

着雪氷防止技術に関する研究（第2報）

～着雪氷防止塗料の開発と応用～

吉田 光則、金野 克美、小林 勝雄¹⁾
 浅井 規夫²⁾、近藤 孝³⁾、泉 正史⁴⁾
 山岡 勝⁵⁾、金田 安弘⁶⁾、水野 悠紀子⁷⁾
 堀口 薫⁷⁾

Investigation to Prevent Icing (partII)

— Developments and Applications of Icephobic Polymer Coating —

Mitsunori YOSHIDA, Katsumi KONNO, Katsuo KOBAYASHI¹⁾
 Norio ASAI²⁾, Takashi KONDO³⁾, Masashi IZUMI⁴⁾
 Masaru YAMAOKA⁵⁾, Yasuhiro KANETA⁶⁾, Yukiko MIZUNO⁷⁾
 Kaoru HORIGUCHI⁷⁾

抄 録

積雪寒冷地において発生する着雪氷に関して、被付着物の表面の性質を利用した防止塗料の開発と、その応用について検討した結果、フッ素系、シリコン系素材を利用したはっ水性が高く、安価で取り扱いの容易な着雪氷防止塗料の開発に至った。この塗料をベースに常温乾燥タイプ、中低温焼き付けタイプ、プラスチックフィルムコーティングタイプなどのバリエーションのある着雪氷防止塗料を開発した。

開発した数種類の塗料は、道路標識、パラボラアンテナ、橋梁、シェルター、屋根、鉄塔などの実構造物に応用し検討した結果、優れた着雪氷防止機能を発揮した。

1. はじめに

積雪寒冷地において発生する着雪氷はさまざまな被害、障害を引き起こす。たとえば、橋桁・鉄塔・ビル・住宅などからの落雪事故、船舶・車両・航空機・電気通信施設・道路交通標識・信号機の着雪氷による障害、流雪溝の内壁や投雪口の着氷による閉塞など一般生活や多くの産業活動に影響を及ぼすことから、着雪防止対策が各方面から望まれている。

現在行われている着雪氷防止には、道路交通標識の場合、標識板を下向きに傾斜させる方法や庇を付ける方法により、標識板のまわりの風の流れを変えることによる対策がとられ

ている¹⁾。また送電線の場合は、電線自体にリングやねじれ防止ダンパを取り付けることにより、着雪による雪氷の成長を防止する対策がとられている²⁾。しかし、まだ多くの分野においてその対策が不十分であるのが実状である。

着雪氷防止や難着雪氷材料として、これまでは水性の高いシリコン系樹脂やフッ素系樹脂が有効であるとされて³⁾⁴⁾、著者らもはっ水性が高く、安価で取り扱いの容易な塗料の開発を行い⁵⁾、その実用化を進めている。本論文では、フッ素系、シリコン系素材を利用した着雪氷防止塗料のその後の開発と実構造物による屋外実験の結果を報告する。

2. 研究方法

雪が固体表面に付着する主因は水野らの研究により、湿り雪の場合は雪と被付着表面の間の水の表面張力であり⁶⁾、乾き雪の場合は雪を構成する水分子と被付着表面との分子間力によるものと考えられている⁷⁾。それぞれの付着は液体もし

1) 大日本色材工業株式会社、2) 株式会社シオン
 3) 北海鋼機株式会社（現：社団法人発明協会北海道支部）
 4) 日本軽金属株式会社、5) 北海道電力株式会社
 6) 財団法人日本気象協会北海道本部
 7) 北海道大学低温科学研究所

