

北海道の公営住宅を対象とした
雪害リスク評価手法の構築に
関する研究

2008 年 3 月

堤 拓哉

北海道における公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法の構築に関する研究

年間の約 1/3 が雪に覆われた状態になる北海道では、降積雪現象が要因となる多数の死傷者や建築物の被害が毎年発生している。平成 18 年の冬には、死者 18 名、負傷者 402 名、住家損傷 98 棟など甚大な被害が発生した。被害の大半は建築物周辺の除雪作業や屋根雪が主要因で、建築物が事故発生に大きく関与し、犠牲者の大多数が高齢者である。このような大きな雪害に至らないまでも、北海道では積雪期になると毎年、大なり小なりの除雪作業や屋根雪処理を要し、日常生活を維持するための精神的・肉体的負担は極めて大きい。さらに、降積雪現象は避難設備の埋没や避難経路の寸断など災害時の避難行動を妨げる要因ともなり、建築物の安全性も低下させている。

公共建築物では、このような降積雪現象で発生する問題を回避するため、毎冬の維持管理作業に莫大な労力と費用が投じられている。公共建築物の中で数量的に最も多い公営住宅は、道内に約 18 万 9 千戸(平成 15 年度計)存在し、年間約 3 千戸が新たに供給されている。北海道の公営住宅比率(公営住宅/住民基本台帳登載世帯数×100)は 6.9%と、全国平均 3.0%を大きく上回り、北海道において住居確保に公営住宅が果たす役割は極めて大きい。

これらの公営住宅には、高齢者や障害者など社会的弱者も多く住み、高齢化の進行に伴い「高齢者専用の公営住宅(シルバーハウジング)」の供給も年々増加している。公営住宅における雪処理は受益者負担が基本となっているが、居住者の高齢化が進行する現状では雪処理作業の担い手の確保が困難であるため、行政への依存度が高まっている。しかし、道内自治体の財政事情は年々悪化の一途をたどり、公営住宅の雪対策に要する費用負担の軽減も求められている。道内の自治体は、「居住者のニーズに対応する雪対策の必要性」と「地方財政悪化によるコスト縮減」という相反する事情を抱え、必要最小限の費用で効果的な雪対策を如何に実施するかという行政的判断に迫られている。

このような現状を踏まえ、本研究では北海道内の公共建築物の中で数量的に最も多い「公営住宅」を研究の対象とし、公営住宅の安全性と快適性に繋がる北海道固有の問題である「雪対策に関する技術的課題の解決」と「地方自治体の雪対策実施に関する行政的判断を支援するための設計資料の提示」を研究の目的に据え、以下に示す 3 つの事項を明ら

かにする。

- 1) 北海道の公営住宅に求められる雪対策技術の明確化
- 2) 北海道の公営住宅に求められる雪対策技術の検討手法と方向性の明確化
- 3) 北海道の公営住宅における雪害リスク評価手法の構築

本研究で得られる成果は、良質な住宅ストック形成、冬の生活の快適性、安全性向上に大きく寄与すると考える。さらに、民間建築物への技術普及による波及効果が期待され、北海道の建築物全体の雪対策の効果的実施と建築物の安全性向上に繋がると考える。すなわち、本研究は北海道における安全で安心な建築物の実現に寄与する研究であり、取り組む意義は極めて高いと考える。本研究で得られる成果と期待される効果を具体的にまとめると、以下の3つの事項となる。

1. 北海道の公営住宅に求められる雪対策技術と技術的課題が明確になる。更に技術的対応策と検討手法を提示することにより、公営住宅整備における雪対策の基礎資料となり、新たな技術開発のシーズとなる。さらに、雪害リスク評価手法を構築するための検討資料にもなる。
2. 雪害リスク評価手法を構築することにより、道内各市町村における公営住宅の管理者は雪害発生状況やリスクの程度を把握することが可能になる。これらの成果は、雪対策実施に関する意思決定を支援することに繋がり、行政的施策のための判断材料となる。
3. 雪害リスク評価を実施することにより、雪害による損失が明示され、対応策による費用便益効果が算定可能となる。これらの成果は、建築物のライフサイクルコストの低減に繋がり、良質なストック形成に寄与する。

第1章では、本研究の背景と目的について述べた。北海道の公営住宅整備における雪対策に関する技術的背景を概観し、本研究において検討すべき課題を明確化した。更に、関連する既往研究と本研究の位置づけについて述べ、本研究に取り組む意義とオリジナリティを明確にした。

第2章では、北海道の全市町村を対象とした雪問題と雪対策に関する調査資料を基に、北海道の公営住宅における雪対策の技術的課題について現況分析を行い、本研究で取り組むべき課題を明確にした。本分析において、北海道の公営住宅における雪問題の発生は降積雪現象に加え「吹雪」が大きな要因となることに「北海道の公営住宅で発生する雪問題」の特徴があることを示した。更に、屋根雪の問題では、「雪庇」の対策が大きな技術的課題であることを明らかにした。

第3章では、北海道の公営住宅における「吹雪」の問題について、現地調査および実験的検討を行った。現地調査では、「雁木」を設置した公営住宅で発生している吹雪障害の現状を把握し、その結果を基に吹雪障害の発生要因を検討した。吹雪障害は、周辺に建築物が少ない郊外に位置する公営住宅で多く見られるなど、気流特性を支配する「地表面粗度」が大きく関わっていることを明らかにした。次に、吹雪風洞装置を用いて「地表面粗度」と代表的な吹雪障害である「吹きだまり性状」との関係について実験的検討を行った。実験により、地表面粗度に支配される「気流の乱れ強さ」の変化が吹きだまりのピーク位置や吹き払い長さ、堆積形状に影響を与えることを明らかにした。以上の結果を基に、「北海道の公営住宅における吹雪対策の検討プロセス」を提示した。

第4章では、公営住宅の屋根に形成される「雪庇」の問題について、屋外観測および実験的検討を行った。屋外観測では、雪庇の成長と気象条件との関係を検討し、雪庇の形成メカニズムを明らかにした。次に、屋外観測で得られた知見に基づき人工降雪装置による雪庇形成実験を行い、形成メカニズムを検証し、雪庇の内部構造を示した。更に実在する公営住宅を対象とした屋外観測を行い、屋根の積雪分布と雪庇の成長との関係を検討した。公営住宅の屋根面の吹走距離が長くなるにつれ、屋根風下側の吹きだまりが発達し、雪庇が成長することを明らかにした。更に躯体からの漏熱が屋根積雪と雪庇の成長に及ぼす影響も示した。以上の検討結果を基に、北海道の公営住宅における「気象特性に基づいた雪庇対策の考え方」と「雪庇の形成メカニズムに基づいた対策手法」を提示した。

第5章では、これまで試みられていなかった「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」の構築に関する検討を行った。最初に、2章、3章、4章で得られた知見を踏まえ、公営住宅の雪の問題発生に関する要因整理を行った。次に、多変量解析の一つである「判別分析」を用いて、公営住宅の雪問題発生の判別手法について検討を行い、「吹雪指数」、「最深積雪深」、「建物密度」を説明変数とすることにより、公営住宅の雪問題発生の有無が判別出来ることを示した。更に、損失期待値に基づいた「雪害リスク評価手法」の検討を行い、現象発生に繋がる気象条件の発生割合と降雪量に基づく損失を算定することにより、雪害によるリスクを定量化できることを示した。また、道内主要都市を対象とした雪害リスクの試算を行い、その有効性を示した。公営住宅整備においてライフサイクルコストに基づいた雪害リスク評価を行うことにより、費用対効果の高い雪対策を行えることを示した。最後に、「公営住宅整備計画における雪害リスク評価の活用法」を示した。

第6章では、1章から5章までの研究結果の総括を行い、本研究で得られた主要な成果について述べ、今後の課題を提起した。

目 次

1 章 序 論

1.1 本研究の背景と目的

1.1.1 はじめに	1
------------------	---

1.1.2 北海道の気象特性	2
----------------------	---

1.1.3 北海道における公営住宅整備の変遷と雪対策	5
----------------------------------	---

1.1.4 北海道の公営住宅における雪対策の課題と本研究の目的	10
---------------------------------------	----

1.2 関連する既往研究と本研究の位置付け

1.2.1 雪害に関する研究	14
----------------------	----

1.2.2 建築物を対象とした雪問題に関する研究	14
--------------------------------	----

1.2.3 建築物を対象としたリスク評価に関する研究	16
----------------------------------	----

1.2.4 本研究の新規性とオリジナリティ	16
-----------------------------	----

1.3 本論文の構成	18
------------------	----

参考文献	20
------------	----

2 章 北海道の公営住宅における雪問題の現状分析

2.1 はじめに	24
----------------	----

2.2 研究方法

2.2.1 現状分析の対象	25
---------------------	----

2.2.2 現状分析の方法	26
---------------------	----

2.3 研究結果

2.3.1	現状分析を行った公営住宅の属性	27
2.3.2	北海道の公営住宅における雪問題と雪対策の現状	28
2.4	本章のまとめ	
2.4.1	北海道の公営住宅における雪問題に関する技術的課題	45
2.4.2	本研究において検討すべき課題	46
	参考文献	48
3	北海道の公営住宅における吹雪障害の評価と対策の検討手法	
3.1	はじめに	59
3.2	雁木を設置した公営住宅における吹雪障害の発生状況	
3.2.1	吹雪障害に関する現地調査	61
3.2.2	吹雪障害の発生状況と発生要因	64
3.3	気流の乱れ強さの変化が吹きだまり性状に及ぼす影響	
3.3.1	はじめに	58
3.3.2	国内外で実施された吹雪風洞実験	58
3.3.3	吹雪風洞実験の相似則	60
3.3.4	本研究で考慮する吹雪風洞実験の相似パラメータ	63
3.3.5	吹雪風洞実験方法と実験条件	64
3.3.6	気流の乱れ強さが吹きだまり性状に及ぼす影響	70
3.4	北海道の公営住宅整備における吹雪対策に関する検討手法の提案	
3.4.1	吹雪対策の検討において考慮すべき風の性質	78

3.4.2 北海道の公営住宅における吹雪対策の検討プロセス	84
3.5 本章のまとめ	85
参考文献	87
 4 章 北海道の公営住宅における雪庇形成メカニズムと対策手法	
4.1 はじめに	90
4.2 屋根上における雪庇の形成メカニズム	
4.2.1 実建物を対象とした雪庇の形成過程に関する屋外観測	93
4.2.2 雪庇形成メカニズムの検証実験	100
4.2.3 雪庇の形成メカニズム	107
4.3 公営住宅における積雪分布と雪庇の発達過程	
4.3.1 積雪分布と雪庇の発達過程に関する屋外観測方法	108
4.3.2 積雪分布と雪庇の発達過程の関係	111
4.4 北海道の公営住宅における雪庇対策	
4.4.1 気象特性に基づいた雪庇対策の考え方	121
4.4.2 雪庇の形成メカニズムに基づいた対策手法	122
4.5 本章のまとめ	128
参考文献	130
 5 章 北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法の提案	
5.1 はじめに	132
5.2 北海道の公営住宅における雪害発生に関する統計的分析	

5.2.1 公営住宅における雪害発生要因	136
5.2.2 多変量解析による雪害発生分析	140
5.3 雪害リスク評価手法の検討	
5.3.1 損失期待値による雪害リスク評価	146
5.3.2 公営住宅整備計画における雪害リスク評価の活用法	158
5.4 本章のまとめ	160
参考文献	161

6章 結 論

6.1 本研究のまとめ	163
6.2 今後の課題	166

謝 辞

研究発表論文等一覧

図表一覧

表 1-1 北海道における雪による被害(消防庁まとめ)

表 1-2 住宅建設五箇年計画と北海道における技術的変遷

表 1-3 北海道の公営住宅における積雪寒冷地対応技術の変遷

表 2-1 雪庇による問題発生状況と対策実施との関連(n=202)

表 3-2-1 調査対象一覧

表 3-2-2 雁木の形態分類

表 3-2-3 調査結果一覧

表 3-3-1 吹雪風洞実験による研究を実施した主な機関(国内)

表 3-3-2 吹雪風洞実験による研究を実施した主な機関(国外)

表 3-3-3 吹雪風洞実験の相似パラメータ

表 3-3-4 本研究における吹雪風洞実験で考慮する相似パラメータ

表 3-3-5 模擬雪の特性

表 3-3-6 実験条件一覧 (H: モデル高さ)

表 3-4-1 雁木の腰壁形状の変化が通路内の積雪性状に及ぼす影響

表 4-2-1 観測対象

表 4-2-2 雪庇の成長過程

表 4-2-3 実験条件

表 4-3-1 調査対象建物

表 4-3-2 観測期間(2004.01～02)の日平均風速および外気温

表 4-3-3 積雪深比(降雪初期:2003.12.11,最深積雪時:2004.03.02)

表 4-6-1 屋根上積雪深に影響を及ぼす環境因子

表 5-1 多変量解析の分類

表 5-2 分析データ

表 5-3 公営住宅の雪の問題発生に関する判別分析結果

表 5-4 雪庇発生に関する分類別の説明変数(標準化値)の統計値

表 5-5 雪問題の発生と日平均風速

表 5-6 各地点における雪庇の発生率

表 5-7 公営住宅の雪害による年間の損失費用 (C)

表 5-8 道内各都市の公営住宅の雪害リスク(円/㎡)

図 1-1 1, 2 月の最深積雪深の平年値と月平均気温の平年値との関係

図 1-2 1, 2 月の最深積雪深の平年値と月降水量の平年値との関係

図 1-3 北海道における公営住宅の役割と位置づけ

図 1-4 北海道の公営住宅の老朽度(平成 16 年末現在, 北海道建設部住宅課まとめ)

図 1-5 本研究において検討すべき課題と目的

図 1-6 本研究で得られる成果

図 1-7 本研究で取り扱う研究領域

図 1-8 本論文の構成フロー

図 2-1 本研究における分析対象としての公営住宅担当職員の位置づけ

図 2-2 本章の調査・検討フロー

図 2-3 各市町村における公営住宅代表事例の建設年次の分布(有効回答 n=199)

図 2-4 建物周囲における雪問題の発生状況(有効回答市町村数: 204, 複数回答)

図 2-5 建物周囲の雪対策の実施状況(有効回答市町村数: 199, 複数回答)

図 2-6 建物周囲の雪対策に関する建設年代別の実施状況の比較

図 2-7 雁木を設置している市町村の分布および雪の吹きこみの発生状況

図 2-8 雁木への雪の吹き込みと気温, 風速の関係

図 2-9 公営住宅の雁木への雪の吹き込みに関する新聞報道記事

図 2-10 吹雪による雪問題の発生状況 (有効回答市町村数: 204, 複数回答)

図 2-11 吹雪対策の実施状況(有効回答市町村: 200, 複数回答)

図 2-12 吹雪対策の年代別実施割合

図 2-13 吹雪による問題発生と建築面積率による地表面粗度区分との関係

図 2-14 屋根雪による雪問題の発生状況(有効回答市町村数: 204, 複数回答)

図 2-15 屋根雪対策の実施状況 (有効回答市町村数 202, 複数回答)

図 2-16 屋根雪対策の年代別実施割合

図 2-17 雪庇の発生に関する 1,2 月平均風速と平均月降雪量の関係

図 2-18 本章の調査結果と次章以降の検討内容との関係

図 3-2-1 調査対象地域

図 3-3-1 粉体風洞装置

図 3-3-2 検討モデル

図 3-3-3 風洞内の風速の鉛直分布

図 3-3-4 実験気流の乱れ強さ(I_H)の鉛直分布

図 3-3-5 実験概要図

図 3-3-6 吹きだまりの比較パラメータ

図 3-3-7 乱れ強さの変化が各比較パラメータに及ぼす影響

図 3-3-8 吹きだめ柵周囲の風の流れの模式図

図 3-3-9 比較パラメータの経時変化($U_H=5.0\text{m/s}$)

図 3-3-10 野外観測におけるピーク位置および頂点角度の推移

図 3-4-1 北海道の公営住宅の吹雪対策を考える上で考慮すべき風の階層構造

図 3-4-2 都市・地域スケールの風

図 3-4-3 吹雪の性状に及ぼす地表面粗度の影響

図 3-4-4 公営住宅団地整備を対象とした吹雪風洞実験における「建物スケールの風」の変化の影響

図 3-4-5 北海道の公営住宅における吹雪対策の検討プロセス

図 4-1-1 本章における検討内容

図 4-2-1 観測地点とアメダス(旭川)の位置

図 4-2-2 アメダスによる旭川市の近年の積雪状況

図 4-2-3 過去 4 冬期間の日平均風速と日最大風速出現頻度($N=483$)

図 4-2-4 冬期間の日最多風向($N=482$)

図 4-2-5 日降雪 5cm 以上の日最多風向($N=195$)

図 4-2-6 パラペット部概要図

図 4-2-7 観測期間内の日降雪量と日平均風速の推移

図 4-2-8 雪庇成長時における日平均風速と日降雪量

図 4-2-9 実験概要図

- 図 4-2-10 建物屋根上の吹きだまりが雪庇の形成に及ぼす影響
 - 図 4-3-1 位置図 (01~04: 調査建物位置, I ~ VI: 気象観測点)
 - 図 4-3-2 地上積雪深の推移 (2003.12.01~2004.03.20)
 - 図 4-3-3 No.01 屋上風下側の積雪深分布
 - 図 4-3-4 No.02 屋上風下側の積雪深分布
 - 図 4-3-5 No.03 屋上風下側の積雪深分布
 - 図 4-3-6 No.04 屋上風下側の積雪深分布
 - 図 4-3-7 No.01 の屋根風下側の積雪深分布
 - 図 4-3-8 No.02 の屋根風下側の積雪深分布
 - 図 4-3-9 No.03 の屋根風下側の積雪深分布
 - 図 4-3-10 No.04 の屋根風下側の積雪深分布
 - 図 4-3-11 雪庇成長量の算定
 - 図 4-3-12 吹きだまり量と雪庇の成長量の関係
 - 図 4-4-1 雪庇対策の実施において考慮すべき気象条件と雪庇の成長要因との関係
 - 図 4-4-2 雪庇の成長プロセス
 - 図 4-4-3 雪庇の形成メカニズムに基づいた対策の考え方
-
- 図 5-1 北海道の公営住宅整備における「雪害リスク」および「雪害リスク評価」
 - 図 5-2 北海道の公営住宅整備計画の体系と本研究との関連
 - 図 5-3 1,2 月の平均風速(平年値)
 - 図 5-4 1,2 月の平均気温(平年値)
 - 図 5-5 年最深積雪深(平年値)
 - 図 5-6 吹雪発生臨界風速
 - 図 5-7 分析対象とした市町村の吹雪指数の分布
 - 図 5-8 分析対象とした市町村の建物密度の頻度分布
 - 図 5-9 分析対象とした市町村の公営住宅における雪問題の発生割合(n=86)
 - 図 5-10 ウインドスクープ
 - 図 5-11 1,2 月の日平均風速(U)の発生頻度分布(1997~2007)
 - 図 5-12 1,2 月の日降雪量の発生頻度分布(1997~2007)
 - 図 5-13 道内各都市の吹雪による雪の吹き込みのリスク
 - 図 5-14 道内各都市の吹雪による吹きだまりのリスク

図 5-15 道内各都市の雪庇によるリスク

図 5-16 複数の雪の問題による公営住宅の雪害リスク(稚内)

図 5-17 公営住宅の供用年数と雪害リスク

図 5-18 札幌市を対象とした LCC による雪害リスク評価と雪対策の選定

図 5-19 公営住宅の雪害リスク評価フロー

図 6-1 雪害リスク評価手法を用いた新たな設計体系の構築

図 6-2 雪害リスク研究の進展

写真 2-1 堆雪スペースが不足している団地(札幌市)

写真 2-2 積雪により使用ができない歩行用スロープ(恵庭市)

写真 2-3 雁木の設置例(留萌市)

写真 2-4 雁木の設置例(江別市)

写真 2-5 通路(開放型片廊下)への雪の吹き込み(小樽市)

写真 2-6 開口部前の吹きだまり (苫前町)

写真 2-7 地表面粗度区分Ⅲの地域に建つ公営住宅

写真 2-8 屋根上の雪庇(滝川市)

写真 2-9 屋根からの落氷雪(札幌市)

写真 2-10 雪庇防止笠木の設置例(名寄市)

写真 3-1-1 伝統的な雁木(上越市)

写真 3-1-2 北海道の公営住宅の雁木(岩見沢)

写真 3-1-3 郊外(粗度区分Ⅱ)

写真 3-1-4 低層市街地(粗度区分Ⅲ)

写真 3-2-1 住棟付属雁木(旭川市)

写真 3-2-2 住棟間雁木・平行配置(札幌市)

写真 3-2-3 Case07 における通路内への雪の吹き込み

写真 3-2-4 Case12 における通路上の雪の堆積

写真 3-3-1 フェンス

写真 3-3-2 堆積状況の例(気流Ⅰ, $U_H=5.0\text{m/s}$)

写真 4-1-1 公営住宅で発生した雪庇(滝川市)

写真 4-1-2 雪庇防止柵の設置例(旭川市)

写真 4-2-1 観測対象周辺状況

写真 4-2-2 実験概要

写真 4-2-3 実験で用いた降雪粒子

写真 4-2-4 降雪 4 時間後

写真 4-2-5 降雪 8 時間後

写真 4-2-6 16 時間放置後

写真 4-2-7 降雪 2 回目終了後, 16 時間経過時

写真 4-2-8 雪庇の断面

写真 4-2-9 雪庇の密度分布

写真 4-3-1 設置状況(積雪無)

写真 4-3-2 設置状況(積雪有)

写真 4-3-3 No.02 雪庇の形成初期(撮影日: 2003 年 12 月 11 日)

写真 4-3-4 No.03 雪庇の形成初期(撮影日: 2003 年 12 月 11 日)

写真 4-3-5 No.04 雪庇の形成初期(撮影日: 2003 年 12 月 11 日)

写真 4-3-6 No.02 雪庇の発達(撮影日: 2004 年 3 月 2 日)

写真 4-3-7 No.03 雪庇の発達(撮影日: 2004 年 3 月 4 日)

写真 4-3-8 No.04 雪庇の発達(撮影日: 2004 年 3 月 2 日)

写真 4-3-9 No.01 雪庇の発達(撮影日: 2004 年 3 月 2 日)

写真 4-3-10 No.01 雪庇の発達(撮影日: 2004 年 3 月 2 日)

写真 4-4-1 管理用タラップ上の雪庇

写真 4-4-2 出入口の小庇

写真 4-4-3 冠雪による庇の形成(芦別市)

写真 4-4-4 積雪のクリープ変形(旭川市)

写真 5-1 風速による地表面の積雪パターン

写真 6-1 公営住宅を対象とした吹雪風洞実験例

1 章 序 論

1.1 本研究の背景と目的

1.1.1 はじめに	1
1.1.2 北海道の気象特性	2
1.1.3 北海道における公営住宅整備の変遷と雪対策	5
1.1.4 北海道の公営住宅における雪対策の課題と本研究の目的	10

1.2 関連する既往研究と本研究の位置付け

1.2.1 雪害に関する研究	14
1.2.2 建築物を対象とした雪問題に関する研究	14
1.2.3 建築物を対象としたリスク評価に関する研究	16
1.2.4 本研究の新規性とオリジナリティ	16

1.3 本論文の構成

18

参考文献	20
------------	----

1.1 本研究の背景と目的

1.1.1 はじめに

年間の約 1/3 が雪に覆われた状態になる北海道では、降積雪現象が要因となる多数の死傷者や建築物の被害が毎年発生している。平成 18 年の冬には、表 1-1 に示すように死者 18 名、負傷者 402 名、住家損傷 98 棟など甚大な被害が発生した¹⁻¹⁾。被害の大半は建築物周辺の除雪作業や屋根雪が主要因で、建築物が事故発生に大きく関与し、犠牲者の大多数が高齢者である。このような大きな雪害に至らないまでも、北海道では積雪期になると毎年、大なり小なりの除雪作業や屋根雪処理を要し、日常生活を維持するための精神的・肉体的負担は極めて大きい。さらに、降積雪現象は避難設備の埋没や避難経路の寸断など災害時の避難行動を妨げる要因ともなり、建築物の安全性も低下させている。

公共建築物では、このような降積雪現象で発生する問題を回避するため、毎冬の維持管理作業に莫大な労力と費用が投じられている。公共建築物の中で数量的に最も多い公営住宅は、道内に約 18 万 9 千戸(平成 15 年度計)存在し、年間約 3 千戸が新たに供給されている。北海道の公営住宅比率(公営住宅/住民基本台帳登録世帯数×100)は 6.9%と、全国平均 3.0%を大きく上回り、北海道において住居確保に公営住宅が果たす役割は極めて大きい¹⁻²⁾。これらの公営住宅には、高齢者や障害者など社会的弱者も多く住み、高齢化の進行に伴い「高齢者専用の公営住宅(シルバーハウジング)」の供給も年々増加している¹⁻³⁾。公営住宅における雪処理は受益者負担が基本となっているが、居住者の高齢化が進行する現状では雪処理作業の担い手の確保が困難であるため、行政への依存度が高まっている。しかし、道内自治体の財政事情は年々悪化の一途をたどり、公営住宅の雪対策に要する費用負担の軽減も求められている。道内の自治体は、「居住者のニーズに対応する雪対策の必要性」と「地方財政悪化によるコスト縮減」という相反する事情を抱え、必要最小限の費用で効果的な雪対策を如何に実施するかという行政的判断に迫られている。

このような現状を踏まえ、本研究では北海道内の公共建築物の中で数量的に最も多い「公営住宅」を研究の対象とし、公営住宅の安全性と快適性向上に繋がる北海道固有の問題である「雪対策に関する技術的課題の解決」と「地方自治体の雪対策実施に関する行政的判断を支援するための設計資料」を提示することを目的としている。本章では、北海道の気象特性、北海道における公営住宅の整備状況および関連する既往研究を概観し、本研究において検討すべき課題について考察する。

表 1-1 北海道における雪による被害(消防庁まとめ)

時 期	人的被害			住家被害
	死 者	負傷者	計	
H16.12-H17.3	18 人	49 人	67 人	63 棟
H17.12-H18.3	18 人	402 人	420 人	98 棟
H18.12-H19.3	7 人	127 人	134 人	—

1.1.2 北海道道の気象特性

日本は世界でも有数の多雪国であるが、東北から南西に長く伸びる日本列島に降る雪は質的にも量的にも各地域で大きく異なる。ここでは、北海道と東北・北陸の各都市と気候特性の比較を行い、北海道の建築物で起きる雪の問題と深く関係する気象的特徴について考察する。図 1-1 に積雪地域の各都市における「1, 2 月の最深積雪深の平年値」と「月平均気温の平年値」との関係、図 1-2 に「最深積雪深」と「降水量」との関係を示す¹⁻⁴⁾。なお、図中には石坂の方法¹⁻⁵⁾により、雪質を「幹雪地域」：●、「湿雪地域」：■、「中間地域」：▲、「しもざらめ雪地域」：○に区分して示してある。「幹雪地域」は乾いた軽い雪が積もる地域、「湿雪地域」は水分を多く含んだ重い雪が積もる地域、「中間地域」は「幹雪地域」と「湿雪地域」の中間的性格を持つ地域、「しもざらめ雪地域」は積雪が少ないものの寒冷で、しもざらめ雪が発達する地域である。

図 1-1,1-2 を基に道内各都市の気象特性を整理すると、以下ようになる。雪質による地域区分をみると、しもざらめ雪地域となる道東の釧路、網走および帯広以外の都市は乾雪地域となる。1,2 月の平均気温と最深積雪深との関係をみると、いずれの都市も平均気温の平年値は-4℃以下に分布し、乾雪地域に区分される都市の最深積雪深の平年値は 70cm 以上、しもざらめ雪地域に区分される都市における最深積雪深の平年値は 50cm 以下となる。これに対し、湿雪および中間地域に区分される東北や北陸の各都市をみると、最深積雪深の平年値は道内各都市と同程度の範囲に分布するものの、平均気温の平年値が-2℃以上の範囲に分布し、道内各都市よりも高い平均気温である。特に、湿雪地域に区分される北陸地方の各都市は、+1℃以上の範囲に分布している。次に、1,2 月の降水量と最深積雪深との関係をみると、いずれの地域においても降水量の増加に伴い最深積雪深が増加する傾向を示す。道内の各都市では倶知安を除き月降水量の平年値は 100mm 以下の範囲に分布し、降水量は最深積雪深が同程度である東北や北陸の各都市の 1/2 程度になる場合が多い。

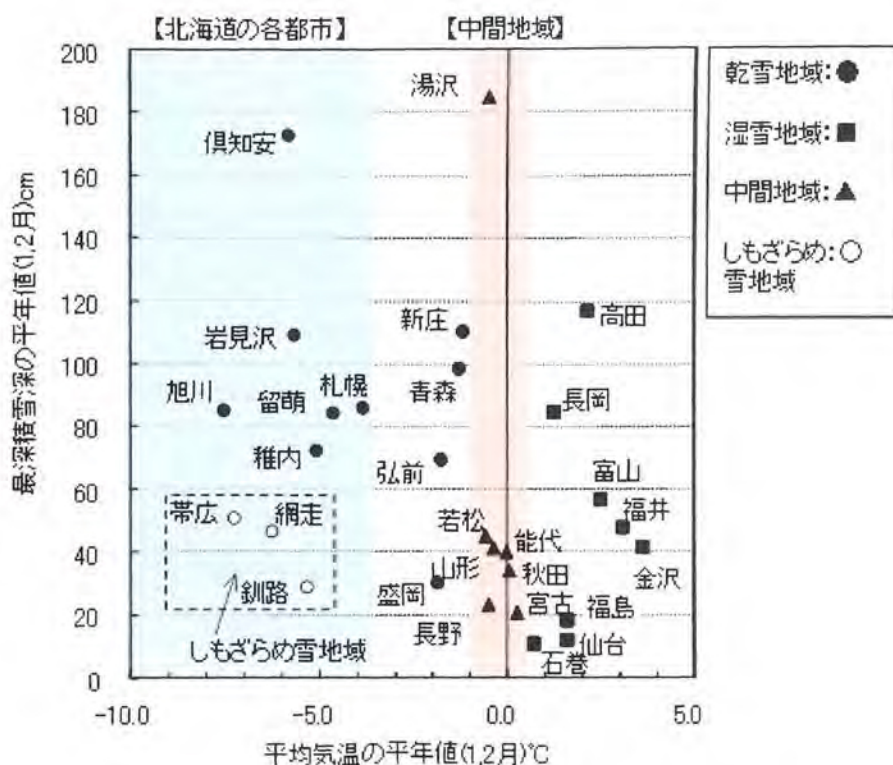


図 1-1 積雪地域における都市の 1, 2 月の「最深積雪深の平年値」と
「月平均気温の平年値」との関係¹⁻⁴⁾

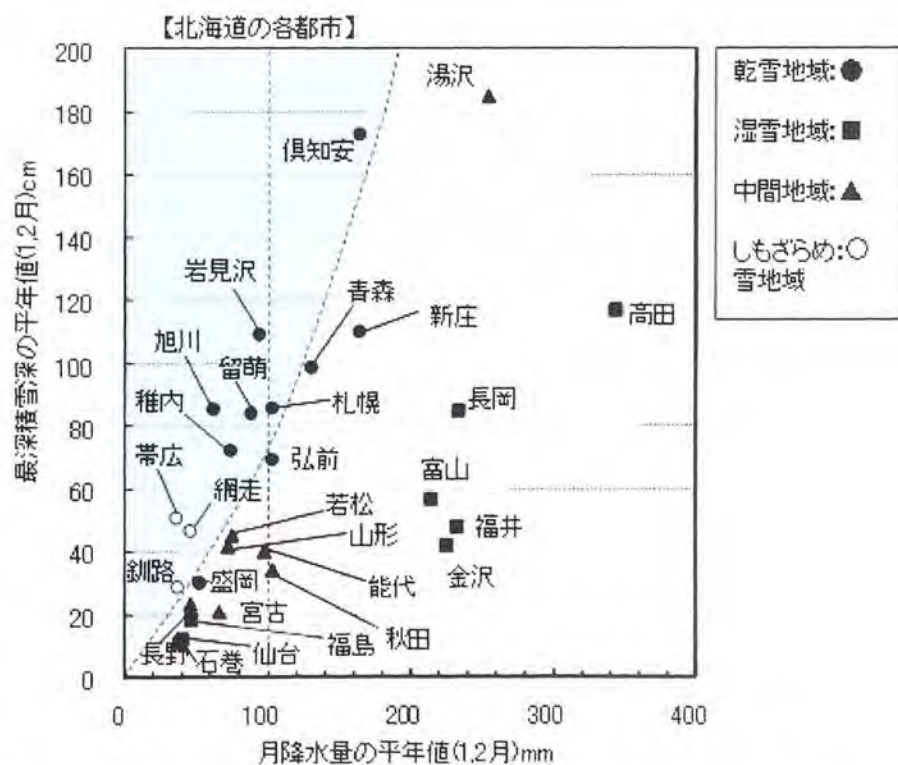


図 1-2 積雪地域における都市の 1, 2 月の「最深積雪深の平年値」と
「月降水量の平年値」との関係¹⁻⁴⁾

これらの気象特性をみると、北海道では降り積もった雪は容易に融けず、最深積雪深に近い状況が長期間継続することが分かる。これに対し、北陸などの 0°C を上回る地域では降り積もりながらも同時に融けるため、最深積雪深に近い状況の継続が短い。このことは北海道における雪問題には、積雪状況が長期間に渡ることによる雪質の変化も影響していると考えられる。乾雪地域における雪質は、乾燥して軽く、風による雪の移動が頻繁に発生し、吹雪が発生しやすいことに大きな特徴がある。さらに降り積もった雪は、時間の経過とともに雪質が変化し圧密や沈降により変形する。しもざらめ雪地域における雪は、放射冷却で表層の雪がクラスト(crust)して硬い場合が多いことと、表層の新雪は風が吹くと地吹雪が発生しやすいことに大きな特徴がある。

以上に示した北海道の気象特徴を基に、建築物で発生する雪問題に及ぼす要因をまとめると以下のようになり、北海道における公営住宅を対象とした雪対策の整備には、これらの要因を踏まえた検討と技術的取り組みが必要である。

1. 北海道では降り積もった雪は容易に融けず、最深積雪深に近い状況が長期間継続する。この長期化に伴い北海道における雪問題には、雪質の変化も影響する。すなわち、北海道の公営住宅における雪の問題は一過性ではなく、長期間継続することを前提に対応して考える必要がある。
2. 北海道の各都市における雪質は、「乾雪地域」と「しもざらめ雪地域」とに区分される。これらの雪質では、風による雪の移動が頻繁に発生して吹雪が発生しやすい。すなわち、北海道の公営住宅における雪問題は「吹雪」で発生する種々の現象に対応して考える必要がある。
3. 上記2に示した吹雪現象は、建築物の周辺環境や建築物規模の差異によって大きく異なり、高層化が進む都市部の公営住宅と地方の郊外に立地する公営住宅とでは問題の発生状況が異なってくる。すなわち、北海道の公営住宅における吹雪対策は全道一律ではなく、立地条件に対応した考え方が必要である。

1.1.3 北海道における公営住宅整備の変遷と雪対策

(1) 北海道における公営住宅の役割と位置づけ

北海道における公営住宅は、図 1-3 に示すように高齢者や社会的弱者の居住ニーズを満たし、更には民間賃貸住宅の供給戸数が少ない地方では移動人口の受け皿の役割を担っている¹⁻⁶⁾。北海道の公営住宅整備では、行政機関の政策的な取り組みにより、各時代の社会的課題を踏まえた技術基準が全道一律に適用される一方、地域性を重視した施策が各地域で実施されている¹⁻⁷⁾。このように公営住宅整備は、「良質な住宅ストックの形成」と共に「北海道の建築技術向上に先導的な役割」を果たしている。各市町村に良質な住環境の公営住宅が整備されることで、設計施工業務を通じた地域の建築技術の向上、他の公共建築物や民間建築物への技術の適用と普及が図られている。



図 1-3 北海道における公営住宅の役割と位置づけ

(2) 北海道における公営住宅整備の変遷と雪対策

北海道における公営住宅整備の変遷を表 1-2 に示す¹⁻⁸⁾。我が国における公営住宅整備は、昭和 26 年に公布・施行された「公営住宅法」によって、戦後の国民の劣悪な住環境を改善し、低廉な家賃で良質な住宅を供給することを目的に始まった。昭和 41 年に施行された「住宅建設計画法」により「住宅建設五箇年計画」の枠組みが作られ、公団住宅・公庫融資住宅・公営住宅の三本柱による公的住宅の供給が推進された。住宅の量的不足の解消を目指した第一期計画を皮切りに、時代毎に多様なニーズが生まれ、様々な社会的課題に対応しながら第八期計画まで 40 年間にわたり政策が進められた。北海道においても国の

計画に連動し、「北海道住宅建設五箇年計画」の策定が行われ、様々な取り組みが行われた。

北海道では積雪寒冷地に適した住宅供給を進めるため、寒さの克服を目標とした防寒住宅の供給を皮切りに始まり(第1～2期)、オイルショックによる省エネ対応やそれらに伴う結露や腐朽といった技術的課題の克服が図られた(第2期～第3期)。その後、北方型住宅の取り組みなどにより、高気密高断熱をはじめとする寒冷地対応の技術改革が行われた(第5～7期)。さらに、環境共生型公営住宅などの取り組みで、より一層のエネルギー消費削減と LCCO₂(Life Cycle CO₂)の低減が積極的に推進された(第7～8期)。

北海道の公営住宅における雪対策の位置づけについて見ると、北海道住宅建設五箇年計画の第1～4期では、寒さの克服と暖房エネルギーの削減が至上命題とされ、雪問題は積極的に取り組まれていない。この間の雪問題は、断熱や換気など室内温熱環境の問題の一環として取り扱われ、「軒先に発生する氷柱」や「すが漏れ」などの温熱環境の影響を受けて発生する問題の検討は行われている。しかし、建物周囲の積雪の対策については殆ど取り組まれていない。

第6期に入り、昭和61年度から北国の快適な生活環境づくりを促進することを目的に「ふゆトピア」事業が導入され、公営住宅における雪対策の検討が本格的にスタートした。「雁木」や「サンルーム」の設置、「高床式」の採用などの積雪を考慮した公営住宅計画が積極的に進められた。これまでに82団地が同事業により建設され、この中で「雁木」を設置した公営住宅は40団地にもおよび、雪対策として東北・北陸の建築様式を積極的に導入したことが伺える。同様に、「カバードウォーク」と呼ばれる屋根付通路も14団地で導入された。この冬トピア事業は、建築計画において積極的に雪対策を推進したという意義は極めて高い。一方で、雁木のような東北・北陸の建築様式を全道一斉に導入したため、地域によっては新たな雪の問題発生に繋がるなど、「設計上の課題」も多く残している。

第7期の平成8年から、これまでの画一的ともいえる公営住宅整備や雪対策の反省に立ち、公営住宅整備における地域性を重視した取り組みである「リージョナルホープ計画」がスタートした。地方重視の政策展開を図る一環として、創設された「地域公共住宅整備促進事業」を受け、各地域にふさわしい住宅づくりを進めるため、地域特性にあった住宅の検討と計画の提案が行われた。同事業は、道内6地域(上川、留萌、十勝、網走、後志、渡島)で行われ、各地域の気候風土を考えた公営住宅像が模索された^{1-9),1-10)}。雪対策についても地域の気象条件を踏まえた検討が行われ、「上川、後志地方では雪の多さを考慮した

計画」,「留萌地方では、強風による吹雪の発生と吹きだまりに配慮した計画」が策定されるなど、北海道の公営住宅整備において雪対策が本格的に取り組まれる契機となった。

その後、これらの技術的取り組みの成果が全道的に普及したものの、「環境共生」¹⁻¹¹⁾、「まちなか居住」¹⁻¹²⁾、「シルバーハウジング」などの新たな社会的課題に対応する雪対策の技術的進展や展開が無いままで現在に至っている。

北海道における建築物の代表的な積雪寒冷地対応の技術項目である「温熱環境」と「雪対策」の変遷を比較すると、表 1-3 となる。表に示すように、北海道の公営住宅では寒さを克服するため、温熱環境に関する技術開発が 1960 年代後半から取り組みられ、設計指針の作成やマニュアルの整備など技術資料の蓄積が進んでいる。さらに、行政機関が施策的に技術普及を推進したことにより、温熱環境に関する技術的成熟度は極めて高い段階にある。一方、雪対策に関しては、近年まで「人力・機械による除排雪」や「融雪装置」による対応が中心であった。「建築計画における雪対策」が取り組み始めたのは 1980 年代後半からで、技術的成熟度は極めて低いと言わざるを得ない。雪対策に関する設計指針およびマニュアルの整備は不十分で、技術資料も不足している状況にある。

北海道の公営住宅で蓄積された技術の波及効果を見ると、温熱環境に関する技術的取り組みは他の建築物への省エネ技術の推進と普及に多大なる貢献をした実績がある。この成果をみると、北海道における公営住宅を対象とした雪対策に関する技術的な開発への取り組みは、温熱環境技術の普及と同様に他の建築物への波及効果が期待され、社会的貢献度は極めて高いと言える。

表 1-2 住宅建設五箇年計画と北海道における技術的変遷

時代区分	高度経済成長期（S40～49）			安定成長期Ⅰ（S50～59）			安定成長期Ⅱ（S60～H6）			成熟社会（H7～H17）		
社会的背景	脱工業・情報化（人口の集中）			地方・福祉の時代（量の充足）			高齢化・高度情報化（ゆとり）			ストック重視（少子高齢化・環境）		
計画期	第1期（S41）	第2期（S46）	第3期（S51）	第4期（S56）	第5期（S61）	第6期（H3）	第7期（H8）	第7期（H13）				
国の動き	残存する住宅群の解消、人口の大都市集中等、とピーブームによる住宅需要への対応。	残存する住宅群の解消、人口の大都市集中等、とピーブームによる住宅需要への対応。	住宅の量的充足を背景、大都市地域に重点を置き、長期視点に立つた居住水準の向上。	住宅の量的充足を背景、大都市地域に重点を置き、長期視点に立つた居住水準の向上。	21世紀に向けて安定した生活の策を推進し、良質なストックの形成。大都市地域の住宅問題の解決、高齢化社会への対応等を図る。	21世紀に向けて安定した生活の策を推進し、良質なストックの形成。大都市地域の住宅問題の解決、高齢化社会への対応等を図る。	①多様なニーズに対応した良質な住宅ストックの整備。②安全快適な都市環境の形成。③いきいきとした社会環境の整備。④の推進と地域活性化に資する住宅・住環境整備。	①多様なニーズに対応した良質な住宅ストックの整備。②安全快適な都市環境の形成。③いきいきとした社会環境の整備。④の推進と地域活性化に資する住宅・住環境整備。				
	一世帯一住宅	一人一室	居住水準目標の設定	居住水準目標の設定	新たな居住水準の設定	新たな居住水準の設定	新たな居住水準の設定	新たな居住水準の設定				
	住宅難の解消と住宅の質の向上	就寝分離、就寝分離可能な規模、住宅の質の向上、生活環境の整備	家族構成、居住地域特性に応じた住宅の質の向上	家族構成、世帯の成長に応じた住宅の質の向上	良質な住宅の確保、良質な住環境の形成	良質な住宅ストックの形成、良好な住環境の形成、高齢化社会への対応	良質な住宅ストックの形成、安全な住環境の形成、高齢化社会への対応	良質な住宅ストックの形成、安全な住環境の形成、高齢化社会への対応				
	本道の特殊事情に即した構造および設備	防寒住宅、防火性能の高い住宅の建設	防寒構造、暖房設備の完備	防寒構造、寒冷地に適した住環境の確保	【冬トピア】北方型住宅の普及	冬の居住環境向上、歴史・景観等に配慮した住宅建設	冬の居住環境向上、歴史・景観等に配慮した住宅建設	冬の居住環境向上、歴史・景観等に配慮した住宅建設	冬の居住環境向上、歴史・景観等に配慮した住宅建設			
供給戸数	37,000戸	41,000戸	38,000戸	20,000戸	17,000戸	19,500戸	15,000戸	16,500戸				
問題点と対策状況												
	巻きだれの発生（札幌市）			氷柱の発生（旭川市）			雁木の設置（江別市）			風雪に配慮した配置計画（苫前町）		

表 1-3 北海道の公営住宅における積雪寒冷地対応技術の変遷

時代区分	経済成長期 (S40～49)	安定成長期Ⅰ (S50～59)	安定成長期Ⅱ (S60～H6)	成熟社会 (S7～)	現 状
温熱環境に関する 技術開発	<p>・CB造断熱住宅の開発 ・壁内結露の対策 ・外壁通気層の設置 ・防湿フィルムの挿入</p>				技術的に成熟
雪対策に関する 技術開発	<p>・被害が顕在化したときに都度対策 ・人力や重機により対応 ・熱源を活用 ・建築物等に設備を取り付ける ・設計段階で吹きだまりを予測し、配置計画等で対応</p>				対策資料必要 ・吹きだまり ・雪庇 ・滑落雪..etc

(3) 北海道における公営住宅の老朽度と建替

北海道における公営住宅のストック状況をみると、図 1-4 に示すように「老朽化した狭小住宅」、「ブロック住宅」、「高水準の省エネ対応住宅」などの多様な建築物から構成されている¹⁻⁸⁾。公営住宅の耐用年数は、耐火構造 70 年、準耐火構造 45 年（簡易耐火構造で 2 階建てのものを含む）、木造 30 年（簡易耐火構造で平家建てのものを含む）で、耐用年数の 1/2 を経過した後に建替可能となる。北海道における公営住宅の老朽度をみると、全体戸数(169,150 戸：平成 16 年末現在)に対し、耐用年数が 1/2 を経過した戸数は約 4 割(62,075 戸)を占め、耐用年数を経過した戸数は約 2 割(32,891 戸)である。このように、公営住宅の約半数がまもなく耐用年数を過ぎ、建替が必要な状況にある。一方で、北海道における地方自治体の財政事情は極めて厳しく、公営住宅整備における財政上の制約は大きい。近年では、耐用年数を過ぎた公営住宅の躯体を残し、全面的改善事業（トータルリモデル）により、住戸および共用部分等の改善を行う事例も見られる。この他にも、既存のストックを有効活用するため、雁木やスロープを新たに設置し、平面プランの改善や省エネルギー対応の断熱改善などを行い、住環境の改善を図っている。

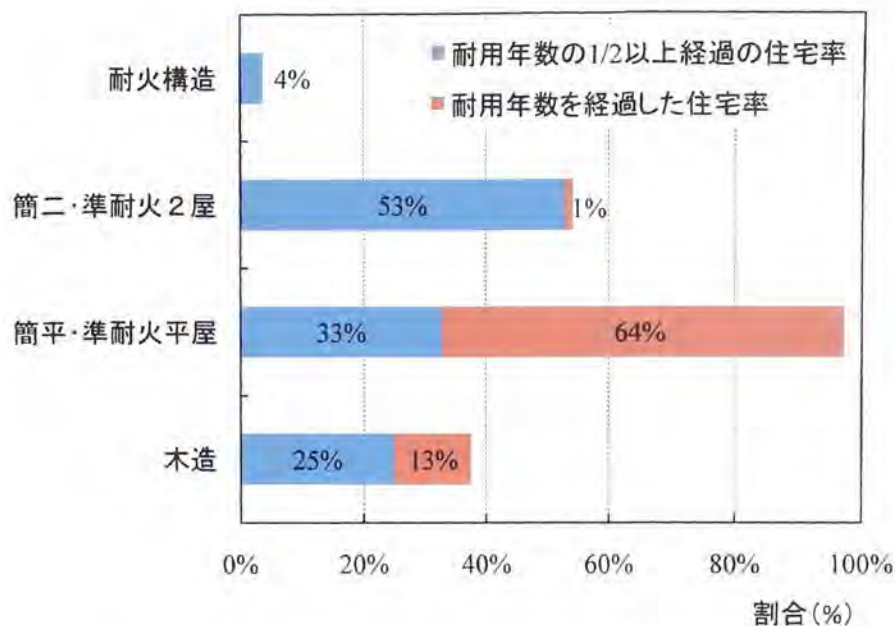


図 1-4 北海道の公営住宅の老朽度(平成 16 年末現在, 北海道建設部住宅課まとめ)¹⁻⁸⁾

1.1.4 北海道の公営住宅における雪対策の課題と本研究の目的

(1) 北海道住生活基本計画における公営住宅整備の目標像

平成 18 年に「住宅建設計画法」が廃止され, 近年の住環境を取り巻く社会経済情勢の変化による新たな課題を踏まえ, 新たに「住生活基本法」が制定された。北海道においても「住生活基本法」に基づく都道府県計画として, 「北海道住生活基本計画」が策定され, 下記の 5 項目が新たな目標として位置づけられている¹⁻⁷⁾。

【北海道住生活基本計画における目標】

1. 積雪寒冷の気候に対応した住宅建築技術等の開発
2. 高齢者, 障害者が安心して暮らせる住まい
3. 住宅困窮者のためのセーフティネット(安全網)としての公営住宅の供給
4. まちなか居住の推進
5. 既存住宅の基本性能向上(ストック改善), 省エネルギー化, 廃棄物発生量低減

これら 5 項目の目標に到達するための「公営住宅における雪対策」を考えると, 各目標に対する課題を以下のように整理することができる。

【北海道住生活基本計画の目標到達に向けた「公営住宅における雪対策」の課題】

1. 積雪寒冷の気候に対応した住宅建築技術等の開発
：北海道の気象特性を踏まえた雪対策技術の構築
2. 高齢者，障害者が安心して暮らせる住まい
：安全性に配慮した人力による負担が少ない建築的な雪対策技術の構築
3. 住宅困窮者のためのセーフティネット(安全網)としての公営住宅の供給
：コストの縮減の観点から，雪対策の費用対効果を評価する手法の構築
4. まちなか居住の推進
：市街地内に立地する公営住宅における雪対策技術の構築
5. 既存住宅の基本性能の向上，省エネルギー化，廃棄物発生量低減
：雪対策に関する LCC(ライフサイクルコスト)を評価する手法や雪対策に要する化石燃料の削減のための建築的手法による雪対策技術の構築

北海道住生活基本計画の目標と公営住宅の整備状況を基に「北海道の公営住宅の雪対策」を考えると，現状における公営住宅の計画で課題となっている雪問題を明確化し，これらの問題に対する技術的解決策や検討手法を示す必要がある。さらに，道内各市町村が抱える膨大な建替え需要への対応が急務となる。これらの対応を考える場合，一定の性能・居住水準を確保しながらコストの縮減を図るための設計体系の整備とともに，雪対策に関する費用対効果の評価が行える「雪害リスクの評価手法」の構築が必要となる。最終的には，一連の成果に基づいた「行政職員が雪対策の実施に関する行政的判断」を行うための手法の提案が求められる。

以上の検討を踏まえると，公営住宅における雪対策の課題と本研究の目的との関係は図 1-5 に示すようにまとめられる。すなわち，本研究の目的は以下に示す 3 つの事項を明らかにし，北海道における公営住宅の雪対策に関する設計資料を提示することにある。

- 1) 北海道の公営住宅に求められる雪対策技術の明確化
- 2) 北海道の公営住宅に求められる雪対策技術の検討手法と方向性の明確化
- 3) 北海道の公営住宅における雪害リスク評価手法の構築

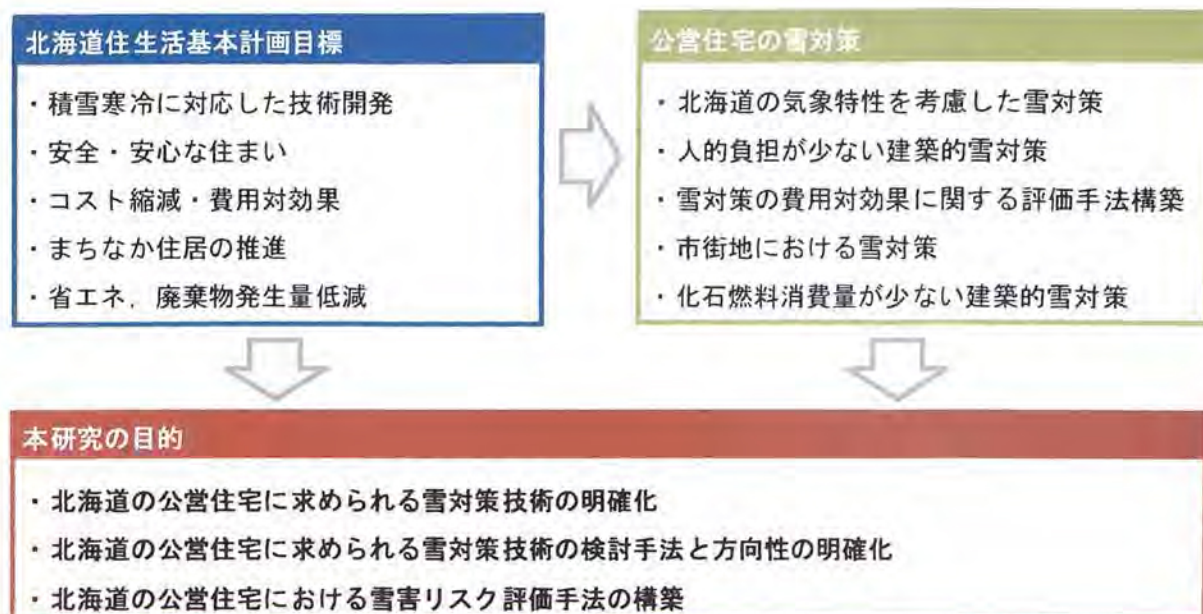


図 1-5 本研究において検討すべき課題と目的

(2) 本研究で得られる成果と期待される効果

本研究で得られる成果は、図 1-6 に示すように北海道住生活基本計画に即した公営住宅の供給に繋がり、良質な住宅ストック形成、冬の生活の快適性、安全性向上に大きく寄与すると考える。さらに、民間建築物への技術普及による波及効果が期待され、北海道の建築物全体の雪対策の効果的実施と建築物の安全性向上に繋がると考える。すなわち、本研究は北海道における安全で安心な建築物の実現に寄与する研究であり、取り組む意義は極めて高いと考える。本研究で得られる成果と期待される効果を具体的にまとめると、以下の3つの事項となる。

1. 道内各市町村の公営住宅で発生している雪問題と雪対策の現況を明らかにすることにより、技術的な課題と対応策を明らかにすることができる。これらの成果は、公営住宅整備における雪対策の基礎資料になり、新たな技術開発のシーズとなる。さらに、雪害リスク評価手法を構築するための検討資料にもなる。
2. 雪害リスク評価手法を構築することにより、道内各市町村における公営住宅の管理者は雪害発生状況やリスクの程度を把握することが可能になる。これらの成果は、雪対策実施に関する意思決定を支援することに繋がり、行政的施策のための判断材料となる。

3. 雪害リスク評価を実施することにより，雪害による損失が明示され，対応策による費用便益効果が算定可能となる。これらの成果は，建築物のライフサイクルコスト(LCC)の低減に繋がり，良質なストック形成に寄与する。

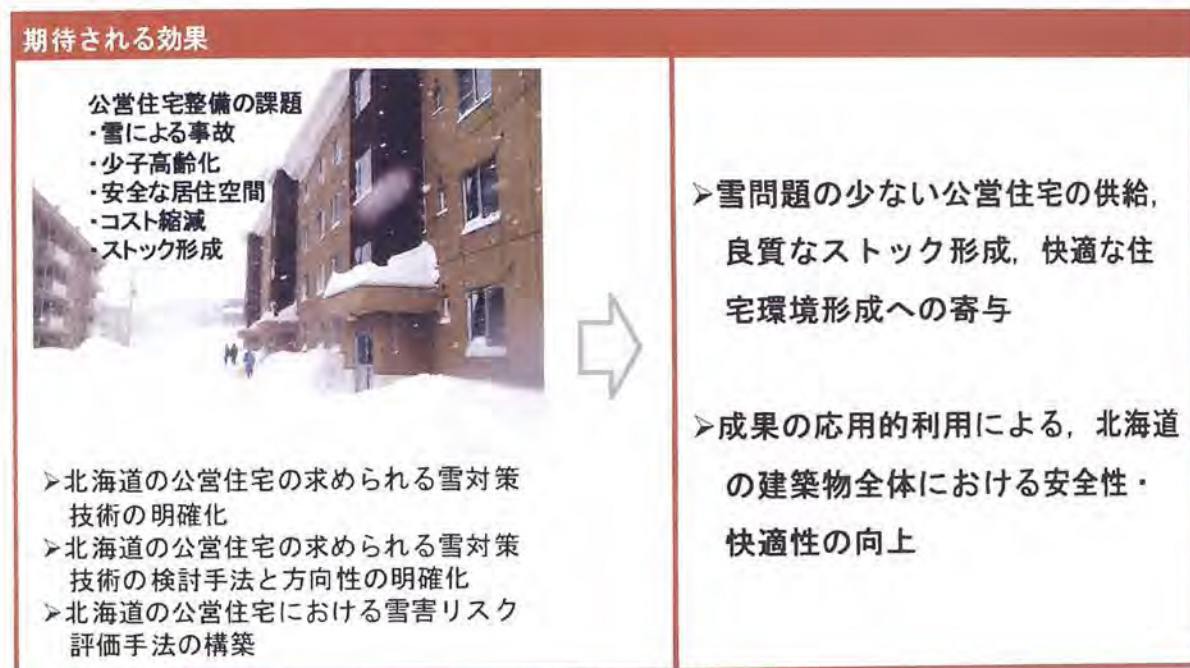


図 1-6 本研究で得られる成果

1.2 関連する既往の研究と本研究の位置付け

1.2.1 雪害に関する研究

雪害に関する既往研究を見ると、豪雪時を対象とした研究が国内外で多数行われている。苫米地ら¹⁻¹³⁾は豪雪によるライフラインや都市機能の広域的被害を分析し、Numano¹⁻¹⁴⁾は豪雪災害の特徴を地域社会との関連から分析し、梅村・上村^{1-15)~1-17)}らは新潟県の地方都市を対象に地区内の積雪による損害金額の算出法を試みている。人身雪害については、沼野¹⁻¹⁸⁾が山形県と新潟県を対象に34冬季間の事故事例分析から人身雪害の要因を検討し、細川・山形¹⁻¹⁹⁾らは新聞記事を基に北海道で発生した人身雪害を分析し、上村¹⁻²⁰⁾は新潟県内における人身事故の統計資料を基にした分析により人身雪害のリスクを検討している。市町村で発生する雪害については、細川・山形ら¹⁻²¹⁾が北海道、東北、北陸地方を対象に各市町村の雪害ポテンシャルを因子分析で算出を試みている。冬期間の積雪による建築物の安全性低下については、細川・苫米地ら¹⁻²²⁾の積雪状況が避難行動に及ぼす影響の分析がある。これらの多くは、豪雪と建築物との関連性に主眼を置いた研究である。これに対して、諸外国では、Freitas¹⁻²³⁾の降雪が都市生活に与える影響の分析、Changnon¹⁻²⁴⁾の吹雪が州経済に及ぼす影響の分析などの研究事例があるものの、雪害と建築物との関連性を検討した研究事例が殆どない。これは、日本の都市が諸外国に比べ特異的に降雪の多い条件下にあり、建築物に関わる雪問題が極めて多く発生することに起因している。

