

# シラン系表面含浸材の既設道路橋への 施工について

(独) 寒地土木研究所 道東支所 ○村中 智幸  
 (独) 寒地土木研究所 道東支所 川村 浩二  
 (独) 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 遠藤 裕丈

コンクリート構造物の複合劣化（凍害と塩害）の進行を抑制する手法の一つに、シラン系表面含浸材を用いる工法がある。この工法は、新設橋および打換え橋での適用実績はあるが、既設橋への適用性に関する情報は不足している。そこで、先行劣化を受けた既設橋の地覆コンクリートへの本工法の適用性について評価することを目的に、ケーススタディとして釧路管内の一般国道274号華菜橋を調査箇所を選定して試験施工を行い、スケーリングおよび吸水抑制効果に関する評価を行った。本発表では、塗布後4年経過した結果について報告する。

キーワード：表面含浸材、試験施工、スケーリング、既設構造物、地覆

## 1. まえがき

昨今の道路行政では、ストックマネジメントの考え方が重視されている。このため、新設のみならず、既設のコンクリート構造物においても、劣化の進行抑制、保全の必要性が高まっている。構造物の維持管理を合理的に進めるには、構造物に要求される性能を十分明らかにした上で、現在生じている劣化の程度と環境条件に応じた経済的かつ効果的な対策工を採用することが望ましく、そのための評価方法を確立・提案していくことが求められる。寒冷地におけるコンクリートの劣化要因として、塩害、凍害、中性化等が挙げられるが、実環境下においては、これらの劣化要因が複合的に作用する。特に、橋梁の高欄地覆は、凍結融解と塩化物イオンとの複合作用による劣化（以下、複合劣化と記す）を受けやすい厳しい環境下に曝されている。近年、これらの部位では、材工費が安価で施工性に優れるシラン系表面含浸材<sup>1)</sup>（以下、表面含浸材と記す）を塗布・含浸させ、劣化の進行を抑制する対策工が広く適用されている。

シラン系表面含浸材については、新設および打換えられた地覆では、表面含浸材の種類にもよるが、現時点において4年以上のスケーリング（表層のモルタル部分がフレーク状に剥げ落ちる現象）進行抑制効果の持続が期待されることが試験施工等で確認されている（調査は現在も継続中）。しかし一方で、先行劣化を受けた既設の地覆への適用性については資料が乏しく、十分整理されていないのが現状である。

そこで、本研究では、先行劣化を受けた既設道路橋の地覆面に表面含浸材を塗布し、地覆への表面含浸材の適用性を評価するための追跡調査を行った。本論文では、

追跡調査4年目までの結果について報告する。

## 2. 調査概要

### (1) 試験施工箇所

図-1に調査箇所を示す。試験施工は、一般国道274号白糠町の釧勝峠付近の内陸部に位置する華菜橋で行った。華菜橋は、橋長が40mの鋼合成桁橋である。（写真-1）



図-1 調査箇所



写真-1 華菜橋全景

## (2) 気象条件

図-2は調査箇所近傍（本別）の気象データ<sup>2)</sup>を示している。

この地点での2007年度の年間最低気温は-24.2℃であった。コンクリートの凍結温度である-2℃<sup>3)</sup>を基準に冬期間の凍結融解日数をカウントしたところ111日であり、特に厳冬期と晩冬期初期の12月、3月に凍結融解が頻繁に発生していた。

調査箇所は、冬期は路面凍結防止剤を散布している地域でもある。このことから、本橋は極めて厳しい寒冷条件に曝されていることが伺える。

## (3) 試験概要

図-3に試験施工の一般図を示す。施工の対象部位は地覆コンクリートとした。施工前の地覆は、打換えから2冬が経過しており、ASTM C 672の目視評価<sup>4)</sup>で1（粗骨材の露出がない深さ3mm以内のスケーリング）に相当する軽微な凍害が発生していた。

また、日射条件の違いによる影響を評価する目的で、施工は日向面（R側：南東向き）と日陰面（L側：北西向き）の両側において行った。使用した表面含浸材は、水系が3種類、溶剤系が1種類、無溶剤系が1種類の計5種類（A～Eの記号で表記する）である。表面に微細なクラックが発生していたこともあり、塗布した材料はいずれも素早く含浸した。なお、効果の比較評価を行うため、無塗布区間を設けた。

## (4) 試験項目

本調査で行った試験項目（図-4）は以下の通りである。

### a) スケーリング面積率

地覆の表面において、スケーリング発生箇所をチョークでマーキングし、トレース後、画像処理によって図化し、スケーリング面積率（1区間の施工面積に占めるスケーリング面積の割合）を求めた。

