

V-31 中性化とアルカリ骨材反応の複合劣化に対する再アルカリ化工法の適用

徳島大学大学院	学 生 員	○松本健一
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
京都大学大学院	フェロー会員	宮川豊章

1. はじめに

塩害や中性化により劣化したコンクリート構造物の補修工法として、デサリネーションや再アルカリ化工法などの電気化学的手法が注目されている。これらの工法を適用する場合には、コンクリート中の鉄筋がカソードとなるために、通電処理により鉄筋近傍に集積する、あるいは、電解液からコンクリートへ供給される、ナトリウムイオン (Na^+) やカリウムイオン (K^+) の影響で 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を作製し、促進中性化を行った上で再アルカリ化工法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は、再アルカリ化工法適用時に一般的に用いられる 1N の炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) 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砕石、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、 5.0 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 NaOH を混入した。

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を促進中性化環境 (CO_2 濃度: 5.0%、温度: 30°C 、相対湿度: 60%) に静置した。促進中性化期間は、5.0 ヶ月間を設定し、促進中性化が終了した供試体に対して再アルカリ化工法を適用した。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、通電期間としては、1 週間と 3 週間の 2 レベルを設定した。また電解液としては、一般的に用いられる、1N の Na_2CO_3 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、コンクリート中のイオン濃度分布を測定した。また、コンクリートの再アルカリ化効果を確認するために供試体の割裂面にフェノールフタレイン 1%エタノール溶液を噴霧し、コンクリートの中性化深さを測定した。

処理終了後の供試体は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の測定を行った。

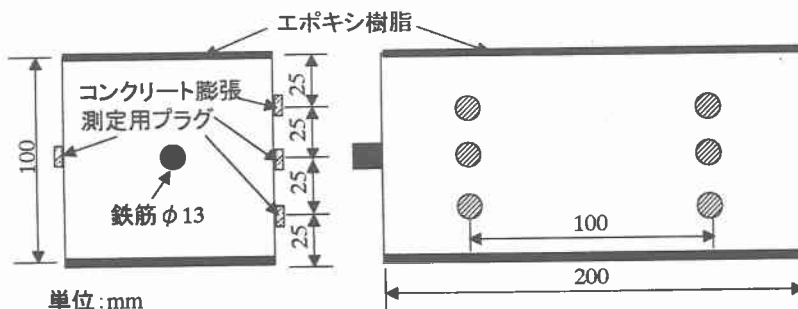


図 1 供試体図

3. 実験結果

再アルカリ化工法適用前に促進中性化を行った供試体の中性化深さは、かぶり 43.5 mm に対して 28.7 mm となった。通電処理終了後、電解液として Li_3BO_3 溶液を用いた場合も、通電処理期間に関係なく、 Na_2CO_3 溶液を用いた場合と同様にすべての供試体においてコンクリートの中性化深さは 0.0 mm となった。

通電処理終了直後における供試体中の R_2O 量分布を図 2 に示す。これによると、電解液として Li_3BO_3 溶液を用いて通電処理を行った供試体は、 Na_2CO_3 溶液を用いて通電処理を行った供試体より R_2O 量が抑制されることがわかる。

電解液として Li_3BO_3 溶液を用いて通電処理した供試体中の Li^+/Na^+ モル比の分布を図 3 に示す。 Li^+ のアルカリシリカゲルが Na^+ や K^+ のアルカリシリカゲルよりも吸水膨張性が小さいと考えられていることから、 Li^+/Na^+ モル比を一定値以上とすることで ASR によるコンクリート膨張を抑制する試みがいくつか報告されている。著者らは、 Li^+/Na^+ モル比として 1.0 を閾値として提案していることから、本研究では、 Li^+/Na^+ モル比として 1.0 をコンクリート膨張抑制の一つの目安と考える。図 3 から、通電期間に関わらず、コンクリート表面で Li^+/Na^+ モル比が閾値である 1.0 を大幅に上回っていることがわかるが、鉄筋近傍では 1.0 を上回ることができなかった。ただし、コンクリート表面付近では Li^+/Na^+ が 1.0 を大幅に上回っており、通電処理終了後は水分の供給が大きい環境に静置していることから、濃度勾配により Li^+/Na^+ モル比が鉄筋近傍に移動し、鉄筋近傍の Li^+/Na^+ モル比は経時的に大きくなり、長期的なコンクリート膨張挙動に影響することが予想される。

