

空隙径分布に基づいたフライアッシュ混合モルタルの Cl^- 拡散係数に関する実験的検討

(財)電力中央研究所 正会員 ○西田孝弘 山本武志 蔵重勲
(株)セレス 正会員 久松信太郎

1. はじめに

現在、石炭火力発電所から発生するフライアッシュ（以下 FA）の有効利用に関する検討が広く進められており、コンクリート用混和材としての利用拡大を目途とした指針の整備が進められている¹⁾。これまで、FA を混合した硬化体の強度やフレッシュ性状に関する検討事例は数多く存在している²⁾。また、FA を混合することにより、硬化体への塩化物イオン（以下 Cl^- ）拡散係数を低減できることが報告されている²⁾。しかしながら、上記の Cl^- 拡散係数低減効果のメカニズムに関しては、必ずしも明らかとなっていないのが現状である。そこで、本研究では、上記に関連して、FA 置換率（以下置換率）および養生温度をパラメータとし、空隙径分布が FA 混合モルタルの Cl^- 拡散係数に及ぼす影響を実験的に評価することを目的とした。

2. 実験概要

モルタルは JIS R 5201 で規定された配合 ($W/C=0.5$, $S/C=3.0$) を基本とし、FA を含まない場合のみ $W/C=0.7$ のモルタル ($S/C=3.7$) も作製した。セメントは低熱ポルトランドセメント（密度 3.22g/cm^3 、比表面積 $3540\text{cm}^2/\text{g}$ ）とし、細骨材は JIS 標準砂とした。表-1 に使用した FA の物性を示す。本研究では、2 種類の FA（Ⅱ種）を使用した。ここで、FA を混合したモルタル中の空隙径分布を変化させるため、置換率（セメント置換：0, 15, 25, 40%）及び養生温度（20, 50℃）をパラメータとした。養生は 6 か月の水中養生とした。評価項目は Cl^- 拡散係数及び空隙径分布とし、それぞれ以下に示すように行った。

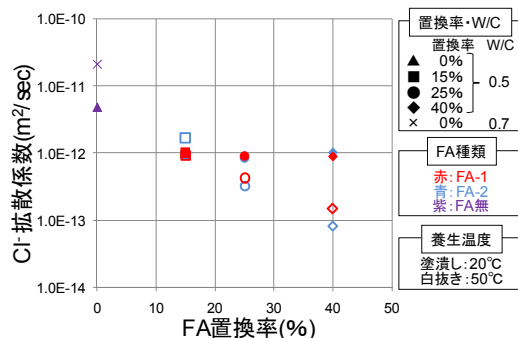
モルタルの拡散係数を把握するため、所定の養生が終了したモルタルから $20\times 20\times 5\text{mm}$ の試験片を切出し、エポキシ樹脂により円盤型に成型した試料を真空脱気により飽水状態にした後、拡散セル試験を実施した。この際、供給側セルには 0.5mol/l の NaCl 水溶液を、検出側セルには飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液をそれぞれ封入した。試験結果は、検出側セルの濃度変化と時間の関係が定常となったとき（試験期間：1 か月～6 か月）の傾きを Cl^- の濃度変化速度とし、Fick の拡散則に基づき Cl^- 拡散係数を算出した。また、拡散試験後の供試体から採取した試料の空隙径分布（空隙径範囲： $0.0033\sim 360\mu\text{m}$ ）を水銀圧入式ポロシメータ（以下ポロシメータ）により測定した。測定には、3mm 程度に粉碎したモルタル片を D-dry 乾燥した試料を用いた。

表-1 FA の物性

試料名	ブレン値 (cm^2/g)	密度 (g/cm^3)	強熱 減量 (%)	活性度指数 (%)	
				28 日	91 日
FA-1	4030	2.33	1.5	80	97
FA-2	3570	2.13	2.5	84	96

3. 置換率及び養生温度が Cl^- 拡散係数に及ぼす影響

図-1 に養生温度を変化させた場合の Cl^- 拡散係数と置換率の関係を示す。これより、養生温度が 20℃ の場合、FA を混合することにより Cl^- 拡散係数は低減するが、置換率の違いが Cl^- 拡散係数に及ぼす影響は小さいことが確認された。一方、養生温度が 50℃ の場合、FA を混合することにより Cl^- 拡散係数は低減し、かつ置換率の増加に伴い Cl^- 拡散係数は低減することが確認された。また、FA 種類に着目すると、養生温度が 20℃ の場合、FA 種類による大きな相違は確認されないが、50℃ の場合、FA 種類により拡散係数が異なることが確認された。これは、養生温度が 50℃ の場合のポゾラン反応が FA 種類により異なり、その結果 Cl^- 拡散係数に相違が生じたと考えられた。

図-1 Cl^- 拡散係数と FA 置換率の関係

キーワード フライアッシュ, Cl^- 拡散係数, モルタル, 空隙径分布, 養生温度, 置換率
連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 TEL 04-7182-1181

