

風雪シミュレーションを用いた融雪負荷と建物熱負荷を低減する街区形態の開発 積雪寒冷都市における都市デザイン その19

積雪寒冷都市 風雪シミュレーション 風洞実験
都市デザインガイドライン 除雪エネルギー 環境評価

正会員 ○横山 翔太*
同 瀬戸口 剛**
同 渡部 典大***
同 堤 拓哉****
同 日下 みのり****

1. 研究の背景と目的

近年の都心開発では、高容積化による高度利用と共に、環境負荷の少ない都市づくりが求められている¹⁾。特に、積雪寒冷都市では、建物の消費エネルギーに加え、風雪の影響や除雪に要するエネルギーを低減する街区形態が重要である^{2) 3)}。しかし、消費エネルギーと街区形態の関係は明らかになっていない。

よって、本研究では積雪寒冷都市の都心部において、高容積街区を対象に、消費エネルギーと街区形態の関係を明示し、建築の配置や形態により、風雪の影響と除雪エネルギーを低減する街区形態を開発する。

2. 対象街区の選定 (図1)

札幌市都心部において、都市拠点として重要である北3条広場⁴⁾(以下、広場)と、それに隣接する三井JPビル、日本生命札幌ビルを対象とした。

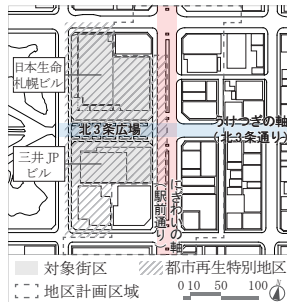


図1. 対象街区

3. 風雪シミュレーションの概要

粉体装置と風洞装置を使用した。風向は過去5年の気象データより北西^{注1)}とし、風速は4.0m/s^{注2)}とした。モデルの縮尺は1/500とした。

4. 評価視点

街区形態の評価として、文献⁵⁾⁶⁾⁷⁾より、エネルギー(融雪負荷、建物熱負荷)と歩行空間の風雪環境(雪環境、風環境)とした。(表1)

5. 風雪シミュレーションで検討する街区形態 (図2)

STEP1では、三井JPビルの高層部形状について、①高層部を板状にすることで外皮面積を縮小し、建物熱負荷(以下、熱負荷)を低減する、②高層部を塔状にし雪の吹き払い範囲を増加させ、風雪の影響と融雪負荷を低減する街区形態を検討した⁶⁾⁷⁾。STEP2では、STEP1の優位な街区形態を基本に、三井JPビルの③基壇部を縮小し日射による融雪を増加する街区形態を検討した⁶⁾。STEP3では、STEP2の優位な街区形態を基本に、日本生命札幌ビルの高層部形状を検討した。建物足元の風速を低減するため①高層部を板状にし外皮面積を縮小する、風雪の影響と融雪負荷を低減するため②塔状の高層部を風下に配置し雪の吹き払い範囲を増加する、③塔状の高層部を風上に配置し風下の基壇部に積雪させる街区形態を検討した⁶⁾⁷⁾。また、

各モデルの容積率^{注3)}、用途別延べ床面積^{注3)}、窓面積率^{注4)}、素材仕様^{注3)}は、現況と同様とした。

6. 三井JPビルの検討 (図3)

はじめに広場への日射の影響が大きい三井JPビルを対象とした。敷地全体に基壇部が配置され、その2/3ほどに高層部を持つ現況型に対し、高層部の高さを抑え基壇部全体に配置した高層部板状型、高層部を高く塔状に配置した

