

# ニセコ町役場新庁舎の雪対策および環境設計に係る 基礎情報の整備

## Technical Support for Snow Measures and Environmental Design of Government Office Building in Niseko Town

堤 拓哉<sup>1)</sup>、下ノ菌 慧<sup>2)</sup>、北谷 幸恵<sup>3)</sup>、村田 さやか<sup>4)</sup>

Takuya Tsutsumi<sup>1)</sup>, Kei Shimonosono<sup>2)</sup>, Yukie Kitadani<sup>3)</sup>, Sayaka Murata<sup>4)</sup>

地方独立行政法人北海道立総合研究機構

建築研究本部

北方建築総合研究所

Northern Regional Building Research Institute

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

---

<sup>1)</sup> 地域研究部環境防災グループ主査 <sup>2)</sup> 地域研究部環境防災グループ研究職員 <sup>3)</sup> 建築研究部建築システムグループ主査 <sup>4)</sup> 地域研究部地域システムグループ主査

<sup>1)</sup> Chief of Disaster Prevention and Environment Group <sup>2)</sup> Researcher of Disaster Prevention and Environment Group <sup>3)</sup> Chief of Building Engineering System Group <sup>4)</sup> Chief of Regional System Group

# 概要 Abstract

## ニセコ町役場新庁舎の雪対策および環境設計に係る基礎情報の整備 Technical Support for Snow Measures and Environmental Design of Government Office Building in Niseko Town

堤 拓哉<sup>1)</sup>、下ノ菌 慧<sup>2)</sup>、北谷 幸恵<sup>3)</sup>、村田 さやか<sup>4)</sup>  
Takuya Tsutsumi<sup>1)</sup>, Kei Shimonosono<sup>2)</sup>, Yukie Kitadani<sup>3)</sup>, Sayaka Murata<sup>4)</sup>

キーワード : 庁舎、雪対策、風洞実験、通風、CFD、実測

Keywords : *Government office building, Snow measure, Wind tunnel experiment, Natural ventilation, CFD, Actual measurement*

### 1. 研究概要

#### 1) 研究の背景

国際的リゾート地と知られるニセコ町は環境モデル都市に選定されるなど、低炭素なまちづくりを進めている。役場庁舎の改築にあたり、豪雪を克服する雪対策やニセコ町の気象特性を踏まえた環境設計が求められている。

#### 2) 研究の目的

ニセコ町の気象特性を踏まえた役場新庁舎の設計のため、雪対策および環境設計に係る基礎情報を整備する。

### 2. 研究内容

#### 1) 風洞実験に基づく屋根雪対策および吹きだまり対策の検討 (H30 年度)

- ・ねらい: 屋根雪および吹きだまりによる問題を軽減するため、風洞実験により屋根および建物周囲の積雪分布を予測する。
- ・試験項目等: 気象データの分析、風洞実験

#### 2) CFD 解析に基づく通風利用の検討 (H30 年度)

- ・ねらい: 室内防暑対策のため通風利用に係る基礎情報を整備する。
- ・試験項目等: 気象データの分析、CFD 解析、風圧分布の予測

#### 3) 執務空間の環境条件設定に係る基礎検討 (H30 年度)

- ・ねらい: 新庁舎の執務空間の環境条件を設定するための基礎情報を整備する。
- ・試験項目等: 現庁舎を対象とした実測

### 3. 研究成果

#### 1) 風洞実験に基づく屋根雪対策および吹きだまり対策の検討 (H30 年度)

- ・模擬雪を用いた風洞実験により吹きだまりの発生位置を予測し、雪対策の必要な個所を明らかにした(図1)。また、屋根の雪庇防止フェンス、設備機器、アプローチにおける防雪壁の効果を明らかにした。

#### 2) CFD 解析に基づく通風利用の検討 (H30 年度)

<sup>1)</sup> 北方建築総合研究所地域研究部環境防災グループ主査 <sup>2)</sup> 北方建築総合研究所地域研究部環境防災グループ研究職員 <sup>3)</sup> 北方建築総合研究所建築研究部建築システムグループ主査 <sup>4)</sup> 北方建築総合研究所地域研究部地域システムグループ主査

<sup>1)</sup> Chief of Disaster Prevention and Environment Group, Northern Regional Building Research Institute <sup>2)</sup> Researcher of Disaster Prevention and Environment Group, Northern Regional Building Research Institute <sup>3)</sup> Chief of Building Engineering System Group, Northern Regional Building Research Institute <sup>4)</sup> Chief of Regional System Group, Northern Regional Building Research Institute

- ・気象データの分析により海陸風の活用可能性を示し、CFD による解析により、新庁舎壁面における風圧係数分布を明らかにした（図 2）。また、通風口面積と冷房一次エネルギー消費量の関係について解析を行い、通風口 1 個あたりの最適な実開口面積を明らかにした（図 3）。

### 3) 執務空間の環境条件設定に係る基礎検討（H30 年度）

- ・現庁舎の執務室に温湿度計、照度計等を設置し、夏期および冬期における執務室の温湿度の推移、照度の状況を把握した（図 4）

<具体的データ>

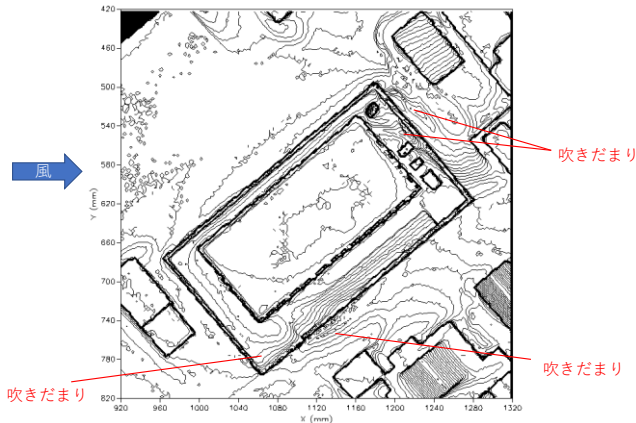


図 1 風洞実験による吹きだまり発生位置の予測

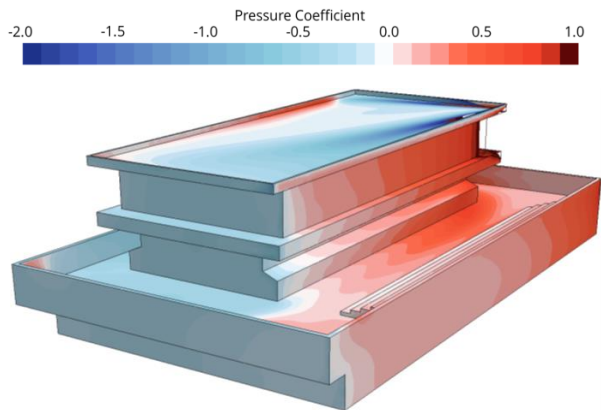


図 2 CFD による壁面の風圧係数解析結果

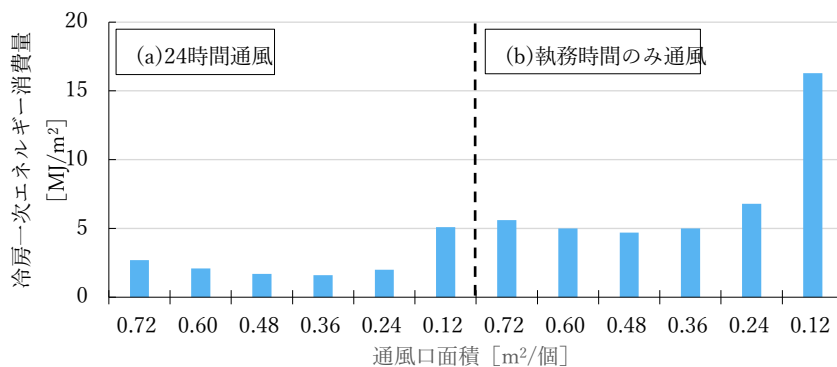
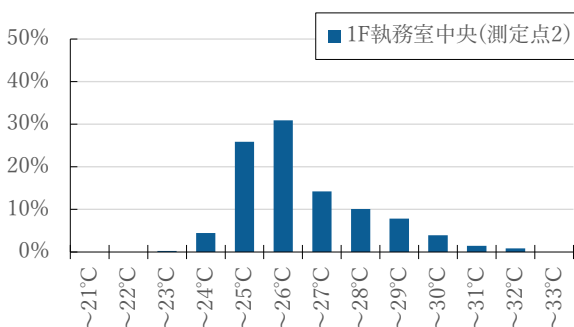
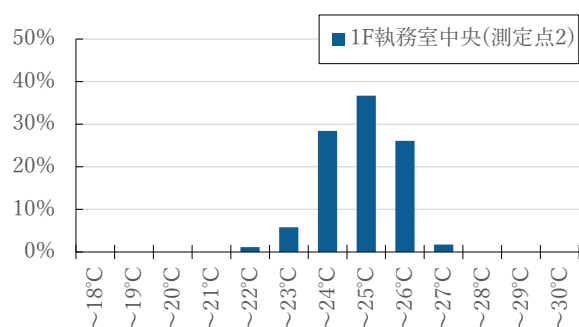


図 3 通風口面積と冷房一次エネルギー消費量の関係



(a) 夏期における測定結果



(b) 冬期における測定結果

図 4 現庁舎の執務室の温度測定結果

## 4. 今後の見通し

成果はニセコ町役場新庁舎の設計に反映し、類似施設に係る技術相談、受託研究等の基礎資料とする。

## 目 次

1. はじめに	
(1) 研究の背景と目的.....	1
(2) 研究項目 .....	1
2. 風洞実験に基づく屋根雪対策および吹きだまり対策の検討	
(1) 本章の目的.....	1
(2) 実験概要 .....	1
(3) 実験条件 .....	2
(4) 実験結果 .....	3
3. CFD 解析に基づく通風利用の検討	
(1) 本章の目的.....	7
(2) 検討項目 .....	7
(3) 周辺街区を考慮した風圧係数解析 .....	7
(4) 通風利用による冷房一次エネルギー消費量の試算 .....	11
4. 執務空間の環境条件設定に係る基礎検討	
(1) 本章の目的.....	12
(2) 実施項目 .....	12
(3) 測定概要 .....	12
(4) 測定結果 .....	13
5. まとめ.....	16

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景と目的

国際的リゾート地と知られるニセコ町は環境モデル都市に選定されるなど、低炭素なまちづくりを進めている。役場庁舎の改築にあたり、豪雪を克服する雪対策やニセコ町の気象特性を踏まえた環境設計が求められている。

