

# 冬期におけるシラン系表面含浸材の 塗布時の留意点 —長寿命化を目指して—

帯広開発建設部 広尾道路事務所 工務課  
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム  
加藤建設株式会社

○村上 健志  
遠藤 裕丈  
加藤 茂樹

凍害と塩害の複合劣化を受けやすい環境下にある道路橋の地覆コンクリートや壁高欄では、予防保全のためにシラン系表面含浸材が塗布されている。塗布したシラン系表面含浸材を浸透させ、コンクリート表層に吸水防止層を形成させるためには、塗布時におけるコンクリート表面付近の水分率の管理が重要となる。本報では、施工制約上、結露しやすい冬期の低温環境下で水分管理に努めて施工した事例をもとに、低温環境での施工時の留意点を報告・考察する。

キーワード：シラン系表面含浸材、複合劣化、低温施工、水分管理

## 1. はじめに

一般国道 336 号大樹町歴舟橋では、橋梁点検の結果、防護柵の腐食、防食機能の劣化、変形、欠損が確認され、現行基準に照らし合わせても耐力不足であったことから、

防護柵の取替が計画された。また、地覆コンクリートも劣化が進行しており、ひび割れ、剥離、鉄筋露出、変形、欠損が確認されていたため、あわせて打換えを実施することとなった。

図-1 に地覆補修の流れを示す。この工事では既設の防護柵を撤去した後、ハンドピックおよびウォータージェットによって既設コンクリートをはつり取り、舗装面まで撤去した後、新たなコンクリートを打換えることとなっている。なお、寒冷地の地覆や壁高欄は凍結融解と凍結防止剤の影響を受けやすく、凍害と塩害による複合劣化の進行が懸念される。このため、北海道開発局の道路設計要領<sup>り</sup>では、コンクリートへの水分浸入抑制を目的としたシラン系表面含浸材の塗布による予防保全が推奨されており、本工事でも塗布する設計となっている。

