

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年3月31日現在

機関番号：10102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22310110

研究課題名（和文） 海水飛沫着氷が含むブラインに着目した着氷防止および除氷対策の研究

研究課題名（英文） Investigation on anti-icing and deicing focused on the brine contained in the seawater spray icing

研究代表者

尾関 俊浩（OZEKI TOSHIHIRO）

北海道教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：20301947

研究成果の概要（和文）：現地観測より着氷の成長速度が気温と風速の増加とともに増すことを示した。また難着氷シートの取り付け方法を確立した。高親水性、高撥水性のシートによる塩水着氷実験を行い、高親水性では飛沫着氷の剥落が起きやすいことを示した。また着氷内のブライン残留について知見を得た。以上より海水飛沫着氷の構造と成長モデルの提案を行った。また海水飛沫着氷対策には高親水性とシートの変形の組み合わせが有効であることを提案した。

研究成果の概要（英文）：Weather condition and marine condition during sea spray icing was analyzed using field data: the growth rate of cross section of icing monotonically increased with the product of air temperature and wind speed. We developed a method employing static ropes in order to withstand the fluttering and the effect of green water. Saline ice adhesion tests of hydrophobic/hydrophilic polymer sheets were performed by cold experiments in laboratories. In particular, the adhesion strength of the hydrophilic material decreased remarkably as the salinity increased. The spray icing tests were verified by cold experiments conducted using an ice model basin. Exfoliation of pieces of the membranous ice was often observed during the initial growth. The highly hydrophilic sheets could be effectively used to achieve deicing due to the low adhesion strength of the saline ice and exfoliation. A combination of low adfreeze property and rapid distortion was effective for the deicing of sea spray icing.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2011年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2012年度	2,600,000	780,000	3,380,000
総計	12,200,000	3,660,000	15,860,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 ・ 自然災害科学

キーワード：雪氷災害，自然災害，水圏現象，減災，雪氷，着氷

1. 研究開始当初の背景

北海道周辺海域は世界でも有数の着氷ゾーンである。航行船舶に激しい船体着氷がしばしば発生することはよく知られているが、季節風による波浪飛沫によって、防波堤灯台などの航行安全設備に著しい着氷が生ずる。

しかし我が国では、1970年代以降北洋船団が衰退し、千島列島周辺の着氷ゾーンでの漁船の航行・操業が減少したことで、航路標識への着氷障害は北海道周辺海域特有の問題であることから、抜本的な着氷障害防止研究がなされないまま今日に至っている。気象着氷

雪（湿雪や着氷生の雨）はシミュレーションが行われる段階にあるが、世界的に見ても marine icing は未解決な課題である。近年のエレクトロニクスの進歩は航行援助システムにも変革をもたらし、光灯台から電波灯台、GPS の利用など発展を見ているが、その反面として航路標識管理は省力化要請により関係部員数が激減し、管理者による人力の着氷雪除去作業の実施が難しくなっている。加えて財政上の理由から経済的な小型灯塔が寒冷地にも導入されているが、着氷対策はなされていないので、省力化と経済的な観点から着氷防止と除氷の対策は以前にも増して急務の課題となっている。

一方、日本において船体着氷対策の研究が盛んに行われた 1960 年代と現在では貨物船や漁船等の船型および船載装備にはかなりの変化がみられる。さらに世界的なエネルギー需要を鑑みると、サハリンや沿海州から北海道周辺の海域ではエネルギー資源の輸送を担うタンカーや LNG 船など、今まで想定していなかった船種への着氷対策を検討する必要がある。加えて近年の観測で北極海の結水域が減少していることから北極海を通る航路が現実味を帯びてきている。結水域が減っても気温帯は海水飛沫が着氷する条件を満たしており、氷量減少による波浪の増大も着氷を増大させる方向にあるので、航行船舶の増加で世界的に着氷被害が増える可能性がある。現在は船の航行保全が電子航海計器に依存しており、着氷による航海計器障害を防止・除去することは従来にまして重要な課題である。

2. 研究の目的

航行安全設備管理の省力化と小型の防波堤灯台（図 1）の導入により、海水飛沫着氷の対策が新たな課題となってきた。現行の着氷対策は完全ではなく実験室で成績の良い超撥水性材料も着氷をゆるしてしまう。本研究では着氷の課題を「氷の凍着」と「着氷の成長」の 2 つに分けて目標を設定した。

