

膜構造物の融雪・滑雪に関する研究

大塚清敏*1 本間義教*1
城攻*2 増茂貞*1
宮川保之*1 岡田宏*1

概 要

昨年度に引き続き、膜構造物の屋根雪処理に関する野外実験を札幌において実施した。大型模型実験では、2重膜屋根、および小型ファンを1重膜屋根に導入した旋回流融雪方式について、それぞれの融雪効率を調査した。滑雪に関しては、雪の膜材に対する滑雪係数、および雪の引張強度について実験を行ない、定量的により精度の高い結果を得た。さらにこれらの実験をもとに、大型模型において屋根雪を強制的に落雪させる方法を開発、確認実験を行なった。その結果、強制的な落雪は実大の膜構造物にも十分に適用可能であり、屋根雪処理に対し極めて有効な手段であることが判明した。

1. はじめに

膜構造物は、膜材が透光性に優れているため、冬季雪に覆われる地域において、スポーツなどの活動の場を提供する最適な構造物と言える。

多雪地域に膜構造物を建設する場合、設計上、雪荷重が支配的な外力となる。膜構造物では、構造面から積雪による膜材のクリープを防ぐため、また、建物機能面から自然照度確保のため、融雪等により屋根雪を除雪する必要がある。

屋根上の雪処理の方策として、人力による「雪おろし」がある。これは、上越地方などの豪雪地帯において、古くから習慣的に行われてきているものである。雪おろしは、自然融雪或は自然落雪が期待できず、その家屋の耐雪性能を上回る恐れがある場合、又は上回った場合に行われるものである。

自然融雪或は自然落雪が周期的に発生し、所定以上の積雪が起こらなければ、雪おろしは必要なくなるものと考えられる。ここで、雪おろしに変わる方策として、人工的に雪おろしを行う方法を考える。

自然融雪を人工的に行う方法として、機械設備による融雪がある^{1) - 10)}。これは、十分な設備を導入する事で簡単に行うことができる。しかし、経済性等の観点から見た場合、必ずしも望ましい除雪方法とはいえない。

自然落雪は、積雪重量、雪の物性、更には気象条件等が複雑に絡み合うため^{11) - 13)}、これを簡単に行う事は、困難とされてきた。しかし、最近では、膜構造物に使用される4フッ化エチレンコーティング膜材の摩擦係数が小さい事に着目し、人工的に落雪させる研究が行われてきた^{14) - 18)}。これらの成果によれば、ある程度まで人工的な落雪が可能であるとの定性的な結論を得るに至ったが、未だ、人工落雪のメカニズムを定量的に把握するまでには至っていない。

落雪を人工的に行う事は、自然落雪に比較して、次のような利点がある。

- ①雪荷重を任意に制御できる。
- ②落雪時間帯を任意に設定する事が可能である。
- ③上記②により、落雪による二次災害を未然に防止す

*1 ㈱大林組技術研究所 *2 北海道大学 工学部 建築工学科 助教授・工博

ることができる。

- ④上記②により、落雪後の除雪・排雪作業が計画的に行うことができる。

本研究は、膜構造物の効率的な雪処理方法を開発することを目的として行なったもので、平成元年度から大型ドーム模型等を用いて雪処理に関する一連の実験を行い報告してきた^{9)、10)、14)~18)}。本報告は、平成2年度に実施した研究の内、温風融雪方式の比較実験、滑雪の発生に關与する雪の力学的性質に関する実験および強制落雪実験の結果について報告するものである。

2. 研究概要

2.1 調査項目

調査は、研究成果の真实性を証明する必要性から、自然降雪下で実験・実測を行うものとした。実験・実測は、直径10mの大型ドーム模型および小型模型箱を用いて行った。調査項目は、以下の通りである。

2.1.1 大型ドーム模型実験

大型ドーム模型実験による調査項目は、以下の通りである。

(1) 温風吹き出し方式と融雪効率の検討(融雪実験)

- ①一重膜・軒吹き出し方式
- ②二重膜・軒吹き出し方式
- ③一重膜・旋回流方式

(2) 強制落雪方法の検討(再融雪実験)

2.1.2 小型模型実験

小型模型実験による調査項目は、以下の通りである。

(1) 摩擦係数(落雪角度)の検討

- ①自然落雪実験
- ②融雪実験(融雪後落雪させる)
- ③再融雪実験(融雪後融雪を中断し、膜と雪の界面を凍結させた後、再度融雪し落雪させる)

2.1.3 雪の物性試験

物性試験による調査項目は、以下の通りである。

- (1) 雪の引張強度試験
- (2) 雪の摩擦係数

2.2 調査期間・場所

調査は、平成元年度および2年度の冬季に実施した。調査期間および実施場所は、以下の通りである。

(1) 調査期間

平成元年度 平成2年1月8日～2年3月10日

平成2年度 平成2年12月1日～3年3月14日

(2) 実施場所：大林組札幌機械工場内

3. 小型模型実験

小型模型実験では、実建物を想定した諸条件下において滑雪係数を求めた。但し、雪が膜面に凍着した場合には、傾斜角30度程度では落雪は起こらないため、凍着時の滑雪係数については、実験を行わなかった。