鉄筋位置における処理後の供試体コンクリート膨張率経時変化を図 4 に示す。ここに示した値は図 1 に示した鉄筋直上位置の膨張率の平均値である。図 4 から、電解液として Na_2CO_3 溶液を用いた場合に比べて Li_3BO_3 溶液を用いた場合の方が、コンクリート膨張率が抑制されていることがわかる。これは、電解液として Na_2CO_3 溶液を用いたものは、通電処理により電解液 (Na_2CO_3 溶液) からコンクリート中に浸透する Na^+ 量が大きいために、コンクリート中の R_2O 量が増大するのに対して、電解液として Li_3BO_3 溶液を用いた場合にはコンクリート中の R_2O 量は抑制される一方で、 Li^+ 濃度が大きくなり、 Li^+/Na^+ モル比が大きくなったためと考えられる。このような傾向は、通電処理期間が 1 週間よりも 3 週間の場合の方が顕著であるが、これは通電期間が長いほど、電解液の違いによるコンクリート中のイオン濃度分布の差が明確になったためと考えられる。また、通電処理を行った供試体と無通電の供試体を比較すると、電解液として Na_2CO_3 溶液を用いて通電処理を行った場合に、通電処理によるコンクリート膨張の促進が見られる。これに対して、電解液として Li_3BO_3 溶液を用いた場合には、処理後のコンクリート膨張率は、無通電の場合と同程度か通電期間が 1 週間の場合にはそれ以下に抑制することができた。

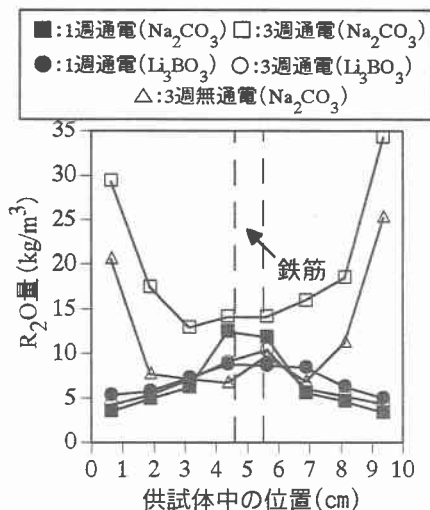


図 2 R_2O 量分布

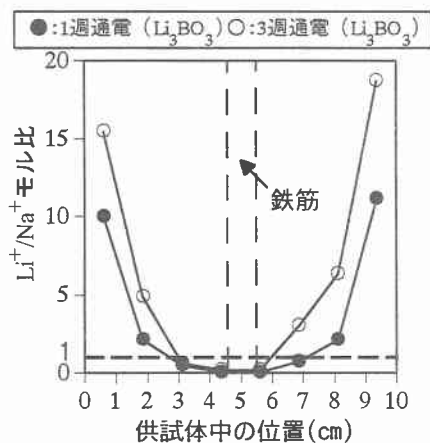


図 3 Li^+/Na^+ モル比分布

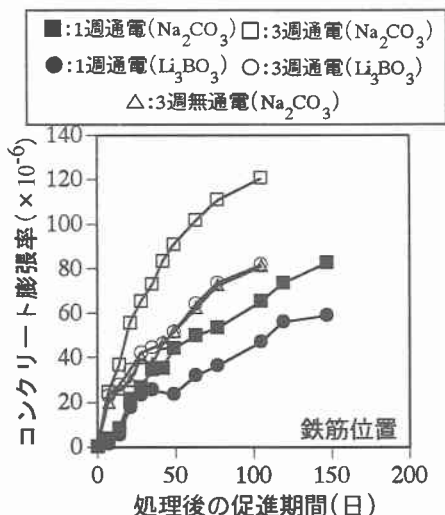


図 4 コンクリート膨張率経時変化