

コンクリートの塩化物イオン促進浸透試験方法の検討

日大生産工 ○湯 浅 昇

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性は、構造形式、材料、調合、養生、環境及び維持管理などの極めて多くの要因に影響される。使用するコンクリートの中性化、凍害、アルカリ骨材反応による劣化、そして塩害に対する抵抗性を評価するには、使用条件や自然環境に対して適切な試験を実施することが必要である。

中性化、凍害、アルカリ骨材反応による劣化抵抗性については、JIS 等に規定される等して標準試験方法が存在するが、内在塩分量の評価試験を別にすれば、自然環境に準じた模擬環境による外来塩分浸透性を評価する促進試験方法は確立しているとはいえないのが現状である。

そこで本研究では、大城・山田らが模索・考案した促進塩害試験方法¹⁾をもとに、自動で行える装置を試製し、塩化物イオン促進浸透試験について、促進試験方法を整え、水セメント

比が塩分浸透量に及ぼす影響、比較的厳しい塩害環境下 2 カ所における暴露試験結果との対応を検討することを目的としている。

なお、今回試製した試験装置は、塩化物イオン浸透に関する促進試験の範囲を超えて、「塩化物イオン浸透ならびに鉄筋の腐食促進試験」として試験を実施できるように設計してあるが、これについては次の課題としたい。

2. 試験方法と実験の概要

2.1 試験方法の概要

(1)大城・山田らによる方法¹⁾

文献¹⁾で紹介してある大城・山田らの方法は、塩水浸漬と熱風乾燥による乾湿繰り返し促進試験であり、寸法 15×15×53cm の試験体を塩水槽（3%NaCl 溶液、50℃）に 4 日間浸漬し、次に乾燥機に試験体を移し、3 日間 50℃の熱風で強制乾燥させ、更に常温下に 1 日静置する。これを 1 サイクルとし、所定のサイクルにおいて、塩化物イオン量分布、鉄筋の腐食を観察・測定するものである。

表 1 試験装置の仕様

形状	本体外寸:2615 ^W ×1420 ^D ×1645 ^H mm 試験槽有効内寸:1500 ^W ×800 ^D ×600 ^H mm 水槽内寸:1890 ^W ×1300 ^D ×480 ^H mm
材質	外装:SUS304 内装:SUS316L
温度	塩水浸漬温度:+5℃～+60℃ 乾燥温度:+5℃～+60℃
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

Study on Accelerating Testing Method
for Permeation of Chloride Ion into Concrete

Noboru YUASA

表 2 コンクリートの調合及び性状

シリーズ	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					スラブ (cm)	スラブ フロー (cm×cm)	空気量 (%)	練り温 (℃)	圧縮強度 (材齢28日) (N/mm ²)
								AE 減水剤 (kg/m ³)	高性能 AE減水剤P (kg/m ³)	高性能 AE減水剤T (kg/m ³)	空気量※ 調整剤 (kg/m ³)	空気※ 消泡剤 (kg/m ³)					
I	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	シリカフューム 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	シリカフューム 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	シリカフューム 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
II	60	大井川	普通 ポルトランドセメント	185	308	836	939	0.616	—	—	1.850	—	20.0	—	4.9	21.0	27.4

※100倍希釈溶液

(2) 試験装置の試製

上記、大城・山田らの方法をもとに、同じ槽内で塩水浸漬・乾燥の自動切り替え及び温度、塩化物イオン濃度のモニターが可能な試験装置（写真 1）を表 1 に示す仕様で試製した。

