

論文 Article

シラン系含浸材とシラン・シロキサン系表面塗布材の併用による コンクリートの表面改質に関する研究

原稿受付 2011年4月5日

ものづくり大学紀要 第2号 (2011) 48~53

大塚秀三^{*1}, 八木修^{*2}, 鈴木和参^{*2}, 上船慎也^{*3}^{*1}ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科^{*2}株式会社 エム&エムトレーディング^{*3}綜警ビルサービス株式会社(ものづくり大学技能工芸学部建設学科 卒業生)

Improvement in Concrete Surface Durability Using Both Silane and Silane-siloxane Layers.

Shuzo OTSUKA^{*1}, Osamu YAGI^{*2}, Kazumi SUZUKI^{*2} and Shinya UEFUNE^{*3}^{*1} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*2} M&M Trading Inc.^{*3} Sokei Building Service Co., Ltd.(Graduate, Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists)

Abstract

In order to improve in concrete surface durability with retaining its low gloss, two types of silane penetrant (silane 1 and silane 2), one type of silane-siloxane surface coating material and the standard commercial penetrant were examined. The silane penetrants having different reaction speeds were individually coated on the concrete surface. The silane 1 deeply penetrated than the silane 2. However, the silane 2 which reacts faster than the silane 1 showed the excellent properties of preventing water permeability, carbonation and chloride-ion penetration. This is supposed that it generated steadier and thicker siloxane-bond network in the inner side of the pores of the treated concrete than the other. Treatment with both silane and silane-siloxane layers showed much better properties than a single treatment of them. The combination of the silane 2 and silane-siloxane layers gave the best durability to the concrete surface among the surface treatment materials. The gloss measurement showed that the specimens coated with the silanes had low glosses as same as the untreated one. On the other hand, the specimens with the silane-siloxane resulted having high glosses because of its own large gloss.

Key Words : Surface Durability, Silane, Silane-siloxane, Penetrant

1. 研究の背景および目的

表面処理材は、吸水防止材としてコンクリート表層部分に吸水防止層を形成する機能を有している。このような表面処理材は、含浸を主眼とする(以下、含浸材とする)シラン系と表面塗布を主眼とする(以下、表面塗布材とする)シラン・シロキサン系に分けられる¹⁾。これらは、土木構造物を

中心として塗工されることが一般化しつつある。しかしながら、含浸材および表面塗布材には、Table 1 に示すようにそれぞれ一長一短があるため、それぞれを単体で使用した場合には長期に渡る表面保護性能の持続性については不明な点が残される。また、種々の含浸材の併用は検討²⁾されているが、含浸材と表面塗布材の併用についての検討は見当たらない。

そこで、本研究では、両者の欠点を相互に補完

Table 1 Characteristics of typical surface treatment materials

Type	Compound	Characteristic
Penetrant	Silane	Low molecule weight without a catalyst. Good penetrating ability. Possibility to be extracted from the treated concrete by water before its hydrolysis and poly-condensation.
Surface coating material	Siloxane	High molecule weight with a catalyst in order to generate a polymer on the concrete surface. The polymer has an ability to prevent from penetrating of gaseous materials and water. The polymer possibly suffers from its shrinkage and mechanical damage to result generating some cracks.

Table 2 Characteristics of treatment materials.

Material	Compound	Concentration %	Catalyst	Characteristic
Penetrant 1	Silane	100	No	Repellency: strong Reaction speed: not so fast
Penetrant 2	Silane	100	No	Repellency: not so strong Reaction speed: fast
Surface coating material	Silane-Siloxane	18	Yes	Generating a polymer on the surface by a catalyst
Typical commercial Penetrant*	Silane	15	No	—

* Data were presumed from the catalogue and the MSDS sheet.

Table 3 Specimens and combination of treatment materials

Specimen	Penetrant ^a		Surface coating material	
	Compound	Concentration %	Compound	Concentration %
A	Silane 1	15	—	—
B	Silane 1	100	—	—
C	Silane 2	30	—	—
D	Silane 2	100	—	—
E	Silane 1	15	Silane-siloxane	18
F	Silane 1	100	Silane-siloxane	18
G	Silane 2	30	Silane-siloxane	18
H	Silane 2	100	Silane-siloxane	18
I	—	—	Silane-siloxane	18
J	Typical commercial Penetrant	15	—	—
Untreated	—	—	—	—

* Silane 1 and silane 2 mean penetrant 1 and penetrant 2, individually, in Table 2.

