

鋼橋塗装の塗膜劣化に関する調査

Inspection of the Deteriorations of Steel Bridge Coatings

佐々木 慎一^{*} 田口 史雄^{**} 嶋田 久俊^{***}

Shin'ichi SASAKI, Fumio TAGUCHI and Hisatoshi SHIMADA

鋼橋の防食には、塗装が一般的に用いられ、適切な維持管理により塗膜を健全に保持することで、長期間にわたり鋼材を腐食から保護し構造物としての機能を保っている。部材の補修や交換には、多額の費用がかかることから、塗装による防食は、低コストで行うことができる非常に有効な方法である。

過去、塗装の維持管理は新しい塗装系の開発に力が注がれ、維持管理を行っているほとんどの機関において劣化した塗装の塗替えは、他の多くの維持管理業務と同様に年度ごとの予算の制約を受け、系統的あるいは計画的に行われているとはいえない状態であった。

しかし、この十数年間、海上長大橋の架設が盛んに行われるのに伴い、耐候性、防食性に優れた塗装系が開発され、塗装・塗膜の性能は飛躍的に向上し、それと同時に、経済情勢の変化などにより、土木構造物のライフサイクルコスト（LCC）の削減が重要な課題となり、鋼橋塗装に関しては、塗料の性能向上だけでなく、適切な維持管理計画を策定し、それに基づいた効率的・効果的な塗替えを行うことがコスト削減の上でも重要であると認識されるに至っている。北海道開発局では平成6年度より、統一した評価基準に基づく道路橋などの塗膜調査を行い、データの整理保存を行っている。

塗装の寿命は、施工時の状況や構造物のおかれている環境条件などにより大きく左右される。今後は、蓄積したデータを用いて塗装の寿命予測を行い、適切な“維持管理計画”を策定し運用していく必要がある。本報告は、塗替え時の素地調整、塗替え回数の違いなどに関する既存のデータと新たに行った塗膜劣化状況、環境的因子に関する詳細調査のデータから、塗装寿命に影響を及ぼす因子について検討した結果について報告するものである。

キーワード：塗装、ライフサイクルコスト、維持管理計画、素地調整、防食性

Generally, coating which is normally more cost effective than replacing steel is used for protecting bridge structural steel against corrosion, therefore extending bridge life.

Historically, most of the efforts in coating maintenance had concentrated on the development of new coating systems. Moreover, most agencies did not have a systematic or well-planned strategy for maintenance coating of bridges. Coating maintenance was subject to yearly budget factors like many other maintenance activities.

Over the past 20 years, as many huge bridges were constructed in a marine environment in Japan, the coating systems were improved in weathering resistance and corrosion resistance. At the same time, reducing of the life cycle cost (LCC) of public infrastructures has become an important subject due to the economic condition etc.. And optimizing the maintenance strategy can also significantly reduce the cost of rehabilitating of a steel bridge. In the Hokkaido Regional Development Bureau, coating inspection program of national highway bridges based on the unified valuation standard is carried out from 1994, and data that was collected in periodical inspections are computerized.

The service lives of a coating is highly dependent on the painting operations and the atmospheric conditions of the bridges. Proper "Maintenance strategy" with the use of computerized data needs to be designed and put into operation. This paper describes the result of study on the factor which affects the service life of coating. For this study, computerized data such as the surface preparation and newly inspected data such as the condition of the existing coatings were used.

Keywords : overcoating, life cycle cost, maintenance strategy, surface preparation, corrosion resistance

1. はじめに

鋼橋の防食には、塗装が一般的に用いられ、適切な維持管理により塗膜を健全に保持することで、長期間にわたり鋼材を腐食から保護し構造物としての機能を保っている。

鋼橋塗装の塗替え時期については、維持管理を行っている機関ごとに規定や要領などを定め判断基準としているが、経済性などの面から適切な塗替え時期に達したか否かを客観的かつ定量的に評価・判定する方法は確立されていない。

本研究は、鋼橋塗装の塗膜劣化について調査を行い、環境条件や塗装種別などの違いを考慮に入れた適切な塗替えサイクルについて検討することにより鋼橋塗装に関する維持管理の効率化、ライフサイクルコストの縮減を図ることを目的としている。

本報告では、既設鋼橋の塗膜調査を実施して劣化状況を把握すると同時に、環境的因子、塗替え時の素地調整、塗替え回数の違いなどのデータを収集し、塗装寿命に影響を及ぼす因子に関する考察について述べる。

2. 調査概要

2.1 調査内容と項目

調査は新設あるいは塗替えを行ってからある期間経過した橋梁の塗装について、塗膜の劣化進行が著しく

速いケースおよび進行が著しく遅いケースを防錆台帳データを元に抽出し、それらの詳細調査を行って塗膜の劣化に影響を及ぼす要因、環境条件などについて検討した。

塗膜劣化状況の調査項目を下記に示す。

- 1) 塗膜付着力... 碁盤目試験、アドヒージョン試験
- 2) 塗膜厚の調査... 電磁膜厚計、断面顕微鏡観察
- 3) さび中の含有物質分析... 蛍光 X 線簡易分析
- 4) 表面付着塩分量... 検知管法
- 5) 塗装の劣化状況目視観察

