

シラン系表面含浸材を施工したコンクリートの性能に与える材齢の影響

高知工業高等専門学校	専攻科	○小松桃子
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		山田悠二
大同塗料株式会社		河西悠介

Abstract : This study was investigated the applicability of silane type surface penetrants at early age. Especially, it was investigated the performance and shrinkage characteristics of the surface penetrants by applying the silane type surface penetrants to the early age. As a result, there was no difference in water permeability and moisture permeability of the silane type surface penetrants in case of application after 7 days after casting. In addition, it was shown the possibility of reducing drying shrinkage when surface penetrants was applied at early age.

Key words : Silane type surface penetrants, Drying shrinkage, Earlyage, water permeability, Moisture permeability

1. はじめに

新設構造物の予防保全手段として、近年シラン系表面含浸材の適用が確認できる¹⁾。シラン系表面含浸工法は、コンクリート表層部に表面含浸材を含浸させることで、コンクリート表層部に吸水防止層を形成し撥水性を付与することにより、コンクリート構造物の耐久性を向上させる工法である¹⁾。これまでのシラン系表面含浸工法に関する研究は、塩分浸透阻止性の持続性²⁾や、それらに関連すると考えられる含浸深さに与える要因といった研究センターであった。一方で、材齢28日以前の早期材齢に表面含浸材を施工して、性能を確認した事例として細田らの研究³⁾があるが研究事例は少ない。これは、コンクリート打込み直後の含水率が高いため、表面含浸材が含浸しにくいと考えられることが理由としてあげられる。また、通常の施工過程における脱型直後において、コンクリート強度は増加中であり、その過程においてコンクリート中にシラン系表面含浸材を施工することは、強度発現に対する不安もある。しかし、施工効率の観点から考えると、脱型直後できるだけ早いうちに表面含浸材の施工を行うことができれば、効率的な施工を行うことができると考えられる。

そのため、脱型後早期の表面含浸材施工実施を目的として、材齢28日より早期材齢でシラン系表面含浸材を施工した場合におけるコンクリートの特性について検討を行った。今回は収縮特性および表面含浸材の性能について検討を行った。

2. 試験概要

2.1 試験パラメータ

試験パラメータを表-1に示す。材齢 28日以前に表面含浸材を使用した場合の性状を検討するため施工材齢は3材齢とした。使用量は2種類と無施工の3種類とした。

2.2 供試体概要

供試体は、試験目的に応じてコンクリートもしくはモルタルとした。使用した材料を、表-2に示す。コンクリートの配合を表-3、モルタルの配合を表-4に示す。

供試体の作製は、打込み翌日に脱型を行った。そののち、標準養生を4日間行った後、1日間室内に

存置した。下記に示す透水試験および含水率測定供試体については、打込みを含む4面をエポキシ被覆した。そのうち、材齢7日から、20℃、60%R.H.条件下に供試体を存置した。

2.3 試験方法

(1) 圧縮試験

JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に基づき実施した。

(2) 透水試験

乾燥収縮によるひび割れ発生や、早期施工に伴う表面含浸材の性能を確認するため、透水試験を実施した。

測定は材齢7日、14日、28日、56日および112日で実施した。100mm×100mm×400mm角柱を、100mm×100mm×100mm角柱供試体に切断し試験に供した。試験は「JSCE-K571-2013 表面含浸材の試験方法(案)」透水量試験に基づき実施した。なお、試験は7日間実施した。

(3) 含水率測定

1要因につき3体試験を行った。また表面含浸材施工による、供試体内の含水率分布を確認した。100mm×100mm×400mmコンクリート角柱供試体を用いて測定した。電気抵抗式コンクリート・モルタル水分計により、深さ方向10mmずつ、40mmまで測定した。

