

表面含浸材の併用法における施工性とその影響に関する一検討

関西大学 正会員 博士(工学) ○鶴田 浩章
関西大学大学院 島川 和之
関西大学 正会員 博士(工学) 上田 尚史

Abstract : The silane-type surface penetrants excel seepage resistance and the silicate-type surface penetrants have good resistance to carbonation in particular. Deterioration control effect of the combination method with silicate-type and silane-type surface penetrants are becoming clear. So in this study the influence of surface water content in concrete and workability of coating situation in combination method of surface penetrants were considered on coating ratio of 2:8 with silicate-type and silane-type surface penetrants. As the results, we found that the combination method was not easy to be influenced by surface water content. The coating of 20% for standard coating content was too less, therefore real coating content was more than expected coating content in construction field. But if the coating content of surface penetrant was too much, it had no bad influences. We found that it was necessary to consider new coating method in combination method of surface penetrant.

Key words : Surface penetrants, Silicate-type surface penetrant, Silane-type surface penetrant,
Combination method

1. はじめに

今後、高度経済成長期に建設された土木構造物が老朽化し、劣化によって安全性が低下することが問題となっており、既存のコンクリート構造物の劣化を抑制することができる、表面含浸材がさらに必要になってくると考えられる。また、今後新設するコンクリート構造物の劣化の予防保全対策としても、さらに表面含浸材の必要性は増してくる¹⁾と考えられている。

表面含浸材には透水抵抗性に優れたシラン系表面含浸材と中性化抵抗性に優れたけい酸塩系表面含浸材の2種類があり、これまで行われた研究結果²⁾から、けい酸塩系表面含浸材とシラン系表面含浸材を重ね塗りするという新たな施工方法（以下、併用法）によって、透水抵抗性と中性化抵抗性の両方に優れる結果³⁾が得られており、併用法による劣化抑制効果が明確となってきている。しかし、室内試験と実環境では種々の条件が異なることから、実施工を想定した観点での検討が必要と考えた。例えば、土木学会規準にしたがった室内試験では、塗布量の管理に電子天秤を使用し、表面含浸材の塗布による試験体の質量増加を直接測定することで塗布量を正確に把握することが可能であり、コンクリート試験体の表面水分率もほぼ安定しているが、実施工では塗布対象物の質量を測定しながらの塗布はできないし、コンクリート試験体の表面水分率も施工環境によって様々である。また、室内試験では水平面への塗布となるが、実施工では鉛直面や天井面への塗布も考えられる。そこで、本研究では併用法で最も劣化抑制効果が高いとされる、けい酸塩系表面含浸材：シラン系表面含浸材=2：8の塗布割合に関して、実環境で異なるコンクリートの表面含水率の影響や表面含浸材の塗布工程における水平面や天井面によって異なる施工性に関する検討を行い、併用法の実用性に関する考察を行った。本検討では、表面含浸材の試験方法（案）（JSCE-K571-2010）に基づいた方法で含浸深さ試験、透水量試験を行った。

表-1 使用した含浸材

	主成分	主成分濃度 (%)	標準塗布量 (g/m ²)	記号
けい酸塩系	けい酸ナトリウム・カリウム	23	240	K
シラン系	アルキルアルコキシシラン	98~100	300	A
	シラン・シロキサン(撥水型)	90~	200	S

表-2 併用法と単体の表記

材料の種類	けい酸塩系の塗布量 (g/m ²)	シラン系の塗布量 (g/m ²)	記号
K:A=2:8	240×0.2=48	300×0.8=240	KA28
K:S=2:8	240×0.2=48	200×0.8=160	KS28
K10割	240	0	K10
A10割	0	300	A10
S10割	0	200	S10

表-3 配合

W/C (%)	G.max (mm)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
				W	C	S	G	Ad
60	20	5.0	45.0	173	288	793	1010	1153

Ad : AE 減水剤を使用(g/m³)

