

## 委員会報告 「融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告」

三浦 尚<sup>\*1</sup>・外門正直<sup>\*2</sup>・川村満紀<sup>\*3</sup>・関 博<sup>\*4</sup>・原 忠勝<sup>\*5</sup>

### 〈委員構成〉

委員長 三浦 尚(東北大学大学院工学研究科)

副委員長 外門正直(東北工業大学工学部)

主 査 川村満紀(金沢大学工学部)

原 忠勝(日本大学工学部)

委 員 阿部道彦(建設省建築研究所)

大即信明(東京工業大学工学部)

川上 洵(秋田大学工学資源学部)

河野広隆(建設省土木研究所)

小林茂広(住友大阪セメント株式会社)

杉山隆文(群馬大学工学部)

藤原忠司(岩手大学工学部)

宮川豊章(京都大学大学院工学研究科)

溝江 実(日本道路公団)

協力員 阿知波政史(東亜合成株式会社)

井川一弘(ナカテック技術開発研究所)

石川光男(日本防蝕工業株式会社)

牛島 栄(青木建設株式会社)

鍵本広之(電源開発株式会社)

小泉英昭(ショーボンド建設株式会社)

月永洋一(八戸工業大学工学部)

山下英俊((株)ハザマ 技術研究所)

旧委員 池田博之(日本道路公団)

関 博(早稲田大学理工学部)

板橋洋房(東北大学大学院工学研究科)

小川 健(名古屋道路エンジニア(株))

川瀬清孝(新潟工科大学工学部)

熊谷守晃(北海道開発局)

庄谷征美(八戸工業大学工学部)

田中良樹(建設省土木研究所)

丸屋 剛(大成建設株式会社)

森野奎二(愛知工業大学工学部)

米澤敏男(株式会社竹中工務店)

荒野憲之(電気化学工業株式会社)

石井浩司(株式会社ピーエス)

岩城一郎(東北大学大学院工学研究科)

加賀谷誠(秋田大学工学資源学部)

加藤弘義(株式会社トクヤマ)

竹内勝信((株)中部日本鋳業研究所)

西崎 到(建設省土木研究所)

堺 孝司(元北海道開発局)

### はじめに

我が国においては、粉塵公害の防止を目的としてスパイクタイヤの全面使用禁止が法制化されて以来、冬場の積雪寒冷地の道路におけ

る安全性確保のための融雪剤の使用量は年々増加している。

融雪剤の種類はいろいろあるが、性能や価格の点から我が国で一般的に使用されている融雪

\* 1 東北大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻 工博 (正会員)

\* 2 東北工業大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

\* 3 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 工博 (正会員)

\* 4 早稲田大学教授 理工学部土木工学科 工博 (正会員)

\* 5 日本大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

剤は塩化カルシウムや塩化ナトリウムなどの塩化物がほとんどであり、これらは種々の作用でコンクリート構造物を劣化させる。

一方、我が国の融雪剤の使用量は欧米諸国に比べれば未だ少ないため、現時点ではコンクリート構造物の劣化の事例は少ないと思われているが、このまま毎年融雪剤の散布が繰り返されれば、その塩化物はコンクリート部材中に徐々に蓄積されて行き、ある限度を超えたときに一気に劣化が発生するようになると考えられる。

塩化物が作用したために起こるコンクリート部材の劣化は、コンクリート表面の激しいスケールリング劣化として現れる凍害、アルカリ骨材反応の促進、コンクリート中の鉄筋の急速な腐食、などが主なものであるが、いずれもひとたび劣化が発生する段階になるともはやこれらの劣化を止めることは難しく、完全に元に戻すことは不可能である。従って、これらに対しては、未だ劣化が発生していない時点で劣化の発生を予測し、あらかじめ防止対策を講じておかなければ取り返しのつかない大変なことになる。

このようなことから、かつて土木学会コンクリート委員会では平成2年から5年までの間、凍結防止剤ワーキンググループ(主査 三浦尚)を構成して我が国におけるこの問題の現状に関する調査検討を行い、問題点を指摘した(例えば土木学会論文集 1994 - 5)が、それ以来未だに十分な対策も行われて居らず、益々状態は悪化してきているように見受けられる。

