

塩素固定化材と膨張材を併用したコンクリートのひび割れからの塩化物イオンの浸透挙動の検討

芝浦工業大学 大学院理工学研究科

デンカ株式会社 青海工場 セメント・特混研究部

芝浦工業大学 工学部土木工学科

○宮崎幹太

伊藤慎也

伊代田岳史

1. はじめに

日本は海洋からの飛来塩分が多く、また寒冷地では、冬季に凍結防止剤を散布することから、鉄筋コンクリート構造物の塩害が数多く報告されている。塩害とは塩化物イオンがコンクリート内に侵入し、コンクリート中の鉄筋表面に形成される不導体被膜が破壊され鉄筋が腐食を起こす劣化である。コンクリート中の鉄筋が腐食を起こすと腐食生成物による体積膨張を起こし、ひび割れやかぶりコンクリートの剥離などが生じ構造物の性能低下につながるため、対策が必要とされている。塩害に対する材料面での一般的な対策としては、高炉スラグ微粉末の使用などがあげられる。また近年では、塩化物イオン固定化能力を有する材料として、カルシウムアルミネート系材料である $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (以下: CA_2) が開発されている。 CA_2 は普通ポルトランドセメント (以下: N) に混和することで、水和生成物である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応し、ハイドロカルマイトが生成される。これが、塩化物イオンをフリーデル氏塩として固定化することにより、塩化物イオンの浸透を抑制することが既往の研究¹⁾よりわかっている。塩害が発生する原因としてはコンクリート表面からの塩化物イオンの浸透と、ひび割れからの塩化物イオンの浸透があげられる。特に後者は、塩化物イオンが直ちに鉄筋に達し腐食を生じさせることから対策が必要である。ひび割れに対する材料面での対策では膨張材 (Ex) が用いられており CA_2 と併用した場合においても適正な膨張ひずみを導入することが可能である²⁾。

本研究では、膨張材と CA_2 と併用した際のひび割れからの塩化物イオンの浸透挙動の検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および供試体諸元

本研究で用いたセメントは、N および高炉セメント B 種 (以下、BB) を用いた。また混和材として、 CA_2 および膨張材を使用した。膨張材は、石灰・エトリンガイト複合系のものを使用した。 CA_2 および膨張材の化学成分および密度を表 1 に、コンクリートの計画配合を表 2 に示す。なお、供試体は打込み後、翌日に脱型を行い材齢 28 日まで水中養生を施した。

表 1 混和材の化学成分および密度

	化学成分 (%)					密度 (g/cm ³)
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	
CA ₂	24.0	0.6	67.7	0.01	7.1	2.96
Ex	70.6	1.0	7.2	18.5	0.8	3.10

表 2 コンクリートの計画配合

凡例	W/B	s/a	単位量						
			W	C	BFS	CA ₂	EX	S	G
N	55	48	170	309	-	-	-	864	947
N+CA ₂				289	-	20	-	864	946
N+CA ₂ +EX				267	-	20	22	863	946
BB				-	309	-	-	859	941

2. 2 ひび割れの有無による塩化物イオンの浸透

角柱供試体にひび割れを導入したものとしていないものそれぞれを 10% の NaCl 水溶液に浸漬することで、ひび割れからの塩化物イオンの浸透と CA_2 の遮塩効果について検討を行った。ひび割れを導入する供試体に関しては、鉄筋 (D10) を配置した。また導入するひび割れは曲げ試験の結果から決定した。ひび割れを導入してないものに関しては側面 1 面を除く 5 面を、ひび割れ導入した供試体は、ひび割れ面を除く 5 面をすべてエポキシ樹脂にて被膜した。ひび割れを導入していないものに関しては、浸漬材齢 48 週までの塩分浸漬深さの結果から、塩化物イオンの拡散係数を算出した。また、ひび割れを導入したものに関しては材齢 3 か月時点でひび割れ箇所を切り出し EPMA にてひび割れ箇所付近における塩化物イオンの浸透状況を確認した。

3. 実験結果および結果

塩化物イオンの見掛けの拡散係数を図 1 に示す。N 配合の普通コンクリートと比較して、 CA_2 および CA_2 と膨張材を併用したものは見かけの拡散係数が小さくなることが分かった。また、膨張材を併用したものがその傾向が顕著であった。既往の研究³⁾において、膨張材を単独で混和したコンクリートの耐塩性は、普通コンクリートと比較してほとんど変化しないことが報告されていることから、膨張材と CA_2 の併用により塩化物イオンの浸透

抑制に対して優位に働く相乗効果が得られることが示唆された。

同一ひび割れ幅に達する荷重を図2に示す。結果より、膨張材を使用したN+CA₂+Ex配合において、N配合よりも同一ひび割れ幅に達する荷重が30~40%程度増加した。

この結果から導入するひび割れの大きさは、膨張材を用いない配合においてかぶり70mmを想定した時のひび割れ限界値の0.35mm(誤差範囲±0.05mm)とし、膨張材を使用した場合に60%程度ひび割れ幅が抑制されるとして、0.15mm(誤差範囲±0.05mm)と設定し、ひび割れを導入した試験体を作成しその後試験を行った。塩水浸漬後3か月時点でのひび割れ箇所のCl元素のマッピング結果を図3に示す。またひび割れおよびClイオン濃度約0.5%の境目を白線で記した

