HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	屋根面の風圧分布特性に基づく建築物設計用屋根雪偏分布形状の推定
著者	桜井，修次；阿部，修；城，攻；Sakurai，Shuji；Abe，Osamu；Joh，Osamu
引用	工学研究 ： 北海学園大学大学院工学研究科紀要(10)：9-14
発行日	2010-09-30

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

研究論文

屋根面の風圧分布特性に基づく建築物設計用屋根雪偏分布形状の推定

桜 井 修 次* ・ 阿 部 修** ・ 城 攻***

Estimation of the unbalanced roof snow accumulations based on the roof wind pressure coefficients

Shuji Sakurai*, Osamu Abe** and Osamu Joh***

1．はじめに

多雪地域に建設する大スパン建物の構造設計においては，屋根雪荷重が屋根構造部材断面の主たる決定要因となる場合が多い[例えば1)]．特に，風に起因する雪の吹き払い・吹きだまりによる屋根雪の偏荷重についても慎重な扱いが必要である．しかし，現状では，屋根雪の合理的な偏荷重評価法が確立しているとは言い難く[2)]，工学的に有効な方法が必要とされている．

屋根雪の偏分布現象は，屋根面近傍の気流性状と密接な関連があることは周知のとおりである．土谷ら[3)]は，屋根面に近接した位置における風の水平方向の平均加速度分布に着目し，屋根上積雪深分布との関係について検討した．二段水平屋根を有する建物モデルを対象として，野外実測から得られた積雪深分布と気流風洞実験から得られる屋根面風速の平均加速度分布を比較した結果，両者に負の相関関係があることを報告している．

一方，筆者らは屋根面の風上から風下へ向かう風圧分布に着目し，その圧力勾配が積雪深分布へ及ぼす影響について検討してきた．これに関連する風工学的知見として，「物体表面における風圧分布の様相は，物体周りの気流の流線の状況と密接な関係があり，はく離した流線が再付着する場合，その地点付近で負圧の大幅な減少が生じ，そのため流体粒子は圧力勾配によって物体近傍へ引き寄せられる．」[例えば4),5)]という基本的事項を挙げることができる．このことから，屋根面の風圧力と屋根雪の積雪現象は，強い相互関係があると推測され，各種屋根形状においてその基本的特性を明らかにできれば，実務設計への展開が期待できる．

既報[6)]では，水平屋根，半球ドーム屋根等５種類の屋根形状を対象にして，人工雪を用いた降雪風洞実験および屋根面の風圧風洞実験を行った．各屋根それぞれのセンターライン断面において，１回の吹雪による屋根雪の偏分布係数（屋根雪平均深さに対する各点の積雪深さの比）は，屋根面平均風圧係数の増減特性と概ね相関関係があることを示した．すなわち，図１に示すように，積雪の

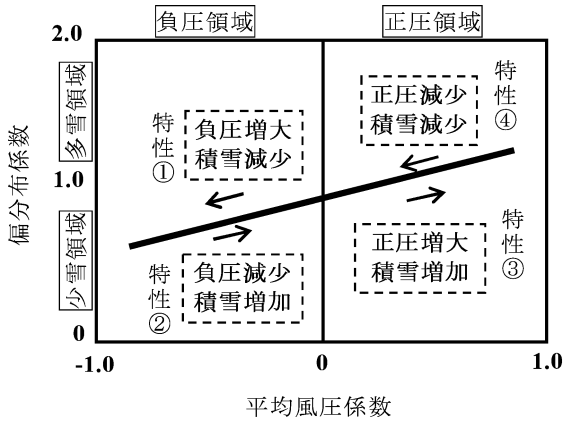


図１　平均風圧係数と屋根雪の偏分布係数の関係を表す概念図（直線表示した場合）

* 北海学園大学大学院工学研究科建設工学専攻（建築系）教授・博士（工学）
Graduate School of Engineering (Architecture and Building Eng.), Hokkai-Gakuen University.
** 独立行政法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター新庄支所・総括主任研究員・博士（学術）
Principal Senior Researcher, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Dr. Phirosophy
*** 北海道大学　名誉教授・工学博士
Professor Emeritus, Hokkaido University, Dr. Eng.

