

一般国道40号旭川市旭橋塗装塗替工事における 素地調整方法の検討について

旭川開発建設部 旭川道路事務所 第1維持課

○寺嶋 淳一

石山 賢二

小森 一澄

旭川市街地を流れる石狩川と牛朱別川の合流部に架かる旭橋は、市内交通の要として地域の暮らしを支える、旭川市のシンボリックな橋であり、完成から76年を経過した現在まで約10年サイクルで7回の塗替が行われてきた。その結果、残存塗膜厚は約1mmにも達し、鋼材表面にはミルスケールが残存している事や残存塗膜には鉛も含まれている事が確認された。

これらの条件から、素地調整方法の決定にあたっては現地にて試験施工を行い、周辺環境・作業環境・経済性等を勘案した工法を選定した。この検討内容と北海道を代表する名橋である旭橋の色彩決定の経緯について述べる。

キーワード：景観、黒皮（ミルスケール）、素地調整1種、実証試験、ブラスト工法

1. 旭橋の歴史

旭橋は明治37年5月に道内2番目の鋼道路橋として誕生した。現在の旭橋は2代目で、昭和4(1929)年に工事着手し、昭和7(1932)年11月に橋長224.82メートル、橋員18.3メートルの鋼製の橋梁として、国内を代表するバランス型タイドアーチ形式橋梁として完成した。旭橋は、旭川市の中心部を流れる石狩川に架設され平成14(2002)年には土木学会選奨土木遺産に認定、平成16(2004)年に北海道遺産に認定されている。

鋼橋の美観や防食性を維持するために現在まで7回の塗替え塗装が実施され、平成10(1998)年の塗替え塗装で採用された色調であるオリーブ・グリーン色の橋梁として広く知られ、旭川市民をはじめ道民の遺産としてのシンボリックな鋼道路橋として現在に至っている。



現在の旭橋

2. 塗膜調査

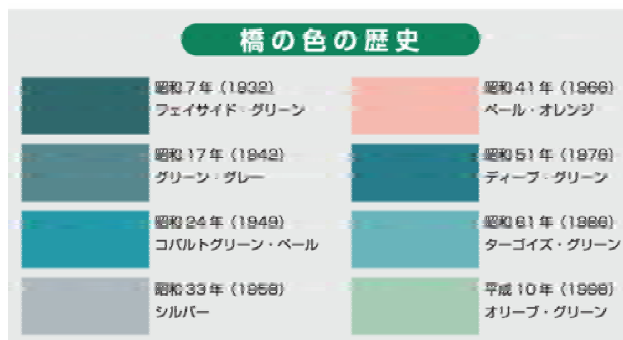
旭橋を長期間にわたり維持していく上で、鋼材を腐食から守る防食機能と、周辺の景観と調和を図るための景観機能という重要な機能について塗膜の現状の状態を把握するため、平成19年3月に塗膜劣化調査を行った。

以下に塗膜調査で確認・把握された結果を示す。

防食機能を評価するうえでの塗膜劣化状況は、各部材で塗膜のわれ、局部的なはがれが顕著に見られ、塗膜の防食機能が失われつつあると判断された。

景観機能の評価からは、路面上側主部材の吊材や斜材で、白亜化、変退色、汚れ等により景観機能が失いつつある状態であると判断された。

旭橋における塗膜劣化の推定原因は、ほとんどが鋼材面の黒皮（ミルスケール）と新設時のさび止め塗料である鉛丹ペイントの界面で発生しており、はがれの発生する要因として、主に黒皮の付着性不良と塗膜の経時劣化



