論文 塗布方向がシラン系表面含浸材の表面保護効果に及ぼす影響

石渡 翔太*1・大塚 秀三*2・八木 修*3・中田 善久*4

要旨:塗布方向の相違がシラン系表面含浸材の表面保護効果に及ぼす影響について検討した。塗布面を鉛直面の上部、中部、下部および水平面とし、いずれの面とも刷毛を水平に動かし塗布を行い、表面より 5mm の深さで細孔径分布の測定を行った。さらに JSCE-K 571-2004 に規定される、含浸深さ試験、透水量試験および塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験を行った。細孔径分布の測定の結果、鉛直面の上部と水平面の細孔半径 25nm 以上の細孔量は同程度であった。しかし、表面保護効果は鉛直面の上部は水平面と比較し、低下する傾向を示した。これは、規定の塗布量の 3 割以上が液だれしたことによる影響と考えられ、鉛直面に塗布した場合、含浸材の性能が水平面と異なる可能性がある。

キーワード:シラン系表面含浸材,塗布方向,含浸深さ,透水量,塩化物イオン浸透深さ,細孔径分布

1. はじめに

表面含浸材は、コンクリート表面から含浸させることにより、コンクリートの表層部の組織の改質、コンクリート表層部への特殊な機能の付与などを実現させ、コンクリート構造物の耐久性を向上させる材料である。

表面含浸材には、シリコーン系、非シリコーン系および混合系の3種類があり、市販品のおよそ半数がシリコーン系のシラン系表面含浸材である $^{1)}$ 。

シラン系表面含浸材の表面保護効果の評価手法として、通常 JSCE-K571-2004²⁾ に基づいて行われる場合が多い。 JSCE-K571-2004²⁾ は、モルタル供試体またはコンクリート供試体の切断面へ水平方向にシラン系表面含浸材を塗布する評価手法である。一方、実構造物における塗布面には、鉛直面および水平面がある。鉛直面は、壁面に代表される面であり、これにより、鉛直面または水平面などの塗布方向がシラン系表面含浸材の表面保護効果へ影響を及ぼすと考えられ、水平面への塗布を対象とした JSCE-K571-2004²⁾ による評価と実構造物の塗布面の性能が相違する可能性がある。しかしながら、既往の研究において、実構造物へ塗布した場合の性状について検討された例 3) はあるものの、塗布方向の相違に着目して統一条件のもとで検討された例は見当たらない。

そこで本報告では、シラン系表面含浸材を対象とし、 塗布方向の相違が表面保護効果に及ぼす影響について明 らかにすることを目的とした。

ここでは、JSCE-K571-2004²⁾ に基づいて作製したモルタル供試体を用いて、壁面および床面への塗布を想定した鉛直面および水平面へ塗布した場合の表面保護効果に

表-1 シラン系表面含浸材の概要

疎水基	メチル基
官能基	メトキシ基
粘度(mPa・s)	5.8(20℃時)
塗布量(g/m²)	250

表-2 実験の要因と水準

要因	水準				
塗布方向	鉛直方向,水平方向(いずれも鋼製型枠接触面)				
W/C (%)	50, 60, 70				

ついて, それぞれの細孔径分布との比較のもと, 実験的 に検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 シラン系表面含浸材の選定

使用したシラン系表面含浸材(以下,含浸材とする)の概要を表-1に示す。含浸材は,既報 $^{4)}$ の研究で使用したものと同一であり,含浸材の温度 20° Cにおける粘度が5.8m $Pa\cdot$ s であり,塗布量は 250g/m 2 である。

2.2 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-2 に示す。塗布方向による相違を検討するため、供試体の鉛直面および水平面について検討を行った。ここでは、塗布面の状態の相違による影響を防ぐため、塗布面を鋼製型枠接触面の一種とした。

2.3 モルタル供試体の概要

本報告では JSCE-K571-2004²⁾ に準拠した, モルタル供 試体(以下, 供試体とする)を用いた。モルタルの使用 材料を表-3, モルタルの調合およびフレッシュモルタル の性状を表-4に示す。モルタルの調合は, 質量比でセメ