このように雪害に関する既往研究では、人身雪害や豪雪時の雪の問題を主対象としており、本研究で対象としている建築物において日常的に発生する雪問題を取り扱った研究事例は極めて少ない。また、同一用途の建築物で発生する雪害に関して広域的な調査と分析を行った事例もなく、気象条件と建築物の雪害発生との関連も明らかにされていない。本研究は、北海道の公営住宅における雪問題の実態を調査し、各地域の気象特性を関連付けて分析するなど、建築物の日常的雪害を明確化し、なおかつ雪害の地域性を取り扱うものであり取り組む意義は大きい。

1.2.2 建築物を対象とした雪問題に関する研究

建築物の雪問題を対象とした調査・研究は古くから行われ、その多くが建物周囲の吹きだまりと屋根雪に関するものである。建築物の吹きだまり性状に関する研究は、木村・吉阪¹⁻²⁵⁾、苫米地・遠藤¹⁻²⁶⁾、老川¹⁻²⁷⁾、三橋¹⁻²⁸⁾らによる屋外実測および吹雪風洞実験によ

る多くの研究事例がある。これらの研究では、吹きだまりの現象解明のほか、建物形状と積雪パターンの関係性に関する検討が行われ、本研究で参考となる知見が多く示されている。諸外国における建築物の吹きだまりに関する研究をみると、Kwok¹⁻²⁹⁾、Delpech¹⁻³⁰⁾らによる南極観測施設を対象とした吹雪風洞実験や Thiis¹⁻³¹⁾による屋外観測が挙げられ、多くの成果が得られている。

屋根雪に関する研究では、雪荷重評価の観点から屋外実測や統計的解析が行われ、苫米地¹⁻³²⁾、和泉¹⁻³³⁾、高橋¹⁻³⁴⁾をはじめとする数多くの研究実施例がある。屋根雪の落雪に関する研究では、苫米地¹⁻³⁵⁾、伊東¹⁻³⁶⁾、小竹¹⁻³⁷⁾、高倉¹⁻³⁸⁾による実測および実験的検討が行われている。これら一連の研究成果は、「建築物荷重指針・同解説」¹⁻³⁹⁾に反映されるなど、構造設計における荷重設定や個々の雪害の現象解明に多くの成果を挙げ、本研究にも参考となる多くの知見が得られている。諸外国における屋根雪に関する研究をみると、Taylor¹⁻⁴⁰⁾、O'Rourke¹⁻⁴¹⁾、Irwin¹⁻⁴²⁾らによる屋外観測や解析が実施され、屋根雪荷重を評価するための屋根形状別の積雪分布形状が得られている。

吹きだまりや屋根雪の数値解析に関しては、建築環境分野を中心に検討が行われ、吹きだまりに関しては Uematsu¹⁻⁴³⁾、Tominaga・Mochida¹⁻⁴⁴⁾らが、屋根雪に関しては、本間・鈴木¹⁻⁴⁵⁾らが挙げられる。これらは種々の条件設定や現象のモデル化などに課題を残しており、基礎的研究が中心である。諸外国においても、吹きだまりを対象とした数値解析が行われており、Thiis¹⁻⁴⁶⁾、Beyers¹⁻⁴⁷⁾らが挙げられるが、国内の研究と同様の課題がある。

建築計画分野における日常的な雪の問題を対象とした研究には、沼野^{1-48),1-49)}、深澤¹⁻⁵⁰⁾、野口¹⁻⁵¹⁾、大垣¹⁻⁵²⁾らによる事例があるものの、これらの計画分野の研究は事例分析による問題提起に留まり、具体的な雪の問題を解決する方法を示すまでには至っていない。

このように建築物を対象とした雪問題に関する既往研究をみると、吹きだまりに関しては建物形状と積雪パターンの関係を取り扱ったものが主であり、吹きだまりと建築物で日常的に起きる雪問題との関連性を取り扱った事例は少ない。屋根雪に関しても豪雪時の雪荷重評価に主眼を置いた研究が主であり、平時の屋根雪による問題を取り扱った研究は少ない。

本研究は、これら一連の研究成果を踏まえつつ、これまで対策を検討するための基礎資料が整備されず、具体的な解決策が示されていない日常的な雪の問題に焦点を当て取り組む研究である。更には、北海道の公共建築物で最も建設数の多い公営住宅を対象とし、「北海道住生活基本目標」に掲げられている目標の到達に向け、雪対策の技術的課題を整理し対応策を示す研究であり、取り組む意義は極めて大きい。

1.2.3 建築物を対象としたリスク評価の研究

建築物のリスク評価の研究については、阪神大震災を契機に建築物の地震リスク評価とリスク対応に関する研究が進み、これらは地震リスクマネジメントとして体系づけられている^{1-53),1-54),1-55)}。また、リスク評価を基に建築物のライフサイクルコスト(LCC)の視点から、維持管理や損傷に係る損益を評価し、リスク対策の選定や実施の判断を選択する社会的傾向にある¹⁻⁵⁶⁾。更には経済学的視点から、自然災害に対するリスク評価に関する研究も行われている^{例えば1-57)}。

建築物の雪害リスク評価に関しては、積雪深の統計的解析により^{例えば1-33),1-34)}、豪雪時に建築物に作用する雪荷重の算定と評価は行われているものの、雪荷重以外の雪害に関するリスク評価は行われていない。

雪害は、他の自然災害に比べ「被害の範囲」、「発生の周期」、「被害の継続時間」、「被害規模」が大きく異なる。雪害は、他の災害に比べ広域的に発生することや毎年必ず降雪現象が発生する北日本では繰り返し被害に見舞われ、その被害が数ヶ月に渡り長期間継続することに特徴がある。さらに、雪による建築物の被害は、地震災害などと異なり豪雪時のみならず平時においても発生し、稀に大きなダメージの被害が発生するだけでなく、大なり小なりの被害が毎年繰り返し発生し、損失が年々増加していくことにも大きな特徴がある。建築物の雪害のリスク評価や被害の軽減にあたっては、上述した被害の広域性、周期性、長期性を考慮するなど、これまでの自然災害研究とは異なる視点で研究を進める必要がある¹⁻¹³⁾。

このように既往研究では、雪害固有の特徴を踏まえたリスク評価を検討した研究事例がない。本研究では、雪害固有の特徴を踏まえたリスク評価を検討しているところに大きな意義がある。

1.2.4 本研究の新規性とオリジナリティ

本研究で取り扱う研究領域を図1-7に示す。図に示すように、本研究は公営住宅の雪問題を対象として建築計画、建築構造および建築防災分野を横断して取り扱っていることに大きな特徴がある。本研究は、「公営住宅の雪害リスク評価」が研究の主題であることから、「建築計画分野」における都市雪害は研究領域には含まれず、公営住宅計画および雪対策の計画的対応について取り扱う。「建築構造分野」における雪荷重評価は、豪雪時の雪荷重の極値を算定するものであることから、本研究の研究領域には含まれない。雪害の

事象解明および屋根積雪の諸障害に関する研究については、本研究で対象とする領域である。「建築防災分野」においては、豪雪災害は含まれないが、リスク評価に関する研究は本研究で対象とする研究領域である。

上述した既往の研究成果は、本研究の遂行上、極めて参考となる知見と研究手法を示している。一方で、本研究で対象とする公営住宅の雪害とそれらのリスク評価に関する研究事例はない。これまでの北海道における公営住宅の雪問題への対応は、全道一律に同一の技術を対応するなど地域的な条件に関する検討と対応が不十分であった。現状では、建設後に想定外の雪問題が発生し、事後対応による雪対策を実施する事例が多い。本研究では、公営住宅の雪害とそれらのリスク評価を対象とし、公営住宅における雪問題の対策に関する設計資料を提示する。本研究の新規性とオリジナリティは、以下の3つにまとめられる。

- 1) 公営住宅で発生している雪問題を各地域の気象特性と関連付けて分析し、気象特性に対応した公営住宅整備に関する技術資料とその工学的な検討手法を提示しているところに新規性とオリジナリティがある。
- 2) 本研究は、北海道住生活基本計画に示されている目標達成のための技術的検討課題を対象とし、具体的に対応策を提示するところに新規性とオリジナリティがある。
- 3) 雪害固有の特徴を踏まえたリスク評価を検討しているところに新規性とオリジナリティがある。

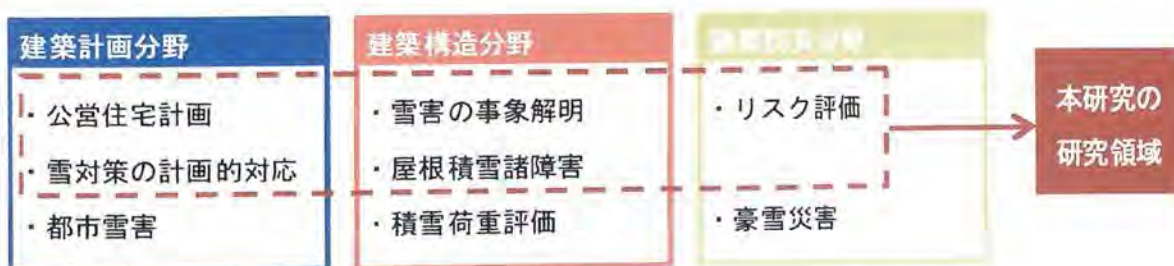


図 1-7 本研究で扱う研究領域

1.3 本論文の構成

本論文は、以下に示す 6 章より構成されている。

1 章 序 論

2 章 北海道の公営住宅における雪問題の現状分析

3 章 北海道の公営住宅における吹雪障害の評価と対策の検討手法

4 章 北海道の公営住宅における雪庇の形成メカニズムと対策手法

5 章 北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法の提案

6 章 結 論

1 章では、本研究の背景と目的について述べた。最初に、北海道の公営住宅整備における雪対策の重要性と共に技術的な課題について論じた。後半では、建築物の雪害とリスク評価に関する既往の研究のレビューを行い、本研究の新規性と研究領域について述べた。

2 章では、北海道の公営住宅で起きている雪の問題の実態と雪対策に関する技術的課題を明らかにし、現状分析を行った。更に本研究で取り組むべき課題を整理した。

3 章では、2 章における現状分析を踏まえ、公営住宅で発生する吹雪障害に関する技術的課題について取り組んだ。具体的には、雁木を設置した公営住宅における吹雪障害の発生状況を明らかにし、地表面粗度と気流の乱れ強さが吹雪障害に及ぼす影響について検討した。以上の検討結果を取りまとめ、北海道の公営住宅整備における吹雪対策に関する検討手法の提案を行った。

4 章では、2 章における現状分析を踏まえ、公営住宅における屋根上の雪庇の問題について取り組んだ。具体的には、実建物を対象とした観測調査と低温室における検証実験を行い、雪庇の形成メカニズムを解明し、供用中の公営住宅の屋根積雪分布と雪庇の発達との関係を調べた。以上の検討を取りまとめ、北海道の公営住宅における雪庇対策の提案を行った。

5 章では、2 章の現状分析結果に基づき、雪害発生に関する統計的解析を行い、北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法の提案を行った。

6 章では、2 章から 5 章において得られた結論および今後の課題をまとめて示した。

図 1-8 に本論文の構成フローを示す。

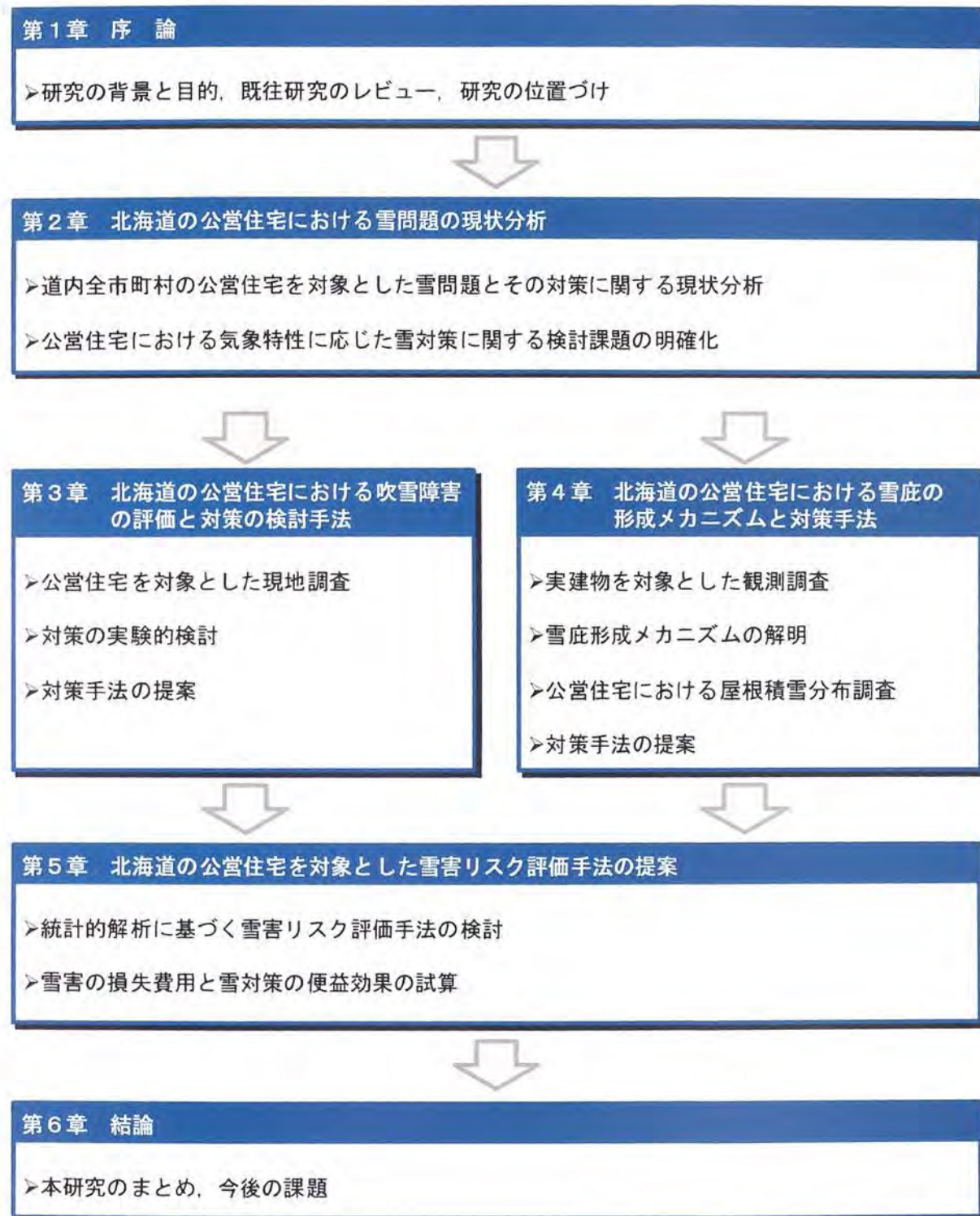


図 1-8 本論文の構成フロー

参考文献

- 1-1) 総務省消防庁：災害情報，<http://www.fdma.go.jp/>
- 1-2) (財)北海道市町村振興会：市町村の財政概要，pp.113-124，2003.8
- 1-3) 北海道立寒地住宅都市研究所：シルバーハウジングに関する研究，調査研究報告書，1995.3
- 1-4) 気象庁：平年値(統計期間 1971～2000 年)，(財)気象業務支援センター，2001.4
- 1-5) 石坂雅昭：日本の冬の気候と積雪の地域性，雪氷，Vol.58，No.4，pp.329-338，1996.
- 1-6) 北海道建設部：公営住宅整備事業マニュアル(北海道版)，Vol.1 計画・設計編，2005
- 1-7) 北海道建設部住宅局住宅課：北海道住生活基本計画，2007.2
- 1-8) 北海道住宅対策審議会：北海道住宅対策審議会答申－北海道における新たな住宅政策について－，2006.6
- 1-9) 北海道：上川支庁リージョナル・ホープ計画推進事業報告書，1997.
- 1-10) 北海道：後志支庁リージョナル・ホープ計画推進事業報告書，1999.
- 1-11) 北海道：北海道環境共生型公共賃貸住宅整備指針，環境共生型次世代省エネ基準対応マニュアル，2001
- 1-12) 北海道立北方建築総合研究所：まちなか居住推進のための公共住宅の再整備に関する研究，調査研究報告書，2005.3
- 1-13) 苫米地司，山形敏明，高橋章弘：北海道における雪害に関する基礎的研究，日本建築学会計画系論文報告集，No.447，pp.61-68，1993.5
- 1-14) N. Numano：Snow Damage in Contemporary Japan – Progress and Measures –, Journal of Disaster Research, Vol.2, No.3 pp. 153-162, 2007
- 1-15) 梅村晃由，大滝均，上村靖司：豪雪都市の雪害度に関する研究－第 1 報，雪害度の定義と試算－，自然災害科学，No.9，Vol.1，pp.17-26，1990.
- 1-16) 上村靖司，梅村晃由：豪雪都市の雪害度に関する研究－第 2 報，大雪年と小雪年の長岡市の用途地域別の雪害度－，自然災害科学，No.11，Vol.3，pp.145-156，1992.
- 1-17) 上村靖司，山之内洋明，梅村晃由：豪雪都市の雪害度に関する研究－第 3 報，雪害度計算の精度向上と十日町市街地の雪害度－，自然災害科学，No.14，Vol.1，pp.77-86，1995.
- 1-18) 沼野夏生：人身雪害の年次推移とその社会的背景-山形県，新潟県の地方新聞(1956 年～89 年冬期)による統計をもとに-，日本雪氷学会誌，No.55，Vol.4，pp.317-326，1993.12

- 1-19) 細川和彦, 山形敏明, 苫米地司 : 北海道で発生した人身雪害の現状分析, 日本雪工学会誌, Vol.15, No.1, pp.19-24, 1999.1
- 1-20) 上村靖司 : 新潟県における人身雪害のリスク分析, 日本雪氷学会誌, Vol.65, No.2, pp.135-144, 2003.3
- 1-21) 細川和彦, 山形敏明, 苫米地司 : 積雪地域の市町村に於ける防災対策の評価, 寒地技術シンポジウム論文・報告集, No.14, pp.142-147, 1998.12
- 1-22) 細川和彦, 内藤恵, 苫米地司 : 建築物周辺の積雪が避難行動に及ぼす影響, 日本建築学会計画系論文集, No.560, pp.162-172, 2002.10
- 1-23) C.R.de.Freitas : Estimation of the Disruptive Impact of Snowfalls in Urban Areas, Journal of Applied Meteorology, Vol.14, pp.1166-1173, 1977.9,
- 1-24) S. A. Changnon and D. Changnon : Snowstorm catastrophes in the United States, Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, Volume 6, Issue 3, pp.158-166, 2005
- 1-25) 木村幸一郎, 吉阪隆正 : 風雪による建物周囲の吹き溜り積雪に関する模型実験, 日本建築学会論文報告集, No.26, pp.66-72, 1942.9
- 1-26) 苫米地司, 遠藤明久 : 建物周辺の吹きだまり対策に関する基礎的研究, 日本雪工学会誌, No.1, pp.1-8, 1986.12
- 1-27) 老川進, 苫米地司, 石原孟 : モデル建物近傍における積雪深の日別観測, 日本雪工学会誌, Vol.15, No.4, pp.3-11, 1999.10
- 1-28) 三橋博巳 : 建築物の雪の吹きだまりと吹雪風洞実験, 日本雪氷学会誌, Vol.65, No.3, pp.287-295, 2003.5
- 1-29) K.C.S. Kwok, D.H. Kim, D.J. Smedley, and H.F. Rohde : Snowdrifting around buildings for antarctic environment, J. Wind Engineering Industrial Aerodynamics, Vol.41-44, pp.2797-2808, 1992
- 1-30) Ph. Delpéch, P. Palier, J. Gandemer : Snowdrifting simulation around Antarctic buildings, Journal of Wind Engineering Industrial Aerodynamics, Vol.74-76, pp.567-576, 1998
- 1-31) Thomas K. Thiis : Large scale studies of development of snowdrifts around buildings, Journal of Wind Engineering Industrial Aerodynamics, Vol.91, pp.829-839, 2003
- 1-32) 苫米地司, 和泉正哲, 遠藤明久 : 屋上積雪の評価方法に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.32B, pp.49-62, 1986.3
- 1-33) 和泉正哲, 三橋博三, 高橋徹 : 年最大積雪強度の統計的性質とその地域特性, 日本建築学会構造系論文集, No.392, pp.68-77, 1988.10

- 1-34) 高橋徹，設楽敬之，早乙女知：年最大 n 日増分積雪深の地域特性と等価単位積雪重量，積雪層モデルを用いた推定，構造工学論文集，Vol.50B，pp.143-148，2004.3
- 1-35) 苫米地司，伊東敏幸，高倉政寛，山口英治：屋根雪の滑雪現象に関する基礎的研究，日本雪工学会誌，Vol.11，No.2，pp.2-9，1995.4
- 1-36) 伊東敏幸，苫米地司，三橋博三：金属板屋根における葺工法が屋根雪滑雪に及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，No.475，pp.9-16，1995.9
- 1-37) 小竹達也，苫米地司，西川薫：屋根上積雪の落雪による衝撃荷重に関する一考察，日本建築学会構造系論文集，No.543，pp.31-36，2001.5
- 1-38) 高倉政寛，堤拓哉，鈴木大隆：勾配屋根を持つ戸建住宅における屋根雪の滑落飛距離について，日本建築学会技術報告集，No.21，pp.57-60，2005.6
- 1-39) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2004
- 1-40) D. A. Taylor：Roof snow roads in Canada, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.7, No.01, pp.1-18, 1980
- 1-41) Michael O'Rourke, Evelyn Wood：Improved relationship for drift loads on buildings, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.13, pp.647-652, 1986
- 1-42) P. A. Irwin：Snow Loads Steps-Building Code Studies, Snow Engineering, pp.329-336, 1997
- 1-43) T. Uematsu, T. Nakata, K. Takeuchi, Y. Arisawa and Y. Kaneda：Three-dimensional numerical simulation of snowdrift, Cold Regions Science and Technology Volume 20, Issue 1, pp. 65-73, 1991.11
- 1-44) Y. Tominaga, A. Mochida, H. Yoshino, T. Shida, T. Okaze：CFD Prediction of Snowdrift around a Cubic Building Model, The Fourth International Symposium on Computational Wind Engineering, pp.941-944, 2006.7
- 1-45) 本間義規，福島明，鈴木大隆：低勾配アトリウムガラス屋根の積雪性状に関する数値解析，第 19 回日本雪工学会大会論文報告集，pp.59-60，2002.12
- 1-46) T. K. Thiis, Y. Gjessing：The snowdrift pattern around two cubical obstacles with varying distance -Measurements and numerical simulations, Snow Engineering, pp.369-375, 2000
- 1-47) J.H.M. Beyers, W.F. Waechter, H.A. Baker, M.R. Carter, C.J. Williams：Modelling transient snowdrift development around complex three-dimensional structures, The Fourth International Symposium on Computational Wind Engineering, pp.937-940, 2006.7
- 1-48) 沼野夏生：雪害，都市と地域の雪対策，森北出版，1987.2
- 1-49) 沼野夏生：雪国学，地域づくりに活かす雪国の知恵，現代図書，2006.10

- 1-50) 深澤大輔：雪国における居住地の空間計画に関する研究－屋根雪処理方式別の宅地及び住宅の規模と形状について－，日本雪工学会誌，Vol.6，No.1，pp.3-9，1990.3
- 1-51) 野口孝博：北海道・青森の公営住宅における雁木の形態と雪処理－積雪地域における集合住宅の共用空間計画に関する研究 その1－，日本建築学会計画系論文集，No.525，pp.113-120，1999.11
- 1-52) 大垣直明，谷口尚弘，近藤勝義：札幌市の戸建住宅地における雪問題とその対応に関する研究 その1. 住民の雪対応意識の分析，日本雪工学会大会論文報告集 Vol.19，pp. 43-44，2002.10
- 1-53) 星谷勝・中村孝明：構造物の地震リスクマネジメント，山海堂，2002.4
- 1-54) 福島誠一郎，矢代晴美：地震ポートフォリオ解析による多地点に配置された建物群のリスク評価，日本建築学会計画系論文集，No.552，pp.169-176，2002.2
- 1-55) 日本建築学会編：事例に学ぶ建築リスク入門，技報堂，2007.8
- 1-56) 小林誠：リスクベースの LCC 研究の課題，建築雑誌，Vol.117，No.1494，pp.42-43，2002.10
- 1-57) 多々納裕一，高木朗義編著：防災の経済分析，勁草書房，2005.6

2 章 北海道の公営住宅における雪問題の現状分析

2.1 はじめに	24
2.2 研究方法	
2.2.1 現状分析の対象	25
2.2.2 現状分析の方法	26
2.3 研究結果	
2.3.1 現状分析を行った公営住宅の属性	27
2.3.2 北海道の公営住宅における雪問題と雪対策の現状	28
2.4 本章のまとめ	
2.4.1 北海道の公営住宅における雪問題に関する技術的課題	45
2.4.2 本研究において検討すべき課題	46
参考文献	48

2.1 はじめに

公営住宅を含む建築物の雪の問題は各地方の気象条件や建物の立地状況によって、その内容が大きく異なる²⁻¹⁾。例えば、降雪量の多い地域では、屋根からの落雪や設備機器の埋没など降雪量に関わる雪の問題が発生し、風の強い沿岸部では吹雪発生による吹きだまりや雪の吹き込みの問題が懸念される。これは、建物周辺の積雪が風の強さや降雪量、気温などの様々な気象要素の影響を受けるためである。雪質や風による雪粒子の運動形態、吹雪の発生頻度などは地域毎により異なり、積雪の性状は日照や外気温の影響を受け、場所により雪の粘着性や密度の差が生じる²⁻²⁾。加えて、雪の移動の主要因である風の性質は、気候の影響のほかに建物など地表面にある障害物の影響を受けるため、建物が密集している市街地と建物の数が少ない田園地域では、風の性質が大きく異なる²⁻³⁾。また、都市と田園地域では雪処理に利用できるスペースの大きさや周辺建物との位置関係など立地条件にも差がある。このように、北海道の公営住宅で起きる雪の問題は、気象条件と共に立地条件の影響を受けていると考えられることから、雪害によるリスクを全道一律に捉えることは適切ではない。「公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」を構築する上でも、各地域の公営住宅においてどのような雪の問題が起きているのか、実態を詳しく把握する必要がある。更に雪対策に関する技術的整備を進める上で、現状、どのような雪対策が実施され、どのような項目において技術的な課題があるのかを明らかにし、検討を進める必要がある。

本章では、北海道の公営住宅で起きている雪の問題と雪対策の実態について現状分析を行い、次章以降で検討すべき課題を明らかにし、「公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」を構築するための基礎資料を得るために、道内全市町村を対象に公営住宅で起きている雪の問題と雪対策について調査資料の分析を行った。また、各市町村の気象データも併せて分析し、雪の問題発生と気象条件の関係について検討した。雪対策については、どのような雪対策が各市町村で取り組まれているか、整備が遅れている雪対策は何かを明らかにした。建設年代毎の雪の問題の発生状況や雪対策の実施状況についても調べ、北海道の公営住宅整備における諸施策との関連についても考察した。最後に、以上の検討結果を取りまとめ、次章以降で検討すべき課題を示した。

2.2 研究方法

2.2.1 現状分析の対象

本章は、北海道の公営住宅における雪の問題と雪対策の実態を調べ、技術的課題を把握することを目的としている。分析に用いた資料は、寒地住宅都市研究所(当時)がまとめた道内全市町村を対象とした公営住宅の雪の問題に関する調査資料²⁻⁴⁾である。調査は、2001年1月に調査票の郵送配布・郵送回収により行われ、212市町村(当時)に配付し、204市町村から回答が得られている(回収率96%)。

調査の回答者は、各市町村において公営住宅の建設および維持管理を担当する「行政職員」である。当該職員は、公営住宅の雪の問題に関する居住者の苦情や要望を直接的に把握しているほか、どのような雪対策を実施するかを行政的に判断する役割を担っている。また、公営住宅整備の施策や技術基準なども理解する立場にあり、今後の公営住宅整備における雪対策の技術的課題についても、行政的な視点から回答が得られるなど、本研究を進める上で必要な情報が最も適切に得られる回答者である。本研究における分析対象としての公営住宅担当職員の位置づけを図2-1に示す。

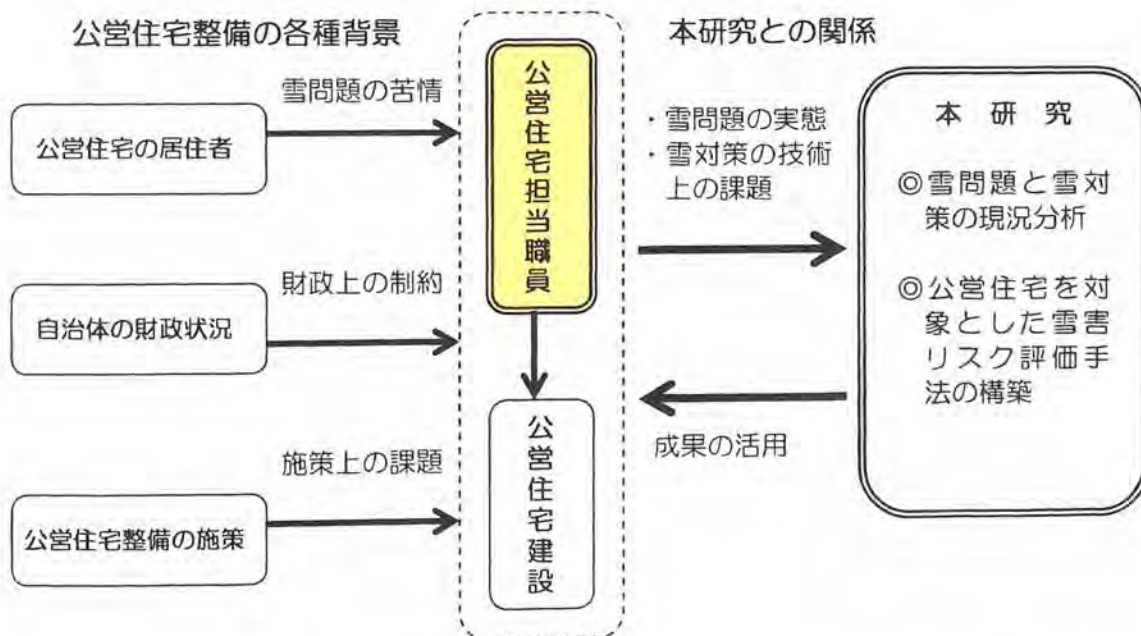


図2-1 本研究における分析対象としての公営住宅担当職員の位置づけ

2.2.1 現状分析の方法

分析の対象とした調査票の回収率は96%(204/212)と極めて高く、調査結果は全道的な傾向を十分に示していると考ええる。調査票では、建築計画上の雪の問題(建物配置、スペースなどに関する項目)、建築構造上の雪の問題(屋根雪、建物破損や安全性に関する項目)、北海道特有の吹雪の問題、雁木の設置等による雪対策の実施状況や維持管理上の課題について尋ねている。

ここでは、本研究における論点を明確にするために、(1)建物周囲の雪問題、(2)吹雪による雪問題、(3)屋根雪による雪問題の3つの雪問題を中心に本研究で検討すべき技術的課題を論じる。各項目について数量的な分析と共に、気象条件との関係、建設年代との関連について分析および考察を行う。本章における調査・検討フローを22 査資料に対し、1.数量的分析、2. 建設年代別の分析、3.地域的分析、4.気象条件による分析を行った。分析結果から、次章以降で検討を行う雪対策に関する技術的課題について考察した。更に、これらの結果を取りまとめ「公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」を構築するための基礎資料とした。

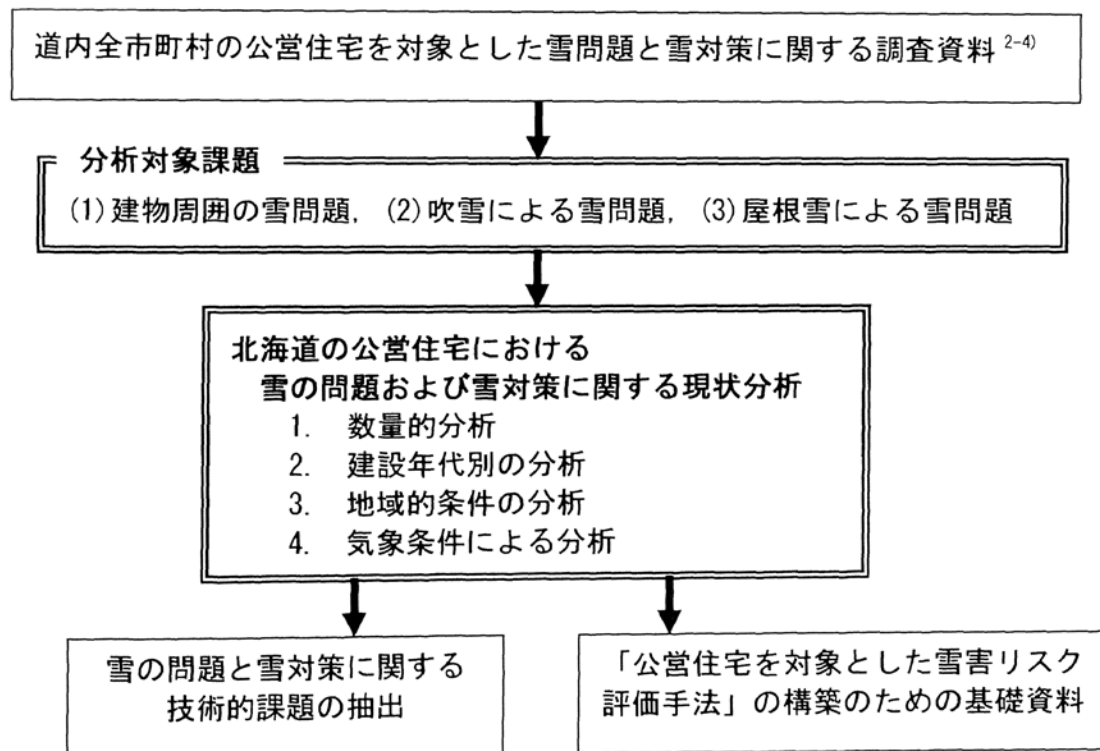


図 2-2 本章の調査・検討フロー

2.3 研究結果

2.3.1 現状分析を行った公営住宅の属性

各市町村からアンケート調査の回答対象として挙げられた公営住宅の建設年度の分布を図 2-3 に示す。図では北海道における公営住宅整備の施策との対応を調べるため、第 1 章の表 1-3 に基づき、建設年度を「防寒住宅」の取り組みが行われた第Ⅰ期(1985 年以前)、「冬トピア」の取り組みが行われた第Ⅱ期(1986～1995 年)、「リージョナル・ホープ」の取り組みが行われた第Ⅲ期(1996 年以降)の 3 つの時代に区分している。本文中の回答割合(%)は、各項目について有効回答をした市町村の合計に対する割合である。

図 2-3 によれば、「防寒住宅」の取り組みが行われた第Ⅰ期に該当する公営住宅は全体の約 2%(3/199)、「冬トピア」の取り組みが行われた第Ⅱ期に該当するものは、約 30%(60/199)、「リージョナル・ホープ」の取り組みが行われた第Ⅲ期には約 68%(136/199)が該当する。本調査は、これらの公営住宅を対象に設問の回答を得ている。本調査結果は、近年に建設された公営住宅における実態を反映しており、現在の北海道の建築物が抱える雪対策の技術的課題が示されていると言える。

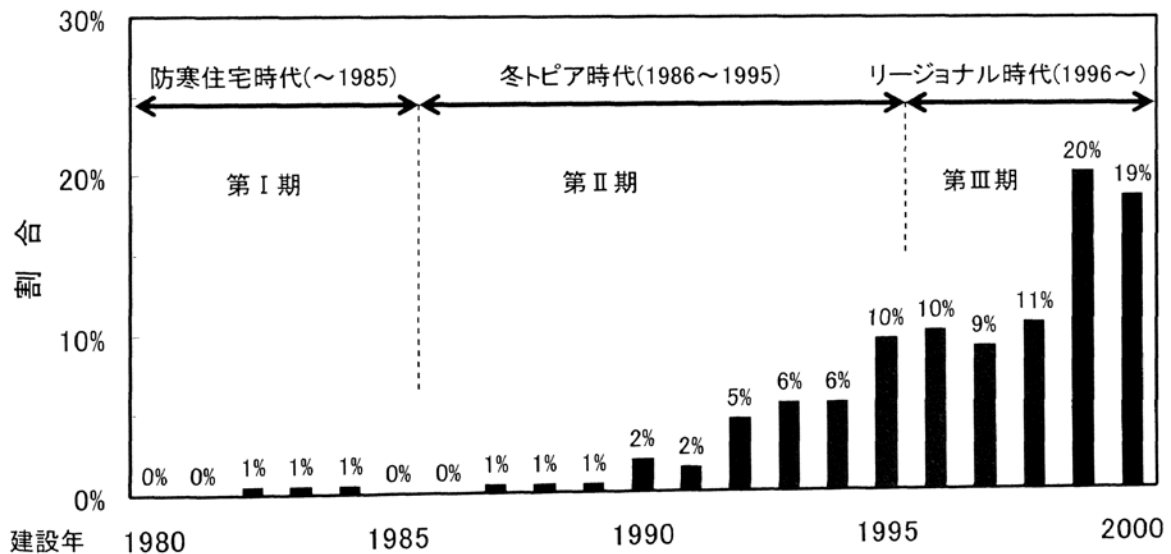


図 2-3 各市町村における公営住宅代表事例の建設年次の分布(有効回答 n=199)

2.3.2 北海道の公営住宅における雪問題と雪対策の現状

(1) 建物周囲の雪問題

図 2-4 に北海道の公営住宅における建物周囲の雪による問題の発生状況を示す。最も多い回答は敷地内の除排雪作業に伴う「堆雪スペースの不足」の 65%(132/204)である(写真 2-1)。次いで、「積雪による歩行の支障」41%(83/204)(写真 2-2)、「落雪スペースの不足」28%(58/204)である。「積雪による開口部破損」、「積雪による外構部材の破損」は約 20%の市町村で発生している。北海道の公営住宅における建物周囲での雪の問題は、雪処理のためのスペース不足に関する項目が多く、次いで積雪による問題である。

図 2-5 に建物周囲の雪対策の実施状況を示す。最も多い回答は「雁木の設置」の 48%(96/199)である(写真 2-3, 2-4)。次いで、「配置・平面計画の工夫」35%(69/199)、「除雪機による対応」20%(39/199)、「吹きだまりを考慮した計画」14%(27/199)である。「植栽・防雪柵の設置」は 4%(8/199)、「ロードヒーティング等の融雪装置による対応」は 3%(5/199)と少ない状況にある。

北海道の公営住宅における建物周囲の雪の問題と雪対策の実施内容の関係をみると、「雪処理のためのスペース不足」と「積雪による歩行の支障」の割合が高いことに関連して、スペース不足の解消や歩行空間の確保に効果のある「雁木の設置」による雪対策が約半分の市町村で実施されている。一方で、これらの問題に対する「融雪装置による対応」の割合は極めて少なく、財政事情の厳しい道内自治体の公営住宅では、ランニングコストに課題のある融雪処理による雪対策は殆ど行われていない状況にある。1 章の表 1-2 によれば、東北・北陸地方の伝統的な歩行空間の雪対策である「雁木」は、北海道の公営住宅建築的雪対策として 1980 年代後半より導入されている。

雁木の設置を含めた、建物周囲の雪対策に関して建設年代別に比較したグラフを図 2-6 に示す。各年代の実施割合の推移をみると、「雁木の設置」は、「冬トピア」の取り組みが行われた第Ⅱ期(1986～1995 年)に建設された公営住宅の実施割合は 55%(33/60)、一方、「リージョナルホープ」の取り組みが行われた第Ⅲ期に建設された公営住宅の実施割合は 45%(61/136)であり、実施割合が 10 ポイントも減少している。「配置・平面計画の工夫」など他の雪対策は数ポイント程度の減少であるが、「雁木の設置」のみが大きく減少しており、雁木を用いた雪対策に関して技術的課題があることが伺える。

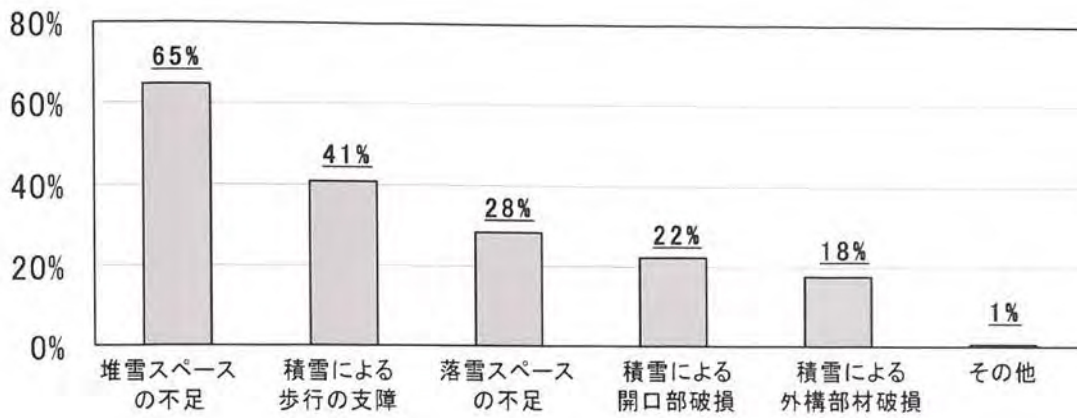


図 2-4 建物周囲における雪問題の発生状況(有効回答市町村数：204，複数回答)



写真 2-1 堆雪スペースが不足している団地(札幌市)



写真 2-2 積雪により使用ができない歩行用スロープ(恵庭市)

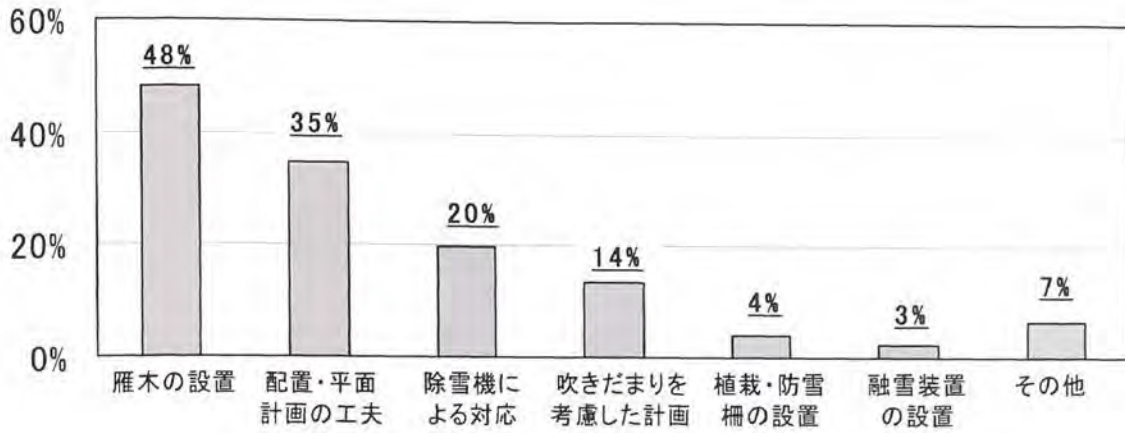


図 2-5 建物周囲の雪対策の実施状況(有効回答市町村数：199，複数回答)

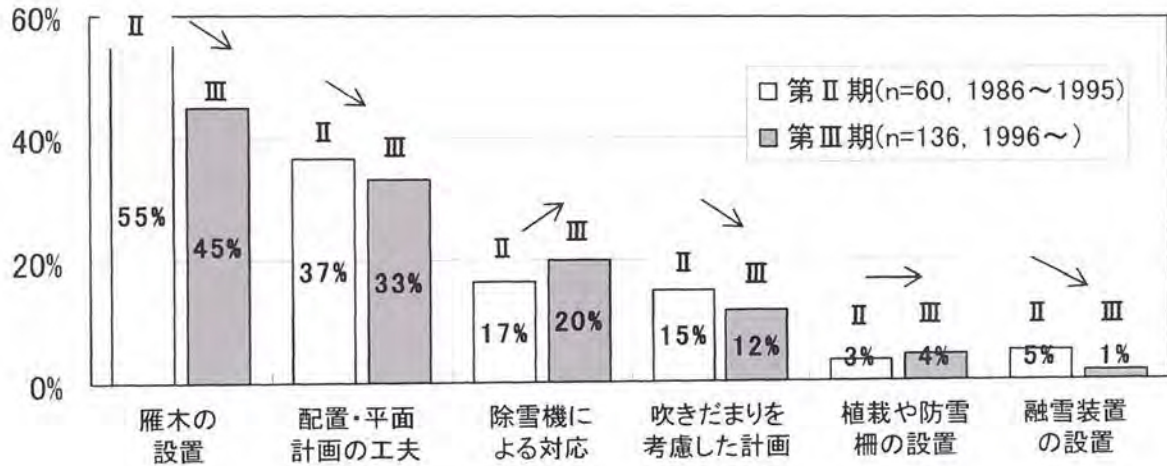


図 2-6 建物周囲の雪対策に関する建設年代別の実施状況の比較



写真 2-3 雁木の設置例(留萌市)



写真 2-4 雁木の設置例(江別市)

(2) 公営住宅に設置される雁木の技術的課題

前項において、北海道の公営住宅整備において多くの市町村が雪対策として導入した「雁木」に関して技術的課題があることが示唆されたことから、ここでは、その原因を考察する。図 2-7 に「建物周囲の雪対策」のために「雁木を設置」と回答した市町村の分布と、吹雪による雁木への「雪の吹きこみ」の有無について尋ねた結果を示す。

「雁木への雪の吹き込み」の有無については、雁木を設置している市町村の 58%(56/96) が「雪の吹き込みがある」と回答しており、図 2-6 に示される「雁木の設置」の実施割合の減少には、このような吹雪による雁木への「雪の吹き込み」の問題が影響していると考ええる。図 2-7 を見ると、雪の吹き込みは比較的風の強い沿岸部や気温が低い道北地方において多い傾向にある。雪の吹き込みの原因となる吹雪の発生条件には、気温と風速が大きく影響し、気温が低く、風速が高いほど吹雪が発生しやすい²⁻⁵⁾。

図 2-8 は、図 2-7 に示す市町村の厳冬期(1 月, 2 月)の月平均気温と月平均風速の平年値の関係を示したものである。図 2-8 から、雁木への雪の吹き込みが発生する気象条件を見ると、1,2 月の平均風速が 2.5~6.0m/s の範囲で、平均気温が -2°C 以下の全市町村で雁木への雪の吹きこみが発生している。吹き込みがあると回答した市町村は、石狩市、留萌市、稚内市など沿岸部など風の強い地域の市町村が多い。一方、雁木への雪の吹き込みの発生が少ない市町村の気象条件は、平均風速が 3m/s 以下で、平均気温が -5°C 以上の範囲であり、道南地方の市町村が多く含まれる。平均気温が -6°C 以下で平均風速が 2.5m/s 以下の範囲では、吹き込みのある市町村と無い市町村が混在しており、風速と気温以外の要因が影響していると推測される。

北海道内の公営住宅では、建設後に雁木への雪の吹き込みが発生し、大きな問題となった事例も報告されている(図 2-9)。当該建物の建設地は釧路市であり、1 章図 1-1 の区分によれば、「しもざらめ雪地域」である。「しもざらめ雪地域」は降雪が比較的少ないが、寒冷で積雪表面が硬く吹雪が発生しやすい地域である²⁻⁶⁾。同様に、1 章図 1-1 によれば、古くから雪対策に雁木を用いている都市である長岡、高田、黒石などは冬の平均気温が 0℃ 前後と比較的高く、図 2-8 による雪が吹き込む気象条件を考慮すると、雁木への雪の吹きこみは発生しない地域である。

雁木は、東北・北陸地方の気象条件に適合した歩行空間の雪対策であるが、北海道の公営住宅に適用する際には、北海道特有の気象条件である「吹雪の発生」を考慮する必要があると考える。以上から、北海道の公営住宅では、1986 年から始まった「冬トピア」以降に建設された公営住宅において、歩行空間の雪対策で雁木の設置が進み 10 年以上経過しているが、吹雪による「雪の吹き込みが」が大きな技術的課題となっており、当初想定していた機能が発揮できていないため、設置割合の減少に繋がったと考える。

雁木による雪対策は、図 2-4 で示される「雪処理スペースの不足」や「積雪による歩行の支障」に対し、有効な建築的対策であることから、上記の技術的課題に対して対応策を示す必要がある。以上、明らかになった技術的課題を踏まえ、本研究では、次章において、雁木への雪の吹き込みなど、公営住宅の「吹雪障害」に関して現地調査を行い、雁木の吹雪対策の検討に必要な、吹雪障害の対策と検討手法を示す。

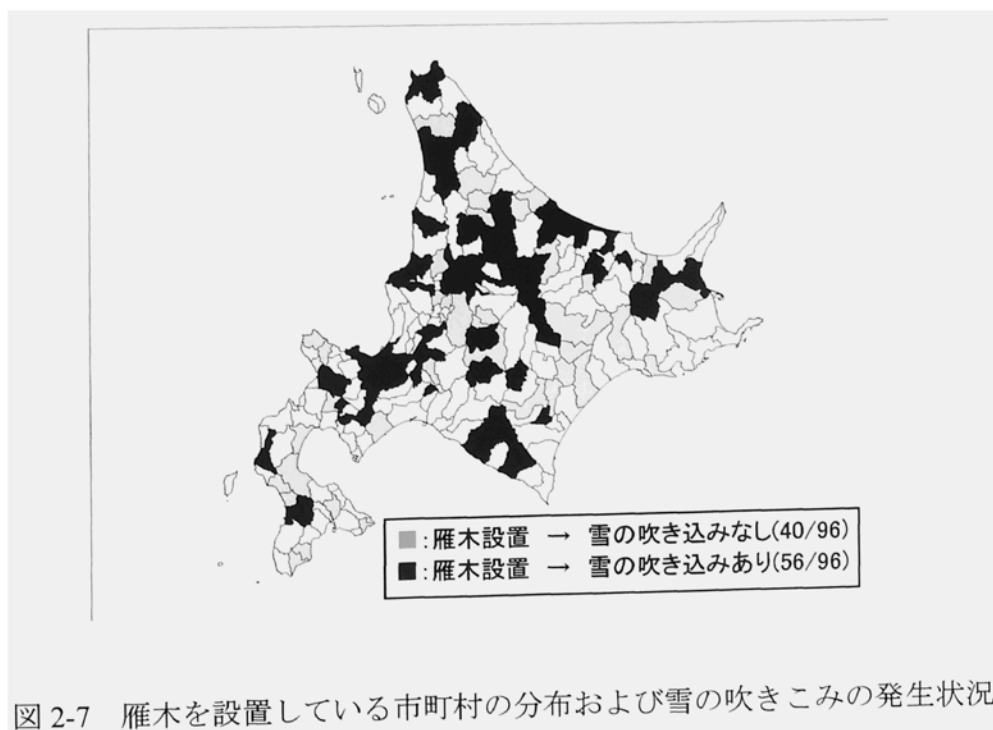


図 2-7 雁木を設置している市町村の分布および雪の吹きこみの発生状況

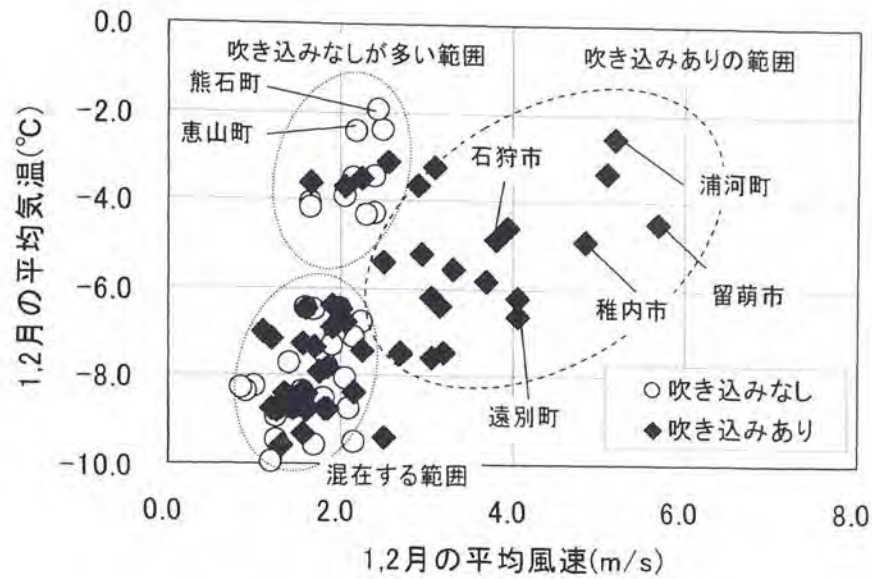


図 2-8 雁木への雪の吹き込みと気温、風速の関係



図 2-9 公営住宅の雁木への雪の吹き込みに関する新聞報道記事
(北海道新聞：平成 13 年 2 月 11 日付け朝刊)と改修前後の状況

(3) 吹雪による雪問題

前項では、公営住宅に設置される雁木において吹雪による問題が明らかになった。本項では、北海道の公営住宅における吹雪による雪問題について分析する。図 2-10 に北海道の公営住宅における吹雪による雪問題の発生状況を示す。

最も多く発生している吹雪による問題は、「通路・開口部への雪の吹き込み(写真 2-5)」の 40%(81/204)である。次いで、「開口部前の吹きだまり (写真 2-6)」35%(71/204),「敷地内の地吹雪発生」19%(38/204),「設備機器への雪の吹き込み」16%(33/204)である。前項でも述べたように寒冷で乾雪地域の北海道は吹雪が発生しやすいため、公営住宅の各部において雪の吹き込みによる問題が多く発生している。また「吹きだまり」による問題発生割合も比較的高い。

図 2-11 に吹雪対策の実施状況を示す。最も多く実施されている対策は「通路の吹き込み対策」の 21%(41/200)である。次いで、「配置・平面計画の工夫」18%(36/200),「設備機器の吹き込み対策」13%(26/200),「開口部への吹き込み対策」11%(22/200)である。外構部材による対応に関しては、「植栽の設置」5%(9/200),「防雪柵の設置」2%(3/200)と低い傾向にある。

吹雪による問題発生と雪対策の実施状況を比較すると、「通路等への雪の吹き込み」が全体の 4 割で発生しているのに対し、「吹き込み対策」を実施しているのは 2 割程度に留まる。「吹きだまり」による問題についても同様で、「配置・平面計画」の工夫や外構部材による対応を実施している市町村は少ない。公営住宅の「雪の吹きだまり対策」については、留萌地方を対象とした「リージョナル・ホープ計画事業」で取り組み(1 章, 表 1-2)²⁻⁷⁾, 対策の基本的な考え方が示されている。一方、「吹き込み対策」については、前項の「雁木への雪の吹き込み」に関する技術的課題と同様に、具体的な対策の考え方は示されていない。一般には、共用通路の開口部をガラス等で塞ぐ方法が用いられているが(図 2-9), 通路の温熱環境の悪化や給排気ダクトにおける障害発生が報告されている²⁻⁸⁾。

吹雪対策の年代別の実施割合を見ると(図 2-12), 「通路の吹き込み対策」はⅡ期(1985～1995)からⅢ期(1996～)にかけて実施割合が 9 ポイント減っている。これは雁木の設置数の減少が少なからず影響していると考えられる。その他の吹雪対策については、「開口部への吹き込み対策」が 4 ポイント増加しているのを除き変化は少ない。

吹雪による雪問題は、多くの市町村で発生しているにも関わらず、吹雪対策の実施割合は極めて低い。これは、吹雪対策の技術資料整備が十分でないことに加え、吹雪による雪問題の危険性を事前に把握していないためであると考えられる。つまり、公営住宅の建設前に、

吹雪による問題発生リスクがどの程度あるかを把握できていないため、対策が実施されないと考える。図 2-9 における事例のように、吹雪による問題が起きた後の事後対応となるケースが多いと考える。

吹雪による問題の軽減と吹雪対策の実施には、公営住宅の建設前に吹雪による問題に対するリスク評価が必要であり、「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法の構築」においては、吹雪の発生に関するパラメータが重要であると考え。これらを踏まえた検討内容については、5 章において述べる。

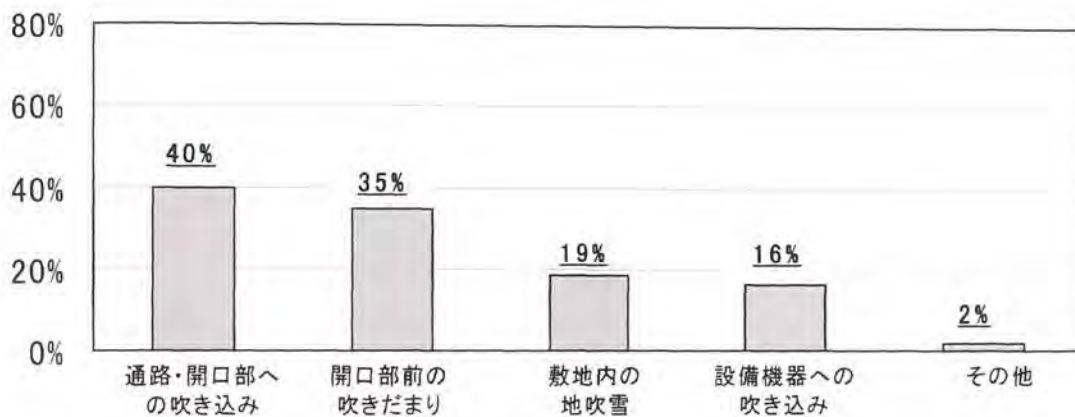


図 2-10 吹雪による雪問題の発生状況 (有効回答市町村数：204，複数回答)



写真 2-5 通路(開放型片廊下)への雪の吹き込み(小樽市)



