

海洋環境下に長期暴露された各種セメントを用いたコンクリートの鉄筋腐食抵抗性

(社)セメント協会 ○正会員 島崎 泰
 (独)港湾空港技術研究所 正会員 審良善和
 電気化学工業(株) 非会員 上村 豊
 新日鐵高炉セメント(株) 非会員 大塚勇介

1. はじめに

各種セメントを用いたコンクリートに鉄筋を配置して海洋環境下に10年間暴露した。暴露材齢5年および10年におけるコンクリートに配置した鉄筋の発錆ならびに鉄筋の腐食発生限界塩化物イオン濃度について報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

本実験は合計10種類の各種セメントを用いた。これらセメントの種類を表-1に示す。その他の材料は、静岡県菊川市産の陸砂、東京都青梅市産の砕石(2005)および標準型AE減水剤を使用した。コンクリートの配合は水セメント比がポルトランドセメント系では40%、50%、60%とし、混合セメント系では50%とした。いずれも目標スランプを8cm、目標空気量を4.5%とした。

表-1 セメントの種類

種類	記号	成分・構成等
普通ポルトランドセメント	NC	
中庸熱ポルトランドセメント	MC	C ₂ S=34%
低熱ポルトランドセメント	LC	C ₂ S=54%
NCベースBFS混合セメント	NBB	NC:BFS=5:5
MCベースBFS混合セメント	MBB	MC:BFS=5:5
LCベースBFS混合セメント	LBB	LC:BFS=5:5
NCベースFAⅡ種混合セメント	FC	NC:FAⅡ=7:3
NCベースFAⅢ種混合セメント	FCN	NC:FAⅢ=7:3
NCベースLS混合セメント	LP	NC:LS=7:3
NCベースFA混合高炉セメント	NBF	NC:BFS:FA=2.5:5:2.5

BFS:高炉スラグ微粉末, FA:フライアッシュ, LS:石灰石微粉末

2.2 養生および暴露条件

供試体は、暴露前養生期間として材齢28日および91日まで封かん養生し、3箇所の暴露条件に10年間暴露した。暴露条件を表-2に示す。

表-2 暴露条件

場所	環境	略称
山形県酒田市	港内海中設置の架台上	感潮 酒田感潮
神奈川県	海水循環槽内(干満差1.5m)	感潮 久里浜感潮
横須賀市	海岸線から10mの地点	海浜 久里浜海浜

2.3 供試体の形状および鉄筋の配筋

供試体の形状および鉄筋の配筋を図-1に示す。供試体の形状はφ15×30cmの円柱とし、鉄筋をかぶり5cmおよび7cmの2箇所に配置した。測定時に鉄筋が露出する方向に割裂し、鉄筋をはつり出して各種試験を実施した。

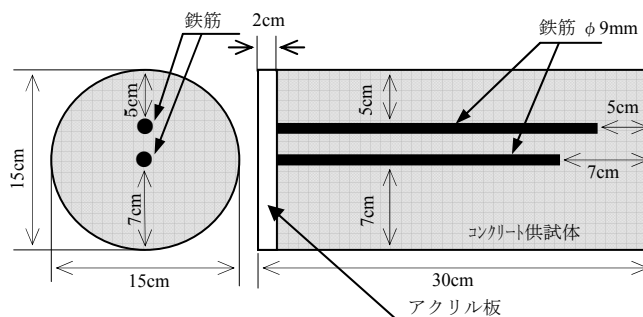


図-1 供試体の形状および鉄筋の配筋

2.2 試験項目および試験方法

試験項目は、鉄筋の発錆試験として発錆面積率、質量減少率、孔食深さを、コンクリート試験として塩化物イオン濃度を測定した。試験方法を表-3に示す。

表-3 試験方法

対象	試験項目	試験方法
鉄筋	発錆面積率	鉄筋に透明な粘着テープを巻付け後、油性インクで発錆と非発錆部分を区分し、画像解析して算出した。
	質量減少率	一定の酸性溶液を約35℃で約24時間流水循環中に浸せき処理。処理後、錆および黒皮を除去し、処理前後の質量差から算出した ¹⁾ 。
	孔食深さ	質量減少率の試験直後にマイクロメータで最大孔食深さを測定した。
コンクリート	塩化物イオン濃度	コンクリート表面から5~15、20~30、35~45、50mm以上の部分で試料を採取し、JIS A 1154の電位差滴定法で測定。その結果から見掛けの拡散係数および表面塩化物イオン濃度を算出した。

3. 試験結果

(1) 鉄筋の発錆状況

久里浜感潮および久里浜海浜の暴露条件ならびに水セメント比50%、暴露前養生期間28日を対象としてかぶり5cmの発錆面積率と質量減少率を、かぶり5cmと7cmの最大孔食深さを図-2に示す。

図-2より、暴露期間では、暴露材齢28日から5年までに比べて暴露材齢5年から10年までの方が鉄筋キーワード：海洋暴露、材齢10年、発錆面積率、質量減少率、孔食深さ、腐食発生限界塩化物イオン濃度
 連絡先：東京都北区豊島4-17-33 TEL(03)3914-2695 FAX(03)3914-2690