「氷の凍着」では海水飛沫が着氷するときにブライン（濃縮海水）を含む特徴に着目し、超撥水性材料の難着水性とシート材の変形や融解などを組み合わせた実用的な着氷の軽減方法を考案することを目的とした。



図 1 小型防波堤灯台の着氷例。

一方「着氷の成長」では着氷が発達する防波堤の波しぶきの発生と供給、航行安全設備上での着氷成長とブラインの排水に不明な点が多いことから、気象・海象と着氷成長の観測と実験を行い飛沫の発生から着氷の成長速度までを調査し、モデルへと発展させることを目指した。

3. 研究の方法

航行安全設備への着氷雪防止対策を検討する上で、着氷成長のどの段階で対策を施すかを設定することが肝要である。海水飛沫着氷は (i) 海水飛沫の発生、(ii) 海水飛沫の対象物への飛来と衝突、(iii) 海水飛沫の凍結の各段階を経て成長をする。したがってそのどこかを断ち切ることにより着氷の成長を抑制することが可能となる。また対象物への着氷を許した場合には (iv) 着氷が大きく成長しないよう制御する、(v) 成長した着氷を簡単に除氷することが着氷雪防止対策となる。(i), (ii), (iii) は「着氷の成長」に関する課題であり、(iv), (v) は対象物の界面での「氷の凍着」に関する課題である。

研究を推進するにあたり、次の 4 つの施設・設備を用いて実験・観測を行った。(1) 北海道教育大学の低温実験室。(2) 海上技術安全研究所の氷海水槽。(3) 石狩市浜益区の浜益漁港北防波堤。(4) 寒冷海域を航行する船舶。低温実験室では、一定気象条件下で飛沫着氷を成長させる実験装置の開発を行った。この装置を用いて着氷初生、成長、着氷力、剥落の様態に着目した高親水性・高撥水性材料上の飛沫着氷試験を行った。

氷海水槽では、飛沫着氷試験用の簡易風洞を制作し、低温実験室ではできなかった小型灯台規模の試験体への着氷実験を行った。難着氷シートモデルに低温、強風の条件で塩水飛沫を噴霧する実験を行い、その着氷初生、成長、剥落の様態、除氷難易度の評価を行った。

防波堤では、気象、海象についての防波堤現地データ取得を行った。さらにインターバル撮影により着氷の成長状況を記録した。これらの観測データを解析し、気象、海象と着氷の成長の関係を明らかにした。また、難着氷試料の実験灯塔への取り付け方法について試験した。着氷体に難着氷材料試片を取り付け、冬季適時、海水飛沫着氷の様態観察を行い、非定常環境下での素材効果の現地評価、問題点の抽出を行った。

寒冷海域を航行する船舶では、しぶき計を用いた船舶の飛沫発生・飛来データと気象、着氷量の関係を解析した。また、船舶での難着氷試料の着氷試験を行った。これらの試験結果を総合して、難着氷シート材料の着氷特性と除氷性能の評価を行った。

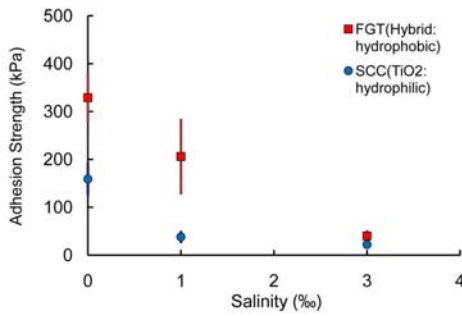


図2 着氷力の塩分濃度依存性.

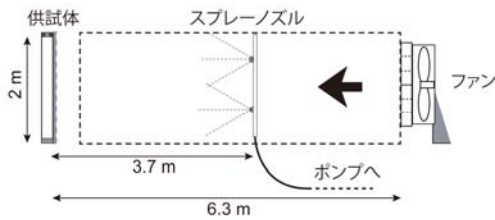


図3 簡易風洞による着氷実験.

