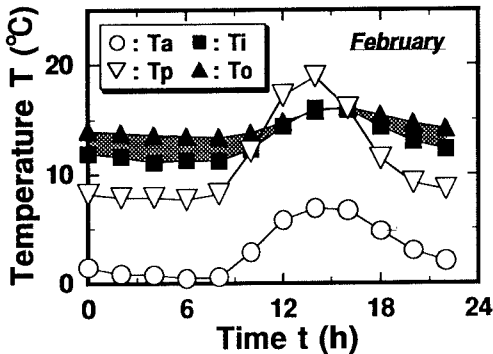


Fig. 3 平均日温度変化（2月）

降雪に対しても、早期の融雪が確認できた。

Fig. 3 および Fig. 4 は2月と8月における杭入口温度 T_i 、杭出口温度 T_o 、舗装内温度 T_p 、気温 T_a に関する毎日の2時間毎のデータを1カ月にわたってアンサンブル平均した日温度変化を示す。図中の斜線部は T_o と T_i との差を表す。先ず、2月に注目する。14～16時を除くと、 T_o は T_i よりも高く、地熱が循環水を介して舗装体へ供給されていることが知れる。 T_p は T_a よりも常に高く、最低でも7℃あり、余熱（連続）運転の効果が認められる。なお、ここには示していないが、懸念された連続運転に伴う T_o のトレンド的な低下は認められなかった。一方、8月では T_p は日射の影響を受けて10～18時の間では T_a よりも高いが、それ以外の時間帯では逆に低くなる。しかし、 T_p は夜間においても20℃を下回らず、高いレベルにあるために、 T_o は常に T_i よりも低い。従って、循環水は舗装体から恒常的に熱供給を受けていることが判る。

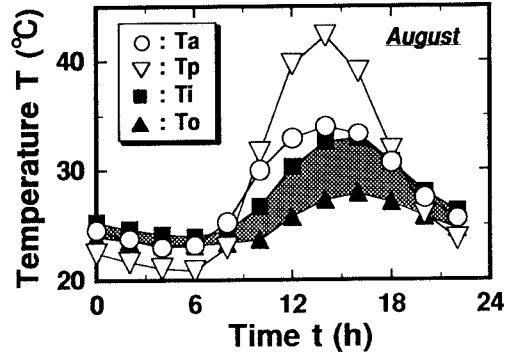


Fig. 4 平均日温度変化（8月）

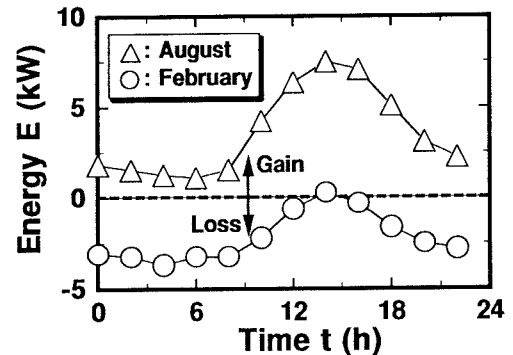
Fig. 5 熱エネルギー移動量 E の変化

Fig. 5 は杭熱交換器と地盤の間の熱エネルギー移動量 E を2月と8月でそれぞれ示したものであり、地盤から杭熱交換器へ熱移動が起こる場合を負（損失）、その逆を正（利得）と定義する。 E は循環水量、比熱、密度および T_o と T_i との差から計算される。先ず、2月は14時付近を除く時間帯で E は負であり、循環水を介して BHES により地熱エネルギーが舗装体へ輸送されている。一方、8月は E は常に正となり、舗装体に蓄積された太陽エネルギーが BHES を通して地盤に輸送されている。8月の E の積分値の絶対値は2月のそれに比べて大きく、この利得エネルギーが冬期に渡る BHES への安定的な地熱エネルギー供給に貢献すると考えられる。

4. おわりに

掘削杭熱交換方式（BHES）は従来の杭式熱交換方式に比べると、より深層の地熱探熱に特徴があり、本実験を通して、以下のような結論を得た。

- (1) BHESは杭長が長い（杭と地盤との接触面積が大きい）ために探熱性が高く、融雪期間中でも舗装体へ供給される循環水の温度低下が殆ど認められない。
- (2) 夏期の太陽エネルギーの地盤への供給および冬場の地盤から舗装体への熱エネルギー移動の様子が明らかになった。

参考文献

- 1) 森山和馬・林拓男：低温地熱を利用した無散水融雪システムについて全地連「技術フォーラム '94」、1994
- 2) 西岡純二・前田健一：地中熱利用ヒートポンプの研究開発第回寒地技術シンポジウム、1991
- 3) 宮本重信他：基礎杭利用地熱融雪法、福井県建設・雪対策技術センター年報、1991
- 4) Bo Nordell : Borehall heat storage design optimization the Smart Store Model, CALORSTOCK '94.,1994