

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 15 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560559

研究課題名(和文) コンクリート構造物の耐久性向上に有効な表面保護材料の開発とその評価

研究課題名(英文) The development and estimation of surface protection materials which are effective for improving of the durability on concrete structures.

研究代表者

鶴田 浩章 (TSURUTA, Hiroaki)

関西大学・環境都市工学部・准教授

研究者番号：90253484

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリート構造物の表面保護工法に着目して、表面含浸材と低温アーク溶射の適用における各々の性質や効果等を明確にすることを目指した。まず、表面含浸材については、単体での施工における塗布量を標準量以上に多く塗布しても、よりよい効果は得られにくいこと、含浸材塗布後から試験開始までの養生期間は標準の2週間で十分であることがわかった。シラン系とけい酸塩系を重ねて施工する併用系では、けい酸塩系：シラン系 = 2：8の割合の場合が最も良い効果を発揮すること、中性化よりも塩害に対して効果が高いことが明らかとなった。シラン系とけい酸塩系の混合系と低温アーク溶射では、併用系より優れた効果を確認することはできなかった。

研究成果の概要(英文)：Paying attention to the surface protection method for a concrete structure, it aimed at clarifying their character and effect in application of surface penetrant material and low-temperature electric arc spraying. As a results, the effect of combination type surface penetrant was better than mixed type surface penetrant and low-temperature electric arc spraying. Main results were as follows. 1) In surface penetrant, the best effect of impregnation depth was in case of coating with standard coating quantity. 2) The curing period from coating to the start of the test was enough in 2 weeks. 3) In combination type surface penetrant, the best ratio of silicate type to silane type was 2:8, and the effect on chloride induced deterioration was better than that of carbonation. 4) Mixed type surface penetrant and low-temperature electric arc spraying were not better than the effect of combination type surface penetrant.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：表面保護材料 コンクリート 耐久性 表面含浸材 低温アーク溶射 シラン系 けい酸塩系 併用

1. 研究開始当初の背景

表面含浸材の評価試験の方法が土木学会規準として2005年に制定され、シラン系とけい酸塩系の表面含浸材に対する統一試験が確立されつつある。しかし、この規準の内容はシラン系とけい酸塩系の両方を公平に評価しているとは言えないとの声が聞こえ、それぞれに合った評価試験法を定める検討が進められつつある。また、コンクリートの表層に撥水層を形成する有機系のシラン系とコンクリート内部を緻密化する無機系のけい酸塩系の両方の良いところを活用しようというシラン+けい酸塩系(ここでは、混合系と称する)の表面含浸材も開発が行われている。そこで、代表者はいち早く混合系の表面含浸材の評価に取り組み、これまで多くの知見が得られているシラン系とけい酸塩系の表面含浸材の場合と比較することにより評価を行った。その結果、検討した混合系の含浸材は、従来の単独使用の含浸材と比較してあまり良い結果が得られなかった。したがって、その原因を検討し、改良を試みる必要があるとの結論に至った。よって、含浸材の構成成分の割合を変更し、シラン系とけい酸塩系の両方の良い性質を兼ね備えた性能を発揮すること、あるいはどちらかよりも優れた効果を発揮する成分構成条件を見出すこととした。また、これに関連してシラン系とけい酸塩系の性質を両方活用する(混合系)方法との比較として、けい酸塩系含浸材の施工後に、シラン系含浸材を施工する(ここでは、併用系と称する)方法も同時に検討することとした。さらに、鋼構造物の腐食防止に効果のある低温アーク溶射がコンクリート構造物に適用できるのか、どの程度の効果を発揮するのかという疑問も生じた。よって、同様の表面保護材料としてこれも溶射材料の成分によっては塩化物イオンや炭酸ガスの浸透を抑制することが期待されるためコンクリート構造物の耐久性向上に効果があるのではないかと考えた。

