

凍結防止剤による塩害を模擬した温度環境における塩分浸透性に関する実験

金沢大学大学院	修士(工学)	○橋本	庄一郎
苫小牧工業高等専門学校	正会員	博士(工学)	渡辺 暁央
金沢大学	博士(工学)	久保	善司

Abstract : Many bridges substructures of Expressways are damaged by de-icing salt in Japan. This experimental study focuses on the water leakage from bridge expansion joint and the penetration of chloride ion to the bridge substructures. We prepare concrete specimen (W/C 45% and 65%) and give them freeze-thawed cycle. The cycle is the temperature of the room shift from +5 to -10 degree per day, and it keeps 13 weeks. Besides the specimen are put into salt water for 30minutes once a week. As a result of this experiment, the chloride ion content of the specimen was high at near the surface. In addition, the specimen had little deterioration due to repeat of freezing and thawing. While, we prepared another case of the specimen were painted by silane impregnation, the permeation of chloride ion was drastically reduced.

Key words : Surface Impregnant, De-iced Salt, Repair, Evaluation Test, Chloride induce deterioration

1. はじめに

凍結防止剤の塩害は、塩分の供給が冬季に限られること、構造物における劣化部位に限られること、供給される塩分濃度が高いことなどから、海洋構造物の塩害と異なり劣化の進行予測が難しい。また、この塩害は構造物の局所的な範囲で比較的短期間に劣化が進行し、維持管理上の問題点となっている。例えば、橋梁ジョイントからの塩分を含む漏水による桁端部の劣化は、RC桁のみならずPC桁でも発生しており、PC桁の補修方法がRC桁に比較して難しく、予防的な保全が求められている。劣化速度が速い理由としては、高濃度の塩分供給や乾湿繰返し作用、毛細管浸透現象など、凍結防止剤の塩害特有の現象などが挙げられる。一方、凍結防止剤の名称が示すように、塩害環境が凍結融解を繰り返す環境下で発生することから、塩害と凍害の複合劣化を考慮する必要性もある。既往の凍結防止剤の塩害を模擬した室内実験¹⁾において、実験パラメータを乾湿繰返しとし、毛細管浸透による塩分浸透現象の解明を目的とした検討が行われている。これ以外にも実環境においてはさらに複雑な要因が関係しており、その他のパラメータについての検討も必要とされる。

また、凍結防止剤の塩害を防止する方法として、施工コストが安価な表面含浸材の塗布が着目されている。代表的な含浸材として、シラン系表面含浸材は撥水効果により塩分浸透を抑制し、ケイ酸塩系表面含浸材は水酸化カルシウムとの反応によるC-S-Hゲル生成や主成分の乾燥固化による空隙構造の緻密化により表層部を改質して有害物質の浸透を抑制するとされる。これらの表面含浸材は、さまざまな種類のものが製品化されており、性能評価のための試験が実施されている。著者らもシラン系表面含浸材の遮塩性を簡易に評価する方法として、飽和塩化ナトリウム溶液に30分浸漬したのち、40℃の乾燥を1日行う乾湿繰返し試験を提案し、含浸材の性能評価を実施している²⁾。しかし、毛細管浸透に特化し、かつ、乾湿の厳しい条件であるため、実環境下における実際の塩分浸透性の評価との対応についてはさらなる検討が必要とされる。

本研究では、凍結防止剤散布下の凍害を想定した温度環境に着目し、凍結防止剤が散布される冬季の温度条件に焦点をあて、コンクリート供試体の塩分浸透に関して検討することとした。凍結防止剤

表-1 配合

W/C (%)	s/a (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					
				W	C	S	G	AE 減水剤	助剤
45	45	12	6.5	142	316	877	1080	2.5	0.18
65	48	15	6.0	165	253	926	1011	1.5	0.10

の散布は、冬季に路面が凍結温度になるタイミングを見計らって実施することが多い。また、塩分を含む路面水が橋脚等のコンクリート構造物に流出するのも、温度状況が凍結時でなく融解時であると推定される。そこで、コンクリート供試体に塩水を供給した後、コンクリートが凍結融解を受ける環境を想定した実験により、塩分浸透性を検討することとした。また、シラン系表面含浸材を塗布による遮塩性の検討も実施した。

2. 実験概要

水セメント比45%および65%、目標スランブ12cm、目標空気量5%、粗骨材の最大寸法25mmのコンクリートを作製した。配合を表-1に示す。供試体寸法は10cm×10cm×20cmであり、10cm×20cmの面を打設面とした。打設後、材齢7日まで密封養生を行い、その後5日間は実験室内で自然乾燥させた。打設底面を除き、エポキシ樹脂にて2回の塗装を実施して、打設底面を試験面とした。さらに、10cm×20cmの試験面のうち、半分の10cm×10cmの範囲をディスクサンダーにて型枠離型剤の影響を除去するための素地調整を実施した。この供試体に対して、含浸材の遮塩性を評価する供試体にはシラン系表面含浸材を塗布し、塩分浸透実験の供試体とした。なお、シラン系表面含浸材の含浸深さは、JSCE-K751-2004の表面含浸材の試験法に従って測定を実施している。

