

付録 A : 長寿命化部会の研究成果の要約

【付録 A 2 : 土木学会第 71 回年次学術講演会投稿論文】

既設橋梁の腐食部に対する応急的な補修塗装手法に関する研究

IHI インフラシステム 正会員 ○北村耕一 バコーポレーション 正会員 上野臺英孝
 東京鐵骨橋梁 萩谷陽平 三井造船鉄構エンジニアリング 今村明登
 茨城大学 正会員 原田隆郎

1. はじめに

近年社会インフラの老朽化が顕在化しており、今後、さらに多くの構造物へ波及することが懸念されている。予算や人員確保の観点から、そのすべてに対して同時に対処することは困難であり、劣化状況に合わせた長寿命化・延命化対策が求められている。

鋼構造物の腐食に対して、塗装が最も一般的な対策として行われており、その維持管理方法として塗膜の全面塗替えが行われている。しかし、全面塗替えでは同一構造物内の構造特性や環境条件による腐食進行速度の違いに対応するのは困難であり、橋梁の桁端部などの腐食環境の厳しい箇所では塗替え時に母材の腐食が進行している事例も多い。

近年では桁端部など腐食環境の厳しい範囲のみを塗り替える部分塗替えに対する研究もおこなわれており、支間中央部では腐食進行が緩やかなため支間中央部を塗替えず、腐食環境の厳しい範囲のみ部分塗替えすることで構造物全体の健全性が維持できるとした研究結果¹⁾もある。

本研究では、5年間隔での実施が義務付けられた定期点検の際に、図-1に示すような支間中央の局所的な腐食部にエアゾールタイプの塗料を直接塗布し、次回点検までの5年間の腐食進行を抑制する維持管理手法を提案し、複合サイクル促進試験による使用塗料と適用可能な素地条件の検討を実施した。

2. 複合サイクル促進試験の概要

使用塗料と素地条件を組み合わせの5年間の耐久性を検討するため、複合サイクル促進試験を実施した。試験条件を表-1に示す。サイクル条件はJIS K 5600-7-9に規定されるサイクルDとして、216サイクル（1296時間）の試験を実施した。サイクルDの手順を図-2に示す。また、促進試験のサイクル数は、藤原の研究²⁾による促進試験時間の東京での実時間への換算率を用いた場合の約6年間に相当する。

試験ケースは表-2に示す塗料と素地条件の組合せで12ケース、28体とした。試験体の塗装は、①2液性エポキシ樹脂塗料、②1液性エポキシ樹脂塗料、③2液性エポキシ樹脂防錆剤の3種類に、評価の基準として無塗装、Rc-Ⅲ仕様を加えた5種類とした。また、試験体の素地は(A)さび無し、目視評価で試験体全体のさび面積比が20～30%程度となる(B)さび状態Ⅰ、さび面積比60%以上の(C)さび状態Ⅱとした(図-3)。試験中は12サイクルごとに試験体を取り出して外観観察を行い、36サイクルごとに画像解析によるさび面積率の算出を実施した。

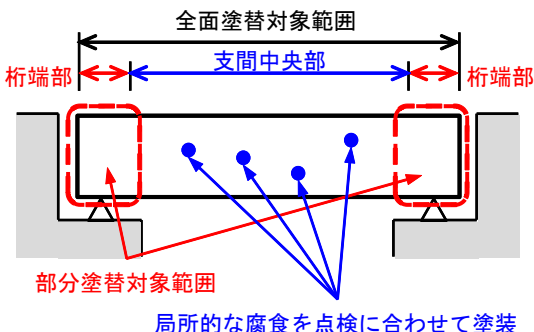


図-1 各塗替手法の適用範囲

表-1 促進試験の条件

サイクル条件	サイクル D
サイクル数	216
試験体寸法(mm)	150×3.2×70
試験ケース数	12
試験体数	28

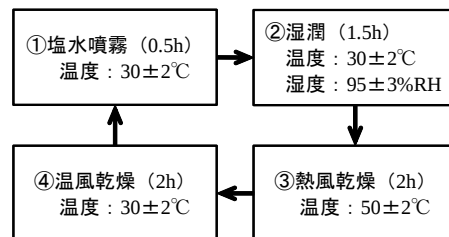


図-2 サイクルD概要

表-2 試験ケース一覧

ケース	塗料	素地条件	試験体数
1	①	A	2
2		B	3
3		C	3
4	②	A	2
5		B	3
6		C	3
7	③	B	3
8		C	3
9	無塗装	B	1
10		C	1
11	Rc-Ⅲ	B	2
12		C	2

