

# 多雪地域における膜構造建築物を対象とした 屋根上積雪荷重の評価方法に関する研究

山口 英治\*1

苔米地 司\*2

## 梗概

膜材料は、可視光範囲の透過率が高く明るい室内空間を創り出すことができる。従って、多雪地域における膜構造建築物は、この明るい室内空間を確保するため、融雪と滑雪を併用するなど屋根雪を速やかに滑雪処理する工夫を施している。しかし、現在、膜構造建築物の屋根上積雪荷重は、積極的に屋根雪処理を行わない建築物と同等の荷重評価を行っているのが一般的である。この原因は、これまで多雪地域に膜構造建築物の建設実績が少なく屋根雪の処理方法に関する有効性が十分に把握されていないためと考える。本研究では、多雪地域における膜構造建築物の合理的な屋根上積雪荷重の評価を行うための資料を蓄積することを目的に、多雪地域における膜構造建築物の屋根上積雪状況について現地管理者を対象としたヒアリング調査および現地調査を行った。

### 1. はじめに

近年、多雪地域である北海道、東北および北陸にスパン100m以上の膜構造建築物が相次いで建設され、各地域の象徴的な建築物になっている。膜構造建築物に用いられる膜材料（四ふっ化エチレン樹脂コーティングガラス繊維布）は、可視光範囲の透過率が高く明るい空間を創り出すことができる。この膜材料の特徴を有効に活用するため、多くの膜構造建築物は、室内側から膜面に温風を吹きつけるなど熱エネルギーを与えて「融雪と滑雪」とを併用した屋根雪処理を行い（以下、この屋根雪処理方法を「融滑雪」という。）、膜面に雪が残らないように工夫している。しかし、現在、膜構造建築物の屋根上積雪荷重は、積極的に屋根雪処理を行わない建築物と同等の荷重評価を行っているのが一般的である。この原因は、これまで多雪地域に膜構造建築物の建設実績が少なく屋根雪の処理方法に関する有効性が十分に把握されていないためと考えられる。多雪地域にも多くの膜構造建築物が建設されつつある現状を考えると、これらの屋根上積雪状況を明らかにすることが、膜構造建築物の合理的な屋根上積雪荷重の評価を行うための重要な課題と考える。

このような背景から、本研究では、多雪地域における膜構造建築物の合理的な屋根上積雪荷重の評価を行うための資料を蓄積することを目的に、多雪地域に建設された膜構造建築物の屋根上積雪状況について現地管理者、建築物所在地の建築指導課を対象としたヒアリング調査および冬期間の現地調査を行った。

### 2. ヒアリング調査および現地調査

#### 2.1 調査方法

図1に示す膜構造建築物（10件）の現地管理者および建築物所在地の建築指導課を対象にヒアリング調査を行った。調査項目は屋根雪の滑雪状況、設計用屋根上積雪荷重および屋根雪に関することとした。冬期間の現地調査は、図中\*印の膜構造建築物（7件）について行った。現地調査時の気象条件については、最寄りの気象官署の観測値を用いた。各項目の不十分な点は、「日本の膜構造作品集」および既往の研究論文で補った<sup>1)・2)・3)</sup>。

#### 2.2 調査結果

本調査結果を整理すると表1となる。各膜構造建築物における屋根雪処理方法をみると、調査整理番号No.1の健康スポーツドームのみ自然滑雪処理を採用している。他の調査整理番号No.2~10の膜構造建築物は、室内暖房および膜面に温風を吹きつけるなど何らかの熱エネルギーを与えて屋根雪を融滑雪させる処理方法を採用している。これら10件の膜構造建築物について屋根雪処理方法別に整理すると、以下のようになる。

##### (1) 自然滑雪処理

###### 1) 岩瀬スポーツ公園健康スポーツドーム

調査整理番号No.1の健康スポーツドームは、屋根勾配40°以上の急勾配であると同時に建設地富山市における1,2月の平均気温が+2℃程度であることから極めて屋根雪が滑雪しやすい条件となっている。

