

論文 シラン系表面含浸材によるコンクリート表層の品質改善効果に関する検討

張 文博*1・新藤 竹文*2・菅野 道昭*3・池山 正一*4

要旨：著者らはシラン系表面含浸材を開発し、その実用化を進めている。本報では、開発した表面含浸材の基本特性を述べた上で、コンクリート表層の品質改善効果を検証するために実施した塩化物イオン浸透、紫外線劣化、凍結融解抵抗性および鉄筋腐食試験などの室内促進試験、および、比較的過酷な海洋飛沫帯での実環境暴露試験における鉄筋の腐食抑制効果について報告する。その結果、開発した表面含浸材は、優れた塩化物イオン浸透抵抗性、紫外線劣化抵抗性および鉄筋腐食抑制効果を有すること、実環境下においても鉄筋腐食の進行が抑制されていることが明らかとなった。

キーワード：シラン系表面含浸材、塩化物イオン浸透、促進耐候性、腐食抑制、自然電位、吸水抑制性

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化は、その表層から浸入する水に大きく影響され、耐久性確保のための予防保全および補修においては、水や水に含まれる劣化因子の浸透をいかに抑制するかが従来からの課題となっている¹⁾。

近年、劣化対策工の一つとしてコンクリート表層部を疎水性に改質できるシラン系表面含浸材が汎用されるようになった。この種の表面含浸材は、比較的施工が容易であり、利便性や経済性にも優れていることから、品質改良や付加機能を拡充させるなど適用範囲のさらなる拡大に向けて様々な取込みがなされている^{例えば2,3)}。

著者らは、アルキルアルコキシシランを主成分として、これにフッ素系樹脂を混合することで撥水性をさらに高めた表面含浸材を開発し、含浸性能や撥水性などの基本物性を確認するとともに、その実用化に向けて、比較的大型試験体を用いた実施工レベルの試験施工を行ってきた^{4,5)}。その結果、冬期、夏期に因らず液だれや色むらが生じず、ローラや刷毛塗りで円滑に施工できること、上向きや横向きなどの施工方向を選ばず 5.0mm 以上の含浸深さを有すること、さらに未塗布面と比べて吸水率を 1/10 程度まで抑制できることを明らかとした。

本稿では、開発した表面含浸材によるコンクリート表層の改質効果について、特にその長期的な保護効果の検

証を目的として、本材を塗布した供試体の塩化物イオン浸透抵抗性、促進耐候性、耐凍結融解性、内部鋼材の腐食抑制性などの室内促進試験を行った。合わせて、比較的過酷な海洋飛沫帯で実施している暴露試験の 1 年経過時点における鉄筋の腐食抑制効果に関するモニタリング結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 配合および試験項目

評価した供試体の母材は、表-1 に示す配合のモルタルとコンクリートを用いて作製した。

モルタル供試体は JSCE-K 571-2013 「表面含浸材の試験方法」に準拠して作製した。また、コンクリート供試体は、水セメント比 55% (スランプ 12.0cm, 空気量 5.1%) であり、材齢 28 日の圧縮強度は 43.5N/mm² の品質のものである。なお、鉄筋腐食試験に用いる供試体は、かぶり 30mm の位置に D13 異形棒鋼 (SD295) を配置しているため、粗骨材最大寸法は 13mm とした。

試験項目の詳細を表-2 に示す。含浸深さ、吸水率、透湿度と撥水性の基本物性試験、および、塩化物イオン浸透試験と促進耐候性試験は、モルタル供試体を用いて実施した。また、凍結融解および鉄筋腐食試験はコンクリート供試体にて実施した。

表-1 含浸材性能評価試験に用いた供試体の示方配合および使用材料

配合名称	G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Ad (C×%)	AE (C×%)
				W	C	S1	S2	G		
モルタル	-	50	-	241	482	1446	-	-	-	-
コンクリート	13	55	48	163	295	-	870	962	1	0.0035

C : 普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm³)、S1 : 標準砂 (密度 2.65g/cm³, 最大粒形 2mm)、S2 : 砕砂 (密度 2.60g/cm³, 吸水率 2.11%)、G : 粗骨材 (密度 2.64g/cm³, 吸水率 0.76%)、Ad : AE 減水剤 (I 種)、AE : AE 剤 (I 種)

