

白鳥大橋の舗装ひび割れ調査及び 舗装補修計画について —予防保全を考慮した舗装補修計画—

室蘭開発建設部 室蘭道路事務所 計画課 ○島田 武
小野寺 仁
西村 浩二

白鳥大橋は室蘭港に架設されている長大吊橋であり、橋梁各部材の更新は非常に困難である。そのため予防保全を中心とした戦略的維持管理計画が必要である。白鳥大橋の舗装は変形追随性、低温時疲労抵抗性を有する耐久性に優れた舗装を採用しているが、近年、広範囲の舗装表面に損傷が確認された。

本稿では、舗装調査結果に基づき、予防保全による長寿命化に向けた舗装補修計画への取り組みについて報告する。

キーワード：健全度、長寿命化、維持・管理

1. はじめに

白鳥大橋は室蘭港に架設された中央径間720 mの吊橋であり、東日本では最長の国内唯一の積雪寒冷地に架かる吊橋である（写真-1）。本橋は室蘭市の工業・医療拠点と北海道縦貫自動車道を連結し、物流や広域医療ネットワークを形成する重要な路線である。近年では開通以来約3倍となる年間約700件の救急搬送があり、安全で安定した通行が求められている。

本橋梁は1985年（昭和60年）に着工し1998年（平成10年）に完成・開通しており、供用から17年が経過している。各部材は施工期間を考慮すると約20年が経過しており、鋼材における防食機能の劣化など部分的な損傷が散見されるようになった。これらの損傷に対処するうえで、白鳥大橋が積雪寒冷地に架設されているという環境条件、架け替えや部材交換が容易に行えない特殊な補修条件から、長寿命化に向けた戦略的な維持管理計画の検討を目的に、有識者による「白鳥大橋維持管理計画検討会」

（委員長：岸 徳光、釧路工業高等専門学校校長）を2012年（平成24年度）に設立した。

白鳥大橋の舗装面に関しても、点検によりひび割れが確認され、調査と補修計画の検討を行った。本稿では、その調査内容と補修計画の検討状況について報告する。

2. 白鳥大橋の舗装

白鳥大橋の舗装部には、長大吊橋であることから大きな変形に追随できること、鋼床版構造を採用しており積雪寒冷地であることから高・低温に対する安定性・抵抗性があること、鋼床版を保全するための防水性に優れることが求められた。これら、「変形追随性」「高温時安定性」「低温時疲労抵抗性」「防水性」は、本州四国連絡高速道路株式会社によって長年の調査検討結果を踏まえ規格化された舗装仕様が最も適していた。この舗装仕様に対して、積雪寒冷地に求められる「低温時ひび割れ抵抗（たわみ追従）性」の確認を行い、十分な結果が得られたことから、図-1に示す舗装構成を採用した。



写真-1 白鳥大橋全景

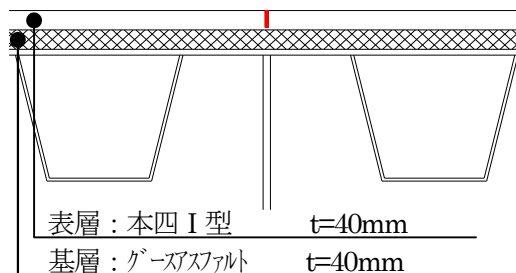


図-1 白鳥大橋 舗装構成

また、建設当初から耐久性向上のために打継ぎを極力少なくした舗設計画、表層のひび割れ防止を目的とした縦目地の施工、排水性向上を目指した導水溝の設置等、耐久性を重視した高品質な舗装を施工することで、鋼床版の長期的な健全性を確保することを目指した。

3. 舗装ひび割れ調査

白鳥大橋の舗装は、開通直前の1997年（平成9年）に舗設以来18年が経過している。表層のひび割れは、点検により2005年（平成17年）に確認され、翌2006年（平成18年）に補修を行っている。表-1には、2012年（平成24年）に調査した白鳥大橋の路面性状調査結果を示している。北海道開発局の「道路の維持管理計画（案）」では、原則として舗装補修は、路面のひび割れ率が40%以上又はわだち掘れ量40mm以上で行うこととなっている。表-2には、白鳥大橋の損傷度について示している。

