

道央地域の橋梁地覆とコンクリート高欄における シラン系含浸材の試験施工

(独) 土木研究所寒地土木研究所 道央支所 ○ 川中 敏朗
 同 上 耐寒材料チーム 遠藤 裕丈
 同 上 道央支所 宮本 修司

シラン系含浸材の凍害・塩害抑制効果については、増毛町の暴露試験場での暴露実験等により、塩化物イオンの浸透抑制効果が実証されているが、コンクリートの複合劣化は長期に亘って進行するものであり、今後も効果の持続性を継続的に追跡調査する必要がある。

本論文では、道央地域の高規格幹線道路に架かる橋梁の地覆およびコンクリート高欄を対象に試験施工を行い、施工から3年間の経過した現在の状況について報告する。

キーワード：維持・管理、長寿命化、塩害・凍害対策、シラン系含浸材

1. まえがき

積雪寒冷地域のコンクリート構造物は、凍結融解による劣化を受けやすい。特に、国道や高規格幹線道路では、冬期間の交通安全のため塩化物を中心とした凍結防止剤が散布されており、構造物は凍結融解と塩化物の複合作用（以下、複合劣化と記す）を受ける厳しい環境下にある。そのため、コンクリートの複合劣化対策が求められているが、対策工の一つにシラン系含浸材の塗布がある。シラン系含浸材は、表面を覆って塩分や水分の遮断を図る塗装のような表面被覆とは異なり、表層に生ずる凍結水圧を緩和させるためコンクリート表層に撥水機能・吸水抑制機能を付加する方法である。これにより、塩分や水分の浸透に起因する劣化の進行を抑制する効果が期待できる¹⁾。この方法は、施工性と経済性に優れ、構造物の外観を損ねることもないことから、北海道開発局においても施工事例が増加している。

シラン系含浸材の凍害・塩害抑制効果については、留萌管内増毛町にある(独)土木研究所寒地土木研究所所有の増毛暴露試験場での暴露実験²⁾や、室内での促進試験等³⁾により、塩化物イオンの浸透抑制効果は確認されている。

しかしながら、コンクリートの複合劣化は長期間に亘って進行するものであり、ライフサイクルコストの算定方法の確立に向けてさらなる継続調査が必要となる。そのため、暴露実験に加えて、北海道内の橋梁を対象に試験施工を行い、実際の寒冷状況下での効果の持続性について追跡調査を行っている³⁾。

本報告は、追跡調査を行っている6橋のうち、日高自動車道の「イモッペ川橋」の、試験施工後3年目の状況について報告する。

2. 試験施工箇所の概要

日高自動車道は、苫小牧・札幌方面と日高地方とのアクセス時間の短縮を図り、地域の医療・産業振興に寄与する重要な路線である⁴⁾。

「イモッペ川橋」は、日高自動車道の厚真 IC と鶴川 IC のほぼ中間に位置(図-1)しており、橋長 27.0m の PC 桁橋(写真-1)である。



図-1 調査位置図



写真-1 イモッペ川橋全景

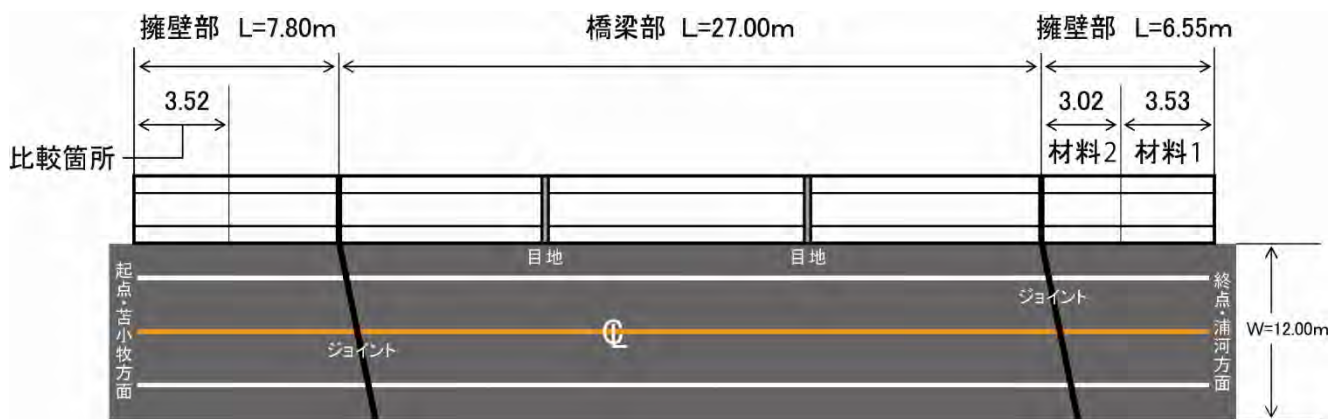


図-2 試験施工状況図

調査対象箇所は、橋梁本体外のウイング擁壁部分のコンクリート壁式高欄（面壁）とコンクリート地覆となり、コンクリート配合は表-1 のとおりである。施工面は日向面で、これらの部位に、2 種類のシラン系表面含浸材（以下、材料名は材料1、材料2と記す）を試験施工した（図-2）。

