

論文 コンクリートの養生条件・材齢が表面含浸材の吸水抑止効果に及ぼす影響

今野 拓也^{*1}・細田 暁^{*2}・小林 薫^{*3}・松田 芳範^{*4}

要旨：本研究では、シラン系材料 2 種を対象に、表面含浸材を塗布する直前・直後のコンクリートの含水状態と塗布時の材齢、水セメント比を変化させて、含浸深さと吸水抑止効果を検討した。水セメント比 42%では、塗布前後の湿潤状態により、吸水抑止効果がほとんどなくなる含浸材があった。水セメント比 50%では、塗布前後に湿潤状態にあっても十分な吸水抑止効果を発揮することがわかった。また、新設構造物に塗布する場合、水セメント比にかかわらず、より若材齢で塗布するほうが大きな吸水抑止効果を発揮することがわかった。

キーワード：表面含浸材、含水状態、材齢、吸水率、含浸深さ

1. はじめに

コンクリート片の剥落やアルカリ骨材反応および塩害による損傷など、コンクリート構造物の劣化現象にはコンクリート表面からの水分の浸入が関与するものが多い。水の浸入を抑制することがコンクリート構造物の高耐久化につながるものと考えており、その手段の一つとして、表面含浸材を用いた表面含浸工法が存在する。特に、含浸材の中でもシラン系材料で実構造物での暴露試験で 5 年（参考文献は 3 年経過時のデータ）を経過しても効果が継続しているものがいくつか存在する¹⁾。

表面含浸材の浸透深さや吸水抑止効果は、コンクリートの水分状態に左右される可能性があることが示されている^{2), 3)}。これまで、シラン系の表面含浸材は、コンクリートが乾燥状態で塗布することが望ましいと考えられてきた。これに対し、筆者らは、塗布前後に湿潤状態下にあっても吸水抑止効果は十分に発揮することを示した³⁾。しかし、吸水試験時における試験体パラメータごとのコンクリートの含水状態の違いが吸水試験結果に影響を及ぼしていた可能性が

あり、正当な評価がなされていない懸念が残る。また、新設構造物に表面含浸材を適用する場合、若材齢のコンクリートは多くの水分を含むため、塗布する材齢により、含浸深さおよび吸水抑止効果に違いが出る可能性も考えている。

そのため、本研究では、塗布前後の直前・直後の含水状態、材齢、水セメント比を変化させた場合の吸水抑止効果への影響を調べる。シラン系材料 2 種類に対して吸水率試験、含浸深さ測定を行う。これらの結果に基づき、新設構造物において、表面含浸材の性能を最大限に引き出す施工条件について考察する。

2. 実験概要

2.1 使用した材料および表面含浸材

実験に用いたコンクリート材料および配合を表-1 または表-2 に示す。

コンクリートは水セメント比を 42%、50%の 2 種に設定した。42%のものは、実際の PC 橋梁施工現場で打設時のコンクリートを採取して試験体を作製した。

表面含浸材は、筆者らが実施している実構造

*1 横浜国立大学大学院 工学府 社会空間システム学専攻 (正会員)

*2 横浜国立大学大学院 環境情報研究院 助教授 博(工) (正会員)

*3 東日本旅客鉄道株式会社 研究開発センター フロンティアサービス研究所 博(工) (正会員)

*4 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事部 構造技術センター (正会員)

表-1 使用材料

材料	W/C(%)	摘要
セメント	42	早強ポルトランドセメント 密度:3.12g/cm ³
	50	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm ³
細骨材	42	群馬産砕砂, 表乾密度:2.62g/cm ³ 埼玉産陸砂, 表乾密度:2.60g/cm ³ 混合比率=50:50
	50	千葉産山砂, 表乾密度:2.63g/cm ³ 粗粒率:2.18, 吸水率:—, —%
粗骨材	42	群馬産砕石, 最大寸法:25mm 密度:2.64g/cm ³ , 吸水率:2.75%
	50	埼玉産砕石(硬質砂岩), 最大寸法:20mm 密度:2.66g/cm ³ , 吸水率:0.94%
混和材	42	高性能AE減水剤, 使用量:1%(セメント重量比)
	50	AE剤, 使用量:0.07%(セメント重要比) AE減水剤, 使用量:1%(セメント重要比)