表-1 白鳥大橋 路面性状調査結果

(調査:平成24年10月)

白鳥大橋(L=1,380m, A=16,560m ²) 路面性状調査					
	ひび割れ率 (%)	わだち掘れ (mm)	平坦性 (mm)	IRI (mm/m)	MCI
最大値	6.70	9.00	2.02	2.93	8.80
最小値	0.00	3.00	0.63	1.08	5.90
平均値	0.62	4.78	1.06	1.65	7.82

(L:橋梁延長(m) A:車線面積(m²))

表-2 白鳥大橋 損傷度表

ひび割れ率	ひび割れ長さ					
	0mm以上 10mm未満	10mm以上 20mm未満	20mm以上 30mm未満	30mm以上 35mm未満	35mm以上 34mm未満	40mm以上
0%以上						
10%未満						
10%以上						
20%未満						
20%以上						
30%未満						
30%以上						
35%未満						
35%以上						
40%未満						
40%以上						

しかしながら、近年の点検によってひび割れ補修箇所
の再劣化が確認され、基層（グースアスファルト）の損傷が懸念されたことから舗装調査を行うこととした。図-2には、2014年（平成26年）の点検によって確認されたひび割れ箇所と今回の試験箇所について示している。試験箇所は、ひび割れの延長が長い箇所（調査箇所A）、横断方向にひび割れが発生している箇所（調査箇所B）、複数のひび割れが平行して発生している箇所（調査箇所C）の3箇所とした。また、比較のためにひび割れが発生していない健全部についても調査を行った。

(1) ひび割れ深さの確認

ひび割れ深さは、ひび割れ箇所をIH（電磁誘導加熱）式舗装撤去工法により正方形に開削し、開削断面から確認・計測した。写真-2には、試験状況を示している。開削箇所の復旧にはファルコンHRを使用することとし、基層には流し込みタイプ、表層は転圧タイプとした。図-3には、復旧断面図を示している。

調査結果より、①調査箇所Aは表層を貫通していたが、基層にひび割れは発生していないこと（写真-3）や、②調査箇所B、Cは、表層から基層を貫通し鋼床版まで達していること（写真-4,5）等が明らかになった。