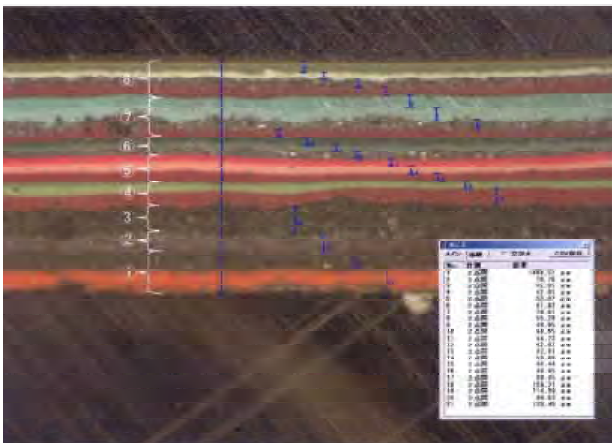
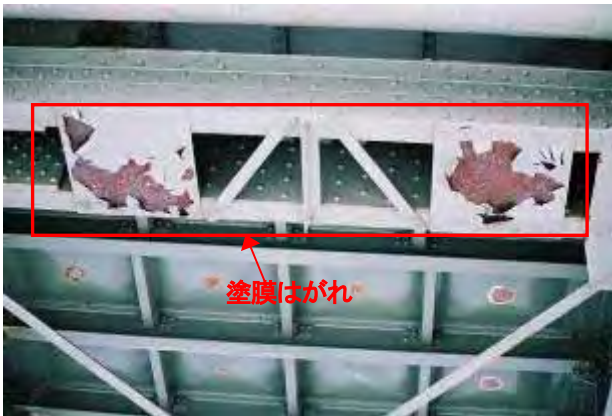
旭橋の塗装履歴

によるものと考えられた。また、過去複数回の塗替による残存塗膜厚は1mmを超え、膜厚過多であるため、乾燥収縮を繰り返すことによる内部応力の蓄積が、はがれに関する主要因であると考えられた。

塗膜劣化で特に懸念されることは、塗膜付着性の著しい低下であり、これは黒皮(ミルスケール)が鋼材表面と塗膜の界に介在することによって生じる付着低下で、塗膜がはがれている箇所については、鋼材の腐食進行による断面減少が予測された。

塗膜がはがれていない健全な箇所においても、鋼材素地に近い初期の防食塗料は、70年以上の経時から推察して、塗膜機能の保持性は弱く、膜厚過多によるはがれ箇所の増加が予測された。

これらの塗膜調査結果より、塗膜の現状の状態が、防食及び景観機能について失われつつあり、前回の塗替より10年が経過し、塗替え時期に来ているという判断から、塗替工事の実施に向けた検討を行った。



※①～⑧までは文献等から推測したものである。

塗膜断面

3. 素地調整工法の検討

(1) 素地調整の概要

塗替え塗装で、塗膜の耐久性に与える影響が最も大きい工程は素地調整である。素地調整の主たる目的は、①旧塗膜のはく離、②鋼材に発生したさび等及び塩分や汚れの除去、③鋼材への粗さ付与による塗膜付着性の向上、などが目的として上げられる。

素地調整工法は、塗膜劣化の程度で定められている素地調整の種別により、手工具、動力工具、ブラスト工法などがあり、鋼道路橋の防食塗装塗替えに用いられる一般的な素地調整工法として用いられている。

(2) 塗替え塗装系(Rc-1)について

新たな塗装系として、平成17年「鋼道路橋塗装・防食便覧」に示されている塗替塗装系(Rc-1)が、長期防食塗替塗装として示され、塗替塗装としては素地調整1種をはじめ適用するよう求めている。素地調整程度1種を適用することがLCC(ライフサイクルコスト)を低減するための前提条件とした塗替塗装系である。

尚、旭橋を100年間維持すると考えた場合に塗替塗装LCC(ライフサイクルコスト)を分析した結果、図-1、表-1のとおり従来塗替塗装系(b-1)では、新塗替塗装系(Rc-1)と比較して工事回数が3倍で、100年間合計費用(コスト)では1.37倍になり、新塗替塗装系(Rc-1)の方が有効であると評価された。

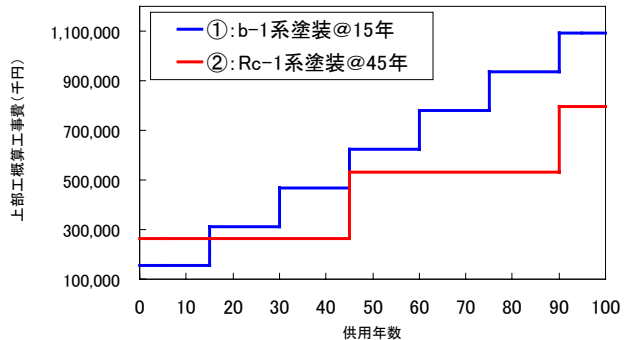


図-2 旭橋(下構造部)100年間の保全費の推移

表-1 旭橋(下構造部)100年維持施工費の内訳

		概算工事費		
		b-1塗装系	Rc-1塗装系	
塗替初期コスト	計	(千円)	155,982	265,169
	比率	(%)	(1.00)	(1.70)
維持管理コスト	単価	(円/m ²)	6,000	10,200
	面積	(m ²)	25,997	25,997
	1回当り	(千円/回)	155,982	265,169
	回数	(回)	6	2
	計	(千円)	935,892	530,338
ライフサイクルコスト	計	(千円)	1,091,874	795,507
	比率	(%)	(1.37)	(1.00)