3.1 滑雪係数の定義

屋根雪の滑雪には、傾斜した屋根上を非常に緩慢(進行速度数mm/秒以下)に滑り下るものと、急激に滑走・落雪してしまうものとの2つがある。本報でいう滑雪とは、後者をさす。

滑雪係数 μ は、雪の急激な滑走開始時の屋根勾配を θ とするととき $\mu = \tan \theta$ で定義した。この μ は、剛体の力学における静摩擦係数に相当する量であるが、雪の場合、滑走開始に対する抵抗力には、純粋な静摩擦力のほかに融雪水の粘性抵抗力、或は凍結等による付着力が総合的に含まれているので、新たに滑雪係数という用語を導入したものである。なお、本研究では、動摩擦係数に相当する量については、調査していない。

3.2 実験装置・方法

3.2.1 実験装置

(1) 小型模型

小型模型は、幅1.5m×長さ3.0m×高さ0.9mのベニヤ製木箱である。模型内壁には、厚さ50mmのスタイロホームを貼付けて断熱している(図-1)。

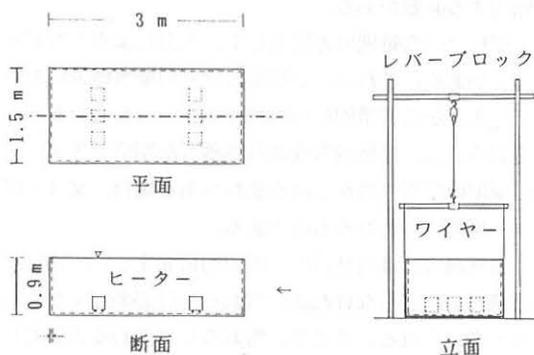


図-1 小型模型

(2) 膜材

本研究では、大規模膜構造物を対象としたため、実験には、四ふっ化エチレンコーティングガラス繊維布を用いた。

(3) 融雪装置

融雪装置は、模型内部に設置した6台のヒーター（600W/台）である（図-1）。融雪方式は、温風融雪とした。

3.2.2 実験方法

(1) 実験条件

実験は、以下に示した2項目の条件において滑雪係数を測定した。（ ）内は、本文で以下に記す実験条件の略称である。実験条件と雪の状態を図-2に示した。

実験1：融雪装置を作動させて積雪層底部に融雪水を含む層を形成させた状態（融雪あり）

実験2：融雪装置を作動させて融雪水層を形成した後装置を一旦停止して放置し融雪水層を冷却凍結させる。凍結後、再び装置を作動させ凍結部分と屋根面との間に水の層を形成させた状態。（再融雪）

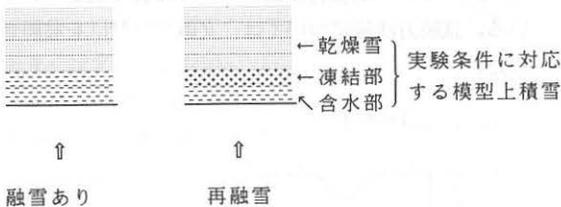


図-2 実験条件と雪の状態

(2) 積雪方法

積雪は、自然積雪によるものを原則としたが、自然降雪が得られない場合には、地上積雪の表層の雪をふるい（SUS,#10）でふるい、人工的に積雪させた。但し、昨年度¹⁾と本年度では、積雪方法が異なる。

平成元年度：小型模型上に、1枚のスラブ状に積雪させた（積雪の厚さは5、10、15、20cm）。

平成2年度：小型模型の栈木を避け、図-3のように16個のブロックに分割して積雪させた（積雪の厚さは5、10cm）。

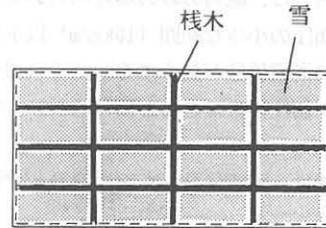
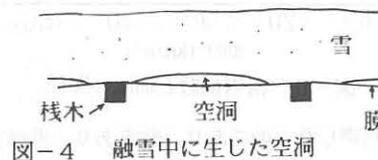


図-3 小型模型積雪法

本年度の実験で、積雪方法を変更したのは、スラブ状の積雪では、融雪中に栈木間で積雪層と膜面との界面に空洞が形成され（図-4）、それが滑雪係数に少なからず影響を与えることが判明したためである。なお、積雪、融雪等は水平状態で行なった。