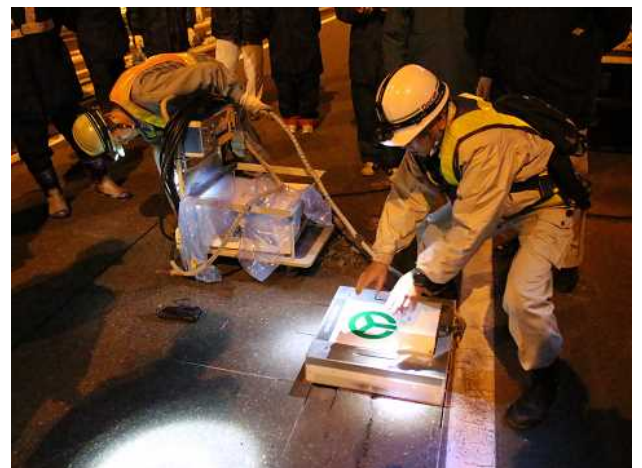


写真-2 舗装調査状況

◆調査箇所

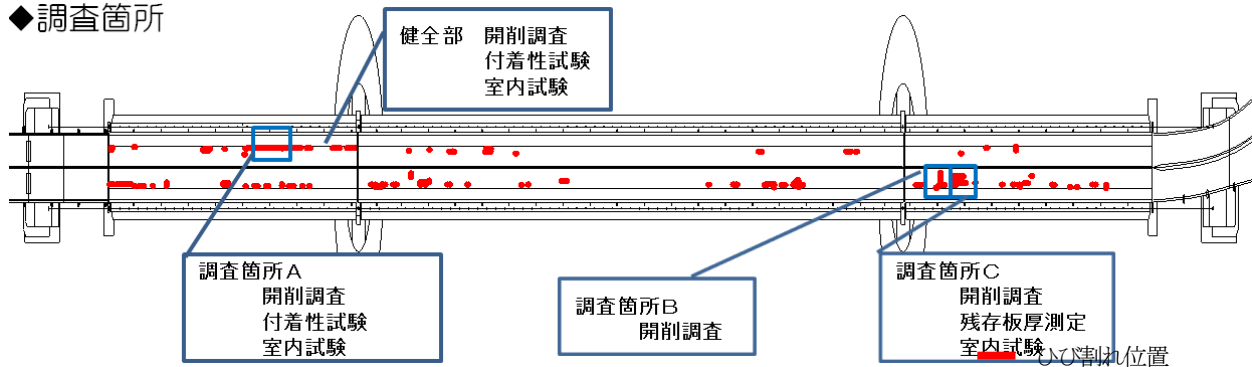


図-2 白鳥大橋舗装調査箇所図

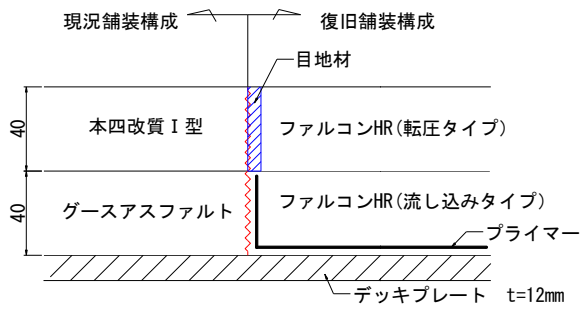


図-3 舗装復旧図



写真-3 調査箇所 A 損傷状況



写真-4 調査箇所 B 損傷状況



写真-5 調査箇所 C 損傷状況

(2) グースアスファルト付着強度試験

次に、ひび割れ箇所からどの程度の範囲まで付着力に影響があるかの確認を目的とした、グースアスファルト付着強度試験を行った。調査は、ひび割れ延長が長い調査箇所Aで行うこととし、ひび割れ部を中心に横断方向に3点、ひび割れ箇所での測定は困難であることから、近似値としてひび割れ延長上のひび割れが発現していない箇所1点、比較対象としてひび割れが発生していない健全箇所1点の合計5点で測定を行った。図-4には、各試験位置を示している。試験方法は、①コアカッター(φ100 mm)を用いて舗装を切断し、②引張治具をエポキシ樹脂でコアに接着の後、③引張治具に測定器を接続して付着強度を測定した。図-5には、試験イメージを示している。

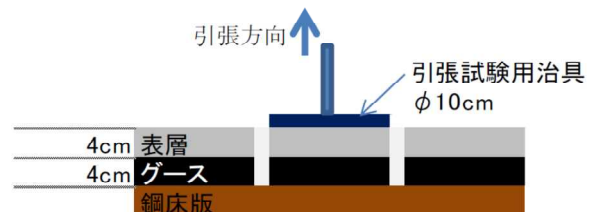


図-5 付着強度試験イメージ図

試験結果は表-3に示している。d = 0 cmの箇所では表層は基層の界面で剥離したが、他の試験箇所では表層部で凝集破壊が発生し、測定目的である基層部の付着強度は計測不可能であった。しかしながら、d = 0 cmの箇所では0.57 MPaの付着強度を示し、その他の箇所では竣工時の付着強度である1.4 MPa以上¹⁾を記録したことから、基層グースアスファルトの付着力は所用の強度が保たれていることが明らかになった。通常、付着強度計測時には表層部での凝集破壊は発生することが無いことから、表層アスファルトの健全性低下が推察された。

表-3 付着強度試験結果

	No.1 d=0cm	No.2 d=15cm	No.3 d=35cm	No.4 d=85cm	健全部
引張接着強度 MPa	0.57	1.46	1.97	1.72	1.85
破壊形態	表・基層の界面剥離	表層の凝集破壊	表層の凝集破壊	表層の凝集破壊	表層の凝集破壊
コア下面の状態 グースAsと 鋼床版との密着性	密着面の異状なし	密着面の異状なし	密着面の異状なし	密着面の異常なし	密着面の異状なし

