

塩害と ASR の複合劣化モニタリングと対策工法に関する検討

徳島大学 学生会員 ○櫛田淳二 徳島大学 正会員 上田隆雄
 徳島大学 正会員 塚越雅幸 電気化学工業 正会員 七澤章

1. はじめに

塩害と ASR はそれぞれ単独でも深刻なコンクリート構造物の劣化機構であるが、これらが複合した劣化現象についても報告されている。その複合劣化は複雑であり、場合によっては、ASR により生成したアルカリシリカゲルが鉄筋周辺に保護被膜を形成するため、鉄筋の腐食は進行しないという指摘もある。このように、塩害と ASR の複合劣化機構については不明な点が多く残っている。そのため、塩害と ASR の複合劣化に対する補修工法の選定は極めて難しく、現状では効果的補修工法の確立には至っていない。既往の研究では、電気化学的防食工法の電解液から電気化学的にリチウムイオン (Li^+) をコンクリート中に浸透させることにより、コンクリート中に効率的に Li^+ を供給できるとともに、ASR による膨張を抑制できること等が報告されている。ただし、適切なりチウム塩や通電条件の選定が課題となっている。

これより本研究では、塩害と ASR の複合劣化状態を模擬した鉄筋コンクリート供試体を作製し、供試体を保管する温度条件を変化させたときの複合劣化機構の変化を、コンクリート膨張率と電気化学的鉄筋防食モニタリングにより検討した。並行して塩害と ASR の複合劣化状態を模擬した鉄筋コンクリート供試体に、種々のリチウム塩溶液を電解液とした通電を実施し、イオンの移動状況を実験的に検討した。

2. 実験概要(供試体作製、電解液濃度、測定項目)

本実験で用いたコンクリートの配合を表-1 に示す。水セメント比 (W/C) は 55% で一定とし、想定する劣化機構に応じて 3 種類の配合条件を設定した。塩害単独劣化を想定した NCI 配合は、非反応性骨材と NaCl、塩害と ASR の複合劣化を想定した RCI 配合は、反応性骨材と NaCl、さらに、ASR 単独劣化を想定した ROH 配合は、反応性骨材と NaOH を用いた。初期混入 R_2O 量は、厳しい劣化促進状態を想定して 10.0 kg/m^3 となるように調整した。なお、電気化学的補修を行う供試体は、RCI 配合のコンクリートのみとした。

本研究で作製した供試体は、 $100 \times 100 \times 300 \text{ mm}$ の角柱コンクリートの正方形断面中央部分に丸鋼 $\phi 13 \text{ mm}$ (SR235) を 1 本配置したものとした。これらの供試体は、打設翌日に脱型し、 20°C の恒温室中で封緘養生を行った。養生終了後、20、30、 40°C の湿潤環境に保管し、定期的にコンクリート膨張量測定やモニタリングを実施した。電気化学的補修適用供試体は、養生終了後、 LiOH 、 Li_2SiO_4 、 Li_2CO_3 、 LiNO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の 5 種類の溶液を電解液として通電処理を行った。溶液濃度は、難溶性の Li_2CO_3 を除いて Li 濃度が 3% になるように調節した。電流密度は 1.0 A/m^2 、通電期間は 8 週間とし、供試体を 30°C の電解液中に浸漬して通電を行った。なお、 LiNO_3 のみ 40°C の場合も併せて検討した。通電後は、コンクリート中の各種イオン濃度分布を測定した。

3. 複合劣化機構の検討(外観状況・膨張率による劣化機構の検討、自然電位による鉄筋腐食の検討)

供試体外観状況を写真-1～写真-3 に示す。これより、RCI 配合では、ASR によるひび割れに鉄筋腐食の影響が複合されるため、鉄筋に沿った腐食ひび割れが卓越したと考えられる。ROH 配合では、亀甲状のひび割れが見られ、ASR の影響が卓越しているが、 40°C 環境の場合は、自己治癒効果により 30°C 環境の場合よりひび割

表-1 コンクリート配合

配合名	W/C (%)	圧縮強度(N/mm^2)	単位量(kg/m^3)									
			C	W	S1	S2	G1	G2	NaCl	NaOH	WRA	AEA
NCI	55	32.6	338	186	832	—	871	—	15.1	—	1.5	0.02
RCI	55	27	338	186	250	591	261	641	15.1	—	1.5	0.02
ROH	55	20.1	338	186	250	591	261	641	—	10.3	1.5	0.02

