

低温条件（10℃）の室内試験における ASR の特性

九州大学大学院 学生会員 ○北川 空良, 川上 隆 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴
 国立環境研究所 山田 一夫
 港湾空港技術研究所 正会員 川端 雄一郎

1. はじめに

アルカリシリカ反応（ASR）は高温・高湿度環境で促進されることから、そのような条件下で室内実験を行った例が多い。しかし、温度が ASR による内部ひび割れの性状に影響を及ぼすことが確認されており、促進試験の温度によっては ASR による劣化を過小評価してしまう可能性が示唆されている。そこで本実験では、検討事例の少ない低温下（10℃）と、10℃と 40℃の温度サイクルを与える 2 種類の養生温度で、反応性骨材を用いたコンクリートで室内実験を行った。長さ変化の測定および ASR ゲルの生成状況の観察と内部ひび割れの可視化を行い、低温条件下での ASR によるコンクリートの膨張挙動および損傷の過程を実験的に考察した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³）、細骨材は、非反応性の石灰石砕砂（表乾密度 2.56g/cm³）を使用した。粗骨材は反応性骨材と非反応性骨材の 2 種類の骨材を使用した。反応性骨材にはクリストバライト、オパールを含む安山岩砕石（表乾密度 2.52g/cm³）を、非反応性骨材には石灰石砕石（表乾密度 2.70g/cm³）を使用した。

2.2 試験配合および養生方法

表-1 に供試体の配合と養生温度を示す。水準名は「反応性骨材混合率-養生温度」とした。なお温度サイクルを与えた水準は TC と表記する。水セメント比、細骨材率および単位水量は、50%、45%および 160kg/m³ と条件を統一した。粗骨材の反応性骨材混合率は、100%と 30%の 2 水準とし、アルカリ総量は練混ぜ水に NaOH を添加し 5.5kg/m³ となるように調整した。養生方法には、アルカリ溶液を

含浸させた不織布で供試体を被覆する方法²⁾（以下 AW, AW: Alkali-Wrapped）を適用した。供試体（75×75×250mm 角柱）を打設から 24 時間後に脱型した後、AW を適用した。AW で用いた不織布には、1.33mol/L の NaOH 溶液を 50g 含浸させた。温度サイクルを与えた供試体は脱型後 10℃に、その後材齢 20 週まで 2 週間おきに 40℃と 10℃の環境に静置した。材齢 20 週以降は、4 週間おきに 10℃と 40℃に静置した。長さ測定は、20℃の室内でダイヤルゲージ法にて行った。10℃養生の供試体は、温度が極力変わらないように、保管場所から取り出してすぐに測定した。温度サイクルを与えた供試体は、24 時間 20℃に静置してから測定した。ASR ゲルおよび内部のひび割れの観察は所定の材齢で供試体を切断し、ゲルフルオレッセンス法により ASR ゲルを、その後同じ断面に蛍光樹脂を真空状態で含浸させ波長が 365nm のブラックライトを照射しひび割れの観察を行った。

3. 試験結果および考察

(1) 膨張率について

図-1 に供試体の膨張率を示す。30%-TC について、材齢 8 週までは 10℃の期間では膨張が見られず、40℃の期間に膨張しているが、材齢 8 週以降では 10℃の養生期間でも膨張が確認された。さらに 10℃で膨張が確認された材齢 8 週以降、10℃と 40℃期間の膨張率の大小が逆転している。なお、材齢 8 週は供試体表面にひび割れが初めて確認された材齢でもある。これは、温度によって ASR ゲルの粘弾性が異なることで、40℃では ASR ゲルがひび割れから供試体外部に滲出し、膨張圧が小さくなったことが原因だと考えられる。100%-10℃と 30%-10℃を比較すると、

キーワード アルカリシリカ反応, 低温養生, ペシマム混合率, ひび割れ, ASR ゲル

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 TEL: 092-802-3387

表-1 配合および養生温度

水準名	反応性骨材混合率 (%)	養生温度
100%-10℃	100	10℃
30%-10℃	30	10℃
30%-TC	30	10℃⇄40℃

ともに材齢 13 週に膨張が確認され、以降 100%-10°Cの方がより大きな膨張率を示した。これは反応性骨材混合率が多いため、ASR ゲルが多く生成し、膨張が進んだためと考えられる。同じ反応性骨材を使用し 40°C養生、アルカリ総量が 6.0kg/m³で行った類似のコンクリート促進試験³⁾では、反応性骨材混合率が 100%の方が材齢 50 日までは 30%よりも膨張していたが、その後は、100%は膨張率が 0.15%程度で収束し、30%の方がより膨張した。これは ASR による空隙水中の OH⁻の濃度が 40°Cの促進養生では早期に減少するためと考えられる。本実験では低温条件であるため、今後、既往の研究³⁾と異なる膨張挙動を示す可能性がある。

(2) ゲルフルオロレスセンス法による ASR ゲル観察

図-2 に材齢 26 週における 30%-10°Cと 100%-10°Cのゲルフルオロレスセンス法による ASR ゲル観察結果を示す。両者を比較すると 100%-10°Cの方がより多くの ASR ゲルが確認された。低温養生の場合、26 週時点では膨張率とゲルフルオロレスセンス法による ASR ゲル蛍光面積に相関関係があると言える。今後ひび割れが外部に達した場合、ASR ゲルが滲出する可能性があるため、継続的な観察が必要である。

