

大規模膜屋根構造物における堆雪形状について

小竹 達也*¹

苦米地 司*²

梗 概

本研究では、大規模膜屋根建築物における堆雪形状と滑雪性状を把握し、その推定手法を確立することを目的に、札幌市と小松市の膜屋根ドーム建築物の調査と数値シミュレーションによる検証を行った。その結果、大規模建築物では、軒下から離れた位置に堆雪山が形成され、内側勾配 40° 前後、外側勾配 30° 前後の三角形状となるが、テイクオフポイントが軒先とは限らない場合は、複数のコブを持った形状となることがわかった。また、堆雪形状の形成過程推定手法についても述べられている。

1. はじめに

近年、寒冷地において多くの大型ドーム建築物が建設されている。このような大規模建築物の場合、屋根上積雪を滑雪または融滑雪により処理することが多いが、滑雪処理を行う場合、軒下に十分な堆雪スペースが必要となる。適切な堆雪スペースを設計するには、滑雪後の堆雪形状を把握する必要がある。しかし、住宅等の比較的小規模な建物については報告¹⁾²⁾されているが、ドームのような大規模建築物については殆ど報告されてないのが現状である。そこで、札幌市と石川県小松市に建設された膜屋根ドーム建築物における堆雪形状の実測調査を行った。

また、堆雪形状は、滑雪性状に大きく影響を受けるものと考えられる。それは、滑雪性の悪い屋根では、軒下近辺に堆雪山が形成されるが、滑雪性の良い屋根では、滑雪後の飛距離（以下、滑雪飛距離）が大きいため、軒下から離れた位置に堆雪山が形成されるからである。そこで、調査物件について膜材料の滑雪特性を考慮したシミュレーションを行い、調査結果と比較し、その妥当性の検証を行った。

本文では、この堆雪形状調査と滑雪シミュレーションの結果について報告する。

2. 札幌市における堆雪形状実測調査

2-1 建物概要

調査対象となった建物は、札幌市丘珠地区に建設された札幌コミュニティドームである。本ドームの屋根は、四フッ化エチレン樹脂

コーティングガラス繊維布を用いた鉄骨組膜構造と鉄骨円錐チューブ構造の金属壁面から構成されており、膜屋根部分は雪の滑雪性を考慮してV字型の膜面を形成している。外膜は押えケーブルを用いず、内部からカテナリー状の引き込みケーブルにより膜張力を与えているため膜表面には何も露出するのものが無い状態となっている。

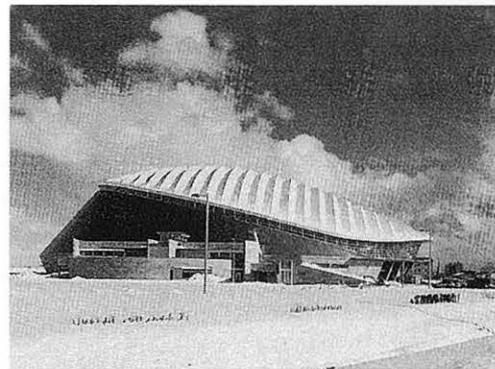


写真1 札幌コミュニティドーム外観

2.2 調査方法

平成10年1月17日（土）、図1に示すドーム東側の2断面について堆雪形状の調査を行った。実測にはメジャー、カメラ、角度計を使用した。計測はその場での実測と写真撮影により行った。実測ができない場合には、長さの基準となるもの（メジャー）を堆雪山の上に置き、写真撮影し、その画像から堆雪山の全体寸法を求めた。

