

論文 劣化を生じたコンクリートにおける表面含浸材の併用による劣化抑制効果に関する検討

中嶋 亮介*1・鶴田 浩章*2

要旨: 表面含浸材の劣化抑制効果は、その種類や条件によって様々であり、現在、けい酸塩系とシラン系の2種類が多く使用されている。これまでの検討結果より、けい酸塩系とシラン系を重ねて塗布した場合、よい遮水性と中性化抵抗性が得られることがわかっており、今回は既設構造物を模擬したコンクリートを用いて劣化抑制効果を検証した。乾湿繰返しを受けたコンクリートに対しては、シラン系を単体で用いた場合よりも含浸材を併用した方がよい遮水性を得ることができ、中性化を受けたコンクリートにけい酸塩系単体やけい酸塩系とシラン系を併用して塗布することで、中性化に対して劣化の速度を抑制できることがわかった。

キーワード: 表面含浸材, けい酸塩系, シラン系, 併用, 透水量, 中性化抵抗性, 劣化

1. はじめに

今後、高度経済成長期に建設された土木構造物が老朽化し、劣化によって安全性が低下することが問題となっている。このような現状を踏まえて、既設構造物の劣化を抑制することが出来る、表面含浸材がさらに必要になると考えられ、今後新設するコンクリート構造物の劣化の予防保全に対する必要性は増してくると考えられる。

そのような状況のもとで、これまでに表面含浸材の劣化抑制効果に関する研究が多く行われており、その効果や課題も明らかになってきている^{例えば 1)~3)}。表面含浸材には大きく分けてシラン系とけい酸塩系の2種類があるが、これまで行われた研究結果から、シラン系表面含浸材(以下、シラン系と略す)は遮水性が高いが、中性化抵抗性は低いという結果が得られている⁴⁾。また、けい酸塩系表面含浸材(以下、けい酸塩系と略す)は中性化抵抗性が高いが、遮水性は低いことが分かっている⁴⁾。さらに、シラン系とけい酸塩系を混合させた材料(以下、混合系と略す)も検討されているが、現状あまり良い効果は得られていない⁵⁾。また、シラン系とけい酸塩系を重ねて塗布するタイプを「併用系」と呼ぶとすれば、市販されている併用系表面含浸材を用いた試験では、シラン系単体より良い透水抑制効果が得られている²⁾が、併用系の劣化抑制効果はまだ使用例が少なく、よくわかっていない。

そこで、著者らはけい酸塩系とシラン系を併用した場合の劣化抑制効果を検証した。その結果、けい酸塩系とシラン系をそれぞれ単体で用いるよりも、けい酸塩系とシラン系を各標準塗布量に対する比2:8の割合で、けい酸塩系を塗布した72時間後にシラン系を塗布する場合が最も良い遮水性を得ることができ、また、けい酸塩系を単体で用いた場合と同程度の中性化抵抗性を得られる

ことが分かった^{5),6)}。しかし、これは表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-K571-2010)の基準に基づいて行った試験結果であり、実際に劣化を受けた実構造物に対しては、劣化抑制効果が異なる可能性がある。

そこで、今回はW/C60%のコンクリートを用いてけい酸塩系単体、シラン系単体、けい酸塩系とシラン系の重ね塗り(併用)を、既設構造物を模擬したコンクリートに用いた場合の遮水性と中性化抵抗性を検討した。けい酸塩系とシラン系を重ね塗り(併用)する場合は、けい酸塩系とシラン系を各標準塗布量に対する比2:8の割合で、けい酸塩系を塗布後72時間後にシラン系を塗布する方法を用いた。この併用系を用いた場合と、けい酸塩系、シラン系それぞれを単体で用いた場合の劣化抑制効果の

表-1 使用した表面含浸材

表面含浸材の種類	主成分	主要成分濃度 (%)	標準塗布量 (ml/m ²)
けい酸塩系	けい酸ナトリウム・ けい酸カリウム	30以上	240
シラン系	アルキルアルコキシ シラン	98~100	300

表-2 使用した表面含浸材と実験条件

含浸材の種類	けい酸塩系 の塗布量 (ml/m ²)	シラン系 の塗布量 (ml/m ²)	略語
けい酸塩系	240	0	けい酸塩
シラン系	0	300	シラン
けい酸塩:シラン =2:8	48	240	KS28

