鋼橋重腐食部への亜鉛テープ被覆等による コスト縮減の予測

梶村　周平[1]・宮本　重信[2]

[1]福井県　建設技術研究センター　（〒918-8108福井県福井市春日3丁目303）

[2]地中熱・融雪技術士事務所（〒918-8104 福井県福井市板垣3-1411）

冬の季節風で日本海からの海塩粒子が橋に付着し，鋼桁の腐食を促進している．しかし，その腐食形態は一様ではなく，付着海塩粒子が降雨で流されることのない下フランジ上面やボルト・ナットにおいてその度合いが著しい．そこで重腐食箇所に亜鉛テープによる重防食を施した場合のコスト縮減効果を試算した．また他の塗装費用縮減方法との比較を行った．

キーワード　腐食，橋梁，亜鉛テープ，飛来塩分，塗装

1. はじめに

福井県には冬の季節風で飛来する海塩粒子によって腐食が促進される橋梁が多い．そこでは付着海塩粒子が雨で洗い流されない内側の桁の下フランジの上下面とボルト・ナットが著しく腐食している(**写真-1**)．しかし，この腐食の著しい箇所の面積は，橋全体の塗装面積と比較すると小さい．そこで，腐食の著しい箇所を他と同じレベルまで重防食で抑制できれば，橋全体の塗り替え費を減らすことが期待できる．そこで，この部分のみを重防食することでの腐食予測と費用対効果を海岸から4.5km離れた三国大橋で試算した．

2. 対象橋梁の腐食状況

写真-1　ボルト，下フランジの錆（三国大橋）

この三国大橋では塗装の塗り替えを一度に行ってこなかったので，桁内側の下フランジ上面，ウエブの付着塩分量を計測し，それを塗装後の年数経過を横軸に整理した(**図-1**)．**図-1**でウエブが1年で約800mg/m²で一定となるのは，冬期の塩分付着で臨界湿度が低下し頻繁に結露し，落水することで，飛来塩分量とにバランスが生じることによる．そのウエブから流れた塩分は下フランジの上に至り，元々上向きで多く蓄積した塩分量を更に増やす．塩分高濃度の下フランジ上面では頻繁に結露し錆を促進するが，結露水は端部に水滴となって落水する．ウエブに比べ蓄積量が大きいので，この落水による塩分の減少とのバランスには年数を要し，平衡する付着塩分量も高い**図-1**のカーブとなっている．Uリブ下面でも結露が観測され，この水滴が乾燥するので，付着塩分濃度はウエブに比べるとやや高い．しかし蓄積しやすく貯留しやすい下フランジ上面に比べるとUリブは落水しやすいことから著しい腐食にはなっていない．

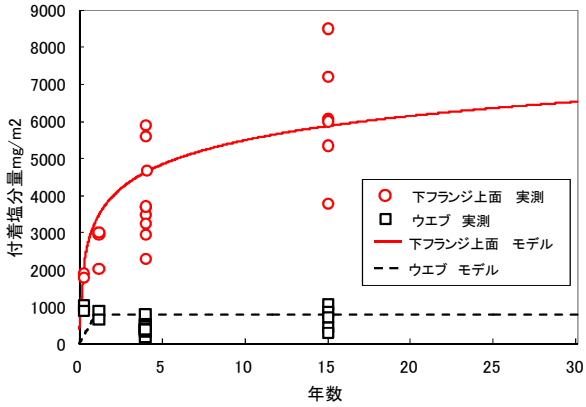

図-1　三国大橋の桁内側の付着塩分量変化

3. 亜鉛の腐食進行シミュレーション

この様な腐食状況下で，腐食の進行速度が早いと見込まれる箇所に対して予め重防食の措置を行うことにより，橋全体の腐食の進行を抑制することが期待される．

腐食予測にあたり，重防食措置として海洋環境下における鋼材の防食材料のひとつである亜鉛系防食材料の使用を仮定した．亜鉛系防食材料には，亜鉛粉末入り防食ペースト（以下，亜鉛ペースト）と粘着剤付亜鉛箔テープ（以下，亜鉛テープ）があるが，下フランジ面に使用する場合，亜鉛の純度が高く，厚みが均一で腐食進行速度推定を行う時の信頼性が高いこと，および素地調整は三国大橋で行われている 3 種ケレンでもテープの接着に問題が無いことから，亜鉛テープ [1) 2)]を用いるとした．両者の防食効果は多少異なるが，主要な効果はいずれも亜鉛の電気化学反応による犠牲防食効果である．**図-2** に亜鉛テープの構成図を，**写真-2** に試験的に下フランジに設置した 1 年 4 ヶ月後の状況を示す．なお，設置は雨掛りの無い桁の内側のみが対象となるため，橋全体の景観上の問題はない．

