

長寿命化技術に関する研究部会 報告書

Japan Steel Bridge Engineering Association

TECHNICAL REPORT /No.081

平成29年3月



鋼橋技術研究会

まえがき

本報告書は、鋼橋技術研究会『長寿命化技術に関する研究部会』として活動を行った 2013 年 4 月から 2016 年 3 月までの研究成果を取り纏めたものです。

報告書は、【本編】と【付録】の 2 部構成となっており、本研究部会の研究成果は【本編】の第 1 章～第 3 章に要約されています。第 1 章の「長寿命化に関する取り組み事例と橋梁長寿命化の考え方」では、国や地方自治体、高速道路会社、学協会などの橋梁維持管理や長寿命化修繕計画に関する動向をレビューし、本研究部会としての橋梁長寿命化の考え方と研究の対象範囲、研究テーマ設定の背景と達成目標を記載しました。第 2 章の「防錆・防食手法による長寿命化手法の提案」及び第 3 章の「水じまい対策による長寿命化手法の提案」は、部会活動において設置した 2 つのワーキングによる研究成果を記載しました。一方、【付録】には、本研究部会の成果報告のダイジェスト版として「平成 27 年度研究成果発表会」の発表スライドや部会議事録、口頭発表論文、その他、各ワーキングの研究において検討された詳細データで本編掲載出来なかった分を整理しました。【付録】の詳細については「本報告書の構成」をご覧ください、興味のある部分を参照していただきたいと思います。

さて、本研究部会のスタート時点で事務局から示された目標がありました。それは、「すでに供用されている既設橋梁を長く利用していく長寿命化技術を検討する」「また、今後新たに建設する新設橋梁にとっても有効な長寿命化技術も考える」「鋼橋を対象とした長寿命化技術の現状を把握し、各技術の耐久性やライフサイクルコストを整理した上で、有効と考えられる対策の最適実施シナリオを提示する」などでした。

これを踏まえ本研究部会では、長寿命化技術に関する現状や課題について、部会員が共通認識を持つ様に、まずは様々な維持管理に関するトピックの勉強会を実施し、部会で検討すべき長寿命化技術に関する意見交換を行いました。勉強会においては、(株)高速道路総合技術研究所の紫桃孝一郎様、川田工業(株)技術研究所の磯光夫様、土木研究所構造物メンテナンス研究センターの村越潤様、阪神高速技術(株)の坂根英樹様、他多くの皆様に、話題提供のご協力をいただきました。貴重なお話しを伺うことが出来大変感謝しております。この場をお借りしてお礼申し上げます。また、『塗装について研究するなら沖縄の現状を勉強すると良い』という倉西茂先生（鋼橋技術研究会・顧問）からのご助言もあり、2泊3日の沖縄橋梁視察を実施しました。そして、琉球大学の有住康則教授（工学部長）及び下里哲弘准教授との意見交換も実現しました。倉西先生にはご助言とご紹介をありがとうございました。なお、沖縄での橋梁視察には、日本橋梁建設協会の比嘉智様（川田工業(株)沖縄営業所）と垣花寿様（川田建設(株)九州支店・沖縄駐在）にご尽力いただきました。お礼申し上げます。

この様な勉強会や視察、意見交換を通して、部会としては、「防錆・防食手法による長寿命化検討ワーキング（以下 WG1）」と「水じまい対策による長寿命化検討ワーキング（以下 WG2）」を設置して活動を実施しました。そして、この 2 つのワーキング活動を中心に研究を展開しました。WG1 では、防錆・防食手法全般の技術動向をレビューし、最終的に経済的かつ効果的な塗替え塗装の手法について検討しました。塗装手法の有効性を確認するため試験研究も実施し、提案手法の効果について検証しました。この試験研究に関しては、特別研究費による支援をいただきました。貴重なデータを得ることが出来、大変感謝しております。WG2 では、長寿命化を阻害する要因の一つである水に着目し、排水機能や橋梁端部の改良（リニューアル）について検討しました。そして、最終的には、両ワーキング共に本研究部会の方針として、財政・技術・人材の面において厳しい現状を抱えている地方自治体、特に市町村の各自治体を対象とした長寿命化技術の検討を行いました。

各ワーキングの検討結果は、報告書の【本編】第 2 章と第 3 章にまとめられていると共に、【付録】には検討段階の詳細データも整理されています。これらの各ワーキングの研究成果は、今後、当該研究

を実務レベルに展開する際に非常に有益な情報となるものと考えられます。是非、有効にご利用いただきたいと思います。

最後に、部会活動に積極的に参加してくださったすべての部会員の皆様に感謝いたします。その中でも、副部会長を引き受けてくださった白旗弘実先生、幹事の河邑智也様と北村耕一様、ワーキング長の上野臺英孝様（WG1）様と土屋嘉則様（WG2）には大変お世話になりました。そして、鋼橋技術研究会の顧問で、本研究部会のアドバイザーをお引き受けくださった横山功一先生に感謝申し上げます。

鋼橋技術研究会 長寿命化技術に関する研究部会
部会長 原田 隆郎

本報告書の構成

本報告書は、【本編】と【付録】の2部構成となっている。【本編】は3章で構成され、第1章は長寿命化に関する現状把握と本研究部会の活動目標、第2章と第3章が2つのワーキングによる研究成果のまとめとなっている。一方、【付録】はA～Fまでの6つであり、付録A（A1とA2）は本研究部会の研究成果の要約、付録B（B1とB2）は各ワーキングにおいて調査された文献及び技術情報のまとめ、付録Cと付録Dは「防錆・防食手法による長寿命化検討ワーキング（以下WG1）」、付録Eは「水じまい対策による長寿命化検討ワーキング（以下WG2）」において検討された研究の詳細データを整理した。そして、付録Fには全17回の部会議事の一覧を添付した。

以下に本報告書の構成と概要を示す。

【本編】

第1章 長寿命化に関する取り組み事例と橋梁長寿命化の考え方

長寿命化の役割と必要性について述べると共に、国の老朽化対策、地方自治体の長寿命化修繕計画、高速道路会社や学協会などの取り組み事例を整理した。その上で、本研究部会における橋梁長寿命化の考え方と研究の対象範囲、防錆・防食手法による長寿命化検討ワーキングと水じまい対策による長寿命化検討ワーキングのそれぞれのテーマ設定の背景と達成目標について述べている。

第2章 防錆・防食手法による長寿命化手法の提案

長寿命化を図るための橋梁全体の有効な塗装塗替え手法を提案すると共に、ライフサイクルコスト評価による有用性の評価結果について述べている。また、提案した塗装塗替えに対して、複合サイクル促進試験による適用性の検討、実橋による点検時塗装の施工性確認についても検討し、まとめと今後の課題を述べている。

第3章 水じまい対策による長寿命化手法の提案

これまでに提案・実用化されているいくつかの水じまい対策について、地方自治体が管理する比較的中小の既設橋梁に適用可能かを検討した結果を述べている。水じまい対策を橋面排水構造の提案と桁端部水じまい対策の提案に絞り、ライフサイクルコスト評価を導入した構造選定フローの提案について述べ、まとめと今後の課題を述べている。

【付録】

A.本研究部会の研究成果の要約

(A1).第29回研究成果報告会発表スライド

平成28年4月26日に東京大学山上会館で行われた「鋼橋技術研究会 平成27年度 研究成果発表会」の発表スライドを掲載した。本研究部会の成果報告のダイジェスト版である。

(A2).土木学会第71回年次学術講演会投稿論文

平成28年9月に東北大学で開催された「平成28年度土木学会全国大会」の口頭発表論文である。本研究部会の成果の一部であり、成果報告のダイジェスト版として掲載した。

B.文献及び技術情報調査結果

(B1).防錆・防食手法に関する文献及び技術情報調査結果

防錆・防食手法による長寿命化検討ワーキング（WG1）による文献及び技術情報の調査結果をまとめたものである。

(B2).水じまい対策に関する文献及び技術情報調査結果

水じまい対策による長寿命化検討ワーキング（WG1）による文献及び技術情報の調査結果をまとめたものである。

C.塗替え塗装簡易 LCC 計算ツール

防錆・防食手法による長寿命化検討ワーキング（WG1）によって提案した「点検時塗装」を含めた塗替え塗装のライフサイクルコスト（LCC）を簡易に検討するための計算ツールである。橋長や幅員等の少ない橋梁諸元を入力項目とし、「全面塗替え塗装」「部分塗替え塗装」「点検時塗装」の塗替え方法を自由に組合せることで、ライフサイクルコストを算出することが出来る。エクセルシートで作成されている。

D.点検時塗装の性能評価のための促進試験結果

防錆・防食手法による長寿命化検討ワーキング（WG1）によって提案された点検時塗装の複合サイクル促進試験での結果データである。本編に掲載出来なかったものを整理した。

E.水じまい対策に関するライフサイクルコスト検討資料及び比較結果

水じまい対策による長寿命化検討ワーキング（WG2）による橋面排水構造及び桁端部水じまい対策のライフサイクルコストの算出資料である。本編に掲載出来なかったものを整理した。

F.部会議事録

平成 25 年 4 月の第 1 回から平成 28 年 6 月の最終回（第 17 回）までの本研究部会の議事録である。

長寿命化技術に関する研究部会

会員名簿

部会長	原田 隆郎	茨城大学
副部会長	白旗 弘実	東京都市大学
アドバイザー	横山 功一	鋼橋技術研究会 顧問
幹事	河邑 智也	(株)オリエンタルコンサルタンツ
〃	北村 耕一	(株)IHI インフラシステム
部会員	今村 明登	三井造船鉄構エンジニアリング(株)
〃	岩田 卓	日立造船(株)
〃	上野臺 英孝	(株)巴コーポレーション
〃	梅原 郁弘	セントラルコンサルタンツ(株)
〃	今野 将顕	J I Pテクノサイエンス(株)
〃	清水 和弘	(株)川金コアテック
〃	土屋 嘉則	コスモ技研(株)
〃	都築 禅	(株)総合技術コンサルタンツ
〃	中田 雄太	片山ストラテック(株)
〃	貫井 敬章	大日本コンサルタンツ(株)
〃	萩谷 陽平	(株)東京鐵骨橋梁
〃	林 徳成	(株)富貴沢建設コンサルタンツ
〃	藤井 裕士	川田工業(株)
〃	藤田 英樹	川田テクノシステム(株)
〃	蓑島 茂樹	高田機工(株)
旧部会員	木村 剛	横河工事(株)
〃	曾根原 宏一	(株)東京鐵骨橋梁
〃	中島 一浩	(株)ロブテックスファスニングシステム
〃	林 栄人	日本車輛製造(株)
〃	三好 一高	川田工業(株)
〃	大野 幸生	三井造船鉄構エンジニアリング(株)
〃	浅井 陽子	(株)富貴沢建設コンサルタンツ

長寿命化技術に関する研究部会

防錆・防食手法による長寿命化検討WG

WG長	上野臺 英孝	(株)巴コーポレーション
副WG長	藤田 英樹	川田テクノシステム(株)
部会員	河邑 智也	(株)オリエンタルコンサルタンツ
〃	北村 耕一	(株)IHI インフラシステム
〃	今村 明登	三井造船鉄構エンジニアリング(株)
〃	岩田 卓	日立造船(株)
〃	今野 将顕	J I Pテクノサイエンス(株)
〃	中田 雄太	片山ストラテック(株)
〃	萩谷 陽平	(株)東京鐵骨橋梁
〃	蓑島 茂樹	高田機工(株)
旧部会員	木村 剛	横河工事(株)
〃	曾根原 宏一	(株)東京鐵骨橋梁
〃	林 栄人	日本車輛製造(株)
〃	大野 幸生	三井造船鉄構エンジニアリング(株)

長寿命化技術に関する研究部会

水じまい手法による長寿命化検討WG

WG長	土屋 嘉則	コスモ技研(株)
副WG長	清水 和弘	(株)川金コアテック
副部会長	白旗 弘実	東京都市大学
部会員	梅原 郁弘	セントラルコンサルタント(株)
〃	都築 禅	(株)総合技術コンサルタント
〃	貫井 敬章	大日本コンサルタント(株)
〃	林 徳成	(株)富貴沢建設コンサルタンツ
〃	藤井 裕士	川田工業(株)
旧部会員	中島 一浩	(株)ロブテックスファスニングシステム
〃	三好 一高	川田工業(株)

鋼橋技術研究会
長寿命化技術に関する研究部会
報告書

- 第1章 長寿命化に関する取り組み事例と橋梁長寿命化の考え方
第2章 防錆・防食手法による長寿命化手法の提案
第3章 水じまい対策による長寿命化手法の提案

第 1 章 長寿命化に関する取り組み事例と 橋梁長寿命化の考え方

第1章 長寿命化に関する取り組み事例と橋梁長寿命化の考え方
目次

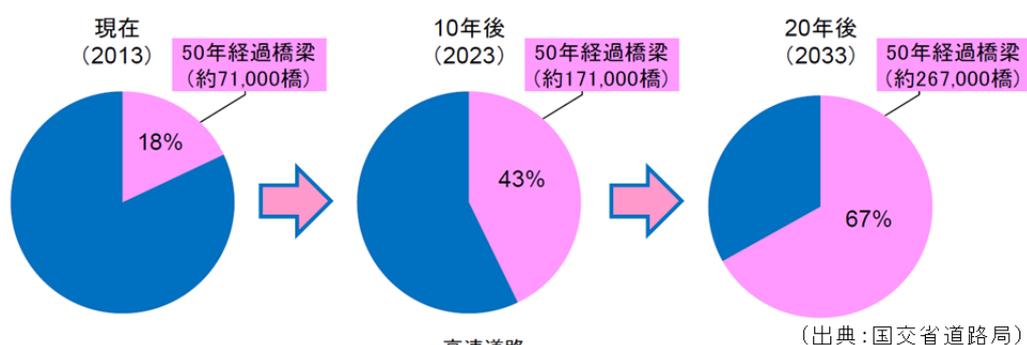
§ 1. 橋梁の長寿命化とマネジメント	1-1
1-1. 長寿命化の役割と必要性	1-1
1-2. 橋梁の長寿命化とメンテナンスサイクル	1-2
§ 2. 橋梁の長寿命化に関する取り組み事例	1-4
2-1. 国の道路に関する老朽化対策	1-4
2-2. 地方自治体の橋梁長寿命化修繕計画	1-5
2-3. 高速道路会社の更新計画等	1-6
2-4. 学協会及びその他の機関における取り組み	1-7
2-5. 機関誌等における維持管理及びインフラ長寿命化に関する話題など	1-9
§ 3. 本研究部会における橋梁長寿命化の考え方と研究の対象範囲	1-11
3-1. 長寿命化型の橋梁維持管理の考え方	1-11
3-2. 研究の対象範囲	1-12
§ 4. 研究テーマ設定の背景と達成目標	1-14
4-1. 防錆・防食手法による長寿命化検討ワーキング (WG1)	1-14
4-2. 水じまい対策による長寿命化検討ワーキング (WG2)	1-15
第1章の参考文献	1-16

§ 1. 橋梁の長寿命化とマネジメント

1-1. 長寿命化の役割と必要性

現在のわが国の橋梁数は約 70 万橋（橋長 2m 以上）であり、その多くが高度経済成長期に集中的に建設された。そのため、建設後 50 年以上経過する橋梁の割合が、2033 年には全橋梁の 67% に達すると見込まれている。つまり、既設橋梁の老朽化等により、維持・補修や架替えが集中的に発生することが予想でき、このため、橋梁の長寿命化、効果的な維持管理の取り組みが必要となっている。また、約 70 万橋の内訳を見ると、市区町村の管理する橋梁が 68% であり、都道府県・政令市の管理する橋梁の約 26% を加えた 90% 以上が地方自治体管理の橋梁であることも特徴となっている（図 1-1）。

◎約20年後には建設後50年を超えた橋梁(2m以上)の割合が7割近くになる！



(出典:国交省道路局)

◎市区町村の管理する橋梁が約7割。都道府県・政令市の管理する橋梁約26%を加えた9割以上が地方自治体が管理する橋梁！



劣化損傷が進行して老朽化した橋梁が多く、適切な維持管理が必要！

(出典:国交省道路局)

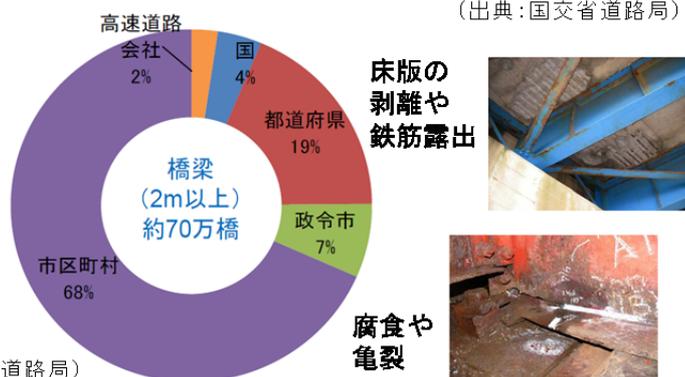


図 1-1 橋梁の高齢化と老朽化の現状

このような現状を踏まえ、国土交通省は道路橋の維持管理体制を、従来の対症療法型維持管理から予防保全型維持管理へ政策転換し、各地方自治体に橋梁長寿命化修繕計画の策定を促した¹⁾。橋梁長寿命化修繕計画とは、地方自治体が、今後老朽化する道路橋に対応するために橋梁の長寿命化を図り、維持管理費用の縮減を目指す計画のことである。定期点検を実施した橋梁の健全度を把握すると共に、将来の劣化を予測し、橋梁のライフサイクルコストを算定する。そして、橋梁の補修優先度を踏まえた自治体独自の管理シナリオを提案し、予算シミュレーションによって最適な長寿命化計画を算定すると共に、これに基づく維持管理対策を実施する。これら一連の作業は、継続的に実施していくことで、劣化予測や計画の精度を高めていくことが可能となり、効率的で効果的な維持管理となる。

一方、従来の対症療法型維持管理は、点検やパトロールによって構造物の状況把握は行うものの、大規模補修及び架替えなどで、事後対応していく方法である。ただし、今後、補修対象の橋梁が増加することが避けられないことから、大規模補修にかかる費用が所定の予算を上回り、更新が間に合わない橋梁が続出することが自明である。また、橋梁の健全度が悪化することによって、利用者や周辺への第三者被害に対する危険性を増大させることにも繋がる。

橋梁の長寿命化修繕計画は、劣化損傷が顕在化する前に予防的な措置を施すマネジメント手法であり、大規模補修を施す橋梁が減り、維持管理費用を低減することができる。また、計画的に補修できるため、事業を無理なく進めることができ、健全度の維持が安全性の維持にも繋がることが期待される。

1-2. 橋梁の長寿命化とメンテナンスサイクル

2012年12月の笹子トンネル天井板落下事故の直後から、第三者被害防止の観点から安全性を確認するための道路ストックの集中点検が実施され、道路法の改正（2013年6月）、定期点検に関する省令・告示公布（2014年3月）を経て、2014年4月に「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」が公表された。この提言では、『産学官のリソース（予算・人材・技術）を全て投入し、総力をあげて本格的なメンテナンスサイクルを始動』すること、いわゆる『道路メンテナンス総力戦』が提案され、その具体的な取り組みとして、

- ・ メンテナンスサイクルの確定（道路管理者の義務の明確化）
- ・ メンテナンスサイクルを回す仕組みの構築

の2点が挙げられている（図1-2）。

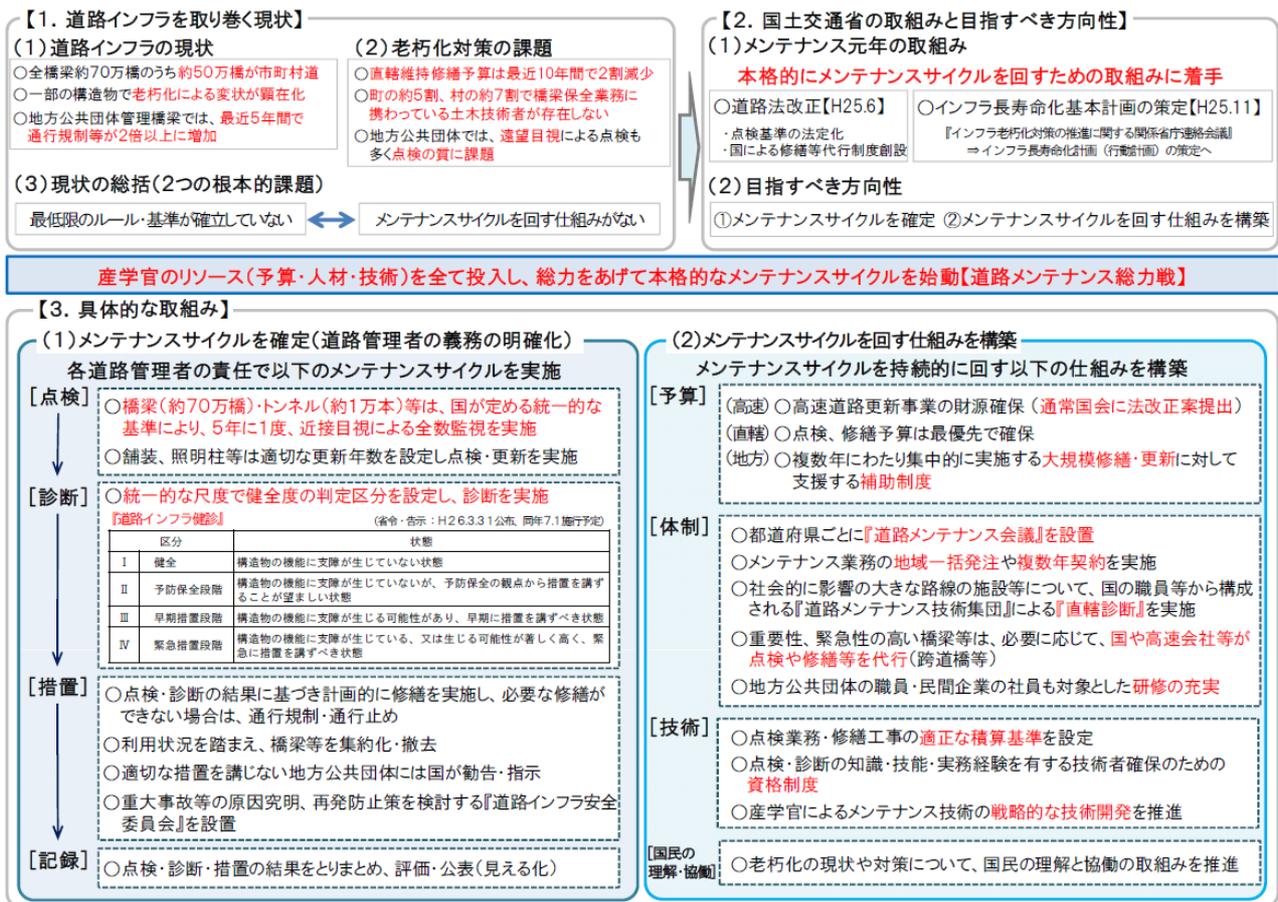


図1-2 道路の老朽化対策の本格実施に関する提言の概要（抜粋）（出典：国土交通省 HP）¹⁾

特に、『メンテナンスサイクルを回す仕組みの構築』については、各都道府県で“道路メンテナンス会議”が立ち上げられ、インフラを管理するための体制作りが進められている。ここでの課題は、メンテナンスを担う高度な専門家の育成であるが、人材や技術力が充実していない地方自治体（特に、市町村）では、講座や研修などによるメンテナンス教育の充実が望まれており、いくつかの成功事例^{2),3)}を参考

にメンテナンス技術者育成制度の導入が進んでいる。

一方、「長寿命化」あるいは「長寿命化技術」に関する定義として、2009年11月に発行された日本鋼構造協会（JSSC）のテクニカルレポート No.88「鋼構造物における長寿命化・延命化技術の現状と課題」では、「II）土木 WG 編」において次の様に長寿命化を定義している⁴⁾。

『長寿命化技術とは、想定耐用年数を超えて更に延命化させるための補修技術、マネジメントの仕組みすべて（点検方法、体制、時期、判定、措置、期間、予算など）をさす。』

つまり、橋梁の長寿命化技術は、上記の「提言」における具体的な取り組みの「メンテナンスサイクル」を担保するための必要な概念の一つと考えられる。例えば、個々の橋梁の寿命を延ばすために必要な[点検]、[診断]、[措置]に長寿命化の考え方は必要であり、さらに[予算]、[体制]などのメンテナンスサイクルを回す仕組みにおいても長寿命化の考え方は生かされる必要がある。

§ 2. 橋梁の長寿命化に関する取り組み事例

2-1. 国の道路に関する老朽化対策

木曾川大橋（中部地方整備局三重河川国道事務所）・トラス斜材の腐食破断など、道路構造物の老朽化被害を踏まえ、国土交通省では 2013 年を「社会資本メンテナンス元年」と位置付けて「社会資本の老朽化対策会議」を設置し、「社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置」をまとめた。そして、これに基づいて橋梁やトンネルの緊急点検、利用者や第三者への被害を回避することを目的とした優先施設の集中点検、基準類の見直し、データベースの整備などを推進している。

また、2013 年 10 月に「インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議」を設置し、各種インフラの戦略的な維持管理・更新等の方向性を示す「インフラ長寿命化基本計画」を取り纏めた。この中では、国だけでなく、地方公共団体や民間企業等の様々なインフラの管理者全体で戦略的な維持管理・更新等に取り組むことが提起されており、国民の安全・安心の確保、中長期的な維持管理・更新等に係るトータルコストの縮減や予算の平準化、メンテナンス産業の競争力確保を実現する必要があることが述べられている。

この様なインフラの老朽化対策の流れは、新設から撤去までライフサイクルを延伸させるという狭義の長寿命化対策だけでなく、更新を含めたメンテナンスサイクル全体の構築と継続的な発展を目指しており、国土交通省の Web ページ¹⁾では、施策の概要やこれまでの提言、関係法令や基準・要領などが公開されている他、国土交通省の各地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務所などの長寿命化修繕計画や道路メンテナンス会議の情報も掲載されている。その一部抜粋を表 2-1 に整理した。

表 2-1 国土交通省の道路の老朽化対策 Web ページ¹⁾の項目抜粋

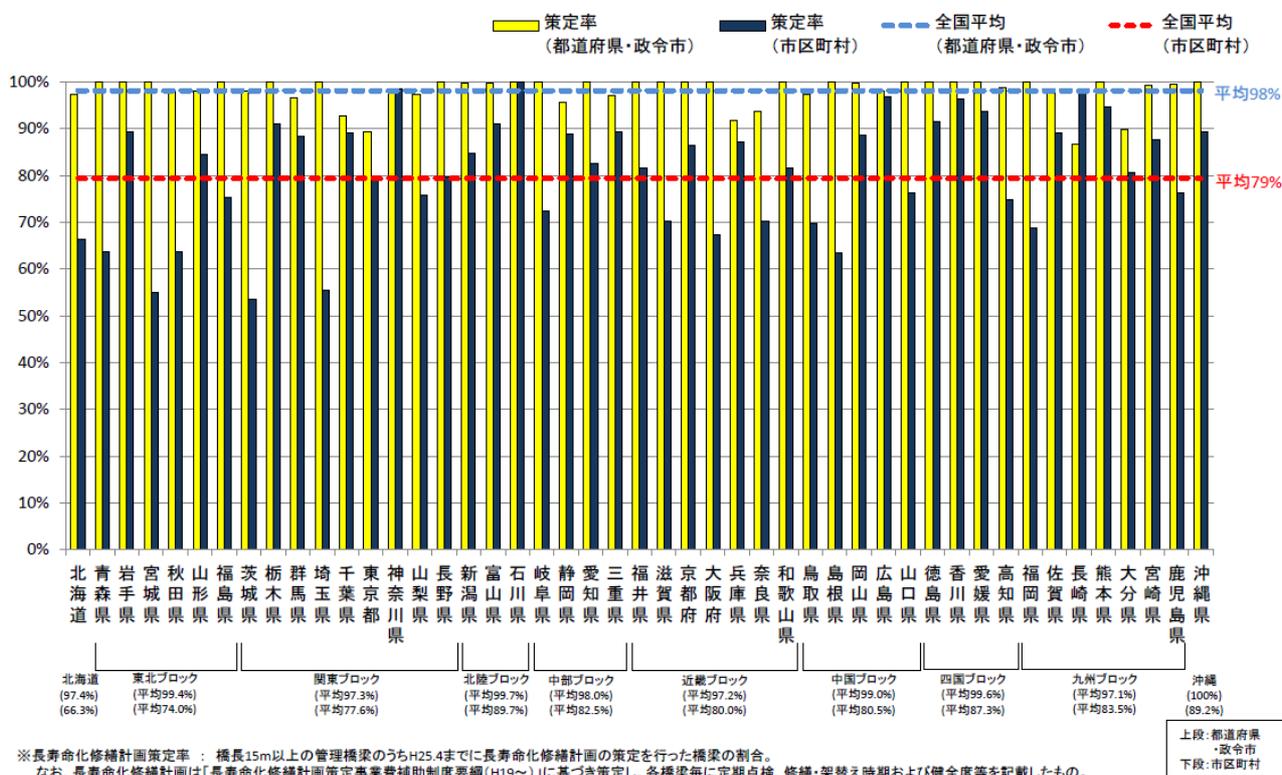
施策の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 老朽化対策の取組み ・ 道路メンテナンス技術集団による直轄診断の募集 ・ 「道路メンテナンス年報」（暫定版）の公表について
提言	<ul style="list-style-type: none"> ・ 道路の老朽化対策の本格実施に関する提言（平成 26 年 4 月） ・ 道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて（平成 25 年 6 月） ・ 道路橋の予防保全に向けた提言（平成 20 年 5 月） ・ 道路構造物の今後の管理・更新等のあり方（平成 15 年 4 月）
関係法令等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 道路法（平成 26 年 5 月施行） ・ 道路整備特別措置法（平成 25 年 9 月施行） ・ 道路法施行令（平成 26 年 5 月施行） ・ 車両制限令（平成 26 年 5 月施行） ・ 道路法施行規則（平成 26 年 5 月施行） など
点検要領等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋梁定期点検要領（平成 26 年 6 月） ・ 道路トンネル定期点検要領（平成 26 年 6 月） ・ 歩道橋定期点検要領（平成 26 年 6 月） ・ 門型標識等定期点検要領（平成 26 年 6 月） ・ 附属物（標識、照明施設等）点検要領（平成 26 年 6 月） など <p><参考資料></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 道路ストックの総点検 ・ 道路橋に関する基礎データ収集要領（案）（平成 19 年 5 月）国土交通省 国土技術総合研究所

