

反応性骨材を含む塩害劣化コンクリートへのデサリネーションの適用

徳島大学工学部 正会員 ○上田隆雄
 徳島大学大学院 学生員 松本健一
 電気化学工業 正会員 芦田公伸
 京都大学大学院 フェロー 宮川豊章

1. はじめに

塩害により劣化したコンクリート構造物の根本的補修工法として、電気化学的脱塩手法であるデサリネーションが開発され、実構造物への適用が進んでいる。デサリネーションを適用する際にはコンクリート中の鉄筋がカソードとなるために、通電処理によりコンクリート中に含まれるナトリウムイオン (Na^+) やカリウムイオン (K^+) などのアルカリ金属イオンが鉄筋近傍に集積し、コンクリートが反応性骨材を含有する場合にアルカリシリカ反応 (ASR) によるコンクリート膨張が促進されることが懸念されてきた。

そこで本研究では、反応性骨材を含む鉄筋コンクリート供試体にあらかじめ塩化物イオン (Cl^-) を混入し、デサリネーションを適用した時の補修効果と処理後のコンクリート膨張挙動を検討した。この際に通電処理に用いる電解液として、デサリネーション適用時に一般的に用いられる飽和水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 溶液に加えて、2N のホウ酸リチウム (Li_3BO_3) 溶液を検討対象とし、電解液からのリチウムイオン (Li^+) の供給によるコンクリート膨張抑制効果を確認することとした。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は、 $100 \times 100 \times 200$ mm の角柱とし、供試体中央部分に丸鋼 (SR235 $\phi 13$ mm) を 1 本配した (図 1 参照)。本実験に用い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)、細骨材は非反応性骨材 (真壁郡関城町産砕砂、密度: 2.58 g/cm^3) とし、粗骨材は非反応性骨材 (秩父郡両神村産砕砂、密度: 2.71 g/cm^3) と反応性骨材 (能登半島産両輝石安山岩碎石、密度: 2.71 g/cm^3 、 $S_c=609 \text{ mmol}$ 、 $R_c=223 \text{ mmol}$) を 6:4 の重量比で混合した。また、 R_2O 量が、 10.0 kg/m^3 となるように、コンクリートの練混ぜ水に溶解した形であらかじめ NaCl を混入した。

28 日間の封緘養生後に暴露面 2 面を残してエポキシ樹脂を塗布した供試体に対してデサリネーションを適用した。通電処理方法としては、電解液を満たしたポリ容器に供試体を浸漬し、コンクリート表面付近に陽極となるチタンメッシュを配した上で鉄筋を陰極として 2 面通電で直流電流を流した。電流密度は、コンクリート表面に対して 0.0 A/m^2 および 1.0 A/m^2 を採用し、通電期間は 8 週間とした。また電解液として、一般的に用いられる、飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液と、2N の Li_3BO_3 溶液の 2 種類を用いた。

所定の処理終了直後に、コンクリート中の各種イオン (Cl^- 、 Na^+ 、 K^+) 濃度分布を測定した。さらに、供試体を促進アルカリ骨材反応環境 (温度: 40°C 、相対湿度: 95%) に静置し、定期的にコンクリート膨張量をコンタクトゲージ法によりの測定した。

3. 実験結果および考察

処理終了直後における、供試体中 Cl^- 濃度分布を図 2 に示す。これによると、無通電供試体の場合と比較して、通電処理を行った供試体ではコンクリート中の Cl^- 濃度が減少していることがわかる。特に鉄筋近傍における脱塩効果が大きく、塩害による

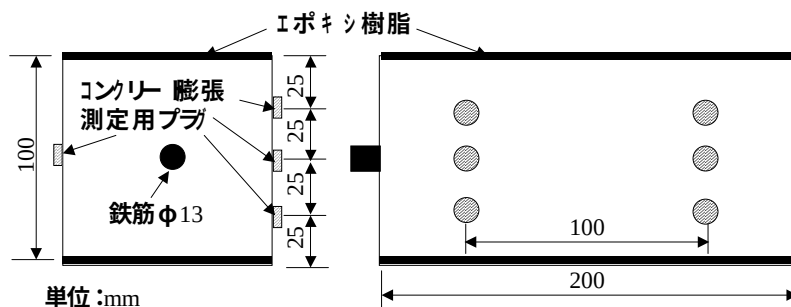


図 1 供試体図

キーワード：デサリネーション、塩害、アルカリ骨材反応、コンクリート膨張

〒770-8506 徳島市南常三島町2-1 徳島大学工学部建設工学科 TEL 088-656-2153 FAX 088-656-7351

鉄筋腐食環境が著しく改善されていると言える。ただし、今回は初期混入 Cl^- 量が 9.4 kg/m^3 程度 (R_2O 量が 10.0 kg/m^3) と非常に大きかったために、鉄筋近傍の残存 Cl^- 量が 2.5 kg/m^3 と比較的大きくなっている。このような場合には、補修効果が限定的となる可能性もあることから注意が必要であろう。

今回は、アルカリ骨材反応によるコンクリート膨張の抑制効果を期待して、 Li_3BO_3 を電解液として用いた場合も検討したが、図2に示すように、脱塩効果に関しては通常用いられる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ とほとんど変わらない結果が得られた。

