

混和材を配合したコンクリートの遮塩効果に与える各種パラメータの影響

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○井口 重信, 大野 直也
東日本旅客鉄道(株) フェロー 松田 芳範

1. はじめに

高炉スラグやフライアッシュなどを混和材に用いたコンクリートの遮塩効果については、土木学会の示方書で示されている拡散係数を一定とした場合の塩分浸透特性よりも多くあることが、いくつか報告されている。その傾向については、拡散係数や表面塩化物イオン濃度の経時変化を考慮すると、現象を精度良く再現できることが提案されている¹⁾。本稿では、表面塩化物イオン濃度の経時変化に与える、配合や養生期間の影響について実験的に検討したので、その概要について述べる。

2. 塩水浸漬試験の概要

試験体は、設計基準強度を 48N/mm²、W/C を 47%にした基準配合(N)を元に、セメントの内割りで高炉スラグ(B)、フライアッシュ(F)、あるいはその両方で置換した配合の 5 種類を製作した(表-1)。各配合とも、水中養生を 3 もしくは 7 日実施した後、気中養生を 1, 3, もしくは 6 ヶ月実施し、その後塩水に浸漬した。試験のパラメータを表-2 に示す。なお、表-2 には、後述する試験結果も合わせて示す。試験体形状は、直径 100mm、高さ 200mm の円柱供試体とし、側面および片端部をエポキシ樹脂で被覆した後、開放面から試験体高さの半分までを濃度 10%の塩化ナトリウム水溶液に一定期間浸漬し、取り出した後に圧縮試験機にて割裂し、破断面の塩水浸漬面から各深さの位置をドリルで削孔し採取した粉を蛍光 X 線装置にかけて塩化物イオン濃度を計測した。

試験体は、設計基準強度を 48N/mm²、W/C を 47%にした基準配合(N)を元に、セメントの内割りで高炉スラグ(B)、フライアッシュ(F)、あるいはその両方で置換した配合の 5 種類を製作した(表-1)。各配合とも、水中養生を 3 もしくは 7 日実施した後、気中養生を 1, 3, もしくは 6 ヶ月実施し、その後塩水に浸漬した。試験のパラメータを表-2 に示す。なお、表-2 には、後述する試験結果も合わせて示す。試験体形状は、直径 100mm、高さ 200mm の円柱供試体とし、側面および片端部をエポキシ樹脂で被覆した後、開放面から試験体高さの半分までを濃度 10%の塩化ナトリウム水溶液に一定期間浸漬し、取り出した後に圧縮試験機にて割裂し、破断面の塩水浸漬面から各深さの位置をドリルで削孔し採取した粉を蛍光 X 線装置にかけて塩化物イオン濃度を計測した。

3. 試験結果

3.1 塩化物イオン濃度分布

図-1 に水中養生 3 日+気中養生 28 日の場合の浸漬面からの距離と塩化物イオン濃度の

関係を示す。なお、図中のプロットは実験値、実線は Fick の第二法則による近似曲線を示す。混和材が配合されていない No.5(N)については、浸漬日数とともに表面塩化物イオン濃度の増大とともに、浸漬 1 年目では 40mm 付近まで塩化物イオンの浸透が見られる。一方、

表-1 コンクリート配合

配合名		N	B50	B75	B50+F10	F30
単位量 (kg/m ³)	水	密度1	140	140	140	140
	セメント	密度3.16	297	145.6	63.6	123
	高炉スラグ	密度2.89	0	182	318	205
	フライアッシュ	密度2.2	0	0	41	129.6
	膨張材	密度2.93	33	36.4	42.4	41
	細骨材	密度2.72	799	782	757	759
	粗骨材	密度2.65	1168	1142	1106	1109
減水剤		密度1.06	2.64	2.075	2.12	2.255
					2.506	