そこで、コンクリート工学協会においてこの問題に関する研究委員会を設置し、我が国における融雪剤によるコンクリート構造物の劣化の現状を把握すると共に、この方面の専門家によって劣化についての知識をまとめ、このようなコンクリート構造物の劣化の発生を防ぐための対策を提言する事になった。

本委員会は 1997 年に設置され、2 年間の活動の後、その成果を報告書にまとめた。そして、1999 年 11 月 5 日に東京に於いて融雪剤によるコンクリート構造物の劣化に関するシンポジウ

ムを開催し、その場で報告書を公表することになっている。

なお、本委員会で対象としている融雪剤はその使用目的から凍結防止剤と呼ばれることの方が多い。そしてこれらは本質的に同様の物であるため、本報告書では特に断らない限り融雪剤と凍結防止剤という両用語を区別せず使用している。

## 1. 融雪剤による我が国のコンクリート構造物の劣化の現状

劣化調査WGは、実際に融雪剤散布の影響を受けるコンクリート構造物の管理者を中心に構成し、融雪剤の影響が劣化の主因子になっていると考えられるコンクリート構造物を例示すること、現在採用されている、あるいは、有効と考えられている劣化防止対策(補修工法も含む)を紹介すること、米国に於ける融雪剤によるコンクリート構造物の劣化に関する調査状況を紹介することに焦点を絞った。

委員会発足当初、他のWG構成委員の中には融雪剤散布の現状を十分に承知していない委員もいたので、福島県および長野県で融雪剤散布地域におけるコンクリート構造物劣化状況視察会および融雪剤散布基地見学会を開催し、実際に損傷を受けたコンクリート構造物やその補修工事を視察するとともに、融雪剤散布機械類を見学し、現地担当者から説明を聴いて、委員の現状認識水準の同一化を図った。

現在、融雪剤として使用されているのは、塩化ナトリウム、塩化カルシウム、CMA(カルシウム・マグネシウム・アセテート)、尿素および酢酸カリウム等である(表-1参照)。このうち我が国で用いられているのは、主に塩化ナトリウムと塩化カルシウムである。

我が国の国道、高速自動車道等における標準的な融雪剤散布量は  $20 \sim 40\text{g/m}^2$  で、米国における散布量と同程度である。

融雪剤散布地域といっても、積雪地域と寒冷少雪地域とでは道路管理者の考え方に相違が見

表-1 融雪剤の種類

融雪剤	水への溶け易さ	発熱量 (cal/g)	最低融点 (℃)
塩化ナトリウム	△	-20.7	-21
塩化カルシウム	◎	+68.0	-55
尿素	○	-55.9	-11
CMA	×	+44.3	-25
酢酸カリウム	◎	+34.1	-60以下

注：CMAはカルシウム・マグネシウム・アセテートである。  
 水への溶け易さ：◎は空気中の水分によって潮解する。  
 ○は非常に溶け易い。  
 △は溶け易い  
 ×は多量に溶かすには攪拌などが必要。  
 発熱量の+は水溶時の発熱を、-は水溶時の吸熱を示す。

られ、積雪地域では、機械的な除雪が主であり、融雪剤はその名前の通り融雪が主目的で、冬期間の交通確保のうえでは補助的手段である。一方、寒冷少雪地域では、凍結防止を主目的としているので、管理者は一般に凍結防止剤と呼んでいる。寒冷少雪地域では、積雪地域に比べて車両が比較的高速で走行すること、冬用タイヤを装着していない車両の混入率が高いことなどから、スリップ事故の発生を防止するため、凍結防止剤の散布回数、散布量が多くなる傾向がある。コンクリート構造物にとっては、積雪地域より寒冷少雪地域の方が厳しい環境下に置かれていると言える。

融雪剤による劣化・損傷の生じるコンクリート構造物としては、土木構造物では橋梁が最も

多く、建築構造物では駐車場が多いとされている。しかし、本WGの活動では、我が国に於ける建築構造物の劣化・損傷例を発見することは出来なかった。融雪剤が劣化の主因子になっていると考えられるコンクリート構造物の例を写真-1～4に示す。

融雪剤による劣化防止対策は、一般的な塩害対策と同一である。新設する構造物においては、エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用、防水工の施工、断面の増厚等、融雪剤の散布を考慮した材料の選定、設計・施工上の配慮が行われなければならない。既設の構造物の場合、設計・施工時には特別な防止対策を施されていないものが多く、近年、損傷が顕在化してきたものが多い。それらの構造物に対する補修・劣化防止対策と

