

鹿児島大学工学部 正会員 ○武若 耕司
同 上 〃 松本 進

1. まえがき

海洋環境下に建設されるRCあるいはPC構造物のかぶりやコンクリートの品質等を設定する場合には、鋼材防食の立場から、コンクリート中へ浸透し蓄積する塩分量の把握が必要である。ところで、このコンクリート中への塩分浸透過程は、マクロ的には拡散現象と見なせることから、一般に拡散方程式の解を用いてある程度推定することが可能であるが、よりの確かな推定値を得るためには、コンクリートの塩分拡散係数はもとより、境界条件となるコンクリート表面の塩分濃度さらには、コンクリート中での塩分固定化現象等、未だ検討を加えなければならぬ点も多く残されている。そこで本報告では、コンクリート中の浸透塩分量の推定に必要な諸条件について基礎的資料を得ることを目的として実施した簡単なモデル実験の結果について示した。

2. モデル実験の概要

本実験では、研究の第1段階として、特に海中部のコンクリートを対象とし、実験にあたっては、①海水と常時接するコンクリート表面の塩分量を把握すること、②コンクリートの品質と塩分拡散係数との関係を明確にすることを目的に、2種類のモデル実験を実施した。まず①に関する実験は、図-1に示す様に、濃度の異なる3種類のNaCl溶液中に断面が $10 \times 10 \text{ cm}$ 、厚さ約5mmのコンクリート試料板を浸漬させ、コンクリート中に蓄積される塩分量の経時変化を調べるものである。なお、コンクリートの試料板は、材令約1ヶ月まで潤湿養生を行った $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の角柱供試体から切り出したものである。また、コンクリート中の塩分量の測定にあたっては、コンクリート中に含まれる全塩分量の測定と同時に、塩分の固定化現象についても把握するため水溶性塩分の測定も行った。これらの塩分の抽出方法および測定方法は、日本コンクリート工学協会より提案されている「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法(案)」に準じた。

②に関する実験では、図-1(b)に示す様な拡散セルを用いた。このセルは、中央部に①の実験と同様のコンクリート試料板をセットし、I側に3.3% NaCl 溶液、II側に純水を入れ、コンクリート試料板を通してI側からII側へ透過する塩分量を測定するものである。この場合、試料板を通して生じる塩素イオンの拡散がFickの第一法則に従うと考えれば、コンクリート試料板の拡散係数 D は次の式で求められる。

$$D = \frac{V}{(C_1 - C_2) \cdot A} \cdot \frac{dC_2}{dt} \quad \text{----- (1)}$$