(3) 滑雪方法

滑雪は、模型をレバーブロックで吊り上げ傾斜させて行なった。傾斜角は0°～40°の範囲で変化させ、落雪の角度を調べた。

3.3 実験結果および考察

(1) 滑雪係数

実験で得られた滑雪係数と積雪荷重（面圧）との関係を、図-5に示す。この図には、元昨年度の実験結果も併記した。但し、元年度は、雪をブロックに分割せず、1枚の板状に積雪させたため、融雪時に栈木の無い部分において、積雪と膜との間に薄い空洞が形成され、膜と雪との接触面積が、事実上3分の1程度にまで減少していたことが、本年度の実験で確認され

た。このため、図には、元年度の結果を接触面積で面圧を補正して示した。

滑雪係数は、融雪のみ、再融雪共に、面圧の増加に従って減少する傾向を示すが、その大きさは、両者において顕著な差異が認められる。滑雪係数の面圧への依存性の度合いは、融雪のみの方が大きい。再融雪では、面圧の小さな範囲 (10kg/m^2 以下) で面圧の増加と共に滑雪係数が減少するが、それ以外では、滑雪係数は、面圧にはほとんど依存しないと判断される。

図中の曲線は、滑雪係数 μ を面圧 P (kg/m^2) の関数

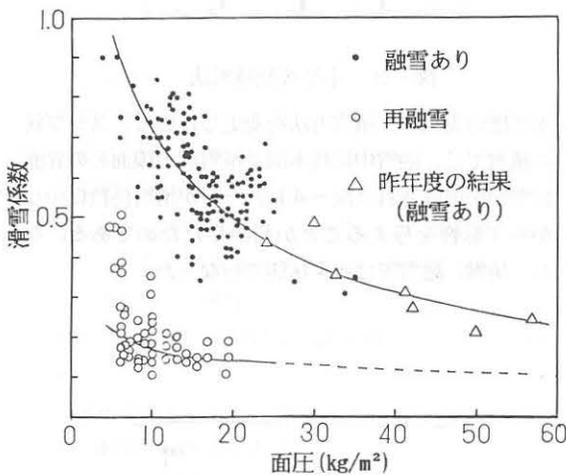


図-5 滑雪係数と面圧の関係

として曲線回帰したものであり、融雪あり、再融雪について、それぞれ次のように表現される。

$$\mu = 2.96 \exp(-0.657 P^{0.33}) \quad (\text{融雪時})$$

$$\mu = 0.387 P^{-0.33} \quad (\text{再融雪時})$$

(2) 融雪・再融雪時の滑雪メカニズム

滑雪係数は、前述したように、融雪のみと再融雪において、顕著な差異を示した。この差異は、次のように考えられる。

再融雪時には、融雪水が、凍結段階で生成された氷板と膜面との間に挟まれた形となるが、氷板が、不透水層を形成するため、融雪水の殆どが界面に溜る。再融雪開始直後では、水の層が極めて薄く、滑雪抵抗力は、水と氷および膜との物理吸着力であり、その力は非常に強いが、再融雪が進行し融雪水の厚さが或る程度になると、滑雪の抵抗力は、単に水の剪断粘性力となるため、滑雪に対する抵抗力は、一気に小さくなる。

一方、融雪のみの場合には、多くは、融雪水が雪粒子と水との物理吸着力による吸い上げで、雪の中へ滲み込んで行くと。そのため、再融雪の場合のように、滑雪の抵抗力で水の剪断粘性力が支配的となる程に十分な厚さの融雪水の層が、雪と膜との間に形成されにくい。従って、融雪のみと再融雪との間には、滑雪抵抗力に大きな差異が生じる。

滑雪係数の面圧への依存性については、次のように考えられる。

再融雪では、氷板の不透水性と水の非圧縮性のため、氷板と膜との間の再融雪時の融雪水の厚さが同じであれば、積雪重量に関わらず様な界面状態になると予想される。

しかし、融雪のみでは、積雪重量が小さい程雪の空隙率が大きく、融雪水の層が形成されにくい、積雪重量の増加に伴う空隙率の低下で、界面状態が再融雪時のそれにより近づく。これらが、融雪のみと再融雪での滑雪係数の面圧への依存性の違いを生み出していると思われる。

4. 雪の引張強度試験

4.1 試験方法

雪の引張強度は、昨年度と同様の試験装置で調べた(図-6)。試験容器は、アクリル製で底がついている。試験方法等については、文献^{(15)・(18)}を参照されたい。

