

第V部門

乾湿繰返し条件下でのアミノ基を有するシラン系表面含浸材の劣化抑制効果

関西大学大学院理工学研究科 学生員 ○宋 宏宇
 関西大学環境都市工学部 東口 剛士
 関西大学環境都市工学部 正会員 鶴田 浩章

1. はじめに

高度経済成長期に建設された社会インフラの老朽化が進み、今後はより少ないコストで構造物の劣化を抑制することが求められる。その対策工の一つとして、比較的安価で施工性に優れた表面含浸材が使われるようになってきている。一般に表面含浸材は、単体での使用が多い。しかし、単体での使用では複合劣化に対応することができていないという現状がある。さらに、実環境下における有効性や抑制効果の持続期間等、まだ明確になっていない点が多い。

本研究では、高い中性化抑制効果を示すアミノ基を有するシラン系表面含浸材に着目し、単体での使用において、塩害と中性化の複合劣化の環境下での効果の明確化を目指した。さらに、その効果の要因に関係すると考えられる生成物の存在の有無の分析も試みた。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

表1に乾湿繰返し試験で使用した表面含浸材とその標準塗布量等を示す。

作製したコンクリート試験体の計画配合を表2に示す。2018～2019年度の乾湿繰返し試験では、AE剤を使用し、2020年度の試験では、AE減水剤(リグニンスルホン酸系)を使用した。

2.2 試験体の作製方法

コンクリート試験体の作製は、表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-571-2013)¹⁾に基づいて、100×100×400mmの角柱コンクリートを打設後、6日間水中養生し、その後、コンクリートカッターで100×100×100mmに切断し、温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室で28日間気中養生した。気中養生終了3日前に合成樹脂で打設面1面と型枠面3面をシールし、気中養生終了後に表面含浸材の塗布を行った。表面水分率は8%以下と規定されており、実際の塗布時の表面水分率の平均は3.5%程度であった。

2.3 乾湿繰返し試験

乾湿繰返し試験は、水分浸漬・塩分浸漬(塩分濃度3%)9日間、乾燥(40℃)5日間、促進中性化(CO₂濃度5%)4日間を1サイクルとして4及び10サイクルまで行った。乾湿繰返し試験の浸漬方法は水分浸漬と塩分浸漬の2通りであり、処理方法の違いを表3に示す。また、中性化に対する抵抗性試験、塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験については表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-571-2013)¹⁾に基づいて実施した。

3. 実験結果及び考察

3.1 乾湿繰返し試験

図-1に2019年度の4及び10サイクルの中性化・塩化物イオン浸透抑制率の結果を無塗布試験体に対する抑制率と

表1 使用材料

年度	サイクル	浸漬液体	記号	施工方法	主成分	標準塗布量 (g/m ²)
2018	10	水	Z	素地調整 →塗布	3-アミノプロピル メトキシシラン	300
2019	4、10	塩水				
2020	4	塩水				

表2 計画配合

サイクル数	G _{max} (mm)	W/C (%)	空気量 (%)	スランブ (cm)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (kg/m ³)
						W	C	S	G	AE/AE減水剤
10	20	60	4.5±1	10±2	47.1	165	276	860	991	0.883
4	20	60	4.5±1	10±2	46.2	175	292	823	984	2.92

表3 浸漬の処理方法の違い

水分浸漬 塩分浸漬①	供試体の表面を乾いたタオルで拭き、乾燥炉(40℃)へ
塩分浸漬②	供試体の表面をブラシで擦りながら水で洗い、乾いたタオルで拭き、乾燥炉(40℃)へ