*1 大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 材工研究室 博(工) (正会員)

*2 大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 荣誉研究員 博(工) (フェロー会員)

*3 成和リニューアルワークス(株) 工事統轄部技術部品質・技術室 室長

*4 成和リニューアルワークス(株) 工事統轄部工事部リニューアル工事室 室長 (正会員)

塗布した含浸材は、比較的広く使用されているアルキルアルコキシシランを主成分とした市販品(以下、A材)、および、同種の主成分であるがフッ素系樹脂を混合することで撥水性をさらに高めた開発品(以下、B材)の2種類とした。B材は、シロキサン結合と長鎖フルオロアルキルシランによる共重合体であり、コンクリート表面部に形成される吸水抑制層には優れた撥水性と耐久性が期待できる。また、比較対象として含浸材を塗布しない供試体(以下、BL)も併せて試験を実施した。

2.2 供試体の作製方法

含浸深さ、吸水率および透湿度試験用のモルタル供試体は、100×100×400mmの母材から切り出して作製した。母材はJSCE-K 571-2013に準じて作製、脱型・水中養生し、28日間の気中養生を行った後、各試験用の供試体を切り出し、所定の切断面に表面含浸材を塗布した。

塩化物イオン浸透試験用の供試体は、図-1(a)に示すように、母材(φ100×200mm)の両端を25mmずつ切断した後、切断面の片面を含浸材塗布面とし、残りの面は全てエポキシ樹脂で被覆した。

さらに、塩水浸漬試験後に塗布面の中央から10×50×40mmの試験片を切り出し、EPMA分析を行なった。

促進耐候性試験用の供試体は、母材から図-1(b)に示すように150×70×10mmの試験片を切り出し、片面を含浸材塗布面とし、他の5面はエポキシ樹脂で被覆した。

凍結融解試験および鉄筋腐食試験に用いたコンクリート母材は、JSCE-K 571-2013に準拠して作製し、養生および下地処理などを行った。

凍結融解試験用の供試体は、型枠面2面に含浸材を塗布し、その他の4面はアクリル樹脂系被覆材で被覆した。

鉄筋腐食試験用の供試体は、図-2に示すように100×100×376mmの形状とし、D13異形鉄筋(SD295)をかぶり30mmの位置に1本配置した。一側面(型枠面)を含浸材塗布面とし、他5面はアクリル樹脂で被覆した。また、自然電位を測定するために、その右端面から鉄筋を5mm突き出し、この面は塩ビ板を接着し、保護した。

含浸材の塗布は、温度23±2℃、相対湿度50±5%の実験室にて、刷毛を用いて行ない、同室内にて14日間気中養生を行った後、各試験に供した。

2.3 評価試験の方法

(1) 基本物性

含浸深さ、吸水率および透湿度試験は、JSCE-K 571-2013に準じて行った。含浸深さは、含浸材塗布後、材齢14日で供試体を割裂し、その割裂面で評価した。

吸水率と透湿度の試験は、含浸材塗布後、材齢14日から開始し、以降、3、7、28、91日経過時点で評価した。

撥水性は、JIS R 3257に準拠し、供試体長さ方向の中央部75mmにおいて5mm間隔で計15点、静滴法による

表-2 本研究で実施した試験項目の詳細

試験内容	測定項目(材齢)	準用規格・基準	対象/母材	
基本物性	含浸深さ	割裂面の含浸深さ(塗布後14日)	JSCE-K 571-2013	A材, B材 モルタル
	撥水性	水接触角(塗布後14日)	JIS R 3257(1999) (静滴法)	
	吸水率	吸水前後質量変化(吸水3,7,28,91日)	JSCE-K 571-2013	
	透湿度	放湿前後質量変化(放湿3,7,28,91日)	JSCE-K 571-2013	
塩化物イオン浸透	EPMA面分析(浸漬1年)	JSCE-G 572-2018 (供試体作製, 浸漬) JSCE-G 574-2013 (EPMA分析)	A材, B材, BL モルタル	
促進耐候性	24時間吸水率(促進7500時間)	JIS K5600-7-7(2008)		
凍結融解	動弾性係数, 質量(300サイクル)	JIS A 1148(2020) (A法)	A材, B材, BL コンクリート	
鉄筋腐食(室内促進)	自然電位(促進1000サイクル)	JIS K 5600_7_9(2006) (促進方法) JSCE-E 601-2018 (自然電位計測)		
鉄筋腐食(海洋暴露)	自然電位(暴露1年)	JSCE-E 601-2018 (自然電位計測)		

