

# シラン・ふっ素複合系含浸剤の開発と性能評価

Development and Performance Evaluation of Silane・Fluorine Composite Impregnants

塗料事業部門 構造物塗料事業部  
テクニカルサポートグループ  
Coating Business Div.  
Protective Coatings Dept.  
Technical Support Group



関 智行  
Tomoyuki SEKI



吉田 新  
Arata YOSHIDA

## 要旨

コンクリート構造物では、劣化の抑制を目的に表面保護工法が多く適用されているが、コンクリートの打設後しばらく経過した後に塗布されることから、未塗布状態の期間にコンクリート内部へ劣化因子が侵入することが懸念される。一方で、コンクリート構造物の建設時には、型枠脱型後に塗布型の養生剤が用いられることがあるが、それらの多くは表面保護工法のような劣化因子の侵入を抑制する効果は期待できない。このように、劣化因子がコンクリート内部へ侵入する期間が存在することや、一つの構造物に対し、養生剤と表面保護工法の二種類の材料を、異なる時期に施工することによる施工費の増加などが課題として挙げられる。

そこで著者らは、表面保護工法が有するコンクリートの保護機能と養生剤が有する養生効果の双方の機能を有するシラン・ふっ素複合系含浸剤を開発したため本報にて報告する。

## Abstract

Surface protection is often applied to concrete structures to control deterioration, but since it is applied after some time has passed after concrete is placed, there is concern that deterioration factors may penetrate into the concrete during the uncoated period. On the other hand, although applied curing agents are sometimes used during the construction of concrete structures after de-framing, most of them are not expected to be as effective in preventing the penetration of degradation factors as the surface protection method. Thus, there are concerns about the existence of a period of time during which degradation factors can penetrate into the concrete, and the increase in construction costs due to the use of two different types of materials for one structure at different times: curing agents and surface protection methods.

Therefore, the authors have developed a silane/fluorine composite impregnant that has both the function of protecting concrete with the surface protection method and the curing effect with the curing agent, and report the results in this paper.

## 1. はじめに

### 1.1 コンクリートの表面保護

コンクリートは、内部鉄筋を取り巻くコンクリートのアルカリにより鉄を不動領域に維持し、半永久的に耐力を維持できると期待されていた。しかしながら、塩害、中性化、アルカリ骨材反応などコンクリートの劣化メカニズムが解明され、環境によっては比較的早期に劣化に至ることが明らかになった。

これらのコンクリート劣化の対策は、外部からの劣化因子(水分、塩化物イオン、二酸化炭素、酸素など)の遮断が有効であり、コンクリート表面に塗料を被覆または含浸させることによる表面保護工法が多く適用されている。

しかしながら、表面保護工法の多くは、コンクリートの打設後しばらく経過した後に適用されることから、未塗布状態の期間はコンクリート内部へ劣化因子が侵入することが懸念される。

### 1.2 コンクリート建設時の養生

コンクリートは主に水、セメント、骨材、混和剤から成り、水とセメントの水和反応によって硬化する。コンクリートが所要の品質を確保するには、水とセメントの水和反応を進行させる必要があるため、型枠脱型後に硬化したコンクリートから一定期間は水が蒸発しないように湿布や散水などによる養生を行うことが一般的である<sup>2)</sup>。近年では施工の簡便さから、塗布型の養生剤を用いるケースが増加している。