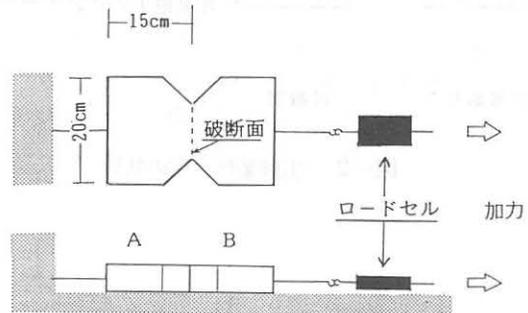


図-6 雪の引張強度実験装置

試験の対象とした雪は、乾燥雪、濡れ雪、濡れ雪がざら目状に凍結したものである。

実験は、乾燥雪、濡れ雪ともに試験容器に地上積雪を、自然の積雪状態を損なわないように採取して行な

った。濡れ雪の引張試験には、降雨で変質した雪を、また、凍結した濡れ雪の試験には、降雨時に採取した雪を冷凍庫で凍結させた雪を用いた。

4.2 実験結果および考察

試験で得られた引張強度と雪の密度との関係を、乾燥雪と濡れ雪について図-7に示す。乾燥雪の引張試験は、外気温度が氷点下の気象条件下で行なった。図中の●は、降雪後1日以内の雪であり、引張強度は、密度の増加と共に大きくなる傾向を示している。しかし、積雪後2日以上経過した雪は、実験時までの気象状態の履歴によって、その強度は様々である。積雪してから実験時までの間に、正の外気温度を経験した雪(△)は、一旦解けかけた雪が再凍結したものであるため、強度が大きく増加している。逆に、実験までに、外気温度が常に氷点下であったもの(○)は、強度の低下が起こっている。これは、試験雪が霜ざら目雪に変質するため、従来から、霜ざら目雪では強度が低下する¹⁹⁾、といわれているものに対応するものと思われる。

降雪後1日以内の雪の引張強度 σ_s (kgf/m²)は、密度 ρ (kg/m³)の関数として次のように近似できる。

$$\sigma_s = 0.0506 \rho^{1.22}$$

濡れ雪の引張強度も、図-7に併せて示したが、試験体による強度の変動が著しい。然しながら、図中の降雪後1日以内の雪についての回帰曲線から、それ程大きくはずれていない。

凍結した濡れ雪の強度は、図に示さなかったが、密度が400~650 kg/m³の範囲に対し、強度は300~1600 kgf/m²で大きくばらついており、密度との間に明確な関係は見出せなかった。

降雪後1日以内の雪についてみると、昨年度実施した乾燥雪の引張強度試験の結果と比較して、本年度の実験の方が、引張強度がやや大きい。これは、昨年度は、主にふるいを用いて試験容器に積雪させたのに対して、本年度は、地上積雪をそのままの状態で採取したため、雪粒子間の結合がよく保持されていたためと思われる。

5. 大型ドーム模型による融雪実験

5.1 実験装置・方法

5.1.1 実験装置

(1) 大型ドーム模型

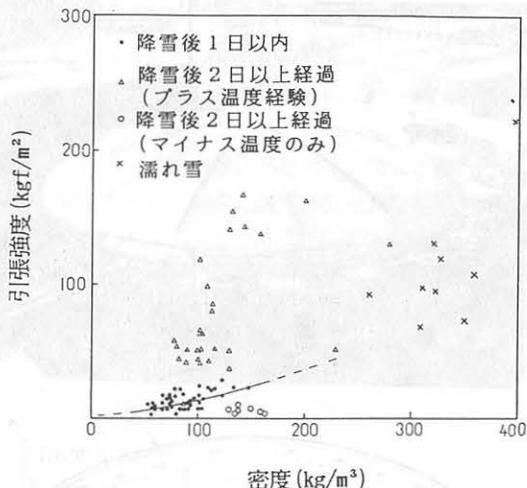


図-7 雪の引張強度と密度との関係

大型ドーム模型は、直径180 mの1段屋根開閉式ドームの開閉部(直径110m)を縮尺1/10で模型化したもので、屋根は、12枚の膜パネルにより構成されている(図-8、写真-1)。

(2) 融雪装置

融雪装置は、スチームボイラーを熱源とする温風融雪装置である。

温風の吹き出し口は、軒部分に膜パネル毎に12ヶ所設置した。

(3) 温風融雪方式

融雪方式は、温風融雪による効率の高い最適な融雪方法を求めるため、以下の3方式とした。

①一重膜軒吹出方式

②二重膜軒吹出方式

③一重膜軒吹出+旋回流方式

②の方式は、各パネル毎に内膜を付設し、膜間に温風を通し融雪を行なうものである。③の方式(以下、旋回流方式と記す)は、①の方式にドーム中心から1.5m位置の梁下に、90°ピッチでブローアを設置し、ドーム中心に向かって旋回流として上昇させる様にしたものである。

5.1.2 実験方法

(1) 温度測定

温度測定は、熱伝対を用いて行なった。測点数は、室内、膜面等合わせて138点である。

(2) 融雪水量測定

融雪水の水量測定は、融雪水を膜パネル毎にとよで



写真-1

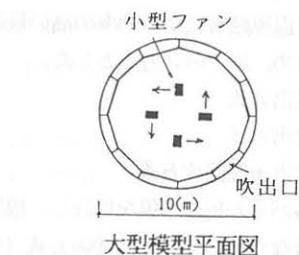
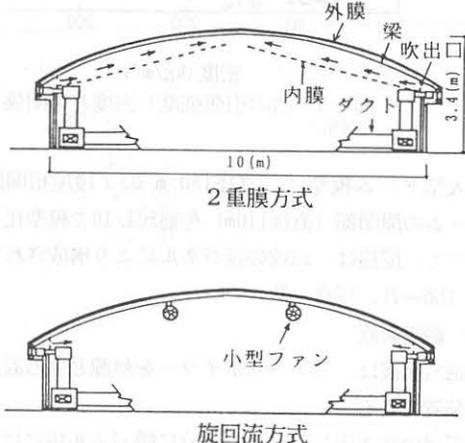