表-4 試験体作製方法

	試験体作製方法
乾燥状態	表面含浸材の塗布3日前に100℃の乾燥機で試験体を絶乾状態にして、冷ました後に表面含浸材を塗布
気乾状態	温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室で気中養生した後に表面含浸材を塗布
表乾状態	表面含浸材塗布3日前に20℃で水中養生を行った後に表面含浸材を塗布

表-5 表面含浸材の塗布方法

表面含浸材	塗布方法
K	塗布面に散水しブラシ洗浄→1時間後に塗布量の半分を刷毛で塗布→1時間散水養生→1時間気中養生→以上をもう1回繰り返し、その後屋外で自然乾燥
A	塗布面を圧縮空気で洗浄→塗布量の半分を刷毛で塗布→1~2時間自然乾燥→残り半分を塗布→屋外で自然乾燥
S	塗布面を圧縮空気で洗浄→塗布量全量を刷毛で塗布→屋外で1時間自然乾燥
KA	Kの塗布完了後、24時間後にAの方法で塗布
KS	Kの塗布完了後、24時間後にSの方法で塗布

表-6 塗布量の管理および測定方法

手順	塗布方法
1	刷毛を表面含浸材で飽和させ、刷毛の質量を測定
2	表面含浸材塗布前の試験体の質量を測定
3	設定塗布量をビーカーに量りとり、飽和した刷毛に乗せするようにして試験体に塗布
4	表面含浸材塗布終了直後の試験体の質量を測定し、実際の塗布量を算定

2. 実験概要

2.1 使用した含浸材とコンクリートの配合

使用した含浸材の詳細を表-1に示し、併用法と単体の表記を表-2に示す。表-1において記号KとAで表される表面含浸材は粘性が低くさらっとしており、Sは粘性が高くどろっとしたものである。けい酸塩系表面含浸材とシラン系表面含浸材の塗布量は、それぞれの標準塗布量に対して質量比で2:8(けい酸塩系表面含浸材の標準塗布量の2割:シラン系表面含浸材の標準塗布量の8割)とした。今回の試験では試験体にコンクリートを用い、配合は目標スランプ10±2cm、目標空気量を5.0±1.0%、品質が若干低下したコンクリートを想定してW/Cを60%とした。試験練りから決定した配合を表-3に示す。

2.2 表面含浸材塗布時のコンクリートの表面水分率の影響に関する検討

本検討では、コンクリート試験体の表面含水率の違いが含浸材の劣化抑制効果に与える影響について検討した。コンクリート試験体は、表-3の配合を基本として100×100×400(mm)のコンクリート角柱を打設後、室温20℃、湿度60%の恒温恒湿室で1日静置した後、脱型し6日間水中養生した。表面含浸材の試験ではJSCE-K571-2010にしたがって試験体を100×100×100(mm)のサイズの立方体に切断し、恒温恒湿室(室温20℃、湿度60%)で28日間気中養生した。気中養生終了4日前に性能確認用の試験体は合成樹脂で切断面以外をシールし、気中養生終了後にメーカーの定める方法で、表面含浸材の塗布を行った。試験体は表-4の方法で乾燥状態、気乾状態、表乾状態に近いものを用意し、表面含浸材の塗

布は、表-5の方法で行った。なお、表面水分率はA社製の直流電気抵抗式的水分計（測定範囲0.8～15%）で測定した表面水分率であり、表面含浸材塗布直前の試験体で測定した。そして、含浸深さ試験と透水量試験を表面含浸材の試験方法（案）（JSCE-K 571-2010）に準拠し行った。