\*1 北海道工業大学 大学院生・工修

\*2 北海道工業大学 建築工学科 教授・工博

表1 調査結果のまとめ

調査整理No.	膜構造建築物の名称	屋根形状の概要 および構造形式	調査年	調査方法	屋根雪処理方法	設計用屋根上積雪荷重			屋根上積雪状況に関する 調査結果の概要
						SD	$\rho$	$\alpha$	
1	岩瀬緑ヶ丘公園 健康スポーツドーム 富山県・富山市 1992年竣工	 膜伏面積：2448.3m <sup>2</sup> 最高高さ：30.9m 軒高：8.5m 構造形式：骨組・一重膜構造 屋根形状：錐形型・V字屋根	1995年 10月	現地管理者 にてヒアリング 調査	自然降雪 処理	150 cm	3	0.25 (文献1))	屋根勾配40°以上の急勾配であるため、降雪直後に降雪現象が生じて膜面に雪が残らないとのことであった。 降雪処理後を考慮し、周囲に融雪池を設けている。
2	野沢温泉村総合 アリーナ 長野県・ 野沢温泉村 1993年竣工	 膜伏面積：2000m <sup>2</sup> 最高高さ：18m 軒高：4.8m 構造形式：骨組・一重膜構造 屋根形状：鐘形型・V字屋根	1992年 2月 ----- 1996年 10月	現地調査 ----- 現地管理者 にてヒアリング 調査	室内暖房を 利用した 融雪雪、 融雪処理	300 cm	3	1.0	屋根勾配20°程度となる部位で顕著に屋根雪の自然降雪現象がみられ、屋根頂部付近に若干の雪が残る状況であった。 現地調査後に行ったヒアリング調査では、室内暖房および温水プールの影響を受けて膜面近傍の温度が上昇するため、融雪雪や融雪現象が生じ屋根頂部付近にも雪が残らないとのことであった。
3	農試公園屋内広場 ツインキャブ 北海道・札幌市 1993年竣工	 膜伏面積：475.1m <sup>2</sup> 最高高さ：24m 軒高：15.3m 構造形式：骨組・一重膜構造 屋根形状：円形型	1995年 12月～ 1997年 2月の 冬期間	現地調査 および 現地管理者 にてヒアリング 調査	温風送風 装置による 融雪雪、 融雪処理	100 cm	3	0.7	膜面の雪は、温風送風装置による屋根雪処理が有効に作用して融雪雪や融雪現象が生じるため降雪量が50cmもある大雪に対しても一日中膜面に雪が残る状況はみられない。 屋根頂部の換気塔が雪割りの役目を果たしている状況であった。
4	鳥取ドーム 北海道・釧路市 1989年竣工	 膜伏面積：1710m <sup>2</sup> 最高高さ：18.9m 軒高：4.8m 構造形式：骨組・一重膜構造 屋根形状：四角錐型	1995年 10月	現地管理者 にてヒアリング 調査	温風送風 装置による 融雪雪、 融雪処理	60 cm	2	1.0	積雪量が極めて少なく、膜面に雪が積もる状況がほとんどみられず、雪が積もった場合でも日射や温風送風装置が有効に作用し、膜面に雪が残らないとのことであった。 屋根頂部の換気塔が雪割りの役目を果たしていると考えられる。
5	札幌コミュニティ ドーム 北海道・札幌市 1997年竣工	 膜伏面積：11706m <sup>2</sup> 最高高さ：43m 軒高：最高33m、最低16m 構造形式：骨組・二重膜構造 屋根形状：球面シェパード型・V字屋根	1996年 11月～ 1997年 3月の 冬期間	現地調査 および 連続ビデオ 観測	温風送風 装置による 融雪雪、 融雪処理	100 cm	3	0.7	屋根勾配20°程度となる部位で顕著に屋根雪の自然降雪現象がみられ、屋根頂部付近に若干の雪が残る状況であった。 温風送風装置が作動している場合、装置が有効に作用し、融雪雪現象が頻繁に生じて屋根頂部付近にも雪が残らない状況であった。 屋根頂部に雪切り板を設置しているため、屋根頂部の雪は分割している状況であった。
6	厚真スポーツドーム 北海道・厚真町 1995年竣工	 膜伏面積：2110m <sup>2</sup> 最高高さ：17.3m 軒高：6.9m 構造形式：骨組・一重膜構造 屋根形状：寄棟型	1996年 2月	現地調査 および 現地管理者 にてヒアリング 調査	温風送風 装置による 融雪雪、 融雪処理	50 cm	2	1.0	膜面の雪は、温風送風装置による屋根雪処理が有効に作用し、融雪雪現象が生じて膜面に雪が残らない状況であった。
7	音更町総合体育館 サードおとふけ 北海道・音更町 1991年竣工	 膜伏面積：2000m <sup>2</sup> 最高高さ：23.5m 軒高：12m 構造形式：骨組・二重膜構造 屋根形状：円形型	1995年 10月	現地管理者 にてヒアリング 調査	温風送風 装置による 融雪雪、 融雪処理	100 cm	3	0.7	膜面の雪は、温風送風装置による屋根雪処理が有効に作用して融雪雪や融雪現象が生じ、膜面に雪が残らないとのことであった。 降雪した屋根雪が、この建築物周辺に堆積して除雪が必要とのことであった。 屋根頂部の換気塔が雪割りの役目を果たしていると考えられる。
8	あきたスポーツドーム 秋田県・雄和町 1990年竣工	 膜伏面積：12123.8m <sup>2</sup> 最高高さ：32.2m 軒高：4.9m 構造形式：骨組・一重膜構造 屋根形状：球面シェパード型・V字屋根	1994年 1月 ----- 1995年 10月 ヒアリング 調査のみ	現地調査 および 現地管理者 にてヒアリング 調査	温風送風 装置による 融雪雪、 融雪処理	150 cm	3	0.7 (文献2))	膜面の雪は、温風送風装置による屋根雪処理が有効に作用し、融雪雪や融雪現象が生じて膜面に雪が残らない状況であった。 降雪処理後を考慮し、軒下に堆雪スペースを設けたが、これを越える場合がある。
9	青森市屋内 グラウンド サード 青森県・青森市 1991年竣工	 膜伏面積：5254m <sup>2</sup> 最高高さ：24.6m 軒高：5.2m 構造形式：骨組・一重膜構造 屋根形状：鐘形型・V字屋根	1994年 1月 ----- 1995年 10月 ヒアリング 調査のみ	現地調査、 現地管理者 にてヒアリング 調査および 連続ビデオ 観測	温風送風 装置による 融雪処理 (文献3))	150 cm	3	0.8	膜面の雪は、温風送風装置による屋根雪処理が有効に作用して一日中膜面に雪が残る状況はみられない。屋根勾配50°程度の部位では、降雪直後に降雪現象が生じる。
10	WAVEのと 石川県・能登町 1990年竣工	 膜伏面積：3398.6m <sup>2</sup> 最高高さ：25m 軒高：7.5m 構造形式：骨組・一重膜構造 屋根形状：切妻型・V字屋根	1992年 2月 ----- 1995年 10月 ヒアリング 調査のみ	現地調査、 現地管理者 にてヒアリング 調査および 連続ビデオ 観測	温風送風 装置による 融雪雪、 融雪処理 (融水銃による 降雪の補 助装置あり)	150 cm	3	0.7	膜面の雪は、温風送風装置による屋根雪処理が有効に作用して融雪現象が生じ、膜面に雪が残らない状況であった。 屋根頂部が雪切り板状になっており、屋根頂部の雪を分割している状況であった。 軒先付近が金属板で仕上げられており、多量の降雪があった場合には、この部分が屋根雪の降雪の妨げとなる場合がある。