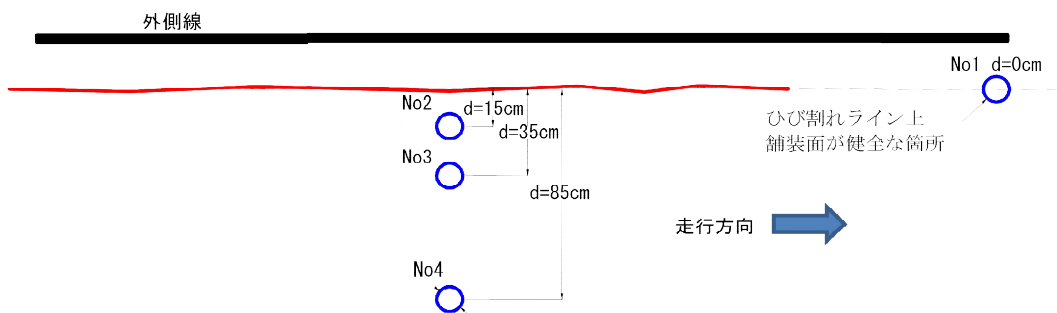


図-4 調査箇所 A 付着強度試験位置図

(3) アスファルトの室内試験

調査箇所A、Cにおけるアスファルトの物性値を確認するため、室内試験を行った。表-4、5には試験結果を示している。

表層アスファルトは、舗設当時よりアスファルト含有量が減少し空隙率が増加していたが、密度の変化はほぼないことから、劣化度は小さいものと推察される。しかしながら、針入度や軟化点温度が大きく低下しているため、追従性能は低下していることがうかがわれる。

基層アスファルトは、アスファルト含有量、密度が舗設当時とほぼ同値であることが確認された。また、針入度や軟化点温度は表層ほどの低下が見られなかったことから、耐荷性と追従性能の低下は無いものと判断される。

表-4 表層アスファルト室内試験結果
(表層：本四I型)

	健全部	A	C	配合試験時	配合基準値
実際密度 g/cm ³	2.345	2.342	2.424	2.384	---
最大密度 g/cm ³	2.498	2.498	2.486	2.47	---
空隙率 %	6.1	6.2	2.5	3.5	3~5
アスファルト含有量 %	6.11	6.02	6.31	6.5	---
針入度 1/10mm	28	22	21	78	60~100
軟化点 °C	67	71.5	67.5	60	55~65

表-5 基層アスファルト室内試験結果
(基層：グースアスファルト)

	健全部	A	C	配合試験時	配合基準値
実際密度 g/cm ³	2.422	2.372	2.398	2.399	---
最大密度 g/cm ³	2.459	2.424	2.443	---	---
空隙率 %	1.5	2.1	1.8	---	---
アスファルト含有量 %	9.74	8.13	10.34	8.3	---
針入度 1/10mm	25	24	23	35	30~45
軟化点 °C	65.5	56.5	70	54	50~60

4. 鋼床板の健全度評価

鋼床版上面の状況を確認した結果、ひび割れが貫通していない調査箇所Aは健全な状態であったが(写真-6)、基層までひび割れが貫通している調査箇所B、Cではひび割れに沿って腐食が確認された(写真-7, 8)。腐食の形態は、写真-9に見られるような孔食状態であった。また、鋼床版の亀裂の有無を確認するために、磁粉試験と探損試験を行った。試験結果、鋼床版には一切亀裂が無いことが確認された。

腐食した鋼床版の健全度評価において、腐食状態が孔食の場合には、最小板厚を用いることによって過小に評価される傾向にあり、平均板厚を用いることによって適切に評価可能であることが明らかになっている²⁾。ここでは、図-6に示す箇所の平均板厚をディプスゲージにより計測し算出した。表-6には計測結果を示している。計測結果、平均板厚は11.544 mmであった。本橋では、必要板厚が下記の計算により10.85 mmであることから、鋼床版は所用の耐力が確保されていることが確認された。



