

## シラン系撥水剤による鋼材に対する防錆効果と防錆メカニズムの検討

金沢工業大学 学生会員 ○細川 寿仁  
 金沢工業大学 正会員 田中 泰司  
 住友大阪セメント株式会社 正会員 小松 桃子  
 エボニック ジャパン株式会社 正会員 家永 良子

## 1. はじめに

鋼材腐食が生じたコンクリート構造物の補修工法として断面修復工法が多く採用されているが、塩害補修の場合には再劣化が生じるケースが多い。再劣化を防止するために用いられる亜硝酸リチウムは防錆効果が実証されているものの、リチウム電池など需要が高まっていることから価格が高騰している。このような背景のもと、亜硝酸リチウムの代替となる防錆剤としてシランが近年注目されている。シランは、主に撥水剤として利用されている材料<sup>[1]</sup>であるが、その撥水効果によって腐食の進行が抑えられる可能性もある。そこで本研究では防錆剤としてのシランの有効性や亜硝酸リチウムとの効果の比較、防錆効果を発揮するための条件の把握を目的として塩害促進試験を行った。

## 2. 実験概要

## 2.1 防錆性能を評価する実験

図-1 に供試体の概要を示す。厚さ 1mm の鉄板をモルタル中に設置した。短期間で鉄板腐食を生じさせるためにかぶりは 10mm と小さくした。また、着実にかぶりを確保するためにモルタルは 2 層に分けて打ち込んだ。1 層目と 2 層目の境界にはプライマーを塗布した。また、板状の供試体の側面にエポキシ樹脂を塗装して側面からの塩分の浸入を防いだ。

シランの防錆性能を評価するため、数種類の防錆剤を用いて供試体を作製し、乾湿繰り返しによる促進劣化試験を行った。本実験では温度を 50°C で固定し、3% の NaCl 水溶液に水中浸漬 2 日、乾燥 5 日のサイクルを 1 サイクルとし、最大 16 サイクルの促進試験を行った。本実験の条件では 2 サイクルで、約 1 年間供試体を外で暴露させた状態に相当する<sup>[2]</sup>。

計測項目は、自然電位、ひび割れ発生・破壊時期、腐食観察、切断面の撥水深さの 4 つである。供試体に 0.5mm 以上のひび割れや錆汁が見られた場合に、その供試体の試験を終了し、供試体を水平方向に切断して鉄板の腐食度合いや錆の分布の観察を行った。また、切断した供試体をさらに垂直に切断し水を吹き付け、撥水した範囲から撥水深さを計測した。

本実験で想定する状況は、新設構造物に対して防錆剤を使用する場合と、塩害補修の際に防錆剤を使用する場合の 2 ケースである。表-1、表-2 にそれぞれのケースに対する試験体一覧を示す。ケース 1 では新設構造物を想定しているため、健全な鉄板を使用し、供試体を作製したあとに塩分を外部から供試体内部に浸透させることで腐食させた。ケース 2 では塩害補修を想定しているため、事前に腐食させた

鉄板を使用した供試体と、供試体作製時にモルタルに塩分を練り混ぜた供試体の 2 種類を作製して、腐食再劣化させた。供試体数は全てのパターンで各 3 体ずつとした。

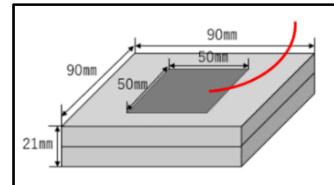


図-1 供試体の概要

表-1 ケース 1 の試験体一覧

| 番号   | 防錆剤  |              |
|------|------|--------------|
|      | 使用方法 | 種類           |
| N    | 混和   | 防錆剤なし        |
| cSL1 |      | 液体状シラン 1%    |
| cSL2 |      | 液体状シラン 2%    |
| cSP2 |      | 粉末状シラン 2%    |
| cSP3 |      | 粉末状シラン 3%    |
| cLi  |      | 亜硝酸リチウム(40%) |
| tSL  | 塗布   | 液体状シラン       |
| tSP  |      | 粉末状シラン       |
| tLi  |      | 亜硝酸リチウム(40%) |

