

北海道大学工学部 正員 板倉 忠三

1. まえがき。積雪寒冷地の道路の冬季交通確保のためには除雪による路面雪の確保と路面の平坦度および滑り防止の段階が考えられる。その内、後者は踏み固められた雪面の車輛運転と結氷面の滑り防止の方途があり、地下水、赤外線照射、電熱、暖房余熱その他による雪氷の融解が各地の気象条件等によって行なわれているが、世界的に広く用いられているのは薬剤施用である。その種類は次の通りである。(a) 無機塩類1(岩塩、天日塩、塩化マグネシウム、塩化カルシウム等)。(b) 無機塩類2(窒素および燐酸塩等)。(c) 有機アルコール類(エチレングリコール、メタノール、エタノール、およびイソプロピルアルコール等)。(d) ある種のアルコールとカソリンの混合物、等。これらのうち(a)は自動車の不凍液、ウィンド・シールドの除霜融氷に用いられ、(b)、(c)と共に飛行場滑走路等に用いられることがあるが高価なので道路には広くは用いられていない。

本稿は、主として(a)の岩塩、塩化カルシウム(以下塩カルと略称する)に関し、その用法およびこれに基づく各種の害とその対策について調査した処を述べることにする。

2. 岩塩、塩カル等の塩化物。岩塩は大陸では豊富に産出して最も多く用いられている。その沿革は第二次世界大戦中に米国で用いられ、コンクリート舗装を傷めたが、これを契機にA E 剤が発見、製造され、コンクリート界に大きな革命をもたらした。次いで1954年頃完全無雪氷舗装維持(Bare Pavement Maintenance)として米国降雪地帯の幹線道路に用いられ、これが欧州にも及びて来た。最初は砂、小砂利等の滑り止め材料1㎡当り岩塩と塩カル(気温により重量比100:5~3:1)を混合し、坂路、急曲線路および交差点等に撒布された。これは塩カルの潮解性により砂の散逸を防ぎ、路面の氷結を妨げ摩擦を増加させる目的であった。塩カルを混合する目的は岩塩溶液の結氷点を下げ、かつ溶液になる時に発熱するから融氷効果を挙げることにある(氷との共融温度は塩化ナトリウム-21.1℃、塩カル-55℃であるが、現場施工の濃度では各々-6-7℃と-14℃まで有効とされており、1gモルの溶液になる時の発熱量は-1.18 および+2.01 Kcalである)。最近では春季路面、側溝等の清掃と併せて効力、経費等から交通量の多い幹線道路および街路では薬剤のみを用いる傾向がある。

3. 公害と対策。(1) 概説。この種の塩類のもたらす公害は、コンクリートおよび鋼構造物と自動車の腐食、土壌中への透過、路傍の植生、動物および水流、上水の汚染等である。今これらの程度および範囲の概要ならびに対策の概要を述べ、詳細は別途発表の予定である。

(2) コンクリート構造物。1962年米国H R 8の除雪氷薬剤の影響に関するシンポジウムによれば、コンクリート橋の床の破壊の報告が増加し、その修理、改築は1本の通過道路で年間約250、全体の改築計画では少なくとも750に上っており、これらの改築は進行性の表面破壊から橋の縦桁系統の完全風化分解に至る広範囲のものであった。反面破壊を生じ易い主な原因の一つは、現場調査の見落とし、健全な現場施工の欠陥であるともいわれている。その被害の中、薬剤以外の要素で破壊され易いとして、床表面の割れ、スケーリングに先行する破砕面、初期および進行した孔蝕れ、表面モルタルの破壊、凹みの発生、尖った孔、即ちコンクリートの円錐状の剥脱、剥落あるいは小破片化、剥脱、即ち端

