

論文 シラン・シロキサン系撥水材の塗布方法に関する一実験

林 大介*1・坂田 昇*2・三村 俊幸*3・神沢 弘*4

要旨:本研究では、1回の塗布でコンクリートに浸透し、かつ施工時に飛散や液ダレが生じにくいシラン・シロキサン系撥水材の施工に際し、最も効果的な塗布方法を把握することを目的とした実験を実施した。その結果、シラン・シロキサン系撥水材の塗布において、エアレススプレーを使用する場合とローラーを使用する場合で浸透深さに差異はなく、いずれの場合も塗布方向の違いによる浸透深さの違いはないことが分かった。また、水セメント比が高く、表面水分率が低いコンクリートの方がより深く浸透すること等が分かった。

キーワード:コンクリート用撥水材, 水セメント比, 塗布方法, 表面処理工法

1. はじめに

昨今、コンクリート構造物において、コンクリート片の剥落等に代表される劣化が見られるようになり、様々な機関でその対策が検討されている。コンクリート構造物の劣化に対して施される対策すなわち補修方法には、表面処理工法、ひび割れ注入工法、断面修復工法および電気化学的工法等がある。中でも表面処理工法を、構造物の新設時もしくは補修時に施すことは、コンクリートの劣化を防止し長寿命化を図る上で有効であり、またライフサイクルコストの低減にも繋がると考えられる。筆者らは、表面処理工法の中でも撥水材を塗布する工法について検討を進めている。撥水材を塗布する工法は、表面被覆工法のようにコンクリートの表面を塗膜で覆うわけではなく、コンクリート表面に撥水材を浸透させることによって防水効果を付与する方法である。撥水材を塗布したコンクリートは気体を透過するが液体を透過しない、という特徴を有する。これまでに、シラン分子とシロキサン分子を混合して使用するシラン・シロキサン系撥水材を開発し、その性能を評価してきた¹⁾²⁾。その結果、シラン・シロキサン系撥

水材は、従来のシラン系撥水材のように複数回の塗布を行う必要がなく、1回の塗布で十分な撥水効果を得ることができ、また、塩害および凍害の防止に有効であることが確認された。

現在のところ、シラン・シロキサン系撥水材の性能評価はほぼ終了しており、実構造物への適用段階にある。しかしながら、実構造物に使用されているコンクリートの品質は様々であり、また供用される環境も様々であるため、構造物毎に最適な塗布方法および条件の判断が難しい。本研究では、シラン・シロキサン系撥水材の塗布に際し、最も効果的な塗布方法および条件を把握することを目的として、塗布方向と器具・距離およびコンクリート表面状態(水セメント比および表面水分率)を試験水準として行った実験の結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 シリーズI (塗布方向と器具・距離)

(1) 使用材料

本研究で使用した材料を表-1に示す。表-1中のシラン・シロキサン系撥水材は1回塗布のもの

*1 鹿島建設(株)技術研究所 LCEプロジェクトチーム 研究員(正会員)

*2 鹿島建設(株)技術研究所 土木技術研究部 材料・LCEグループ長 工博(正会員)

*3 旭化成ワッカーシリコーン(株)パフォーマンスケミカル事業部営業部 副部長 工修

*4 旭化成ワッカーシリコーン(株)パフォーマンスケミカル事業部技術部 工修

のであり、シラン系撥水材は一般的に使用されている3回の塗布が必要なものである。コンクリートの配合を表-2に示す。

(2) 実験方法

シリーズIの実験水準は表-3に示すとおりとした。本研究で使用した機器を表-4に示す。表-2に示す配合のコンクリートを用いて100×100×400mmの供試体を作製し、7日間水中養生を行った後、60℃の乾燥炉で1日乾燥させた。表面水分計を用いてコンクリートの表面水分率が4.5±0.5%の範囲にあることを確認し、打設面と直交する100×400mmの面に対して撥水材を塗布した。塗布量は表-1に示す標準塗布量とした。ここで、本研究においてスプレーで撥水材を塗布する場合、シラン・シロキサン系撥水材とシラン系撥水材は性状が異なるため、それぞれの性状に最適と考えられるエアレススプレーおよびエアスプレーを使用した。撥水材の塗布後、14日間の養生期間をおき、供試体を割裂して割裂面に墨汁を噴霧し、着色しない範囲を浸透深さとして測定した。

