

関山トンネルにおける消融雪設備の取組みについて ～ 潜熱蓄熱装置を利用した地中熱源ヒートポンプ融雪システム～

東北地方整備局 山形河川国道事務所 新井道徳

1. はじめに

東北地方整備局では、効率的・効果的に安全で快適な冬期の交通を確保し、安心できる生活と活発な社会経済活動を支えていくため、平成10年度を初年度とする「新道路技術五箇年計画（東北地方整備局版）」の重点分野の一つとして「道路消融雪技術」の技術開発を推進してきた。

今回、宮城県と山形県の県都を結ぶ一般国道48号関山峠へ設置した「潜熱蓄熱装置を利用した地中熱源ヒートポンプ融雪システム」は、自然エネルギーを活用した消融雪設備である。本設備は広く一般から公募された技術であり、東北地方雪対策技術検討委員会のもと平成11年度から技術開発を進め、平成14年8月に工事着手、平成15年1月から試験運用を行い、平成15年3月に完成した。



図 - 1 関山トンネル及び施工位置

2. システムの概要

関山トンネル山形県側抗口部は空気熱、地下水、風速が十分に確保できず、沢水は水温が低く利用できないといった環境で、地下100mでの地中温度については、冬期でも10

程度もあり、有効な融雪熱源として利用可能であることが確認された。本設備は地中熱を利用することで、自然エネルギーを活用した環境に優しい融雪システムとなっており、以下に消融雪設備（図 - 2）を地中熱交換器、潜熱蓄熱装置、放熱管の三つに大別して概要を述べる。また、設備の特長を表 - 1 に示す。

2.1 地中熱交換器

地中熱の採熱にはダブルUチューブ式地中熱交換器を19基使用している。1基当りに、長さ100mのUチューブを2組垂直に設置し、

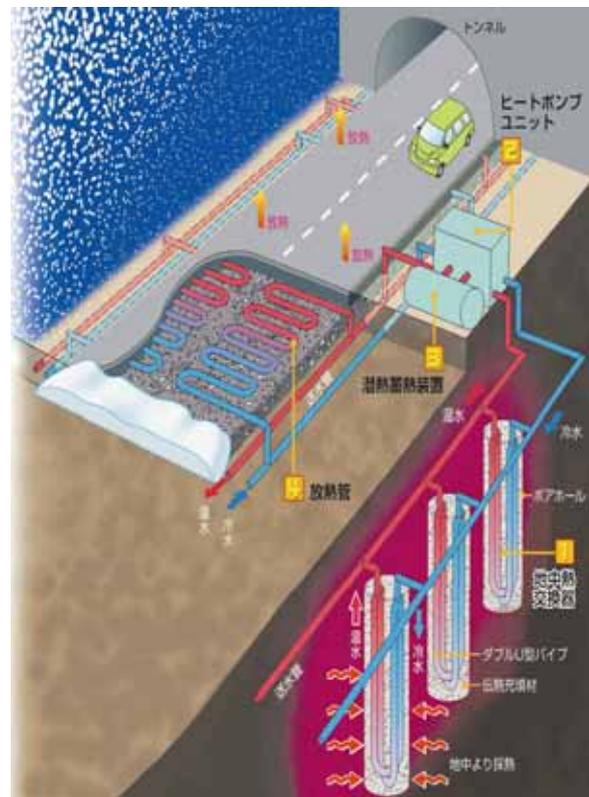


図 - 2 消融雪設備イメージ

Uチューブ内に不凍液を循環させることで地中熱を採熱している。また、地中熱交換器の充填材として、熱伝導率の高いセメントベントナイトを採用しており、さらにその充填材へ炭素粉を混合することで採熱効率を従来の充填材と比較し、20%向上させている。

2.2 潜熱蓄熱装置

本設備では、主電力に安価な融雪専用の電力（融雪用電力B）を使用することでランニングコストの低減を図っている。但し、融雪用電力Bは1日に2時間、電力供給が停止される。そこで、図-3の右図のように採熱した熱を一旦潜熱蓄熱装置に蓄熱し、電力供給が停止する時間帯（16時～18時）にはそこから熱を取り出して融雪を行う。この潜熱蓄熱装置の採用により、本設備は24時間安定した融雪能力を発揮させることが可能となった。また、潜熱蓄熱装置には蓄熱及び放熱を行う蓄熱ボールが約66,000個封入されているが、本設備では従来のものと比較し、物体の状態が変化する温度が低温（30～32℃）である蓄熱ボールを採用することで、蓄熱を行うヒートポンプの発生温度を下げ、エネルギー効率を向上させ消費電力を抑えた。