から内部に向う進行性の離脱がある。その中にはAECコンフリート(AEC)も例外ではなかった。一般にAECは舗装には効果を挙げているが、橋梁の場合は、一般にスケーリングの大部分は縁石の表面、歩道区間、コンクリート造の高欄柱、分離帯、側溝部分に多く、交通車線内の床版にも時折り進展している。さらに大部分のスケールの様式は連続せずむしろ散在している。AECは一般舗装には効果を挙げているが橋の場合には固有の特別な要素に起因して被害がある。即ち、a) 通常異なった寸法、形状および様式の構鋼を含む複雑な型枠工事を含む部分に打ち込まれ、このすべては均一なコンクリートを得るには複雑である。b) コンクリートの取扱、仕上げおよび養生作業は大部分人力によって行われ、継続した過程を必ずしも必要とせず、施工者のフランクで造られるか、ミキサー車の運転手が供給する。c) 最終的には橋面端および歩道は車道とよりも酷く薬剤を含んだ雪水の堆積が継続する箇所である。二、三の州では1947~59年に建設した各々200~800橋の調査データを集めて1960年に次の奨励をした： a) 構造物および舗装用コンクリートの品質を改善し保証するため全力を挙げて努力すること。b) 橋面からブラインおよび滑止め材料の除去を容易にするような排水設計の改善。c) コンクリートの品質を落とすことを防ぐよう厳重な施工と管理。d) 細心の維持。e) 腐食性の少ない薬剤の調査。これらに加うるにb) コンクリート舗装は4~6%の空気量を連行しているが被害は認められなかったが構造物用のコンクリートは2~3%の空気量であって、これが被害の原因であると結論したものがあり、注意すべきである。f) 以前に造られたコンクリート床の上に10cm厚の表層コンクリートを打ったが、その縫目へのブラインの浸入を防止できなかった。また塩類濃度の低い場合に凍結が起りこの上層コンクリートにきれつが入り、継続してブラインが浸入した。g) 橋の膨張目地を通して橋脚および橋台にブラインと水が流出して与える害に備えるために、橋梁の鋼製部材のペイント塗工の仕様を改訂した。h) 排水剤を用いる表面防水、塗料、アスファルト類、コールタール類、バークライト、樹脂類の適用。i) 一年中の早い時期に床版、縁石、高欄等を施工し、除雪氷薬剤を施用する前に10°C以上の養生期間を少なくとも30日間を経た適切な空気量を含んだAECであること。○維持の鍵としては次のようなものがある： a) 側溝および歩道区間に沿う薬剤を含む雪水の堆積の橋面上から速かな除去。b) 橋の排水系統を阻害する側溝の工、岩礫その他の除去。c) 材齢10年未満か、非AECと10月15日以後に施工したものにも沸騰亜麻に油あるいは大豆油の塗布。最初は下地用にかソリン、ナフトール、鉱物質アルコールあるいはテレピン油を混合して十分に空隙内に浸透せしめ、さらにもう一回塗布する。これは短期間コンクリートが本来の性質を十分に発揮させる必要のある時の一時的保護として注目される(アイオワ州)。またラデックス・モルタルの使用もある。d) これらの処理をしない、材齢4年未満のコンクリート舗装上には薬剤の使用を禁止して加熱した滑止め材の使用(PCA)。e) 延長15m以上の橋のアプローチ150m以内に塩類の使用禁止(ニュージャージー州)。f) 塩化物は濃度の低いものに対する警戒。g) 44~50°Cの凍結融解のサイクルが異常でない地方では塩化物の使用は破壊の影響を倍加する。マサチューセッツ州の橋上で最も被害の受け易い区域では縁石を花崗岩に代えた。○アスファルトの表層を有するコンクリート： 一般には害は受けにくい但、オンタリオ州の経験によれば、塩溶液は縁石部分でアスファルト表層の下に浸透し、あるいはアスファルト自身の空隙あるいはきれつを通じて漏れ、この表層が多量の塩分を床コンクリートの表面に封入する形となった。これを早期に除去し修復する必要がある。

