海洋環境下に暴露した Ca0・2A1203 混和材混合コンクリートの 塩害抵抗性に関する基礎的研究

鹿児島大学大学院	学生会員	○坂井	公輔	鹿児島大学大学院	学生会員	小斉平	慶
鹿児島大学大学院	正会員	武若	耕司	鹿児島大学大学院	正会員	山口	明伸
				電気化学工業 (株)	正会員	宮口	克一

1. はじめに

海洋環境下におけるコンクリート構造物の塩害劣化に対する耐久性向上は、土木分野における最も重要な課題の 一つである. その中で, 現在, 塩害対策用に新たに開発された混和材の一つに, カルシウムアルミネートの一種 CaO・ 2Al₂O₃をベースとした混和材(以下, CA2 混和材)がある.この材料は、カルシウムとアルミナを多く含むため、 練混ぜ時にセメントに僅か数%置換して使用することで,コンクリート中にハイドロカルマイトを生成し,セメン ト硬化体組織を緻密化させるとともに、コンクリート内に浸透した塩化物イオンをフリーデル氏塩として固定化し、 鉄筋腐食を抑制する効果を有し、これらの効果でコンクリートの塩害抵抗性を向上させることが期待できる ¹.こ のため、現在、この混和材を用いた鉄筋コンクリートの海洋環境下における耐久性を検討するため、小型供試体の 海洋暴露試験を行っている.本研究では、この暴露供試体の暴露 3.5 年時における解体調査結果をもとに、CA2 混 和材による塩害抑制効果に関する定量的な把握を試みた.

2. 実験概要

本実験で使用した材料を表-1に示す.なお、細骨材に用いた海砂 は予め十分に除塩されていることが確認されたものである. 表-2 に は作製したコンクリート供試体の配合を示す.いずれも水結合材比 は 50%であり、結合材に普通セメントのみを使用した普通コンクリ

ート (以下, OPC), セメントの 5, 7, 9%をそれぞ れCA2混和材で置換した3種類のCA2コンクリート (以下, CA2-5%, CA2-7%, CA2-9%)の計4水準とし た. なお, 作製した供試体は, 図-1 に示す 10×10 ×40cmの鉄筋入り供試体で,28日間水中養生した後, 気中で保管し、材齢3ヶ月以内に鹿児島湾内の干満 帯および海中部にて暴露を開始した.暴露実験は, 平成27年2月時点で4年が経過しているが、本論文では、 暴露開始から 3.5 年が経過した時点で実施した一部供試体の 解体試験結果を示す.

3. 結果および考察

図-2に、干満帯・海中部の各暴露環境における供試体 の全塩化物イオン量分布をそれぞれ示す.何れの環境にお いても、CA2 混和材を混合したものでは、供試体表層の全 塩化物イオン量はOPCと同程度かOPCよりも高くなって いるものの,供試体内部の深さ3cmより深い位置ではOPC と同程度か OPC よりも塩分の浸透を抑制していることが 確認できる. また, 干満帯に暴露した CA2-7%および 9%

D10(かぶり3cm) 10 cm 10 cm D10(かぶり2cm) 40 cm エポキシ樹脂 図-1 鉄筋コンクリート供試体の形状 25 25 **싚 埴 分 参 イ オ ソ 量 (kg/m3)** ĩ OPC OPC 干満帯 海中部 CA2-5 CA2-5% , Ke 20 20 CA2 CA2 5物人オン量 CA2 15 15 10 10 5 5 加 0 0 3 0 2 供試体表面からの深さ(cm) 供試体表面からの深さ(cm)



キーワード:カルシウムアルミネート,塩害,ハイドロカルマイト,フリーデル氏塩

連絡先 :〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科棟 5 階 TEL099-285-8480

