

非常電氣泳動法による各種コンクリートの塩化物イオン拡散係数の材齢依存性評価

東亜建設工業 正会員 ○小林 雄一，網野 貴彦，田中 亮一
東洋大学 フェロー会員 福手 勤

1. はじめに

コンクリートの塩化物イオン拡散係数の試験方法として非常電氣泳動試験「NT BUILD 492」¹⁾がある。この方法は従来の方法よりも短時間で拡散係数を取得できるため、今後想定される様々な材料を利用したコンクリートの開発や、その材料を用いた配合設計の自由度を高められる効果が期待される。しかし、コンクリートの拡散係数には材齢依存性があり、使用するセメント種類や水結合材比、混和材の種類や置換率等によってその程度も異なるため、試験材齢が異なるごとに取得される拡散係数も異なる。このため、本試験の結果を耐久設計に利用する場合には試験材齢を適切に評価することが重要となる。そこで、種々の混和材を用いたコンクリートを製作して、本方法にて材齢 28 日、1 年における拡散係数を取得し、既往の文献 2) の結果と比較することで、拡散係数の材齢依存性を検討した。

2. 実験概要

表-1 に、本実験に使用したコンクリートの材料・配合、NT BUILD 492 に準拠して設定した印加電圧と通電時間、および取得された拡散係数（以下、 D_{nssm} ）を示す。試験体は、各配合に対して $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の供試体を作製し、試験を行う材齢（28 日、1 年）の前日まで

標準養生を行い、試験前日に供試体上下端を取り除いた中央部の 50mm 部分とした。また、通電装置は JSCE-G571 に準拠したものであり、通電前日に 24 時間真空飽和处理を行った試験体により通電を行った。

3. 実験結果

図-1 に、材齢 28 日、1 年における混和材の置換率と本実験で取得した D_{nssm} の関係を示す。本図には、表-1 に示した物性値とほぼ同じ材料が使用され、本実験と異なる水結合材比で検討された文献 2) の結果も付記した [文献 2) では SF に関する検討は行われていない]。

これによると、本実験による $W/B=0.40$ のコンクリートの D_{nssm} は、文献 2) における $W/B=0.35$ と 0.45 の結果の範囲内にプロットされた。このことから、文献 2) の結果を比較に用いることに問題はないと判断した。ただし、理由は定かではないが、本実験における BFS 配合のみ、文献 2) の結果から逸脱する結果であった。

また、いずれの配合も材齢 1 年の D_{nssm} は材齢 28 日の値よりも小さくなった。特に、FA や MIX 配合でその傾向が顕著であった。そこで、文献 2) に記載の式(1)を用いて、本実験におけるコンクリートの材齢依存性を示すパラメータ m （以下、 m 値）を算出した。

$$D(t) = D_{ref} (t_{ref}/t)^m \tag{1}$$

表-1 コンクリートの配合表および非常電氣泳動試験の通電条件、拡散係数の測定結果

記号	W/B (%)	単位量(kg/m ³)							非常電氣泳動試験の通電条件および結果					
		W	B = C + BFS + FA + SF				S	G	材齢28日			材齢1年		
			C	BFS	FA	SF			印加電圧 (V)	通電時間 (hour)	拡散係数 D_{nssm} ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	印加電圧 (V)	通電時間 (hour)	拡散係数 D_{nssm} ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)
OPC	40	170	425	—	—	—	727	1001	25	24	14.6	30	24	7.3
SF2.5			414	—	—	11	723		30	24	8.1	50	24	4.0
SF5			404	—	—	21	719		35	24	5.5	60	24	2.1
SF10			382	—	—	43	711		40	24	3.3	60	48	1.6
FA			361	—	64	—	706		20	24	12.0	60	24	2.0
BFS			234	191	—	—	713		35	24	4.1	60	24	3.0
MIX			149	191	64	21	683		40	24	2.6	60	48	0.5

