

長期的に外来塩の供給を受けるコンクリートの塩害と ASR の複合劣化

徳島大学大学院 学生会員 ○甲把浩基 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄
 徳島大学大学院 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。その劣化機構は複雑であり、ASR のひび割れによって塩害が促進する場合がある一方で、ASR により生成したゲルが鉄筋周辺に保護皮膜を形成するため、鉄筋の腐食は進行しないという指摘もある¹⁾。このように、複合劣化機構については不明な点が多く残っており、解明されていないのが現状である。本研究では、海洋環境や凍結防止剤が散布される RC 構造物を想定し、外部からアルカリが供給される RC 供試体を用いて複合劣化機構を検討した。

2. 実験概要

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、配合条件は普通骨材を用いた N 配合と反応性骨材を用いた R 配合の 2 種類とした。使用材料として、セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.16 g/cm³，比表面積：3280 cm²/g，R₂O：0.56%）を用いた。非反応性細骨材 S1 は徳島県鳴門市撫養町産砕砂（表乾密度：2.56 g/cm³，F.M.：2.79），反応性細骨材 S2 は北海道産安山岩砕砂（表乾密度 2.56 g/cm³，アルカリ濃度減少量 Rc：135 mmol/l，溶解シリカ量 Sc：778 mmol/l）を用い、S1：S2 は 3：7 でペシマム混合した。非反応性粗骨材 G1 は鳴門市撫養町産砕石（表乾密度 2.55 g/cm³，Gmax：15mm），反応性粗骨材 G2 は北海道産安山岩砕石（表乾密度 2.68 g/cm³，Gmax：15 mm）を用い、細骨材と同様に G1：G2 は 3：7 でペシマム混合した。すべての配合に AE 減水剤を 1.5kg/m³，AE 助剤を 0.02kg/m³ 添加した。

本実験で作製した供試体は、100×100×300mm の角柱コンクリートに丸鋼 φ13mm(SR235)をかぶり 25mm で 1 本配置したものとした。養生後は N，R 配合の供試体を 20，30，40℃に設定した 10wt%の各塩水に浸漬させ、定期的にコンクリート膨張率およびコンクリート中の鉄筋の自然電位を測定した。また、塩水浸漬 175 日および 1100 日後の供試体を用いてコンクリート内部のイオン分析を行い、Cl⁻の濃度分布を測定した。

3. コンクリート膨張率の推移および Cl⁻の浸透状況

塩水浸漬期間におけるコンクリート膨張率の推移を図-1 に示す。凡例の数字は NaCl 溶液の温度を示す。なお、N 配合は膨張が生じておらず、記載していない。図-1 より、R 配合は 20℃環境において膨張が生じなかったが、30℃環境において約 600 日、40℃環境において約 200 日経過時点からひび割れを伴う膨張が生じている。これは、温度が高いほど外部から浸透してくるイオンが多くなるため、コンクリート内部に浸透する Na⁺によって ASR が生じやすくなったことと、温度が高いほど ASR の反応性が活発になることに起因しており、高温環境であるほど膨張が促進され、最終的なコンクリート膨張率も大きくなったと考えられる。

次に、塩水浸漬 175 日後(ASR によるひび割れ前)および 1100 日後(ASR によるひび割れ後)におけるコンクリート中の全 Cl⁻濃度から算出した見掛けの拡散係数の値を図-2 に示す。図-2 より、塩水浸漬 175 日後において、N 配合は温度が高いほどコンクリートの内部まで Cl⁻が浸透したが、R 配合では Cl⁻の浸透が抑制する傾向にあった。上述したように、イオンの浸透性は温度が高くなるほど多くなるが、R 配合のように反応性骨材を含む場合に関しては、表面付近に浸透してきたイオンの影響を受けて ASR ゲルが生成されるため、コンクリート表

表-1 コンクリートの配合

配合名	s/a (%)	W/C (%)	単用量 (kg/m ³)					
			C	W	S1	S2	G1	G2
N	48	55	324	178	823	—	888	—
R	48	55	324	178	249	581	276	644

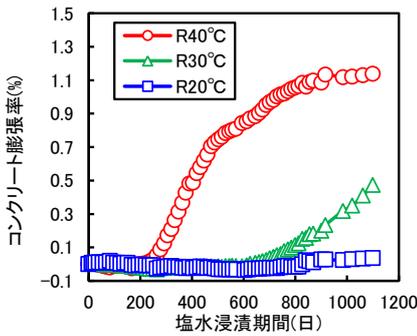


図-1 コンクリート膨張率の推移

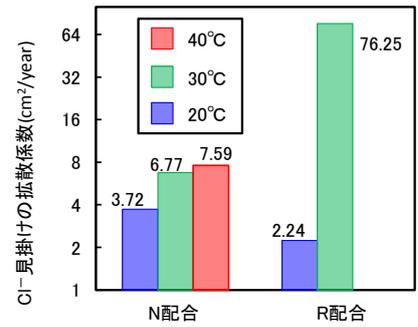
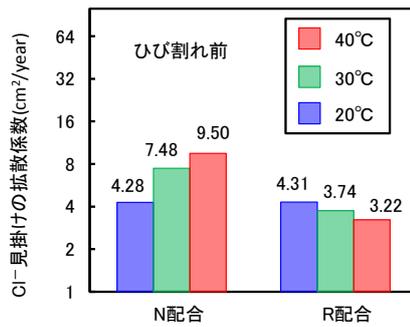