物での暴露試験結果¹⁾において良好な効果を発揮すると判断したシラン系の2種を選択した。詳細は表-3に示すとおりである。なお、実験における塗布量は表-3に従うこととし、含浸材Bの塗布量は0.40kg/m²とした。

2.2 実験方法および試験項目

(1) 供試体作製方法

供試体作製および試験項目は、土木学会の「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁴⁾を参考に、筆者らがこれまで検討してきた方法³⁾に準じて行った。100×100×400mmの寸法の型枠を用い、打設後から気温20±2℃、湿度55±5%の状態下に静置し、材齢4日で脱型した。その後、湿式のカッターで100mmずつに切断して供試体とした。なお、塗布の対象面は切断面とし、その他の面はエポキシ樹脂を用いてシールを施した。

(2) 養生条件および塗布時の材齢

本研究における水セメント比42%、50%の試験パラメータを表-4および表-5に示す。

脱型して切断後、塗布前までは気中に静置した。材齢7日で塗布するシリーズでは、塗布前後のコンクリートの水分状態が一つの着目点である。塗布時の水分状態は、表面が乾燥した状態のDシリーズと表面のみが水分を保持するWシリーズの2種類を設定した。Wシリーズにおいて、既報³⁾では、水中に浸漬した期間が長かつ

表-2 コンクリート示方配合

W/C(%)	スランプ(cm)	空気量(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)			
				W	C	S	G
42	15.0	4.5	46.5	165	393	806	937
50	8.0	5.0	41.7	160	319	755	1070

表-3 使用した表面含浸材

含浸材	主成分	主成分率	系	標準塗布量(kg/m ²)	備考
A	シラン・シロキサン系化合物	80%	水系	0.2	
B	アルキルアルコキシシラン	90%以上	無溶剤	0.30~0.50	無機化合物:6%未満 密度:0.9g/cm ³ (25℃) 粘度:1300Pa・s(20℃), 600Pa・s

表-4 試験パラメータ(W/C=42%)

シリーズ	塗布時の 材齢	塗布時の条件	塗布後の養生条件
D-d	7日	気中乾燥	気中養生
	35日		
D-dw	7日		乾湿繰り返し
D-dw. a			表面乾燥後、6時間水中浸漬 → 乾湿繰り返し
W-d			直前に水中浸漬 (2分程度)
W-dw		乾湿繰り返し	

表-5 試験パラメータ(W/C=50%)

シリーズ	塗布時の材齢	塗布時の条件	塗布後の養生条件
D-d	7日	気中乾燥	気中養生
	35日		
D-d. a	7日		表面乾燥後、6時間水中浸漬 → 気中養生
D-dw. a		表面乾燥後、6時間水中浸漬 → 乾湿繰り返し返し	
W-d		気中養生	
W-d. a		表面乾燥後、6時間水中浸漬 → 気中養生	
W-dw. a		表面乾燥後、6時間水中浸漬 → 乾湿繰り返し返し	

たために、水和度やコンクリートの含水状態が大きく異なることがその後の吸水試験結果に影響を与えた懸念がある。そこで本研究では、浸漬時間を2分と短くし、それらの影響を極力排除した。なお、水温20±1℃の水中に浸漬した。

また、塗布時に表面水分率を測定し、各シリーズの含水状態を相対的に比較した。なお、表面水分率の測定は高周波式水分計を用い、10mmおよび40mmの深さの平均値を計測する2種類のモードを使用した。

塗布後の養生条件について、塗布後に気中に静置する-d シリーズのほか、実構造物に塗布した後に、すぐ降雨があるような状況も想定して、十分な乾燥期間を設けずに水中に浸漬する場合の検討も行った。-d.a または-dw.a シリーズでは、材齢 7 日で塗布した後、12 時間程度気中に静置し、表面が乾燥した状態を確認して 6 時間水中に浸漬した。

塗布後に乾湿繰返しを行った-dw シリーズにおいては、塗布後、材齢 9 日の時点で乾湿繰返しを開始した。1 日間水中に浸漬し、その後 2～3 日間乾燥させるサイクルを計 4 サイクル、材齢 21～23 日まで行った。