※けい酸塩:シランは各標準塗布量に対する比

*1 関西大学 大学院理工学研究科ソーシャルデザイン専攻 (学生会員)

*2 関西大学 環境都市工学部都市システム工学科准教授 博士(工学) (正会員)

表-3 示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
20	10	60	5	43	167	278	765	1061	0.696

比較を行った。

2. 実験概要

2.1 使用した含浸材及びコンクリートの配合

今回使用した表面含浸材の詳細を表-1, 表-2 に示す。今回は、けい酸ナトリウムとけい酸カリウムを主成分としたけい酸塩系 1 種類とアルキルアルコキシシランを主成分としたシラン系 1 種類を用い、それぞれを単体で用いた場合と、併用した場合の試験を行った。コンクリートの配合は W/C60%, 目標スランブ 10±1cm, 目標空気量を 5.0±0.5% とした。試験練りの結果、決定した配合を表-3 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂、粗骨材は硬質砂岩系砕石、混和剤はリグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体を主成分とする AE 減水剤を使用した。

2.2 試験体の作製方法

試験体作製と試験の流れを図-1 に示す。今回は既設構造物を想定しているため、26 日間乾湿繰返しを行ったものと 28 日間促進中性化を行ったものの 2 通りを考えた。試験日程の都合から、既設構造物を想定した劣化としては乾湿繰返しや促進中性化の期間が短い、手始めの検討として、このような劣化期間を設定した。試験体の作

製は、表面含浸材の試験方法 (案) (JSCE-K571-2010) に基づき、100 mm×100 mm×400 mm のコンクリート供試体を打設後、温度 20°C、湿度 60% の恒温恒湿室で 1 日静置した後脱型し、6 日間水中養生した。その後、湿式カッターを用いて使用するサイズに切断し、恒温恒湿室で 42 日間気中養生した。気中養生終了 3 日前に合成樹脂とアルミテープで試験面以外をシールし、乾湿繰返しを行ったものと促進中性化を受けたものの 2 通りの方法で劣化をさせた。劣化過程終了後、表-2 の条件のもとで含浸材の塗布を行った。けい酸塩系は塗布面に散水しブラシで洗浄後、1 時間後に塗布量の半分の量を塗布し、1 時間散水養生を行った後、1 時間気中養生を行った。そして、さらに残りの半分の量を塗布し、1 時間散水養生を行い 1 時間気中養生を行った。シラン系は塗布面を圧縮空気洗浄し、塗布量の半分の量を塗布して 1 時間気中養生を行い、その後、残りの半分の量を塗布して 1 時間気中養生を行った。併用系の場合は、初めにけい酸塩系を上記の方法で塗布し、温度 20±2°C、相対湿度 60±5% の恒温恒湿室で 72 時間気中養生し、その後シラン系を重ねて塗布した。

2.3 試験方法

すべての試験を、表面含浸材の試験方法 (案) (JSCE-K571-2010) に基づき行った。また、各含浸材につき 3 個の試験体を用いて試験を行い、3 個の試験体の平均値を求めてそれぞれの測定値とした。

(1) 含浸深さ試験

本試験でシラン系の材料の含浸深さを測定した。2 分割した試験体を、1 分間水に浸せきして取り出し、撥水している部分の深さを表面含浸材の含浸深さとして測定した。含浸深さの測定位置は、試験体の割裂面の中心、及びその中心から 25mm の位置の片面 3 か所とし、対面する割裂面で合計 6 か所の含浸深さを、0.1mm の単位でノギスを用いて測定し、その平均値を算出して、小数点以下 1 桁の値に丸めて 1 試験体の含浸深さとした。

(2) 透水量試験

JIS A 6909 の 7.12 (透水試験 B 法) に準拠して、試験体の含浸面及び原状試験体 (無処理) の試験面に漏斗 (直径 75mm) とメスピペット (最小目盛 0.05ml) を隙間がないように取り付け、その中に蒸留水を入れて、恒温恒湿室 (温度 20°C、湿度 60%) に 7 日間静置して試験した (図-2)。

