

# 着雪氷防止技術に関する研究 (1)

—各種材料の着氷力について—

- 吉田光則、金野克美 (北海道立工業試験場)
- 山岡 勝 (北海道電力 (株) 総合研究所)
- 近藤 孝 (北海鋼機 (株))
- 浅井規夫 (株) シオン)
- 佐竹正治 (財) 日本気象協会北海道本部)
- 藤野和夫、堀口 薫、水野悠紀子 (北海道大学低温科学研究所)

## 1. はじめに

材料表面と雪や氷の付着に関しては、湿雪の付着強度<sup>(1)</sup>、海氷と構造物材料表面間の凍着強度<sup>(2)</sup>などの研究が行われているが、種々の材料について体系的に検討されたものは少ない。

本報告は、材料表面に凍結した氷の凍着力 (以下着氷力とする) について、どのような材料が雪や氷との付着力が大きいか、どのような因子が付着力を小さくするかなどという基礎的なデータを得ることを目的とする。このために各種試験条件の検討および高分子系、金属系、無機系などの種々の材料の着氷力特性を体系的に明らかにして、着氷力に影響を及ぼす因子として材料の固体表面自由エネルギーおよび表面粗さについて検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験材料

本実験に用いた材料を表1に示した。これらの材料は実用的に広く使用されているものである。プラスチックは12種類で厚さ2mmの板状材料である。塩化ビニルについては硬さの異なる2種類 (硬質と軟質) のものを用いた。フッ素樹脂、アクリルシリコン樹脂、アクリルウレタン樹脂およびポリウレタン樹脂塗料の4種類はアルミニウム板に所定の配合により塗装したものである。屋根材料としては、一般的なポリエステル樹脂系と耐候性の良好なフッ素樹脂系の各色および各種グレードを用いた。金属材料は一般に市販されているもので、アルミニウム、ステンレスおよびチタンについては表面が鏡面仕上げされているもので、鋼は表面が酸化皮膜のものを用いた。レンガは普通の赤レンガ、タイルは最も一般的な陶器質施釉タイルである。コンクリートは比較的緻密なものを用いた。

### 2.2 実験装置および方法

#### (1) 着氷力測定

着氷力の測定には図1に示す装置を用いた。駆動モーターの回転数を調節することにより、負荷速度をコントロールすることができ、荷重はロードセルにより動ひずみ計を通してレコーダに出力される。仕様としては最低温度-40℃、最大荷重100kgfである。低温槽内部の回転式試料テーブルには試料10枚がセットでき、外部のハンドル操作に

表1 実験材料

高分子材料	プラスチック	テトラフルオールエチレン (PTFE)、シリコン樹脂 (SI) ポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP) アクリルニトリル-ブタジエンスチレン共重合体 (ABS) 6-ナイロン (PA)、ポリアセタール (POM)、アクリル (PMMA) ポリカーボネート (PC)、ポリスチレン (PS) 硬質塩化ビニル (PVC-H)、軟質塩化ビニル (PVC-S)
	塗料等	フッ素樹脂塗料、アクリルシリコン樹脂塗料 アクリルウレタン樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料 ポリエステル樹脂塗装鋼板、フッ素樹脂塗装鋼板
金属材料	アルミニウム (鏡面仕上げ) ステンレス (鏡面仕上げ) チタン (鏡面仕上げ)、鋼 (酸化皮膜)	
無機材料	ガラス、タイル レンガ コンクリート	

より試料を順次送ることができる。本装置はせん断法および引張法の試験が可能であるが、本実験においてはせん断法を中心に行った。

実験手順は、氷作成用のステンレスリング（標準の場合：高さ15mm、直径25.4mm）を試料表面に置き、所定の温度に十分冷却した後、5℃の蒸留水を注ぎ、所定の時間放置して氷を試料表面に凍着させた。その後ステンレスリングにせん断方向より荷重を負荷することにより材料と凍結面をはく離させる。その時の荷重を付着面積（ステンレスリング内面積）で除した値を着氷力(kgf/cm<sup>2</sup>)とした。

