

中性化抑制機能を付与したシラン系表面含浸材の開発

Development of a Silane-based Surface Impregnant Having Anti-carbonation Property.

加藤 淳司*¹ 田中 齊*² 沖野 喜佳*³
 Junj Kato Hitoshi Tanaka Kiyoshi Okino
 平間 昭信*⁴ 寺澤 正人*⁴
 Akinobu Hirama Masato Terazawa

【要旨】

表面含浸材は、コンクリート構造物の耐久性を簡易に向上させる技術として、近年注目されている。その中のシラン系表面含浸材は、高い透水抑制性を有するものの、中性化抑制性能が比較的低いと言われてきた。本研究は、シラン系含浸材が本来持つ透水抑制機能に新たに中性化抑制機能を付与した、新しいシラン系表面含浸材をコンクリート構造物の耐久性向上技術として開発し、透水抑制性、中性化抑制性、塩化物イオン浸透抑制性などについて性能評価を実施し、性能グレードの評価を行ったものである。

【キーワード】 コンクリート シラン系 表面含浸材 中性化 耐久性向上

1. はじめに

最近、表面含浸材がコンクリート構造物の耐久性向上技術の分野で注目されている。表面含浸材は、コンクリート表面に塗布、含浸させることで、コンクリート表層部に新しい機能を付与し、耐久性を向上させたり、コンクリート本来の機能を回復させることを目的とした材料であり、分類は表-1、要求性能は表-2に示すように整理¹⁾されている。

コンクリート構造物の耐久性向上を図るには、高品質化するのが一般的であるが、既設構造物の高品質化は非常に困難であり、新設構造物でもコスト増、ひびわれ増加など、新たな不具合を生じる場合も考えられる。したがって、この表面含浸材がその性能を十分に発揮すれば、コンクリート構造物の耐久性向上に活用できる、有効な技術と考えられる。

表-1にあるように、シラン系表面含浸材のメカニズムは、塗布含浸により吸水防止層を形成し、外部からコンクリート構造物内部へ水分が侵入するのを抑制するものである。その吸水防止機能から、塩害抑制および白華抑制などに用いられてきた²⁾が、空隙を充てんする機能がなく、中性化抑制性能が比較的低いと言われてきた。

筆者らはこのシラン系表面含浸材が持つ性能に注目し、空隙充てん作用による中性化抑制機能を付与することで、

表-1 改質材の分類と機能

表面含浸材分類		機能
シラン系		浸透性吸水防止材とも称され、コンクリート表層部に含浸させることにより吸水防止層を形成し、外部からの水や塩化物イオンの浸入を抑制する。
けい酸塩系	けい酸リチウム系	浸透性固化材や浸透性アルカリ付与材とも称され、コンクリート表層部に含浸させることにより、ぜい弱なコンクリート表層部を硬化したり、中性化したコンクリート表層部にアルカリ性を付与して鉄筋の腐食環境を改善する
	けい酸ナトリウム系	浸透性固化材や浸透性防水材、あるいはコンクリート改質材とも称され、コンクリート表層部に含浸させることにより、細孔内部に不溶性の結晶体を生成し、外部からの水や炭酸ガスの浸入を抑制したり、中性化したコンクリート表層部にアルカリ性を付与して鉄筋の腐食環境を改善する
その他		上記に分類されない材料

表-2 含浸材に要求される性能

期待される性能	シラン系	けい酸塩系	
		リチウム系	ナトリウム系
中性化抑制機能	△	△	○
塩化物イオンの侵入抑制	○	—	○
凍結融解抵抗性	△	—	△
化学的侵食抑制	—	—	—
アルカリ骨材反応抑制	△	△	—
美観景観に関する性能	—	—	—
剥落抵抗性	△	—	△

