

蓄熱材タンク方式による路面の融雪および凍結抑制の研究 その3

Study on Snowmelting and Antifreezing System on Road with Heat Storage Tank (Part3)

加賀久宣

要 旨

太陽熱温水器の貯湯槽の中に凝固点約12℃の潜熱蓄熱材を入れたペットボトルを充填した。そして日中の太陽熱を蓄熱し、その熱で路面融雪することを試みた。福井市内で行った実験の結果では、冬期間を通して実験路面を無雪状態に維持することができたものの、蓄熱材が過冷却現象を起こしたため融解潜熱での安定した高出力は得られなかった。よって、このシステムを本格的な融雪装置とするためには、蓄熱材の過冷却防止対策が不可欠である。

キーワード：蓄熱材タンク方式 太陽熱温水器 潜熱蓄熱材 過冷却

1. はじめに

平成9年度と10年度の2シーズンにわたり、潜熱蓄熱材に蓄えた太陽熱エネルギーのみで路面の融雪と凍結抑制を行うシステムの実用化に向けた実験を福井市内で行ってきた。蓄熱材タンク方式と名付けたこのシステムは、図1に示すように、蓄熱材を入れたタンクと放熱（集熱）管を埋設した路面とを閉じた管路でつなぎ、その配管内に熱媒体として水を循環させることで、日中は太陽熱で暖まった路面の熱をタンク内の蓄熱材に蓄熱し、積雪・凍結時には逆にその蓄えた熱を路面で放熱させるというものであった。しかし、この蓄熱材タンク方式では太陽熱の集熱器として路面を利用しているため、冬期でも日中になると温度が高くなる鋼床版橋路面の場合と、日中でも温度が上昇しにくい地盤部路面の場合とで多少の違いはあるにしろ、基本的には使用できる蓄熱材の凝固点と蓄熱できる熱量がかなり制限された。すなわち、シーズンを通じてシステムを機能させるためには、路面温度があまり上昇しなくても安定的に蓄熱できるよう蓄熱材には凝固点が比較的低いパラフィン系蓄熱材（凝固点4℃、融解潜熱量31cal/cm²）を使用するしかなく、これによって融解潜熱での放熱出力は50W/m²程度と小さくなった。また、使用できるパラフィン系蓄熱材の量も、地盤部路面を使用した昨年度の実験では路面単位面積当たり11リットル（融解潜熱量345kcal）程度が限界であり、この結果融解潜熱での放熱運転時間は7時間40分程度に留まり融雪を想定すると物足りないものとなった。

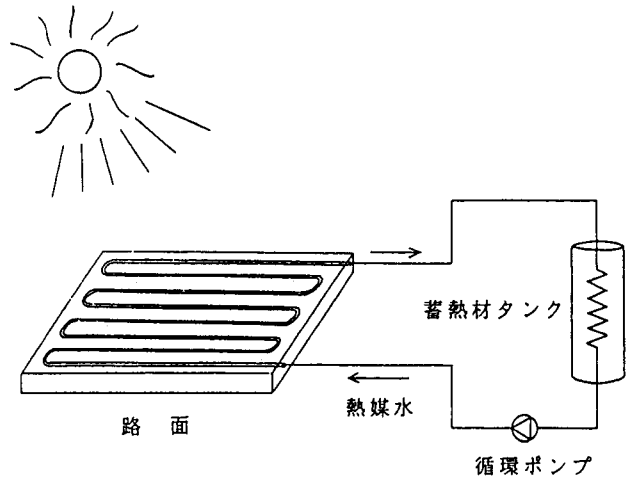


図1 蓄熱材タンク方式(路面による集熱)

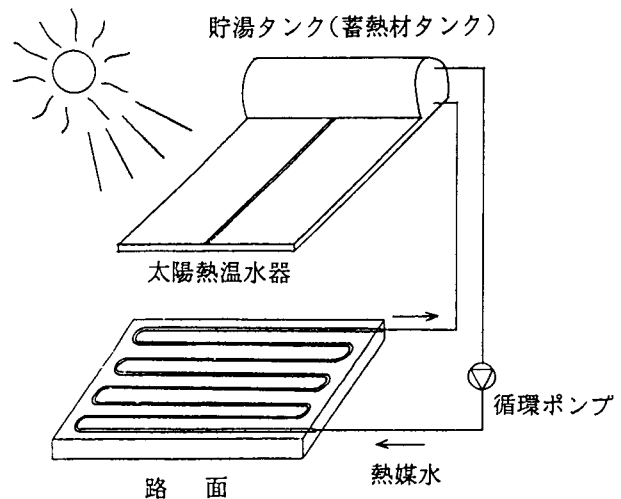


図2 蓄熱材タンク方式(太陽熱温水器による集熱)

すなわち、路面を集熱器に利用している限りこのシステムは本格的な融雪装置としては使えず、むしろ凍結抑制や圧雪防止の用途に適しているというのが昨年度までの実験から得られた結論であった¹⁾²⁾。しかし、凍結抑制や圧雪防止を目的とするならば、既に実用化している、蓄熱材を路面に直接封入する方式³⁾の方が総合的に優れていると考えられることから、このシステムの実用化のためにはある程度本格的な融雪装置としての能力を備えることが必要となる。そこで本年度は、路面を集熱器として利用する代わりに、**図2**のように太陽熱温水器を専用の集熱器として設置することでシステムの性能を向上させることを試みた。これによって従来の方法と比べて集熱能力が上がり、凝固点のより高い潜熱蓄熱材を多量に使用できるようになることから、融解潜熱での放熱の出力と継続時間が大きくなると期待される。この方法では太陽熱温水器の貯湯槽を蓄熱材タンクとして使用するため、蓄熱は従来のように循環ポンプを動かすことなく、集熱板で暖まった水がタンクと集熱板の間を自然対流で循環することによって行われる。放熱は従来と同じく路面温度と路面上の積雪センサーで循環ポンプを制御して行う。

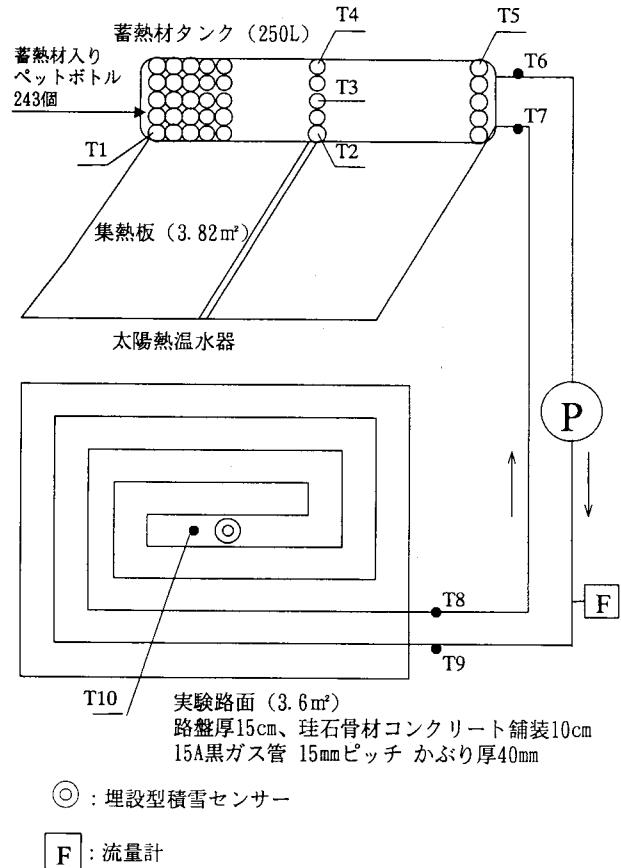


図3 実験装置の概略

2. 実験装置と実験方法

実験装置の概要を**図3**に、全景を**写真1**に示す。実験場所は昨年度までと同じく当研究所の敷地内である。路面を集熱器に利用する昨年度までの方法から太陽熱温水器を集熱器とする方法に変えることで、どれだけシステムの性能が向上するのか分かりやすく比較できるように、太陽熱温水器は集熱器（集熱板）の面積が実験路面とほぼ同じ大きさの機種を設置した。実験路面は昨年度と同じく地盤部路面の模型を使用した。この路面は珪石骨材を使用した高熱伝導コンクリート舗装となっている。潜熱蓄熱材には日本鋼管株式会社が開発を進めている包摂水和潜熱蓄熱材を使用した。40wt%濃度の包摂水和物を0.5リットル容量のペットボトルに入れ、これを250リットル容量のタンク内に計243個（計121.5リットル）敷き詰めた。包摂水和物は40wt%濃度で凝固点が11.8℃、融解潜熱量が46cal/gで比重は水とほぼ同じである。タンク内の蓄熱材の融解潜熱量は合計で約5500kcal（実験路面1㎡当たり1528kcal）となり、これはパラフィン系蓄熱材を使用する従来の方法と比べて約4.4倍の大きさになってい

放熱運転（凍結抑制）

ポンプON条件 $T_{10} \leq 0.2^{\circ}\text{C}$ かつ $T_3 \geq 2.0^{\circ}\text{C}$

ポンプOFF条件 $T_{10} \geq 0.5^{\circ}\text{C}$ または $T_3 \leq 1.0^{\circ}\text{C}$

放熱運転（融雪）

ポンプON条件 積雪センサーON かつ $T_3 \geq 2.0^{\circ}\text{C}$

ポンプOFF条件 積雪センサーOFF または $T_3 \leq 1.0^{\circ}\text{C}$

表1 ポンプの制御方法

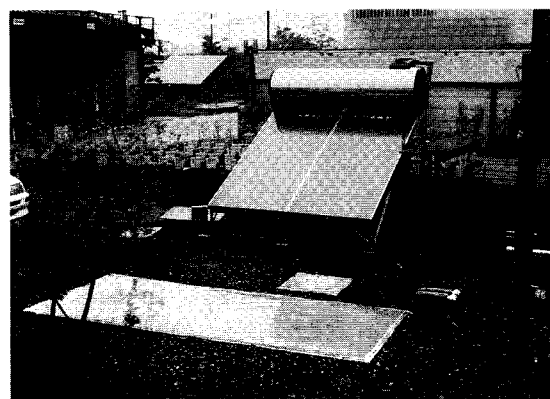


写真1 実験装置外観

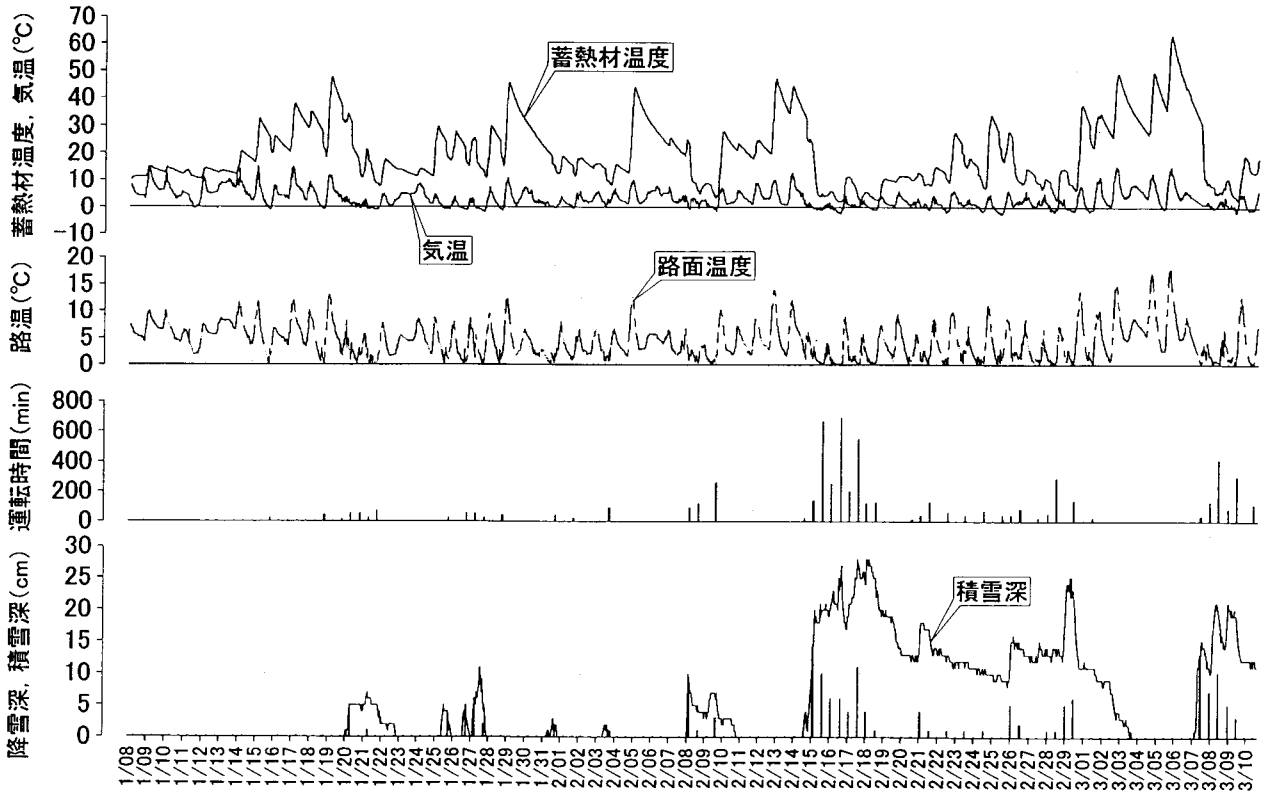


図4 実験期間における蓄熱材温度および路面等の変化

る。ちなみに、この熱量は密度 $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ の積雪を約 19cm 融雪できる熱量である。温度は、タンク内各部の蓄熱材温度5箇所 (T1~T5)、タンク出入口温度 (T6, T7)、路面出入口温度 (T8, T9) および路面温度 (T10) 等を自動計測した。放熱運転のポンプの制御方法は昨年度までと同じで表1に示すとおりである。ポンプの流量は路面単位面積当たり $0.63\text{リットル}/\text{min}$ に設定した。放熱管を埋設していないこと以外は実験路面と全く同じ舗装構造の比較路面模型を用意し、このシステムによる効果を確認できるようにした。

3. 実験結果と考察

図4に、実験期間 (平成12年1月8日から平成12年3月11日まで) における蓄熱材温度 (測定5箇所の平均)、気温、実験路面温度および比較路面温度の変化を示す。また、前日21時から当日9時までと当日9時から21時までの各12時間毎の放熱運転時間と降雪深および自然積雪深をあわせて示す。期間中の降雪深累計は 160cm 、最大自然積雪深は 28cm であった。実験期間64日間のうち、融雪のため放熱運転が行われた日は計26日、放射冷却等による凍結の抑制のため放熱運転が行われた日は計23日あった。放熱運転時間の合計は99時間 (融

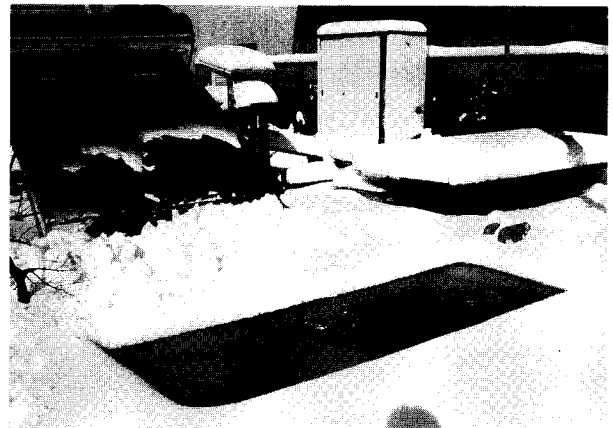


写真2 融雪の状況

雪運転80時間30分、凍結抑制運転18時間30分) だった。システムは実験期間を通して一度も熱的に破綻することなく機能し続けた。降雪強度に対し融雪能力が追いつかず融雪に時間遅れが生ずることはあったが、目視観察では期間中の降雪に対して実験路面を無雪状態に保つことができた (写真2)。放熱運転が行われない時は、蓄熱材は日中の蓄熱により温度上昇し、夕方から翌朝にかけてはタンクからの熱損失によりある程度まで温度が低下するというパターンを繰り返した。前日までの蓄熱で蓄熱材温度がかなり上昇しているような

場合を除いて、蓄熱量の多少はあるものの蓄熱はほぼ毎日行われた。集熱板上に降り積もった雪は比較的早期に滑落し、その後の蓄熱に支障を及ぼすようなことはほとんどなかった。蓄熱材温度は、1月、2月には最高で46℃まで上昇し、3月には最高で62℃まで上昇した。実験期間を通じての蓄熱材の平均温度は20.1℃、日中に放熱運転が行われなければ通常日中の蓄熱が完了し1日で最も温度が高くなる時間帯である17時での平均温度は24.3℃、同じく最も温度が低くなる時間帯である9時での平均温度は15.8℃であった。このことから、このシステムは、今回の実験条件（蓄熱材凝固点11.8℃、集熱板1㎡当たりのタンク内融解潜熱量1440kcal）および気象条件においては、シーズンを通じほぼ安定して潜熱蓄熱できるシステムであると言える。

冬型の気圧配置が強まり、強い寒気が入って実験期間中で一番のまとまった雪となった2月15日夕から18日午前にかけてのタンク内各部の蓄熱材温度と実験路面での放熱出力、路面出入口水温の変化を図5に示す。この期間は雪が断続的に降り、長時間にわたって比較的連続した放熱運転が行われた。この期間における降雪深累計は48cmであった。2月15日16時50分から16日12時20分まで続いた最初の放熱運転では、運転開始前、タンク内各部の蓄熱材温度は、上下方向に温度成層して18.2℃から28.2℃まで開きがあったが、すべて凝固点を超えており十分に潜熱蓄熱された状態であった。

