

凍結融解作用を受ける鉄筋コンクリートのスケーリングと鉄筋腐食に関する検討

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
 福岡大学 正会員 塚越 雅幸 東京工業大学大学院 正会員 中山 一秀

1. はじめに

寒冷地域において、凍結防止剤の散布によるコンクリート構造物のスケーリング劣化が顕著となることが報告されているが、その後の鉄筋腐食など劣化機構の詳細は不明な点が多い。そこで本研究では、凍結防止剤散布環境下にある RC 構造物の凍害と塩害の複合劣化を検討すると共に、対策工法としてシラン系含浸材を用いた時の効果について検討した。

2. 実験概要

本実験で用いたコンクリートの配合、フレッシュ性状と材齢 28 日圧縮強度を表 1 に示す。W/C は 55% で一定とし、普通ポルトランドセメントを使用した配合を N、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。これらの供試体は、コンクリート打設翌日に脱型し、20°C の恒温室中で封緘養生を行った。28 日間の養生終了後に、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。シラン系含浸材塗布後は、すべての供試体について 20°C 恒温室中で気中養生を 1 週間行った。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、塩水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)。その後、3% の塩水供給を伴う凍結融解試験を開始した。凍結融解方法は 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°C で凍結時間 16 時間、融解過程は最高温度 23°C 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 サイクル行い、その後同じ供試体で塩水浸漬と乾燥の繰返しを行った。塩水の濃度は 10% とし、5 日間の塩水浸漬後 5 日間気中保管の 10 日で 1 サイクルとし、これを 3 回繰返した。塩水浸漬と乾燥の繰返し後は再び凍結融解試験を行い、2 つの劣化促進環境に交互に保管した。促進期間中は、スケーリング量、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。また比較のため、3% の塩水の供給を伴う凍結融解試験時の温度を下げずに 20°C で 30 日保管し、その後塩水浸漬と乾燥の繰返しを行いこれらの劣化促進環境を交互に行う供試体も併せて作製した。

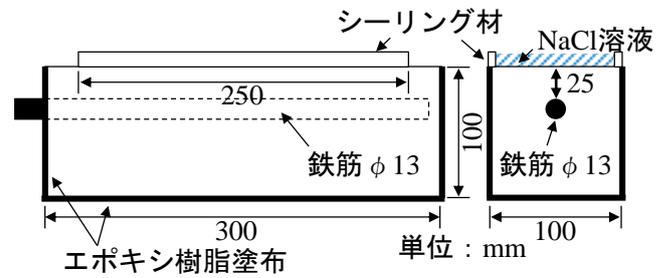


図 1 RC 供試体概要

表 1 コンクリートの配合および諸性状

配合名	W/C	s/a	単位量(kg/m ³)							SL (cm)	Air (%)	28 日強度 (N/mm ²)
			C	W	S	G	WRA	AEA				
N	55	48	324	178	826	895	1.6	0.03	12	4.5	34.7	
BB			324	178	820	889	1.3	0.03	15	4.9	28.6	

表 2 シラン系含浸材の含浸深さ

配合名	含浸深さ(mm)
N	3.7
BB	3.2

3. 凍結融解期間中の累計スケーリング量

凍結融解と塩水浸漬と乾燥の繰返しを交互に行った RC 供試体のスケーリング量の経時変化を図 2 に示す。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 を付しており、シラン系含浸材無塗布の場合を N、

キーワード 複合劣化, スケーリング, 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 088-656-2153

塗布した場合を S とした。また、凍結融解時に温度を下げずに 20°C で保管した供試体は塩水 N および塩水 BB とした。図 2 より、BBN のスケーリングは、NN よりも早期に開始したものの、その後のスケーリングの増加量は小さい。BBN の塩分浸透はコンクリート表層部分に限定され、表層部分で濃縮した塩分がスケーリングの発生を助長したものと考えられる。また、一般に高炉セメントを使用したコンクリートの対凍害性は、養生の程度によって大きく異なることが指摘されている。本研究の RC 供試体は封緘養生を行っており、養生時の水分供給が若干不足することで表層の細孔構造が粗となりスケーリングが発生しやすい状況が形成された可能性も考えられる。

シラン系含浸材を塗布した NS と BBS については、凍結融解の初期ではスケーリングの発生が抑制されていたものの、凍結融解を繰り返すことで急速にスケーリングが進展した。これは含浸層部分の遮水性が高いため内部からの凍結余剰水による水圧が含浸層に作用し、含浸層を含むセメントペースト部分が大きく剥離したことによるものと考えられる。

