

オートクレーブによって ASR を促進させたモルタルの膨張に及ぼす反応性骨材表面積の影響

鳥取大学大学院 学生会員 ○由良逸郎 鳥取大学 正会員 黒田 保
 (株)ピーエス三菱 正会員 山本 剛 大阪産業大学 正会員 西林新蔵
 大阪産業大学 正会員 高見新一

1. はじめに

コンクリート構造物の早期劣化の原因の1つとして、ASR によるひび割れが挙げられる。そこで、使用する骨材が ASR によって有害な膨張を生じさせるか否かを短期間で判定する方法が求められている。本研究では、このような背景下で考案されたオートクレーブ法を用いて、反応性骨材の粒径、粒度、混合割合、モルタルの S/C を変化させることによってモルタル中の反応性骨材表面積を変化させ、それがモルタルの ASR による膨張に及ぼす影響について検討を行った。

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、骨材には反応性の斜方輝石安山岩（表乾密度=2.59g/cm³，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）を使用した。

試験方法は、まず、モルタル供試体を打設後 24 時間で脱型し、60℃で 24 時間炉乾燥後、1.0mol/l の NaOH 溶液に浸漬させたまま、0.1MPa の圧力で 72 時間オートクレーブ煮沸処理を行う。その後、供試体を 20℃の恒温室で 24 時間静置しオートクレーブ処理直後の長さ変化を測定し、膨張率を算定する。なお、供試体は 4×4×16cm の角柱供試体とした。

実験条件は次のとおりである。モルタルの配合は水セメント比を 0.5 と一定とし、砂セメント比(S/C)を 0.3, 0.5, 0.8, 1.5, 2.25 の 5 水準選定した。骨材は、それを 5 から 0.15mm の 6 種類のふるいでふるい分け、5-2.5, 2.5-1.2, 1.2-0.6, 0.6-0.3, 0.3-0.15mm の各骨材をそれぞれ単一粒度の骨材として使用した。また、2.5-1.2 および 0.3-0.15mm の 2 種類の粒径の骨材を 2.5-1.2mm の粒径の混合割合が 0, 30, 55, 85, 100%となるように混合し、さらに 5 種類の粒径の骨材を表-1 の割合となるように混合して骨材粒度を変化させた。反応性骨材と非反応性の骨材を混合して反応性骨材混合割合を 25, 50, 75, 100%の 4 水準に調整した。

骨材表面積 (S) は粒子表面積と対応関係があるといわれている Heywood が提案した投影面積円相当径 (d) を用い、式 (1) から算定した。

$$S = 6M / (\rho d) \quad (1)$$

ここに、M は反応性骨材の質量、 ρ は反応性骨材の表乾密度である。

3. 結果と考察

図-1 に単一粒径の反応性骨材を用いた供試体の膨張率と反応性骨材表面積との関係を示す。反応性骨材表面積が大きくなる（骨材粒径が小さくなる）に従い膨張率は増加する傾向を示した。これは、反応性骨材表面積が大きくなるとアルカリシリカゲル(ASR ゲル) の生成量が増加するためと考えられる。

図-2 に単一粒径と 2 種類および 5 種類の混合粒径の反応性骨材を用いた供試体の膨張率と反応性骨材表面積との関係を比較したものを示す。図より、使用した反応性骨材の粒径が単一のものであるか、混合したものであるかにかかわらず膨張率と反応性骨材表面積の間には相関関係があると考えられる。

表-1 各粒径の骨材の混合割合

① : ② : ③ : ④ : ⑤	F.M.
0.05:0.35:0.45:0.10:0.05	3.25
0.15:0.25:0.25:0.25:0.10	3.10
0.05:0.05:0.55:0.20:0.15	2.65
0.05:0.05:0.45:0.15:0.30	2.40