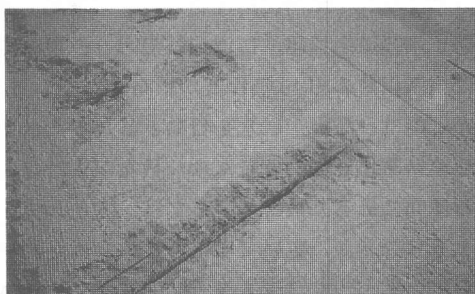
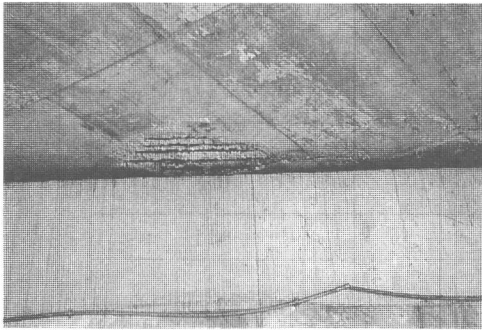


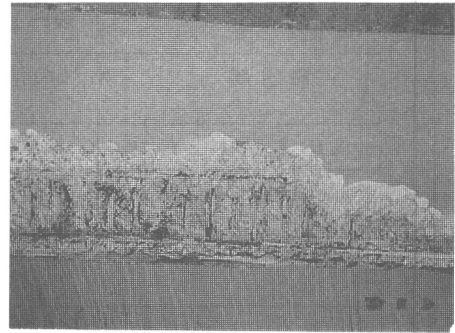
写真-1 床版上面の損傷例  
 床版増厚の際に舗装を切削したところ、床版上面のコンクリートが脆弱化しており、内部の鉄筋が露出した。



写真-2 縁石コンクリートの損傷例  
 縁石のコンクリートが脆弱化しており、内部の鉄筋が露出している様子が解る。



**写真-3 床版側面（下面）の損傷例**  
断面欠損部の拡大写真（コンクリートの浮きを叩き落とした状態）。一度修復工を実施するも鉄筋が再び発錆し、再損傷を生じた。



**写真-4 床版端部（下面）の損傷例**  
床版端部（下面）の損傷状況。コンクリートが剥落し、鉄筋が発錆していることが解る。

して採られている方法の主なものは以下の通りである。

- ①劣化した部分をハツリ出し、腐食した鉄筋はこれを除去し新しいものと交換し、コンクリートについては、その跡をポリマーセメント等接着力の大きい材料または水密性の高いコンクリートで修復する。
- ②床版等では、増厚をおこなうとともに、防水工を施す。
- ③コンクリート表面被覆工（コンクリート塗装工法、FRP工法等）を施す。

以上のほか、現在試験的に実施されている対策工法として、塩素吸着材工法、電気防食工法、電気化学的脱塩工法等がある。

なお、劣化調査WGでは、融雪剤によるコンクリート構造物の劣化の問題に関する外国の状況を知るため、米国に於ける状況を報告した文献を収集し、抄訳して報告することとした。

（劣化調査WG主査 外門正直 記）

## 2. 融雪剤の影響を受けたコンクリートの凍害

1991年4月からスパイクタイヤの使用禁止に関する法律が施行されて以来、冬期間における車両の安全走行という観点から積雪・雪氷対策が重要な課題となっている。このうち、化学的凍結対策としては、主として塩化ナトリウムや塩化カルシウムなどが凍結防止や、融雪あるいは融水の目的で用いられており、年々、その

需要が増大しているのが現状である。凍結対策のためにこれら塩化物を散布すると、コンクリートが凍結融解の繰り返しを受け、通常の凍害劣化と異なり、コンクリート表面がフレーク状に剥げ落ちるスケールを生じさせることが特徴であることが知られている。また塩化物の影響は、鋼材の腐食やアルカリ骨材反応などによるコンクリート構造物の劣化損傷の誘因ともなっている。

このような背景の下に凍害WGでは、まず、凍結防止剤に関する資料収集、および凍結防止剤によるコンクリートの凍害劣化に関する文献の調査や、基礎的な実験を行った。また散布の状況を知るために、日本道路公団東北支社の協力を得て、現地見学を実施した。これより、凍害WGにおける活動状況を要約すれば、以下のようなになる。