*1 大成建設株式会社 設計本部・工修

*2 北海道工業大学 教授・工博

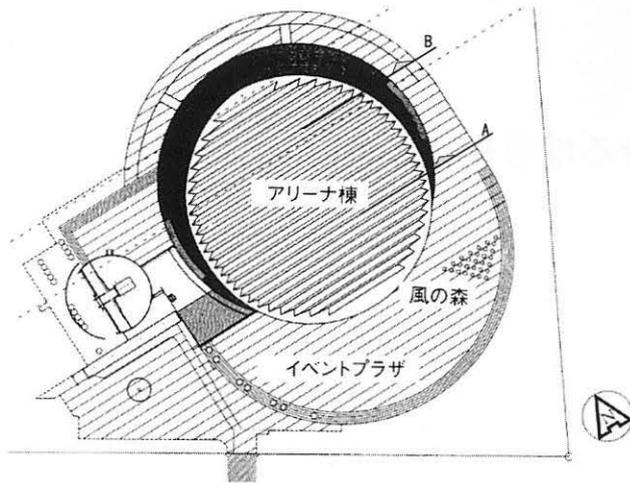


図1 配置図および調査位置

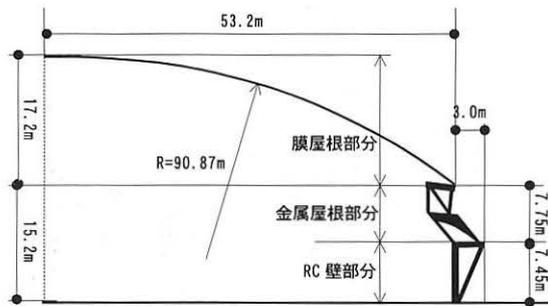


図2 位置Aの断面構成

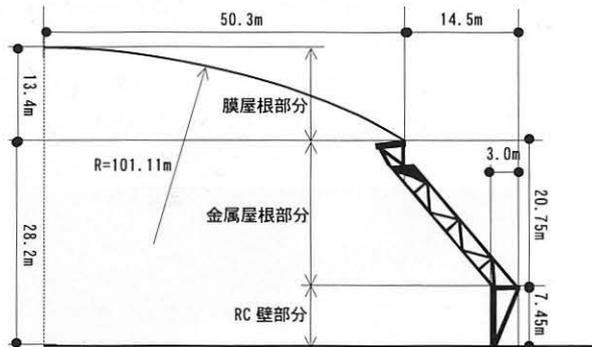


図3 位置Bの断面構成

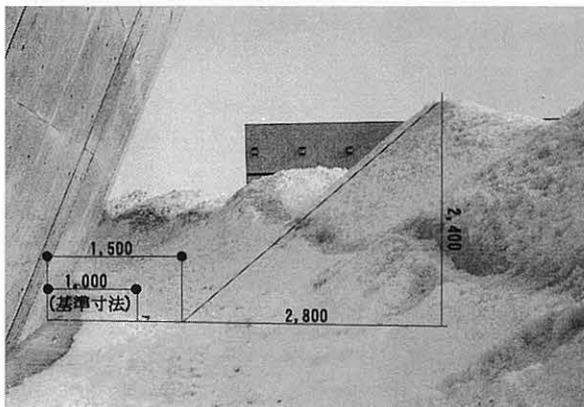
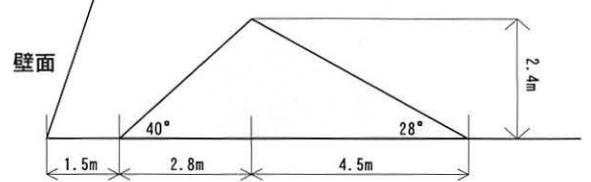


写真2 写真画像による寸法計測 (位置A)

2.3 調査結果

図4に各堆雪形状の断面模式図を示す。堆雪山の形状は、1コブの三角形をしており、ドーム側(内側)の勾配は40度、その逆側(外側)の勾配は30度であり、他の堆雪山についても計測したが、殆どの箇所で同様な数値であった。また、堆雪山から更に離れた所に幾つもの氷塊が散らばっており、ドーム頂部で冷やされた積雪が凍り、一気に滑雪したものと推測される。最も離れた氷塊は、金属屋根軒下より13.7mの位置まで飛んでいた。

Section-A



Section-B

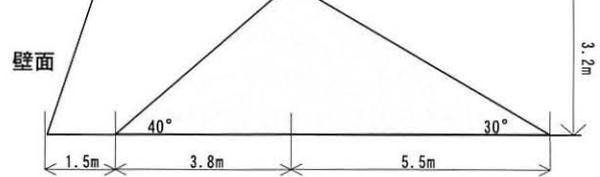


図4 堆雪形状の模式図

2.4 考察

今回、調査した堆雪形状について、その滑雪現象をシミュレーションにより推測してみる。屋根上積雪の滑雪飛距離は、質点の運動法則により次式²⁾により求められる。

$$A = \frac{V \cos \theta_2 \sqrt{2gH + (V \sin \theta_2)^2} - V \sin \theta_2}{g} \dots \dots \dots (1)$$

$$V = \sqrt{2gD(\tan \theta_1 - \mu_k)} \dots \dots \dots (2)$$

- ここで、A：滑雪飛距離(m) θ_1 ：滑走角度(degree)
- V：飛出速度(m/s) θ_2 ：飛出角度(degree)
- D：滑走距離(m) H：軒高(m)
- g：重力加速度(m/s²) μ_k ：動摩擦係数

