

鉛直孔を有する雪塊と空気との熱交換に関する研究\*  
(空気の流量が冷却能力に及ぼす影響)飯嶋和明\*<sup>1</sup>, 媚山政良\*<sup>2</sup>, 王愛栄\*<sup>3</sup>  
花岡裕\*<sup>2</sup>, 川村昌彦\*<sup>4</sup>The Study of Heat Exchange between Air and Snow Block  
with a Vertical Hole  
(The Effect of Air Flow Rate on Heat Exchange Characteristic)Kazuaki IIJIMA\*<sup>5</sup>, Masayoshi KOBIYAMA, Ai-Rong WANG,  
Yutaka HANAOKA and Masahiko KAWAMURA\*<sup>5</sup> Sanki Engineering Co., Ltd., 1742-7 Shimotsuruma Yamato, Kanagawa, 242-0001 Japan

It is very important to use many kinds of natural energy resources to keep environment clean and to reduce the energy consumption. Many simple and skilful methods to utilize the natural energy have to be developed. The authors have been proposing to utilize snow stored till summer as one of the natural cold and clean energy resources. In this study, the authors investigated the characteristics of direct heat exchange between hot air and snow block with a vertical hole. This heat transfer model, so called as the snow cooling system, may be applied to various air-conditioning systems of conventional living room and so on. As the heat transfer process of this model is very complicated because the shape of the snow block changes by the progress of melting, the characteristics of the direct heat exchange were investigated by the experiment with a model of practical scale. The outlet air temperature through the snow hole and snow melting process were measured for various air flow rates at constant inlet air temperature 30°C. Experimental results show that the outlet air temperature from the snow cooling system was almost constant and enough lower to use for the actual air conditioning situations. Heat transfer coefficients on the snow surfaces of top plane, bottom plane and side wall of the snow hole were clear by those experimental results, and the correlative equations between the overall Nusselt number and the Reynolds number are presented for three surfaces mentioned above.

**Key Words:** Natural Cold Energy, Snow, Air-Conditioning, Direct Heat Exchange, Temperature of Cooled Air, Heat Transfer Coefficient

## 1. 緒 言

雪は古くから氷室や雪室として小規模ながら農作物を低温貯蔵するために利用されてきた。この雪を冷熱源としてとらえた場合そのエネルギー量は見過ごすことのできない豊富な量で、しかも日本の場合、毎年得られる貴重なエネルギー資源である<sup>(1)</sup>。このような背景のもと、雪を夏期まで保存する技術<sup>(2)</sup>や、雪から冷熱を取り出す方法が提案され雪冷房の実用化が進んできた<sup>(3)</sup>。すでに大規模な米貯蔵設備、各種農作物の貯蔵庫、あるいは一般の居住環境の冷房にも応用され実用化が始まっている。雪の有効利用の普及のきっかけになった技術は雪と空気とを直接熱交換させる方法で

ある。この方法は貯雪槽に蓄めた雪塊に鉛直な孔をあけ、空気を流すことによって雪と空気との熱交換を直接行うものである。この方法の採用により従来の雪利用で一般的に用いられていた融雪水循環用ポンプや熱交換器が不要となり、構成機器点数が少なく簡単な設備になる。また、メンテナンス費用や運転費も削減できる。さらに、空気が雪表面と直接接触するために、空気中に含まれるアンモニアなどの水に溶けやすい汚染ガスや、じんあいなどが吸着、吸収されて除去される<sup>(4)</sup>。このような雪を用いた冷房は空気清浄効果も併せ持つために、一般家庭などの冷房はもとより、特別養護老人ホームや、病院などの臭いの気になる空間の冷房への応用も期待できる。

雪塊に孔をあけた場合の熱移動については空気を冷却すると同時に雪が溶けてその形が変わるため現象が複雑である。本研究では、一般家庭の冷房に利用できる程度の規模の実験装置を用い、中央に鉛直孔のある雪塊と空気との間の熱交換の特性を調べた。実験条件としては、空気の流量と温度、湿度、雪塊の高さな

\* 原稿受付 1998年10月2日。

<sup>1</sup> 正員, 三機工業(株)技術研究所 (☎242-0001 大和市下鶴間1742-7)。<sup>2</sup> 正員, 室蘭工業大学工学部 (☎050-8585 室蘭市水元町27-1)。<sup>3</sup> 学生員, 室蘭工業大学大学院。<sup>4</sup> 室蘭工業大学大学院。

E-mail: kazuaki\_ijima@eng.sanki.co.jp

どが考えられるが、本報告では空気の流量が冷却能力に及ぼす影響について実験的に検討する。なお、冷却を行う空気の温度については居住空間の冷房を対象にした場合、ほとんどが  $30 \pm 5^\circ\text{C}$  の範囲にあり、また、装置の設計手順として最大冷房負荷時に合せて能力選定を行うことから実用的な温度条件として  $30^\circ\text{C}$  の場合について検討した。なお、雪塊の高さなどの影響については今後順次検討し報告する予定である。

