

電気泳動試験における硬化コンクリート中の塩化物イオン浸透深さに及ぼすセメント種類の影響

群馬大学工学部 学生会員 室伏 瞳
 群馬大学大学院 学生会員 前原 聡
 群馬大学工学部 正会員 杉山 隆文
 三陽測量株式会社 非会員 福島 美香

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化因子である塩化物イオンのコンクリートへの浸透は、使用するセメントの種類によって大きく影響を受ける。そこで本研究では、3つの異なる種類のセメントを使用したコンクリートを用いて電気泳動試験を行い、実効拡散係数を算出し、それぞれの塩化物イオン浸透性について検討した。また、電気泳動試験の試験期間を1日および3日間と限定し、塩化物イオン浸透深さを求め、各種コンクリートで比較した。

2. 実験概要

表-1 コンクリートの配合および諸性状

(1) 供試体

表-1に本研究で使用した供試体の配合および諸性状を示す。

	セメントの 種類	スランブ (mm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Cl含有量 (ppm)	混和剤*4 (C*%)	28日強度 (N/mm ²)
						W	C	S		G			
								海砂	碎石				
N61-200	N ^{*1}	75	4.5	61.1	49	173	283	359	539	932	200	0.25	36.8
N61-500		70									500		34.6
B67	BB ^{*2}	65		67.2	50	173	257	369	554	920	200		35.5
L55	LH ^{*3}	50		55	45	168	305	330	495	1005			39.5

*1 普通ポルトランドセメント *2 高炉セメント *3 低熱ポルトランドセメント *4 AE減水剤 (No.70)

セメントは高炉セメント、低熱ポルトランドセメントおよび普通ポルトランドセメントを用いた。また、各供試体における養生28日の強度発現がほぼ同一となるように配合を決定した。普通コンクリートについては、初期塩分含有量を200、500(ppm)の2水準とした。養生は湿布養生とし、28日養生、91日養生においてそれぞれ試験を行った。

各供試体を厚さ50mmに切断し、側面部をエポキシ系樹脂の塗料でコーティングした。エポキシ系樹脂が乾燥した後、ASTMC1202に準拠して減圧吸水を行い、電気泳動試験に用いた。

(2) 電気泳動試験

図-1に電気泳動試験装置の概略図を示す。試験溶液は陽極側にNaOH溶液(0.3mol/L)を、陰極側にNaCl溶液(0.51mol/L)を用いた。陽極側および陰極側の溶液は、常に同程度の濃度を保つために適宜交換をした。印加電圧は15Vの直流定電圧とし、経時的に陽極側、陰極側それぞれの温度、電流、電圧、塩化物イオン濃度、伝導率、pHを測定した。また、試験期間は1日、3日および定常状態までの3期間とした。ここでの定常状態までとは、陽極側における塩化物イオン濃度の増加割合が一定となり、また陰極側と陽極側の塩化物イオン濃度の経時変化がほぼ等しく固定化が終了したとみなせるときである。

(3) 硝酸銀噴霧(試験期間1日・3日)

図-2に硝酸銀噴霧試験の概要を示す。硝酸銀噴霧試験では1日、3日間の電気泳動試験を行った後の供試体を割裂し、割裂面に硝酸銀水溶液(0.1mol/L)を噴霧した。塩化物イオンと硝酸銀溶液が反応した部分が白くなり、噴霧した表面にフロントライン(境界線)が現れる。そこで、陰極側からフロントラインまでの距離を目視にて測定し、塩化物イオン浸透深さとした。

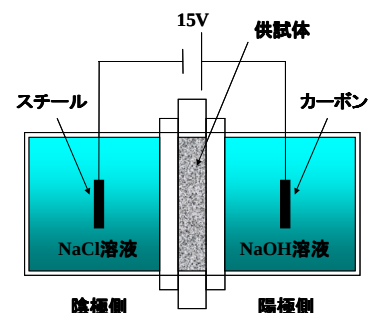


図-1 電気泳動試験の概略図

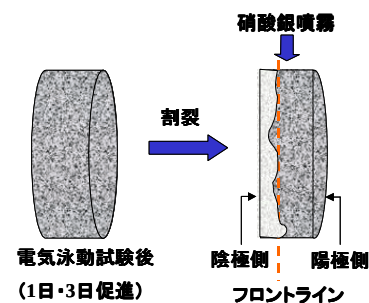


図-2 硝酸銀噴霧試験の概要

キーワード：電気泳動試験、塩化物イオン浸透深さ、高炉セメント、低熱ポルトランドセメント

連絡先：群馬県桐生市天神町 1-5-1 TEL 0277-30-1613 FAX 0277-30-1601

3. 実験結果

図-3 に陽極側の塩化物イオン濃度の経時的变化を示す。塩分浸透性は電気泳動試験によって算出された実効拡散係数で評価した。

陽極側の塩化物イオン濃度の変化割合が一定となる定常状態の時の傾きからフラックスを求め、ネルンスト - プランク式を応用した式(1)に代入して、実効拡散係数 D_e を算出した。

$$D_e = \frac{R \times T}{Z_{Cl} \times F \times \left(\frac{\Delta E - \Delta E_C}{L} \right)} \times J_{Cl} \quad (1)$$

