

亜硝酸カルシウムの含浸方法が ASR 膨張抑制に及ぼす影響

九州大学大学院 学生会員 ○上野貴行 学生会員 小田聡 九州大学 学生会員 川田崇暉
 (独) 国立環境研究所 正会員 山田一夫 太平洋セメント (株) 正会員 落合昂雄
 九州大学大学院 正会員 佐川康貴 フェロー会員 濱田秀則

1. はじめに

アルカリシリカ反応 (以下, ASR) の抑制対策として亜硝酸リチウム (LiNO_2) を用いる方法がある。 LiNO_2 の問題点として、高価であること、練混ぜ時の添加は効果的だが、進行途中の ASR 膨張に対しては浸透性が低下し、抑制効果が限定的であることがある。岩月らは、プロピオン酸カルシウムによる ASR 抑制手法を検討し、その一因を pH 低下作用と推察した¹⁾。落合らはより安価な亜硝酸カルシウム ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$) をモルタル供試体に含浸させ、ASR 抑制効果を確認した²⁾。可溶性 Ca 塩の一種である $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ も細孔溶液中の pH 低下作用がある。本研究では、 $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ の ASR 抑制効果をコンクリートに対して検討するため、室内促進試験を行った。

2. 使用骨材の特性およびコンクリートの配合

使用した反応性骨材 A はトリディマイトを含み、著しいペシマム現象を示す安山岩 (表乾密度 $2.68\text{g}/\text{cm}^3$) であり、非反応性骨材 B は石灰石 (表乾密度 $2.70\text{g}/\text{cm}^3$) である。反応性骨材 A の化学法 (JIS A 1145) の結果、使用した反応性骨材 A は $\text{Sc}=641\text{mmol}/\text{L}$, $\text{Rc}=93\text{mmol}/\text{L}$ となり「無害でない」と判定された。JIS モルタルバー法の結果を図-1 に示す。その結果、182 日での膨張率は 0.583% となり、判定基準の 0.100% を上回り「無害でない」と判定された。反応性骨材 A と非反応性骨材 B は体積比 3 : 7 でペシマム現象を引き起こすことが事前の実験により確認されているため、本研究においても粗骨材は 3 : 7 の割合で使用した。細骨材には全て非反応性骨材である石灰石碎石を、セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。水セメント比 W/C は 50% とし、総アルカリ量が $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ で $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ となるよう、練混ぜ水に NaOH 試薬を添加した。

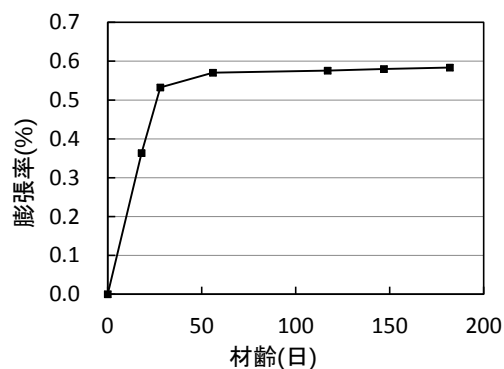


図-1 JIS モルタルバー法の結果

供試体に含浸させる抑制材として $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$, LiNO_2 をそれぞれ 40% 水溶液で使用した (Ca40, Li40 と表記)。pH 低下の原因である亜硝酸イオンのモル濃度はそれぞれ 6.1M , 7.5M となる。

3. 試験体の水準および養生方法

本研究では、 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ の円柱試験体を使用し、打設時にコンタクトゲージ用プラグを標点間距離 200mm となるよう円柱側面の向かい合う 2 面に片面につき 2 ヶ所ずつ端から 50mm 地点に埋め込んだ。脱型後から 30 ± 5 分間水中浸漬し吸水させ、その後直ちに測定し基長とした。コンクリートの乾燥およびアルカリ溶脱を抑制するため、コンクリート中の細孔溶液に相当する濃度の NaOH 水溶液を 119g 吸水させた布 ($600 \times 600\text{mm}$) で試験体を包み、その上を非透水性のラップで包み、ビニール袋で封緘した。その後、 40°C の恒温槽で 10 週間促進養生させ、材齢 5, 10 週で長さ、質量を測定した。なお、測定の 24 時間前に 20°C の恒温槽に移し、温度 20°C の条件下で測定を行った。

乾燥後に抑制材を含浸させた水準は、材齢 10 週から 14 週にかけて 60°C の乾燥炉で乾燥させ、材齢 14 週から 18 週にかけて Ca40, Li40 を 20°C の恒温槽で含浸さ