2.2 調査対象橋梁

調査対象は、札幌開発建設部、小樽開発建設部、室蘭開発建設部管内の橋梁から選定した。選定には、表 - 1 に示した「防錆台帳管理計画(案)調査要領」(北海道開発局)に記されている各塗装系の新設、塗替え橋梁調査基準を用い、調査開始年数を経過した時点で劣化度データを用いた。

「鋼道路橋塗装便覧」(以下塗装便覧と記す)に示されている塗膜の発錆面積と素地調整との関連を表 - 2 に示す。一般的に、塗替え塗装の実施時期については塗膜の劣化が素地調整 3 種 C ~ 3 種 B の範囲の段階で実施するのが経済的に望ましいといわれており、上記の調査基準も 3 種 B 程度まで劣化するのに要す

表 - 1 各塗装系の新設、塗替え橋梁調査基準

塗 装 系		腐 食 環 境		
中・上塗り塗料	塗装系	一般環境	やや厳しい環境	厳しい環境
フタル酸樹脂系	A - 1 ~ 2 a - 1 ~ 2	8 年	6 年	6 年
シリコンアルキド樹脂系	A - 3 ~ 4 a - 3 ~ 4			
塩化ゴム系塗料	B - 1 ~ 2 b - 1 ~ 2			

表 - 2 素地調整種別の分類

さびが発生している場合

素地調整種別	さびの状態	発錆面積 (%)	素地調整内容	
2 種	点錆が進行し、板状錆に近い状態や、こぶ状錆となっている。	30 以上	旧塗膜、さびを除去し、鋼材面を露出させる。	
3 種 A	点錆がかなり点在している。	15 ~ 30	活膜は残すが、それ以外の不良部(さび・われ・ふくれ)は除去する。	
3 種 B	点錆が少し点在している。	5 ~ 15	同	上
3 種 C	点錆がほんの少し点在している。	5 以下	同	上

さびがなく、われ・ふくれ・はがれ・白亜化・変退色などの塗膜異常がある場合

素地調整種別	さびの状態	発錆面積(%)	素地調整内容
3種C	発錆はないが、われ・ふくれ・はがれの発生が多く認められる。	5以上	活膜は残すが、不良部は除去する。
4種	発錆はないが、われ・ふくれ・はがれの発生が少し認められる。	5以下	同 上
	白亜化・変退色の著しい場合。		粉化物・汚れなどを除去する。

表 - 3 調査対象橋梁

橋 梁 名	塗 装 系	塗 替 え 回 数	塗 装 後 経 過 年 数	前回調査(経過年数)	架設環境	架設年次
A 橋	a 法	2	16	3 種 C (15)	都市部	1965
B 橋	b - 2	2	10	3 種 B (4)	田園部	1971
C 橋	b - 2	3	8	3 種 B (6)	海岸部	1963
D 橋	b - 2	1	9	3 種 C (8)	田園部	1979
E 橋	b - 2	2	12	3 種 C (11)	田園部	1973
F 橋	b - 2	1	12	3 種 B (9)	海岸部	1977
G 橋	a - 1	2	8	3 種 C (6)	海岸部	1964
H 橋	b - 2	1	9	3 種 A (6)	海岸部	1974
I 橋	a - 1	1	13	3 種 A (9)	田園部	1964
J 橋	B - 1	0	7	3 種 C (6)	工業地帯	1994
K 橋	B - 2	0	13	3 種 C (9)	海岸部	1988
L 橋	B - 1	0	17	3 種 C (14)	海岸部	1985
M 橋	B - 1	0	14	3 種 C (13)	平野部	1987
N 橋	g 法	1	12	3 種 C (11)	平野部	1970
O 橋	B - 1	0	16	3 種 C (15)	平野部	1985
P 橋	b - 1	1	8	3 種 C (7)	海岸部	1985
Q 橋	B - 1	0	10	3 種 C (9)	都市部	1990
R 橋	b - 1	2	7	3 種 A (6)	海岸部	1965

る年数を示していると考えられている。そこで、調査開始年数を経過した時点(またはその前に)で、塗膜劣化が3種Bを越えて3種Aに達しているものおよび3種Bまで至らず3種Cの範囲であるものを抽出し、調査対象として選定した。調査対象橋梁を表-3に記す。

るフィジビリティスタディ」³⁾では、各種塗装系について腐食環境ごとにおおよその「期待耐用年数」を調査した結果を報告している。本調査では、耐用年数の環境区分と腐食環境区分を表-4のとおり対応させて考察を行った。

3. 調査結果と考察

3.1 腐食環境ごとの塗装の防錆性能の評価

鋼橋の防食塗装には、橋梁のおかれている環境によって適用する塗装系の種別があり、塗料の種類、塗装膜厚および塗装回数が異なっている。これは、腐食環境にもっとも適した経済的な塗装系の選択性を持たせるためである。塗装便覧には塩害環境の基準に関して海岸からの距離などの具体的な数値の記述はないが、「北海道における鋼道路橋の設計および施工指針」²⁾(以下設計・施工指針と記す)では数値として示されている。また、「大規模橋梁の防錆技術に関する

