

道路の消融雪・凍結防止技術

—その1. ロードヒーティングの現状について—

宮本 修司* 小長井 宣生**

まえがき

北海道のような積雪寒冷地域では、冬期交通の安全と確保のため昭和40年代からスパイクタイヤが用いられてきた。しかし、このような冬道を克服する利器であったスパイクタイヤは、舗装路面を摩耗させ粉塵公害の原因でもあった。

このような状況を背景に、1990年6月「スパイクタイヤ粉塵の発生の防止に関する法律」が成立し、指定地域でのスパイクタイヤの使用禁止が1991年4月から、罰則適用が1992年4月から行われることとなった。

しかしながら、スパイクタイヤの代わりとなるべきスタッドレスタイヤは、冬期路面、特に凍結路面での制動、登坂性能が劣っており¹⁾道路管理者は、凍結路面の融解や、路面の凍結防止がこれまで以上に重要な課題となることが予想される。

現在、凍結路面の融解や路面の凍結防止を行う方法として、特殊なアスファルト混合物を用いて路面自体にその効果をもたらせる方法²⁾や、塩化物などを中心とした雪氷路面用薬剤（凍結防止剤）を路面に散布する方法³⁾なども行われているが、最も確実な融雪・凍結防止を行うことができるのは、ロードヒーティングシステムであろう。

本文では、さまざまな種類があるロードヒーティングシステムについて、その特徴を紹介する。

1. 現在用いられている各種のシステムの概要

表-1は、現在使用されている各種ロードヒーティングのシステム構成を示したものである。ここに示したものは、現在実用化されているシステムの基本構成について示したものであるが、今後実用化が予想される自然エネルギーを利用したシステムなどもここに示した基本構成のどれかに当てはまる。つまり、太陽電池方式などエネルギーを電気の形で

利用する物は、電熱線方式の一種であり、エネルギーを温水の形で利用するものは、温水ボイラー使用温水循環方式の一種（自然熱源ヒートポンプ使用温水循環方式も同様と考えられる）と見ることができる。

1. 1 温水ボイラー使用温水循環方式

このシステムは、灯油、ガス等の化石燃料を熱源として温水を作り、この温水の熱を路面埋設材を用いて、路面に放熱するシステムである。熱源の種類としては、都市ガス、灯油などが用いられている。このシステムは、建設費用・運転費用の双方において安価であるところに特長を持つ。しかし、燃料を燃焼させるため大気中に二酸化炭素を放出する問題や長期停止後の運転に対しては、入念な整備点検が必要であるという問題もある。

現在、ロードヒーティングに用いられる温水ボイラーは、燃料用油を燃料とする温水ボイラー（主に灯油が用いられるので、以下灯油ボイラーと記す）と都市ガスを燃料とする温水ボイラー（以下、ガスボイラーと記す）がある。

この2つのボイラーを比較すると、灯油ボイラーは運転費用および建設費用が安いという特徴を持っているが、現在のところボイラー本体を地下に設置することができず、地上に設置しなければならない。そのため、ボイラー運転時に衝突事故の可能性も考えられ、その場合には、車両火災につながる恐れもある。現在、灯油の貯蔵を行う場合には、燃料タンクの容量は500リットル以下に限られ、燃料切れの可能性も考えられる。

ガスボイラーはコスト面で考えると、灯油ボイラーよりもいくぶん高めとなるが、ガスボイラーは地下に設置することが可能である。

1. 2 自然熱源ヒートポンプ使用温水循環方式

ヒートポンプとは、フロンガスなどの熱媒体を用いて空気などの低温エネルギーを高温エネルギーに

*交通研究室員 **同室長

表-1 現在用いられている各種ロードヒーティングシステムの構成

システム構成	システムの図解	システムの概要	熱源	路面埋設材	制御	コスト(地熱方式との比較)	施工例	備考
① 温水ボイラー使用 温水循環方式		化石燃料などを熱源として、温水ボイラーで温水を作り密閉式回路を組んで温水をポンプで圧送して循環させるシステム。	○ガス (都市ガス) ○灯油、重油	○各種温水パイプ ○各種ヒートパイプ	○ON-OFF制御 ○水温制御 ○弁制御	○建設コスト同等 ○運転コスト安い(約半分)	○国道9号旭川市4条16丁目 (ガス式ロードヒーティング) ○札幌市主要道々真駒内清田線 坂道ヒーティング (燃料用油使用)	○火災の可能性も考えられる。 ○燃料用油を使用する場合には燃料切れに気をつける必要がある。
② 自然熱源 ヒートポンプ使用 温水循環方式		ヒートポンプにより低温エネルギーを地温エネルギーに変換し、それを熱交換機によって温水にする。温泉水を用いる場合に温泉水の水質が悪い場合には、温泉水を直接循環させることはできないので、間にヒートポンプを使用し温泉水から熱を吸収しその熱で温水をつくる。回路は密閉式回路を組む温水をポンプで圧送して循環させる。	○地下水 ○河川水 ○空気 ○都市熱 ○温泉水 (低温)	○各種温水パイプ ○各種ヒートパイプ	○ON-OFF制御	○建設コスト高い ○運転コスト 熱源によるが一般に安い	○札幌市主要道々札幌夕張線 坂道ヒーティング (空気熱源H.P.) ○札幌市道南14条中央線 (地下放射熱利用H.P.)	○東京都においては横田川の河川水を利用したヒートポンプシステムの例もある。
③ 温泉水熱源 直接温水循環方式		温泉水を密閉式回路で、直接循環させるシステム。	○温泉水 (水温が高いことが条件)	○各種温水パイプ	○制御不可能	○建設コスト安い ○運転コスト安い	○赤井川村道々赤井川余市線 ○東川町道々旭川大雪山層雲峡線	○パイプに温泉水を直接とおすため凍結の危険があり、自家発電装置などが必要である。
④ 温泉水熱源 自然落下 ヒートパイプ方式		温泉水を自然落下させてヒートパイプで温泉水から熱を採取し、路面下で放熱させるシステム。	○温泉水 (かなり低温でも可) ○都市排水 ○地下水	○各種ヒートパイプ	○制御不可能	○建設コストおおよそ同等 ○運転コスト安い	○札幌市定山溪温泉街 ○茅渚郡蓮田町蓮田信濃線	○温泉の地熱を利用している。
⑤ 地熱利用 ヒートパイプ方式		地面に直接ヒートパイプを埋込み、地熱によって熱を回収するシステム。	○地熱 ○地下水	○各種ヒートパイプ	○制御不可能	○建設コスト ボーリング費用によるが一般に高い ○運転コストなし	○長野県国道18号スノーシェッド 赤川2号道路防止 (地熱熱源ヒートパイプ)	○北海道においては施工を考える場合には、夏季の熱を蓄熱したり、地下水脈を利用したりする必要がある。 (地熱が高い場所については考える必要はない)
⑥ 電熱線方式		低圧電力または高圧電力を受電し、それを各々の接合部に送電し、電熱線ユニットを発熱させるシステム。 (高圧受電した場合には、変圧器で電圧を200Vにおとす)	○電気 (高圧、低圧)	○電熱ケーブル	○ON-OFF制御 ○電圧調整 比例制御		○国道5号札幌市中央区大通り ～北3支間 ○国道228号上ノ国町 坂道ロードヒーティング その他多数	○小規模のロードヒーティングには、最も適している。