ここで、

V : I側溶液の容量, A : 試料板の接触面面積, l : 試料厚, $C_1 - C_2$: I側とII側の塩分濃度差

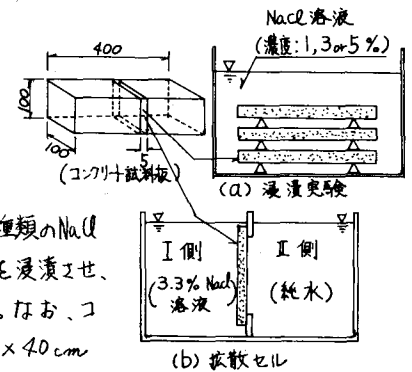


図-1 実験の概要

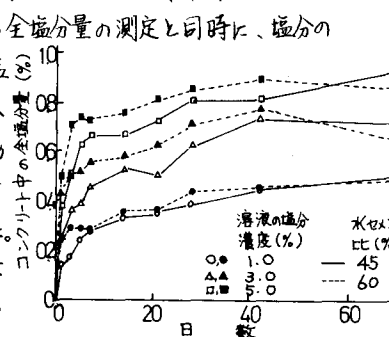


図-2. コンクリート中の全塩分量の経時変化

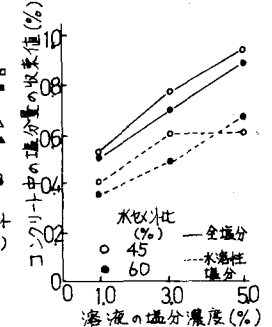


図-3. コンクリート中の飽和塩分量と溶液塩分濃度の関係

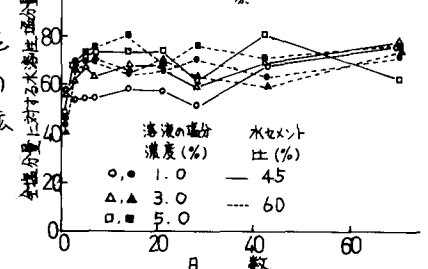


図-4. 全塩分量における水溶性塩分量の割合

3. 実験結果

図-2は、NaCl 溶液に浸漬させたコンクリート試料板中の塩分蓄積量の経時変化を示したものである。この図によると、いずれの試料板でも浸漬初期における塩分量の増加が著しい反面、浸漬後約1ヶ月以降における増加はわずかであることから、海中では、コンクリート表面は比較的早い時期に塩分が飽和状態になるものと予想できる。図-3は、図-2の測定結果を $C_0 = n / (a + b \cdot n)$ (C_0 : 塩分蓄積量, n : 経過日数, a, b : 定数) で近似することにより、塩分蓄積量の収束値を推定したものである。この結果、コンクリート表面で飽和となる塩分濃度は、これに接する溶液の塩分濃度に影響を受けるようであり、溶液の塩分濃度が高いほど高い。また、海水の塩分濃度を NaCl 換算で約 3.3% 程度とすると、海水に浸漬されたコンクリート表面の塩分濃度は約 0.6% に保持されるものと推察される。なお、コンクリートの水セメント比が小さいほど浸漬初期の塩分蓄積速度は小さいが、飽和状態での塩分量は、水セメント比が小さいほどいくぶん大きくなる傾向も見られた。図-4は、コンクリート中の全塩分量に対する水溶性塩分量の割合について示したものであるが、この結果から、コンクリート中に浸漬した塩分の約 30% 程度が固定化あるいは吸着等により溶出しにくい状態になっていると考えられる。

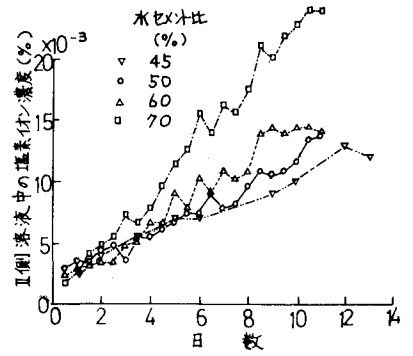


図-5 拡散セルにおけるII側溶液中の塩素イオン量の経時変化

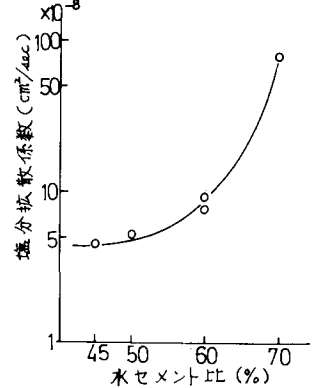


図-6 拡散係数と水セメント比の関係

図-5は、拡散セルを用いた実験において得られたII側溶液の塩分濃度の経時変化を示したものである。この結果から、II側溶液の塩分濃度は時間の経過に伴ってほぼ直線的に増大する傾向が見られ、また、コンクリートの水セメント比が大きくなるに従ってコンクリートの塩分透過速度は増大するようである。一方、図-6は、図-5の結果から(1)式に基づいて試料板の拡散係数を求めた結果を示したものであるが、この図から、水セメント比の増大に伴う塩分拡散係数の急激な増大が明確に把握できる。

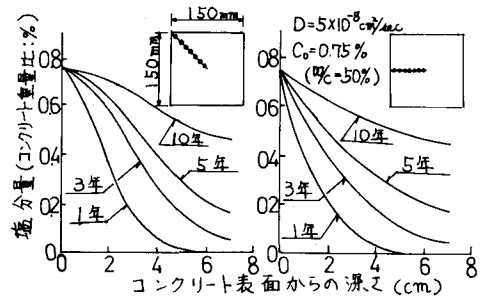


図-7 海中でコンクリート中に浸漬する塩分量推定の一例

4. 海中のコンクリートの塩分浸透量推定に関する一考察

図-7は、上記の結果を基に、海中のコンクリート部材に蓄積される塩分量を差分法を用いて計算した結果の一例を示したものである。また、図-8, 9は、既往の暴露実験結果と本検討結果から推定される塩分蓄積量との比較を行ったものであり、この結果によると、両者は比較的よく対応するようである。特に、コンクリート表面の塩分濃度に関しては、今回の実験による推定値と実際の値とがほぼ一致する傾向にあった。

〔参考文献〕

- 1) 近藤 他: セメント硬化体中のイオン拡散, セメント技術年報 28, 1974.
- 2) セメント協会: 海水中の塩素成分はコンクリートにどの程度浸透するか, セメントコンクリート 1983.
- 3) 武若 松本: 海洋環境下におけるコンクリート中の塩分浸透について, セメント技術年報 30, 1983

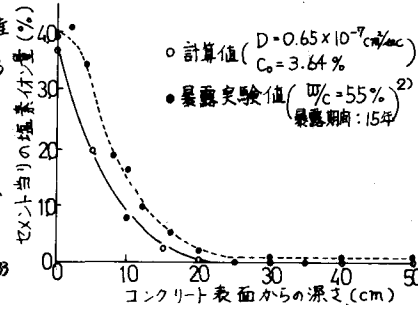


図-8 暴露実験結果²⁾と推定値の比較 (1) (供試体断面 120cm x 120cm)

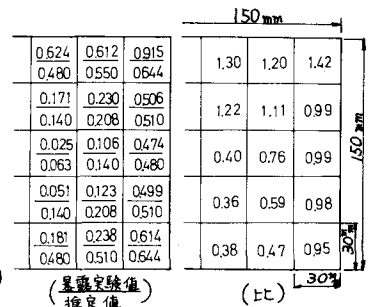


図-9 暴露実験結果²⁾と推定値の比較 (2) (供試体断面: 15 x 45 cm, 水セメント比: 55.7%, 暴露3年間)