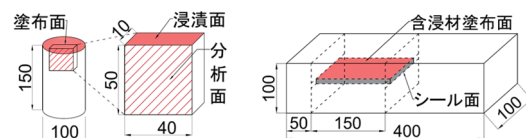


図-1 EPMAと促進耐候性試験用供試体

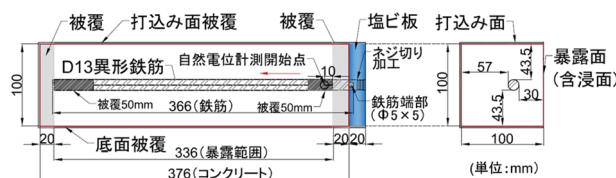


図-2 鉄筋腐食試験用供試体の詳細

水接触角を測定した。

(2) 塩化物イオン浸透性試験

温度20℃、濃度10%の塩化ナトリウム水溶液中に52週間浸漬した後、図-1(a)に示すように含浸深さ方向にEPMA面分析を行った。試験はステージスキャン法(JSCE-G 574-2013)により行い、照射電子線の直径を100μmとし、50×40mmの面を100μm間隔で計測した。ここで、塩素濃度は、塩水浸漬面から深さ方向に沿って得られた500ピクセルの塩素の平均値を求めて、その平均濃度のプロファイルを作成した。

(3) 促進耐候性試験

促進耐候性試験は、照射照度300~400nm・60W/m²、温度38±3℃、相対湿度50±5%RH)の条件にて、キセノンランプ式耐候性試験機により行った。

乾湿サイクルは、濡れ時間18分~乾燥時間102分を1サイクルとし、250サイクル(500時間)経過ごとに供試体を取り出して、3750サイクル(7500時間)まで、塗布

面の吸水率の変化を評価した。

まず、試験機から取り出した供試体は 23°C50%RH の室内にて 24 時間静置し、その表層に付着した水を取り除いた状態での質量を測定した。次に、供試体を温度 23±2°C の水中に 24 時間浸漬した。供試体を浸漬水から取り出し、表面をウェスで拭き取り、さらに 5 分間静置した後、浸漬後の質量を計測した。この浸漬前後の供試体の質量差より、吸水率を算出した。

ここで、供試体は含浸材塗布面を上向きにし、水深 20mm 程度の状態で浸漬した。また、促進期間を通して同一供試体を繰り返し使用した。

(4) 凍結融解試験

凍結融解試験は、JIS A 1148「水中凍結融解試験方法(A 法)」で行った。凍結融解 30 サイクル毎に供試体を取り出し、その時点での相対動弾性係数と質量を計測し、300 サイクルまで行なった。

(5) 鉄筋腐食試験

鉄筋腐食試験は、室内促進試験と海洋飛沫帯の実環境暴露試験の両者にて実施した。

室内促進試験は、JIS K5600_7_9 に準拠して行った。腐食サイクルは表-3 に示す。また、写真-1(a)のように含浸材塗布面を上向きに設置し、噴霧した塩水が塗布面に直接飛沫するようにした。

腐食サイクル 150、350 および 1000 サイクル経過時点で、供試体毎に自然電位を測定した。

海洋飛沫帯での暴露試験の状況を写真-1(b)に示す。暴露場所は静岡県伊東市内の海浜であり、写真に示すように、大きな波浪が頻繁に生じ、降雨や直射日光などの天候の変化も激しい、比較的過酷な飛沫帯環境といえる。

暴露試験体は、含浸材塗布面を上向きにし、両端部 90mm の範囲をバタ角で抑えて固定した。したがって、中間部の長さ約 150mm の範囲は塗布面に飛沫塩分や紫外線が直接作用するが、両端部の長さ 90mm の範囲は直射日光や海水などの劣化因子を遮断した暴露状態である。

