

海沿いに曝露した供試体の塩化物イオン分布

福島高専 学生会員 ○大部 哲哉
 福島高専 正 会員 緑川 猛彦

1. 目的

塩害と凍害によるコンクリートの複合劣化に関する有効な劣化防止法を検討するために、各種データを得るべく暴露試験を実施している。第 1 回目の計測として、暴露期間 1 年目における塩化物イオン濃度の計測を実施した。劣化防止法の効果について検討した結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 供試体作製

コンクリート製造に使用した材料は、普通ポルトランドセメント ($\rho_s=3.16\text{g/cm}^3$)、早強ポルトランドセメント ($\rho_{es}=3.14\text{g/cm}^3$)、高炉スラグ微粉末 ($\rho_{bs}=2.89\text{g/cm}^3$ 、比表面積 $4000\text{cm}^2/\text{g}$)、山砂 ($\rho_s=2.63\text{g/cm}^3$ 、吸水率 1.05%、F. M.=2.91)、碎石 ($\rho_s=2.69\text{g/cm}^3$ 、吸水率 1.47%、

表-1 コンクリートの示方配合

番号	W/C (%)	air (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)						Slump (cm)	air (%)
				W	C	BS	S	G	SP		
1	56.0	4.5	45.8	162	290	-	828	1072	2.9	10.0	5.3
2~6	47.5	4.5	43.3	164	346	-	761	1089	3.5	9.0	4.8
7~9	35.0	4.5	40.1	137	392	-	731	1119	3.9	9.0	5.1
10~12	35.0	4.5	39.0	140	400	-	705	1128	4.6	7.5	4.5
13~15	34.0	1.5	54.3	175	361	151	918	790	4.4	61.0	3.0

F. M.=6.67)、ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤とし、5 ケース 15 個の供試体を製造した。コンクリートの配合を表-1 に示す。供試体番号 13~15 のコンクリートは、高炉スラグ微粉末をセメント内割りで 30%置き換えた高流動コンクリートである。供試体形状は、150mm×150mm×530mm の角柱とした。

供試体製造後水中養生 7 日間および気中養生 14 日間経過後、劣化防止法を供試体の 5 面に施し、さらに気中養生 7 日間を設けた後に暴露試験を開始した。劣化防止法は、シラン系撥水材塗布、シロキサン系撥水材塗布、ポリマーセメントモルタルのコテ塗り、けい酸ナトリウム系表面改質材塗布の 4 ケースとした。供試体の暴露場所は、山形県西田川郡温海町内の国道 7 号線沿いで、冬季には海からの飛沫が当たる場所である。設置開始日は 2005 年 1 月 19 日で、第 1 回目のサンプリングは 2005 年 12 月 20 日 (暴露期間 335 日) に行った。

2.2 塩化物イオンの測定方法

試料の採集および塩化物イオン濃度の測定は、JSCE-G573-2003「実構造物におけるコンクリート中の塩化物イオン分布の測定方法(案)」に準拠して行った。試料の採集方法はドリル法とし、深さ 4cm または 6cm まで 1cm ピッチで試料を採集した。塩化物イオン濃度は電位差滴定法により測定した。

3. 結果および考察

3.1 供試体中の塩化物イオン濃度の概況

典型的な塩化物イオン濃度の分布状況を図-1 に示す。いずれの供試体においても、塩化物イオン濃度はコンクリート表面部で最も高く、表面からの距離が大きくなるにつれて低くなっていた。また、濃度の測定は劣化防止法を施した供試体で 4cm の深さまで、劣化防止法を施さない供試体で 6cm の深さまで行ったが、ほとんどの供試体において、深さ 3cm の時点で塩化物イオン濃度はほぼ零であった。これは、供試体の暴露期間が 1 年未満であったために、深くまで塩化物イオンが染みこまなかったためと考えられるが、言い換えれば、1 年未満の短い期間であっても、2cm 程度までは塩分が浸透することが明らかになった。

