

# コンクリート表面含浸材(シラン系)に関する現状調査

## A Survey on Actual Situation of Surface Penetrant (Silane System) for Concrete

住 学\*1  
Manabu Sumi

### 要旨

コンクリート構造物の長寿命化や美観維持などを目的として、コンクリート表面含浸材（以下、表面含浸材）が適用されるケースが増えている。表面含浸材は、主成分によりシラン系、ケイ酸塩系、複合系などに分類され、多種多様な製品が市販されているものの、その性能については不明な点が多い。本報告は、シラン系含浸材を対象として、施工性、透水性、含浸深さ、各種耐久性に関して、同一条件下で実施した評価試験結果について述べたものである。

キーワード：表面含浸材 長寿命化 シラン系 性能評価 スケーリング抵抗性 撥水性 耐候性

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の長寿命化や美観維持を目的として、コンクリート表面含浸材（以下、表面含浸材）が適用されるケースが増えている<sup>1)</sup>。この際、設計図書に商品名が明記される、あるいは、「コンクリート打放しの上シラン系表面含浸材塗布」などと記載される場合がある。一方、表面含浸材は主成分によりシラン系、ケイ酸塩系、複合系などに分類され、製品も多く、性能、施工性、費用、ランニングコストなどについては不明な点も多い。このため、施工者としては製品の長所を十分に把握して選定する必要があり、性能を正しく把握するために、様々な表面含浸材を同一条件で比較することが重要と考える。本報告では、シラン系表面含浸材を対象として、施工性、透水性、含浸深さ、各種耐久性に関して、同一条件下で実施した評価試験結果を報告する。

なお、本報告は既往の文献<sup>2~4)</sup>に加筆修正し、まとめたものであり、各種実験や検討は、浅沼組、安藤ハザマ、大本組、奥村組、熊谷組、鴻池組、五洋建設、西武建設、銭高組、大日本土木、鉄建建設、東亜建設工業、東急建設、東洋建設、戸田建設、飛鳥建設、ピーエス三菱、三井住友建設の18社により実施したものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験基板

試験基板は、コンクリート表層部に相当する材料として、水セメント比55%、セメント：砂=1：3の市販モルタルを用いて、角柱試験体（100×100×400mm、150×150×530mm）を作製し、切断して各種試験に用いた。調合を表1に示す。

表1 基板モルタルの調合

材料種別	水	セメント	細骨材
単位量(kg/m <sup>3</sup> )	245	446	1468

### 2.2 評価試験

評価試験は、土木学会のJSCE-K571-2005表面含浸材の試験方法(案)<sup>1)</sup>に準拠した。なお、透水試験についてはJISA1404試験法を採用した。性能評価は、JSCE-K571-2005の評価法、すなわち、表面含浸材を塗布していない試験体の評価結果に対し、表面含浸材を塗布したものの性能が示す結果の割合を計算により求めてグレード分類した。評価項目を表2に示す。また、これとは別に、含浸深さと施工性、スケーリング抵抗性、および耐候性についても評価した。なお、含浸材塗布は切断面を用いることを基本とした。

表2 評価項目

評価項目		グレード		
性能	評価値(%)	A	B	C
透水抵抗性	透水抑制比	80以上	80~60	60以下
吸水抵抗性	吸水抑制比	80以上	80~60	60以下
透湿性	透湿比	80以上	80~60	60以下
中性化抵抗性	中性化抑制比	30以上	30~10	10以下
塩化物イオン抵抗性	塩化物イオン浸透抑制比	80以上	80~60	60以下

### 2.3 対象とした表面含浸材

検討対象としたシラン系表面含浸材は、性能、コスト、施工性などを考慮してA~Jの10種類とし、各社カタログに示される標準塗布量および塗布回数に従い、水平面に塗布した。各社カタログに記載された主成分を表3に示す。

\*1 技術研究所

表3 使用材料の主成分

含浸材	主成分
A	特殊シラン系化合物・アルケニル系エステル化合物
B	アルキルアルコキシシラン
C	アルキルアルコキシシラン
D	アルキルアルコキシシラン モノマー
E	アルコキシシラン化合物
F	アルキルアルコキシシラン・ポリアルキルアルコキシシラン
G	特殊シラン系化合物
H	シラン・シロキサン系
I	A液：変性ケイ酸ナトリウム塩 B液：シリコーン
J	オルガノシラン

