

論文 コンクリート表面含浸材の吸水抑止性能に及ぼす施工条件の影響

今野 拓也^{*1}・細田 暁^{*2}・小林 薫^{*3}・松田 芳範^{*4}

要旨：本研究ではシラン系およびケイ酸塩系の表面含浸材の含浸深さおよび吸水抑止性に及ぼす施工条件の影響を調べた。含浸材塗布前の含水状態と塗布後の養生条件が及ぼす影響について検討した。W/C=50%, 材齢7日のコンクリートに塗布した結果, シラン系は塗布後に乾湿を繰り返すことで含浸深さが大きく減少する場合があったが, いずれの場合でも吸水抑止性能は発揮された。ケイ酸塩系は塗布後の乾湿繰返しにより含浸深さが減少し, 吸水抑止性能が低下する傾向が見られた。

キーワード：表面含浸材, 施工条件, 水分状態, 含浸深さ, 吸水率

1. はじめに

コンクリート片の剥落には雨水や漏水の影響が大きいという調査結果が報告されている¹⁾。アルカリ骨材反応による損傷も水が当たる箇所において顕著となる。また, コンクリート表面の汚れも, 水が当たる場所で顕著となる。このように, コンクリート構造物の劣化現象には水が関与しているものが多く, 外部からの水の浸入を抑制するニーズがある。その抑制手段として表面含浸材があり, 撥水作用を持つシラン系のものとマトリックスを緻密化させるケイ酸塩系のものが存在する。

表面含浸材には非常に多くの種類があり, 性能も多岐に渡るが, 筆者らは2001年より実構造物において表面含浸材を塗布したコンクリート部材の暴露試験を開始している²⁾。本研究で取り扱う3種類の表面含浸材は, 暴露試験の外観観察により比較的效果が大きいと判断したものである。

表面含浸材の浸透深さや吸水抑止性能は, 含浸材塗布前のコンクリートの水分状態が影響するとの報告がある³⁾。しかし, 塗布前だけでなく, 塗布後の養生条件にも着目し, 表面含浸材の性

能を系統的に評価した研究はほぼ見当たらない。

そこで本研究では, 新設構造物の脱型後に表面含浸材を塗布する状況を想定し, コンクリートの水分状態に関して実施工で起こりうるさまざまな条件を設定した。それぞれの条件において表面含浸材の含浸深さ, 吸水抑止性能を調べた。それらの結果から, 表面含浸材の性能を最大限に引き出す施工方法や, 実施工における注意点などについて考察を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) コンクリート材料および配合

実験に用いたコンクリートの材料および配合は表-1および表-2に示すとおりである。水セメント比は50%とし, 良質なコンクリートが適切に施工された場合を想定している。

表-1 使用材料

材料	摘要
セメント	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm ³
細骨材	千葉県君津産山砂, 表乾密度: 2.64g/cm ³ , 粗粒率: 2.62, 吸水率: 1.59%
粗骨材	埼玉県秩父産碎石(硬質砂岩), 密度: 2.64g/cm ³ , 吸水率: 0.98%

*1 横浜国立大学工学府 社会空間システム学専攻 (正会員)

*2 横浜国立大学大学院 工学研究院 助教授 博(工) (正会員)

*3 東日本旅客鉄道株式会社 研究開発センター フロンティアサービス研究所 博(工) (正会員)

*4 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事部 構造技術センター (正会員)

表-2 コンクリート配合

Gmax (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混 和 剤 (kg/m ³)	
					W	C	S	G	AE剤	AE減水剤
20	8±2.5	50	5.0	43.9	160	319	798	1022	0.22	3.19

(2) 表面含浸材

実験対象とする表面含浸材を表-3に示す。また各材料のメーカーが推奨する標準塗布量と塗布回数を示した。

表-3 使用した表面含浸材

含浸材	分類	主成分	標準塗布量 (kg/m ²)	塗布回数
A	シラン系	シラン・シロキサン	0.20	1
B		アルキルアルコキシシラン	0.30~0.50	1
C	ケイ酸塩系	ケイ酸アルカリ金属化合物	0.21~0.32	2