くは固体の水分子と被付着表面との間で生じるため、被付着表面の物理的・化学的性質は雪氷の付着に大きな影響を与える⁸⁾⁹⁾。著者らは、氷の付着に関して高分子材料、無機材料、金属材料などの広範囲な種々の材料の着氷力（氷の付着力）を検討し、フッ素系及びシリコン系素材は表面自由エネルギーが小さく、着氷力も小さいことを確認した¹⁰⁾。さらに、氷の融点付近の水点下（約0～-5℃）における着氷力は、温度依存性が大きく、親水性の高い材料では0℃に近づく著しく着氷力が低下することを見いだした¹¹⁾¹²⁾。これは材料の被付着表面と氷の界面に氷点下でも安定な水膜が存在し、その水膜の厚さが被付着表面の親水性、疎水性などの化学的な材料特性や温度に依存するためと考えられる。

著者らは、被付着表面の化学的性質をコントロールすることにより、着雪氷防止の機能が発揮できる塗料の開発について検討した。開発には、塗料界面と雪氷体との付着力を小さくするためにベース樹脂塗料に各種の非粘着性の添加剤を加え複合塗料を作成した。ベース樹脂には、ポリフッ化ビニリデン3元共重合体を主成分とした一液常温乾燥型フッ素樹脂塗料を用いた。非粘着性の添加剤には、各種のフッ素系樹脂、シリコン系樹脂を用い、さらに助剤として界面活性剤及びその他の塗料化に必要な添加剤を組み合わせ用いた。非粘着性物質は、その分子構造内に -CH₃ 基、-CH₂ 基、-CF₃ 基、-CF₂ 基が含まれており、その臨界表面自由エネルギーの大きさは -CH₂ > -CH₃ > -CF₂ > -CF₃ の順である。代表的な非粘着性物質である四フッ化エチレン樹脂（通称テフロン）の性質は、分子構造中の炭素 (C)- フッ素 (F) 結合の特異性のため表面に -CF₂ 基のフッ素原子が露出して、低い表面自由エネルギーを示す。四フッ化エチレン樹脂に加えて、-CF₂ 基よりさらに低い臨界表面自由エネルギーを示す -CF₃ 基を多く含む低分子量の四フッ化エチレン樹脂や CH₃ 基がより多く配列しているシリコン系樹脂及びそれらの添加剤の分散をコントロールする界面活性剤について検討した。

試作においてはベース樹脂塗料に各種の非粘着性物質を種々の配合で添加し、評価は水との接触角とその値から計算される表面自由エネルギー及び水とのせん断付着力を測定した。接触角は静的法により塗料表面と液滴の接触角度を測定し、氷とのせん断付着力は専用の試験機により塗料表面に凍着した氷の付着強さを測定した⁹⁾。

3. 研究結果及び考察

3.1 着雪氷防止塗料の開発

試作した塗料のうち、良好な結果が得られた配合例について塗料の組成と水との接触角、表面自由エネルギーの関係を表1に示した。ベース樹脂塗料（一般フッ素樹脂塗料）に比較して、フッ素系界面活性剤は表面自由エネルギーを小さくする作用が大きく、特に低分子量四フッ化エチレン樹脂と組

み合わせるとその効果が大きい。この低分子量四フッ化エチレン樹脂は平均分子量が8,000で四フッ化エチレン樹脂 (PTFE)のおよそ1/100～1/1,000程度で末端基の -CF₃ 基の影響が大きいと考えられる。さらに、フッ素系界面活性剤、低分子量四フッ化エチレン樹脂及びシリコン樹脂を配合した試作例7は、接触角が測定限界の150deg.を越え、氷の付着強さでは、図1に示したように一般フッ素樹脂塗料に比べて広範囲の温度領域において著しく低い値を示した。

試作塗料は常温乾燥タイプであるが、60～200℃で乾燥できる中低温焼き付けタイプを試作し、プラスチックフィルムへのコーティングや鋼板への焼き付けも行える塗料も試作した。

