

塩化物イオンの電気泳動特性に影響を及ぼす諸要因に関する検討

愛媛大学大学院 学生会員 ○門屋朱里 広島県庁 非会員 吉田大貴
愛媛大学大学院 正会員 氏家勲 正会員 河合慶有

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の塩害劣化に対する耐久性の評価が急務となっている。土木学会基準¹⁾により、比較的短期間で耐久性能を評価する方法として電気泳動試験が制定されている。電気泳動によって求められる実効拡散係数は、コンクリートの細孔溶液中に存在するイオンの電気泳動のし易さを表す係数であり、潜伏期の予測に用いられる見掛けの拡散係数とは異なる。また、骨材種類や初期養生条件によって乾燥環境に曝されたコンクリートの空隙構造は変状し、電気泳動特性や拡散性状は変動すると考えられる。そこで本研究では、特に空隙構造の材齢に伴う変状に着目し、電気泳動特性に及ぼす影響を把握することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料および供試体概要

セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、 $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の円柱供試体を作製した。本研究で検討したコンクリートの配合を表 2-1 に示す。スラグ細骨材には、銅スラグ細骨材(CUS2.5)およびマンガンスラグ細骨材を使用した。また、水セメント比は 55%，細骨材率は 48%とした。なお、非鉄スラグ細骨材を用いた配合(検討①)では、砂岩骨材(A シリーズ)および安山岩骨材(B シリーズ)を用いたコンクリートにスラグ細骨材を容積比で 30%を置換し検討を行った。次に、水セメント比が 40, 50 および 65%の 3 水準とした配合(検討②)では、骨材に砂岩骨材を使用し、細骨材率は 46%とした。検討①のケースの養生方法は、1 日脱型 28 日水中養生および 3 日脱型気中養生とした。これらの供試体の試験材齢は 28 日である。また、検討②のケースの養生方法は、1 日脱型 28 日水中養生、3 日脱型気中養生および 7 日脱型気中養生とした。なお、試験材齢は 28 日、6 ヶ月および 1 年である。また、本研究で検討した骨材の物性について表 2-2 に示す。

表 2-1 配合

ケース	配合	W/C (%)	単位量 kg/m^3										単位量 g/m^3	
			W	C	S1	S2	S3	S4	S5	G1	G2	G3	AE減水剤	AE剤
検討①	A-OPC	55	175	318	851	-	-	-	-	929	-	-	3500	640
	A-MNS30		175	318	595	-	-	-	285	929	-	-	2556	1908
	A-CUS30		175	318	595	-	-	347	-	929	-	-	2864	-
	B-OPC	55	175	318	-	847	-	-	-	369	553	2864	-	
	B-MNS30		175	318	-	593	-	-	285	-	369	553	2864	-
	B-CUS30		175	318	-	593	-	347	-	369	553	2100	-	
検討②	C-OPC	40	175	438	382	-	394	-	-	912	-	-	2628	1752
		50	175	350	395	-	412	-	-	957	-	-	2800	700
		65	175	269	415	-	428	-	-	994	-	-	1614	1076

表 2-2 骨材の物性

骨材		表乾密度 (g/cm^3)	F.M.	吸水率 (%)
S1	愛媛県東温市山之内産砕砂	2.61	2.88	1.06
S2	香川県産普通寺市産安山岩砕砂	2.60	2.63	1.74
S3	福岡県北九州市東谷鉱山産石灰石砕砂	2.66	2.47	0.58
S4	銅スラグ細骨材 CUS2.5	3.55	2.29	0.04
S5	マンガンスラグ細骨材	2.91	-	0.97
G1	愛媛県東温市山之内産砕石	2.63	-	1.15
G2	香川県産普通寺市産安山岩砕石(大)	2.61	-	1.97
G3	香川県産普通寺市産安山岩砕石(小)	2.61	-	1.97

2.2 試験概要

電気泳動試験は JSCE-G 571-2007 に準じて実施し²⁾、塩化物イオンの実効拡散係数を測定した。また、細孔分布測定に使用した試料は、検討②の配合を用いて作製した。 $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の円柱供試体の打設面から 50mm の範囲から 2mm 程度の粒径を採取した。その後、水銀圧入法を用いて、初期圧を約 3kPa とし昇圧測定(1 回目 20000psia, 2 回目 60000psia)を実施し細孔分布を測定した。なお、試験は材齢 28 日および 1 年が経過した供試体から採取した試料を用いて行った。