表1に検討条件を示す。ただし、膜屋根部分は円弧形状をしているため、屋根上積雪の滑雪開始位置を屋根長さを3分割して検討した。

表1 滑雪シミュレーション検討条件

Section-B		
	膜屋根	金属屋根
滑走距離	52.6m	22.6m
滑走角度	20deg	50deg
飛出角度	25deg	50deg
軒高	28.2m	7.45m
動摩擦係数	0.05	0.05

*滑走角度は円弧屋根の平均勾配を表している。

ここでは、位置Bの結果について述べる。図5に屋根上積雪の滑雪開始位置と飛出距離の関係を示す。なお、今回設定した動摩擦係数0.05は、実験³⁾から求められた最も小さな値である。

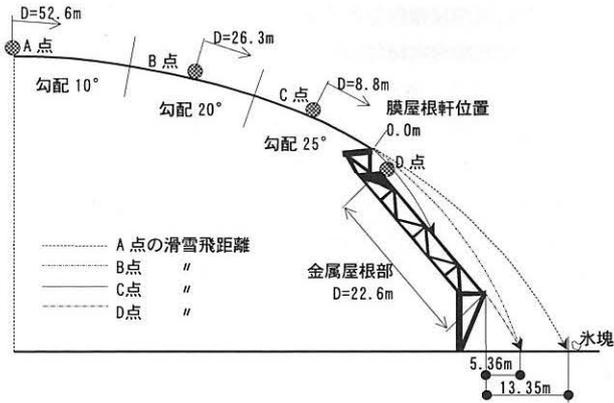


図5 滑雪シミュレーション結果（位置B）

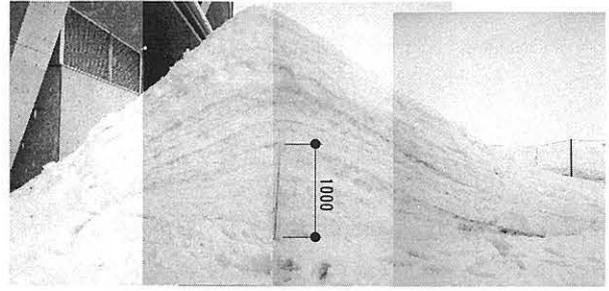


写真3 堆雪積層断面（記録日：平成11年1月20日）

B点付近から滑雪した雪は、金属屋根に接触することなく地面に達するが、それよりも低い位置にある屋根上積雪は、殆どが金属屋根に一度接触し、金属屋根上を滑り、地面に達すると推測できる。また、今回設定した動摩擦係数以上の状態で滑雪する場合もあるため、B点付近の積雪も金属屋根に接触していると考えられる。屋根頂部付近の積雪は、本ドームの冬期観測⁹⁾よりB点付近まで低速で移動した後、滑雪することが確認されており、このことから膜屋根上の積雪の殆どが金属屋根上を滑雪したものと推測できる。

屋根頂部の水塊が滑走した場合、その動摩擦係数は0.05に近くなると考えられる。シミュレーションでは、金属屋根軒下から13.35mまで飛んでおり、現地実測した水塊の位置13.7mとほぼ一致しており、滑雪現象は実証できたといえる。

次に堆雪形状の形成過程を考えてみる。図6に位置Bにおける金属屋根からの滑雪飛行ラインと実測された堆雪形状を示す。屋根上滑雪現象では、軒部の積雪は加速されないため真下に落下し、最上部の積雪は最も加速されるため、最も遠くへ落下する。

屋根上積雪量が比較的少ない段階では、この範囲に堆雪山は形成されることになる（落下後の飛散は考慮していない）。調査結果より堆雪形状は内側40°、外側30°の三角形となり、山の頂部位置は、堆雪幅を約4:6に分割する位置となる（図6中の破線の堆雪山）。写真3に堆雪山の積層断面を示すが、山頂部の位置は殆ど変化していないことがわかる。降雪が続き、降雪量が増えてくると、図6中の一点鎖線のように、落雪は堆雪山の内外に流れ込みながら堆雪し、堆雪山の頂部が滑雪飛行ラインと接する位置まで成長した後、滑雪飛行ライン上に頂部位置を移行するものと推測される。