増加要因として，負圧の減少（特性②）あるいは正圧の増大（特性③）を，逆に積雪の減少要因として負圧の増大（特性①）あるいは正圧の減少（特性④）を挙げることができる．

偏荷重評価は，ドーム屋根において特に重要である．本報では，中ライズ，高ライズおよび半球の円形ドーム屋根を対象にして，

1）風圧分布特性と屋根雪の偏分布特性との関係
2）実務設計に供することのできる屋根雪偏分布特性の評価

について検討を行った結果を報告する．

2．実験概要

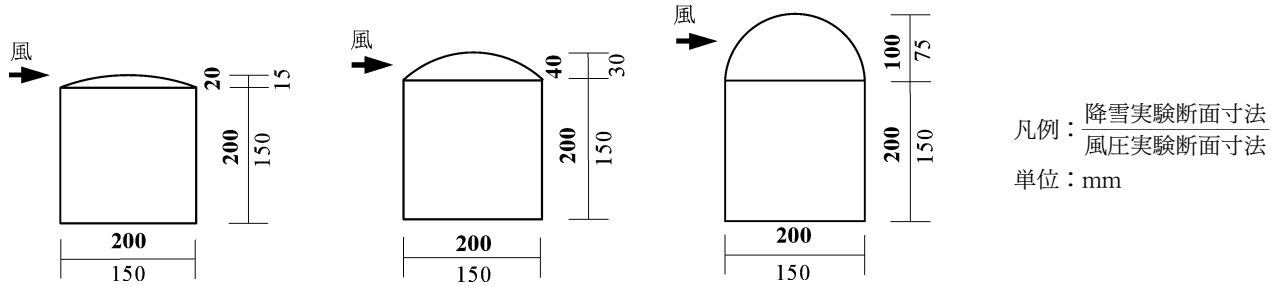
既報[6),7)]同様，降雪風洞実験を防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター新庄支所，風圧風洞実験を北海道大学大学院・流れ制御工学研究室において行った．図2(1)〜(3)に，実験模型建物3種類の断面図を示す．これらはアクリル製の剛模型で，軒高比はいずれも1/1である．同図(1)は中ライズ（ライズ比0.1），同図(2)は高ライズ（ライズ比0.2），同図(3)は半球（ライズ比0.5）である．

模型表面の風圧力は，直径0.8 mmの風圧測定孔からビニールチューブを介して測定した．この導圧チューブの振動による影響は，その圧力伝達特性を求めてデジタル補正している[8)]．勾配流の気流プロファイルは，既報[7)]とほぼ同等であるのでここでは記述を割愛する．

人工雪を用いた降雪風洞実験において，屋根高さ（図2における風矢印位置）における勾配流の風速は，ほぼ1.7 m/secである．また，気温を−10℃に設定しているが，これは，実験が数日間にわたるため，できるだけ雪の変態の速さを遅らせるためである．相似則等は既報[7)]を参考にされたい．図3(1)〜(3)に，屋根面近傍の雪粒子流線を示す．風上端で剝離した雪粒子が，屋根面に沿って風下側に向かって移動し，再付着している様子が認められる．なお，降雪粒子の入射角は，ほぼ15〜16度，降雪強度は，4.4〜5.9 mm/hr（降水量換算）である．