2. 2 シリーズII (水セメント比)

(1) 使用材料

実験で使用した材料は、表-1に示したシラン系撥水材およびシラン・シロキサン系撥水材の2種類である。コンクリートの配合を表-5に示す。

(2) 実験方法

シリーズIIの実験水準は、表-6に示すとおりとした。また、実験に使用した機器は表-4に示したとおりである。表-5に示す4種類の配合のコンクリートを用いて100×100×400mmの供試体を作製し、28日間水中養生を行った後、60℃の乾燥炉で1日乾燥させた。表面水分計を用いてコンクリートの表

表-1 使用材料

使用材料		摘要
撥水材 ^(※)	シラン・シロキサン系撥水材	アルキルアロキシシラン (分子量: 約250) および反応性 ^ポ リシロキサン 密度: 0.9g/cm ³ , 標準塗布量: 0.2kg/m ²
	シラン系撥水材	アルキルアロキシシラン (分子量: 約180) 密度: 0.84g/cm ³ , 標準塗布量: 0.34kg/m ²
コンクリート	セメント	普通 ^ポ ルランド ^セ メント, 密度: 3.16g/cm ³
	細骨材	新潟産山砂, 表乾密度: 2.63g/cm ³
	粗骨材	八王子産硬質砂岩砕石, 表乾密度: 2.65g/cm ³
モルタル	高性能AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物および ^ポ リオール複合体
	セメント	普通 ^ポ ルランド ^セ メント, 密度: 3.16g/cm ³
	細骨材	豊浦標準砂, 表乾密度: 2.60g/cm ³

(※) シランの分子量は推定される構造のものである。

表-2 コンクリート配合 (シリーズI)

W/C (%)	スランプ ^ポ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)			
				W	C	S	G
65	8	4.5	46.3	173	267	844	988

表-3 実験水準 (シリーズI)

No.	撥水材の種類	塗布対象面	施工器具	ス ^ポ レ ^レ -距離
1	シラン・シロキサン系 (1回塗布)	下向き	エアレス ^ポ スプレー	250mm
2		横向き		
3		上向き		
4		横向き		500mm
5		横向き	1000mm	
6		下向き	ローラー	—
7		横向き		—
8		上向き		—
9	シラン系 (3回塗布)	下向き	エア ^ポ スプレー	250mm
10		横向き		
11		上向き		

表-4 使用機器

使用機器	摘要
エアレス ^ポ スプレー	電源:100V 50/60Hz, 消費電力:1050W, 最大圧力:24MPa, 最大吐出量5.9 l/min
ローラー	砂骨材ローラー
エア ^ポ スプレー (コンプレッサー)	電源:100V, 出力:200W, 作動圧力, 復帰圧力:0.39~0.49MPa, 吐出し空気量:21/25 l/min
表面水分計	高周波容量式モルタル・コンクリート水分計(20MHz)

表-5 コンクリート配合 (シリーズII)

No.	W/C (%)	スランプ ^ポ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)			
					W	C	S	G
1	40	8	4.5	41.0	168	420	705	1027
2	55			45.0	168	305	817	1010
3	60			45.5	168	280	836	1012
4	70			47.0	168	240	879	1002

面水分率が4.5±0.5%の範囲にあることを確認し、打設面と直交する100×400mmの面に対して撥

水材を塗布した。塗布量は表-1に示す標準塗布量とした。撥水材の塗布は、シラン・シロキサン系撥水材にはエアレススプレーを、シラン系撥水材にはエアスプレーをそれぞれ使用し、塗布面が地面と直角になるように供試体を設置して、スプレーの距離を250mmにして行った。シリーズIIの実験の状況を写真-1に示す。撥水材の塗布後、7日間の養生期間をおき、供試体を割裂して割裂面に墨汁を噴霧し、着色しない範囲を浸透深さとして測定した。