①:5-2.5, ②:2.5-1.2, ③:1.2-0.6,
④:0.6-0.3, ⑤:0.3-0.15 mm

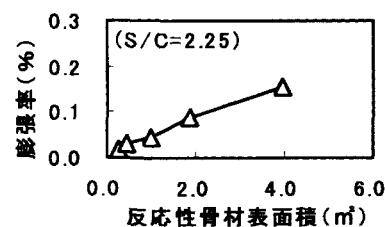


図-1 膨張率と反応性骨材表面積の関係

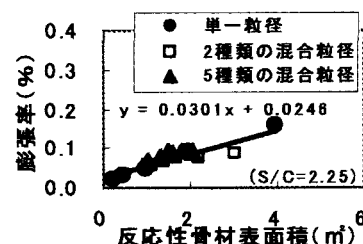


図-2 反応性骨材表面積と膨張率の関係

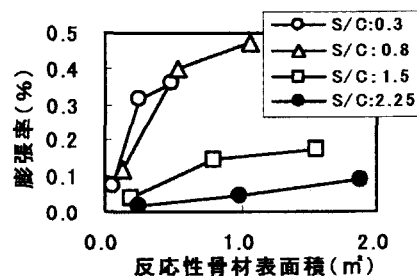


図-3 膨張率と反応性骨材表面積との関係

図-3に単一粒径の反応性骨材を用い S/C を変化させた供試体の膨張率と反応性骨材表面積との関係を示す。同一 S/C の供試体においては、反応性骨材表面積が大きくなるに従って、膨張率は増加する傾向を示した。また、S/C が大きい供試体ほど反応性骨材表面積の増加にともなう膨張率の増加割合が小さいことがわかる。これは、一定量のアルカリに対して、反応性骨材量が過度に増加すると、生成される ASR ゲルの $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ 比が小さくなり、ASR ゲルは強固になって水分を吸収しにくくなり、その膨張圧が減少するためと考えられる。したがって、同一の反応性骨材表面積の供試体であってもオートクレープ処理直後に生じる膨張率は異なるようである。

図-4に反応性骨材と非反応性骨材を混合して使用した供試体の膨張率と反応性骨材混合割合との関係を示す。なお、この場合の骨材粒度は JIS モルタルバー法に規定されている粒度とした。S/C を 0.50 とした供試体では、反応性骨材混合割合が増加するに伴い膨張率も増加している。また、S/C が 0.80 の供試体では、膨張率は反応性骨材混合割合が 75% で最大となる。一方、S/C が 1.50 および 2.25 の供試体では、反応性骨材混合割合が増加するに伴い膨張率は減少している。

モルタルの S/C が異なると反応性骨材体積が異なり、また、NaOH 溶液に浸漬した供試体の中に浸透する NaOH 溶液の量も異なる。S/C が小さい供試体ほど NaOH 溶液の浸透量は多い。また、S/C が異なるとモルタル中のセメント量も異なるためセメントから供給されるアルカリ量も S/C ごとに異なる。そこで、図-4 に示す各供試体に対して、供試体中に浸透した NaOH とセメントのアルカリ量を計算して、それらの合計をモルタル中に含有するアルカリ量 (Na_2O 当量) とした。そして、そのアルカリ量 (Na_2O) と供試体中の反応性骨材の体積 (V) との比 ($\text{Na}_2\text{O}/V$) と膨張率との関係について考える。

図-5に膨張率と $\text{Na}_2\text{O}/V$ との関係を示す。図より、反応性骨材粒度が同じであれば、S/C や反応性骨材の混合割合にかかわらず、膨張率と $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比とは対応関係にあり、膨張率の大きさはモルタルの $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比によって決まることがわかる。また、供試体の S/C にかかわらず、膨張率が最大となる $\text{Na}_2\text{O}/V$ の値が存在し、その値は約 0.08 であった。 $\text{Na}_2\text{O}/V$ の値が約 0.08 よりも大きい場合、供試体中の反応性骨材の体積が増加 ($\text{Na}_2\text{O}/V$ が減少) するに伴い膨張率は増加し、 $\text{Na}_2\text{O}/V$ の値が約 0.08 より小さい場合、反応性骨材の体積の増加 ($\text{Na}_2\text{O}/V$ の減少) に伴い膨張率は減少することがわかる。