本研究は、ニセコ町の気象特性を踏まえた役場新庁舎の設計のため、雪対策および環境設計に係る基礎情報を整備することを目的としている。

### (2) 研究項目

研究項目は以下の1)～3)である

- 1) 風洞実験に基づく屋根雪対策および吹きだまり対策の検討
  - ・ねらい：屋根雪および吹きだまりによる問題を軽減するため、風洞実験により屋根および建物周囲の積雪分布を予測する。
  - ・試験項目等：気象データの分析、風洞実験
- 2) CFD解析に基づく通風利用の検討
  - ・ねらい：室内防暑対策のため通風利用に係る基礎情報を整備する。
  - ・試験項目等：気象データの分析、CFD解析、風圧分布の予測
- 3) 執務空間の環境条件設定に係る基礎検討
  - ・ねらい：新庁舎の執務空間の環境条件を設定するための基礎情報を整備する。
  - ・試験項目等：現庁舎を対象とした実測

## 2. 風洞実験に基づく屋根雪対策および吹きだまり対策の検討

### (1) 本章の目的

本章では、新庁舎の雪庇等の屋根雪対策、アプローチ等吹きだまり対策のための知見を風洞実験により整備することを目的とする。

### (2) 実験概要

#### 1) 実験模型

実験模型の外観を写真 2-1～2-3 に示す。実験模型の縮尺は 1/200、ニセコ町役場庁舎を中心に 240m×240m の範囲を再現している。新庁舎の模型にはパンチングメタルを模したメッシュが壁面に取り付けられている。屋上には建設後に太陽光パネルが設置される予定であることから、太陽光パネル「あり」と「なし」の2パターンの実験を行った。



写真 2-1 実験模型全体

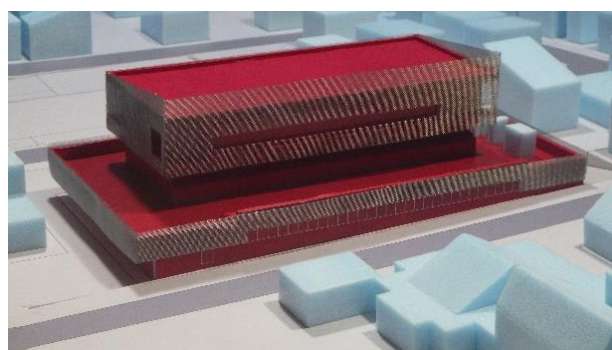


写真 2-2 太陽光パネルなし



写真 2-3 太陽光パネルあり

#### 2) 実験装置

実験には、図 2-1 に示す粉体風洞装置を用いた。風洞装置の仕様を表 2-1 に示す。風洞は回流型密閉式で、測定部断面は幅 1.5m、高さ 0.7m、長さ 9.5m である。最大風速は 10m/s である。模擬雪は、粉体供給装置のタンクに入れた後、コンプレッサーを使いタンクに圧力を加え、オートフィーダにより所定の量と速度で測定部上流の供給ノズルから風洞内に供給する。ノズルから模擬雪を気流中に放出することにより模擬雪を堆積させる。模型に堆積した模擬雪の堆積量は、トラバース装置に取り付けたレーザー変位計(キーエンス社製 LK500)を使用し測定する。測定したデータは位置座標と共にコンピュータ

に収録し、建物を含めた高さデータとして処理する。なお、研究期間中にトラバース装置が故障したため、模擬雪の堆積の計測は当初案のみ実施した。

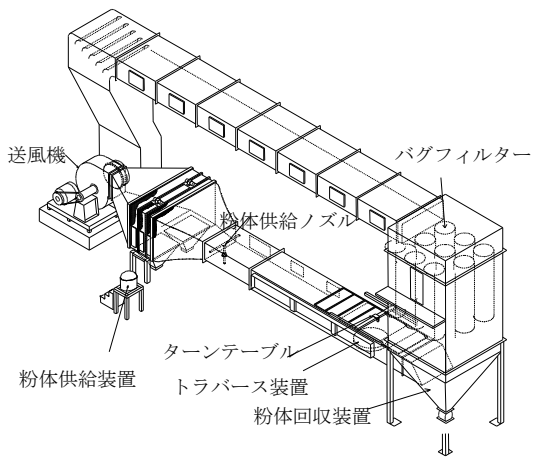


図 2-1 粉体風洞装置

表 2-1 粉体分銅装置の仕様

本 体	型 式	縦型密閉単一回流型
	測定胴断面	幅 1.5m×高さ 0.7m
	測定胴長さ	9.5m
	縮流比	1 : 5
	ターンテーブル	φ1.2m
送風機	型 式	片吸込遠心送風機
	風 速	0.5~10m/sec
	風 量	630m <sup>3</sup> /min (max)
	風 圧	1960Pa

### (3) 実験条件

#### 1) 風向風速の現地観測

実験条件の設定において使用する気象データについて、現役場庁舎屋上に風向風速計（ノースワン社製 KADEC-KAZE）を設置し、10 分間平均風速、10 分毎の風向の実測を行った（写真 2-4、写真 2-5）。風向風速計の設置期間は 2017 年 11 月から 2018 年 4 月である。図 2-2 に降雪が多い 1~2 月における風配図（欠測を除いた風向別の発生割合）を示す。図 2-2 によれば、南南西の風の割合が 18%と最も大きい。表 2-2 に風向別の平均風速を示す。南南西と南西における風速が他の方位に比べ速い。南南西の風は発生割合が大きく、風速も速いことから、吹きだまりや雪庇の発生への寄与が最も大きいと考える。風向風速の現地観測結果を踏まえ、本実験では南南西を実験風向にする。



写真 2-4 現役場庁舎



写真 2-5 風向風速計の設置状況

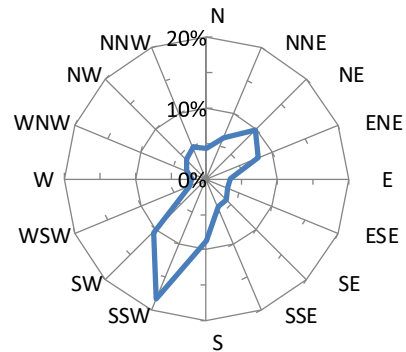


図 2-2 1~2 月における風配図 (N=6248)

表 2-2 風向別の平均風速 (N=6248)

方位	1月	2月
北	0.7	0.6
北北東	0.6	0.7
北東	0.6	1.1
東北東	2.0	1.6
東	1.3	1.4
東南東	0.8	1.2
南東	1.0	1.4
南南東	1.2	1.3
南	1.6	1.7
南南西	2.5	2.8
南西	2.8	2.7
西南西	0.9	1.2
西	0.5	1.1
西北西	0.6	1.8
北西	0.6	1.5
北北西	0.7	1.2



## 2) 模擬雪

実験には、北海道の積雪現象を対象に相似条件が検討され、実現象との比較が多く行われている活性白土を用いる<sup>1)-3)</sup>。実験で用いる活性白土と北海道の自然雪の特性を表 2-3 に示す<sup>1)-5)</sup>。粒径比については、自然雪の粒子径(d)は雪質や測定場所により異なるが、表 2-3 により模擬雪の縮尺はおよそ 1/100 程度であり、模型縮尺とほぼ等しい。移動臨界摩擦速度( $U^*_t$ )は粒子が移動を開始する時の摩擦速度で、活性白土の  $U^*_t$  は 0.3m/s、乾いた雪粒子の値は 0.2m/s である。吹きだまりの堆積形状と粒子の粘着性に関する相似パラメータである安息角を比較すると、活性白土は自然雪と概ね近似した値であり、堆積形状がほぼ同じになる。

本実験では、模擬雪の供給量は 20kg、供給時間は約 40 分とした。時間と長さの縮尺比の関係(2-1)から、本実験は実現象において約 133 時間の降雪と風が続いた条件に相当する<sup>6)</sup>。実験後、新庁舎を中心に 400mm×400mm の範囲を 2mm 間隔で測定した。

$$L_p/T_p=L_m/T_m \quad (2-1)$$

$L_p$  : 実現象の積雪深,  $L_m$  : 風洞実験での積雪深,  
 $T_p$  : 実現象の時間,  $T_m$  : 風洞実験での時間

表 2-3 自然雪と活性白土の比較

項目	自然雪	活性白土
平均粒子径 d(mm)	0.2~2	0.020
かさ密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.03~0.2	0.47
移動臨界摩擦速度 $U^*_t$ (m/s)	0.15-0.40	0.16-0.20
安息角(°)	45~50	46

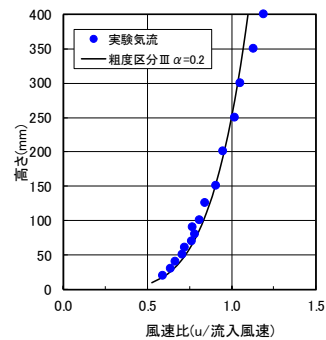
## 3) 気流条件

敷地周辺には低層建築物が立ち並んでいることから、地表面粗度区分Ⅲに近似した気流で風洞実験を行う<sup>7),8)</sup>。風洞内の気流条件を図 2-3 に示す。風洞内の風速の鉛直分布はべき指数  $\alpha=0.2$  の曲線で近似できる。

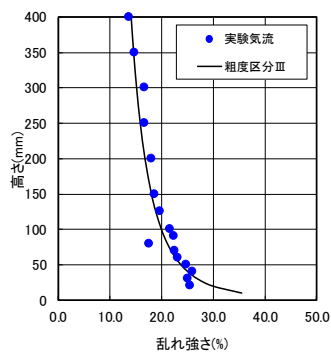
実験風速は、Anno<sup>9)</sup>の提案による基準風速と粒子の臨界摩擦速度の比から求める換算式(2-2)により求めた。 $U$  は速度 (m/s)、 $A$  は定数、 $U^*_t$  は粒子が移動を開始する時の摩擦速度 (臨界摩擦速度)、 $p$ 、 $m$  は実現象および風洞実験を示す。北海道での吹雪による吹きだまり現象を対象とし、活性白土を模擬雪として用いた場合、 $A_m/A_p$  は 1.375 となる<sup>9)</sup>。

$$\frac{U_p}{U_m} = \frac{A_m \cdot U^*_{tp}}{A_p \cdot U^*_{tm}} \quad (2-2)$$

$U_p$  は現庁舎屋上における実測を基に、南南西における 1、2 月の平均風速 2.7m/s とした。表 2-3 より  $U^*_{tp}$  を乾雪と仮定し 0.15m/s、 $U^*_{tm}$  を 0.18m/s とすると、実験風速  $U_m$  は 2.4m/s となる。庁舎屋上の風速計設置高を地上 10m とすると、モデルの縮尺は 1/200 であることから、実験風速  $U_m$  は、風洞内の模型上における高さ 5cm の位置の風速となる。この時の風洞の流入風速は図 2-3(a) より 3.2m/s となる。



