

小口径管路の下水熱のみで融雪する技術

小笠原 隆夫 *1、田 熊 章 *2

1. はじめに

日本の国土の多くは降雪地帯であり除雪費用や除雪対応の労務に悩まされている自治体が多い。未利用熱の代表である太陽光エネルギーは、日中しか利用できず風力エネルギーの場合でも自然環境に左右され連続運転は不可能である。下水熱は、人が生活し下水として排出している限り昼夜問わずに絶えず流下している。融雪を計画する箇所は、人が生活している近隣の道路部であり、その埋設下には、下水道管路が存在しているため下水熱を利用するには位置的にも好都合である。また、下水道管路は、日本の高度成長期にインフラとして整備されており、その多くが耐用年数を超えて更新時期を迎えている状況にある。下水道管路の老朽化への対応を怠ると、道路が陥没し交通事故等の二次被害も想定されるため喫緊の課題でもある。

本技術は、中小都市で多く利用される中小口径管路(φ250mm～φ800mm)の下水道管路に適用できる。具体的には、地上から光硬化式のライナー材料と下水採熱用のマットを挿入し非開削にて材料を硬化させることで、老朽化管路を更生すると同時に下水の排熱も利用することができるのである。従来は、φ250mmという小口径に適用した場合には、下水の流量や、得られる熱量も少なく活用することが難しいと考えられていた。そのため、日本の下水道管路の80%がφ800mm以下の中小口径管路であるため、排熱として捨てていた熱源を回収し利用する仕組みは、求められていた技術であると言える。

2. 導入の経緯

岐阜県高山市は、日本の古き良き街並みが現存しており海外を含む観光客が年々増加している。そのため、高山市では、高山駅の改修工事や街路の整備を進めており、それと同時に老朽化が進む下水道インフラの維持管理についても課題となっている。また、高山市長が公約する環境対策の一つとして、「日本一の自然エネルギー活用都市(飛騨高山モデル)」を掲げている。その様な中で、既存のインフラを活用し維持管理を行いながら未利用熱エネルギーとしても利用することができる下水熱に注目した。そして、平成28年11月に下水の熱源のみを用いた歩道凍結防止施設(以下「融雪施設」)として、2件導入することで自然エネルギー活用都市の政策を推進させたのである。これは、φ250mmという

小口径の下水道管路から熱だけを回収しヒートポンプ設備を介さずに路面凍結対策を行う「全国初」の取り組みとなる。

3. 中小口径管路内設置型の下水採熱技術

老朽化管路の更生と採熱を同時に行なえる小口径管路を対象とした技術である。本技術は、既設管底部に採熱マットを布設し、その上に光硬化型更生材を引込み硬化させることで堅固に採熱管を固定できる仕組みとなっており、φ800mm以下の中小口径管路に設置する管路更生および下水熱の利用技術である。硬化する前の更生材料「ライナー材」は、手で触ると菱餅程度の弾力性を有する筒状の形状である。材質は、耐酸性ガラス繊維と光硬化性不飽和ポリエステル樹脂から構成されており、これを下水道管路内へ引き込むのである。既設管路内へ引き込んだ更生材の内部へ大量に空気を送り込み、空気圧にて風船の様に拡張させることで、既設管の内壁面に更生材を密着させるのである。そして、更生材内の空気圧を保ったまま光を照射する機械を管内部で走行させることにより、**図-1 熱回収施設(管路更生および熱回収管)**に示すとおり、更生材を硬化させて既設管の内側に高強度の新設管を構築できるのである。つまり、管内の外観は、通常の管路更生と同じであり、設置される採熱管が直接下水に触れない構造であるため、異物が引っかかる等の流下阻害が無く維持管理もしやすい技術と言える。

また、採熱管は、管底に設置されるため従前の取付管への穿孔は当然として、新設計画の場合も問題無く対応することができる。両現場で使用された更生材の更生厚みは3mmで、二層構造管タイプを採用している。採熱マットは、計16本(各採熱管の内径φ10mm、8本×2条タイプ)を布設しており、この管内に不凍液を流すことで下水の熱だけを伝達置換して利用することができる仕組みとなっている。

次に及び**図-2 下水熱凍結防止システム概要**のように、下水道管内で熱を採取した不凍液をモーターにて循環させ蓄熱槽の不凍液を温める。センサーにより所定の温度等(高山市では気温5℃以下または降雪開始)に到達したところで温めた蓄熱槽の不凍液を循環させる。