塗料
 ① 2液性エポキシ樹脂塗料
 ② 1液性エポキシ樹脂塗料
 ③ 2液性エポキシ樹脂防錆剤

素地条件
 A さび無し
 B さび状態Ⅰ
 C さび状態Ⅱ

キーワード 長寿命化, 補修塗装, 複合サイクル促進試験, 定期点検

連絡先〒108-0023 東京都港区芝浦 3-17-12 吾妻ビル (株)IHI インフラシステム開発部研究開発2課 TEL 03-3769-8604

3. 試験結果による性能評価

(1) 外観による評価

各試験ケースの 180 サイクル終了時（実時間換算 5 年）の状態を表-3 に示す。塗料①はさびが発生せず、塗料②においてもわずかな点さびが発生しているのみで、いずれも健全とされる状態を維持していた。塗料③は塗膜が透明であり、母材のさび状態が直接確認できる。ケース 7、8 の試験前の状態は図-3 の



(A) さび無し (B) さび状態 I (C) さび状態 II

図-3 試験体の素地条件

(B), (C) であり、母材のさび状態に変化は無かった。Rc-III仕様でもさびは発生しておらず、塗料①, ③は Rc-III と同等の耐久性を有すると考える。

(2) さび面積率による評価

塗料①, ②のさび面積率を表-3 に示す。ケース1, 4は目視結果、ケース2, 3, 5, 6については、表中の破線範囲（30mm×50mm）の画像よりさび面積率を算出した。最大はケース6の1.8%であり、鋼道路橋防食便覧³⁾が示すさびの評価区分「3」（ $0.5\% \leq X \leq 8.0\%$ ）であった。この結果から塗料①, ②についてはただちに塗替が必要な状態には至っておらず、5年後の定期点検時に再度塗装することで良好な状態を維持できると考える。

表-3 180 サイクル経過後の試験体

塗料	①	②	③	④	⑤
ケース	1	4			
さび無し					
さび面積率	(0%)	(0%)			
ケース	2	5	7	9	11
さび状態 I					
さび面積率	0.0%	0.1%	-	-	-
ケース	3	6	8	10	12
さび状態 II					
さび面積率	0.0%	1.8%	-	-	-

※さび面積率は破線範囲の画像より算出、() 内は目視結果

4. おわりに

本研究では定期点検に合わせて実施する補修塗装手法について複合サイクル促進試験を実施し、目視およびさび面積率によって 5 年間の耐久性を評価した。

- ・目視による評価では、塗料①, ③は素地のさびが進行している状態に塗装した場合でも塗膜表面にさびがほとんど発生しなかった。塗料②でもわずかに点さびが発生する程度であり、いずれの条件でも十分な耐久性が確認できた。
- ・さび面積率による評価では、塗料①, ②はいずれの素地条件でも 2%以下の値となり十分な耐久性が確認できた。
- ・現在、塗料①, ②, ③を実橋に試験的に施工して、施工性の確認および実環境における耐久性を検証中である。

謝辞：本研究は鋼橋技術研究会より支援を受け、長寿命化技術に関する研究部会の活動の一環として実施されたものである。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 安波博道ら：茨城県新長茂橋における部分塗替え塗装と経過観察，土木学会第 69 回年次学術講演会，pp.1137-1138，2014.9
- 2) 藤原博，田原芳雄：鋼橋塗装の長期防食性能の評価に関する研究，土木学会論文集 No.570，pp.127-140，1997.7
- 3) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，丸善，2014

