

# 空気膜構造棟に関する実験・研究 (その3)

——大型模型による融雪実験——

宮川 保之 真藤 利孝

## Experimental Studies on an Existing Air Supported Structure (Part 3)

——Experiments on Melting Snow Using Large Scale Model——

Yasuyuki Miyakawa Toshitaka Shindo

### Abstract

When the hot air supply system for melting snow on the roof of a membrane structure is operated, snow lying in depressed parts of the roof tends to remain to the end. Therefore, the heat supplied to the inflated area of the roof is transferred to the outside wastefully. Model experiments on melting snow were conducted this time assuming a membrane structure closer to actual. Furthermore, based on the heat efficiencies of snow melting obtained from the experiments, a simulation program for estimating heat amounts for melting snow was proposed and a case study shown.

### 概 要

膜構造物の屋根に積もった雪を内側から温風で融雪する場合には谷部分の雪が最後まで残る傾向にある。このため膜面に供給した熱の一部は雪のない山部分から無駄に外部に流出することになる。そこで今回はより実際に近い膜構造物を想定し融雪に関する模型実験を行なった。さらに実験からもとまった融雪システムの熱効率を基にして融雪に必要な熱量を算定するシミュレーションプログラムを作成するとともに計算例を示した。

### 1. はじめに

大規模空気膜構造物のように多数の曲面で構成される大空間屋根においては冬季の融雪が大きな問題となっている。膜構造物に用いられるテフロン膜が水平に張られた屋根面の融雪実験はすでに2年前に行ない、融雪に必要な熱量を理論、実験から検討した。

今回はより実際に近い大規模空気膜構造物を想定し、山と谷が存在する曲面形状のテフロン膜屋根の融雪実験を行なった。一般に膜構造の屋根面では山部分の雪が直ちに融けるのに対して谷部分の雪が最後まで残る傾向にある。山部分の雪が消失しても谷部分に許容以上の積雪がある場合には融雪システムの運転を継続しなければならない。このような場合には融雪のために膜面に供給された熱が雪のない山部分から無駄に外部に流出することになる。

今回の実験ではこのような実際の建物における融雪システムの熱効率を算定するとともに各種の積雪モードに対する融雪状況を検討し、融雪ランニングコスト算定のための基礎データを得た。またこれらの資料を基に融雪シミュレーションプログラムを作成し、札幌におけるケーススタディを行なった。

### 2. 実験装置

#### 2.1. 融雪模型

融雪模型は、200 m 級の大規模空気膜構造物（ケーブルピッチ 8 m, ライズ比1/10 と仮定）を対象とし、その一部分を取り出し、縮尺 1/4 で模型化した。模型膜面の山部分のピッチは 2 m, 山部分と谷部分の高低差は最大 200 mm である。模型は、短辺方向の中央部に谷部分、端部に山部分となる形状とした。膜材は、テフロン膜とし、模型内部を加圧し、実際の屋根形状に近似させ

た（写真一1，図一1）。

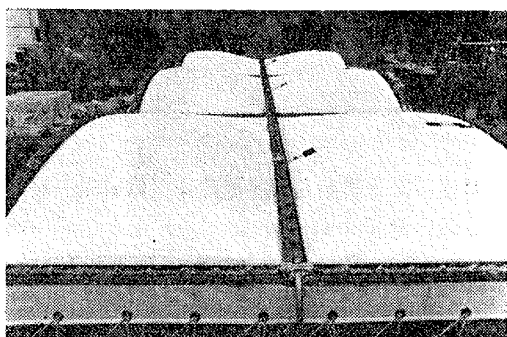
## 2.2. 融雪装置

融雪は，温風融雪方式とし，二重膜を想定した天井裏空間に温風を循環させる方式とした。温風の風量制御は，循環ファンの台数制御により，また，温度制御はヒーターの出力制御により行なった。なお，谷部分には，温床線ヒーターを設置し，温風融雪と併用できるようにした。

