

シラン系表面含浸材（撥水型）とけい酸塩系表面含浸材（緻密化型）の比較

加圧透水性試験・ひび割れ透水性試験・透水量試験・凍結融解試験・付着強さ試験

■表面含浸材の使い分け

表面含浸材は、適用箇所の水掛かりの有無、ひび割れ発生の有無、他工法との併用の有無などに応じて使い分けることで、コンクリート構造物の長寿命化にさらに貢献します

表1 シラン系表面含浸材（撥水型）とけい酸塩系表面含浸材（緻密化型）の比較

項目	シラン系表面含浸材 （撥水型）	けい酸塩系表面含浸材 （緻密化型）
水掛かりへの適用性	低い 緻密化しないので水圧に弱い	高い 緻密化するので水圧に強い
ひび割れ部への適用性	低い ひび割れの閉塞ができない	高い ひび割れの閉塞ができる
劣化因子の侵入抑制効果 （主に防水性）	高い	普通
スケーリングへの抵抗性 （耐凍害性）	普通※ 劣化が促進される場合がある	普通
下地改質工としての適用性 （付着性）	低い 撥水性付与により付着性が低下	高い 付着性に影響を与えない
改質機構 （メカニズム）	コンクリート表面に撥水性付与 コンクリート表層部に吸水防止層 （保護層）を形成	コンクリート表層部を緻密化し保護 層を形成 0.2 mm 以下のひび割れを閉塞

表面含浸工法は、シラン系表面含浸工法（撥水型）とけい酸塩系表面含浸工法（緻密化型）に分類されます。コンクリート表層部に含浸して保護層を形成する点で両工法は共通していますが、コンクリート表面への撥水性付与、コンクリート表層部の緻密化、ひび割れの閉塞性の有無という違いがあります。

【シラン系表面含浸材】は【けい酸塩系表面含浸材】より劣化因子の侵入抑制効果は高い傾向にありますが、水掛かり・ひび割れ部への適用性や下地改質工としての適用性が低いという特徴があります。

■表面含浸材の概要・特徴

□シラン系表面含浸材

浸透性吸水防止材とも称され、**コンクリート表層部に含浸させることにより吸水防止層を形成**し、外部からの水や塩化物イオンの侵入を抑制する

出典：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.2005年.146頁.解説表 2.1.2 本マニュアルで対象とする表面含浸材の機能より

シラン系表面含浸工法の特徴は、コンクリート表面から含浸させる表面含浸材により、表面含浸材塗布**表面へ疎水性が付与**されることにある。これによりコンクリート表面が撥水性を持ち、表面からの水の浸入を抑制する。表面含浸材により**コンクリートの細孔を塞ぐことが無い**ため、施工後のコンクリート表層は、水は通らないが水蒸気は通過する。

なお、シラン系の表面含浸材は、例えるならばコンクリート表層に不透水の膜が形成される様な状態であり、表面含浸材塗布面以外からコンクリート内部への水分供給が想定される場合等では、対象構造物の含水量を増大させる恐れがある。アルカリシリカ反応を発生させる反応性骨材が使用されている場合や凍害を受ける環境下では、これらの**劣化を助長させる場合もある**ことから、農業用コンクリート開水路の接水部における適用にあたっては専門技術者へ照会することが望ましい。

出典：農林水産省.農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】.2023年.265頁.9(5)参考工法（シラン系）より

□けい酸塩系表面含浸材

けい酸塩系表面含浸工法において使用する、けい酸アルカリ金属塩を主成分とする液状材料。コンクリートに含浸し、水酸化カルシウムと反応して C-S-H ゲルを生成し、**コンクリート表層部を緻密化**する等して改質させる機能を有する材料。

出典：土木学会.けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）.2012年.6頁.1.3用語の定義より

けい酸塩系表面含浸工法は、**コンクリート表層部の組織を改質・緻密化**し、劣化因子の侵入を抑制することでコンクリートの耐久性を回復又は向上させることを目的とし、表面含浸材をコンクリート表面から含浸させる工法である。

また、けい酸塩系表面含浸工法の大きな特徴としては、①施工が比較的容易であること、②繰返し施工が可能であること、③**劣化を促進する等の副作用が小さい**ことが挙げられる。

