

V-25

凍結防止剤の種類及び濃度がコンクリートのスケーリングに及ぼす影響

北見工業大学大学院	学生会員	桐生 宏
北見工業大学	フェロー	鮎田 耕一
北海道日本油脂(株)		時田 和司
北海道日本油脂(株)		中地 章

1.はじめに

積雪寒冷地において冬期間の交通の安全を確保するために、路面に凍結防止剤が散布されるようになった。主に散布されている凍結防止剤は、塩化カルシウム、粉碎塩など塩化物を主成分としたものであるが、これらがコンクリートに対して悪影響を及ぼすことはすでに知られており、アメリカ、カナダでは道路橋床版などの構造物でスケーリング被害が報告されている¹⁾。スケーリングはコンクリートの耐久性を低下させるため、その防止対策は今後の重要課題である。

また、塩化物を主成分とした凍結防止剤はコンクリートだけでなく動植物など自然環境に対して二次的影響が懸念されている¹⁾。このことから、環境面を考慮した凍結防止剤の開発が進められており、現在、酢酸カリウムを主成分とした凍結防止剤が使用されだしている。しかしながら、酢酸カリウムを主成分とした凍結防止剤がコンクリートのスケーリングに及ぼす影響に関する報告はまだ少ない。

そこで、本研究では酢酸カリウムを主成分とした凍結防止剤及び塩化カルシウムや粉碎塩などの塩化物を主成分とした凍結防止剤を用いて、その種類及び濃度がコンクリートのスケーリングに及ぼす影響について検討した。

2.実験概要

2.1 凍結防止剤の種類及び濃度

使用した凍結防止剤は、酢酸カリウムとグリセリンを主成分としたもの(以後、KAC)、塩化カルシウム、粉碎塩(主成分:塩化ナトリウム)の3種類を使用した。また、比較のため蒸留水も使用した。

各凍結防止剤は、蒸留水で希釈しそれぞれ3、10、30%濃度の水溶液として用いた。ただし、粉碎塩は30%濃度の代わりに26.4%(20℃、飽和溶液)濃度の水溶液とした。

凍結防止剤の種類及び濃度を表1に示す。

表1 凍結防止剤の種類及び濃度

凍結防止剤	濃度 (%)		
KAC(主成分:酢酸カリウム、グリセリン)	3	10	30
塩化カルシウム	3	10	30
粉碎塩(主成分:塩化ナトリウム)	3	10	26.4
蒸留水			

2.2 供試体

①大きさ及び形状

供試体の大きさ及び形状を図1に示す。

なお、試験面は打込み底面とした。

②使用材料及び配合

表2に使用材料、表3に配合を示す。フレッシュコンクリートの性状目標値は、空気量を $4.5\pm 0.5\%$ 、スランプを $8.0\pm 1.5\text{cm}$ とした。

③養生

材齢14日まで室温23℃、相対湿度50%の恒温恒湿室に静置した。

Effects of the Type and Concentration of Deicing Chemicals on Scaling of Concrete

by Hiroshi KIRYU, Koichi AYUTA, Kazushi TOKITA, and Akira NAKACHI

2.3 試験方法

試験は、材齢 14 日から試験面に凍結防止剤の水溶液を高さ 6mm まで注ぎ、ASTM C 672³⁾に基づいて凍結融解試験装置の温度サイクルを 23℃の融解行程 7 時間、-20℃の凍結行程 17 時間とし、1 サイクル 24 時間の凍結融解を 49 サイクルまで行った。温度サイクルを図 2 に示す。

凍結融解 7 サイクル毎に ASTM C 672 に準拠した表 4 に示す目視評価を行ったほか、スケーリング片の質量、スケーリング面積率、スケーリング深さを求めた。また、凍結防止剤の水溶液は 7 サイクル毎に交換した。