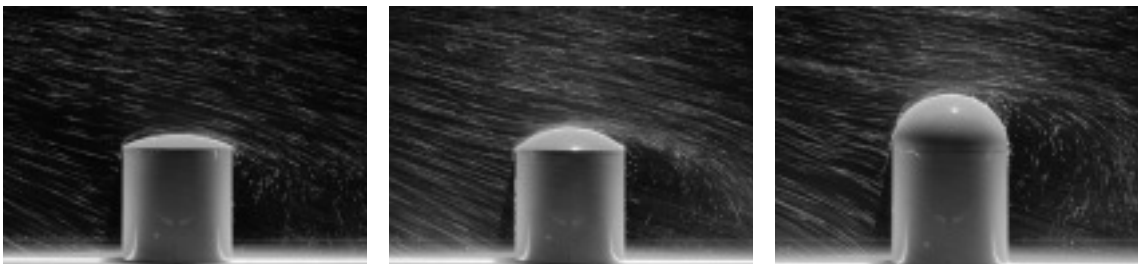
3．実験結果

図4(1)〜(3)に屋根面の平均風圧係数の分布図，図5(1)〜(3)に屋根雪の偏分布係数分布図（6次の多項式近似曲線も併示），図6(1)〜(3)に平均風圧係数と屋根雪の偏分布係数との関係を表す散布図および両者の線形回帰式を示す．ここで，図4，5の測定点は，いずれも水平投影面で等間隔である．また，屋根雪の偏分布係数は風圧係数と比較するため，曲面に垂直方向の値（厚さ）を示している．



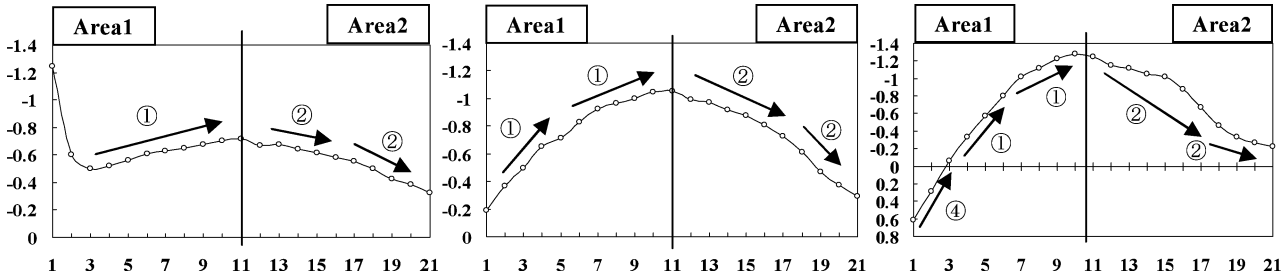
(1)　中ライズ（ライズ比0.1）　(2)　高ライズ（ライズ比0.2）　(3)　半球（ライズ比0.5）

図2　実験模型建物断面図



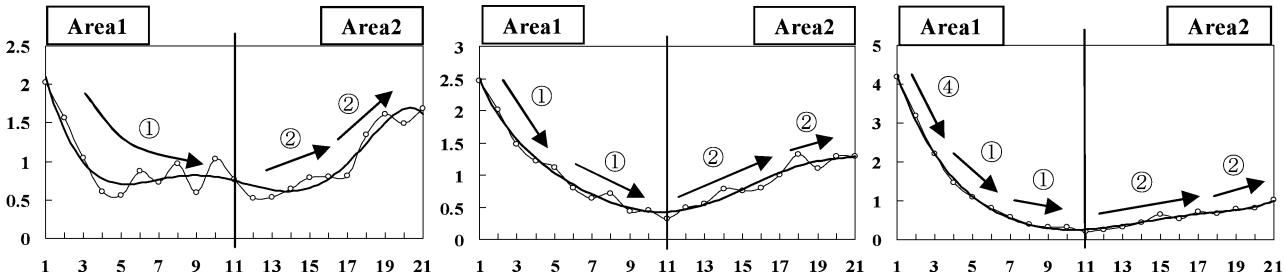
(1)　中ライズ（ライズ比0.1）　(2)　高ライズ（ライズ比0.2）　(3)　半球（ライズ比0.5）