このように、けい酸塩系表面含浸工法は、工法の効果は表面被覆工法等の他工法に較べて顕著な効果が得られるとはいえないが、施工がし易く使い易い工法といえる。このような特徴から、**他の工法と組み合わせた補助工法**として、あるいは対策段階としては潜伏期に適した工法といえる。

出典：農林水産省.農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】.2023年.235頁.9(1)工法の概要・特徴より

■水掛かりへの適用性

水の作用がコンクリート構造物の劣化の発生や進行を助長する場合があります
水掛かりの予防保全には【けい酸塩系表面含浸材】が最適です

農林水産省「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】」や北海道開発局「道路設計要領」に表面含浸材の水掛かりに関する案内が出ています。

【けい酸塩系表面含浸材】については、土木学会「けい酸塩系表面含浸材の試験方法（案）」JSCE-K 572 の試験項目の一つとして、水圧環境下での試験である加圧透水性試験が規定されています。

□農林水産省「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】」より

表2 表面含浸材の概要（農林水産省マニュアルより）

工法の適用による効果	効果を発揮する機構		材料		適用不可となる条件		備考
劣化因子の侵入抑制	コンクリートの緻密化	コンクリート中の水酸化カルシウムとの反応によるC-S-Hゲルの生成及び主成分の乾燥固化によるコンクリート空隙構造の緻密化	けい酸塩系	反応型 主成分： けい酸ナトリウム けい酸カルシウム	含浸材が浸透しない様な緻密なコンクリート等	中性化が進行し水酸化カルシウムと反応しない領域	湿潤養生
				固化型 主成分： けい酸リチウム		—	乾燥養生
表面撥水性の付与	コンクリート表面への疎水基の形成	シラン系				接水部	⇒9(5) 参考工法 シラン系 参照
侵入した劣化因子に対する劣化反応抑制等	鉄筋不動態被膜再生及びASRゲルの非膨張化	亜硝酸イオン及びリチウムイオンによる作用	その他	亜硝酸リチウム系含浸材等	工法毎にメーカーへ確認		—

出典：農林水産省「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】」.2023年.235頁.表 9.1-1 表面含浸材の概要（けい酸塩系以外も含む）より

開水路 = 水と接するコンクリート構造物

農林水産省の開水路補修マニュアルは、けい酸塩系表面含浸工法を対象としています。

【シラン系表面含浸材】が適用不可となる条件として「接水部」が規定されています。

□北海道開発局「道路設計要領」より

3.シラン系表面含浸材

3.1 適用範囲

- 1) 当面は新設および打換えられた直後の部材への適用を標準とする。
2) 水中に常時浸かる部材への適用はできるだけ避ける。

【解説】

1)について

表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告書によると、シラン系に期待される効果は、表1のように整理されている[3]。これによると、新設では効果が概ね期待される見解が示されている。既設は劣化が著しい構造物への適用は困難で、劣化の程度によっては効果が期待される場合もあるようだが、データは未だ少ない。このことから、当面は新設構造物および打換えられた直後の部材への適用を標準とした。

表1 期待される効果

種別	新設	既設	
		ひびわれ発生前	ひびわれ発生後
塩害	◎	◎～○ ¹⁾	△～× ²⁾
凍害	○～△ ³⁾	○～× ⁴⁾	△～× ⁴⁾
【凡例および備考】 ◎：効果が高い ○：効果が期待できる △：効果を期待するのは困難な場合がある ×：効果が期待できない 1) 内在塩分量によって効果が異なる 2) 既に腐食が開始している場合は期待できない 3) 水分供給条件が厳しい環境では効果が小さい 4) 損傷の程度によっては効果が小さい			

2)について

コンクリートの空隙は充填されないことから、水が強制的に圧入されるような環境下では、期待する効果が得られない場合がある。このため、適用はできるだけ避ける。

出典：北海道開発局.道路設計要領 第3集 橋梁 第2編 コンクリート橋 参考資料 B.道路橋での表面含浸材の適用にあたっての留意事項.2023年.3-3 B-5.3.シラン系表面含浸材より

