

海洋環境下に長期間暴露した各種セメントを用いたコンクリートの 中性化深さおよび塩化物イオン濃度

(社)セメント協会 ○正会員 泉尾英文
(独)港湾空港技術研究所 正会員 審良善和
住友大阪セメント(株) 非会員 森川卓子
宇部興産(株) 非会員 桐山宏和

1. はじめに

各種セメントを用いたコンクリートを海洋環境下に10年間暴露し、材齢5年と10年に各種調査および試験を行った。ここでは、中性化深さおよび塩化物イオン濃度の試験結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

材料は、表-1に示す10種のセメント、硬質砂岩砕石および陸砂の骨材、AE減水剤とAE剤を使用した。配合は、水結合材比を50%とし、目標スランプを8.0±1.5cm、目標空気量を4.5±0.5%とした。また、ポルトランドセメント系では水セメント比40%と60%を追加した。なお、スランプ調整は単位水量で行った。

2.2 養生および暴露条件

供試体は、φ15×30cmの形状とし、材齢28日まで封緘養生した後に各暴露場所に暴露した。暴露場所は、干満帯の酒田感潮(酒田港内)および久里浜感潮(干満差1.5m、自然海水浸漬4時間と屋外乾燥8時間の乾湿繰返し)、海上大気中の久里浜海浜(海岸線から10mの地点)、東京屋外の計4箇所とした。

2.2 試験項目

中性化深さはJIS A 1152に準拠して測定し、塩化物イオン濃度はJIS A 1154に準拠して測定した。表面塩化物イオン濃度および見掛けの拡散係数は、表面から深さ方向に4点の測定値を拡散方程式へ回帰させ算出した。また、表層から5~15mm付近について水銀圧入法による細孔量測定とX線回折試験も行った。

3. 試験結果

(1) 中性化深さ

中性化深さは、図-1に示すように混合セメント系がポルトランドセメント系より大きかった。これは、混和材の置換によりCa(OH)₂の生成量や消費量に違いが生じた為と考えられる。また、中性化の進行程度は、図-2に示すように材齢10年の中性化速度係数の方が大きい傾向にあり、その傾向は高炉スラグ微粉

表-1 セメントの種類

種類		記号	成分・構成等
ポルトランドセメント系	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%
混合セメント系	二成分	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	
三成分	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

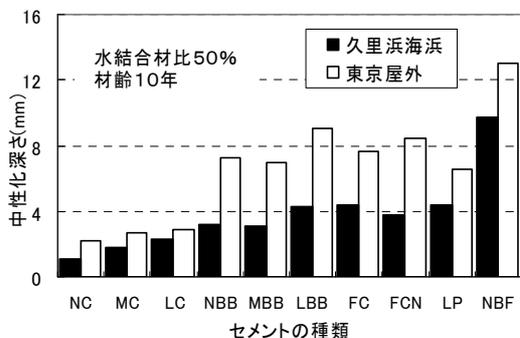


図-1 セメントの種類と中性化深さの関係

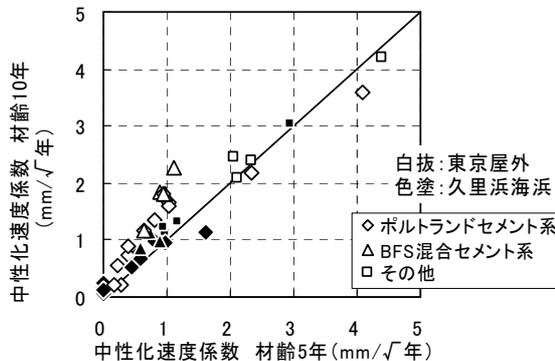


図-2 材齢5年と10年の中性化速度係数の関係

キーワード：海洋暴露、材齢10年、中性化深さ、塩化物イオン濃度、総細孔量、X線回折

連絡先：東京都北区豊島 4-17-33 TEL(03)3914-2695 FAX(03)3914-2690

末を混合したセメントで顕著となった。暴露場所で比較すると、久里浜海浜より東京屋外の中性化深さが大きかった。これは、乾燥の程度や飛来塩分による影響によるものと考えられる。

