

論文 塗布量が異なる各種シラン系表面含浸材の初期性能とコンクリート表面の性状に関する研究

渡邊 晋也^{*1}・佐川 洋亮^{*2}・谷倉 泉^{*3}・野島 昭二^{*4}

要旨: 本研究は、コンクリート構造物にシラン系の表面含浸材を塗布する場合、塗りむらが生じると想定できることから、塗布量が異なる場合の初期性能への影響について検証を行うとともに、含浸材の塗りむらを非破壊試験により検出する検討を実施したものである。その結果、含浸深さおよび透水量の性能は、塗布量の違いにより所定の性能を満足しない材料も存在することが判った。また、接触角試験および透気試験による非破壊試験方法では、塗布した箇所の検出は可能であるが、塗布量の違いを区別するまでは至らなかった。
キーワード: シラン系表面含浸材, 初期性能, 含浸深さ, 透水量, 接触角, 透気係数

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化は、表面から浸透する『水』により促進される。現在、浸透する『水』を抑制するために、被覆材や含浸材などによりコンクリート表面を保護する工法がある。その中でもシラン系表面含浸材による保護工法は、2005年に制定された表面保護工法の設計施工指針(案)^{1,2)}により明確にされたこと、また、無色透明な材料のためコンクリート構造物の外観を損ねず、施工後もコンクリート表面の変状を目視で確認が出来ること、既往の研究³⁾でシラン系含浸材の性能評価試験などの多くの知見があり、性能評価試験方法が確立されていることなどから、『水』の浸透抑制対策としてシラン系の表面含浸材は注目を浴びている。

シラン系の表面含浸材による『水』の浸透抑制は、シラン系の撥水作用により効果が得られる。この撥水作用は、含浸材に含有されている撥水機能を有する疎水基により効果が発揮される。この疎水基の含有量は各製品により異なることから、各製品には所定の性能を発揮するための塗布量が決められている。

しかしながら、シラン系表面含浸材は、上記したように無色透明であることから、含浸材の塗布が規定の量を塗布したのか目視で確認することは困難である。したがって、施工管理では施工面積に対して使用した含浸材の数量で確認する数量管理に留まっている。数量管理では、塗りむらまでは確認できないことが問題である。その結果、過度に塗布している箇所もあれば塗布量が足りない箇所も存在する可能性が生じる。この塗りむらがコンクリート構造物に与える影響は大きく、表面含浸材の効果が場所によって異なる可能性がある。その結果、コンクリート構造物の劣化抵抗性に差が生じることとなり、表

面含浸材の施工後におけるコンクリート構造物の点検・管理を困難にさせることが考えられる。

そこで、筆者らはこれらの事を踏まえてシラン系の表面含浸材における施工管理手法について研究を実施している。本論文では、塗布量が異なる場合のシラン系の表面含浸材の初期性能、および性能の違いを非破壊検査手法により検出できるかについて検討を行った。

2. 試験概要

本研究では、各種シラン系表面含浸材の塗布量を標準塗布量(以下100%と称す)の25, 50, 75および100%の4条件で塗布した時のシラン系表面含浸材の初期性能およびコンクリート表面におけるコンクリート性状について検討を行った。試験項目を表-1に示す。塗布量の異なるシラン系表面含浸材の性能評価については、JSCE-K-571に準拠し透水量および含浸深さにより行った。また、コンクリート表面の性状評価については、撥水性能を評価する接触角⁴⁾およびコンクリートの透気係数により行った。試験方法の詳細は各試験項目の結果に記載する。

3. 試験体概要

3.1 使用したコンクリート

既往の研究^{5,6)}では含浸材の効果を明確にするため、水セメント比の大きな試験体を用いて検討を行っているが、本研究では、新設のコンクリート構造物に対して

表-1 試験項目

初期性能の確認試験		表面性状の確認試験	
試験項目	試験法	試験項目	試験法
含浸深さ試験	JSCE-K-571	接触角試験	静滴法($\theta/2$ 法) ⁴⁾
透水量試験	JSCE-K-571	透気試験	トレント法

*1 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 研究第二部 研究員 博士(工学) (正会員)

*2 国立大学法人 長岡技術科学大学 大学院工学研究科 建設工学専攻 大学院生

*3 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 研究第二部 部長 修士(工学) (正会員)

