

ASR の促進試験による結果を用いた自然環境下における 最終膨張率の推定方法に関する検討

鳥取大学大学院	学生会員	○川井 俊平
鳥取大学大学院	正会員	黒田 保
鳥取大学大学院	正会員	金氏 裕也
鳥取大学	正会員	畑岡 寛

1. はじめに

アルカリシリカ反応(ASR)は数年という早期で発生するものから数年～数十年という長期にわたるまで反応が生じることがある。ASR による劣化の発生時期の予測は困難である。ASR によるコンクリートの劣化を予測するためには、適切な促進試験方法によって骨材のアルカリシリカ反応性の評価を出来るだけ短期間で行い、コンクリートのアルカリシリカ反応性を確認することが求められている。今回は、混和材として高炉スラグ微粉末を用い、コンクリート供試体の保存温度(促進試験環境、屋外暴露)、アルカリ総量、高炉スラグ微粉末の置換率が ASR によるコンクリートの膨張に与える影響を検討する。促進試験環境と屋外暴露はどちらも温度に着目している。そのため、温度に着目し、反応性骨材を使用したコンクリート供試体を作製し、高温下で保存したコンクリート供試体の ASR 膨張率を測定する。その結果を用いて、促進試験環境下のコンクリートの膨張率に与える各種要因の影響について検討する。同様に屋外に暴露されたコンクリートの膨張率に与える各種要因の影響についても検討する。

2. 実験概要

表 1 実験条件

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/cm³、全アルカリ量=0.52%)である。粗骨材には非反応性骨材(表乾密度=2.71kg/cm³)を使用し、細骨材には JIS で規定されている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/cm³)を使用した。コンクリートのアルカリ総量の調整には水酸化ナトリウムを使用した。実験条件を表 1 に示す。また、本実験で使用した混和材は、高炉スラグ微粉末(BFS)である。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。シリーズ①は、コンクリート供試体を 40℃、60℃、80℃の一定温度の恒温槽で促進養生した。保湿環境を保持するために、供試体を湿らせた保水性のよい布(不織布)で包みポリエチレン袋で密閉した。シリーズ②は、自然環境下である屋外で暴露する。このとき、供試体はシリーズ①と同様に湿らせた保水性のよい布(不織布)で巻き付け、ポリエチレン袋で密閉した。どちらの実験方法も供試体の長さ変化(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℃の恒温室に移動して約 24 時間静置し、供試体の温度が 20℃になった後に行った。

保存温度(℃)	40, 60, 80, 外気温
高炉スラグ微粉末の置換率	0, 10, 30, 50
アルカリ総量 (Na ₂ O 当量、kg/m ³)	7.0, 10.0
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)	75×75×400

3. 実験結果と考察

3.1 膨張率の経時変化

一般的に環境温度の上昇とともに化学反応の速度は速くなると言われており、高い保存温度で保存したコンクリート供試体ほど ASR が活発になり、早期に急激に膨張すると考えられる。以上より、各温度で保存した供試体の膨張挙動に着目する。図 1 の普通ポルトランドセメント(OPC)を使用したアルカリ総量 7.0kg/m³の供

キーワード アルカリシリカ反応, 促進試験, 最終膨張率

連絡先 〒608-8522 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学大学院 持続性社会創生科学研究科 工学専攻

T E L 0857-31-5281

試体を見ると、保存温度が高いほど早期に顕著な膨張挙動を示した。しかし、膨張率を継続して測定していくと 80℃、60℃よりも 40℃で保存した供試体の方が膨張率が大きいことが図よりわかる。屋外暴露の供試体は打設後 80 週以上と長期間経過してから膨張を生じ、促進養生を行った供試体と比較して最終膨張率は最も高いという結果になった。図 2 の BFS 置換率 10% のアルカリ総量 7.0kg/m³ の供試体を見ると、保存温度 40℃の供試体の最終膨張率は屋外暴露の収束している膨張率に最も近くなった。また、保存温度 40℃の供試体は 60℃、80℃の供試体よりも膨張を生じ始める時期は遅いが最終材齢での膨張率は 40℃が最も大きい値となった。図 3 の BFS 置換率 30%のアルカリ総量が 7.0kg/m³ の供試体を見ると、保存温度 80℃の供試体が屋外暴露の供試体に最も近い値となった。また、保存温度が 80℃と 60℃の供試体は早期に膨張し、膨張の収束時期も早くなった。図 4 の BFS 置換率 50%のアルカリ総量 7.0kg/m³ の供試体を見ると、促進環境下での膨張率の変化は保存温度に関わらずほぼ同じであり、値も小さく 0.1%以下である。また、屋外暴露の供試体は、300 週以上経過しても膨張率が増減しており膨張を続けている。OPC のアルカリ総量 7.0kg/m³ および BFS 置換率のアルカリ総量 7.0kg/m³ の条件下において、80℃、60℃のような高い温度よりも 40℃の方が膨張率が大きい供試体が存在することが図より確認できる。これは、コンクリートの ASR 膨張が ASR によって生成される ASR ゲルの生成量のみに影響されるのではなく、ASR ゲルの化学組成によっても影響されるためと考えられる。温度を上昇させることにより ASR が促進されて ASR ゲルの生成量が増大し、その ASR ゲルの吸水膨張によってコンクリートの膨張率は増大する。一方、ASR ゲルの SiO₂と Na₂O のモル比(以下、SiO₂/Na₂O と記述する)によって ASR ゲルの膨張圧は変化する。ASR ゲルの Na₂O 量が多く、SiO₂/Na₂O が小さくなると ASR ゲルの粘性が小さくなり、ASR ゲルは流動化する。ASR ゲルが流動化すると、それが吸水膨張してもコンクリート中の空隙に移動しやすくなり膨張圧が緩和される。また、高温化では ASR の反応が加速されるために、まだ塑性状態におけるコンクリート供試体内で膨張圧力が発生する。その結果、ASR ゲルの膨張圧は緩和されてコンクリートの膨張圧が小さくなると考えられている。BFS 置換率 50%でアルカリ総量 7.0kg/m³では膨張率がほとんど変化しなかったのは BFS の置換率が高く ASR 抑制効果の影響が考えられる。

