

塩分を含んだRCへの表面処理施工による鉄筋防食効果の検討

高知工業高等専門学校	○野村裕太
高知工業高等専門学校	正会員 近藤拓也
高知工業高等専門学校	正会員 横井克則

Abstract : In this study, silane surface penetrants and surface coating material were performed on a specimen containing salt in concrete. And the moisture environment which imitated the moisture influx from the pavement side of a concrete floor slab to a construction side was set up. The test specimens were kept for up to 8 months, and the salt movement and the anticorrosion effect were measured periodically. As a result, it was confirmed that water was accumulated in the vicinity of the applied surface of the silane surface penetrants and the surface coating material. Although there is no difference in the distribution of Cl⁻ concentration depending on the presence or absence of the surface treatment, the possibility of the anticorrosion effect by the application of the surface treatment was confirmed.

Key words : Silane surface penetrants, Surface coating material, Moisture content, Cl⁻ concentration, Half-cell potential

1. はじめに

シラン系表面含浸工や表面被覆工などの、コンクリートに対する表面処理工法は日本において、性能評価が多く行われている¹⁾²⁾。また、撥水性を付与するため、塩分侵入阻止を目的として新設構造物への適用を想定したものが多く。しかし、沿岸部などの既設構造物においては、すでにコンクリート中に塩分を含んでいる可能性がある。さらに橋梁床版などでは、水が表面処理施工をしていない面からコンクリート中に浸入する可能性もある。そのため、塩分侵入阻止を目的として表面処理施工をしても、それによるコンクリート中の塩分拡散挙動が複雑になることが予想される。場合によっては、表面処理施工前よりも施工後の方が鉄筋腐食に対して不利になる可能性も考えられる。そのため、コンクリート中に塩分が含まれる場合の表面処理施工後の塩分拡散挙動について、ある程度正確な理論を確立させる必要がある。

本研究では、コンクリート中に塩分を含んだ供試体にシラン系表面含浸材および表面被覆材を施工し、実環境を模擬した水分環境を設定した。これによる塩分移動状況および防食効果の検討を目的とし、実験を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料

シラン系表面含浸材は主成分がアルコキシシラン（主成分濃度：90%以上）のものを使用した。シラン系表面含浸材の種類を表-1に示す。以降、本論文中において、「シラン」と略す。表面被覆材は主成分がエポキシ樹脂のものを使用した。表面被覆材の種類を表-2に示す。以降、本論文中において、「被覆材」と略す。塗布量および塗布回数はメーカーの水準を目安とした。

2.2 供試体概要

コンクリート配合表を表-3に示す。試験要因および水準を表-4に示す。セメントは普通ポルトラ

ンドセメントを用い、コンクリートの水セメント比は60%とした。材齢28日までは湿潤養生を行い、全供試体について、**図-1**に示すように打込み面を含む4面にエポキシ被覆を行った。そのうち材齢89日まで20°C, R.H.60%で気中へ存置させた。存置環境への設置の前日（材齢90日）にエポキシ被覆をしていない2面のうち、かぶり小さい面に、端部条件としてシランもしくは被覆材を施工した。そして、その反対面を吸水面とした。これは橋梁床版下面のように、施工面の反対側からの水の浸入を模擬したためである。供試体は、100mm×100mm×100mmとし、φ13の丸鋼鉄筋をかぶり30mmで配置した。シランおよび被覆材施工後は、乾燥条件下（20°C, 60%R.H.一定）と、水中条件下（**図-2**に示すように、下面が水に浸る程度）に存置した。水中条件に関しては毛細管現象を用いることで、舗装面から床版底面への水の浸入を再現した。

