

4. コンクリート用表面含浸材（シラン系）の性能比較

A Study on Comparative Efficiency of Silane Surface Penetrant for Concrete

立松 和彦*1

要 旨

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、表面含浸材を塗布するケースが増加している。そこで、市販の特徴的なシラン系表面含浸材 10 種類を任意に選出して、同条件で評価試験を行った。その結果、材によって透湿比や中性化に対する抵抗性などの性能の差があること、浸漬 7 日での吸水試験が新規材料のスクリーニングの簡易試験として有効であることがわかった。

キーワード：コンクリート／シラン系表面含浸材／施工性／耐久性

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、表面含浸材を塗布するケースが増加している。また、その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商品化されており、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実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、いくつかの特徴的なシラン系表面含浸材を任意に選出して、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 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、成形した。モルタルの調合を表-1 に示す。なお、評価面は全て切断面とした。

2.2 性能評価試験

性能評価試験は、土木学会の JSCE-K571-2005 表面含浸材の試験方法（案）³⁾ に準拠した。なお、透水試験については JIS A 1404 試験法を採用した。性能のグレード評

価については、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、グレード分類した。グレード分類のある評価項目を表-2 に示す。A B C のグレードで評価している項目は全て、数値の大きいほうが良好な評価である。例えば、吸水抑制比では、無塗布の吸水率が 3.0%、塗布の吸水率が 0.3%であれば、吸水抑制比は $((1-(0.3/3.0)) \times 100[\%]) = 90\%$ (Aグレード) となる。ただし、透湿比については、湿気を通す方が良好（≒期待されている性能）との評価であり、他の項目とは逆になるので注意が必要である。また、これとは別に、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した。

2.3 試験体

試験体の寸法等を表-3 に、試験方法の概略を表-4 に示す。図-1 に吸水率試験方法を、図-2 に透湿度試験のための吸水方法を示す。

2.4 使用した表面含浸材

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、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-5 に示す。

表-2 評価項目およびグレード

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	透水抑制比	80以上	80~60	60以下
吸水に対する抵抗性	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
中性化に対する抵抗性	中性化抑制比	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比	80以上	80~60	60以下

表-1 基板モルタルの調合

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

*1 技術研究所環境・生産研究担当

表-3 試験体寸法等

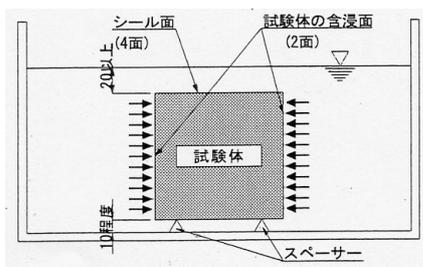
試験項目	試験体寸法(mm)	材の含浸面	試験体数 塗布/無塗布
透水量試験	φ150×50*1	切断面の1面 (φ150)	3個/3個
吸水率試験	100×100×100*2	切断面の2面 (100×100)	3個/3個
透湿度試験	100×100×20*2	型枠に接していた 一側面(100×20)	3個/3個
中性化に対する抵抗性試験	100×100×100*2	切断面の2面 (100×100)	2個/2個
塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験	100×100×100*2	切断面の2面 (100×100)	3個/3個
含浸深さ試験	100×100×100*2	切断面の2面 (100×100)	3個/1個

