

# シラン系表面含浸材の性能比較

高橋 祐一\*

## 要旨

コンクリート構造物の長寿命化および美観維持を目的として、コンクリート表面含浸材が使用されるケースが増加している。表面含浸材は、その主成分により、シラン系、ケイ酸塩系、複合系に分類され、様々な特徴を持つ材料が市販されている。しかし、その性能には不明な点が多い。そのため、適用にあたっては、その性能を把握し、目的に合った材料を選定する必要がある。本報告では、市販されている 10 種類のシラン系表面含浸材を対象として、同一条件の下で、施工性、含浸深さ、透水性、各耐久性について比較した。その結果、材料の選定にあたっては、性能の他、施工性についても重要な要因となること、材齢 7 日の吸水抑制率によって、中性化および塩化物イオンに対する抵抗性が評価できることを確認した。

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の長寿命化および美観維持を目的として、コンクリート表面含浸材が使用されるケースが増加しており、学会指針<sup>1),2)</sup>の整備も進みつつある。

コンクリート表面含浸材は、その主成分により、シラン系、ケイ酸塩系、複合系に分類され、様々な特徴を持つ材料が市販されている<sup>3),4)</sup>。コンクリート表面含浸材を使用する場合、設計図書に商品名が明記されている場合は、それに従えば良いが、特に指定がなく「コンクリート打放しの上、シラン系表面含浸材塗布」と記載され、材料の選定が施工者に委ねられる場合も少なくない。適用にあたっては、向上させたい性能を確認し、材料の施工性や性能、コスト等をより正確に把握した上で選定することが必要となる。コンクリート表面含浸材の性能については、カタログに記載されているメーカーが実施した実験値が参考になるものの、より正確に把握するためには、同一条件の下で比較試験を行い、それぞれの性能を評価し、把握することが望ましい。

そこで、本実験では、シラン系表面含浸材(以下、表面含浸材とする)を対象として 10 種類の特徴的な材料を選定し、同一条件の下で評価試験を行い、それらの性能を比較した。また、実際に塗布した担当者による施工性の評価も同時に行った。本報では、その結果について報告する。

なお、本報告は既往の文献<sup>3)~6)</sup>を加筆修正し、まとめたものであり、各種実験および検討は、浅沼組、安藤・間、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 社により共同で実施したものである。

## 2. 実験概要

実験は、10 種類のシラン系表面含浸材を対象とし、同一条件で評価するために、試験基板の作製、表面含浸材の塗布、養生、各試験までの工程を同時に実施した。

### 2.1 供試体

各試験の供試体は、モルタル製の試験基板に表面含浸材を塗布したものとした。モルタルの調合を表-1に示す。モルタルは水セメント比を 55%、セメントと細骨材のかさ容積の比を 1:3 とし、生コン工場で製造したものを使用した。試験基板は、10×10×40cm の鋼製型枠にモルタルを打込み、所定の養生を行った後、各試験における供試体寸法に合わせて切断して作製した。いずれの供試体も、試験基板の切断面に表面含浸材を塗布して各試験に供した。

### 2.2 シラン系表面含浸材

対象とした表面含浸材は、性能、施工性、コスト等を考慮し、10 種類の市販品を選定した。選定した表面含浸材とその主成分を表-2に示す。

### 2.3 評価試験

評価試験は、土木学会の JSC E-K571「表面含浸材の試験方法(案)」に準拠して実施した。ただし、透水量試験は、JIS A 1404「建築用セメント防水材料の試験方法」にて実施した。各評価項目の性能は、土木学会の「コンクリートライブラリー 119 表面保護法設計施工指針(案)」に示されるグレードにより評価した。評価試験の項目を表-3に、各評価項目のグレ

表-1 試験基板に使用したモルタルの調合

W/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )		
	水	セメント	細骨材
55.0	245	446	1468

