

薬剤散布による氷板及び圧雪の表面状態と力学的性質の変化

山家淳史*¹・伊豫部勉*²・和泉 薫*²・河島克久*²・小杉健二*³・根本征樹*³・望月重人*³・庄司 淳*¹

Change of surface conditions and mechanical properties of ice-crust and compacted-snow due to deicing agents

by

Atsushi YAMAGA*¹, Tsutomu IYOBE*², Kaoru IZUMI*², Katsuhisa KAWASHIMA*²
Kenji KOSUGI*³, Masaki NEMOTO*³, Shigeto MOCHIZUKI*³ and Atsushi SHOJI*¹

はじめに

現在, 幹線道路を中心として薬剤散布や機械除雪等の冬期路面管理がなされている。しかしこのような冬期路面管理がなされていても降雪量や気温低下の程度によっては, 滑りやすく危険な雪氷路面である氷板や圧雪が発生することがある。氷板や圧雪が発生した場合には, 機械除雪によって削った後に残った氷板や圧雪を融解処理する目的で薬剤散布(事後散布)が行われることが多い。このような薬剤の事後散布に対して, 路面が気温低下に伴って凍結する恐れがある時に薬剤を散布して凍結を予防するのが薬剤の事前散布である。事後散布は事前散布に比べ薬剤散布量が多い(村国, 1993)。現在, 冬期路面管理を行う道路管理者側の薬剤散布量は年々増加する傾向にあるため, 薬剤の事後散布においてもより効果的・効率的な散布方法の確立が求められている。

氷板や圧雪への薬剤散布に関するこれまでの研究例としては川村ら(1996)があるが, これは実際の道路現場において塩化ナトリウム, 塩化カルシウム等の種々の薬剤に関し, すべり摩擦係数改善効果の比較を目的にした実証実験であった。一方で, 薬剤散布による氷板や圧雪の変質に注目した基礎的な研究はあまりない。今後の薬剤散布の効果的・効率的な散布方法確立に向けては, 薬剤散布による氷板, 圧雪の変質の把握も重要である。そこで本研究は, 氷板と圧雪の表面状態及び力学的性質が薬剤散布によって時間的にどう変化するか把握することを目的として, 低温実験室内において氷板・圧雪への薬剤散布実験を行ったものである。

氷板, 圧雪及び薬剤に関する基本的事項

氷板及び圧雪

氷板と圧雪は一般に滑りやすく危険な雪氷路面の一つとされ, それらが発生した際には道路交通に対し大きな交通障害を及ぼすことがある。前野ら(1987)の道路雪氷の分類によると, 氷板(ice-crust)は厚さ1mm以上の板状の水で, 水分を含んだつぶ雪や圧雪が気温低下により凍結して形成される(密度700kg/m³以上)。ま

た, 圧雪(compact-snow)は新雪やこな雪が車両の通行によって圧密され, 加圧焼結によって緻密で丈夫な押し詰められた雪である(密度450~750kg/m³)。

薬剤

冬期路面管理における薬剤散布で使用されている薬剤の種類には, 塩化ナトリウム, 塩化カルシウム, CMA, 塩化ナトリウム・塩化カルシウム混合物などがある。現在, 実際の道路現場で最も一般的に用いられている薬剤は, 塩化ナトリウム(固形状)である。固形状の塩化ナトリウムは, 岩塩を砕いたもので粗い粒と細かい粒が混合しているものが広く使用されている。本実験でもこの塩化ナトリウム(固形状)を用いた。

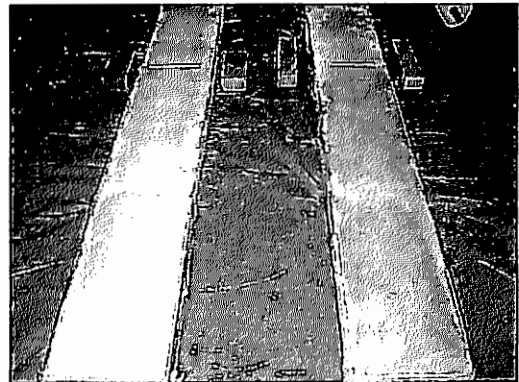


写真-1 試料の状況(氷板)

