

高炉セメントコンクリートの塩化物イオン拡散係数評価に関する考察

九州大学大学院 学生会員 ○高 鳴笛 九州大学大学院 正会員 濱田 秀則
九州大学大学院 正会員 佐川 康貴 九州大学大学院 正会員 檀 康弘
(新日鐵高炉セメント(株))

1. はじめに

高炉セメントを用いたコンクリートは、一般に塩害に対する耐久性を向上することができると言われている。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。本文では、筆者らがこれまでに異なる方法で求めてきた高炉セメントコンクリートの塩化物イオン拡散係数を横断的に比較し、長期耐久性照査に用いる塩化物イオン拡散係数値について考察を試みるものである。

2. 電気泳動試験より得られた実効拡散係数¹⁾

使用材料として、普通ポルトランドセメント(N)を使用し、高炉スラグ微粉末 4000 をセメントに対し 20%(BA), 50%(BB)質量置換した。配合における水結合材比 (W/B) は 55%である。細骨材には海砂、粗骨材には砕石 2005 を使用した。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 4 種類とした。なお、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および高炉セメントコンクリートの標準期における養生日数である。電気泳動試験は、材齢 28 日より開始し、その方法は土木学会規準 JSCE-G571 に準拠した。得られた拡散係数を図-1 に示す。

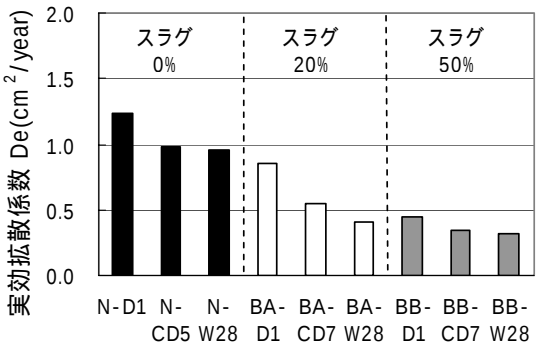


図-1 実効拡散係数 (電気泳動試験)

3. 塩水浸せき試験より得られた見掛けの拡散係数¹⁾

試験体は 2. に示したものと同一である。塩水浸せき試験は、材齢 28 日から 91 日間, NaCl 濃度 10%, 温度 20 の塩水内に浸せきした。その後、土木学会規準 JSCE-G572 に準拠し、見掛けの拡散係数を求めた。得られた拡散係数を図-2 に示す。

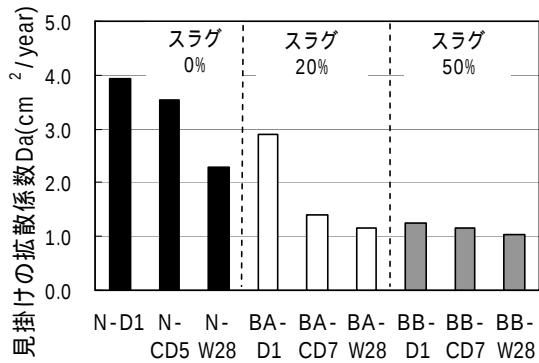


図-2 見掛けの拡散係数 (塩水浸せき試験)

4. 長期暴露試験より得られた見掛けの拡散係数^{2) 3)}

独立行政法人港湾空港技術研究所 (神奈川県横須賀市) 構内の海洋環境暴露施設において実施された試験体の長期暴露試験より見掛けの拡散係数を求めた。試験体の使用材料は、普通ポルトランドセメント (OPC), 高炉 A 種・B 種・C 種セメント (SCB), 粗骨材としての砕石、細骨材としての天然砂である。コンクリート打設後材齢 1 日で脱型し、その後材齢 28 日まで標準水中養生を行い、ただちに、海中部 (試験体が常時海水中に存在する環境) において暴露を開始した。暴露 15 年終了時および 30 年終了時に見掛けの拡散係数を求めた。得られた拡散係数を表-1 に示す。

表-1 見掛けの拡散係数 (長期暴露試験)

暴露期間	セメント種類	見掛けの拡散係数 (cm ² /年)
暴露30年時	高炉B種	0.47
暴露15年時	普通ポルト	1.45
	高炉A種	0.33
	高炉B種	0.22
	高炉C種	0.10