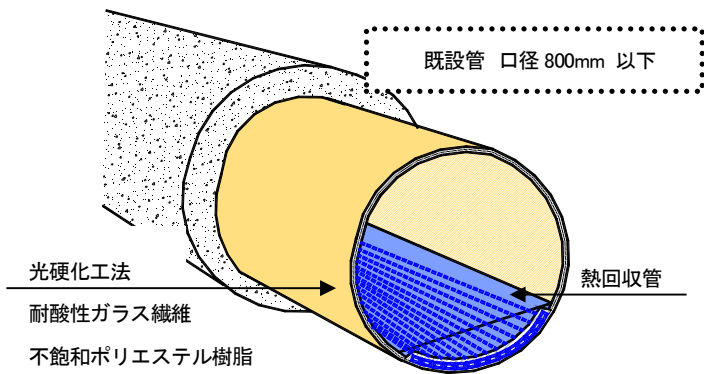


図-1 熱回収施設（更生技術および熱回収管）

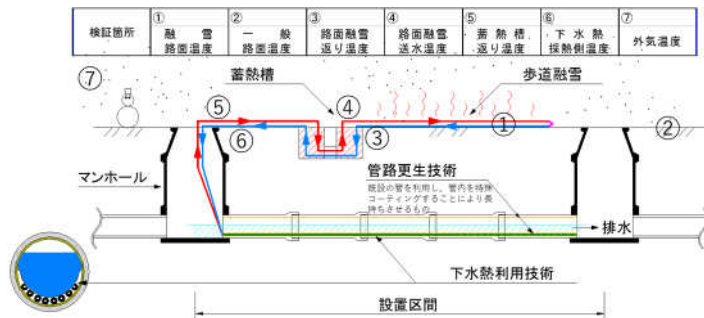


図-2 下水熱凍結防止システムの概要

4. 試験施工地区の選定

施工地区の選定に当たり以下の点を考慮した。

1) 高山市の下水道管の最小径であるφ250から採熱できる場所

2) 日照条件や気象条件が厳しい箇所

候補地として冬期における凍結・除雪の問題・苦情や要望の数多くある中から「歩行者の利用頻度の高い通学路や観光客の多い路線」を選定した。

また、高山市中心市街地の歩道には景観を重視したブロック舗装も多いことから、今後の展開を考慮しアスファルト舗装とブロック舗装のそれぞれ1箇所ずつ、計2箇所を選定することとした。

これらの条件を満たす箇所として

・花里地区（図-2、3 試験施工箇所（花里）概況）：ブロック舗装であり、試験施工実施場所の南側に民家が隣接しており、日照条件が悪い。また駅から観光箇所へのアクセス道路であり観光客の通行が多い。

・片野地区（図-2、4 試験施工箇所（片野）概況）：アスファルト舗装であり、試験施工実施箇所は日照条件については良いものの、橋梁及び河川が近接し気温条件が厳しい。通学路指定はもとより、緩やかな勾配がついているため、毎年冬期には凍結により通学児童が転倒する案件が多い。

上記2箇所での試験施工を行い検証することとした。期間は平成29年1月1日から平成29年1月31日までのデータを採取し、運転については平成29年3月31日まで稼働させることとした。



図-2 試験施工箇所（花里、石浦）位置図



図-3 試験施工箇所（花里）概況



図-4 試験施工箇所（片野）概況

5-1.

試験施工地区（花里地区）の概要

今回の導入現場は、高山駅から徒歩2分程度の場所に位置しており、駅前の観光客の利用が多い商店がならぶ区域の歩道融雪として計画し、市道上一之町花里線凍結

防止装置設置工事（φ250×39m）として整備を行ったものである。今回整備した施設の融雪施設の状況は、**図-5 花里地区の融雪** に示すとおり、下水が保有する熱が有効に作用しており、設置した路面の温度で平均温度8.2℃（平成28年12月～平成29年1月末現在）と平均外気温度よりも4℃高い値を示し、一定条件下の降雪時では融解している。本地区は、駅前という立地条件から下水の流量は水深h=40mm、下水温度は平均14℃となっており、排熱量は比較的利用しやすい場所である。

融雪施設の概要は、0.6m×20m=12㎡であり、施設表面に均等に熱が伝達し、路面温度が確実に上昇しているため、融雪施設の効果により歩行時に転倒することが無くなったと、観光客や近隣住民にも喜ばれている。また、放熱管が設置されている路面は、φ100mm架橋ポリエチレン管を使用しておりコンクリート100mmの厚さで巻き立て保護を行っている。更にその上層部には、磁器質のレンガタイル（50mm）による舗装となっている。



図-5 花里地区の融雪（タイル貼り舗装）

5-2. 試験施工地区（片野地区）の概要

同時期に導入した二つ目の現場は、高山駅から車で15分程度の中心市街地から離れた場所に位置している。本地区では、橋梁に隣接するスクールゾーンへの歩道融雪として計画し、市道石浦森下線凍結防止装置設置工事（φ250×49m）として整備を行ったものである。河川に隣接する地区のため、風雪等により温度低下の影響を受けやすい。そのため、冬期は微少な水分でも路面が凍結し易く、スリップ事故の危険性も指摘されていた場所である。また、通学路でもある為、凍結防止対策の対応が喫緊の課題であった。本地区は、人口が密集する中心市街地から離れており、設置されている下水管路も上流に位置し、住宅等が少ない場所にある。そのため、流下している下水流量は水深h=15mmと非常に少なく、満足に凍結防止の目的を達成することができず懸念される現場でもあった。ところが、融雪施設の状況は、**図-6 片野地区の融雪** に示すとおり早朝6時頃

