

ロードヒーティング用表層材料の水平方向温度分布の特性比較

岩本欣也（北大工学部），佐山惣吾，酒井好夫（寒地技術研究所）

岩渕英樹（（株）菱住），山口宗宏（北海道工業技術研究所）

1. 緒言

ロードヒーティング用表層材料としては、コンクリート、アスファルト、インターロッキングブロック、タイル等が一般的に使用されているが、ゴムチップ製の融雪パネルやゴム製の融雪マット、融雪シートも普及している^{1)・2)}。さらに表層材料の伝熱特性を改善するために、鉄片を混入する方法も試みられ、鉄板（10mm厚さ）を用いた報告もある。表1にロードヒーティングに一般に用いられる表層材料の物性値を示した。熱伝導率と熱容量が大きいほど融雪には有利である。本報は、これらのうち①鉄板（熱伝導率 $\lambda = 52.3 \text{ W/mK}$ ）、②コンクリート（ $\lambda = 1.2 \text{ W/mK}$ ）、③ゴム（ $\lambda = 0.41 \text{ W/mK}$ ）、④ゴムチップ（ $\lambda = 0.29 \text{ W/mK}$ ）を用い、恒温槽中において通電加温した実験について、その伝熱特性を解析し、材料の特性比較をするものである。なお、実験に供せられたテストブロックはすべて同一形状とした他、通電条件（2通り）や温度条件（2通り）を分類統一し、各条件に合わせた水平方向温度分布のシミュレーションも行った。

表1 ロードヒーティング用表層材料の物性値

材 料	鉄	コンクリート	ゴム	ゴムチップパネル
熱伝導率	52.3 W/mK	1.2 W/mK	0.41 W/mK	0.29 W/mK
比 熱	0.45KJ/KgK	0.84 KJ/KgK	1.8 KJ/KgK	1.0 KJ/KgK
密 度	$7.9 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$	$2.5 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$	$0.96 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$	$0.85 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$
熱容量	$7.11 \times 10^4 \text{ KJ/m}^3$	$4.2 \times 10^4 \text{ KJ/m}^3$	$3.5 \times 10^4 \text{ KJ/m}^3$	$1.7 \times 10^4 \text{ KJ/m}^3$

注；室温（20℃）での値とする。熱容量は0℃から20℃まで加温の場合。ゴムチップパネルの空隙率は11.5%である。

2. 実験方法

実験に使用したテストブロックは、30cm角、厚さ2cmのもので、発泡ポリステロール断熱材（2cm厚さ）の中に組みこまれている。またテストブロックの内部のヒーター線については、10cm間隔3本のもの（18W通電）と中心に1本もの（5.5W通電）の2種類の試料を作成した。以上の構造および温度測定箇所を図1に示した。なお、テストブロックの面積が0.09m²であるので、10cmピッチ18Wの通電は200W/m²に相当し、札幌市内にて一般に行われているロードヒーティングの電力負荷にほぼ等しいと考えて良い。

テストブロックは恒温槽中心の目皿上に置かれ、恒温槽内の温度を-1℃および-5℃に設定した。通電を開始するとブロックの温度が上昇し約4時間後に一定温度に達する。このような定常状態におけるブロックの内部温度と表面温度を測定した。

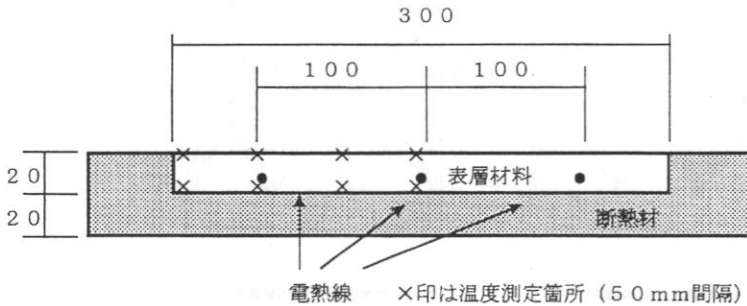


図1 テストブロック構造 (単位mm)

3. 実験結果

図2 (a) ~ (h) にブロック横方向の温度分布を、ブロック内部および表面、恒温槽内空気温度 -1°C および -5°C 、電熱線1本および3本についてそれぞれ示した。この結果より次のことが分かる。

