

地中熱利用のロードヒーティング技術と工事实績

田中 雅人

地中熱を利用した省エネルギーなロードヒーティングが各地で導入されており、コストの削減やCO₂排出量の削減に効果を上げている。地下10mより深い地盤の温度は、気温の日変化や季節変化に関わらずほぼ一定であり、この安定した地盤の温度を温熱源や冷熱源として利用するのが地中熱利用である。運転費用は、従来の電熱線を用いる方式に比べて1/10～1/20程度、CO₂の排出量は92%の削減効果が確認されている。本稿では、この地中熱を利用したロードヒーティングの概要を解説する。

キーワード：融雪，凍結防止，ロードヒーティング，冬期道路管理，地中熱，自然エネルギー

1. はじめに

積雪寒冷地では、冬期の積雪や路面凍結により交通機能が低下し、安全な歩行空間の確保や車による移動が困難となっている。特に、今冬は平成18年豪雪に匹敵する大雪に見舞われる中、日本海側の各地では交通障害が多発している。また、交通弱者である高齢者や障がい者に配慮した冬期バリアフリーのニーズも高まっており、積雪や路面凍結への対策が強く求められている。

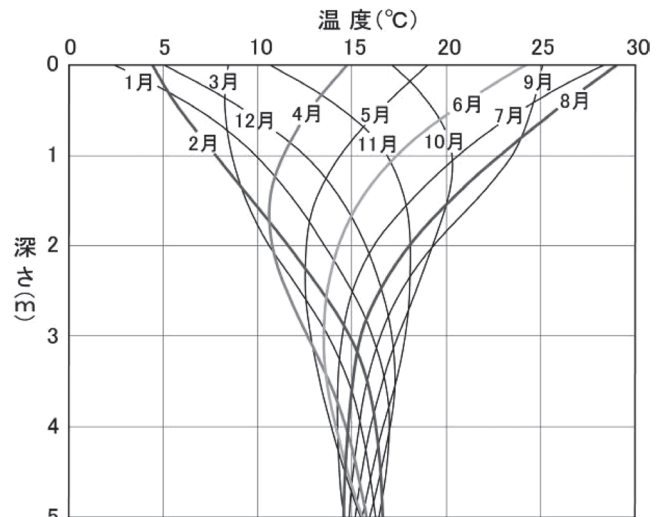
対策の一環として、危険箇所や歩道へロードヒーティング施設が整備されているが、同時に、厳しい財政状況の中で、施設の設置・運営・管理にかかるコストの低減も必要とされている。

さらに、地球温暖化防止が喫緊の課題となる中で、省エネルギーの推進や再生可能エネルギーの導入促進が求められている。各方面でCO₂排出量の削減に向けた取り組みが積極的に進められており、ロードヒーティングの分野でも対応が求められている。

こうした背景を踏まえ、地中熱を利用した省エネルギーなロードヒーティングが各地で導入されており、コストの削減やCO₂排出量の削減に効果を上げている。本稿では、この地中熱を利用したロードヒーティングの概要を解説する。

2. 地中熱利用の概要

一般に、地下10mより深い地盤の温度は、図—1のように気温の日変化や季節変化に関わらずほぼ一定

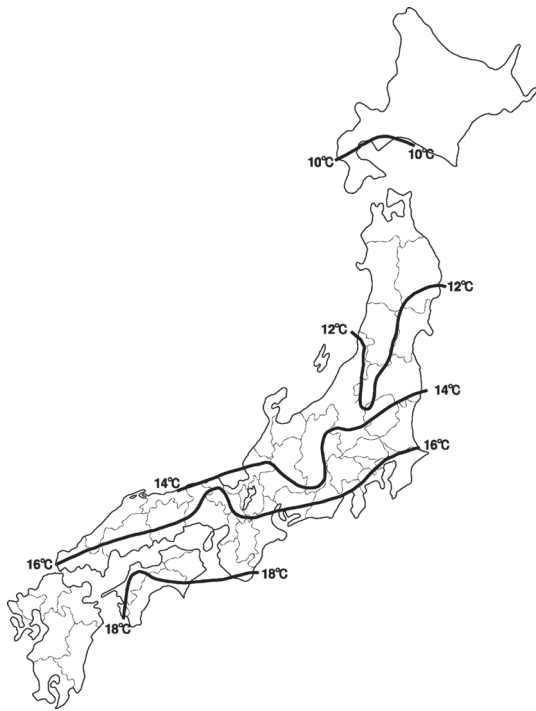


図—1 月別地中温度分布¹⁾

であり、その地域の年間平均気温とほぼ等しいか1℃程度高いとされている。

この安定した地盤の温度を温熱源や冷熱源として利用するのが地中熱利用である。その用途は、ロードヒーティングをはじめ、冷暖房、給湯、工場の冷却工程など幅広い分野で活用されている。

