

A S R促進試験における保存温度が膨張に与える影響

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
鳥取大学 正会員 林 昭富 内田 充

1. はじめに

コンクリート構造物の早期劣化の原因の一つとしてアルカリシリカ反応（ASR）によるひび割れが挙げられる。したがって、使用する骨材が ASR による有害な膨張をコンクリートに生じさせるか否かをあらかじめ判定しておく必要がある。ASR は非常にゆっくりと進行するため、骨材の反応性を短期間で判定するためには、適切な方法で ASR を促進する必要がある。ASR の促進試験では、供試体を高温下に保存して ASR を促進するのが一般的であり、国内外において種々の保存温度（40℃、50℃、80℃等）が提案されている。一方、ASR は種々の要因により影響を受けるが、その中でも環境温度の影響は大きい。そこで、本研究では、ASR 膨張に影響を与える重要な要因である温度に着目し、促進試験における保存温度がモルタルの ASR 膨張に与える影響について検討を行う。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合: 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=3.17 g/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=2.59 g/cm³、Rc=101m mol/l、Sc=558m mol/l）と、非反応性の砂岩（表乾密度=2.70 g/cm³）を使用した。モルタル供試体作製の際には、全骨材に対する反応性骨材の質量比が 25% となるように反応性骨材と非反応性骨材を混合して使用し、骨材粒度はモルタルバー法（JIS A 1146）に準じた。モルタル供試体の配合は JIS のモルタルバー法に準じて、水セメント比および砂セメント比をそれぞれ 0.5 および 2.25 と一定とした。

2.2 実験方法: 本実験では、モルタル供試体（寸法：40×40×160mmの角柱供試体）をそれぞれ 40、60 および 80℃の NaOH 溶液に浸漬し、それらの長さ変化を測定して膨張率を算定した。まず、供試体を脱型した後にその初期長さを測定した。続いて、供試体内部に NaOH 溶液を浸透しやすくするために各供試体を 60℃で 24 時間乾燥させてから、それらをステンレス容器に入った 1mol/l の NaOH 溶液に浸漬し、それぞれ 40、60 および 80℃の保存槽に保存して供試体の長さの経時変化を測定した。なお、長さ変化の測定は、測定日の前日に供試体を NaOH 溶液に浸漬したまま保存槽から取り出し、それを 20℃の恒温室に 24 時間静置した後にいった。

3. 結果と考察

図 1 に、NaOH 溶液に浸漬したモルタル供試体をそれぞれ 40、60 および 80℃の保存槽に保存した場合の供試体の膨張率と経過時間との関係を示す。図より、保存温度が高くなるにしたがって、膨張率は増加する傾向がみられる。化学反応の反応速度は温度の上昇とともに速くなる。従って、ASR は化学反応であり、環境温度が高いほどその反応速度が速くなり、早期にアルカリシリカゲルが多量に生成されて、その膨張圧が高くなるため、保存温度が高いほど早い時期から大きな膨張を示したと考えられる。

一般に、化学反応の反応速度はアレニウス式に従う。すなわ

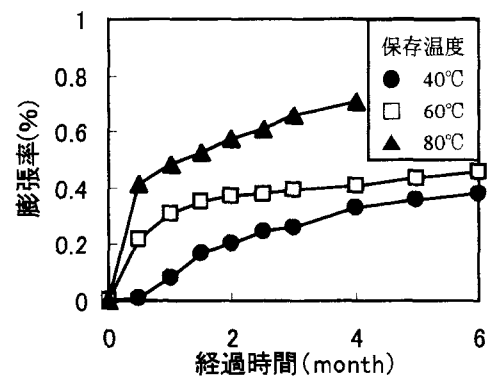


図1 膨張率の経時変化

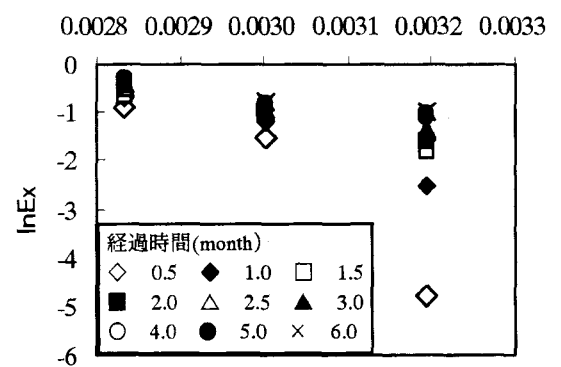


図2 lnExと1/Tとの関係

ち、反応速度の対数は反応温度(絶対温度)の逆数と直線関係にある。ここで、膨張率は反応速度を直接表すものではないが、膨張率が ASR の反応速度に比例するものと考えて、膨張率の自然対数と保存温度(絶対温度)の逆数との関係について検討を行う。