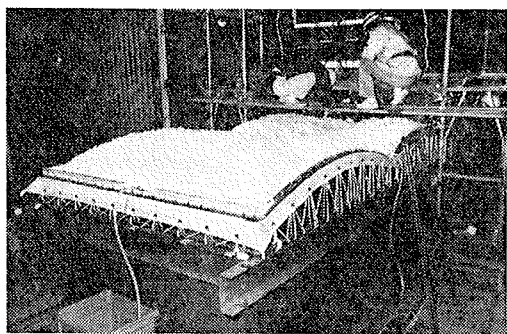
## 3. 実験方法

### 3.1. 積雪の表現

屋根面への積雪の再現方法は比較的低温で製氷された



写真一1 模型屋根外観（加压状態）



写真一2 融雪実験状況

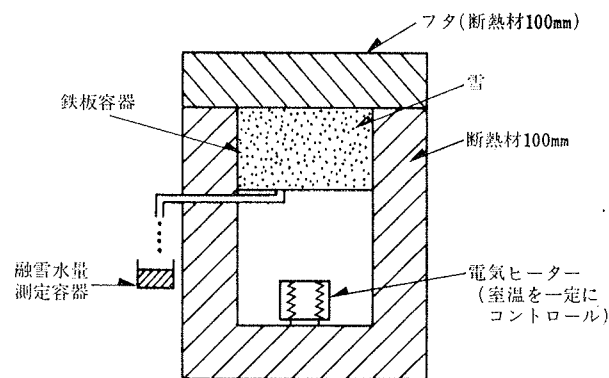
氷をカキ氷器で綿状に細かくけずり膜面に積雪させる方法を採用した。この方法による綿状の雪氷と実際の雪とでは当然のことながら結晶構造は異なる。そこで実験に先立ち両者の融雪性状の比較を行なった。

比較試験は図一2に示す模型箱の膜面に雪を積もらせ融雪水量の時間的変動を測定した。模型箱内は電気ヒーターをコントロールすることにより内外温度差を一定に保つようにした。カキ氷器による雪の実験は東京都清瀬市で行ない，実際の降雪雪の実験は新潟県赤倉において行なった。両者の雪密度をほぼ等しくして実験を行なったところ融雪状況は図一3に示すようにほぼ同じような結果となった。このことから結晶構造が異なるカキ氷器による雪を用いて実験を行なってもほぼ正確な実験が行なえるものと判断した。

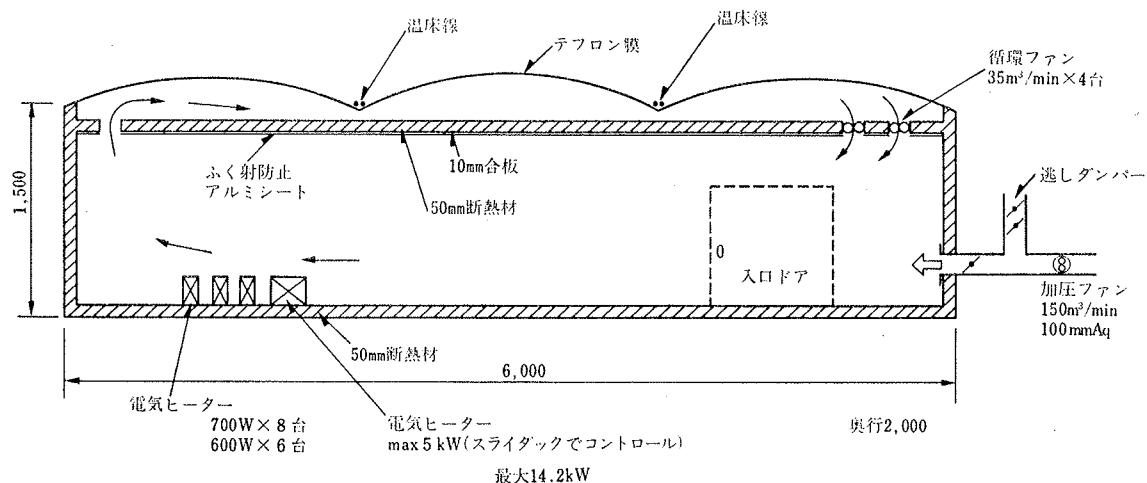
### 3.2. 実験項目

実験項目は次のとおりである。

- ・ 各種の条件下での融雪状況の詳細な検討
- ・       〃               有効熱量比の算定
- ・ 温床線併用（谷部分のみ）の温風融雪システムの熱



