

ひび割れを有するコンクリートの塩化物イオン実効拡散係数に関する実験的研究

埼玉大学 学生会員 ○周 シン
 埼玉大学 正会員 欒 堯
 東京大学 正会員 王 眺
 東京大学 Satya Medepalli
 東京大学 鄭 宇倩

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の塩害は、外部環境からの塩化物イオン浸透によって鉄筋の腐食が発生し、かぶりの剥離、剥落を引き起こし、構造物の損傷を及ぼす現象である。日本では、近年、塩化物イオンの浸透による鉄筋コンクリート構造物の腐食劣化問題が深刻化している。一方、コンクリートは引張に弱いひび割れの発生が多く、ひび割れが発生した場合、塩化物がひび割れを通してさらに浸透し、鉄筋の腐食を加速させる。従って、ひび割れを有するコンクリートの塩化物イオン拡散挙動の評価は、実構造物の塩害劣化予測に不可欠である。コンクリートの塩化物イオン拡散係数を求めるため、電気泳動法が多く用いられている。電気泳動法は、直流定電圧を印加することで塩化物イオンを移動させ、その移動速度より実効拡散係数を求めるものであり、浸漬法と比べ測定時間が大きく短縮できる。しかし、ひび割れが実効拡散係数に及び影響は、未だに明らかになっていない点が多い。本研究では、ひび割れ幅が0から0.6mmまでの範囲に着目し、普通ポルトランドセメント (OPC)、高い塩化物イオン浸透抵抗性をもたらす高炉スラグ微粉末 (BFS)、シリカフューム (SF) を用いコンクリート供試体をそれぞれ作製し、人工ひび割れを導入した上で、電気泳動法を用いて実効拡散係数の検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料と供試体の作製

コンクリートの配合について表-1に示している。結合材はOPC、およびBFS、SFをOPCと質量で20%置換したものを用いた。水粉体比は0.4とし、ワーカビリティを確保するため高性能減水剤の添加量を調整した。供試体について、直径100mm、高さ50mmの円柱を作製した。打設直後、幅50mm×厚0.1、0.2、0.4、0.6mmの銅板をそれぞれ用い、供試体の上面から差し込むことで1本の貫通ひび割れを供試体の真ん中に導入した(図-1)。終結後には銅板を供試体から引き抜き、供試体は打設から1日後に脱型した。十分に水和反応を進行させるため、供試体を温度40℃、95%RHの恒温恒湿槽に入れて10週間養生を行った。養生後、供試体の側面をエポキシ樹脂で封緘し、真空飽水処理を6時間行った。比較のため、ひび割れ無しの供試体も作製した。

表-1 配合表 (kg/m³)

供試体条件	水粉体比 (W/B)	水 (W)	結合材 (B)		細骨材 (S)	粗骨材 (G)	高性能減水剤 (B×%)
			セメント	混和材			
OPC		175	438	0	800	930	0.30%
BFS	0.4	175	350	88	762	930	0.40%
SF		175	350	88	780	930	0.50%

2.2 電気泳動試験

電気泳動試験は、図-2に示す通り、電気泳動装置を用い、陽極に水酸化ナトリウム水溶液0.3mol/L、陰

キーワード 電気泳動、塩化物イオン、ひび割れ、高炉スラグ、シリカフューム

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学理工学研究科 TEL: 048-8458-3565

極に塩化ナトリウム水溶液 0.5mol/L を注入し、陰極から陽極へ塩化物イオンを電氣的に移動させ供試体を通過させる。陽極側の溶液を定期的に 0.5-1.0ml 採取し、滴定法を用いて塩化物イオン濃度の経時変化を計測した。ひび割れを有する供試体は、陽極側の溶液を採取した際、両側の水位差が生じれば、水圧が塩化物イオンの移動に影響を及ぼす可能性が高い。それを避けるため、測定の際には陰極側の溶液から同じ程度の量を取り出した。濃度の経時変化が一定値に達したときを定常状態とし、その際の移動流速によって実効拡散係数を計算した。

