

海洋環境下に暴露したコンクリートへの塩化物イオン浸透性

(株)国土開発センター 正会員 笹谷輝彦
金沢大学工学部 正会員 川村満紀

金沢大学工学部
金沢大学大学院

正会員 鳥居和之
学生員 佐藤健一

1. はじめに

塩害を受けるコンクリート構造物の耐久性を向上させるためには、塩分浸透の抑制効果が高いコンクリートの適用が重要となる。一般に、コンクリートの塩化物イオン浸透性を評価する方法としては、一定期間塩水中に浸漬したコンクリートについて塩化物イオン浸透深さや拡散係数を求めるものや、急速塩化物イオン透過性試験(AASHTO T-277)に代表されるような電気的な促進試験法が提案されている。

本研究では、長期間海洋環境下に暴露した各種コンクリートの塩化物イオン浸透性を比較するとともに、急速塩化物イオン透過性試験と塩化物イオンの拡散係数との関係について2、3の検討を行った。

2. 実験概要

本実験に使用した各種コンクリートの配合を表-1に

表-1 コンクリートの配合

	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			スランプ (cm)	空気量 (%)
			W	C	混和材		
OPC45	45	36	135	300		2.0	4.5
OPC55	55	38	165	300		8.5	5.5
OPC65	65	40	195	300		18.0	5.7
FA55	55	38	165	210	90	15.5	5.5
BS55	55	38	165	150	150	12.5	5.2
SF55	55	38	165	270	30	2.0	5.6

OPC:普通ポルトランドセメント, FA:フライアッシュ, BS:高炉スラグ微粉末, SF:シリカフューム

示す。コンクリート供試体は24×24×21cmの立方体であり、塩分の供給を受ける1面以外の5面はアクリルゴム系塗料で塗装した。コンクリートの初期養生条件は、水中養生28日(略号W、温度20°Cの水中に浸漬)および水中養生7日+気中養生21日(略号A、温度20°C、湿度60%の屋内放置)の2種類であり、初期養生終了後、石川県松任市の徳光海岸にて約7年間暴露した。試験項目は、急速塩化物イオン透過性試験(AASHTO T-277)、コンクリートへの塩分浸透状況(表面から1cm毎に全塩分量(2N HNO₃にて溶解、電位差滴定法)を測定)および塩分浸透深さ(0.1Nの硝酸銀溶液噴霧による白色領域の測定)である。なお、塩分浸透状況の結果より、Fickの第2法則に従って拡散係数(D_{cl}(cm²/sec))を計算した¹⁾。

3. 実験結果および考察

3. 1 塩分浸透状況

各種コンクリートへの塩分浸透状況を図-1～4に示す。普通セメントコンクリートでは、水/セメント比の大きなものほど塩分の浸透量および浸透深さが増大する。また、水/セメント比65%のものは、塩分の溶出および炭酸化による塩分の移動の影響で、表面部(0～1cm)の塩分量がそれより内部(1～2cm)よりも小さくなっているが、それ以外のコンクリートでは表面からの深さに比例して塩分量が減少する。このようにコンクリートの表面部分は環境の影響を直接受けることから、塩分の浸透および溶出が繰り返され、多孔質な表面組織を持つコンクリートでは表面塩分量が低くなる場合もある。一方、鉱物質混和材を使用したコンクリートでは、表面部(0～2cm)の塩分浸透量は同一水/セメント比の普通セメントコンクリートと同等か、多少大きくなっているが、それより内部では急激に塩分量が減少する。鉱物質混和材を使用したコンクリートへの塩分の浸透は、表面から4cm程度までに限られており、いずれの場合も長期にわたり優れた塩化物イオン浸透の抑制効果が発揮されていることが確認できる。

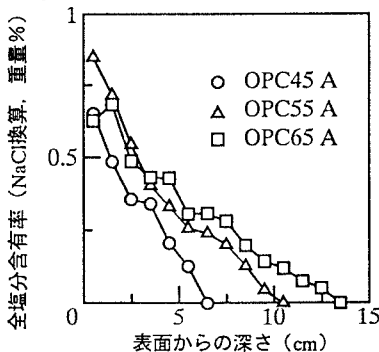


図-1 コンクリートへの塩分浸透状況(OPC 気中養生28日)

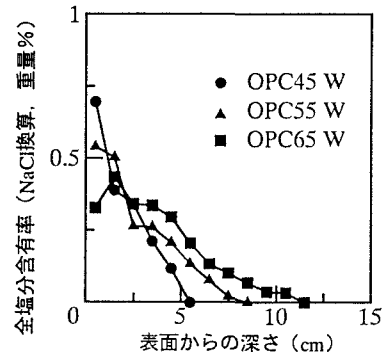


図-2 コンクリートへの塩分浸透状況(OPC 水中養生28日)