写真-1 含浸方法

せたものである。含浸方法は試験体表面と同じサイズのスポンジに抑制材を 800g 含ませ、試験体に巻き付けて封緘養生する方法とした（写真-1）。材齢 18 週以降は、試験体表面を非透水性のラップで直接包み、ビニール袋で封緘し、40℃の恒温室内で促進養生させた。材齢 11, 14, 18, 23, 28, 33 週で長さ、質量を測定した。すべての水準で測定時の給水は行っていない。なお、比較用に、抑制材を含浸させない試験体（基準）も作製した。基準は連続して封緘状態のまま材齢 15, 20, 26, 30 週で長さ、質量を測定した。

4. 試験結果および考察

各水準の膨張率と質量変化率の経時変化の試験結果をそれぞれ図-2、図-3 に示す。

まず、材齢 10 週から 14 週において、基準では ASR が顕著に現れ、高い膨張率を示し、材齢 30 週では膨張率が 0.20%に達した。Ca40, Li40 とともに 4 週の乾燥では約 3%の質量減少が認められ、約 0.02%の収縮が認められた。これはコンクリートの乾燥収縮によるものと考えられる。

乾燥終了後の試験体を観察した結果、微細なひび割れが認められた。水が残存する試験体内部では ASR が進行していたと考えられる。このような乾燥収縮と ASR 膨張が同時に生じる状況は、長期材齢の構造物に近い状態を再現していると考えられる。抑制材はそのひび割れから内部まで浸透し ASR 抑制効果を発揮すると想定される。

次に、材齢 14 週から 18 週の抑制材含浸期間では、Li40 は質量が 3.2%増加し基準を上回ったが、Ca40 では 1.1%増加するにとどまった。その後は封緘養生としたこともあり、すべての水準で質量増加がほぼ確認されなかった。

さらに、材齢 18 週から 33 週において基準は膨張が継続した。しかし、Ca40 および Li40 は膨張率の増加が 0.02%以内と同等であった。本実験の範囲では、両者は ASR 発生後、同等の ASR の抑制効果があると評価でき、文献²⁾の結果と一致した。

5. まとめ

ペシマム配合の安山岩粗骨材を用いたコンクリートの $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 円柱試験体に ASR を発生させ、その後、試験体を 60℃の恒温室内で 4 週間乾燥させ、濃度 40%の亜硝酸カルシウムおよび亜硝酸リチウム水溶液を含浸させたときの ASR 発生後の ASR 抑制効果を評価した。その結果、両者は同一濃度で同程度の抑制効果を示した。本実験では試験体を乾燥し抑制材を含浸させる方法から ASR 抑制効果を評価したが、乾燥をさせない状態ではどのような挙動になるのか、様々な含浸方法のデータを蓄積していく必要がある。

参考文献

- 1) 岩月栄治, 森野奎二, 多賀玄治: プロピオン酸カルシウムの ASR 抑制効果に関する基礎的研究, 第 61 回セメント技術大会講演要旨, pp.278-279, 2007.5
- 2) 落合昂雄, 山田一夫, 市川恒樹, 江里口玲: 亜硝酸カルシウムが ASR 膨張抑制に及ぼす影響に関する検討, 土木学会第 71 回年次学術講演概要集, pp.1033-1034, 2016.9

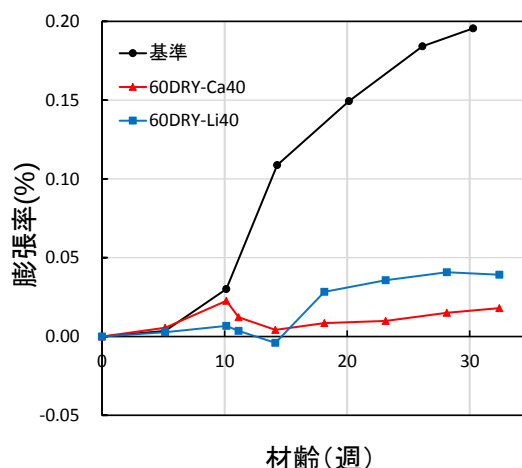


図-2 膨張率の経時変化

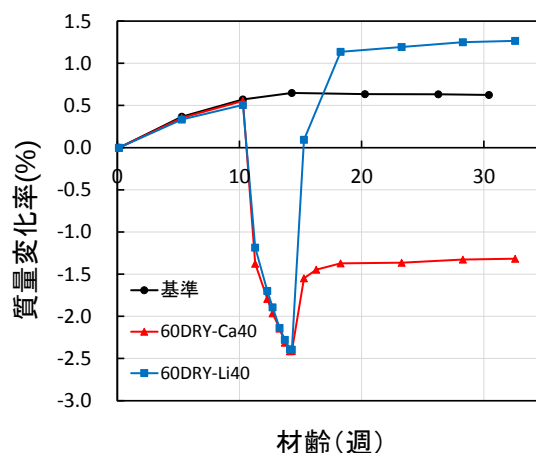


図-3 質量増加率の経時変化