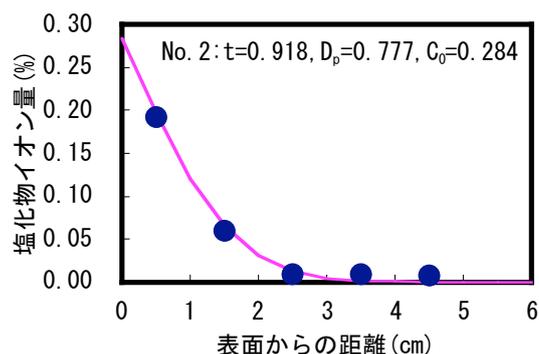


図-1 塩化物イオン濃度分布の概況

表-2 コンクリートの全塩化物イオンおよび見掛けの拡散係数

番号	セメント	強度 (N/mm ²)	劣化防止方法	C ₀ (%)	D _p (cm ² /年)	C ₀ ' (%)	D _p ' (cm ² /年)	C ₀ '' (%)	D _p '' (cm ² /年)	等価かぶり厚 (cm)
1	普通ポルトランドセメント	24	無し	0.287	0.461	0.261	0.552	0.261	0.552	-
2			無し	0.284	0.777		0.906			-
3			シラン系撥水材	0.137	0.624		0.152			0.74
4		30	シロキサン系撥水材	0.169	0.215		0.115		0.95	
5			ポリマーセメント	0.014	0.142		0.024		2.57	
6			けい酸ナトリウム系	0.265	1.412		1.448		-0.19	
7			無し	0.163	0.330		0.142		-	
8	50	シラン系撥水材	0.105	0.318	0.085		0.15			
9		シロキサン系撥水材	0.031	0.308	0.038		0.46			
10		無し	0.262	0.407	0.408		-			
11	早強ポルトランドセメント	50	シラン系撥水材	0.142	0.380		0.127	0.40		
12			シロキサン系撥水材	0.158	0.292		0.127	0.40		
13	高炉スラグ微粉末	50	無し	0.211	0.750		0.465	-		
14			シラン系撥水材	0.077	7.594		0.104	0.56		
15			シロキサン系撥水材	0.074	1.873		0.092	0.59		

3.2 コンクリート表面の全塩化物イオン濃度および見掛けの拡散係数の算定

フィックの第2法則に基づいた拡散方程式の解を用いて、供試体ごとの各深さ位置で測定された全塩化物イオンの値を回帰分析し、暴露試験によるコンクリート表面の全塩化物イオン(C₀)ならびに塩化物イオンの見掛けの拡散係数(D_p)を算出した¹⁾。なお、測定結果からコンクリート中に初期より含有されていた塩化物イオン量は無しと考えた。計算結果を表-2に示す。

いずれのデータについても、拡散方程式を満足するようなC₀ならびにD_pを得ることができたが、それらの値間の関連性は見つけ難い状況である。一方、供試体の暴露場所は同一であることから、全ての供試体におけるコンクリート表面の全塩化物イオン濃度は同じであると考えられる。ここでは、劣化防止法を施さない供試体(No.1, No.2, No.10, No.13)のC₀がほぼ同じことから、この平均値をコンクリート表面における全塩化物イオンの標準値(C₀'=0.261%)と考え、全供試体について拡散方程式を満足するような見掛けの拡散係数(D_p')を再度求めた。

今回のデータにおいては、コンクリートの設計基準強度に対する見掛けの拡散係数の値はバラついており、その関係を明らかにすることはできなかつた。しかしながら、劣化防止法を施さないものと施したものについては、拡散係数の値が明らかに異なっており、その効果が明白であった。

3.3 等価かぶり厚の算定

劣化防止法の効果をかぶり厚の増加分と考える、等価かぶり厚を算定した。基盤となるコンクリートの見掛けの拡散係数(D_p'')は、劣化防止法を施さない供試体の拡散係数を用いた。表-2に結果を示す。

劣化防止法の効果は、かぶり厚の増加として表現することができ、等価かぶり厚で一元的に効果を比較できることが分かる。ここで用いたシラン系とシロキサン系の撥水材では、コンクリートの設計基準強度やセメントの種類が異なった場合においても、シロキサン系撥水材の方の効果が高かった。

また、劣化防止法の効果は、基盤となるコンクリートにおける見掛けの拡散係数が大きいほど、効果が大きい傾向を示しており、元々緻密なコンクリートであれば、劣化防止法はあまり効果が無いことを示す結果となった。

4. 結論

コンクリート中に浸透する塩化物イオンの傾向を明らかにし、更に劣化防止法の効果を検討するために、暴露試験を行った。暴露期間約1年目の塩化物イオン分布について測定し、等価かぶり厚として効果を表現した所、以下の事項が明らかになった。

- (1)劣化防止法の効果を等価かぶり厚で表現することができた。シラン系とシロキサン系撥水材を比較したところ、シロキサン系撥水材の効果が高かった。
- (2)基盤となるコンクリートの見掛けの拡散係数が大きい供試体ほど、劣化防止法の効果が高かった。

参考文献

1)コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と基準化が望まれる試験方法の動向, 土木学会, pp.19-24