2.2 実験方法

(1) 供試体作成

供試体の作成方法は、土木学会の「表面保護工法 設計施工指針 (案)」⁴⁾を参考にした。型枠の寸法を100×100×400mmとし、打設から4日まで気中(気温20±2℃, 湿度60±5%)に静置した後に脱型した。その後、湿式の Cutter で幅100mm ずつに切断して供試体とした。新設構造物で脱型後に塗布する状況を想定し、材齢7日に含浸材を塗布した。なお、塗布の対象面は切断面とし、その他の面はエポキシ樹脂を用いてシールを施した。塗布量および施工方法は各材料メーカーの推奨する標準使用量、施工要領に従った。

ラメータにつき3つの供試体を作成した。

一般に、シラン系材料は乾燥状態で、ケイ酸塩系のうちケイ酸リチウム系は乾燥状態で、ケイ酸ナトリウム系はある程度の湿潤環境下で塗布するほうが含浸しやすいとされている。⁴⁾ 本研究では、塗布時の表面の水分状態および塗布後の養生条件が含浸深さおよび吸水抑止効果に与える影響を検討することとした。表面水分率の測定には高周波式水分計を用い、表面から10mm および40mm の深さの平均値を計測する2種類のモードを使用した。

(2) 含浸材の施工条件

試験シリーズ名およびパラメータの詳細を表-4に示す。

(3) 含浸深さ試験

3種類の含浸材に対して各シリーズを実施し、「表面保護工法 設計施工指針 (案)」を参考に含浸深さ試験および吸水率試験を行った。各パ

塗布後14日間の養生を経て、7日ほど気中に静置した後に試験を行った。試験は、供試体を割裂し、破断面に水を噴霧し、撥水している含浸深さを片面につき3箇所ずつ計測した。計6箇所のデータの平均を算出し、さらに3体の平均値を含浸深さとした。

表-4 試験パラメータ

シリーズ名	含浸材塗布 材齢	含浸前養生条件	塗布時 ^{*1} の条件	想定している状況	塗布後の養生条件
D-d	7日	材齢4日で脱型し、切断、研磨、シールその後、気中養生	乾燥した状態で塗布	型枠面で降雨などの影響がなく、表面も比較的乾燥している状況	気中養生
D-dw					気中、水中養生を繰り返す ^{*2}
W-d		材齢4日で脱型し、切断、研磨、シールその後、水中養生	水中から出した直後に塗布	型枠面で降雨などの影響があり、表面が比較的湿っている状況	気中養生
W-dw					気中、水中養生を繰り返す ^{*2}
W6h-d			水中から出して6時間後に塗布		気中養生
W6h-dw					気中、水中養生を繰り返す ^{*2}

備考 ※1 塗布時に高周波式水分計により表面水分率を測定
 ※2 塗布後2日間および14日以降は気中。その間に1日間の水中養生を合計4日間行った。水中養生を実施した材齢は試験体ごとに異なる。

含浸面の端部は含浸深さが大きくなっている場合が多かったが、シールの隙間から含浸材が浸透しているものと考え、計測対象から除いた。

また、参考値として撥水層が最大の箇所についても計測した。最大含浸深さの計測に際しては、試験体端部と粗骨材の界面で含浸深さが大きくなっている箇所は除いた。

(4) 吸水率試験

塗布後 14 日間の養生を経た後、最低 4 日ほど気中に静置し、1 週間以内に吸水試験を開始した。

試験体を 7 日間 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の水中に浸漬させ、試験開始直前の質量に対する吸水量の割合を吸水率として算出した。結果は 3 体の平均値である。

試験においては、隣接する試験体の影響をなくすために 30mm 以上の間隔を置き、底面に 10mm 程度のスペーサーを設置した。また、水圧の影響を考慮して試験体上部から水面までの距離を 30mm 程度として一定に保ち、一つの容器には同じ含浸材を塗布したものだけを入れて吸水試験を行った。

表-4 に示した各シリーズに対してブランク試験体を作成し、同様に試験を行うことで吸水抑制効果を検討した。

3. 結果および考察

3.1 含浸深さ試験結果

各含浸材の試験結果を表-5 に示す。また、塗布時の D, W および W6h シリーズの表面水分率の概略値を表-6 に示した。W6h シリーズは表面が乾燥して見えたが、内部には水分が残存していることを示している。

