

凍結防止剤による凍結防止システムの開発

—パルスポンプを使用した供給システム—

岡 喜秋, 石山 栄三, 上出 光志
北口 敏弘, (株)北海道機械工業会

Development of Anti-freeze System using Ant-icer —Feed System by Pulse Pump—

Yoshiaki OKA , Eizo ISHIYAMA , Mitsushi KAMIDE
Toshihiro KITAGUCHI , Hokkaido Machinery Manufacturers Association

抄 録

冬期道路面の凍結防止対策としてロードヒーティングが施工されているが、塩化カルシウム、酢酸系の凍結防止剤等の散布についても、近年増加の傾向にある。散布方法として散布車による危険箇所へのスポット的な散布がほとんどで、路面凍結が発生してから散布までに時間遅れが生ずる等の欠点があった。この対策として、降雪、温度、水分をセンサにより気象、道路状況を検知して、自動制御により道路面下から凍結防止剤をポンプで供給するシステムを開発し、札幌市内の公道で実証試験を行ったので報告する。

1. はじめに

北海道は積雪寒冷地といわれ、特に札幌市のように人口が百万人を越える大都市で最大積雪が5mとなる地域は世界でも珍しいとされている。都市における道路は市民生活に重要な存在で、交通路、輸送路の障害は社会、経済、産業、文化活動などの全ての都市機能のまひにつながる。冬期間の安全で円滑な交通確保は機械力による除排雪が中心的な役割を果たしてきた。しかし、車社会が急速に進展し、住宅地が都市周辺に拡大してきたことから、札幌市などの都市周辺部においては、機械排雪が次第に限界に来つつある。特に短期間の集中的な降雪に完全に対応することは、人員、資材、交通事情、排雪場所の確保等の点から極めて困難になってきている。加えてスパイクタイヤの規制強化によって路面の安全確保が一層重要になってきている。

スパイクタイヤは、冬期間の自動車の走行性能を高めるということから、広く普及してきたが、道路舗装面を損耗し、粉じんを発生させる問題がある。これらの諸問題を解決するため、スパイクタイヤからスタッドレスタイヤへと移行しつつあるが、スタッドレスタイヤは、路面がアイスバーン状態

になると車両の制動性能がやや劣るというデータもあり、今まで以上の道路環境整備が求められている。そのため冬期間の安全で円滑な交通の確保のために、多大の費用が投じられている。また、坂道、急カーブ等の危険箇所の対策としてロードヒーティングが多く採用されており、凍結防止効果は絶大であるが電気代等の経費が多いといった問題がある。

路面凍結防止の方法は図1.1に示すように、大きく分類すると作業系、施設系、その他となる。従来からの機械除雪等が主流であるが、ロードヒーティング、凍結防止剤の散布が近年増加している。

凍結防止剤の散布はスタッドレスタイヤ時代の路面凍結対策として有効な方法の一つで、寒剤と同様の作用による氷点降下を利用するものである。本州においては従来から凍結防止剤の散布は実施されており、全国の合計散布量は一年間に約10万tである。スパイクタイヤ全盛の昭和62年度における北海道での散布量は約1,000tで、全国の1%程度であった。しかし平成2年度以降急激にその使用量は増加している。特に平成4年度から5年度にかけてその勢いは増し、約1万tに達し(図1.2)、この5年間で約10倍になったことになる。このため、凍結防止剤の防滑剤としての役割は重要な位置を

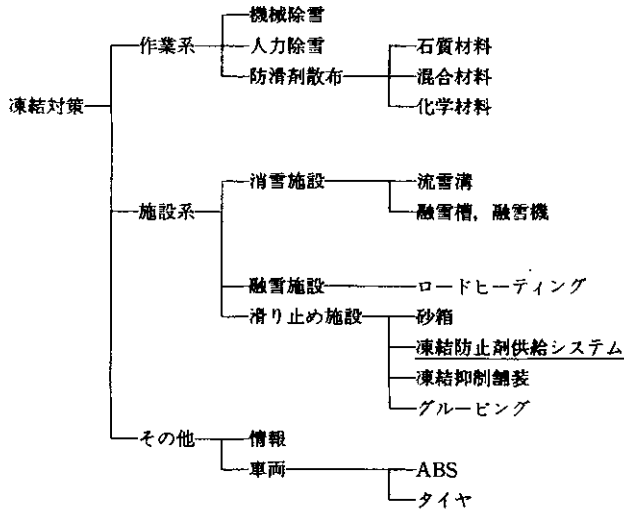


図 1.1 主な凍結対策

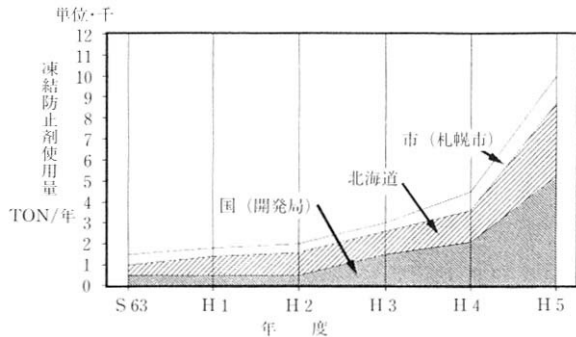


図 1.2 北海道の凍結防止剤使用量推移

占め、使用量はさらに今後急速に増加すると考えられる。しかし凍結防止剤の散布は散布車によるもので、坂道、日陰部、曲線部などの危険箇所にはスポット的に行われている。そのため応答性が悪く、凍結が発生してから散布されるまでにかなりの時間遅れが発生する。この欠点を改善するために、降雪、温度、水分を感知して自動制御により道路表面から凍結防止剤をポンプにより供給する装置を試作し、札幌市内の公道で試験を行った。

2. 凍結防止剤について

現在、使用されている凍結防止剤の一覧を表 2.1 に示す。これまでは安価な塩化カルシウムと塩化ナトリウムが多く使用されてきたが、最近では、札幌市などは高価であるが環境面を考慮し CMA, KAC などの酢酸化合物を多く使用するようになった。