表-2 試験パラメータおよび試験結果

No.	配合	パラメータ			試験結果					
		セメント置換率 (%)	水中養生日数	気中養生日数	拡散係数 式(1)			表面塩化物イオン濃度 式(2)		
					係数a	係数b	R ²	係数a	係数b	R ²
1	N	0	7日	28日	89.5	-0.76	0.87	8.03	0.019	0.38
2	B50	50	7日	28日	37.5	-0.89	0.94	7.51	0.032	0.71
3	B75	75	7日	28日	223.3	-1.24	1.00	9.50	0.006	0.97
4	B50+F10	60	7日	28日	36.0	-0.91	0.97	7.84	0.029	0.55
5	N	0	3日	28日	182.4	-0.85	0.93	9.77	0.018	0.32
6	B50	50	3日	28日	8.4	-0.63	0.91	36.98	0.001	0.84
7	B75	75	3日	28日	91.2	-1.11	0.86	7.64	0.017	0.71
8	B50+F10	60	3日	28日	80.9	-1.03	0.96	9.48	0.015	0.88
10	B75	75	3日	28日	132.7	-1.17	0.98	11.19	0.006	0.83
13	N	0	3日	3ヶ月	115.7	-0.78	0.86	8.73	0.038	0.53
14	N	0	3日	6ヶ月	11.7	-0.33	0.53	11.85	0.658	0.00
15	B50	50	3日	3ヶ月	109.4	-1.15	0.99	9.95	0.022	0.94
16	B50	50	3日	6ヶ月	10.0	-0.66	0.61	11.78	0.044	0.52
17	B75	75	3日	3ヶ月	33.3	-0.90	0.92	7.99	0.024	0.62
18	B75	75	3日	6ヶ月	10.6	-0.75	0.74	8.91	0.067	0.15
19	B50+F10	60	3日	3ヶ月	157.9	-1.21	0.98	11.78	0.015	0.80
20	B50+F10	60	3日	6ヶ月	94.1	-1.20	0.97	12.86	0.037	0.66
21	F30	30	3日	28日	48.3	-0.96	0.96	12.60	0.012	0.75
22	F30	30	3日	3ヶ月	6.7	-0.60	0.79	13.56	0.046	0.37
23	F30	30	3日	6ヶ月	0.9	-0.18	0.71	12.08	0.718	0.00

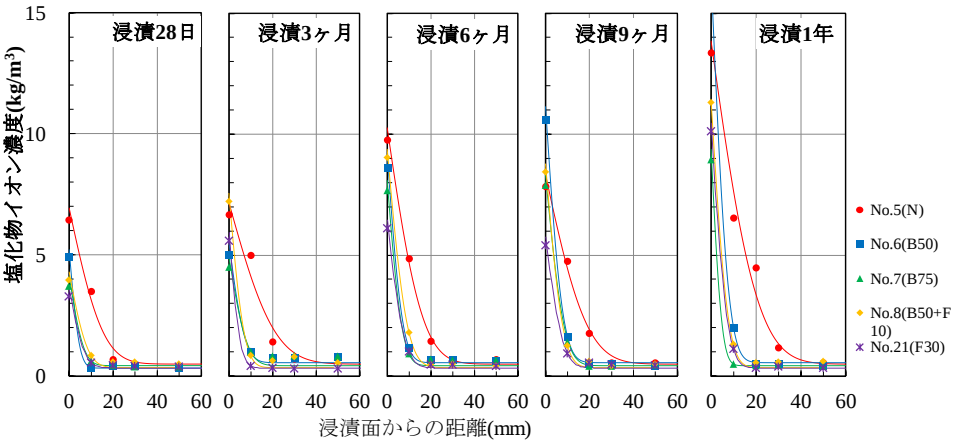


図-1 塩化物イオン量と浸漬深さの関係

混和材を配合した No.6(B50), No.7(B75), および No.21(F30)では, 表面塩化物イオンの増大は見られるが, 20mm 以深への塩化物イオンの浸透が停滞していた。

3.2 拡散係数, 表面塩化物イオン濃度の経時変化

図-2 に拡散係数と表面塩化物イオン濃度と浸漬日数の関係を示す。なお, 図-2 には式(1), (2)で近似した曲線もあわせて示す。

$$D=a \cdot t^b \tag{1}$$

$$C_0=C_i+a(1-e^{-b \cdot t}) \tag{2}$$

ここに, D: コンクリートの拡散係数(cm²/年), C₀: コンクリートの表面における全塩化物イオン濃度(kg/m³), C_i: 初期含有全塩化物イオン濃度(kg/m³), t: 供用期間(年), ここでは浸漬期間(年)とする。

図-2 (a) より, 水中養生3日+気中養生3ヶ月の試験体では, No.13(N)が最も大きい拡散係数値で推移し, 次いで No.19(B50+F10), No15(B50), No17(B75)が, そして No.22(F30)が最も小さい値で推移し, 混和材の添加により拡散係数が小さくなった。図-2 (b) より, B75 配合の水中養生3日の試験体では, No.7(28日), No.17(3ヶ月)がほぼ同程度で, No.18(6ヶ月)が最も小さくなり, 気中養生期間が長いほど拡散係数は小さくなる傾向が見られた。図-2 (c) より, B75 配合の水中養生3日の試験体では, No.18(6ヶ月)の試験体が表面塩化物イオンの増加速度が大きく, No.17(3ヶ月), No.7(28日)と気中養生期間が短いほど表面塩化物イオンの増加速度が小さい傾向となった。