シラン系表面含浸材は、コンクリート表層を疎水化して内部への水や塩化物イオンの侵入を抑えるための浸透性の保護材料である。図-2 に示すように、主成分の一

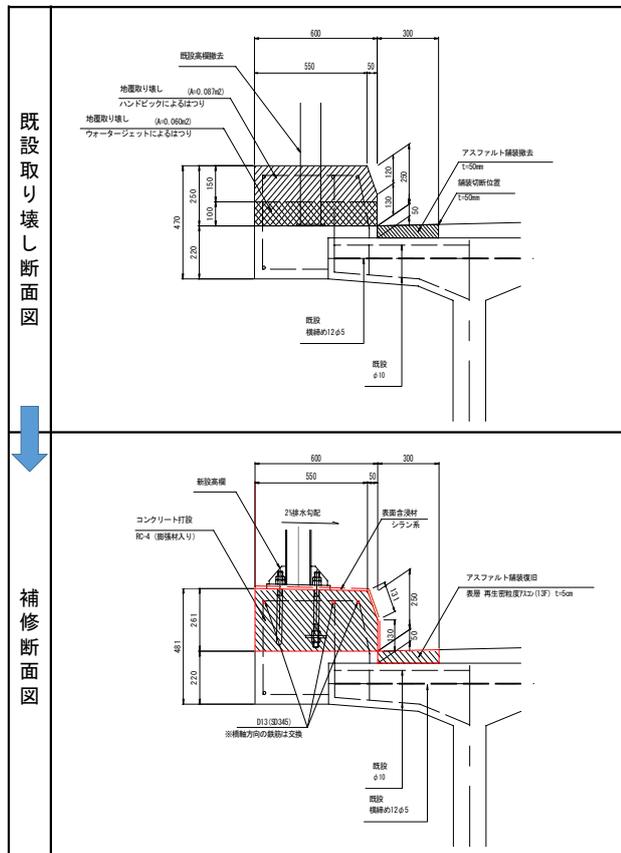


図-1 地覆補修工

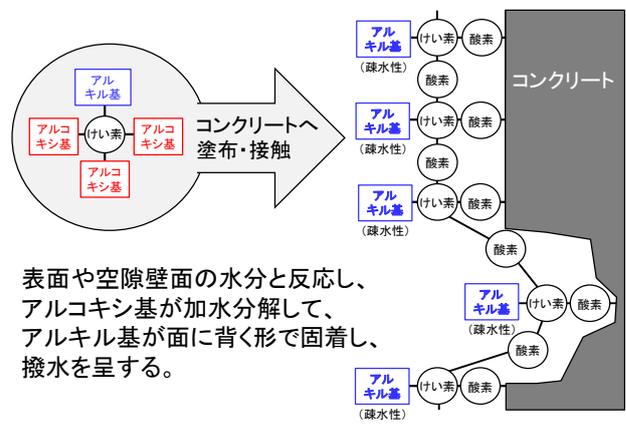
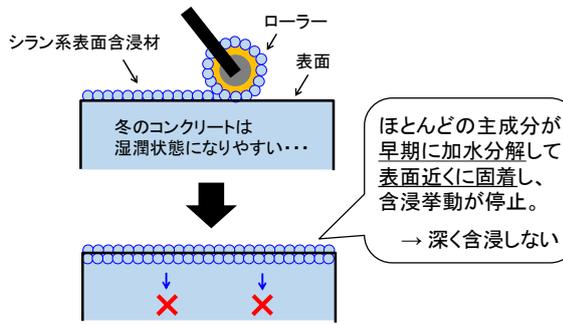


図-2 シラン系表面含浸材の撥水構造



加水分解を遅らせ、主成分の含浸挙動が長く続くよう、塗布前に表面を乾燥状態にすることが必要。 → どうすれば…?

図-3 冬期におけるシラン系表面含浸材の施工の課題

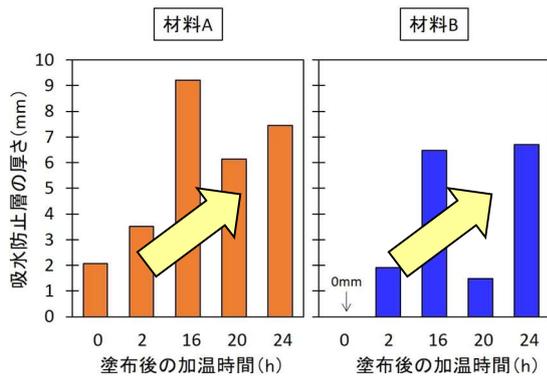


図-4 冬期のシラン系表面含浸材の施工における吸水防止層形成に及ぼす塗布後加温の効果の例<sup>3)</sup>  
(図中の右肩上がりの矢印が加温効果を表す)

つであるアルコキシ基が含浸しながら加水分解を起こし、同じく主成分の一つであるアルキル基がコンクリートの表面や空隙壁面の水酸基と化学的に結合することで吸水防止層を形成する<sup>2)</sup>。施工は、表面への塗布のみなので簡便であるが、コンクリートに水分が多く含まれていると、図-3に示すように塗布後、早期に加水分解が発生して表面近傍の空隙に大半の主成分が固着してしまい、深く含浸せず、十分な厚さの吸水防止層が形成されにくくなる。コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル2022年版にも図-4に示すように、冬期のシラン系表面含浸材の施工において、塗布後の加温を行わなかった場合、温度低下によるコンクリートの湿潤化が進行し、十分含浸しない施工事例が示されている<sup>3)</sup>。このため、特に水分が残りやすい冬期は塗布前にコンクリート表面を十分に乾燥させる必要がある。

本工事は、コンクリートの打設が初冬期であり、打設後、気温が低く、結露が予想される環境下でシラン系表面含浸材を塗布することとなったことから、施工品質を確保するため、寒地土木研究所へ技術相談し、さらに独自の工夫も加えて施工した。以下にその取組の概要について紹介するとともに、冬期の施工にあたっての留意点および課題を整理する。

MURAKAMI Takeshi, ENDOH Hirotake, KATOU Shigeki

表-1 地覆コンクリートの設計条件

コンクリートの種類による記号	呼び強度	スランプ	粗骨材の最大寸法	セメントの種類による記号
普通	24	12cm	25mm	BB



写真-1 地覆コンクリート打設完了時の状況

## 2. 施工概要

### (1) 地覆コンクリートの打設

表-1は地覆コンクリートの設計条件、写真-1は地覆コンクリート打設完了時の状況を示している。打設を行った日中の気温は5°C以上と高く、保温の必要はなかったが、夜間は外気温が氷点下になることが予想されたため、打設完了後、打設面に保水シートを敷設し、熱風ヒーターで給熱養生を行った。養生は、コンクリートの圧縮強度が80%以上になるまで継続した。これは、仕様書において、シラン系表面含浸材の塗布時の温度管理が5°C以上となっていることを考慮したものである。現場養生供試体の21日強度は、22.1N/mm<sup>2</sup>であり、設計基準強度24N/mm<sup>2</sup>の80%以上を確保した。