表-1 コンクリート配合

セメント	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
BB	55	44	147	278	807	1120

3. 試験施工箇所の冬期気象条件

図-3 に試験施工箇所から最も近い、鶴川アメダス⁵⁾ 地点の平成 19 年 11 月から平成 20 年 4 月までの温度変化を示す。この期間の最高気温は 17.8℃、最低気温は -22.0℃であった。

複合劣化の形態の一つであるスケーリングは、コンクリート中の水分が凍結と融解を繰り返すことにより発生する。そこで、コンクリートの凍結温度である -2℃⁶⁾ を基準として、最高気温が -2℃以上、最低気温が -2℃未満となった日数を凍結融解日数としてカウントした。その結果、当該期間の凍結融解日数は 111 日となった。この日数は、当該期間の約 60%を占めている。

図-3 から 11 月中旬から 3 月中旬までは、ほぼ毎日凍結融解を繰り返していることが読み取れる。特に 1 月中旬から 2 月下旬にかけては、気温の日較差も非常に大きい。このことは、夜間の放射冷却と日中の日射の影響を顕著に受ける事を示している。日中の気温が -2℃未満であっても、日向部のコンクリート表面は、凍結融解が発生しており、単純に気温のみからカウントした凍結融解よりも、実際の凍結融解回数は、かなり多いと考えられる。

このような気温の変動と、降雪量が少ないためコンクリート面が露出しやすいことも併せて勘案すると、本橋梁は非常に過酷な条件にあると考えられる。

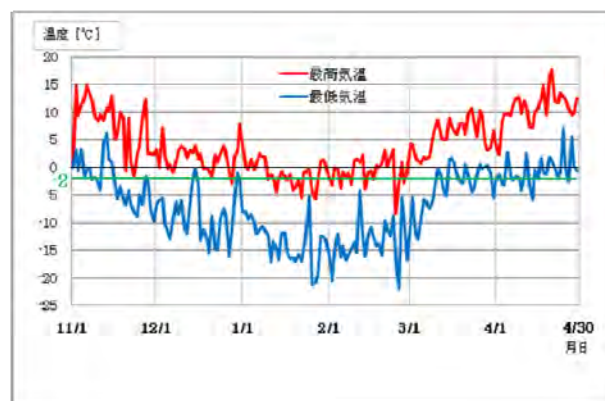


図-3 冬期の気象状況（鶴川アメダス）

4. 調査概要

調査は、目視によるスケーリング面積率、表面撥水性、透水比、超音波伝播速度の測定を行った。なお、調査に先立ちチョークでコンクリート表面に20cm間隔の線を縦横に引き、各種試験の補助とした。

(1) スケーリング発生状況

スケーリング発生箇所をチョークでマーキングし、スケッチ図を作成した。このようにして作成したスケッチ図を基に(1)式にて、面壁（天端）、面壁（垂直面）、地覆（水平面）、地覆（法面）の箇所別にスケーリング面積率を求めた。

$$\text{スケーリング面積率(\%)} = \frac{\text{スケーリング発生面積}}{\text{調査箇所のコンクリート表面積}} \times 100 \quad (1)$$

(2) 表面撥水性

シラン系含浸材は、コンクリート表面に撥水機能を付加して塩分や水分の浸透に起因する劣化の進行の抑制効果を期待するものである。このことから、コンクリート表面が撥水性を有している場合、シラン系含浸材が有効に働いていると考えられる。

調査は、食紅で染めた水を面壁（天端・垂直面）に霧吹きで噴霧し、目視で判定した。なお判定は、**図-4**に示す3つの評価基準により行った。

(3) 透水比

シラン系含浸材の撥水機能が発揮されている場合、コンクリート内部に浸透する水分量が減少すると考えられる。

そこで、土木学会の表面含浸材の試験方法（案）（JSCE-K571 2005）⁷⁾を基に、現地の面壁（天端）において透水量を測定し（**図-5**、**写真-2**）、式(2)により透水比を算出した。

$$\text{透水比(\%)} = \frac{\text{調査箇所の透水量}}{\text{比較箇所の透水量}} \times 100 \quad (2)$$