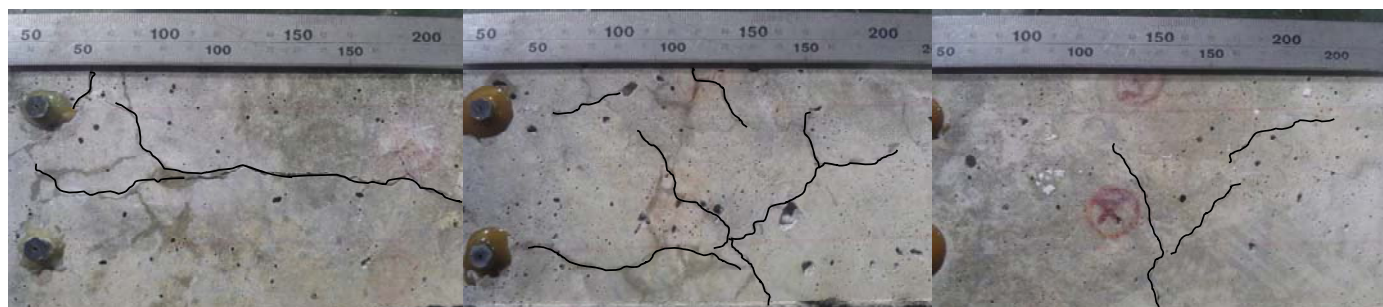


写真-1 RCI30°C供試体

写真-2 ROH30°C供試体

写真-3 ROH40°C供試体

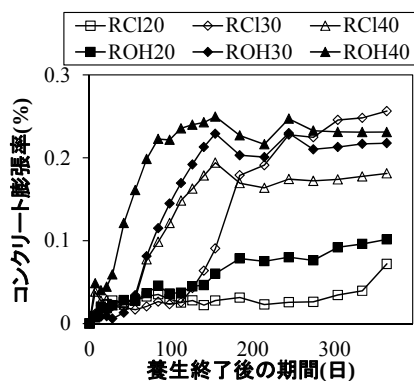


図-1 コンクリート膨張率の経時変化

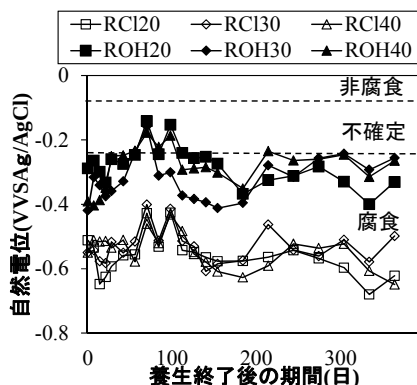


図-2 鉄筋自然電位の経時変化

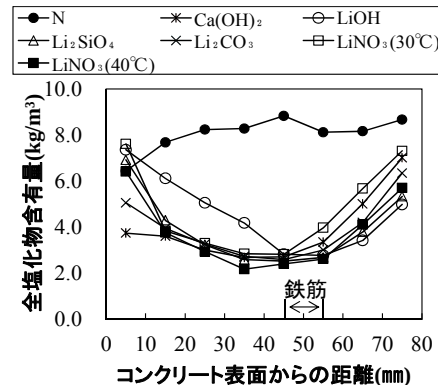


図-3 通电後の Cl^- 濃度分布

れが抑制されているようである。

膨張率の経時変化を図-1 に示す。これによると、最も早期に膨張を開始したのは 40°C 環境の ROH 配合供試体である。これは、ASR の促進に有利な保管条件であり、NaOH を添加しているため、コンクリート中の OH^- 濃度が高くなっていることも影響していると考えられる。また、養生終了後 100 日程度から 30°C 保管の RCI 供試体の膨張が大きくなっており、1 年経過した時点での膨張は最も大きくなっている。これは、膨張速度が小さい場合の方が劣化が長期間にわたって進行するため、最終的な劣化状態が深刻化する場合もあるものと考えられる。

鉄筋自然電位の経時変化を図-2 に示す。これより、供試体保管温度に関わらず、RCI 配合の供試体は全体的に腐食領域の卑な電位で推移している。これは、今回作製した供試体には 9.1 kg/m^3 という、発錆限界を大幅に上回る Cl^- を混入しているため、鉄筋腐食が促進したものと考えられる。一方で、ROH 供試体については、 Cl^- の影響が無いことから他の供試体よりも貴な電位で推移している。特に 30°C および 40°C で保管した供試体では膨張は大きいものの、長期的に電位が貴変する傾向が見られる。この理由として、自己治癒効果によるひび割れの閉塞や、アルカリシリカゲルの生成による鉄筋腐食環境の改善が考えられる。

4. イオン(Cl^- , Li^+)の移動による通电効果の検討

通电後のコンクリート中における Cl^- , Li^+ 濃度分布をそれぞれ図-3, 図-4 に示す。図-3 より、電解液種類によらず、通电を行った供試体は、無通电供試体(N)と比較して Cl^- 濃度が低減される脱塩効果がみられ、中でも 40°C の LiNO_3 溶液は、他の 30°C 電解液よりも脱塩効果が大きいことが分かる。また、図-4 からは、リチウム塩溶液を電解液として通电を行うことで、コンクリート表面付近の Li^+ 濃度が大きくなっているが、30°C の電解液では、 Li^+ の浸透深さは 25 mm 程度にとどまっていることが分かる。これに対して、40°C の LiNO_3 溶液を電解液とした場合には、 Li^+ の浸透量および浸透深さともに顕著に増大しており、鉄筋付近まで到達している。これらは、温度上昇に伴い Cl^- や Li^+ の動きが活性化し、電気泳動が促進されることと LiNO_3 のコンクリートへの浸透性に優れているといった性質に起因するものだと考えられる。

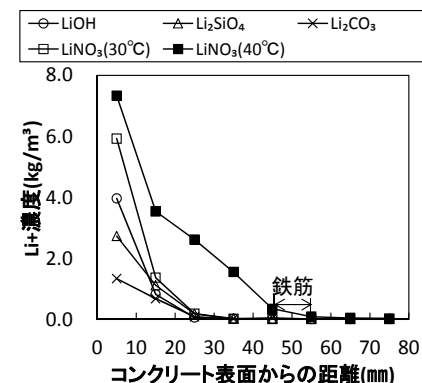


図-4 通电後の Li^+ 濃度分布