

栈橋上部工下部の空間的な位置の違いがコンクリート中への塩分浸透性状に及ぼす影響

東亜建設工業（株） 正会員 ○網野 貴彦
 東京工業大学大学院 フェロー会員 大即 信明
 東京工業大学大学院 正会員 斎藤 豪
 東京工業大学大学院 小崎 堯史
 東亜建設工業（株） 正会員 羽瀧 貴士

1. はじめに

栈橋上部工の構成部材は干満帯、飛沫帯、海上大気中など様々な環境に築造されるが、各環境で乾湿や塩化物イオン供給の程度が異なるため、同配合のコンクリートであっても、塩分浸透性状はそれぞれ異なることが考えられる。そこで本稿では、横須賀市にある栈橋上部工下において海水面からの距離や栈橋法線からの距離（奥行き）を変化させた位置にコンクリート試験体を約2年間曝露し、空間的な位置の違いが塩化物イオン（以下、Cl⁻）の浸透状況及びフリーデル氏塩（以下、F塩）の生成状況に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

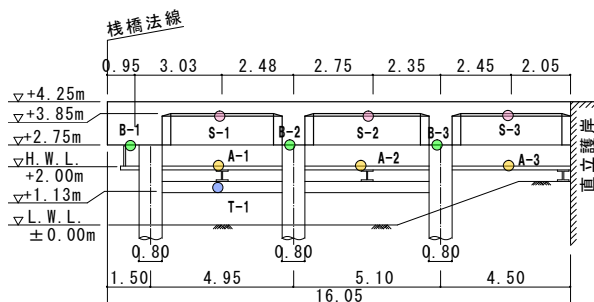
試験体は直径10cm、高さ10cmの円柱とし、曝露面以外の面を全てエポキシ樹脂により被覆した。また、使用セメントは高炉セメントB種（JIS R 5211に適合）で、表-1に示すコンクリート配合とした。各試験体の曝露位置を図-1に示すが、波は栈橋法線に対してほぼ直角に進入する条件である。また、本検討では各位置に設置した2個ずつの試験体を2年後に回収し、2個の結果を平均して後述の図-2～5に示した。なお、全Cl⁻濃度分布は、曝露面から深さ方向に10mm間隔にスライスしたコンクリート片を粉末状にし、JCI-SC4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法（案）」に準拠して求めた。F塩は、全Cl⁻濃度と同じ試料に内部標準物質として α -Al₂O₃を質量比で10%添加し、XRD内部標準法により分析した。検討に用いた回折ピークはF塩で $2\theta=11.3^\circ$ 、 α -Al₂O₃で $2\theta=52.5^\circ$ とした¹⁾。

表-1 コンクリート配合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
	W	C	S	G	Ad
55	164	294	788	1056	2.94

※高炉セメントB種（スラグ混入率40～45%）

※AE減水剤を使用



※図中の記号の頭文字Sは海上大気中を表し、空気中に含まれた塩化物イオンのみが飛来する環境（海水は直接作用せず、コンクリート表面は乾燥状態）

※図中の記号の頭文字Bは飛沫帯を表し、砕波により粒径の大きな海水が稀に飛沫する環境（一週間に数回程度）

※図中の記号の頭文字Aは干満帯上部を表し、ほぼH.W.L.に位置し、年間に数回、高潮などで海水に浸漬する環境（海水が飛沫する頻度が多い）

※図中の記号の頭文字Tは干満帯を表し、一日のうち半分の期間が海水に浸漬される環境

図-1 試験体の曝露位置

3. 各環境に曝露した試験体中の塩化物イオン浸透分布

図-2に、曝露環境ごとの深さ方向の全Cl⁻濃度分布を示す。

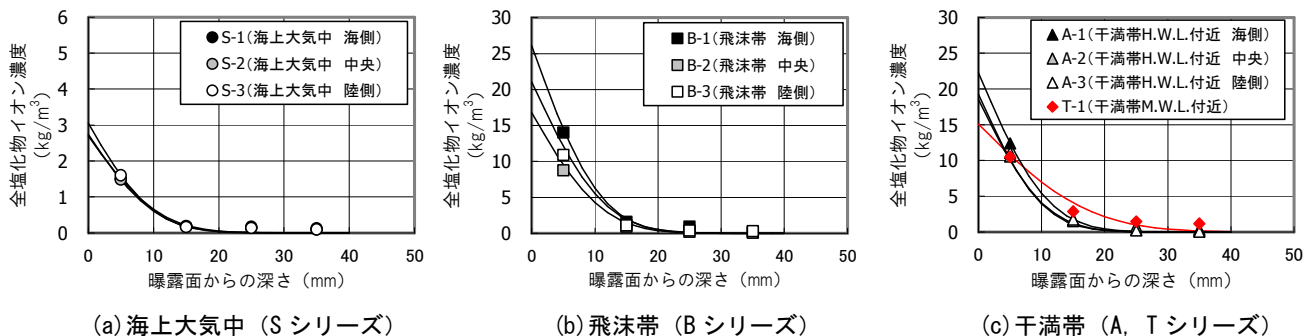


図-2 各試験体における深さ方向の塩化物イオン濃度分布

キーワード 干満帯、飛沫帯、海上大気中、表面塩化物イオン濃度、拡散係数、フリーデル氏塩

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1丁目3 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター TEL 045-503-3741

