

# 換気排熱を利用する空気式ロードヒーティングシステムに関する研究 - 玄関前通路用融雪路盤構造体の提案 -

富田 和彦, 白土 博康, 保科 秀夫, 長野 伸泰

## Study on Air Type Road Heating System using Ventilation Exhaust Heat - A Design of Entryway Pavement Structure for Snowmelt -

Kazuhiko TOMITA, Hiroyasu SHIRATO, Hideo HOSHINA, Nobuhiro NAGANO

キーワード：換気排熱，ロードヒーティング，路盤構造，空気，融雪

### 1. はじめに

近年、本道都市部の住宅密集地においては雪捨て場の確保が難しく、加えて核家族化と高齢化の進展に伴い、除雪労力の軽減や安全な歩行通路の確保が強く望まれている。このため利便性に優れた温水式ロードヒーティングが依然普及し続けているが、これらは化石燃料を熱源とするため炭酸ガスの排出による地球温暖化が懸念される。一方、平成15年度の改正建築基準法に基づくシックハウス対策において、住宅の場合、換気回数0.5回/h以上の機械換気設備が原則的に義務付けられるようになった。

そこで本研究では、機械換気設備の中でも熱交換換気を行わない第三種セントラル換気システムに着目し、ここから24時間外気に放出されている換気排熱をロードヒーティング用熱源として利用することを考案した。本報ではこの空気式ロードヒーティングシステムの構築に向け、換気排熱を融雪用熱源として最大限に引き出す路盤構造について検討するとともに、低コスト化を図るために市販部材を用いて作製した空気式融雪路盤によるフィールド実験を行い、換気排熱が融雪用熱源として利用可能かどうか検証した。

なお本システムでは、室温程度の温風を昼夜連続して路盤に流すことで路盤の蓄熱効果を期待しつつ、時間をかけて雪を融かすことを想定している。このため、従来のロードヒーティングのように路面を常時積雪のない状態に保つことは難しく、路面上にある程度の積雪は容認しなくてはならないが、融かした分は積雪量も減少することから除排雪にかかる労力が軽減される。また、路面が着氷せずに雪が剥離しやすくなるといったメリットが期待される。

### 2. 玄関前通路用融雪路盤の提案

#### 2.1 融雪用熱源としての換気排熱

24時間換気排熱を融雪用熱源に利用する場合、計画換気量は住宅の床面積(室容積)等により決められ、排気温度も室温に支配されるため、融雪可能な面積は制限される。床面積125m<sup>2</sup>、天井高2.4mの一般的な住宅を想定すると、換気量(風量)は150m<sup>3</sup>/h程度であり、設定室温を22とし、この換気排熱を10まで下げて融雪に利用できると仮定すると、その保有熱量は約600Wと試算される。ここで、札幌市における設計融雪負荷292 W/m<sup>2</sup>を用いると融雪可能面積はわずか2 m<sup>2</sup>程度となるが、この設計融雪負荷は外気温度-7、風速1.9m/s、降雪強度3cm/hの条件での値である。本システムでは、換気排熱を24時間連続して流すことによる路盤の蓄熱、および路面上にある程度の積雪を容認することなどから、融雪負荷を従来の3分の1の100W/m<sup>2</sup>程度と仮定すると、風量150 m<sup>3</sup>/h、温度22の換気排熱で融雪可能な面積は約6 m<sup>2</sup>と見積もられ、1 m<sup>2</sup>当たりの風量は25 m<sup>3</sup>/h程度となる。なお、上村らは径60mmの半円形溝付きタイル(厚さ60mm)を舗装材に用い、この溝内に積雪させた状態で20~30の空気を1 m<sup>2</sup>当たり24 m<sup>3</sup>/hで送風した場合、平均120 W/m<sup>2</sup>前後の放熱量を実測している。

#### 2.2 換気排熱を利用する融雪路盤の条件

上記で試算したように24時間換気排熱の保有熱量や融雪可能な面積を考慮すると、ヒーティング箇所としては、換気設備との接続が比較的容易と思われる、玄関先から歩道までの通路部分(例えば、幅0.9m、長さ6 m)が面積でほぼ対応すること、また融雪を必要とする優先順位からも最適と思われる。