^{*1} ものつくり大学 大学院 ものつくり学研究科 (正会員)

^{*2} ものつくり大学 技能工芸学部 建設学科 准教授 博士(工学) (正会員)

^{*3 (}株)エム&エムトレーディング 工学博士

^{*4} 日本大学 理工学部 建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

ント1:細骨材3とし、水セメント比を50,60 および 70%の3水準とした。

供試体の概要を図-1に示す。鉛直方向の供試体(以下, 鉛直供試体) は鋼製型枠を鉛直方向に立て, モルタルを 打込み作製した。水平方向の供試体(以下,水平供試体)は 水平方向に打込み作製した。なおモルタルの打込みは、 両供試体ともに2層に分けて行った。その後の脱型,養 生および含浸材の塗布においても各方向を保持した。含 浸材の塗布に際しては、鉛直供試体下端における含浸材 の液溜まりを防ぐため、スペーサを敷設し、刷毛を水平 に動かし塗布を行った。また、含浸材を塗布した供試体 (以下, 塗布供試体)の比較として, 含浸材の塗布を行わな い供試体(以下,無塗布供試体)についても試験を行った。 試験位置は、試験面の上部から 100mm ずつとし、それぞ れ上部, 中部および下部とした。

いずれの供試体とも 100×100×400mm の寸法の型枠へ モルタルを打込み,1日後型枠の脱型を行い,その後6日 間水中養生とし、さらに温度 20±2℃および相対湿度 60±5%の環境で28日間気中養生を行った。含浸材は、刷 毛を用いた塗布量 250g/m² の一度塗りとし、既報 4) の研 究において含浸材の定着時間が3日であることに基づき, 含浸材の塗布後 3 日間において供試体を温度 20±2℃お よび相対湿度 60±5%の環境に静置した。

2.4 試験項目および方法

試験項目および試験方法を表-5 に示す。試験項目は, 鉛直供試体における液だれ量の測定, 細孔径分布の測定 および JSCE-K 571-2004²⁾ に準拠した含浸深さ試験, 透水 量試験および塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験とし た。なお、JSCE-K 571-2004²⁾ に準拠した試験では、 100×100×400mmの供試体を3体用いて試験を行った。

液だれ量の測定は、鉛直供試体に含浸材を塗布した際 に十分に供試体に浸透せず, 供試体下端より垂れる含浸 材の質量を計測した。細孔径分布の測定は、同一の調合 で作製し、コンクリートカッタを用いて図-1の試験位置 部分より切り出し、約 5mm 角のモルタル片を採取して 試料とした。試料はアセトンに 24 時間浸漬させ水和を 停止させた後、真空乾燥し水銀圧入式ポロシメータによ り細孔径分布を測定した。

3. 結果および考察

3.1 細孔構造

無塗布供試体の細孔径と総細孔量の関係を図-2 に示 す。なお、総細孔量は細孔径が大きい方から小さい方へ と積算したものである。また、水平供試体については、 試験位置の3箇所とも同様の傾向を示したため、中心の データのみを示す。総細孔量は, 水セメント比が高くな るにつれ, また, 上部へ向かうほど増加する傾向を示し

表-3 モルタルの使用材料

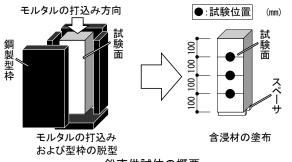
使用材料	名称	品質・性状・主成分		
水 (W)	上水道水	_		
セメント	普通ポルトランド	密度:3.16g/cm³		
(C)	セメント	比表面積:3,170cm²/g		
細骨材 (S)	栃木県栃木市	表乾密度: 2.61g/cm ³		
	尻内町産砕砂	粗粒率: 2.75		
		吸水率: 2.25%		
化学混和剤	高性能 AE 減水剤(W/C 50%)	ポリカルボン酸系化合物		
(Ad)	AE 減水剤(W/C 60%, 70%)	リグニンスルホン酸塩		

