

シラン系コンクリート表面含浸材の性能比較

安部弘康^{*1}

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、コンクリートの仕上げ材料として表面含浸材が適用されるケースが増加している。表面含浸材には様々な特徴を持った数多くの材料があり、適用に当たっては、性能を把握し、目的にあった材料を選定する必要がある。そこで、市販のシラン系表面含浸材を10種類選定し、同一条件で比較実験を行い、含浸材の性能について検討した。その結果、材料の選定に当たっては施工性も重要な要素であることが確認できた。また、吸水抑制率（材齢7日）によって、中性化に対する抵抗性と塩化物イオンに対する抵抗性を評価できることが確認できた。

キーワード：シラン系表面含浸材、施工性、中性化、塩化物イオン、吸水抑制率

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、コンクリートの仕上げ材料として表面含浸材を適用するケースが増加しており、学会による指針等¹⁾の整備も進みつつある。

表面含浸材は、コンクリート表面に塗布し、含浸させることで、コンクリート表層部に耐久性向上、美観維持の機能などを付与する材料であり、既往の調査²⁾³⁾で報告されているように、様々な特徴を持った、数多くの材料が商品化されている。その適用に当たっては、設計図書に具体的な商品名が明記される場合もあるが、例えば、仕上げ表などに「コンクリート打放しのうねシラン系表面含浸材塗布」と記載されるなど、材料選定が施工者に委ねられるケースも少なくない。材料選定に際しては、向上させたい性能、コスト、施工性などを検討して、適用する目的や環境条件に合った材料の選定が必要となる。特に性能については、カタログに記載されているメーカー独自の実験値が参考にはなるが、性能をより正しく把握し、適用目的に合った材料を選定するためには、同一条件で比較試験を行い、個々の性能を評価することが望ましい。

このような経緯から、表面含浸材の中からシラン系表面含浸材（以下、含浸材）を対象に、幾つかの特徴的な材料を選出して、同条件で評価試験を行った。その結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験概要

実験では、10種類の含浸材を対象とし、同一条件で評価

するために、全ての含浸材について、試験基盤の作製から含浸材の塗布、養生、試験までの各工程を同時に実施した。

2.1 試験体

含浸材を塗布する試験基板はモルタル製とした。表-1にモルタルの調合を示す。モルタルは水セメント比55%、セメントと細骨材のかさ容積を1:3とし、レディーミクストコンクリート工場で製造した。試験基盤は、モルタルを各試験に合わせた型枠に打ち込んだ後、所定の養生を行い、それぞれの試験体寸法に切断して作製した。いずれの試験基盤も、切断面に含浸材を塗布し、各試験に供した。

2.3 評価試験

試験項目を表-2に示す。試験は、土木学会のJSCE-K571-2005表面含浸材の試験方法（案）¹⁾に示される試験を中心に実

表-1 試験基盤モルタルの調合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)		
	水	セメント	砂
55	245	446	1468

表-2 試験項目

試験項目	詳細
施工性	粘性、臭い、塗布可能量など
含浸深さ試験	JSCE-K571
吸水率試験	JSCE-K571 吸水期間：1・7日
透水量試験	JIS A 1404 試験時間：1時間
透湿度試験	JSCE-K571
中性化に対する抵抗性試験	JSCE-K571 促進中性化材齢：28・91・182日
塩化物イオンに対する抵抗性試験	JSCE-K571 浸漬期間：63日

*1 建築研究第二部

施した。このうち、透水量試験は JIS A 1404 建築用セメント防水剤の試験方法を採用した。これらの試験に関しては、土木学会の表面保護工法設計施工指針（案）¹⁾に示される、劣化要因に対する性能のグレードに倣い、評価を行った。評価項目とグレードを表-3に示す。グレードの評価値は、含浸材を塗布していない試験体（以下、無塗布）の値に対する、塗布した試験体の値の割合から算出したものである。また、こうした評価に加え、試験体作製時の所見から、施工性についても評価した。

