空気の閉塞性や含水状態が塩化物イオン浸透性状に与える影響に関する研究

福岡大学 学生会員○金堀雄伍 福岡大学 正会員 櫨原弘貴 福岡大学 正会員 添田政司 福岡大学 学生会員 西島大貴 福岡大学 学生会員 三浦明

1. はじめに

フライアッシュは、塩化物イオンに対する抵抗性に優れ、長期的な耐久性が期待されている.しかし、実構造物の塩化物イオンの浸透は、停滞現象や拡散係数の経時的低下と言った長期的な浸透抑制が報告されている 1).2)が不明な点が多い.本研究は、実環境下におけるコンクリートの長期耐久性を把握することを目的とし、築 23 年のコンクリート構造物からコアを採取して塩化物イオンの浸透状況を調査した.この結果から、長期的な塩化物イオン浸透には、空気の閉塞性やコンクリートの含水率が影響するものと推察し、これらの条件を加味した供試体を用いて浸水試験を実施した.

2. 実験概要

本実験で調査対象としたコンクリート構造物は、**写真-1** に示す護岸コンクリートの飛沫滞および干満滞である. いずれの箇所もコンクリートに高炉セメントあるいはフライアッシュが使用されており建設 23 年目のものである. 高炉セメントを使用したコンクリート(以下, BB) は、水セメント比 65%のものであり、一方のフライアッシュコンクリート(以下, FA)は、水セメント比 45%(内割 30%置換)である. 測定項目として、全塩化物イオン量ならびに塩化物イオンの未浸透部のコアを用いた電気泳動試験、3%NaCl 溶液にて 91 日間の浸漬試験を行った. 次に、実験室内で作成したコンクリートには、普通セメントの内割として、フライアッシュを 20%置換した水セメント比 55%のものを用いた. また、細骨材には海砂、砕骨材に砕石を使用している. φ7.5×15cm の円柱コンクリートを作製後、いずれも供試体の側面をアルミテープで被覆し、所定のコンクリートの含水率を得るために、温度 40℃

をアルミテープで被覆し、所定のコングリートの含水率を得るために、温度 40℃での乾燥・気中静置・真空飽水処理を設けて含水率 0,76,100% とそれぞれ異なるものに調整した。なお、コンクリートの含水率は、以下の式(1)によって算出した。

 C_W (%) = (Wx-W0) / (W100-W0) ×100 · · · 式 (1)

※Cw: 含水率(%), Wx: 測定重量, W0: 絶乾時の重量, W100: 飽水の重量 塩水浸水試験は、図-1に示す方法で3%NaCl 水溶液に浸水高さ10mm および 65mm で浸水した. また、実構造物においては、部厚が厚いため、空気の閉塞性 が大きい. この条件を再現するために、未浸水部の供試体上面をアルミテープで 閉塞したものを設けた. 浸水期間は91, 182 日とし、JIS A 1154 に準じて浸水面 からの深さごとの全塩化物イオン量を測定した.

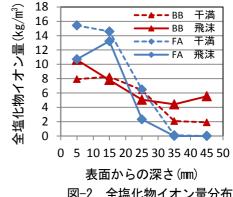
3. 結果および考察

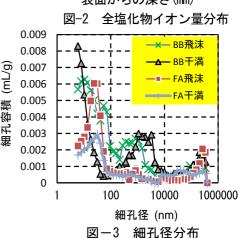
図-2 に実環境下におけるにおける各種コンクリートの全塩化物イオン量分布 を示す. いずれの環境においても FA は、深さ 3.5cm 以降への塩化物イオンの浸 た EA は認められなかったのに対し、BB では、FA に比べて内部への浸透が確認され た FA よりも水セメント比が 65% と高かったことが 1 つの要因と考えられるが、今回の FA に見られた様な、ある一定深さ以上からの高い塩分移動抵抗性は認められなかった。図-3 は、実環境下における各種コンクリートの細孔径分布を示す、曝露 23 年になると、FA は、100nm 以上の細孔空隙はほとんど確認されず、

FA 飛沫滞 □ 下満滞

写真-1 調査箇所 開放 閉塞 65[mm] NaCl [3%] **

図-1 塩水浸水試験の方法





キーワード 塩化物イオン、細孔空隙、フライアッシュ

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈八丁目 19-1 福岡大学 TEL092-871-6631

10~50nm 径が大きな割合を占めていることが分かる. これは, 経時的にポゾ ラン反応によって緻密化したものと考えられる. 例えば、ある一定以下の空隙 径には、壁面とイオンの電気的相互作用により CI-が侵入できないという可能 性が指摘されており³⁾, FA が高い塩化物イオン抵抗性を示した要因の1つと 考える. 一方の、BBは、200~1000nmと50nm以下の範囲の径でピーク