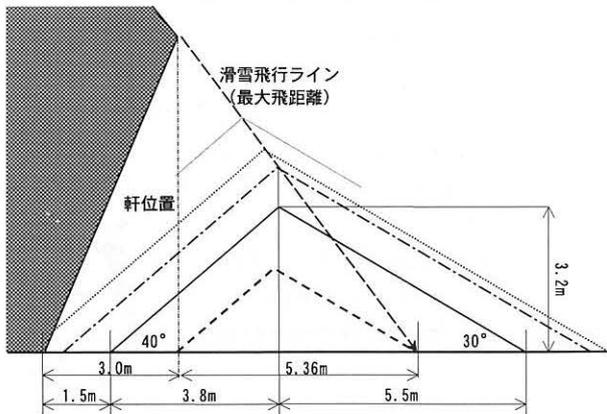


図6 堆雪形状の形成過程概念図

3. 小松市における堆雪形状実測調査

3-1 建物概要

調査対象となった建物は、石川県小松市に建設されたこまつドームである。本ドームの屋根は、70m×55mの開口部を持つ閉閉式屋根構造であり、四フッ化エチレン樹脂コーティングガラス繊維布を用いた鉄骨組膜構造である。膜屋根部分は、札幌コミュニティドームと同様に、雪の滑雪性を考慮してV字型の膜面を形成している。また、内部からテンションロッドによる引き込により膜張力を与えているため膜表面には何も露出するものがない状態となっている。