- ①ブロック内部温度は熱伝導率の小さい順に高い。
- ②ブロック表面温度はゴムチップを除いて熱伝導率の小さい順に高い。ゴムチップについては空隙率が大きいので若干低めの値を示した。(ゴム、コンクリート、ゴムチップ、鉄板の順に高い。)
- ③ヒーター部とヒーター中間部の温度偏差(内部温度)は熱伝導率の大きい順に小さい。
- ④鉄板の表面温度はほぼ一定である。

4. 伝熱理論およびシミュレーション

ロードヒーティング構造の鉛直方向の伝熱については、1次元の定常熱伝導と仮定した熱抵抗計算(オームの法則と同じ考え方)が一般に行われているが、本実験のように水平方向の伝熱を解析するためには2次元の定常熱伝導として解析する必要がある。そこで式(1)の2次元熱伝導方程式について①断熱境界 ②空気温度一定 ③ヒーター(質点)から一定の熱流発生 の3つの境界条件をあてはめて、差分法陰解法を用いた数値計算を行った。数値計算を行った計算領域の離散化要素を図3に示した。また、計算結果は図2 (a) ~ (h) に曲線として表示し、各点の実測値と比較した。計算値と実測値がほぼ近似していることがわかる。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + Q(x, y, t) \quad \dots\dots(1)$$

$$t = \frac{\rho c L^2}{\lambda} t', \quad x = Lx', \quad y = Ly', \quad Q = \frac{\lambda}{L^2} Q'$$

$$\frac{\partial T'}{\partial t} = \frac{\partial^2 T'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 T'}{\partial y'^2} + Q'$$

ただし、

T : 温度

t : 時刻

Q : 発熱量

ρ : 密度

c : 比熱

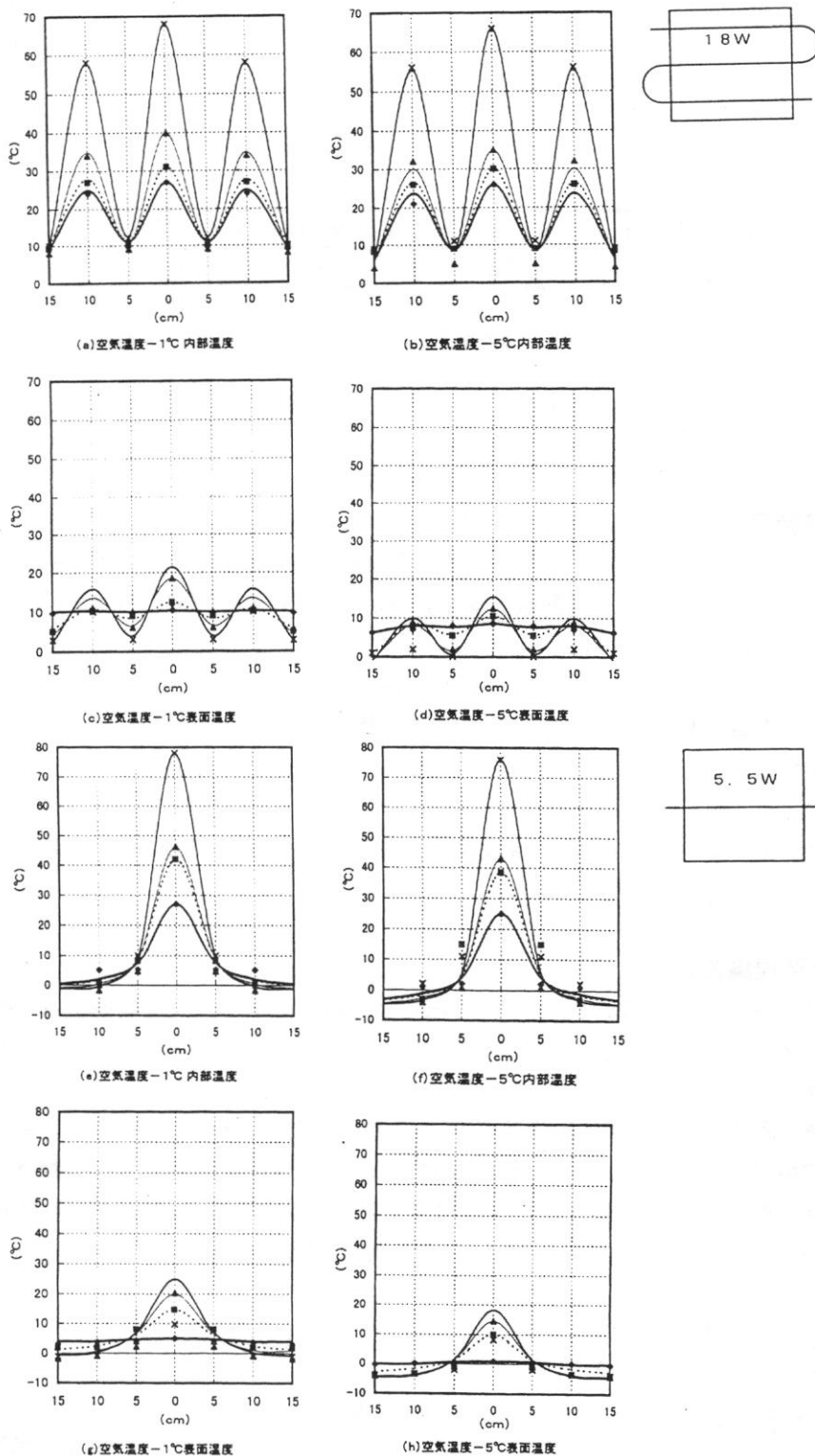
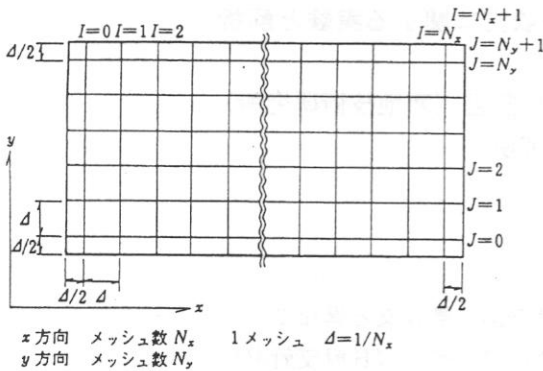


