

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性状と塩化物イオン浸透性

八戸工業大学大学院 学生員 ○今野 竜也
八戸工業大学 正会員 阿波 稔
八戸工業大学 正会員 庄谷 征美

1. はじめに

寒冷地におけるコンクリート構造物は、その気候的な条件から特有の凍害劣化を受けやすい環境にある。特に、近年ではスパイクタイヤの規制に伴う塩化物の大量散布から、凍結融解作用を受けやすい環境下にあるコンクリート構造物は、凍害と同時に塩害（鉄筋腐食）などの複合劣化を引き起こす可能性が極めて高いと言える。そこで本研究は、凍結融解作用によりスケーリングが生じた鉄筋コンクリート中への塩化物イオンの浸透性や鉄筋腐食について実験的に検討することを目的としたものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

実験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメント（密度 3.16 g/cm³）である。細骨材として石灰岩砕砂（密度 2.69g/cm³, F.M. 2.73, 吸水率 1.01%）、粗骨材として石灰岩碎石（最大寸法 20mm, 密度 2.71g/cm³, F.M. 6.94, 吸水率 0.32%）を使用した。コンクリートの配合を表-1 に示す。本試験では水セメント比を 65%、空気量を 5%一定とした。

表-1 コンクリートの示方配合

Gmax (mm)	W/C (%)	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	AE剤
20	65	8.0	5.0	43	159	245	825	1102	C×0.008%

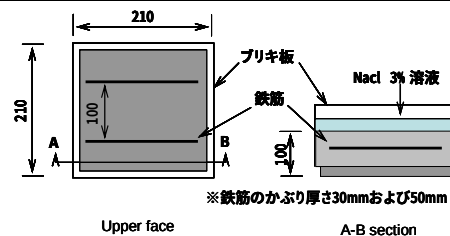


図-1 供試体概略図(mm)

2. 2 実験方法

コンクリートのスケーリング試験に用いた供試体を図-1 に示す。試験は、ASTM C 672 に準拠して行った。試験水は NaCl 3%水溶液を使用した。供試体は寸法 210×210×100mmの平板供試体とし、試験対象面を底面とした。供試体にはφ13mmの丸鋼を配置し、かぶり厚さは 3cm および 5cm の 2 ケースとした。また試験面以外からの物質移動を防ぐため、試験面以外をシーリングし試験を開始した。試験期間中における塩化物の供給条件は、塩化物が継続して供給される条件（ケース A）と、4 日間の塩化物供給の後、3 日間塩化物を供給しない条件を繰り返す（ケース B）の 2 ケースとした。スケーリング試験の開始後、凍結融解 105、154 および 301 サイクルに達したコンクリート供試体を解体し全塩化物イオン濃度分布および鉄筋の腐食面積率の測定を行った。

3. 実験結果および考察

3. 1 スケーリング試験結果

鉄筋コンクリートのスケーリング試験結果を図-2 に示す。この結果から、塩化物を継続的に供給した鉄筋コンクリート供試体では、スケーリングの発生が約 0.5kg/m³増加する傾向にある。これは、継続的に塩化物を供給したケースでは、より多くの塩化物が浸透し、表面の塩化物イオン濃度が比較的増加したためと考えられる。一方、かぶり厚さ 3cmの供試体では、かぶり厚さ 5cmの供試体と比べて 0.2kg/m³程度スケーリングの増加が見られた。これは、塩化物の使用による凍結過程での供試体表面の急激な温度低下に起因した収縮ひずみを内部鉄筋が拘束したことによる内部二次応力の影響やブリーディングの発生による初期欠陥の影響によるものと考えられる。さらに、凍結融解 105 サイクル付近を超えると、何れの条件においてもスケーリングの発生が穏やかになる傾向が確認さ

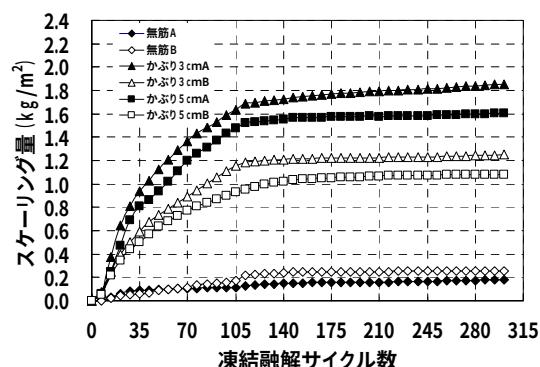


図-2 スケーリング試験結果

れる。これは、塩化物が長い期間（サイクル）供給されたため、供試体の極表面部の塩化物イオン濃度が高まり、凍結水量が低下したことによるものと思われる。

3.2 鉄筋コンクリート供試体の塩化物イオン濃度分布および鉄筋の腐食面積率測定結果

図-3は、凍結融解 105、154 および 301 サイクル時点におけるコンクリートの全塩化物イオン濃度分布を示したものである。この結果から、凍結融解 105 サイクルでは塩化物を継続的に供給し、且つ鉄筋のかぶり厚さが小さな条件ほど、つまり発生したスケーリング量が多い供試体ほど内部により多くの塩化物イオンが浸透しているのが確認される。これは、塩化物の作用を受けるコンクリート表層部の凍害劣化は、表面部のスケーリング現象だけでなく内部損傷も引き起こしていることを示唆するものである。