運転開始とともにタンク内各部の蓄熱材温度は急激に降下したが、凝固点付近で一定温度を示すことはなく過冷却を起こして3℃付近まで低下していった。そして測定したペットボトルによって、過冷却状態を維持しながらそのまま3℃付近で推移するものと、過冷却状態が解除され急激に9℃付近まで温度上昇するものが見られた。2月16日19時40分から17日11時まで続いた次の放熱運転では、ペットボトルによって1.5℃付近で一定値を示すものや、2.5℃付近で一定値を示したあと5℃近くまで徐々に温度上昇するものがあった。17日11時から13時40分までは日中の蓄熱が行われ蓄熱材温度は凝固点近くまで回復した。続く2月17日18時40分から18日10時までの放熱運転では、凝固点の11.8℃近辺で一定値を示すものと、一定値を示さず緩やかに温度低下していくものが見られた。以上のように、今回の方法では蓄熱材が過冷却現象を起こすため、個々のペットボトルによって放熱運転時の蓄熱材の温度変化に大きな差異が見られること、また放熱運転時のペットボトル中の蓄熱材の温度変化を予測するのは難しいことが分かった。さらに、過冷却解除によりタンク内の蓄熱材温度が上昇することがあるため、放熱運転時に放熱出力が増加していく場合があることも分かった。結局のところ、期待していた融解潜熱での安定した高出力は得られず、路面放熱出力はパラフィン系蓄熱材を使った昨年度までのシステムよりも小さい40~25W/㎡程度まで急激に低下してからはじめて安

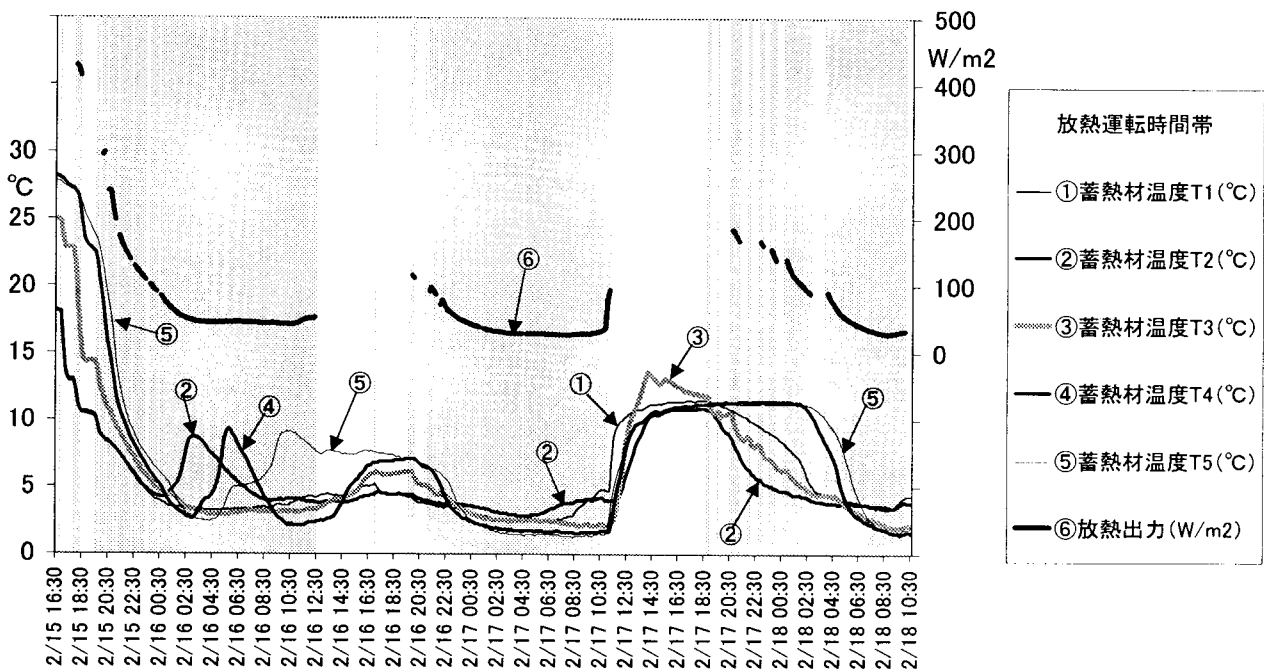


図5 タンク内各部の蓄熱材温度と放熱出力の変化

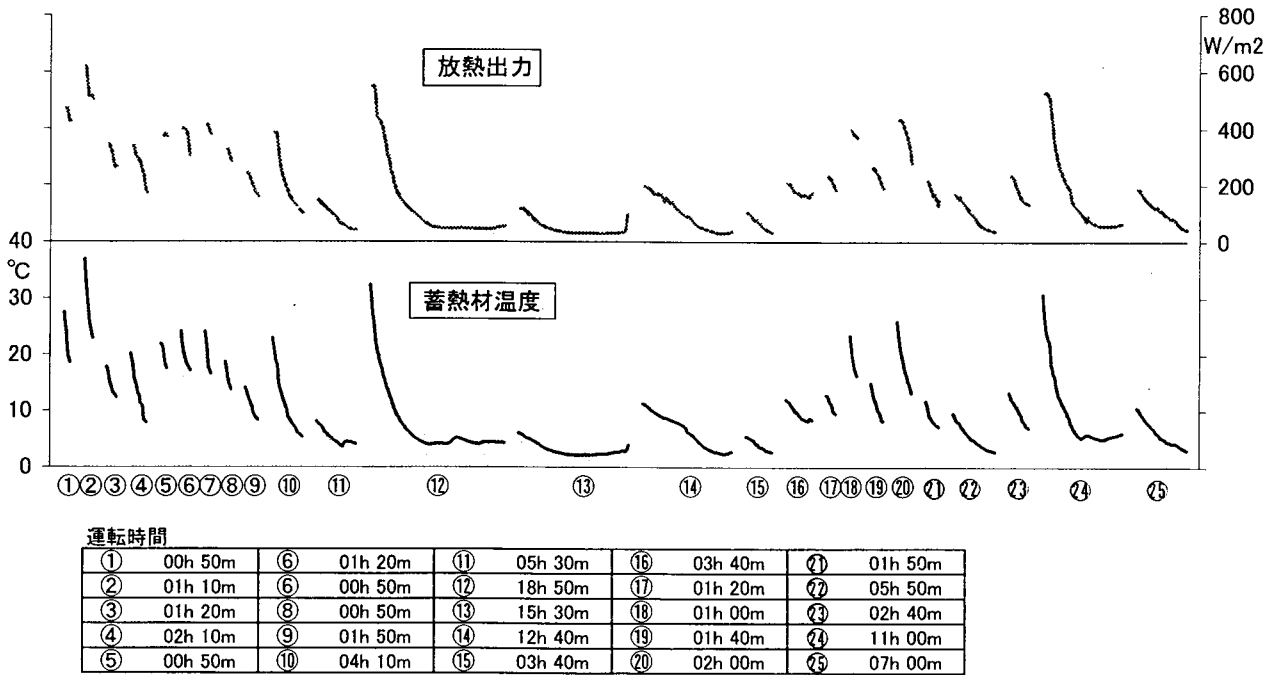


図6 放熱運転時における蓄熱材温度と放熱出力の変化

定してきた。そして、その後は長時間にわたり放熱運転が続いても熱ストックが無くなることなくこの出力を維持し続けた。

図6は、実験期間において1回あたりの運転時間が30分以上続いた計25回の放熱運転(図5で示した3回の放熱運転を含む)について、蓄熱材温度(測定5箇所の平均)と放熱出力の変化をまとめて示したものである。25回の放熱運転における運転開始前の蓄熱材の平均温度は18.3℃であった。また25回の運転のうち19回で放熱運転開始前の蓄熱材温度は凝固点11.8℃を越えており、十分に潜熱蓄熱されていたと考えてよい。降雪量がさほど多くない時や凍結抑制時のように放熱運転が1時間から2時間といった比較的短時間で済む場合には、運転開始前の蓄熱材温度によっては顕熱蓄熱分の放熱だけで運転が終了するか、あるいは顕熱蓄熱分を使い切ったとしても蓄熱材温度が凝固点よりさほど低下しないうちに運転が終了するので、結果として電気ヒータ融雪なみの高出力の放熱運転が可能であることが分かる。しかし、冬型の気圧配置が続いて断続的に雪が降る場合などは、システムが機能停止してしまうことはないものの、図5でも説明したように過冷却の影響で運転開始当初を除いてかなり低出力での運転となってしまうため、次第に融雪に時間遅れが生じてく

ることになる。

4. まとめ

今回の実験の結果、太陽熱温水器を集熱器とすれば、凝固点約12℃の潜熱蓄熱材を、タンク内の融解潜熱量が集熱器1㎡当たり1440kcalとなる量だけ使用しても、シーズンを通し安定して潜熱蓄熱できることが確認できた。路面を集熱器とするシステムの場合は、凝固点4℃の蓄熱材で、集熱器1㎡当たりのタンク内融解潜熱量345kcalあたりまでがシーズンを通し安定的に潜熱蓄熱させるための使用限界量であることが昨年度の実験で確認されていることから、太陽熱温水器を集熱器とすることによってシステムの蓄熱能力が大幅に向上することが分かる。また、今回の実験で使用した蓄熱材の量は融雪路面1㎡当たりの融解潜熱量に換算すると約1528kcalとなるが、この量であればシステムは機能が停止することなくシーズンを通じて融雪路面をほぼ無雪状態に維持できることも分かった。しかし、使用した蓄熱材が過冷却現象を起こしてせっかく高温で貯めた潜熱蓄熱を路面での放熱に利用することが出来なかったため、放熱出力は凝固点が低いパラフィン系蓄熱材を使用した昨年度までのシステムよりも小さい25~40W/㎡付近で安定し、融雪装置としては非常に

物足りないものとなった。このためシステムの実用化のためには、信頼性のある過冷却防止策を講じるか、もしくは別の蓄熱材の使用を検討する必要があると考える。また、今回の実験では、融雪面積と集熱器面積をほぼ1：1の比率としたが、これについても、集熱器面積の比率をどこまで小さくすることが出来るか、すなわち集熱器1㎡当たりのタンク内融解潜熱量をどこまで増やすことが可能なのか検討しなければならない。

参 考 文 献

- 1) 加賀久宣、宮本重信：蓄熱タンク方式による鋼床版橋路面の凍結抑制 福井県雪対策・建設技術研究所年報 第11号 pp. 27～32.
- 2) 加賀久宣：蓄熱材タンク方式による地盤部路面の融雪の研究 その2 福井県雪対策・建設技術研究所年報 第12号 pp. 35～38
- 3) 宮本重信、室田正雄：蓄熱材封入による鋼床版路面の凍結抑制 福井県雪対策・建設技術研究所年報 第9号pp.3～19

歩道無散水融雪工事のコスト縮減について その2

(県立武生高校前歩道の事例)

Study on the Curtailment of the Cost of Snowmelting Facilities with Radiation Tube on a Sidewalk (Part2)

加賀久宣・宮本重信

要 旨

昨年度、これまで行われてきたセット融雪に施工コスト縮減のための幾つかの工夫を施した歩道融雪工法の試験施工を行った。今年度はこの施設で実際に冬期間融雪を行い、当該工法の問題点や融雪の効果を調査した。その結果、安価な路面埋込型積雪センサーを使つての運転制御に関して幾つかの問題があり、今後改善が必要なことが明らかになった。また、歩道上の雪が放熱管ユニット単位で融けずに残ってしまう現象が見られたが、これは歩道での流速をある程度上げることによって今後防ぐことができると考えられた。

キーワード：歩道無散水融雪，セット融雪，コスト縮減，路面埋込型積雪センサー，空気溜まり(エアロック)

1. はじめに

平成10年度、歩道融雪の低コスト工法の確立を目的に、必要な融雪能力は確保しながら出来る限り施工コストを抑えることに力点をおいた歩道融雪工法の試験施工を県立武生高校前の歩道にて行った。図-1に示すこの工法は、基本的に既存の車道散水融雪用の消雪井戸および水中ポンプをそのまま利用し歩道に地下水二度使いのセット融雪を組むことで、歩道融雪の低コスト化を実現しようというものである。しかしそれだけでなく、この工法では歩道部の放熱管工事、舗装工事およびポンプ制御用のセンサーにも幾つかの工夫を施すことで、これまで県内の都心部を中心に行われてきたセット融雪のコストをも大幅に縮減することを狙っている。この工法の詳しい内容や設計の基本的な考え方および試験施工を通して得られた知見等については、昨年度の年報の中で“その1”として報告しているのでそちらを参照されたい。ここでは、その後あらたに得られた知見や平成11年度冬期の運転結果等について報告する。



写真-1 路面埋込型積雪センサー

多少不安があったが、従来のセンサーに比べて格段に安価で、目的であるコスト縮減につながるため採用した。このセンサーで今回の融雪システムを適切に制御するには、センサーをいかに歩道や車道の積雪状態をうまく代表する箇所に設置するかが重要と考えられた。比較的広範囲に融雪面をスキャンし積雪の有無を判断する精度の高い高価な積雪センサーと違い、感知面積が小さい今回の積雪センサーの場合は、取り付け位置が適切でないと、センサー上の雪だけが早めに消えてしまい歩道や車道に雪が残っているにもかかわらずポンプが停止してしまったり、あるいは逆にセンサー上の雪だけがいつまでも残りポンプがなかなか停止しないようなことが起こり得る。そこで、歩道と車道を比較した場合、無散水で融雪する歩道のほうが時間的に融雪に遅れが出ると思われたので、歩道での融け残しを無くすために歩道にセンサーを設置しシステム全体

2. 運転制御(センサー)に関する問題

既報でも述べたように、この工法では制御用センサーに住宅の融雪装置用センサーとして量産されている路面埋込型の積雪センサー(写真-1)を使用している。このセンサーは歩道融雪や車道融雪の用途で使用された実績が無いため今回の使用に際しては信頼性の面で

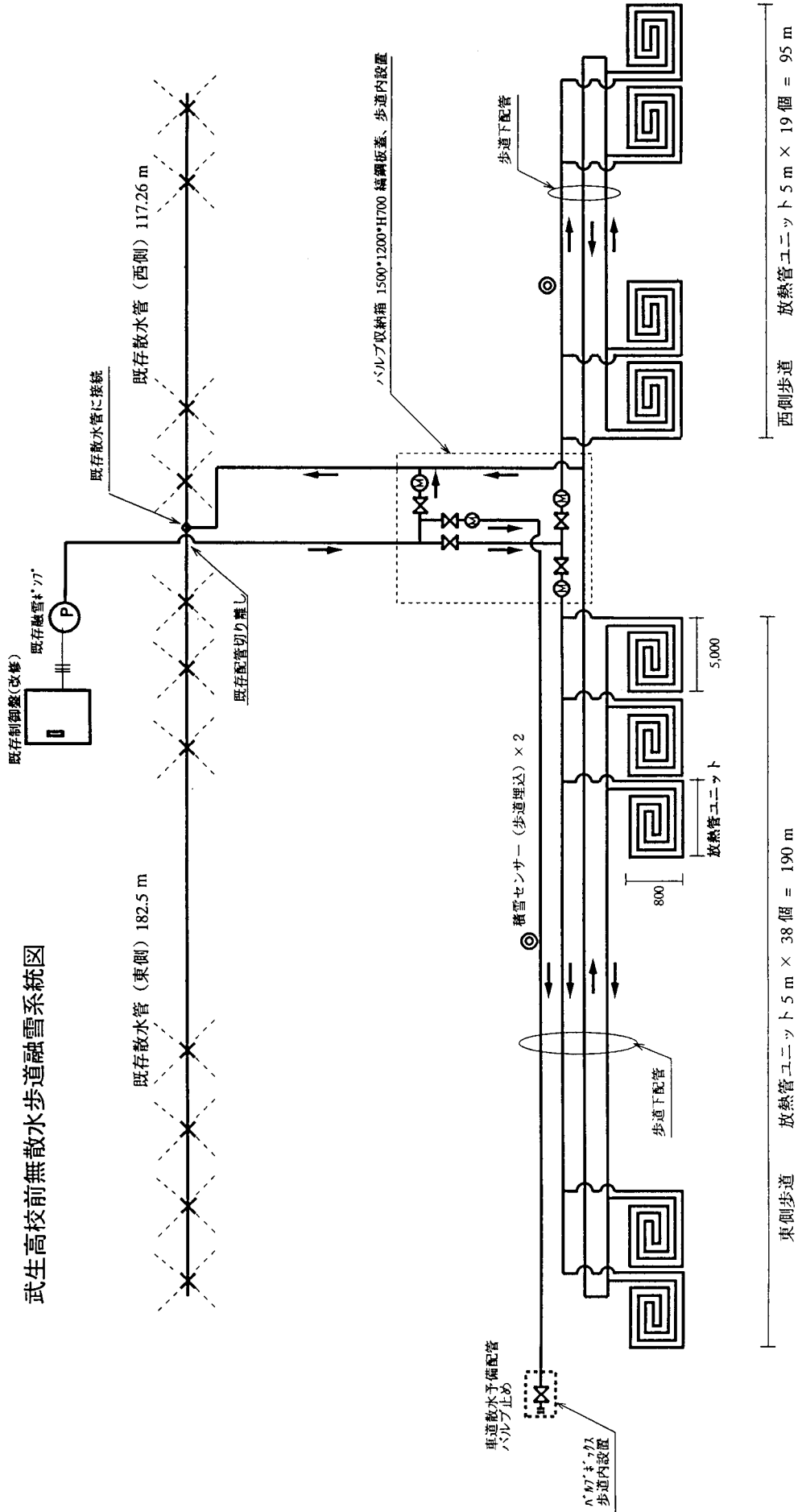


図-1 システム概念図

を制御することにした。次に歩道での設置位置であるが、歩道中央に設置すると人の通行によってセンサー上の雪が乱されたり、いたずらされたりする危険性が増すと思われたので、試験施工では出来るだけ車道側の端に設置した。端であれば、人の通行が少ない分、中央に設置するよりもセンサー上に雪が積もりやすく且つ残りやすいため、融雪システムが早めに始動し遅くまで運転される結果となり、その点でもシステム全体の信頼性が上がると考えられた。しかし、この工法ではコストを抑える手段の1つとして、歩道部の融雪幅を、全歩道幅のうち、人がすれ違うのに支障のない最小限の歩道中央0.8m幅だけとし、その範囲外は放熱管を敷設しないこととしていたため、歩道端部に設置したセンサー上の雪はいつまでも融けずに残る恐れのあることが工事完成後になって判明した。このため、手直し工事によりセンサーを放熱管が敷設された歩道中央部に移設するか、もしくは逆に歩道中央部の放熱