既設橋梁における鋼製排水溝を用いた排水構造の提案とライフサイクルコスト評価

コスモ技研 ○土屋 嘉則
セントラルコンサルタント 梅原 郁弘
川田工業 正会員 藤井 裕士
東京都市大学 正会員 白旗 弘実
茨城大学 正会員 原田 隆郎

1. はじめに

近年、地方自治体では橋梁長寿命化修繕計画が策定され、橋梁の維持管理・長寿命化に対する機運が高まっている。反面、職員の不足、維持管理予算の不足などから十分な対策が行われていないのが現状である。そのような状況の中、排水装置の目詰まりや部材劣化による漏水などの不具合が長寿命化を妨げているという報告もあり、不具合の解消や部材取替えによる適切な維持管理が重要となっている¹⁾。一方、橋面で作業が比較的容易な一般道の橋梁では、鋼製排水溝への構造変更が維持管理作業の低減に有効であると考えられる。

本研究は、地方自治体に多い比較的中小規模の既設橋梁を対象に、排水管取替えと鋼製排水溝への構造変更の両案をライフサイクルコスト（以下 LCC）評価によって比較することで、今後の長寿命化対策の一手に加えられるかどうか検討するものである。提案する鋼製排水溝の構造は、既存部材の改造が最小限に抑えられるフラット型の鋼製排水溝とし（図-1）、使用する鋼製排水溝のサイズは、後述するモデル橋梁の条件で流量計算を行い決定している。

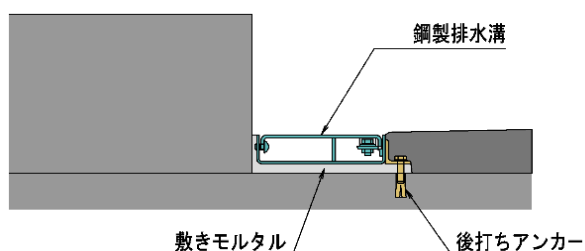


図-1 鋼製排水溝概要図

2. LCC検討条件

(1) LCC検討シナリオ

本研究では、ライフサイクルコスト比較のための

検討シナリオとして、①漏水による主桁損傷が発生した場合を想定した主桁補修シナリオ、②既存排水管の維持管理シナリオ、③鋼製排水溝への構造変更シナリオの3つを設定した（図-2 参照）。

①のシナリオは、主桁の損傷を受けた事後対策となる。損傷発生は漏水後 10 年程度を想定している。②のシナリオは、既存の排水管を定期的に清掃・交換するシナリオである。屋外環境における排水管（VP 管）の耐用年数は十分に解明されていないことから交換サイクルを 15 年、20 年、30 年の3種類を仮定した。③のシナリオは、排水管に代わり鋼製排水溝に改造し、維持管理するシナリオである。鋼製排水溝の設計耐用年数は 50 年を設定した。