写真4 こまつドーム外観（屋根閉状態）

3.2 調査方法

平成10年1月30日（金）、札幌コミュニティドームの場合と同様な方法により、図7に示すドーム北側の2断面について堆雪形状の調査を行った。

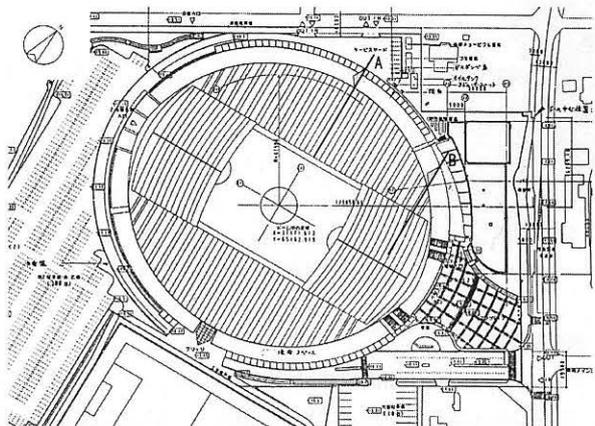


図7 配置図および調査位置

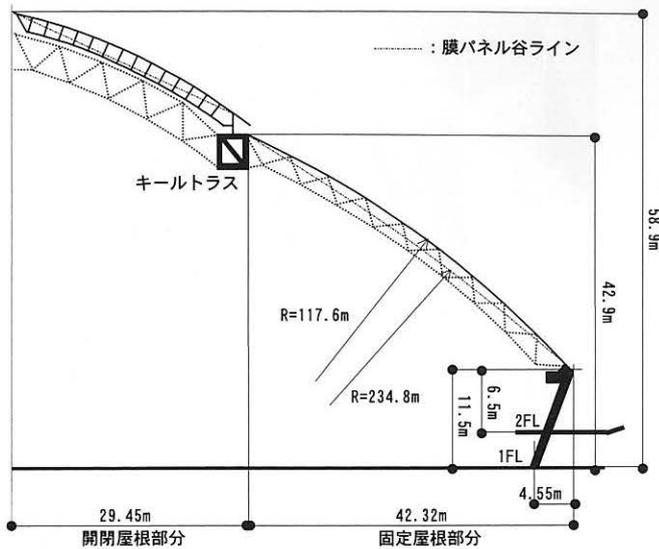


図8 位置Aの断面構成

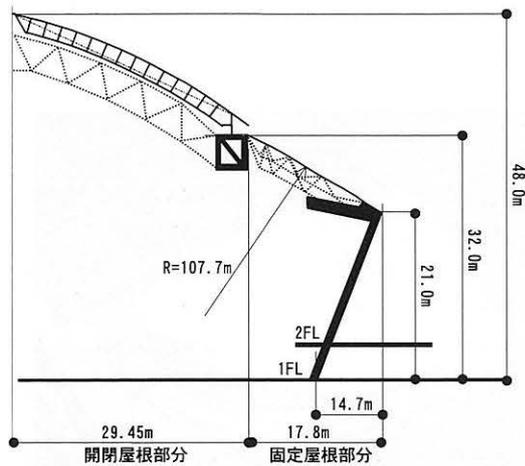


図9 位置Bの断面構成

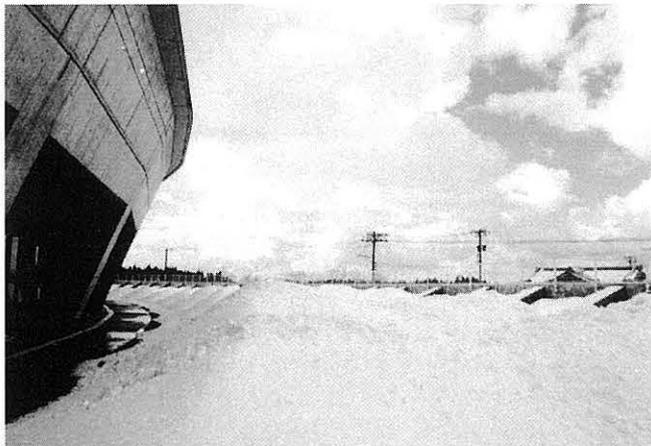


写真5 こまつドーム周辺の堆雪状況

3.3 調査結果

図10に各堆雪形状の断面模式図を示す。こまつドームの堆雪形状は、札幌コミュニティドームの場合と異なり、2コブ以上の山が形成されていることが大きな特徴である。これは、ドーム屋根が固

定屋根部分と開閉屋根部分から構成されていることと固定屋根部分は勾配が急なため降雪時に屋根上積雪の分断化が起こったためと考えられる。

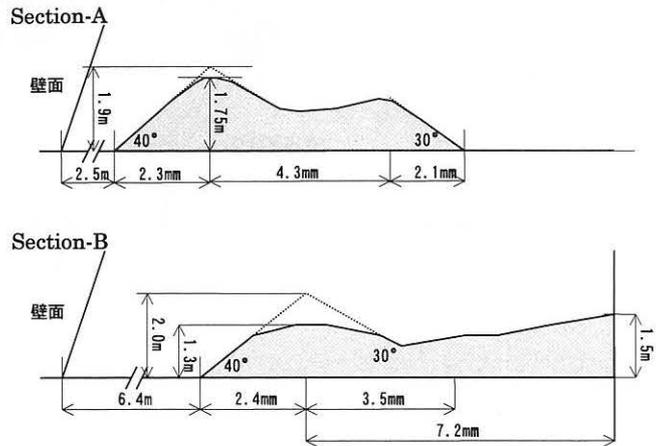


図10 堆雪形状の模式図

3.4 考察

先と同様に調査した堆雪形状について、その降雪現象をシミュレーションにより推測してみる。

表2に検討条件を示す。ただし、固定屋根部分は円弧形状をしているため、屋根上積雪の降雪開始位置を屋根長さを3分割して検討した。

表2 降雪シミュレーション検討条件

Section-A	開閉屋根	固定屋根
滑走距離	32.5m	52.8m
滑走角度	25deg	35deg
飛出角度	(45deg)	45deg
軒高	(6.5m)	6.5m
動摩擦係数	0.05	0.05

*滑走角度は円弧屋根の平均勾配を表している。

ここでは、位置Aの結果について述べる。図11に屋根上積雪の降雪開始位置と飛散距離の関係を示す。

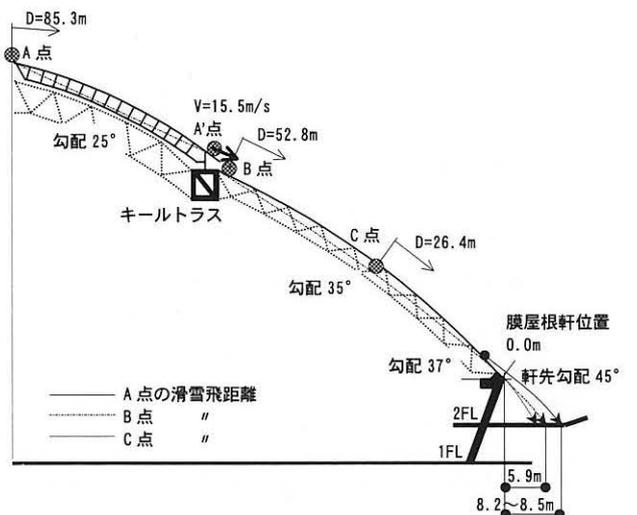


図11 降雪シミュレーション結果 (位置A)