2.3 試験方法

材齢200日にコンクリート・モルタル水分計を用いて、電気抵抗法による供試体中の含水率測定、電量滴定による塩分濃度測定を行った。試験開始後14日ごとに自然電位および分極抵抗の測定を行った。この測定には携帯型鉄筋腐食診断機を用いた。分極抵抗の値から、**(式1)**、**(式2)**より、質量減少速度に換算した³⁾⁴⁾。また、材齢260日に供試体解体を行い、鉄筋質量および直径を測定した。13mmの鉄筋1本につき10か所の直径を測定し**(式3)**より、変動係数を算出した。

表-1 シラン系表面含浸材の種類

種類	主成分	主成分濃度	塗布量 (g/m ²)	外観
含浸材	アルコキシシランおよびポリアルキルアルコキシシロキサン	90%以上	200 (1回塗布)	ジェル状

表-2 表面被覆材の種類

種類	主成分	構成材料	塗布量(g/m ²)	外観
被覆材	エポキシ樹脂	プライマー	100 (2回塗布)	液状
		上塗り	700 (2回塗布)	ジェル状

表-3 配合表

W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					AE調整剤 (g)
			W	C	S	G	NaCl	
60	10.0±2.5	4.5±1.5	183	305	871	880	10.0	76.2

表-4 試験要因および水準

試験要因	水準
端部条件	シラン, 被覆材, 無施工
存置環境	乾燥条件下, 水中条件下

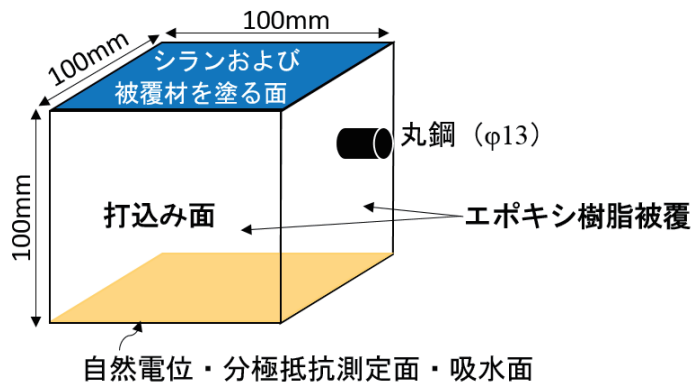


図-1 供試体のシランおよび被覆材の塗布面

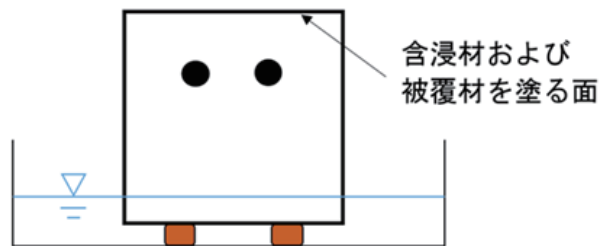


図-2 水中条件

腐食電流密度

$$I_{corr} = K \cdot 1/R_p \quad \dots \dots \dots \text{(式1)}$$

ここに、 I_{corr} : 単位面積あたりの腐食電流密度(A / cm²)
 K : 値 (V) 0.026V
 R_p : 分極抵抗(Ωcm²)

質量減少速度への換算式

$$1 \mu\text{A} / \text{cm}^2 = 9.1 \text{ mg} / \text{cm}^2 / \text{year} \quad \dots \dots \dots \text{(式2)}$$

直径の変動係数

$$CV = \sigma / \mu \quad \dots \dots \dots \text{(式3)}$$

σ : 10箇所直径の標準偏差
 μ : 平均直径

3. 試験結果

3.1 供試体内含水率測定

材齢200日における、各条件における含水率分布を図-3および図-4に示す。いずれにおいても被覆材、シラン、無塗布の順に含水率が大きくなっている。これは、無塗布の透湿性がもっとも高くコンクリート中の水分がより多く放出したためだと考えられる。また、シランの場合、シランの施工によってできる撥水層は、水蒸気は通すが水滴は通さないという性質を持つ⁵⁾。そのため、無塗布よりも水分を放出せず、さらには水中条件では、蓄積される水分もあると考えられる。また、乾燥条件では、無塗布よりも水分を放出しないため含水率が大きいと考えられる。このように、各材料がもつ透水性や透湿性の違いによって端部条件ごとに含水率に差が生じたと考えられる。塗布面からの距離が5mmの場合において、シランを施工した場合、乾燥条件についてはほかよりも小さな値となっている。これに関して、シランの含浸域では含水率が極端に小さくなるため、コンクリートの抵抗が変化し、必ずしも正確な値を得ることができないと考えられる。