○:適用対象、△:他工法併用など検討が必要、—:適用対象外

1. 技術研究所 第三研究室 2. 技術研究所 企画知財室 3. 恒和化学工業株式会社
 4. 本社 土木事業本部 技術統括部 設計G

総合的なコンクリート構造物の耐久性向上技術として提案しようと考えた。本論文は、その中性化抑制機能を付与したシラン系表面含浸材について、透水抑制性、中性化抑制性、塩化物イオンの浸透抑制性などについて性能評価を実施し、その性能をグレード評価したので、ここにその結果を報告するものである。

2. 試験概要

2.1 試験項目

試験項目を表-3に示す。試験項目や手法については、JSCE K571 2005 および JIS A 1404 などに準拠し、試験値は、含浸材を塗布しない試験体との相対評価とした。

また、評価試験とは別に、シラン系表面含浸材は、屋外構造物に適用した場合の表面撥水状態が短期間で低下するとの指摘もあることから、建設後22年経過したコンクリート構造物を用いて、表面含浸材の塗布による表面状態の経過観察を実施した。

2.2 表面含浸材と塗布量

評価対象とした表面含浸材（以下、本含浸材と記述する）の成分と塗布量を表-4に示す。

本含浸材はシラン成分とシリコン樹脂を混合したものをアルコール溶液に溶解させたものである。

試験体には、気乾状態で塗布を行った。塗布量は1回の塗布量を 130g/m^2 として、2回目塗布については1時間程度静置し、表面の濡れ色が消えた後、同量塗布した。

表-4 含浸材成分と塗布量

主成分	溶液	塗布量 (g/m^2)		
		塗布なし	130 (1回塗り)	260 (2回塗り)
特殊オルガノシラン+シリコン樹脂	イソプロピルアルコール			

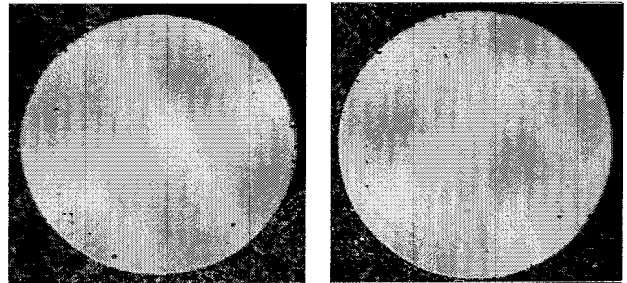


写真-1 塗布なし表面状況 写真-2 2回塗り表面状況

2.3 土木学会「表面保護工設計施工指針(案)」によるグレード評価

得られた試験結果は、4で後述するように、土木学会の「表面保護工法 設計施工指針(案)」(以下「表面保護工指針」と記述する)に規定される表面含浸材の評価グレードにより評価した。

3. 試験結果

3.1 外観観察

塗布なしの写真を写真-1に、本含浸材2回塗りの写

表-3 試験項目

試験項目	準拠試験方法	試験基板形状(mm) [試験体数]*	試験基板調合	備考
外観観察	目視による観察	$\phi 150 \times 40$ [3本]	1 : 3 モルタル, W/C65.3%	—
含浸深さ	JSCE K571 2005	$100 \times 100 \times 20$ [3本]	1 : 3 モルタル, W/C65.3%	—
(加圧)透水量	JIS A 1404	$\phi 150 \times 40$ [3本]	1 : 3 モルタル, W/C65.3%	1時間加圧透水後評価
吸水性	JIS A 1404	$40 \times 40 \times 160$ [3本]	1 : 3 モルタル W/C65.3%	吸水24時間で評価
透湿性	JSCE K571 2005	$100 \times 100 \times 20$ [3本]	標準砂 1 : 3 モルタル, W/C50.0%	吸水7日間で評価
促進中性化	JIS A 1153	$40 \times 40 \times 160$ [3本]	1 : 3 モルタル, W/C65.3%	促進中性化26週で評価。20mmを超える場合は13週で評価
塩化物イオン浸透深さ	JSCE K571 2005	$100 \times 100 \times 100$ [2本]	標準砂 1 : 3 モルタル, W/C50.0%	3%NaCl 水に63日浸漬後評価
屋外暴露表面観察	目視による観察	既設コンクリート構造物(外壁)	設計基準強度 24N/mm^2	塗布後の表面状況を観察

