

アミノ基を有するシラン系表面含浸材の併用によるコンクリートの劣化抑制効果

関西大学 正会員 ○鶴田 浩章

関西大学 中村 直哉

関西大学 正会員 上田 尚史

1. 研究背景と目的

表面含浸材は安価で外観を著しく損ねることなく、少ない工程でなおかつ短期間で施工できるためコンクリート構造物の劣化抑制対策として幅広く使用されている。しかし、その劣化抑制効果が向上するような条件は、不明確な点が多く、中性化・凍害・塩害等多くの劣化に十分対応できる表面含浸材の開発は未だなされていない。そこで、これまでの研究において室内試験で非常に高い中性化抑制効果を示したアミノ基を含むシラン系表面含浸材（以降、「アミノ系」と略す）を用いた試験を行い、その最適な塗布量や塗布方法を定めること、そして、それを用いて屋外暴露試験、乾湿繰返し試験を行い、アミノ系の実構造物への適用性を評価することを研究目的とした。また、複数の劣化を同時に抑制できる表面含浸材併用法における表面含浸材の最適な組み合わせを見出すために塩害や凍害への高い抑制効果が確認されているシラン系表面含浸材（以降、「シラン系」と略す）とアミノ系の表面含浸材を重ねて塗布した試験体を作製し、表面含浸材の試験方法（案）（JSCE-K571-2013）に基づいた方法で、中性化と塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験を行い、アミノ系を用いた併用法による各種劣化に対する抑制効果を評価した。さらに、各種試験では併用法でシラン系とともに多く使用されているけい酸塩系表面含浸材も使用して既往の研究での試験結果との比較を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

表 1 に本研究で使用した表面含浸材とその標準塗布量を、表 2 に併用法における表面含浸材の組み合わせをそれぞれ示す。併用法では一次塗布を行った後、1 日気中養生し、その後、二次塗布を行った。なお、併用法の塗布量（表 2）は、その表面含浸材の標準塗布量の半分としている¹⁾。

2. 2 試験体の作製方法と試験

本研究で作製したコンクリート試験体の計画配合を表 3 に示す。W/C60%と目標スランプ 10±2cm、目標空気量は 4.5±1%で決定した。混和剤はリグニンスルホン酸系の AE 減水剤を使用した。

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-K571-2013）²⁾に基づき、100×100×400（mm）の角柱コンクリートを打設後、温度 20℃、湿度 60%の恒温恒湿室で 6 日間水中養生し、その後、コンクリートカッターで 100×100×100（mm）に切断し 28 日間気中養生した。気中養生終了 3 日前に合成樹脂で必要な箇所をシールした。なお、乾湿繰返し試験は、水中浸漬 9 日間、乾燥 5 日間、促進中性化 4 日間を 1 サイクルとして、10 サイクル行った。

表 1 使用した表面含浸材

記号	主成分・分類	標準塗布量(g/m ²)
E	けい酸ナトリウム・カリウム	240
I	けい酸リチウム	200
P	けい酸ナトリウム	230
A	アルキルアルコキシシラン	300
S	シラン・シロキサン	200
Z	アミノシラン	未定

表 2 併用法における表面含浸材の組合せ

No.	一次塗布	標準塗布量(g/m ²)	二次塗布	標準塗布量(g/m ²)
①	Z	100	S	100
②	Z	100	A	150
③	S	100	Z	300
④	A	150	Z	300
⑤	E	120	S	100
⑥	E	150	S	100
⑦	I	100	S	100
⑧	E	120	A	150
⑨	P	150	A	150
⑩	I	100	A	150

表 3 コンクリートの計画配合

Gmax (mm)	W/C (%)	空気量 (%)	スランプ ^{a)} (cm)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (g/m ³)
					W	C	S	G	
20	60	4.5±1	10±2	45.0	173	288	793	1010	1153

キーワード 表面含浸材, アミノ基, 併用法, 中性化, 塩害, コンクリート

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 関西大学環境都市工学部 TEL 06-6368-0889

3. 実験結果および考察

アミノ系を単体で使用する試験として Z 単体の中性化試験、4 ヶ月暴露試験、乾湿繰返し試験を行い、後者 2 試験の結果を図 1、図 2 に示す。また、アミノ系とシラン系とを併用した場合の試験として中性化・塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験を行い、図 3、図 4 に結果を示す。さらに、表面含浸材は表記の順番で塗布しており、表面含浸材の性能を相対的に評価するために表面保護工法設計指針（案）[工種別マニュアル]の評価方法³⁾に基づき、各図中にグレードを記した。