そこで、コンクリート構造物の表面保護工法に関する検討として、表面含浸材と低温アーク溶射に着目して本研究課題に取り組むこととした。

2. 研究の目的

新設や既設のコンクリート構造物の耐久性向上対策として注目される表面保護工法に着目した課題である。表面含浸材では種類によって特徴や効果の程度も異なり、未だ明確になっていない性質も多い。そこで、従来のシラン系、けい酸塩系含浸材に加えて、新たにシラン+けい酸塩系の表面含浸材を開発し、中性化や塩害、アルカリ骨材反応に対する効果について、含浸材の成分や施工方法を変化させて検討を行う。また、従来、鋼構造物に適用されてきた低温アーク溶射をコンクリート構造物に適用することを目指し、同様の試験結果から、各々の性質や効果と評

価試験法の問題点を明確にすることを目指す。

3. 研究の方法

土木学会規準に定められる表面含浸材の性能評価試験法を用いて、透水量試験、吸水率試験、透湿度試験、中性化抵抗性試験、塩化物イオンの浸透抵抗性試験、含浸深さ試験、外観観察試験を行う。その試験の要因として、塗布量と性能の関係、含浸材の養生期間の影響、混合系含浸材の混合割合の影響、低温アーク溶射の溶射材料の主成分の影響などの明確化を試みる。コンクリートの水分量、透水性・透気性、含浸部分の成分変化についても考察を行う。試験体は100×100×400mmの角柱供試体を試験ごとに定められる厚さに切断し、切断面を試験面として含浸材を塗布し、試験を行う。低温アーク溶射に関しても、比較のために同様の供試体を使用する。含浸材はけい酸塩系2種、シラン系2種、混合系1種を基本として、評価はそれぞれの結果を相対比較して優劣を判断する。

(1) 塗布量と性能の関係の評価

(対象:けい酸塩系、シラン系含浸材)

表面含浸材をコンクリート表面に塗布する場合の塗布量は、通常含浸材によって標準量が定められている。しかし、現実には多めの量を塗布することをメーカーは望んでいる。したがって、コンクリートの状態(水分量)に応じてどの程度の量を塗布すれば十分なのか、塗布量の変化によって、効果がどのように変化するのかを明確にすることとする。

試験項目は土木学会規準JSCE-K 571の試験方法より透水量試験、吸水率試験、透湿度試験、中性化抵抗性試験、塩化物イオンの浸透抵抗性試験、含浸深さ試験、外観観察試験を行う。

(2) 含浸材の養生期間の影響

(対象:けい酸塩系、シラン系含浸材)

両含浸材をコンクリート供試体に塗布した後、試験を開始するまでの養生期間を変化させることで、現在の規準に定められる養生期間14日で十分であるのかを明確にする。特に、けい酸塩系については、塗布後から試験開始までの養生期間にその性能が左右されることが懸念されている。そこで、含浸材を塗布した後から試験開始までの養生期間を3日、14日(標準)、28日として、それぞれの含浸材における効果の違いを明確にする。試験項目は、(1)と同様である。

(3) 新材料の開発;混合系含浸材の混合割合の影響と併用系の性能評価

- シランとけい酸カリウムの混合割合を変化させた混合系含浸材の性能評価
- けい酸塩系の施工後に、シラン系を施工する場合(併用系)の性能評価

併用系で施工した場合の結果も参考に、混合系におけるシランとけい酸カリウムの最適な混合割合と性能、併用系含浸材の場合の

効果と混合系含浸材との効果の違い、等の明確化を行い、前述の(1)~(3)の結果とも総合して新材料として混合系含浸材を開発する。試験項目は、(1)と同様である。

また、けい酸塩系においては含浸剤の含浸深さを定量することができないため、混合系含浸材とともに、これらの含浸深さを定量する技術の開発も行いたい。

(4) 溶射材料の主成分の影響
(対象：低温アーク溶射)

