

防せい剤を用いたコンクリートの海洋環境下における防食性の評価

株式会社大林組 正会員 片野 啓三郎
 株式会社大林組 フェロー 竹田 宣典
 独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 与那嶺 一秀
 独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 山路 徹

1. はじめに

鉄筋コンクリート用防せい剤 (JIS A 6205) は、コンクリート中の鉄筋が塩化物イオンによって腐食することを抑制するための混和材料であるが、海洋環境下で使用するコンクリート構造物に適用した場合の防せい効果は十分に明らかにされていない。本研究では、防せい剤を使用した鉄筋コンクリートを干満帯および飛沫帯を模擬した環境に長期間 (約 9.5 年間) 暴露し、その防食性能を評価した。

2. 試験概要

暴露試験に用いた試験体は、図-1 に示すような無筋の円柱型と鉄筋を入れた角柱型であり、角柱試験体は暴露面以外をエポキシ樹脂およびシリコンゴムで被覆した。鉄筋は公称直径 10mm の異形棒鋼

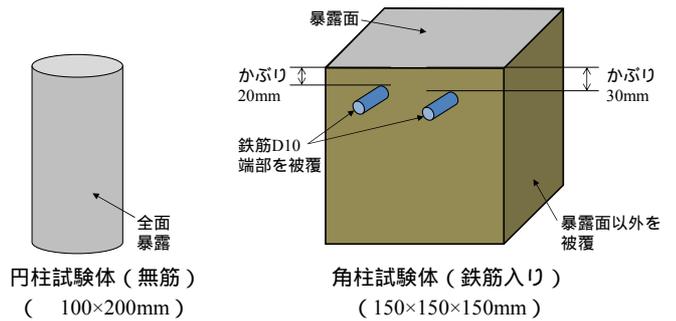


図-1 暴露試験体の概要

で、かぶりは 20 および 30mm とした。コンクリートは、高炉セメント B 種を使用し、防せい剤は亜硝酸カルシウムを主成分とするものを 0, 10 および 20L/m³ 混入した。コンクリートの配合を表-1 に示す。

表-1 コンクリートの配合

試験体 No.	暴露環境	水セメント比 W/C	防せい剤 (L/m ³)	単位量(kg/m ³)					
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤	AE 剤
B4000	S, T	0.40	0	172	430	658	1041	1.72	0.015
B4020	S, T		20						
B5500	S, T	0.55	0		313	764	1041	0.78	0.005
B5510	S, T		10						
B5520	S, T		20						

暴露環境 S: 飛沫, T: 干満

暴露環境は、飛沫帯を模擬した海水シャワー暴露場 (記号:S) および干満帯を模擬した海水循環水槽内 (記号:T) とした。両施設は連動しており、その干満および乾湿サイクルは図-2 の通りである。海水シャワー暴露場を写真-1 に示す。暴露期間は約 9.5 年間とした。

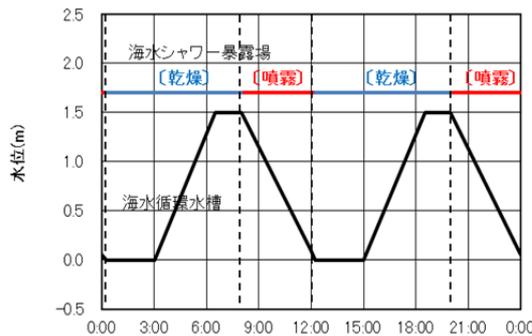


図-2 暴露場の干満および乾湿サイクル



写真-1 海水シャワー暴露場

試験項目および試験方法を表-2 に示す。塩化物イオン濃度は、試験体を暴露面から深さ 15 ~ 25, 25 ~ 35mm, 亜硝酸イオン濃度は 5 ~ 15, 15 ~ 25, 25 ~ 35, 35 ~ 45mm の部分を採取して測定した。

表-2 試験項目

試験項目	試験方法	備考
鉄筋の腐食状況	目視による	腐食範囲をスケッチし、腐食面積率を算出
圧縮強度	JIS A 1107 および JIS A 1108	角柱試験体コア(50mm) および円柱試験体
全塩化物イオン濃度	JCI-SC4 および JIS A 1152	チオシアン酸水銀()吸光光度法
可溶性亜硝酸イオン濃度	JCI-SC4 および JIS K 0102	ナフチルアミン吸光光度法

キーワード 防せい剤, 海洋構造物, 亜硝酸イオン, 塩化物イオン

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所生産技術研究部 TEL 042-495-1012

3. 鉄筋の腐食状況

試験体内部の鉄筋を取り出し、腐食状況を観察した結果、W/C=0.55 で防せい剤を混入しないコンクリートを干満帯に暴露した試験体 B5500-T (かぶり 20mm) のみで、表面の一部に写真-2 に示すような腐食が確認された。他の試験体には腐食は確認されなかった。



写真-2 腐食状況 (B5500 干満帯(T)かぶり 20mm)

