

# 鋼板を使用したロードヒーティングシステムの開発

岡 喜秋, 石山 栄三, 上出 光志, 北口 敏弘

## Development of Road-heating System using Steel Panel

Yoshiaki OKA, Eizo ISHIYAMA  
Mitsushi KAMIDE, Toshihiro KITAGUTI

### 抄 録

ロードヒーティングの省エネルギー化を図るために、発熱体を鋼板（厚さ：6mm、9mm）で保護し道路表面に発熱部を設置するパネルを試作し、昇温試験を行った結果従来のロードヒーティングに比較して1/10～1/3の時間で所定の温度に達した。このためロードヒーティングシステムにおいて予熱運転が必要なくなった。また、温水方式については外気温度-5℃付近では温水温度10℃程度で融雪ができ、地下水、下水廃熱でも融雪が可能と考える。

### 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の確保が不可欠であり、毎年雪対策に多大の費用が投じられている。従来北海道における冬期間の交通確保は機械力による除排雪が中心的な役割をはたしてきた。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、札幌などの都市周辺部においては、機械排雪が次第に限界にきつつある。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ったデータもあり、今まで以上の道路環境整備が求められている。このため、恒常

的な雪対策が望まれるようになり、道内の一般道路ではロードヒーティングの敷設が積極的に行われるようになってきた。特に、都市近郊を中心とした坂道、交差点などの敷設が増加し今後も普及が進むものと考えられる。

また、札幌などの都市近郊では住宅の過密化が進むにつれて、住宅内の雪処理が困難になりつつあり、加えて高齢化社会への移行とともに、住宅通路や、車庫前などの敷地内の雪処理が大きな課題となってきている。近年住宅用の小型ロードヒーティングシステムが開発され、設備、機器の実用化が進むにつれて、一般市民の関心も高まり、設置件数も急速に増加しつつある。

### 2. 鋼板製パネルの熱特性試験

一般のアスファルト、セメントコンクリート等の道路構造では熱特性（温度立ち上がり性能、熱容量、表面温度分布）を向上させるには限界があるため、改善策として次のことが考えられる。

- ヒータ等の発熱部をできるだけ道路表面に近づける。
- 道路構成体は熱容量が少なく、熱伝導性の良い材料を使用する。
- また、その材料は道路としての強度があること。

上記条件を満足させる構造として図-1に示すパネルについて検討した。また、パネル自体が十分強度のある構造とし

て覆工板の裏面に発熱体を固定するタイプについても検討を行った。

2.1 研究の目的

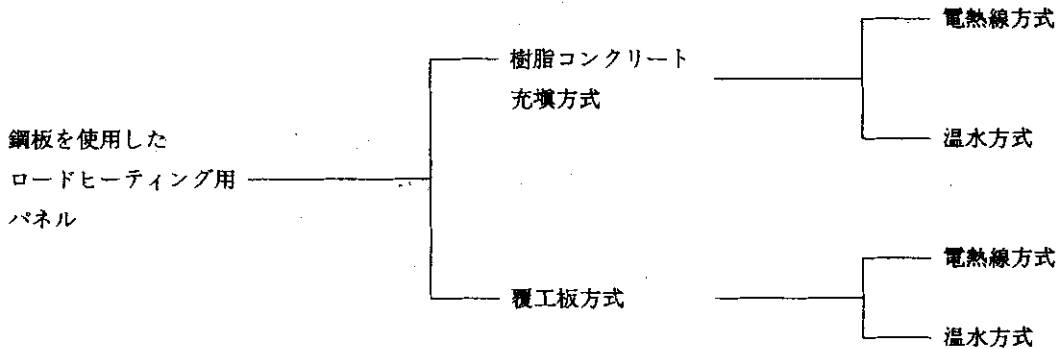


図-1 鋼板を使用したロードヒーティング用パネル

表-1 発熱体の種類

ケーブルヒータ	古河電工(株)製 Ni-Cu合金ヒータ	電圧：AC4V
カーボンヒータ	東洋インク(株)製自己制御型ヒータ	電圧：AC200V
プレートヒータ	サンライズ工業(株)製自己制御型ヒータ	電圧：AC100V
温水パイプ	軟質塩化ビニールパイプ 外径：8mm 肉厚：1mm	