(3) 自動車の錆と対策。 (a) 被害。自動車のボディ下および外装面に対する薬剤の影響は、條件を変えた実験室の実験の外、思った地域において種々のメーカー品および右列の自動車の調査を行なって調査した。1954年には3,800万台の自動車にすべてのタイプの腐食があり、その損害額は3,960億円と見積られた。幸いスピンドル等の機械の重要部分については十分グリース等を与えておけば問題は無い。エナメル、ラッカー類自身は、塩類による被害はないが、仕上げ塗が破損してブラインが下地に達する場合に腐食が始まる。特にドア開閉時の振動、前後のドアのすれあいの際、砂利道で小石、砂利等の衝突した時等に仕上げ塗りに傷がつき、ここから鋼板にブラインが達すれば腐蝕は大きく錆が拡大して塗が剥脱する。特に甚しいのは、フェンダーの取付金具、外装クローム・モールドの取付け部のように塩化物の混った雪のスラリーの溜まる箇所等は特に弱い。一例を挙げれば、44州の約14,000台の車両調査で、路上に全く塩類を用いなかった地方では96.6%の車両は良好であったが、かなりの量の塩類を使用した地方では80.4%であった。またマフラーおよびテールパイプ等は高オクタン価のカソリンの使用により内部からも腐食していた。塩に防錆剤を混用することも行なわれているが、錆の進展をいくらか鈍化するだけでその生成を防止することはできない。しかも防錆剤の混合により岩塩の単価は40%の50%高くなり、またそれによる公害も予想される。 (b) 対策。a) より強靱な仕上げの開発。b) 塩と氷のスラリーの集積し易い箇所の減少。c) 不銹鋼の採用。d) 電気鍍金処理。e) ボディの回転塗工処理。f) アリリック仕上。g) 最後に最も良い方法として、各人の頻繁な自動車の洗滌。これは道路の汚れ、工業汚染、昆虫および道路タール類の除去にも有効である。

(4) その他の金属の被害と対策。 (a) 被害。a) シカゴ Bell & Telephone Co. が除氷用塩化物を用いた近くで地下のケーブルおよび変圧器の被害を報告している。これによれば、鉄道の軌条器の氷結防止用に塩類を用いた場所に近いケーブルのシースに烈しい腐食を発見した。1951年にはシカゴで27箇所、1954年の調査ではデトロイトでこの種の被害6ヶ所を報告した。陰極の在る区域の鉛シースの腐食は塩の電気分解によるものと考えられ、この反応で水酸化ナトリウムが形成される。鉛は酸とアルカリの両方に作用を受け、これが水酸化物によって溶解される傾向があり、最終の腐食生成物は一酸化鉛(PbO)と炭酸鉛($PbCO_3$)とである。b) ミルウォーキー水道部では、埋設主管に近い地下水の塩化物の含有量検査の結果、岩塩撒布を慣行としてきた街路の近くでは、4月と7月の塩化物の平均は225および170 mg/l であり、これと比較して処理しなかった区域では10 mg/l であった。また送水管の腐食損傷とその寿命の根本的短縮について関心が寄せられた。同時に塩化物の上中渗透は、冬期間は塩化物の量が増加し真夏までに溝の下まで下降移動して覆込め材料に影響した。また除雪氷塩類の使用は1949年41.2万、1951年70.5万、1953年236万の岩塩と約40万トンの塩カルであった。1954年に地下埋設管272.8kmについてすべての腐食損害額年間3,600億円と推定された。c) 国立腐食技術協会(NACE)では、ニューヨーク州バッファローのマノール内の塩化物含有量を調査し、3.5年以上の7回の試料の系列を25箇所で採取した。175試料の内、74は1,000 mg/l の塩化物含有量を示していた。殆どどの場所においてその濃度は夏季低下したが、冬季との変化は小さかった。試料3個は海水の濃度28,000 mg/l よりも高かった。d) 地上構造物。大気の型が基本的に腐食の比率を大幅に決定する。例えば潮風に吹かれる鋼は概して工場地帯の大気中の挙動のように保護的錆の膜は発達しない。恐らく工場地帯の大気中で保護する基本的硫酸化合物は海上の大気中の若解性塩化物によって溶