※C：普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³，比表面積 3130cm²/g），BFS：高炉スラグ微粉末（密度 2.89g/cm³，比表面積 4430cm²/g），FA：フライアッシュⅡ種（密度 2.25g/cm³，比表面積 4010cm²/g），SF：シリカフューム（密度 2.15 g/cm³，表面積 19.6m²/g），S：細骨材（山砂，表乾密度 2.59g/cm³），G：粗骨材（碎石，最大寸法 20mm，表乾密度 2.69g/cm³）

キーワード 非常電氣泳動法，塩化物イオン拡散係数，混和材，材齢依存性

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町 1-3 東亜建設工業技術研究開発センター TEL 045-503-3741

ここに、 $D(t)$ ：材齢 t 日の D_{nssm} (m^2/s)、 D_{ref} ：基準材齢 t_{ref} 日（本検討では 28 日）の D_{nssm} (m^2/s)、 m ：材齢依存性を示すパラメータを表す。

図-2 に m 値の算定結果を示すが、SF シリーズ配合の m 値は置換率によらず OPC 配合の値とほぼ同等であり、SF の混和は m 値に影響を及ぼさないことがわかった。一方、FA や MIX 配合では m 値が非常に大きく、BFS 配合では OPC 配合よりも小さくなった。BFS 配合については、前述のとおり、本実験では適切な D_{nssm} が取得できていなかった可能性が考えられる。材齢 2 年の試験も計画しているので、再度検証する予定である。

一方、文献 2) には、混和材の種類ごとに m 値を推定する式として、式(2)～(4)が示されている。

$$m_{OPC} = 0.06(W/B)^{-1.66} \quad (2)$$

$$m_{BFS} = m_{OPC} + 4.24(R_{BFS}/70)^{1.12} \cdot (W/B)^{3.16} \quad (3)$$

$$m_{FA} = m_{OPC} + 1.25(R_{FA}/40)^{0.75} \cdot (W/B)^{0.33} \quad (4)$$

ここに、 W/B ：水結合材比、 R_{BFS} ：BFS の結合材置換率（%）、 R_{FA} ：FA の結合材置換率（%）を表す。

これらの式により算出される m 値（計算値）と図-2 の m 値（実測値）を比較した結果を図-3 に示す。なお、SF シリーズ配合や MIX 配合の m 値の計算値は、SF の混和は m 値に影響せず[式(2)の W/B の影響のみ考慮]、BFS や FA の混和が m 値に与える影響は式(3)、(4)の右辺第 2 項で表されると仮定して式(5)により推定した。

$$m_{MIX} = m_{BFS} + m_{FA} - m_{OPC} \quad (5)$$

その結果、BFS 配合を除いては、いずれの配合のコンクリートも非常に良い相関が得られた。以上から、式(2)～(5)により、様々な混和材の組合せや配合のコンクリートに対する m 値を推定できる可能性を見出した。

4. まとめ

本稿では、既往の知見と照合して、混和材を用いたコンクリートに対する NT BUILD 492 に基づく塩化物イオン拡散係数の材齢依存性を検討し、種々の材料・配合のコンクリートに対する耐久設計に用いるための拡散係数の取得において NT BUILD 492 を適用する際の試験材齢を適切に考慮できる可能性を示した。

参考文献

- 1) Nordtest NT BUILD 492, "Chloride Migration Coefficient from Non-steady State Migration Experiments", Nordtest, Finland, (1999)
- 2) Jae-IM Park et.al, "Diffusion Decay Coefficient for Chloride Ions of Concrete Containing Mineral Admixtures", Hondawi Publishing Corporation, Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2016, Article ID 2042918, 11 pages (<http://dx.doi.org/10.1155/2016/2042918>)