写真-6 調査箇所A 鋼床版上面状況



写真-7 調査箇所B 鋼床版上面状況



写真-8 調査箇所C 鋼床版上面状況



写真-9 調査箇所B 腐食箇所接写

表-6 板圧計測結果

	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	1-12	1-13	1-14	1-15	1-16	1-17
距離 (mm)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400
深さ (mm)	0.00	0.01	0.02	0.01	0.20	0.56	0.75	1.28	0.92	0.44	0.66	0.37	0.88	1.16	0.76	0.20	0.00
板厚 (mm)	12.00	11.99	11.98	11.99	11.80	11.44	11.25	10.72	11.08	11.56	11.34	11.63	11.12	10.84	11.24	11.80	12.00

	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10	2-11	2-12	2-13	2-14	2-15	2-16	2-17
距離 (mm)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400
深さ (mm)	0.00	0.07	0.15	0.15	0.10	0.50	1.25	0.61	0.34	0.97	1.15	0.35	0.42	0.42	0.21	0.60	0.00
板厚 (mm)	12.00	11.93	11.85	11.85	11.90	11.50	10.75	11.39	11.66	11.03	10.85	11.65	11.58	11.58	11.79	11.40	12.00

5.舗装補修計画

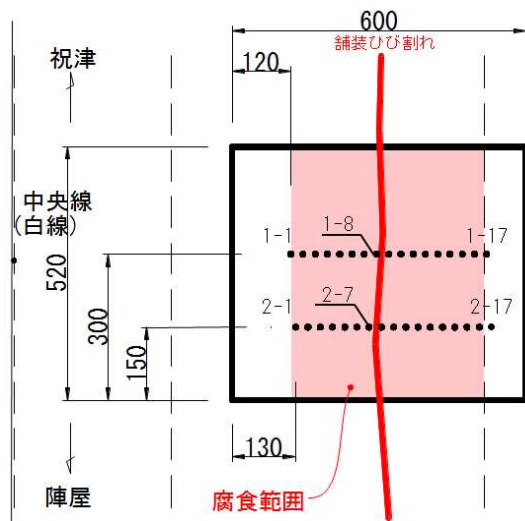


図-6 板圧計測箇所図

本橋の必要板厚(道路橋示方書規定)
 $t_{req} = 0.035b$ (b:縦リブ支間=310mm)
 $= 0.035 \times 310 = 10.85\text{mm}$
 ※但し、 $t \geq 12\text{mm}$

なお、道路橋示方書によると鋼床版の最小厚さは12mmとして示されている。これは施工時の溶接ひずみを考慮した値である。しかしながら、今後腐食が進行した場合には必要な板厚を確保できなくなる可能性もあることから、腐食の進行を抑制するためには、舗装の止水性能の回復が必須であるものと判断される。

北海道開発局の「道路の維持管理計画(案)」では、舗装の補修項目において、通行の安全確保のために対応が必要である等、特別な事情がある場合には補修を実施することとしている。これより、本橋に関しては、路面性状によらず止水性回復の観点から補修が必要であるものと判断した。

調査結果、①表層の本四I型は追従性に劣化が見られることや、②基層のグースアスファルトは、基本的には劣化していないことが明らかになった。このことから、基層のひび割れによる損傷は、表層のひび割れに著しく影響を受けていることが推察される。今後、追従性が低下した表層にひび割れが生じる可能性も高く、基層に損傷が発生する要因となることが推察される。これらの結果を踏まえ、表層は健全性確保のために全面打替えることとした。また、基層に関しては、表層の健全性が確保された条件下では性能維持が十分期待できるものと判断し、損傷箇所のみを補修することとした。補修舗装の構成は、建設当初の舗装構成が現時点においても白鳥大橋に求められる性能を十分に満たしていることより、従前と同様とした。

実際に補修を施す場合には、表層に損傷を生じている箇所においても基層まで達していない場合もあることから、事前に損傷箇所の把握が必要である。しかしながら、現場にて非破壊調査によって事前に基層の損傷を特定することが困難であったことから、表層切削後に基層表面の損傷部を目視によって確認し、補修範囲を決定することとした。図-7には補修フローを示している。基層損傷箇所における鋼床版の腐食部は、孔食により粗面となっている。これらの箇所に対して、グラインダー等での平滑処理を行うことは、板厚を減少させ耐力低下の要因となる。一方で、腐食部を除去する場合には、粗面であってもグースアスファルトの付着に与える影響が小さいことが明らかになっていることから、ここではブラスト処理(1種ケレン相当)を施すこととした。

