

NaCl 溶液の浸透を受ける複合劣化コンクリートに対するシラン系含浸材による補修効果

徳島大学大学院 学生会員 ○大谷 一将

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

1. はじめに

凍結防止剤散布環境下などにあるコンクリート構造物は、凍害、塩害、ASR などの複合的な劣化作用を受けることがある。この場合に、劣化の相互作用により劣化機構は極めて複雑となることが指摘されているが、現状では劣化機構の解明および十分に効果の発揮できる補修工法の確立には至っていない。

本研究では、凍害と塩害、ASR の複合劣化を検討したシリーズ 1、凍害と塩害の複合劣化を検討したシリーズ 2 として、鉄筋コンクリートの複合劣化機構を検討するとともに、シラン系含浸材を塗布した場合の劣化抑制効果を検討した。なお、シリーズ 2 では高炉セメントを用いた場合についても合わせて検討した。

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。水セメント比は 55% で一定とし、非反応性骨材のみを用いたコンクリートを N、反応性骨材と非反応性骨材を 7 : 3 で配合した R、R 配合の劣化を促進するために、初期混入 R₂O 量が 10.0 kg/m³ となるように NaCl を添加した配合を RCl、高炉セメントを使用した配合を BB とした。供試体は 100 × 100 × 300 mm の角柱コンクリートのかぶり 25 mm の位置に丸鋼 φ13 mm を 1 本配したものとした。この供試体は、コンクリート打設翌日に脱型し、20℃ の恒温室中で封緘養生を行った。養生終了後は、暴露面 1 面を残して他の面にエポキシ樹脂を塗布した。その後、暴露面に対して、全体の半数の供試体について、シラン系含浸材の塗布含浸を行った。シラン系含浸材の含浸深さの測定結果を表 2 に示す。また暴露面に対して、凍結融解期間中に NaCl 溶液の貯水供給を行うためにシーリング材を用いて高さ約 8 mm の土台を作製した(図 1 参照)。

劣化促進試験は、シリーズ 1 では凍結融解及び促進 ASR を行い、シリーズ 2 では凍結融解及び塩水浸漬を行った。凍結融解は ASTM C 672 に準拠し、恒温低温試験槽による温度制御を行った。凍結過程は -18℃ で凍結時間 16 時間、融解過程は最高温度 23℃ で融解時間 8 時間とし、24 時間で 1 サイクルとなるように設定して計 30 サイクル行った。促進 ASR は、供試体の全体を湿布で覆い、ジップ付きのビニール袋中に密封した状態で温度 40℃ 環境に 30 日間保管した。塩水浸漬は、乾湿繰り返しの合計日数を 30 日とした。湿潤時は温度 40℃、濃度 10% の塩水に 5 日間浸漬、乾燥時は 20℃ 気中で 5 日間保管とし、10 日間の乾湿繰り返しを 3 回行った。凍結融解期間中は 7 サイクル毎にスケーリング量を測定し、各種試験中は、供試体側面間の超音波伝搬速度、電気化学的鉄筋腐食指標の測定を行った。なお、シリーズ 1 ではコンクリート膨張率の測定も行った。

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	NaCl	WRA	AEA
N	55	48	324	178	848	—	887	—	—	1.5	0.02
R			324	178	249	581	276	644	—	1.5	0.02
RCl			324	178	243	565	276	644	15.4	1.0	0.01
BB			324	178	820	—	889	—	—	1.6	0.03

表 2 シラン系含浸材の含浸深さ

配合名	含浸深さ(mm)
N	4.7, (3.7)*
R	3.5
RCl	3.0
BB	(3.2)*

*括弧内はシリーズ 2

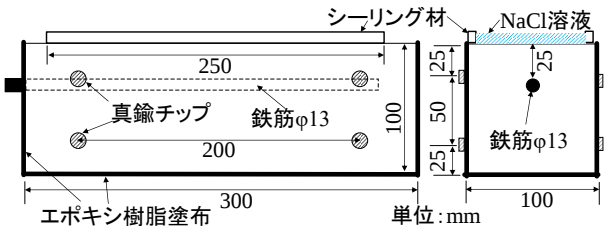


図 1 RC 供試体概要

キーワード 複合劣化, スケーリング, ASR, 凍結融解, 鉄筋腐食, シラン系含浸材

連絡先 〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町 2-1 徳島大学理工学部社会基盤デザインコース TEL 088-656-2953

3. 凍害と塩害、ASRの複合劣化(シリーズ1)

凍結融解期間での累計スケーリング量の経時変化を図2示す。凡例に示した供試体名は表1に示したコンクリート配合名の後にNかSを付したものとし、シラン系含浸材無塗布の場合をN、塗布した場合をSとした。N、R配合では、シラン系含浸材塗布によるスケーリングの抑制効果が確認できる。RCI配合については、練混ぜ時に多量のNaClを初期添加しており、暴露表面からのCl⁻の浸透が進行する前から、内在するCl⁻の影響でスケーリングが進行しやすい状況が形成されていたと言える。また、シラン系含浸材によるスケーリング抑制効果は凍結融解初期では見られたが、20サイクルを超えたあたりでスケーリングが急増し、RCINよりも累計スケーリング量は大きくなった。このように急増する理由として、シラン系含浸材の含浸層部分の透水性が小さいため、内部(含浸層背面)からの水圧と浸透圧が表層の含浸層を剥離させたと推察される。