写真 2-6 開口部前の吹きだまり（苫前町）

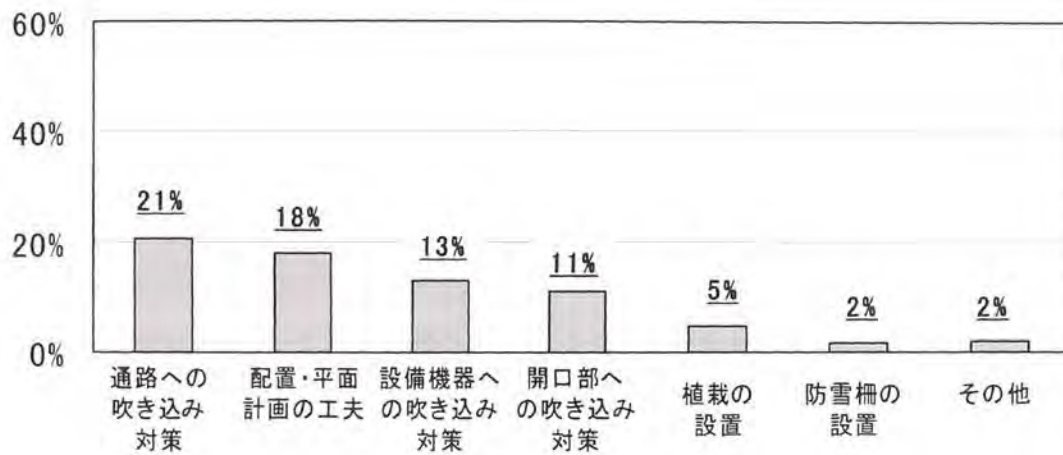


図 2-11 吹雪対策の実施状況(有効回答市町村：200, 複数回答)

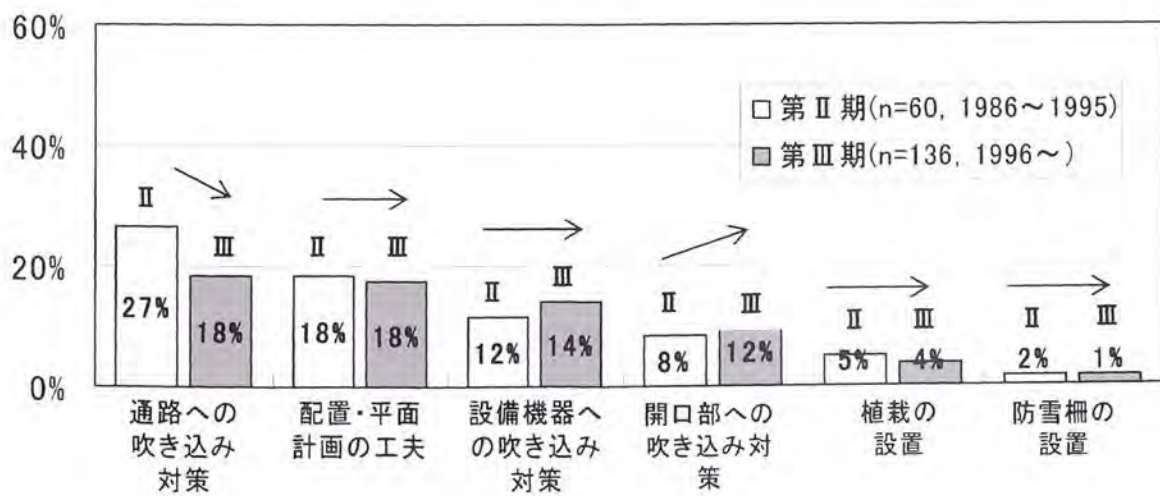


図 2-12 吹雪対策の年代別実施割合

(4) 吹雪による雪問題と地表面粗度との関連

北海道の公営住宅は、建物が密集する市街地や建物の少ない郊外など様々な立地場所に建設される。吹雪発生の原因となる風の性状は建物など地表面の障害物の状況により異なる。このため、建物が密集している市街地内の公営住宅と郊外に建つ公営住宅とでは、吹雪による雪問題の状況が異なることが予想される。本項では、吹雪による雪問題の発生状況と地表面の状況を表す指標である地表面粗度との関連について調べる。

日本建築学会荷重指針によれば²⁻⁹⁾、地表面粗度はⅠ～Ⅴ(滑～粗)の五段階に区分され、Ⅰは海面などのほとんど障害物の無い地域、Ⅱは田園地帯、Ⅲは低層建築物が多数存在する地域(写真 2-7)、Ⅳは中層建築物が主となる市街地、Ⅴは高層建築物が密集する地域である。同指針に基づき、北海道の全市町村について建築面積率(対象となる地域の面積に対する建築物の建築面積の総和の割合)により地表面粗度の区分を行ったところ(図 2-13)、粗度区分Ⅱ以下(建築面積率 10%以下)に該当するものが全体の約 84%(176/212)を占め、粗度区分Ⅲ以上(建築面積率 10%以上)は約 16%(36/212)である。北海道では、建築面積率 5%以下の地表面の障害物が極めて少ない市町村が全体の 67%(141/212)を占める。一方、建築面積率 20%以上の建物が密集する都市は 4%(8/212)と少数である。

吹雪による雪問題が発生した市町村を地表面粗度により区分すると、「通路・開口部への吹き込み(n=82)」については、粗度区分Ⅱ以下の市町村が約 82%(67/82)、粗度区分Ⅲ以上は約 18%(15/82)と、全市町村の構成割合に比べ粗度区分Ⅲ以上の割合が若干ではあるが上昇している。「開口部前の吹きだまり(n=73)」については、粗度区分Ⅱ以下が約 84%(61/73)、粗度区分Ⅲ以上が約 16%(12/73)と全市町村の構成割合とほぼ等しい。

以上の結果から、吹雪による雪の問題は、地表面の障害物が少ない粗度区分Ⅱ以下の地域のみならず、建物が密集している粗度区分Ⅲ以上の地域においても発生している。粗度区分Ⅱ以下の地域であれば、空地が多く吹雪が発達するための吹走距離が十分あると予想されるが、粗度区分Ⅲ以上の地域では、吹走距離は必ずしも十分では無いと考える。

地表面粗度が吹雪の発生と大きく関連する風の性状に及ぼす影響をみると、地表面粗度は、風の減衰と共に風の変動を特徴づける「風の乱れ強さ」にも大きく作用し、粗度が増すにつれ「風の乱れ強さ」は大きくなる²⁻³⁾。「風の乱れ強さ」は物体周りの流れの特性にも影響するが²⁻¹¹⁾、小林²⁻¹²⁾は、建物を対象とした屋外観測から、建物附近の風の乱流と雪の吹きだまり発生には関係性があることを指摘している。乱流の重要な特徴として物質の輸送と拡散性に寄与することが知られており²⁻¹³⁾、雪粒子の輸送にも大きく関わっていると考える。すなわち、地表面粗度が大きい地域で、吹雪による雪問題が発生している状況

にあるが、「風の乱れ強さ」がこれらに影響していると推察される。

北海道の公営住宅整備は立地条件が多様であるため、「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法の構築」にあたり、このような地表面粗度と「風の乱れ強さ」の変化の影響を把握する必要があると考える。以上を踏まえ、次章において、吹雪による雪問題に及ぼす地表面粗度の影響に関して検討を行う。



写真 2-7 地表面粗度区分Ⅲの地域に建つ公営住宅

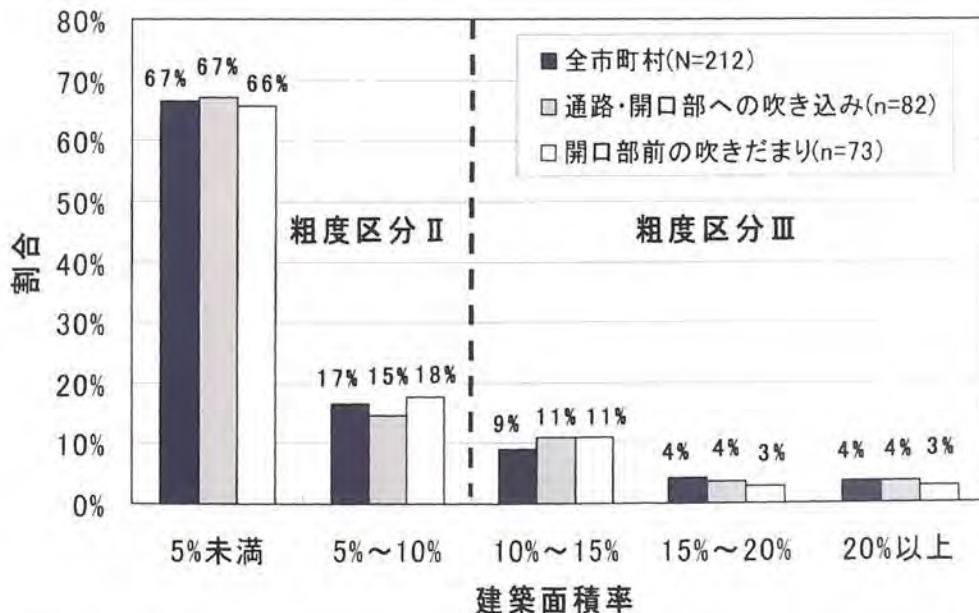


図 2-13 吹雪による問題発生と建築面積率^{注1)}による地表面粗度区分との関係²⁻⁹⁾

注1) 国土交通省：国土数値情報土地利用メッシュ(平成9年整備)²⁻¹⁰⁾による

(5) 屋根雪による雪問題

本項では、北海道の公営住宅における屋根雪による雪問題の技術的課題について分析する。図 2-14 に屋根雪による雪問題の発生状況を示す。最も多い回答は「雪庇の発生(写真 2-8)」38%(78/204)である。次いで、「落雪障害による氷堤」30%(61/204)、「落氷雪による建物等の破損(写真 2-9)」25%(52/204)、「落氷雪による歩行の妨げ」23%(46/204)である。「吹きだまりによる偏荷重」は 10%(21/204)である。

北海道の公営住宅における屋根雪対策の実施状況を図 2-15 に示す。北海道の公営住宅では「落雪を考慮した平面計画」38%(77/202)が最も多く実施されている。「雪庇対策」の実施について見ると、「雪庇を考慮した屋根形状」20%(41/202)、「雪庇防止用品の設置(写真 2-10)」4%(9/202)である。図 2-14 によれば、雪庇による問題が発生していると回答した市町村は約 40%あり、それに比して雪庇対策を実施している市町村は少ないと言える。

屋根雪による問題は大きく分けて「落氷雪に関する屋根雪の問題」と雪庇や吹きだまりなど「吹雪による屋根雪の問題」に大別される(図 2-14)。「落氷雪に関する屋根雪問題」の発生には、建築物の温熱環境性能や屋根葺材、雪質の変化が大きく係っていることが明らかになっており、関連する既往研究も多い(例えば 2-14)、2-15)、2-16)。また、行政職員が活用できる技術資料の整備もなされている(例えば 2-17)。「吹雪による屋根雪問題」に関してみると、「吹きだまりによる偏荷重」については、指針が整備されているものの²⁻¹⁸⁾、「雪庇の発生」については、指針や技術資料の整備はなされていない。このような技術資料の不足が雪庇対策の実施割合が低い理由の一つであると考ええる。

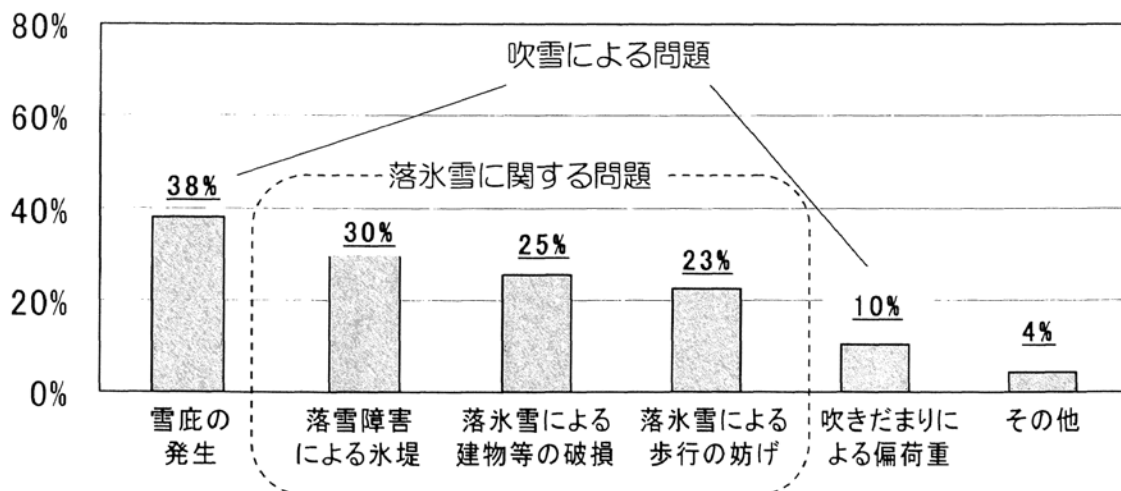


図 2-14 屋根雪による雪問題の発生状況(有効回答市町村数：204，複数回答)



写真 2-8 屋根上の雪庇(滝川市)



写真 2-9 屋根からの落氷雪(札幌市)

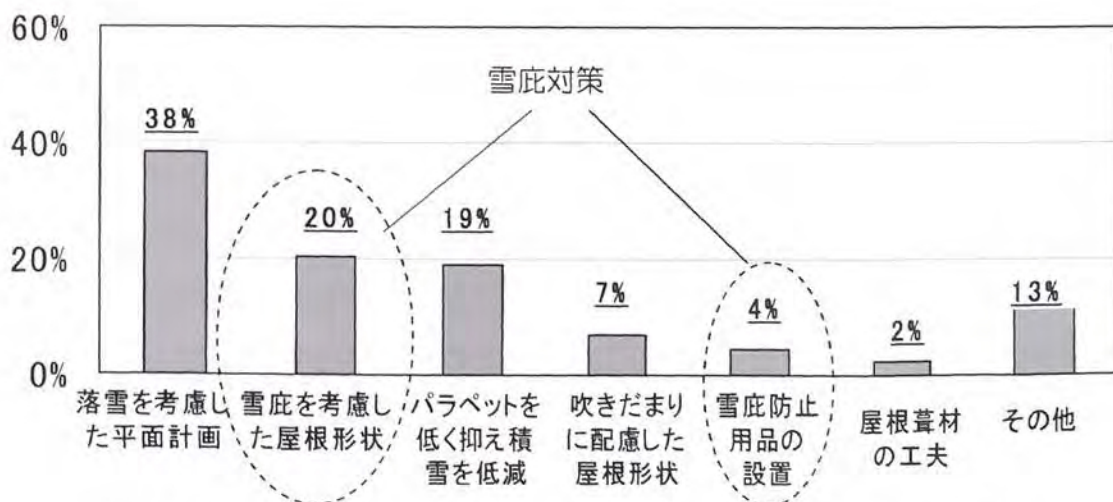


図 2-15 屋根雪対策の実施状況 (有効回答市町村数 202, 複数回答)



写真 2-10 雪庇防止笠木の設置例(名寄市)

(6) 北海道の公営住宅における雪庇対策に関する技術的課題

前項において、公営住宅の雪庇対策に関する技術資料の整備が不十分であると述べた。ここでは、北海道の公営住宅における雪庇対策に関する技術的課題について論じる。

雪庇は、季節風など一定方向の風を伴う降雪により、屋根風下側の積雪が庇状になる現象である^{2-19)~2-21)}。一般に、雪庇は落雪屋根ではみられず、陸屋根などの無落雪屋根で発生する²⁻²²⁾。図 2-4 の「雪処理のためのスペース不足」や図 2-14 の「落氷雪に関する問題」を回避する目的で無落雪化を行う公営住宅が増えているため、雪庇による問題が多発していると考えられる。図 2-16 から雪庇対策の実施に関して年代別の割合を見ると、「雪庇を考慮した屋根形状」は 6 ポイント、「雪庇防止用品の設置」は 7 ポイント増加しており、新しい公営住宅計画において雪庇による問題が、重要な検討事項として取り上げられていることが示されている。何らかの雪庇対策を行った市町村は、回答が得られた 202 市町村中 47 あるが、この内、対策の実施による効果が得られた市町村は 64%(30/47)、得られなかった市町村は 36%(17/47)ある(表 2-1)。また、「雪庇による問題がある」のは 78 市町村あり、その内、78%(61/78)は対策を実施していない。このように、公営住宅の雪庇対策については効果が得られないケースも見られ、対策を実施していない市町村も多い。北海道の公営住宅における雪庇対策を検討するための基礎資料の整備が必要な状況にある。

1 章 1.1.4 によれば、「北海道住生活基本計画」における基本目標として「まちなか居住

の推進」が掲げられており²⁻²³⁾、今後、中心市街地を立地場所とする公営住宅が大量に供給されると予想される。敷地面積の制約などから、陸屋根などの無落雪屋根の採用が増加すると予測され、北海道の公営住宅整備において、今後、雪庇による問題が増加すると考える。以上から公営住宅の雪庇対策に関する技術的検討を進める必要がある。

ここで、雪庇対策の技術的可能性について考察する。図 2-17 は雪庇の発生に関する 1,2 月平均風速と平均月降雪量の関係である²⁻²⁴⁾。図 2-17 によれば、雪庇による問題が発生していると回答した市町村は、1,2 月平均月降雪量が 200cm 以上の市町村が多い。一方、降雪量が 100cm 以下の市町村では、殆ど発生していない。降雪量が 100～200cm の範囲では、雪庇による問題がある市町村と無い市町村が混在しているが、月平均風速 3m/s 以上の市町村に限ると、問題があると回答した市町村が多い。雪庇による問題が強く懸念される市町村の気象条件を整理すると、1, 2 月の月平均風速が 3m/s 以上で、月降雪量が 100cm を超えること、月平均風速が 2m/s 以上で、月降雪量が 250cm 以上の範囲が目安となる。

以上のように、雪庇の発生条件は、気象的要因と大きく関係していると考えられ、詳しく調査検討を行うことにより、有効な雪庇対策を明示できる技術的可能性がある²⁻²⁵⁾。更には、雪庇を対象としたリスク評価において、気象条件を評価の指標とすることが出来る。以上を踏まえ本研究では、第 4 章において公営住宅の雪庇対策に関する検討を行うこととし、リスク評価においても考慮すべき条件とする。

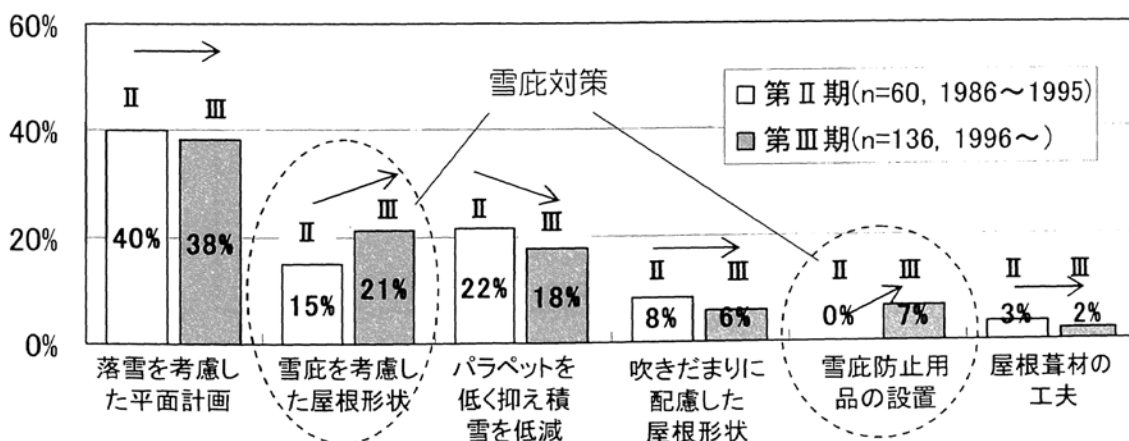


図 2-16 屋根雪対策の年代別実施割合

表 2-1 雪庇による問題発生状況と対策実施との関連(n=202)

区 分	雪庇対策を実施		雪庇対策は未実施		合 計
雪庇による問題あり	17	22%	61	78%	78 (100%)
	36%		39%		
雪庇による問題なし	30	24%	94	75%	124 (100%)
	63%		61%		
合 計	47 (100%)		155 (100%)		202

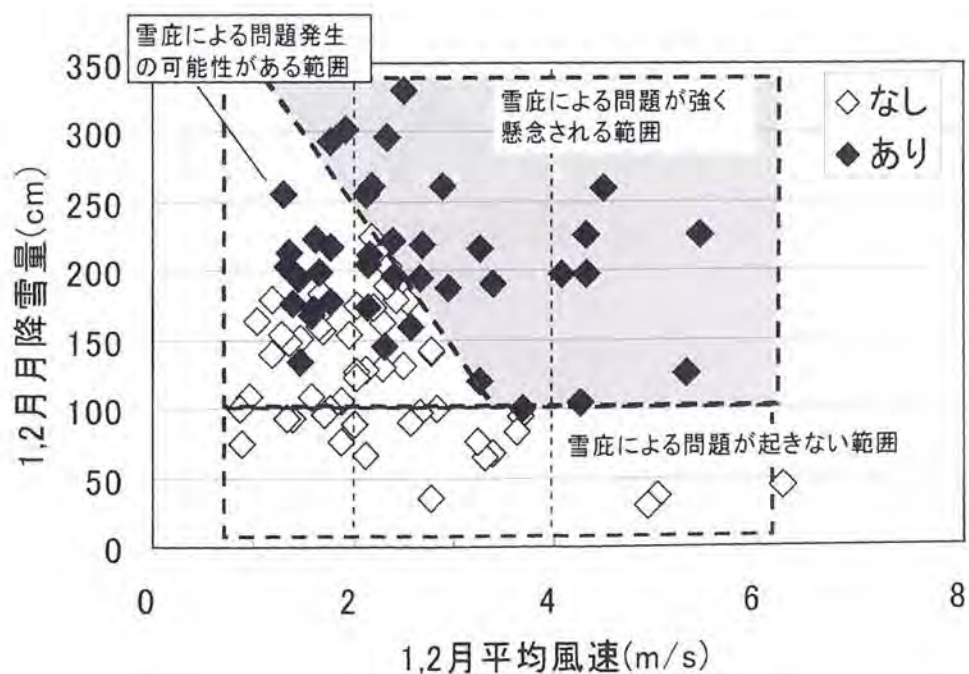


図 2-17 雪庇の発生に関する 1,2 月平均風速と平均月降雪量の関係

2.4 本章のまとめ

2.4.1 北海道の公営住宅における雪問題と雪対策の現状

本章では北海道の公営住宅における雪の問題および雪対策に関する現状を明らかにした。調査の結果を以下に要約する。

(1) 建物周囲の雪問題

1. 北海道の公営住宅における建物周囲の雪の問題は、雪処理のためのスペース不足に関する項目(堆雪スペースの不足 65%など)が多く、次いで積雪による問題(歩行の支障 41%など)である。
2. 北海道の公営住宅では、「雁木の設置」による雪対策が約半分の市町村で実施されている。
3. 北海道の公営住宅では、融雪装置による対応の割合は極めて少ない。
4. 北海道の公営住宅整備において「雁木の設置」の割合が減少傾向にある。これは、雁木の通路内への雪の吹き込みが原因であると考ええる。

(2) 吹雪による雪問題

1. 北海道の公営住宅の約4割で「通路への雪の吹き込み」、「開口部前の吹きだまり」による問題が発生している。
2. 北海道の公営住宅では、吹雪対策の実施割合が極めて少ない。これは、吹雪による問題発生を事前に予測していないためと考える。
3. 吹雪による雪問題は、建物が少ない地表面粗度区分Ⅱ以下の地域のみならず、建物が密集している粗度区分Ⅲ以上の地域においても発生している。

(3) 屋根雪による雪問題

1. 北海道の公営住宅における屋根雪の問題は、「吹雪による屋根雪の問題(雪庇の発生 38%等)」と「落氷雪による屋根雪の問題(建物等の破損 25%等)」に大別される。
2. 新しい公営住宅整備では「雪庇対策」を実施する割合が増加している。
3. 雪庇対策を実施した市町村の36%において、なおも雪庇による問題が起きている。
4. 雪庇による問題が起きている市町村の78%が対策を実施していない。

2.4.2 本研究において検討すべき課題

以上の調査結果を踏まえ、本研究で検討すべき項目を以下のように定める。

(1) 北海道の公営住宅における吹雪の問題に関する技術的課題

北海道の公営住宅整備において、吹雪の問題に関する技術的課題として、三つの項目を挙げることが出来る。一つ目は歩行空間の雪対策を目的として、公営住宅に設置された「雁木」の通路への吹雪による「雪の吹き込み」の問題である。雪対策として設置された「雁木」が、求められている機能を十分に発揮できていないばかりか、新たな雪問題の発生に繋がっている状況にある。公営住宅に設置される「雁木」は、北海道の公営住宅で大きな問題となっている「雪処理スペースの不足」や「積雪による歩行障害」を改善する雪対策として数多くの市町村で導入されていることから、実態を明らかにし、設計上の課題を把握する必要がある。

二つ目の課題として、吹雪による問題発生に関する地域的条件の影響の把握が挙げられる。吹雪による雪問題は、建物が少ない地域のみならず、建物が密集している地域においても発生している。吹雪対策を検討する上で、このような、地域的条件の差異と吹雪の問題の関係を明らかにする必要がある。これらは、雪害リスク評価手法を構築する際に、地域特性に関するパラメータ設定を行うための基礎的知見にもなる。

三つ目は、北海道の公営住宅では、「吹雪」による「雪の吹き込み」および「吹きだまり」の問題が多発しているにもかかわらず、吹雪対策の実施割合が極めて低いことである。これは、公営住宅整備において「吹雪」によるリスクが、どの程度であるかを評価できていないことによると考える。本研究では、第5章における「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」の構築において、北海道特有の雪問題である「吹雪」によるリスクを評価できるよう検討を行う。この雪害リスク評価手法の提案により、北海道の公営住宅整備において、「吹雪」によるリスクを事前に評価することが可能になり、吹雪による諸問題の改善が図られると考える。

(2) 北海道の公営住宅における屋根上の「雪庇」による問題

公営住宅では、「落雪スペースの不足」など敷地条件の制約から、無落雪屋根を採用するケースが多く、雪庇の問題発生に繋がっている。多くの市町村は雪庇対策を行っておらず、雪庇対策を実施しても改善が図られないケースも多い。今後、「まちなか居住」の政

策的推進により雪庇による問題が深刻になる恐れがあり、早急に技術的対応策を示す必要があるため、本研究において取り組む必要がある。「雪庇」による問題の改善を図ることにより、維持管理の負担軽減や落雪による事故の危険性を低減することに繋がり、安全・安心な公営住宅の整備に貢献できる。本研究では、第4章において、北海道の公営住宅における「雪庇」の問題に関して、実建物を対象とした観測調査などにより、雪庇形成に関する基礎的知見を示す。更に、これらを踏まえ実験的検討を行い、雪庇対策に関する技術的対応策を明示する。

図 2-18 に本章の調査結果で明らかになった検討課題および、次章以降の検討内容との関係を示す。

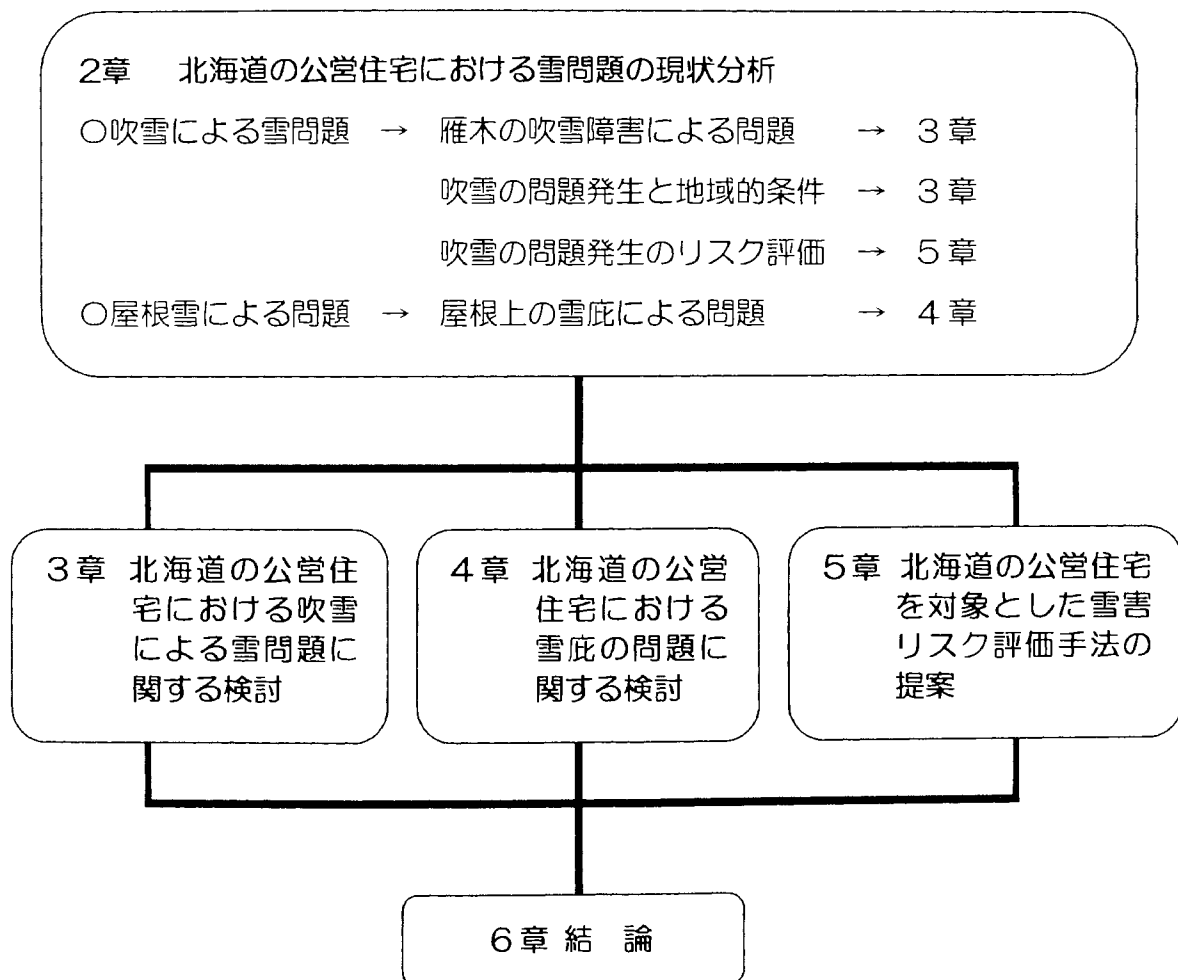


図 2-18 本章の調査結果と次章以降の検討内容との関係

参考文献

- 2-1) (社)日本建築学会雪荷重小委員会：シンポジウム『『建築設計と雪』の問題を考える』資料，2006.10
- 2-2) (社)日本雪氷学会：雪と氷の辞典，pp.89-95，2005.
- 2-3) 塩谷正雄：強風の性質，開発社，pp.26-96，1981.
- 2-4) 寒地住宅都市研究所：一般建築物における風雪障害対策手法に関する研究，調査研究報告書，2002.
- 2-5) 前野紀一，福田正巳編：基礎雪氷学講座 第Ⅲ巻 雪崩と吹雪，古今書院，pp.141-178，2000.2
- 2-6) 前野紀一，黒田登志雄：基礎雪氷学講座 第Ⅰ巻 雪氷の構造と物性，古今書院，pp.142-143，1986.7
- 2-7) 北海道：留萌支庁リージョナル・ホープ計画推進事業報告書，1997.
- 2-8) 北海道立北方建築総合研究所：環境共生型公共賃貸住宅における中高層住棟等の技術手法適用に関する研究，調査研究報告書，2005.3
- 2-9) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，pp.346-348，2004.
- 2-10) 国土交通省国土計画局国土情報整備室：国土数値情報
- 2-11) (社)日本鋼構造協会(編)：構造物の耐風工学，東京電機大学出版会，pp.75-79，1997.11
- 2-12) 小林俊一：障害物附近の風の乱流と雪の吹溜り，低温科学，物理編，No.30，pp.85-91，1972.
- 2-13) H. Tennekes, J. L. Lumley (藤原仁志，荒川忠一訳)：乱流入門，東海大学出版会，pp.2~17，1998.5
- 2-14) 鈴木大隆：積雪寒冷地における断熱外壁の防露・防水・断熱性向上、および、屋根の積雪障害防止に関する研究-環境と地域に向けた住宅断熱外皮技術の再構築と具現化への提案，東京大学学位論文，1998.
- 2-15) 伊東敏幸：積雪地域における勾配屋根の材料設計および維持保全に関する研究，東北大学学位論文，1995.
- 2-16) 高倉政寛：屋根雪の滑落を考慮した積雪荷重評価に関する研究，北海道工業大学学位論文，2000.
- 2-17) 北海道建設部：公営住宅整備事業マニュアル(北海道版)，Vol.1 計画・設計編，2005
- 2-18) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，pp.262-270，2004.
- 2-19) (社)日本雪氷学会：雪と氷の辞典，pp.187-188，2005.

- 2-20) 高橋博，中村勉：雪氷防災，白亜書房，pp.234-237，1986.12
- 2-21) 社団法人日本建設機械化協会：防雪工学ハンドブック，森北出版，pp.9-10，1997.9
- 2-22) D. M. Gray, D. H. Male (松田益義編訳)：防雪技術ハンドブック，築地書館，pp.148-150.
1990.2
- 2-23) 北海道建設部住宅局住宅課：北海道住生活基本計画，2007.2
- 2-24) 気象庁：平年値(統計期間 1971～2000 年)，(財)気象業務支援センター，2001.4
- 2-25) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，pp.276-278，2004.

3 章 北海道の公営住宅における吹雪障害の評価と対策の検討手法

3.1 はじめに	49
3.2 雁木を設置した公営住宅における吹雪障害の発生状況	
3.2.1 吹雪障害に関する現地調査	51
3.2.2 吹雪障害の発生状況と発生要因	54
3.3 気流の乱れ強さの変化が吹きだまり性状に及ぼす影響	
3.3.1 はじめに	58
3.3.2 国内外で実施された吹雪風洞実験	58
3.3.3 吹雪風洞実験の相似則	60
3.3.4 本研究で考慮する吹雪風洞実験の相似パラメータ	63
3.3.5 吹雪風洞実験方法と実験条件	64
3.3.6 気流の乱れ強さが吹きだまり性状に及ぼす影響	70
3.4 北海道の公営住宅整備における吹雪対策に関する検討手法の提案	
3.4.1 吹雪対策の検討において考慮すべき風の性質	78
3.4.2 北海道の公営住宅における吹雪対策の検討プロセス	84
3.5 本章のまとめ	85
参考文献	87

3.1 はじめに

本章では、北海道の公営住宅における吹雪障害について検討する。本章で検討する課題は、第2章の現状分析において指摘した「公営住宅の吹雪障害に関する問題」、「吹雪による雪問題発生に及ぼす地表面粗度の影響」の二つである。

最初に、北海道の公営住宅における吹雪障害の実態を把握することを目的として、公営住宅に雪対策として設置されている「雁木」への「雪の吹き込み」に関して現地調査を行う。「雁木」(写真 3-1-1)は建築物の庇を連続させて、積雪時における歩行空間を確保することを目的に新潟や青森などの豪雪地帯で古くから用いられている伝統的な建築様式であるが³⁻¹⁾、北海道の公営住宅においても建物周囲の雪対策として積極的に導入が図られ、道内市町村の約半分が公営住宅に「雁木」を設置している(2章図 2-5, 写真 3-1-2)。一方で、北海道は乾雪地域であることから吹雪が発生しやすく、雁木の通路内への「雪の吹き込み」に繋がる。実に、雁木を設置した市町村の約 6 割において、「雪の吹き込み」による問題が発生している(2章図 2-7)。雁木の通路上の積雪は、歩行時の安全性低下に繋が³⁻²⁾、除雪の負担が増える要因ともなる。また、建築物の歩行空間は、日常生活における使用のみならず、火災や災害時には避難経路として利用される。通路上の積雪は避難行動に支障をきたし、避難時間を遅延させる恐れがある³⁻³⁾。公営住宅には、高齢者など災害弱者が多く居住するため、日常生活における利便性の向上と共に、災害時の安全確保の観点からも、雁木への雪の吹き込みなど吹雪障害に関する実態を把握する必要がある。ここでは、雁木を設置している公営住宅を対象とした冬季の現地調査により、公営住宅の吹雪障害について考察する。

次に、吹雪による雪問題への「地表面粗度」および「風の乱れ強さ」の影響について検討する。建物周囲の積雪はその地域の風況や気温などの気象条件のほか、周辺の建物など地表にある障害物の影響を受ける³⁻⁴⁾。これは、雪の堆積に大きく影響する風の性質が、沿岸部や内陸部など地理的な違いのみならず、建物などの障害物の存在に影響を受けるためである。すなわち、建物が密集している都市では地表面の摩擦の作用が大きいため、地上付近の風速が弱められ同時に乱れが大きくなる。一方、建物の数が少ない地域では、風速の減衰作用や風の乱れは小さい。これら風の性質に影響を及ぼす地表面の状況の違いは地表面粗度と呼ばれ、建物の密集度に応じて区分されている(写真 3-1-3, 3-1-4)³⁻⁵⁾。

一般に、吹雪は障害物の少ない平坦地において発生すると考えられるが、2章の現状分析によれば、建物など障害物が少ない粗度区分Ⅱの地域のみならず、建物が比較的密集し

ている粗度区分Ⅲの地域においても吹雪による「雪の吹き込み」や「吹きだまり」の問題が発生している。北海道の公営住宅整備は、市街地や田園地域など様々な立地条件が想定されるが、地表面粗度の違いが吹雪による問題に及ぼす影響は不明である。ここでは、地表面粗度の違いによる「風の乱れ強さ」の変化が吹雪による代表的な雪問題である「吹きだまり」の性状に及ぼす影響について吹雪風洞実験による検討を行った。

最後にこれらの検討結果を取りまとめ、北海道の公営住宅整備における吹雪対策に関する検討手法を提案した。

本章で得られる知見は、北海道の公営住宅において吹雪の問題を検討するための基礎資料となると共に、「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」の構築に向けた基礎的知見となる。



写真3-1-1 伝統的な雁木(上越市)



写真3-1-2 北海道の公営住宅の雁木(岩見沢)



写真 3-1-3 郊外(粗度区分Ⅱ)



写真 3-1-4 低層市街地 (粗度区分Ⅲ)

3.2 雁木を設置した公営住宅における吹雪障害の発生状況

3.2.1 吹雪障害に関する現地調査

(1) 調査目的

第2章の現状分析によれば、雁木を設置した市町村の約6割で「雪の吹き込み」による問題が発生している状況にある(2章図2-7)。雪の吹き込みの原因となる吹雪などの雪氷現象は気象条件の影響を受けるため、雁木の雪の吹きこみの状況も各地域において異なることが想定される。現地調査は、北海道の公営住宅における吹雪障害の実態を把握することを目的としている。

(2) 調査方法

現地調査は、吹雪の問題に対する気象条件や雁木の形態の影響を検討するため、冬に強い季節風が吹く沿岸部(石狩, 留萌, 後志地方)と降雪量が多い内陸部(空知, 上川地方)において、形態の異なる雁木を設置している14の公営住宅を対象に実施した(図3-2-1)。公営住宅の雁木は住民が日常的に利用する生活通路であることから、降雪直後には住民による除雪作業が行われ、積雪深分布などの定量的な測定が困難である。このため調査方法は目視および写真撮影による通路の積雪状況および利用状況の記録とした。各施設に対して数回の調査を行い、一冬季間の状況を把握した。調査を行った雁木を形態別に分類し、吹雪による問題の発生状況を整理した。また、雁木の設計上の課題を把握するため、吹雪以外の雪問題についても併せて調査および検討を行った。

(3) 調査対象

調査を行った公営住宅の一覧を表3-2-1に示す。調査対象の所在地から、建築面積率を2章図2-13と同様の方法で算出し、建設地の地表面粗度を定めた。粗度区分Ⅲ(写真3-1-4)に該当するのは、Case01, 02, 06, 08, 10, 11の計6団地、粗度区分Ⅱ(写真3-1-3)に該当するのは、Case03, 04, 05, 07, 09, 12, 13, 14の8団地である。野口³⁻⁶⁾が北海道と青森の公営住宅に設置された雁木に関しておこなった形態分類によれば、雁木の形態は大きく分けて、住棟に付属して設置されている「住棟付属雁木(写真3-2-1)」と複数の住棟を結ぶ「住棟間雁木(写真3-2-2)」とに大別される(表3-2-2)。また、雁木の側面の開口の特徴により、通路の両側が開放されている「両面開放型」、片側だけを開放した「片面開放型」、

腰壁の有無により「腰壁型」に分けられる。本項の調査対象の雁木の形態は、住棟付属雁木-片側開放腰壁型が 7 棟(Case01～07)と最も多く、次いで住棟間雁木-両面開放型 6 棟(Case08～10, 12～14), 住棟間雁木-片面開放型 1 棟(Case11)である。住棟間雁木の Case08～11 は住棟と平行に雁木が設置され, Case12～14 は住棟とほぼ直交する形で設置されている。

雁木の建設年については、2 章図 2-3 による公営住宅の建設年代の区分によれば、「冬トピア」の取り組みが行われた第Ⅱ期(1986～1995 年)に該当する公営住宅は、Case01, 02, 03, 10, 13 の 5 団地、「リージョナルホープ」の取り組みが行われた第Ⅲ期(1996 年以降)に該当する公営住宅は、Case04, 05, 06, 07, 08, 09, 11, 12, 14 の 9 団地である。

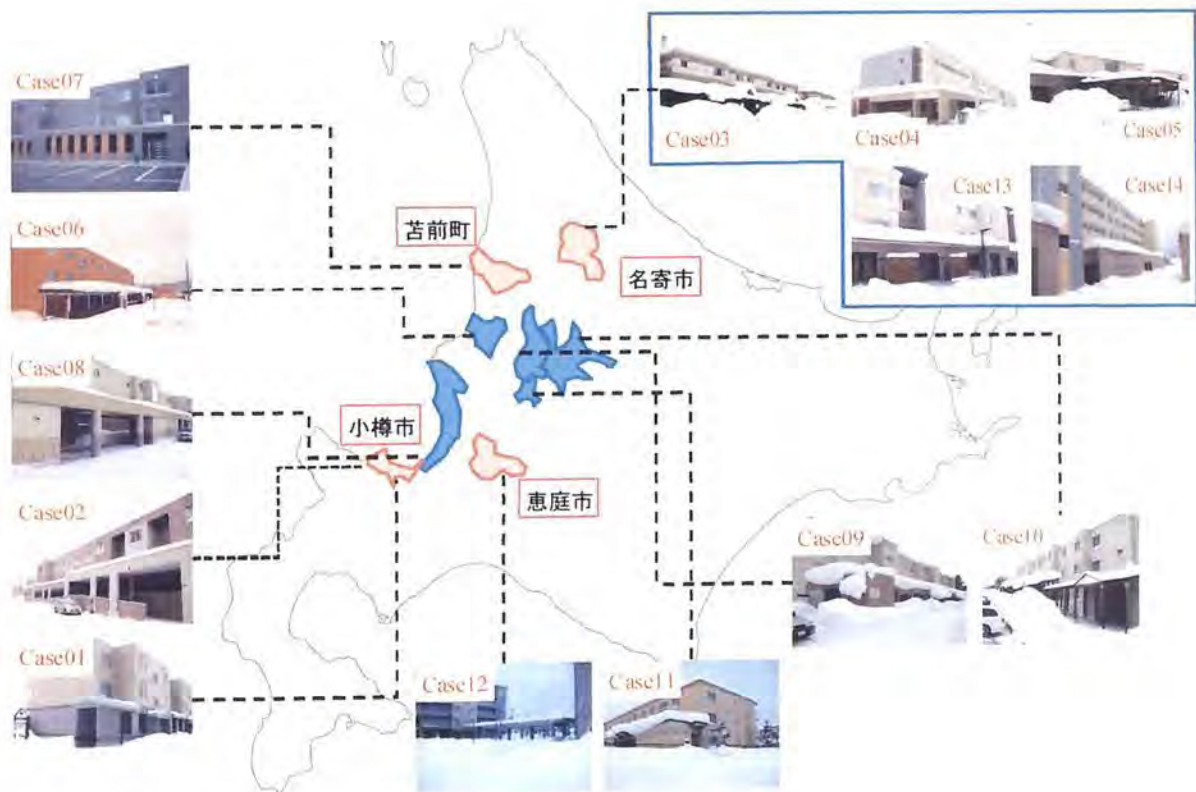


図 3-2-1 調査対象地域

表 3-2-1 調査対象一覧

調査 No.	所在地	粗度区分	建設年代/区分	雁木の形態	概要写真
Case01	石狩地方 札幌市	Ⅲ～Ⅳ 建築面積率 45.9%	1995/第Ⅱ期	住棟付属雁木 片側開放腰壁型	
Case02	後志地方 小樽市	Ⅲ 建築面積率 28.0%	1995～1997/第Ⅱ期	住棟付属雁木 片側開放腰壁型	
Case03	上川地方 名寄市	Ⅱ 建築面積率 7.5%	1989～1992/第Ⅱ期	住棟付属雁木 片側開放腰壁型	
Case04	上川地方 名寄市	Ⅱ 建築面積率 7.5%	1995～2000/第Ⅲ期	住棟付属雁木 片側開放腰壁型	
Case05	上川地方 名寄市	Ⅱ 建築面積率 7.5%	1995～2000/第Ⅲ期	住棟付属雁木 片側開放腰壁型	
Case06	留萌地方 留萌市	Ⅲ 建築面積率 12%	1997～1998/第Ⅲ期	住棟付属雁木 片側開放腰壁型	
Case07	留萌地方 苫前町	Ⅱ 建築面積率 4.2%	1999～1998/第Ⅲ期	住棟付属雁木 片側開放腰壁型	
Case08	石狩地方 石狩市	Ⅲ 建築面積率 14.3%	1997～1999/第Ⅲ期	住棟間雁木 両面開放型	
Case09	空知地方 深川市	Ⅱ 建築面積率 4.3%	1997～1998/第Ⅲ期	住棟間雁木 両面開放型	
Case10	上川地方 旭川市	Ⅲ 建築面積率 21.3%	1995/第Ⅱ期	住棟間雁木 両面開放型	
Case11	空知地方 赤平市	Ⅲ 建築面積率 12.6%	1995～1997/第Ⅲ期	住棟間雁木 片面開放型	
Case12	空知地方 美唄市	Ⅱ 建築面積率 8.2%	1996/第Ⅲ期	住棟間雁木 両面開放型	
Case13	上川地方 名寄市	Ⅱ 建築面積率 7.5%	1995～1996/第Ⅱ期	住棟間雁木 両面開放型	
Case14	上川地方 名寄市	Ⅱ 建築面積率 7.5%	1998～1999/第Ⅲ期	住棟間雁木 両面開放型	

表 3-2-2 雁木の形態分類³⁻⁶⁾





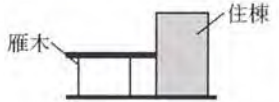
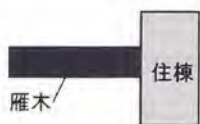
雁木の形態	概 要	概要図(断面図)	概要図(平面図)
住棟付属雁木	雁木を住棟と一体に設置		
住棟間雁木 (平行配置)	雁木を住棟と離して平行に設置		
住棟間雁木 (直交配置)	雁木を住棟と直交に設置		



写真 3-2-1 住棟付属雁木(旭川市)



写真 3-2-2 住棟間雁木-平行配置(札幌市)

3.2.2 吹雪障害の発生状況と発生要因

(1) 吹雪による雪の吹き込み

調査結果を表 3-2-3 に示す。住棟付属雁木の調査時における雁木の通路内への雪の吹き込み状況を見ると、平均風速の平年値が 2.0m/s を超える Case01, 02, 06, 07 で雪の吹き込みが見られるが、平均風速が 2.0m/s 以下の Case03～05 では、雁木周囲の積雪が多いものの、通路内への雪の吹き込みは殆ど見られなかった。Case02 と Case06 は、通路に対する主風向がほぼ同じであるが、腰壁の形状が違うため堆積の状況が異なっており、Case06 は腰壁の下部に開口があるため、この部分から風が通り抜ける状況が見られた。建築面積

率が最も低く、平均風速が高い地域に建つ Case07 は、雁木側面に腰壁が設置されているが、通路内へ大量に雪が吹き込む状況が見られた(写真 3-2-3)。

住棟間雁木については、平均風速が 2.0m/s を超えている Case08, 09, 12 で雪の吹き込みが見られた。特に、住棟と直交に設置され両面開放の Case12 は、周囲が広場のため吹雪が発生しやすく、通路上の積雪が非常に多い状況にあった(写真 3-2-4)。住棟間雁木-両面開放型で住棟と平行に雁木が設置されている建物では(Case08～11)、住棟と雁木の間に大量の雪が堆積する状況も見られた。

図 2-7 のアンケート調査結果と比較すると、Case03, 04, 05, 11, 13, 14 が建つ地域では雪の吹き込みが無いとの回答であり、現地調査と同様の結果である。1,2 月の平均風速が 2.0m/s 以上の地域では、雁木の側面に腰壁があっても通路内への雪の吹き込みが見られる。本調査では、雁木の通路への雪の吹き込みのほかに、雁木の屋根上の積雪により 2F 住戸の窓が埋まるなど、雁木の屋根雪による問題が見られ、雪下ろし等の対応を行っている例もあった(Case02, 05, 10)。また、住民の除雪作業などにより雁木の開口部前に大量の雪が堆積したことにより、通路内の積雪が少なくなった状況が見られた(Case03, 10, 13)。

(2) 地表面粗度の違いが雪の吹き込みに及ぼす影響

地表面粗度が雪の吹き込みに及ぼす影響については、粗度区分Ⅱ、Ⅲいずれの立地条件においても雪の吹き込みがみられたが、粗度区分Ⅲに該当する Case01, 02, 06, 08 では雪の吹き込みの量は比較的少ないものの、粗度区分Ⅱで建築面積率の低い Case07 は大量に雪が吹き込む状況が見られた。これは、建築面積率が低い地域では、吹雪の発達に必要な空地が多く吹走距離が確保されるため、吹雪が十分発達した状態になることから、大量の雪が通路内に吹き込むと考える。一方、建築面積率が高い粗度区分Ⅲ以上の地域では、吹雪の発達が十分では無いため、雪の吹き込む量は少ないものの、小規模な吹雪により通路内に雪が堆積すると考える。すなわち、建築面積率が低い粗度区分Ⅱ以下の地域では、一度に大量の雪が通路に吹き込む障害が起き、粗度区分Ⅲ以上の建物が密集する地域では、少量の雪が断続的に通路に吹き込む障害が発生する。

以上のように、雪の吹き込みに及ぼす地表面粗度の影響は、吹雪の発達度合や吹雪により運ばれる雪の量に見られる。地表面粗度は、吹雪の発達に関連する吹走距離のみならず、吹雪の性状に関連する「風の乱れ強さ」などにも係っている。本調査では、風の性状の変化による影響については、把握することは出来なかった。これらの課題については、次項において実験的検討を行い考察する。

表 3-2-3 調査結果一覧

調査 No.	気象状況	外 観	調査時の状況			所 見
Case01	気温-3.1℃ 風速 2.6m/s 積雪深 78cm					腰壁のスリットや開口からの吹き込みが見られる。腰壁の無い箇所、通路の交差点で吹き込み量が増加している。
Case02	気温-3.3℃ 風速 3.1m/s 積雪深 84cm					腰壁が設置されているが、雪の吹き込みが見られる。雁木屋根上の積雪により2階開口部が閉塞している。
Case03	気温-9.6℃ 風速 1.7m/s 積雪深 93cm					前面に大量の積雪があるが、通路内には殆ど積雪がない。雁木屋根の積雪により2階開口部が閉塞している。
Case04	気温-9.6℃ 風速 1.7m/s 積雪深 93cm					雁木通路内への雪の吹き込みは殆ど見られない。雁木屋根の堆雪により2階開口部の採光障害が発生している。
Case05	気温-9.6℃ 風速 1.7m/s 積雪深 93cm					雁木の前面に大量の積雪があるが、通路内には積雪が見られない。雁木の屋根の雪下ろしが実施されていた。
Case06	気温-4.5℃ 風速 5.7m/s 積雪深 36cm					風の強い地域であるため通路内への雪の吹き込みが見られるが、腰壁の効果により通路内の積雪は少ない。
Case07	気温-4.9℃ 風速 3.8m/s 積雪深 68cm					雁木の通路内に大量の雪の吹き込みがあり、通行に支障がある。吹きだまりも見られる。
Case08	気温-4.6℃ 風速 4.0m/s 積雪深 71cm					風が強い地域のため、通路への雪の吹き込みが多い。雁木と住棟間の積雪が多い。
Case09	気温-7.5℃ 風速 2.7m/s 積雪深 83cm					雁木周囲の積雪が多く、通路内にも堆積が見られる。雁木屋根に巨大な雪庇の発生がみられる。
Case10	気温-7.3℃ 風速 1.6m/s 積雪深 76cm					通路上の積雪は比較的少ない。雁木屋根上に大量の積雪があり、雪下ろし作業を実施していた。
Case11	気温-6.5℃ 風速 1.7m/s 積雪深 72cm					雁木と住棟間の堆雪が多いが、雁木の開口面積が少ないため、雪の吹き込みは少なく通路上の積雪は少ない。
Case12	気温-6.5℃ 風速 2.0m/s 積雪深 73cm					通路上の積雪が多く、通行に支障がある。通路側面から吹雪が通り抜けている状況が見られる。
Case13	気温-9.6℃ 風速 1.7m/s 積雪深 93cm					雁木両面の積雪が著しいが、通路上の積雪は比較的少ない。居住者の利用頻度が多い状況にあった。
Case14	気温-9.6℃ 風速 1.7m/s 積雪深 93cm					雁木両面の積雪が多く、堆積した雪が崩れ通路内へ流入する状況が見られた。利用頻度は比較的多い。



写真 3-2-3 Case07 における通路内への雪の吹き込み

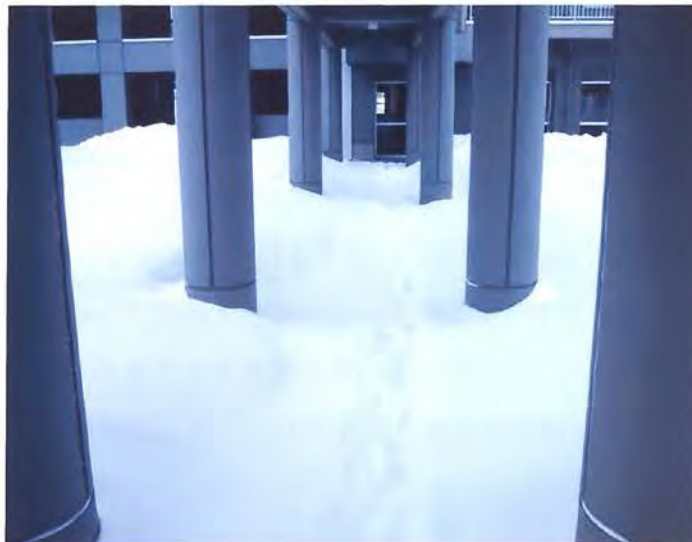


写真 3-2-4 Case12 における通路上の雪の堆積

3.3 気流の乱れ強さの変化が吹きだまり性状に及ぼす影響

3.3.1 はじめに

前項の現地調査では、地表面粗度の違いが「吹雪の発達」に影響していることが示唆された。本項では、地表面粗度と関連する「風の乱れ強さ」の変化が「吹きだまり」性状に及ぼす影響について吹雪風洞実験により検討を行う。

公営住宅の雪対策を検討する上で、建物周囲や通路内にどのように雪が堆積するかを把握することは、雪対策の有効性に直接的に関係することから極めて重要である。特に、吹雪が発生する地域では、「吹きだまり」により局所的に雪が堆積する問題が起きる。吹きだまりは北海道の公営住宅において安全性や快適性を左右する重要な検討事項である。

2 章における現状分析においても、吹雪に起因する雪の問題として約 4 割の市町村で「吹きだまり」による問題が起きているが、建物など障害物が少ない粗度区分Ⅱの地域のみならず、建物が比較的密集している粗度区分Ⅲの地域においても発生している。北海道の公営住宅整備は、市街地や田園地域など様々な立地条件が想定され、吹雪対策を検討する際、どのように地表面粗度の影響を考慮するかは明確ではない。これらの課題に対し、実建物を対象とした調査では、建物使用者による除雪の影響があり、詳しい知見を得ることは極めて困難である。

本項では、建築物を対象とした吹きだまりの問題に関して国内外で広く実施されている吹雪風洞実験により、「風の乱れ強さ」の変化が吹きだまり性状に及ぼす影響について実験的に検討する。吹雪風洞実験は任意の実験条件を設定できることや、系統的なデータの取得が可能であることから、本課題について有効な手法であると考ええる。

ここでは始めに、吹雪風洞実験に関する国内外の既往研究を概観し、相似性の問題や様々な実験上の課題について検討する。それらを踏まえ、実験気流の乱れ強さを変化させた吹雪風洞実験を行い、吹きだまり性状に及ぼす影響について調べる。本項で得られる知見は、北海道の公営住宅整備において吹雪対策を検討する際に有用な基礎的知見となる。

3.3.2 国内外で実施された吹雪風洞実験

(1) 国内外の実施状況

吹雪風洞実験は、吹雪によって発生する吹きだまりなどの諸障害の検討、吹雪の物理過程の解明などを目的として行われる粒子を用いた風洞実験である。吹雪風洞実験に関する

研究を実施した国内外の主な機関を表 3-3-1、表 3-3-2 に示す。これらの機関では、建物周囲の吹きだまりや屋根積雪、道路防雪、南極の建物の検討、吹雪に関する基礎研究などが行われている。

(2) 実験方法

表に示すように吹雪の風洞実験で用いられている雪粒子には様々な種類があり、実験で使用されている風洞の型式も多種多様である。実験で用いる粒子については、風洞装置が低温環境下にある場合は、野外から採取した雪や人工雪など実際の雪粒子を用いた実験が可能である^{例えは 3-8),3-11),3-15),3-22)}。風洞装置を常温で用いる場合や実際の雪粒子の準備が困難である場合は、種々の模擬雪粒子(活性白土、クルミ粉体、炭酸マグネシウム、ばんさいなど)が用いられる^{3-7),3-9),3-10),3-12)~3-14),3-16)~3-19)}。これらの粒子は、粒子径、密度など諸特性がそれぞれ異なる。このため、構造物の吹きだまりを対象とした風洞実験において、異種の模擬雪を同一の実験条件下で用いた場合、異なる吹きだまり性状を示す。このようなことから、縮小模型と模擬雪を用いた風洞実験では実現象との対応を考慮した実験条件の設定が極めて重要である。