### 3. 評価結果と考察

#### 3.1 施工性

施工性についての所見を表4に示す。記載内容は定性的ではあるが、材料ごとに特徴が異なる結果となった。例えば、粘性が低い材料を壁面に塗布した場合は、ロス率が大きく経済的ではない。また、臭気の種類や強さにもよるが、有機溶液の場合には閉鎖空間での中毒事故や近隣住宅からの苦情などに注意を要する。そのようなことを考慮すると、材料が有する効果だけでなく工程、経済性、環境条件、施工条件なども材料選定における重要な要素であり、それらを事前の試験施工で確認することも有効と考える。

#### 3.2 吸水性および透水性

吸水試験および透水試験の結果を図1に示す。吸水試験は1日、7日で評価し、透水試験はJIS A 1404に従い、加

圧透水時間1時間において評価した。シラン系含浸材は過去に撥水剤として取り扱われてきた材料であるため、全体的に吸水および透水に対する抵抗性は高い傾向にあるものの、7日吸水試験では性能差が最も顕著となり、Bグレードの材料も見受けられた。7日吸水試験において、含浸材B・F・G・H・I・Jの6種はAグレードであったが、含浸材A・C・D・EはBグレードとなった。さらにBグレード内でも、含浸材AおよびDはCグレードに近い結果となった。

7日吸水試験は、特別な器具を必要としない、簡易で汎用的な試験法であり、新規材料のスクリーニングなどにも有効と考えられる。

以上から、シラン系表面含浸材を耐透水および耐吸水を目的として適用する場合には、吸水試験7日浸漬で性能を評価し、工程、経済性、環境条件、施工条件なども考慮して材料選定することが必要と考えられる。