*1: φ150×300mmの中央部を切断して作製

*2: 100×100×400mmを切断して作製

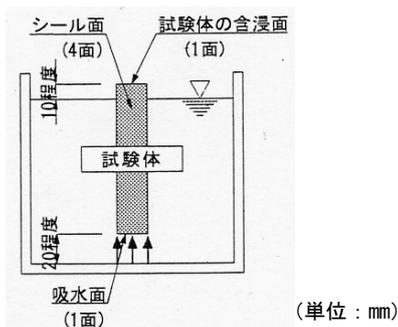
表-4 試験方法の概略

評価項目	試験の概略
透水量試験	中央部の径5cmに0.1kgf/cm ² の水圧を1時間かけて、試験体内部に透水した量を透水量とする
吸水率試験	試験体の含浸面および原状試験体(無塗布)の試験面が側面になるように水中に浸せきする
透湿度試験	試験体の含浸面を真中に、対向面(吸水面)を水中にした状態で72時間吸水させる。その後試験体を取り出して吸水面をシールし、温度20℃、湿度60%で7日間静置した後、静置前後の質量差を透湿度とする
中性化に対する抵抗性試験	温度20℃、湿度60%、炭酸ガス濃度5%の条件下で所定の期間、中性化促進を行った後、割裂面に試薬を噴霧して赤紫色に変色しない部分を中性化深さとする
塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験	3%塩化ナトリウム溶液に所定の期間浸せきし、割裂した試験面にフルオレセインナトリウム溶液および硝酸銀溶液を噴霧して蛍光を発する部分を塩化物イオン浸透域とする
含浸深さ試験	試験体を割裂して水に1分間浸せきし、割裂した含浸面のはっ水している部分の厚さを含浸深さとする



(単位: mm)

図-1 吸水率試験方法



(単位: mm)

図-2 透湿度試験のための吸水方法

表-5 使用した表面含浸材の主成分

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

3. 試験結果

3.1 施工性

施工性についての所見を表-6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り、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よるが)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。そのような観点で俯瞰すると、材料が有する塗布時の効果だけでなく、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 透水量試験および吸水率試験

透水量試験および吸水率試験の結果を図-3に示す。透水量試験はJIS A 1404に従い、加圧透水時間1時間にて評価した。吸水率試験は1日、7日にて評価した。

シラン系含浸材は過去にはっ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である。しかし7日吸水試験では性能差が明確となり、B, F, G, H, I, Jの6種類はAグレードであったが、A, C, D, Eの4種類は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。このことから、新規材料のスクリーニングの簡易試験として浸漬7日での吸水試験が有効であると考えられる。

透水量試験は、10種類すべてがAグレード(透水抑制率80%以上)であった。なかでもD, E, F, H, I, Jの6種類は抑制率90%以上と良好な数値を示した。

3.3 含浸深さ試験

含浸深さ試験の結果を表-7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-6 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)	水系のサラっとした塗布感	水系のサラっとした塗布感	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)	樹脂系の臭いあり	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	塗布感は変わらないが、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	
項目	F	G	H	I	J	総評
乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	全て乾燥面
250g/m ² 150g/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 ×2回	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。	
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	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。	
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	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。	
若干アルコール臭あり	アルコール臭あり	若干樹脂系の臭いあり	A液無臭、B液アルコール臭	アルコール臭あり	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。	
規定通り塗布可能。ハケ斑残りが少ない	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液は標準量塗布可能、B液はやや少ない	規定通り塗布可能	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。	
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	重ね塗りには問題ない乾燥時間	
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	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。	
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。	

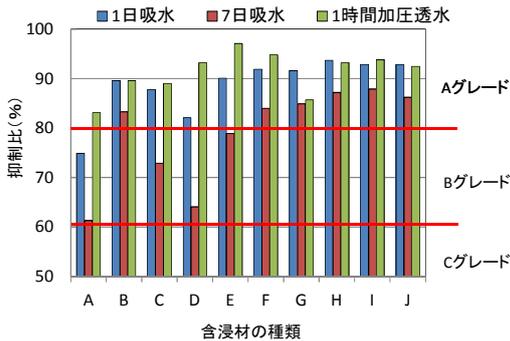


図-3 透水試験および吸水試験結果

表-7 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

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、塗布なし試験体の透湿度に対する塗布あり試験体の透湿度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-5に示す。中性化抑制比は、1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