スパイクタイヤの使用規制以後、融雪剤や凍結防止剤の使用は急激に増加しており、現時点では規制以前の約10倍程度が散布されている。散布目的は、融雪・融水を目的とした事後散布から凍結防止を目的とした事前散布が大勢を占める傾向にある。散布剤としては、主として塩化ナトリウムが、次いで塩化カルシウムが用いられている。また、ごくわずかではあるが、CMAや尿素なども散布されている。散布量は、現在、20g/m<sup>2</sup>程度を目安としているようである。これは、凍結に対する事前予測の精度が向上したた

めと考えられる。しかし、冬期間における車両の安全通行という観点からは、化学的凍結対策としての凍結防止剤の散布は必要不可欠な手段となっている。このため近年では、気象作用による凍結融解の繰り返しに、散布による凍結融解の繰り返しが加わり、凍結融解の繰り返し回数が増加傾向にある。その結果、コンクリート構造物における凍害劣化は早期に顕在化が憂慮される。

融雪剤や凍結防止剤による塩分浸透下のコンクリートの凍害劣化は、水分浸透による凍害劣化とは異なり、表層剥離を伴うスケールリングが特徴的なものである。我が国では、コンクリートの劣化抵抗に及ぼす融雪剤の影響を調べる具体的な試験方法が未だ定められておらず、ASTMをはじめとする諸外国の試験方法を準用しているのが現状である。これらスケールリングによる劣化抵抗性を評価する試験方法は北米、および北欧において規準化されており、ASTM法、スウェーデン法、および RILEM 法などがある。試験では、主に NaCl の 3% 水溶液が試験溶液として用いられ、供試体上面を試験面とする湛水法と散布法、下面を試験面とする方法、および供試体全体を浸漬させる方法に大別される。またこれら試験は、1日1回か2回程度のゆっ

くりとした凍結融解の繰り返しを行い、剥離量や目視による劣化評価を行うものである。

凍結防止剤の散布は、早期には表層剥離の程度だけが目視観察されるだけなので、組織の緩みによって内部に蓄積される塩分や、その他の劣化因子が将来にわたって及ぼす影響などを軽視する傾向にある。しかし現実には、鋼材の腐食や、アルカリ骨材反応などによる劣化損傷が報告されており、これら諸要因の複合劣化の問題と考え、今後の検討が必要と思われる(図-1参照)。

(凍害WG主査 原 忠勝 記)

### 3. 融雪剤の影響を受けたコンクリートのアルカリ骨材反応

本分科会の活動としては、

- (1) 実際に融雪剤(塩化ナトリウム)の散布によってコンクリートの損傷が促進されているか否かの調査
- (2) 塩化ナトリウムがアルカリシリカ反応に及ぼす影響因子とそのメカニズムに関する文献調査
- (3) JIS モルタルバー法と飽和 NaCl 溶液中におけるモルタルの膨張挙動の比較試験
- (4) 我が国における融雪剤散布地域における