### b) 表面撥水性

食紅で着色した水を地覆の表面に吹きかけ、撥水性の評価を行った。評価は、水玉状としてほぼ全面に撥水して弾く状態を○、一部撥水している状態を△、撥水せずに濡れる状態を×とし、目視で定性的に判定した。

### c) 透水量

地覆の水平面に漏斗を立て、高さ25cmまで水を注ぎ、24時間後の透水量を測定した。

### d) 表面水分率

C)で述べた透水量の測定前後に高周波式コンクリート水分計（20MHz）を地覆表面（漏斗を立てた位置）にあて、深さ10mm、20mmにおける水分率を測定した。

### e) 超音波伝播速度

チョークを用いて、地覆の表面に20×20cm間隔のメッシュ線を引き、メッシュ交点に超音波の発・受信子を据え付け（据え付け間隔は20cm）、コンクリートの表層を伝播する超音波の速度を1区間につき100～120点測定した。

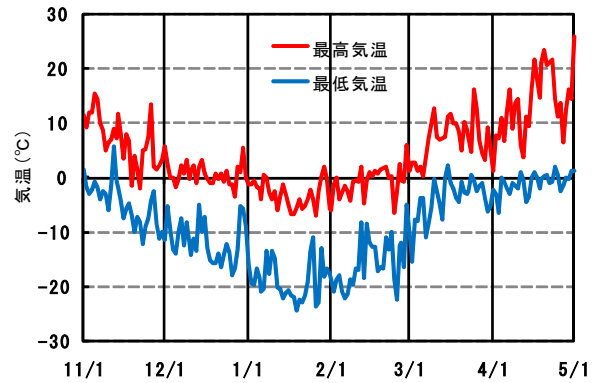


図-2 冬期気温変化<sup>2)</sup>（2007年11月1日～2008年5月1日）

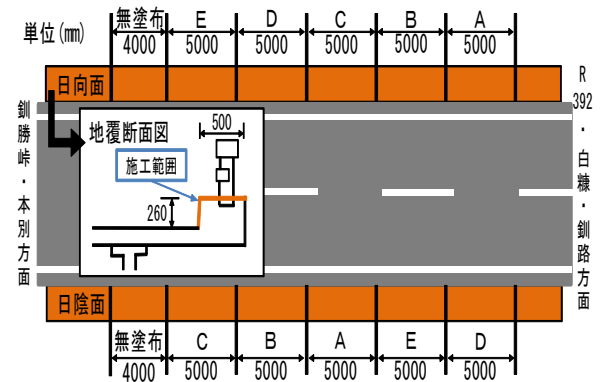


図-3 試験施工の対象部位



図-4 試験項目

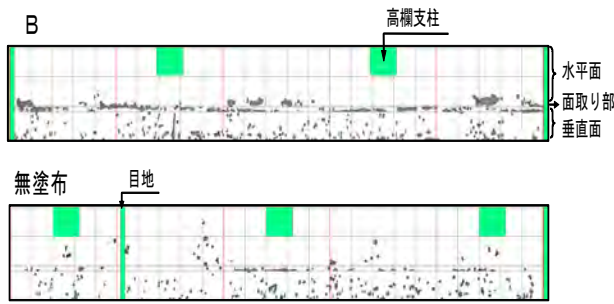


図-5 試験施工開始時のスケッチ図（日向面）

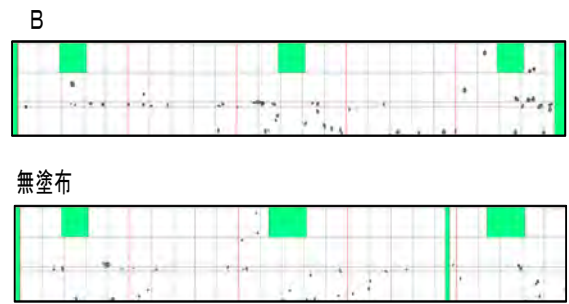


図-6 試験施工開始時のスケッチ図（日陰面）

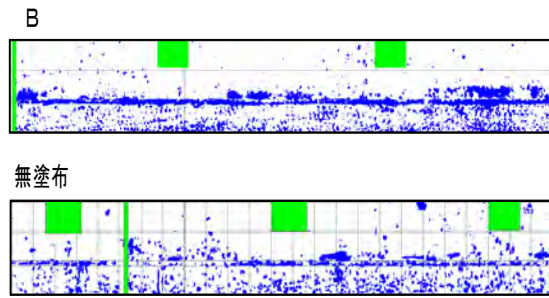


図-7 試験施工4年目のスケッチ図（日向面）

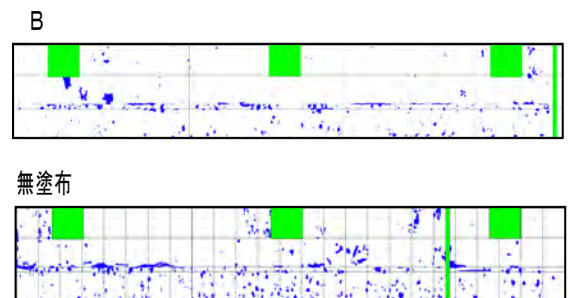


図-8 試験施工4年目のスケッチ図（日陰面）

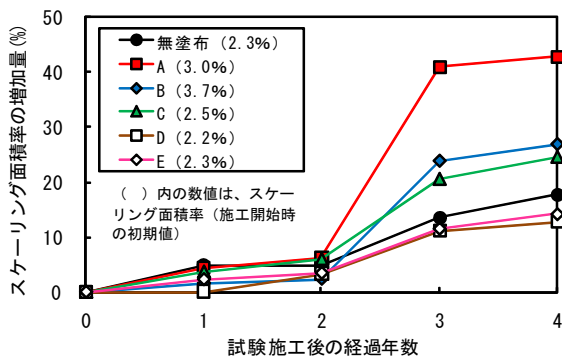


図-9 スケーリング面積率の増加量（日向面）

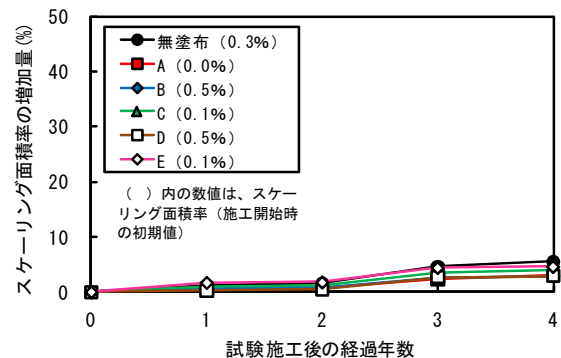


図-10 スケーリング面積率の増加量（日陰面）

