

9年間海洋環境下に暴露されたコンクリート中への塩分浸透状況

鹿児島大学工学部 学生員○池田 豊

同 上 正会員 武若耕司

同 上 正会員 松本 進

1. まえがき

著者らはこれまで、海洋コンクリート構造物に生じる塩害の最大の元凶である塩分のコンクリート中への浸透メカニズムを解明するため、種々の解析・検討を行っている。一方、この解析では不確定な要因がかなり多く存在しているため、塩分浸透過程を実情に即した形で一般化させるためには、実環境における実測データの集積とその整理、分析も非常に重要テーマの1つとなってくる。

ところで、九州コンクリート技術研究会では、昭和53年から『海砂と鋼材腐食に関する総合研究』を開始し、その一環として、海洋環境下におけるRCおよびPC供試体の暴露実験も実施している。著者らは、この供試体の暴露期間9年目までの塩分含有量を測定する機会を得たので、ここでは測定結果と簡単なデータ分析の結果について報告する。

2. 塩分量測定概要

検討の対象とした供試体は、錦江湾に面した鹿児島市内の海岸に設けられた長水路内で行われている暴露実験用PC供試体である。この暴露実験の概要を表-1に、また、調査供試体の形状を図-1に示す。

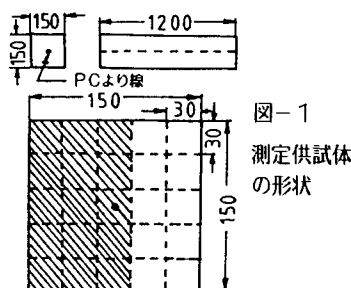
塩分量の測定は、供試体の中央部約20cmの区間において断面を25等分し、このうち図-1に示す斜線部15ブロックについて行った。塩分の抽出およびその定量方法は、日本コンクリート工学協会の基準案『硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法(案)』に準じ、コンクリート中に含まれる全塩分量および可溶性塩分量の測定を行った。なお、今回塩分量の測定を行った供試体は、暴露期間9年のものであるが、過去に暴露期間3年および6年においても同様の測定を行っており(ただし、3年間のものについては可溶性塩分量についてのみ)、ここではこれらの結果との比較検討も行った。

3. 塩分量測定結果の整理と分析

図-2には、暴露期間9年におけるコンクリート中の塩分量の測定結果の一例を示した。コンクリートに含まれる全塩分量は、表面付近の分割ブロック中ではコンクリート重量の2~2.5%にも達し、断面中心においても1%程度の含有量を示した。今回の実験において初期混入塩分量0.142%が砂重量比に換算すると0.5%に相当し、この量が海砂中に含まれる塩分量のほぼ最大であることを考慮すると、9年間に少なくとも海砂を使用した場合の10倍に達する量の塩分が、海洋環境

表-1 海洋暴露実験の概要

要 因	水 準
暴露環境	海中 干満帯
水セメント比(%)	37, 55.7 37
初期混入塩分量 (コンクリート 重量比: %)	・W/C=37% の場合 0.008, 0.021, 0.028 0.142, 0.284 ・W/C=55.7% の場合 0, 0.025, 0.076, 0.127
備 考	・W/C=37% PC供試体 ・W/C=55.7% の場合 RC供試体

図-1
測定供試体の
形状

海中 (初期混入塩分量)

(0.008%)	(0.028%)	(0.284%)
1.03 0.90 1.27 1.66 1.37 1.45	1.19 1.09 1.07 2.32 1.68 1.67	1.42 1.28 1.25 2.02 2.39 1.99
1.03 1.03 1.05 1.72 1.45 1.32	0.94 0.85 0.89 2.16 1.30 1.10	1.03 1.01 1.04 1.68 1.42 1.44
0.91 0.94 0.97 1.81 1.56 1.55	0.91 0.76 0.92 1.56 1.26 1.22	0.98 0.95 0.90 1.99 1.40 1.36
0.90 0.96 0.94 1.40 1.26 1.10	1.04 0.76 0.76 1.97 1.34 1.10	1.03 1.00 1.00 1.74 1.58 1.74
0.99 0.89 0.77 1.89 1.45 1.37	1.27 1.04 1.06 1.91 1.51 1.47	1.05 1.15 1.15 2.15 1.69 1.74

干満帯 (初期混入塩分量)

(0.008%)	(0.028%)	(0.284%)
1.93 1.92 1.05 2.50 2.39 2.03	1.51 1.11 1.15 2.09 1.93 2.03	1.47 1.27 1.20 2.28 1.80 1.68
1.57 1.37 1.05 2.39 2.22 1.34	1.28 1.15 0.74 1.91 1.46 1.52	1.26 1.10 1.11 1.67 1.81 1.49
1.43 1.20 1.04 1.91 1.94 1.18	1.15 0.82 0.55 1.99 1.45 1.00	1.17 1.02 0.89 1.73 1.37 1.26
1.54 1.01 1.04 2.48 1.57 1.41	1.22 0.92 0.75 2.11 1.57 1.42	1.26 1.18 0.99 2.10 1.32 1.60
1.52 0.99 1.18 2.30 1.20 1.68	1.49 1.16 1.06 2.47 1.72 1.70	1.40 1.07 1.16 2.05 1.77 1.78

図-2 塩分量測定結果の一例(上段:可溶性、下段:全塩分)