表-4 モルタルの調合およびフレッシュモルタルの性状

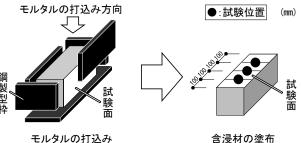
W/C (%)	W/C	単位量(kg/m³)			Ad	フレッシュモルタルの性状	
	W	C	S	(C×%)	空気量	モルタルフロー	
	(70)	vv C			(%)	(mm)	
	50	265	530	1590	0.2	4.3	167
	60	306	511	1270	0.2	3.9	183
	70	339	485	1205	0.2	3.4	206

表-5 試験項目および試験方法

試験項目	方法	試験期間 (日)
鉛直供試体における 液だれ量の測定	鉛直供試体の下端における 液だれを採取し質量を計測	_
細孔径分布の測定	水銀圧入法	
含浸深さ試験	JSCE-K571-2004	_
透水量試験		7
塩化物イオン浸透に 対する抵抗性試験		63



鉛直供試体の概要



および型枠の脱型

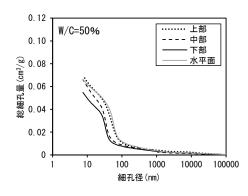
含浸材の塗布

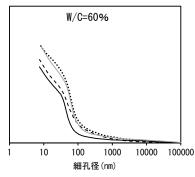
水平供試体の概要

図-1 供試体の概要

た。鉛直供試体では、打込高さによる影響であると考え られ、上部に比べ下部は締め固められたことにより、細 孔構造が緻密になったと考えられる。水平供試体の細孔 構造は、鉛直供試体の上部と同様の傾向を示した。これ は、打込高さで見ると、両者がほぼ同じであるためと考 えられる。

無途布供試体の細孔径と細孔量の関係を図-3 に示す。 いずれの水セメント比および塗布方向においても、細孔





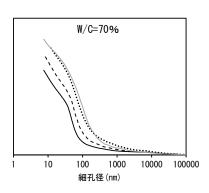
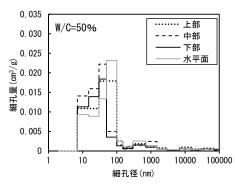
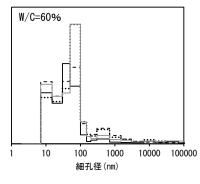


図-2 無塗布供試体の細孔径と総細孔量の関係





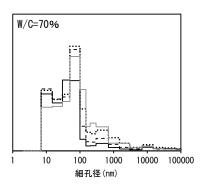


図-3 無塗布供試体の細孔径と細孔量の関係

径 30~100nm の細孔範囲で最大となることが認められた。それ以降は急激に細孔量が減少したが、水セメント比が高くなるに従い、細孔径 100nm~700nm の範囲の細孔量増加していることが認められた。すなわち全体的には、水セメント比が高くなるに従って、細孔径 700nm までの範囲の細孔量が増加していることが認められた。

3.2 含浸材の液だれ

含浸材を鉛直面へ塗布する場合,塗布した後に下部に 垂れていくことが確認できた。そこで,鉛直供試体の下端から垂れる液だれ量を計測した。液だれ量の評価は塗布量の250g/m²に対する比とした。

水セメント比と液だれ量の関係を図-4に示す。水セメント比が高くなるに従い、液だれ量は少なくなる傾向を示した。これは、図-2に示すように、水セメント比が高くなるにつれ総細孔量が多くなったため、含浸材はより多く浸透し、液だれが少なくなったと考えられる。

3.3 含浸深さ

塗布方向と含浸深さの関係を図-5 に示す。含浸深さは、水セメント比が高くなるほど深くなり、鉛直供試体については下部から上部へ向かうにつれ深くなる傾向を示した。これは、図-2 に示すように、細孔量の増加にともない、含浸材が浸透しやすくなったためと考えられる。図-4 に示す水セメント比と液だれ量の関係から、いずれの水セメント比においても 30%以上の液だれ量がある