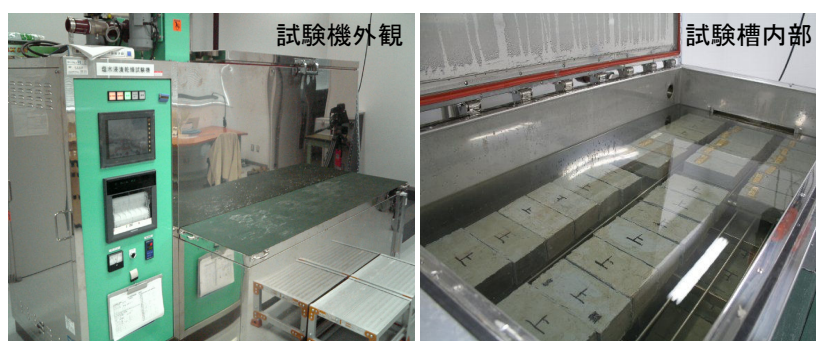


写真 1 塩水乾燥浸漬試験機

2.2 実験の概要

(1) 検討内容

ここでは、シリーズ I として、提案促進試験による水セメント比の異なるコンクリートの塩化物イオン分布の検討、シリーズ II として、提案促進試験結果と比較的厳しい塩害環境下 2 カ所（北海道・泊及び沖縄・辺野喜）における暴露試験結果との対応を検討する。

(2) 試験体の作製

シリーズ I：表 2 に示す水セメント比（以下 W/C）の異なるコンクリートを 100mm×100mm×200mm の鋼製型枠に打ち込み、暴露面（100mm×100mm の 2 面）以外の面を材齢 3 日から材齢 28 日まで 20℃、R.H.60% の恒温恒湿室にて開放した。他の面は、ウレタン樹脂を塗布した。

シリーズ II：表 2 に示す調合で、W/C60% の

表 3 試験概要

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℃ (攪拌機能有) II. 乾燥過程 4 日 (96 時間) 50℃ (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 18 年 7 月 18 日より暴露 (シリーズ II)
	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 18 年 7 月 25 日より暴露 (シリーズ II)

コンクリートを 100mm×100mm×200mm の鋼製型枠に打ち込み、暴露面（100mm×100mm の 2 面）以外の面を材齢 1、3、7、28 日から試験に供するまで 20℃、R.H.60% の恒温恒湿室にて開放した。他の面は、ウレタン樹脂を塗布した。

(3) 促進試験

今回試製した試験装置は、表 1 に示したように温度条件、サイクル条件、塩分濃度を任意に設定することが可能であるが、標準促進試験方法を模索することを目的に、文献¹⁾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。

シリーズⅠではコンクリート材齢 28 日の試験体を、シリーズⅡでは材齢 15 ヶ月の試験体（中性化深さ 10mm 程度）を試験に供した。

(4) 自然環境暴露試験

日本における塩害環境下として、比較的厳しいと考えられる北海道泊及び沖縄辺野喜の 2 カ所の海岸（図 1、表 3）に、シリーズⅡの試験体を材齢 2 ヶ月で暴露した。

(5) 全塩化物イオン量の測定

促進試験では 20 サイクルを経過した試験体を、シリーズⅡにおける暴露試験では暴露後 1 年を経過した試験体を回収し、暴露面から 1cm 間隔で各層における全塩化物イオン量を JCI-SC4 電位差摘定法に従い分析した。

3. 結果及び考察

3.1 提案促進試験による水セメント比が全塩化物イオン分布に及ぼす影響（シリーズⅠ）

図 2 は、シリーズⅠにおいて得られた全塩化物イオン分量の分布である。水セメント比が大きいほど、内部まで塩化物イオンが浸透し、かつその量は大きいことがわかる。W/C20%の超高強度コンクリートの遮