図-8 大型模型と温風融雪方式

集水樹に集め、その水量をロードセルで重量計測したものを、熱量に換算して求めた。

5.2 実験結果および考察

5.2.1 ドーム内風速分布

表-1に、各種融雪方式に対応する膜面近傍の風速分布を示した。二重膜方式は、ドーム中心に、膜間に通された温風をドーム空間に吐き出すための吹き出し

開口を設けたため、その出口における風速が約6.0m/s程度となった。

図-9は、吹き出し口の風速を基準とした風速比である。二重膜および旋回流方式は、一重膜と比較してドーム中心付近の風速の減衰が小さく、膜への熱供給がより効率的に行なわれることを示唆している。

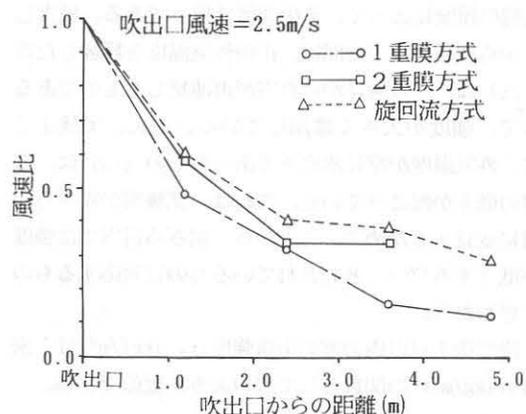


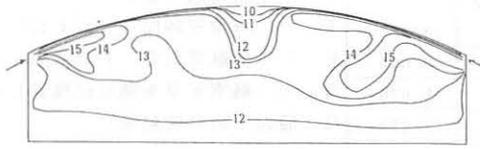
図-9 大型模型膜直下の風速比

5.2.2 ドーム内温度分布

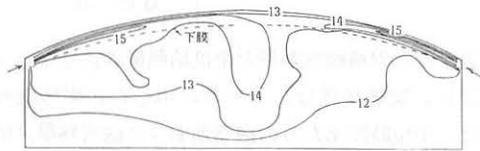
図-10に、融雪開始後30分における各種融雪方式の温度分布を示す。二重膜方式では、膜近傍でドーム周辺部から中心部まで高温領域が広がり、供給した熱が有効に融雪に作用しているが分かる。旋回流方式では、ドーム中心部に低温領域が存在しているが、一重膜方式と比較すると、膜近傍温度はドーム中心部でも2~3℃高くなり、融雪に対して有効な方法であるといえる。

5.2.3 膜面近傍における温度降下と膜面への供給熱量

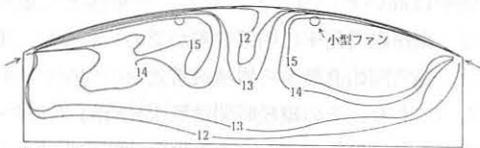
図-11に、二重膜方式において設定温度(融雪用空調機チャンパー内空気温度)を変えた場合の膜面近傍における温度降下を示す。また、図-12には、設定温度が20℃の場合の各種融雪方式に対する温度降下を示す。温度降下は、それぞれドーム周辺から等距離にある温度測定点における温度の周回方向の平均値と、吹き出し口温度の周回方向の平均値との差で定義した。



1 重膜方式



2 重膜方式



旋回流方式

図-10 温風融雪開始30分後の大型模型内部の温度分布

図-11から、吹き出し口から遠ざかる程、また、設定温度が高い程、温度降下が、大きくなることが分かる。また、図-12では、吹き出し口から約4m以内では、各融雪方式の間で、温度降下に大きな差は見られないが、中心付近では、一重膜では大きく落ち込んでいる。従って、ドーム周辺に温風吹き出し口がある場合、膜全体を吹き出し口から中心部まで均一に暖めるためには、二重膜方式或は旋回流方式により融雪を行なうのが有効であると判断できる。

このことを、膜面への供給熱量で見たものが、表-1である。表には、設定温度を変えた場合の各融雪方式における膜面への供給熱量を示した。供給熱量は表中の式で計算した。ドーム中央での温度降下を合わせて考えると、1重膜では温度降下が大きくかつ供給熱量も小さいので、吹き出し口からの熱の多くが膜面付近の空気の上昇ではなく、ドーム内全体や、壁面、床の温度上昇に使われると考えられる。