5.3 橋座面

けい酸塩系の製品が望ましい。

【解説】

橋座面は水分が滞留しやすい部位であるため、シラン系の適用は基本的には厳しい。けい酸塩系は改質の速度は緩慢ではあるが、水分の滞留は組織のち密化にプラスの効果をもたらす。橋座面は人目につきにくい部位であるので美観が問題視されるケースは少ない場合が多い。しかしながら、凍害の進行（発生ではない）による断面欠損は抑制すべきである。このことから、けい酸塩系が望ましいと言える。

出典：北海道開発局.道路設計要領 第3集 橋梁 第2編 コンクリート橋 参考資料 B.道路橋での表面含浸材の適用にあたっての留意事項.2023年.3-3 B-18.5.各部材への施工より

【けい酸塩系表面含浸材】について、水分が滞留しやすい部位への適用性があるとしています。具体的な適用箇所として橋座面が例示されています。

【シラン系表面含浸材】について、水が強制的に圧入されるような環境下での使用を避けること、ひび割れ発生後には「効果を期待するのは困難な場合がある」あるいは「効果が期待できない」、「損傷の程度によっては効果が小さい」と案内があります。具体的な適用箇所として地覆・剛性防護柵、主桁が例示されています。

□加圧透水性試験【土木学会規準 JSCE-K 572】

【けい酸塩系表面含浸材】の水圧環境下での有効性の確認試験です。

【シラン系表面含浸材】の試験方法 JSCE-K 571 に規定されていない、【けい酸塩系表面含浸材】独自の試験項目です。

設備を保有している機関が限られている試験です。

当社は（一財）建材試験センターに委託。

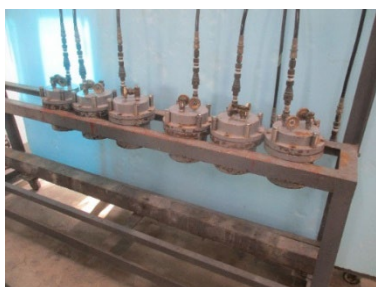


写真1 加圧透水性試験状況-1



写真2 加圧透水性試験状況-2



写真3 水の浸透状況（無塗布）

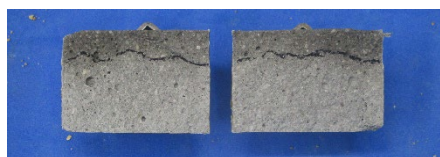


写真4 水の浸透状況（反応型）



写真5 水の浸透状況（無塗布）



写真6 水の浸透状況（固化型）

水の浸透深さが、【けい酸塩系表面含浸材】を塗布することにより小さくなっており、水圧環境下で有効なこと（水掛かりで有効なこと）を示しています。

■ひび割れ部への適用性

【けい酸塩系表面含浸材】は、ひび割れ部への適用性が高い材料です

「コンクリートの変状は、そのほとんどがひび割れから始まる。」

出典：国立研究開発法人土木研究所.コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 年版.2022 年.I-18.2.3 補修工法の種類より

北海道開発局「道路設計要領」に表面含浸材のひび割れ部に関する案内が出ています。

【けい酸塩系表面含浸材】については、土木学会「けい酸塩系表面含浸材の試験方法（案）」JSCE-K 572 の試験項目の一つとして、ひび割れの閉塞性の確認試験であるひび割れ透水性試験が規定されています。

□北海道開発局「道路設計要領」より

【シラン系表面含浸材】は既設構造物の塩害・凍害対策として、ひび割れ発生後には「効果を期待するのは困難な場合がある」あるいは「効果が期待できない」、「損傷の程度によっては効果が小さい」と案内があります。

