

促進試験と暴露試験によるコンクリートの塩化物イオン浸透性状の比較

日大生産工 (院) 高橋英孝 日大生産工 湯浅昇  
 琉球大学・工 山田義智 日大生産工 松井勇  
 日大名誉教授 笠井芳夫

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化機構及び劣化対策については、多くの研究に解明されてきたといえるが、構造形式、材料、配合、施工、養生、環境及び維持管理などのきわめて多くの因子に影響されているためコンクリート構造物の耐久性を評価するには、使用条件や自然環境に対して適切な試験を実施し、暴露試験との対応を図ることが必要と考えられる。

そこで本研究は、コンクリートの塩化物イオン浸透性状について既往の研究をもとに提案した促進試験方法<sup>1)</sup>と暴露試験の比較検討を行うことを目的としている。

本報告では、これまで報告してきた結果<sup>2)</sup>に新たに暴露試験2年の結果を加え検討を行ったものを報告する。

2. 実験概要

2.1 促進試験 (写真-1)

文献1)で提案した表-1に示す仕様の試験機を用いて、表-2に示す条件で行った。

2.2 暴露試験

塩害環境として比較的厳しい沖縄・辺

野喜, 北海道・泊の2カ所の海岸 (表-2、図-1)に、材齢2ヶ月で暴露し、2年を経過した試験体を回収した。

2.3 試験体概要

100×100×200 mmの水セメント比の異なるコ



写真-1 促進試験機

表-1 促進試験概要

形状	本体外寸: 2615 <sup>W</sup> × 1420 <sup>D</sup> × 1645 <sup>H</sup> mm 試験槽有効内寸: 1500 <sup>W</sup> × 800 <sup>D</sup> × 600 <sup>H</sup> mm 水槽内寸: 1890 <sup>W</sup> × 1300 <sup>D</sup> × 480 <sup>H</sup> mm
材質	外装: SUS304 内装: SUS316L
温度	塩水浸漬温度: +5°C ~ +60°C 乾燥温度: +5°C ~ +60°C
塩分濃度	MAX: 4% NaCl
その他の仕様	塩水浸漬時: 循環ポンプ作動 乾燥時: ファン作動 (排気ダンパー有) 操作切替: コントロールパネルにより最小10分刻みで自動切換え可能 制御情報記録: 試験槽内温度、塩化物イオン濃度 操作切替情報サイクル情報

表-2 実験概要

促進試験	1サイクルの条件 I. 塩水浸漬過程3日 (72時間) NaCl 3%, 50°C (攪拌機能有) II. 乾燥過程4日 (96時間) 50°C (熱風、脱気機能有)
暴露試験	沖縄 ・ 辺野喜 沖縄県国頭郡国村字辺野喜の海岸線から約40mの位置 (緯度26度47分, 経度128度15分) 平成19年8月24日より暴露 (水セメント比) 北海道 ・ 泊 北海道岩内郡共和町字梨野舞の海岸線から40mの位置 (緯度43度1分, 経度140度36分) 平成19年8月23日より暴露 (水セメント比)

Relationship between The Permeability of Chloride Ion by Promotion Test and The One by Exposure Test

Hidenori TAKAHASHI, Noboru YUASA, Yoshitomo YAMADA, Isamu MATSUI and Yoshio KASAI

ンクリートを表-1 に示す調合で作製し、暴露面 (100 mm×100mm 2面) 以外の面をウレタン樹脂で被覆した。暴露面は、恒温恒湿室 (20°C R. H60%) にて材齢3日から材齢28日まで開放した。

## 2.4 塩化物イオン量の測定

暴露面から1cm間隔で切断し、JIS A 1154 に規定される電位差滴定法により、式 (1) を用いて全塩化物イオン量  $CI$  ( $kg/m^3$ ) を求めた。

$$CI = C \times \frac{W_{unit}}{100} \quad (1)$$

ここに、

$C$ : 塩化物イオン濃度 (%)

$W_{unit}$ : コンクリートの単位容積質量  $2300kg/m^3$

## 2.5 表面塩化物イオン量及び見掛けの拡散係数の算出

フィックの第2法則にもとづき、式 (2) により表面塩化物イオン量および見掛けの拡散係数を求めた。

$$C(x,t) - C_i = C_{os} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_a \cdot t}} \right) \right\} \quad (2)$$

ここに、

$x$ : 表面からの距離 (cm)

$t$ : 期間 (year),

$C(x, t)$ : 距離  $x$ 、時間  $t$  における塩化物イオン量 ( $kg/m^3$ ),

$C_{os}$ : 表面塩化物イオン量 ( $kg/m^3$ ),

$C_i$ : 初期 (内在) 塩化物イオン量 ( $kg/m^3$ ),

$D_a$ : 拡散係数 ( $cm^2/year$ )

