

高炉セメントコンクリートの塩化物イオン拡散係数に関する実験的検討

九州大学 学生会員 高 鳴笛 九州大学大学院 正会員 濱田 秀則 学生会員 村上 英明
新日鐵高炉セメント(株) 正会員 檀 康弘 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

高炉セメントを用いたコンクリートは塩害に対する耐久性を向上することができ、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの耐久性に関する研究が多くなされている。しかし、高炉セメントコンクリートの塩化物イオン浸透性状を定量的かつ統一的に評価する手法は十分ではなく、塩分浸透に関する各種試験法と拡散係数の関係についても十分検討されていない。そこで本研究では、スラグ置換および養生条件を変化させ、電気泳動試験及び塩水への浸漬試験により推定される塩化物イオン拡散係数を比較し、検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料及び配合

本研究で用いた使用材料を表-1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(N)を使用した。高炉スラグ微粉末は高炉スラグ微粉末 4000 を使用し、セメントに対し 20%(BA)および 50%(BB)質量置換した。また、細骨材には海砂、粗骨材には砕石 2005 を使用した。作製したコンクリートおよびモルタル供試体の配合を表-2 に示す。養生条件は脱型直後から 20℃、60%R.H.で、28 日まで気中養生(D1)、5 日又は 7 日まで湿布養生後に 28 日まで気中養生 (CD5, CD7), および 28 日まで水中養生(W28)の 3 種類とした。5 日および 7 日はコンクリート標準示方書に示される普通セメントコンクリートおよび高炉セメントコンクリートの標準養生の日数から採用した。

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.14g/cm^3
高炉スラグ 微粉末	高炉スラグ微粉末4000 密度 2.91g/cm^3 , 比表面積 $4000\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	海砂, 表乾密度 2.57g/cm^3 , 吸水率1.99%
粗骨材	砕石, 表乾密度 2.72g/cm^3 , 吸水率0.5%

表-2 示方配合

		W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					減水剤 (%)	AE 助剤
				W	C	BFS	S	G		
コン ク リ ー ト	N	55	47.5	175	318	-	832	969	0.25	0.75A
	BA	55	47.5	175	255	64	830	967	0.25	0.75A
	BB	55	47.5	175	159	159	827	963	0.25	1.75A
モ ル タ ル	N	55	2.62	277	504	-	1321	-	-	-
	BB	55	2.6	278	253	253	1314	-	-	-

2. 2 試験方法

(1) 電気泳動試験: 材齢 28 日から土木学会規準 JSCE-G571 の方法で試験を開始し実効拡散係数 D_e を求めた。

(2) 塩水浸漬試験: 材齢 28 日から 91 日間、NaCl 濃度 10%、温度 20℃の塩水内に浸漬した。その後、割裂面に 0.1N 硝酸銀溶液を噴霧し、塩分浸透深さの測定を行った。また、土木学会規準 JSCE-G572 により、見掛けの拡散係数を求めた。

3. 実験結果および考察

3. 1 電気泳動試験結果

図-1 にコンクリート供試体の実効拡散係数 D_e を示す。図より、N に比べ BB は D_e が小さくなった。置換率が増加するとともに塩化物イオンに対する抵抗性が高くなった。養生条件別に見ると、D1 と比較して CD7 と W28 では BA と BB の D_e の変化割合が小さくなった。

図-2 にモルタル供試体の D_e を示す。モルタル供試体で実効拡散係数を求めた場合、BB は N より著しく小さくなった。ま

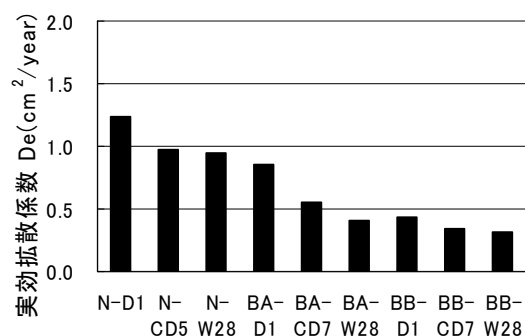


図-1 実効拡散係数(コンクリート)

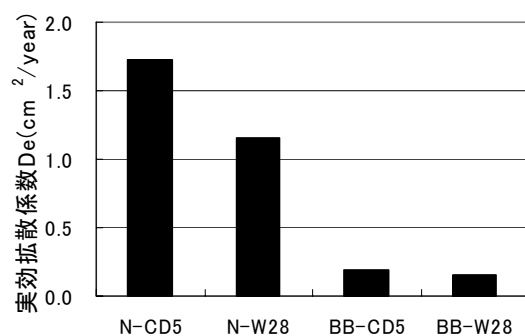


図-2 実効拡散係数(モルタル)