鋼，亜鉛の任意の相対湿度における，付着塩分量と腐食速度の関係は**図-3** [3)]のように与えられている．つまり任意の時点における相対湿度と付着塩分量が判ればその時点での腐食速度を算出することができ，その値を時間毎に足し合わすことにより経年腐食量をシミュレーションすることができる．

そこで三国大橋について，裸鋼および裸亜鉛のウエブ面，下フランジ上面における 30 年腐食量をシミュレーションした．経過時間毎の付着塩分量は**図-1** のカーブであると仮定し，相対湿度は三国のアメダス観測点での標準気象年データを用いた．

その結果が**図-4** のグラフである．裸鋼，裸亜鉛ともにフランジの腐食量がウエブの腐食量の約 1.8 倍となっており，裸亜鉛は裸鋼の約 1/20 の腐食速度であることが分かる．林田らの沿岸部 c-1 塗装系の鋼橋についての部位毎の塗膜劣化調査 [4)]では下フランジとボルト・ナットは 7～10 年で，ウエブは 20 年で総じて 10 年塗り替えが必要としている．三国大橋での従来の塗り替えは基本 a-1 系で行われているが，16 年経過の腐食状況を見ると林田らの調査と同様に下フランジとボルト・ナットは腐食が進行し一部層状剥離を起こしているが，ウエブには腐食がほとんどない．そこで三国大橋についても下フランジとボルト・ナットを除いた部分は，20 年の塗り替えでもよいとした．その上で，下フランジやボルト・ナットの部分について**図-4** から亜鉛テープ 0.2mm 相当厚を使用すれば耐久年数は約 20 年になる．

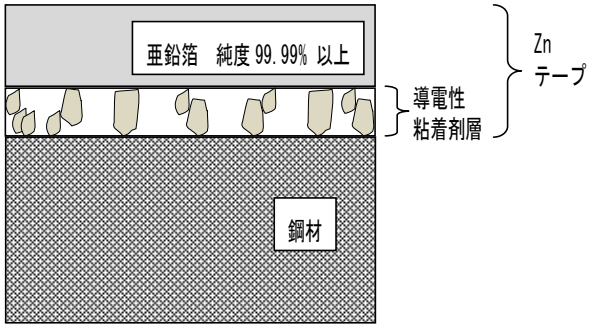

図-2　粘着剤付亜鉛箔テープ構成図

写真-2　箱桁フランジ上下面への亜鉛テープの設置

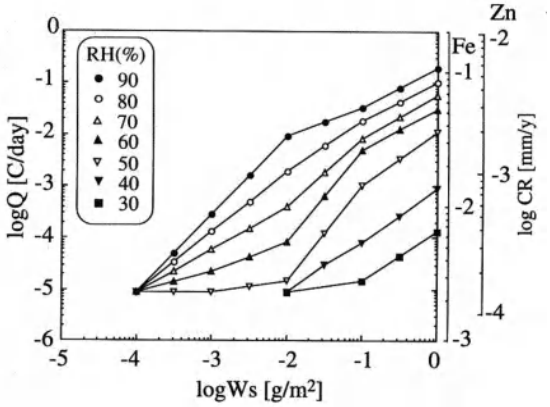

図-3　付着塩分量と鋼，亜鉛の腐食速度 [4)]

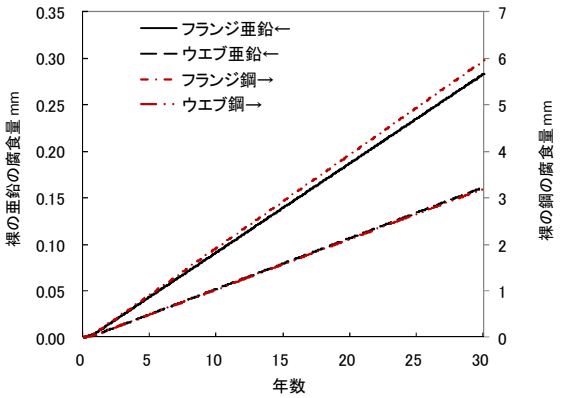

図-4　塩分量と湿度を考慮したフランジ，ウエブの鋼・亜鉛の経年腐食量計算結果

4. 費用対効果

三国大橋の塗装面積は m あたり約 32m^2 である．この橋の従来の塗替え仕様による費用は，**表-1** に示す様に 5,280 円/m^2 で，塗替え年数が 10 年であることから，年間あたりの費用に換算すると，528 円/m^2/年となる．

これに対して箱桁内側および横桁の下フランジ部分を厚さ 0.2mm，幅 30cm の亜鉛テープで被覆，ボルト・ナットに亜鉛ペーストを厚さ 600μm で塗るとした場合の費用は，7,910 円/m^2 で，この場合の塗かえ年数は 20 年とできることから，年間あたりの費用に換算すると，395 円/m^2/年となる．なお重防食を行う部分の面積は，m あたり約 2.4m^2 であり，全塗装面積に占める重防食部分の面積は，7.5%となる．