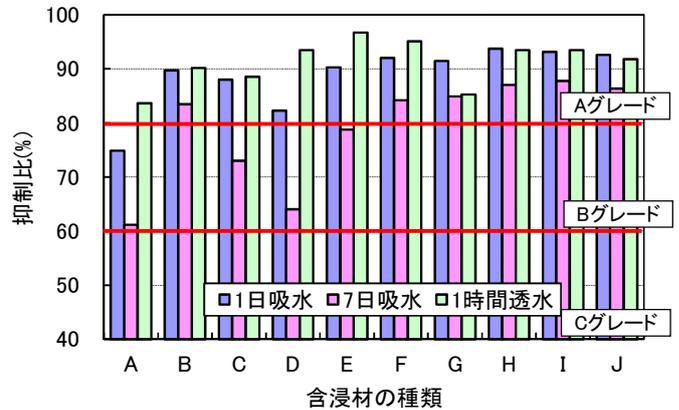


図1 吸水試験および透水試験結果

表4 施工性についての所見

項目 含浸材	塗布前の 下地の状態	メーカー推奨 標準(総)塗布量	1回の塗布量 ×塗布回数	色	可使用時間	粘性、塗り やすさ(壁・床)	匂い(石油臭、 アルコール臭など)	標準塗布量 に対して	塗布後 の乾燥の早さ	重ね塗りの しやすさ	乾燥後の 表面状態の変化
A	乾燥	150g/m <sup>2</sup>	150g/m <sup>2</sup> ×1回	薄黄色	1時間は使用可能	水系のサラッとした塗布感	樹脂系の臭気あり	傾けると試験体表面から液体がこぼれる	30分でほぼ表面乾燥	1回塗りのため重ね塗りはしない	素地の状態に戻る
B	乾燥	300g/m <sup>2</sup>	100g/m <sup>2</sup> ×3回	白色	1時間は使用可能	水系のサラッとした塗布感	特になし	規定通り塗布可能	30分でほぼ表面乾燥	塗布感変わらないが、白斑ができる	素地の状態に戻る。白斑消失
C	乾燥	220g/m <sup>2</sup>	110g/m <sup>2</sup> ×2回	無色透明	1時間は使用可能	粘性なく浸透しやすい	強いアルコール臭	規定通り塗布可能	30分でほぼ表面乾燥	塗布感変わらず、重ね塗りができる	素地の状態に戻る
D	乾燥	200g/m <sup>2</sup>	100g/m <sup>2</sup> ×2回	白色	1時間は使用可能	粘性なし	若干石油臭あり	2回目は規定量の50~70%程度	1回目塗布後30分後に乾燥	塗布量低下するが可能	素地の状態に戻る
E	乾燥	115g/m <sup>2</sup>	115g/m <sup>2</sup> ×1回	無色透明	1時間は使用可能	粘性なし	特になし	規定通り塗布可能	塗布後すぐに乾燥	1回塗りのため重ね塗りはしない	素地の状態に戻る
F	乾燥	250g/m <sup>2</sup>	250g/m <sup>2</sup> ×1回	薄い肌色	1時間は使用可能	やや粘性あり	若干アルコール臭あり	規定通り塗布可能。ハケ斑残りやすい	20分程度で乾燥	1回塗りのため重ね塗りはしない	素地の状態に戻る
G	乾燥	300g/m <sup>2</sup>	150g/m <sup>2</sup> ×2回	乳白色透明	1時間程度。少しずつ樹脂が析出してくる。は使用可能	適度な粘性があり、液ダレしない	アルコール臭あり	90%程度。規定量載せられるが、新設だと100g×2回程度が妥当	20分程度で乾燥	塗布感変わらず、重ね塗りができる	素地の状態に戻る
H	乾燥	200g/m <sup>2</sup>	200g/m <sup>2</sup> ×1回	乳白色	20分程度。少しずつ液状に変化	クリームが徐々に液化し、液ダレする。クリームはコンクリートに若干なじみにくい	若干、樹脂系の臭いあり	クリーム状なので規定量載せられるが、鉛直面は液ダレすると思われる	20分程度で乾燥	1回塗りのため重ね塗りはしない。クリームを一度に載せる	素地の状態に戻る
I	乾燥	A+B:250g/m <sup>2</sup>	A:75g/m <sup>2</sup> ×2回 B:50g/m <sup>2</sup> ×2回	無色	1時間は使用可能	粘性なし、塗りしやすい	A液：無臭 B液：アルコール臭	A液は標準塗布可能。B液はやや少ない	20分程度で乾燥	A液は浸透しやすいがB液は浸透しにくい	素地の状態に戻る
J	乾燥	200g/m <sup>2</sup>	100g/m <sup>2</sup> ×2回	無色	1時間は使用可能	粘性なし、塗りしやすい	アルコール臭あり	規定通り塗布可能	20分程度で乾燥	塗布感変わらず、重ね塗りができる	素地の状態に戻る
総評	すべて乾燥面	概ね1回の塗布量は100g/m <sup>2</sup> 前後で、1回または2回塗りといえるが、例外もあるので注意。1回の塗布量が適正で、塗布回数が少ないほど歩掛かりにおいて有利。		無色および若干の着色がある。	全体的に十分な可使用時間だが、溶剤蒸発や異物混入防止の観点から小分け(30分程度分)に取り出す方が安全。	粘性の有無がある。鉛直面塗布には若干粘性があった方がロス率が少ない。	アルコール臭や石油臭のあるものは閉鎖空間では注意が必要。	標準塗布量は全体的に過剰気味な設定。重ね塗りするほど含浸しない材料有り。	重ね塗りには問題ない乾燥時間。	過剰気味な標準塗布量に注意。材料によっては、鉛直面の規定塗布は不可。	全て素地の状態に戻る。

### 3.3 含浸深さ

含浸深さ試験の結果を表5に示す。含浸深さの平均値は2.4mmであり、最大値は含浸材Jの4.3mm、最小値は含浸材Dの1.2mmであった。

表5 含浸深さ試験結果

含浸材種類	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均
含浸深さ(mm)	2.7	2.4	2.5	1.2	1.8	2.5	2.2	2.3	2.5	4.3	2.4

### 3.4 透湿性

透湿度試験の結果を図2に示す。透湿比は、塗布なし試験体の透湿量に対する塗布あり試験体の透湿量の比として算出した。本試験に用いた含浸材では、Aグレードが含浸材C、D、F、I、Jの5種類、Bグレードが含浸材A、B、E、G、Hの5種類であった。

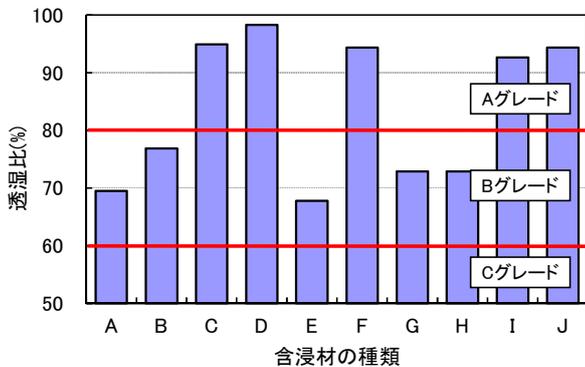


図2 透湿度試験結果

### 3.5 中性化に対する抵抗性

中性化抵抗性の試験結果を図3に示す。中性化抑制比は、100 から中性化深さ比(塗布なし試験体の中性化深さに対する塗布あり試験体の中性化深さの比)を減じて算出した。促進材齢28日では、含浸材A、F、H、I、Jの5種類がAグレード、含浸材B、C、E、Gの4種類がBグレード、含浸材DがCグレード、促進材齢91日では、含浸材A、B、Jの3種類がAグレード、含浸材E、F、G、H、Iの