粒子を供給する方法については、風上に設置した供給ノズルから供給する方法^{3-7),3-12),3-14)}、自然雪を床面のベルトコンベアに埋設し風路風上の回転ブラシにより粒子を供給する方法^{3-8),3-12)}、この他に、天井より粒子を落下させる方法や³⁻⁹⁾、あらかじめ対象とする模型上や風上側床面に粒子を散布し、気流のみを供給する方法がある^{3-16)~3-18)}。粒子を供給する方法については、対象とする現象が地吹雪による地表面付近の雪粒子の移動が主であるか、降雪を伴う吹雪による雪の堆積を対象とするかなど、実験目的と実現象を考慮して検討する必要があると考える。

(3) 検討対象

建物周囲の吹きだまりは積雪地における建築計画上、重要な検討課題である。苫米地³⁻⁷⁾は屋外実測結果と風洞実験結果を比較すると共に、建物の配置が吹きだまり性状におよぼす影響について検討した。Kwok³⁻²¹⁾、高橋・半貫³⁻²³⁾は南極の建物の吹きだまりについて検討している。

屋根上の雪の吹きだまりは建築物の損傷や倒壊の原因となることから、積雪荷重を適切に評価するための検討が行われている。遠藤・苫米地³⁻²⁴⁾は勾配屋根を対象に活性白土を用いた風洞実験を行い、桜井³⁻²⁵⁾は札幌市郊外の建物を対象に人工雪を用いて検討してい

る。また、建物の屋根が階段状になっている2段屋根建物では、屋根上に局所的な吹きだまりが発生することから、実測と共に吹雪風洞実験による数多くの実験的検討が行われている(例えば3-9),3-17)~3-19)。また、Dufresne・Delpech³⁻²²⁾は断面寸法7.0m×10mの低温風洞を用いて、人工雪と実物の1/10の大きさのモデルによる屋根積雪分布に関する実験を実施している。

建築物への雪の吹きこみに関する研究は、三橋³⁻¹⁰⁾が高層建物のベランダへの吹雪の吹き込みに関する検討を行っている。このように、吹雪風洞実験は建築物の吹雪を原因とする諸問題の検討において、多方面で活用されている状況にある。一方で、本項における検討課題である、「風の乱れ強さ」が吹きだまり性状に及ぼす影響についての検討は行われていない。

3.3.3 吹雪風洞実験の相似則

吹雪の風洞実験を行う際の主な相似条件については、国内外の研究者により以下の条件が挙げられている(例えば3-13),3-14),3-16)~3-21),3-26)。Ⅰ)幾何学的相似(模型の形状に関するもの)、Ⅱ)気流の相似(自然風と風洞気流の相似に関するもの)、Ⅲ)力学的相似(粒子の移動や運動に関するもの)、Ⅳ)粒子の性質の相似(粘着性など)、Ⅴ)時間の相似(降雪強度、吹雪継続時間など)。

Ⅰ)~Ⅱ)については一般的な気流条件と同様であるが、Ⅲ~Ⅴ)については、吹雪の風洞実験特有の相似条件が含まれる。模型実験において、全ての相似則を同時に満たすことは不可能であることから、実用的な観点に立てば、実験結果におよぼす影響が鋭敏である相似パラメータ、あるいは緩和可能な相似パラメータを明らかにするなど、種々の実験条件の変化が実験結果に与える影響について検討する必要がある。

老川³⁻²⁶⁾は既往の相似条件を整理すると共に、野外観測と同一のモデルを対象に異なる雪粒子を用いた風洞実験を行い相似則について検討した。その結果、建物近傍の積雪を対象とした風洞実験において、移動臨界摩擦速度比は雪面上の雪粒子が風的作用を受けて移動することに関わる重要な因子であること、安息角は風が止まった時の吹きだまり形状に関与すること、建物近傍では雪粒子の跳躍運動は2次的な輸送形態であり、フルード数の相似条件が緩和できること、粒子の応答時間と流れの特性時間のとの比であるストークスパラメータが相似条件として重要であると提案した。老川³⁻²⁶⁾により提案された相似パラメータを表3-3-3に示す。

表 3-3-1 吹雪風洞実験による研究を実施した主な機関(国内)

実施機関名 掲載文献名	使用した粒子 (安息角)	風洞装置概要 型式/断面寸法	粒子の供給方法
北海道工業大学 苫米地ら ³⁻⁷⁾	活性白土(48～51°)	回流型 0.8m×1.0m	ノズル
北見工業大学 坂本ら ³⁻⁸⁾	自然雪	吹出型 1.3m×1.3	回転ブラシ
東北工業大学 鈴谷ら ³⁻⁹⁾	ばん碎	吹出型 1.0m×1.0m	上部から落下 堆積
日本大学 三橋 ³⁻¹⁰⁾	活性白土(45～50°) 炭酸マグネシウム (40～70°)	吹出型 0.3m×0.3m	ノズル
独立行政法人防災科学技術研究所 佐藤ら ³⁻¹¹⁾	人工雪	回流型 1.0m×1.0m	上部から落下 回転ブラシ
北海道立北方建築総合研究所 堤ら ³⁻¹²⁾	活性白土(48～51°) クルミ粉体(46°) 自然雪	回流型 0.7m×1.5m 吹出型 1.8m×1.8m	ノズル 回転ブラシ
北海道開発局・防災・技術センター Anno ³⁻¹³⁾	活性白土(52°)	回流型 1.2m×1.2m	ノズル
清水建設(株) 老川ら ³⁻¹⁴⁾	活性白土(46°) クルミ粉体(46°)	回流型 0.4m×0.5m	ノズル
北海道大学 鳥田ら ³⁻¹⁵⁾	自然雪	回流型 1.0m×1.0m	床面から供給

表 3-3-2 吹雪風洞実験による研究を実施した主な機関(国外)

実施機関名 掲載文献名	雪粒子 (安息角)	風洞装置概要 型式/断面寸法	粒子の供給方法
Iowa State University(U.S.A) Iversen ³⁻¹⁶⁾	ガラスビーズ (39°)	吹出型 1.1m×1.1m	堆積
National Research Council(Canada) Taylor ³⁻¹⁷⁾	Sawdust	吸込型 0.9m×0.9m	堆積
The University of Western Ontario(Canada) Isyumov ³⁻¹⁸⁾	Bran Silica Sand	回流型 2.5 m×3.4m	堆積
Rensselaer Polytechnic Institute(U.S.A) O'Rourke ³⁻¹⁹⁾	Crushed Walnut	水槽 0.5m×1.2m	上流から流入
Carleton University(Canada) Kind ³⁻²⁰⁾	Polystyrene	回流型 0.9m×0.9m	堆積
The University of Sydney(Australia) Kwok ³⁻²¹⁾	重炭酸ナトリ ウム(90°)	回流型 0.9m×0.9m	上流から流入
Centre Scientifique et Technique du Batiment(France) Dufresne ³⁻²²⁾	人工雪	回流型 7.0m×10m	ノズル

表 3-3-3 吹雪風洞実験の相似パラメータ³⁻²⁶⁾

パラメータ		考慮の有無
移動臨界摩擦速度比	u_{*t}/U	○
安息角	Φ	○
フルード数	$(\rho_a U^2 / \rho_p g L)$	緩和
ストークスパラメータ	St	○
終末沈降速度比	$ w_t /U$	条件つき緩和

u_{*t} ：移動臨界摩擦速度(m/s), U ：代表風速(m/s)

Φ ：安息角($^{\circ}$), ρ ：流体の密度

g ：重力加速度, L ：代表長さ

$St = T_{res}/T_{flow}$ (T_{res} ：粒子の応答時間, T_{flow} ：流れの特性時間)

w_t ：終末沈降速度比

3.3.4 本研究で考慮する吹雪風洞実験の相似パラメータ

以上の研究動向を踏まえ、本項で実施する吹雪風洞実験では表 3-3-4 に示す相似条件を考慮することとする。本研究では構造物周囲の吹きだまり現象を対象としているため、1.幾何学的相似に関しては対象物を模した縮小モデルを用いる。2.気流の相似に関しては、対象地域に応じた乱流境界層を作成する。3.力学的相似に関しては、雪の吹きだまりなどの障害物近傍の積雪現象を対象としているため、フルード数の一致は緩和条件とするが、建物周囲への流れへの追従性に関するパラメータであるストークス数に関しては老川³⁻²⁶⁾に基づき相似条件として考慮する。4.粒子の性質を規定する移動臨界摩擦速度比および安息角については、低温環境下である北海道の雪質(乾雪)との相似を考慮し、ANNO³⁻¹³⁾、苦米地³⁻⁷⁾、老川³⁻²⁶⁾らが、北海道における構造物周囲の吹きだまりの野外観測と比較検討を行い良好な対応が得られている活性白土(平均粒子径 0.020, かさ密度 0.047, 移動臨界摩擦速度 0.16~0.20, 安息角 46°)³⁻²⁶⁾を使用することとする。

表 3-3-4 本研究における吹雪風洞実験で考慮する相似パラメータ

相似条件	相似パラメータ	対象物/現象	吹雪風洞実験
1.幾何学的相似	模型形状	構造物	縮小モデル
2.気流の相似	流入風	乱流境界層	乱流境界層
3.力学的相似	フルード数	障害物近傍の現象 (雪の吹きだまり)	緩 和
	ストークス数		考 慮
4.粒子の性質	移動臨界摩擦速度比	北海道の雪粒子 (低温環境下の幹雪)	考 慮
	安息角		

3.3.5 吹雪風洞実験方法と実験条件

(1) 検討概要

「気流の乱れ強さ」は速度変動の標準偏差(σ)を平均風速(U)で除した値で、風の変動を特徴づける係数であり、地表面粗度の状況に応じて変化する。建物などの障害物の少ない地域では、乱れ強さが小さく、建物が密集する市街地では乱れ強さが大きくなる。

気流性状が吹雪に及ぼす影響をみると、屋外観測や風洞実験によれば、吹雪による雪の移動や堆積には気流性状が大きく関わっており、気流のせん断応力、加速度の影響が報告されている^{3-29),3-30)}。吹きだまりを対象とした風洞実験における気流の影響については、流入風速および平均風速の鉛直分布の変化による影響が報告されているが^{3-13),3-18)}、風の変動を特徴づける係数である乱れの強さが吹きだまり性状に及ぼす影響については検討が行われていない。

構造物周囲にできる雪の吹きだまりは、構造物の風上側では地表面付近を移動する跳躍粒子が風速の減少により堆積して発達するとされ、その断面は規則的な成層構造になる。一方、風下側に出来る吹きだまりは、空中を漂う浮遊粒子が渦の中で堆積して発達するた

め、乱れた層構造をしている³⁻³¹⁾。気流の乱れ強さの変化の影響は、渦の作用を受ける風下側の吹きだまりに大きく現れると予想される。

構造物を対象とした風洞実験において吹きだまりの位置などを評価する場合、吹きだまりが最大となった平衡状態を対象とすることが多いが、居住者がいる公営住宅の場合、建物周囲の雪の吹きだまりが平衡状態に達することは通常少ない。防雪柵を対象とした野外観測によれば、吹きだまりが平衡状態に達する前の発達過程において、吹きだまりの形状や位置の変化が報告されている³⁻³²⁾。また、吹雪風洞実験に関する既往研究においても吹きだまりの初期の段階から発達している過程を評価することが、防雪に関する性能を検討する上で、有用であると指摘されている³⁻³³⁾。本項では、このような背景を踏まえ、模擬雪を用いた吹雪風洞実験における気流の乱れ強さの変化が、吹きだまりの位置や形状と発達過程に及ぼす影響について検討する。

(2) 模擬雪

模擬雪には、前項における検討を踏まえ活性白土を使用した(表 3-3-5)。模擬雪と自然雪との粒径比は 1/5～1/100 となる。Isyumov³⁻¹⁸⁾、Kwok³⁻²¹⁾は、模擬雪を用いて模型の縮尺率を変えた風洞実験を行い、模擬雪が模型の大きさより十分に小さい場合は、縮尺による影響は少ないとしている。粒子の堆積形状と粘着性に関する相似パラメータである安息角は、低温下の自然雪と近似した値である。

(3) 風洞装置

風洞実験には、北海道立北方建築総合研究所の粉体風洞装置を用いた。装置の外観を図 3-3-1 に示す。装置は回流型風洞で、測定部断面は幅 1.5m、高さ 0.7m、長さ 7m である。モデル設置位置の床面は塗装鋼板仕上げである。模擬雪粒子は風上側に設置した粉体供給ノズルから圧搾空気を用いて風洞内に供給する。オートフィーダにより毎分一定量の模擬雪を風洞内へ供給し、測定部上流に継続的に吹雪を発生させ、モデル周囲に模擬雪を堆積させる。風洞内に供給した模擬雪は風下側風路内にあるバグフィルターにより回収し、模擬雪が風路内を回流しない仕組みになっている。

表 3-3-5 模擬雪の特性

項 目	自然雪 ^{3-34)~3-37)}	活性白土 ³⁻²⁶⁾
平均粒子径 d(mm)	0.04~0.11mm ³⁻³⁴⁾ 1~4mm ³⁻³⁷⁾	0.020
かさ密度(g/c m ³)	0.08~0.23	0.47
移動臨界摩擦速度 $u^*(m/s)$	0.2~0.33	0.16~0.20
安息角(度)	42~50	46

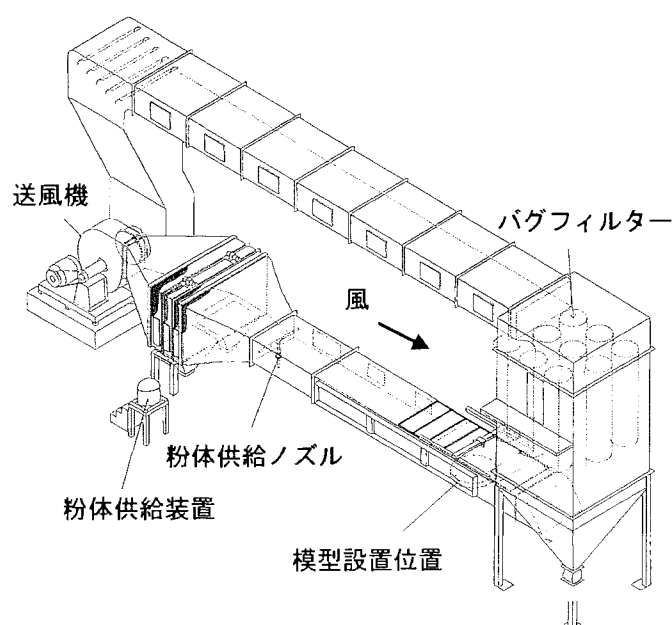


図 3-3-1 粉体風洞装置

(4) 実験モデル

実験では、気流条件の変化による影響の把握を容易にするため、吹きだまりの原因となる吹雪現象が恒常的に見られる北海道の平坦な雪原に設置された2次元フェンスを想定して検討を行った。風の乱れは周辺環境の影響を受けることから、周辺環境の異なる地域において野外観測が行われている吹きだめ柵と呼称されるフェンスを実験モデルとした(図 3-3-2)。吹きだめ柵は主に道路防雪などに用いられ、柵下部の隙間に風が収束することにより、柵近傍の雪が吹き払われ、フェンスの風上と風下側に雪丘と呼ばれる顕著な吹きだまりが形成される^{3-13), 3-32), 3-38)}。

比較対象とした野外観測は、竹内ら³⁻³²⁾による周囲に障害物が全く無く、風の乱れが小

さい石狩市郊外の平らな雪原で行われた観測と、土谷ら³⁻³⁸⁾による札幌市郊外の戸建て住宅に囲まれた比較的風の乱れが大きい平坦な学校のグラウンドで行った観測である(写真 3-3-1)。「建築物荷重指針」による地表面粗度区分では、前者が粗度区分Ⅰ～Ⅱ、後者が粗度区分Ⅱ～Ⅲに相当し、各粗度区分の地表面からの高さ 10m における風の乱れ強さは、粗度区分Ⅰが 16%、粗度区分Ⅱが 20%、粗度区分Ⅲが 26%である³⁻³⁹⁾。

実験で用いた模型の高さ(H)は 3.0cm、下部間隙(d)は 0.5cm(H/6)、幅 60cm で、模型縮尺は竹内ら(1984)の 1/114(H=3.41m)、1/146(H=4.37m)、土谷ら(2002)の 1/100(H=3.0m)である。

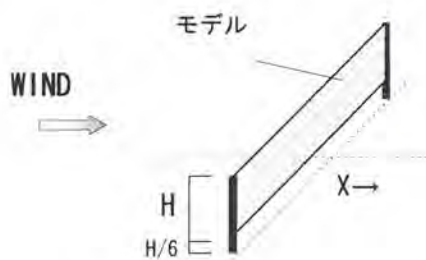


図 3-3-2 検討モデル



写真 3-3-1 フェンス³⁻³⁸⁾

(5) 実験気流

実験気流については、平均風速の鉛直分布の変化の影響を除くため、平均風速の鉛直分布がほぼ同じで乱れ強さが異なる 2 種類の実験気流を作成した(図 3-3-3, 3-3-4)。気流の作成にはスパイヤーとソーを用いた。風洞内の気流は I 型熱線風速計を用いて流れ方向の風速成分を計測した。平均風速の鉛直分布については、対象とするモデルの高さが小さく、設置場所が平坦で一様な雪原であり、地表面付近での雪の移動による吹きだまりを検討の対象としていることから、粗度長(Z_0)とモデルの高さ(H)の比(H/Z_0 : Jensen 数)³⁻⁴⁰⁾が野外と風洞で同様となるように設定した。北海道の厳寒期に行われた観測結果を参考にすると、北海道の野外の平らな雪面における吹雪時の粗度長は $Z_0=0.1\sim0.25\text{cm}$ の範囲にある³⁻²⁷⁾。図 3-3-3 から求めた風洞の粗度長は $Z_0=0.02\text{mm}$ で、風速分布の相似パラメータ H/Z_0 の値は、野外($H/Z_0=1200\sim4370$)と風洞($H/Z_0=1500$)において概ね対応が取れている。

気流の乱れ強さについては、風洞床面からの各高さにおける平均風速(U_z)で、その高さの速度変動の標準偏差(σ_z)を除して、各高さの乱れ強さ($I_z=\sigma_z/U_z$)を求めた。実験では、乱れ強さが低い実験気流を気流Ⅰ、乱れ強さが高い実験気流を気流Ⅱとした。モデル高さ

(H)における乱れ強さ(I_H)は気流Ⅰが 9.6%，気流Ⅱが 20.0%で，地表面からの高さ 10m に相当する高さの乱れ強さは気流Ⅰが 7%，気流Ⅱが 19.4%である(図 3-3-4)。

気流Ⅰおよび気流Ⅱの乱れ強さは前述の地表面粗度区分に対応する乱れ強さと比して小さめの値である。これは，モデル風上側にラフネスブロックを設置するとブロック周囲に吹きだまりが生じて，気流が変化する恐れがあるため，粉体供給ノズルの風下側にラフネスブロックを設置していないことによる。このように模擬雪を用いた風洞実験では高い乱れ強さを持つ気流を作成するには制約が多い。

実験風速は，活性白土の移動臨界摩擦速度($u^*_t=0.16\sim0.2$)を考慮し，モデル高さの平均風速(U_H)を $U_H=3.0\text{m/s}$ ， 4.0m/s ， 5.0m/s の 3 段階とした。この場合の摩擦速度は式(3-1)，(3-2)から，それぞれ 0.16，0.22，0.27 である。

$$U(z) = \frac{u^*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} \quad (3-1) \quad u^* = 0.0547U_H \quad (3-2)$$

u^* ：摩擦速度， κ ：カルマン定数(0.4)， z ：高さ， z_0 ：粗度長

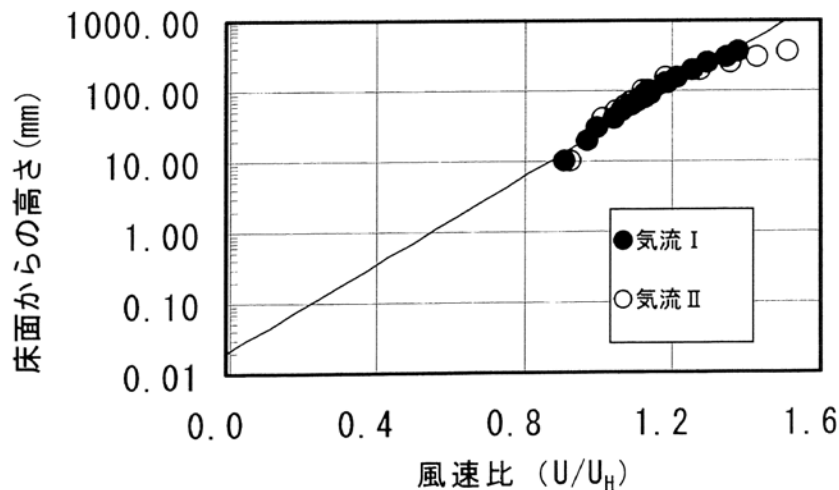
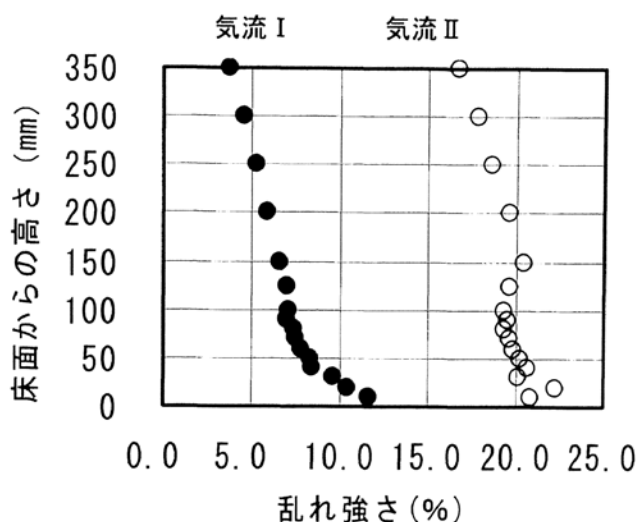


図 3-3-3 風洞内の風速の鉛直分布

図 3-3-4 実験気流の乱れ強さ(I_H)の鉛直分布

(6) 実験方法

実験概要を図 3-3-5 に示す。測定部床面に実験モデルを設置し、一定風速の風が流れている風洞内に供給ノズルから模擬雪を供給した。実験風向はモデル長辺に対して直交方向とした。模擬雪の供給後、模擬雪の堆積深をトラバース装置に取り付けたレーザ変位計(キーエンス社製 LK2500)を用いて 0.1mm 単位で計測した。堆積深はモデル中央断面を流れ方向に沿って、風上側にモデル高さの 4 倍(4H)、風下側に 5 倍(5H)の長さを 1/15H 間隔で計測した。

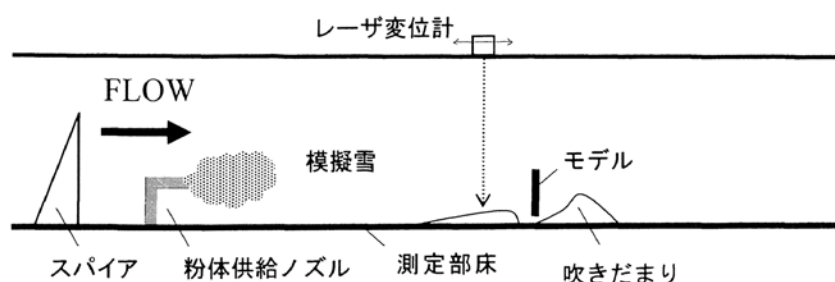


図 3-3-5 実験概要図

(7) 実験条件

模擬雪の供給量と供給時間に関わる野外と風洞の吹雪量や時間スケールの相似については、本研究で対象地域とした野外観測において、吹雪の継続時間や吹雪量の測定が行

われていないこと、本研究の目的が模擬雪を用いた風洞実験における気流の乱れ強さの変化の影響を把握することに主眼を置いていることなどから、ここでは吹雪の量と時間に関する相似パラメータについては特に考慮していない。本実験では、活性白土を用いてフェンスを対象に行われた既往の風洞実験結果³⁻²⁹⁾を参考に、毎分 1.0ℓ の模擬雪を 30 分間供給した。毎分 1.0ℓ の模擬雪の供給は、活性白土のかさ密度が $0.47\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ であるので、単位時間、単位風洞幅あたりの供給量に換算すると $5.22\text{g} \cdot \text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$ である。 $U_H=5.0\text{m/s}$ の条件では、吹きだまりの発達過程と平衡状態における状況を調べるため合計 180 分間の供給を行った。実験条件の一覧を表 3-3-6 に示す。

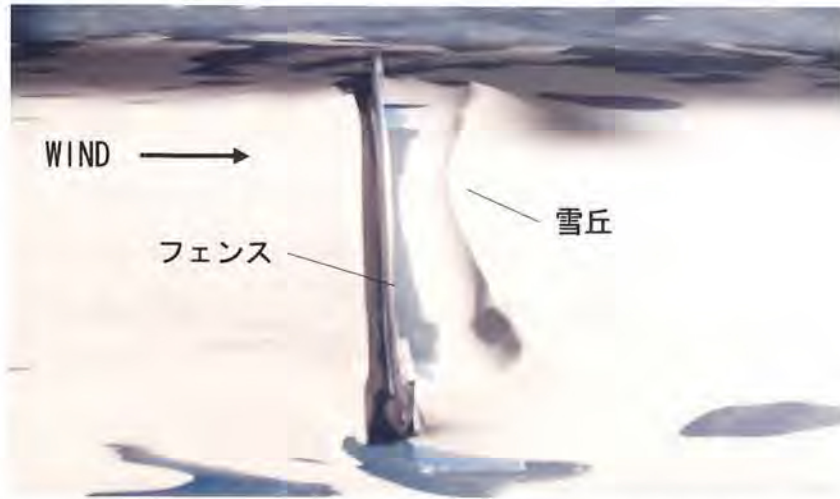
表 3-3-6 実験条件一覧 (H：モデル高さ)

気流条件(乱れ強さ)	風速(m/s)	供給量(ℓ/分)	供給時間(分)
気流 I ($I_H=9.6\%$)	$U_H=3.0$	1.0	30
	$U_H=4.0$	1.0	30
	$U_H=5.0$	1.0	180(30×6)
気流 II ($I_H=20.0\%$)	$U_H=3.0$	1.0	30
	$U_H=4.0$	1.0	30
	$U_H=5.0$	1.0	180(30×6)

3.3.6 気流の乱れ強さが吹きだまり性状に及ぼす影響

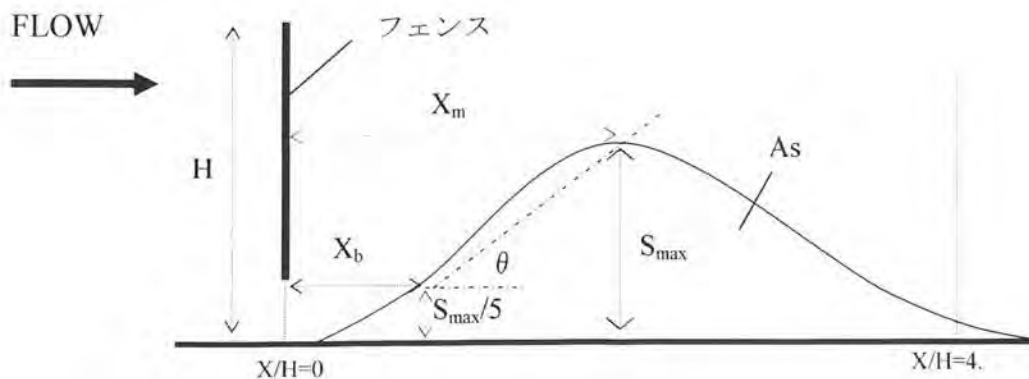
(1) 堆積状況

堆積状況の例を写真 3-3-2 に示す。フェンスの風上・風下には雪丘とよばれる顕著な吹きだまりが見られる。また、フェンス近傍では雪の吹き払いが見られる。これらの状況は、同一形態のフェンスを対象とした野外観測や風洞実験の傾向と一致している^{3-13),3-32),3-38)}。野外観測では同一形態のフェンスであっても、観測地の違いにより、風上・風下の雪丘の大きさや雪丘の頂点位置が異なる。これは、自然条件下で形成された雪の吹きだまりは、降雪の状況や風向・風速の変化などの気象条件と雪質の影響を受けているためである。一方、風洞実験は一定の条件下により堆積した結果であることから、どの地点のどの時期における観測値と比較するかなど、野外観測との厳密な対応については検討が必要である。

写真 3-3-2 堆積状況の例(気流 I, $U_H=5.0\text{m/s}$)

(2) 吹きだまりの比較パラメータ

実験結果については、フェンス風下側にできる渦の作用を受け、乱れ強さの変化の影響が大きいと予想されるフェンス風下側に形成された吹きだまりについて、比較を行い検討する。フェンス風下側の吹きだまりの特徴を表すパラメータについて、ANNO³⁻¹³⁾、佐藤³⁻³³⁾の検討結果を参考に、図 3-3-6 のように定義し、モデル高さ H で無次元化して整理し比較した。モデル位置を原点($X/H=0$)とし、モデル風下の吹きだまりの最大高さ S_{\max} までの距離を吹きだまりピーク位置 X_m とした。また、 S_{\max} の $1/5$ 以下となる範囲を吹き払い長さ X_b とした。吹きだまりの形状を比較するためのパラメータとして、 X_m と X_b を結ぶ直線が風洞床面となす角度を頂点角度 θ とした。また、フェンス風下側の吹きだまりの堆積量を表すパラメータとしてモデル風下 $4H$ の範囲($X/H=0\sim 4.0$)に形成された吹きだまりの流れ方向の断面積を吹きだまり断面積 A_s とした。

図 3-3-6 吹きだまりの比較パラメータ ^{3-13),3-33)}

(3) 乱れ強さの変化が比較パラメータに及ぼす影響

図 3-3-7 に気流 I, II の模擬雪供給 30 分後における吹きだまりの比較パラメータの値を示す。図は横軸を式(3-1), (3-2)から求めた摩擦速度, 縦軸を各パラメータの値としている。吹きだまりピーク位置(X_m)および吹き払い長さ(X_b)の変化を見ると, 摩擦速度 u^* が移動臨界摩擦速度($u^*_t=0.16\sim0.2$)を下回る場合, 気流の違いによる影響は見られないが, u^* が u^*_t を上回ると大きく異なる値となり, 乱れ強さの大きい気流 II の方が X_m および X_b の値が大きくなる。

吹きだめ柵周囲の風の流れを模式的に表すと図 3-3-8 のようになり³⁻³⁸⁾, ピーク位置はフェンスの下部間隙からの流れとフェンス風下側の渦領域に発生した逆流の合流点付近に形成されることから, 気流の乱れ強さの変化により下部間隙からの流れとフェンス風下側の逆流の位置が変化したため, X_m および X_b の位置が変化したと考える。

吹きだまりの形状を示す θ については, 気流 I では摩擦速度の上昇に伴い θ が減少し, 吹きだまりの形状が緩やかになる傾向があるが, 気流 II では摩擦速度の上昇に伴い θ が増加し, 吹きだまりの形状が鋭角になる傾向にある。 u^* が u^*_t を大きく上回った場合, 乱れ強さの変化により吹きだまりの形状が大きく異なるが, 移動臨界摩擦速度付近では, 気流の違いによる影響は少なく, ほぼ同じ値となった。吹きだまり断面積 A_s についても, θ と同様の傾向を示し, u^* と u^*_t がほぼ同じ場合, 気流の違いによる影響は見られないが, u^* が u^*_t を大きく上回った場合, 乱れ強さの大きい気流 II は A_s が大きく増加する。

防雪柵の風下にできる吹きだまりは, 風により巻き上げられ浮遊した粒子が堆積し形成される³⁻³¹⁾。 u^* が大きいほど吹雪が発達し, 乱流渦が強いほど巻き上げられる粒子は多くなることから, 乱れ強さが大きくなると浮遊粒子が増加し, 風下側の堆積が増えると考えられる。

以上から, 吹きだまりの位置に関するパラメータである X_m と X_b は, 摩擦速度 u^* が移動臨界摩擦速度 u^*_t を上回ると乱れ強さの影響が表れるが, 吹きだまりの形状や量に関するパラメータの θ , A_s については, u^* がある程度大きくならないと乱れ強さ変化の影響は表れないことがわかる。

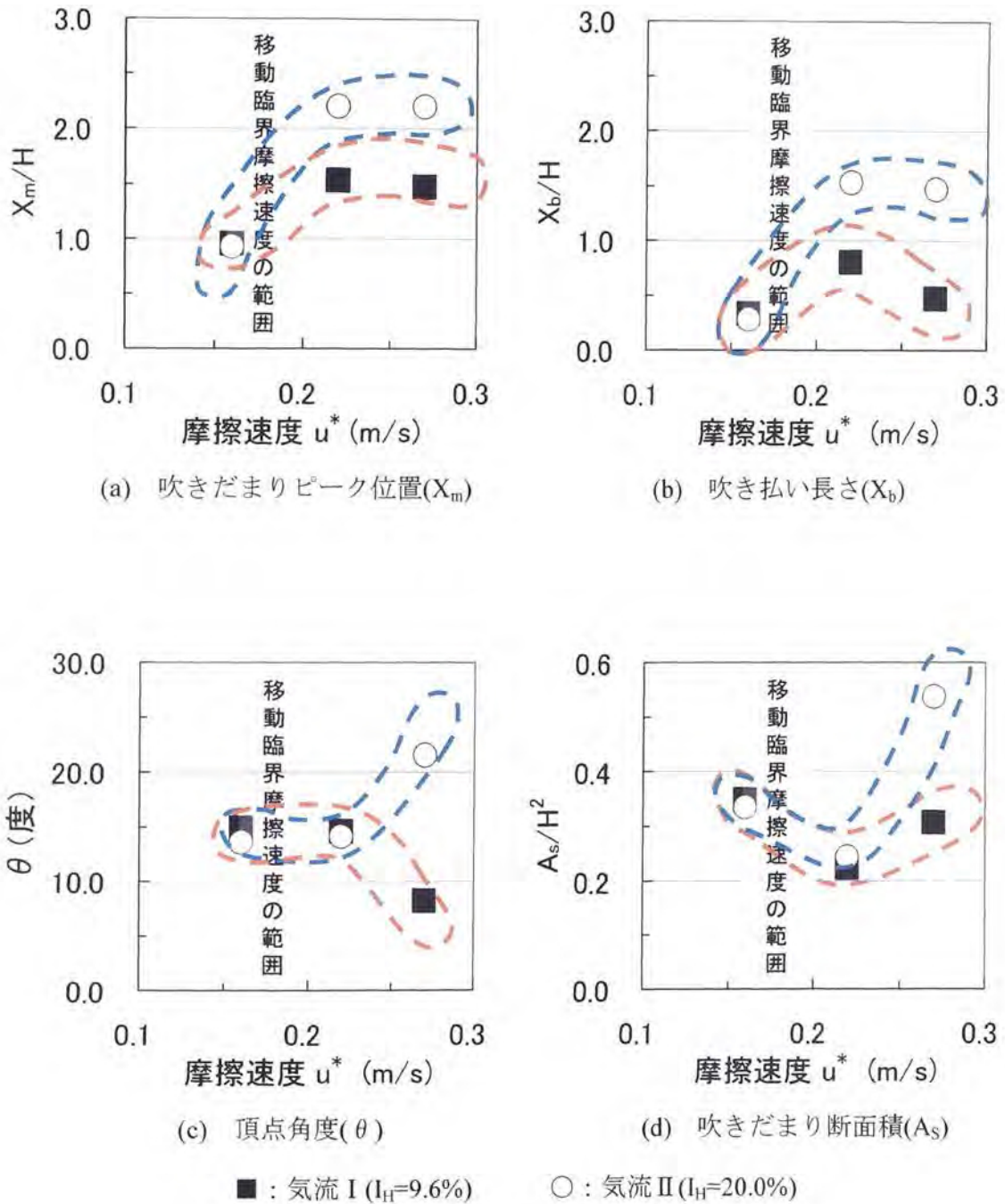
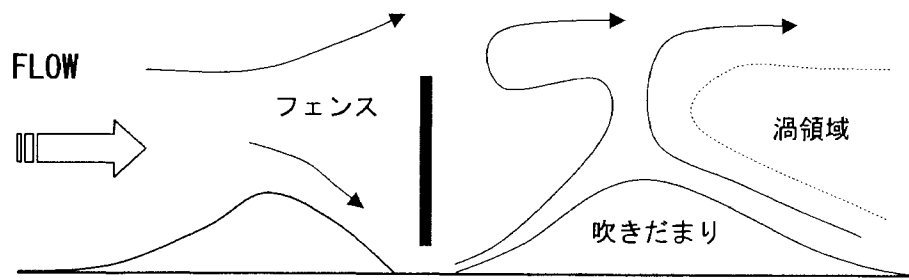


図 3-3-7 乱れ強さの変化が各比較パラメータに及ぼす影響

図 3-3-8 吹きだめ柵周囲の風の流れの模式図 ³⁻³⁸⁾

(4) 乱れ強さの変化が発達過程に及ぼす影響

図 3-3-9 に風洞実験における乱れ強さの変化が吹きだまりの発達過程に及ぼす影響について、 $U_H=5.0\text{m/s}$ における比較パラメータの時間変化を示す。図の横軸は経過時間、縦軸は比較パラメータの値である。吹きだまりのピーク位置(X_m)については、気流Ⅰと気流Ⅱは似た変化を示しているが、気流Ⅰは吹きだまりのピークがフェンス側に近づく傾向にある。吹き払い長さ(X_b)は、気流Ⅰが時間の経過と共に大きくなる傾向にあるが、気流Ⅱは逆に小さくなる傾向にある。

吹きだまりの形状を示す頂点角度(θ)の変化を見ると、気流Ⅰは初期の段階では吹きだまりの形状が緩やかであったが、時間の経過と共に θ の値が増加し、緩やかな形状から鋭角な形状に変化している。一方、気流Ⅱは θ が時間の経過と共に少しずつ増加する傾向にあるものの、大きな変化は見られない。吹きだまり断面積(A_s)については、初期の段階では気流の違いにより A_s の値に差が見られるが、時間の経過と共に A_s の値の差が小さくなり、吹きだまりが平衡状態に近づくとはほぼ同じ値となった。

吹きだまりの発達過程において、吹きだまりの位置に関するパラメータであるピーク位置(X_m)の変化におよぼす乱れ強さの違いによる影響は少ないが、吹きだまりの形状に関するパラメータである頂点角度(θ)については、乱れ強さの違いにより大きく異なる。吹きだまりの量については、平衡状態に近づくにつれ、乱れ強さの違いによる差が小さくなる状況が見られた。

(5) 風洞実験結果と野外観測結果との比較

地表面粗度の状況が異なる地域での野外観測における吹きだまりのピーク位置(X_m)および頂点角度(θ)の推移を図 3-3-10 に示す。竹内 ³⁻³²⁾は、地表面粗度区分Ⅰ～Ⅱに相当する

周囲に障害物が無い郊外の雪原において観測された、高さの異なる試験体($H=3.41\text{m}$, 4.37m)による1冬期間の観測値で、土谷³⁻³⁸⁾は地表面粗度区分Ⅱ～Ⅲに相当する戸建住宅に囲まれた学校のグラウンドにおいて観測された同一試験体($H=3.0\text{m}$)の4冬期間の観測値である。観測実施期間における、吹きだまりの初期段階の値と吹きだまりが平衡状態になる直前の値について、経過日数を横軸に取り図示した。横軸の原点は各観測年の12月10日である、竹内の観測初期の段階から平衡状態時までの経過日数は56日、土谷(2002)の経過日数は48～69日である。

図3-3-10(a)から、二つの野外観測における吹きだまりのピーク位置(X_m)を見ると、観測初期の段階においては $X_m/H=1.0\sim 1.8$ の範囲にあるが、吹きだまりが平衡状態になると $X_m/H=1.0\sim 1.5$ の範囲となり、両者の差が小さくなった。図3-3-7(a)の風洞実験結果と比較すると、ピーク位置(X_m)については、摩擦速度が模擬雪の移動臨界摩擦速度を上回った場合に、乱れ強さが小さい気流Ⅰと竹内が近似している。

頂点角度(θ)については、野外観測値のばらつきが大きいため、明確な対応は見られない。吹きだまりのピーク位置(X_m)の推移を見ると、竹内(1984)の観測値は、 X_m が時間の経過と共に小さくなっている。土谷の観測値についても観測年によって異なる値であるが、時間の経過と共に X_m が小さくなる傾向にある。図3-3-9(a)の風洞実験結果と比較すると乱れの小さい気流Ⅰが野外観測と概ね似た傾向にあるが、時間経過によるピーク位置の変化量は野外観測の方が大きい。図3-3-10(b)の頂点角度(θ)については、いずれの野外観測においても、時間の経過と共に θ の値が増加し、吹きだまりの形状が鋭角になる傾向にある。図3-3-9(c)の風洞実験結果と比較すると、気流Ⅰが野外観測と似た傾向を示しているが、乱れの大きい気流Ⅱは異なる傾向にある。

風洞実験と野外観測との対応については、風の乱れが低い条件の場合、風洞実験と野外観測は似た傾向を示すが、風の乱れ強さが大きい条件の場合は、風洞実験と野外観測は異なる傾向を示した。これらの傾向の違いは、周囲に障害物が無い雪原など風の乱れ強さが小さい場所では、風向・風速が安定した条件のため、風洞実験と野外観測が比較的良好な対応を示すと考える。一方、周囲に建物があるなど風の乱れが強い場所を対象とした場合、野外での吹きだまりは風向・風速の変動の影響を受けているが³⁻³⁸⁾、風洞実験では一定の条件下により堆積しているためと考える。また、自然条件下で形成された吹きだまりは、時間の経過により、降雪の状況、日照や気温など気象条件の変化の影響を受け、雪の圧密や融雪により積雪そのものが変形することから、これらの要因も影響していると考えられる。一降雪における吹きだまりの検討など、短時間の事象を対象とした検討では、気象変化の

影響が少ないものの、長期間の気象履歴を受けた観測値と風洞実験結果との比較については、時間スケールの相似とともに気象条件の変化を考慮した検討が必要である。

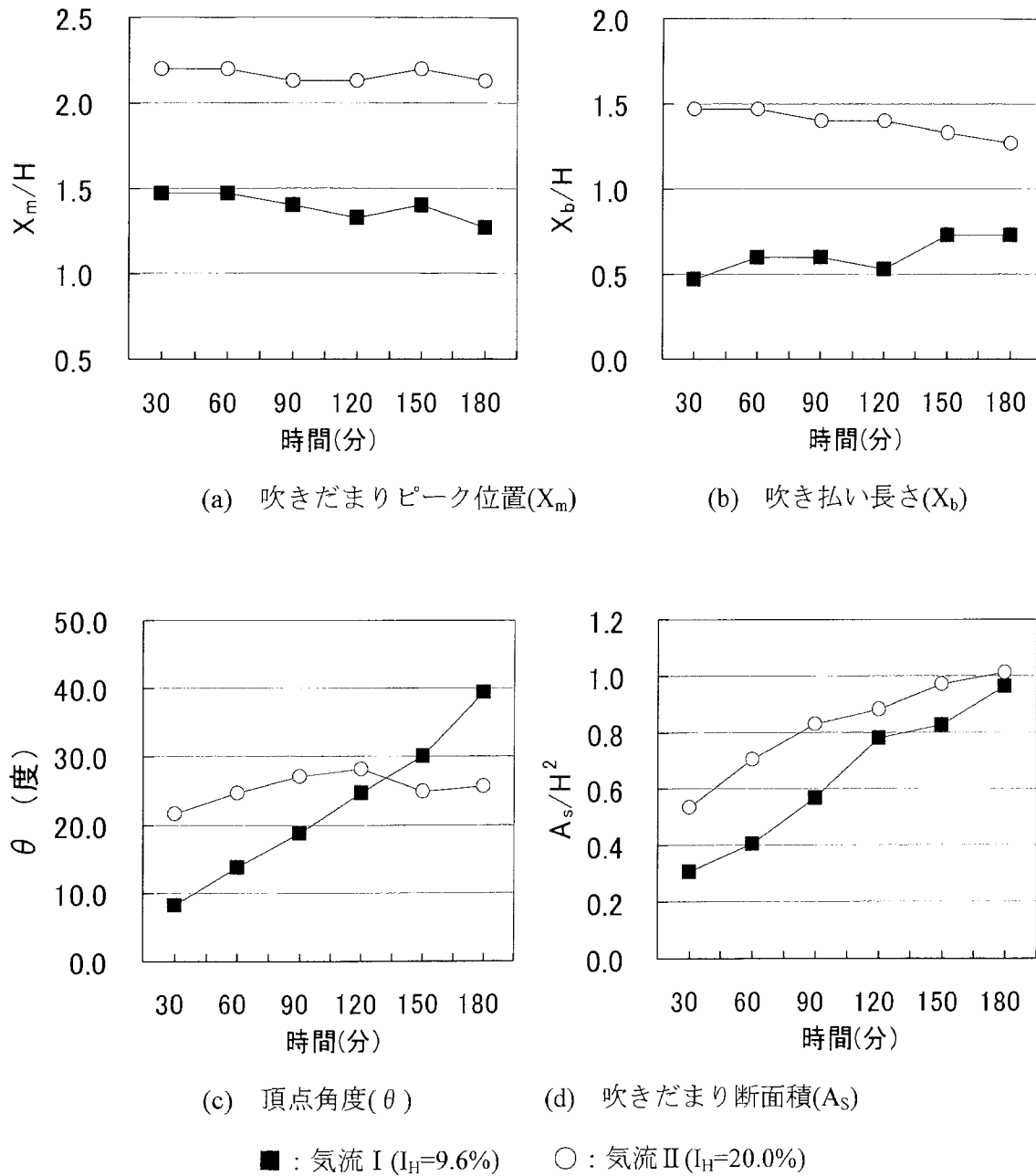
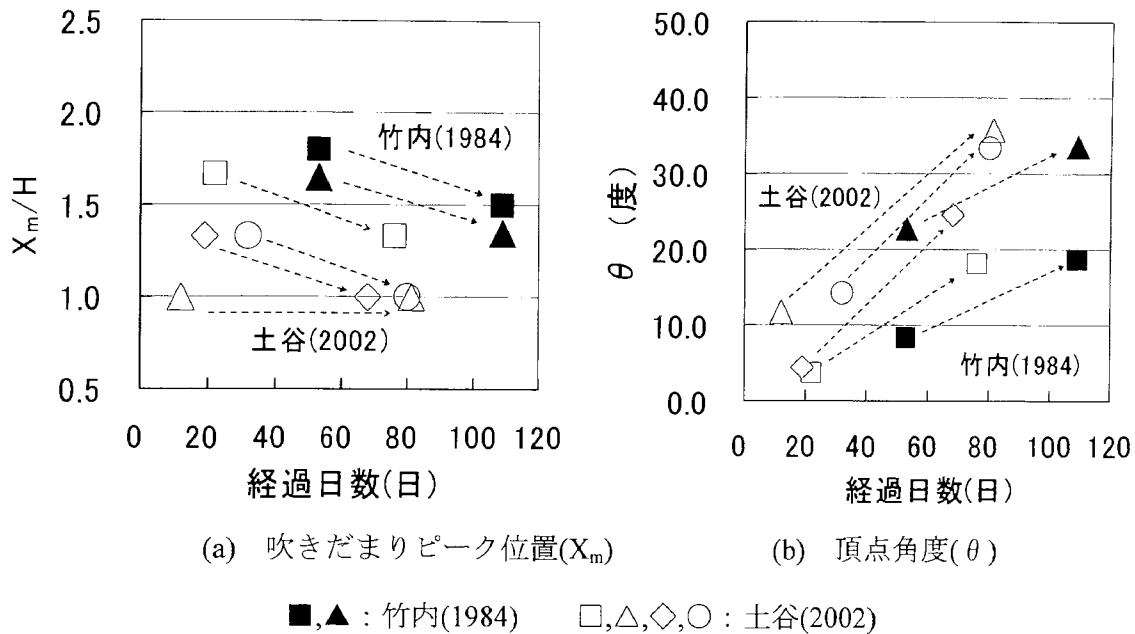


図 3-3-9 比較パラメータの経時変化($U_H=5.0\text{m/s}$)

図 3-3-10 野外観測におけるピーク位置および頂点角度の推移^{3-32), 3-38)}

(6) 本項のまとめ

本項で行った実験で明らかになった知見を以下に示す。実験では、気流の乱れ強さの変化により、吹きだまりの形状や量が変化した。本項では、吹雪が発生しやすい地表面粗度区分Ⅰ～Ⅲを想定した実験を行ったが、風の乱れ強さがより高い地表面粗度区分Ⅳ以上を想定した検討も今後の課題である。

1. 気流の乱れ強さの変化の影響は、粒子の摩擦速度 u^* が移動臨界摩擦速度 u^{*t} を上回ると、吹きだまりの位置を表すパラメータである吹きだまりのピーク位置と吹き払い長さが変化する。また、 u^* がより大きくなると吹きだまりの形状と量が変化する。
2. 実験では、フェンス風下側の吹きだまりのピーク位置は、気流の乱れ強さが大きくなることにより、風下側へ移動し、吹き払われる範囲が広がった。
3. 吹きだまりが発達する過程における、気流の乱れ強さの変化の影響は吹きだまりの形状変化に対して見られた。乱れ強さが小さい場合、吹きだまりの発達とともに鋭角な形状に変化した。

3.4 北海道の公営住宅整備における吹雪対策に関する検討手法の提案

本章では、北海道の公営住宅における吹雪障害の実態を把握し、地表面粗度および気流の乱れ強さの変化の影響が吹きだまり性状に及ぼす影響について検討した。本項では、これまでの検討を踏まえ、北海道の公営住宅整備における吹雪対策の考え方について提案を行う。

3.4.1 吹雪対策の検討において考慮すべき風の性質

(1) 吹雪による雪問題と風の階層構造

ここでは吹雪による雪問題に及ぼす風の影響について考察する。一般に風の性質は、時間的・空間的範囲などを尺度とした「スケール」により分類することができる。気象学分野では一般に、対象とする風の現象を規模の小さいほうから「マイクロスケール(境界層内の流れ、数キロ以内)」、「メソスケール(気象現象、2000km 以内)」、「マクロスケール(長長波など、2000km 以上のスケール)」と分類している^{3-41),3-42)}。公営住宅でおきる吹雪の問題は、「マイクロスケール(境界層内の流れ、数キロ以内)」で起きる現象であるが、気象学の分類では空間的範囲が広く、公営住宅で発生する吹雪の問題への適用は困難である。このため本研究では、建築環境分野における空間スケールの階層構造を参考に図 3-4-1 のように分類する³⁻⁴³⁾。すなわち最も大きい「都市・地域スケールの風(10~100km)」から「市街地スケールの風(~1km)」、「建物スケールの風(30~50m)」、「通路スケールの風(3~10m)」と分類する。

「都市・地域スケールの風」は、内陸部や沿岸部における風の性質など、各地域における風の強さや卓越風向などに関する風の性質である。「市街地スケールの風」は、市街地と田園地帯における風の性質の違いなど、一般に地表面粗度により区分され、これらは、風の乱れの特性に影響を与える。「建物スケールの風」は公営住宅の配置や形状に影響を受ける風の性質であり、建物周囲の積雪分布に影響を及ぼす。「通路スケールの風」は雁木の形状などに影響を受ける風の性質で、通路内の積雪の状況と関連する。

図 3-4-1 に示される各スケールで起きる現象は相互に関連する。例えば、雁木の通路に雪が吹き込む現象は、「都市・地域スケールの風」によって起こされた吹雪が、「市街地スケールの風」の段階で発達度合や風の乱れの影響を受け、「建物スケールの風」において雁木の通路へ雪が吹きこむ方向に変換され、「通路スケールの風」になると雁木の腰壁などの形状の影響を受け、最終的に通路内に雪が堆積する。

北海道の公営住宅の吹雪による雪問題は、風によって輸送された雪が堆積することにより生じる問題であり、各スケールにおける風の性質の違いは、雪の輸送と堆積に大きく影響するため、公営住宅における吹雪対策の検討においては、これら4つの階層に属する風の性質を考慮する必要があると考える。

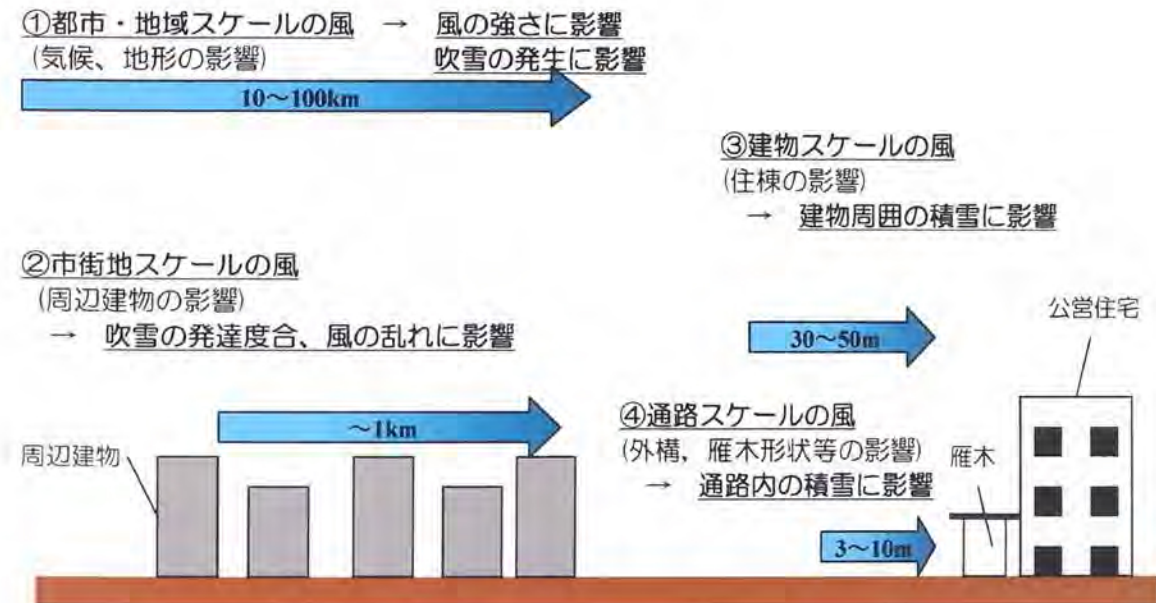


図 3-4-1 北海道の公営住宅の吹雪対策を考える上で考慮すべき風の階層構造³⁻⁴³⁾

(2) 風の階層構造を考慮した吹雪対策

ここでは北海道の公営住宅整備における吹雪対策を検討する際に、風の階層構造を具体的にどのように考慮するのかについて述べる。

1) 都市・地域スケールの風

第2章における現状分析および本章における現地調査によれば、平均風速が2m/sを超える地域において雪の吹き込みによる問題が多く発生している。このことは、気候や地形の影響による風の強さが吹雪による問題発生に関係していることを示している。つまり、風速が強いほど、雪粒子を運ぶ風の力(雪粒子輸送力)が大きいため、吹雪が起きやすくなる³⁻²⁸⁾。「都市・地域スケールの風」は、沿岸部と内陸部の風の性質の違いのような、地域の風の強さを決める要因である。「都市・地域スケールの風」は大気現象による雪の輸送に関わる風の性質であり、人為的に制御するのは不可能であることから、北海道の公営住

宅整備における吹雪対策では、吹雪による問題発生の判別に用いるのが有用であると考えられる。すなわち、吹雪による問題発生のリスク評価において、公営住宅の立地場所の「都市・地域スケールの風」を考慮することにより、吹雪対策を実施するか否かの判断が可能になると考える。



図 3-4-2 都市・地域スケールの風

2) 市街地スケールの風

「市街地スケールの風」は、「都市・地域スケールの風」が地上にある建物などの障害物の影響により性質が変化した風である。建物が少ない地域では、地上付近の摩擦が小さいため地上付近の風速の減衰が少なく、風の乱れと風向の変動も小さい。一方、建物が密集している地域では風速が減衰され、風の乱れと風向の変動が大きい。このような風の性質に影響を及ぼす地表面の粗さの違いは、風工学分野において地表面粗度として区分されている(本章 3.1, 写真 3-1-3, 3-1-4)。

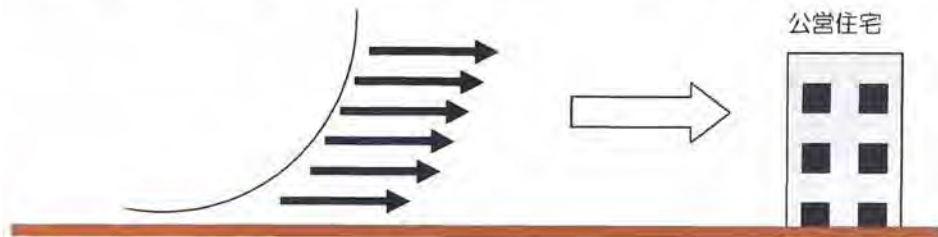
吹雪の性状に及ぼす地表面粗度の影響を模式的に図 3-4-3 に示す。本章における現地調査でも明らかになったように、粗度が小さい地域では、風速が減衰されず、吹走距離も確保されるため吹雪が発達し、風下に運ばれる雪の量が多くなる。このため、通路内の雪の吹き込みや吹きだまりの量も多くなる。一方、粗度が大きい地域では、地上付近の風速が減衰され、吹雪が発達しないものの、風の乱れが大きいため、小規模な吹雪が断続的に発生する。また風の乱れが大きいと風向の変動も大きいため、卓越風とは異なる方向から吹雪が発生し雪の堆積状況が変化する³⁻³⁸⁾。本章における実験的検討においても、風の乱れの変化は吹きだまり性状に影響を及ぼすことが明らかになった。

このように「市街地スケールの風」は、公営住宅の敷地内にどのような「吹雪」が流入するのかを把握する目安となる。つまり、地表面粗度が小さい地域では、規模の大きい吹

雪に対する対策が必要であり、地表面粗度が大きい地域では、変動の大きい吹雪に対する対策が必要である。

●地表面粗度が小さい地域

○風の減衰が小さく吹雪が発達 → 変動は小さいが規模が大きい吹雪が発生



●地表面粗度が大きい地域

○周辺建物による風の減衰と乱れ → 規模は小さいが変動が大きい吹雪が発生

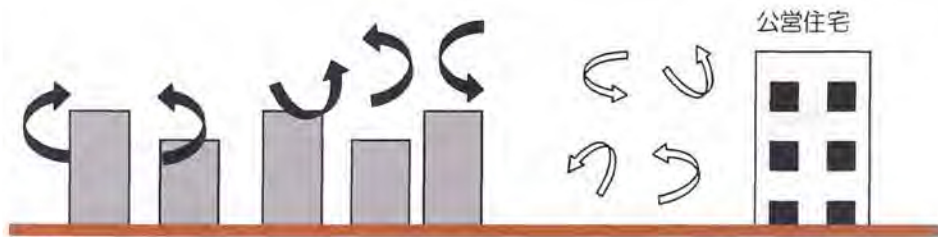


図 3-4-3 吹雪の性状に及ぼす地表面粗度の影響

3) 建物スケールの風

「建物スケールの風」は、公営住宅団地の敷地内に流入した「市街地スケールの風」が住棟の配置や形状の影響を受けて変化した風である。すなわち、住棟の配置変更や形状変化によって制御することが可能な風である。建物周囲の雪の堆積性状について調べた既往研究によれば、建物の配置や形状の違いにより雪の堆積状況が大きく異なることが示されている^{3-7),3-10),3-21),3-23)}。図 3-4-4 は同一の敷地における住棟の配置と形状を変えた公営住宅団地を対象とした吹雪風洞実験の実施例である。このように「建物スケールの風」を制御することにより、敷地内の雪の堆積性状が変わり、吹雪による雪問題である、雪の吹き込みや吹きだまりの問題を軽減することが可能である³⁻⁴⁴⁾。

