

カオリン鉱物系人工ポゾランのアルカリシリカ反応抑制効果に関する基礎的研究

九州大学 学生会員 峯 健介 九州大学大学院 学生会員 内村 中
九州大学大学院 正会員 佐川 康貴 九州大学大学院 正会員 濱田 秀則

1. はじめに

カオリン鉱物系人工ポゾラン（以下、カオリン系ポゾラン）は、その高いポゾラン反応性からアルカリシリカ反応（以下、ASR）の抑制に期待が持たれている。しかし、その抑制効果や適切な混和量について検討された例は少なく、未解明な部分も多い。そこで、本研究ではカオリン系ポゾランの ASR 抑制効果を確認することを目的として、モルタル供試体を用いた基礎的研究を行った。

2. 実験概要

ASR 抑制効果の評価は、JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）」を標準とし、セメントの一部を検討対象の混和材に置換して行った。40×40×160mm モルタル供試体を各配合につき 3 本ずつ作製し、40℃、100%R.H.の条件下で促進養生試験を行った。Na₂O_{eq} 量は結合材量に対し 1.20%となるように NaOH 水溶液を用いて調整した。

3. 使用材料

本研究では ASR 反応性骨材として安山岩砕砂 A を使用した。砕砂 A は反応性鉱物としてクリストバライト、トリディマイトを含み、JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（化学法）」において溶解シリカ量 Sc=620mmol/l、アルカリ濃度減少量 Rc=185mmol/l を示し、「無害でない」と判定された。また、この骨材は事前の実験からペシマム現象を生じることが明らかとなっており、反応性骨材と非反応性骨材(石灰石砕砂)を 30 : 70(体積比)の割合で混合した場合において膨張率が最大となった。本研究では、砕砂 A と石灰石砕砂を上記の割合で混合したものを細骨材として使用した。

4. 配合

表-1 に使用したセメント、混和材の物性値を示す。混和材としてカオリン系ポゾラン (PZ)、フライアッシュ II 種 (FA)、高炉スラグ微粉末 4000 (BFS) の 3 種類を使用した。本研究では、これらの混和材のうち 1 種類あるいは 2 種類を質量比でセメントに置換した供試体を作製した。

図-1 に各配合における結合材の混合比を示す。混和材を使用していない供試体(N)を基準とし、1 種類で置換する場合として、PZ を 15%、20%、30%置換したもの (PZ15, PZ20, PZ30)、FA を 15%置換したもの (FA15)、BFS は 40%置換したもの (BFS40) の計 5 配合で実験を行った。

また、2 種類の混和材を併用して置換した場合の抑制効果も検討した。FA と PZ を 7.5%ずつ置換したもの (FAPZ7.5) と 15%ずつ置換したもの (FAPZ15)、BFS を 25%、PZ を 15%置換したもの (BFSPZ) の計 3 配合で実験を行った。

5. 実験結果および考察

図-2 に 1 種類置換した配合における膨張率、図-3 に 2 種類置換した配合における膨張率の経時変化を示す。ここで、図中の値は 3 本の供試体の測定結果の平均値である。また、図-4 に 182 日と 364 日における膨張率を示す。なお、JIS A 1146（モルタルバー法）に

表-1 使用結合材の物性値

材料	種類・物性値
セメント	普通ポルトランドセメント
	密度3.16g/cm ³ ,比表面積3360cm ² /g
混和材	カオリン系ポゾラン(PZ)
	密度2.70g/cm ³ ,比表面積7300cm ² /g
	フライアッシュ II 種(FA)
	密度2.25g/cm ³ ,比表面積4030cm ² /g
	高炉スラグ微粉末4000(BFS)
	密度2.91g/cm ³ ,比表面積4000cm ² /g
	無水石膏(PZに対し5%, BFSに対し3.4%置換)密度2.93g/cm ³

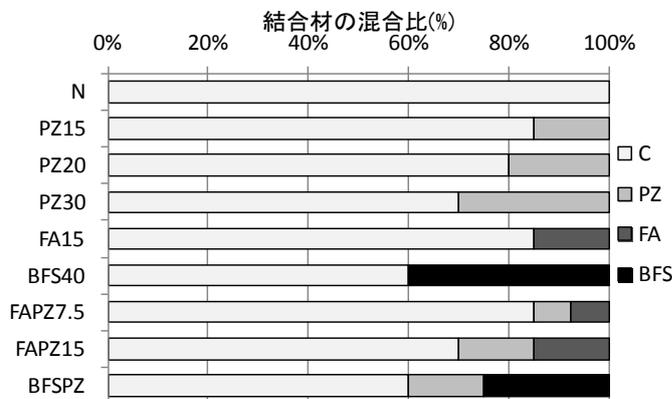


図-1 結合材の混合比(質量比)

における ASR 反応性の判定基準は 6 ヶ月後に 0.100% である。

(1) 1 種類置換の場合の ASR 抑制効果の検討

図-2 に示すように、基準となる N の場合に比べて、各種混和材を混合した場合は膨張量が小さく、各種混和材による ASR 抑制効果が認められた。しかし、図-4 より、182 日の時点での膨張率は PZ15、FA15、BFS40 の場合、0.100% を超えていることから、ASR に対する十分な抑制効果が得られていないことがわかる。また、これらの配合では 182 日後も膨張を続けていることがわかる。

