

鳥取大学大学院 学生会員○中島俊介
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
鳥取大学大学院 畑岡 寛

1. はじめに

コンクリート構造物は重要な社会資本であり、その供用期間中にアルカリシリカ反応による劣化を生ずるとこれらの機能に重大な障害を与えるおそれがある。このために構造物にアルカリシリカ反応（以下 ASR と記す）が生ずる可能性があるのか、将来どの程度の膨張を生ずるのか、などの情報を早い時期に知ることは極めて重要である。ASR の進行には反応性骨材とアルカリおよび水の共存状態が必要条件である。気温は 1 年を通し常に変化をしているため、温度の変化が ASR に与える影響を把握することは、コンクリート構造物の ASR 劣化を予測するために重要である。本研究では、促進養生したコンクリートの ASR 膨張に与える温度履歴の影響を把握することを目的として、反応性骨材を使用したコンクリート供試体に一定のサイクルで大小 2 種類の温度を交互に与え、供試体を促進養生する。その温度履歴がコンクリートの ASR 膨張に与える影響について検討をする。

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＝ 3.14kg/cm^3 ，全アルカリ量＝ 0.55% ）である。粗骨材には非反応性骨材（表乾密度＝ 2.67kg/cm^3 ）を使用し、細骨材には骨材のアルカリシリカ反応性試験（化学法およびモルタルバー法）で「無害でない」と判定された反応性骨材（表乾密度＝ 2.71kg/cm^3 ）を使用した。実験条件を表 1 に示す。コンクリート供試体を保存する温度について、2 シリーズの実験を行った。まず、シリーズ①の実験として、コンクリート供試体を 40°C 、 50°C および

表 1 実験条件

保存温度 ($^\circ\text{C}$)	40, 50, 60
アルカリ総量 (Na_2O 当量, kg/m^3)	6.0
W/C (%)	45
単位水量 W (kg/m^3)	180
空気量 (%)	4.5 ± 1.5
供試体寸法 (mm)	$75 \times 75 \times 400$

60°C の一定温度で促進養生した。なおこのとき、十分な湿度を保持するために、供試体に濡れた布を巻きつけ、それをポリエチレン袋で密封した。シリーズ②の実験では、 40°C および 60°C の 2 種類の温度（保存温度①、保存温度②）を選定し、供試体を保存温度①と保存温度②の順番に同一期間（4 週間および 8 週間）、交互に養生した。このような養生温度の変化を以下、[保存温度① - 保存温度②（保存期間）] と記す。このとき、供試体はシリーズ①と同様に濡れた布で巻き付け、ポリエチレン袋で密封した。シリーズ①およびシリーズ②の実験について、供試体の長さ変化（基長 400mm ）を 2 週間ごとに測定した。なお、長さ変化の測定は、測定日の前日に供試体を 20°C の恒温室に移動して約 24 時間静置し、供試体の温度が 20°C になった後に行なった。

3. 実験結果と考察

3.1 膨張率の経時変化

シリーズ①として、一定温度で保存した供試体の膨張率の経時変化を図 1 に示す。図 1 より、供試体の保存

温度が高い程，早い時期に膨張率が大きくなることが分かる。化学反応の反応速度は温度が高いほど速くなる。ASRは化学反応であるため，環境温度が高いほど反応速度が速くなる。その結果，保存温度が高い程，早期にASRゲルが多量に生成され，膨張率が大きくなったと考える¹⁾。

シリーズ②の実験として，40℃と60℃の2種類の保存温度で交互に養生した供試体の膨張率の経時変化を図2に示す。図2よりそれぞれの条件において24週目以降の膨張率はほぼ同程度の値となった。図1および2より，それぞれの供試体について，ASR膨張が開始する時期は，与える温度履歴の条件ごとに大きく異なっていることが分かる。シリーズ①より保存温度を50℃とした供試体の膨張率の経時変化と，シリーズ②より保存条件を[40 - 60℃ (4W)]，[60 - 40℃ (4W)]，[40 - 60℃ (8W)] および [60 - 40℃ (8W)] とした供試体の膨張率の経時変化を図3に示す。図3より保存条件を[40 - 60℃ (4W)] および [60 - 40℃ (4W)] とした供試体および40℃と60℃の平均温度である50℃で保存した供試体の膨張率の経時変化は近似していた。保存条件を[40 - 60℃ (8W)] および [60 - 40℃ (8W)] とした供試体については，膨張率の経時変化は50℃で保存した供試体の膨張率の経時変化と大きく異なることが分かる。しかし，保存条件を[40 - 60℃ (8W)] および [60 - 40℃ (8W)] とした供試体について，40℃で8週間保存した後に60℃で8週間保存，および60℃で8週間保存した後に40℃で8週間保存した16週目については，保存温度50℃の供試体の膨張率とほぼ同程度の膨張率となった。このことから，40℃と60℃の2種類の温度を同一期間ずつ保存した場合には，供試体の膨張率は40℃と60℃の平均温度である50℃で保存した供試体の膨張率に近似することが分かった。これは，その期間における積算温度が同じであるからと考えられる。

