

長期的に外来塩の供給を受ける鉄筋コンクリートの塩害と ASR の複合劣化に関する検討

徳島大学大学院 正会員 ○上田 隆雄
 徳島大学大学院 学生会員 甲把 浩基
 デンカ 正会員 七澤 章
 徳島大学大学院 正会員 塚越 雅幸

1. はじめに

海洋環境や凍結防止剤の散布を受ける RC 構造物は、塩害が主要な劣化要因となるがコンクリートが反応性骨材を含有する場合には、塩害と ASR の複合劣化となる場合がある。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され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、鉄筋の腐食の進行が抑制されるという指摘もある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されていることから、本研究では、外部から NaCl が供給される鉄筋コンクリート供試体を用いて、塩害と ASR の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、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。

本実験で作製した RC 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 25 mm で1本配置したものとした。養生後はすべての供試体を 20, 30, 40℃に設定した 10wt%の NaCl 溶液に浸漬し、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中の Cl⁻濃度分布を測定するとともに、コンクリート中の鉄筋をはつりだし、鉄筋腐食減量を測定した。

3. コンクリート膨張率の推移および Cl⁻の浸透状況

塩水浸漬期間中のコンクリート膨張率の経時変化を図-1に示す。凡例の数字は NaCl 溶液の温度を示す。図-1より、R 配合コンクリートは 20℃塩水に浸漬した場合は膨張は生じていないが、30℃塩水に約 600 日、40℃塩水に約 200 日浸漬した時点からひび割れを伴う膨張が生じている。これは、環境温度が高いほどコンクリート外部から浸透する各種イオンの浸透速度大きくなるため、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 の反応が活性化したことが原因と考えられる。

ASR によるひび割れが発生する前の塩水浸漬 175 日時点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。これより、N 配合の場合は温度が高いほど大きな拡

表-1 コンクリートの配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
			C	W	S1	S2	G1	G2	WRA	AEA
N	55	48	324	178	823	—	888	—	1.2	0.019
R					249	581	276	644	1.5	0.019

キーワード 外来塩，塩害，ASR，複合劣化，鉄筋腐食

連絡先 〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 徳島大学理工学部社会基盤デザインコース TEL 088-656-2153

散係数を示しており、 Cl^- の浸透が促進されていることがわかるが、R 配合では温度が高いほど Cl^- の浸透が抑制されている。上述したように、イオンの浸透速度は温度が高くなるほど大きくなるが、反応

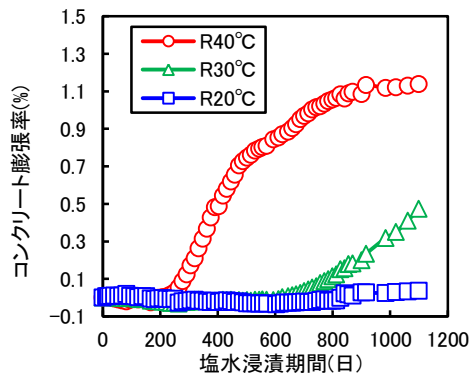
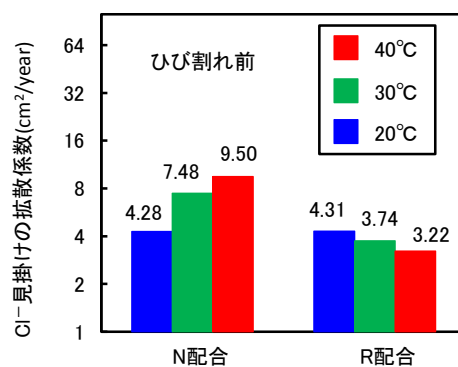


図-1 コンクリート膨張率の経時変化

図-2 Cl^- の拡散係数(塩水浸漬 175 日)

性骨材を含む場合は、コンクリート表面から浸透してきた Na^+ の影響を受けて ASR ゲルが生成され、ASR ゲルの吸水膨張によって、コンクリートにひび割れが発生する前の段階では、コンクリート表層付近の空隙が ASR ゲルで充填されることによって、 Cl^- の浸透を抑制したものと推定される。一方で、塩水浸漬 1100 日が経過した時点においては、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^- がコンクリート深部まで浸透していることが確認された。

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図-3 に示す。これより、N 配合は鉄筋軸方向ひび割れとともに、全ての供試体から錆汁の滲出が見られ、温度が高くなるほど錆汁の滲出範囲が大きくなっている。これは、図-2 に示したように、NaCl 溶液の温度が高くなるほど、浸透する Cl^- 量が大きかったことと、温度上昇に伴って鉄筋腐食速度が増加したことが原因と考えられる。一方、R 配合供試体のひび割れ状況を比較すると、20°Cの場合には、図-1 に示したように膨張が小さいことから ASR 特有の網目状のひび割れは見られず、N 配合の場合のような錆汁の滲出も見られない。これに対して、30°Cの場合には、ASR による網目状のひび割れに加え、鉄筋腐食による軸方向ひび割れの卓越が見られる。さらに、40°Cでは ASR 特有の亀甲状のひび割れが卓越しており、鉄筋腐食に伴う軸方向ひび割れや錆汁の滲出が確認できなかった。このように、塩害と ASR の複合劣化に伴うひび割れ形態は環境温度の影響を強く受けるものと考えられる。

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を図-4 に示す。N 配合の場合には図-3 から推定されたように、温度が高いほど大きな腐食減量率を示しているのに対して、R 配合では、温度が高いほど腐食減量が小さな値となっている。はつり出した鉄筋の外観を観察したところ、環境温度が高いほど鉄筋表面に多くの白色物質が付着し、付着していない箇所でも腐食の進行が見られた。このため、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抑制されたものが考えられる。

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, 2004.

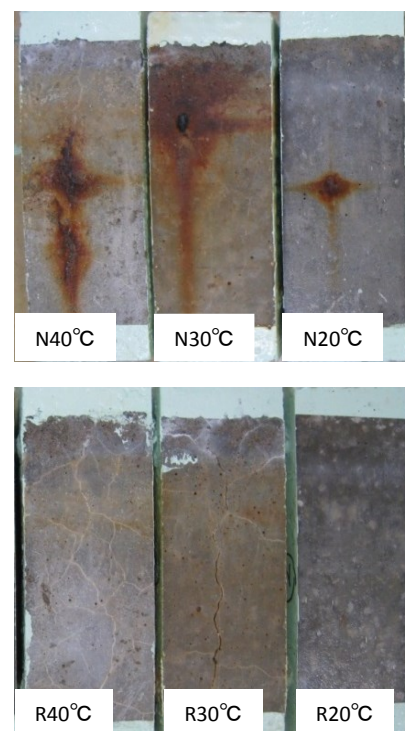


図-3 塩水浸漬 1100 日後の供試体外観

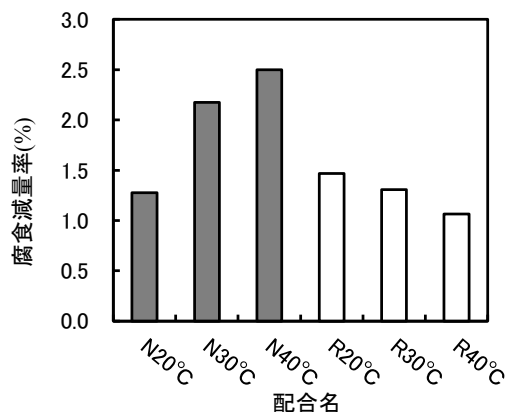


図-4 鉄筋の腐食減量率