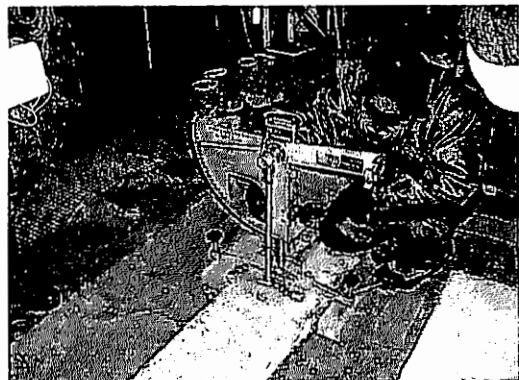


写真-2 ポータブル・スキッド・テスター

*1 新潟大学大学院自然科学研究科 *2 新潟大学積雪地域災害研究センター *3 (独)防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所新庄支所

実験方法

実験は、(独)防災科学技術研究所・長岡雪氷防災研究所新庄支所の雪氷防災実験棟及び新潟大学積雪地域災害研究センターの低温実験室で行った。試料の状況を写真-1に示す。氷板と圧雪は、コンクリート板(厚さ50mm)の上にそれぞれ作製(雪氷厚12~13mm)し、実験時の室温は氷板の実験で-3℃、圧雪の実験で0℃とした。使用した薬剤は、実際の道路現場で用いられている固形状の塩化ナトリウムで、粒径が3mm以下の粗粒と細粒が混合しているものである。散布量は40g/m²とした。この散布量は、幹線国道での圧雪処理目的での薬剤散布で採用されている散布量である(北陸地方整備局, 1999)。

薬剤散布後の経過時間に応じて、表面状態の観察を行うとともに、氷板と圧雪のすべり抵抗値と表面硬度を測定した。すべり抵抗

値は、ポータブル・スキッド・テスター(写真-2)を用いて測定した。中沢(2003)によると、ポータブル・スキッド・テスターは、振り子の端部についてゴム製のスライダーが雪面を滑る時のエネルギー損失によって変化する振り子の上昇高さを装置に付けられた目盛で読み、これをすべり抵抗値(無次元数)とする。すべり抵抗値は日本雪氷学会北海道支部(1991)によれば、「おおよそ動摩擦係数の100倍に相当する」とされる。表面硬度はプッシュゲージ(竹内ら, 2001)を用いて測定をした。なおプッシュゲージのアタッチメントの直径は、氷板では2mm、圧雪では3mmである。また薬剤散布後には、その直後から薬剤による雪氷の融解反応が起こり、薬剤溶液が生じる。この薬剤溶液の氷板、圧雪表面における量を調べるため、市販の吸い取り紙を用いて一定面積(120cm²)における表面の溶液量を測定した。