2. 4 評価対象とした含浸材

試験に供した含浸材およびその主成分を表-4に示す。含浸材は性能・コスト・施工性を考慮して、表に示すA~Jの10種類の材料を選出した。各含浸材は、それぞれのカタログや施工要領書に示される標準塗布量および塗布回数に従い、試験体の塗布面を水平に設置し、下向き方向で塗布した。

3. 実験結果

3. 1 施工性

試験体作製時に得られた、施工性についての所見を表-5に示す。10種類の含浸材は、塗布量や塗布回数も様々であり、塗布にかかる時間や手間も異なるものであった。

表-3 評価項目とグレード

評価項目		グレード		
性能	評価値 (%)	A	B	C
透水に対する抵抗性	透水抑制率	80以上	80~60	60以下
吸水に対する抵抗性	吸水抑制率	80以上	80~60	60以下
透湿性	透湿比	80以上	80~60	60以下
中性化に対する抵抗性	中性化抑制率	30以上	30~10	10以下
塩化物イオン浸透抵抗性	塩化物イオン浸透抑制率	80以上	80~60	60以下

表-4 含浸材とその主成分

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: 変性ケイ酸ナトリウム塩 B: シリコーン
J	オルガノシラン

表-5 含浸材の施工性評価

項目	A	B	C	D	E
塗布前の下地の状態	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥
メーカー推奨標準（総）塗布量 1回の塗布量×塗布回数	150g/m ² 150g/m ² ×1回	300g/m ² 100g/m ² ×3回	220g/m ² 110g/m ² ×2回	200g/m ² 100g/m ² ×2回	115g/m ² 115g/m ² ×1回
含浸材の色	薄黄色	白色	無色透明	白色	無色透明
含浸材の可使時間	1時間は使用可能	1時間は使用可能	1時間は使用可能	1時間は使用可能	1時間は使用可能
粘性、塗りやすさ（壁・床）	粘性は小さく、水系のサラツとした塗布感	粘性は小さく、水系のサラツとした塗布感	粘性は小さく、浸透しやすい	粘性は小さい	粘性は小さい
臭い（石油臭・アルコール臭）	樹脂系の臭い	特になし	強いアルコール臭	若干の石油臭	特になし
標準塗布量に対して	傾けると試験体表面から含浸材が垂れる	規定どおり塗布可能	規定どおり塗布可能	2回目は規定量の50~70%程度塗布可能	規定どおり塗布可能
塗布後の乾燥の早さ	30分でほぼ表面乾燥	30分でほぼ表面乾燥	30分でほぼ表面乾燥	30分程度で乾燥	塗布後すぐに乾燥
重ね塗りのしやすさ	-	塗布感は変わらないが、白斑ができる	塗布感が変わらず、重ね塗りできる	塗布量は低下	-
乾燥後の表面状態の変化	素地の状態に戻る	塗布直後できた白斑は消え、素地の状態に戻る	素地の状態に戻る	素地の状態に戻る	素地の状態に戻る

F	G	H	I	J	総評
乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	全て乾燥
250g/m ² 250g/m ² ×1回	300g/m ² 150g/m ² ×2回	200g/m ² 200g/m ² ×1回	A+B: 250g/m ² A: 75g/m ² ×2回 B: 50g/m ² ×2回	200g/m ² 100g/m ² ×1回	概ね1回の塗布量は100g/m ² 程度で、1回または2回塗りが多い
薄い肌色	乳白色透明	乳白色	無色	無色	無色および若干の着色がある
1時間は使用可能	1時間は使用可能	20分程度、クリーム状態から少しづつ液状に変化	1時間は使用可能	1時間は使用可能	1時間は使用可能だが、溶剤蒸発などの観点から小分けに取り出す方が安全
粘性はやや大きい	適度な粘性があり、液ダレしにくい	クリーム状態で基盤に若干なじみにくく、徐々に液状化するが、液ダレする	粘性は小さく、塗布しやすい	粘性は小さく、塗布しやすい	粘性の大小があり、鉛直面への塗布には粘性が大きい方がロスが少ない
若干のアルコール臭	アルコール臭	若干樹脂系の臭い	A液: 無臭 B液: アルコール臭	アルコール臭	アルコール臭、石油臭のあるものは閉鎖空間では注意が必要
規定どおり塗布可能、ハケ跡が残りにくい	9割程度塗布可能	クリーム状のため規定量塗布可能だが、鉛直面の場合は液ダレの可能性あり	A液: 規定どおり塗布可能 B液: 規定より若干少ない	規定どおり塗布可能	標準塗布量は全体的に過剰気味で、重ね塗りするほど含浸しない材料もある
20分程度で乾燥	20分程度で乾燥	20分程度で乾燥	20分程度で乾燥	20分程度で乾燥	20~30分程度で乾燥
-	塗布感が変わらず、重ね塗りできる	-	A液は浸透しやすい B液は浸透しにくい	塗布感が変わらず、重ね塗りできる	塗布量が多い鉛直面では規定量の塗布が難しい場合がある
素地の状態に戻る	素地の状態に戻る	素地の状態に戻る	素地の状態に戻る	素地の状態に戻る	全て素地の状態に戻る