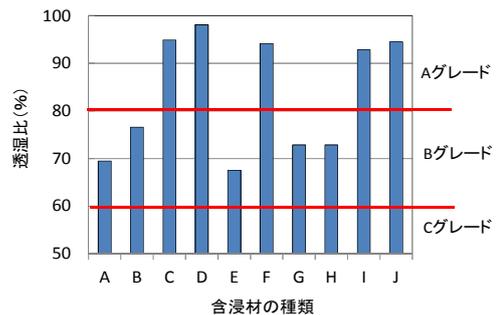


図-4 透湿度試験結果

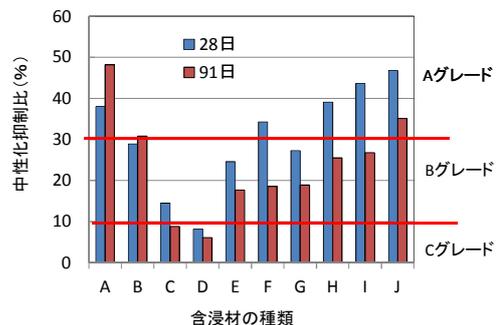


図-5 中性化抵抗性試験結果

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。全体的に見てみると中性化抑制比は、促進材齢 28 日と比較して促進材齢 91 日では小さくなる傾向を示した。A, B は促進材齢 91 日の方が抑制比が大きくなったが、理由は不明である。

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比は、1 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、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。

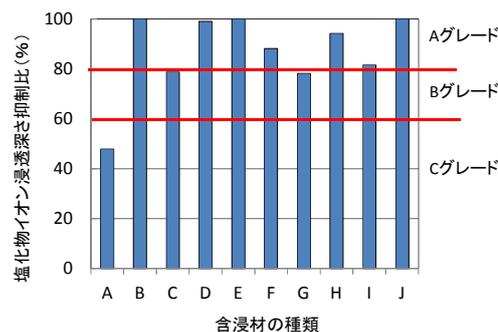


図-6 塩化物イオン浸透抵抗性試験結果

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-7 に、含浸深さと中性化抑制比の関係を図-8 に、さらに含浸深さと塩化物イオン浸透抑制比の関係を図-9 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。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。

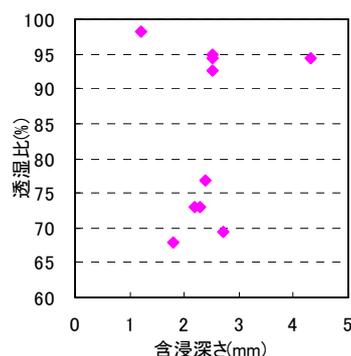


図-7 含浸深さと透湿比の関係

4.2 中性化促進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、含浸材 A は促進材齢 28 日および 91 日とも中性化抑制比が A グレードで変化がなかった。含浸材 E は促進材齢 28 日および 91 日とも B グレードで変化がなかった。含浸材 D は促進材齢 28 日および 91 日とも C グレードで変化がなかった。含浸材 H は促進材齢 28 日の A グレードから促進材齢 91 日では B グレードに低下した。これら含浸材 A, E, D, H および無塗布の中性化促進材齢と中性化深さの関係を図-10 に示す。促進材齢 28 日から 91 日にかけての中性化の進展の傾向は、含浸材 A を除けば、含浸材を塗布した試験体も塗布していない試験体もグレードにかかわらずほぼ同等であった。すなわち含浸材の塗布により中性化の進展に差が生じているのは、表層付近が中性化する促進材齢 28 日までであった。このことから、本試験に用いた含浸材の中性化進行を抑制する効果は、材が浸透した表層付近において発揮されると考えられる。