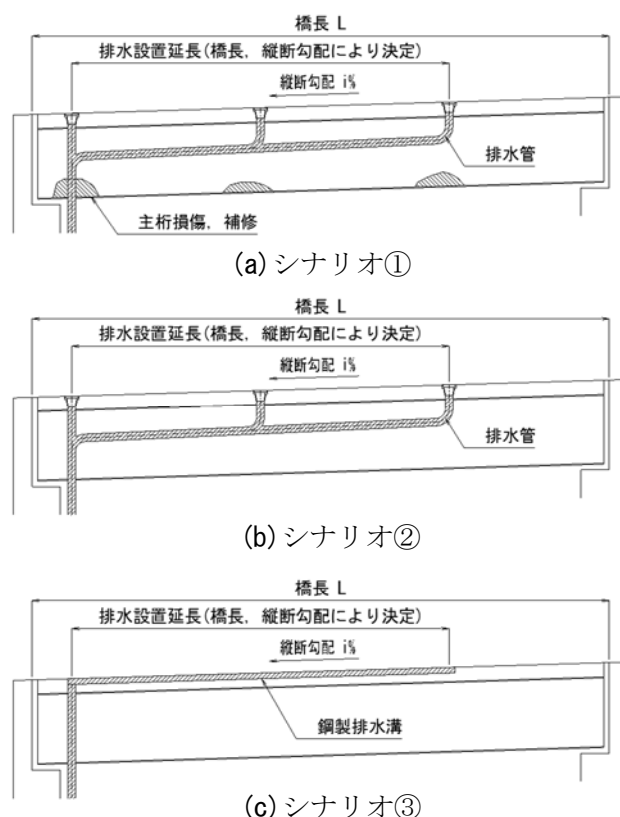


図-2 橋梁モデル概要

キーワード 既設橋梁、排水装置、鋼製排水溝、ライフサイクルコスト評価

連絡先 〒130-0026 コスモ技研(株) 東京支社 TEL 03-5624-6151

(2) モデル橋梁の設定

検討するモデル橋梁は、鋼単純鉸桁橋とし、図-2のように排水管、鋼製排水溝等が設置されるものとしている。また、橋梁諸元は表-1のとおりとし、橋長と縦断勾配をパラメータとして各シナリオの優位性について検討を行うものとした。

表-1 橋梁モデル諸元

構造形式	鋼単純 I 桁橋
橋長(m)	20.0 ～ 60.0 (5m ごとに計算)
幅員(m)	有効幅員 8.500
縦断勾配(%)	0.3, 0.5, 1.0, 2.0
横断勾配(%)	2.0 (拌み勾配)

(3) 概算工費及び取替えサイクルの設定

概算工費については、表-2 に示すように積算基準及びメーカーヒアリングから設定した^{2)~4)}。

表-2 概算工事単価及び更新サイクル

項 目	単 価	サイクル
シナリオ①：主桁補修シナリオ		
主桁補修（当て板）	88,950 円/m	40 年
排水管取替工	6,200 円/m	5 年
シナリオ②：排水管維持管理シナリオ		
排水装置取替工	20,800 円/m	15, 20, 30 年
排水管清掃工	2,600 円/m	5 年
シナリオ③：鋼製排水溝変更シナリオ		
鋼製排水溝 改造工※	62,000 円/m	初回計上のみ
鋼製排水溝 取替工※	47,000 円/m	50 年
鋼製排水溝 清掃工	1,900 円/m	5 年

※は鋼製排水溝材料費が最小時のコストを示す。

3. LCC評価結果

構造変更時点から 100 年後までの LCC 算出結果を図-3 に示す。この時のパラメータは橋長 40m、縦断勾配 1.0%としたときのものである。この条件によると、a)鋼製排水溝の設計耐用年数（50 年）まで使用する、b)排水管の取替えサイクルが 20 年以内の場合である、という 2 点の条件を満たすとき鋼製排水溝が LCC において優位となった。また、主桁補修による対策は、他のシナリオと比べ高コストになる可能性があることも示された。

次に、鋼製排水溝と排水管取替え（取替えサイクル 20 年）とのコスト差について、50 年後における橋長、縦断勾配パラメータを変化させたグラフを図-4 に示す。この結果、縦断勾配が大きいほど鋼製排水溝の適用が優位となり、また橋長が短い方が緩い縦断勾配でも適用できる可能性があることが確認された。

