

23 年間海洋環境下に曝された各種コンクリートの塩化物イオン浸透特性に関する研究

○福岡大学 学生会員 平野 憲, 福岡大学 正会員 樋原 弘貴
福岡大学 正会員 添田 政司, 福岡大学 学生会員 松本 大幸

1. はじめに

コンクリート構造物を適切に維持し管理していくことが求められており、特に海洋環境下における構造物は塩害劣化によって早期の性能低下が懸念されている。既往の研究により、高炉やフライアッシュコンクリートは、塩化物イオンに対する抵抗性に優れるため長期的な耐久性が期待されている。しかしながら、実構造物の長期にわたる塩化物イオンに対する抵抗性については、検討された事例は少ないのが現状である。さらに実構造物では、塩化物イオンの停滞現象や拡散係数の経時的低下と言った事例も報告されている¹⁾。そこで本研究は、海洋環境下における各種コンクリートの長期耐久性を把握することを目的として、築 23 年の火力発電所におけるコンクリート構造物からコアを採取し、実構造物の塩化物イオンの浸透状況の測定ならびに各種促進試験にて比較検討したものである。

2. 実験概要

2.1 コンクリート構造物の概要

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、調査時の圧縮強度は、飛沫滞において 31.3N/mm^2 、干満滞で 28.9N/mm^2 あった。一方のフライアッシュコンクリート（以下、FA）は、45%（内割 30% 置換）であり、強度はそれぞれ飛沫滞において 39.6N/mm^2 、干満滞で 41.2N/mm^2 であった。

2.2 調査項目および実験方法

各種コンクリート構造物から $\phi 9\text{cm} \times 20\text{cm}$ のコンクリートコアをそれぞれ 6 本採取した。採取後は、JIS A 1154 に準拠して全塩化物イオンおよび可溶性塩化物イオン量の測定を行った。さらに、塩化物イオンが未浸透域のコア端部を $\phi 9\text{cm} \times 10\text{cm}$ にてコンクリートカッターで切りだし、促進試験による性能評価として JIS A 1154 に準じた塩水浸漬試験および透気試験、加えて $\phi 9\text{cm} \times 5\text{cm}$ を用いた電気泳動試験をそれぞれ実施した。また、水銀圧入法により塩分未浸透部のコンクリートの細孔空隙量の測定を行った。

3. 結果および考察

図-2 に干満滞および飛沫滞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、コンクリート表層部に 10kg/m^3 以上の塩化物イオンの浸透を示す結果となったが、深さ 3.5cm 以降においては、その浸透は認められず、暴露 23 年の期間を考慮すると今回の結果は塩化物イオンの停滞現象を示唆しているものと考えられる。一方の、BB においては、FA に比べてさらに内部にまで塩化物イオンが浸透している結果を示しており、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。