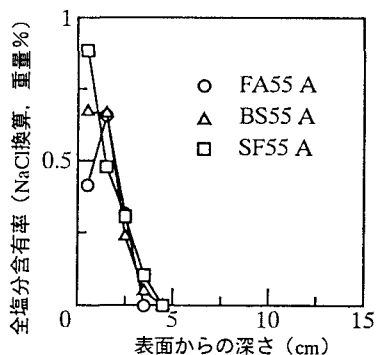


図-3 コンクリートへの塩分浸透状況(FA, BS, SF 気中養生28日)

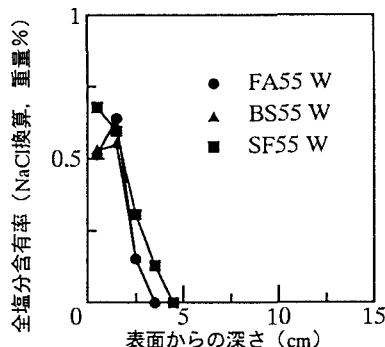


図-4 コンクリートへの塩分浸透状況(FA, BS, SF 水中養生28日)

3. 2 塩化物イオン透過量（クーロン）、塩分浸透深さと拡散係数との関係

図-5に暴露開始時(28日材令)におけるコンクリートコアの塩化物イオン透過量(クーロン)と暴露7年時点での塩分浸透状況から求めた塩化物イオンの拡散係数との関係を示す。本研究で得られたコンクリートの拡散係数は、 $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{sec}$ の範囲であり、水/セメント比、鉱物質混和材の種類、養生条件などの相違による影響が明確に反映されている。両者の関係は、暴露期間8ヵ月の結果²⁾とほぼ同様であるが、両者の相関性は暴露期間7年のものの方が良好となる。急速塩化物イオン透過性試験の適用性については種々の疑問があるが、今回の結果を見る限り、塩化物イオン透過量(クーロン)より長期にわたる塩分浸透性を推定することが十分に可能であると考えられる³⁾。

図-6にコンクリートへの塩分浸透深さと塩化物イオンの拡散係数との関係を示す。硝酸銀溶液噴霧による測定方法は、非常に簡便であり、塩化物イオンの拡散係数との関係が明らかにできれば、その有効性は大きいものと思われる。図-6に示すように、普通セメントコンクリートおよび鉱物質混和材を使用したコンクリートともに両者の間には良好な直線関係が認められ、硝酸銀溶液噴霧による塩分浸透深さの測定により比較的精度よく塩化物イオンの拡散係数を推定することも可能である。

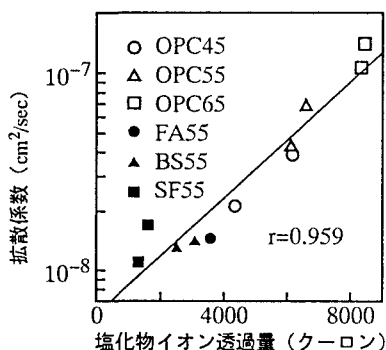


図-5 塩化物イオン透過量と拡散係数との関係

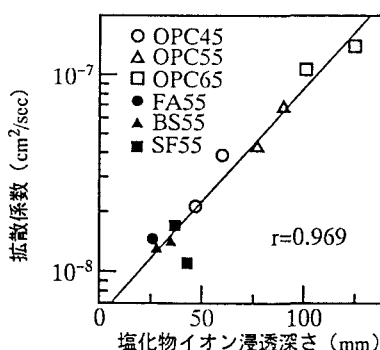


図-6 塩分浸透深さと拡散係数との関係

4. まとめ

海洋環境下に暴露したコンクリートの塩化物イオン浸透抵抗性に関して、鉱物質混和材(フライアッシュ、高炉スラグ微粉末およびシリカフェーム)を使用したコンクリートは長期にわたり優れた浸透抑制効果を発揮することが確認できた。また、急速試験法(AASHTO T-277)の結果は実際のコンクリートへの塩化物イオンの浸透状況とも良く対応しており、コンクリート構造物の耐久性設計または品質管理へ急速試験法の適用が期待できる。

謝辞：試験の実施に当たり、本学4年生の松田康孝君の協力を得た。感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 松島学他、土木学会論文集 No. 520/V-28, 1995.
- 2) 鳥居和之他、セメント・コンクリート論文集, No. 44, 1990.
- 3) O. E. Gjovrv, Concrete Technology, Past, Present, and Future, ACI SP-144, 1995.