

コンクリートの ASR による残存膨張に及ぼす促進試験条件の影響

鳥取大学大学院 学生会員 ○牛田智也
鳥取大学 正会員 林 昭富

鳥取大学 正会員 黒田 保
鳥取大学 正会員 井上正一

1. はじめに

コンクリートの劣化要因の一つとしてアルカリシリカ反応（以下 ASR と記す）が挙げられる。コンクリート構造物に ASR による劣化が生じた場合、補修・補強などの対策を行うためにその劣化状況を把握することが重要となる。ASR による劣化状況を示す指標であるコンクリートの残存膨張量を把握する試験としてコアの促進膨張試験がある。現在、日本で広く用いられている JCI-DD2 は ASR の危険性を判定するのに長期間を要することや外部からアルカリが浸入する環境には対応していないことが問題となっている。これらの問題を考慮して、本研究ではコアを NaOH 溶液に浸漬する ASR 促進膨張試験法について検討した。

2. 実験概要

本実験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（密度：3.16g/cm³，全アルカリ量：0.62%）である。粗骨材には反応性骨材（安山岩，表乾密度：2.60g/cm³，アルカリ濃度減少量（R_c）：172mmol/l，溶解シリカ量（S_c）：732mmol/l）と非反応性骨材（砂岩，表乾密度：2.73g/cm³）を質量比で 6：4 となるように混合したものを使用した。細骨材には非反応性骨材（表乾密度：2.64g/cm³）を使用した。

コンクリートの配合（空気量 4.5±1.5%）を表 1，実験要因を表 2 に示す。コンクリートのアルカリ含有量（R₂O）は Na₂O 当量で 8kg/m³とし，R₂O の調整には NaCl を使用した。

実験にはφ75×150 mmのコンクリート円柱供試体を使用し，まず，作製した供試体に湿布を巻きつけて，その上からビニールラップで密封して，20℃の恒温室に 5 週間静置した。つづいて，供試体の初期長さを計測して（基長 100 mm：ゲージプラグを付けたステンレスバンドを供試体に取り付けて計測）から，供試体を所定の濃度の NaOH 溶液に浸漬し，それを所定の温度に設定した恒温槽で保存した。所定の保存期間経過後に供試体の長さ変化を計測し，膨張率を算出した。長さ変化の計測は，計測日の前日に供試体を NaOH 溶液に浸漬させたまま恒温槽から取り出し，それを 20℃の恒温室に 24 時間静置した後に行なった（以下，この試験法を NaOH 溶液浸漬法と記す）。また，比較用の試験として 20℃の恒温室で湿布養生を 5 週間行なった供試体に対してデンマーク法（50℃の飽和 NaCl 溶液に浸漬）を実施し，供試体の長さ変化を計測した。

3. 実験結果と考察

図 1 および 2 に，W/C=65%とした供試体を 0.5 および 2mol/l の NaOH 溶液にそれぞれ浸漬し，それらを 40，60 および 80℃で保存した場合の膨張率の経時変化を示す。0.5mol/l の NaOH 溶液に浸漬した供試体については，80℃で保存した供試体と比較して 40 および 60℃で保存した供試体は膨張を生じる時期が早く，膨張率も大きい。一方，2mol/l の NaOH 溶液に浸漬した供試体については，保存温度が高いもののほど膨張率は大きくなった。このように供試体を浸漬する NaOH 溶

液の濃度によって保存温度が ASR 膨張に及ぼす影響が異なる原因としては次のように考えられる。保存温度が高いほど ASR が促進されて生成される ASR ゲルの量は多くなるため，保存温度の上昇は ASR 膨張を大きくする要因となると考えられる。また，保存温度が高いほど ASR ゲルの流動化する速度が速くなり，保存温度の上昇は ASR 膨張を小さくする要因となる場合もあると考えられる。0.5mol/l の NaOH 溶液に浸漬した場合には，保存温度の上昇とともに ASR ゲルが急激に生成され，ASR ゲルがアルカリを取り込み早期に流動化するため，他の保存

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	1012
65	45	180	277	816	1002

表 2 実験要因

W/C (%)	45, 65
NaOH 溶液濃度 (mol/l)	0.5, 2
保存温度 (°C)	40, 60, 80

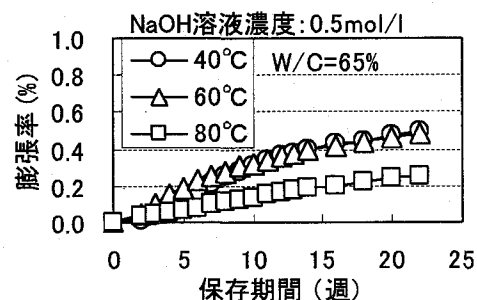


図 1 膨張率の経時変化

温度の場合よりも 80℃で保存した供試体の膨張率が小さくなったと考えられる。一方、2mol/l の NaOH 溶液に浸漬した場合には、保存温度の上昇とともに ASR ゲルの流動化する速度は速くなるが、供試体を浸漬する NaOH 溶液濃度が高いために ASR を持続するのに十分な量の NaOH が供試体内部に存在し、ASR ゲルの流動化よりも ASR ゲルの増大による影響の方が勝ったために保存温度の上昇とともに膨張率が大きくなったと考えられる。

