

コンクリートの ASR 膨張に及ぼすアルカリ濃度と保存温度の影響

鳥取大学大学院 学生会員 ○小田 朗
鳥取大学大学院 正会員 高井伸一郎

鳥取大学大学院 正会員 黒田 保
鳥取大学大学院 フェロー 井上正一

1. はじめに

コンクリートの劣化要因の1つにアルカリシリカ反応(ASR)がある。コンクリートのアルカリシリカ反応性判定試験法として、従来法に JCI AAR-3(コンクリート法)がある。この試験は、判定に長期間を要する、外部からのアルカリ供給に対応していない、試験中にアルカリが溶出する、などの問題点がある。本研究では、これらの問題点を考慮して、従来一般的に実施されているコンクリートバー法よりも短期間でコンクリートのアルカリシリカ反応性を判定するための促進試験条件について検討を行った。すなわち、ASR 膨張に与える要因として、コンクリートの総アルカリ量、保存温度、NaOH 溶液への浸漬の有無、NaOH 溶液濃度に着目し、それらの要因がコンクリート供試体の ASR 膨張に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

本実験では、コンクリート供試体の粗骨材には、JIS A 1145 (化学法)で「無害でない」と判定された安山岩砕石(KS 骨材と称す。表乾密度=2.60kg/cm³，Rc=172mmol/l，Sc=732mmol/l)と「無害」と判定された非反応性の安山岩砕石(表乾密度=2.75kg/cm³)を使用し、KS 骨材混合割合が質量比で60%となるように、混合して使用した。細骨材には非反応性の砕砂と陸砂を質量比9:1となるように混合して使用した。セメントには、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:3.14g/cm³，全アルカリ量:0.55%)を使用した。コンクリートのアルカリ含有量の調整にはNaOHを使用した。コンクリート供試体の配合を表-1、実験要因を表-2に示す。

NaOH 添加法では、練混ぜ時にコンクリートにNaOHを添加して、コンクリートの総アルカリ量をNa₂O当量で4.6, 7, 10kg/m³とした。また、コンクリートを保存する温度を40, 60, 80℃とした。なお、コンクリート供試体の総アルカリ量を4.6kg/m³(添加したNaOH量はNa₂O当量で2.4kg/m³)とし、40℃で保存する条件は、コンクリート法(JCI-AAR-3)で規定されているASRの促進試験条件と同じ条件である。

NaOH 溶液浸漬法では、練混ぜ時にNaOHをNa₂O当量で2.4kg/m³添加した(コンクリート法と同じNaOH添加量)コンクリート供試体を作製し、これを0.5, 1, 2 mol/lの濃度のNaOH溶液に浸漬し、40, 60, 80℃で保存した。

なお、供試体の長さ変化の測定は、供試体温度を20℃とするため、測定日前日に供試体を20℃の恒温室に移動し、そこで24時間静置した後に行った。

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
45	41	180	400	702	993

表-2 実験要因

	NaOH 添加法	NaOH 溶液 浸漬法
供試体寸法 (mm)	75×75×400	
保存温度 (℃)	40, 60, 80	
総アルカリ量 (Na ₂ O 当量, kg/m ³)	4.6, 7, 10 [2.4, 4.8, 7.8] []内は添加する NaOH 量 (Na ₂ O 当量) を示す	4.6 [2.4]
NaOH 溶液濃度 (mol/l)		0.5, 1.0, 2.0

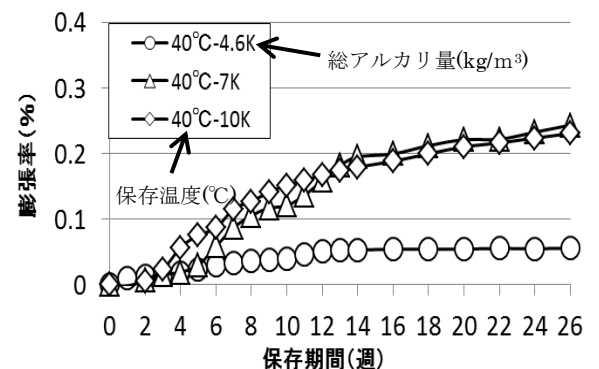


図-1 膨張率の経時変化(40℃)