### 3. 調査結果と考察

#### (1) スケーリング面積率

塗布区間を代表してB区間と無塗布区間の試験施工開始時と4年目のスケッチ図を図-5~図-8に示す。

日向面、日陰面とも、垂直面と面取り部にスケーリングが多く発生していた。これは、垂直面と面取り部は、堆雪しやすい水平面よりも、コンクリート表面の露出状態の期間が長いいため、凍結融解の影響と塩化物イオンの供給を水平面よりも多く受け、このような差が出たものと思われる。しかし、一部の区間では、水平面でもスケーリングが発生しており、スケーリングの進行性は先行劣化の程度によっても異なると考えられる。

一方、日向面と日陰面を比較すると、全区間を通して日向面の方がスケーリングが多く見られた。このことは、

日陰面は日中でも気温が低く凍結融解作用を受けにくい環境下にあるのに対し、日向面は日射によって気温が上昇しやすく、日陰面よりも凍結融解の影響を多く受けたことを示している。以降、スケーリング面積率に関しては、特にスケーリングの影響を受けていた垂直面の調査結果について述べる。

図-9、図-10は垂直面におけるスケーリング面積率の経年的な増加量を示している。本研究で調査対象とした地覆は、試験施工前から先行劣化を受けており、施工の段階で既に軽微なスケーリングが発生していたことから、施工時点のスケーリング面積を初期値とし、面積率の増加量を整理している。日向面、日陰面とも、1、2年までのスケーリング増加量は無塗布区間が比較的多く、表面含浸材による劣化抑制効果が見られたが、3年経過後に日向面の塗布区間の一部で、やや大きなスケーリングが認められた。一方、日陰面では、スケーリングの進行が

遅く、増加量は無塗布に比べて僅かながら小さく、表面含浸材の効果が持続していることが確認された。

### (2) 表面撥水性

表-1、表-2に表面撥水性の経年変化の結果を示す。施工後3年目までは、日向面、日陰面とも、一部の塗布区間で撥水効果は持続していたが、4年目においては、日向面の全ての塗布区間で撥水効果が見られない評価となった。一方、日陰面では撥水効果の持続が確認された。このことから、表面含浸材の撥水効果の消失に及ぼす日射の影響は大きいことがわかった。