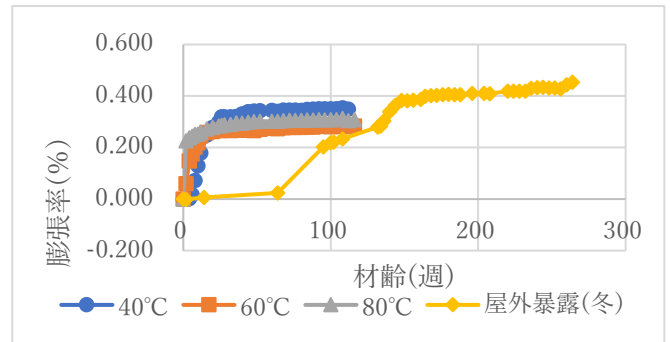


図 1 膨張率の経時変化
(OPC,アルカリ総量 7.0kg/m³)

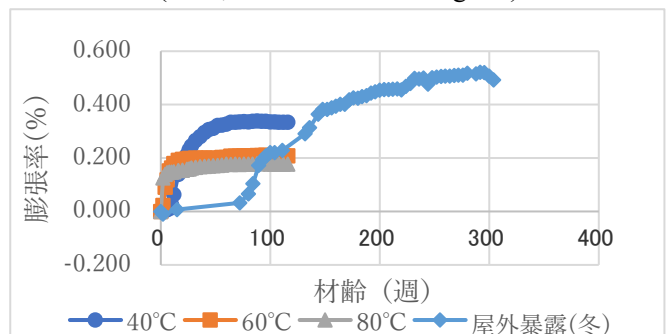


図 2 膨張率の経時変化
(BFS 置換率 10%,アルカリ総量 7.0kg/m³)

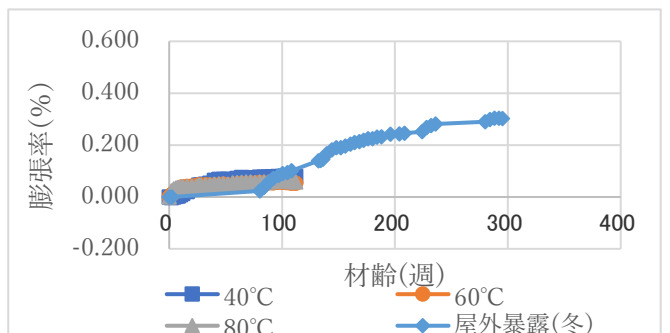


図 3 膨張率の経時変化
(BFS 置換率 30%,アルカリ総量 7.0kg/m³)

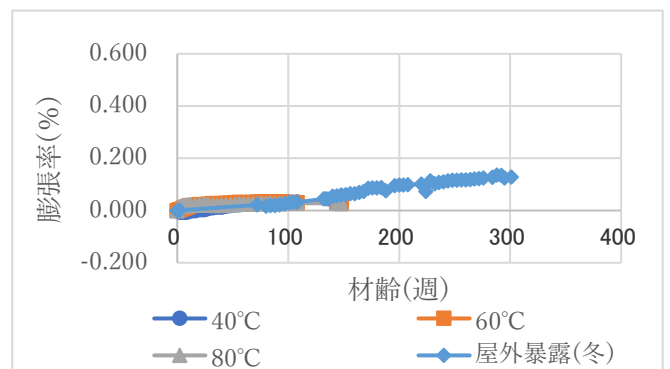


図 4 膨張率の経時変化
(BFS 置換率 50%,アルカリ総量 7.0kg/m³)