変換する装置である。これによって得られた温水を路面埋設材を用いて路面に放熱するシステムが、自然熱源ヒートポンプ使用温水循環方式である。このシステムは、都市排熱や温泉の廃湯などの低温の熱源も有効に利用することができる。

現在、ヒートポンプはシステムとしては完成されているが、その利用方法や熱源の選択など、未知の部分も多く研究の必要がある。

1. 3 温泉水熱源直接温水循環方式

このシステムは、温泉水をポンプを用いて路面下に埋設させた直接路面埋設材（温水パイプ）に直接循環させ、路面に放熱を行うシステムである。このシステムは、加熱の必要がないため運転費用が安いという特長を持つが、パイプ内で循環水が凍結する可能性が考えられること、温泉水がかなり高温でなければならないことなどの欠点もある。

1. 4 温泉水熱源自然流下ヒートパイプ方式

ヒートパイプについての詳しい説明は、路面放熱材のところで述べるが、ヒートパイプとは非常に性能のよい熱伝導体である。温泉水熱源自然流下ヒートパイプ方式は、これを用いて自然流下させた温泉水から熱を採取し、路面下で放熱させるシステムである。このシステムは、パイプ内の凍結の心配がないこと、運転費用が安いことなどの特徴を持つが、路面埋設材にヒートパイプを用いているため直接温水循環方式よりも建設コストは割高になる。

1. 5 他熱利用ヒートパイプ方式

このシステムは、地中にヒートパイプの吸熱部を埋設し、放熱部を路面下に設置することによって地中と地表の温度差（地熱）によって融雪を行うものである。このシステムは、運転費用がまったくかからず、しかも完全にメンテナンスフリーである点に特長を持っている。

通常、地下3m以下の地中では温度の季節変動がなくなり、おおよそ年平均気温で一定となっている。つまり夏期間においては、その温度は地表面における温度よりもかなり低い反面、冬季間においては地表面における温度よりもかなり高い温度となっている。

残念ながら、積雪寒冷の度合いの大きい北海道に

おいてこのシステムは施工された実績はなく、北海道の気象条件下では必要な熱量を得ることはかなりむずかしいことが予想される*。

1. 6 電熱線方式

このシステムは、過去最も多く施工された実績がある最も信頼性の高いシステムである。このシステムは、建設コストが一般に安価で、制御を行いやすくさらにメンテナンスも楽で、確実な融雪および凍結防止を行うことができるという特長を持っている。このシステムは、運転費用が高いという点が難点である反面、他のシステムと比較してきめ細やかな制御が可能であり、現在運転費用低減のため、よりの確な制御プログラムの検討（4要素制御法）、天候予測、（降雪・気温予測）を利用したシステムの制御などさまざまな試みがされている。

2. 路面放熱材

ロードヒーティング施設の設計において、加熱された温水を効率よく路面に放熱するための路面埋設材の選定は、重要な要素である。また、通常の場合ボイラーやヒートポンプなどによって加熱された温水は温水パイプによって路面に放熱され、電熱線方式では路面下に埋設された電熱線によって路面に放熱される。また、路面放熱材の種類によっては、熱に弱い種類や、腐食に弱い種類もある。このように路面埋設材は、熱源、施工条件などによって制約を受けるものである。

ここでは、各種路面埋設材の種類とその特徴を取りまとめた。表-2は路面埋設材の種類を、図-1は各加熱システムと、路面埋設材および舗装材の関係を図化したものである。

2. 1 温水循環パイプ

温水パイプは路面下に送水管を埋設し、この送水管に温水を圧送してその放熱によって路面の雪水を溶かすものである。この方式は、ヒートパイプ方式と比較してパイプ自体のコストが安いため建設費は一般に安いものとなる。従来、温水循環パイプは鋼管パイプが用いられていたが、現在では特殊ナイロンパイプや樹脂パイプ、ポリエチレンパイプなどが用いられている。これらは、施工性に優れているこ

*現在、この方式を用いて路面凍結防止を行っている長野県国道18号スノーシェッド赤川2号の例では、 $100\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ で施工されている。しかし、北海道のロードヒーティングは、通常 $170\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \sim 250\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ($200\text{W}/\text{m}^2 \sim 3.00\text{W}/\text{m}^2$)で設計されている。単純に考えると、北海道で必要な熱量を得ようと考え、非常に長いヒートパイプの吸熱部の長さ（ボーリング深さ）が必要であり、設備投資が非常に大きくなる。

