

VII-124

掘削杭熱交換システムの採熱に及ぼす帯水層の影響

福井大学大学院	学生員	谷本 智*
福井大学工学部	正会員	福原輝幸*
福井大学大学院	学生員	渡邊 洋*
ミサワ環境技術（株）	正会員	森山和馬**

1. はじめに 冬期の平均最低気温が 0°C 前後であるような比較的温暖な積雪地帯（暖地性積雪地帯）では、地下水による散水路面融雪がよく用いられている。しかし、散水融雪では毎年ノズルや配管の補修、点検を必要とし、環境面では降雪時の集中的な揚水のために、地下水位の低下や地盤沈下および水質悪化の要因にもなる。さらには、残水の凍結による交通事故の誘発の危険性もある。そこで、運用コストが安価で環境にやさしい地中熱を用いた融雪システムが運用され始めている^{1)~3)}。著者らによる掘削杭熱交換システム（Bore-hole Heat Exchange System, 通称 BHES）は、夏期には冷熱源として、冬期には温熱源として地表面下 200~300m までの地中熱を利用する。

BHES は従来岩盤を対象に欧米で施工されてきたが、福井大学の BHES のように帯水層を含む沖積層に適用された事例はない。従って、BHES と地下水流れとの熱的相互作用に関する知見は乏しい。

そこで本研究は福井大学の BHES を基に、帯水層の BHES に与える熱的影響を考察する。

2. 実験概要

2.1 BHES の構造 BHES による融雪システムは、熱交換杭と循環パイプを有する無散水融雪舗装体とで構成され、両者の間を流体が循環する。その駆動力は 0.4kW のラインポンプであり、システムの稼働は無散水融雪舗装体温度を基に自動制御される。福井大学構内に施工された BHES の構造は、以下の通りである。

熱交換杭：内管（ $\phi 56\text{mm}$ ）と外管（ $\phi 90\text{mm}$ ）のポリエチレン製同軸二重管であり、長さは 70m である。

無散水融雪舗装体：コンクリート平板内部に循環パイプ（ $\phi 15\text{mm}$ 鋼管）が多重平行流型に埋設され、舗装面積は 60m^2 （ $12\text{m} \times 5\text{m}$ ）である。

2.2 熱輸送特性 Fig.1 は BHES による舗装体の加熱メカニズムを表す。冬期において、舗装体を循環する間で冷えた流体は内管を通り、杭底より外管を上昇する。流体温度は地盤温度よりも低いために、流体は地盤および帯水層から熱供給を受け暖められる。暖められた流体は、舗装体内の循環パイプにおいて熱を放出する。

2.3 温度計測 地盤温度は熱交換杭外管側周より 0.02m 離れた地点において、杭頂から杭底 70m まで 10m 間隔で計測される。内管、外管水温は、ともに杭頂から下方 2m, 18m, 36m, 53m および 68m の地点で計測される。温度はすべて熱電対により得られる。

3. 実験結果 Fig.2 は 1998 年 1 月 1 日から 3 日までに計測された地表面下 20m, 40m および 50m での地盤温度の経時変化である。なお 40m および 50m の深さには帯水層（GW1 層（礫）、GW2 層（粗砂）と呼称）が存在する。BHES は 1997 年 12 月 2 日より 1 ヶ月間停止し、1998 年 1 月 2 日午前 5 時から稼働し始め、制御により 5 時間後に停止した。1 月 3 日にも同じことが繰り返された。システム稼働後、地盤温度は無散水舗装体からの冷水により急激に低下するが、この傾向は 20m の深さで顕著であり、最大で 4.4°C 下がる。さらに GW1 層と GW2 層を比較すると、前者では最大で 2.3°C 、後者では 1.3°C 低下しており、GW2 層では、地盤温度は低下し難いと言える。GW1 層および GW2 層の初期温度（地下水温度）に差はないことから、この原因は主に地下水流速の違いにあると推察される。

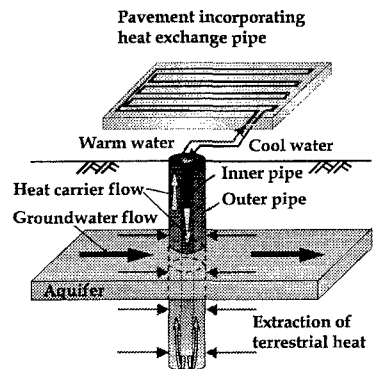


Fig.1 帯水層を横切る BHES の熱移動概念図

キーワード：掘削杭熱交換システム（BHES）、地中熱、帯水層、熱移動

* 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 TEL 0776-23-0500 (2809) FAX 0776-27-8746

** 〒729-6202 広島県三次市向江田町 4252-2 TEL 0824-66-2281 FAX 0824-66-2975

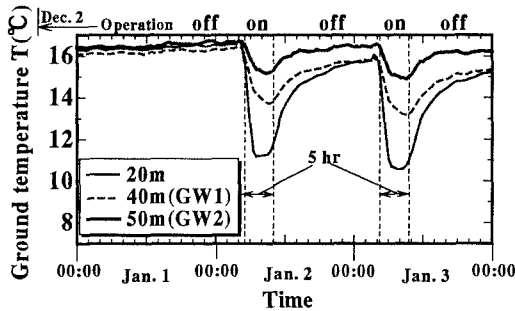


Fig.2 地盤温度の経時変化 (1998年)