(3) 素地調整の施工条件

旭橋の塗替塗装系として Re-1 を適用した場合、素地調整程度 1 種はブラスト工法の適用となるが、この工法を活用するにあたっては、残存塗膜の界に介在する黒皮（ミルスケール）の除去も含めた素地調整のブラスト工法となる。

旭橋は、昭和 7（1932）年に現橋に架け替え後、現在に至るまでの間に約 7 回の塗替を繰り返し、現在の旧塗膜の残存厚さは、橋構造部位によって若干の差異は認められるが、おおむね 1mm 以上に達している部位も多く、また黒皮（ミルスケール）もほとんどの鋼材表面に介在している。

旭橋の構造的な特長としてリベットを多用して鋼材板を合わせた部材の構成と、部材と部材の隙間が多く、鋼材の端部が（鋭角部分）露出している橋構造を有している。これは一般的な鋼道路橋と比較して、橋の構造面及び素地調整でブラスト工法を用いる場合の条件に差異があり、旭橋に素地調整ブラスト工法を用いる場合は制約される施工条件が多いことを理解して適用しなければならない。

また、旭橋は市街地に位置するため、河川や周辺環境への汚染が懸念されることから、残存塗膜を分析した結果、労働安全衛生法の特別則である「鉛中毒予防規則」の法規制が適用される高濃度の鉛の含有が確認されており、同規則には「含鉛塗料のかき落としの業務は著しく困難な場合を除き、湿式での作業とし、かき落としした含鉛塗料はすみやかに取り除かなければならない」と表記されており、素地調整工法の選定は、湿式工法の検討も必要となる。

また、ブラスト工法による粉塵の発生による影響を極力最小限に留めるよう配慮し、発生する産業廃棄物や周辺環境への汚染防止及び当橋梁を使用する地域住民への配慮なども必要である。

(4) 素地調整工法の選定

道内においては、塗替塗装で 1 種素地調整のブラスト工法の事例が少なく、特に大型橋梁の塗替塗装で適用された 1 種素地調整の事例はない。したがって実橋を使用した実証試験によって素地調整ブラスト工法の適用性とその有効性を検証し、適正な工法を定めることが必要である。

ブラスト工法は、乾式と湿式に大別される。鋼道路橋の場合は乾式ブラスト工法が多く用いられ、また実績も多い。鋼道路橋塗替塗装の素地調整は、素地調整 2 種でエアブラスト（オープンブラスト）を用いて実施された事例は多いが、黒皮（ミルスケール）の除去を含む 1 種素地調整の事例は極端に少ない。鋼道路橋で使用できるブラスト工法は、使用の実績等を加味した場合、乾式エアブラスト（オープンブラスト）やバキュームブラストの採用が考えられるが、エアブラスト（オープンブラスト）は、大量に発生する粉塵や廃棄物の処理方法

等に問題があり、特に周辺環境に対する汚染防止の配慮を必要とし、「鉛中毒予防規則」の法規制が適用される旭橋の塗替塗装の素地調整工法としては、不相当であると考えられた。

湿式ブラスト工法には、近年事例のあるモイスターブラスト工法、湿式エアブラスト、ウォータージェットブラストなどの種類がある。

また、湿式による工法には、特殊はくり（インバイロワン）工法があり、素地調整工法の選定においては、このインバイロワン工法とブラスト工法との併用案も有効な工法であると考えられる。

以上より、現在使用されている塗膜除去技術の中から旭橋における塗替塗装の施工条件に即した工法として、次の 3 工法を選定し、施工能力、表面処理状態、粉塵・産業廃棄物の発生量等のデータを取得するために実証試験を行った。

- ①バキュームブラスト工法（塗膜、黒皮・さび除去）
- ②ターボブラスタ工法（塗膜、黒皮・さび除去）
※モイスターブラスト工法に分類される
- ③インバイロワン工法（塗膜除去）＋バキュームブラスト工法（黒皮・さび除去）

