

浸透性吸水防止材の既設構造物への適用

The Evaluation of Performance of Hydrophobic Impregnation
to Existing Concrete Structures

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 Division,
Protective Coatings Department,
Technical Support Group



関 智行
Tomoyuki SEKI



田邊 康孝
Yasutaka TANABE



宮下 剛
Tsuyoshi MIYASHITA

要 旨

浸透性吸水防止材であるシラン・シロキサン系表面含浸材は、塩化物イオンや水分、二酸化炭素などの腐食因子を抑制することで、コンクリート構造物の長期耐久性の維持が期待でき、主に新設コンクリート構造物の予防保全として多くの実績がある材料である。近年では、一部既設コンクリート構造物への適用もされているが、既設コンクリート構造物へ適用した際の、耐久性データの報告例は少ない。

本研究では、既設コンクリート構造物を模擬したコンクリート供試体にシラン・シロキサン系表面含浸材を適用し、屋外暴露試験を行い、その耐久性を明らかにすることを目的とした。

本報では、暴露43ヶ月目までの試験結果について報告する。

Abstract

The silane/siloxane type hydrophobic impregnation is expected to maintain the long-term durability of concrete structures by suppressing corrosive factors such as chloride ion, moisture, carbon dioxide. This material has many achievements as preventive maintenance for newly constructed concrete structures. In recent years, examples of applications with existing concrete structures can be seen, but there are few reports on durability data when applied to existing concrete structures.

In this research, we prepared the concrete specimen simulating existing concrete sample and coated with silan/siloxane type hydrophobic impregnation. The specimen was evaluated for durability by outdoor exposure test for 43rd month.

In this paper, we report on these test results.

1. はじめに

コンクリートは耐久性の高さから様々な構造物に適用されているが、排気ガスや二酸化炭素などによる中性化、海浜地区の飛来塩分や凍結防止剤の散布による塩害など様々な劣化因子の影響による劣化が明らかになっており、コンクリート構造物の補修、補強、および、保全による延命化が急務となっている。

延命化手法として、塗装やシート類を貼り付け、劣化因子の侵入を防ぐ工法である表面被覆工が一般的である一方、材料がコンクリート内部へ浸透し、劣化因子を遮断する保護層を表層に形成する工法としてシラン・シロキサン系表面含浸材を用いる表面含浸工が目ざれている(図1)。

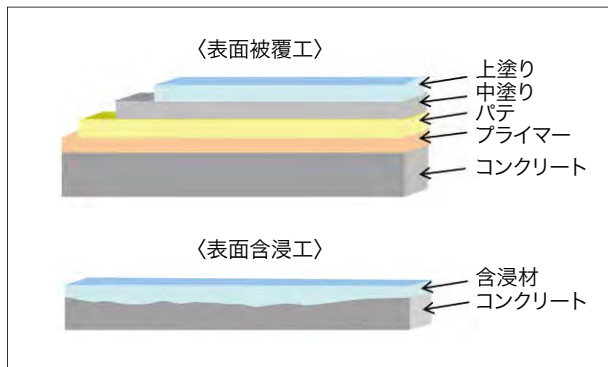


図1 表面被覆工と表面含浸工

シラン・シロキサン系表面含浸材は、塩化物イオンや水分、二酸化炭素などの腐食因子を抑制することで、コンクリート構造物の長期耐久性維持が期待でき、主に新設コンクリート構造物の予防保全として多くの実績がある材料である(図2)。近年、既設コンクリート構造物の一部への適用が散見されるが、既設コンクリート構造物へ適用した際の、耐久性データの報告例は少ない。

今後、シラン・シロキサン系表面含浸材が普及していくうえで、既設コンクリートに対する適用性を把握する必要がある。本報では、既設コンクリートを模擬したコンクリート供試体にシラン・シロキサン系表面含浸材を適用し、屋外暴露試験を行い、その耐久性を評価した。

