

地中熱利用による路面融雪と地盤蓄熱

建設省三次工事事務所 賛会員 村上芳明
建設省三次工事事務所 賛会員 溝川克巳
建設省三次工事事務所 賛会員 ○小林巨樹

1. まえがき 地球環境への配慮が重視されている今日、エネルギーの節約や有効利用を推進すると共に、熱エネルギー源として半永久的に得られる太陽熱、風力、地熱等の自然エネルギーや下水熱、廃熱等の未利用エネルギーの活用が注目されている。ただし、これらの未利用エネルギーは一般に熱容量そのものは大きいけれども、時間や季節によってその供給量が変動しやすいため、現在必ずしも有効に利用されているとは言いがたい。集熱技術やエネルギー変換技術の向上と共に、需要変動に対応できるような熱貯蔵技術が必要となる。

当事務所では、自然エネルギーの中でも安定した熱源である地中熱（深さ 100m 前後）に着目し、平成 7 年度にトンネル前後の坑口と橋梁部において掘削杭熱交換方式（Borehole Heat Exchange System：通称 BHE S）による無散水融雪システムを試験的に導入し、その後の追跡調査を行ってきた。^{1) 2)} ここでは、冬期の融雪、夏期の地盤蓄熱といった季節間の熱移動特性とシステムの省エネルギー性・環境負荷軽減効果について紹介する。

2. 融雪システム概要 BHE S は図-1 に示すように、地下 100m 前後の垂直ボーリングを行い掘削杭熱交換器（ポリエチレンパイプ 2 重管）を設置し、路面に埋設された放熱管と閉回路で連結される。

冬期の場合は、路面で冷やされた循環水は内管を下降して外管を上昇する際に、相対的に温度が高い周囲地盤から採熱し、温められた循環水は放熱管より路面へ放熱して融雪・凍結防止に貢献する。

夏期の場合は地盤温度より路面温度が高くなる。路面内を循環することにより太陽エネルギーを集熱し、温められた循環水は相対的に温度が低い地盤へ放熱・蓄熱して、路面の昇温を緩和することも可能である。³⁾

導入場所は中国山地のほぼ中央部に位置する広島県双三郡布野村横谷地内、一般国道 54 号天狗トンネル両坑口と橋梁路面で、融雪面積は 1625 m² である。

3. 路面温度制御と蓄熱特性 図-2 は冬期（H10.12～H11.2）と夏期（H10.4～H10.11）における外気温と路面温度の関係を示したものである。冬期において、地中熱採取により温度制御を行っている融雪路面は、温度制御を行っていない非融雪路面より 5℃ 位高いレベルで保たれている。また、外気温 -8℃ までの気温低下に対しては、路面温度 0℃ 以上が保たれており路面凍結防止効果が認められる。

一方、夏期は路面が太陽エネルギーを吸収し路面温度が上昇するが、吸収した太陽からの輻射エネルギーの一部は BHE S により地盤へ輸送されるために、路面温度の上昇が緩

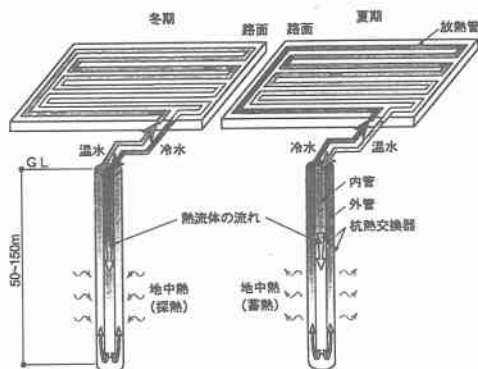


図-1 BHE Sによる季節的熱移動の概念図

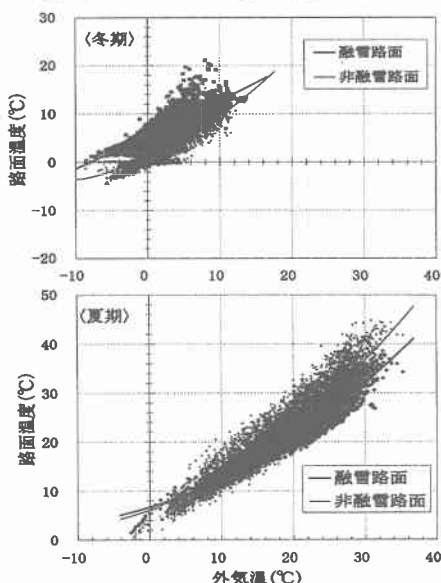


図-2 外気温と路面温度の関係

和される。温度制御を行っている路面は、外気温 30℃以上では非温度制御路面より 5℃以上低くなっている。地盤への蓄熱効果が期待できるとともに、アスファルト舗装では夏の流動化が抑制されるなど副次的な効果も期待できる。