実験では試験体の塗布面を水平に設置した，下向き方向の施工であり，全ての材料で概ね標準量の塗布が可能であったが，全体的に規定の塗布量は多い傾向であり，塗布面から垂れるものも見られた。これには材料の粘性も影響しており，粘性の小さい材料は塗布作業自体は容易だが，鉛直面に塗布する場合は下方に流れる量も多く，ロスも大きいと考えられた。また，材料の臭いも施工上の留意点として挙げられた。実験は室内での塗布作業であったが，石油臭やアルコール臭がある含浸材が多く見られ，溶液が有機系で臭いが強い場合などは，閉鎖空間での使用や周辺環境への配慮が必要と考えられた。このような施工性に関わる材料の特性は，工程やコストにも大きな影響を与えるものであり，含浸材が付加する性能に加え，材料選定の重要な要素である。しかし，こうした特性は，カタログや施工要領書からはあまり把握できないことから，適用に当たっては，試験施工などを通して改めて確認することが重要と考えられた。

3.2 含浸深さ試験

含浸深さ試験の結果を図-1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。

3.3 吸水率試験および透水量試験

吸水率試験の結果を図-2に，透水量試験の結果を図-3に示す。吸水率試験は材齢1日，7日にて評価した。透水量試験はJIS A 1404に従い，加圧透水時間は1時間とした。各抑制率は，性能比（無塗布試験体の吸水および透水量に対する塗布試験体の吸水および透水量の割合）の百分率を，100から減じて算出した。

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量に対する抵抗性は高い傾向であり，中でも透水抑制率は全ての材料でAグレードであった。吸水抑制率は7日吸水で性能差が明確となり，B・F・G・H・I・Jの6種はAグレードだったが，A・C・D・EはBグレードであった。さらにそのBグレード内でも，AおよびDはCグレードに近い結果となった。これらより，シラン系含浸材を耐透水および耐吸水性の向上を目的として適用する場合，吸水率試験の材齢7日で性能を評価することが適切と考えられた。また，吸水率試験は，特別な器具を必要としない，簡易な試験方法であるため，新規材料のスクリーニングにも有効と考えられた。吸水率試験方法を図-4に示す。