(1) 設計用屋根上積雪荷重 S.L. (長期)

1) S.L. = SD × ρ × α (SD: 積雪深cm, ρ: 雪の単位重量kg/m<sup>2</sup>/cm, α: 特定行政庁が多雪区域において長期として扱う場合に定めた低減係数。(表中1.0は低減なしを示す))

2) 設計用屋根上積雪荷重の各項目の数値は、建築指導課へのヒアリング調査による(1995, 1996年調査)。なお、各項目の数値は、一般の建築物を各地域に建設する場合の指導値である。

(2) 屋根勾配による低減係数の採用 (文献1))

1) 「健康スポーツドーム」は、建築基準法施行令第86条第4項の規定に基づき膜屋根の降雪実験の結果、積雪荷重に乘すべき数値を0.25と設定している。

2) 「青森市屋内グラウンド」は、建築基準法施行令第86条により屋根勾配40°以上の部分のみに設計用積雪荷重に乘すべき数値として0.5を採用している。

1995年10月の現地管理者を対象としたヒアリング調査においても、降雪直後に降雪が発生して膜面に雪が残らないとのことであった。なお、この膜構造建築物は、建築基準法施行令第86条4項の規定に基づき建設地における膜屋根の降雪実験を行い、設計用屋根上積雪荷重に乗すべき数値として0.25を設定している<sup>1)</sup>。従って、富山市における一般建築物の設計用屋根上積雪荷重が $150\text{cm} \times 3.0\text{kg}/\text{m}^2/\text{cm} \times 0.7 = 315\text{kg}/\text{m}^2$ であるのに対し、 $150\text{cm} \times 3.0\text{kg}/\text{m}^2/\text{cm} \times 0.25 = 112.5\text{kg}/\text{m}^2$ と約1/3の荷重で設計が行われている。

## (2) 室内暖房による融滑雪処理

### 1) 野沢温泉村総合アリーナ

調査整理番号No.2の野沢温泉村総合アリーナは、用途が温水プールとなっており、室内暖房のみで他に融雪装置を施していない。室内に送風される温風の吹き出し温度は、 $+30^\circ\text{C}$ 程度である。現地調査は、1993年2月2～4日の無暖房時に行った。屋根雪の降雪状況を見ると、屋根勾配 $20^\circ$ 程度となる部位で顕著に自然降雪現象がみられたが、屋根頂部付近に若干の雪が残る状況であった。残雪の深さは、最も深い部位で50cm程度であった。