ここで、 R : 気体定数(8.314J/(mol・K))、 T : 絶対温度(K)、 Z_{Cl} : 塩化物イオンの電荷数、 F : ファラデー定数(96500C/mol)、 $E - E_C$: 供試体表面間の測定電位(V)、 L : 供試体の厚さ(cm)、 C_{Cl} : 陰極側溶液中の塩化物イオン濃度(mol/L)、 J_{Cl} : 定常状態の流束(mol/(cm²・s))

各供試体の実効拡散係数を図-4 に、硝酸銀噴霧試験による各供試体の塩化物イオン浸透深さを図-5 に示す。

B67 の塩分浸透性に対する抵抗性は、実効拡散係数および塩化物イオン浸透深さの双方の結果より、他のセメントと比較して顕著に大きくなっている。これは、高炉セメントの使用により固定塩化物イオン量が増加し、塩化物イオンの移動に対する抵抗性が大きくなったためであると考えられる。また、養生期間の影響を大きく受けて長期間養生によって移動に対する抵抗性が大きくなった。

N 61-200、N61-500 の塩分浸透性は、実効拡散係数および塩化物イオン浸透深さの双方の結果から、顕著な差が見られなかった。これより、この程度のわずかな塩化物イオン初期含有量の違いでは塩分浸透性に顕著な違いが見られないことが分かった。また、初期塩化物イオンの影響が硝酸銀噴霧試験において見られなかった。これは、白く呈色するところに対応する塩化物イオン量が自由塩化物イオン量であると考えると、初期塩化物イオンはセメント水和物にすべて固定化されたためと考える。

L55 の塩分浸透性は、特に塩化物イオン浸透深さで養生日数の違いによる影響が大きく見られた。これは、低熱ポルトランドセメントの水和反応の進行と関係していると思われる。また、養生 28 日と 91 日を比較すると、電気泳動試験 1 日後の塩化物イオン浸透深さは 45% 低減されたのに対し、実効拡散係数は 13% 低減された。これより、塩化物イオン浸透深さと実効拡散係数の間には非線形の相関があると考えられる。

4. まとめ

養生 28 日の強度発現がほぼ同じ供試体において、塩化物イオン浸透性はセメントの種類に大きく影響を受けた。また、養生 91 日で見ると、塩化物イオン浸透性は普通ポルトランドセメントが高く、次に低熱ポルトランドセメント、高炉セメントの順に低くなった。また、塩化物イオン浸透深さと実効拡散係数の間には各セメントで固有の相関性があると考えられる。

謝辞:供試体作製にあたり太平洋セメント(株)山田一夫博士に協力して頂き感謝申し上げます。

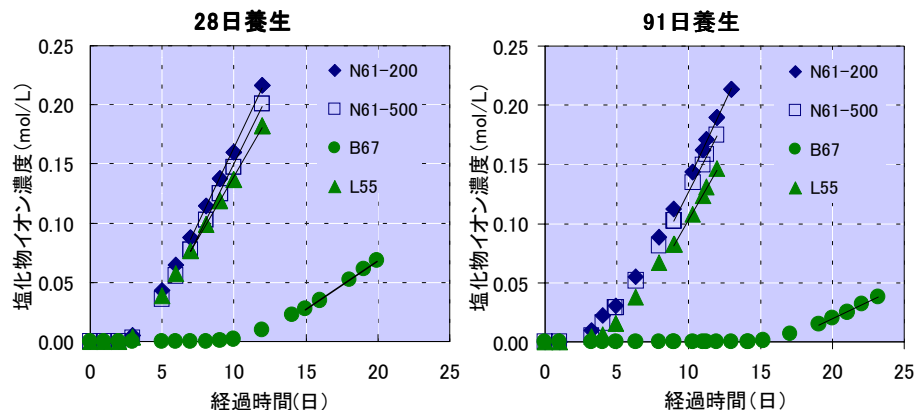


図-3 陽極側の塩化物イオン濃度の経時的变化

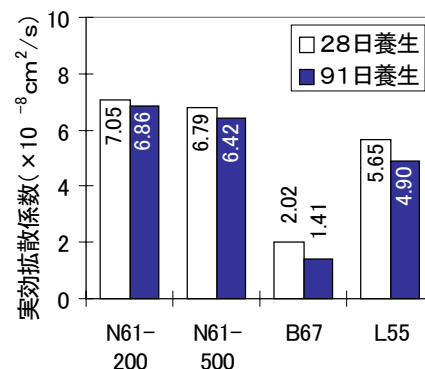


図-4 実効拡散係数

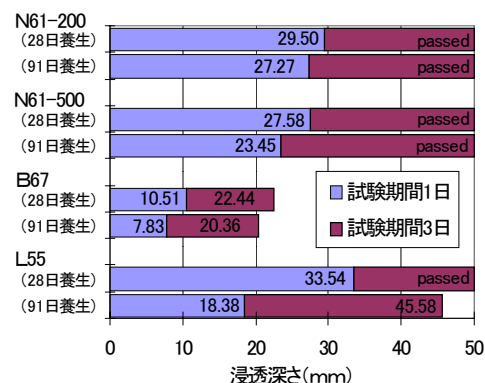


図-5 塩化物イオン浸透深さ