

浸透性コンクリート保護材の表面保護効果 ～暴露試験による効果の確認～

平林克己・柴田辰正・丹野 弘

1. はじめに

一般財団法人土木研究センター（以下「土研センター」という。）は、公的な試験機関として、土木系材料・製品の各種物性試験を実施し、試験成績書を発行する「性能評価事業」を行っている。その一環として2012年度より、主にシラン系・シランシロキサン系の浸透性コンクリート保護材（以下「保護材」という。）を対象に、国立研究開発法人土木研究所が提案する評価方法¹⁾に基づき「撥水性を有する浸透性コンクリート保護材性能試験（以下「性能試験」という。）」を実施している²⁾。

保護材に求められる性能としては、①材の浸透性、②表面の変状の視認性維持、③コンクリート表面の撥水層形成、④撥水層による劣化因子の侵入抑制、⑤再施工性（再塗布による機能回復）があげられる。前述の性能試験では、①、②、③を評価しているものの、直接的にコンクリートの性能に影響を与える④の劣化因子の侵入抑制や、⑤の塗り替え時期の推定については評価項目を設けておらず、ゆえに検証の実施には至っていない。このことに対し、大学や土木研究所等の学識経験者から構成される同性能試験の性能判定委員会より「塩化物イオンの浸透や中性化に対する抵抗性について、実際の施工（塗布）状況と同等の状態を経年的に検証すべきである」との意見があった。土研センターはこれを受け、同性能判定委員会の監修のもと、自主研究との位置づけで2014年より保護材の経年的な効果の確認を目的とし、実大レベルの暴露試験を実施している³⁾。

実施場所は、東京湾沿岸の近傍とし、条件としては壁高欄を想定した試験体を用い、自然暴露に加え、冬季の凍結防止剤散布を模擬した塩水噴霧もあわせて行っている。

本報告は、2014年の開始から5ヵ年目の冬経過

時点まで期間に暴露した試験体の塩化物イオン浸透深さ・濃度および中性化深さの値を元に、保護材の効果についてまとめたものである。

2. 暴露試験の実施

2.1 模擬試験体（コンクリート試験体）

コンクリート試験体の配合は、高速道路の壁高欄で使用されているコンクリートと同等とした。なお、試験体は無筋コンクリートとした。

試験体の使用材料を表-1、コンクリートの配合を表-2に示す。

表-1 コンクリートの使用材料

使用材料	記号	製造または産地	物性
セメント	C	太平洋セメント	普通ポルトランドセメント、密度：3.16g/cm ³
砕砂	S1	栃木県佐野市	表乾密度：2.66g/cm ³ 、粗粒率：3.30
山砂	S2	千葉県市原市	表乾密度：2.60g/cm ³ 、粗粒率：2.10
砕石	G	栃木県佐野市	2005、表乾密度：2.70g/cm ³ 、実積率：60.0%
混和剤	Ad	BASFジャパン	AE減水剤Ⅰ種

表-2 コンクリートの配合

呼び強度	スランブ (cm)	粗骨材最大 寸法(mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					Ad
					C	W	S1	S2	G	
30	8	20	52.3	39.7	316	165	288	430	1124	C×1.0%

試験体の寸法は、高速道路の壁高欄を想定し、高さ800mm×長さ1000mm×厚さ150mmとした。試験体の高さ800mm×長さ1000mmの表裏2面に保護材を塗布し、これを暴露面とした。それ以外の周面（4面）については、密閉用樹脂塗料で被覆した。

試験体の暴露は都内の海岸から約100mの位置において実施している。試験体は保護材8種を各々塗布した8体、および比較のための無塗布試験体1体の計9体である。



写真-1 試験体設置状況

なお本報告では代表的な保護材塗布試験体1体と無塗布試験体について比較する。暴露状況を写真-1に示す。

2.2 塩水の噴霧

塩水には都市内高速道路にて実際に路面に散布する凍結防止剤（塩化ナトリウム20%水溶液）を使用した。路面に散布された凍結防止剤が車両の通過で跳ねて壁高欄に付着することを想定し、十分湿潤状態になるよう、1回あたり900ml/m²の塩水を電動噴霧機にて試験体暴露面2面に直接噴霧した。塩水噴霧の回数は、過去の凍結防止剤散布の実態を調査した上で冬季12月から翌年3月まで毎月3回、1冬で計12回とした。

3. コアの採取

コンクリートコアの採取は、JIS A 1107「コンクリートからのコア採取方法および圧縮試験方法」に準拠して実施した。コンクリートコア採取位置については図-1に示す箇所とし、試験体1体につき4本(φ75 mm×長さ75 mm)を採取した。