図一2 融雪予備実験用模型箱



図一1 融雪実験模型（縮率1/4，部分模型）

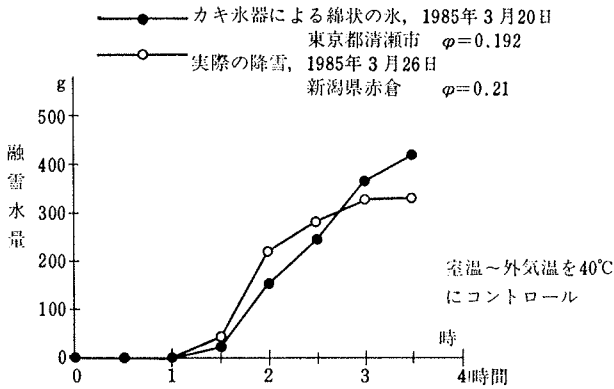


図-3 融雪予備実験結果 (カキ氷器による雪と実際の降雪雪の融雪状況)

効率

ここでいう有効熱量比とは図-4 に示すように融雪システムの運転開始から停止までの時間帯における融雪に有効に利用された熱量の比率をいう。

$$\text{有効熱量比 } \eta = \frac{\text{融雪に有効に利用された熱量}}{\text{膜面に供給された全熱量}} \dots\dots\dots(1)$$

実験は積雪モード、温風風速、温風温度を変えて行なった。実験ケースを表-1 に示す。

4. 実験結果

4.1. 温風による膜面への供給熱量

膜面全面に温風を吹出した場合の膜面への伝達熱量の結果を図-5 に示す。図-5 より温風より膜面への対流

ケース①	膜面下部風速 4.1m/s	吹出し温度(外気温基準)20℃	積雪モード A
ケース②	膜面下部風速 1.9m/s	吹出し温度(外気温基準)40℃	A
ケース③	膜面下部風速 1.9m/s	吹出し温度(外気温基準)60℃	A
ケース④	膜面下部風速 4.1m/s	吹出し温度(外気温基準)40℃	A
ケース⑤	膜面下部風速 1.9m/s	吹出し温度(外気温基準)20℃	A
ケース⑥	膜面下部風速 1.9m/s	吹出し温度(外気温基準)30℃	A
ケース⑦*	膜面下部風速 1.9m/s	吹出し温度(外気温基準)30℃	B
ケース⑧	膜面下部風速 1.9m/s 温床線も使用 32W/m	吹出し温度(外気温基準)30℃	C
ケース⑨	膜面下部風速 1.9m/s 温床線も使用 75W/m	吹出し温度(外気温基準)30℃	A
ケース⑩	膜面下部風速 1.9m/s 温床線も使用 113W/m	吹出し温度(外気温基準)25℃	C

\*ケース⑦のみ実際の降雪

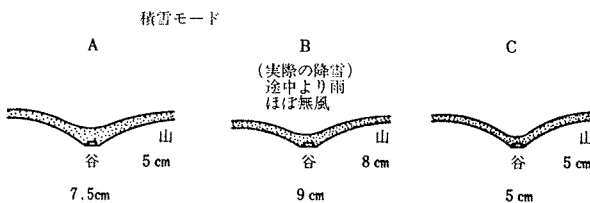


表-1 融雪実験ケース

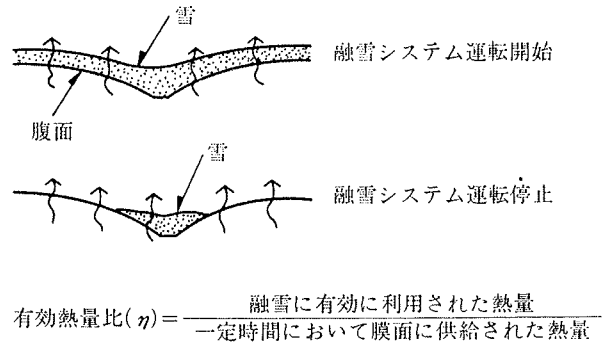


図-4 有効熱量比の定義

熱伝達率  $\alpha_{ev}$  は次のようになる。

$$\alpha_{ev} = 6.2v^{1.138} \dots\dots\dots(2)$$

ここに

- $\alpha_{ev}$ : 温風による膜面对流熱伝達率 (kcal/m<sup>2</sup>·h·°C)
- v: 温風風速 (m/s)