3. 凍結防止剤による凍結防止システムの基礎研究

3.1 研究内容

車道の凍結を防止するために気象状況にあわせて、道路表面に凍結防止剤を供給するシステムを考案した。図 3.1 の装置フロー図に示すように、車道部に凍結防止剤の滲み出し部を設置し、車道部には路面温度センサ、水分センサも埋設して歩道側に凍結防止剤タンク制御装置を配置する。制御装置

表 2.1 凍結防止剤の種類

主成分	薬剤名	価格 (¥/kg)	備考
塩化カルシウム	塩化カルシウム	60	2 水塩が主成分
	製品 A	100	2 水塩が主成分・防錆剤配合
	製品 B	70 (¥/ℓ)	液体 濃度約 35% 防錆剤配合
	製品 C	948	無水塩が主成分
	製品 D	70 (¥/ℓ)	液体 濃度約 35% 防錆剤配合
	製品 E	31	液体 濃度約 30% 防錆剤配合
塩化ナトリウム	原塩	34	日本たばこ産業 1~10t NaCl 95%以上
	粉砕塩	36	同上 原塩を粉砕したもの
	製品 F	140	防錆剤 固結防止剤配合
	製品 G	200	NaCl と CMA を混合
塩化マグネシウム	塩化マグネシウム	53	6 水塩 北海道での入手は難しい
尿素	尿素	120	工業用尿素 99.5%以上
酢酸化合物	K A C	660 (¥/ℓ)	液体 濃度 50% アメリカ価格 1.65 \$/kg
	C M A	170	酢酸カルシウム・酢酸マグネシウム アメリカ価格 750 \$/t
グリセリン	製品 H		グリセリン・KAC

出典：雪と対策 ('92/93)

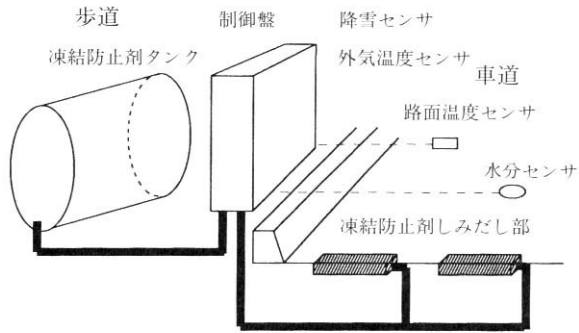


図 3.1 試験装置フロー図

外部に取り付けた降雪センサ、外気温度センサからの信号と路面温度、水分センサの信号により適量の凍結防止剤をポンプにより道路面に供給し、道路面の凍結を防止するシステムである。このシステムを開発するにあたり、凍結防止剤、凍結防止剤供給装置、道路のしみ出し部等について基礎試験を行った。

3.2 凍結防止剤

試験に使用した凍結防止剤は、市販塩化カルシウム水溶液（濃度：30%）、市販塩化ナトリウム水溶液（21%）、グリセリン（20%）と酢酸カリウム{KAC}（30%）の混合水溶液の3種類であり、塩化カルシウムと塩化ナトリウムには防錆剤が混入されている。図 3.2 に各種凍結防止剤の温度による粘度の変化を示す。グリセリンと酢酸カリウムの混合水溶液の粘度は、-20℃になると急に増加するが、他はあまり変化しない。

表 3.1 に凍結防止剤の腐食性を、図 3.3 に各種凍結防止剤の濃度と氷点降下について示す。表 3.1 より塩化物の凍結防止剤は腐食性は高いが、酢酸系の凍結防止剤の腐食性は極めて少ない。塩化カルシウム、塩化ナトリウムに防錆剤を添加することにより水道水の腐食性以下に低下できる。また図 3.3 より酢酸カリウムの凍結温度が最も低く、低濃度でも凍結防止効果のあることがわかる。また図 3.4 に各種凍結防止剤の電気伝導度と濃度の関係を示す。電気伝導度と濃度の関係は 1 ~ 10% ではほぼ直線であることが分かる。

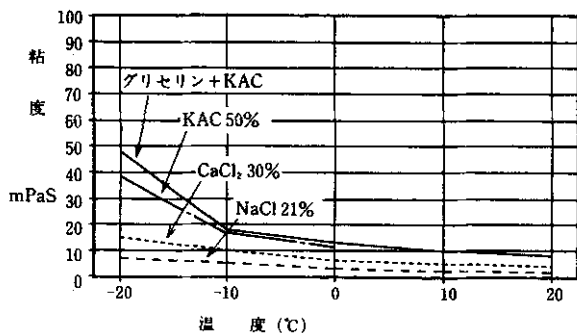


図 3.2 各種凍結防止剤の粘度

表 3.1 凍結防止剤の腐食性

		最低融点(℃)	腐食性(mdd)
塩化物系	塩化カルシウム (防錆剤入り)	-55	70.2
	塩化ナトリウム (防錆剤入り)	-	4.9
	塩化ナトリウム (防錆剤入り)	-21	47.3
酢酸系	C M A	-25	0.3
	K A C	-60	0.2
水道水		-	12

(mdd: 1日当たり, 面積 1 dm² の腐食量 mg)