表1. 評価視点

評価視点	評価方法
融雪負荷	除雪エネルギーとして、冬期1日当たりの融雪負荷を算出。日射による自然融雪量を考慮した日積雪量をロードヒーティング(RH)により融雪する。 [算出式] 融雪負荷=(日積雪量-自然融雪量)*雪密度*融解熱/設備効率 [設定] 札幌市の雪密度393.9kg/m ³ RHの設備効率85% 融雪に必要な熱量756kJ/kg ^{注5)}
エネルギー 建物熱負荷	建物の消費エネルギーとして、冬期1日当たりの熱負荷を算出。外皮の熱損失量から建物の各面が受ける冬至の日射取得量(直達日射量+天空日射量)を引いた値を熱負荷とした。 [算出式] 熱負荷=(外皮熱損失量-日射取得量) 熱損失量=外皮面積*熱貫流率*(冬期設計温度-日平均外気温)*営業時間/設備効率 日射取得量=1時間毎の斜面日射量*時間毎の日射受面面積*窓面積率*日射透過率/設備効率 [設定] 暖房設定温度22℃ ^{注6)} 冬期日平均外気温-2.2℃ 営業時間15.5h ^{注7)} 設備効率85% 仕様 ^{注3)} 窓:フロート(基壇部)Low-eペア(高層部)、外壁:RC、断熱:ウレタン吹き付け 素材厚さ 外壁:RC 80mm 断熱材 50mm、屋根:RC 150mm 断熱材 100mm 熱貫流率 ^{注8)} フロート5.9 Low-eペア1.9 RC 0.6(熱伝導率1.6m/W/m ² K) 日射透過率 ^{注8)} フロート0.81 Low-eペア0.39
歩行空間の風雪環境	①積雪分布:冬期1日当たりの積雪深さの等高線図を作成し、吹き溜まりの分布を相対的に評価。 ②積雪深さ:歩行空間上の積雪深さの折線グラフを作成し、積雪の深さをa.最大値 ^{注10)} b.平均値 c.自然融雪量以上の積雪深さの箇所数 ^{注11)} の3つで相対的に評価。
風環境	積雪寒冷都市における屋外での風の感じ方の評価 ^{注12)} をもとに、風による快適性を評価。 [評価基準] ● 1.5m/s未満 : やや寒くやや不快 ● 2.9m/s以上 : 非常に寒く不快 ● 1.5m/s以上2.9m/s未満 : 寒く不快