塗装便覧では塗替え時期の判定をさびとはがれの4段階評価に基づいて行うこととしているが、評価の基準に関する定量的な記述はされていない。そのため、鋼橋の維持管理を行っている機関ごとに基準を定めているのが実情である。本調査では塗膜の腐食状態を定量的に検討するために、ASTM D610/SSPC Vis 2の「腐食面積とさびの評価判定図」をもとに部材ごとの腐食面積率を調査し、橋梁全体の腐食面積率を算定した。適正な塗替え時期の判断には、各機関で定められている基準を比較検討の上、腐食面積率0.3～5%を用いることとした。ここでの腐食面積率は、塗膜表面で観察されるさびの面積であり、塗膜下、鋼材面での腐食

表 - 4 鋼道路橋の腐食環境区分

耐用年数の環境分類	腐食環境分類	「鋼道路橋塗装便覧」の分類基準	「北海道における鋼道路橋の設計および施工指針」の分類基準
海岸、海上	厳しい環境	潮風が強く、飛来塩分の影響を強く受ける環境	日本海沿岸と津軽海峡、内浦湾、襟裳岬までの太平洋沿岸の海岸線から 200m 以内、その他の地域で 100m 以内の部分
都市、工業地帯	やや厳しい環境	飛来塩分の影響を受ける環境。または自動車排気ガスや工場ばい煙の影響を強く受ける環境	海岸線から 2 km 以内の部分
田園、山間、平野	一般環境	飛来塩分の影響を受けず、かつ、自動車排気ガスや工場ばい煙の影響を強く受けない環境	上記以外の部分

表 - 5 一般環境における防錆性能の評価結果

橋 梁 名	塗装系	腐食面積率	経過年数	年平均	期待耐用年数	年間標準腐食率	評価
N 橋	g 法	0.74%	12 年	0.061	7～8 年	0.043～0.625	○
M 橋	B-1	0.70%	14 年	0.050	9～10 年	0.033～0.500	○
I 橋	a-1	40.07%	13 年	3.082	7～8 年	0.043～0.625	×
O 橋	B-1	0.62%	16 年	0.039	9～10 年	0.033～0.500	○
D 橋	b-2	0.00%	9 年	0.001	9～10 年	0.033～0.500	◎
E 橋	b-2	0.13%	12 年	0.011	9～10 年	0.033～0.500	◎
A 橋	a 法	0.03%	16 年	0.001	7～8 年	0.043～0.625	◎

◎：年間標準腐食率の最小値以下、○：年間標準腐食率の範囲内、×：年間標準腐食率以上

面積を意味する塗装便覧での発錆面積⁴⁾とは若干異なった値である。これらの腐食面積率と上記資料の期待耐用年数のデータを用いて、「期待耐用年数に達した時点で腐食面積率が0.3～5%となる」と仮定し、式(1)から求めた年間標準腐食率を基準値として調査によって得られた各橋梁の年平均腐食面積率と比較することで塗装の防錆性能の評価を行った。通常、鋼材の腐食劣化はある程度劣化が進んだ時点から加速度的に進行するとされているが、本調査では比較的初期の腐食段階のデータが多いこと、劣化の進行過程を定期的に調査したデータがないことから、腐食の進行速度を一定とみなし、年平均腐食面積率を用いている。

$$(\text{年間標準腐食率}) = (0.3 \sim 5\%) \div (\text{期待耐用年数})$$

..... (1)

3.1.1 一般環境での防錆性能

一般環境における塗装の防錆性能の評価結果を表-5に示す。塗装便覧では、一般環境に用いる塗装系としてA-1～4、a-1、a-3を標準としている。a-1塗装系を用いているI橋では、塗替え塗装9年後の調査で素地調整種別3種Aの劣化が認められており、現在は2種に相当する状態まで進行している。B

- 1、B-2の塗装系は、Aおよびa塗装系では防錆性能が不足する場合に適用する塗装系である。これらの塗装系を一般環境で用いた場合、1～2年期待耐用年数が伸びることになる。D橋、E橋のb-2塗装系は、B-2の塗替えに用いる塗装系で、さび面、鋼面への付着に問題がある塩化ゴム系下塗りをエポキシ樹脂系に変更したものである。両橋梁とも良好な状態を保っており、基準を大きく上回る耐久性を示している。b-2、g法の塗装系は平成2年度版の塗装便覧では削除されており、現在これらの塗装系の塗替えにはc塗装系を適用することとなっている。腐食面積率40%と著しい劣化を示しているI橋の状況を写真-1、2に示す。



写真 - 1 I 橋の劣化状況 (Web)



写真 - 2 I橋の劣化状況（下フランジ）

3.1.2 やや厳しい環境での防錆性能

やや厳しい環境における塗装の防錆性能の評価結果を表 - 6 に示す。B - 1、b - 1 塗装系は中塗り、上塗りに塩化ゴム系塗料を用いており、飛来塩分や自動車排気ガス、工場ばい煙の影響を受ける地域では A、a 塗装系よりも優れた防錆性能を示す。G 橋は、海岸からの距離が 1 km でやや厳しい環境に分類されるが、周囲は家屋が密集しているため飛来塩分による影響は少ないと判断され a - 1 塗装系を適用していると考えられる。結果的に、腐食面積率も小さく十分な防錆性能を発揮していることから適切な塗装系の選択であったと判断できる。