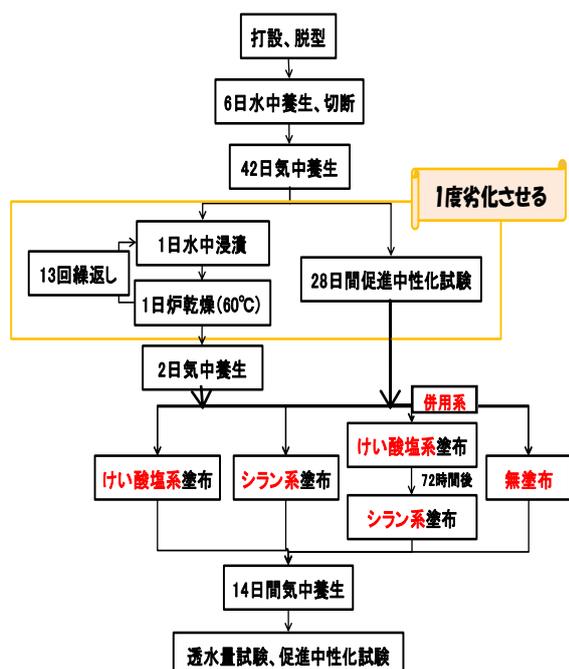
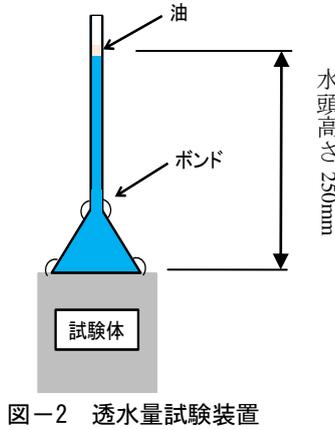


図-1 試験体作製と試験の流れ

試験開始時から7日後の水頭の高さ (W_{pi}) を読み取り、試験開始時の高さ (W_{p0}) との差から、式(2)によって透水量 (W_p) を算出した。

$$W_p = W_{pi} - W_{p0} \quad (2)$$



ここに、 W_p : 透水量 (ml), W_{p0} : 試験開始時のメスピペットの読み (ml), W_{pi} : 試験開始時から7日後のメスピペットの読み (ml)

(3) 中性化に対する抵抗性試験

JIS A 1153 に準拠して温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 相対湿度 $60 \pm 5\%$, 二酸化炭素濃度 $5 \pm 0.2\%$ の条件下で28日間と91日間の促進中性化試験を行った。中性化深さの測定はJIS A 1152 に準拠し、割裂面の含浸面及びそれに対向する面 (原状試験体の試験面) からの10か所の中性化深さを、ノギスを用いて0.1mmまで測定し、平均値をそれぞれ試験体及び原状試験体の中性化深さとした。

(4) 表面水分率試験

直流電気抵抗式で0.8%~15%までの表面水分率の測定が可能な水分計を用い、供試体3個の表面水分率を含浸材塗布直前にそれぞれ3回ずつ計測し、その平均を表面水分率とした。

3. 試験結果及び考察

3.1 コンクリートの諸性状

今回用いたコンクリートのフレッシュ性状及び材齢28日の平均圧縮強度の試験結果を表-4にまとめて示す。

表-4 コンクリートの諸性状

スランプ(cm)	空気量(%)	28日圧縮強度(N/mm ²)
10.0	4.5	29.1

3.2 乾湿繰返しを行った試験結果

(1) 表面水分率試験

試験結果を表-5に示す。この結果を見るとわかるように、けい酸塩系とKS28の表面水分率が高くなって

るのは、含浸材塗布前に水を用いて表面を洗浄したためである。これらの表面水分率は、既往の研究⁵⁾とほぼ同等の値を示しており、乾湿繰返しによる表面水分率の変化はなかったと考えられる。

表-5 表面水分率試験結果

	シラン系	けい酸塩系	KS28
表面水分率(%)	3.8	5.1	5.1

(2) 含浸深さ試験

試験結果を図-3に示す。また、シラン系単体の含浸深さを100としたときのKS28の含浸深さを含浸深さ比として、既往の研究⁵⁾と比較して表-6に示す。既往の研究⁵⁾では新設を想定したコンクリートであるが、シラン系単体の含浸深さが6.1mm、KS28では5.3mmであり、今回の試験結果よりも含浸深さが大きかった。乾湿繰返しを受けると、コンクリート表面が粗くなりシランが含浸しやすかったと想定していたのだが、予想とは反する結果となった。ただし、材齢や養生方法が異なり単純比較できないため、今後さらなる検討が必要である。KS28の含浸深さ比をみると、シラン系の含浸深さの低下率はほぼ変わらない結果となり、乾湿繰返しを受けても後から塗布したシラン系が十分に浸透できるのだと考えられる。また、後から重ねて塗布したけい酸塩系の含浸深さについては、今回は確認をとることが出来ていない。