表-2 樹脂コンクリートの配合

	種類	使用量
樹脂	マーベレックMR-05(アクリル系樹脂)	1.48kg
骨材	G-15(砂利, 砂, 炭酸カルシウム)	20kg

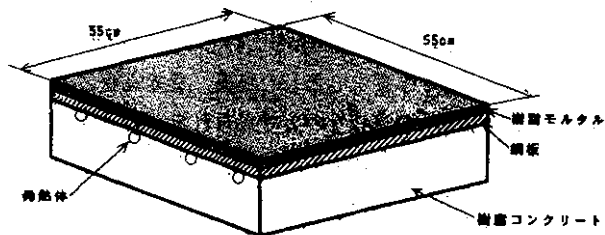


図-2 供試パネル構造

上図に示した樹脂コンクリート充填方式と覆工板方式の2タイプについて、それぞれ発熱体として電熱線方式、温水方式についてロードヒーティング用パネルとして使用した場合の熱特性について温度立ち上がり性、表面温度分布、低温室試験、屋外試験を行うことにより検討した。また、パネル表面の樹脂モルタル強度、滑り抵抗についても測定を行った。

2.2 パネルの試作

鋼板製パネルの熱特性を検討するために、55cm四方の小型パネルを試作した。その構造を図-2に示す。使用した発熱体の種類を表-1に示す。

鋼板の裏面に上記の発熱体を取付け、さらに、木枠を組んで、樹脂コンクリート20kgを充填し、ヒータの保護層とし

た。この樹脂コンクリートは寒冷地用として実績のある(株)ホッコンアイピーシーのマーベレック(R-05-G-15)を使用した。以下の表-2に示す配合で混合し、あらかじめヒータを固定した鋼板の裏面に充填した。

供試パネルの制作方法は、55cm四方の鋼板を台の上に置き、その面上にヒータと樹脂パイプをテープ等で固定した。その後鋼板の周囲を高さ5cm程度の木枠で囲み、その内側に樹脂コンクリートを流し込んで金コテで平滑に仕上げた。樹脂コンクリートは骨材10kgを樹脂とオムニミキサにより十分に混合した。この作業を2回繰り返して作成した。

走行面樹脂モルタルについては覆工板の滑り止め用の樹脂モルタルとして実績のある(株)ホッコンアイピーシーのマーベレックを使用した。試験に使用したパネルの面積は0.3m<sup>2</sup>のため、厚さ3mmから4mmのモルタル層を形成するために、以下の配合で混合した。

表-3 樹脂モルタルの配合

	種類	使用量
樹脂	マーベレックMR-05(アクリル系樹脂)	0.4kg
骨材	SI-1(混合珪砂)	2kg

鋼板の表面をアセトンにて清掃し、その後混合したモルタルを金コテで平滑に仕上げた  
 モルタル層の厚さを電磁膜厚計(株)サンコ電子研究所製SL-200C)で測定した  
 結果、ほぼ3~4mmであった。  
 試作したパネルを以下に示す。

表-4 試作パネル

パネル	鋼板厚さ(mm)	発熱体種類	充填材	表面被覆材
パネル1	6	ケーブル ピッチ:5cm	樹脂コンクリート	樹脂モルタル
パネル2	6	ケーブル ピッチ:7cm	樹脂コンクリート	樹脂モルタル
パネル3	3.2	カーボン	樹脂コンクリート	樹脂モルタル
パネル4	6	カーボン	樹脂コンクリート	樹脂モルタル
パネル5	9	カーボン	樹脂コンクリート	樹脂モルタル
パネル6	6	プレート	樹脂コンクリート	樹脂モルタル
パネル7	6	カーボン	断熱材	樹脂モルタル
パネル8	6	プレート	断熱材	樹脂モルタル
パネル9	6	温水パイプ ピッチ:150mm	樹脂コンクリート	樹脂モルタル
パネル10	6	温水パイプ ピッチ:100mm	断熱材	樹脂モルタル
パネル11	6	温水パイプ ピッチ:130mm	断熱材	樹脂モルタル
パネル12	6	温水パイプ ピッチ:170mm	断熱材	樹脂モルタル

