

外来塩による塩害と ASR の複合劣化に関する検討

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. 実験方法

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 と反応性骨材を用いた R 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、鳴門市撫養町産碎石（表乾密度 2.55 g/cm³，G_{max}：15mm），反応性粗骨材 G2 は、北海道産安山岩碎石（表乾密度 2.68 g/cm³，G_{max}：15 mm）を用い、細骨材同様 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 角柱コンクリートのかぶり 25mm に丸鋼 φ13mm(SR235)を 1 本配置したものとした。養生終了後、N 配合と R 配合は濃度 10%の塩水に 20，30，40℃の環境温度で浸漬し、その後、定期的にコンクリート膨張量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、塩水浸漬を 174 日間行った円柱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. 実験結果

R 配合のコンクリート膨張率の経時変化を図-1 に示す。凡例の数字は環境温度を示す。図-1 より、R 配合は 40℃環境で約 200 日、30℃環境で約 600 日経過時点より膨張が開始しており、現在も膨張を続けている。しかし、20℃環境については膨張しておらず、全配合で最も膨張量が大いなのは R40 である。以上のことから、外部からアルカリが供給される場合に、ASR は温度環境に大きく依存し、温度環境が高いほど早期に膨張を開始して膨張量も増加すると考えられる。

N 配合および R 配合の自然電位を図-2，図-3 に示す。図-2，図-3 によると、N 配合の自然電位は、温度による影響はあまり見られなかったが、R 配合の自然電位は、40℃環境で約 200 日目から、30℃環境で約 600 日目から低下した。これは、図-1 に示したように膨張を開始した時期と同じ時期に自然電位が低下しており、コン

表-1 コンクリートの配合

配合名	s/a (%)	W/C (%)	単位量 (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

クリートが膨張することによるひび割れによって Cl^- が多量に浸透し、鉄筋腐食が促進したと考えられる。このことから、ASRによるひび割れが生じることで Cl^- が浸透しやすくなり、塩害による鉄筋腐食が促進されることが考えられる。

ASRによるひび割れが発生する前のNおよびR配合の自然電位を図-4に、NおよびR配合の Cl^- の濃度分布を図-5に、 Cl^- の拡散係数を図-6に示す。なお、図-5は塩水に浸漬させて174日経過した供試体での結果となっており、図-5の結果を用いて図-6の Cl^- の拡散係数を求めた。図-4から、自然電位の低下する時期については、N配合に比べてR配合の方が遅くなっている。また、自然電位はN、R配合ともに卑な電位となっているが、N配合よりR配合の方が比較的貴な電位となった。これは、R配合ではASRが進行しており、コンクリート表面にアルカリシリカゲルが生成されることでコンクリートが密実になったため、 Cl^- の浸透を抑制したと考えられる。次に、図-5の Cl^- の濃度分布から Cl^- の浸透はN配合に比べてR配合の方が小さい値となっている。また、図-6から示した Cl^- の見掛けの拡散係数はN配合で高温ほど大きくなっているのに対して、R配合では高温ほど小さくなっており、R配合の方が Cl^- の浸透速度が抑制されていることが確認できた。この理由についても、R配合は高温であるほどアルカリシリカゲルの生成量が多くなったため Cl^- の浸透を抑制でき、拡散係数の値も高温であるほど小さくなったと考えられる。

以上のことから、外部から塩分が供給される環境下において、ASRのひび割れが発生するまではASRによってコンクリート表面付近にゲルが生成されることで Cl^- の浸透を抑制するが、ひび割れ後は Cl^- が浸透しやすくなることで塩害が急速に進行することを確認できた。

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

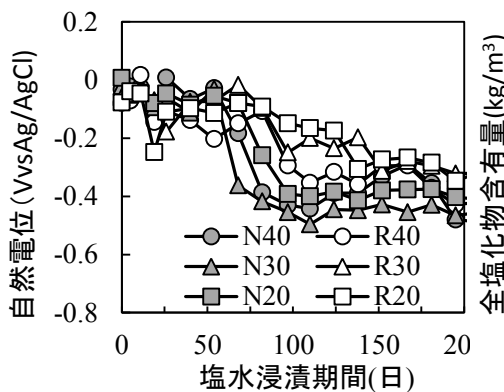


図-4 自然電位(0-200日間)

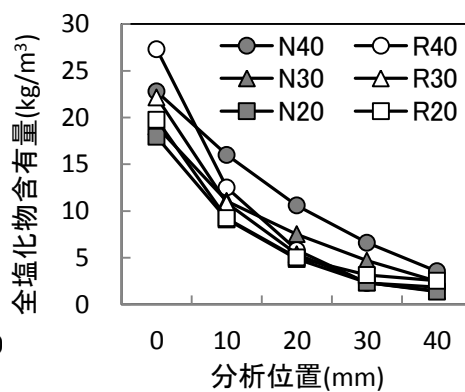


図-5 Cl^- の濃度分布

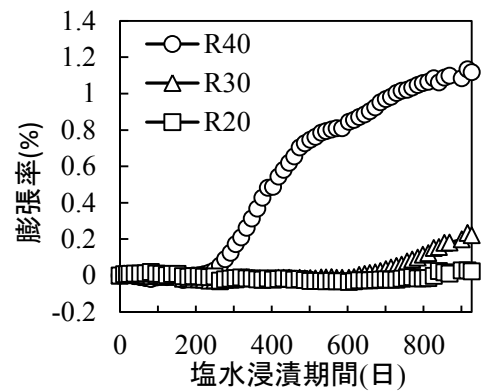


図-1 コンクリート膨張率

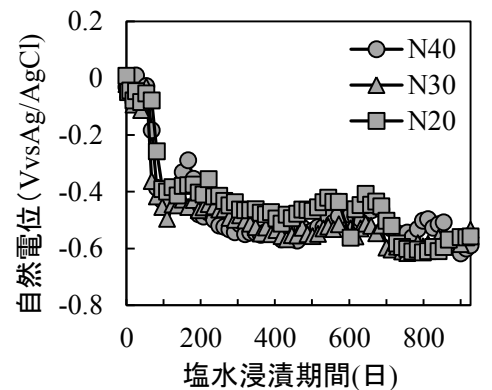


図-2 自然電位(N配合)

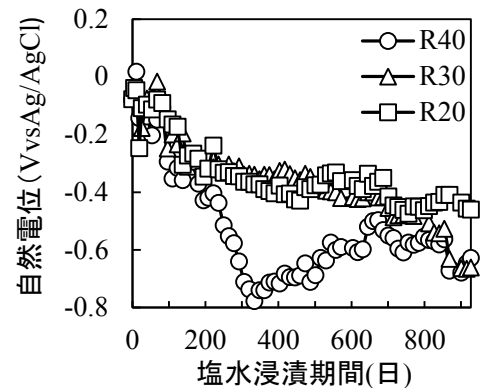


図-3 自然電位(R配合)

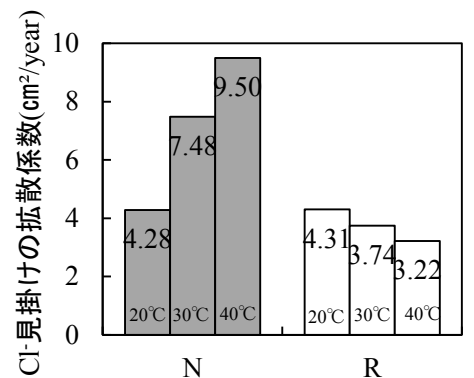


図-6 Cl^- の拡散係数