B点およびC点近辺から滑雪した雪は、軒位置から5.5~6mの所に落下する。調査結果では、4.8mの位置に落ちており、シミュレーション結果の方が若干大きく目に出ているが、これは北陸地方の気温レベルが高いため雪質がぬれ雪状態となっており、摩擦抵抗が大きくなったためと考えられる。

また、開閉屋根上のA点近辺の雪は、B点付近では滑雪速度が15.5m/sまで増加し、その状態で固定屋根上を滑雪するため軒位置では39m/sにまで加速されることになる。そのため、軒先の勾配では制御できず、その手前から飛び出したものと推測される。この場合、軒先手前の膜勾配36~37°の角度でテイクオフし、滑雪飛距離は8.2~8.5mとなり、調査結果と近い値となっている。

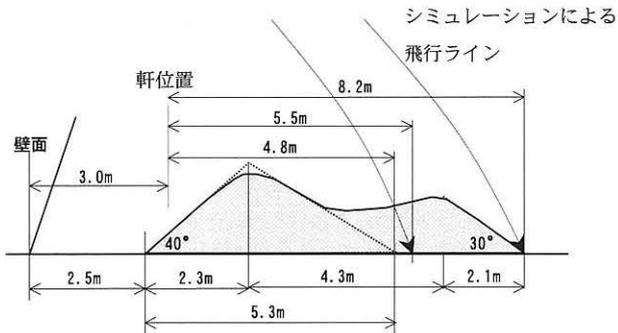


図12 調査結果とシミュレーションの比較

4. まとめ

本研究では、大規模建築物における堆雪形状と滑雪性状を把握し、その推定手法を確立することを目的に、札幌市と小松市の膜屋根ドーム建築物の調査を行い、数値シミュレーションによる検証を行った。以下に、研究の内容をまとめる。

(1) 大規模建築物では、軒下から離れた位置に堆雪山が形成され、内側勾配40°前後、外側勾配30°前後の三角形となる。ただし、テイクオフポイントが軒先とは限らない場合は、複数のコブを持った形状となる。

(2) 現地調査により滑雪シミュレーションの妥当性が検証できた。

(3) 堆雪形状の形成過程推定手法が提案できた。

(4) 数値シミュレーションに用いる動摩擦係数の設定には、屋根材料、屋根形状の他、建設地の気温特性(雪質)を考慮する必要がある。

これらの結果は、大規模建築物における堆雪形状や必要堆雪エリアを検討する場合の有効な資料になり得ると考える。最後に調査にあたりご協力頂きました札幌コミュニティドームとこまつドームの職員の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) (社) 日本建築士事務所協会連合会：実務者のための積雪寒冷地建築技術資料、1984.8
- 2) 高橋 博、中村 勉：雪氷防災、(株) 白亜書房、1986.12
- 3) 絵内正道：積雪寒冷型アトリウムの計画と設計、北海道大学図書刊行会、1995.2
- 4) 苦米地司、他4名：膜構造建築物における屋根上積雪荷重評価について、日本建築学会技術報告集、第5号、pp.91-95、1997.12
- 5) 苦米地司、他4名：膜材の表面粗さが滑雪性状に及ぼす影響について、(社) 日本膜構造協会、膜構造研究論文集'95、1995.12
- 6) 小竹達也、他3名：膜屋根構造物の屋根上積雪荷重評価について、(社) 日本膜構造協会、膜構造研究論文集'95、1995.12

SNOW ACCUMULATION SHAPE OF THE LARGE-SCALE MEMBRANE STRUCTURES

Tatsuya Kotake *1

Tsukasa Tomabechi *2

SYNOPSIS

This paper deals with field researches about membrane roof structures in Sapporo and Komatsu city to propose a presumption technique of snow accumulation shape after sliding of a large-scale structure and comparison between the results of field researches and the sliding simulation.

According to this study, it was found that the top of the snow accumulation shape was made at the same way from eaves, and inside incline is about 40 degrees and outside incline is about 30 degrees.

In the case that take off point is different from eaves, the snow accumulation shape was made with some lumps.

*1 Taisei Corporation, Design and Proposal Div., Mr. Eng.

*2 Prof., Hokkaido Institute of Technology, Dr. Eng.