

## 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

日大生産工 湯浅 昇  
日大生産工 友澤 史紀

### 1. はじめに

日本の建築界は、高度成長期、バブル経済およびその破綻を経験し、安定経済成長あるいは低経済成長下にも強い産業構造への移行、地球環境問題への対応、高度技術者減少への対応を主眼に大きな変化の中にある。

スクラップ&ビルトからの脱却をベースに、既存構造物の維持保全、スケルトン（構造物）の高耐久化、建設に供する資源の抑制及び資源循環システムの構築が要である。

本研究は、このような視点から、鉄筋コンクリート構造物の塩害に対する抵抗性を確保し、スケルトンの高耐久化を図ることを目的に、高水セメント比から

超水セメント比のコンクリートを製造し、促進塩分浸透試験<sup>1)</sup>により水セメント比が塩化物イオンの浸透に及ぼす影響を評価するものである。

なお、今回は促進塩分浸透試験結果のみで評価して

いるが、同時に作製した試験体は、沖縄・辺野喜海岸、北海道・泊海岸に暴露している。

### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体作製

表-1に示す材料を用いて、表-2に示す調査で、水セメント比の異なるコンクリートを恒温室（20℃）にて、100mm×100mm×200mmの鋼製型枠に打ち込み、図-1に示すように暴露面（100mm×100mm 2面）以外をウレタン樹脂で被覆し、暴露面は、恒温恒湿室（20℃ R.H60%）にて材齢3日から材齢28日まで開放した。

表-1 使用材料

材料	種類・品質		
結合材	M社製普通ポルトランドセメント(3.16g/cm <sup>3</sup> )		
	M社製シリカフェームセメント(2.20g/cm <sup>3</sup> )		
細骨材	大井川産(川砂)	表乾密度 2.63g/cm <sup>3</sup>	吸水率 1.45%
	飯淵産(硬質砂岩)	表乾密度 2.62g/cm <sup>3</sup>	吸水率 1.46%
	しなの産(硬質砂岩)	表乾密度 2.63g/cm <sup>3</sup>	吸水率 2.06%
粗骨材	大井川産(川砂)	表乾密度 2.64g/cm <sup>3</sup>	吸水率 0.95%
	飯淵産(硬質砂岩)	表乾密度 2.65g/cm <sup>3</sup>	吸水率 0.55%
	しなの産(硬質砂岩)	表乾密度 2.71g/cm <sup>3</sup>	吸水率 0.72%

表-2 コンクリートの調査及び性状

W/C (%)	骨材種類	セメント	水 (kg/m <sup>3</sup> )	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	粗骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	化学湿和剤					スラン	スラン	空気量 (%)	練り温 (°C)	圧縮強度 (材齢28日) (N/mm <sup>2</sup> )
							AE減水剤 (kg/m <sup>3</sup> )	高性能AE減水剤P (kg/m <sup>3</sup> )	高性能AE減水剤T (kg/m <sup>3</sup> )	空気量※調整剤 (kg/m <sup>3</sup> )	空気※消泡剤 (kg/m <sup>3</sup> )					
80	大井川	普通ポルトランドセメント	185	231	865	976	0.578	—	—	1.156	—	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	0.771	—	—	1.041	—	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	1.850	—	—	0.769	—	18.0	—	3.2	20.8	43.4
30	大井川	シリカフェームプレミックスセメント	170	567	572	1025	—	4.700	—	0.567	0.750	—	61.2×60.0	6.7	22.3	69.6
20	しなの	シリカフェームプレミックスセメント	155	775	685	837	—	—	8.750	—	9.494	—	61.4×59.4	7.6	21.7	110.8
20	飯淵	シリカフェームプレミックスセメント	155	775	685	837	—	—	10.255	—	2.713	—	77.2×74.4	9.9	20.5	106.4

※100倍希釈溶液

## 2.2 促進塩分浸透試験（写真-1）

文献2)の大城・山田らの方法を参考に、試験条件を表-3の通りとした。表-4は、促進試験装置の仕様である。

## 2.3 塩化物イオン量の測定

暴露面から1 cm間隔で切断し、クラッシャー及び遊星ボールミルで150 μm以下に微粉砕をして、JIS A 1154に規定される電位差滴定法により、全塩化物イオン量（以下、全塩分量）を測定した。

更に、式(1)に示すフィックの第2法則に基づいた拡散方程式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。

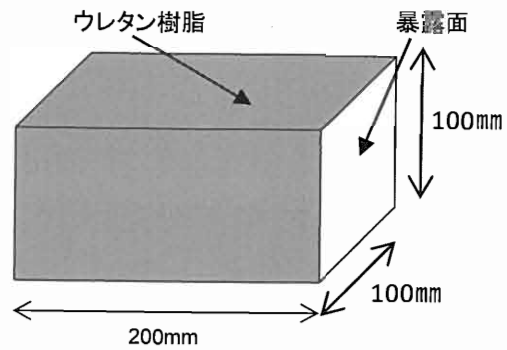


図-1 試験体寸法



写真-1 塩水乾燥浸漬試験機

$$C(x,t) - C_i = C_{0s} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_a \cdot t}} \right) \right\} \quad (1)$$

