

CA 系材料を用いたコンクリートの塩分浸透抵抗性の検討

芝浦工業大学 大学院建設工学専攻
 デンカ㈱ セメント・特混研究部
 芝浦工業大学 工学部 土木工学科

○伊藤孝文
 伊藤慎也
 伊代田岳史
 増田卓司

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の劣化において塩害は非常に憂慮すべき事象である。塩害は海岸付近や融雪材などが使用される環境で発生し、鉄筋腐食の膨張圧によるかぶりの剥落を誘発して構造物の性能低下を引き起こす。この塩害の抑制においては、モノサルフェートやエトリンサイトのような C-A-H 系の水和物の存在が重要である。この C-A-H 系の水和物は塩化物イオンを固定化する能力があり、鉄筋腐食にとって有害な自由塩化物イオンを抑制する作用がある。

近年、塩害対策としてカルシウムアルミネート系材料の $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (以下 CA_2 と称す) が注目されている。また、本研究ではカルシウムアルミネート系のクリンカ $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 骨材 (以下 CA 骨材と称す) にも着目した。材料の持つ塩分浸透性能を確認するために、粉末 X 線回折を利用して、 CA_2 をセメントに置換して硬化したセメントペースト及び CA 骨材を NaCl 溶液に浸せきさせた供試体の水和生成物を図-1 に示す。これらのカルシウムアルミネート系の材料は、セメント水和物の水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応して有害な自由塩化物イオンをケゼル氏塩やフリーデル氏塩のような無害な固定塩化物にする効果が期待されている¹⁾。特に CA 骨材はセメントペーストと骨材の界面の遷移帯部分の空隙を生成物が充填することで、強度と耐久性の両者の改善に寄与することが想定される。

本研究では、これらのカルシウムアルミネート系材料 (以下 CA 系材料と称す) を用いたコンクリートを作製し、コンクリートにしたときの強度発現及び塩化物イオン抵抗性を塩水浸せき試験で検証した。

2. 実験概要

2. 1 試験体諸元

表-1 に本研究で使用したコンクリートの配合を示す。また、表-2 に CA 骨材と CA_2 の化学成分を示す。セメント種類は普通ポルトランドセメント (OPC) と塩害抵抗性が低い低熱ポルトランドセメント (LPC) を使用した。 CA_2 はセメントに内割で置換した。

2. 2 圧縮強度試験

本研究では、材齢 28 日まで標準養生した供試体と

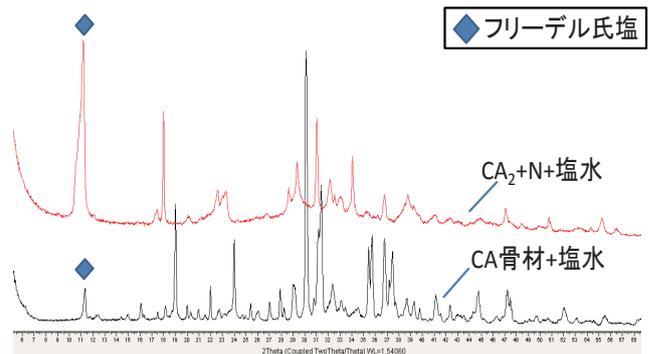


図-1 粉末 XRD パターン

表-1 コンクリートの計画配合

	セメント種	W/C	W	C	CA_2	G	CA骨材
N0	OPC	50	170	340	—	100%	—
N100				—	—	100%	
N0-CA2				20	100%	—	
N100-CA2				20	—	100%	
L0	LPC	50	170	340	—	100%	—
L100				—	—	100%	
L0-CA2				20	100%	—	
L100-CA2				20	—	100%	

表-2 CA 系材料の成分値

	化学成分 [%]									密度 [g/cm ³]
	Al_2O_3	CaO	MgO	SiO_2	FeO	S	SO_3	Fe_2O_3	R_2O	
CA骨材	55.6	31.7	4.2	4.6	0.9	0.18	—	—	—	2.89
CA_2	67.73	23.96	0.27	0.64	—	—	0.01	7.09	0.21	2.96

NaCl 3%の溶液で養生 (塩水養生) した供試体を用いて、「コンクリート圧縮強度試験 (JIS A1108-2006)」に準拠しコンクリートの圧縮試験を行った。

2. 3 塩水浸せき試験

28 日標準養生後、側面の 1 面を除き、エポキシ樹脂でコーティングした供試体を塩化物イオン濃度 10% の塩水に浸せきさせ、材齢 1,2,4,8 週で割裂した。割裂面に硝酸銀溶液 (0.1N) を噴霧し、白色に呈色した部分を 7 点測定し、その平均値を塩化物イオン浸透深さとした。

3. 実験結果及び考察

3. 1 圧縮強度試験

図-2 に圧縮強度試験の結果を示す。標準養生において、OPC ではCA 骨材を使用しても強度は同程度であったが、LPC では CA 骨材を使用すると強度が低下した。また、OPC と LPC のいずれにおいても CA_2 を添加することで強度が若干増加していることが確認できる。

また、CA 系材料を添加した OPC のコンクリートでは標準養生よりも塩水養生の方が強度が高いことが確認できる。これは、CA 系材料が $Ca(OH)_2$ と反応することで発生した生成物が塩化物イオンと反応することで空隙を物理的に充填したためと考えられる。一方で、 CA_2 を添加した LPC のコンクリートでは塩水養生をしても強度が若干低下した。この原因として、LPC では $Ca(OH)_2$ 量が少ないため塩水養生をしても CA_2 が反応しなかったことが考えられる。