3.2 供試体の膨張率と積算温度との関係

供試体の膨張率と積算温度(℃・D: 保存温度(℃)とその温度で保存した日数(D)の積の総和)との関係を図4に示す。図4より，保存条件ごとに膨張を開始する積算温度が異なることが分かる。また，すべての供試体について，膨張率が0.02%程度となった後，膨張を開始していることが分かる。よって今回，膨張率が0.02%になった時点で供

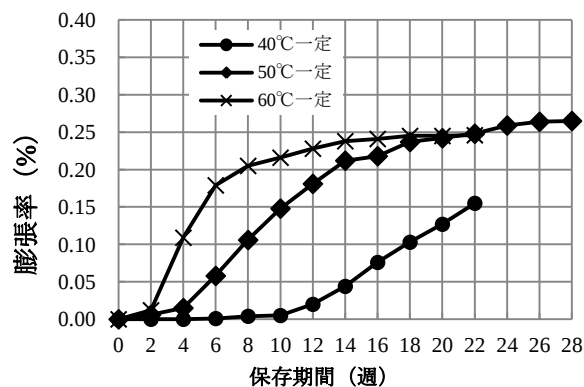


図1 膨張率の経時変化 シリーズ①

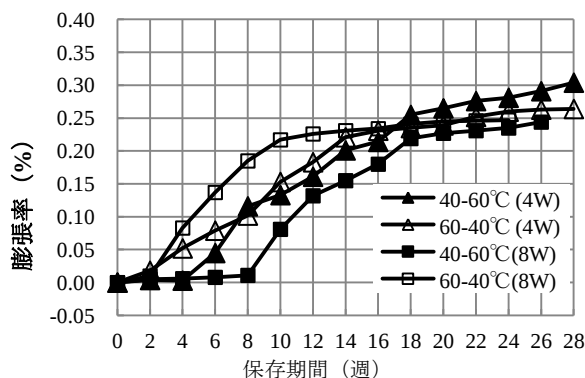


図2 膨張率の経時変化 シリーズ②

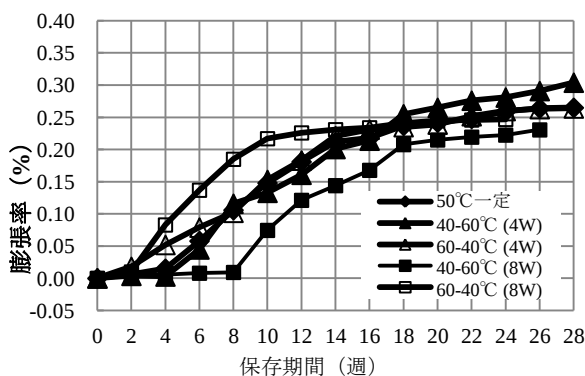


図3 膨張率の経時変化 保存温度40℃と60℃のサイクル

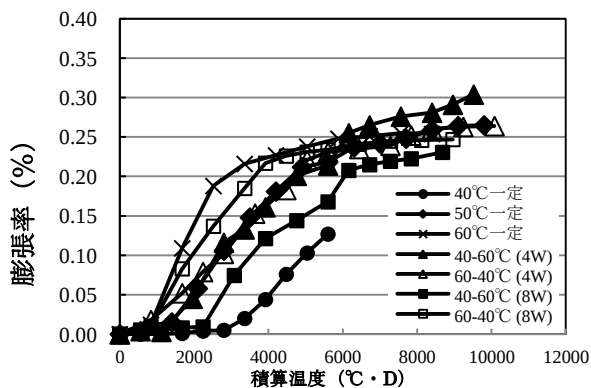


図4 積算温度と膨張率

試体の膨張が開始すると考え、シリーズ①およびシリーズ②の実験より、各保存条件ごとに、膨張率が 0.02% になったときの積算温度を図 5 および 6 に示す。図 6 では、40℃ で保存した時の積算温度と 60℃ で保存した時の積算温度を分けて示した。図 5 より、一定温度で保存した場合でも、保存する温度により、供試体が膨張を開始するまでの積算温度が大きく異なることが分かる。図 6 についても、2 種類の温度を繰り返す条件が異なれば、膨張を開始する積算温度は異なる。すなわち、温度や温度の与え方によって、膨張を開始する積算温度は異なり、膨張の開始時期を積算温度で説明できない。そこで、図 5 より保存温度を 40℃ とした場合に供試体の膨張率が 0.02% となった時の積算温度を基準として、その積算温度を 50℃ および 60℃ で保存した場合に膨張率が 0.02% となった時の積算温度で除して、その値を修正係数（表 2）とする。