材齢7日、14日、28日、56日および112日で測定をした。

(4) 乾燥収縮測定

表面含浸材施工による収縮性状を検討するため、乾燥収縮の測定を行った。測定方法は、JIS A 1129-2(コンタクトゲージ方法)に基づいて行った。100mm×100mm×400mmコンクリート角柱供試体を用いた。測定開始時期は材齢7日からとし、標点間距離は300mmとし、100mm×400mmの2面に標点を設置した。供試体全体の乾燥収縮を検討するため、6面全面に所定量の表面含浸材を施工した。

(5) 質量測定

表面含浸材施工による水分逸散性を確認するため、モルタル供試体に表面含浸材を施工し、質量変化を測定した。40mm×40mm×160mmモルタル角柱供試体を用いた。電子ばかりを用いて、0.1g単位で測定した。

3. コンクリート供試体の試験結果

3.1 コンクリートの強度特性

材齢7日、14日、28日における圧縮試験結果を図-1および図-2に示す。なお、圧縮試験に用いた供試体については表面含浸材を施工していない。材齢28日までは、材齢の経過とともに圧縮強度が増加した。材齢7日では、材齢28日と比較し、約70%の圧縮強度であった。

表-1 試験パラメータ

表面含浸材施工量	0, 0.20, 0.35kg/m ² (3種類)
施工材齢	7, 14, 28日 (3種類)

表-2 使用材料

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	山砂 (表乾密度2.58g/cm ³ , 吸水率1.29%)
粗骨材	碎石 (表乾密度2.58~2.61g/cm ³)
表面含浸材	主成分：アルキルアルコキシシラン 及びアルキルアルコキシシロキサン 主成分濃度：90%以上

表-3 コンクリート配合

W/C (%)	目標 Slump (cm)	目標 Air (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
60	12±2.5	4.5±1.5	170	280	772	1024

表-4 モルタル配合

W/C (%)	目標 Slump (cm)	目標 Air (%)	使用量 (セメントと細骨材の質量比 1:3)
60	6±2	4.5±2	

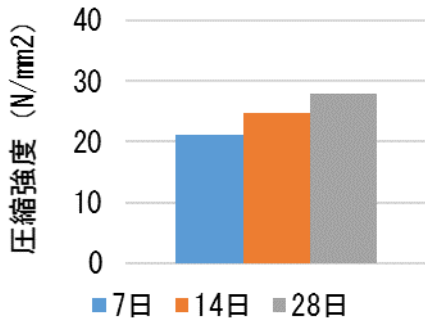


図-1 圧縮強度試験結果
(表面含浸材 0.20kg/m² 用供試体)

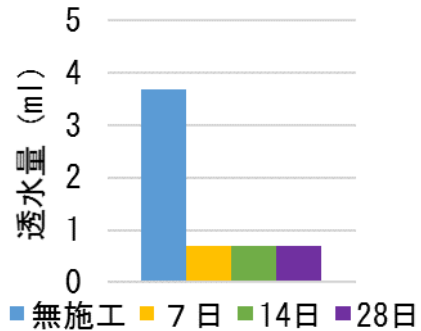


図-3 透水試験 5日における吸水量 (施工日)
(施工量 0.20kg/m², 試験材齢 56日)

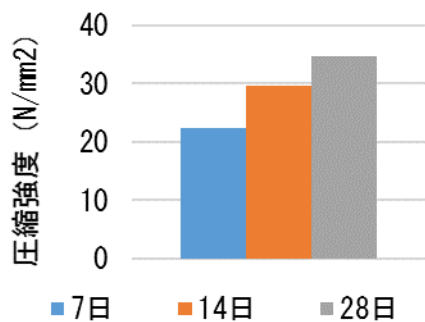


図-2 圧縮強度試験結果
(表面含浸材 0.35kg/m² 用供試体)

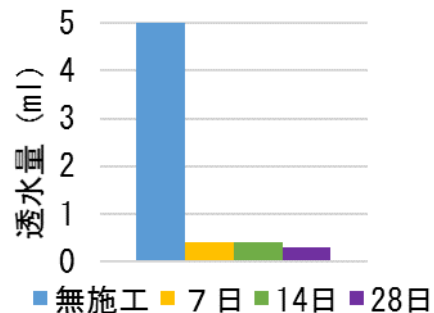


図-4 透水試験 5日における吸水量 (施工日)
(施工量 0.20kg/m², 試験材齢 112日)