キーワード 電気泳動試験 塩水浸漬試験 実効拡散係数 見掛けの拡散係数
連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 TEL:092-802-3387

5. 実構造物の調査より得られた見掛けの拡散係数

高炉セメントを用いていることが確認されている既存コンクリート構造物よりコアを採取し，見掛けの拡散係数を求めた。また，中性化深さの測定も行った。調査を実施した構造物は，北九州市に位置する工場内の施設であり，海洋環境に位置する構造物である。その詳細と得られた拡散係数を表-2 に示す。

表-2 コアの採取を実施した構造物（北九州市）の詳細および見掛けの拡散係数

名称	セメント	完成 (年)	材齢 (年)	海岸距離 (m)	海面距離 (m)	見掛けの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)	中性化深さ (cm)
キルン支点	二種高炉	1958	49	340	-	0.35	0.66
岸壁	高炉B種	1955	52	0	1.5(干満帯)	0.47	0.21
岸壁	高炉B種	1955	52	0	1.8(干満帯)	0.58	1.00
岸壁	高炉B種	1955	52	0	2.1(満潮位)	0.74	0.25
岸壁	高炉B種	1955	52	0	2.4(飛沫帯)	0.13	0.13
仕切壁	普通ポルト	1955	52	2	4.0	1.44	0.01

6. 異なる試験方法により求めた拡散係数の比較

以上の異なる試験条件および試験方法により求めた拡散係数の比較を図-3 に示す。いずれの試験条件，試験方法においても，高炉スラグ微粉末を混入することによって，普通ポルトランドセメント単体の場合よりも拡散係数は小さくなった。一方，塩水浸漬試験により求めた見掛けの拡散係数は，他の方法により求めた拡散係数よりも大きな値となった。この原因として，浸漬溶液が10%という高濃度であったことも影響しているものと考えられる。図-3 に示されるように，電気泳動試験により求めた実効拡散係数は長期暴露試験および実構造物の拡散係数に近い値となった。このことから，電気泳動試験により算定した実効拡散係数を長期性能照査に用いることは可能であると思われる。また，この実効拡散係数は配合および養生の影響も明確に反映したものとなった。

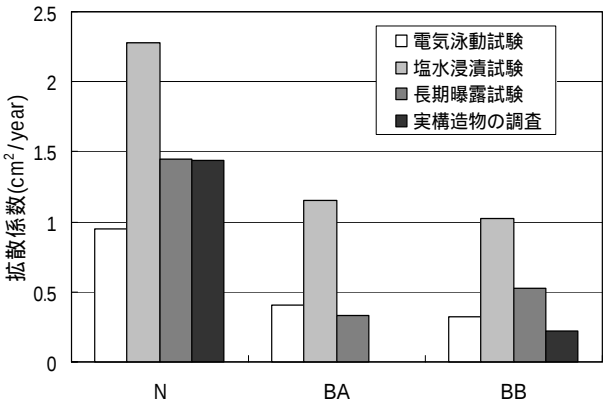


図-3 異なる試験方法により求めた拡散係数の比較

7. まとめ

- (1) 高炉スラグ微粉末の置換率が高いほど，湿润養生期間が長いほど，拡散係数は小さくなり，塩害に対する耐久性の向上が期待できる。
- (2) 長期暴露試験および実構造物調査の両者の結果は，塩水浸漬試験より電気泳動試験の方により近い結果となった。したがって，電気泳動試験により求めた実効拡散係数は高炉セメントコンクリートの塩化物イオン拡散係数評価において用いることができるものと考えられる。

参考文献

1) 高鳴笛・濱田秀則・村上英明・檀康弘・伊代田岳史：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，平成 20 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2009 年 3 月

2) 濱田秀則・Tarek Uddin Mohammed・山路徹：30 年間常時海水中に暴露されたコンクリートの諸性質について，材料，Vol.54，No.8，pp.842-849，Aug. 2005

3) H. Hamada, H. Yokota, T. Yamaji and T. U. Mohammed: Long-term exposure test of concrete materials under marine environments carried out by PARI, Proceedings of the International Workshop on Life Cycle Management of Coastal Concrete Structures, p.31-36, Nov. 2006, Nagaoka, Japan.