## 2. 記号

$A$ : 雪塊の表面積  $\text{m}^2$

$c_{pa}$ : 空気の定圧比熱  $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

$d$ : 雪塊の孔の平均直径  $\text{m}$

$H$ : 雪塊の高さ  $\text{m}$

$\Delta H$ : 雪塊の高さの変化  $\text{m}/\text{h}$

$h$ : 熱伝達率  $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

$L$ : 雪の融解熱  $\text{J}/\text{kg}$

$l$ : 貯雪槽の一辺の長さ  $\text{m}$

$Nu_{hol}$ : 雪塊の孔内の平均ヌッセルト数  $\equiv h \cdot d / \lambda$

$Nu_{top}$ : 雪塊の上面の平均ヌッセルト数  
 $\equiv h_{top} \cdot l_{top} / \lambda$

$Nu_{bot}$ : 雪塊の下面の平均ヌッセルト数  
 $\equiv h_{bot} \cdot l_{bot} / \lambda$

$Q$ : 熱移動量  $\text{W}$

$q$ : 熱流束  $\text{W}/\text{m}^2$

$Re_{hol}$ : 雪塊の孔内のレイノルズ数  $\equiv u_{hol} \cdot d / \nu$

$Re_{top}$ : 雪塊の上下のレイノルズ数  $\equiv u_{top} \cdot l_{top} / \nu$

$Re_{bot}$ : 雪塊の下面のレイノルズ数  $\equiv u_{bot} \cdot l_{bot} / \nu$

$r$ : 雪塊の孔の半径  $\text{m}$

$T$ : 温度  $^\circ\text{C}$

$\Delta T$ : 対数平均温度差 [式(10)]  $^\circ\text{C}$

$t$ : 実験開始からの経過時間  $\text{h}$

$u_{hol}$ : 雪塊の孔通過時の空気の平均速度  $\text{m}/\text{s}$

$u_{top}$ : 貯雪槽上部空塔速度  $\text{m}/\text{s}$

$u_{bot}$ : 貯雪槽下部空塔速度  $\text{m}/\text{s}$

$V$ : 空気の流量  $\text{m}^3/\text{s}$

$Z$ : 残雪率 (雪の容積の初期容積との比)

$\rho_a$ : 空気の密度  $\text{kg}/\text{m}^3$

$\rho_s$ : 雪の密度  $\text{kg}/\text{m}^3$

$\lambda$ : 空気の熱伝導率  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

$\nu$ : 空気の動粘性係数  $\text{m}^2/\text{s}$

添字

in: 入口

out: 出口

bot: 雪塊の下面

hol: 雪塊の孔面

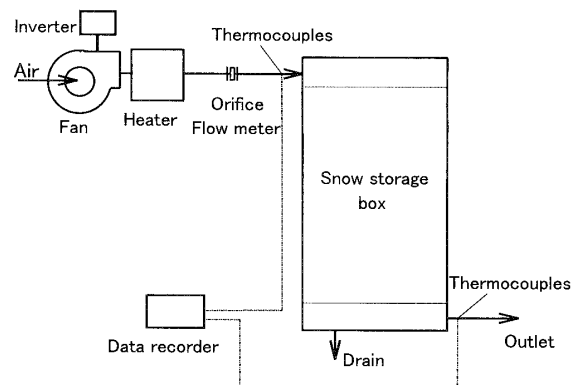
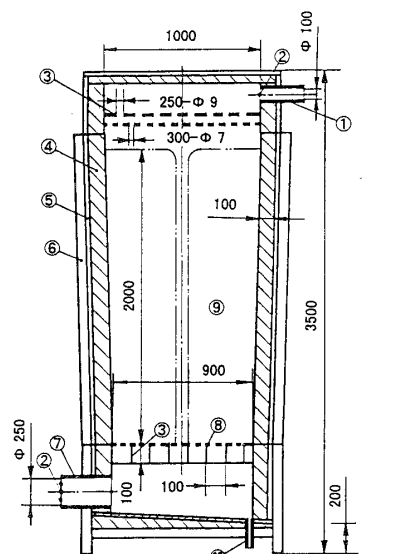


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus



All dimensions are in mm.

