

鋼橋への Sn 添加鋼の適用による LCC の試算と適用最適化

正会員) 日本製鉄(株) 菅江清信, 原田直樹, 長澤 慎, 壺岐 浩
非会員) 阪神高速道路(株) 谷口祥基

1. はじめに

塩化物を含む大気環境において、塗装防食された鋼材の塗装きず部や部材鋭角部の塗膜脆弱部などの塗装欠陥部における耐食性を向上する Sn 添加鋼(以下、開発鋼)が開発された^{1,2)}。これまでに開発鋼は、神戸市沿岸部の阪神高速道路 5 号湾岸線の一部である東神戸大橋の橋脚下における 10 年間の長期暴露試験において、塗装欠陥部の腐食を抑制することを確認した(図 1)³⁾。実環境の暴露試験と腐食促進試験の結果より、開発鋼は普通鋼に比べて塗装塗替えに至る期間を約 2 倍に延長すると報告されている^{2,3,4)}。そこで今回は、モデル橋梁を用いて鋼橋への開発鋼の適用時のライフサイクルコスト(LCC)の縮減効果と部位適用に関する効果について報告する。

2. LCC の算出と各費用の算定条件

塗装鋼橋では、塗装劣化や腐食の進展を指標として塗替塗装を施すことで補修と維持管理を行ってきた。日本橋梁建設協会では、重防食塗装橋梁の補修は、塗装上塗りの光沢度の消失より求めた耐候性の低下を鑑みて、上塗りと中塗りの塗替えを推奨している⁵⁾が、実態は塗装塗膜における水の透過速度は速く⁶⁾鋼素地まで到達しやすく、腐食発生の起点となる。それゆえ、海岸など腐食の厳しい環境では、塗装塗替えは、塗装劣化よりも腐食劣化を基準として検討する方が効果的である。

塗装橋梁の腐食劣化は、部位毎により異なり、桁端や下フランジは腐食環境が厳しくなりやすく、一般外面のウェブ面に比べて寿命は 1/2 となると報告されている⁷⁻¹¹⁾。図 2 に橋梁の腐食状況の一例を示す。下フランジに腐食が集中して進展していることがわかる。腐食の緩やかな内陸においても、桁の下フランジや桁端は、ウェブ面などの一般部よりも腐食環境が厳しくなる可能性がある。また、凍結防止剤が散布される環境では、凍結防止剤により腐食劣化は加速される傾向にある。そこで本報告では、モデル橋梁を用いて海岸地域と内陸一般環境における開発鋼の全面適用と部分適用時の LCC を試算した。

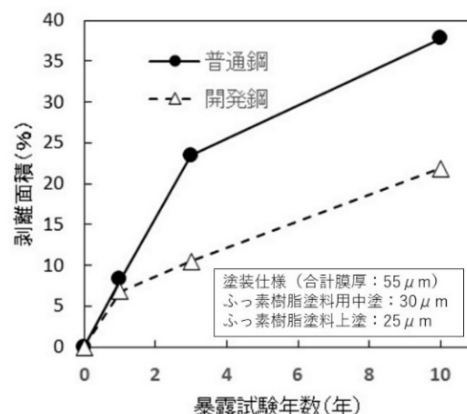


図 1 東神戸大橋 10 年間の暴露試験結果³⁾



図 2 橋梁の下フランジの腐食状況

表 1. 試算対象のモデル橋梁の詳細

橋梁形式	鋼 3 径間連続細箱桁橋
橋 長	211.0 m (65.0+80.0+65.0m)
全 幅 員	11.5 m
総 鋼 重	761.7 t
塗装面積	14,370 m ²

表 2. 塗装仕様

C-5仕様		
	仕様	膜厚 (μm)
素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	
プライマー	無機ジンクリッチプライマー	15
素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	
1層目	無機ジンクリッチペイント	75
2層目	ミストコート/エポキシ樹脂塗料下塗	—
3層目	エポキシ樹脂塗料下塗	120
4層目	ふっ素樹脂塗料用中塗	30
5層目	ふっ素樹脂塗料上塗	25
総膜厚		250

厳しい腐食環境と内陸の一般環境の橋梁に適用したモデル橋梁は、表 1 に示す鋼 3 径間連続細箱桁橋とした。各費用は、土木コスト 2020 年 7 月度¹²⁾、建設物価本 2018 年 11 月度¹³⁾、国土交通省令和 2 年 2 月 14 日公共工事労務費¹⁴⁾および土木工事標準積算書¹⁵⁾、日本ペイント(株)構造塗装積算書¹⁶⁾をおよび橋梁架設工事の積算¹⁷⁾を用いた。初期の防食仕様に表 2 に示す一般外面塗装仕様の C-5 塗装仕様を施した普通鋼と開発鋼とした。

3. モデル橋梁の初期建設費用と開発鋼の適用

表 2 に示す各防食仕様を施工した場合の防食コストを、図 3 にモデル橋梁の初期建設費用に占める各項目の割合を示す。普通鋼に C-5 塗装を施した場合の建設費に比べて、開発鋼に C-5 塗装を施した場合の建設費の上昇率は僅か約 2% であり、腐食の厳しい下フランジや桁端部などの橋梁全体の約 25% に開発鋼を適用すると、上昇率は約 0.6% であった。