ここに、

$X$  : 表面からの距離 (cm)

$t$  : コア採取までの  
サイクル (cycle)

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

$C_{0s}$  : 表面の塩化物イオン量  
( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_i$  : 初期 (内在) 塩化物  
イオン量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$D_a$  : 見掛けの拡散係数  
( $\text{cm}^2/\text{cycle}$ )

$Erf$  : 誤差関数

表-3 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)	
自然環境暴露	北海道	北海道岩内郡共和町字梨野舞納の海岸線から約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
	沖縄	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

表-4 塩水浸漬乾燥試験機仕様

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

## 2.4 暴露試験

日本における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(図-2、表-3)に、材齢1ヶ月で暴露した。

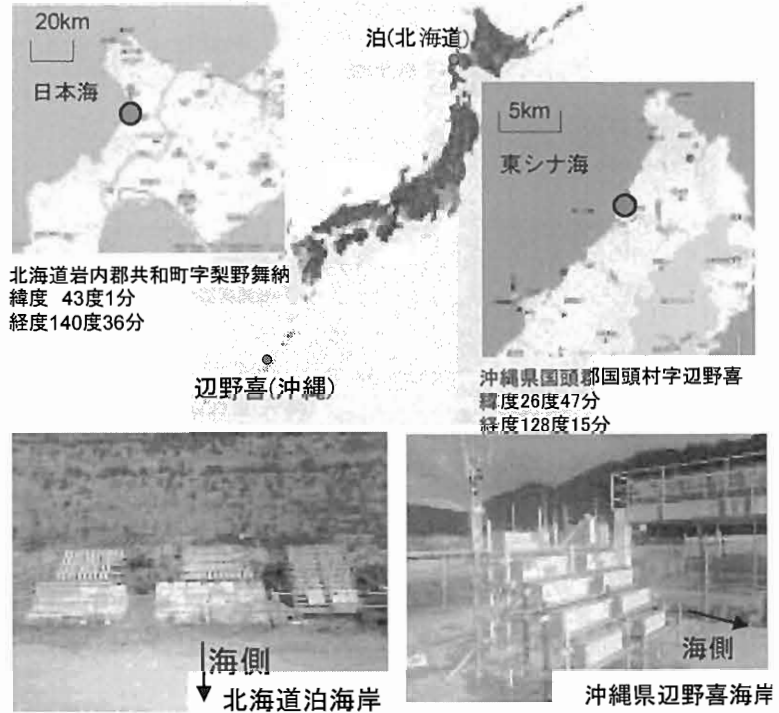


図-2 暴露地概要

## 3. 結果及び考察

図-3は、促進塩分浸透試験10サイクル(W/C=80%のみ)、20サイクル、40サイクル終了時における塩化物イオン量の分布を示している。水セメント比が大きいほど、塩分は中まで浸透することがわかる。また、図-4

は、促進試験サイクルごとに、それぞれの試験体の単位面積当たりの塩分浸透総量を示したものである。水セメント比が大きくなる程、直線的に浸透量は増大すること、サイクルの増加に対して浸透量は

は比例的に増えるのではなく、若干増加が鈍ることがわかる。

表-5は、図-3の結果をもとに算出した見掛けの拡散係数である。なお、見掛けの拡散係数は、単位を $\text{cm}^2/\text{cycle}$ としたものと、1サイクル7日であるので、値が $1/7$ となる単位を $\text{cm}^2/\text{day}$ としたものを併記してある。ここで、水セメント比を要因とする二元配置の分散分析を行った結果、見掛けの拡散係数は、