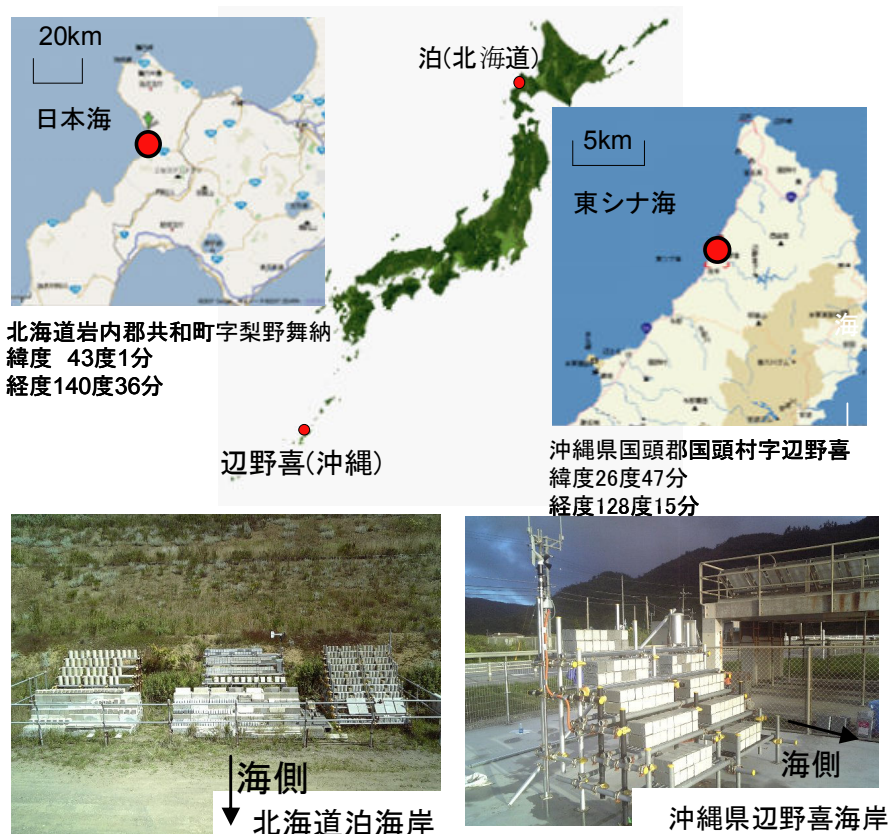


図 1 暴露地概要

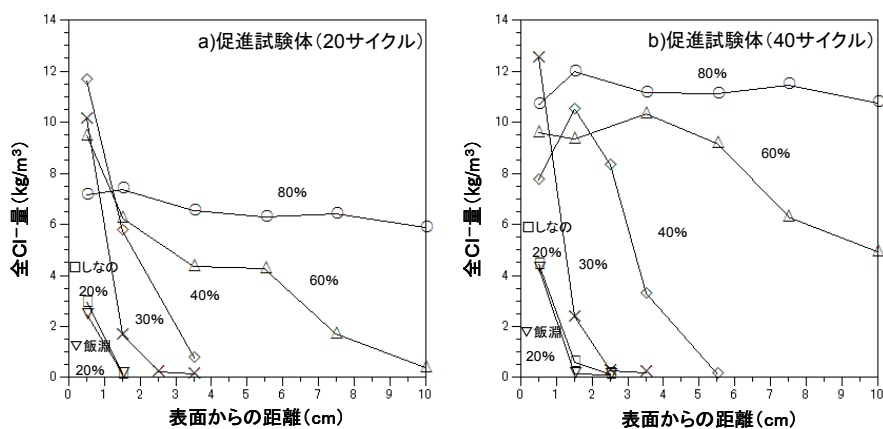


図 2 水セメント比の異なるコンクリート全塩化物イオン分布

塩効果は大きく、表層部分には Cl^- が付着するが内部には浸透しづらいことが確認できた。

3.2 提案促進試験結果と自然環境暴露試験結果の対応（シリーズⅡ）

図 3a)は、シリーズⅡにおける促進試験で得られた全塩化物イオン量分布（20 サイクル時）を示している。また、図 3b)、図 3c) は、それぞれ北海道泊、沖縄辺野喜に