3.1.3 厳しい環境での防食性能

厳しい環境における塗装の防錆性能の評価結果を表 - 7 に示す。L 橋は海岸からの距離により厳しい環境

に分類されているが、海岸線の方向は樹林により遮られているため表中の他の橋梁に比べて環境条件は穏やかであると考えられる。

3.2 塗膜の状況

前出の 3.1 の評価結果から、年間標準腐食率と比較して腐食の進行が速い橋梁および遅い橋梁について塗装・塗膜の状況を調査し、それらの原因と考えられる特徴的なデータについて考察を行った。

3.2.1 腐食進行が速い橋梁

塗膜厚および素地調整種別

適性の塗膜厚は、塗料の種類によって異なり塗装便覧では塗装系ごとに防食効果と経済性を考慮して目標塗膜厚が示されている。塗替えを行った橋梁では塗替え時の素地調整および塗替え回数によって全膜厚に差異が生じるので、異なる橋梁での単純な数値比較による検討は難しい。そこで、塗装系ごとの目標塗膜厚を基準とし、塗膜断面の顕微鏡写真の観察結果も併せて考察を行った。

I 橋の塗膜の断面を写真 - 3 に、部位ごとの平均塗膜厚を図 - 1 に示す。a - 1 塗装系における目標塗膜厚は 125 μm であるが、その値を下回っている部位が多い。写真では目標に近い塗膜厚が確保されているが、塗替え時の素地調整が 2 種であったためか、塗替

表 - 6 やや厳しい環境における防錆性能の評価結果

橋名	塗装系	腐食面積率	経過年数	年平均	期待耐用年数	年間標準腐食率	評価
J 橋	B-1	0.92%	7 年	0.131	8～9 年	0.038～0.556	○
P 橋	b-1	0.75%	8 年	0.094	8～9 年	0.038～0.556	○
G 橋	a-1	0.24%	8 年	0.030	8～9 年	0.038～0.556	◎
Q 橋	B-1	2.04%	10 年	0.204	8～9 年	0.038～0.556	○
B 橋	b-2	5.06%	10 年	0.506	8～9 年	0.038～0.556	○

◎：年間標準腐食率の最小値以下、○：年間標準腐食率の範囲内、×：年間標準腐食率以上

表 - 7 厳しい環境における防錆性能の評価結果

橋名	塗装系	腐食面積率	経過年数	年平均	期待耐用年数	年間標準腐食率	評価
F 橋	b-2	6.22%	12 年	0.518	7～8 年	0.043～0.625	○
H 橋	b-2	15.38%	9 年	1.709	7～8 年	0.043～0.625	×
C 橋	b-2	22.84%	8 年	2.855	7～8 年	0.043～0.625	×
K 橋	B-2	2.79%	13 年	0.215	7～8 年	0.043～0.625	○
R 橋	b-1	20.26%	7 年	2.894	6～7 年	0.05～0.714	×
L 橋	B-1	1.50%	17 年	0.088	6～7 年	0.05～0.714	○

◎：年間標準腐食率の最小値以下、○：年間標準腐食率の範囲内、×：年間標準腐食率以上

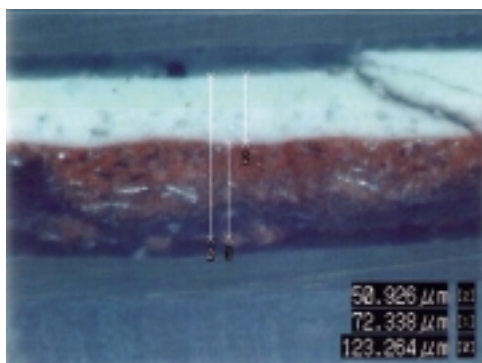


写真 - 3 I 橋の塗膜断面

え前の塗膜が全く残っていない。通常、a - 1 塗装系は4層の塗膜から成るが写真のサンプルからは2層しか確認できない。塗替え時には新設から24年経過しており、かなりの腐食が発生していたと考えられ素地調整の際にさびを完全に除去できなかったことも早期劣化の原因と思われる。

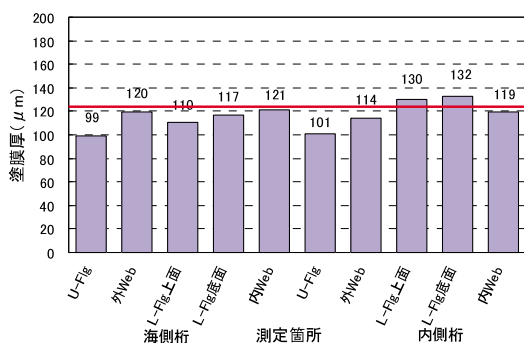


図 - 1 部位ごとの塗膜厚 (I 橋)

B 橋の塗膜の断面を写真 - 4 に、部位ごとの平均塗膜厚を図 - 2 に示す。b - 2 塗装系における目標塗膜厚は165μm であり、測定箇所すべてでこの値を上回っていたが、腐食面積の大きい下フランジでは他の部位に比べて膜厚が少なくなっていた。過去2回の塗替え