た、コンクリートと比較しても D_e が特に小さいことが分かる。

図-3 にコンクリートおよびモルタルの実効拡散係数 D_e の関係を示す。普通セメントを用いた場合、同 W/B, 同じ養生条件において、 D_e はモルタルの方が大きい。これは、塩化物イオンが泳動する経路を遮断する粗骨材の影響と考えられる。一方、BB の場合は、コンクリートの方がモルタルより D_e が大きくなった。これは、BB では粗骨材の遮断より粗骨材の界面には塩化物イオンが移動しやすいと考えられる。

3. 2 塩水浸漬供試体による見掛けの拡散係数の算出

図-4 に見掛けの拡散係数 D_a を示す。電気泳動試験と同様に高炉スラグ微粉末を混和することで見掛けの拡散係数が小さくなる。特に、電気泳動試験結果と同様に養生条件別にみると、D1 と比較して、CD7 と W28 の場合では、BA と BB の見掛けの拡散係数の差が極めて小さい。また普通セメントコンクリートよりも高炉セメントコンクリートの見掛けの拡散係数が小さいが、電気泳動試験結果のように大きな変化は見られなかった。

図-5 にコンクリートの実効拡散係数と見掛けの拡散係数の関係を示す。明らかに実効拡散係数より見掛けの拡散係数の値が大きい。電気泳動試験の場合には短期間で結果が得られるというメリットがあるが、得られた拡散係数はそのまま設計値に用いることができない。したがって、実効拡散係数を見掛けの拡散係数に変換する必要がある¹⁾。拡散係数を変換する係数として、土木学会「実効拡散係数を用いた見掛けの拡散係数計算法(案)」では、以下の式が示されている²⁾。

$$D_{ae} = k_1 \cdot k_2 \cdot D_e \quad (1)$$

ここで、 D_{ae} :実効拡散係数から変換した見掛けの拡散係数

D_e :電気泳動試験から求めた実効拡散係数

$k_1 \cdot k_2$:変換にかかわる係数

本実験の範囲内において、この係数は N の場合は約 2.3, BA は約 3.1, BB は約 4.3 となった。拡散係数を変換する係数に関する研究は少なく、今後、高炉スラグ置換率や養生条件を考慮したデータの蓄積が必要であると考えられる。

4. まとめ

電気泳動試験と塩水浸漬試験の両者の結果から、高炉スラグ微粉末の置換率が高いほど、拡散係数は小さく、塩害に対する耐久性が向上した。また、湿潤養生期間が長いほど、拡散係数は小さくなった。さらに、本実験の範囲内では、電気泳動試験から求めた実効拡散係数を塩水浸漬試験から求めた見掛けの拡散係数へ変換するための係数は、約 2.0~4.0 の値を示した。

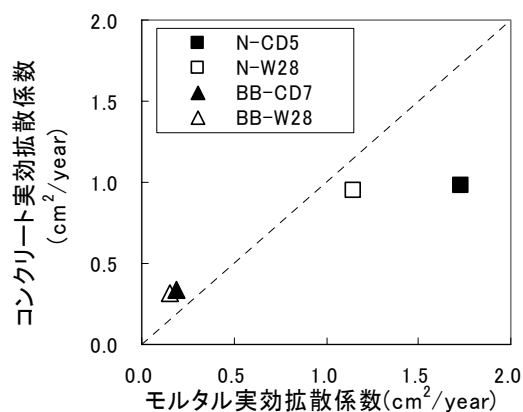


図-3 コンクリートとモルタルの実効拡散係数の関係

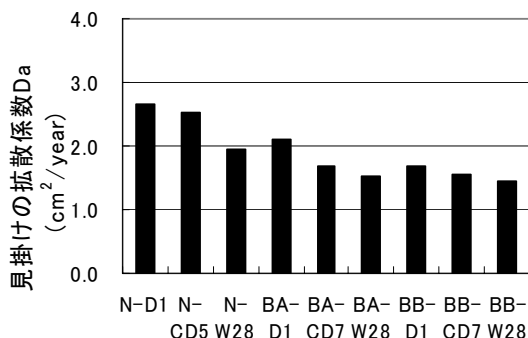


図-4 見掛けの拡散係数(コンクリート)

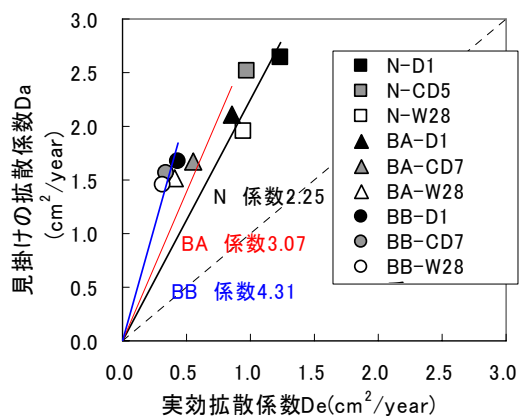


図-5 実効拡散係数と見掛けの拡散係数の関係

参考文献： 1) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書[設計編]，p.325，2008.3

2) 土木学会：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，コンクリート技術シリーズ 55，p.13，2003.9