

炭酸リチウム溶液の電気浸透による ASR 膨張抑制に関する検討

積水ハウス(株)	正会員	○平岡 毅
徳島大学大学院	正会員	上田隆雄
徳島大学大学院	学生会員	馬場勇太
電気化学工業(株)	正会員	七澤 章

1. はじめに

近年、アルカリシリカ反応（以下 ASR）により劣化したコンクリート構造物の事例が数多く報告されている。この ASR による膨張抑制効果が期待される物質の一つがリチウム塩であるが、抑制効果を得るためには、硬化コンクリート中に十分な濃度の Li^+ を存在させる必要がある。そこで著者らは効率的に硬化コンクリートの内部に Li^+ を供給する手法として、電気化学的手法について検討を進めてきた。これまでは、電解液として LiOH 溶液を用いて通電処理を行い、膨張抑制効果も確認されたが、電解液からの Li^+ の浸透がコンクリート表面付近に限定されており、鉄筋近傍やさらに深部まで Li^+ を浸透させることは困難であった。この一因として、コンクリート中の細孔壁表面に形成される電気二重層から受ける電氣的反発力が Li^+ の電気泳動を阻害していることが考えられる。そこで本研究では、電離度の小さいリチウム塩である Li_2CO_3 の電気浸透を利用してコンクリート内部に Li^+ を供給することを試みた。実験要因としては、電解液温度とかぶり厚を変化させ、 Li^+ の浸透状況と、コンクリートの ASR による膨張挙動を検討した。

2. 実験概要

本研究ではコンクリート供試体とモルタル供試体を作製した。コンクリート供試体は $100 \times 100 \times 300 \text{ mm}$ の角柱コンクリートの正方形断面中央、または、側面方向に偏心させて丸鋼 (SR235) $\phi 13 \text{ mm}$ を一本配したものとし、モルタル供試体は $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ の円柱モルタルとした。用いた配合は W/C が 60% の配合と、45% の配合の 2 種類とした。セメントは普通ポルトランドセメント（密度： 3.16 g/cm^3 ， R_2O ：0.56%），細骨材は非反応性骨材（徳島県那賀川産川砂，密度： 2.61 g/cm^3 ，F.M.：2.86）を用いた。また、粗骨材は反応性骨材 G1（佐賀県産石英安山岩，密度 2.60 g/cm^3 ，アルカリ濃度減少量 Rc ：172 mmol/l，溶解シリカ量 Sc ：732 mmol/l）と非反応性骨材 G2（徳島県那賀川産玉砕石，密度： 2.60 g/cm^3 ）を 6：4 の質量割合でペシマム混合した。さらに、コンクリートの初期含有 R_2O 量が 8.0 kg/m^3 となるように、コンクリートの練混水に溶解した形であらかじめ NaCl を混入した。

コンクリート供試体の通電処理条件として、電流密度は通電面に対して 2.0 A/m^2 と設定し、通電期間は 8 週間とした。また電解液は、0.5N の Li_2CO_3 溶液と 0.1N の H_3BO_3 溶液の混合溶液を用いた。さらに、通電処理時の電解液の温度として、 20°C ， 30°C および 40°C の 3 レベルを設定した。

所定の通電処理終了直後に、コンクリート中の各種イオン (Cl^- ， Na^+ ， K^+ ， Li^+) 濃度分布を測定した。化学分析時のコンクリート供試体の切断方法を図-1 に示す。

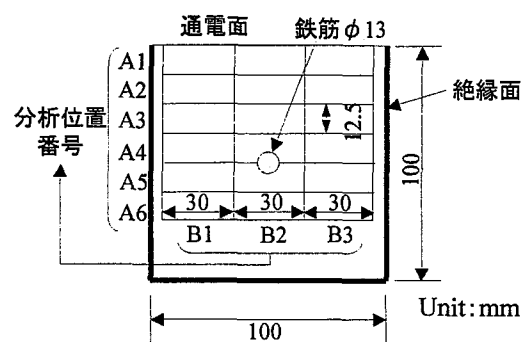


図-1 化学分析用供試体切断図

3. コンクリート供試体の化学分析

所定の通電処理が終了した直後のコンクリート中における R_2O 量分布を図-2 に、 Li/Na モル比分布を図-3 示す。図-2 によると、陽イオンである Na^+ や K^+ は陰極である鉄筋方向に電気泳動により移動するために、通電処理に伴って鉄筋近傍に多量の R_2O が集積している。このような傾向について、電解液温度が 20°C および 30°C の場合とで大きな変化は認められないが、電解液温度が 40°C となると顕著に小さくなっている。これは、電解液温度が 40°C の場合には Li_2CO_3 の電気浸透現象が卓越することにより、 Na^+ および K^+ の輸

率が著しく低下した可能性がある。図-3 によると、電解液温度が 20℃および 30℃の場合は、通電表面から距離が大きくなるにしたがい Li^+ 濃度も大きく低下し、鉄筋付近ではほとんど検出されていないため、ASR 膨張抑制効果の指標となる Li/Na モル比の値も目安となる 1.0 以上となるのは通電表面付近に限定されている。これに対して、電解液温度が 40℃の場合には、 Li^+ の顕著な浸透が認められ、 Li/Na モル比も供試体中のほぼ全域で 1.0 以上の値を示している。前述した R_2O 濃度分布の結果と併せて考えると、 Na^+ や K^+ の輸率が大幅に低下すると同時に Li_2CO_3 の電気浸透による電荷輸送が活発に行われたものと推定される。