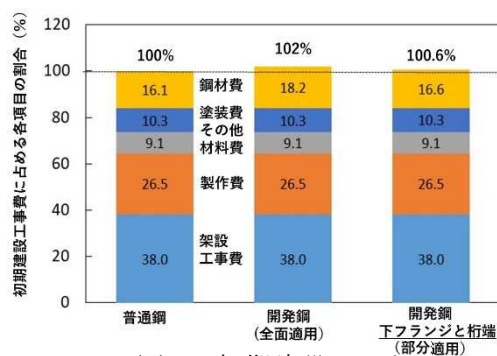


図 3. 初期建設コスト

4. LCC の試算と適用の最適化

C-5 塗装仕様を施したモデル橋梁を厳しい腐食環境と一般的な環境に適用した場合の LCC の変化を試算した。塗替えの判定基準としては、厳しい腐食環境では腐食劣化度を、一般環境では塗装劣化と腐食劣化度を基準とした。腐食の厳しい環境では重防食塗装の橋梁は、建造後約 20 年から 30 年で腐食劣化し、補修されている^{7,8)}ことから、30 年毎の補修工事と設定した。一般環境では主に腐食が厳しくなる下フランジと桁端にて腐食劣化し、塗替え工事は 30 年毎と設定した。開発鋼は、東神戸大橋の曝露試験結果から、普通鋼に比べて塗装欠陥部の腐食を約 50% まで抑制することを見出し、塗装塗替え基準に至る期間を約 2 倍延長することを知見しているため、塗替え工事を 60 年と設定した³⁾。塗替え工事は、表 3 に示すように仮定して積算した¹²⁻¹⁸⁾。図 4 に LCC の結果を示す。海岸地域など厳しい腐食環境に適用される場合、普通鋼は 100 年で 3 回の塗替えが生じるのに対し、開発鋼は塗替え機会を 2 回削減でき、100 年間の LCC を約 42% 縮減できると考えられる。また、一般的な環境においても、下フランジと桁端に部分的に腐食環境になる。そのため、普通鋼の下フランジと桁端は 30 年毎に腐食劣化が生じ、それ以外のウェブ面など一般部は 60 年毎に塗装劣化が生じると考えられる。このような部分的に腐食環境

となる下フランジと桁端に開発鋼を適用した場合、ウェブ面等の一般部の普通鋼使用部と同様に 60 年毎となり、補修時期や工事仕様を併せた実施が可能になることや、素地調整の簡素化など更なる補修工事費の圧縮が期待できる。

表 3. 仮定した補修工事の詳細

	橋梁面積 (m ²)	補正係数 K1	補正係数 K2	パー ティー数
足場の選定	2426.5	1.2	1.3	3
初期の防食仕様	補修塗装箇所	施工方法	対象面積 (%)	工期 (月)
C-5 塗装	桁全面	Rc-I	95	3
	桁端部	Rc-IIA	5	

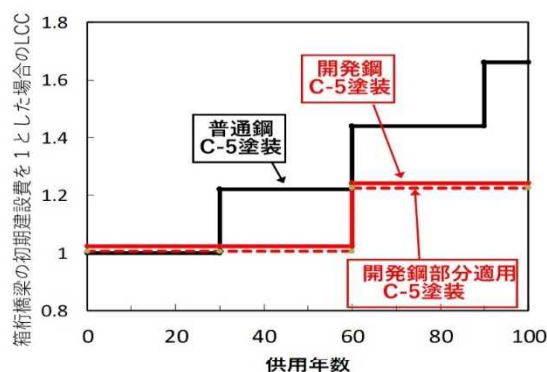


図 4. 100 年間の LCC の試算結果

5. まとめ

海岸等の厳しい腐食環境における鋼橋に対しては、開発鋼を全面適用すると、初期建設コストの上昇率は約 2% となるが、優れた耐食性の為に 100 年間の塗替え回数を削減し、LCC を約 42% 縮減できる。一方、内陸など一般的な環境における鋼橋に対しては、腐食の厳しくなる桁端や下フランジに部分適用すると、初期建設コストの上昇率は約 0.6% となるが、他の部位との補修時期や工事仕様を併せた実施が可能になることや、素地調整の簡素化など更なる補修工事費の圧縮が期待できる。

6. 参考文献

- [1] 上村隆之、鹿島和幸、菅江清信、幸英昭、工藤勉夫；材料、62 (2013) 207-212
- [2] 菅江清信、上村隆之、児玉正行、老岐浩；防錆管理、62 (10)、(2018)、363-367。
- [3] 青木康素ら；橋梁と基礎、2019 年 10 月
- [4] 伊藤義人ら；土木学会論文誌
- [5] 貞島健介ら；平成 30 年橋梁技術発表会資料
<https://www.jasbc.or.jp/images/imageparts/title/release/ppt/2018/H30-ppt007.pdf>
- [6] 大蔵権昭；材料、22 (1973)、519-526。
- [7] 原田 孝；令和 2 年度四国地方整備局管内技術・業務研究発表会資料。
- [8] 細井章浩ら；構造工学論文集、Vol.157A (2011)、669-680。
- [9] 玉越隆史ら；鋼構造論文集、21 (2014)、99-113。
- [10] 林田 宏；寒地土研報告書；<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-seika/2010/pdf/sei-32.pdf>
- [11] 原田拓也ら；Structure Painting、145 (2019)、18-26。
- [12] 季刊 建設物価 土木コスト情報 2020 年 7 月 (夏)
- [13] 建設物価
- [14] <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001328838.pdf>
- [15] 一般社団法人建設物価調査会編 令和 3 年度版国土交通省土木工事標準積算基準書 (共通編)
- [16] 日本ペイント(株)構造塗装積算書 2020-2021 年版
<https://www.nipponpaint.co.jp/images/products/large/pricelist.pdf>
- [17] 一般社団法人日本建設機械施工協会編 橋梁仮設工事の積算令和 2 年度版
- [18] 一般社団法人日本建設機械施工協会編 橋梁仮設工事の積算 別冊橋梁補修補強工事の積算の手引き 令和 2 年度版