3.2 透水試験結果

試験開始から5日目までの透水試験による透水量の経時変化を図-3から図-6に示す。1シリーズにつき3体測定を行っているが、試験中に水漏れが生じ、処置を行ったものもあるため同一シリーズにおける中央値を示した。

いずれの測定材齢、表面含浸材施工量においても、7日、14日、28日に表面含浸材を施工した場合、透水量はほぼ等しくなった。無施工の供試体と比較し、日数が経過しても、透水量に大きな差が出ていることが確認できる。早期材齢であっても表面含浸材の反応は進み、表層部に撥水層を形成することができたと考える。

そのため、透水の観点からは、表面含浸材の早期施工に影響はないものと考えられる。

3.3 含水率測定結果

材齢112日で測定した含水率分布を図-7から図-8に示す。表面含浸材施工量で整理を行った。

表面含浸材施工材齢、施工量に関わらず、概ねすべての供試体で、コンクリート表面の含水率が

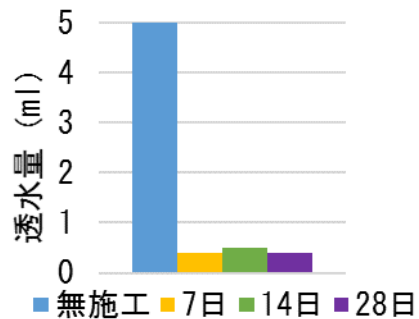


図-5 透水試験 5日における吸水量 (施工日)
(施工量 0.35kg/m², 試験材齢 56日)

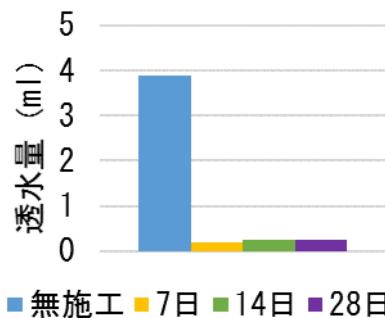


図-6 透水試験 5日における吸水量 (施工日)
(施工量 0.35kg/m², 試験材齢 112日)

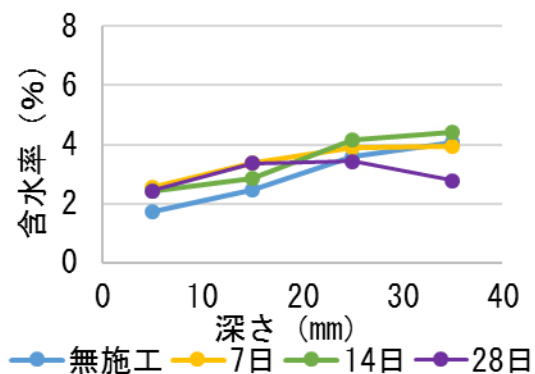


図-7 含水率分布
(施工量 0.20kg/m², 材齢 112 日)

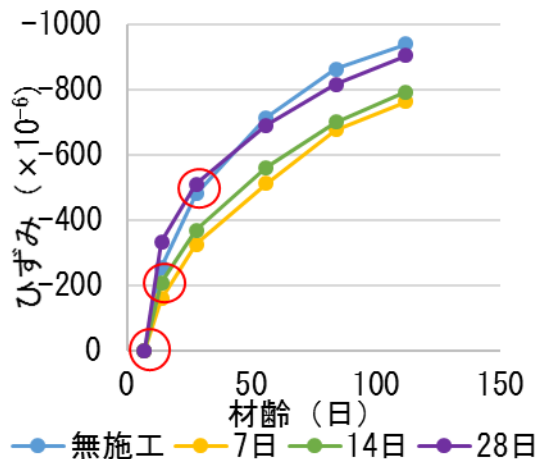


図-9 各施工材齢別長さ変化
(施工量 0.20kg/m²)
(図中の○印は施工日を表す)

