

海洋環境下におけるコンクリート中への塩分浸透過程に関する研究

鹿児島大学 正員 ○武 若 耕 司
同 上 松 本 進

1. まえがき

海洋環境下においてコンクリート中へ浸透する塩分量は、コンクリートの塩分拡散係数を求めることにより推定できると考えられるが、最近の研究では、この拡散係数がほぼ $10^{-7} \sim 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ の範囲にあるという結果も得られている。しかし例えば、この拡散係数がコンクリートの品質によって大きく影響を受けることは予想されてもこの値が、コンクリートの品質の変化によってどの程度の範囲で変化するのかは明確ではなく、また、拡散係数とともにコンクリート中への塩分浸透量に大きく影響を及ぼすコンクリート表面への塩分付着量と海洋環境条件との関係等、未だ具体的な検討が進んでいない部分も多い。本研究では、これらの点を考慮してより適確にコンクリート中の塩分浸透過程を推定することを目的とし、その第一段階として、著者らが実施した海洋暴露実験で得られたコンクリート中への塩分浸透量を拡散方程式の解を用いて整理した結果を取りまとめた。示した。

2. 塩分量の測定方法およびその評価方法

1) 塩分量の測定方法: 表-1に検討の対象とした海洋暴露コンクリート供試体の暴露実験における要因と水準を示す。これらの供試体中の塩分量の測定にあたっては、図-1に示す様に供試体断面を25等分し、各ブロックごとに塩素イオン量を求めた。この場合、それぞれの試料を微粉砕し、これに蒸留水を加えて1時間湯浴した後洗浄し抽出液中の塩素イオン量を測定した。尚、一部の試料ではコンクリート中での塩分固定化現象についても把握するため、硝酸中でコンクリートを加熱溶解してコンクリート中に含まれる全塩素イオン量を求めるとともに、試料に飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液を加え攪拌振とうさせる方法で水溶性塩素イオンを抽出することも試みた。

2) 測定結果の評価方法: ここでは塩分がコンクリートの上下面および側面から2次元的に浸透すると仮定し、図-1に示す対角線上のブロック中の塩分量を解析用データとして用いた。この場合一方向からのみの塩分浸透によってコンクリート中に存在する塩分量はおよそ次式で表わされる。 $C = (C_m + C')/2$ ----- (1)
(ここで、 C : 拡散による蓄積された塩分量, C_m : 実測値, C' : 初期塩分量)

尚、初期塩分量(C')はここではあらかじめコンクリート中に混入されている塩分量を示すが、図-2に示す様に湯浴法によって抽出される塩分量が、コンクリート中の全塩分量の約80%であることから、ここでは、 $C' = 0.8 \times$ (繰り混ぜ時の混入塩分量)とした。

次に、この浸透塩分量について、これを拡散方程式の解、即ち

$$C(x, t) - C' = (C_0 - C') \left(1 - \text{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right) \text{ ----- (2)}$$

で近似計算し、コンクリートの塩分拡散係数およびコンクリート表面の塩分付着量を推定した。(ここで、 $C(x, t)$: 時間 t に於いてコンクリート表面から x の距離に存在する塩分量, C' : コンクリート表面の塩分付着量, D : 拡散係数)

表-1 塩分測定供試体の海洋暴露実験における主要要因と水準

要因	水 準		
暴露環境	海洋飛沫帯 伊豆半島群	干満帯 鹿児島湾内	海中
暴露期間	1年, 3年	1年, 3年	3年
水セメント比(w/c)	50, 60, 70	37, 55.7	37
初期混入塩分量(%) (NaCl/水+骨材)	0	w/c=55.7%の場合 0, 0.025, 0.076, 0.127 w/c=37%の場合 0.007, 0.023, 0.113, 0.226	
備考	あらかじめコンクリートに塩分を導入 w/c=37% → PC 供試体 w/c=55.7% → RC 供試体		

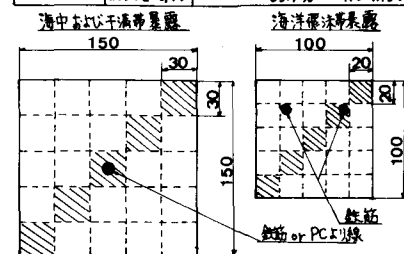


図-1 供試体の断面寸法および試料採取位置

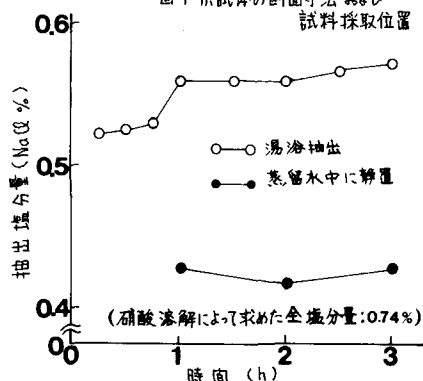


図-2 湯浴時間が塩分の抽出量に及ぼす影響

3. 結果および考察

図-3は、海洋飛沫帯に3年間暴露したコンクリート中の塩分量およびその近似曲線を示したものである。この結果より、水セメント比が減少するに従って明らかに塩分拡散係数も減少する傾向にあり、この場合、その減少割合は、水セメント比10%の低下に対して約1/4にも達していた。