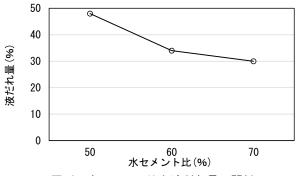


図-4 水セメント比と液だれ量の関係

ことから、当初は下部に向かうほど含浸量が多くなり、深く浸透すると考えられたが、実際には上部が深く浸透した。これは、含浸材の浸透深さについては、細孔構造の影響を強く受けたためと考えられる。

水セメント比と無塗布供試体の総細孔量の関係を図-6に示す。水セメント比が高くなるに従い、総細孔量が多くなっており、また、鉛直供試体の下部から上部に向かうにつれ、同じく細孔量が多くなっていることが認められた。また、水平供試体と鉛直供試体の上部とを比べると、水セメント比に関わらず、ほぼ同程度の細孔量であった。

この結果から、含浸材の含浸深さは鉛直供試体の上部 と水平供試体でほぼ同程度と考えられるが、実際は約半 分の含浸深さであった。この理由として水セメント比 50%では約半分の含浸材が液だれにより、含浸しなかったことが影響したと考えられる。水セメント比が高くなるに従い、総細孔量が多くなり、その結果含浸材の含浸量が増え、鉛直供試体の上部と水平供試体の含浸深さに大きな差が無くなったものと思われる。

無塗布供試体の総細孔量と含浸深さの関係を図-7 に示す。無塗布の水平供試体における総細孔量と含浸深さの相関係数は 0.81 となり,無塗布の鉛直供試体の総細孔量と含浸深さの相関係数は 0.84 となり,総細孔量と含浸深さは,ほぼ比例関係にあることが認められた。このことより,含浸材が含侵している表面よりおよそ 2mm 以内の範囲では,総細孔量と含浸深さの関係が,本研究に

おいて用いた含浸材において成立することが認められた。

3.4 透水量

塗布方向と透水量の関係を図-8 に示す。無塗布供試体の透水量は、水セメント比が高くなるほど、また上部に向かうほど多くなる傾向を示した。この理由も、前述したように、総細孔量の影響によると考えられる。すなわち鉛直供試体の上部ほど鉛直供試体の下部と比較し、細孔量が多いことにより、鉛直供試体の上部が鉛直供試体の下部に比べ透水し易くなったものと考えられる。