		表一Ⅰ 使用材料
	セメント	普通ポルトランドセメント(密度:3.15g/cm ³)
2	混和材	カルシウムアルミネート(密度:2.93g/cm ³)
	細骨材	鹿児島県南大隅町産海砂
		(表乾密度:2.52g/cm ³ ,吸水率:2.65%)
粗帽 混和	₩0 <u>E8 ++</u>	鹿児島県姶良産砕石
	租宵М	(表乾密度:2.56g/cm ³ ,吸水率:0.96%)
	混和剤	AE減水剤標準型 I 種(密度:1.08g/cm ³)
		AE助剤(密度:1.04g/cm ³)

表 - 2 供試体配合





供試体,あるいは海中部のCA2-9%供試体では,深さ4cm より深い位置では塩分の浸透がほとんど確認できないの に対し,OPC供試体では,深さ5cm位置まで4.9kg/m³以 上の塩分が浸透しており,CA2混和材を混合したコンクリ ートの塩分浸透抑制効果が高いことが確認できる.

図-3には、各暴露環境のコンクリート中の可溶性塩化 物イオン量分布を示す.まず,干満帯に暴露されたコンク リート中の可溶性塩化物イオン量に関して,供試体表層では CA2 混和材を混合したものでも OPC 単体の場合とほぼ同程 度の量となっているものの、供試体内部の深さ 3cm 以深で は OPC よりもその浸透を抑制している状況であった. 一方, 海中部においては、表層部を含めたいずれの深さ位置におい てもCA2混和材を混合したものの塩化物イオン量はOPCよ り低くなっている状況にあった. これらの結果に 35 30 ついては、図-4 に示すような塩分浸透領域の塩 25 化物イオン固定化率の分布からも明らかなように, 2000 20 廢 御 10 10 何れの暴露環境においてもCA2混和材を混合した 供試体中の塩化物イオン固定化率は OPC よりも 5 0 高くなっていることから、CA2 混和材を混合する ことで塩化物イオン固定化量が増え、その結果と して,鉄筋腐食に直接影響するとされる可溶性塩 (%) 化物イオン量が減少したことは明らかである.

次に、図-5には、鉄筋防食性の評価として、暴 露 3.5 年後に解体調査を行った供試体中の鉄筋の平 均腐食面積率の測定結果を、かぶりならびに暴露環 境別に示す.この結果から、いずれの暴露環境にお いても OPC に比べ、CA2 混和材を混合したコンク リート中の鉄筋腐食面積率が低くなっていること



が分かる.特に干満帯に暴露された CA2-9%供試体のかぶり 3cm 位置においてその差が顕著で,鉄筋がほとんど腐 食していない状況にあった.

これらの結果を基に、図-6 には、供試体中の各鉄筋の腐食面積率とその鉄筋位置の全塩化物イオン量ならびに 可溶性塩化物イオン量の関係を示す.一般的に鉄筋の腐食発生限界塩化物イオン量は1.2kg/m³とされているが、全 塩化物イオン量を見ると、CA2 混和材の固定化能力が高い CA2-9%供試体等では、全塩化物イオン量が 2.3 kg/m³を 超えていても腐食が見られないものもあった.一方、可溶性塩化物イオン量に対して見るといずれに供試体におい ても 1.0kg/m³程度以上の場合で腐食が確認され、腐食発生限界塩化物イオン量は全塩化物イオン量ではなく、可溶 性塩化物イオン量で評価するのが妥当であると言える.また、このことから、CA2 混和材を混合することによる塩 化物イオン固定化能力が塩害環境下のコンクリートの鉄筋防食性能向上に有効であることをあらためて確認できた.

4. まとめ

実海洋環境下においても、CA2 混和材を混合することでより多くの可溶性塩化物イオンを固定化し、塩化物イオンの内部への浸透を抑制する結果が得られ、それに伴い、鉄筋腐食の進行を遅延する効果が確認された.

参考文献 1) 福留祐一ほか: CaO・2Al₂O₃ 微粉末を混合したコンクリートの耐久性に関する基礎的研究, セメント・ コンクリート論文集, Vol.66, pp.472-478, 2013

-060