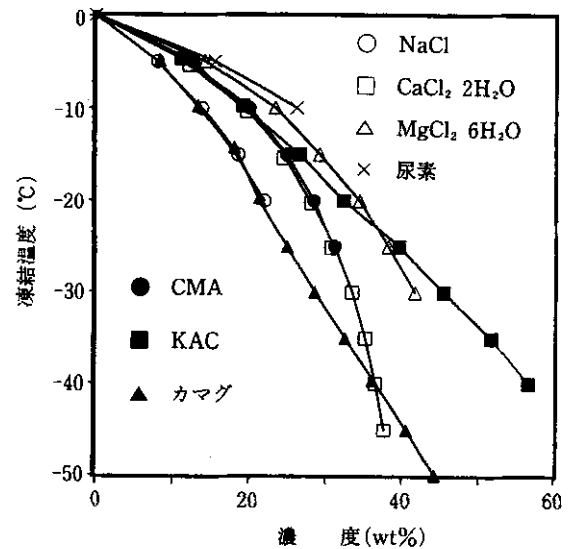


図 3.3 凍結防止剤濃度と凍結温度

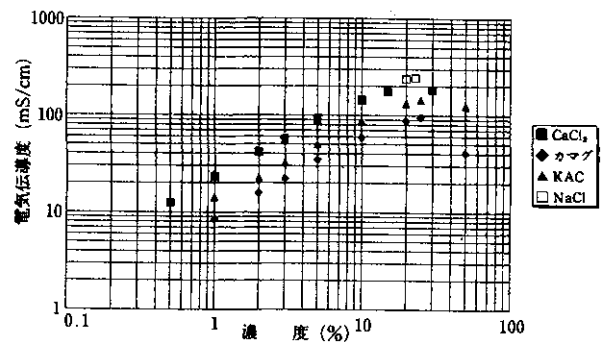


図 3.4 凍結防止剤と電気伝導度

3.3 しみ出し部

凍結防止剤のしみ出し部は図 3.5 に示す構造で、強度と耐久性を持たせるために鋼構造とした。図 3.6 のように凍結防止剤を制御装置内のポンプにより、下方から道路表面に供給するため、圧力損出の少ない 30% 空隙率の多孔質樹脂コンクリートを内部に充填した。多孔質樹脂コンクリートに使用した樹脂、骨材について表 3.2 に示す。

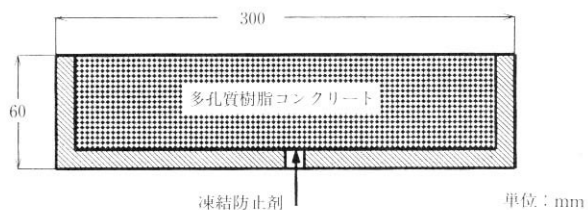


図 3.5 凍結防止剤しみだし部

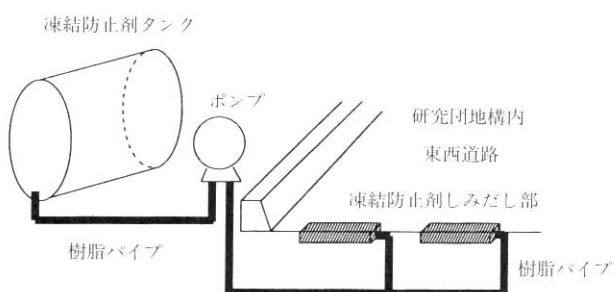


図 3.6 試験装置フロー図

表 3.2 多孔質樹脂コンクリートの性状

樹 脂	骨 材	曲げ強度
エポキシ系樹脂 (耐 候 用)	最 大 7mm ピ リ 砂 利	35 kg/cm ² 以上

3.4 屋外試験

図 3.6 の試験装置フロー図に示すように、車道部に凍結防止剤のしみ出し部を設置した。しみ出し部は図 3.5 の多孔質樹脂コンクリートとコンクリートブロックの 2 種類について試験を行った。試験に使用したポンプは(株)イワキ製の微量流量用ペローズポンプ 2KBM 型である。しみ出し部施工は雪の降る前に研究団地東西道路に行った。施工の様子を写真 3.1 に示す。施行後の樹脂コンクリートのしみ出し部の状態を写真 3.2 に、インターロッキングブロックしみ出し部を写真 3.2 に示す。

配管は樹脂パルプを使用し、途中に微量流量計、圧力計を設置し、流量と圧力損失を調べた。その結果を図 3.7 に示す。圧力測定には(株)小島製作所製デジタル圧力計 DPG-1、凍結防止剤流量測定には同社製質量流量計 GR-700 を使用した。粘度の高いグリセリンと KAC の混合溶液の圧力損失は 0.1 kg/cm²{0.01MPa}以下であった。粘度の低い塩化カルシウムではこの値以下であった。この多孔質樹脂コンクリートは高粘度の凍結防止剤を無理なく供給できることが分かる。凍結防止効果については、しみ出し部の積雪は無くなるが、構内道路のための交通量が少なく車両の引きずり効果は見られなかった。(写真 3.4)

応用化技術開発で実施している札幌市道での凍結防止剤の拡散状況を調査した結果を図 3.8 に示す。凍結防止剤は塩化カルシウム(濃度30%)を使用しており、わだち付近のシャー