*4 (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 主任研究員 (正会員)

表-2 コンクリートの配合

スランブ	空気量	W/C	単位量(kg/m ³)					
			W	C	S		G	Ad
					川砂	山砂		
cm	%	%						
8.0	4.6	38.5	167	434	595	105	1024	4.34

Ad: AE減水剤(変性リグニンスルホン酸系)

予防保全の目的で表面含浸材を塗布することを想定していることから、水セメント比の小さなコンクリートを試験体として用いた。使用したセメントは普通ポルトランドセメントであり、使用したコンクリートの配合を表-2に示す。使用したコンクリートの呼び強度は40Nとした標準養生における圧縮強度は、7日強度で38.7MPa、28日強度は46.7MPaであった。

3.2 シラン系表面含浸材

本研究で用いたシラン系表面含浸材は、一般に市販されている6種類の製品を使用した。本論文では含浸材の塗布前の状態をクリーム・ジェル状の製品と液体状の製品の2種類に区別し、試験結果をまとめた。表-3に実験に用いたシラン系表面含浸材の主成分と標準塗布量および製品を区別するための記号を示す。

3.3 試験体寸法

試験体は150×150×530mmの直方形を用いた。この試験体に無塗布(以下ブランクと称す)の箇所と塗布量が異なる箇所を上面に2箇所設けた。試験体の概要を図-1に示す。

3.4 試験体作製

試験体の作製方法は、次のとおりとした。

コンクリートを打設した後、24時間後に脱型し、屋外にて湿潤養生を2週間行った。その後、室内で自然乾燥を1週間行った後、シラン系表面含浸材塗布面を#150のサンドペーパーを用いて研磨した。なお、塗布前には簡易水分計を用いて、水分量が8%以下になっていることを確認している。

シラン系表面含浸材の塗布は、刷毛を用いて試験体上面に塗布した。塗布量および塗布回数は表-4に示すとおりである。その後、室内で2週間養生した後、各種試験を実施した。

4. 各種シラン系表面含浸材の初期性能の結果

4.1 含浸深さ試験

試験方法は、JSCE-K-571の表面含浸材の試験方法(案)6.2に準拠して試験を行った。ただし、測定間隔は10mmピッチで測定を行い、試験結果は平均値で示した。

試験の結果を図-2および図-3に示す。その結果、クリーム・ジェル状のB製品と液体状のD製品について

表-3 使用したシラン系含浸材の概要

記号	含浸材の状態	主成分	標準塗布量(g/m ²)
A	クリーム・ジェル	アルキルアルコキシシラン	350
B		シラン・シロキサン系	200
C		シラン	300
D	液体	アルキルトリアルコキシシラン	264
E		シランオリゴマー系	300
F		シラン系(溶剤系)	250

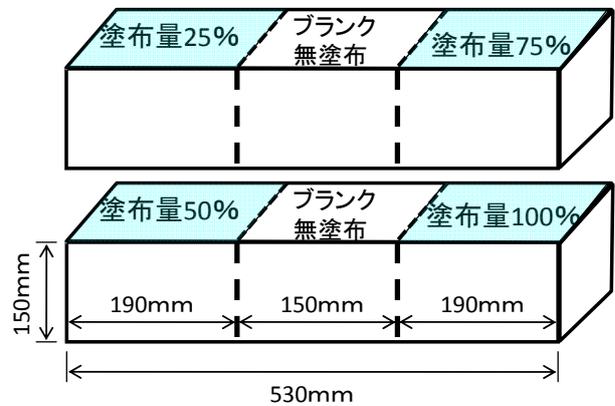


図-1 試験体の概要

表-4 塗布量および塗布回数

記号	塗布量(%)	1本あたりの塗布量(g)	塗布回数
A	25	7.5	1回塗り
	50	15.0	
	75	22.4	
	100	29.9	
B	25	4.3	1回塗り
	50	8.6	
	75	12.8	
	100	17.1	
C	25	6.4	1回塗り
	50	12.8	
	75	19.2	
	100	25.7	
D	25	5.6	2回塗り
	50	11.3	
	75	16.9	
	100	22.6	
E	25	6.4	3回塗り
	50	12.8	
	75	19.2	
	100	25.7	
F	25	5.3	1回塗り
	50	10.7	
	75	16.0	
	100	21.4	