5.2.4 融雪効率

融雪効率は、雪荷重の除去という構造上の観点から

だけでなく、実際の膜構造施設の運用においても、ランニングコストとの関係から興味ある量である。ここでは、一重膜方式、二重膜方式について累積融雪効率を求めた。

図-13に、累積融雪効率を示す。図の横軸は、全融雪時間を1とした無次元融雪時間を、縦軸の累積融雪

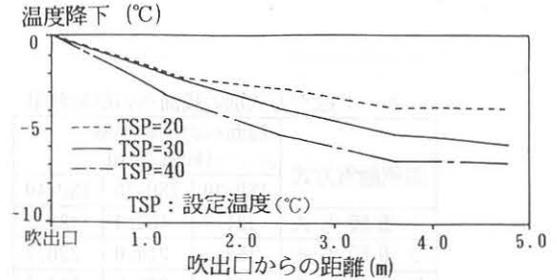


図-11 設定温度別の温度降下 (2重膜の場合、融雪開始1時間後)

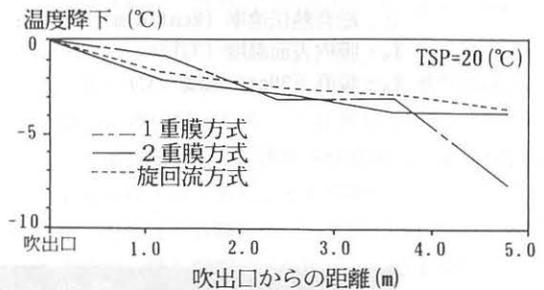


図-12 温風融雪方式別の温度降下 (設定温度20°C、融雪開始1時間後)

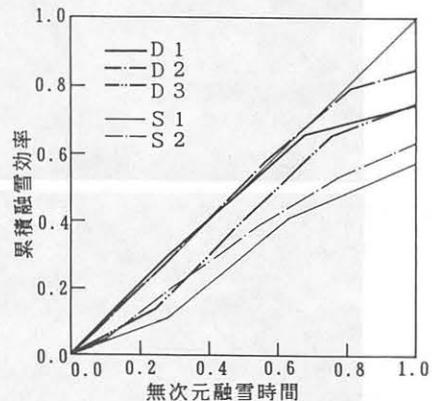


図-13 累積融雪効率と無次元融雪時間

表-3 融雪効率の計算に用いた実験

	実験日	実験番号	設定温度 (°C)	初期積雪深 (cm)	融雪開始後降雪量 (cm)	雪密度 (g/cm³)
1重膜	2/3	S 1	30	2	8.3	0.068
	2/17	S 2	30	13	2.5	0.070
2重膜	12/24	D 1	40	10	—	0.088
	12/27	D 2	30	17	—	0.108
	2/2	D 3	20	11	—	0.068

表-2 融雪効率の定義

$\epsilon(t)$: 累積融雪効率
 t : 無次元時間 ($0 \leq t \leq 1$)
 E : 全融雪効率 $E = \epsilon(1)$
 Q_M : 融雪水量を熱量に換算したもの
 Q : 膜面への供給熱量

$$\epsilon(t) = \frac{\int_0^t Q_M(t) dt}{\int_0^t Q(t) dt}$$

表-1 融雪方式別の膜面への供給熱量

温風融雪方式	膜面への供給熱量 (kcal/m²h)		
	TSP=20	TSP=30	TSP=40
1重膜方式	121.7	152.4	182.2
2重膜方式	152.3	210.0	220.7
旋回流方式	149.7	206.5	227.0

$$Q = -\alpha (T_s - T_a)^{2.0}$$

Q : 膜面への供給熱量 (kcal/h·m²)
 α : 総合熱伝達率 (kcal/h·m²·°C)
 T_s : 膜内表面温度 (°C)
 T_a : 膜直下30cmの温度 (°C)

効率は、累積融雪熱量と全供給熱量の比である(表-2)。実験条件は、表-3に示した。累積融雪効率は、単位時間あたりの融雪効率(=融雪熱量/供給熱量)を1とした場合、図中で勾配が45°の直線となる。従って、累積融雪効率の勾配が、45°に近いほど効率は高いということになる。一重膜と二重膜とでは、累積融雪効率に明確な差が認められる。二重膜では、融雪開始直後から累積融雪効率の勾配が約45°となっており、その継続時間は無次元時間で0.6~0.7であった。これに対し、1重膜の時間融雪効率の勾配は小さく、最大でも40°程度であり、その継続時間は無次元時間で0.25と短い。なお、一時的に累積融雪効率の曲線勾配が45°を越えるのは、融雪水が雪に吸収されるため、流出までにある程度の時間の遅れがあるからである。

