

異なる塩分環境下における塩分固定化現象の把握

芝浦工業大学 大学院理工学研究科建設工学専攻
芝浦工業大学 工学部土木工学科

○亀山敬宏
田中貫一
伊代田岳史

1. はじめに

塩害はコンクリート中に塩化物イオンが侵入し鉄筋を腐食させ鉄筋コンクリートの耐久性を低下させる劣化現象である。コンクリート中に侵入した塩化物イオンは、細孔溶液中を移動する自由塩分と、セメント水和物と化学反応し kuzel 氏塩やフリーデル氏塩を生成する固相塩素などの固定塩分の二つに分類される。後者の固定塩分は鉄筋の腐食に寄与しないと考えられるため、外来のコンクリート中の塩化物イオンは固定塩分になることが望ましいと考えられる。

現在、塩害に対する抵抗性を短期間で評価することを目的とした促進試験は実環境とは異なる NaCl 濃度 10% の水溶液に浸漬させ試験を行っている。しかし、塩分濃度を変化させたときの塩分固定化現象のメカニズムが明らかになっておらず促進試験が有効であるのか明らかではない。

そこで本研究は塩分濃度が異なる場合の固定塩分の生成量及び生成深さの違いの把握を目的とした。

2. 実験概要

2. 1 供試体諸元

本研究では、研究用普通ポルトランドセメント(以下、Nと示す)と、塩分固定化能力が高いとされる高炉スラグ微粉末を50%置換した高炉セメントB種(以下、BBと示す)を使用した。供試体概要を写真-1に示す。ブリーディングの影響を考慮しφ52mm×8.60mmの型枠にセメントペーストを打込み、供試体を作製した。打込み後は温度20℃、CO₂濃度0%のデシケーター内で28日間封緘養生を行った。

2. 2 塩水浸漬試験

封緘養生完了後、促進試験濃度10%、海水濃度3%、飛来塩分などを想定した0.5%濃度の3つの異なる塩水に上面一面開放した状態で図-1に示すそれぞれの所定浸漬期間につき一個ずつ供試体を浸漬させた。

2. 3 粉末X線回折試験(XRD)

所定の期間浸漬後供試体を型枠から脱型し、供試体を上面から0.50mmずつ削り、削り取った粉体を粉末X線回折装置を用いて定性分析、定量分析を行った。測定対

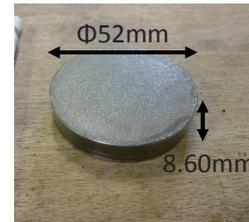


写真-1 供試体概要

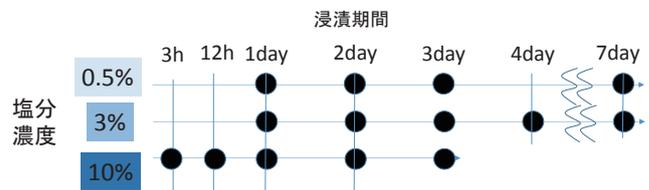


図-1 塩水濃度と浸漬期間

象は、固定塩分である kuzel 氏塩($C_3A \cdot (0.5 CaSO_4 \cdot 0.5CaCl_2) \cdot 10H_2O$) (以下、k 塩と示す)、フリーデル氏塩($C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$) (以下、F 塩と示す)と、これらの生成に関与すると考えられる、エトリンガイト($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) (以下、Aft と示す)、モノサルフェート($C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$) (以下 AFm と示す)の4つとした。また、回析ピーク幅から積分強度を算出し定量分析を行った。

3. 実験結果および考察

3. 1 固定塩分生成過程

図-2に塩分濃度3%環境下に浸漬させた供試体表層部(0.50~1.00mm)における経時的な生成物の変化を示す。第一層(0.00~0.50mm)では浸漬1日においてk塩の生成量変化を把握できなかったため二層目を使用した。浸漬後、セメント水和物であるAFmが消失し、k塩、F塩が生成された。図-3に各塩分を定量分析した結果を示す。浸漬日数の経過につれて、k塩は一度増加した後減少し、F塩は増加し続ける結果となった。このことから、AFmが塩化物イオンを取り込みk塩を生成し、k塩がさらに塩化物イオンを取り込みF塩を生成したと考えられる。この傾向は全ての濃度、セメント種類でみられ、塩分濃度によらず表層部での生成物は同じであると考えられる。

3. 2 F 塩, k 塩生成量の変化

図-4 に塩水に 1 日間浸漬した供試体の第二層(0.50mm ~1.00mm)における F 塩, k 塩の生成量を示す。濃度が高いほど N, BB 共に F 塩, k 塩の生成量が多い傾向が確認できた。また全ての塩分濃度環境下で N に比べ BB の方が F 塩, k 塩の生成量が多い結果となった。これは BB は AFm の生成に寄与する Al_2O_3 (酸化アルミニウム) の含有量が多いため AFm の生成量が増え、固定塩分の生成量が多い結果となったと考えられる。