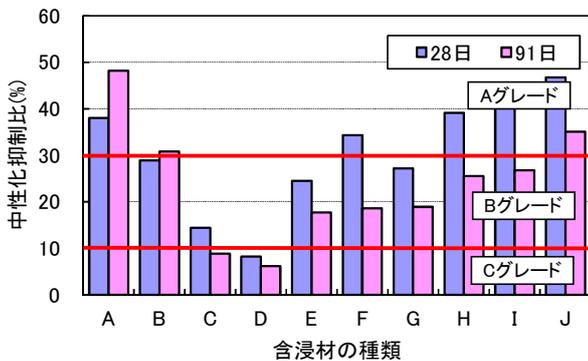


図3 中性化抵抗性試験結果

5種類がBグレード、含浸材C、Dの2種類がCグレードであった。中性化抑制比は、促進材齢28日より促進材齢91日の方が小さくなる傾向を示した。

### 3.6 塩化物イオン浸透に対する抵抗性

塩化物イオン浸透抵抗性試験の結果を図4に示す。塩化物イオン浸透抑制比は、100 から塩化物イオン浸透深さ比(塗布なし試験体の塩化物イオン浸透深さに対する塗布あり試験体の塩化物イオン浸透深さの比)を減じて算出した。本試験に用いた含浸材では、含浸材B、D、E、F、H、I、Jの7種類がAグレード、含浸材C、Gの2種類がBグレード、Cグレードは含浸材Aの1種類であった。

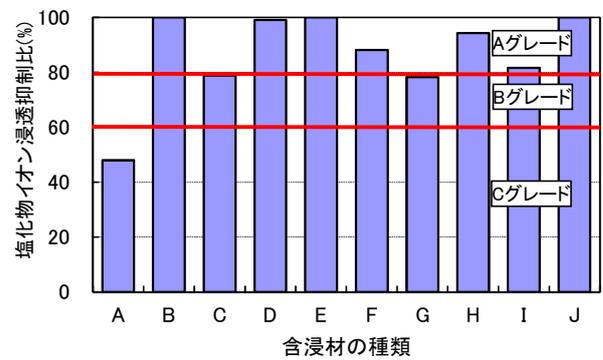


図4 塩化物イオン浸透抵抗性試験結果

### 3.7 含浸深さととの関係

含浸深さと透湿比の関係を図5に、同様に中性化抑制比との関係を図6に、塩化物イオン浸透抑制比の関係を図7に示す。含浸深さと透湿比、および含浸深さと塩化物イオン浸透抑制比の間に相関は認められなかった。一方、含浸深さと中性化抑制比の関係は、含浸材Jを除き、含浸深さが深いほど中性化抑制比が大きくなる傾向を示した。したがって中性化抑制効果を求める場合には、深く含浸する材料の選択が有効であると考えられる。