図3　屋根面近傍の雪粒子流線



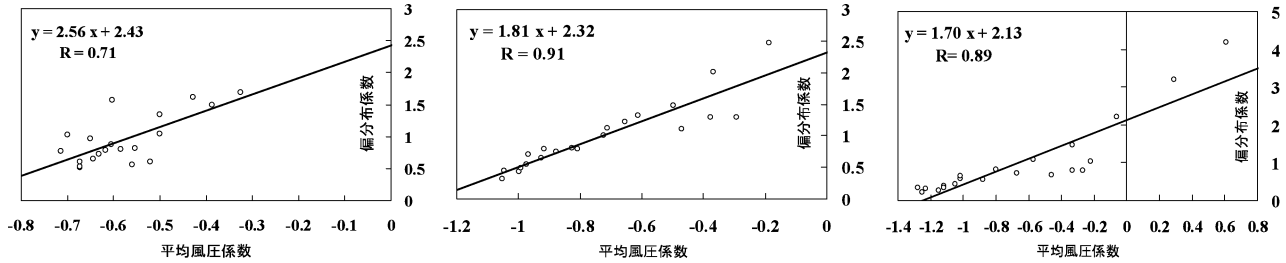
(1)　中ライズ（ライズ比 0.1）　(2)　高ライズ（ライズ比 0.2）　(3)　半球（ライズ比 0.5）

図 4　屋根面の平均風圧係数



(1)　中ライズ（ライズ比 0.1）　(2)　高ライズ（ライズ比 0.2）　(3)　半球（ライズ比 0.5）

図 5　屋根雪の偏分布係数



(1)　中ライズ（ライズ比 0.1）　(2)　高ライズ（ライズ比 0.2）　(3)　半球（ライズ比 0.5）

図 6　屋根面の平均風圧係数と屋根雪の偏分布係数の関係

3.1　半球ドーム

既報[6] では，発砲スチロール製，直径 300 mm の模型を用いた．今回はアクリル製，直径 200 mm であるが，風圧と屋根雪分布との関係は，以下に述べるように既報[6] と同等な結果を示した．

風上側領域（Area1）の風圧分布（図 4(3)）の特徴は，風上端の正圧（0.61）が減少し，連続的に負圧に変化すること，次に，それが急激にドーム頂点付近まで増大してピーク値（−1.28）へ達することである．また，それが反転して減少傾向へ向かう兆しが見える．風下側領域（Area2）の特徴は，負圧がドーム頂点付近のピークから転じて，気流の再付着点付近に向かって急激に減少傾向を続け−0.27 となり，やがて風下端付近で，減少傾向がほぼ終わる（−0.22）ことである．

一方，図 5(3)に示す屋根雪の分布では，風上側と風下側の形状が左右対称ではなく，差異が大きいことが分かる．風上側領域では，風上端の偏分布係数 4.18 からドーム頂点付近まで連続的かつ大幅に減少し，0.21 となっている．従って，図 1 に示す特性④（正圧の減少と積雪の減少）および①（負圧の増大と積雪の減少）の関係が認められる．風下側では，ドーム頂点の少雪領域が，風下端に向かって漸増傾向に転じている．すなわち，図 1 に示す特性②（負圧の減少と積雪の増大）の関係が認められる．既報[6] では風下端で再び積雪の漸減傾向が認められたが，今回はそれが明瞭ではなかった．また，図 6(3)から，平均風圧係数と屋根雪の偏分布係数両者には強い相関性が認められる．ここでの相関係数は 0.89 である．

3.2　高ライズのドーム

前述の半球ドームと比較しながら，高ライズドームの特性について考察する．図 4(2)に示す風圧分布の特徴は，中心軸に対し風上側と風下側がほぼ対称なことである．風上側では，半球ドームと異なり，正圧領域がなくすべて負圧領域である．風上端で－0.19 となり，連続的に負圧が増大していきピーク値（－1.05）に達している．風下側では，半球ドーム同様，負圧がドーム頂点付近のピークから転じて，急激に減少傾向を続け－0.29 となっている．風圧分布全体の形状は，模型屋根面の形状によく似ていることを指摘できる．なお，図 7 に 3 種のドームの風圧分布をまとめて示したが，ピーク値は，半球ドームの値（－1.28）に比べやや小さくなっていることが分かる．