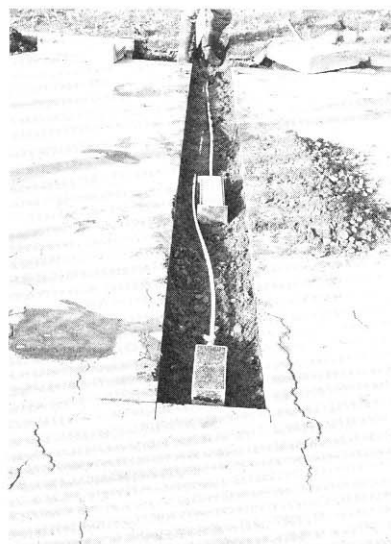


写真 3.1 施工状況

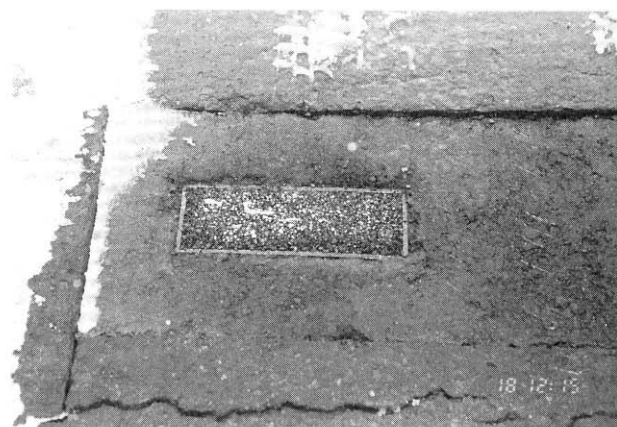


写真 3.2 樹脂コンクリート

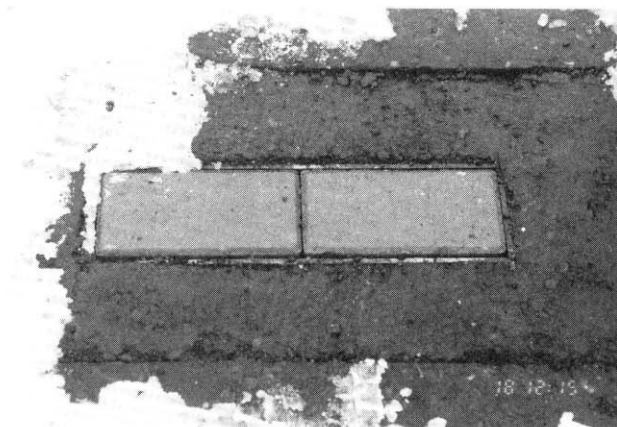


写真 3.3 インターロッキングブロック

ベット状の雪の分析結果である。実際のわだちの凍結防止剤濃度はこれより高いと考えられるが、サンプル採取が微量のため、濃度分析は不可能であった。

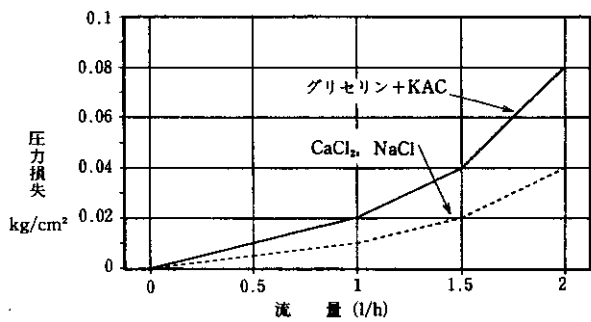


図 3.7 凍結防止剤供給時の圧力損失

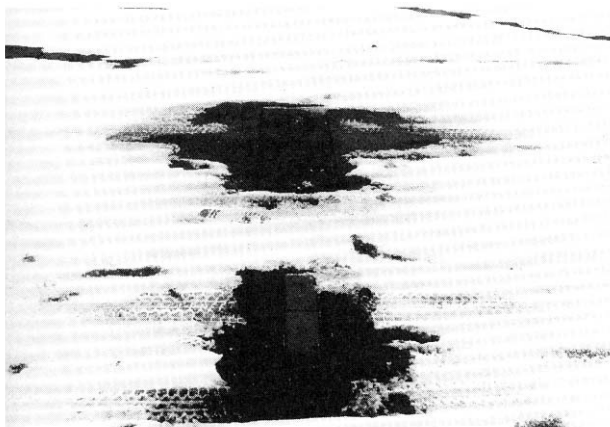


写真 3.4 融雪状況

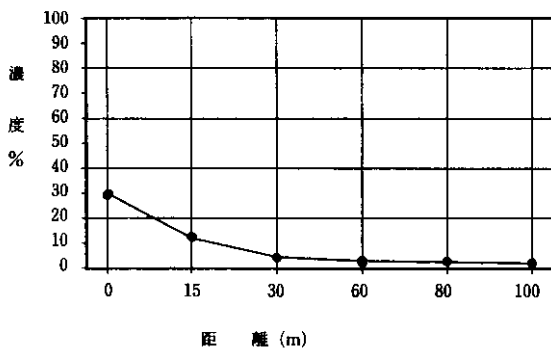


図 3.6 圧送法の濃度分布

3.5 ま と め

以上の試験を行った結果、次の事が明らかとなった。

- ① 凍結防止剤としては、試験を行った中でも酢酸カリウム (KAC) が最も凍結防止効果がある。しかし、塩化カルシウム、塩化ナトリウムも防錆剤を加えることで使用できる。
- ② 凍結防止剤しみ出し部の構造としては、多孔質樹脂コンクリートが圧力損失少なく、高粘度の凍結防止剤でもポンプに無理なく供給できる。
- ③ 交通量の多い道路では、車両の引きずり効果による凍結防止剤の拡散ができる。

4. 公道における実証試験

4.1 システムの設計

4.1.1 システムの概要

圧送法のシステムの製作にあたって、基礎寸法等は中核技術研究部会において決定された事項に基づいて細部の改良を検討しながら行うこととした。

本凍結防止システムは、凍結防止剤しみ出し部（以後、圧送ブロックと呼ぶ）と凍結防止剤自動供給装置（制御部を含む）およびこれらを連結する凍結防止剤供給パイプから構成される。制御システムは、降雪、外気温度、路面温度、路面水分の4つのセンサによる四要素制御で行うこととし、その時の気象条件によって凍結防止剤の供給量を決め、凍結防止剤をポンプにより圧送ブロックのしみ出しノズルを経由して、道路表面に自動供給するシステムとした。

4.1.2 圧送ブロックの設計・試作

試作した圧送ブロックは、300mm×85mm×70mmの鋼板製枠の中に空隙率30%の多孔質樹脂コンクリートを充填したものである。一般市道を使用して試験するため、工事用通行止め規制制限が限られることや圧送ブロックが浮き上がるなどしてアスファルト舗装との間に段差が生じることをないよう、予め工場で製作した鉄筋コンクリートブロックに取り付け設置する方法とした。また、将来目詰まりした場合等を考慮し、取り外しが可能なようにボルトでの固定方式とした。凍結防止剤はこの圧送ブロックの中を通過してしみ出しノズルから道路表面へと供給される。

圧送ブロックの断面図を図4.1に、詳細図を図4.2に示す。また多孔質樹脂コンクリートの性状を表4.1アスコン配合表を表4.2に示す。なお、今回圧送ブロックの型枠には鋼板を使用した。将来は鋳、腐食などを考慮し、ステンレス製を検討する。

4.1.3 凍結防止剤自動供給装置の設計・試作

凍結防止剤自動供給装置は、凍結防止剤貯蔵タンク、供給ポンプ、制御盤から構成される。

(1) 貯蔵タンク及び供給ポンプ

貯蔵タンクに凍結防止剤の腐食性を考慮し、500lのプラスチック製タンクを使用した。供給ポンプは、供給量の変更を可能にするためにパルスポンプを使用し、適量の凍結防止剤

