

高反応性骨材を用いたモルタルのペシマム現象とフライアッシュによるASR抑制効果

九州大学大学院 学生会員 ○井上 祐一郎 正会員 濱田 秀則 正会員 佐川 康貴
(独)港湾空港技術研究所 正会員 川端 雄一郎 太平洋セメント(株) 正会員 山田 一夫

1. はじめに

本研究ではアルカリシリカ反応(ASR)の特徴的な現象であるペシマム現象に着目し、ペシマム現象を生じる高反応性骨材の ASR 膨張を抑制するための基礎的研究として、フライアッシュ(FA)混和モルタルの膨張試験を行った。この結果からペシマム混合率における FA の ASR 抑制効果について考察した。

2. 使用材料

本研究では、骨材のペシマム混合率を把握するために反応性骨材と非反応性骨材(石灰石砕砂)を混合して $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ のモルタルバーを作製した。反応性骨材として、高反応性の鉱物であるオパール、カルセドニーを含む安山岩質凝灰岩を 35%含む陸砂を使用した。この骨材は実構造物において低アルカリ総量においてペシマム現象により ASR 劣化を生じたと報告されている¹⁾。また、化学法においてアルカリ濃度減少量 $R_c=200\text{mmol/l}$ 、溶解シリカ量 $S_c=473\text{mmol/l}$ を示し、ASTM C 289 により「潜在的有害」と判定された。

セメントは JIS A 1146 規定の普通ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm^3 、比表面積 $3370\text{cm}^2/\text{g}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=0.55\%$)、FA は JIS 規格の II 種灰(ブレン比表面積 $3910\text{cm}^2/\text{g}$ 、強熱減量 1.50%)を使用した。

3. ペシマム現象の確認

使用骨材のペシマム現象の確認を目的として FA 無混和モルタルの膨張試験を行った。水セメント比は 50%とした。結合材と細骨材の体積比を一定とし、細骨材に対する反応性骨材の混合率(骨材混合率 r/s)を体積置換で 5, 10, 20, 30, 40, 50%とした。また、セメントアルカリ量が $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が 0.55, 1.20, 1.80%となるよう NaOH 溶液を添加した。なお、反応性骨材は粒径 5~2.5mm のものを使用し、粒径 2.5mm 以下に石灰石砕砂を混合した。促進養生条件は JIS A 1146(40°C, 100%R.H.)に従った。

図-1 に骨材混合率と材齢 182 日における膨張率の関係を示す。 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=0.55\%$ の場合、膨張は確認できなかった。 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=1.20\%$ の場合は骨材混合率 30%において膨張率が最大となっている。一方、 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=1.80\%$ の場合は骨材混合率の増加に伴い膨張率が増加する傾向にあり、高い骨材混合率においても大きな膨張率を示している。本研究で使用した骨材は化学法で高い R_c を示すため、空隙水のアルカリを多く固定すると考えられる。骨材により固定されるアルカリ量は骨材混合率に依存するため、 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=1.20\%$ の場合は高い骨材混合率においてアルカリが不足し、骨材が十分に反応できなかったが、 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=1.80\%$ の場合は骨材が固定できる以上のアルカリが存在するため、高い骨材混合率において大きな膨張率となったと考えられる。

4. ペシマム混合率における FA の ASR 抑制効果の評価

4.1 配合条件

3. において本研究で使用した骨材はセメントアルカリ量 1.20%でペシマム混合率 30%を有することが分かった。そこで、ペシマム混合率として 20, 30%および比較対象として 5, 50%の骨材混合率を採用し、FA をセメントに対し体積置換で 10, 20, 30%内割混和したモルタル膨張試験を行った。なお、体積置換の FA 混和率を質量置換に換算するとそれぞれ約 6, 12, 18%となる。また、セメントアルカリ量は 1.20%に調整した。促進養生条件は JIS A 1146(40°C, 100%R.H.)に従った。

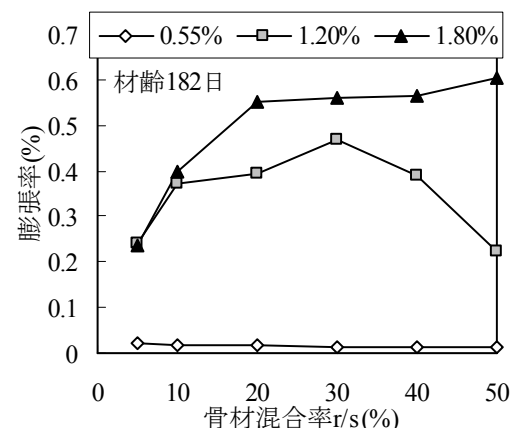


図-1 骨材混合率と膨張率の関係

キーワード ASR, ペシマム現象, ペシマム混合率, フライアッシュ

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 TEL092-802-3387

4.2 実験結果

図-2 および図-3 に骨材混合率 20, 30% および 5, 50% における膨張率の経時変化を示す。なお、図中には FA 無混和の場合も示しており、凡例の形は骨材混合率、色は FA 混和率を示している。FA 混和率 10% の場合はいずれの骨材混合率においても FA 無混和とほぼ同じ最終膨張率を示し、FA による明確な抑制効果は認められなかった。また、FA 混和により膨張開始材齢が遅れる傾向を示した。

図-4 に FA 混和した場合の骨材混合率と材齢 182 日の膨張率の関係を示す。FA 混和率 20% と 30% に着目すると、最大の膨張率を示す骨材混合率が、FA 混和率の増加に伴い低くなる傾向が認められた。