表-2 現在用いられている各種路面放熱材

種別	路面放熱材	アスファルト舗装	腐食性	水頭損失	接 続	付設費** (円/㎡)
温	特殊ナイロンパイプ	可	小	小	接 着 剤	10,000
水	架橋ポリエチレンパイプ	不可*	小	小	金 属 継 手	10,000
パ	I.T.T ヒートマット	不可	小	大	金 属 継 手	10,000
イ	ポリブデンパイプ	不可	小	小	熱 融 着	5,000
プ	鋼 管 パ イ プ	可	大	小	金 属 継 手	12,000~15,000
ヒパ ーイ トプ	ステンレスコルゲートパイプ	可	小	小	接続不可能	15,000~20,000
	鋼 管 パ イ プ	可	大	小	接続不可能	20,000~30,000

*耐熱テープによって、アスファルト舗装に対応可能

**出典 積算資料 雪寒対策特集 '90/91

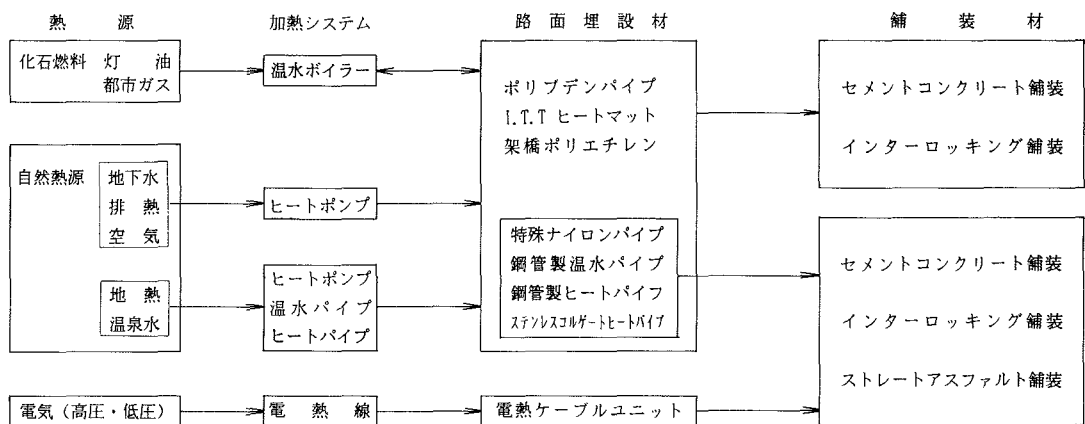


図-1 路面放熱材と加熱システムと舗装材の関係

と、さびなどの腐食性が小さくこと、パイプが柔軟性をもっているため舗装たわみに追従することができることなどの特長を持つ。

温水パイプ方式はヒートパイプ方式と比較して、パイプ設置の際に多少の不陸や勾配を気にする必要がないため施工に優れ、さらに材料費が安い、施設費用が安いという特長を持っている。表-3～5は、各種温水パイプの種類と特長についてまとめ

表-3 各種温水パイプの耐薬品特性

	特殊ナイロン	ポリブデン	ポリエチレン	ヒートマット
無機酸（塩酸など）	×	◎	◎	◎
ガソリン	×	×	◎	×
石油	△	△	◎	△
グリコール	○	◎	◎	◎
塩水	◎	◎	◎	◎

◎：まったく侵されない
○：侵されないと見なせる
△：若干侵される
×：侵される

表-4 各種パイプの強度

	単 位	特殊ナイロン	ポリブデン	ポリエチレン	ヒートマット
引張り強度	kg/cm ²	350	160	180	160
曲げ強度	kg/cm ²	400	210	220	210
衝撃強度	kg/cm ²	35	45	割れず	45

表-5 各種パイプの熱的性質

	単 位	特殊ナイロン	ポリブデン	ポリエチレン	ヒートマット
溶融温度	℃	350	125	130	125
軟化温度	℃	182	119	120	119
脆化温度	℃	-50	-18	-70	-18
熱膨張係数	×10 ⁻⁵ /℃	9.6	15	20	15
熱伝導率	Kcal/mhr℃	0.2	0.2	0.4	0.2

たものである。

2. 1. 1 特殊ナイロンパイプ

特殊ナイロンパイプは、特殊なナイロン樹脂によって作られたパイプであるが、特に耐熱性、耐クリープ性、耐荷重性などに優れているという特長を

もっている。特殊ナイロンパイプは耐熱性にも優れており、鋼管パイプ以外では唯一そのままでストレートアスファルト舗装の施工にも対応可能である。

2. 1. 2 架橋ポリエチレンパイプ

架橋ポリエチレンパイプは、高密度ポリエチレンに分子間架橋反応を起こさせることによって、強度を高めたものである。ポリエチレンの最大の特長は、薬品に強いということであり、架橋ポリエチレンも同様である。しかし、架橋ポリエチレンパイプは特殊ナイロンパイプと比較して耐熱性、耐荷重性に劣っており、そのままではストレートアスファルト舗装の施工はできない。

2. 1. 3 I.T.T ヒート・マット

I.T.T ヒート・マットシステムは、アメリカのコングロマリットI.T.T 社（国際電信電話会社）によって開発されたもので、2本の管一对で1組として使用し、この対管に熱媒を「行き」と「還り」の方向に対抗して流すもの（図-2）で、単管の延長部で温度が低下しても低下した部分の隣接側を流れる熱媒は、それよりも温度が高いため平均化される。