2.3 水平面、天井面への塗布の施工性に関する検討

これまでの検討から最も劣化抑制効果が高いとされているけい酸塩系表面含浸材：シラン系表面含浸材=2：8の塗布割合で併用法を用いて、実際の構造物への併用法の施工を想定した検討を行った。100×100×400(mm)のコンクリート試験体を用意し、水平面と天井面を想定して試験体中央の100×300(mm)の面へ表面含浸材を塗布した。100×300(mm)は、天井面を想定した場合に、供試体の両端100×50(mm)の部分に別のブロックに載せて支え、中央の100×300(mm)の部分に塗布を行うよう設定したものであり、水平面の塗布の際も天井面の塗布と同様の塗布面積となるようにしたものである。塗布は表面含浸材のメーカーから推奨された方法で表-5のように刷毛を用いて行い、表-6に示す方法で塗布量の管理・測定を行った。なお、水平面については一般的な鉛直下向きへの塗布であるが、天井面については塗布面を水平面とは逆に設置し鉛直上向きの塗布となるようにした。表面含浸材塗布直前のコンクリート試験体の表面水分率は、シラン系単体の塗布では0.8%未満、けい酸塩系単体および併用法では5.7～7.5%程度であった。表面含浸材の塗布後、3日間気中養生した後、100×100×100(mm)の寸法に切断し、11日間恒温恒湿室（室温20℃、湿度60%）で気中養生した。その後、表面含浸材の試験方法（案）（JSCE-K 571-2010）に基づき含浸深さ試験と透水量試験を行った。また、表面含浸材塗布前に測定した試験体の質量と、塗布後に測定した試験体質量との差を算出し、実際に塗られた塗布量を算出し水平面と天井面への塗布における設定塗布量との違いに着目した施工性について検討した。

2.4 各種試験方法による検討

表面含浸材の劣化抑制効果の検討では、表面含浸材の試験方法（案）（JSCE-K 571-2010）に基づき次の2つの試験を行った。また、各表面含浸材につき3個の試験体を用いて試験を行い、3個の試験体の平均値をそれぞれの値とした。

2.4.1 含浸深さ試験

シラン系表面含浸材の含浸深さが測定できるように割裂した試験体を、1分間水に浸せきして取り出し、対面する割裂面で撥水している合計6か所の含浸深さを、0.1mmの単位で測定し、その平均値を算出し、小数点以下1桁の値に丸めて1試験体の含浸深さとした。なお、本研究では、分析装置の不備により測定できなかったため、けい酸塩系表面含浸材の含浸深さについては測定していない。

2.4.2 透水量試験

JIS A 6909の7.12（透水試験B法）に準じて、試験体の含浸面および原状供試体の試験面に透水試験器具を取り付け、その中に蒸留水を入れ、7日間静置して試験した。試験装置を図-1に示す。試験開始時から7日後の水頭の高さ（ W_{pi} ）を読み取り、試験開始時の高さ

（ W_{p0} ）との差から、式(1)によって透水量（ W_p ）を算出した。

$$W_p = W_{pi} - W_{p0} \quad (1)$$

ここに、 W_p ：透水量(ml)、 W_{p0} ：試験開始時のメスピペットの読み(ml)、 W_{pi} ：試験開始時から7日後のメスピペットの読み(ml)

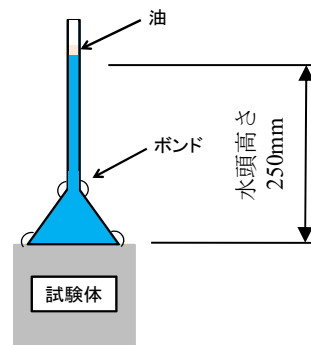


図-1 透水量試験の装置

表-7 コンクリート試験体の表面水分率

	乾燥	気乾	表乾
表面水分率(%)	0.7	3.0	7.0

表-8 乾燥状態での透水量試験結果

	K10	A10	KA28	S10	KS28
透水量(ml)	18.9	1.32	0.53	1.15	0.83

3. 結果および考察

3.1 表面水分率の影響に関する検討

それぞれの試験体の表面水分率を表-7に示し、含浸深さ試験および透水量試験の結果を図-2に、乾燥状態での透水量試験結果を表-8に示す。含浸深さ試験の結果より、乾燥状態ほどシラン系表面含浸材の含浸深さが大きくなる傾向にあり、より水分量の多い表乾状態では含浸深さが小さくなる傾向となった。これは、乾燥状態ではコンクリート内部の水分量が減少していたため、シラン系表面含浸材