2-2. 地方自治体の橋梁長寿命化修繕計画

地方自治体における橋梁の長寿命化対策については、国土交通省による「長寿命化修繕計画策定事業費補助制度要綱（平成19年）」により、地方自治体が管理する道路橋の長寿命化修繕計画の策定が行われている。また、2014年7月の道路法施行規則によって「橋梁、トンネル等は国が定める統一的な基準により5年に1回、近接目視による全数監視を実施する」ことが定められており、各地方自治体には、財政状態の悪化、管理すべき膨大な橋梁数、橋梁の健全度の低下、人口減少などの多くの課題に直面しながらも、現在計画されている橋梁長寿命化修繕計画の持続可能性を担保することが求められている。

橋梁の長寿命化修繕計画の策定状況について、国土交通省は「道路の老朽化対策 Web ページ¹⁾」において、『橋梁点検実施状況、長寿命化修繕計画策定状況及び修繕進捗状況』を公開している。図2-1は2013年4月時点での長寿命化修繕計画策定率であり、都道府県・政令市の策定率は98%と高いが、市区町村は80%弱とやや低めであった。その後、2013～2015年度の3年間において、市区町村における長寿命化修繕計画の策定率も伸びていると推察する。

○長寿命化修繕計画策定率※(計画策定橋梁数/管理橋梁数)



※長寿命化修繕計画策定率：橋長15m以上の管理橋梁のうちH25.4までに長寿命化修繕計画の策定を行った橋梁の割合。
 なお、長寿命化修繕計画は「長寿命化修繕計画策定事業費補助制度要綱(H19～)」に基づき策定し、各橋梁毎に定期点検、修繕・架替え時期および健全度等を記載したもの。
 ただし、長寿命化修繕計画は、各地方公共団体の橋梁管理状況に伴い適宜変更となり、記載内容は各地方自治体毎に異なる場合があります。
 ※H25.4調査では岩手県陸前高田市、福島県広野町、岩手県、富岡町、川内村、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村、飯館村は調査実施困難なため、H22.4時点調査の数値。

図2-1 長寿命化修繕計画策定率 (H25.4時点) (出典：国土交通省HP)

一方、地方自治体の取り組みに関する課題も挙がっており、土木学会誌の2014年7月号の特集記事「アセットマネジメント導入から10年—どこまで進み、その成果と課題は何か?—」では、

- ・ 管理する橋梁が非常に多く、点検の時間や費用がかかりすぎる
- ・ 鉄道上、高速道路上、河川上など立地条件によって、点検可能な時期や時間帯が制限される
- ・ 配置される職員が橋梁関係業務の未経験者であったりする
- ・ 自治体の中で専門の人材を育てていく必要がある
- ・ 点検を委託する業者の質も一定でない

- ・ インフラ維持管理の仕事がなかなか住民に受け入れられない（福祉や住民窓口の業務に人員が割かれる）

などのヒアリング結果も掲載されている⁵⁾。これらの地方自治体の課題に対して、国などの技術的な支援も制度化・システム化されつつある他、学協会や国や民間等の研究所などでも、地方自治体における道路橋の老朽化対策、長寿命化及びマネジメントに関する様々な取り組みが見られる。主な記事や情報を表 2-2 に整理した。

表 2-2 地方自治体の老朽化対策・長寿命化に関する話題

出典など	内容
国土交通省 道路の老朽化対策 Web ページ	橋梁点検実施状況、長寿命化修繕計画策定状況及び修繕進捗状況
日本道路協会『道路』 (2015年11月号)	特集「市町村における道路の老朽化対策に係る取組について」
土木学会誌 (2014年7月号)	特集「アセットマネジメント導入から10年—どこまで進み、その成果と課題は何か?—」

2-3. 高速道路会社の更新計画等

高速道路各社は、それまで継続して検討してきた維持修繕や更新計画を早急に取り纏めて公開した。高速道路各社における取り組みを表 2-3 に整理した。

まず、東日本、中日本、西日本の高速道路3社は、「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」を設置し、経年劣化が進む高速道路の資産を将来に渡って健全な状態で管理するための必要な方策を検討した⁶⁾。そして、2014年1月に検討委員会の提言が出され、高速道路資産の長期保全及び更新の基本的な考え方が提案されると共に、約240kmの大規模更新と約1,870kmの大規模修繕の検討、実施、課題が整理された。また、首都高速道路⁷⁾及び阪神高速道路⁸⁾の各社においては、NEXCOの3会社に先行して、2013年1月と4月にそれぞれ委員会の提言を取り纏め、同様に大規模更新と大規模修繕の実施について整理している。さらに、本州四国連絡高速道路株式会社（本四高速）においては、海上における長大橋梁の保全管理という特殊条件を鑑みて、アセットマネジメントを推進し、長大橋技術センターとの連携を図りながら、より高い保全技術の確立とライフサイクルコスト最小化による効率的な保全管理を実施している⁹⁾。

表 2-3 各高速道路会社の更新計画

会社名	更新計画など
東日本高速道路株式会社 中日本高速道路株式会社 西日本高速道路株式会社	高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会提言（平成26年1月）
首都高速道路株式会社	首都高速道路構造物の大規模更新のあり方に関する調査研究委員会（提言）（平成25年1月）
阪神高速道路株式会社	阪神高速道路の長期維持管理及び更新に関する技術検討委員会（提言）（平成25年4月）
本州四国連絡高速道路株式会社	本州四国連絡橋の保全技術 http://www.jb-honshi.co.jp/corp_index/technology/maintenance/

2-4. 学協会及びその他の機関における取り組み

まず、公益社団法人土木学会では、鋼構造委員会の「構造物の長寿命化技術に関する検討小委員会」（委員長：高木千太郎氏）において、構造物の長寿命化技術に関する検討が行われた。当初、2011年6月～2015年5月の活動期間が予定されており、その成果報告としての講習会が2016年6月22日に開催されることとなっている。当該小委員会の Web ページ¹⁰⁾において、活動目的と講習会の開催案内が公開されており、以下では、これらの情報を引用することで、委員会の検討の目標と成果の概略を示した。

【活動目的】 ※原文のまま

社会基盤施設の急速な高齢化と安全性確保が喫緊の課題となっている現状において、適切な維持管理と施設の更新や大規模修繕のピークカットの必要性が増している。このような状況において、既存の鋼構造物が保有している性能を定量的に評価し、その性能を向上させる多種多様な技術開発を整理し、効果的な長寿命化対策等を効率的に行わなければならない時期となっている。本委員会では、「老朽化した鋼構造物の長寿命化のための性能回復技術検討小委員会」などの関連委員会における検討事項や成果等を踏まえ、現在既設構造物に発生している損傷や劣化を適切に処置することが可能な材料、長寿命化技術、リニューアル技術、大規模改造技術や更新判断技術等について調査・整理し、それぞれの課題と解決策について議論、検討することによって既設鋼構造物の性能を確実に向上させる長寿命化に関する資料を提供することを目的としている。

【「鋼構造物の長寿命化技術」に関する講習会の開催案内】 ※案内は原文のまま、プログラムは抜粋

鋼構造委員会構造物の長寿命化技術に関する検討小委員会では、鋼構造物を対象とした構造物の現状を定量的に把握する点検・診断技術、損傷の進行度を工学的に予測する手法、予測した最適な対策時期に行う補修・補強対策を含む長寿命化対策等の設計法や施工技術、留意点などに関して国内外の資料や事例を分析、提言することを目的に、産官学の委員構成で議論、検討を重ねてきました。

本委員会の成果としては、今まで明確となっていなかった既存構造物の長寿命化とは何かを示し、国内で行われてきた目視による点検方法に関して課題を抽出、効果的な点検・診断実施に大きく寄与したことがあげられます。これは、委員会を進める過程において本委員会の委員を中心に行ったもので、国内で初めて既存の点検方法、点検結果に焦点をあて、実際に行われた点検結果を基に同一橋梁を再点検することによって点検の精度を検証し、公表したことです。専門技術者による点検精度確認結果は、大きな反響を生み、その結果、点検方法の改善、点検・診断の法制度化、点検・診断技術者の民間資格認定等につながっています。これは、学会としての公平・公正な立場による課題の抽出、定量的な分析、望ましい技術提供に向けた提言が実ったものと言えます。

本委員会では、長寿命化に関して「点検・調査・モニタリング」、「劣化予測・診断」、「長寿命化技術」の3つの視点から検討を進めました。今回示す当委員会の成果報告は、これまで曖昧であった「長寿命化」について供用期間中に生じる変状を予測し、期待する機能や性能を想定する期間において保有できるように対策する技術であると定義し、その詳細を示す内容となっています。

「点検・調査・モニタリング」においては、先に述べた国内の流れを変えた点検精度の検証結果に基づき、効果的な点検、調査、モニタリング技術について概説しています。「劣化予測・診断」では、鋼構造物の代表的な変状である腐食と疲労き裂について、既往の知見を整理するとともに基本的な考え方を整理しています。「長寿命化技術」については、新たな考え方としてリスクマネジメント手法を導入、「回避」、「軽減」、「転嫁」、「受容」に分類し、コスト、改善効果、効果の持続性などを考慮した工法選定や具体的な事例も示しています。さらに、本講習会では、先に示した委員会成果を発展させた種々な具体的な事例について各方面の専門家から紹介していただき、現状の課題と将来に向けた展望についても示

す内容となっています。

社会基盤施設の急速な高齢化と安全性確保が喫緊の課題となっている現状において、既存の鋼構造物が保有している性能を定量的に評価し、その性能を向上させる多種多様な技術開発を行い、効率的・効果的な長寿命化対策が望ましい形で行われることを望むとともに、本委員会の成果が、鋼構造物に携わる技術者だけでなく、社会基盤施設に関係する多くの技術者に少しでも役立ち、本成果を活用いただければこの上ない喜びと思っております。

ここに示す本委員会の成果及び講習会のプログラムを参考にされ、多くの方々がご参加いただけるようお願い申し上げます。

※プログラム

【第1部】鋼構造物の長寿命化に関する調査、診断、劣化予測、長寿命化対策の基本

- ① 鋼構造物の点検・調査技術 中澤治郎 (パシフィックコンサルタンツ(株))
- ② 道路橋の再点検と点検精度 玉田和也 (舞鶴工業高等専門学校)
- ③ 鋼構造物の診断技術 宮内秀敏 (中日本高速道路(株))
- ④ 鋼構造物の劣化予測技術 全 邦釘 (愛媛大学)
- ⑤ 鋼構造物の対策技術 重松勝司 (神奈川県)

【第2部】構造物に関する種々な長寿命化技術の現状と課題

- ⑥ 3D 計測技術を用いた橋梁調査 西村正三 (株)計測リサーチコンサルタント)
- ⑦ ICT 技術による点検のビジュアル化 小西拓洋 (東京都市大学)
- ⑧ 東京ゲートブリッジで行われているモニタリングと課題 鈴木 誠 (国土交通省)
- ⑨ 橋梁設計における長寿命化対策 鈴木泰之 ((一社)建設コンサルタンツ協会)
- ⑩ 本四連絡橋の長寿命化対策 森山 彰 (本州四国連絡高速道路(株))
- ⑪ 阪神高速道路の長寿命化に向けて～大規模更新・修繕への挑戦～
田畑晶子 (阪神高速道路(株))

次に、一般社団法人日本鋼構造協会 (JSSC) では、テクニカルレポート No.88 「鋼構造物における長寿命化・延命化技術の現状と課題」(2009年11月)において、建築と土木のそれぞれの鋼構造物を対象に、長寿命化・延命化技術の現状をレビューし、今後の展望をまとめている⁴⁾。この中で、「II) 土木WG編」では長寿命化の定義を行っており、『長寿命化技術とは、想定耐用年数を超えて更に延命化させるための補修技術、マネジメントの仕組みすべて(点検方法、体制、時期、判定、措置、期間、予算など)をさす。』としている。表2-4に報告書の目次を示す。

表 2-4 「鋼構造物における長寿命化・延命化技術の現状と課題」目次

I) 建築 WG 編	II) 土木 WG 編
1. はじめに	1. はじめに
2. 長寿命化・延命化に関する 既往の研究の概説	2. 鋼構造物の寿命
3. 耐震診断および補強事例	3. 長寿命化技術の今
4. 腐食・防食に関する事例	4. 望まれる長寿命化技術
5. 鋼構造建物の長寿命化・延命化を 図るために今後必要なこと	5. 構造物モニタリングのニーズと要求性能
6. まとめ	6. モニタリング技術の現状調査
	7. 新しいセンサを用いたモニタリング事例
	8. おわりに

その他の代表的な機関の取り組みとして、国土交通省国土技術政策総合研究所では、国土交通省の関係機関と連携しながら、道路構造物の適切な維持管理、効率的な整備の技術的側面からの支援を行っており、技術基準の原案作成から現場で生じている課題の技術指導や相談などに対応している¹¹⁾。また、国立研究開発法人土木研究所における構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）においても同様に、社会インフラの維持管理及び長寿命化に関する行政機関等からの情報集約や技術指導・支援を行っていると共に、供用中の構造物の維持管理（点検、診断、補修・補強等の措置）や耐震補強の技術など、標準化や基準化に向けた技術資料の提供を行っている¹²⁾。両機関が発行している各種報告書やレポートなどは、社会インフラの維持管理やマネジメントに携わる自治体職員など、多くの実務担当者及び研究者に利用されている。

さらに、一般財団法人土木研究センターの材料・構造研究部¹³⁾では、材料や構造の観点から、橋梁の防食等に関連する技術研究を推進しており、土木技術資料の発行を行うことで、土木に関する研究機関の最新情報、また国内外の土木に関する情報、災害速報、技術基準・指針等の情報を迅速に提供している。

2-5. 機関誌等における維持管理及びインフラ長寿命化に関する話題など

前節までに示した様に、老朽化したインフラに対する維持管理や長寿命化への取り組みは、行政や学協会、民間会社等で積極的に実施されている。これらの取り組みに加え、多くの有識者の論説や技術報告などを、各機関誌が大々的かつ定期的に特集している。以下は、主な機関誌の最近 3～5 年程度までの関連記事や特集を整理したものである。なお、ここではリストのみ示すこととし、内容の詳細については読者自身で参照されたい。

◆土木学会誌

- ・ 特集「地域インフラの担い手」土木学会誌，2012.12.
 - ・ 特集「インフラの状態評価と将来予測の最前線」土木学会誌，2013.11.
 - ・ 特集「アセットマネジメント導入から 10 年—どこまで進み、その成果と課題は何か？—」土木学会誌，2014.7.
- 他多数

◆橋梁と基礎

- ・ 特集「橋梁の長寿命化」橋梁と基礎，Vol.44，2010.8.
 - ・ 長井正嗣：次世代リニューアル対応橋梁への思い，橋梁と基礎，巻頭言，2013.2.
 - ・ 野上邦栄：鋼橋の長寿命化方策の動向に思う，橋梁と基礎，巻頭言，2013.9.
 - ・ 小特集「橋梁の劣化，補修更新の動向と課題」橋梁と基礎，Vol.44，2013.11.
- 他多数

◆道路（日本道路協会）

- ・ 巻頭インタビュー：アセットマネジメント研究の動向と課題，貝戸清之：道路，Vol.846，2011.9.
- ・ 特集「道路橋の維持管理：今後の展望」道路，Vol.846，2011.9.
- ・ 巻頭対談：注目集める道路橋の「長寿命化対策」，西川和廣・高木千太郎：道路，Vol.863，2013.2.
- ・ 特集「道路構造物の的確な維持管理・更新」道路，Vol.863，2013.2.
- ・ 特別対談：本格化する道路のメンテナンス時代を乗り切るために求められること，家田仁・徳山日出男：道路，Vol.880，2014.7.
- ・ 特集「老朽化対策の本格実施について [前編]」道路，Vol.880，2014.7.

- ・ 巻頭インタビュー：道路のメンテナンスサイクル構築のためのポイントを考える，三木千壽：道路，Vol.881，2014.8.
- ・ 特集「老朽化対策の本格実施について [後編]」道路，Vol.881，2014.8.
- ・ 巻頭インタビュー：定期点検義務化 1 年余，市町村の道路のメンテナンスはいま…，久田真：道路，Vol.896，2015.11.
- ・ 特集「市町村における道路の老朽化対策に係る取組について」道路，Vol.896，2015.11.
他多数

◆建設機械施工（一財・日本建設機械施工協会誌）

- ・ 特集「維持管理・延命化，リニューアル」建設機械施工，Vol.67，No.9，2015.9.
他多数

§ 3. 本研究部会における橋梁長寿命化の考え方と研究の対象範囲

ここでは、先に述べた国や地方自治体、高速道路会社、学協会などの橋梁の長寿命化に関する取り組み事例を踏まえ、まず、本研究部会としての橋梁長寿命化とその維持管理に関して、敢えて鋼橋に限定せず、広く基本的な考え方やコンセプトについて整理する。そして、本研究部会において対象とした鋼橋の長寿命化を実現させるための具体的な課題について述べる。

3-1. 長寿命化型の橋梁維持管理の考え方

橋梁の維持管理においては、現在、「対症療法型」から「予防保全型」の維持管理へ移行している段階である。

対症療法型維持管理とは、点検やパトロールによって構造物の状況把握は行うものの、大規模補修及び架替えなどで、事後対応していく方法である。この管理方法では、遠望目視のみの対応で点検を完了している箇所もあり、結果として詳細がチェックできずに、十分に状態把握が出来ない橋梁（部材・部位）もあった。要するに、足場をかけて点検するのは財政面から困難であり、長期的なライフサイクルコスト最小化を考えた計画的な対処まで至らなかった。

これに対して、予防保全型維持管理は、5年に1回の定期点検を前提とし、検査路ならびに橋梁点検車を用いて近接目視で行うことが原則である。過去の点検で蓄積されたデータに基づき、橋梁ごとの劣化特性を把握した上、将来の劣化や損傷の発生を予測し、適切な時期に必要な対策を講じる。ライフサイクルコスト最小化と予算の平準化も考慮できる。

予防保全型維持管理のコンセプトを取り入れているのは、地方自治体が策定している橋梁長寿命化修繕計画である。この計画策定においては、『点検によって現状の劣化状況を把握し、健全性を評価し、将来の劣化予測を行い、自治体が設定した管理水準を守るためには、いつどの様に対策すればよいか』を橋梁群として決めている。

本研究部会では、この「予防保全型維持管理」のコンセプトだけでは、個々の橋梁を長く使う（つまり長寿命化させる）ことが達成出来ないと考え、既設橋梁の寿命を延伸させる考え方について以下の様に整理した。

- ① 地方自治体の管理者が橋梁“群”の維持管理を考えたときのコンセプトは、「必要な機能や管理レベルを保ちつつ、ライフサイクルコストを最小にする」と定義できる。ただし、橋梁によって“必要な管理レベル”は異なり、長寿命化の対策も異なる。一般に橋梁は、“適切な”設計→施工→維持管理によって「想定されている耐用年数よりも長持ち」するものである。これを実現させることができれば「長寿命」となるが、例えば表 3-1 の様な要因がそれを阻害している。

表 3-1 橋梁の代表的な劣化損傷とその要因

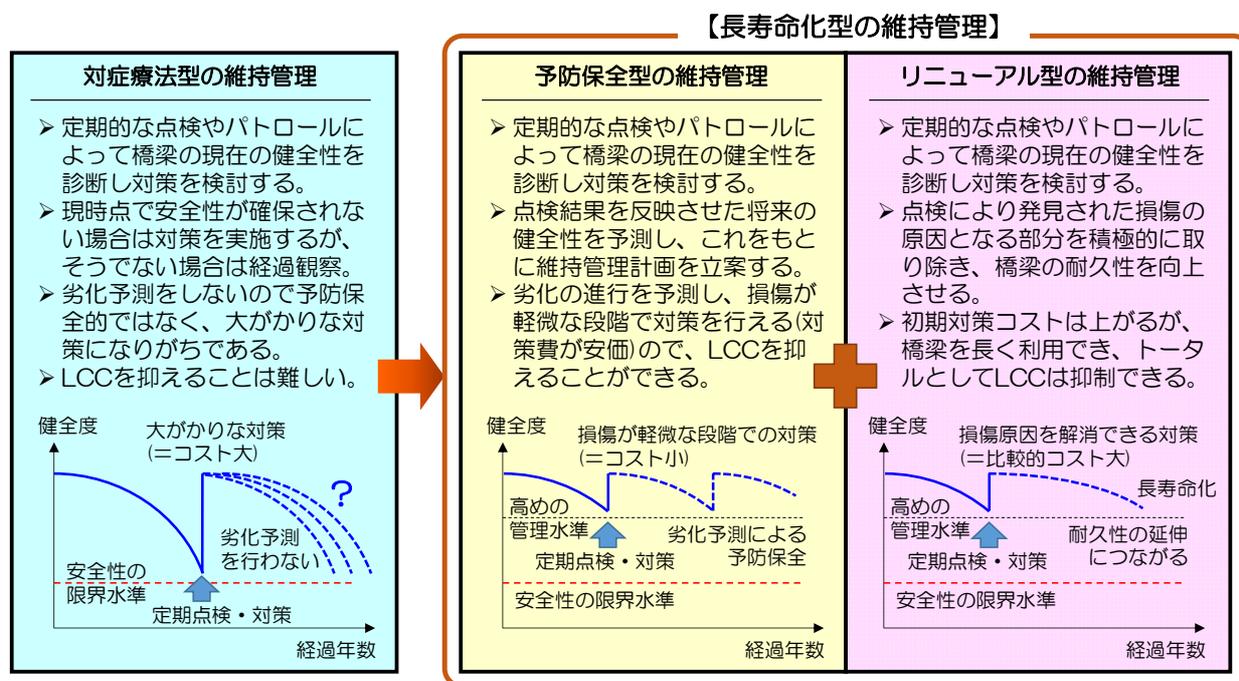
鋼橋やコンクリート橋に生じる劣化損傷	要因
腐食, 塩害, ASR	環境作用（水, 空気, 塩分, ほこりなど）
疲労	荷重作用（交通, 風, 地震など）
支承固着, 変形	基準不適格（旧基準, 施工品質, 検査漏れなど）

- ② 各要因を取り除いて橋梁を「長寿命化」するためには、それぞれの要因に着目して、それに対応する対策を実施する必要がある。つまり、単に健全度を把握して劣化を予測し対策を行う“現在主流の予防保全型”だけではなく、劣化損傷を低減できる様に積極的に構造形式や保全方法を変更することも含めて検討する必要がある。この2つの側面を合わせれば「長寿命化型」の維持管理になる

と考えられる。

- ③ 『劣化損傷を低減できる様に積極的に構造形式や保全方法を変更することも含めて検討する』という考え方は、いわゆるリニューアルである。この考え方は長井¹⁴⁾において、桁端部のリニューアル処理を例として、『スパンの短い橋は、継目なし橋梁の設計を義務付ける。継目なし橋梁の開発を促し、採用する。橋長の長いケースでは、強靱な低騒音型の伸縮装置が開発事項となる。また、桁端部に伸縮装置を設ける場合、桁端部のみ、新素材の桁適用やコーティングも検討対象となる。桁端部のリニューアルは現在でも可能性が高い。』と述べられている。ただし、リニューアルは比較的成本がかかることから、地方自治体の管理する既設橋梁に対して適用可能かを検討することが必要となる。

以上を鑑み、本研究部会では「長寿命化型」の維持管理を、図 3-1 の様に“予防保全型”と“リニューアル型”を組合せたものであると定義し、地方自治体の管理されている既設橋梁（特に圧倒的に数の多い中小橋梁）に対して、“予防保全型”と“リニューアル型”のそれぞれの観点を取り入れた効果的かつ経済的な長寿命化手法（技術）を提案することを目標とする。



※LCC：ライフサイクルコスト(Life Cycle Cost)

図 3-1 既設橋梁の維持管理の考え方

3-2. 研究の対象範囲

本研究部会は、地方自治体で管理する既設橋梁を対象とした長寿命化技術について検討する。ただし、新設または更新橋梁へ生かされることも想定し、長寿命化技術を幅広く提案する。

有効な長寿命化手法（技術）を必要としている橋梁は地方自治体に多くあり、また、既設の長寿命化技術は一般的にコストが高いもの、または技術的に高度なものが多いため、地方自治体職員が使えるものとして提案されるべきである。地方自治体の既設橋梁を対象とする理由は以下の通りである。

- ① 橋梁ストックの問題：橋長 2m 以上の道路橋は全国で約 70 万橋。そのうち市区町村が管理するのは 70% 近くもある。特に、中小橋梁が多い。
- ② 人的・財政的な問題：国や高速道路会社なども厳しい財政ではあると思うが、地方自治体の管理体制は、財源だけで無く、人的にも技術者不足である。
- ③ 職員の技術力の問題：市町村の橋梁管理担当職員には専門職以外の事務職員も含まれており、橋梁点検やその結果の評価、橋梁マネジメントなどを得意とする人材は少ないと考えられる。

一方、地方自治体の既設橋梁を維持管理する場合、「長寿命化型維持管理に対応できる橋梁」と「長寿命化に適さない橋梁」に分類して対応すべきである。特に、長寿命化に適さない橋梁は更新を行うべき橋梁となる場合が多いが、長寿命化の対策を打ち切って更新（橋梁の場合は架替え）を選択するための“本質的な”判断基準を定義することは非常に難しい。これに関する文献として、西川による「道路橋の長寿命化と更新の判断について」があり、長寿命化と延命は違うこと、延命ではなく更新の判断を下すことの難しさなどが述べられている¹⁵⁾。この様な現状を鑑み、本部会では「長寿命化に適さない橋梁」は対象としないこととした。

ただし、その中でも、最も判断し易い基準としては、『部分的なリニューアルを実施するよりも、更新した方が将来的なコストが安くなるかどうか』である。本研究部会では、この様な各手法（技術）レベルでの更新は、コスト面での評価を意識しながら提案することとし、橋梁全体の更新までは考えないこととする。具体的には、提案された部分的な長寿命化手法（技術）が、ライフサイクルコストの観点からの有用性の検討において適用不可となった場合でも、新設（更新）橋梁での適用が可能かもしれないが、その点は課題として整理するのみとし、実質的には「長寿命化型維持管理に対応できる橋梁」のみを取り扱うこととする。

本研究部会で対象とする「長寿命化型維持管理に対応できる橋梁」について、前節の予防保全型とリニューアル型の観点から具体的な長寿命化の対応例を整理したものが表 3-2 である。予防保全型とリニューアル型のどちらも、具体的な対応例を評価するためにはライフサイクルコストによる評価が必要であり、本研究の対象範囲としては、各対応（手法）による維持管理のシナリオをライフサイクルコスト評価し、地方自治体の長寿命化手法としての適用可能性を検討することを前提とする。