I.T.T ヒート・マットは、パイプの径が細いため他のシステムと比較して、パイプが細かいと水頭損失が大きいという欠点がある。

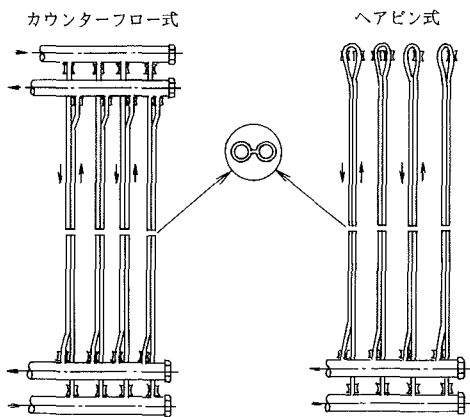


図-2 I.T.Tヒートマットの構造

2. 1. 4 ポリブデンパイプ

ポリブデン樹脂は、ナフサガスを分子生成してできる高分子化合物で、その分子構造はらせん構造になっている。ポリブデンパイプは、このような分子量が大きく、特殊な構造をしているポリブデン樹脂からできているため、耐クリープ性、耐応力クラック性に優れている。

しかし、ポリブデン樹脂は耐熱温度が低く、さらに石油などの有機溶剤に侵されるという欠点を持っているため、アスファルト舗装に適用することはできないという欠点がある。

2. 2 ヒートパイプ⁴⁾

ヒートパイプは、熱の伝導体として宇宙用に開発されたものであるが、今では産業用や家庭用にまで種々の応用製品が実用化され着実に進歩しつつある。以下、ヒートパイプについて簡単に説明する。

2. 2. 1 ヒートパイプの構造と作動原理

ヒートパイプとは、コンテナの内壁に毛細管ポンプ力を発生するウィックを装着し、内部を真空にした後、作動液（例 水、フロン、アンモニアなど）を封入し密閉した簡単な熱伝導素子である。構造原理を図-3に示す。

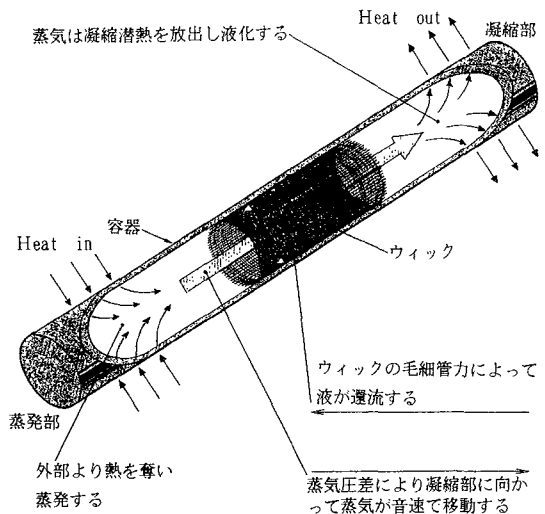


図-3 ヒートパイプの構造

ヒートパイプの片端を加熱すると作動液が沸騰蒸発し、蒸気は圧力の低い冷却部に流れ、凝縮して液体にもどる。この液体が、ウィックの毛細管力や重力によって加熱部に還流される。ヒートパイプの内部では、蒸気流が温度の低い部分（低圧）に向かって流込み、バランスしようとするのでヒートパイプの長手方向に等温性を維持しようとしている。

2. 2. 2 ヒートパイプの特徴

ヒートパイプのメリットを例記すると、以下のとおりである。

- (1) 熱伝導性が優れている（小さな温度差であっても熱の輸送が可能である）。

- (2) メンテナンスフリーである。
- (3) ヒートパイプそのものは、運転動力が不要である。

ヒートパイプのデメリットを例記すると、以下のとおりである。

- (1) 路面の不陸や勾配のわずかな違いがあってもヒートパイプの熱伝導性能が落ちるため、温水循環パイプよりも施工性に劣る。
- (2) 温水循環パイプと比較して価格が高い。
- (3) 直接路面に放熱する方式ではないため、現実的には熱量を 100%有効に利用することはできない。

3. 温水パイプとヒートパイプの比較

これまで述べてきたように、ボイラーなどによる加熱水を路面に放熱するシステムには、温水パイプとヒートパイプの2種類がある。以下、この2種類のシステムについて比較検討を行う。

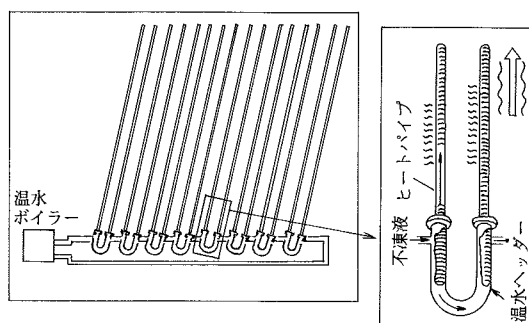


図-4 温水ボイラー熱源ヒートパイプ方式

3. 1 温水ボイラー熱源方式 (図-4～5)

3. 1. 1 熱応答性能

ヒートパイプ熱伝導率は銅の 200倍以上あり、ヒートパイプ自体は非常に高い熱応答性を持っている。

ヒートパイプシステム
均一な傾向となる

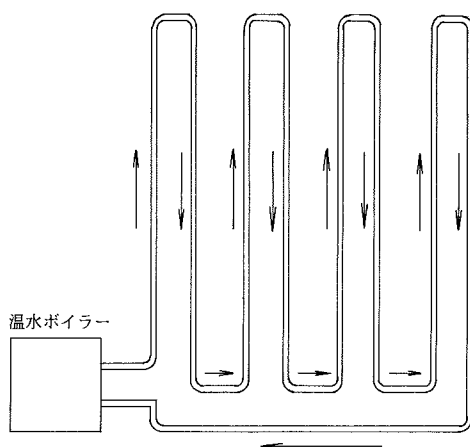
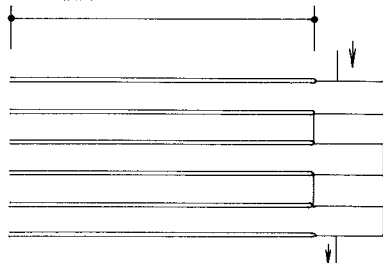


