

シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートの性能比較に関する研究

川又 篤*1・唐沢 智之*2

概 要

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、シラン系表面含浸材を塗布するケースが増加している。そこで、特徴的なシラン系表面含浸材を任意に選出して、同一条件で評価試験を行った。評価試験は、含浸深さ、吸水性、透水性、中性化、塩化物イオン浸透について実施した。その結果、浸漬日数 7 日の吸水性は表面含浸材の性能差が明確に現れること、含浸深さが深くなるにつれて中性化が抑制されること、吸水性と塩化物イオン浸透に対する抵抗性に相関があることなどがわかった。

キーワード：コンクリート，シラン系表面含浸材，耐久性，施工性

COMPARISON OF PROPERTIES OF CONCRETE TREATED WITH
SILANE-TYPE SURFACE TREATMENT MATERIALS

Atsushi KAWAMATA *1 , Tomoyuki KARASAWA *2

In recent years, there has been an increase in the use of silane-type surface treatment materials with the objective to prolong the service life of concrete structures and maintain their aesthetic appearance. With this background, the authors selected typical silane-type surface treatment materials and subjected them to evaluation tests under identical conditions. The tests examined the impregnation depth, water absorbency, permeability, carbonation, and chloride ion penetration of the materials. The results of the tests demonstrated visible differences in the water absorbency properties of the materials after a seven-day period of immersion. Furthermore, increases in impregnation depth were linked to enhanced carbonation inhibition properties. The tests also clarified a correlation between water absorbency and resistance to chloride ion penetration.

Keywords: Concrete, Silane-type surface treatment materials, Durability, Workability

*1 Engineering Department, Civil Engineering Division

*2 Manager, Engineering Department, Civil Engineering Division

シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートの性能比較に関する研究

川又 篤*1・唐沢 智之*2

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、シラン系表面含浸材を塗布するケースが増加している。設計図書に具体的な商品名が明記されている場合は、指定材料を用いればよいが、仕上げ表などに「コンクリート打放しの上シラン系表面含浸材塗布」と記載される場合もあり、材料選定が施工者に委ねられるケースも散見される。

既往の調査^{1),2)}にあるように、シラン系表面含浸材は多くの材料が製品化されており、その特徴は様々であることから、向上させたい性能、コスト、施工性などを比較して、コストパフォーマンスに優れた材料を選定することが重要と考える。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試験値が参考にはなるが、材料性能を正しく把握するためには、様々な表面含浸材を同一条件で試験して比較検討することが重要と考える。

このような経緯から、特徴的なシラン系表面含浸材を任意に選出して、同一条件で評価試験を行った。その結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 試験基板

試験基板は、水セメント比=55%、セメン

ト：砂比=1：3のモルタルを工場から購入して成形した。試験基板の調合を表-1に示す。なお、評価面は全て切断面とした。

2.2 評価試験方法

評価試験は、土木学会規準 JSCE-K571-2010「表面含浸材の試験方法(案)」に準拠した。なお、透水試験については JIS A 1404:1994「建築用セメント防水剤の試験方法」に示される試験方法を採用した。

性能の評価については、土木学会「表面保護工法 設計施工指針(案)」³⁾に示されるグレード評価を採用した。これは、表面含浸材を塗布していない試験体の評価結果に対する表面含浸材を塗布した試験体の評価結果の比を評価値として算出して、グレード分類する方法である。劣化因子に対する性能のグレードを表-2に示す。また、グレード評価ではないが、含浸深さと施工性についても評価を行った。

2.3 採用した表面含浸材

試験に供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 種類を選出した。表面含浸材の塗布は、塗布する切

表-1 基板モルタルの調合

材料種別	水	セメント	細骨材
単体量 (kg/m ³)	245	446	1468

表-2 劣化因子に対する性能のグレード³⁾

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

*1 土木本部 エンジニアリング部 材料・構造研究開発グループ

*2 土木本部 エンジニアリング部 材料・構造研究開発グループ グループリーダー

断面を水平にして、各社のカタログに示される標準塗布量および塗布回数に従って実施した。各社のカタログに記載されている主成分を表-3に示す。

3. 試験結果

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、それぞれの材料によって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ない。また、臭気の種類や強さにも因るが、有機溶液の場合は、閉鎖空間での中毒事故や近隣住宅の苦情などに注意を要する。このような観点から、表面含浸材が有する塗布後の効果だけでなく、工程、経済性、環境条件、施工条件も材料選定の要素であり、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 含浸深さ試験

