

メタカオリンを使用したモルタルの塩化物イオンに対する浸透抑制効果

太平洋セメント（株） 正会員 ○黒野 承太郎 正会員 安田 瑛紀
正会員 河野 克哉

1. はじめに

メタカオリンとはカオリンと呼ばれる積層鉱物を焼成・粉砕して得られる粉体状のポゾラン材であり、コンクリートに混和することで遮塩性が向上すると報告されている。本検討では、ポゾラン材としてメタカオリンのみを使用、あるいはメタカオリンとシリカフュームを併用したモルタルの遮塩性について、塩化物イオン浸透性試験ならびに細孔径分布試験の結果から考察した。

2. 試験概要

2. 1 使用材料ならびに配合

セメントとして普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³), 混和材としてメタカオリン(密度 2.64g/cm³, 以下 MK)ならびにシリカフューム(密度 2.25g/cm³, 以下 SF)を用いた。また、細骨材として山砂を、混和剤としてポリカルボン酸系高性能減水剤(以下 SP)ならびに消泡剤(以下 DF)を水(以下 W)に対して内割置換として用いた。

試験水準ならびに混和剤添加量を表-1 に示す。水準名における数値は結合材(以下 B)に対する混和材置換率を表す。本検討では、B の一部を MK で置換した 2 水準(MK-5, MK-20)に加えて、MK および SF を併用して置換した 1 水準(MK-10+SF-10)の計 3 水準を用意した。なお、モルタルの配合は単位水量 268kg/m³, 水結合材比 40%, 結合材に対する細骨材質量比を 2.0 とした。SP 添加量は JIS R 5201 に準拠した 15 打のフロー値が 180±20mm となるよう調整し、DF 添加量は JIS A 1128 に準拠した空気室圧力法による空気量が 4.0±1.5%となるよう調整した。混和材、特に MK の置換により流動性が低下するため、SP 添加量を増加させることで調整した。

2. 2 試験項目ならびに試験方法

圧縮強度、塩化物イオン浸透性および細孔径分布の試験を実施した。圧縮強度試験は寸法 φ5×10cm の供試体を使用し、材齢 1 日で脱型後、材齢 28 日ならびに 91

表-1 試験水準ならびに混和剤添加量

水準名	W/B (%)	混和材置換率 (B×%)		混和剤添加量 (B×%)	
		MK	SF	SP	DF
MK-5	40	5	-	0.30	0.4
MK-20	40	20	-	1.20	0.1
MK-10+SF-10	40	10	10	0.75	0.1

日まで水中養生(20°C)とし、JIS A 1108 に準拠して実施した。

塩化物イオン浸透性試験は、寸法 φ5×5cm の供試体を用いて JSCE-G 572 を参考に実施した。練混ぜ時の注水から 3 時間後に蒸気養生(最高温度 65°C, 保持時間 3 時間)を行い、材齢 1 日で脱型した。その後、材齢 91 日まで気中養生(20°C, R.H.60%)とした。気中養生が完了した後にエポキシ樹脂塗料で一方の円断面以外を被覆し、材齢 91 日から 10% NaCl 水溶液に浸漬した。浸漬 8 ヶ月後に JSCE-G 574 に準拠して EPMA による面分析を実施し、JSCE-G 572 の(1)式ならびに Hastings の近似式である(2)式²⁾を用いて、塩化物イオンの見掛けの拡散係数を算出した。

$$C(x, t) = C_{a0} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \right\} + C_i \quad (1)$$

$$\operatorname{erf}(s) \cong 1 - \frac{1}{(1 + a_1 s + a_2 s^2)^{16}} \quad (2)$$

ただし $s \geq 0$

ここで、 x : 暴露面から全塩化物イオンを測定した箇所までの距離(cm), t : 浸漬期間(年), $C(x, t)$: 距離 x (cm), 供用期間 t (年) において測定されたコンクリート単位質量当たりの全塩化物イオン(%), C_{a0} : 浸漬試験によるコンクリート表面の全塩化物イオン(%), C_i : 初期に含有されるコンクリート単位質量当たりの全塩化物イオン(%), D_{ap} : 浸漬試験による塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm²/年), erf : 誤差関数, a_1 : 0.0705230784, a_2 : 0.0422820123

細孔径分布試験には、前述した面分析用の供試体と同じ養生条件ならびに材齢とした寸法 φ5×5cm の供試体から中央部を採取し、約 5mm 角の正方形に調製した

キーワード メタカオリン, シリカフューム, EPMA, 見掛けの拡散係数, 細孔径分布

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント（株）中央研究所 TEL 043-498-3893

表-2 各試験の結果一覧

水準名	圧縮強度 (N/mm ²)		拡散係数 D_{ap} (cm ² /年)	硬化体中の 空隙率(%)		
	28日	91日		~50nm	50nm~	合計
MK-5	80.2	82.7	0.970	4.1	6.5	10.6
MK-20	76.3	86.5	0.082	13.2	3.3	16.5
MK-10 +SF-10	73.7	81.9	0.119	12.0	3.9	15.9

