

コンクリートコアの ASR 膨張に及ぼす促進養生条件と反応性骨材の種類の影響

鳥取大学大学院 学生会員 ○SALIHIN SALIM 大豊建設(株) 正会員 山田 直紀
鳥取大学大学院 正会員 黒田 保 鳥取大学大学院 正会員 吉野 公

1. はじめに

アルカリシリカ反応 (ASR) はコンクリートの劣化要因の一つである。アルカリシリカ反応は、アルカリシリカ反応性鉱物を含有する骨材 (反応性骨材) がコンクリート中の高いアルカリ性を示す水溶液と反応して、コンクリートに異常な膨張を発生させる。ASR によって劣化したコンクリート構造物に対して、今後どの程度劣化が進行するのかを予測する方法として、コンクリートコアの残存膨張量の測定法がある。残存膨張量を把握するための従来の促進膨張試験である JCI-DD2 やデンマーク法などには ASR の危険性を判定するのに長期間を要することが一つの問題点として挙げられる。そこで、本研究では従来法の問題点を解決するために、ASR による残存膨張性を早期に判定するための新たな促進試験法を開発することを目的としている。本研究では、供試体を NaOH 溶液に浸漬させる NaOH 溶液浸漬法による促進試験法について検討した。

2. 実験概要

本研究で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 (表乾密度:3.14g/cm³,全アルカリ量:0.55%) である。反応性骨材として3種類の骨材 (以下 KS, T1, CHと記す) を用いた。粗骨材には反応性骨材の混合割合を100%として使用した。細骨材には非反応性細骨材 (表乾密度:2.64g/cm³) を使用した。コンクリートのアルカリ含有 (R₂O) はNa₂O当量で8kg/m³とし、R₂Oの調整にはNaClを使用した。コ

ンクリートの配合を表1に、実験要因を表2に示す。実験にはφ75×150mmのコンクリート円柱供試体を使用した。作製した供試体を湿布で包みその上からラップフィルムとガムテープを巻きつけ密閉し、20℃の恒温槽で5週間養生した。養生終了後、ゲージプラグを貼り付けたステンレスバンドを、基長100mmとなるように供試体に取り付け、初期長さを測定し、所定の濃度のNaOH溶液に浸漬させた。溶液に浸漬させたままの状態で行った。比較用の試験としてデンマーク法 (飽和NaCl溶液に供試体を浸漬させ50℃で保存) を実施し供試体の長さ変化を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 供試体を浸漬させる NaOH 溶液濃度の影響 (図 1~3 参照)

供試体を保存する温度や反応性骨材の種類によって供試体を浸漬する NaOH 溶液濃度が供試体の膨張率に及ぼす影響が異なる。これは、ASR ゲルの生成速度と生成量による影響、および ASR ゲルの化学組成による影響が供試体の膨張率に複雑に影響しているためである。KS および T1 骨材を使用した供試体 (KS 供試体および T1 供試体と称す) については、保存温度を 40℃とした場合に、0.5mol/l (以下、M と略記) の NaOH 溶液に浸漬した供試体よりも 1 および 2M の NaOH 溶液に浸漬した供試体の方が膨張率が小さくなった。保存温度を

表1 コンクリートの配合

反応性骨材の種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
KS	45	41	180	400	702	993
T1	45	41	180	400	702	993
CH	45	41	180	400	702	990
KS	65	45	180	277	816	983
T1	65	45	180	277	816	983
CH	65	45	180	277	816	977

表2 実験要因

	NaOH溶液浸漬法	デンマーク法
保存温度 (°C)	40, 60, 80	50
溶液濃度 (mol/l)	0.5, 1, 2	飽和

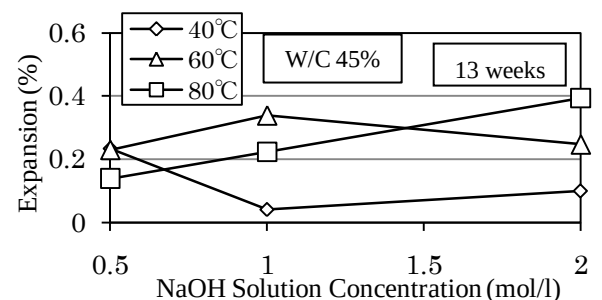


図1 膨張率と NaOH 溶液濃度の関係 (KS)