する目的で、シラン系含浸材とシラン・シロキサン系表面塗布材の併用によるコンクリート表面特性の改質を行い、その表面保護性能について検討した。

ここでは、JSCE-K571-2004³⁾に基づく表面保護性能の評価に加え、光沢度へ及ぼす影響について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

実験に使用した原料液材の種類と性質を Table 2, 使用した表面処理材および供試体名を Table 3, コンクリートの使用材料を Table 4, コンクリートの調合を Table 5, 試験項目を Table 6 にそれぞれ示す。

供試体は、Table 4 および Table 5 に基づき作成

Table 4 Materials used in concrete

Material	Symbol	Substance	Specification
Cement	C	Ordinary portland cement	Density: 3.16 g/cm ³ Specific surface area : 3.280 cm ² /g
Water	W	City Water	—
Coarse aggregate	G	Crushed stone	Air-dry density: 2.70 g/cm ³ F. M.: 6.64 Water-absorption rate: 0.63%
Fine aggregate	S	Pit sand	Air-dry density: 2.61 g/cm ³ F. M.: 2.75 Water-absorption rate: 2.30%
Chemical admixture	Ad	High-range air-entraining and water-reducing admixture	Polycarbonate
		air-entraining and water-reducing admixture	Lignin sulfonate and oxycarbonate

Table 5 Mix proportion of concrete

W/C %	s/a %	Bulk volume of coarse aggregate per unit volume of concrete m ³ /m ³	Unit content kg/m ³				Ad/C %	Air %	Slump, Slump flow cm
			W	C	S	G			
30	46	0.55	170	567	728	863	1.1	3.6	21.5
50	51			340	914		0.9	3.7	22.0
60	53			283	960		1.4	3.6	55.0

Table 6 Testing items and standards

Testing item	Testing standard
Appearance evaluation	JSCE-K571-2004
Penetrating depth	
Water permeability	
Water absorption	
Carbonation depth	
Chloride-ion penetration	
Gloss	Glossmeter (Type CM-508)

したコンクリートを用いて、JSCE-K571-2004³⁾に従って作成し、それぞれ所定の前養生が終了した後に Table 3 に示す表面処理材を塗工した。含浸材または表面塗布材のみを塗工した場合(供試体 A~D, I, J)は、一度塗りとした。含浸材と表面塗布材を併用した場合(供試体 E~H)には、先行して含浸材を塗布し、表面が乾燥した後に表面塗布材を塗布した。なお、各液材の塗工量は、250g/m²とした。また、コンクリートの水セメント比は、W/C=30%、50%および60%の3水準とした。

3. 結果および考察

表面処理材ごとの光沢度を Fig. 1, 含浸深さを Fig. 2, 吸水率を Fig. 3, 吸水比を Fig. 4, 透水量を Fig. 5, 透水比を Fig. 6, 中性化深さを Fig. 7, 中性化深さ比を Fig. 8, 塩化物イオン浸透深さを Fig. 9, 塩化物イオンの浸透深さ比を Fig. 10 にそれぞれ示す。

3.1 光沢度

光沢度は、含浸材のみ（供試体 A～D）では無塗布とほぼ同等であった（Fig. 1）。一方、表面塗布材のみ（供試体 I）では光沢度が高くなり、それを反映して、含浸材と表面塗布材を併用した場合（供試体 E～H）でも同様に高くなった。すなわち、表面塗布材は表面に塗膜を作るため、光沢度が高くなることが分かった。

3.2 含浸深さ

含浸深さは、シラン1の方がシラン2より大きくなった（Fig. 2）。これは、シラン1の方がシラン2よりもやや反応性が低いため、細孔内部のセメント水和物との反応性が低く、その分大きく含浸したと思われる。シラン1は濃度差により浸透深さに差が出たが、シラン2は濃度差による浸透深さの差はほとんどなかった。これは、シラン自身の反応性の差によるものと思われる。すなわち、反応性の低いシラン1は長時間に渡り少しずつ内部に浸透するため、濃度差が影響したのに対し、反応性の高いシラン2は早い段階でセメント水和物と反応したため、濃度差による違いが少なかったものと思われる。

