## 塩水の供給を受ける鉄筋コンクリートの凍害と ASR の複合劣化と 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 〇大谷一将 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄 東京工業大学大学院 正会員 中山一秀 デンカ(株) 正会員 七澤 章

1. はじめに

凍結防止剤の散布される RC 構造物では、凍害の劣化のみならず ASR や塩害が複合して生じる場合がある。 これらの劣化が複合した場合、RC 構造物は早期に劣化す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。そこで本研究では、凍害と ASR と塩害の複 合劣化時における劣化進行のメカニズムとシラン系含浸材による劣化抑制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%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 で配合したコンクリー トを R, R 配合の劣化を促進するために, 初期混入 R<sub>2</sub>O 量が 10.0 kg/m<sup>3</sup>となるように NaCl を添加した配合を RCl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℃の恒温室中で封緘養生を行った。14 日間の養生終了後に、供試体側面にコンタクトゲージ用の真鍮チップを貼り付け、暴露面1面以外の他の面に 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℃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, 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8mmの土台を作製した(図1参照)。その後,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℃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 サイクル行い,その後供試体は促進 ASR 試験を行った。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。促進 ASR 試験後は再び凍結融解試験 を行い、2 つの試験環境下を交互に移し4回繰り返した。促進期間中は、スケーリング量、コンクリートの膨 張率,超音波伝搬時間,電気化学的鉄筋腐食評価指標の測定を行った。劣化促進 240 日後は RC 供試体を解体 し、供試体内部の鉄筋の腐食状況の確認とコンクリート中の各種イオン(Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>)濃度分布を測定した。

町ムタ	W/C	s/a	単位量(kg/m <sup>3)</sup>								SL	Air	28日強度	
	(%)	(%)	С	W	<b>S</b> 1	S2	G1	G2	NaCl	WRA	AEA	(cm)	(%)	$(N/mm^2)$
Ν			324	178	848	_	887	—	_	1.5	0.02	9.0	4.0	45.1
R	55	48	324	178	249	581	276	644		1.5	0.02	7.0	3.5	47.9
RCl			324	178	243	565	276	644	15.4	1.0	0.01	10.5	4.2	45.9

表1 コンクリートの配合及び諸性状

表 2 シラン系含浸材の含浸深さ

配合名	塗布時の表面含水率(%)	含浸深さ(mm)
Ν	7.6	4.7
R	7.7	3.5
RCl	8.0	3.0



## 3. 劣化促進期間中の RC 供試体のスケーリング及び膨 張率の経時変化と促進後の全塩化物イオン分布

ーリング量(g/cm<sup>2</sup>)

スケ

累計

30日間の凍結融解と30日間の促進ASRを4セット 行ったRC供試体のスケーリング量と膨張率の経時変 化を図2に示す。図2よりRCI配合では凍結融解開始 直後からスケーリングが発生しており,暴露表面から NaClが浸透する前から,内在するNaClの影響でスケ ーリングが進行しやすい状況であったと言える。また, スケーリングが生じている期間にて特に大きく膨張 していることから表層だけでなく内部への劣化も進 行していることが確認できる。ただし,反応性骨材を 使用したRNでは大きな膨張は確認されなかった。

劣化促進240日後のRC供試体中における全Cl⁻濃度分布を 図3に示す。図3より、スケーリング量が多い供試体ほどCl ⁻濃度が大きくなっている。スケーリングが発生すると表層の 組織が粗となり、塩水が内部に浸透しやすい状況となるため、 凍結融解期間中はスケーリングの発生と塩水の内部浸透が相 互的に進行していると考えられる。

## 4. RC 供試体内部の鉄筋の腐食状況

劣化促進 240 日行った RC 供試体の自然電位の経時変化を 図 3 に示す。自然電位の経時変化より,スケーリング量が多 い供試体ほど卑な値を推移しており,凍結融解期間中のスケ ーリングや微細なひび割れにより表層が脆弱となり,塩水の 内部浸透が促進され鉄筋が腐食したと考えられる。

これに対して反応性骨材を含有する R 配合は, RN の電位 が貴な電位を推移している。RN は凍結融解期間中に暴露面に 供給される NaCl 溶液と促進 ASR 期間中の高温高湿環境下に より暴露面から ASR が進行すると考えられる。RN の膨張は 図 2 よりほとんど確認されなかったが,表層付近で ASR は進 行しており,生成されたアルカリシリカゲルが空隙を充填す ることで細孔組織が緻密となり,鉄筋近傍への Cl<sup>-</sup>の浸透が 抑制されて鉄筋腐食の進行を抑制した可能性が考えられる。

なお,シラン系含浸材を塗布した NS と RS は塩水の浸透を 抑制し鉄筋腐食の進行を抑制していることが確認できる。

劣化促進後の RC 供試体の鉄筋腐食面積率と分極抵抗の積 分値から算出される腐食減量を表3に示す。表3より,自然 電位が卑な値を推移している供試体ほど実際の鉄筋の腐食面 積は大きくなっている。腐食面積率と分極抵抗より算出した 腐食減量の傾向に大きな差はない。しかし RCIN の腐食面積 率は RCIS に比べ小さいが腐食減量は概ね同程度であること から, RCIN の腐食は RCIS に比べ局部的に腐食が進行したも のと考えられる。



配合名	腐食面積率(%)	推定腐食減 量(mg/cm <sup>2</sup> )			
NN	2.2	4.5			
NS	0.0	1.4			
RN	0.3	1.6			
RS	0.0	1.3			
RCIN	5.6	27.2			
RClS	9.4	29.9			