

スケーリングを生じたコンクリートの塩化物イオン浸透性

八戸工業大学大学院 正会員 ○迫井 裕樹
八戸工業大学大学院 正会員 阿波 稔
八戸工業大学大学院 学生員 太田 晃博
八戸工業大学大学院 学生員 渡邊 浩平

1. はじめに

積雪寒冷地域におけるコンクリート構造物は、その気象的特徴から凍結融解作用を受けやすい環境にある。そのため、凍結融解作用に伴う表層劣化（スケーリング）など凍害を生じる危険が高まる。また近年、融雪剤・融氷剤の大量散布による塩化物イオンの浸透および、それに伴う鉄筋腐食など複合劣化を生じていることが報告されている。凍結融解作用に伴う表層劣化は、コンクリートの劣化因子の侵入に対する保護層としての役割を持つかぶりコンクリートを劣化させることから、この複合劣化が促進され、耐久性低下が早まることが懸念される。既往研究において、凍結融解試験により相対動弾性係数が低下したコンクリートの塩化物イオン浸透性を検討した例は見られるものの、これらは内部ひび割れが生じたものであり、スケーリングの発生がコンクリートの塩化物イオン浸透性に及ぼす影響について検討した例は少ないのが現状である。

そこで本研究では、凍結融解作用により表層劣化を生じたコンクリートの塩化物イオン浸透性を検討することを目的とする。ASTM に準じた温度履歴によりスケーリングを発生させ、その程度の違いがコンクリートの塩化物イオン浸透性に及ぼす影響について実験的検討を行った。

2. 実験概要

本研究で用いたコンクリートの示方配合を表-1 に示す。水セメント比は 45, 55 および 65% とした。単位水量は 158kg/m³ で一定とし、目標スランプおよび目標空気量はそれぞれ、8.0±1.0cm, 5.0±1.0% である。

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：3.16g/cm³）を、細骨材は陸砂（密度：2.56g/cm³、吸水率：1.77%）と石灰岩砕砂（密度：2.65g/cm³、吸水率：0.69%）の混合砂を、粗骨材は石灰岩砕石（密度：2.69g/cm³、吸水率：0.95%）を用い

表-1 示方配合

W/C [%]	s/a [%]	単位量[kg/m ³]				AE 剤 [A*]	AE 減水剤 [C×%]
		W	C	S	G		
45	41.5	158	351	743	1068	2.5	0.2
55	43.5	158	287	802	1062	2.0	0.2
65	45.5	158	243	855	1045	1.5	0.2

※1A=0.001%

た。

供試体は、φ100×200mm の円柱供試体とし、打設後 28 日間の水中養生を行った。所定の養生期間終了後、供試体中央 100mm から、厚さ約 50mm の試験体を切り出し、試験体とした。なお、各 W/C の 28 日圧縮強度は、40.2N/mm², 34.6N/mm² および 26.0N/mm² である。

φ100×50mm の供試体の周辺に試験溶液 (3%NaCl) を溜めるための堤を作製し、ASTM に準じた温度履歴でスケーリング試験を実施した。凍結融解 5 サイクルごとにスケーリング量を測定し、目標スケーリング量に達するまでスケーリング試験を実施した。なお目標スケーリング量は、いずれの W/C も 0（スケーリング無し）、0.5, 1.0, 1.5 および 2.0kg/m² と設定した。

スケーリング試験により目標スケーリング量に達した後、JSCE-G 571 に準じて電気泳動法（定常状態）により、塩化物イオン浸透抵抗性を測定した。測定結果から実効拡散係数を以下の式により算出した。

$$J_{Cl} = \frac{V^{\Pi}}{A} \cdot \frac{\Delta C_{Cl}^{\Pi}}{\Delta t} \quad (1)$$

$$D_e = \frac{J_{Cl} RTL}{|Z_{Cl}| FC_{Cl} (\Delta E - \Delta E_C)} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 J_{Cl} ：塩化物イオンの定常状態における流速 [mol/(cm²・年)], V^{Π} ：陽極側の溶液体積 [L], A ：供試体断面積 [cm²], $\Delta C_{Cl}^{\Pi}/\Delta t$ ：陽極側塩化物イオン

キーワード：複合劣化, スケーリング, 塩分浸透, 電気泳動, 実効拡散係数

連絡先：青森県八戸市大字妙字大開 88-1 八戸工業大学大学院土木工学専攻 0178-25-8076

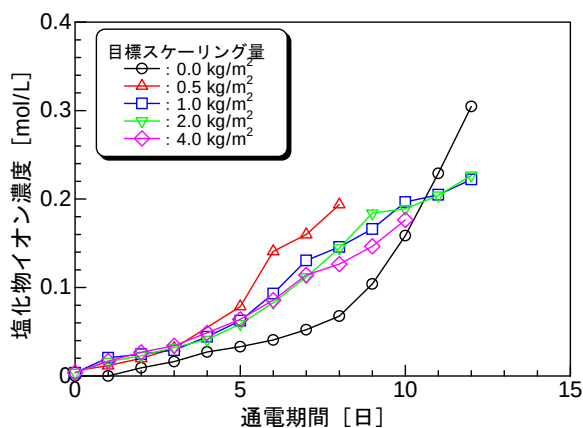


図-1 陽極セルにおける塩化物イオン濃度の経時変化の一例 (W/C=65%の場合)