2.3 放熱管

放熱用配管として配管用炭素鋼鋼管を使用しており、ヒートポンプから送られた高温の不凍液は路面内で8ブロックに分配され、それぞれの放熱エリアに循環される。なお、融雪範囲は幅員7m、延長100m（トンネル坑外74m、トンネル坑内26m）の700㎡である。

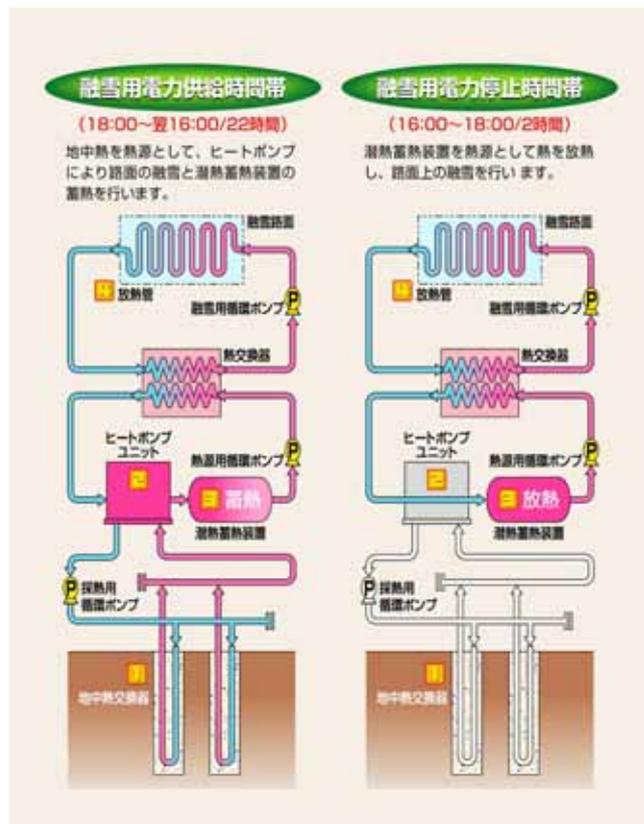


図-3 システムフロー

表-1 消融雪設備の特長



写真-2 消融雪設備全景

特長	効果
自然エネルギーである地中熱を熱源として採用	冬期間でも安定した熱を得ることができる CO ₂ の排出量が電熱方式の50%以下に削減 安定した融雪能力の発揮及び環境への低負荷
潜熱蓄熱装置の採用	従来の水蓄熱と比べ、蓄熱槽の容量が約1/2に 設備のコンパクト化
潜熱蓄熱装置と融雪用電力Bを組合わせた融雪システム	システム全体で電熱方式と比べてランニング コストを30%に低減 ランニングコストの低減
地中熱交換器の伝熱充填材として炭素粉を含有	採熱効率20%向上による地中熱交換器数の減 イニシャルコストの低減

3. 路面融雪状況

平成15年1月より開始された、試験運用期間の路面融雪状況を示す。写真-2より、上り車線において、若干の車両の引きづりによる残雪は見られるものの、融雪能力を十分に発揮している様子が確認できる。また、写真-3からは本設備がトンネル坑内への吹込みにおいても充分に対応していることが確認できる。



写真-2 路面状況(トンネル坑外H15.1.15)



写真-3 路面状況(トンネル坑内H15.1.15)

4. 路面融雪効果

4.1 採熱量・融雪熱量

図-4に日当りの平均採熱量・平均融雪熱量及び設備稼働時間の推移を示す。地中からの採熱量は、ほぼ設計値で推移しており、融雪熱量も常に設計値を満たしている。また、降雪や外気温低下といった厳しい気象条件により設備が高稼働となっても、設計融雪熱量を常に満足している。