3.2 Cl⁻濃度の分布

材齢200日における水中環境下でのCl⁻濃度を図-5に示す。いずれの端部条件においてもCl⁻濃度分布

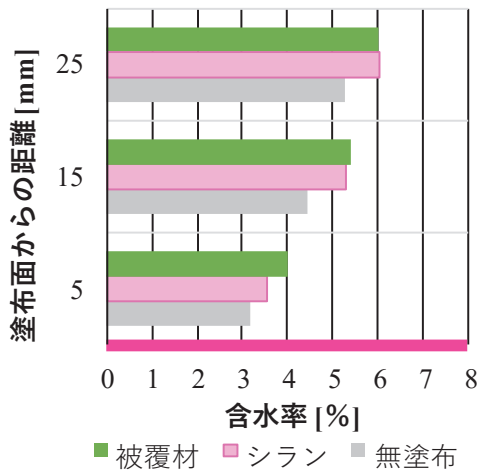


図-3 含水率(水中条件)

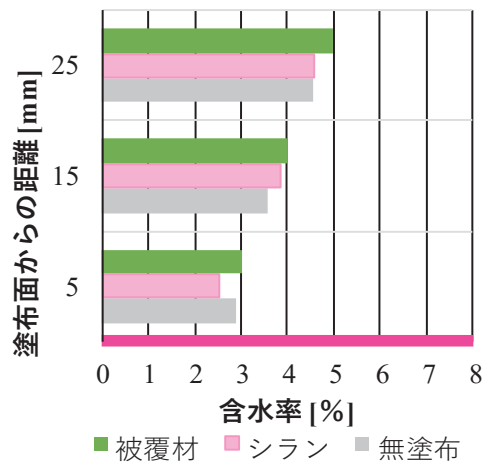


図-4 含水率(乾燥条件)

に明確な差は確認できなかった。これは、常に水分が供給されている一方で、塗布面から放出する水分が少ない可能性が考えられることや、毛細管現象によって塗布面へと浸透していく水の流れが小さくなることで、塩分が移動しにくくなったと考えられる。材齢200日における、被覆材施工におけるCl⁻濃度分布を図-6に示す。乾燥条件下では、塗布面から乾燥面に向けてCl⁻濃度が増加している。これは、被覆材施工面で水分の出入りを遮断するためだと考えられる。それによって、乾燥面からのみ水分が蒸発したことが原因だと考えられる。しかし、水中条件の無塗布を見ると、水分が逸散する面（塗布面）に近づくにつれCl⁻濃度が大きくなるという結果とはならなかった。湿度という観点からは、十分に水分の蒸発が起こる環境であるが、この原因に関しては不明な点が多い。そのため、今後の長期的な試験による考察が必要であると考える。

3.3 自然電位測定結果

水中条件下における、自然電位の経時変化を図-7に示す。水中環境へ設置後、無塗布は経時的に卑化する傾向を示した。また被覆材を施工した供試体はほかの条件よりも貴な傾向を示した。乾燥条件下における、自然電位の経時変化を図-8に示す。いずれの端部条件においても経時的に貴化する傾向を示した。また、水中条件と比較しても、全体的に貴側に推移している。