3.4 透湿度試験

透湿度試験の結果を図-5に示す。透湿度比は無塗布試

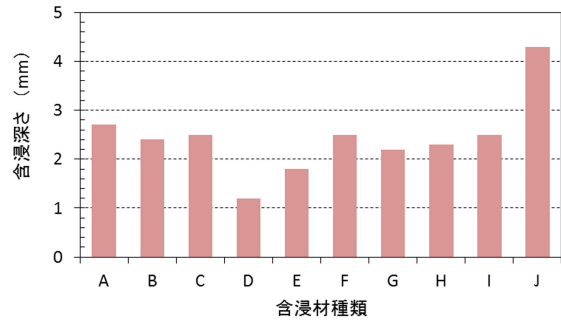


図-1 含浸深さの測定結果

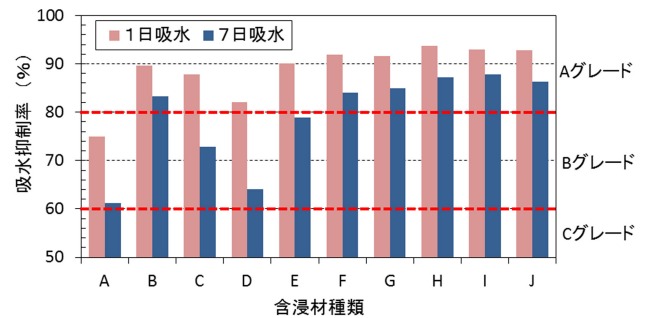


図-2 吸水率試験の結果

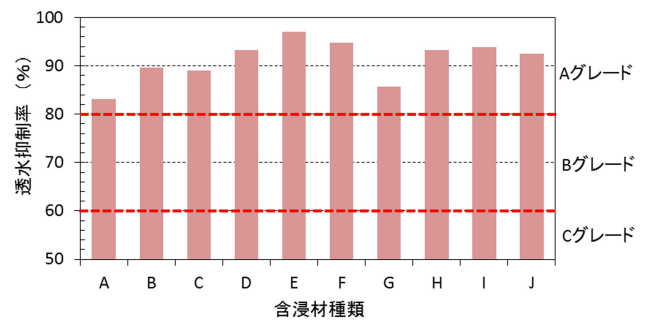


図-3 透水量試験の結果

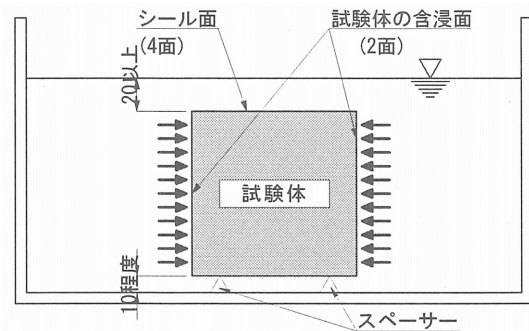


図-4 吸水率試験方法¹⁾

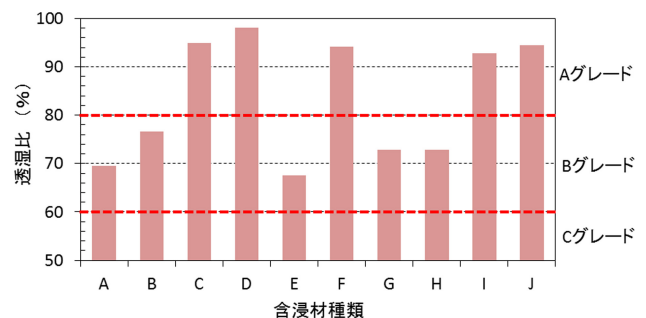


図-5 透湿度試験の結果

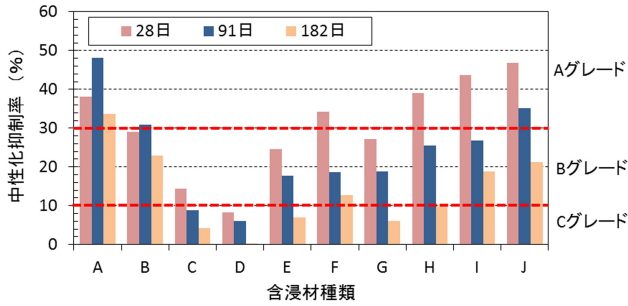


図-6 中性化に対する抵抗性試験の結果

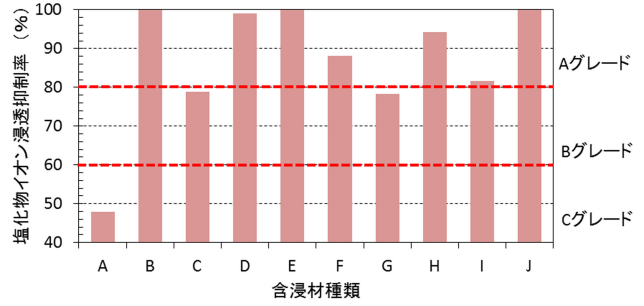


図-7 塩化物イオンに対する抵抗性試験の結果

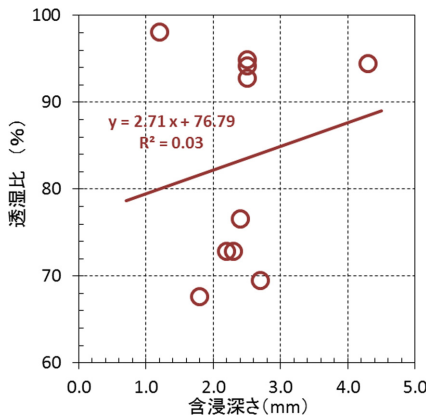


図-8 含浸深さと透湿比の関係

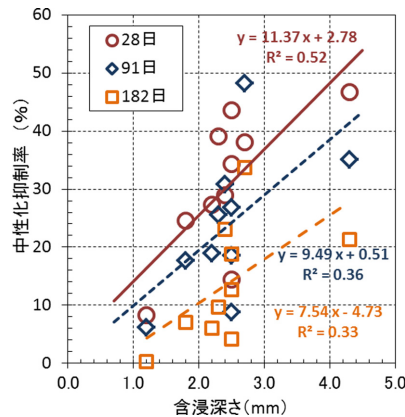


図-9 含浸深さと中性化抑制率の関係

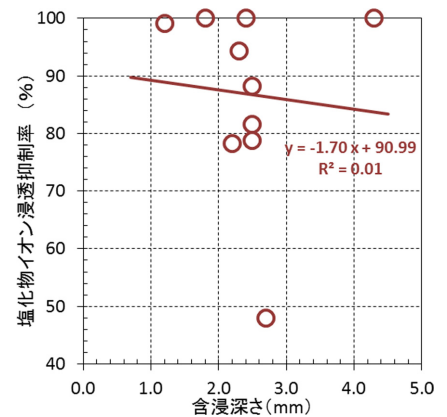


図-10 含浸深さと塩化物イオン浸透抑制率の関係

験体の透湿量に対する塗布試験体の透湿量を百分率で示したものである。本試験に用いた含浸材では、AグレードがC・D・F・I・Jの5種類、BグレードがA・B・E・G・Hの5種類であった。

3.5 中性化に対する抵抗性試験