* : []内は試験に用いた試験体数を示す。各項目の試験結果はこれら試験体による平均値を示す。

真を写真-2に示す。従来の表面含浸材と同様に、色調やツヤなどの塗布による外観の変化は見られなかった。

3.2 含浸深さ

本含浸材2回塗りの含浸深さ状況を写真-3に示す。本含浸材1回塗り、2回塗りともに含浸深さは3mmであり、塗布量による含浸深さの差異はなかった。

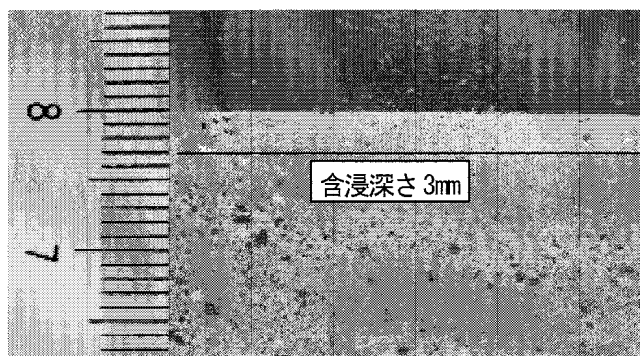


写真-3 2回塗りによる含浸深さ状況

3.3 (加圧) 透水量試験

透水量試験結果を図-1に示す。図中の透水比は、

$$[\text{透水比} = \text{塗布あり透水量} / \text{塗布なし透水量}]$$

として表している。また、図中の数値は、透水比と透水量(g)を示した。

透水比は、1回塗り、2回塗りともに0.05となり、優れた透水抑制効果が確認され、「表面保護工指針」による評価グレードAに該当する十分な透水抑制性能を示した。

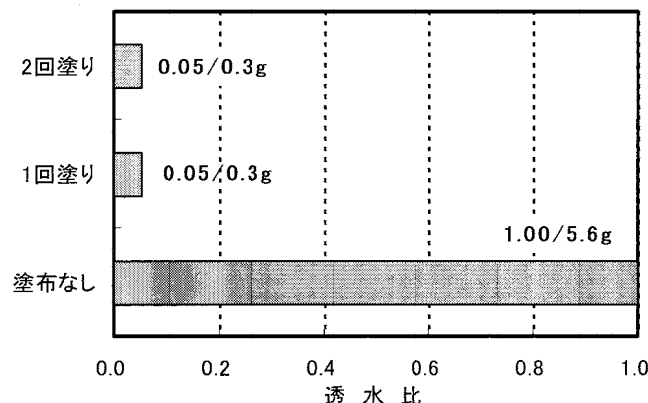


図-1 透水試験結果

3.4 吸水性試験

吸水性試験の結果を図-2に示す。図中の吸水比は、

$$[\text{吸水比} = \text{塗布あり吸水量} / \text{塗布なし吸水量}]$$

として表している。また、図中の数値は、吸水比と吸水量(g)を示した。

吸水比は、1回塗りでは0.06、2回塗りでは0.04となり、優れた透水抑制効果が確認された。塗布回数(量)により吸水比にわずかな差異を生じたが、1回塗りでも「表面保護工指針」による評価グレードAに該当する十分な吸水抑制性能が得られた。