各シリーズにおける養生条件を、以上の方法の組み合わせによって設定した。いずれも材齢 21～23 日までを対象とした。その後は、試験開始までの含水状態の調整期間とし、28 日程度気中で乾燥させた。よって、含浸深さ試験、吸水試験はともに材齢 50 日程度で開始した。

さらに、新設構造物に適用する際の良好な施工時期の検討を目的に、表面含浸材を塗布する材齢を 7 日、35 日に設定した。これらは、塗布する材齢のみが異なり、塗布前後は気中で乾燥させ、試験開始は材齢 50 日で統一した。

(3) 含浸深さ試験

含浸深さの測定は、供試体を割裂した面に水を噴霧し、撥水する含浸深さを片面につき 3 箇所ずつ計測した。計 6 箇所のデータの平均を算出し、さらに 3 体の平均値を含浸深さとした。

(4) 吸水試験

吸水試験は、試験体を 7 日間 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の水中に浸漬させ、試験開始直前の質量に対する吸水量の割合を吸水率として算出した。各シリーズにつき、3 体の平均値を試験結果とした。

3. 結果および考察

3.1 コンクリートの養生条件の影響

(1) 塗布時のコンクリート表面の含水状態

塗布時の表面水分率の測定結果を表-6 に示す。D シリーズと比較して、W シリーズのもの

表-6 塗布時の表面水分率

シリーズ	塗布時の材齢	W/C(%)	表面水分率(%)	
			10mmモード	40mmモード
D	7日	42	8.4	5.4
		50	7.5	5.0
	35日	42	6.2	4.5
		50	5.5	4.1
W	7日	42	10.3	5.3
		50	10.2	5.1

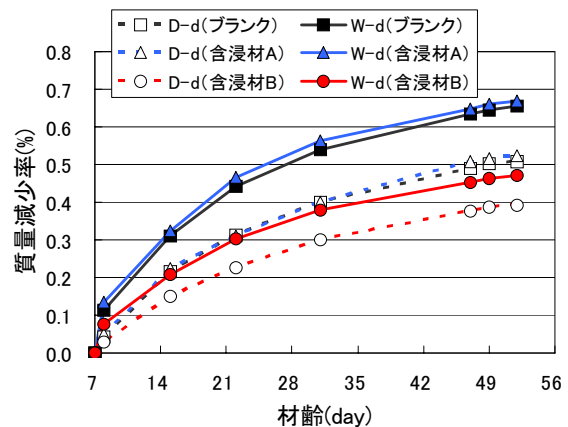


図-1 塗布後の質量変化

は 10mm モードでの値が大きくなり、表層部のみが湿潤状態であることを示している。また、材齢 7 日のほうが 35 日に比べて大きい値となった。若材齢時のコンクリートが水分をより保持していることを示している。

(2) 吸水試験時のコンクリートの含水状態

塗布直前に 2 分間の水中浸漬を行なった場合、含浸材を塗布した後の水分逸散状況を把握しておく必要がある。水セメント比 50% の W-d シリーズと D-d において、塗布直後からの質量変化の様子を材齢 50 日程度まで調べた。図-1 に結果を示す。なお、塗布直後の質量を基準とした。

図-1 から、W-d シリーズの質量変化率が D-d シリーズより大きいことが分かる。塗布直前に水中浸漬した分の水分が逸散していることを示している。含浸材 B を塗布した試験体では、ブランクおよび含浸材 A の結果と比較して計測開始直後から値が小さく、透湿性が若干劣ると考える。しかし、いずれの試験体も材齢 28 日以降の勾配に差がなく、材齢 50 日程度での変化量は

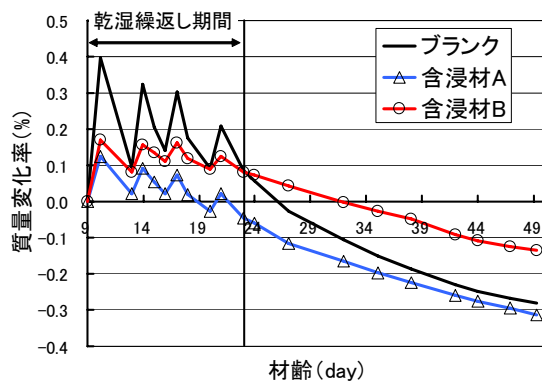


図-2 乾湿繰返し後の水分逸散状況

いずれもわずかである。このことから、吸水試験時のコンクリート表層付近の含水状態は近く、結果に及ぼす影響は小さいと考える。

塗布後乾湿繰返しを行ったシリーズでは、塗布後に乾燥させたものと比較して、水分が残存し、吸水率試験の結果に影響する可能性がある。そのため、水セメント比 50% の D-dw.a シリーズを対象に乾湿繰返しとその後の試験体の質量変化について調べた。その結果を図-2 に示す。なお、乾湿繰返し開始時の質量を基準とした。