2. 3 シリーズIII (表面水分率)

(1) 使用材料

実験で使用した撥水材は、表-1に示したシラン系撥水材およびシラン・シロキサン系撥水材の2種類である。本実験では、モルタルを対象とし、水セメント比65%、セメントと砂の比が1:3の配合のものを用いた。

(2) 実験方法

シリーズIIIの実験水準は表-7に示すとおりとした。また、実験に使用した機器は表-4に示したとおりである。上記のモルタルを用いて40×40×160mm供試体を作製し、28日間水中養生を行った。その後、モルタル供試体を水中より取り出し、打設面と直交する40×160mmの面に対して、表面の乾燥状態を観察しながら、ある時間の間隔を空けて6水準、すなわち表面水分率について6水準となるように撥水材の塗布を行った。塗布量は表-1に示す標準塗布量とした。撥水材の塗布は、シラン・シロキサン系撥水材にはエアレススプレーを、シラン系撥水材にはエアスプレーをそれぞれ使用し、下向きに塗布が行えるように供試体を設置して、スプレーの距離を250mmにして行った。撥水材の塗布後、7日間の養生期間をおき、供試体を割裂して割裂面に墨汁を噴霧し、着色しない範囲を浸透深さとして測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 シリーズI (塗布方向と器具・距離)

(1) シラン・シロキサン系撥水材の塗布方向および器具に関する実験結果



写真-1 実験状況 (シリーズII)

表-6 実験水準 (シリーズII)

No.	撥水材の種類	水セメント比
1	シラン・シロキサン系 (1回塗布)	40%
2		55%
3		60%
4		70%
5	シラン系 (3回塗布)	40%
6		55%
7		60%
8		70%

表-7 実験水準 (シリーズIII)

No.	撥水材の種類	表面水分率
1	シラン・シロキサン系 (1回塗布)	3%程度
2		5%程度
3		6%程度
4		7%程度
5		9%程度
6		10%程度
7	シラン系 (3回塗布)	3%程度
8		5%程度
9		6%程度
10		7%程度
11		9%程度
12		10%程度

シラン・シロキサン系撥水材の塗布方向および器具に関する実験結果を図-1に示す。なお、図は供試体3体の平均値を示している。

エアレススプレーを使用した供試体の浸透深さとローラーを使用した供試体の浸透深さはほぼ同等の値であり、いずれの器具を使用する場合でも塗布方向の違いによる浸透深さの違いはみられなかった。シラン・シロキサン系撥水材は、約80%のシランおよびシロキサン分子と約20%の水を中心に形成されており、シリコン分が水中で乳化剤を介して均一に分散した状態となっている。この状態が保たれたままコンクリートに塗布され

ると、内部への水の浸透とともにシリコン分が浸透し、コンクリート表面に撥水層が形成される。ローラーを使用して塗布する場合、撥水材をコンクリートの表面に押し付けるため、乳化剤によって均一に分散していたシリコン分の一部が撥水材から分離し、その結果、水とともに浸透するシリコン分が減少して浸透深さが小さくなることも考えられたが、そうした結果は得られなかった。

実構造物にシラン・シロキサン系撥水材を塗布する場合、施工性の良さからエアレススプレーを使用した方がコストを低減することができる。しかしながら、シラン・シロキサン系撥水材には有機溶剤等の有害な物質は使用されていないものの、海や河川への撥水材の飛散を防止する必要があり、ローラーを使用しなければならないことも少なくない。シリーズⅠの実験結果より、シラン・シロキサン系撥水材の塗布に際しては、エアレススプレーとローラーのいずれを使用しても同等の浸透深さを得られることが確認され、各構造物の施工条件毎に最適な器具を選択できることが分かった。

