

メタカオリン含有人工ポゾラン混和コンクリートの
電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係

九州大学大学院 学生会員 ○鹿田 陽斗 正会員 佐川 康貴
正会員 山本 大介 正会員 福永 隆之
(株) 柏木興産 柏木 武春 原田 克己 八丁 一英

1. 目的

本研究で用いたメタカオリン含有人工ポゾラン（以下、MKP）は、既往の研究において、コンクリートの強度の増進や塩分浸透抵抗性の向上が確認されている^{例え}^ば¹⁾。本研究では、塩化物イオン拡散係数を簡易に推定する方法として、電気抵抗率を測定する方法の適用性について検討するため、MKP を混和したコンクリートの電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数(非定常法)との関係について調べた。

2. 使用材料・配合および強度

使用材料および配合をそれぞれ、表-1、表-2 に示す。結合材が高炉セメント B 種（以下、BB）のみの配合 BB100 と、BB の 20%（内割）を MKP とした BB80M20 の 2 配合がある。いずれも水結合材比は W/B=48.5%（呼び強度 30 N/mm²）である。練混ぜは、レディーミクストコンクリート工場の強制 2 軸練りミキサ（容量 2.75 m³）を使用して行い、2021 年 2 月末に行った。養生方法は、脱型（材齢 1 日）後、材齢 6 ヶ月まで標準水中養生したものと、気中養生（雨掛かり無し）したものの 2 種類とした。養生期間中の外気温の変化は、図-1 に示す通りであった（気象庁データ）。各配合の圧縮強度試験結果は、表-2 に併記している。MKP を 20%混和した配合の強度は、BB のみの強度とほぼ同等となった。気中養生で強度が大幅に低くなったのは、脱型直後から水分の供給が不足としたことと、初期材齢時の気温が低かったことが原因として考えられる。

表-1 使用材料

材料		記号	種類・物性値
結合材 B	セメント	BB	高炉セメントB種 密度3.04g/cm ³ , 比表面積3,760cm ² /g
	混和材	MKP	メタカオリン含有人工ポゾラン 密度2.65g/cm ³ , 比表面積10,191cm ² /g
細骨材		S	海砂 密度2.60g/cm ³ , 吸水率1.14 %
粗骨材		G	砕石2005 密度2.70g/cm ³ , 吸水率0.39 %
化学混和剤		AD	AE減水剤（標準形I種） 変性ポリオールとポリカルボン酸系化合物
水		W	上水道水・上澄水

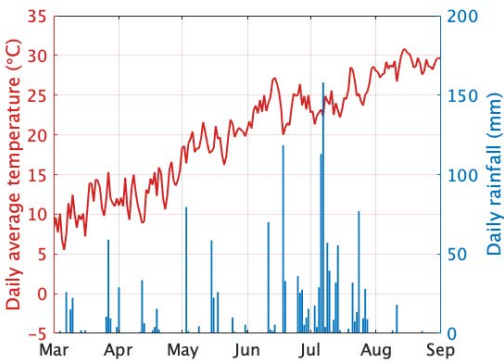


図-1 外気温の変化

表-2 コンクリートの配合および強度

配合	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)			
			水 W	結合材 B		細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD			水中養生		気中養生	
				セメント BB	混和材 MKP						1ヶ月	6ヶ月	1ヶ月	6ヶ月
BB100	48.5	44.1	164	338	-	780	1026	3.210	12.0	5.0	41.1	49.4	22.3	26.8
BB80M20		43.8		270	68	770	1026	3.210	13.0	4.9	41.3	49.3	22.7	25.4

3. 塩化物イオン拡散係数

塩化物イオンの拡散係数を算出する方法のうち、土木研究所により提案されている方法²⁾（以下、非定常法）を適用し、試験を行った。定常法（土木学会規準 JSCE-G 571-2013「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」）と同様に、円柱供試体（φ 100×200 mm）の中央部から厚さ 50 mm の円盤状試験片を各配合につき、3 個ずつ採取した。印加する電圧は、電極間で 30V とした。

キーワード 混和材, メタカオリン含有人工ポゾラン, 塩化物イオン, 拡散係数, 電気抵抗率

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻

通電開始後、所定の時間にてそれぞれ1体ずつセルを解体し、供試体を割裂させた後、割裂断面に0.1規定硝酸銀溶液を噴霧した。白色に変色した部位を塩化物イオン浸透領域としてノギスで浸透深さを計測し、通電時間と塩化物イオン浸透深さとの関係を図-2に示すように求めた。近似直線の勾配は、後述の係数 k に相当する。非定常法による塩化物イオン拡散係数 D (cm²/year)は、以下の式(1)を用いて求めた。

$$D = k \cdot \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \frac{L}{\Delta \phi} \quad (1)$$

ここで、 k ：通電時間と塩化物イオン浸透深さの関係より求まる移動速度、 R ：気体定数 (8.31 J/(mol・K))、 F ：ファラデー定数 (96,500 C/mol)、 T ：絶対温度、 L ：試験体厚さ (mm)、 z ：価数、 $\Delta \phi$ ：試験体に印加された電圧 (V)。