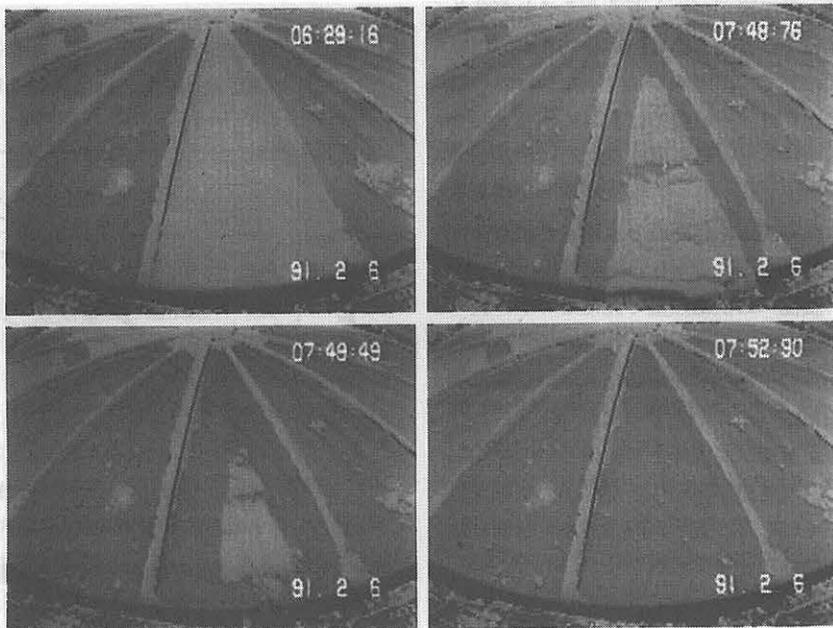


写真-2

6. 強制落雪

6.1 大型模型による強制落雪実験

強制落雪は、屋根上の雪を任意に落雪させるもので、自然落雪と比べ、落雪を予測でき、また、少量のエネルギーで短時間に屋根雪を除去できるという利点がある。強制落雪は、次の手順で行なう。

- ①膜面にある程度積雪させた後、融雪を行ない、雪と膜面との間に含水層を作る。
- ②含水層形成後、融雪装置を停止し、含水層を冷却して凍結させ、膜と積雪との境界に水の層を形成させる。
- ③水層形成後、再度融雪を行なえば容易に落雪する。

強制落雪を行なう上での問題点は、融雪、再融雪時の供給熱量と氷層の厚さとの関係である。これらに関しては、小型模型実験において定量的に把握した上で、強制落雪実験を実施した。

写真-2は、強制落雪状況を示したものである。この時の実験条件は、積雪 5cm、雪密度 $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ (面圧 $P = 5\text{kg}/\text{m}^2$) であり、融雪、再融雪時の温風の設定温度はともに 30°C とした。落雪は、再融雪開始後 4 分で発生し、8 分までの間に大型模型の全 12 パネルで落雪した。

6.2 融雪効率と強制落雪効率

融雪実験および強制落雪実験で得られた実験開始時の積雪重量と融雪効率、落雪効率との関係を、図-14 に示した。面圧 P が $P < 10\text{kg}/\text{m}^2$ では、1 重膜の効率が小さい。これは、温風吹き出し口付近で融雪が相対的に早く進行して膜面が露出し、熱損失が大きくなるためである。二重膜では、一重膜と比較してより均一に膜面に熱が供給されるため、効率が 1 重膜よりも大きくなっている。 $P > 15\text{kg}/\text{m}^2$ では、融雪効率は低下している。これは、積雪が深いときには、融雪開始直後に屋根の軒先部分で、融雪により少量の自然落雪が発生するため、本図では、それらの効果を考慮せずに表現したため、見掛け上融雪効率が低下した。

強制落雪の場合は、落雪発生の有無はほとんど屋根雪の深さには依存しないため、面圧の増加につれて、効率も大きくなる。図から明らかのように、強制落雪による除雪の効率は融雪のみの場合よりはるかに大きく、一重膜の場合を例に取れば、面圧 $P = 5\text{kg}/\text{m}^2$ で約 5 倍、 $P = 15\text{kg}/\text{m}^2$ で約 15 倍であった。

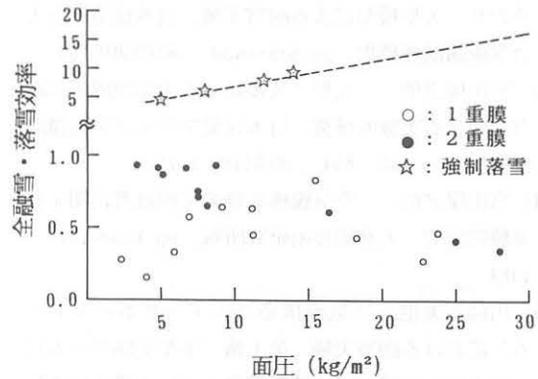


図-14 全融雪・落雪効率と面圧の関係

7. まとめ

以上、膜構造物の屋根雪処理に関する調査研究を実施してきたが、この結果、以下の知見を得た。

- (1) 滑雪係数は、融雪のみの場合には、面圧に依存するが、再融雪の場合には、面圧に依存しないことが明らかとなった。また、再融雪の滑雪係数は、融雪のみの値と比較して非常に小さい。このため、滑雪を人工的に誘発させる場合には、再融雪が有効な手段であることが判明した。
- (2) 融雪方式は、3種類について検討したが、二重膜方式が、最も融雪効率が良いとの結果を得た。然し、一重膜旋回流方式の融雪効率は、二重膜方式のそれに近く、膜材の透光性を利用するとの観点に立てば、旋回流方式の方が有効と言える。
- (3) 強制落雪は、僅かな供給熱量で屋根雪を除去でき、除雪の手段として非常に有効であることが確認された。