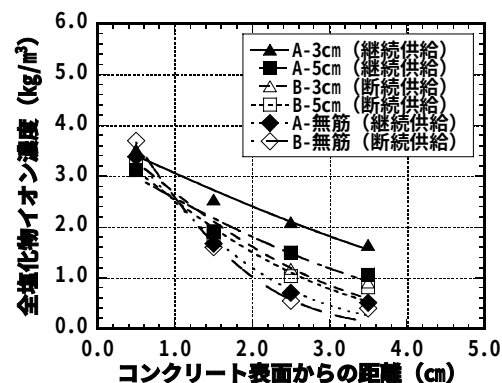
また、凍結融解 105 サイクル時点での濃度分布と比較して 154 サイクル時点では、供試体表面から 5～15mm 位置における塩化物イオンが約 1.2kg/m^3 増加する傾向にある。これは、「Micro-Ice-Lens Formation」効果などによりコンクリート内へより多くの塩化物が浸透したことや凍結過程における細孔内での氷晶の生成に伴う塩化物イオンの濃縮などによるものと考えられる。

一方、凍結融解 301 サイクル時点における全塩化イオン濃度分布は、塩化物イオンの浸透速度が比較的低い条件である断続的に塩化物を供給した供試体において、表面から 25～35mm の位置より内部での塩化物イオン濃度が約 1.2kg/m^3 増加した。そして、継続的に塩化物イオンを供給した供試体の濃度分布により近づく傾向にあることが確認される。これらの結果は、凍結過程で生じた種々の水圧に起因した未凍結水の移動や塩化物イオンの濃縮が大きな駆動力となり、コンクリート内部に形成された凍結フロントに向かって塩化物イオンが強制的に移動する現象を示していると考えられる。

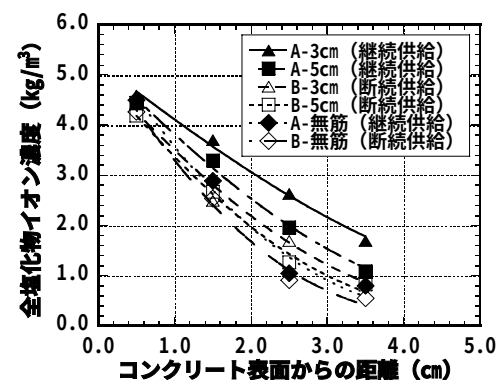
凍結融解作用を受けた鉄筋コンクリート供試体の腐食面積率の測定結果を図-4に示す。この結果より鉄筋の腐食開始時期は、凍結融解作用によるコンクリート内部での塩化物イオンの増加とほぼ一致する傾向にある。さらに、ばらつきが見られるものの鉄筋表面位置での全塩化物イオン濃度が $0.8\sim 1.2\text{kg/m}^3$ 付近を超えると腐食が開始するものと考えられる。

4. まとめ

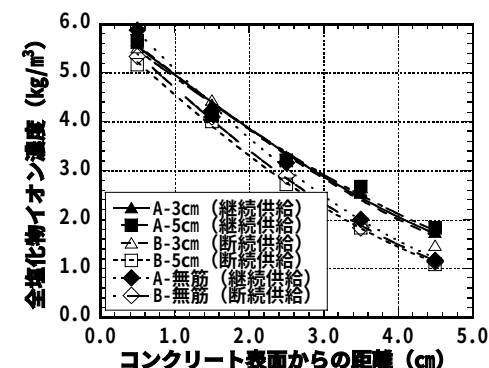
コンクリートのスケーリング劣化が進展している凍結融解 105 サイクル時点では、塩化物イオンの浸透速度はその劣化度に大きく依存することが分かった。また、スケーリング劣化が緩やかになる凍結融解 105 サイクル以降塩化物イオン濃度は、そのコンクリートの劣化度に応じた速度で表面部から内部へ徐々に増加する傾向にある。さらに、コンクリートの凍結融解により浸透した塩化物イオン濃度が、鉄筋表面位置で $0.8\sim 1.2\text{kg/m}^3$ 付近を超えると腐食が開始すると思われる。



(a)凍結融解 105 サイクル



(b)凍結融解 154 サイクル



(c)凍結融解 301 サイクル

図-3 全塩化物イオン濃度分布

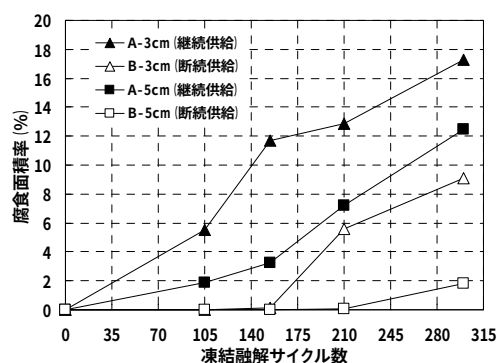


図-4 鉄筋の腐食面積率測定結果