暴露期間 1 年経過時点で、自然電位を計測した。

自然電位の測定は、電位差計のプラス端子と図-2 に示す右端鉄筋の突出部を接続し、マイナス端子を照合電極に接続して行った。照合電極を塗布面の鉄筋直上に接触させながら、供試体端部から 25mm ピッチで計 13 点を測定した。また、照合電極には鉛照合電極を使用した。

自然電位の測定と合わせて、非接触式温度計を用いて供試体表面温度を測定し、JSCE-E601 に準じて飽和硫酸銅電極に対する自然電位の値を換算した。

3. 試験結果および考察

3.1 基本物性

図-3 に含浸深さの測定結果を示す。含浸材 A、B と

表-3 腐食サイクル試験の試験条件

段階	時間 (h)	温度 (°C)	条件
1	0.5	30±2	塩水噴霧
2	1.5	30±2	湿潤 (95±3) %RH
3	2	50±2	熱風乾燥
4	2	30±2	温風乾燥
5	段階1に戻る		



写真-1 鉄筋腐食試験の状況

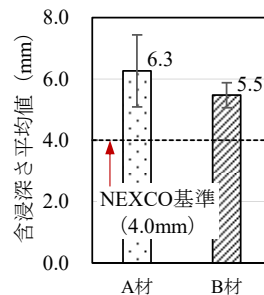


図-3 含浸深さ

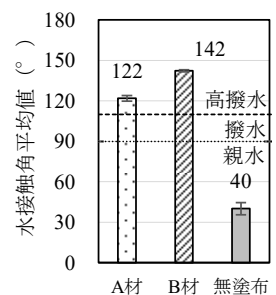


図-4 水接触角

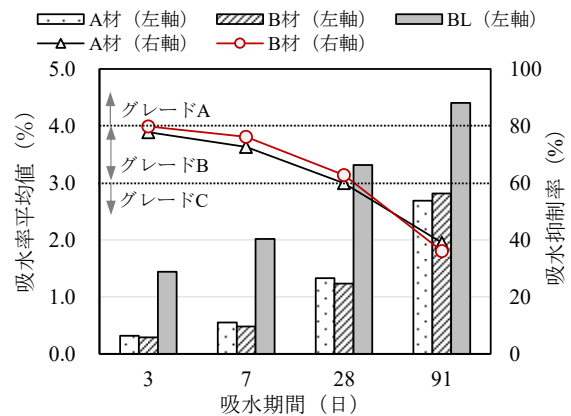


図-5 吸水率の測定結果

もに 5.0mm 以上の含浸深さを有しており、NEXCO 基準の 4.0mm 以上を満足する含浸性が得られた。

図-4 に水接触角の測定結果を示す。無塗布のモルタル表面の水接触角は 40° と親水領域であるのに対して、含浸材 A、B とともに 110° 以上の高撥水領域にあり、特に B 材は 142° と高い撥水性を有することが分かる。

図-5 に吸水率の測定結果を示す。いずれの供試体も、吸水期間が長くなるにともない吸水率が徐々に増加する傾向が認められるが、含浸材を塗布することで無塗布の

7割程度までに吸水を抑制できることが確認された。

含浸材 A, B について、土木学会「表面含浸工法 設計施工指針 (案)」⁶⁾ に示された吸水抑制率を算出し、その経時変化を図-5 に併記する。

含浸材を塗布した場合、吸水期間 28 日までの吸水抑制率はグレード B 以上の範囲にあるが、吸水期間 91 日ではグレード C に低下する傾向が認められる。

図-6 に透湿度の結果を示す。含浸材の塗布・無塗布に因らず透湿度はほぼ同等であり、試験期間が長くなるにともない透湿度は徐々に増加していく傾向が認められる。また、同図に含浸材 A, B における透湿比の経時変化を併記するが、透湿比の変化は僅かであり、材令 91 日経過時においても 90% 以上であるのが分かる。このことから、含浸材の塗布は水蒸気の放出には殆ど影響せず、無塗布と同じ透湿性のままであると考えられる。