は、塗布量別の含浸深さには明確な差が認められなかった。また、E 製品については、コンクリート中にはシラン系表面含浸材が浸透していない結果が得られた。その他の製品については、塗布量が多くなることで、含浸深さが大きくなる傾向となった。また、製品 F は標準含浸量（100%）にならないと含浸性能が発揮されないことが明らかになった。クリーム・ジェル状の製品と液体状の製品を比較すると、クリーム・ジェル状の製品のほうが含浸性能は高いことが判明した。

4.2 透水量試験

試験方法は、JSCE-K-571 の表面含浸材の試験方法(案) 6.3 に準拠して試験を行った。測定間隔を 1 日とし 7 日間試験を実施している。また、7 日目の試験結果を用いて透水抑性率を算出した。

各シラン系表面含浸材の試験結果を図-4 および図-5 に示す。クリーム・ジェル状の製品は、塗布量別の明確な差は見受けられなかった。一方で、液状の製品は D 製品を除いて塗布量が多くなるにつれ透水量が少なくなる傾向が確認できた。

透水試験の結果から透水抑性率を算出した結果を図-6 および図-7 に示す。透水抑性率は以下の式(1)を用いて算出した。

$$\text{透水抑性率 (\%)} = 100 - \frac{\text{7日目の透水量 (ml)}}{\text{ブランク試験体における 7日目の透水量 (ml)}} \times 100 \quad (1)$$

その結果、クリーム・ジェル状の製品は、塗布量別に明確な差は無く、透水抑性率も 95% 以上を有していた。

一方で、液体状では製品 E の塗布量 25% は 90% を大きく下回ったが、塗布量 50% 以上になると塗布量の違いによる明確な差は無くなることが判明した。

含浸深さおよび透水量の結果より、塗布量が異なると各種シラン系表面含浸材の初期性能が変わる材料と変わらない材料があることが判明した。このことから、塗布量の影響を受けるシラン系表面含浸材を用いて塗りむらが生じるとコンクリート構造物の劣化抵抗性に差が生じると考えられる。