図-5 温水ボイラー熱源温水循環パイプ方式

る。しかし舗装体の熱容量は、ヒートパイプや温水パイプの40倍以上あり、実際の熱応答性は舗装体の熱量および熱伝導率によって決定されるといってよい。つまり、熱応答性においてヒートパイプと温水パイプの差は、実質的にはないといってもよい。

3. 1. 2 温度の均一性

図-6にも示しているが、ヒートパイプ自体の温度は均一性を保持しているが、路面放熱材として用いた場合には、ヒートパイプ相互の間で温度は不均一となっており、ヒートパイプの優れた特長が生かされていない。

3. 1. 3 施工性

表-6は一般的にいわれている施工時の注意事項であるが、ヒートパイプにはそのほかにも以下に示した特色がある。

- ①ヒートパイプは、ヒート部とヘッダー部の径が異なっているため、ヘッダー部の定期変更が必要であるが、温水パイプではそのようなことはない。
- ②ヒートパイプのヘッダーは、空気溜りを起こしやすい構造になっているので、注意が必要である。

樹脂パイプシステム

全体的に緩やかな温度差となる

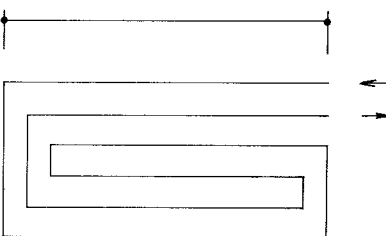


図-6 路面放熱材の温度分布

表-6 路面放熱材施工時の注意

	ヒートパイプ方式	樹脂パイプ方式
敷設時の注意	ヘッター部の設置面に注意を要する（ヒートパイプの性能上、2%の勾配を確保する）。	空気溜りを生じないように、回路全体に凹凸のないようにする。
路面形状に対する対応性	ステンレスコルゲート管自体、変形加工が容易であり問題はない。	樹脂パイプ自体変形加工が容易であるが、曲がり部分に空気溜りを生じる可能性がある。

③ヒートパイプは材質が金属性であるので、温水パイプと比較して変形性能に劣っている。

④ヒートパイプは工場加工が標準であるので、現地での変更がむずかしい。

以上、施工性は温水パイプがよいといえる。

3. 1. 4 その他

①補修方法

樹脂温水パイプは部分補修が可能であるが、ヒートパイプは交換以外の補修方法がない。

②安全性

不凍液の問題では、ヒートパイプも樹脂温水パイプも同様である。

③アスファルト軟化による流動性への追従性

ヒートパイプよりも、樹脂温水パイプが優れている。

④保守性

ヒートパイプは、回路すべてが金属性であるため、夏期の太陽熱による不凍液の膨張による影響が少ない。

⑤経済性

1㎡当たり材料費は、ヒートパイプが温水パイプの2～4倍の価格である。

3. 1. 5 結論

温水ボイラー使用温水循環方式の場合、路面放熱材にヒートパイプを使用する利点はほとんどない。

3. 2 ヒートパイプの特長を生かした使用法

以上、温水ボイラー熱源方式における温水パイプとヒートパイプの比較検討を行った結果、この方式においては、ヒートパイプの優れた特長が生かされていないことが明らかとなった。しかし、ヒートパイプはさまざまな優れた特長をもっている。以下、ヒートパイプの特長を生かした使用法について述べる。

3. 2. 1 温泉水熱源自然流下ヒートパイプ方式

温泉水を熱源として路面の融雪を行う場合には、温水パイプに直接温泉水を通す方式（温泉水熱源直接温水循環方式、図-7）と温泉水を道路側方のトラフを自然流下させヒートパイプを利用して路面に放熱する方式（温泉水熱源自然流下ヒートパイプ方式、図-8）がある。この2つの方式を比較すると、温泉直接循環方式では、冬季間にパイプ内での凍結の危険性が考えられるが、温泉水自然流下ヒートパイプ方式では、パイプ内での凍結の危険性がない。