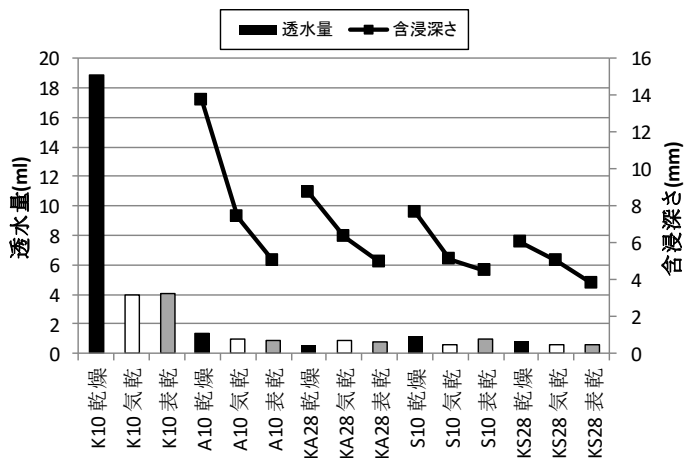


図-2 含浸深さと透水量試験結果の関係

の浸透を妨げる水分が少なく、より深く浸透し、表乾状態では水分量が多いため、シラン系表面含浸材の浸透が妨げられたと考えられる。併用法においては、けい酸塩系表面含浸材塗布後に散水養生を行うことから、表面含浸材単体の塗布よりも含浸深さが減少したが、乾燥および気乾状態においては十分な含浸深さが得られている。透水量試験では、材料 A, S を乾燥状態で使用した場合、他の状態と比較して透水抵抗性がやや低下していた。これは、シラン系表面含浸材が撥水層を形成する際に加水分解を必要とし、水分が必要であることから乾燥状態では十分な反応ができず透水抵抗性が低下したと考えることができる。しかし、表-8の結果より併用法(KA28とKS28)では、単体(K10, A10, S10)の場合より透水抵抗性が大きくなっている。これは、けい酸塩系表面含浸材を塗布した後の散水養生により水が供給されたことで、シラン系表面含浸材の加水分解が促進され、透水抵抗性が向上したと考えられる。また、図-2および表-8より併用法では、試験体表面が乾燥状態でも高い表面水分率の状態でも、表面含浸材単体の塗布よりも高い透水抵抗性を発揮していることから、併用法は表面水分率の変化に影響されにくい塗布方法であると言える。

3.2 水平面、天井面への塗布の施工性に関する検討

水平面と天井面での表面含浸材の塗布面積と塗布割合から算定した設定塗布量と実際の塗布量とを示した結果を図-3および図-4に示す。表内の併用法、例えばKA28(K2)では、けい酸塩系表面含浸材の標準塗布量の2割を塗布した場合を表しており、()内のK2などが対象としている表面含浸材とその塗布割合を示している。つまり、KA28(K2)はKA28におけるK2：けい酸塩系表面含浸材を標準塗布量の2割塗布した場合の塗布量を示している。結果として、図-3の水平面では、表面含浸材を単体で塗布した場合(K, A, S)では