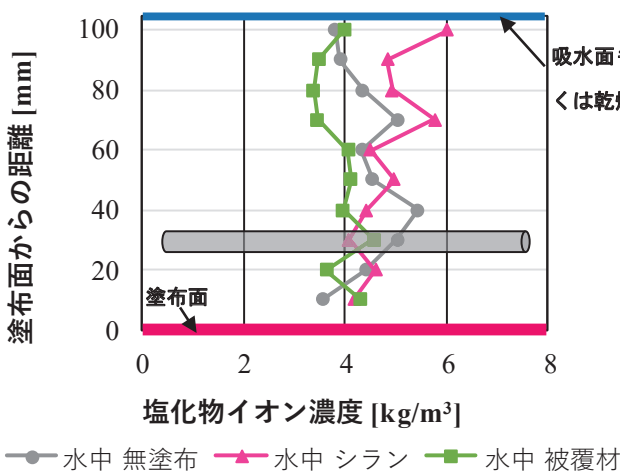


図-5 Cl⁻濃度(水中条件)

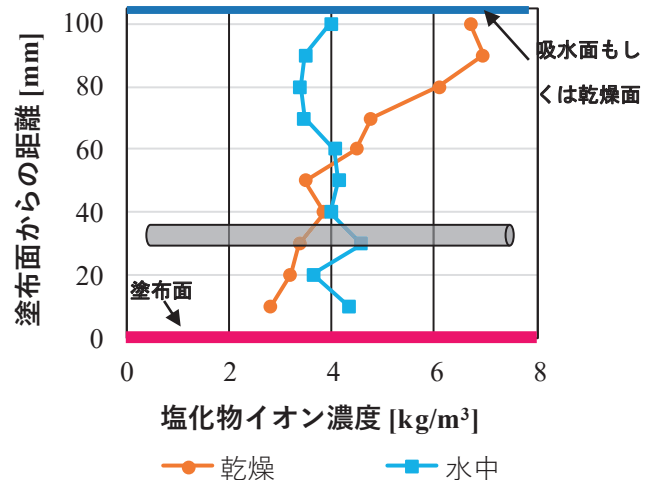


図-6 Cl⁻濃度(表面被覆材)

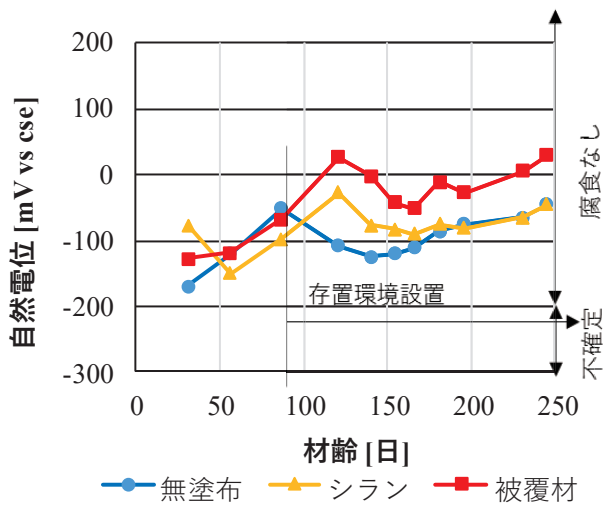


図-7 自然電位(水中条件)

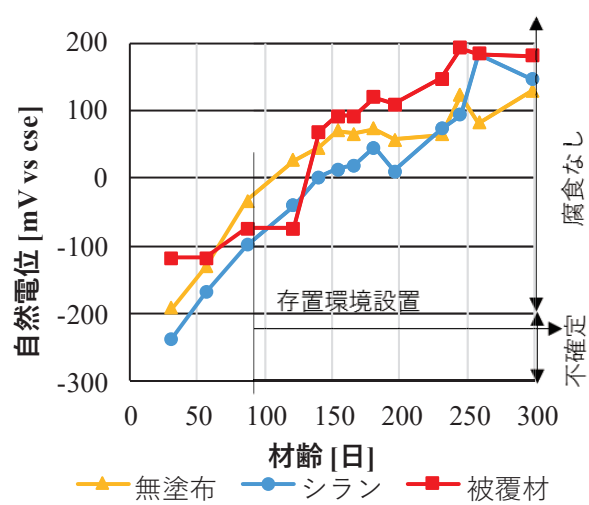


図-8 自然電位(乾燥条件)