(a) 風速



(b) 乱れ強さ

図 2-3 実験気流

## (4) 実験結果

### 1) 当初案の実験結果

実験後、測定した積雪深の総測定点数 40000 のうち、計測誤差が生じた測定点を除いた 38599 点の平均積雪深は 1.9mm (実スケール 38cm) であった。本実験は実現象において約 133 時間の風を伴う降雪が続いた条件に相当するので、風速 2.7m/s で降雪量 7cm/日が 5 日半続いた降雪条件に相当する。

図 2-4~図 2-6 に堆積状況のコンターマップ、写真 2-6~2-10 に堆積状況および吹きだまりの発生位置、雪庇の発生が懸念される部位を示す。図 2-6 に示す吹きだまり係数が 1.0 を超えると吹きだまりにより平均積雪より多くなり、吹きだまり係数が 2 の

場合、風の影響により平均積雪深より2倍多く積もることを示す。

建物周囲における吹きだまりの発生位置については、西面では出入口周辺（写真2-6）、北面では斜路周辺（図2-5、写真2-7）、東面では壁面沿いである（図2-5、写真2-8）。屋根上の吹きだまりについては、1階屋根上では、南東のパラペット付近（図2-5、写真2-9）、北面のパラペット付近（図2-5、写真2-7）である。屋上については、屋根東側パラペットの隅角部（写真2-6、写真2-7）に1階屋根の北側（写真2-8）、東側の端部で吹きだまりがみられる（写真2-10）。吹きだまりがパラペットの高さを超えると雪庇が発生することから、特に屋根北面と東面で雪庇が発生すると予測される（写真2-7、写真2-9）。当初案では屋上の雪庇防止フェンスは西面が低くなっており吹きだまりにより雪庇の発生が予測される（写真2-7）。

また、壁面のパンチングメタル（メッシュ）内に雪の吹込みが見られたほか、トップライト位置にも雪の堆積がみられた（写真2-6）。太陽光パネルが設置されると、太陽光パネルの下部空隙に風入り込むことにより、屋根風下側で吹きだまりの発生が見られるが（写真2-10）、風下側にフェンスがあるためその影響は軽微である。

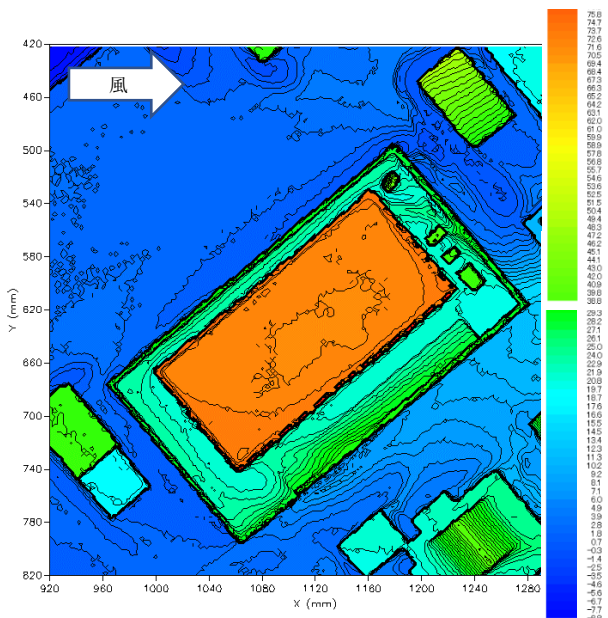


図 2-4 太陽光パネルなしの堆積分布測定結果

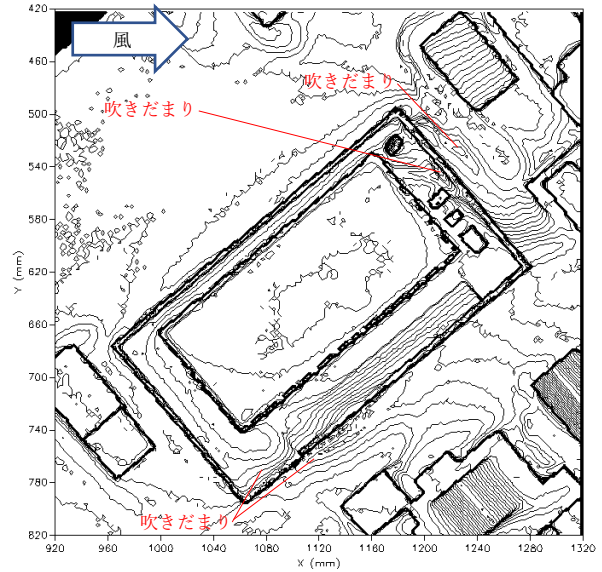


図 2-5 太陽光パネルなしの堆積分布測定結果  
(1目盛: 積雪 22cm 相当)

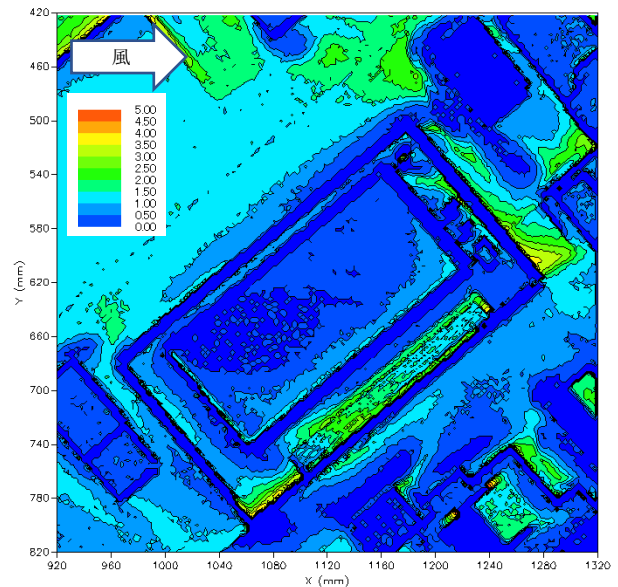


図 2-6 吹きだまり係数



写真 2-6 西面の堆積状況



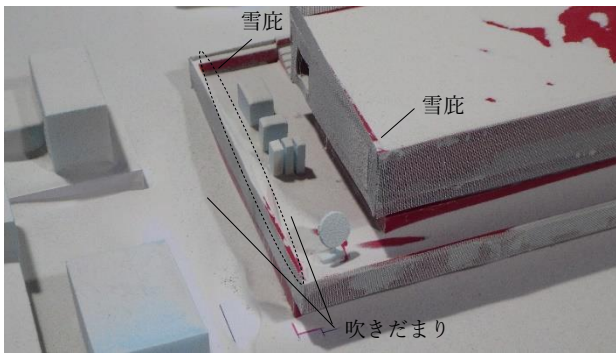


写真 2-7 北面の堆積状況

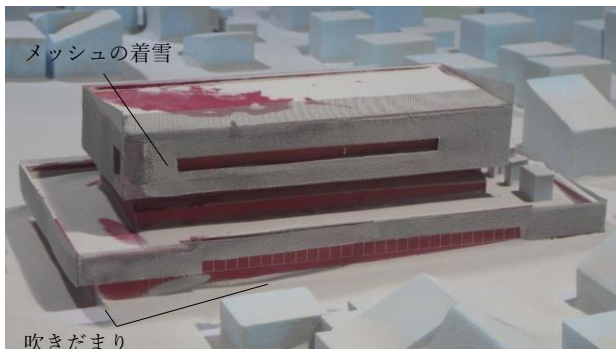


写真 2-8 東面の堆積状況

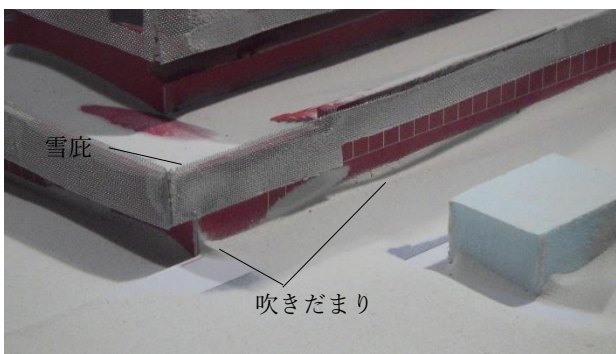


写真 2-9 東面の堆積状況

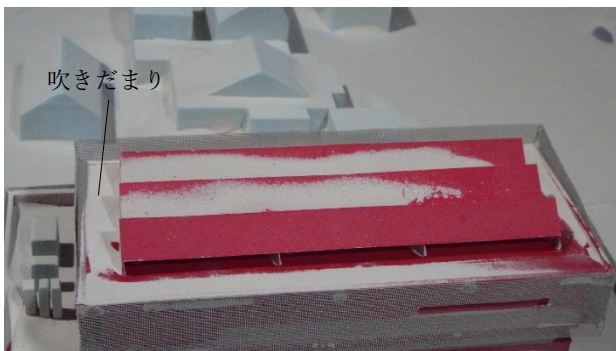


写真 2-10 太陽光パネルありの屋上の堆積状況

## 2) 改良案の実験結果

当初案の実験結果を踏まえて検討された改良案について、同じ実験条件で実験を行った。改良案の実験模型を写真 2-11 に示す。主な変更点は、壁面のパンチングメタルおよびトップライトを取りやめたこと、1階屋根の東面の隅角部が隅切りされたこと、雪庇防止柵が四周同じ高さになったこと、1階屋根北側にある設備機器の周囲に防雪壁が設けられたことなどである。

実験後の堆積状況を写真 2-12～2-18 に示す。パンチングメタルおよびトップライトを取りやめたことにより西面開口部における堆積状況が改善された（写真 2-12）。また、1階屋根の東面を隅切りしたことにより、東面で発生していた吹きだまりが軽減された（写真 2-14）。一方、設備機器の防雪柵の影響により1階屋根北面の吹きだまりが顕著になった（写真 2-13）。

ここで、設備機器周囲の防雪柵の南面および西面の開口率を0%にしたところ（写真 2-15）、吹きだまりの状況が改善された（写真 2-17）。更に、西面の主要出入口前に防雪壁を設置することにより（写真 2-15）、西面出入口付近の吹きだまりが改善された（写真 2-18）。