含浸深さは上部の方が深く浸透したが,透水量は上部 の透水量が多くなる傾向を示した。以上より,透水量は

1 5

2 0

2.0

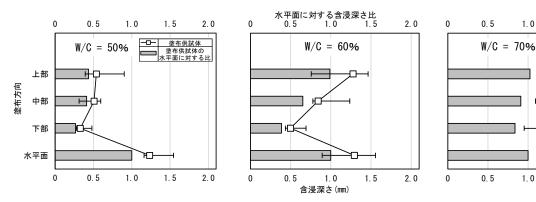


図-5 塗布方向と含浸深さの関係

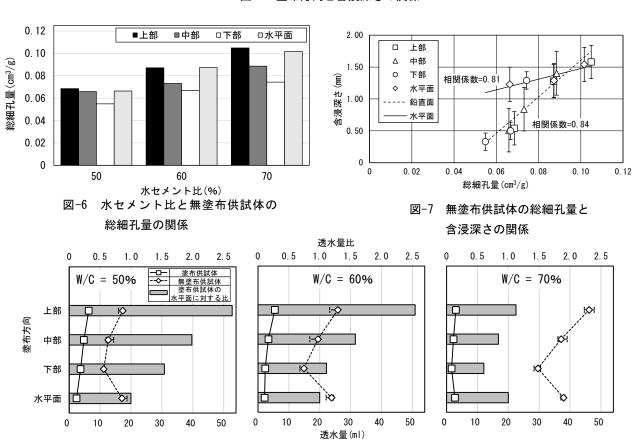


図-8 塗布方向と透水量の関係

水平面に対する浸透深さ比

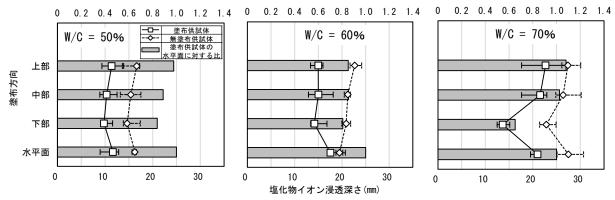


図-9 塗布方向と塩化物イオン浸透深さの関係

細孔構造の影響が大きいと考えられる。

無塗布供試体の上部と水平面を比較した場合,水セメント比 50%でほぼ同じ透水量を示し,水セメント比が高くなるに伴い鉛直供試体の上部が大きくなる傾向を示した。例えば,水セメント比が 70%では図-2 に示すように,鉛直供試体の上部と水平供試体の総細孔量はほぼ同じであったが,実際の透水量は鉛直供試体の上部が水平供試体に対し約 1.2 倍であった。この理由は現在不明であり今後の課題とする。

塗布供試体の透水量は、無塗布供試体の細孔径を反映すると考えられ、概ね同様な傾向を示すものと考えられた。しかし、塗布供試体の鉛直供試体の上部と水平供試体の透水量を比較した場合、水セメント比50%では鉛直供試体の上部が水平供試体の約2.5倍であり、水セメント比70%でほぼ透水量は同じとなった。この理由は、50%では図-4に示すように、液だれ量が約50%と高く、十分な量が含侵していないため、無塗布供試体では同等の透水量を示したが、塗布供試体では含浸量が少ない分、透水量が大きくなったものと思われる。水セメント比が高くなるにつれ、含浸量が多くなり、70%では上部と水平面がほぼ同じ透水量になったものと思われる。

3.5 塩化物イオン浸透深さ

塗布方向と塩化物イオン浸透深さの関係を図-9 に示す。無塗布供試体では、鉛直供試体および水平供試体を比較した場合、塩化物イオン浸透深さは、含浸材の含浸深さおよび透水量測定の結果と、概ね同じ傾向を示した。すなわち、水セメント比が高くなるに従い、全体的に浸透深さが大きくなり、また塗布面の違いについても、鉛直供試体の下部より鉛直供試体の上部が大きくなった。また、水セメント比60%を除き、鉛直供試体の上部と水平供試体はほぼ同じ浸透深さとなった。

塗布供試体の塩化物イオン浸透深さも同様に、無塗布 供試体と同様な傾向を示した。一方、塗布供試体と無塗 布供試体との差は小さくなっていた。この理由について は、試験期間が 63 日と長いため、供試体は長時間塩化物 イオン水の浸透が持続することになる。しかし、浸透深 さが 50mm 付近に近づくと、湯浅 5 らが示した含水率の 高い領域に近づくため、浸透が抑えられ浸透速度が遅く なると推察した。そのため、塗布供試体と無塗布供試体 の浸透深さが近くなったと考えられる。

4. 塗布方向による影響

塗布方向と各試験の抑制率の関係を図-10 に示す。抑制率とは、表面保護工法設計施工指針(案)⁶ に従い、以下の式(1)より透水比および塩化物イオン浸透深さ比を算出し、さらに、透水および塩化物イオン浸透に対する抵抗率を評価するため、式(2)より劣化要因に対する抑制率を求めた。また、今回は水平供試体との比較を行うため、原状試験体の性能は水セメント比ごとの無塗布の水平供試体とした。

$$RPi = { 試験体の性能 \over [原化計験体の性能 \times 100]}$$
 (1)

$$Ii = 100 - RPi$$
 (2)