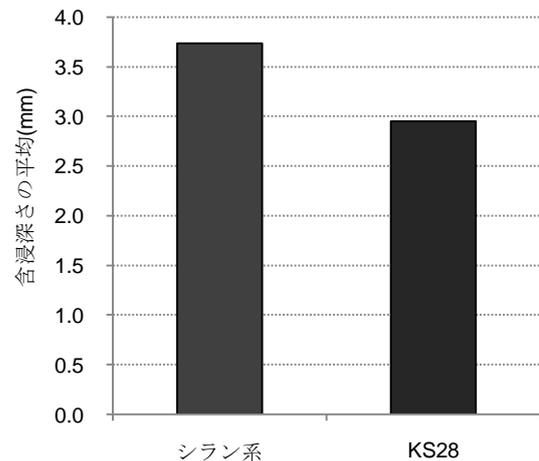


図-3 含浸深さ試験結果

表-6 含浸深さ比の結果

	シラン系	KS28
乾湿繰返しを受けた含浸深さ比(%)	100	81
既往の研究 ⁵⁾ での含浸深さ比(%)	100	87

(3) 透水量試験

試験結果を図-4に示す。また、無処理の透水量を100としたときのそれぞれの透水量を透水比として、既往の研究⁵⁾と比較して表-7に示す。既往の研究⁴⁾と同様にKS28とシラン系は大きな効果が確認できたが、その中でもKS28はシラン系の透水量の半分程度に抑制していることがわかった。これは、重ね塗りをすることでけい酸塩系がコンクリートを緻密にし、C-S-Hゲルを形成したこと⁷⁾と、その後含浸したシラン系の撥水層が形成したことにより特に透水を抑制したのだと考えられる。表-7を見ると乾湿繰返しを受けたものは透水比が大きくなっているが、これは乾湿繰返しの影響により透水しやすくなったのだと考えられる。乾湿繰返しを行った後に含浸材を塗布して行った試験だが、含浸材を塗布することでシラン系とKS28は遮水性の効果があることがわかった。しかし、けい酸塩系を乾湿繰返し後に塗布した場合は、無処理より少し透水を抑制しただけとなり、効果はあまり見込めないと考えられる。

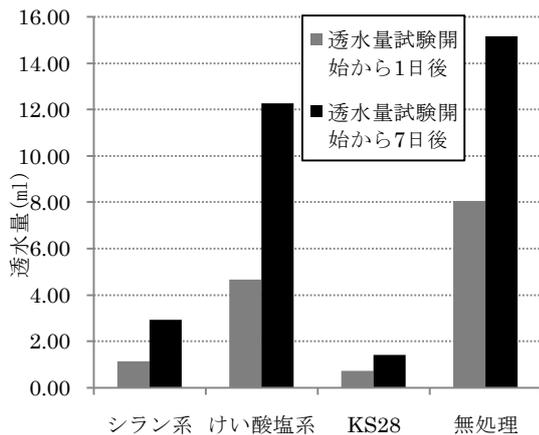


図-4 透水量試験結果

表-7 透水比の結果

	シラン系	けい酸塩系	KS28
乾湿繰返しを受けた透水比(%)	19	81	9
既往の研究 ⁵⁾ での透水比(%)	9	68	5

3.3 促進中性化を行った試験結果

(1) 表面水分率試験

試験結果を表-8に示す。この表面水分率の測定結果は、乾湿繰返しを受けたものとほぼ同じ結果を示した。また、けい酸塩系とKS28の表面水分率が高くなっているのは、含浸材塗布前に水を用いて表面を洗浄したためである。

表-8 表面水分率試験結果

	シラン系	けい酸塩系	KS28
表面水分率(%)	4.0	5.3	5.3

(2) 含浸深さ試験

試験結果を図-5に示す。また、シラン系単体の含浸深さを100としたときのKS28の含浸深さを含浸深さ比として、既往の研究⁵⁾と比較して表-9に示す。乾湿繰返しを行った場合よりも、含浸深さはどちらも大きくなっているのがわかる。しかし、表-6と表-9を比較しても同じ値を示しており、コンクリートのばらつきも考えられるため、中性化による影響であるとは断定できない。またKS28の含浸深さ比をみると、シラン系の含浸深さの低下率はほぼ変わらない結果となり、中性化による劣化を受けても後から塗布したシラン系が十分に浸透できるのだと考えられる。