コンクリート細孔内部表面は、多量の水（反応水）が存在し強いアルカリ状態であるため、内部に含浸したシランはただちに加水分解し、内部表面に固定化される。更にその上にシランが積層し、シロキサン結合（ $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ ）の網目構造を生成・成長させる。その際、内部表面より遠ざかるにつれ、反応水とアルカリ触媒の影響が小さくなる。したがって、そのような状態でシランが加水分解及び縮・重合反応を行い、しっかりした網目構造を生成・成長させるには、シラン自身の反応速度が大きく影響する。

反応速度の速いシラン2の場合、無希釈（供試体 D）とそれの30%液含浸供試体（供試体 C）を比較すると、3倍以上の濃度差があるにも関わらず、含浸深さはどの水セメント比においてもほぼ同じとなった。これは、反応速度の速いシラン2どうしが、細孔内部表面より比較的遠い場所でも、十分に加水分解及び縮・重合反応を行い網目構造が積み重ねられたため、3倍以上の濃度差にも関わらず、含浸深さがほぼ同じになったものと思わ

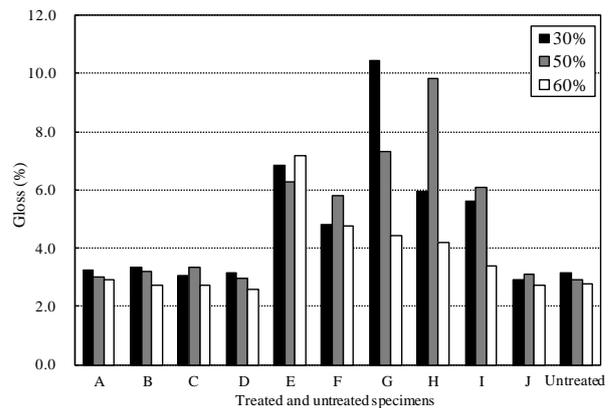


Fig. 1 Gloss measurement of each specimen

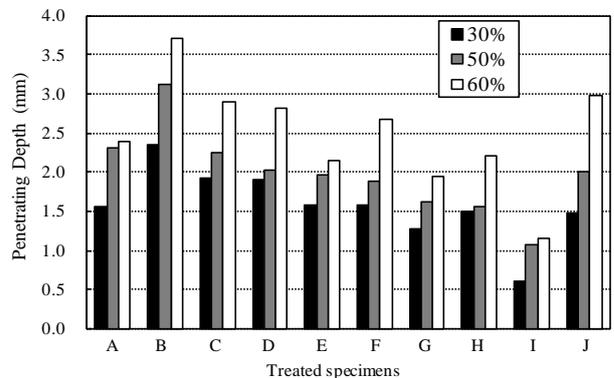


Fig. 2 Penetrating depth of each specimen

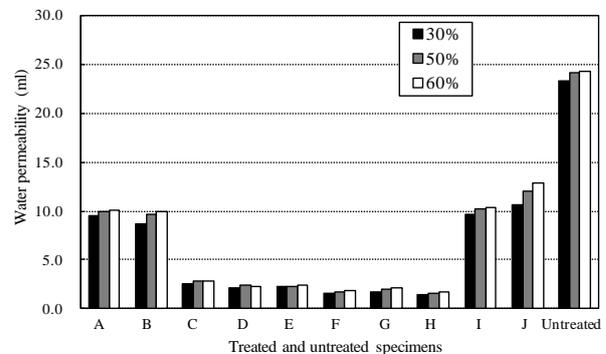


Fig. 3 Water permeability of each specimen

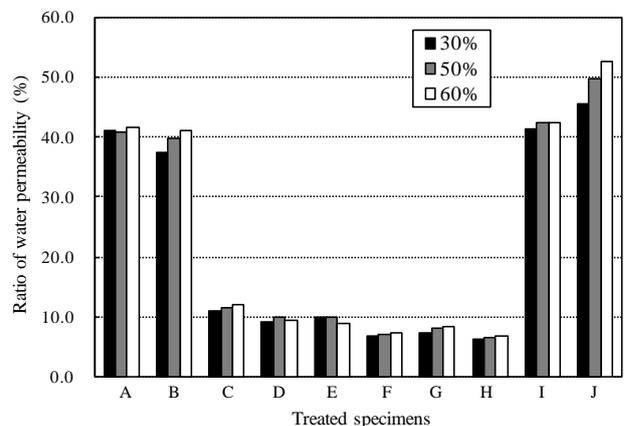


Fig. 4 Ratio of water permeability of treated specimens to untreated one

れる。

一方、無希釈どうしで比較すると、反応速度の遅いシラン 1 (供試体 B)の方が反応速度の速いシラン 2 (供試体 D)よりも含浸深さが大きくなっている。これは、反応速度の遅いシラン 1の方が網目構造の積層する速度が遅いため、十分に積層されないまま更に先へと含浸したものと思われる。