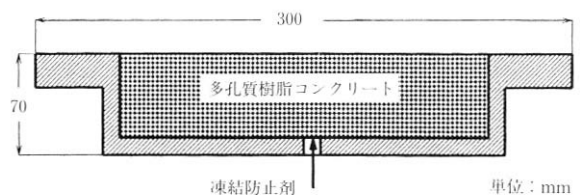


図 4.1 凍結防止剤しみだし部

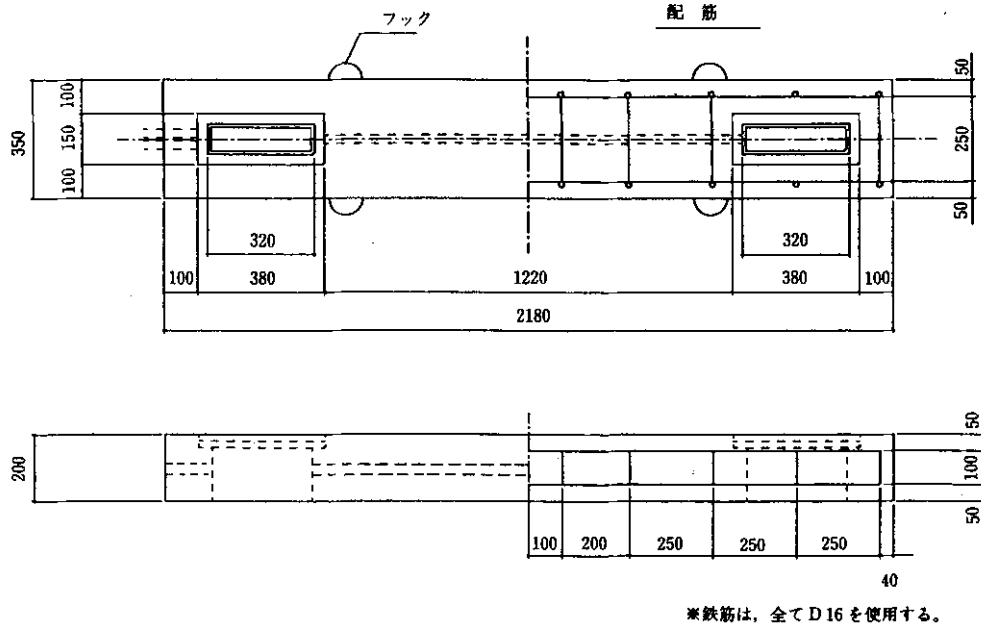


図 4.2 圧送法ブロック構造配筋図

表 4.1 多孔質樹脂コンクリートの性状

樹脂	骨材	曲げ強度	空隙率
エポキシ樹脂	最大 7mm (ビリ砂利)	35 kg/cm ² 以上	30%

表 4.2 細粒度アスコン配合表

	アスファルト	石粉	2ピン 13-5	3ピン 5-2.5	4ピン 2.5以下	計
骨材率 (%)		12.4	27.5	17.5	42.6	100.0
全配合率 (%)	6.80	11.6	25.6	16.3	39.7	100.0
重量配合 (kg)	102.00	174.0	384.0	244.5	595.5	1500.0

1バッチ当たり 1500.0 kg

を供給できるようにした。外観図を図 4.3 に、パルスポンプの性能曲線を図 4.4 に示す。なお、供給タンクからパルスポンプまでの配管およびパルスポンプから圧送ブロックまでの配管は、腐食を考慮して樹脂材料のものを使用した。

(2) 凍結防止剤自動供給制御盤

試作した制御盤のブロック図を図 4.5 に示す。工業用コンピュータを用いて 4 個のパルスポンプを独立に制御する。また、各種センサからの情報を工業用コンピュータに入力するための温度変換器、水分変換器を装備し、各種センサの情報に合わせ、ポンプ出力大、中、小、停止の 4 段階に制御を行う構成とした。なお、パルスポンプ本体自体でもストローク調整やパルス数調整が可能のため、凍結防止剤供給量の広範囲な調節が可能になっている。また、各種センサからのセン

シング情報、各ポンプの運転状態、現在の各種設定値などもモニタ画面にて確認できる構成とした。画面状況を写真 4.1 に示す。さらに、本制御盤には降雪、路面状況、外気温や路面温度、ポンプの運転状況などのデータを記録するためのデータロガーが内蔵されている。

4.2 施工

4.2.1 施工場所

試験の施工場所は、札幌市の協力を得て、交通量が多く、24 時間観測可能な道立工業試験場に隣接する札幌市北区 20 条西 10 丁目の市道北大横断線で行った。

この道路では、吸蔵法及びコート法の施工も併せて行うため、それぞれに影響しないように位置決めをした。圧送法の施工場所を図 4.6 に示す。

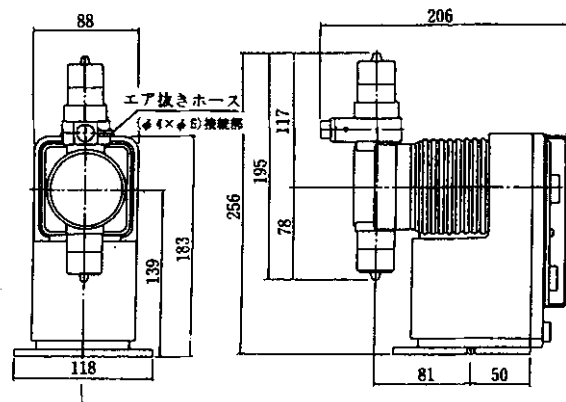
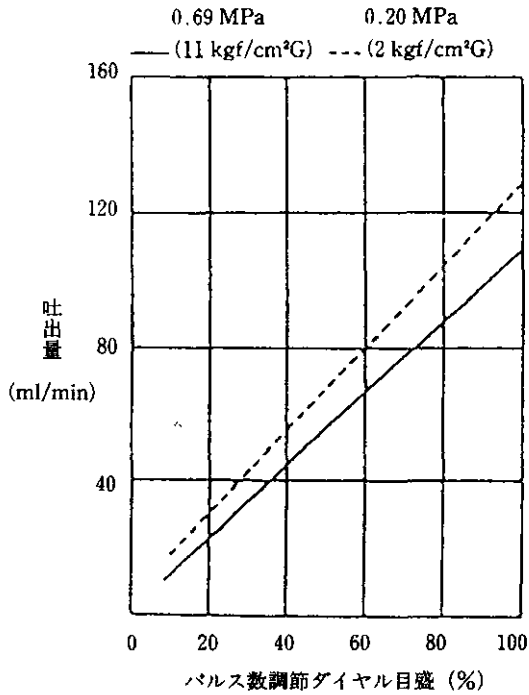