同期間の熱交換杭外管水温の経時変化を Fig.3 に示す。システムの稼働時（図中の on）において冷水が流入するために、水温は急激に低下する。稼働時において、流体は外管を上昇する間に地中熱を吸収し暖められるために、熱交換杭の下部よりも上部において水温は高くなる。よって稼働停止直前の水温は深さ 50m (GW2 層), 40m (GW1 層), 20m の順に低い。しかしながら、システム停止期間（図中の off）に起こる水温の回復は GW2 層で最も早く、1 月 3 日の午前 0 時には稼働前のレベルに回復する。

Fig.4 に 1 月 2 日のシステム稼働時における杭内水温を 1 時間毎に示す。稼働前 (05:00) の水温分布は横軸の 70m を中心として左右対称であり、杭内の熱的平衡を意味する。稼働中の水温上昇は、外管において顕著である。

Fig.5 にシステム停止後 10 時間にわたる杭内水温の上昇過程を示す。停止 1 時間後では、内管に比べ外管の水温回復が速いが、2 時間後には内管と外管の水温は、ほぼ等しくなる。注目すべきは、内管、外管ともに GW2 層付近の水温回復が著しいことである。

Fig.6 は、深さ 20m に対する GW1 層および GW2 層の採熱フラックスの比（採熱比）を示す。採熱比は、採熱エネルギーが地盤と外管との温度差に比例すると、計算される。システム稼働により、GW1 層の採熱比は最大で 2.2 に、GW2 層では 3.2 となる。これは、帯水層地盤の温度がシステム稼働時にも、高い値を保っていることに起因する。しかしながら、システムが停止すると、地盤と外管との温度差が小さくなり、両層の採熱比に違いはなくなる。

4. おわりに 以上より、帯水層を有する地盤での BHES の適用は、採熱に対して有効であることが検証された。今後は年間を通した帯水層の BHES に与える熱的影響を検討する。

参考文献 1) 福原輝幸・森山和馬・大木政弘・渡邊洋：掘削杭熱交換システムと高熱伝導舗装体による路面融雪，第 13 回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集，Vol. 13, pp.101-106, 1997.

2) 盛田耕二：坑井内同軸熱交換器方式による地熱エネルギー抽出に関する研究，1994.

3) 上村靖司・小松崎通雄・梅村晃由・戸井田隆行：融雪地中熱交換井の性能評価，日本雪氷学会全国大会講演予稿集，pp.80, 1998.

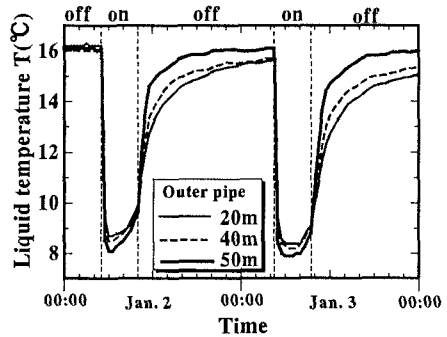


Fig.3 外管水温の経時変化 (1998年)

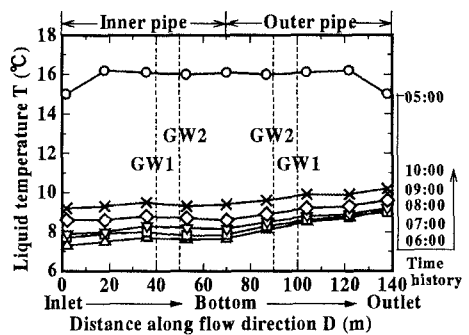


Fig.4 熱交換杭水温 (稼働時)

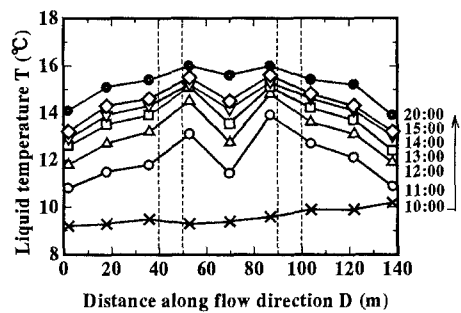


Fig.5 熱交換杭水温 (停止時)

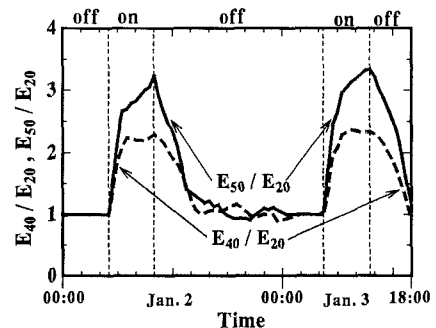


Fig.6 採熱の比較 (1998年)