現在この方法は、各地の温泉街におけるロード

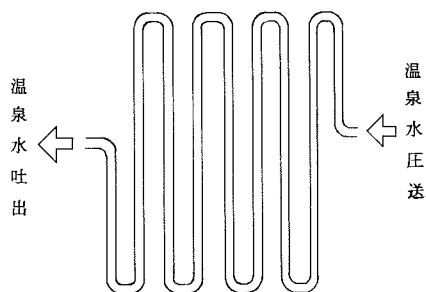


図-7 温泉水熱源直接温水循環方式

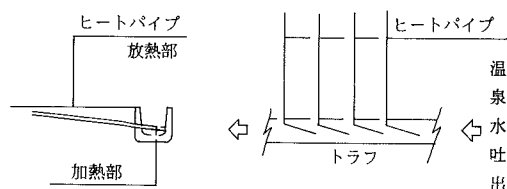


図-8 温泉水熱源自然流下ヒートパイプ方式

ヒーティングに利用されている。

3. 2. 2 急勾配への施工

図-9, 10に示しているが、急勾配への施工を考えたとき、温水パイプ方式はポンプなどの動力を用いて勾配部の頂上へ温泉水を圧送する必要があるが、

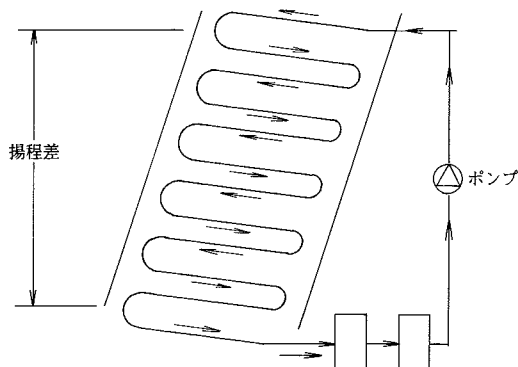


図-9 温水循環パイプの急勾配への施工

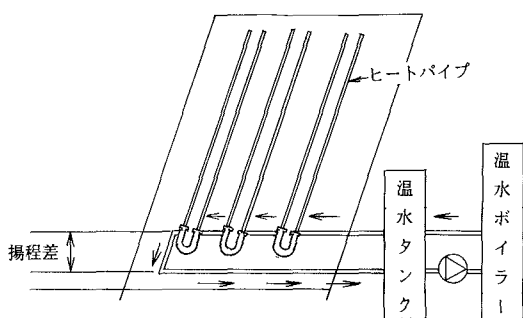


図-10 ヒートパイプの急勾配への施工

ヒートパイプ方式ではその必要がない。

今後、このヒートパイプの利点を生かすことのできる勾配について、調査検討を行う予定である。

3. 2. 3 地熱等の直接利用

図-11, 12に、ヒートパイプおよび温水パイプを利用して、地熱を直接路面に放熱するシステムの図を示す。この2つの方式を比較すると、温水パイプを用いる方法ではポンプによる動力が必要であるが、ヒートパイプを利用する場合には、動力が不要でさらにメンテナンスフリーである。

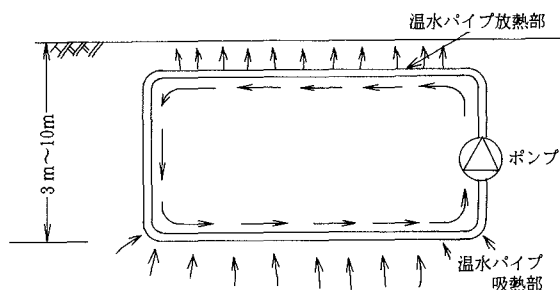


図-11 温水パイプを利用した地熱の直接利用

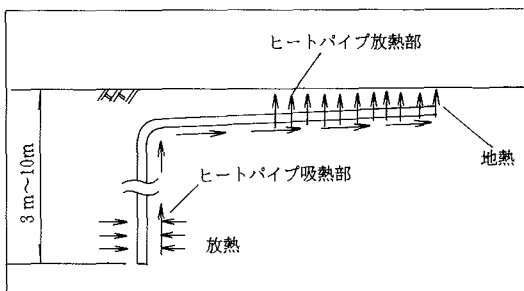


図-12 ヒートパイプを利用した地熱の直接利用

4. 各システムのコストについて

ロードヒーティング施設のシステム選定にあたって、各システムのコスト（建設コスト、運転コスト）は重要な要因のひとつである。ここでは、現在

一般的に用いられているヒーティング施設の建設費用および運転費用について考察を行う。

4. 1 各システムの建設コスト

ロードヒーティング施設のシステム選定にあたって、その建設コストは重要な要因のひとつである。表-7は、現在用いられている各種システムの建設費用の試算結果と運転費用の試算結果である。

ここにも示したとおり、ヒートポンプ方式は建設費用が他のシステムよりも高くなっていることがわかる。また路面放熱材について比較すると、ヒートパイプを使用した場合と温水パイプを使用した場合では、かなりのコスト差が生じている。

電熱線方式については、制御を行わない場合を設定しているため、制御装置の価格が入っておらず、さらに受電設備の価格も入っていない。

4. 2 各システムの運転コストについて

表-7は各システムの運転コストについて、単純に熱収支計算から試算した結果を示したものである。この試算結果は、設計熱量 $250\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 、施工面積 500m^2 の条件のもとで、12月1日～3月31日の121日間（2904時間）フル運転を行ったときに必要な運転コストである。実際のロードヒーティング施設の運転時間はシーズン中フル運転ということは考えられず、施設の設置場所の気象条件によって大きく影響を受け、それに伴い運転コストは変化する。過去の運転実績では、札幌市内の気象条件下ではこの試算の約 $1/3$ の運転費用となる⁵⁾。なお当然のことであるが、ここに示した試算は、平成3年3月現在の燃料代金（電気料金）を基本に計算した結果であり、変動することが考えられる。また路面放熱材の熱損失、水頭損失については本報告では考慮していない。

5. ロードヒーティングの制御

ロードヒーティング施設の運転費用低減のため、ヒーティングの不必要なときには加熱を止めたり、加熱温度を調整すること（ここでは、これらすべてを含めてヒーティング制御と呼ぶ）は重要なことである。ここでは、ヒーティングの制御方法や制御要素（制御の要因）について考察を行う。

5. 1 ヒーティングシステムの種類と制御

ヒーティングの制御方法の選択は、ヒーティングシステムの種類によって大きく左右される。表-8はヒーティング施設の種類と、現在行われている制

表-7 ロードヒーティング施設費用試算表

(設計熱量 250Kcal/㎡, 施工面積 500㎡)