3.2 日平均気温と屋外暴露の供試体の膨張率の関係

次に屋外暴露の供試体と気温の関係について検討する。図7はアルカリ総量 7.0kg/m^3 の屋外暴露の供試体の膨張率と日平均気温の関係を示したものである。各 BFS のアルカリ総量 7.0kg/m^3 の供試体は、BFS 置換率 10% の供試体は、2015 年の初めごろまでは他の供試体とほぼ同様の膨張挙動を辿っていたが、それ以降は徐々に膨張していき OPC の供試体よりも膨張率が大きくなっている。置換率 30% および 50% の供試体は、置換率が大きい 50% で最も膨張率が小さく置換率大きくなるごとに ASR 膨張が抑制されていることが図から見て取れる。OPC、BFS 置換率 10%、30% ではある程度材齢が経過した夏季に急激に膨張し、その後は気温の高い夏季に急激に膨張し、気温の低い冬季には膨張が緩やかになっていることが見て取れる。しかし、2018 年以降の夏季では急激な膨張が見られなかった。この理由としては、供試体が膨張し始めてから 200 週以上とかなりの材齢が経過していたため膨張が収束し始めていると考えられる。

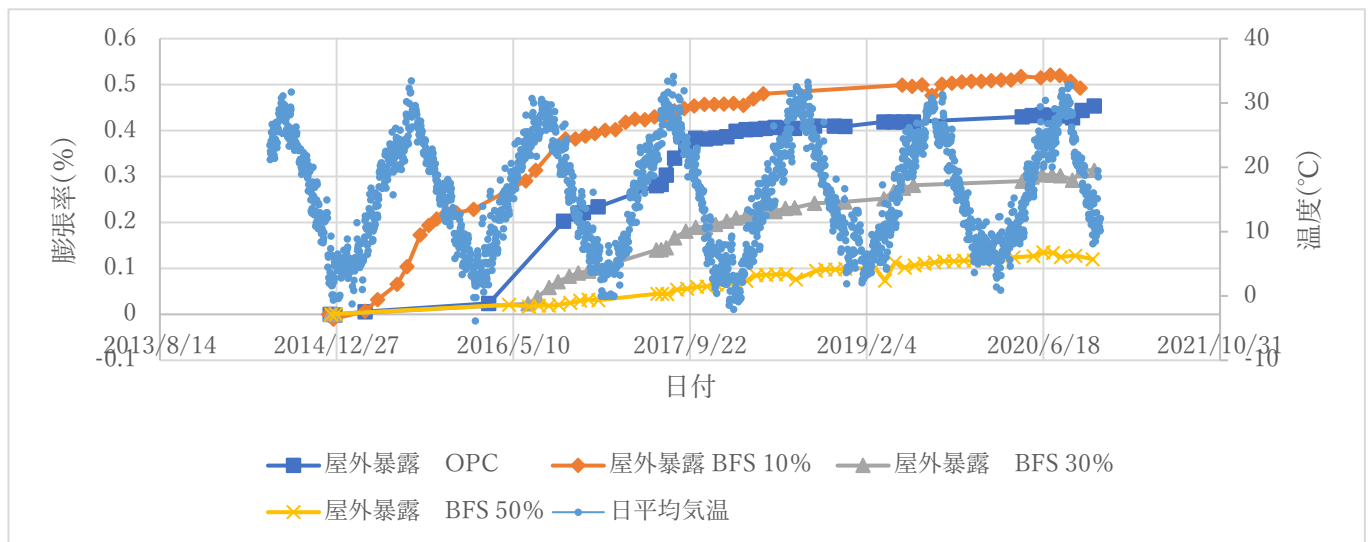


図7 屋外の日平均気温と屋外暴露の供試体の膨張率の関係(アルカリ総量 7.0kg/m^3)

3.3 屋外暴露と促進試験の最終膨張率の比較

図8は屋外暴露の最終膨張率と促進試験環境の52週時点での膨張率の関係を示したものである。この時、図1～4に示した供試体と OPC のアルカリ総量 10.0kg/m^3 と BFS 置換率 30% のアルカリ総量 10kg/m^3 の供試体を含めた6つの配合の供試体で検討する。促進環境下の52週時点での膨張率を用いたのは、各供試体の促進試験の膨張率が52週時点ではほとんど収束しているためである。図8を見ると、どの温度においても決定係数が0.6以上である。よって屋外暴露の最終膨張率と促進環境下の52週における膨張率は強い相関があると考えられる。また、温度が 60°C や 80°C などの高温化よりも 40°C のほうが決定係数の値が高い。よって、 40°C の促進環境下の52週膨張率から、屋外暴露の最終膨張率の値をある程度推定することができる可能性があると考えられる。