地中熱は、火山地帯において地熱発電等に利用される地熱とは異なり、地域を選ばずどこでも適用可能である。太陽光や風力、水力、バイオマスなどの再生可能エネルギーと並び、地中熱は足元に存在する身近なエネルギーとして、アメリカや北欧では普及が進んでいるものの、国内での普及は諸外国に比べて大幅に遅れている状況である。



図一 2 地下水温度の分布¹⁾

3. システム概要

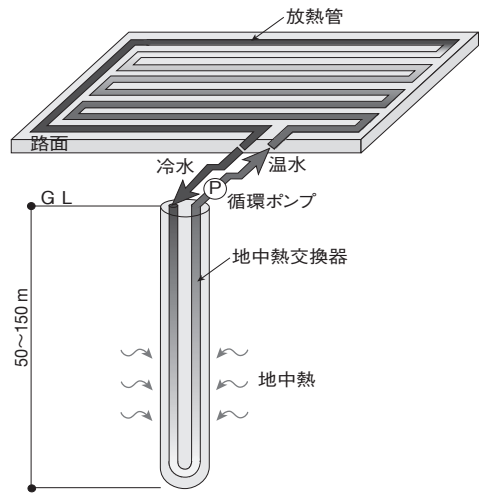
(1) 熱源システム

地中熱の利用方法は大きく次の二つに分類される。一つは、ヒートポンプの熱源として地中熱を利用する方法であり、これを地中熱ヒートポンプシステムと呼ぶ。この方法は、建物の冷暖房や給湯、温水プールや温浴施設の加温に用いられる。もう一つは、ヒートポンプを介さないで利用する方法であり、地中熱直接循環システムと呼ぶ。この方法は、建物の自由冷房、工場の冷却工程に用いられる。ロードヒーティングでは、主に直接循環システムが普及しているが、東北北部の山間部や北海道など、気象条件の厳しい地域では、ヒートポンプを利用する必要がある。

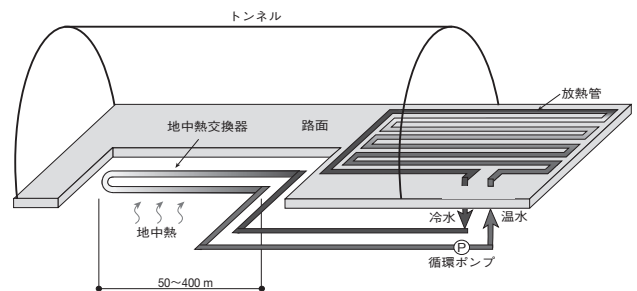
(2) 地中熱交換器

様々なタイプの地中熱交換器が開発されているが、最も普及しているのはボアホールを利用したもの（ボアホール方式、図一 3）である。直径 15～20 cm 程度のボーリングを掘削し、先端が U 字型になったポリエチレン管を挿入する。空隙は砂やモルタルで充填し、ポリエチレン管の中に循環水を循環させる。循環水としては、プロピレングリコールを主成分とする不凍液が多く利用されている。

ポリエチレン管の中を循環する過程において、循環水は周囲の地盤により温められる。循環水は舗装版に埋設された放熱管から路面を温め、再び地中熱交換器



図一 3 ボアホール方式のモデル図



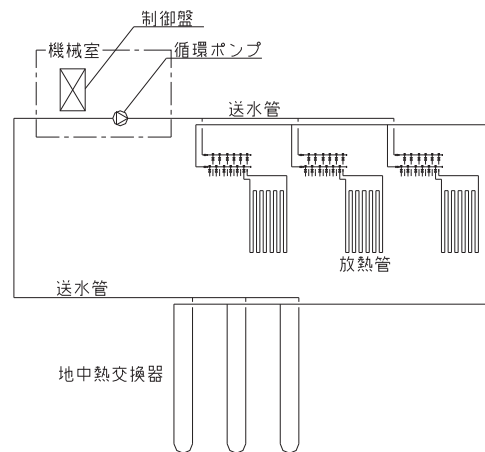
図一 4 トンネル地熱方式のモデル図

に戻って地中熱により温められる。

トンネル内部の地盤も同様に地中温度の季節変化が小さく、これを熱源とする地中熱交換器（トンネル地熱方式、図一 4）も実用化されている。このシステムは、福島県の国道 49 号七折峠トンネルにおいて 2002 年に日本で初めて導入された技術である。

