

NaCl溶液中の反応性骨材含有モルタルの膨張における石膏の役割

金沢大学大学院 学生員 武田泰平
 金沢大学工学部 正会員 川村満紀
 真柄建設（株） 正会員 竹内勝信

1. まえがき

NaCl溶液に浸漬した反応性骨材含有モルタル中に多量の塩化物含有エトリンジャイトが存在することが確認されたが、モルタルの膨張との関連性は不明である。この点については、NaCl溶液中のモルタルの石膏の有無による膨張挙動及びアルカリシリカ反応の相違を比較することにより明らかにする可能性がある。本研究は、クリンカーモルタルと石膏添加クリンカーモルタルの膨張挙動、細孔溶液の組成、DTA分析によるエトリンジャイトの定量、反応性骨材粒子内部の微小硬度及びEDXA分析によるアルカリシリカゲルの組成を明らかにすることにより、NaClが供給される条件下におけるモルタルのASR膨張における石膏の役割について検討を行ったものである。

2. 実験概要

(1) 使用材料：使用した反応性骨材は焼成フリント（C.F.）であり、粒子径範囲は0.6mm～2.5mmの粒子径のものである。非反応性骨材として標準砂を用いた。モルタルの配合は、クリンカー：骨材（標準砂+C.F.）：水=1.0:0.75:0.5（重量比）であり、C.F./全骨材比（質量）を変化させた。また石膏の添加量はクリンカー質量に対して3%である。

(2) 膨張試験：モルタル供試体（25.3×25.3×285.5mm）は、28日間38℃の湿気槽中で養生した後、1N NaCl溶液に浸漬し、それらの時間に伴う長さ変化を測定した。また、脱型後継続して38℃の湿気槽中における膨張量を測定する一連のモルタルも作成した。

(3) 細孔溶液の抽出：C.F./全骨材=0.2のモルタル及び反応性骨材を含有しない標準砂モルタルの円柱供試体（直径4cm×高さ10cm）を作成し、それらを膨張試験用供試体と同じ条件下で、所定の期間養生した後、高圧装置を用いて細孔溶液を抽出した。

(4) 示差熱分析（DTA）：膨張用供試体の表面より5mm深さまでの部分から採取したモルタル片を室温において粉碎後、乾燥したものを使用した。エトリンジャイト量は得られたDTA曲線の約110℃における吸熱ピークの面積により求めた。

(5) 微小硬度測定：示差熱分析に使用した試料と同様のものを使用した。試料片の外周より約5mm以内の領域の研磨面内に存在する反応性骨材粒子を選択し、微小硬度計（荷重20及び50g、計測単位0.5μm、ピッカース圧子）によりC.F.骨材粒子内部の硬度測定を行った。

(6) EDXA分析：微小硬度試験終了後、真空乾燥炉（室温）において乾燥した試料片の研磨面に金を蒸着した。セメントペースト及び反応性骨材粒子におけるピッカース圧子の圧痕部分をエネルギー分散型X線微小部分分析装置により、Na、K、Ca、Si、Cl及びAlの各元素のKα線を用いて点分析を行った。

3. 結果及び考察

3.1 膨張試験

図-1及び図-2は、クリンカーモルタルの湿気槽及びNaCl溶液中における膨張曲線である。これらの図よりC.F./全骨材=0.1以外のモルタルは湿気槽及びNaCl溶液中において材令約70日まで膨張すること及

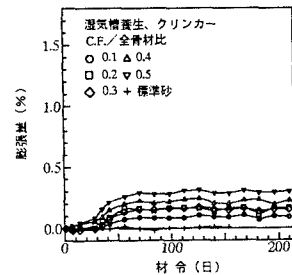


図-1 モルタルの膨張曲線

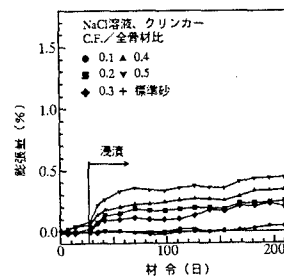


図-2 モルタルの膨張曲線

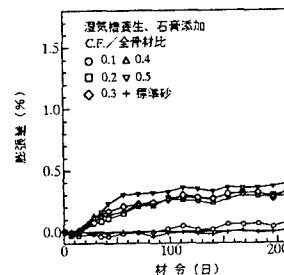


図-3 モルタルの膨張曲線

びNaCl溶液中におけるC. F. /全骨材=0.5のモルタルの膨張は湿気槽中のそれよりも大きい、他のモルタルにおいては両者間で膨張量に大きな差異はないことがわかる。図-3及び図-4はクリンカーに3%の石膏を添加したモルタルの膨張曲線である。NaCl溶液中に浸漬したモルタルにおいて、浸漬直後から急激な膨張量の増加が見られる。このように、NaCl溶液中においては石膏添加クリンカーモルタルのみににおいて膨張は助長されることがわかる。