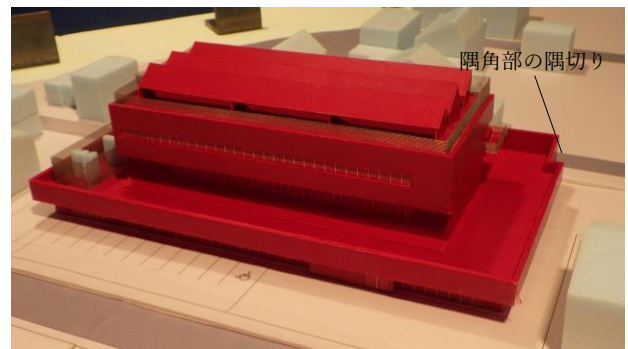


写真 2-11 改良案の実験模型（西面）

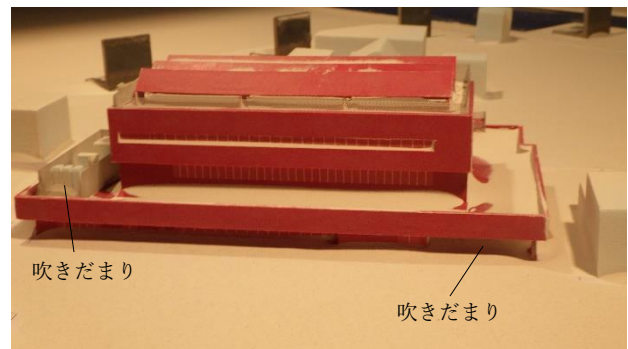


写真 2-12 西面の堆積状況

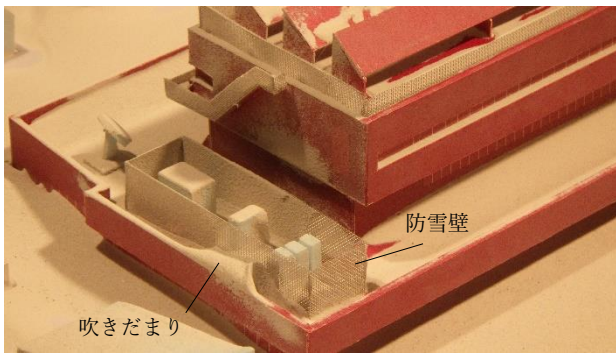
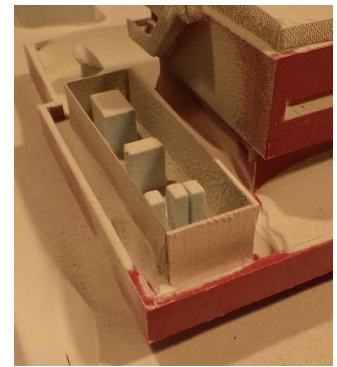


写真 2-13 北面の堆積状況



(a)改善前



(b)改善後

写真 2-17 設備機器周囲の吹きだまりの改善

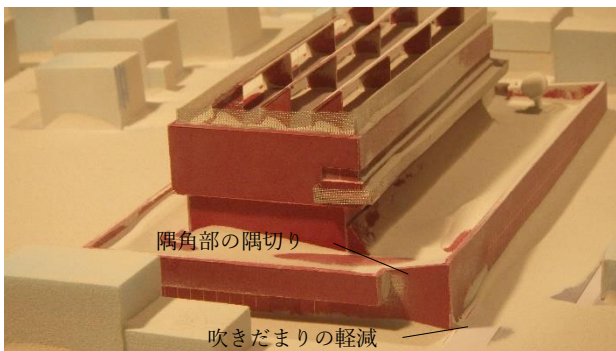


写真 2-14 東面の堆積状況

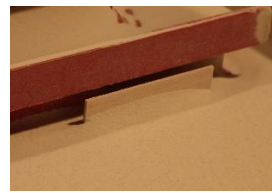


写真 2-18 西面の出入口前の防雪壁と吹きだまり状況

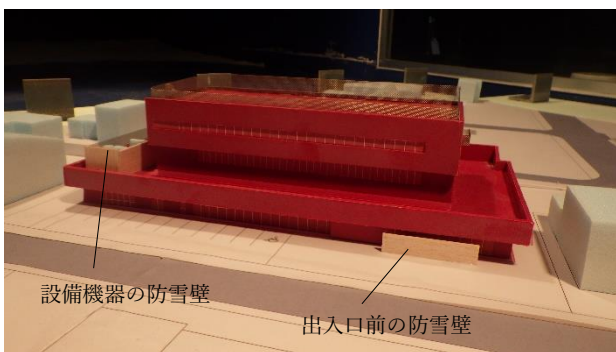


写真 2-15 設備機器および出入口前の防雪壁

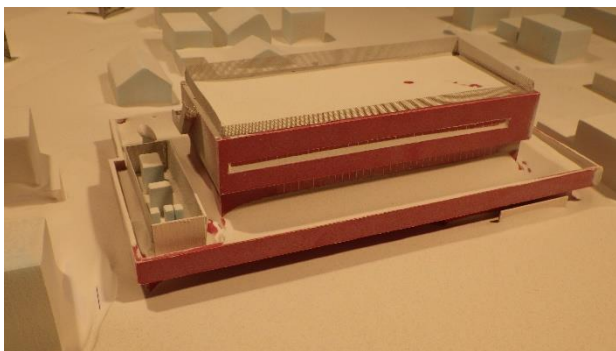


写真 2-16 防雪壁変更後の堆積状況（西面）

[参考文献]

- 1) 老川進, 苫米地司, 石原孟: 建物近傍の雪吹きだまりの風洞相似則に関する考察, 日本雪工学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 13-32, 2007. 4
- 2) 遠藤明久, 苫米地司: 活性白土を用いた風洞実験による水平屋根, 山形屋根の屋上積雪形状, 日本建築学会構造系論文集, No. 357, pp. 20-28, 1985. 11
- 3) 堤拓哉, 高橋章弘, 千葉隆弘, 苫米地司: 模擬雪を用いた風洞実験における乱れ強さの変化が吹きだまり性状に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, No. 613, pp. 29-34, 2007. 3
- 4) 苫米地司, 上田宏: 模型雪を用いた風洞実験の適応性について: その2 摩擦応力と模型雪の堆積性状の対比, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 67, pp. 69-72, 1994. 3
- 5) 前野紀一, 福田正己, 雪氷の構造と物性 (基礎雪氷学講座), 古今書院, 1986. 1
- 6) 江守一郎: 模型実験の理論と応用, 1985. 7
- 7) 日本建築学会: 建築学会荷重指針・同解説, 2015. 2
- 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, 2008. 10
- 9) Anno, Y: Requirements for Modeling of a Snowdrift, Cold Regions Science and Technology, Vol. 8, pp. 241-252, 1984.



### 3. CFD 解析に基づく通風利用の検討

#### (1) 本章の目的

本章では、ニセコ町の実測風速など気象特性を踏まえた通風を行うことによる冷房負荷削減を目指し、風環境の分析と庁舎屋根・壁面にかかる風圧係数解析等により、通風利用に係る知見を整備する。

#### (2) 検討項目

##### 1) 周辺街区を考慮した風圧係数解析

ニセコ町の風向・風速実測から風圧係数解析のための入力条件を整理し、熱流体解析 (CFD) により庁舎屋根・壁面にかかる風圧係数を算出し、通風口設置位置に関する知見を整備する。

##### 2) 通風利用による冷房一次エネルギー消費量の試算

熱・換気回路網連成計算により、通風口面積を変更したときの冷房一次エネルギー消費量を試算し、消費量を削減するため、必要な通風口面積を提案する。

#### (3) 周辺街区を考慮した風圧係数解析

##### 1) 立地場所における風向風速の測定

はじめにニセコ町の風環境を把握するために、風向・風速を測定した。測定は、2018年7月12日(木)から2018年10月3日(水)の期間中、現ニセコ庁舎屋上に風向・風速計を設置し、10分間隔で記録した。10分毎の瞬時値および10分間の平均値を記録した。

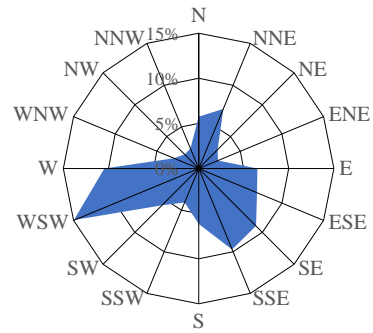
通風を行う期間を7月から9月とすると、7月12日～9月30日における風配図を図3-1に示す。(a)昼間と(b)夜間では、主風向が異なることが分かる。(a)昼間には西南西(15.0%)、西(10.4%)と西寄りの風が多く、(b)夜間には北北西(10.4%)、北(8.7%)と北寄りの風が多かった。これらの風向に対し、風速のヒストグラムを図3-2に示す。(a)は昼間の主風向である西南西における風速ヒストグラム、(b)は夜間の主風向である北北東における風速ヒストグラムを示しており、それぞれ、1.5m/s、0.3m/sが最頻値であった。風圧係数の計算時には、これら主風向・主風速を参考に解析の入力条件を表3-1のとおりとした。

表 3-1 風向・風速の入力条件

昼間	夜間
西南西 1.5m/s	北北東 0.5m/s※

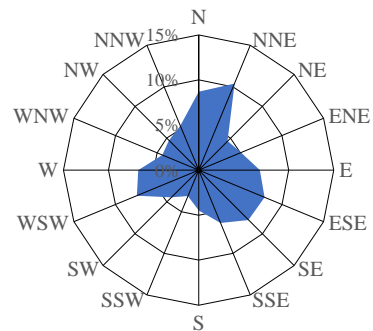
※夜間は2番目の最頻値である値を用いた。

2018/7/12-2018/9/30(6:00-18:00)



(a) 昼間

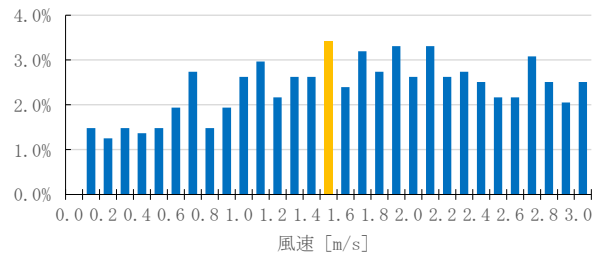
2018/7/12-2018/9/30(18:10-5:50)



(b) 夜間

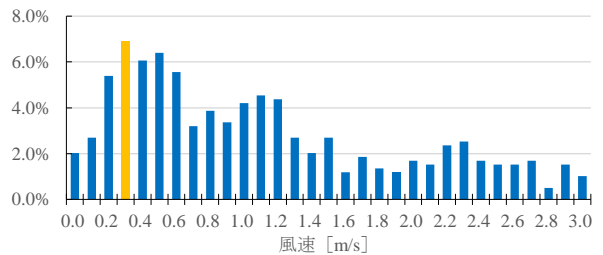
図 3-1 風配図

2018/7/12-2018/9/30 (6:00-18:00)



(a) 昼間

2018/7/12-2018/9/30(18:10-5:50)



(b) 夜間

図 3-2 主風向における風速ヒストグラム

## 2) パンチングメタルのモデル化

外装や雪庇対策に用いる予定のパンチングメタルの圧力損失については、パンチングメタルを多孔質部材として取り扱い、次式から求めた。

$$\Delta P = a \cdot u^2 + b \cdot u \quad \dots (1)$$

$$\alpha = \frac{a}{t} \quad \dots (2) \quad \beta = \frac{b}{t} \quad \dots (3)$$