### (2) シラン系表面含浸材の塗布

北海道開発局道路設計要領では、シラン系表面含浸材の製品選定にあたり、室内試験にて6mm以上含浸する製品の選定が謳われており、本工事では、これを満足する製品を選定した。

従前、冬期施工におけるシラン系表面含浸材の塗布は、既定の養生期間を終えて間もなく行われることが多かった。しかし、冬期は湿度が高く、コンクリートの表層に水分が多く残存していることから、塗布直後、加水分解が瞬時に発生して含浸挙動が早期に終了し、シラン系表面含浸材が表層広範に十分含浸しない可能性がある。供用後の吸水抑制効果を持続させるためには、シラン系表面含浸材を深く含浸させることが重要であることから、今回の施工では、シラン系表面含浸材の含浸を阻害する

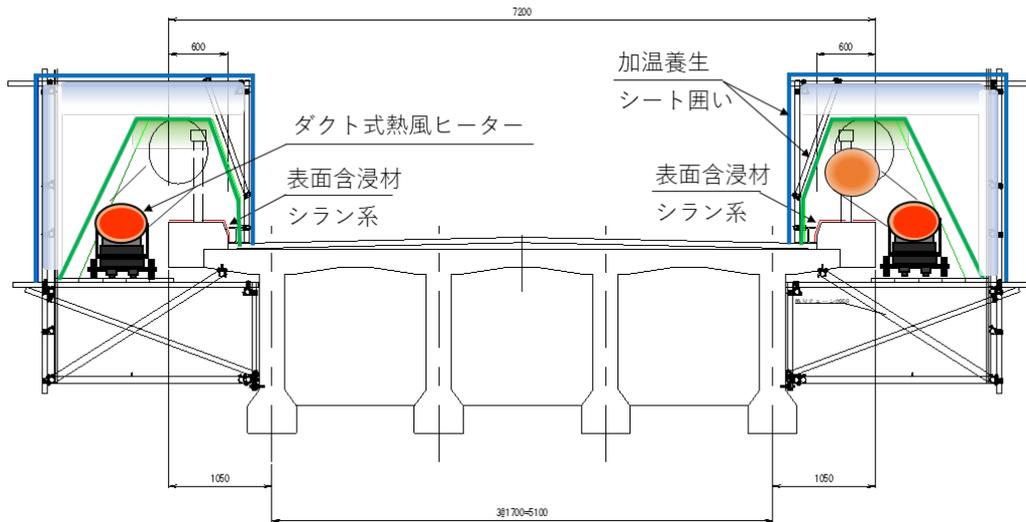


図-5 作業の概念図

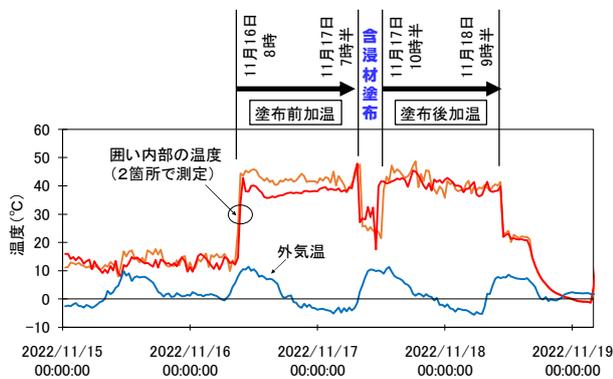


図-6 温度変化 (凡例のNo.1、No.2は作業空間、No.3は外気温を示す)

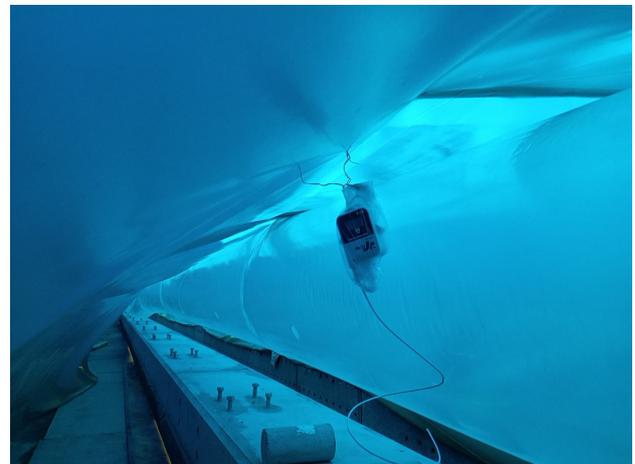


写真-2 加温時の様子 (上：内部、下：外観)