3.2 細孔溶液の組成変化

図-5は、28日間湿気槽中及びNaCl溶液に浸漬中のクリンカー及び石膏添加クリンカーモルタルの細孔溶液中の OH^- イオン濃度の経時変化を示したものである。いずれの供試体もNaCl溶液浸漬後急激に OH^- イオン濃度は低下している。しかし、浸漬材令28日以後、C. F. 含有石膏添加モルタルは標準砂モルタルよりも高い OH^- イオン濃度を示す。C. F. 含有石膏添加モルタル内部においてはNaCl溶液に浸漬中に OH^- イオン濃度を上昇させるような反応が生じていることがわかる。

3.3 エトリンジャイトの定量

図-6は湿気槽及びNaCl溶液中の石膏添加クリンカーモルタルのエトリンジャイト量の経時変化を示したものである。湿気槽中で養生したモルタルでは、C. F. の有無に関わらずエトリンジャイト量は全材令を通じてあまり大きな変化はない。しかし、NaCl溶液に浸漬したモルタルでは浸漬材令60日までエトリンジャイト量は増加し、NaCl溶液浸漬後のC. F. の有無によるエトリンジャイトの生成量の差が材令とともに大きくなる。すなわち、NaCl溶液浸漬中においてC. F. 含有モルタルにおけるエトリンジャイトの生成量は標準砂モルタルにおけるそれよりもかなり大きいと言える。

3.4 微小硬度測定結果

図-7及び図-8はNaCl溶液中のクリンカー及び石膏添加クリンカーモルタル中のC. F. 粒子内部の微小硬度分布を示したものである。図-7より浸漬材令60日まで界面より約170 μm までの部分の硬度は低下するが浸漬材令90日以後粒子全体にわたって硬度が上昇し、アルカリシリカ反応によって軟化が生じた部分が硬い物質に変化したことがわかる。また、図-8より石膏添加クリンカーモルタルでは浸漬材令60日まで約180 μm までの部分の硬度が低下し、浸漬材令90日以後硬度が上昇し、クリンカーモルタルの場合よりもさらに高い硬度値を示す。EDXA分析により石膏添加モルタル中では浸漬28日以後($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)及び Ca^{++} がC. F. 粒子内部に活発に侵入し、浸漬材令120日では($\text{Na} + \text{K}$)及び Ca 濃度はクリンカーモルタル中のそれよりもかなり高くなるという結果が得られた。両者間における浸漬材令120日の微小硬度の差は Ca^{++} の侵入量の差と関係すると考えられる。

4. 結論

反応性骨材含有モルタルにおいて OH^- イオン濃度が上昇する反応には①反応性骨材または反応生成物の存在② Cl^- イオンの侵入③AFt及びAFmの存在という3つの要因が関与していることが明らかとなった。NaCl溶液中の石膏添加クリンカーモルタルでは、 OH^- イオンの上昇によってアルカリシリカ反応がより活発に進行する。したがってNaCl溶液中に浸漬したクリンカー及び石膏添加クリンカーモルタルの間の膨張における明確な差はアルカリシリカ反応の進行程度の差に起因すると考えられる。しかし、NaCl溶液中における石膏添加クリンカーモルタルの膨張の一部分はエトリンジャイトの生成による可能性も考えられる。

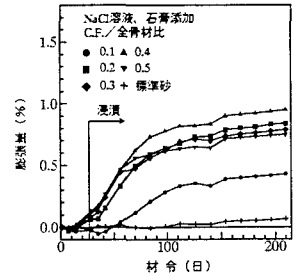


図-4 モルタルの膨張曲線

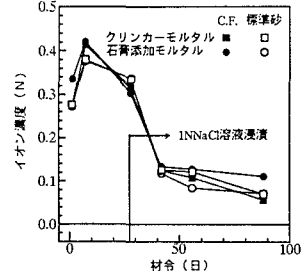


図-5 OH^- イオン濃度の経時変化

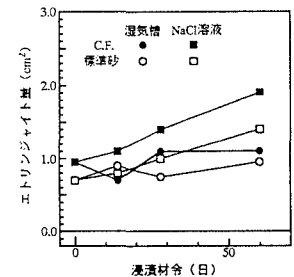


図-6 エトリンジャイト量の経時変化

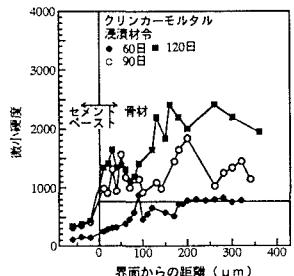


図-7 微小硬度分布の経時変化

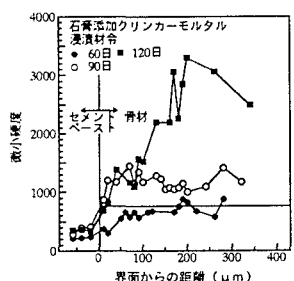


図-8 微小硬度分布の経時変化