表1 試作塗料組成の評価

項目	非粘着性物質の添加量 (フッ素樹脂塗料100重量部に対する重量部)				評 価	
	非イオン系 界面活性剤	フッ素系 界面活性剤	シリコン 樹脂	低分子量・ TFE樹脂	水との接触角 (deg.)	表面エネルギー (mJ/m ²)
ベース樹脂塗料	-	-	-	-	85.1	29.1
試作例1	10	-	-	-	90.6	22.8
試作例2	-	10	-	-	119.6	11.0
試作例3	-	-	10	-	85.0	24.4
試作例4	-	-	-	100	114.1	18.0
試作例5	-	10	100	-	120.2	10.5
試作例6	-	10	-	100	141.7	5.4
試作例7	-	10	40	60	150以上	5.87

*低分子量四フッ化エチレン樹脂

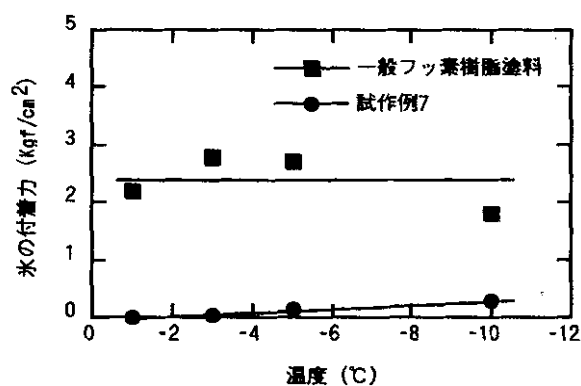


図1 試作材料の氷のせん断付着力特性

3.2 着雪氷防止塗料の応用

表面自由エネルギーや氷のせん断付着力の評価で良好であった低分子量四フッ化エチレン樹脂、シリコン樹脂及びフッ素系界面活性剤を組み合わせた組成の試作塗料を通路標識、パラボラアンテナ、橋梁、シェルター、屋根、鉄塔などの実構造物に応用し、その効果について検討した。

道路標識用は既設のものに施工できるように透明なプラスチックフィルム上に試作塗料(試作例6)をコーティングし、フィルムの裏面には粘着剤及びはく離紙をコーティングして、構造物に貼り付けるタイプを考案した。光劣化や汚染な

どにより性能の低下があった場合は容易に取り除き、再度貼り付けることができる。実験には北海道土木部の協力を得て、道々東雁来江別線、道々岩内洞爺線などの4路線の警戒標識に施工した。写真1に観測結果の一部を示した。近くの既設の無処理の標識に比べて明らかな着雪氷防止効果が認められた。

また、橋梁への応用として写真2に示したアーチ部分の落雪防止用の塗料(試作例7)として用いた。降雪の機会が少なかったため、多くの観測データは得られていないが、写真に示すように一般フッ素樹脂塗料に比べて効果が認められた。

その他パラボラアンテナ(試作例7、写真3)や鉄塔(試作例6)などの実構造物での実験でも、無処理や一般塗料に比べて良好な結果が得られている。



写真1 道路標識への応用例

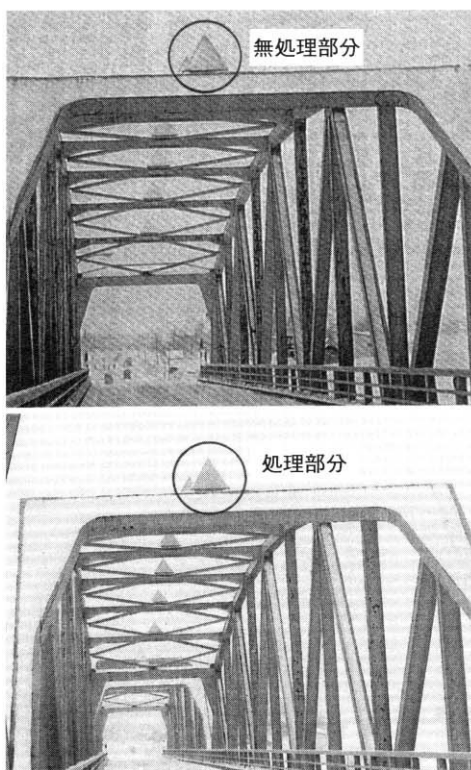


写真2 橋梁への応用例

(写真上：一般フッ素樹脂塗料、写真下：試作例7を塗装)