このように、網目構造の積層速度の違いが、以降の各種測定に大きな影響を与えることになる。

シラン系含浸材と表面塗布材を併用処理した場合 (供試体 E~H)，含浸深さは処理前の含浸材のみの場合と比較して、全体的に小さかった。これは、使用した表面塗布材に含まれている触媒の影響と思われる。すなわち、後で塗布された触媒が、先に塗布された含浸材層へ浸透し、含浸材の硬化を早めたものと推測できる。

また、水セメント比での比較では、その比が高い方が大きく含浸している。これは、その比が高い方がコンクリートの空隙がより大きいため、より大きく含浸したと思われる。

3.3 透水量および透水比

透水量および透水比は、含浸材のみの場合、シラン 1 (供試体 A~B)とシラン 2 (供試体 C~D)では大きな差が確認された (Fig. 3, 4)。なお、透水比とは、無塗布の供試体に対する比を表す。これは、コンクリートの細孔内部において反応し難い、すなわち十分にシロキサン結合の網目構造が発達していないシラン 1が、水圧による影響で変形・移動しやすくなるため透水量が大きくなったものと思われる。一方、シラン 2では細孔表面と反応している部分が多く、かつ、十分に網目構造が発達しているため、水圧による変形・移動が阻害され、その結果、透水量が小さくなったものと思われる。

反応性の低いシラン 1は、供試体 A と供試体 B では約 7 倍の濃度差があるにも関わらず、透水量はほぼ同じになった。すなわち、供試体 B では含浸したシラン 1の内その 6/7 は、透水といういわば動的耐水性に対しては、ほとんど効果が無かったと言える。