4. コンクリート膨張率の経時変化

養生終了直後を時間軸の原点とした、コンクリート供試体の膨張率経時変化を図-4 および図-5 に示す。図-4 は鉄筋を中央配置した供試体に関して暴露面付近で測定されたコンクリート膨張率、図-5 は鉄筋を中央配置した供試体および偏心鉄筋を配した供試体の鉄筋位置におけるコンクリート膨張率を示している。図中のプロットはすべての測定値の平均値とした。図-4 によると、無通電の供試体 (CN, PCN) は促進 ASR 環境中で 0.1%以上の大きな膨張率を示しているのに対して、通電処理を行った場合には、いずれの場合にも 0.05%以下の比較的小さな膨張率にとどまっている。暴露面付近は多量の Li^+ 浸透が認められた場所であることから、 Li^+ による ASR 膨張抑制効果が顕著に表れたものと考えられる。図-5 の左図によると、電解液温度の影響は通電期間中の膨張率の差として表れており、電解液温度が高いほど通電期間中の膨張率は大きくなっている。ただし、通電処理後の促進 ASR 環境における膨張増加は電解液温度が高いほど小さく、40℃の場合には膨張率の増加はほとんど見られない。図-5 の右図によると、鉄筋近傍に集積したアルカリの影響を強く受けることが考えられたが、かぶりが大きい場所の膨張(図中①)は、小さい場所の膨張(図中②)よりも大きくなった。この原因の一つとして、鉄筋に近い場所では、鉄筋による膨張拘束効果が強く表れた可能性もある。

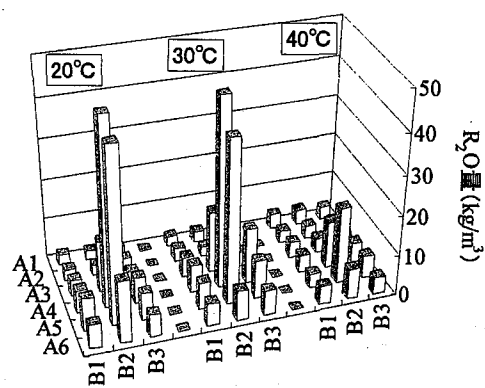


図-2 R_2O 量分布

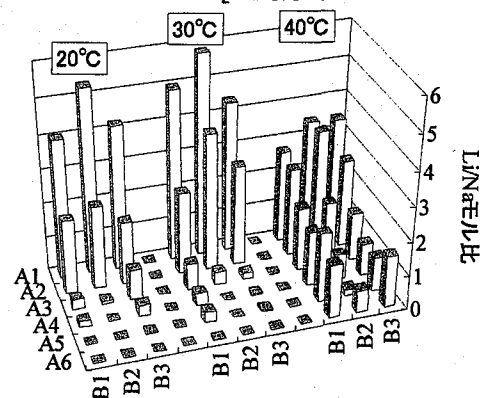


図-3 Li/Na モル比分布

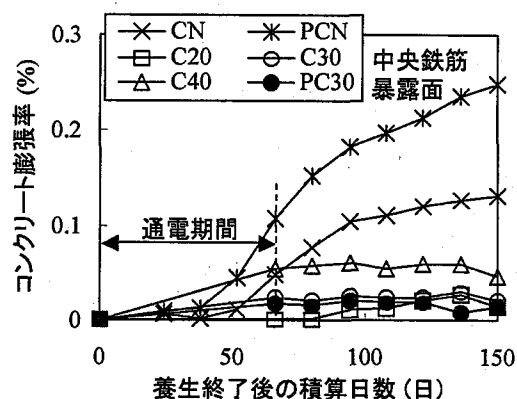


図-4 暴露面付近のコンクリート膨張率

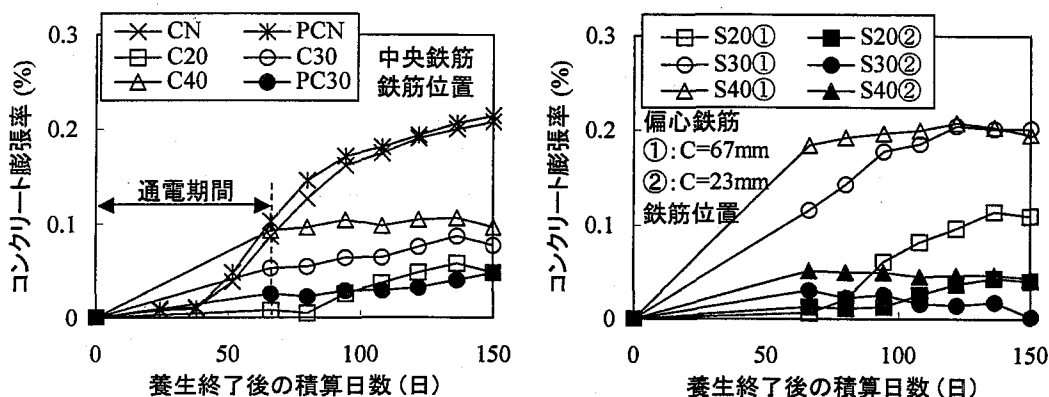


図-5 鉄筋位置のコンクリート膨張率