(3) 蛍光樹脂含浸によるひび割れ観察

図-3 に 30%-TC の材齢 8 週と 26 週、100%-10°Cは 26 週で行った蛍光樹脂含浸によるひび割れ観察結果を示す。30%-TC の 26 週について、20°Cと 40°Cのサイクルを与えた既往の研究¹⁾と同様に、骨材の表面に沿うように生じるひび割れと骨材を分断するように生じセメントペースト部へと進展する 2 種類のひび割れが確認された。膨張率が同程度の 30%-TC の 8 週と 100%-10°C の 26 週を比較すると、30%-TC ではセメントペースト部と骨材内部にひび割れが確認できるのに対し、100%-10°Cは 30%-TC ほど大きなひび割れは確認されなかった。膨張率とひび割れの進展は完全には一致しないことから、低温地域において ASR の損傷を評価する際、これらに留意する必要性が示唆された。

4. 結論

- (1) 10°Cで養生した場合、材齢 26 週時点では、粗骨材に反応性骨材を 100%用いた水準の方が、30%の水準よりも大きい膨張率を示した。
- (2) 10°Cと 40°Cの温度サイクルを与えた水準では、骨材に対して 2 種類のひび割れが確認された。
- (3) 温度サイクルを与えた反応性骨材率 30%の供試体と、10°C養生で反応性骨材率 100%の供試体では、膨張率 (0.05%) が同等であっても、内部ひび割れの性状が異なることが分かった。

【参考文献】

- 1) Y. Kawabata et al. : Impact of temperature on expansive behavior of concrete with highly reactive andesite due to the alkali-silica reaction, *Cement and Concrete Research*, Vol.125, 105888, 2019
- 2) 川端雄一郎ほか: アルカリラッピングしたコンクリートの促進膨張試験に基づく野外暴露コンクリートの ASR 膨張挙動の予測, *セメント・コンクリート論文集*, Vol.69, pp.496-503, 2016
- 3) 佐川康貴ほか: ペシマム現象を示す骨材を用いたコンクリートの加速試験及び暴露試験における膨張挙動, *コンクリート工学論文集*, 第 25 巻, pp.135-145, 2014

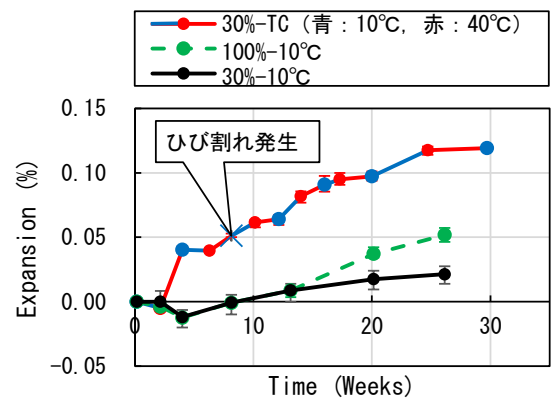
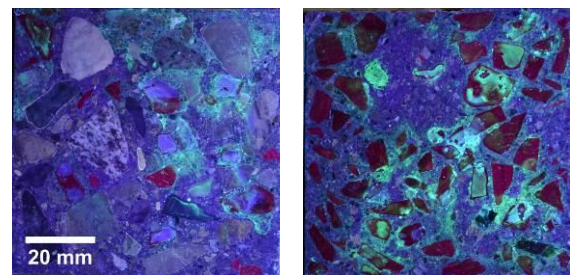
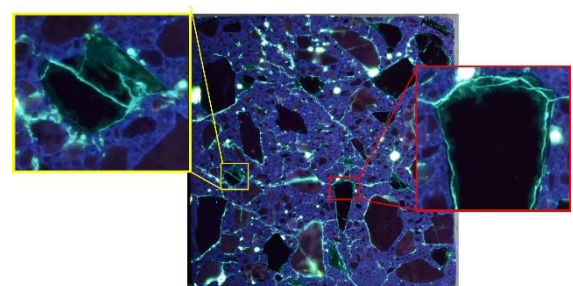


図-1 膨張率の経時変化

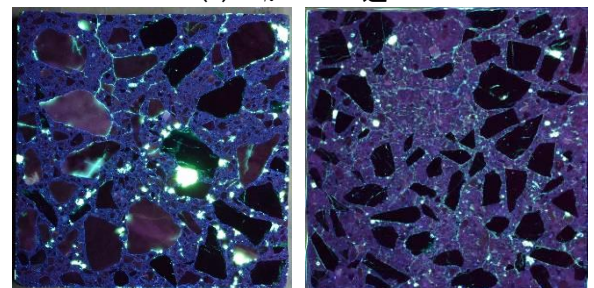


(a) 30%-10°C (b) 100%-10°C

図-2 ASR ゲル観察結果 (75 × 75 mm)



(a) 30%-TC 26 週



(b) 30%-TC 8 週

(c) 100%-10°C 26 週

図-3 ひび割れ観察結果