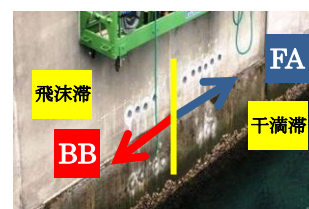


写真-1 構造物の測定箇所

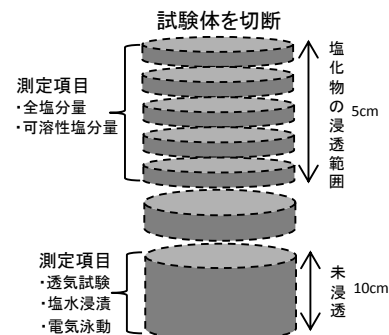


図-1 試験概要

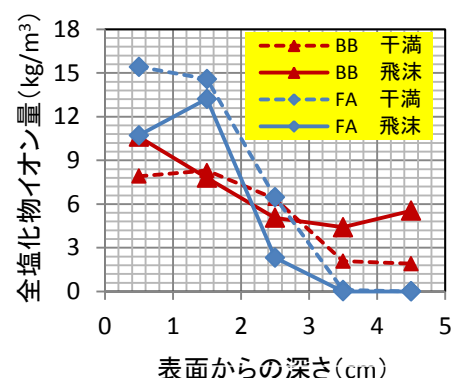


図-2 全塩化物イオン量分布図

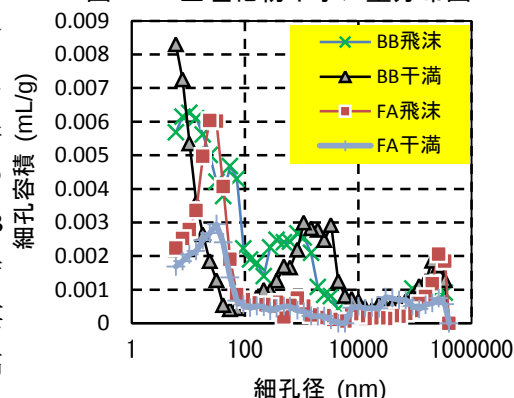


図-3 細孔径分布

図-3 は、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 コンクリートは、100nm 以上の細孔空隙はほとんど確認されず、10～50nm 径が大きな割合を占めていることが分かる。これは、経時的にポズラン反応によって緻密化したものと考えられる。例えば、10nm 以下の空隙には、壁面とイオンの電氣的相互作用により Cl⁻が侵入できないという可能性が指摘されており²⁾、FA が高い塩化物イオン抵抗性を示した要因の 1 つと考えられる。一方の、BB コンクリートは、200nm と 50nm 以下の範囲の径でピークが確認された。200nm 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。図-4 は、塩化物イオンが未浸透部の BB 試験体を用いて塩水浸漬試験を実施した場合の全塩化物イオン量分布を示す。いずれの曝露環境においても浸漬期間 100 日から 200 日にかけて塩化物イオンが増加している。図-5 は、FA による塩水浸漬試験の結果を示している。実環境下での塩化物イオンの浸透性を考慮すると、未浸透部のコンクリートへの塩化物イオンの浸透は、極めて高い抑制を示すものと予想されたが、BB の結果と同様に試験材齢に伴う塩化物イオンの浸透が確認されている。毛細管張力等の物理的要因によって未浸透部以降にも塩化物イオンが浸透することが分かった。ただし、浸漬期間に伴う塩化物イオン量の増加傾向は BB に比べると小さく、塩化物イオンの浸透範囲は 2.5cm までとなっている。今回のこれらの結果を踏まえると、塩化物イオンの浸透に伴うコンクリートの内部空気圧の増加と浸透圧が釣り合う箇所において液状水の浸入が停滞することで、塩化物イオンの移動も極めて制限されると推察するが、この点についての詳細な検討は今後の課題である。

図-6 は、電気泳動試験による実行拡散係数を示す。この結果、FA の実行拡散係数は、いずれの環境においても大差がなかったのに対し、BB においては、飛沫滞、干満滞の順で小さくなる結果を示した。図-4、5 に示した全塩化物イオン量分布と同様の結果が得られている。

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に換算した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、促進試験で求めた値の方が実環境での拡散係数を大きく上回っており過度に安全側の評価となっていることが分かる。実環境および促進試験で得られた値が大きく乖離する結果が得られた。

4. まとめ

(1) FA は、23 年供用構造物において深さ 3.5cm 以降にて塩化物イオンの停滞現象が示唆された。(2) 未浸透部のコンクリートへは塩化物イオンがほとんど浸透しないものと予想されたが、試験材齢に伴う塩化物イオンの浸透が確認された。(3) 表層での塩化物イオン量は BB、FA とともにあまり変わらないが、内部にいくにつれて FA のほうが塩化物イオンを抑制することが確認された。(4) 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。

参考文献

1) 佐川智也ほか：実構造物調査と採取コアを用いた室内浸漬実験による塩分浸透停滞現象に関する研究，土木学会関東支部技術研究発表会，Vol.38，No.282) 高橋佑弥ほか：低水セメント比領域に着目したコンクリート中の塩分浸透および液状水移動に関する熱力学連成解析の高度化，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.796-801.2012

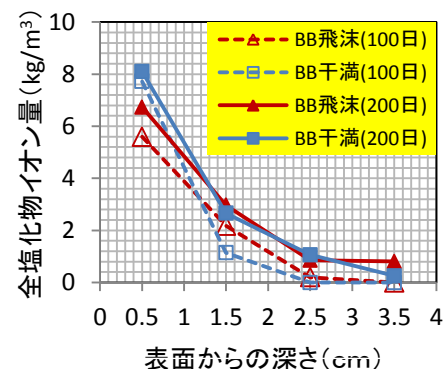


図-4 塩水浸漬全塩化物イオン量

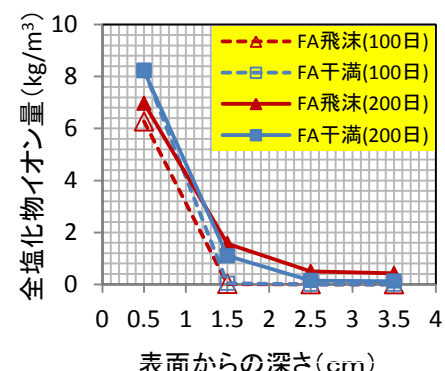


図-5 塩水浸漬全塩化物イオン量

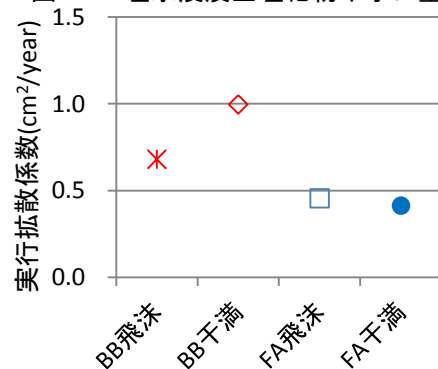


図-6 電気泳動による実効拡散係数

表-1 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