試作したパネルの構造を図-3~図-6に示す。

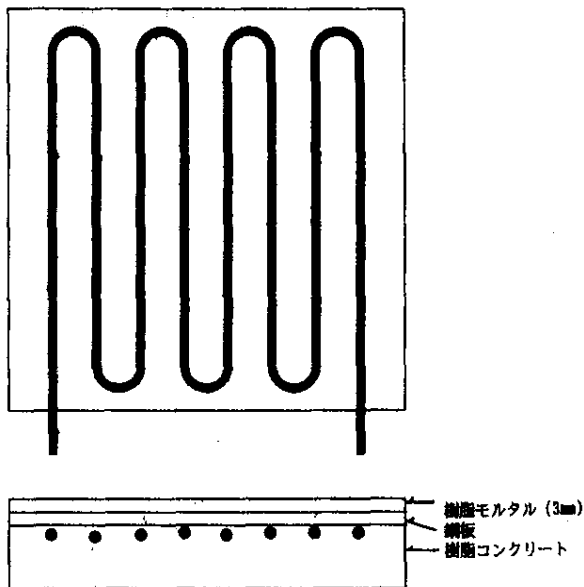


図-3 ケーブル発熱体パネル構造

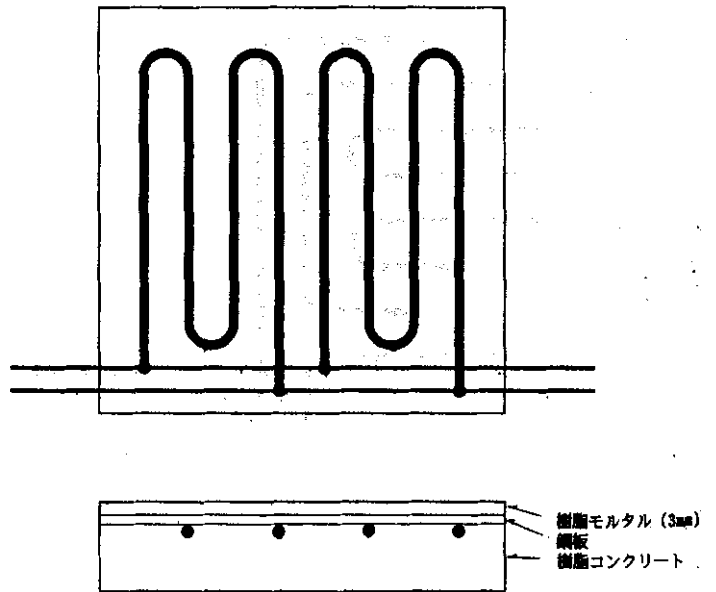


図-4 カーボン発熱体パネル構造

2.3 パネルの熱特性試験結果および考察

以下の項目について試験を行った。

- 発熱体の形式の違いによる熱特性への影響
- 鋼板の板厚の違いによる熱特性への影響
- 発熱体ピッチの違いによる熱特性への影響
- 断熱材の効果

2.3.1 電熱線方式

上記の項目について検討するため、5℃昇温試験、表面温

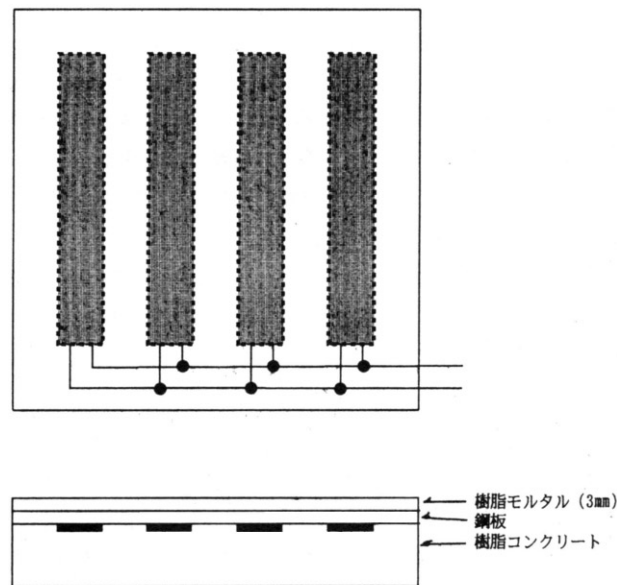


図-5 プレート発熱体パネル構造

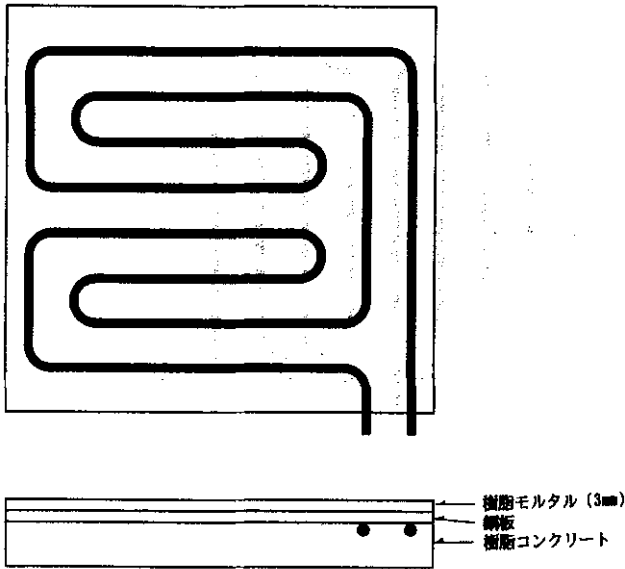


図-6 温水パネル構造

度分布を熱画像測定装置による検討，低温室での昇温試験などを行った。その結果から各構造のパネルについて総合的に検討をした。5℃昇温試験とは各種のパネルの温度立ち上がり特性を比較するために，同一の条件で行う試験で常温（20℃付近）状態に保ち，雰囲気温度とパネルの内部温度が同じ温度から発熱体で加熱をはじめ，常温から5℃高い温度に表面温度（ヒータ間温度）が達した時間でその熱特性を評価することとした。また，そのときのパネル表面の温度分布については熱画像装置により測定した。

①パネル表面の温度分布の検討

試作パネルの表面温度分布について熱画像装置により検討した結果以下の見解が得られた。

