

塩害と中性化の複合劣化を受けた CA2 混和コンクリートの鉄筋腐食抑制効果

鹿児島大学大学院 学生会員 ○藤本裕二
 鹿児島大学学術研究院 正会員 山口明伸 審良善和 小池賢太郎
 デンカ株式会社 正会員 森泰一郎

1. はじめに

塩害対策を目的として開発されたコンクリート用混和材の一つにカルシウムアルミネートの一種 $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ をベースとした混和材(以下, CA2)がある. この CA2 を使用すると, 内部構造の緻密化および浸透した塩化物イオン(以下, Cl^-)と反応することでコンクリート中の鉄筋に対して無害であるフリーデル氏塩(以下, F 塩)を生成する Cl^- の固定化作用により, コンクリートの塩害抵抗性を向上できる¹⁾. しかし, CA2 による高い固定化能力によって, コンクリート中には大量の Cl^- が蓄積することになるため, 中性化により固定 Cl^- が解離した場合, 鉄筋腐食に影響を与える可能性がある. そこで本研究では, 塩害と中性化の複合劣化を受ける RC 構造物に CA2 を混和材として使用した場合の鉄筋腐食に対する耐久性を評価することを目的に実験的な検討を行った.

2. 実験概要

表-1 に本実験で作製したコンクリートの配合を, 図-1 に供試体概要図を示す. セメントには普通ポルトランドセメントを用いた. 供試体種類は, セメントの 5%または 9%を CA2 混和材で置換した CA2 混和コンクリート(以下, CA2-5%, CA2-9%)の 2 種類, および比較用として CA2 を混和していないコンクリート供試体(以下, OPC)の計 3 種類とした. 水結合材比(以下, W/B)は 40, 50, 60%とした. 供試体形状は $10 \times 10 \times 10 \text{cm}$ の角柱とし, 供試体内部には, かぶり 3cm となるように $\phi 10$ の異形鉄筋を埋設させた. なお, 供試体側面と底面はエポキシ樹脂で被覆し環境遮断した. この供試体を干満帯で 3 年間暴露し, コンクリート中に Cl^- を浸透させた後に, 塩害-中性化のサイクル試験(以下, 促進試験)を実施した. 促進試験は, 塩水浸漬 1 日, 中性化促進 6 日を 1 サイクルとして実施した. 促進環境は, 塩水浸漬は 3mass% NaCl 水溶液への浸漬, 中性化促進は温度 30°C , 湿度 80%, CO_2 濃度 $5 \pm 0.2\%$ の室内とした. 所定のサイクルが終了した時点で供試体を解体し, 中性化深さ, 全 Cl^- 量, 可溶性 Cl^- 量および鉄筋の腐食面積率を測定した.

3. 結果および考察

フェノールフタレイン法による中性化深さは 0, 50 サイクルともに 0mm であった. これは, 塩水浸漬との複合劣化としたことで, 中性化がほとんど進まない状況となったと考えられる. 図-2 に W/B60% の 0, 50 サイクルの全 Cl^- 量分布を示す. この結果から, 促進試験開始時となる 0 サイクルの鉄筋位置の全 Cl^- 量分布は CA2 の混和の有無によって大きく異なり, CA2 によるコンクリート内部への浸透抑制による効果が確認される. 鉄

表-1 コンクリートの配合

供試体種類	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				添加率 (B*) (%)		
			W	C	CA2	海砂粗骨材	AE減水剤	AE剤	
OPC	40	43	175	438	0	736	969	0.50	0.003
CA2-5%			416	22	736	968	1.00	0	
CA2-9%			398	39	735	967	0.70	0	
OPC	50	44	175	350	0	786	993	0.30	0.003
CA2-5%			333	18	785	992	1.00	0	
CA2-9%			319	32	785	991	0.30	0.003	
OPC	60	45	175	292	0	826	1002	0.30	0.003
CA2-5%			277	15	825	1001	0.50	0.001	
CA2-9%			265	26	825	1001	0.65	0.001	

*B=C+CA2

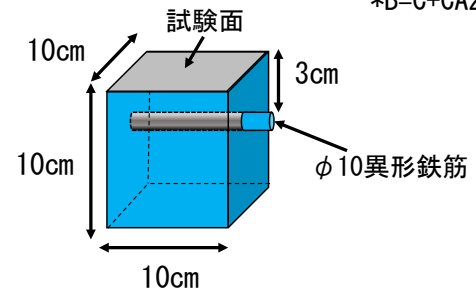


図-1 供試体概要図

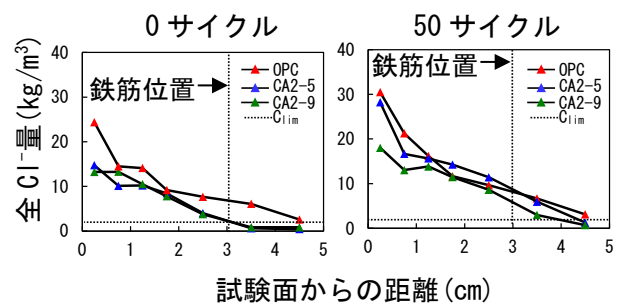


図-2 W/B60%の全 Cl^- 量分布

筋位置の全 Cl⁻量は OPC が 6.8kg/m³ 程度、CA2 混和の供試体で 2.5kg/m³ 程度であった。一方、促進試験 50 サイクル時の全 Cl⁻量分布は、促進開始時に比べてあまり差がない状況となった。これは、促進中性化によって、表層の固定化された Cl⁻が解離することで、可溶性 Cl⁻が増加し、Cl⁻浸透抵抗性が低下した可能性が高い。また、全 Cl⁻量分布から、中性化による Cl⁻の濃縮の傾向も確認される。これらについては、全サイクル終了後に傾向を確認し判断したい。