図-2 から、乾湿繰返し終了の材齢 23 日から 28 日程度経過した材齢約 50 日の時点での勾配の差は小さく、値の変化量もわずかである。

また、シリーズによる含水状態の相対的な比較のために、試験開始直前に各シリーズの表面水分率を測定した結果、材齢 7 日で塗布したものではありません。すべてのシリーズにおいて 10mm モードで 5.0% 程度、40mm モードで 4.0% 程度であり、差は見られなかった。

以上から、試験時の含水状態はほぼ同一であり、吸水試験に与える影響は小さいと考える。

(3) 含浸深さと吸水試験結果 (W/C=42%)

水セメント比 42% の試験シリーズの含浸深さおよび吸水試験結果を図-3 および図-4、図-5 に示す。

含浸深さは、既報³⁾による水セメント比 50% の結果と比較して全体的に小さい値となった。水セメント比が低いことで、コンクリートの細孔組織が緻密になったなどにより、含浸しにく

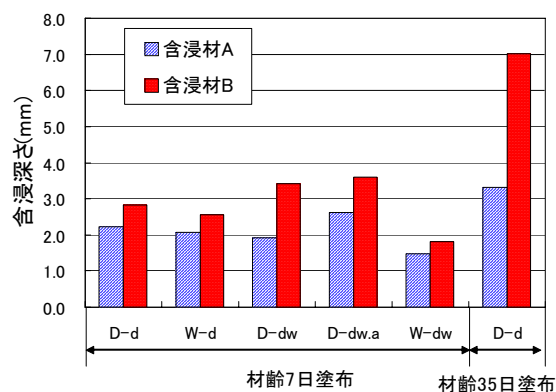


図-3 含浸深さ (W/C=42%)

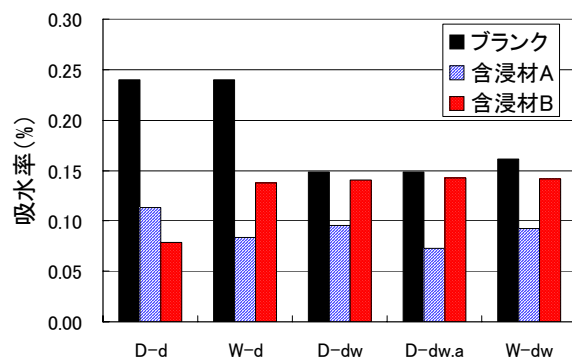


図-4 7 日吸水後の吸水率

(材齢 7 日塗布, W/C=42%)

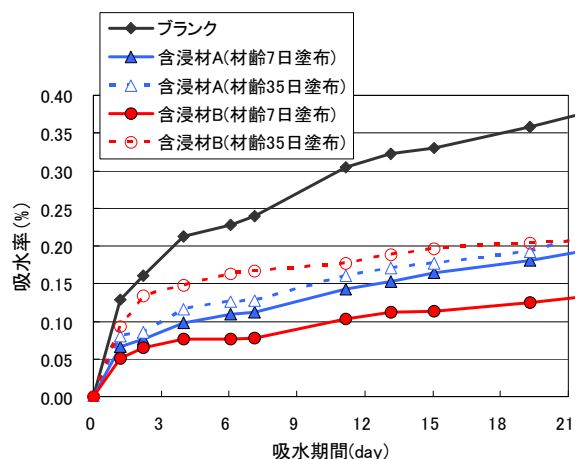


図-5 塗布時の材齢を変化させた場合の吸水試験結果 (W/C=42%)

くなったためと考えている。塗布前にコンクリート表層が水分を含み、塗布後にも乾湿が繰り返される場合は、含浸深さが小さくなる傾向があるので、実施工では注意を要する。塗布後に乾湿繰返しをした D-dw および D-dw.a シリーズ