なお、図中には各結果に対してフィックの拡散方程式の解により近似した線も付記した。これによると、海上大気中では栈橋法線からの距離の違いによらず分布はほぼ同じであった。一方、飛沫帯では海側 (B-1)、陸側 (B-3)、中央 (B-2) の順で表層付近 (0~10mm) の全 Cl 濃度が大きく、干満帯の H.W.L. 付近では海側 (A-1) で表層付近の全 Cl 濃度が若干大きかったが、陸側 (A-2) と中央 (A-3) ではほぼ同じであった。それに対し、干満帯 M.W.L. 付近 (T-1) では表層付近の全 Cl 濃度は H.W.L. 付近の A-2, A-3 と同じであったが、深さ 10mm 以上において全 Cl 濃度が大きく、内部深くまで Cl が浸透していた。

4. 曝露環境や位置が表面 Cl 濃度や拡散係数に与える影響

図-3, 4に、表面 Cl 濃度 (以下, C_0)、Cl の見かけの拡散係数 (以下, D) と栈橋法線からの距離の関係を示す。図-3によれば、海上大気中の C_0 は他の環境の値より小さく、海水面からの距離による影響が見られるが、栈橋法線からの距離による影響は見られなかった。一方、飛沫帯及び干満帯 H.W.L. 付近では、海側 (B-1, A-1) 及び陸側 (B-3) にて C_0 が大きく、栈橋下に進入する波の砕波や背面護岸からの跳ね返り、海底地盤の形状の影響によって各部位への海水飛沫の程度が異なっている状況が伺える。また、図-4を見ると、海上大気中、飛沫帯、干満帯 H.W.L. 付近の D はほぼ同じであったが、干満帯 M.W.L. 付近 (T-1) のみ大きくなった。この理由として、海水の浸漬時間が長い T-1 ではコンクリート中の含水率は高い状態にあり、Cl が浸透しやすいが、他の環境におけるコンクリート中の含水率はそれより小さいため、内部まで Cl が拡散しにくく、表層付近に濃縮されたことが考えられる。

5. フリーデル氏塩の生成量と全塩化物イオン濃度の関係

表層 0~10cm における全 Cl 濃度と F 塩ピーク強度比の関係を図-5に示す。これによると、全 Cl 濃度の増加に伴い F 塩のピーク強度比も増加し、同程度の全 Cl 濃度で比較すると、干満帯 M.W.L. において F 塩が若干多く生成される傾向が見られた。文献 2) では、種々のイオンの相互作用によって生じる浸透と水和相からのイオンの溶出との関連性が示されている。本検討の結果からも、各環境における外部イオンの浸透程度の違いが F 塩の生成に影響している可能性が考えられる。

6. まとめ

本研究を通じて得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 飛沫帯及び干満帯 H.W.L. 付近では、着船側、護岸側の部位にて C_0 が大きくなった。これは、波の砕波や背面護岸からの跳ね返り、海底地盤の形状の影響が原因と考えられた。
- (2) M.W.L. 付近の干満帯にあるコンクリートでは、他の環境に比べて D が大きくなった。
- (3) 全 Cl 濃度の増加に応じて F 塩の生成量は増加し、各環境のイオンの浸透程度の違いがその生成に影響している状況が見られた。

謝辞

本研究の成果の一部は、(財) 港湾空港建設技術サービスセンター研究開発助成によるものである。

参考文献

- 1) 石田哲也ほか: ポルトランドセメント及び混和材を使用したモルタルの塩素固定化特性, 土木学会論文集, Vol.63 No.1, pp.14-26, 2007
- 2) 佐藤道生ほか: 海洋コンクリート構造物中を移動する各種イオンの挙動解析とモデル化の提案, コンクリート構造物の長期長性能照査支援モデルに関するシンポジウム, pp.293-300, 2004.10

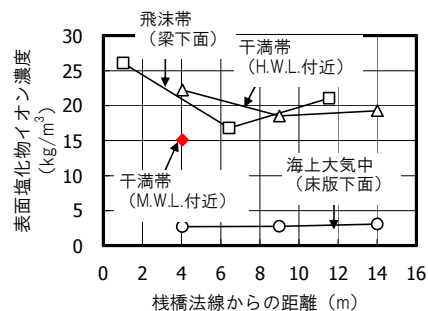


図-3 表面塩化物イオン濃度と栈橋法線からの距離の関係

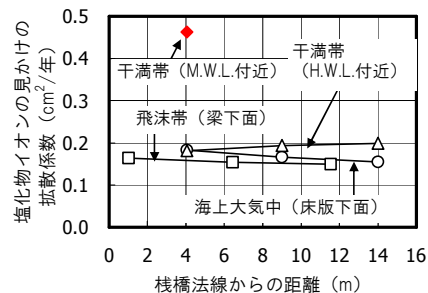


図-4 塩化物イオンの拡散係数と栈橋法線からの距離の関係

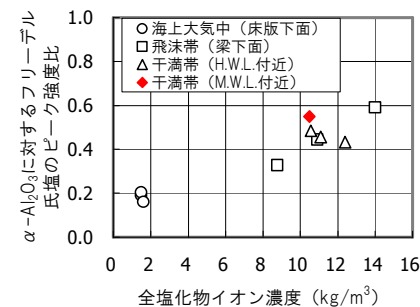


図-5 フリーデル氏塩の生成量と全塩化物イオン濃度の関係