

各種混和材料の添加による塩分固定メカニズムの解明

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○小宮山 祐人
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. 研究背景・目的

海洋環境下において供用される RC 構造物は、海水中に含まれる塩化物イオンの影響を受け、内部の鉄筋が腐食する塩害と呼ばれる劣化現象により耐久性の低下が生じる。そこで、代表的な耐塩害性の向上策として、高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材料をセメントに添加する手法が取られている。混和材料の添加による耐塩害性の向上要因として、コンクリート内部の空隙構造の緻密化と、セメント水和物と塩化物イオンが化学反応しフリーデル氏塩などに代表される鉄筋の腐食に寄与しない固相塩素と呼ばれる物質の生成量の増加の二つが主な要因であると考えられている。

そこで、本研究では混和材の添加による物質移動抵抗性および塩分固定化に寄与するフリーデル氏塩や kuzel 氏塩などの固相塩素の生成メカニズムを把握することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 供試体緒元

使用セメントはコンクリートによる試験では普通ポルドランドセメントを使用し、セメントペーストによる試験では研究用セメントを用いたが、いずれも N と表記する。混和材料は耐塩害性の向上に効果のある高炉スラグ微粉末（以下 BFS）、フライアッシュ（以下 FA）、シリカフューム（以下 SF）を使用した。これらの混和材料を表-1 に示す配合表の配合で練混ぜ試験供試体とした。また、水粉体比（以下、W/B）による影響を調べるため、W/B=0.3、0.5 の二種類を設定した。コンクリート及びセメントペーストともに脱型後、室温 20℃、相対湿度 60%の環境下で 28 日間封緘養生し、試験供試体として試験に用いた。

2.2 非定常電気泳動試験

各配合のコンクリートで作製した円柱供試体(φ 100mm×200mm)をコンクリートカッターにより厚さ 50mm ごとに四等分し、中心部より二体を採取し非定常電気泳動試験の供試体として用いた。切断後の供試体に所定の前処理を施した後、供試体を電気泳動試験装置に設置した。陽極側に NaOH 水溶液(0.3N)、陰極側に NaCl 水溶液(3%)を入れ、直流電流(30V)を通電した。配合ごとに塩化物イオンに対する浸透抵抗性は異なるため、通電時間は配合により異なり供試体内を全通過するまでの 6 点を測定時間とした。それぞれの通電時間後に供試体を試験装置から取り出し、割裂した後に硝酸銀水溶液(0.1N)を噴霧し、白色を呈した領域を塩化物イオン浸透領域とし浸透深さを求めた。

2.3 粉末 X 線回折試験

各配合のセメントペースト供試体(φ 52mm×9mm)を NaCl 水溶液(3%、10%)に浸漬させ、表層より 1mm 間隔で削り深さごとの測定試料を採取した。その後、X 線回折装置(XRD)を用い、塩水浸漬による生成物への影響を定性定量分析した。定量分析では、測定データより各生成物のピークより積分強度を算出し生成量とした。測定対象を塩分固定化に影響を与えていると考えられているフリーデル氏塩およびフリーデル氏塩の生成に関与する kuzel 氏塩とした。

表-1 配合表(混和材添加率)

	N	B50	F10	F20	F30	S10	S20
BFS	-	50	-	-	-	-	-
FA	-	-	10	20	30	-	-
SF	-	-	-	-	-	10	20

キーワード 混和材料 塩分浸透抵抗性 非定常状態電気泳動試験 フリーデル氏塩 XRD

連絡先〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 Tel03-5859-8356 E-mail: me13033@shibaura-it.ac.jp

3. 実験結果

3.1 非定常電気泳動試験

図-1 に非定常電気泳動試験の通電時間 24 時間までの塩分浸透深さを示す。配合による浸透深さは FA > OPC > BFS > SF の順となった。また、BFS 及び SF は N と比較し浸透抵抗性が増加した。また、SF は添加率の違いが塩分浸透深さに与える影響は小さいといえる。FA に関しては、封緘養生 28 日時点ではポズラン反応が十分に進まず、N と比較して浸透抵抗性が低下したものと考えられる。

次に、浸透深さより NT BUILD492 の拡散係数算出手法を用い、24 時間通電時の浸透深さを用いてから拡散係数を算出したものを図-2 に示す。各配合とも水粉体比の低下に伴い拡散係数が低下する傾向を示した。これは、水粉体比の減少による空隙構造の緻密化の影響を大きく受けているものと考えられる。