- パネル1とパネル2についてヒータのピッチの違いによる表面温度分布の検討を行ったが，鋼板に樹脂モルタルを被覆しない場合はヒータピッチの小さい方が温度むらは少ない。
- 鋼板表面に樹脂モルタルを被覆した場合はピッチの違いによる温度むらへの影響はほとんど無い。
- 鋼板の厚さの違いによる温度むらへの影響は，厚さ3.2mmでは2℃以上あったが，6mm，9mmでは1℃程度とすることができた。

②5℃昇温試験

試験条件：無風状態  
：250W/m<sup>2</sup>

図-7，表-5に5℃昇温試験の結果を示す。これより，一般のアスファルト舗装のロードヒーティングでは2.5時間以上の温度立ち上がり遅れがあることが分かるが，鋼板を使用したパネルで，最も立ち上がりの速いものは11分である。

表-5 5℃昇温試験結果

パネル種類	パネルNo	昇温時間 (min)
ケーブルヒータ (樹脂コン)	1	59
カーボンヒータ (樹脂コン)	4	38
カーボンヒータ (断熱材)	7	21
プレートヒータ (樹脂コン)	6	28
プレートヒータ (断熱材)	8	11
アスファルトコンクリート (80mm)		140

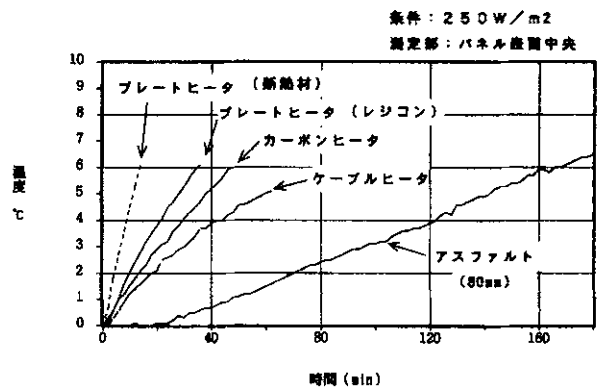


図-7 5℃昇温試験結果

これはヒータの下側に断熱材を挿入したものであり，熱容量が最も小さい構造のためである。またヒータを樹脂コンクリートで補強した構造では，プレートヒータは最も良く28分であった。つぎはカーボンヒータで38分，ケーブルヒータでは59分の結果であった。