(2) シラン・シロキサン系撥水材とシラン系撥水材の塗布方向の違いに関する実験結果

シラン・シロキサン系撥水材とシラン系撥水材の塗布方向の違いに関する実験結果の比較を図-2に示す。

シラン・シロキサン系撥水材とシラン系撥水材の下向き（コンクリート上面）への浸透深さはほぼ同等の値であった。しかし、シラン・シロキサン系撥水材を塗布した供試体の浸透深さが塗布の方向にかかわらず同等であったのに対し、シラン系撥水材の浸透深さは、下向きよりも横向き（コンクリート側面）および上向き（コンクリート下面）の方が小さい結果であった。これは、本実験では撥水材の塗布量を塗布直後の供試体の重量で管理したが、シラン系撥水材は水に近い性状をしているため、養生中に液ダレを生じてしまったことによるものと考えられる。それに対し、シラン・シロキサン系撥水材は流動性の高いペースト状をしており、横向きおよび上向きに対しても付着し、同等の浸透深さが得られたと推察される。

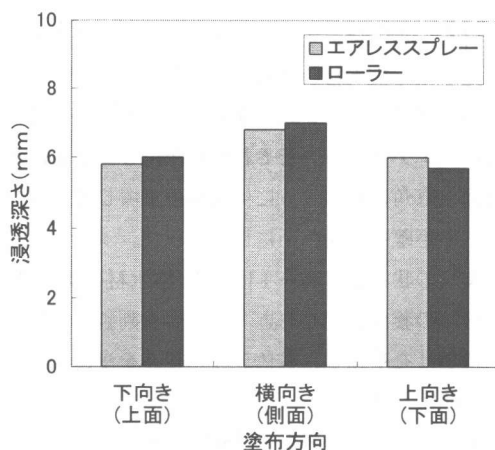


図-1 シラン・シロキサン系撥水材の塗布方向および器具に関する実験結果

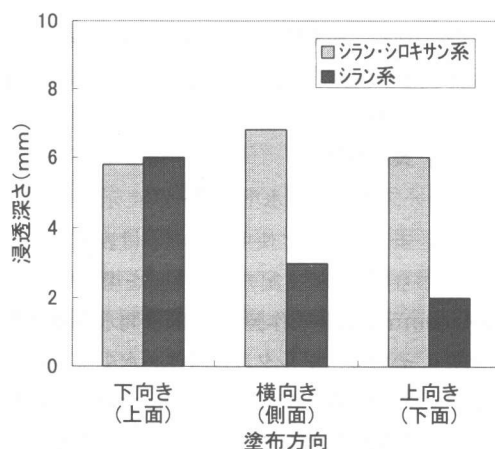


図-2 シラン・シロキサン系撥水材とシラン系撥水材の塗布方向の違いに関する実験結果

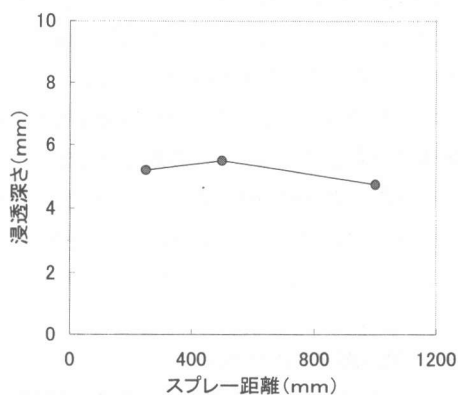


図-3 シラン・シロキサン系撥水材のスプレー距離と浸透深さの関係

(3) シラン・シロキサン系撥水材の塗布におけるエアレススプレー距離と浸透深さの関係

シラン・シロキサン系撥水材をエアレススプレーで塗布した際のスプレー距離と浸透深さの関係を図-3に示す。

シラン・シロキサン系撥水材をエアレススプレーで塗布した場合、スプレーの距離によってコンクリート表面への付着状態が変わり、同量を塗布しても浸透深さが異なることも考えられたが、本実験の範囲ではスプレーの距離にかかわらず、ほぼ同等の浸透深さが得られた。