表-2 ケース 2 の試験体一覧

| 番号   | 防錆剤  |              | 腐食環境 (塩分)  |
|------|------|--------------|------------|
|      | 使用方法 | 種類           |            |
| N    | 混和   | 防錆剤なし        | 事前腐食       |
|      |      |              | 作製時に塩分練り込み |
| cSL1 | 混和   | 液体状シラン 1%    | 事前腐食       |
|      |      |              | 作製時に塩分練り込み |
| cSL2 | 混和   | 液体状シラン 2%    | 事前腐食       |
|      |      |              | 作製時に塩分練り込み |
| cSP2 | 混和   | 粉末状シラン 2%    | 事前腐食       |
|      |      |              | 作製時に塩分練り込み |
| cSP3 | 混和   | 粉末状シラン 3%    | 事前腐食       |
|      |      |              | 作製時に塩分練り込み |
| cLi  | 混和   | 亜硝酸リチウム(40%) | 事前腐食       |
|      |      |              | 作製時に塩分練り込み |
| tSL  | 塗布   | 液体状シラン       | 事前腐食       |
|      |      |              | 作製時に塩分練り込み |
| tSP  | 塗布   | 粉末状シラン       | 事前腐食       |
|      |      |              | 作製時に塩分練り込み |
| tLi  | 塗布   | 亜硝酸リチウム(40%) | 事前腐食       |
|      |      |              | 作製時に塩分練り込み |

c:混和、t:塗布、S:シラン、Li:リチウム

## 3. 実験結果

## 3.1 ひび割れ発生時期による比較

耐腐食性の評価は、ひび割れの発生時期の比較により行った。ひび割れ発生・破壊時期を図-2、図-3 に示す。青色の期間はひび割れが見られず健全であった期間、橙色はひび割れが発生しているがひび割れ幅が 0.5mm 未満である期間である。新設構造物への対策を想定したケース 1 では、13 サイクルか

ら各種類でひび割れが確認されたが、液体状シラン系防錆剤を塗布した供試体と防錆剤なしの供試体は腐食ひび割れが見られなかったことから、液体状シラン系防錆剤は新設構造物に対しての防錆性能が高いと考えられる。

ケース2では鉄板の腐食膨張によって多くの供試体にひび割れが発生した。全体の傾向としては、鉄板を事前腐食した場合の方が、塩分練りこみを行った場合よりもひび割れ発生時期が早かった。防錆剤なしの場合、事前腐食で約1サイクル、塩分練り混ぜでは4サイクルでひび割れが発生した。これに対し、亜硝酸リチウムを混和したものは約5週、15週以上であり、腐食に対する抵抗性が向上していることがわかる。シランの効果は製品によって異なり、液体状シラン系防錆剤では事前腐食の場合、1%混和で約2サイクル、2%混和で約15サイクルと混和率の影響が大きかった。一方、粉末状シラン系防錆剤では事前腐食の場合、2%混和で1サイクル、3%混和で約2サイクルと腐食抵抗性が改善されなかった。これは粉末状シランの撥水成分を含んだカプセルが練り混ぜ中に破壊されなかったことが原因として考えられる。

防錆剤を鋼材に直接塗布した場合は、多くのケースで腐食抵抗性の改善効果が見られなかったが、事前腐食させた鋼材に対して亜硝酸リチウムを塗布した場合にのみ改善効果が見られた。

### 3.2 自然電位による比較

ひび割れ発生時の自然電位の値を、図-4、図-5に示す。各水準、3つすべての供試体の自然電位をプロットしている。自然電位が $-200\text{mV}$ 以上で90%以上の確率で腐食していないとされ、 $-350\text{mV}$ 以下で90%以上の確率で腐食しているとされる。事前腐食の場合には、ひび割れ発生時においても自然電位が不確定領域にあるものが多かった。一方、塩分を練りこんだ場合には、ひび割れ発生時の自然電位が腐食領域に達したケースが大半であった。事前腐食の場合にはマイクロセル腐食が、塩分練りこみの場合にはマクロセル腐食が卓越するためにこのような差が見られたと考えられる。

