

CaO・2Al₂O₃微粉末を混入したコンクリートの各種環境での適用性に関する実験的検討

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 福留 祐一
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

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。既に高い遮塩性を付与する高炉スラグ微粉末なども幅広く用いられているが、初期の強度発現性の問題から橋梁の上部工などへは殆ど用いられていない。このような状況の中、新たな塩害対策用混和材料としてカルシウムアルミネートの一種 CaO・2Al₂O₃（以下 CA2 と称す）がある。この材料は、コンクリートに予め混入することで、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、塩分浸透を抑制する効果が得られる¹⁾。また、普通ポルトランドセメントと同程度の初期強度発現性を有することから、高炉スラグ等の使用が難しい部材に対する適用も期待される。そこで、本研究では、海洋環境の劣化環境として、塩害、中性化、塩害と中性化の複合劣化の3つを想定し、促進試験により CA2 を混入したコンクリートの適用範囲を明らかにすることを試みた。

2. 実験概要

表-1に、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、結合材に普通ポルトランド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。塩水浸漬試験用の供試体としては、JSCE-G 572-2003 に準じて、φ10×15cm 円柱供試体の試験面となる一面を除いてエポキシ樹脂で被覆し、塩分の浸透を一方向に限定した状態で NaCl 濃度 10% 溶液に浸漬した。浸漬した供試体は、所定の期間で浸漬槽から取り上げ塩分浸透面から 0.5cm、それ以降は 1cm ごとにコンクリート粉末を採取し、JCI-SC4 に準じて塩化物イオン量を測定した。なお、初期養生方法については標準水中養生を 28 日間行ったものと、同期間気中養生を行ったものの2水準を用いた。中性化促進試験に関しては、水中養生を 28 日間行った φ10×20cm 円柱供試体を、CO₂ 濃度 5%、温度 20℃、相対湿度 60% の環境下に静置し、所定の日数でフェノールフタレイン法にて中性化深さを測定した。複合劣化試験については、D10 鉄筋をかぶり 2cm 位置に埋設し、同様に水中養生を行った φ10×10cm の円柱供試体を用い、一面を除いてエポキシ樹脂で被覆し、3.5 日おきに NaCl 濃度 10% 溶液と前述した中性化環境で促進を繰り返し、7 日を 1 サイクルとして所定のサイクル数で塩化物イオン量を測定した。

表-1 供試体配合

供試体 種類	W/B (%)	s/a (%)	混和材 置換率 (%)	単位量(kg/m ³)						添加率(%)		
				水	セメント	CA2	高炉スラグ 微粉末	フライ アッシュ	細骨材	粗骨材	AE剤	AE助剤
OPC	50	43	—	185	370	—	—	—	721	991	0.3	0.006
CA2-5%			5		352	19	—	—	721	990	0.35	0.006
CA2-7%			7		344	26	—	—	720	990	0.4	0.006
CA2-9%			9		337	33	—	—	720	989	0.45	0.006
BB			50		185	—	185	—	715	976	0.2	0.008
FA			20		296	—	—	74	711	990	0.25	0.01

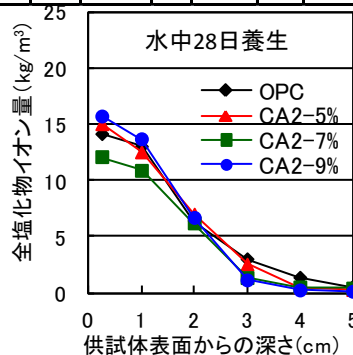


図-1 全塩化物イオン量分布 (水中 28 日養生)

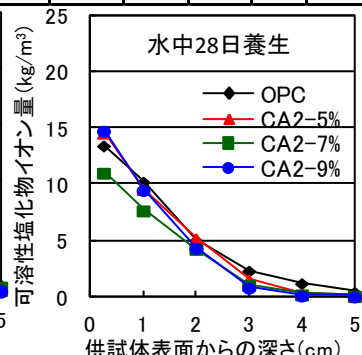


図-2 可溶性塩化物イオン量分布 (水中 28 日養生)