スケーリングの評価は、目視評価、スケーリング片の累加質量及び次式で求まる剥離度を用いて行った。

$$\text{剥離度(mm)} = \text{スケーリング面積率(\%)} \times \text{スケーリング深さ(mm)} / 100$$

表 2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント（比重 3.16、比表面積 3370cm ² /g）
粗骨材	川砂利（最大寸法 25mm、表乾比重 2.65、粗粒率 6.99、吸水率 1.46%）
細骨材	川砂（表乾比重 2.65、粗粒率 2.65、吸水率 1.87%）
A E 剤	主成分：天然樹脂酸塩

表 3 配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				AE 剤 (C×%)
		C	W	S	G	
45	43	347	156	785	1041	0.03

表 4 目視評価

評価	表面の状態
0	スケーリングなし
1	粗骨材が露出しない程度で深さ 3mm 以下のわずかなスケーリング
2	評価 1 と 3 のスケーリング性状の中間
3	粗骨材がいくつか露出する程度のスケーリング
4	評価 3 と 5 のスケーリング性状の中間
5	粗骨材が全面に露出する激しいスケーリング

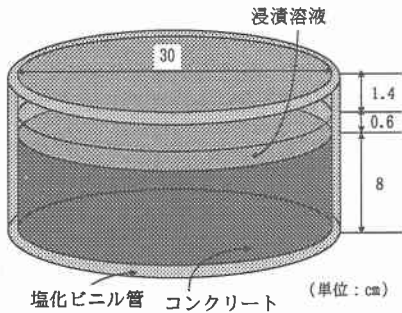


図 1 供試体

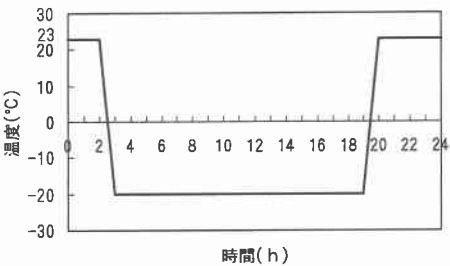


図 2 凍結融解試験装置の温度サイクル

3.実験結果

3.1 凍結防止剤の種類による影響

図3に3%濃度の水溶液を用いた場合のスケーリング片の累加質量の経時変化を凍結防止剤毎に示す。また、凍結融解49サイクル後における凍結防止剤毎の目視評価を図4に、剥離度を図5に示す。

これらの結果によれば凍結融解7サイクルで蒸留水を用いたコンクリートを除いてスケーリングがみられた。スケーリングの発生は凍結融解試験開始初期が大きく、凍結防止剤の種類によるスケーリングの差は凍結融解試験開始初期で顕著に現れた。凍結融解49サイクル後のKACのスケーリングは塩化物を主成分とした凍結防止剤に比べ少なく、粉碎塩を用いた場合の1/6程度、塩化カルシウムを用いた場合の1/4程度であった。また、目視評価では塩化カルシウム、粉碎塩を用いた場合、試験面ほぼ全面に粗骨材が露出しているのに対し、KACを用いた場合、粗骨材が一部露出する程度のスケーリングであった。剥離度では塩化カルシウム、粉碎塩を用いた場合、1mm程度の激しいスケーリングを生じているのに対し、KACを用いた場合0.4mm程度の比較的軽度のスケーリングであった。

塩化カルシウムや粉碎塩を用いた場合、スケーリングが大きくなった原因は、塩化物の作用によりセメントペースト中の水酸化カルシウムが溶出し、セメントペースト組織を多孔化させたためであろう。

KACのスケーリングの発生量が塩化カルシウムや粉碎塩に比べ1/3未満なのは、酢酸カリウムを主成分とした凍結防止剤は塩化物を主成分としたものに比べセメントペースト中の水酸化カルシウムの溶出が少ないためと考えられる。

3.2 凍結防止剤の濃度による影響

①塩化カルシウムを用いた場合

図6に塩化カルシウムの濃度毎のスケーリング片の累加質量の経時変化を示す。また、凍結融解49サイクル後における濃度毎の目視評価を図7に、剥離度を図8に示す。

これらの結果によれば3%濃度の場合が最もスケーリングが激しく、次に10%濃度のものが大きく、30%濃度ではスケーリングが生じなかった。目視評価では3%濃度の場合試験面のほぼ全面に、10%濃度の場合一部に粗骨材が露出したが、30%濃度の場合スケーリングが確認されなかった。剥離度では3%濃度の場合