併用型供試体 E~H では、透水量が著しく小さ

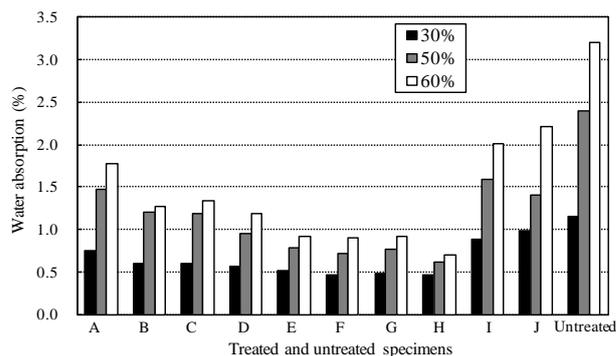


Fig. 5 Water absorption of each specimen

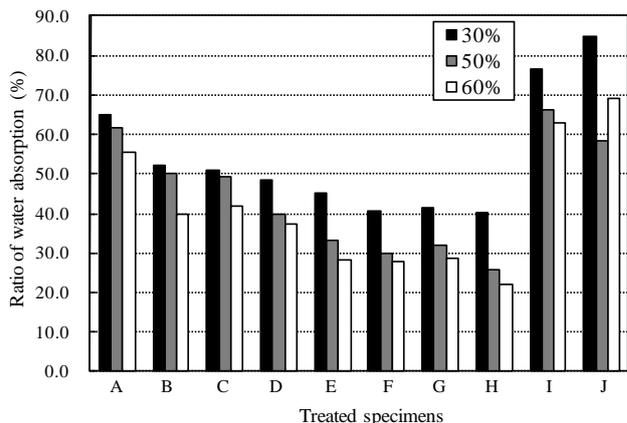


Fig. 6 Ratio of water absorption of treated specimens to untreated one

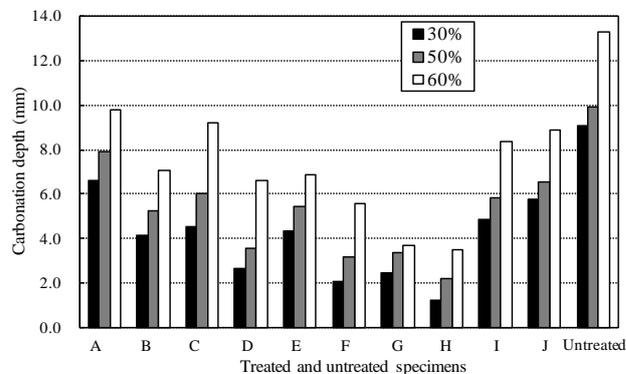


Fig. 7 Carbonation depth of each specimen

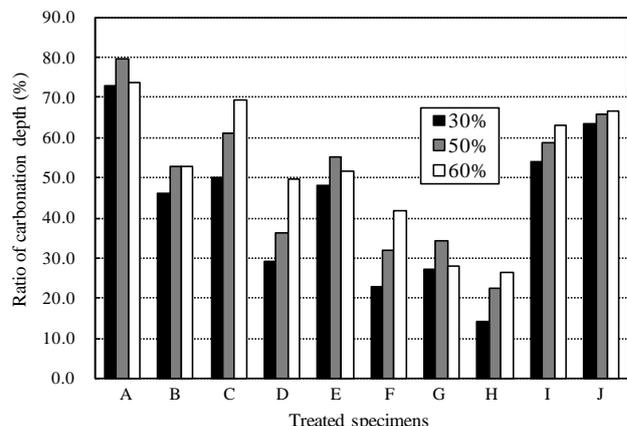


Fig. 8 Ratio of carbonation depth of treated specimens to untreated one

くなった。水圧の影響が表面塗布材の部分で低減されたため、含浸材の種類にかかわらず、透水量が抑制されたものと思われる。また、水セメント比での違いはほとんど無かった。

以上より、含浸材と表面塗布材の併用は、特に透水量の低減に大きな効果があるといえる。

3.4 吸水率および吸水比

シラン1の方が撥水性が高く、かつ含浸深さが大きいのが、吸水率はシラン2の方がやや小さい傾向となった (Fig. 5)。この理由もシランの反応性に基づくものと思われる。吸水率測定は、透水量測定ほど水圧がかからないため、含浸されたシランのセメント水和物との反応性及び、網目構造の影響は少ないためと考えられる。そのため、透水量測定ほど大きな差が現れなかったものと思われる。

含浸材と表面塗布材を併用した場合には (供試体 E~H) 吸水率が著しく小さくなった。これは、含浸材と表面塗布材という異質の性質のものを積層しているため、その界面での水の浸透に対する抵抗性が生じたものと思われる。

水セメント比が大きい程、供試体の吸水率は大きくなるが、一方、吸水比は小さくなる (Fig. 6)。なお、吸水比とは、無塗布の供試体に対する比を表す。このことより、水セメント比の大きいコンクリート程、その使用効果が高いことが分かった。

3.5 中性化深さおよび中性化深さ比

中性化試験は、吸水量や透水量と異なり、ガス状の炭酸ガスの浸透に関するため、含浸材のコンクリート細孔内部での反応性の影響は受けないものと推測していた。しかし、含浸材のみの比較 (供試体 A~D) でも、シラン2の方がシラン1よりも中性化深さが小さかった (Fig. 7, 8)。なお、中性化深さ比とは、無塗布の供試体に対する比を表す。

この理由に関しても、シラン2の反応性を挙げることができる。すなわち、シラン2は細孔内部での反応性が高く、そのため十分な網目構造が生成・成長し、炭酸ガスの透過を阻害したものと思われる。一方、シラン1はそのような十分な網目構造を作り難いため、不完全な網目構造の隙間を通り、より多くの炭酸ガスが透過したものと思わ