図 4.3 パルスポンプ外観図

ZA□-12型



条件：室温、清水、吸込高-1m

図 4.4 パルスポンプ性能曲線

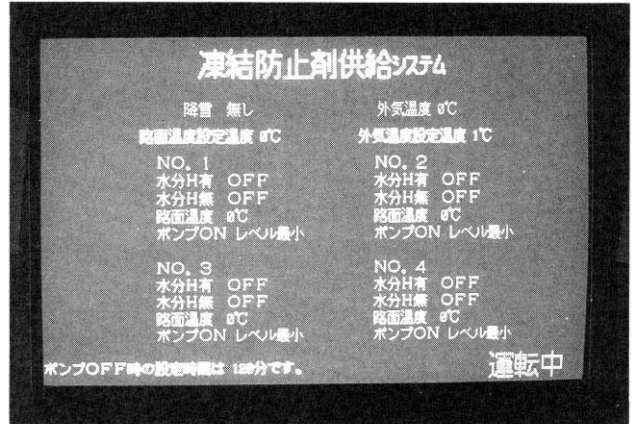


写真 4.1 画面状況

4.2.2 圧送ブロックの施工

圧送ブロックは、2つを一組とし、車のタイヤ間隔に合わせ約 160cmの間隔で、約 2mの距離を置き、しみ出しノズルを合計 4 個配置した。本工事に際し、路面温度センサと水分センサを圧送ブロックのノズル付近に埋め込んだ。(写真 4.2)

4.2.3 凍結防止剤自動供給装置の施工

凍結防止剤貯蔵タンクおよび供給ポンプは、4 個のノズルに対し各々一台の合計 4 台ずつ用意し、圧送ブロックを埋設した道路付近の場所に制御盤と共に設置した(図 4.6)。貯蔵タンクの設置状況を写真 4.3 に、制御盤の設置状況を写真 4.4 に示す。