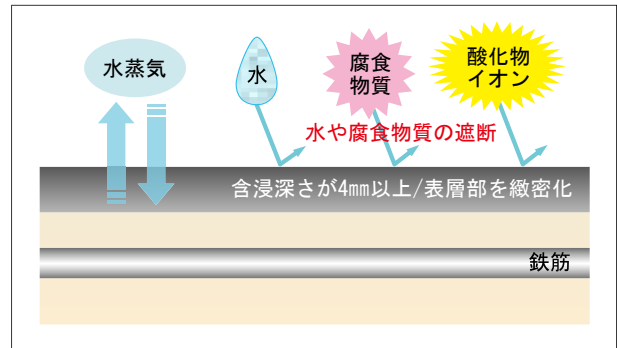


図2 シラン・シロキサン系表面含浸材の機能

2. 実験

2.1 供試体の形状、寸法

試験に用いるコンクリート供試体の形状および寸法を図3に示す。供試体はA、Bの2種類とした。供試体Aは無筋コンクリートとし、寸法100×100×100mmとした。供試体Bは鉄筋コンクリートとし、寸法300×100×100mm、長手方向中心部に異形棒鋼(D16mm)を一本配置した。また、鉄筋の露出面2面へは無溶剤形エポキシ樹脂系塗料を塗布し保護した。

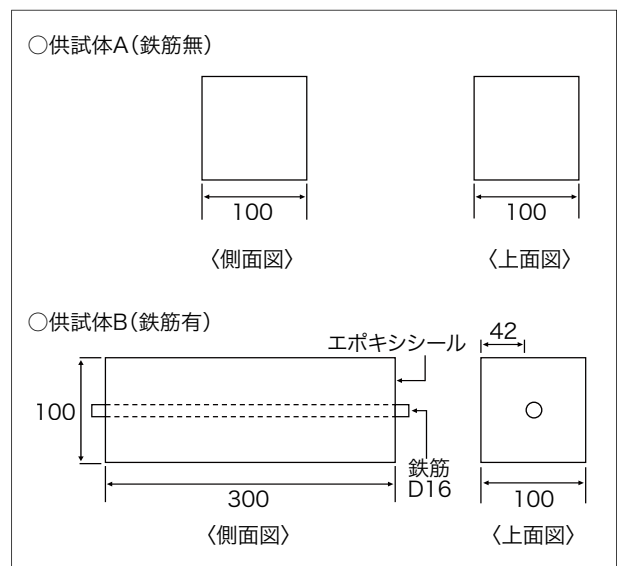


図3 供試体A, Bの形状、寸法

2.2 劣化要因と水準

コンクリート供試体は、コンクリート構造物の中性化や含有塩化物イオンが鉄筋腐食などに及ぼす影響を検討するため、劣化した既設コンクリート構造物を模擬し、塩化物イオンの混入、中性化の付与を行った。中性化の付与は炭酸ガス濃度5%の槽内にて10mm以上を目安となるように促進中性化を行った。劣化要因と水準を表1に示す。

2.3 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表2に示す。コンクリートには、セメントとして普通ポルトランドセメント、細骨材および

表1 劣化要因と水準

| 要因 | 水準 |
|---------|------------------------------|
| 塩化物イオン量 | 0.0、1.2、2.4kg/m ³ |
| 中性化深さ | 0、10mm |

表2 供試体のコンクリート配合

| 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | 塩化物イオン量 (kg/m ³) | スラブ (cm) | 空気量 (%) | 28日圧縮強度 (N/mm ²) |
|------------|----------|--------------------------|------|-----|-----|------------------------------|----------|---------|------------------------------|
| | | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 | | | | |
| 60 | 47 | 162 | 270 | 866 | 998 | 0.0 | 7.5 | 4.0 | 43.5 |
| | | | | | | 1.2 | 8.0 | 4.8 | 42.8 |
| | | | | | | 2.4 | 8.0 | 4.5 | 43.0 |