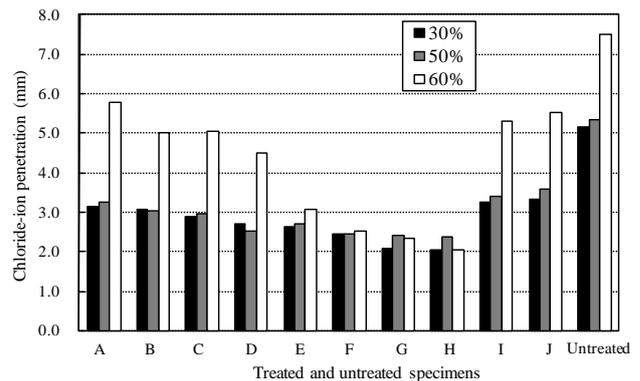


Fig. 9 Chloride-ion penetration of each specimen

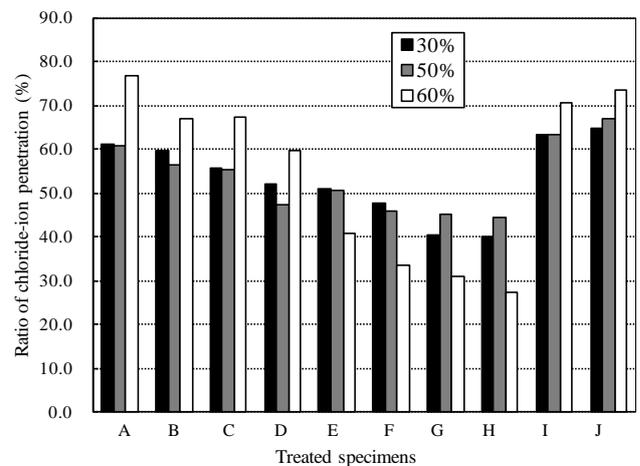


Fig. 10 Ratio of chloride-ion penetration of treated specimens to untreated one

れる。

一方、含浸材と表面塗布材を併用すると (供試体 E~H)、吸水率と同様に、中性化深さが大幅に小さくなった。これは、含浸材と表面塗布材という異質の性質のものを積層しているため、界面での炭酸ガスの浸透に対する抵抗性が生じたものと思われる。

以上より、含浸材と表面塗布材の併用により、コンクリート表面の耐水性および中性化抵抗性を大幅に改善させることができ、コンクリート表面特性の改善に有効であることが確認できた。

3.6 塩化物イオン浸透深さおよび塩化物イオン浸透深さ比

含浸材のみの比較 (供試体 A~D) では、シラン2の方がシラン1よりも塩化物イオン浸透深さが小さかった (Fig. 9, 10)。なお、塩化物イオン浸透深さ比とは、無塗布の供試体に対する比を表す。

この理由に関しても、シラン2の反応性を挙げ

ることができる。すなわち、シラン2は細孔内部のセメント水和物とより反応し、かつ、その部分で網目構造が十分に発達しているため、塩化物イオンの透過を阻害したものと思われる。一方、シラン1は網目構造の発達が不十分なため、より多くの塩化物イオンが透過したものと思われる。

含浸材と表面塗布材を併用すると（供試体 E～H）、吸水率と同様に、塩化物イオン浸透深さが大幅に小さくなった。特に水セメント比が60%の場合、大きな低減効果が認められた。これは、含浸材と表面塗布材という異質の性質のものを積層しているため、界面での塩化物イオンの浸透に対する抵抗性が生じたものと思われる。

以上より、含浸材と表面塗布材の併用により、コンクリート表面の耐水性および塩化物イオンの浸透抵抗性を大幅に改善させることができ、コンクリート表面特性の改善に有効であることが確認できた。

4. 結論

本研究では、シラン系含浸材およびシラン・シロキサン系表面塗布材を併用した場合のコンクリート表面特性の改質について検討した。以下に、その表面保護性能についてまとめる。

- (1) 含浸材を使用する場合、単に含浸深さよりも、その反応性の方がより大きく影響する。

- (2) シラン系含浸材とシラン・シロキサン系表面塗布材の併用により、市販されているシラン系製品（供試体 J）と比較しても、コンクリート表面の耐水性、中性化抵抗性および塩化物イオンの浸透抵抗性を著しく改善させることができ、コンクリート表面特性の改善に有効であることが確認できた。

今後、屋外暴露による長期耐久性の確認に加え、シラン系含浸材の溶脱現象や、コンクリート内部での網目構造の積層状態について検討していく所存である。

謝辞

実験に際して、ものづくり大学および日本大学の学生諸君より助力を得た。ここに、謝意を表す。

文献

- 1) 土木学会：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，pp.4-8，2006
- 2) 例えば，小池正俊ほか：種々の発水系材料を含浸したコンクリートの発水性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No1，pp.1615-1620，2005
- 3) 土木学会：表面保護工法設計施工指針(案)，表面含浸材の試験方法(案)，pp.55-67，2005.4