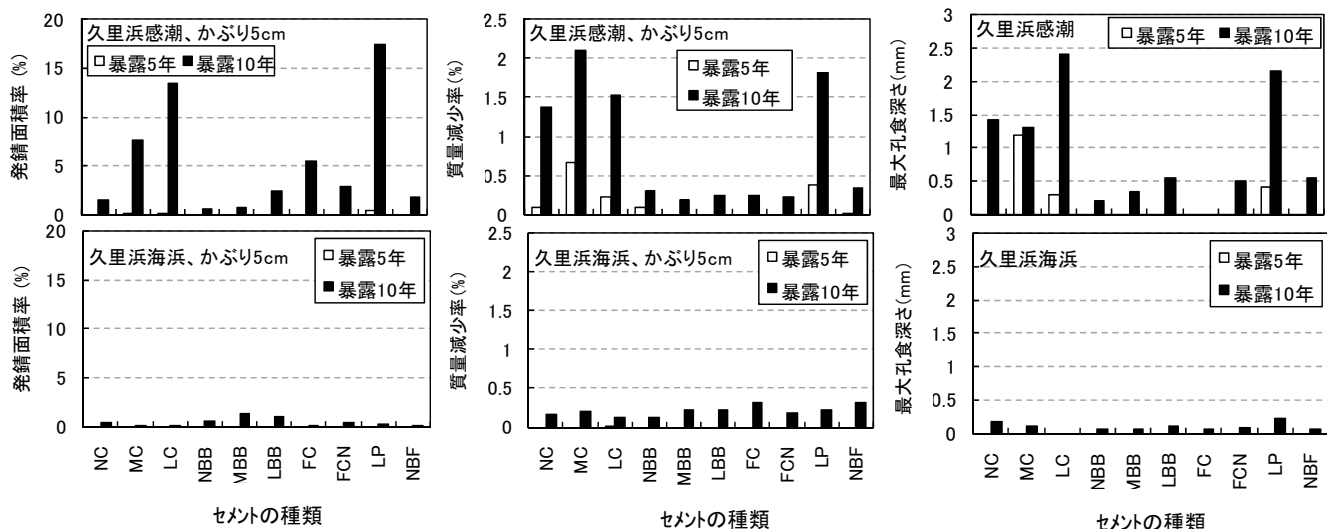


図-2 発錆面積率、質量減少率および最大孔食深さの試験結果

の腐食が大きく進行し、暴露条件では、久里浜海浜に比べて久里浜感潮の方が鉄筋の腐食が大きく、暴露期間や暴露条件で腐食の程度が異なることがわかる。

セメントの種類では、久里浜海浜で大きな違いが認められなかったが、久里浜感潮でポルトランドセメント系に比べて混合セメント系の方が鉄筋の腐食に対する抵抗性が高いことが確認された。

(2) 腐食発生限界塩化物イオン濃度

酒田感潮および久里浜感潮の暴露条件を対象として塩化物イオン濃度の試験結果から鉄筋位置（かぶり 5cm および 7cm）の塩化物イオン濃度と鉄筋の発錆面積率の関係を図-3 に示す。

図-3 より、ポルトランドセメント系は、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が 2～3kg/m³ 程度から腐食が進行した。混合セメント系は、一部、塩化物イオン濃度が 0.5kg/m³ 程度から腐食の発生が見られるが、4kg/m³ 程度までは発錆面積が僅かであり、腐食が急激に進行することはなかった。混合セメント系での顕著な腐食の進行は、塩化物イオン濃度が 3～4kg/m³ 程度からと推察される。

4. まとめ

本研究の範囲での結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 暴露材齢5年から10年にかけて鉄筋の腐食が大きく進行し、久里浜感潮の暴露条件で腐食が大きかった。ポルトランドセメント系よりも混合セメント系の方が腐食に対する抵抗性が高かった。
- (2) 鉄筋の発錆面積率から推察される鉄筋の腐食発生限界塩化物イオン濃度は、ポルトランドセメント系で 2～3kg/m³ 程度であり、混合セメント系で 0.5kg/m³ 程度であったが、3～4kg/m³ 程度までは顕著な鉄筋の腐食の進行は認められなかった。

謝 辞

本成果は、(社)セメント協会と(独)港湾空港技術研究所との共同研究として1998年度に開始したもので2009年3月に(社)セメント協会刊行のコンクリート専門委員会報告F-56「各種低発熱セメントを用いたコンクリートの海洋環境下での鉄筋の腐食に関する研究」として取り纏めた一部である。関係各位のご協力に深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) セメント協会：コンクリート専門委員会報告F-49,海砂の塩化物イオン含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究,1999.3

×5年-5cm ×5年-7cm ●10年-5cm ○10年-7cm

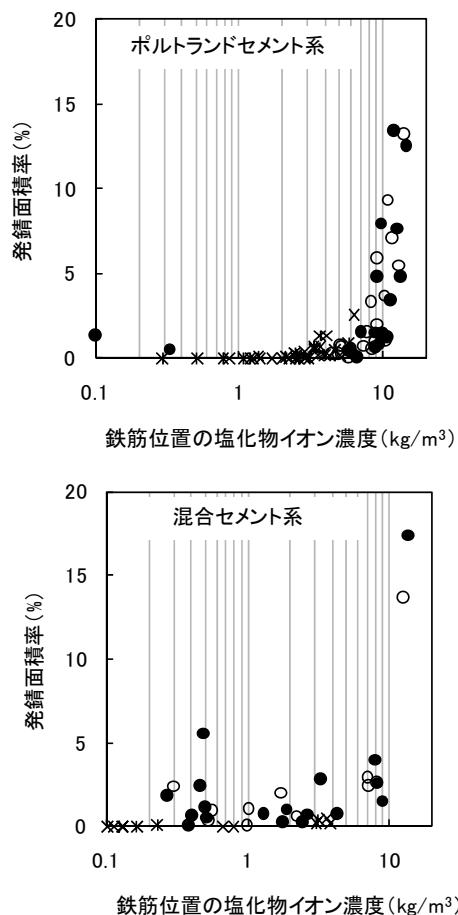


図-3 鉄筋位置の塩化物イオン濃度と鉄筋の発錆面積率の関係