ここに、 $\Delta P$  : 圧力損失 [Pa]

$u$  : 流体流速 [m/s]

$\alpha$  : 慣性抵抗 [kg/m<sup>4</sup>]

$\beta$  : 粘性抵抗 [kg/(m<sup>3</sup>・s)]

$a, b$  : 流体流速と圧力損失の相関の  
近似曲線 (2次) の係数

$t$  : パンチングメタルの厚さ (=1.2mm)

慣性抵抗  $\alpha$  および粘性抵抗  $\beta$  については、風路 (500mm×500mm) にパンチングメタルを模した穴あき板 (厚さ 1.2mm) を設置した計算モデルを作成し (図 3-3)、流体流速を変化させ、穴あき板の前後の圧力損失から算出した。流体流速は 0.1m/s～1.0m/s まで 0.1m/s ずつ変化させた。間隙率は 55% と 70% とした。

各流速  $u$  と圧力損失  $\Delta P$  の関係を図 3-4 に示す。切片を 0 とした二次関数の近似曲線が (1) 式となる。この係数 (例えば、間隙率 55% の場合は  $a=1.2059$ 、 $b=0.0387$ ) と、(2) 式、(3) 式から、慣性抵抗  $\alpha$  および粘性抵抗  $\beta$  をプロットすると、図 3-5 のようになる。図中の充足率は (1-間隙率) で表され、間隙率 55% の場合は充足率 45% となる。慣性抵抗  $\alpha$  および粘性抵抗  $\beta$  は充足率の近似式で算出する。

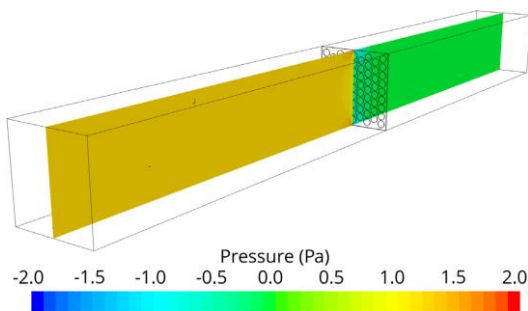


図 3-3 パンチングメタルの計算モデル

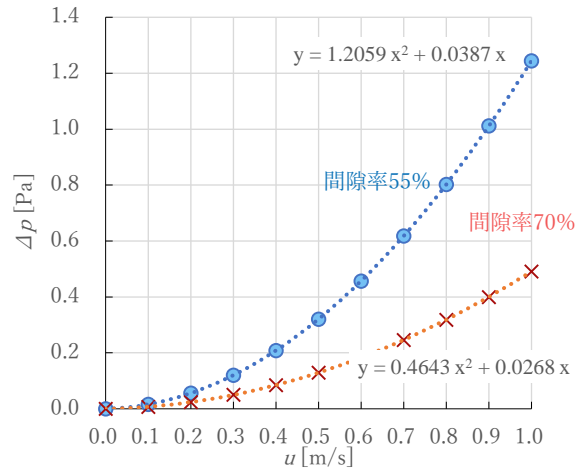


図 3-4 流速と圧力損失の関係

表 3-2 慣性抵抗および粘性抵抗

間隙率 [%]	慣性抵抗 [kg / m <sup>4</sup> ]	粘性抵抗 [kg / (m <sup>3</sup> ・s)]
70	386.9	22.3
55	1004.9	32.3

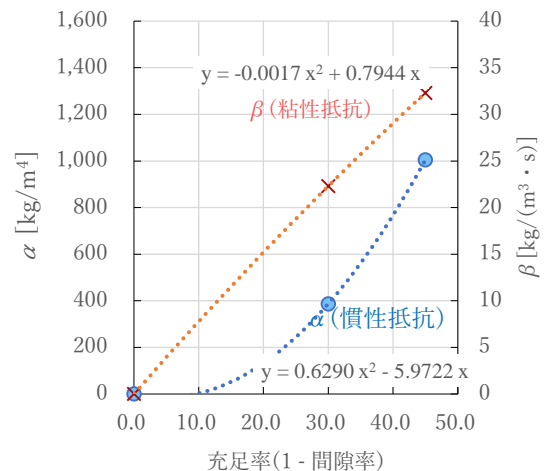


図 3-5 充足率と慣性抵抗および粘性抵抗

## 3) 風圧係数の計算

計算条件を表 3-3、計算モデルを図 3-6 に示す。解析領域は幅 500m、奥行き 700m、高さ 50m であり、新庁舎を中心としたニセコ町周辺街区をモデル化した。外部風は実測に基づき 1.5m/s (西南西)、0.5m/s (北北東) の 2 条件とした (表 3-1)。なお、パンチングメタルの間隙率は 55%、70%、85% とパンチングメタルを設置しない 4 条件とした。

風圧係数の算出結果を図 3-7、図 3-8 に示す。図 3-7 は昼間の風向風速 (西南西、1.5m/s) の風圧係

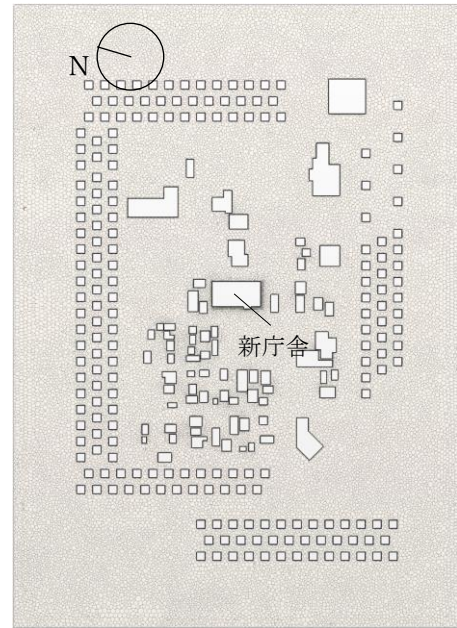
数を示しており、西面（風上側）を「+」、東面（風下側）を「-」と記している。なお、風圧係数は各壁面の平均値を示している。パンチングメタルは3階部分のみ設置されているため、1階、2階の風圧係数はパンチングメタルの有無および間隙率による影響は小さい。一方で、3階の風上では、パンチングメタルを設置しない場合、風圧係数は+0.53であったが、間隙率85%では+0.51、間隙率70%では+0.40、間隙率55%では+0.29と顕著に低下した。

図3-8は夜間の風向風速（北北東、0.5m/s）の風圧係数を示しており、東面（風上側）を「+」、西面（風下側）を「-」と記している。風上側では、パンチングメタルの間隙率が小さいほど、3階の風圧係数が小さい傾向は前図と同様であったが、2階の風圧係数はパンチングメタルの間隙率が小さいほど、大きい傾向が見られる。パンチングメタルを設置しない場合、風圧係数は+0.24であったが、間隙率55%では+0.35まで上昇していた。また、風下側では、パンチングメタルの間隙率が小さいほど、3階の風圧係数が小さくなる傾向が見られる。

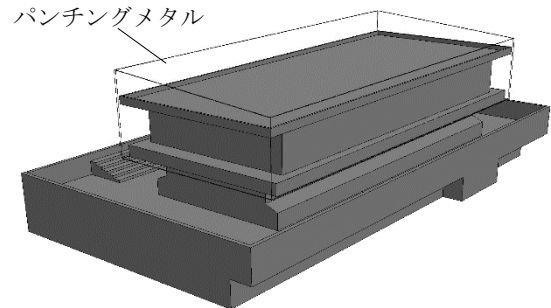
参考として、各条件の風圧係数コンター図を図3-9～図3-16に示す。

表3-3 計算条件

解析コード	STAR-CCM+(13.02.013-R8)	
解析領域	500m(x)×700m(y)×50m(z)	
周辺建物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新庁舎から半径150mの範囲 →建物階数×3mでモデル化</li> <li>・半径150m以上はラフネスブロック(9m×9m)を設置</li> </ul>	
乱流モデル	標準k-ε	
メッシュ	種類	ポリヘドラルメッシュ
	オプション	ブリズムレイヤ:10 (Side, Topには無効)
	基準サイズ	4,000mm
	セル数	1,508,710
境界条件	Inlet	速度入口
	Outlet	圧力出口
	Top, Side	スリップ
	Ground	ノースリップ
外部風	基準高さ	10m
	基準風速	1.5m/s または 0.5m/s (表2-3-1)
	べき指数	0.20(1/5乗則)
	風向	西南西または北北東(表2-3-1)