本記事4頁参照

□ひび割れ透水性試験【土木学会規準 JSCE-K 572】

【けい酸塩系表面含浸材】のひび割れ閉塞性の確認試験です。

【シラン系表面含浸材】の試験方法 JSCE-K 571 に規定されていない、【けい酸塩系表面含浸材】独自の試験項目です。



写真7 ひび割れ透水性試験状況-1



写真8 ひび割れ透水性試験状況-2

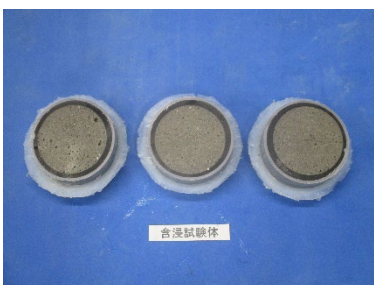


写真9 試験体のひび割れ状況

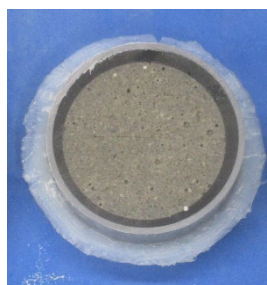


写真10 試験体のひび割れ状況（拡大）

□ひび割れ透水性試験結果の比較

土木学会「けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）」より

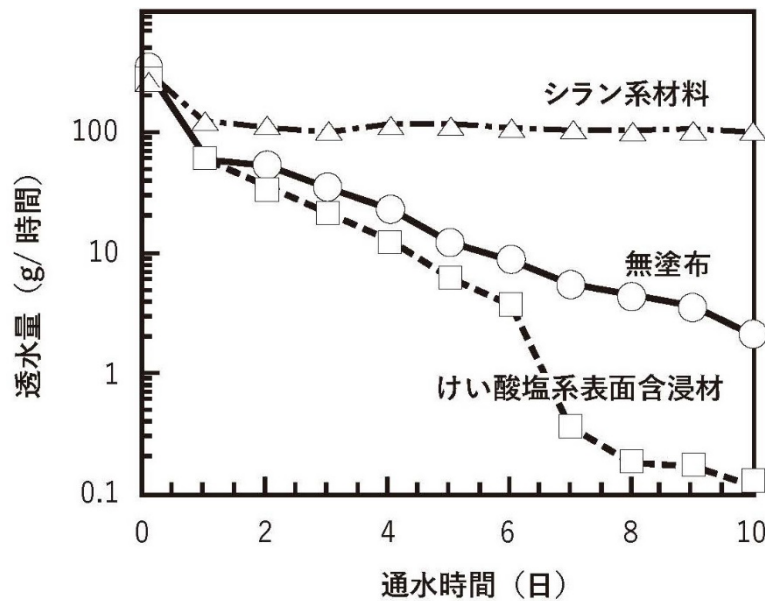


図1 ひび割れ透水性試験結果の例（土木学会 CL137 号より）

出典：土木学会.けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）.2012年 113 頁.

解説 f）ひび割れ透水性試験について図 17 測定結果の例より

【けい酸塩系表面含浸材】は、透水量が【無塗布】よりも大幅に減少しており、ひび割れの閉塞性があること、ひび割れ部に有効なことを示しています。

【シラン系表面含浸材】は、透水量が【無塗布】よりも多く、悪化しており、ひび割れ部に有効でないことを示しています。

■表面含浸材の比較試験

【シラン系表面含浸材】と【けい酸塩系表面含浸材】は本来試験方法が異なります。

JSCE-K 571 が【シラン系表面含浸材】、JSCE-K 572 が【けい酸塩系表面含浸材】の土木学会規定の試験方法です。両者の試験方法は似ているのですが、試験体の組成や試験面などが異なるので試験結果の比較はできません。

以下の試験は、JSCE-K 572 が発表される 2012 年より前に当社で実施した試験となります。

□試験に使用した表面含浸材

反応型 SG : L-OSMO 反応型 SG 反応型けい酸塩混合型表面含浸材
(けい酸リチウム・けい酸ナトリウム・けい酸カリウム配合)

シラン① : シラン・シロキサン系表面含浸材 (他社製品)

シラン② : アルキルアルコキシシラン系表面含浸材 (他社製品)

□透水量試験

試験体 (角柱 100×100×400 mm 水セメント比 (W/C) = 50 %) の型枠面を試験面とし、漏斗とメスピペットを接合した器具をシーリング材で貼り付け注水後、JSCE-K 571 に準じて 7 日間の透水量試験を行った。

表 3 透水量試験結果 (7 日間)