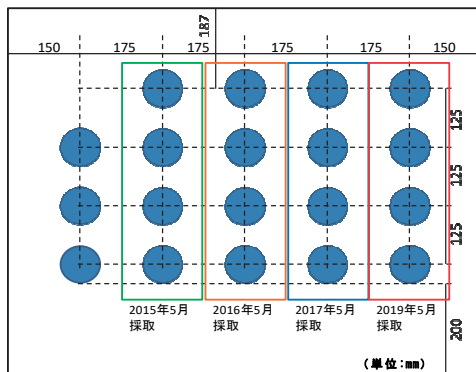


図-1 コンクリートコア採取位置

4. 各経過時点の計測結果

4.1 塩化物イオンの浸透深さおよび濃度

塩化物イオンの浸透深さ・濃度はEPMA（電子線マイクロアナライザ）面分析により測定した。

物質中の目的元素の質量から濃度を判定する湿式分析に対し、EPMA面分析は電子線を照射した微小領域における構成元素の比率から、便宜的に目的元素の濃度を算出する。ここでは、コンクリート中のペースト分に含まれるCl元素の比率を濃度とみなし、これに基づき「保護材塗布の有無」や「経年による効果の差異」を評価した。EPMA面分析測定結果のうち、1冬、5冬経過時の画像（Cl濃度）を図-2に、各経過時点の暴露面からの深さ・Cl濃度の関係を図-3に示す。