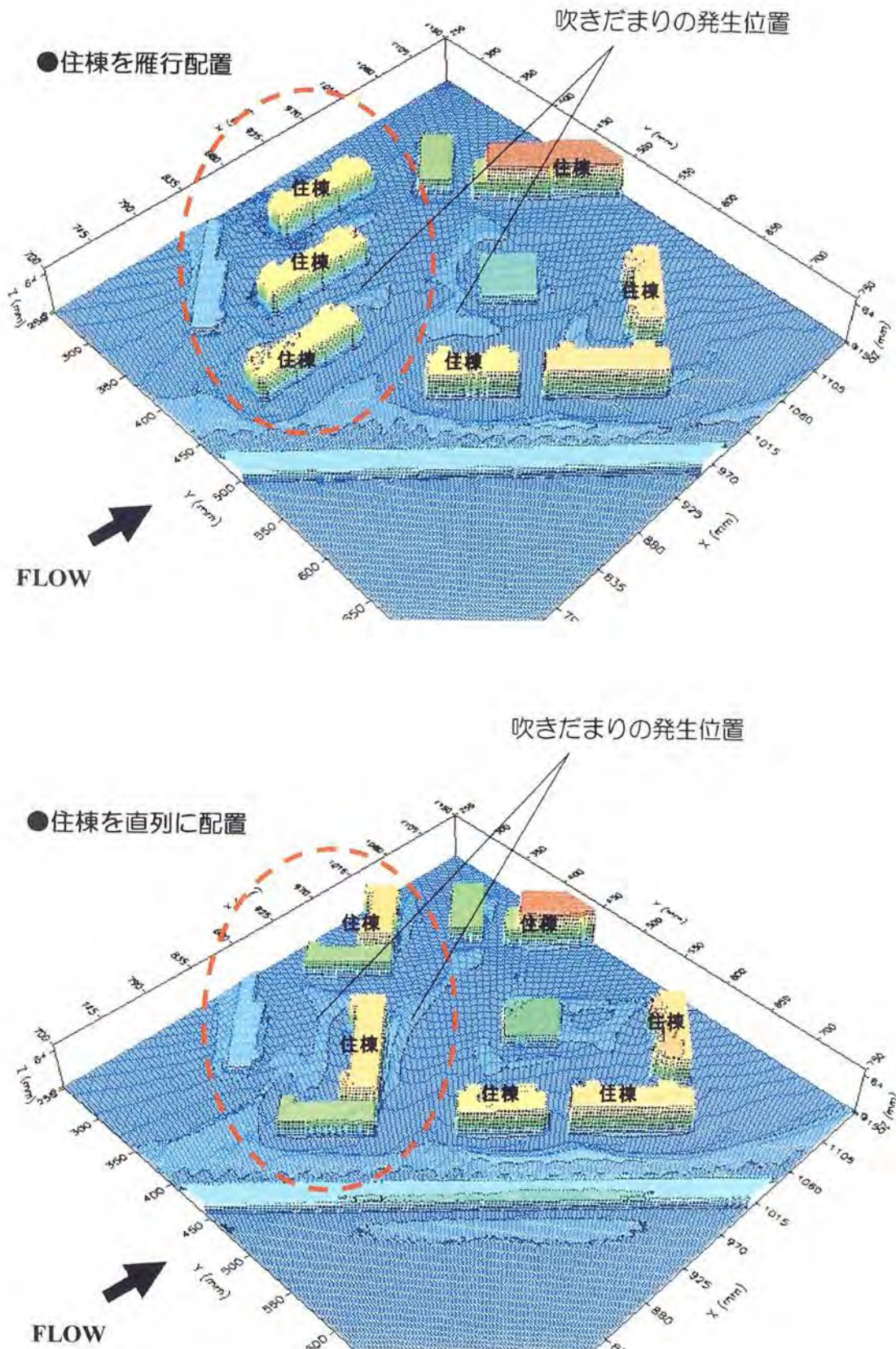

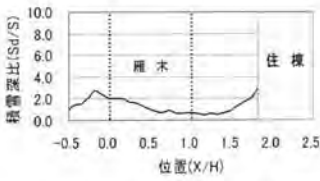

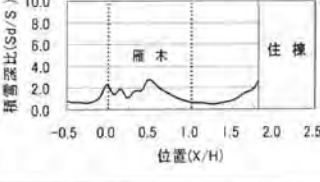

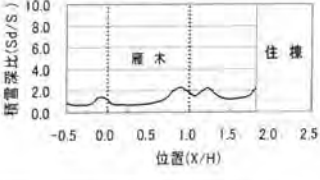

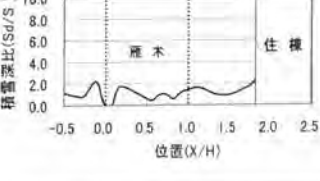

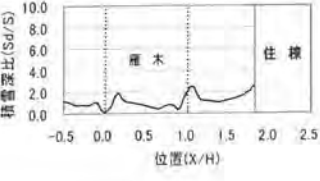


図 3-4-4 公営住宅団地整備を対象とした吹雪風洞実験における「建物スケールの風」の変化の影響³⁻⁴⁾

4) 通路スケールの風

本章における公営住宅に設置された雁木を対象とした現地調査によれば、雁木の通路への雪の吹き込みは、雁木の形状や腰壁の有無により異なる状況が見られた(表 3-2-3)。これは、「建物スケールの風」など大きいスケールの風の影響と共に、雁木の形状などにより変わる「通路スケールの風」の影響によるものである。雁木の通路への雪の吹き込みを対象とした吹雪風洞実験によれば³⁻⁴⁵⁾、雁木の腰壁形状の変化は、通路内の積雪性状に大きく影響する結果が得られている(表 3-4-1)。また、「通路スケールの風」は植栽や柵など、外構部材の存在にも影響を受ける大きさの風であり、公営住宅整備における外構計画などにおいても考慮する必要がある。

表 3-4-1 雁木の腰壁形状の変化が通路内の積雪性状に及ぼす影響³⁻⁴⁵⁾

雁木の腰壁形状	通路内の堆積状況(断面)
Type01(腰壁無し) 	
Type02(腰壁-片面) 	
Type03(腰壁-両面) 	
Type04(腰壁-下部開口) 	
Type05(腰壁-勾配) 	

3.4.2 北海道の公営住宅における吹雪対策の検討プロセス

以上の考察を踏まえ、北海道の公営住宅における吹雪対策の検討プロセスを図 3-4-5 に示す。「都市・地域スケールの風」を対象とした検討では、公営住宅の立地場所を基に、吹雪による問題が発生するかの判別が主となる。判別方法については、気象データなどの統計情報を目安に判別する方法が考えられ、これらについては、第 5 章において述べる。

「市外地スケールの風」を対象とした検討では、公営住宅の周辺上状況を調べ、地表面粗度の違いによる、「風の乱れ」や「吹雪の発達」など吹雪の性質に及ぼす影響を把握する必要がある。「建物スケールの風」を対象とした検討では、敷地内に流入する吹雪に対して住棟の配置や形状による風の流れや吹きだまりの発生箇所の把握を行う。必要に応じて、吹雪風洞実験などによる検討も求められよう。「通路スケールの風」を対象とした検討では、1～3 の風による吹雪の問題を踏まえ、外構部材や雁木等の検討を行う。以上、本項で提案する検討プロセスを北海道の公営住宅整備で用いることにより、公営住宅における吹雪による雪問題の改善に繋がると考える。

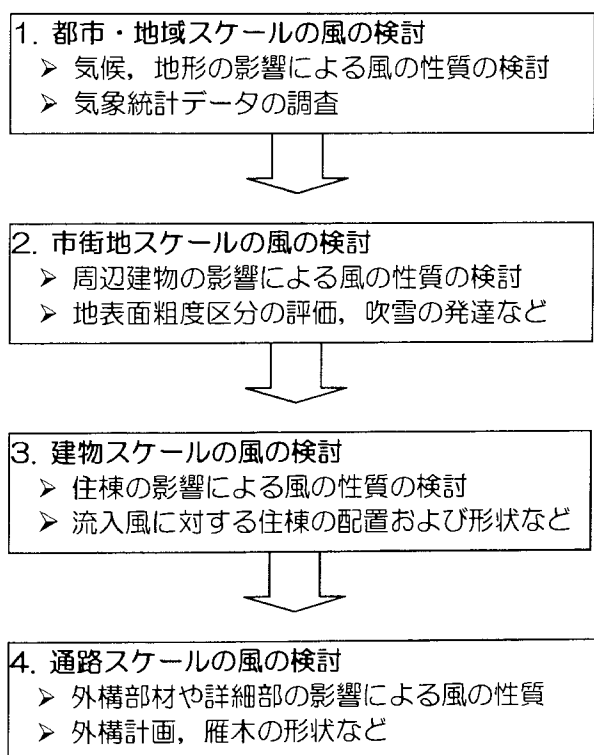


図 3-4-5 北海道の公営住宅における吹雪対策の検討プロセス

3.5 本章のまとめ

本章では、第2章の現状分析を踏まえ、北海道の公営住宅における吹雪による雪問題について検討を行った。主な検討項目は、(1)公営住宅における吹雪障害の実態、(2)地表面粗度および気流の乱れ強さが吹きだまり性状に及ぼす影響の二つである。本章での検討結果を以下に要約する。

(1) 雁木を設置した公営住宅における吹雪障害の発生状況

北海道の沿岸部および内陸部において、公営住宅に設置された「雁木」の吹雪障害について現地調査を行った。その結果、以下の知見が得られた。

1. 公営住宅に設置された雁木への雪の吹き込みは、日平均風速が 2.0m/s を超える地域で見られた。この傾向は第2章の分析結果と同様である。
2. 雁木への雪の吹き込みに地表面粗度の違いによる影響が見られた。周辺建物が少ない粗度区分Ⅱの地域では吹雪が発達することにより、大量の雪の吹き込みが見られた。

(2) 気流の乱れ強さの変化が吹きだまり性状に及ぼす影響

「地表面粗度」および「気流の乱れ強さ」の変化が吹きだまり性状に及ぼす影響について、吹雪風洞実験による検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

1. 気流の乱れ強さの変化の影響は、粒子の摩擦速度 u^* が移動臨界摩擦速度 u^*_t を上回ると、吹きだまりの位置を表すパラメータである吹きだまりのピーク位置と吹き払い長さが変化する。また、 u^* がより大きくなると吹きだまりの形状と量が変化する。
2. 実験では、フェンス風下側の吹きだまりのピーク位置は、気流の乱れ強さが大きくなることにより、風下側へ移動し、吹き払われる範囲が広がった。
3. 吹きだまりが発達する過程における、気流の乱れ強さの変化の影響は吹きだまりの形状変化に対して見られた。乱れ強さが小さい場合、吹きだまりの発達とともに鋭角な形状に変化した。
4. 以上から気流の乱れ強さの変化は吹きだまり性状に影響を及ぼすと言える。

(3) 北海道の公営住宅整備における吹雪対策に関する検討手法の提案

前項までの検討を踏まえ、北海道の公営住宅における風の性質を考慮した吹雪対策の検討プロセスを提案した。

1. 公営住宅の吹雪対策を考える上で考慮すべき風の階層構造を示し、4つの風のスケール(都市・地域のスケール、市街地スケール、建物スケール、通路スケール)が吹雪に及ぼす影響について述べた。
2. 風の階層構造を考慮した吹雪対策の検討プロセスを示し、検討内容について述べた。

(4) 検討課題

本章では、北海道の公営住宅整備において大きな技術的課題となっている吹雪による雪問題について検討した。第2章および本章における現地調査の結果、吹雪による問題発生には気象条件が大きく関わっており、吹雪の性状には地表面粗度が影響していることが明らかになった。「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」の構築にあたり、吹雪の問題発生の判別を行う際には、このような因子を考慮した検討を行う必要がある。これらの課題については、第5章において検討を行う。

次章では、吹雪による問題と並んで、公営住宅における大きな技術的課題である「雪庇」の問題について検討を行う。

参考文献

- 3-1) 菅原邦生：近代における雁木通りの権利形態と利用実態，日本建築学会計画系論文集，No.567，pp.127-131，2003.5
- 3-2) 長谷川雅浩，林昌宏：歩行面の雪による滑り安全性に関する研究，日本建築学会北海道支部研究報告書，No.76，pp.283-286，2003.7
- 3-3) 細川和彦，内藤恵，苫米地司：建築物周辺の積雪が避難行動に及ぼす影響，日本建築学会計画系論文集，No.560，pp.162-172，2002.10
- 3-4) 塩谷正雄：強風の性質，開発社，pp.26-50，1981.
- 3-5) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2004.
- 3-6) 野口孝博：北海道・青森の公営住宅における雁木の形態と雪処理－積雪地域における集合住宅の共用空間計画に関する研究 その1－，日本建築学会計画系論文集，No.525，pp.113-120，1999.11
- 3-7) 苫米地司，遠藤明久：建物周辺の吹きだまり対策に関する基礎的研究，日本雪工学会誌，No.1，pp.1-8，1986.12
- 3-8) 坂本弘志，森谷優，高井和紀，小畑芳弘：吹雪障害防止のための翼型防雪板を有する新形防雪さくの研究開発，日本機械学会論文集(B編)，67巻，653号，pp.95-103，2001.1
- 3-9) 鈴谷二郎，植松康，野沢寿一：二段屋根の吹き溜り形成過程に関する実験的研究，第9回日本雪工学会大会論文集，pp.137-138，1993.1
- 3-10) 三橋博巳：建築物の雪の吹きだまりと吹雪風洞実験，日本雪氷学会誌，65巻，3号，pp.287-295，2003.5
- 3-11) 佐藤威，小杉健二，佐藤篤司：雪粒子を用いた風洞実験による吹雪の研究，第15回寒地技術シンポジウム，pp.50-54，1999.11
- 3-12) 堤 拓哉，高倉政寛，鈴木大隆：北海道立北方建築総合研究所の吹雪風洞装置について，Vol.2002，pp.127，2002
- 3-13) Y. Anno：Requirements for modeling of a snowdrift，Cold Regions Science and Technology，Vol.8，pp.241-252，1984
- 3-14) 老川進，苫米地司：建物近傍における雪粒子の挙動と風洞相似則について，第23回日本雪工学会大会論文集，pp.25-26，2006.11
- 3-15) 鳥田宏行，根本征樹，西村浩一，佐藤威：防雪林に関する野外観測と風洞実験の比較，日本雪氷学会誌，pp.377-387，2004.5

- 3-16) J. D. Iversen : Comparison of wind-tunnel model and full-scale snow fence drifts, J. Wind Engineering Industrial Aerodynamics, 8, pp.231-249, 1981
- 3-17) F.da Matha Sant'Anna and D.A.Taylor : Snow Drifts on Flat Roofs Wind Tunnel Tests and Field Measurements, J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.34, pp.223-250, 1990
- 3-18) N. Isyumov. and M. Mikitiuk. : Wind tunnel model tests of snow drifting on a two-level flat roof, J. Wind Engineering Industrial Aerodynamics, Vol.36, pp.893-904, 1990
- 3-19) M.O' Rourke and N. Weitman : Laboratory studies of snow drifts on multilevel roofs, Snow Engineering, pp.195-206, 1992.6
- 3-20) R. J. Kind, S. B. Murray : Saltation flow measurements relating to modeling of snowdrifting, J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.10, pp.89-102, 1982
- 3-21) K.C.S. Kwok, D.H. Kim, D.J. Smedley, and H.F. Rohde : Snowdrifting around buildings for antarctic environment, J. Wind Engineering Industrial Aerodynamics, Vol.41-44, pp.2797-2808, 1992
- 3-22) M. Dufresne de Virel, P. Delpech & C. Sacre : Wind tunnel investigation of snow loads on buildings, Snow Engineering, pp.171-178, 2000
- 3-23) 高橋弘樹, 半貫敏夫 : 南極昭和基地管理棟後流域建物周辺の吹きだまり, 日本建築学会構造系論文集, No.598, pp.35-42, 2005.12
- 3-24) 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
- 3-25) 真田朋幸, 桜井修次, 阿部修, 城攻 : 人工雪を用いた降雪風洞実験による屋根雪分布形状の推定に関する検討, 第 22 回日本雪工学会大会論文集, pp.71-72, 2005.9
- 3-26) 老川進, 苫米地司, 石原猛 : 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
- 3-27) 西尾文彦, 石田完 : 地吹雪における乱れのエネルギー消散率, 低温科学物理編, A31, pp.69-85, 1973
- 3-28) 前野紀一, 福田正巳編 : 基礎雪氷学講座 第Ⅲ巻 雪崩と吹雪, 古今書院, pp.141-178, 2000.2
- 3-29) 上田宏, 苫米地司 : フェンス後方の模型雪の堆積に対する気流の影響, 日本風工学会誌, No.64, pp.1-7, 1995.7
- 3-30) 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.55-59, 2002.5
- 3-31) 竹内政夫: 吹雪とその対策(3)―吹きだまりの発生機構と形―, 日本雪氷学会誌, 雪氷, Vol.62, No.1, pp.41-48, 2000.1
- 3-32) 竹内政夫, 石本敬志, 野原他喜男, 福沢義文: 防雪柵の研究-柵前後の吹溜り雪丘形状-, 雪と道路, No.1, pp.96-100, 1984
- 3-33) 佐藤威, Ibrahim Gurer, 小杉健二, 佐藤篤司: 非平衡状態における防雪柵風下の吹き溜まりの比較実験, 防災科学技術研究所研究報告, No.64, 2003
- 3-34) 小島賢治: 顕微鏡による飛雪粒子の観測, 低温科学物理編, A27, pp.115-127, 1969
- 3-35) 佐藤研吾, 高橋修平, 谷藤崇: 雪粒子の飛び出し風速と雪面状態の関係, 日本雪氷学会誌, 雪氷, Vol.65, No.3, pp.189-196, 2003.5
- 3-36) J. W. Pomeroy, D. M. Gray: Saltation of snow, Water Resources Research, Vol.26, No.7, pp.1583-1594, 1990.7
- 3-37) 黒岩大助: 雪, 粉体工学研究会誌, Vol.13, No.10, pp.28-41, 1976
- 3-38) 土谷学, 苫米地司, 本郷剛, 上田宏: フェンス周辺の吹きだまりと風の流れの特性―風向風速と積雪分布の野外観測―, 日本雪工学会誌, Vol.18, No.2, pp.113-122, 2002.4
- 3-39) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, pp.344~349, 2004
- 3-40) 村上周三: 風洞実験における模型のスケール効果と Approaching Wind について, 日本風工学会誌, No.34, pp.19-22, 1998.1
- 3-41) 竹内清秀: 風の気象学, pp.1-6, 東京大学出版会, 1997.6
- 3-42) 日本風工学会編: 風工学ハンドブック, pp.1-5, 朝倉書店, 2007.4
- 3-43) 村上周三: CFD による建築・都市の環境設計工学, pp.387-392, 東京大学出版会, 2000.9
- 3-44) 北海道立北方建築総合研究所: まちなか居住推進のための公共住宅の再整備に関する研究, 調査研究報告書, 2005.3
- 3-45) 堤拓哉, 高橋章弘, 千葉隆弘, 苫米地司: 北海道の公営住宅における雁木空間の雪対策について, 日本建築学会計画系論文集, No.612 pp.43-47, 2007.2

4 章 北海道の公営住宅における雪庇の形成メカニズムと 対策手法

4.1 はじめに	90
4.2 屋根上における雪庇の形成メカニズム	
4.2.1 実建物を対象とした雪庇の形成過程に関する屋外観測	93
4.2.2 雪庇形成メカニズムの検証実験	100
4.2.3 雪庇の形成メカニズム	107
4.3 公営住宅における積雪分布と雪庇の発達過程	
4.3.1 積雪分布と雪庇の発達過程に関する屋外観測方法	108
4.3.2 積雪分布と雪庇の発達過程の関係	111
4.4 北海道の公営住宅における雪庇対策	
4.4.1 気象特性に基づいた雪庇対策の考え方	121
4.4.2 雪庇の形成メカニズムに基づいた対策手法	122
4.5 本章のまとめ	128
参考文献	130

4.1 はじめに

(1) 検討の背景と目的

本章では、2 章の調査結果を踏まえ、北海道の公営住宅における屋根雪に関する雪問題の中で最も大きな技術的課題となっている「雪庇」の問題について検討を行う。北海道の公営住宅では、敷地条件の制約や落雪によるトラブルを避けるため、陸屋根などの無落雪屋根を採用する例が増えている。この種の屋根を持つ公営住宅では、季節風を伴う降雪により、屋根の軒先に「雪庇」が形成される事例が多く見られる(写真 4-1-1)。「雪庇」は、崩落による人身事故や建物損傷に繋がるため、公営住宅では除去作業に多大な労力を払っている。

北海道の全市町村を対象としたアンケート調査によれば、公営住宅における雪庇の問題は、道内の約 40%の市町村において発生している。また、これらの市町村の 78%は対策を実施しておらず、対策を実施した市町村の 36%では効果が得られていない。今後、公営住宅整備における「まちなか居住」が政策的に推進されるため(1 章, 図 1-7), 中心市街地内での公営住宅の立地が増えると予想され、「雪庇」による問題が深刻化する恐れがある。本章では、雪庇の成長過程や抑制方法など雪庇対策に関する基礎的知見を示すことを目的に、屋根上に形成される雪庇について観測調査および実験的検討を行った。



写真 4-1-1 公営住宅で発生した雪庇(滝川市)

(2) 雪庇に関する既往研究

「雪庇」は、風により雪粒子が運ばれ、積雪が庇状に張り出す現象である⁴⁻¹⁾。建築物の屋根で発生した場合、局所的な荷重増加や崩落による事故の危険性など、建築物の安全性低下を招く⁴⁻²⁾。雪庇に関する既往研究を見ると、主に山岳地帯と道路防雪を研究対象とし、雪庇に関する観測調査^{4-3~4-6)}、雪庇の成長要因の検討⁴⁻⁷⁾、防止工法の検討^{4-8~4-11)}、雪庇の形成に関する再現実験^{4-12,4-13)}が行われている。

一方、建物に形成される雪庇については、防雪柵の知見を応用した防止工法に関する基礎的な検討が行われているものの⁴⁻¹⁴⁾、実施例は極めて少ない。建物屋根上に雪庇が形成される要因や成長する過程については不明な点が多く、防止対策を検討するための基礎的知見が不足している。現在、雪庇の形成防止や除去を目的とした笠木や防雪柵など様々な製品が流通しているが、気象条件によっては十分な効果が発揮されない場合も多い。(写真 4-1-2)。また、熱線ヒーターなど熱エネルギーによる雪庇の除去はランニングコスト、建築物の省エネルギー性の面から課題がある。このように、公営住宅の雪庇対策を検討するための基礎資料の整備は遅れている。特に、建築物の屋根においてどのように雪庇が形成されるか、どのように成長するのかについては、全く明らかにされていない。



写真 4-1-2 雪庇防止柵の設置例(旭川市)

(3) 本章の検討内容

建物の屋根面は、地表面よりも高さがあるため風速が強く、吹雪が発生しやすいことが明らかになっている⁴⁻¹⁵⁾。フラットな屋根面を持つ公営住宅においても、平地の雪原と同様の現象が屋根上で起きており、屋根面で起きる吹雪によって風下側の積雪深が増加する吹きだまり現象が発生する⁴⁻¹⁶⁾。内藤・小林⁴⁻¹³⁾の雪原上における雪庇の形成に関する再現実験によれば、雪面に掘った溝の縁に形成される雪庇は、地吹雪による雪の堆積により成長する。一般に雪庇の形成方位は建物風下側であることから、建物屋根上の吹雪と吹きだまりが雪庇の形成と成長に影響を及ぼしていると推測される。建物屋根上の積雪分布は、模擬雪を用いた吹雪風洞実験や数値解析などにより定性的に予測可能であることから^{4-17,4-18)}、屋根上の吹きだまりが雪庇の形成に及ぼす影響を明らかにすることにより、雪庇の形成位置の予測や防止対策の合理的検討が可能になると考える。

加えて、建物屋根上の積雪性状は、パラペットの有無など屋根面の形状や設置物の影響を受けることが既往の研究により明らかになっている^{4-19,4-20)}。また、入居者のいる公営住宅では、最上階の居室は暖房状態にあると想定されるが、屋根上の積雪は建物からの熱の影響や断熱性能の違いにより、異なる性状を示す⁴⁻²¹⁾。公営住宅の雪庇対策を検討するためには、これらの影響について明らかにする必要がある。以上の推論を踏まえ、本章での検討内容を以下のように定める(図 4-1-1)。

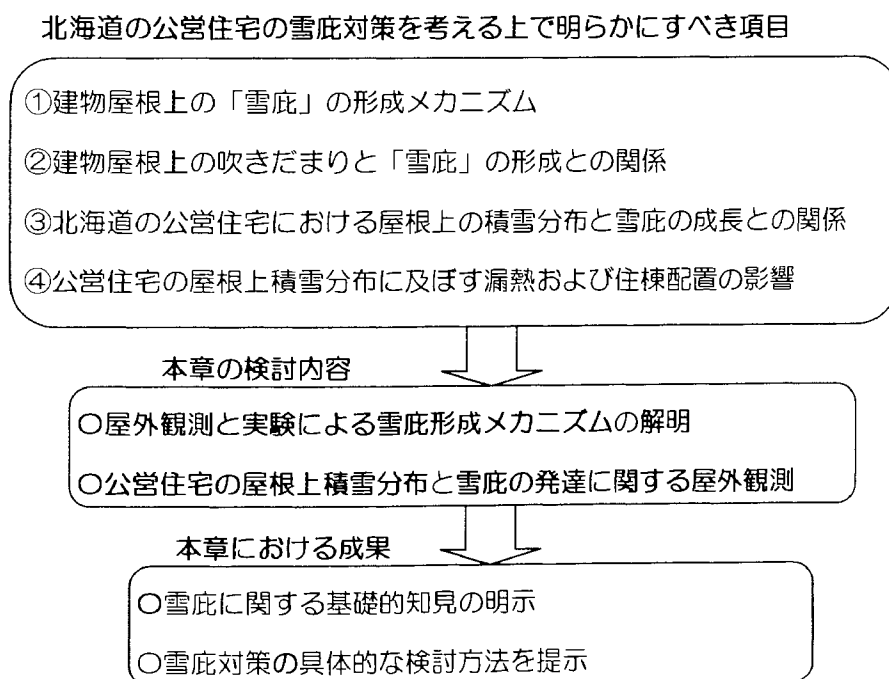


図 4-1-1 本章における検討内容

4.2 屋根上における雪庇の形成メカニズム

4.2.1 実建物を対象とした雪庇の形成過程に関する屋外観測

(1) 屋外観測の目的

本観測は、建物屋根上に形成される雪庇の形成過程を明らかにし、雪庇の形成と成長に影響を与える要因について把握することを目的としている。雪庇の形成と成長の要因を明確にすることにより、雪庇対策を検討する上で重要な知見が得られる。本観測は、本章の考察を進める上で基礎となる項目である。

(2) 観測地点と気象条件

屋外観測は、北海道内陸部に位置する旭川市において行った。観測地点の位置を図 4-2-1 に示す。観測地点は旭川市の南東側に位置し、周囲は空地および低層建物が立ち並ぶ地域である。

気象庁が設置した地域気象観測システム(アメダス)の観測による旭川市の過去 5 冬期間(1998～2003 年：12～3 月)の年最深積雪深、年累積降雪量の推移を図 4-2-2 に示す。5 冬期間の最深積雪深の最大値は 136cm(1999/03/03)であり、例年 100cm 前後で推移している。気象庁がまとめた統計による最深積雪深の平年値は 90cm である。多いシーズンでは 696cm(1999.12-2000.03)であった。累積降雪量は減少傾向にあるが、毎年 500cm 以上を記録している。

アメダスによる過去 4 冬期間(1999～2003 年：12～3 月)の「日平均風速」および「日最大風速」の出現頻度を図 4-2-3 に示す。日平均風速の出現頻度は、2m/s 以下が 64%(309/483)を占めており、比較的風の弱い地域といえる。日最大風速については、3～5 m/s の範囲が 60%を占めている。5m/s 超えた日の割合は 12.1%(59/483)であった。

同様に、「日最多風向頻度」を図 4-2-4 に、「日降雪量が 5cm 以上あった日の日最多風向頻度」を図 4-2-5 に示す。冬期間の日最多風向については、風向 SSE が 24.5%(118/482)を占め最も卓越している(図 4-2-4)。降雪時の風向については、WSW～W が 36%(70/195)と最も多く、次いで SSE の 25%(49/195)である(図 4-2-5)。力石ら(1998)による上川盆地の降雪特性の解析においても同様の傾向を示しており⁴⁻²³⁾、旭川市では、降雪時の場合、WSW～W が卓越風向である。

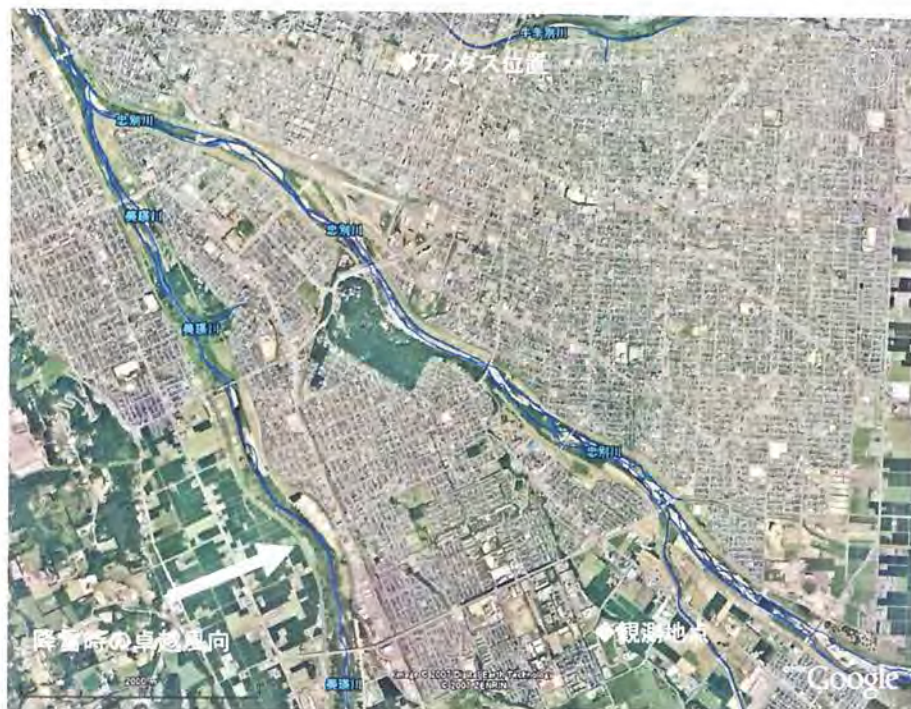


図 4-2-1 観測地点とアメダス(旭川)の位置

※アメダス(旭川)は 2004 年 9 月 9 日に旭川市宮前通東に移転

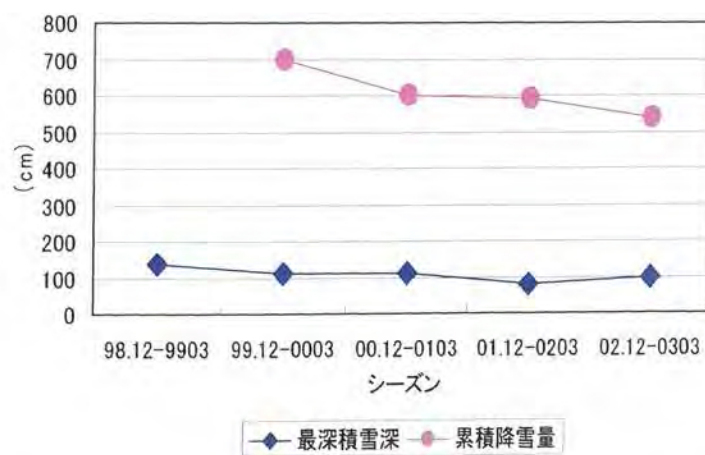


図 4-2-2 アメダスによる旭川市の近年の積雪状況

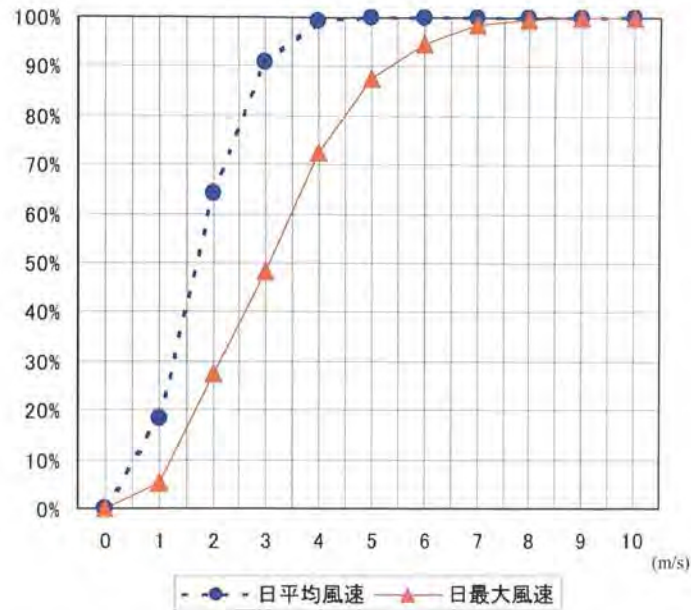


図 4-2-3 過去 4 冬期間の日平均風速と日最大風速出現頻度(N=483)

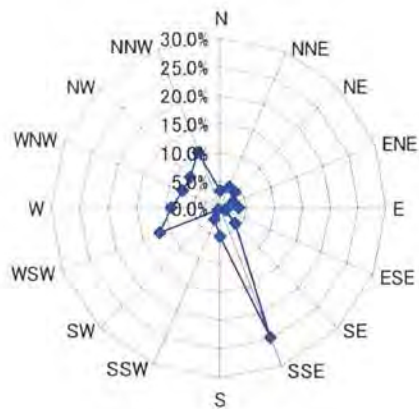


図 4-2-4 冬期間の日最多風向(N=482)

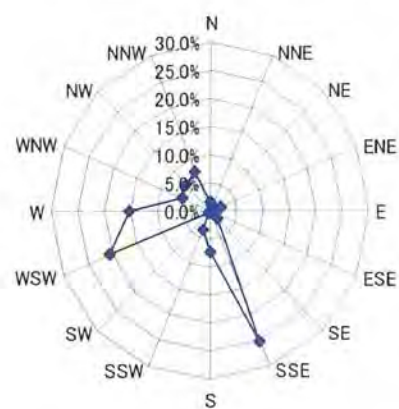



図 4-2-5 日降雪 5cm 以上の日最多風向(N=195)

(3) 観測対象

観測対象は、北海道旭川市に立地する北海道立北方建築総合研究所敷地内の矩形状の実験棟(平面寸法 11.0m×9.6m, 高さ 10.3m)とした。建物概要を表 4-2-1 に示す。建物屋上には吹きだまりの原因となる障害物は設置されていない。軒先部のパラペットの高さは 53cm である(図 4-2-6)。観測期間中、建物内は無暖房であるため、室内側からの漏熱による融雪は殆ど無い。観測対象の周辺状況を写真 4-2-1 に示す。

表 4-2-1 観測対象

外観写真	建物諸元
	<p>建設年:2001 年 RC 造(一部ブロック造) 平面:11.0m×9.6m, 高さ:10.3m パラペット高:53cm 屋上断熱仕様:GW32K100mm×2</p>

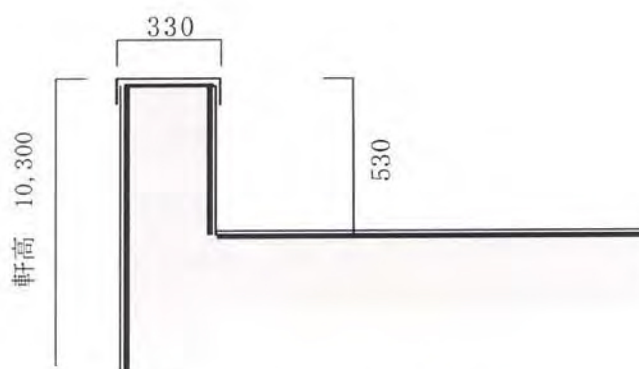


図 4-2-6 パラペット部概要図

観測対象



写真 4-2-1 観測対象周辺状況

(4) 観測方法

雪庇の成長過程は、観測対象に隣接するプレハブ小屋に設置したビデオカメラにより撮影し、タイムラプスビデオにて記録した⁴⁻²²⁾。観測期間は2001年12月6日から2002年1月22日の48日間で、昼光利用による撮影が可能な時間帯(06:00~18:00)の撮影とした。また、建物屋上高さの風速を測定するため、観測対象に近接する建物屋上(屋上高 10.3m, 設置高 3.0m)に風車型風向風速計を設置した。降雪量と気温については、最寄りの気象庁アメダスで観測されたデータを使用した。

(5) 屋外觀測結果

1) 観測期間の気象状況

観測期間内の日降雪量(毎正時の積雪差プラス値の合計。積雪差がマイナスの場合は0)と日平均風速の推移を図4-2-7に示す。日降雪量の最大値は30cm(2001/12/15)、10cmを超えた日数は19%(9/48)であった。日平均風速の発生頻度は2.0m/s以下が52%(25/48)、2.0m/s~4.0m/sが40%(19/48)、4.0m/s以上が8%(4/48)であった。10cm以上の降雪があった場合、日平均風速が高くなる傾向が見られた。

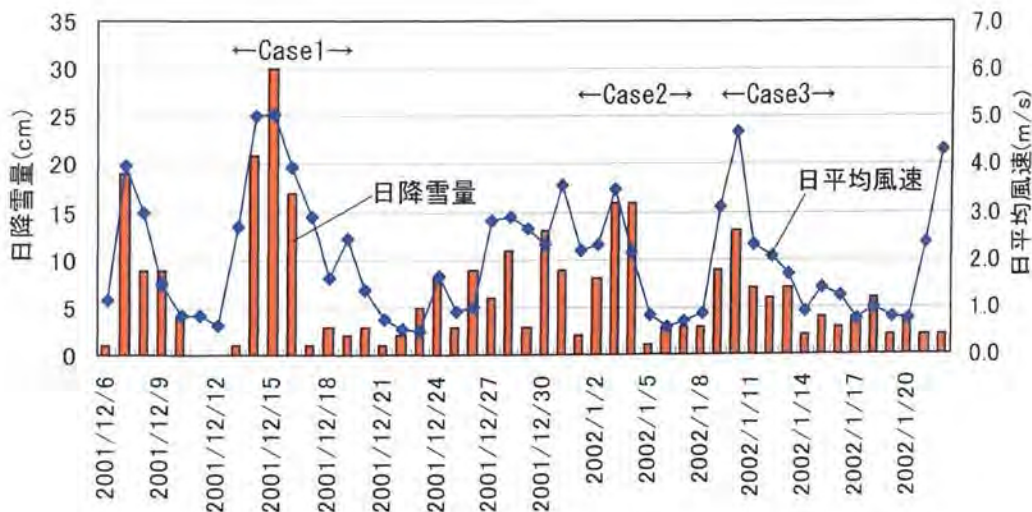


図 4-2-7 観測期間内の日降雪量と日平均風速の推移

2) 雪庇の成長過程

タイムラプスビデオの記録による雪庇の成長過程を表4-2-2に示す。観測対象建物では、図4-2-7に示す2001/12/15～16(Case1)に雪庇が形成され、2002/01/03～04(Case2), 2002/01/09～10(Case3)において顕著な張り出しによる成長が見られた。いずれの場合も、24～48時間程度で急激に成長する傾向にあった。モデル建物に形成された雪庇は以下のような過程を経て成長した。

- ①風下側のパラペット近傍に吹きだまりが発生し、吹きだまりがパラペットの高さを超えると、吹きだまりの発達と共に風下側へ積雪面が庇状に張り出す(表4-2-2:Case1)。
- ②庇部分が自重により垂れ下がった状態となる(表4-2-2:Case2,2002/01/03)。
- ③さらなる降雪により、その上面に雪の堆積と張り出しが起こり、再び垂れ下がる(表4-2-2:Case2,Case3)。

建物屋根上の雪庇はこのような過程を繰り返すことにより成長することが観測された。①の状況を補足すると、軒先にパラペットやフェンスなどの障害物があっても、吹きだまりが成長し、障害物を乗り越えたと雪庇の形成が始まることを示している。逆の意味では、吹きだまりの高さを超える障害物を設置することにより雪庇は形成されないと考える。

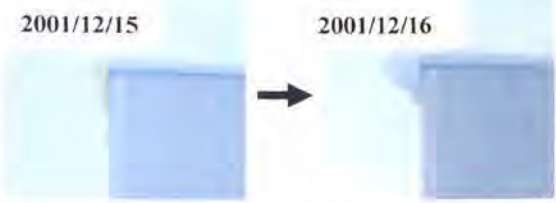
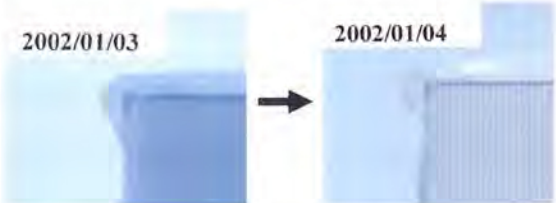

②については、雪の自重により徐々に変形する「クリープ変形」が起きていることが示されている⁴⁻²⁴⁾。雪は粘弾性的性質を持つため、水平方向に形成された雪庇の垂れ下がりが起きると考える。③より、雪庇は軒先に形成されると、降雪の度に成長を続けることが分かる。このように、雪庇の形成には雪の「吹きだまり」と「クリープ変形」が大きく関わっているため、雪庇対策を検討する際にはこれらを考慮する必要がある。また、積雪は時間が経過すると圧密により比重が増すため、形成後の日数が経過した雪庇は重量が増えており、融解と凍結の影響を受けると氷の層が出来るため更に危険性が高くなる。以上から、雪庇が形成された場合は、比重の軽い状態で速やかに除去する必要があると判断される。

3) 雪庇成長時の降雪量と風速

表4-2-2によれば、雪庇の成長が見られた日の日降雪量(毎正時の積雪深差プラス値の合計)は、Case3の2002/01/09(日降雪量9cm)を除き、いずれの場合も日降雪量が10cm以上の比較的強い降雪があった。日平均風速については、Case2の2002/01/04(日平均風速2.1m/s)を除き、3～5m/sの範囲にある。観測期間内における日降雪量と日平均風速の関係を図4-2-8に示す。図によれば、雪庇が成長する気象環境のおよその目安としては、日降雪量が10cm以上で日平均風速3.0m/s以上、もしくは日降雪量15cm以上で日平均風速2.0m/s以上であ

ることが判る。この結果は 2 章における現状分析結果とも矛盾しない(2 章図 2-17)。乾雪地域では点線で示す範囲の気象環境が 2 日間程度続くと、雪庇が顕著に成長すると考えられる。また、各 Case における日平均気温がおよそ -4°C 以下と比較的低温であることから(表 4-2-2)、雪庇の成長時には降雪を伴う吹雪現象が起きていると考えられる⁴⁻²⁵⁾。

表 4-2-2 雪庇の成長過程

成 長 過 程	日降雪量 (cm)	日平均風速 (m/s)	日平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)
Case01 	2001/12/15 30cm	2001/12/15 5.0m/s	2001/12/15 -6.8°C
	2001/12/16 17cm	2001/12/16 4.0m/s	2001/12/16 -4.4°C
Case02 	2002/01/03 16cm	2002/01/03 3.5m/s	2002/01/03 -7.2°C
	2002/01/04 16cm	2002/01/04 2.1m/s	2002/01/04 -4.0°C
Case03 	2002/01/09 9cm	2002/01/09 3.1m/s	2002/01/09 -3.9°C
	2002/01/10 13cm	2002/01/10 4.7m/s	2002/01/10 -4.3°C
平均値	16.8cm	3.7m/s	5.1°C

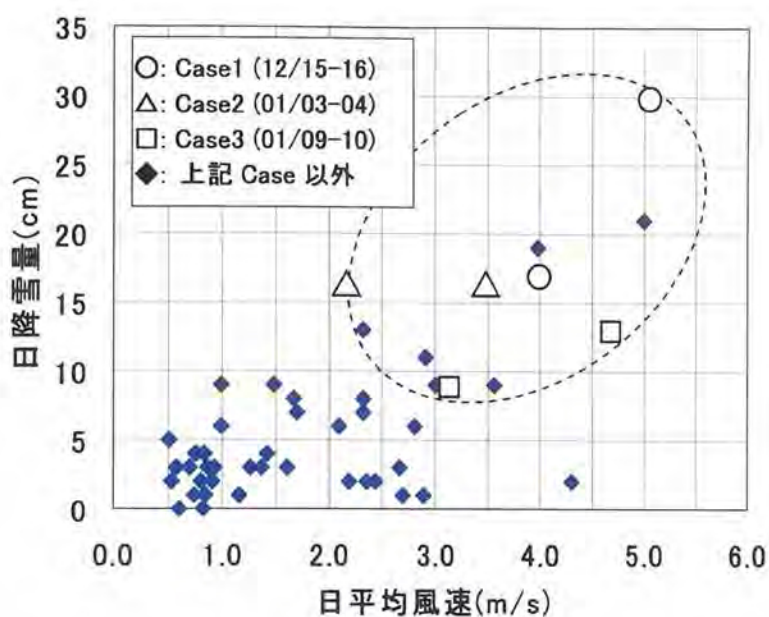


図 4-2-8 雪庇成長時における日平均風速と日降雪量

4.2.2 雪庇形成メカニズムの検証実験

(1) 実験の目的

前項の屋外観測により、屋根風下側の吹きだまりが発達することにより雪庇が形成され、積雪のクリープ変形により雪庇が垂れ下がり、成長することが明らかになった。本実験は、この形成メカニズムを実験的に検証し、更には変動の大きい自然環境下では取得が困難な雪庇に関する基礎データを得ることを目的としている。実験室実験により雪庇の形成メカニズムの再現が可能になると、一定条件下で様々な比較実験が行えるなど、極めて効率的に雪庇対策に関する技術開発が行える。

雪庇の形成に関する実験的検討については、小林⁴⁻¹²⁾が野外において雪原に溝を掘り形成実験を行っている。室内実験では、内藤・小林⁴⁻¹³⁾、安達・尾関⁴⁻²⁹⁾が雪粒子と低温風洞を用いて試みているが、いずれも対象スケールが小さく、平らな雪面の地吹雪による雪庇であるため、実際の建築物の屋根に発生する雪庇への適用は困難である。

(2) 実験方法

実験は(独)防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター新庄支所の雪氷防災実験棟の低

温室で行った。実験では、低温室内に備えられている降雪装置(降雪範囲：3m×5m)と横風発生装置(吹出口寸法:横 3m×縦 0.1m, 最大風速：10.0m/s)を使用した。低温室内に備え付けの降雪を堆積させる枠付きの鋼製テーブル(幅 3.0m×長さ 5.0m)を建築物の模擬屋根面とし、風下側端部に実物大のパラペットのモデル(断面 20cm×20cm, 板金仕上げ)を設置し、実物大の屋根を再現した実験モデルとした。実験概要を図 4-2-9, 写真 4-2-2 に示す。実験では、テーブル上部の降雪装置から降雪を行い、同時に横風発生装置から横風をテーブル上に送り込み風下側に雪庇を形成した。

実験条件を表 4-2-3 に示す。雪庇の形成と成長は降雪時に顕著であることから、新雪を想定し、雪粒子は樹枝状結晶を持つ粒子とした(写真 4-2-3)。実験室内の温度は樹枝状結晶による人工降雪を行うため -10°C とした。風速については、予備実験による検討を踏まえ、横風発生装置の吹き出し口位置で 6.0m/s, 風下に設置したパラペットの位置(吹き出し口から 4.8m)の位置で 2.0m/s とした。風の主流に対し横方向への風の拡散を抑制するため、降雪テーブルの両脇に誘導板を設置した。

実験では、屋根上に少量の雪が積もった状況を想定し、降雪テーブル上には厚さ約 6cm の積雪を一様に敷きつめた。また、パラペットの形状効果を調べるため、パラペットの片側半分に三角形の部材を取り付け比較した。降雪を 8 時間続けた後、降雪を止め 16 時間放置するのを 2 回繰り返した。雪庇の形成状況をデジタルカメラにて 10 分間毎のインターバル撮影を行い記録した。

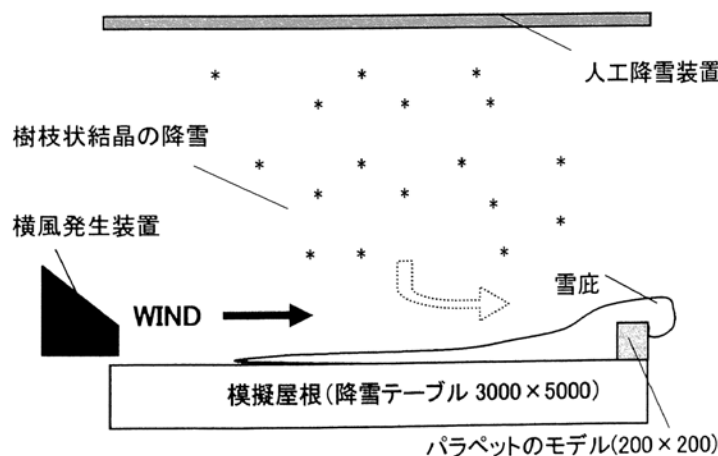


図 4-2-9 実験概要図



写真 4-2-2 実験概要

表 4-2-3 実験条件

室 温	-10℃
雪粒子	樹枝状結晶 (径 0.5～5mm, 密度 0.02～0.04)
降雪強度	平均 5.7cm/時 (20cm 角の箱を設置し毎時測定)
風 速	吹き出し口位置 6.0m/s, パラペット位置 2m/s
実験時間	48 時間 : (降雪 8 時間+16 時間放置) ×2 回

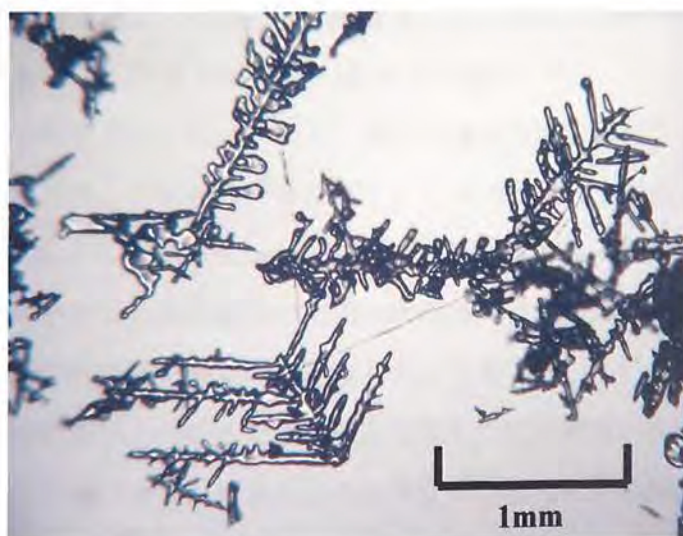


写真 4-2-3 実験で用いた降雪粒子

(3) 実験結果

1) 雪庇の形成状況

部材が設置されていないパラペットの雪庇の形成状況について、降雪 4 時間後の状況を写真 4-2-4 に、降雪 8 時間後の状況を写真 4-2-5 に示す。降雪時間の経過に伴い風下側のパラペットに吹きだまりが発生し、パラペットの高さ付近まで堆積した後、積雪面が水平方向に張り出した(写真 4-2-4)。降雪 8 時間後には、水平の張り出し長さが最大 14cm、パラペット上の積雪 32cm 程度まで成長した(写真 4-2-5)。これらの形成過程は、雪庇の大きさや形成時間に違いがあるものの、図 4-2-9 に示す前項の実建物を対象とした観測と同様である。

パラペット付近の雪の堆積は中央の間仕切り板付近で堆積が多く、降雪テーブル両脇では少ないなど、一様でない傾向にある。これは横風発生装置から出る風の分布が、噴出し口から離れるに従い両端の風速が低くなるためである。

パラペットに三角形の部材を取り付けたことによる効果については、パラペットの見付高さが増して堆雪容量が増加しているため、同一の降雪強度であっても部材の無いパラペットに比べ形成される雪庇は小さくなるが、雪庇の形成を防止する効果は認められなかった。

2) 雪庇の変形状況

降雪を終了し、16 時間放置した後の状況を写真 4-2-6 に示す。樹枝状の雪粒子が堆積した空隙を多く含む積雪であることから、放置後まもなく積雪の沈降が始まり、16 時間経過後にはパラペット上の積雪深が 32cm から 18cm まで減少した。

雪庇の水平方向への張り出しについても、雪庇が鉛直方向に垂れ下がったため、張り出し長さは 8.5cm になった。2 回目の降雪を終了し、16 時間放置した状況を写真 4-2-7 に示す。水平方向の張り出しの長さは 27cm、高さ方向は 32cm となった。これらの雪庇の変形状況は、実建物を対象とした屋外観測の初期の状況(表 4-2-2)と同様の傾向であり、雪庇の形成と変形の過程を定性的に実験室内で再現したと考える。

本実験手法は、建物屋根上の吹きだまりによる雪庇の形成初期の状況を想定した対策を検討する際に有用な手法であり、吹きだまりを考慮した雪庇対策の検討に適すると考える。例えば、パラペットの形状変化や、フェンスなどによる雪庇対策の検討に有用である。

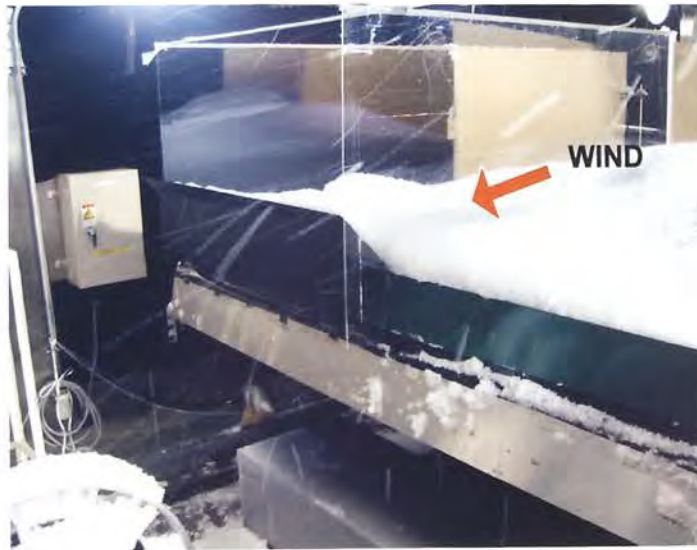


写真 4-2-4 降雪 4 時間後



写真 4-2-5 降雪 8 時間後

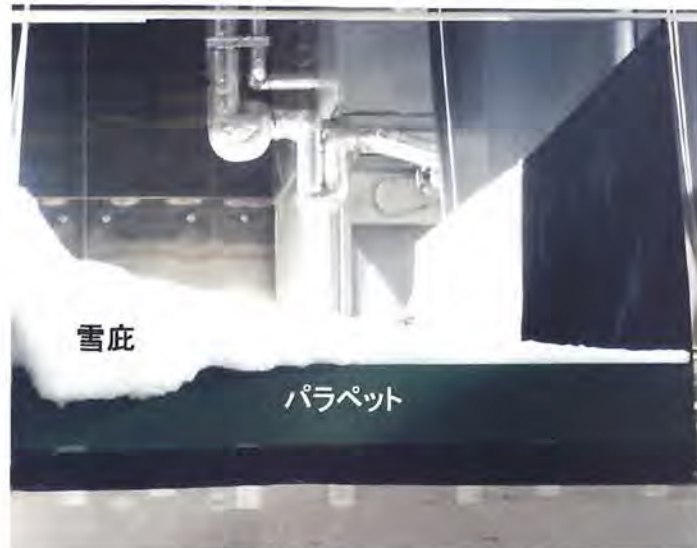


写真 4-2-6 16 時間放置後

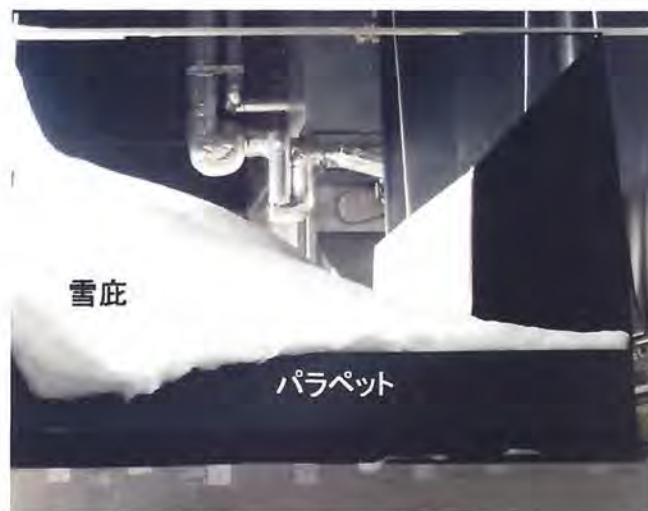


写真 4-2-7 降雪 2 回目終了後、16 時間経過時

3) 雪庇の断面観察

雪庇を中央部で鉛直方向に切った断面を写真 4-2-8 に示す。断面観察では、降雪 1 回目の雪庇の垂れ下がりで積雪面が内側に巻き込む様に折れ込み、雪庇の先端が壁面側と接触する状況が見られる。また、パラペットの中央部付近で積雪層と斜交する幅 10mm、長さ 330mm の亀裂(クラック)が認められた。クラックは雪庇の崩落と関連する。積雪断面には降雪 1 回目と 2 回目の間に層構造が見られる。雪庇の積雪層の密度変化を調べるため、スノーサンプラーを用いて雪密度を測定した。密度の分布状況を写真 4-2-9 に示す。下層部の密度が若干高い傾向にあるものの、降雪後の時間経過が短時間であり、実験室内の温度