\*技術研究所 建築技術開発部

表-2 表面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-3 評価試験項目

試験項目	試験方法
施工性	臭い、粘性の程度、塗布時間など
含浸深さ試験	JSCE-K571
吸水率試験	JSCE-K571 材齢 1日・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	JSCE-K571 材齢 28日・91日・182日
塩化物イオンに対する抵抗性	JSCE-K571 浸漬期間 63日

表-4 評価試験項目

性能	評価項目	グレード		
		評価値(%)	A	B
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
塩化物イオンに対する抵抗性	塩化物イオン浸透抑制率	80以上	80~60	60以下

ードを表-4に示す。

### 3. 評価試験結果

#### 3.1 施工性

供試体に表面含浸材を塗布する際に、可使時間、材料の粘性や塗りやすさ、におい等の施工性に対する評価を行った。結果を表-5に示す。定性的な評価ではあるが、それぞれの特徴は、各材料によって大きく異なる結果であった。本実験では、試験面を水平にした状態で塗布しているため、全ての材料で概ね標準量を塗布することができた。しかし、標

表-5 施工性に対する評価

	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	可使時間	粘性・塗りやすさ(壁・床)	におい(石油臭・アルコール臭等)	標準塗布量に関して	塗布後の乾燥の速さ	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	水系のさらっとした塗布感	樹脂系の異臭あり	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	-	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	水系のさらっとした塗布感	特になし	規定通り塗布可能	30分でほぼ表面乾燥	塗布感は変わらないが、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	-	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分で乾燥	-	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時間程度で少しずつ樹脂が析出してくる	適度な粘性があり液だれしない	アルコール臭あり	90%程度規定量載せられるが新設の場合100g/m <sup>2</sup> が妥当	-	塗布感変わらず重ね塗りできる	素地の状態に戻る
H	乾燥	200g/m <sup>2</sup>	100g/m <sup>2</sup> ×2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、液だれする 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、鉛直面は液だれすると思われる	20分程度で乾燥	-	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	無職	1時間は使用可能	粘性なし塗りやすい	A:無臭 B:アルコール臭あり	A:標準量塗布可能 B:やや少ない	20分程度で乾燥	A:浸透しやすい B: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	無職	1時間は使用可能	粘性なし塗りやすい	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できる	素地の状態に戻る
総評	全て乾燥面	概ね1回の塗布量は100g/m <sup>2</sup> 前後で、1回または2回塗りというが、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あり。	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、鉛直面の規定量塗布は不可。	全て素地の状態に戻る。

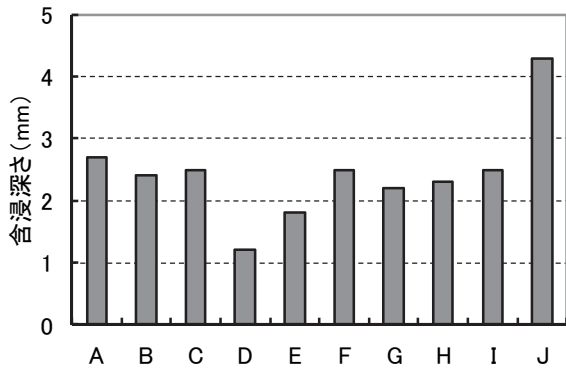


図-1 含浸深さ試験結果

準塗布量は、全体的に多い傾向にあり、塗布面から垂れる材料もあった。特に粘性の小さい材料は注意が必要である。また、ほとんどの材料で、石油臭やアルコール臭等の臭気が感じられた。このような有機系の溶剤を含む材料は、使用箇所や周辺環境への配慮が必要となる。したがって、表面含浸材の選定には、施工性についても重要なポイントとなるため、メーカーへのヒアリングや試験施工を通じて事前に確認する必要がある。

### 3.2 含浸深さ試験

含浸深さ試験の結果を図-1に示す。使用した表面含浸材10種類の含浸深さの平均値は2.4mmであり、最大値は表面含浸材Jの4.3mm、最小値は表面含浸材Dの1.2mmであった。