中性化に対する抵抗性試験の結果を図-6に示す。中性化抑制率は中性化深さ比（無塗布試験体の中性化深さに対する塗布試験体の中性化深さ）の百分率を、100から減じて算出した。本試験に用いた含浸材では、促進材齢28日の場合、AグレードがA・F・H・I・Jの5種類、BグレードがB・C・E・Gの4種類、CグレードがDの1種類、促進材齢91日の場合、AグレードがA・B・Jの3種類、BグレードがE・F・G・H・Iの5種類、CグレードがC・Dの2種類であった。全体的にみると中性化抑制率は、促進材齢28日、91日、182日の順に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試験

塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験の結果を図-7に示す。塩化物イオン浸透抑制率は、塩化物イオン浸透深さ比（無塗布試験体の塩化物イオン浸透深さに対する塗布試験体の塩化物イオン浸透深さ）の百分率を、100から

減じて算出した。本試験に用いた含浸材では、AグレードがB・D・E・F・H・I・Jの7種類、BグレードがC・Gの2種類、CグレードがAの1種類であった。

4 考察

4.1 含浸深さと各抑制率の関係

含浸深さと透湿比の関係を図-8に、含浸深さと中性化抑制率の関係を図-9に、含浸深さと塩化物イオン浸透抑制率の関係を図-10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率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率の関係は、ややばらつきがあるが、全体的に含浸深さが深くなるにつれて中性化抑制率が大きくなる傾向を示した。したがって、含浸深さが深い材料ほど、中性化抑制効果が高い傾向にあると考えられる。