は定常であるため、積雪の圧密による密度変化が小さく、雪の密度分布に明確な特徴は認められなかった。

4) 実験のまとめ

低温室内の人工降雪装置と実物大のモデルおよびを用いて、雪庇形成実験を行った。雪庇の形成過程については、吹きだまりによる積雪の張り出しとクリープ変形による雪庇の垂れ下がりなど、屋外と同様な結果が得られた。雪庇の断面観察では、層構造およびクラックが観察された。密度分布に関しては、実験が比較的短時間であったため、長期的な変化の影響については把握できなかった。



写真 4-2-8 雪庇の断面



写真 4-2-9 雪庇の密度分布

4.2.3 雪庇の形成メカニズム

屋外観測および検証実験結果から、乾雪地域に属する北海道の建物屋上における雪庇の形成には、降雪を伴う吹雪による建物屋上風下側の吹きだまりの発生が影響していると考えられる。吹きだまりが雪庇の形成に及ぼす影響についての模式図を図 4-2-10 に示す。

雪庇の形成メカニズムを述べると、風を伴う降雪により建物屋上の風下側に吹きだまりが形成され、吹きだまりが発達しパラペットの高さを超えると雪庇の形成が始まる(図 4-2-10, ①～②)。形成後、積雪のクリープ変形により雪庇が下向きに垂れ下がる(同, ③)。更に、風を伴う降雪があると雪庇が成長する(同, ④)。

このように雪庇の形成には「吹きだまり」が大きく関わっており、形成後は「クリープ変形」と「吹きだまり」の双方が関わっている。

雪庇の長期的な発達に関しては、温度の変動や日照が大きく影響することから、長期間の観測が必要である。更には躯体からの漏熱の影響も不明である。次項では、これらの課題について実際の公営住宅を対象とした観測調査により検討を行う。

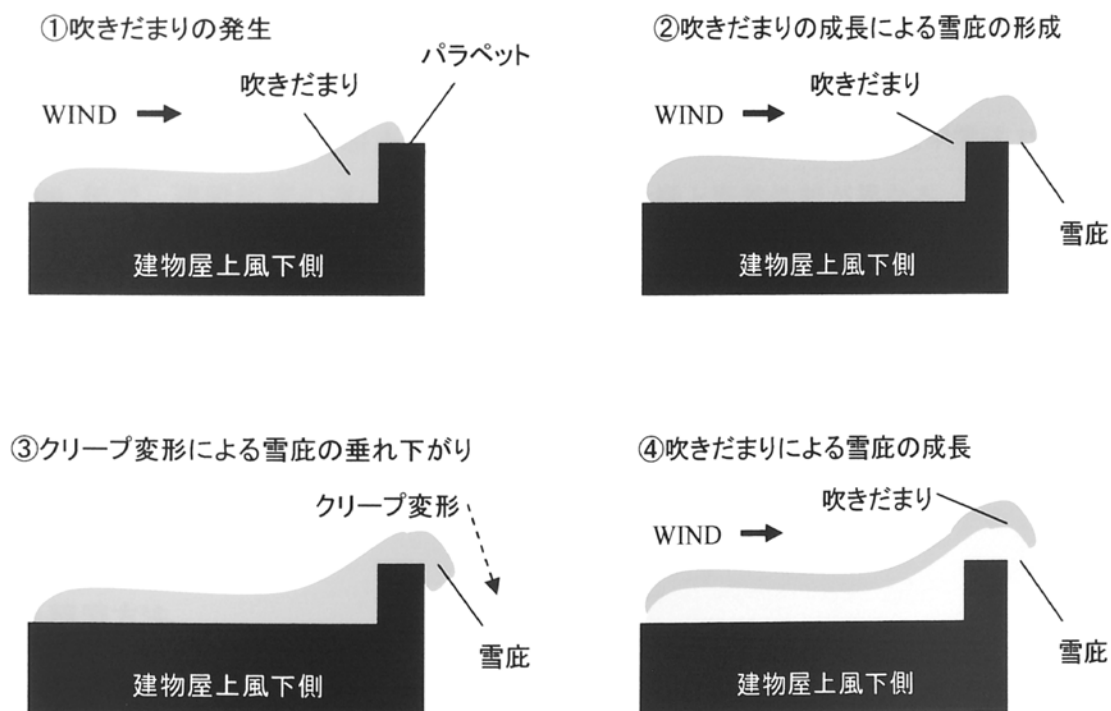


図 4-2-10 建物屋根上の吹きだまりが雪庇の形成に及ぼす影響

4.3 公営住宅における積雪分布と雪庇の発達過程

4.3.1 積雪分布と雪庇の発達過程に関する屋外観測方法

(1) 観測目的

前項で述べた雪庇形成メカニズムによれば(図 4-2-10), 雪庇の形成には屋根風下側の吹きだまりが関係している。本項では, 公営住宅の屋根上の積雪分布と雪庇の発達過程との関連を考察する。特に, 雪庇の形成場所である屋根風下側の吹きだまりが雪庇の発達に及ぼす影響に着目する。屋根上の積雪分布には, 屋根の形状, 降雪時の風速, 屋根の断熱性能, パラペットの高さなど様々な要因が影響している⁴⁻²⁶⁾。公営住宅は建設年代に応じて断熱性能などの仕様やパラペットの高さが異なり, 最上階の居室からの漏熱による影響も無視できないと考えられる。以上を踏まえ, 現在, 供用中で入居者がいる公営住宅を対象に調査と検討を行った。本項で得られる知見は, 実際の公営住宅における状況を反映しており, 公営住宅の雪庇対策を検討する上で有用な資料となる。

(2) 観測対象

調査対象は, 北海道旭川市に建つ建設年度の異なる陸屋根の公営住宅 4 棟(No.01~04)とした。調査対象の位置を図 4-3-1, 概要を表 4-3-1 に示す。建物の建設年度は 1986 年から 1999 年で, 建設年度の違いにより屋上の断熱仕様と断熱性能が異なる。各建物の規模は 5F~9F, 建物高さは 14.4~27.5m である。パラペットの高さは 22~30cm の範囲にある。No.01~04 のいずれについても, 恒風方向の風上側に調査対象の屋根上積雪に影響を及ぼすような建物は隣接していない。市内各所に設置されている旭川市役所管理の気象観測装置⁴⁻²⁷⁾の観測値(2003/12~2004/02)に基づく降雪時の恒風方向は, No.01, 02 がほぼ建物短軸方向, No.03, 04 は建物長軸方向である。

(3) 観測方法

屋根上の積雪分布は, 無雪期に予め設置した雪尺を用いて 1cm 単位で屋根上の積雪深を計測した(写真 4-3-1, 4-3-2)。雪尺は風下側のパラペットを基準に風上方向に向かって 1~2m 間隔で設置した。計測線は各建物の屋根中央付近の恒風方向とした。屋上積雪深の測定と同時に雪庇の形成状況を建物屋上および地上より目視にて調べた。併せて建物付近の空地において地上積雪深を測定した。

積雪深の計測および雪庇の調査は2003年12月～2004年3月にかけて延べ6回実施した。気象データの分析については、気象庁のアメダスおよび旭川市役所管理の気象観測装置による観測値を用いた⁴⁻²⁷⁾。



図 4-3-1 位置図 (01～04：調査建物位置，I～VI：気象観測点)

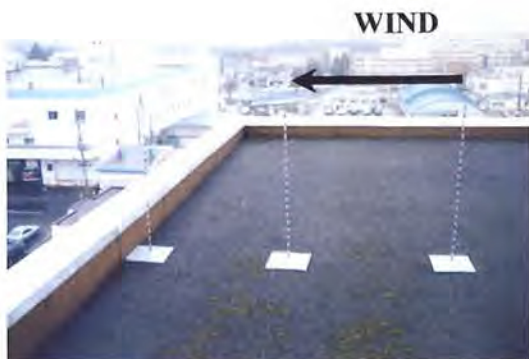
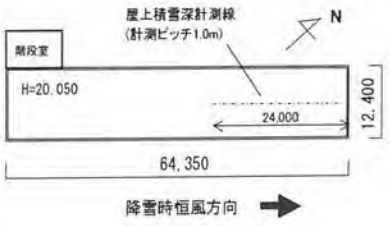


写真 4-3-1 設置状況(積雪無)



写真 4-3-2 設置状況(積雪有)

表 4-3-1 調査対象建物

外観写真	建物諸元	概要図(平面図)
<p>No.01</p> 	<p>建設年:1986 年 平面:65.6m×11.6m 階数:9F(高さ27.5m) パラペット高:22cm 屋上断熱仕様: 発泡プラスチック保 温板 50mm</p>	 <p>概要図(平面図)は、北方向を示すNの矢印と、降雪時恒風方向を示す矢印が示されています。図中の寸法は、全長29,220mm、中央部分の幅6,220mm、右側の長さ30,120mm、左側の高さH=27,500mm、右側の高さH=27,500mm、右側の全高さ11,550mm、中央部分の長さ15,000mm、および屋上積雪深計測線(計測ピッチ1.0m)が示されています。</p>
<p>No.02</p> 	<p>建設年:1989 年 平面:46.7m×11.4m 階数:5F(高さ14.4m) パラペット高:28.5cm 屋上断熱仕様: 発泡プラスチック保 温板 75mm</p>	 <p>概要図(平面図)は、北方向を示すNの矢印と、降雪時恒風方向を示す矢印が示されています。図中の寸法は、全長46,700mm、左側の長さ20,000mm、左側の高さH=14,350mm、右側の全高さ11,400mm、および屋上積雪深計測線(計測ピッチ1.0m)が示されています。</p>
<p>No.03</p> 	<p>建設年:1994 年 平面:64.4m×12.4m 階数:7F(高さ20.5m) パラペット高:25cm 屋上断熱仕様: 発泡プラスチック保 温板 75mm</p>	 <p>概要図(平面図)は、北方向を示すNの矢印と、降雪時恒風方向を示す矢印が示されています。図中の寸法は、全長64,350mm、左側の長さ24,000mm、左側の高さH=20,050mm、右側の全高さ12,400mm、および屋上積雪深計測線(計測ピッチ1.0m)が示されています。</p>
<p>No.04</p> 	<p>建設年:1999 年 平面:75.9m×12.7m 階数:9F(高さ25.8m) パラペット高:30cm 屋上断熱仕様: 発泡プラスチック保 温板 50mm×2, UF25mm 吹付</p>	 <p>概要図(平面図)は、北方向を示すNの矢印と、降雪時恒風方向を示す矢印が示されています。図中の寸法は、全長75,900mm、左側の長さ24,215mm、左側の高さH=25,820mm、右側の全高さ12,690mm、および屋上積雪深計測線(計測ピッチ風下側1~4m:1.0m, 風下側6~14m:2.0m)が示されています。</p>

4.3.2 積雪分布と雪庇の発達過程の関係

(1) 観測期間中の気象状況

アメダスの観測値による日最深積雪深および各建物位置での地上積雪深の推移を図 4-3-2 に示す。旭川市の積雪は 2004/02/21 まで例年より少ない 60cm 程度で推移したが、その後、100cm 以上まで増加し、概ね平年並の積雪深となった。アメダスによる観測期間内の日降雪量の最大値は 41 cm(2003/12/07)、日最深積雪深の最大値は 117cm(2004/03/02)である。各調査建物の地上積雪深はアメダス観測による積雪深の変化と同様な傾向で推移しているが、No.02, 03 の地上積雪深は他の地点と比べて大きく、No.01 は 10cm 程度少ない傾向にある。No.01 と No.02 の地上積雪深差は最大で 31cm(2004/03/02)であった。

各気象観測点の降雪日(日降雪量 5cm 以上)における風向発生頻度は、観測点ⅠがW(24.8%)、観測点Ⅱが WSW(20.9%)、建物 No.01 に近い観測点Ⅲが SSE(14.7%)および W(14.4%)、観測点Ⅳが WSW(15.3%)、建物 No.02, 03 に近い観測点Ⅴが SW(18.7%)、建物 No.04 に近い観測点Ⅵは SSW(19.8%)が最多風向であった。

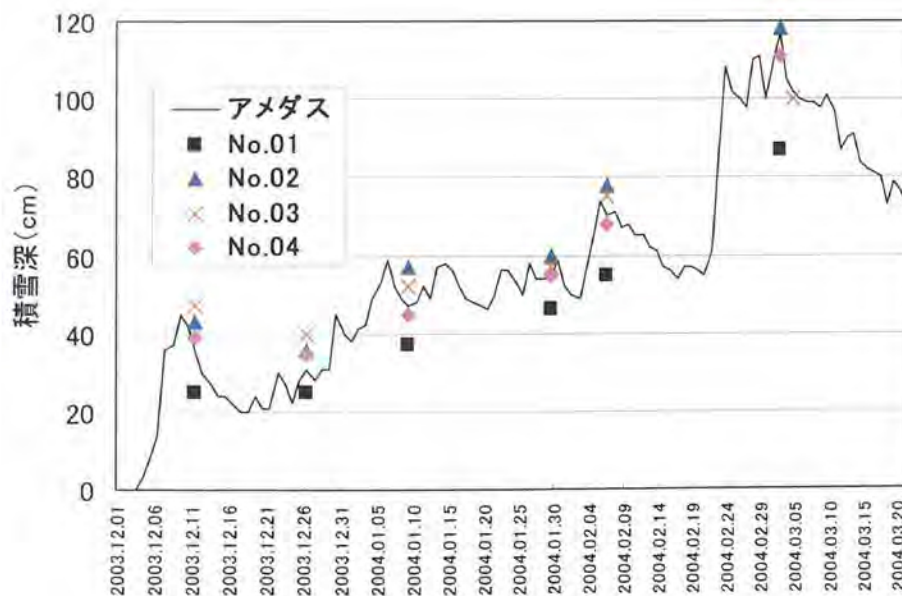


図 4-3-2 地上積雪深の推移 (2003.12.01～2004.03.20)

各気象観測点で観測された日平均風速および外気温の概況を表 4-3-2 に示す。冬期間(2004.01.01～02.29)の平均風速は各観測点において 1.0m/s 以下となり弱風の環境下であったが、降雪時(日降雪量 5cm 以上)に風速が増加する傾向が見られ、日平均風速の最大値(2.2

～2.9m/s)はいずれも降雪時に記録された。観測点位置の差異による日平均風速の差は顕著ではないが、観測点 I は風速計の設置高さが他の場所より高いため、観測された日平均風速も高い値となっている。外気温については、1～2 月の平均気温は－5.0℃を下回り、幹雪であることから風により雪粒子が移動しやすい状況であった^{4-24),4-25)}。

表 4-3-2 観測期間(2004.01～02)の日平均風速および外気温

記号	風速計高さ (m)	日平均風速(m/s)				外気温(℃)	
		全データ (n=60)		降雪時(n=21)			
		平均	最大	平均	最大	平均	最低
I	45.0	0.9	2.9	1.2	2.9	-5.0	-12.0
II	18.0	0.7	2.3	0.9	2.3	-5.7	-14.3
III	10.0	0.9	2.7	1.2	2.7	-5.4	-13.7
IV	13.0	0.8	2.4	1.1	2.4	-5.7	-14.5
V	11.0	0.9	2.2	1.0	2.2	-5.5	-12.9
VI	12.0	0.7	2.3	0.8	2.3	-6.0	-15.1

(2) 屋根上の積雪分布

調査対象建物における屋上風下側の積雪深の分布状況を図 4-3-3～6 に、地上積雪深に対する屋上各点の積雪深比(屋上各点の積雪深/地上積雪深)の平均値、最大値、標準偏差を表 4-3-3 に示す。以下に各建物の屋上積雪深の分布状況および風下側パラペット近傍の吹きだまり性状について述べる。

図 4-3-3 によれば No.01 の積雪深分布は、両端のパラペット近傍の積雪が屋上中央付近と比べ顕著に多い状況が見られ、最深積雪時の風下側パラペット付近の積雪はパラペット高さの最大 2.7 倍まで堆積した。No.02 の積雪深分布も No.01 と同様の傾向が見られ、風下側パラペット付近の積雪はパラペット高さの 2.9 倍まで堆積している(図 4-3-4)。これらの堆積形状については、主風向が同一である苫米地⁴⁻¹⁶⁾の RC 造 3 階建の実測結果と同様な傾向を示している。

ここで No.01, 02 の屋上積雪深の堆積過程を見ると、建物中央付近(計測位置 X=3～8)の積雪深は降雪初期段階から最深積雪時にかけての変動が少ない。これは、積雪深が少ない

箇所では融雪の影響、積雪深が 10cm 以上で推移している箇所は積雪層の断熱効果と風による吹き払いの影響が大きいと考えられる。

一方、パラペット近傍の積雪深は、降雪初期の 2003/12/11 から 2004/02/06 の間は地上積雪深の増加に伴い漸増しているが、2004/02/06 から 2004/03/02 の間は地上積雪深が 30cm 以上増しているにもかかわらず、増加が見られない。これは、吹きだまりが平衡状態に達したことにより、新たに積もった雪が風により吹き払われているためと考えられる。

表 4-3-3 から屋上積雪深の地上積雪深との比をみると、降雪初期において積雪深比の最大値は No.01 が 1.2, No.02 が 1.3 となり、屋上積雪深が地上積雪深より多い状態が見られる。最深積雪時には最大値が 0.64, 0.67, 平均値が 0.32, 0.38 となった。また、断熱性能が比較的劣る No.01 は融雪の影響により積雪深のバラツキが非常に大きい。

以上から、降雪時の卓越風向が建物短軸方向の場合、両端のパラペット近傍の積雪が屋根中心部の積雪より多い凹形の分布形状を示し、吹きだまりが平衡状態に達すると風による吹き払いの影響を受け積雪深の変動が少なくなる傾向にある。

降雪時の卓越風向が建物の長軸方向の No.03, No.04 については、降雪初期から最深積雪時にかけて地上積雪深の増加に伴い風下側の積雪深が漸増している(図 4-3-5,6)。パラペット付近の積雪は No.03 がパラペット高さの 3.2 倍、No.04 が 2.3 倍まで堆積した。屋上面の吹きだまり性状については、No.03 は風下側パラペット付近において積雪深が顕著に増加しているが、No.04 は降雪初期を除き、ほぼ一様に堆積している。No.03, 04 の屋上面の断熱仕様は異なっているが(表 4-3-1)、建物周囲の日平均風速については観測値にほとんど差が見られない(表 4-3-2)。苫米地⁴⁻¹⁵⁾によれば、屋上面での吹雪量は吹走距離(屋上面の長さ)に影響を受け、吹走距離が長いほど吹雪量が多く、屋根上積雪分布が不均一になることが明らかになっている。以上から、堆積性状の差異は No.03 と No.04 の断熱仕様の違いと共に吹走距離の差による屋上の吹雪量の違いなど複合的な要因によるものと推測される。

表 4-3-3 から地上積雪深と屋上積雪深との比を見ると、降雪初期においては積雪深比の最大値が No.03 が 1.13, No.04 が 1.23 となり地上積雪深より多い状況が見られ、最深積雪時には最大値で 0.8, 0.6, 平均値で 0.42, 0.58 となった。標準偏差については、No.03 は吹きだまりの影響などにより降雪初期から最深積雪時にかけて増加している。一方、No.04 は大幅に減少し、バラツキが小さくなった。降雪時の卓越風向が建物長軸方向の場合における特徴を述べると、地上積雪深の増加と共に、風下側の積雪深が増える傾向にある。これは、吹雪が発達するために必要な吹走距離が卓越風向に沿って十分に確保されて

いるためと考えられる。

図 4-3-7 に観測対象とした公営住宅における屋根上の吹雪が発達するための吹走距離と風下側の吹きだまり高さとの関係を示す。図中では、No.02 は階数が他の公営住宅より低い
ため除外している。吹きだまり高さは最深積雪時の屋根風下側の積雪深とした。図 4-3-7
によれば、屋根上の吹走距離が長くなるに従い、吹きだまり高さが増える傾向にある。す
なわち、屋根の向きと吹雪発生時の風向の位置関係により、屋根風下側の吹きだまり量が
大きく異なり、雪庇の成長にも影響を及ぼすと考ええる。

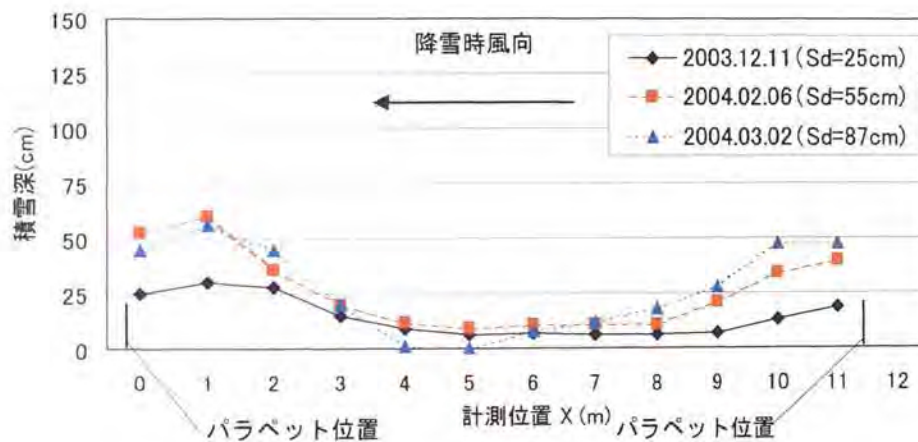


図 4-3-3 No.01 屋上風下側の積雪深分布

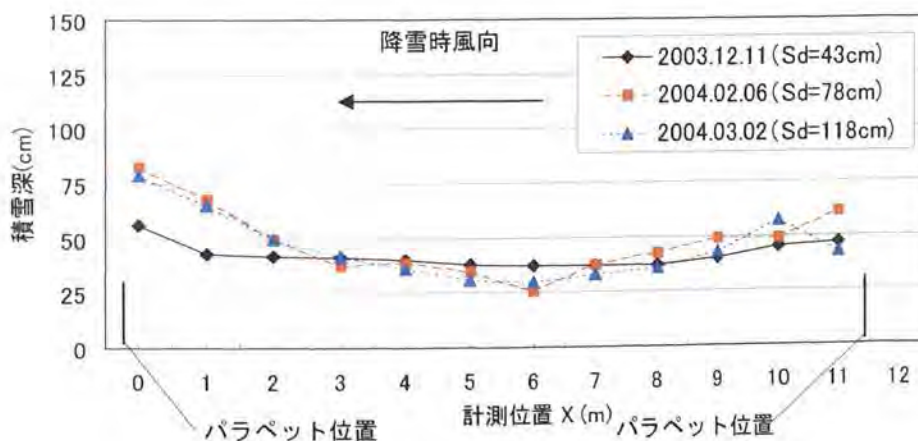


図 4-3-4 No.02 屋上風下側の積雪深分布

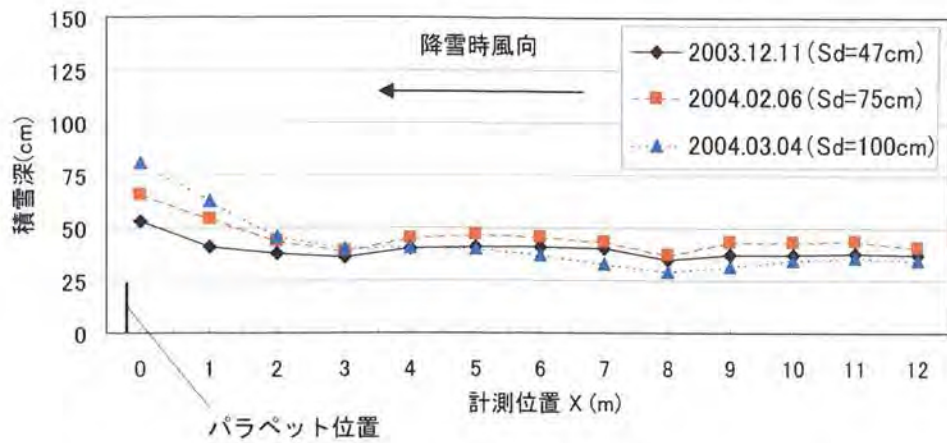


図 4-3-5 No.03 屋上風下側の積雪深分布

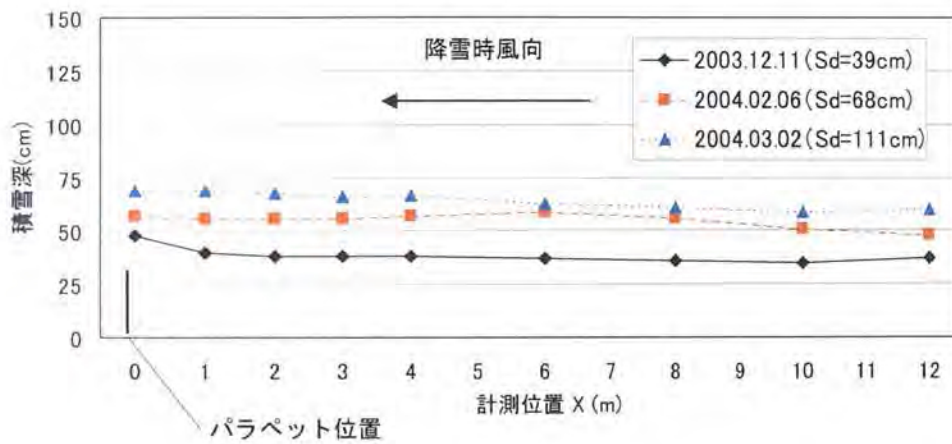


図 4-3-6 No.04 屋上風下側の積雪深分布

表 4-3-3 積雪深比(降雪初期:2003.12.11,最深積雪時:2004.03.02)

No	測定 点数	平均値		最大値		標準偏差	
		降雪 初期	最深 積雪時	降雪 初期	最深 積雪時	降雪 初期	最深 積雪時
No.01	12	0.57	0.32	1.20	0.64	0.36	0.23
No.02	12	0.97	0.38	1.30	0.67	0.13	0.13
No.03	13	0.84	0.42	1.13	0.81	0.10	0.14
No.04	9	0.99	0.58	1.23	0.62	0.10	0.04

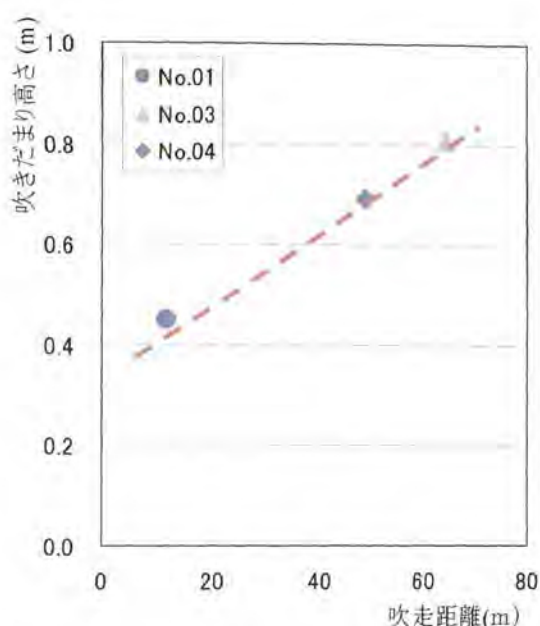


図 4-3-7 屋根上の吹走距離と吹きだまり高さとの関係

(3) 屋根上の積雪分布と雪庇発達過程の関係

調査対象建物における屋根風下側の積雪深の分布を図 4-3-8～11 に示す。積雪深(D)と計測位置(X)は各建物のパラペットの高さ(H)で正規化した。図中の Sd は毎計測時における対象建物付近の空地での地上積雪深の値である。図 4-3-8～11 によれば、全ての建物において風下側パラペット近傍を頂点とする吹きだまりの発生が見られ、パラペット近傍の積雪深は、最深積雪時でパラペット高さ(H)の 2～3 倍まで達している。風下側の吹きだまりの形状は No.01～03 がパラペットに近づくに伴い積雪深が増加する傾向にある。一方、No.04 は降雪初期を除き、ほぼ一様に堆積する傾向にある。No.01, 02 は地上積雪深が増加しても軒先部の積雪深が増加しないなど、吹きだまりが平衡状態になっている。一方、No.03, 04 は地上積雪深の増加と共に軒先部での積雪深の増加が見られる。

各建物における雪庇の形成はモデル建物の観測調査と同様の傾向を示し、屋上風下側の吹きだまりがパラペットの高さを超えると形成が見られた。形成初期の状況を見ると、12/11 において No.01 では雪庇が形成されていない。これは、屋上風下側の吹きだまりがパラペットの高さと同程度のためである(図 4-3-8)。一方、同日において吹きだまり高さがパラペットの高さを超えた No.02～04 では雪庇の形成が確認された(図 4-3-9～4-3-11, 写真 4-3-3～4-3-5)。

形成された雪庇は、降雪直後には庇状に張り出すが、時間の経過と共に自重により垂れ

下がる状況が見られた。再び降雪があると軒先部の吹きだまりが発達し雪庇の成長が観察された(写真4-3-6～4-3-10)。発達した雪庇の先端の形状に着目すると(写真4-3-7～4-3-10)、雪の堆積が層状になっている状況が見られる。これは、雪庇の上面への吹きだまりの堆積により雪庇が段階的に成長していることを示している。これらの傾向は、前述の観測結果、既往の研究結果とも類似している^{4-4,4-6)}。以上から、北海道の公営住宅における屋根上の雪庇は、吹きだまりにより雪庇の先端部に雪が段階的に堆積し、成長すると言える。

(4) 断熱性能と雪庇形成の関係

屋根面の断熱性能の影響については、断熱性能が低い建物(No.01)では、居室のある躯体中央付近において、室内側からの漏熱による融雪が顕著に見られるが、雪庇の形成に関わる屋根の両端部では融雪が殆ど見られない。これは、躯体から熱橋の有無と共に居室の位置が関係していると考ええる。一方、断熱性能が比較的高い建物(No.02～03)では、室内側からの漏熱による影響が若干見られるものの、断熱性能が高い建物(No.04)では、融雪の状況が殆ど見られない。今後、北海道において整備される公営住宅は、断熱性能の仕様が高水準にあり、熱橋対策も為されていることから⁴⁻²⁸⁾、雪庇形成に及ぼす融雪の影響は極く小さいと考える。一方、断熱性能の低い既存の公営住宅については、屋根上積雪分布に融雪の影響があると考えられることから、雪庇対策の検討の際に考慮する必要がある。

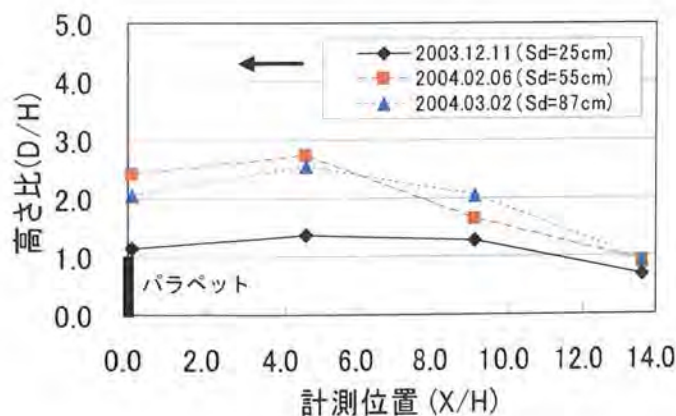


図 4-3-8 No.01 の屋根風下側の積雪深分布

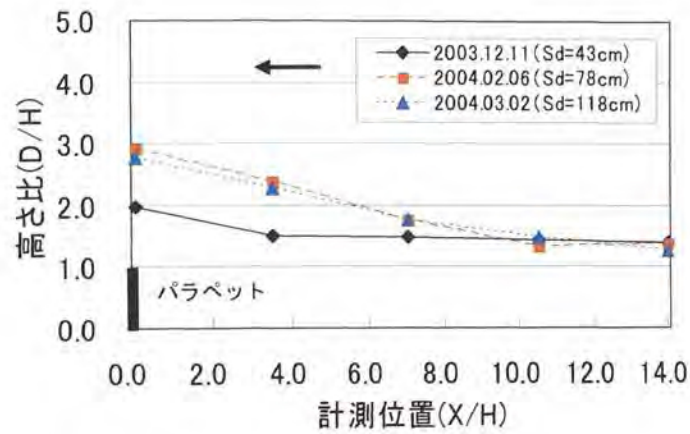


図 4-3-9 No.02 の屋根風下側の積雪深分布

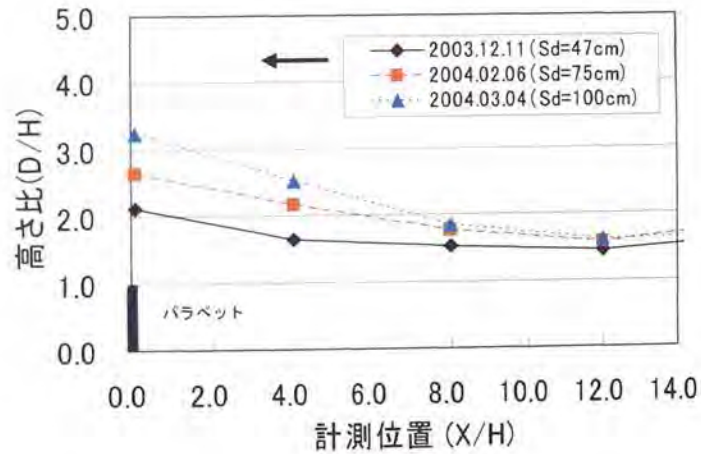


図 4-3-10 No.03 の屋根風下側の積雪深分布

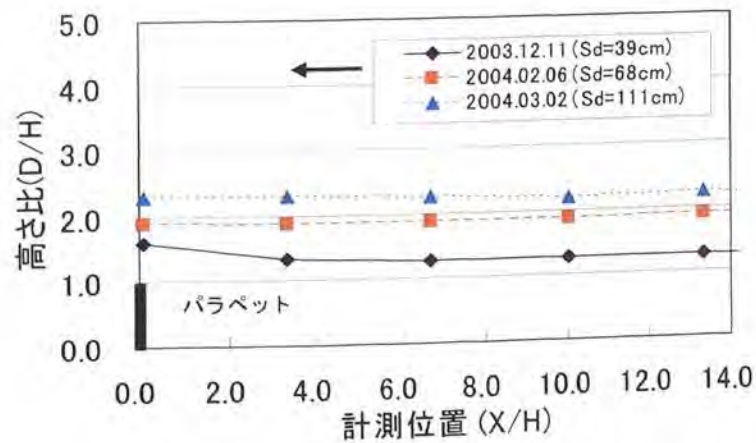


図 4-3-11 No.04 の屋根風下側の積雪深分布



写真 4-3-3 No.02 雪庇の形成初期
(撮影日：2003 年 12 月 11 日)



写真 4-3-6 No.02 雪庇の発達
(撮影日：2004 年 3 月 2 日)



写真 4-3-4 No.03 雪庇の形成初期
(撮影日：2003 年 12 月 11 日)



写真 4-3-7 No.03 雪庇の発達
(撮影日：2004 年 3 月 4 日)



写真 4-3-5 No.04 雪庇の形成初期
(撮影日：2003 年 12 月 11 日)



写真 4-3-8 No.04 雪庇の発達
(撮影日：2004 年 3 月 2 日)



写真 4-3-9 No.01 雪庇の発達
(撮影日：2004 年 3 月 2 日)



写真 4-3-10 No.01 雪庇の発達
(撮影日：2004 年 3 月 2 日)

(5) 吹きだまりと雪庇の成長量との関係

屋根上風下側の吹きだまりと雪庇の成長量との関係について考察する。雪庇の成長量に関しては、雪庇の形成位置付近での実測が危険を伴う作業のため、地上から雪庇の写真をデジタルカメラにて撮影し、壁面に取り付けられている規格品の建築部材(換気フードなど)との大きさの比較を画像解析により行い、調査時における壁面からの雪庇の水平方向への長さを算定した(図 4-3-12)。吹きだまりの成長量については、図 4-3-8～4-3-11 の風下側パラペット位置($X/H=0$)における、調査時の積雪深とパラペットとの高さ比(D/H)とした。

建物 No.01 ～04 の調査時におけるパラペット位置の吹きだまり量(D/H)と雪庇の水平方向長さ (cm) との関係を図 4-3-13 に示す。図 4-3-13 によれば、建物 No.01, 02 では軒先部の吹きだまり量の増加が $D/H=2.4\sim 2.9$ 付近で平衡状態になった後、雪庇が水平方向へ急激に成長している状況が見られる。一方、No.03, 04 ではパラペット位置での積雪深の段階的な増加と共に雪庇も水平方向へ徐々に成長している状況が見られる。以上から、雪庇はパラペット位置での積雪深の増加により水平方向に段階的に成長し、やがて吹きだまりが平衡状態になると、水平方向へ急激に成長すると考える。表 4-3-1 から雪庇が急激に成長した建物の特徴をみると、いずれも降雪時の恒風方向が建物の短軸方向の建物であることから、雪庇対策を検討する際には、パラペットの影響による屋根上の吹きだまり性状と共に建物の配置方向と建設地の恒風方向に配慮する必要がある。



図 4-3-12 雪庇成長量の算定

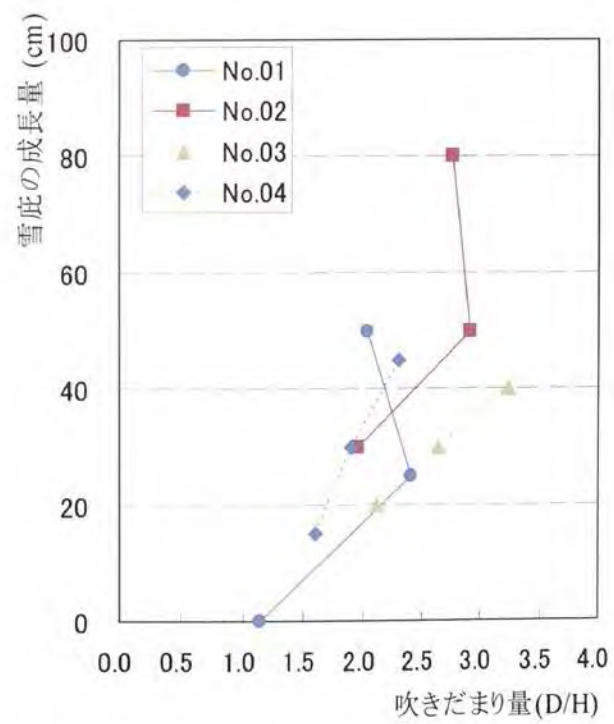


図 4-3-13 吹きだまり量と雪庇の成長量の関係

4.4 北海道の公営住宅における雪庇対策

屋外観測および実験的検討により、雪庇対策の検討に必要な基礎的知見が得られた。本項では、北海道の公営住宅整備において効果的な雪庇対策の検討が行えるよう、これまで得られた知見を整理し、雪庇対策の考え方と方法を示す。

4.4.1 気象特性に基づいた雪庇対策の考え方

(1) 風速と降雪量を指標とした雪庇の成長要因の区分

屋外観測で明らかになったように、雪庇の形成は気象条件と関係していることから、雪庇対策を検討する際は、当該地域の気象特性を考慮することが必要である。これは、雪庇の形成には屋根上の積雪分布が影響し、風の強さや降雪量により屋根上の積雪性状が大きく変化することによる。建築物荷重指針による屋根形状係数の規定によれば、1、2月の平均風速が2m/sを超える地域では屋根上において積雪の偏分布が発生するとされており⁴⁻³⁰⁾、この風速が屋根上における吹きだまり発生を目安になると考える。

図 4-4-1 は降雪量と風の強さにより、雪庇の成長要因を区分したものである。図に示すように、降雪量が多く風も強い地域では、屋根上に吹きだまりが発生するため雪庇の成長には「吹きだまり」と「クリープ変形」の両方が関係する。一方、降雪量が少なく、風が弱い地域では屋根の風下側に吹きだまりの発生が殆どないため、雪庇が形成する危険性は小さいと言える。降雪量が多く、風が弱い地域では主に「クリープ変形」が、降雪量が少なく、風が強い地域では「吹きだまり」が雪庇の主な成長要因となる。

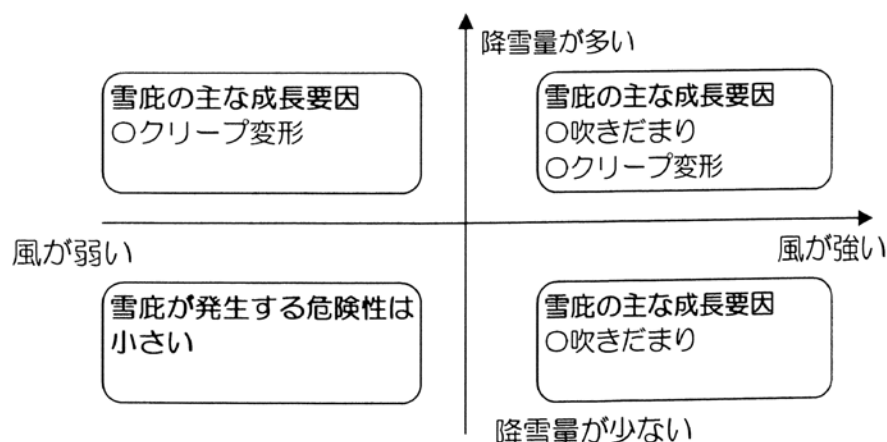


図 4-4-1 雪庇対策の実施において考慮すべき気象条件と雪庇の成長要因との関係

(2) 雪庇の形成位置の特定

雪庇(吹きだまり)は降雪時の風下側に形成されるため、冬季の卓越風向もしくは降雪時の風向特性を考慮することにより、およその雪庇形成位置の把握が可能である⁴⁻³¹⁾。

雪庇の形成が予想される方向に被災物となる玄関や通路、灯油タンク、電気の配線やアンテナ、タラップなどを設置しないようにする(写真 4-4-1)。建築プランの都合上、やむを得ず入口を風下側に設ける場合は、小庇、小屋根などを設けるなど落下に備える(写真 4-4-2)。

各地域における冬の卓越風向を知るための気象資料は、気象官署や気象サービスにより入手可能であり、雪庇の形成場所の予測に活用できる。雪庇の形成メカニズムに関する屋外観測によれば、雪庇の成長時は日平均風速が $2\sim 3\text{m/s}$ 以上、日降雪量が $10\sim 15\text{cm}$ 以上の条件である(図 4-2-8)。過去に日降雪量が 10cm を超えた日の日最多風向を調べることで、およその雪庇の形成位置の特定が可能であると考えられる。屋根形状が複雑な場合、複数の住棟が近接する場合には、周辺建物の雪庇の形成位置を調べると共に、吹雪風洞実験等により発生場所の予測を行う必要がある。



写真 4-4-1 管理用タラップ上の雪庇



写真 4-4-2 出入口の小庇

4.4.2 雪庇の形成メカニズムに基づいた対策手法

(1) 雪庇の形成メカニズム

陸屋根などフラットな屋根形状を持つ建築物の屋根における雪庇の形成メカニズムは図 4-2-10 に示すとおりである。図 4-4-2 に雪庇の成長プロセスを示す。雪庇の成長における第 1 のプロセスは、風を伴う降雪による屋根風下側での吹きだまりの発生である。屋根の風下側の障害物(パラペット)の有無により、吹きだまりの形状は異なるが、屋根風下側に吹きだまりが発生し、吹きだまりの高さが屋根風下側の障害物を超えると、雪庇の形成

が始まる。パラペットが設置されていない屋根では、雪原に形成される雪庇と同様の機構により雪庇は形成される^{4-12),4-13)}。

第2のプロセスは、屋根風下側の吹きだまりが水平方向に張り出すことによる雪庇の形成である。吹きだまりが水平方向に張り出すパターンは2種類ある。一つは、降雪により新雪が屋根風下側の先端に堆積し、張り出しが起きるパターン。これらは、観測調査結果から雪庇が降雪時にのみ顕著に成長することから裏付けられる。もう一つは、吹きだまりなど屋根端部に大量に堆積した積雪が圧密沈降の過程で、屋根風下側に積雪面が張り出すパターンである。これらは降雪量が多い地域で見られる冠雪が庇状になる現象と同一である(写真 4-4-3)。

第3のプロセスは、水平方向に張り出した雪庇が自重によるクリープ変形により下向きに垂れ下がる過程である。雪は粘弾性的性質を持つ物質であり、時間の経過と共に圧密や焼結などにより雪粒子間の結合力が増すため、長期間に渡りクリープ変形する(写真 4-4-4)。

第4のプロセスは、形成された雪庇の上面へ降雪により更に雪が堆積する過程である。北海道の冬は寒冷であることから、一度堆積した雪は融けずに残るため、屋根に形成された雪庇は長期間に渡り成長を続ける。北海道では冬期間にまとまった降雪が度々起きるため、降雪の度に雪庇の上面に雪が堆積する。降雪により自重を増した雪庇は圧密とクリープ変形により、更に垂れ下がり続ける。山岳地帯における雪庇の断面観測によれば^{4-1),4-5)}、雪庇は層構造を持つことが明らかにされており、本章における室内実験においても層構造が見られた。これら観測結果に基づく一連の成長プロセスは、断面観測結果と矛盾していない。建築物の雪庇対策を考える際には、この成長機構を考慮することが重要であり、図 4-4-2 に示すプロセスの連鎖をいずれかの箇所で断ち切ることにより、雪庇の成長を抑制することが出来ると考える。



写真 4-4-3 冠雪による庇の形成(芦別市)



写真 4-4-4 積雪のクリープ変形(旭川市)

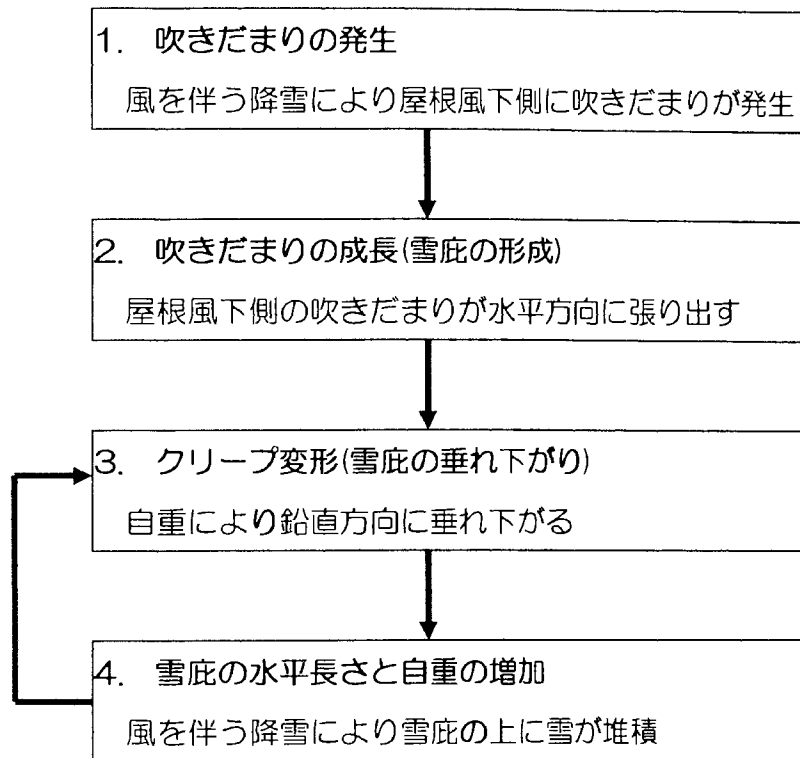


図 4-4-2 雪庇の成長プロセス

(2) 雪庇の形成メカニズムに基づく対策の考え方

前述の雪庇の成長機構を踏まえ、公営住宅における具体的な雪庇対策について考察する。ここでは、陸屋根などのフラットな屋根形状を持つ公営住宅の雪庇対策を検討対象とし、落雪屋根は雪庇の形成が殆ど無いと考えられることから、本項の対象には含まない。また、ランニングコストが発生する熱エネルギー利用による雪庇対策は、ここでは取り扱わないこととする。

図 4-4-2 の「吹きだまりの発生」と「雪庇の成長」の原因は、降雪現象および風の発生であるが、これらは気象現象であることから、建築的対策により完全に防ぐことは出来ない。従って、この二つに関しては、本章 4.4.1 で述べた気象特性を考慮した減災的対応となる。一方、「吹きだまりの成長(雪庇の形成)」および「クリープ変形」については建築的手法により防止が可能である。雪庇の形成メカニズムと雪庇対策との関連について図 4-4-3 に示す。

公営住宅整備においては、建設地の気象分析と図 4-4-1 から建設地の雪庇の成長要因を把握した上で、予算と実状に応じ、図 4-4-3 のどの段階において雪庇対策を行うかを検討

し、図 4-4-3 に示す対策を実施する。次項では、「吹きだまりを考慮した対策」および「クリープ変形を考慮した対策」について述べる。

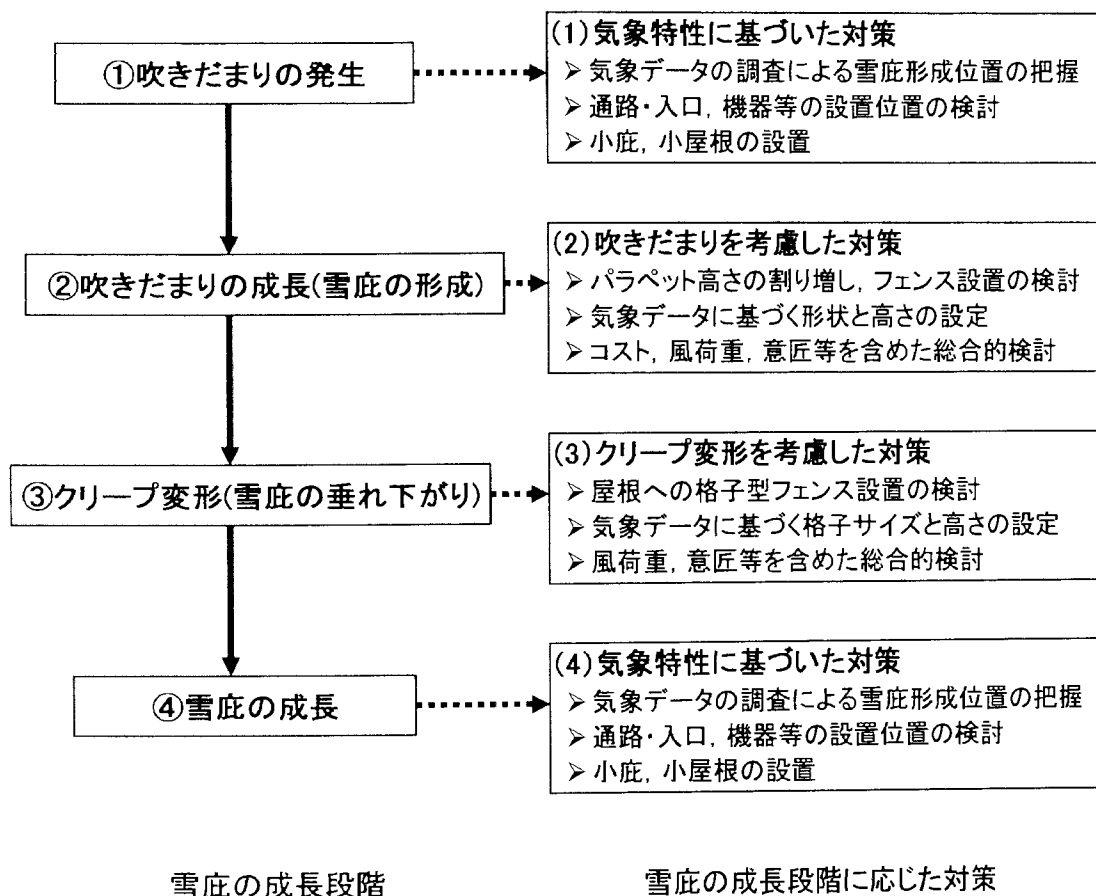


図 4-4-3 雪庇の形成メカニズムに基づいた対策の考え方

(3) 吹きだまりを考慮した対策

吹きだまりを考慮した雪庇対策は、吹きだまりが水平方向に成長するのを建築的に防止あるいは軽減する対策である。一つの方法として、道路防雪柵の知見を応用したフェンスの設置などが考えられるが、フェンスの形状や設置位置などにより、防雪の機構が全く異なり、それぞれ一長一短がある^{4-8)~4-10)}。板を傾けるなど雪を吹き払うタイプ(吹き払い柵)は、風が非常に強い沿岸部などでは、吹きだまりを軽減する一定の効果が期待できるが、建物が密集している住宅地や内陸部など、風が弱い場所では吹き払う効果はあまり期待できない。雪粒子が動き始める風速は雪質により異なるが、乾雪地域である北海道では、風速 5m/s 程度と言われており⁴⁻²⁵⁾、この程度の風速が屋根面上で安定して吹くことが設置の

目安になる。

積雪を止めるタイプのフェンス(吹き止め柵)は、フェンスの風下側に雪が堆積しないよう設置位置を出来るだけ軒先に近い位置にする必要がある。このタイプのフェンスは吹きだまりがフェンスの高さを超えるまでは雪庇が発生しない効果を持つ。パラペットの高さを増すことも同様の働きを持つと言えるが、雪を風下側でせき止めることにより、フェンス周辺(パラペット近傍)で雪が過大に堆積する恐れがあり、雪による偏荷重や側圧の発生が予想される。前述のように屋根上の積雪がパラペットの高さを超えると雪庇の形成が始まる。また雪庇防止用の笠木やフェンスについても、吹きだまりがそれらの高さを超えると防止効力が失われることから、吹きだまりを考慮した対策の検討にあたっては屋上積雪深の設定と風下側の吹きだまり量の予測が重要である。

表 4-6-1 に示すように屋根上積雪深には様々な環境因子が影響するため⁴⁻²⁶⁾、確定的な算定方法は未だ定まっていない。構造計算における積雪荷重の算定では、再現期間 100 年に対する年最大積雪深を用いているが、雪庇対策に適用するには過剰設計になる場合もあり、雪害の許容度に応じて設定を検討するのが合理的と考える。一般的に活用できる積雪深に関する統計データとしては、気象庁が各地に設置している気象官署やアメダスにて観測された地上積雪深の値が挙げられ、月報や CD-ROM、Web サービスの利用により入手可能である。各地の地上積雪深に関するデータが得られるので、該当する地域の最深積雪深の値を雪害の許容度に応じて、ある程度の統計期間で整理するのが合理的な方法である。

屋根上の積雪深は強い風が吹く場所では屋根上の雪粒子が吹き飛ばされて、地上に比べ少なくなるとされているが、一方で、周辺障害物や建物の形状の影響によって吹きだまりが生じ、屋根上積雪深が地上積雪深の 2 倍以上の値を記録したとの報告もある⁴⁻²⁶⁾。

本章で実施した、旭川市における公営住宅を対象とした屋根積雪深分布調査によれば、地上積雪深が最大値を示した際の、屋上風下側のパラペット近傍における積雪深は 5F 建の建物で地上積雪深の 67%(地上積雪深 118cm)の高さまで堆積した。7F 建の建物では 81%(地上積雪深 100cm)、9F 建ての建物では 64%(87cm)と 62%(111cm)である。立地条件や建物高さ、断熱性能の違いはあるものの、旭川市における公営住宅のパラペット近傍の積雪深は地上積雪深の 60～80%の範囲であった。

パラペットおよびフェンスの高さの設定に当たっては、屋根上の積雪深が一つの目安となるが、フェンスの高さを過剰に設定すると、意匠性、経済性などに関して問題を生じることも考えられることから、状況に応じて雪下ろし等の維持管理作業を含めた対応も必要であろう。また、屋根の設置物に関しては、台風などの強風時の風圧に対する配慮が必要

であり、風荷重がフェンスに加わった際の脱落、屋根や防水層の損傷を招かないよう施工方法に注意を要する。以上述べたようにフェンスの高さについては、屋根上積雪深と共に風圧などの荷重発生を考慮して設定することが求められる。

表 4-6-1 屋根上積雪深に影響を及ぼす環境因子 ⁴⁻²⁶⁾

巨視的因子	海岸からの距離、標高、地形傾斜、地形曲率、その他
中間的因子	樹林、隣接建築物、微地形、その他
微視的因子	暖房による屋根面の温熱環境、屋根葺材、屋根の向き、その他

(4) クリープ変形を考慮した対策

クリープ変形を考慮した雪庇対策については、開口部を有するフェンスによるクリープ変形を抑制する方法や⁴⁻³²⁾、鋭角な笠木(2章,写真 2-10)を用いることにより、圧密沈降やクリープ変形時に雪庇を切断する方法が挙げられる。

両者の方法で共通する検討事項は、フェンスおよび笠木の高さを積雪が大きく超えると屋根上の積雪と雪庇が結合することにより、雪庇を支える支持力が強まり雪庇が落下・消失せず、成長を続けることである(写真 4-1-2)。屋根上の積雪深の算定とフェンス等の高さの設定については、前項の吹きだまりを考慮した対策で述べている通りである。

開口部を持つフェンスについては、風によって運ばれた雪が透過するような大きな開口を持つフェンスを設置することによって、雪庇がクリープ変形により成長することを抑制すると共に、雪庇が大きく成長する前に落下する効果が期待できる。格子の大きさや格子材幅が雪庇抑制効果に大きく影響するため、設計する際には慎重な検討が求められる。

雪庇は時間経過と共に雪粒子が結合することにより強度が増進するため容易に自然崩落せず人為的に落とす必要が生ずる。更に密度が増すことにより、自重が重くなり落下時の危険性が増す。また、融雪水の発生により、雪庇に氷柱が出来る場合もあるので、雪庇の形成後に速やかに除去する必要がある。

4.5 本章のまとめ

本章では、2 章での調査結果を踏まえ、北海道の公営住宅において屋根雪による雪問題で最も大きな技術的課題となっている「雪庇」を対象に屋外観測および実験的検討を行った。第一に、屋外観測と実験により雪庇の形成メカニズムを明らかにした。第二に、実在の公営住宅における雪庇の発達要因を明らかにし、雪庇対策に関する基礎的知見を示した。更に、得られた知見を整理し、北海道の公営住宅における雪庇対策の考え方と手法を提案した。本章の検討結果を以下に要約する。

(1) 屋根上における雪庇の形成メカニズム

実建物に形成される雪庇について屋外観測を行い、雪庇の形成過程を明らかにし、雪庇の形成と成長の要因を特定した。更に、人工降雪装置を用いて形成メカニズムに関する検証実験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

1. 雪庇の形成と成長には屋根風下側の吹きだまりと雪のクリープ変形が大きく影響している。吹きだまりがパラペットの高さを超えると雪庇の形成が始まり、クリープ変形により雪庇が垂れ下がる状況が観測された。
2. 雪庇が成長する気象環境のおよその目安としては、日降雪量が 10cm 以上で日平均風速 2.0m/s 以上である。
3. 人工降雪装置を用いた樹枝状結晶による降雪に、横風を加えることにより、屋外観測と同様の雪庇形成過程が再現された。
4. 本実験手法は、建物屋根上の吹きだまりによる雪庇の形成初期の状況を想定した対策を検討する際に有用な手法である。
5. 雪庇の断面観察を行ったところ、層構造およびクラックが観察された。雪庇内の雪密度は、短時間の実験では大きな変動は見られない。