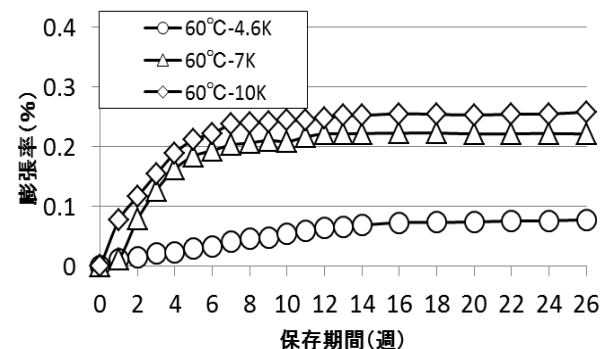


図-2 膨張率の経時変化(60℃)

3. 実験結果と考察

3. 1 NaOH 添加法における供試体の膨張挙動

図-1～6 に NaOH 添加法による結果を示す。図-1～3 よりどの温度で保存した場合でも、総アルカリ量 4.6kg/m^3 とした供試体の膨張率が最も小さく、総アルカリ量が多いものほど膨張率が大きくなることからわかる。また、総アルカリ量を 7kg/m^3 および 10kg/m^3 とした供試体を 60°C および 80°C で保存した場合、促進養生初期に膨張を開始して急激に膨張率が大きくなった後、7 週目以降、膨張率の変化は見られなくなった。これは、供試体内部の NaOH 量が多く、保存温度が高いため、養生開始直後から ASR が始まり、また、アルカリが早期に消費され、ASR が終了したためと考えられる。

また、総アルカリ量が同じ供試体で比較すると(図-4～6)、保存温度を高くしても、必ずしも膨張率は大きくならなかった。これは、保存温度の上昇により、ASR の反応速度が速くなり早期に膨張するが、アルカリシリカゲル(ASR ゲル)の中にアルカリが早期に取り込まれてゲルが流動化し、その結果、ASR ゲルの膨張圧が緩和されて膨張率が大きくなかったためと考えられる。つまり、保存温度の上昇は、ASR 膨張に対して、ASR ゲルの生成量の増加と流動化の 2 つの要因が影響を及ぼしていると考えられる。

3. 2 NaOH 溶液浸漬法における供試体の膨張挙動

図-7～9 に NaOH 溶液浸漬法の結果を示す。 40°C で保存した場合、NaOH 溶液濃度の影響はなく同じ膨張挙動を示している。しかし、 80°C で保存した場合には、 2mol/l の NaOH 溶液に浸漬させた供試体の膨張率が、他の濃度のものと比べ極めて大きくなった。これは、保存温度が高いため ASR が促進されたこと、および NaOH 溶液の濃度が高いため供試体に浸透する NaOH 量が多くなり、多量の ASR ゲルが継続して生成されたためと考えられる。

NaOH 添加法(図-1～3)と NaOH 溶液浸漬法(図-7～9)の結果を比較する。NaOH 溶液浸漬法よりも、NaOH 添加法の方が養生初期に急激に膨張している。これは、NaOH 添加法では、供試体作製時に加えた NaOH により、養生直後から ASR が助長されたためと考えられる。しかし、NaOH 添加法では、供試体作製時に多量の NaOH を添加しており、その結果、コンクリートを練混ぜる際、コンクリートにこわばりが生じ、供試体を作製することが困難であった。また、NaOH 添加法は、外部からのアルカリ供給に対応していないことや養生の際、湿らせた布に包むため、試験中にアルカリが溶出することが考えられる。一方、NaOH 溶液浸漬法は NaOH 添加法よりも、膨張を開始するのはやや遅いが、NaOH 溶液に浸漬させることで、外部からアルカリが供給され、継続して ASR が進行していると考えられる。

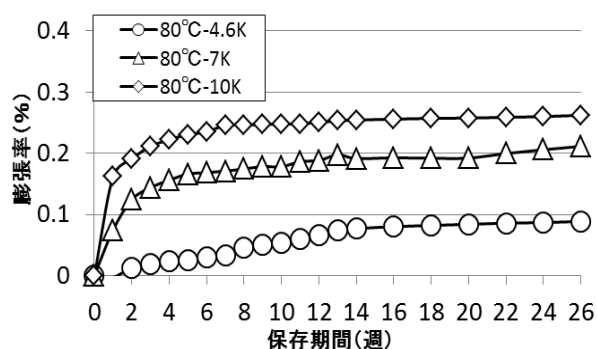


図-3 膨張率の経時変化(80°C)