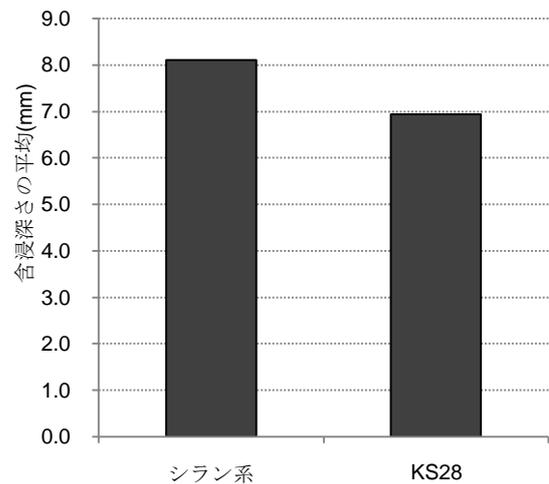


図-5 含浸深さ試験結果

表-9 含浸深さ比の結果

	シラン系	KS28
中性化を受けた含浸深さ比(%)	100	81
既往の研究 ⁵⁾ での含浸深さ比(%)	100	87

(3) 中性化に対する抵抗性試験

試験結果を図-6に示す。また、無処理の中性化深さを100としたときのそれぞれの中性化深さを中性化深さ比として、既往の研究⁵⁾と比較して表-10に示す。なお、42日間の気中養生終了後に開始した、28日間の促進中性化によるコンクリートの平均中性化深さは8.6mmであった。この試験結果を見ると、けい酸塩系とKS28はシ

ラン系や無処理よりも中性化を抑制していることがわかる。

次に、促進中性化試験を行った日数と中性化深さとの関係を図-7に示す。図中の56日とは28日の初期中性化を経過後、28日の中性化を受けたことを示し、同様に119日とは28日の初期中性化を経過後、91日の中性化を受けたことを示している。含浸材を塗布することによって、28日から56日までの間では中性化が進行する速度を減少させる効果があることがわかる。しかし、促進中性化56日から119日の傾きを比較すると、傾きの差が見られなかった。これは、サンプル数を増やすなどして今後の検討が必要である。けい酸塩系とKS28ではほぼ同じ速度となっているが、コンクリート表層を緻密にする効果によって中性化の進行を抑制できたのだと考えられる。

3.4 考察

今回の試験結果から頻繁に乾湿繰り返しを受け、水の侵入によって劣化が生じたコンクリートに表面含浸材を用いる場合は、遮水性の高いKS28を用いることが最も良いことがわかった。また、中性化を起こしたコンクリートに表面含浸材を用いる場合はけい酸塩系とKS28を用いることで、中性化の進行を遅らせることができることがわかった。これは、けい酸塩系によるコンクリート表層を緻密にする効果とシラン系による撥水層の形成が複合することによって、遮水性や中性化抵抗性を発揮したのだと考えられる。

以上の事から、一度促進中性化28日で中性化深さが10mm程度の中性化を受けたコンクリートに表面含浸材を用いることでさらなる劣化の進行を抑制させることができると考えられ、遮水性にも中性化抵抗性にも優れたKS28のような、けい酸塩系とシラン系を重ねて塗布する方法が、最も良いのではないかと考えられる。

今回の試験は、シラン系、けい酸塩系それぞれ1種類の表面含浸材を重ねた場合の試験しか行っておらず、さらに他の種類の含浸材を用いた場合の試験を今後行う必要があると考えられ、今後含浸材の種類による効果の違いの有無や、劣化期間の長期化による劣化速度の低減といった検討を行おうと考えている。