図2 テストブロックの水平方向温度分布
(実測値と計算値)



$$\frac{\Delta^2}{\Delta t} (T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^n) = T_{i+1,j}^{n+1} + T_{i-1,j}^{n+1} + T_{i,j+1}^{n+1} + T_{i,j-1}^{n+1} - 4 T_{i,j}^{n+1} + Q \Delta^2$$

n は時刻 t , $n+1$ は時刻 $t + \Delta t$ における値

図3 差分法数値計算の離散化要素

5. 結論

以上の報告で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) ロードヒーティング用表層材料（舗装材料）としては、熱伝導率の大きいものを使用することが有効である。
- (2) 鉄板を用いた場合、表面の温度はほぼ均一となって解けむらを生じることがなくなるが、横方向への熱損失を防ぐ（路面端の断熱）必要がある。
- (3) ゴムを用いた場合は10℃程度、コンクリートを用いた場合は5℃程度の温度偏差を生じ、雪の解けむらを生じやすい。
- (4) ゴムチップ等の空隙を有する材料は、表面で空気や水の流出入による熱伝導低下や熱損失を生じるので、表面を機密にしたり、熱伝導の良い金属板等と組み合わせる等の工夫が必要である。
- (5) 2次元熱伝導方程式の差分法陰解法による数値計算は、ロードヒーティングの水平方向の伝熱解析には有効であった。今回得られた水平方向表面温度分布を用いて材料ごとの解けむらを推定することが可能である。

参考文献

- 1) 佐山惣吾、酒井好夫、西川泰則、山口宗宏、岩本欣也、許オー「ロードヒーティングの道路構造と熱性状」（1996）北海道の雪氷第15号
- 2) 佐藤英隆、平松雅宏、後藤隆司、森訓保、鈴木好美「ラバーマット布設路面による冬期路面のスベリ防止に関する研究」（1992）第8回寒地技術シンポジウム