3.2 塩化物イオン浸透

図-7 に塩化物イオンの EPMA 面分析結果を示す。

浸漬期間 1 年経過時点で、無塗布では深さ 40mm 程度まで塩化物イオンの浸透が認められるのに対して、含浸材 A, B ともに塩化物イオンの浸透はほとんど認められず、高い遮塩性を有することが分かる。

図-8 に深さ方向の濃度分布を整理した結果を示す。

無塗布の BL では、表層の塩化物イオン濃度 1.49% を最大に、深さ方向に徐々に減少していくが、鉄筋を配置したかぶり 30mm の深さにおいても濃度 0.4% 程度の塩化物イオンが認められ、鉄筋腐食への影響が懸念される。

これに対して、含浸材を塗布した供試体では、表層の塩化物イオン濃度は含浸材 A (0.51%)、含浸材 B (0.48%) とも無塗布の 1/3 程度に減少しており、その浸透深さも 4mm 程度とごく表層で止まっていることが分かる。

前節 3.1 の吸水率の試験では、含浸材を塗布しても、浸漬期間 91 日時点ではグレード C に吸水抑制率が低下する傾向が認められたが、この塩化物イオンの浸透においては、塩水浸漬 1 年経過時においても塩化物イオンの浸透は殆ど認められなかった。したがって、時間経過にともない表面からの吸水はあるが、鋼材腐食に繋がる塩化物イオンの浸透に対しては抑制効果を保持するものと考えられる。同様の知見は、既往の研究⁷⁾においても報告例があり、シラン系含浸材特有の改質メカニズムに起因する効果であると考察される。

3.3 促進耐候性

促進耐候性における 24 時間浸漬後の吸水率の経時変化を図-9 に示す。無塗布は、促進試験開始時点の吸水率は 5% 程度であるが、促進時間 1000 時間以降は概ね 2.4% 程度に収束している。これは、促進試験開始時点 (初期値) は乾燥状態にある供試体を 24 時間浸漬して吸水率を測定し、以降は再度浸漬と乾燥を繰り返すことで測