実施工においては、スプレーの距離を大きくすると、特に風の強い場合等、霧状に散ってしまうことがあり、材料のロスが大きくなる。よって、シラン・シロキサン系撥水材の塗布の際は、シリーズIで得られた結果を考慮し、スプレーの距離を小さくすることが望ましいと考えられる。

3.2 シリーズII (水セメント比)

シラン・シロキサン系撥水材およびシラン系撥水材の水セメント比と浸透深さの関係を図-4に示す。図に示すように、シラン・シロキサン系撥水材を塗布した供試体の浸透深さは、水セメント比が高いほど大きくなる傾向があった。それに対し、シラン系撥水材を塗布した供試体の浸透深さは水セメント比にかかわらずほぼ同等の値であった。また、シラン・シロキサン系撥水材を塗布した供試体とシラン系撥水材を塗布した供試体の浸透深さを比較すると、シラン・シロキサン系撥水材の方が大きな値を示した。この理由として、シリーズIIではコンクリート側面に対する塗布を行ったため、シラン系撥水材を塗布した供試体に液ダレが生じたことや、シラン系撥水材にはシラン・シロキサン系撥水材に含まれていない有機溶剤が約80%含まれているため、揮発を生じたこと等が考えられる。実際に、本シリーズにおける撥水材の浸透状態を観察したところ、シラン・シロキサン系撥水材を塗布した供試体は、撥水材がコンクリートに浸透して表面が乾くまでに1日程度を要したが、シラン系撥水材を塗布した供試体は数時間で表面が乾く状況が認められた。

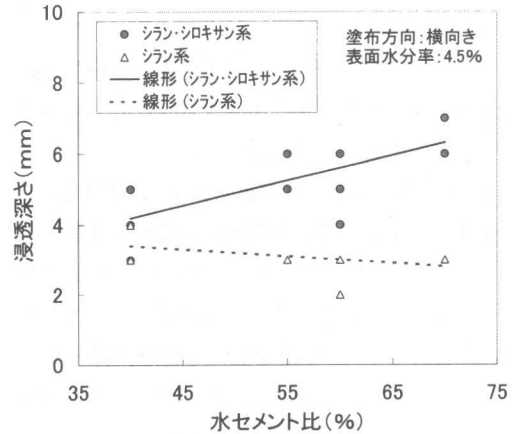


図-4 シラン・シロキサン系撥水材およびシラン系撥水材の W/C と浸透深さの関係

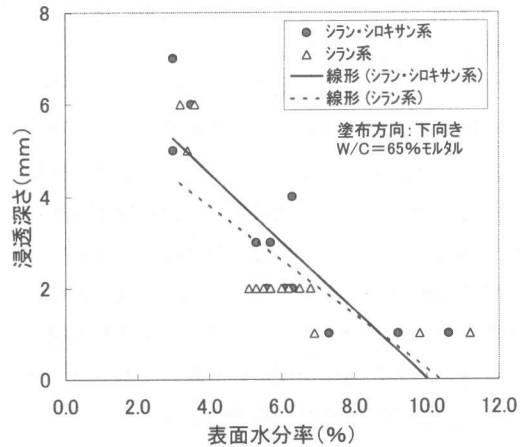


図-5 シラン・シロキサン系撥水材およびシラン系撥水材の表面水分率と浸透深さの関係

3.3 シリーズIII (表面水分率)

シラン・シロキサン系撥水材およびシラン系撥水材の表面水分率と浸透深さの関係を図-5に示す。

シラン・シロキサン系撥水材およびシラン系撥水材とも、塗布面の表面水分率と浸透深さの間には相関が認められ、塗布面の表面水分率が小さいほど浸透深さが大きくなる傾向があった。シラン・シロキサン系撥水材とシラン系撥水材の浸透深さを比較すると、シラン・シロキサン系撥水材の方が表面水分率の小さな範囲で若干深くまで浸透しているものの、ほぼ同等といえる結果であった。