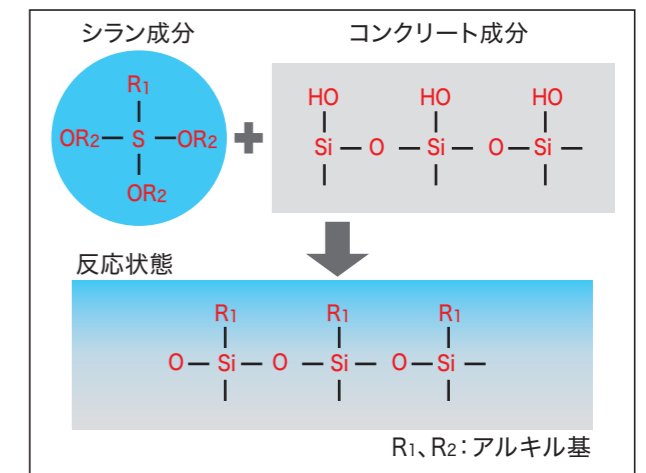
しかしながら、塗布型の養生剤には表面保護工法のような劣化因子の侵入を抑制する効果は期待できない。また、一つの構造物に対し、養生剤と表面保護工法の二種類を、異なる時期に施工することによる施工費の増加も懸念される。

### 1.3 本検討の目的

これらの課題を解決するため、著者らは従来の表面保護工法が有するコンクリート構造物の劣化抑制効果と、コンクリート型枠脱型後の養生持続効果を有する、シラン・ふっ素複合系含浸剤の検討を行ってきた。双方の機能を有する材料であれば、新設時に適用することでコンクリートの養生効果が得られ、さらには劣化因子がコンクリート内部へ侵入する未塗布の期間を削減できることで、より一層コンクリート構造物の耐久性向上が期待できる。また、後々に表面保護工を適用する必要がないため施工費の削減が見込まれる。

## 2. 開発品の概要

シラン・シロキサン系含浸剤の組成を図1に示す。シラン・ふっ素複合系含浸剤は、2種類の含浸剤から成る。一層目に適用する含浸剤は、シラン・シロキサン系に分類される。シラン・シロキサン系含浸剤は、主成分であるアルキル基を含有したシランモノマーおよびシランオリゴマーがコンクリート内部へ浸透し、コンクリートとシロキサン結合の網目構造を形成する。表面や空隙壁面にアルキル基が固着することで含浸領域が疎水化され、水分や塩化物イオンの浸透抑制機能が発現する。



シリコン変性ふっ素樹脂系含浸剤のイメージ図を図2に示す。二層目に適用する含浸剤は、ふっ素樹脂系に分類される。ふっ素樹脂系含浸剤は、櫛形構造を有するシリコン変性ふっ素ポリオール(主剤成分)とイソシアネート(硬化剤成分)から成る二液形であり、反応硬化によりウレタン結合を有する被膜を形成する。その被膜の表層には、撥水性を示すシリコン成分が多く存在し、被膜内部方向へ濃度勾配を形成する特長を持つ。そのため、表面に高い撥水性が付与され、塩化物イオンが付着・堆積しにくくなり、また、降雨による塩分洗浄効果が見込める。

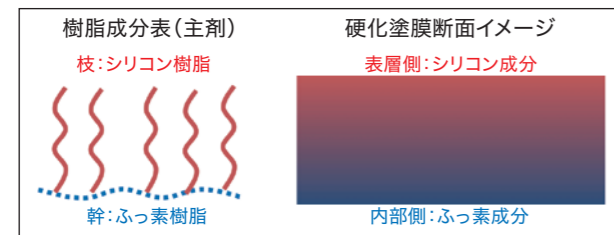


図2 シリコン変性ふっ素樹脂系含浸剤

これらの機能により、主に塩害に対する抑制効果があると考えられ、長期にわたりコンクリート中の鉄筋の腐食抑制が期待できる。

### 3. 性能評価

#### 3.1 試験水準

塗布剤の種類と使用量を表1に示す。塗布剤はシラン・ふっ素複合系含浸剤(SF)、養生剤(E)、含浸剤(S)、ブランク(N)を用いた。各種塗布剤の種類と塗布量を表1に示す。養生剤(E)はエステル化合物であり、コンクリート構造物の塗布型養生剤として用いられている。含浸剤(S)はシラン・シロキサン系材料であり、コンクリート構造物の表面保護工法として用いられる含浸剤である。ブランク(N)は未塗布である。