4. 実証試験

実橋による実証試験を行った 3 工法についての特徴を以下に示す。

- ①バキュームブラスト工法【乾式工法】
 - a) 研削材の噴出と回収を同時に行う機器であるため回収が同時にでき、粉塵の飛散や騒音の発生を少なくできる。
 - b) グリット、アルミナ等を使用するため、ミルスケールの除去が可能である。
 - c) オープンブラスト工法に比べて施工効率が低下し、構造によってはバキュームによる回収ができないため、オープンブラスト工法と同様の施工方法になる箇所がある。
- ②ターボブラスタ工法【湿式工法】
 - a) 研削材に水を混入することによって、オープンブラスト工法に比べて粉塵の発生を 95%以上低減し、研削材の使用量も 60%以上節約できる。
 - b) 高圧サイクロン状態のウォーターミストと研削材により、効果的に塗膜を除去することが可能である。
 - c) 水を使用するために排水処理が必要である。
- ③インバイロワン工法【湿式工法】
 - a) 高級アルコール系剥離剤であるインバイロワンを塗膜に塗布し、軟化した塗膜を除去する工法であり、ほとんど粉塵は発生しない。
 - b) 成分が高い生分解性を示すため環境への負荷を軽減

でき、作業員に対しても非常に安全性が高い。

- c) 塗装系の種別や塗膜厚が厚くなると複数回の塗布が必要となるため、事前に塗布量、塗布回数の調査が必要となる。

実証試験から得たデータを基に、素地調整工法別の比較評価を行った結果を表-2に示す。

区分	比較評価の項目	① バキューム ブラスト	② ターボ ブラスター	③ インパイロワ ン+バキューム
作業性の比較評価	作業の効率性	△	△	×
	研削材の経済性	△	△	△
	粉じん発生程度	△	◎	△
	研削材の再利用性	◎	△	◎
	作業の環境・安全性	◎	◎	◎
	工法の実績	×	×	×
	構造物への適応性	△	△	△
周辺環境及び環境負荷の比較評価	周辺環境への影響	□	○	○
	廃棄物処理の発生程度	◎	△	◎
	廃棄物処理の経済性	◎	△	◎
	周辺の騒音程度	△	△	△
	周辺環境の臭気	□	□	△
	その他環境への影響要素	◎	△	◎
工費	1㎡当たり単価 (円/㎡)	11,793	19,707	19,291

比較・評価の基準 ◎最良 ○やや良 □標準的 △やや劣る ×劣る

表-2 実証試験による素地調整工法別の比較評価

表-2 実証試験による素地調整工法別の比較評価より旭橋の塗替塗装の素地調整工法は、周辺環境・作業環境・経済性等を勘案し、①バキュームブラスト工法【乾式工法】を選定した。

5. 実際の施工状況

実橋による実証試験で得た結果を踏まえ、バキュームブラスト工法により素地調整を実際に施工してみると、実証試験で得たほどの施工能力が発揮できず、工程の遅れと施工費の増大が懸念されたため、電動工具（チーゼルワイズ）との併用工法を取り入れることでバキュームブラストの施工速度を向上させ、実証試験値に近い施工能力を得ることができた。

実証試験時と施工時のバキュームブラストの施工能力の相違については、実証試験を実施した部材・部位が比較的平滑な箇所が多かったことが考えられる。

旭橋の施工条件で構造的な特長としてリベットが多用され、鋼材板を合わせた部材の構成で狭隘部、隙間が多く、塗膜除去には困難を要する部材・部位が多くあるこ

とが実際の施工においてバキュームブラストの施工能力を低下させたものと考えられる。

【バキュームブラスト施工能力比較】

実証試験時：1時間当たり施工量 1.43 ㎡/h
1㎡当たり単価 11,793 円/㎡
施工時：1時間当たり施工量 0.69 ㎡/h
1㎡当たり単価 20,029 円/㎡

【電動工具併用バキュームブラスト施工能力】

施工時：1時間当たり施工量 1.58 ㎡/h
電動工具含む1㎡当単価 11,795 円/㎡



バキュームブラスト施工状況

6. 色彩の決定

旭橋の塗装塗替工事にあたり、北海道土木遺産・土木学会選奨土木遺産に認定されていること、旭川のシンボルとして親しまれていることを踏まえ、旭橋の塗装色については、過去からの歴史があり、新しく塗り替える塗装色の決定は重要事項であった。