$Erf$ : 誤差関数

また、促進試験において得られた見掛けの拡散係数は1cycle 当たりの見掛けの拡散係数として  $cm^2/cycle$  と表す。

## 3. 結果および考察

図-2 に、促進試験による塩化物イオン分布<sup>2)</sup>を示す。また、図-3 に、暴露試験2年による塩化物イオン分布を示す。

図-2 および図-3 によって得られた塩化物イオン分布をもとに算出した表面塩化物イオン量および見掛けの拡散係数を表-4<sup>2)</sup>, 表-5 に示す。また、水セメント比と促進試験による見掛けの拡散係数の関係を促進試験、暴露試験2年をそれぞれ図-4<sup>2)</sup>, 図-5 に示す。



図-1 暴露地概要

表-3 コンクリートの調合および性状

W/C (%)	骨材種類	セメント	水 ( $kg/m^3$ )	セメント ( $kg/m^3$ )	細骨材 ( $kg/m^3$ )	粗骨材 ( $kg/m^3$ )	化学混和剤				スランブ (cm)	スランブフロー (cm×cm)	空気量 (%)	練り温度 (cm×cm)	圧縮強度 (材齢28日) ( $N/mm^2$ )	
							AE減水剤 ( $g/m^3$ )	高性能AE減水 ( $g/m^3$ )	高性能AE減水 ( $g/m^3$ )	空気量**調整剤 ( $g/m^3$ )						空気**消泡剤 ( $g/m^3$ )
80	大井川	普通ポルトランドセメント	185	231	865	976	578	-	-	1156	-	19.5	-	4.4	19.5	18.6
60	大井川	普通ポルトランドセメント	185	308	836	939	771	-	-	1041	-	19.5	-	4.5	19.5	33.3
40	大井川	普通ポルトランドセメント	185	463	671	976	1850	-	-	7687	-	18.0	-	3.2	20.8	43.4
30	大井川	普通ポルトランドセメント	170	567	572	1025	-	4700	-	5670	750	-	61.2×60.0	6.7	22.3	69.6
20	しなの	シリカフェウムブレミックスセメント	155	775	685	837	-	-	8750	-	9494	-	61.4×59.4	7.6	21.7	110.8
20	飯淵	シリカフェウムブレミックスセメント	155	775	685	837	-	-	1026	-	2713	-	77.2×74.4	9.9	20.5	106.4

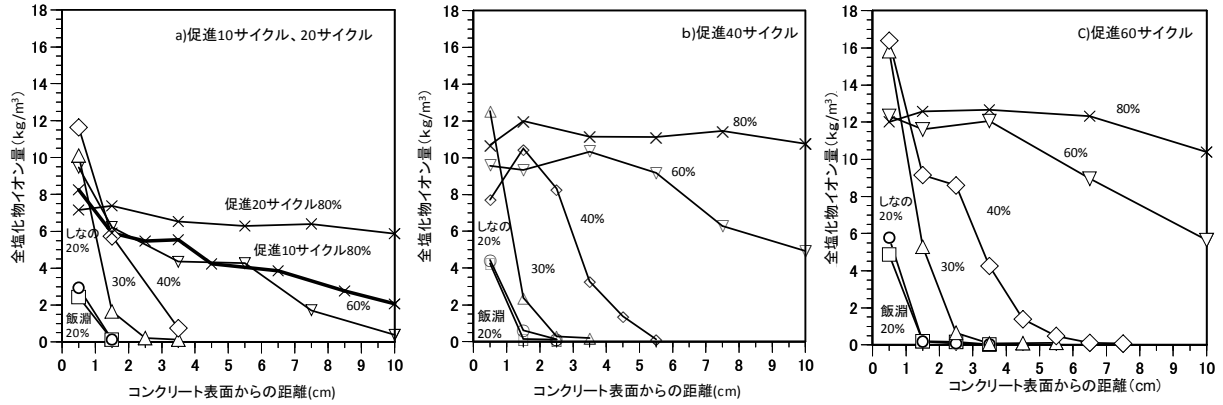


図-2 促進試験による塩化物イオン分布<sup>2)</sup>

図-6に促進試験 20 サイクルと、沖縄および北海道暴露試験 2 年によって得られた深さ方向ごとの全塩化物イオン量の関係を示す。促進試験 20 サイクルと暴露試験 2 年の深さ方向による塩化物イオン量の関係は、図中に示されるような関係で示すことができる。その関係から、表-6 に示す促進試験 20 サイクルで得られる塩化物イオン量と沖縄および北海道暴露試験 2 年におけるの深さ方向の違いによる塩化物イオン量の比が得られる。沖縄暴露試験 2 年では表面 0-1cm 部分と 1-2cm 部分との差が大きいに対し、北海道暴露試験 2 年においては、表面 0-1cm 部分と 1-2cm 部分の関係は近い値となっている。