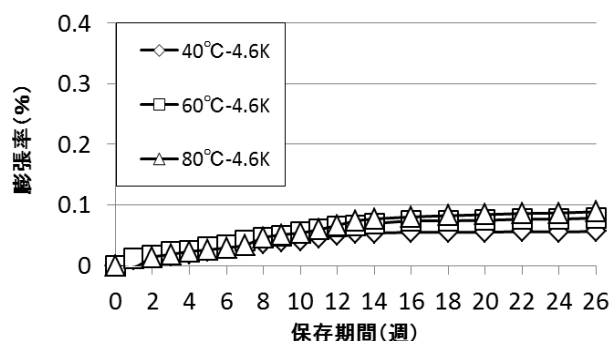


図-4 膨張率の経時変化(4.6K)

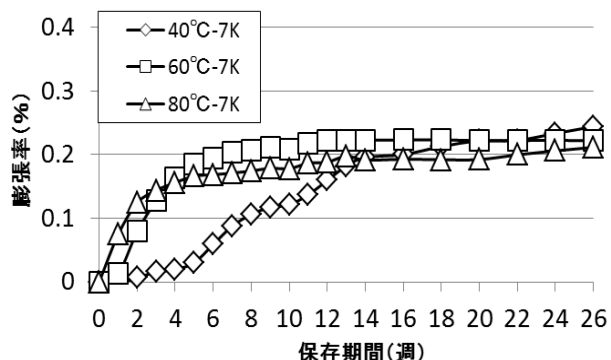


図-5 膨張率の経時変化(7K)

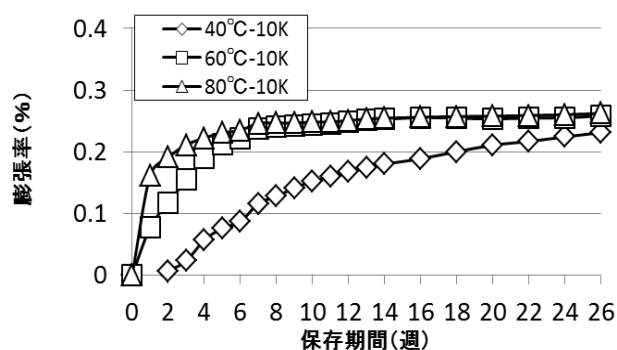


図-6 膨張率の経時変化(10K)

3. 3 NaOH 溶液浸漬法とコンクリート法との比較

上述したように、NaOH 添加法では、供試体作製時や養生の際に問題点があるため、NaOH 溶液浸漬法を採用することとする。図-10 に、従来の試験法であるコンクリート法と NaOH 溶液浸漬法の結果を比較する。なお、ここでは、コンクリート法を N と表記する。いずれの条件で保存した場合でも、コンクリート法よりも NaOH 溶液浸漬法の方が膨張率は大きくなった。これは、NaOH 溶液に浸漬させたことで、供試体内部にアルカリが供給され、ASR が促進されたためと考えられる。

次に、NaOH 溶液浸漬法の促進養生条件について考える。実験結果より、NaOH 溶液濃度が同じ場合には、他の保存温度と比較して 80℃で保存した供試体の膨張率が最も大きくなったので保存温度を 80℃とする。

ここで、NaOH 溶液浸漬法(保存温度 80℃)の各保存期間における膨張率をコンクリート法の保存期間 26 週における膨張率で除したものを膨張比と呼ぶ。図-11 に、0.5, 1 および 2 mol/l の NaOH 溶液に浸漬して 80℃で保存した供試体の膨張比の経時変化を示す。図より、いずれの濃度の NaOH 溶液に浸漬した供試体についても、3 週間程度で膨張比が 100%に達した。すなわち、保存温度を 80℃として NaOH 溶液浸漬法を実施した場合、保存期間が 3 週間程度で、コンクリート法の保存期間 26 週における膨張率と同等の膨張率を示した。したがって、今後、多種多様な骨材を用いて検討する必要があるが、NaOH 溶液に供試体を浸漬して 80℃で保存することにより、コンクリート法よりも早期にコンクリートのアルカリシリカ反応性を判定できる可能性があると考えられる。