③断熱材の効果の検討

断熱材の効果についてはパネル7，パネル8でヒータの下に断熱材を充填して昇温試験を行った。

- 断熱材を充填することにより樹脂モルタル充填方式と比較して若干パネル表面温度むらはあるが，パネル熱容量が低下したため温度立ち上がり性能は向上した。
- 発熱体がプレートヒータで400W/m<sup>2</sup>の電力の場合が最も立ち上がり性能は良く，表面温度が5℃上昇するのに8分間しかかからなかった。（例えば）

2.3.2 温水方式

試作パネル9により低温度水を熱源とした低温室での昇温試験を行った。

下図に示すように低温室-5℃の場合でパネル供給温度11℃のときの昇温試験の結果である。パイプに低温水を供給しはじめて25分でパイプ表面温度は0℃に達する。また，パネル表面温度は80分で0℃に達する。このことは，低温水として10℃程度の熱源でも-5℃の外気温度では融雪が可能で

あることを示唆しているものと考えられる。しかし、 $-10^{\circ}\text{C}$ の外気温度では $20^{\circ}\text{C}$ の低温水が必要である。

札幌市の冬期の平均気温は $-5^{\circ}\text{C}$ であるため、地下水(約 $10^{\circ}\text{C}$ )、下水道熱がロードヒーティングの熱源として使用可能と考えられる。

### 3. 熱挙動の検討

融雪の条件は基本的にある程度積もった雪を、それ以上に積もらないように融かすこと、あるいは降った雪が積雪しないことを原則とするが、気象条件などを考慮してヒータ容量を決定している。融雪負荷は、

○雪あるいは氷の顕熱と融解熱との和

○路面の凍結防止熱

とを比較して大きい方の熱負荷を基準としてヒータの容量を決定する。

雪を融かすための熱量  $Q_1$  は次式で表現できる。

$$Q_1 = Q_s + Q_L$$

ここで  $Q_s$  は雪の顕熱で

$$Q_s = (0 - T_a) \times 0.5 \times M$$

$$M = 60 \times S$$

- $T_a$  : 外気温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
- 0.5 : 雪の比熱 ( $\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )
- $M$  : 単位面積降雪重量 ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )
- 60 : 新雪の雪密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $S$  : 降雪量 ( $\text{m}/\text{h}$ )

融解熱  $Q_L$  は

$$Q_L = 80 \times M$$

80 : 雪の融解熱 ( $\text{kcal}/\text{kg}$ )

また、凍結を防止するための熱量  $Q_2$  は路面からの対流による熱損失  $Q_f$  と放射による熱損失  $Q_r$  との和である。

$$Q_2 = Q_f + Q_r$$

ここで

$$Q_f = (T_r - T_a) \times \alpha_c$$

$$Q_r = (T_r - T_a) \times \alpha_r$$

$$\alpha_c = 5.3 + 3.4 \times v$$

$$\alpha_r = 7.95$$

- $T_r$  : 凍結防止路面温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_a$  : 外気温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $\alpha_c$  : 対流熱伝達係数 ( $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )
- $\alpha_r$  : 放射熱伝達係数 ( $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )
- $v$  : 平均風速 ( $\text{m}/\text{s}$ )

以上の式により凍結防止路面温度  $T_r$  を  $0^{\circ}\text{C}$  とし、平均風速  $v$  を  $5\text{m}/\text{s}$  として雪を融かすための熱量  $Q_1$  と凍結を防止するための熱量  $Q_2$  を計算すると図-8になる。