ここで、RPi は原状試験体に対する各性能の比(%)を Ii は各劣化要因に対する抑制率(%)を表す。

透水抑制率は水セメント比が小さくなるにつれ、また鉛直供試体の下部から上部に向かうにつれ透水抑制率が低下する傾向を示した。塩化物イオン浸透抑制率は、水セメント比が高くなるにつれ、また鉛直供試体の下部から上部に向かうにつれ塩化物イオン浸透抑制率が低下する傾向を示した。

このことより、鉛直面でのシラン系表面含浸材の表面 保護効果の評価手法として、JSCE-K571-2004²⁾ に基づい て行われた結果は、鉛直方向に用いる場合、水平面と性 能が異なる可能性がある。

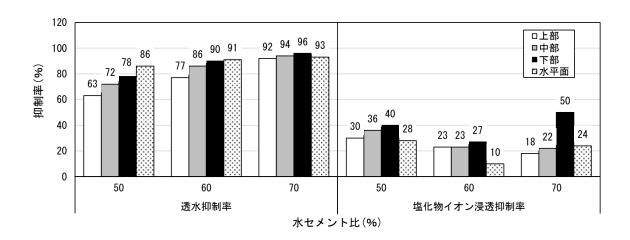


図-10 塗布方向と各試験の抑制率の関係

5. まとめ

本報では、シラン系表面含浸材の表面保護効果におよぼす塗布方向の影響を把握するために、塗布面を水平面および鉛直面とし、鉛直供試体における液だれ量、細孔径分布および JSCE-K 571-2004²⁾ に準拠した含浸深さ試験、透水量試験および塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験を実施し、検討を行った。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 細孔構造は、既往の研究っと同様に鉛直供試体の下部ほど細孔量が少なく、水セメント比が高くなるほど細孔量が多くなる傾向を示した。また、水平面の細孔量は鉛直供試体の上部とほぼ同様の傾向を示した。細孔分布は、いずれの水セメント比および塗布方向についても、細孔径 30~100nm の細孔範囲でその細孔量が最大値となった。また、水セメント比が高くなるにつれ、および上部に向かうにつれ細孔径 100~700nm の細孔量が増加する傾向を示した。
- (2) 鉛直方向の下部ほど含浸深さが浅く、透水量が少なく、塩化物イオン浸透深さが浅くなる傾向を示した。これは、下方ほどモルタルが密実になり細孔量が少なくなることが影響したと考えられる。鉛直面へ塗布を行う場合は、水平面の性能の半分程度となる場合がある。
- (3) 鉛直供試体の液だれ量は最大で約 50%と多く,また,水平面と比較した場合,上部に向かうにつれ含浸深さは浅くなり,透水量は増加した。よって,鉛直面に含浸材の塗布を行う場合,含浸材の性能が水平面と異なる可能性がある。

謝辞

本実験に際して、細孔径分布の測定は、三菱マテリアル株式会社セメント研究所の方々のご協力を得た。ものつくり大学技能工芸学部建設学科大塚研究室の学生より 多大な助力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会: コンクリートの表面被覆および表面改質 技術研究小委員会報告, p.16, 2006
- 2) 土木学会:表面保護工法設計施工指針(案),表面 含浸材の試験方法(案),pp.55-67,2005,4
- 3) 例えば, 今野拓也, 細田暁ほか: コンクリートの養生条件・材齢が表面含浸材の吸水抑止効果に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.541-546, 2007
- 4) 降旗翔, 大塚秀三ほか:シラン系表面含浸材の定着時間に及ぼす温度の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1930-1935, 2014
- 5) 湯浅昇,笠井芳夫ほか:乾燥を受けたコンクリートの表層から内部にわたる含水率,細孔構造の不均質性,日本建築学会構造系論文集,第509号,pp.9-16,1998
- 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], pp.166-167, 2005, 4
- 7) 胡桃澤清文,田中享二:セメントペーストの打ち込 み高さごとの空隙構造の違い,コンクリート工学年 次論文集, Vol.23, No.2, pp.781-786, 2001