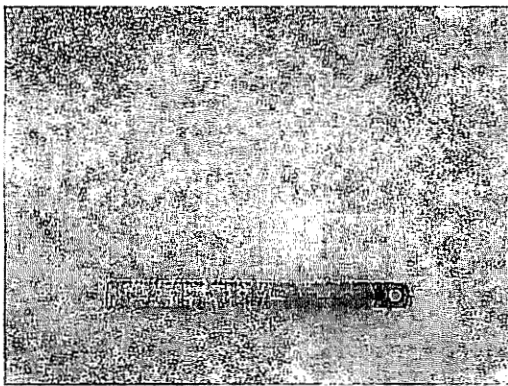


写真-3 薬剤散布前の氷板表面

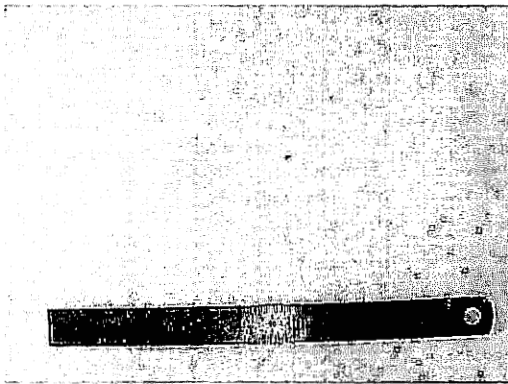


写真-4 薬剤散布前の圧雪表面

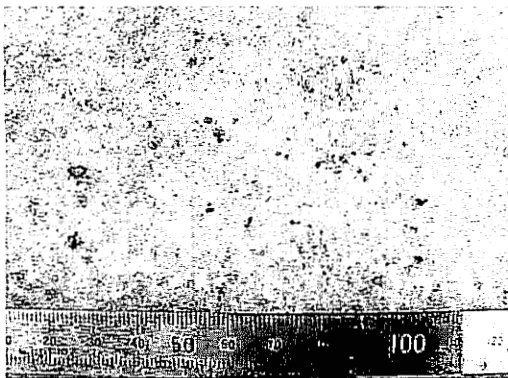


写真-5 薬剤散布から60分後の氷板表面

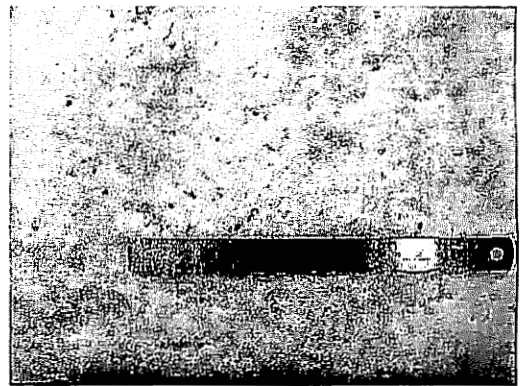


写真-6 薬剤散布から60分後の圧雪表面



写真-7 薬剤散布直後における氷板表面の溶液膜



写真-8 薬剤散布直後の圧雪表面

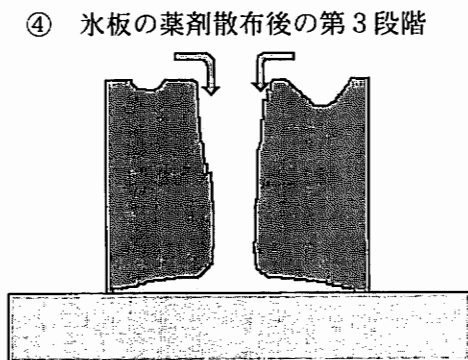
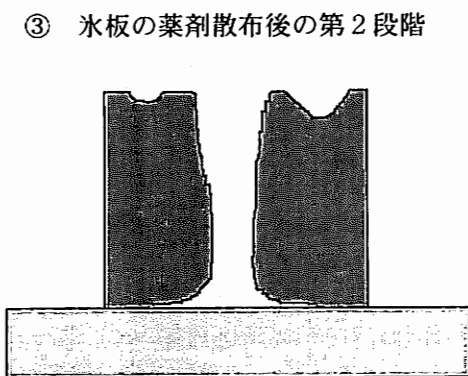
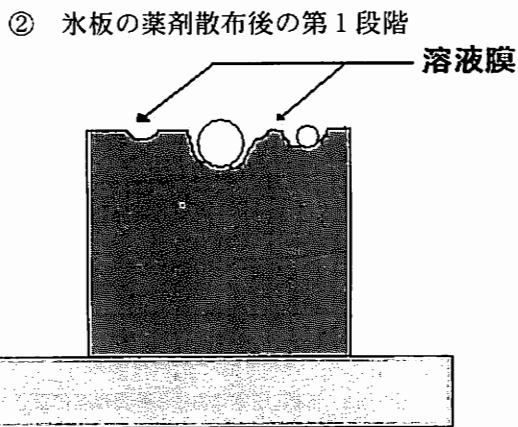
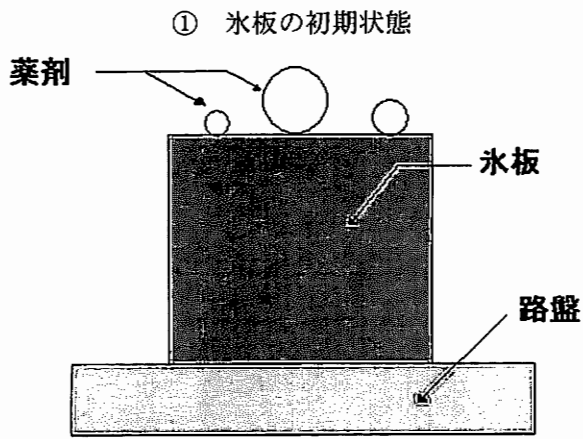