一方，図 5(2)の屋根雪の分布は，半球ドームに比べ，風上側と風下側の差異が小さくなっていることが分かる．風上側では，風上端の偏分布係数 2.47 からドーム頂点付近まで連続的に減少し，0.31 となっている．従って，図 1 に示す特性①の関係が認められる．風下側では，半球ドーム同様，ドーム頂点付近から，風下端に向かって屋根雪が漸増傾向に転じ，図 1 に示す特性②の関係が認められる．また図 6(2)から，平均風圧係数と屋根雪の偏分布係数両者の相関係数は 0.91 である．

3.3　中ライズのドーム

風圧分布の特徴は，図 4(1)に示すように，風上端部に負圧の大きな値（－1.24）が発生し，狭い領域で急激に－0.50 まで低下することである．その後は，負圧が徐々に増大し頂点でピーク値－0.71 に達している．風下側では，徐々に圧力低下を生じ風下端部で－0.33 となった．高ライズドームや半球ドームと比べた全体的特長は，図 7 から分かるように，風上端 2 点を除いた領域ではこれらと類似した増減特性を有している．すなわち風上側からドーム頂点に向う負圧の増大，ピーク後風下端に向かう負圧の低下である．また，圧力勾配曲線は中ライズドームの形状に近似している．

屋根雪分布は，図 5(1)に示すように，風上側屋根中央付近で，積雪が波状に凹凸を示す箇所が見られた．しかし，図 8 に示すように，概括的には他のドームと類似した傾向を示している．また，図 6(1)に示すように，平均風圧係数と屋根雪の偏分布係数両者の相関係数は 0.71 である．

4．実務設計への展開

建築基準法施行令 87 条（風圧力）のような簡略化された屋根区分ごとに，屋根雪の偏分布係数を提示することが実用的である．

既報[6] では，半球ドーム屋根面における平均風圧係数と屋根雪の偏分布係数との回帰式を応用した手法を提案した．本報での実験結果から，中ライズおよび高ライズドームにおいてもこれと同等な手法を適用できる．すなわち，図 9(1)～(3)に示す 4 つの屋根区分Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄごとに，それぞれの風圧係数の平均値（円弧に沿った各測定点の間隔に応じた重み係数による値）を回帰式（図 6）へ代入して屋根雪の偏分布係数を求めるものである．結果を図中に記す．水平面に変換した値をみると風上側から，中ライズで 1.1，0.8，0.8，1.4，高ライズで 1.7，0.6，0.6，1.7，半球で 5.5，0.3，