### 3.3 吸水率および透水量試験

吸水率試験の結果を図-2に、透水量試験結果を図-3に示す。吸水率は吸水期間1日および7日で評価した。透水量試験はJIS A 1404に従って実施し、加圧透水時間は1時間とした。各抑制率は、吸水比または透水比(無塗布試験体の吸水率または透水量に対する塗布試験体の吸水率または透水量の割合)の百分率を100から減じて算出した。

シラン系表面含浸材は、過去に撥水剤として取り扱われていた材料であることから、全体的に吸水および透水に対する抵抗性が高い傾向にあり、特に透水抑制率は、本実験で使用したすべての材料でAグレードと評価された。一方、吸水抑制率は、吸水期間7日における性能差が明確となり、B・F・G・H・I・Jの6種類でAグレード、他の4種類はBグレードと評価された。ただし、表面含浸材AおよびCはBグレードであってもCグレードに近い結果であった。

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ことから、新規材料のスクリーニングに有効と考えられる。

以上より、表面含浸材を耐吸水性または耐透水性の向上を目的として適用する場合、吸水率試験の吸水期間7日の

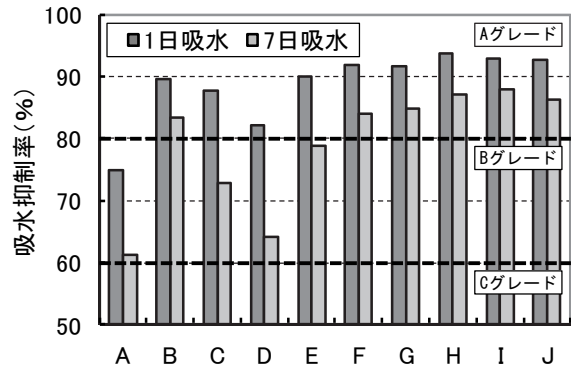


図-2 吸水率試験結果

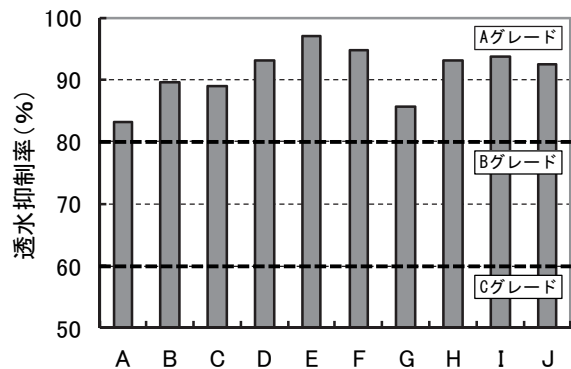


図-3 透水量試験結果

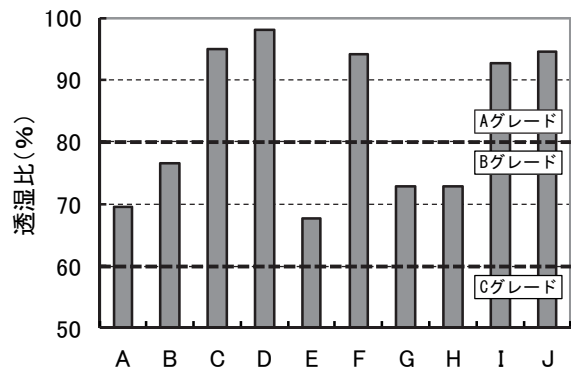


図-4 透湿度試験結果

結果により、その性能を評価すればよいと思われる。

### 3.4 透湿度試験

透湿度試験の結果を図-4に示す。透湿度は、無塗布試験体の透湿度に対する塗布試験体の透湿度を百分率で示したものである。

本試験に使用した表面含浸材では、C・D・F・I・Jの5種類がAグレード、他の5種類がBグレードと評価された。

### 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-5に示す。中性

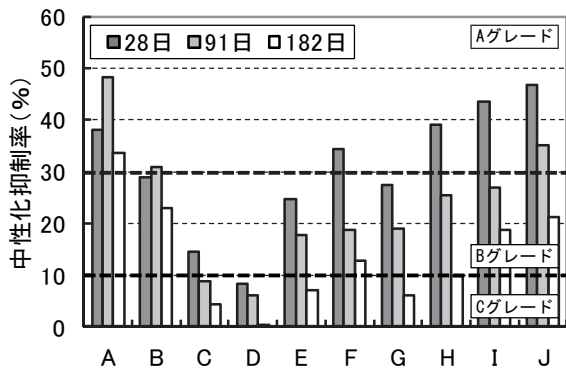


