

論文

[1120] 凍結防止剤がコンクリートの凍結融解抵抗性におよぼす影響

正会員○高橋正行 (東北工業大学土木工学科)

正会員 外門正直 (東北工業大学土木工学科)

正会員 志賀野吉雄 (東北工業大学土木工学科)

1. まえがき

寒冷地においては、今後、スパイクタイヤの使用規制の法令化にともない、凍結防止剤の散布量が増大し、凍結融解を受けるコンクリート構造物の劣化の促進が心配される。

主に使用されている凍結防止剤としては、塩化カルシウム (CaCl₂・2H₂Oが主成分でCaCl₂の含有率約75.4%である[1])と塩化ナトリウム (NaCl)が挙げられる。これらの凍結防止剤は、図-1に示されるように、一定濃度における凍結防止効果の観点より比較すると塩化カルシウムが塩化ナトリウムより効率がよく、また、一定濃度において凍結温度が異なることなどから、凍結防止剤が散布された環境下で凍結融解作用を受けた場合、凍結防止剤の種類によってコンクリートの劣化進行状態は異なることが考えられる。

本研究は、塩化カルシウム (2水塩) 水溶液中および塩化ナトリウム水溶液中急速凍結融解試験を行い、凍結防止剤が硬化コンクリートの凍結融解抵抗性におよぼす影響について比較検討を行ったものである。

2. 実験方法

実験に用いたセメントは、市販の普通ポルトランドセメント (比重3.16)、細骨材は宮城県鶴巣大平産山砂 (比重2.55 吸水率2.82)、粗骨材は宮城県伊具郡丸森産碎石 (最大寸法20mm, 比重2.86, 吸水率0.91)である。混和剤としてAE剤を用いて、AEコンクリートとした。コンクリートの配合を表-1に示す。

供試体は、10×10×40cmの角

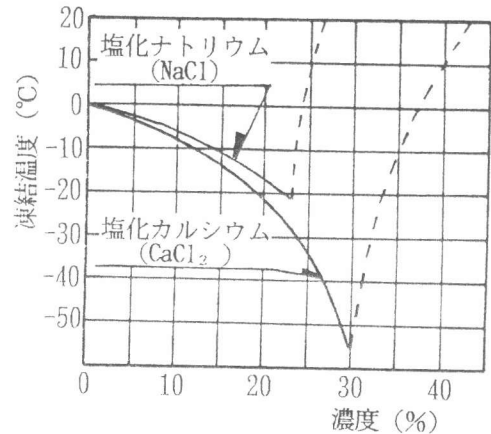


図-1 凍結温度と濃度¹⁾

表-1 コンクリートの配合

W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)				混和剤	実 測 値				
		W	C	S	G		AE剤 (%)	Air (%)	スランプ (cm)	動撓 (°C)	圧縮強度 (kg/cm ²)
50	38	164	328	611	1210	Cx0.029	5.0	8.0	18.0	307	6.69

*) 目標スランプ8±1.0 cm, 目標空気量5.0 ±0.5%

表-2 凍結融解試験の試験因子

試験NO.	凍結融解試験溶液			備考
	凍結防止剤の種類	濃度 (%)	Cl 量 (%)	
W		0	0	水道水
Ca-2	(2水塩) 塩化カルシウム [Ca]	2 (1.5)	0.964	CaCl ₂ ・2H ₂ O
Ca-4		4 (3.0)	1.928	
Ca-6		6 (4.5)	2.892	
Ca-8		8 (6.0)	3.856	
Na-2	塩化ナトリウム [Na]	2	1.214	NaCl
Na-4		4	2.428	
Na-6		6	3.642	
Na-8		8	4.856	