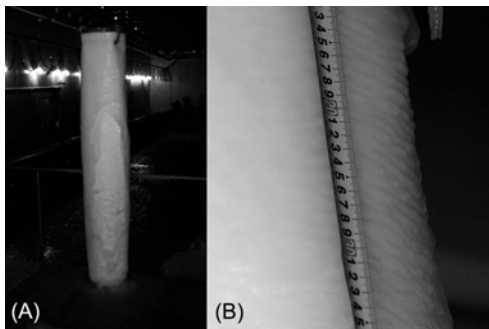


図4 高親水性シート上の着氷. (A) 剥落の発生. (B) 着氷表面の波模様.

4. 研究成果

海水飛沫着氷対策が期待される各種材料を選定し、低温実験室において着氷雪特性を調査した。高親水性シート、高撥水性シートを用いた純水と塩水による着氷力実験を行い、塩分濃度がわずか数パーミルでも着氷力が低下することを示した。とくに親水性の材料で劇的な低下が見られた(図2)。塩水の場合にはブラインを多く含むことから、親水性シートは難着氷性を示したものと推察される。また気温、風速を変更することにより塩水着氷の成長スピードを変えた実験を行うことにより、着氷内のブライン(未凍結の塩水)の残留と排水についての知見を得た。

氷海水槽における強風下での飛沫着氷実験(図3)では、着氷の初生、成長と剥落の過

程にシートの違いが現れることが明らかとなった。すなわち、高撥水性シート上では水滴は半球状になって流下する着氷の初生は粒状で、成長するとこぶ状に着氷した。一方、高親水性シートでは衝突した水滴は液膜状になって流下した。そのため初生はシート状であり、成長するにしたがって流下方向に直交するような波模様が表面に見られた(図4)。また高撥水、高親水の両タイプとも模型中央付近で剥落が発生することが確認された(図4)。特に高親水性シートでは試験期間を通して剥落が見られ、着氷量軽減効果が期待できた。さらに両タイプのシートとも小さな刺激やシートの変形で着氷をはがすことは容易であった。

防波堤および船における現地調査では、実験灯塔の着氷断面のインターバル撮影および気象観測より、着氷の成長速度が、気温と結氷温度との差および風速が増加することによって増加することを示した(図5)。また、実験灯塔(試験体)に難着氷材料試片を取り付ける方法を開発したことにより、今研究で想定した波浪による耐荷重を満たして一冬期間メンテナンスなしでシートモデルを維持できることが分かった。難着氷にはシートが変形もしくはフラッタリングを起こすことが効果的であったが、シートによっては表面コーティングが損傷を受け損傷・剥離することがわかったので、シートの選択が肝要である。

以上より、海水飛沫着氷に関する4つの提案を行った。(1)海水飛沫着氷の内部構造と成長モデルの提案を行った。(2)表面性状だけで着氷を防ぐことは難しく、シートの変形を利用することにより除氷を容易にすることができる。(3)海水飛沫では高親水性シートが難着氷に有効である。(4)シートをロープで試験体に固定する方法の有用性が示された。

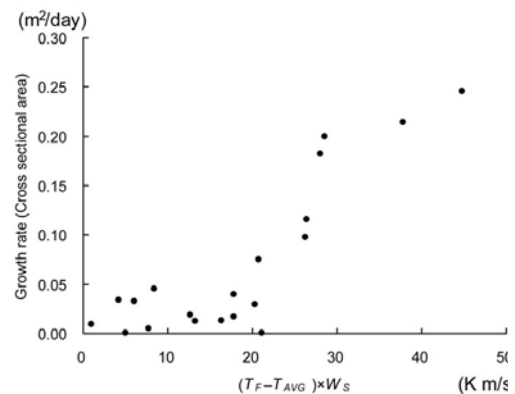


図5 温度差と風速の積と着氷断面面積の増加量との関係.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① T. Ozeki, S. Adachi, Field observations of impinging seawater spray and spray icing on icebreaker Soya, Proceedings of the 28th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, 2013, 162-165. (査読無)
- ② 尾関俊浩, 安達聖, 巡視船そうやにおける飛沫の発生と海水飛沫着氷の観測—2012年2月—, 寒地技術論文・報告集, 28, 2012, 157-160. (査読無)
- ③ T. Ozeki, R. Yamamoto, K. Izumiyama, T. Sakamoto, Ice adhesion tests on pliable polymer sheets for protection against sea spray icing, Journal of Adhesion Science and Technology, 26, 2012, 651-663. (査読有)
DOI:10.1163/016942411X574817
- ④ 尾関俊浩, 砕氷艦しらせにおける飛沫の発生と飛来に関する研究, 寒地技術論文・報告集, 27, 2011, 91-95. (査読無)
- ⑤ 安達聖, 尾関俊浩, 巨瀬勝美, コンパクトMRIによるぬれ雪中の融水の分布の撮像, 寒地技術論文・報告集, 26, 2010, 63-65. (査読無)