3.4 分極抵抗測定結果

分極抵抗測定結果に基づき算定した質量減少速度の経時変化を図-9および図-10に示す。水中環境では質量減少速度が経時的に増加した。そして、無塗布はシランや被覆材と比べて大きい傾向を示した。また、材齢240日では、いずれの端部条件でも水中条件下の値は乾燥条件下の約2倍以上の質量減少速度を示した。乾燥環境下では、質量減少速度は経時的にほぼ同じ値を示した。材齢250日での水中条件において、無塗布の質量減少速度が急激に減少している。これについては、測定時の銅線接続による誤差と考えられる。

3.5 質量減少率および直径の変動係数

各条件における、質量減少率を図-11に示す。質量減少率は、打込み前と解体時の鉄筋質量の差と、打込み前の鉄筋質量との商を百分率とした。また、直径の変動係数を図-12に示す。直径の変動係数は解体時の鉄筋の直径から、(式3)を用いて求めた。どちらの図においても、水中条件下の無塗布供試体の値が大きい。これは図-11ではほかの条件よりも2倍以上、そして図-12ではおよそ1.5倍であった。そのため、表面処理によって防食効果が発揮されていることが分かる。水中条件では、図-11ではシランと被覆材は同じ値であるが、図-12ではシランは被覆材に比べやや大きい値であった。これまでの測定結果からシランと被覆材を比較すると、含水率と透湿性以外はほぼ同じ条件であったが、変動係数に差が表れたのは、酸素の侵入が起因していると考えられる。図-9では、特に材齢120日から170日において、無塗布供試体の質量減少速度が大きい傾向を示している。これが、図-11において、質量減少率が大きくなった要因を示したものと考えられる。

4. おわりに

本研究では、塩分を含んだRCへ、シラン系表面含浸材および表面被覆材を施工することによる塩分移動状況の把握と防食効果について検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- 1) 水分が供給される状態で表面被覆材およびシラン系表面含浸材を塗布した場合、塗布面付近に水分が蓄積される可能性を示した。
- 2) 材齢 200 日の鉄筋位置において、端部条件の違いにより含水率に差が生じた。しかし、Cl⁻濃度の差がほとんど確認されなかった。
- 3) 材齢 200 日において、表面処理の有無によって自然電位および腐食速度の傾向に差が生じた。
- 4) 質量減少速度については、無塗布は 120 日、シランと被覆材は 180 日以降において、水中条件下で乾燥条件下の約 2 倍以上であった。

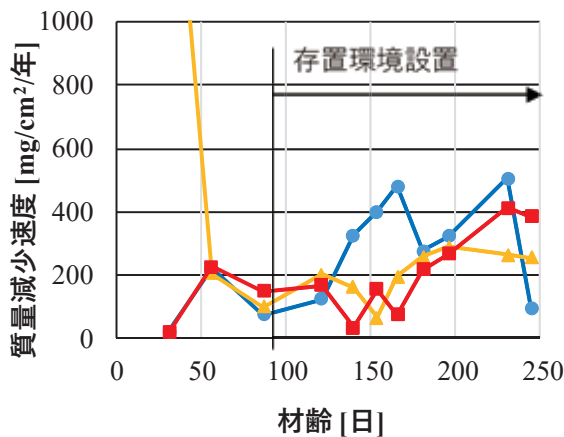


図-9 質量減少速度(水中条件)