60℃とした場合は、KS と T1 供試体では1M よりも 2M の NaOH 溶液に浸漬させたほうが膨張率が小さくなっている。この原因としては、NaOH 溶液濃度が高いほど、ASR によって生成される ASR ゲルの SiO_2 に対する Na_2O のモル比 ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) の値が小さくなり、ASR ゲルが流動化して膨張圧が緩和されたためと考えられる。一方、保存温度を 80℃とした場合には、KS と T1 供試体では NaOH 溶液濃度が高いほど膨張率は大きくなっている。この原因としては、保存温度が高いため、NaOH 溶液濃度の上昇により ASR ゲルが流動化したとしても、反応性骨材に作用する十分な量のアルカリがコンクリート内部に存在し、多量の ASR ゲルが生成されたことが考えられる。CH 骨材を使用した供試体 (CH 供試体と称す) については 1M で膨張率が最大となり、それ以上 NaOH 溶液濃度を高くしても膨張率は大きくならなかった。

3.2 保存温度の影響 (図 4~9 参照)

供試体を浸漬させる NaOH 溶液濃度によって保存温度が ASR 膨張に及ぼす影響が異なる。CH 供試体を除いて、NaOH 溶液濃度を 2M とした時、保存温度が高くなるにつれて膨張率は大きくなる。この原因としては、2M の NaOH 溶液に浸漬させた場合には十分な濃度の NaOH 溶液がコンクリート内部に浸透するため、保存温度が高いほど ASR が促進され ASR ゲルの生成量が増加したためと考えられる。一方、NaOH 溶液の濃度が 0.5M の時には、80℃で保存すると膨張率は最も小さくなった。これは、保存温度が高すぎると ASR ゲルの流動化速度が増すこと、および 2M の NaOH 溶液に浸漬した供試体と異なり NaOH 溶液濃度が低いことにより十分な量の ASR ゲルが生成されなかったことが原因であると考えられる。CH 供試体については、いずれの濃度の NaOH 溶液に浸漬した場合にも、60℃で保存した時に膨張率が最も大きくなった。

3.3 水セメント比 (W/C) の影響 (図 10 参照)

供試体の W/C の違いによる膨張率の影響は、いくつかの相反する要因によって異なる。図 10 に各供試体の保存期間 13 週における膨張率と水セメント比の関係を示す。図より、0.5M の NaOH 溶液に浸漬して 60℃で保存した供試体を除いて、反応性骨材の種類や養生条件に関わらず、W/C=45%の供試体の方が W/C=65%の供試体よりも膨張率の値が大きい。W/C が大きいほどコンクリート内の細孔量が多く、また細孔径は大きいので外部から浸透するアルカリ量が多くなると考えられ、膨張率は大きくなると推測できる。一方、W/C が大きいほど ASR ゲルの吸水膨張による膨張圧をより緩和するため膨張率は小さくなるとも考えられる。本実験結果については、W/C の増加による ASR ゲルの膨張圧の緩和

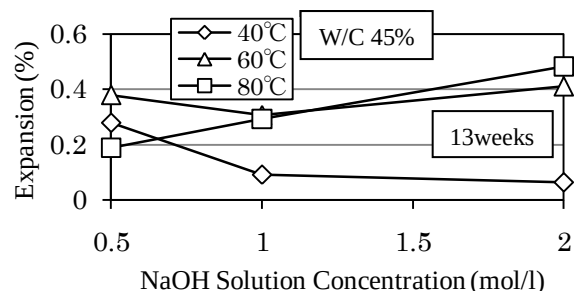


図2 膨張率とNaOH溶液濃度の関係 (T1)

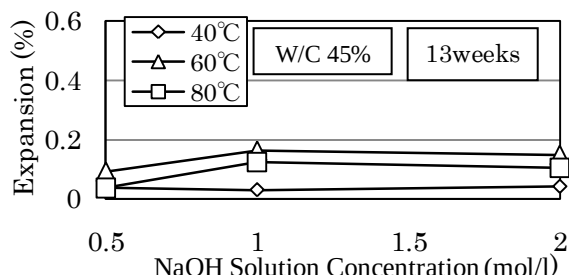


図3 膨張率とNaOH溶液濃度の関係 (CH)