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 吸水試験および透水試験

吸水試験の結果を図-1に、透水試験の結果を図-2に示す。吸水試験は、浸漬日数1日および7日にて評価した。透水試験は JIS A 1404:1994 に従い、加圧透水時間1時間にて評価した。吸水および透水の抑制率は、100%から吸水比もしくは透水比（塗布なし試験体の結果に対する塗布あり試験体の結果の比（%））を減じて算出した。

シラン系表面含浸材は、過去には水剤として取り扱われてきた材料であるため、全体的に

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: 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 含浸深さ試験結果

含浸材の種類	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

表-4 施工性についての所見

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	150g/m ²	300g/m ²	220g/m ²	200g/m ²	115g/m ²
1回の塗布量×塗布回数	150g/m ² ×1回	100g/m ² ×3回	110g/m ² ×2回	100g/m ² ×2回	115g/m ² ×1回
色	薄黄色	白色	無色透明	白色	無色透明
可使用時間	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)	水系のサラとした塗布感	水系のサラとした塗布感	粘性なく浸透しやすい	粘性なし	粘性なし
匂い(石油臭・アルコール臭など)	樹脂系の臭気あり	特になし	強いアルコール臭	若干石油臭あり	特になし
標準塗布量に対して	傾けると試験体表面から液体がこぼれる	規定通り塗布可能	規定通り塗布可能	2回目は規定量の50~70%程度	規定通り塗布可能
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	1回目塗布後30分後に乾燥	塗布後すぐに乾燥
重ね塗りのしやすさ	1回塗りのため重ね塗りはない	塗布感変わらないが、白斑ができる	塗布感変わらず、重ね塗りができる	塗布量低下するが可能	1回塗りのため重ね塗りはない
乾燥後の表面状態の変化	素地の状態に戻る。	素地の状態に戻る。白斑消失	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	全て乾燥面
250g/m ²	300g/m ²	200g/m ²	A+B:250g/m ²	200g/m ²	概ね1回の塗布量は100g/m ² 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。
250g/m ² ×1回	150g/m ² ×2回	200g/m ² ×1回	A:75g/m ² ×2回 B:50g/m ² ×2回	100g/m ² ×2回	無色および若干の着色がある。
薄い肌色	乳白色透明	乳白色	無色	無色	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。
1時間は使用可能	1時間程度。少しずつ樹脂が析出してくる	20分程度。少しずつ液状に変化	1時間は使用可能	1時間は使用可能	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。
やや粘性あり	適度な粘性があり、液ダレしない	クリームが徐々に液化し、液垂れする。クリームはコンクリートに若干なじみにくい	粘性なし、塗布しやすい	粘性なし、塗布しやすい	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。
若干アルコール臭あり	アルコール臭あり	若干樹脂系の臭気あり	A液無臭、B液アルコール臭	アルコール臭あり	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
規定通り塗布可能。ハケ斑残りやすい	90%程度。規定量載せられるが、新設だと100g×2回程度が妥当	クリーム状なので規定量載せられるが、鉛直面は液垂れすると思われる	A液は標準塗布可能、B液はやや少ない	規定通り塗布可能	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。
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	塗布感変わらず、重ね塗りができる
1回塗りのため重ね塗りはない	塗布感変わらず、重ね塗りができる	1回塗りのため重ね塗りはない。クリームを一度に載せる	A液は浸透しやすいがB液は浸透しにくい	塗布感変わらず、重ね塗りができる	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	素地の状態に戻る	全て素地の状態に戻る。

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明確となり、Bグレードの材料も見受けられた。7日吸水試験の場合、AグレードがB, F, G, H, I, Jの6種類、BグレードがA, C, D, Eの4種類であった。さらに、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。

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

以上の検討から、シラン系表面含浸材を耐透水および耐吸水の目的で適用する場合は、浸漬日数7日の吸水試験で性能を評価するとともに、工程、経済性、環境条件、施工条件などを考慮して材料選定することが得策と考えられる。