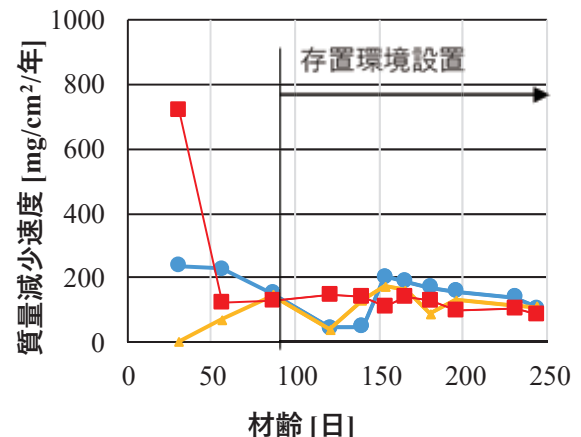


図-10 質量減少速度(乾燥条件)

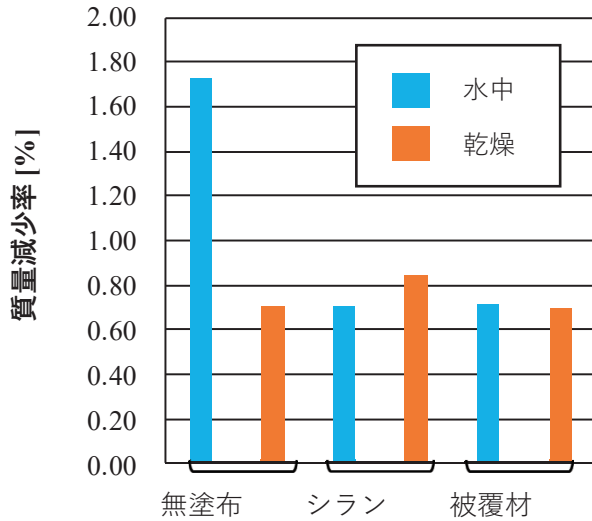


図-1 1 質量減少率

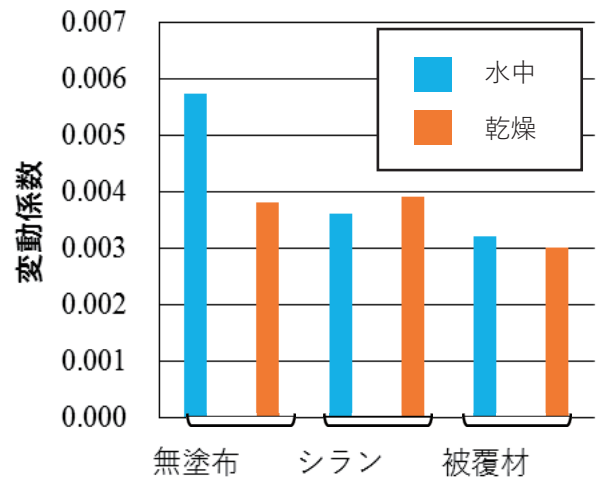


図-1 2 直径の変動係数

- 5) 表面処理をした場合, 水中条件において 260 日後の質量減少率は, 無塗布と比較し 1/2, 直径の変動係数は 2/3 という結果を示した。

謝辞

実験指示および材料提供は, 大同塗料各位にいただいた。ここに謝意を表する。

[参考文献]

- 1) 竹田宣典, 十河茂幸, 迫田恵三: 各種表面保護工を用いたコンクリートの耐久性向上効果の評価, コンクリート年次論文集, Vol.26, No.1, pp.753-758, 2004.7
- 2) 森井直治, 久保田憲, 林承燦, 宮里心一: シラン系表面含浸材の性能評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, 2010
- 3) 土木学会: 2013年制定土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕, 2013.3
- 4) 公益社団法人日本コンクリート工学会: コンクリート診断技術'18[基礎編], pp.194-195, 2018.2
- 5) 田中博一, 堀耕次, 服部篤史, 宮川豊章: シラン系はっ水材の分子構造がコンクリートのはっ水性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.17, No.1, pp.789-794, 1995.7