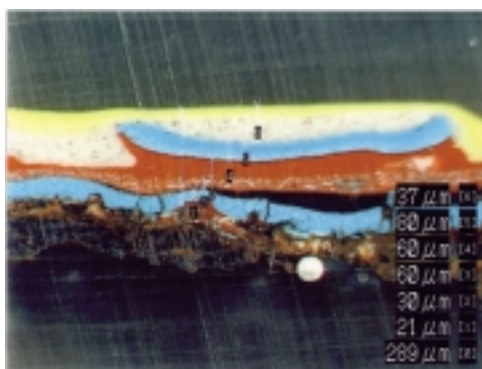


写真 - 4 B 橋の塗膜断面

時の素地調整はいずれも3種Aであり、断面写真からも旧塗膜が確認できる。しかし、最下部の旧塗膜にはわれが認められ塗替え時の塗膜との層間剥離が起こっている。塗替え後3年目の調査では、素地調整3種Bまで劣化が進行していた。

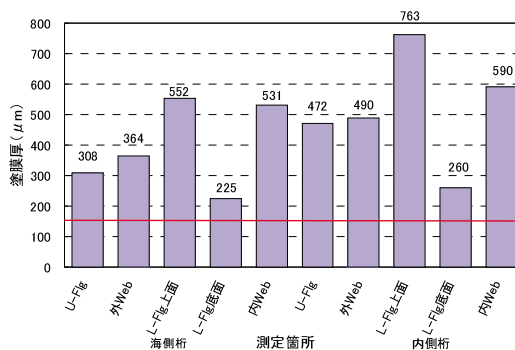


図 - 2 部位ごとの塗膜厚 (B 橋)

H 橋の部位ごとの平均塗膜厚を図 - 3 に示す。目標塗膜厚は165μm であり、測定箇所すべてでこの値を上回っていた。過去2回行われた塗替え時の素地調整は、データがなく不明であるが、前回の塗替えから6年後の調査で3種Aの素地調整が必要な状態まで劣化が進行しており、塗替え塗装施工の際に何らかの問題があったと思われる。

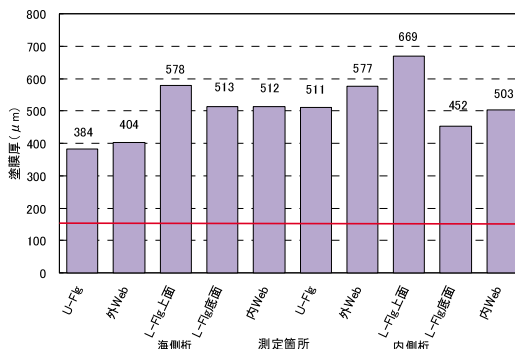


図 - 3 部位ごとの塗膜厚 (H 橋)

C 橋の塗膜の断面を写真 - 5 に、部位ごとの平均塗膜厚を図 - 4 に示す。目標塗膜厚は165μm であり、過去3回の塗替えの際の素地調整は2種 - 2種 - 3種Bとなっているが、すべての測定箇所でも2～5倍の膜厚となっており、旧塗膜が残存していると判断される。また、断面写真からも旧塗膜がかなりの厚さで残存しており、塗膜下の鉄素地表面にはさびが観察できる。前回の塗替えから6年後の調査で3種Bの素地調整が必要と診断され塗替えが必要な状態まで劣化していることから、塗替え時の素地調整が不完全であったことが早期劣化の原因であると考えられる。

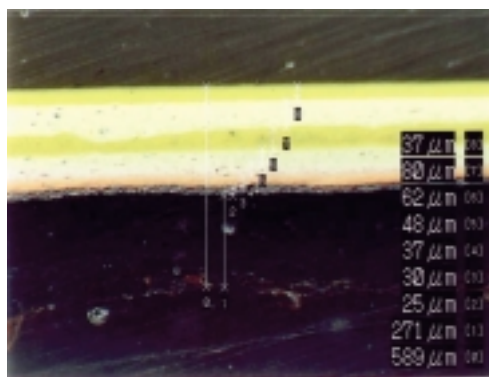


写真 - 5 C 橋の塗膜断面

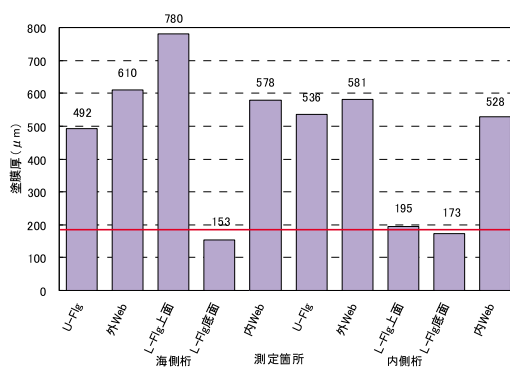


図 - 5 部位ごとの塗膜厚 (R 橋)

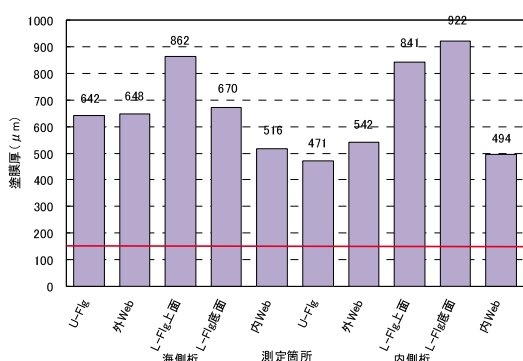


図 - 4 部位ごとの塗膜厚 (C 橋)