### (3) 透水量

表-3、表-4に透水量の結果を示す。表の値は、無塗布区間の透水量を100とした時の塗布区間の透水量（透水比）である。塗布区間でばらつきはあるが、日向面、日陰面とも、無塗布区間に比べて透水量は少ない結果であった。撥水性については、日向面で効果が確認されなかったが、この結果は、コンクリート内部に含浸した材料は劣化しておらず、吸水抑制効果を保持していることを示している。

### (4) 表面水分率

表-5、表-6に試験施工4年目における垂直面の表面水分率の結果を示す。図には透水量の測定前後に計測したコンクリート表面から深さ10mm、20mmの水分率を示している。日向面の透水前後における水分率の差は、深さ10mmの位置で、無塗布区間が+1.0%であるのに対して、塗布区間は0~+0.6%、深さ20mmの位置で、無塗布区間が+2.1%に対して、塗布区間は+0.1~+1.4%であった。

一方、日陰面の水分率の差は、深さ10mmの位置で、無塗布区間が+2.8%に対して、塗布区間は0~+1.7%、深さ20mmの位置で、無塗布区間が+0.6%に対して、塗布区間は-0.1~+0.4%となった。さほど大きな差ではないが、塗布有無の違いが数値に表れており、表面含浸材の吸水抑制効果の持続が示唆された。

### (5) 超音波伝播速度

図-11、図-12に超音波伝播速度の経年変化の結果を示す。速度は1区間の全測点の平均値を表している。速度の経年推移を見ると、塗布区間は全体的に変動幅が小さいのに対し、無塗布区間では日向面が3年目、日陰面が4年目で速度が大きい結果が示されている。超音波伝播速度はコンクリート中の水分の影響を受けやすく、湿潤状態では速度が速くなることが知られている<sup>9)</sup>。すなわち、この年に無塗布区間が多く水分の供給を受けたことが考えられ、塗布区間の速度がこの変動に連動せず、一定値を示している結果は、塗布区間の吸水抑制効果が薄れていないことを示している。特定の年にこのような傾向が出た理由については、測定前日に降雨を受けた可能性も一考されるが、日向面、日陰面で別々の年にこのような結果が出ており、現時点で降雨の影響のみと断定することは難しく、原因の特定に向け、今後も調査を継続し、天候や水分の供給形態と速度の関係を統計的に評価して

表-1 表面撥水性調査の結果（日向面）

測定位置	経年	無塗布	A	B	C	D	E
水平面	開始年	×	△	○	○	○	△
	1年目	×	△	△	△	○	△
	2年目	×	×	×	△	△	△
	3年目	×	×	×	△	△	×
	4年目	×	×	×	×	×	×
垂直面	開始年	×	△	○	△	○	△
	1年目	×	△	△	△	△	△
	2年目	×	×	×	△	△	△
	3年目	×	×	×	△	△	△
	4年目	×	×	×	×	×	×

表-2 表面撥水性調査の結果（日陰面）

測定位置	経年	無塗布	A	B	C	D	E
水平面	開始年	×	△	○	○	○	○
	1年目	×	○	△	△	○	△
	2年目	×	△	△	△	△	△
	3年目	×	△	△	△	○	○
	4年目	×	×	×	×	△	×
垂直面	開始年	×	△	○	△	○	△
	1年目	×	○	×	△	○	△
	2年目	×	△	△	○	○	○
	3年目	×	△	△	○	○	△
	4年目	×	△	△	△	△	△

表-3 透水量調査の結果（日向面） 単位(%)

経年	無塗布	A	B	C	D	E
開始年	100	13	13	13	25	13
1年目	100	14	14	29	29	57
2年目	100	50	33	50	0	0
3年目	100	56	67	33	44	22
4年目	100	75	50	58	83	58

表-4 透水量調査の結果（日陰面） 単位(%)

経年	無塗布	A	B	C	D	E
開始年	100	31	31	23	8	8
1年目	100	79	53	21	32	16
2年目	100	143	57	14	29	29
3年目	100	70	60	90	40	40
4年目	100	80	80	0	40	80

表-5 表面水分率調査の結果（日向面） 単位(%)

深さ(mm)	無塗布	A	B	C	D	E	
10	測定前	3.8	3.9	4.4	3.5	3.5	3.3
	測定後	4.8	4.3	4.7	3.5	4.1	3.8
	差	1.0	0.4	0.3	0	0.6	0.5
20	測定前	2.9	3.0	2.9	2.3	2.7	1.9
	測定後	5.0	3.6	4.1	2.4	3.9	3.3
	差	2.1	0.6	1.2	0.1	1.2	1.4

表-6 表面水分率調査の結果（日陰面） 単位(%)