- |                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| ① Air inlet port              | ⑥ Metal flame     |
| ② Thermocouples               | ⑦ Air outlet port |
| ③ Distributing plates         | ⑧ Expanded metal  |
| ④ Thermal insulation material | ⑨ Snow            |
| ⑤ Plywood                     | ⑩ Drain port      |

Fig. 2 Section of snow storage box

top: 雪塊の上面

## 3. 実験装置および方法

**3.1 実験装置** 実験装置の構成を図1に示す。インバータ付き送風機を用いて空気を設定流量で貯雪槽内に送り込む。流量はオリフィス流量計で測定する。空気の温度はヒータを用いて夏の冷房時を想定して  $30^\circ\text{C}$  に調整する。また、露点温度  $0^\circ\text{C}$  以下の空気を用いることによって湿度の影響のない条件とした。空気は貯雪槽の上部から供給し、下部から流出させる。貯雪槽の入口と出口に取付けた温度計により空気の温度を測定し、冷却能力を算出する。雪解け水は装置下部に設けたドレン管から流出させる。

貯雪槽の断面図を図2に示す。貯雪部は、上部が一

辺1000 mm, 下部が一辺900 mmの正方形の断面をもち, 高さ2000 mmまで雪を詰めることができる。貯雪槽の壁面は厚さ100 mmのポリスチレンフォーム(B類2種)で断熱した。貯雪槽の空気入口は内径100 mmの丸ダクトとし, 槽上部には整流板を2枚設けて流速分布を整えている。槽下部にはエキスパンドメタルを設け, 雪解け水を雪と分離して装置下部から排出させるとともに, 空気の流路を確保している。

**3・2 実験方法** 雪の重量を計量した後, 貯雪槽に投入し, 十分踏み固めて密度が均一になるようにする。雪の中央上部から水を流すことによって空気を通すための孔をあける。孔の直径は実験開始前で約50 mmになるように調整する。空気を所定の流量, 温度で流し, 貯雪槽の入口と出口の温度を測定することによって冷却能力を調べる。また, 定期的に上部を開放し, 雪塊の形状を測定する。

**3・2・1 主実験** 主実験では空気流量をパラメータとして実験を行い, 冷却能力に及ぼす影響を調べる。このため, 空気流量一定の条件(0.0300 m<sup>3</sup>/s)で運転を行い, ほぼ12 h経過ごとに流量を0.0085, 0.0170, 0.0255, 0.0340 m<sup>3</sup>/sに変化させ, それぞれの流量における諸量の測定を行う。なお, 流量変更後, 出口温度が十分安定するまで待って各測定を行うが, 一連の測定に要する時間は約1 hであり, 雪塊の形状はこの測定期間中ほとんど変化しなかった。

**3・2・2 補助実験** 上下面での熱移動量を求めるために空気流量一定の下で実験を行う。雪塊の内部の高さ変化を測定するために, 雪塊の下面から0.5 mの高さごとに, 2本のひもを雪塊の中に水平に, 孔の中心を通るように十文字に埋め込む。孔の直径は孔の入口, 出口および, 孔の内部のひもを埋め込んだ高さ3箇所を加え合計5箇所測定する。この測定値から平均直径を算出する。空気の流量は0.0085, 0.0170, 0.0255, 0.0340 m<sup>3</sup>/sの4条件とする。

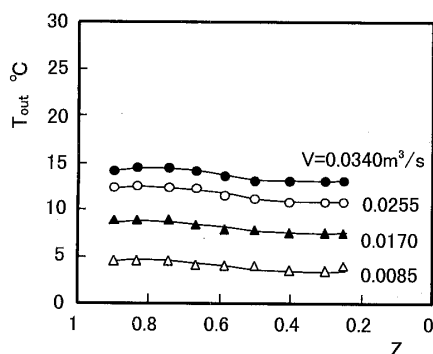


Fig. 3 Outlet air temperature

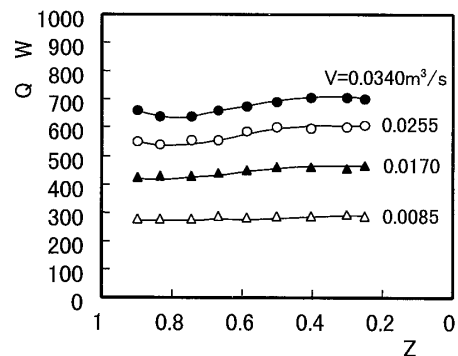


Fig. 4 Total heat exchange rate

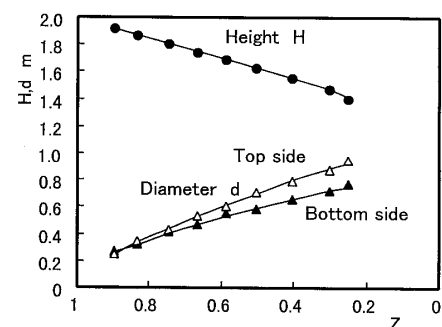


Fig. 5 Height and diameter of snow block

## 4. 結果および考察

### 4・1 全般的な特性

**4・1・1 出口温度** 貯雪槽出口の空気温度の測定結果を図3に示す。図3中横軸は雪の初期体積に対する残っている雪の体積の割合で, 残雪率として表現した。なお, この実験での雪密度は650 kg/m<sup>3</sup>であった。いずれの流量においても残雪率が0.9から0.25の間は出口温度が安定していることがわかる。空気の流量が0.0085 m<sup>3</sup>/sと少ない場合には出口空気温度は約5°Cと低く, 流量が0.0340 m<sup>3</sup>/sと多い場合には約15°Cと高くなる。空気温度を30°Cから15°C以下まで冷却できていることから本実験の範囲は十分実用的な範囲にあると考えられる。

