

内在および外来アルカリの供給による塩害と ASR の複合劣化機構に関する検討

徳島大学 学生会員 ○榎田淳二  
 徳島大学 正会員 上田隆雄  
 徳島大学 正会員 塚越雅幸  
 徳島大学 非会員 澁野麻友

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現象であるが、近年、これらが複合した劣化現象についても報告されている。その複合劣化機構は、環境温度や塩分供給形態等のさまざまな要因で変化することが予想される。例えば、どちらかの劣化が先行して進行することや、場合によっては ASR によって生成され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報告もある。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、解明されていないことが現状である。また、この複合劣化に対する適切な対策も確立されていないため、複合劣化機構を解明することが対策を検討する上で重要になってくる。そこで本研究では、内在と外来での塩害と ASR の複合劣化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モニタリングにより検討した。

2. 実験概要

本研究で用いたコンクリートの配合を表 1 に示す。水セメント比は 55% とし、初期混入 R<sub>2</sub>O 量は 10.0 kg/m<sup>3</sup> となるように調整した。普通骨材のみを用いた配合を N、反応性骨材を用いた供試体を R とし、NaCl を初期混入したものを CI 配合とした。N、R 配合は塩水に浸漬するため外来アルカリの供給、NCl、RCI 配合を内在アルカリの供給を想定した。作製した供試体は、100×100×300mm の角柱コンクリートにかぶり 25mm で丸鋼 φ13 を配置したものとした。また、N と R 配合においては、塩化物イオン浸透状況確認のため、無筋の円柱供試体 φ100×200 mm を作製した。これらの供試体は、打設翌日に脱型し、20℃ の恒温室中で封緘養生を行った。養生後、N、R 配合は 10% の塩水に浸漬、NCl、RCI 配合は湿空環境で、ともに 20℃、30℃、40℃ と環境温度を変えて約 200 日間保管した。その間、定期的に鉄筋腐食モニタリング(自然電位、分極抵抗、コンクリート抵抗)、コンクリート膨張量測定を実施した。N と R においては、塩水浸漬 175 日後に供試体内部の全 Cl<sup>-</sup> 濃度分布を測定した。

3. コンクリート膨張率

コンクリート膨張率の経時変化を図 1 に示す。これによると、塩水への浸漬によって外来アルカリの供給を行った R 配合は、塩水浸漬 200 日時点において、膨張は認められない。この R 配合は、今後塩水浸漬による Na<sup>+</sup> のコンクリート表面からの浸透が進行し、表層部分から順に内部に向かって膨張が開始すると予想さ

表 1 コンクリート配合

配合名	s/a	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								
		C	W	S1	S2	G1	G2	WRA	AEA	NaCl
N	48	324	178	823	-	888	-	0.97	0.019	-
NCl	48	324	178	823	-	888	-	0.97	0.019	15.4
R	48	324	178	249	581	276	644	0.97	0.019	-
RCI	48	324	178	249	581	276	644	0.97	0.019	15.4

キーワード 塩害, ASR, 複合劣化, 膨張率, 自然電位

連絡先 〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 TEL 088-656-2153 FAX 088-656-7351