*) () 内の数字は、CaCl₂濃度に換算した値。

柱供試体およびφ10×20cmの円柱供試体とした。供試体は、打設後2日で脱型し材令14日まで水中養生を行った後、圧縮強度と含水率を求め、凍結融解試験(ASTM-C666)を行った。凍結融解試験においては、2, 4, 6, 8%の濃度の[Ca]塩化カルシウム(2水塩)水溶液中そして[Na]塩化ナトリウム水溶液中急速凍結融解試験を行い、30サイクル毎にたわみ一次共鳴振動数と質量を測定し、式(1)、式(2)より、相対動弾性係数と質量減少率を求めた。比較のために、水中急速凍結融解試験を行った。凍結融解試験条件を表-2に示す。凍結融解試験終了後、供試体表面からの深さ0~1, 1~2, 2~3そして3~4 cmの試料を採取し、塩分含有量試験(可溶性塩素イオン量の測定)を行い供試体中に浸透した塩分について調べた。

$$n \text{ サイクルにおける相対動弾性係数 (\%) = (f_n^2 / f_0^2) \times 100 \quad (1)$$

f_0 : 凍結融解0サイクルにおけるたわみ一次共鳴振動数 (Hz)

f_n : 凍結融解nサイクルにおけるたわみ一次共鳴振動数 (Hz)

$$n \text{ サイクルにおける質量減少率 (\%) = \{ (W_0 - W_n) / W_0 \} \times 100 \quad (2)$$

W_0 : 凍結融解0サイクルにおける質量 (g)

W_n : 凍結融解nサイクルにおける質量 (g)

3. 実験結果および考察

3. 1 凍結融解試験について

図-2と図-3は、塩化カルシウム水溶液中および塩化ナトリウム水溶液中急速凍結融解試験を行った供試体の質量減少率の経時変化を示したものである。図-2より、塩化カルシウム水溶液中急速凍結融解試験においては、塩化カルシウム2水塩の濃度が6%までは、濃度が高くなるにしたがって質量減少率は大きくなる傾向を示し、濃度が8%の質量減少率は濃度が6%に比べて小さい値を示している。図-3より、塩化ナトリウム水溶液中急速凍結融解試験においては、塩化ナトリウムの濃度2%, 4%, 6%そして8%とも凍結融解試験開始時から質量減少率が著しく増加し、凍結融解試験300サイクル終了時で16%以上と大きい値を示している。

図-4と図-5は、塩化カルシウ

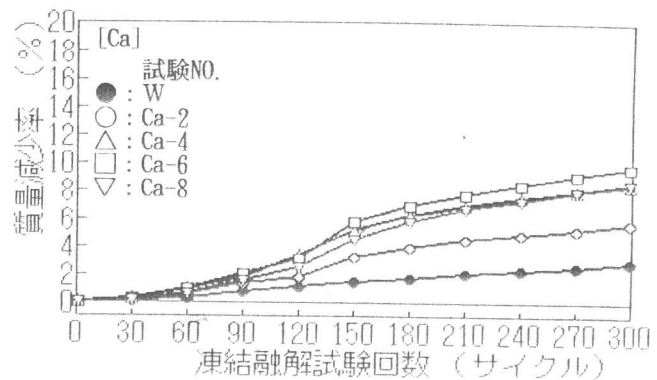


図-2 質量減少率の経時変化

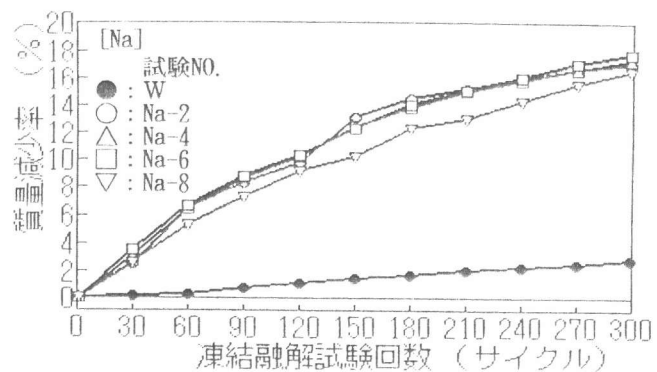


図-3 質量減少率の経時変化

ム水溶液中および塩化ナトリウム水溶液中急速凍結融解試験を行った供試体の相対動弾性係数の経時変化を示したものである。図-4より、塩化カルシウム水溶液中急速凍結融解試験においては、塩化カルシウム2水塩の濃度2%と4%は、0%の水溶液中凍結融解試験に比べて相対動弾性係数が大きい値を示し、濃度が6%と8%は0%とほぼ同じ傾向を示している。また、濃度2%、4%、6%そして8%とも凍結融解試験300サイクル終了時で88%以上の値を示している。図-5より、塩化ナトリウム水溶液中急速凍結融解試験においては、塩化ナトリウムの濃度2%、4%、6%そして8%とも300サイクル終了時で80%以下の値を示し、相対動弾性係数の減少が大きいことが認められる。

