内在および外来アルカリが塩害と ASR の複合劣化機構に与える影響

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　　徳島大学　非会員　澁野麻友

1. 背景と目的

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劣化が進行することや，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_2O 量は 10.0 kg/m³ 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 Cl 配合とした。N，R 配合は塩水に浸漬するため外来用，NCl，RCl 配合を内在用とした。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 ㎜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，RCl 配合は湿空環境で、ともに 20℃，30℃，40℃と環境温度を変えて保管した。その後は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，化学分析において供試体内部の全塩化物含有量を測定した。

3. 実験結果および考察

(1)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。普通骨材を使用した N 配合，NCl 配合では膨張の変化がみられなかった。R 配合でも同じように膨張がまだ見られなかった。この R 配合においては，今後塩水浸漬による Na^+のコンクリート表面への浸透が進行し，表層部分から順に膨張が開始すると予想される。RCl 配合は ASR による膨張が顕著にみられた。40℃環境の場合は，30℃環境の場合よりも，早期に膨張がみられ，傾きも大きいことから，ASR の反応活性度が大きいことがわかった。ASR では温度による影響を無視できない結果となった。既往の検討では最終膨張量は，30℃環境の場合が大きくなっていたことから，最終膨張量は必ずしも 40℃環境の場合が大きい結果ではないと予測できる。

表 1　コンクリート配合

配合名	s/a	単位量(kg/m³)								
		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	−
RCl	48	324	178	249	581	276	644	0.97	0.019	15.4

(2) 自然電位

NCl 配合および RCl 配合の自然電位の経時変化を**図 2** に示す。NCl 配合および RCl 配合は多量に NaCl を含有したことから，いずれの供試体も初期から強い鉄筋腐食傾向を示している。RCl 配合に関しては，40℃環境で膨張開始後に電位が貴変し，その後は比較的に貴な電位をとっていることから，ゲルが鉄筋腐食環境を緩和した可能性がある。30℃環境の場合でも膨張が開始された 100 日以降にゆっくりと電位が貴変している。N 配合および R 配合の自然電位の経時変化を**図 3** に示す。N 配合の電位が急激に卑変したところで，鉄筋まで塩分が浸透してきていることが考えられる。30℃，40℃環境に比べ，20℃環境が若干遅れて鉄筋腐食している。R 配合では，N 配合と同じ環境下で保管しているにも関わらず，遅れて卑変している。200 日浸漬時点で温度によらず，膨張していないことから，活発な ASR が発生しているとは考えにくい。しかし，緩やかな ASR によって，反応性骨材とペーストの界面部分のアルカリシリカゲル発生により，Cl^-の浸透を遅らせた可能性がある。

(3) コンクリート抵抗

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 4** に示す。すべての配合で 40℃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℃，40℃環境の場合は、表面からゲルによる骨材界面が緻密化して、NaCl の浸透を抑制していると考えられる。

(4) 全塩化物含有量

N 配合と R 配合において塩水浸漬していた円柱供試体内部の全塩化物含有量を**図 5** に示す。どちらの配合でも 40℃環境の全塩化物量が多い事が分かる。その 40℃環境において N 配合より R 配合が内部に進むほど全塩化物量が小さくなっている。これは，内部で生成されたゲルが Cl^-の浸透を抑制していると考えられる。

4. まとめ

1) 内在アルカリを含む RCl 配合では，ASR によるコンクリート膨張と Cl^-による鉄筋腐食が同時に進行し，保管温度が高いほど早期に急速な膨張を示した。ただし，ASR の進行に伴って鉄筋の自然電位は貴変する傾向を示した。

2) 外来アルカリの供給を受ける場合，N 配合では，Cl^-の浸透に伴う急激な自然電位の低下が見られたが，R 配合は Cl^-浸透に伴う鉄筋腐食傾向は比較的緩やかとなった。

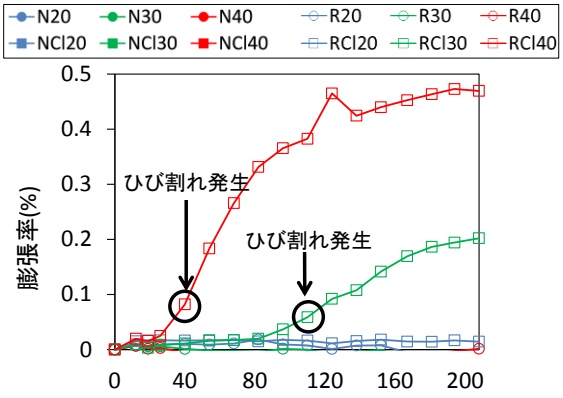

図1　膨張率の経時変化

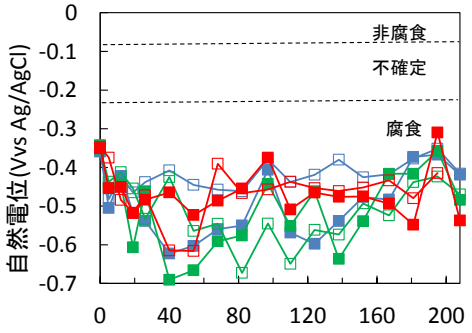

図2　自然電位の経時変化（内在）

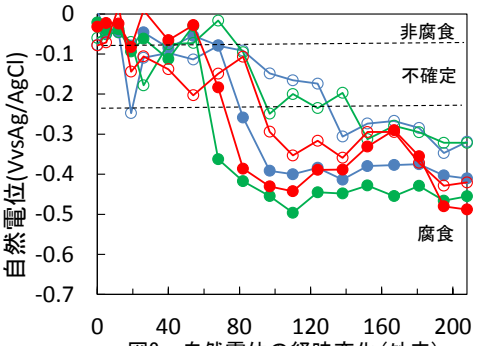

図3　自然電位の経時変化（外来）

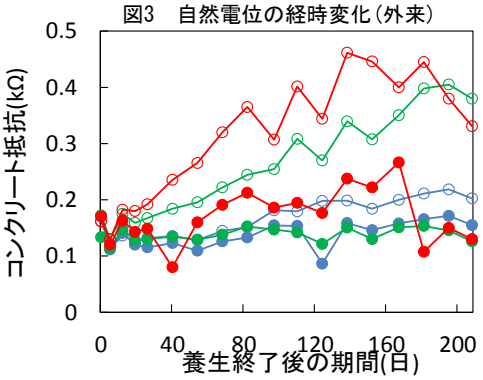

図4　コンクリート抵抗の経時変化（外来）

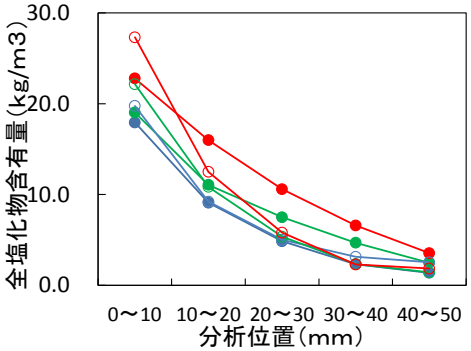

図5　塩分浸透による全塩化物量