**4・1・2 熱移動量** 貯雪槽の入口と出口の空気温度差と流量から式(1)を用いて求めた熱移動量を図4に示す。

$$Q = V \cdot \rho_a \cdot c_{pa} (T_{in} - T_{out}) \dots\dots\dots (1)$$

熱移動量は出口空気温度が安定していることから雪の量が増加しても同様に安定している。また, 空気の流量の増加に従って熱移動量も多くなる。このことから, 貯雪槽に流す空気を出口にバイパスさせるなどして, 貯雪槽に流れる空気流量を調節することによって, 容易に熱移動量の調整を行えることがわかる。

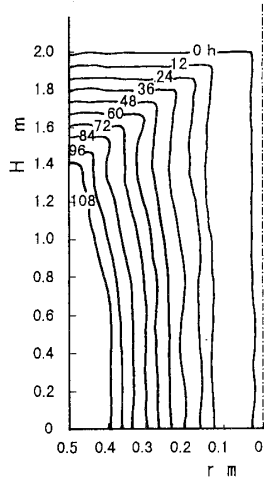


Fig. 6 Shape of snow block

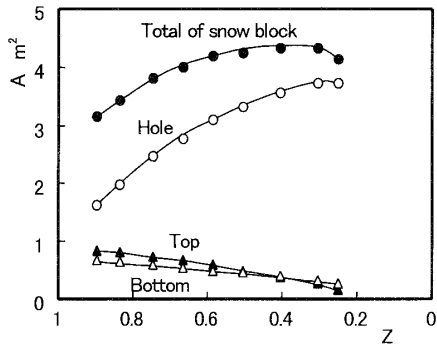


Fig. 7 Surface area of snow block

4・1・3 雪塊の形状変化 雪塊の形状変化を図5に示す。図5には雪塊の上面の孔の直径と、下面の孔の直径および雪塊の高さを示した。孔の直径は残雪率の減少に伴って徐々に大きくなり、残雪率が0.25になると上面の孔の径は0.9 mまで広がる。孔の一部が装置の壁面に達したので実験を終了した。このとき雪塊の高さは1.4 mまで低くなる。本実験範囲では、雪塊は解ける以外に崩れ落ちるなどして形状が変化することはなかった。

雪塊の形状変化を図6に示す。雪塊の上部はほぼ平らなまま高さが低くなり、直径は多少上部が下部よりも大きくなるのが速いが、ほぼ円筒形とみなせる。このような形状変化から、雪表面における熱移動を、雪塊の上面と下面および孔内面に分けて整理する。

雪塊の各部分の表面積を図7に示す。なお、孔内の表面積は孔の平均直径、平均高さを用いて平滑な円筒として算出した。雪塊の上下の表面積は孔の直径の拡大につれて約0.9 m<sup>2</sup>から0.2 m<sup>2</sup>まで小さくなる。孔内の表面積は逆に1.5 m<sup>2</sup>から3.5 m<sup>2</sup>まで広がる。合計の表面積は約3 m<sup>2</sup>から4 m<sup>2</sup>まで上に凸のなだらかな曲線を描いて増加し、残雪率が0.3以下になると