低温アーク溶射では、通常、亜鉛とアルミニウムをある比率で混合して対象物に吹き付けるが、コンクリートの耐久性、特に中性化や塩分浸透性に対して、どの成分を選択すれば高い効果が得られるのか、溶射の膜厚をどの程度にすれば高い効果が得られるかなどは未だ明確になっていない。そこで、どの成分を選択するかについて明確にする。試験項目は、(1)と同様とする。

上記(1)~(4)の検討にあたり、コンクリートの水分量や透水性・透気性との関係、成分による影響等の観点からも考察を行う。

4. 研究成果

(1) 塗布量と性能の関係の評価

(対象：けい酸塩系、シラン系含浸材)

①使用した含浸材及びコンクリートの配合
使用した表面含浸材を表1に示す。今回の試験ではコンクリートを用い、コンクリートの配合はW/C=60%、目標スランプ10±1cm、目標空気量を5.0±0.5%で設定した。

②試験方法

塗布量を+0(標準量)g/m²、標準量+50g/m²、標準量+150g/m²の3条件で設定して、土木学会規準JSCE-K 571の試験方法で透水量試験、吸水率試験、透湿度試験、中性化抵抗性試験、塩化物イオンの浸透抵抗性試験、含浸深さ試験、外観観察試験を行った。

表1 使用した表面含浸材

含浸材の種類	主成分	希釈	有効成分濃度(%)	標準塗布量(g/m ²)	略語
けい酸塩系	けい酸ナトリウム けい酸カリウム	2倍希釈	30%以上	240	KN1
		不要	23%		
	けい酸リチウム	不要	23%	240	KL
シラン系	アルキルアルコキシシラン	不要	98~100%	300	AAS
	シランシロキサン	不要	80%	200	SS

③試験結果

a) シラン系

シラン系に対しては、塗布量を増加させると含浸深さ試験では含浸深さが増加する傾向が図1のように確認できたが、他の試験ではそれに伴う効果の向上は確認できなかった。ここでは、中性化抵抗性試験の結果を図2に示す。

b) けい酸塩系

けい酸塩系の場合には、現時点では含浸深

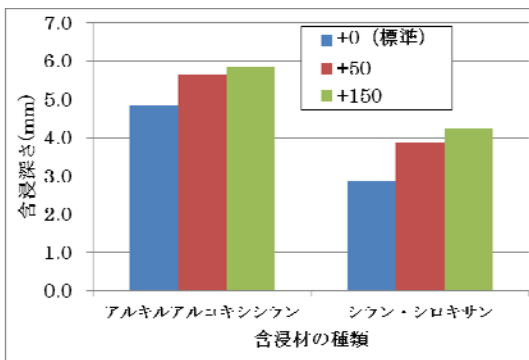


図1 含浸深さ試験の結果(シラン系)

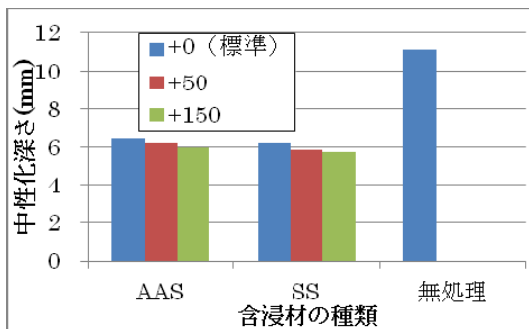


図2 中性化抵抗性試験の結果(シラン系)

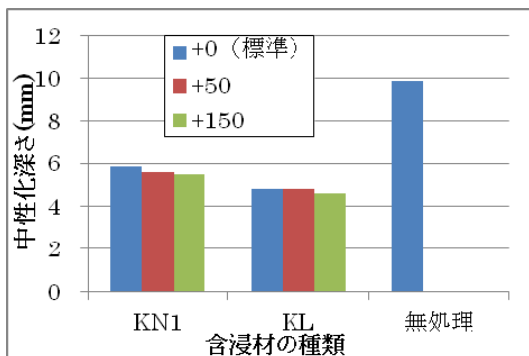


図3 中性化抵抗性試験の結果(けい酸塩系)