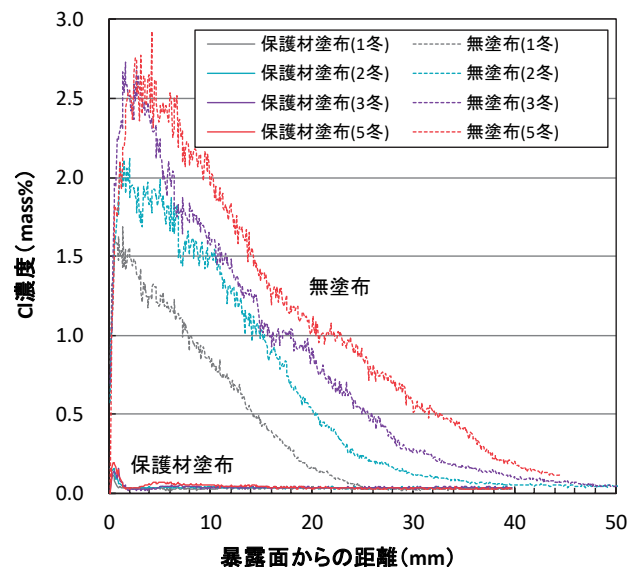


図-3 各経過時点の浸透深さ・Cl濃度

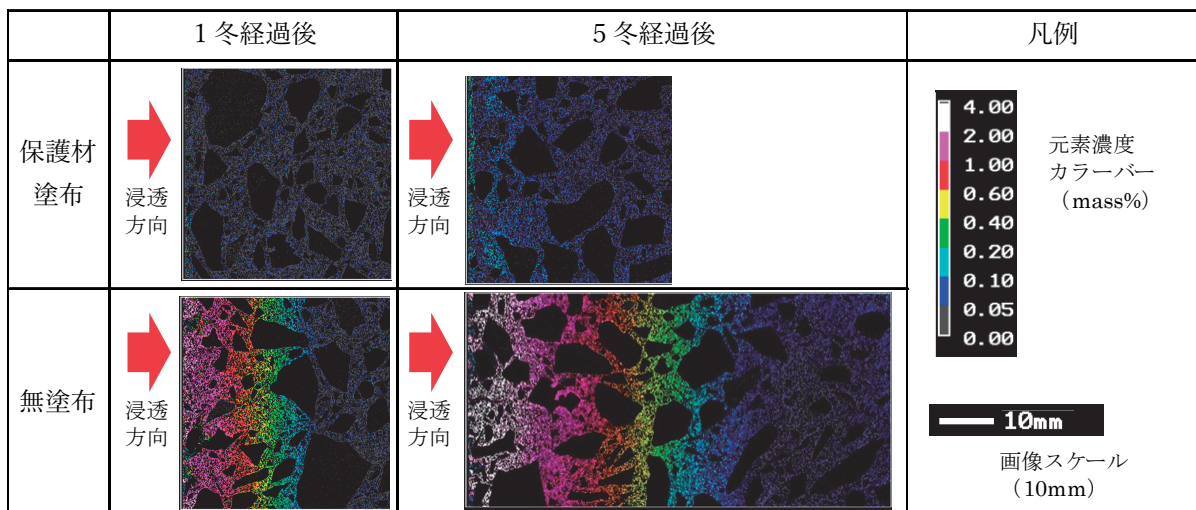


図-2 1冬経過後および5冬経過後のEPMA面分析画像（Cl濃度）

土研センター

図-2の分析画像から、無塗布の試料では1冬経過の時点で暴露面から20mm、5冬経過後ではその2倍の40mm近くの深さまで塩化物イオンが浸透しているのに対し、保護材を塗布した試料では、経年による大きな差異は見られなかった。図-3では、5冬経過のもので比較した場合、保護材を塗布した試料では、暴露表面付近で塩化物イオンの増加を示す小さなピークが見られたものの、深さに関わらず全体として無塗布より大幅に低い濃度を示していることが確認された。これらの結果より保護材が塩化物イオンの浸透防止に寄与したことがわかる。

図-4は、図-3の保護材塗布試料に関する低濃度域を詳細に示したものである。図-4で見られるように暴露面から離れた深さ位置でも塩化物イオン濃度は0にはならない。これはセメントペーストに由来する微量の塩化物イオンによるものである。

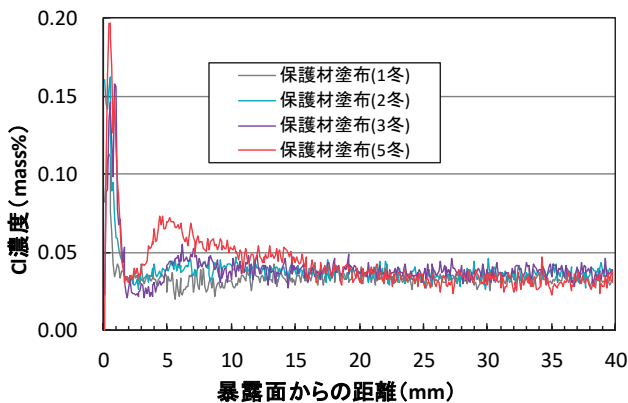


図-4 各経過時点の浸透深さ・Cl濃度(低濃度域)

図-4の濃度分布から、経過時によらず表面で濃度が急上昇し、深さ2mm付近でいったん低くなり、深さ5mm付近をピークに再び上昇後ならかに濃度が低下するとの特徴が確認できる。これはコンクリートの中性化による影響と推察される。

中性化が進行すると、アルカリ環境下で安定していたCl元素（セメントペーストに由来する元々含まれていた微量のCl元素）とS元素を含む水和物が分解し、それらのイオンが未中性化領域へと移動すると考えられる。これらは中性化領域と未中性化領域との端境でClやS元素が顕著に増加する現象として知られている⁴⁾。

試験体の割裂面に墨汁を塗布し、保護材の撥水効果による非着色部を測定して得られた保護材浸透深さ⁵⁾については、1冬経過時、5冬経過時でそれぞれ6.1mm、6.6mmと大きな変化はないこと

が確認されている。これに対し、図-4からは、5冬経過時の濃度曲線が、暴露面から深さ15mm付近までの層にて、他の経過年次の値よりも上回ることが確認された。図-3での保護材塗布の有無による比較から、この微増分が直ちにコンクリートの機能に影響を与えるものではないと推定できるが、経年により塩化物イオンの浸透が進行していることを踏まえ、保護材の効果持続性確認および保護材の再塗布の時期検討の観点から今後も観察を続けることが望まれる。

また、「塩化物イオンの発錆限界濃度」という観点よりEPMA面分析結果から保護材の効果を確認するため、測定用試料と同仕様の標準試料をもとに検量線を作成した上で、定量的な検証⁶⁾を実施することが望まれる。