事業名：一般試験研究

課題名：換気排熱を熱源とする空気式融雪路盤に関する研究

換気排熱を利用する融雪路盤に求められる条件として、次の3点が挙げられる。

(1) 路盤内通風抵抗の極小化

換気設備内蔵の送風機のみで送風できれば、あるいは補助的に小さな送風機の追加のみで済めば、極めて安価なシステムが可能となる。このためには路盤内の通風抵抗はできるだけ小さい方が望ましい。

(2) 舗装材熱抵抗の極小化

換気排熱の温度は20～22 程度で、通常の温水式ロードヒーティングの温水温度30～40 に比較し、かなり低い温度レベルにあることから、融雪に必要な路面温度や熱量を確保するためには熱伝導率が高く、厚さの薄い熱抵抗の小さな舗装材を用いる必要がある。

(3) 路面温度の均一化

換気排熱から熱を最大限に得ようとする、入口付近と出口付近の路面間で大きな温度差が生じる。そのため、入口付近は良く融けるが出口付近は融け難いといった融雪むらが発生し、路面の露出した部分から外気へと熱が無駄に放出され融雪効率が著しく低下する。

2.3 路面温度均一化のための通風モデル

上述に示す路面温度の均一化方策として、図1に示すような熱交換Uターン方式による通風モデルを提案する。

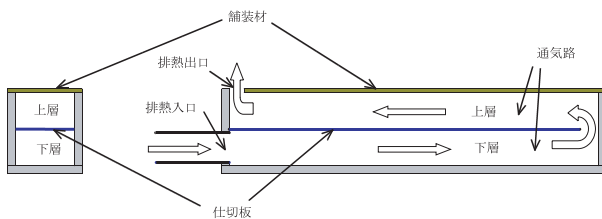


図1 熱交換Uターン方式通風モデル

図1において、温風の流れる通路を、熱伝達に優れる仕切板で上下2層に分割することで、下層部を流れる高温空気と融雪等によって温度降下した上層部を流れる低温空気との間で熱交換が行われる。その結果、通路内全体の送風温度がほぼ等しくなり、路面温度の均一化が図られる。ただし、放熱によって路面から失われる熱量が下層から上層へと速やかに補給される必要があり、そのためには、通路上下層を流れる空気の対流熱伝達を考慮し、熱伝達に優れたフィン形状や材質の仕切板を選定する必要がある。

3. 融雪性能実験

3.1 実験装置

3.1.1 実験路盤

実験に用いた路盤は、図2に示すように、通路として長さ600mmのコンクリート製側溝(U150トラフ)および舗装材に

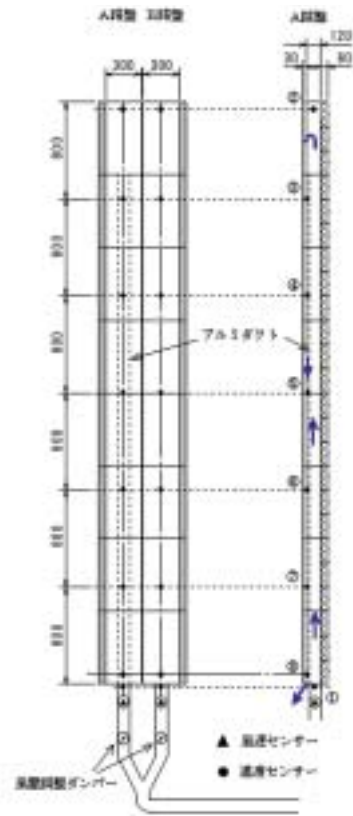


図2 実験路盤およびセンサー配置

長さ600mm、幅300mm、厚さ30mmの御影石平板を使用し、各々8個一列に並べ、段差調整用として両側を幅100mmのコンクリート製の縁石とブロックで挟んでいる。これを2組(A路盤、B路盤)用意し、A路盤には熱交換Uターン方式を実現するため、路盤後方の通路路奥の端部を閉じ、図1に示す仕切板の代用として、100mmの伸縮アルミダクト(クラレプラスチック株、S型)を、その端部から600mmの間隔を空けて挿入し(図3 (a))、路盤前方の温風吸入口上部に吹出口を設けている(図3 (b))。この場合、アルミダクト内が通風モデルの下層に、ダクト外側の通路路内が上層に相当する。また、