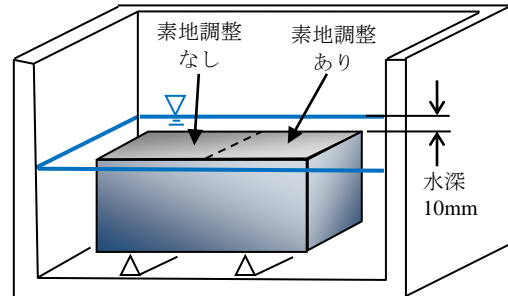


図-1 塩分供給方法

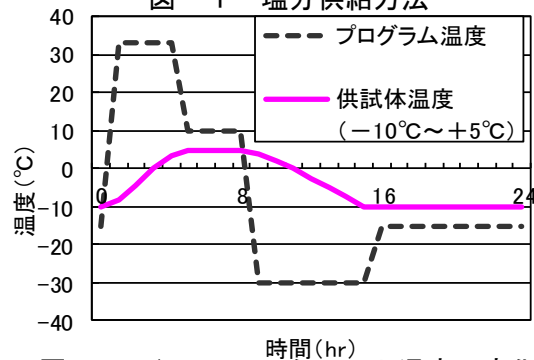


図-2 1日のコンクリート温度の変化

供試体温度を制御するためプレハブ内のプログラムは+33°C~-30°Cに変化させた。凍結融解は気中で行い、温度測定は供試体表層部の熱電対による測定値である。

表-2 含浸深さ(mm)

W/C(%)	素地調整有り	素地調整なし
45	6.3	5.1
65	7.0	5.4

塩分浸透試験は、図-1に示すように飽和塩化ナトリウム溶液に30分間浸漬させた後、図-2に示すように供試体表面温度が+5°C~-10°Cの範囲で変化するようにプログラムされたプレハブ実験室内に、供試体を7日間静置(凍結融解)し、これらを1サイクルとして実験を行った。なお、この温度条件は厳冬期においても多量の凍結防止剤が散布される北海道太平洋側等の冬期に比較的晴天が多く降雪の少ない地域を想定しており、実際に発生する気温条件および日射による構造物表層の融解時間を想定して凍結融解時間および温度勾配を設定した。この地域における厳冬期間は、12~2月の3ヶ月程度であり、1シーズンで蓄積される劣化を評価するため、4サイクルおよび13サイクルにて供試体を切り出し、表面から10mmごとにスライスして、塩化物イオン濃度をJIS A1154の電位差滴定法により測定した。

3. 結果および考察

3.1 含浸状況

表-2は、シラン系表面含浸材を塗布した供試体の含浸深さを示したものである。含浸深さは、水セメント比が大きいものの方が深くまで浸透しており、コンクリートの内部組織が粗であると含浸深さは深くなった。他方、水セメント比が45%においても、既往研究³⁾と比較して十分な含浸深さが確保されており、低水セメント比のコンクリートに対しても十分な能力が発揮されることが期待できるも