図 6 の 60℃ で保存した時の積算温度に表 2 に示す修正係数（3.70）を修正した積算温度を図 7 に示す。修正の結果、図 7 より、各保存条件において、いずれも修正した積算温度が 3200 (℃・D) 程度となると膨張を開始することが分かった。すなわち、ここで行ったような積算温度の修正を行うことによって、膨張の開始時期を修正した積算温度から予測できる可能性があると考えられる。

次に、それぞれの供試体の膨張率が 0.02% となった時の積算温度を 0 として、シリーズ①とシリーズ②の膨張率と積算温度との関係を図 8 および 9 に示す。図 8 より、保存温度を 40℃ および 50℃ とした供試体について、膨張率が 0.02% となってからの積算温度と膨張率との関係はほぼ同様の関係となった。保存温度を 60℃ とした供試体について、積算温度が 4000 (℃・D) 程度までは、保存温度を 50℃ とした供試体と比較し、膨張率はやや大きくなったが、その後、両者の膨張挙動はほぼ一致している。図 9 より、シリーズ②の 2 種類の温度を繰り返し与える保存条件についても、膨張率が 0.02% となってからの積算温度と膨張率との関係は、保存条件にかかわらず、ほぼ同様の関係となった。図 10 に示すように、シリーズ①とシリーズ②のグラフを重ねると、積算温度と膨張率との関係は、一定温度で保存、あるいは 2 種類の温度を繰り返して保存などの保存条件の違いに関わらず、ほぼ同様の関係となった。したがって、膨張を開始してからの供試体の膨張率は、膨張

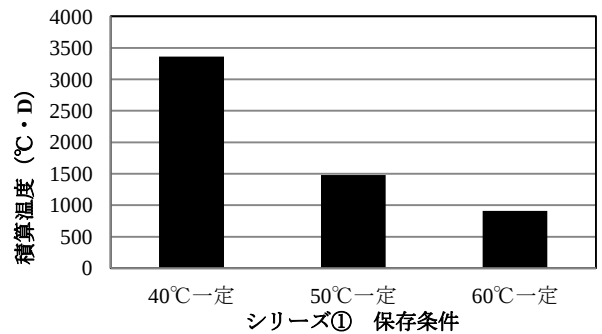


図5 膨張率0.02%時の積算温度 (℃・D)

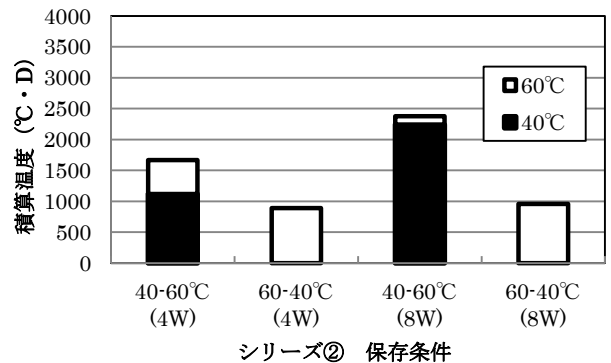


図6 膨張率0.02%時の積算温度 (℃・D)