(4) 超音波伝播速度

超音波伝播速度は、コンクリート内部のひび割れによる損傷が大きいほど、伝播経路が長くなるため、見かけの速度が遅くなる。この性質を利用して、超音波計測によるコンクリートの健全度調査を行った。調査は、20cmメッシュの交点に超音波の発振子と受振子をセットして、発振子と受振子の間の超音波伝播速度を計測した。なお、使用した超音波測定機器の周波数は28kHz、発振子と受振子の直径はともに20mmである。

5. 試験結果と考察

(1) スケーリング発生状況

図-6に平成20年度（施工後3年経過）の調査結果を、**図-7**にスケーリング面積率の経年変化を示す。

図-4 撥水性の評価基準³⁾

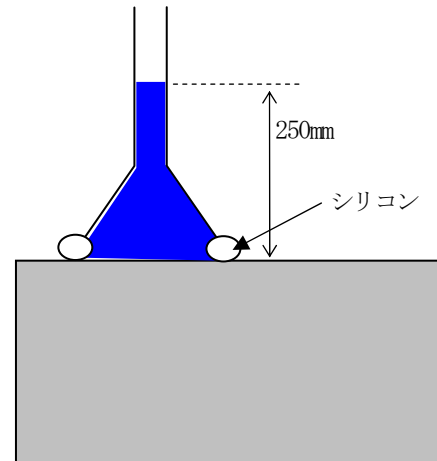


図-5 透水比試験図

写真-2 透水比試験状況

図-6 スケーリング発生状況図

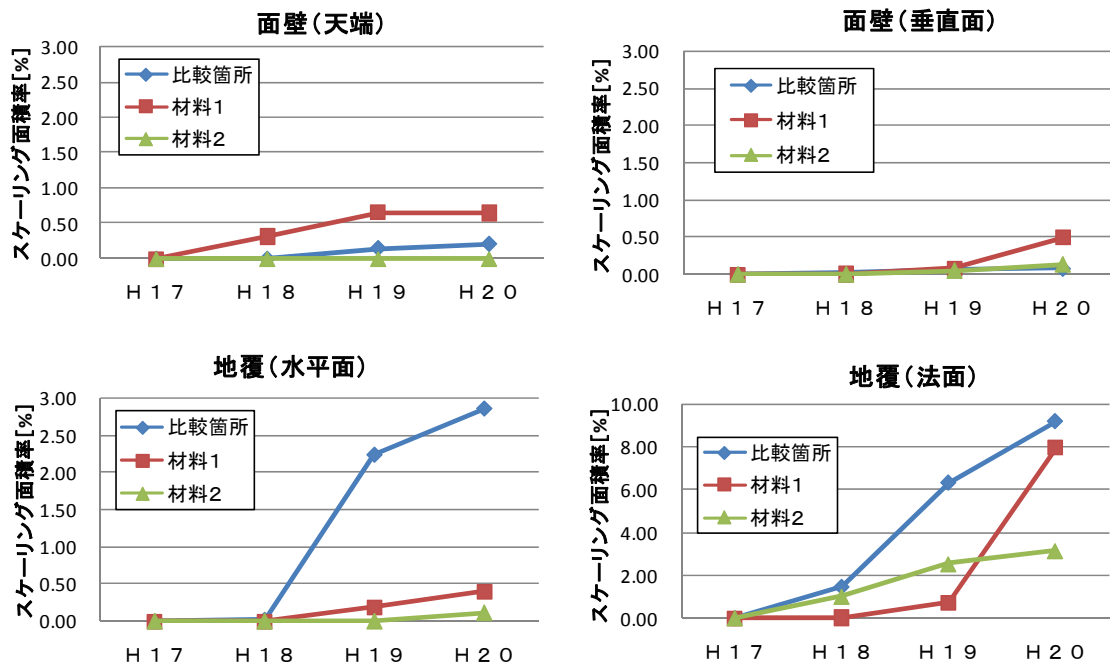


図-7 箇所別スケーリング面積率の経年変化

平成20年度のスケーリング発生状況を見ると、各箇所とも全体に占める面積の割合は小さいが、各箇所ともスケーリングの発生が見られた。

これを箇所別に見ると、いずれも面壁（天端・垂直面）よりも、地覆（法面・水平面）のスケーリング発生面積率が多く、特に法面部での傾向が顕著であった。

今回の調査で、スケーリングの発生が集中した箇所を図-6中の①～④に表す。①と②の箇所については、位置や形状から見ると、コンクリートの継ぎ目や端部なので、欠けた可能性がある。③の箇所については、起点側より終点側のスケーリングの発生が多くなった。この理由として、終点方向に道路の縦断勾配が向いているため、水が集中したことが考えられる。④の箇所については、埋設ジョイントの路側部分が前後より少し低くなっており、その部分に水がたまりやすくなっていた事が考えられる。