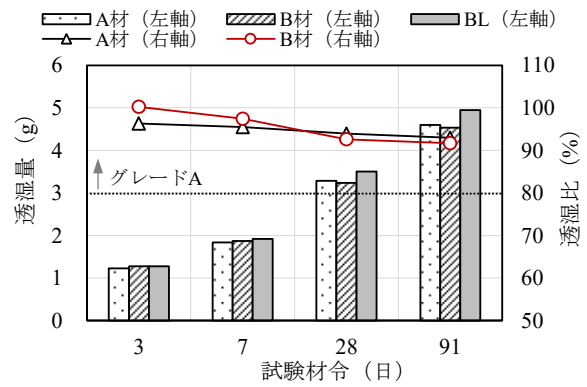


図-6 透湿度

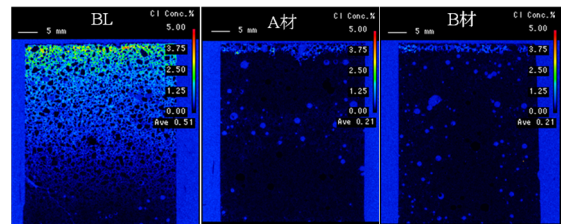


図-7 塩化物イオンの EPMA 面分析結果

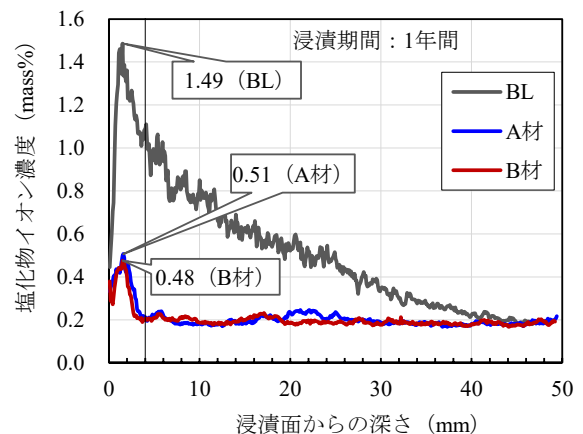


図-8 EPMA 分析による塩化物イオン濃度分布

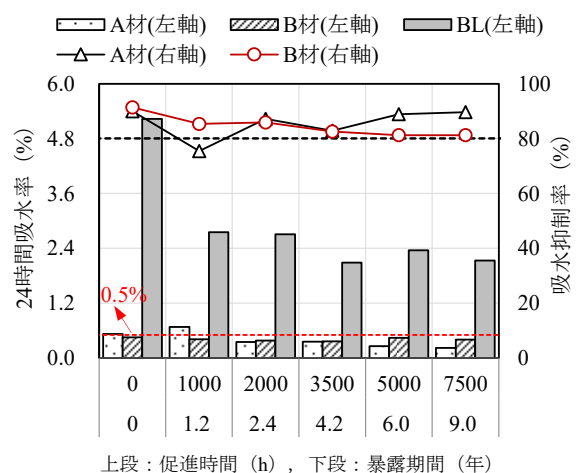


図-9 促進耐候性における吸水率の経時変化

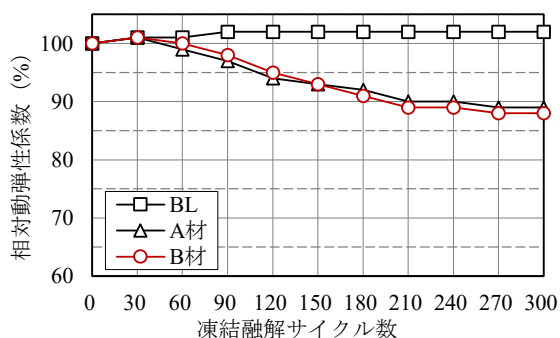


図-10 凍結融解試験における相対動弾性係数の変化

定時での含水状態が違うことによると考えられる。

含浸材を塗布した供試体では、含浸材 A、B ともに促進試験開始時点での吸水率は 0.5%程度と無塗布の 1/10 と小さく、以後、7500 時間経過時点においても初期値とほぼ同等の吸水率であり、長期にわたり、吸水抑制率 80%以上の遮水性を保持していることが分かる。

ここで、前節 3.1 の図-5 に示すとおり、常時水中に浸漬した状態では浸漬期間の増加にともない吸水抑制効果の低下が認められた。この促進耐候性試験では長期にわたり高い吸水抑制効果を有する結果となったが、これは、乾潤の繰り返し条件であることが理由と考えられる。なお、表面含浸材は屋外環境での適用が主体であることから、この促進耐候性試験での吸水率や吸水抑制率の方が実際の吸水性を適切に評価しているものと考えられる。

既往の文献⁸⁾によれば、この促進耐候性試験におけるキセノンアークランプ 837 時間照射は、市街地（東京）での 1 年間暴露に相当すると報告されている。この知見に基づき、実環境暴露期間の推定値を図-9 に併記する。

乾湿繰返し 1000 サイクルは実環境 1.2 年間に相当することから、実環境で 9 年間経過しても、表面含浸材による高い吸水抑制効果が保持されるものと推察される。

3.4 凍結融解

図-10 と図-11 に、凍結融解試験における相対動弾性係数と質量減少率の結果を示す。

無塗布は、300 サイクルまで相対動弾性係数の低下や質量減少は認められない。これに対して、含浸材を塗布した供試体の相対動弾性係数においては、A 材、B 材ともに凍結融解 60 サイクル以降、徐々に減少し、300 サイクル終了時点で 10%程度の低下が認められる。また、図-11 に示すように、供試体の質量減少率も凍結融解 90 サイクル以降、徐々に減少していき、300 サイクル終了時点で 3%程度の質量減少が生じていることが分かる。

供試体の表面状況の一例を写真-2 に示す。無塗布に比べ、含浸材を塗布した供試体は、A 材、B 材ともに 60 サイクルで表面劣化が顕在化し、150 サイクル以降は比較的顕著なスケーリングが生じ、300 サイクル終了時では比較的広範囲に表層の剥落が認められた。

