

フライアッシュの混和による ASR 膨張抑制メカニズムに関する検討

徳島大学 学生会員 ○畑井理実

徳島大学 正会員 上田隆雄

戸田建設 正会員 田中慎吾

電気化学工業(株) 正会員 七澤 章

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の早期劣化事例が多数報告されている。コンクリート構造物の早期劣化現象には様々な現象があるが、対策が困難な劣化現象の一つにアルカリシリカ反応(ASR)による劣化が挙げられる。近年では化学法により無害と判定された骨材を使用した場合でも ASR 発生の危険性がある。セメントの一部代替としてフライアッシュを混和した場合、コンクリートの ASR 膨張が抑制できることが既往の検討から確認されている。しかし、膨張の抑制が可能な条件や、抑制メカニズムについては不明な点が多いのが現状である。そこで本研究では、品質の異なる 2 種類のフライアッシュ(以下、FA)を対象として、モルタル供試体を作成し、高圧抽出された細孔溶液中のイオン濃度の経時変化や、反応性骨材の有無による細孔溶液の組成変化を測定することで、ASR 膨張抑制のメカニズムについて考察した。

2. 実験概要

作製した供試体の配合および内訳を表-1 に示す。本検討では、 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ のモルタル円柱供試体とし、全アルカリ量が 8.0kg/m^3 となるように練り混ぜ時に NaCl を混入、FA 置換率はセメント代替で 0、15、30% の体積置換とした。また、反応性骨材のみの配合と非反応性骨材を混入した配合の 2 種類について検討を行った。

モルタル供試体は、28 日間および 120 日間の 2 期間の封緘養生を行った。材齢 120 日の供試体は、28 日の養生後 ASR 促進環境として 40°C 湿温室内で静置した。のち高圧抽出法による細孔溶液の抽出を行い、細孔溶液中の Cl^- 濃度、 OH^- 濃度および Na^+ 濃度をそれぞれイオンクロマト法、直接滴定法、原子吸光光度計(炎光法)により測定を行った。粉碎試料は、粗砕した試料を真空状態でアセトンにより水和停止した後、 0.15mm 以下になるようにミキサーで粉碎し、 80°C 乾燥炉で一昼夜乾燥させた。これを用いて、熱分析(TG-DTA 法)によるモルタル供試体中の結合水量と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含有量の分析、水銀圧入法による細孔径分布の測定を行った。

表 - 1 供試体配合および内訳

供試体No.	R ₂ O量(kg/m ³)	FA置換率(%)	配合								供試体本数		
			W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)								
					W	C	S	FA	NaCl	WRA	AEA	細孔溶液抽出用	粉碎試料作成用
N-0	8.0(非反応性骨材のみ)	0	60	46	291	485	1312	—	12	0.3	0.02	4	2
N-15		15			291	412	1312	53	12.4	0.3	0.02	4	2
N-30		30			291	339	1312	106	12.9	0.3	0.02	4	2
R-0	8.0(反応性骨材含有)	0			291	485	1312	—	12	0.3	0.02	4	2
R-15		15			291	412	1312	53	12.4	0.3	0.02	4	2
R-30		30			291	339	1312	106	12.9	0.3	0.02	4	2

3. 細孔径分布測定

材齢 28 日および 120 日の反応性骨材含有モルタル供試体中の累計細孔量を図-1 に、細孔径分布の測定結果を図-2、図-3 に示す。図-1 より、材齢 28 日では FA 置換率 30% が、置換率 0% に比べて累計細孔量が増加する結果が得られた。これは、単位セメント量が減少したことで、セメント水和反応生成物が減少したと同時に、細孔径の分布が 0.1mm 付近から 0.01mm 付近に移ったこと(図-2 参照)が原因として考えられる。また、材齢 120 日では FA 無混和の全細孔量が増加する結果が得られた。こ

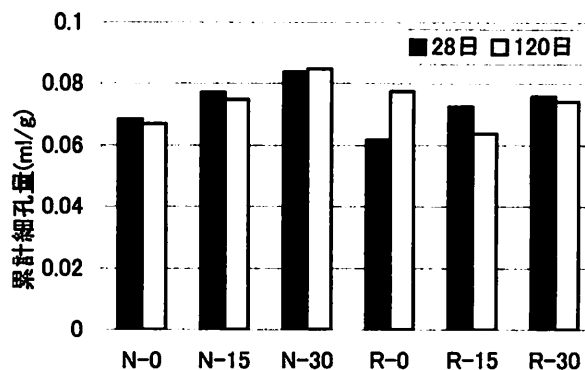


図 - 1 累計細孔量

れは、ASR の進行により細孔内のアルカリシリカゲルが膨張し、空隙が増大したためと考えられる。しかし、FA 置換率 15%および 30%の供試体では、ポズラン反応の長期的な進行により、細孔構造が緻密化したことで、0.01 mm 付近の細孔量が増加する結果が得られた。

4. モルタル供試体中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量

材齢 28 日および 120 日のモルタルの $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量の比較を図-4 に示す。図-4 から、材齢 28 日および 120 日ともに、FA の置換率が増加すると $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量は減少する傾向が見られる。これは、FA の置換でセメント量が減少したことで、水和反応生成物である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が減少したためである。また、反応性骨材を入れた供試体の材齢 120 日における $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が材齢 28 日に比べて減少しているのは、FA 置換率 0%の供試体については ASR の進行に伴い、 OH^- が消費されたために減少したものと推定される。FA 置換率 30%の供試体については、反応性骨材による ASR の影響と、ポズラン反応の長期的な進行により $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が消費されて減少したと考えられる。