4.3 ペシマム混合率における FA の ASR 抑制効果の評価

FA の ASR 抑制効果を定量的に評価するため膨張比を導入した。膨張比とは FA 無混和モルタルの膨張率に対する FA 混和モルタルの膨張率の比であり、膨張比が小さいほど抑制効果が高いことを示す。

図-5 に骨材混合率と材齢 182 日における膨張比の関係を示す。

FA 混和率 20% に着目すると、骨材混合率 50% で FA 無混和に対して膨張率を約 8 割低減することができているが、骨材混合率 30% 以下で抑制効果はほぼ一定で膨張率を約 4 割程度しか低減できていない。しかし、FA を 30% 混和することで、FA 混和率 20% において抑制効果が低かった骨材混合率 5%, 30% で抑制効果が得られている。

本研究で使用した骨材では、ペシマム混合率付近で FA の ASR 抑制効果が低下すると言える。また、筆者らの既往の研究²⁾においてクリストバライトを含有する安山岩でも同様の傾向が得られている。

この現象は、以下のように説明できる。高い骨材混合率では骨材自身も多くアルカリを固定するので抑制効果が比較的低い FA 混和率でも現れるが、低い骨材混合率では骨材による固定分も小さくなる。そのため、高い骨材混合率に比べて空隙水のアルカリ濃度が大きくなり、FA による多くのアルカリ固定が必要となる。すなわち、高反応性鉱物がペシマム混合率付近で存在する場合には、より多くの FA が必要であると言える。

以上より、ペシマム混合率付近では FA による抑制効果が低下すると言え、ペシマム混合率付近においては、FA 混和率を増加させる必要がある。また、本研究ではモルタルで評価したが、コンクリートにおいても同様の評価が可能であるか今後照査する必要がある。

5. まとめ

(1) FA 混和時の骨材混合率と膨張率の関係から、最大の膨張率を示す

骨材混合率は、FA 混和率の増加に伴い低くなる傾向が認められた。

(2) 本研究の使用骨材では、ペシマム混合率付近でフライアッシュの

ASR 抑制効果が低下する傾向が認められた。

【参考文献】

- 1) 山田一夫ほか：岩石学的評価を含んだ ASR 診断の現実と重要性、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告書、第 7 巻、pp.21-28, 2007
- 2) 井上祐一郎ほか：ペシマム現象を生じる骨材を用いたモルタルのフライアッシュによる ASR 抑制効果、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp.759-760, 2009

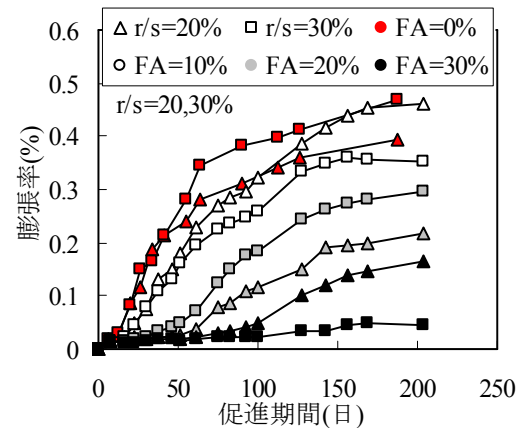


図-2 膨張率の経時変化 (r/s=20, 30%)

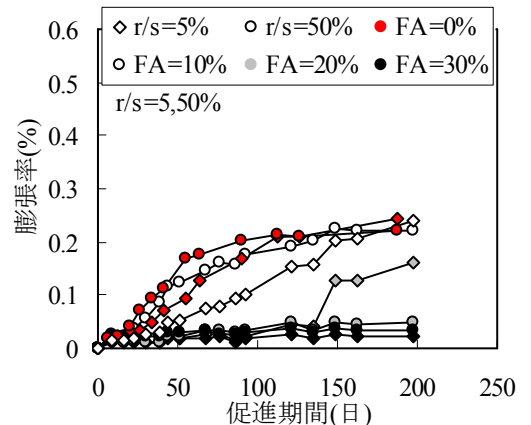


図-3 膨張率の経時変化 (r/s=5, 50%)

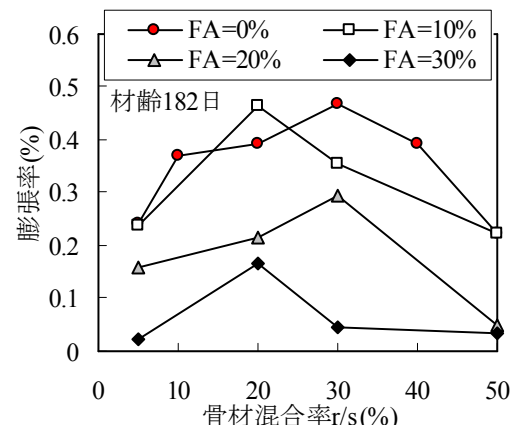


図-4 骨材混合率と膨張率の関係 (FA)

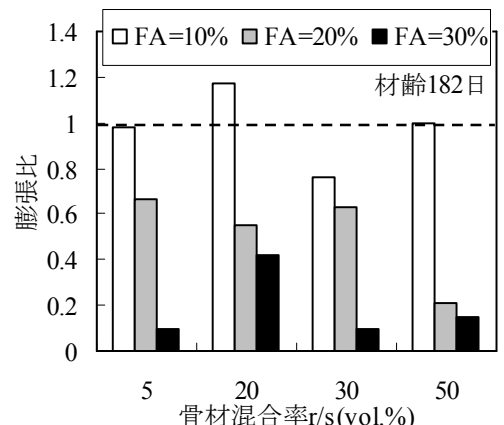


図-5 骨材混合率と膨張比の関係