表 3-2 予防保全型とリニューアル型の観点による具体的な長寿命化の対応例

型	考え方	対応例
予防保全型	適切な点検と健全度評価に基づき、劣化予測を実施し、計画的に LCC 最小の予防保全で対応する。	一般的な塗替え塗装、健全度に基づく部材の補修、洗浄によるほこりや塩分除去、排水施設の清掃など
リニューアル型	積極的に構造形式や保全方法を変更し、劣化損傷の要因を取り除く対応を行う。この考え方による長寿命化についても LCC 評価を行い、コスト面で予防保全型との比較を行う。	塗替え塗装（下面増塗り）、桁内部の除湿・乾燥対策、桁端部改良（ジョイントや支承の改良、ノージョイント化、ゴム支承への取り替え、桁端補強、排水、漏水、滞水処理など）、橋面防水による床版の耐久性向上策の適用など

§ 4. 研究テーマ設定の背景と達成目標

本研究部会では、予防保全型とリニューアル型のそれぞれの考え方を取り入れた研究テーマとして、『防錆・防食手法による長寿命化手法（技術）の提案』と『水じまい対策による長寿命化手法（技術）の提案』を取り上げた。

財政・技術・人材の面において厳しい現状を抱えている地方自治体、特に市町村の各自治体では、有効な長寿命化手法（技術）によって効率的かつ効果的に橋梁を維持管理する要求が高い。そこには、コストが高く技術的に高度なものは適用しづらい現状がある。鋼橋の長寿命化について考えるとき、『ちょっと地味で、華やかさは無いかもしれないが、管理上で困った点を改善する、また費用節約に貢献できる、といった様な簡易技術を利用した維持管理』の検討が必要と考えた。

そこで、部会活動で取り上げた地方自治体の課題を「鋼部材の塗替えコスト縮減に繋がる長寿命化手法（技術）」と「劣化要因の一つである水に対する長寿命化手法（技術）」であり、どちらの研究テーマも地方自治体が管理する橋梁に対する長寿命化手法（技術）という観点を踏まえることで、実用性と有用性を意識して提案していることがポイントである。

以下に、各ワーキングのテーマ設定の背景と達成目標について述べる。

4-1. 防錆・防食手法による長寿命化検討ワーキング（WG1）

鋼橋において、腐食と疲労は2大損傷と言われる。このうち疲労は、交通荷重であればいわゆる大型車両の繰り返し荷重が原因であり、主に都市部の比較的重要性の高い橋梁（首都高速道路が例となる）で問題となるケースが多い。一方、腐食に関しては、全国各地で生じている損傷であり、特に被害が大きい橋梁は沖縄や山陰・北陸地域に多い。また、地方自治体の鋼橋は、これまで腐食が進行しているにもかかわらず、定期的な点検や対策（基本は塗替え塗装）を実施してこなかったため、腐食対策としての塗替え塗装のコストが、維持補修費の半分近くを占めるという自治体もある。

塗替え塗装のコストを如何に抑えられるかを解決する手法の一つとして、部分塗替えの適用がある。部分塗替えは、桁端部の様な防食機能の劣化や腐食の進行が比較的早い部分にだけ塗装し、桁の中間部の様に劣化速度が遅い箇所は、その塗替えサイクルを長くするというものである。この手法は地方自治体で試験的に取り入れられている段階であり、塗替え塗装のコストの縮減に貢献できる。

一方、5年に1回の橋梁点検が義務化されたことにより、原則、点検者は橋梁の近接目視のため鋼材面に接近する。しかし現状では、点検業務と補修業務は別発注であることから、点検者は、現場で塗装の浮きやはがれ、鋼材の腐食などを発見しても、実際には補修可能な場合もあるにもかかわらず、基本的には記録にとどめるだけで対策を施してはいない。

この問題点を回避するため、点検時の様に対象物へ近接する際に応急的に塗装を実施する手法をシステムティックに取り入れているのが、本四高速道路(株)や阪神高速道路(株)などであり、このシステムを地方自治体の橋梁でも実施することで、前述の部分塗装において該当しなかった桁の中間部などの耐久性延伸に繋がると考えられる。

そこで、本研究部会では、この様な『点検において桁中間部に軽微な劣化を見つけたら、放置せずに応急的な対処を実施し、次回点検の5年後までの部材耐久性を確保する手法（ただし、塗装用の足場は無く、点検用足場で下地処理が出来ない場合を想定）』を『点検時塗装』と定義した。そして、部分塗装と点検時塗装を併用することで、地方自治体の橋梁の塗替え費用を削減できると考えられることから、現場での適用性と手法（技術）としての信頼性を踏まえたシナリオの提案を行うこと、また、このシナリオの評価において、各手法（技術）の精度の高いライフサイクルコスト算出が必要であり、簡易なツールの開発も合わせて実施することを目標とした。

本ワーキングの達成目標を表 4-1 に示す。

表 4-1 防錆・防食手法による長寿命化検討ワーキングの達成目標

- ① 劣化の進行が早い桁端部を部分塗替え塗装で塗替え,劣化の進行が遅い桁中間部に5年に1回の点検時塗装を施すことで,橋梁全体の劣化の平準化で長寿命化を図る塗替え塗装手法の提案を行い,橋梁全体の塗装健全度の確保と塗替え時期の延長によるライフサイクルコストを検証する.
- ② 点検時塗装は仕様や規定がないことから,5年の点検間隔や点検と合わせて行える施工性を考慮し,部分的な腐食面に直接塗装する場合について検証して,点検時塗装の塗料と対応できる塗装面の検討を行う.

4-2. 水じまい対策による長寿命化検討ワーキング (WG2)

橋梁部材の劣化損傷には様々な要因が複雑に関係しあっているが,水の影響は,鋼部材・コンクリート部材のいずれの劣化損傷を評価する際にも不可欠な原因として挙げられる.

鋼部材に限っても,水の影響は腐食を生じさせるだけでなく,それによる部材の機能低下(例えば支承の固定化)を生じさせ,過度な変形やゆがみ,想定しない箇所への応力集中などに繋がる可能性もあり,橋梁全体の健全度の低下を招く原因となる.

通常,橋梁には適切な排水処理が施されているが,経年劣化や不適切な維持管理により,その機能が低下し,本来,水じまいが正しく行わなければならないところに,滞水やそれによる湿気が多い箇所ができたりして問題となっている.例えば,伸縮装置から漏水が起きている場合や,遊間が狭くて湿気が溜まっている場合などは,その結果の損傷として桁端部や支承に腐食が生じたり,橋台や沓座コンクリートが劣化したりする.2007年6月に発生した三重県の一般国道23号にかかる木曾川大橋(トラス橋)において,床版と斜材の間にできた隙間に雨水が浸透して部材が腐食し破断した事例は,水じまいの不適切さが原因とも考えられる.

これらに対する適切な水じまい対策は,これまでに多くの手法や工法が提案され,実用化されている.非排水型の伸縮装置への取り替えや,橋面舗装工事の際の床版防水の施工などが代表的なものである.しかしながら,地方自治体が管理する比較的中小の既設橋梁では,コスト面や橋梁構造の関係で,それらの全てが適用できる訳ではない.補修財源に苦慮している地方自治体にも適用でき,長寿命化修繕計画でも利用できる様な水じまい対策の提案が望まれている.

以上の様な経緯を踏まえて,鋼橋の中でも橋面排水や桁端部周辺の水じまい対策のシナリオとして,a)維持管理のし易さを考慮した橋面排水シナリオ,b)桁端遊間部の水じまい(完全非排水及び排水容認)シナリオを提案することとした.なお,この検討については既設橋梁を対象として実施するが,その結果は新設または更新橋梁へ生かされることも想定して考察する.

本ワーキングの達成目標を表 4-2 に示す.

表 4-2 水じまい対策による長寿命化検討ワーキングの達成目標

- ① 橋面排水シナリオでは,排水ますや排水管の劣化損傷と対策コストの検討,実際に排水ますが必要であるかを雨水の流量計算により判断し,排水ますを撤去した場合の代替案としての鋼製排水溝の適用性を評価する.
- ② 桁端遊間部の水じまいシナリオでは,桁遊間からの漏水を防ぐための伸縮装置止水材の維持管理に対して,延長床版構造を利用した完全非排水構造,ジョイント部からの排水を容認することによる桁端遊間部のディテール改良の2提案について,ライフサイクルコスト評価によって地方橋梁への適用可能かを示す.

第1章の参考文献

- 1) 国土交通省「道路の老朽化対策」Web ページ (2016.3.31 アクセス)
URL : <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html>
- 2) 岐阜大学工学部インフラマネジメント技術研究センターHP (2016.3.31 アクセス)
URL : <http://ciam.xsrv.jp/>
- 3) 長崎大学インフラ長寿命化センターHP (2016.3.31 アクセス)
URL : <http://ilem.jp/>
- 4) 日本鋼構造協会 (JSSC) : テクニカルレポート No.88 「鋼構造物における長寿命化・延命化技術の現状と課題」, 2009.11.
- 5) 土木学会 : 特集記事「アセットマネジメント導入から 10 年—どこまで進み, その成果と課題は何か?—」, 土木学会誌, 2014.7.
- 6) 例えば, NEXCO 東日本 HP「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会資料」 (2016.3.31 アクセス)
URL : <http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/committee/>
- 7) 首都高速道路株式会社 HP「首都高速道路構造物の大規模更新のあり方に関する調査研究委員会」 (2016.3.31 アクセス)
URL : <http://www.shutoko.co.jp/company/enterprise/road/largescale/>
- 8) 阪神高速道路株式会社 HP「阪神高速道路の長期維持管理及び更新に関する技術検討委員会」 (2016.3.31 アクセス)
URL : <http://www.hanshin-exp.co.jp/company/kigyuu/committee/>
- 9) 本州四国連絡高速道路株式会社 HP「本州四国連絡橋の保全技術」 (2016.3.31 アクセス)
URL : http://www.jb-honshi.co.jp/corp_index/technology/maintenance/
- 10) 土木学会鋼構造委員会 構造物の長寿命化技術に関する検討小委員会 HP (2016.3.31 アクセス)
URL : <http://committees.jsce.or.jp/steel11/>
- 11) 国土交通省国土技術政策総合研究所 HP (2016.3.31 アクセス)
URL : <http://www.nilim.go.jp/>
- 12) 国立研究開発法人土木研究所・構造物メンテナンス研究センターHP (2016.3.31 アクセス)
URL : <https://www.pwri.go.jp/caesar/index-j.html>
- 13) 一般財団法人土木研究センターHP (2016.3.31 アクセス)
URL : <http://www.pwrc.or.jp/>
- 14) 長井正嗣 : 次世代リニューアル対応橋梁への思い, 橋梁と基礎, 巻頭言, 2013.2.
- 15) 西川和廣 : 道路橋の長寿命化と更新の判断について, 橋梁と基礎, 小特集「橋梁の劣化, 補修・更新の動向と課題」, pp.40~43, 2013.11.

第2章 防錆・防食手法による長寿命化手法の提案

第2章 防錆・防食手法による長寿命化手法の提案
目次

§ 1. はじめに	2-1
1-1. 背景	2-1
1-2. 提案のコンセプト	2-3
1-3. 検討内容	2-4
§ 2. LCC 評価による提案シナリオの有用性について	2-5
2-1. LCC 評価における前提条件の設定	2-5
2-1-1. 鋼道路橋の防食に関する技術解説書の概要	2-5
2-1-2. 現状の塗装維持管理費用算出における前提条件	2-6
2-1-3. 提案シナリオの塗装維持管理費用算出における前提条件	2-6
2-2. 提案シナリオの LCC 評価	2-8
2-2-1. 概要	2-8
2-2-2. LCC 検証用モデル橋梁	2-8
2-2-3. 塗装塗替えシナリオ	2-9
2-2-4. LCC 計算条件	2-9
2-2-5. LCC 計算結果	2-10
2-2-6. LCC 検討結果	2-12
§ 3. 複合サイクル促進試験による点検時塗装の適用性検討	2-13
3-1. 複合サイクル促進試験の目的	2-13
3-2. 実施内容	2-14
3-2-1. 塗装仕様の要求性能	2-14
3-2-2. サイクル試験の条件設定	2-15
3-2-3. 試験体の条件設定	2-17
3-2-4. 計測項目	2-22
3-2-5. 実施工程	2-26
3-3. 試験結果	2-27
3-3-1. 試験体の外観	2-27
3-3-2. 重量測定結果	2-36
3-3-3. 膜厚測定結果	2-38
3-3-4. 付着力測定結果	2-39
3-3-5. 画像解析結果	2-41
3-3-6. 3次元形状計測結果	2-45
3-4. 考察	2-51
§ 4. 実橋による点検時塗装の施工性確認	2-54
4-1. 目的	2-54
4-2. 対象橋梁の概要	2-54
4-2-1. 諸元	2-54
4-2-2. 点検結果	2-55
4-3. 試験施工概要	2-56
4-3-1. 使用材料	2-56

4-3-2. 塗装範囲	2-56
4-3-3. 塗装方法	2-56
4-3-4. 作業環境	2-56
4-3-5. 塗装状況	2-57
4-4. 実施後状況	2-58
4-4-1. 塗装面外観	2-58
4-4-2. 膜厚	2-58
4-5. 考察	2-59
4-5-1. 事前作業の注意点	2-59
4-5-2. 作業時の注意点	2-59
4-5-3. 点検時塗装の施工性	2-59
§ 5. まとめと今後の課題	2-61
5-1. 検討項目のまとめ	2-61
5-2. 今後の課題	2-61
第2章の参考文献	2-62

§1. はじめに

1-1. 背景

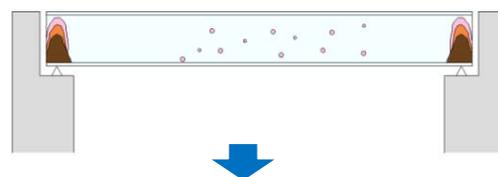
今日まで生活維持向上のために数多くの橋梁が架けられ、地域にはなくてはならない存在になっている。そのため、損傷や架替えなどにより機能が失われることは、生活環境への負担を大きくする。塗装橋梁の損傷原因は、腐食による劣化の割合は多いが、塗替えを適切に行うことで耐久性を維持できることは、100年を越す寿命を保っている橋梁が実存することから証明できる。しかし、高度成長期に集中的に架けられた多くの橋梁は、経年劣化に合わせて集中的な維持管理対策を講じことになるが、財源の問題などにより著しい損傷がない橋梁の対策は先延ばしされやすく、地方自治体の管理する橋梁においては、足場や交通規制等で費用が嵩む塗装塗替えが行われずに放置されているものも多く見られる。

また、塗装塗替え方式には、鋼道路橋防食便覧¹⁾（以下：防食便覧）において「全面塗替え塗装」と「部分塗替え塗装」があるが、橋梁全体の劣化状態を評価として全面塗替えを基本的なシナリオとする傾向が強い。しかし、塗装橋梁の塗膜は、構造や地域の特性により、劣化速度が異なることが知られており、JSSCテクニカルレポートNo45 鋼橋塗膜の評価技術²⁾によれば、桁端部の劣化は腹板外面に比べて2倍の劣化速度となっている。そのため、劣化が先行している桁端部では、局部的な腐食がさらに進行することがあり、腐食による損傷を助長し橋梁自体の耐用年数を短くしている。

①桁端部において塗膜が劣化



②支間中央部においても一部劣化が発生、桁端部の劣化は進行



③橋梁全体に劣化が分布、桁端部はさらに劣化が進行

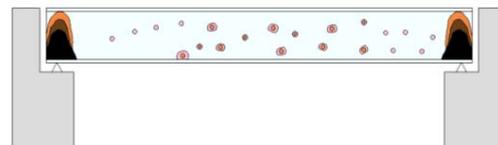


図 1-1 塗装橋梁の劣化進行イメージ

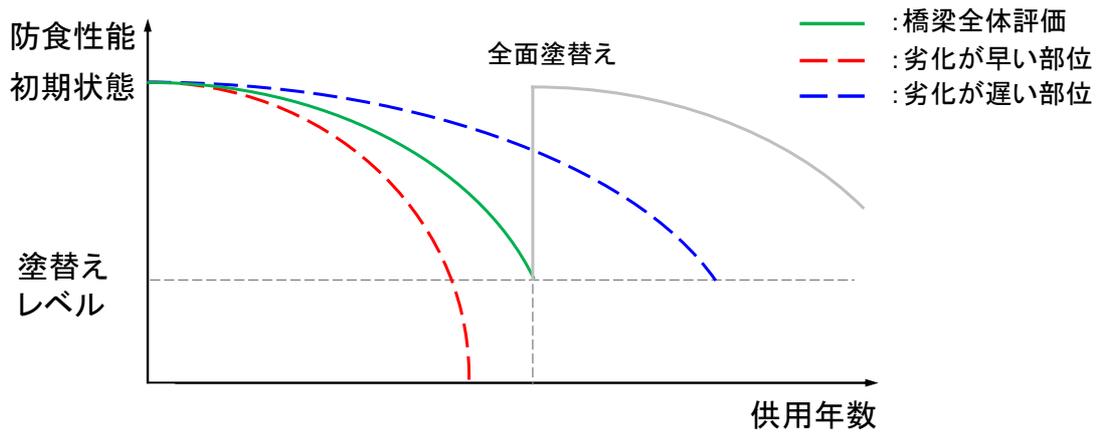


図 1-2 全面塗替え塗装時の劣化状態



劣化の早い部位
(桁端部の腐食事例)



劣化の遅い部位
(桁中間部の腐食事例)

図 1-3 鋼橋の損傷事例

一方、部分塗替え塗装は、桁端部などの劣化進行が早い部位を対象に塗装し、桁の中間部などの劣化進行の遅い部位の塗替えを延長することで、橋梁全体の健全性を平準化して全面塗替え時期を伸ばすことが可能である。さらに、全面塗替え塗装より安い費用で、桁端部などの構造上重要な部位の防食性能を回復し安全性を確保でき、費用対効果は大きい。しかしながら、積極的な採用はあまり見られていない。

1-2. 提案のコンセプト

部分塗替え塗装は、塗装塗替えにおいて有効性が高いが、桁中間部などの劣化が遅い部位については放置することになるため、橋梁全体としては劣化が進行してしまうことが、積極的に採用されていない一因と考えられる。そこで、桁中間部に応急的な補修塗装を加えることで、橋梁全体に対応した防食方法の提案を試る。

部分塗替え塗装と応急的な補修塗装を組み合わせた塗替え手法の劣化曲線のイメージを図1-4に記す。桁端部などの劣化が早い部位が、塗替えレベルに達した時点で部分塗替え塗装を行い、最も劣化が進行している部位の防食性能を確保することで、橋梁全体の劣化曲線が若干回復して立ち上がる。さらに、劣化がそれほど進んでいない部位の軽微な腐食部に、応急的な補修塗装をすることで、橋梁全体の劣化部位が少なくなり、劣化曲線の傾きを緩くすることができる。結果として、部分塗替えによる回復と応急塗装による塗膜劣化の緩和で、橋梁全体の劣化進行を緩やかにすることになり、通常全面塗替えに比べ塗替え時期を延伸できる。

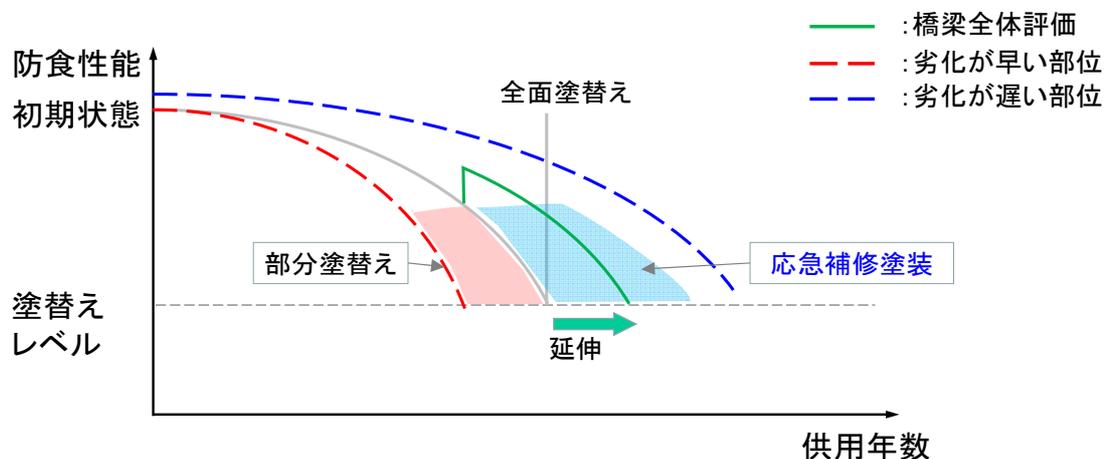


図1-4 塗装橋梁の劣化曲線イメージ

この応急的な補修塗装は、桁の中間部にある劣化進行の遅い軽微な腐食部を対象とした簡易的な手法による対応が望まれる。本四高速道路(株)³⁾や阪神高速道路(株)⁴⁾においては、塗膜や構造物の点検時に発見した塗装のはがれや鋼材の腐食部に、簡易的な塗料で応急的な補修塗装を行っている。

そこで、本研究では、5年に1度に義務化された橋梁点検時に設ける近接目視用の足場を利用して、点検者自らが施工できる簡易な塗装方法にすることで、効率的かつ低コストで補修が行えると考えた。この点検時に行う応急的な補修塗装を『点検時塗装』と定義し、その有用性について検討する。

1-3. 検討内容

点検時塗装は、点検間隔に合わせて補修が行え、周期的な予防保全が確実にできることになる。また、部分塗替えと併用することで、塗装塗替えのシナリオを増やし、保全対策に幅を持たせることが期待できる。以上のことに着目し、以下の2項目について検討した。

1. 点検時塗装と部分塗替え塗装の組合せによる長寿命化シナリオの提案とライフサイクルコストによる評価

劣化の進行が早い桁端部を部分塗替え塗装で塗替え、劣化の進行が遅い桁中間部に5年に1回の点検時塗装を施すことで、橋梁全体の劣化を平準化し長寿命化を図る塗装塗替え手法の提案を行い、橋梁全体の防食性能の確保と全面塗替え時期の延長によるライフサイクルコストを検証する。

このとき、部分塗替え塗装は、防錆防食便覧及び鋼道路橋の部分塗替え塗装要領（案）⁵⁾の仕様や手法に準じて施工する。

2. 点検時塗装の適用性確認

点検時塗装は、仕様や規定がないことから、5年の点検間隔や点検と併せて行える施工性を考慮し、部分的な腐食面に直接塗装する場合について検証して、点検時塗装の塗料と対応できる塗装面の確認を行う。塗装性能の検証は、複合サイクル促進試験で行い、施工性の検証は、実橋塗装で行う。

なお、本研究では予防保全の促進を優先し、できるだけ多くの塗装橋梁の長寿命化を速やかに図ることを目的としており、景観性は考慮せず検討する。

§ 2. LCC 評価による提案シナリオの有用性について

2-1. LCC 評価における前提条件の設定

2-1-1. 鋼道路橋の防食に関する技術解説書の概要

鋼道路橋の防食に関する技術解説書の変遷は、昭和 46 年に「鋼道路橋塗装便覧（日本道路協会）」が発刊され、その後、技術や材料の進展に伴い昭和 54 年と平成 2 年に改訂が行われている。平成 17 年には、塗装便覧の内容を見直すと共に、塗装以外の防食技術についても記述を追加した「鋼道路橋塗装・防食便覧（日本道路協会）」が新たに発刊され、平成 26 年に現在最新の技術解説書である「鋼道路橋防食便覧（日本道路協会）」が発刊されている。

外面の塗装仕様は、平成 2 年の鋼道路橋塗装便覧を適用する場合、架橋位置の腐食環境により分類されており、一般環境、やや厳しい環境、厳しい環境に対し、それぞれ A 系（長油性フタル樹脂、シリコンアルキド樹脂）、B 系（塩化ゴム系樹脂）、C 系（ポリウレタン樹脂、ふっ素樹脂）を採用していたが、平成 17 年鋼道路橋塗装・防食便覧の発刊以降は、LCC 低減・環境対策等の観点から、上塗りに耐候性に優れたふっ素樹脂塗料を用いた重防食塗装系（C5 系、Rc-I 系、Rc-III 系）の適用を基本としている。なお、20 年以内に架替えが予定されている場合には A 系を適用することも可能となっている。

塗装の耐用年数や塗替え周期は、個々の橋でその架設環境や塗装履歴が異なるため、塗装の寿命も異なってくる。塗膜の防錆効果を合理的かつ経済的に維持するためには、塗膜点検を定期的に行い、その劣化状態を的確に把握した塗替え計画を立て、合理的、効率的な塗膜の維持管理を行う必要がある。しかし、長期間における維持管理費用を算出する場合、将来の劣化状態の予測が困難であるため、架橋位置の腐食環境や塗装仕様により、それぞれ一律の耐久年数を定めて LCC を算出するのが一般的となっている。現在、橋梁計画における LCC の算出で最も使用されている塗装耐久年数は、表 2-1 に示す「鋼橋のライフサイクルコスト（2001, 日本橋梁建設協会）」の塗装系別推定耐久年数である。

表 2-1 塗装系別推定耐久年数（出典：鋼橋のライフサイクルコスト（日本橋梁建設協会））

初期仕様	A-1	B-1	C-1	C-2 (全工場塗装)	C-4 (全工場塗装)	I: 薄膜形重防食 (全工場塗装)	
塗替え仕様	a-1	b-1	c-1	c-1	c-3	c-1	
塗装名称	長油性フタル酸樹脂塗装	塩化ゴム系塗装	ポリウレタン樹脂塗装	ポリウレタン樹脂塗装	ふっ素樹脂塗装	ポリウレタン樹脂塗装	
環境	一般環境 (山間部)	15年	20年	40年	40年	60年	30年
	やや厳しい環境 (市街地部)	10年	15年	30年	30年	45年	20年
	厳しい環境 (海岸部)	—	10年	20年	20年	30年	—

注) 塗装仕様の記号は、鋼道路橋塗装便覧による。

2-1-2. 現状の塗装維持管理費用算出における前提条件

(1) LCC 算出における塗装耐用年数

塗装の耐用年数は、架設環境や塗装履歴により異なるが、本 WG の LCC 算出においては、表 2-1 に示す塗装系別推定耐久年数を採用し、架設環境は、代表して市街地部（やや厳しい環境）のものを使用する。

(2) 塗装仕様及び塗替え方針

塗替え塗装仕様は、鋼道路橋防食便覧に基づき、ライフサイクルコスト、環境対策の配慮などの観点から、より耐久性に優れた重防食塗装系（Rc-I 系）による全面塗替えとする。

旧塗装系については、架橋位置の環境や現時点での塗替えの有無等により異なっていると思われるが、塗装系別推定耐久年数（表 2-1）で A 系、B 系の塗装の市街地部耐久年数は 10 年から 15 年であり、重防食塗装系を基本とした H17 年便覧の発刊から 10 年以上経過していることを考えると、現状の塗装仕様は、新設・塗替え共に、ほとんどが重防食塗装系となっていることとなる。従って、旧塗装系の仕様も、重防食塗装系（C5 系、Rc-I 系）とする。なお、旧塗装については、個々の橋毎に塗替えからの期間が異なるが、本項においては、塗替え直後を基点として、LCC を算出して有用性の検証を行うものとする。

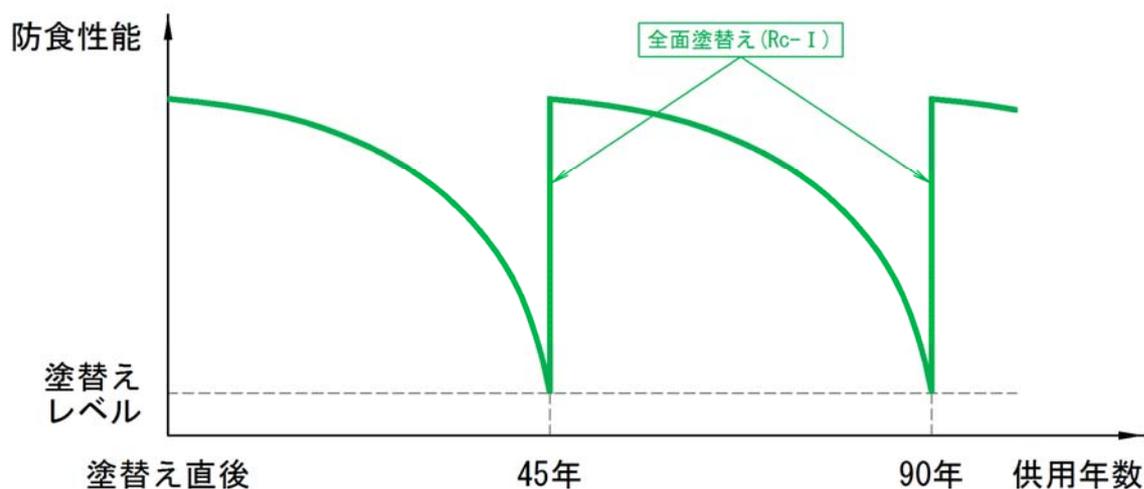


図 2-1 現状の LCC 算出の概念図及び想定している塗膜の劣化曲線

2-1-3. 提案シナリオの塗装維持管理費用算出における前提条件

(1) LCC 算出における塗装耐用年数

提案シナリオは、塗膜劣化の実態に合わせ、桁端部の部分塗替えと点検時塗装を併用することで、比較的健全な部分の全面塗替え期間を延長させることを提案している。本 WG で実施した促進試験において、点検時塗装の点検サイクルにおける耐久性については検証を行ったが、実橋の塗膜劣化の実態である、腐食の早い箇所と遅い箇所のそれぞれの耐久年数については、架橋環境や個々の橋の事情により異なり、一律に想定された表 2-1 の様なデータも無い。従って、過去の点検結果等を参考に以下の通り想定した。

表 2-2 提案シナリオの推定耐久年数の想定値（市街地部）

	部位	想定耐久年数	備考
部分塗替え塗装	桁端部	30 年	一律に設定された表 2-1 の期間の 2/3
全面塗替え塗装	全面	60 年	部分塗替え範囲が一律に設定された期間から-15 年で想定. これより, 比較的良好な箇所は+15 年と想定
点検時塗装	損傷箇所	5 年	点検サイクル

(2) 塗装仕様及び塗替え方針

塗替え塗装仕様は, 部分塗替え, 全面塗替え共に, より耐久性に優れた重防食塗装系 (Rc- I 系) とする. なお, 部分塗替え塗装の範囲は, 橋長 30m 程度の単純桁を想定し, 両側の 1.5m 分が桁端部対象区間として, 全塗装面積の 10%とする.