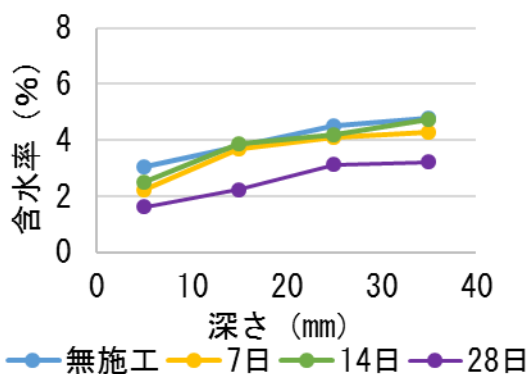


図-8 含水率分布
(施工量 0.35kg/m², 材齢 112 日)

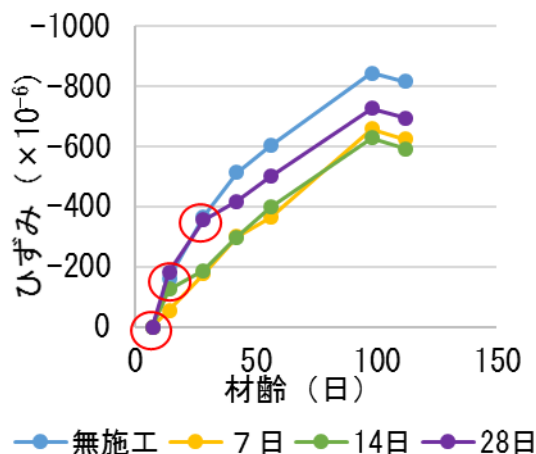


図-10 各施工材齢別長さ変化
(施工量 0.35kg/m²)
(図中の○印は施工日を表す)

小さい傾向が示された。これは乾燥により水が放出されたため、コンクリート中の含水率に勾配が生じたものと考えられる。また、表面含浸材無施工供試体と施工供試体を比較し、供試体深さ方向の含水率の傾きに大きな相違が生じていない。そのため、表面含浸材の透湿性機能に与える施工材齢の影響は大きくないものと考えられる。なお、図-8の施工日28日について、含水率が他の供試体と比べて小さい傾向が示されたが、個体差が生じたものと考えられる。しかし、分布については他と同様を示したため同一の考察を行えるものと考えた。

3.4 乾燥収縮測定結果

材齢7日から112日の長さ変化について、施工材齢で比較したものを図-9および図-10に示す。これらの図は1シリーズにつき2体ずつ各面の測定を行っているが、2体平均値で図-10の、材齢112日でひずみが減少しているが同一傾向を示しているため、ここでは計測誤差として考察を行っていく。

表面含浸材施工量0.20kg/m², 0.35kg/m²ともに、材齢112日におけるひずみ量は、表面含浸材無施工と材齢28日施工で大きく、材齢7日, 14日施工では小さくなる傾向を示した。材齢7日で含浸したものは無施工と比べるとひずみ量が20%ほど抑えられている。これは表面含浸材を早期に施工したことで水分の逸散が抑制され、乾燥収縮が抑えられたためと考える。これより、表面含浸材施工時に収縮が低減する原因があるものと考えられる。同一材齢で表面含浸材を施工した供試体の収縮低減率の経時変

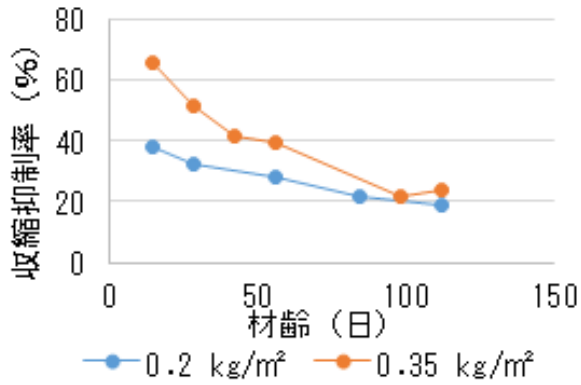


図-11 収縮抑制率の経時変化 (7日施工)