(1) 含浸材 A

図-1 に含浸材 A の含浸深さ試験結果を示す。

図-1 より、従来考えられてきたように、塗布時にコンクリート表面が乾燥しているもののほうがやや良好な結果が得られたが、それほど大きな差は見られなかった。塗布後 2 日間乾燥させた後の乾湿繰り返しの影響について調べたが、D シリーズにおいてはさらに浸透し、W および W6h シリーズでは撥水層は多少減少するという

表-5 含浸深さ一覧

含浸材	シリーズ	含浸深さ (mm)	
		平均値	最大値
A	D-d	3.9	7.7
	D-dw	4.8	9.2
	W-d	3.6	8.3
	W-dw	3.3	5.4
	W6h-d	4.5	9.2
	W6h-dw	3.8	9.1
B	D-d	6.3	11.7
	D-dw	6.5	10.4
	W-d	4.6	10.1
	W-dw	2.1	5.4
	W6h-d	3.8	8.7
	W6h-dw	3.7	7.9
C	D-d	0.8	1.6
	D-dw	0.4	0.8
	W-d	0.8	1.0
	W-dw	0.8	1.0
	W6h-d	1.1	1.8
	W6h-dw	0.5	0.9

表-6 塗布時の表面水分率

シリーズ	表面水分率 (%)	
	10mmモード	40mmモード
D	5.8	4.7
W	12.0以上	6.9
W6h	10.6	5.5

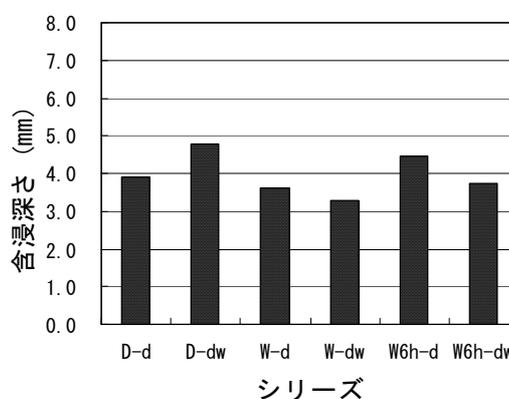


図-1 含浸深さ (含浸材 A)

結果が得られた。

本研究のように W/C=50%のコンクリートが適切に施工された場合には、含浸深さの観点からは塗布時は表面が乾燥している方が望ましいと言える。また、塗布後に 2 日程度乾燥条件を確保できれば、その後に多少降雨の影響があっても大きな問題とならないと思われる。

(2) 含浸材 B

含浸材 B についての試験結果を図-2 に示す。

含浸材 B においては、塗布時にコンクリートが乾燥している方が明らかに含浸しやすいことが確認された。また、その後に乾湿の繰返しを受けても含浸深さにはほとんど影響はない。一方で塗布時にコンクリートが W シリーズ程度に湿っている場合は、その後の乾湿の繰返しで含浸深さが大きく減少する結果となった。塗布後の乾湿により含浸深さが異なるメカニズムは、現時点では明らかでない。

実施工では、できる限り乾燥させた状態で塗布することが望ましいが、降雨の直後に塗布するような場合は、その後の養生条件にも注意すべきである。

(3) 含浸材 C

図-3 に含浸材 C の試験結果を示すが、はっきりとした撥水層を確認することができなかったため、コンクリート内部と色の異なる層を含浸深さの計測対象とした。

いずれにおいても値としては小さいものだったが、特に D-dw および W6h-dw シリーズはほとんど層として確認することはできなかった。しかし、塗布時に最も湿潤状態であった W-dw シリーズではわずかながら層の存在を確認でき、厚さも塗布後に気中養生したものと同程度の値だった。

3.2 吸水率試験結果

設計施工指針(案)⁴⁾には、透湿度試験方法が記載されており、7日間、含浸面からの水分の逸散による重量変化を計測したデータが紹介されている。その実験結果において、含浸材の塗布の有無および含浸材種類により透湿度には大きな差異は認められない。したがって、本研究のように、塗布前に水中養生したような場合においても養生終了後に1週間程度乾燥環境下に静置することで、内部の水分はある程度逸散していると思われる。