(a) 解析領域



(b) 新庁舎の計算モデル

図3-6 計算モデル

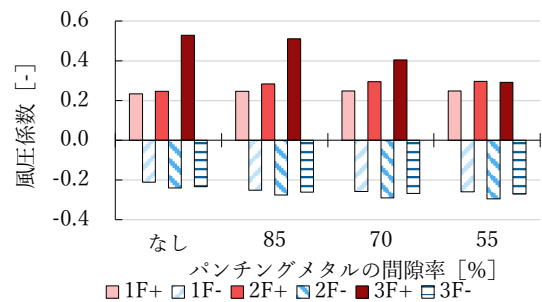


図3-7 昼間(西南西、1.5m/s)の平均風圧係数

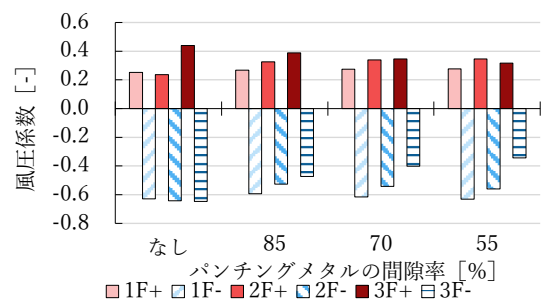


図3-8 夜間(北北東、0.5m/s)の平均風圧係数



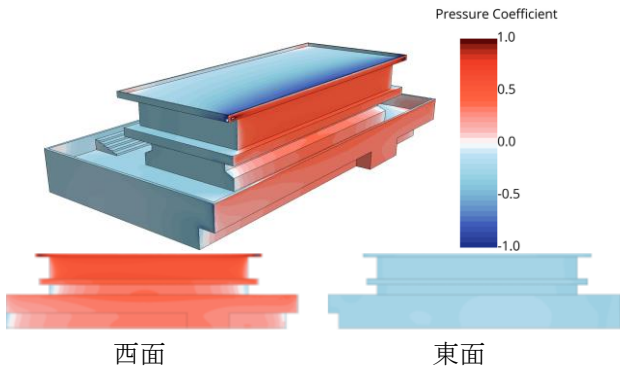


図 3-9 西南西 1.5m/s、パンチングメタルなし

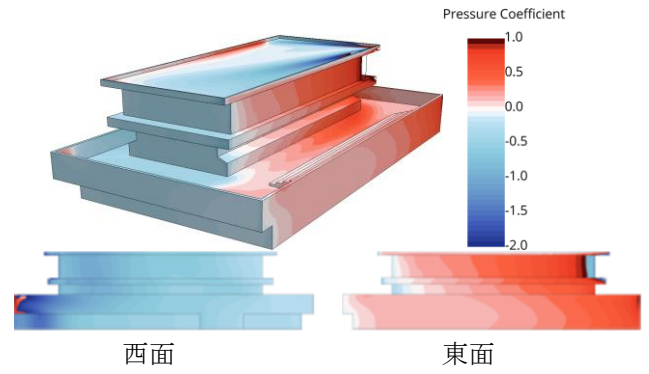


図 3-13 北北東 0.5m/s、パンチングメタルなし

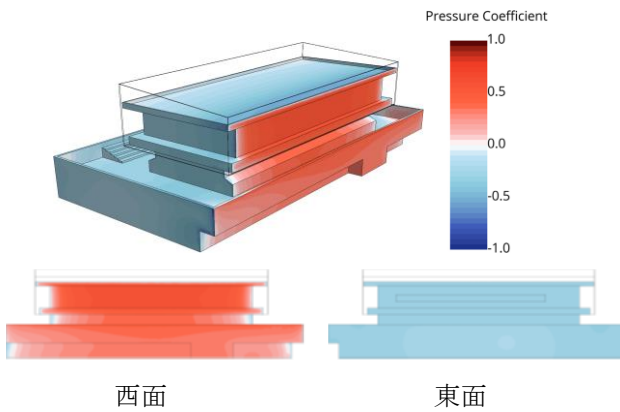


図 3-10 西南西 1.5m/s、間隙率 85%

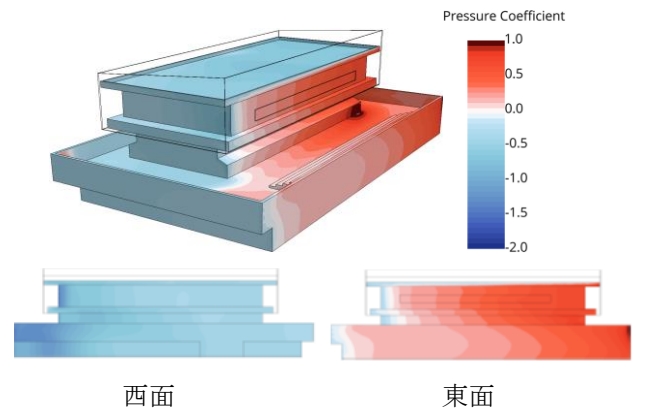


図 3-14 北北東 0.5m/s、間隙率 85%

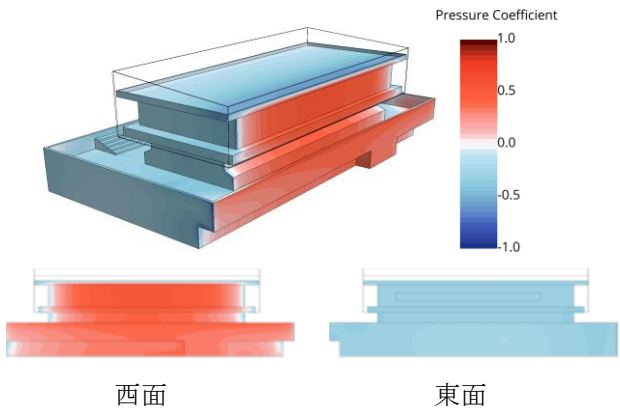


図 3-11 西南西 1.5m/s、間隙率 70%

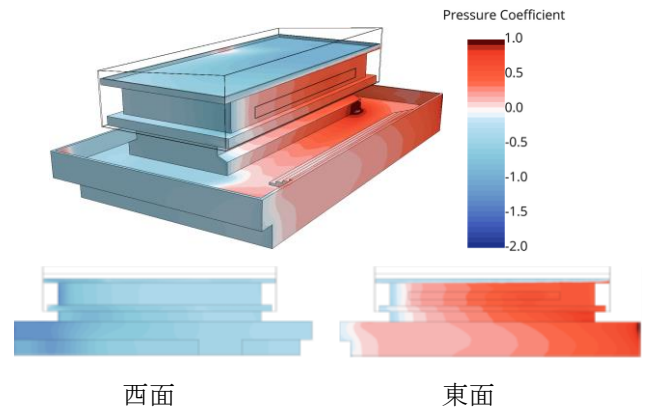


図 3-15 北北東 0.5m/s、間隙率 70%

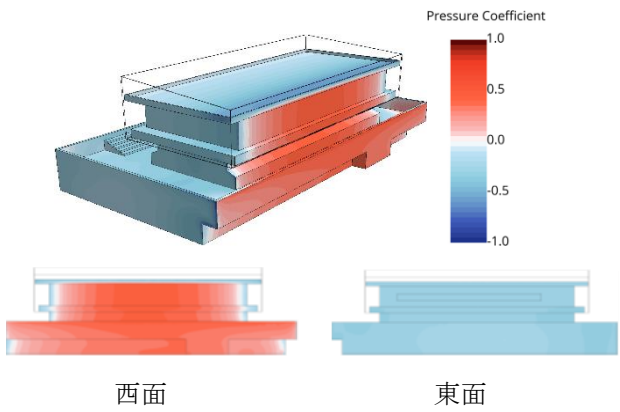


図 3-12 西南西 1.5m/s、間隙率 55%

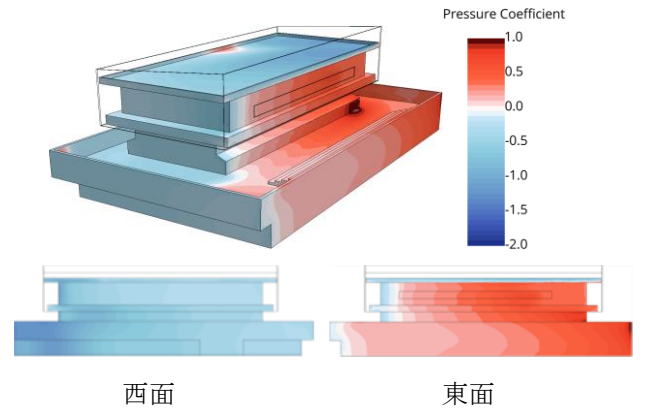


図 3-16 北北東 0.5m/s、間隙率 55%

主風向である東西面に通風口を設け、中性帯位置に配慮するために、3階の開口を大きくするのが、通風利用上、望ましい。雪庇対策用のパンチングメタルを設置すると、風上側の平均風圧係数は低下するものの、建物中央（議場）付近の風圧係数は大きく下がらないことから、通風利用への影響は無いと考えられる。

#### （４）通風利用による冷房一次エネルギー消費量の試算

一次エネルギー消費量は、熱・換気回路網連成計算による室温と冷房負荷の期間解析により冷房負荷を算出し、冷房負荷をパッケージエアコンの消費電力量に換算して推計する。計算条件を表3-4に示す。通風は(a)24時間実施する場合と(b)平日9時から18時のみ実施する場合の2条件とした。また、室温低下を防ぐ観点から下限外気温度を18℃と設定した。通風口の有効開口面積は1個あたり0.36m<sup>2</sup>とし、各室表中に示す個数を設置した。計算

では、通風口の個数は固定し、通風口有効開口面積を変更した場合の計算を行う。パッケージエアコンの消費電力量は、省エネルギー基準の計算法<sup>1)</sup>に基づき計算している。表3-5に各条件番号と通風口実開口面積を示す。

冷房一次エネルギー消費量の推計結果を図3-17に示す。本図では、冷房対象区間の床面積で除して床面積あたりの冷房一次エネルギー消費量で示している。横軸は表3-5に示す条件番号である。

表3-5 各条件番号の通風口実開口面積

条件番号	通風口実開口面積
01, 07	0.72m <sup>2</sup> /個
02, 08	0.60 m <sup>2</sup> /個
03, 09	0.48 m <sup>2</sup> /個
04, 10	0.36 m <sup>2</sup> /個
05, 11	0.24 m <sup>2</sup> /個
06, 12	0.12 m <sup>2</sup> /個

表3-4 通風による冷房一次エネルギー消費量の計算条件

気象データ		拡張アメダス気象データ（倶知安、標準年）		
計算	期間	6/1～8/31（助走期間 5/22～10/31、計算日数 102 日）		
	間隔	60 分		
	方法	熱・換気回路網連成計算、後退差分法		
冷房	対象室	1 階：大会議室、執務室、教育長室 2 階：執務室、災害対策室、副町長室、町長室、応接室		
	運転時間	平日 9 時から 18 時に設定温度を超えた時間帯のみ		
	設定温度	28℃		
機械換気		3.0CMH/m <sup>2</sup> 相当		
内部発熱	人体	執務室：0.15 人/m <sup>2</sup>		
	機器	冷房対象室：10.0W/m <sup>2</sup>		
	照明	冷房対象室および3階廊下：9.5W/m <sup>2</sup>		
通風	時間帯	(a)24 時間、(b)平日 9 時から 18 時のみ		
	下限外気温度	18℃（外気温度が 18℃以下のとき、通風を行わない）		
	通風口実面積	0.72m <sup>2</sup> /個（流量係数は 0.5 とする。）		
	通風口個数	大会議室	12（北面）	
		1 階執務室	15（西面）、6（南面）、15（東面）	
		吹抜け上部	28（西面）、28（東面）	
教育長室		3（東面）		
2 階執務室		18（西面）、3（東面）		
災害対策室		5（東面）		
防災情報室		2（東面）		
町長室		5（東面）		
応接室		5（東面）		
3 階廊下		18（東面）		
議員控室	7（西面）			
議場	7（西面）			

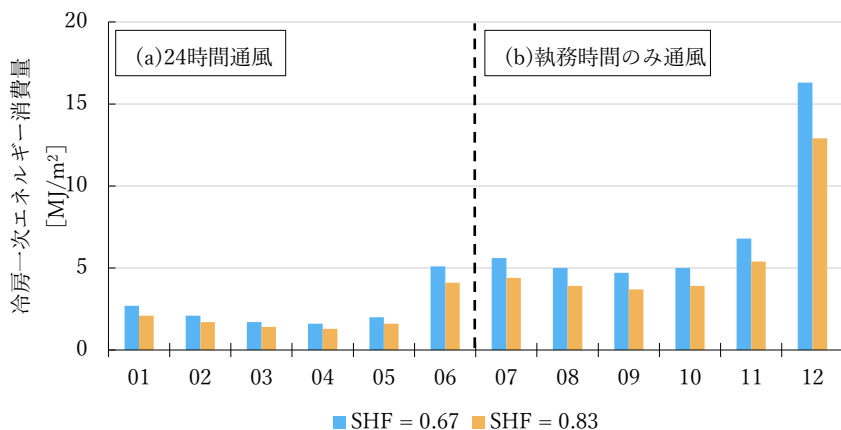


図 3-17 冷房一次エネルギー消費量の推計結果

[注記]