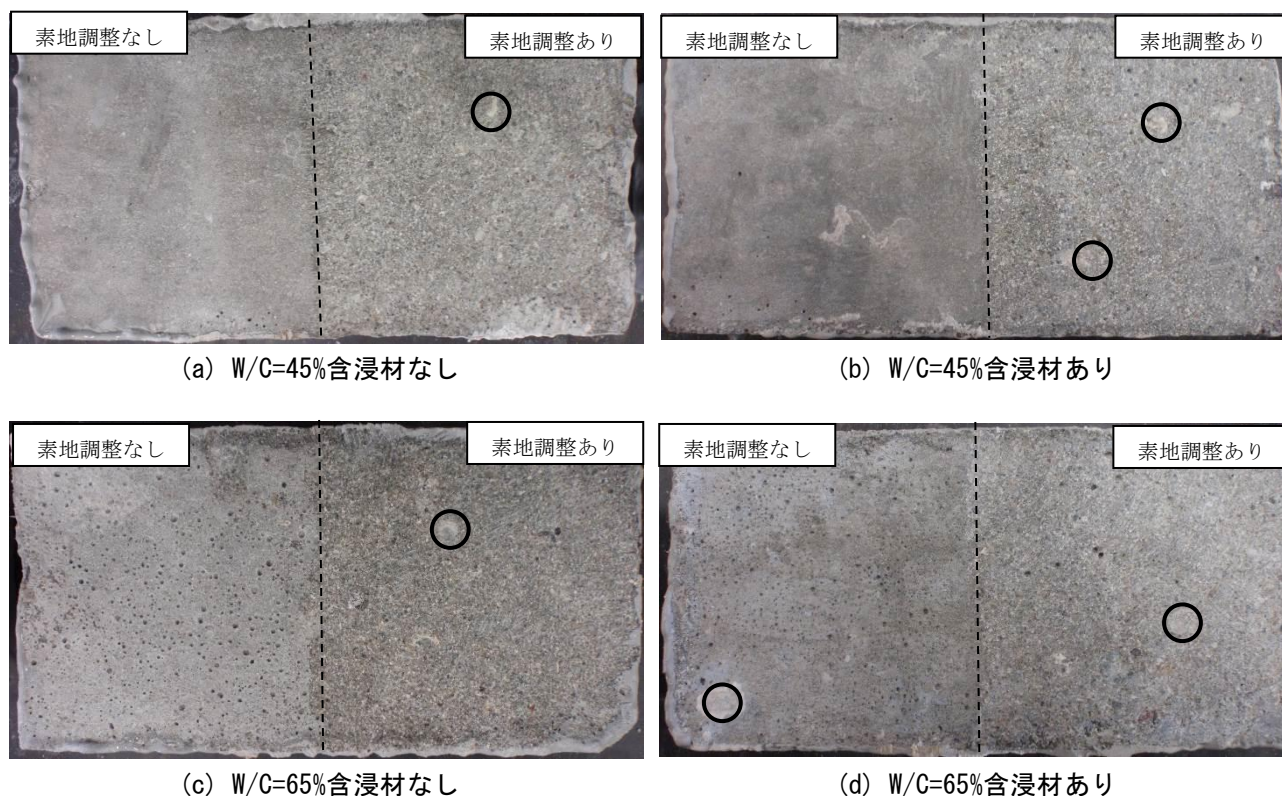


図-3 13サイクル終了後の試験面の外観 (○印：モルタルのはく離)

のと考えられる。また、素地調整を実施することにより含浸深さが大きくなっており、素地調整を実施していない場合は型枠離型剤などの影響により含浸材の浸透が妨げられたことが確認された。すなわち、多くの含浸材メーカーが施工条件として指定している素地調整は、含浸材の性能を最大限に発揮させる上で重要であることを示している。

3.2 凍結融解試験後の外観

図-3は、13サイクル終了後の試験面の外観である。いずれの水セメント比においても、一部に凍結融解作用によるものと推定されるモルタルのはく離が認められるものの、骨材のポップアウトやスケーリングのような顕著な凍害劣化が発生しておらず、供試体を切断しても目視レベルでのひび割れの発生は認められなかった。これは、コンクリートの空気量が十分に確保されていたため凍害に対して十分な耐久性が発揮されたこと、供試体寸法が小さいため供試体表面と中心部の温度差がほとんどない状態であったことが原因と考えられる。また、モルタルのはく離は、ごく一部にのみ発生しているのみであるため、凍害による塩分浸透性への影響は大きくないと考えられる。モルタルのはく離を含め、塩分浸透への影響を検討するため、素地調整を行っていない部分と行った部分から供試体を切り出し、塩分浸透量を確認した。なお、素地調整の有無の境界付近の5cm程度の範囲は、塩分試験の試料として使用していない。

3.3 塩分浸透状況

図-4は、4サイクルおよび13サイクル終了後の供試体について、表面からの塩化物イオン濃度の変化を示したものである。記号は、45：W/C=45%，65：W/C=65%，Ni：含浸材なし，Si：含浸材塗布，無：素地調整なし，有：素地調整ありを示す。含浸材を塗布していない供試体では、表層部の0-10mmの範囲で $1\text{kg}/\text{m}^3$ を超える塩化物イオン濃度となった。また、試験サイクルの増加とともに、表層部の塩化物イオン濃度が増加する傾向を示した。既往の研究において、30分間の飽和塩化ナトリウム溶液浸漬後に 40°C 乾燥を1日行うサイクルで14サイクル行った場合、含浸材の塗布がないと $30\text{kg}/\text{m}^3$ を超える濃度の塩化物イオンが表層部に浸透した結果が報告されている³⁾。一方で今回の実験では、飽和塩化