3. 実験結果と考察

陽極側の塩化物イオン濃度変化は、ひび割れの影響により、定常状態に達する前に不安定になることがあったが、十分な時間が経過した後では、すべての供試体は定常状態になったことが確認できた。図-3 と図-4 は、ひび割れ無し、およびひび割れ幅が 0.4mm の供試体において、定常状態に達した後の塩化物イオンの経時変化を示している。また、各ひび割れ幅における実効拡散係数は図-5 に示している。その結果より、ひび割れが無い場合、OPC と比べ、BFS, SF の実効拡散係数が大幅に低下した傾向を示している。とくに、SF の場合、実効拡散係数は OPC のわずか 1/100 程度になっている。この結果は従来の研究と一致している。高炉スラグ微粉末を用いた場合、固定化塩分の増加、およびコンクリートの空隙構造の緻密化のため、塩化物イオンの拡散速度が大幅に遅くなった。シリカフェームを用いた場合、マイクロファイバー効果により空隙構造がさらに緻密化した。一方、ひび割れを有する場合、いずれの結合材においても、実効拡散係数がひび割れ幅の増加とともに著しく大きくなるのが明らかになった。また、ひび割れを有するコンクリートの実効拡散係数は、未だに OPC>BFS>SF の傾向を示しているが、互いの差が顕著に減少しており、コンクリート自体と比べて、ひび割れの影響が非常に大きいことが分かった。一方、ひび割れ幅が 0.2mm の場合、BFS の実効拡散係数は、SF より小さくなっていった。その原因については、今後再度検証する必要がある。



図-1. 人工ひび割れの様子

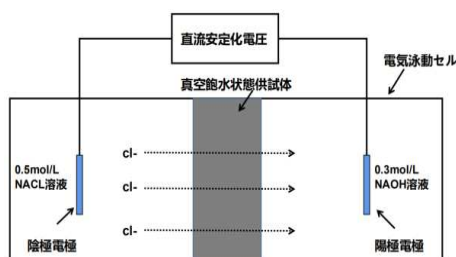


図-2. 電気泳動試験

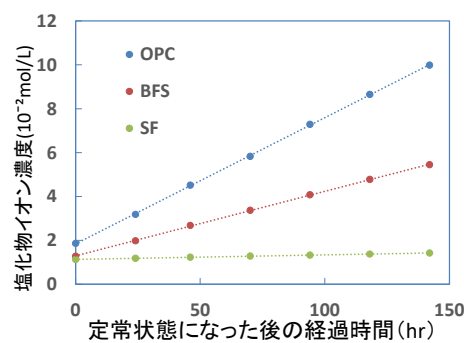


図-3. 塩化物イオン濃度の経時変化 (ひび割れ無し)

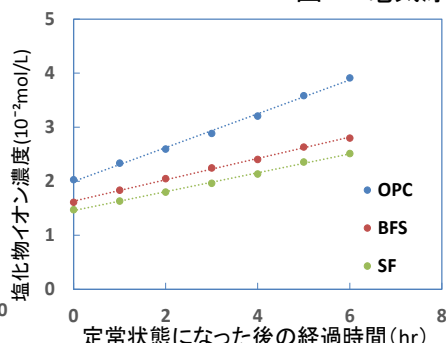


図-4. 塩化物イオン濃度の経時変化 (ひび割れ幅 0.4mm)

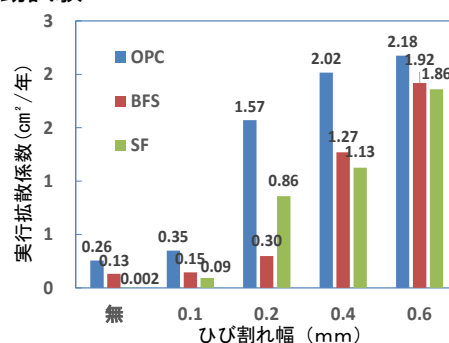


図-5. 実効拡散係数の測定結果

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート標準示方書 [規準編] 2018 年制定：電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法, JSCE-G 571-2013
- 2) A. Djerbi, S. Bonnet, A. Khelidj, and V. Baroghel-bouny: Influence of traversing crack on chloride diffusion into concrete, Cement and Concrete Research, 2008, Vol.38, pp.877-883.