4. 劣化促進期間中の RC 供試体中の鉄筋の腐食

劣化促進期間中における RC 供試体中の鉄筋の自然電位の経時変化を図 3 に示す。図 3 より、普通セメントを用いた NN の自然電位が早期に卑変したのに対して、塩水 N では、劣化促進 60 日頃から自然電位が卑変した。このことから、凍結融解によるスケーリングや微小ひび割れが NaCl 溶液のコンクリート中への浸透を促進し、鉄筋腐食が早期に開始したと考えられる。また、高炉セメントを用いた BBN は、NN よりもスケーリングは大きかったが、電位の低下は抑制されており、コンクリート中の鉄筋近傍への Cl⁻ の浸透は抑制されていると考えられる。一方でシラン系含浸材を塗布した NS と BBS は、スケーリングによる表層の劣化がさらに顕著となり NaCl が内部へ浸透し、自然電位が大きく卑変している。

劣化促進期間中に測定された分極抵抗の積分値から算出される鉄筋の推定腐食減量と累計スケーリング量の関係を図 4 に示す。図 4 より、早期に自然電位が低下している NN の腐食減量が最も大きくなっているのに対して、シラン系含浸材を塗布した NS の場合、スケーリングは顕著となり自然電位も卑な値を示したが、腐食量は抑制されているものと考えられる。一方、高炉セメントを使用した供試体は普通セメントを使用した供試体に比べ、スケーリングによる表層の劣化は顕著になるものの、全体的に鉄筋の腐食量は抑制されているものと考えられる。今後はさらに劣化促進を行い、最終的には RC 供試体のコンクリート中の塩化物イオン濃度分布と内部鉄筋の腐食状況を確認する予定である。

参考文献

1) 土木学会：コンクリートライブラリー151 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針案，2018.9

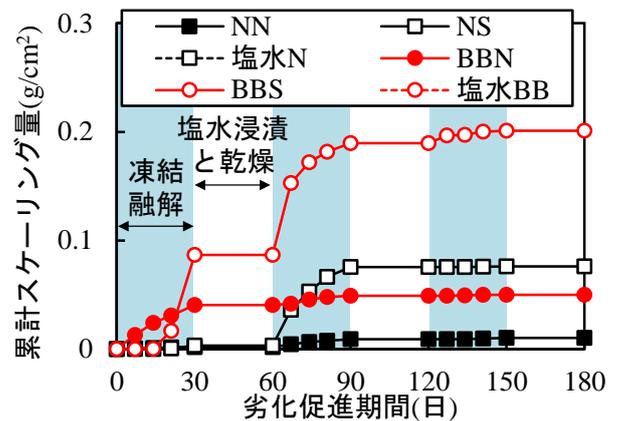


図2 RC供試体のスケーリング量の経時変化

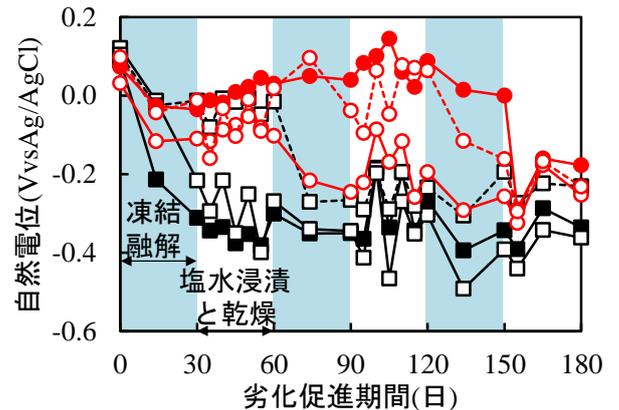


図3 RC供試体の自然電位の経時変化

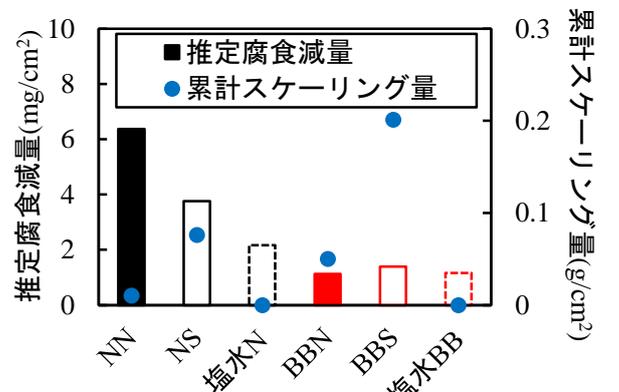


図4 分極抵抗測定値から算出した鉄筋の推定腐食減量と累計スケーリング量の関係