(a)路盤後方部 (b)路盤前方部

図3 実験路盤の外観

B路盤は温風が奥からそのまま外気へ吹出すように開放状態になっている(直通方式)。

ここで使用した御影石平板の密度は2600~2630 kg/m<sup>3</sup>であり、熱伝導率は平均約3.0W/m・K(京都電子工業株)：迅速熱伝導率QTM-D3により測定)である。また、図4に示す3点曲げ試験の結果、板厚30mm、長さ600mm平板の曲げ強さ荷重は、支点間距離(スパン)150mmで30.4kNである。本実験で使用したコンクリート製側溝(U150トラフ)用ふた(JISA5372)と比較すると、輪荷重を受けない1種の曲げ強さ荷重が5kN、40kNの輪荷重に耐える2種が45kNで、これらはスパン180mmの値であることから、外挿値22kN(スパン180mm)の御影石平板は、1種の4倍以上と歩道用としては十分実用に耐えうる強度を示すが、駐車場など輪荷重のかかる場所での使用は困難なことが分かる。

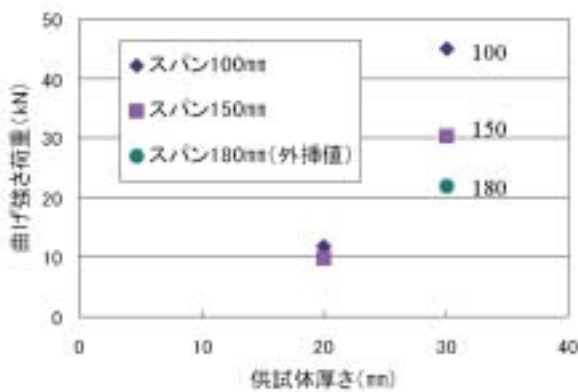


図4 御影石平板の最大曲げ荷重(長さ600mm)

### 3.1.2 温風発生装置

熱源となる温風は、図5に示す温風発生装置を用い、外気を空気-水熱交換器と電気空気加熱機(微調整用)を通すことで所定の温度に加温し、送風機をインバータ制御することにより所定の風量が得られる。

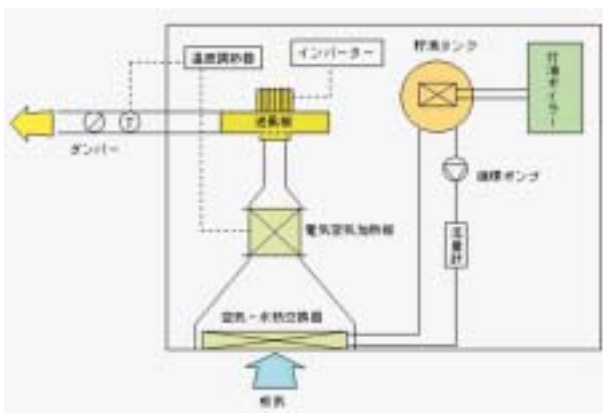


図5 温風発生装置

### 3.1.3 各種計測

送風温度の測定は、図2に示したように、路盤入口付近の管内1箇所、路盤内部が7箇所であり、T熱電対をA路盤で

はアルミダクトと御影石平板との中間位置に、B路盤もA路盤と同じ位置に配置してデータロガー(グラフテック株)：GL400)を用いて測定した。送風量は、送風機出口と実験路盤間の主管に風量検定済み熱線風速センサーを配置し、さらに主管から分岐し、A、B両路盤に向かう入口付近の管内に熱線風速センサーを各々挿入し、多点風速計(日本カノマックス株)：MODEL1500)を用いて測定した。また、気象観測として、外気温(T熱電対)、風速(株佐藤計量製作所：風杯型風速センサー)、日射量(クリマテック日射計：CPR-PCM-03F)、および降雪量(クリマテック雨量計：CYG-52202)を計測した。さらに、路面状況の監視用として、ネットワークカメラ(パナソニックコミュニケーション株)：BB-HCM331)を設置した(図6)。