(2)式による  $\alpha_{ev}$  は一般に知られている値よりも大き目である。この理由としては凹凸のある二重空間中を風が通過するため乱れが大きくなるためと考えられる。

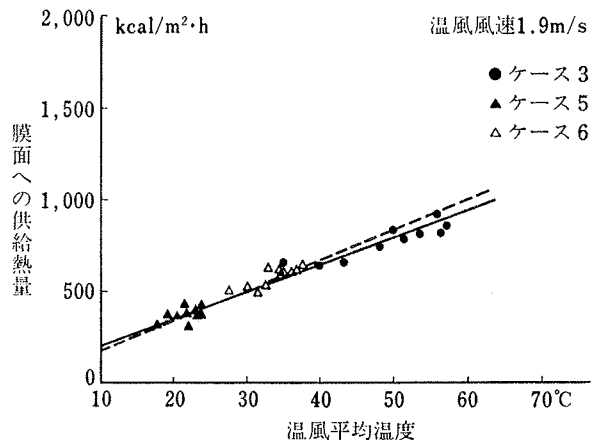
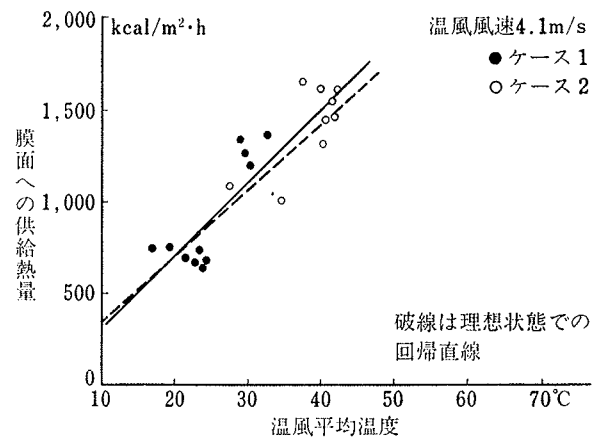


図-5 温風吹出しによる膜面への伝達熱量の実験結果

### 4.2. 融雪実験結果

膜面への供給熱量, 流出水量, 有効熱量比( $\eta$ )の実験結果の一部を図-6に示す。吹出し温度が低い程, また吹出し速度が小さいほど $\eta$ は大きな値になる傾向にあるがほぼ60~70%程度であった。また温床線を併用した場合には谷部分の雪がそれほど長く残らないため,  $\eta$ は多少, 大き目となった。

### 4.3. 融雪状況の時間的変動

膜面における融雪状況の時間的変化の一部を図-7に示す。温風温度が異なっても残雪のパターンはほぼ同じであった。また温床線を併用すると谷部分の融雪はすみやかに行なわれるが部分的に雪がトンネル状に融け, それ以上は融雪が進行しないことがあるので注意が必要である。