3.4 透湿度試験

透湿度試験の結果を図-3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。

本試験に用いた表面含浸材では、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-4に示す。中性化抑制率は、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。

本試験に用いた表面含浸材では、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日と比較して促進材齢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試験

塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験の結果

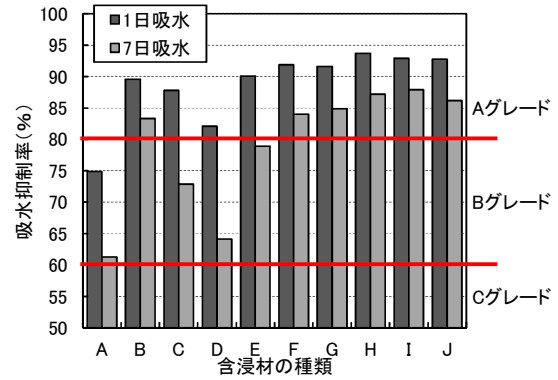


図-1 吸水試験結果

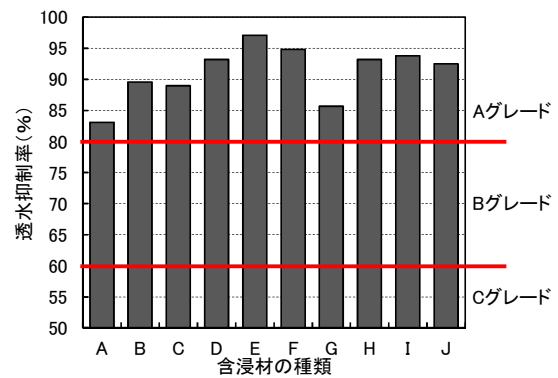


図-2 透水試験結果

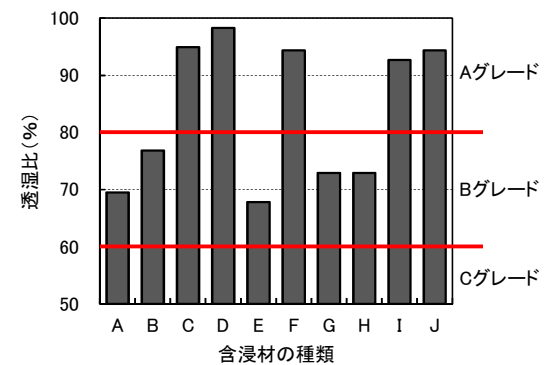


図-3 透湿度試験結果

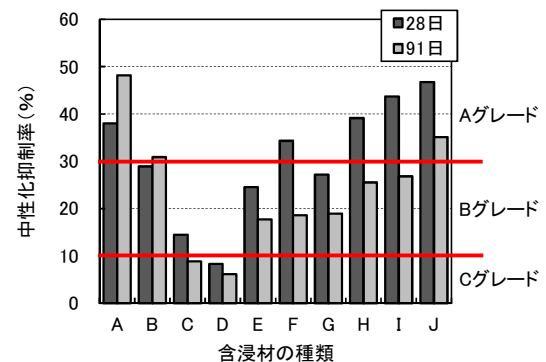


図-4 中性化抵抗性試験結果

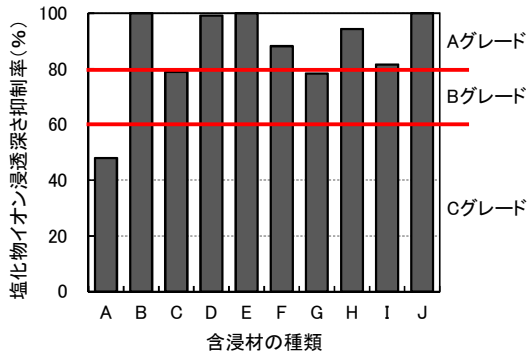


図-5 塩化物イオン浸透抵抗性試験結果

を図-5に示す。塩化物イオン浸透抑制率は、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。

本試験に用いた表面含浸材では、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 含浸深さとの関係

含浸深さと透湿比の関係を図-6に、含浸深さと中性化抑制率の関係を図-7に、含浸深さと塩化物イオン浸透抑制率の関係を図-8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、表面含浸材 Jを除き、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。従って、含浸深さが深い材料ほど、中性化抑制効果が高い傾向があることが確認できた。