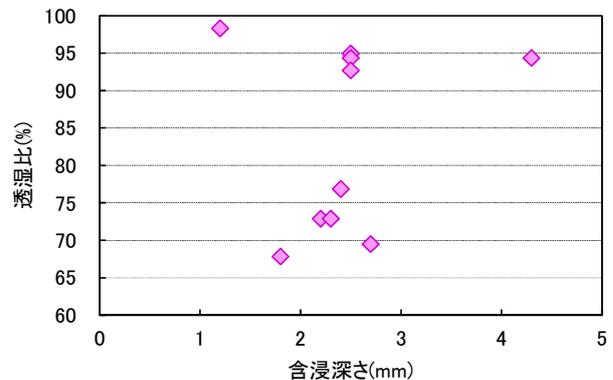


図5 含浸深さと透湿比の関係

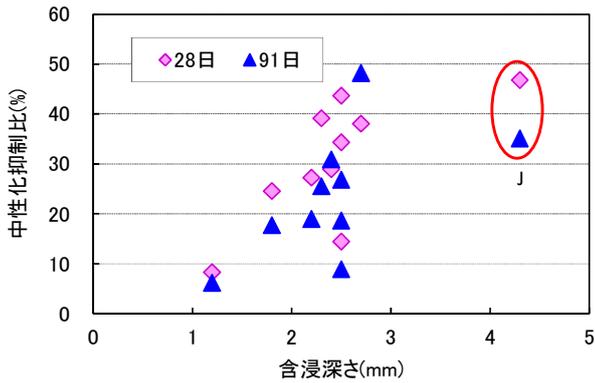


図6 含浸深さと中性化抑制比の関係

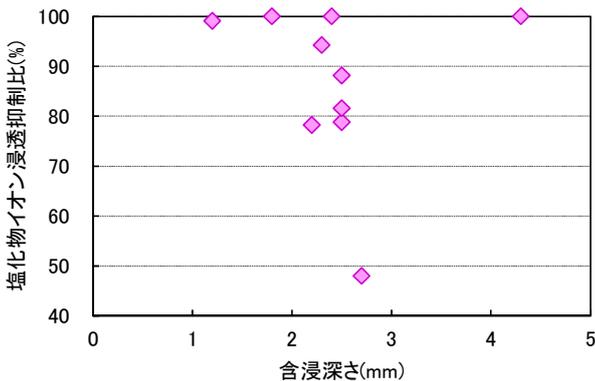


図7 含浸深さと塩化物イオン浸透抑制比の関係

### 3.8 中性化促進材齢と中性化深さの関係

含浸材 A (促進材齢 28、91 日ともに A グレード)、E (同様に B グレード)、D (同様に C グレード)、H (促進材齢 28 日から 91 日で A グレードから B グレードに低下)、および含浸材無塗布について、中性化促進材齢と中性化深さの関係を図 8 に示す。促進材齢 28 日から 91 日かけての中性化進展の傾向は、含浸材 A を除き、表面含浸材を塗布した試験体も塗布していない試験体も、同程度 (約 10mm 増加) であり、含浸材の塗布により中性化の進展に差が生じているのは、促進材齢 28 日までであった。したがって、本試験に用いた表面含浸材の多くは、浸透した表層付近の中性化進行を抑制する効果を有していると推察される。

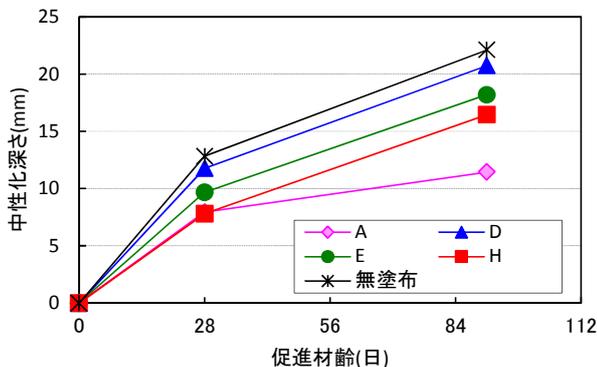


図8 促進中性化材齢と中性化深さの関係

### 3.9 中性化に対する抵抗性に及ぼす影響

透湿比と中性化抑制比の関係を図 9 に、吸水抑制比と中性化抑制比の関係を図 10 に示す。なお、吸水抑制比は、100 から吸水比 (塗布なし試験体の吸水率に対する塗布あり試験体の吸水率の比) を減じて算出した。