コンクリート表層の水分を取り除くため、コンクリートの強度発現確認後も養生囲いを早期に撤去せず、低湿度状態を持続させるため、加温を続けた。そして、所定の水分状態となった後、養生囲い内においてシラン系表面含浸材を塗布した。図-5に作業の概念図を示す。

冬期のシラン系表面含浸材の塗布に際し、より深く含浸させるには、塗布前に1日間、塗布後に1日間、作業空間の温度を40°C程度まで高めて、コンクリート表層を低湿状態にすることが有効であることが、寒地土木研究所での近年の研究で確認されている<sup>4)5)</sup>。そこで、本工事においては、加温設備を増強し、塗布前日から塗布翌日までの2日間、図-6に示すように、養生囲い内の温度を38°Cまで加温させることとした。写真-2は加温時の内部および外観の様子である。なお、シラン系表面含浸材の塗布時は作業環境保持のため、いったん加温を停止した。

コンクリート表面の水分管理は、寒地土木研究所の研究成果を参考に、電気抵抗式的水分計により行うこととした。電気抵抗式水分計は、コンクリート表面に電極を

押し当てて電流を流し、電極間の電気抵抗が水分によって変化する原理を利用し、コンクリート表面付近の含水状態を評価する仕組みになっている。この水分計には、乾燥状態のときに最小40、湿潤状態のときに最大990の電気抵抗換算値(以下、カウント値と記す)が表示さ

表-2 カウント値と表面の含水状態の関係<sup>9)</sup>

カウント値	10～ 55	60～ 132	137～ 230	235～ 520	521～ 744
コンクリート表面状態	絶乾	乾燥	表面乾燥	湿潤	滞水

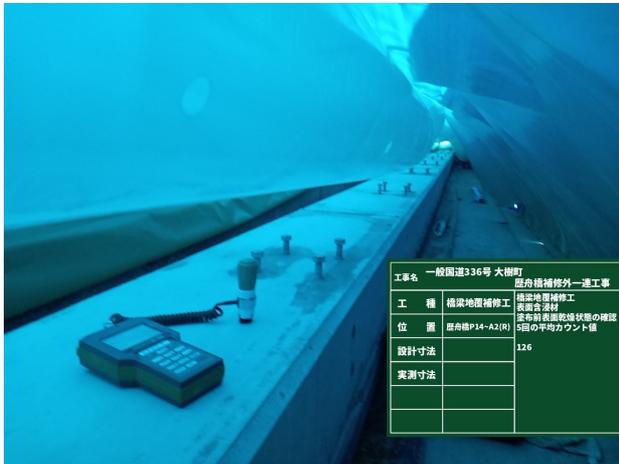


写真3 電気抵抗式水分計による水分管理の様子



写真4 シラン系表面含浸材の塗布の様子

れる機能が備えられており、従前より使用されている高周波容量式の水分計よりもコンクリート表面近傍の水分量を正確に測定することが可能である。既報では、カウント値とコンクリート表面の含水状態の関係として、表-2が示されている<sup>9)</sup>。

今回は、写真-3に示すように、コンクリート表面の乾燥の度合いをカウント値で管理することとし、「乾燥状態」を確認した上でシラン系表面含浸材の塗布を行うこととした。加温開始前はカウント値が 202 (表面乾燥状態)であったが、加温を続けたことにより、塗布当日のカウント値を 126 (乾燥状態)に調整することができた。写真-4はシラン系表面含浸材の塗布状況を示している。そして、塗布を終えてから1日間、加温を続けた後、養生囲いを撤去した。



写真5 施工後のコンクリート表面の撥水状況



写真6 含浸深さ（吸水防止層）の確認

### 3. 施工後の含浸深さの確認

シラン系表面含浸材の塗布確認に関しては、通常、空き缶検査によって行うとともに、後日、コンクリート表面への水かけによる撥水状況の確認を行っている。

本工事でも、現地において、コンクリート表面の撥水状況の確認を実施した。また、含浸深さを確認するため、写真-2の上を示すように、地覆の打設で使用したコンクリートの一部を使用して φ10cm×20cm のテストピースを作製し、養生囲い内で現場と同じように養生、加温を施し、シラン系表面含浸材を塗布した。工事終了後、このテストピースを割裂し、割裂面に水を噴霧し、撥水を呈した範囲をシラン系表面含浸材の含浸域（吸水防止層）と判断し、その深さをノギスで測定した。