表3 適用材料の種類および仕様

| 適用材料 | シラン・シロキサン系表面含浸材 | | 表面被覆材 (CC-B塗装系) | 未塗布 |
|--------------------------|-----------------|------|-----------------|-----|
| | 含浸材A | 含浸材B | | |
| 分類 | 含浸材A | 含浸材B | CC-B | 未塗布 |
| 有効成分 (%) | 89 | 90< | — | — |
| 塗布量 (kg/m ²) | 0.16 | 0.20 | — | — |

粗骨材としてそれぞれ静岡県大井川水系陸砂(比重:2.57、吸水率:2.64)、東京都青梅産硬質砂岩碎石粗骨材(比重:2.66、最大寸法:20mm)を使用し、脱型後20±3°C環境下にて28日間気中養生したものをを用いた。

2.4 適用材料

適用塗料を表3に示す。シラン・シロキサン系表面含浸材は2種類の材料を適用した。また、比較として、鋼道路橋防食便覧¹⁾CC-B塗装系に該当する表面被覆材と未塗布を適用した。

2.5 暴露場所

暴露場所は図4に示す、沖縄県うるま市与那城伊計島とした。この暴露場は南端海岸沿い離岸距離20mに位置しており、高温高湿度で海水飛沫を多く受ける極めて厳しい暴露環境である。屋外暴露は2012年9月より開始している。



図4 暴露場所と設置状況

2.6 評価項目

評価項目を表4に示す。供試体Aではコンクリートの表面含水率および中性化の変化について評価を行う。供試体Bでは鉄筋の腐食抑制について、外観、鉄筋の電気化学的測定について評価を行う。

表4 評価項目

| 種類 | 項目 | 測定方法 |
|------|------------|------------------------|
| 供試体A | 含水率の測定 | －（高周波容量式水分計による測定） |
| | 中性化測定 | JSCE-K 571 |
| 供試体B | 外観観察 | －（目視によるひび割れの有無・幅などの観察） |
| | 鉄筋の電気化学的測定 | JSCE-E 601 |

2.7 評価頻度

評価は屋外暴露10年間を計画しており、外観調査、表面含水率測定、鉄筋の電気化学的測定²⁾は年1回程度、解体調査²⁾³⁾については5年、10年の2回を予定している。但し、解体調査は劣化状況により変動する。

3. 結果と考察

3.1 外観観察

供試体Bにおける暴露43ヶ月後の最大ひび割れ幅を表5に示す。塩化物イオンを混入していない供試体では、現時点でいずれも外観上の異状は認めなかった。劣化コンクリートを模擬した供試体（塩化物イオン量1.2, 2.4kg/m³を混入）では、未塗布で0.3～0.4mmのひび割れ（図5）を認めたが、シラン・シロキサン系表面含浸材を適用した2種（含浸材A・B）、表面被覆材（CC-B）ではひび割れを認めなかった。

一般的にコンクリートのひび割れは、内部鉄筋が腐食することで体積膨張し、コンクリートの曲げ強度を超える内圧がかかった結果、ひび割れを生じることが知られている。

塩化物イオンを混入していない供試体では異状を認めず、塩化物イオンを混入した供試体の一部でひび割れが生じたのは、内部鉄筋が腐食していたためと推察するが、その詳細は「3.4 電気化学的測定」にて解説する。

表5 外観観察
（暴露43ヶ月経過後の最大ひび割れの幅）

| | 塩化物イオン量(kg/m ³) | | |
|------|-----------------------------|-------|-------|
| | 0.0 | 1.2 | 2.4 |
| 含浸材A | － | － | － |
| 含浸材B | － | － | － |
| CC-B | － | － | － |
| 未塗布 | － | 0.3mm | 0.4mm |

