

ゼオライト混入によるセメント水和反応への影響及び、 ゼオライト構造、機能の変化

愛媛大学 学生会員 ○福井 健
愛媛大学 非会員 松枝 直人
愛媛大学 非会員 逸見 彰男

1. 目的

現在、ポーラスコンクリートなどの形状に工夫を持たせたコンクリートが環境負荷低減型もしくは生態系支援コンクリートとして開発されてきた。さらにこれらのコンクリートにゼオライトを添加することで、コンクリート自体に陽イオン交換能力や吸着能力など、有効な機能を新たに付与した効果の高い新しいタイプのコンクリートが開発されるようになった。

一方、ゼオライトをセメント混和材として用いる場合、混入されたゼオライトがセメントの水和反応に影響を及ぼす可能性がある。また混入されたゼオライトがポゾラン反応により、構造や機能が変化する可能性がある。そこで本研究では、セメントにゼオライトを混合してモルタルを作成することによって、ゼオライトの混入がセメント水和反応に及ぼす影響を調べると共に、セメント水和反応に伴う各種ゼオライトの構造及び機能の変化を観測した。

2. 実験材料と方法

セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、ゼオライトは現在、ゼオライト混入型生態系支援コンクリートとして最も使用されている Na-P1 型人工ゼオライト及び、ゼオライト種による影響を検討するために Na-P1 型、X 型、A 型ゼオライトの合成物を使用した。これらすべてのゼオライトの交換性陽イオンは Na である。本実験では、骨材や混和剤は使用せず、セメント、ゼオライト、水（蒸留水）のみでモルタルを作製した (M)。各種ゼオライトはそれぞれ、セメント重量に対し、30%混合し、ゼオライト混合モルタルとした (M+PA、M+PS、M+X、M+A)。各種セメントに水を加えセメントペーストとし、練り混ぜ後、型枠に流し込み、30℃、相対湿度 100%のデシケーター内に放置し、24 時間後、脱型した。試験材齢は 1 (24 時間)、7、28 日とした。得られた試料について粉末 X 線回折測定及び、TG-DTA 測定を行った。

3. 結果・考察

3.1 粉末 X 線回折測定

C₃S 及び C₂S の合計量をセメント水和反応の進行程度の指標として選択し、XRD パターン中の両成分のピーク強度を観測することにより、各種ゼオライトの添加がセメント水和反応に及ぼす影響を調べた。水添加前のセメントの XRD パターンにおける C₃S 及び C₂S 由来ピーク (3.03、2.78、2.74、2.61 及び 2.19 Å) の積分強度合計値を 100%とした場合の、各種モルタル試料の対応する積分強度合計値を図 1 に示す。また各種ゼオライト混合モルタル試料において、養生 1 日目の XRD パターンにおけるゼオライト由来ピークの積分強度合計値を 100%とし、この積分強度合計値の経時変化を調べて、図 2 に示した。

ゼオライトを添加していないモルタル (M) と比較すると、ゼオライトを添加したモルタルの C₃S 及び C₂S の積分強度合計値は、減少している場合 (M+PA) と増大している場合 (M+PS、M+X 及び M+A) とに分類された。A 型ゼオライトを混合したモルタル(M+A)では特に C₃S 及び C₂S の残存率が高く、セメント水

キーワード ゼオライト, セメント水和反応, ポゾラン反応, 生態系支援コンクリート, 人工ゼオライト

連絡先 〒790-8566 愛媛県松山市樽見 3 丁目 5 番 7 号 愛媛大学農学部 環境産業応用化学研究室

T E L 089-946-9681

和反応が進行していないといえる。これは、A型ゼオライトは今回使用した他のゼオライトと比較してAl含有量が大きく、ポズラン反応に伴い溶出したAlがセメント中のC₃AなどのAl成分と同様に多量の水和熱を発生しつつ水和物を生成することで、セメントペーストの急結を起こしたことが原因であると考えられる。このことから、Al含有量の高いゼオライトの混入はセメント水和反応を遅延もしくは阻害する可能性がある。

各種ゼオライト由来ピークの積分強度合計値は7日目までは、時間経過とともに大きく低下した。Na-P1型ゼオライトを添加したモルタル(M+PA及びM+PS)では、M+XやM+Aに比べ、積分強度合計値の低下率が大きかった。ゼオライトを添加したモルタルのXRDパターンにおけるゼオライト由来ピークの積分強度合計値の低下はポズラン反応に伴うゼオライトの溶解によるものであり、ゼオライトのポズラン反応は主に養生7日目までのセメント水和初期段階でおこったと推測した。ゼオライトは大きな比表面積を有しており、このことがセメント水和反応初期段階でポズラン反応を受けた原因の一つであると推測できる。ゼオライト種やゼオライトの性状によってポズラン反応の程度は異なっていたことから、ゼオライトのポズラン反応性はゼオライト構造や性状によって異なると考えられる。