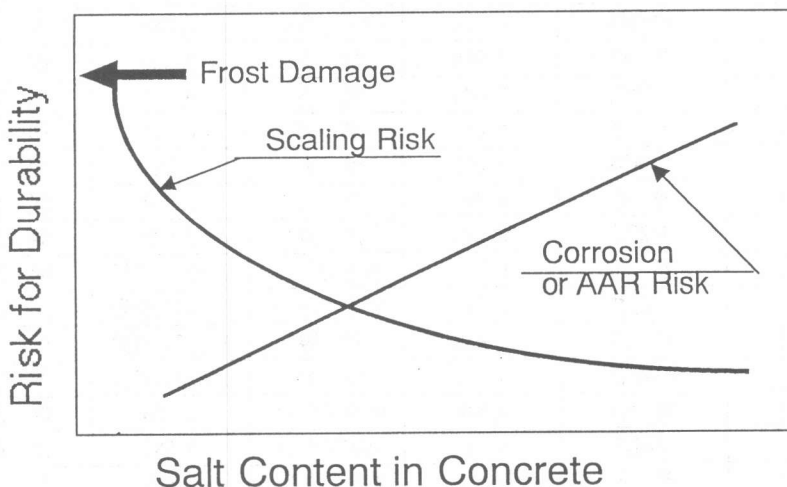


図-1 塩分浸透によるコンクリート構造物の劣化損傷の区分概念

反応性骨材の分布状態

(5) 塩水噴霧-乾燥繰り返し下における反応骨材含有コンクリートの膨張試験

(6) アルカリシリカ反応と凍結融解作用によるコンクリートの複合劣化状況の把握

の6項目について検討されてきた。

得られた結果をまとめると以下のようである。

### 3.1 我が国における融雪剤散布地域と反応性骨材の分布

我が国において反応性を示す頻度の高い岩種は火山岩類、堆積岩類および変成岩類の一部であり、化学法とモルタルバー法の結果から、反応性岩石は全体の半分以下である。とくに、堆積岩の中では、チャートが反応性である割合が高い。また、火山岩も反応性である確率が高い。

積雪日数の多い北海道、東北、北陸山陰地方には、反応性岩石（主に安山岩）が多く分布し、中部山岳地帯には反応性の安山岩とチャートが分布する。融雪剤散布地域と反応性骨材の分布が重なり合う地域が少なからず見られる。

### 3.2 塩化ナトリウムのアルカリシリカ反応に及ぼす影響と防止対策

4 研究機関において8種類の骨材（化学法で無害でないと判定されたもの）について、修正デンマーク法とJISモルタルバー法におけるモルタルの膨張挙動を比較した。

その結果、反応性骨材によってJIS法におけるよりも修正デンマーク法において大きな膨張を示すものもあれば、また逆の場合もあり、本試験結果からは統一した結論を得ることはできなかった（表-2）。しかし、JISの条件ではほとんど膨張を示さない骨材が修正デンマーク法で異常に大きな膨張を示す骨材もあり、塩分環境下におけるコンクリートの製造においては、骨材の反応性の判定法およびアルカリシリカ反応の防止対策において特別の対策を講ずる必要がある。

### 3.3 アルカリシリカ反応の影響を受けた実構造物とNaClとの関係について

3つの調査例について検討した。実構造物におけるアルカリシリカ反応が融雪剤の影響で促

表-2 JISモルタルバー法と修正デンマーク法の比較

骨材の種類	セメントの種類	JISモルタルバー法		修正デンマーク法	
		6ヶ月膨張量	判定	6ヶ月膨張量	JISとの比較
Y骨材	普通	0.148	無害でない	0.077	抑制
"	中庸熱	0.201	無害でない	0.065	抑制
J骨材	普通	0.046	無害	0.063	促進
"	中庸熱	0.085	無害	0.053	抑制
A骨材	普通	0.062	無害	0.018	抑制
"	中庸熱	0.071	無害	0.031	抑制
B骨材	普通	0.034	無害	0.724	促進
"	中庸熱	0.055	無害	0.528	促進
T骨材	普通	0.251	無害でない	1.837(19週)	促進
"	中庸熱	0.229	無害でない	1.788(19週)	促進
H骨材	普通	0.010	無害	1.917(17週)	促進
"	中庸熱	0.025	無害	1.826(17週)	促進
S骨材	普通	0.148	無害でない	1.216	促進
"	中庸熱	0.145	無害でない	0.684	促進
D骨材	普通	0.180	無害でない	0.638	促進
"	中庸熱	0.167	無害でない	0.465	促進

進されたか否かを確認するのは困難であるが、我が国における調査例からは、アルカリシリカ反応によるコンクリートの劣化が影響を受けた可能性があると見える。したがって、沿岸部や融雪剤を使用する地域におけるコンクリート構造物では、これまでのアルカリシリカ反応に対する対応に加えて、NaCl の影響を考慮することが望まれる。

### 3.4 塩分環境下におけるアルカリシリカ反応と凍害による複合劣化

寒冷地においては凍結融解が頻繁に繰り返され、それに融雪剤からのアルカリの供給によりアルカリシリカ反応が複合することにより、コンクリートに複合劣化現象が発生する可能性が高い。

以上の調査研究より、直接 NaCl 溶液と接するようなコンクリート部分を想定すると、融雪剤を散布する地域のコンクリートにおいては、有害と判定される骨材を使用するときは、アルカリシリカ反応による劣化促進防止対策として、(1) C<sub>3</sub>A の少ないセメント（たとえば、高炉セメント）の使用、(2) 外部からの塩分の遮断、が考えられる。