(2) 公営住宅における積雪分布と雪庇の発達過程

公営住宅における屋根上の積雪分布が雪庇発達過程に及ぼす影響を調べるため、建設年代の異なる複数の公営住宅を対象に、積雪分布と雪庇の成長に関する実測調査を行った。その結果、以下の知見が得られた。

1. 陸屋根とパラペットを有する公営住宅に形成される雪庇は、屋根風下側の吹きだまりがパラペット高さを超えると形成が始まる。

2. 雪庇はパラペット近傍での積雪深の増加により段階的に成長する。
3. 雪庇はパラペット近傍の吹きだまりが平衡状態になると水平方向へ急激に成長する。
4. 雪庇の発達にはパラペット近傍の吹きだまりが最も影響し、吹きだまりには住棟の方位と風上側の吹走距離が影響している。吹走距離が長いほど吹きだまり量が多い結果となった。
5. 躯体から漏熱の影響については、断熱性能が低い建物では、居室のある躯体中央付近において、室内側からの熱の影響による融雪が顕著に見られるが、断熱性能の高い建物では、漏熱の影響は殆ど見られない。

(3) 北海道の公営住宅における雪庇対策

屋外観測、実験による検討結果をまとめ、北海道の公営住宅整備における雪庇対策の考え方を示した。

1. 気象特性に基づいた雪庇対策の考え方を示し、雪庇対策における気象データの利活用について述べた。
2. 雪庇の形成メカニズムに基づいた対策手法を示し、雪庇の成長プロセスの段階に応じた雪庇対策の実施と検討項目について述べた。

(4) 次章における課題

本章では、雪庇対策に関して「気象特性に基づく対策」、「雪庇の形成メカニズムに基づく対策」について述べた。対策の選定に当たっては、気象特性毎の発達要因を考慮し、費用対効果の観点から対策を選定するのが、公営住宅整備上、最も合理的判断であると考えられる。すなわち、雪庇による危険が少ない地域で、過剰な雪庇対策の実施は極めて不経済であり、雪庇による大きな問題が懸念される地域で、雪庇対策を実施しないのは、安全確保や被害防止の観点から問題がある。一方で、このような雪対策に関する行政的判断を支援する手法は、現時点では整備も提案もされていない。次章では、このような課題を踏まえ、「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」の構築に向けた検討を行う。

参考文献

- 4-1) Gerald. Selligman : Snow Structure and Ski Fields, pp237-270, 1936.
- 4-2) (社)日本建築学会雪荷重小委員会：シンポジウム『『建築設計と雪』の問題を考える』資料, 2006.10
- 4-3) 石田完, 小林俊一, 小林大二：手塩地方山地の雪庇調査 I , 低温科学, 物理編, 29, pp.94-101, 1971
- 4-4) 小林大二ほか 5 名：手塩地方山地の雪庇調査 I , 低温科学, 物理編, 29, pp.104-113, 北海道大学, 1971
- 4-5) 成瀬廉二, 西村寛：雪庇の構造と雪質 I , 低温科学, 物理編, 38, pp.41-51, 北海道大学, 1979
- 4-6) 成瀬廉二：雪庇の表面形態, 低温科学, 物理編, 39, pp.75-80, 北海道大学, 1980
- 4-7) J. Lathan : The Possible Importance of Electrical Forges in the Development of Snow cornice, Journal of Glaciology, Vol.9, No.57, 1970
- 4-8) 丸山久一：雪庇防止に於ける板塀柵について, 雪氷, Vol.16, No.4, pp.12-16, 1955
- 4-9) 今井篤雄：雪庇防止に於ける吹払式柵について, 雪氷, Vol.16 巻, No.4, pp.17-24, 1955
- 4-10) 金野篤, 今井篤雄, 丸山久一：雪庇防止における板塀柵の調査, 雪氷, Vol.17, No.3, pp.18-20, 1956
- 4-11) K. L. Dawson, T. E. Lang : EVALUATION OF JET-ROOF GEOMETRY FOR SNOW-CORNICE CONTROL, Journal of Glaciology, Vol.22, No.88, pp.503-511, 1979
- 4-12) 小林大二：みぞの縁にできる小雪庇, 低温科学, 物理編, 27, pp.405-407, 北海道大学, 1969
- 4-13) 内藤明男, 小林大二：雪庇の発生に関する実験的研究, 低温科学, 物理編, 44, pp.91-101, 北海道大学, 1985
- 4-14) 苫米地司, 小林敏道：屋上雪庇防止工法に関する基礎的検討, 日本雪工学会誌, Vol.5, No.1, pp.3-9, 1989
- 4-15) 苫米地司, 橋本茂樹：屋根面で発生する吹雪に関する一考察, 日本雪工学会誌, Vol.9 No.2, 2-8, 1993.4
- 4-16) 苫米地司, 和泉正哲, 遠藤明久：屋上積雪の評価方法に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.32B, pp.49-62, 1986.3
- 4-17) 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

- 4-18) M. Tsuchiya, T. Hongo, T. Tomabechi, H. Ueda : Wind Effects on Snow Accumulation on Three-Dimensional Two-level Flat Roofs, The 5th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, pp.377-380, 2001.10
- 4-19) 和泉正哲,三橋博三,近野正弘,佐々木達夫,高橋徹: 積雪荷重の評価に関する基礎的研究,その13 屋上積雪深の諸性状,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.45-46,1986.8
- 4-20) 苫米地司: 屋根面に凹凸を持った建物の屋上積雪分布について, 日本建築学会学術講演梗概集 B1, pp.123-124, 1990
- 4-21) 遠藤明久: 中高層建築ろく屋根上の積雪性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.859-860,1977.10
- 4-22) 伊東敏幸, 苫米地司, 三橋博三: 金属板屋根における葺工法が屋根雪滑雪に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, No.475, pp.9-16, 1995.9
- 4-23) 力石國男, 石倉みどり: 北海道上川盆地における降雪特性, 弘前大学理工学部寒地気象実験室報告, 第10号, pp.1-10, 1998
- 4-24) 前野紀一, 黒田登志雄: 基礎雪氷学講座 第I巻 雪氷の構造と物性, 古今書院, pp.167-172, 1986.7
- 4-25) 前野紀一, 福田正巳編: 基礎雪氷学講座 第III巻 雪崩と吹雪, 古今書院, pp.176-178, 2000.2
- 4-26) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, pp.251-253, 2004
- 4-27) 勝元則雄,石田秀樹: 積雪寒冷都市旭川の都市気候調査 その1 盆地都市の熱汚染,日本建築学会計画系論文集,No.557,pp.119-123,2002.7
- 4-28) 北海道: 北海道環境共生型公共賃貸住宅整備指針, 環境共生型次世代省エネ基準対応マニュアル, 2001
- 4-29) 安達聖, 尾関俊浩, 小杉健二: 雪庇の成長機構と抑制方法について, 寒地技術論文・報告集, Vol.21, pp.483-490, 2005.12
- 4-30) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, pp.262-268, 2004
- 4-31) 高倉政寛, 堤拓哉, 高橋章弘: 陸屋根に形成される雪庇と気象要素との関係について, その2.旭川市における雪庇形成状況の現地観測結果, 日本雪工学会論文報告集, Vol.20, pp.37-38, 2003
- 4-32) 堤拓哉, 高倉政寛, 高橋章弘: 格子フェンスを用いた建築物の雪庇防止に関する基礎的実験, 日本建築学会北海道支部研究報告集, Vol.79, pp.265-266, 2006

5 章 北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法の 提案

5.1 はじめに	133
5.2 北海道の公営住宅における雪害発生に関する統計的分析	
5.2.1 公営住宅における雪害発生要因	137
5.2.2 多変量解析による雪害発生の分析	141
5.3 雪害リスク評価手法の検討	
5.3.1 損失期待値による雪害リスク評価	147
5.3.2 公営住宅整備計画における雪害リスク評価の活用法	159
5.4 本章のまとめ	161
参考文献	162

5.1 はじめに

(1) 北海道の公営住宅整備における雪害リスク評価

本章では、北海道の公営住宅を対象とした「雪害リスク評価手法」の構築に向けた検討を行う。「雪害リスク評価手法」は、公営住宅で起きる雪の問題を「リスク」と捉え、リスク評価を行うことにより、雪対策の実施に関する判断を支援する手法である。公営住宅整備における「雪害リスク評価」の位置づけと定義を図 5-1 に示す。「雪害リスク(R)」は「雪害が起きる確率 (P)」と「雪害発生による損失 (C)」との積であり、その雪害リスクを公営住宅の管理者が行政的視点により評価するのが「雪害リスク評価」である。本手法の構築により、北海道の公営住宅整備において雪対策の実施に関する合理的な判断が行えるようになると考える。つまり、公営住宅整備において雪対策の実施を検討する際に、雪の問題(雪害)に関するリスク評価を行うことにより、リスクの大きさや費用対効果の観点から実施の判断が可能になり、リスクの大きい雪害へ重点的に対策を施すことにより、安全な居住空間の実現に貢献できる(図 5-1)。

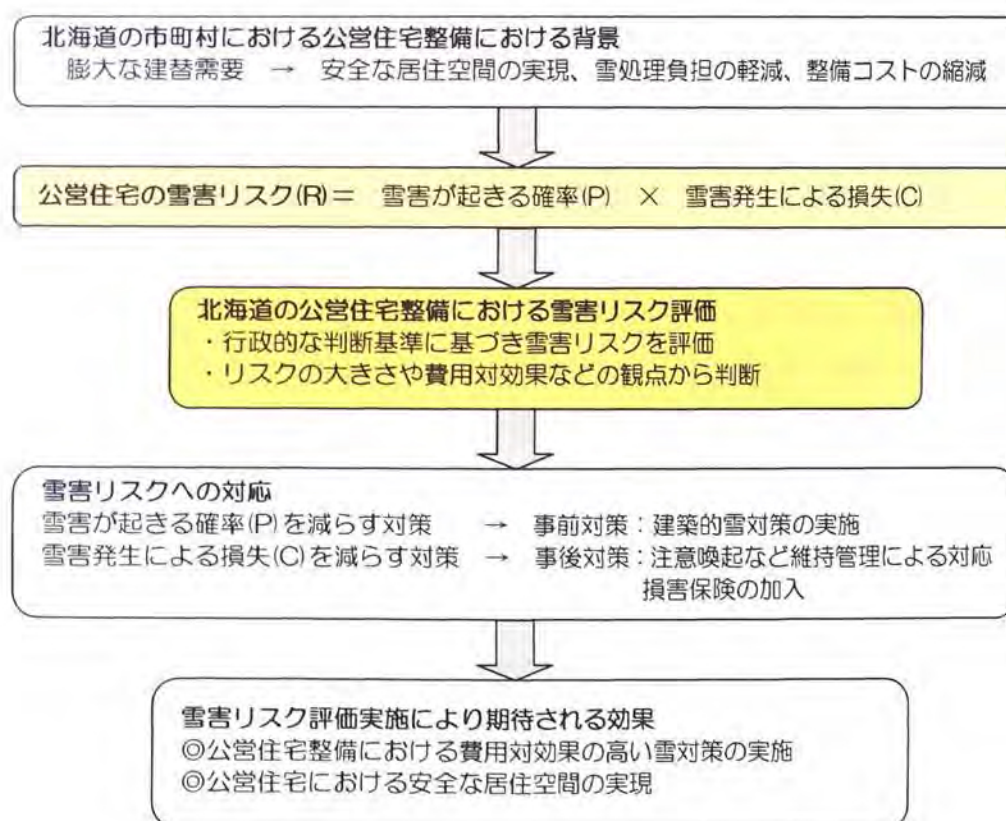


図 5-1 北海道の公営住宅整備における「雪害リスク」および「雪害リスク評価」

(2) 北海道の公営住宅整備計画と雪害リスク評価手法

北海道では、平成 16 年末現在、約 17 万戸の公営住宅が供用されているが、この内、約半数がまもなく耐用年数を終え、建替が必要な状況にある。道内の各自治体は、厳しい財政事情の中、この膨大な建替戸数に対する対応に迫られている。このような建替に伴う新たな公営住宅整備計画において「雪害リスク評価手法」を用いることにより、公営住宅が抱える様々な雪によるリスクの危険度に応じて、限られた予算から適切に雪対策に要する予算配分が行える。

北海道の公営住宅整備計画の体系⁵⁻¹⁾と本研究との関連、「雪害リスク評価手法」の位置づけを図 5-2 に示す。北海道の公営住宅整備計画は、上位計画から順に、都道府県レベルの基本計画である「北海道住生活基本計画」、市町村レベルの基本計画である「市町村住宅マスタープラン」、個々の公営住宅の基本計画である「公営住宅基本計画」、公営住宅の具体的な設計を行う「基本設計・実施設計」から構成されている。

各レベルの計画と本研究との関連を見ると、最上位計画である「北海道住生活基本計画」では、北海道の公営住宅における雪対策の必要性が謳われ、「市町村住宅マスタープラン」では、各市町村の気候風土など地域性に応じた雪対策の必要性が取り上げられている。これらについて本研究では、第 1 章にて北海道の公営住宅整備と雪対策に関して考察し、研究の背景として述べ、第 2 章において、道内市町村の雪問題と雪対策に関する現状分析を行い、検討すべき課題を示した。

本章で検討する「雪害リスク評価」は、個々の公営住宅の基本計画である「公営住宅基本計画」で活用されるものである。すなわち、「公営住宅基本計画」では、現況調査から基本計画の立案を行い、設計要件が定まる。設計要件が定まった段階で、「雪害リスク評価」を行い、その公営住宅においてどのような雪害によるリスクが高いのか、雪対策の必要性について検討するものである。この段階では、行政的な判断基準に基づきリスク評価を行い、最も懸念される雪害は何かを把握すると共に費用対効果などの観点から雪対策を選定し、雪害のリスクを減らす事前対策および事後対策に関する基本的な要件整理を行う。

具体的な雪対策の検討については、「基本設計、実施設計」の段階で行い、本論文では、第 3 章にて「吹雪対策」、第 4 章にて「雪庇対策」について対策の考え方を示している。この段階では、「平面計画」、「立面計画」、「安全計画」において具体的な雪対策の検討を行う。

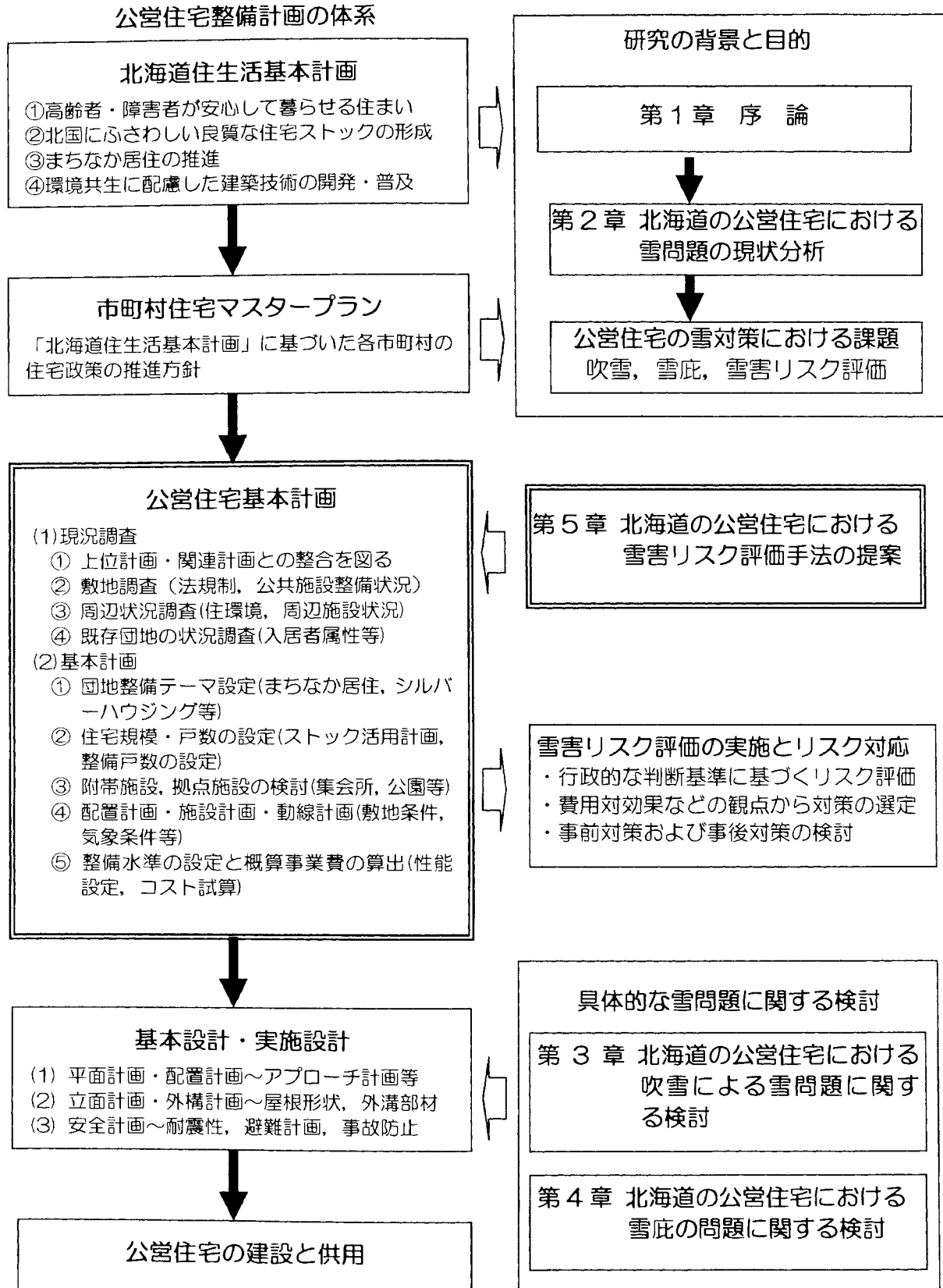


図 5-2 北海道の公営住宅整備計画の体系と本研究との関連

(3) 本章における検討内容

本章では、北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法の構築に向け以下の検討を行う。最初に、北海道の公営住宅における雪害発生に関する統計的分析を行い、雪害発生の判別方法について基礎的な検討を行う。次に、「損失期待値」による雪害リスク評価について検討を行い、雪害リスクの算定法を示し試算を行う。下記に本章における検討の流れを示す。以下に各検討項目について概要を述べる。

1. 北海道の公営住宅における雪害発生に関する統計的分析

- ①雪害発生の要因整理
- ②説明変数の算定
- ③多変量解析による雪害発生判別法の検討

2. 雪害リスク評価手法の検討

- ①気象データに基づく雪害発生率の算定
- ②雪害による損失値の算定
- ③雪害リスクの試算
- ④雪害リスク評価フローの検討

1) 北海道の公営住宅における雪害発生に関する統計的分析

2章における雪問題の現状分析および第3章における雁木への雪の吹き込みを対象とした現地調査によれば、吹雪による雪問題は、建物が少なく地表面粗度が小さい地域のみならず建物が密集している地域でも起きていることが明らかになった(2章図 2-13)。また、地表面粗度の違いは吹雪の発達に影響を及ぼすことが示唆された。

これは、積雪分布に影響を及ぼす風の性質が内陸部など地理的な違いのみならず、建物などの障害物の存在により異なるためである。公営住宅の雪問題の発生は、気象条件と共に立地場所の周囲の状況が影響していると考えられる。ここでは、複数の因子を持つ事象分析に有用な多変量解析により、公営住宅における雪の問題発生の判別方法について検討を行う。

2) 損失期待値による雪害リスク評価

雪害によるリスクを、公営住宅整備に携わる行政職員が取り扱い易い指標とするため、ここでは、「雪害リスク」を雪害の発生確率と損失の積である「損失期待値」とし、雪害による損失の算定法の検討を行う。「雪害リスク評価手法」の構築に向けた検討を行い、道内の主要都市を対象とした試算例を示す。最後に北海道の公営住宅整備において活用するための雪害リスク評価フローを示す。

5.2 北海道の公営住宅における雪害発生に関する統計的分析

5.2.1 公営住宅における雪害発生要因

第3章における「吹雪」による雪の問題および第4章における「雪庇」に関する検討結果から、これらの問題発生には吹雪の発生と降雪が大きく影響していることが明らかになった。更には、吹雪の問題発生には地表面粗度も関連していることが示唆されている。以上の知見から、北海道の公営住宅における雪の問題発生の大きな要因として「吹雪の発生」、「降積雪」、「地表面粗度」の3項目を挙げることができる。この他にも複数の小さな要因が影響していることが推測されるが、ここでは公営住宅整備における活用の際の汎用性とデータ取得の簡便性を考慮し、最も影響が大きいと考えられるこの3項目を指標として分析と検討を進める。

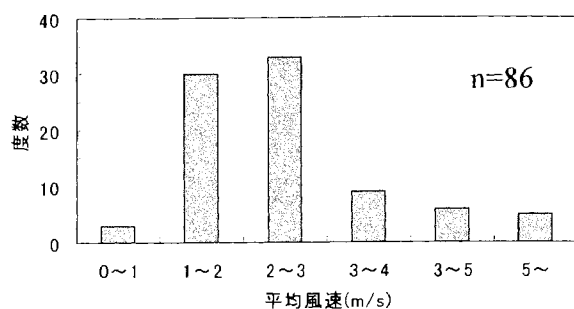
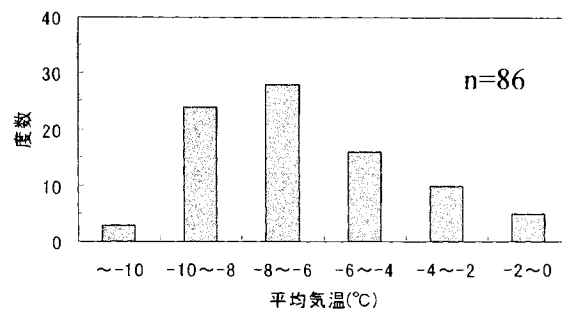
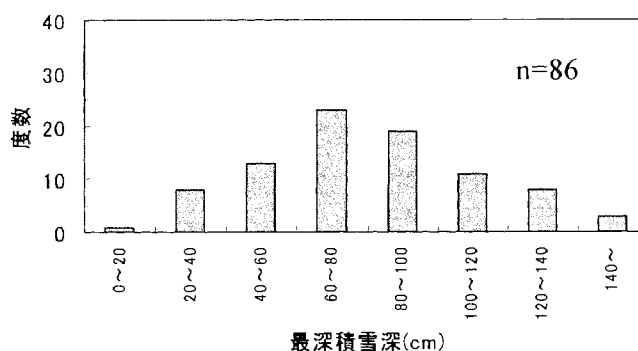
(1) 分析対象

分析に用いる資料は、第2章で分析対象とした道内全市町村を対象とした公営住宅の雪の問題に関するアンケート調査⁵⁻²⁾で回収した調査票である。本調査は96%(204/212)の回収率が得られており、全道的な傾向を評価することが可能である。本資料の詳細については第2章2.2.1で述べている。分析対象とする市町村については、風および積雪などの気象データと雪害発生の関連を調べる必要があるため、気象庁のアメダスにより平均風速および積雪深の観測が行われている市町村を対象とし、調査票が回収された市町村で該当するのは86ある。

(2) 気象データ

分析に用いる気象データは、各市町村における例年の冬季の状況を想定し、気象庁がまとめた「平年値(統計期間 1971～2000 年)」を用いた⁵⁻³⁾。このうち風速および気温については、日本建築学会荷重指針の雪荷重の設定における屋根形状係数の算定で用いられている1, 2月の平均値とした⁵⁻⁴⁾。積雪に係わるデータについては、無人観測地点では降雪量の測定が行われていないことから、「積雪深」が適当であると判断し⁵⁻⁵⁾、各地点における「年最深積雪深」を用いた。分析対象とした市町村の気象データの頻度分布を図5-3～5.5に示す。図5-3によれば、分析対象とした市町村(n=86)の1, 2月の平均風速(平年値)は2

～3m/s の範囲が最も多く 38%(33/86)であり、3m/s 未満が 77%(66/86)を占める。1, 2 月の平均気温(平年値)については(図 5-4), $-8 \sim -6^{\circ}\text{C}$ の範囲が 33%(28/86)と最も多く、 -6°C 未満が 64%(55/86)を占める。年最深積雪深については、60～80cm の範囲が 27%(23/86)と最も多く、60cm 以上が 74%(64/86)を占める。以後の分析には、これらの値を用いた。

図 5-3 1,2 月の平均風速(平年値)⁵⁻³⁾図 5-4 1,2 月の平均気温(平年値)⁵⁻³⁾図 5-5 年最深積雪深(平年値)⁵⁻³⁾

(3) 吹雪指数の算定

吹雪は風の作用を受けた雪粒子が移動することにより発生するが、雪は温度により変質するため、吹雪の発生は、風速のみならず気温の影響も受ける。雪は一般に気温が高くなると粘着性が増し、移動しにくくなる。つまり、同一の風速であっても気温の違いにより雪の移動状況が異なる。吹雪の発生は風速と気温の関数で表され、竹内⁵⁻⁶⁾が道内の雪原で行った野外観測によれば降雪時の吹雪臨界風速は図 5-6 で示される。図 5-6 における曲線Ⅰは跳躍粒子による低い吹雪、曲線Ⅱは断続的な浮遊粒子を伴う吹雪、曲線Ⅲは連続的な浮遊粒子による高い吹雪を表す。図 5-6 における風速は地上 10m の値であり、 -5°C 付近では、吹雪の発生する臨界風速がおおよそ 3.5～4.0m/s であることがわかる。

苫米地⁵⁻⁷⁾は、図 5-6 の吹雪発生臨界風速が、吹雪発生時の瞬間的な状況を示しており、

アメダスによる観測で得られる日平均風速など一般的な気象観測データとの対応が困難であることから、式(5-1)による吹雪指数(U_r)を提案した。

$$U_r = W_2 / W_1 \quad (5-1)$$

ここで W_1 は、図 5-6 の曲線 I で示される吹雪発生臨界風速曲線($W = \ln(80.05 + 2098.52e^T)$)に平均気温(T)を代入して得た吹雪臨界風速、 W_2 は当該地域の平均風速を表す。 U_r は気温と風速との関係から得られ、雪質の影響を含んだ値であるといえる。 U_r の値が大きいほど吹雪が起きやすいことを表す。

アメダスで観測された平均風速のデータは、観測地点毎に風速計の設置高さが異なるため、べき乗則による風速鉛直分布式 (5-2) を用いて均質化した。均質化の方法については、花房⁵⁻⁸⁾に倣い、べき指数 1/7、地上 10m の値に換算した。

分析対象とした市町村($n=86$)の吹雪指数の頻度分布を図 5-7 に示す。最も多いのは、0.4～0.6 の範囲で 38%(33/86)を占める。指数 1.0 を超える地域は吹雪臨界風速を上回る風速が恒常的に吹いていると考えられる。本指数は平均風速を基にしており、風の乱れの影響による風速変動は加味されていないため、今後、突風率(ガストファクター)を含めた算定法を検討する必要があると考える。

$$U_z = U_{z_0} \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^\alpha \quad (5-2)$$

U_z : 高さ Z (m)の平均風速(m/s), U_{z_0} : 基準高さ Z_0 (m)の平均風速(m/s), α : べき指数

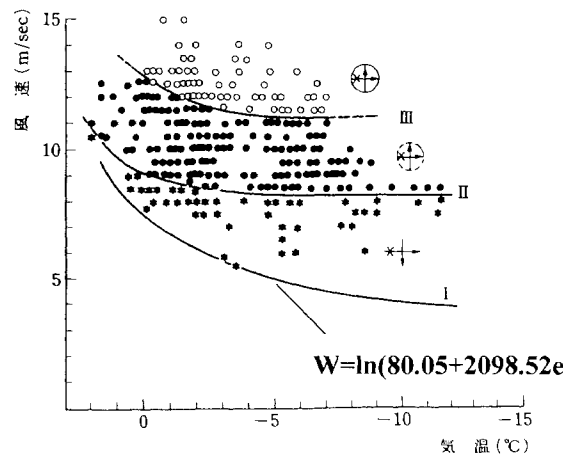


図 5-6 吹雪発生臨界風速⁵⁻⁶⁾

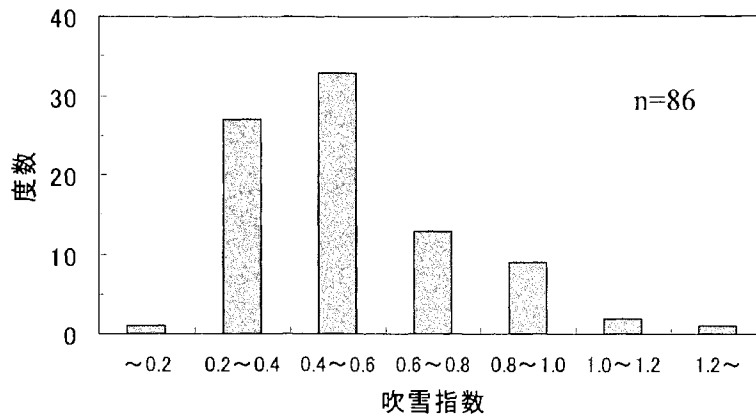


図 5-7 分析対象とした市町村の吹雪指数の分布

(4) 建物密度の算定

第3章では、現地調査および風洞実験を行い、地表面粗度および風の乱れ強さの違いにより吹きだまり性状が異なることを明らかにした。地表面粗度の状況を表す指標の一つに建物密度(roughness 密度)がある。建物密度は、対象地域の建物が占める空間密度を表すものである。建物密度と地表面粗度の関係に関しては、亀井・丸田⁵⁻⁹⁾、大熊ら⁵⁻¹⁰⁾が規則的に配置されたモデルを用いた風洞実験により検討を行っている。亀井・丸田⁵⁻⁹⁾は税務統計年報と 1/2500 の縮尺図から、大熊ら⁵⁻¹⁰⁾は都市計画図と現地調査から東京都内の建物密度の算定を試みている。田村ら⁵⁻¹¹⁾は自治体を持つ固定資産税台帳から建物の延床面積の合計値を求め、当該地域面積との割合から地方都市の建物密度を算定した。

この他に丸山⁵⁻¹²⁾が航空写真による解析から、中村ら⁵⁻¹³⁾が GIS で用いる土地利用数値情報から都市域の粗度の定量化を行っている。ここでは、分析対象とする全市町村において同質のデータが整備されていることを重視し、固定資産税台帳による建物延床面積に関する資料を用いた田村⁵⁻¹¹⁾の手法により建物密度を求める。建物密度(γ)の算定は式(5-3)による。

$$\gamma = ah/AZ \quad (5-3)$$

a : 建物の総延床面積(k m²), A : 当該地域面積(k m²), h : 建物の平均階高(m), Z : 高さ(m)

建物の総延床面積(a)については、各市町村が集計した課税対象建物の総延床面積(平成11年まとめ)とした。当該地域面積(A)については、国土数値情報の土地利用メッシュ(平

成 9 年整備)から求めた各市町村の建物用地面積とした⁵⁻¹⁴⁾。建物平均階高(h)は、北海道における標準的な設計値を考慮し木造 2.7m, 非木造 3.5m とした。 Z は γ を無次元量とするための高さの値であり、亀井・丸田⁵⁻⁹⁾に倣い $Z=10\text{m}$ とした。

分析対象とした市町村の建物密度の頻度分布を図 5-8 に示す。最も多いのは 0.075~0.100 の 34%(29/86)であり、0.100 未満が 67%(58/86)を占める。

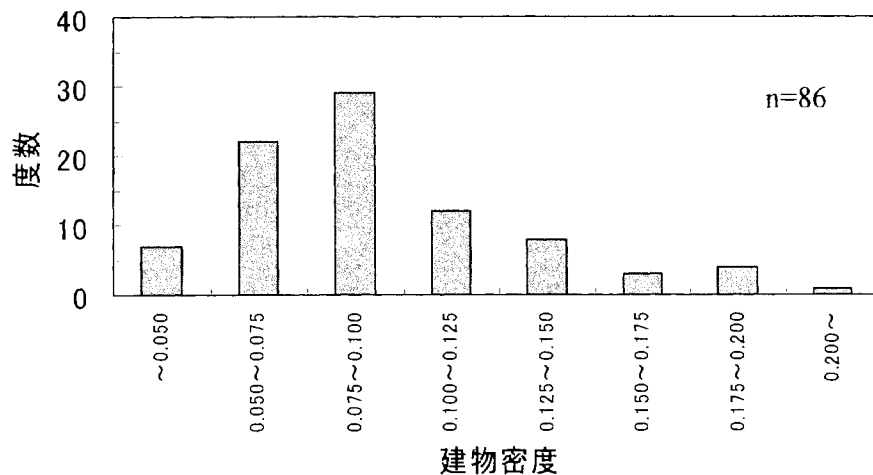


図 5-8 分析対象とした市町村の建物密度の頻度分布

5.2.2 多変量解析による雪害発生分析

(1) 分析方法

ここでは、上述した「最深積雪深」、「吹雪指数」および「建物密度」を説明変数とし、「公営住宅における雪の問題発生」を目的変数とした多変量解析を行う。多変量解析の中で目的変数と説明変数の関係を数式化する手法には「重回帰分析」と「判別分析」が挙げられる(表 5-1)⁵⁻¹⁵⁾。表 5-1 に示すように、目的変数が 2 値型のカテゴリーデータで説明変数が数量データの場合には「判別分析」が適している。

「判別分析」は、対象とするサンプルが、どのグループに属するかを予測する手法である。例えば、「良い・悪い」、「合格・不合格」の判別などである。都市計画分野における判別要因^{5-16),5-17)}、経済分野や医学分野におけるサンプルの判別^{5-18),5-19)}、気象現象の発現条件の検討などで用いられている⁵⁻²⁰⁾。判別分析では、グループに分類する際の判別の適中率と判別に当たって重要度の高い説明変数を把握することができる。

ここでは、「最深積雪深」、「吹雪指数」および「建物密度」を説明変数とし、「雪の問題発生の有無」を目的変数とした判別分析を行う。つまり、各市町村の気象条件と建物密度を指標として、公営住宅における雪問題の発生予測が行えるかを試みる。併せて、これらの解析により、説明変数(吹雪指数, 最深積雪深, 建物密度)が雪の問題発生に及ぼす影響について検討する。

表 5-1 多変量解析の分類⁵⁻¹⁵⁾

目的変数の有無	データの形態		解析手法
	目的変数	説明変数	
有り	数量データ	数量データ	<u>重回帰分析</u> 正準相関分析
		カテゴリーデータ	数量化Ⅰ類
	カテゴリーデータ	数量データ	<u>判別分析</u>
		カテゴリーデータ	数量化Ⅱ類
無し	/	数量データ	主成分分析 因子分析 数量化Ⅳ類
		カテゴリーデータ	数量化Ⅲ類

(2)判別分析

判別に線型関数を用いる場合、P 個の変量に対して式(5-4)に示す 1 次結合を作り、この判別得点により判別を行う。係数 a_1, \dots, a_p の値は、2 群 (雪害の有無) を最も良く判別するように定める。

$$Z = a_1x_1 + \dots + a_px_p + c \quad (5-4)$$

雪の問題発生の有無を目的変数(z), 説明変数を最深積雪深の平年値(x_1), 吹雪指数(x_2), 建物密度(x_3)とし、判別分析を行った。2 群(雪の問題の有無)の等分散性の検定を行い、2 群の母分散共分散が等しければ、線形判別式で区分し、等しくなければマハラノビスの平方距離を用いて判別した⁵⁻²¹⁾。なおこれらの分析には SSRI 社の「エクセル統計」を用いた。

(3) 説明変数

分析対象となる市町村と判別分析に用いた説明変数の一覧を表 5-2 に示す。なお、説明変数 X1～X3 は単位が不揃いであるため、式(5-5)により標準化した後、判別分析を行った。

$$Xn = (Sn - \bar{Sn}) / Sn_{std} \quad (5-5)$$

Sn : 当該地域の値, \bar{Sn} : 平均値, Sn_{std} : 標準偏差

表 5-2 分析データ

No.	市町村名	X1	X2	X3
		年最深積雪深(cm)	吹雪指数	建物密度
1	札幌市	98	0.45	0.30
2	函館市	43	0.58	0.18
3	旭川市	90	0.33	0.15
4	室蘭市	21	0.84	0.14
5	北見市	62	0.36	0.13
6	夕張市	129	0.61	0.05
7	岩見沢市	119	0.65	0.12
8	網走市	49	0.75	0.12
9	留萌市	91	1.14	0.11
10	苫小牧市	24	0.54	0.17
11	稚内市	78	0.94	0.11
12	美瑛市	109	0.48	0.06
13	芦別市	77	0.35	0.07
14	紋別市	56	0.76	0.10
15	士別市	98	0.29	0.07
16	名寄市	99	0.40	0.09
17	滝川市	106	0.49	0.10
18	深川市	113	0.65	0.09
19	富良野市	69	0.33	0.15
20	登別市	79	0.59	0.13
21	恵庭市	82	0.48	0.19
22	石狩市	108	0.88	0.19
23	新篠津村	111	0.74	0.08
24	厚田村	110	0.95	0.07
25	大野町	65	0.46	0.10
26	八雲町	87	0.49	0.11
27	長万部町	71	0.55	0.08
28	江差町	33	0.91	0.08
29	厚沢部町	88	0.34	0.06
30	熊石町	58	0.43	0.05
31	今金町	107	0.47	0.09
32	寿都町	70	0.62	0.05
33	蘭越町	130	0.51	0.09
34	倶知安町	188	0.55	0.16
35	岩内町	140	1.08	0.09
36	余市町	133	0.44	0.18
37	幌加内町	185	0.40	0.08
38	上川町	86	0.33	0.08
39	美瑛町	78	0.36	0.08
40	南富良野町	72	0.48	0.06
41	占冠村	83	0.38	0.10
42	和寒町	97	0.32	0.05
43	下川町	120	0.61	0.03
44	美深町	121	0.30	0.06

No.	市町村名	X1	X2	X3
		年最深積雪深(cm)	吹雪指数	建物密度
45	羽幌町	103	0.74	0.06
46	遠別町	79	0.98	0.06
47	天塩町	78	0.97	0.10
48	猿払村	78	1.28	0.09
49	中頓別町	124	0.37	0.04
50	歌登町	138	0.31	0.05
51	豊富町	96	0.54	0.08
52	津別町	59	0.38	0.08
53	斜里町	103	0.50	0.12
54	留辺蘂町	51	0.52	0.06
55	佐呂間町	75	0.39	0.10
56	遠軽町	68	0.38	0.08
57	白滝村	75	0.63	0.04
58	滝上町	76	0.27	0.05
59	西興部村	80	0.24	0.04
60	雄武町	67	0.74	0.09
61	豊浦町	84	0.43	0.06
62	大滝村	126	0.40	0.14
63	白老町	35	0.37	0.09
64	厚真町	67	0.46	0.09
65	日高町	86	0.27	0.04
66	門別町	40	0.59	0.08
67	静内町	20	0.43	0.10
68	浦河町	19	0.89	0.07
69	上士幌町	41	0.43	0.07
70	新得町	61	0.44	0.13
71	芽室町	63	0.22	0.10
72	中札内村	95	0.29	0.06
73	大樹町	86	0.53	0.06
74	本別町	35	0.20	0.06
75	陸別町	54	0.31	0.06
76	浦幌町	41	0.46	0.05
77	厚岸町	44	0.64	0.10
78	浜中町	35	0.83	0.11
79	標茶町	60	0.32	0.10
80	弟子屈町	87	0.74	0.13
81	阿寒町	112	0.19	0.12
82	鶴居村	54	0.39	0.10
83	白糠町	38	0.58	0.13
84	別海町	49	0.42	0.08
85	中標津町	63	0.46	0.10
86	羅臼町	86	0.48	0.08
	平均	81.0	0.53	0.09
	標準偏差	33.5	0.23	0.04

(4)目的変数

目的変数は公営住宅の雪の問題の発生の有無である。判別分析の対象とした雪の問題については、2 章で行ったアンケート調査の結果において道内の市町村での問題発生数が多い項目とし、「堆雪スペースの不足」、「積雪による歩行の支障」、「通路・開口部への雪の吹き込み」、「屋根上の雪庇の発生」、「開口部前の吹きだまり」の五つとした。分析対象とした市町村(n=86)におけるこれらの発生割合は、「堆雪スペースの不足」が 57%(49/86),「積雪による歩行の支障」が 55%(47/86),「通路・開口部への雪の吹きこみ」が 50%(43/86),「開口部前の吹きだまり」が 42%(36/86)「屋根上の雪庇の発生」が 43%(37/86)である(図 5-9)。

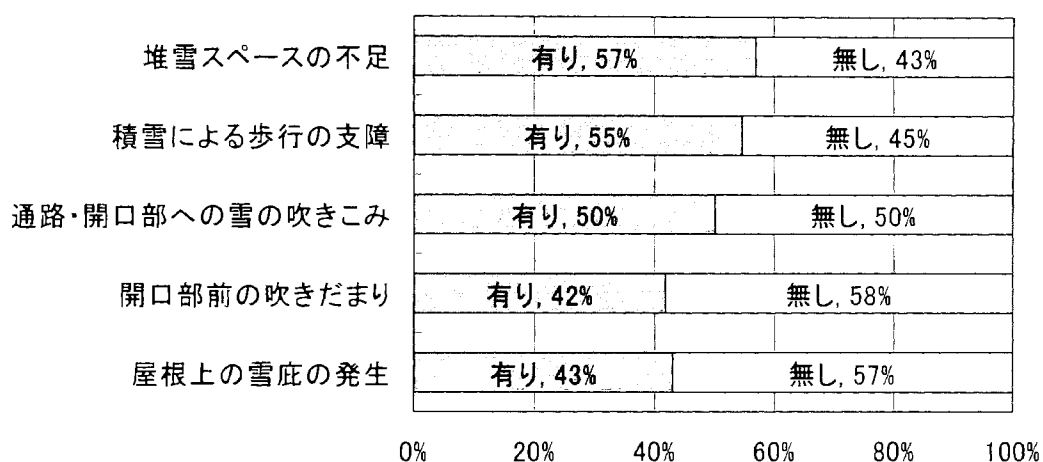


図 5-9 分析対象とした市町村の公営住宅における雪問題の発生割合(n=86)

(5)判別分析結果

図 5-9 に示す雪問題の発生の有無を目的変数とし、表 5-2 の値を説明変数として判別分析を行った結果を表 5-3 に示す。判別の適中率を見ると、「屋根上の雪庇の発生」が 86.0%と最も高く、次いで「開口部前の吹きだまり」83.7%,「通路・開口部への雪の吹き込み」81.4%,「堆雪スペースの不足」75.6%である。「積雪による歩行の支障」は他の事象と比べ、適中率が低く 64.0%である。判別適中率が低い事象については、他の雪の問題とは異なる因子が問題発生に影響していると考えられ、例えば建物個々の要因や他の気象要素が影響していると推測される。判別適中率の向上には説明変数の追加などの検討が必要である。

それぞれの雪の問題に対する判別係数を見ると、最深積雪深(x_1)は他の説明変数に比べ判別係数が高い傾向にあり、「開口部への吹きこみ」を除き、多くの雪の問題に対しての影響度が大きいことが明らかである。特に「屋根上の雪庇の発生」では、係数が他の説明

変数に比べ非常に大きい値となっている。吹雪指数(x_2)については、「開口部前の吹きだまり」、「通路・開口部への吹き込み」での寄与が大きく、吹雪の発生がこれらの雪の問題に対して影響が大きいと言える。建物密度(x_3)については、「堆雪スペースの不足」と「開口部への雪の吹き込み」で比較的高い値を示している。

表 5-3 における判別係数を、等分散性検定で棄却された「屋根上の雪庇の発生」を除き式(5-4)に代入すると、それぞれの雪の問題発生の判別式は、式(5-6)～(5-9)となる。判別値(Z) > 0 であれば問題発生、判別値(Z) < 0 であれば問題が起きないと判定される。「屋根上の雪庇の発生」については、表 5-4 に示す雪庇の発生に関する分類別の説明変数の平均(\bar{x})、分散(S_i^2)、共分散(S_{ij})の値から、式(5-10)、(5-11)により判別した。

各判別式の適中率に差があるものの、各市町村の公営住宅担当者が雪対策実施の判断を行う際に、このような雪害発生判別式を用いることにより、各市町村の公営住宅における雪害リスクの発生を定量的に予測することが可能になると考える。

表 5-3 公営住宅の雪の問題発生に関する判別分析結果

雪の問題	等分散性 検定	適中率(%)	判別関数式の判別係数			
			最深積雪深 (X_1)	吹雪指数 (X_2)	建物密度 (X_3)	定数項 (c)
堆雪スペース の不足	-	75.6	1.45	-0.04	0.49	0.18
積雪による歩 行の支障	-	64.0	0.99	0.47	0.13	0.09
開口部への雪 の吹きこみ	-	81.4	0.25	1.77	0.55	-0.04
屋根上の雪庇 の発生	*	86.0	2.79	0.76	0.26	-0.12
開口部前の吹 きだまり	-	83.7	0.95	1.78	0.02	-0.18

注) *有意水準 5%で棄却

堆積スペースの不足の判別式 $Z_1=1.45X_1-0.04X_2+0.49X_3+0.18$ (5-6)

積雪による歩行の支障の判別式 $Z_2=0.99X_1+0.47X_2+0.13X_3+0.09$ (5-7)

開口部への雪の吹き込みの判別式 $Z_3=0.25X_1+1.77X_2+0.55X_3-0.04$ (5-8)

開口部前の吹きだまりの判別式 $Z_4=0.95X_1+1.78X_2-0.02X_3-0.18$ (5-9)

X_1 ：最深積雪深の標準化値， X_2 ：吹雪指数の標準化値， X_3 ：建物密度の標準化値

表 5-4 雪庇発生に関する分類別の説明変数(標準化値)の統計値

群名	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	$S_{X_1}^2$	$S_{X_2}^2$	$S_{X_3}^2$	$S_{X_1X_2}$	$S_{X_1X_3}$	$S_{X_2X_3}$
あり	0.67	0.23	0.15	0.60	1.15	1.49	-0.10	0.02	0.06
なし	-0.62	-0.14	-0.04	0.42	0.88	0.61	-0.20	-0.11	-0.11

$$D^2 = \begin{bmatrix} X_1 - \bar{X}_1 & X_2 - \bar{X}_2 & X_3 - \bar{X}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{X_1}^2 & S_{X_1X_2} & S_{X_1X_3} \\ S_{X_1X_2} & S_{X_2}^2 & S_{X_2X_3} \\ S_{X_1X_3} & S_{X_2X_3} & S_{X_3}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X_1 - \bar{X}_1 \\ X_2 - \bar{X}_2 \\ X_3 - \bar{X}_3 \end{bmatrix} \quad (5-10)$$

$$D_{なし}^2 - D_{あり}^2 > 0 \rightarrow \text{雪庇が発生する}$$

$$D_{なし}^2 - D_{あり}^2 < 0 \rightarrow \text{雪庇が発生しない} \quad (5-11)$$

5.3 雪害リスク評価手法の検討

前項で検討を行った「判別分析」は、公営住宅整備計画において雪害リスク発生の有無を判断する手法であるが、そのリスクがどの程度の損失をもたらすかは定量化できない。すなわち、雪対策の実施にどの程度の費用を掛けるべきか、予算措置のための行政的判断を行うには不十分である。公営住宅整備における費用便益効果やライフサイクルコストの観点からは、過度な雪対策は避けるべきであり、リスクによる損失に見合った対策の実施が合理的施策と言える。本項では、雪害リスクによる損失の定量化について考察と検討を行う。

5.3.1 損失期待値による雪害リスク評価

(1) 雪害リスクの定量化

地震等の自然災害によるリスク評価手法によれば、リスク(R)はリスクの発生確率(P)とリスクによる損失(C)の積(損失期待値)で示される⁵⁻²²⁾。本研究では、公営住宅の雪害リスクを過去の気象データを基にした雪害の発生率(P)とその雪害発生による費用損失(C)の積により算定することとし、式(5-12)で表す。本章では、北海道の公営住宅で特に大きな問題となっている吹雪による雪の問題と雪庇の問題についてリスクの定量化を試みる。

$$\text{雪害リスク } (R_i) = \text{雪害の発生率 } (P_i) \times \text{雪害による損失 } (C_i) \quad (5-12)$$

(2) 雪害の発生条件の設定

寒冷地である北海道の雪は乾雪であるため、雪の積もり方は風の影響を受けやすく、風の強い沿岸部では、屋根上の雪は風により吹き払われるが、建物周囲をみると局所的に積雪が多くなる雪の吹きだまりが発生する。一方、風が弱い地域では、建物周囲に吹きだまりは見られないものの、屋根上に雪が多く堆積するなど雪庇の発生が見られる。第3章および第4章における現地調査と屋外観測においても、雪害の発生には風の強さが大きく影響していることが明らかである。第3章における雁木への「雪の吹き込み」を対象とした現地調査によれば、日平均風速 2.0m/s を超える地域において、「雪の吹き込み」の問題が発生している。第4章の屋外観測によれば、「雪庇」が成長する気象環境の目安は日平均風速が 2.0m/s 以上、日降雪量が 10cm 以上である。吹きだまりの発生に関しては、老川・

苫米地(1999)による立方体モデルを対象とした屋外観測によれば、日平均風速 4m/s 以上になると建物周囲にウインドスクープと呼ばれる馬蹄状の吹き払い域が見られ、吹きだまりが発生する(写真 5-1, 図 5-10)⁵⁻²³⁾。このように、吹雪の問題および雪庇の発生は、日平均風速と日降雪量を指標とすることにより、現象が起きるかの判断が行えることから、各地域における日平均風速の発生頻度を整理することにより、雪害の年間発生割合の算出が行える。

第 3 章および第 4 章の検討結果ならびに既往の研究成果を参考に吹雪および雪庇の問題が発生する風速の「しきい値」を表 5-5 に示す。公営住宅建設予定地を対象に「しきい値」を上回る風速の発生率を算出することにより、該当する雪害のリスクを定量化することが可能になる。

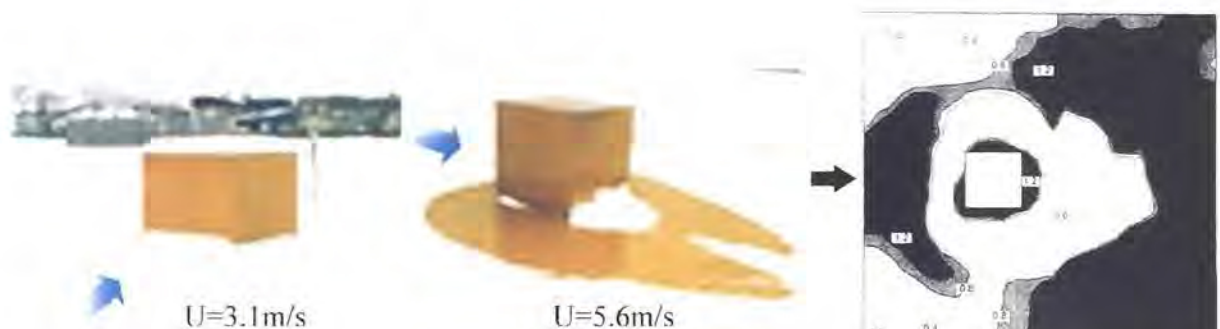


写真 5-1 風速による地表面の積雪パターン⁵⁻²³⁾

図 5-10 ウインドスクープ⁵⁻²³⁾
(U=5.6m/s)

表 5-5 雪問題の発生と日平均風速

雪問題の種類	しきい値	引用資料
通路への雪の吹き込み	日平均風速 2m/s 以上	2 章図 2-8, 3 章表 3-2-3
吹きだまりの発生	日平均風速 4m/s 以上	老川・苫米地 ⁵⁻²³⁾
雪庇の発生	日平均風速 2m/s 以上 日降雪量 10cm 以上	4 章図 4-2-8

(3) 雪害の発生率

道内 8 つの気象官署(稚内, 留萌, 旭川, 岩見沢, 札幌, 倶知安, 帯広, 釧路)における過去 10 年間(1997~2007)の 1 月, 2 月の日平均風速(U) の発生割合および「雪の吹き込み」発生をしきい値である日平均風速 2m/s 以上の風速発生率, 「吹きだまり」のしきい値である日平均風速 4m/s 以上の風速発生率を図 5-11 に示す。日平均風速(U)の値については, 本章 5.2.1(3)の風速鉛直分布式 (5-2) を用いて, べき指数 1/7, 地上 10m の値に均質化した。

図 5-8(a)~(h)に示す各地点における日平均風速(U)が 2m/s 以上になる発生率が「雪の吹き込み」の発生する確率(P), 4m/s 以上になる割合が「吹きだまり」が発生する確率(P)となる。沿岸地域である(a)稚内, (b)留萌, (h)釧路は, 日平均風速が 2m/s 以上になる割合が 90%を超え, 「雪の吹き込み」の発生率が極めて高い地域であることが判る。「吹きだまり」についても同様に, 沿岸地域において高い傾向にある。

「雪庇」の発生には風速と共に降雪量も関係する。図 5-12 に 1,2 月の日降雪量(D)の発生割合を示す。雪庇が発生するしきい値は, 日平均風速 2m/s 以上かつ日降雪量 10cm 以上であるので, 図 5-11 と図 5-12 のデータを整理し, 雪庇が発生する条件に該当する日数の割合を求めた。求めた割合を雪庇の発生率とし, 表 5-6 に示す。各地点の雪庇の発生率を見ると, 他地点に比べ降雪量の多い(d)岩見沢, (f)倶知安の発生率が高い。一方, 降雪量が比較的少ない道東地方の(g)帯広, (h)釧路の発生率は低い。

表 5-6 各地点における雪庇の発生率

地点名	データ数(n)	雪庇発生日数(n_s) ($U \geq 2, D \geq 10$)	雪庇発生率 (n_s / n)
(a)稚内	606	68	11%
(b)留萌	577	98	17%
(c)旭川	604	60	10%
(d)岩見沢	541	129	24%
(e)札幌	589	68	12%
(f)倶知安	612	187	31%
(g)帯広	319	12	4%
(h)釧路	272	23	8%

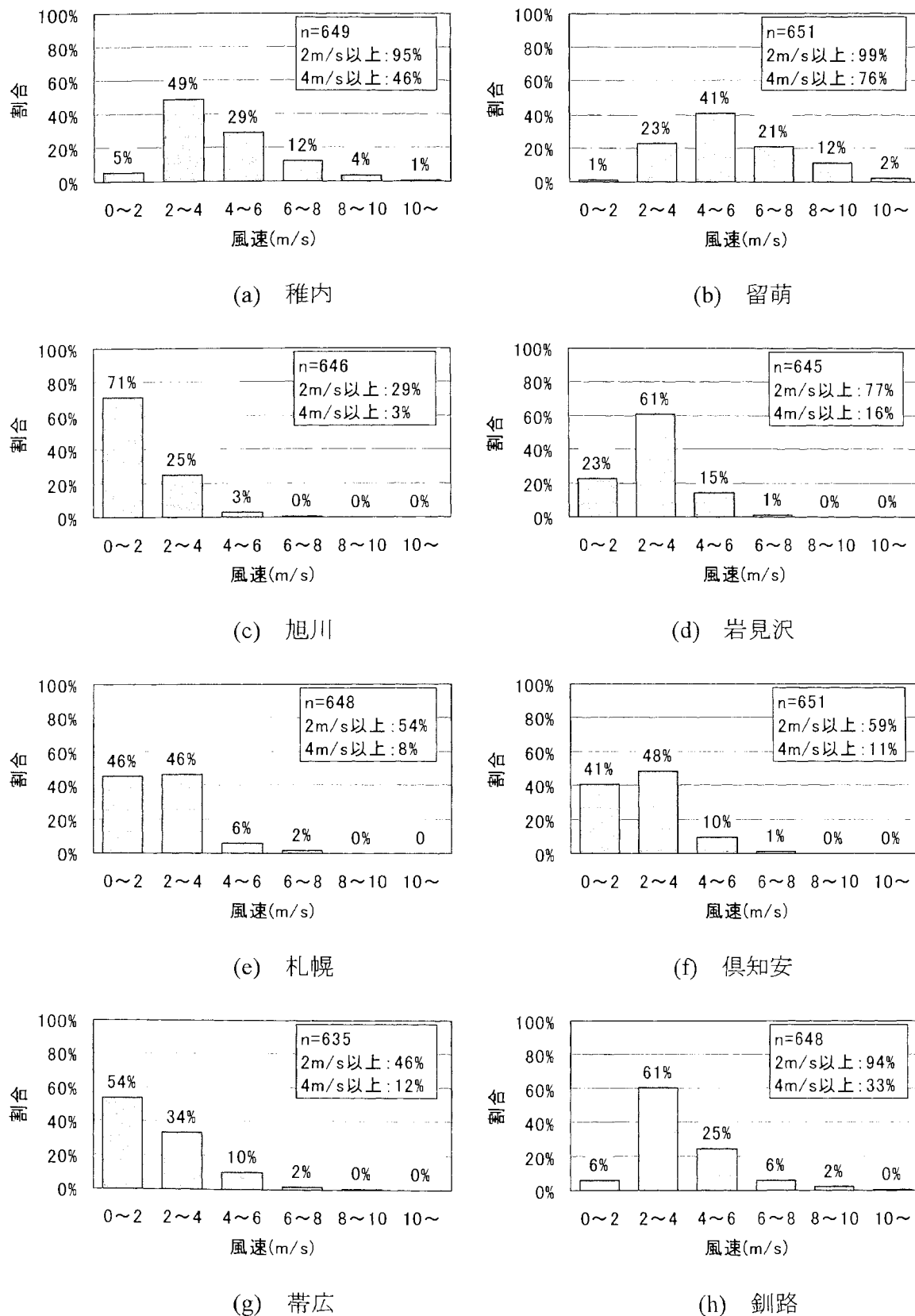


図 5-11 1,2 月の日平均風速(U)の発生頻度分布(1997~2007)