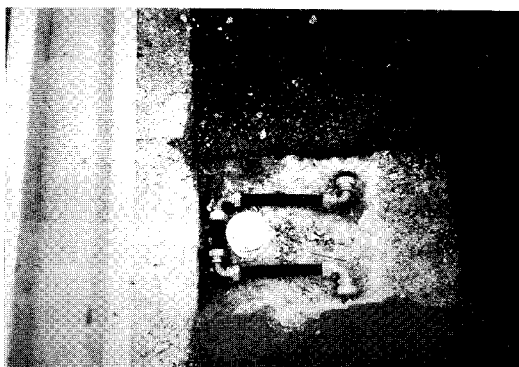


写真-2 センサー周囲の放熱管



写真-3 道端からの水跳ね

管をセンサー周囲まで延ばしてやる必要があったが、手直しの容易さから後者の方法を選択し放熱管1本を分岐してセンサー周囲に沿って敷設し直した(写真-2)。しかし、放熱管1本からの放熱だけでは不十分だったのか、実際の運転ではセンサー上の雪はいつまでも

融けずに残る結果となった。さらに別の問題として、車道側端部に設置した場合、場所によっては車道散水で道端に溜まった水が車の通行で跳ね上がりセンサー上の雪を洗い流してしまうことがあった(写真-3)。以上からこのセンサーを今回のように車道側端部に設置する場合は、放熱管をセンサー周囲に沿って1本でなく複数本敷設するとともに車道からの水跳ねの影響が出ない場所を選ぶ必要があると思われる。センサーに関してはこのほか、内部に水が侵入して誤動作する事態も発生し、長期間使用した時の水密性を含めた耐久性に不安が残った。また、今冬、福井市内で行った別の実験でこのセンサーを使用したところ、明け方の放射冷却時にセンサーの表面が白く凍結することで、誤って積雪感知信号を出した事例が冬期間を通じ1回だけ見られた。すなわち、このセンサーで歩道融雪だけでなく車道散水も同時に制御する今回の方法では、放射冷却時に車道に散水してしまい路面凍結による交通事故を引き起こす危険性が全くないとは言い切れない。このため、当初の目的に逆行しコストの上昇にはつながってしまうが、水分センサーを設置しこれと積雪センサーのAND信号で制御することでこのような放射冷却時の誤動作を防止することも考えていく必要がある。

3. 舗装に関する問題

既に報告しているとおり、放熱管材料はコストや施工性から耐熱温度約90℃のポリエチレン管になった。このため歩道部の舗装は舗設温度からアスファルト舗装にすることが出来ず、表面15mmが砕殻薄層仕上げのコンクリート舗装とした。コンクリート舗装にはセ



写真-4 歩道表面に入ったクラック

メントコンクリート舗装要綱に従い5mおきに収縮目地を設けたが、表面の弁殻薄層部は収縮を吸収できると判断し表面までは目地を通さなかった。しかし完成後間もなくして、歩道全体にわたり表面の弁殻薄層に、ちょうどコンクリート舗装の目地に沿って5mおきのクラックが入った(写真-4)。

4. 運転結果

12月下旬の今冬最初の降雪では、シーズン前の流量調整が不十分で歩道部の流量が極端に不足していたことから、歩道上の雪は思うようにうまく融けなかった。このため歩道部の流量を、地下水を使った無散水融雪で通常必要とされる単位面積当たり $0.6L/(minm^2)$ 程度となるように調整し直し以降の降雪に備えた。その結果、次の降雪では歩道の雪は概ねきれいに融雪された(写真-5)。しかし同時に、歩道の数カ所で雪がユニット単位で融けずに残る現象が見られた(写真-6)。それ以降の降雪でも、歩道の雪は全体的に見ればほぼきれいに融雪され本システムは歩道融雪装置としての役割を果たしたが、やはり歩道の一部で雪が融けずに残ったり残り気味になる状態は変わらず見られた。このように放熱管ユニット単位で雪が残る原因としては、施工時にそのユニットだけ放熱管のかぶり厚が設計値よりも大きくなり熱の伝わりが悪くなっているか、あるいは、何らかの理由でそのユニットの流量が低下していることが考えられた。しかし、今回の試験施工では低温熱源の地下水による無散水融雪ということで放熱管のかぶり厚の管理には特に注意を払っていたこと、さらに同じ場所のユニットであっても降雪によって雪が残ったり残らなかったりする状況が見られたことから、かぶり厚が原因とは考えにくく、流量のほうが深く関係していると思われる。

ところで、通常は無散水融雪配管がそうであるように、今回の工法でも歩道での流量分布を均一化するためにリバーサターンで各放熱管ユニットの管路抵抗を同じにしてある。このため、通常なら運転中に各ユニットの流量が変動したりアンバランスになる可能性は少ないと考えられる。しかし、今回の工法では、先述したとおり歩道部舗装の目地割りの関係で1ユニット当たりの面積が $4m^2(0.8m \times 5m)$ 、放熱管長さが40mと、通常は無散水配管設計の半分程度となった(通常は1ユニット面積 $10m^2$ 、放熱管長さ100m程度にするこ



写真-5 左：融雪装置なし 右：融雪装置あり



写真-6 放熱管ユニット単位での融け残り

とが多い)ため、単位面積当たり $0.6L/(minm^2)$ の地下水を流した場合に、通常のユニット割なら放熱管で $0.6 \sim 0.7m/s$ 程度の流速を確保できるものが、今回の工法では約 $0.3m/s$ と小さくなった。このため、配管途中で発生した空気や気泡が放熱管のところで一旦大きな空気溜まり(エアロック)を作ってしまうと、管内流水の動圧が小さいためにその空気溜まりを容易には先方に押し切ることが出来ず、その結果当該ユニットの管路抵抗が増加して流量低下の現象が起こったのではないかと考えられる。このことから、今年度見られたような融け残り現象を防ぐためには、歩道部の単位面積当たりの流量を増やし、放熱管での流速をある程度確保することが有効と思われるが、あくまでも推測の域を出ないため、今後実験等によって配管内のエアの挙動を明らかにしていく必要があると考えている。

この工法では、消雪井戸から汲み上げた地下水の一部を歩道部の放熱管に流した後、歩道部をバイパスした地下水と再び合流させて車道に散水するため、改修

前の車道散水のみの方と比べてシステム全体の管路抵抗が増加する。このため今回の試験施工でも、既存ポンプを利用すると、ポンプの性能や地下水位等から判断して、車道散水量は建設省北陸地建の路面消・融雪施設等設計要領にある必要散水量0.29L/(minm²)より少ない0.25L/(minm²)しか確保できないと設計段階で計算されたが、コスト縮減を目的とする試験施工ということと、経験的に0.25L/(minm²)でも十分融雪できるということもあって、既存ポンプをそのまま利用した経緯があった。しかし、設計時の管路抵抗の計算が正確でなかったのか、設計時に得ていた性能曲線より既存ポンプに余裕があったのか、あるいは地下水位が想定していたより高かったのか原因ははっきりしないが、改修後の運転でも車道散水量は裕に基準の0.29L/(minm²)以上確保することが可能であった。また、歩道融雪を付加することによる散水温の低下が、車道での融雪に影響を与えることもなく、車道に関しては問題なくきれいに融雪された。

5. コスト

図-2に今回の試験施工の工事費の内訳を示す。工事費は、既設歩道の取り壊し工等も含めてトータルで約1,240万円であった。歩道部の融雪面積が228m²であるから、歩道融雪面の単位面積あたりコストで考えると約5.4万円/m²だったことになる。電気融雪の場合は一般にインシヤルコストは6~7万円/m²程度で、ランニングコストも大きいことから、当該工法はコスト面で電気融雪よりも有利と言える。また、温水ボイラ等による無散水融雪と比較すると、当該工法は熱源が不要な分だけインシヤルコストが下がり、さらにランニング

コストとメンテナンスの点でも有利であることは明らかである。

次に、システム的には全く同じものであるが、歩道放熱部を県内の都心部のセット融雪でよく使われているプレキャスト融雪パネルにする方法と比べると、プレキャスト融雪パネルが据付費込みで4.9~6.8万円/m²であるのに対し、歩道放熱部を現場施工とした当該工法では歩道放熱部の工事費が約3.5万円/m²であるから、この分については大幅なコスト縮減につながる事が分かる。また、当該工法では、センサーをこれまでのセット融雪で用いられてきた固定式の積雪センサー（価格約60万円）ではなく1個8万円程度の安価な路面埋込型積雪センサーを使用しているが、この分でもかなりのコスト縮減になっている。

5. まとめ

当該工法で歩道融雪を行えば、電気融雪やボイラ融雪に対しては言うに及ばず、プレキャスト融雪パネルを使ったセット融雪と比べても大幅なコスト縮減になることは間違いない。しかし、当該工法をこの形のままで普及させるには、今後も追跡調査を続けて路面埋込型積雪センサーによる制御の信頼性を高めていくことが不可欠と考える。また、放熱管のエアロックによる融け残り現象を防ぐために、実験等によって配管内のエアの挙動を明らかにしていくことも必要と考える。

最後に、本研究を行うに当たり御協力いただいた道路保全課、武生土木事務所に謝意を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 加賀久宣, 室田正雄ほか: 歩道無散水融雪工事のコスト縮減について(県立武生高校前歩道の事例) 福井県雪対策・建設技術研究所年報 第12号 pp.29~34

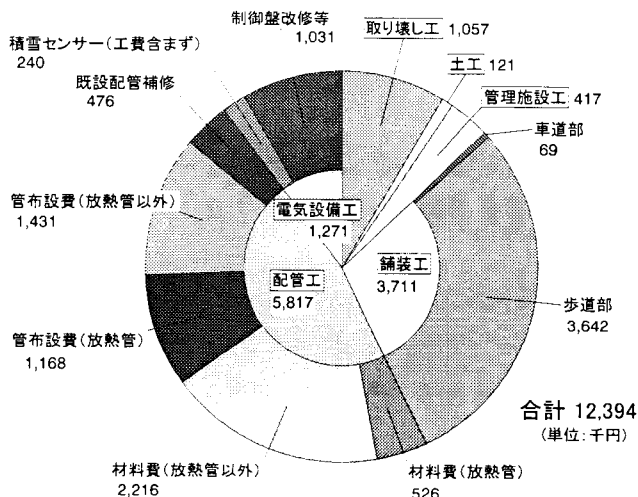


図-2 試験施工の工事費内訳

福井の降雪・積雪（改定版）について

The materials for snow fall and snow cover in Fukui(revised edition)

近藤 泰光

要 旨

福井県雪対策・建設技術研究所では、平成2年3月に「福井県の降雪・積雪」という冊子を出版した。これには平成元年までの降雪、積雪データを用いて算出した指標が掲載されている。そこで、新たに平成2年から平成11年まで（最近10年間）のデータを加えてこの改訂版を発行することになった。

キーワード：降雪、積雪、計画対象降雪強度、計画日降雪深、改訂版

1. はじめに

近年、大量消費、モータリゼーションの急激な進行、都市化の進展等に端を発する環境・エネルギー問題の解決が地球規模にて取り組まれている。

このような社会的背景もあって、福井県内では地熱を利用した融雪技術の研究をはじめ、雪対策、利雪の研究が数多く行われている¹⁾。こうした中、行政支援を目的として平成2年3月に「福井県の降雪・積雪」（以下、初版と呼ぶ）が発行された²⁾。この中では福井県の地域性を考慮したかたちで消・融雪施設の設計に用いられる計画対象降雪強度および計画日降雪深が求められていて、また数多くの図表も添付されている。

しかし、出版から10年を経過した現在、福井県の実情にそぐわない点が出てきているため、最新の記録に基づく見直しが必要となるようになり、改訂版の発行を検討している。

そこで、ここでは初版にて提案された計画日降雪深の算定方法を再考し、改訂版と初版との比較検討を加えることとする。

2. 初版の概要

初版の章構成は以下のようになっている。

- ① 消・融雪施設設計における計画対象降雪強度算定のための計画日降雪深について（案）
- ② 年間累計降雪深・降雪日数表（昭和55年～平成元年）
- ③ 計画日降雪深図
- ④ 降雪・積雪統計図表（福井）

⑤ 降雪・積雪統計図表（敦賀）

⑥ 降雪・積雪統計図表（大野）

⑦ 降雪・積雪分布図

①では、散水融雪施設の設計の際に用いられる単位面積当たり必要散水量の算定式において、福井県の実情に則したものとするために係数aの検討が加えられている。これは、従来の新潟県長岡市のデータを用いて算出した値a=1.5に対して、福井県の嶺北、嶺南、奥越の3地区の代表値をそれぞれ算出し（a=1.6, 1.6, 1.64）、これを各地区の計画日降雪深へと反映している。

②では、県内の各土木事務所に設置された30の観測地点における昭和55年から平成元年までの年間累計降雪深および降雪日数がまとめられている。

③では、最終的に求められた各地の計画日降雪深を福井県全図上に表している。

④～⑥では、嶺北の中心都市福井、嶺南の中心都市敦賀、奥越の中心都市大野の昭和35年から平成元年までの降雪・積雪データを用いて求めた各種の統計図表が載せられている。

⑦では、各種の積雪に関する推定分布、降雪に関する再現期間値が福井県全図上に表わされている。

3. 計画日降雪深の算定について

一般に、散水融雪施設の単位面積当たり必要散水量は次式にて求められる³⁾。

$$q = \omega (80 + 0.5 | t_s | + t_2) / 6 \alpha k (t_1 - t_2 - t_r) \quad (\text{ℓ/m}^2 \cdot \text{min})$$

…(1)

ここで、計画対象降雪強度 ω は次式にて表される。

$$\omega = 0.32\rho_s H_s^{0.7} (\text{g/cm}^2 \cdot \text{h}) \quad \dots(2)$$

(2)式において、計画日降雪深 H_s は、係数 a と平均日降雪深 H_m との積にて表される。

$$H_s = a \times H_m (\text{cm/day}) \quad \dots(3)$$

一般に、(3)式にて与えられる計画日降雪深 H_s は係数 a の値を1.5と一律に与えられることによって求められている。しかし、2章でも述べたように、この値は新潟県内の観測データに基づいて得られた値であるため、地域の実情に必ずしも即したものはなっていない。そこで、地域毎に累積相対頻度を求め、累積相対頻度曲線の変化点である80パーセント値を計画日降雪深として採用するのが望ましい。即ち、 a は次式にて与えられる。

$$a = \text{累積相対頻度が80\%を示す日降雪深} / H_m \quad \dots(4)$$

4. 日降雪深の累積相対頻度の比較検討

図-1～図-3は、昭和35年から平成元年までの30年間の12月1日～3月31日まで（冬期4ヶ月間）の観測データを用いて求めた福井、敦賀、大野の日降雪深累積相対頻度グラフである。いずれのグラフにおいても累積相対頻度が80%を示したところで曲線の傾きが変化していて、これを越える日降雪深の出現確率が非常に小さくなるのが分かる。

図-4～図-6は、平成2年～平成11年までの10年間の11月1日～3月31日まで（冬期5ヶ月間）の観測データを用いて求めた福井、敦賀、大野の日降雪深累積相対頻度グラフである。こちらのグラフにおいても累積相対頻度が80%を示したところで曲線の傾きが変化していて、これを越える日降雪深の出現確率が非常に小さくなっているのが分かる。また、図-1～図-3と図-4～図-6を比べると3地区の全てにおいて80パーセント値が小さい値を示している。この違いについてはまず観測データに30年と10年という違いがあることが挙げられる。これには近年の暖冬の影響があるのではないだろうか。

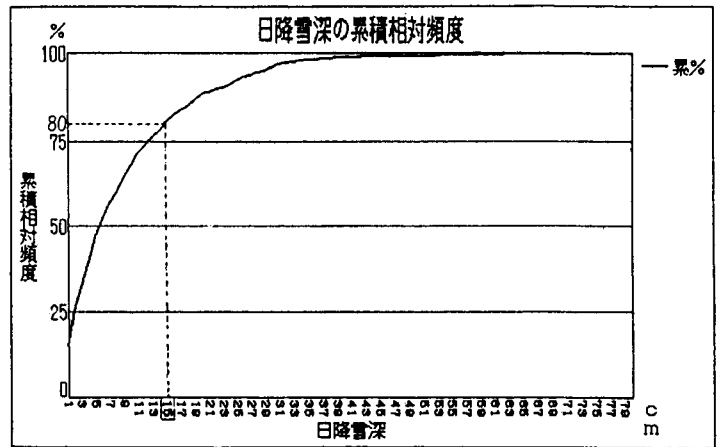


図-1 日降雪深の累積相対頻度グラフ(福井・初版)

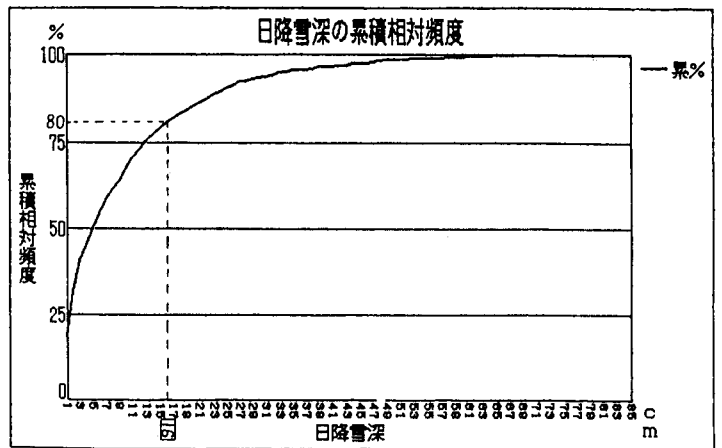


図-2 日降雪深の累積相対頻度グラフ(敦賀・初版)