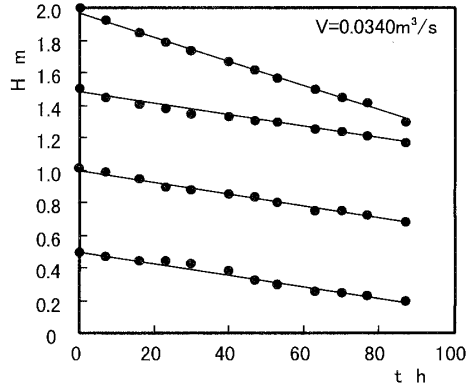


Fig. 8 Height of snow block

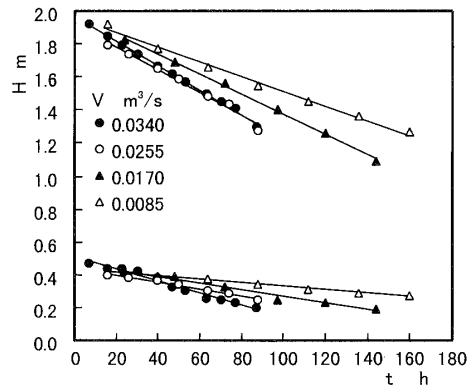


Fig. 9 Effect of air flow rate on change of the snow height

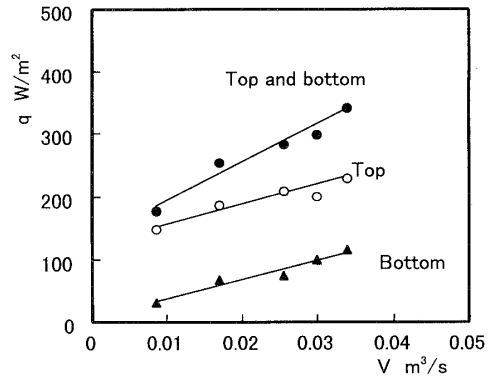


Fig. 10 The Effect of air flow rate on heat flux on top and bottom surface of snow

減少する。このことから、残雪率の減少に伴って孔内の表面積が全体に占める割合が大きくなり、孔内面における熱移動が支配的になると考えられる。

4・2 上下面の熱移動

4・2・1 熱移動量 雪塊の上面と下面の熱移動量を求めるために、補助実験による雪の高さ変化から式(2)を用いて熱流束を求める。

$$q = -\Delta H \cdot \rho_s \cdot L / 3600 \dots \dots \dots (2)$$

雪塊の高さの測定結果の一例を図8に示す。雪の密度は513 kg/m<sup>3</sup>、入口空気温度は30°C、空気流量は

0.0340 m<sup>3</sup>/s の場合である。図 8 から、雪塊の高さは時間の経過とともに直線的に減少することがわかる。また、初期高さ 1.5 m と 1.0 m との間隔および 1.0 m と 0.5 m との間隔は時間の経過に対して変化せずつねに初期の間隔 0.5 m を保っていることから、雪の自重による密度変化がほとんどないことが確認できる。雪の密度変化がないことから、雪塊の上面の高さ変化は雪の上面と下面における熱移動に伴う変化の和であり、初期高さ 0.5 m の高さ変化は雪塊の下面の熱移動に伴う変化と考えられる。

各流量における初期高さ 2.0 m と 0.5 m の高さの変化を図 9 に示す。いずれの流量条件においても高さは直線的に変化している。このことから上面と下面の熱流束に及ぼす孔の径の大きさの影響は小さいと考えられる。この直線の傾きから求めた 1 h 当たりの高さ変化量と、雪の密度を式(2)に代入して、雪塊の上下面の熱流束を算出し、その結果を表 1 と図 10 に示す。図 10、表 1 中には主実験の結果も併記してある。なお、上面の熱流束  $q_{top}$  の計算に用いた式(2)の  $\Delta H_{top}$  は、初期高さ 2.0 m での高さの変化量と 0.5 m での変化量との差から算出した。また、下面における  $\Delta H_{bot}$  は初期高さ 0.5 m での変化量から、おもにエキスバンドメタルを通し、外部から貯雪槽への侵入熱の影響として 0.0008 m/h を差引いて算出した。図 11、表 1 より上面と下面の熱流束は流量の増加に比例して大きくなることわかる。この空気流量と熱流束との関係を用いて、主実験における各流量条件の上下面の

Table 1 Heat flux on top and bottom surface of snow block

$V$ m <sup>3</sup> /s	$\rho_s$ kg/m <sup>3</sup>	$\Delta H_{top}$ m/h	$q_{top}$ w/m <sup>2</sup>	$\Delta H_{bot}$ m/h	$q_{bot}$ w/m <sup>2</sup>
0.0340	513	0.0047	230	0.0024	115
0.0300	630	0.0034	200	0.0017	100
0.0255	466	0.0048	208	0.0017	74
0.0170	490	0.0041	187	0.0015	68
0.0085	470	0.0033	144	0.0007	31

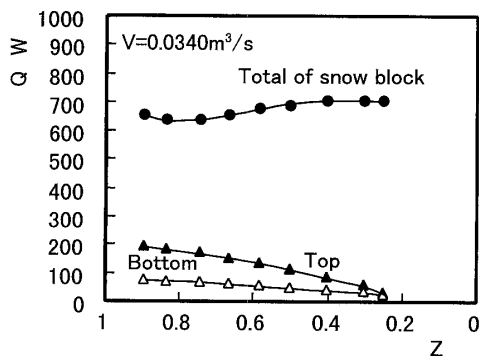


Fig. 11 Heat exchange rate on top and bottom of snow block

熱移動量を算出した。その結果の一例を図 11 に示す。上面と下面の熱移動量は残雪率の減少に伴って減少する。

4・2・2 熱伝達率 補助実験の結果をもとに 4・2・1 項で検討した上下面の熱流束と流量の関係から、主実験についての上下面の熱伝達率  $h_{top}$ ,  $h_{bot}$  を式(3), (5)を用いて算出する。ただし、式中の  $T'_{in}$ ,  $T'_{out}$  は、上下面の熱移動量をもとに補正した雪塊の孔の出入口の平均温度である。なお、雪表面は 0°C とする。結果を図 12, 13 に示す。