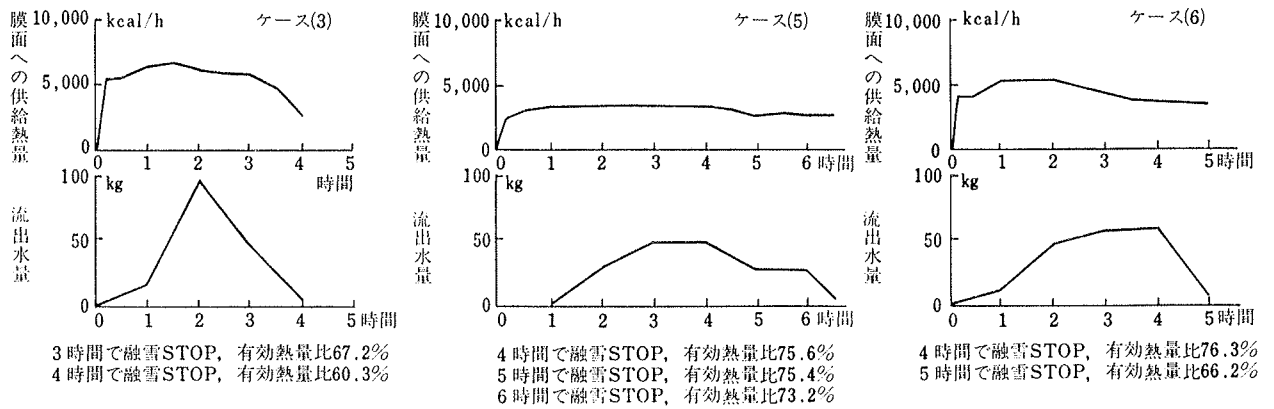


図-6 有効熱量比の実験結果

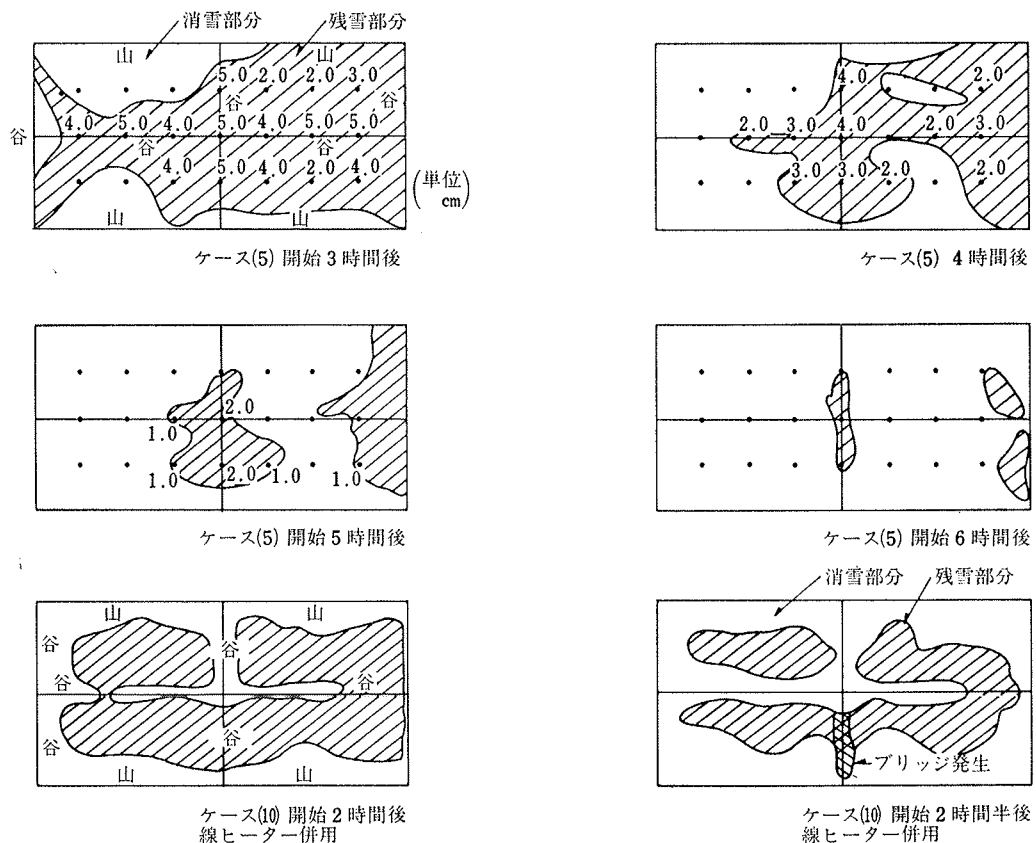
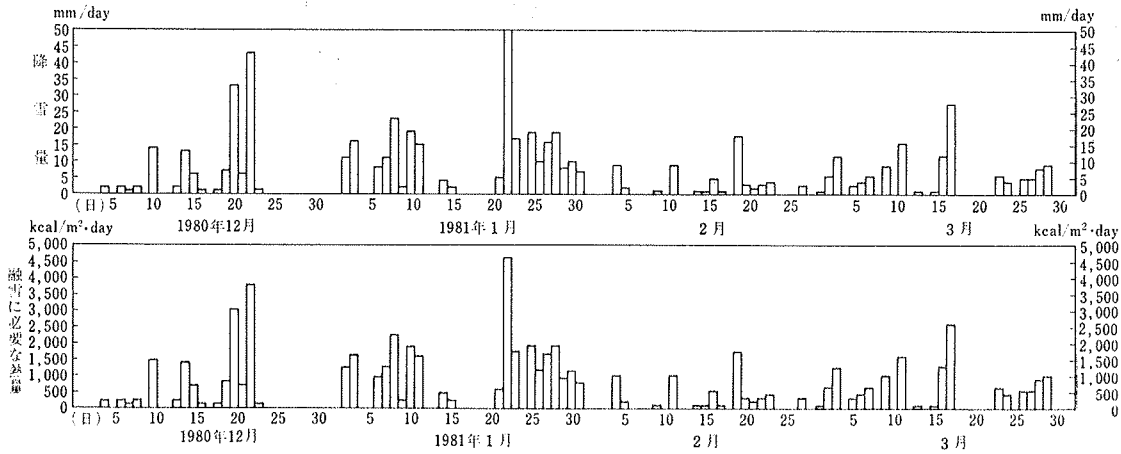
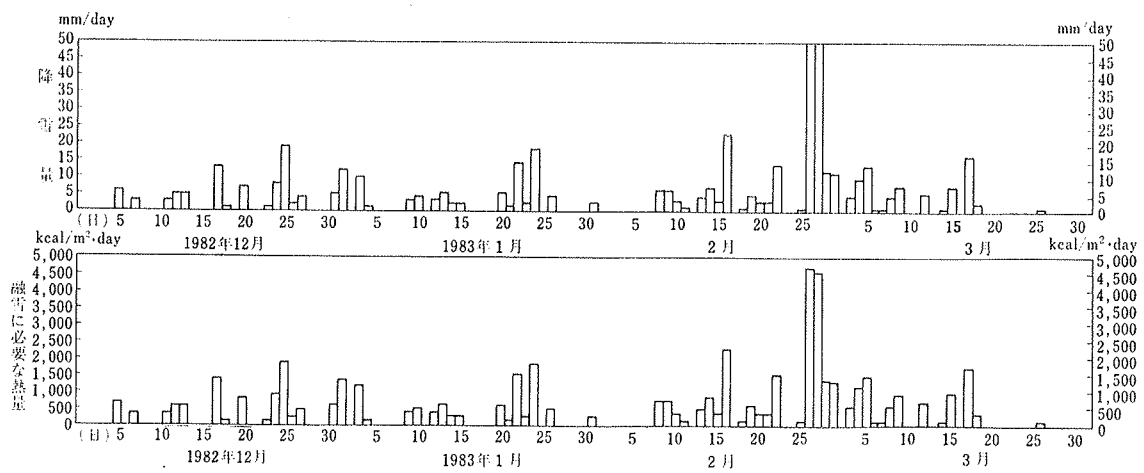