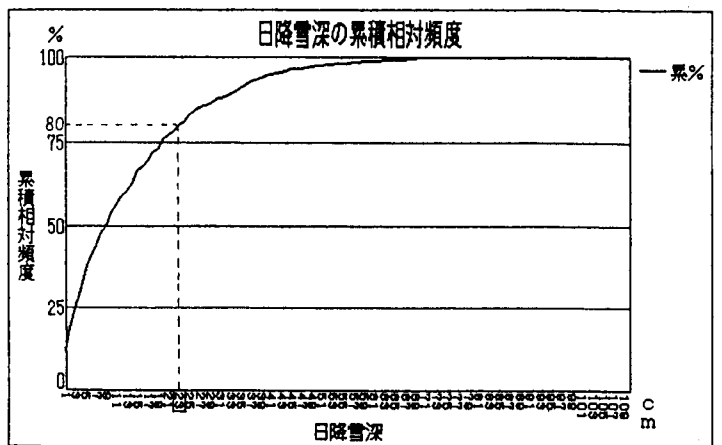
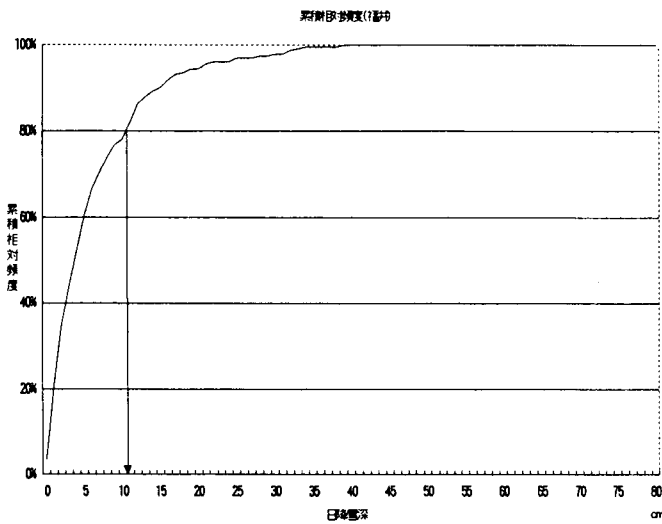
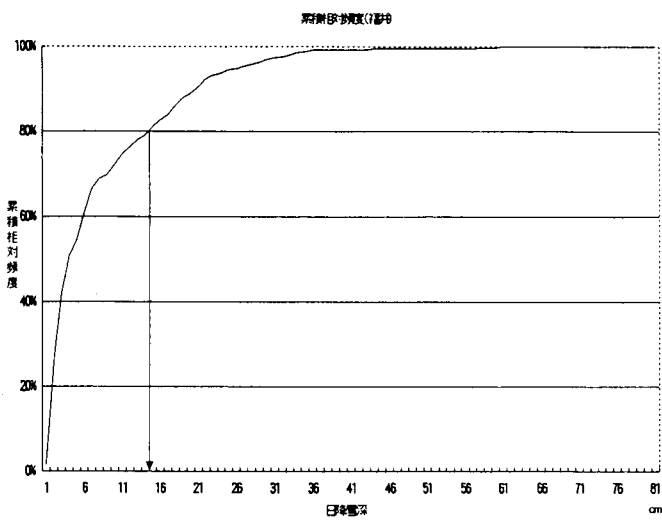


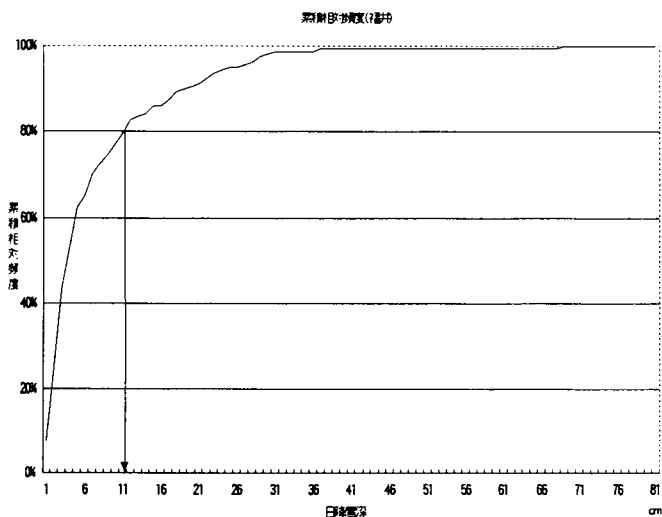
図-3 日降雪深の累積相対頻度グラフ(大野・初版)



図一 4 日降雪深の累積相対頻度グラフ(福井・H2~H11)



図一 5 日降雪深の累積相対頻度グラフ(敦賀・H2~H11)



図一 6 日降雪深の累積相対頻度グラフ(大野・H2~H11)

5. 計画日降雪深の比較検討

表一 1 は昭和55年から平成元年まで、および平成2年～平成11年までの降雪データから得られた年間累計降雪深と降雪日数をはじめとするその他の指標を比較した表である。

これによると、谷観測点以外の全ての観測点において累計降雪深が減っている。特に三国土木や敦賀土木等の日本海沿岸部での減少が顕著である（三国土木29%、敦賀土木33%）。また、降雪日数を見ると日本海沿岸部、平野部では減少しているが、逆に南六呂師や納田終などの福井県山間部では増加している（南六呂師117%、納田終115%）。10年間での平均日降雪深を比較すると、ここでも谷観測点以外の全ての観測点において平均日降雪深が減少している。

係数 a の値は小浜土木を除く全ての観測地点で小さくなっている。表には示さなかったが、全体の平均で見ると、 $a_{(80\sim89)ave.}$ が1.61、 $a_{(90\sim99)ave.}$ が1.34で、 $a_{(90\sim99)ave.}$ の $a_{(80\sim89)ave.}$ に対する割合は84%である。また、地域差といった観点から検討すると、 $a_{(80\sim89)}$ に比べて $a_{(90\sim99)}$ の方がより顕著に現れていると言える。

計画日降雪深で比較すると、全ての観測地点で減少傾向にある（49%～75%）。

6. 最後に

初版にて提案された計画日降雪深の算定方法を再考し、改訂版と初版との比較検討を加えた。得られた成果は以下のとおりである。

- 1) SI単位系への移行に伴い、初版にて提案された計画日降雪深の算定方法を再考した。その結果、地域の実情にそった形で求められることが分かった。
- 2) 日降雪深の累積相対頻度の比較検討を行った結果、最近10年間においても初版にて求められたものと同じ傾向が見られた。すなわち、累積相対頻度が80%を示したところで曲線の傾きが変化していて、これを越える日降雪深の出現確率が非常に小さくなっている。80パーセントイル値そのものは小さくなる傾向にあった。
- 3) 最近10年間の累計降雪深、降雪日数、平均日降雪深および計画日降雪深は全体的に減少傾向にあった。また、消・融雪施設設計の際の基本的な指標となる係数 a の値もこれに伴って小さな値を示した。

第1編 調査研究報告

表-1 年間累計降雪深・降雪日数比較表(昭和55年～平成元年と平成2年～平成11年との比較)

単位 H (累計降雪深): cm, N (降雪日数): 日

観測点名	10年間計						平均日降雪深			80パーセンタイル値			係数			計画日降雪深			
	H ₍₈₀₋₈₉₎	H ₍₉₀₋₉₉₎	H _{(90-99)/H₍₈₀₋₈₉₎(%)}	N ₍₈₀₋₈₉₎	N ₍₉₀₋₉₉₎	N _{(90-99)/N₍₈₀₋₈₉₎(%)}	H ₍₈₀₋₈₉₎	H ₍₉₀₋₉₉₎	H _{(90-99)/H₍₈₀₋₈₉₎(%)}	H ₈₀₍₈₀₋₈₉₎	H ₈₀₍₉₀₋₉₉₎	H _{80(90-99)/H₈₀₍₈₀₋₈₉₎(%)}	a ₍₈₀₋₈₉₎	a ₍₉₀₋₉₉₎	a _{(90-99)/a₍₈₀₋₈₉₎(%)}	H _{S(80-89)}	H _{S(90-99)}	H _{S(90-99)/H_{S(80-89)}(%)}	
福井土木	3,146	1,378	44%	301	170	56%	10.5	8.1	78%	16.7	11.1	66%	1.60	1.37	86%	16.7	11.1	66%	
上ノ光	5,267	3,754	71%	438	429	98%	12.0	8.8	73%	19.2	9.6	50%	1.60	1.10	69%	19.2	9.6	50%	
砂子坂	1,543	505	33%	241	118	49%	6.4	4.3	67%	10.2	5.9	58%	1.60	1.38	86%	10.2	5.9	58%	
山王	4,117	2,001	49%	351	245	70%	11.7	8.2	70%	18.8	10.5	56%	1.60	1.29	80%	18.8	10.5	56%	
皿谷	6,463	5,078	79%	415	478	115%	15.6	10.6	68%	24.9	12.3	49%	1.60	1.16	72%	24.9	12.3	49%	
三国土木	1,430	420	29%	246	99	40%	5.8	4.2	73%	9.3	5.4	58%	1.60	1.27	80%	9.3	5.4	58%	
竹田	4,697	2,872	61%	411	376	91%	11.4	7.6	67%	18.3	9.6	53%	1.60	1.26	79%	18.3	9.6	53%	
長畑	2,096	1,062	51%	307	185	60%	6.8	5.7	84%	10.9	6.6	60%	1.60	1.15	72%	10.9	6.6	60%	
大野土木	5,770	3,106	54%	393	352	90%	14.7	8.8	60%	24.1	14.1	59%	1.64	1.60	97%	24.1	14.1	59%	
南六呂師	7,436	6,742	91%	446	522	117%	16.7	12.9	77%	27.4	19.0	69%	1.64	1.47	90%	27.4	19.0	69%	
下山	10,426	9,078	87%	483	556	115%	21.6	16.3	76%	35.4	19.8	56%	1.64	1.21	74%	35.4	19.8	56%	
勝木土木	5,914	2,977	50%	381	359	94%	15.5	8.3	53%	25.5	12.5	49%	1.64	1.51	92%	25.5	12.5	49%	
谷	10,962	12,615	115%	516	563	109%	21.2	22.4	105%	34.8	22.5	65%	1.64	1.00	61%	34.8	22.5	65%	
鱒江土木	2,748	1,179	43%	302	178	59%	9.1	6.6	73%	14.6	10.0	69%	1.60	1.51	94%	14.6	10.0	69%	
上戸ノ口	4,100	2,438	59%	349	327	94%	11.7	7.5	63%	18.8	10.8	57%	1.60	1.45	91%	18.8	10.8	57%	
武生土木	3,189	1,242	39%	324	205	63%	9.8	6.1	62%	15.7	8.5	54%	1.60	1.40	88%	15.7	8.5	54%	
二階堂	4,091	2,180	53%	355	301	85%	11.5	7.2	63%	18.4	10.1	55%	1.60	1.39	87%	18.4	10.1	55%	
今庄	5,047	3,644	72%	380	363	96%	13.3	10.0	76%	21.3	11.4	54%	1.60	1.14	71%	21.3	11.4	54%	
広野	-	2,942	-	-	224	-	-	13.1	-	-	-	12.2	-	0.93	-	-	-	12.2	-
今立土木	3,231	1,352	42%	311	201	65%	10.4	6.7	65%	16.6	10.0	60%	1.60	1.49	93%	16.6	10.0	60%	
谷口	6,297	3,829	61%	412	389	94%	15.3	9.8	64%	24.5	13.8	56%	1.60	1.40	88%	24.5	13.8	56%	
朝日土木	2,671	1,667	62%	306	225	74%	8.7	7.4	85%	14.0	7.8	56%	1.60	1.05	66%	14.0	7.8	56%	
天谷	4,146	2,229	54%	352	302	86%	11.8	7.4	63%	18.8	9.4	50%	1.60	1.27	80%	18.8	9.4	50%	
織田	3,334	1,429	43%	327	206	63%	10.2	6.9	68%	16.3	9.1	56%	1.60	1.31	82%	16.3	9.1	56%	
敦賀土木	2,679	896	33%	257	127	49%	10.4	7.1	68%	16.7	10.7	64%	1.60	1.52	95%	16.7	10.7	64%	
刀根	4,846	2,995	62%	313	345	110%	15.5	8.7	56%	24.8	12.1	49%	1.60	1.39	87%	24.8	12.1	49%	
新庄	3,155	1,398	44%	250	214	86%	12.6	6.5	52%	20.2	9.9	49%	1.60	1.52	95%	20.2	9.9	49%	
小浜土木	2,156	965	45%	241	160	66%	8.9	6.0	67%	14.3	10.7	75%	1.60	1.77	111%	14.3	10.7	75%	
熊川	2,743	2,134	78%	279	286	103%	9.8	7.5	76%	15.7	10.5	67%	1.60	1.41	88%	15.7	10.5	67%	
納田終	3,412	2,745	80%	296	339	115%	11.5	8.1	70%	18.4	11.4	62%	1.60	1.41	88%	18.4	11.4	62%	
山中	3,521	2,039	58%	284	268	94%	12.4	7.6	61%	19.8	11.5	58%	1.60	1.51	94%	19.8	11.5	58%	
合計	130,635	88,891	68%	10,267	9,112	89%	12.7	9.8	77%										

注) 統計期間: 11月～3月

参 考 文 献

- 1) 福井県雪対策・建設技術研究所年報「地域技術」, 第12号, 1999
- 2) 福井県雪対策技術センター, 福井県の降雪・積雪, 1990
- 3) 路面消・融雪施設等設計要領編集委員会, 路面消・融雪施設等設計要領, 2000年3月

放熱管埋設方式融雪の能力に関する研究

A study on Ability of snow-melting system with heat dissipation pipes

宮本重信・加賀久宣・竹内正紀*

要 旨

温水などを埋設放熱管に流しての融雪では、その融雪能力を計算するに際して、円筒の放熱管と融雪地表面との熱抵抗を二次元の形状係数から求めることが必要となる。これまで、放熱管の径、埋設深、配管間隔を考慮した設計式がなかった。そこで、条件を変えた二次元の差分法による熱伝導計算の結果を重回帰分析し、簡易な実用的な設計式を提案した。その提案式が従来の設計式とどの程度異なるかを示した。また、埋設深を浅くすることと舗装の熱伝導率を大きくすることが融雪能力を高める点で効果的であることを数値シミュレーションから明らかにした。

キーワード： 無散水融雪 放熱管 二次元係数 差分

1. はじめに

温水などを埋設放熱管に流しての融雪では、その融雪能力を計算するに際して、円筒の放熱管と融雪地表面との熱抵抗を二次元の形状係数¹⁾²⁾から求めることが必要となる。筆者の一人らは、1本の放熱管の地表面等温での二次元形状係数を重ね合わせる方法で放熱管出口水温の計算が実測と一致するとした³⁾。しかし、重ね合わせるのは誤りで、放熱管間隔が15cmと大きく放熱管が約4cmと浅いことなどから誤差が小さくて実測値と一致したに過ぎないことに気づいた。一方、融雪地表面までの平均距離で簡易に求める設計法⁴⁾も行われている。この方法も円筒管径の大小を考慮せずに、一次元化する無理なものといえよう。そこで、二次元の差分法により解析し、その結果を設計に使えるように簡便化することを試みた。

また、自然熱源を利用した放熱管による融雪では、その時間当たりの融雪能力が熱源温度が低くて得られないことや低温領域まで十分に利用していないシステムが多い。そのことが建設コストを高くしている。筆者らは、放熱管周囲の舗装の熱伝導率を珪石などを骨材に使うことなどで大きくすることと放熱管埋設深さを構造的に可能な限り浅くすることが大切であると指摘してきた。しかし、後者については、埋設深が浅いと放熱管真上部分だけが先に溶け他は溶けないムラが生

じるので、浅すぎるのは良くないとの考えもある。そこで、このことについて、埋設深さを浅くした条件で差分法でシミュレートし、その問題について整理した。

以上の考察は、放熱管外径の温度を一定としての計算である。実際には、放熱管外径温度はその内部を流れる水温と流速と放熱管の熱伝導率などに依存する。その解析は既になされているので、今回の二次元を一次元化した簡易式と組み合わせて、放熱管入口から出口まで温度を計算し、その融雪能力の平均融雪能力を放熱管の条件を変えて求めた。そして、舗装の高熱伝導化や放熱管を浅くに埋設することの効果を一明らかに

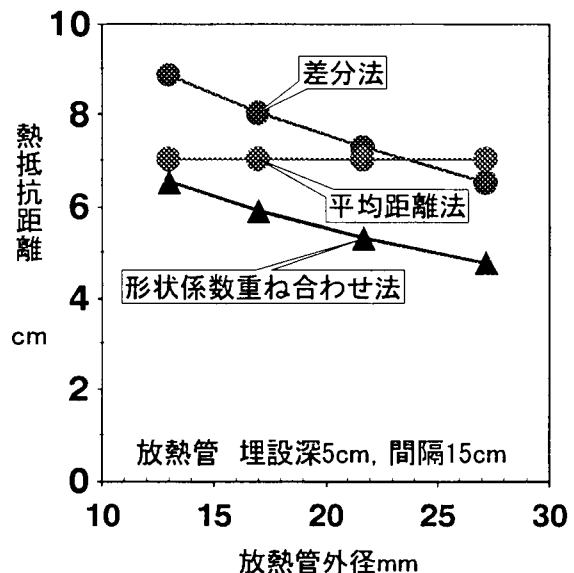


図-1 熱抵抗距離の計算例

* 福井大学工学部機械工学科教授

した。

2. 雪で覆われている条件での解析とその結果

降雪強度が大きく路面が雪に常に覆われている条件で、放熱管外径温度を常に10℃として、定常となるまで熱伝導の式を差分法で計算した。地表面での放熱量は放熱管真上で大きく端に行くに従って小さくなるので、その平均値で代表した。ここで、放熱管を深さ一定の無限平面に仮定し、その平均地表面放熱量に等しくなる深さを熱抵抗距離とした。この熱抵抗距離は、実用の範囲では、舗装の熱伝導率、放熱管温度、舗装下面の温度や熱伝導率に依存せず、放熱管の外径、埋設深、設置間隔に依存する。そこで、その3つのパラメーターをそれぞれ実際の使用範囲の13.0~27.2mm, 40~90mm, 100~200mmに変えて、それぞれの熱抵抗距離を求めた。例えば、埋設深5cm, 放熱管設置間隔15cmで放熱管径を変えた熱抵抗距離を図-1に示す。これらの条件を変えた熱抵抗距離を一次線形で重回帰すると式①が得られる。なお地表面への熱流束は式②で得られる。

$$dtu = 1.16d - 1.64Do + 0.40Pp - 0.0080 \quad \text{————— ①}$$

$$qu = \lambda cu (Tp - Tsf) / dtu \quad \text{————— ②}$$

dtu :熱抵抗距離(m) d :放熱管埋設深(m)