深さ(mm)	無塗布	A	B	C	D	E	
10	測定前	5.2	6.2	5.8	6.2	6.0	7.0
	測定後	8.0	7.9	5.8	7.7	6.1	7.1
	差	2.8	1.7	0	1.5	0.1	0.1
20	測定前	4.9	5.4	5.0	5.3	5.2	5.3
	測定後	5.5	5.8	5.0	5.6	5.2	5.2
	差	0.6	0.4	0	0.3	0	-0.1

いく必要がある。

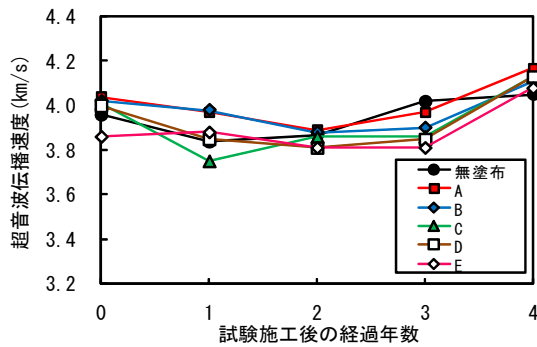


図-11 超音波伝播速度の変化（日向面）

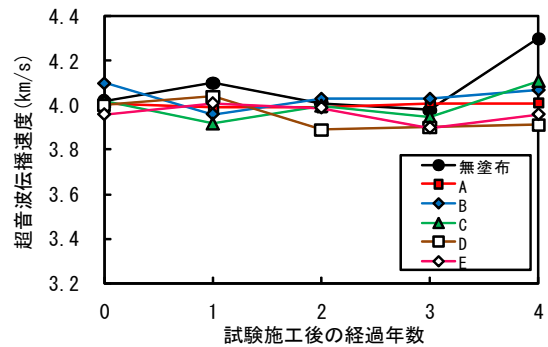


図-12 超音波伝播速度の変化（日陰面）

#### (6) 全体的な傾向の考察

4年目までの調査結果の範囲ではあるが、撥水性とスケーリングの進行性を見ると、日向面では良好な結果があまり見受けられなかったが、日陰面では撥水性が保持され、顕著な劣化も見られなかった。このことから、日向面においては、適用前に表層の劣化部を補修する等の検討が必要と言える。一方、日陰面では、劣化の進行がさほど見られず、透水量と超音波伝播速度からも吸水抑制効果が幾分見られ、コンクリートの状態によっては、内部への吸水の抑制が要求性能である部位に対しては、そのまま適用できる可能性も示唆された。なお、吸水抑制効果は深さ20mm以降で発揮されている可能性が考えられ、表層近傍で効果を期待する場合は、日向面同様、補修の検討を要すると思われる。しかしながら、これらは4年目までの取得データをもとに整理した結果であり、考察の妥当性を評価するには、今後も引き続き調査を進めていく必要がある。

#### 4. まとめ

本報告では、先行劣化を受けた既設道路橋の地覆コンクリートを対象に、表面含浸材の適用性の評価に関する追跡調査4年目までの結果を述べた。得られた結果をまとめると、以下の通りである。

- 1) スケーリングの発生は、コンクリート表面の露出状態の期間が長く凍結融解の作用を受けやすい、垂直面、日向面で多い傾向が見られた。
- 2) 日陰面では、試験施工4年目においても、塗布区間のスケーリング進行抑制効果が確認された。

- 3) 表面撥水性、透水量の調査結果から、表面含浸材の吸水抑制効果の持続性が確認された。

#### 5. 今後の課題

表面含浸材の種類や日射の影響にもよるが、先行劣化を受けた部材でもスケーリングおよび吸水抑制効果の持続性が確認されたが、本事例は少数に過ぎないため、部位条件や劣化程度に応じた効果の評価を行うには、実構造物でのデータ蓄積も含め、今後も継続的な調査検討を進める必要がある。

#### 参考文献

- 1) 遠藤裕丈、田口史雄、河上聖典、藤田裕司、村中智幸：シラン系表面含浸材による道路橋地覆コンクリートのスケーリング抑制効果—追跡調査3年目の評価—、寒地土木研究所月報（投稿中）
- 2) 気象庁ホームページ アメダスデータ (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)
- 3) 日本コンクリート工学協会：コンクリート技術の要点'99、p.155、1999.1
- 4) American Society for Testing and Materials :Standard Test Method for Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals, ASTM Standard C 672
- 5) 林田宏、田口史雄、遠藤裕丈、草間祥吾：超音波伝播速度測定によるコンクリート構造物の凍害診断に関する基礎的研究、寒地土木研究所月報、No.656、pp.10-15、2008.1