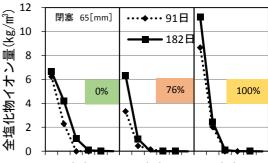
が確認されており、200~1000nm程度の空隙径の存在により塩化物イオ ンが浸透したものと考えられる.表-1には、実環境下での見かけの拡 散係数,電気泳動法により算出した実行拡散係数から見かけの拡散係数 への換算値および塩水浸漬試験から算出した見かけの拡散係数の値を 併せて示している. この結果, BB 飛沫滞を除くいずれもが, 促進試験 による測定値は、実環境における拡散係数よりも明らかに大きい. これ は、拡散係数の経時的な低下を示していると同時に、過度に安全側の評 価となっていることが分かる. さらに, 経時的な塩化物イオン拡散の低 下を明らかにするために行った実験として、図-4には、塩水浸水試験 における閉塞条件下での全塩化物イオン量分布を示す. 含水率0%にお

いては、浸水期間が長くなるに従って塩化物イオンが内部に浸透している.含水率 76%では、浸水期間に伴う塩化物イオン浸透が小さくなっている.これは、水分移 動に伴ってコンクリート内部の空気が閉塞され空気圧が大きくなったものと思わ れる. 含水率 100% になると、浸水期間による塩化物イオンに違いが見られず、空 隙に液状水が存在する場合でも塩化物イオンが拡散してないことが分かる. 図-5 には、水銀圧入法によって算出した細孔径分布を示している。図-3に示したFA の細孔径分布と比較すると、同様に 50nm 付近でピーク値を示しているが、100nm 以上の細孔径も多少は確認されている。ある一定以上の深さからは、

50~200nm 程度の空隙径でも電気的相互作用の影響により塩化物イオン が浸透しない可能性がある. 図-6 には、開放条件下での全塩化物イオ ン量分布を示す。閉塞条件下での結果とは異なり、含水率0%では、浸 水期間による塩化物イオンに違いが見られなかった. 今回の試験環境の 湿度は、60%程度であったことから含水率0%では、吸水面からの水分 移動以外にも、開放面からの吸湿により供試体内部に空気が閉塞された ことによるものと思われる. 一方の含水率 76%, 100%では、含水率が 高いもの程,浸水期間に伴うコンクリート内部への塩化物イオンの移動 が見られている. コンクリート内部よりも大気環境の方が乾燥している ため、開放面に向かう水分移動に伴って塩化物イオンが浸透したものと

表-1 実環境下における各種係数

	実環境	電気泳動(促進)	塩水浸漬(促進)
		実効⇒見かけ	見かけ
BB飛沫	2.11	0.71	2.27
BB干満	0.17	1.05	1.61
FA飛沫	0.03	0.28	1.01
FA干満	0.06	0.25	0.66



5 1525354555 5 1525354555 5 1525354555 表面からの深さ(mm)

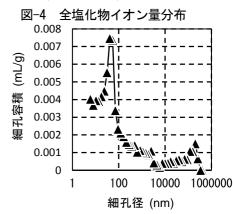


図-5 細孔径分布

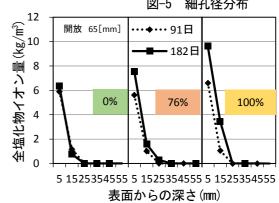


図-6 全塩化物イオン量分布

考えられる、以上のことから、塩化物イオンの浸透は、電気的作用や水分移動の影響以外にも、コンクリート内部の空 気圧が高まることによって抑制される可能性があることが分かった.

4. まとめ

1) 見かけの拡散係数は、経時的に低下することを確認した. 2) 塩化物イオンの浸透は、実環境と促進試験で大きく乖 離しており、促進試験では過度に安全側の評価となる可能性がある. 3) 含水率が高い場合でも電気的相互作用により 液状水間をイオン拡散しない可能性がある。4)内部空気の閉塞性が高まることで塩化物イオンの浸透を抑制する。

参考文献:1) 山路徹ほか:海洋暴露試験に基づくコンクリート中の塩化物イオン拡散性状の時間依存性に関する検討、コンクリー ト構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第14巻、2014.10 2) 高橋佑弥ほか: 実構造物中のフライアッシュコンクリー トへの塩分浸透性状と調査時材齢の影響に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.32, pp.803·808.2010 3) 中村兆治ほか: コンクリートへの塩化物イオン浸透停滞の機構に関するガラス製マイクロ/ナノ複合チップを用いた光学的実験による検討、コンクリ ート工学年次論文集, Vol.35, No.1, 2013