4. 考察

各パラメータが遮塩効果に与える影響度を把握するため, 今回パラメータとした, 配合(混和材のセメント置換率), 水中養生日数, 気中養生日数を説明変数として, 式(1), (2)における浸漬期間 t に掛かる係数 b の重回帰分析を行った(表-3)。拡散係数の式(1)における係数 b については, セメントの置換率および気中養生日数で t 値の絶対値が 2 を超え p-値も 5%程度以下となっていることから, 有意な説明変数と考えられる。一方, 表面塩化物イオンの式(2)における係数 b については, 気中養生日数のみが優位な説明変数と考えられる。

5. まとめ

本検討の範囲において, 混和材を配合したコンクリートにおいて塩化物イオンの停滞現象を確認できた。また, 混和材の添加率および気中養生日数が拡散係数および表面塩化物イオン濃度の経時変化に影響を与え

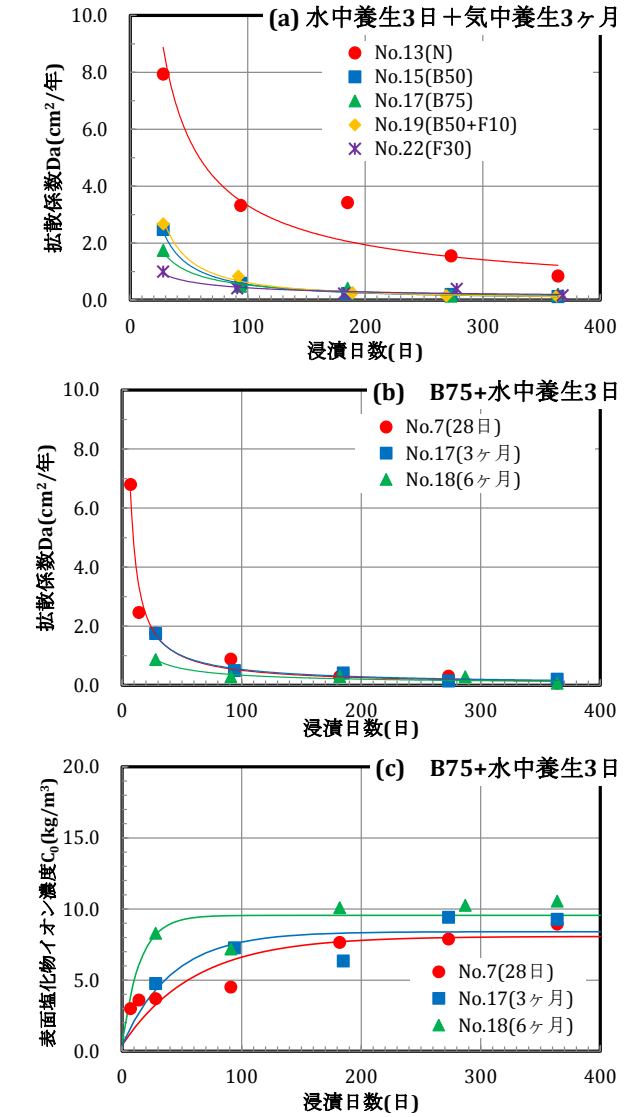


図-2 拡散係数・表面塩化物イオン濃度の経時変化

表-3 重回帰分析結果

(a) 拡散係数 式(1)の係数b

回帰統計		係数	標準誤差	t	P-値	
重相関 R	0.679	切片	-0.817	0.216	-3.78	0.002
重決定 R ²	0.462	セメント置換率	-0.005	0.002	-2.73	0.015
補正 R ²	0.354	水中養生日数	0.009	0.037	0.24	0.814
標準誤差	0.231	気中養生日数	0.061	0.029	2.11	0.052
観測数	19					

(b) 表面塩化物イオン濃度 式(2)の係数b

回帰統計		係数	標準誤差	t	P-値	
重相関 R	0.676	切片	-0.015	0.158	-0.10	0.926
重決定 R ²	0.457	セメント置換率	-0.003	0.001	-1.84	0.086
補正 R ²	0.348	水中養生日数	0.014	0.027	0.53	0.602
標準誤差	0.169	気中養生日数	0.061	0.021	2.87	0.012
観測数	19					

る因子であることが分かった。

参考文献 1) 井口重信ら;フライアッシュを混和材に用いたコンクリートの遮塩効果に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, vol.32, No.1, 2016