5. モルタル細孔溶液中の OH^- 濃度

材齢 28 日および 120 日のモルタル細孔溶液中の OH^- 濃度の比較を図-5 に示す。各配合の OH^- 濃度は、FA の置換率の増加に従い減少する傾向が見られる。また、材齢 120 日の供試体における OH^- 濃度は減少量が増加している。特に反応性骨材を含む FA 置換率 30%のとき、減少量が増加する結果が得られた。これらは、材齢の長期化に伴い FA のポズラン反応が進行し、 OH^- の供給源である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が消費されたものと考えられる。

6. モルタル単位体積中の Na^+ 濃度

材齢 28 日および 120 日のモルタルの Na^+ 濃度を図-6 に示す。図-6 から、FA 置換率の増加に伴う固定 Na^+ 濃度の増加傾向が見られる。これは、ポズラン反応の長期的な進行により、細孔構造が緻密化し Na^+ が固定化されたことが原因と考えられる。また、反応性骨材を含む場合、含まない場合に比べ自由 Na^+ 濃度の減少量、固定 Na^+ 濃度の増加量が大きくなっている。このことから、FA の混和は、供試体中に反応性骨材が存在した場合に、ASR の進行との相乗効果で、より大きな Na^+ 固定化能力を発揮すると推定される。

■固定 Na^+ 濃度の算出方法

まず、細孔溶液中の Na^+ 濃度に原子量、単位粉体量、細骨材量、熱分析により求められた結水量および細孔径分布測定により求められた空隙量をかけたものを自由 Na^+ 濃度とする。さらに全 Na^+ 濃度から自由 Na^+ 濃度を引いたものを固定 Na^+ 濃度とした。

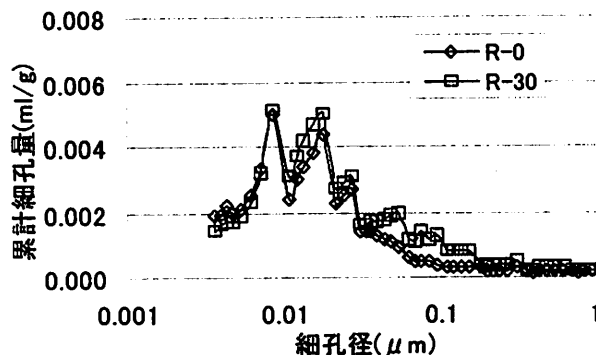


図-2 材齢 28 日の細孔径分布

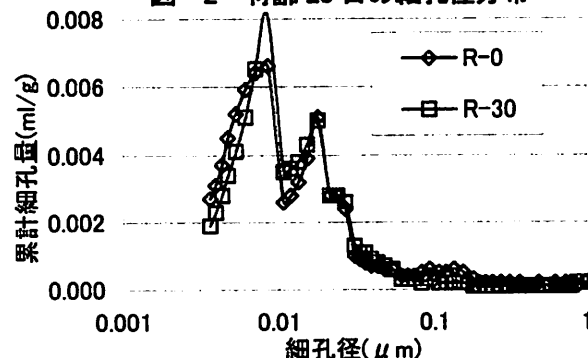


図-3 材齢 120 日の細孔径分布

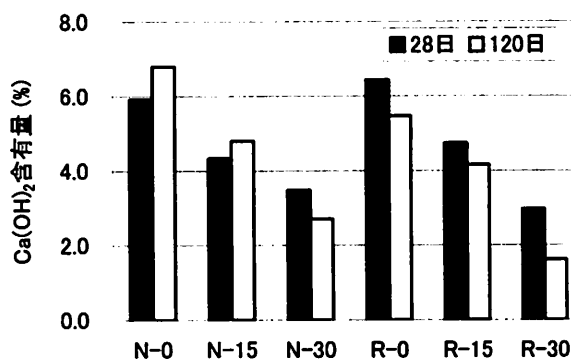


図-4 モルタル供試体中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量

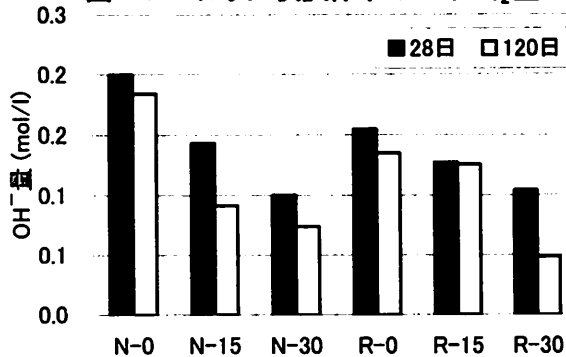


図-5 モルタル細孔溶液中の OH^- 濃度

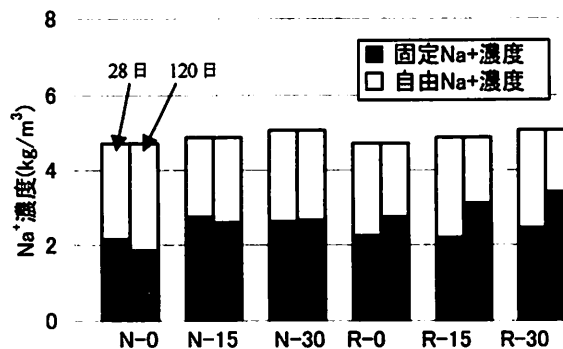


図-6 モルタル単位体積中の Na^+ 濃度