また、単一粒径の反応性骨材を使用した供試体の膨張率と $\text{Na}_2\text{O}/V$ との関係を図-5のデータとともにプロットすると図-6のようになる。図より、単一粒径の反応性骨材を使用した供試体においても混合粒径の反応性骨材を使用した供試体と同じ $\text{Na}_2\text{O}/V$ の値で膨張率は最大値を示していることがわかる。しかし、 $\text{Na}_2\text{O}/V$ の値が同じでも膨張率の値は異なる値を示した。これは、同一 $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比の供試体であっても、単一粒径と混合粒径では反応性骨材表面積が異なるためと考えられる。同一 $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比においては反応性骨材表面積が大きい供試体ほど膨張率は大きくなっている。そこで、図-7に反応性骨材表面積 (Sa) を膨張率 (Ex) で除した値 (以下、Sa/Ex と略す) と $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比との関係を示す。図より、 $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比が小さくなるにしたがい Sa/Ex は大きくなり、反応性骨材表面積の大小に関係なく $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比が同じであれば Sa/Ex も同程度の値を示すことがわかる。

4. まとめ

反応性骨材の粒径、粒度、混合割合、モルタルの S/C がそれぞれ異なる供試体に対して検討を行った結果、本研究の範囲内では、 $\text{Na}_2\text{O}/V$ 比が同じであれば Sa/Ex は同程度の値を示し、両者には相関関係があるものと考えられる。

参考文献 1) Beddow, J.K.: Particle Science and Technology, Chemical Publishing Co., Inc. pp.413-428, 1986.

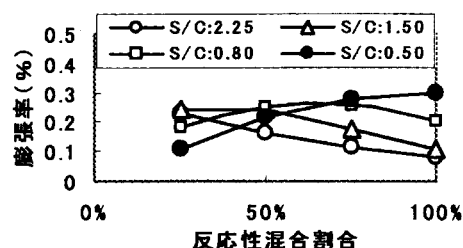


図-4 膨張率と反応性骨材混合割合の関係

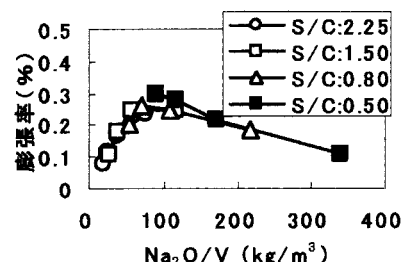


図-5 $\text{Na}_2\text{O}/V$ と膨張率の関係

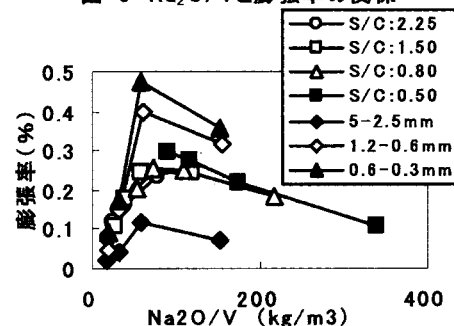


図-6 $\text{Na}_2\text{O}/V$ と膨張率の関係

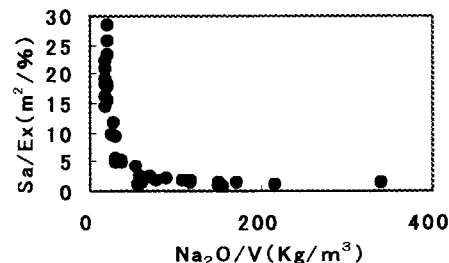


図-7 $\text{Na}_2\text{O}/V$ と Sa/Ex との関係