

塩水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の検討

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
徳島大学大学院 正会員 塚越雅幸 徳島大学大学院 学生会員 中山一秀

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。そこで本研究では、凍害とASRの複合劣化によるコンクリートの劣化状況と複合劣化に伴う鉄筋腐食状況を確認するとともに、シラン系含浸材を塗布した場合の劣化抑制効果を評価した。

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_2O 量が 10.0 kg/m^3 となるようにNaClを添加した配合をRClとした。供試体は $100 \times 100 \times 300 \text{ mm}$ の角柱コンクリートのかぶり25mmの位置に丸鋼 $\phi 13 \text{ mm}$ 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。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、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°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、その後供試体を促進ASR環境に移した。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°C 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つの保管環境下を交互に移し3回繰り返した。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、凍結融解試験および促進ASR期間終了時には、RC供試体を用いてコンクリート膨張率、供試体側面間の超音波伝播速度、コンクリート中鉄筋の自然電位、分極抵抗、コンクリート抵抗をそれぞれ測定した。

表1 コンクリートの配合及び諸性状

| 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 | S1 | S2 | G1 | G2 | NaCl | WRA | AEA | | | |
| N | 55 | 48 | 324 | 178 | 848 | — | 887 | — | — | 1.5 | 0.02 | 9.0 | 4.0 | 4.0 |
| R | | | 324 | 178 | 249 | 581 | 276 | 644 | — | 1.5 | 0.02 | 7.0 | 3.5 | 3.5 |
| RCl | | | 324 | 178 | 243 | 565 | 276 | 644 | 15.4 | 1.0 | 0.01 | 10.5 | 4.2 | 4.2 |

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) |
|-----|--------------|----------|
| N | 7.6 | 4.7 |
| R | 7.7 | 3.5 |
| RCl | 8.0 | 3.0 |

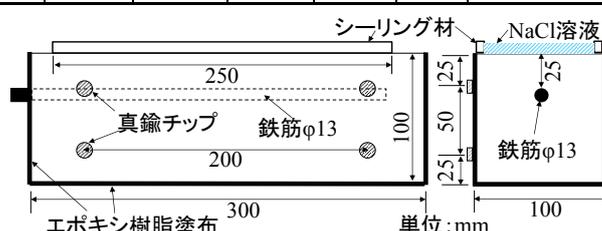


図1 RC供試体概要図

3. 凍結融解に伴うスケーリング

30 サイクル 1 セットの凍結融解を 3 セット行った時の RC 供試体の累計スケーリング量の経時変化を図 2 に示す。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。図 2 によると、RCIN では、凍結融解開始直後からスケーリングが発生している。RCI 配合は、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。この理由として、図 3 に示すように、シラン系含浸材の含浸層部分の透水性が小さいため、内部からの水圧が表層の含浸層を剥離させたと推察される。一方で、N、R 配合では、NS や RS はほとんどスケーリングが見られないことから、含浸材の塗布により外部からの NaCl 溶液の浸透を防止しているものと考えられる。

4. コンクリートの膨張率と鉄筋腐食状況

コンクリートの暴露面側の膨張率の経時変化を図 4 示す。R 配合は、凍結融解期間中に外部から浸透する NaCl によって、その後の ASR が進行することになるが、スケーリング量も比較的小さいことから、NaCl 溶液の浸透もコンクリート表層部分に限定されており、ASR による膨張は小さいものと考えられる。これに対して、RCI 配合は初期混入 NaCl により、ASR の進行に必要なアルカリは供試体全体に供給された状態であるが、大きな膨張率の増進は凍結融解期間に見られる。凍結融解期間中の温度は最大でも 23°C であることから、凍結融解期間中のコンクリート膨張の主要原因は、ASR よりも凍結融解作用によるコンクリート内部組織の脆弱化と吸水であるものと考えられる。これより、特にスケーリングが急速に進行した RCIS の膨張が大きくなったものと考えられる。

鉄筋の自然電位の経時変化を図 5 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、ASR 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。

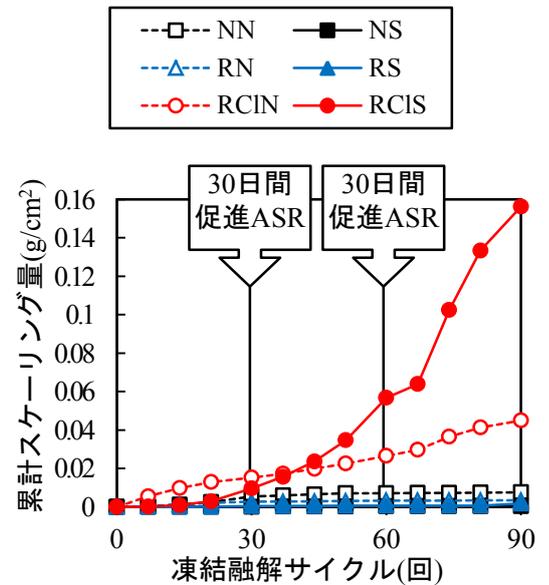


図2 累計スケーリング量

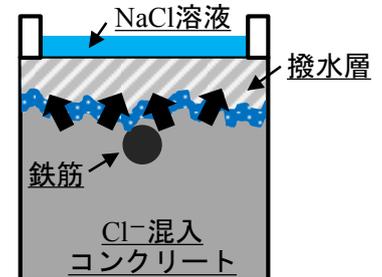


図3 シラン系含浸材塗布時のスケーリング発生メカニズム

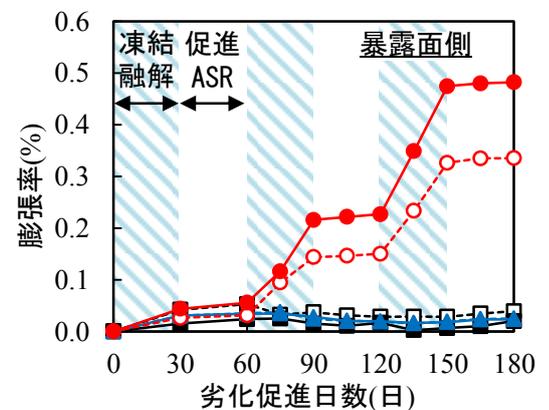


図4 コンクリートの膨張率の経時変化

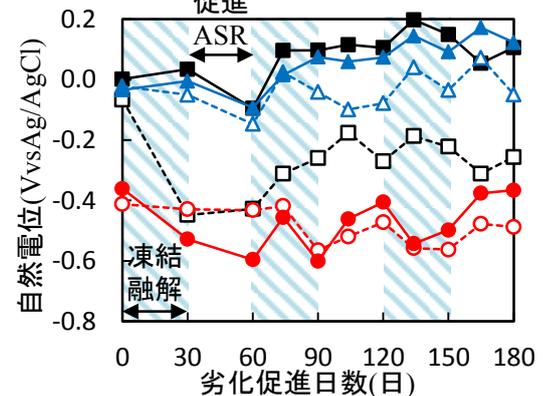


図5 鉄筋の自然電位の経時変化