図6 気象観測・路面監視用計測器

### 3.2 実験条件

融雪実験は、風量150 m<sup>3</sup>/h程度の換気排熱を想定し、表1に示すように、送風温度が約14~23℃、風量は1 m<sup>2</sup>当たり約55~80 m<sup>3</sup>/hとし、A、B両路盤に24時間連続して流し、この間の路面状況をネットワークカメラを用いて5分間隔で自動録画した。同時に、路盤内送風温度の他、外気温、日射量、風速等をデータロガーを用いて1分間隔で測定した。

表1 融雪実験条件

番号	降雪時の解析時間帯	A路盤		B路盤	
		風量 m <sup>3</sup> /(h・m <sup>2</sup> )	送風温 ℃	風量 m <sup>3</sup> /(h・m <sup>2</sup> )	送風温 ℃
1	1/19 2:00-6:00	55	14.3	59	14.2
2	1/19 21:00-1/20 6:00	53	18.7	58	18.5
3	1/23 10:00-19:00	57	19.0	62	18.9
4	1/24 3:00-12:00	57	18.8	62	18.6
5	1/25 3:00-20:00	55	18.8	60	18.6
6	1/29 4:30-1/30 5:30	55	22.3	60	22.4
7	2/2 2:00-11:00	68	22.2	75	22.0
8	2/4 4:00-13:00	71	22.4	76	22.3
9	2/7 2:00-2/8 4:00	74	18.6	78	18.4
10	2/10 23:00-2/11 10:00	74	18.9	78	18.7
11	2/11 23:00-2/13 6:00	74	18.2	78	18.0

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 路面温度分布

融雪実験に先立ち、送風温度23℃、風量約75 m<sup>3</sup>/(h・m<sup>2</sup>)におけるサーモグラフィを用いて撮影した路面温度分布を図7に示す。ただし、図7は放射率を補正していないため、実

際の温度より9.2 程度低い値を示している。画像解析すると、A路盤の平均温度は16.3 ，最大温度差4.9K，標準偏差0.722であるのに対し、B路盤は各々17.4 ，12.5K，1.44となり、A路盤の方が平均温度ではB路盤よりも1 程度低くなるが、路面温度の均一性に優れ、本提案の熱交換Uターン方式による通風モデルが路面温度の均一化に有効であることが分かる。

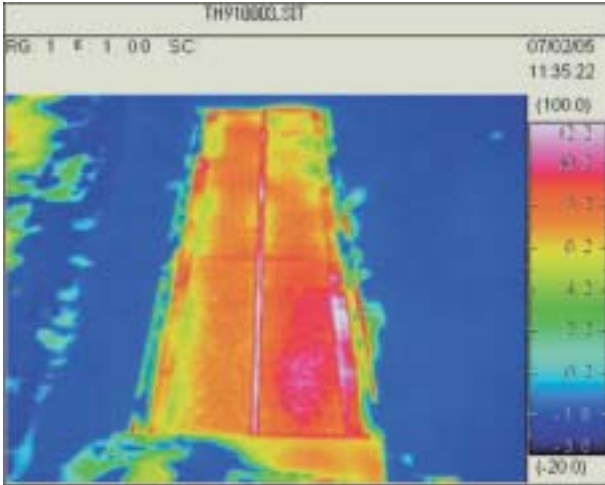


図7 路面温度分布（外気温：4.1℃）

3.3.2 融雪実験

融雪実験は、2007/1/19～2007/2/11の約1ヶ月間であり、表1に示したように、降雪のあった11のケース(Run1～Run11)について、路面状況を中心に解析を行った。結果の概略を表2にまとめて示す。表2には、降雪のあった時間帯における平均外気温、積算降雪量(雨量表示)、10分間平均降雪強度の頻度、および最大積雪時の路面状況について示す。