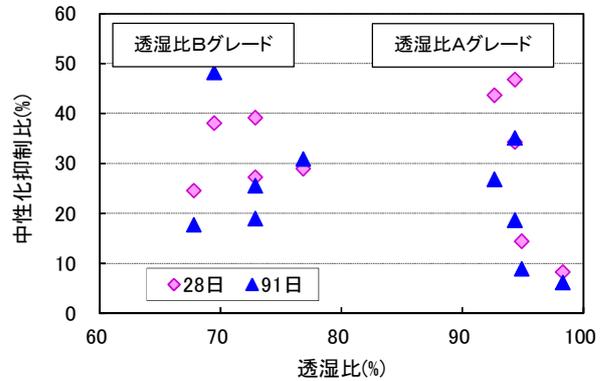


図9 透湿比と中性化抑制比の関係

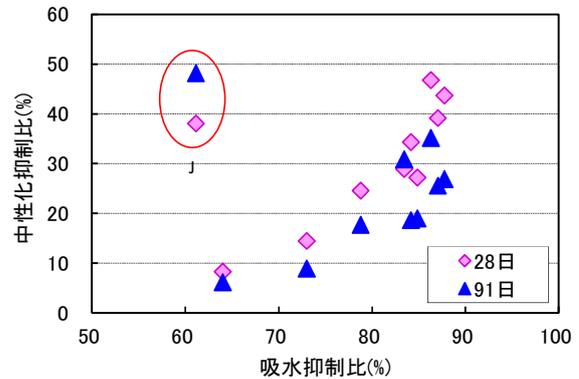


図10 吸水抑制比と中性化抑制比の関係

透湿比が B グレードの含浸材では、透湿比と中性化抑制比の間に相関が認められないが、透湿比が A グレードの含浸材では、透湿比が大きくなるにつれて中性化抑制比が小さくなる傾向を示した。これは、透湿比が A グレードの含浸材は、水分が逸散しやすいためコンクリートの含水率が低くなり、中性化が進行する傾向にあるためと考えられる。一方、透湿比が B グレードの含浸材は、水分が逸散しにくい透湿比が A グレードの場合と比較してコンクリートの含水率が高くなり、透湿比に関係なく中性化が進行しにくくなるためと考えられる。

吸水抑制比と中性化抑制比の関係では、含浸材 J を除き、吸水抑制比が大きくなるにつれて中性化抑制比が大きくなる傾向を示した。吸水抑制比が大きいほどコンクリートの含水率が低くなるため、中性化が進行する傾向にあり、中性化抑制比は小さくなるものと考えられるが、本試験に用いた含浸材では逆の傾向を示した。この結果からも、本試験に用いた含浸材の多くは、吸水抑制効果を有すると同時に、浸透した表層付近の中性化進行を抑制する効果を有し

ているものと推察される。

### 3.10 塩化物イオン浸透に対する抵抗性に及ぼす影響

吸水抑制比と塩化物イオン浸透抑制比の関係を図 11 に示す。塩化物イオンの浸透深さが 0mm 程度であった含浸材を除いた場合、吸水抑制比が大きくなるにつれて塩化物イオン浸透抑制比も大きくなる傾向を示した。したがって吸水率により、塩化物イオン浸透に対する抵抗性の傾向を概ね把握することができるものと考えられる。

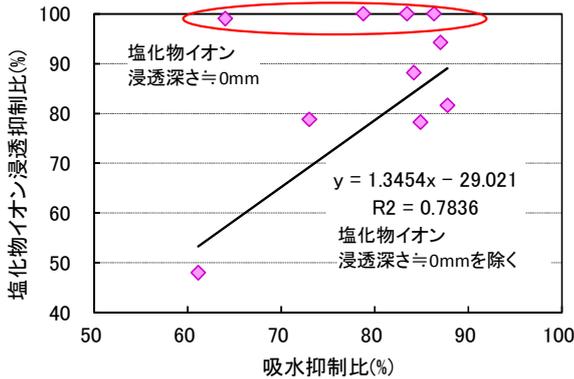


図 11 吸水抑制比と塩化物イオン浸透抑制比の関係

クルまで顕著な損傷は認められなかった。これは含浸材 I の場合、ケイ酸塩系表面含浸材塗布後にシラン系表面含浸材を塗布するため、他のシラン系含浸材に比べ表層組織が緻密化することによるものと考えられる。

以上から、シラン系表面含浸材は、撥水効果により凍害の遅延効果を有することが確認された。また、ASTM C 672 による評価法は、性能の差異が明確に表れることから、耐凍害性を有する表面含浸材の選定に有効なスクリーニング法と考えられる。

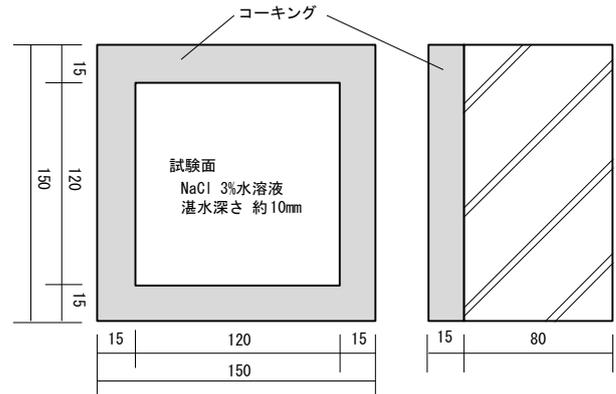


図 12 試験体の形状

### 3.11 スケーリング抵抗性および耐候性

#### 3.11.1 試験対象とした表面含浸材

試験に供したシラン系表面含浸材は、A、C、G、I、J の 5 種類とし、これまでの評価試験と同様に各社カタログに示される標準塗布量および塗布回数に従い水平面に塗布することとした。