Z 単体の中性化試験ではアミノ系 Z の塗布量や塗布方法を変えて、室内で促進中性化試験を行った。Z の塗布量が多いほど、中性化抑制効果が高くなることが確認できた。また、300g/m²を一度に塗布した時に十分な（90%程度）中性化抑制効果を示したことから、300g/m²を最適な塗布量とし他の試験を行った。

図 1 と図 2 では Z が屋外環境や急激な環境変化を伴う条件でも高い中性化抑制効果を発揮することが確認できた。この Z が高い中性化抑制効果を発揮する要因として、Z に含まれるアミノ基が二酸化炭素と反応し、コンクリート表面近くにカルバメート⁴⁾という物質を形成しているからではないかと推測している。カルバメートは水に弱いというデータ⁴⁾もあるが、これらの結果から、実環境下を想定した試験において Z は気温・湿度の変動による影響を大きく受けることなく、抑制効果を保持できることを確認した。

図 3 と図 4 では、アミノ系と他のシラン系を重ねて塗布する組み合わせが室内での中性化に対する抵抗性・塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験の両方において高い劣化抑制効果を発揮することが確認できた。特にシラン系を先に塗布した場合は後に塗布した場合と比べて、より高い中性化抑制効果が確認でき、塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験でも高い抑制効果を発揮した。アミノ系は過去の研究において、単体で使った時に塩化物イオン浸透抑制率が著しく低いことが確認されていたが、今回はアミノ系を他のシラン系と重ねて塗布することで塩化物イオン浸透抑制効果が向上することが確認できた。このような結果となった要因としては、シラン系とアミノ系が塗布されたコンクリート内部で新たな共有結合を生成したからなのではないかと考えている。

参考文献

- 1) 三好孝英，鶴田浩章，上田尚史：表面含浸材の併用法における塗布量と劣化抑制効果の関係，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，Vol.16，pp. 415-420，2016.10
- 2) 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（案），pp.471-481，2013
- 3) 土木学会：表面保護工法 設計施工指針（案）[工種別マニュアル編]，pp.165-167，2005
- 4) 前田史郎：固体 NMR・材料フォーラム報告，第 54 号，pp.5-10，2013

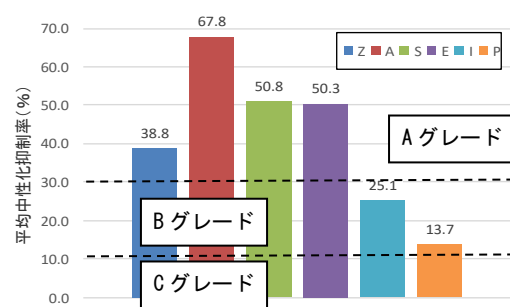


図 1 4 ヶ月暴露試験での中性化抑制率

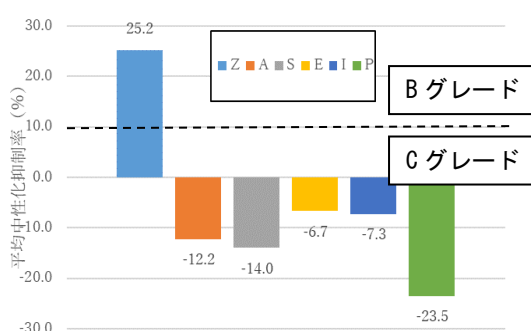


図 2 乾湿繰返し試験での中性化抑制率

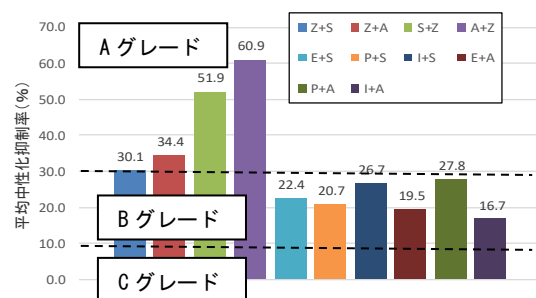


図 3 併用法における中性化抑制率

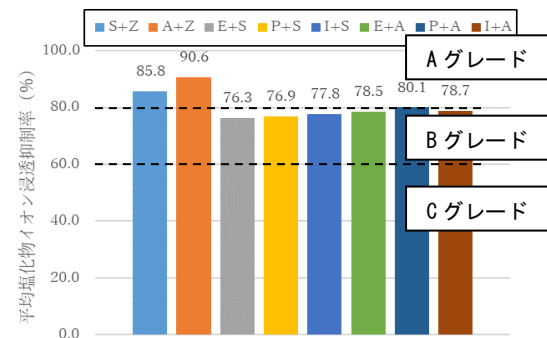


図 4 併用法における塩化物イオン浸透抑制率