Do :放熱管外径(m) Pp :放熱管設置間隔(m)

qu :地表面での熱流束(W/m²) λcu :舗装表面と放熱管の間の舗装の熱伝導率(W/mK) Tp :放熱管

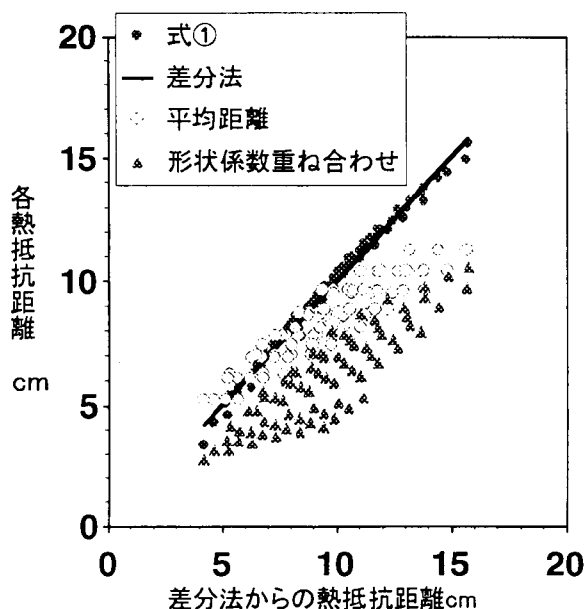


図-2 各方法での熱抵抗距離の誤差

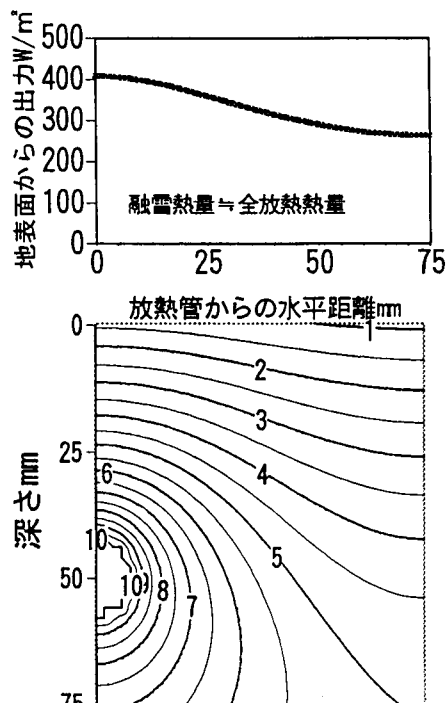


図-3 温度場と放熱量

の温度(℃) Tsf :地表面の温度(℃)

その結果が従来の方法とどの程度一致するかを検討した。横軸を差分法からの熱抵抗距離、縦軸を式①と従来の方法での結果を熱抵抗距離に換算し、図-2に示した。図-2では、差分法での結果を実線で示したので、その実線からの乖離が各方法での誤差となる。これらから、形状係数を重ね合わせる方法は多くの場合かなり過小設計になること、平均距離での方法は比較的誤差が少ないが、放熱管外径が小さくて配管間隔が大きい場合などで過小設計になることが分かった。そして、これらの方法に比べ式①の方法は非常によく一致している。

図-3に埋設深5cm, 配管間隔15cm, 舗装熱伝導率3.0 W/mK, 放熱管外径1.7cmでの温度場と融雪能力を示す。

3. 路盤部の熱伝導率、温度が融雪能力に与える影響

先に、定常条件では舗装下面の温度や下面の熱伝導率は実用的な範囲では融雪能力に影響を与えないとしたが、そのことをここで示す。これまで、地表面から27cmまでの舗装の熱伝導率を同一としてその27cm深さの温度を2℃一定として計算した。このケースと表面下12cmより深い路盤部の熱伝導率を上部舗装の1/2(1.5W/mK)としたケース、更に27cmの深さでその温度を-5℃としたケースの計3ケースの温度分布と融雪能力

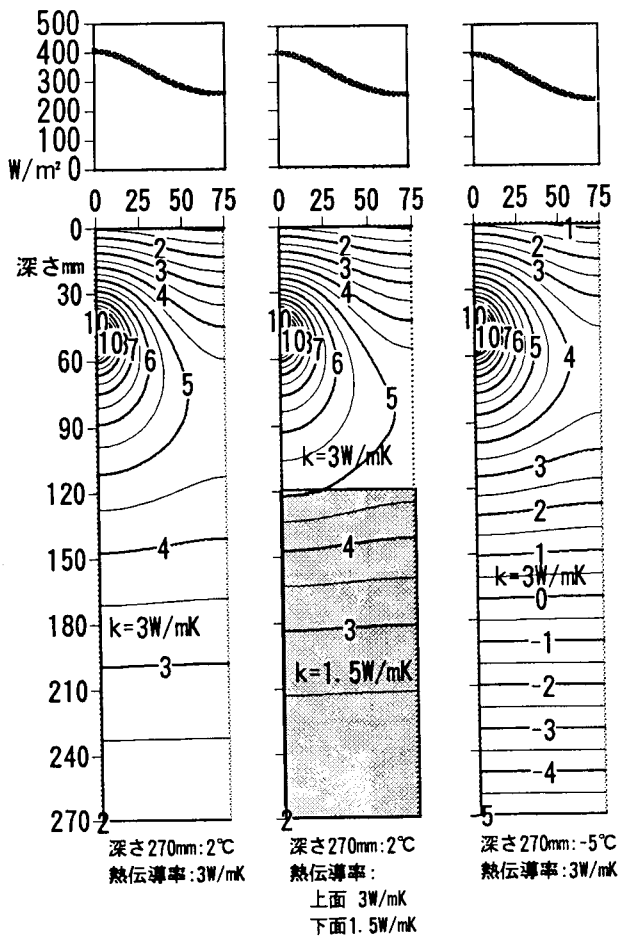


図-4 温度場と放熱量

を図-4の3つの図で示した。

その結果は、下面部の温度場は変わるが、地表面温度はほとんど変わらず、したがって上部に図示した融雪能力もほとんど変わらないと推測される。

計算上の取り扱いでは、流水の熱は、放熱管外周面までは舗装の上下面に分かれずに流れ、放熱管外周面からは上面へは式①で、下面へは式①の舗装表面を下面に置き換えた式③で計算すればよい。

$$d_{tl} = 1.16dl - 1.64D_o + 0.40Pp - 0.0080 \quad \text{--- ③}$$

$$q_l = \lambda c_l (T_p - T_g) / d_{tl} \quad \text{--- ④}$$

d_{tl} :熱抵抗距離(m) dl :放熱管中心から一定温度仮定の舗装下面までの距離(m) D_o :放熱管外径(m) P :放熱管設置間隔(m) q_l :地表面での熱流束(W/m^2) λc_l :放熱管中心から一定温度仮定の舗装下面までの舗装の熱伝導率(W/mK) T_p :放熱管の温度($^{\circ}C$) T_g :着目する舗装下面温度($^{\circ}C$)

また、橋梁では、床版下面の気温を一定と見なして、気温(空気)と床版下面の間には、風速に応じた熱伝達率があるとして計算すれば良い。その結果が実測値と

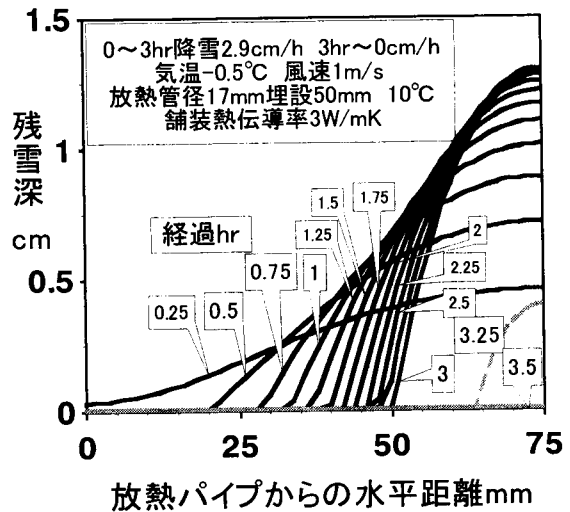


図-5 残雪深の経過

一致することは確認されている⁵⁾。この場合の熱伝達率を支配する風速は、床版が箱桁の中にあるかどうかや熱流が上向か下向きかフランジの有無などの条件によって異なる⁶⁾。この対流熱移動の他に、床版下面では放射熱移動が生じる。もし、流水温度が高く床版下面が高温になると、河川面との温度差が大きくなり放射熱が無視できなくなり、正味の放射熱損失を考慮しなければならない。

4. 路面の一部が露出する条件での融雪能力

次に、路面の一部が露出する条件での解析を行った。0.5 $^{\circ}C$ 均一の温度場からスタートし、気温は-0.5 $^{\circ}C$ 風速1m/sで雨量換算降雪強度2.9mm/h(降雪温度0 $^{\circ}C$)が3時間降り続き、その後降り止む条件で、埋設深5cmでの30分経過ごとの残雪深を図-5に示した。さらに3時間経過時での温度場と地表面の放熱量とその内訳を図-6と図-7に示した。

対流などのロス、設計で別に考慮されることから、全放熱量で比較すると図-3での平均320 W/m^2 の放熱に対して図-6では306 W/m^2 、約5%少ないに過ぎない。放熱管真上付近の地表で融雪負荷がなくなると、暖かい気温条件だと放熱されずに、放熱管より離れた位置にまで熱が回り込む。そのことで、放熱管から最も離れた75mmの位置での融雪能力280 W/m^2 (図-6)は図-3より16 W/m^2 多くなる。なお、この気象では306 W/m^2 の内の285 W/m^2 が融雪に使われている。ここで、50mmの位置での放熱量が降雨換算降雪量で3mm/hの融雪熱量より大きいのは、前の時刻での残雪を含めて融雪

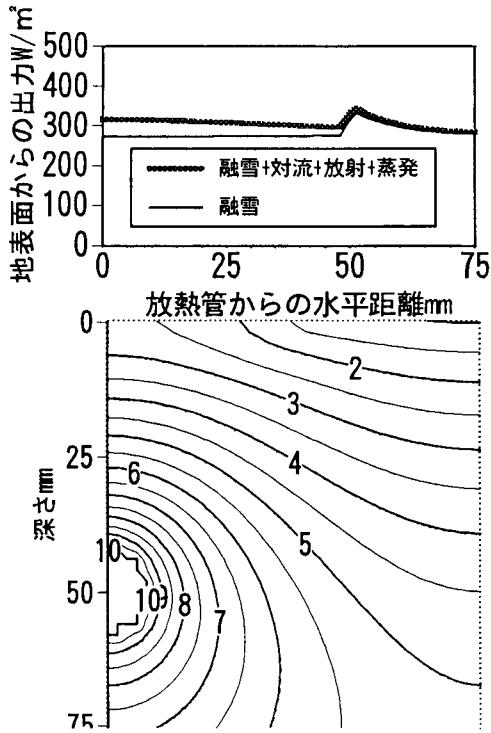


図-6 3時間経過後の温度場と放熱

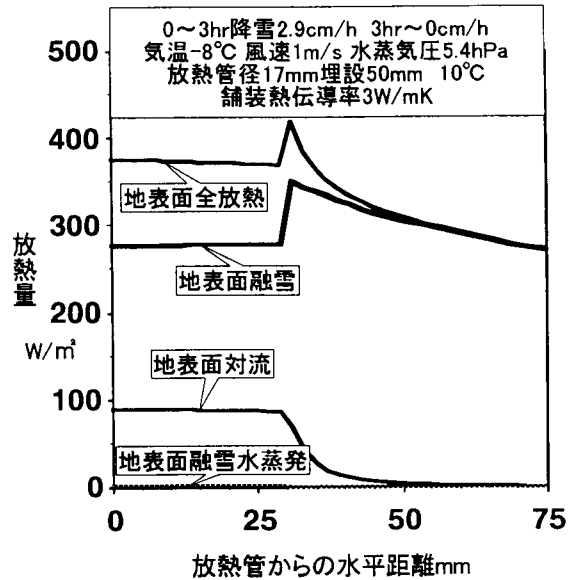


図-8 気温-8°C 3時間経過での放熱内訳

以上になることが分かる。融雪で溶けた水が蒸発することによるロス、融雪水がいつも表面に止まると仮定して大気と舗装表面の水蒸気圧差に比例して蒸発すると計算した。その放熱量はそれほど大きくなかった。これは、表面温度が低いからで、3時間後に雪が降り止み、その後雪が溶けて表面温度が上昇すると大きくなると計算された。いずれにせよ、暖かい条件に比べ気温が低い条件では、地表面での放熱は全面が雪で覆われた計算結果に近いことが分かる。従って、融雪以外に使われる対流などのロスを低温下では多く見積もる必要があるが、全放熱量を全面が雪に覆われている式①(図-3)で熱抵抗を考えても問題がない。これは、配管間隔が比較的広い15cmの条件であるから、他のケースでも式①を適用しても問題が少ない。

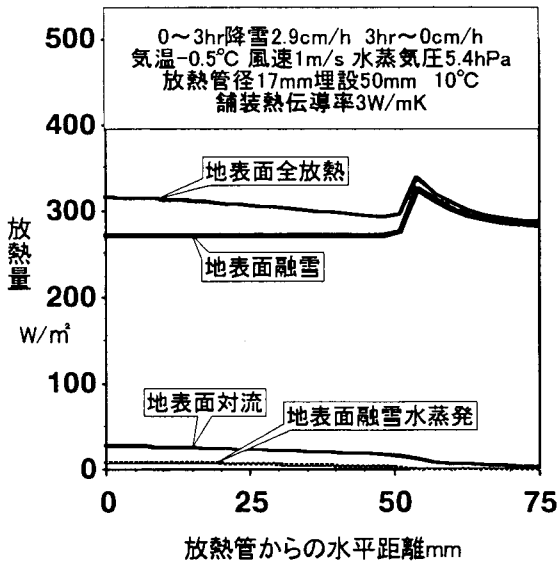


図-7 埋設5cm 3時間経過での放熱内訳

していることによることが図-5から分かる。

次に気温を-8°Cに下げたより厳しい気象での計算を行った。降雪温度を-8°Cとして融雪にはその顕熱分も含めた熱量が必要とした。また路面下面条件は変えなかった。地表面での放熱の内訳を図-8に示す。平均地表面放熱量は344W/m²で、全面が雪に覆われている状態に比べると、全放熱量では8%ほど大きい。ただし、地表面が露出した対流放熱は気温-0.5°Cの27W/m²に比べ、-8°Cでは90W/m²となり、路面が露出された状態では気温の低下で融雪以外にムダに使われる量が3倍

5. 放熱管埋設深さと舗装の熱伝導率が融雪能力に与える影響

次に、放熱管の埋設深さを浅くすると融雪能力がどの程度向上するかを示すため、図-5の条件で埋設深のみを1cm浅い4cmにしたケースの時間経過ごとの残雪深さを図-9に示した。図-5に比べて75mm位置での最大残雪深が1.3cmから0.86cmになるなど残雪は非常に少なくなっている。このことから、埋設深を浅くすることは、非常に効果的であることが分かる。

これまでの計算では、地元産の珪石骨材を使用することで舗装の熱伝導率を大きくすることを前提に舗装の熱伝導率を3W/mKと見積もったが、熱伝導率を半分の1.5W/mKにしたケースを図-10に示した。3時間

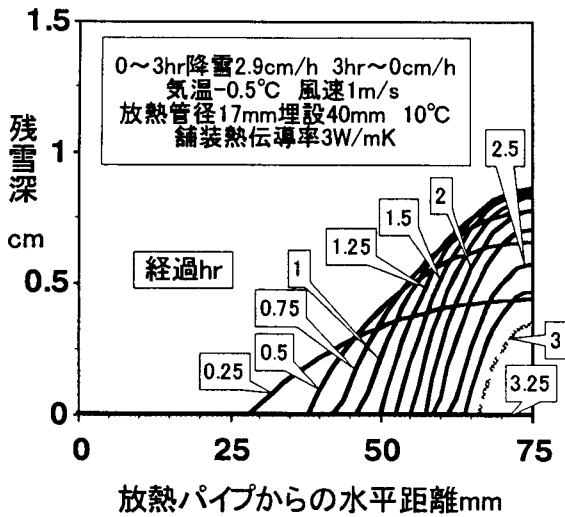


図-9 放熱管埋設深4mm残雪深の経過

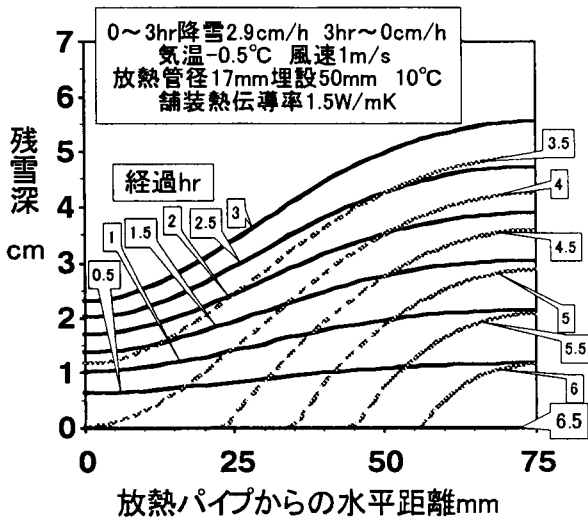


図-10 舗装熱伝導率1.5W/mK残雪深の経過

経過で図-5の熱伝導率3W/mKでは路面の1/3が無積雪であったが、図-10では全面に雪が積もり、最大積雪で4cmが5.5cmと多くなっている。

このように、放熱管の埋設深を浅くすることや舗装の熱伝導率を大きくすることは融雪の上で効果的なことが分かる。

6. 流れによる温度低下を考慮した定常解析

上記の計算は、放熱管内の流水を一定に仮定したものである。実際には、放熱管内を流れるにつれて水温は低下する。流れ方向に微小区間内の熱収支の解析を行い、その微分方程式を解くことで定常状態での上部放熱量などを知ることができる。

放熱管の入口から出口までの熱交換を図-11で考えると面積要素dAで舗装上の雪に流れる熱量dquと舗

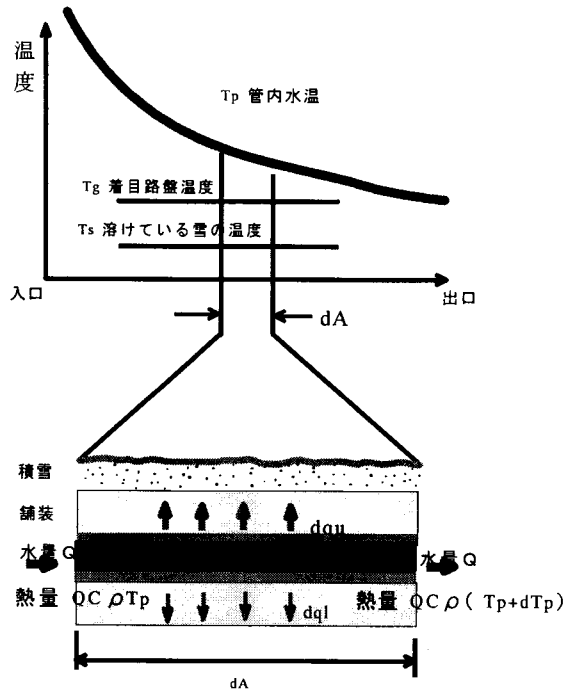


図-11 放熱管融雪の熱移動の概念図

装下の路盤に流れる熱量dqlの合計がその区間で失う熱量(= -Qop · Cp · dTp)になる(式⑤)。dquについては配管内流水から積雪までの、dqlについては配管内流水から路盤までの熱抵抗から求められる。それを式⑤に代入し、その微分方程式を解くと式⑥~⑬を得る。