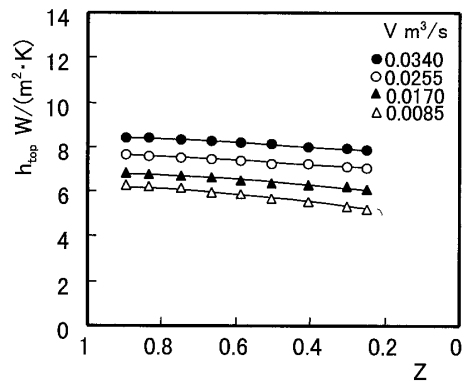


Fig. 12 Heat transfer coefficient on top of snow block

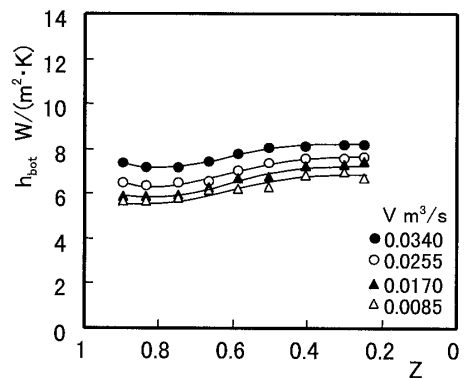


Fig. 13 Heat transfer coefficient on bottom of snow block

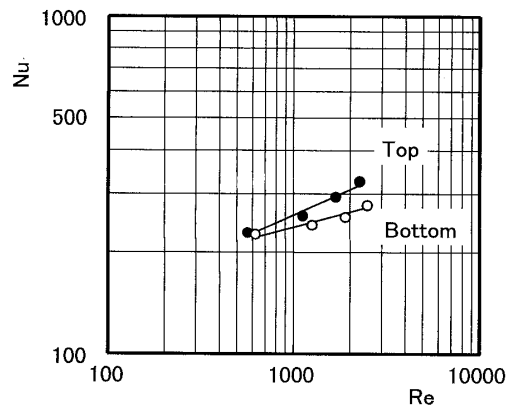


Fig. 14  $Re$  and  $Nu$  of top and bottom of snow block

$$h_{top} = q_{top} / [(T_{in} + T'_{in}) / 2] \dots\dots\dots (3)$$

$$T'_{in} = T_{in} - (q_{top} \cdot A_{top}) / (V \cdot \rho_a \cdot c_{pa}) \dots\dots\dots (4)$$

$$h_{bot} = q_{bot} / [(T_{out} + T'_{out}) / 2] \dots\dots\dots (5)$$

$$T'_{out} = T_{out} + (q_{bot} \cdot A_{bot}) / (V \cdot \rho_a \cdot c_{pa}) \dots\dots\dots (6)$$

上下面の熱伝達率は残雪率の影響をあまり受けない。また、流量の増加に伴って熱伝達率は大きくなる。ここで、 $Nu$  数と  $Re$  数との関係について調べる。平均  $Nu$  数と  $Re$  数との関係を図 14 に示す。上下面の  $Nu$  数は  $Re$  数の増加に伴って大きくなる。その関係を式(7)、(8)に示す。

$$Nu_{top} = 47 Re_{top}^{0.25} \dots\dots\dots (7)$$

$$Nu_{bot} = 92 Re_{bot}^{0.14} \dots\dots\dots (8)$$

4.3 孔面の熱移動

4.3.1 熱移動量 孔面の熱移動量は図 4 に示した合計の熱移動量から上下面の熱移動量を差引くことによって算出する。熱移動量の算出結果の一例として空気の流量が  $0.0340 \text{ m}^3/\text{s}$  の場合を図 15 に示す。残雪率の減少に伴って孔面の熱移動量は増加する。このことはおもに図 7 に示したように、残雪率の減少に伴って孔面の表面積が大きくなるためと考えられる。

4.3.2 熱伝達率 孔面の熱伝達率  $h_{hol}$  を式(9)を用いて算出する。式(9)の熱移動量  $Q_{hol}$  と表面積  $A_{hol}$  は孔面での値である。また、温度差  $\Delta T$  は伝熱面としての雪の表面温度が  $0^\circ\text{C}$  であると考えて式(10)を用いて算出する。