また図-4には、海洋飛沫帯においてコンクリート中に浸透した全塩分量並びに水溶性塩分量をそれぞれ示す。この結果によると、コンクリート中に浸入した塩分が固定化される量は、暴露期間の増加に伴っていくぶん増加する傾向にあるものの、同一材料ではコンクリート中の塩分量の如何にかかわらずほぼ一定量となる様である。このため見かけの塩分拡散係数は、水溶性塩分の場合の方が全塩分の場合よりも小さくなる傾向を示した。

図-5は、干満帯及び海中に暴露した供試体中の塩分量とその近似曲線を示したものである。尚、ここで示した近似曲線は、同一水セメント比で同一の暴露条件の場合にはコンクリート中から始め浸入された塩分量の如何にかかわらず、拡散係数及びコンクリート表面の塩分付着量は一定であると仮定して求めた。これは、実測値と初期浸入塩分量との差（浸透塩分量）が、初期浸入塩分量の増加に伴っておおむね減少する傾向にあったことを考慮したものである。この結果については、水セメント比37%の場合に実測値と理論値の間に多少のずれのある場合も見られたが、全般的には上記の仮定がほぼ妥当であることが確認できた。

次に、図-3～5の結果からコンクリート表面に付着する塩分量について考察を加えると次の様になる。すなわち、

i) 今回の様に暴露期間の比較的短い範囲では、コンクリート表面に付着する塩分量が、海中>干満帯>飛沫帯の順に小さくなると予想されること、ii) ただし、干満帯においては暴露期間の増加に伴う塩分付着量の増加がほとんど見られないのに対して、飛沫帯における塩分付着量は時間の経過に伴って増加する傾向にあり、飛沫帯では海塩粒子中の塩分がコンクリート表面に常時蓄積してゆくと考えられること、iii) 海中あるいは干満帯のコンクリートは常に海水に接しているにもかかわらず、コンクリート表面の塩分付着量は海水中の塩分量に比べてかなり小さいこと等である。

尚、コンクリートの水セメント比がコンクリート表面の塩分付着量に及ぼす影響が干満帯と飛沫帯とで異なった傾向を示すことあるいは、海中及び干満帯においては、水セメント比の拡散係数に及ぼす影響が飛沫帯ほど明確には現れなかったこと等、未だその原因が不明な点もいくつかあるが、これらの点の解明も含めて今後さらに研究を進めて行きたい。

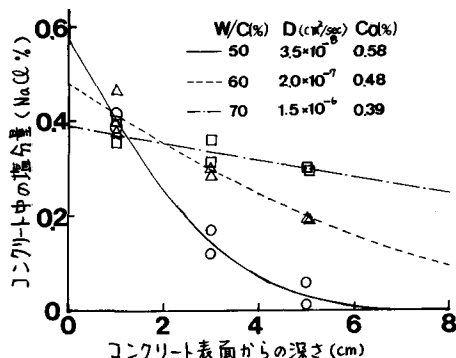


図-3 海洋飛沫帯に暴露したコンクリート中の塩分量

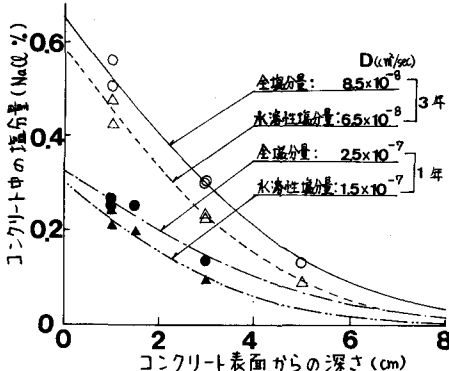


図-4 コンクリート中の全塩分量及び水溶性塩分量の測定結果

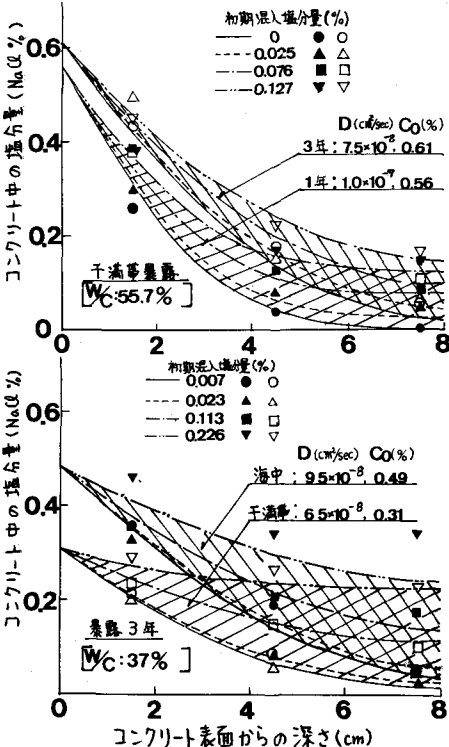


図-5 あらかじめ塩分を含むコンクリート中の塩分浸透過程