表1 塗布剤の種類と使用量

| No. | 種類            | 使用量(g/m <sup>2</sup> ) |
|-----|---------------|------------------------|
| SF  | シラン・ふっ素複合系含浸剤 | 140+80                 |
| E   | エステル化合物       | 150                    |
| S   | シラン・シロキサン系    | 150                    |
| N   | 未塗装           | —                      |

#### 3.2 試験項目

試験項目を表2に示す。含浸性、撥水性、吸水性はそれぞれの塗布剤の基本性能を把握する目的で行い、保湿性は養生効果を把握する目的、塩化物イオン浸透抑止性、アルカリ骨材反応抑止性はコンクリートの耐久性向上性能を把握する目的として行った。

表2 試験項目と供試体寸法

| 項目          | 目的                    | N数 |
|-------------|-----------------------|----|
| 含浸性         | 幅300mm×長さ300mm×高さ60mm | 3  |
| 撥水性         |                       | 1  |
| 保湿性         |                       | 3  |
| 吸水性         |                       | 3  |
| 塩化物イオン浸透抑止性 | φ100mm×高さ200mm        | 1  |
| アルカリ骨材反応抑止性 |                       | 3  |

#### 3.3 供試体の種類

供試体の寸法と数量を表2に、コンクリートの配合を表3に示す。アルカリ骨材反応抑止性以外の供試体の粗骨材には2005碎石を用い、アルカリ骨材反応抑止性の供試体には反応性粗骨材を用いた。

表3 コンクリートの配合

| 試験体の種類          | セメント種類 | 水セメント比 W/C (%) | 細骨材率 s/a (%) | 減水剤添加率 SP/C (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |        |      |      |        |        |
|-----------------|--------|----------------|--------------|-----------------|-------------------------|--------|------|------|--------|--------|
|                 |        |                |              |                 | 水 W                     | セメント C | 砕砂 S | 碎石 S | 反応性粗骨材 | 減水剤 SP |
| アルカリ骨材反応抑止性試験以外 | 普通     | 50             | 44           | 0.5             | 165                     | 330    | 805  | 1037 | 0      | 1.65   |
| アルカリ骨材反応抑止性試験   | 普通     | 50             | 44           | 0.5             | 165                     | 330    | 805  | 0    | 1037   | 1.65   |

#### 3.4 試験方法

##### 3.4.1 含浸性の試験方法

JCSE-K 571に準拠し<sup>3)</sup>、各塗布剤の硬化乾燥後に、割裂した供試体の断面に散水し、塗布面から撥水している領域を含浸深さとして測定した。

##### 3.4.2 撥水性の試験方法

JIS R 3257に準拠し<sup>4)</sup>、各塗布剤の硬化乾燥後に、蒸留水を用いた静滴法により供試体表面の水接触角を測定した。得られた水接触角が90°以上の場合を撥水性ありとして評価した。

##### 3.4.3 保湿性の試験方法

各塗布剤を適用した供試体を20°C/60%RHで気中保管し、1週毎に材齢4週目まで供試体重量を測定し、その重量変化から水分の蒸発率を求めて保湿性の評価とした。

##### 3.4.4 吸水性の試験方法

各塗布剤を適用した供試体を20°Cの水道水へ浸漬し、1週毎に材齢4週目まで供試体重量を測定し、その重量変化から吸水率を求めて吸水性の評価とした。

##### 3.4.5 塩化物イオン浸透抑止性の試験方法

各塗布剤を適用した供試体を20°Cの10wt%NaCl水溶液に6ヵ月間浸漬した。測定はJSCE-G 574に準拠し<sup>5)</sup>、EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析方法にて、塩素の侵入深さを測定した。