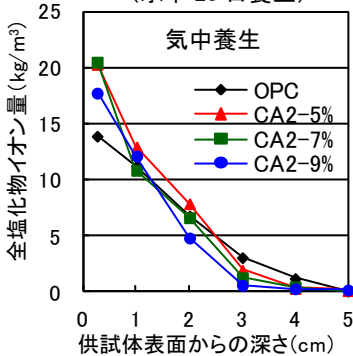


図-3 全塩化物イオン量分布 (気中養生)

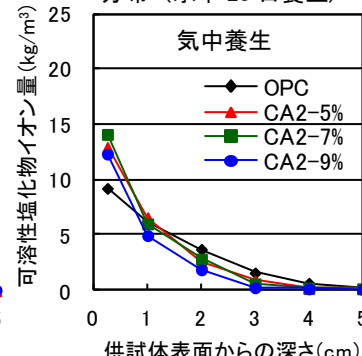


図-4 可溶性塩化物イオン量分布 (気中養生)

キーワード：カルシウムアルミネート、塩害、中性化、複合劣化

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

3. 結果および考察

図-1, 2に初期水中養生 28 日後, NaCl 濃度 10% 溶液に 280 日間浸漬を行った供試体の全塩化物イオン量分布と可溶性塩化物イオン量分布をそれぞれ示す. 全塩化物イオン量について, CA2-5%, 9% 供試体においては, 表層部の全塩化物イオン量が OPC よりも高くなっているが, 内部への浸透は抑制していることが確認された. また, 可溶性塩化物イオン量についても, 同様の傾向が示された. 一方, 図-3,

4には初期に気中養生を施した供試体の全塩化物イオン量分布と可溶性塩化物イオン量分布をそれぞれ示す. 水中養生と同様に, CA2 を混合した供試体は, 表層部の塩化物イオン量は高くなるものの, 内部への塩分浸透を抑制していることが確認できるが, その抑制効果は水中養生よりも顕著となっている. これは図-5, 6にそれぞれ示す全塩化物イオン量ならびに可溶性塩化物イオン量分布から算出した見掛けの拡散係数からも見て取れ, いずれの CA2 供試体の場合も水中養生よりも気中養生の見掛けの拡散係数の方が小さくなっている. これは, 初期の養生方法が CA2 の塩分固定化能力に影響を及ぼしている可能性があり, そのメカニズムには今後の検討を要するものの, 初期の水中養生が困難な実構造物への適用には有利な特徴と考えられる.

図-7には, 280 日間中性化促進試験を行った供試体の中性化深さ測定結果を経時変化で示す. CA2 を混合した供試体の中性化深さは, BB, FA 供試体に比べ明らかに小さく, CA2 コンクリートには OPC の中性化抵抗性を保持しつつ, 塩分浸透を抑制できる特性があることが考えられた.

図-8, 9には, 初期水中養生供試体に, 複合劣化促進試験を 20 サイクル行った供試体の全塩化物イオン量および可溶性塩化物イオン量分布を示す. 塩水浸漬試験とほぼ同様の傾向を示しているが, 全塩化物イオン量が OPC よりも高くなる表層部の範囲が広がっている状況が確認された. ただし, その場合であっても可溶性塩化物イオン量は小さくなくなり, 複合劣化環境においても塩分固定化能力が発揮されていることが分かる. 一方, BB や FA の場合には, 中性化の進行に伴って深さ 2cm 程度の範囲における塩分固定化能力が低減し, 全塩化物イオン量と可溶性塩化物イオン量の分布に大きな違いが認められない状況となっている. 図-10には, 複合劣化試験における見掛けの塩化物イオン拡散係数を示す. CA2-5%では OPC とほぼ同様の拡散係数となっているものの, CA2 置換率の増加に応じて, 特に可溶性塩化物イオンに対する見掛けの拡散係数が小さくなくなり, 促進中性化による過酷な条件でも一定の固定化能力を保持できることが確認された. なお BB については, 拡散係数は小さいものの, 中性化の進行に伴った固定化能力の喪失により, 全塩化物イオンと可溶性塩化物イオンの見掛けの拡散係数がほぼ同程度となった. 本報告は 20 サイクルまでであるが, 中性化の進行に伴って各材料の特徴が顕著になると予想されることから, さらに試験を継続する予定である.