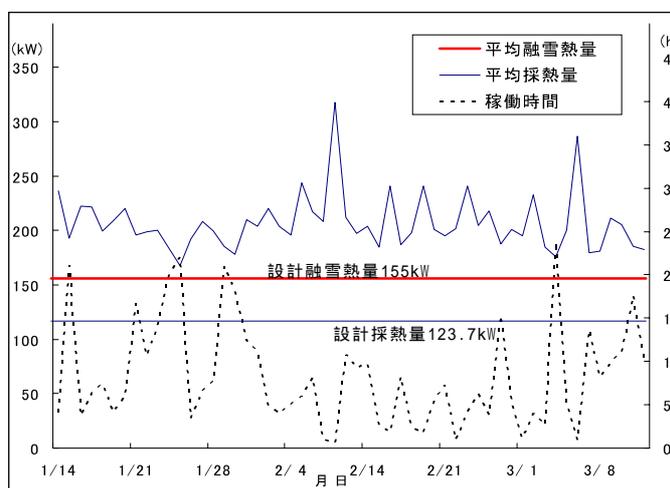


図-4 日当り平均採熱量・融雪熱量の推移

4.2 融雪効果確認

本設備による路面融雪の効果を現地で定量的に確認するため、時々刻々と変化する路面状況をビデオカメラで10分毎に撮影し、この画像データと現地の気象観測データから、路面融雪効果を確認する調査を行った。

融雪効果調査期間における関山地域の気象状況は2月は、平年と比較して暖冬傾向にあったが、3月に入り急激な気温の低下や降雪量の増加がみられた。そのような気象条件の中、本設備の設計条件以内での融雪率は94.5%(8,980分)であり、融雪はほぼ達成されている。

表-2 稼働調査結果(H15.2.5~3.12)

項目	結果
調査対象時間	50,400分
設備稼働時間	12,750分
設計条件以上	3,250分
設計条件以内	9,500分
路面乾燥・湿潤時間	8,980分
路面積雪時間	520分
融雪率	94.5%

$$\text{融雪率} = \text{路面乾燥・湿潤時間} / \text{設計条件以内稼働時間}$$

5. 考察

5.1 融雪効果確認について

融雪効果確認調査より、融雪はほぼ達成されているものの路面上に積雪が確認できる状態が5.5%(520分)発生している。しかし、現地確認の結果、路面は圧雪及び凍結状態ではなくシャーベット状態であることから、凍結路面と比較すると交通安全は向上されており、車両の走行には支障がないものと思われる。

なお、路面上に雪が残った要因としては、強風による路面温度の低下や、雪があるもののすぐに消えてしまっていることから、短時間に発生する降雪量の強弱といった変動によるものと考えられる。

5.2 既存融雪システムとの比較

関山トンネル坑口部に設置した本設備（地中熱源ヒートポンプ融雪システム）と、既存融雪システムである温水ボイラ式及び電熱線式による融雪設備を比較すると、ランニングコストについては本設備が最も優位となるものの、イニシャルコストを含めたトータルコストで比較すると、本設備は割高となる。

しかし、本設備は自然エネルギーを熱源とした設備であるため、化石エネルギーを熱源とした温水ボイラ式や電熱線式と比較するとCO2排出量が少なく、自然に優しい消融雪設備として評価できる。

表 - 3 既存融雪システムとの比較

融雪方式	関山トンネル消融雪設備	既存融雪システム	
	地中熱源ヒートポンプ式	温水ボイラ式	電熱線式
トータルコスト(20年)	1.0	0.4	0.5
CO2排出量	1.0	2.9	2.5

6. おわりに

試験運用期間における調査結果から、本設備は気象条件の変化に随時対応しながらも安定した融雪能力を発揮させることができ、また、既存融雪システムと比較してCO2排出量の削減が大きく達成されていることから、冬期路面の交通安全確保と環境への低負荷を同時に達成させることができることができた。

今後は本結果により、稼働タイミング等の現地にあった設備運転・調整や、夏期における舗装路面から地中への蓄熱等について検討を進め、さらなる本設備の高効率な運用達成を進めていきたいと考えている。

最後に、本設備の開発・設置にあたり、山形大学梅宮弘道教授、東北大学齋藤武雄教授及び、関係各委員の方々から御指導、御協力をいただいたことを感謝申し上げます。