(アルカリ骨材反応WG主査 川村満紀 記)

### 4. 融雪剤による鉄筋の腐食

融雪剤が RC 部材に及ぼす影響は、融雪剤として NaCl や CaCl<sub>2</sub>・2H<sub>2</sub>O を使用する限りにおいては鉄筋腐食に関しては従来の塩害と大きく相違することは無いと思われる。しかし、塩害では塩化物がほぼ均一に構造体表面からコンクリート中に浸透するのに対して、融雪剤では構造形状などにより塩化物が集中・偏在的に構造体表面やコンクリート中に蓄積されると考えられる。したがって、鉄筋腐食の現状を捉えると共に、高濃度塩化物のコンクリートへの浸透や化学的変質や空隙の変化による腐食の助長なども考慮する必要があると考えられる。さらに、今後問題となるであろう劣化に対する補修・補強工法についても知見を出来るだけ集約して、

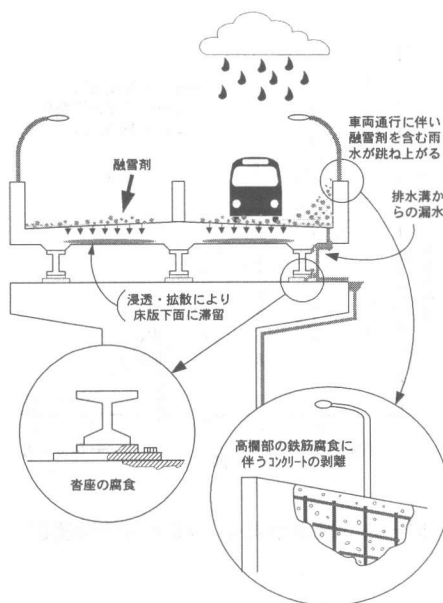


図-2 融雪剤による劣化事例

今後の用に活用できるように配慮することとした。図-2 は道路橋床版の劣化事例を示している。

### 4.1 融雪剤の浸透およびコンクリートへの影響

#### (1) 融雪剤の浸透および予測

道路施設(床版、橋脚、境界ブロック)などで融雪剤の散布によるコンクリートへの浸透結果が報告されている。図-3 はその1例であり、供用期間25年で塩化物イオンは2~6 kg/m<sup>3</sup>に達し床版上面から5~8 cmの深さでも鉄筋腐食の可能性が高いことを示している。

融雪剤の場合、コンクリート中に局部的に浸透する場合もあり、また NaCl と CaCl<sub>2</sub>・2H<sub>2</sub>O で浸透速度が相違するなどの困難な要因もあるが、塩害で使用されている予測手法を適用することを試みた。全塩化物の自由塩化物の平衡関係、炭酸化の影響、表層部の塩化物濃縮などを考慮した修正一次元拡散式を用いて解析した一例を図-4 に示す。ここで、計算にあたって実測値に合うように境界条件を設定している。境界条件など(浸透方法、炭酸化、含水率、散布量、気象条件など)が与えられれば、ある程度浸透予測が可能と考えられる。



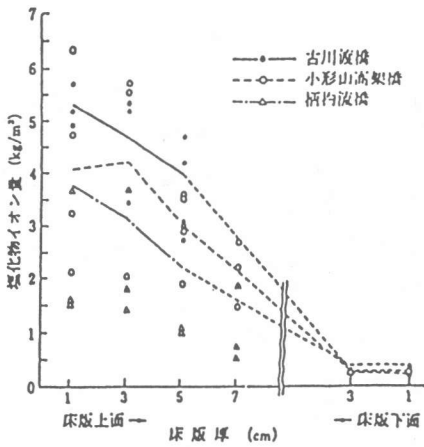


図-3 融雪剤による塩化物の浸透例

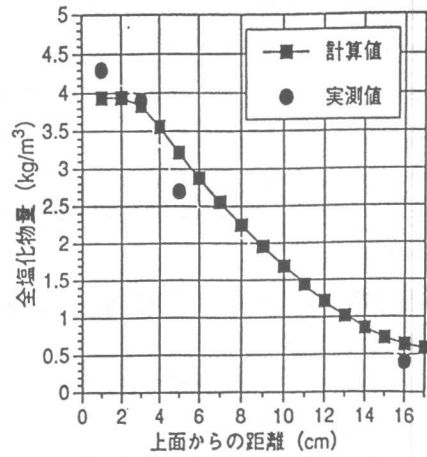


図-4 塩化物の実測と計算値の比較

表-3 融雪剤の使用によるコンクリートの変質

融雪剤の種類	劣化の種類	変質の状況
塩化ナトリウム	スケーリング劣化	表面剥離
	化学的劣化	微細構造の変化
塩化カルシウム	スケーリング劣化	表面剥離 変色
	化学的劣化	微細構造の変化 水和生成物の変化 強度低下