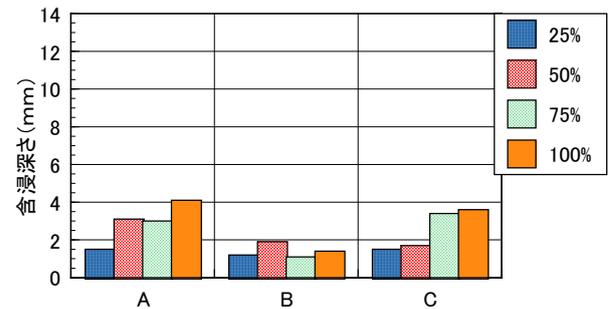


図-2 クリーム・ジェル状製品の含浸深さ

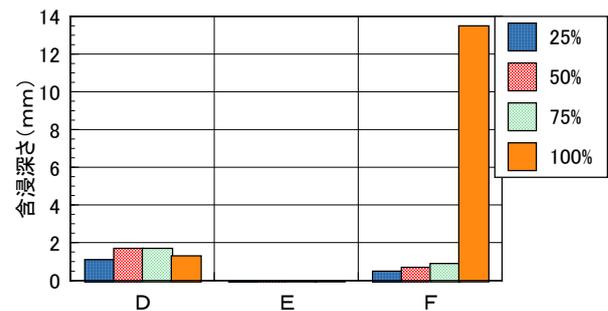


図-3 液体状製品の含浸深さ

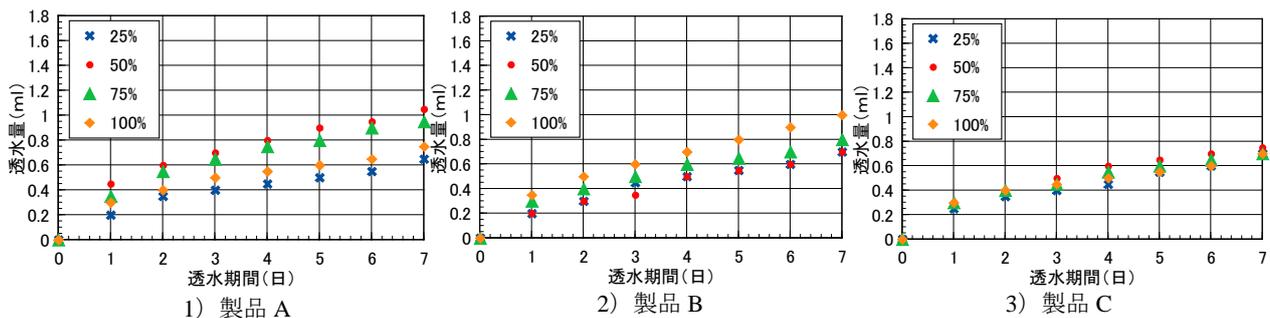


図-4 クリーム・ジェル状製品の透水量の結果

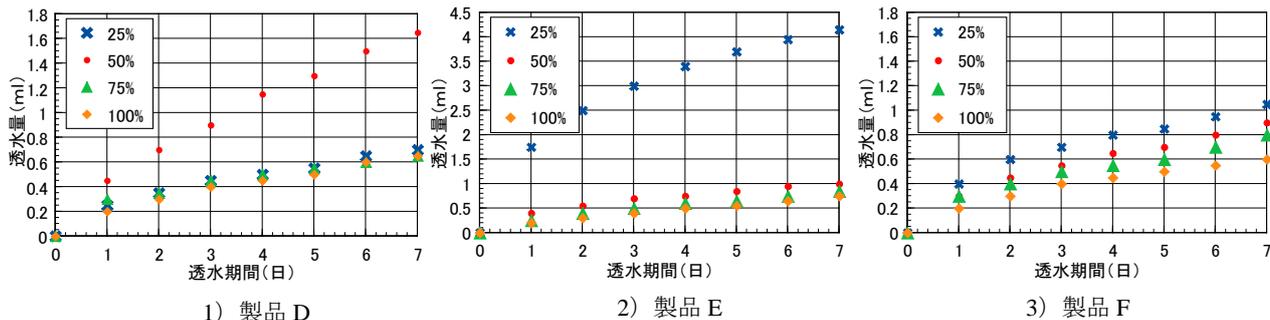


図-5 液体状製品の透水量の結果

5. コンクリート表面の性状の調査結果

各種シラン系表面含浸材を用い、異なる塗布量を施工した時のコンクリート表面の性状を把握するため、非破壊試験を実施した。試験の目的は、塗布後の施工管理を客観的に評価することである。

5.1 接触角試験

シラン系表面含浸材の撥水性の確認方法は、水掛試験が一般的である。この試験は、含浸材塗布面に噴霧器を用いて、霧状の水によるコンクリート面の濡れ具合を評価している。しかしながら、この方法では客観的な評価は難しく、測定者による誤差が生じると考えられる。そこで、本研究では測定者の誤差が無い接触角による撥水性能を用いて評価を試みた。

接触角の定義は次のとおりである。液体を固体表面に滴下すると、液体は自らの持つ表面張力で図-8 のように丸くなり、以下のような式 (2) が成り立つ。

$$\gamma_s = \gamma_L \times \cos \theta + \gamma_{sL} \quad (2)$$

この式 (2) を Young の式と言い、この液滴の接線と固体表面とのなす角度 θ を『接触角』としている。接触角は、濡れを表す指標としてあらゆる分野において、表面評価手法として用いられている。接触角での固体表面の濡れ性の評価は次のとおりである。濡れやすい固体表面の場合は、接触角は小さくなり、濡れにくい（撥水性を有する）固体表面の場合は、接触角は大きくなる（図-9）。

本研究では、ポータブル接触角計を用いて測定を行った。測定状況を写真-1 に示す。また、シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートと塗布していないコンクリートに対して測定した状況を写真-2 に示す。この写真を用いて接触角を測定している。