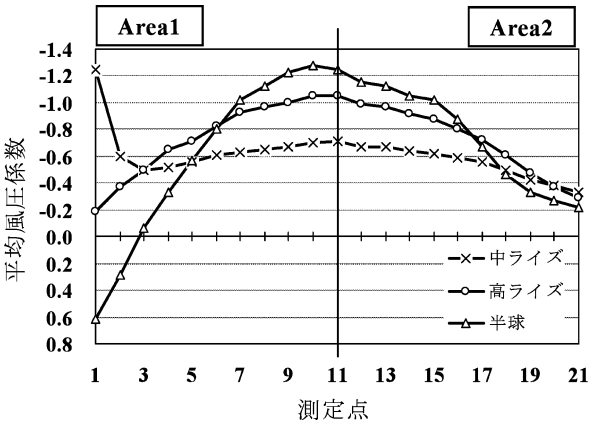


図 7　3 種のドームの平均風圧分布

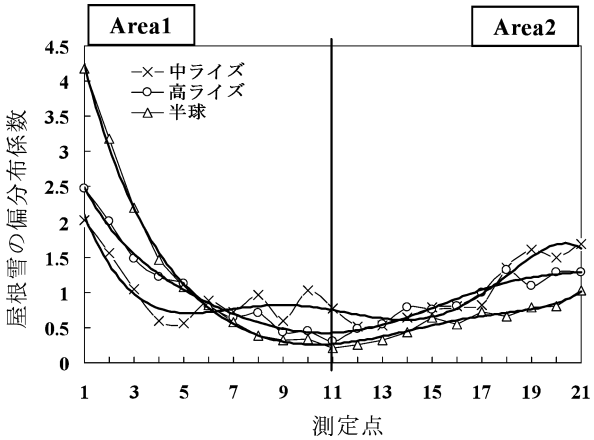
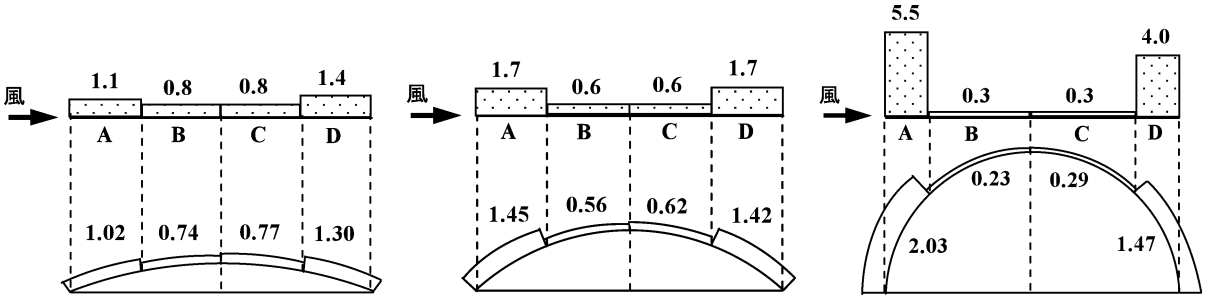


図 8　3 種のドームの屋根雪偏分布係数



(1)　中ライズ（ライズ比 0.1）　(2)　高ライズ（ライズ比 0.2）　(3)　半球（ライズ比 0.5）

図 9　実務設計用屋根雪の偏分布係数

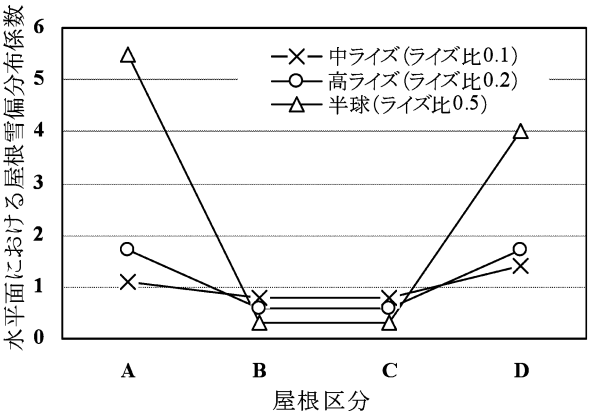


図 10　3 種のドームにおける実務設計用屋根雪偏分布係数の比較

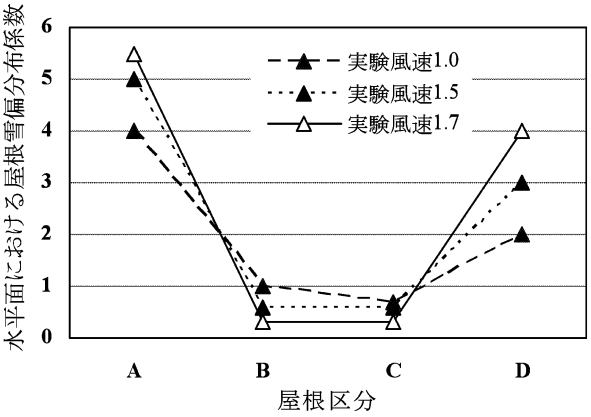


図 11　半球ドームにおける実験風速と実務設計用屋根雪偏分布係数の関係

0.3, 4.0 となった．図 10 に，これら実務設計用の屋根雪偏分布係数をまとめて示す．いずれもＡとＤ区分に雪が多く，中央部Ｂ，Ｃ区分で少なく，また，その傾向はライズ比が大きくなる程強くなることが分かる．