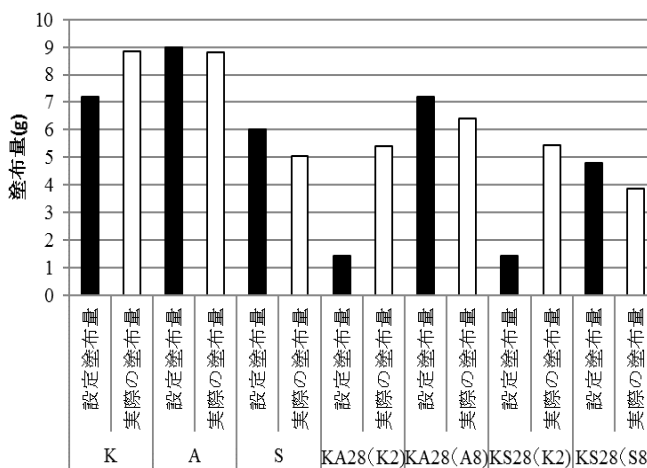


図-3 水平面塗布の場合の設定および実際の塗布量

設定塗布量と実際の塗布量との間に大きな差は生じていないが、併用法のけい酸塩系表面含浸材 2 割を塗布した場合 (KA28 と KS28) では設定塗布量に対して過剰に塗布されている結果となった。原因として、けい酸塩系表面含浸材 2 割の塗布量が少なすぎることが挙げられる。単体で使用した場合には、十分な塗布量が確保できていたため、刷毛が飽和するまでに吸っていた含浸材を塗布することなく塗布ができたと言える。しかし、併用法のけい酸塩系表面含浸材の場合、塗布量が微量であったため、刷毛が飽和するまでに吸っている表面含浸材まで塗布し、塗布量が増加したと考えられる。また、これまでの室内試験においての表面含浸材の塗布では、電子上皿天秤を用いて細かな調整を行いながら塗布を行っていたため、微量なけい酸塩系表面含浸材 2 割の塗布が可能であった。しかし、今回の場合、実構造物を想定して電子上皿天秤が使えなかったため、調整ができず塗布量が増加したと考えている。

図-4 の天井面塗布の場合でも併用法のけい酸塩系表面含浸材(KA28(K2)と KS28(K2))の塗布量が増加している。また、表面含浸材単体においては材料 K, A の表面含浸材の塗布量が大きく減少している。ここで、含浸深さ試験と透水量試験の結果を図-5 に示す。図-5 においては、棒グラフが透水量の平均値を、折れ線が含浸深さの平均値を示している。図-5 の結果からも材料 A を使用した天井面 (A10 天井) は含浸深さが大きく減少しており、図-4 に示された塗布量の傾向と整合する状況が生じている。これは材料 K, A が液状で粘性が低いため、液だれの量が多くなったことが原因だと考えられる。なお、液だれについて定義が明確でなく、目視で表面含浸材が塗布面よりたれて凹凸ができた状態を液だれとした。

また、併用法の天井面は水平面に比べると透水抵抗性が低下している。これは、写真-1 に示されるように、天井面の試験体 (KA28) の表面含浸材塗布後の表面に白い斑点が浮かんでいたことと関連がある。これは、けい酸塩系表面含浸材が液だれのためコンクリート内部の水酸化カルシウムと十分に反応せず、表面上に留まったためできたものであり、内部が十分に緻密化されず、透水抵抗性が低下したと考えている。よって、天井面における表面含浸材の塗布においては、粘性を有する表面含浸材を使用するほうが液だれによる塗布量の減少や透水抵抗性の低下を防止することができると言える。さらに、本来の実施工においては、少なくとも塗布量の半分程度が最小塗布量であると定められている表面含浸材もあり、今回の結果からもけい酸塩系表面含浸材 2 割を塗布することは望ましくないことがわかった。しかし、水平面においては、塗布量増加による劣化抑制効果への悪影響は確認できず、天井面塗布においても材料 S を使用した場合には、表面含浸材単体の場合と相違ない結果となった。ただし、塗布方法の改善については、塗布面積や塗布量にも影響されることが考えられることから、