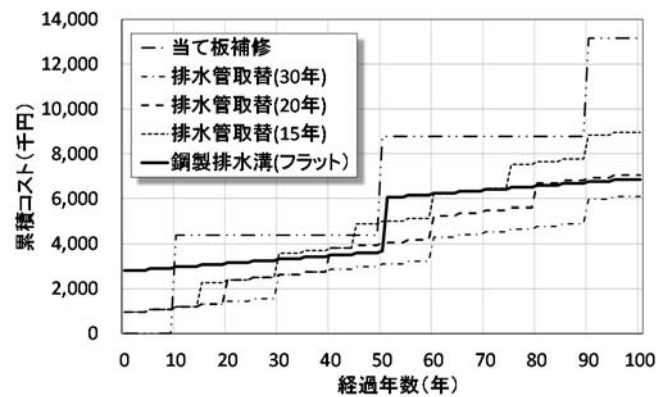


図-3 LCC 比較表（橋長 40m，縦断 1.0%）

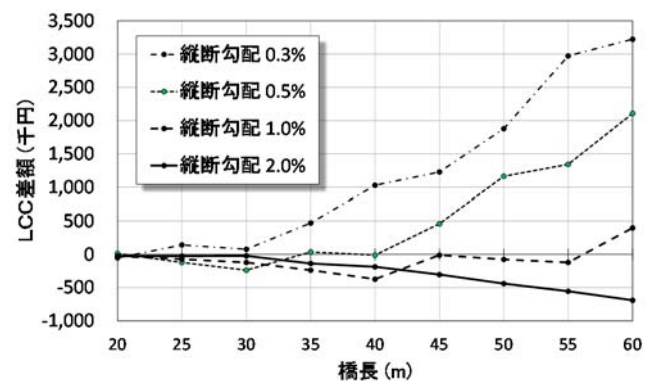


図-4 鋼製排水溝と排水管取替（20 年）との LCC 比較結果

4. まとめ

従来までは導入コストが高価であることから中小規模橋梁での適用は少なかったが、今回の検討結果によりいくつかの条件を満たせば LCC において優位になる可能性が見いだせた。

今回の検討では排水管の取替えサイクルを仮定して検討しているが、排水管の補修実績の積み重ねなどからその取替えサイクルが定まれば、より実用的な判定が得られるものと考えている。

謝辞

本研究は鋼橋技術研究会長寿命化技術に関する研究部会の研究の一環として遂行されました。関係各位および部会メンバーに謝意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、内藤幸美他：未来に残す橋作り～橋梁の長寿命化に向けた取り組み～，平成 24 年度国土交通省国土技術研究会，自由課題（一般部門），2012。
- 2) 道路保全技術センター：道路アセットマネジメントハンドブック，鹿島出版会，2008。
- 3) 日本建設機械施工協会：橋梁架設工事の積算 平成 26 年版，第 4 章 橋梁補修，2014。
- 4) 国土交通省：平成 27 年度 施工パッケージ型積算方式標準単価表，2015。

桁橋端部の水じまい処理によるライフサイクルコスト評価

○川金コアテック	非会員	清水和弘
コスモ技研	非会員	土屋嘉則
東京都市大学	正会員	白旗弘実
茨城大学	正会員	原田隆郎

1. はじめに

橋梁をはじめとする社会資本の経年劣化が問題となっている。鋼橋においては腐食あるいは疲労が対策すべき劣化である。鋼橋で腐食が起こりやすい箇所として、桁端部があげられる¹⁾。桁端部は形状が複雑で、ごみがたまりやすいことも含めて、滞水が起こりがちであることが理由である。近年では、滞水が起こらないような工夫が検討、提案されている^{2),3),4)}。

本研究は桁端部におけるいくつかの水じまい処理法に着目し、各手法のライフサイクルコスト(LCC)を比較したので、その結果を報告する。なお、水じまいとは、建築物内での使用水の処理を指すことで主に使用されている。ここでも「雨水の処理」の意味で使用している。

2. 検討した水じまい対策

対象とした水じまい対策を図-1にまとめる。大きく分けると対策は2種類となる。1つは、桁端部になるべく水がかからないようにするものである。図-1(a)および(b)にそれぞれ示すように、延長床版、受樋があげられる。延長床版は桁遊間を床版でふさぎ、主桁への漏水を防ぐものである。固定支承での使用が中心となるといった制限がある。受樋は伸縮装置での漏水を完全には期待せず、漏水が起きても、樋により橋座には水がかからない構造となっている。

もう1つは、桁遊間に止水対策をあえて施さないが、橋座面を湿潤状態にしない、というものである。桁遊間が比較的大きな場合、適用が可能といった制約がある。図-1(c)に示すが、ここでは、下部工排水構造と呼ぶこととする。