表2 融雪実験結果の概略

番号	平均外気温 ℃	積算 雨量 mm	10分間平均降雪強度頻度 mm/h										最大積雪時 積雪積雪深
			0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	
Run	℃	mm	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	A-B路盤外通
1	-1.9	0.6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1～2mm
2	-2.7	0.8	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1mm以下
3	-0.7	5.4	7	6	6	3	1	0	0	0	0	0	2～3mm
4	-1.4	0.4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1mm以下
5	-1.6	8.0	22	7	6	3	1	0	0	0	0	0	2～3mm
6	-0.9	12.3	44	19	9	4	2	1	0	0	0	0	1～2mm
7	-4.0	2.1	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	1mm以下
8	-2.7	4.7	11	2	0	2	2	1	0	1	0	1	2～3mm
9	-2.4	15.2	29	14	14	4	3	1	1	0	0	0	2～3mm
10	-0.9	4.6	13	5	3	2	0	1	0	0	0	0	1～2mm
11	-3.9	16.4	32	19	11	8	2	2	1	0	0	0	2～3mm

(1) 代表日の降雪状況

測定期間中、気温が低く降雪量が最も多かったRun11における主な気象データを図8に示す。この期間の降雪状況は、表2と図8の降雪強度から、2/12の午前零時頃から降雪が始まり、翌13日の午前1時頃まで、途中2度の休止期間(12:30～14:30, 18:00～21:00)を挟み、ほぼ絶え間なく降り続いていたことが分かる。この間の積算降雪量は、雨量換算

で16.4mm(ちなみに、札幌気象台におけるこの間の降雪量は28cmを記録)であり、最大降雪強度は2/12の午後10時40分頃に4.2mm/hを記録している。

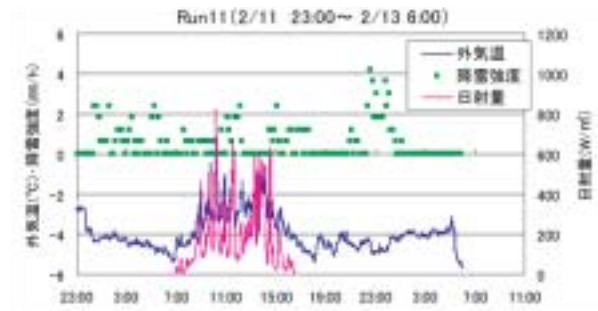


図8 外気温、降雪強度、日射量 (Run11)

(2) 代表日の路盤内送風温度

図9.1, 図9.2に代表日(Run11)の路盤内送風温度の経時変化の様子を示す。

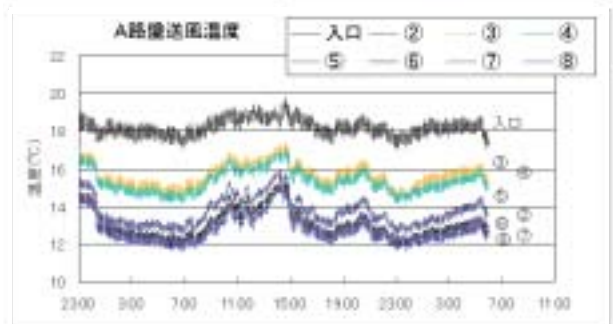


図9.1 A路盤送風温度 (Run11)

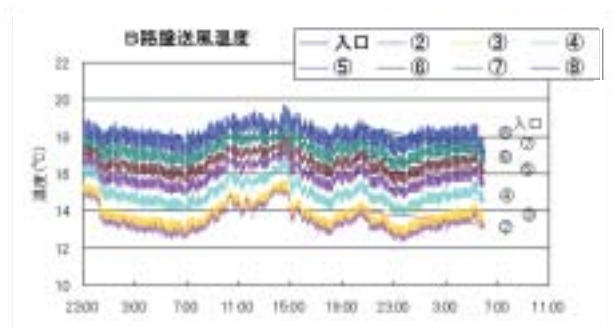


図9.2 B路盤送風温度 (Run11)