SHF : Sensible Heat Factor : 顕熱比 (顕熱を全熱で除した値)

熱・換気回路網連成計算では、顕熱負荷のみ計算している。実際には潜熱負荷 (除湿負荷) があるため、顕熱負荷に潜熱負荷を割り増す必要がある。

(例) 顕熱 : 潜熱 = 2 : 1、つまり、SHF=0.67(=2/3)と仮定すると、熱・換気回路網連成計算で得られた顕熱負荷を 0.67 で除して、全熱負荷としている。

条件 01 から条件 03 を比較すると、実開口面積が小さい条件 03 の冷房一次エネルギー消費量が最も小さい。これは、通風を実施するときの上限外気温の設定を行っていないことが要因である。外気温が 28℃を超える時間帯においても通風が行われ、実開口面積が大きい条件 01 では、外気温の高い空気が流入することにより、冷房一次エネルギー消費量が増加する。

条件 03 から条件 05 を比較すると、条件 03 の冷房一次エネルギー消費量が最も小さい。実開口面積を過少にしてしまうことで、冷房一次エネルギー消費量が増加する。また、(a)24 時間通風、(b)執務時間のみ通風を行う場合で比較すると、執務時間のみ通風したときの冷房一次エネルギー消費量は 2~3 倍となった。通風口の開閉が執務者によって行われる場合、執務時間のみ通風が行われることが多いことから、条件 07 から条件 12 が実運用に近いといえる。

試算の結果、通風口面積が小さいと通風の効果が小さくなり、一方、通風口面積が大きすぎると、外気温が高い時間帯も通風が行われ、結果的に冷房一次エネルギー消費量が増大する。そのため、通風口 1 個あたりの実開口面積を 0.48m<sup>2</sup> または 0.36m<sup>2</sup> とし、各室に示す通風口個数を乗じた面積で設計するのが望ましいことが分かった。

[参考文献]

- 1) 平成 25 年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法

#### 4. 執務空間の環境条件設定に係る基礎検討

##### (1) 本章の目的

ニセコ町役場の現庁舎における温湿度、照度等を測定し、新庁舎の執務空間の環境条件を設定するための基礎情報を整備することを目的としている。

##### (2) 実施項目

###### 1) 執務室の温湿度の測定

庁舎代表点の温湿度を測定する。また、得られた温湿度から快適指標 (PMV) を用いて、現庁舎の温熱環境を把握する。

###### 2) 執務室の照度の測定

庁舎代表点の照度を測定し、現庁舎の光環境を把握する。

##### (3) 測定概要

庁舎の 1 階平面図と測定点を図 4-1、測定状況を写真 4-1、測定項目および測定期間を表 4-1 に示す。温湿度計とグローブ温度計は 4 点計測しており、執務室は東西開口部付近と室中央である。また、休憩スペースにも 1 点ずつ設置している。照度計は 5 点計測しており、東西開口部付近と室中央である。また、開口部直下にも設置し、屋外の明るさを計測している。測定インターバルはデータ回収の頻度を考慮し、20 分間隔で計測した。屋外の気象データについては、ニセコ町内に設置されている NTT の気象観測点におけるデータを使用した。

表 4-1 測定項目および測定期間

温湿度	2018/1/1~2019/2/27
グローブ温度	2018/5/8~2019/2/27
照度	2018/7/12~2019/2/27

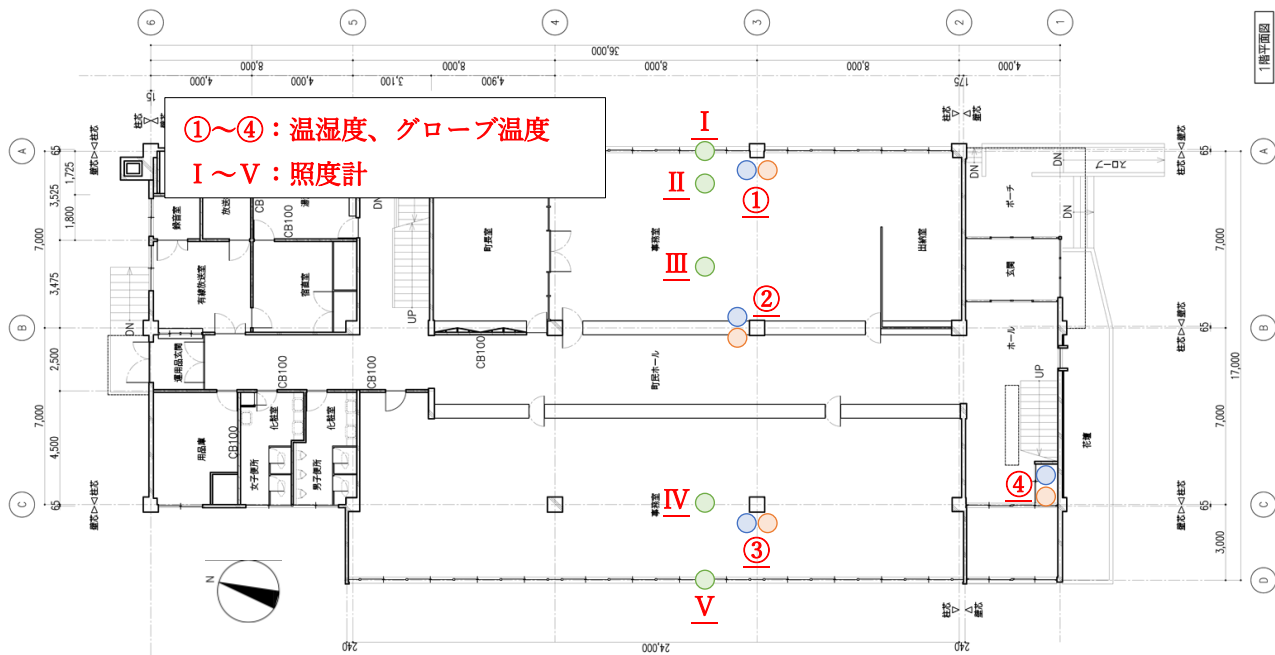


図 4-1 現庁舎の1階平面図と測定点



測定点①



測定点②



測定点Ⅲ



測定点V

写真 4-1 測定状況

#### (4) 測定結果

##### 1) 温湿度の測定結果

図 4-2 に夏期 (2018/7/1~2018/8/31) における温湿度および PMV の推移を示す。PMV は温湿度、グローブ温度等から算出される温熱環境評価指数であり、ISO の標準では「 $-0.5 < PMV < 0.5$ 」が推奨範囲とされている。

対象期間の最高外気温度は  $31.7^{\circ}\text{C}$  (7/31 15:00) であった。現庁舎は冷房設備が導入されていないため、温度制御はなされていない。暑さ対策は通風のみである。時間帯によって、日射の影響で温度にむらが生じているが、正午頃の温度むらは大きくない。相対湿度は測定点による差は見られなかった。PMV は概ね推奨範囲 ( $-0.5 < PMV < 0.5$ ) に収まっているが、酷暑期 (7月下旬) には、PMV が  $1.0$  を超えている時間帯もあった。

冬期 (2019/1/1~2019/2/27) の測定結果を図 4-3 に示す。対象期間の最低外気温度は  $-15.1^{\circ}\text{C}$  (1/3 7:00) であった。現庁舎の暖房設備は温水による放

射暖房が採用されており、測定点①は放熱器に比較的近いため、放熱器の影響により温度が高いと推察される。測定点④はエントランスに近いことから温度が低くなっているものの、執務室内の温度むらは小さい。相対湿度は  $20\%RH$  程度を推移しており、大きな変動はなかった。PMV は大きく変動しているものの、日中は推奨範囲に入っている。

夏期および冬期における執務室中央 (測定点②) の温度の出現頻度を図 4-4、図 4-5 に示す。執務時間帯 (平日 9~18 時) のみを抽出して整理した。

図 4-4 によれば、夏は  $25\sim 26^{\circ}\text{C}$  の時間帯割合が最も多く、 $24\sim 26^{\circ}\text{C}$  の範囲で  $57\%$  の時間帯を占めている。また、 $28^{\circ}\text{C}$  を超える時間帯は  $14\%$  あり、夏期は室温が比較的高い状況にあることが示唆される。

図 4-5 によれば、冬は  $24\sim 25^{\circ}\text{C}$  の時間帯割合が最も多く、 $24\sim 26^{\circ}\text{C}$  で  $65\%$  の時間帯を占めている。冬期は暖房の運転により執務時間の温度変化が比較的小さい傾向にあった。