接触角の結果を図-10 および図-11 に示す。ブランク（無塗布）の接触角は、 $56^\circ \sim 107.5^\circ$ （平均 79° ）であった。ここで、撥水性の材料の基準値としては、接触角が $90^\circ \sim 150^\circ$ 程度⁷⁾と考えられている。シラン系表面含浸材を塗布した場合、ブランクよりも全ての製品で接触角が大きくなった。したがって、シラン系表面含浸材により、コンクリート表面に撥水機能が付加されたと言える。しかしながら、塗布量の違いによる接触角の有意な差は見られなかった。製品 E が測定不可能であった理由は、液滴がコンクリート表面に着床しなかったことにより正確な接触角が測れなかったからである。このことから、製品 E は少なくとも接触角が 130° 以上を有していると考えられる。製品 A と製品 D は接触角が 100.5° と 101.5° となり他の製品と比べて約 $20^\circ \sim 30^\circ$ 程度小さな結果が得られた。したがって、シラン系含浸材によるコンクリート表面での疎水性は小さいと考え

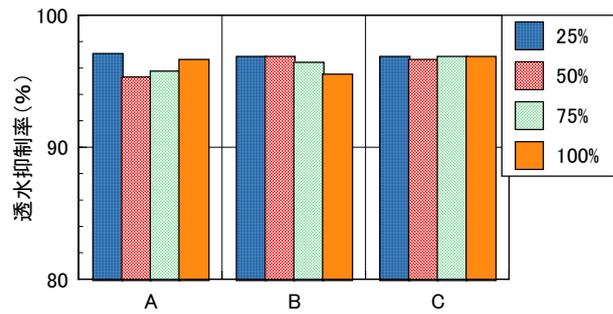


図-6 クリーム・ジェル状製品の透水抑制率

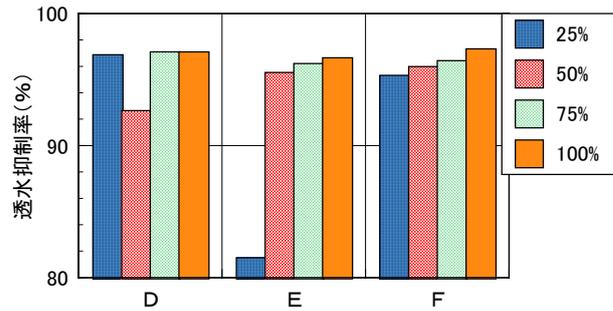


図-7 液体状製品の透水抑制率

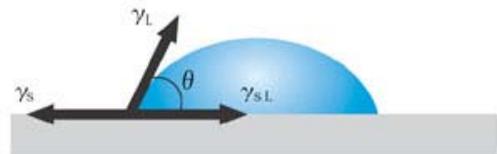


図-8 固体表面にある液体の状況

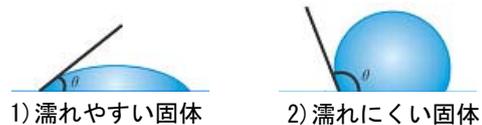
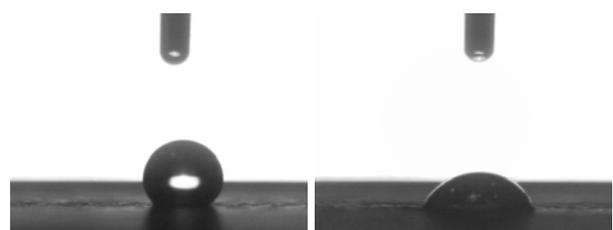


