

各種混和材料を添加したセメントの塩分固定化特性の把握

芝浦工業大学 工学部
芝浦工業大学

○小宮山祐人
伊代田岳史

1. 研究背景および目的

RC 構造物の劣化現象の一つである塩害は、塩化物イオンがコンクリート内部に浸入することで、鉄筋の不動態皮膜を破壊し、鉄筋腐食を起こす現象である。コンクリート内部に浸入した塩化物イオンは、自由塩化物イオンと固定化塩素の二つに分類でき、自由塩化物イオンは内部の微細空隙中を移動できる状態として存在する。また、固定化塩素はフリーデル氏塩 (F 塩) 等として水和物中に吸着する固相塩素と、固相壁面に電氣的に吸着する吸着塩素に分類でき、これらの固定化塩素は鉄筋の腐食に寄与しないとされている。そのため、浸入した塩化物イオンをできるだけ、固定化塩素とすることが望ましい。しかし、混和材の添加率の変化が F 塩の生成に与える影響についての研究が十分に行われていないのが現状である。

そこで、モルタル供試体を用いて、塩水浸漬による塩分浸透深さを測定し、混和材の添加率の変化が塩分固定化に与える影響を調べた。その結果を図1に示す。結果より、高炉セメント A 種に石灰石微粉末 (LSP) を添加した配合において、LSP の添加率の増加に伴い、塩分浸透深さが小さくなる傾向を確認した。この傾向から、混和材の添加率の違いが、塩分固定化に寄与する F 塩などの生成過程や量などに影響を与えている可能性が考えられる。このため、各種混和材の添加率を変化させる事で、F 塩などの生成物の生成過程に与える影響を把握することを本研究の目的とした。

2. 実験概要

2.1 供試体諸元

本研究では、各種混和材の中で、塩害環境下の構造物で多く適用されている高炉スラグ微粉末 (BFS) とフライアッシュ (FA) を用いた。また、増量材や初期強度の改善を目的として、一般的に用いられる石灰石微粉末 (LSP) を使用した。

セメントの配合は、表1に示すように、研究用セメント (OPC) に各種混和材 (BFS、FA、LSP) を添加した二成分系セメントと、BFS の添加率を 20% に固定し、FA

および LSP を添加した三成分系セメントとした。これらのセメントを、水結合材比 50% 一定で塩素を排除したイオン交換水を用いて、供試体の全方向から塩分が浸入するように、φ52×5 (mm) の寸法のセメントペースト供試体を作製し、20°C、相対湿度 60% の環境下で 28 日間封緘養生した。

2.2 試験概要

(1) 塩水浸漬試験

28 日封緘養生を行った供試体を、短期間で塩分が浸透するように濃度 5% に保った塩水に、20°C、相対湿度 60% の環境下に置き、塩水浸漬させた。

(2) 粉末 X 線回折試験 (XRD)

粉末 X 線回折装置を用いて、塩水浸漬による F 塩などの生成物の定性分析を行った。測定は、養生終了時の材齢 28 日と、塩水浸漬試験における浸漬日数 1、3、5、7、14 日の供試体を使用した。

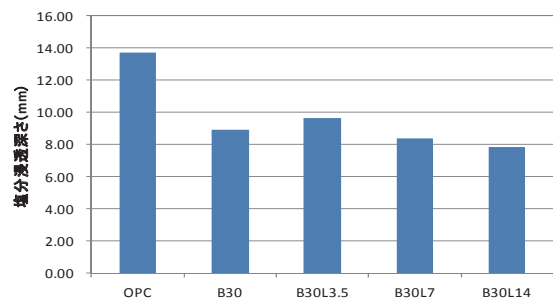


図1 浸漬期間 28 週における塩分浸透深さ

表1 使用したセメントの配合表

	名称	結合材添加率(質量%)			
		OPC	BFS	FA	LSP
二成分系セメント	OPC	N	100	-	-
	BFS添加	B20	80	20	-
	FA添加	F20	80	-	20
	LSP添加	L20	80	-	20
三成分系セメント	BFS FA添加	B20F10	70	20	10
		B20F20	60	20	20
		B20F30	50	20	30
	BFS LSP添加	B20L10	70	20	10
		B20L20	60	20	20
		B20L30	50	20	30

試料は浸漬させた供試体を塩水から取り出した後、全量粗粉碎し、アセトンに一日浸漬させ水和反応を停止させた。その後 40°C 乾燥炉で一時間程度乾燥させ、粉碎機でふるい目 149μm を全通するように微粉碎したものを測定に使用した。測定対象は、塩分固定化能力を有する、F 塩および F 塩の生成に影響を及ぼす kuzel 氏塩 (k 塩) とした。また、これらの生成に関与すると考えられるモノサルフェート (AFm) やエトリンガイト (AFt)、モノカーボネートの測定も行った。

