

オートクレーブ促進試験におけるモルタルの ASR 膨張に及ぼす反応性骨材量の影響

鳥取大学大学院
大阪産業大学

学生会員
正会員

○山本 剛
西林新蔵

鳥取大学工学部
鳥取大学工学部

正会員
正会員

黒田 保
林 昭富

1. はじめに

本研究では、アルカリシリカ反応（ASR）を促進する方法として、NaOH 溶液中に浸漬したモルタルをオートクレーブ装置内で煮沸処理する方法を適用した。ASR によって生じる膨張（ASR 膨張）は種々の要因によって影響を及ぼされるが、本研究では、ASR 膨張に影響を及ぼす重要な要因の 1 つであると考えられる反応性骨材量，すなわち，砂セメント比（S/C）および反応性骨材混合割合を実験要因に選び，それらがオートクレーブ処理直後のモルタルの膨張に及ぼす影響について検討を行う。

2. 実験概要

本実験に使用したセメントはアルカリシリカ反応性試験用普通ポルトランドセメント（密度=3.17g/cm³，全アルカリ量=0.69%）である。骨材には反応性の斜方輝石安山岩（表乾密度=2.59g/cm³，吸水率=1.93%，Rc=101 m mol/l，Sc=558 m mol/l）と，非反応性の砂岩（表乾密度=2.70g/m³，吸水率=0.65%）を使用した。また骨材には，粉碎した後に呼び寸法 5，2.5，1.2，0.6，0.3，0.15mm の各ふるいでふるい分け，2.5mm から 0.15mm の各ふるいに残留したものをを用いた。

実験要因および水準を表-1 に示す。反応性骨材量の相違が ASR 膨張に及ぼす影響について検討するため，モルタルの S/C を 0.5～2.25 の範囲内で 4 水準，各 S/C のモルタルに対して反応性骨材混合割合を 25～100%の範囲内で 4 水準，モルタルを浸漬する NaOH 溶液濃度を 0.5～2.0mol/l の範囲内で 3 水準選定した。なお，ここで用いた骨材の粒度は，5-2.5，2.5-1.2，1.2-0.6，0.6-0.3，0.3-0.15mm の各粒径のものを，それぞれ質量比で 10%，25%，25%，25%，15%となるように混合して調整した。すべての実験に用いたモルタル供試体の W/C は 0.5 と一定とした。

実験方法は以下のとおりである。まずモルタルを打設後 24 時間で脱型し，その供試体を 60℃で 24 時間乾燥する。その後，供試体を所定の濃度の NaOH 溶液中に浸漬し，それをオートクレーブ装置内に入れて 0.1 MPa で 72 時間のオートクレーブ処理を行う。処理終了後，供試体を装置内から取り出し，NaOH 溶液に浸漬したまま恒温槽（室温 20℃）で 24 時間静置した後，供試体の長さ変化を測定して膨張率を算出する。なお，本実験に使用した供試体は，4×4×16 cmの角柱供試体とした。

3. 結果と考察

図-1 に反応性骨材混合割合を 25%とした供試体に関してオートクレーブ処理直後の膨張率と S/C との関係を保試体を浸漬した NaOH 溶液濃度別に示す。図より，いずれの NaOH 溶液濃度に関しても S/C の増加にともない膨張率は増加する傾向を示す。

図-2 に反応性骨材混合割合を 100%とした供試体のオートクレーブ処理直後の膨張率と S/C との関係を NaOH 溶液濃度別に示す。図より，2.0mol/l の NaOH 溶液に浸漬した供試体の膨張率は S/C の増加とともにやや増加する。一方，0.5 および 1.0mol/l の NaOH 溶液に浸漬した供試体に関しては反応性骨材混合割合を 25%とした供試体とは異なり，S/C の増加に伴い膨張率は減少する傾向を示す。

図-3 に 1.0mol/l の NaOH 溶液に浸漬した供試体のオートクレーブ処理直後の膨張率と反応性骨材混合割合との関係を示す。図より，S/C を 0.50 とした供試体では，反応性骨材混合割合の増加とともに膨張率も増加することがわかる。また，反応性骨材混合割合 75%ま

表-1 実験要因

実験要因	水準
S/C	0.50, 0.80, 1.50, 2.25
反応性骨材混合割合 (%)	25, 50, 75, 100
NaOH溶液濃度 (mol/l)	0.5, 1.0, 2.0

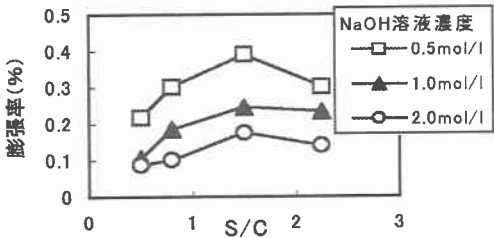


図-1 膨張率とS/Cの関係
(反応性骨材混合割合25%)

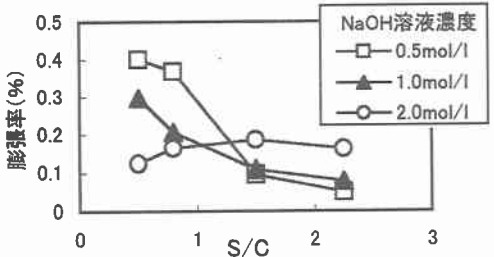


図-2 膨張率とS/Cの関係
(反応性骨材混合割合100%)

では S/C を 0.80 とした供試体に関しても、反応性骨材混合割合の増加とともに膨張率は増加する。一方、S/C を 1.50 および 2.25 とした供試体では、反応性骨材混合割合の増加とともに膨張率は減少している。