速性が高くなる。わが国でも沿岸の鋼橋は数年以内にペイントを塗替えなければならない。除雪氷塩類の使用は沿岸の場合よりも大規模な錆を生ずる。(6) 対策。a) 橋の高橋は新しいものも使用中のものも高温鍍金の方針採用。この要求される周期と労務費が高額なので、鍍金は構造用鋼1丸当り1,000,000円かかるが、それでも経済的である(ミシガン州)。b) 岩塩に混合して用いる防錆剤は腐食を完全には防がないがその作用を鈍化する(国立標準局, NACE, その他)。c) 頻繁な塗替。

(5) 除雪氷用塩類の工中浸透と植生その他に及ぼす害。道路上に施用された塩は地表水によって水流の中に入るか、土中に浸透するものである。塩を含んだ水が土中に浸透すれば、塩分はイオン交換によって土粒子と密着するか溶液中に残ることになる。これが過剰にあれば土中の肥料分を減少させ植生に害を及ぼし、また浅い井戸を汚染する。道路からの距離による塩分濃度は1.5mで450 mg/lが最高であり、距離に応じて低下し、最大距離は30mに及んだものもあるが、多くは10m以内であった。土中の深さは33mよりも36mの方が高濃度であった。これは厳寒期には地表が凍結していて融解の際に流出するものと思われ、36mに及ぶものは稀である。樹木については塩分濃度の高い方向に向って根の膜を透して水の流れを起させるので水分不足とこれに伴う肥料分不足が主な原因で危害を受け、その徴候は葉の変色、葉の端の枯死、落葉、小枝の枯死、樹木の枯死である。ナトリウムの濃度のデータは塩化物および可溶性塩類に関する型とは一致せず、2月中旬以後は25 mg/lを超すことは稀であった。これは土粒子によるナトリウムのイオン交換あるいは分析に用いる抽出操作に関係があるらしい。ナトリウムはイオン交換によって植物の栄養に必要なカルシウムと置換するが肥料分である磷とは相容れない。樹種ではハタンキョウの葉が焼け、塩カルと比較して榆および白松に有害であり、楓類には特に敏感である。

(6) 路傍の草に対する害。除雪氷用塩類は、中央分離帯および側路面上の土の性質を変化し、草の満足な定着、成育を妨げる。これは特に有機質の殆んどない重粘土、即ち氷河堆積土に最大であった。初期の害は、普通端部が焼け、次いで葉の縁に沿って伸び、さらに葉の全面に進展し遂に全表面が灰色となり枯死する。アイオワ大学の試験研究は10種の草について現場路傍への蒔種、鉢植で土質を変え、210~5050 mg/lの濃度の塩水による栽培等を含む4種の試験の結果、二、三の変化はあるが、1) Kentucky 31 fescue, 2) Intermediate wheatgrass, 3) Red canarygrass, 4) Russian wild-rye, 5) Sand lovegrass, 6) Side-oatsgrame, 7) Slender wheatgrass, 8) Buffalograss, 9) Western wheatgrass, 10) Blue grama の順で、1)はあらゆる試験で最も抵抗力が強かった。8)以下は葉と根の生成は貧弱であった。1)~7)は7.5 cmの剪定にも強くかつ茎も根も十分に発育した。

(7) 飲料水、工業用水その他の水質と許容塩化物含有量。カルフォルニア州水質管理限界として次の塩化物濃度を指示している：家庭用250、工業用水50、かんがい用水100、家畜および野生生物1500 (mg/l = ppm)。最も注意すべきは岩塩類の屋外の貯蔵堆積からの浸出塩分による浅い井戸に対する害で、ニューハンプシャー州では、堆積から30m程度の井戸が最も甚しい汚染を受け、3500~3800 mg/lとなり取り直した井戸200前後、その費用7200万円に上った。

(8) 結語。以上除雪氷用塩類の使用法ならびに各種の公害について述べたがいずれも防止対策がある。人命尊重の見地から十分の用意をして無雪氷舗装、冬季交通安全対策の確保に参考になれば幸である。

(9) 参考文献 Environmental Considerations in Use of Deicing Salts, HRR No.193