本アリーナは、膜パネルをV字状に張っているため各V字谷部ごとに屋根雪が分割され降雪が発生している。この現象は、膜パネルV字の両脇峰部が屋根雪の連続性を分割し、雪のせん断抵抗力を低減させているためと考える。V字の深さは、最も深い部分で1.9mである。

現地調査後に行った1996年10月の現地管理者を対象としたヒアリング調査では、室内暖房および温水プールの影響を受け膜面近傍の温度が上昇するため、融滑雪および融雪現象が発生して屋根頂部付近にも雪が残らないとのことであった。

## (3) 膜面に温風を吹き付けた融滑雪処理

### 1) 農試公園屋内広場ツインキャップ

調査整理番号No.3の農試公園屋内広場は、膜面に温風を膜裾部から送風して融滑雪および融雪処理する方法を採用している。なお、温風の吹き出し温度は、 $+30 \sim +35^\circ\text{C}$ 程度である。

現地管理者を対象としたヒアリング調査および現地調査は、1995年12月～1997年2月の冬期間に行った。本調査の1995年12月～1996年3月の冬期間は、北海道札幌市で50年ぶりの豪雪年であった。1995年12月12日には、日降雪深51cm(日最高気温 $+1.2^\circ\text{C}$ 、日平均気温 $-1.2^\circ\text{C}$ )、13日には、日降雪深23cm(日最高気温 $+0.3^\circ\text{C}$ 、日平均気温 $-1.4^\circ\text{C}$ )となり、12月の累積降雪量が観測史上第1位で記録的な大雪となった。この両日を対象とした現地管理者へのヒアリング調査では、前述の現地調査と同様に一日中膜面に雪が残っている状況はみられず、温風送風装置が有効に作用し、融滑雪現象が顕著に発生しているとのことであった。

1996年1月の現地調査は、1月10日および1月16日に行った。1月10日は、降雪が前々日に18cm、前日に41cmあった日(日最高気温 $+2.6^\circ\text{C}$ 、日平均気温 $-0.6^\circ\text{C}$ )で、1月16日は前日に降雪がなく当日に25cmの降雪があった日(日最高気温 $+2.1^\circ\text{C}$ 、日平均気温 $-1.5^\circ\text{C}$ )である。写真1に、1月10日の屋根上積雪状況を示す。写真のように、膜面には残雪がみられず、前述のヒアリング調査結果と同様に温風送風装置による屋根雪処理が有効に作用している状況が観



図1 調査対象の膜構造建築物

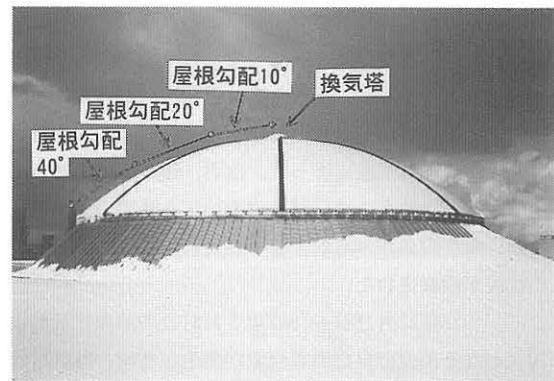


写真1 農試公園屋内広場ツインキャップにおける屋根上積雪状況(1996年1月10日の場合)

察された。1月16日の現地調査は、早朝から断続的に降雪現象が発生している状況で行った。この状況下での屋根上積雪状況を見ると、一時的に膜面に積もるものの時間の経過とともに融滑雪現象が発生し、一日中膜面に雪が残る状態はみられず、1月10日と同様に温風送風装置が有効に作用している状況であった。また、頂部にある換気塔が雪割りの役目を果たしている状況であった。

本屋内広場は、直径約25m、ライズ約5.5mの円形ドームで、膜パネルを球面に沿って張っているため滑らかな曲面を持った屋根形状で、頂部には雪割りの役目を果たす換気塔がある。屋根勾配は、写真1に示すように頂部付近で勾配 $10^\circ$ 程度、他の部位で勾配 $20^\circ$ 以上の大きな勾配となっている。すなわち、このような規模、形状の膜構造建築物であれば、降雪量が50cmもある大雪に対しても、融雪装置を用いた屋根雪処理が有効に働くと考えられる。

### 2) 鳥取ドーム

調査整理番号No.4の鳥取ドームは、表1に示すように、多雪地域の中でも設計用屋根上積雪荷重が $60\text{cm} \times 2.0\text{kg}/\text{m}^2/\text{cm} = 120\text{kg}/\text{m}^2$ と比較的小さい。建設地鉏路市の冬期間における日降雪が10cm以上の発生頻度は、3日程度である<sup>4)</sup>。このように鉏路市は、多雪地域に指定されているが積雪量が極めて少ない地域である。同ドームは、室内暖房による暖かい空気を換気システムにより膜面に送風して融滑雪および融雪処理する方法を採用している。