図-4 には、塗布前に水中養生させておいたものについて各含浸材を塗布した後の水分の重量変化を3日程度測定したものを示した。はじめの減少の勾配が若干異なるが、含浸材 A および

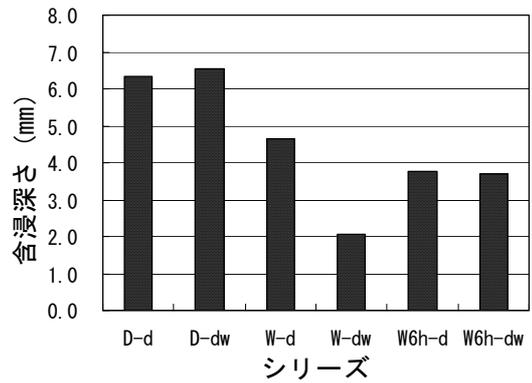


図-2 含浸深さ (含浸材 B)

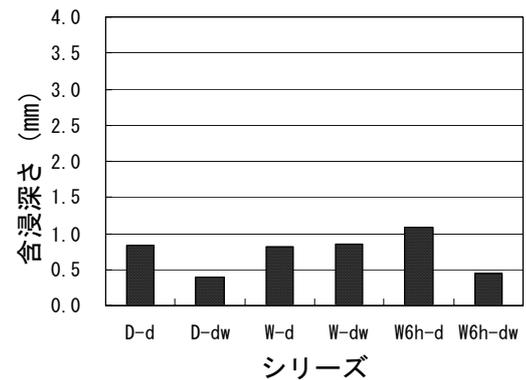


図-3 含浸深さ (含浸材 C)

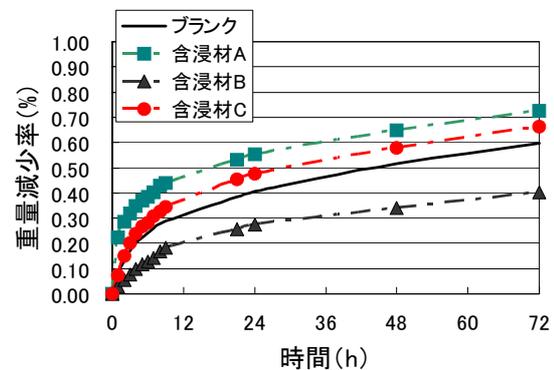


図-4 水中養生した供試体の塗布後の重量変化

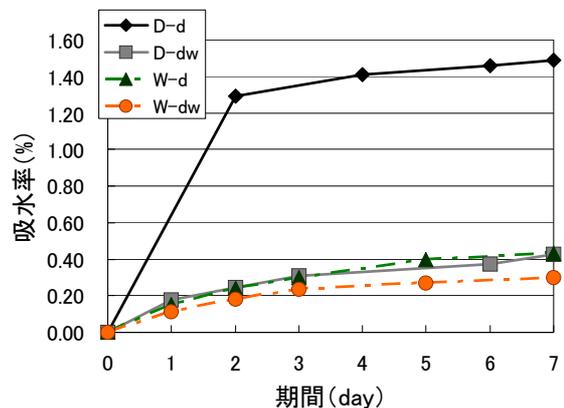


図-5 吸水率 (ブランク)