以上より，三国大橋の場合，重腐食部に対して重防食を行うことにより，1 回あたりの塗装費用は従来の 92,400 千円(総塗装面積　17,500m^2)から 138,425 千円へと 46,025 千円(50%)増大するが，塗替え年数を 10 年から 20 年に伸ばせることにより，長期的には，約 3 割のコスト縮減になると見積もられた．

表-1　重腐食部へ亜鉛防食を行った場合の費用対効果

	従来の方法	フランジ：亜鉛テープ 0.2×300mm ボルト：亜鉛ペースト600μm
塗替年数	10年	20年
塗装費 円/m^2	3種ケレンC + 水洗 652円/m^2×32m^2 =20,864円	3種ケレンC + 水洗 652円/m^2×32m^2 =20,864円
	①下塗（鉛系サビ止2回） 834円/m^2	横桁下フランジ (0.8m^2) 0.3m×4m×2@3m ×22,400円/m = 17,920円
	②中塗（長油性フタル酸樹脂） 425円/m^2	箱桁内側下フランジ (0.6m^2) 0.3m×2 ×22,400円/m = 13,440円
	③上塗（長油性フタル酸樹脂） 425円/m^2	ボルトナット (1.0m^2) 510本@3m ×140円/本 = 23,800円
	④=①+②+③ = 1,684円/m^2 ④×32m^2 = 53,888円	上記以外 (32−0.8−0.6−1.0)m^2 ×④ = 49,846円
	塗装費(32m^2) 74,752円	塗装費(32m^2) 125,870円
	塗装費(m^2) 2,336円	塗装費(m^2) 3,933円
足場費 円/m^2	861円	861円
費用計 円/m2	(2,336円+861円) ×1.65(経費)= 5,280円	(3,933円+861円) ×1.65(経費)= 7,910円
年費用 円/m2/年	528円	395円

5. 洗浄との比較

(1) 消雪用水を利用した橋梁洗浄

筆者らは，付着塩分を洗い流して腐食の進行を抑制するという観点から，洗浄装置を作成し，福井県管理のほとんどの橋に設置されている消雪装置からの井戸水を用いて橋梁の洗浄を行った場合の塗装の延命効果について三国大橋をモデルケースとして実証実験を行った．[5] **図-5**に橋梁洗浄の概念図を，**写真-2**に洗浄の状況を示す．

(2) 洗浄の費用対効果

実証の結果，洗浄装置を使った洗浄により下フランジ上面でも付着塩分量を600mg/m^{2}程度にまで低下させる効果があることが明らかになった．

そこで，下フランジ面について，洗浄なし，毎年3月末に800mg/m^{2}に，毎年3月末に200mg/m^{2}に洗浄という3ケースでの腐食量を，3.と同様の方法でシミュレーションした．塩分付着量の推移は塩分飛来が冬季に集中していることを考慮し，**図-6**と仮定した．

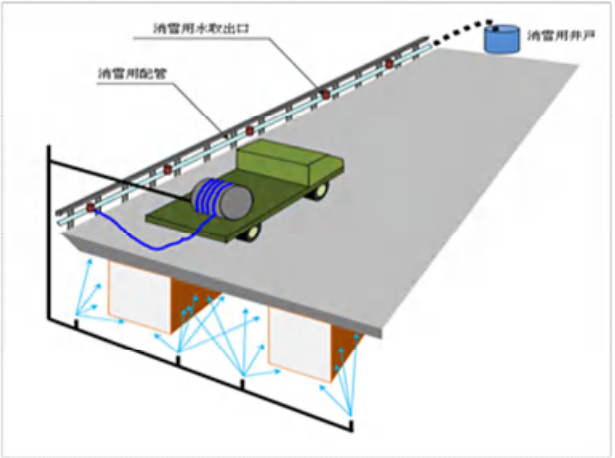

図-5　橋梁洗浄の概念図

写真-2　三国大橋における橋梁洗浄の状況

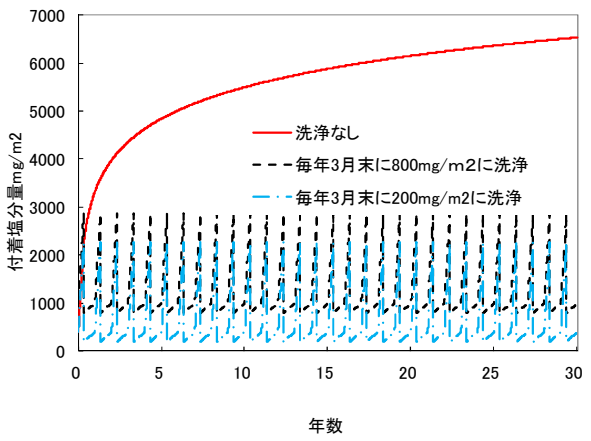

図-6　洗浄による付着塩分量の変化(下フランジ上面)