1995年10月の現地管理者を対象としたヒアリング調査においても完工後6年経過するが膜面に雪が積もる状況がほとんどみられず、雪が積もった場合でも日射や換気システムが有効に作用し、融滑雪や融雪現象が発生して雪が残らないとのことであった。

### 3) 札幌コミュニティドーム

調査整理番号No. 5の札幌コミュニティドームは、二重膜構造となっており、外膜と内膜との間に温風を送風して屋根雪を融滑雪および融雪処理する方法を採用している。なお、温風の吹き出し温度は、+60℃程度である。本ドームは、1996年11月～1997年3月に現地調査および連続ビデオ観測を行った。現地調査は、温風を送風していない場合（無暖房時）と温風を送風している場合（暖房時）との2つの状況について行った。無暖房時に行った1996年の現地調査は、11月13日、12月13日および12月19日で11月13日は前日に16cm、12月13日は前日に10cm、12月19日は前日に34cmの降雪があった日である。写真2に、12月19日の滑雪状況を示す。12月19日は、気温が低く最高気温が-3.3℃、平均気温が-5.5℃であった。写真のように、屋根勾配20°程度となる部位で顕著な自然滑雪現象がみられたが、屋根頂部付近に若干の雪が残る状況であった。11月13日、12月13日も12月19日と同様の滑雪現象であった。なお、連続ビデオ観測によると、屋根勾配が20°よりも小さい部位においても時間の経過に伴い滑雪速度の遅い滑雪現象がみられ、2～3日程度で膜面から雪が全てなくなる状況が観察された。

図2に、1996年12月18日～1997年1月31日の気象状況および屋根勾配20°となる部位で自然滑雪現象が発生した時の外気温状況を示す。図のように、屋根雪の滑雪現象は、降雪があった当日または翌日に発生している。滑雪時の外気温をみると、-2.0～0℃付近で多くみられる。滑雪時の外気温0℃以上の場合をみると、累積降雪深が2cm程度と極めて少ない状態であった。このように自然滑雪現象は、外気温が0℃以下でも顕著に発生している。

本ドームの屋根形状は、調査整理番号No. 2の野沢温泉総合アリーナと同様に、膜パネルをV字状に張っているため各V字谷部ごとに屋根雪が分割され滑雪が発生している。V字の深さは、最も深い部分で1.5mである。

暖房時に行った1997年の現地調査は、2月19日および2月21日である。2月19日は、降雪が前日に12cmあった日（日最高気温+0.4℃、日平均気温-3.0℃）で、2月21日は当日に16cmの降雪があった日（日最高気温-4.2℃、日平均気温-5.9℃）である。両日の屋根上積雪状況をみると、温風送風装置による屋根雪処理が有効に作用して融滑雪現象が発生している状況であった。特に、2月21日は、早朝から断続的な降雪現象が発生している状況にも関わらず各V字谷部ごとに屋根勾配20°程度になる部位から頻りに融滑雪現象が発生していた。なお、両日も現地調査の当日、屋根頂部付近に若干の雪が残る現象がみられた。連続ビデオ観測によると、屋根頂部付近の雪は、時間の経過に伴い融滑雪および融雪が進み2～3日程度で膜面から雪が全てなくなる状況が観察された。

### 4) 調査整理番号No. 6～10の膜構造建築物

調査整理番号No. 6～10の膜構造建築物の屋根上積雪状況をみると、調査整理番号No. 3～5までの調査結果と同様に屋根雪は温風送風装



写真2 札幌コミュニティドームにおける滑雪状況 (1996年12月19日の場合)

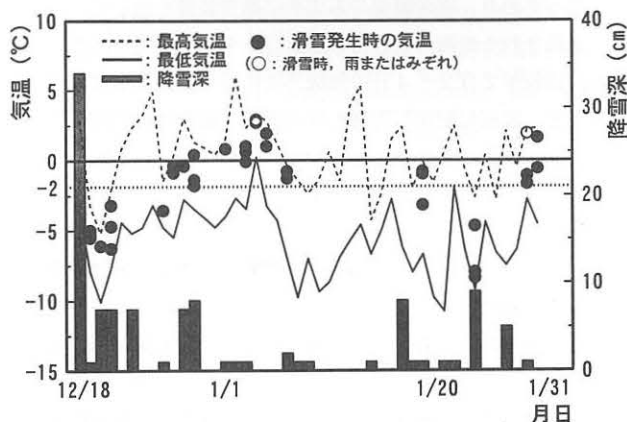


図2 札幌コミュニティドームにおける気象状況および屋根勾配20°の部位で自然滑雪現象が発生した時の外気温状況 (1996年12月18日～1997年1月31日)