R 橋の塗膜の断面を写真 - 6 に、部位ごとの平均塗膜厚を図 - 5 に示す。写真から過去 3 回の塗替えが行われていると判断できるが、記録は 2 回分しか残っていなかった。b - 1 塗装系における目標塗膜厚は 180μm であるが、下フランジ下面、横構下面で膜厚不足となっていた。その他の箇所では 1 ~ 4 倍程度の膜厚が確保されていた。記録に残っている過去 2 回の塗替え時の素地調整は、1986 年で 3 種 A、1994 年では 3 種 B となっており、塗替えの間隔は b - 1 塗装系の期待耐用年数にほぼ等しくなっている。しかし、1994 年の塗替え時の翌年の調査によると、素地調整レベル 3 種 C の劣化が認められ、6 年後の調査では 3 種 A の判定がなされており、耐用年数が著しく短くなった。

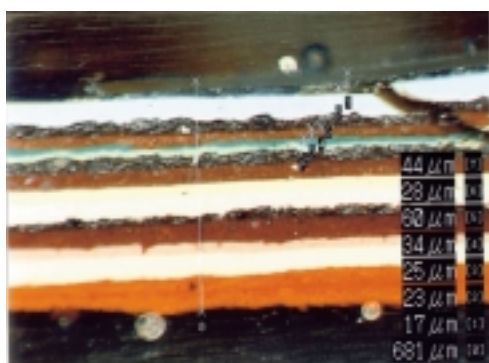


写真 - 6 R 橋の塗膜断面

塗膜の付着性

塗膜の付着性は、金属表面を効果的に保護するための重要な要素であり、塗膜付着力の低下は剥離などの現象を引き起こし、さび発生の原因となる。本調査では、塗膜の付着性に加えて脆性の評価ができる碁盤目試験と、垂直引張力による付着性を具体的な数値で得ることができるアドヒージョン試験の 2 種類の試験を行い、塗膜の付着性について検討を行った。

B 橋での試験の結果、海側桁の内側面で、塗替えの際に残した旧塗膜の付着力の低下が認められた。

C 橋でのアドヒージョン試験の結果を写真 - 7 に示す。C 橋では、塗膜下にさびが発生している箇所があり、アドヒージョン試験の結果、写真のように下塗り塗膜とさびの間から剥離が生じ、全く付着力がなくなっている箇所が見受けられた。

R 橋ではアドヒージョン試験の結果、下フランジ下面で下塗りと素地の間の付着力がやや低い傾向にある

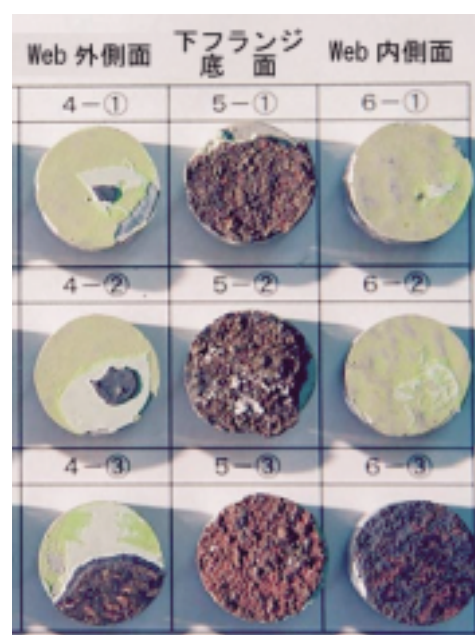


写真 - 7 C 橋でのアドヒージョン試験

ことが確認された。

塗膜の劣化部位

塗膜の劣化部位に関しては、塗装系、腐食環境などの条件の違いにかかわらず、下フランジが最も多くなっている。典型的な例として、C橋の下フランジの劣化状況を写真 - 8 に示す。特に下フランジ、二次材の劣化率が高く、塗膜下でのさびにより塗膜の浮きの発生も確認されている。



写真 - 8 C橋の劣化状況

このような下フランジの底面、二次部材の下面の著しい腐食劣化は、海塩粒子などの付着物が最も付きやすいこと、また、雨水や結露などによる濡れ時間が長いことが原因として挙げられる。また、下フランジの上面では、塵芥などが堆積し、それに含まれている様々な塗膜に悪影響を及ぼす物質による劣化が起こり得る。そのほか、部材のシャープエッジ部（角部）で腐食が多数見受けられた。写真 - 9 は水平・垂直補剛材のエッジ部分の腐食を示したものである。エッジ部分の腐食は、横構など二次部材にも多く観察されているが、部材の角部は所定の膜厚を確保するのが難しく、塗装の弱点となりやすいためである。R加工（角落とし）などの対策を行うことが必要である。



写真 - 9 補剛材の劣化状況

3.2.2 腐食進行が遅い橋梁

塗膜厚および素地調整種別

A橋の部位ごとの平均塗膜厚を図 - 6 に示す。a 塗装系における目標塗膜厚は125 μ mであるが、すべての部位でその値を上回っている。塗替えから12年経過後、素地調整3種Cという比較的劣化の少ない状態で2回目の塗替えを行った後は16年経過した今回の調査でも良好な塗膜状態であることが確認された。通常は塗替え回数が増える度に塗膜の耐用年数が短くなる傾向にあるが、本橋梁のように劣化の少ない時期に適切な素地調整を行い塗り替えた場合、耐用年数はそれほど変わることがないと思われる。