の最低水深時の推定水深h=10mmでも融雪が行えていることを確認できた。融雪施設の概要は、1.0m×6.0m×2箇所=12㎡となっており、一箇所の下水から得た熱源を2か所の融雪施設へ道路を跨いで分けて設置し、それぞれ2箇所の融雪施設ともに良好な融雪効果を確認している。特に、通学路の危険箇所であるため児童が転倒して事故となるリスクも解消できるものと思われる。また、放熱管が設置されている路面は、φ100mm架橋ポリエチレン管を使用しておりコンクリート100mmの厚さで巻き立て保護を行っている。更にその上層部には、アスファルト（30mm）による舗装となっている。



図-6 片野地区の融雪（アスファルト舗装）

6-1. 試験結果

平成29年1月1日から平成29年1月31日までのデータを採取し平均値を表したものを**表-1 採取データの平均値**に示す。

表-1 採取データの平均値

検証箇所	① 融雪路面温度	② 一般路面温度	③ 路面融雪返り温度	④ 路面融雪送水温度	⑤ 蓄熱槽返り温度	⑥ 下水熱採熱温度	⑦ 外気温度
1(花里町)	2.4℃	0.6℃	5.9℃	9.1℃	9.7℃	8.8℃	-0.2℃
2(片野町)	5.4℃	2.2℃	6.9℃	8.4℃	8.1℃	8.4℃	0.7℃

今回の検証では現場目視による融雪効果は確認できるが、この成功判断基準として以下の2項目をクリアできれば試験施工として成功と判断することとした。

1. 凍結防止効果 整備箇所の路面温度が常時0℃以上を保っていること。
2. 融雪効果 外気温-2℃において2cm/時間以上の降雪に対し融雪効果が確認できること。

下水熱の採熱温度について、花里町は片野町に比べ下流に位置し市街地であるため、片野町より下水流量が多いと想定されるが、採熱温度はほぼ同等であると言える。

外気温の平均は片野町が高い数値を示しているが、花里町は片野町と比べ建物が併設し、日照条件が良くないことが原因と考えられる。

6-2. 花里地区

融雪舗装路面温度は一時的に0℃以下と観測されるケースがあり、状況によって凍結防止効果が得られない結果となった。但し、この箇所の下水熱採熱温度は片野地区より比較的高いにもかかわらず路面温度が低いことに疑問が残る。温度センサーの設置位置を修正して検証を継続する。

映像記録により確認したところ、試算で示す融雪処理能力（降雪量2cm、外気温-2℃）に近い条件下（降雪量2cm、外気温-1.6℃）において、有効な融雪効果が確認できた。

同様に試算に近い条件下（降雪量3cm、外気温-1.3℃）において、有効な融雪効果が確認できた。

6-3. 片野地区

採取データにおいて融雪舗装路面温度は常に0℃以上に保たれていることが確認されたことから、路面の凍結防止効果はあるものと判断できる。

映像記録に確認したところ試算で示す融雪処理能力（降雪量2cm、外気温-2℃）を満たしていることが確認できた。

外気温が高めの場合（外気温-0.4℃）、3cmの降雪に対する融雪効果が確認できた。

7. まとめ

両案件ともに、凍結防止を目的として試験導入したものであるが、結果として融雪効果まで有効であることが確認できた。小口径管路でも十分熱エネルギーを得て効果を発現し、舗装構成に関係なく効果が得られたことは汎用性が高いことも同時に立証できた。

一般的に未利用熱エネルギーの融雪への活用は、ヒートポンプ等の熱増幅装置を介し利用されている。それは、融雪に必要とされる熱量は、空調や給湯と比較すると大きいため、未利用熱エネルギー単体による活用は難しいと考えられていたからである。

しかし、本技術では、ヒートポンプを介さず小口径管路から得られる下水熱のポテンシャルのみで路面を温めることにより、凍結防止及び少ない降雪量であれば融雪することが可能であることが立証されたと判断できる。他の電気式やボイラー熱源式による路面凍結対策と比較しランニングコストの大幅な低減が期待できる。具体的には、下水熱を循環させるために使用する400W程度のポンプ代になるため、約500円/月程度の利用料

金で融雪が可能となるのである。ただし、課題として、イニシャルコストの低減の他に現地の状況及び降雪量によっては凍結防止効果を得ることが難しい箇所があるため、導入方法をそれぞれの状況に応じた方法となるよう検討する必要がある。

今後の計画としては、検証期間を3カ年と定め

- ・有効面積拡大の検証
- ・蓄熱槽の簡素化によるイニシャルコスト低減の検証
- ・夏期における地表温度吸収によるヒートアイランド抑制効果の検証

を行う予定である。