写真-5は施工後に実施したコンクリート表面の撥水状況の確認の様子である。コンクリート表面が明らかに撥水していることが見て取れる。写真-6はテストピースを割裂し、含浸深さを確認している様子である。塗布前・後の加温作業に留意した今回の工事では7.67mmの

表-3 5°C及び10°Cで養生する場合の養生日数の目安<sup>7)</sup>

5°C以上の温度抑制養生を行った後の次の春までに想定される凍結融解の頻度	養生温度	断面が普通の場合		
		普通ポルトランドセメント	早強ポルトランドセメント	混合セメントB種
(1) しばしば凍結融解を受ける場合	5°C	9日	5日	12日
	10°C	7日	4日	9日
(2) まれに凍結融解を受ける場合	5°C	4日	3日	5日
	10°C	3日	2日	4日

※ W/C=55%の場合の標準的な養生期間を示した。W/Cがこれと異なる場合は適宜増減する。

※ 凍結融解の頻度について、「しばしば」とは寒冷地の戸外構造物のように次の春までに数十回の凍結融解を受ける場合を指す。「まれに」とは寒冷地においても硬化後間もなく水中に沈設したり、地中に埋設されるような構造物、次の春までの凍結融解作用が数回程度の場合を指す。(2017年制定 コンクリート標準示方書【施工編】P166)

含浸が確認された。

現場ではその後、防護柵の設置や舗装の復旧等が実施され、令和5年2月に竣工した。

## 4. 考察

### (1) 冬期のコンクリート養生について

冬期のコンクリート養生は、なるべく長い期間、凍結ならびに乾燥することなく継続して行うことが望ましい。特に今回は高炉セメント B 種を使用しているため、初期の水和反応が進みにくい。道路設計要領では、表-3 に示すように養生日数の目安を設定しており、高炉B種セメント（混合セメントB種）を使用し、仮に5°Cでの養生を行った場合、春までにしばしば凍結融解を受ける場合は12日間の養生を目安とし、さらに養生終了後にコンクリートの急冷防止のため、2日間はコンクリート温度を0°C以上に保つこととしている<sup>7)</sup>。今回は施工者の判断でシラン系表面含浸材を塗布するまでの間、保温養生または給熱養生を継続していた。

冬期の施工の場合、熱風ヒーターの燃料代や単管・シートなどのコストが継続的にかかることとなる。今回の施工では、施工者からの提案を施工承諾する形で施工しており、既定の養生日数を超える分のコストは施工者が負担している。今後、施工事例が増えていくことでこのような施工上の配慮と耐久性との関係が明らかになり、さらに積算にも反映することにより、施工者のモチベーションアップに繋がることが望まれる。

なお、北海道内では、夏に高炉セメント B 種等の混合セメントを使用していた現場でも、冬になると施工性を考慮し、普通ポルトランドセメントに切り替えるケースが多い。近年、長期的な耐久性やCO<sub>2</sub>排出量抑制の観点から混合セメントの活用拡大が求められている面があり、冬期の養生期間をなるべく短くすることを目的とした混和剤の活用に関する研究が寒地土木研究所で進められているところである。

### (2) 冬期のシラン系表面含浸材の塗布について

北海道開発局道路設計要領にはシラン系表面含浸材の製品選定の目安が記されており、JSCE-K 571 に準じた室内実験において6mm以上含浸する製品を選定することが謳われている<sup>8)</sup>。なお、この値は、あくまでも製品のポテンシャルを表しているに過ぎない。現場で塗布する場合、環境等の影響によっては実験室並みの6mm以上の含浸を達成することは難しいこともある。従来、冬期施工でのシラン系表面含浸材の塗布は、寒中コンクリートでの打設後の養生期間中に行っている。低湿度調整によるコンクリート表層の残存水分の除去が強く意識されていないこともあり、現場と同じ環境条件に存置し、塗布したテストピースを割裂し、含浸深さを測定すると数mm程度にとどまることが多い。吸水防止層の形成が達成目標であるため、この数値に対して合否の管理基準はないが、地覆は凍結融解の影響を受けやすく、含浸深さが浅いと劣化抑制効果の持続期間が短くなりがちになる。このため、吸水抑制効果を持続させるためには、深く含浸させることが重要と言える。