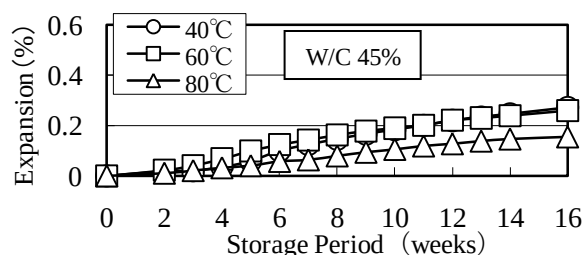


図4 膨張率の経時変化 (KS-0.5M)

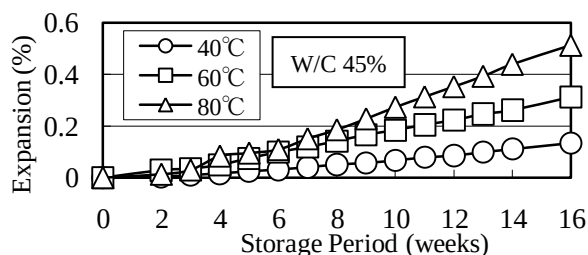


図5 膨張率の経時変化 (KS-2.0M)

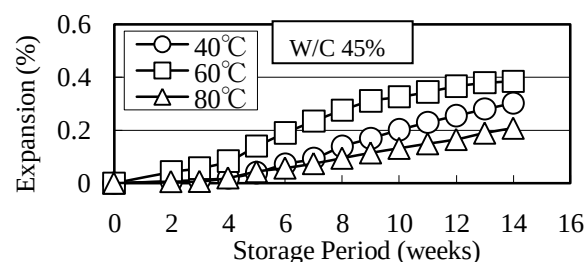


図6 膨張率の経時変化 (T1-0.5M)

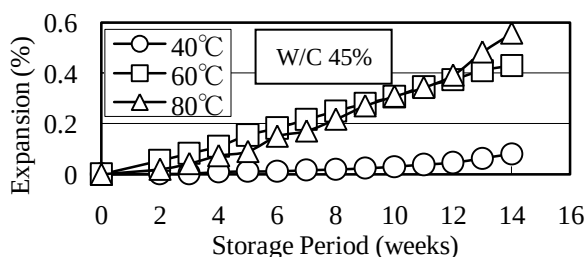


図7 膨張率の経時変化 (T1-2.0M)

の影響が大きく作用したと考えられる。

3.4 反応性骨材の種類の影響 (図 11 参照)

図 11 は保存期間 6 週における各反応性骨材を使用した供試体の膨張率を比較したものである。図より,1M の NaOH 溶液に浸漬して 40℃で保存した供試体を除いて,いずれの養生条件においても CH 供試体が他の反応性骨材を使用した供試体よりも膨張率が小さい。これは,CH はチャートであり安山岩 (KS および T1) よりも反応速度が遅いことが原因であると考えられる。

次に,デンマーク法と NaOH 溶液浸漬法における供試体の ASR 膨張の比較検討を行なう。図 12 に W/C=45%および 65%とした供試体のデンマーク法による膨張率の経時変化を示す。デンマーク法においても CH 供試体は KS および T1 供試体よりも膨張率が小さい。また,デンマーク法ではいずれの供試体も NaOH 溶液浸漬法よりも膨張を生じ始める時期が遅く,保存期間が約 9 週を過ぎてから膨張を生じ始めている。これは, NaOH 溶液浸漬法では供試体内部に供給された NaOH が直接 ASR を助長するのに対して,デンマーク法ではコンクリート内部に供給された NaCl とコンクリート中の C_3A および $Ca(OH)_2$ が反応して細孔溶液中の OH^- 濃度が高められることによって ASR が助長されるためである。すなわち NaCl 溶液が供試体内部に浸透してその反応を生ずるまでに時間がかかることが原因として考えられる。NaOH 溶液浸漬法において,図 11 に示す 0.5~2M の NaOH 溶液に浸漬して 60℃で保存した供試体および 2M の NaOH 溶液に浸漬して 80℃で保存した供試体は,保存期間 6 週目で大きな膨張率を示している。したがって,これらの促進試験条件による NaOH 溶液浸漬法はデンマーク法よりも早期に ASR によるコンクリートの残存膨張性の判定を行なうことができる可能性があると考えられる。