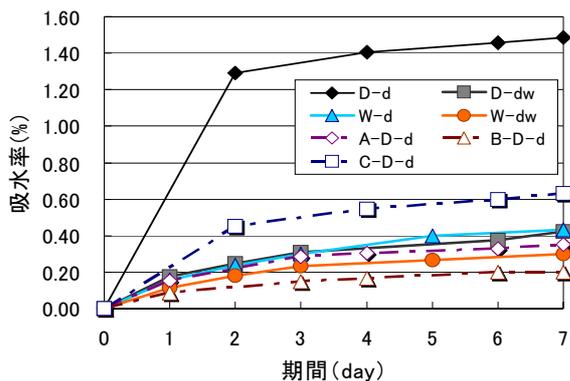


図-6 吸水率（blankと各 D-d シリーズ）

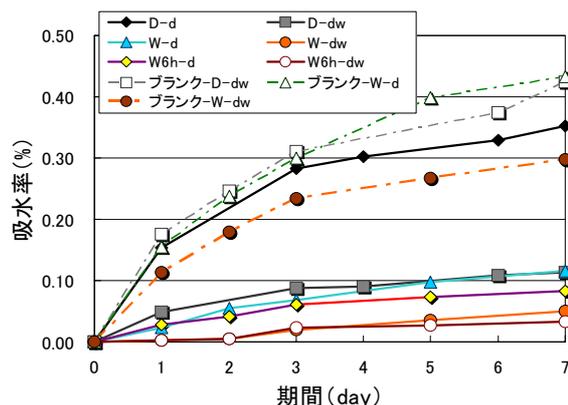


図-7 吸水率（含浸材 A）

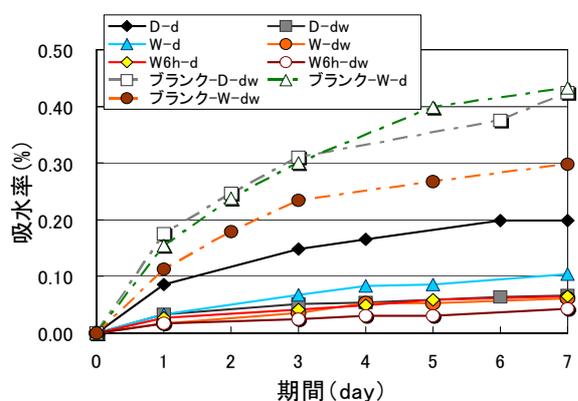


図-8 吸水率（含浸材 B）

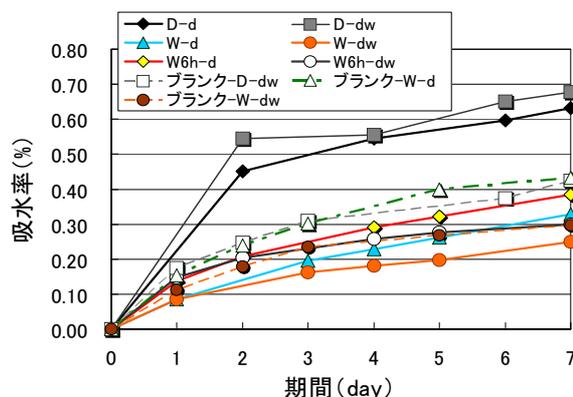


図-9 吸水率（含浸材 C）

C に関しては、その後の勾配はblankと比較して差がなく、含浸材の有無によらずほぼ同様に水分が逸散する様子が見られる。したがって、水中養生後に含浸材を塗布しても、その後に行う吸水率試験では、内部のコンクリートの吸水能力は同程度であると考えている。

一方、図-4 において、含浸材 B に関しては、塗布した直後から他と比較して減少率が小さく、3 日後においてもその差は明らかであるため、内部に水分が残り、吸水能力が低下し、吸水率試験の結果に影響する可能性が考えられる。

図-5 に各条件のblankの吸水率を示す。blank試験体は水中養生することにより、吸水率が非常に小さくなっている。水和が進み、緻密になったためと考えられる。

図-6 には、blank試験体と各含浸材の D-d シリーズの吸水率試験結果を示した。水中養生を施したblank供試体と、乾燥した条件でシラン系含浸材を塗布した場合の吸水率が同程

度であるという興味深い結果が得られた。材齢初期の養生の重要性を示唆するものである。

以降に各含浸材の結果の詳細を示す。

(1) 含浸材 A

含浸材 A の結果は図-7 のとおりである。

いずれのシリーズもblankと比較して大幅に吸水を抑制していることがわかる。また、D、W および W6h の全てのシリーズにおいて、塗布後に乾湿を繰り返した dw のもののほうが吸水率は低い結果となった。W および W6h シリーズは先に述べたように、塗布前の水中養生により表層部が D シリーズに比べて緻密になっていることの効果もあり、含浸材を塗布した場合は吸水率が非常に小さい低い値となった。