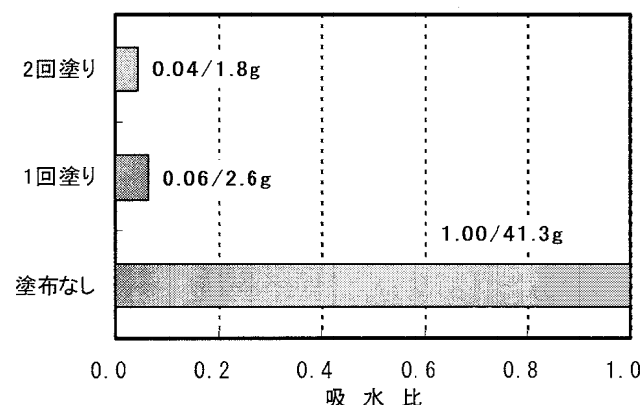


図-2 吸水性試験結果

3.5 透湿性試験

透湿性試験の結果を図-3に示す。図中の透湿比は、

$$[\text{透湿比} = \text{塗布あり透湿量} / \text{塗布なし透湿量}]$$

として表している。また、図中の数値は、透湿比と透湿量(g)を示した。

透湿比は、1回塗りでは0.31、2回塗りでは0.28となり、いずれも「表面保護工指針」による評価グレードCに該当する低い透湿性であった。

透湿性は塗布回数(量)が増すほど低下した。この理由として、本含浸材の塗布によって表層部組織の空隙充てん作用が生じたものと推測される。本含浸材の塗布によって、遮水性が向上する反面、透湿性が低下したと判断される。

表面含浸材において、この透湿性、すなわちセメント硬化体内部の水分を放散させる性能の高いことがアルカリ骨材反応抑制に有効な性能と位置づけられているため、本含浸材をアルカリ骨材反応の抑制目的として用いる場合、十分な事前検討が必要と判断される。

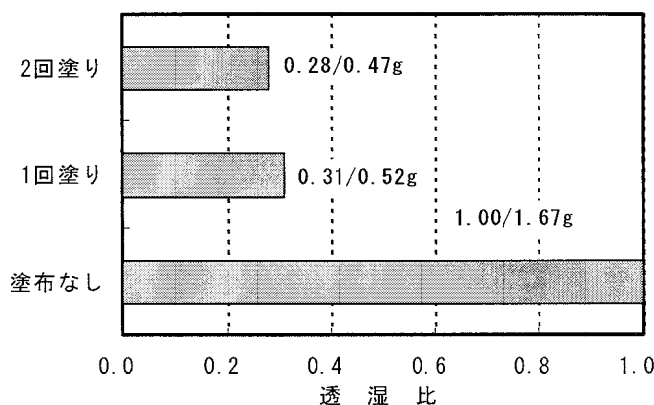


図-3 透湿性試験結果

3.6 促進中性化試験

促進中性化試験の材齢と中性化深さの関係を図-4に、材齢91日の中性化深さの測定結果を図-5に示す。なお、図中の中性化比は、

$[\text{中性化比} = \text{塗布あり中性化深さ} / \text{塗布なし中性化深さ}]$

として表している。また、図中の数値は、中性化比と中性化深さ(mm)を示した。

中性化比は、1回塗りでは0.91、2回塗りでは0.64となり、塗布回数(量)が増すほど優れた中性化抑制性能を示した。

この理由として、「3.5」に記述したように、本含浸材を塗布するほど、空隙充てん作用により表層部組織の劣化因子遮断性が向上し、透湿性が低下する反面、中性化抑制性能が向上したものと判断される。本含浸材2回塗りとすれば、「表面保護工指針」による評価グレードAに該当する十分な中性化抑制性能を示した。

3.7 塩化物イオン浸透深さ

塩化物イオン浸透深さ試験の結果を図-6に示す。

図中の塩化物イオン浸透深さ比は、

$[\text{塩化物イオン浸透深さ比} = \text{塗布あり塩化物イオン浸透深さ} / \text{塗布なし塩化物イオン浸透深さ}]$

として表している。また、図中の数値は、塩化物イオン浸透深さ比と塩化物イオン浸透深さ(mm)を示した。

塩化物イオン浸透深さ比は、1回塗りでは0.04、2回塗りでは0となり、塗布回数(量)が増すほど塩化物イオン浸透抑制性に優れていた。

1回および2回塗りともに塩化物イオン浸透抑制性能が高く、「表面保護工指針」による評価グレードAに該当する十分な透水抑制性能を示した。塩化物イオン浸透抑制性が高評価となったのも、「3.5」に記述したように、本含浸材の塗布による遮水性の向上に伴う効果と判断される。