品名	透水量 (mL)	透水比 (%)	透水抑制率 (%)
無塗布	8.5	-	-
反応型 SG	3.3	39	61
シラン①	0.5	6	94
シラン②	0.8	9	91

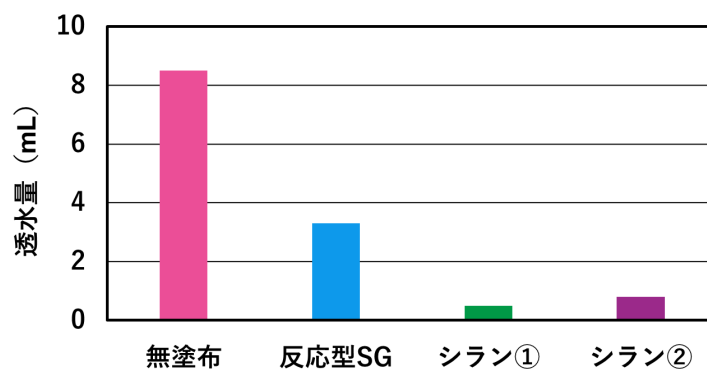


図 2 透水量試験結果グラフ (7 日間)

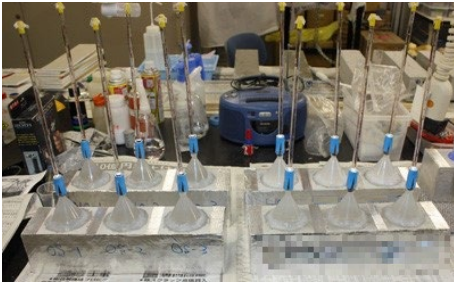


写真10 透水量試験状況

表面含浸材塗布による遮水性向上が確認された。

【シラン系表面含浸材】の方が【けい酸塩系表面含浸材】よりも約30%高い透水抑制率が確認された。

ひび割れもない健全なコンクリートにおいては【シラン系表面含浸材】の方がより高い防水性があることが確認された。

□凍結融解試験（JIS A 1148 準拠）

試験体（角柱 100×100×400 mm 水セメント比（W/C）= 50%）の型枠1面を測定面とし、JIS A 1148 に準拠して300サイクルの凍結融解試験を行った。