た。

シリーズⅢの結果より、実構造物への撥水材の塗布は、コンクリートの表面水分率が低い状態で行うことがより効果的と考えられる。

3.4 コンクリートの水セメント比および表面水分率と浸透深さの関係に関する考察

シリーズⅡおよびシリーズⅢの結果を基に算出したシラン・シロキサ系撥水材の浸透深さと水セメント比および表面水分率の関係を図-6に示す。ここで、同図の算出において、2つの実験結果の間にはばらつきがあったため、コンクリート供試体を用いたシリーズⅡのW/C=65%、表面水分率：4.5%のデータと、同条件のシリーズⅢのデータが一致するように、シリーズⅢの線形近似直線の切片を補正した。

シラン・シロキサ系撥水材の塗布において、耐久性上、必要な浸透深さを評価することは難しい。一つの目安として、これまでに一般的に適用されてきたシラン系撥水材と同等の浸透深さを目標と考えると、シリーズⅡにおけるシラン系撥水材の実験結果である3~4mm程度となる。図中に本実験において、シラン・シロキサ系撥水材がコンクリートに4mm浸透した際の、水セメント比と表面水分率の範囲を網掛けで示した。ここで、シリーズⅡはコンクリート側面に対して塗布を行ったため、シラン系撥水材は液ダレを生じており、この結果を浸透深さの目安とすることに検討の余地はあると思われるが、これまでにシラン系撥水材が橋脚や壁部材等の液ダレを生じるような構造物に適用されてきたことを考え、このデータを既往の撥水材の浸透性能の目安として扱うこととした。

シラン・シロキサ系撥水材の実施工の際には、塗布対象のコンクリートの水セメント比および表面水分率が、図-6の網掛けの範囲にあることを確認した上での塗布がより効果的と考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) シラン・シロキサ系撥水材の塗布にエアレ

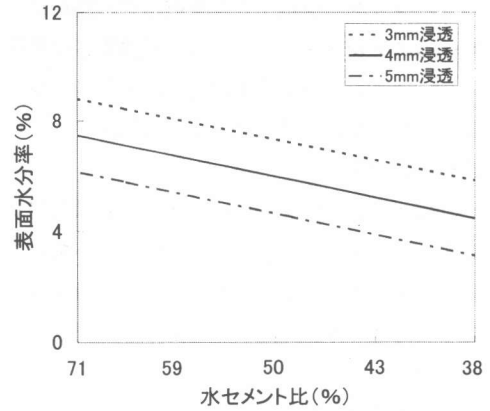


図-6 シラン・シロキサ系撥水材の浸透深さと水セメント比および表面水分率の関係

スプレーを使用する場合とローラーを使用する場合で浸透深さに違いはない。また、いずれの場合も、塗布方向の違いによって浸透深さに違いは生じない。シラン系撥水材を横向きおよび上向きに塗布する場合、液ダレによって浸透深さが小さくなる可能性が高い。

- (2) シラン・シロキサ系撥水材の浸透深さは、塗布するコンクリートの水セメント比が高いほど大きくなる。
- (3) シラン・シロキサ系撥水材の浸透深さは、塗布するコンクリートの表面水分率が低いほど大きくなる。
- (4) シラン・シロキサ系撥水材を塗布する際のコンクリートの水セメント比と表面水分率の範囲の目安を示した。

参考文献

- 1) 林大介, 坂田昇, 三村俊幸, 神沢弘: シラン・シロキサ系撥水材の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, pp.301-pp.306, 2000.7.
- 2) 林大介, 坂田昇, 三村俊幸, 神沢弘: シラン・シロキサ系撥水材の撥水性および遮塩性に関する実験的検討, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集, 部門V, 2000.9.