4. 結論

(1) 乾湿繰り返しを受けても、併用系のKS28はシラン系単体よりも透水を抑制することができた。

(2) 中性化抵抗性に対しては、けい酸塩系や併用系のKS28が無処理よりわずかに中性化抵抗性を得ることができた。

(3) 中性化を受けたコンクリートにけい酸塩系やKS28

を塗布すると、短期間では中性化の進行速度を抑制することができた。

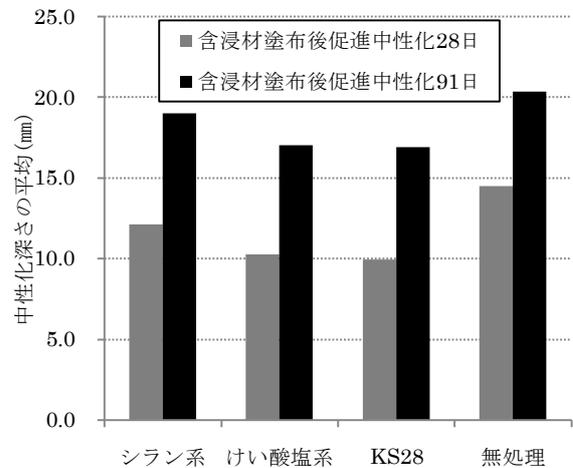


図-6 中性化に対する抵抗性試験結果

表-10 中性化深さ比の結果

	シラン系	けい酸塩系	KS28
28日後の 中性化深さ比(%)	84	71	68
既往の研究 ⁵⁾ での 28日後の中性化 深さ比	73	52	58
91日後の 中性化深さ比(%)	93	84	83

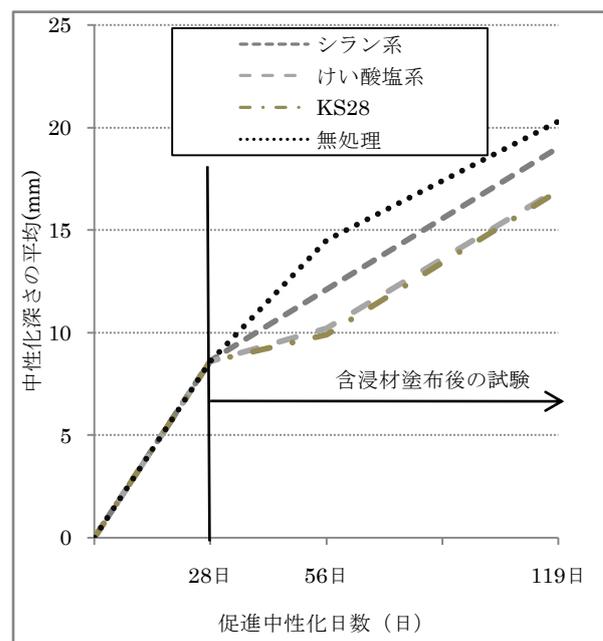


図-7 促進中性化を受けた日数と中性化深さとの関係

謝辞

本研究は学術振興会の科研費基盤研究(C) (課題番号：23560559) の助成を受けたものである。また、本研究の実施には、原川卓真氏(平成 23 年度博士課程前期課程 2 年次生)をはじめ、コンクリート工学研究室の皆さんにご協力いただきました。また、表面含浸材を提供して下さった、メーカーの方々には大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1)水谷真也, 守屋 進, 金井浩一: 浸透性コンクリート保護材の性能持続性と性能評価方法: コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.11, pp.373-378, 2011.10
- 2)澤田 巧, 福手 勤, 内藤英晴, 小笠原哲也, 酒井貴洋: 表面含浸材のひび割れ改質効果に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.10, pp.413-418, 2010.10
- 3)井上雄太, 福手 勤, 藤田起也, 澤田 巧: コンクリート用各種表面含浸材の性能比較に関する実験的研究, 第 64 回土木学会年次学術講演会講演概要集, Disk2, pp.401-402, 2009.8
- 4)原川卓真, 鶴田浩章: コンクリート用表面含浸材の諸性質と劣化抑制効果, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.10, pp.405-412, 2010.10
- 5)鶴田浩章, 原川卓真: シラン系およびけい酸塩系表面含浸材の併用による劣化抑制効果に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.11, pp.361-366, 2011.10.
- 6)鶴田浩章, 原川卓真: シラン系及びけい酸塩系表面含浸材の併用による劣化抑制効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1624-1629, 2012.7
- 7)鶴田浩章, 中嶋亮介: 異なる含水状態のコンクリートにおける表面含浸材の併用の効果, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.12, pp.453-458, 2012.11.