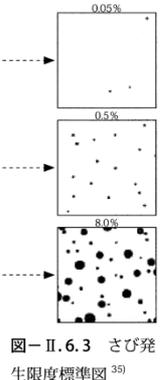
点検時塗装の塗装面積は, H26 鋼道路橋防食便覧の塗替え時期の判定を参考に設定する. 便覧における塗替え時期は, さび, はがれの程度により判定することとしており, 表 2-3, 2-4 の通り, さびの発生面積が全橋梁面積の 8%以上となった場合に早い時期に塗替えを検討するものとしている.

表 2-3 塗替え時期の判定
(出典: 鋼道路橋防食便覧)

		はがれの程度			
		1	2	3	4
さびの程度	1	①		②	
	2	①		②	
	3	②		③	
	4	②		③	

表 2-4 さびの評価
(出典: 鋼道路橋防食便覧)

評価	発生状態		JIS K 5600-8-3 さびの等級 (さびの面積%)
	発生面積 (%)	外観状態	
1	$X < 0.05$	さびが認められず, 塗膜は健全な状態	Ri1 (0.05%)
2	$0.05 \leq X < 0.5$	さびが僅かに認められるが, 塗膜は防食機能を維持している状態	Ri2 (0.5%)
3	$0.5 \leq X < 8.0$	さびが顕在化し, 塗膜は一部防食機能が損なわれている状態	Ri3, Ri4 (1.0%, 8.0%)
4	$8.0 \leq X$	さびが進行し, 塗膜は防食機能が失われている状態	Ri4 以上 (8.0%以上)



これを基に, 以下の通り点検時塗装の対象面積を算出する.

- 市街地環境の一律耐久年数である 45 年で 8%のさびが発生していると考え. 但し, その内, さびの進行が速いと想定している桁端部のさびが半分程度は占めるものとし, 一般部では 4%のさびが発生しているものとする.
- さびの発生は, その耐久年数の後半に集中するものとも考えられるが, 計算上の対象面積は, 均等にさびが増えていくものとして算出する.
- 上記より, 年毎のさびの発生面積を算出し, 本シナリオの全面塗替え期間の平均である 30 年目の対象面積分の塗装が毎年発生するものとして LCC を算出する.

【点検時塗装の対象面積 = (4% ÷ 45 年) × 30 年 = 2.7%】

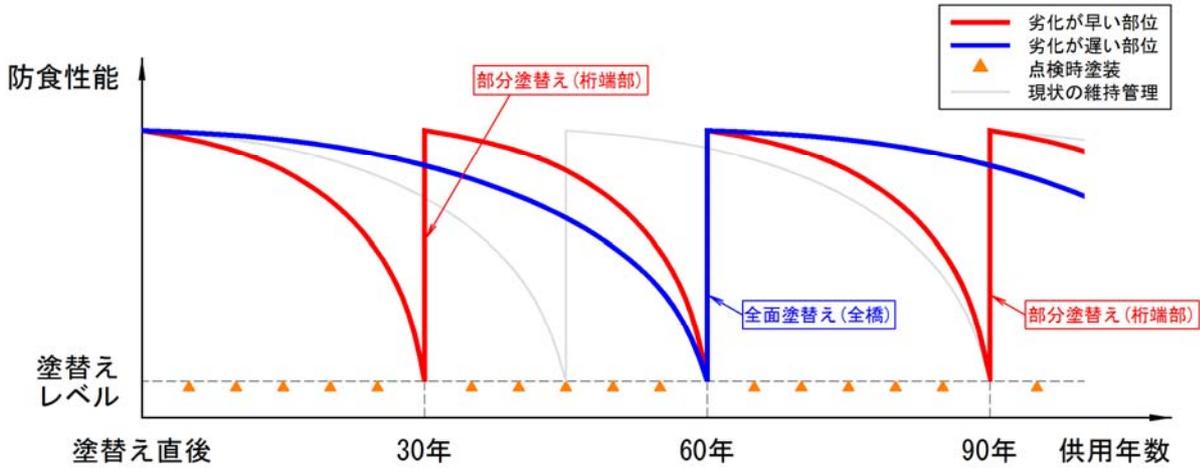


図 2-2 提案シナリオの LCC 算出の概念図及び想定している塗膜の劣化曲線

2-2. 提案シナリオの LCC 評価

2-2-1. 概要

本部会で提案する点検時塗装と部分塗替え塗装の組合せによる長寿命化シナリオが有用であることを確認するため、検証用モデル橋梁を用いて LCC 計算を行った。

2-2-2. LCC 検証用モデル橋梁

形式：単純非合成鈹桁橋

橋長：30.500m（支間長：29.500m）

総幅員：13.000m

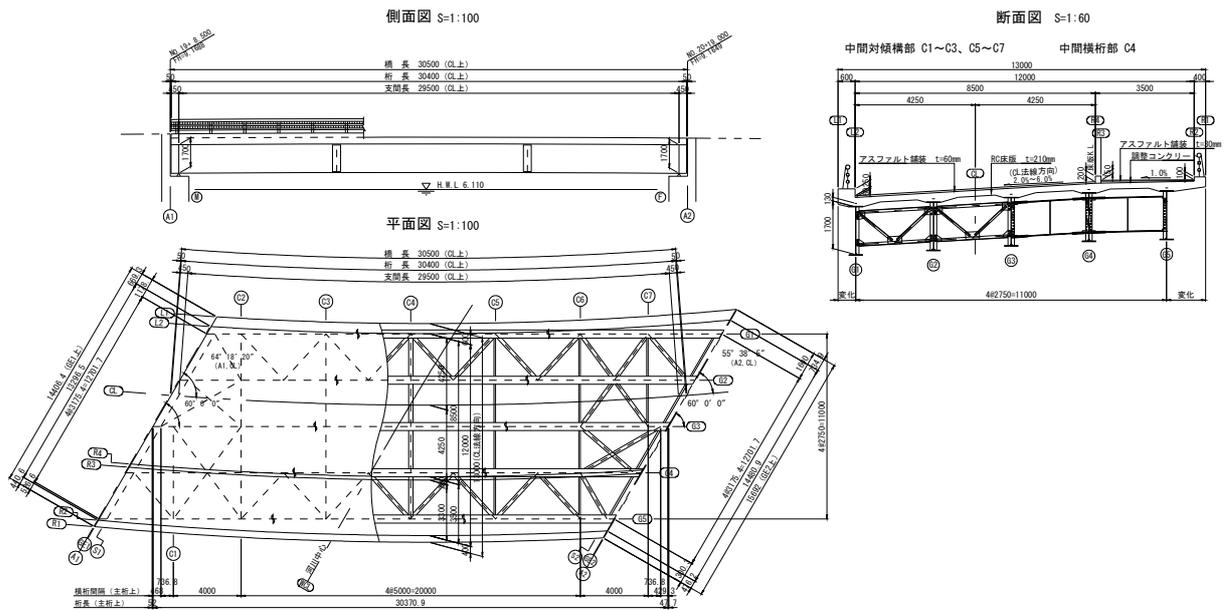


図 2-3 検証用モデル橋梁

2-2-3. 塗装塗替えシナリオ

現状行われている全面塗替えを基準（シナリオ1）とし、本WGで提案する劣化の進行が早い部位（桁端部）に部分塗替え、一般的な劣化進行の桁中間部に、5年に1回の点検時塗装を適用した場合（シナリオ2）のモデル橋梁におけるLCCを計算し、比較を行う。なおシナリオ3は、架橋位置の腐食環境が良好な場合には、提案シナリオによる管理によって全面塗替えを行わない場合があることを想定して追加した。

【基準】 Rc- I 全面塗替え（45年）

【提案①】 Rc- I 桁端部部分塗替え（30年）と Rc- I 全面塗替え（60年）を交互
+点検時塗装（5年）

【提案②】 Rc- I 桁端部部分塗替え（30年）+点検時塗装（5年）

※（ ）内は、塗替えサイクルを示す

2-2-4. LCC 計算条件

各塗替え仕様における塗替え1回当たりの費用を算出し、設計期間内に必要回数繰り返すものとしてLCCを計算する。塗替え費用は直接費の算出とした。間接費については、各自治体により様々な算出係数があるため、本検討では対象外とした。

(1) 塗装単価

本検討で考慮する塗装仕様は、塗替え塗装仕様 Rc- I（全面・部分）と点検時塗装の2種類となる。Rc- Iの塗装単価に関しては、塗装仕様ごとの市場単価の加算+研削材及びケレンかす処理費用により求めた。点検時塗装に関しては、使用した塗料の材料費より m^2 当たりの単価を算出した。点検時塗装の人件費に関しては、橋梁点検費用に含まれているものとする。なお、本検討では点検時塗装に関しては最も単価が高い塗装仕様（高耐久性塗料/2液性エポキシ樹脂塗料）を用いて検討を行った。

$$\begin{aligned} \text{① Rc- I の塗装単価 (11,012 円/m}^2\text{)} \\ & \text{(塗装単価) + (研削材及びケレンかす回収工)} \\ & = 7,375 \text{ 円/m}^2 + 3,637 \text{ 円/m}^2 \\ & = 11,012 \text{ 円/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{② 点検時塗装の塗装単価 (12,333 円/m}^2\text{)} \\ & \text{(塗料単価) / (スプレー缶容量)} \\ & = 3,700 \text{ 円} / 0.3 \text{ m}^2 \\ & = 12,333 \text{ 円/m}^2 \end{aligned}$$

注) 計算内容の詳細は、別添資料（付録C）を参照のこと

(2) 足場設置の有無、設置費用

足場設置に関しては、労働安全衛生法に則り、全面塗替え及び部分塗替え時には基本的に『必要』と考えた。部分塗替え時には桁端部のみの塗替えを想定するため、部分的な足場の設置を想定している。本検討では、桁端部から1.5mを部分塗替えの範囲と考えるため、足場設置範囲は、最小800mmの設置と考える。点検時塗装時には、点検用足場または高所作業車等を使用していると考えため不要と考えている。

Rc- I の場合の吊足場イメージ図
(ブラスト作業のため全面板張防護足場が必要)

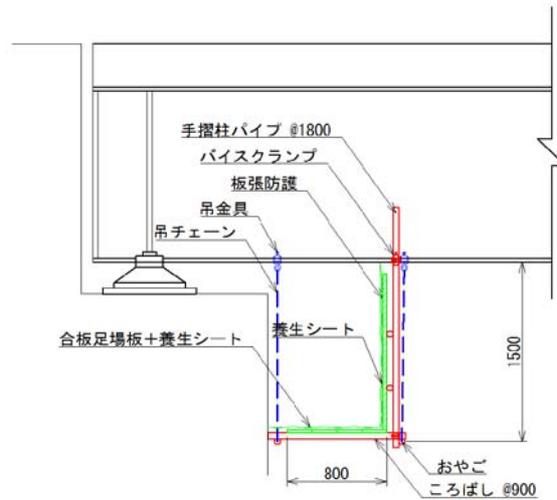


図 2-4 Rc- I の場合の吊足場イメージ図

$$\begin{aligned}
 & \text{足場設置費用 (8,200 円/m}^2\text{)} \\
 & \quad (\text{主体足場工費用}) + (\text{ブラスト養生費用}) \\
 & = 2,990,000 \text{ 円} / 500 \text{ m}^2 + 1,124,000 \text{ 円} / 500 \text{ m}^2 \\
 & = 4,114,000 \text{ 円} / 500 \text{ m}^2 \\
 & = 8,200 \text{ 円} / \text{m}^2
 \end{aligned}$$

注) 計算内容の詳細は、別添資料 (付録 C) を参照のこと

(3) 点検費用

本検討で考慮する点検費用は、「道路橋定期点検業務積算資料 (暫定版) 平成 26 年 8 月」⁶⁾により算出した。

$$\begin{aligned}
 & \text{点検費用 (187,507 円/1 橋当たり)} \\
 & \quad (\text{点検人件費}) + (\text{機械経費}) + (\text{安全費}) \\
 & = 83,356 \text{ 円} + 78,991 \text{ 円} + 25,160 \text{ 円} \\
 & = 187,507 \text{ 円} / 1 \text{ 橋当たり}
 \end{aligned}$$

注) 計算内容の詳細は、別添資料 (付録 C) を参照のこと

2-2-5. LCC 計算結果

各シナリオにおける LCC 計算結果を以下に示す。塗替え方法ごとに 1 回当たりの費用を計算し、設計期間内に実施する回数の合計値によりシナリオ毎の LCC を算出する。設計期間は全て 100 年とした。

(1) 基本情報

- ・橋梁形式 : 鈹桁橋 (従来形式)
- ・床版との結合 : 非合成
- ・径間数 : 単純
- ・平均支間長 : 29.500m
- ・総幅員 : 13.000m
- ・外面塗装面積 : 1153.769 m²

(2) 塗替え方法ごとの塗装費用計算結果

① Rc- I 全面塗替え

- ・塗替え仕様 : Rc- I
- ・塗替え面積 : 1153.769 m² (=外面塗装面積)
- ・足場設置 : Rc- I 用 / 383.5 m² (=13.000×29.500)
- ・周辺環境 : 普通環境

$$\begin{aligned} \text{塗替え費用} &= (\text{塗装費用}) + (\text{足場費用}) + (\text{点検費用}) \\ &= 11,012 \times 1153.8 + 8,200 \times 383.5 + 0 \\ &= 15,850 \text{ 千円} / 1 \text{ 回当たり} \end{aligned}$$

② Rc- I 桁端部部分塗替え

- ・塗替え仕様 : Rc- I
- ・塗替え面積 : 115.4m² (=外面塗装面積の 10%)
- ・足場設置 : Rc- I 用 / 20.8m² (=13.000×0.800×2)
- ・周辺環境 : 普通環境

$$\begin{aligned} \text{塗替え費用} &= (\text{塗装費用}) + (\text{足場費用}) + (\text{点検費用}) \\ &= 11,100 \times 115.4 + 8,200 \times 20.8 + 0 \\ &= 1,441 \text{ 千円} / 1 \text{ 回当たり} \end{aligned}$$

③ 点検時塗装

- ・塗替え仕様 : 点検時塗装① (2液性エポキシ樹脂塗料)
- ・塗替え面積 : 31.2 m² (=外面塗装面積の 2.7%)
- ・足場設置 : なし
- ・周辺環境 : 普通環境

$$\begin{aligned} \text{塗替え費用} &= (\text{塗装費用}) + (\text{足場費用}) + (\text{点検費用}) \\ &= 12,333 \times 31.2 + 0 + 187,507 \\ &= 572 \text{ 千円} / 1 \text{ 回当たり} \end{aligned}$$

(3) シナリオごとの LCC 計算結果

① シナリオ 1 / Rc- I 全面塗替え (45 年)

- ・全面塗替え : 2 回
- ・部分塗替え : 0 回
- ・点検時塗装 : 0 回

$$LCC = 15,850 \times 2 + 1,441 \times 0 + 572 \times 0 = 31,700 \text{ (千円)}$$

- ② シナリオ 2/Rc- I 桁端部部分塗替え (30 年) と Rc- I 全面塗替え (60 年) を交互
+点検時塗装 (5 年)

- ・全面塗替え : 1 回
- ・部分塗替え : 2 回
- ・点検時塗装 : 16 回

$$LCC = 15,850 \times 1 + 1,441 \times 2 + 572 \times 16 = 27,879 \text{ (千円)} \quad \text{※シナリオ 1 比 : 88\%}$$

- ③ シナリオ 3/Rc- I 桁端部部分塗替え (30 年) +点検時塗装 (5 年)

- ・全面塗替え : 0 回
- ・部分塗替え : 3 回
- ・点検時塗装 : 16 回

$$LCC = 15,850 \times 0 + 1,441 \times 3 + 572 \times 16 = 13,471 \text{ (千円)} \quad \text{※シナリオ 1 比 : 42\%}$$

2-2-6. LCC 検討結果

図 2-5 に各シナリオにおける LCC 計算結果グラフを示す。従来の管理方法 (シナリオ 1) に対し、本会で提案した手法 (シナリオ 2) が LCC 面でも有効であることが言える。100 年間での LCC 比較では 10% 程度の低減率となっているが、設計期間を 50 年とした場合には約 60% の低減となる。

さらに、定期点検時に点検時塗装を施すことで、これまで見過ごされていた初期の塗膜劣化を早期に手当することにより全面塗替え間隔をさらに広げる (なくす) ことができる可能性がある。その手法がシナリオ 3 であり、シナリオ 3 はシナリオ 1 に対して、100 年間での LCC 比較では約 68% の低減効果がある。

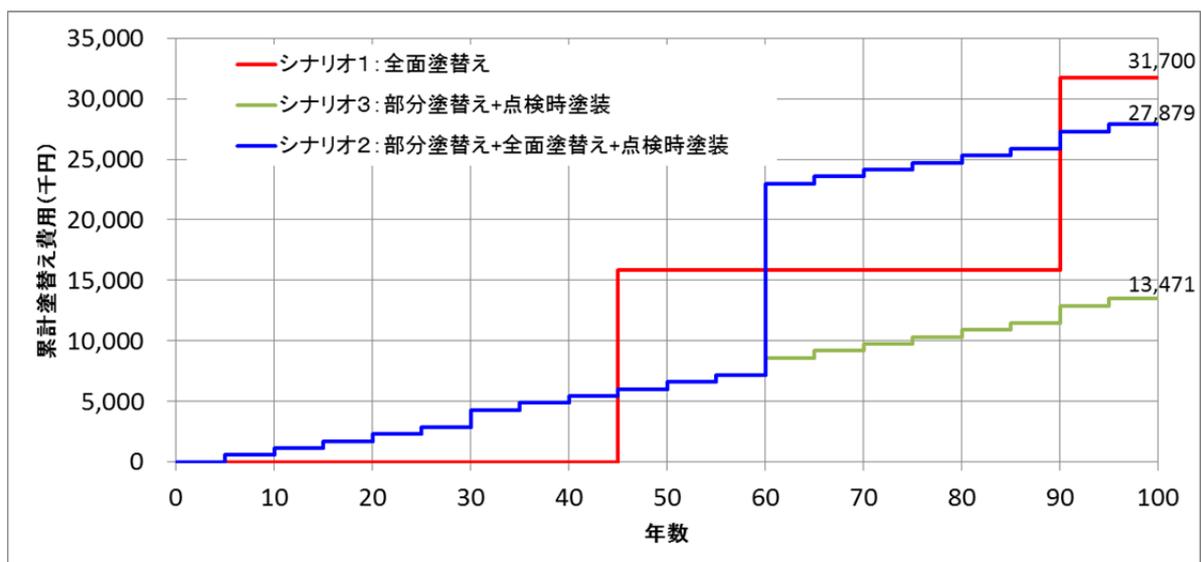


図 2-5 LCC 比較 (シナリオ 1~3)

§ 3. 複合サイクル促進試験による点検時塗装の適用性検討

3-1. 複合サイクル促進試験の目的

本研究では、5年ごとに実施される定期点検と同時に腐食部分への簡易な補修塗装を実施することにより、従来の塗替え塗装より低いコストで鋼構造物の腐食進行を抑制することを狙いとした点検時塗装を提案する。

点検時塗装は、使用する塗料と既設構造の素地状態の組合せがその耐久性に大きく影響すると考えられる。本研究では各種塗料と素地状態の組合せに対して複合サイクル促進試験を実施してそれぞれの耐久性を評価する。

3-2. 実施内容

3-2-1. 塗装仕様の要求性能

点検時に実施する塗装に用いる塗装仕様の要求性能は以下の通りとする。

- ① 塗装実施後，次回定期点検までの5年間で母材のさびが進行しない，または橋梁一般部と同程度のさび進行度に抑制すること。
 具体的には塗膜表面のさび状態で塗装仕様の適用可否を判定する．鋼道路橋防食便覧¹⁾の塗替え時期の判定(表3-1)では，塗膜のはがれの評価が2以下の場合，表3-2に示す評価点3(0.5 ≤ X < 8.0)までは「数年後に塗替えを計画する」としているため，本研究においては5年経過時でさび面積比8%まで許容するものとする。
- ② 可搬性，塗装の施工性に優れるエアゾールタイプの塗料であること。
- ③ 塗装面の下地処理に極力電動工具などを用いないこと。

表 3-1 塗替え時期の判定

		はがれの程度			
		1	2	3	4
さびの程度	1		①		②
	2		②		③
	3				
	4				

- ① 当面塗替えの必要性はない
 - ② 数年後に塗替えを計画する
 - ③ 早い時期の塗替えを検討する
- ※赤枠が適用可能範囲

表 3-2 さびの評価

評価	発生状態		JIS K 5600-8-3 さびの等級 (さびの面積%)
	発生面積 (%)	外観状態	
1	X < 0.05	さびが認められず，塗膜は健全な状態	Ri1 (0.05%)
2	0.05 ≤ X < 0.5	さびが僅かに認められるが，塗膜は防食機能を維持している状態	Ri2 (0.5%)
3	0.5 ≤ X < 8.0	さびが顕在化し，塗膜は一部防食機能が損なわれている状態	Ri3, Ri4 (1.0%, 8.0%)
4	8.0 ≤ X	さびが進行し，塗膜は防食機能が失われている状態	Ri4 以上 (8.0%以上)

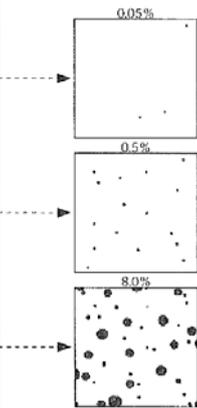


図-Ⅱ.6.3 さび発生限度標準図³⁵⁾

3-2-2. サイクル試験の条件設定

複合サイクル試験は、その対象物によって種々の方法が規定されている。本研究では、塗膜を対象としているため、JIS K 5600-7-9 (塗料一般試験方法)⁴⁾を適用した。同規定には4種類の試験サイクルが規定されているが、使用する試験機 (CYP-90: スガ試験機製) で可能な仕様のうち、塗料の性能試験で採用事例の多いサイクルDを適用した。

図3-1に使用する試験機、表3-3にサイクルDの操作手順を示す。



図3-1 複合サイクル試験機 (CYP-90: スガ試験機製)

表3-3 サイクルDの操作手順

段階	時間	温度	条件
1	0.5	30±2	塩水噴霧
2	1.5	30±2	湿潤 (95±3% RH)
3	2	50±2	熱風乾燥
4	2	30±2	温風乾燥

試験時間は定期点検間隔の5年に1年の余裕を持たせて6年間相当となるように設定した。試験時間の実時間への換算は、藤原の研究⁵⁾による東京地域での倍率 (表3-4の着色部) を用い、216サイクル (1296時間) とした。

表3-4 藤原による促進試験時間の換算率

促進試験条件	基準の暴露地					備考
	東京	沖縄内陸	沖縄海岸	北陸	藤沢	
SS	45.40	51.45	16.55	15.94	12.22	JIS Z 2371
S6	39.38	44.62	14.36	13.83	10.60	サイクルD
DS	27.33	30.97	9.97	9.60	7.36	S55ごろ建設省土木研究所で検討
NS	70.41	79.80	25.67	24.72	18.95	日産自動車社内規格
JASO	67.17	76.12	24.49	23.58	18.08	日本自動車技術会 JASO規格
海水NS	42.15	47.77	15.37	14.80	11.34	
ASTM	37.52	42.52	13.68	13.17	10.10	ASTM D 2933-74

また、促進試験のスケジュールは表 3-5 に示す通り 1 週間単位で 24 サイクル実施し、後述 (3-2-4 計測項目) する計測内容を 12 サイクルごとに実施した。

表 3-5 複合サイクル促進試験の週間スケジュール

時刻	月	火	水	木	金	土	日
1:00	停止	サイクル3	サイクル7	サイクル11	サイクル14	サイクル18	サイクル22
3:00					サイクル15	サイクル19	サイクル23
5:00		サイクル4	サイクル8	サイクル12			
7:00					計測2	サイクル16	サイクル20
9:00	サイクル1	サイクル5	サイクル9	計測1			
11:00					サイクル13	サイクル17	サイクル21
13:00	サイクル2	サイクル6	サイクル10				
15:00				サイクル14	サイクル18	サイクル22	
17:00							
19:00							
21:00							
23:00							

3-2-3. 試験体の条件設定

(1) 試験体の形状

試験体の形状は、JIS に記載される寸法と同様に長さ 150mm、幅 70mm とした。板厚は試験機の重量制限（最大 20kg）および入手性を考慮して 3.2mm とした。材質は橋梁に一般的に使用される SS400 とした。試験体形状を図 3-2 に示す。試験体の向きを判別するため、左上をカットした。

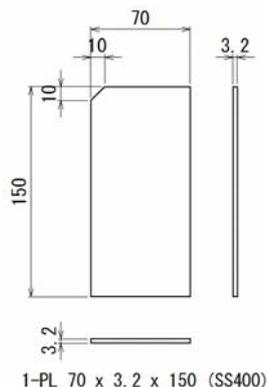


図 3-2 試験体形状

(2) 使用塗料

点検時塗装に適用可能な塗料を以下の条件で調査し、促進試験に使用する候補を選定した。候補は期待される耐久性や用途別に A～D の 4 種類に分類した（表 3-6）。

〔点検時塗装に適用可能な塗料の条件〕

- ・さび面への直接塗布が可能
- ・エアゾールタイプが製品化されている

〔候補の分類〕

- A：すでに本四公団、阪神高速で点検時塗装用の塗料として使用されているもの
- B：A 以外の塗料で高い耐久性を有する塗料
- C：A より防錆性能が劣るが、広く使用されているさび面への塗布が可能な塗料
- D：さびをマグネタイト(黒さび)に転換してさびの進行を抑制する機能を有する塗料

区分 A の 2 種類の塗料についてはそれぞれ阪神高速（変性エポスプレーNEXT）、本四高速（SRI 防食スプレーK）で用いられており、十分な耐久性が期待できること、その他の塗料の適用可否の比較基準と考えられることから両者を採用した。

区分 B は、塗料の性能的に区分 A と同等程度の耐久性が期待できるが、試験体数の上限により、より低コストな区分 C の塗料の採用を優先するため不採用とした。

区分 C は区分 A、B に耐久性で劣ると考えられるが、低コストであり、5 年間の短期使用であれば効果が期待できるため、候補の中から多色展開している油性高耐久鉄部用スプレーを採用した。

区分 D では高い耐久性が期待できる 2 液性防錆剤のうち、有機溶剤を使用せず環境負荷の小さいサビットメントを採用した。以降、これらの塗料の表記は表 3-6 中の塗料システムを用いる。