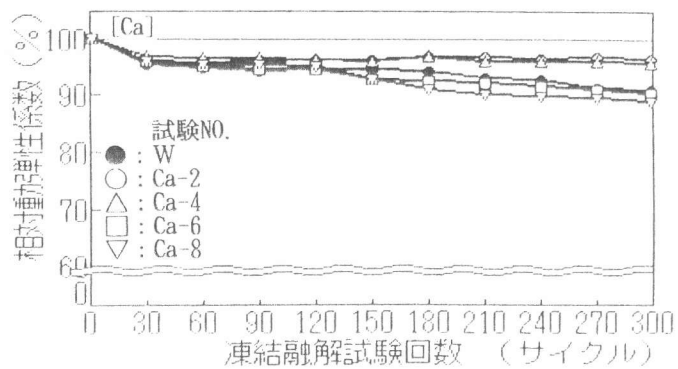


図-4 相対動弾性係数の経時変化

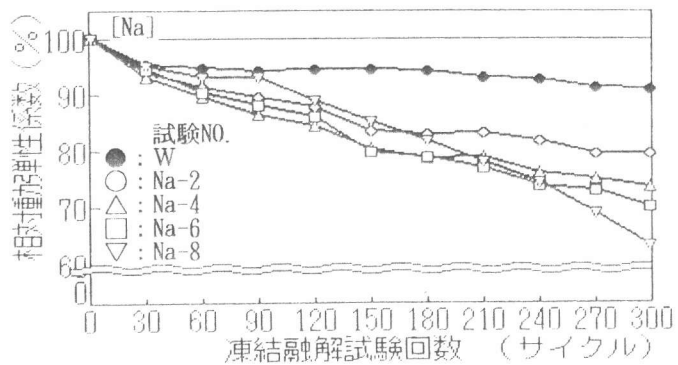


図-5 相対動弾性係数の経時変化

また、濃度が高くなるにしたがって減少が著しい傾向を示している。

凍結防止剤環境下において凍結融解が繰返される場合、コンクリートの劣化に影響をおよぼす因子として凍結温度、凍結防止剤の濃度（塩素イオン濃度）等が考えられる。ここでは、凍結防止剤の塩素イオン濃度での比較を図-6、図-7

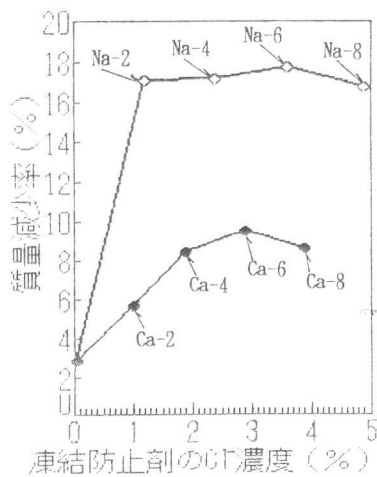


図-6 質量減少率と濃度の関係

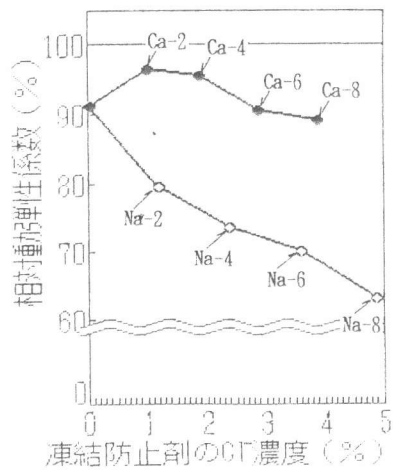


図-7 相対動弾性係数と濃度の関係

融解300サイクル終了時の質量減少率と凍結防止剤の塩素イオン濃度の関係を、図-7は、300サイクル終了時の相対動弾性係数と凍結防止剤の塩素イオン濃度の関係を示したものである。図-6、図-7より、塩素イオン量約4%以内の塩化カルシウム水溶液中および塩化ナトリウム水溶液中にて急速凍結融解試験を行った場合、塩化ナトリウム水溶液中急速凍結融解試験を行った供試体は、塩化カルシウム水溶液中急速凍結融解試験に比べて質量減少率が大きい値を、相対動弾性係数は小さい値を示している。