N配合においては、浸漬暴露面および、ひび割れ箇所周辺の塩化物イオン濃度が高い結果となった。

CA₂を単独で混和したN+CA₂配合においては、ひび割れ箇所から塩化物イオンが浸透している様子が確認できる。しかし、N配合と比較した場合、ひび割れからの塩化物イオン濃度分布は低い傾向が確認できた。

CA₂と膨張材を併用したN+CA₂+Ex配合においては、ひび割れからの塩化物イオンの浸透がほとんど見られずBB配合と同程度に抑制できる効果を有した。

4. まとめ

- (1) CA₂を用いることにより、コンクリート表面からの塩化物イオンの浸透を抑制することが可能であった。
- (2) 膨張材を混和した配合において無混和の普通コンクリートと比較して同一ひび割れ幅に達する荷重が30~40%程度増加した。
- (3) CA₂を添加したものおよびCA₂と膨張材を併用した配合のいずれにおいても、普通コンクリートと比較してひび割れからの塩化物イオンの浸透、拡散を抑制する傾向がみられた。特に、CA₂と膨張材を併用することでその傾向が顕著となった。

【参考文献】

- 1) 田原和人ほか：CaO・2Al₂O₃を混和したセメント硬化体の塩化物イオン固定化挙動、セメント・コンクリート論文集、No. 64、pp. 428-434(2010)
- 2) 伊藤慎也ほか：塩素固定化剤と膨張材を併用したコンクリートの耐塩性評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.40、No.1、pp729-734(2018)
- 3) 保利 彰宏ほか：低添加型の膨張材を用いたコンクリートの対塩性に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.27、No.1、pp.679-684(2005)

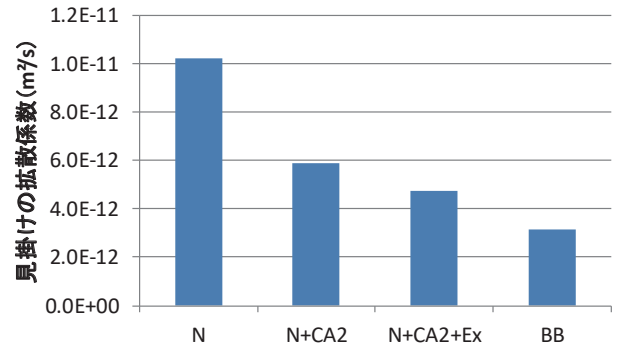


図1 塩化物イオンの見掛けの拡散係数

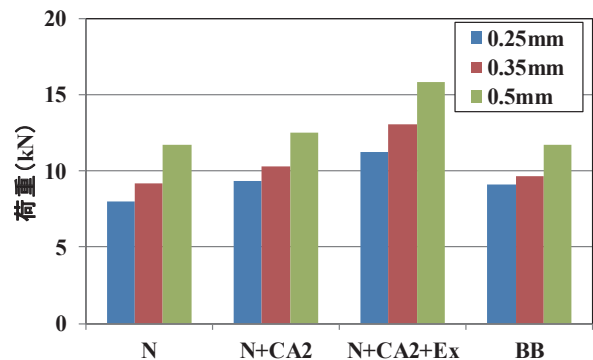


図2 同一ひび割れ幅に達する荷重

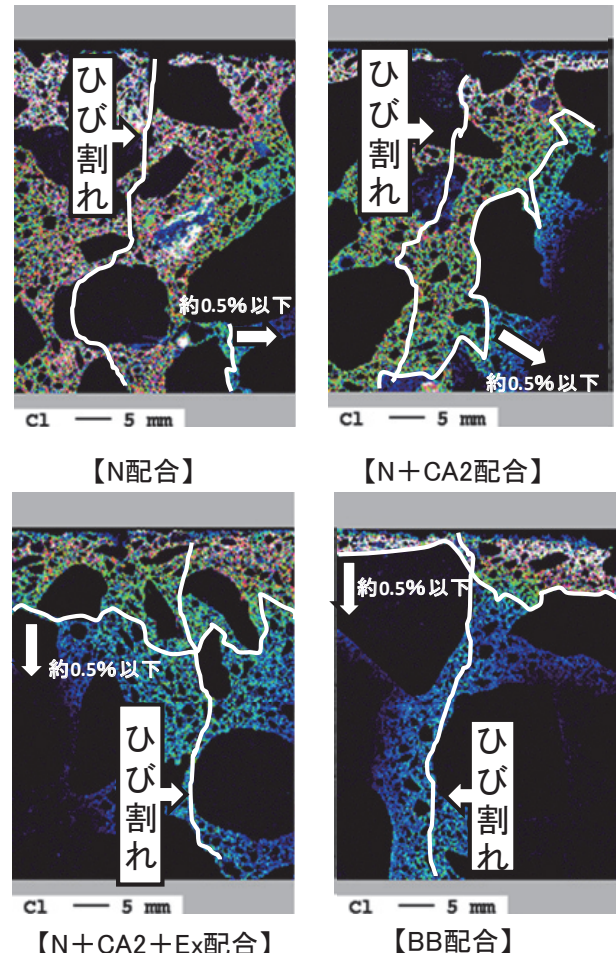


図3 ひび割れ周辺の塩化物イオン