これらのことから、反応性骨材の混合割合が増加すれば必ずしも膨張率が増加するのではなく、反応性骨材混合割合が大きな供試体では S/C の増加に伴って、また S/C の大きな供試体では反応性骨材混合割合の増加に伴って、膨張率は減少する結果となった。これは、以下の理由によるものと考えられる。十分な量のアルカリが存在する環境下においては、反応性骨材量が多くなるほど生成されるアルカリシリカゲル（以下、ゲルと称す）の量が多くなり膨張率は増加する。しかし、アルカリの量に対して多量の反応性鉱物が存在するとアルカリが分散され反応性鉱物に作用するアルカリの濃度が低下し、ゲルの生成量が少なくなる。また、生成されるゲルの $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ 比が小さくなり、ゲルが強固になって水分を吸収しにくくなるためゲルの膨張圧が小さくなる。これらの理由から、反応性骨材量が多くなるほど膨張率が小さくなったと考えられる。

図-4、5 に S/C=2.25 および 0.50 の供試体に関して、オートクレープ処理直後の膨張率と NaOH 溶液濃度との関係を反応性骨材の混合割合別に示す。図より、S/C=2.25 の供試体に関しては、反応性骨材混合割合を 50、75、100% とした場合には NaOH 溶液濃度の増加とともに膨張率は増加する。一方、反応性骨材混合割合を 25% とした場合には NaOH 溶液濃度の上昇とともに膨張率が減少する傾向を示す。また S/C=0.50 の供試体に関しては、いずれの反応性骨材混合割合においても NaOH 溶液濃度が高くなるにつれて、膨張率は小さくなる。これは、以下のような理由によるものと考えられる。十分な量の反応性骨材が存在する場合にはアルカリ量の増加とともに ASR が促進されてゲルの生成量が多くなるため膨張量は大きくなる。しかし、一定量の反応性鉱物に対して多量のアルカリが供給されると、生成されるゲルの $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ 比が大きくなり、ゲルは吸水して水に溶解しやすくなるためゲルの膨張圧が低下する。従って、反応性骨材量が少ない供試体に関しては、反応性骨材量に対して NaOH 溶液濃度が過剰となるため、NaOH 溶液濃度の上昇とともに膨張率が低下したと考えられる。

以上のことから、ASR 膨張には反応性骨材量とアルカリの量が相互に影響を及ぼしていると考えられる。そこで、次に、ASR 膨張と反応性骨材の体積との関係について検討を行う。ここで、供試体の S/C が異なれば供試体に浸透する NaOH 溶液の量が異なり、また、S/C が異なるとセメント量が異なるためセメントから供給されるアルカリ量が異なる。そこで、供試体中に浸透した NaOH の量とセメント中のアルカリ量からモルタル中に含有するアルカリ量 (Na_2O 当量) を求めた。そして、1.0mol/l の NaOH 溶液に浸漬した供試体に対して、供試体に含有するアルカリ量 (Na_2O) と反応性骨材の体積 (V) との比 ($\text{Na}_2\text{O}/V$) と、オートクレープ処理直後に生じる膨張率との関係を図-6 に示す。図より、いずれの S/C の供試体に関しても $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比が同じであれば膨張率はほぼ等しく、また、 $\text{Na}_2\text{O}/V$ の値が 0.1 付近ですべての供試体の膨張率が最大値を示した。

4. まとめ

モルタル供試体を浸漬する NaOH 溶液濃度および反応性骨材粒度が同じであれば、モルタル供試体の S/C や反応性骨材の混合割合にかかわらず、膨張率と $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比との間には対応関係があり、ASR 膨張はモルタルの $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比に影響を受けると考えられる。

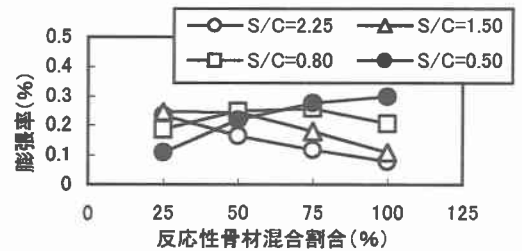


図-3 膨張率と反応性混合割合との関係 (NaOH溶液濃度: 1.0mol/l)

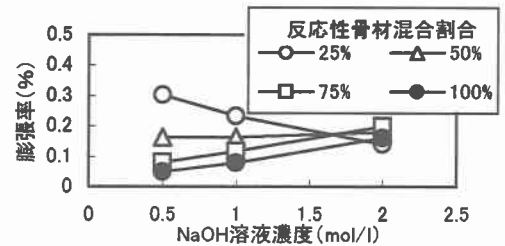


図-4 膨張率とNaOH溶液濃度との関係 (S/C: 2.25)

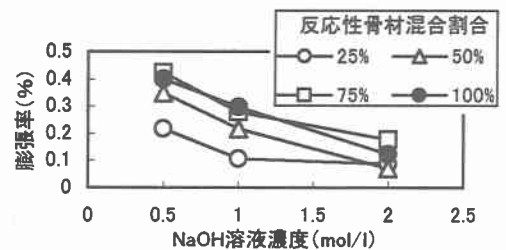


図-5 膨張率とNaOH溶液濃度との関係 (S/C: 0.50)

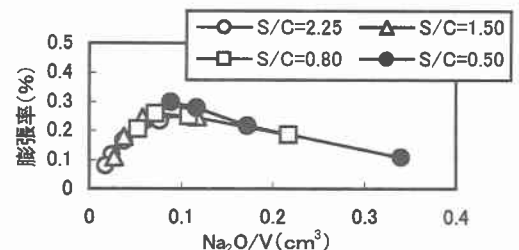


図-6 膨張率と $\text{Na}_2\text{O}/V$ との関係 (NaOH溶液濃度: 1.0mol/l)