では、含浸深さが大きくなる場合もあったが、測定箇所によっては平均値から最大で±1.5mm程度のばらつきが見られた。

図-4 から、ブランクでは塗布後に乾湿繰り返しを行った-dw シリーズの吸水率が乾燥させた-d シリーズと比較して小さい結果となった。これは、表層付近の水和が進行し、緻密になったためである。

含浸材 A では、いずれのシリーズにおいてもほぼ同様に吸水を抑制することがわかった。

含浸材 B では、塗布後に乾燥させたシリーズにおいて良好な吸水抑止効果が確認された。しかし、塗布後に乾湿繰り返しを行ったものの吸水率はブランクとほぼ変わらず、吸水抑止効果は小さい。これらは、先述したばらつきが見受けられたもので、ほとんど含浸していない箇所が存在したため吸水しやすくなったと考えている。

以上から、水セメント比が 42%程度の PC 構造物に含浸材 A を適用する際には、施工前後に降雨などの水分の影響がある場合でも、吸水抑止効果の観点からは大きな問題はないといえる。ただし、塗布前後とも水分の影響がある場合は、含浸深さが小さくなる懸念がある。

含浸材 B を用いる際には、吸水抑止効果の観点からは、塗布前後のコンクリートの水分状態に十分な配慮が必要である。施工後は、シートなどでコンクリート表面が濡れない状態を保つことで良好な効果が得られると考えている。

(4) 含浸深さと吸水試験結果 (W/C=50%)

水セメント比 50%の試験シリーズの含浸深さおよび吸水率試験結果を図-6 および図-7、図-8 に示す。

図-6 から、含浸深さは、水セメント比 42%に比べて全体的に大きく、塗布前後に水分の影響を受けることで、塗布前後乾燥させた D-d シリーズと比べて含浸深さは小さくなる傾向にあった。しかし、含浸材 B の W-dw.a シリーズでは大きな値となった。最大値と最小値を比較すると約 2 倍の差が見られ、塗布前後の含水状態が与える影響は大きいことが分かる。

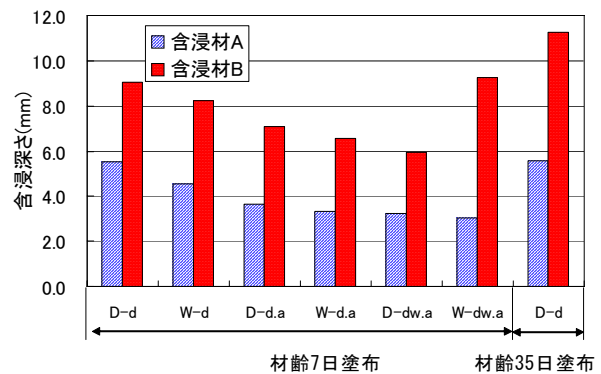


図-6 含浸深さ (W/C=50%)

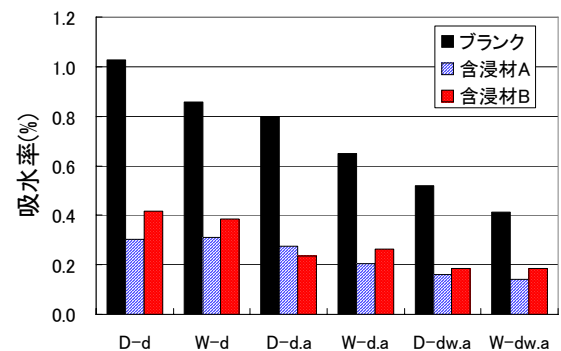


図-7 7日吸水後の吸水率
(W/C=50%, 材齢 7 日塗布)

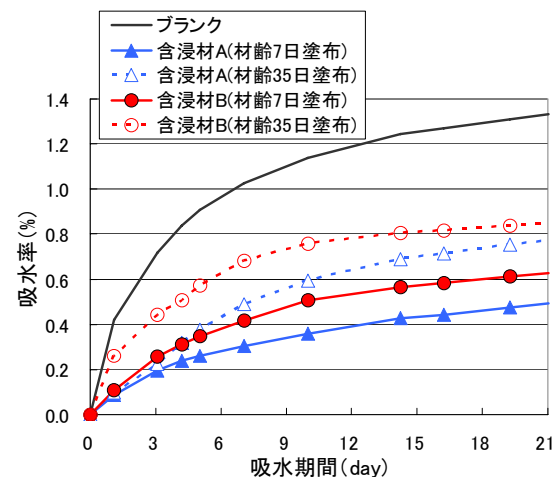


図-8 塗布時の材齢を変化させた場合の
吸水試験結果 (W/C=50%)