置が有効に作用し、融滑雪および融雪現象が発生して膜面に雪が残らない状況であった。膜パネルをV字状に張った調査整理番号No. 5, 8, 10の膜構造建築物では、V字の両脇峰部で屋根雪の連続性を分割し、雪のせん断抵抗力を低減しているため、各V字谷部ごとに滑雪現象が顕著に発生している。

### 2.3 膜構造建築物における滑雪条件に関する考え方

屋根雪の滑雪条件に関する既往の研究を基に、滑雪時の力学的関係を整理すると図3となる<sup>5)</sup>。図のように、屋根雪が滑雪しようとする力は、凍着抵抗力、静摩擦抵抗力および動摩擦抵抗力などの抵抗力の影響を受けている。これらの力の釣合条件を滑雪開始条件と滑雪持続条件とに分けて整理すると、以下のようになる。

#### (1) 滑雪開始条件

1) 温度条件  $t \leq 0$  (℃)

$$m \times g \times \sin \theta > F_{sf} + F_a + F_t + F_s$$

2) 温度条件  $t > 0$  (℃)

$$m \times g \times \sin \theta > F_{sf} + F_t + F_s$$

#### (2) 滑雪持続条件

$$m \times g \times \sin \theta > F_{kf} + F_{ch}$$



一般に屋根雪の滑雪状況をみると、屋根雪は、屋根上の雪が全体に移動して滑雪することは稀で、屋根の頂部やげらばに部分的に残る現象がみられる。この現象は、図3に示す上部の雪の引張抵抗力や側部の雪のせん断抵抗力の影響を受けているためである。この部分的な滑雪現象は、筆者らのモデル実験研究でも明らかになっている<sup>6)</sup>。ここで、滑雪開始条件における滑雪抵抗力の低減を考えると、静摩擦抵抗力( $F_{sf}$ )、凍着抵抗力( $F_a$ )を除いた引張抵抗力( $F_t$ )およびせん断抵抗力( $F_s$ )は、上部に雪切り板や本調査結果にみられるように、膜パネルをV字状に張るなど屋根形状を工夫することでほとんど無視できるほどに低減可能である。従って、温度条件が $0^{\circ}\text{C}$ 以上の場合、 $m \times g \times \sin \theta > F_{sf}$ となる屋根勾配 $\theta$ であれば、屋根雪は滑雪することになる。筆者らの静摩擦係数に関する自然雪を用いた室内モデル実験結果によれば、 $0^{\circ}\text{C}$ における膜材の静摩擦係数は $\mu_s = 0.4$ である<sup>7)</sup>。この値を用いて上述の式から滑雪に必要な屋根勾配 $\theta$ を求めると以下ようになる。

$$m \times g \times \sin \theta > F_{sf} = \mu_s \times m \times g \times \cos \theta$$

$$\theta > \tan^{-1}(0.4) = 21.8^{\circ}$$

この求められた値は、本調査結果で得られた自然滑雪現象が発生する屋根勾配 $20^{\circ}$ 程度とほぼ同様の値を示す。従って、膜構造建築物では屋根勾配 $20^{\circ}$ 以上を確保することにより、自然滑雪現象が発生すると言える。筆者らは、写真3に示すように、引張抵抗力を低減するため上部に雪切り板、せん断抵抗力を低減するために膜パネルをV字状に張って1994年度および1995年度の冬期に実験を行っている<sup>8)</sup>。その結果、写真のように、屋根雪はV字の両脇峰部で分割され、各V字谷部ごとに本調査結果と同様に滑雪している状況が観察されている。このように膜パネルをV字状に張ることは、屋根雪の滑雪抵抗力を低減できるため、屋根雪処理を行う上で効果的であると考えられる。

図4に、V字屋根形状における滑雪現象の模式図を示す。図のように屋根雪は谷部へ移動しようとする力 $f_g$ が作用して峰部で屋根雪が分割される。この谷部へ移動しようとする力 $f_g$ は、V字角度 $\theta_1$ が大きくなるほど大きくなることから、せん断抵抗力の低減に対して効果的である。これに加え、屋根雪は、 $f_g$ の作用によってV字谷部へ集まるように堆積するため、単位面積当たりの積雪重量が増加する。従って、V字屋根形状では、膜材料を平面的に張る場合に比べて滑雪しやすくなっていると考えられる。