3. 3 内部の固定塩分生成量, 生成深さ

図-5 に塩分濃度 3% に 1 日間浸漬させた供試体内部の変化を示す。表層付近では k 塩, F 塩が生成され、内部にいくに従い k 塩, F 塩は生成しておらず AFm が残存している結果となった。図-6 に浸漬 3 日における固定塩分が生成した深さを示す。濃度が高いほど N, BB 共に固定塩分の生成深さが大きくなる結果となった。また全ての塩分濃度環境下において N は BB に比べ固定塩分の生成深さが大きい結果となった。これは、BB は塩水に浸漬させることで N に比べ緻密化すると報告があり¹⁾ AFm に塩分が到達しにくく内部で固定塩分が生成されにくくなったと考えられる。図-7 に本研究で得られた塩分濃度とセメント種の違いにおける固定塩分生成量, 生成深さの傾向を示す。濃度が高いほど固定塩分の生成量が多く、生成深さも大きい結果となった。また、BB は N に比べ固定塩分生成量は多く、生成深さは小さい傾向が示された。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 塩水浸漬による生成物は濃度によらず同一となった。しかし、濃度が高いほど表層部の F 塩, k 塩生成量は増加し、k 塩, F 塩の生成深さも大きくなる結果となった。
- (2) BB は N に比べ固定塩分の生成量が多く、生成深さは小さい結果となった。これは BB は AFt を生成する Al_2O_3 の含有量が多いため k 塩, F 塩生成量が増えたと考えられる。また k 塩, F 塩の生成深さは BB が N に比べ小さい結果となった。これは BB は N に比べ緻密化したため内部へ塩分が到達しにくくなったと考えられる。

【参考文献】

- 1) 江口康平、武若耕司、山口明神、梅木真理：低熱高炉セメント B 種を使用したコンクリートの塩害と炭酸化の複合劣化に対する耐久性能、コンクリート工学年次論文集、vol.32、No.1、2010

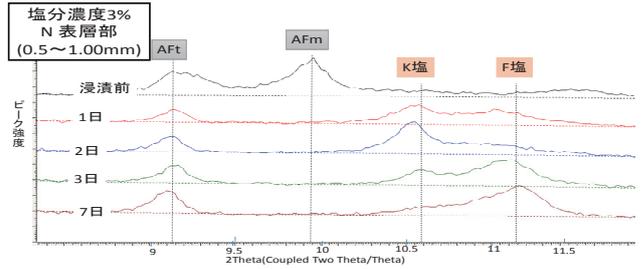


図-2 表層部の経時的な X 線チャート

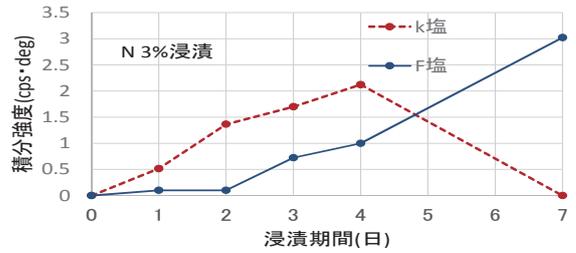


図-3 表層部の経時的な固定塩分量の変化

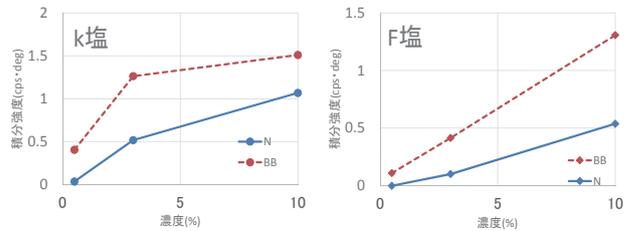


図-4 k 塩, F 塩生成量の比較

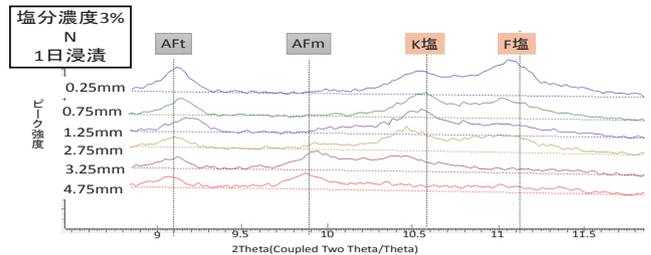


図-5 内部の生成物 X 線チャート

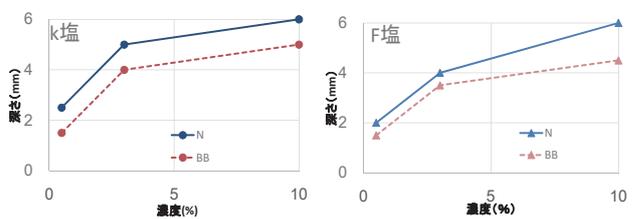


図-6 N と BB の k 塩, F 塩の生成深さ

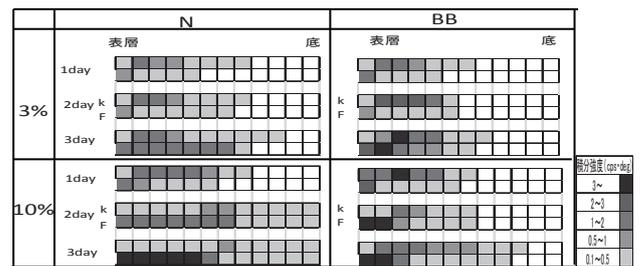


図-7 濃度, セメント種類の変化と固定塩分