

## 構造部材における着雪性状に関する研究

千葉隆弘, 苫米地司 (北海道工業大学)

佐藤威, 望月重人 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター)

### 1. はじめに

建築物における構造部材への着雪は、積雪が少ない関東地方においても見受けられ、その着雪が地上へ落下することによって、人的・物的被害が発生している。特に、高層建築物では着雪の落下高さ大きく、落雪被害を拡大させることが懸念される。しかし、着雪対策を行うための技術資料は蓄積されておらず、対策手法は構築されていないのが現状である。

既往の研究では、単純形状の構造部材を対象に着雪観測および着雪実験を行い、着雪が発生する気象条件や着雪形状及び着雪の発達状況を明らかにしている<sup>1), 2), 3)</sup>。本研究では、部材周辺の気流性状を流体解析によって算定し、風速分布と着雪範囲との関係を検討した。さらに、膜材料、フッ素塗料、およびネットを用いた着雪対策の効果を把握することを目的に、吹雪風洞施設を用いた着雪実験を行った。

### 2. 部材周辺の風速分布と着雪性状との関係

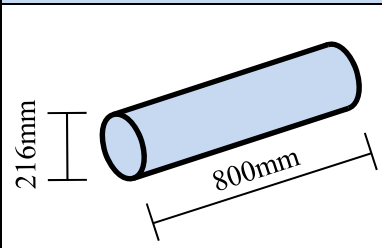
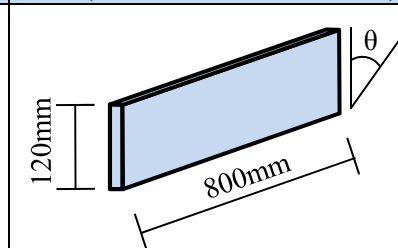
#### 2.1 解析方法

本研究では、流体解析のフリーソフトである XFEM を用いて解析した。解法は有限要素法であり、非圧縮の流体を扱っている。風速の算定方法は、速度ポテンシャルを  $\phi$  として以下の式 1) で表される。

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y} \dots\dots\dots 1)$$

ソフトで算定された速度ポテンシャルを式 1) に従い風速に変換した。次に、解析の対象としたモデルを表 1 に示す。表のように、既往の風洞実験で対象とした円柱、平板部材であり、平板部材は  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  と傾斜角を変化させている。設定風速は、風洞実験と同様に  $9.0\text{m/s}$  とした。解析で得られた風速分布に実験で得られた着雪範囲をプロットし、風速分布と着雪範囲との関係を検討した。

表1 解析の対象とした部材

円柱	平板( $\theta=0^\circ \cdot 15^\circ \cdot 30^\circ \cdot 45^\circ$ )
	

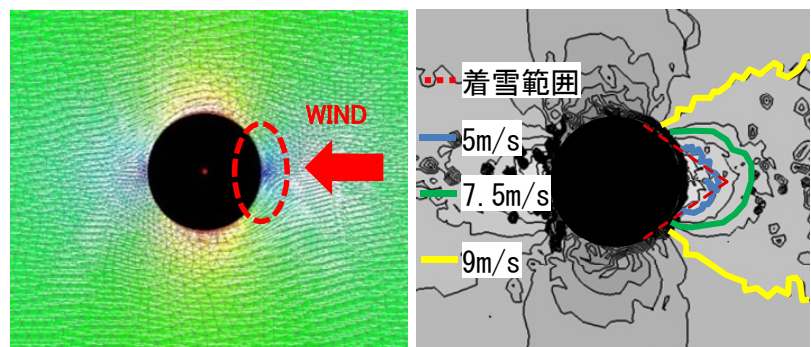


図1 円柱部材の解析結果

## 2.2 解析結果

円柱部材の解析結果を図1に示す。図のように、破線で囲んだ部分は、風速が小さくなる範囲である。このような風速分布に既往の実験で得られた着雪範囲をプロットすると、風速 5.0m/s 以下の等高線の範囲と近似しているのがわかる。