これらの図より、2/12の11:00～13:00にかけ、各温度測定箇所にて日射の影響による若干の温度上昇が見取れるが、両路盤とも変動の少ないほぼ安定した温度状態を示しているのが分かる。そこで、この期間の平均値を用いて、A、B両路盤内の送風温度を比較し、図10に示す。

図10の～は、図2に示したA、B両路盤の各測定位置に対応する。ここで測定点は、B路盤では出口温度に相当し、A路盤ではアルミダクトから吹き出すUターン部の温度

に相当するが、温度センサーをB路盤と同様に路盤の先端付近に配置したことから、正しく送風温度を示していないと思われる。また測定点は、B路盤では入口温度、A路盤では出口温度に対応する。

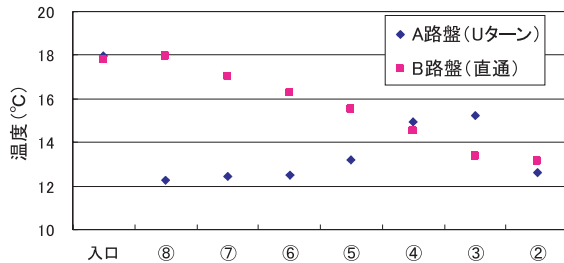


図10 送風温度の比較

図10より、路盤内空気温度の均一化については、A路盤の最大温度差( - )3.0 に対し、B路盤の温度差( - )は4.6 で、A路盤の方が優れている。しかし、平均温度は、A路盤の13.4 に対し、B路盤が15.8 で、B路盤の方が高いことから、A路盤の熱交換Uターン方式がB路盤の直通方式よりとりわけ優れているとは言い難い。この主な原因として、アルミダクトの熱交換面積不足が考えられる。その他、送風量の違い(A路盤 $74 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  に対し、B路盤 $78 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ )、あるいは路盤構成部材(トラフや御影石平板)の継ぎ目からの温風漏れが影響しているものと考えられる。

(3) 路面状況

各測定期間における最大積雪時の路面状況を、積雪深 1 mm以下、1 ~ 2 mm、2 ~ 3 mmの3ランク別に表 2 に示したが、このうちネットワークカメラで撮影したRun1 ~ Run10の様子を図11にまとめて示す。また、代表日のRun11については、最大積雪時が出現する2/12の20 : 48 ~ 翌13の3 : 48の期間の路面状況変化を図12に示す。

図11より、何れの場合においても、温風の流に沿ってA路盤では奥の路面から、B路盤では手前路面から良く融けているのが分かる。また、両路盤の路面状況はほぼ同程度であり、熱交換Uターン方式による温度の均一化効果が認められない。これは、前述の路盤内送風温度でも述べたように、アルミダクトの熱交換面積不足が主な原因と思われる。さらに、積雪の最も多かった路面でRun8(降雪強度4.8m/h)の3 cm程度であることが分かる。

代表日の路面状況(30分間隔)は、図12に示すように、2/12の20 : 48の時点で既に両路盤ともに路面に積雪が認められないことから、同日午前零時の降り始めからこれまでの降雪負荷(積算雨量10.4mm)に対し、十分に対応できていたものと判断される。また、最大積雪時(22 : 48)の路面状況についても一番積雪の多いところで3 cm未満であり、さらにこの後の路面状況についても、融雪ムラは認められるものの、