図-7 に促進試験と暴露試験 2 年によって得られた見掛けの拡散係数の関係を示す。沖縄暴露試験

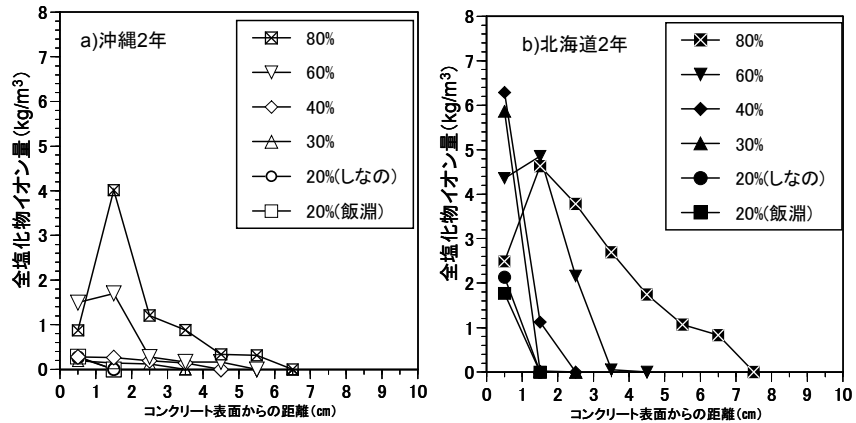


図-3 暴露試験による塩化物イオン分布

表-4 促進試験による塩化物イオン量および見掛けの拡散係数

	測定cycle	W/C					
		20%(飯淵)	20%(しなの)	30%	40%	60%	80%
表面塩化物イオン量 COs(kg/m <sup>3</sup> )	10cycle	-	-	-	-	-	8.50
	20cycle	5.29	6.85	17.5	14.8	10.6	8.20
	40cycle	9.86	7.90	20.8	16.6	74.3	12.9
	60cycle	11.00	14.50	23.8	19.0	15.1	13.5
見掛けの拡散係数 Da(cm <sup>2</sup> /cycle)	10cycle	-	-	-	-	-	1.53
	20cycle	0.00479	0.00805	0.0188	0.0792	0.477	11.5
	40cycle	0.00384	0.00805	0.0105	0.1122	1.379	11.5
	60cycle	0.00288	0.00230	0.0105	0.0422	0.899	11.5

表-5 暴露試験による塩化物イオン量および見掛けの拡散係数

	暴露期間	W/C											
		飯淵20%		しなの20%		30%		40%		60%		80%	
		沖縄	北海道	沖縄	北海道	沖縄	北海道	沖縄	北海道	沖縄	北海道	沖縄	北海道
表面塩化物イオン量 COs(kg/m <sup>3</sup> )	2年	1.12	6.99	1.06	8.43	0.3	23.1	0.40	10.8	5.32	22.5	12.5	6.50
見掛けの拡散係数 Da(cm <sup>2</sup> /year)	2年	0.03	0.03	0.03	0.03	0.35	0.03	0.45	0.18	0.53	0.35	0.55	4.00

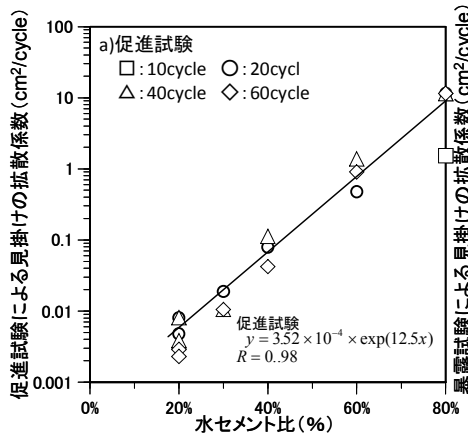


図-4 促進試験による見掛けの拡散係数と水セメント比<sup>2)</sup>

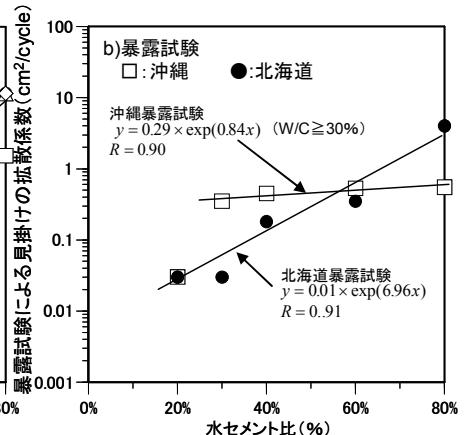


図-5 暴露試験による見掛けの拡散係数と水セメント比

2年では、促進試験によって得られた見掛けの拡散係数の変化に対し、見掛けの拡散係数に変化が見られない。一方、北海道暴露試験2年では、促進試験によって得られた見掛けの拡散係数の変化と同様に変わっていることがわかる。そこで促進試験によって得られる見掛けの拡散係数 (cm<sup>2</sup>/cycle) を x, 暴露試験1年によって得られる見掛けの拡散係数 (cm<sup>2</sup>/year) を y としたとき、促進試験によって各サイクルで得られる見掛けの拡散係数と暴露試験2年による見掛けの拡散係数の関係はそれぞれ図中に示される近似線で表すことができ、そして、