#### 3.11.2 スケーリング抵抗性評価

シラン系表面含浸材を塗布したコンクリート供試体に対し JIS A 1148 の水中凍結融解試験を行った場合、水圧で圧入された水分の凍結時の膨張圧が撥水層で著しく高まり、無塗布より激しく剥落する場合もある、との過去の報告<sup>5)</sup>がある。これを考慮し、本実験では比較的自然環境に近似し、寒地土木研究所のシラン系表面含浸材の凍結融解抵抗性評価報告<sup>6)</sup>などに多く採用される ASTM C 672 の評価試験法に準拠することとした。試験体の形状を図 12 に、スクーリング抵抗性試験の概要を表 6 に示す。

スクーリング量の計測結果を図 13 に示す。なお、評価面の全面が深さ 5mm 程度スクーリングし、完全に含浸層が剥落したと判断される試験体は、計測を中断させた。無塗布の試験体は試験開始直後からスクーリングが一定速度で進行したが、含浸材 A、C、G、J の試験体は 30 サイクルまでは顕著な損傷がなく、90 サイクルまでゆっくりスクーリングが進行し、90 サイクル以降は、ほぼ無塗布と同等のスクーリング進行速度になった。一方、含浸材 I は 120 サイ

表 6 スクーリング抵抗性試験の概要

項目	内容
基板調合	W/C55%、1:3 モルタル
基板形状	150×150×80mm
塗布薬剤	シラン系表面含浸材 5 種
試験実施前養生	打込み→脱型(材齢 1 日)→20℃水中養生(材齢 7 日まで)→切断整形→20℃60%RH 気中養生(28 日)→含浸材塗布→20℃80%RH 気中養生(14 日)→試験体完成
1 サイクルの内容(24 時間)	20℃60%RH : 6 時間(溶液含浸)→20℃~-20℃ : 1 時間(凍結行程)→-20℃ : 16 時間(凍結)→-20℃~20℃ : 1 時間(融解行程)
使用溶液	3%塩化ナトリウム水溶液
評価試験	スクーリング量、5、10、15、30、60、90、120、150 サイクル

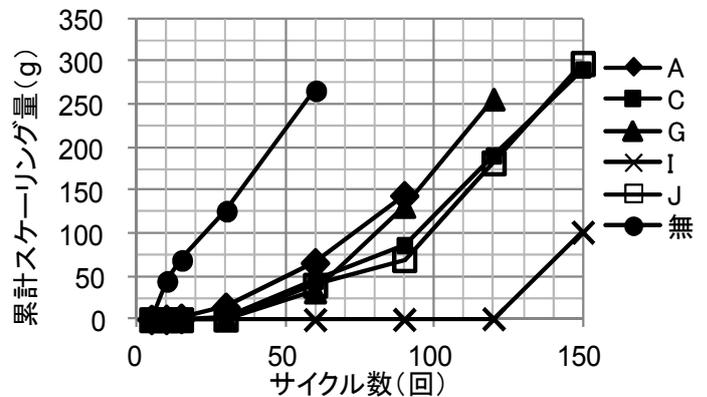


図 13 スクーリング量の計測結果

### 3.11.3 耐候性評価

耐候性はランニングコストを検討するうえで重要である。シラン系表面含浸材は主に外壁に適用されることが多いことから耐候性に関する評価試験を実施した。

耐候性試験の概要を表7に示す。本実験では、紫外線照射法として短期間で紫外線劣化が促進できるメタルハイドランプ式（促進期間がオープンフレームカーボン式の1/10程度とされる）を採用した。また、評価面（照射面1面）の耐候性評価法として、シラン系表面含浸材の表面撥水性に着目し、図14に示すように水接触角により評価した。

表7 耐候性試験の概要

項目	内容
基板調合	W/C50%、1:3 モルタル、ISO 砂
基板形状	50×50×15mm
塗布薬剤	シラン系表面含浸材 5 種
試験実施前養生	打込み→脱型(材齢 1 日)→20℃水中養生(材齢 7 日まで)→切断整形→20℃60%RH 気中養生(28 日)→含浸材塗布→20℃80%RH 気中養生(14 日)→試験体完成
紫外線照射	メタルハイドランプ方式
1 サイクルの内容(12h)	1) サイクル：照射 8 時間／結露 4 時間 2) シャワー：結露前後 10 秒 3) ブラックパネル温度：照射 63℃ 4) 放射照度：100mW/cm <sup>2</sup> 5) 湿度：照射 50%RH／結露 96%RH
評価試験	接触角、M 社製携帯式接触角計、1, 2, 4, 14 サイクル