[学会発表] (計 13 件)

- ① T. Ozeki, S. Adachi, Field observations of impinging seawater spray and spray icing on icebreaker Soya, The 28th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Monbetsu (Japan), 2013年2月19日
- ② 尾関俊浩, 安達聖, 巡視船そうやにおける飛沫の発生と海水飛沫着氷の観測—2012年2月—, 第28回寒地技術シンポジウム, 弘前, 2012年10月31日
- ③ 尾関俊浩, 下田春人, 津田将史, 氷海水槽における海水飛沫着氷の実験その2—親水性と撥水性のシート材料—, 雪氷研究大会(2012・福山), 福山, 2012年9月26日
- ④ 尾関俊浩, 安達聖, 坂本拓麻, NMRイメージングによる海水飛沫着氷の観察, 第16回NMRマイクロイメージング研究会, 大津, 2012年8月3日
- ⑤ T. Ozeki, S. Adachi, T. Sakamoto, K. Kose, Field observations of sea-spray icing in Hokkaido, Japan, International Symposium on Seasonal Snow and Ice 2012, Lahti (Finland), 2012年5月29日
- ⑥ 尾関俊浩, 砕氷艦しらせにおける飛沫の発生と飛来に関する研究, 第27回寒地技

術シンポジウム, 札幌, 2011年12月1日

- ⑦ 尾関俊浩, 安達聖, 昭和基地北の浦の海水断面観測とMRIによる空隙の撮像, 雪氷研究大会(2011・長岡), 長岡, 2011年9月20日
- ⑧ 安達聖, 尾関俊浩, 巨瀬勝美, コンパクトMRIによるぬれ雪中の融水の分布の撮像, 第26回寒地技術シンポジウム, 札幌, 2010年12月9日
- ⑨ 尾関俊浩, 坂本拓麻, 安達聖, 若生大輔, 氷海水槽における海水飛沫着氷の実験—親水性と撥水性シート材料—, 日本雪氷学会(2010・仙台), 仙台, 2010年9月27日
- ⑩ 安達聖, 尾関俊浩, 巨瀬勝美, 低温室用MRIによる雪氷の3次元構造の可視化, 日本雪氷学会(2010・仙台), 仙台, 2010年9月27日
- ⑪ 尾関俊浩, 安達聖, 田澤辰典, 防波堤灯台に成長する海水飛沫着氷の観測と難着氷シートによる着氷軽減実験, 第29回日本自然災害学会学術講演会, 岐阜, 2010年9月17日
- ⑫ T. Ozeki, T. Sakamoto, S. Adachi, D. Wako, K. Izumiyama, Laboratory experiment of sea spray ice accretion on hydrophilic and hydrophobic pliable sheets, International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo (Japan), 2010年6月22日
- ⑬ T. Ozeki, S. Adachi, D. Wako, Field Tests of Superhydrophilic Pliable Sheet for Protection Against Sea Spray Icing, 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, Beijing (China), 2010年6月22日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾関 俊浩 (OZEKI TOSHIHIRO)
北海道教育大学・教育学部・准教授
研究者番号: 20301947

(2) 研究分担者

能條 歩 (NOUJOU AYUMU)
北海道教育大学・教育学部・教授
研究者番号: 20311524

松沢 孝俊 (MATSUZAWA TAKATOSHI)
独立行政法人海上技術安全研究所・その他部局等・研究員
研究者番号: 00443242

宇都 正太郎 (UTO SHOUTAROU)
独立行政法人海上技術安全研究所・その他
他部局等・研究員
研究者番号：40358396

(3) 連携研究者

瀧本 忠教 (TAKIMOTO TADANORI)
独立行政法人海上技術安全研究所・
その他部局等・研究員
研究者番号：20466238

下田 春人 (SHIMODA HARUHITO)
独立行政法人海上技術安全研究所・
その他部局等・研究員
研究者番号：30505102

若生 大輔 (WAKOU DAISUKE)
独立行政法人海上技術安全研究所・
その他部局等・研究員
研究者番号：40505103