図-5 中性化に対する抵抗性試験結果

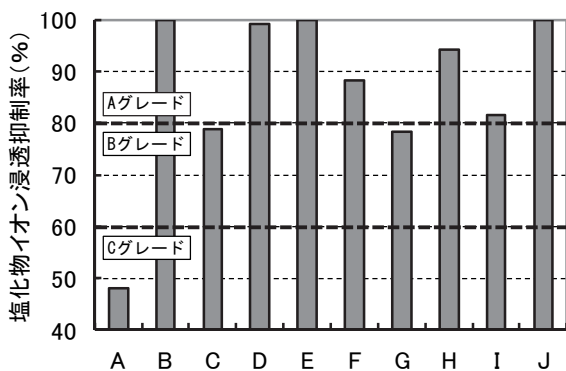


図-6 塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験結果

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。

本試験に使用した表面含水材では、促進材齢28日の場合、A・F・H・I・Jの5種類がAグレード、B・C・E・Gの4種類がBグレード、DがCグレードと評価され、促進材齢91日の場合、A・B・Jの3種類がAグレード、E・F・G・H・Iの5種類がBグレード、C・Dの2種類がCグレード、促進材齢182日の場合、AがAグレード、B・F・I・Jの4種類がBグレード、C・D・E・G・Hの5種類がCグレードと評価された。

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-6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。

本試験に使用した表面含水材では、B・D・E・F・H・I・Jの7種類がAグレード、C・Gの2種類がBグレード、AがCグレードと評価された。

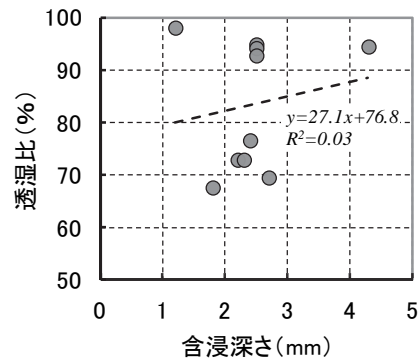


図-7 含浸深さと透湿比の関係

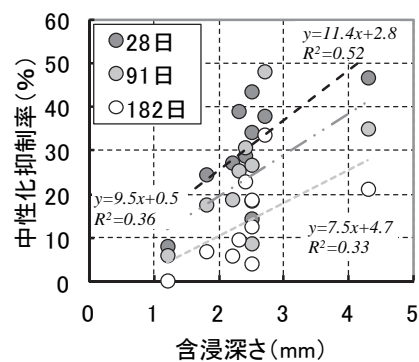


図-8 含浸深さと中性化抑制率の関係

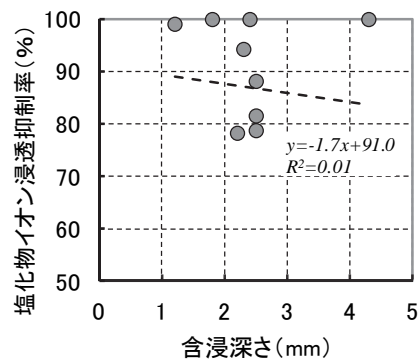


図-9 含浸深さと塩化物イオン浸透抑制率の関係

## 4. 考察

### 4.1 含浸深さとの関係

含浸深さと透湿比との関係を図-7に、中性化抑制率との関係を図-8に、塩化物イオン浸透抑制率との関係を図-9に示す。

含浸深さと透湿比および塩化物イオン浸透抑制率との間には、明確な傾向はみられなかった。一方、含浸深さと中性化抑制率の間には、ややばらつきがあるものの、促進材齢28日において、含浸深さが大きくなるほど中性化抑制率が