通電処理終了直後における供試体中の Na^+ 濃度および K^+ 濃度から計算される R_2O 濃度分布を図3に示す。これによると、 Na^+ や K^+ は通電処理により鉄筋近傍に集積していることがわかる。これは、鉄筋を陰極として通電処理を行ったために、陽イオンである Na^+ と K^+ が鉄筋方向に移動したためである。ただし、電解液として Li_3BO_3 を用いた場合には、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を用いた場合よりも鉄筋近傍へのアルカリ集積量が抑制されている。これは、電解液から供給される Li^+ の影響で Na^+ の輸率が低下したためと考えられる。

Li_3BO_3 を電解液として通電処理を行った供試体中の Li/Na モル比分布を図4に示す。これによると、コンクリート表面から Li^+ が鉄筋方向に電気泳動により浸透していることがわかる。 Li/Na モル比に関しては、この値が 1.0 以上であることが、アルカリ骨材反応によるコンクリート膨張を抑制することのできるモル比の一つの目安と考えられる。図4によると、コンクリート表面付近のモル比は大きいものの、鉄筋近傍においては 1.0 以下の小さい値にとどまっている。ただし、通電処理終了後は、コンクリート表面付近に集積した Li^+ が濃度拡散により鉄筋方向に移動することも考えられる。

処理終了後の供試体における、コンクリート膨張率の経時変化を図5に示す。ここでは、通電処理終了直後を原点として膨張率を示している。図5によると、通電処理を行った供試体のコンクリート膨張率は無通電の場合よりも小さな値となっている。化学分析結果では、通電処理を行うことにより特に鉄筋近傍では顕著なアルカリの集積が測定されていることから、アルカリ量とコンクリート膨張量が単純には比例関係にないことがわかる。すなわち、アルカリ量にはコンクリート膨張量を最大にするペシマム値が存在し、この量を超える大きなアルカリ量が集積した場合には、コンクリートに与える膨張圧が緩和されるものと考えられる。また、 Li^+ の浸透効果により、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ で通電処理をした供試体よりも Li_3BO_3 で通電処理を行った供試体の方が小さなコンクリート膨張率を示している。

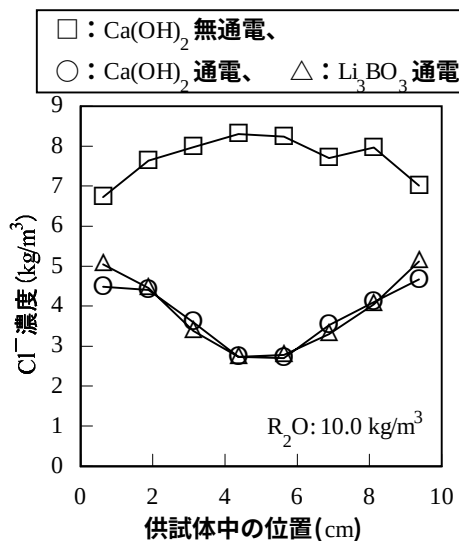


図2 Cl^- 濃度分布

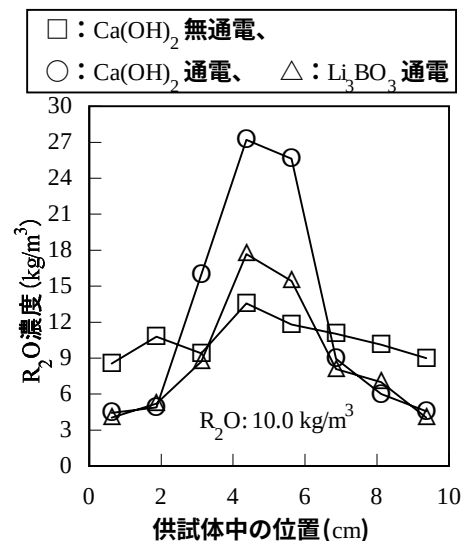


図3 R_2O 濃度分布

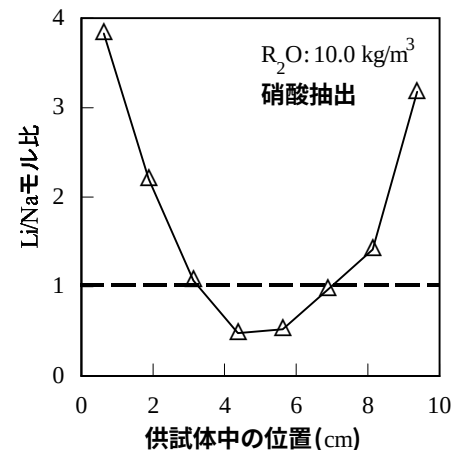


図4 Li/Na モル比分布

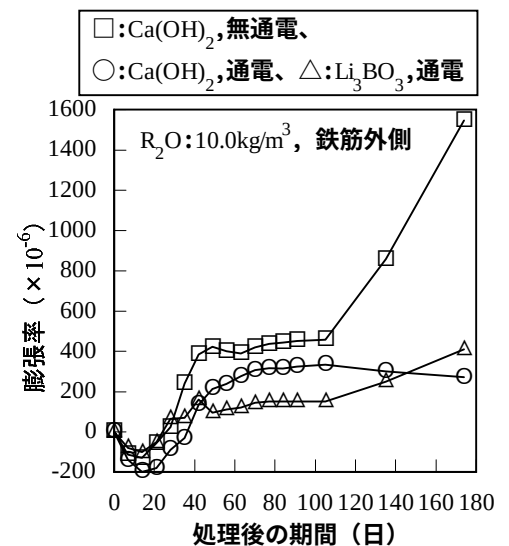


図5 処理後のコンクリート膨張率