図-1 薬剤による氷板の変質過程の模式図

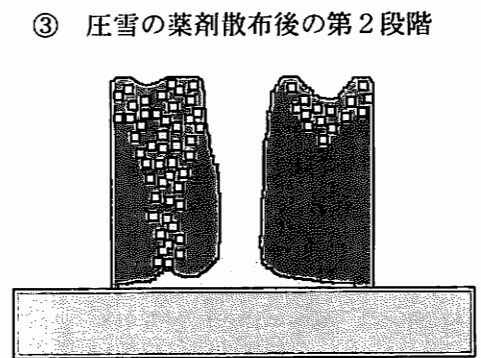
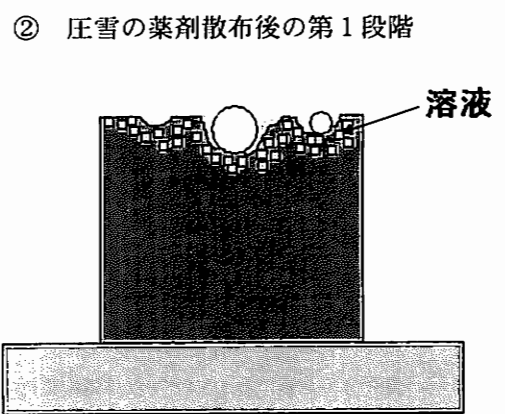
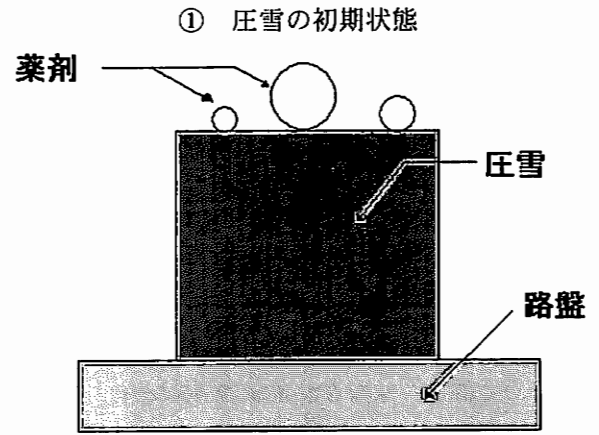