4.まとめ

NaOH 添加法および NaOH 溶液浸漬法は、いずれの試験条件においてもコンクリート法より大きな膨張を生じた。中でも、NaOH 添加法は NaOH 溶液浸漬法より早期に膨張を生じた。しかし、NaOH 添加法はコンクリート練混ぜ時に多量のアルカリを添加する必要があるためコンクリートにこわばりが生じ、供試体作製が困難であった。この理由から、本研究では NaOH 溶液浸漬法を採用することにした。NaOH 溶液浸漬法による膨張とコンクリート法による膨張とを比較検討した結果、保存温度を 80℃として NaOH 溶液浸漬法を実施することにより、コンクリート法よりも早期にコンクリートのアルカリシリカ反応性を判定できる可能性があると考えられる。

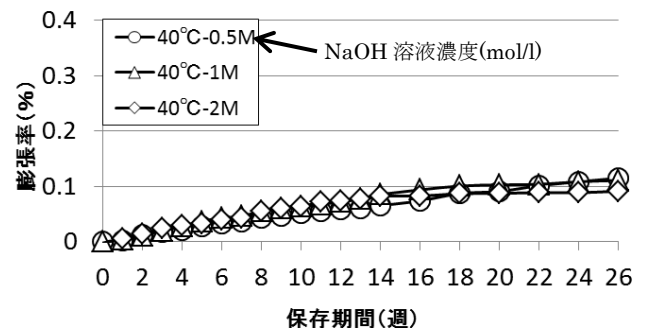


図-7 膨張率の経時変化(40℃)

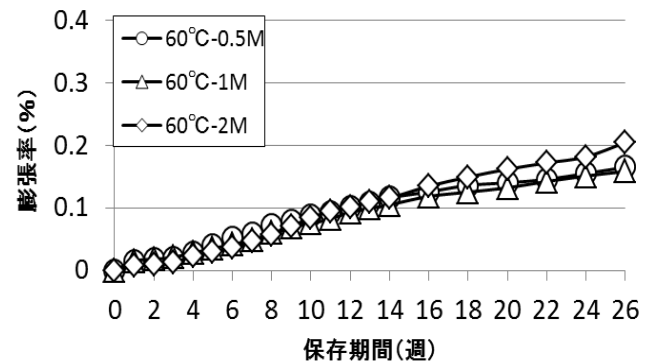


図-8 膨張率の経時変化(60℃)

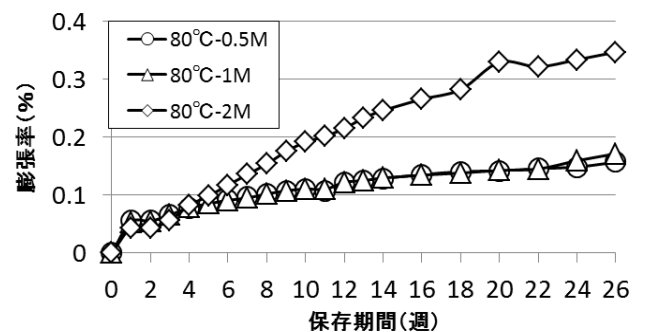


図-9 膨張率の経時変化(80℃)

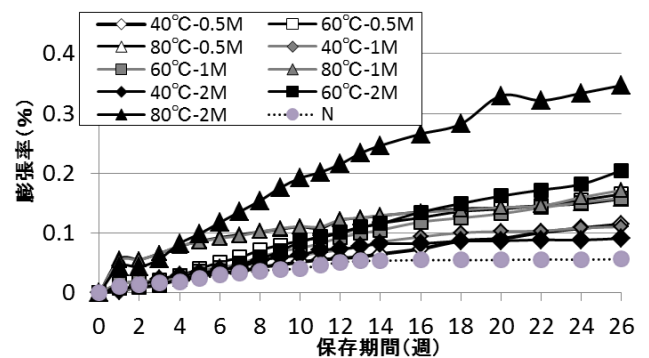


図-10 コンクリート法との比較

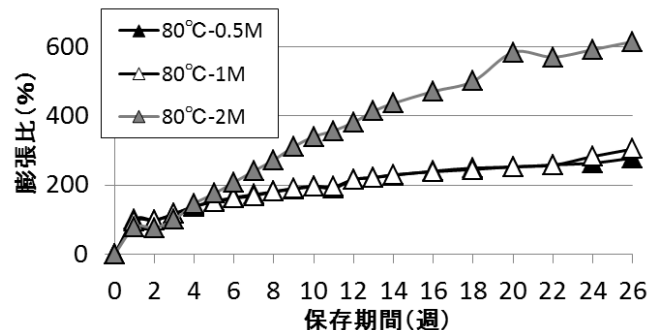


図-11 従来法に対する膨張比