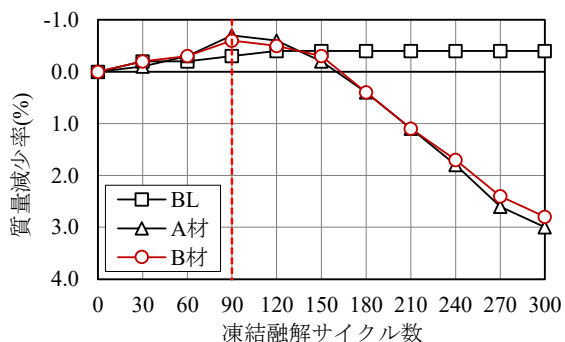
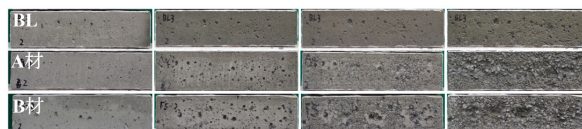


図-11 凍結融解試験における質量減少率の変化



試験前 60 サイクル 150 サイクル 300 サイクル
写真-2 凍結融解試験における供試体の劣化状況

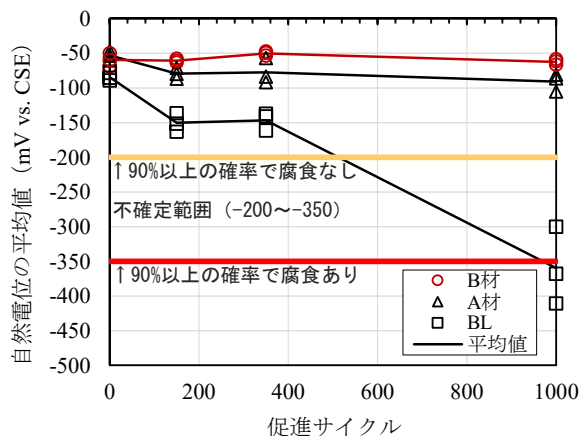


図-12 腐食サイクル試験における自然電位の変化

既往の文献⁹⁾によれば、今回の凍結融解試験と同様に、湛水法による凍結融解試験 (ASTM C 672) で評価した場合、含浸材を塗布した供試体では凍結融解性が低下すると報告されている。また、その理由として、含浸材により生成された吸水防止層が氷圧による未凍結水の毛管流動を阻害することによって、流動圧が高まったことがスケーリングの顕在化に繋がるとの考察がなされている。

本研究においても同じ劣化機構が作用したことからスケーリングが進行したものと考えられる。ただし、表面含浸材は屋外環境での適用が主体であることから、気中環境での凍結融解試験の方が実現象に近い適切な評価となり得る可能性もあり、試験法も含めて、凍結融解における劣化機構を検討する必要がある。

3.5 鉄筋腐食

(1) 室内促進試験

図-12 に、室内で行った促進腐食試験における自然電位の測定結果 (平均値) を示す。図を見ると、含浸材 A、B ともに、1000 サイクルまで促進しても自然電位は初期

値とほぼ同等であり、鉄筋腐食の兆候は認められない。これに対して、無塗布供試体では、1000 サイクル時点で自然電位は「90%以上の確率で腐食あり」との判定領域となり、350 サイクル以降、鋼材腐食が発生し、進行している可能性が示唆される。

(2) 海洋飛沫帯暴露試験

図-13 に、海洋飛沫帯での暴露 1 年間経過時点の自然電位を示す。ここで、前節 2.3 (5) に述べたとおり、暴露試験体の中央部 100~250mm の範囲は飛沫塩分や直射日光に直接晒されるが、両端部 90mm の範囲は劣化作用の影響を遮断した状態で暴露した。

含浸材を塗布した供試体では、暴露の状態に因らず中央部と端部の自然電位にほとんど変化が認められない。また、含浸材 A、B ともに自然電位は-200mV 前後であり、ほぼ「腐食なし」あるいは僅かに「一部腐食不確定範囲」の領域に止まっている。これに対して、無塗布では、塩分と紫外線を遮断した両端部の範囲において自然電位は-200mV 前後と含浸材を塗布した供試体と同等の値であるが、直接暴露されている中央部の範囲では自然電位の大きな変化が認められる。