これら結果より、塩化カルシウムは表面劣化が著しく、塩化ナトリウムは、表面劣化、相対動

弾性係数の減少とも著しいことが認められた。また、塩化カルシウム水溶液中および、塩化ナトリウム水溶液中で凍結融解を受けた供試体の劣化形態は、おもに、スケール進行型であることが認められた。

3. 2 塩分含有量試験について

図-8と図-9は、塩化カルシウム水溶液中および塩化ナトリウム水溶液中急速凍結融解試験終了後の供試体における塩分の浸透状況を示したものである。塩化カルシウム水溶液中および塩化ナトリウム水溶液中急速凍結融解試験を行った供試体とも、凍結防止剤の濃度が高くなるにしたがっ

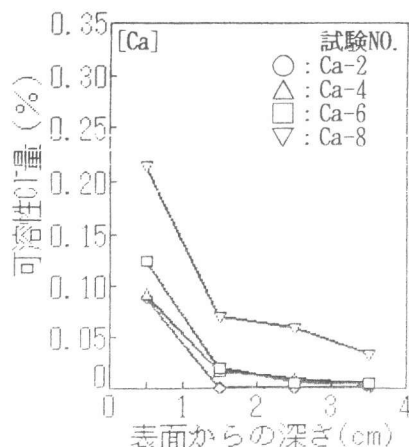


図-8 塩分の浸透状況

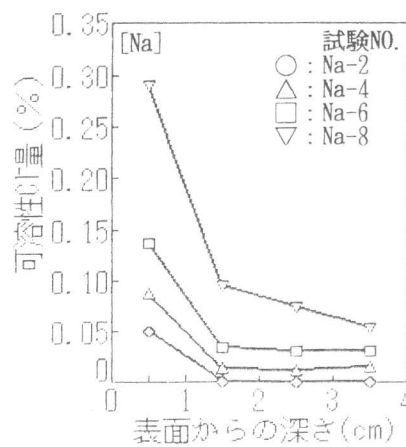


図-9 塩分の浸透状況

て可溶性塩素イオン量は大きい値を示している。塩化カルシウムの濃度8%塩化ナトリウムの濃度4%、6%、そして8%においては、供試体の表面から内部まで塩分が浸透していることが認められた。これらの塩分の浸透状況と、劣化状況を比較してみると、相対動弾性係数は塩分の浸透量にともない減少していることが認められる。供試体の表面劣化は、濃度6%までは塩分量の増加にともない大きくなる傾向を示しているが、濃度8%においては、その傾向が認められなかった。

4. まとめ

塩素イオン量約4%以内の塩化カルシウム水溶液中および塩化ナトリウム水溶液中急速凍結融解試験を行い凍結防止剤が凍結融解抵抗性におよぼす検討を行い、以下に示すような結果が得られた。

- 1) 約5%の空気を連行したコンクリートでも、凍結防止剤環境下で凍結融解の繰返しを受けた場合、表面劣化が著しい。
- 2) 塩化ナトリウム水溶液中での凍結融解は塩化カルシウム水溶液中に比べてコンクリートの凍結融解抵抗性に与える影響は大きい。

参考文献

- 1) 仙台市建設局道路管理課：融雪剤 (CaCl₂) の一般的な影響
- 2) 尾坂芳夫・後藤幸正監訳：ネビルのコンクリートの特性 pp. 329~392
- 3) 岸谷孝一・西澤紀昭他編：凍害
- 4) 岸谷孝一・西澤紀昭他編：化学的腐食