次に、傾斜角  $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、および  $45^\circ$  の平板部材における解析結果を図2に示す。図のように、破線で囲んだ風速が小さくなる領域は、傾斜角の増加に伴い上方へ移動しているのがわかる。風速分布に着雪範囲をプロットすると、円柱部材と同様に、5.0m/s 以下の範囲と概ね一致し、傾斜角の増加に伴い風速 5.0m/s 以下の範囲が上方へ移動しており、着雪範囲と同様に挙動している。このように、設定風速が 9.0m/s の場合は、5.0m/s 以下の範囲に着雪が発生することが明らかであり、流体解析を行うことによって着雪範囲を予測できる可能性を有している。

## 3. 着雪対策に関する風洞実験

### 3.1 実験方法

本研究では、円柱部材に膜材料を巻きつけた対策、鋼板表面にフッ素塗料と塗布した対策、およびネットによる落雪飛散防止対策を行った場合を対象に、吹雪風洞実験を行った。膜材料については、 $\phi 216\text{mm}$  の円柱部材に膜材料を巻き付けて実験を行った。鋼板を対象とした実験では、鋼板とフッ素塗料を塗布した鋼板、さらにアルミ板を用いた。ネットによる対策につ

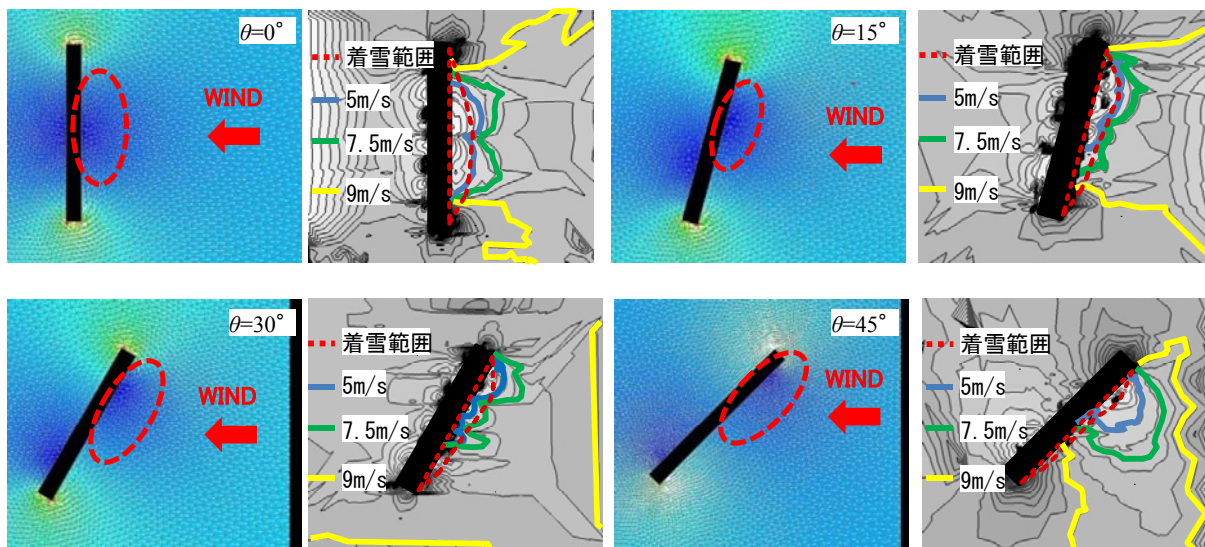


図2 平板部材の解析結果 ( $\theta=0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ )

表2 実験シリーズ

No.	網目の 大きさ [mm]	網の直径 [mm]	閉塞率 [%]
ネット1	100	1.6	3.2
ネット2	40	1.3	6.5
ネット3	40	1.6	8.0
ネット4	50	2.7	10.8
ネット5	30	1.6	10.7



写真1 実験状況

いては、先ず、ネット自体で発生する着雪性状を把握することとした。表2に、実験シリーズを示す。表のように、本実験では網目の大きさや網の直径が異なる5種類のネットを用いた。なお、網目の大きさと網の直径から閉塞率を算定した。これらのネットを木製の枠で4辺固定し、写真1に示すように、風洞施設内部に設置して実験を行った。なお、ネット2を対象に、上辺のみを固定して側辺と下辺を固定しないケース(ネット2')を加えた。次に、φ216mmの円柱部材の風上側にネットを設置した場合の着雪性状を風洞実験で確認した。

