

コンクリートコアのASRによる膨張率測定法における促進試験条件の検討

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 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一つにアルカリシリカ反応(以下ASRと称す)がある。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なう際にはその劣化状況を把握することが重要である。ASRによって今後どの程度膨張するか(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の残存膨張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促進膨張試験条件について検討した。

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/cm^3 , 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/cm^3 , R_s : 172mmol/l , S_c : 732mmol/l)と非反応性骨材(安山岩, 表乾密度: 2.73g/cm^3)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/cm^3)を使用した。コンクリートの配合(空気量 $4.5 \pm 1.5\%$)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(R_2O)は Na_2O 当量で 8kg/m^3 とし, R_2O の調整には NaCl を使用した。

実験には $\phi 75 \times 150\text{mm}$ のコンクリート円柱供試体を使用し, まず, 製作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°C の恒温槽に5週間静置した。つづいて, 初期長さを計測して(基長 100mm :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NaOH溶液に浸漬し, それを所定の温度に設定した恒温槽内に保存した。所定の保存期間経過後に供試体の長さ変化を計測して, 膨張率を算出した。なお, 初期長さを計測した後, ただちにNaOH溶液に浸漬した場合と, 40°C , R.H.100%で保存して膨張率が 0.3% になって(あらかじめASRによる劣化を生じさせた)からNaOH溶液に浸漬した場合の実験を行なった。前者を初期膨張率 0% の供試体, 後者を初期膨張率 0.3% の供試体と称す。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°C の恒温槽に24時間静置した後に行った(この試験法をNaOH溶液浸漬法と称す)。比較用の試験として, 同様の供試体に対してデンマーク法(50°C の飽和 NaCl 溶液に供試体を浸漬)も実施した。

3. 実験結果および考察

図-1に $W/C=45\%$ とした供試体を 0.5mol/l のNaOH溶液に浸漬させた場合の膨張率の経時変化を示す(凡例のカッコ内の数値は初期膨張率を示す)。初期膨張率が 0% と 0.3% のいずれの供試体についても, 60°C で保存したときに最も膨張率は大きく, 40°C および 80°C で同程度の膨張率となつて

表-1 コンクリートの示方配合

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, 1, 2
保存温度 ($^\circ\text{C}$)	40, 60, 80
供試体寸法 (mm)	$\phi 75 \times 150$
初期膨張率 (%)	0, 0.3

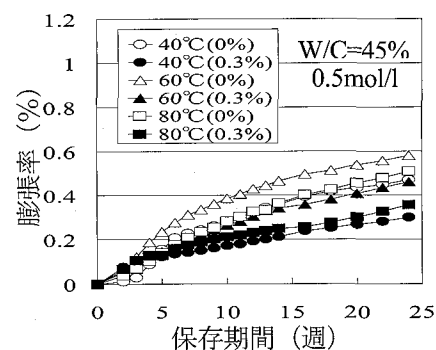


図-1 膨張率の経時変化

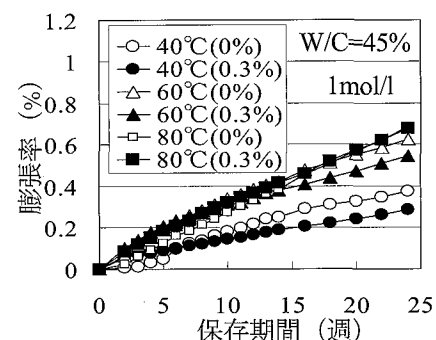


図-2 膨張率の経時変化

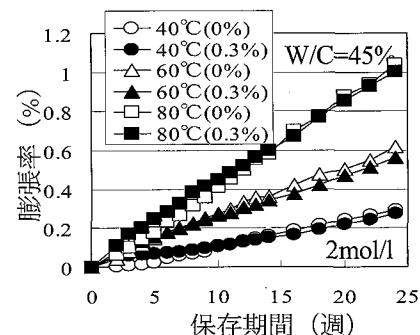


図-3 膨張率の経時変化

いる。図-2 に $W/C=45\%$ とした供試体を 1mol/l の NaOH 溶液に浸漬させた場合の膨張率の経時変化を示す。初期膨張率が 0.3% の供試体は 40°C で保存した場合の膨張率が最も小さく、保存温度の上昇とともに膨張率は大きくなっている。初期膨張率 0% の供試体についても 40°C で保存した供試体の膨張率が最も小さい。また、 60°C と 80°C で保存した供試体を比べると、保存期間 16 週までは 60°C で保存した供試体の膨張率が 80°C で保存した供試体の膨張率を上回っているが、16 週以降では保存温度が高い方が膨張率は大きくなっている。図-3 に $W/C=45\%$ とした供試体を 2mol/l の NaOH 溶液に浸漬させた場合の膨張率の経時変化を示す。初期膨張率が 0% と 0.3% のいずれの供試体についても、保存温度の上昇とともに膨張率は大きくなっている。このように、保存温度が供試体の ASR 膨張に与える影響は、初期膨張率が異なってもほぼ同じ傾向となっている。また、 $W/C=65\%$ の供試体についても、保存温度が供試体の ASR 膨張に与える影響は、初期膨張率が異なっても同じ傾向を示した。これらのことから、 NaOH 溶液浸漬法においては、促進試験開始時のコンクリートの ASR による劣化の程度の違いに関わらず適確に促進膨張させることができると考えられる。