用いて算出する。

$$h_{hol} = Q_{hol} / (A_{hol} \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta T = (T'_{in} - T'_{out}) / \ln(T'_{in} / T'_{out}) \dots\dots\dots (10)$$

孔面の熱伝達率  $h_{hol}$  の計算結果を図 16 に示す。熱伝達率は初期に大きな値を示し、残雪率の減少に伴って小さくなる。孔の径は残雪率の減少に伴い拡大することから、孔内の空気の平均流速は小さくなり孔内部は徐々に乱れの少ない流れの状態になる。このことにより熱伝達率が小さくなると考えられる。残雪率が  $0.7$  よりも小さくなると残雪率の影響をあまり受けなくなる。なお、空気の流量が多い場合のほうが熱伝達率は大きな値を示す。

雪塊の孔内の  $Nu_{hol}$  数と  $Re_{hol}$  数の関係を図 17 に示す。 $Re$  数は  $10^3$  から  $10^4$  の間にあり、 $Nu$  数は  $60$  から  $300$  の間にある。なお、図 17 において雪塊の形状として孔の長さに対応する雪塊の高さ  $H$  と孔の直径  $d$  との比を示した。図 17 に示した直線は式(11)で示す十分発達した平滑な円管内の流れに対する Kays による値である<sup>(5)</sup>。本実験結果の  $Nu$  数はこの式の与える値よりも大きな値になっている。雪塊の孔面の熱伝達が助走区間内にあると考えると式(12)を用いて式(11)を補正することができる<sup>(6)</sup>。本実験結果では、この式(12)中の定数  $C$  は  $H/d$  が  $7.1$  の場合  $20$  から  $35$  となり、 $H/d$  が  $1.6$  と小さい場合  $36$  から  $38$  となる。一方、式(12)で用いられる定数  $C$  は一般に入口が直角の切り口の場合約  $3$  で、入口にオリフィスがある場合には  $7$  から  $16$  である<sup>(6)</sup>。本実験結果と式(11)とでは傾きも異なることから厳密に両者を比較できないが、両者を比較すると本実験結果で得られた  $Nu$  数は助走区間と考えても大きな値となっている。これは、雪表面に溶ける過程でできた大きな凸凹と雪氷の粒が集まってできた小さな凸凹があり、熱伝達に影響を及ぼしているものと考えられるためである。