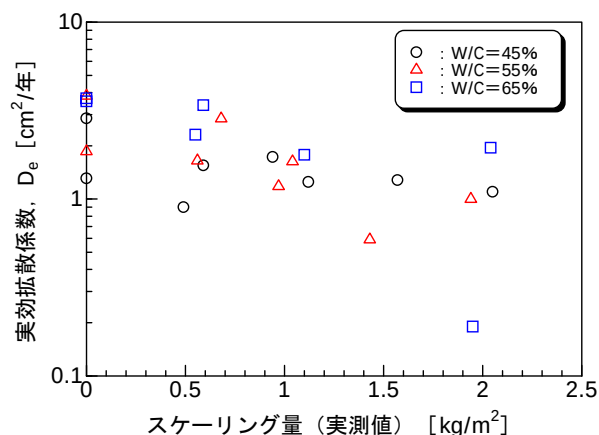


図-2 実効拡散係数とスケーリング量の関係

濃度の増加割合 $[\text{mol/L/年}]$, D_e : 実効拡散係数 $[\text{cm}^2/\text{年}]$, R : 気体定数 $(=8.31) [\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$, T : 絶対温度測定値 $[\text{K}]$, Z_{Cl} : 塩化物イオンの電荷 $(=-1)$, F : ファラデー定数 $(=96500) [\text{C}/\text{mol}]$, C_{Cl} : 陰極側の塩化物イオン濃度の測定値 $[\text{mol/L}]$, $\angle E - \angle E_C$: 供試体表面間の測定電位 $[\text{V}]$, L : 供試体の厚さ $[\text{mm}]$ である。

3. 実験結果および考察

図-1に電気泳動試験における陽極側のCl濃度の経時変化の一例を示す。図は W/C=65%の場合である。これより、スケーリングを生じたコンクリートにおいては、スケーリングを生じていないものと比較して、定常状態に達する期間が短いことが把握された。これは、スケーリング試験時に試験溶液として3%NaCl溶液を用いているため、スケーリング期間中を通じてコンクリート内に塩化物イオンが浸透しているためと考えられる。また図-1より、スケーリングを生じたコンクリートにおいて、スケーリング量の違いによらず、陽極側イオン濃度分布の増加割合がほぼ同程度であることが把握された。

図-2に電気泳動試験結果に基づき算出した実効拡散係数とスケーリング量の関係を示す。図-2中の横軸はスケーリング量の実測値で示している。これより、いずれの水セメント比においても、スケーリング量の増加に伴う実効拡散係数の顕著な変化は認められないことが明らかとなった。つまり、水セメント比の違いによらず、スケーリングの発生がコンクリート中への塩化物イオン浸透抵抗性に影響を及ぼすことは少ないものと考えられる。凍結融解作用に伴い発生するスケ

ーリングはコンクリートのごく表層部に限定され、内部コンクリートは健全性を保っていると考えられることから、スケーリングが生じていないコンクリートと同程度の実効拡散係数を示すものと推察される。

著者らはこれまでにコンクリートの塩化物イオン浸透性に及ぼす凍結融解作用の影響を検討しており、その中で、凍結融解作用を受けたコンクリート中の全塩化物イオン濃度は、温度一定環境におけるコンクリート中の全塩化物イオン濃度よりも高い値を示すことを報告している¹⁾。本研究での結果より、凍結融解作用に伴うスケーリングの発生が実効拡散係数に及ぼす影響が少ないことから、凍結融解環境における塩化物イオン浸透性に及ぼす影響は、表層劣化の程度よりもむしろ、凍結融解条件(凍結融解回数、凍結温度、凍結時間など)が支配的であり、これらを含めた予測式の提案が重要であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、凍結融解作用に伴う表層コンクリートの劣化(スケーリング)が塩化物イオン浸透性に及ぼす影響について、実験的に検討を行った。その結果、水セメント比の違いによらず、スケーリング量の違いがコンクリートの実効拡散係数に及ぼす影響は少なく、スケーリングが生じていないコンクリートとほぼ同程度の実効拡散係数を示すことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 迫井裕樹, 阿波稔, 月永洋一, 菅原隆: 凍結融解環境下におけるコンクリートの塩化物イオン浸透性, 第38回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.99-102, 2011