さを測定できないので示すことができないが、けい酸ナトリウム・けい酸カリウム系の透湿度試験でわずかに効果の向上が確認された以外は、シラン系と同様に他の試験においても効果の向上は確認できなかった。ここでは、中性化抵抗性試験の結果について図3に示す。

以上のように、いずれの含浸材種類においても標準塗布量以上に多く塗布しても、それに見合った効果の向上は認められず、標準塗布量を基本に塗布することがよいということが確認できた。

(2) 含浸材の養生期間の影響

(対象：けい酸塩系、シラン系含浸材)

①使用した含浸材及びコンクリートの配合
使用した含浸材を表2及び3に示す。今回の試験では、(1)と同様のコンクリートを使用した。

②試験方法

含浸材塗布後から試験開始までの養生期間を3日、14日(標準)、28日と変化させて検討を行った。試験は、土木学会規準JSCE

表2 使用した表面含浸材（シラン系）

含浸材	条件	有効成分濃度 (%)	設定塗布量 (g/m ²)	比重
アルキルアルコキシシラン	3日	98~100%	300	0.88
	14日			
	28日			
シラン・シロキサン	3日	80%	200	0.90
	14日			
	28日			

表3 使用した表面含浸材（けい酸塩系）

含浸材	養生期間	有効成分濃度 (%)	設定塗布量 (g/m ²)	比重
けい酸ナトリウム	3日	23%	240	1.20
	14日			
	28日			
けい酸リチウム	3日	23%	240	1.20
	14日			
	28日			

-K 571 の試験方法で透水量試験、吸水率試験、透湿度試験、中性化抵抗性試験、含浸深さ試験、外観観察試験を行った。

③試験結果

a)シラン系

図4に含浸深さ試験の結果を示し、図5に透湿度試験の結果を示す。図4からわかるように、含浸深さにおいては養生期間を長く確保するほど、含浸深さが大きくなることがわかった。その14日と28日の差は、アルキルアルコキシシランで1.3mm、シラン・シロキサンで0.6mmであった。しかし、図5に見られるように透湿度試験の結果においては、28日の結果が14日より小さくなった。ただし、無処理の結果に対する比として表すと3日、14日、28日がほぼ同じ値となり、他の試験においても、養生期間の変化に対して、大きな差異はない結果であり、含浸深さの違いがそれぞれの試験結果に大きな影響を及ぼさない状況であった。したがって、標準の14日で問題ないと考えられる。