4.2 中性化材齢と中性化深さの関係

図-11に中性化に対する抵抗性試験における、各含浸材を塗布した試験体、および無塗布とした試験体の、中性化促進材齢と中性化深さの関係を示す。

促進材齢28日までは、無塗布より含浸材を塗布した試験体の方が図中の直線の傾きが小さくなっている。しか

し、それ以降の促進材齢 28 日から 91 日、および 182 日にかけての傾きは、含浸材 A を除き、含浸材を塗布したものと無塗布のものはほぼ同等であった。すなわち、含浸材の塗布により中性化の進行に差が生じているのは促進材齢 28 日までと考えられた。したがって、本実験で対象とし含浸材の多くは、含浸材が浸透した表層付近の深さ数 mm 程度の部分においてのみ、中性化進行を抑制する効果を有していると考えられる。

4. 3 中性化抑制率と他の抑制率の関係

吸水抑制率と中性化抑制率の関係を図-12 に示す。含浸材 A を除き、吸水抑制率が高くなるにつれて中性化抑制率が高くなる傾向がみられた。コンクリート内部の含水率が小さいと中性化が進行しやすくなることから、吸水抑制率が高い程、コンクリート外部からの水分供給が少なくなり、中性化抑制率は小さくなると思われたが、本実験ではこれとは逆の傾向を示した。これより、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と考えられる。

4. 4 塩化物イオン浸透抑制率と他の抑制率の関係

図-13 に吸水抑制率と塩化物イオン浸透抑制率の関係を示す。前述したように、シラン系の含浸材は撥水材として用いられてきた経緯があることから、本実験で用いた含浸材の多くは、吸水抑制率が A グレードまたは A グレードに近い B グレードとなっている。塩化物イオンに対する抵抗性試験も、吸水率試験と同様に浸漬試験であることから、その抑制率は同様の傾向が見られる。塩化物イオンの浸透深さが 0mm 程度であった含浸材を除けば、吸水抑制率が大きくなるにつれて塩化物イオン浸透抑制率も大きくなる傾向を示した。したがって、吸水抑制率の高い材料を適用すれば、塩化物イオン浸透に対する抵抗性も向上すると考えられる。

図-14 に塩化物イオン浸透抑制率と中性化抑制率の関係を示す。含浸材に要求される性能としては、コンクリートの耐久性上の観点から基本的に中性化抵抗性が求められるほか、土木構造物などでは塩化物イオンに対する抵抗性が求められることが多い。それぞれの抵抗性の向上を図る場合には、中性化抑制率、塩化物イオン浸透抑制率がそれぞれ A グレードの含浸材を用いることで効果が期待できる。また、双方の抵抗性の向上を図る場合は、中性化抑制率と塩化物イオン浸透抑制率がともに A グレードの材料を選択することが有効と考えられる。本実験で対象とした 10 種類の含浸材の中では 4 種類の材料がこれに該当する。一方、他の 6 種類の材料では、中性化抑制