図-2 薬剤による圧雪の変質過程の模式図

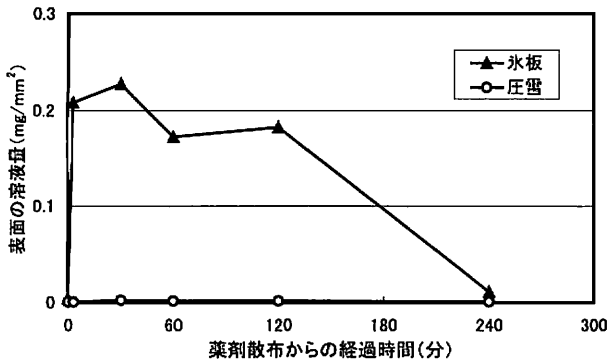


図-3 氷板、圧雪表面の溶液量の変化

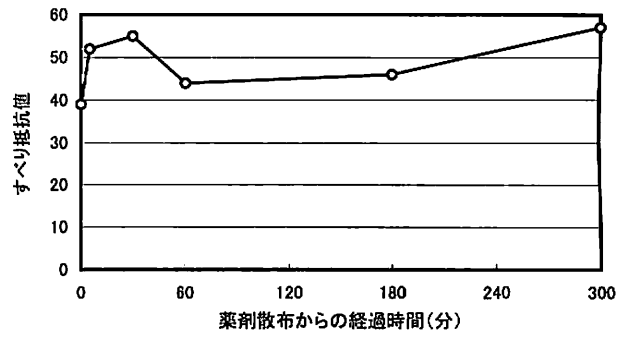


図-5 圧雪におけるすべり抵抗値の変化

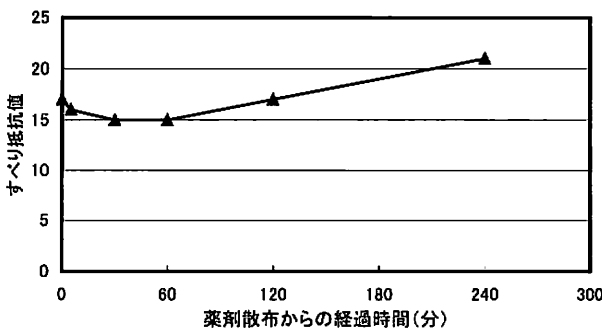


図-4 氷板におけるすべり抵抗値の変化

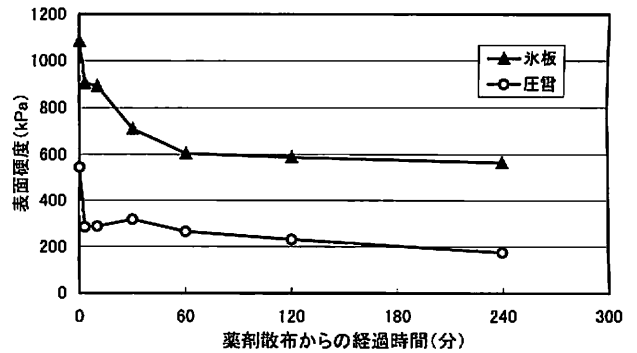


図-6 氷板、圧雪における表面硬度の変化

実験結果

氷板と圧雪の薬剤散布後の観察

氷板と圧雪に薬剤を散布すると、その直後から薬剤による雪氷の融解反応が起こる。氷板及び圧雪表面の薬剤散布前の様子を写真-3, 写真-4に、薬剤散布から60分後の様子を写真-5, 写真-6に示す。観察から氷板と圧雪の薬剤による変質過程は次のようにまとめることができる。

氷板

薬剤散布による氷板の変質過程の模式図を図-1に示す。第1段階では、薬剤の細粒は表面付近の溶解にとどまるが、氷板表面に溶液が生成され溶液膜が形成される。また薬剤の粗粒は表面に穴を形成し氷板内部へもぐりこんでいく。次に第2段階として、薬剤はすべて溶解して氷板の融解が進み、氷板表面での溶液膜の量が多くなる。薬剤の粗粒によって形成された穴は氷板を貫通する。この穴によって表面付近の溶液が氷板底部へ移動する。このため氷板底部と路盤の密着の弱化が進む。次に第3段階として、薬剤の融解反応が緩やかになって溶液の生成量が減少するとともに、表面の溶液の底部への流出が進み、表面の溶液量は減少する。このため、形成された穴によって氷板表面の粗さが浮き立ってくる。

氷板では、薬剤散布直後から薬剤の融解反応によって生じた溶液が表面に生じるのが目視で確認できた(写真-7)。薬剤散

布後の氷板と圧雪表面における溶液量を示したものが図-3である。氷板では薬剤散布直後~120分後にかけて表面に溶液が多い状態となっていることがわかる。

圧雪

薬剤散布による圧雪の変質過程の模式図を図-2に示す。第1段階では、薬剤の細粒の溶解によって圧雪表面の融解が起こる。圧雪表面で生成された溶液は、圧雪内部へ浸み込んでゆく。また薬剤の粗粒は、穴を形成し圧雪内部にもぐりこんでいく。次に第2段階のように、薬剤はすべて溶解して圧雪の融解が進み、空隙が大きい状態となる。圧雪内部に浸み込んだ溶液は、圧雪底部に移動して圧雪底部と路盤との密着の弱化が進む。圧雪では薬剤散布後も、表面の溶液は目視で確認できなかった(写真-8)。図-3から、圧雪表面には実験中ほとんど溶液が存在しないことがわかる。

薬剤散布後のすべり抵抗値と表面硬度の変化

薬剤散布後の氷板におけるすべり抵抗値の変化を図-4に示す。この図より、氷板のすべり抵抗値は、薬剤散布直後から低下して30~60分後に最小となり再び上昇した。また薬剤散布後の圧雪におけるすべり抵抗値の変化を図-5に示す。圧雪のすべり抵抗値は、薬剤散布直後に上昇しその後も薬剤散布前よりも大きい値を示した。