#### 2.4 膜構造建築物における屋根上積雪荷重の評価について

1993年に改訂された日本建築学会建築物荷重指針では、屋根上積雪荷重を制御する考え方が取り入れられ、この制御する場合の荷重を「制御積雪荷重」としている<sup>9)</sup>。積極的な屋根上積雪荷重の制御を行うためには、制御方法に関する明確な考えや信頼性が必要となる。このようなことから、本調査結果で得られた知見を基に屋根上積雪荷重の制御について考えると、以下ようになる。

膜構造建築物は、本調査にみられるように屋根雪処理方法の技術を開発して温風送風装置など熱エネルギーを与えた屋根雪処理方法が多く採用されている。温風送風装置など人工的な融雪装置によって屋根上積雪荷重を制御する場合、大雪に対しても常に安定した熱

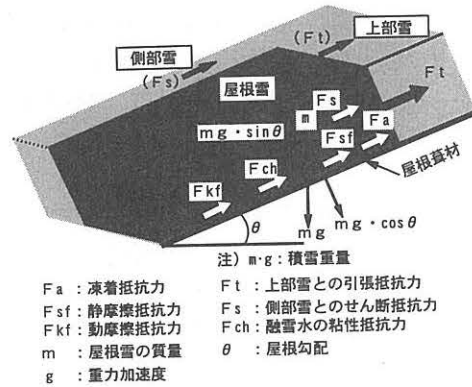


図3 屋根雪の滑雪条件

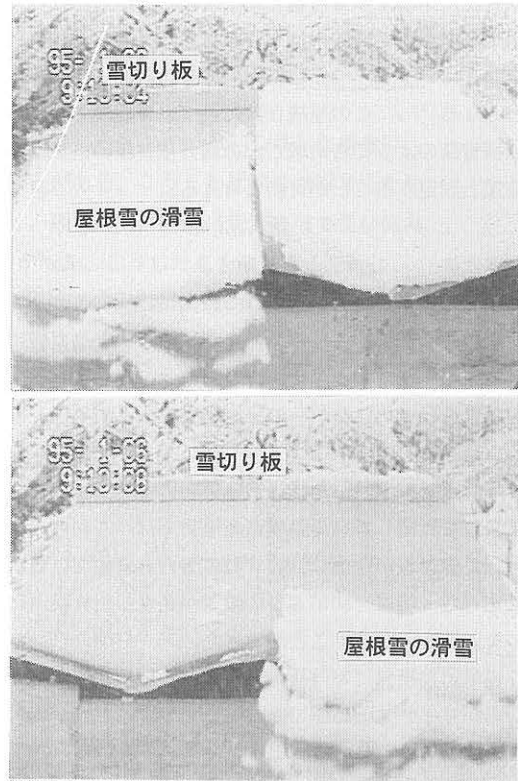


写真3 V字屋根形状における屋根雪の滑雪状況

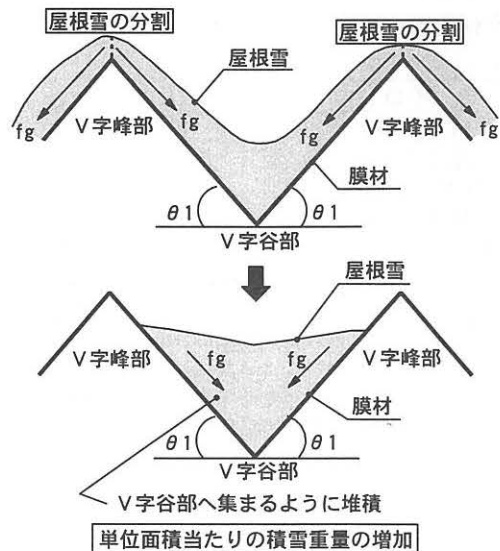


図4 V字屋根形状における滑雪現象の模式図

エネルギーの供給が絶対条件となる。北海道を対象とした雪害による道路、電気および鉄道などのライフラインの復旧に関する研究をみると、概ね3日以内に復旧している<sup>10)</sup>。本調査結果からみられるように膜構造建築物は、外気温がマイナスの状態でも融雪装置が有効に作用して2~3日で膜面の雪が全てなくなる状況である。従って、融雪装置の信頼性に関わる作動性能と管理運用計画を十分に検討することで、制御積雪荷重を用いることが十分に可能と考える。

自然降雪現象は、札幌コミュニティドームのように屋根勾配20°以上で外気温-2.0~0℃付近で顕著に発生している。このようなことから、屋根勾配20°以上の膜構造建築物における制御積雪荷重を考えると、自然降雪による制御では、日最高気温-2.0℃以下の連続日数を基に屋根上積雪荷重を設定することが可能と考える。例えば、苫米地らの再現期間30年における日最高気温の連続日数に関する研究結果を用いると、-2.0℃以下の連続日数は、札幌で14日、青森で8日となる<sup>11)</sup>。この連続日数に基づいて札幌であれば年最大14日増分積雪深のように各地域ごとの増分積雪深の再現期待値を制御積雪荷重と設定することが可能と考える。