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた結果を以下に示す。

- (1) 保存温度によって ASR 膨張に及ぼす NaOH 溶液濃度の影響が異なり,供試体を浸漬する NaOH 溶液の濃度を高くしても,必ずしも膨張率は大きくならなかった。
- (2) 供試体を浸漬する NaOH 溶液濃度によって,保存温度が ASR 膨張に及ぼす影響は異なり,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。
- (3) NaOH 溶液浸漬法は,デンマーク法よりも早期に ASR によるコンクリートの残存膨張性の判定を行なうことができる可能性があると考えられる。

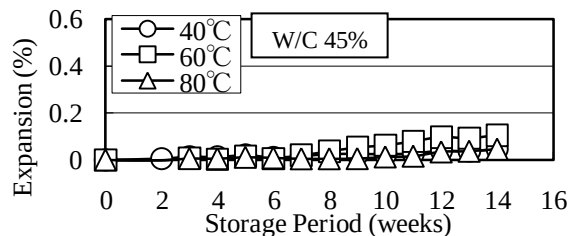


図8 膨張率の経時変化 (CH-0.5M)

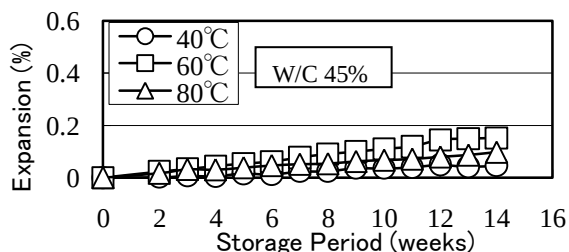


図9 膨張率の経時変化 (CH-2.0M)

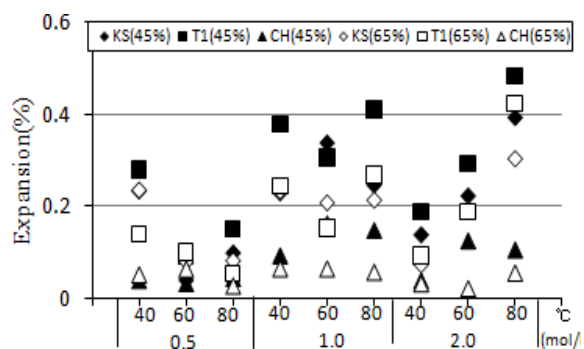


図 10 W/C が膨張率に及ぼす影響 (13 週)

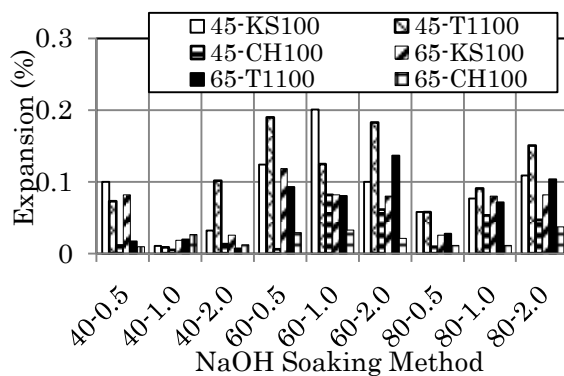


図 11 反応性骨材による影響(6 週)

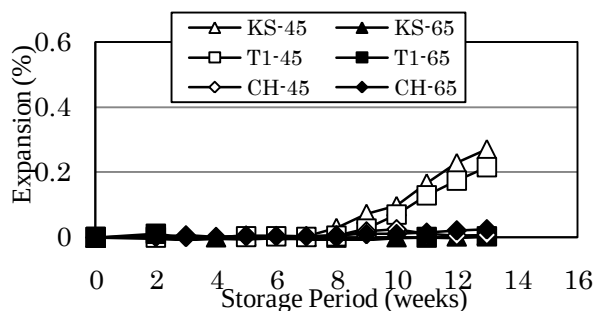


図12 デンマーク法の膨張率の経時変化