4.2 中性化材齢と中性化深さの関係

中性化に対する抵抗性試験において、促進材齢 28 日から 91 日にかけての中性化抑制率が、Aグレードから変化がなかった表面含浸材 A, Bグレードから変化がなかった表面含浸材 E, Cグレードから変化がなかった表面含浸材 D,

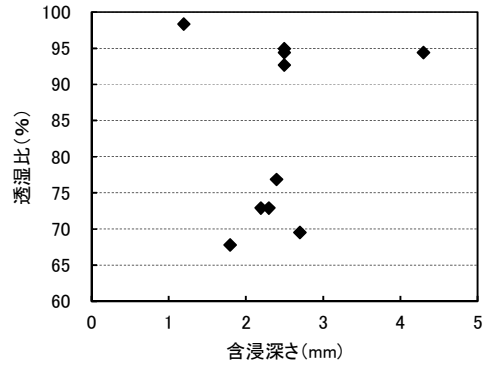


図-6 含浸深さと透湿比の関係

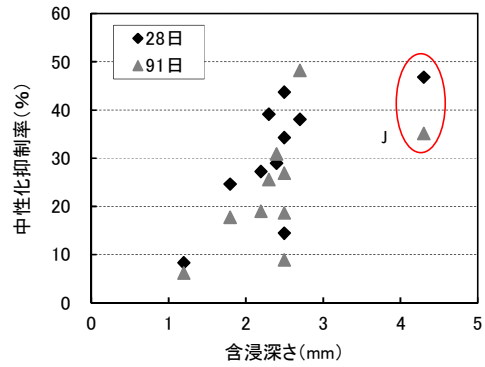


図-7 含浸深さと中性化抑制率の関係

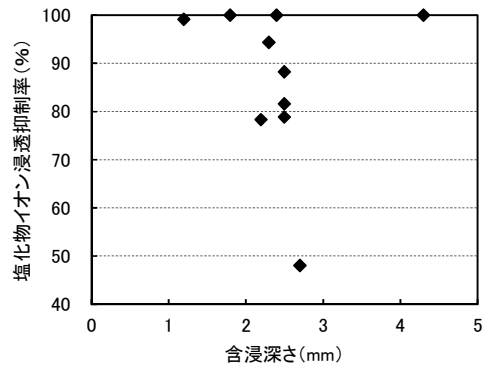


図-8 含浸深さと塩化物イオン浸透抑制率の関係

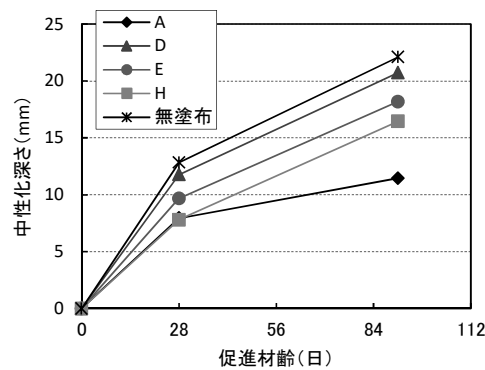


図-9 促進材齢と中性化深さの関係

AグレードからBグレードに低下した表面含浸材 H, および表面含浸材無塗布の促進材齢と中性化深さの関係を図-9に示す。

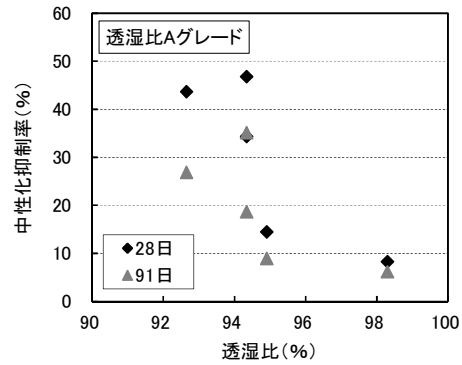
促進材齢 28 日までを見ると, 表面含浸材の塗布により中性化の進展に差が生じていることがわかる。一方, 促進材齢 28 日から 91 日にかけての中性化の進展の傾向 (促進材齢 28 日から 91 日の間の勾配) は, 表面含浸材 A を除き, 表面含浸材を塗布した試験体も塗布していない試験体もほぼ同等であった。従って, 本試験に用いた表面含浸材の多くは, 浸透した表層付近の中性化の進行を抑制する効果を有しているものと推察される。