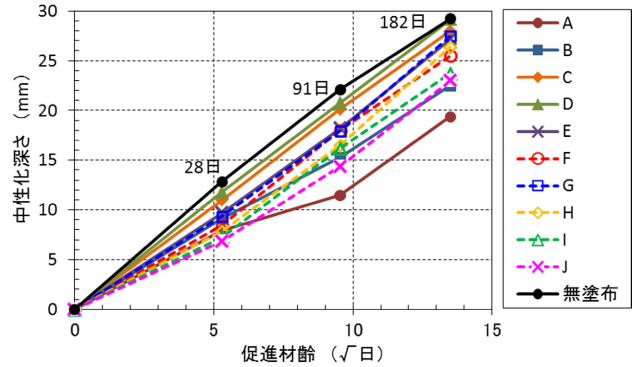


図-11 中性化促進材齢と中性化深さの関係

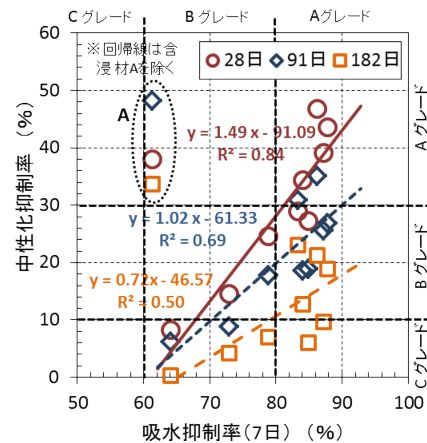


図-12 吸水抑制率と中性化抑制率の関係

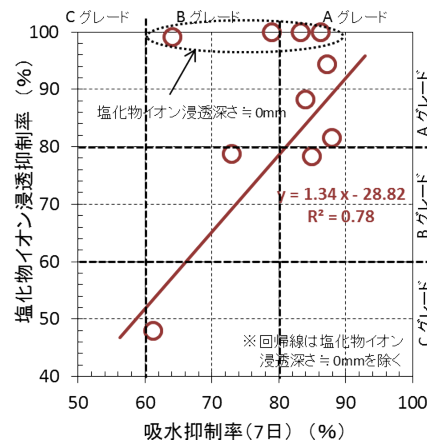


図-13 吸水抑制率と塩化物イオン浸透抑制率の関係

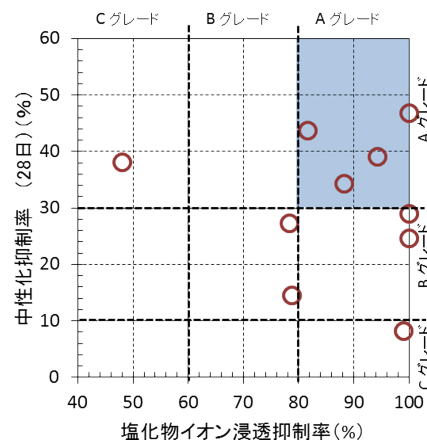


図-14 塩化物イオン浸透抑制率と中性化抑制率の関係

率が30%以上のAグレードであるのに対し、塩化物イオン抑制率が50%以下、また塩化物イオン抑制率が100%に近いのに対し中性化抑制率が10%以下の材料も存在する。こうした二つの性能の関係からも、含浸材の適用において、材料性能の把握、適用目的にあった材料の選定が重要であることが見てとれる。

5. まとめ

シラン系表面含浸材の性能について、複数の材料を用いて同一条件下で試験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 表面含浸材の選定においては、材料が持つ性能だけでなく、作業性や周辺環境に与える影響などを含めた施工性も考慮することが重要である。
- (2) 吸水率試験および透水量試験では、材齢7日の吸水率試験において最も性能差が明確に現れた。吸水率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) 中性化抑制率は、促進材齢28日と比較して、促進材齢91日、182日の順に小さくなる傾向であった。含浸材が浸透した表層付近の中性化を抑制する効果があると考えられる。
- (4) 含浸深さと透湿比、含浸深さと塩化物イオン浸透抑制率の間に相関は認められなかった。
- (5) 中性化抑制率は、全体的に見て、含浸深さが深くなるにつれて大きくなる傾向が見られた。
- (6) 吸水率試験(材齢7日)により、中性化に対する抵抗性と塩化物イオン浸透に対する抵抗性を概ね把握することができる。

なお、本研究は、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、飛島建設、ピーエス三菱、三井住友建設の18社により共同で実施したものである。

参考文献

- 1) 土木学会編: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
- 2) 田村友法, 鏡友明, 安部弘康他:コンクリート表面含浸材に関する現状調査・その1, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), pp.1163-1164, 2012.9
- 3) 加藤淳司, 若林信太郎, 吉田俊之他:コンクリート表面含浸材に関する現状調査・その2, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), pp.1165-1166, 2012.9

Comparative Study on the Performance of Silane Surface Penetrants for Concrete

Hiroyasu ABE

Surface penetrants are increasingly being used as finishing materials to maintain concrete structures. As surface penetrants are made from many different materials with various levels of performance, it is important to select an appropriate penetrant for each application. I examined the performance of 10 materials under the same experimental conditions and found that the workability of surface penetrants is important and that there is a correlation between the water absorption rate at 7 days and resistance to carbonation and chloride ions.