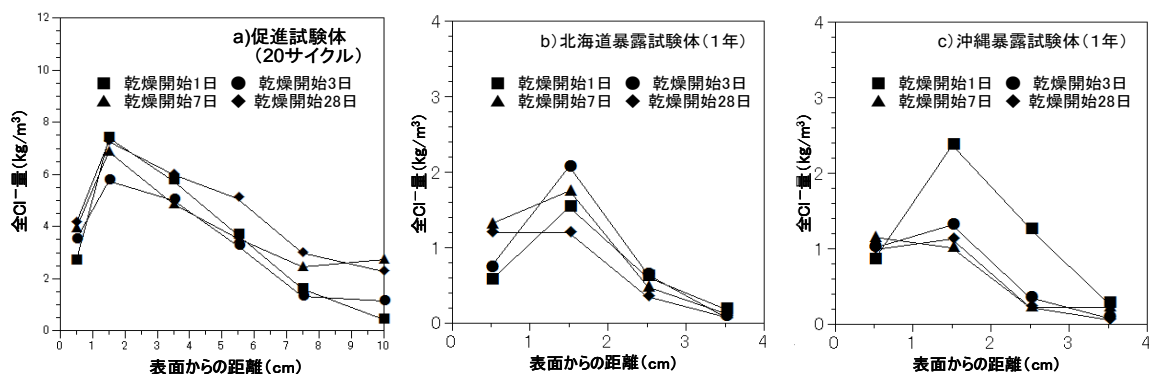


図3 乾燥開始材齢の異なる W/C60%コンクリートの塩化物イオン分布

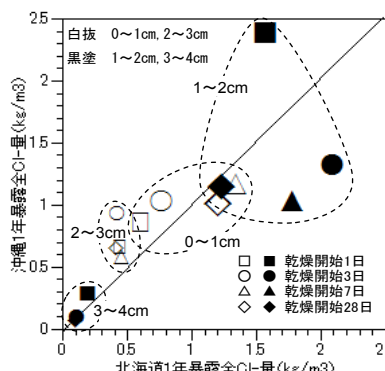


図4 塩化物イオン分布の
曝露地による違い

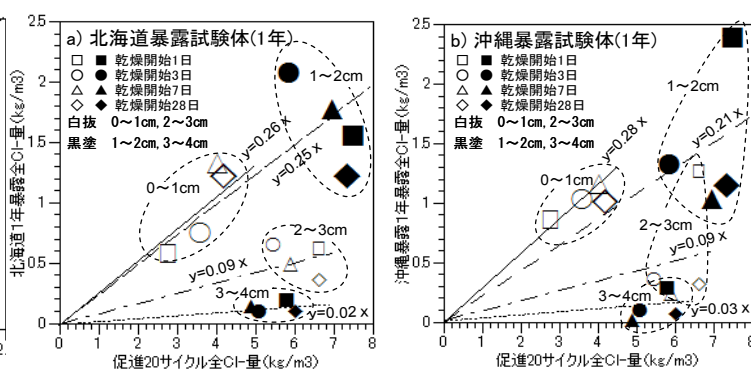


図5 促進試験（20 サイクル時）と自然暴露試験（1 年時）の対応

1 年暴露した試験体の全塩化物イオン量分布を示している。

図4により、北海道泊、沖縄辺野喜暴露試験体において、同一試験体の同一深さごとにその対応をみると、おおむね同じような値であり、今回の結果を見る限り、北海道泊と沖縄辺野喜の塩害環境は、塩化物イオンの浸透の観点からほぼ同じ強さと考えられる。

図5は、促進試験（20 サイクル時）と2ヶ所の自然環境暴露試験（1 年時）間の同一試験体・同一深さごとの対応を示したものである。

提案促進試験では、自然環境暴露試験に比し、表層における浸透量の対応を基準とすると、内部ほど浸透量が多くなることがわかる。ただし、その比率は、北海道泊での暴露、沖縄辺野喜での暴露との関係において、似通った値となった。表4は、暴露試験に対する提案促進試験の比を示したものである。

表4 暴露試験結果（1年）に対する
促進試験（20サイクル）の比

対暴露地	表面からの距離 (cm)			
	0～1	1～2	2～3	3～4
北海道泊	3.82	4.05	11.63	45.45
沖縄辺野喜	3.52	4.69	11.76	40.00

4. まとめ

本研究をまとめると以下の通りである。

- (1) 塩化物イオン促進浸透試験装置を試製し、促進試験方法を提案した。
- (2) 提案促進試験によって、塩水浸透におよぼす水セメント比の影響を示した。
- (3) 比較的厳しい2ヶ所の塩害環境による暴露試験結果に対する提案促進試験結果の比を示した。

【参考文献】

- 1) 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