塗布後の養生の違いによる結果の差は、水和反応が進んで緻密化された影響なのか含浸材の性質によるものなのか今後検討の余地がある。

(2) 含浸材 B

含浸材 B の結果を図-8 に示しているが、含

浸材 A よりも全体的に吸水抑止効果が大きい。しかし、図-2において含浸深さが小さかった W-dw シリーズについては、含浸材 A と比べても吸水抑止効果が劣るようである。含浸材 B において、W-d の場合は W-dw よりも含浸深さは大きかったが、吸水抑止効果は逆に小さくなっている。含浸深さと吸水抑止効果の関係については、今後検討を深めていきたい。

塗布時に表面が湿潤状態にある場合でも吸水抑止効果は発揮されると言えるが、含浸深さが比較的小さい。このような場合に、含浸材自体の耐久性がどのようになるか、今後これらの供試体を暴露し、追跡調査を実施する予定である。

(3) 含浸材 C

図-9 に含浸材 C の結果を示す。塗布時に湿潤状態にあるものほど吸水率は小さい値が得られており、塗布後の養生条件による吸水率の値の差はそれほど見られなかった。しかし、D-dw ではブランクよりも吸水率が増加しており、W および W6h の場合も d および dw シリーズでの値がほぼ変わらないことから、塗布後の湿潤状態は吸水抑止性能の関連からはあまり好ましくないと考えられる。

4. 結論

本研究では、W/C=50%、塗布材齢 7 日として 3 種類の表面含浸材に対して含浸深さと吸水抑止性能を調べた。含浸材塗布前および塗布後の養生条件の影響について以下の知見が得られた。

- (1) シラン・シロキサンを主成分とする含浸材 A は、塗布直前まで水中養生していたものは含浸深さがやや小さかった。塗布後の乾湿繰り返しにより、塗布時に乾燥している場合には含浸深さが大きくなり、湿潤状態にあるものは減少した。
- (2) アルキルアルコキシシランを主成分とする含浸材 B の含浸深さは、コンクリートが乾燥している状態で塗布したほうが明らかに良好な値を示し、その場合には塗布後の乾湿繰り返しによる悪影響はほとんど見られなかつ

た。一方で塗布時にかなり湿潤状態にあるものでは、乾湿を繰り返すことで含浸深さが大きく減少した。

- (3) ケイ酸塩系である含浸材 C は、いずれも含浸深さは小さい値を示し、塗布後の乾湿繰り返しによりさらに小さくなる傾向を示した。
- (4) シラン系の含浸材はいずれの条件でも大きな吸水抑止効果を発揮し、塗布後の乾湿繰り返しにより吸水率は小さくなる傾向を示した。しかし、条件によっては含浸深さがかなり小さくなっている場合があり、吸水抑止効果の持続性について検証が必要である。
- (5) 本研究の条件においては、ケイ酸塩系の含浸材 C は、シラン系のものと比較して吸水抑止効果は小さかった。また、塗布後に乾湿を繰り返すことにより、吸水抑止効果は乾燥させた場合に比べて低下する傾向にあった。

【謝辞】本研究の実施には、横浜国立大学 4 年生の譲尾美里さんに協力いただいた。

参考文献

- 1) 石橋忠良, 古谷時春, 浜崎直行, 鈴木博人: 高架橋等からのコンクリート片剥落に関する調査研究, 土木学会論文集, No.711/V-56, pp.125-134, 2002.8
- 2) 松田芳範, 木野淳一, 細田 暁, 石橋忠良: 撥水・浸透系防水塗膜材の暴露試験 1 年目の評価について, コンクリート技術シリーズ 59「コンクリートの表面被覆および表面改質に関するシンポジウム論文集」, pp.37-44, 土木学会, 2004.2
- 3) 林 大介, 坂田 昇, 三村俊幸, 神沢 弘: シラン・シロキサン系撥水材の塗布方法に関する一実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.415-420, 2001
- 4) 土木学会: コンクリートライブラリー119「表面保護工法・設計施工指針(案)」, 2005.4