## (2) コンクリートの変質

融雪剤の散布により生じる劣化の状況を表-3に纏めた。凍結融解作用によりスケーリング劣化が発生するが、表面剥離により塩化物の浸透が促進し、さらに劣化を助長すると推定される。

NaCl と  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  では後者が塩化物の浸透量が多いとの報告がある。浸透した塩化物はセメント水和物 ( $\text{C}_3\text{AH}_6$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) と反応し反応生成物を生成し、あるいは、水和物を溶解するようであり、これにより微細構造の変化などの化学的劣化を生じる可能性がある。NaCl と  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  水溶液に浸漬したモルタルでは高濃度で低温時の  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  水溶液の場合に表層部の劣化が顕著に認められ、W/C が大きく

Non-AE コンクリートほどその傾向があり、温度や濃度条件によっては強度低下も生じる。

## 4.2 融雪剤による鉄筋腐食の状況

### (1) 腐食のメカニズム

融雪剤中の塩化物がコンクリート中あるいはひび割れなどを經由して鉄筋表面に蓄積されて、この濃度があるしきい値を超えると不働態皮膜を破壊し腐食が開始される。この時期以降は水あるいは酸素の供給条件、コンクリート抵抗などが律速条件となると考えられ、基本的には塩害の形態と同様と考えられる。塩害との相違は、塩化物の濃度や浸入経路、腐食位置、部材性能への影響などである。

現在報告されている事例は USA、カナダ、UK などが多く、わが国の事例は一部の道路橋に限



られているが、遅かれ早かれ同様の劣化事例が懸念される。

## (2) 舗装からの塩分浸透による腐食

アメリカでは 1960 年代より橋梁床版において融雪剤が原因と考えられる鉄筋腐食によって、ひび割れ、剥離、剥落の事例が急増している。わが国の道路橋ではコンクリート床版上にアスファルト舗装がなされている。舗装上面の欠陥(剥離、ポットホール、ひび割れ)、あるいは、舗装そのものを通して塩化物が浸透し、鉄筋腐食の原因となる。舗装とコンクリート床版の間に適切な防水層が設置されると塩化物遮断効果も期待できるようである。

## (3) 高架橋継手部での腐食

融雪剤を含んだ水溶液が排水設備の不備や目詰まりのためにジョイント部などに滞留し、継手部近辺のコンクリート中鉄筋の腐食を引き起こす。また、継手部からの漏水は特定の経路を流れ落ちるため橋脚や橋台のコンクリート部材も損傷させることとなる。漏水防止、排水設備の維持が劣化防止に有効と考えられる。

## (4) その他の部分での腐食

表-4 にその他の部分での劣化状況を纏めている。アメリカでは駐車場での床版、柱・壁での事例が多く報告されている。

## (5) RC 床版のひび割れからの塩分浸透と腐食

床版上面にひび割れが発生するとアスファル

ト舗装を介して到達した塩化物イオンが容易にコンクリート中に浸透し、鉄筋の腐食を助長するおそれがある。施工に起因する初期欠陥や荷重作用によるひび割れの発生の可能性も高く、特に、沈下ひび割れはかぶり小さいほど相対的な沈下量が大きくなるために発生しやすくなる。

## 4.3 劣化した構造物の補修工法

「耐久性向上を目的とするもの」および「耐荷性向上を目的とするもの」の観点から代表的な 8 工法を選び、それらを選択する際の考え方や工法の概要、適用例などを纏めている。表-5 に工法を示す。