なお、ここでは舗装体の二次元の熱コンダクタンスは前述したことから式⑭⑮で示した。

ここに、quo:単位面積当り舗装上面への放熱量(融雪熱量) Qo:単位面積当り流量 ρ:水の密度 C:水の比熱 Tpi:放熱管入口の水温 Tpo:放熱管出口水温 Tg:着目する舗装下面温度 Ts:溶けている雪の温度(0°C) Uu:管内水から舗装面上の雪までの総括熱通過率 Ul:管内水から着目する路盤までの総括熱通過率 Pp:放熱管設置間隔 Do:放熱管外径 Di:放熱管内径 λp:放熱管の熱伝導率 h:放熱管内の流水と放熱管の間の熱伝達率 λcu:放熱管から舗装表面までの舗装の熱伝導率 λcl:放熱管から着目路盤までの舗装の熱伝導率 Su:放熱管から舗装表面までの二次元形状係数 Sl:放熱管から着目路盤までの二次元形状係数 Sn:雪と舗装表面の間の熱コンダクタンス Re:流水のレイノルズ数 λw:流水の熱伝導率 Pr:流水のプラントル数である。

7. 北陸地方建設局監修の路面消・融雪施設等設計要領との比較

$$dq_u + dq_l = -Q_o \cdot \rho \cdot C \cdot dT_p \quad (5)$$

$$q_{uo} = Q_o \cdot \rho \cdot C \cdot f \cdot [T_{pi} - \{f \cdot T_s + (1-f) \cdot T_g\}] \cdot \left\{1 - \exp\left(-\frac{U_u}{Q_o \cdot \rho \cdot C \cdot f}\right)\right\} + U_u \cdot (1-f) \cdot (T_g - T_s) \quad (6)$$

$$T_{po} = [T_{pi} - \{f \cdot T_s + (1-f) \cdot T_g\}] \cdot \exp\left(-\frac{U_u}{Q_o \cdot \rho \cdot C \cdot f}\right) + \{f \cdot T_s + (1-f) \cdot T_g\} \quad (7)$$

$$f = \frac{U_u}{U_u + U_l} \quad (8)$$

$$U_u = \frac{1}{\frac{P_p}{\pi \cdot h \cdot D_i} + \frac{P_p \cdot \log(D_o/D_i)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p} + \frac{P_p}{\lambda_{cu} \cdot S_u} + \frac{1}{S_n}} \quad (9)$$

$$U_l = \frac{1}{\frac{P_p}{\pi \cdot h \cdot D_i} + \frac{P_p \cdot \ln(D_o/D_i)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p} + \frac{P_p}{\lambda_{cl} \cdot S_l}} \quad (10)$$

$$Re = Vm \cdot D_i / \nu \quad (11)$$

$$\text{層流 } (Re < 2,300) \text{ では } h = 4.36 \lambda_w / D_i \quad (12)$$

$$\text{乱流 } (Re \geq 2,300) \text{ では } h = 0.0395 Re^{3/4} P^{1/3} \lambda_w / D_i \quad (13)$$

$$\frac{P_p}{S_u} = d_{tu} \quad (14)$$

$$\frac{P_p}{S_l} = d_{tl} \quad (15)$$

ここでは、平成12年3月に改訂された建設省北陸地方建設局監修の路面消・融雪施設等設計要領に示されている放熱管方式融雪の設計法（以下、北陸地建方式）と、上記の計算による設計法（以下、提案式）の相違点を比較する。

北陸地建方式は、流末で必要となる出口水温が計算され、そこから必要となる入口水温が計算される点で従来の防雪ハンドブックに比較して改善がされている。しかし、そのまま設計に使用すると次の問題が生じると思われるので、指摘する。

まず最初に全放熱量に対する舗装上面放熱量の割合についてである。北陸地建方式では、その根拠は不明だが、コンクリート舗装あるいはアスファルト舗装の場合 $\eta=0.9$ 程度、多機能舗装の場合 $\eta=0.8$ 程度というように舗装種別ごとの熱効率 η を定め、これを全放熱量に乗じることにより舗装上面放熱量を算出するかたちをとっている。しかし、この方法では放熱管埋設深や送水温度等の影響が熱効率 η に反映されないため、条件によっては熱効率 η が実際とかけ離れた値となりかねない。それに比べると、提案式は、橋梁を含めて舗装上面放熱量の割合を示す値 f が放熱管埋設深や送

水温度を考慮した式となっているため、建設省方式より汎用性が高い。

例えば、北陸地建方式では、鋼床版の熱効率 η が0.3以下となる場合があるとしている。これについても、流水温や床版下面の条件によって、随分異なるが、床版下面の気温が冬期でもそれほど低くならない北陸地方では、地下水のような低温熱源を使うなら下面へ流れる熱流は少なく、橋梁での融雪だからと地盤部の融雪より必要融雪能力を大きく見込む必要がないことを実験とシミュレーションから明らかにしている⁶⁾。したがって、北陸地方では高温水を用いるのであれば、鋼床版の熱効率 η を0.3に設定するとかなり過大な設計になるであろう。

次に、円筒の放熱管と融雪地表面との熱抵抗距離の求め方であるが、提案の方式が、放熱管外径、埋設深、設置間隔の3つをパラメータとしているのに対し、平均距離のみから簡易に求める北陸地建方式では放熱管外径の大小による影響が考慮されない。

北陸地建方式では、必要融雪強度に関わらず舗装表面温度を0℃としているが、これは、雪と舗装の間に熱抵抗はないとしたものといえよう。舗装表面と雪と

の間に熱抵抗があるとした方が論理的で、この熱抵抗値は福井大学環境設計工学科福原輝幸教授と筆者の一人がそれぞれ別の実験によってほぼ同じ値を得ている⁷⁾⁸⁾。

最後に、放熱量の算出結果に関してであるが、提案の方式で得られる放熱量は、放熱管入口から出口までの平均の放熱量としている。これは、放熱管の出口部と入口部を隣接するような配管を行うことで、平均の放熱量で考えればよいとの考えである。一方、北陸地建方式から得られる放熱量は放熱管出口での値となっている。

8. まとめ

放熱管埋設方式融雪での放熱管から地表面への熱的な距離は放熱管の埋設深、設置間隔、外径をパラメーターとする一次式で精度よく計算できる。放熱管を浅くに埋設することは、融雪能力を向上させる上で非常に効果的である。北陸地方建設局監修の設計要領の放熱管方式融雪での問題点を示した。

これまで述べた計算は全て定常状態を想定しているが、実際には、気象は時々刻々変化しており、非定常での数値シミュレーションが必要と思われる。また、隣接する放熱管との干渉問題もあり、3次元の非定常の熱計算が待たれる。現在その作業を行っている。その数値シミュレーションを実測値で検証した上で、その結果を生かして、設計の考えを更に整理できればと考えている。

文 献

- 1) J・R・ホールマン著, 平田賢訳, 伝熱工学(上) pp.60, 1982.3
- 2) Robert V. Andrews: solving conductive heat transfer problems with electrical - analogue shape factors, Chemical Engineering Progress, Vol.51, No.2, pp.67-F~71-F. 1955
- 3) 宮本重信, 藤野間幸英: 放熱管道路融雪の解析と実測, 第6回日本雪工学会大会論文集, pp.241-249. 1989.11
- 4) 日本建設機械化協会編: 新編防災工学ハンドブック, pp.370~413, 1988.3
- 5) 橋梁の放熱管方式での融雪と凍結抑制に関する研究, 第14回寒地技術シンポジウム寒地技術論文報告, vol.14, pp.187-190, 1998.12.
- 6) 宮本重信: 自然熱源による路面の融雪・凍結抑制システムに関する研究, pp.92, 1999. 3
- 7) 福原輝幸, 橋本泰英: 放熱管を有する舗装体の融雪能力特性, 水工学論文集第36巻, pp.721-724, 1992.2
- 8) 宮本重信: 地下水を利用した節水型融雪システムの開発, 土木学

定置式凍結防止剤自動散布装置の研究開発事業

Automatic deicing agents feeding system

佐野 弘・室田正雄*¹

要 旨

冬期間の凍結道路における交通事故発生防止のため、凍結防止剤を自動的に散布する装置を開発する。一般的にこの種の装置は高価なものが多いが、本研究では、簡易な構造により施工コストを抑え、かつ福井県の気象・道路条件に適した装置の開発を目的とした。本年度は、この定置式凍結防止剤自動散布装置の基本設計、試験機の設置施工さらに効果の観測を行った。その結果、改良の余地は残すものの、良好な効果を確認することが出来た。

キーワード：冬期路面管理、凍結抑制、融雪、定置式自動散布、凍結防止剤、しみだし、引きずり効果

1. はじめに

福井県では、冬期路面において凍結した場合あるいはその恐れがある場合には、凍結防止剤(融雪剤)を車両により散布している。この作業には多くの労力が必要であり、また突発的な路面凍結時への対応も課題となっている。そうした中で、道路脇などに固定された装置により自動的に凍結防止剤を散布する方法として定置式凍結防止剤自動散布装置が注目されている。この散布装置はこれまでいくつか開発された例があるが、コストや適応条件等を考慮すると、未だ普及にいたっていない

表1. 既製の定置式凍結防止剤散布装置

メーカー	使用薬剤	散布方式	施工費*	普及実績**	備考
T社	塩化物溶液 酢酸系も可	ポンプによる路面しみ出し	1,500万円 酢酸系は増	北海道50ヶ所 本州1ヶ所	塩分センサ付
P社	酢酸系溶液 推奨	同上	1,500万円	北海道10ヶ所 本州12ヶ所	車両センサ付
D社	液体なら可	同上	1,000万円	北海道15台	ステンレス製 しみ出しブロック
N社	同上	同上	800万円	北海道25台 本州6台	樹脂製しみ出しノズル
H社	酢酸系専用液	自然流下による路面しみ出し	500万円	北海道4台 本州33台	太陽電池電源
M社	粉末	スピナーによる飛散	230万円	北海道7台 主に長野174台	バッテリー電源

*融雪区間150m 1車線の場合の概算。**平成12年5月までに把握された数値。

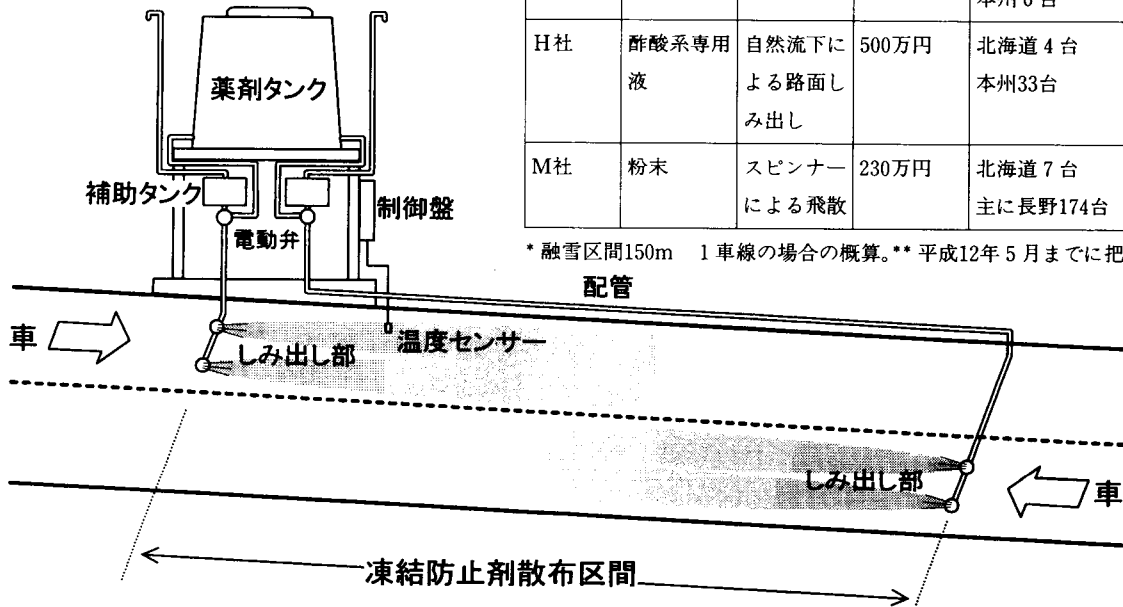


図1 定置式凍結防止剤自動散布装置の概念図

*¹ 福井土木事務所

状況にある。そこで本研究では、比較的廉価で一般的に使用されている塩化ナトリウム等の凍結防止剤を溶質とした水溶液を、水頭圧力差および通過車両タイヤの引きずり効果を利用して路面に散布することにより、低コストな定置式凍結防止剤自動散布装置を開発し、装置の設置により冬季の路面凍結防止ならびに交通安全性向上に資することを目的とする。

2. 定置式凍結防止剤自動散布装置の概要

定置式凍結防止剤自動散布装置は、気温、路面温度などの気象状態を感知し、条件によって自動的に凍結防止剤を路面に散布する設備である。この種の装置は、表1および図2に示すようにこれまで実用化されている例があり、それらの現場では凍結に対する抑制効果や即応性など有益な結果が得られている [1-8]。この中で、M社の製品は、従来の固形粒状の凍結防止剤をそのまま使用するものである。施工費も比較的安価であり、本社を置く長野県に限れば138台の実績がある。しかし、固形薬剤の潮解性・吸湿性による劣化の問題からその収容量に限界があり (Max100kg)、薬剤の補充を頻繁 (約1回/週) に行う必要がある。これに対して他の装置は、容量1,000~6,000ℓの薬液タンクを付属して液体の薬剤を使用する装置である。主に北海道において普及しており、いずれも路面に埋設したしみ出

し部より湧出する液状の凍結防止剤を通過車両のタイヤによって引きずらせ (引きずり効果)、その前方100~200mのわだち部に融雪効果を波及させる仕様 (液体湧出型) という点において共通の特徴を有している。また、条件によっては1シーズン無補給での運用を可能にしている機種もあり、冬期の道路管理者にとっては頼もしい存在になり得るものである。

しかしながら、この液体湧出型の施工費をみると、融雪対象区間延長150m程度の標準的モデルの場合、T社あるいはP社の製品で約1,500万円 (仕様によってはさらに増額) 程度必要とされている。つまり、自動車タイヤのわだち1本に付き幅約1.0m効果があるとするれば、融雪面積は約300㎡ (延長150m×幅約1.0m×2本分) となるので、単位面積あたりの施工コストは約50,000円/㎡である。メーカーによると、各種センサーおよび制御装置が価格を持ち上げているが、融雪効果が条件によってはさらに数百メートル先まで延びるので、割安になる可能性もあるとのことであった。一方、H社の製品は太陽電池の採用により山間部での設置性を向上するなど工夫がされていながら約500万円とされており、今回調査した液体湧出型装置の中では最も廉価であった。ただし、使用できる薬液が粘度等の関係から同社製品の酢酸系専用液に限られている。

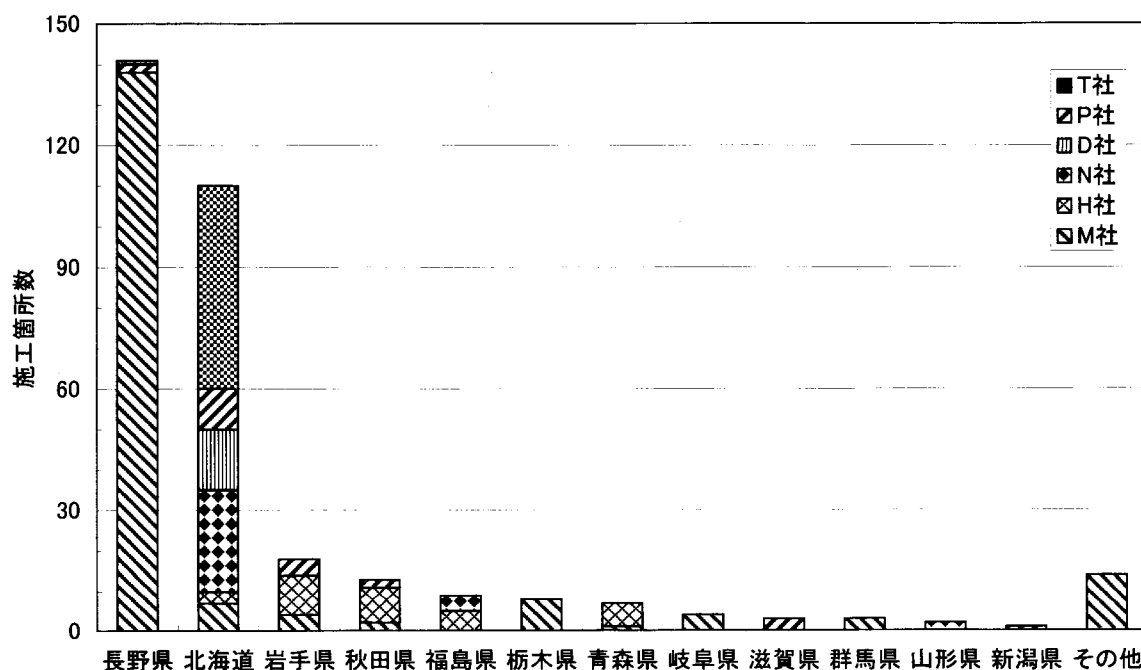


図2. 定置式凍結防止剤自動散布装置の地域別普及状況

これらの装置は、たとえば急勾配を有した交差点や山間部の橋梁など、凍結対策に即応性を求められる個所へ積極的に導入されることが望ましいと考えられる。基本的にこれらの装置は路面表面に液体をしみださせて車に引きずらせるだけの設備であるので、コストによっては従来の車両散布に対する優位性を見出し難くなりかねない。また、散水設備のように消雪効果までは期待できないので、現状ではC/Pがやや割高に感じられることは否めない。