非定常法による塩化物イオン拡散係数を比較した結果、図-3に示すように、MKP混和による拡散係数の低減効果が認められた。BB80M20の気中養生1ヶ月が最も大きく、MKPによる低減効果が認められないことから、MKPのポズラン反応には材齢初期の十分な湿潤養生が必要と考えられる。

4. 電気抵抗率

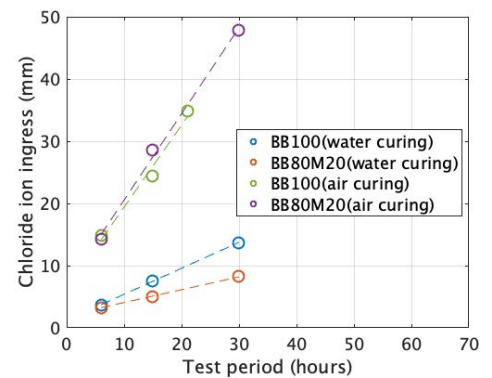
コンクリートの電気抵抗率は塩化物イオン拡散係数と関係があり、非破壊で簡便な方法により塩化物イオン拡散係数を推定できる可能性があることが知られている。一般的に、電気抵抗率の値が高い方が、コンクリート中の空隙量が少なく、物質透過性が低い(物質を通しにくい)ことを表す。本研究では、JSCE-G 581-2018「四電極法によるコンクリートの電気抵抗率試験方法(案)」のB法に準じて、電気抵抗率 ρ (Ω・m)を求めた。供試体(φ100×200mm円柱)の含水率の影響を取り除くため、測定前に、真空中で飽水处理(24時間)した後、測定を行った。1本の円柱供試体に対して3箇所測定し、3本の円柱供試体の平均値を用いた。

図-4に、電気抵抗率の逆数(電気伝導率)と塩化物イオン拡散係数との関係を示す。図中にはBB80M20の気中養生1ヶ月の結果を除いた値から求めた近似直線を示しているが、高い相関関係があることが分かる。よって、電気伝導率または電気抵抗率を用いてコンクリートの塩化物イオン拡散係数を推定できると考えられる。

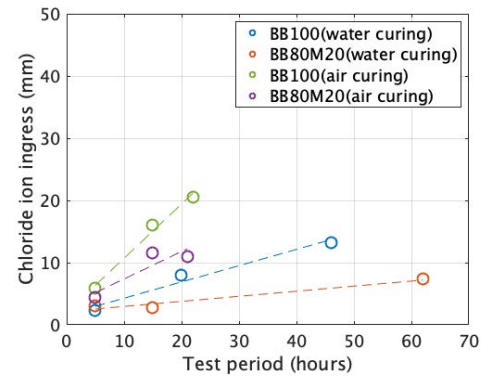
5. まとめ

メタカオリン含有人工ポズランを混和材として用いた場合、コンクリートの塩化物イオン拡散係数を低減できること、また、電気抵抗率あるいは電気伝導率と非定常法による塩化物イオン拡散係数との間には、高い相関関係があることが明らかとなった。

- 参考文献 1) 佐川康貴, Zhang Yichen, 山本大介, 柏木武春：メタカオリン含有人工ポズランを用いたコンクリートの養生条件が強度および塩化物イオン拡散係数に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.71-76, 2020
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規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, No.55, 2003



(a) 材齢 1 ヶ月



(b) 材齢 6 ヶ月

図-2 塩化物イオン浸透深さ

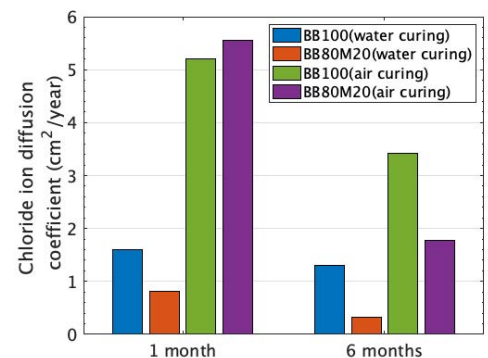


図-3 拡散係数算出結果

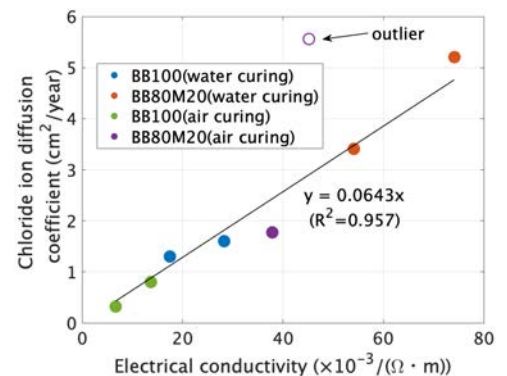


図-4 電気伝導率と拡散係数の関係