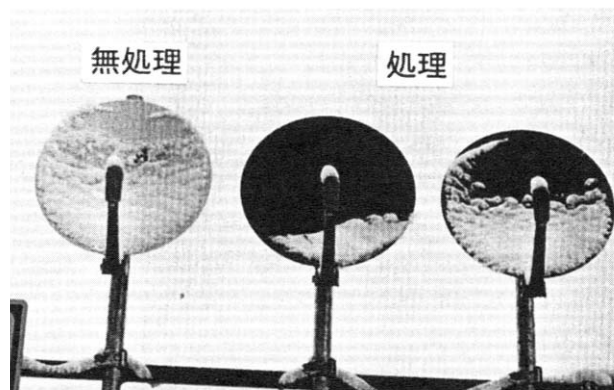


写真3 パラボラアンテナへの応用例

4.まとめ

着雪氷防止について被付着物の表面の性質を利用した防止塗料の開発と、その応用について検討し、次の結果を得た。

1. 低分子量四フッ化エチレン樹脂及びシリコン樹脂からなるフッ素系樹脂塗料をベースとした複合塗料は、広範囲な温度領域において高いはっ水性と低い氷のせん断付着力を示し、実構造物においても優れた着雪氷防止機能を発揮した。
2. 上記の複合塗料をベースに常温乾燥タイプ、中低温焼き付けタイプ、プラスチックフィルムコーティングタイプなどのバリエーションのある着雪氷防止塗料を開発した。

試作した数種類の複合塗料は、屋外実験や実構造物で優れた着雪氷防止機能を発揮し、耐候性、耐水性などの耐久性はある程度確認された。今後さらに各種の実構造物で応用試験を行う予定である。

本研究は科学技術振興事業団の助成のもとで実施されたことを付記する。

最後に、屋外での実構造物での実験において、貴重な実験の機会を与えてくれました北海道開発局及び北海道建設部の関係各位に謝意を表します。

なお、本報告の一部は第13回寒地技術シンポジウム(平成9年11月、苫小牧市)で発表し、寒地技術論文・報告集Vol.13、87-92(1997)に掲載した。

参考文献

- 1) 竹内政夫、道路標識への着雪とその防止、雪氷、40、P117-127(1978)
- 2) 五藤員雄ほか、北海道における電線着雪とその発達抑制に関する研究、雪氷、37、P182-191(1975)
- 3) 大石不二夫ほか、新機能ポリマーコーティングによる鉄道雪氷害対策、雪氷、49、P9-17(1987)
- 4) 山内五郎ほか、雪害対策用超はっ水性材料、工業材料、44、P42-46(1996)

- 5) 吉田光則ほか、着雪氷防止塗料組成物、特許公報、第 2614825 号 (1997)
- 6) 水野悠紀子ほか、湿雪の付着強度、低温科学 物理篇、**35**、P133-145 (1977)
- 7) 水野悠紀子ほか、融点以下での着雪に関する実験的研究、低温科学 物理篇、**38**、P17-32 (1979)
- 8) 中澤直樹ほか、海氷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、P172-177 (1985)
- 9) 苫米地司ほか、材料の表面特性が着氷雪に及ぼす影響、'95 寒地技術論文・報告集、P446-451 (1995)
- 10) 吉田光則ほか、着雪氷防止技術に関する研究 (第 1 報)、北海道立工業試験場報告、No.292、P13-22 (1993)
- 11) 吉田光則ほか、融点付近での氷の付着強度、日本雪氷学会全国大会講演予稿集、P60(1994)
- 12) 吉田光則ほか、融点付近での氷の付着強度、日本雪氷学会全国大会講演予稿集、P130(1995)