鉄筋の自然電位の経時変化を図3に示す。RCI配合については、初期混入Cl⁻によって腐食状態の電位で推移している。RCISは、コンクリート中の水分蒸発を促進する効果が期待できるが、今回の凍結融解および促進ASR環境下では、いずれも湿潤環境であることから、シラン系含浸材の効果が発揮されるには不利な条件と言える。N配合については、NNの電位が経時的に低下し、腐食領域に達している。一方でNSでは、電位の低下は見られないことから、シラン系含浸材の塗布による防食効果が確認できる。R配合は、シラン系含浸材塗布の有無に関わらず防食状態であり、R配合は反応性骨材を有していることから、アルカリシカゲルによる空隙への充填効果で細孔組織が緻密化され、NaClの浸透が抑制されたものと推察される。

4. 凍害と塩害の複合劣化(シリーズ2)

凍結融解期間での累計スケーリング量の経時変化を図4に示す。N配合では大きなスケーリングは確認されなかったが、BB配合では、試験開始直後からスケーリングが発生している。高炉セメントを使用したコンクリートが塩水の供給を受ける場合、Cl⁻濃度は表面では高くなるが、潜在水硬性による水密性や塩化物遮蔽性により、Cl⁻濃度は深さ方向に急速に減少することが報告されている。今回の凍結融解では、暴露面から3%の塩水が供給されるため、供試体の暴露面側と内部にCl⁻の濃度差が生じ、浸透圧が作用し表面を剥離させることが考えられる。

鉄筋の自然電位の経時変化を図5に示す。N配合では、NSの電位が経時的に低下しており、前検討と違う傾向を示した。この理由として、前検討の場合とはシラン系含浸材の塗布した材齢が違うため、十分にコンクリート表面に含浸せず、劣化抑制効果が継続しなかったことが推察される。BB配合については、どの供試体においても未だ防食状態であり、潜在水硬性により塩水の浸透を抑制していることが考えられる。しかし、今後さらにスケーリングが進行するとかぶり厚さの減少により鉄筋腐食が開始する可能性がある。

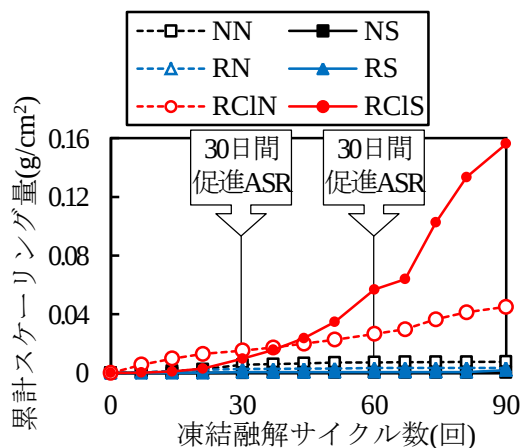


図2 累計スケーリング量(シリーズ1)

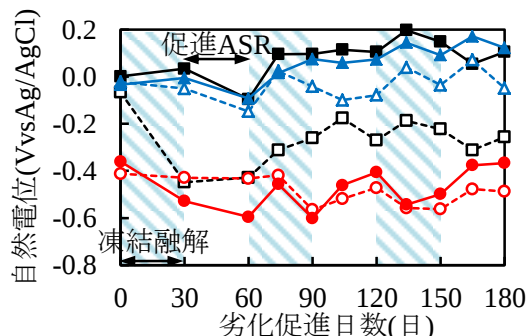


図3 鉄筋の自然電位(シリーズ1)

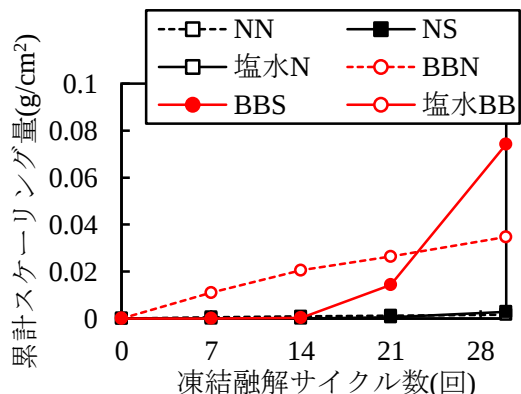
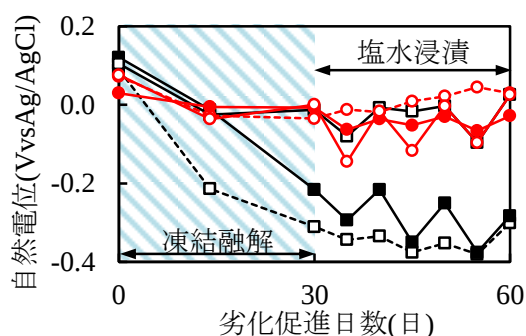


図4 累計スケーリング量(シリーズ2)



※塩水供試体は凍結融解期間中も塩水浸漬
図5 鉄筋の自然電位(シリーズ2)