そのため、地域の景観に対する学識経験者と地元有識者によって構成する「旭橋景観検討委員会」を立ち上げ、この委員会にて新規塗装色に対する検討及び景観に対する検討を実施し、塗装色を決定した。

色彩の決定にあたっては、以下の事項を踏まえ検討が進められた。

- ①現在の姿を前提にして「北海道遺産」及び「土木学会選奨土木遺産」に認定されている
- ②旭川市景観計画において景観重要公共施設に位置づけられている
- ③旭橋の周辺市街地の状況は前回の塗り替え時とほとんど変化していない
- ④写真やカタログ、リーフレット等により現在のイメ

ージが定着している

- ⑤隅田川の著名な橋梁群は過去から色を変えておらずランドマーク的な橋梁は色を頻繁に変えるべきではない

よって、現在の色彩に対して良い評価が確立しており、あえて色彩を変更すべきではないということから、色彩を変更せず、現在の色彩を使用することとした。

また、前回の塗替時に旭橋建設当時の色彩（フェイスaid・グリーン）を再現したことから、今回も同様に、部分的な復元色の導入を検討した。

復元色の導入にあたり橋梁本体の色彩であるオリーブグリーンと復元色との色調について検証し、使用箇所は、塗板見本を旭橋の現地に持ち込み、現場検証により決定した。



復元色現場検証



復元色シュミレーション

以下に復元色についての検証と使用箇所についての詳細を記述する。

旭橋建設当時の復元色フェイスaid・グリーンは、10年前に塗装色決定に当たりサンプルとして現場から採取

された小さな塗装断片と現代の塗装色見本との照合により決定された経緯がある。フェイスaid・グリーンの名称も後で付けられたものであり、また現在使用されている復元色が背景（橋梁本体）のオリーブグリーンとの調和にやや難点があり、当時の塗装色としては彩度（色味）、別な表現では色価がやや高いのではないかとすることも考えられた。むしろ当時の塗料の性能から特殊な色彩を除いてはもう少しすんだ彩度の低い緑色ではなかったかという疑問のある中で、中国の伝統色「墨緑（モージュ）」の名称が付けられている色彩が、現在の復元色より彩度が低いにもかかわらず見た目には色味を感じることができ、かつオリーブグリーンとのトーンの調和もあると判断した。この色彩は「色の小事典」に示されているサンクグリーン(Sunk Green 沈んだの意)とよく似ている色彩で中国の宋代をイメージした落ち着いた緑とされている。また「古雅な、憂愁の、いにしへの、信頼感、落ち着いた」の意味を持つ色彩としても表示されている。

この結果を踏まえ新しい復元色として「墨緑」を推奨し、復元色使用箇所を旭橋の現地に 910 mm角の塗板見本（オリーブグリーンと復元色：墨緑）を持ち込み、杓付近と高欄付近の2ヶ所でそれぞれ、復元色と杓及びタイビームとの関係、復元色と高欄の関係を検証した。

現場検証により復元色の使用箇所は、地覆の一部、高欄のトップレール、支柱、水切下部、照明灯が対象箇所として選定された。

7. まとめ

顕著な塗装の割れやはがれの主要原因は黒皮が鋼材表面と塗膜の界に介在することによる塗膜附着性の著しい低下であり、現存塗膜厚も1mmを超えることから、1種ケレンにより、鋼材素地を露出しての塗替は妥当であった。

塗替を行うにあたり、詳細な現存塗膜の評価による素地調整方法及び塗装系の選択が塗膜の長寿命化やLCCに大きく影響するため、これらの検討は重要な意味がある。

また、色彩についても、橋梁によっては景観ばかりではなく、その橋梁が持つ歴史や市民感情等にまで配慮が必要となる場合があるため、様々な角度から検討を進めることが重要である。

100年以上に渡り供用性を保つためには、塗膜点検方法を加味した維持計画を策定していく重要性を認識した。

参考文献

- 1) (社)日本道路協：鋼道路橋塗装・防食便覧，平成17年12月

2) (社) 日本鋼構造物協会：鋼構造物塗膜調査マニュアル,
平成 18 年 10 月