

## 高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの初期養生条件の違いが 塩化物イオン移動抵抗性に及ぼす影響

九州大学 学生会員 江頭 理規 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴 橋之口 剛  
オリエンタル白石(株) 正会員 脇坂 英男 大田 千尋

### 1. はじめに

高速道路の床版取替工事において、コンクリートの耐久性向上のため、高炉スラグ微粉末が混和されることが近年増加している。本研究では、コンクリートの塩化物イオン拡散係数および、それと相関があるとされている電気抵抗率<sup>1)</sup>の測定を行い、プレキャストPC床版に用いられるコンクリートと、現場打ちコンクリートの比較を行った。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料および配合

コンクリートの使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。本研究では、プレキャストコンクリート製品を想定した配合 (Fシリーズ)<sup>2)</sup>と、現場打ちコンクリートを想定した配合 (Cシリーズ)を対象とした。Fシリーズでは早強単味の配合FHとスラグ混和の配合FBを用い、Cシリーズではスラグ混和の配合CBのみを用いた。両配合ともに、セメントは早強ポルトランドセメントであり、スラグ混和の配合は、セメントの50%を高炉スラグ微粉末6000に置換したものである。

供試体はφ100×200 mmの円柱供試体とした。表-3に、各供試体の養生方法を示す。気中養生は、20°C、60%R.H.の恒温恒湿室で行い、水中養生は、20°Cのプールで行った。蒸気養生は、最高温度50~60°C、保持時間4時間とした。本研究でのマット養生とは、養生マットに水分を含ませ、供試体を包み、ビニールに入れて養生する方法を指す。

#### 2.2 電気抵抗率の測定

土木学会規準「四電極法によるコンクリートの電気抵抗率試験方法 (案) (JSCE-G 581-2018)」のB法に従い、4プローブ法 (電極間の距離50mm) の測定装置を用い、1本の供試体について、円周を3等分した点で測定を行い、平均値を求め、3本の供試体の平均を電気抵抗率の値とした。また、装置の表示値 (kΩ・cm) に3.785を乗じて、供試体の形状や電極間隔に依存しない値 (Ω・m) に変換し、考察に用いた。

#### 2.3 塩化物イオン拡散係数の測定

塩化物イオン拡散係数は、電気泳動試験 (非定常法) により求めた。土木学会規準「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法 (案) (JSCE-G 571-2003)」の装置を用い、陽極側に0.3mol/LのNaOH溶液を、陰極側に0.5mol/LのNaCl溶液を用いた。所定の期間、印加した後に供試体を割裂し、その断面に0.1mol/L硝酸銀溶液を噴霧して塩化物イオン浸透深さを求め、塩化物イオン拡散係数を算定し、考察を行った。

表-1 使用材料

材料	記号	Fシリーズ (配合FH, 配合FB)	Cシリーズ (配合CB)
水	W	地下水	地下水
結合材 B	セメント	C 早強ポルトランドセメント 密度3.14g/cm <sup>3</sup> 比表面積4,350cm <sup>2</sup> /g	早強ポルトランドセメント 密度3.14g/cm <sup>3</sup> 比表面積4,710cm <sup>2</sup> /g
	混和材	BFS 高炉スラグ微粉末6000 密度2.91g/cm <sup>3</sup> 比表面積6,010cm <sup>2</sup> /g	高炉スラグ微粉末6000 密度2.91g/cm <sup>3</sup> 比表面積5,960cm <sup>2</sup> /g
	膨張材	Ex -	膨張材 密度3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	砕砂 密度2.68g/cm <sup>3</sup> 吸水率1.06 %	砕砂 密度2.59g/cm <sup>3</sup> 吸水率1.38 %
粗骨材	G1	砕石2013 密度2.72g/cm <sup>3</sup> 吸水率0.55 %	砕石1505 密度2.68g/cm <sup>3</sup> 吸水率0.60 %
	G2	砕石2005 密度2.72g/cm <sup>3</sup> 吸水率0.57 %	砕石2010 密度2.68g/cm <sup>3</sup> 吸水率0.63 %
化学混和剤	AD1	高性能AE減水剤 標準形(1種)	高性能AE減水剤 遅延形(1種)
	AD2	AE剤(1種)	-

表-2 コンクリートの配合

配合	W/B (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								
		W	B			S	G		AD1	AD2
			C	BFS	Ex		G1	G2		
FH	36.0	155	431	-	-	746	418	627	3.15	0.086
FB	33.3	150	225	225	-	694	432	648	2.52	0.248
CB	39.0	165	201	200	22	768	382	573	2.96	-

表-3 養生方法

	養生方法	材齢			
		1日	4日	8日	28日
Fシリーズ	SW3	蒸気	水中	気中	
	SM3	蒸気	マット	気中	
	SW28	蒸気	水中		
	NW3		水中	気中	
	NW28		水中		
Cシリーズ	NM3		マット	気中	
	NM7		マット	気中	
	NW28		水中		
	ND		気中		