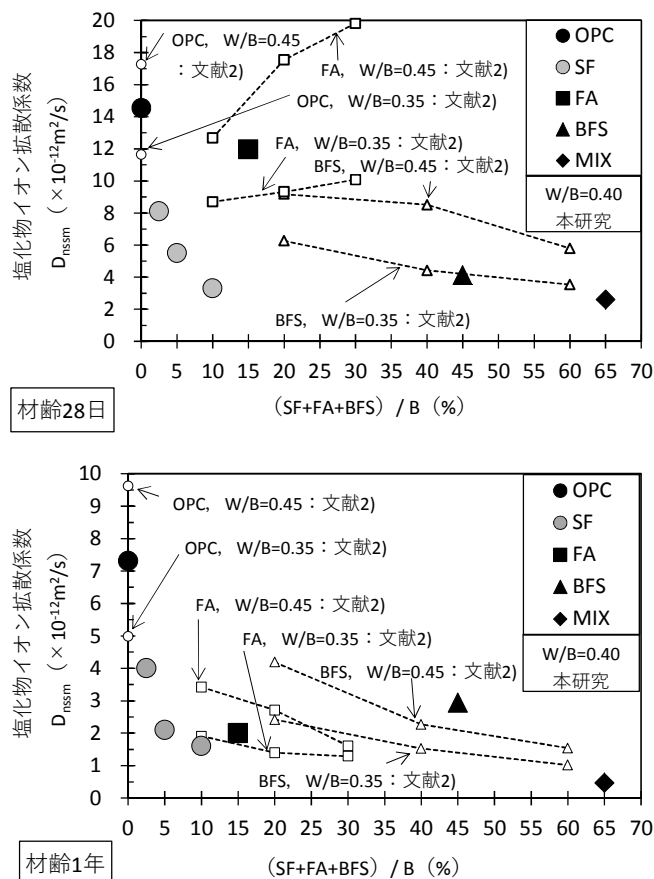


図-1 各種混和材の置換率と D_{nssm} の関係

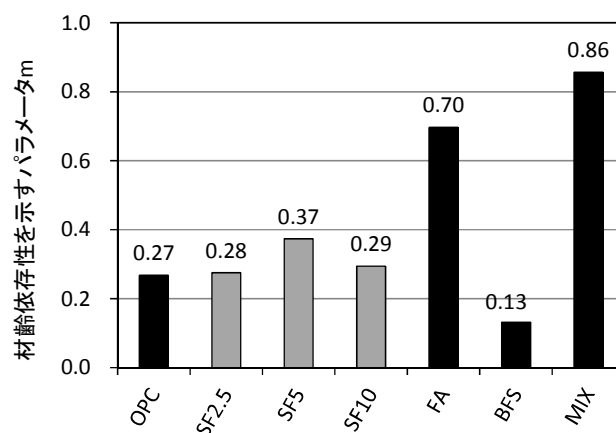


図-2 本実験により得られた式(1)に基づく m 値

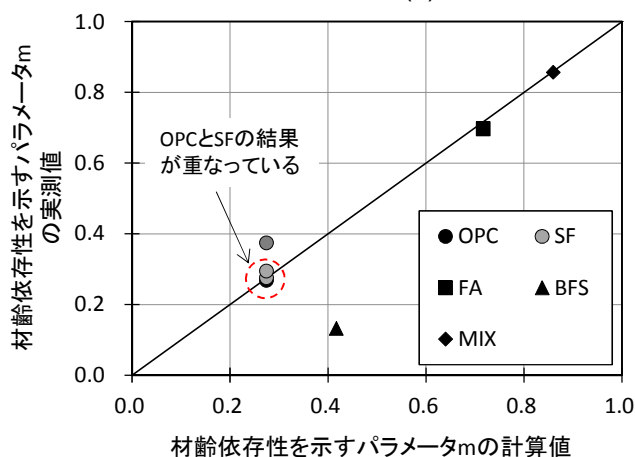


図-3 式(2)～(5)に基づく材齢依存性を示すパラメータ m の計算値と実測値の比較