(3) システム構成と施工手順

地中熱を利用したロードヒーティングの標準的なシステム構成を図一 5 に示す。システムは主に、地中



図一 5 システム構成例

熱交換器、放熱管、それらを接続する送水管、循環機器、制御機器からなる。それぞれの施工手順は以下の通りである。

(a) 地中熱交換器

ボアホール方式の地中熱交換器は、相互の熱干渉を避けるために4～5m以上の間隔を空けて設置するのが一般的である。また、これまでの実績から、地中熱交換器1本の採熱量は40～100W/mの範囲となっており、平均的には60～70W/m程度である。

地中熱交換器の深度は、掘削の施工性や循環ポンプの揚程を考慮して100mが多く採用されている。100mまでの掘削が困難な地質の場合は、浅い深度を検討し、一方、設置用地が確保できない場合は、深い深度にして本数の削減を検討することもある。

ボアホールの掘削には、ダウンザホールドリル工法が多く用いられるが、未固結な堆積層の場合にはロータリーボーリングで掘削されることもある。なお、掘削中に発生する残土や泥水の処理に留意する必要がある。

掘削後は、U字型のポリエチレン管を挿入し、空隙を砂やモルタルで充填して地中熱交換器とする。その後、耐圧試験を実施して漏水の有無を確認する。

なお、地下から採熱できる熱量は、地質や地下水の



写真—1 ボーリングマシン (150 kW 級)



写真—2 ポリエチレン管挿入状況

状況、地温によって異なるため、温度検層や地中採熱量の調査を実施し、採熱可能な熱量を把握することが必要である。

トンネル地熱方式の場合は、トンネル内の路盤の構築前に地中熱交換器を設置しておくことが原則であるが、工程面から不可能な場合は路盤を掘削して地中熱交換器を設置することになる。

地中熱交換器の設置位置は、トンネル坑口に近いと外気温の影響を受ける可能性があるため、坑口から一定の距離を離して設置する。

埋設長さは現在50～400mが実用化されている。性能上50m以上あれば支障ないとされているが、漏水防止や施工性の点から継ぎ手による接続箇所をできるだけ減らすことが望ましい。したがって、長さを長くして本数を減らすように検討すべきであるが、循環ポンプの揚程を考慮すると400m程度が上限となる。

(b) 放熱管

舗装体に埋設される放熱管は、従来のボイラー方式等と同様の構造である。ただし、地中熱を利用するシステムでは、温水温度が他の工法と比べて低温である。したがって、路面への熱移動効率を高くするために放熱管の深度を浅くすることが望ましい。舗装版の構造上の問題に配慮しつつ、できるだけ浅くするように検討することが求められる。

また、同様の理由により、舗装体も熱効率のよい舗装が望ましい。



写真—3 放熱管敷設状況

(c) 送水管

複数の地中熱交換器を接続し、循環水を放熱管へ送るため、送水管を設置する。送水管は、耐久性・施工性を考慮してポリエチレン管が使用される例が多い。

(d) 循環、制御機器

システムを構成する主な機器は、循環水を循環させるための循環ポンプのみである。地中熱を利用したシステムは、この循環ポンプの運転費が極めて安価であ

るため、仮に冬期を通して連続運転しても運転コストは安価である。そのため、ポンプの制御システムは必要最小限の単純な制御で問題ない。

また、舗装版を事前に保温しておく予熱運転により、低温の温水でも効率よく凍結防止・融雪が可能である。設定温度は、舗装体が冷えきらない程度の温度を確保するように決定する。

さらに、夏期にも運転することにより、太陽熱で温められた舗装版を冷却すると同時に、太陽熱を地盤へ蓄熱することも可能である。これにより、舗装の流動抑制や、駐車場や歩道では利用者の快適性の向上も図ることができる。

4. 導入実績

ボアホール方式の地中熱直接循環式ロードヒーティング設備は、1994年に実用化されて以降、全国で60箇所程度の導入実績がある。適用箇所は、交差点・橋梁・急カーブ・急勾配部・トンネル坑口・歩道・チェーン着脱場・踏切など多岐にわたっている。

また、トンネル地熱方式は適用箇所がトンネル坑口付近に限られるものの、トンネル内の舗装工に先立って配管を埋設するだけで施工でき、工事費が安価であることもあり着実に実績を伸ばしつつある。