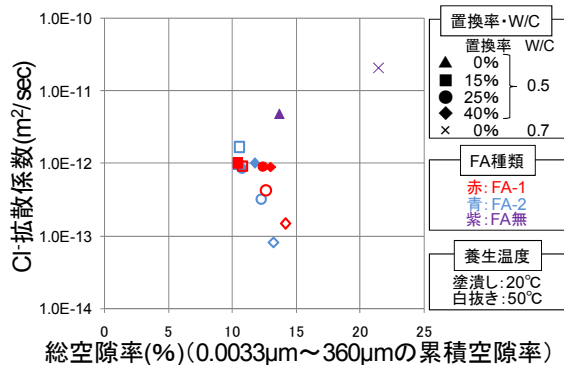


図-2 Cl⁻ 拡散係数と拡散試験後の総空隙率の関係

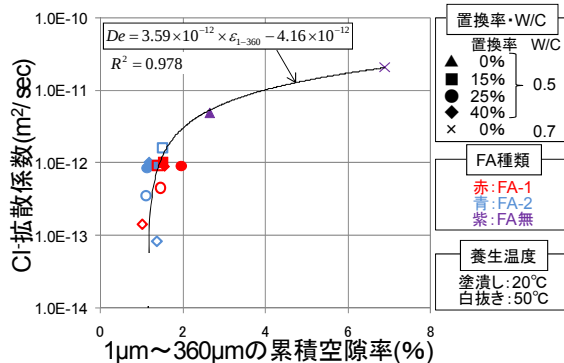


図-4 Cl⁻ 拡散係数と 1~360 μm の累積空隙率の関係

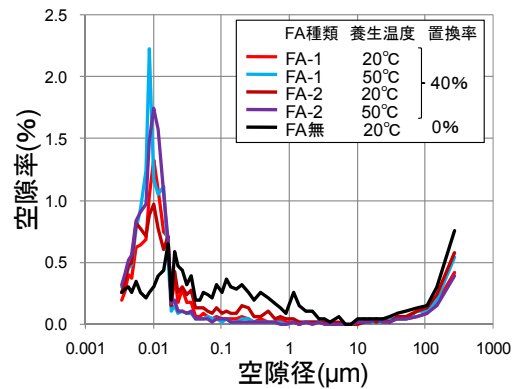


図-3 拡散試験後の空隙径分布 (W/C:0.5)

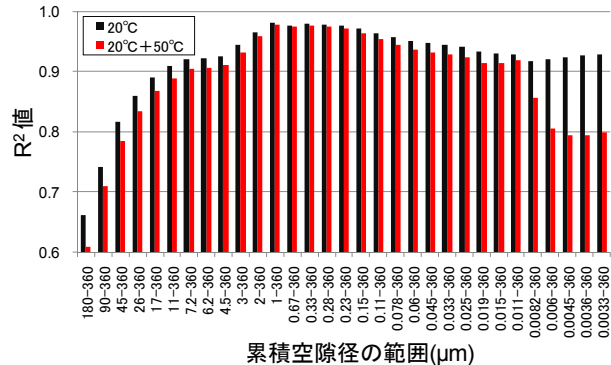


図-5 R² 値と累積空隙率の範囲の関係

4. 空隙径分布に基づいた Cl⁻ 拡散係数の評価

図-2 に Cl⁻ 拡散係数と拡散試験後のモルタルの総空隙率 (0.0033~360 μm) の関係を示す. これより, 養生温度が 20°C の場合にのみ着目すると Cl⁻ 拡散係数と総空隙率の間に正の相関性が確認された. 一方, 養生温度が 50°C で高置換率の場合, 20°C の場合と比較して総空隙率が上昇するが, Cl⁻ 拡散係数が低減する現象が確認された. また, 拡散試験後のモルタルの空隙径分布に関しては, 図-3 に示すように, 置換率が 0% で養生温度が 20°C の場合, 置換率が 40% で養生温度が 20°C の場合, 置換率が 40% で養生温度が 50°C の場合となるほど数十 nm 以上の空隙が減少し, 数十 nm 以下の空隙が増加することが確認された.

これに関して, Cl⁻ 拡散係数とポロシメータから得られる特定の空隙径から 360 μm までの累積空隙率の関係を検討した. 図-4 に一例として, Cl⁻ 拡散係数と 1 μm から 360 μm の累積空隙率の関係を示す. ここでは, 既往の文献³⁾の関係式を参照し, 拡散係数と累積空隙率の関係を線形近似した. 図-5 に上記の関係を各空隙径の範囲で整理し, R² 値 (決定係数) を求めた結果を示す. なお, 図中には養生温度が 20°C の場合及び 20°C と 50°C の場合を示している. これより, 何れの場合も, Cl⁻ 拡散係数と空隙径の範囲が 0.23~360 μm の範囲から 1~360 μm の範囲の累積空隙率の関係において R² 値が高く, これより小さい空隙を考慮した場合, R² 値が減少することが確認され, 数百 nm 以上の空隙がモルタルの Cl⁻ 拡散係数に及ぼす影響が大きいことが推察された.

5. おわりに

本研究では, フライアッシュ置換率および養生温度をパラメータとし, 空隙径分布がフライアッシュ混合モルタルの Cl⁻ 拡散係数に及ぼす影響を実験的に把握した. その結果, Cl⁻ 拡散係数と水銀圧入式ポロシメータから得られる空隙径が 0.23~360 μm の範囲から 1~360 μm の範囲の累積空隙率の関係において R² 値が高く, 数百 nm 以上の空隙がモルタルの Cl⁻ 拡散係数に及ぼす影響が大きいことが推察された.

参考文献:

- 1) 土木学会, フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案), コンクリートライブラリー94, 1999.
- 2) 土木学会, 混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会(333 委員会)報告書ならびにシンポジウム講演概要集, コンクリート技術シリーズ 40, 2007.
- 3) Atkinson, A., Nickerson, A.K., The Diffusion of Ions through Water-saturated Cement, Journal of Material Science, Vol. 19, pp. 3068-3078, 1984.