

V-35 リチウムイオンの電気化学的浸透によるコンクリートの ASR 膨張抑制効果

日本道路株式会社 学生会員 ○小笠原誠一
徳島大学工学部 正会員 上田隆雄
電気化学工業(株) 正会員 芦田公伸
電気化学工業(株) 七澤 章

1. はじめに

ASR によるコンクリート構造物の劣化が深刻な社会問題として認識されつつあるが、現状では効果的な補修工法が確立されているとは言い難い。一方で Li^+ による ASR 膨張抑制効果が確認されているが、コンクリート中に一定量以上の Li^+ を浸透させることが課題となっている。

そこで本研究では電気化学的に Li^+ をコンクリート中に浸透させることにより、コンクリートの ASR 膨張を抑制する補修工法の開発を目的として、電解液の Li^+ 濃度および通電期間が処理後の ASR 膨張に与える影響を検討した。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は、コンクリート供試体とモルタル供試体の 2 種類とした。図-1 にコンクリート供試体概略図を示す。コンクリート供試体は $100 \times 100 \times 200 \text{ mm}$ の角柱供試体の中央に丸鋼 $\phi 9$ を一本配したものの、モルタル供試体は $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$ の円柱の中央にステンレス線 $\phi 1$ を一本配したものを用意した。用いたコンクリートの水セメント比は 60% とし、反応性骨材としてオパール質珪石を細骨材の 7vol% 混入した。また、 R_2O 量は 8.0 kg/m^3 となるように NaOH で調整した。通電処理の電流密度は 0.0 または 1.0 A/m^2 、電解液は 2N または 5N の LiOH 溶液、通電期間は 4、8、12 週間の 3 レベルとした。通電終了後のコンクリート供試体を用いて化学分析 (Na , K と Li の分布状況) を行うとともに、促進 ASR 環境 (40°C 、 $95\%\text{R.H.}$) 下におけるコンクリート膨張量の経時変化を測定した。モルタル供試体は通電終了直後に高压抽出した細孔溶液の化学分析 (Na , K と Li の濃度) を行った。なお、無通電供試体は 12 週間の通電処理が終了するまで湿空環境に静置した。

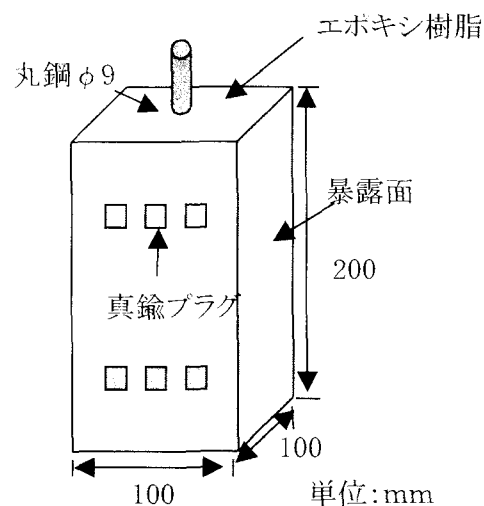


図-1 コンクリート供試体概略図

3. アルカリ量 (R_2O) の分布

通電処理終了直後のコンクリート供試体で測定した Na^+ および K^+ の濃度から計算される R_2O 濃度分布を図-2 に示す。 R_2O 量は、次式で求めることができる。

$$\text{R}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O} \quad (\text{kg/m}^3)$$

図-2 によると、無通電供試体の場合には、初期混入 R_2O 量である、 8.0 kg/m^3 に近い値で、供試体中ほぼ一様に分布しているのに対して、通電処理を行った供試体では、鉄筋近傍に多量の R_2O が集積していることがわかる。これは、通電処理に伴って、コンクリート中の陽イオンである Na^+ や K^+ が陰極である鉄筋近傍に電気泳動したことに起因するものと考えられる。

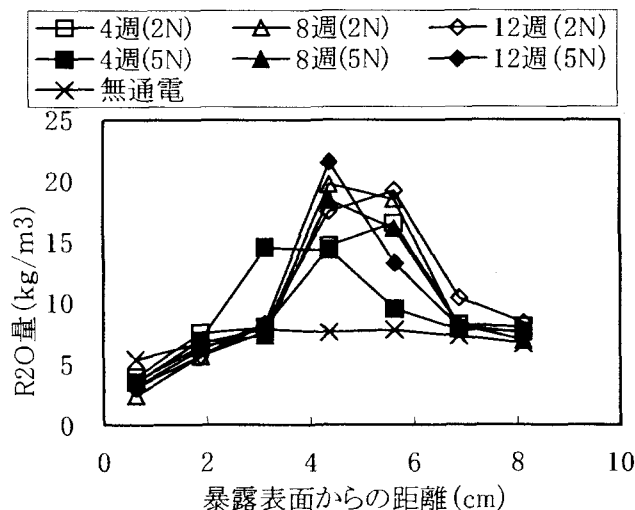


図-2 コンクリート供試体中の R_2O 量分布

4. Li/Na モル比分布

通電処理終了直後のコンクリート供試体中における Li/Na モル比分布を図-3 に示す。コンクリートの ASR 膨張を抑制することのできる Li/Na モル比については、様々な検討がなされているが、概ねこの値が 1.0 以上であれば、ASR 膨張抑制効果が期待できるものと思われる。図-3 によると、供試体中において Li/Na モル比が 1.0 以上となっているのは暴露表面付近に限定されており、鉄筋近傍では 1.0 を大きく下回っている。暴露表面付近は、電解液から供給される Li^+ の濃度が大きいことと、図-2 に示すように、通電処理により Na^+ の濃度が小さくなっていることの相乗効果で Li/Na モル比は大きくなっている。これに対して、暴露表面から 2cm 以深では、 Li^+ の浸透が小さかった。

