

V-19 リチウム系溶液を用いた再アルカリ化工法に関する研究

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。従来の再アルカリ化工法においては、電解液として炭酸ナトリウム溶液が主に用いられてきた。しかし、最近のデサリネーションで、pH の安定性とアルカリ骨材反応の抑制効果が期待できるリチウム系溶液が注目され、実用化されている。そこで本研究では、リチウム系溶液を電解液として再アルカリ化工法を実施し、その効果と処理後の耐久性を確認した。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は、100×100×200 mm の角柱とし、供試体中央部分に丸鋼（SR235 φ13 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/cm³），細骨材は非反応性骨材（真壁郡関城町産砕砂，密度：2.58 g/cm³）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/cm³）と反応性骨材（能登半島産両輝石安山岩碎石，密度：2.71 g/cm³，S_C=609 mmol，R_C=223 mmol）を6：4の質量比で混合した。また、R₂O量が、5.0 kg/m³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（CO₂濃度：5.0%，温度：30℃，相対湿度：60%）に静置した。促進中性化期間は、5.0ヶ月間とし、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/m²および1.0 A/m²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Na₂CO₃溶液と、2NのLi₃BO₃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℃，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。1年間の促進ASR環境静置後に、通電処理前と同じ条件で促進中性化を30日間行い、再アルカリ化処理後のコンクリートのpH保持性を確認した。コンクリートのpHは、コンクリート割裂面に付着させたpH試験紙の変色を確認することで測定した。

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。これに対して、通電処理終了後のコンクリート中性化深さは、電解液種類および通電処理期間によらず0.0 mmとなった。

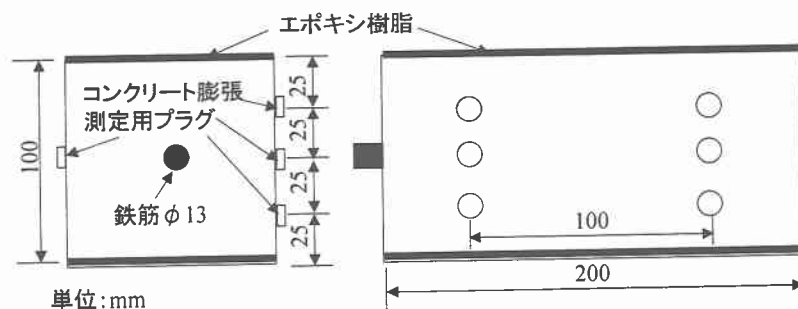


図1 供試体図

電解液として Li_3BO_3 溶液を用いて通電処理した場合の供試体中の Li 濃度分布を図 2 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、膨張後のゲル重量が乾燥前重量を超えない範囲を ASR による膨張を抑制できる領域と考え、 Li/Na モル比として 1.0 を閾値として提案している。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 2 から、通電処理により暴露表面から Li^+ が電気浸透し、暴露表面で Li/Na モル比は閾値である 1.0 を大幅に上回ったが、鉄筋近傍では 1.0 を上回ることができなかった。また、1 年間の促進 ASR 環境静置後は、水分の供給が大きいことから、濃度勾配により暴露表面付近の Li^+ が鉄筋近傍に移動していることがわかる。

鉄筋位置における処理後のコンクリート膨張率経時変化を図 3 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 3 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。これは、通電処理に用いる電解液の違いによりコンクリート中のアルカリ金属イオン分布が変化したことが原因と考えられる。また、無通電処理を行ったものは、 Na_2CO_3 溶液を用いて 1 週間通電を行ったものと同程度のコンクリート膨張率となっている。

再アルカリ化工法により付与されたアルカリ性の持続性を検討するため、処理後 1 年間の促進 ASR 環境静置後に供試体を再び促進中性化環境に 30 日間静置した時のコンクリートの pH 変化を測定した。供試体中の暴露表面付近および鉄筋近傍におけるコンクリート pH の測定結果を表 1 に示す。これによると、鉄筋近傍では再アルカリ化処理時の電解液の違いによらず 12.0~12.5 の pH を維持している。暴露表面付近は一度中性化した後に再アルカリ化された部分であるが、通電処理時の電解液として Na_2CO_3 溶液を用いた場合と比較して Li_3BO_3 溶液を用いた場合も同程度の pH を保持している。

表 1 から Na_2CO_3 溶液を用いて 1 週間通電処理をした場合の pH は、9.5 と比較的小さな値となっている。これは、促進中性化環境の CO_2 濃度 (5 %) が大気中の CO_2 濃度 (約 0.03 %) よりはるかに高い値となっていることにより再アルカリ化工法適用後に期待された化学的平衡状態を保つことが困難であったことが原因と考えられる。

○ : 3 週間通電直後, △ : 3 週間通電後 1 年

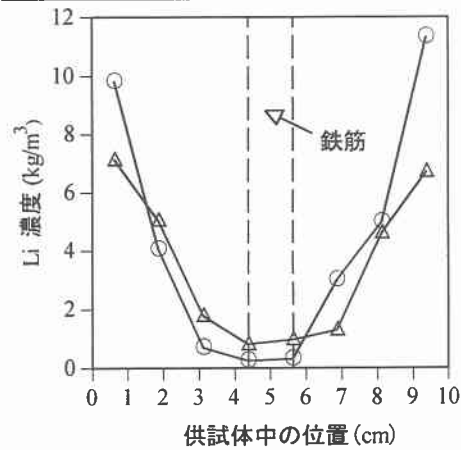


図 2 供試体中の Li 濃度分布

■ : Na_2CO_3 1 週間通電, □ : Li_3BO_3 1 週間通電
▲ : Na_2CO_3 3 週間無通電
● : Na_2CO_3 3 週間通電, ○ : Li_3BO_3 3 週間通電

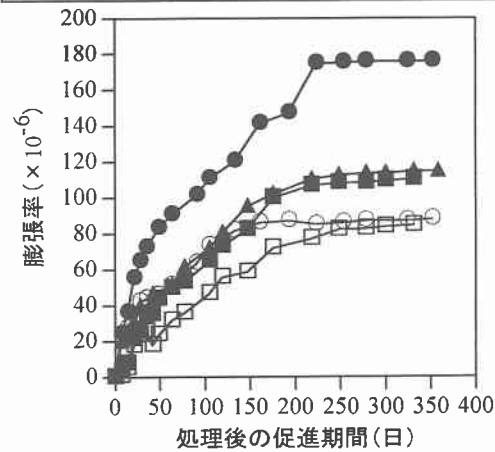


図 3 コンクリート膨張率経時変化

表 1 処理後 1 年経過した時点での促進中性化によるコンクリートの pH 変化

促進中性化 期間	Na_2CO_3 1 週間通電		Li_3BO_3 1 週間通電		Na_2CO_3 3 週間通電		Li_3BO_3 3 週間通電		Na_2CO_3 3 週間無通電	
	暴露 表面	鉄筋 近傍	暴露 表面	鉄筋 近傍	暴露 表面	鉄筋 近傍	暴露 表面	鉄筋 近傍	暴露 表面	鉄筋 近傍
	10.5	12.0	11.0	12.0	11.0	12.0	11.0	12.5	10.0	12.5
0 日										
30 日	9.5	12.0	10.5	12.0	11.0	12.0	10.5	12.5	9.5	12.0