3. 試験結果及び考察

3.1 N および BFS、FA を添加した配合

図 2 に N 配合の測定対象の水和物の経時変化を示す。封緘養生中に、AFt および AFm の生成を確認した。塩水浸漬後、AFm が減少し、k 塩が生成した。その後、k 塩の減少に伴い F 塩の増加が確認できたことから、k 塩から F 塩への転移が考えられる。これらの傾向は、BFS および FA を添加した系では、二成分、三成分に関わらず、同様の傾向を示した。塩水浸漬後に減少した AFt の回折ピークが浸漬 5 日目以降に増加した。これは、AFm が F 塩へと変化する過程で放出された、硫酸イオン (SO₄²⁻) が、セメント中に残存するアルミネート相 (C₃A) と反応する事により、AFt が再度生成している為と考えられる。N および BFS、FA を添加した配合の考えられる生成物フローチャートを図 3 に示す。

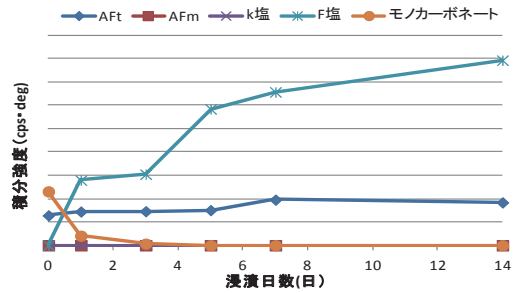


図 2 N 配合の積分強度の経時変化

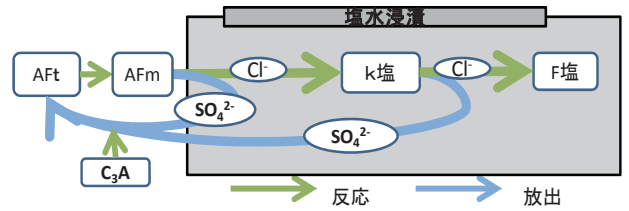


図 3 N および BFS、FA の生成物のフローチャート

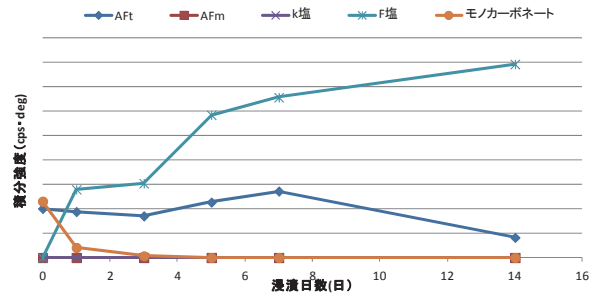


図 4 LSP を添加した配合の積分強度の経時変化

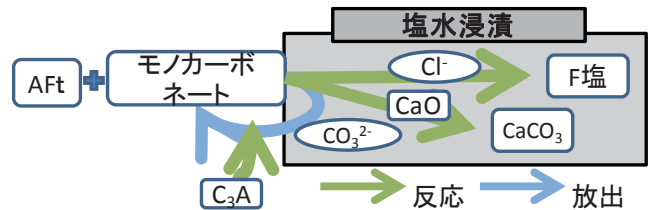


図 5 LSP を添加した配合の生成物のフローチャート

3.2 LSP を添加した配合

図 4 に、N に LSP を添加した系の結果を示す。封緘養生の段階で、AFt およびモノカーボネートが生成しており、塩水浸漬 1 日において、モノカーボネートの減少に伴い、k 塩は生成せず、F 塩のみが生成した。また、BFS に LSP を添加した三成分も同様の結果を示した。LSP を添加した配合の考えられる生成物フローチャートを図 5 に示す。

3.3 BFS および LSP を添加した各配合の積分強度の経時変化

図 6 に BFS および LSP を添加した配合の F 塩の積分強度の経時変化を示す。BFS および LSP の配合において積分強度が各浸漬日数において、N および B20 と比較し上回る傾向を示した。この結果から、BFS および LSP を同時に添加することで、F 塩の生成を促す傾向がある事を把握した。

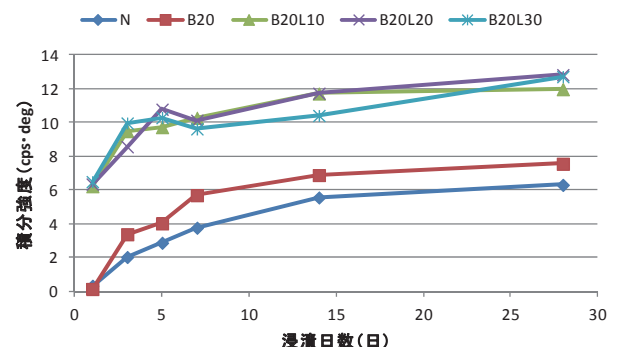


図 6 BFS および LSP を添加した配合の F 塩の積分強度経時変化

4. まとめ

LSP を添加した配合では、k 塩が生成せず、F 塩のみが生成することを確認した。また、塩分浸透深さや F 塩の積分強度より塩分固定化に与える影響は、F 塩の生成過程に寄らず、最終的な F 塩の生成量が及ぼす影響が大きいものと考えられる。

謝辞:本研究において、貴重なご助言を頂いた、後藤誠史山口大学名誉教授、浅賀喜与志帝京科学名誉教授には心から感謝致します。