

長期暴露実験による中流動コンクリートの塩分浸透抵抗性および鋼材腐食抵抗性に関する検討

東亜建設工業 正会員 〇村松 道雄 東洋建設 フェロー 佐野 清史

五洋建設 フェロー 内藤 英晴 港湾空港技術研究所 正会員 山路 徹

早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. はじめに

本稿では、主にフルサンドイッチ構造沈埋函に使用されている中流動コンクリートのオープンサンドイッチ構造沈埋函や高密度配筋を有する港湾 RC 構造物などへの適用を考慮して、コンクリート供試体を海洋環境下に 10 年間暴露し、塩化物イオン浸透および鋼材腐食に対する抵抗性について検討した結果を示す。

2. 実験内容

コンクリートの使用材料を表-1 に、配合を表-2 に示す。セメントは高炉セメント B 種を用い、水セメント比 40%，目標スランプフロー50cm とした。実験に使用した供試体は、材齢 50 日まで湿布養生を行った後、海水循環水槽（神奈川県久里浜）の海中部に 10 年間暴露した。暴露開始時（初期値）、暴露 1.5 年後、暴露 10 年後の各時点において、各種実験を実施した。実験内容を以下に示す。

塩化物イオン浸透量はφ150×300mm の円柱供試体を使用して側面から 5～15，45～55，65～75mm の各深さから試料を採取し、電位差滴定法により測定した。また、EPMA 法による Cl 元素の質量濃度分布はφ150×300mm の円柱供試体を使用して表面から深さ 80mm×幅 40mm を試験片とし、JSCE-G 574 に準じて測定した。急速塩化物イオン浸透試験はφ100×200mm の円柱供試体を使用して、AASHTO T-277 に準じて通電 6 時間後の積算電気量を求めた。中性化深さは、JIS A 1152 に準じて求めた。

電気化学的測定に供した角柱供試体（150×150×530mm）には、両側面からかぶり 30mm と 50mm の位置にφ9mm の丸鋼を各 1 本埋設した。自然電位の測定には照合電極に銀塩化銀電極を用い、腐食速度（分極抵抗から算出）およびコンクリート抵抗の測定は二重対極センサを用いた交流インピーダンス法により行った。鋼材の腐食状況調査は、暴露 10 年後に角柱供試体を解体して丸鋼を取り出し、腐食状況を目視により確認した。

3. 実験結果および考察

暴露 10 年後におけるコンクリート中の全塩化物イオンの濃度分布を図

-1 に示す。図中には全塩化物イオンの濃度分布を Fick の拡散方程式の解で近似して、表面塩化物イオン濃度（ C_0 ）と見かけの拡散係数（ D ）を求めた結果を合わせて示した。また、EPMA を用いて測定した Cl の質量濃度をコンクリート 1m³あたりの質量に換算した分布を示す。EPMA により求められた C_0 と D は、電位差滴定法による測定結果から求めた値と同様な値を示した。ここで、中性化深さは平均で 0.4mm と小さかったが、これは海中暴露のため常に湿潤状態であったことによると考えられる。

鋼材の自然電位、腐食速度の経時変化およびコンクリート抵抗の経時変化を図-2 に示す。自然電位は、海中では溶存酸素が少な

表-1 使用材料

材料名	種類・仕様
セメント (C)	高炉セメント B 種 密度 3.04g/cm ³ ，比表面積 4,000cm ² /g
粗骨材 (G)	碎石 (2005)；土磯産 密度 2.70g/cm ³ ，吸水率 0.43%，粗粒率 6.72%
細骨材 (S)	海砂；君津産 密度 2.59g/cm ³ ，吸水率 1.75%，粗粒率 2.57%
高性能 AE 減水剤 (SP)	ポリカルボン酸系
空気量調整剤 (AE)	変性アルキルカルボン酸化合物系 陰イオン界面活性剤

表-2 コンクリート配合

目 標 スランプフロー (cm)	目 標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
				W	C	S	G	SP	AE
50	4.5	40	47.5	170	425	794	915	5.3	0.013

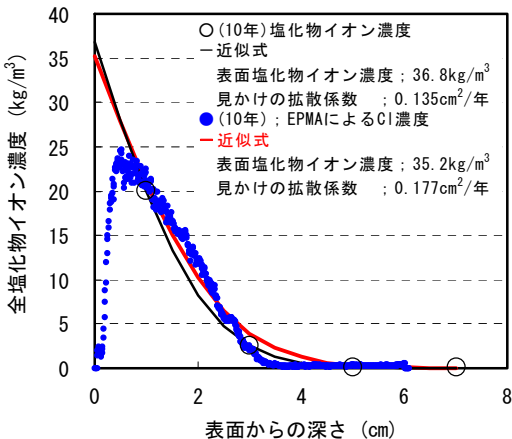


図-1 塩化物イオン浸透試験結果

いことから暴露後-500～-600mVと卑な値を示したが、暴露10年後には-300mV程度まで貴化した。腐食速度は $0.1\sim0.05\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 程度であり、暴露10年後も腐食は進行していないと評価された。また、コンクリート抵抗は暴露時間の経過とともに増加する傾向を示した。いずれも、かぶりの違いによる影響は小さかった。