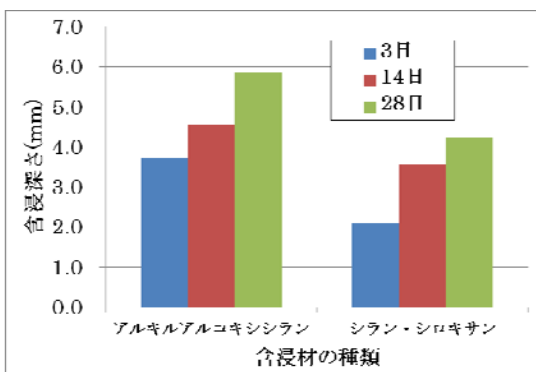


図4 含浸深さ試験の結果（シラン系）

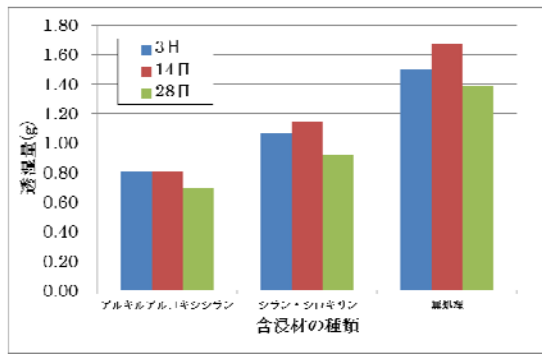


図5 透湿度試験の結果（シラン系）

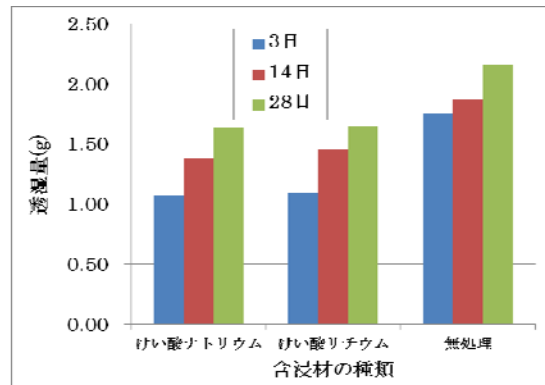


図6 透湿度試験の結果（けい酸塩系）

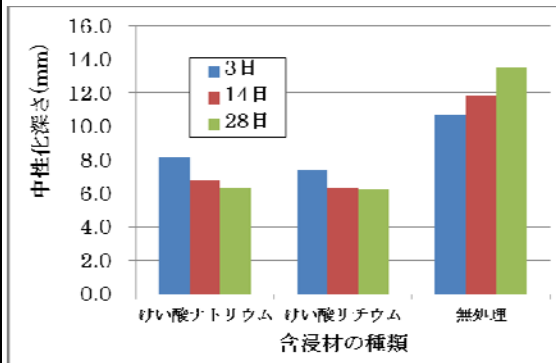


図7 中性化抵抗性試験の結果（けい酸塩系）

b)けい酸塩系

けい酸塩系においては、含浸深さを測定できていないため、含浸状況の議論をすることができないが、図6に透湿度試験の結果を示す。養生期間の増加に伴い、透湿量が増えているが、無処理との比である透湿比に直すと、養生期間3日のみが透湿度が増大していることになる。

また、図7に中性化抵抗性試験の結果を示す。明らかに、養生期間3日の場合の性能低下が生じ、28日では抵抗性が向上していることがわかる。

したがって、けい酸塩系においては、養生期間3日では性能低下が懸念されるため、14日以上養生期間が必要であることがわかった。

(3) 新材料の開発；混合系含浸材の混合割合の影響と併用系の性能評価

①使用した含浸材及びコンクリートの配合含浸材は、表3に示す3種類を使用し、

W/C=60%、目標スランプ 10 ± 1 cm、目標空気量を $5.0 \pm 0.5\%$ のコンクリートを使用した。なお、混合系においては主成分は、けい酸ナトリウムで、シラン系が約 2% 含まれている。また、併用系は、けい酸塩系の標準塗布量の 2 割 ($48\text{g}/\text{m}^2$) とシラン系の標準塗布量の 8 割 ($240\text{g}/\text{m}^2$) を塗布量とした。

表 3 使用した表面含浸材

	主成分	主成分濃度 (%)	標準塗布量 (g/m^2)
けい酸塩系	けい酸ナトリウム・けい酸カリウム	23	240
シラン系	アルキルアルコキシシラン	98~100	300
混合系	けい酸ナトリウム	98*	250

② 試験方法

表面含浸材はハケを用いて塗布し、併用系では、けい酸塩系塗布後のシラン系塗布の間隔を 24 時間とした。含浸材を塗布した後、14 日間恒温恒湿室に静置して試験体とした。試験は、土木学会規準 JSCE-K 571 の試験方法で透水量試験、透湿度試験、中性化抵抗性試験、含浸深さ試験（シラン系のみ）を行った。