3. 2 塩水浸せき試験

図-3, 4 に塩水浸せき試験の結果を示す。OPC においては CA 骨材を使用すると塩化物イオン浸透深さが減少していることが確認できる。また、 CA_2 を添加することによる浸透抑制も確認できる。一方、LPC においては、CA 骨材を使用しても塩化物イオンの浸透抑制は確認できなかったが、 CA_2 を添加することによる浸透抑制は確認できた。これは、LPC では $Ca(OH)_2$ の量が少ないため CA 骨材の反応が十分ではなく、期待した骨材界面の物質透過性が改善されなかったためと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた成果を以下にまとめる

- (1) 標準養生では、OPC において CA 骨材を使用しても圧縮強度は同程度であった。一方、LPC においては CA 骨材の使用により若干強度が低下した。また、OPC においては塩水養生により強度増加が確認されたが、LPC に CA_2 を添加した配合では塩水養生による強度増加が確認できなかった。
- (2) OPC においては CA 系材料の添加により塩化物イオン抵抗性が改善された。これはフリーデル氏塩が生成されたためと考えられる。一方、LPC においては CA 骨材の使用による改善は確認できなかったが、 CA_2 の添加による改善は OPC と同程度となった。
- (3) 上記の(1)及び(2)より、CA 系材料はセメント種類の違いにより強度及び塩化物イオン抵抗性の改善効果に違いがあることが分かる。これは塩化物イオンの固定化が影響していると考え、今後は電位差滴定法による塩化物イオン量の測定が必要であると考ええる。また、OPC と LPC では生成される $Ca(OH)_2$ の量が異なるため、CA 系材料と反応する物質である $Ca(OH)_2$ の量にも着目する必要があると考ええる。

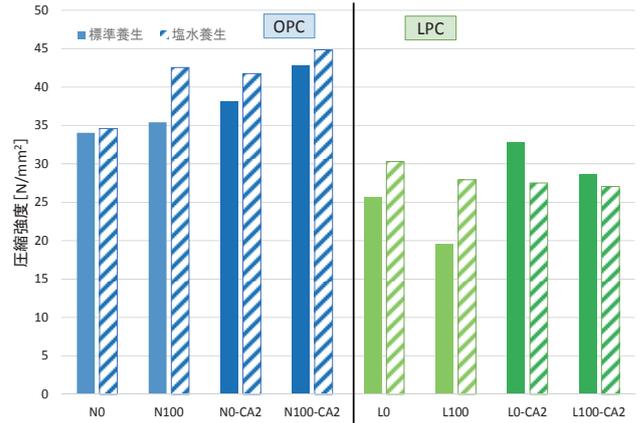


図-2 圧縮強度試験結果

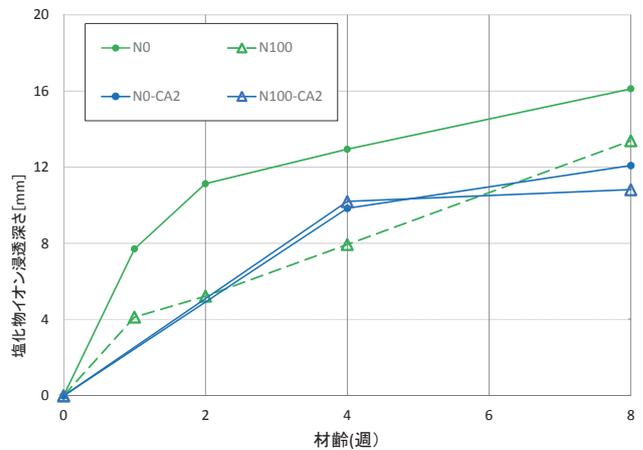


図-3 塩水浸せき試験結果 (OPC+CA 系材料)

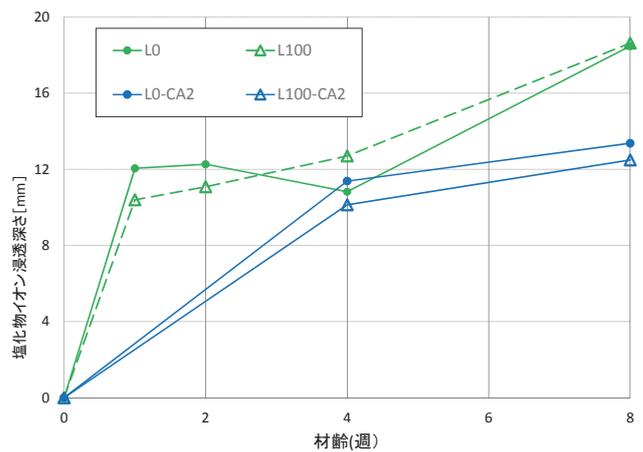


図-4 塩水浸せき試験結果 (LPC+CA 系材料)

【参考文献】

- 1) 田原和人, 宮口克一, 盛岡実, 武若耕司: $CaO \cdot 2Al_2O_3$ を混和した種類の異なるセメント硬化体の水和挙動及び塩化物イオン固定化能力; Cement Science and Concrete Technology, No.65, 2011