

ASR 劣化がコンクリート中鋼材の腐食と防食に与える影響

徳島大学大学院 賛助会員 ○東大智 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下 RC とする）構造物が ASR により劣化した場合、ひび割れから様々な劣化因子がコンクリート中に浸入し、鋼材腐食が進行する。一方で、ASR 劣化コンクリート中において発生する ASR ゲルがコンクリート中の鋼材に付着した場合、コンクリートにひび割れが発生した状態であっても、コンクリート中の鋼材は腐食から保護されるという、ASR ゲルによる緩衝作用が実構造物の調査などで指摘されている。このように、ASR 劣化したコンクリート中における鋼材腐食は複雑な挙動を示すと考えられる。

一方で、塩害等の補修対策として、電気化学的防食工法を適用した場合に、通電に伴う電気泳動によってコンクリート中のアルカリ金属イオンが、陰極となるコンクリート中の鋼材近傍に移動・集積することから、コンクリートの ASR 膨張が促進される場合があることが指摘されている。ただし、反応性骨材を含有する RC 部材に電気防食を適用した場合、ASR 促進効果や防食効果が、どの程度の影響を受けるのかに関する知見はほとんどない。そこで本研究では、無通電で ASR を行った場合と、電気防食工法を適用した場合について、コンクリートの膨張を測定するとともに、鋼材腐食状況を電気化学的腐食指標により評価した。

2. 実験概要

2.1 コンクリート配合要因および使用材料

本実験で用いたコンクリートの配合要因を表-1 に示す。非反応性骨材のみを用いて NaCl を添加したコンクリートを NCl, 反応性骨材を用いて NaCl を添加したコンクリートを RCl, NaOH を添加したコンクリートを RO とする。ここで、NaCl は、鋼材腐食促進を目的として、Cl⁻濃度が 8.0 kg/m³ となるように添加した。さらに、NaOH は、NaCl 添加配合と同量の R₂O 量として、初期混入 R₂O 量が 9.2 kg/m³ となるように添加した。これにより、NCl 配合は、塩害単独劣化、RCl 配合は塩害と ASR の複合劣化、RO 配合は ASR の単独劣化を想定した配合条件となっている。

2.2 供試体作製および養生

本研究で作製した RC 供試体は図-1 に示すような母材コンクリートと陽極被覆材の打継供試体とした。

その後、20℃の恒温室中で 14 日間の封緘養生を行った。

養生後の供試体の打ち込み面に対して、厚さ 15 mm の陽極被覆層の中央付近にチタンメッシュを埋設する形で陽極被覆材を打ち込んだ。陽極被覆材が一体化した RC 供試体は 20℃の恒温室中でさらに 14 日間の封緘養生を行った後に、コンクリートの膨張測定時のコンタクトゲージ用の真鍮チップを、図-1 に示すように、型枠側面 2 面に 4 個ずつ貼付した。

2.3 保管期間中の各種測定

無通電供試体と通電供試体に分けて、すべての供試体を乾湿繰返し環境で保管した。乾湿繰返し条件は、促進 ASR のための湿潤環境（40℃, 95%R.H.）を 4 日間と、鋼材腐食に必要な酸素供給のための乾燥環境（20℃, 60%R.H.）を 3 日間の繰返しとし、通電供試体はこの環境で電気防食工法を適用した。電気防食工法における

表-1 コンクリートの配合要因

配合	W/C	骨材	添加アルカリ
NCl	45%	非反応性骨材	NaCl
RCl		非反応性骨材： 反応性骨材=5：5	NaCl
RO		非反応性骨材： 反応性骨材=5：5	NaOH

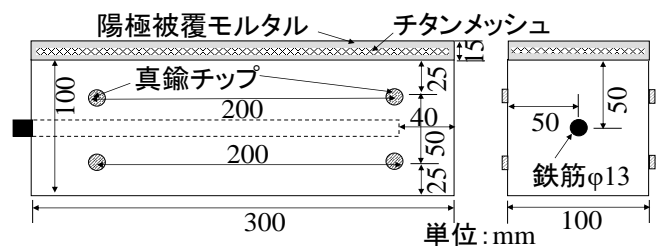


図-1 RC 供試体の概要

電流密度は E-logI 試験で 100 mV シフト相当であることを確認した 20 mA/m² とした。通電中の供試体は、2 週間に 1 回の間隔で、湿潤環境終了後に通電を停止して鉄筋のインスタントオフ電位を測定後、湿潤状態を保持したままの供試体を 20°C の恒温室に移動させて 24 時間経過後にコンタクトゲージ法によりコンクリート膨張率を測定した。その後、20°C、60%R.H. の恒温恒湿環境で乾燥保管をしながら 3 日間の鉄筋復極量を測定した。復極量の測定終了後、コンクリート中鉄筋の自然電位、分極抵抗、供試体かぶりと陽極被覆材の合計電気抵抗を測定した。無通電供試体についても、通電供試体と同じ環境条件に保管し、同じ時にコンクリートの膨張率と電気化学的鋼材腐食指標の測定を行った。