写真一四 融雪状況（車道部）



写真一五 融雪状況（踏切）

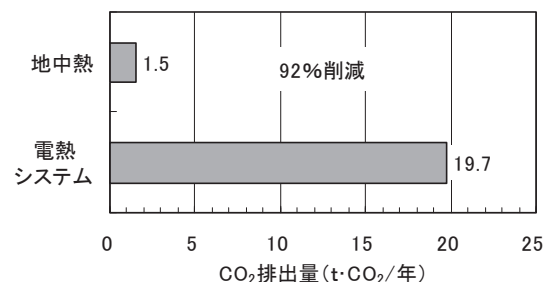


写真一六 融雪状況（歩道部）

システムの運転に要するエネルギーは循環ポンプの消費電力のみであり、従来の電熱線を埋設するシステムやボイラーを利用するシステムと比較した導入効果は非常に大きい。

融雪面積 1 m^2 当りの運転費用は、年間 $100 \sim 200$ 円/ m^2 程度であり、仮に $1,000\text{ m}^2$ の融雪面積では、年間 $100,000 \sim 200,000$ 円となる。これは、従来の電熱線を用いる方式に比べて $1/10 \sim 1/20$ 程度の運転費用である。

さらに、消費エネルギーが少ないことから、 CO_2 の排出量削減にも効果がある。一般国道49号に導入された地中熱利用ロードヒーティング（融雪面積 322 m^2 ）では、図一6のように、電熱線を用いる方式と比較して92%の CO_2 排出削減効果が確認されている。



図一六 CO_2 排出削減効果
 CO_2 排出係数： $0.555\text{ kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kWh}$

5. 新たな取り組み

上記の他にも、様々な地中熱の採熱方法を開発する取り組みが行われている。例えば、廃止されたFRP製の浄化槽を利用し、周囲の地盤から地中熱を採熱して槽内のポンプにより融雪路面へ温水を循環させる方式や、防火水槽を利用する方式が試験運用されている。

また、夏期の太陽熱を地中浅層部に蓄熱し、冬期のロードヒーティングに活用するシステムも開発が進め

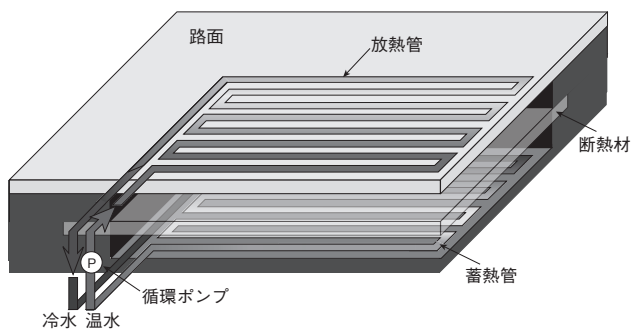


図-7 システム模式図

られている²⁾。本システムは図-7に示すように、地中に水平方向に設置した蓄熱版と機械室内に設置した循環ポンプ機器、および融雪路面に埋設した放熱版(夏期は集熱版となる)から構成される。

夏期は、放熱版で温められた循環水が蓄熱版で放熱し、周囲の地盤を温めることによって蓄熱する。冬期は、蓄熱版で温められた循環水が放熱版で放熱し、ロードヒーティングを行う。蓄熱版は、放熱版の直下に設置する場合と、別の場所に設置する場合が想定されている。

6. おわりに

平成23年度に、地中熱にとっては初めての本格的な導入支援補助金が資源エネルギー庁から交付され、地中熱利用では空調設備を中心に27件が採択された。

現時点では、ロードヒーティング設備が採択された例はないが、地中熱を利用したロードヒーティングが初めて補助対象として明記されており、今後の動向が注目される。

なお、この補助金は、民間事業者を対象にした「再生可能エネルギー熱事業者支援対策事業」(補助率1/3)と、地方公共団体、非営利団体、地域一体となって取り組む再生可能エネルギー熱利用設備を対象にした「地域再生可能エネルギー熱導入促進対策事業」(補助率1/2)との2つの枠組みで公募される。

地中熱利用は、昨今の電力事情の悪化に伴い、その節電効果も注目を集めている。地中熱を利用したロードヒーティングのさらなる普及が期待される。

JCMA

《参考文献》

- 1) 山本莊毅, 新版 地下水調査法, 古今書院, 1983年
- 2) 森山, 林, 中島, 田中, 太陽地熱融雪システムの開発, 雪氷研究大会講演要旨集, Vol.2008, pp.171-, 2008年

〔筆者紹介〕

田中 雅人(たなか まさと)
ミサワ環境技術(株)
執行役員 新規事業開発部部長