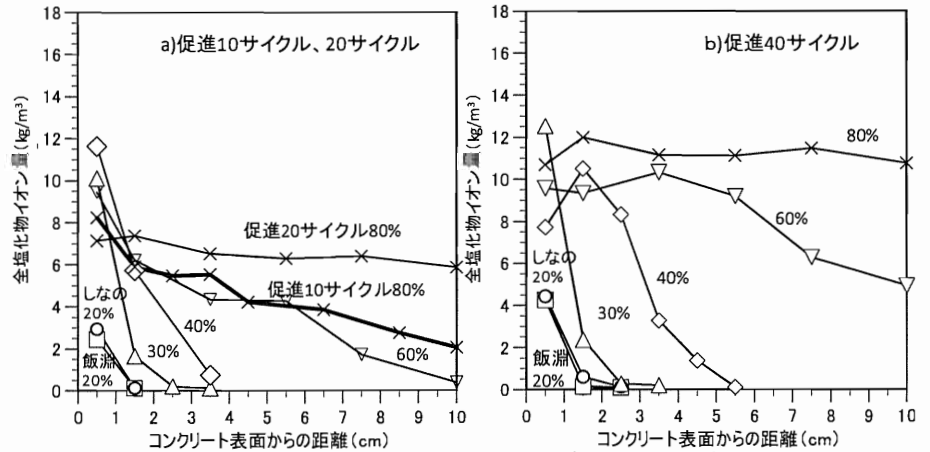


図-3 コンクリートの塩化物イオン分布

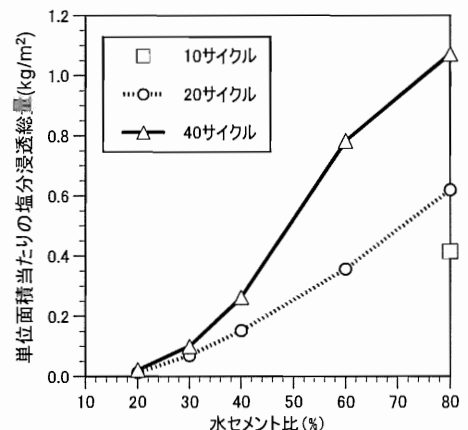


図-4 水セメント比と単位面積当たりの塩分浸透総量

表-5 コンクリート表面塩化物イオン分布及び見掛けの拡散係数

W/C	表面塩化物イオン量 C <sub>0s</sub> (kg/m <sup>3</sup> )			見掛けの拡散係数 D <sub>a</sub> (cm <sup>2</sup> /cycle)			見掛けの拡散係数 D <sub>a</sub> (cm <sup>2</sup> /day)		
	10サイクル	20サイクル	40サイクル	10サイクル	20サイクル	40サイクル	10サイクル	20サイクル	40サイクル
80%	8.50	8.200	12.9	1.53	11.51	11.51	0.219	1.644	1.644
60%	-	10.6	74.3	-	0.477	1.38	-	0.0681	0.197
40%	-	14.8	16.6	-	0.0792	0.112	-	0.0113	0.0160
30%	-	17.5	20.8	-	0.0188	0.011	-	0.00268	0.00151
しなの20%	-	6.85	7.90	-	0.00805	0.00805	-	0.00115	0.00115
飯淵20%	-	5.29	9.86	-	0.00479	0.00384	-	0.000685	0.000548

危険率1%で水セメント比による有意差が認められた。更に、水セメント比と見掛けの拡散係数の対数の関係(図-5)を見ると、W/Cが80%のみである促進塩分浸透試験良好な直線性が認められ、見掛けの拡散係数  $D_a$  (cm<sup>2</sup>/cycle)は、水セメント比W/C (%)により、式(2)で示される関係にある。相関係数は、0.991であった。

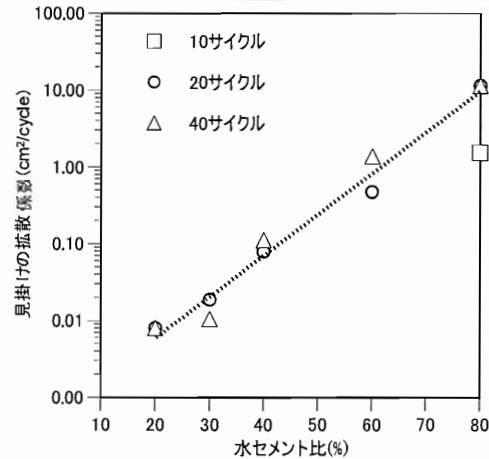


図-5 水セメント比と見掛けの拡散係数

$$D_a = 10^{(0.551 \times W/C - 3.36)} \quad (2)$$

今後、促進試験の結果と暴露試験の結果の対応が図れれば、式(2)により塩害に対する耐久設計が可能となる。

#### 4. まとめ

鉄筋コンクリート造の塩害抵抗性に関連して、水セメント比の遮塩性について検討した結果は以下の通りである。

- (1) 水セメント比が大きい程、塩分は中まで浸透するが、コンクリートに浸透する総量の増加は、サイクルの増加に対して鈍くなる。
- (2) 見掛けの拡散係数は、危険率1%で水セメント比による有意差が認められた。

- (3) 水セメント比と見掛けの拡散係数の対数は、極めて良好な直線性が認められ、今後、促進試験の結果と暴露試験の結果の対応が図れれば、塩害に対する耐久設計が可能となる。

#### 【参考文献】

- 1) 湯淺昇：コンクリートの塩化物イオン促進浸透試験方法の検討、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) ソーンウィーラ、山田義智、杉山隆文、大城武：フライアッシュを細骨材の一部として代替したコンクリートの遮塩性評価、日本建築学会構造系論文集、No. 560、pp. 17-25、2002.10