3. 実験結果および考察

3.1 スラグ細骨材が電気泳動特性に及ぼす影響

図 3-1 より、砂岩骨材または安山岩骨材を使用したコンクリートに各スラグ細骨材を置換した供試体を用いて測定された実効拡散係数は同程度となっていることがわかる。また、OPC および各スラグ細骨材を用いた供試体で測定された実効拡散係数を比較すると、砂岩骨材において MNS30 では約 24%、CUS30 では約 2%、実効拡散係数は小さくなっている。一方、安山岩骨材においては MNS30 では約 21%、CUS30 では約 16%、実効拡散係数は小さくなっており、特にマンガンスラグ細骨材を用いることで塩化物イオンの浸透に対する抵抗性が高まると考えられる。

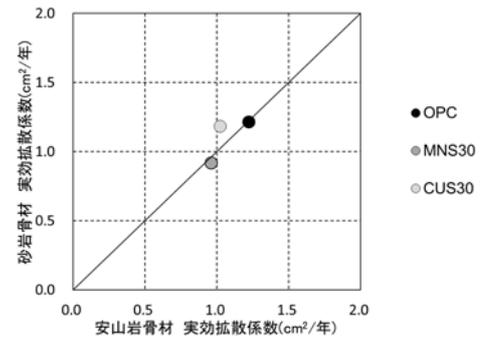


図 3-1 砂岩と安山岩の比較

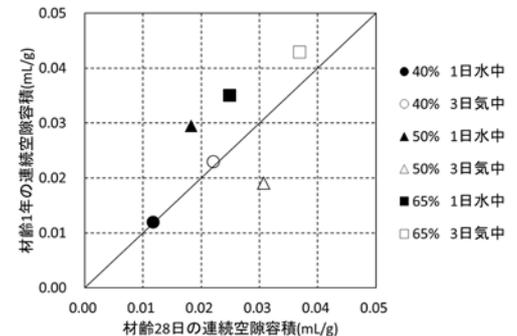


図 3-2 連続空隙容積 (砂岩)

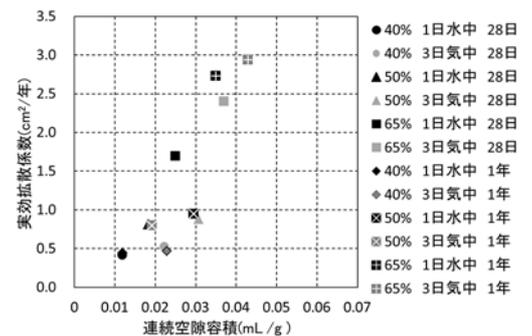


図 3-3 実効拡散係数と連続空隙容積の関係

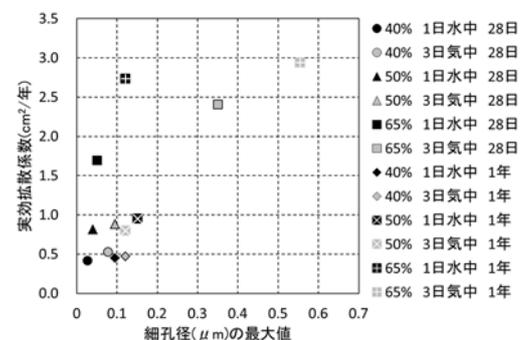


図 3-4 実効拡散係数と細孔径の最大値の関係

3.2 細孔分布測定の結果

図 3-2 に細孔分布測定の結果から算出した連続空隙容積の結果を示す。材齢が 28 日および 1 年の供試体において測定された連続空隙容積を比較すると、W/C40%では両者に差は認められない。また、気中養生とした W/C50%の結果を除いて、連続空隙容積は材齢が 1 年経過すると大きくなっている。特に、W/C65%の供試体ではいずれの養生方法においても材齢に伴い連続空隙容積は大きくなっており、物質移動抵抗性の低下が懸念される。

3.3 初期養生方法が電気泳動特性に及ぼす影響

図 3-3 に実効拡散係数と連続空隙容積の関係を示す。この図より、水セメント比が大きくなるほど実効拡散係数は大きくなることが確認できる。特に、W/C65%の供試体において実効拡散係数の値は著しく大きくなっており連続空隙容積が増大した結果と合致している。図 3-4 に、細孔分布のピークに対応する細孔径と実効拡散係数の関係を示す。この図より、気中養生を施した供試体では細孔径の増大が見られる。特に W/C65%の気中養生を施した供試体において細孔径は著しく増大し、塩化物イオンの電気泳動による移動度が大きくなる要因と推察された。

4. まとめ

非鉄スラグ細骨材を用いることで塩化物イオンの電気泳動による移動に対する抵抗性が高まることが確認された。W/C が 40～65%の砂岩供試体においては、養生方法および材齢によって連続空隙容積、あるいは空隙径が大きくなるのが塩化物イオンの実効拡散係数が大きくなる要因と推察された。

参考文献

- 委員会報告：土木学会論文集，No.767/V-64，1-9，2004.8
- 土木学会：コンクリート標準示方書【規準編】土木学会規準および関連規準，pp.277-288，2007