冬期の施工では、相対湿度が高くなりがちであり、表面から水が蒸発しにくいいため、シラン系表面含浸材が含浸しづらくなることが既往研究<sup>4)</sup>で明らかになっている。このため、今回は塗布前日から翌日まで間、養生囲いの中での加温を継続し、塗布前はもとより含浸挙動を継続するために塗布後もコンクリート表層の乾燥に留意した結果、6mmを超える含浸深さを確保することができた。この加温による効果は、コンクリート表層の水分状態や養生囲い内の湿度にもよると考えられるが、塗布時に乾燥状態になっていても、塗布後に湿度が上昇してコンクリート表層が湿潤状態になってしまうと含浸しない例も確認されており、施工後も湿度が上がりやすい翌朝まで加温を継続することが重要である。

### (3) シラン系表面含浸材の塗布確認について

本工事では、地覆の打設で使用したコンクリートの一部を使用してφ10cm×20cmのテストピースを作製し、養生囲い内で現場と同じように養生、加温を施してシラン系表面含浸材を塗布し、このテストピースを割裂することにより、含浸深さの測定を行った。

本来は塗布後、構造物からコアを採取し、実際のシラン系表面含浸材の含浸状況を直接的に把握することが望ましいものの、コア採取は準備を含めて手間がかかる上、新設構造物を傷つけることになることになり、すべての現場での実施は作業性、耐久性、美観等の観点から相応しくない。寒地土木研究所では、塗布後、構造物におけるシラン系表面含浸材の含浸状況を非破壊で簡易に把握する「シラン系表面含浸材の含浸状況非破壊管理方法（案）」を開発しており<sup>9)</sup>、今後の活用が期待される。

## 5. まとめ

今回の施工を通じて、冬期におけるシラン系表面含浸材施工時の留意点として、以下のことを明らかにすることができた。

- (1) 冬期のコンクリート施工では強度の発現が遅くなる傾向にあり、特に高炉セメント B 種などの混合セメントを使用する場合、保温養生または給熱養生を十分に行う必要がある。
- (2) シラン系表面含浸材の塗布は、コンクリート表層の水分を少なくしてから行うことが有効であるが、養生直後はコンクリート表層の水分が多い。このため、強度発現を確認した後もすぐに養生囲いを撤去せず、塗布前に 1 日間、養生囲い内の温度を 40°C 程度まで高め、コンクリート表層を低湿状態した上で塗布を行い、かつ、塗布後も 1 日間、含浸挙動を持続させるための 40°C 程度加温を続けることが有効である。
- (3) 耐久性の確保はライフサイクルコスト削減やカーボンニュートラルにも繋がるが、これに影響する施工上の配慮は、コストの負担も含めて施工者に任されている面が大きい。表面含浸材については、工期やコンクリートの品質など塗布条件の違いにより一律の評価・管理が困難な面があるが、今回のような取組が評価され、施工事例が増えてデータの蓄積が進むことで、施工後の含浸深さを規定化し、必要な対応を積算に反映することが望まれる。

## 付録

本試行結果は、令和 5 年度「建設工事の施工上の工夫・改善、事業提案事例」（全国建設業協会）に応募の結果、優良事例として選出された。今後も引き続き、管理者、施工者、研究者が連携し、品質向上に努めていきたい。

### 参考文献

- 1) 北海道開発局道路設計要領，第 3 集橋梁，第 2 編コンクリート，参考資料 B「道路橋での表面含浸材の適用にあたっての留意事項」，p.3-コ B-6，2022.4
- 2) 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〕，コンクリートライブラリー119，pp.143-187，2005.4
- 3) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 年版，土木研究所資料 No.4433，pp. II-37-II-38，2022.12
- 4) 遠藤裕丈，島多昭典：冬期におけるシラン系表面含浸材の最適な施工方法に関する研究，寒地土木研究所月報「寒地土木技術研究」，No.826，pp.12-20，2022.1
- 5) 遠藤裕丈，島多昭典：厳冬期におけるシラン系表面含浸材の適切な塗布方法に関する野外実験，土木学会第 77 回年次学術講演概要集（V 部門），V-451，2022.9
- 6) 谷倉泉，榎園正義，後藤昭彦：床版防水工における水分計の適用性に関する研究，構造工学論文集，Vol.59A，pp.1112-1123，2013.3
- 7) 北海道開発局道路設計要領，第 3 集橋梁，第 2 編コンクリート，p.3-コ 3-3，2022.4
- 8) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 年版，土木研究所資料 No.4433，pp. II-74-II-77，2022.12