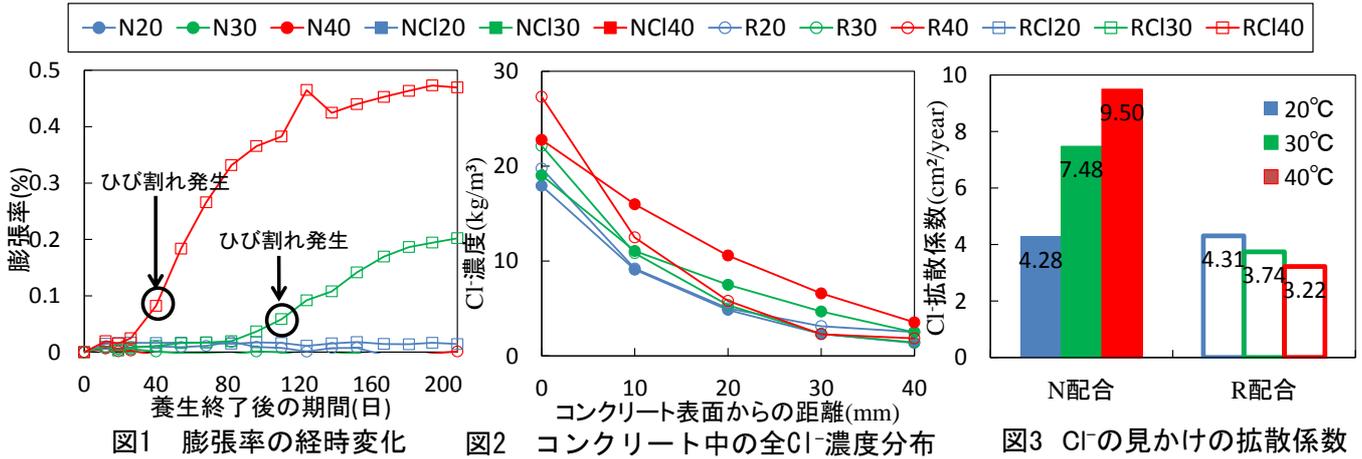


図1 膨張率の経時変化

図2 コンクリート中の全Cl-濃度分布

図3 Cl-の見かけの拡散係数

れる。RCI 配合は ASR による膨張が顕著にみられる。40°C環境の場合は、30°C環境の場合よりも、早期に膨張が開始し、膨張速度も大きくなっている。これに対して既往の検討では、30°Cで保管した場合は、40°C保管の場合よりも膨張速度は小さいものの、長期間にわたって膨張が継続することで、最終膨張量は大きくなるケースも報告されていることから、今後の長期的測定が必要である。

4. 全 Cl-濃度分布および Cl-の見かけの拡散係数

塩水浸漬 175 日後のコンクリート中における全 Cl-濃度分布を図 2 に示す。これによると、N 配合 R 配合ともに温度が上昇するにつれて全 Cl-の浸透量が大きくなっている。さらに N 配合より R 配合の方が、Cl-の浸透が抑制されていることが分かる。

図 2 の結果に、フィックの拡散則を適用して算出した Cl-の見かけの拡散係数を図 3 に示す。これによると、N 配合では、高温度ほど拡散係数が大きくなっている。これは、高い温度ほどコンクリート中の Cl-の移動が活発化したことを示している。これに対して、R 配合では、高い温度ほど拡散係数が小さくなっている。これは、R 配合では、コンクリートの膨張は生じてないものの、保管温度が高い場合には、アルカリの供給が大きいコンクリート表面付近を中心に ASR がゆるやかに進行し、生成した ASR ゲルが Cl-の浸透経路である反応性骨材とペーストの界面を充填したことが原因と推定される。

5. 自然電位およびコンクリート抵抗の経時変化

N 配合および R 配合の鉄筋自然電位の経時変化を図 4 に示す。N 配合の自然電位は、30°C、40°C保管の場合には、2 ヶ月程度の塩水浸漬で大きく卑変しているが、20°C保管の場合には、若干遅れて電位の卑変が見られる。また、R 配合では、N 配合の場合より、遅れて電位が卑変している。R 配合は、図 1 に示したように 200 日浸漬時点で、膨張は見られず、活発な ASR が発生しているとは考えにくいものの、緩やかな ASR は進行しているものと推定される。これにより、前述したように ASR ゲルが Cl-の浸透を妨げるとともに、鉄筋の保護被膜として作用した可能性もある。

N 配合および R 配合のコンクリート抵抗の経時変化を図 5 に示す。すべての配合で 40°C環境の場合の値が大きい。活発に水和反応が促進され、コンクリートの細孔組織が緻密化したと考えられる。また、R 配合の 30°C、40°C環境の場合は、前述したように、ASR の影響で反応性骨材界面が緻密化した可能性がある。

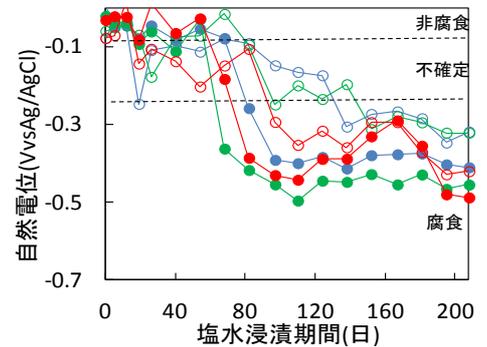


図4 自然電位の経時変化(外来)

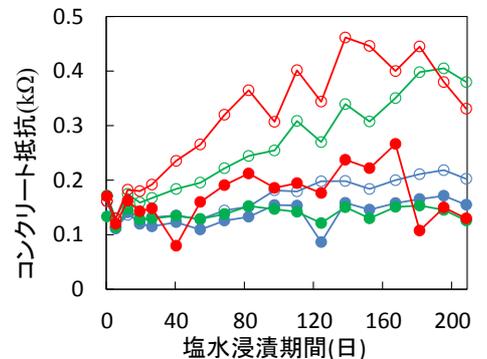


図5 コンクリート抵抗の経時変化(外来)