上記塗料以外では、各塗料との比較対象として一般的な塗替えで使用される Rc-Ⅲ仕様と、無塗装の条件を追加した。

表 3-6 使用塗料の候補

区分	採用	塗料名	塗料系統	備考
A	○	変性エポスプレーNEXT	2液性変性エポキシ樹脂塗料	白色
	○	SRI防食スプレーK	1液性変性エポキシ樹脂塗料	グレー，着色可
B		2Kエポキシプライマー	2液性エポキシ樹脂塗料	グレー，ベージュ，着色不可
		AGスプレー	1液性エポキシ樹脂塗料	水色，着色可
C	○	油性高耐久鉄部用スプレー	シリコンアクリル樹脂塗料	11色展開
		5674プライマー	変性アルキド樹脂塗料	グレー，赤さび，着色不可
D		ラストチェンジ	エポキシ樹脂系防錆剤	着色不可
		サビキラーPRO RS	2液性エポキシ樹脂防錆剤	クリアー
	○	サビットメント	2液性エポキシ樹脂防錆剤	クリアー，無溶剤
区分外	○	—	無塗装	試験結果の比較対象
	○	—	Rc-Ⅲ塗装系	試験結果の比較対象

(3) 素地条件

各塗料が適用可能な素地の状態を検証するため、以下の素地条件を設定した（図-3.3）。

- 鋼材面 : 試験体は磨き鋼板の状態，塗料単体の防錆性能を検証する。
- 3種ケレン : 一般的な塗替え塗装で適用される素地調整方法。試験においては、後述のさび促進実施後に電動工具を用いて鋼材面を露出させる。
- 4種ケレン : 3種ケレンよりも簡易なケレンで電動工具を用いずに施工可能。阪神高速の補修塗装で用いられている。試験においては、さび促進実施後にサンドペーパーを用いてさびを落とす。
- さび進行度① : 母材がさびた状態で塗装を行う。さび面積比で20~30%程度。
- さび進行度② : さび進行度①からさらにさびが進行した状態。さび面積比60%以上。

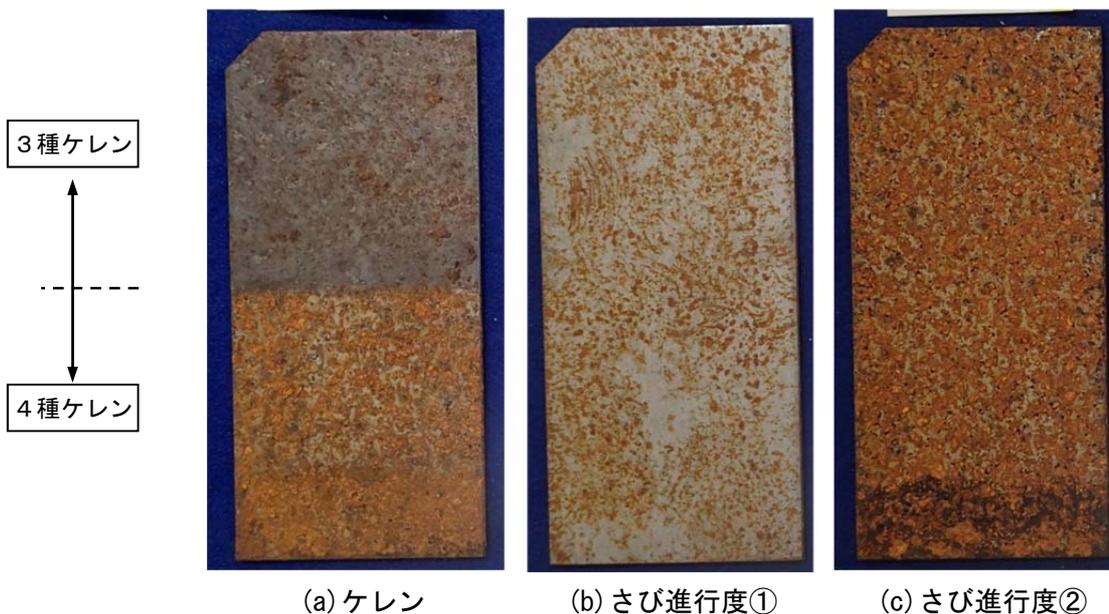


図 3-3 各素地条件の状態

(4) 塗料と素地調整の組合せ

各塗料と素地条件の組合せた試験ケースおよび試験体数を表 3-7 の通りとした。試験体数は試験機サイズの制約から 48 体とした。

表 3-7 試験ケース一覧

番号	使用塗料	塗装面の状態	カット	名称	付着試験	
					試験前	試験後
1	無塗装	ケレン		1B-1		
2		さび進行度①		1C-1		
3		さび進行度②		1D-1		
4	Rc-Ⅲ 塗装系	ケレン		1B-2		2
5			○	1B-3	2	2
6		さび進行度①		1C-2		
7			○	1C-3	1	2
8		さび進行度②		1D-2		
9			○	1D-3	1	2
10	2液性変性エポキシ樹脂塗料	鋼材面		2A-1		
11			○	2A-2		2
12		ケレン		2B-1		
13			○	2B-2		
14			○	2B-3		4
15		さび進行度①		2C-1		
16			○	2C-2		
17			○	2C-3		2
18		さび進行度②		2D-1		
19			○	2D-2		
20		○	2D-3		2	
21	1液性変性エポキシ樹脂塗料	鋼材面		3A-1		
22			○	3A-2		2
23		ケレン		3B-1		
24			○	3B-2		
25			○	3B-3		4
26		さび進行度①		3C-1		
27			○	3C-2		
28			○	3C-3		2
29		さび進行度②		3D-1		
30			○	3D-2		
31		○	3D-3		2	
32	シリコンアクリル樹脂塗料	鋼材面		4A-1		
33			○	4A-2		2
34		ケレン		4B-1		
35			○	4B-2		
36			○	4B-3		4
37		さび進行度①		4C-1		
38			○	4C-2		
39			○	4C-3		2
40	さび進行度②		4D-1			
41		○	4D-2			
42		○	4D-3		2	
43	2液性エポキシ樹脂防錆剤	さび進行度①		5C-1		
44				5C-2		
45			○	5C-3		2
46		さび進行度②		5D-1		
47				5D-2		
48		○	5D-3		2	

(5) 試験体の準備

① 素地条件の再現

未処理の状態の試験体を促進試験機に入れてさび促進し、表 3-7 に示す素地条件に合致する状態とした。ケレンについては、さび進行度②までさびを促進したのち、ケレン処理を行った（図 3-4）。実施サイクル数はさび進行度①で 10 サイクル程度、さび進行度②で 20 サイクル程度とし、試験体の状態を確認して順次試験機から取り出しさび促進を終了した。



(a) 3 種ケレン

(b) 4 種ケレン

図 3-4 素地調整実施状況

② 試験体の塗装

①で試験体を各種素地条件にしたのち塗装を実施した。塗装は試験体の両面に実施し、ノズルを試験体から約 30cm 離れた位置から試験体全面に 5 往復させた。また、試験体の外周部は防食上の弱点となり、促進試験の結果に影響する懸念があるため、試験体の外周 5mm 幅範囲を増し塗りした。また、一部の試験体は塗膜に長さ 90mm のカットを入れて部分的に腐食を促進した（図 3-5）。

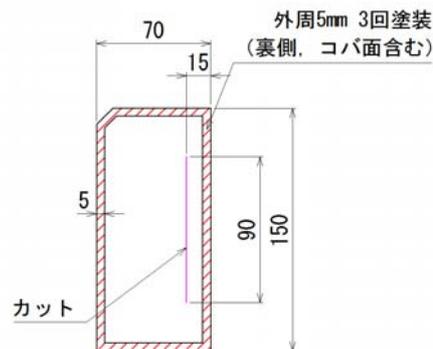


図 3-5 試験体の増し塗り範囲およびカット位置

③ 試験体の配置

試験体 48 体を図 3-6, 図 3-7 に示すように配置する. 設置角度は約 20° とし, 試験中の場所の移動は行わない.

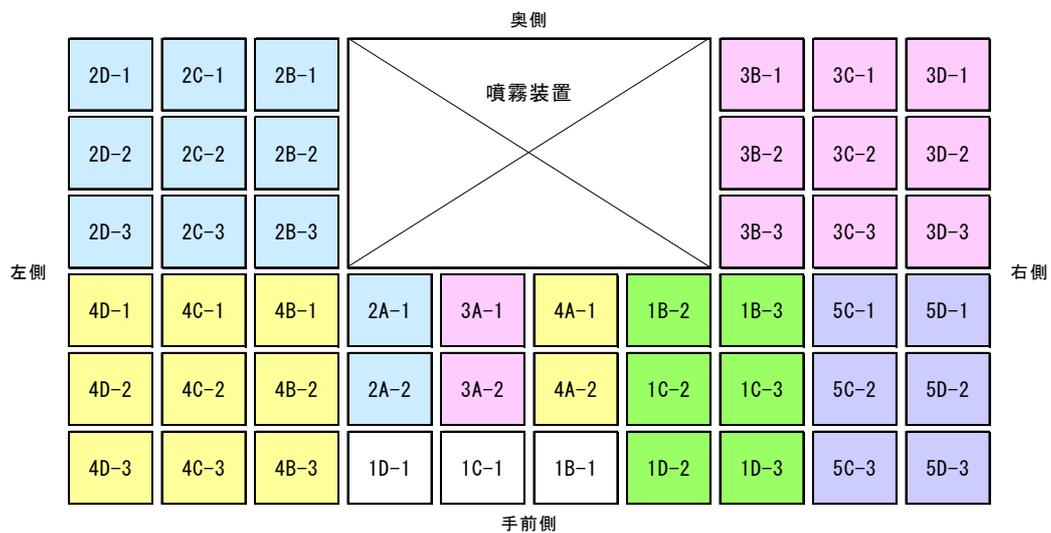


図 3-6 試験体の配置



図 3-7 試験体配置状況

3-2-4. 計測項目

本研究では複合サイクル促進試験に関連して、表 3-8 に示す計測を実施した。

表 3-8 本研究の計測項目

項目	内容
外観	試験体外観の写真撮影によるさび進行の確認
試験体重量	試験体重量の計測によるさび進行との相関確認
膜厚	試験体膜厚の計測による塗膜厚とさび進行の相関確認
付着力	塗膜の付着力とさび進行の相関確認
さび面積比	画像解析および鋼材表面の形状計測によるさび進行の定量的評価

(1) 試験体の外観観察

試験開始前（素地調整後，塗装後）および促進試験中に 12 サイクル（72 時間）ごとに試験体の写真撮影による外観の確認を行った。写真撮影は撮影台を用いて同条件で撮影した。

(2) 試験体の重量測定

試験開始前（素地調整後，塗装後）および促進試験中（36 サイクル以降 12 サイクルごと）に試験体の重量を計測した。

(3) 試験体の膜厚測定

試験開始前（塗装後）および促進試験中（36 サイクル以降 12 サイクルごと）に試験体の膜厚を計測した。膜厚測定には電磁式膜厚計（図 3-8，NDT マート社製 KC-260）を用い，各試験体で 5 箇所計測し，平均値で評価した。



図 3-8 電磁式膜厚計（KC-260）

(4) 塗膜の付着力測定

試験開始前および試験終了後に塗膜の付着力を計測した。計測はプルオフ式の付着試験器（図 3-9, Elcometer 社製 elcometer 106）を使用した。プルオフ式付着試験は、塗装面に接着したドーリーを引き剥がす際の引張力を付着力として測定するため、実施後は塗膜が損傷した状態となる。損傷部分が促進試験に影響することを懸念して、試験前の付着力測定は促進試験に使用する試験体とは別に付着試験用の試験体を用いて実施した。促進試験後の計測は促進試験を行った試験体で実施し、各試験ケースにおいて、一般部とカット近傍部で計測を実施した。付着力測定の対象試験体を表 3-9, 各試験体の実施箇所を図 3-10 に示す。

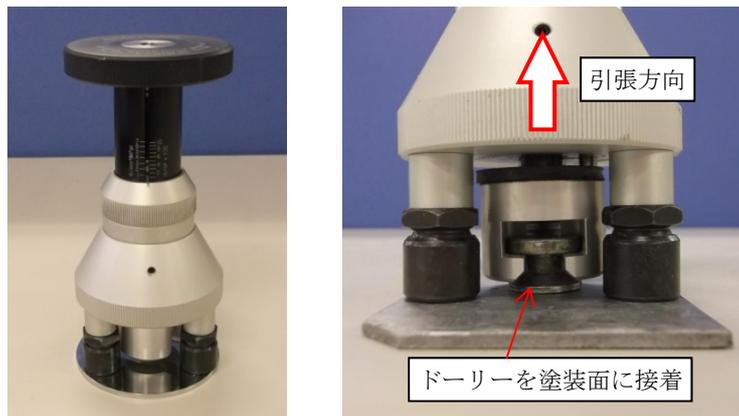
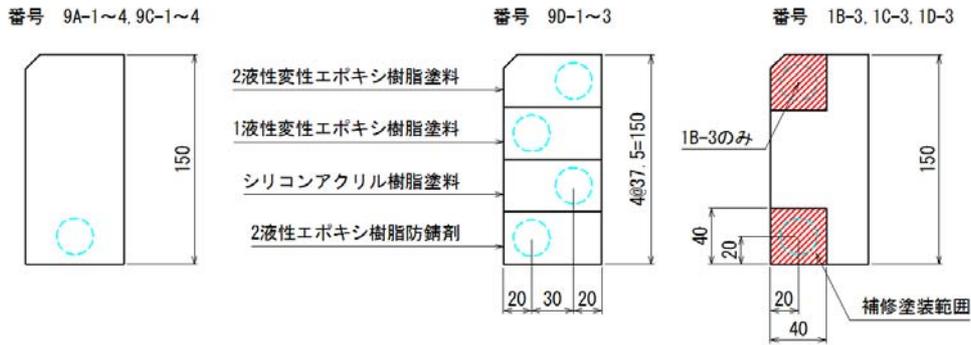


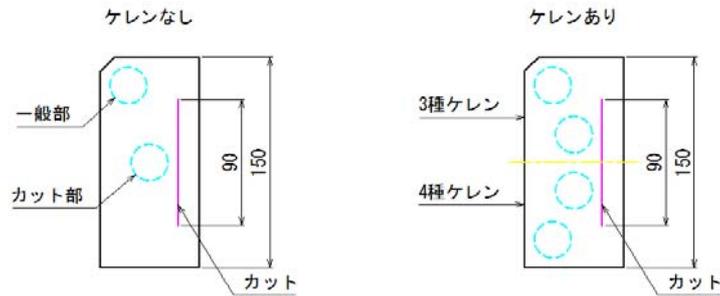
図 3-9 プルオフ式付着試験器 (elcometer 106)

表 3-9 付着力測定実施対象

番号	使用塗料	塗装面の状態	名称	付着試験 (箇所)	
				試験前	試験後
4	Rc-Ⅲ 塗装系	ケレン	1B-2		2
5			1B-3	2	2
7		さび進行度①	1C-3	1	2
9		さび進行度②	1D-3	1	2
11	2液性変性エポキシ樹脂塗料	鋼材面	2A-2		2
14		ケレン	2B-3		4
17		さび進行度①	2C-3		2
20		さび進行度②	2D-3		2
22	1液性変性エポキシ樹脂塗料	鋼材面	3A-2		2
25		ケレン	3B-3		4
28		さび進行度①	3C-3		2
31		さび進行度②	3D-3		2
33	シリコンアクリル樹脂塗料	鋼材面	4A-2		2
36		ケレン	4B-3		4
39		さび進行度①	4C-3		2
42		さび進行度②	4D-3		2
45	2液性エポキシ樹脂防錆剤	さび進行度①	5C-3		2
48		さび進行度②	5D-3		2
49	2液性変性エポキシ樹脂塗料	鋼材面	9A-1	1	
50		さび進行度①	9C-1	1	
51	1液性変性エポキシ樹脂塗料	鋼材面	9A-2	1	
52		さび進行度①	9C-2	1	
53	シリコンアクリル樹脂塗料	鋼材面	9A-3	1	
54		さび進行度①	9C-3	1	
55	2液性エポキシ樹脂防錆剤	鋼材面	9A-4	1	
56		さび進行度①	9C-4	1	
57	4種混合	3種ケレン	9D-1	4	
58		4種ケレン	9D-2	4	
59		さび進行度②	9D-3	4	



(a) 促進試験前計測



(b) 促進試験後計測

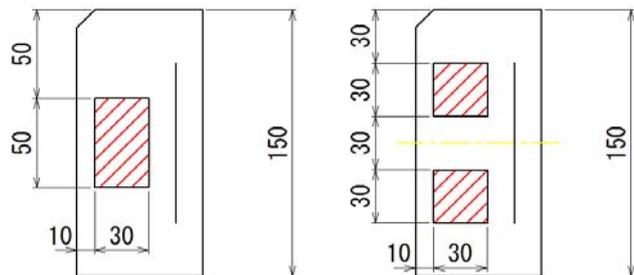
図 3-10 付着力測定実施箇所

(5) 画像解析によるさび面積比の算出

外観観察で撮影した画像を大日本塗料の「DNT 塗膜診断システム」に用いられる技術で解析し、さび面積比を算出した。画像解析には、図に示すように試験体の一般部（カット部を含まない）を切り取った画像を使用した（図 3-11）。

画像解析の実施対象を表 3-10 に示す。耐久性の期待できる塗料と、実施工のターゲットとしているさび進行度①の組合せについては時系列の変化を確認するため、36 サイクルごとの画像を対象とした。また、5 年相当経過時（180 サイクル）については各塗料の鋼材面以外の素地条件を対象とした。

前述（3-2-1 塗装仕様の要求性能）のとおり、さび面積比は 5 年（180 サイクル）経過時で 8.0% まで許容する。



(a) ケレン以外の試験体

(b) ケレン試験体

図 3-11 解析用画像切出し範囲

表 3-10 画像解析対象

			試験ケース																	小計
			無			Rc-III				2液性変性エポキシ樹脂塗料				1液性変性エポキシ樹脂塗料				シリコンアクリル樹脂塗料		
年	月	サイクル	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D	3A	3B	3C	3D	4A	4B	4C	4D	5C	5D	
0	0	0						3				3						3		9
0	4	12																		0
0	8	24																		0
1	0	36						3				3						3		9
1	4	48																		0
1	8	60																		0
2	0	72						3				3						3		9
2	4	84																		0
2	8	96																		0
3	0	108						3				3						3		9
3	4	120																		0
3	8	132																		0
4	0	144						3				3						3		9
4	4	156																		0
4	8	168																		0
5	0	180					6	3	3		6	3	3		6	3	3	3	3	42
5	4	192																		0
5	8	204																		0
6	0	216						3				3						3		9
小計			0	0	0	0	6	21	3	0	6	21	3	0	6	3	3	21	3	96

(6) 3次元形状計測によるさび面積比の算出

(5)で示した算出方法は塗膜表面のさび面積比を算出するものであり、厳密には塗膜内部の母材のさび状態を評価できるものではないため、3次元形状計測システム（図 3-12, Keyence 社製 VR-3000）を用いて鋼材表面の凹凸から内部さびの進行状況を推定した。3次元計測実施に当たっては、試験体の塗膜を剥離剤（バイオハクリ X-WB）により除去し、内部さびの状態を確認後、クエン酸二水素アンモニウム 10%溶液に試験体を浸漬してさびを除去した。

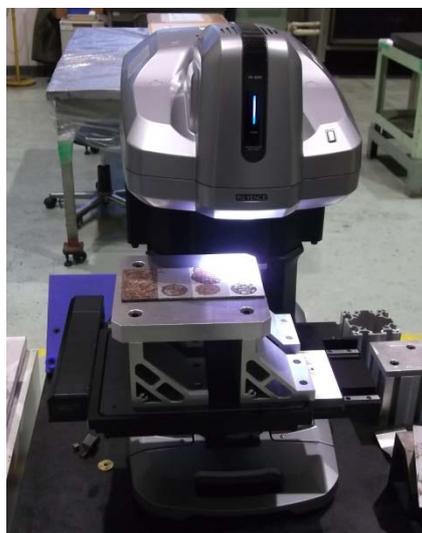


図 3-12 3次元形状計測システム（VR-3000）

3-2-5. 実施工程

表 3-11 に複合サイクル促進試験の実施工程表を示す。

表 3-11 実施工程表

項目		2015						2016				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
試験 準備	材料手配	→								→		
	素地条件の再現	→	→									
	塗装		↑									
	塗膜剥離		↑								→	
促進 試験	鋼技研実施 (6年相当)		↑	→	→	→	↑					
	茨城大実施 (5年相当)		↑	→	→	→	→	→				
計測	外観		●	→	→	→	●	→				
	重量		●	→	→	→	●					
	膜厚		●	→	→	→	●					
	付着力		●				●					
	画像解析								→			
	3次元形状											→

3-3. 試験結果

3-3-1. 試験体の外観

表 3-12 に各試験ケースの 180 サイクル（5 年間相当）経過時の外観を示す。

無塗装の試験体（1B-1, 1C-1, 1D-1）については、素地条件の差にかかわらず著しく腐食が進行していた。Rc-III仕様では、さび進行度①, ②とも試験体下端にわずかにさびが発生していた。すべての試験体において、試験体下端はV字に設置したL形鋼で支持される構造であり、L形鋼に少なからず水がたまることによってさびが発生し易くなっている。Rc-III仕様のさびもこれによる影響と考えられ、下端を除外した範囲で評価すると良好な状態であると言える。

2 液性変性エポキシ樹脂塗料を塗布した試験体は、さび進行度②の試験体（2D-3）でわずかに点さびが発生した以外は、試験体端部およびカット部にさびが発生するのみで良好な状態であった。

1 液性変性エポキシ樹脂塗料を塗布した試験体は、4種ケレン（3B-1~3の下半分）、さび進行度①, ②で点さびが発生している。3種ケレンではさびが発生しておらず、鋼材面とほぼ同等の耐久性を有すると考えられる。

シリコンアクリル樹脂塗料を塗布した試験体は、ケレンの試験体（4B-1~3）以外で全面にさびが発生した。一方、最も良好な素地条件である鋼材面（4A-1,2）で全面にさびが発生しており、想定と食い違う結果となった。また、さび進行度①, ②では、それぞれ 4C-1, 4D-1 とその他の試験体でさび発生状況に大きく差が出る結果となった。

2 液性エポキシ樹脂防錆剤を塗布した試験体は、塗膜に変状は無く、カット部のみさびが進行している。塗膜が透明なため、試験前の状態と比較したところ内部のさび状況に変化が無いことが確認できた。

表 3-12 180 サイクル経過時の外観(1)

試験体名	1 B-1	1 B-2	1 B-3
塗料	無塗装	Rc-III系	
素地条件	ケレン		
外観 (180サイクル)			
試験体名	1C-1	1C-2	1C-3
塗料	無塗装	Rc-III系	
素地条件	さび進行度①		
外観 (180サイクル)			
試験体名	1D-1	1D-2	1D-3
塗料	無塗装	Rc-III系	
素地条件	さび進行度②		
外観 (180サイクル)			

表 3-12 180 サイクル経過時の外観 (2)

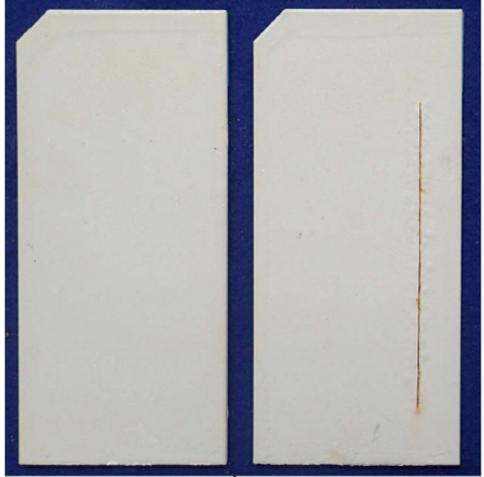
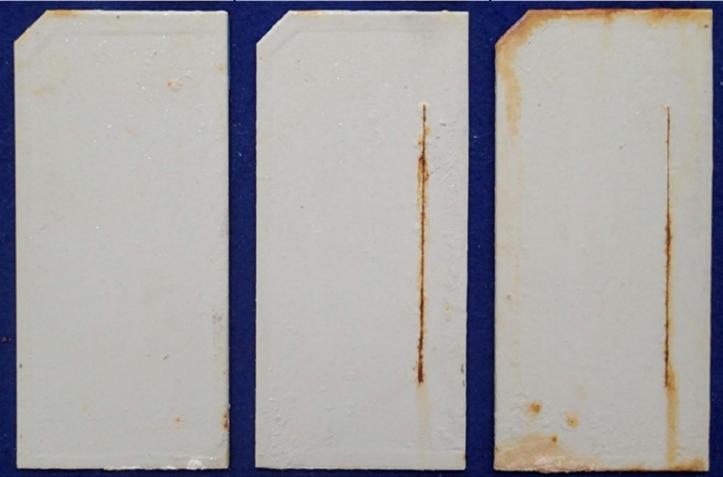
試験体名	2A-1	2A-2	
塗料	2液性変性エポキシ樹脂塗料		
素地条件	鋼材面		
外観 (180サイクル)			
試験体名	2B-1	2B-2	2B-3
塗料	2液性変性エポキシ樹脂塗料		
素地条件	ケレン		
外観 (180サイクル)			
試験体名	2C-1	2C-2	2C-3
塗料	2液性変性エポキシ樹脂塗料		
素地条件	さび進行度①		
外観 (180サイクル)			

表 3-12 180 サイクル経過時の外観 (3)

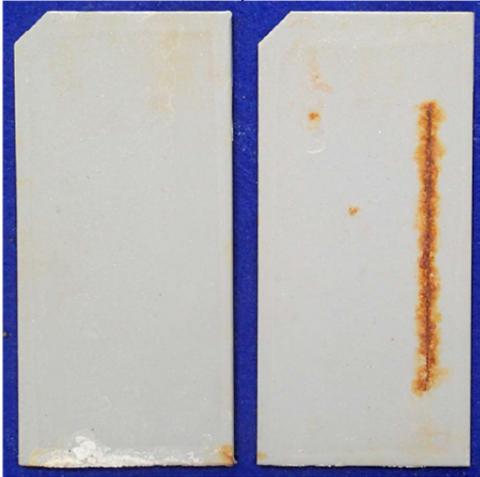
試験体名	2D-1	2D-2	2D-3
塗料	2液性変性エポキシ樹脂塗料		
素地条件	さび進行度②		
外観 (180サイクル)			
試験体名	3A-1	3A-2	
塗料	1液性変性エポキシ樹脂塗料		
素地条件	鋼材面		
外観 (180サイクル)			
試験体名	3B-1	3B-2	3B-3
塗料	1液性変性エポキシ樹脂塗料		
素地条件	ケレン		
外観 (180サイクル)			

表 3-12 180 サイクル経過時の外観 (4)

試験体名	3C-1	3C-2	3C-3
塗料	1液性変性エポキシ樹脂塗料		
素地条件	さび進行度①		
外観 (180サイクル)			
試験体名	3D-1	3D-2	3D-3
塗料	1液性変性エポキシ樹脂塗料		
素地条件	さび進行度②		
外観 (180サイクル)			
試験体名	4A-1	4A-2	
塗料	シリコンアクリル樹脂塗料		
素地条件	鋼材面		
外観 (180サイクル)			

表 3-12 180 サイクル経過時の外観 (5)

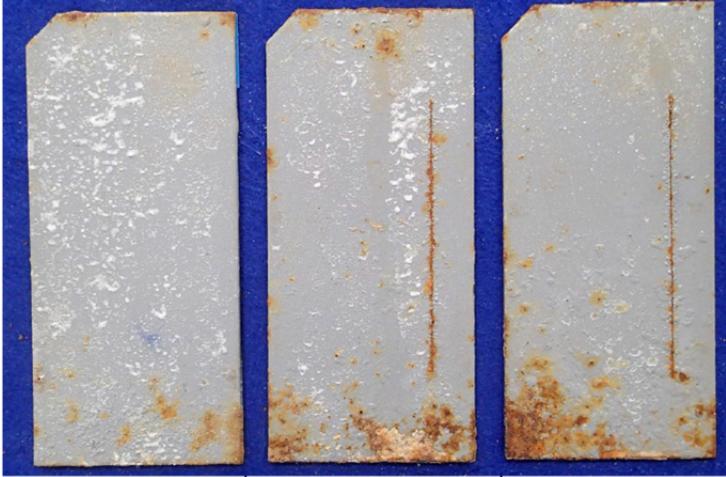
試験体名	4B-1	4B-2	4B-3
塗料	シリコンアクリル樹脂塗料		
素地条件	ケレン		
外観 (180サイクル)			
試験体名	4C-1	4C-2	4C-3
塗料	シリコンアクリル樹脂塗料		
素地条件	さび進行度①		
外観 (180サイクル)			
試験体名	4D-1	4D-2	4D-3
塗料	シリコンアクリル樹脂塗料		
素地条件	さび進行度②		
外観 (180サイクル)			

表 3-12 180 サイクル経過時の外観 (6)