表4 凍結融解試験結果（相対動弾性係数 300サイクル）

品名	相対動弾性係数（%）
無塗布	99.9
反応型 SG	102.6
シラン①	84.4
シラン②	87.5

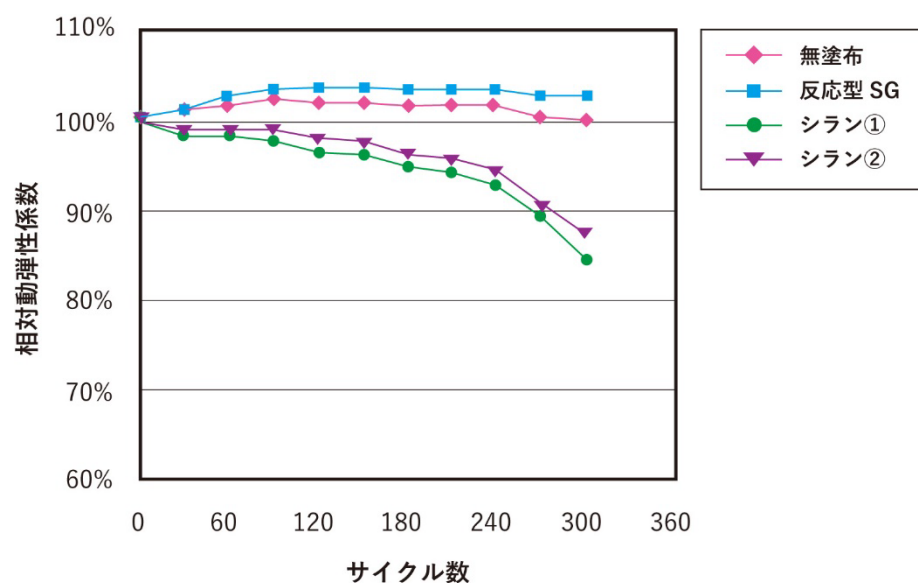


図3 相対動弾性係数グラフ（300サイクル）

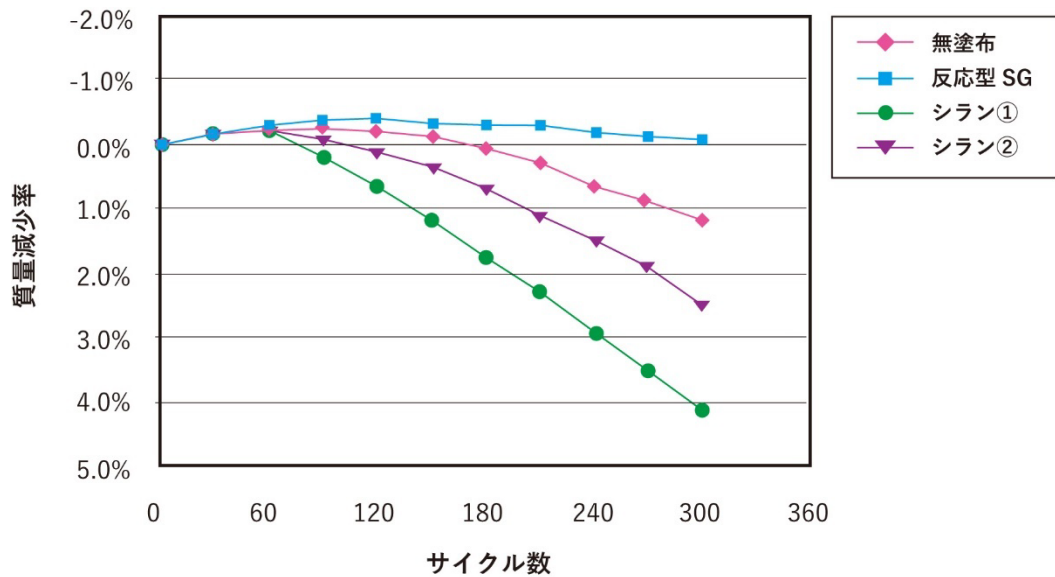


図4 質量変化グラフ (300 サイクル)

【試験体状況】

品名	試験開始時	300 サイクル時
無塗布		
反応型 SG		
シラン①		
シラン②		

写真 11 試験体状況 (凍結融解試験 300 サイクル)

【けい酸塩系表面含浸材】塗布試験体は、質量変化も少なく、試験後のコンクリート表面も綺麗であった。

【シラン系表面含浸材】塗布試験体は、無塗布試験体よりも早期に剥離し、劣化が進行した。水圧を受ける環境での試験 (試験体を浸漬する試験) であったので【シラン系表面含浸材】塗布することで劣化が進展したと思われる。

□凍結融解試験（RILEM CDF 法準拠）

試験体（角柱 100×130×50 mm 水セメント比（W/C）= 50 %）の型枠面を試験面とした。試験面以外はエポキシ樹脂でシールし、養生終了後に1週間の事前吸水後（試験溶液 3 %NaCl）、RILEM CDF 法に準拠して56サイクルの凍結融解試験を行った。（1日2サイクル）