図-2 Cl⁻見掛けの拡散係数(左図:浸漬175日後,右図:浸漬1100日後)

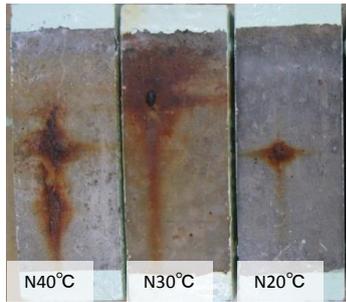


写真-1 浸漬1100日後のN配合供試体

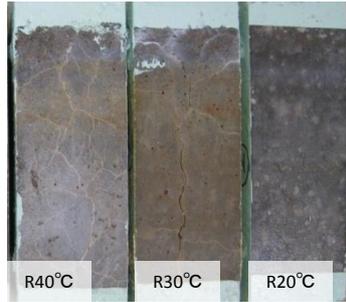


写真-2 浸漬1100日後のR配合供試体

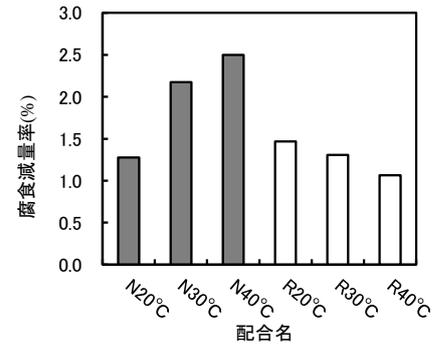


図-3 はつり出した鉄筋の腐食減量率

層付近が ASR ゲルで充填されることによって、Cl⁻の浸透を抑制することが考えられる。一方で、塩水浸漬 1100 日後において、N 配合は塩水浸漬 175 日後と同様に温度が高くなるほど Cl⁻濃度が高くなったが、ASR によるひび割れが生じた R30°C、R40°Cの供試体では多量の Cl⁻が深部まで浸透しており、コンクリート表面付近と同等の Cl⁻濃度が確認された。このため、塩水浸漬 1100 日後の R40°Cの拡散係数は算出できず、記載していない。

4. コンクリート供試体の外観および鉄筋腐食状況

塩水浸漬 1100 日後のコンクリート供試体の外観を写真-1 および写真-2 に示す。写真-1 より、N 配合は全ての供試体から錆汁の滲出が見られており、温度が高くなるほど錆汁の滲出範囲が大きくなった。これは、コンクリート中へのイオンの浸透性が温度に依存するため、本実験においても供試体を保管する NaCl 溶液の温度が高くなるほど、浸透する Cl⁻が多くなり、鉄筋腐食が進行しやすくなったと考えられる。次に、写真-2 より、R 配合は温度が高いほど ASR 特有の亀甲状のひび割れが顕著となっており、図-1 に示したコンクリート膨張率と整合している。また、供試体のひび割れ状況を比較すると、R40°Cでは ASR 特有の亀甲状のひび割れが卓越していたが、R30°Cでは亀甲状のひび割れに加え、塩害特有の軸方向のひび割れが見られた。さらに、R 配合の供試体は、N 配合の供試体で生じたような錆汁の滲出が確認できなかった。このため、塩害と ASR の複合劣化はひび割れ形態や鉄筋腐食状況が塩害単独劣化と異なり、温度の違いによっても異なった劣化形態を示すことが考えられる。

図-3 に塩水浸漬 1100 日後の供試体からはつり出した鉄筋の腐食減量率、写真-3 に塩水浸漬 1100 日後における R 配合の供試体からはつり出した鉄筋の外観を示す。N 配合は写真-1 の外観からも見られたように、温度が高いほど腐食減量が大きいものに対して、R 配合では温度が高いほど腐食が緩和される傾向にあった。写真-3 より、温度環境が高いほど白色物質が付着し、付着していない箇所でも腐食の進行が見られた。そのため、ASR のひび割れにより多量の Cl⁻が浸透した場合でも、ASR ゲルが鉄筋を保護することで鉄筋腐食が緩和されることが考えられる。

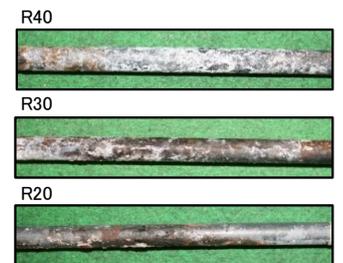


写真-3 はつり出した鉄筋の外観

参考文献

- (1) 羽瀧貴士, 辻裕和, 鳥居和之: アルカリシリカ反応と塩分浸透の複合作用による鉄筋の腐食機構, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp. 1017-1022