(2) 感塩部での塩化物イオン濃度

感潮部での見掛けの拡散係数は、図-3 に示すように LP を除く混合セメント系がポルトランドセメント系より小さく、塩化物イオンの浸透に対する抑制効果が認められた。これは、図-4 の見掛けの拡散係数と総細孔量の相関が示すように、細孔構造の違いが塩化物イオンの浸透性に影響していると考えられる。暴露場所で比較すると、久里浜感潮と酒田感潮で見掛けの拡散係数は同等であったが、表面塩化物イオン濃度は図-5 に示すように久里浜感潮の方が大きい傾向にあった。これは、気象条件やコンクリート表面への付着物などが影響していると考えられる。また、図-6 に示すように、塩化物イオン濃度が増加するとフリーデル氏塩の X 線ピーク強度も増加する傾向にあった。同じ塩化物イオン濃度に対するフリーデル氏塩の量は、混合セメント系の方がポルトランドセメント系に比べ少ない事から、混合セメント系ではフリーデル氏塩以外の鉱物に固定、または吸着されている塩素が多い可能性がある。

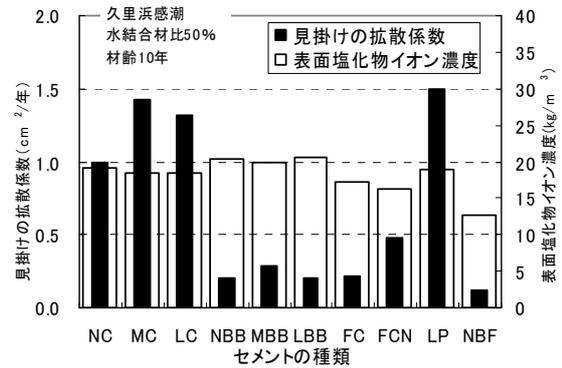


図-3 見掛けの拡散係数および表面塩化物イオン濃度

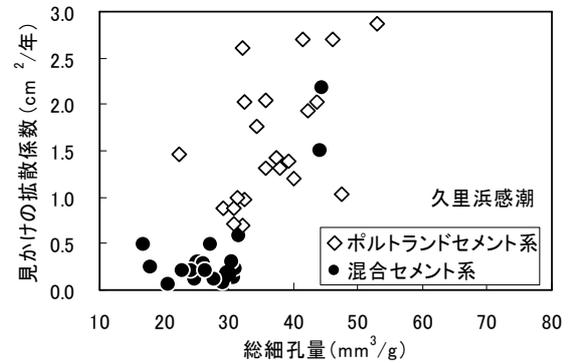


図-4 見掛けの拡散係数と総細孔量との関係

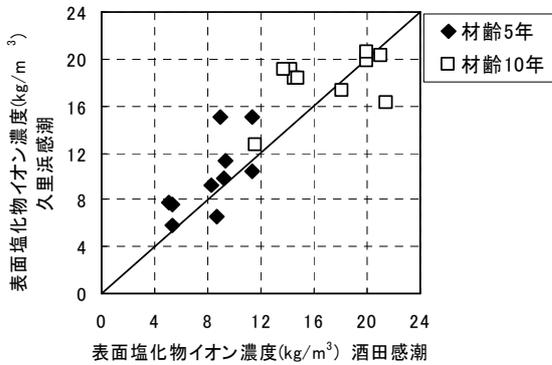
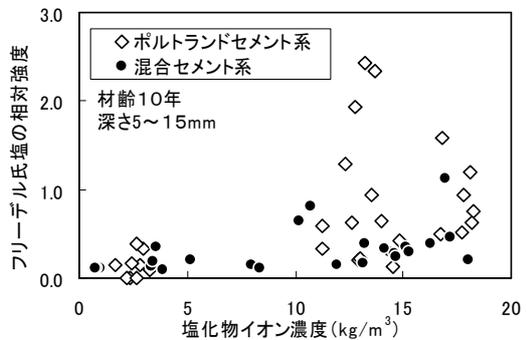


図-5 暴露環境による表面塩化物イオン濃度の違い

図-6 フリーデル氏塩の相対強度と塩化物イオン濃度の関係



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。

- 中性化に対する抵抗性はポルトランドセメント系の方が高い傾向にあり、塩化物イオンの浸透に対する抵抗性は LP を除く混合セメント系の方が高い傾向にあった。
- 材齢 10 年の中性化速度係数は、材齢 5 年に比べ若干大きくなる傾向にあった。
- 塩化物イオンの見掛けの拡散係数と総細孔量に相関が認められた。
- 塩化物イオン濃度の増加に伴いフリーデル氏塩の生成量も多くなっていったが、混合セメント系ではポルトランドセメント系に比べ、フリーデル氏塩の生成量は相対的に少ない傾向がみられた。

謝 辞

本成果は、(独)港湾空港技術研究所と(社)セメント協会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。