##### 3.4.6 アルカリ骨材反応抑止性の試験方法

膨張率試験であるデンマーク法<sup>6)</sup>を参考に、各塗布

剤を適用した供試体を40°CのNaCl飽和水溶液に浸漬し、一定期間毎に供試体の長さを測定し、供試体の膨張率を求めた。デンマーク法では材齢91日後の膨張率が0.10%以上を膨張性ありと判定することから、試験は供試体の平均膨張率が0.10%以上になった時点で終了とした。

## 4. 結果と考察

### 4.1 含浸性

含浸深さ試験の結果を図3に示す。SFの含浸深さは2.70mm、Eは2.98mm、Sは2.08mmと、いずれの塗布剤もコンクリートへ含浸を認めた。SFはSよりも深く含浸し、Eと同程度の含浸性を示した。

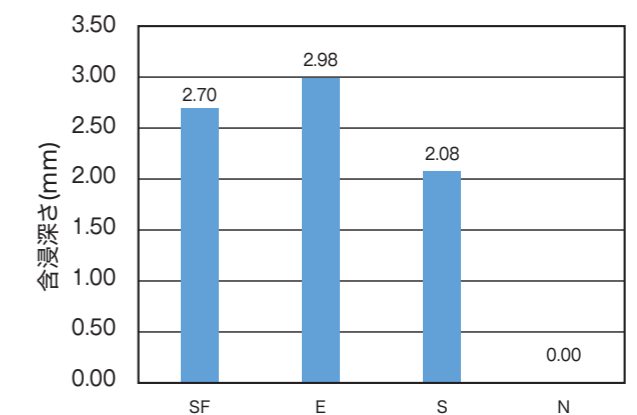


図3 各種材料の含浸深さ

## 4.2 撥水性

水接触角の測定結果を図4に示す。Nの水接触角は43.0°であったのに対し、SFは103.9°、Eは71.2°、Sは118.8°であった。SFおよびSは90°以上の水接触角を示し、コンクリート表面は撥水性域にある。一方、Eの水接触角は90°未満であり親水性域にある。SFは、シリコン変性ふっ素樹脂の特性である表層に配置されたシリコン成分により撥水性を示していると考えられる。

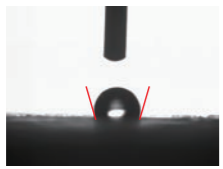
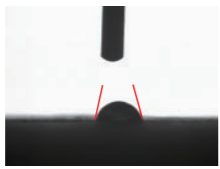


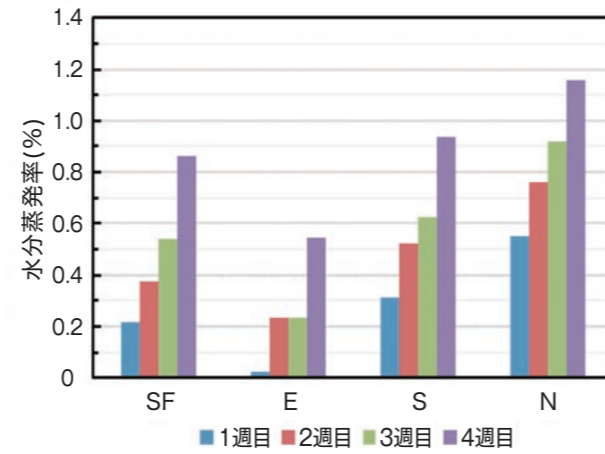
| No   | SF  | E  |
|------|---|--|
| 水接触角 | 103.9°<br>  | 71.2°<br>  |
| No   | S   | N  |
| 水接触角 | 118.8°<br> | 43.0°<br> |

図4 各種材料の水接触角

## 4.3 保湿度

保湿度試験の結果を図5に示す。SFはNと比較して、水分蒸発を抑制する結果となり、型枠脱型後の保湿度を確保している様子が示唆された。これは、SFの構成材料であるシリコン変性ふっ素樹脂がコンクリートの細孔へ含浸・充填し被膜化することで、コンクリート中の水分が外部へ放出することを防いでいると考えられる。