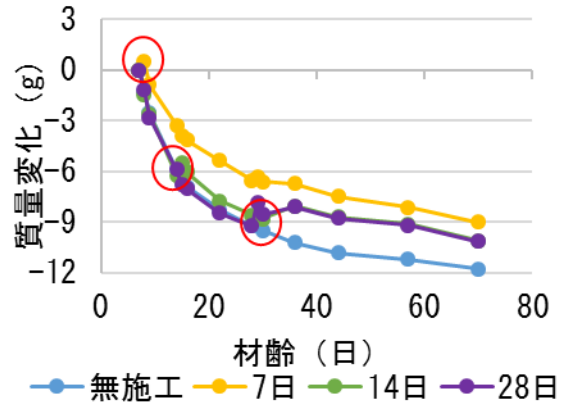


図-14 質量変化試験結果 (施工量 0.20kg/m²)

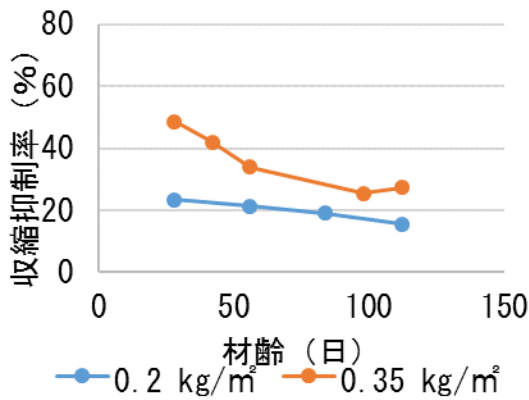


図-12 収縮抑制率の経時変化 (14日施工)

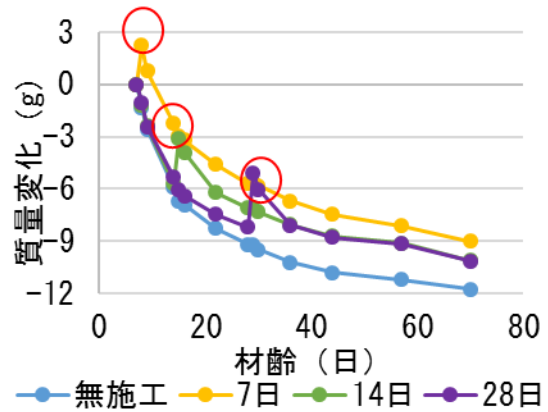


図-15 質量変化試験結果 (施工量 0.35kg/m²)

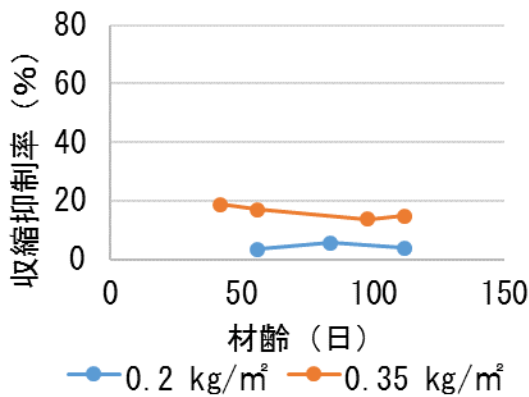


図-13 収縮抑制率の経時変化 (28日施工)

化を図-11から図-13に示す。ここで、収縮抑制率は、表面含浸材を無施工供試体のひずみから、表面含浸材を施工した供試体のひずみ差を、表面含浸材無施工供試体ひずみで割った数値の百分率である。