各サイクルにおける近似線はほぼ同じことがわかる。なお、沖縄暴露試験2年については、水セメント比20%による結果が他の水セメント比による結果と明らかに異なっている。そこで、水セメント比30%以上の場合で近似している。

#### 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 促進試験20サイクルと暴露試験2年に塩化物イオン量の関係を示し、促進試験によって得られた塩化物イオン量から暴露試験によって得られる塩化物イオン量の推定の可能性を示した。
- (2) 促進試験と暴露試験2年による見掛けの拡散係数の関係を示し、促進試験による見掛けの拡散係数から暴露試験による見掛けの拡散係数算出の可能性を示した。

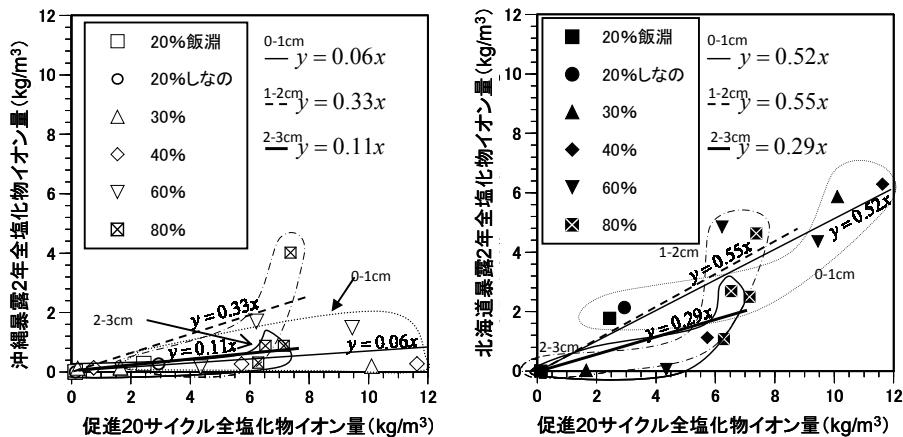


図-6 促進試験と暴露試験による塩化物イオン分布の関係

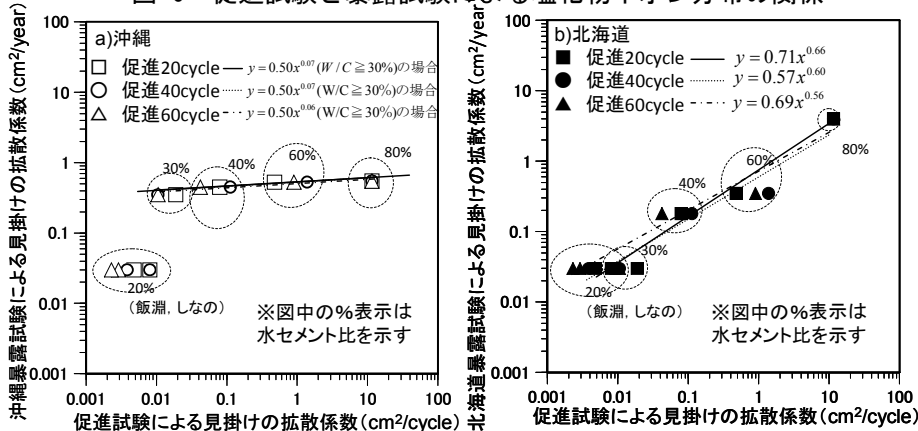


図-7 促進試験と暴露試験による見掛けの拡散係数の関係

表-4 暴露試験2年に対する促進試験20サイクルの塩化物イオン量の比

対象露地	暴露期間	表面からの距離 (cm)		
		0-1	1-2	2-3
沖縄暴露	2年	16.7	3.03	9.09
北海道暴露	2年	1.92	1.82	3.45

#### [参考文献]

- 1) 湯浅昇：コンクリートの塩化物イオン促進試験方法の検討，第6回日本大学大学院生産工学研究科生命工学・リサーチ・センター研究発表講演会講演概要，pp.21-24，2008.10
- 2) 高橋英孝，湯浅昇，笠井芳夫，松井勇：コンクリートの水セメント比が塩化物イオンの浸透に及ぼす影響，第63回セメント技術大会講演要旨，pp.122-123，2009.5