### (2) 接触角測定

接触角測定は自動接触角計（協和界面科学株）を用いて行った。固体表面上の液滴をCCDカメラによりコンピュータに取り入れ、画像処理により接触角を測定するもので、正確かつ迅速に測定が可能である。接触角は後述する固体表面自由エネルギーの算出に用いた。

### (3) 表面粗さ測定

試料表面の粗さ測定は触針式表面粗さ計（㈱東京精密製）を用いて、JIS B 0601（表面粗さの定義と表示）に準拠し、10点平均粗さ（ $R_z$ :  $\mu\text{m}$ ）を算出した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 各種材料の着氷力

図2に-10℃における各種材料の着氷力を示した。プラスチックにおいてはポリテトラフルオルエチレン、シリコン樹脂が小さく、アクリル、硬質塩化ビニルが大きな値を示した。硬さの異なる塩化ビニルは硬質に比べ軟質のものが小さい着氷力を示した。塗料についてはフッ素樹脂およびアクリルシリコン樹脂塗料が比較的小さい着氷力を示した。屋根材料においては塗料の種類や一般タイプ（カラー鋼板C）、艶なしタイプ（カラー鋼板D）などの表面状態により、着氷力に大きな差が認められた。これらは表面の粗さが異なるためであり詳細は後述する。無機材料は大きな値を示した。特にレンガおよびコンクリートは表面が多孔質なためアンカー効果により、特に大きな値を示したと考えられる。

### 3.2 表面エネルギーについて

固体の表面張力すなわち固体表面自由エネルギーはぬれ、吸着、接着などを支配する重要な因子である。そこで固体表面上の液滴の接触角から固体表面自由エネルギーを算出し、その関係を検討した。図3に示すように表面エネルギーが大きいと着氷力も大きくなる傾向が認められた。

### 3.3 表面粗さについて

同種の塗料を用いた屋根材料、すなわち表面エネルギーがほとんど同じものは、図4に示すように表面粗さが大きいと着氷力が大きくなる傾向が認められた。表面粗さが小さいポリテトラフルオルエチレン（PTFE）、ポリエチレン（PE）、アクリル（PMMA）などのプラスチック材料は表面粗さより表面エネルギーの影響が大きいことが認められた。

## 4. おわりに

氷の付着は、水分子と固体表面に位置する原子との間に形成される水素結合やファンデルワールス力などによるものである。このため表面エネルギーなどの化学的な因子の影響は大きい。しかし物理的な表面粗さも影響を与えている。実際にはこれらの因子の相互作用により着氷力が生じていると考えられる。

水が凍結して付着した場合、その氷を除去するために必要な力、すなわち着氷力を小さくするには(1)表面エネルギーを小さくすること、(2)表面粗さを小さくすることが必要と考えられる。さらに硬さに関して