3.8 屋外暴露表面観察

建設後22年経過したコンクリート構造物の外壁を用い、対象とした表面含浸材の塗布後の経過観察を行った。塗布の翌日に散水した直後の表面状況を写真-4に示す。同外壁において塗布1年経過後に散水した直後の表面状況を写真-5に示す。塗布1年後の撥水状況は、塗布翌日に比べて顕著な水滴の撥水は見られないものの、本含浸材を塗布していない外壁に見られるような、水分浸透による濡れ色は全く見られず、水分は表層部に浸透していないと判断される。

屋外環境下にて1年経過してもコンクリート外壁表層の透水抑制効果が保持されていることを確認した。

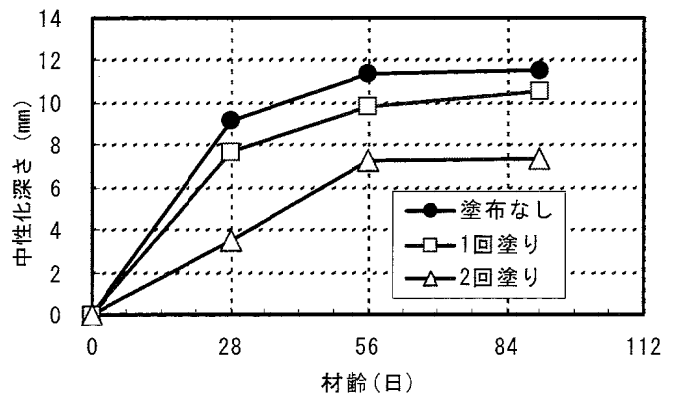


図-4 材齢と中性化深さの関係

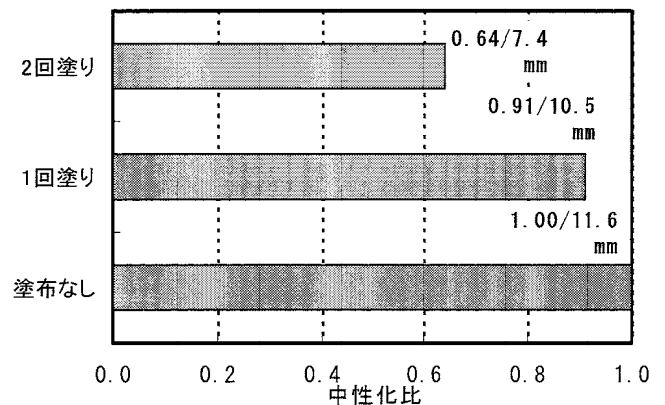


図-5 材齢91日中性化深さ測定結果

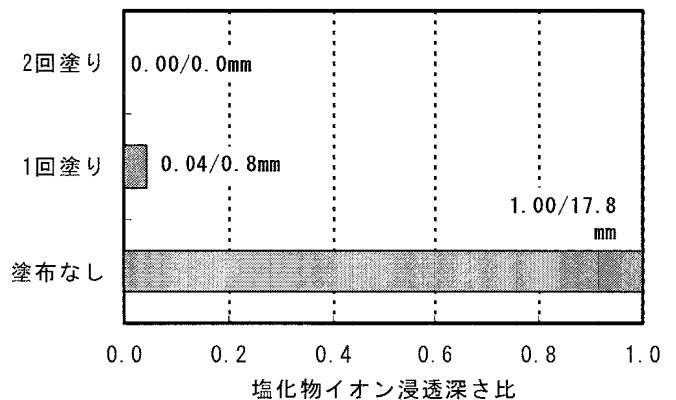


図-6 塩化物イオン浸透深さ試験結果

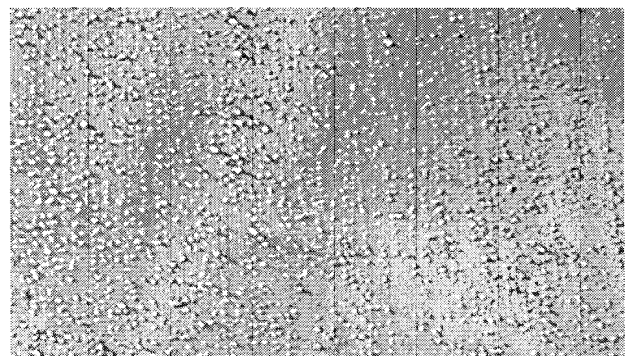


写真-4 塗布後翌日の散水直後の撥水状況

4. 「表面保護工指針」によるグレードに基づく試験結果の評価

4.1 「表面保護工指針」によるグレード評価と性能値の比較

表-5に「3.3」から「3.7」の試験により得られた透水比、吸水比、透湿比、中性化比、塩化物イオン浸透深さ比の結果を示す。

「表面保護工指針」に規定される表面含浸材の評価グレードおよび本含浸材の性能を表-6に示す。なお、表-6の評価項目の透湿比を除いた項目の抑制率は、同資料にしたがい、

[抑制率=100-表-5の性能値]

として表している。

4.2 1回塗りによる性能

本含浸材の1回塗りでは、透水抑制率(95%)、吸水抑制率(94%)および塩化物イオン浸透抑制率(95%)が、「表面保護工指針」のグレードAに適合し、グレードAの範囲の中でもそれらの数値は高いものであった。