一方で、SFはEと比較すると僅かに水分が蒸発する結果となった。この差がコンクリートの品質に与える影響については今後の課題として検討が必要であると考えられる。



## 4.4 吸水性

吸水性試験の結果を図6に示す。SFおよびSは、EおよびNと比較し、吸水を抑制する結果となった。これは、SFおよびSの供試体表面は撥水域にあることにより、コンクリート内部へ水分の浸入を抑制していると考えられる。

また、SFはSと比べて水分の浸透抑制効果が優れていることがわかる。これは、SFとSは同程度の撥水性を示すが、SFはSよりも深い領域までコンクリートへ含浸していることに起因していると考えられる。

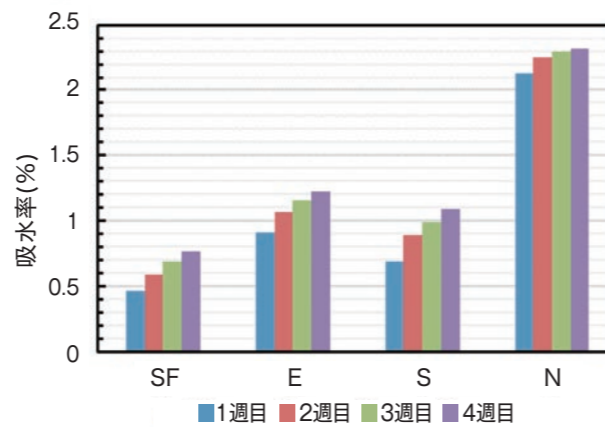


図6 各種材料の吸水率

## 4.5 塩化物イオン浸透抑止性

表層から深さ方向の塩素濃度測定結果を図7、図8に示す。E、S、Nの塩素濃度分布は同等であった。一方で、SFは、他の塗布剤と比べて塩化物イオンの遮断効果が大幅に高い結果となった。この理由としては、吸水性試験結果と同様に、撥水性を示す材料が深い領域まで含浸していることにより、水分を介して侵入する塩化物イオンを遮断していることが考えられる。

なお、Sは塩害対策として多くの実績があるが、本試験ではNと比較すると塩化物イオンの侵入深さに大きな差は見られなかった。これは、シラン・シロキサン系含

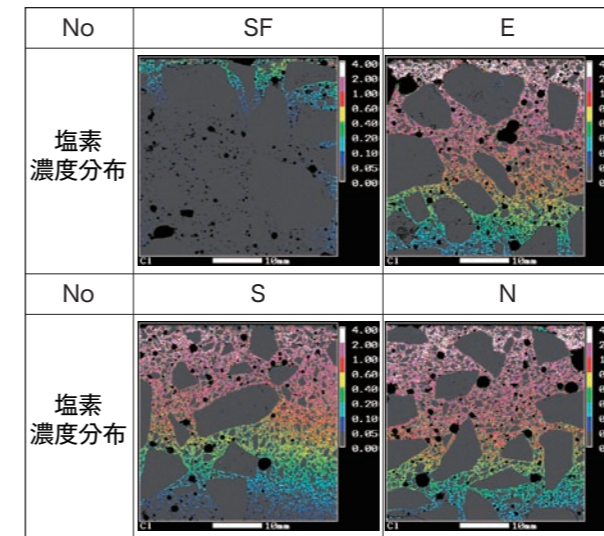


図7 供試体断面の塩素濃度分布(画像上部が供試体表層)