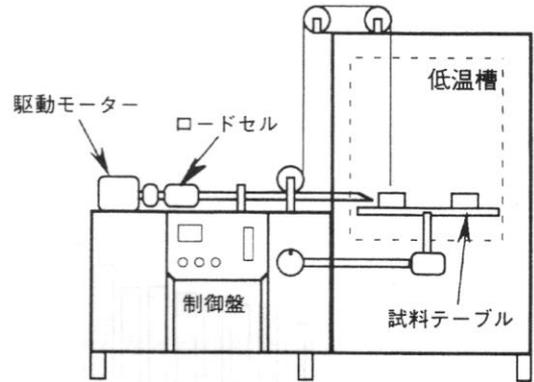


図1 着氷力試験機

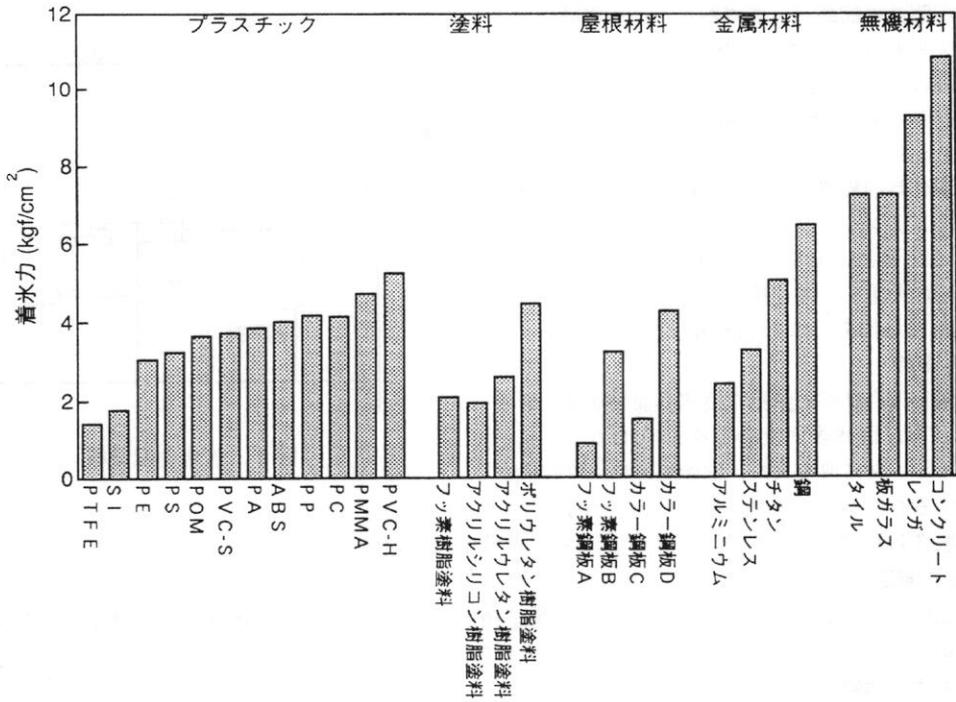


図2 各種材料の着氷力 (-10°C)

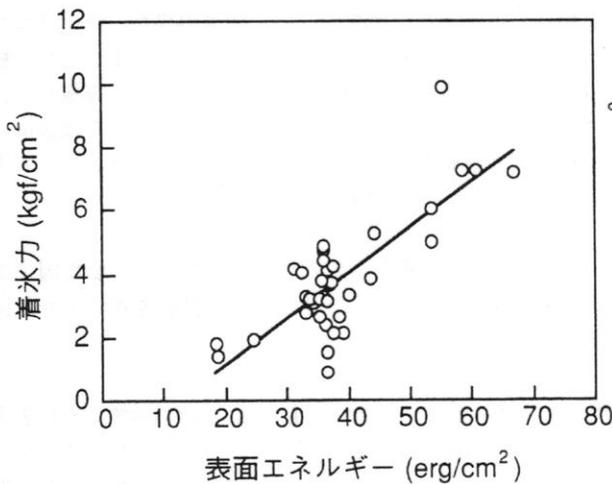


図3 着氷力と表面エネルギーの関係

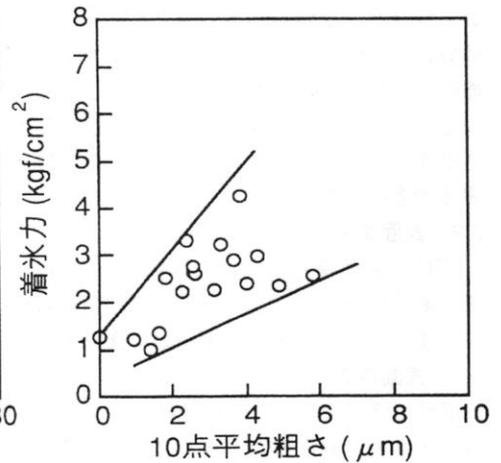


図4 着氷力と平均粗さの関係

は硬質より軟質が小さい着氷力を示した。

なお、本研究は北海道が主宰する産学官共同研究の一環として行われたものである。

参考文献

- (1) 水野悠紀子ほか；湿雪の付着強度、低温科学 物理篇、35、133-145 (1977)
- (2) 中澤直樹ほか；海水と構造物材料表面間の凍着強度について、'85寒地技術シンポジウム講演論文集、172-177 (1985)