## 4.4 今後の課題

融雪剤の使用による RC 部材の鉄筋腐食に関して、全般的には今後の課題として次をあげることができる。

- 1) わが国において、現在までに融雪剤によると見られる部材の劣化の調査データが極めて少ない。現状をさらに把握するための対応が必要と考えられる。
- 2) 融雪剤の影響を検討するためには、既存の施設におけるモニタリング(各種の測定手法を用いる)などが緊急に求められる。

(鉄筋腐食WG主査 関博 記)

## あとがき

本報告書で述べているように、塩化物を主体

表-4 劣化の事例

構造物の種類	劣化部位	劣化の発生状況	
		海外	日本
道路橋	歩道、境界ブロック、高欄	多い	傾向あり
道路橋	橋脚	多い	傾向あり
道路橋	排水設備	多い	なし*
駐車場	入り口(壁)、通路(傾斜路、壁)	多い	なし*
駐車場	壁、床版、柱	多い	なし*
駐車場	排水設備、配管類	多い	なし*

※印：現時点では劣化が顕在化していないが、将来は可能性あり。

表-5 補修工法の選定

コンクリートの劣化程度	鉄筋の損傷程度	ひび割れ注入	表面処理	断面修復	電気化学的法的法	鋼板接着	アウトケーブル	増厚(桁)	打ち換え
ひび割れ	軽微な腐食	◎	○		○	○			
浮き・剥離	軽微な腐食		○	◎	○				
浮き・剥離	断面欠損			◎	○	△	△	△	◎

◎：主工法、○：性能を保持するための補助工法

△：性能を保持するための補助工法でいずれかを選択する

とした融雪剤はコンクリート構造物に各種の劣化を引き起こす。そして、我が国においてもすでに融雪剤が原因と思われるコンクリート構造物の劣化が各地で発生しており、将来この劣化はますます増大することと思われる。従って、融雪剤あるいは凍結防止剤を散布する地域にコンクリート構造物を設計施工する場合にはあらかじめ十分な対策を講じる必要があることは明らかである。

一方、融雪剤としては、我が国では、一般に塩化物が使用されている。その内でも今までは塩化カルシウムと塩化ナトリウムが主として用いられてきた。しかし、この内塩化カルシウムについてはそれ自体がコンクリートを劣化させることがあるという問題が指摘されている。さらに、塩化物の害を防ぐという目的で、融雪剤を塩化物ではない新たな物に取り替えようという動きもあるが、その場合には種類の選定においてはよほど十分に慎重に考慮しなければならず、場合によっては融雪剤の種類を切り替えたことによって、逆に、より深刻な新たな問題を発生することが予想される場合がある。すなわち、融雪剤は長期にわたって大量に散布されるため、使用した後の融雪剤の行き着く最終地点までの追跡を十分行わなければ、取り返しの付かない致命的な環境汚染を引き起こす恐れがあるとされている。その点から言うと塩化ナトリウムの場合には、コンクリートに対しては各種劣化を引き起こすことはあっても、最終地点である海洋に入った場合には海洋汚染の心配は比較的小さく安全な物と考えられている。

この様なことから、総合的に考えた場合、融雪剤を使用する地域においては、コンクリート構造物の設計施工において十分な対策を行うことによって融雪剤による劣化を防ぎながら、融雪剤としては安全な塩化ナトリウムを使用するという方法は当分の間引き続き行わなければならない方法であるのかもしれない。

融雪剤によるコンクリートの劣化を防ぐ方法としては、密実で欠陥のないコンクリートとするのはもちろんであるが、その他に次のような対策を講じる必要がある。

凍害に対しては、一般には、コンクリートの水セメント比を45%以下に、空気量を5~6%にする必要がある。

アルカリ骨材反応に対しては、塩化ナトリウムが及ぼす影響については完全には明らかにされていないが安全側に考えて、コンクリート用骨材としては塩化ナトリウムの影響を取り入れたモルタルバー試験を行って異常膨張を示さないものを使用する。

鉄筋の腐食に対しては、構造物に対する完全な防水は非常に難しいので、現実的には、使用鉄筋をエポキシ樹脂塗装鉄筋に置き換え、さらにPC鋼線もエポキシ樹脂塗装ストランドを用いたりシースをプラスチックシースにする等の対策が良さそうである。

いずれにしても、今後寒冷地における構造物の設計・施工に際しては、本報告書を参考にし、融雪剤に強い、より耐久なコンクリート構造物が作られるようになることを心から願っている。