加熱システム	熱 源	路面放熱材	建設費用 (円)	面積当たり費用	運転費用 (円)	面積当たり費用	備 考
温水ボイラー	灯油	温水パイプ	8,409,000	17,000 (円/㎡)	1,929,000	3,900 (円/㎡)	メンテナンスが必要
		ヒートポンプ	14,974,000	30,000	1,929,000	3,900	
	都市ガス	温水パイプ	9,399,000	19,000	3,187,000	6,400	ボイラー埋設費用を含む
		ヒートポンプ	15,984,000	32,000	3,187,000	6,400	
ヒートポンプ (電気式)	空気 (-5℃)	温水パイプ	22,369,000	45,000	3,066,800	6,100	
		ヒートポンプ	29,403,000	59,000	3,066,800	6,100	
ヒートポンプ (ガス式)	空気 (-5℃)	温水パイプ	24,449,000	49,000	2,589,000	5,200	
		ヒートポンプ	31,014,000	62,000	2,589,000	5,200	
電熱線	低圧電力	通常電力	8,507,000	17,000	7,296,000	14,500	無制御 低圧受電
		第二融雪用電力	8,507,000	17,000	5,320,000	10,600	
		融雪用電力	8,507,000	17,000	4,412,000	8,800	

表-8 ヒーティング施設種類と制御方法

ヒーティングの種類	現在行われている制御の種類
電熱線ヒーティング	無段階通電率制御, ON-OFF制御
燃料用油使用 温水循環パイプ	ON-OFF制御
ヒートパイプ	ON-OFF制御
温泉水熱源 直接温水循環方式	制御不可能
ヒートポンプ使用 温水循環方式	ON-OFF制御
地熱熱源 ヒートパイプ方式	制御不可能

御方法についての表である。このように、電熱線方式では通電率の調整によってきめ細かな制御が行われているが、そのほかのシステムは、ON-OFF^{※※}制御だけが行われている。