なお，本報では屋根高さの実験風速は 1.7 m/sec であるが，既報[6] では半球ドーム屋根について 1.0 m/sec および 1.5 m/sec の条件下で行っている．図 11 に，半球ドーム屋根について実験風速別の屋根雪の偏分布係数を示す．風速が変わっても，屋根雪の偏分布特性は類似していることが分かる．

5．まとめ

多雪地域における大スパン建物の設計用雪荷重の合理化に供するため，屋根雪の偏分布特性を屋根面風圧分布との関連性から検討した．中ライズ（ライズ比 0.1），高ライズ（ライズ比 0.2），半球（ライズ比 0.5）の 3 種のドーム屋根を対象として，人工雪を用いた低温下における降雪風洞実験および一般的な風圧風洞実験を行った．その結果，3 種の模型建物のセンターラインについて，屋根面平均風圧分布の増減特性と屋根雪の偏分布特性とが強い相関を有することを確かめ，両者の線形回帰式を求めた．さらに，これらの回帰式を応用して，簡略化された屋根区分それぞれに応じた屋根雪偏分布係数を示した．これらの値は風工学的根拠に基づくものであり，実務設計への展開が可能である．

謝辞

本研究の一部は，平成 19 年度北海学園大学院修論生・伊藤新治君[9] および平成 21 年度北海学園大学卒論生・大場諒平君[10),11)] が行ったものである．実験の実施に当たっては，東北大学大学院・植松　康教授，防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター新庄支所・佐藤　威所長，同小杉健二主任研究員，同根本征樹研究員，同望月重人特別技術員，同大川元造オペレータさらに北海道大学大学院・流動場システム工学研究室・武田　靖元教授，同田坂裕司助教，同山保敏幸技官から懇切丁寧な

ご指導，ご協力を頂きました．

なお，本研究の一部は，平成21年度北海学園大学・学術研究助成（一般研究・代表　桜井修次）に依るものである．記して感謝申し上げます．

【参考文献】

1）日本建築学会建築計画委員会：「札幌ドーム」工事全記録，2003.
2）日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2004.9.
3）土谷　学，苫米地司，本郷　剛，上田　宏：階段状屋根の雪の吹きだまりに影響を及ぼす風の流れの特性に関する研究，日本建築学会構造系論文集　No.555 pp.53-59，2002.5.
4）日本風工学会：風工学ハンドブック，朝倉書店，2007.4.
5）大熊武司，神田　順，田村幸雄：建築物の耐風設計，鹿島出版会，1996.3.
6）桜井修次，阿部　修，城　攻：風洞実験手法による屋根雪の偏分布形状に及ぼす屋根面の風圧分布特性の影響に関するケーススタディ，日本建築学会構造系論文集 No.637，2009.3.
7）桜井修次，真田朋幸，阿部　修，城　攻：人工雪を用いた降雪風洞実験および屋根面の変動風圧分布特性に基づく屋根雪分布形状の推定に関する開発研究，日本建築学会構造系論文集　No.620，2007.10.
8）財団法人日本建築センター：実務者のための建築物風洞実験ガイドブック，1994.6.
9）伊藤新治：風洞実験手法による屋根雪の偏分布形状に及ぼす屋根面の風圧分布特性の影響に関する基礎的研究，平成19年度北海学園大学大学院修士論文.
10）桜井修次，阿部　修，城　攻：ライズ比の異なる3種のドーム屋根面における風圧分布と屋根雪偏分布との関係，日本建築学会北海道支部研究報告集　No.83，2010.7.
11）桜井修次，阿部　修，城　攻：ドーム屋根における屋根面の風圧分布に基づく屋根雪偏分布係数の算定，日本建築学会北陸大会学術講演梗概集構造系，B-1 2010.9.