4.2.4 センサの取り付け

圧送法による制御は、降雪、外気温度、路面温度、路面水

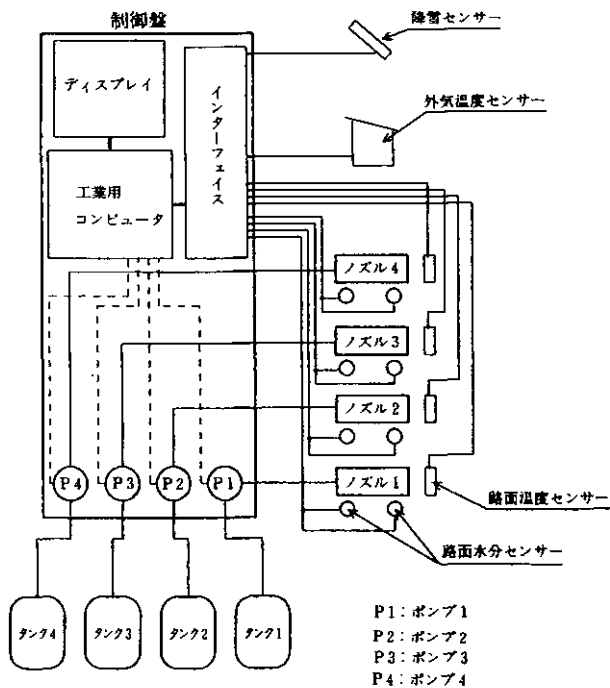


図 4.5 ブロック図

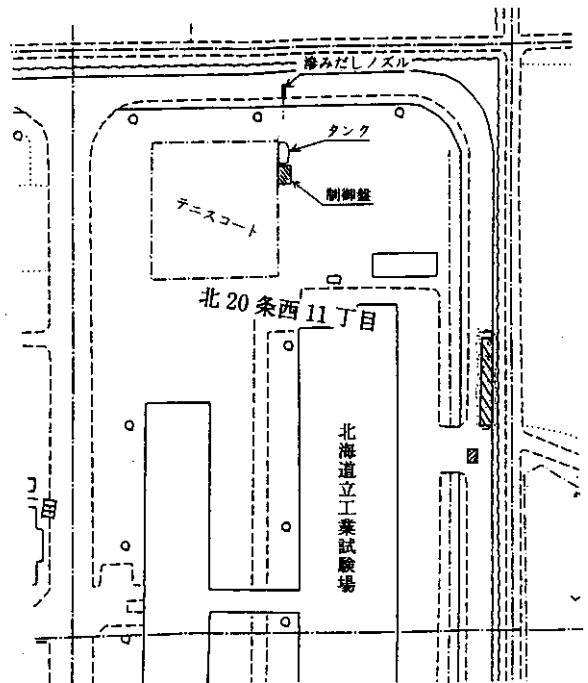


図 4.6 制御盤設置場所

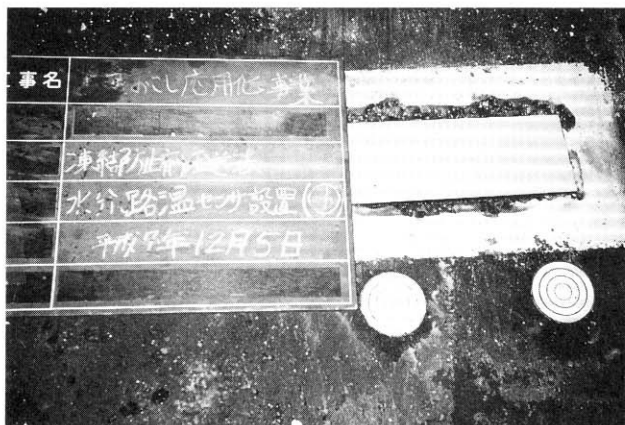


写真 4.2 センサ設置



写真 4.3 貯蔵タンク

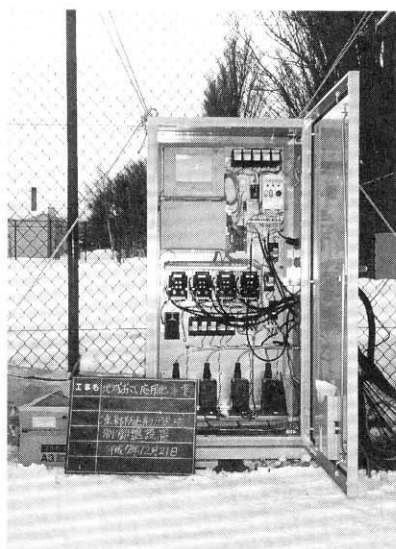


写真 4.4 制御盤

分の4つのセンサを用いた四要素制御システムを採用するが、このうち降雪センサと外気温センサについては全体で各1台で行うこととし、供給タンク付近に設置した。路面温度センサと水分センサについては圧送ブロック施工の際に設置され、前述した通りであり、その位置関係を図 4.7 に示す。

4.3 制御方法

制御方法は、単純な ON/OFF 制御ではなく、凍結防止剤の使用量の削減を考慮し、ポンプ出力を変化させる方式とした。制御フローチャートを図 4.8 に示す。

まず始めに、現在の外気温度を確認し、設定値より高い場合はポンプの運転を停止する。ただし、ノズルが詰まらないように、ポンプ停止時には2時間毎に1分間、ポンプ出力小運転するようにした。この運転時間は1分から24時間まで変更可能である。

次に、外気温度を確認して設定値より低い場合は、降雪センサの出力を確認する。さらに路面状況として2つの水分センサの状況と現在の路面温度を確認後、最終的にポンプの運転状況を決定する。外気温度の設定値は通常1℃、路面温度の設定値は凍結防止の考えから通常0℃としたが、これらの温度は-10℃～10℃まで1℃ステップで設定可能である。

一例として、外気温度が設定値より低く、降雪があり、水分センサが水分有りと判断している時、路面温度が設定値より低い場合はポンプが最大で運転され、路面温度が設定値より高い場合はポンプは中で運転される。逆に、降雪が少なく、水分センサも水分無しと判断している時、路面温度が設定値より低い場合はポンプは最低で運転され、路面温度が設定値より高い場合はポンプの運転は停止するというように、4つのセンサの要素で制御するようにした。

4.4 凍結防止試験

4.4.1 制御状態例

図 4.9 は2月19日の制御状態のグラフである。11時50分から13時40分位までは、外気温度は多少低いが、降雪もなく、路面温度も比較的0℃に近いので、ポンプが最低で運転されている。しばらくその状態が続いているが、13時40分頃から降雪が始まったため、ポンプの出力が最大に変更され運転している。14時50分ころ一次降雪がなくなるが、最終的には15時20分ころ完全になくなり、この時点では外気温度も路面温度も以前より低くなっているため、ポンプは中レベルでの運転と変更されている。このように各種のセンサからの

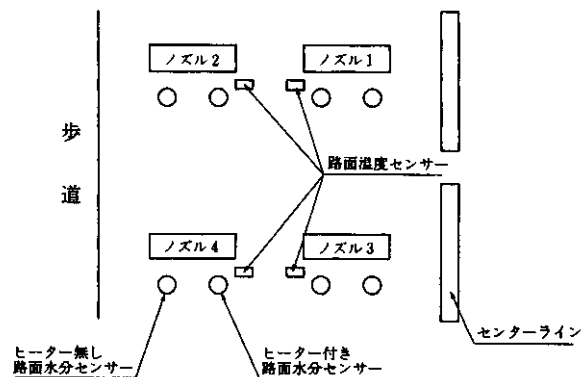


図 4.7 センサーの位置関係



写真 4.6 しみ出しノズル

4.4.2 凍結防止試験結果

平成7年12月29日から平成8年1月、2月の実道における凍結防止の試験結果を図4.10～4.16に示す。図4.10、図4.11は札幌管区気象台の降水量をグラフにしたものである。今年度の12月、1月の降水量は平年よりかなり多く、それぞれ1.8倍、1.6倍であった。しかし、2月の降水量は平年並みであった。このため今年度の凍結防止試験は過酷な条件と考えられる。また、温度については12月、1月ともに平均気温は1℃ほど高いが、1月の末の最低気温が-10℃以下の日が2日あった。道路の地温については、埋設深さ10cmの位置で測定したデータを図4.12、図4.13に示す。

このデータは午前9時～10時の間に測定したものである。

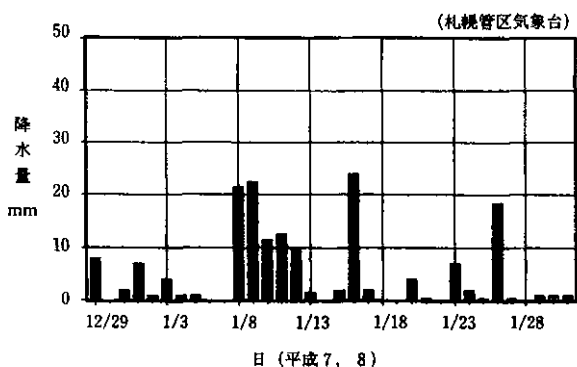


図 4.10 降水量

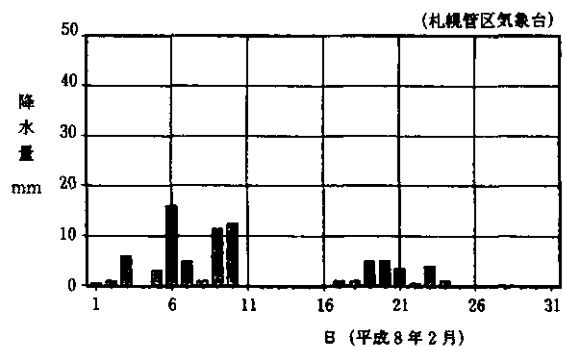


図 4.11 降水量

一般的傾向として地温の方が外気温度より1～4℃ほど低い。図4.14、図4.15に凍結防止剤の一日当たりの消費量の変化を示す。平成8年1月26日の路面状況を写真4.7、写真4.8に示す。効果の判定は主に目視により行った。一般的な傾向としては、一日の降雪量が10cm以下ではほとんど路面は露出状態である。しかし、降雪量が10～20cm程度になると、降雪時は路面に雪が堆積するが(写真4.7)、降雪が無くなると路面は1～2時間で露出する(写真4.8)。さらに降雪量が20cm以上では、路面は露出せず、シャーベット状態になる。このような場合は機械による除雪が必要と考える。