図-9 接触角の評価



写真-1 接触角の測定状況



1) シラン系表面含浸材塗布 2) コンクリート（無塗布）

写真-2 測定した液体の状況

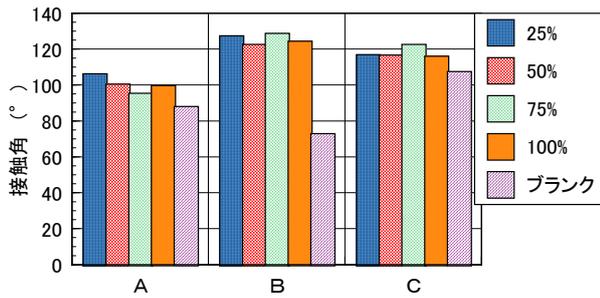


図-10 クリーム・ジェル状製品の接触角

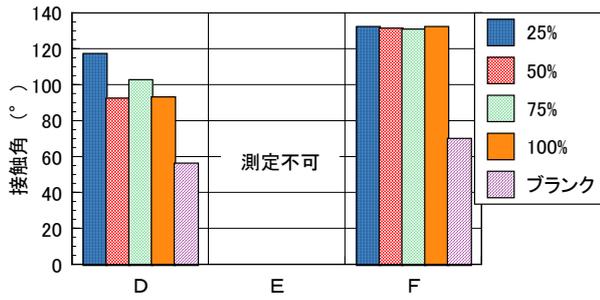


図-11 液体状製品の接触角

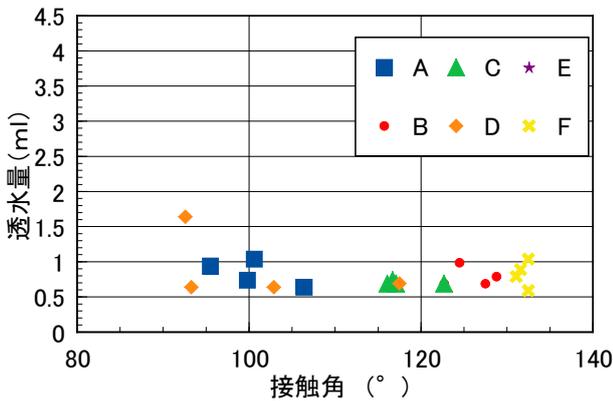


図-12 接触角と透水量の関係

られる。

図-12に、接触角と透水量の関係を示す。接触角が小さい製品Aと製品Dについては、若干ではあるが透水量が多くなる傾向が確認された。この理由として、表面での疎水性が小さいことが原因として考えられる。

接触角による施工管理手法を検討した結果、塗布量が異なっても、接触角は変化しないことから、接触角による評価は困難であると考えられる。

5.2 透気試験

透気試験では、トレント法を用いてコンクリート表面の透気係数を求めた。試験実施状況を写真-3に示す。本研究では、ダブルチャンバー方式のAir-Permeaを用いて測定を実施している。測定の結果を図-13および図-14に示す。製品F以外のシラン系表面含浸材では、ブランクの透気係数に比べて係数が小さくなった。したがって、シラン系表面含浸材を塗布することで、コンクリート表面の品質が向上したと推定される。製品Fの場合



写真-3 透気試験の実施状況

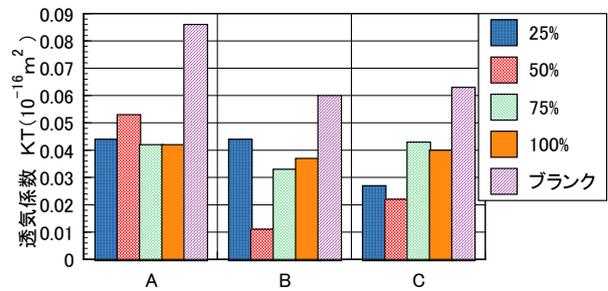


図-13 クリーム・ジェル状製品の透気係数

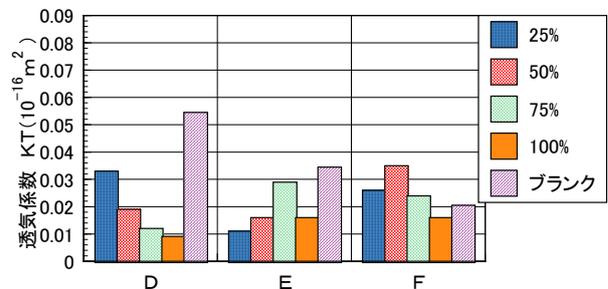


図-14 液体状製品の透気係数

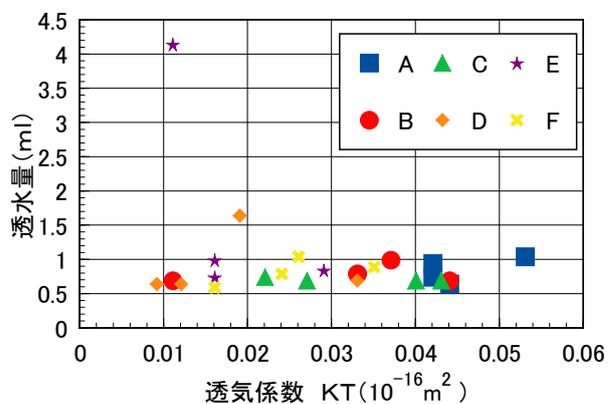


図-15 透気係数と透水量の関係

は、ブランクの値が小さいことからシラン系表面含浸材の効果が確認できなかったと考えられる、これは製品により表面の品質を低下させたことを示すものではない。クリーム・ジェル状の製品では、各製品とも塗布量の違いによる透気係数に差が見受けられなかった。また、液状の製品についても同様に、塗布量の違いによる透気係数に差が見られなかった。