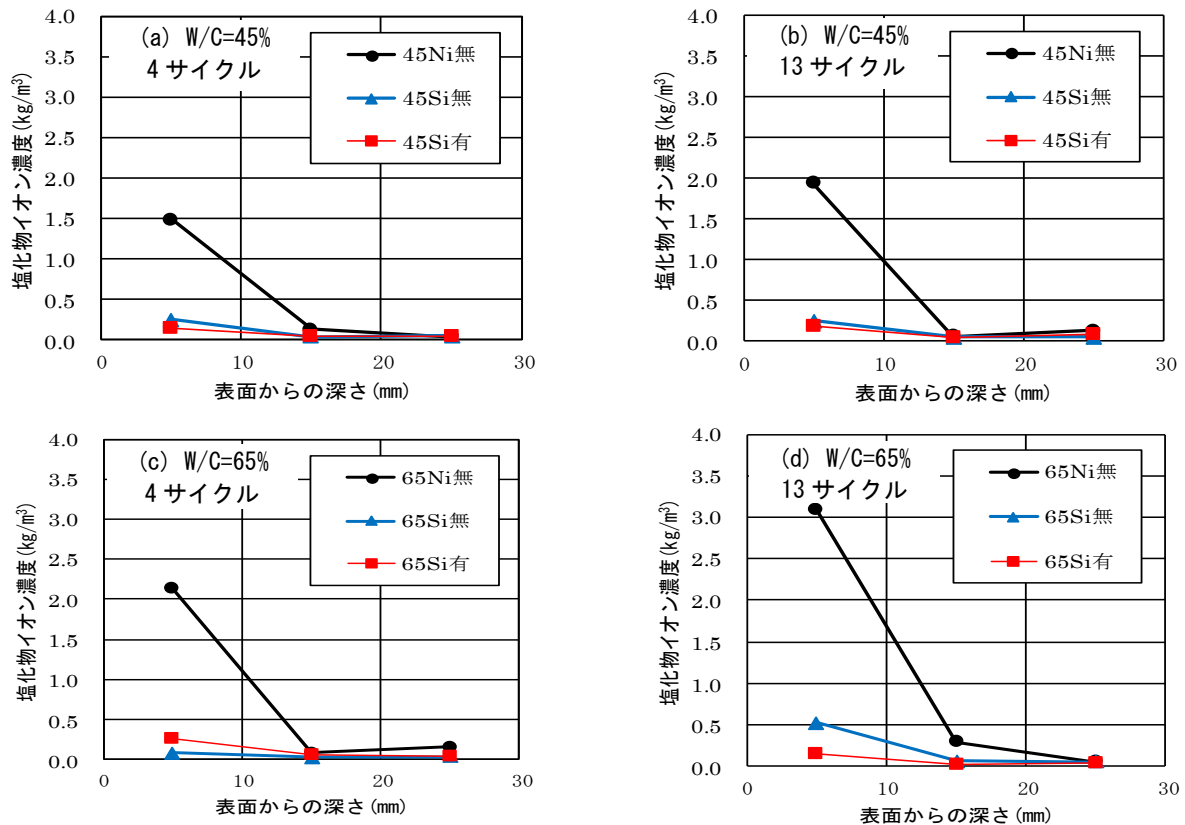


図-4 塩化物イオン濃度

ナトリウム溶液に浸漬した後、+5℃から-10℃までを繰り返す試験を実施している。そのため供試体が氷点下の温度になっている時間帯は、供試体内部の毛管水が凍結しているものと考えられ、塩化ナトリウム溶液の浸透を抑制した可能性が考えられる。またコンクリート中の相対湿度が比較的高いことも考えられ、塩化物の浸透が少なかった要因の一つと推察している。含浸材を塗布したものについては、シラン系含浸材の撥水効果により、表層部の塩化物イオンの浸透も抑制されるという結果を得た。また、一般に含浸材の施工では、素地調整を行うことを原則とする製品が多く、今回使用した含浸材も素地調整を必要とするものであった。素地調整を行わずに含浸材を塗布した供試体では、若干であるが素地調整を実施したものより塩分の浸透が大きくなっており、素地調整の重要性が示された。

4. まとめ

凍結防止剤の塩害を想定して、+5～-10℃の凍結融解を繰り返す環境下で、定期的に塩分を供給させる実験を行った。主な結果を以下に示す。

- (1) 凍結融解を繰り返す環境下で、定期的に塩分の供給を行った場合、コンクリート内部への塩分の移動は比較的少ないようである。
- (2) 含浸材を塗布すると塩分浸透は非常に小さくなる。

参考文献

- 1) 藤川篤司, 渡辺暁央, 近藤崇, 石川裕一: 塩水流下によるコンクリート中の塩化物イオン浸透量に関する実験的検討, プレストレストコンクリート工学会 第22回シンポジウム論文集, pp.173-176, 2013
- 2) 橋本庄一郎, 久保善司, 樺山好幸, 橋爪康憲: 表面含浸材の迅速性能評価手法に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1643-1648, 2011
- 3) Hashimoto, S., Kubo, Y. and Hashizume, Y.: Study on applicable evaluation of surface impregnant based on drying and wetting test, 3th International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, 2013