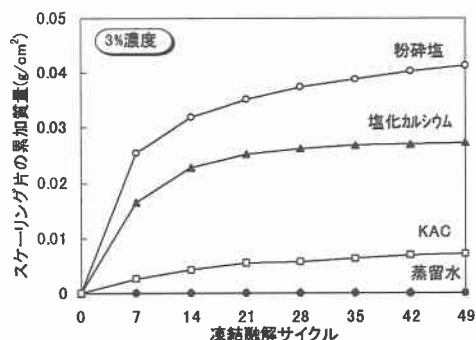


図3 凍結防止剤の種類による影響（質量）

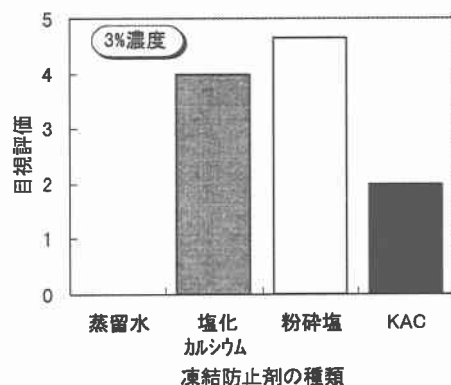


図4 凍結防止剤の種類による影響（目視評価）

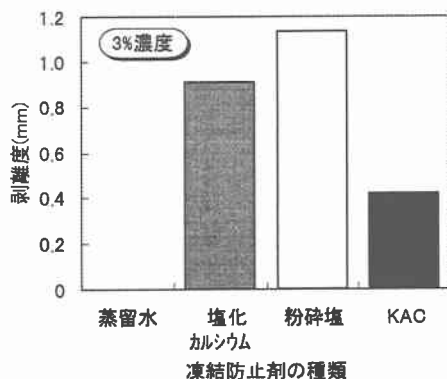


図5 凍結防止剤の種類による影響（剥離度）

約 0.9mm とスケーリングが大きいが、10%濃度の場合約 0.4mm と小さかった。

②粉砕塩を用いた場合

図 9 に粉砕塩の濃度毎のスケーリング片の累加質量の経時変化を示す。また、凍結融解 49 サイクル後における濃度毎の目視評価を図 10 に、剥離度を図 11 に示す。

これらの結果によれば 3%濃度の場合、凍結融解試験開始初期で激しいスケーリングを生じ、その後も徐々にスケーリングは大きくなった。10%濃度では凍結融解 49 サイクル終了後でもわずかなスケーリングしか生じなかった。26.4%濃度の飽和溶液ではスケーリングは全く生じなかった。目視評価では 3%濃度の場合試験面の全面に粗骨材が露出し激しいスケーリングがみられたが、10%濃度の場合スケーリングはわずかで、26.4%濃度の場合全く確認されなかった。剥離度では 3%濃度の場合 1mm 以上とスケーリングが激しいが、10%濃度の場合 0.1mm 以下と小さかった。

③KACを用いた場合

図 12 に KAC の濃度毎のスケーリング片の累加質量の経時変化を示す。また、凍結融解 49 サイクル後における濃度毎の目視評価を図 13 に、剥離度を図 14 に示す。

これらの結果によれば凍結融解 49 サイクル終了後において 3%及び 10%濃度の KAC の場合、ほぼ同程度のスケーリングを生じた。30%濃度ではスケーリングは全く生じなかった。目視評価では 3%濃度、10%濃度の場合共に試験面の一部に粗骨材が露出する軽度のスケーリングがみられたが、30%濃度の場合スケーリングが確認されなかった。剥離度では 3%濃度の場合約 0.4mm、10%濃度の場合約 0.3mm とほぼ同程度のスケーリングであった。