凍結防止剤による路面の露出距離は約100mで、100m以内の露出路面は湿潤状態でタイヤの摩擦力は十分確保されていたと考える。凍結防止剤のしみだしによる供給は2mの範

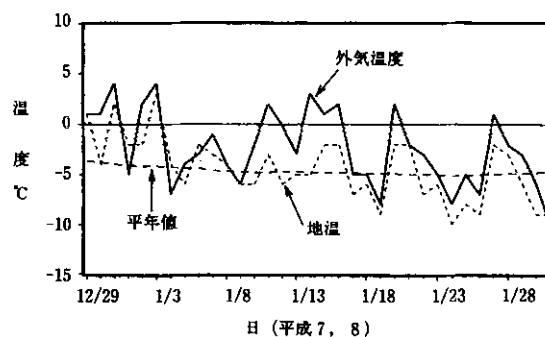


図 4.12 外気温度と路面温度

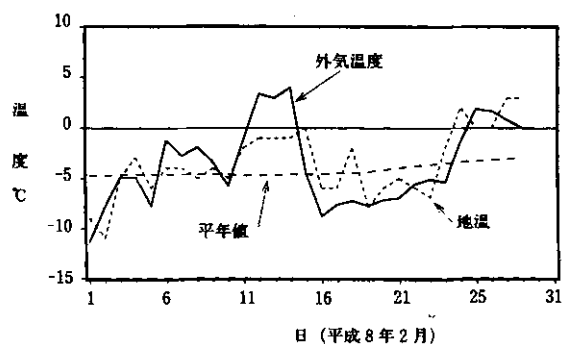


図 4.13 外気温度と路面温度

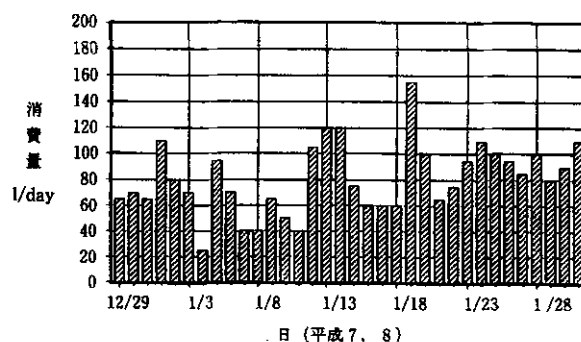


図 4.14 凍結防止剤消費量

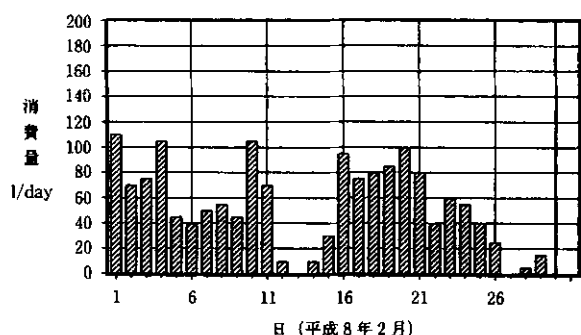


図 4.15 凍結防止剤消費量

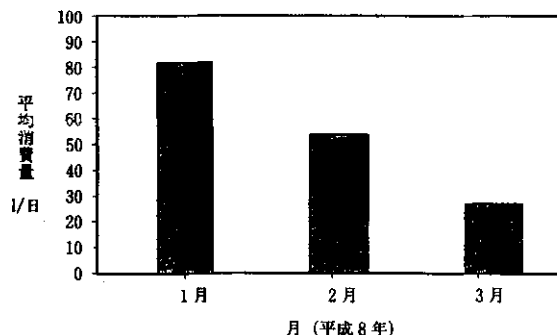


図 4.16 凍結防止剤平均消費量



写真 4.7 1月26日の路面状況 (降雪時)



写真 4.8 1月26日道路状況

圃であるが、100m程度まで延びるのは車両のタイヤへの付着による引きずり効果であり、逆にいえば、しみだし域の凍結防止剤濃度はタイヤへの付着により時間とともに薄くなり、ある濃度を保つには凍結防止剤を供給し続けなければならない。本試験では、凍結防止剤の供給量は一月で一日当たりの平均は約80l、2月で約55l、3月で約30lであった。図4.16に凍結防止剤の月平均供給量の変化を示す。

5. まとめ

以上試験を行った結果、次の事が明らかとなった。

- ① しみだし法により路面に凍結防止剤を供給することで、ほぼ路面(わだち部)を100m程度の距離で湿潤状態に保つことができた。しかしそれ以上の降雪時には、路面はシャーベット状になり、機械除雪が必要となる。
- ② 凍結防止剤の消費量は1月の平均で80l/日程度であった。
- ③ 今年度の公道での実証試験は交通量の比較的多い道路のため、路面の露出が短時間で達成できたが、交通量の少ない道路ではこの効果は小さいと考える。
- ④ 本方式は積雪の多い地域では多量の凍結防止剤が必要であるが、積雪の少ないところでは少ない凍結防止剤で凍結路面を解消できると考える。
- ⑤ 今後はしみだし部の使用材料、制御方式などの改善、センサの開発、この方式に適した凍結防止剤の開発などを進めていく予定である。

参考文献

- 1) 北海道融雪工業会；融雪技術ガイドライン(1994)
- 2) 札幌市建設局道路維持部；札幌市のロードヒーティング(1988)
- 3) 北海道開発局開発土木研究所；凍結防止剤の基礎知識(1995)
- 4) 寺田ら；道路の克雪技術