実験方法を図3に示す。本実験は、(独)防災科学技術研究所雪氷研究センター新庄支所が所有する風洞施設で行った。室温-3℃、風速9.0m/sとし、人工雪を風路上面から供給した。着雪し易い条件とするため、同時に風上側で水を噴霧した。ネットは人工雪供給位置から風下5mに設置した。

### 3.2 実験結果

膜材料を円柱部材に巻きつけた対策の実験結果を写真2に示す。なお、実験時間は10分間である。写真のように、雪が滑り易い膜材料においても着雪は発生している。また、本実験では、円柱部材に平らな面を形成させた場合も対象とし、円柱部材と着雪深さを比較すると、平らな面を有する部材の着雪深さが大きくなる傾向を示す。次に、表面性状の異なる鋼板の着雪状況を写真3に示す。写真のように、いずれの場合においても着雪が発生した。着雪深さをみると、フッ素塗装鋼板が最も小さく、着

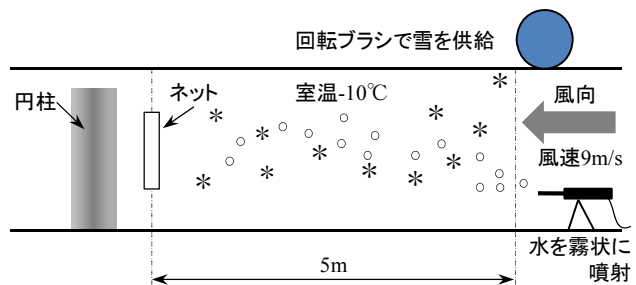


図3 実験方法

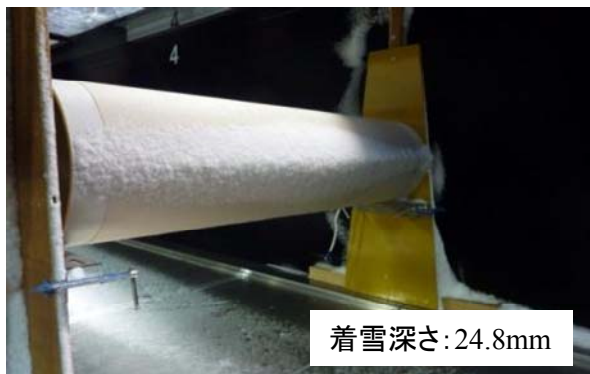


写真2 膜材料を円柱部材に巻きつけた場合の実験結果

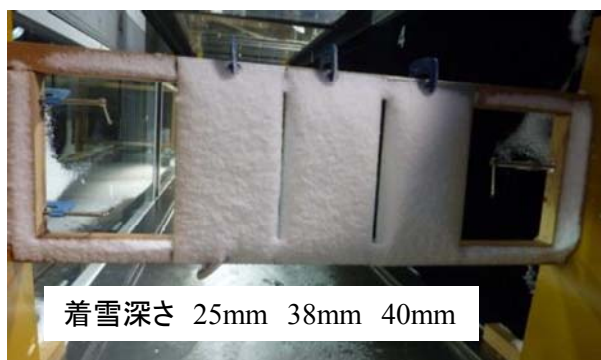
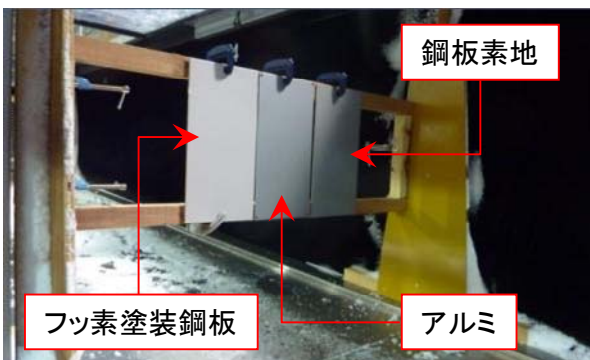