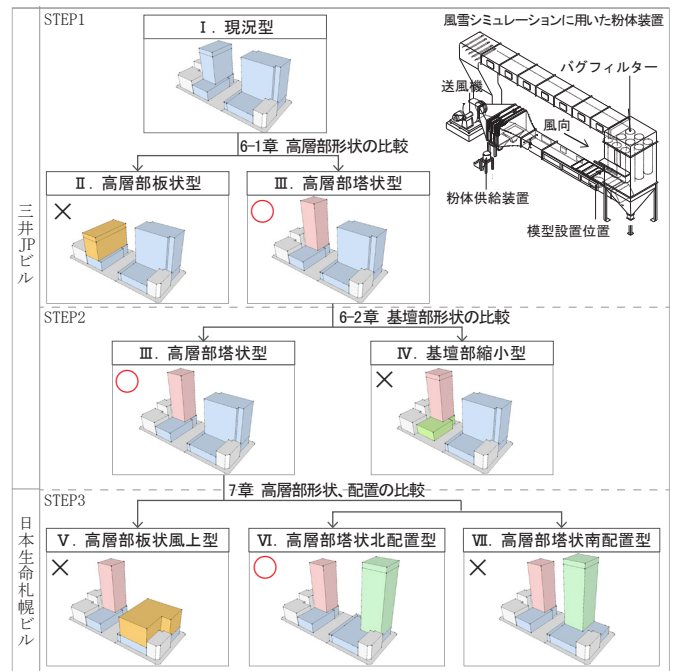


図2. 風雪シミュレーションの検討フロー

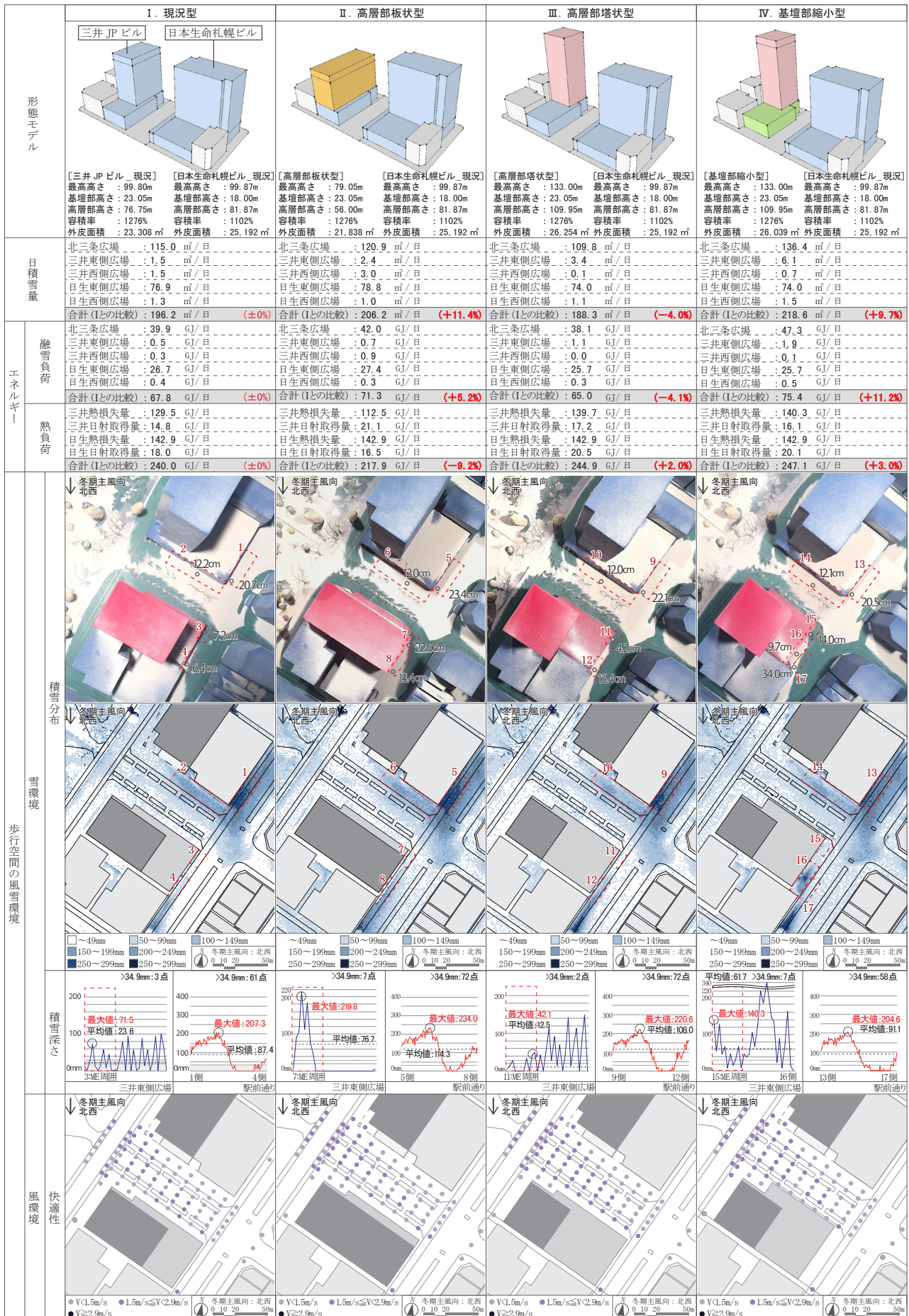


図3. 三井JPビルの風雪シミュレーション結果

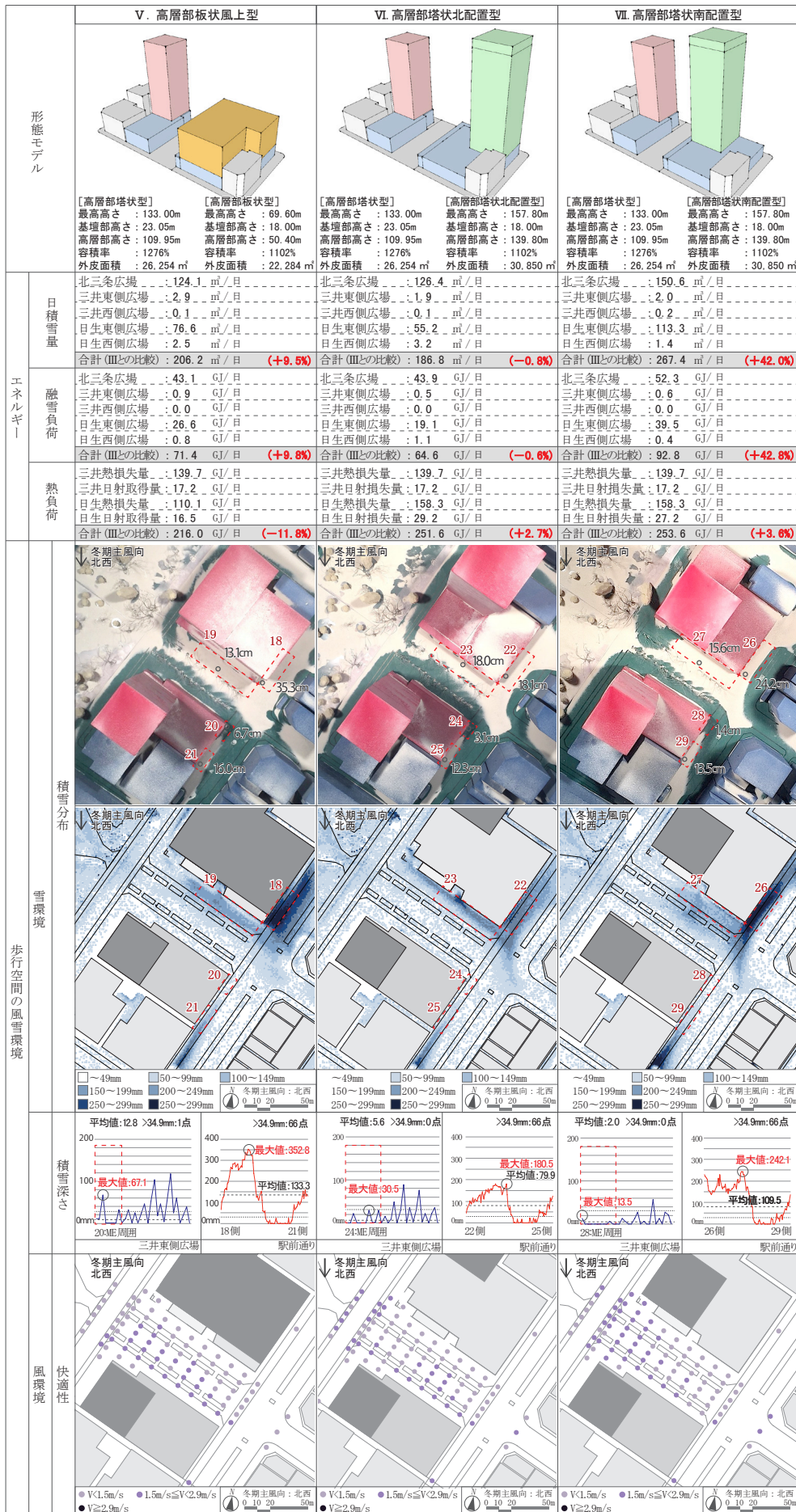


図 4. 日本生命札幌ビルの風雪シミュレーション結果

高層部塔状型の比較を行う。

6.1. 高層部形状の比較

現況型：積雪量の合計は196.2 m³/日である。[エネルギー]融雪負荷は67.8GJ/日である。熱負荷は240.0GJ/日である。[風雪環境]広場北側で12.2cm(図3-2)、駅前通り(以下、St.1)北側で20.7cm(図3-1)、南側で6.4cm(図3-4)、三井メインエントランス周囲(以下、ME)で7.2cm(図3-3)の吹き溜まりがある。風環境は悪くない。

高層部板状型：積雪量の合計は206.2 m³/日と最大である。[エネルギー]融雪負荷は71.3GJ/日である。熱負荷は217.9GJ/日と最小である。[風雪環境]広場北側で12.0cm(図3-6)、St.1北側で23.4cm(図3-5)、南側で13.4cm(図3-8)、MEで22.0cm(図3-7)の吹き溜まりがある。風環境は悪くない。

高層部塔状型：積雪量の合計は188.3 m³/日であり、最小である。[エネルギー]融雪負荷は65.0GJ/日と最小である。熱負荷は244.9GJ/日と最大である。[風雪環境]広場北側で12.0cm(図3-10)の吹き溜まりがあり、St.1北側で22.1cm(図3-9)、南側で16.4cm(図3-12)の吹き溜まりがある。MEでは4.2cm(図3-11)で、雪は吹き払われている。風環境は悪くない。