### 3. まとめ

本研究では、多雪地域における膜構造建築物の合理的な屋根上積雪荷重の評価を行うための資料を蓄積することを目的に、現地管理者、建築物所在地の建築指導課を対象としたヒアリング調査および現地調査を行った。これらの研究結果をまとめると、以下のようになる。

(1)本調査で対象とした膜構造建築物の中で、室内暖房および温風送風装置を設置している膜構造建築物では、これらの装置が有効に作用して融雪が発生し、いずれの場合も屋根面に雪が残らない状況であった。特に、50年ぶりの豪雪が発生した札幌市においても、その有効性を確認することができた。

(2)膜構造建築物における自然降雪は、屋根勾配20°以上であれば、外気温がマイナスの範囲でも顕著に発生することが明らかとなった。

(3)膜構造建築物の屋根形状をV字状にすることは、屋根雪の滑雪抵抗力を低減できるため、屋根雪処理に効果的である。

(4)膜構造建築物は、屋根雪処理が有効に作用しているため、制御積雪荷重を用いることが十分に可能と考える。自然降雪による制御では、屋根勾配20°以上で日最高気温-2.0℃以下の連続日数を基に各地域ごとの増分積雪深の再現期待値を制御積雪荷重と設定することが可能と考える。融雪による制御では、融雪能力に応じて自然降雪による制御の値よりも小さい値とすることが可能と考える。

これらの研究結果は、多雪地域における膜構造建築物の屋根上積雪荷重を評価する場合の資料になり得ると考える。

最後に、本研究を進めるに当たり、ご協力を頂いた各膜構造建築物の現地管理者および建築物所在地の建築指導課の方々に感謝致します。

### 【参考文献】

- 1) 石井一夫編：日本の膜構造・作品選集，SPS 出版，1993. 2
- 2) 望月伸悟：豪雪寒冷地における膜構造物の計画② 膜屋根の雪荷重について，日本雪工学会誌，Vol. 7, No. 1, pp. 52-57, 1991. 1
- 3) 鳥羽厚：青森市屋内グラウンド「サンドーム」，日本雪工学会誌，Vol. 11, No. 4, pp. 30-35, 1995. 10
- 4) 新井覚ほか：屋根上積雪荷重の評価に用いる屋根形状係数に関する一考察，第12回日本雪工学会大会論文報告集，pp. 13-16, 1996. 1
- 5) 渡辺正朋：屋根葺材の滑雪特性に関する基礎的研究，東北大学学位論文，pp. 15-22, 1990. 11
- 6) 苫米地司ほか：膜構造物における降雪現象に関する一考察，膜構造研究論文集'94，No. 8, pp. 103-110, 1994. 12
- 7) 苫米地司ほか：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 第426号，pp. 99-105, 1991. 8
- 8) 苫米地司ほか：膜構造物における屋根上積雪荷重の評価について，第12回寒地技術シンポジウム，寒地技術論文・報告集Vol. 12-No. 1, pp. 459-462, 1996. 11
- 9) (社)日本建築学会編：建築物荷重指針・同解説，pp. 197-200, 1993, 6
- 10) 山形敏明ほか：北海道における冬期間の雪害による国道・鉄道・電力の復旧状況について，日本雪工学会誌Vol. 10 No. 3, pp. 2-10, 1994
- 11) 苫米地司ほか：畜舎建築における屋根上積雪荷重の緩和について，第14回日本雪工学会大会論文報告集，pp. 9-12, 1997. 11

## Study on the Evaluation of Snow Load on a Roof of a Membrane Structure in regions with heavy snowfall

Hideharu Yamaguchi \*1  
Tsukasa Tomabechi \*2

### SYNOPSIS

Membranes have high transmissivity within the visible-light range and are used in buildings to create a bright interior space. In regions with heavy snowfall, various means are used to remove snow from the roof of membrane structures in order to maintain a bright interior space during winter. However, the current evaluation of snow load on the roof of membrane structures is the same as that used for buildings from which snow removal is not frequently carried out. This is thought to be due to the current small number of membrane structures in regions with heavy snowfall and to insufficient clarification of the effectiveness of methods for removing snow from roofs. In this study, we conducted interviews with building managers as well as on-site surveys with regards to snow accumulation on the roof of membrane structures for the purpose of collecting data that may be used as a basis for appropriate evaluation of snow load on the roof of membrane structures in regions with heavy snowfall.

\*1 Graduate Student, Hokkaido Institute of Technology, M.Eng.

\*2 Prof., Dept. of Architecture, Hokkaido Institute of Technology, Dr.Eng.