近年、骨材のアルカリシリカ反応性を調べるデンマーク法をコンクリートコアの ASR 促進膨張試験へ適用する試みが行なわれている。デンマーク法では、保存期間 13 週におけるコアの膨張率が 0.1% 未満で「膨張性なし」、 $0.1\% \sim 0.4\%$ で「不明確」、 0.4% 以上で「膨張性あり」と判定し、この試験は凍結防止剤などのアルカリが外部から浸入する構造物に対して適していると報告されている¹⁾。 $W/C=45\%$ で初期膨張率を 0% と 0.3% とした供試体を用いてデンマーク法を実施した結果を図-4 に示す。 NaOH 溶液浸漬法と比較して、デンマーク法では、膨張を生じる時期が遅いことがわかる。ここで、 NaOH 溶液浸漬法で早期に大きな膨張を生じた試験条件とデンマーク法を比較し、 NaOH 溶液浸漬法の判定基準の選定を行なう。図-1~3 より、 NaOH 溶液浸漬法の中でも早期に

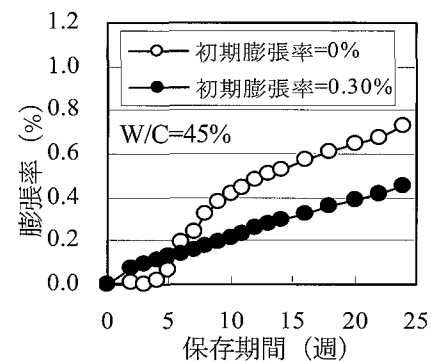


図-4 膨張率の経時変化

大きな膨張率を示している試験条件として、「 NaOH 溶液濃度・保存温度」が「 $0.5\text{mol/l}-60^\circ\text{C}$ 」, 「 $1\text{mol/l}-60^\circ\text{C}$ 」, 「 $2\text{mol/l}-80^\circ\text{C}$ 」の条件を選定した。これらの試験条件における保存期間 4 週での膨張率と、同じ供試体 ($W/C=45, 65\%$ および初期膨張率 $0, 0.3\%$) に対してデンマーク法を実施した場合の保存期間 13 週での膨張率の関係を一次式で近似した場合の近似式と相関係数を表-3 に示す。表-3 より、 0.5mol/l の NaOH 溶液に浸漬して 60°C で 4 週間保存した場合の膨張率とデンマーク法の保存期間 13 週における膨張率との間には高い相関関係があることがわかる。この関係を図-5 に示す。この結果から、デンマーク法におけるコアの残存膨張性の判定基準値である 0.4% と 0.1% の膨張率に対応する NaOH 溶液浸漬法(供試体を 0.5mol/l の NaOH 溶液して 60°C で保存)の保存期間 4 週における膨張率を表-3 の近似式から算出すると、 0.16% と 0.09% となる。以上の結果から、コンクリートコアを 0.5mol/l の NaOH 溶液に浸漬して 60°C で 4 週間保存したときの膨張率が 0.16% 以上のとき「膨張性あり」、 $0.09 \sim 0.16\%$ のとき「不明確」、 0.09% 未満のとき「膨張性なし」と判定できる可能性があると考えられる。

表-3 NaOH 溶液浸漬法とデンマーク法との比較

試験条件	相関係数(r)	近似式
$0.5\text{mol/l}-60^\circ\text{C}$	0.927	$y=0.2196x+0.0742$
$1\text{mol/l}-60^\circ\text{C}$	0.658	$y=0.1122x+0.1189$
$2\text{mol/l}-80^\circ\text{C}$	0.216	$y=0.055x+0.1221$

x : NaOH 溶液浸漬法の 4 週における膨張率
 y : デンマーク法の 13 週における膨張率

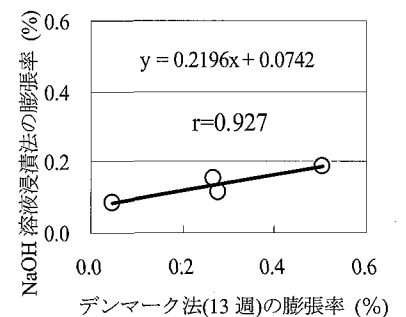


図-5 NaOH 溶液浸漬法とデンマーク法との比較

4. まとめ

- (1) 保存温度がコンクリートコアの ASR 膨張に与える影響は、供試体の初期膨張率(試験開始時の劣化の程度)が異なっても同じであった。
- (2) コンクリートコアを 0.5mol/l の NaOH 溶液に浸漬して 60°C で保存することによって、早期にコアの残存膨張性を判定できる可能性がある。

謝辞 本研究は日本學術振興会科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号: 18560451)の助成を受けて実施したことを付記し、ここに謝意を表する。

参考文献 1) 鳥居和之:凍結防止剤によるコンクリート構造物の損傷と防止対策, セメント・コンクリート, No.635, pp.40~46, 2000 年 1 月。