ただし、透湿比(31%)および中性化抑制率(9%)は、グレードCであった。

したがって、1回塗りは従来のシラン系表面含浸材と同様な用途に用いることは出来るが、中性化抑制対策を目的として構造物に適用する場合には、性能不足と判断される。

また、内部水分の放出が求められるアルカリ骨材反応の抑制対策に本含浸材を適用するには、吸水抑制と透湿性のバランスを考慮した事前検討が必要と判断される。

4.3 2回塗りによる性能

2回塗りの場合では、透水抑制率(95%)、吸水抑制率(96%)、中性化抑制率(36%)および塩化物イオン浸透抑制率(100%)が、「表面保護工指針」のグレードAに適合し、透水抑制率、中性化抑制率、塩化物イオン浸透抑制率は、グレードAの範囲の中で高いものであった。

中性化抑制率は、1回塗りと比べて、2回塗りとなって大きく性能向上する傾向にあった。

なお、塩化物イオン浸透抑制率は100%であったが、

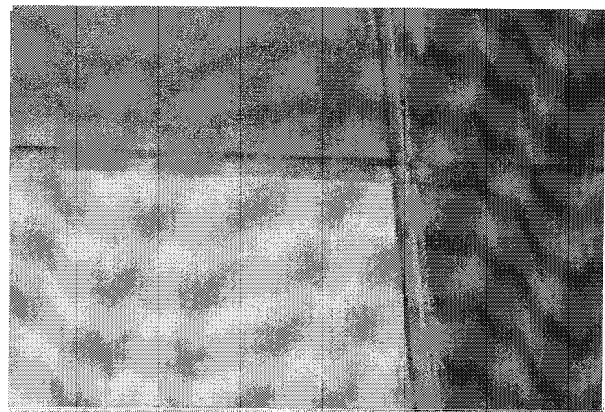


写真-5 塗布後1年の散水直後の撥水状況
(白色域：撥水状態を維持 黒色(濡れ色)域：無塗布面)

表-5 各種性能値

項目	性能値	
	1回塗り	2回塗り
透水比 (%)	5	5
吸水比 (%)	6	4
透湿比 (%)	31	28
中性化比 (%)	91	64
塩化物イオン浸透深さ比 (%)	4	0

これは室内試験により得られた試験結果であり、実際の構造物に適用する際には、塩化物イオン浸透抑制性が高性能な表面含浸材と取り扱うのが良い。

一方、透湿比は、1回塗りとはほぼ同様のグレードCであり、透湿比が小さい傾向にあるが、2回塗布であっても、28%の透湿性が確認された。1回塗りと同様に、アルカリ骨材反応の抑制対策に本含浸材を適用するには、吸水抑制と透湿性のバランスを考慮した事前検討が必要と判断される。