5. 2 3要素制御

この方法は、路面温度、路面水分、外気温度の3つを検出して制御装置によってヒーティングのON-OFFを決定する方式である(図-13)。

5. 3 4要素制御

4要素制御は、降雪、路面温度、路面水分、外気温度の4つの要素の組み合わせによってヒーティングの制御を行う方式である(図-14, 15)。この方式

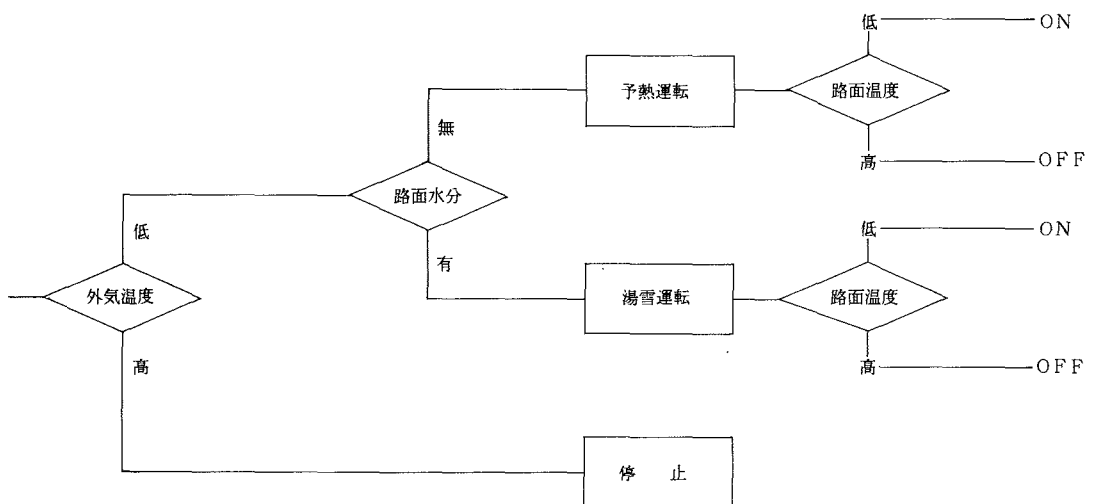


図-13 3要素制御のフロー

※※ 燃料用油使用温水循環方式では、水温調整制御や三方弁制御なども可能であるが、現在のところ行われていない。

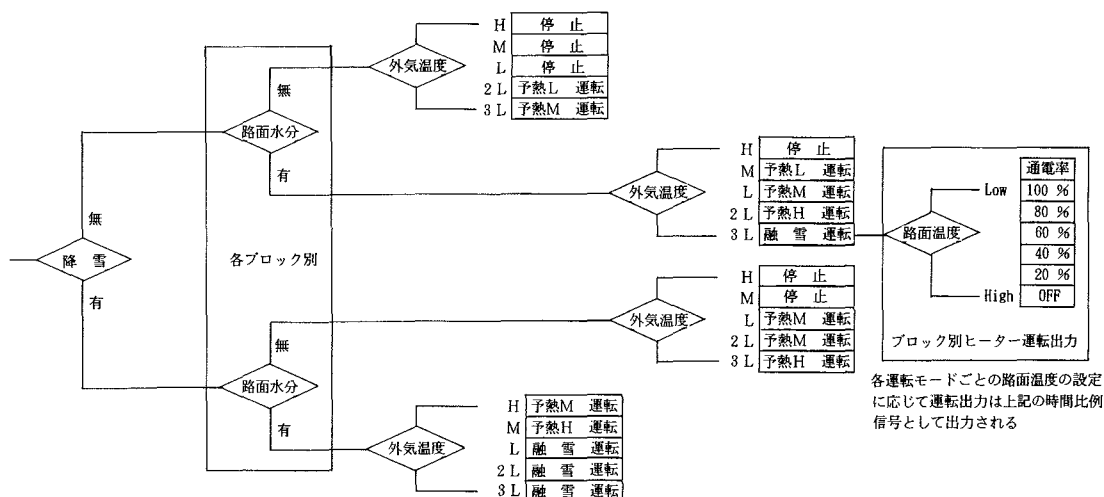


図-14 電熱線方式の制御フロー（4要素）

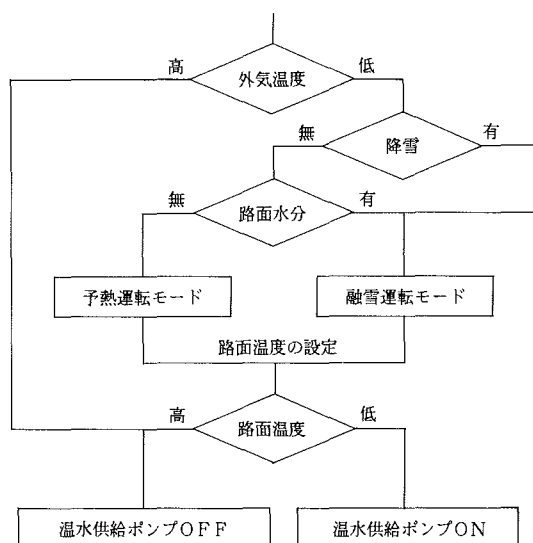


図-15 温水循環方式の制御フロー（4要素）

は、降雪の有無によって、通常運転モードと余熱運転モードに分かれている点が最大の特長であり、ある調査では3要素制御と比較して消費エネルギー量が65%以下であった例も報告されている。このように4要素制御法は、制御盤が高価である（コスト約100万円程度）いう欠点をもつが、ロードヒーティングの運転費用低減に有効なシステムである。

5. 4 降雪予測による制御

ロードヒーティングの制御方法として最も合理的なのは、これからの天候を予測し、それをもとにし

てヒーティングの制御を行う方法である。

札幌市では、気象レーダーの観測などをもとにして降雪予測を行い、これによってロードヒーティングの制御を行うことを試験している（図-16）この方式で最も重要なことは天候予測の制度であり、これによってシステムの信頼性が決定される。

あとがき

本文は、現在北海道内において実際に用いられている各種ロードヒーティングシステムの特徴を紹介し、ロードヒーティングのシステム選定のための資料提供を目的に取りまとめたものである。

ロードヒーティングシステムは、他の消・融雪工法と比較すると、道路交通に影響を与えずに確実な消・融雪および凍結防止を行うことができるという優れた特長をもっている半面、コストが高いためこれまでは車道部ではあまり普及していなかった。しかし、今後路面管理の高度化に対する道路利用者のニーズはますます増大することが予想され、それに伴い、ロードヒーティングに対するニーズもますます大きくなると考えられる。

今後は、地域による気象条件の違いを考慮したヒーティングシステムの選定、北海道におけるヒーティング熱量の設計法など、さらに詳しい調査・研究を行う予定である。

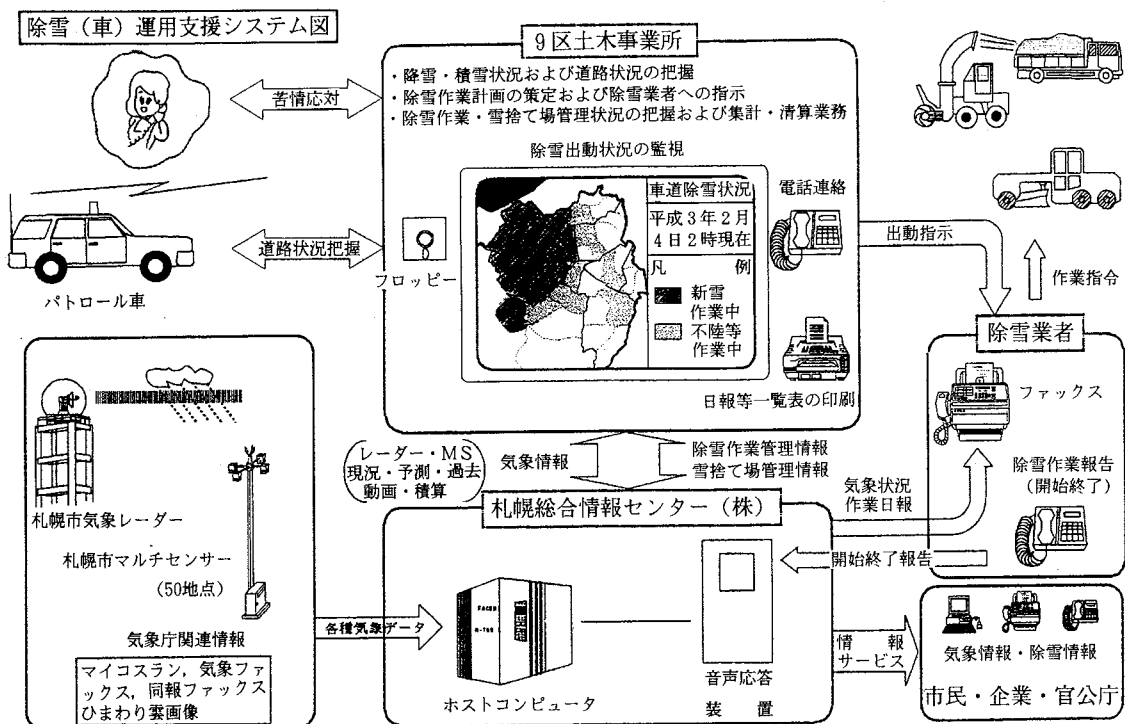


図-16 札幌市の天候予測システム

参考文献

- 1) 蛭川浩一, 服部健作, 八木憲一; 冬用タイヤの制動及び発進性能, 開発土木研究所月報No.433, PP. 11 -16, 1986.
- 2) ニノ宮秀彦; 凍結抑制舗装について開発土木研究所月報No.452, pp. 17 -20, 1991.
- 3) 宮本修司, 小長井宣生, 八木憲一; 北海道における雪氷路面用薬剤の運用について, 第34回(平成2年度)北海道開発局技術研究発表会講演概要集, 平成3年2月.
- 4) 清水定明, 山西哲夫; ヒートパイプとその応用, オーム社, 昭和55年2月.
- 5) 札幌市土木技術センター; 札幌市のロードヒーティング, 平成2年1月.

*

*

*