図2に、各温度の NaOH 溶液に浸漬したモルタル供試体の膨張率の自然対数 (ln Ex) と保存温度(絶対温度)の逆数 (1/T) との関係を示す。図より、経過時間が 1.0 ヶ月以上の時、ln Ex と 1/T との間には負の直線関係があることがわかる。経過時間 0.5 ヶ月の場合には、40℃で保存した供試体がまだ膨張を生じていないために、他の経過時間の場合と異なり、ln Ex と 1/T との関係が直線関係にならなかったと言える。ここで、ln Ex と 1/T との関係を求めると式(1)のようになる。各経過時間における式(1)の傾き a, 切片 b, 相関係数 r を表1に示す。

$$\ln Ex = -a \times 1/T + b \quad (1)$$

ここに、Ex は膨張率、T は保存温度(絶対温度)、r は相関係数である。

表1より、各温度の NaOH 溶液に供試体を浸漬した時間の経過とともに a および b の値が小さくなっていることがわかる。いま、a および b と経過時間 (t) との関係を示すと図3および4のようになる。これらの図より、a および b と t との関係をそれぞれ累乗式で近似すると式(2)および(3)となり、いずれも高い相関関係にあることがわかる。

$$a = 4426.2 t^{-0.5233} \quad (r=0.963) \quad (2)$$

$$b = 11.869 t^{-0.5337} \quad (r=0.958) \quad (3)$$

したがって、式(1)の a および b に式(2)および(3)を代入すると、式(4)が得られる。

$$Ex = \exp \left[-4426.2 t^{-0.5233} / T + 11.869 t^{-0.5337} \right] \quad (4)$$

実験より得られた膨張率の実測値と式(4)から計算した膨張率の計算値との関係を図5に示す。図より、いずれの温度で保存した供試体に対しても膨張率の実測値と計算値とはほぼ一致していることがわかる。以上の結果から、本実験の範囲内では、各温度の NaOH 溶液に浸漬したモルタル供試体の膨張率は経過時間と保存温度(絶対温度)の関数で表すことができると考えられる。

4. まとめ

保存温度が高くなるほど ASR 膨張は大きくなり、モルタル供試体の膨張率の自然対数(ln Ex)と保存温度の逆数 (1/T) との間には負の直線関係がある。また、膨張率は、経過時間と保存温度(絶対温度)の関数で表すことができるものと考えられる。

【謝辞】本研究の一部は、平成15年度文部科学省科学研究費補助金(課題番号:15760334)の助成を受けて実施したことを付記し、ここに謝意を表す。

表1 式(1)の傾きa, 切片b, 相関係数r

経過時間 (month)	a	b	r
1.0	5008.6	13.597	0.9732
1.5	3254.8	8.621	0.9911
2.0	2928.3	7.757	0.9987
2.5	2529.3	6.653	0.9977
3.0	2576.5	6.850	0.9954
4.0	2144.1	5.664	0.9638
5.0	2040.1	5.424	0.9525

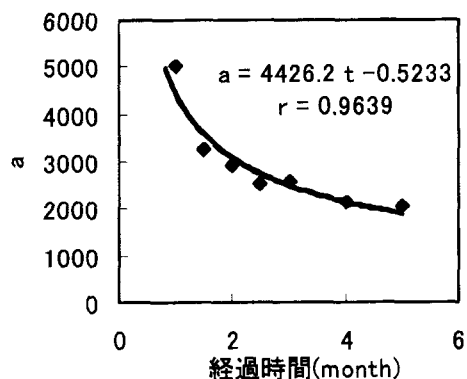


図3 経過時間とaとの関係式

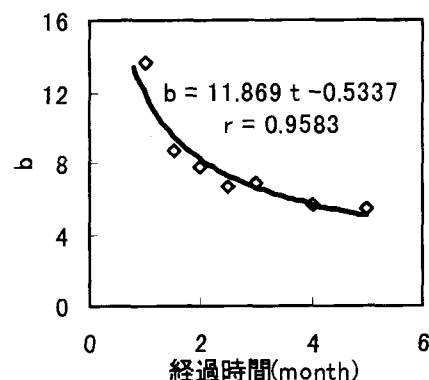


図4 経過時間とbとの関係式

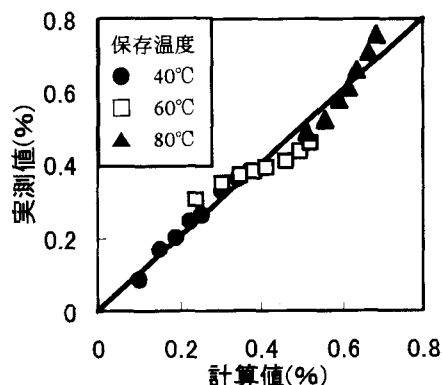


図5 膨張率の実測値と計算値の比較