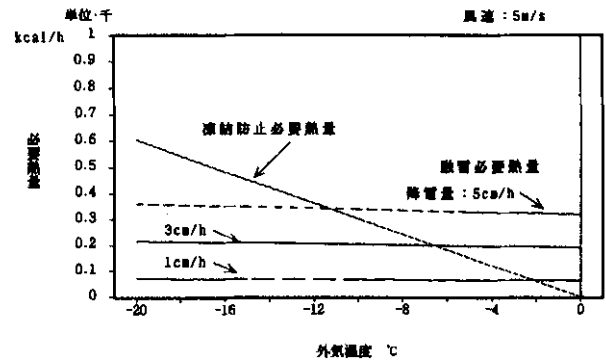


図-8 ロードヒーティング必要熱量

この計算結果より、凍結防止必要熱量は外気温度の低下とともに増加し、 $-10^{\circ}\text{C}$ の外気温度、風速  $5\text{m}/\text{s}$  では  $300\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  の熱が必要になる。しかし、融雪必要熱量はほとんど外気温度の影響は受けない。凍結防止必要熱量は対流と放射による損失で、融雪熱量はほとんどが氷の融解熱量であるためである。外気温度が $-4^{\circ}\text{C}$ では凍結防止必要熱量は  $150\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  であり、この量の熱量をパネルに供給すれば、表面は凍結しないが、 $3\text{cm}/\text{h}$  の降雪があれば、 $200\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  融雪に必要なため雪は融けずパネル表面に堆積する。しかしパネル表面はシャーベット状態のため、車両の走行に支障はない。もし、車両の走行により一部路面が出て凍結することはない。外気温度が $-8^{\circ}\text{C}$ で、降雪が  $3\text{cm}/\text{h}$  の場合融雪必要熱量は  $200\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  のため、この熱量をパネルに供給すると表面温度は  $0^{\circ}\text{C}$  以下となり表面は凍結する。その路面状に雪が堆積するが、この堆積した雪が断熱層となり、再び表面温度は  $0^{\circ}\text{C}$  以上になり路面の雪は融け始める。しかし、車両のタイヤで雪が無くなると、道路露出部は再び凍結する。このため、最低必要熱供給量は凍結防止必要熱量であると考えられる。実際の制御は道路表面温度を制御しているため、凍結防止熱量と融雪熱量の和が供給される。しかし、ヒータ熱量は札幌市内のロードヒーティングは  $210\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  であるため、 $3\text{cm}/\text{h}$  の降雪があると、外気温度 $-6^{\circ}\text{C}$ では凍結防止に  $210\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  の熱量が必要になるため、雪は路面に堆積することになる。この容量のヒータでは凍結防止運転は $-7^{\circ}\text{C}$ が限界と考える。

### 4. 走行面樹脂モルタル

#### ①塗布方法の検討

試験用パネルについては、鋼板表面をアセトンなどの溶剤に

て清掃した。その後、金コテにより混合したモルタルを平滑に仕上げた。

- 大型のパネルでは、鏝、泥よごれの問題もあるため、サンドブラストなどの機械処理が必要である。
- 手仕上げでは非効率のため、スプレー方式などの自動化を考えるべきである。

②付着力、制動性能の検討

付着力については油圧方式の付着力試験機により、また滑り抵抗値（BPN 値）についてはスキッドレジスタンステストにより測定した結果以下のとおりである。

表-6 付着力試験結果

	測定値	平均値
付着力	46.3, 39.4kg/cm <sup>2</sup>	42.9kg/cm <sup>2</sup>
破断モード	鋼板面と樹脂モルタル面の両面からの破壊	

表-7 滑り抵抗値結果

	BPN 値
樹脂モルタル被覆面	95
鋼板面	45

5.まとめ

以上の試験の結果、次のことが明かとなった。

- ・電熱線方式では、結果をまとめた図-7に示すように、5℃昇温試験の結果、断熱材を充填したプレートヒータが最も良く、断熱材充填のカーボンヒータ、樹脂コンクリート充填のプレートヒータ、樹脂コンクリート充填のカーボンヒータ、樹脂コンクリート充填のケーブルヒータの順であった。
- ・鋼板を伝熱層に使用するとヒータピッチの影響はほとんどない。
- ・鋼板の厚さは6mm以上必要と考える。
- ・温水方式での低温室試験では、室温-5℃で温水供給温度11℃では約80分間で融雪温度に達する。
- ・このことより、-5℃の外気温度では10℃程度の排熱があれば、鋼板パネルを使用することにより融雪可能と考える。

参考文献

- 1) 札幌市建設局道路維持部；札幌市のロードヒーティング
- 2) 北海道土木部道路課；ロードヒーティングの設計施工の手引き
- 3) 北海道立工業試験場；北海道融雪工業会；ロードヒーティング技術資料