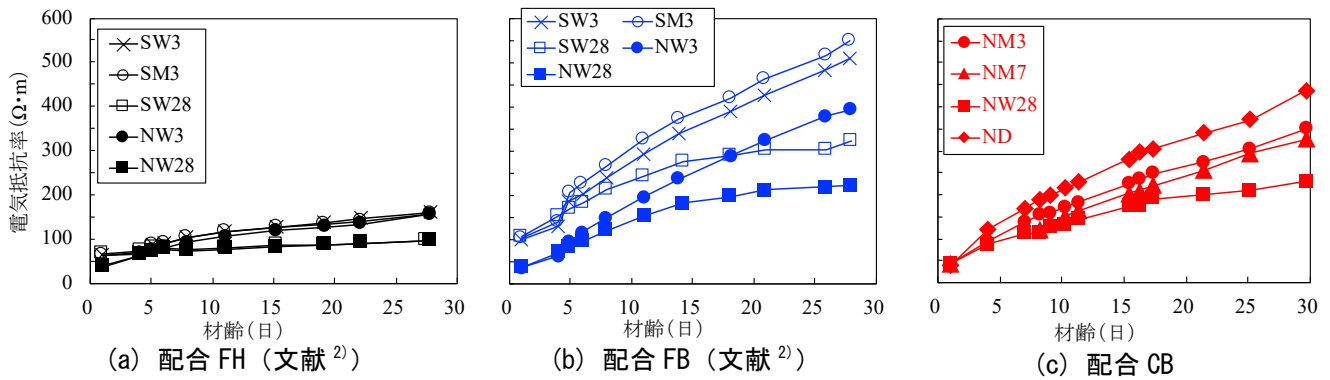


図-1 電気抵抗率の経時変化

3. 実験結果および考察

各配合の材齢約28日までの電気抵抗率の変化を図-1に示す。全体的な傾向として、材齢経過とともに電気抵抗率が増加していること、スラグを用いた方が電気抵抗率が大きくなること等が分かる。電気抵抗率は、コンクリートの使用材料の種類や配合条件のほか、含水状態にも影響を受ける。図-2は、脱型時からの供試体の質量変化量(供試体1本当たり)と材齢約28日時点における電気抵抗率との関係を示したものである。図から、質量変化がマイナス(乾燥側)にある養生条件ほど、大きな電気抵抗率となることが分かる。また、両者の関係は、スラグの有無、蒸気養生の有無によっても勾配が異なることがわかる。

図-3に電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数(非定常法)との関係を示す。図中には、主に蒸気養生を対象とした既往の研究結果<sup>3)</sup>で報告されている双曲線関数の近似式を示す。現場打ちコンクリートを想定した配合CBの拡散係数は、配合FBよりも大きくなったが、これは、配合CBの水結合材比が配合FBよりも大きいことに起因する。配合CBの拡散係数は配合FHよりも小さいことから、スラグ混和による塩化物イオンの低減効果は得られている。しかし、養生条件の影響はほとんど差が認められなかった。これは、電気泳動試験における試験面(直径100mmの切断面)に対して乾燥の影響を受けている領域が狭いことが原因として考えられる。

4. まとめ

コンクリートの電気抵抗率は、スラグの有無に関わらず、材齢の経過とともに増加し、また、湿潤養生終了後は、乾燥とともに増加率が大きくなる。現場打ちコンクリート(スラグ混和, W/B=39.0%)の塩化物イオン拡散係数は、プレキャストコンクリート製品の配合(スラグ混和, W/B=33.3%)よりも大きくなったものの、スラグ無混和のW/C=36.0%の配合よりは小さくなった。よって、現場打ちコンクリートもスラグ混和により塩分浸透抵抗性が向上すると考えられる。一方、養生条件を変化させた場合の拡散係数の評価方法については、さらなる検討が必要である。

謝辞 本研究におけるCシリーズのコンクリート採取では、西日本高速道路(株)中国支社津山高速道路事務所にご協力を得た。この場を借りて、謝意を表す。

- 参考文献
- 1) 皆川浩, 久田真, 榎原彩野, 齊藤佑貴, 市川聖芳, 井上浩男: コンクリートの電気抵抗率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係に関する基礎的研究, 土木学会論文集E, Vol.66, No.1, pp.119-131, 2010.3
  - 2) 大田千尋, 佐川康貴, 脇坂英男, 鹿田陽斗: 高炉スラグ微粉末の混和および養生条件が電気抵抗率に及ぼす影響, 土木学会西部支部研究発表会, V-009, pp.663-664, 2022.3
  - 3) 櫻庭浩樹, 小田部貴憲, 鈴木雅博, 古賀裕久: 混和材を用いて塩化物イオン浸透抵抗性を高めたコンクリートの評価指標の提案, プレストレストコンクリート, Vol.63, No.3, pp.65-72, 2021.5

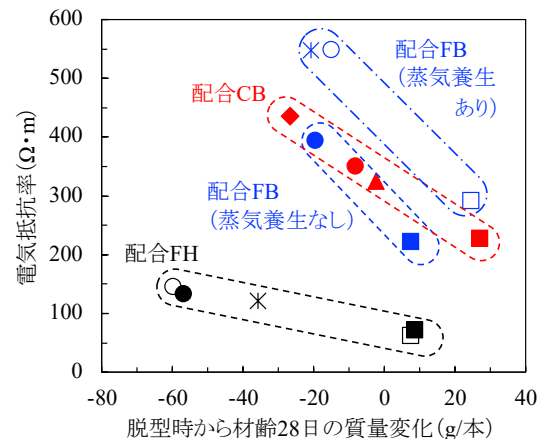


図-2 供試体の質量変化量と電気抵抗率の関係

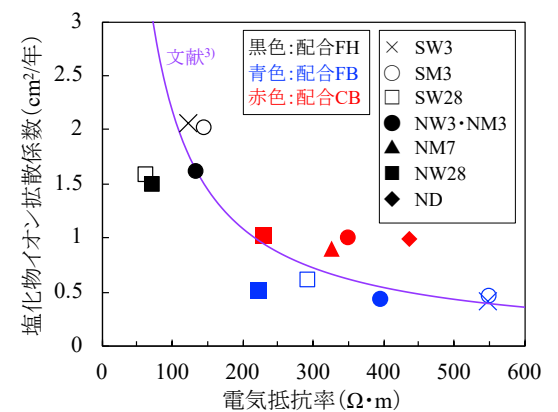


図-3 電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係