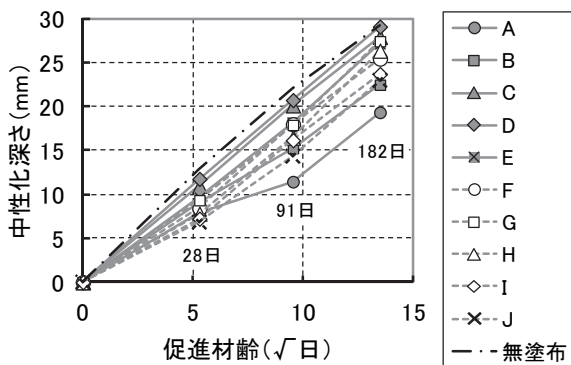


図-10 促進中性化試験結果

大きくなる傾向がみられた。したがって、含浸深さが大きい材料ほど、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

促進中性化試験結果を図-10に示す。

促進材齢 28 日までは、無塗布試験体よりも表面含浸剤を塗布した試験体の傾きが小さくなっている。しかし、促進材齢 28 日から 91 日および 182 日にかけての直線の傾きは、表面含浸材 A を除いて、無塗布試験体と概ね同等であった。すなわち、表面含浸材を塗布することで中性化の進行に差が生じているのは、促進材齢 28 日までと考えられる。

したがって、本実験に使用した表面含浸材の多くは、浸透した表層付近の中性化の進行を抑制する効果を有しているものと推察される。

#### 4.3 中性化に対する抵抗性に及ぼす影響

吸水抑制率と中性化抑制率の関係を図-11に示す。なお、図中に示す近似式は表面含浸材 A を除いて求めた。

表面含浸材 A を除いて、吸水抑制率が大きくなるほど中性化抑制率が大きくなる傾向がみられた。これは、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、吸水抑制率が大きいほどコンクリート外部からの水分供給が少なく、中性化抑制率が小さくなると考えられたが、本実験では逆の傾向を示した。したがって、本実験で使用した表面含浸材の多くは、吸水抑制効果と同時に一定の中性化の進行を抑制する効果を有していると推察される。