以上、凍結防止剤の種類が塩化カルシウム、粉砕塩及び KAC の 3 つの場合をまとめると、凍結防止剤の濃度がコンクリートのスケーリングに及ぼす影響は凍結防止剤の種類に関わらず濃度が 3%の場合に最もスケーリングが多く生じており、本研究の範囲では、濃度が低い場合にコンクリートのスケーリングが大きくなる傾向にあるといえる。

4. 結論

凍結防止剤の種類及び濃度がコンクリートのスケーリングに及ぼす影響について検討するため凍結融解

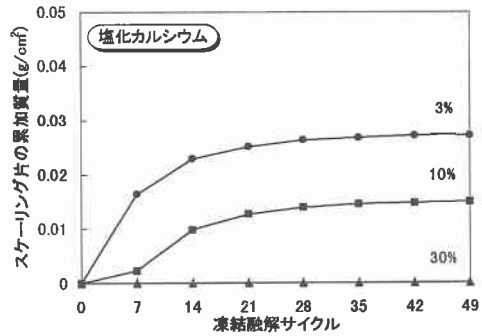


図 6 塩化カルシウムの濃度による影響（質量）

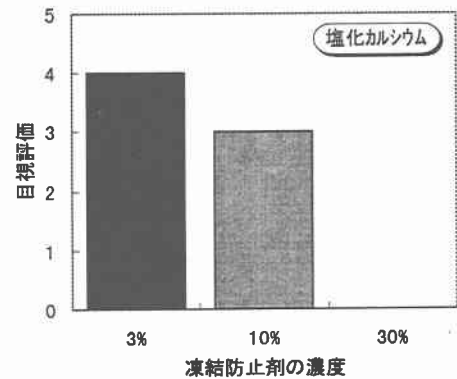


図 7 塩化カルシウムの濃度による影響（目視評価）

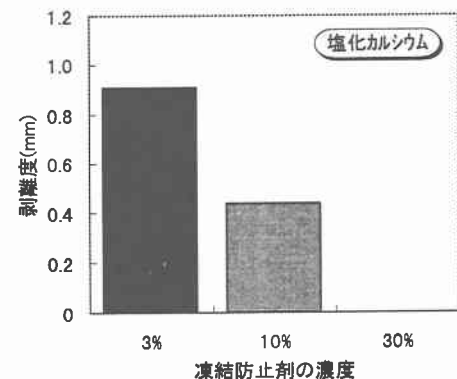


図 8 塩化カルシウムの濃度による影響（剥離度）

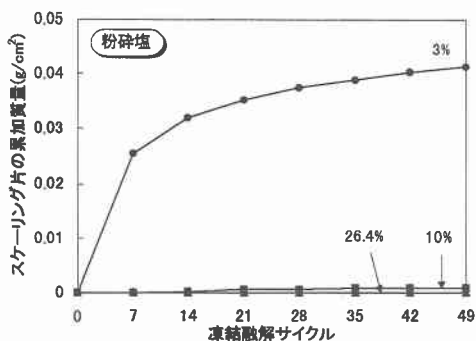


図9 粉碎塩の濃度による影響（質量）

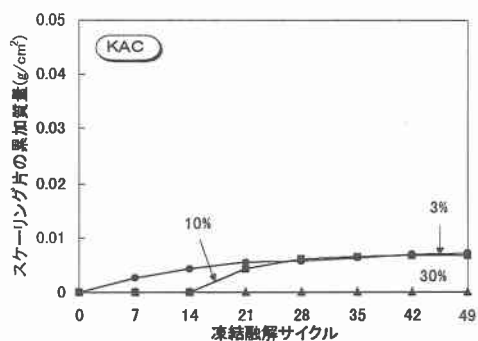


図12 KACの濃度による影響（質量）

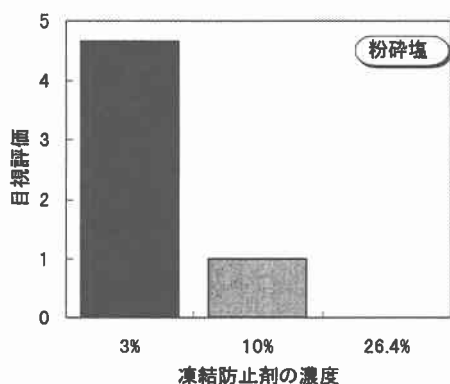


図10 粉碎塩の濃度による影響（目視評価）

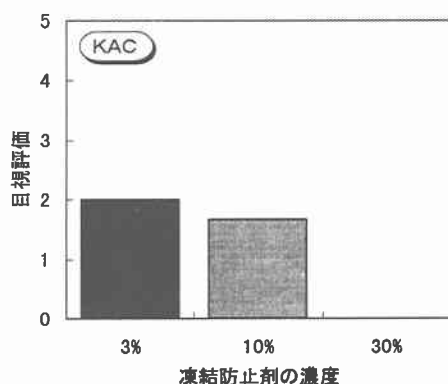


図13 KACの濃度による影響（目視評価）

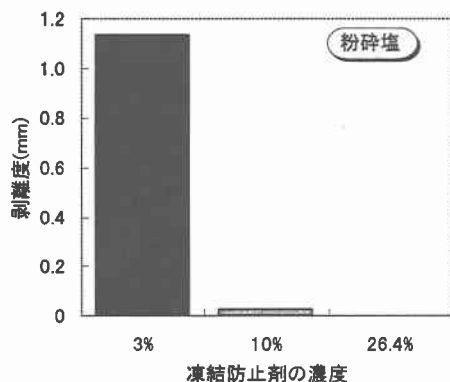


図11 粉碎塩の濃度による影響（剥離度）

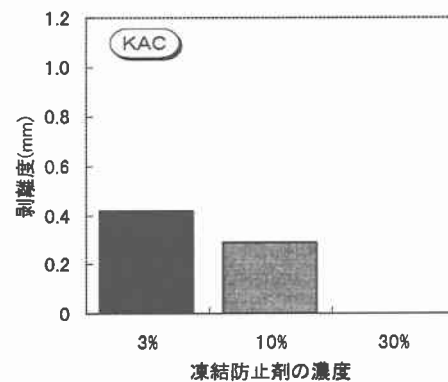