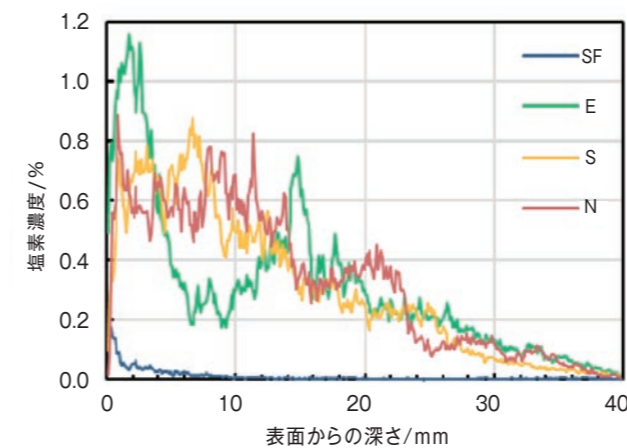


図8 供試体断面の塩素濃度

浸剤は細孔表面を疎水化するものであり、細孔には材料が充填されないため、本試験のような没液環境下では塩化物イオンが浸透したと推測する。

## 4.6 アルカリ骨材反応抑止性

供試体の膨張率を図9に示す。材齢91日における膨張率は、Nと比較し、いずれの塗布剤も優れた結果となった。ただし、デンマーク法における膨張性の判定基準である0.10%以上には、いずれの塗布剤も到達してなかったため、アルカリ骨材反応をさらに進行させ、供試体にひび割れが生じるまで試験を継続した。

材齢331日で、SF以外はひび割れが生じたため測定を終了した。この時点の膨張率は、Nと比較し、いずれの塗布剤も低い値であった。SF以外の膨張率は0.10%を大きく超えていたが、SFの膨張率は0.051%であり、供試体にひび割れは生じていなかった。SFは材齢450日以降の膨張率の増加がほとんどなく、材齢626日時点の膨張率は0.091%であり、極めて高いアルカリ骨材反応抑止性を示した。

SFの膨張率が長期間低い値を示す理由は、他の試験と同様に、撥水性を示す材料が深い領域まで含浸していることにより、劣化要因の一つである水分を遮断する効果に優れ、アルカリ骨材反応を抑制しているためと考えられる。

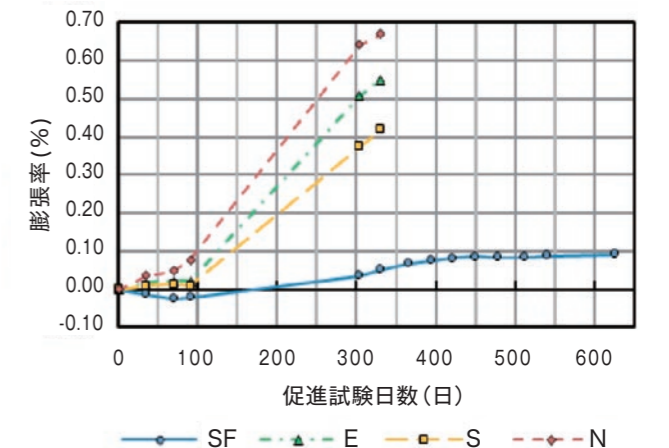


図9 供試体の膨張率

## 5. まとめ

従来の表面保護工法が有するコンクリートの劣化抑制効果とコンクリート脱枠後の養生持続効果を有する、シラン・ふっ素複合系含浸剤を開発した。本材料は各試験において従来の含浸剤と同等以上のコンクリートの劣化抑制効果を示し、かつ従来の養生剤と同等の保湿性を示した。これらの結果より、コンクリート脱枠後に本材料を適用することで、理想的なコンクリートの水和反応を促し、さらには長期的に劣化因子からコンクリートを保護することが期待できる。

今後も新商品の開発を通じて、広く社会の繁栄に貢献していきたいと考えている。

## 6. 謝辞

本開発品は愛知工業大学様、日本車輛製造株式会社様との共同研究によって得られた成果です。関係者各位に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 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)
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー標準示方書, 施工編
- 3) 土木学会：コンクリートライブラリー標準示方書, 基準編
- 4) 日本工業規格：JIS R 3257 基板ガラス表面の濡れ性試験方法
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書, 基準編, JSCE-G 574 EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析方法
- 6) 日本コンクリート工学会：融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会, アルカリ骨材反応WG