図-15に透気係数と透水量の関係を示す。透気係数と透水量には相関関係は無いという結果が得られた。この理由として、シラン系表面含浸材は、外部からの『水』の浸入を阻止する一方で、内部の水蒸気を透過する性質を有しているため、空気の透過率を測定している透気試験では、シラン系含浸材の評価は困難であることを示していると考えられる。

以上の結果、透気試験を用いてシラン系表面含浸材の塗りむらを測定することは困難であった。しかしながら、透気試験ではシラン系表面含浸材の塗布後の透気係数と無塗布の透気係数を比較した結果、透気係数に違いがあることからシラン系表面含浸材を施工した後のシラン系表面含浸材の塗布効果を確認することは可能と考えられる。

6. まとめ

塗布量が異なる各種シラン系表面含浸材の初期性能と、含浸材塗布後のコンクリート表面の性状について検討した結果、以下のことがわかった。

- 1) 含浸深さは、液体状に比べてクリーム・ジェル状の製品の方が含浸深さは大きくなる。
- 2) 塗布量が少ない場合、含浸深さも小さくなる傾向が見られた。
- 3) 製品によっては、標準塗布量を塗布しないと含浸効果が発揮されないものもある。
- 4) 透水量は、クリーム・ジェル状の製品では塗布量の違いによる有意な差は見受けられない。液体状の製品は、塗布量が多くなることで透水量が少なくなる結果が得られた。
- 5) 接触角を測定した結果、接触角が100°以上と、撥水性材料が有す角度に近い数値を示した。このことから、シラン系表面含浸材により撥水層が形成されたことが確認できた。
- 6) 接触角による塗布量の違いを評価することは出来なかった。
- 7) 接触角と透水量の関係を検討した結果、両者間には相関性が見られなかった。
- 8) 透気試験の結果、無塗布に比べて透気係数が小さくなったことから、シラン系表面含浸材の塗布した後の評価はできると考えられる。

9) 透気係数では、塗布量の違いを評価することは出来なかった。

10) 透気係数と透水量の関係を検討した結果、両者の間には相関関係は見られなかった。

以上の結果を総括すると、シラン系表面含浸材は塗布量が標準塗布量より少ない場合、所定性能を発揮できない材料があることが判明した。このことから、標準塗布量以外では性能を発揮しないシラン系表面含浸材を用いてコンクリート構造物に塗布むらが存在した場合、コンクリート構造物の劣化進行が異なることが考えられ、コンクリート構造物の点検・管理にも支障を生じることが懸念される。

この対応策として、シラン系表面含浸材の標準塗布量を確実に塗布することはもちろんではあるが、シラン系表面含浸材を施工した後に、塗布むらを非破壊検査により測定することが望ましいと考えられる。しかしながら、本研究で試みた撥水性確認手法の接触角および透気試験法の透気係数では、シラン系表面含浸材の塗布むらをコンクリート表面の性状で評価するまでは至らなかった。

今後の課題として、塗布むらを簡易に確認できる手法の開発を検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 土木学会：表面保護工法 設計施工指針（案），コンクリートライブラリー119，2005
- 2) 土木学会：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」，2006.4
- 3) 大濱嘉彦，出村克宣，橋克憲：市販アルキルアルコール系シラン系塗布浸透型防水材料の性能評価（その1：増水材浸透深さと防水性），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp. 25-26, 1988
- 4) JIS R 3257 「基板ガラス表面のぬれ性試験方法」6. 静滴法
- 5) 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開発，コンクリート工学年次論文集，Vol22,No.1 pp.301-306
- 6) 林大介，守屋進，杉田好春：各種浸透性コンクリート保護材の性能に関する実験的検討：土木学会コンクリートの表面被覆および表面改質に関するシンポジウム論文集，p.45-54，2004.2
- 7) http://www.newkast.or.jp/innovation/project_end/nakajima_project.html