図14 KACの濃度による影響（剥離度）

試験を49サイクルまで行った結果、本研究の範囲で以下のことが明らかになった。

- (1) 塩化物を主成分とした塩化カルシウムや粉碎塩を用いた場合、試験面のほぼ全面に粗骨材が露出し、剥離度が1mm以上の激しいスケールリングを生じた。

- (2) 酢酸カリウムとグリセリンを主成分とした凍結防止剤はコンクリートのスケーリングに及ぼす影響は小さく、試験面に粗骨材が一部露出する程度であり剥離度も 0.4mm 程度の軽度なスケーリングであった。
- (3) 凍結防止剤の種類がコンクリートのスケーリングに及ぼす影響は、凍結防止剤の成分などに影響されるが、酢酸カリウムとグリセリンを主成分とした凍結防止剤は粉碎塩や塩化カルシウムなど塩化物系のものに比べスケーリングが生じにくい。
- (4) 凍結防止剤の種類に関わらず濃度が 3% の場合に最もスケーリングが多く生じており、本研究の範囲では、濃度が低い場合にコンクリートのスケーリングが大きくなる傾向にあった。

【参考文献】

- 1) コンクリート委員会コンクリート調査研究小委員会凍結防止剤ワーキンググループ：我が国のコンクリート構造物における凍結防止剤の影響、土木学会論文集、No.490/V-23、pp.15-19、1994.5
- 2) 宮本 修司、高木 秀貴、大沼 秀次、美馬 大樹；凍結防止剤の植物への影響に関する調査－一般国道 230 号を例として－、第 10 回寒地技術シンポジウム講演論文集、pp.195～200、1994
- 3) ASTM C 672 ; Standard test method for scaling resistance of concrete surfaces exposed to deicing chemicals