試験体名	5C-1	5C-2	5C-3
塗料	2液性エポキシ樹脂防錆剤		
素地条件	さび進行度①		
外観 (180サイクル)			
試験体名	5D-1	5D-2	5D-3
塗料	2液性エポキシ樹脂防錆剤		
素地条件	さび進行度②		
外観 (180サイクル)			

シリコンアクリル樹脂塗料の鋼材面（4A-1,2）とケレン（4B-1~3）において、鋼材面の試験体のさびがケレンの試験体より進行して想定と食い違う結果になったことを受け、4A-1 と同仕様の試験体 3 体を作成し、再度 180 サイクルの促進試験を実施した。

表 3-13 に再試験の試験体の促進試験完了後の画像を示す。再試験の試験体は 180 サイクル経過時もほとんどさびは発生しなかった。

表 3-13 再試験 180 サイクル経過後の外観

試験体名	4A-3	4A-4	4A-5
塗料	シリコンアクリル樹脂塗料		
素地条件	鋼材面		
外観 (180サイクル)			

表 3-14 に 4A-1, 4B-1 および 4A-3（4A-1 と同仕様の追加試験体）の促進試験開始前の塗膜表面を示す。4A-1 は表面に気泡によるものと見られる凹凸が多く、4B-1 と追加試験体は凹凸が少ない。この凹凸は吹付け時のノズルとの距離が短いことや吹付け量が多すぎることによるものと考えられ、これによって塗膜の耐久性が低下したと考えられる。

表 3-14 促進試験開始前の塗膜表面

4A-1	4B-1	4A-3(追加分)
		

図 3-13 に 180 サイクル経過時のカット部に発生したさび幅を示す。塗料別では 2 液性変性エポキシ樹脂塗料のさび幅が 5mm 以下と最も狭く、次いで 1 液性変性エポキシ樹脂塗料と 2 液性エポキシ樹脂防錆剤が 5～10mm 程度、シリコンアクリル樹脂塗料は特にさび進行度①、②でのさび幅が極端に広い結果であった。カット部の様に局部的に塗膜に傷がついた場合は 2 液性変性エポキシ樹脂塗料が最も耐久性が高いと考えられる。

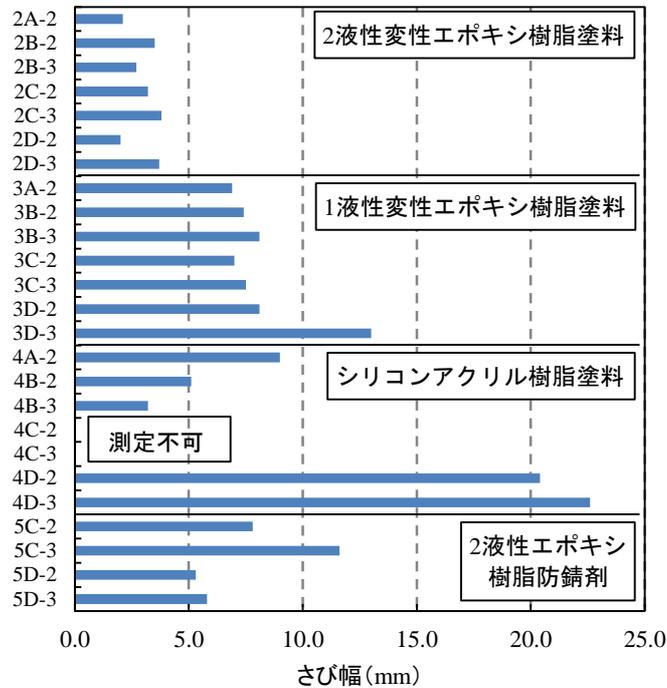


図 3-13 180 サイクル経過時のカット部のさび幅

3-3-2. 重量測定結果

図 3-14 に試験体の重量測定結果を示す。結果はカットの無い試験体のみを示している。無塗装ではさびが著しく進行するため、顕著に重量が増加している。その他の試験体についてはさびの進行が遅いため、重量の変化はほとんどない。

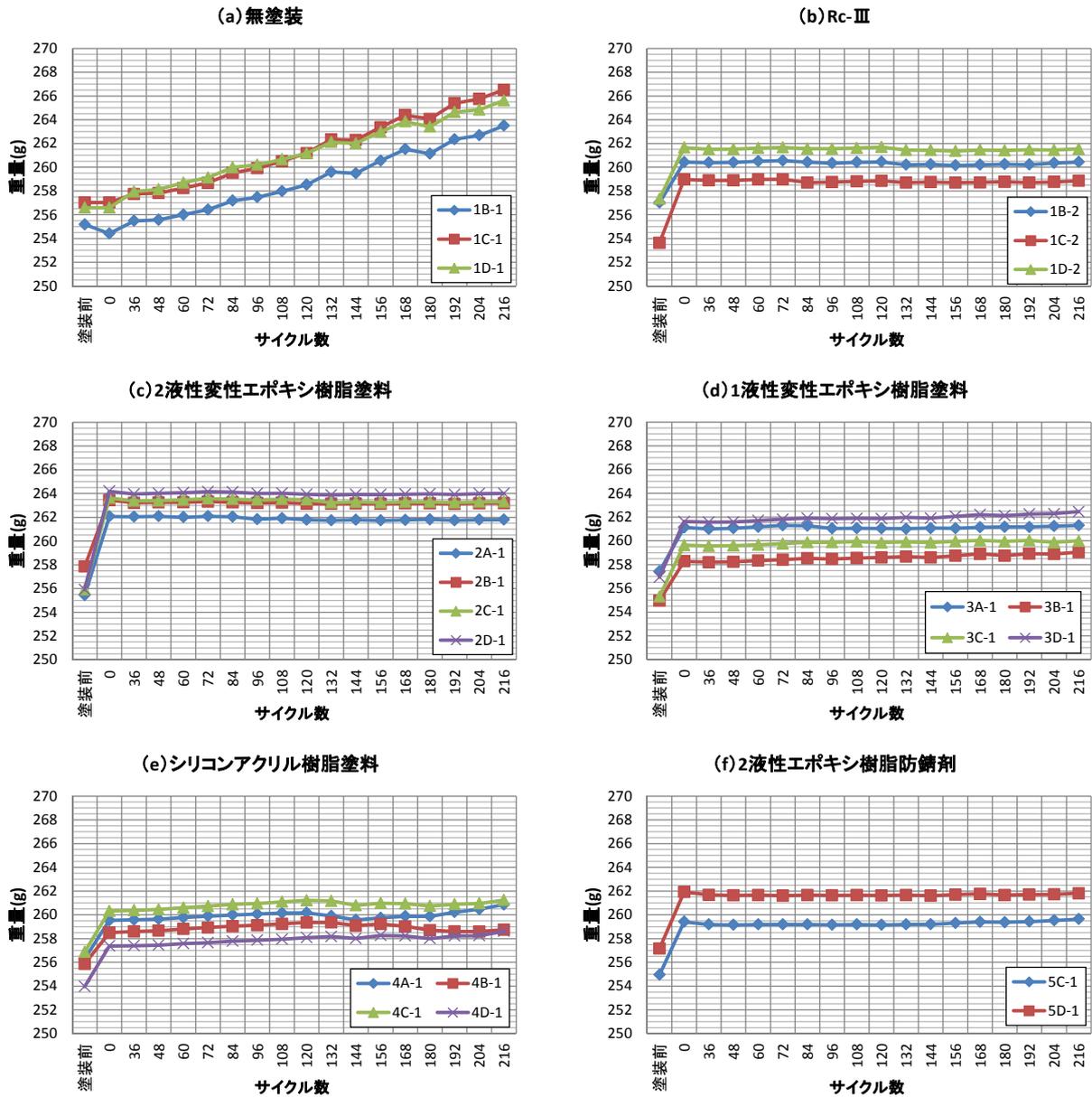


図 3-14 試験体重量測定結果

図 3-15 に試験前（サイクル 0）の重量に対する重量の変化率を示す。無塗装の試験体は最大 4% 程度増加するが、その他の試験体では 1% 未満の増減であった。外観でほとんどさびが確認出来ない (b) Rc-III, (c) 2 液性変性エポキシ樹脂塗料, (f) 2 液性エポキシ樹脂防錆剤については 0.1% 程度の増減を示しており、これについては計測誤差の範囲と考えられる。

さびの発生が確認できる (d) 1 液性変性エポキシ樹脂塗料と (e) シリコンアクリル樹脂塗料については重量が増加傾向にあり、表面のさびとの相関が確認できた。

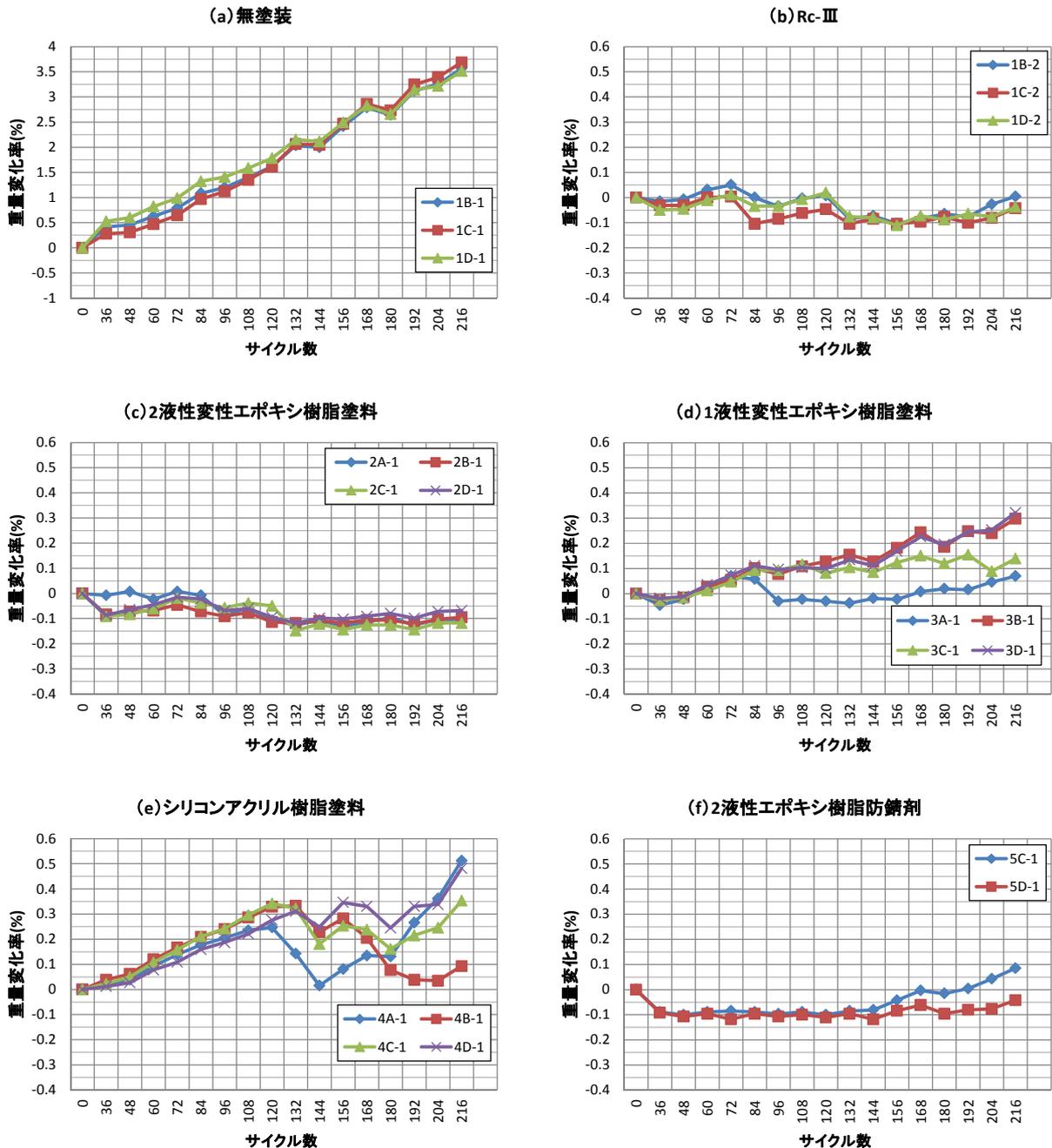


図 3-15 試験体の重量変化率

3-3-3. 膜厚測定結果

図 3-16 に各試験体の膜厚測定結果を示す。重量測定結果と同様にカットの無い試験体のみを示している。無塗装の試験体では塗装後（0 サイクル）から膜厚が増加している。

これは今回使用した電磁式膜厚計がさびを含めた母材までの厚さを計測することによるものである。その他の試験体については測定値にばらつきがあるものの、概ね横ばいの傾向を示した。特に (b) Rc-III, (c) 2 液性変性エポキシ樹脂塗料についてばらつきも少なくほぼ一定の値を示した。

この計測ではさび厚の増加と塗膜厚の変化の両方を計測すること、さらに 100 μm 単位の計測値のばらつきがあるため、さびの進行と明確な相関関係を得ることは難しいと考える。

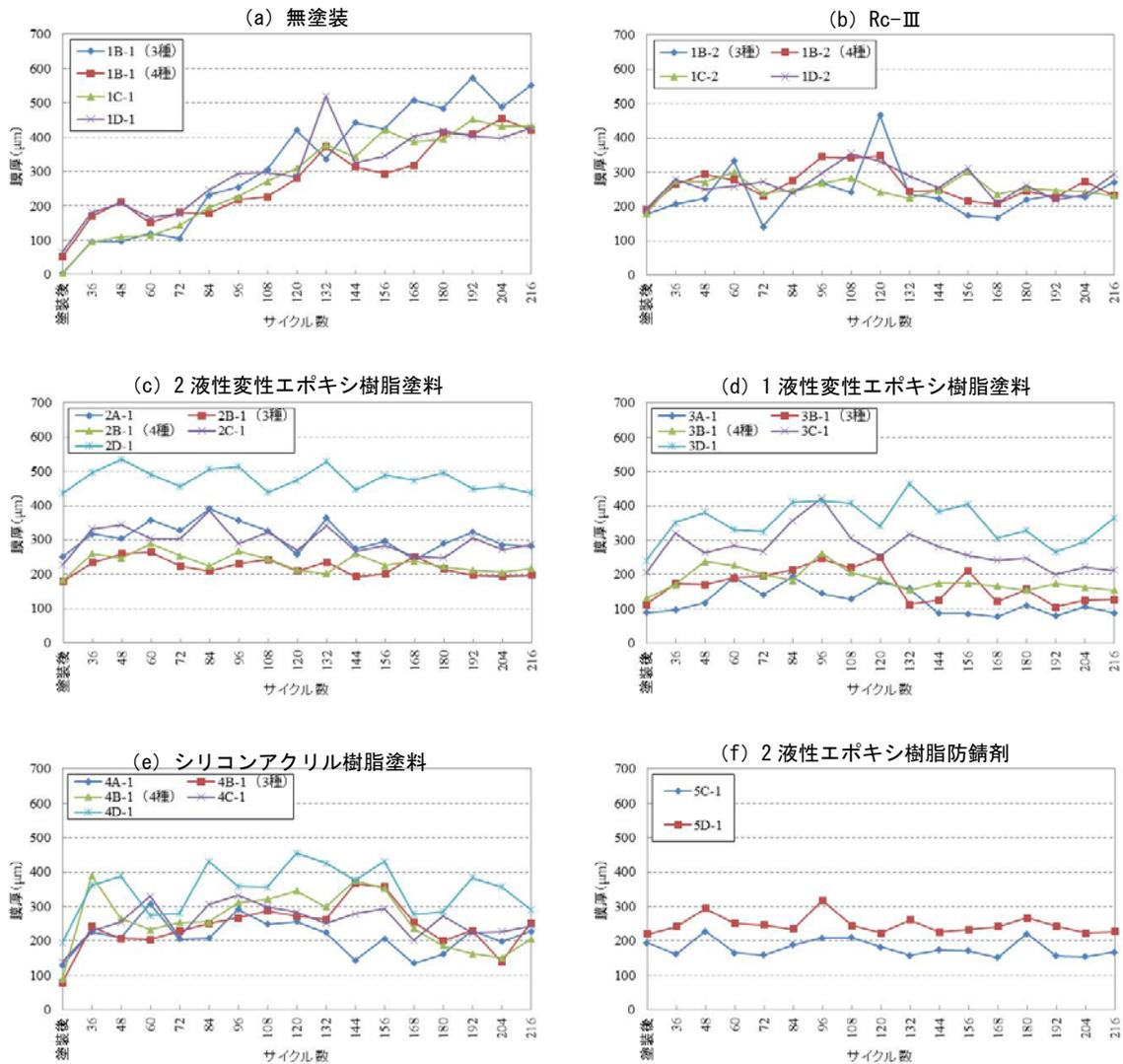


図 3-16 膜厚測定結果

3-3-4. 付着力測定結果

(1) 付着力の評価基準

付着力測定結果の評価は鋼橋塗膜調査マニュアル⁶⁾を参考に、評価点2まで許容するものとし、下限値を 1.0N/mm^2 とした(表3-15)。

表 3-15 引張付着力の評価基準の一例

評価点 (RN)	引張付着力 (N/mm^2)
3	$2.0 \leq X$
2	$1.0 \leq X < 2.0$
1	$0.0 < X < 1.0$
0	$X=0$

(2) 付着力測定結果

表 3-16 に付着力測定結果を示す。「測定不可」はドーリー外周の塗膜除去時にドーリーが外れてしまったものを示し、塗膜と鋼板の付着が不十分であったと考えられる。

2液性変性エポキシ樹脂塗料は、促進試験前の測定で許容値を下回るケースがあったが、概ね1.0N/mm²に近い値を示し、促進試験後の測定では全て許容値以上の値を示した。

1液性変性エポキシ樹脂塗料は、許容値を下回るケースが多く、特にさび進行度②については全ての測定で許容値を下回った。

シリコンアクリル樹脂塗料は、試験前はさび進行度②以外は良好な結果を示したが、試験後はさびの進行に伴い付着力が低下し、さび進行度①、②の全てで許容値を下回った。

2液性エポキシ樹脂防錆剤は試験前のさび進行度②のみ許容値を下回ったが、その他のケースでは良好な結果を示した。

表 3-16 付着力測定結果

塗料	素地	付着力 (N/mm ²)		
		試験前	試験後	
			一般部	カット部
Rc-III	3種ケレン	2.1	0.8	-
	4種ケレン	測定不可	1.5	-
	さび進行度①	1.9	1.0	-
	さび進行度②	1.4	1.0	-
2液性 変性エポキシ 樹脂塗料	鋼材面	2.3	2.8	2.2
	3種ケレン	1.0	1.9	2.5
			2.4	2.6
	4種ケレン	0.8	2.4	2.1
	さび進行度①	2.1	1.1	1.1
			1.0	1.0
	さび進行度②	0.9	2.5	1.8
2.9			3.0	
1液性 変性エポキシ 樹脂塗料	鋼材面	1.1	3.5	4.0
	3種ケレン	0.4	1.8	2.0
			1.2	1.7
	4種ケレン	1.0	1.0	1.2
	さび進行度①	1.3	0.9	1.1
			1.0	0.9
	さび進行度②	測定不可	0.7	0.7
0.5			0.7	
シリコン アクリル 樹脂塗料	鋼材面	3.1	0.4	測定不可
	3種ケレン	1.5	0.7	1.4
			1.0	1.0
	4種ケレン	1.4	1.0	1.2
	さび進行度①	3.8	測定不可	0.8
			0.7	0.4
さび進行度②	0.7	0.4	0.5	
		測定不可	0.4	
2液性 エポキシ樹脂 防錆剤	鋼材面	2.0	-	-
	3種ケレン	1.3	-	-
	4種ケレン	2.5	-	-
	さび進行度①	1.9	2.5	1.6
			1.6	3.0
	さび進行度②	0.5	2.9	2.5
			1.8	3.5

3-3-5. 画像解析結果

表 3-17 に画像解析によって算出した塗膜表面のさび面積率を示す。

概ね外観目視の結果と同様の傾向を示し、180 サイクル経過時の結果で 2 液性変性エポキシ樹脂塗料では最大 0.2% (2D-3), 1 液性変性エポキシ樹脂塗料で最大 2.3% (3C-2) となっており、鋼道路橋防食便覧の評価点 3 以下となることが確認できた。

5C, 5D については塗料が透明なため、母材のさびが進行しなければ塗装前と同様の値を示すが、5C-2 の 0~144 サイクルの様に塗装前の結果と異なる結果を示すケースもあった。目視では大きな変化は確認できないため、塗膜表面の光の反射や付着物の影響による計測誤差と考えられる。

表 3-17 画像解析によるさび面積率 (%)

年	サイクル	No.	2液性 変性エポキシ 樹脂塗料			1液性 変性エポキシ 樹脂塗料			シリコンアクリル 樹脂塗料			2液性 エポキシ樹脂 防錆剤	
			2B	2C	2D	3B	3C	3D	4B	4C	4D	5C	5D
塗装前		1		26.1	85.3		27.1	69.3		25.2	77.4	15.3	57.7
		2		15.5	68.5		48.9	63.7		27.0	78.7	38.5	69.2
		3		17.4	63.4		37.0	78.9		19.0	71.7	27.7	58.3
0	0	1		0.0			0.0					11.0	
		2		0.0			0.0					18.1	
		3		0.0			0.0					21.9	
1	36	1		0.0			0.0					12.0	
		2		0.0			0.0					20.7	
		3		0.0			0.0					24.6	
2	72	1		0.0			0.1					13.8	
		2		0.0			0.1					21.2	
		3		0.0			0.0					24.9	
3	108	1		0.0			0.1					14.2	
		2		0.0			0.1					29.4	
		3		0.0			0.0					27.0	
4	144	1		0.0			0.1					15.2	
		2		0.0			0.3					30.5	
		3		0.0			0.0					27.9	
5	180	1(3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.8	0.0	20.0	4.4	17.1	70.9
		2(3)	0.0	0.0	0.1	0.0	2.3	0.2	0.0	58.8	45.3	31.4	73.3
		3(3)	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	83.8	38.9	28.0	49.7
		1(4)	0.0				0.5			0.5			
		2(4)	0.0				0.1			0.3			
		3(4)	0.0				0.2			0.9			
6	216	1		0.0			0.2					17.1	
		2		0.0			2.9					33.3	
		3		0.0			0.3					28.6	

※ () 内の数字はケレン種類を示す。

※着色部は目視でさびが確認できないため、画像解析を省略した。

表 3-18～表 3-20 に 2 液性エポキシ樹脂防錆剤を除く各塗料とさび進行度①の組合せでの画像解析結果を示す。画像解析後のさび面積算出画像は精度よくさび発生範囲をとらえており、表面の凹凸による陰影や、付着物に影響されていないことが確認できた。

表 3-18 画像解析結果（2 液性変性エポキシ樹脂塗料 さび進行度①）

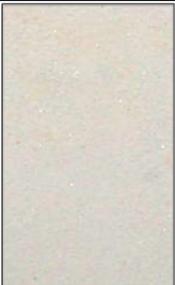
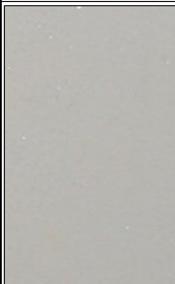
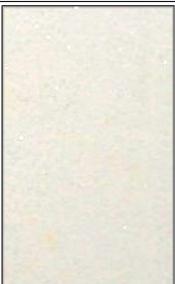
サイクル数 180	原画	明度調整	算出	さび面積率 (%)
2C-1			—	0.0
2C-2			—	0.0
2C-3			—	0.0

表 3-19 画像解析結果 (1 液性変性エポキシ樹脂塗料 さび進行度①)

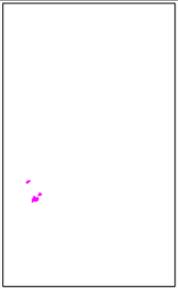
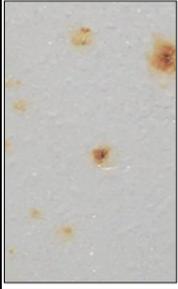
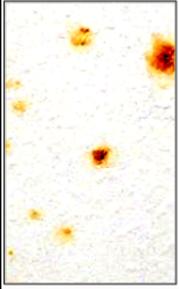
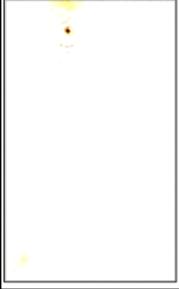
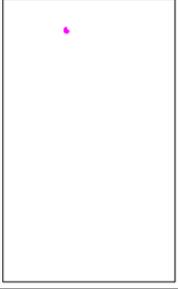
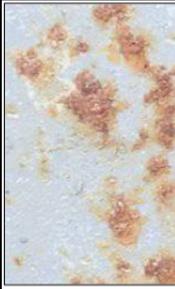
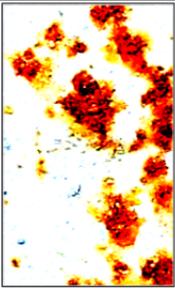
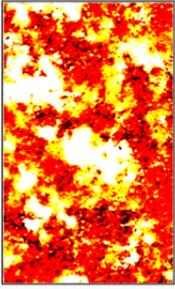
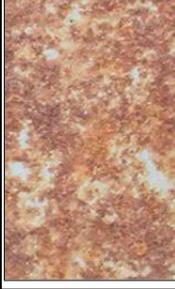
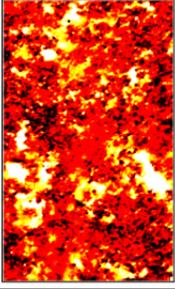
サイクル数 180	原画	明度調整	算出	さび面積率 (%)
3C-1				0.1
3C-2				2.3
3C-3				0.1

表 3-20 画像解析結果（シリコンアクリル樹脂塗料 さび進行度①）

サイクル数 180	原画	明度調整	算出	さび面積率 (%)
4C-1				20.0
4C-2				58.8
4C-3				83.8

3-3-6. 3次元形状計測結果

(1) 塗膜剥離結果

試験終了後の塗膜を図 3-17 に示すバイオハクリ X-WB を用いて除去した。



図 3-17 塗膜剥離剤および塗布後の試験体

図 3-18 に塗布後 90 時間後の試験体を示す。鋼材面に塗布した試験体は全面で塗膜が浮き上がっていた。一方、剥離剤が塗膜に十分浸透していない試験体もあり、それらについてはあまり膨潤反応が進んでいなかった。

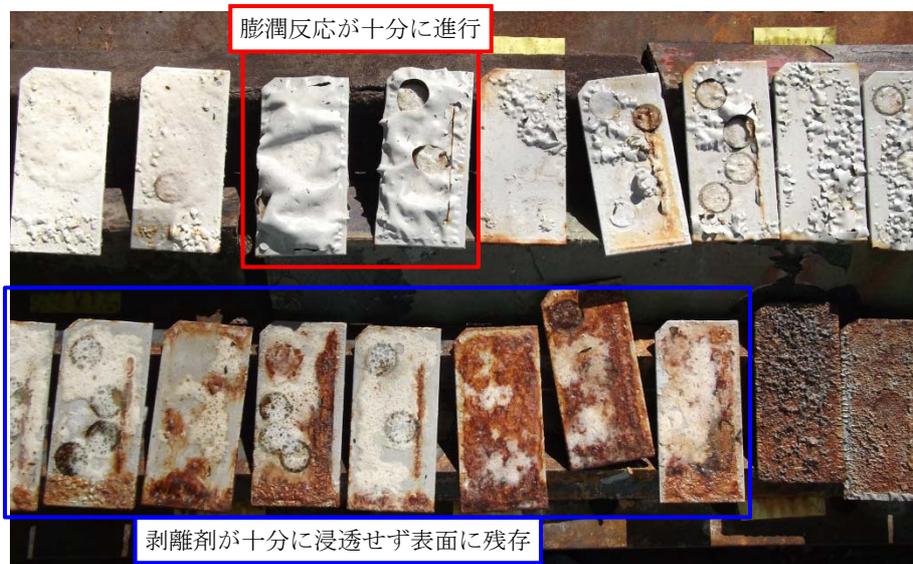


図 3-18 剥離剤塗布後 90 時間経過時の試験体

剥離剤塗布後 90 時間経過時点で、スクレーパーによる塗膜の除去を行った。作業後の状態を図 3-19 に示す。素地が鋼材面の試験体（図中 (a), (b)）は剥離が容易でほぼ全ての塗膜が除去できた。(c) では、試験体の上半分（3 種ケレン範囲）では効果が高かったが、下半分（4 種ケレン）ではあまり効果が出なかった。また、2B-3 の下半分の様に塗膜が薄く残存し、スクレーパーでの剥離が困難なものもあった。(d) は塗膜剥離と同時に部分的にさびまで削り落としてしまったので、試験完了時の内部さび状態を維持できなかった。