FA15 と PZ15 の 182 日における ASR 抑制効果を比較すると、同じ置換率であるにも関わらず膨張量が 2 倍以上となり、同量用いた場合には PZ の方が効果が低い結果となった。これは、FA のブレン比表面積が $4030\text{cm}^2/\text{g}$ と比較的大きく、 SiO_2 量が 68.1% と非常に大きく、非晶質 SiO_2 量も大きいと推察され、ASR 抑制効果が高くなったことに起因すると考えられる。また、PZ は比表面積が $7300\text{cm}^2/\text{g}$ と大きいものの、 SiO_2 量が 32.7% と小さいため ASR 抑制効果が低くなったと推察される。

PZ の混和量を変化させた場合の ASR 抑制効果を見ると、PZ20、PZ30 の場合は PZ15 よりも膨張量が小さくなり、混和量が大きくなると抑制効果も高くなっている。182 日での PZ20 と PZ30 の膨張量の変化がほぼ同じであることから、本研究の安山岩砕砂 A に対するカオリン系ポゾランの ASR 抑制における適正混和量は 20% 以上と考えられる。

(2) 2 種類置換の場合の ASR 抑制効果の検討

図-3 より、N の場合に比べて、2 種類置換した場合でも膨張量が小さくなることがわかる。FAPZ7.5 における 182 日の膨張率を見ると、十分な ASR 抑制効果は得られていない。また、膨張率が $\text{FA15} < \text{FAPZ7.5} < \text{PZ15}$ となっていることから、PZ と FA を併用することによる膨張抑制効果の更なる向上は生じなかったと考えられる。本研究で最も抑制効果が高かったのは、364 日後も膨張量が 0.100% 未満であった FAPZ15 となった。

BFS40 は 182 日の時点では膨張抑制ができていたものの、364 日後では 0.163% まで膨張している。しかし、BFS 単独で混和した場合より膨張を低減できていることから PZ と BFS による混合利用によって膨張抑制効果が高くなったと考えることができる。これらの結果より、混和材の組み合わせによって ASR 抑制効果が異なることが明らかとなった。

6. まとめ

- (1) 本研究で使用した安山岩砕砂の ASR 抑制にはカオリン系ポゾランを 20% 以上混和することが望ましい。
- (2) カオリン系ポゾランは高炉スラグ微粉末と混合利用すると、高炉スラグ微粉末単体の場合より高い ASR 抑制効果が得られたが、フライアッシュと混合利用した場合には ASR 抑制効果の向上は認められなかった。
- (3) 本研究の条件では、FAPZ15 の配合が最も高い ASR 抑制効果を有する結果となった。

【謝辞】 本研究の成果は、「カオリン鈹物系人工ポゾランを使用したコンクリートの実用化に関する研究会」における共同研究の成果の一部である。関係者各位に謝意を表す。

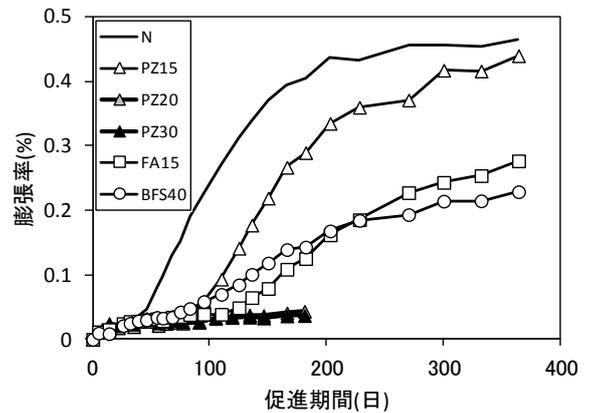


図-2 膨張率の経時変化 (1 種類置換)

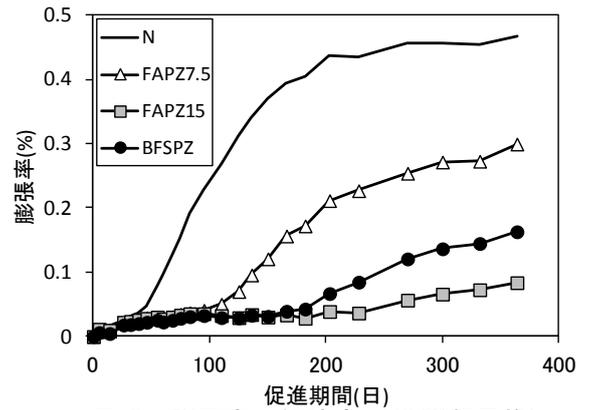


図-3 膨張率の経時変化 (2 種類置換)

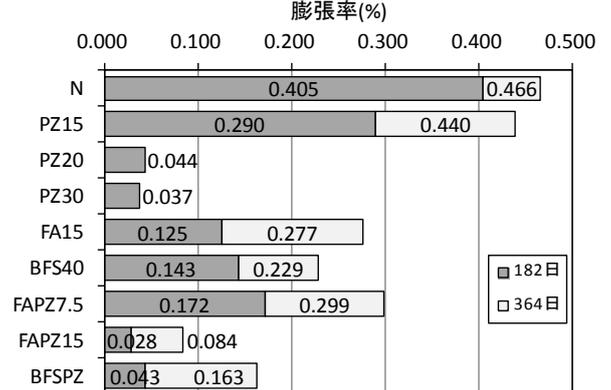


図-4 182 日、364 日の膨張率