さらに、散布タイミングの制御方法や使用する凍結防止剤の選択についても、効果と経済性に反映されるので検討する必要がある。たとえば福井県の冬期間は、奥越の多雪地帯でも日中は気温が上昇して乾燥路面の露出が見られることが多く、終日アイスバーン路面が多い北海道等とは最適な制御条件が異なると考えられる。また、使用薬剤に関しては、メーカーによって専用または推奨されている液剤に制限されていることが多い。これは、装置の構造上やむをえない場合もあるが、やはりその地域の気象条件、交通状況、道路構造、農作物などの環境的要素と、ランニングコスト、メンテナンス性などの経済的要素の両方にバランスよく応じた薬剤の選択が容易に実現できれば、より導入されやすいと考えられる。

このように定置式凍結防止剤自動散布装置に関して、その普及に至るためには、未だ検討すべき課題（主にコストと効果）が残っていると見える。特に、福井県内では、平成7年にJH（日本道路公団）によって今庄トンネル～敦賀トンネル間の登り勾配車線（約2km）に直接凍結防止剤液を噴射散布する大規模な設備が設置されたほか、このような装置の実績は無い。

3. 装置の製作（試験施工）

本研究で開発する装置は、液体湧出型で基本的に前述の装置と同様であるが、施工コストの削減を図るため、主に以下の点に重点をおいて設計を行った。

- ① 構造が簡単であること
- ② 耐久性に優れること
- ③ 施工が容易であること
- ④ 操作・運用が容易であること
- ⑤ 設備やランニングコストが廉価であること。

これらの実現のため、図1に示すように、水頭圧力差により路面に湧出させ、通過車両タイヤによる引き

ずり効果によって路面上に液を拡散させる方法を採用した。これは先述のH社製の構造に近いが、散布液量の計量・定量方法に違いがある。

3-2 使用薬剤について

使用薬剤の選択はランニングコストや効果など、維持・管理面に直接関係する重要な検討事項である。現在福井県で散布されている一般的な凍結防止剤は塩化ナトリウムあるいは塩化カルシウムの塩化物系とよばれるもので、これらは価格が比較的廉価という特徴がある。最近全国的には環境にやさしいとされるCMA（酢酸カルシウム・マグネシウム）やKAC（酢酸カリウム）などの酢酸系も使用される傾向にあるが[9,10]、塩化物系に比べ数倍高価であり、散布に関する適正な管理方法も研究途上とされるためか本県では未だ導入されていない[11,12]。また、今回試験施工する現場では既に従来から塩化物系の融雪剤を散布しており、周辺環境に対する塩害等の影響についても特に問題が生じていない。したがって、本県における入手の容易性等も考慮し、今回は塩化物系凍結防止剤の固形粒状のものを水と混合し、独自に水溶液を調製して使用することにした。

3-2-1 成分・特性

溶質として用いた凍結防止剤は、塩化ナトリウム(NaCl)と塩化マグネシウム(MgCl₂)が6:4の比率で混合され、さらに防錆剤としてクエン酸を数パーセント添加したものである。一般的には「塩化ナトリウム特例特用塩錆止め」として流通しており、-10℃程度までの低温域であれば、純粋な塩化ナトリウムや塩化カルシウムに比べ良好な融氷性能を示すという報告もある[13]。またメーカーによると水に対する飽和濃度は33%と公表されており、塩化ナトリウム(同26.3% at 0℃)よりも水溶性に優れる。さらに、防錆に関して北海道道立試験場が行った腐食試験の結果によると、鉄における錆の発生量は蒸留水に比べ倍近くなるものの、塩化ナトリウムに対しては42%の減少が確認されている[14]。

3-2-2 薬剤散布量の算定

塩化ナトリウムの凍結防止剤の場合、凍結路面に対しては15~30g/m²程度の散布によりすべり摩擦向上

の効果がみられ、さらに4～8時間にわたる持続性が得られるとされている [15,16]。今回使用した塩化ナトリウム特例特用塩についてもこれに準じるものとし、一回の散布量を以下のように求めた。

融雪対象区間延長を150mと仮定する。一般的な道路のわだち部（一車線あたり2本、中心幅約1.4m）において、その1本の幅を約1.0mとすると、1車線あたり約2.0mが融雪対象幅となるので、散布対象面積（1車線当り）は、

$$150\text{m} \times 2\text{m} = 300\text{m}^2$$

である。したがって、必要な凍結防止剤の量は、

$$300\text{m}^2 \times 15\text{g}/\text{m}^2 = 4.5\text{kg} \quad (15\text{g}/\text{m}^2 \text{散布時})$$

から

$$300\text{m}^2 \times 30\text{g}/\text{m}^2 = 9.0\text{kg} \quad (30\text{g}/\text{m}^2 \text{散布時})$$

となる。これを液体として散布するので、最大の9kgの場合、飽和溶液（33%）を約18%散布すればよいことになる。また逆に、18%を定量とおくことにより、たとえば15g/m²の散布量を設定する場合には、20%の溶液を調製することによって対応が可能になる。したがって、本装置では後述する容量18%の補助タンクによって一定量の薬液を計量散布する方式を採用した。また、散布量については20g/m²を標準とし、25%の溶液を独自に調製することにした。

3-2-3 試験散布

平成12年2月29日朝、雪対策・建設技術研究所前（県道 東郷福井線）が凍結していたので、あらかじめ用意しておいた凍結防止剤溶液を試験的に散布し、その効果を観察することにした。



図3 県道東郷福井線（H12.2.29）

この日午前7時50分頃の研究所前の路面は木田→板

垣方面の車線では春日交差点の消雪装置からの水が引きずられ、すでにアイスバーンの色が透け始めていたが、板垣→木田方面への車線ではツルツル状態の圧雪（厚さ：約0.3cm）が残っていた（図3）。そこで、この車線において凍結防止剤溶液バケツ2杯分（濃度25%、18リットル）を約20分間かけて柄杓により散布した。

平成12年2月29日

（天候：晴れ、気温-0.3℃、湿度71%、積雪14cm）



7:54（散布開始） 研究所隣接のコンクリート中央試験場前にて薬剤散布開始



7:58（4分経過） 散布ポイントにて路面露出が始まる



8:09（15分経過） 散布ポイントより後方への薬剤跳ね上げがみられる



8 : 10 (16分経過) 60m地点まではわだち部の路面が完全に露出。



8 : 14 (20分経過) 散布ポイントから90m地点まで引きずり効果を確認。
(薬液散布終了)



8 : 21 (27分経過) さらに効果区間が延伸する。



8 : 24 (30分経過) 散布ポイントから165m地点まで引きずり効果を確認。
(90m地点まではわだち部において完全に路面露出。一方、散布地点以前の区間ではまだ圧雪が残り凍結状態だった。)

なお、この30分間の通過車両は288台(構成比：普通車71.9%、軽自動車22.9%、トラック・バス5.2%)であった。

この結果より、車の交通量がある程度確保されていれば、約30分で融雪効果が期待された区間長まで効果が到達することが確認された。

3-3 現場施工

今回、勝山土木事務所および大野土木事務所の協力を得て、勝山市北谷町小原大橋と大野市牛ヶ原花山峠に1基ずつ試験モデルを設置施工した。

3-3-1 現場

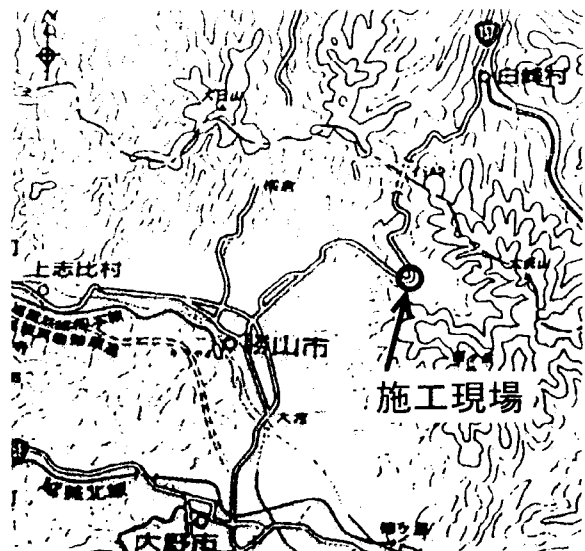


図4 施工現場1 (勝山市北谷町小原地係)

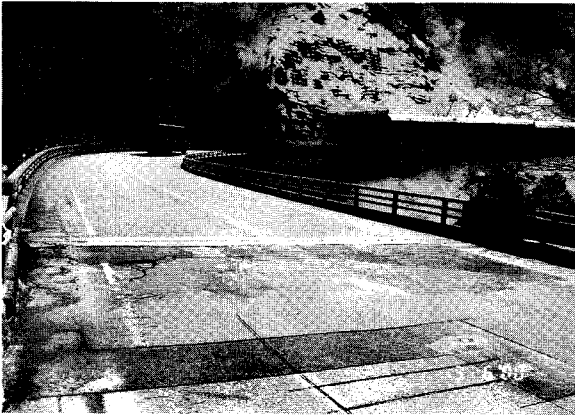


図5 小原大橋

小原大橋(橋長118m、幅員9.8m、コンクリート床版)は勝山市内から石川県白峰村に至る国道157号の勝山市北谷町に位置する鋼合成桁橋である(図4,5)。交通量は平日で約1,500台/日であるが、標高約470mの多雪寒冷地域であり、特に勝山→白峰方向においては、橋手前のスノーシェッドから急な下り勾配(約7%)が続き、さらに橋上で急な左カーブ(R=68m)を構成している。そのため、冬期簡には下り坂で加速した車が凍結した橋上でカーブを曲がりきれずに橋の高欄(鋼製)へ接触するなどの危険性が考えられる個所である。

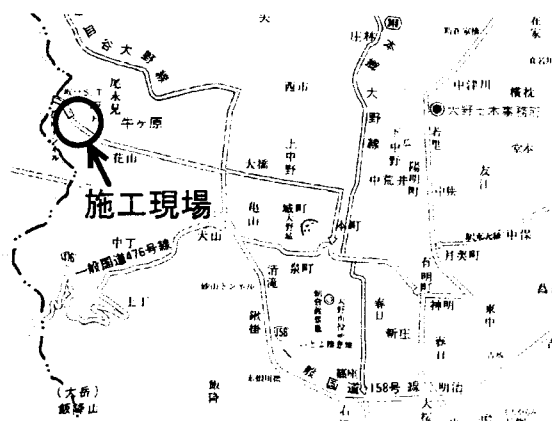


図6 施工現場2(大野市牛ヶ原花山峠)



図7 花山峠(大野市側)および脱輪した車

次に、花山峠は国道158号の大野市牛ヶ原に位置する。交通量は約6,000台/日で、福井～大野間を結ぶ主要アクセス道路の一つである(図6,7)。この峠もスノーシェッドから急な下り勾配(約7%)が続き、その先にカーブがある。また、反対の上り側では勾配区間が長いので、上りきろうと勢いを増してきた車がカーブを曲がりきれず、路肩の側溝へ脱輪する事故等も起こり得る危険な個所である。

なお、以下では小原大橋に設置した装置を1号機、花山峠のそれを2号機と呼ぶことにする。

3-3-2 装置の構造

図8および9はそれぞれ2号機の外形図および配管図である。1号機、2号機とも基本的な構造は同じであるが、1号機では電動弁①と②の役目を1つの電動3方弁で行っている。この3方弁方式は合理的ではあるが、もし何らかの障害により弁動作の途中で停止した場合、液の流出を防ぐことが出来ないため2号機のように分けた方がよいと考えられる。

液の流れは以下ようになる。

- ⇒ ①薬液タンク(2000ℓ)に貯蔵される。
- ⇒ ②補助タンクによって18ℓ(1車線あたり)分が量りとられる。
- ⇒ ③散布条件(路面温度など)が満足されたとき、水頭圧の差(位置エネルギー差)によって配管をとおりしみ出し部へ送られる(送られる速さは各部に設けられた調節バルブによって可変)。
- ⇒ ④しみ出し部のノズルから路面へ湧出しわだちへ流れる。
- ⇒ ⑤通過車両のタイヤにからまり、さらに引きずられることによって、数百メートル先の路面まで拡散・付着する。
- ⇒ ⑥付着した凍結路面の氷や圧雪を融解しすべり摩擦を向上させる。

表2. 装置の主要構成

構成部品	使用材料	備考
貯蔵タンク	FRP製受水槽	2000ℓ汎用品
しみ出し部	消雪ノズル	3穴25φ汎用品
電動弁	市販電動弁	25φ汎用品
液送配管	ポリエチレン管	25φ汎用品
本体配管	ステンレス管 (一部塩ビ管)	汎用品
補助タンク	ステンレス	18ℓ特注
タンク架台	亜鉛メッキ鋼	タンク用に特注

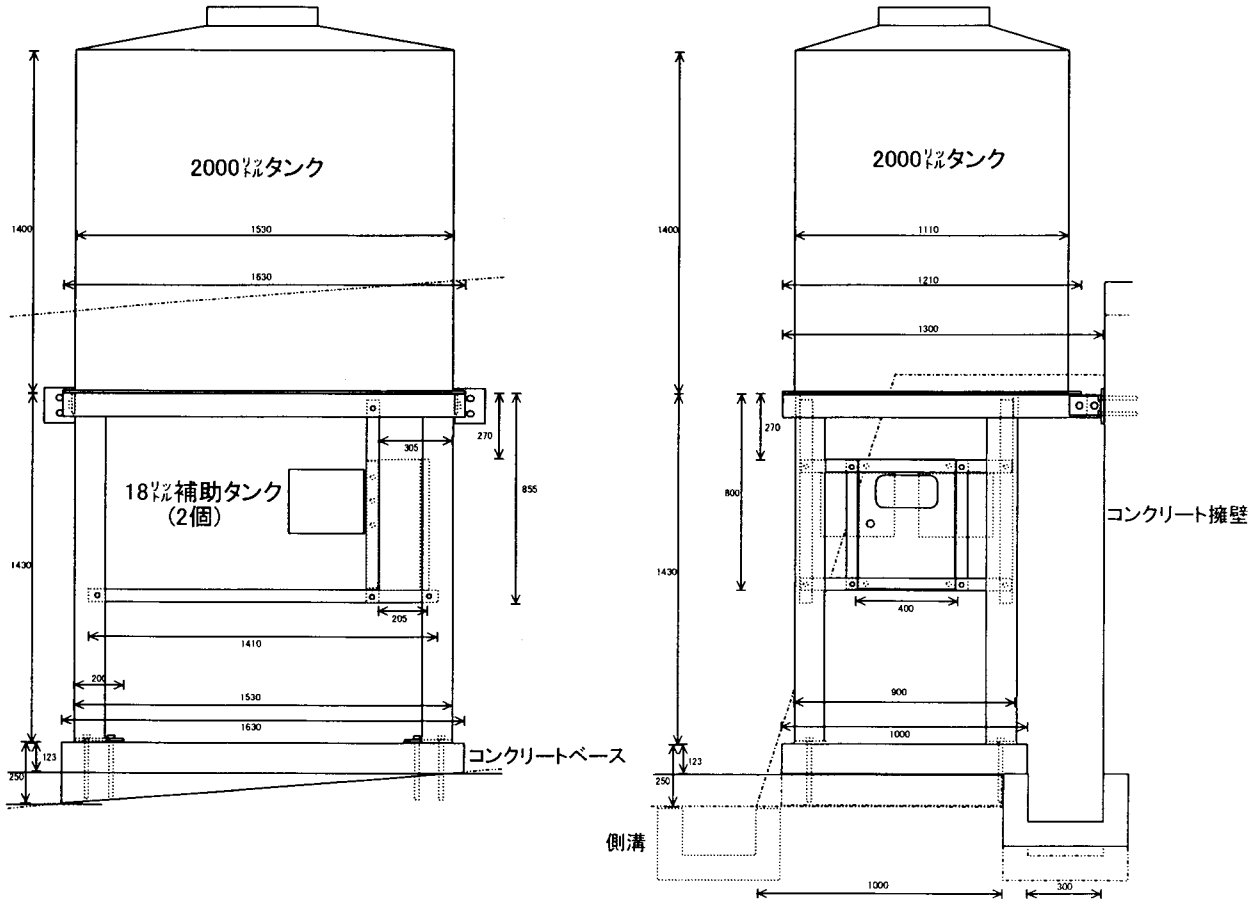


図8. 定置式凍結防止剤自動散布装置の外形図(2号機)

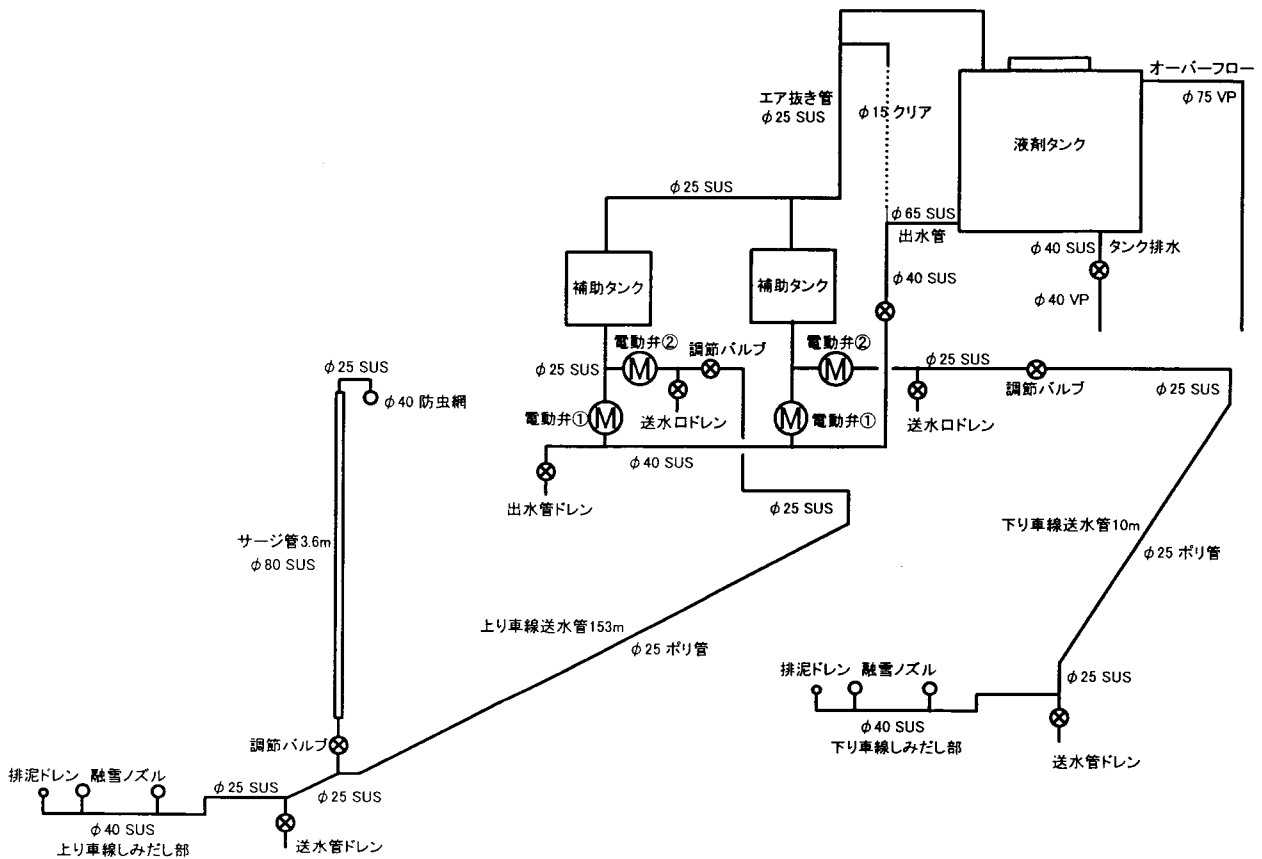


図9. 定置式凍結防止剤自動散布装置の配管図(2号機)