[注記] 網掛け部は休日を示す。

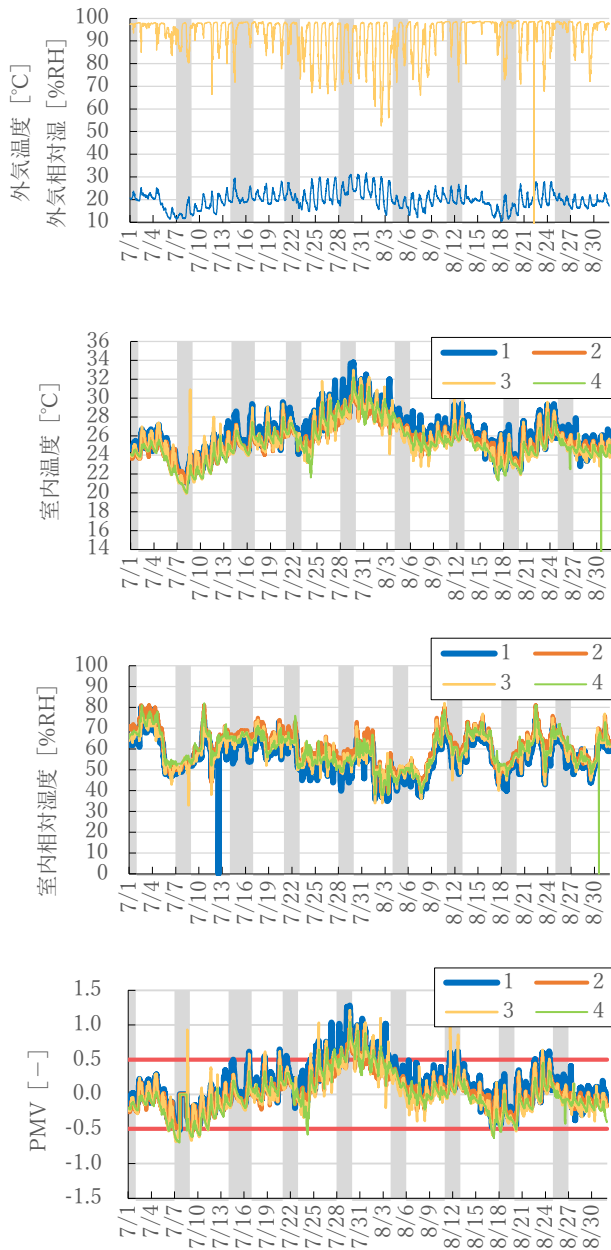


図 4-2 夏期における温湿度と PMV の推移

[注記] 網掛け部は休日を示す。

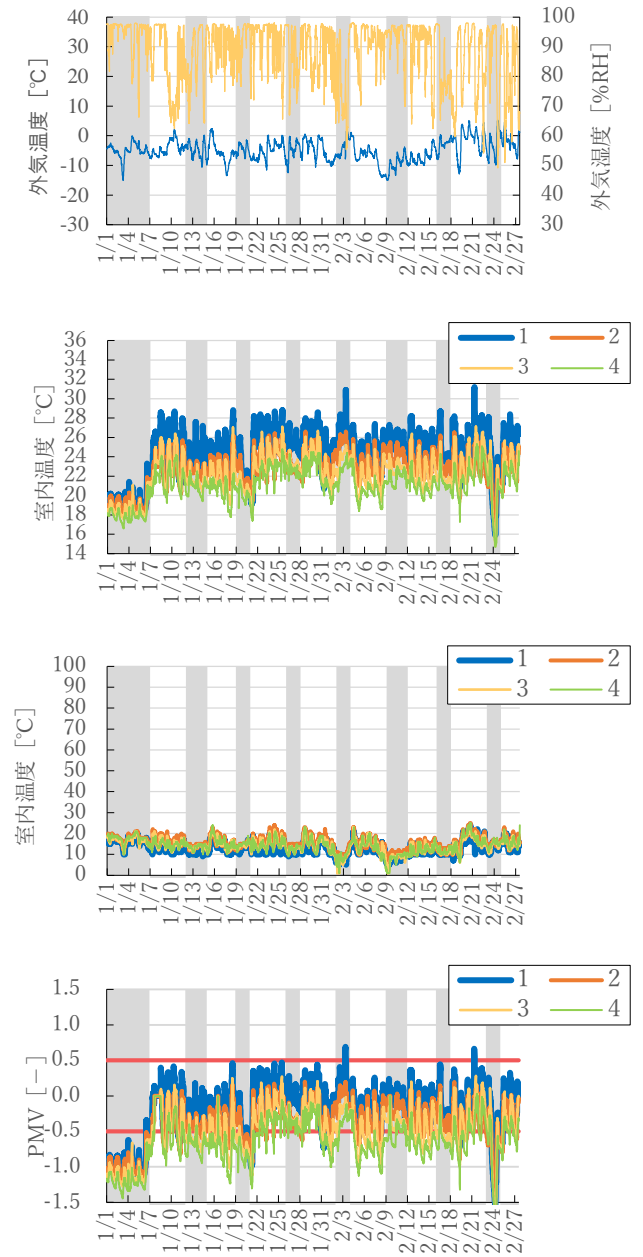


図 4-3 冬期における温湿度と PMV の推移

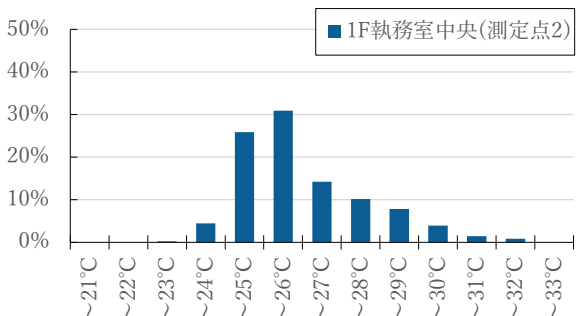


図 4-4 夏期における執務室の温度出現頻度

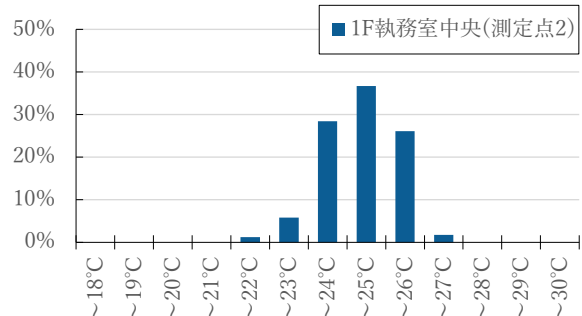


図 4-5 冬期における執務室の温度出現頻度



## 2) 照度の測定結果

夏期および冬期における照度計Ⅱ、照度計Ⅲで測定された照度の推移を図4-6、図4-7に示す。夏期は開口部に近い測定点Ⅱで高い照度が得られ、室中央付近である測定点Ⅲで500lx程度の照度を得られている。冬期は開口部付近と室中央付近で同程度の照度となっており、天候等の理由から十分な昼光利用が得られていない。

照度計Ⅲにおける照度の出現頻度を図4-8、図4-9に示す。ここでは、比較的暗い室中央付近のデータのみを示す。夏期は400～600lx程度、冬期は200～400lx程度に分布が集中している。

執務空間における照度の推奨値は750lx程度であるが<sup>1)</sup>、冬期では大きく下回る結果となった。測定の結果、人工照明を点灯させても、現庁舎の日中の大半の時間帯で750lx達していないことが分かった。

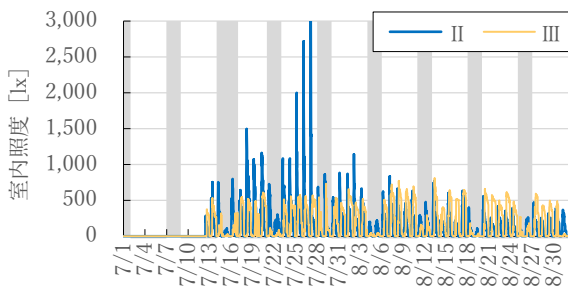


図4-6 夏期における照度の推移

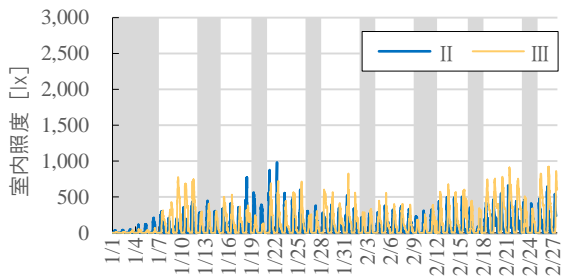


図4-7 冬期における照度の推移

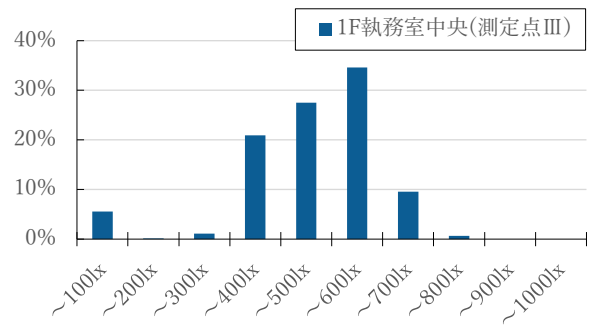


図4-8 夏期における照度の出現頻度

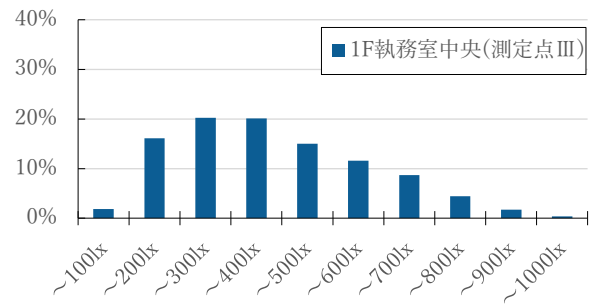


図4-9 冬期における照度の出現頻度

[参考文献]

- 1) JIS Z9110:2010 照明基準総則

## 5. まとめ

ニセコ町の気象特性を踏まえた役場新庁舎の設計に資するため、風洞実験および数値解析、実測を行い雪対策および環境設計に係る基礎情報を整備した。得られた研究成果を以下に要約する。

### (1) 風洞実験に基づく屋根雪対策および吹きだまり対策の検討

- 1) 当初案を対象とした風洞実験により、建物周囲および屋根における吹きだまり状況、雪庇の発生が予測される位置を把握した。
- 2) 改良案を対象とした風洞実験により、開口部付近の堆積や建物周囲の吹きだまりの発生が改善される状況を確認すると共に、設備機器周囲の吹きだまり対策、西面出入口前の防雪壁の設置効果を明らかにした。

### (2) CFD解析に基づく通風利用の検討

新庁舎への通風利用を目的に、風圧係数解析および冷房一次エネルギー消費量の検討を行い、以下の結果が得られた。

- 1) ニセコ町現庁舎の屋上における風向・風速を実測した。昼間は西南西、夜間は北北東が主風向であり、昼夜で風向が逆となることが分かった。
- 2) 各主風向に対して、周辺街区を考慮した庁舎の壁面にかかるCFD解析を行い、東西面の平均風圧係数を算出した。解析の結果、主風向である東西面に通風口を設け、中性帯位置に配慮するために、3階の開口を大きくするのが望ましいことが分かった。
- 3) 雪庇対策用のパンチングメタルを設置すると、風上側の平均風圧係数は低下するものの、建物中央（議場）付近の風圧係数は大きく下がらないことが分かった。
- 4) 必要通風口面積に着目して、熱・換気回路網連成計算により、冷房一次エネルギー消費量を推計したところ、通風口1個あたりの実開口面積を $0.48\text{m}^2$ または $0.36\text{m}^2$ とし、各室に示す通風口個数を乗じた面積で設計するのが望ましいことが分かった。

### (3) 執務空間の環境条件設定に係る基礎検討

新庁舎の環境条件設定の基礎資料を整備するため、現庁舎の温湿度、照度等の実測を行い、以下の結果が得られた。

- 1) 温度は1年間を通して、 $24\sim 26^\circ\text{C}$ 程度を推移していたが、冷房設備が導入されていないため、 $28^\circ\text{C}$ 以上となる時間帯割合が14%あった。快適指標としてPMVを用いて執務環境を評価したところ、概ね推奨範囲( $-0.5 < \text{PMV} < 0.5$ )に収まっていた。
- 2) 執務室の照度は夏と冬で差があり、夏は $400\sim 600\text{l x}$ 程度、冬は $200\sim 400\text{l x}$ 程度に分布が集中していた。JISに示される照明設計基準の $750\text{l x}$ に、日中の大半の時間帯で達していないことが分かった。

得られた成果はニセコ町役場新庁舎の設計の基礎情報となると共に、類似施設に係る技術相談、受託研究等の基礎資料と活用する。今後、新庁舎建設後の実測調査についても検討を進める予定である。