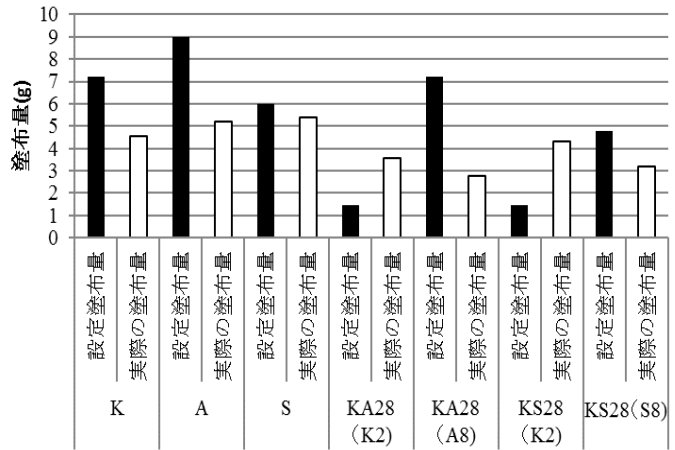


図-4 天井面塗布の場合の設定および実際の塗布量

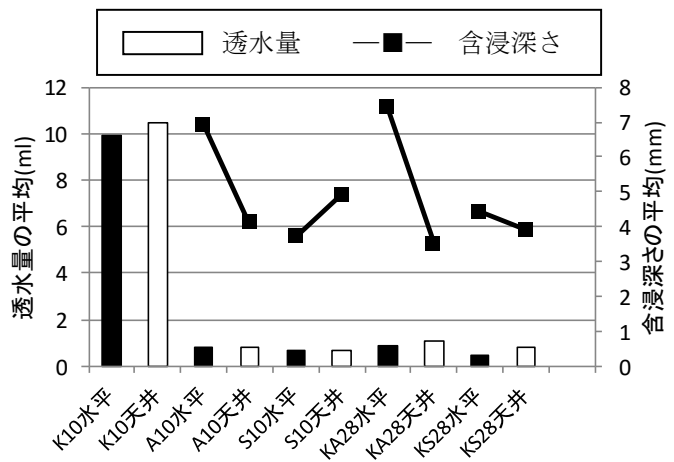


図-5 含浸深さ試験と透水量試験の結果

今後さらに検討を進めて最適な塗布量の管理や塗布方法を検討したいと考えている。

ここで、表面含浸材の材料費と施工費のみを各含浸材メーカーの公開データから塗布割合を考慮して算定したものを表-9に示す。この表には、本研究で使用していない、けい酸塩系表面含浸材を標準塗布量の5割使用するケースについても記載している。これは、2割塗布の場合に設定より塗布量が多くなることを考慮したものである。ここに示されるように、表面含浸材の併用法においては、単体での使用と比較してコストが高くなるが、状況に応じた方法の選択や劣化抑制効果を総合的に考慮することで、併用法のメリットが有効に活用できるのではないかと考えている。



写真-1 KA28 試験体の塗布後の表面の状況

表-9 表面含浸材の材料費と施工費

	種類	材料費	施工費	計
けい酸塩系	K	2,640	960	3,600
シラン系	A	1,890	1,134	3,024
	S	1,738	864	2,602
併用法	K : A=2 : 8	2,040	2,094	4,134
	K : S=2 : 8	1,918	1,824	3,742
	K : A=5 : 8	2,832	2,094	4,926
	K : S=5 : 8	2,710	1,824	4,534

※単位は全て円/m²

4. おわりに

本検討で得られた結果のまとめを以下に示す。

- (1) 試験体表面の含水率を変化させた試験より、併用法はコンクリートの表面水分率に影響されにくい方法であることがわかった。
- (2) 施工性の検討では、実構造物を想定した塗布を行った場合、表面含浸材の塗布量が増加し、けい酸塩系表面含浸材2割での塗布が困難であることがわかった。
- (3) 天井面における表面含浸材の塗布においては、粘性を有する表面含浸材を使用するほうが液だれによる塗布量の減少や透水抵抗性の低下を防止することができる。

以上のことから、実用性に関しては、併用法が実環境から受ける影響は小さい。しかし、施工性に関して、けい酸塩系表面含浸材2割の塗布が困難であったが、けい酸塩系表面含浸材の塗布量増加による性能への悪影響は小さいことや併用することで単体より良い効果が得られている。これらのことから、けい酸塩系表面含浸材の塗布量を増やし、管理しやすい塗布方法を確立することが、併用法の実構造物への適用に対して重要なことだと考えられる。

謝辞：本論文は、文部科学省の科研費基盤研究（B）（25289141）（代表：古田 均関西大学教授）の一環として行ったものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1)土木学会：コンクリートライブラリー137 けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案)，2012
- 2)原川 卓真，鶴田 浩章：コンクリート用表面含浸材料の諸性質と劣化抑制効果，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.10，pp.405-412，2010
- 3)鶴田 浩章，原川 卓真：シラン系及びけい酸塩系表面含浸材の併用による劣化抑制効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1624-1629，2012