4.2 中性化深さ

中性化深さの測定はJIS A 1152 「コンクリートの中性化深さの測定法」に準じて実施した。各経過時点での中性化深さの測定結果を図-5に示す。

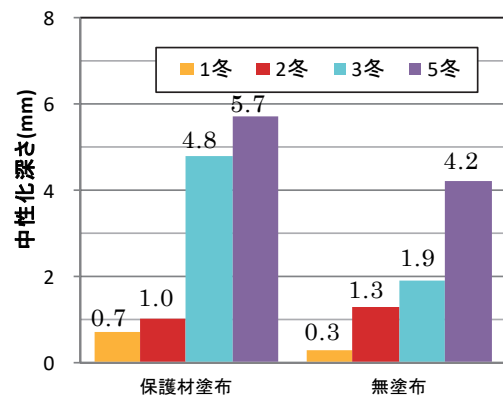


図-5 中性化深さ測定結果

図-5より、保護材塗布の有無にかかわらず、時間の経過とともに中性化深さが増加する一般的な傾向が見られた。

また、保護材を塗布した試験体は、無塗布のものと比較して、中性化深さが大きくなることが確認された⁶⁾。

保護材を塗布した試験体は水分の浸透が遮断されていることから、雨水や結露水に晒されても空隙内が水分で満たされにくく、これに対し無塗布の試験体は湿潤状態になりやすい。このため前者の保護材塗布試験体は、外部より浸入した二酸化炭素の透過量が多くなり、中性化深さが増加していると推察される。

5冬経過後の保護材塗布試料の硫黄酸化物(SO_3)に関するEPMA面分析測定結果を図-6に示す。

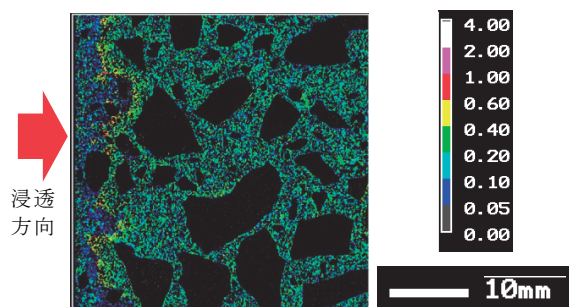


図-6 5冬経過後のEPMA面分析画像 (SO_3 濃度)

図-6においては、暴露面から深さ5mm付近の位置にて黄色で示された SO_3 濃度の高い層が見られた。一方、図-5では保護材塗布の5冬経過後の中性化深さが5mm付近であることが確認できる。

これらのことは、前述の図-4で見られた「中性化領域と未中性化領域との端境でCl元素やS元素が顕著に増加する現象」を裏付けた結果といえる。

5. まとめ

浸透性コンクリート保護材の、塩化物イオンの浸透や中性化に対する抵抗性について、実大レベルで経年的に確認することを目的として、壁高欄を模した供試体を用い暴露試験を実施した結果、5冬経過後の時点で以下の知見が明らかとなった。

- ①保護材を塗布した試験体は無塗布のそれに対し、顕著な塩化物イオン浸透抑制効果が認められた。
- ②保護材を塗布した試験体は、無塗布のそれに対して、中性化深さが大きくなる傾向が見られた。

6. 今後の課題

今後の課題として次の2点が挙げられる。

- ①保護材の効果持続性の確認、および塗り替え時期予測のため、今後も暴露試験を続けることが望まれる。
- ②標準試料をもとに作成した検量線を用いる定量方法による「塩化物イオンの発錆限界濃度」という観点からの保護材の効果検証が望まれる。

謝 辞

本暴露試験を実施するにあたっては、模擬試験体の設置場所の提供、諸条件の設定等に関し、首都高速道路株式会社、および保護材メーカー各社に、多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ(新材料): コンクリート表面保護工の施工環境と耐久性に関する研究—浸透性コンクリート保護材の性能持続性の検証と性能評価方法の提案—、土木研究所資料第4186号、2011
- 2) 柴田辰正、五島孝行、大田孝二: 撥水性を有する浸透性コンクリート保護材性能試験、土木技術資料、第54巻、第9号、pp.60~63、2012
- 3) 柴田辰正、大田孝二、五島孝行: 浸透性コンクリート保護材の塩害抑制効果確認のための暴露試験の概要、土木技術資料、第56巻、第11号、pp.58~61、2014
- 4) 小林一輔: 図解 コンクリート構造物の診断 電子の目で内部を診る、pp.30~34、2006
- 5) コンクリート委員会・規模関連小委員会: 土木学会規準「EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析方法(案)(JSCE-G 574-2005)」の制定、土木学会論文集E、Vol.62、No.1、pp.246~259、2006.2
- 6) 森井直治、久保田 憲、林承燦、宮里心一: シラン系表面含浸材の性能評価に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.32、No.1、pp.1625~1630、2010

平林克己



(一財) 土木研究センター
企画・審査部 次長
HIRABAYASHI Katsuki

柴田辰正



(一財) 土木研究センター
企画・審査部長
SHIBATA Tatsumasa

丹野 弘



(一財) 土木研究センター
専務理事
TANNO Hiroshi