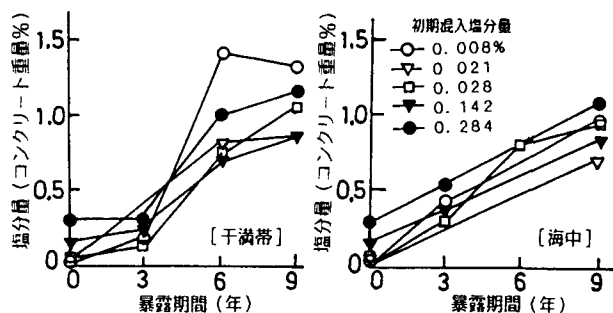


図-3 測定ブロック中の平均可溶性塩分量の時間変化

からコンクリート中に浸透・蓄積されたことになる。また、図-3は、断面分割1ブロックに含まれる可溶性塩分量の平均値を暴露年数との関係で示したものである。この図より、コンクリート中に蓄積される可溶性塩分量は時間とともにほぼ直線的に増加する傾向にあることを確認できる。

一方、これらの測定結果を分析する1つの方法として、ここでは次式で示される1次元の拡散方程式の解による近似を行い、コンクリートの塩分拡散係数あるいはコンクリート表面における塩分量の境界条件等の推定を試みた。

$$C_{(x,t)} - C' = (C_0 - C') \cdot (1 - \text{erf}(x/\sqrt{2Dt})) \dots (1)$$

ここで、 $C_{(x,t)}$: t 時間後の x の位置における塩分量、 C' : 初期混入塩分量、 C_0 : 表面塩分量、 D : 拡散係数である。また、(1)式が1次元の解であることを考慮し、解析データとしては、断面中心線上の測定結果を用いた。

図-4は、この近似によって推定されたコンクリートの塩分拡散係数を暴露期間との関係で示したものである。この拡散係数は $10^{-6} \sim 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ の範囲にあるが、今回の場合、全体として暴露期間の増加に伴って拡散係数は大きくなる傾向が見受けられた。これは、初期混入塩分量の大きな供試体を中心として、コンクリートに鉄筋腐食によると予想されるかなり大きなひびわれが発生していたことから、このひびわれなどによるコンクリートの劣化が原因であると思われる。また図-5には、境界条件となるコンクリート表面塩分量の推定結果を示した。この結果、海中部のコンクリートに対しては、時間別あるいは供試体別の表面塩分量の変動はあまり大きくはなく、全体の平均値も著者らが先に提示した塩分量の境界条件(可溶性塩分量で0.9%)にほぼ一致するものであった。ただし干満帯においては、暴露期間の延長に伴う表面塩分量の増加傾向が海中部に比べ大きく、干潮時においてコンクリート表面付近の塩分が幾分濃縮されることを予想させた。

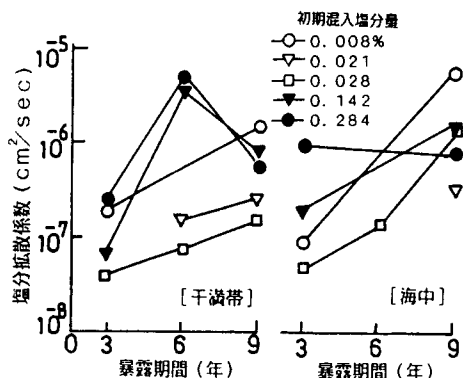


図-4 拡散係数の推定結果

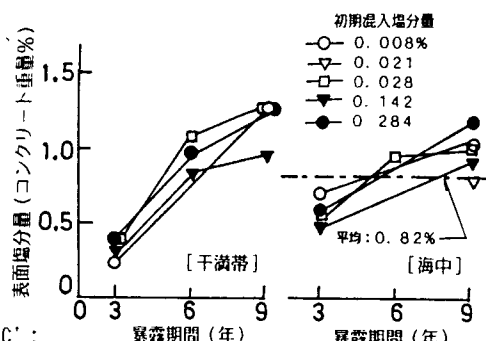


図-5 コンクリート表面塩分量の推定結果

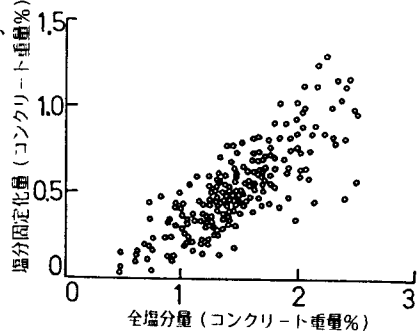


図-6 塩分固定化量と全塩分量の関係

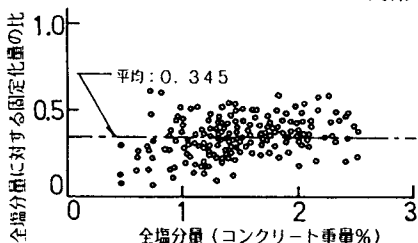


図-7 全塩分量に占める固定化塩分量の比率

図-6および7には、全塩分量と可溶性塩分量の差から求めた塩分固定化量および、この固定化量の全塩分量に対する比率を示した。この結果によると、かなりのばらつきも見られるが全般的には、全塩分に対して一定の比率で固定化が行われていると推測されるが、その妥当性については今後の検討課題である。