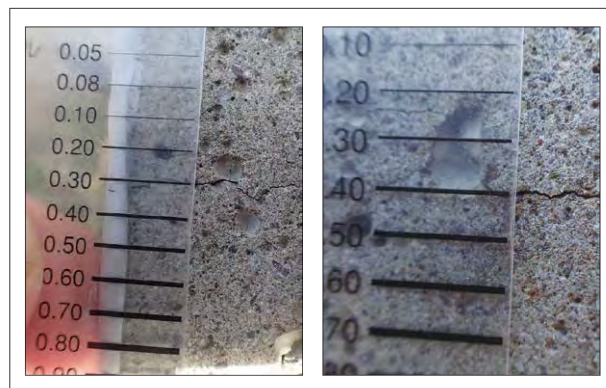


図5 最大ひび割れ幅
（左：未塗布（1.2kg/m³）、右：未塗布（2.4kg/m³））

3.2 表面含水率の測定

表面含水率の測定は高周波容量式水分計（HI-520：kett社製）を用いて、上面、下面の2面について定期的に測定した。測定結果を図6に示す。上面、下面共に、含浸材を適用することで、未塗布と比べ、特に暴露初期の高い表面含水率からの低下効果が大きい結果となった。

これは、シラン・シロキサン系表面含浸材の特長である外部からの水分を抑制し、内部の過剰な水分を系外へ放出する効果によるものと考えられる。

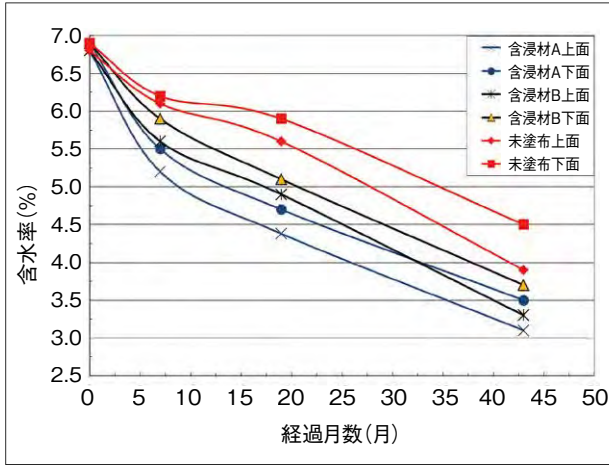


図6 経時での含水率の変化

3.3 中性化の測定

供試体Aの中性化測定は、JSCE-K 571²⁾に基づき測定した。

暴露43ヶ月後の測定結果を図7に示す。促進中性化無しの供試体においてシラン・シロキサン系表面含浸材を塗布した供試体は、未塗布供試体に比べ2~3倍の中性化深さを示していた。一方、劣化コンクリートを模擬し深さ10mmの中性化を付与した供試体においては、全体的な傾向としてそれ以上の中性化進行が認められないことが確認された。

現時点では解明できるデータではないことから、中性化傾向については今後試験を継続していくことで明らかになるものとする。

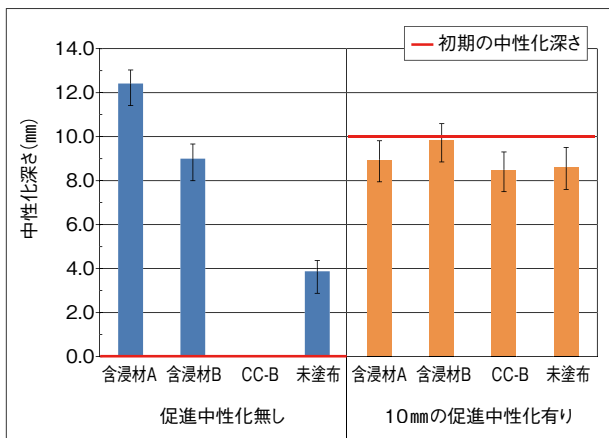


図7 中性化深さの変化

3.4 鉄筋の電気化学的測定

自然電位の測定は、JSCE-E 601²⁾に基づき測定を行い、(国研)土木研究所の定める基準³⁾(表6)に基づき判定した。測定結果を図8に示す。43ヶ月後、塩化物イオンを混入していない供試体および劣化コンクリートを模擬し塩化物イオンを1.2kg/m³混入した供試体では、シラン・シロキサン系表面含浸材を適用した2種で健全な状態であったが、未塗布の供試体は既に腐食領域であった。塩化物イオン2.4kg/m³混入した供試体では、シラン・シロキサン系表面含浸材を適用した2種では軽微な腐食状態であるものの、未塗布では自然電位が大きく下がり、腐食が進行している状況が伺えた。