表 2 各保存温度における積算温度の修正係数

保存温度 (℃)	40℃一定	50℃一定	60℃一定
修正係数	1.00	2.27	3.70

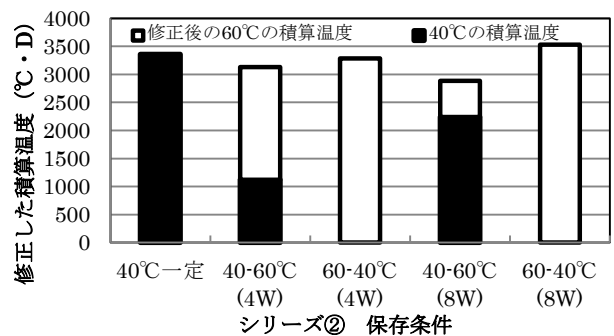


図7 膨張率0.02%時の積算温度 (℃・D)

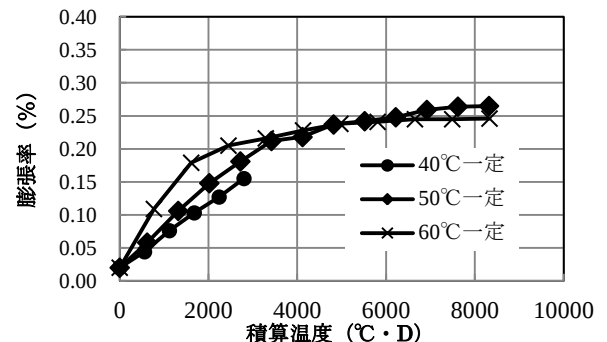


図8 膨張率0.02%からの積算温度

開始後からの積算温度で評価できる可能性があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、促進養生したコンクリートの ASR 膨張に与える温度履歴の影響について検討を行った。温度履歴について、40℃から 60℃の範囲内で一定の温度（40、50 および

60℃）を与える条件と、40℃と 60℃の 2 種類の温度を一定期間（4 週間および 8 週間）ごとに交互（40℃から開始する場合と 60℃から開始する場合の 2 通り）に与える条件とした。本研究の範囲内で得られた結果を以下にまとめて示す。

(1) ASR によって生じる供試体の膨張率は、膨張を開始してから積算温度（膨張を開始した時の積算温度を 0 とする）で評価できる可能性があると考えられる。

(2) ASR によって生じる膨張の開始時期は、一定温度で保存した場合に各温度下において膨張を開始する積算温度から求めた修正係数（基準となる温度下において膨張を開始するまでの積算温度と、ある温度下において膨張を開始するまでの積算温度の比）を用いて修正した積算温度（ある温度における積算温度にその温度における修正係数を乗じたものの総和）から予測できる可能性があると考えられる。

本研究の結果は、促進養生試験から得られた結果である。実環境におけるコンクリートの ASR 膨張に与える環境温度の影響を把握するためには、温度の範囲を広げて、実環境に近い温度の範囲についても実験を行い、その温度履歴が ASR 膨張に与える影響について検討する必要があると考える。これについては、今後の検討課題としたい。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費（課題番号：25420460）により実施したものであることを付記し、ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 小野紘一，川村満紀，田村博，中野錦一：コンクリート構造物の耐久性シリーズ「アルカリ骨材反応」，技報堂出版，p.53，pp.73-74，1986 年

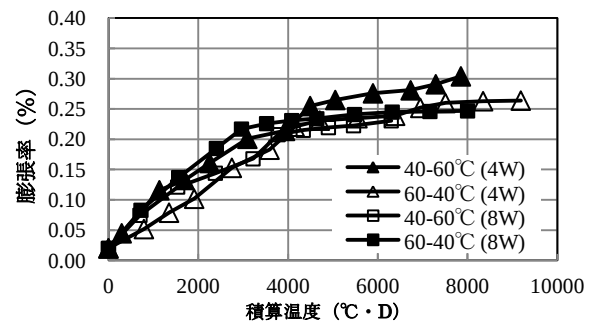


図9 膨張率0.02%からの積算温度

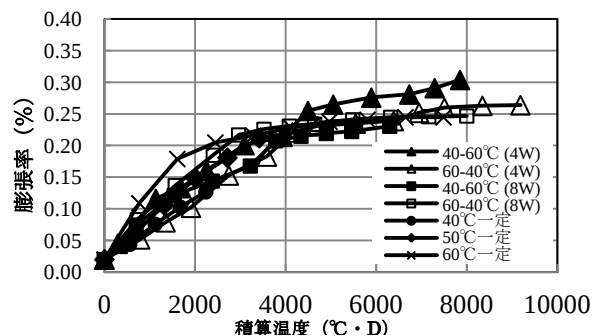


図10 膨張率0.02%からの積算温度