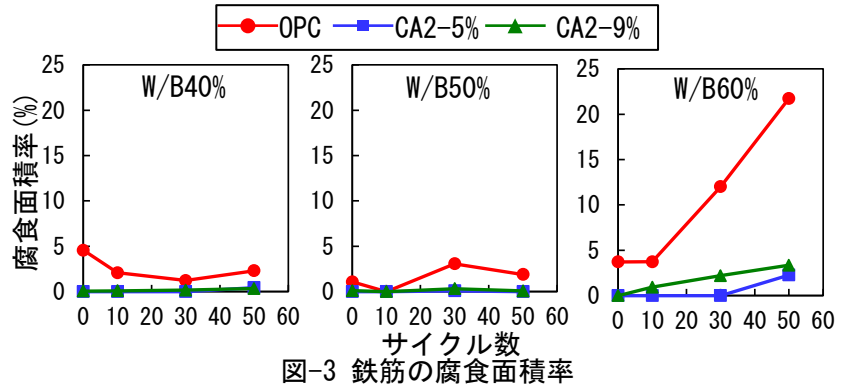


図-3 鉄筋の腐食面積率

図-3 に鉄筋の腐食面積率を示す。試験開始時において、いずれの W/B においても OPC は軽微な腐食が生じている状態であった。一方、CA2 混和コンクリートは、図-2 より腐食発生限界 Cl⁻量と考えられる 2.0kg/m³ を超える Cl⁻量であったにもかかわらず腐食が確認されなかった。これは、CA2 による塩分固定化によって防食状態を維持していたことが確認できる。その後、W/B40%および 50%の腐食面積率は概ね同程度で推移したものの、W/B60%については、促進サイクルの経過に伴って、いずれの供試体も腐食面積が大きくなる傾向を示した。ただし、OPC に比べ CA2 混和コンクリートの腐食面積率の方が明らかに小さく、鉄筋腐食に対する抵抗性の向上効果は維持していると予想される。

CA2 混和コンクリートの腐食面積率を比較すると、CA2-5%に比べ CA2-9%の方が大きくなった。これは、CA2 の置換率の増加に伴い、コンクリート中のセメント量が減少するため中性化しやすい環境となること、また、コンクリート内部に固定化された F 塩量が増加すること等が要因として考えられる。以上のことから、CA2 混和コンクリートは複合劣化環境に対しても防食効果を持つことが確認できるが、CA2 を多く混和した場合には防食効果を低下させる可能性がある。と予想される。

次に、図-4 に腐食面積率と鉄筋位置の全 Cl⁻量との関係を示す。OPC は全 Cl⁻量が 2.0kg/m³ 程度から腐食が開始し、全 Cl⁻量の増加に応じて腐食面積率が増加する傾向にある。一方、CA2-5%は全 Cl⁻量が 7.0kg/m³ 程度までは腐食が確認されず、防食状態を維持していることが分かる。CA2-9%は全 Cl⁻量が 4.0~5.0kg/m³ 程度で腐食が開始し、徐々に腐食面積率が増加する傾向にあった。このことから、本実験結果においては、塩害と中性化の複合劣化環境における CA2 の効果的な混和量は 5%程度であると考えられる。この現象は、CA2 による遮塩および Cl⁻の固定化による効果と中性化による解離の影響を受けるものであり、環境外力やコンクリートの品質およびかぶりなどが影響すると考えられる。これらメカニズムの定量評価については、今後の課題とする。

4. まとめ

本研究では CA2 混和コンクリートが塩害と中性化の複合劣化を受ける場合の鉄筋腐食に対する抵抗性を評価することを目的に行った。その結果、CA2 混和コンクリートは塩害環境下だけでなく、複合劣化環境下においても防食効果が確認された。しかし複合劣化環境下においては CA2 を多く混和した場合、防食効果を低下させる可能性がある。と予想される。

参考文献

1)東雄介ほか：CaO・2Al₂O₃ 混和材を混合したコンクリートにおける塩化物イオンの固定化能力について、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集 17, pp.357-362, 2017 年 10 月

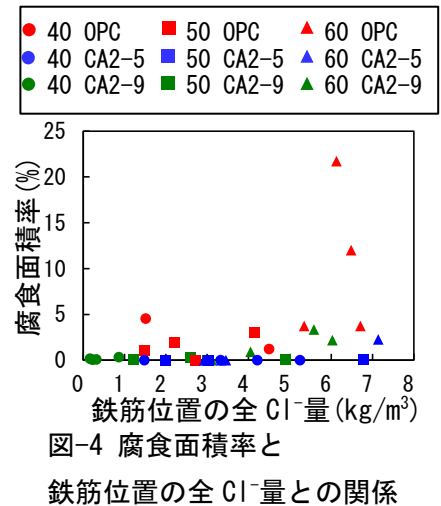


図-4 腐食面積率と

鉄筋位置の全 Cl⁻量との関係