次にスケーリング面積率の経年変化をみると、面壁（天端）については、比較箇所と材料1の箇所のスケーリング面積率が徐々に大きくなった。面壁（垂直面）については、比較箇所と材料2が施工直後からスケーリング面積率にほとんど変化が見られなかったが、材料1については、平成19年度から平成20年度にかけて増加した。このことは、①は施工直後から、②は平成19年度から平成20年度にかけて発生したと考えられる。

地覆（水平面）については、比較箇所のスケーリング面積率が平成18年から平成20年にかけて増加したが、含浸材の施工箇所の材料1、材料2とも大きな変化が無かった。

地覆（法面）については、比較箇所のスケーリング面積率は施工直後から徐々に増加し、平成20年度には、約

9%となった。

これに対して、材料1、材料2とも、平成19年までは、スケーリング面積率が明らかに小さかったが、材料1は、平成19年度から平成20年度にかけて急増した。

(2) 表面撥水性

表-2に、表面撥水性試験の判定結果を示す。シラン系含浸材の塗布により、コンクリート表面に撥水機能が付加され、施工直後の平成17年度の調査結果では、材料1は面壁（天端）・面壁（垂直面）とも○、材料2は面壁（天端）・面壁（垂直面）ともに△であった。

施工から3年が経過した平成20年度の調査では、材料1、材料2の双方について面壁（天端）では×、面壁（垂直面）では△の評価となった。

このことは、シラン系含浸材によるコンクリート表面の撥水機能は時間経過とともに減少し、その度合いは、面壁（垂直面）よりも面壁（天端）の方が大きいことを示している。

表-2 表面撥水性試験の結果

測定位置	測定年度	経年	比較箇所	材料1	材料2
面壁(天端)	H17	施工直後	×	○	△
	H18	1年後	×	○	△
	H19	2年後	×	△	△
	H20	3年後	×	×	×
面壁(垂直面)	H17	施工直後	×	○	△
	H18	1年後	×	×	○
	H19	2年後	×	△	△
	H20	3年後	×	△	△

材料1については、平成18年の調査時に撥水性が低下しているが、平成19年には回復した。これについては、測定時に個人差が生じた可能性が推察されるが、詳細は不明である。

(3) 透水比

表-3に透水量の計測結果と、(2)式より求めた透水比を示す。このように施工から3年が経過した平成20年の調査においても、透水比は、材料1が88%、材料2が38%となり、吸水抑制機能は保持していた。

次に透水比の経年変化をみると、材料1は、平成19年の調査時には、25%から88%と大きく変化しているが、透水量で見ると0.5mlから0.7mlのわずかな変動である。この変化は、比較箇所の透水量も含浸材を塗布した箇所と同様に、透水量が少なく、わずかな違いが透水比の大きな違いとなって表れた。

なお、平成18年度の透水量が、他の年度と比較して非常に多くなっているが、これについては、測定時に蒸発や水漏れの可能性が推察され、詳細の原因は不明である。

(4) 超音波伝播速度

表-4に、計測した超音波伝播速度の平均値を示す。伝播速度は、速いものから比較箇所、材料1、材料2の順となった。調査概要に述べたとおり、超音波伝播速度はコンクリート内部のひび割れによる損傷によって影響を受け、見かけの速度が遅くなる。今回の測定値は、いずれの条件においても施工直後から伝播速度の大きな低下はみられなかった。このことから、比較箇所も含め現在のところ、コンクリート内部にそのような損傷は発生していないと考えられる。

一方、超音波伝播速度はコンクリートに含まれる水分の影響も受け、水分が多くなると速度が速くなる性質もある。そこで、超音波伝播速度を測定する前に行った表面水分率計測結果を表-5に示す。このように深さ10mm、20mmの双方において、比較箇所の水分率ももっとも多く、比較箇所、材料1、材料2の順となった。このことから、表面含浸材を塗布した箇所は、吸水抑制効果が持続しているため、コンクリート内部の水分が少なく、超音波伝播速度が比較箇所より、遅くなったと考えられる。

6. まとめ

今回の調査結果をまとめると、以下のとおりとなる。

- (1) スケーリングは、面壁よりも地覆に多く発生し、特に法面部で顕著であった。
地覆（法面）の経年変化をみると、材料1が、平成19年度と比べスケール面積率が急増した。この理由として、路面の排水状況が影響を与えた可能性が考えられ、今後詳しく調査したい。
- (2) 表面撥水性について、材料1・材料2とも、面壁（天端）は撥水性がほとんど消え、面壁（垂直面）は撥水性が持続していた。この理由として、降水や