4. コンクリートの試験結果

コンクリートの圧縮強度試験結果と鉄筋位置における塩化物イオン濃度および亜硝酸イオン濃度の測定結果を表-3 に示す。圧縮強度は、W/C=0.40 で 67 ~ 83N/mm²、W/C=0.55 で 56 ~ 61N/mm² であり、防せい剤の混入量および暴露環境による明確な相違は確認できなかった。

表-3 鉄筋位置における塩化物イオンおよび亜硝酸イオン濃度

試験体 No.	暴露環境	かぶり (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)		鉄筋腐食面積率 (%)	鉄筋位置の全塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	鉄筋位置の可溶性亜硝酸イオン濃度 (mol/m ³)	鉄筋位置の [NO ₂ ⁻]/[Cl ⁻]
			円柱	角柱				
B4000	飛沫 (S)	20	83.2	66.8	腐食なし	0.44	—	—
		30			腐食なし	0.28	—	—
B4020	飛沫 (S)	20	—	81.4	腐食なし	0.32	60.0	6.66
		30			腐食なし	0.18	55.0	10.85
B5500	飛沫 (S)	20	—	—	腐食なし	1.72	—	—
		30			腐食なし	0.09	—	—
	干満 (T)	20	—	60.2	1.37	3.11	—	—
		30			腐食なし	0.25	—	—
B5510	飛沫 (S)	20	—	60.6	腐食なし	2.45	30.9	0.45
		30			腐食なし	0.18	33.9	6.69
	干満 (T)	20	—	61.1	腐食なし	4.25	32.0	0.27
		30			腐食なし	0.50	54.8	3.89
B5520	飛沫 (S)	20	59.4	—	腐食なし	1.53	64.8	1.50
		30			腐食なし	0.14	99.6	25.25
	干満 (T)	20	—	56.0	腐食なし	2.40	84.6	1.25
		30			腐食なし	0.23	94.6	14.60

鉄筋の腐食が確認されたB5500-Tの表面からの距離20mmの位置における塩化物イオン濃度は3.11kg/m³であり、コンクリート標準示方書[設計編]における腐食発生限界濃度 (高炉セメントB種、W/C=0.55の場合：1.67kg/m³) を上回っていた。一方、防せい剤を10L/m³混入したB5510-Tの表面からの距離20mmの位置における塩化物イオン濃度は4.25 kg/m³であり、前述の値をさらに上回っていたが、鉄筋の腐食は確認されなかった。防せい剤による防せい効果はモル比 [NO₂⁻]/[Cl⁻] に依存するといわれており¹⁾、このときの亜硝酸イオン濃度は32.0 mol/m³、[NO₂⁻]/[Cl⁻]は0.27であった。

コンクリート中の亜硝酸イオン濃度分布を図-3 に示す。いずれの試験体においても、約 9.5 年間の暴露で海水に接触する表面付近において亜硝酸イオン量が減少していた。長期の暴露によって表面付近の亜硝酸イオンが溶出したと考えられる。

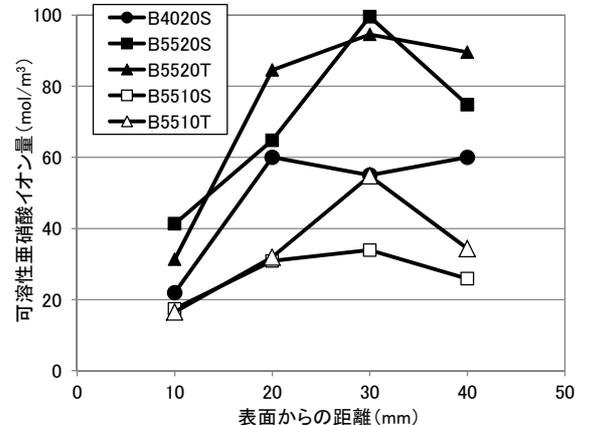


図-3 可溶性亜硝酸イオン濃度分布

5. まとめ

海洋環境での暴露試験の結果、高炉セメントを使用した W/C=0.55 のコンクリートは、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が 3.11kg/m³ のときに鉄筋の腐食が確認された。一方で、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が 4.25kg/m³ であっても、防せい剤を混入し、[NO₂⁻]/[Cl⁻]が 0.27 程度の場合に鉄筋の腐食が確認されなかった。ただし、コンクリート中の塩化物イオン濃度が長期の暴露によって増加していくのに対し、コンクリート製造時に混入した亜硝酸イオンは暴露によって溶出し、その結果表面付近の亜硝酸イオンが減少することも確認された。したがって、特にかぶりの小さい構造物では、防せい剤を使用したとしても鉄筋の腐食を防止できない可能性があるため、コンクリート中の亜硝酸イオンの溶出について考慮する必要がある。

参考文献

1) たとえば、川島徹，山路徹，濱田秀則ほか：防錆剤を用いたコンクリート中の鉄筋の防錆効果に及ぼすセメント種類の影響，土木学会年次学術講演概要集，第 59 巻 5 号，pp.523-524，2004.9