### 4.まとめ及び今後の課題

- (1)事前腐食を行った鉄板を用いた供試体のほうがモルタルに塩分を練り混ぜた供試体に比べて早期に腐食ひび割れが発生した。
- (2)シランを混和した一部の供試体において、亜硝酸リチウムと同程度の腐食抵抗性の改善効果が認められた。
- (3)事前腐食された鋼材に対しては、自然電位計測による腐食評価が難しい。

#### 参考文献

[1] 降旗 翔、大塚 秀三ほか：シラン系表面含浸材の定着時間に及ぼす温度の影響に関する研究、コ

ンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, 2014, pp1930-1935

[2] Dr. Yves Schiegg, Dr. Markus Büchler : Examination of Protectosil® DRY CIT、Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz,2019, pp1-9

[3] 小山 理恵、矢島 哲司ほか：自然電位を用いた鉄筋腐食状態の推定手法に関する基礎的研究、土木学会論文集 No.550/V-33, 13-22, 1996, pp13-22

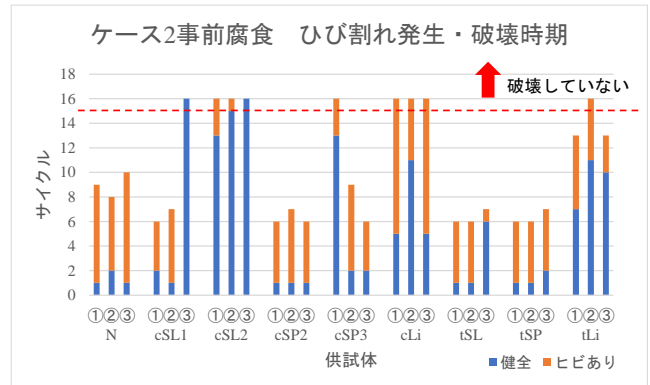


図-2 ケース2 事前腐食のひび割れ発生・破壊時期

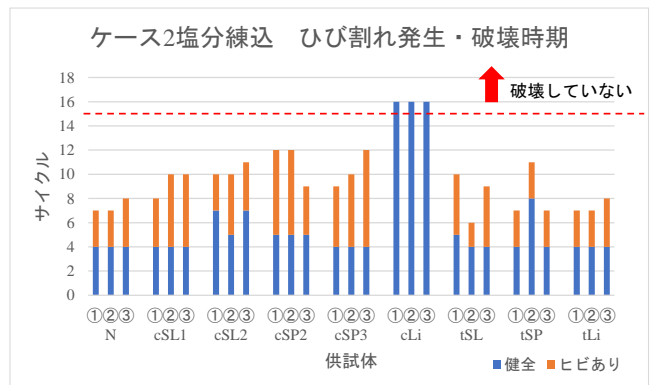


図-3 ケース2 塩分練込のひび割れ発生・破壊時期

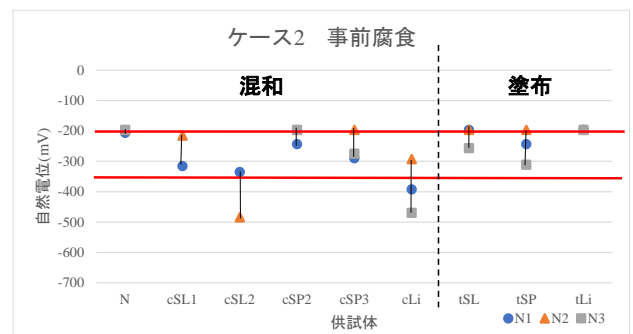


図-4 ケース2 事前腐食のひび割れ発生時自然電位

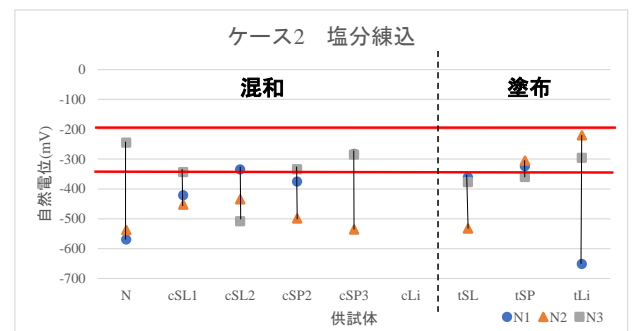


図-5 ケース2 塩分練込のひび割れ発生時自然電位