表-3 透水比試験の結果

測定年度	経年	比較箇所	材料1	材料2
H17	施工直後	0.8ml	0.5ml	0.5ml
		100%	63%	63%
H18	1年後	3.2ml	3.3ml	3.1ml
		100%	103%	97%
H19	2年後	2.0ml	0.5ml	0.6ml
		100%	25%	30%
H20	3年後	0.8ml	0.7ml	0.3ml
		100%	88%	38%

表-4 平均超音波伝播速度の結果

単位(km/s)

測定年度	経年	比較箇所	材料1	材料2
H17	施工直後	3.85	3.85	3.78
H18	1年後	3.98	3.65	3.65
H19	2年後	3.52	3.53	3.47
H20	3年後	3.76	3.71	3.57

表-5 表面水分率の結果

単位[%]

測定深さ		深さ10mm	深さ20mm
比較箇所	水平面	8.6	5.9
	垂直面	5.9	5.2
材料1	水平面	7.1	5.2
	垂直面	5.0	4.2
材料2	水平面	5.9	4.8
	垂直面	4.7	3.9

日射の影響が可能性として考えられるが、撥水性については、過去の調査においても一旦撥水性が低下した後、回復したこともあり、今後とも調査を継続する必要がある。

- (3) 透水量は、施工直後と比較してもほとんど差が無く、コンクリート高欄自体劣化していないと思われる。また、透水比はいずれも100%を下回っており、シラン系含浸材の抑制効果は現時点でも持続している。
- (4) 超音波伝播速度については、含浸材の塗布を行っていない比較箇所がもっとも速くなった。この理由として、比較箇所を含めコンクリート内部にひび割れが発生していないため、コンクリートの含水率が超音波伝播速度に最も大きな影響⁸⁾を与えたと思われる。このように、超音波伝播速度については、目視調査に代わる非破壊のコンクリート試験法として期待されているが、表面劣化の試験方法としての適用性を、今後とも調査検討する必要がある。

7. あとがき

北海道では、「スパイクタイヤ粉じんの防止に関する法律」の施行により、札幌市内における降下ばいじん量の激減など、「白い冬」を取り戻すことができた⁹⁾。その反面、スパイクタイヤを使用していた時代には、非常に少なかった凍結防止剤の散布量が大きく増加した。このことは、当時諸外国においては既に顕在化していた凍結防止剤の大量使用による二次的影響¹⁰⁾が、北海道においても、将来の重要な課題となる可能性を示唆していた。その中で道路構造物に対する主なものとしては、金属腐食とコンクリートへの影響があり、これらに対しては予防的対策が今後とも重要である。

コンクリートへの影響に対する予防的対策として、シラン系含浸材の施工事例が増加しているが、コンクリートの複合劣化は、経年的に進行するものであり、その効果を定量的に評価するためには、今後ともデータの蓄積が必要である。

謝辞

最後に、調査に当たって、多大なる協力をいただいた、室蘭開発建設部苫小牧道路事務所、(株)小金澤組に改めて感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 材料研究室：コンクリート表面含浸材について、北海道開発土木研究所月報 No.632 2006年1月
- 2) 遠藤裕丈、田口史雄、小野俊博、登靖博：シラン系含浸材で保護されたコンクリートの塩化物イオン浸透予測－暴露試験2年目の評価－：寒地土木研究所月報 No.662 2008年7月
- 3) 遠藤裕丈、田口史雄、谷本俊充、小野俊博：シラン系含浸材によるコンクリートスケーリング植生対策に関する研究－試験施工1年目の評価－：寒地土木研究所月報 No.640 2006年9月
- 4) 室蘭開発建設部ホームページ：
(<http://www.mr.hkd.mlit.go.jp>)
- 5) 気象庁ホームページ：
(<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)
- 6) 日本コンクリート工学協会：コンクリート技術の要点 '99
- 7) 2007年制定コンクリート標準示方書「規準編」土木学会規準および関連規準、pp.365-373、土木学会
- 8) 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研究、寒地土木研究所月報 No. 656 2008年1月
- 9) 高木秀貴、堀田暢夫：北海道におけるスパイクタイヤ使用規制の影響と今後の課題：開発土木研究所月報 No. 483 1993年8月
- 10) Gudrun Oberg, Kent Gustafson, Lennart Axelson：より少ない塩による効果的な路面对策、(財)道路管理技術センター