3. コンクリート膨張率の経時変化

養生終了後に 150 日間の乾湿繰返しを実施した RC 供試体のコンクリート膨張率の経時変化を図-1 に示した陽極層設置側と鋼材背面側の測定結果に分けて図-2 に示す。反応性骨材を用いた供試体の中では、RO 配合供試体の膨張が早期に進行し、その後に RCI 配合供試体の膨張が大きくなっている。これは、NaOH を添加した RO 配合コンクリート細孔溶液中の OH⁻ 濃度が、NaCl を添加した RCI 配合コンクリートの場合よりも高いことが主原因と考えられる。また、供試体中の場所に関して、特に RO 配合コンクリートは、陽極層側コンクリートの膨張率が鋼材背面側の膨張率よりも小さい。このような傾向は、通電の有無に関わらないことから、通電の影響ではなく、陽極被覆モルタルの膨張拘束の影響が大きいと考えられる。

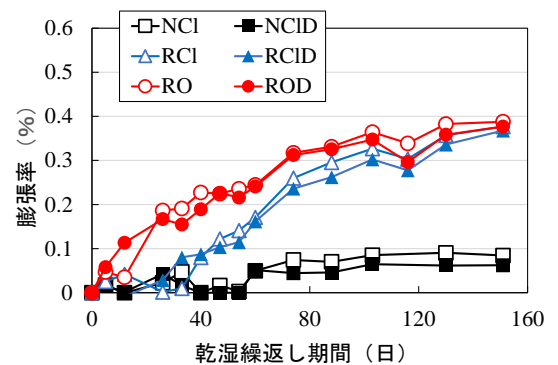
4. 電気化学的鋼材腐食・防食指標の経時変化

4.1 復極量

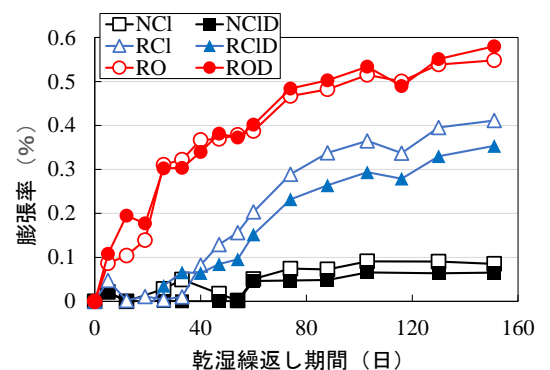
電気防食を適用した通電供試体の復極量の経時変化を図-3 に示す。図-3 によると、すべての配合供試体について、防食効果を得るために必要な 100 mV を超える復極量を示しており、十分な防食効果が得られているものと考えられる。ただし、得られている復極量は配合条件の影響を強く受けており、普通骨材配合の NCID 供試体の復極量は、反応性骨材配合の RCID 供試体および ROD 供試体の値より大きい値を推移している。

4.2 電気化学的鋼材腐食指標

乾湿繰返し期間中の RC 供試体で測定された、鉄筋自然電位の経時変化を図-4 に示す。なお、通電供試体については、通電停止後 3 日経過時点の復極量測定後の測定値を示している。反応性骨材を用いた RCI 配合供試体と RO 配合供試体は、全体的に電位が低いが、これらの供試体は、ASR ゲルの生成により、空隙充填効果や保水効果によって、電位が低下したものと推定される。特に RO 配合は Cl⁻ を含有しておらず、ASR によってコンクリートにひび割れは入っているが、鋼材腐食によって電位が卑な値を取っている可能性は低いと思われる。



(a) 陽極層側コンクリート



(b) 鋼材背面層側コンクリート

図-2 コンクリート膨張率の経時変化

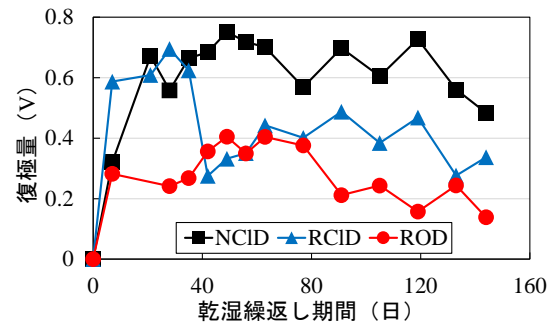


図-3 通電供試体の復極量の経時変化

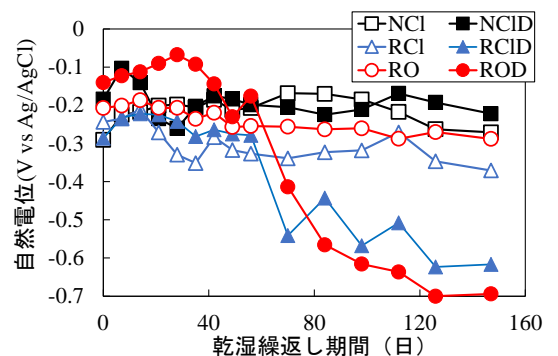


図-4 RC 供試体中鉄筋の自然電位の経時変化