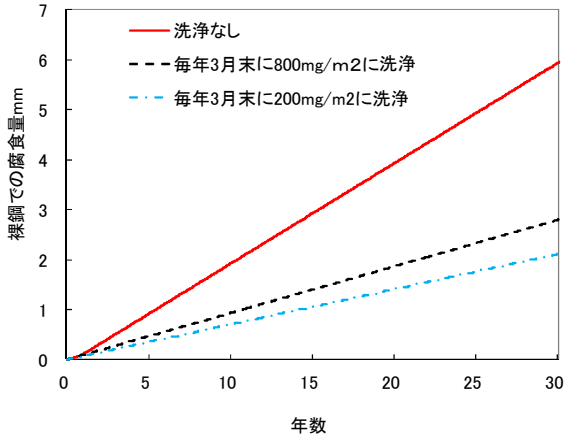

図-7　洗浄による腐食量の違い(下フランジ上面)

シミュレーションの結果を**図-7**に示す．3月末に800mg/m^{2}にまで洗浄するという方法により，洗浄無しに比べて約2倍の延命となった．これを直接洗浄等により200mg/m^{2}まで洗浄したたとしても，その腐食縮減効果は800mg/m^{2}まで洗浄した場合の約25%にとどまる．

以上より，洗浄機を使った毎年洗浄で重防食と同様に10年塗替えを20年塗替えに伸ばせることから，毎年の洗浄費(1,050千円/回)を加味した年間あたりの塗装費用は，324円/m^2/年となり，従来の方法と比べ約4割のコスト削減と見積もられた．

(3)　亜鉛テープによる重防食と洗浄の比較

亜鉛テープを重腐食部に用いた場合の，年間あたりの塗装費用は395円/m^2/年であることから，洗浄を行う場合の塗装費用と比べるとそのコスト削減効果は2割程劣っている．

しかし，今回開発した洗浄機は，下路橋や橋梁路面上部に電灯柱等支障物がある場合等には使用できない．一方，亜鉛テープを使った重防食は通常の塗替え時に同時に行うので，特に余分な仮設を行う必要も無いことから，汎用性には優れている．

6.　塗装仕様の変更による重防食

現在，塗装の劣化を定量的に評価する手法が無いことから，本研究では重防食方法として腐食量の定量評価が可能な亜鉛テープを用いて，費用対効果の算出を行った．

しかし，塗装劣化を定量的に評価することが可能となれば，重腐食部について，どの程度の塗装を用いることにより全体の塗装費を減らせるかの検討が可能となる．

例えば，三国大橋の重腐食部2.7m^{2}についてc-1塗装系を施すことにより，塗替え年数を10年から20年に伸ばせるとすると，その年間あたりの塗装費用は268円/m^2/年となり，従来方式に比べ50%，亜鉛テープによる方式と比べても70%と大幅なコスト縮減が可能となる．この塗装の劣化速度を測定するための塗膜劣化センサは現在開発中であり，これが開発されれば，より有効な防食方法の提案が可能となる．

7. まとめ

海塩粒子の飛来する河口遡上部鋼橋で，腐食の著しい下フランジとボルト・ナットを亜鉛シール等で防食することでの維持費用額を見積もった．その上で，重腐食部に対し重防食を行うことの有効性を確認した．

謝辞：　本研究は、国土交通省建設技術研究開発「塩分の飛来・付着特性と塗装の劣化を考慮した鋼桁洗浄システム（研究代表者小畑誠）」でなされたものである．

参考文献

1) 谷口幸一郎，森本和成，濱田秀則，平崎俊史，阿部正美:海洋環境下における亜鉛系防食材料による防食効果の検討，防錆管理，2005.5
2) 谷口幸一郎，森本和成，濱田秀則，平崎俊史，阿部正美：海洋環境下における亜鉛末入り防食ペースによる防食効果の確認，防錆管理，2004.6
3) 元田慎一，鈴木揚之助，篠原正，辻川茂男:工業化住宅内各部位の環境腐食性, 材料と環境, 47, 651-660, 1998
4) 林田宏，田口史雄，嶋田久俊，住岡栄悦ほか:重防食塗装系の鋼橋塗膜劣化調査と早期劣化対策の検討，寒地土木研究所，月報，No.652, 2007.9
5) 梶村周平，宮本重信，消雪用水を利用した橋梁洗浄の研究，平成24年度近畿地方整備局研究発表会論文，施工・安全管理対策部門：No.13