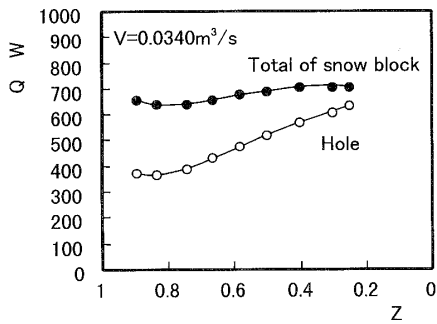


Fig. 15 Heat exchange rate on hole of snow block

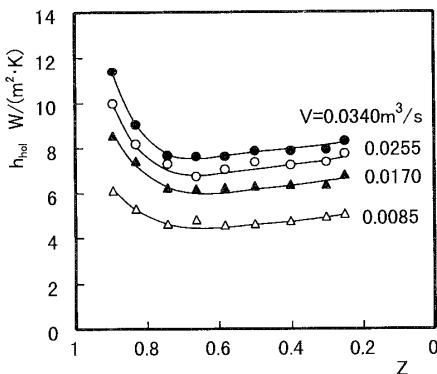


Fig. 16 Heat transfer coefficient on hole of snow block

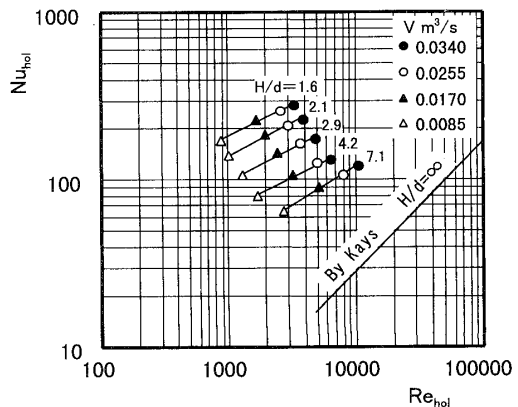


Fig. 17  $Re$  and  $Nu$  on hole of snow block

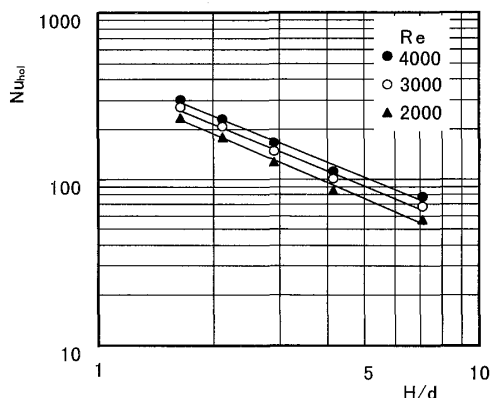


Fig. 18  $H/d$  and  $Nu$  on hole of snow block

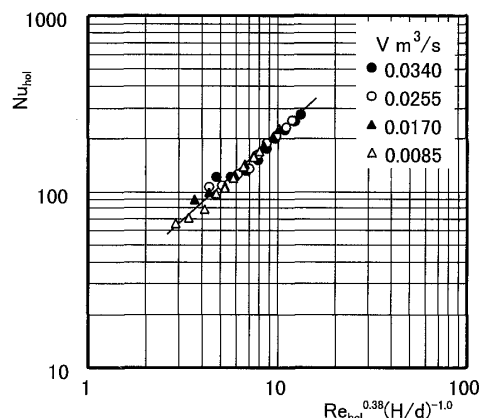


Fig. 19  $Re^{0.38}(H/d)^{-1.0}$  and  $Nu$  on hole of snow block

$$Nu = 0.022 Re^{0.8} Pr^{0.5} \dots\dots\dots (11)$$

$$Nu' = Nu [1 + C/(H/d)] \dots\dots\dots (12)$$

図 17 における  $Nu_{hol}$  数と  $Re_{hol}$  数との関係を整理する。両者の傾きは  $H/d$  が小さくなると多少小さくなるが平均して 0.38 であった。したがって  $Nu_{hol}$  数は  $Re_{hol}$  数の 0.38 乗に比例することがわかる。次に、 $Nu_{hol}$  数と  $H/d$  との関係を調べるために、図 17 に示した近似線から  $Re_{hol}$  数が 2 000, 3 000, 4 000 の場合について各  $H/d$  の値に対する  $Nu_{hol}$  数を読み取りその結果を図 18 に示す。 $Re_{hol}$  数が等しい場合の  $Nu_{hol}$  数と  $H/d$  とは直線で近似できその傾きは  $-1.0$  になる。したがって  $Nu_{hol}$  数は  $H/d$  の  $-1.0$  乗に比例する。これらのことから  $Nu_{hol}$  数は  $Re^{0.38}(H/d)^{-1.0}$  に比例する。この関係を図 19 に示す。実験データはほぼ 1 本の線上に集まっており実験結果を良好に近似する実験式が得られた。実験式を式(13)に示す。

$$Nu_{hol} = 21 Re_{hol}^{0.38} (H/d)^{-1.0} \dots\dots\dots (13)$$

### 5. 結 言

雪の冷熱利用を目的として、雪塊に鉛直な孔をあけて空気を流すことによる冷却効果について、本報告では空気の入口温度を 30°C 一定とし、流量をパラメータとして実験を行い、冷却能力を調べることが明らかになった。

(1) 雪塊により冷却される空気の温度は雪の量が初期の 2 割になるまでほぼ安定し一定である。

(2) 空気流量を調節することによって冷却能力が調整できる。

(3) 雪塊の伝熱面を、上下面と孔面とに分けて調べたところ、本実験範囲内においては上下面の熱流束は孔径の影響を受けることが少ない。

(4) 孔内面の熱伝達率は孔径が小さい場合に大きな値となり、孔径が大きくなるにつれて小さい値となるが、残雪量が初期の 0.7 以下になるとほぼ一定の値になる。

(5) 雪塊の上下面と孔面の熱伝達率を与える次の実験式が得られた。

$$Nu_{top} = 47 Re_{top}^{0.25}$$

$$Nu_{bot} = 92 Re_{bot}^{0.14}$$

$$Nu_{hol} = 21 Re_{hol}^{0.38} (H/d)^{-1.0}$$

ただし、適応範囲は  $600 < Re_{top} < 2\,500$ ,  $600 < Re_{bot} < 2\,500$ ,  $10^3 < Re_{hol} < 10^4$ ,  $1.6 < H/d < 7.1$  である。

今後、入口温度、雪塊の初期高さなどの影響については順次検討し報告する予定である。

### 文 献

- (1) 媚山政良, 第 8 回寒地技術シンポジウム講演集, (1992), 35-42.
- (2) 媚山政良・ほか 4 名, 機論, 55-517, B(1989), 2886-2890.
- (3) 媚山政良・ほか 5 名, 第 9 回寒地技術シンポジウム講演集, (1993), 64-67.
- (4) 飯嶋和明・ほか 4 名, 機論, 63-614, B(1997), 3390-3395.
- (5) 日本機械学会, 伝熱工学資料, 改訂第 4 版, (1986), 56-57, 丸善.