以上より、各モデルに共通して、融雪負荷は熱負荷の約3割である。高層部板状型は、現況型に比べ、熱負荷を9.2%低減できる。これは高層部が東西方向に長く日射取得量が増加したことと、外皮面積が小さいため熱損失を低減できるからである。一方、融雪負荷は5.2%増加する。高層部塔状型は、現況型に比べ、MEの吹き溜まりを減少し、融雪負荷を4.1%低減できる。これは風下側に吹き下ろす風が増加し吹き払い範囲が

大きくなるためである。熱負荷は2.0%増加する。

したがって、各モデルに共通して、熱負荷に対する融雪負荷の割合は約3割であり、この割合は断熱性能が向上するほど増大する。そのため、融雪負荷の低減を検討することは重要である。また、高層部板状型は、日射取得量を増加し、外皮の熱損失を減少できるため、熱負荷を低減できる。高層部塔状型は、風下側の吹き払い範囲を大きくし、積雪量、融雪負荷を低減できる。

6.2. 基壇部形状の比較

融雪負荷の最も少ない高層部塔状型を基本に、日射による融雪の増加が期待できる基壇部縮小型を検討する。

基壇部縮小型：積雪量の合計は218.6 m³/日である。[エネルギー] 融雪負荷は75.4GJ/日である。熱負荷は247.1GJ/日である。[風雪環境] 広場北側で12.1cm(図3-14)、St.1北側で20.5cm(図3-13)、南側で9.7cm(図3-17)、MEで14.0cm(図3-15)、三井東側広場で34.0cm(図3-16)の吹き溜まりがある。風環境は悪くない。

以上より、基壇部縮小型は、高層部塔状型に比べ、基壇部風下側の吹き溜まりが増大し、融雪負荷が増加する。これは基壇部壁面が隣接する建物壁面より後退したため、風速が乱れたためである。熱負荷に差はない。

したがって、基壇部壁面を隣接する建物と揃えることで、建物足元の吹き溜まりを低減できる。

7. 日本生命札幌ビルの検討(図4)

6章より三井JPビルを高層部塔状型とし、風上の日本生命札幌ビルに対し、より積雪を低減する街区形態の検討を行う。高層部の高さを抑え基壇部全体に板状に配置した高層部板状風上型、高層部を塔状にし北側に配置した高層部塔状北配置型、高層部を塔状にし南側に配置した高層部塔状南配置型を比較する。

高層部板状風上型：積雪量の合計は206.2 m³/日である。[エネルギー] 融雪負荷は71.4GJ/日である。熱負荷は216.0GJ/日と最小である。[風雪環境] 広場北側で13.1cm(図4-19)、St.1北側で35.3cm(図4-18)、南側で16.0cm(図4-21)、MEで6.7cm(図4-20)の吹き溜まりがある。風環境は悪くない。**高層部塔状北配置型：**積雪量の合計は186.8 m³/日と最小である。[エネルギー] 融雪負荷は64.6GJ/日と最小である。熱負荷は251.6GJ/日である。[風雪環境] 広場北側で18.0cm(図4-23)、St.1北側で18.1cm(図4-22)、南側で12.3cm(図4-25)の吹き溜まりがある。また、MEで3.1cm(図4-24)で、雪は吹き払われている。風環境は悪くない。

高層部塔状南配置型：積雪量の合計は267.4 m³/日で、最大である。[エネルギー] 融雪負荷は92.8GJ/日と最大である。熱負荷は253.6GJ/日と最大である。[風雪環境] 広場北側で15.6cm(図4-27)、St.1北側で24.2cm(図4-26)、南側で13.5cm(図4-29)の吹き溜まりがある。MEで1.4cm(図