図3および4に、W/C=45%および65%の供試体を2mol/l の NaOH 溶液に浸漬して、60 および 80℃でそれぞれ保存した場合の膨張率の経時変化を示す。60℃で保存した供試体については、W/C=45%の供試体と W/C=65%の供試体とはほぼ同じ膨張率になった。一方、80℃で保存した供試体については、W/C=45%の供試体は W/C=65%の供試体よりも膨張率が大きくなった。W/C が大きくなると、細孔径が大きく、また細孔量が多くなり、各種イオンの拡散速度および水の移動速度が早くなるため ASR が助長される。一方、W/C が大きくなると、細孔径が大きく、細孔量が多くなるため、ASR ゲルの膨張圧が小さくなる場合もあると考えられる。これらの相反する現象の影響により、60℃で保存した場合には、W/C=45%と 65%の供試体の膨張率がほぼ同じ値になったと考えられる。一方、80℃で保存した場合には、60℃で保存した場合と比較して保存温度が高いため、ASR ゲルの生成速度が速くなり、早期に多量の ASR ゲルが生成されと考えられる。そのため、細孔径や細孔量の違いによる ASR ゲルの膨張圧の緩和の影響がより顕著に現れて、W/C=65%の供試体よりも W/C=45%の供試体の方が膨張率が大きくなったものと考えられる。

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5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5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 C₃A 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1に示す保存温度 60℃で 0.5mol/l の NaOH 溶液に浸漬した供試体や図2に示す保存温度 60℃および 80℃で 2mol/l の NaOH 溶液に浸漬した供試体は保存期間 3~4 週で大きな膨張を示していることから、それらの試験条件の NaOH 溶液浸漬法はデンマーク法よりも早く ASR によるコンクリートの残存膨張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) 保存温度を高くしても、供試体を浸漬する NaOH 溶液濃度によっては必ずしも膨張率は大きくならなかった。
- 2) W/C が ASR 膨張に与える影響は保存温度の相違によって異なり、保存温度が低い場合には、供試体の W/C が異なってもそれらの膨張率はほぼ同じ値となったが、保存温度が高い場合には、供試体の W/C が小さい方が膨張率が大きくなった。

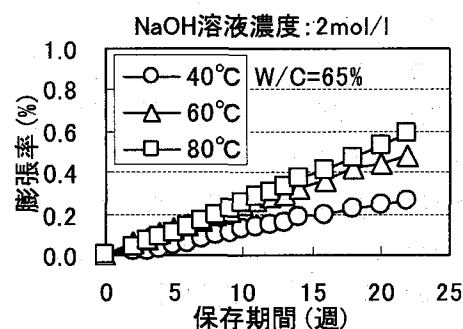


図2 膨張率の経時変化

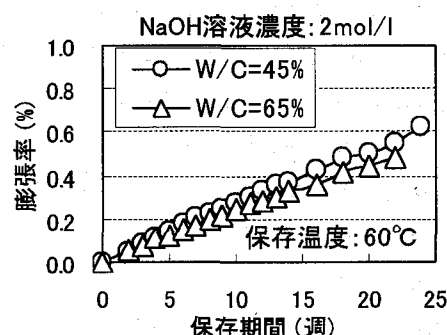


図3 膨張率の経時変化

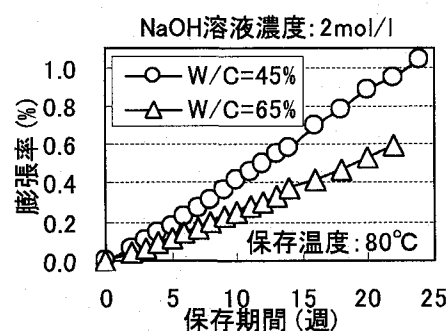


図4 膨張率の経時変化

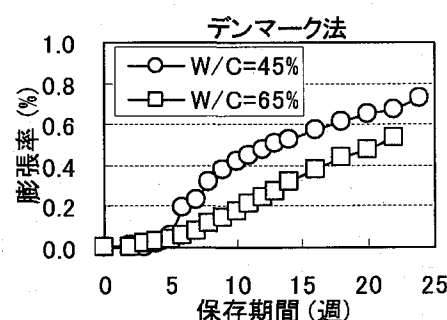


図5 膨張率の経時変化