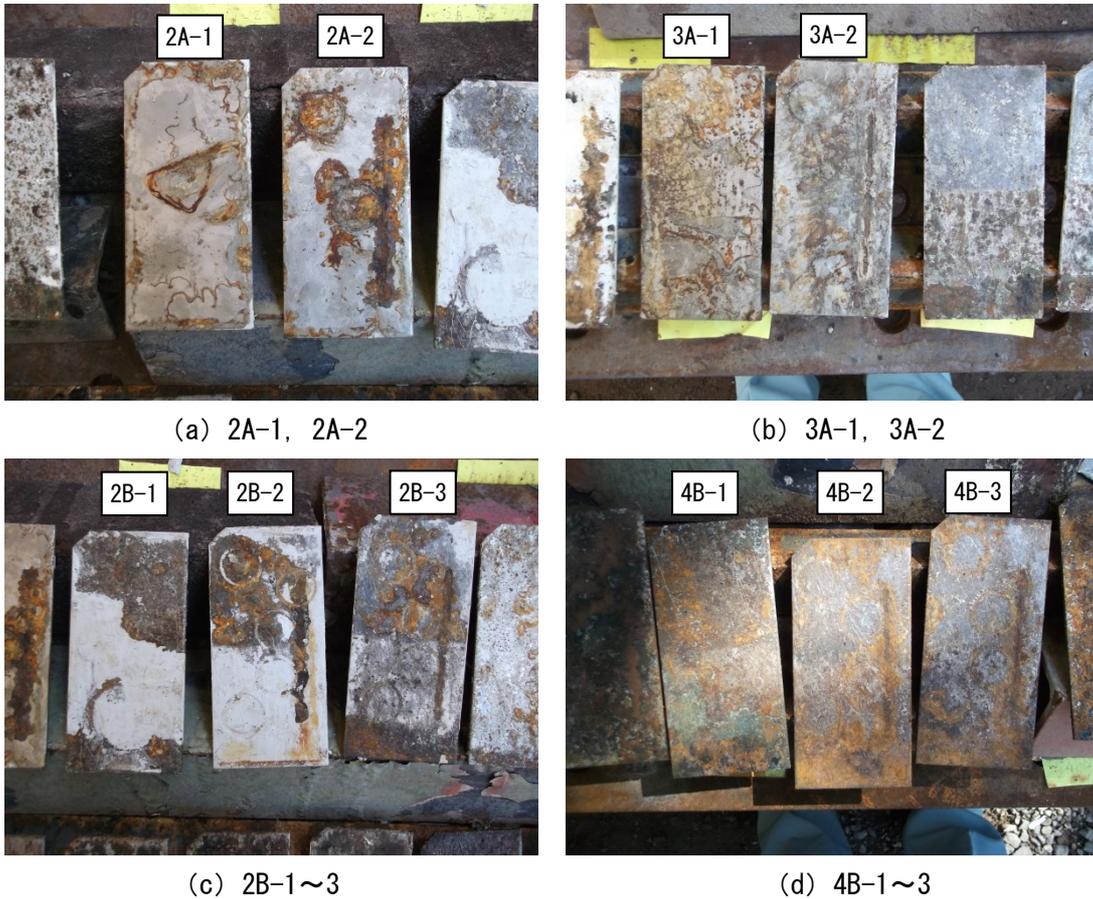


図 3-19 塗膜剥離（1 回目）実施後

上記工程を3回繰り返し、塗膜剥離を完了した。剥離剤による膨潤効果が小さかった試験体では、塗膜除去時にさびも削り取ってしまったため、当初期待していた塗膜除去後の内部さび状態を確認することはできなかった。

塗膜剥離作業完了後、試験体をクエン酸水素二アンモニウム 10%溶液に24時間以上浸漬し、ブラシでさびを除去した(図3-20)。

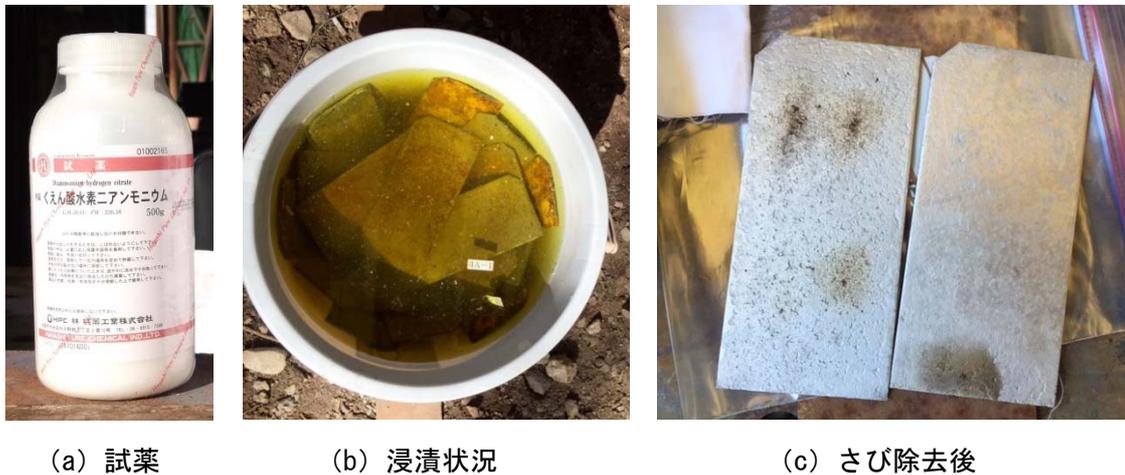


図3-20 試薬によるさびの除去

(2) 3次元形状計測結果

(1)で塗膜、さびを除去した試験体を用いて3次元形状計測を実施した。計測結果を基に①さびによる減肉深さ、②減肉範囲の面積率を算出した。それぞれの算出方法は以下のとおり。

①さびによる減肉深さ

増し塗りにより試験条件の異なる試験体外周部、試験体の反りによる影響の大きい範囲を除外して対象範囲を設定し、形状計測により得られた高さデータから、対象範囲内の最大値と最小値の差を試験体の減肉深さとした。(図3-21)

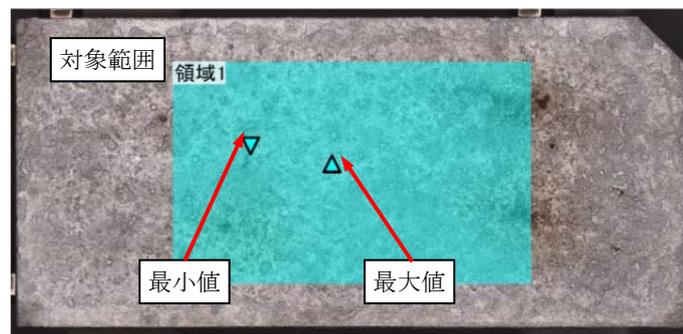


図3-21 減肉深さの算出

②減肉範囲の面積率

①と同様に対象範囲を設定し、凹部と判断できる高さ以下の範囲の面積率（凹部面積／対象範囲面積）を算出する（図 3-22）。

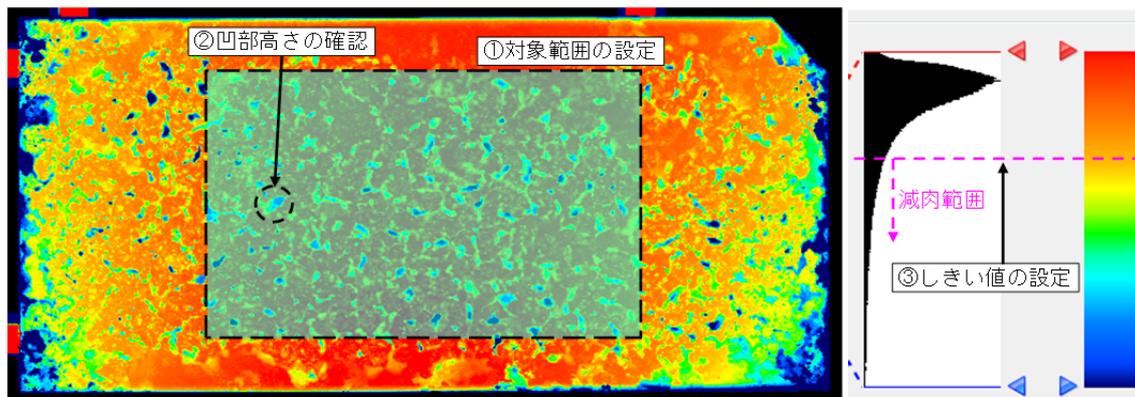


図 3-22 減肉面積率の算出

表 3-21、図 3-23 に各試験体の最大減肉深さおよび減肉面積率を示す。最大減肉厚は無塗装（a）とシリコンアクリル樹脂塗料（e）で 500 μm 以上の値を示した。2 液性変性エポキシ樹脂塗料（c）、2 液性エポキシ樹脂防錆剤（f）は 200 μm 程度、1 液性変性エポキシ樹脂塗料（d）は 200 μm ～400 μm となり、外観目視の結果との相関が確認できた。

表 3-21 最大減肉厚および減肉面積率

試験体	塗料	素地条件	最大減肉厚 (μm)	減肉面積率 (%)
1B-1	(a)	3種ケレン	656	59.8
		4種ケレン	830	54.0
1C-1	(a)	さび進行度①	830	53.1
1D-1	(a)	さび進行度②	816	52.3
2A-1	(c)	鋼材面	74	1.7
2B-1	(c)	3種ケレン	141	28.3
		4種ケレン	139	20.4
2C-1	(c)	さび進行度①	116	1.1
2D-1	(c)	さび進行度②	200	23.5
3A-1	(d)	鋼材面	230	0.8
3B-1	(d)	3種ケレン	130	21.7
		4種ケレン	340	37.5
3C-1	(d)	さび進行度①	299	3.8
3D-1	(d)	さび進行度②	337	23.0
4A-1	(e)	鋼材面	834	15.5
4B-1	(e)	3種ケレン	468	8.5
		4種ケレン	515	16.7
4C-1	(e)	さび進行度①	813	26.8
4D-1	(e)	さび進行度②	620	30.4
5C-1	(f)	さび進行度①	123	45.5
5D-1	(f)	さび進行度②	269	21.1

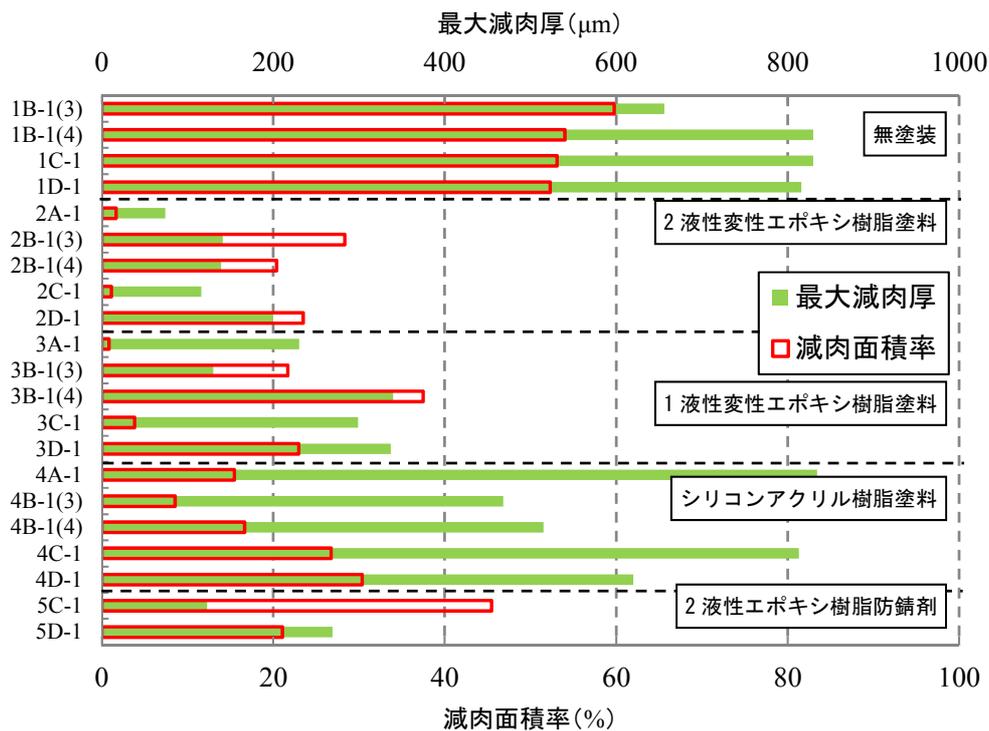


図 3-23 最大減肉厚および減肉面積率

3次元形状計測は促進試験完了後（396サイクル=11年相当）のみに実施しており，促進試験実施前の状態との比較ができないが，2液性変性エポキシ樹脂塗料を用いた試験体は396サイクル経過後もさびがほとんど発生していないため，この結果を試験前の状態と考える。

上記仮定のもと，さび進行度①は最大減肉厚 100μm 程度，減肉面積率 5%以下，さび進行度②（ケレンも含む）は最大減肉厚 150μm～200μm，減肉面積率 20%程度を初期状態とする。

1液性変性エポキシ樹脂塗料は鋼材面（3B-1）の減肉厚が大きくなっており，塗膜表面にさびは発生していないものの内部でさびが進行している。3種ケレン（3B-1(3)）ではあまり変化が見られないが，4種ケレン（3B-1(4)）になると減肉厚，面積比とも増加し，さびが進行していることが確認できる。さび進行度①，②（3C-1，3D-1）ではいずれも最大減肉厚が増加しているが，減肉面積率はほぼ変化していない。内部のさびは板厚方向に進行しているが，面的な拡がりは大きくないと考えられる。

シリコンアクリル樹脂塗料は全ての素地条件で減肉厚が大きく増加しており塗膜表面と同様に内部のさびが進行していることが確認できる。しかし，さび進行度①（4C-1）以外の試験体の減肉面積率は増加しておらず，3C-1，3D-1と同様に板厚方向にさびが進行している。

2 液性エポキシ樹脂防錆剤はさび進行度① (5C-1) で特に減肉面積率が大きくなっているが、最大減肉厚は初期値から大きく変化していない。これは試験体の反りによって高さの低い部分が凹部と判定されたためと考えられる (図 3-24)。さび進行度② (5D-1) では初期値から大きな変化は無く、内部さびが進行していないものと考えられる。

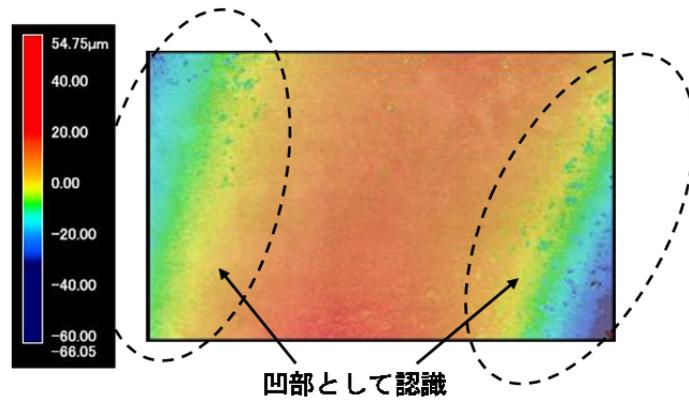


図 3-24 5D-1 形状計測結果

3-4. 考察

各試験体の測定値を表 3-22 に示す区分で色分けした結果を表 3-23 に示す。付着力の区分は鋼橋塗膜調査マニュアル、さび面積率の区分は鋼道路橋防食便覧によるものである。

表 3-22 測定結果の区分

項目	外観	カット部さび幅 (mm)	付着力 (N/mm ²)	さび面積率 (%)	最大減肉厚 (μm)
区分	◎:さびが発生していない	—	—	X=0.0	—
	○:わずかにさびが発生している	0.0≤X≤5.0	2.0≤X	0.0<X≤0.5	0≤X≤200
	△:さびが発生している	5.0<X≤10.0	1.0≤X<2.0	0.5<X≤8.0	200<X≤500
	×:広くさびが発生している	10.0<X	0≤X<1.0	8.0<X	500<X

表 3-23 測定結果一覧(1)

塗料	試験体	外観	カット部 さび幅 (mm)	付着力 (N/mm ²)	さび 面積率 (%)	最大 減肉厚 (μm)
無塗装	1B-1(3)	×	-	-	-	656
	1B-1(4)	×	-	-	-	830
	1C-1	×	-	-	-	830
	1D-1	×	-	-	-	816
Rc-III	1B-2(3)	◎	-	-	-	-
	1B-2(4)	◎	-	-	-	-
	1B-3(3)	◎	-	0.8	-	-
	1B-3(4)	◎	-	1.5	-	-
	1C-2	◎	-	-	-	-
	1C-3	◎	-	1.0	-	-
	1D-2	◎	-	-	-	-
	1D-3	◎	-	1.0	-	-
2液性 変性エポキシ 樹脂塗料	2A-1	◎	-	-	-	74
	2A-2	◎	2.1	2.8	-	-
	2B-1(3)	◎	-	-	0.0	141
	2B-1(4)	◎	-	-	0.0	139
	2B-2(3)	◎	3.5	1.9	0.0	-
	2B-2(4)	◎	-	2.4	0.0	-
	2B-3(3)	◎	2.7	2.4	0.0	-
	2B-3(4)	◎	-	2.6	0.0	-
	2C-1	◎	-	-	0.0	116
	2C-2	◎	3.2	1.1	0.0	-
	2C-3	◎	3.8	1.0	0.0	-
	2D-1	◎	-	-	0.0	200
	2D-2	◎	2	2.5	0.1	-
	2D-3	○	3.7	2.9	0.2	-

2液性変性エポキシ樹脂塗料は全ての素地条件において非常に良好な結果を示しており、本研究の対象とするさび進行度①よりさびが進行している場合の補修塗装に十分適用可能と考える。

表 3-23 測定結果一覧(2)

塗料	試験体	外観	カット部 さび幅 (mm)	付着力 (N/mm ²)	さび 面積率 (%)	最大 減肉厚 (μ m)
1液性 変性エポキシ 樹脂塗料	3A-1	◎	-	-	-	230
	3A-2	◎	6.9	3.5	-	-
	3B-1(3)	◎	-	-	0.0	130
	3B-1(4)	○	-	-	0.5	340
	3B-2(3)	◎	7.4	1.8	0.0	-
	3B-2(4)	○	-	1.0	0.1	-
	3B-3(3)	◎	8.1	1.2	0.1	-
	3B-3(4)	○	-	0.9	0.2	-
	3C-1	○	-	-	0.1	299
	3C-2	○	7	1.0	2.3	-
	3C-3	○	7.5	1.2	0.1	-
	3D-1	○	-	-	1.8	337
	3D-2	○	8.1	0.7	0.2	-
	3D-3	○	13	0.5	0.1	-
シリコン アクリル 樹脂塗料	4A-1	×	-	-	-	834
	4A-2	×	9	0.4	-	-
	4A-3	◎	-	-	-	-
	4A-4	◎	-	-	-	-
	4A-5	○	-	-	-	-
	4B-1(3)	◎	-	-	0.0	468
	4B-1(4)	○	-	-	0.5	515
	4B-2(3)	◎	5.1	0.7	0.0	-
	4B-2(4)	○	-	1.0	0.3	-
	4B-3(3)	◎	3.2	1.0	0.0	-
	4B-3(4)	○	-	測定不可	0.9	-
	4C-1	△	-	-	20.0	813
	4C-2	×	測定不可	0.7	58.8	-
	4C-3	×	測定不可	0.4	83.8	-
	4D-1	△	-	-	4.4	620
	4D-2	×	20.4	測定不可	45.3	-
4D-3	×	22.6	0.5	38.9	-	
2液性 エポキシ樹脂 防錆剤	5C-1	◎	-	-	17.1	123
	5C-2	◎	7.8	2.5	31.4	-
	5C-3	◎	11.6	1.6	28.0	-
	5D-1	◎	-	-	70.9	269
	5D-2	◎	5.3	2.9	73.3	-
	5D-3	◎	5.8	1.8	49.7	-

1液性変性エポキシ樹脂塗料は全ての素地条件でさびの発生がわずかであり良好な結果を示した。促進試験前のさびによる減肉厚が各素地条件で同程度と仮定した場合、1液性変性エポキシ樹脂塗料の減肉厚は2液性変性エポキシ樹脂塗料より増加しており、内部さびが進行していると考えられる。この内部さびの進行が付着力の低下に影響していると考えられ、さび進行度②では付着力が 1.0N/mm^2 を下回った。以上より、さび進行度①までの素地条件であれば補修塗装に適用可能と考える。

シリコンアクリル樹脂塗料の結果のうち、4A-1,2については前述の塗装不良の影響が大きいため、評価対象から除外する。鋼材面の追加試験体(4A-3~5)およびケレン試験体では表面のさびはわずかであり良好な結果であった。ケレン試験体における最大減肉厚と付着力の結果から、1液性変性エポキシ

樹脂塗料と同様に内部さびが進行しているものと推定できる。さび進行度①よりさびが進行している場合にはさびが著しく進行し、最大減肉厚も無塗装の試験体と同程度であるためさび進行度①を補修塗装の主対象とする場合は適用不可と考える。

2液性エポキシ樹脂防錆剤は塗膜の耐久性が高く、付着力も十分であった。カット部のさびが2液性変性エポキシ樹脂塗料と比較すると進行しやすいが補修塗装には十分適用可能と考える。ただし、この塗料は本来上塗りが必要であり、紫外線に対する耐久性が未知であるため適用にあたっては今後検証が必要と考える。一方、塗膜が透明であることが景観上の問題とならない場合、母材のさび状況が常時確認できることは維持管理上の利点でもある。

複合サイクル促進試験の結果から、各塗料の点検時塗装への適用性について以下のように評価する。

点検時塗装の実績がある区分 A の中でも、2液性変性エポキシ樹脂塗料は全ての素地条件で良好な結果を示し、点検時塗装に最も適していると考えられる。1液性変性エポキシ樹脂塗料はさび進行度①までの適用との条件付きで十分適用可能と評価する。また、さびの進行を抑制する機能を有する区分 D の2液性エポキシ樹脂防錆剤は、複合サイクル促進試験においては2液性変性エポキシ樹脂塗料と同等の評価ができるが、紫外線に対する耐候性が不明であることから紫外線の影響の小さい内桁への適用であれば十分可能と考えられる。

§ 4. 実橋による点検時塗装の施工性の確認

4-1. 目的

点検時塗装とは、『定期点検作業時に塗膜劣化部を応急塗装することで、劣化速度を抑制でき、鋼部材の長寿命化を図ることのできる塗装手法』として定義している。本研究では、さび発生面に対する点検時塗装の効果（耐久性）を4種類の塗料において「複合サイクル促進試験」にて効果を確認している。点検業務における適用性を判断するために、実橋における点検時塗装の施工性の確認を行う。

4-2. 対象橋梁の概要

4-2-1. 諸元

試験施工の対象とする橋梁の諸元を表 4-1 に、一般図を図 4-1 に、全景写真を図 4-2 に示す。

表 4-1 対象橋梁の諸元

橋種	単純 I 桁橋
径間数	2
橋長	17.0m
全幅員	3.6m
供用開始年	昭和 41 年
塗装履歴	塗替え記録なし
設置環境	太平洋の海岸線から 2.3km, 凍結防止剤散布なし

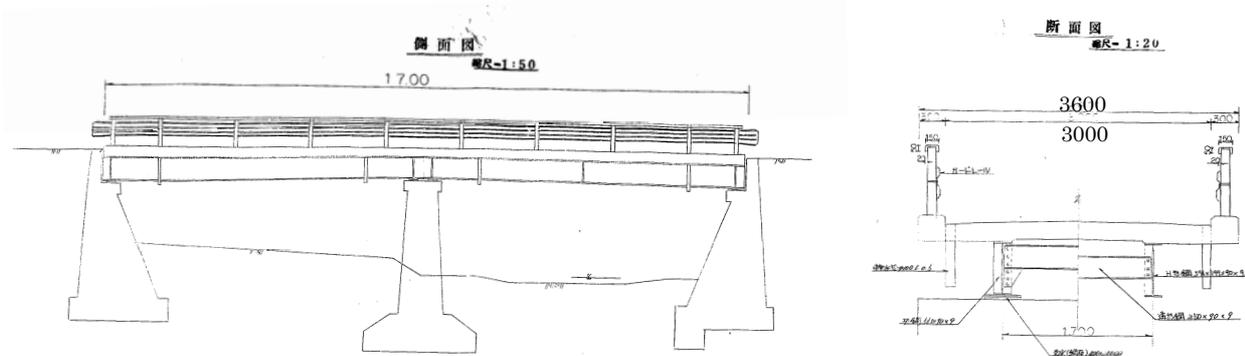


図 4-1 対象橋梁の一般図



図 4-2 対象橋梁の全景写真

4-2-2. 点検結果

対象橋梁は、2010年に目視点検を実施しており、主桁・横桁に経年劣化が原因と思われる損傷が発生しているが、損傷は表面的で進行は遅いと思われることから「状況に応じて補修を行う必要がある(対策区分 B)」と判定されている。G2桁に防食機能の劣化 e ランク、腐食 b ランクの損傷が発生している。上部工の損傷図を図 4-3 に、主桁の損傷写真を図 4-4 に示す。

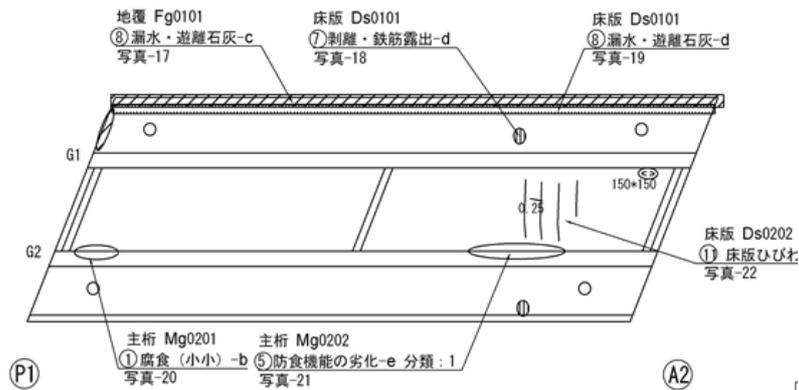


図 4-3 対象橋梁の損傷図



図 4-4 主桁 Mg0202 の損傷写真 (試験施工対象範囲)

4-3 試験施工概要

4-3-1. 使用材料

§3の「複合サイクル促進試験による点検時塗装の適用性検討」と同様に、以下の4種類の塗料を用いて試験塗装を行った。塗料の詳細については、3-2-3. 試験体の条件設定(2) 使用塗料を参照。

- ①2 液性変性エポキシ樹脂塗料
- ②1 液性変性エポキシ樹脂塗料
- ③シリコンアクリル樹脂塗料
- ④2 液性エポキシ樹脂防錆剤

4-3-2. 塗装範囲

塗装範囲は、Mg0202の主桁腹板の両側（高さ200mm×幅100mm）、下フランジ上下面（幅100mm）、他の塗料との離隔100mmとして実施した。試験施工範囲を図4-5に示す。

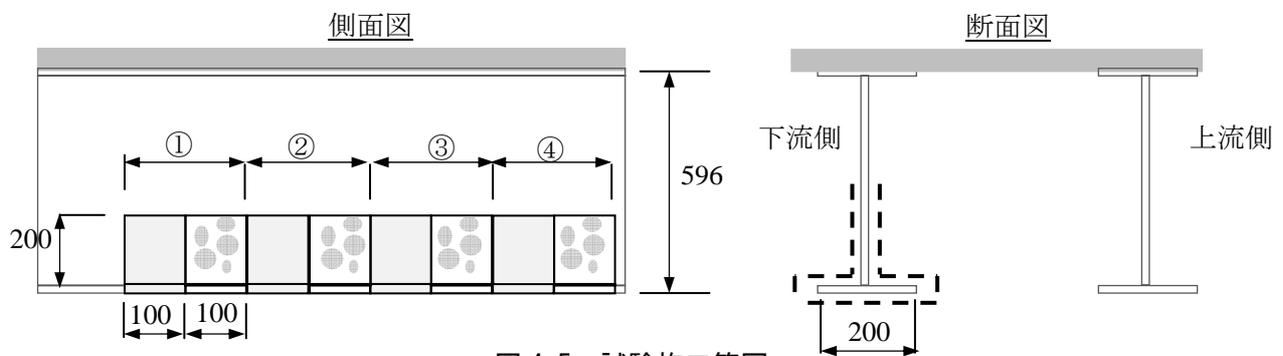


図4-5 試験施工範囲

4-3-3. 塗装方法

塗装は、高さ200mm×幅100mmの面的な吹付けと、さび発生位置に合わせての点的な吹付けの2通り実施した。面的な吹付けは、30cm程度の距離で、1往復1~2秒程度を3往復実施した。点的な吹付けは、さび発生位置に合わせて、1回1~2秒程度実施した。

4-3-4. 作業環境

試験施工の作業日および外部環境を表4-2に示す。

表4-2 試験施工時の外部環境

作業日時	2016年1月14日 13:00~15:00
天候	晴れ
気温	桁外側：9度，桁内側 11℃
湿度	桁外側：48%，桁内側 41%

4-3-5. 塗装状況

スプレー塗装作業は、以下の手順で実施した。

- ① 塗装対象範囲の埃および既存塗装のはがれ等を乾いた布で拭き取る
- ② 塗装対象範囲のマーキング
- ③ 塗装対象範囲の外側に塗料が付着しないように、マグネットシートを設置
- ④ 30cmほど離れた位置からスプレー吹付け

塗装範囲のマーキングした状態を図 4-6 に、マグネットシート設置状況を図 4-7 に、吹付け後の状態を図 4-8、4 種類の塗料の吹付け後の状態を図 4-9 に示す。



図 4-6 マーキング

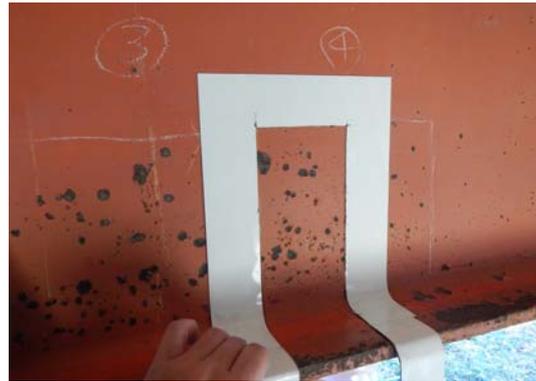


図 4-7 マグネットシート設置



図 4-8 吹付け後の状態



図 4-9 4種類の塗料の吹付け後の状態

4-4 実施後状況

4-4-1. 塗装面外観

施工後 4 日後, 3 週間後, 7 週間後に, 塗装面の状態を観測しており, 表面の塗装劣化, はがれ等は見受けられない. 外観写真を図 4-10 に示す.