4-28)で、雪は吹き払われている。風環境は悪くない。

以上より、高層部板状風上型は、高層部塔状型と比べて、広場東部、St.1北側には吹き溜まりができ、融雪負荷は9.8%増加する。一方、熱負荷は11.8%低減できる。要因は高層部板状型と同様である。高層部塔状北配置型は、高層部塔状型と比べ、St.1の吹き溜まりが大幅に小さくなり、融雪負荷を0.6%低減する。これは風下側の基壇部に風が吹き下ろし地上部の積雪量が減少するためである。熱負荷は2.7%増加する。高層部塔状南配置型は、高層部塔状型と比べて、広場中央部、St.1北側に吹き溜まりができ、融雪負荷は42.8%増加する。熱負荷は3.6%増加する。

したがって、高層部塔状北配置型は、基壇部に風が吹き下ろし、風下側の吹き溜まりと融雪負荷を低減できる。高層部板状風上型は、日射取得量を増加し外皮の熱損失を減少できるため、熱負荷を低減できる。

8. 結論

本研究では、形態検討における融雪負荷の重要性を明示し、風雪の影響とエネルギーを低減する街区形態を開発した。

A) 形態検討における融雪負荷の重要性

融雪負荷は、建物熱負荷のおよそ3割に相当し、その割合は断熱性能が向上する程、増大する。融雪負荷は街区形態の影響を受けることから、形態検討の際に融雪負荷を検討することは重要である。

B) 風雪の影響、エネルギーを低減する街区形態

①高層部を塔状にすると、風下側に吹き下ろす風が増加し吹き払い範囲が大きくなるため、地上部の吹き溜まりと融雪負荷を低減できる。

②高層部を板状にすると、日射取得量が増加し外皮の熱損失量が減少するため熱負荷を低減できるが、地上部の吹き溜まりと融雪負荷は増大する。

③基壇部壁面を隣接する建物の壁面と揃えると、風速が乱れず、建物足元の吹き溜まりと融雪負荷を低減できる。

④高層部を風上に配置すると、風下側の基壇部に風が吹き下ろし地上部の積雪量が減少するため、地上部の吹き溜まりと融雪負荷を低減できる。

以上より、風雪の影響、融雪負荷を低減する街区形態は、塔状の高層部を街区の風上に配置し、基壇部壁面を隣接する建物の壁面と揃えた形態である。

本研究は、平成29年度科学研究費基盤研究(A)「積雪シミュレーションを用いた除雪エネルギーゼロの北方型スマート街区の開発」の研究助成を受けた。

注釈：注1)2012年-2016年の12月-2月の気象庁データより、日降雪5cm以上の最多風向。注2)気象台風速計高さを考慮した流入風速。注3)新建築2016.10、久米設計HP。注4)実測より立面図作成。注5)空調調和・衛生工学会便覧。注6)設計資料集成環境。注7)各ビルHP。注8)JISR3106、JISR3107、設計資料集成環境。注9)実験は7日分に相当。結果を7で割り1日の積雪深とした。注10)歩行障害がある深さは札幌市の大雪注意報の基準である200mm以上とした。注11)札幌市の自然融雪量34.9mm以上積雪した箇所数を評価。注12)木岡(2009)より設定。
参考文献：1)スマートシティ時代のサステナブル都市・建築デザイン/日本建築学会2)風雪シミュレーションを用いた高層建築街区と中層建築街区が周辺の公共空間に与える風雪環境評価/瀬戸口剛ほか3)積雪寒冷都市における風雪シミュレーションを用いたスマート街区の空間形態とエネルギー消費/渡部典大ほか4)第二次都心まちづくり計画/札幌市HP。5)北国の街づくりと景観/N.Pressman6)風雪シミュレーションを用いた低炭素型の都心空間デザインプロセス/前田孝輔ほか7)省エネを目指す建築形状最適化設計手法の開発に関する研究/大岡龍三ほか8)冬期の漁港における防風雪施設内の作業効率に関する被験者実験/木岡信治

* 石本建築事務所 工修

** 北海道大学大学院 副工学研究院長 教授 博士(工学)

*** 北海道大学大学院工学研究院 助教 博士(工学)

**** 北方建築総合研究所 主査 博士(工学)

***** 日本設計 工修

* Ishimoto Architectural & Engineering, Firm, inc., M. Eng

** Vice Dean of Engineering Faculty, Hokkaido Univ., Prof., Dr. Eng.

*** Assist. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ, Dr. Eng.

**** Chief, Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.

***** NIHON SEKKEI Inc., M. Eng.