また、図-3 は地中温度分布の経年変化を示したものである。夏の蓄熱運転を行っている場合は、経年的に地中温度の増温傾向が認められ、平成 10 年度で自然地温より 2～3℃高い温度レベルで冬の採熱運転を開始している。蓄熱運転しない場合は、深さ 50m 以深で自然地温より 0.5℃低くなっているがほぼ平衡状態になっており、地中熱採取による地中熱量の経年的低下はほとんど生じないことを示している。これらは気象条件にも影響を受けるため、蓄熱の有効性についてはさらに追跡データを収集する。

4. 年間熱収支と環境負荷軽減効果 図-4 は杭熱交換器と地盤との間を移動する熱エネルギーの年収支を経年的に示したものである。熱が杭熱交換器から地盤へ移動する場合を正、その逆を負とする。12 月から 3 月にかけては熱量は負となり、地盤から採熱状態にある。一方 4 月から 11 月は蓄熱期間であり、その値は 7 月にピークとなる。気象条件により経年的な変動があるものの傾向は類似しており、積算蓄熱量は積算採熱量より 20%以上相対的に多い。

このうち冬の積算採熱量に相当する一次エネルギー量と CO₂排出量を試算してみる。融雪面積 1625 m²全体の積算採熱量は、例えば平成 8 年度で 176,301kwh でこれに必要な使用電力量は 20,611kwh であった。この場合の各融雪工法の一次エネルギー量と CO₂排出量は表-1 のようになる。本システムは化石燃料消費型の従来システムに比較し、換算石油消費量で年間 20～40k1 (ドラム缶で 100～200 本)、CO₂排出量で 10～20T・C 削減したことになる。融雪で消費するエネルギーのうち大部分を自然エネルギーでまかなうことにより、温室効果ガスである CO₂排出量が極めて少なく環境に対する負荷が小さい。

5. まとめ トンネル前後の坑口と橋梁部に導入した BHE S の追跡調査から、季節間の熱移動特性とシステムの省エネルギー性・環境負荷軽減効果について明らかとなった。

地中温度分布の経年変化から、蓄熱による地温の上昇は認められる一方で蓄熱しない場合は、熱採取による地中熱量の経年的低下はほとんど生じないこともわかってきた。これらの地盤の蓄熱特性は、気象条件はもちろん地盤条件等で変化することが予想され、多角的なデータ収集が今後も必要と考える。

【参考文献】

- 1) 竹下・坂本・山根:横谷無散水融雪システムについて、第 22 回日本道路会議、1997
- 2) 村上・溝川・山根:地中熱利用路面融雪システム、第 11 回雪と道路の研究発表会、1999
- 3) 大木・渡辺・福原・森山:掘削杭熱交換方式による地盤蓄熱と路面温度制御、第 41 回水理講演会、1997

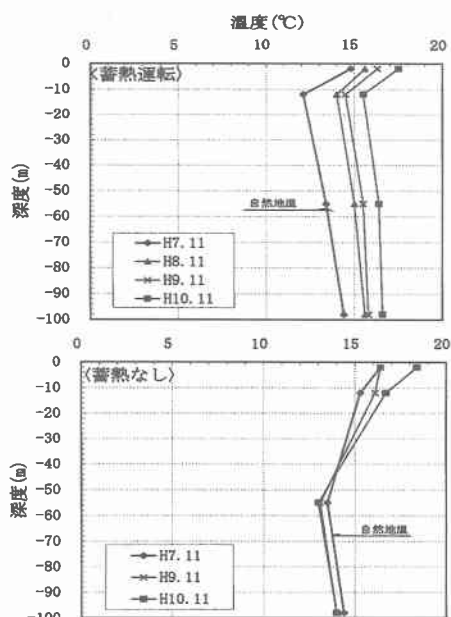


図-3 地中温度の経年変化

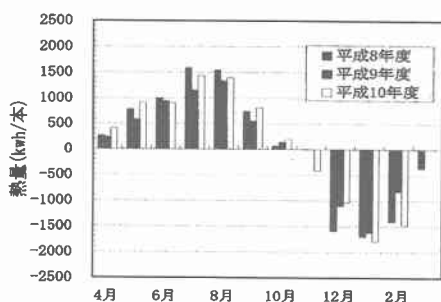


図-4 杭熱交換器 1 本当りの年間熱収支

表-1 石油消費量とランニングコスト

融雪工法	石油消費量 (ℓ)	CO ₂ 排出量 (kg・C)
電熱方式	40,714	21,156
温水ボイラー方式	19,359	13,358
BHES	4,760	2,473

計算条件: 発電効率 0.38 (重油発熱量 9,800kcal/ℓ)

ボイラー効率 0.88 (灯油発熱量 8,900kcal/ℓ)

CO₂排出係数 電力 0.12kg・C/kwh

灯油 0.69kg・C/ℓ

「環境白書」環境庁より