

メタカオリン含有人工ポゾラン混和コンクリートの 細孔容積および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 福永 隆之
大分工業高等専門学校 正会員 山本 大介
(株)柏木興産 柏木 武春 正会員 八丁 一英

1. はじめに

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、既往の研究で、コンクリートの強度増進や塩分浸透抵抗性の向上に効果があることが確認されている¹⁾。本研究は、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、既往の研究²⁾に養生期間1年の結果を加え、MKPを混和したコンクリートの細孔構造、電気抵抗率および塩化物イオン拡散係数（非定常法）の関係について考察を行ったものである。

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。練混ぜは、強制2軸練りミキサを使用し、2020年2月末に行った。養生方法は、脱型（材齢1日）後、試験材齢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。なお、各配合の圧縮強度試験結果は、表-2に併記している。強度に関して、BB80M20は、BB100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、脱型直後から水分供給の不足や、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	碎石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

表-2 コンクリートの配合および強度

配合	W/B (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)						スラ ンプ (cm)	空気 量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)					
			W	結合材 B		S	G	AD			水中養生			気中養生		
				BB	MKP						1ヶ月	6ヶ月	12ヶ月	1ヶ月	6ヶ月	12ヶ月
BB100	48.5	44.1	164	338	-	780	1026	3.210	12.0	5.0	41.1	49.4	52.3	22.3	26.8	29.3
BB80M20		43.8		270	68	770	1026	3.210	13.0	4.9	41.3	49.3	52.2	22.7	25.4	25.6

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³⁾（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（φ100×200 mm）の中央部から厚さ50 mmの円盤状試験片を各配合3個ずつ採取した。印加する電圧は、電極間で30Vとした。

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、供試体を割裂後、割裂断面に0.1規定硝酸銀溶液を噴霧した。白色に呈色した部位を塩化物イオン浸透深さとしてノギスで計測し、通電時間と塩化物イオン浸透深さとの関係を求めた。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-1 に示すように、水中養生の場合、MKP 混和による拡散係数の低減効果が認められた。一方で空中養生の場合、BB80M20 は BB100 と同程度となり 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と、コンクリート中の空隙量が少なく、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 ($\Omega \cdot m$) を求めた。 $\phi 100 \times 200mm$ 円柱供試体の含水率の影響を取り除くため、真空で 24 時間飽水処理後に測定した。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-2 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。電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の間には相関があることが確認できた。しかし、空中養生では相関が弱い結果となった。常に水中養生を施した場合は、材齢が長期となった場合でも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. 細孔構造

細孔径分布の測定は、所定の材齢時に $\phi 100 \times 200mm$ の円柱供試体中央部から採取した。5mm 角程度にカットし、アセトン浸漬によって水和停止した試験片に対して、水銀圧入式ポロシメーター (測定範囲 5.5nm~175 μm) を用いて行った。図-3 に総細孔容積 (5.5nm~175 μm) に対する 50nm~2 μm の細孔容積の割合 (%) と塩化物イオン拡散係数の関係を示す。図-2 の電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係とは異なり、空中養生でも相関関係を有することが確認できた。本研究の範囲内では、塩化物イオン拡散係数は電気抵抗率よりも細孔構造との相関が高い結果となった。

6. まとめ

MKP を混和材とした場合、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、電気抵抗率と非定常法による塩化物イオン拡散係数との間には、相関関係があることが確認できたが、空中養生ではその関係にばらつきが生じた。一方で、細孔容積と拡散係数との関係を求めた結果、空中養生の場合を含めても相関関係が高い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) 鹿田陽斗, 佐川康貴, 山本大介, 福永隆之, 柏木武春, 原田克己, 八丁一英: メタカオリン含有人工ポズ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, 土木学会第 76 回年次学術講演会, V-26, 2021
3) 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

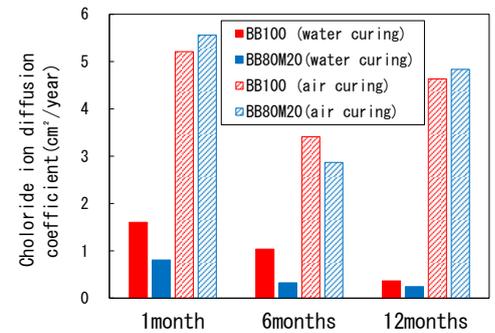


図-1 拡散係数算出結果

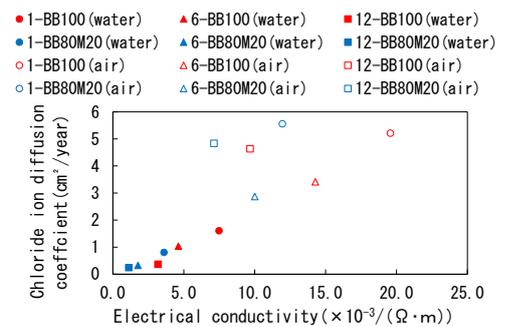


図-2 電気伝導率と拡散係数の関係

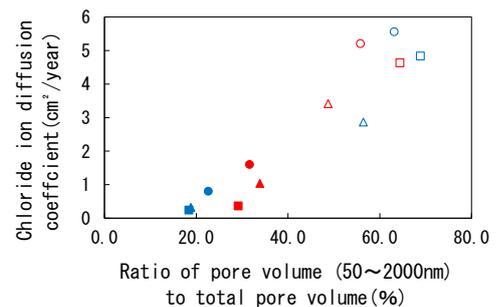


図-3 細孔容積割合と拡散係数の関係