③ 試験結果

図 8 に含浸深さ試験の結果を示す。混合系の含浸深さが著しく低下していることが分かる。

図 9 に透水量試験の結果を示す。明らかに混合系の結果がよくなく、シラン系及び併用系がよい結果を示した。

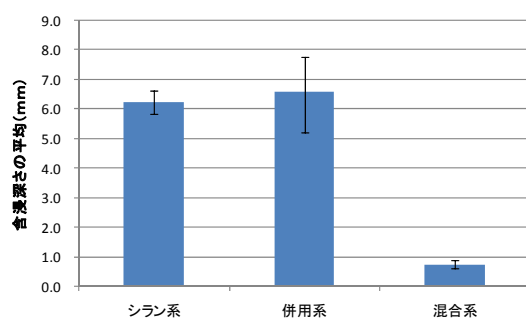


図 8 含浸深さ試験の結果

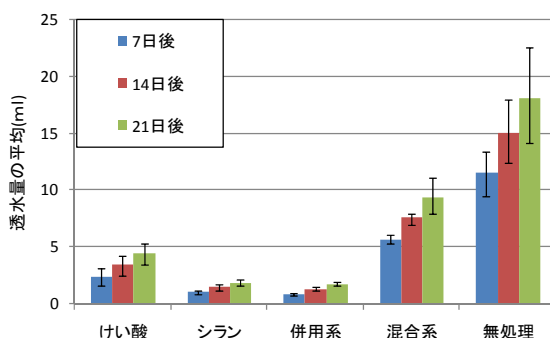


図 9 透水量試験の結果

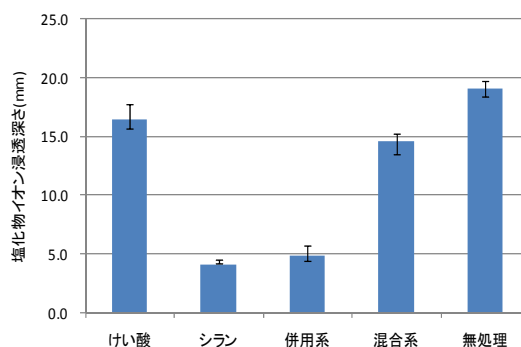


図 10 塩分浸透抵抗性試験の結果

図 10 には、塩分浸透抵抗性試験の結果を示す。ここでも、透水量試験と同様の結果が得られ、併用系の性能の良さが明確となった。

以上の結果をまとめると、混合系はいずれの試験においてもよい性能が確認されなかった。さらに、混合系においては、メーカーの開発もうまくいかず、成分の組合せを変化させたケースの検討を行うに至らなかった。

総合的には、透水量試験では、シラン系及び併用系が最も優れた結果を示し、透湿度試験ではシラン系、中性化抵抗性試験ではけい酸塩系、塩分浸透抵抗性試験ではシラン系及び併用系が優れた結果を示した。ただし、けい酸塩系の含浸深さを測定する方法に関しても、土木学会規準の方法以外の方法を開発するには至らなかった。また、透気性や透水性も加味した評価を検討したが、表面含浸材を塗布した面の透気性や透水性をうまく評価することが難しく、今後の課題となった。さらに、けい酸塩系の含浸深さの測定は土木学会規準 JSCE K-572 の方法で測定することはできたが、含浸部分と未含浸部分の成分の違いとその影響についてはさらに時間をかけて検討することにした。

しかし、併用系の効果に対するコンクリート供試体の含水状態の影響については検討を行った。紙面の制限により詳細な報告はここでは省略するが、その結果について簡単に以下に示す。含浸材塗布時の供試体の表面水分率が上がるにつれて、シラン系表面含浸材の含浸深さは低下すること、併用系の KS28 (けい酸塩系:シラン系=2:8 の割合で塗布) がどの養生方法においても最も良い遮水性を得たこと、中性化に対してはけい酸塩系が最も良い効果を示したが、併用系の KS28 もそれに近い良い中性化抵抗性を示したことがわかった。

(4) 溶射材料の主成分の影響 (対象: 低温アーク溶射)

① 使用材料及びコンクリートの配合

主に金属製品に使用される防錆防食溶射法の低温アーク溶射を使用し、コンクリート用保護材料として適用可能かどうかを検討した。使用材料はアルミニウム、亜鉛、アルミニウムと亜鉛の合金の 3 種類を使用した。供試体は、W/C=60% のコンクリート