グースアスファルトの舗装は、耐久性を考慮し建設時と同様に極力打ち継ぎ面を少なくするためにひび割れ箇所を箱抜きせずに、原則全幅を対象として実施することとした。しかしながら、グースアスファルトの施工幅は現在の舗設機械で最大5.5mであるため、片側幅員である6.8mを一度に舗設することはできない。このため、路肩部の基層に損傷が無い場合には、車線内に打ち継ぎ

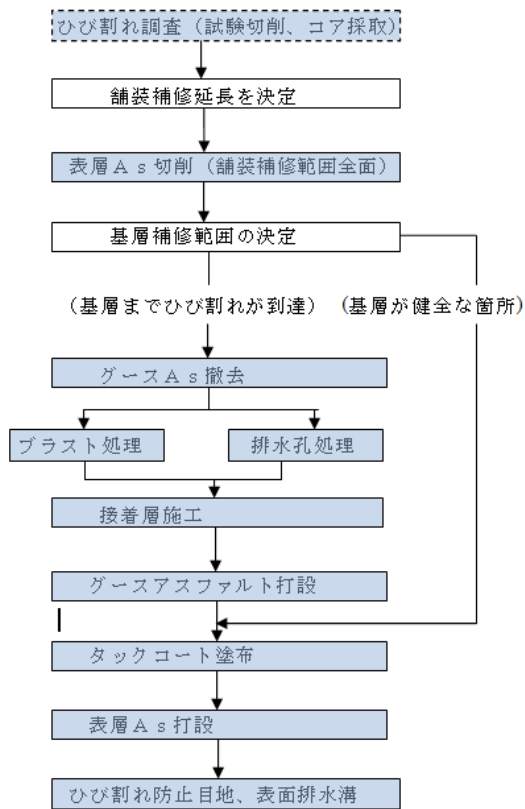


図-7 白鳥大橋舗装補修フロー図

箇所を設けないように、中央分離帯から施工幅を5.5 m程度にすることを計画している。

また、グースアスファルトのみの舗設状態では交通解放ができないことから、24時間の交通規制が発生する。しかしながら、通行止めは地域に与える影響が大きいことから、片車線毎の補修工程とし、施工期間は2ヶ年での計画とした。なお、片車線の通行方法に関しては、図



図-8 片車線対面交通規制図

-8に示すとおり、幅員的には片車線での対面交通の車線確保が可能である。

6.今後の予定

現在、舗装補修に関する予算要求を行っており、次年度以降、早い段階での施工を目指している。施工時の交通規制方法等に関しては、警察や室蘭市と十分に協議を進めて行く予定である。また、部分補修となるグースアスファルトが目視観察ができないことから、補修分割図を作成すること等、損傷・補修履歴を記録することによって、ひび割れが鋼床版に達し腐食が発生する前に舗装の損傷程度を把握できるような管理手法の検討を行って行く予定である。

7.おわりに

白鳥大橋は、地域的かつ広域的ネットワークを担い、整備効果を十分発揮して、交通機能の観点で大きな役割を果たしている。さらに、現在では地域のシンボルとしても欠かせない存在となっており、長寿命化の推進は架け替えの難易性のみならず地域の要請としても強く求められている。

今回は、舗装の補修に関する報告を行ったが、他の部材に関する維持管理に対しても様々な取り組みを計画・実施し、白鳥大橋の長寿命化対策を推進していく予定である。

謝辞：本試験の計画・実施にあたり、白鳥大橋維持管理計画検討会委員各位及び事務局の(株)ドーコンの担当各位に、多大なるご尽力を頂いた。この場を借りて深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 「鋼床版舗装の実態調査結果」(『舗装』10巻10号 S50年10月)
- 2) 「腐食鋼板の表面性状と残存耐荷力」村中昭典、皆田 理、藤井 堅 構造工学論文集 Vol.44A(1988年3月)