して示す。この図から、塩分浸漬において 10 サイクル終了後は 4 サイクル時点よりも中性化と塩化物イオン浸透の両方で抑制効果が低下していることが分かる。

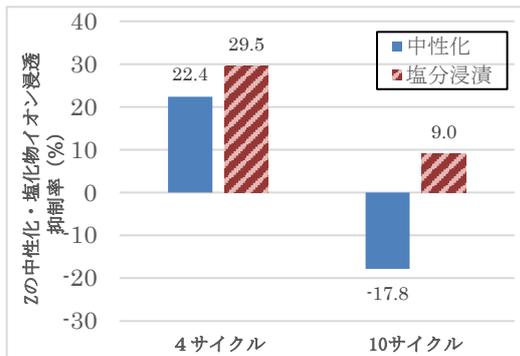


図-1 4 サイクルと 10 サイクル劣化抑制率の違い

図-2 に 2020 年度の 4 サイクルの水分浸漬と

塩分浸漬の Z の中性化深さの測定結果を示す。Z は水分浸漬の方が塩分浸漬の場合よりも中性化深さが小さく、中性化を抑制していることが分かる。

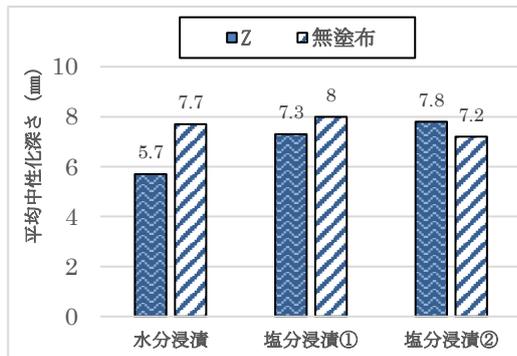


図-2 水分浸漬と塩分浸漬の中性化深さの測定結果

図-3 に 2018 年度の 4 サイクルの水分浸漬と 2019 年度の塩分浸漬での Z の中性化抑制率について比較した。水分浸漬の 10 サイクルの場合と塩分浸漬の 4 サイクルはほぼ同じ抑制効果があるが、10 サイクル塩分浸漬の場合には中性化抑制効果が大幅に低下した。

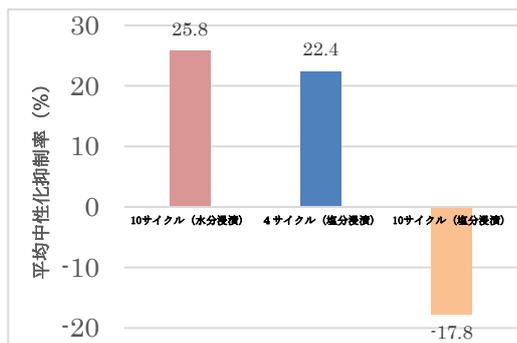


図-3 中性化に対する水分浸漬と塩分浸漬の違い

3.2 生成物有無の分析

2018 年度の 10 サイクル (水分浸漬) の試験体の含浸面を用意し、赤外線吸収スペクトル法により分析を行った。図-4 より 2018 年度の試験体で分析した、生成物カルバメート²⁾に由来するピークがあることが示唆され、この方法によりコンクリート表面にはカルバメートが生成されたことが確認できる可能性が高まった。

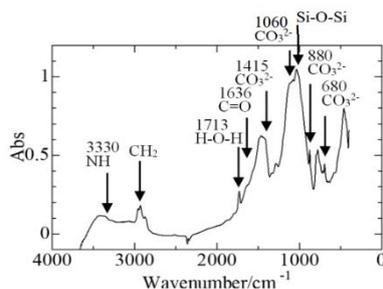


図-4 塗布した表面試料の赤外線吸収スペクトル

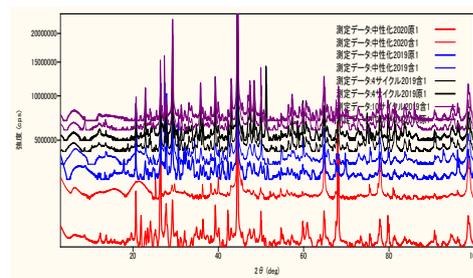


図-5 XRD 測定結果

さらに、乾湿繰返しの 4 サイクル時点の試験体の含浸面と原状面を用意し、XRD 法により分析を行った。図-5 より含浸面の XRD パターンと一致するものがある可能性は示唆されたが、表面含浸材 Z の成分とは異なっていた。このことから、XRD 法ではカルバメートの確認は難しいという結果に至った。

4 まとめ

- (1) 4 サイクル時点では Z シラン系表面含浸材の中性化と塩害等の複合劣化に効果的に働くことが期待できた。しかし、10 サイクル後は十分な中性化と塩化物イオン浸透の抑制効果を確認できなかった。また、今年度の乾湿繰返し試験の水分浸漬と塩分浸漬とを比較したところ、Z は塩分浸漬の方が水分浸漬の場合よりも中性化深さが大きく、中性化が進行していた。このことから、Z の中性化抑制効果が塩分浸透に影響を受けることが予想される。なぜ塩分浸透抑制効果が発揮されなかったのかを検討する必要がある。
- (2) 分析結果より、赤外線吸収スペクトル法では、カルバメートの生成が確認できる可能性が示唆されたが、XRD 法ではカルバメートの存在を確認することができなかった。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書規準編，表面含浸材の試験方法 (JSCE-K 571-2013)，pp. 517-527，2018
- 2) 鶴田浩章，中村直哉，上田尚史：アミノ基を有するシラン系表面含浸材によるコンクリートの中性化抑制効果，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，第 19 巻，pp. 167-172，2019