謝辞 本研究の遂行にあたり、北海道大学工学部建築工学科教授柴田拓二博士のご指導を賜りました。ここに、厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 宮川保之他、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、大林組技術研究所報、No. 33、pp. 98 ~ 102、1984

- 2) 宮川保之他、 空気膜構造棟に関する実験・研究
その6 大型模型による融雪実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.629~630、昭和60年10月
- 3) 宮川保之他、 大型ノズルによる大空間屋根の融雪に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.853~854、昭和58年9月
- 4) 宮川保之他、 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、pp.133~137、1984
- 5) 川島 実他、空気膜構造（エアースポートドーム）における融雪実験 第1報 小型実験ドームにおける融雪実験、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学、pp.787~788、昭和59年10月
- 6) 森野仁夫他、 空気膜構造（エアースポートドーム）における融雪実験 第2報 風洞箱による実験 日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学、pp.789~790、昭和59年10月
- 7) 西川 薫他、 空気膜構造における融雪実験 その1 基礎実験及び実大実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学、pp.893~pp.894、昭和61年8月
- 8) 西 安信他、 空気膜構造における融雪実験 その2 融雪機構の解明 日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学、pp.895~896、昭和61年8月
- 9) 増茂貞、他、膜構造物の雪処理に関する研究
その3 大型模型による融雪実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅰ、pp.1201~1202、平成2年10月
- 10) 増茂貞、他、膜構造物の雪処理に関する研究
その6 各種融雪方式の比較、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 pp.117~118、平成3年9月
- 11) 苫米地司、他、膜構造物の屋根雪処理に関する基礎的研究、日本建築学会構造系論文報告集、99-106 No.426、1991.8
- 12) 北川澄男他、フッ素樹脂膜材の滑雪について（第一報）、膜構造研究論文集'87、31-38、昭和62年。
- 13) 島田 洋 サスペンション膜構造の除雪実験 日本雪氷工学会誌、Vol.6 No.3、10-17、Sep.1990
- 14) 田中保雄、他、膜構造物の雪処理に関する研究
その3 小型模型実験による滑雪実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅰ、pp.1199~1200、平成2年10月
- 15) 本間義教、他、膜構造物の雪処理に関する研究
その1 研究概要と雪の引張強度、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅰ、pp.1197~1198、平成2年10月
- 16) 大塚清敏、他、膜構造物の雪処理に関する研究
その5 研究の概要と小型模型実験、雪の引張強度実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 pp.115~116、平成3年9月
- 17) 本間義教、他、膜構造物の雪処理に関する研究
その7 融雪・強制落雪効率、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 pp.119~120、平成3年9月
- 18) 大塚清敏、他、膜構造物の雪処理に関する研究 膜構造研究論文集'90、55-68、平成2年。
- 19) Langham, E. j., 1981, "Physics and Properties of Snow Cover"—— Handbook of Snow —— Principles, Processes, Management and Use, D.M.Gray and D.H.Male, Eds., Pergamon Press, Inc., New York, N.Y.
- 20) Pratt, A.W. 1981. Heat Transmission in Buildings. John Wiley & Sons, Ltd., New York.

A STUDY ON THE
SNOW MELTINGS AND SLIDINGS
ON THE MEMBRANE STRUCTURES

Kiyotoshi OHTSUKA *¹ Yoshinori HOMMA *¹
Osamu JOU *² Takashi MASUMO *¹
Yasuyuki MIYAGAWA*¹ Hiroshi OKADA *¹

SYNOPTICS

A series of field experiments on the artificial removal of snow from membrane structures were performed at Sapporo City this winter. The efficiencies of snow melting equipments for the different roof types were investigated with respect to the double membrane roof and to the single membrane roof with air circulating fans by employing a scale model of membrane structures. As for roof snow sliding mechanics, the starting friction coefficients of snow to the roof material and the tensile strengths of snow were closely investigated. Through these studies, the method of the removal of snow by artificially inducing snow slidings were proposed and tested by applying this method to removing the snow load from the scale model. The tests suggest that the possibilities of the practical applications of the method to remove snow loads from full scale membrane structures.

*1 Technical Reseache Institute, Obayashi Corporation

*2 Faculty of Engineering, Hokkaido University