以上の検討結果から、本含浸材は、透湿比が小さいほど、水分、炭酸ガスおよび塩化物イオンの遮断性が向上するものと判断される。

本含浸材が劣化因子の遮断性に優れる点から、予防保全を目的として、新設時および潜伏期にある供用中のコンクリート構造物に本含浸材を適用することで、耐久性向上や長寿命化が期待できると判断される。

表-6 表面含浸材の評価項目、グレードおよび本含浸材のグレード評価

評価項目	グレード			抑制率(グレード)	
	A	B	C	1回塗り	2回塗り
透水抑制率 (%)	80以上	80~60	60以下	95(A)	95(A)
吸水抑制率 (%)	80以上	80~60	60以下	94(A)	96(A)
透湿比 (%)	80以上	80~60	60以下	31(C)	28(C)
中性化抑制率 (%)	30以上	30~10	10以下	9(C)	36(A)
塩化物イオン浸透抑制率 (%)	80以上	80~60	60以下	96(A)	100(A)

5. まとめ

中性化抑制機能を付与したシラン系表面含浸材を提案し、それについて評価試験を行い、「表面保護工指針」により性能グレードの評価を行った。今回の検討範囲で以下の知見を得た。

- (1) 本含浸材の塗布前後での表面状態に変化はなく、塗布行為による外観変化は生じないことを確認した。
- (2) 透水抑制性については、1回塗りおよび2回塗りともに同等であり、「表面保護工指針」のグレードAに適合し、そのグレード範囲の高性能域にあった。
- (3) 吸水抑制性については、1回および2回塗りともほぼ同等であり、「表面保護工指針」のグレードAに適合し、そのグレード範囲の高性能域にあった。
- (4) 透湿性については、1回および2回塗りともほぼ同等であり、「表面保護工指針」のグレードCに相当していた。アルカリ骨材反応抑制を目的とした用途には、十分な事前検討が必要である。
- (5) 中性化抑制性については、1回塗りは「表面保護工指針」のグレードC、2回塗りはグレードAとなり、塗布回数(量)が増すほど中性化抑制性が向上した。
- (6) 塩化物イオン浸透抑制性については、1回および2回塗りともほぼ同等であり、「表面保護工指針」のグレードAに適合し、そのグレード範囲の高性能域にあった。
- (7) 本含浸材を塗布した実構造物の外壁による1年間の表面観察によれば、1年後経過しても吸水防止性能が保持されていることが確認された。
- (8) 従来のシラン系表面含浸材に、中性化抑制に代表される高い遮断性を付与した表面含浸材の検討を行った。その結果、対象とした新規の表面含浸材を予防保全の目的として用いることで、コンクリート構造物の耐久性向上および構造物の長寿命化が期待できることが分かった。

【参考文献】

- 1) (社)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), 2005.4
- 2) (社)日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針・同解説,1997
- 3) (社)土木学会：コンクリート技術シリーズ「コンクリート表面被覆および表面改質に関する技術の現状」, 2004.2
- 4) 加藤 淳司, 田中 斉, 和田 環：屋外コンクリート構造物を適用対象としたコンクリート表面改質材の開発, 建築学会 2006 年度大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.511-512, 2006.9
- 5) 加藤 淳司, 田中 斉, 沖野 喜佳：中性化抑制機能を付与したシラン系表面含浸材の性能評価, 日本コンクリート工学協会年次論文集, 第29巻, pp.799-804, 2007.7

Summary : In recent years, surface impregnation of concrete structures has been attracting attention as a simple technology to improve their durability. However, despite their high water resistance, silane surface impregnants have generally been said to provide relatively low carbonation resistance.

The authors developed a new silane surface impregnant that provides both water and carbonation resistance to concrete as a durability improvement technology for concrete structures. Performance tests were conducted on impregnated specimens in terms of their resistance to water permeation, carbonation, chloride ion penetration, etc. to rate the performance grade of the impregnant.

Keywords : concrete, silane, surface impregnant, carbonation, durability improvement