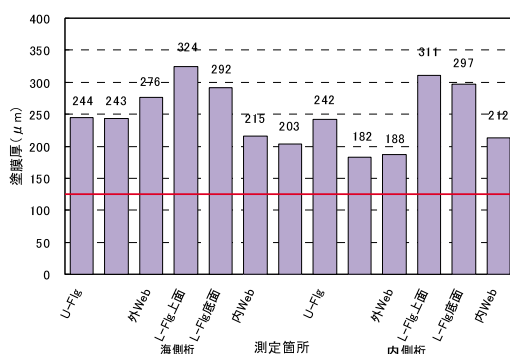


図 - 6 部位ごとの塗膜厚 (A橋)

G橋の部位ごとの平均塗膜厚を図 - 7 に示す。a - 1 塗装系における目標塗膜厚は125 μ mであり、測定箇所すべてで2～4倍の塗膜厚が確保されていた。本調査時には塗替え後8年経過していたが、塗膜の状態は比較的良好で僅かに腐食が発生している程度である。十分な膜厚の確保と過去2回とも塗替え時の素地調整が3種Bであり、適切な時期に塗替えが行われたことが大きく影響していると考えられる。

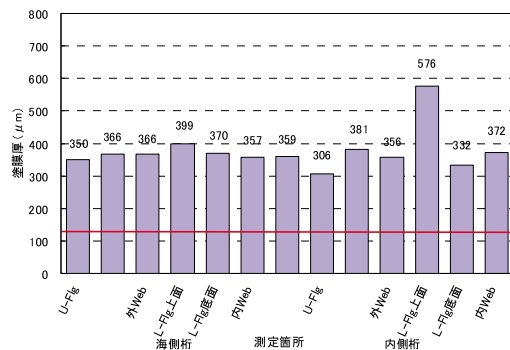


図 - 7 部位ごとの塗膜厚 (G橋)

L橋の塗膜の断面を写真 - 10に、部位ごとの平均塗膜厚を図 - 8 に示す。本橋は1985年にB - 1 塗装系で新設され16年間塗替えは行われていない。目標塗膜厚

は180 μm であるが、部位によって塗膜厚が不足している箇所が認められた。上フランジや下フランジ底面など、上向きに塗装作業を行う箇所は膜厚が不足する傾向にある。

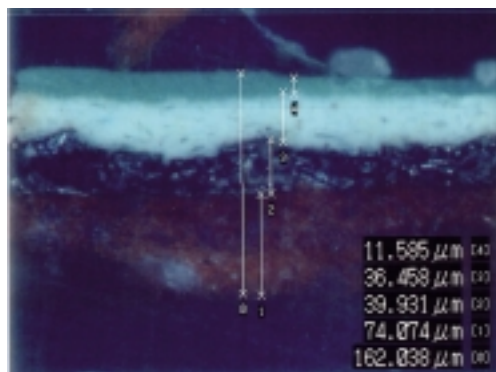


写真 - 10 L 橋の塗膜断面

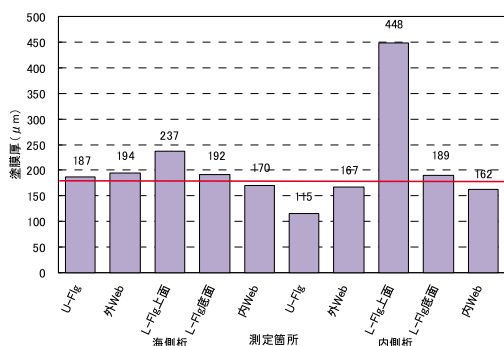


図 - 8 部位ごとの塗膜厚 (L 橋)

塗膜の付着性

A 橋、G 橋ともに 2 回塗替えを行っているが、調査の結果、塗膜の付着力は健全な状態を示していた。特にアドヒージョン試験では、ほとんどの箇所でも層間剥離は認められず塗膜同士の付着が良好であることが確認された。

L 橋は、塗替えは行っておらず新設時の塗装系のままであるが、付着力の低下は認められていない。

塗膜の劣化部位

G 橋での腐食発生状況を写真 - 11 に示す。A 橋、G 橋、L 橋ともに腐食の発生が少なく塗装の状態も良好であるが、写真のように、主桁、横桁などの下フランジのエッジ部で若干の腐食が認められた。



写真 - 11 下フランジでの腐食

には定量的な基準がなく曖昧にならざるを得ないのが現状である。図 - 9 に海岸からの距離と塗膜表面での付着塩分量 (NaCl 換算) を示す。塗装作業時、被塗装面への付着塩分量の許容値は一般的に100mg/m²以下とされている。この値を超える塩分の付着がある場合、塗装前に被塗装面を洗浄するなど塗膜の層間付着を確保するため付着塩分を除去する必要がある。本調査においては、海からの風が卓越し海岸線から遮蔽物がないような環境条件では、海岸から600m離れた橋梁でも100mg/m²以上の飛来塩分の付着が認められた。また、海岸線から5 km 以上離れている I 橋においても、200mg/m²近い塩分の付着が認められた。