表6 判定基準

| No. | 自然電位 E(Mv:CSE) | 鋼材の腐食しやすさ |
|-----|----------------------|-----------|
| ① | $E > -150$ | なし |
| ② | $-150 \geq E > -250$ | 軽微 |
| ③ | $-250 \geq E > -350$ | やや大 |
| ④ | $-350 \geq E$ | 大 |

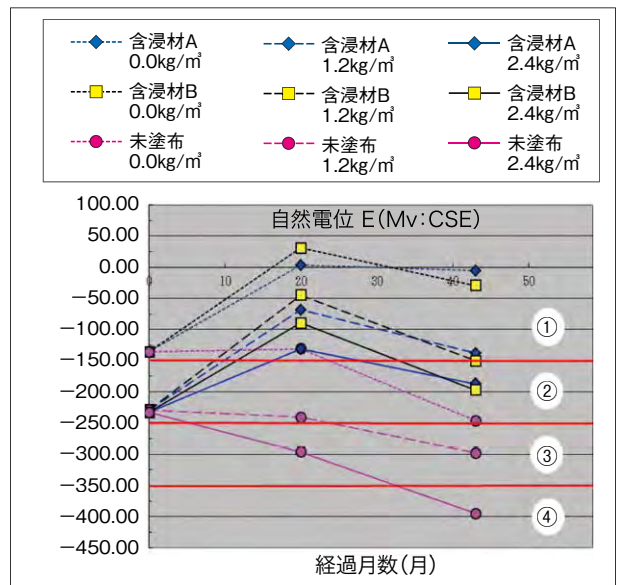


図8 自然電位の測定結果

5. まとめ

今回検討した、既設コンクリート構造物を模擬した供試体へシラン・シロキサン系表面含浸材を適用した際の暴露43ヶ月後の影響を以下にまとめる。

- 1) シラン・シロキサン系表面含浸材を塗布することで、外部からの水分を抑制し、内部の過剰な水分を系外へ放出する機能により、未塗布よりも表面含水率が低下し易いことが確認された。
- 2) 中性化の測定結果より、暴露43ヶ月目の試験データでは、促進中性化無しの供試体においてシラン・シロキサン系表面含浸材を適用することで2～3倍の中性化深さとなることが確認された。一方、劣化コンクリートを模擬し深さ10mmの中性化を付与した供試体においては中性化の進行は認められないことが確認された。促進中性化有無による傾向については今後試験を継続していくことで明らかになるものと考えられる。
- 3) 外観観察より、劣化コンクリートへシラン・シロキサン系表面含浸材を塗布することで、未塗布と比べ、ひび割れ発生の抑制が確認された。
- 4) 電気化学的測定より、劣化コンクリートに対してシラン・シロキサン系表面含浸材を適用することで、内部鉄筋の塩害環境における自然電位が未塗布と比べいずれの塩化物イオン量においても貴な状態へ変化することがわかった。
- 5) 43ヶ月後の時点では中性化および塩害を受けたコンクリートに対しても、シラン・シロキサン系表面含浸材を塗布することにより、劣化を抑制し延命効果を期待できることがわかった。

参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会 鋼道路橋防食便覧 (2014)
- 2) 公益社団法人 土木学会 コンクリート標準示方書 基準編 (2013)
- 3) 独立行政法人 土木研究所 非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル (2003)