学生会員 小原 圭祐 鹿児島大学大学院 鹿児島大学 正会員 武若 耕司 福留 祐一 鹿児島大学大学院 山口 明伸 鹿児島大学大学院(学生会員) 正会員

1.はじめに

我が国は周りを海で囲まれていることから,港湾など海岸構造物が多く存在している.そのため,保有する膨 大な社会資本の長寿命化を図るためには、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を 向上させることが最も重要な課題の一つである.このような状況の中、塩害対策用混和材料として開発中の新し い材料の一つにカルシウムアルミネートの一種 CaO・2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(以下 CA<sub>2</sub>と称す)がある.この材料は,練混ぜ時 にコンクリートに混入することで,ハイドロカルマイト(以下 HC と称す)の生成による緻密化作用と,塩化物 イオンをフリーデル氏塩として固定化し無害化する作用の二つの効果を発揮して,コンクリート構造物の塩害抵 抗性を向上させることが期待できる.本研究では、CA2を混入したコンクリートの物理的特性および塩害環境下 における耐久性を明らかにすることにより,実構造物に対する適応効果を明確にすることを目的としている. 2. 実験概要 主 1 (市田材料)

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ている.表-2には作製したコン クリートの配合を示す.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 と称す),セメン トの5,7,9%をそれぞれ CA2 で置換した3種類の CA2 コンクリート,セ メントの 50%を高炉スラグ微粉末で置換したコンクリート(以下 BB と称 す),セメントの20%をフライアッシュで置換したコンクリート(以下 FA

と称す)の計6水準とした.なお,作製し た供試体は,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 干満帯において暴露を開始した.暴露期間 は最長3年を予定しており,平成24年12 月時点で1年半~2年を経過している.

検討対象は強度特性,塩分浸透性および 中性化抵抗性であり,強度特性については

10×20cmの円柱供試体を用い,所定の暴露期間経過後 に圧縮強度試験を行なった.なお,強度試験に関しては, 比較用に標準水中養生供試体も作製した. 塩分浸透性に ついては,15×15×15cmの角柱供試体の一面を除いてエポ キシ樹脂で塗装することで,塩分の浸透を一方向に限定 して暴露した.塩化物イオン量測定に際しては,供試体 の浸透面から 5.0cmのコアを乾式で採取し,表面から

0.5cm, それ以降は 1cm ごとにスライスおよび粉砕した後, JCI-SC4 に規定する方法に準拠して測定を行った.中 性化抵抗性に関しては, 10×20cm 供試体を, CO2 濃度 5%, 温度 20, 相対湿度 60%の環境下で中性化促進試 験を行った後,所定の日数で割裂試験を行い,フェノールフタレイン法にて中性化深さの測定を行った. 3.結果および考察

図 - 1 には,水中養生および干満帯に暴露を行なった供試体の材齢2年までにおける圧縮強度試験結果を示した. なお,BB,FAに関しては,材齢1年までの結果である.水中養生した CA2 混入コンクリートの圧縮強度は,材

	· 这门内村
セメント	普通ポルトランドセメント(密度:3.15g/m <sup>3</sup> )
混和材	カルシウムアルミネート(密度:2.93g/m <sup>3</sup> )
	高炉スラグ微粉末 (密度:2.90g/m <sup>3</sup> )
	フライアッシュ(密度:3.15g/m <sup>3</sup> )
細骨材	鹿児島県南大隅町産海砂 (表乾密度∶2.52g/m <sup>3</sup> ,吸水率∶2.66%)
粗骨材	鹿児島県姶良産海砂 (表乾密度∶2.56g/m <sup>3</sup> ,吸水率∶0.96%)
混和剤	AE減水剤標準型 種 (密度 : 1.08g/m <sup>3</sup> ) AE助剤 (密度 : 1.04g/m <sup>3</sup> )

-					衣	- 2	1.兴訂	141	記官					
供試体	W/B	s/a	置換率	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							添加率(%)		スランプ	空気量
種類	(%)	(%)	(%)	W	С	CA2	GGBS	FA	S	G	AE剤	AE助剤	(cm)	(%)
OPC	50	42.5	-	- 5 7 9 50 20	370	0	-	-	721	991	0.3	0.006	7.5	4.3
CA2-5%			5		352	19	-	-	721	990	0.35	0.006	9.0	4.8
CA2-7%			7		344	26	-	1	720	990	0.4	0.006	7.5	5.0
CA2-9%			9		337	33	-	•	720	989	0.45	0.006	7.0	5.5
BB			50		185	-	185	•	715	976	0.2	0.008	9.0	4.0
FA			20		296	-	-	74	711	990	0.25	0.01	9.0	3.0