表2に示すように、本装置の主要構成部品のうち、タンク架台と補助タンク以外は、一般的に市販されている汎用品を流用することによって施工コストの縮減に努めている。また、このような簡易な構造の採用と適当な材料の選択が、装置の耐久性とメンテナンスの容易性に大きく寄与していると考えられる。この装置では、液体の流れが単純であるので、たとえば先述のH社の装置のように専用の液を使用しなくてはならないなどの制限等も不要であり、仮にしみ出し部ノズルの穴が泥やゴミなどで閉塞した場合でも通常の消雪ノズルのメンテナンス方法により簡単に回復できる。したがって、本装置の維持コストも低く抑えることが可能である。

3-3-3 施工

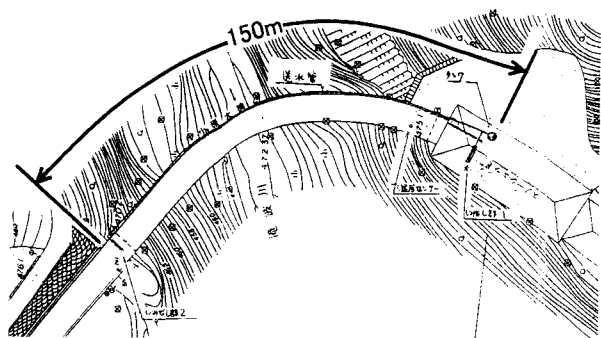


図10. 勝山市北谷町小原大橋の現場平面図

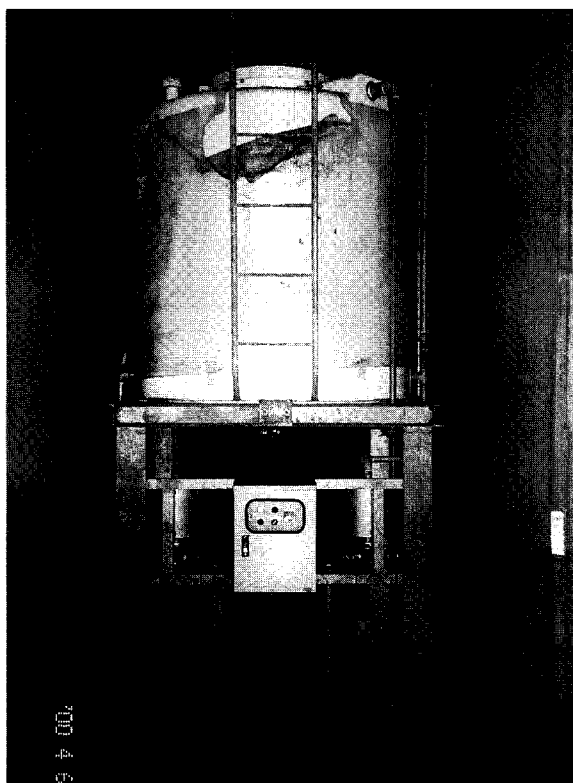


図11. 装置本体 (1号機)



図12. スノーシェッド柱および装置本体

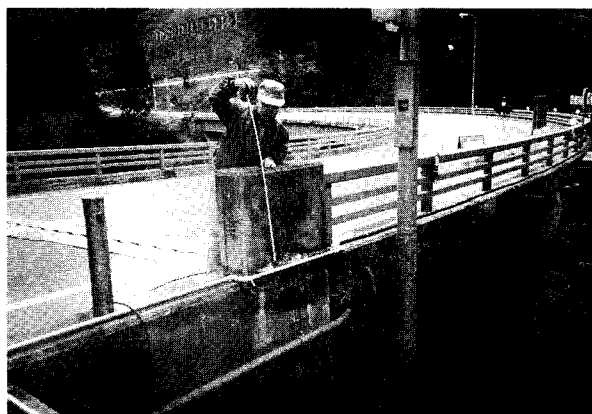


図13. 配管の据付 (1号機)

1号機は、図10に示すように小原大橋をはさんで延長150m区間を融雪対象区間とした。貯蔵タンクを含む本体は、橋から勝山側のスノーシェッド内に柱間の空きスペースを利用して設置した(図11,12)。しみ出し部はタンク直下と橋の白峰側にそれぞれ中央車線よりに設置し、白峰側しみ出し部までの送水管は、ポリエチレン管(25φ)を橋の欄干の土台部分にステンレス金具

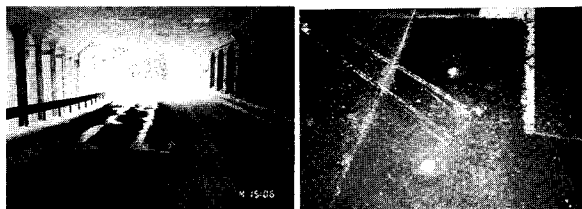


図14. しみだし部 (勝山側)



図15. しみだし部 (白峰側)

により固定した(図13)。しみ出し部を中央車線より施工したことにより、通過車両に直接接することが無く、ノズルの損壊が避けられている。しかし、液が意図しない方向へ流れ出さないように、横断勾配を利用するとともにノズルから路面上のわだち部まで細い浅溝を切り、液がスムーズにタイヤに付着するように配慮した(図14,15)。

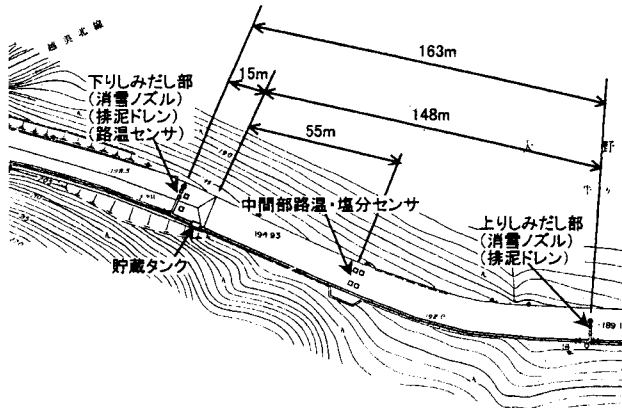


図16. 大野市牛ヶ原花山峠の現場平面図

本体よりさらに勾配を10m上ったところに埋設されたため(図17)、タンク架台はコンクリートベースによって高さを稼ぎ、背面の擁壁とともにアンカーボルトで固定した。上り車線のしみ出し部はカーブの手前(下りのしみ出し部から165m)の地点に埋設した。ここでは、舗装路面が比較的新しく、わだちが鮮明ではなかったため、直接タイヤが通過しそうな部分を選定してノズルを設置した(図18)。また、上り車線のしみ出し部までの配管は、擁壁上面に固定し、一部土中に埋設した(図19)。



図18. 下り側しみだし部と本体

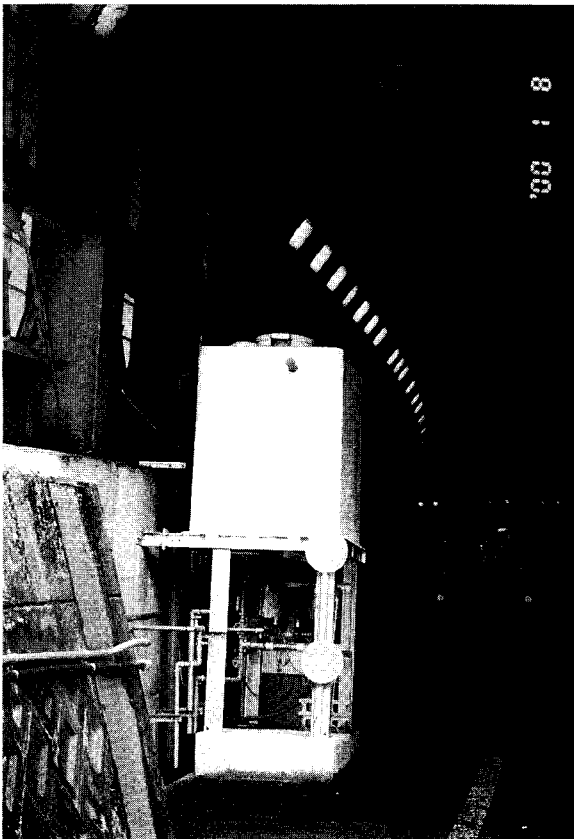


図17. 装置本体(2号機)

2号機は図16および17に示すように大野市花山峠スノーシェッドの大野側出口手前にある路肩の空きスペースを利用して設置した。下り車線用のしみ出し部が

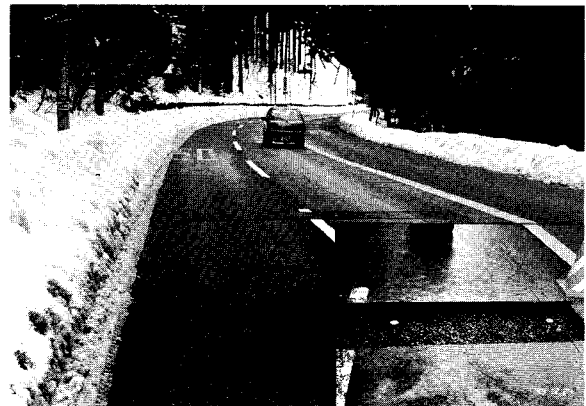
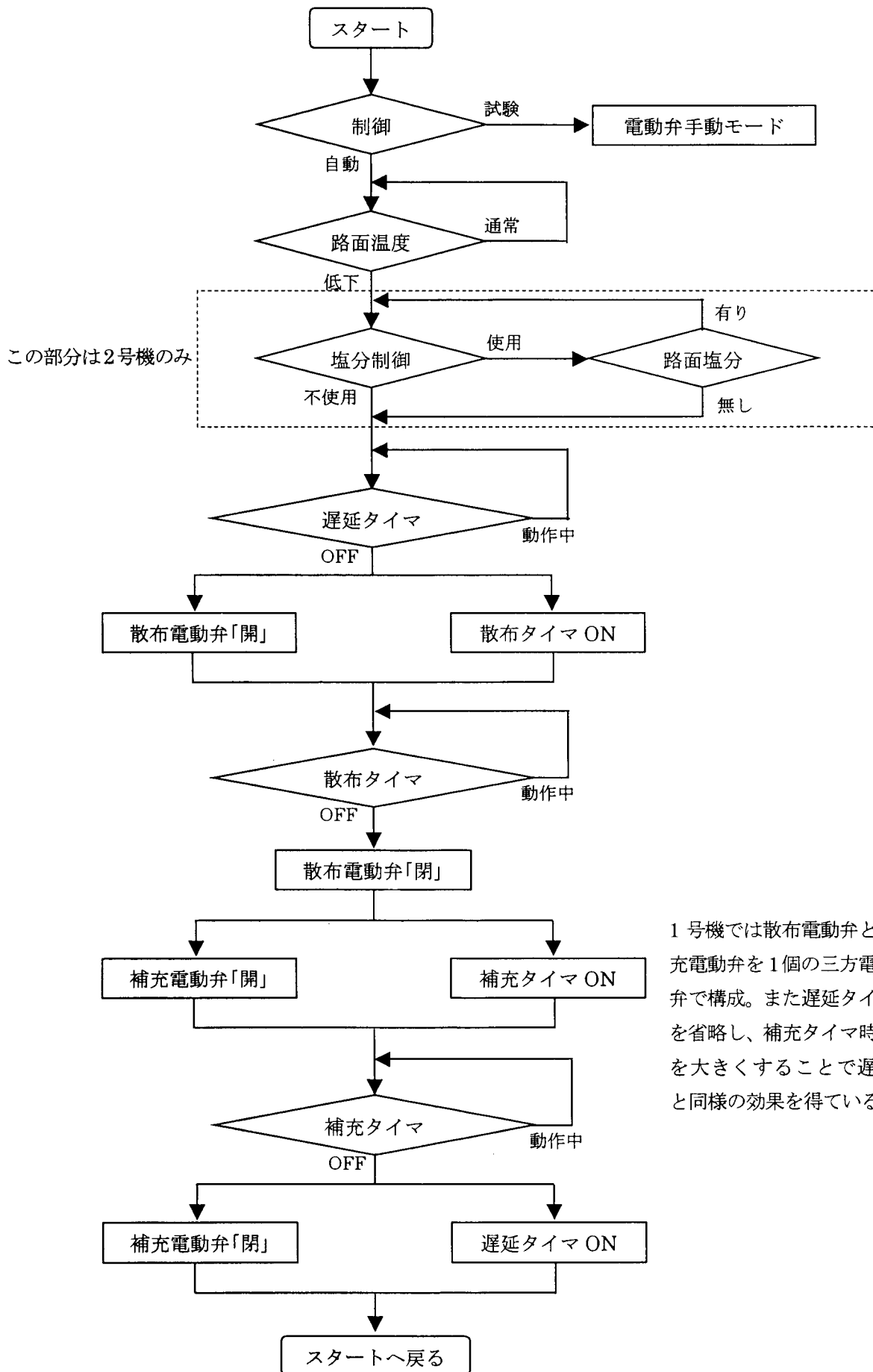


図19. 上り側しみだし部(右下: 埋設施工中)



図20. 配管の据付(2号機)



1号機では散布電動弁と補充電動弁を1個の三方電動弁で構成。また遅延タイマを省略し、補充タイマ時間を大きくすることで遅延と同様の効果を得ている。

図20. 制御フローチャート

3-4 制御方法

制御は基本的に路面に埋設された路温センサーと制御盤内のタイマーによって実現されている(図21,22および23)。

本装置の制御フローチャートを図20に示す。自動制御の場合、路面の温度が設定以下になると、電動弁が作動し、あらかじめ補充されていた補助タンク内の溶液(18%)が徐々に路面へしみだす。一定時間(散布タイマーにより設定)経過すると電動弁を閉じ、補助タンクに液を補充し次回の動作に備える。また、一回動作すると次の動作までは一定の間隔を置くように遅延タイマーを設けている。さらに、2号機については路面温度のほかに、路面上の塩分を検知し、一定量塩分があると判断された場合は、動作を休止する制御を試験的に採用した。路面へしみださせる速さ(時間)は、配管に設けられたバルブにより調製する(図24)。今回は、およそ1時間で18%の液がしみだし終わるように設定した(図25,26)。

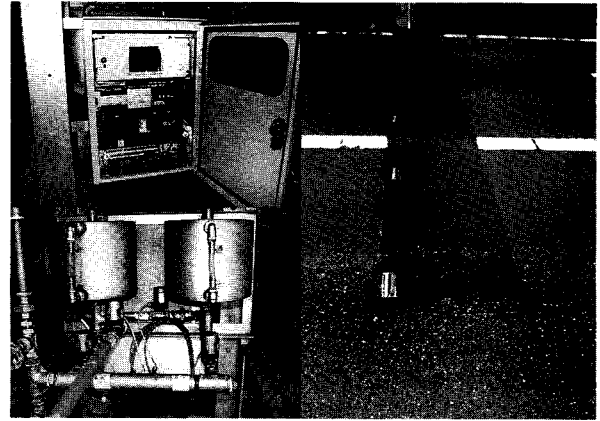


図23. 左上：制御盤、左下：補助タンクおよび電動弁、右：埋設路面センサー（2号機）

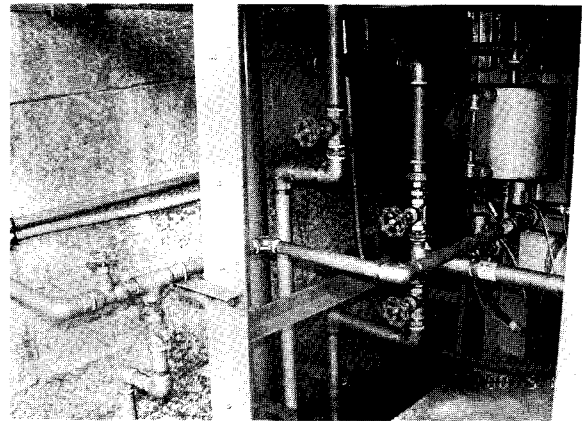


図24. 補助タンクと調節バルブ（2号機）



図21. 路面温度センサー（1号機）



図25. しみだしの様子（2号機、下り車線側）

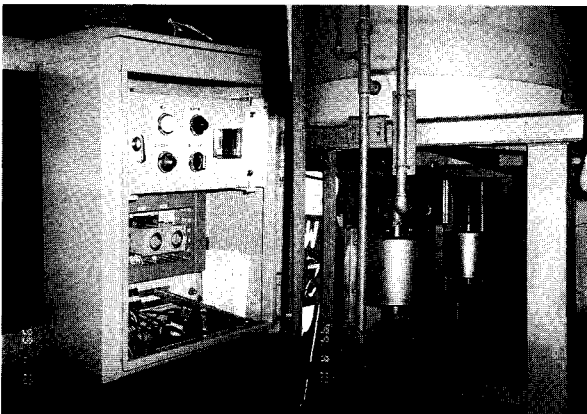


図22. 左：制御盤、右：補助タンクおよび電動弁(1号機)



図26. しみだしの様子（2号機、上り車線側）