4. まとめ

CA2 を混合したコンクリートは, 初期の養生方法や暴露環境の違いに拘わらず, 塩分浸透抑制効果を発揮する. ただし, CA2 の塩分固定化能力は, 初期養生条件や中性化の進行によって影響を受けることを考慮する必要がある.

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

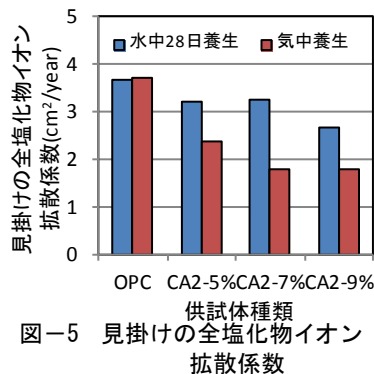


図-5 見掛けの全塩化物イオン拡散係数

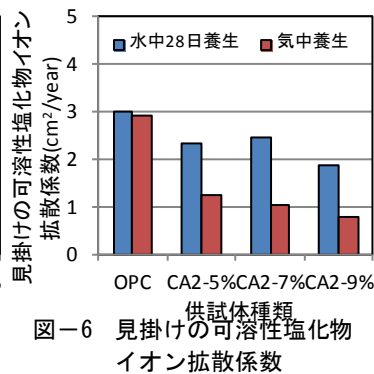


図-6 見掛けの可溶性塩化物イオン拡散係数

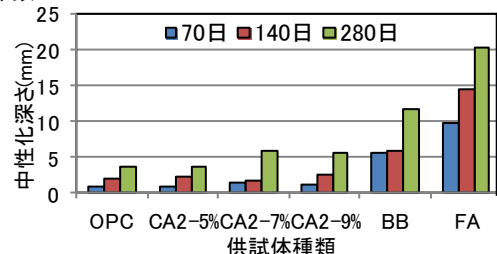


図-7 中性化深さ測定結果

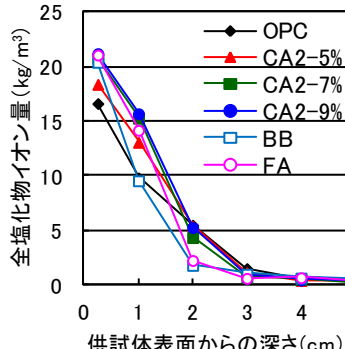


図-8 全塩化物イオン量分布

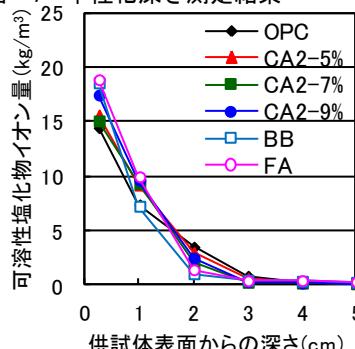


図-9 可溶性塩化物イオン量分布

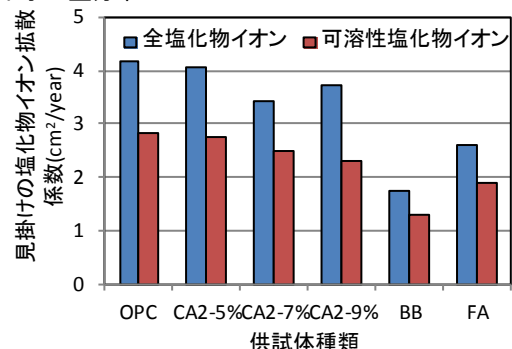


図-10 見掛けの塩化物イオン拡散係数