齢初期において BB, FA よりも大きくなる 傾向を示し, OPC と同程度であった.しか し、長期材齢に伴う強度の増進が OPC、BB および FA に比べ小さい傾向にあった.-方,干満帯に暴露したCA2混入コンクリー トは長期強度においても OPC と同程度と なった.この理由については確認中である が,干満帯環境に暴露することで,コンク リート内部への塩分の浸透によって, CA2が HC に変

化する水和反応が促進されるとともに HC と塩化物イ オンが反応してフリーデル氏塩を生成することで,内 部の細孔構造が緻密化したことが考えられた.

図 - 2 には, 干満帯環境に1年間暴露した供試体の 全塩化物イオン量測定結果を示す.OPCに比べ CA2を 混入したものでは,供試体表面部の塩化物イオン量は

多いものの,内部では明らかな浸透量の減少が認められた.特に CA2 を 7% 置換したものは 1cm 以降において FA と同程度もしくはそれより も塩分の浸透量は減少し,9%置換したものは BB と同程度の浸透量で あった.また,図-3には,見掛けの塩化物イオン拡散係数の算出結果 を示したが,この結果からも,CA2混入コンクリートは,CA2置換率の 如何に拘らず OPC よりも小さく, CA2置換率の増加に伴い, その傾向 は顕著になり 9%置換することで BB と同程度の遮塩性を付与している ことが確認できた。

20

(<sub>г</sub>ш 15

<u>重</u> か10

植名替イ

٩Ĥ

5

0

図 - 2

0



٥

OPC CA2-5% CA2-7% CA2-9% BB 供試体種類 図 - 6 中性化深さ測定結果

FΑ

鉄筋腐食に直接起因する可溶性塩化物イオン量の暴露1年経過時における測定結果を図 - 4 に示す.この結果か ら, CA2を 7%以上置換したコンクリートの表面部の可溶性塩化物イオン量は OPC と同程度であるものの,内部 の 1cm 位置では FA よりも減少し,また,9%置換したものでは BB よりも減少することから, CA<sub>2</sub>混入コンクリ ートの塩化物イオンを固定化する能力の高いことが確認された.図-5には全塩化物イオン量に対する固定化塩化 物イオン量の比を固定化率として示した.なお,固定化率はそれぞれの供試体において塩分の浸透が確認された 位置までの結果である.表面部 0.25cm 位置では, OPC の固定化率が約 30%であるのに対し CA2を 5%および 7% 置換したもので40%程度9%置換したものは約60%となり置換率の増加に伴う固定化能力の向上が確認された. 一方, BB および FA の固定化率は 10%以下であった.内部においても OPC に比べ CA2 混入コンクリートの固定 化率は高く, BB および FA は OPC と同程度であることから, CA2 混入コンクリートは緻密化と固定化の相互作用 で, BB および FA は主に緻密化作用によって塩分の浸透を抑制していることが予想された.

図 - 6 に中性化促進試験 280 日目の中性化深さ測定結果を示している.CA2を 5%置換したものの中性化深さは OPC と同程度,7%,9%置換の場合は僅かに大きくなる程度であり,BB や FA 供試体に比べ,中性化深さは著し く小さくなった.これは, CA2の置換率は最大でも 9%であり,しかも HC が塩化物イオンを固定化する際に OH-を放出することから,セメント置換率の高い BB や,ポゾラン反応によって Ca(OH)₂を消費する FA よりも,コン クリート中の OH<sup>-</sup>の絶対量が多いことによると考えられた.

4.まとめ

CaO・2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末を混入することにより,塩分浸透性に関しては,他の混和材を用いた場合よりも優れた固定化 能力を有し,BBと同程度の高い遮塩性を付与できる可能性が示唆された.また,中性化抵抗性を著しく損なうこ となく塩害抵抗性を向上させることも確認された.今後さらに長期的な性能について検討する予定である. 謝辞) 本研究は,国土交通省建設技術研究開発助成制度(政策課題解決型技術開発)によって実施された研究の一部である.関係者各位に謝意を表す.