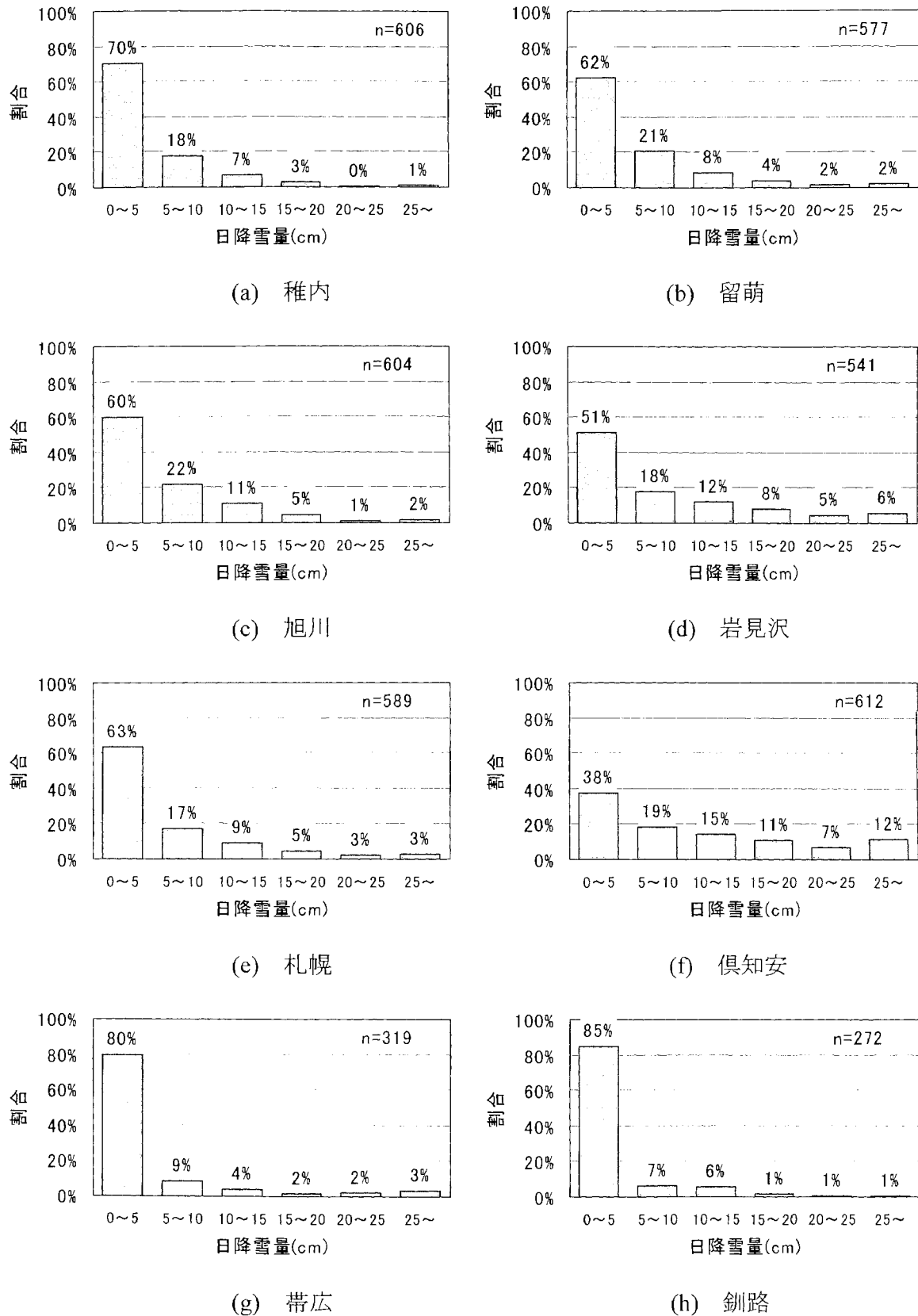


図 5-12 1,2 月の日降雪量の発生頻度分布(1997~2007)

(3) 雪害による損失の算定

雪害による損失(C)は、各地域の実状と雪の問題の内容に応じて定める必要がある。例えば、雪庇を処理するための屋根雪処理費用、雪の吹き込みや吹きだまりによる除雪作業量増加による経費などが想定される。このような除雪に伴う費用の算出が、費用対効果の観点から評価する上で最も合理的と考える。居住者の負傷や建物損傷に伴う費用については、事前に定量化するのが極めて困難であることからここでは取り扱わないこととする。

上村・梅村^{5-24)~5-26)}は新潟県における雪処理の実態調査から、除雪費用の単価について建物周囲の除雪費を除雪面積と降雪量で除した値とし 164 円/($\text{m}^2 \cdot \text{m}$)、屋根の雪下ろし作業を除雪面積と回数で除した値とし 164 円/($\text{m}^2 \cdot \text{回}$)とした。本単価は、新潟県における単価であるので、「一人当たり県民雇用者報酬(H17 年度)」⁵⁻²⁷⁾の比 1.1(北海道¥4,627,000/新潟¥4,165,000)により北海道の単価に修正すると、除雪単価(Sp_s)は 180 円/($\text{m}^2 \cdot \text{m}$)、屋根雪処理単価(Sp_r)は 180 円/($\text{m}^2 \cdot \text{回}$)となる。

吹雪による「雪の吹き込み」や「吹きだまり」による除雪に関する損失費用(C_s)を求める算定式を式(5-13)、「雪庇」の処理など屋根雪の雪害による損失費用(C_r)の算定式を式(5-14)に示す。除雪作業に伴う単価は、公営住宅の管理者が任意に設定可能であることから、各市町村の実状に応じた費用損失(C)が算出できる。

降雪量(Sf)については、各地点の年平均降雪量とする。雪庇の発生に伴う雪下ろしの回数については、第 4 章 4.2 における雪庇の屋外観測結果から、雪庇成長時における累積降雪量(2 日間)の平均は表 4-2-2 より 34cm と求まるので、降雪量 34cm 毎に雪庇の発生に伴う雪下ろしを行うこととする。雪庇による雪下ろし回数(D)の算定は式(5-15)のようになる。

以上の結果、建設地の年平均降雪量が定まることにより、各建設地の公営住宅において雪処理作業が必要とされる 1 m^2 あたりの雪害による一冬の損失費用が算定できる。

$$\text{吹雪による雪害の損失費用 } (C_s) = Sp_s \times A_s \times Sf \quad (5-13)$$

$$\text{屋根雪の雪害による損失費用 } (C_r) = Sp_r \times A_i \times D \quad (5-14)$$

Sp_s : 除雪単価(円/($\text{m}^2 \cdot \text{m}$)) , Sp_r : 屋根雪処理単価(円/($\text{m}^2 \cdot \text{回}$))

A_s : 除雪必要面積(m^2) , Sf : 降雪量(m) , D : 雪下ろし回数(回)

$$\text{雪庇発生による雪下ろし回数 } (D) = Sf / 0.34 \quad (5-15)$$

前述の道内の8都市(稚内、留萌、旭川、岩見沢、札幌、倶知安、帯広、釧路)を対象として雪害による一冬の損失費用の算定結果を表5-7に示す。年平均降雪量は気象庁がまとめた平年値による⁵⁻³⁾。吹雪による雪害の損失費用は式(5-13)、雪庇の発生による雪下ろし回数は式(5-15)、損失費用は式(5-14)による。降雪量が多いほど、雪害による年間の損失費用が多い結果となっており、その差は最も多い「倶知安」と最も少ない「釧路」では、およそ3.7倍の開きがある。

表5-7 公営住宅の雪害による年間の損失費用 (C)

地点名	年平均降雪量 (m)	吹雪による雪害の 損失費用(円/m ²)	雪庇の発生	
			雪下ろし 回数	損失費用(円/ m ²)
稚内	6.97	1254.6	20.5	3690.0
留萌	7.36	1324.8	21.6	3888.0
旭川	7.56	1360.8	22.2	3996.0
岩見沢	7.94	1429.2	23.4	4212.0
札幌	6.30	1134.0	18.5	3330.0
倶知安	11.35	2043.0	33.5	6030
帯広	2.14	385.2	6.3	1134
釧路	1.87	336.6	5.5	990

(4)道内各都市の公営住宅の雪害リスクの算定

式(5-12)、図5-11、表5-6、表5-7より道内各都市の公営住宅における「吹雪による雪害リスク」と「雪庇によるリスク」を算定すると表5-8のようになる。雪害リスク(R)は、各都市の公営住宅が一冬に被る雪害による損失の期待値であり、雪処理が必要とされる1 m²あたりの値である。表5-8より各都市の「雪の吹き込みのリスク」、「吹きだまりのリスク」、「雪庇のリスク」に関して除雪面積を変数として比較したものを図5-13～5-15に示す。各グラフの横軸は必要除雪面積(m²)、縦軸はリスクの大きさ(千円)である。

図5-13により「雪の吹き込みのリスク」について見ると、降雪量が比較的多く、風の強い留萌および稚内と降雪量が多い倶知安、岩見沢でリスクが高い。沿岸部で風が強いもの

の降雪の少ない釧路と降雪量が比較的多いが風の弱い旭川ではリスクが小さい。リスクが最も大きい留萌と最もリスクが小さい帯広を比較すると、約7倍の開きがある。

「吹きだまりのリスク」については(図 5-14)、最もリスクが高いのは留萌で、続いて稚内である。「雪の吹き込み」と異なり、この2都市と他の都市との差が大きい。稚内と倶知安は「雪の吹き込みのリスク」は同程度であったが、「吹きだまりのリスク」については、2倍程度の開きがある。このように、吹雪を原因とする雪害リスクは、風と降雪量の両者が大きく影響していることが判る。

「雪庇によるリスク」を見ると(図 5-15)、最もリスクが高いのは倶知安で次いで岩見沢であり、降雪量が多い地域でリスクが極めて高くなることが伺える。一方、降雪量の少ない道東の都市は、他の都市と比べリスクが低い地域と言える。

図 5-13～5-15 に示すように、公営住宅の必要除雪面積が増えることにより、雪害リスクが増大する。このようなことから、建築的雪対策を実施し必要除雪面積を減らすことによりリスクの低減が大幅に図られると考える。雪の問題は自然現象に起因するため発生率をゼロにするのは極めて困難であることから、公営住宅における雪対策は、雪害による損失を低減することを主眼に選定すべきである。すなわち、除雪面積を出来るだけ少なくする建築計画による雪対策や雪庇の発生による雪下ろし回数を減らす雪庇対策の実施が効果的であると考ええる。

表 5-8 道内各都市の公営住宅の雪害リスク(円/m²)

地点名	吹雪による雪害のリスク		雪庇によるリスク
	雪の吹き込み	吹きだまり	
稚内	1191.9	577.1	405.9
留萌	1311.6	1006	661.0
旭川	394.6	40.8	399.6
岩見沢	1100.5	228.7	1010.9
札幌	612.4	90.7	399.6
倶知安	1205.4	224.7	1869.3
帯広	177.2	46.2	45.4
釧路	316.4	111.1	79.2

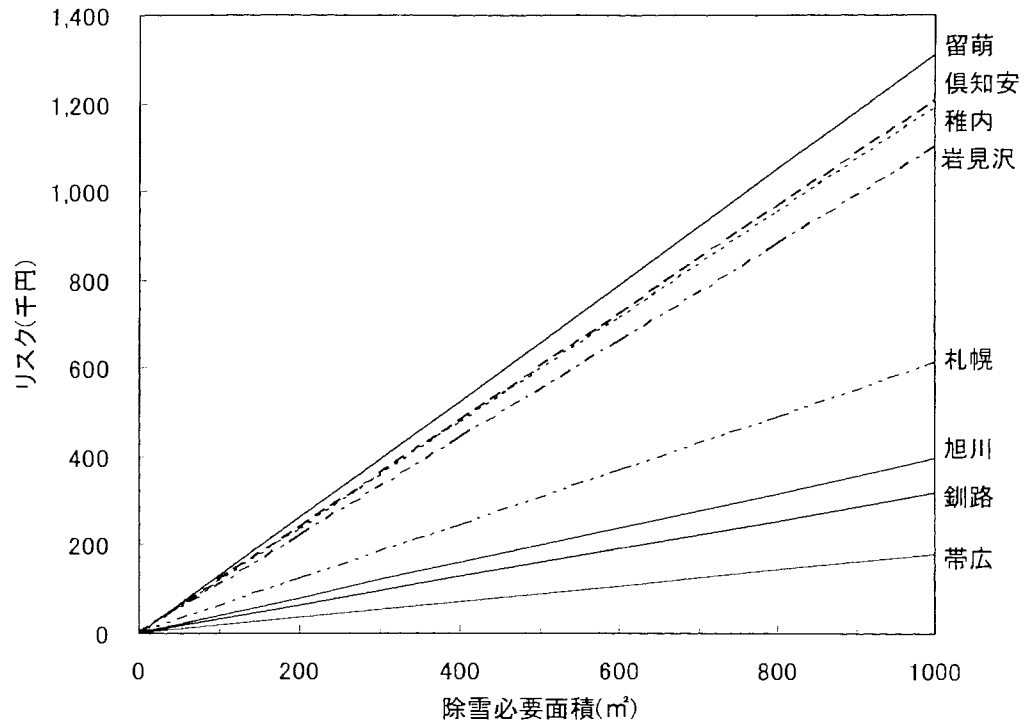


図 5-13 道内各都市の吹雪による雪の吹き込みのリスク

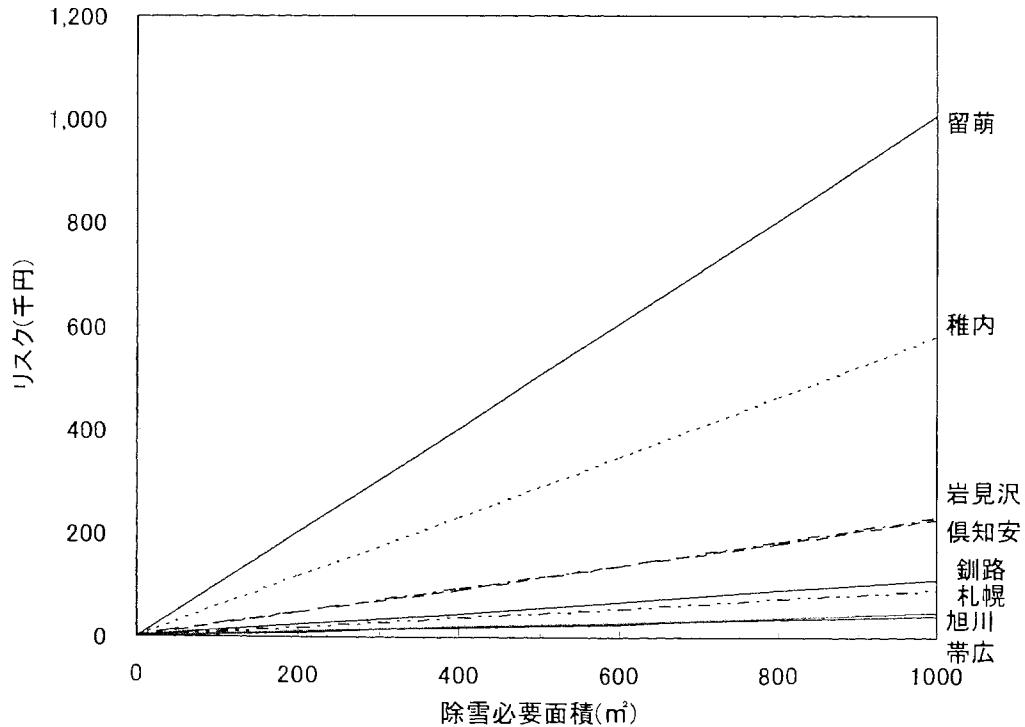


図 5-14 道内各都市の吹雪による吹きだまりのリスク

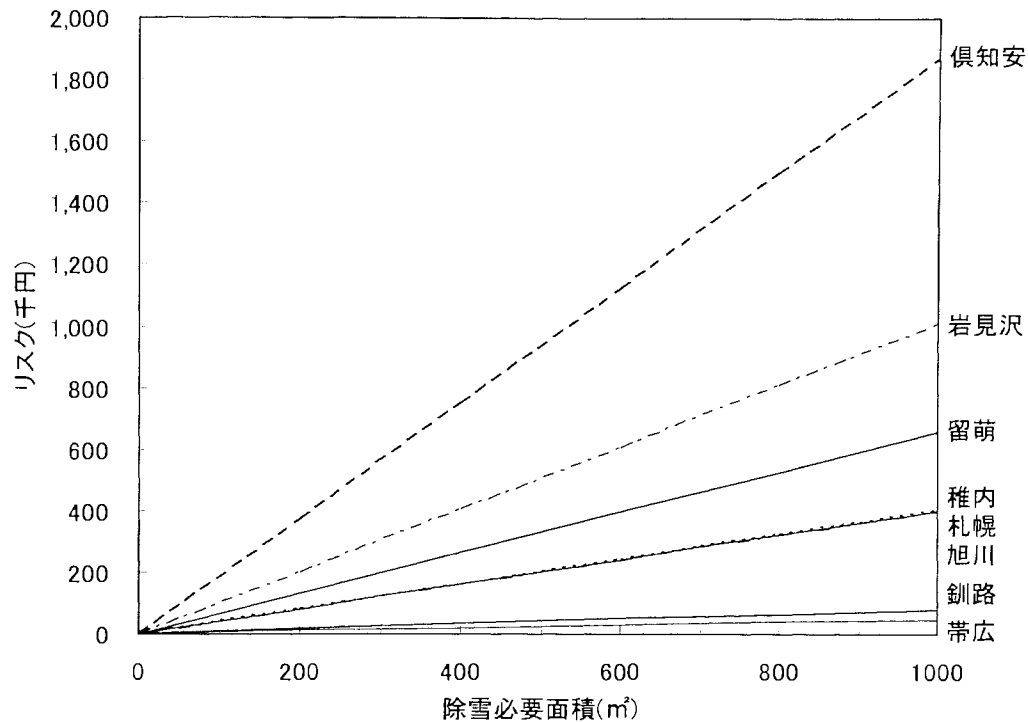


図 5-15 道内各都市の雪庇によるリスク

(5) ライフサイクルコストにおける雪害リスク評価

前述のように、公営住宅における雪害リスクは複数の雪の問題によるリスクにより成り立っており、公営住宅の雪害リスク(R)は、式(5-16)により個々の雪の問題によるリスクを合算することにより求められる(図 5-13)。

$$\text{公営住宅の雪害リスク} \quad R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n (P_i \times C_i) \quad (5-16)$$

さらに、式(5-16)により合算した雪害リスク(R)と公営住宅の供用年数との積である式(5-17)が、その公営住宅のライフサイクルコスト(LCC)の観点による雪害リスク $LCC(R)$ となる⁵⁻²²⁾。

$$\text{LCC における雪害リスク} \quad LCC(R) = \left(\sum_{i=1}^n R_i \right) \times T = \left(\sum_{i=1}^n P_i \times C_i \right) \times T \quad (5-17)$$

$LCC(R)$: ライフサイクルコストにおける雪害リスク, T : 建物供用年数

公営住宅の耐用年数は、耐火構造 70 年、準耐火構造 45 年（簡易耐火構造で 2 階建てのものを含む）、木造 30 年（簡易耐火構造で平家建てのものを含む）となっており、供用年数が進むにつれ、雪害によるリスクも増加することから、耐用年数に応じたリスク低減策を選定する必要がある(図 5-17)。

ライフサイクルコスト(LCC)の観点からの雪害リスク評価と雪対策の選定に関する試算例を図 5-18 に示す。試算では、札幌市の「雪の吹き込みのリスク」を対象とし、「無対策」、「ロードヒーティング」、「建築的雪対策(A)」、「建築的雪対策(B)」の比較を行った。

「無対策」については、対策が未実施であるので毎年の問題発生による損失コストの積算量となる。「ロードヒーティング」については、導入コストおよびランニングコストであり、「雪の吹き込み」による損失の発生はゼロとした。導入コストを灯油ボイラーのロードヒーティングの市場販売価格から 20,000 円/㎡⁵⁻²⁸⁾、灯油価格を 78 円/L(2007 年 1 月時)とした⁵⁻²⁹⁾。灯油の消費量については、札幌市の冬季の降水量を気象庁の平年値から 400mm⁵⁻³⁾、雪の潜熱 80kcal/kg、ロードヒーティングの効率 0.2、ボイラーの効率 0.8、灯油の発熱量 8900kcal/L とし算出した⁵⁻³⁰⁾。その結果、一冬の灯油の消費量は 22.5 L/㎡となった。

「建築的雪対策(A)」は、「雪の吹き込み」による損失を 80%低減する効果があるが、15,000 円/㎡の整備費用を必要とする導入コストが比較的高い雪対策とし、「建築的雪対策(B)」については、5,000 円/㎡の整備費用で済むが、「雪の吹き込み」による損失の低減効果が 50%である雪対策として試算した。

図 5-18 から「無対策」とそれぞれの雪対策について、供用年数の経過とコストの増加量の関係を比較すると、「ロードヒーティング」については、「雪の吹き込み」による問題が全て解決されるものの、コストが極めて高い結果となる。「建築的雪対策(A)」については、木造の公営住宅の耐用年数である 30 年で「無対策」と同額になり、その後は雪対策整備の費用対効果が高くなる。「建築的雪対策(B)」については、供用年数 20 年で「雪の吹き込み(無対策)」による損失と同額になるなど、供用年数 50 年以下では最も経済的である。

一方、供用年数が 50 年を過ぎると、「建築的雪対策(A)」のコストが最も低くなる結果となる。このことは、耐用年数が 45 年である準耐火構造の公営住宅までは、「建築的雪対策(B)」が LCC の観点から最も費用対効果が高く、耐用年数 70 年の耐火構造になると「建築的雪対策(A)」が有利であると判断できる。

公営住宅の建設管理を行う地方自治体にとって、総費用が少ないほど経済的であると判断できることから、このようなライフサイクルコストの観点から雪対策の費用対効果を評

価することにより，合理的な施策の実施が可能になると考える。

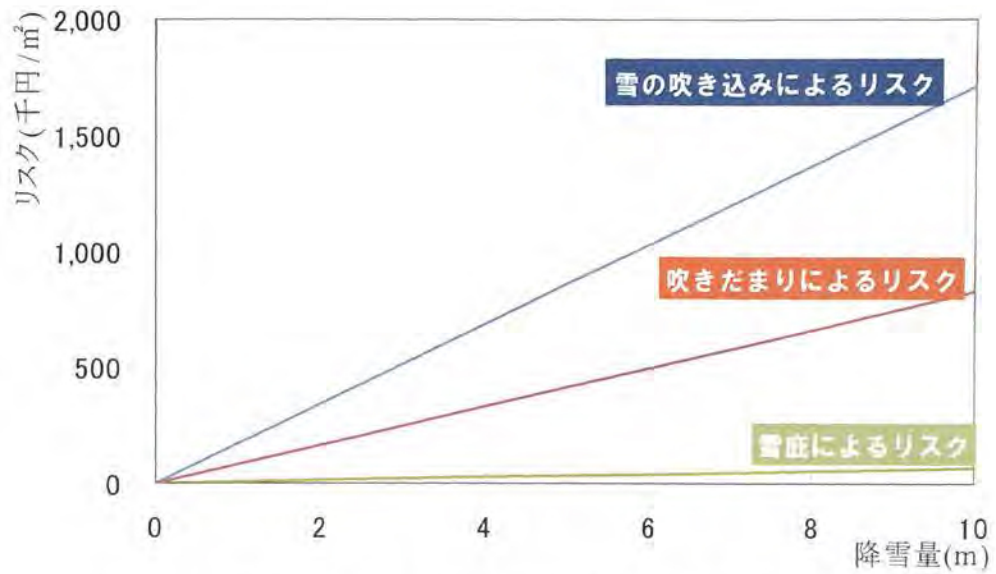


図 5-16 複数の雪の問題による公営住宅の雪害リスク(稚内)

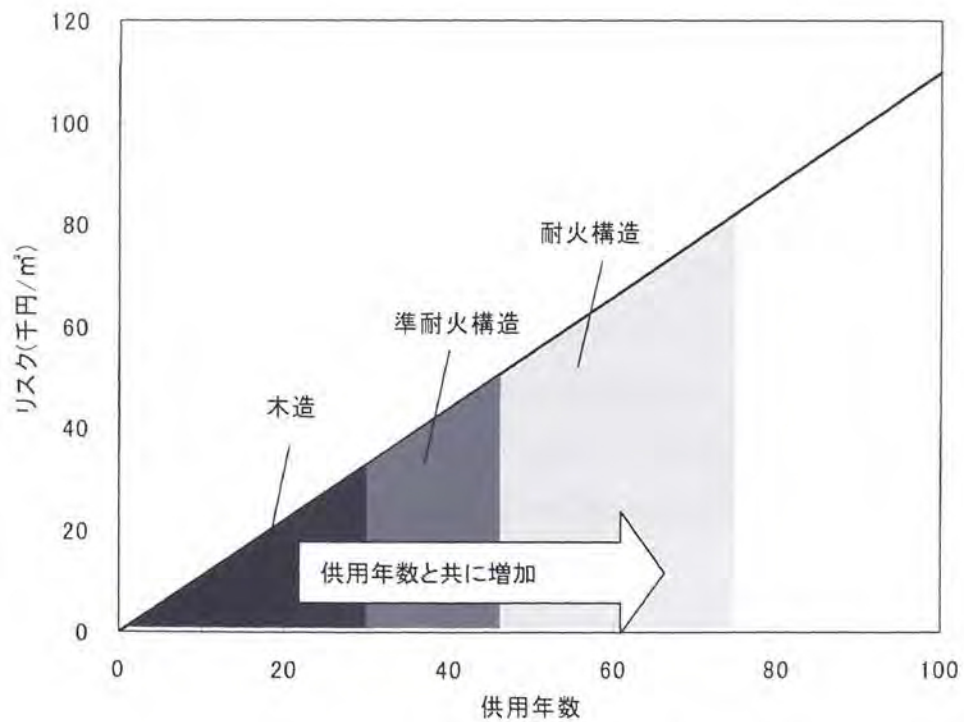


図 5-17 公営住宅の供用年数と雪害リスク

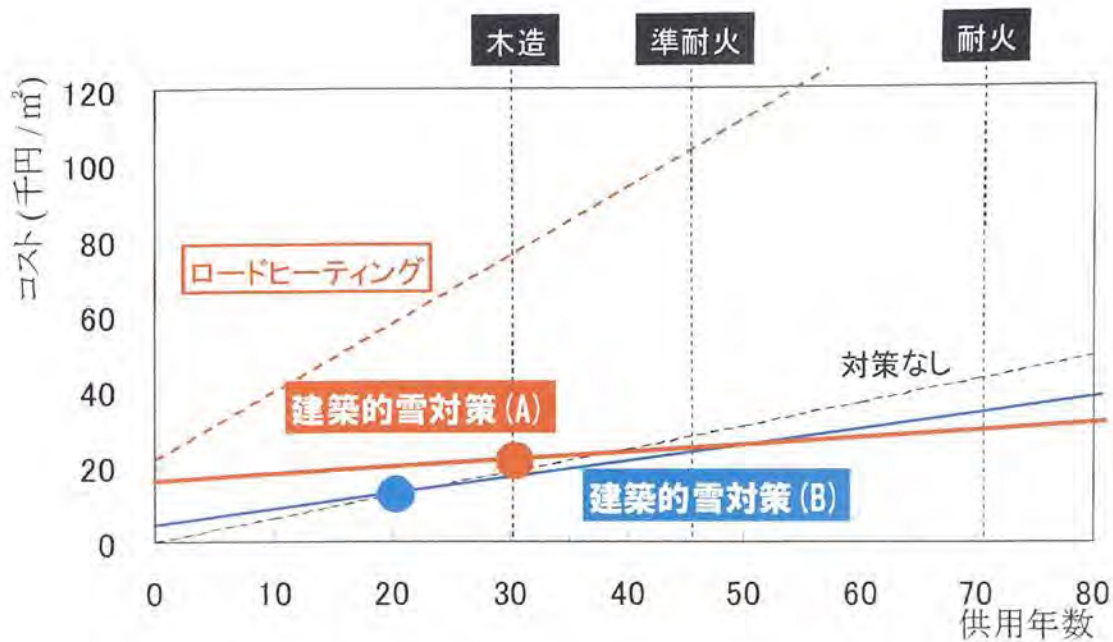


図 5-18 札幌市における公営住宅の雪の吹き込みを対象とした
LCC の観点による雪害リスク評価と雪対策の選定

5.3.2 公営住宅整備計画における雪害リスク評価の活用法

(1) 公営住宅を対象とした雪害リスク評価の検討フロー

本項では、これまで検討を行った「雪害発生の判別分析」と「雪害リスク評価」について、実際の公営住宅整備計画においてどのように活用するのかを述べる。

公営住宅整備計画における雪害リスク評価の検討フローを図 5-19 に示す。検討の流れを以下に述べる。新たな公営住宅の立地場所および建設条件が定まった段階で、建設地の気象および建物の立地状況に関する統計データを用いて「雪害発生の判別分析」を行い、建設地においてどのような雪害が発生するリスクが高いのかを把握する。既に、雪害の種類が判明している際には省略することも可能である。

次に、発生が予想された雪害に対して、「雪害リスク評価」を行い、損失期待値を算定する。公営住宅管理者は、雪害リスクの大きさに応じて、雪対策の実施に関する行政的判断を行う。雪対策を実施する際には、ライフサイクルコストおよび費用対効果の観点から選定を行う。なお、北海道の公営住宅において特に大きなリスクとなる「吹雪」による雪害および「雪庇」の対策については第 3 章、第 4 章において詳しく述べている。

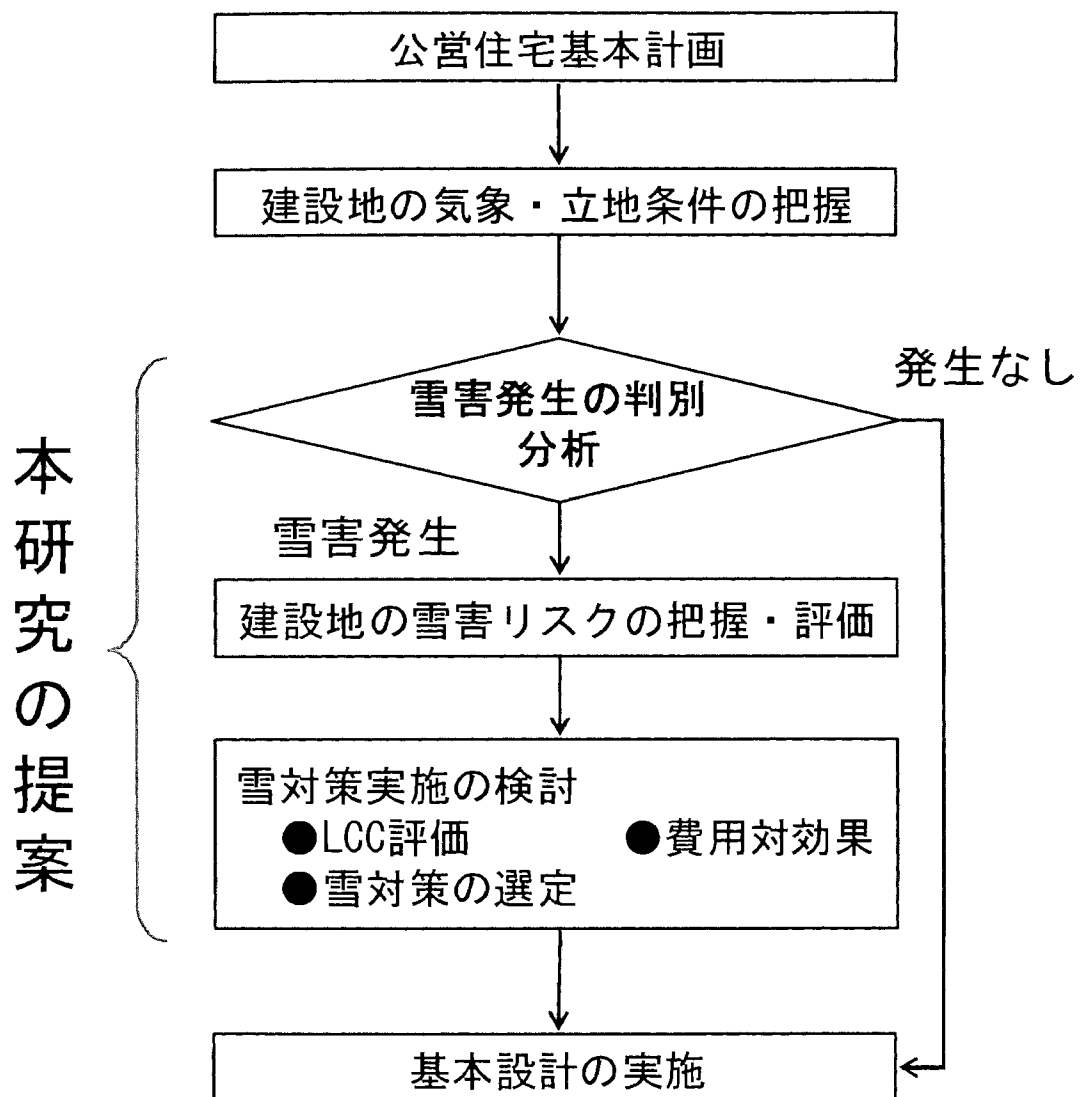


図 5-19 公営住宅の雪害リスク評価フロー

5.4 本章のまとめ

本章では、北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法を構築するため、「雪害発生の判別分析」、「損失期待値による雪害リスク評価」について検討を行った。本章における検討結果を以下に要約する。

1. 北海道の公営住宅における現状分析結果を対象に各市町村の最深積雪深、吹雪指数および建物密度を説明変数とした雪害発生判別分析を行い、公営住宅の雪害発生を確率的な手法により判別できることを示した。
2. 損失期待値による雪害リスク評価法を検討し、気象データの分析から雪害の発生率を求め、降雪量により雪害による損失を算定することにより、雪害によるリスクを定量化できることを示した。また、道内主要都市を対象に雪害リスクの試算を行った。
3. ライフサイクルコストの観点による雪害リスク評価を行うことにより、公営住宅整備において費用対効果の高い雪対策の選定が行えることを示した。
4. 雪害リスク評価手法を実際の公営住宅計画で活用するための「雪害リスク評価フロー」を示した。

本章では、第2章の現状分析結果を基に、北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法の構築に関する検討を行った。北海道の公営住宅で最も懸念される「吹雪」および「雪庇」による問題を検討する際に、第3章、第4章で得られた知見を用いた。

本章で提案した「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価」は、雪による問題の少ない公営住宅の実現と供給に貢献できるなど、道内自治体の公営住宅整備に大いに寄与するばかりではなく、これまで全く試みられていない、極めてオリジナリティの高い検討内容であると考えられる。北海道の建築技術の先導役である公営住宅での活用により、民間建築物への適用も期待でき、広く北海道全体の建築物の安全性向上に繋がると期待される。

今後、本手法の実用化に向け、各種パラメータの精度向上を図り、各種統計モデルの適用の検討を進める。

参考文献

- 5-1) 北海道建設部：公営住宅整備事業マニュアル(北海道版)，2005.
- 5-2) 寒地住宅都市研究所：一般建築物における風雪障害対策手法に関する研究，調査研究報告書，2002.
- 5-3) 気象庁：平年値(統計期間 1971～2000 年)，(財)気象業務支援センター，2001.
- 5-4) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2004.
- 5-5) 日本雪氷学会北海道支部編：雪氷調査法，北海道大学図書刊行会，pp.1-10，1991.7
- 5-6) 竹内政夫，石本敬志，野原他喜男，福澤義文：降雪時の高い地吹雪の発生臨界風速，雪氷学会予稿集，1985.
- 5-7) 苫米地司，山口英治，橋本茂樹：気象要素を用いた屋根上積雪の評価方法について，日本雪工学会誌，Vol.9，No.3，pp.2-9，1993.7
- 5-8) 花房龍男：工学における風，日本風工学会誌，No.20，pp.1-31，1984.6
- 5-9) 亀井勇，丸田栄蔵：高層建築物周辺に生ずる強風領域の実験的研究，日本建築学会論文報告集，No.264，pp.31-40，1978.2
- 5-10) 大熊武司，丸川比佐夫，宮下康一：市街地を対象とした乱流境界層の風洞実験による基礎的研究，第 9 回風工学シンポジウム論文集，pp.61-66，1986
- 5-11) 田村幸雄，須田健一，松井源吾：設計基準風速についての一考察，日本建築学会構造系論文報告集，pp.101-111，1989.6
- 5-12) 丸山敬：市街地における粗度形状について，日本風工学会誌，No.57，pp.15-27，1993.10
- 5-13) 中村修，宮下康一，植松康，山田大彦：東京都 23 区の土地利用数値情報に基づく地表面粗度要素としての街並の実状分析，日本風工学会誌，No.84，pp.59-69，2000.7
- 5-14) 国土交通省国土計画局国土情報整備室：国土数値情報
- 5-15) 日本建築学会編：建築・都市計画のための調査・分析方法，井上書院，1987.
- 5-16) 富永六朗，本多義明：大阪府下都市の再開発発生要因分析，都市の構造と開発に関する基礎的研究その 4，日本建築学会論文報告集，No.281，pp.139-144，1979.7
- 5-17) 谷口汎邦，無漏田芳信：医療環境資源からみた都市類型と類型間判別要因について-都市における医療施設整備標準に関する基礎的研究-その 1-，日本建築学会論文報告集，No.303，pp.93-102，1981.5
- 5-18) 柳井晴夫，岡太彬訓，繁耕算男，高木廣文，岩崎学編：多変量解析実例ハンドブック，朝倉書店，2002.6
- 5-19) 菅野隆三：歯科データの統計的分析について，歯科学報，Vol.101，No.2，pp.205-218，

2001.2

- 5-20) 西村浩一，前野紀一：判別分析による吹雪発生の臨界条件算出の試み，低温科学物理編，No.46，pp.111-117，1988.
- 5-21) 奥野忠一，片山善三郎，上郡長昭，伊東哲二，入倉則夫，藤原信夫：工業における多変量データの解析，pp.274-277，日科技連，1986.6
- 5-22) 星谷勝，中村孝明：地震リスクマネジメント，山海堂，2002.4
- 5-23) 老川進，苫米地司，石原猛：モデル建物近傍における積雪深の日別観測，日本雪工学会誌，Vol.15，No.4，pp.3-11，1999.10
- 5-24) 梅村晃由，大滝均，上村靖司：豪雪都市の雪害度に関する研究－第 1 報，雪害度の定義と試算－，自然災害科学，No.9，Vol.1，pp.17-26，1990.
- 5-25) 上村靖司，梅村晃由：豪雪都市の雪害度に関する研究－第 2 報，大雪年と小雪年の長岡市の用途地域別の雪害度－，自然災害科学，No.11，Vol.3，pp.145-156，1992.
- 5-26) 上村靖司，山之内洋明，梅村晃由：豪雪都市の雪害度に関する研究－第 3 報，雪害度計算の精度向上と十日町市街地の雪害度－，自然災害科学，No.14，Vol.1，pp.77-86，1995.
- 5-27) 内閣府経済社会総合研究所：県民経済計算年報(平成 19 年版)，2007.6
- 5-28) 北海道融雪工業会：<http://www.yukidoke.jp/>
- 5-29) 財団法人日本エネルギー経済研究所石油情報センター：民生用灯油価格調査資料，<http://oil-info.ieej.or.jp/price/price.html>
- 5-30) 月館司：民生用ロードヒーティングの制御に関する検討，空気調和・衛生工学会論文集，No.81，pp.39-44，2001

6 章 結 論

6.1 本研究のまとめ	164
6.2 今後の課題	167

6.1 本研究のまとめ

本研究の目的は、北海道の公営住宅における雪の問題を軽減するため、技術的課題とその対応策を明確化し、「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」を構築することである。本論文では、上記の目的に対し、2章において北海道の公営住宅における雪の問題の実態と技術的課題を明らかにし、3章では技術的課題の一つである「吹雪」の問題に関して、4章では同じく「雪庇」の問題に関して調査および実験的検討を行い、対応策を明示した。5章では、「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」の構築に向けた検討を行い、その方法と活用法を提案した。

本研究の成果は、北海道における公営住宅の良質なストック形成に資するとともに、一般市民の安全で快適な冬の生活の実現に寄与できるものである。更には北海道全体の建築物の安全性向上に繋がることも期待できる。

以下に、そのまとめを示し本論文の総括を行い、本研究を踏まえた今後の課題について述べる。

第1章

本研究の背景と目的について述べた。北海道の公営住宅整備における雪対策に関する社会的背景および技術的変遷を概観し、本研究において検討すべき課題について明らかにした。更に関連する既往研究と本研究の位置づけについて述べ、本研究に取り組む意義とオリジナリティを明確にした。

第2章

道内全市町村を対象とした公営住宅の雪問題に関する調査資料を基に、現況分析を行い、本研究で取り組むべき技術的課題を明らかにした。建物周囲の雪問題に関しては、北海道の公営住宅では、「雁木」による雪対策が約半分の市町村で実施されているが、通路に雪が吹き込むなどの問題が多発している。その他にも、「吹きだまり」による問題が多発しているが、吹雪対策の実施割合は極めて低い状況にあるなど、「吹雪」による問題が大きな技術的課題であることが明らかになった。屋根雪の問題に関しては、約4割の市町村で「雪庇」による問題が発生しており、対策の実施割合とその防止効果も低いなど、最も大きな技術的課題であることが明らかになった。

第 3 章

第 2 章の現状分析結果を踏まえ、北海道の公営住宅における「吹雪」の問題について、現地調査および実験的検討を行った。最初に、雁木を設置した公営住宅を対象に現地調査を行い、吹雪障害の発生状況と発生要因を明らかにした。次に、吹雪障害に及ぼす地表面粗度および気流の乱れ強さの影響について実験的検討を行った。最後に検討結果を基に吹雪対策の検討手法を示した。

雁木を設置した公営住宅を対象とした現地調査では、雁木の吹雪障害は、日平均風速が 2.0m/s を超える地域で見られた。この傾向は第 2 章の分析結果と同様であった。雁木の吹雪障害の発生には、地表面粗度の違いによる影響が見られ、周辺建物が少ない粗度区分Ⅱの地域では吹雪の発達による、大量の雪の吹き込みが見られた。

地表面粗度および気流の乱れ強さの変化が、吹きだまり性状に及ぼす影響について吹雪風洞実験による検討を行った。その結果、吹きだまりのピーク位置、吹き払い長さ、吹きだまり形状が、気流の乱れ強さの変化の影響を受けることが明らかになった。

以上の検討内容を踏まえ、北海道の公営住宅における吹雪対策に関する検討手法について述べた。「吹雪対策の検討において考慮すべき風の性質」、「北海道の公営住宅における吹雪対策の検討プロセス」を提示した。

第 4 章

第 2 章の現状分析で明らかとなった、屋根上の「雪庇」の問題について、屋外観測および実験的検討を行った。雪庇の形成過程を明らかにし、雪庇の問題を軽減する対策手法を示した。

実建物を対象とした屋外観測により、雪庇は屋根上の吹きだまりが発達することにより形成が始まり、クリープ変形を伴いながら成長を続けることを明らかにした。気象データの分析から雪庇が成長する気象環境の目安は日降雪量 10cm 以上、日平均風速 2m/s であることを明らかにした。更に人工降雪装置を用いた実験によりこれらの形成メカニズムを検証し、雪庇の内部構造を明らかにした。

また、実在の公営住宅を対象とした屋外観測を行い、屋根の積雪分布と雪庇の成長過程との関係を明らかにした。屋根の断熱性能や吹走距離が雪庇の発達に及ぼす影響について検討し、雪庇の成長量と吹きだまり量との関係を明示した。

以上の検討を踏まえ、北海道の公営住宅における雪庇対策について述べ、「気象特性に基づいた雪庇対策の考え方」、「雪庇の形成メカニズムに基づいた対策手法」を提示した。

第5章

5章では、2章、3章、4章で得られた基礎的知見を踏まえ、これまで試みられていなかった、「北海道の公営住宅を対象とした雪害リスク評価手法」の構築に関する検討を行った。最初に、公営住宅の雪の問題発生に関する要因整理を行い、多変量解析の一つである「判別分析」を用いて公営住宅における雪問題発生について分析を行った。「最深積雪深」、「吹雪指数」、「建物密度」を説明変数とした「判別分析」により公営住宅の雪問題発生を確率的に評価できることを示した。次に、損失期待値による雪害リスク評価手法の検討を行い、雪問題発生条件に合う日平均風速および日降雪量の発生頻度を算出し、雪害による損失を算定することにより、雪害によるリスクを定量化できることを示した。また、道内主要都市を対象とした雪害リスクの試算を行い、その有効性について検討した。公営住宅の雪対策に関してライフサイクルコストの観点による雪害リスク評価を行うことにより、費用対効果の高い雪対策を行えることを示した。最後に、雪害リスク評価手法を北海道の公営住宅整備で活用するための、検討フローを提案した。

以上、本研究では、北海道の公営住宅における雪対策の技術的課題を明確化し、雪問題の要因を明らかにしその対策を明示した。更に、公営住宅管理者が雪対策を実施する際の、行政的判断を支援する「雪害リスク手法」を提案した。

本研究での特筆すべき成果と特徴を挙げると、一つ目は建築物で発生する雪庇の形成メカニズムを明らかにしたことである。このような研究実施事例はこれまで無かったものであり、学術的にもオリジナリティの高い成果である。また、これまで体系的に整備されていなかった、「吹雪」および「雪庇」の対策に関して、調査および実験を踏まえ技術的要件を整理し明示したことは、公営住宅整備における雪対策の効果的な実施に大きく貢献できる成果である。

加えて、本研究で提案した「雪害リスク評価手法」は、経験則と事後対応が中心であったこれまでの公営住宅の雪対策の取り組みに代わる全く新しい試みであり、社会的貢献度が極めて高い成果であると言える。

6.2 今後の課題

北海道の公営住宅整備を取り巻く情勢は、地方自治体の財政事情悪化、高齢化の進行などの社会的かつ地域的背景により、極めて厳しい状況にある。更には雪対策に関する技術的課題も数多く存在する。公営住宅における安全で快適な居住空間の提供、更には予算上の制約など、自治体職員は困難な行政的判断に迫られている。本研究は、このような背景を踏まえ、北海道の公営住宅における雪問題の技術的課題の解決を図り、自治体職員の行政的判断を支援する「雪害リスク評価手法」を構築することを目標に据えた。

本研究の実施により、公営住宅で大きな問題となっている、「吹雪」および「雪庇」に関する技術的解決が図られ、更には「雪害リスク評価手法」の構築に至った。本項では、これらの研究成果を踏まえ、今後検討すべき課題について述べる。

(1) 公営住宅整備における積雪シミュレーションと雪害リスク評価の併用

3 章において、吹雪風洞実験に関する既往研究例および有効性について述べたが、建築物を対象とした積雪シミュレーションが建築設計で用いられるようになっている(写真 6-1)。積雪シミュレーションを公営住宅整備において活用することにより積雪分布の予測と雪の問題発生箇所の把握が行える。この積雪シミュレーションと雪害リスク評価手法を組み合わせた設計体系の構築を図ることにより、より効果的な雪対策の選定とリスク低減の評価が行えるようになる。すなわち、リスクの高い事象を対象としたシミュレーションを行い、リスクの発生場所を特定し、対策を検討する。更には対策の実施効果をシミュレーションで事前に検証し、リスクの低減量を定量化する。このようなプロセスを経ることにより、公営住宅整備に関して一層の技術的貢献が図られると考える(図 6-1)。



写真 6-1 公営住宅を対象とした吹雪風洞実験例

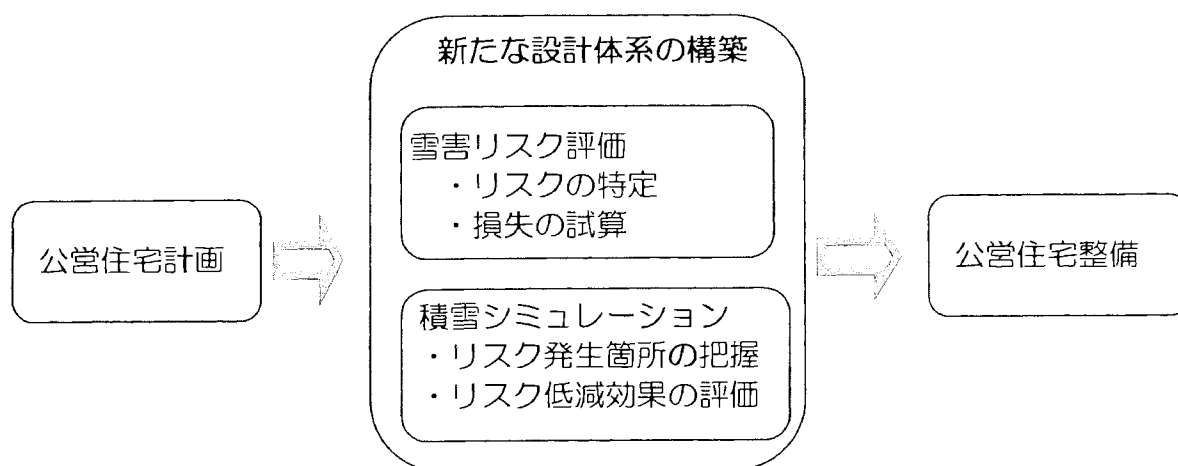


図 6-1 雪害リスク評価と積雪シミュレーションを用いた新たな設計体系の構築

(2) 雪害リスク研究の進展

「雪害」は雪国において毎年必ず発生し生命財産を損なう危険性のある極めて大きなリスクである。本研究は公営住宅を対象として「雪害リスク評価手法」を構築し、雪国に建つ建築物の安全性向上に繋がる新しい知見を示した。今後、本手法に関する研究を発展させ、対象とする領域を広げ、取り扱う事象を増やすことにより、一層の社会的貢献に繋がる。

本研究を「建築物の雪害リスク評価手法」に応用することにより、公共建築物整備においては行政コストの縮減が図られ、民間建築物に関しては、事故防止や雪対策の技術開発が促進される。更に、より広域的に雪害リスクを捉えると、「都市雪害リスク評価」に発展する。「都市雪害リスク評価」は雪国における都市基盤整備や防災対策に関して極めて有用であると考ええる。また、平時のみならず「豪雪災害時におけるリスク評価」を構築し、豪雪による経済的損失や人的被害、建築物被害を評価することにより、ハザードマップの整備等、雪国の安全性向上に大いに貢献できると考える。

更に、雪害リスクを低減化する技術と統合することにより、雪害によるリスクを総合的に管理する「雪害リスクマネジメント」の構築に繋がる。引き続き、これらの課題に対して取り組む所存である。

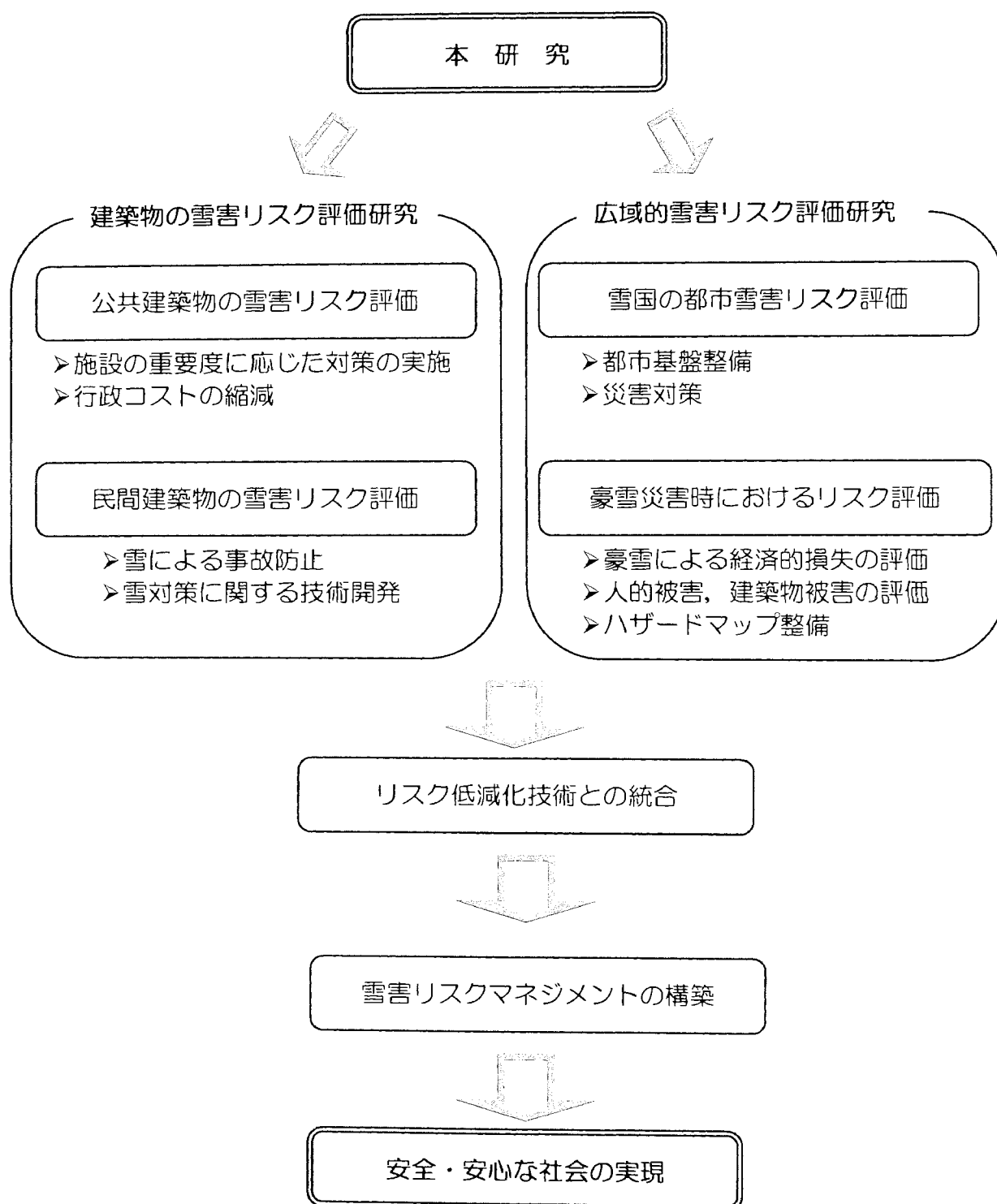


図 6-2 雪害リスク研究の展開

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、多くの方々の御指導と御協力を賜りました。

ここに記して深く感謝の意を表します。

北海道工業大学苫米地司教授には、大変御多忙な中、本論文の作成に際して、暖かくも、明解で時に厳しい御指導と御助言を頂きました。今から7年前に始めて先生の部屋を訪ねた時には、雪の研究に関するイロハを何一つ身につけてはいませんでした。たくさんの研究活動を通じて、有るべき視点と今後の進むべき方向を常に明快に示して頂きました。発散しがちな筆者の思考がまとまり、本論文が作成できましたのも、苫米地先生のお陰であり、ここに厚く御礼申し上げます。

また、副査として御指導と御校閲を賜りました笠原篤教授、田沼吉伸教授、伊東敏幸教授、研究発表に際し、貴重な御意見を下さった諸先生の皆様に深く感謝申し上げます。

そして、貴重な時間を割いて、本論文の取りまとめに御尽力頂いた千葉隆弘講師、研究の推進に際して大きな支えとなってくれた苫米地研究室の学生諸子に深く感謝申し上げます。学生と共同実験を通じて多くの発見と経験を共有し、共に成長出来たことはこの上ない喜びです。

本論文は、私が在籍する北海道立北方建築総合研究所にて執り行った研究成果を取りまとめたものです。お世話になりました多くの先輩、同僚諸氏に感謝申し上げます。特に、私を雪研究の世界へと導いて下さった元環境科学部長の林勝朗博士、終始助言を頂き、見守ってくれた高倉政寛博士に感謝致します。本論文で示した研究成果の多くで高倉政寛博士の協力を得ました。

上司として有形無形に支え暖かく見守って下さった、高橋章弘氏、入江雄司氏、南慎一博士に感謝申し上げます。鈴木大隆博士、福島明博士には、折々に研究活動に関する貴重なアドバイスを頂き、日々の業務を通じ研究者として歩むべき道を示して下さいました。調査や観測では、道庁および道内市町村職員の皆様から多大なる協力を得ました。改めて感謝申し上げます。北総研という職場は、研究を進め論文を取りまとめるにあたり、すばらしい環境であったと感じています。本当に有り難うございました。

雪に関する研究活動を通じ、多くの研究者から御教授を賜りました。日本建築学会雪荷重小委員会を始めとする各研究委員会メンバーの示唆に富む御発言から多くの事を学び、新たな発見を得ました。特に、(株)清水建設技術研究所の老川進博士には、難題である吹雪風洞実験の理論構成に関して、御指導と御助言を賜り、それらは五里霧中にあった私の道標となり、本論文3章における成果の礎となりました。

(独)防災科学技術研究所の佐藤威博士、根本征樹博士を始めとする研究所職員の皆様には、本論文4章における実験で御尽力頂いたほか、吹雪研究に関する様々な御教示を賜りました。また、新潟大学の西村浩一教授、林業試験場の鳥田宏行氏には、同様に有益な助言を数多く頂き大変お世話になりました。理学研究者である皆様から研究に関するたくさんのお話を聞かせて頂いたことは、大いに刺激となり、貴重な財産となっています。

大学、試験研究機関、民間企業に所属する多くの皆様との議論から生きた知識を得て、そこから研究上のヒントやアイデアが生まれ、新たなステップへと踏み出すことが出来たと考えております。本当に有り難うございました。

本論文の作成を通じ、自身のこれまでの研究を改めて振り返り、一つにまとめたわけですが、それは同時に自分の未熟さ至らなさを再確認する時間でもありました。ここに、ようやく研究者としてのスタートラインに立ったと考えております。今後も日々努力し社会に貢献していくことが、お世話になった方々への恩返しと考え、誠実に励む所存です。

最後に、家で過ごす多くの時間を本論文の作成に充てていた私を支えてくれた妻に感謝します。そして、健康な体に生んで育ててくれた両親に心から感謝します。

2008 年 春 堤 拓哉

研究発表論文等一覧

1. 論文(学位論文関連)

日本建築学会構造系論文集

- 1) 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, No.613, pp.29-34, 2007.3

日本建築学会計画系論文集

- 2) 堤 拓哉, 高橋章弘, 千葉隆弘, 苫米地 司: 北海道の公営住宅における雁木空間の雪対策について, No.612 pp.43-47, 2007.2

日本建築学会技術報告集

- 3) 堤 拓哉, 高倉政寛, 苫米地司: 陸屋根に形成される雪庇と気象要素との関係について, 第 19 号, pp.113-116, 2004.6
- 4) 堤 拓哉, 高倉政寛, 苫米地司: 多雪寒冷地に建つ中高層建築物の屋上積雪分布について, 第 20 号, pp.63-66, 2004.12

日本雪工学会誌/論文

- 5) 堤 拓哉, 高倉政寛, 高橋章弘, 苫米地司: 建築物における雪庇の成長過程について, Vol.22, No.1, pp.3-9, 2006.1

The 7th International Symposium on Cold Region Development (ISCORD2004)

- 6) Takuya Tsutsumi, TsukasaTomabechi : Design of roofed walkways that takes into account drifting snow, 2004.9