このことから、暴露期間 1 年間ではあるが、比較的過酷な飛沫帯環境においても、含浸材を塗布することにより腐食抑制効果が得られることが確認された。

なお、0~100mm の範囲に比較して、無塗布供試体の中央部においては腐食している可能性が示唆されるが、暴露を遮断した両端部の腐食の進行も含めて、今後、さらに長期間のモニタリング調査を行なう予定である。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

(1) 開発した含浸材は、従来品と同程度の含浸材深さ、吸水抑制率および透湿度を有するが、特に撥水性はより高い性能を有する。

(2) 開発した含浸材は、優れた塩化物イオン抵抗性と紫外線劣化抵抗性を有している。

(4) 水中凍結融解試験において、含浸材を塗布した場合にスケーリングの顕在化が認められた。今後、試験条件も含めて、その劣化機構を解明する必要がある。

(5) 含浸材を塗布することにより、紫外線や飛沫塩分に対して高い鉄筋腐食抑制効果を有することが明らかとなった。

以上、ここに開発した表面含浸材の基本特性は、従来の同種シラン系含浸材とほぼ同等の性能を有することが確認された。なお、開発した表面含浸材は期待したとおり高い撥水性や紫外線抵抗性を有することから、今後も実環境暴露を継続し、より長期での劣化抵抗性を検証する予定である。

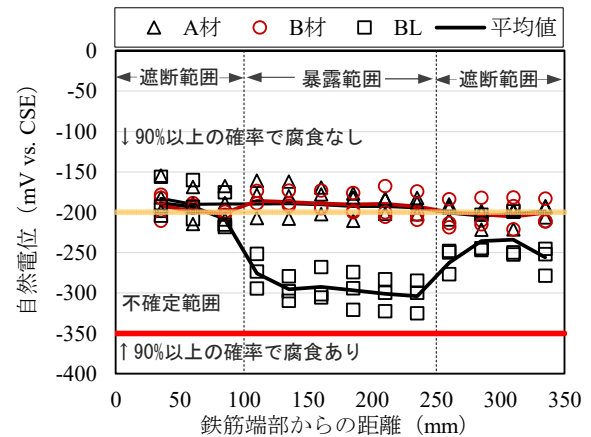


図-13 海洋飛沫帯暴露における自然電位の変化

参考文献

- 1) 加藤佳孝, 兼松学, 伊代田岳史, ほか: コンクリート構造物の劣化予測における学術研究の役割とその成果の活用に関する研究委員会, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.28-33, 2022.
- 2) 鶴田浩章, 丸山徹, 東口剛士: アミノ基を有するシラン系表面含浸材によるコンクリートの乾湿繰り返しに対する効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.1091-1096, 2021.
- 3) W. Wang, et al.: Fabrication of all-dimensional superhydrophobic mortar with enhanced waterproof ability and freeze-thaw resistance, Construction and Building Materials, Vol.238, 117626, 2020.
- 4) 張文博, 新藤竹文, 堀口賢一, ほか: シラン系表面含浸材の含浸深さと撥水性に関する実験的検討, 土木学会全国大会第76回年次学術講演会, V-382, 2021.
- 5) 菅野道昭, ほか: シラン系表面含浸材の施工性能および品質改善効果に関する実験的考察, 土木学会全国大会第77回年次学術講演会, V-315, 2022.
- 6) 土木学会, 表面保護工法 設計施工指針(案)【工種別マニュアル編】, コンクリートライブラリー119, pp.166-167, 2005.
- 7) 坂本貴之, 武若耕司, 山口明伸, 樋原弘貴: 各種表面含浸材の塩分浸透および中性化に対する抑制効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1625-1630, 2011.
- 8) 古谷英彦, 細田暁, 鈴木雄大, 松田芳範: シラン系表面含浸材の紫外線劣化の吸水試験による評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1945-1950, 2009.
- 9) 遠藤裕丈, 吾田洋一, 伊藤憲章: 道路設計要領の目安を満足するシラン系表面含浸材を用いたコンクリートのスケーリング抵抗性の評価, 第52回北海道開発技術研究発表会論文, コ-14, 2009.