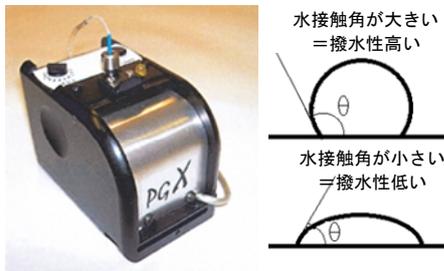


図14 接触角測定器と水接触角による評価法

耐候性試験における水接触角の測定結果を図15に示す。耐候性試験14サイクル(7日)で、水接触角(撥水性)の大きさが明確になった。含浸材G、Iが高い水接触角を維持し、なかでも含浸材Gが耐候性に優れる結果であった。

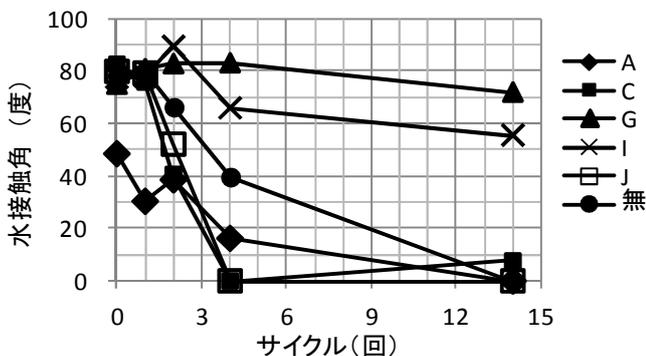


図15 接触角測定結果

## 4. まとめ

以下に本報告のまとめを示す。

- 1) 表面含浸材は材料が持つ性能だけでなく、工程、経済性、環境条件、施工条件なども材料選定の要素となる。
- 2) 吸水試験および透水試験では、7日吸水試験が最も性能差が明確に現れた。吸水試験は簡易で汎用的な試験法であり、新規材料のスクリーニングなどにも有効と考えられる。
- 3) 中性化抑制比は、促進材齢28日と比較して、促進材齢91日の方が小さくなる。
- 4) 含浸深さと透湿比、含浸深さと塩化物イオン浸透抑制比の間に相関は認められない。
- 5) 含浸深さが深くなるにつれて中性化抑制比が大きくなる。
- 6) 本試験に用いた含浸材の多くは、吸水抑制効果を有すると同時に、含浸材が浸透した表層付近の中性化進行を抑制する効果を有している。
- 7) 透湿比が大きい含浸材は水分が逸散しやすいため、コンクリートの含水率が低くなり、中性化が進行する傾向にある。
- 8) 吸水率により、塩化物イオン浸透に対する抵抗性の傾向をおおむね把握することができる。
- 9) シラン系表面含浸材は凍害を遅延させる性能を有する。
- 10) ASTM C 672 の評価法によって、表面含浸材の耐凍害性の有無および優劣の傾向が判別できる。
- 11) 耐候性を水接触角にて評価すると、表面含浸材の耐候性の有無および優劣の傾向が判別できる。

### 参考文献

- 1) 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) pp.20-25、2005.5.
- 2) 加藤淳司、立松和彦、安部弘康ほか：コンクリート表面含浸材に関する現状調査(その3)、日本建築学会学術講演梗概集(北海道)、pp.1217-1218、2013.8
- 3) 唐沢智之、田村友法、古川雄太ほか：コンクリート表面含浸材に関する現状調査(その4)、日本建築学会学術講演梗概集(北海道)、pp.1219-1220、2013.8
- 4) 加藤淳司、立松和彦、唐沢智之ほか：コンクリート表面含浸材に関する現状調査(その5)、日本建築学会学術講演梗概集(近畿)、pp.385-386、2014.9
- 5) 例えば、林大介、坂田昇、他：シラン・シロキサン系撥水材の開発、コンクリート工学年次論文集、Vol.22、No.1、pp.301-306、2000
- 6) 例えば、遠藤 ほか：道路設計要領の目安を満足するシラン系表面含浸材を用いたコンクリートのスケーリング抵抗性の評価、第52回北海道開発技術研究発表会、コ-14、2009.2