いずれの施工材齢においても、施工量 0.20kg/m²と比較し、施工量0.35kg/m²の供試体で、

収縮が低減していることが分かる。コンクリート中の水分の逸散に対し、施工量0.35kg/m²の阻止性が大きいためだと考えられる。

以上の結果から、表面含浸材を材齢初期で施工することにより収縮ひずみを抑制できる可能性があることが示された。しかし、この原因が表面含浸材による、コンクリート中の水分放出の遮断だとすれば図-7から図-8に示す、コンクリート中の含水率勾配に影響が出ると考えられる。そのため、別途モルタル供試体を用いて質量変化を把握することにより、収縮低減の原因を検討した。

3.5 質量変化測定結果

材齢7日以降の質量変化量の経時変化を図-14および図-15に示す。なお、表面含浸材の施工は、温度

20℃一定の環境下で行った。

結果は、供試体3体の平均値で示した。表面含浸材を施工した翌日は、いずれの供試体も質量が増加している。表面含浸材を施工することにより供試体の質量は一旦増加し、塗布後1日程度はコンクリート内部からの水分の放出が阻止されているものと考えられる。そののちは表面含浸材の透湿性が徐々に確保されるため、コンクリート内部の水分が放出され質量が減少したのと考えられる。なお、含浸材施工日翌日から質量減少の割合が大きくなっている原因としては、表面含浸材の透湿性による水分の放出と表面含浸材の主成分であるシランの縮合反応による質量の減少が考えられる。

この結果を踏まえ、表面含浸材施工による乾燥収縮低減メカニズムを考察する。表面含浸材を塗布することにより、供試体中の水分の逸散が一時的に抑制され、乾燥収縮が軽減する。そののち、表面含浸材の透湿性が発揮され、コンクリート中の水分が放出される事で質量が減少し、乾燥収縮が生じると考えられる。また、施工材齢により収縮ひずみが増加する理由として、施工材齢の供試体のヤング係数が挙げられる。図-1よりコンクリート強度 $f_{c7}/f_{c28}=0.7$ 程度である。ヤング係数と強度に相関があることが知られているため⁴⁾、この差はヤング係数の低減につながると考えられる。そのため若材齢での表面含浸材施工が材齢112日におけるひずみの差となり表れたのと考えられる。また、表面含浸材の使用量の増加により、コンクリート内部の水分逸散がより遮断されたため、図-11から図-13に示すように、表面含浸材の使用量が多くなると、収縮抑制率が大きくなったのと考えられる。水セメント比により、コンクリート中の水分の逸散形態が変化することと、表面含浸材の粘性による浸透速度が、収縮性能に影響を与えると考えられる。そのため、材齢初期の表面含浸材施工が収縮ひずみに与える影響については、更なる検討が必要である。

4. おわりに

本研究では、材齢28日以前へのシラン系表面含浸工法の適用性を検討するため、材齢7日、14日、28日にシラン系表面含浸材を施工しコンクリートおよび表面含浸材の性能について検討を行った。得られた結果を、以下にまとめる。

- 1) 透水性能は、表面含浸材の施工材齢による大きな変化を確認できなかった。
- 2) コンクリート中の含水率分布も、施工材齢による差は確認できなかった。
- 3) 乾燥収縮については、施工量に関わらず、材齢初期に施工したものの乾燥収縮が低減される傾向にあった。また、施工量が多いほど、低減する傾向にあったため施工量が多いほど効果的である。
- 4) 質量変化については、施工2日後から質量が減少する結果を示した。このことに基づき、表面含浸材を施工した場合の収縮特性について考察を行った。

[参考文献]

- 1) 遠藤裕丈：表面含浸工法による劣化抑止対策の現状と課題，コンクリート工学，Vol.48，No.5，pp.97～100，2010.5
- 2) 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
- 3) 細田暁，今野拓也，松田芳範，小林薫：シラン系表面含浸材を用いた最適な表面保護システムのための基礎的研究：土木学会論文集E，Vol.64 No.2，pp.323-334，2008.5
- 4) 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