4. 3 中性化に対する抵抗性に及ぼす影響

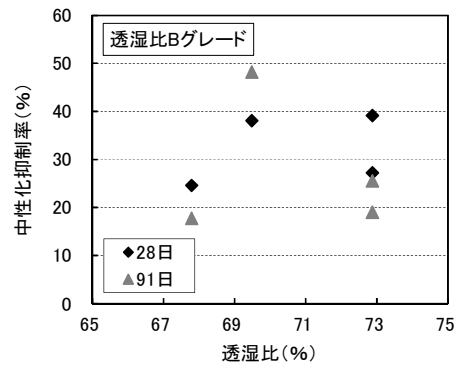
透湿比と中性化抑制率の関係を図-10に, 吸水抑制率と中性化抑制率の関係を図-11に示す。

透湿比がBグレードの表面含浸材については, 透湿比と中性化抑制率の間に相関が認められないが, 透湿比がAグレードの表面含浸材については, 透湿比が大きくなるにつれて中性化抑制率が小さくなる傾向を示した。これは, 透湿比がAグループの表面含浸材では, 水分が逸散し易いことから, コンクリートの含水率が低くなり, 中性化が進行し易くなるためと考えられる。一方, 透湿比がBグレードの表面含浸材では, 水分が逸散し難いことから, 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難くなるためと考えられる。

吸水抑制率と中性化抑制率の関係について見てみると, 表面含浸材 J を除き, 吸水抑制率が大き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。吸水抑制率が大きいほどコンクリートの含水率は低くなるため, 中性化が進行し易くなり, 中性化抑制率は小さくなると考えられるが, 本試験に用いた表面含浸材では逆の傾向を示した。この結果からも, 本試験に用いた表面含浸材の多くは, 吸水抑制効果を有する



(1)透湿比 A グレード



(2)透湿比 B グレード

図-10 透湿比と中性化抑制率の関係

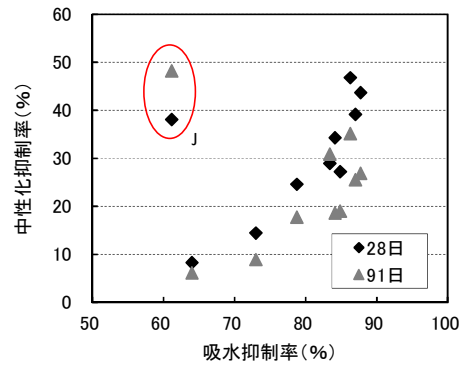


図-11 吸水抑制率と中性化抑制率の関係

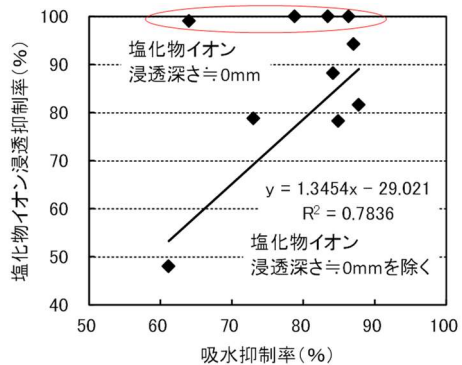


図-12 吸水抑制率と塩化物イオン浸透抑制率の関係

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推察される。

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。塩化物イオンの浸透深さが0mm 程度であった表面含浸材を除けば、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。従って、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と考えられる。

5. まとめ

以下に本報告の要点を示してまとめとする。

- (1) シラン系表面含浸材は、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方法であり、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日の方が小さくなる。
- (4) 含浸深さと透湿比および塩化物イオン浸透抑制率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率が大きくなる。

- (6) 本試験に用いた表面含浸材の多くは、吸水抑制効果を有すると同時に、表面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) 透湿比が大きい表面含浸材では、水分が逸散し易いため、コンクリートの含水率が低くなり、中性化が進行し易くなる。
- (8) 吸水抑制率により、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。

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。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.