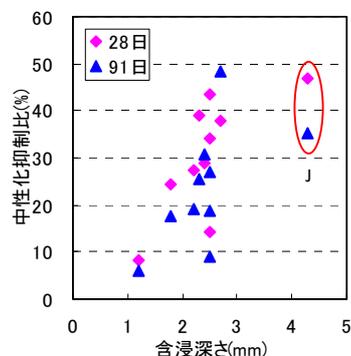


図-8 含浸深さと中性化抑制比の関係

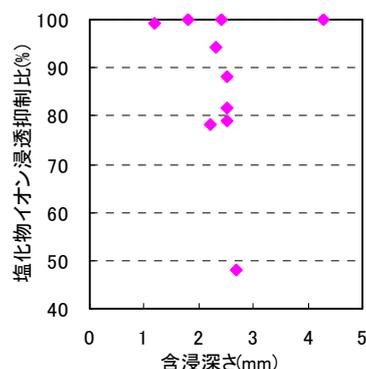


図-9 含浸深さと塩化物イオン浸透抑制比の関係

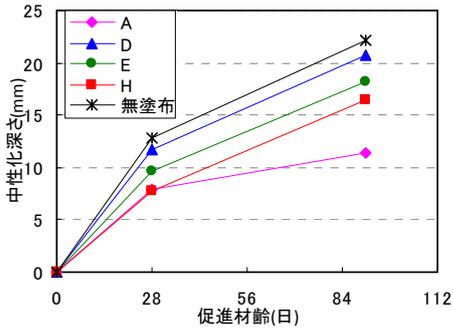


図-10 中性化促進材齢と中性化深さの関係

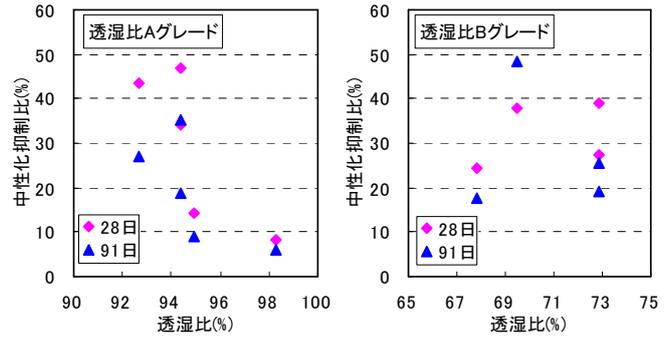


図-11 透湿比と中性化抑制比の関係

4.3 中性化に対する抵抗性へ及ぼす影響

透湿比と中性化抑制比の関係を図-11に、吸水抑制比と中性化抑制比の関係を図-12に示す。なお、吸水抑制比は、1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-11では、透湿比がBグレードの含浸材については、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グレードの含浸材については、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Aグレードの含浸材は、水分が（湿気として）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ためと考えられる。一方透湿比Bグレードの含浸材は、逆に水分が逸散し難いため透湿比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と考えられる。一方、吸水抑制比と中性化抑制比の関係について見てみると、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。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と推察される。

4.4 塩化物イオン浸透に対する抵抗性

吸水抑制比と塩化物イオン浸透抑制比の関係を図-13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けば、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。従って、吸水率を測定して吸水抑制比を把握することにより、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思われる。

5. まとめ

本実験の結果、以下の知見が得られた。

- (1) 表面含浸材の選定は材料が持つ性能だけでなく、工程、経済性、環境条件、施工条件なども要素となる。

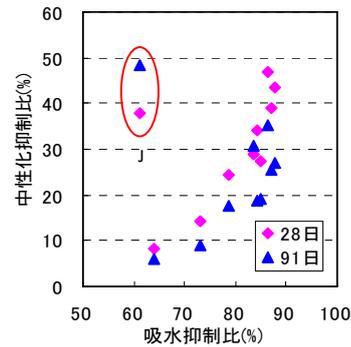


図-12 吸水抑制比と中性化抑制比の関係

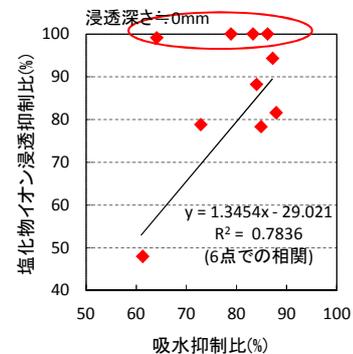


図-13 吸水抑制比と塩化物イオン浸透抑制比の関係

- (2) 吸水試験および透水試験では、7日吸水試験において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日では小さくなる。
- (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。

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。

吸水率から吸水抑制比を求めることで、中性化や塩化物イオン浸透に対する抵抗性の傾向などを概ね把握することができると考えられるので、今後、これらの性能評価結果を、材料選定に役立てていきたい。

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) 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.