トとし、目標スランプ $10 \pm 2\text{cm}$ 、目標空気量 $5.0 \pm 1\%$ とした。

② 施工方法及び試験方法

溶射材料（アルミニウム、亜鉛、アルミニウム-亜鉛の合金の3種類）の施工は、専門業者に依頼し、ブラスト処理（研磨剤を、圧縮空気によって金属表面にたたきつけ、表面の酸化物や異物を取り除く処理）、溶射施工（写真1参照）、封孔処理（溶射部の皮膜の開孔部をふさぐために、封孔剤を用いて浸透、含浸充填させる処理）を行ってもらった。

その後、土木学会規準 JSCE-K 571 の試験方法で概観観察試験、透水量試験、透湿度試験、中性化抵抗性試験、塩分浸透抵抗性試験を行った。

③ 試験結果

図11に透水量試験の結果を示す。無処理と比較して、最も改善傾向を示しているのが AlZn⁺封孔であり、無処理との比である透水比は65%であった。中性化抵抗性試験の結果では、金属溶射を行わず封孔のみの場合が最も良い結果であり、気体の通過に対しては、溶射の効果は大きくないことがわかった。

以上の結果より、Alを使用した溶射が一部の試験で比較的良好な結果を得たが、表面含浸材と比較すると、その効果は表面含浸材には及ばないものと言える。

以上のことから、表面保護材料に関する評価に対して、表面含浸材の性質の明確化と併用系の有効性を示すことができた。



写真1 溶射の施工状況

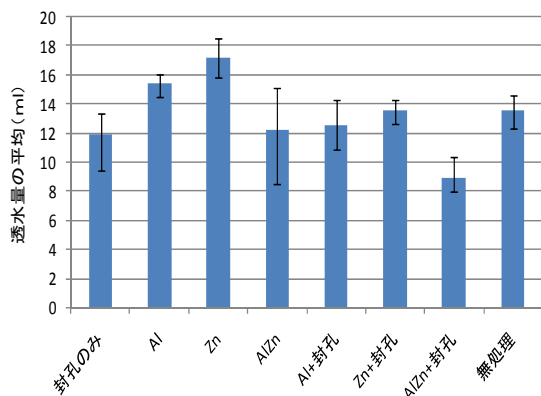


図11 透水量試験の結果

5. 主な発表論文等（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

- ① 鶴田浩章、島川和之、中嶋亮介、表面含浸材の併用における含浸材の組合せによる劣化抑制効果への影響、日本材料学会・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、査読有、第13巻、2013、113-118
- ② 中嶋亮介、鶴田浩章、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、日本コンクリート工学会・コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol.35、No.1、2013、1681-1686

〔学会発表〕（計 4 件）

- ① 中嶋亮介、鶴田浩章、島川和之、表面含浸材の併用における塗布間隔の変化が及ぼす中性化・塩害抑制効果、土木学会第68回年次学術講演会、2013、日本大学
- ② Hiroaki TSURUTA and Ryosuke NAKAJIMA, Study on the Effects of Combining Silicate and Silane Type Surface Penetrants on Concrete under Different Water Content Conditions, 8th International Symposium in Science and Technology at Kansai University, 2013
- ③ 中嶋亮介、鶴田浩章、島川和之、表面含浸材の併用における塗布割合の変化が及ぼす塩害抑制効果への影響、平成25年度土木学会関西支部年次学術講演会、2013、大阪市立大学
- ④ 島川和之、鶴田浩章、中嶋亮介、表面含浸材の併用における塗布割合の変化が及ぼす遮水性と中性化抑制効果への影響、平成25年度土木学会関西支部年次学術講演会、2013、大阪市立大学

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

Kan-Dai Everyday vol.53 研究最前線—研究概要紹介・教員紹介・学生インタビュー
http://www.nyusi.kansai-u.ac.jp/everyday/laborepo/vol_53/index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鶴田 浩章 (TSURUTA, Hiroaki)
 関西大学・環境都市工学部・准教授
 研究者番号：90253484