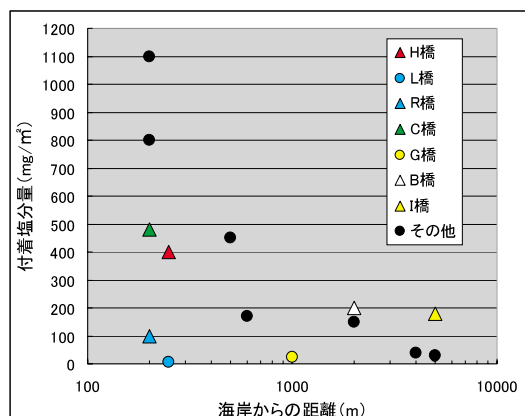


図 - 9 海岸からの距離と付着塩分量

L 橋は、海岸線から250m に位置していながら塩分の付着が全くみられなかったが、写真 - 12 に示すような排水管の腐食による消失がみられた。これらは、冬の路面管理に用いられている凍結防止剤による塩分の影響と考えられ、凍結防止剤を多量に散布している箇所では、水周りの不備による排水管周辺部の腐食、ジョイント部からの漏水による桁端部や支承部の腐食に特に注意を払う必要がある。

図 - 10 に I 橋、B 橋、C 橋および L 橋に発生しているさび中に含まれている元素を蛍光 X 線分析により



写真 - 12 排水管の腐食 (L 橋)

定量した結果を示す。I 橋のさびからは、塩素 (Cl) が検出されているが、同時にカルシウム (Ca) も検出されており、本橋が海岸線から 5 km 離れていることから、腐食劣化は凍結防止剤である塩化カルシウム (CaCl₂) 中の塩化物によるものであると判断できる。このことは、凍結防止剤の影響を受けている前述の L 橋と同様の元素の検出状況であることから判断できる。また、海岸から 220m の距離にある C 橋では、Cl と Na が多く検出され海からの飛来塩分が原因のさびであることが推測できる。海岸線から 2 km 離れている B 橋でも Cl が検出されているが、こちらは Na、Ca とともに僅かしか検出されておらず、海からの飛来塩分と凍結防止剤による塩分のどちらによるものかは容易に判断はつかなかった。

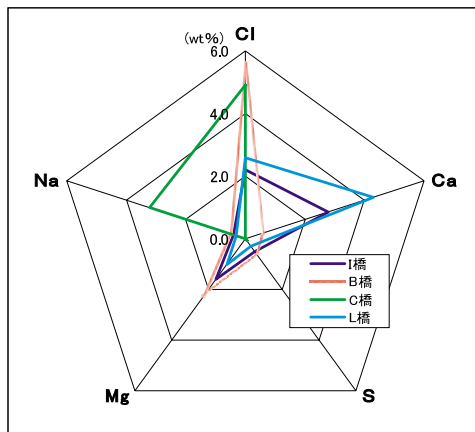


図 - 10 さび中に含まれている元素

4. まとめ

本調査の結果を以下のとおりまとめる。

- (1) 適用する防食塗装系の選定には、「北海道における鋼道路橋の設計および施工指針」、「鋼道路橋塗装便覧」の環境区分に基づき行われているが、今回調査した橋梁では環境区分と使用されている

塗装系の不整合に起因するような塗装の早期劣化などは認められなかった。

- (2) 塗装の早期劣化などの異常は素地調整による影響が非常に大きく、適切な素地調整が行われず塗膜の早期劣化、橋梁本体の腐食の発生に至ったケースがみられた。
- (3) 塗装の塗膜厚は塗替え回数が増えるごとに増加する傾向にあるが、素地調整の際、塗膜の状態の判断が適切に行われず、その結果、塗膜厚は十分に確保されているが防錆性能が十分発揮されず腐食に至っているケースがみられた。
- (4) 部材のシャープエッジ部 (角部) は防錆、防食上の大きな弱点となっており、R 加工などの対策が必要であると思われる。
- (5) 鋼橋の腐食は橋梁への塩分の付着が主たる原因であり、防食塗装の設計や維持管理方法の策定の際、重要な判断材料となる「腐食環境区分の設定」には、海岸線からの距離以外に周辺の地形状況、遮蔽物の有無、風向や気温、湿度などの気象条件等を総合的に判断して適切に行う必要がある。さらに今後は、内陸部などの一般環境区分域においても、凍結防止剤の散布量と気温、湿度などの気象条件によっては海岸部と同等以上の腐食環境となる可能性があり、塗装系の選定に配慮が必要になると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 鋼道路橋塗装便覧、社団法人日本道路協会 (平成 2 年 6 月)
- 2) 北海道における鋼道路橋の設計および施工指針、北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会 (平成 7 年 12 月)
- 3) 大規模橋梁の防錆技術に関するフィージビリティスタディ、建設省土木研究所資料第 2810 号 (平成元年 12 月)
- 4) 鋼道路橋塗装便覧、社団法人日本道路協会 (平成 2 年 6 月) P130 表 - 9・9 塗膜の劣化面積と素地調整種別



佐々木慎一*

北海道開発土木研究所
構造部
材料研究室
研究員



田口 史雄**

北海道開発土木研究所
構造部
材料研究室
室長



嶋田 久俊***

北海道開発土木研究所
構造部
材料研究室
副室長