急速塩化物イオン浸透試験で得られた積算電気量、塩化物イオンの見かけの拡散係数および表面塩化物イオン濃度の経時変化を図-3に示す。

暴露期間が長いほど積算電気量および見かけの拡散係数は小さくなる傾向が見られた。コンクリート標準示方書による塩化物イオン拡散係数の推定式によると、高炉セメントを用いた $W/C=40\%$ の時の見かけの拡散係数は $0.30\text{cm}^2/\text{年}$ となるが、本研究で得られた拡散係数はこの値に比較して1.5年経過時は大きく、10年経過時は小さくなる傾向を示した。また、表面塩化物イオン濃度は暴露1.5年後から10年後にかけて増加した。

コンクリート抵抗と積算電気量および塩化物イオンの見かけの拡散係数との関係を図-4に示す。コンクリート抵抗の増加とともに積算電気量および見かけの拡散係数は減少する傾向にあり、これらの値には高い相関関係があると考えられた。これらより、10年間の海中暴露を通してコンクリートの緻密化が継続的に進行していることが確認できた。なお、コンクリート抵抗の測定深さ（丸鋼のかぶり）の違いによる影響は小さかった。

角柱供試体内の鋼材（丸鋼）の腐食状況を確認した。解体時の丸鋼の腐食状況を写真-1に示す。この結果、暴露10年後の時点でかぶり30mmの位置には約 $2.55\text{kg}/\text{m}^3$ の塩化物イオン濃度が確認されたが、鋼材に腐食は見られなかった。これは、海中において酸素の供給が少なかったことやコンクリートが緻密であったためと考えられる。

4. まとめ

中流動コンクリートについて海中での10年間の長期暴露実験を行った結果、暴露開始から10年後に至るまで、塩化物イオン浸透抵抗性の向上（見かけの拡散係数の低下、積算電気量の低下）およびコンクリート抵抗の増加が認められ、コンクリートの緻密度が長期的に増進していたことが確認された。

参考文献

- 1) 竹田宣典, 十河茂幸, 追田恵三, 出光 隆: 種々の海洋環境条件におけるコンクリートの塩分浸透と鉄筋腐食に関する実験的研究, 土木学会論文集, Vol. 599/V-40, pp. 91-104, 1998. 8

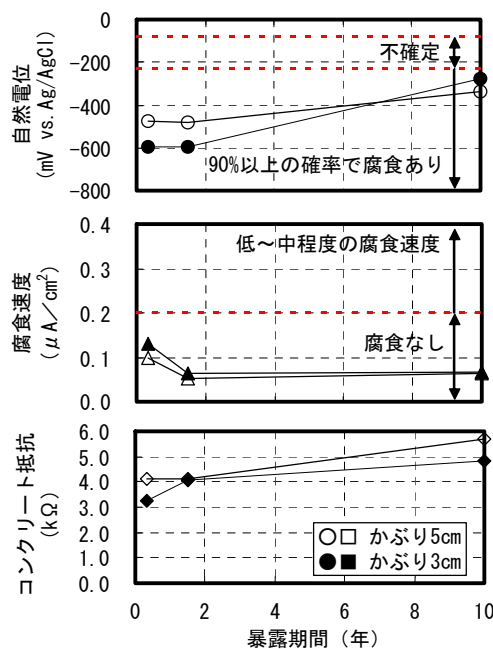


図-2 電気化学的測定結果の経時変化

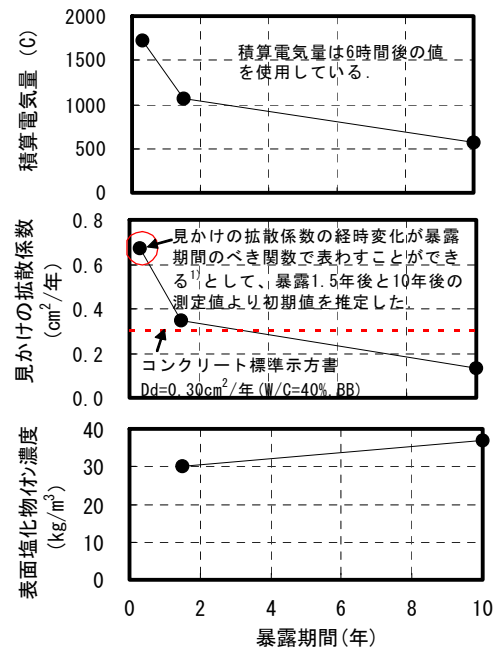


図-3 積算電気量, D , C_0 の経時変化

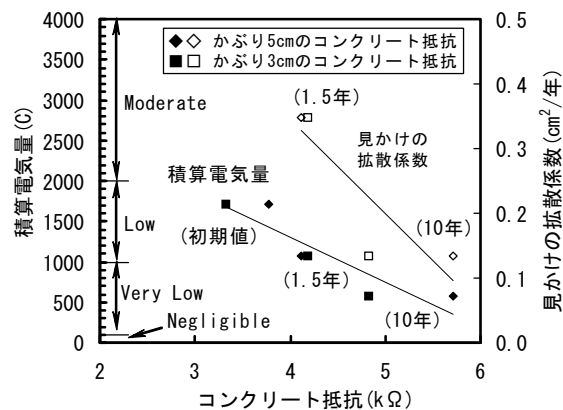


図-4 コンクリートの緻密性の変化

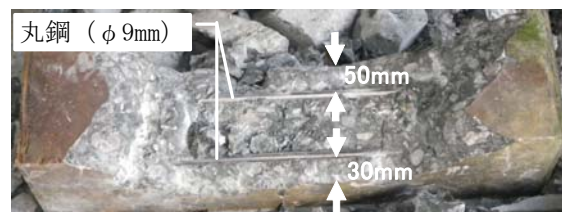


写真-1 鋼材腐食状況（暴露10年後）