

塩化カルシウム腐食によるコンクリートの化学的劣化機構

(株) 国土開発センター 正会員 笹谷輝彦 金沢大学工学部 正会員 鳥居和之
金沢大学工学部 学生員 岡村宇太弥 金沢大学工学部 フェロー 川村満紀

1. はじめに

融雪・融氷剤として使用されている塩化カルシウム溶液は濃度20%、温度20℃以下の条件下にてコンクリートの化学的劣化が急速に進行することが確認されている¹⁾。スケーリングおよびひび割れをともなうコンクリートの劣化現象は、塩化物イオンが浸透した領域で発生するため、劣化を防止するためにはコンクリート内部への塩化物イオンの浸透を抑制することが重要であると指摘されている。

本研究では、塩化物溶液に浸漬したコンクリートの反応生成物及び内部組織を比較するとともに、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの塩化カルシウム腐食の抑制機構について検討を行った。

2. 実験概要

各種コンクリートの配合を表-1に示す。普通ポルトランドセメント(N社製, 比重:3.16, ブレーン値:3300cm²/g)および高炉スラグ微粉末(S社製, 比重:2.89, ブレーン値:4300cm²/g)を使用した。コンクリートの目標スランブは8±2cmであり、空気量は4±1%である。モルタル試験体はφ50mm×50mmの円柱であり、練り混ぜ直後、5mmふるいでコンクリートをウェットスクリーニングし、製作した。モルタル試験体は、温度20℃の水中にて28日間養生を行った後、温度20℃、濃度

表-1 各種コンクリートの配合

水結合材比	BFS 置換率(%)	単位材料 (kg/m ³)			スランブ (cm)	空気量 (%)
		C	BSF	W		
35%	0	471	0	165	8±2	4±1
	30	330	141	165		
	50	236	236	165		
	70	141	330	165		
55%	0	300	0	165	8±2	4±1
	30	210	90	165		
	50	150	150	165		
	70	90	210	165		

30%の塩化ナトリウム(飽和溶液)および塩化カルシウム溶液に浸漬した。浸漬期間は約10ヶ月であり、劣化状況を調べるため、蛍光顕微鏡によるひび割れの観察およびX線回折分析による反応生成物の同定を行った。また、水中養生を継続した供試体についても同様な測定を実施し、塩化物溶液との比較を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 外観観察 塩化ナトリウム溶液に浸漬したモルタル試験体では、いずれの配合のものも劣化は全く観察されなかった。一方、塩化カルシウム溶液に浸漬したコンクリートでは、写真-1に示すように普通セメントモルタルについては、供試体側面に大きなひび割れが発生し、表面部の剥離が観察された。普通セメントモルタルの劣化は水セメント比が大きいものほど顕著であるが、水セメント比が35%と小さなものでも表面の剥離を伴う劣化が生じていた。一方、高炉スラグ微粉末を使用したモルタル試験体では、水結合材比および高炉スラグ微粉末の置換率に関係なく劣化は全く観察されなかった。

3.2 ひび割れ状況 写真-2および写真-3に塩化カルシウム溶液に浸漬した普通セメン

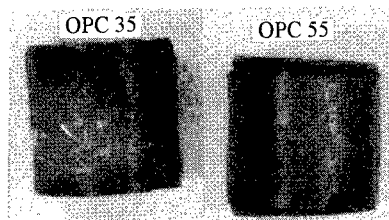


写真-1 モルタル試験体の劣化状況

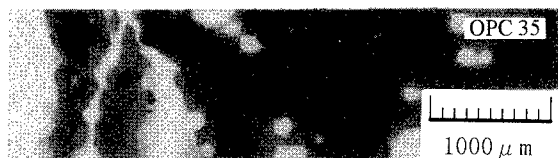


写真-2 蛍光顕微鏡による観察結果 (OPC 35)

トモルタル試験体の切断面の蛍光顕微鏡による観察結果を示す。セメントモルタル表面の円周に沿ったひび割れが多数発生し、微細な内部のひび割れが連続化することにより、鱗片状に表面部の剥離が進行している。一方、水セメント比35%のセメントモルタル試験体では、劣化部分は表面部のみに限定されており、モルタル内部での劣化の兆候は認められない。



表面 ————— 内部
写真-3 蛍光顕微鏡による観察結果 (OPC 53)

3. 3 反応生成物の特徴 表-2に各種モルタル試験体のX線回折の結果を示す。フリーデル氏塩のピーク ($2\theta=11.2^\circ$)は塩化物溶液による相違は認められない。一方、塩化カルシウム溶液に浸漬した水セメント比55%の普通セメントモルタルでは、水酸化カルシウムの消失と複塩 ($2\theta=10.6^\circ$)のピークが確認された。また、水セメント比35%の普通セメントコンクリートでは、複塩のピークは小さいものの、内部と比較して表面部の水酸化カルシウムが減少していることが確認された。したがって、塩化カルシウム溶液によるコンクリートの化学的劣化現象は、水酸化カルシウムの溶出と複塩の生成による内部組織の多孔質化とひび割れの形成が原因で進行するものと思われる。一方、高炉スラグ微粉末を使用したモルタル試験体では、内部への塩化物イオンの浸透が抑制されるため、複塩の生成はほとんど認められなかった。

表-2 各種モルタル試験体のX線回折結果

水結合材比	BFS 置換率(%)	位置	CaCl ₂ 溶液浸漬			NaCl溶液浸漬		水中養生継続
			複塩 (at 10.6°)	フリーデル氏塩 (at 11.2°)	Ca(OH) ₂ (at 18.1°)	フリーデル氏塩 (at 11.2°)	Ca(OH) ₂ (at 18.1°)	Ca(OH) ₂ (at 18.1°)
35%	0	表面部	73	70	141	76	287	—
	0	内部	42	68	303	83	243	OS
	30	表面部	ND	100	193	—	—	—
	30	内部	ND	ND	224	—	—	—
	50	表面部	97	103	140	124	102	—
	50	内部	ND	ND	173	55	351	142
55%	70	表面部	ND	91	56	—	—	—
	70	内部	ND	ND	67	—	—	—
	0	表面部	240	144	ND	139	OS	—
	0	内部	346	140	ND	118	415	OS
	30	表面部	ND	164	ND	—	—	—
	30	内部	69	233	OS	—	—	—
	50	表面部	47	188	88	167	182	—
	50	内部	53	82	303	116	213	OS
	70	表面部	ND	147	41	—	—	—
	70	内部	ND	ND	87	—	—	—

OS : Over Scale

単位 : CPS

ND : 確認されず

4. まとめ

高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは、塩化物イオンの浸透抑制と水酸化カルシウム量の低減の両効果により、塩化カルシウム腐食に対して優れた抵抗性を発揮した。高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートでは、高炉スラグ微粉末の置換率が30%の場合でも、劣化の兆候が全く認められず、高炉スラグ微粉末の使用は、このような化学的腐食の防止対策として非常に有効であることが明らかになった。

(参考文献)

- 1) 笹谷輝彦・鳥居和之・川村満紀：セメント・コンクリート論文集，No. 49，pp. 720-725，1995.