写真3 表面性状の異なる平板を対象とした実験結果

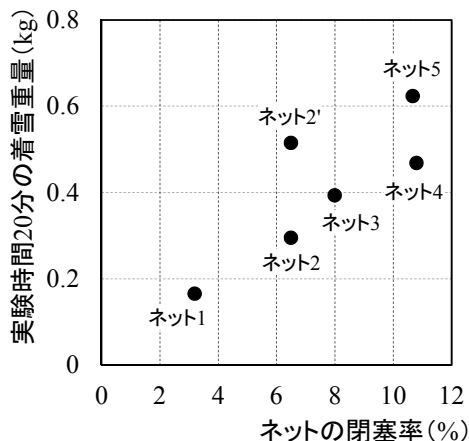


図4 ネットの閉塞率と着雪重量

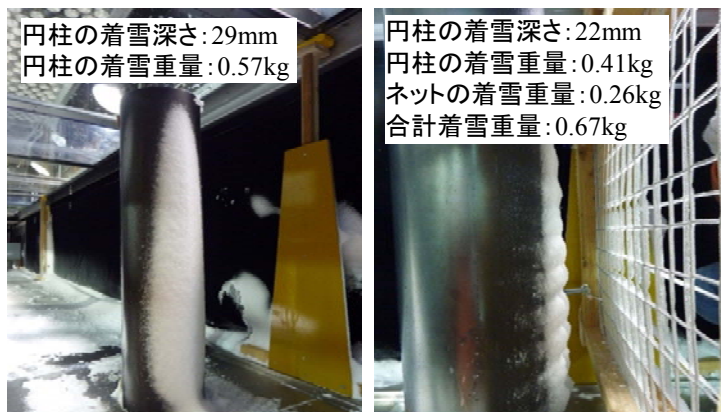


写真4 ネットと円柱部材の着雪状況

雪の初期段階で他の材料に比べて着雪し難かったことが要因と考えられる。以上に示す結果をみると、どのような表面性状においても着雪が発生し、着雪の初期段階で表面性状の違いが表れることが明らかとなった。

ネットのみを対象とした実験について、ネットの閉塞率と実験時間 20 分の着雪重量との関係を図 4 に示す。図のように、閉塞率の増加に伴い着雪重量が増加する関係がみられる。ネットの固定度で比較すると、4 辺固定したネット 2 に比べて上辺のみ固定したネット 2' の着雪重量が大きい傾向を示し、風によってネットが揺れる方が着雪し易い。また、閉塞率が同程度であるネット 4 およびネット 5 で比較すると、網の直径が大きいネット 4 に比べて網目が小さいネット 5 の着雪重量が大きい傾向を示す。

次に、円柱のみの着雪状況とネットの背後に円柱がある場合の着雪特性を写真 2 に示す。写真のように、円柱のみの場合は、着雪深さが 29mm、着雪重量が 0.75 kgであった。これに対し、ネットの背後に円柱がある場合を見ると、合計の着雪重量は前述より若干増加する傾向を示すものの、円柱の着雪深さおよび着雪重量が減少した。このようにネットが着雪によって目詰まりせず、細かい状態で落雪する状況が確認できれば、ネットを配置することによって構造部材の着雪量を緩和でき、さらに、構造部材からの落雪飛散も防止することが可能性となる。

#### 4. まとめ

本研究では解析ソフトを用いて着雪範囲と風速の関係を明らかにするとともに、人工雪を用いた風洞実験で着雪の落下・飛散防止対策を検討した。その結果、解析では構造物において風速 5.0m/s 以下の範囲に着雪が発生し易いことがわかった。構造物モデルを解析することで、事前に着雪範囲を予測できる可能性がある。風洞実験の結果については、ネットからの落雪が許容できれば有効な対策となることが明らかとなった。

#### 【参考文献】

- 1) 苫米地司, 千葉隆弘: 構造物の着雪発生条件に関する一考察, 日本建築学会学術講演梗概集(中国), B - 1, pp45-46, 2008.9
- 2) 苫米地司, 西村清志, 田中康裕, 千葉隆弘, 佐藤威, 堤拓哉: 構造物の着雪現象に関する研究-その 3 部材表面の粗度が着雪現象に及ぼす影響-, 雪氷研究大会(2009・札幌)講演要旨集, pp.172, 2009.9
- 3) 苫米地司, 千葉隆弘, 佐藤威, 堤拓哉, 高橋徹, 伊東敏幸: 構造部材への着雪性状に関する基礎的研究-屋外観測と風洞実験による部材形状と着雪性状との関係について-, 日本建築学会構造系論文集, pp45-52, 2011.1