また、促進期間 7 日の吸水抑制率を確認することで、中性化抑制率を推測できることから、吸水率試験は簡便なスクリーニングの試験方法として有効と考えられる。

#### 4.4 塩化物イオン浸透に対する抵抗性に及ぼす影響

吸水抑制率と塩化物イオン浸透抑制率の関係を図-12に示す。なお、図中に示す近似式は塩化物イオン浸透深さ  $\approx 0$  mm の材料を除いて求めた。

前述したようにシラン系表面含浸材は撥水剤として用いてきた経緯があることから、ほとんどの材料で吸水抑制率およ

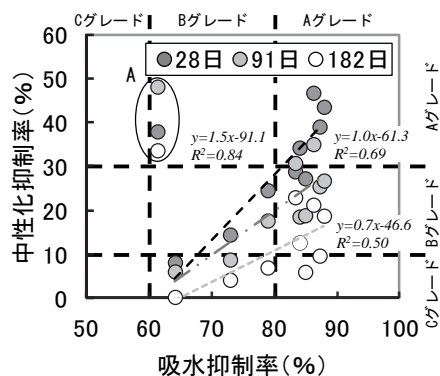


図-11 吸水抑制率と中性化抑制率の関係

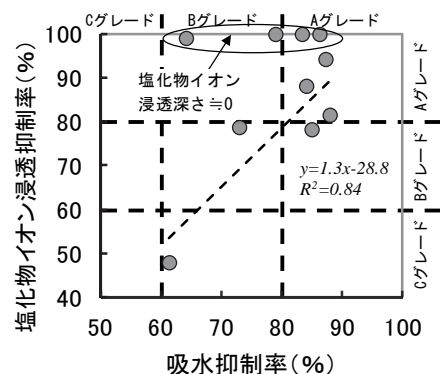


図-12 吸水抑制率と塩化物イオン浸透抑制率の関係

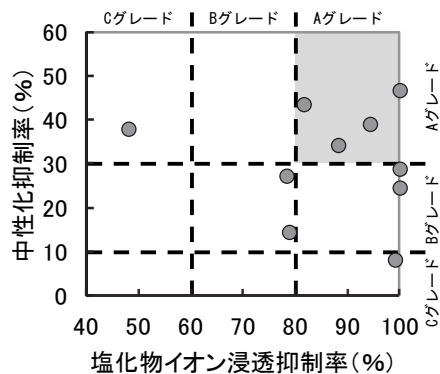


図-13 塩化物イオン浸透抑制率と中性化抑制率の関係

び塩化物イオン浸透抑制率は 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。表面含浸材 A は塩化物イオン浸透抑制率が C グレードでその影響があるものの、全体的には塩化物イオン浸透深さがほぼ 0 mm の材料を除いた場合、吸水抑制率が大きくなるほど、塩化物イオン浸透抑制率が大きくなる傾向がみられた。

すなわち、吸水抑制効果が大きい材料を選定することで塩化物イオン浸透に対する抵抗性が確保できる可能性を示唆している。

#### 4.5 表面含浸材の選定

表面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の観点から、基本的に中性化に対する抵抗性が求められる。その他、土木構造物の場合には、塩化物イオン浸透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、いずれかの性能が A グレードの材料を使用することで、要求性能を満足できると考えられる。一方、塩化物イオン浸透および中性化に対する抵抗性の両方の性能を要求される場合には、いずれの性能も A グレードとなる材料を使用することが望ましい。塩化物イオン浸透抑制率と中性化抑制率の関係を図-13 に示す。本実験で使用了 10 種類の表面含浸材のうち、いずれの性能も A グレードと評価された材料は 4 種類であった。他の 6 種類の材料では、中性化抑制率が A グレードであるのに対し、塩化物イオン浸透抑制率が 50% 以下の材料や、塩化物イオン浸透抑制率が 100% に近いのに対し、中性化抑制率が C グレードと評価された材料もみられた。

こうした 2 つの性能の観点からも、表面含浸材を選定する場合には、材料の性能の把握と適用目的に適した材料を選定することが重要であることがわかる。

#### 5. まとめ

シラン系表面含浸材の性能について、10 種類の材料を用いて同一条件の下で評価試験を実施した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 表面含浸材は、材料が持つ性能だけではなく、施工性や周辺環境への影響を含めた作業性が材料選定の重要なポイントとなる。
- 2) 吸水率試験および透水量試験では、吸水率試験の吸水期間 7 日における性能に明確な差がみられた。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

あることから、新規材料のスクリーニングに有効と考えられる。

- 3) 中性化抑制率は、促進材齢 28 日、91 日、182 日の順に小さくなった。
- 4) 含浸深さは、透湿比および塩化物イオン浸透抑制率との間に相関は認められなかった。
- 5) ややばらつきはあるものの、含浸深さが大きくなるにつれて、促進材齢 28 日における中性化抑制率が大きくなる傾向がみられた。
- 6) 吸水期間 7 日の吸水抑制率によって、中性化に対する抵抗性ならびに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。

#### 【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) 日本建築学会:コンクリート・ポリマー複合体の施工指針・同解説、pp.330-341、2011.6
- 3) 田村ほか: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
- 4) 加藤ほか: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
- 5) 加藤ほか: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
- 6) 唐沢ほか: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