3. LCC 検討シナリオ

LCC算出にあたり、想定したシナリオは5つである。

第一は水じまい対策をしないものである。漏水により桁端部が腐食することになるが、当て板による桁端の補修や支承の取替えを行うものである。ここではこれらの補修作業は40年ごとに行うものと仮定

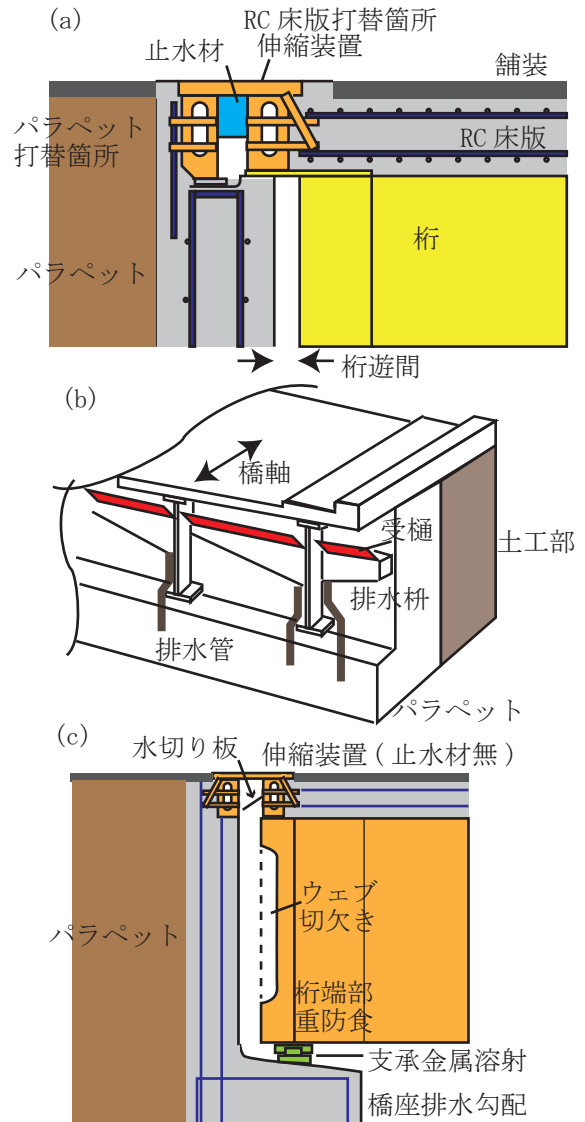


図-1 検討した水じまい対策

している。

第二は伸縮装置の止水材を定期的に取り替えるものである。止水材は10年おき、伸縮装置は40年ごとに取り替えると仮定している。支承の塗装も30年おきに行うものとしている。

第三は延長床版である。延長床版のジョイントを40年おき、支承の塗装を30年おきに行うものとしている。

第四は受樋構造である。受樋は15年おきに交換すること、伸縮装置は40年、支承の塗装は30年おきに

Key Words: 鈑桁橋, 腐食, 桁端部, 水じまい

〒332-8502 埼玉県川口市宮町 18-19

表-1 各工事のサイクルおよび費用

措置	サイクル	費用 (千円)
当板	40 年	569
支承取替	40 年	9073
止水材取替	10 年	1360
伸縮装置取替	40 年	4693
支承塗装	30 年	400
ジョイント取替	40 年	4013
延長床版工事	-	9732
コーティング	30 年	613
支承金属溶射	50 年	918

行うものとしている。

第五は下部工排水構造である。パラペットや橋座のコーティングの防水加工は30年おき、伸縮装置は40年、支承は金属溶射で50年おきに加工されるものと仮定している。

橋梁は橋長30m程度の単純支持のものを想定しており、供用開始後40年から対策したものとし、供用140年後までを計算している。工事費などは積算資料を参考としている⁵⁾。なお、社会的割引率は考慮していない。