試料を使用した。細孔径分布の測定には水銀圧入式ポロシメータを用いた。

3. 試験結果

本試験で得られた試験結果を表-2にまとめて示す。

3. 1 圧縮強度

表-2によると、材齢91日におけるMK-20ならびにMK-10+SF-10の圧縮強度は、セメントに対する混和材置換率が最も小さいMK-5と同程度であった。

3. 2 塩化物イオン浸透性

塩化物イオンの見掛けの拡散係数が最も高くなったMK-5と最も低くなったMK-20それぞれの塩化物イオン濃度の測定値ならびに計算結果を図-1、図-2に示す。図中の測定値とは面分析により得られた試験値である。採用値とは、試料調製や塩化物イオンの濃縮の影響を受ける表層の影響を除去するため、測定値のうち塩化物イオン濃度が最大となった深さで深の値とした。計算値とは採用値を最小二乗法により回帰分析することで得られた値である。塩化物イオンの見掛けの拡散係数について、MK-20はMK-5と比較して91%減少した。

3. 3 細孔径分布

得られた細孔径分布を空隙径毎の硬化体中の空隙率として整理した結果を図-3に示す。すべての空隙径を足し合わせた空隙率はMK-5よりもMK-20ならびにMK-10+SF-10が約6%増加し、セメントに対する混和材置換率が增加することで、硬化体中の全空隙率が増加した。径50nm以上の空隙は強度低下につながるものが報告されており³⁾、MK-5と比較して、MK-20ならびにMK-10+SF-10は径50nm以下の強度に関与しない微細な空隙が約9%増加した。MK-20ならびにMK-10+SF-10では、このように微細空隙が硬化体を緻密にしたことで、塩化物イオンの見掛けの拡散係数の減少に寄与したと考えられる。実際、圧縮強度試験と細孔径分布試験における養生条件ならびに材齢の違いは無視できないものの、MK-5と比較して、MK-20およびMK-10+SF-10の材齢91日での圧縮強度は同程度であった。

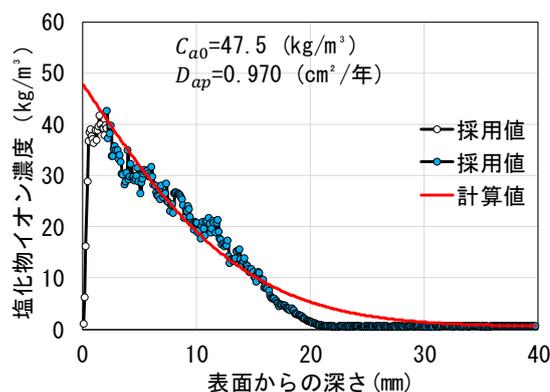


図-1 塩化物イオン浸透性試験の結果 (MK-5)

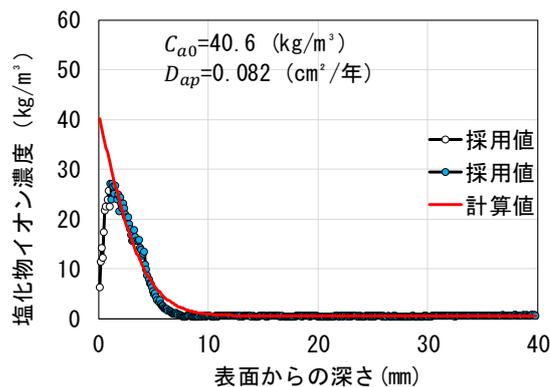


図-2 塩化物イオン浸透性試験の結果 (MK-20)

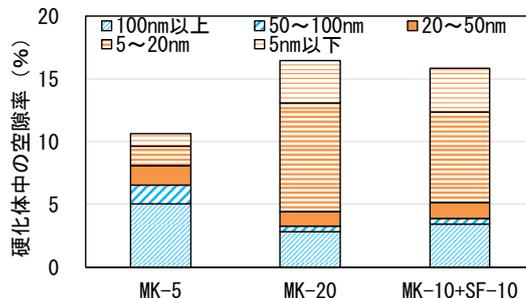


図-3 空隙径毎の硬化体中の空隙率

4. まとめ.

セメントに対してメタカオリンもしくはメタカオリンとシリカフェームで置換したモルタルの遮塩性を検討した。その結果、メタカオリン置換率が5%から20%に増加すると、強度に影響しない径50nm以下の微細空隙が増加し、硬化体が緻密になったことで塩化物イオンの見掛けの拡散係数が9割ほど減少し、高い遮塩性を示した。

【参考文献】

- 1) 梅山寛崇ほか: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塩分浸透抵抗性に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会, 2015
- 2) 土木学会鋼橋構造委員会鋼橋補版の調査研究小委員会:道路橋補版の新技术と性能照査型設計, p.307, 2000
- 3) 羽原俊祐, 沢木大介:硬化コンクリートの空隙構造とその物性, 無機マテリアル学会, 石膏と石灰, No.240, 1992