表5 凍結融解試験結果（スケーリング量 56サイクル時）

品名	スケーリング量 (kg/m ²)	抑制率 (%)
無塗布	0.99	-
反応型 SG	0.38	62
シラン①	1.79	-81
シラン②	0.58	41

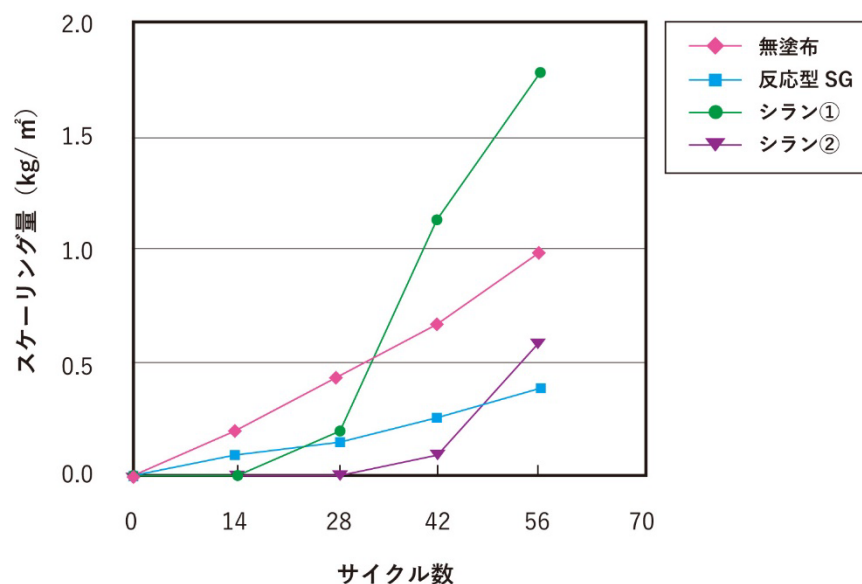


図5 スケーリング量グラフ（56サイクル）

【試験体状況】

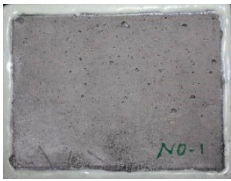


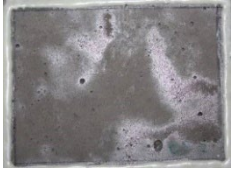








項目	試験開始時	28 サイクル時	56 サイクル時
無塗布			
反応型 SG			
シラン①			
シラン②			

写真 12 試験体状況（凍結融解試験 56 サイクル）

28 サイクル時ではすべての試験体でスケーリング量は 1.5 kg/m^2 内に収まったが、56 サイクル時でシラン①が 1.5 kg/m^2 を超えた結果となった。また、シラン②については 42 サイクル以降に急激にスケーリングが進行した。

【けい酸塩系表面含浸材】塗布試験体が、最もスケーリング量が少なかった。

【シラン系表面含浸材】塗布試験体は、無塗布試験体よりも早期に剥離し、劣化が進行する場合があった。JIS A 1148 と同様に水圧を受ける環境での試験（試験体を浸漬する試験）であったので【シラン系表面含浸材】塗布することで劣化が進展したと思われる。

□付着強さ試験-1

試験体（角柱 100×100×400 mm 水セメント比（W/C）= 50%）に表面含浸材塗布後、アクリル樹脂系塗装材を施工し、施工後約2ヶ月経過後に引張試験機を用いて付着強さ試験を行った。

表6 付着強さ試験結果（アクリル樹脂系塗装材）

品名		接着強さ (N/mm ²)	破断箇所
アクリル樹脂系塗装材	無塗布※	2.7	基板と塗布材の界面破断
	反応型 SG	3.1	塗布材内の凝集破壊
	シラン①※	0.5	基板と塗布材の界面破断
	シラン②※	0.6	基板と塗布材の界面破断