図-7 の吸水試験結果から、ブランクでは塗布直前の水中浸漬および塗布後の乾湿繰り返しにより、吸水率が低下する結果となった。水和によって緻密化した影響によるものと考える。

吸水抑止効果に関しては、いずれの含浸材においても塗布前後の水分の影響によって問題は

見られず、良好な吸水抑止効果を示した。

水セメント比が 50%程度の新設構造物にこれらの含浸材を適用する際、施工前後に降雨などであっても大きな問題はない。むしろ、施工前後に水を噴霧するなど水分を供給することで吸水抑止効果は高まる可能性がある。ただし、含浸深さが小さくなる場合もあり、注意を要する。

3.2 塗布時の材齢の影響

(1) 含浸深さ

図-3 および図-6 の結果から、材齢 7 日で塗布したものに比べて、材齢 35 日で塗布したもののほうが含浸深さは大きい値を示した。含浸材 A においては、水セメント比が異なっても同程度だったが、含浸材 B では差が大きく、特に水セメント比が 42%において顕著であった。表-6 で示す表面水分率からも、塗布時により乾燥しているほうが含浸材は浸透しやすいといえる。

(2) 吸水抑止効果

図-5 および図-8 は、W/C=42%と 50%の塗布時の材齢を変化させた場合の吸水試験結果を示している。

水セメント比の違いによらず、いずれの含浸材でも材齢 7 日で塗布したもののほうが、材齢 35 日で塗布したものと比較して吸水を抑制する結果となった。水セメント比 50%において、その傾向は顕著に見られた。

以上から、新設構造物では、若い材齢で施工するほうが、より大きな吸水抑止効果を期待できる。含浸材 B において特に、塗布時の材齢によって含浸深さの差が大きく、含浸材に求める性能を勘案した上で施工時期を検討する必要がある。

4. 結論

本研究では、W/C=42%または 50%、塗布する材齢を 7 日および 35 日として、すでに実構造物での暴露試験で高い性能を示しているシラン系表面含浸材 2 種類に対して含浸深さと吸水抑止性能を調べた。その結果、含浸材塗布前後のコンクリートの水分状態、または塗布する材齢の

影響について以下の知見が得られた。これらの知見が、表面含浸材を適用するコンクリート構造物の高耐久化につながることを期待している。

- (1) 水セメント比が小さいほど含浸深さは小さくなることを確認した。
- (2) 水セメント比 42%では、含浸材 A はいずれのシリーズでもほぼ同様に吸水抑止効果を発揮した。また、含浸材 B では、塗布後に乾燥させることで吸水抑止効果は発揮されたが、塗布後の乾湿繰返しが吸水抑止効果に悪影響を及ぼす結果となった。
- (3) 水セメント比 50%における含浸深さは、塗布前後に乾燥したほうが大きい値を示す傾向にあり、コンクリートの含水状態の影響が大きいことがわかった。
- (4) 水セメント比 50%において、吸水抑止効果は塗布前後に水分の影響があっても問題なく、良好な効果を発揮することがわかった。
- (5) 水セメント比の違いに拘らず、材齢 7 日で塗布するほうが、材齢 35 日で塗布する場合に比べて吸水抑止効果が大きく、若材齢での施工が有効であることを示した。

参考文献

- 1) 綱嶋和彦，松田芳範，津吉 毅，石橋忠良：撥水・浸透系防水塗膜材の暴露試験 3 年目の評価について，コンクリート技術シリーズ 68「コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告」，土木学会，pp.225-236，2006.4
- 2) 林 大介，坂田 昇，三村俊幸，神沢 弘：シラン・シロキサン系撥水材の塗布方法に関する一実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.1，pp.415-420，2001
- 3) 今野拓也，細田 暁，小林 薫，松田芳範：コンクリート表面含浸材の吸水抑止性能に及ぼす施工条件の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.1733-1738，2006
- 4) 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