次に薬剤散布後の氷板と圧雪の表面硬度の変化を図-6に示

す。氷板と圧雪の表面硬度はともに薬剤散布後から低下し、散布60分後には散布前の半分近くの値となった。

考 察

氷板と圧雪のすべりやすさの変化

氷板では、すべり抵抗値が薬剤散布によって散布直後に一時的に低下することが本実験により明らかとなった。これは、薬剤散布により氷板表面の溶液量が大きく増加することが関わっているものと考えられる。すなわち薬剤散布によって散布直後から氷板表面に溶液膜が形成され、一時的に散布前よりも滑りやすい状態となるものと考えられる。また薬剤散布後約120分以降は、表面の溶液量が減少することや穴の形成により表面が粗くなることによって、すべり抵抗値は上昇していくものと考えられる。

圧雪では、すべり抵抗値が薬剤散布によって散布直後に上昇することが本実験によって明らかとなった。薬剤散布後、圧雪では氷板のように表面に溶液膜が形成されなかった。これは、表面の溶液が圧雪組織に浸み込んでいくためである。したがって圧雪表面の溶液量は、圧雪のすべり抵抗値の変化に影響していないものと考えられる。また圧雪の表面硬度は、薬剤散布によって散布直後に約半分近くの値まで低下していることが本実験によって明らかとなった。これは薬剤散布によって表面が削られやすい状態となったことを意味する。薬剤散布直後の圧雪のすべり抵抗値上昇は、削剥されやすくなることによる抵抗の増加が要因であるものと考えられる。

氷板と圧雪の破壊されやすさの変化

氷板と圧雪の表面硬度は薬剤散布によって散布直後から低下することから、氷板と圧雪は薬剤散布によって薬剤散布前よりも破壊されやすい状態に変化しているものと考えられる。これは、薬剤の融解反応による穴の形成、溶液浸透による内部の含水化が主要因として考えられる。また表面硬度では表せないが、薬剤散布後の氷板、圧雪底部と路盤との密着の弱化もより破壊されやすい状態に変化していることを示していると考えられる。実際の道路現場では、車両の通行による削剥、タイヤ摩擦熱や水分の供給などの作用も加わる。多量の降雪や急激な気温低下がない状況下で

は、薬剤散布と車両通過によって、氷板・圧雪路面は破壊や融解が進み、つぶ雪路面やシャーベット路面に変化していくものと考えられる。

まとめ

本研究では、薬剤散布による氷板と圧雪の変質を調べるために、低温実験室内において氷板・圧雪への薬剤散布実験を行った。その結果、まず氷板と圧雪は薬剤散布によって、穴が形成され表面状態が変化する。薬剤溶液の浸透や路盤との密着の弱化も起こり、薬剤散布前よりも破壊されやすい状態となる。このことは氷板及び圧雪の表面硬度の値が、薬剤散布後に着実に低下していく結果から定量的に示された。次に氷板のすべり抵抗値の変化は薬剤散布直後、氷板表面の溶液膜の形成により一時的に低下するが、薬剤散布からおおよそ120分以降は溶液膜の減少や表面粗度の増加によって薬剤散布前の値以上に上昇することがわかった。圧雪のすべり抵抗値は薬剤散布直後、表面硬度の低下により削られやすくなることによって上昇することがわかった。今後はさらに室内温度、氷板・圧雪の密度、含水状態等を変化させ、様々な条件下の氷板・圧雪について薬剤散布による変質過程の把握が必要であるものとする。

文 献

- 川村浩二・高木秀貴・美馬大樹(1996):雪氷路面における凍結防止剤等の散布効果に関する研究,北海道開発土木研究所月報, 520, 3-12.
- 北陸地方整備局(1999):凍結防止剤散布要領(案), 1-3.
- 村国誠(1993):冬期道路管理に使用する薬剤, 社団法人雪センター資料, 1-29.
- 前野紀一・成田英器・西村浩一・成瀬廉二(1987):道路雪氷の構造と新分類, 低温科学 物理篇, 46, 119-133.
- 中沢伸樹(2003):含水状態にある道路雪氷の変質過程に関する基礎的研究, 新潟大学大学院自然科学研究科平成15年度修士論文, 36p.
- 日本雪氷学会北海道支部(1991):雪氷調査法, 244p.
- 竹内由香里・納口恭明・河島克久・和泉薫(2001):デジタル式荷重測定器を利用した積雪の硬度測定, 雪氷, 63, 441-449.