※無塗布試験体は別途実施した付着強さ試験のデータ

※シラン①、シラン②は、3点測定のうち1~2点は試験機をとりつけただけで、基板と塗布材の界面が破断した

破断箇所の状況

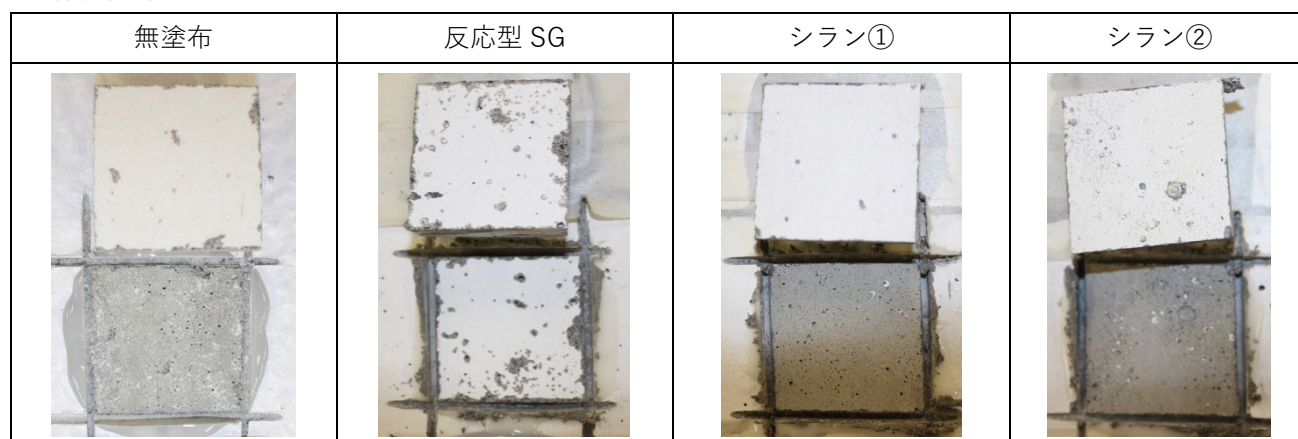


写真13 破断箇所の状況（アクリル樹脂系塗装材）



写真14 治具の接着状況（塗装材）-1

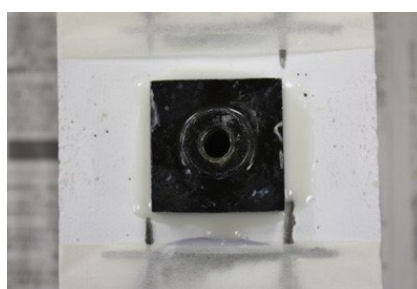


写真15 治具の接着状況（塗装材）-2

【けい酸塩系表面含浸材】の無塗布・塗布で接着強さに大きな差異は見られなかった。

【シラン系表面含浸材】塗布試験体は、接着強さが1.0 N/mm²を下回る場合や、測定不能の場合があった。【シラン系表面含浸材】のコンクリート表面への撥水性付与が付着性を阻害したと思われる。

□付着強さ試験-2

試験体（角柱 100×100×400 mm 水セメント比（W/C） = 51.5 %）に表面含浸材塗布後エポキシ樹脂系接着剤を施工し、施工後 13 日経過後に引張試験機を用いて付着強さ試験を行った。

表 7 付着強さ試験結果（エポキシ樹脂系接着剤）

品名		接着強さ (N/mm ²)	破断箇所
エポキシ樹脂系接着剤	無塗布	4.6	基板破壊
	反応型 SG	4.8	基板破壊
	シラン①	2.2	基板と塗布材の界面破断
	シラン②※	評価不能	基板と塗布材の界面破断

※シラン②は 3 点とも試験機をとりつけただけで破断してしまい、測定不能となった。

破断箇所の状況




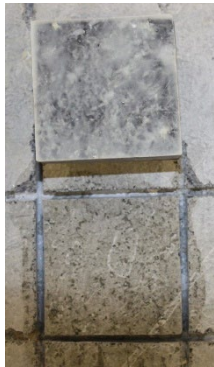
無塗布	反応型 SG	シラン①	シラン②
			

写真 16 破断箇所の状況（接着剤）



写真 17 治具の接着状況（接着剤）-1



写真 18 治具の接着状況（接着剤）-2

【けい酸塩系表面含浸材】の無塗布・塗布で接着強さに大きな差異は見られなかった。

【シラン系表面含浸材】塗布試験体は、接着強さが無塗布試験体の半分となる場合や、測定不能の場合があった。【シラン系表面含浸材】のコンクリート表面への撥水性付与が付着性を阻害したと思われる。

■まとめ

表面含浸材は、適用箇所の水掛かりの有無、ひび割れ発生の有無、他工法との併用の有無などに応じて使い分けることで、コンクリート構造物の長寿命化にさらに貢献します。

【シラン系表面含浸材】（撥水型）は、コンクリート表面に撥水性を付与することもあり、健全なコンクリートにおける防水性は【けい酸塩系表面含浸材】（緻密化型）より高い傾向にある優れた材料ですが、付着性能を阻害するので他工法の下地改質工として適用することが難しく、また【けい酸塩系表面含浸材】と異なりコンクリート表層部の緻密化を行わないので水圧に弱く、ひび割れの充填をしないので、水掛かり・ひび割れ部への適用が難しいです。

【シラン系表面含浸材】は、環境によっては塗布により劣化（凍害など）が進展する場合がありますので適用箇所に注意してください。

以上