3.2 粉末 X 線回折試験

図-3 に NaCl 水溶液(3%)に 24 時間浸漬後の供試体表層の生成物を示す。N 及び BFS、FA を添加した配合では添加率によらず、kuzel 氏塩およびフリーデル氏塩の生成が確認された。一方、SF を添加した配合では、kuzel 氏塩の生成量は少なく、フリーデル氏塩の生成が卓越する傾向が確認された。次に、図-4 において NaCl 水溶液(3%,10%)に 24 時間浸漬させた際の kuzel 氏塩及びフリーデル氏塩の積分強度の和を固相塩素量として混和材料の種類、添加量による影響を比較した。固相塩素量は BFS および FA を添加することにより増加した。一方、SF は添加することにより N と比較して、固定塩素量は減少する傾向を示した。

4. まとめ

(1)非定常状態電気泳動試験より、各混和材の物質移動抵抗性改善効果は SF,BFS,FA の順に大きい。
 (2)XRD による固相塩素生成量を N と比較すると、BFS および FA は固相塩素の生成量が増加した。一方、SF は固相塩素量の生成量が減少した。
 (3)BFS は空隙の緻密化による物質移動抵抗性および固相塩素量の増加により耐塩害性が向上し、SF は主に空隙の緻密化の影響により耐塩害性が向上していると考えられる。今後、混和材ごとの塩分浸透抵抗性を空隙構造の測定の検討する必要がある。

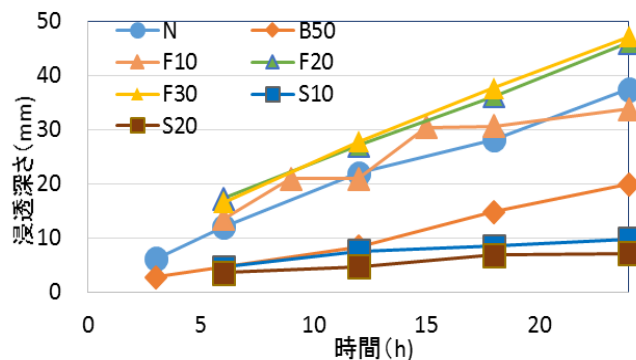


図-1 塩分浸透深さ (W/B=0.5)

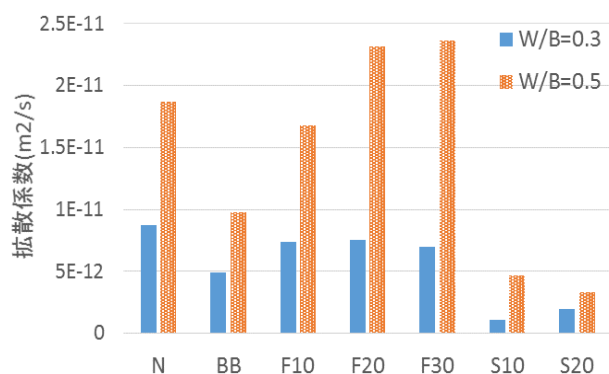


図-2 セメント種類ごとの拡散係数

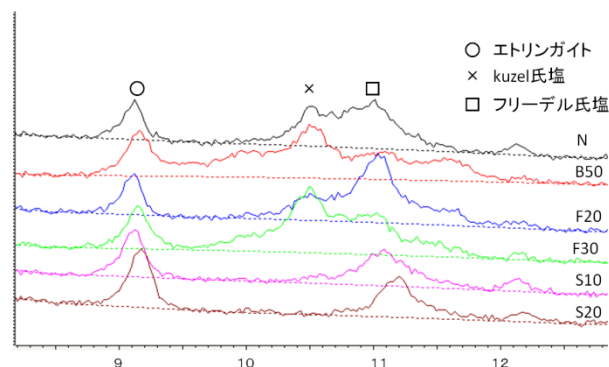


図-3 セメント種類ごとの表層生成物

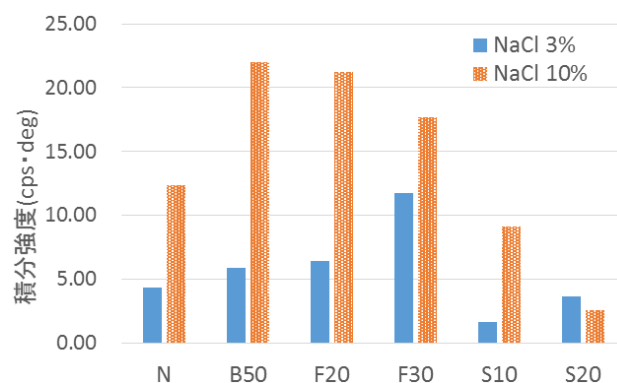


図-4 セメント種類ごとの固相塩素量