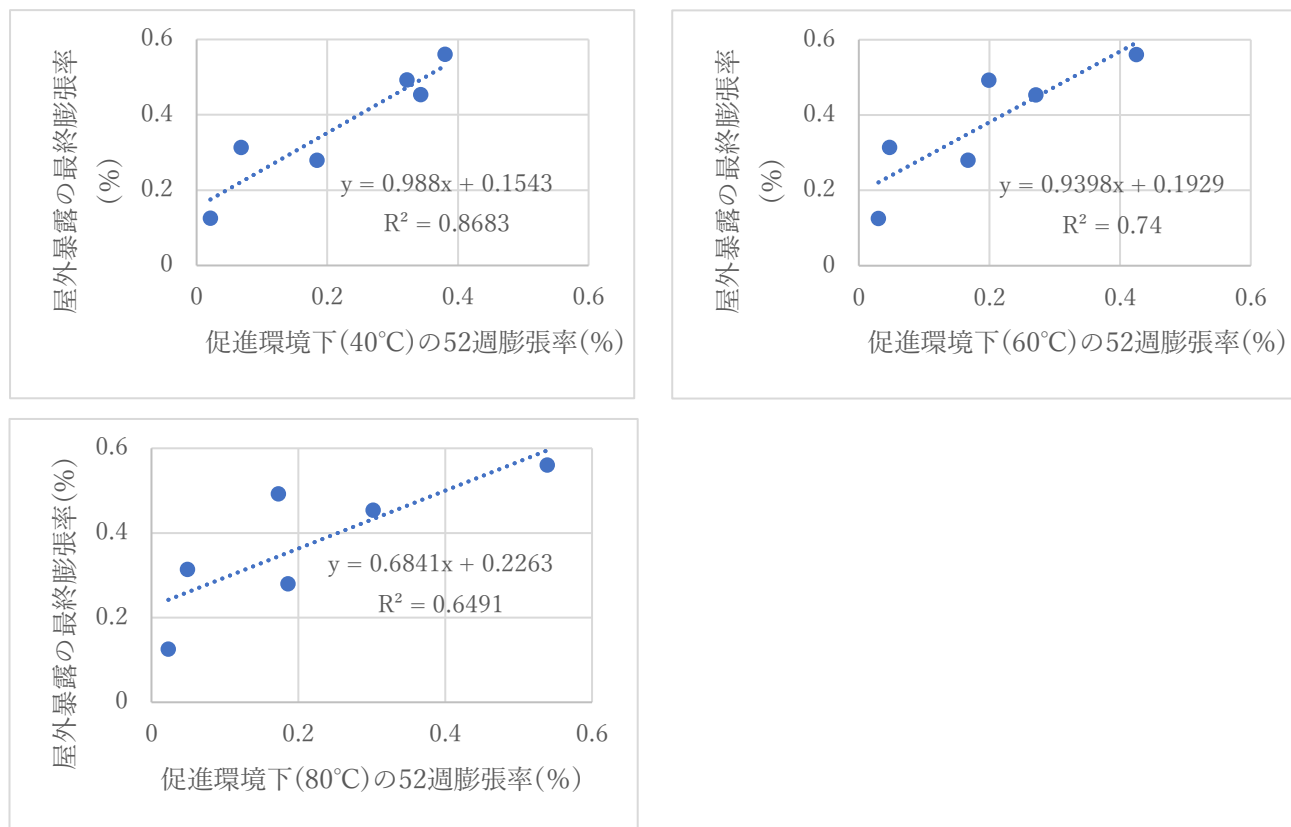


図8 促進環境の膨張率と屋外暴露の最終膨張率の関係

4. まとめ

本研究では、養生温度の相違がコンクリートの ASR 膨張に与える影響について検討を行った。普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を用いて、養生温度、アルカリ総量に着目して ASR 膨張の膨張挙動に与える温度の影響について検討した。本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 養生温度が高いほど膨張開始時期が早い傾向がある。
- (2) 屋外で暴露した供試体は、膨張を開始する時期は促進試験と比べると遅く、促進試験環境下は膨張後早期に顕著な膨張を示し、その後収束するのは速い。しかし、屋外暴露の供試体は膨張開始時期は遅いが、緩やかに膨張し収束するときには促進試験よりも膨張率は大きくなった。
- (3) 屋外暴露の供試体は、気温が高い時期に大きく膨張する傾向が見られた。
- (4) 同一のアルカリ総量、同一の保存温度で比較すると、高炉スラグ微粉末の置換率が大きいほど ASR の抑制効果大きい。
- (5) 40°Cで促進養生した供試体が収束した時(52 週)の膨張率から屋外暴露の供試体の最終膨張率の値をある程度推定できる可能性があることがわかった。

参考文献

小林一輔：「アルカリ骨材反応の診断」,森北出版 pp. ii-iii, 2004 年