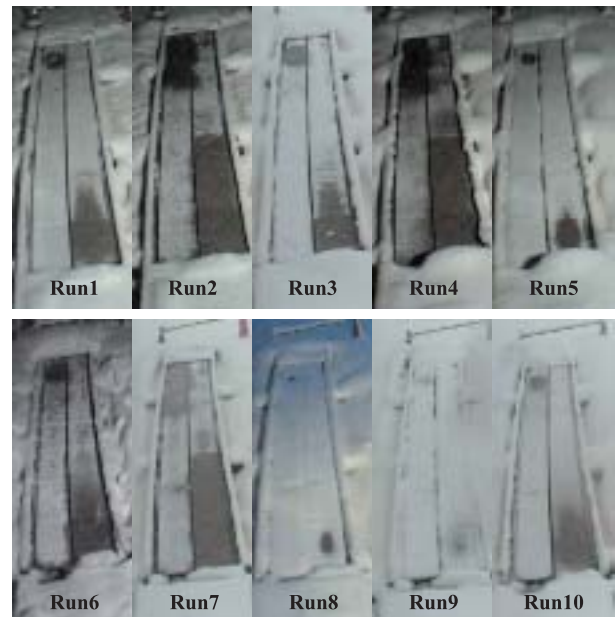


図11 最大積雪時の路面状況 (左：A路盤, 右B路盤)

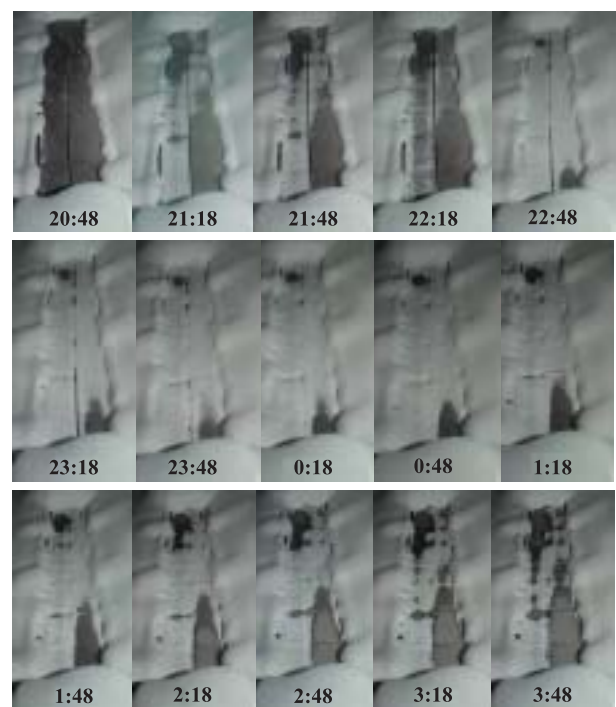


図12 代表日の路面状況の経時変化

時間の経過とともに積雪は着実に減少するなど、歩行に支障のない安全な路面状況にあることから、積雪期間中、本融雪路盤は有効に機能していたものと判断される。

なお、本報では放熱量など融雪路盤の融雪能力に関わる結果については言及していない。その理由として、今回作製した実験路盤では構成部材であるトラフや御影石などの継ぎ目から温風が漏れており、信頼性のある測定値を得ることができなかったことによる。ちなみに、Run11の場合、A路盤の放熱量は  $1 \text{ m}^2$  当たりおよそ140W程度であった。

#### 4. おわりに

路面温度を均一化する空気式融雪路盤の通風モデルを提案し、市販部材を使って作製した融雪路盤について24時間換気排熱を熱源に想定した検証実験を行った。降雪強度(雨量)が3 mm/hを超える大雪が続く状態でも、最大積雪は2～3 cm程度であり、路面が凍結することもなく、歩行に支障の無い路面を提供できることが確認された。実用化に向けては、融雪ムラの解消が不十分なことから構成部材の開発を視野に路盤構造の最適化を行うとともに、今後は換気設備との連結方法を検討する必要がある。

#### 謝辞

本研究を実施するに際し、(株)ホクスイ設計コンサルの鎌倉氏より、実験装置の製作や除雪作業の面で多大な協力を頂きました。ここに記して感謝致します。

#### 引用文献

- 1) <http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/sickhouse.html>
- 2) 北海道融雪工業会：融雪技術ガイドライン[改訂版], (1998)
- 3) 上村ほか：空気熱媒体融雪システムACCESSのバリエーションと熱設計, 寒地技術論文・報告集 vol.22, pp.481-486, (2006)