当板補修、支承塗装などの費用を表-1に示す。費用は施工に直接かかる費用としており、施工のための機械を現場に輸送するための費用は含んでいない。

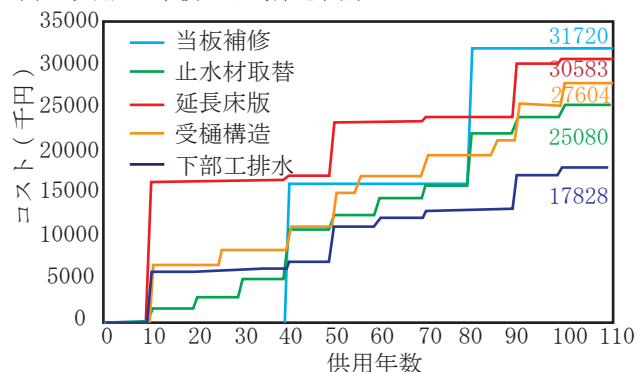
4. LCC 比較

算出したLCCを図-2に示す。図-2(a)および(b)はそれぞれ供用10年、40年後に補修対策を施した場合を示している。水じまい対策をしない第一シナリオで、当て板補修時のコストがかかることで、もっともLCCが高くなった。もっともLCCが低かったのは、第五シナリオの下部工排水構造であった。第三シナリオの延長床版は初期工事の費用が高かったが、その後の維持管理費用としては最小に抑えられることがわかった。第二シナリオの止水材取替えと第四シナリオの受樋構造はLCCの上昇パターンおよび額はおおむね同じになる傾向であったが、受樋構造のほうがLCCが低くなった。

5. まとめ

水じまい対策なしのシナリオが最もLCCが高くなり、何らかの対策により、LCC低減の効果が示された。下部工に水を流す方法が最もLCCが低くなった

(a) 供用10年後より対策を開始



(b) 供用40年後より対策を開始

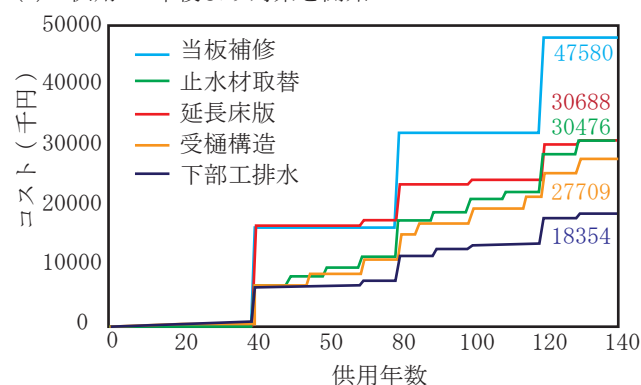


図-2 各水じまい対策によるLCC比較

が、遊間部には水が流れることになるので、定期的な維持管理(目視点検)が重要であることは述べるまでもないと思われる。下部工排水構造は遊間が大きくなければならないという条件があるので、この条件が満たされない場合は、他の適切な対策を取る必要がある。

今後の課題としては、橋梁、主に桁端部の劣化度(健全度)を評価しての対策サイクル年数設定への改良、機械の輸送距離などを加味した工事費の増減の影響など、考慮されていなかったパラメータを取り入れられるようにすることである。

謝辞

本研究は鋼橋技術研究会 長寿命化技術に関する研究部会の研究の一環として遂行されました。関係各位および部会メンバーに謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路橋の予防保全に向けた有識者会議 会議資料, www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/maintenance/1pdf/2.pdf, 2008.10.
- 2) 刑部清次: 橋の点検に行こう, 道路橋の点検, 橋梁と基礎, Vol.49, No.5, pp.47-50, 2015.
- 3) 安波博道, 落合盛人, 五島孝行, 中島和俊, 中野正則: 一時しのぎでない鋼橋の部分塗替え塗装, 橋梁と基礎, Vol.49, No.7, pp.18-23, 2015.
- 4) 大柳英之, 田村修一, 小山和之, 和氣弘幸, 和田圭仙, 七澤利明: 橋台部ジョイントレス構造の既設橋梁調査報告, 橋梁と基礎, Vol.50, No.3, pp.26-31, 2016.
- 5) 日本建設機械施工協会: 橋梁架設工事の積算, 2014.