3.2 Ca(OH)₂量測定

Ca(OH)₂ 定量を TG-DTA 分析における 450℃付近のCa(OH)₂の脱水によるDTA吸熱ピークに伴うTG減量の差から求めた。図3に各種モルタルのCa(OH)₂生成量の養生時間における経時変化を示す。

Ca(OH)₂生成量はゼオライト無添加モルタル(M)に比べ、全てのゼオライト混合モルタル試料で大きく低下した。さらに、ゼオライトを添加したモルタルでは、ゼオライトを添加していないモルタル(M)に比べ、養生時間におけるCa(OH)₂生成量の増加傾向が小さくなった。これは以下のことが主な要因であると考えられる。(1)ゼオライト混入によるセメント成分の希釈、(2)ゼオライトによるCaイオン吸着による、セメントペースト中のCaイオン濃度低下によるCa(OH)₂生成量の減少、(3)ゼオライトのポズラン反応による消費(4)ゼオライト混入によりセメント水和反応が抑制されたためCa(OH)₂生成量の減少。

以上のことから、Al含有量の高いゼオライトの混入はゼオライトのポズラン反応によりセメント水和反応を遅延もしくは阻害すること、ゼオライトのポズラン反応は主に水和初期段階において進行し、ポズラン反応性はゼオライト種によって異なることが今回の実験で示唆された。

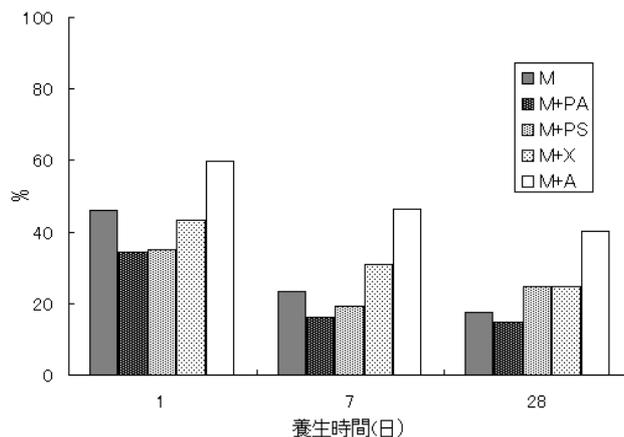


図1. 各セメントのXRDパターンにおけるC3S及びC2S由来ピークの積分強度合計値の経時変化

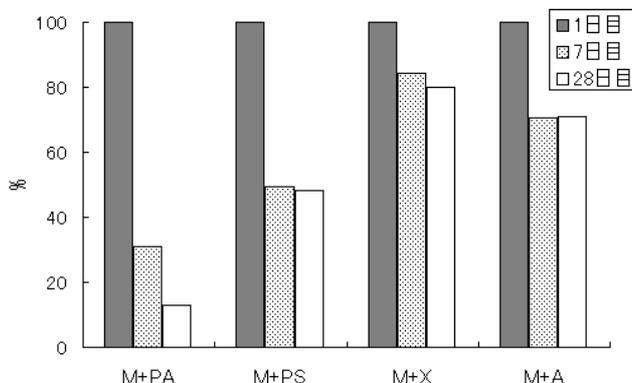


図2. ゼオライト由来ピークの積分強度合計値の経時変化

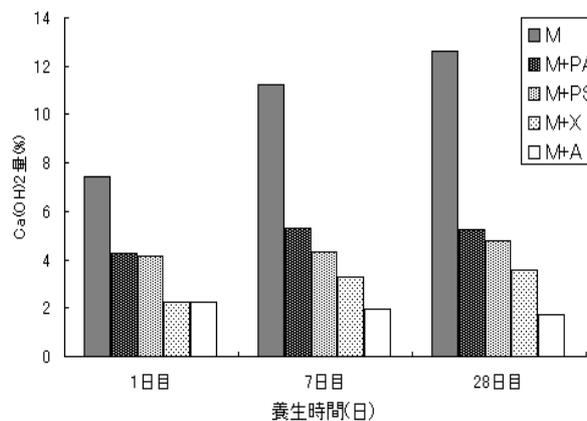


図3. Ca(OH)₂量の経時変化