図-7 屋根面の融雪状況



図一8 融雪に必要な熱量のシミュレーション結果 (札幌, 1980~1981, 多雪年)



図一9 融雪に必要な熱量のシミュレーション結果 (札幌, 1982~1983, 平均的な積雪年)

5. 融雪に必要な熱量のシミュレーション

前報<sup>1)</sup>で示した融雪に必要な熱量計算式と今回の実験から得られた有効熱量比を組み合わせて 200 m クラスの大規模膜構造物の融雪に必要な熱量のシミュレーションプログラムを作成した。ケーススタディとして札幌市に建つ大規模膜構造物を想定し、実際の気象データを用いてシミュレーションを行なった。気象データとしては多雪年と平均的な積雪年との2種類を選定した。結果を図一8, 図一9に示す。

6. おわりに

今回の実験を通してより実際に近い屋根形状を考えた場合の融雪に必要な熱量の予測が可能となった。しかしながら、屋根の傾斜によっては日射あるいはわずかの供給熱により部分的に落雪する可能性がある。自然に落雪すれば融雪に必要な熱量はその分だけ節約できる。今後はこの落雪現象を検討することによりさらに精度の良い融雪シミュレーションを行なっていく予定である。

参考文献

1) 宮川: 空気膜構造物の屋根融雪に関する実験的研究, 大林組技術研究所報, No. 28, (1984), pp. 133~137