今回の検討では、電解液の濃度や通電処理期間を変化させて、 Li^+ の浸透促進を試みたが、結果としてはあまり大きな効果は認められなかった。

5. モルタル細孔溶液中の各種イオン濃度

通電処理終了後のモルタル供試体から高圧抽出した細孔溶液中の各種イオン濃度と通電処理期間の関係を図-4 に示した。図-4 によると、通電処理を行うことで、細孔溶液中の Li^+ および OH^- 濃度が著しく上昇していることがわかる。また、細孔溶液中の Li^+ および OH^- 濃度は電解液中の Li^+ 濃度に比例して大きくなっているが、通電期間の影響は比較的小さいようである。これらの Li^+ は外部電解液から影響され、 OH^- は陰極で起こるカソード反応により生成したものと考えられる。このように、陽イオンと陰イオンが同程度ずつ増加することで、細孔溶液中の電気的中立が保たれているものと考えられる。

6. コンクリート膨張率の経時変化

養生終了後を原点とした、鉄筋位置におけるコンクリート供試体の膨張率経時変化を図-5 に示す。なお、通電処理を行った供試体は通電処理終了時点の測定点が原点の次のプロットで、その後は促進 ASR 環境に静置して定期的に測定している。無通電供試体は養生終了後 84 日経過した時点で 20°C の恒温槽から促進 ASR 環境に移した。

図-5 によると、電解液中の Li^+ 濃度が大きい(5N)方が、小さい(2N)の場合よりも膨張率が小さくなっている。また、2N の 4 週と 8 週、5N の 4 週の場合には無通電の場合よりも大きな膨張率を示している。これは、図-3 で示したように、コンクリート中の Li^+ 濃度が不十分であり、図-4 で示したように、通電処理後の OH^- 濃度が上昇したことによって ASR 膨張促進効果が Li^+ による膨張抑制効果よりも卓越したことが原因と推定される。

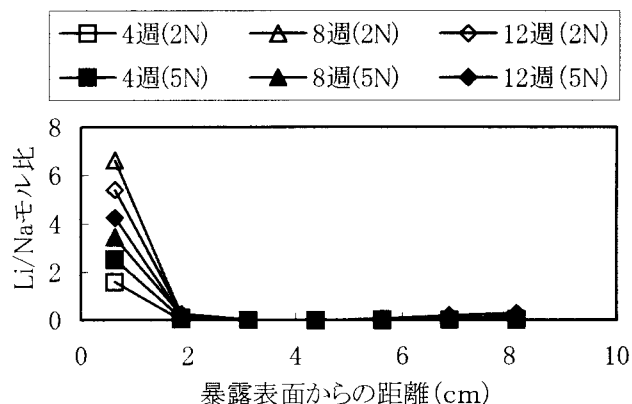


図-3 コンクリート供試体中の Li/Na モル比分布

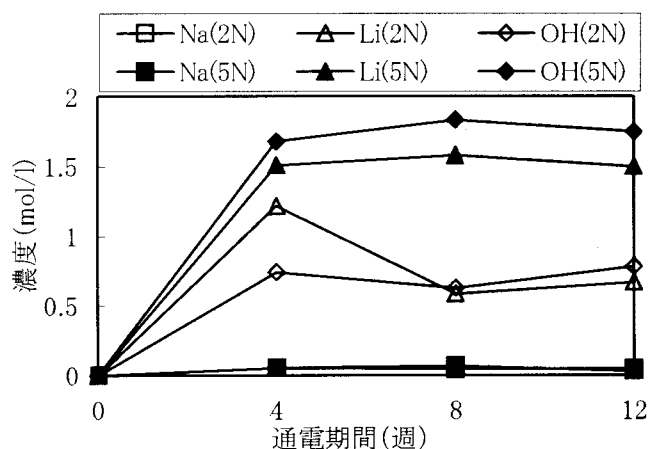


図-4 モルタル細孔溶液中の各種イオン濃度と通電処理期間の関係

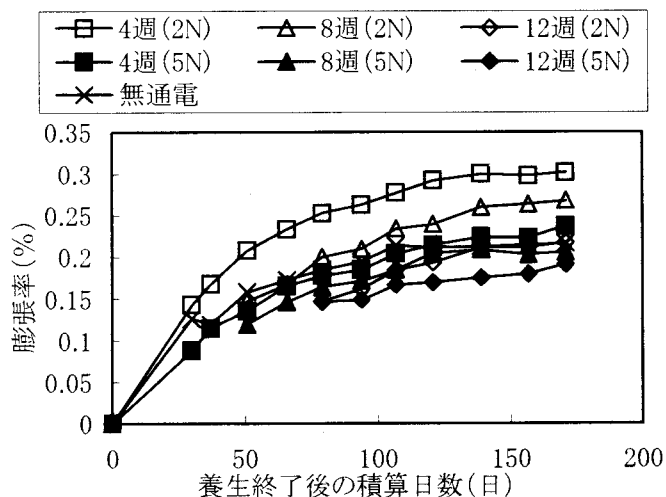


図-5 コンクリート膨張率の経時変化