図 4-10 施工後 4 日後, 3 週間後, 7 週間後の塗装状態

4-4-2. 膜厚

外観写真と同様に, 施工後 4 日後, 3 週間後, 7 週間後に, 塗膜厚を観測しており, さび面, 下地が塗装面共に, 急激な減少は見受けられない.

4-5 考察

4-5-1. 事前作業の注意点

点検時塗装における事前作業での注意点を以下に示す。

- ・ケレンは必要ないが、塗装が剥がれかけている箇所は乾いた布等で拭いて、ある程度フラットにしておく必要がある。
- ・下フランジ上面には砂塵、埃の堆積があり、布等での簡易な清掃は必要である。

4-5-2. 作業時の注意点

点検時塗装における塗料吹付け作業での注意点を以下に示す。

- ・吹付け距離が 20cm 未満で近すぎると吹付け後、塗料が垂れるため、30cm 程度の距離を確保する必要がある。
- ・桁外側で作業する際は、風の影響があるため、吹付け角度に注意する必要がある。
- ・3 往復塗装では、塗膜が厚すぎるので、2 往復程度が妥当である。
- ・また、吹付け量が多く、塗膜が厚すぎると、液だれ、空気だまりが発生してしまう。
- ・2 液性塗料については、可使時間が 3 日間程度であるので、点検計画を策定する際に、点検時塗装を配慮する必要がある。

4-5-3. 点検時塗装の施工性

点検時塗装の施工性について、スプレーの携行性、事前準備、作業性、可使時間、スプレーの 1 本当たりの塗装可能面積などの観点から評価を行った。各塗料における評価結果を表 4-3 に示す。

表 4-3 各塗料における施工性の評価

塗料種別	携行性	事前準備	作業性	可使時間	塗装可能面積 (1本当たり)	下面の密着性
①2液性変性エポキシ樹脂塗料	○	△	○	△	△	○
②1液性変性エポキシ樹脂塗料	○	○	○	○	○	○
③シリコンアクリル樹脂塗料	○	○	○	○	○	○
④2液性エポキシ樹脂防錆剤	○	△	○	△	△	○

- ・4 塗料とも、8×20cm 程度の大きさのスプレー缶であるため、点検時に携行する大きさとしては、特に支障はない。
- ・2 液性のスプレーにおいては、2 液を混合させるために、10 分ほど時間を要するが、点検結果の記録、写真撮影など他の作業と並行することにより、この程度の時間であれば問題ないと思われる。
- ・下地処理は簡易的な清掃程度で吹付け可能であるので、点検作業と併せて作業が可能である。
- ・ウェブ、下フランジ上面への吹付けは容易に行えるが、上フランジ下面、下フランジ下面については、下からの吹付けになるため、吹付け角度に注意する必要があるが、斜め 45 度くらいの吹付けで、付着可能であるので、どの部位に対しても比較的容易に施工可能である。
- ・2 液性のスプレーにおいては、2 液を混合させた後 3 日以内に使用しないと効果が期待出来ないため短期間で使い切る必要があるが、点検計画策定時に、このことを配慮することによって大きな問題にはならないと思われる。

- ・ 1 本当たりの塗装可能面積が小さいのは，塗料①の 2 液性エポキシ樹脂塗料であるが，1 本当たり 0.3m^2 程度の容量であるため，移動車両等に数本のストックを携行する必要がある。

施工性の考察結果より，4 種類の塗料において大差はないと思われる。点検時塗装の施工性だけでなく，経過観察を実施し耐久性を検証する必要がある。

§5 まとめと今後の課題

5-1 検討項目のまとめ

本研究では、塗装橋梁の長寿命化手法として、橋梁点検時に合わせて応急的な補修塗装を行う「点検時塗装」を提案し、「部分塗替え塗装」と併用することで塗装塗替えの新たなシナリオを評価した。その結果を以下に記す。

- ・ 「点検時塗装」と「部分塗替え塗装」を併用し、橋梁全体の劣化を平準化して、全面塗替え塗装を延伸することで、設計耐用年数 100 年のライフサイクルコストにおいて、全面塗替え塗装をベースとしたシナリオより経済的に優位であることを確認できた。
- ・ 「点検時塗装」の塗料性能の評価を複合サイクル促進試験で検証し、外観、カット部さび幅、付着力、さび発生面積、最大減肉厚で評価した。さび発生面積が 20～30%の軽微なさび面に直接塗布した場合においても、2 液性変性エポキシ樹脂塗料、1 液性変性エポキシ樹脂塗料、2 液性変性エポキシ樹脂防錆剤の 3 種類の塗料で点検間隔 5 年間に相当する耐久性を確認できた。さらに、2 液性変性エポキシ樹脂塗料、2 液性変性エポキシ樹脂防錆剤については、さび発生面積 60%以上の試験体に対しても 5 年間相当の耐久性が確認できた。
- ・ 「点検時塗装」の施工性を、塗料性能の評価を行った 4 種類のエアゾール式スプレー塗料を用いて、I 桁形式の実橋への塗布で確認した。全ての塗料が、吹付け方向による影響も少なく、点検時に合わせて施工ができることを確認できた。ただし、吹付け距離が近すぎると気泡を発生し、塗装品質を悪化させることから、吹付け距離は使用する塗料に応じて留意する必要がある。
- ・ 簡易の入力項目で、「点検時塗装」、「部分塗替え塗装」、「全面塗替え塗装」を自由に組み合わせたシナリオのライフサイクルコストを比較できるソフトを作成できた。これを利用してもらうことで、「点検時塗装」を含めた長寿命化シナリオの立案を支援できる。

5-2 今後の課題

- (1) 暴露試験による点検時塗装の耐久性確認
紫外線など実橋における外部からの様々な劣化要因に対する耐久性を、実橋塗布や暴露試験で確認することが課題となる。
- (2) 点検時塗装塗り重ね部の外部と内部劣化の確認
点検時塗装部は、点検時にさび発生面に周期的に塗り重ねるため、点検時塗装部を塗り重ねることが想定される。その際の塗装外部及び内部の劣化進行を確認することが課題となる。
- (3) 既存塗装橋梁の塗装系に対する点検時塗装の性能確認
本研究では、軽微に腐食しているさび面に対する検証を行ったが、一般塗装系や重防食系の塗膜劣化面や塗装系により異なる腐食傾向に対する耐力等を確認することで、より効率的な予防保全方法としての活用が期待できる。

第2章の参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，丸善，2014
- 2) 日本鋼構造協会：鋼橋塗膜の評価技術，JSSC テクニカルレポート No145，1995.9
- 3) 田中伸二：本州四国連絡高速道路における海峡部長大橋の保全への取り組み，建設マネジメント技術，2010.1
- 4) 井口 祐樹，杉本 義博：点検時措置による構造物の耐久性向上，平成 23 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集，2012.7
- 5) 国土交通省：鋼道路橋の部分塗替え塗装要領（案），2009.9
- 6) 国土交通省：道路橋定期点検業務積算資料（暫定版），2014.8
- 7) JIS K-5600-7-9，塗料一般試験方法 - 第7部 塗膜の長期耐久性，2006
- 8) 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
- 9) 日本鋼構造協会：鋼橋塗膜調査マニュアル，JSSC テクニカルレポート Vol.25，1993.9

第3章 水じまい対策による長寿命化手法の提案

第3章 水じまい対策による長寿命化手法の提案 目次

§ 1. はじめに	3-1
1-1. 研究背景	3-1
1-2. 提案コンセプト	3-2
1-3. 検討内容	3-3
1-3-1. 水じまい対策の検討箇所	3-3
1-3-2. 検討の流れ	3-4
1-4. 対象橋梁について	3-5
§ 2. 橋面排水構造の提案	3-6
2-1. 検討概要	3-6
2-1-1. 橋面排水構造の提案内容	3-6
2-1-2. 提案手法の採用に向けた検討	3-6
2-2. 構造提案	3-7
2-2-1. 排水ます撤去による橋面排水の簡易化の提案	3-7
2-2-2. 鋼製排水溝による橋面排水手法の提案	3-9
2-3. 提案手法の適用に向けた検討	3-13
2-3-1. 構造選定フロー図の提案	3-13
2-3-2. 排水計算による適用可能条件の検討	3-16
2-3-3. ライフサイクルコストの比較検討	3-21
2-4. 橋面排水構造まとめ	3-35
2-4-1. 提案内容まとめ	3-35
2-4-2. 提案手法の適用に向けた検討	3-35
§ 3. 桁端部水じまい対策の提案	3-37
3-1. 検討概要	3-37
3-1-1. 桁端部水じまい対策の提案内容	3-37
3-1-2. 提案手法の採用に向けた検討	3-37
3-2. 構造提案	3-38
3-2-1. 床版延長による非排水構造案	3-38
3-2-2. 排水樋による排水構造化	3-39
3-2-3. 下部工排水構造	3-40
3-3. 提案手法の適用に向けた検討	3-41
3-3-1. 構造選定フロー図の提案	3-41
3-3-2. モデル橋梁によるライフサイクルコストの比較検討	3-44
3-4. 桁端部水じまい対策のまとめ	3-57
3-4-1. 提案内容まとめ	3-57
3-4-2. 提案手法の適用に向けた検討	3-57
§ 4. まとめと今後の課題	3-58
4-1. 水じまい対策提案のまとめ	3-58
4-2. 今後の課題	3-59
4-2-1. 橋面排水構造の課題	3-59
4-2-2. 桁端部水じまい対策の課題	3-59
第3章の参考文献	3-60

§1. はじめに

1-1. 研究背景

鋼道路橋における主要な劣化現象として、鋼部材の腐食が挙げられる。鋼部材の腐食反応には水の接触が必要であり、一般的に塗装を行う事で水を遮断する対処を行っているが、それでも鋼部材表面が湿潤な状態が長く続くと塗装の劣化が速まり、鋼部材の腐食へと進展する¹⁾。これまで、特に地方自治体等においては橋梁の点検、維持管理が十分に実施されていなかった事から、桁端部や排水装置からの漏水が放置され局所的な腐食が発生し、その対策として主桁の当て板補修や、部分的な部材交換などが行われてきた。

鋼部材の腐食対策である塗装は、腐食事例が多く確認された従来のものと比べ向上しているものの、湿潤状態が劣化進行を速めるという点は変わらないため、鋼部材の湿潤状態を防ぐ対策（水じまい対策）は橋梁の長寿命化を進める上で重要な点であると言える。

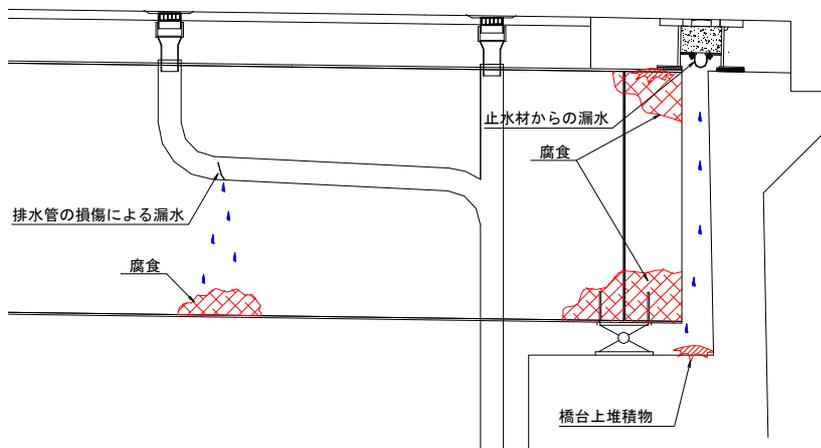


図 1-1 水じまい対策不備の事例



a) 桁端部の腐食事例



(注 写真内の排水管は補修済)

b) 排水装置不備による腐食事例

図 1-2 水じまい不備による鋼橋の損傷

現在は、多くの自治体において長寿命化修繕計画の策定が進められ、長寿命化対策の取り組みが始まっている。ただし、地方自治体においてはそれら維持管理に費やす予算や人員が不足しており、対策実施のための問題点となっている。

1-2. 提案コンセプト

長寿命化修繕計画における排水装置などの水じまい対策については、現在使用されている部材と同等の部材を定期的に補修・交換を行うものとして計画されている。

しかし、例えば現在使用されている伸縮装置部の止水材などは、橋梁点検結果により地域によっては平均6年程度（早いものでは2年程度）で漏水が確認されている²⁾。

このようなケースにおいて定期的に交換する事はコスト及び作業人員がかかるため、十分な対策が行えない可能性がある。

そこで本研究では、「リニューアル型維持管理手法」による水じまい対策を提案し、頻繁に発生する維持管理作業を低減出来ないか検討する事とした。

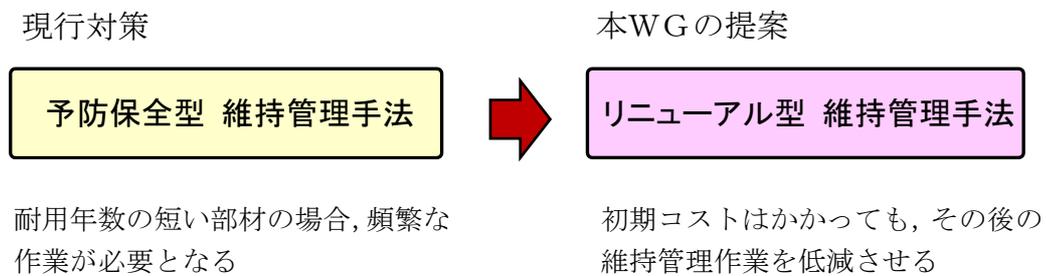


図 1-3 提案コンセプト

1-3. 検討内容

1-3-1. 水じまい対策の検討箇所

検討対象箇所は、橋面に降った雨水を橋梁外に排出させるという基本的な機能、及び鋼桁に特に影響を与える部材という点に着目し、以下の2点を検討対象とした。

①排水装置に対する構造提案 【橋面排水構造の提案】

橋梁の排水計画において桁下へ直接落とす事（垂れ流し）が出来ない場合、排水ますに入った雨水を横引き排水管にて導水し桁端部において流末処理する方法がとられる。この横引き排水管は主桁側面に沿って配置されている事から、補修作業時は桁下足場の設置などに手間がかかる。この問題に対して、橋面上で排水する構造に変更する橋面排水構造の提案を行った。

②桁端部の伸縮装置止水材に代わる構造提案 【桁端部水じまい対策の提案】

現行の設計基準においては、伸縮装置部に止水材を設置し桁遊間からの漏水を防ぐ事を原則としている。この止水材は使用年数が10年未満で損傷する事が多く、桁端部水じまいを健全に保つためには頻繁な取替えを行う必要がある。

この問題に対して、現場での維持管理作業の低減が可能な構造提案を行った。

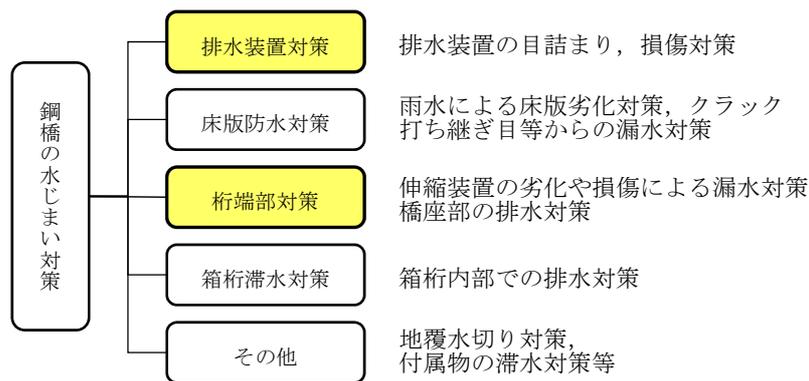


図 1-4 鋼橋の主な水じまい対策

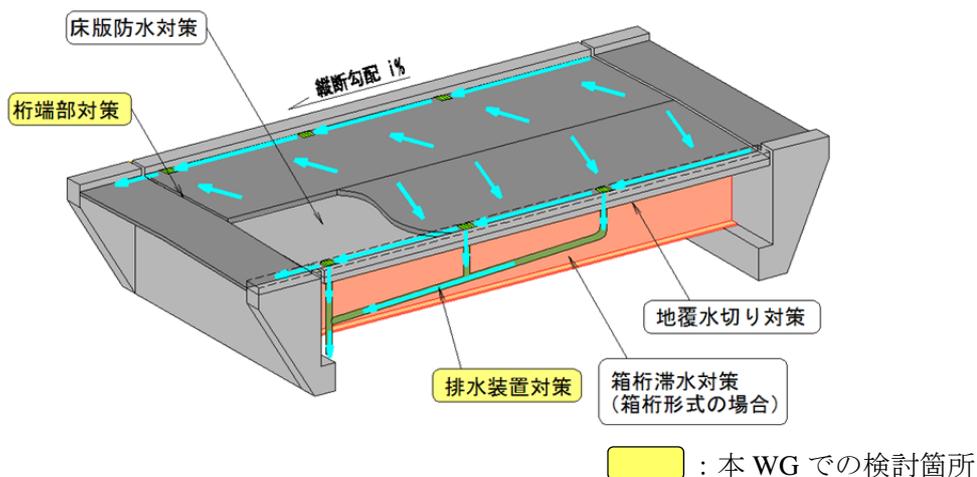


図 1-5 主な水じまい対策箇所及び検討箇所

1-3-2. 検討の流れ

以下に、本研究での検討の流れを示す。この流れは【橋面排水構造の提案】、【桁端部水じまい対策の提案】とも共通とする。

まず、リニューアル型維持管理手法のための構造提案を行い、それが適用可能となる条件等を整理した。

次に、提案手法を採用するためにはどのような検討を行えば良いか明確にするために構造選定フローを作成し、提案手法を採用するまでの流れを可視化した。また、このフローの中でライフサイクルコスト（LCC）比較など、比較計算を行い評価する項目があるため、モデル橋梁を設定して実際に計算を行い適用可能条件などの考察を行った。

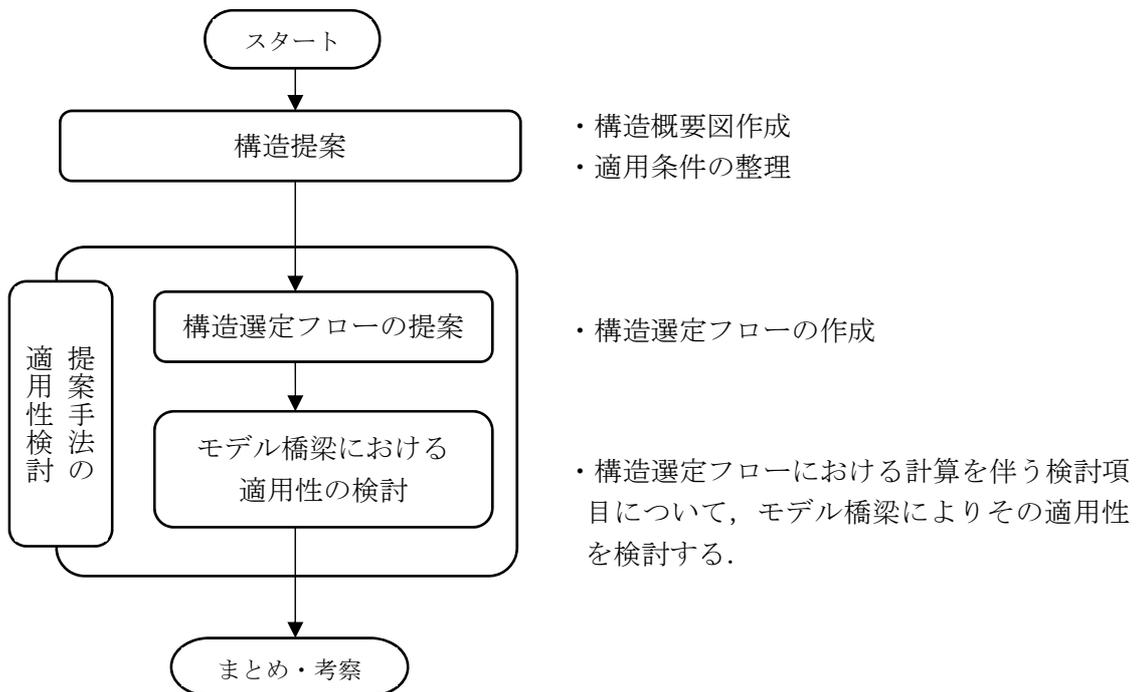


図 1-6 検討の流れ

1-4. 対象橋梁について

検討の対象とする橋梁は、地方地自体が多く抱えている中小規模の橋梁とする。
橋梁形式は中小規模での実績が多い鋼 I 桁橋とする。

○モデル橋梁形式について

排水計算及び LCC 計算は以下のモデル橋梁を想定して行うものとする。

ここでは各検討に共通する部分を示すものとし、その他各検討で必要となる項目については各検討項目にて示すものとする。

- 構造形式 : 鋼単純 I 桁橋
- 橋長 : 20.0m ~ 60.0m (鋼単純 I 桁橋の標準適用支間)
- 幅員 : 有効幅員 8.500m (車道 7.000m 路肩 2×0.750m)
- 縦断勾配 : 0.3% , 0.5% , 1.0% , 2.0%
- 横断勾配 : 2.0% (拌み勾配)

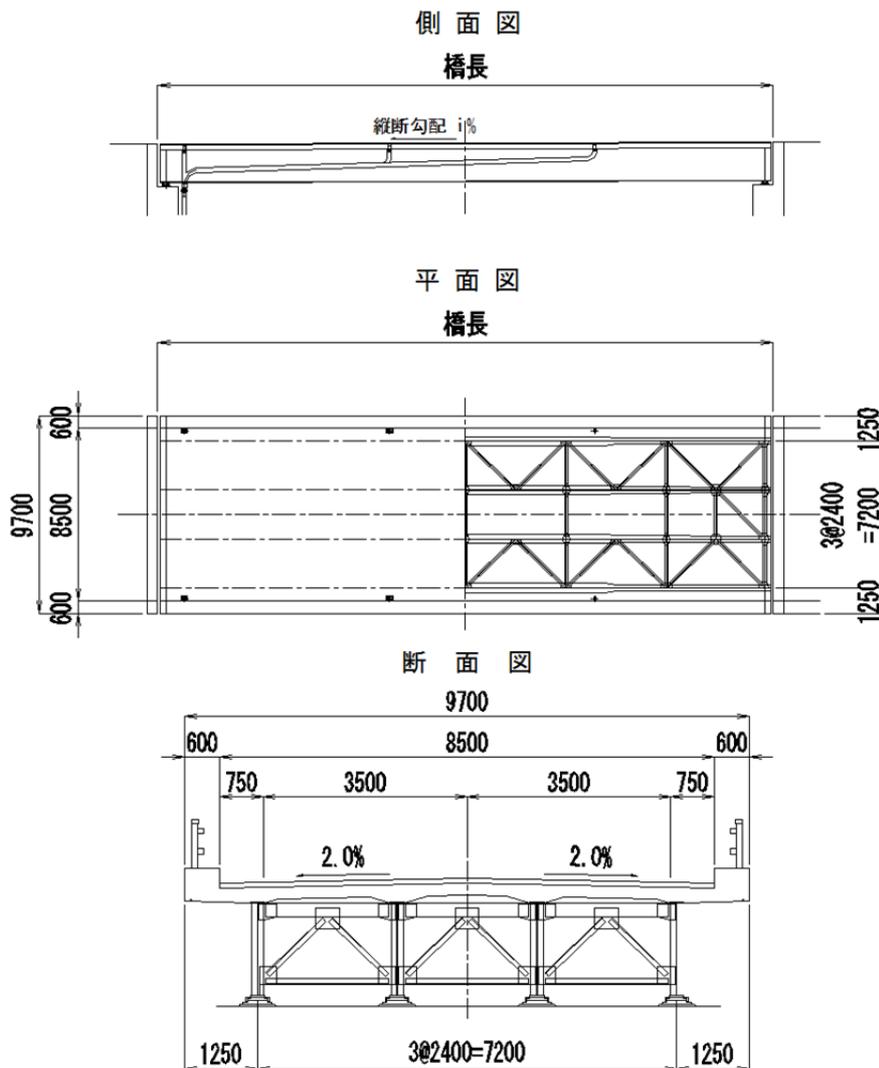


図 1-7 モデル橋梁一般図

§2. 橋面排水構造の提案

2-1. 検討概要

本章での検討内容の概要について以下に示す。

2-1-1. 橋面排水構造の提案内容

既設橋に設置された排水装置に代わる構造提案として以下の2点を挙げた。

①排水ます撤去による橋面排水の簡易化の提案

現在架設されている既設橋梁の中には、十分維持管理がされずに排水装置が閉塞しているものも存在する。本来であれば排水装置を清掃し、機能回復を行う必要があるが、その多くが放置されてきたというのが現状である。

その様な橋梁の中には機能上不具合が生じなかった事から放置されていたと思われるものもあるため、維持管理コスト、漏水リスクの低減を目的として排水装置そのものを撤去する事を提案した。この提案では排水装置の撤去のメリット・デメリットや適用可能な橋梁条件の検討を行った。

②鋼製排水溝による橋面排水構造化の提案

鋼製排水溝は橋面に降った雨水を橋面上で流していく構造であるため、不具合の早期発見など維持管理上メリットが大きい構造である。

ただし既設橋梁に対して後付けで設置した事例は少ない事から、適用可能な鋼製排水溝形状や橋梁条件などを調査し適用条件をまとめた。

2-1-2. 提案手法の採用に向けた検討

(1) 構造選定フロー図の提案

現行の排水装置維持管理対策（排水管取替え）に対して、上記の構造提案がどのような条件であれば構造変更可能となるか構造選定フローを中心にまとめた。

(2) 排水計算による適用可能条件の検討

(1)で作成した構造選定フローにおいて、排水計算によりどの構造提案が適用可能かの判定を行う項目がある。ここではモデル橋梁において橋長、縦断勾配などのパラメーターを変化させて排水計算を行い適用可能な橋梁条件の検討を行った。

(3) ライフサイクルコストの比較検討

構造選定フローにおいて提案構造を採用するに当たり、現行の排水装置維持管理対策とのLCC比較が必要となる。ここではモデル橋梁において提案手法と現行対策の比較を行い、どのような条件であれば提案手法が優位となるか検討を行った。

2-2. 構造提案

2-2-1. 排水ます撤去による橋面排水の簡易化の提案

(1) 排水ます撤去構造の概要

排水ます撤去構造は、既設の排水ますを撤去し、橋面上のみで雨水を流し桁端部で流末処理をするものである。これにより橋梁中間部において排水装置による流末処理を無くす事で、清掃等の維持管理作業の低減や、排水管取替えなどの補修作業の低減が期待できる。

排水ます撤去構造における特徴を以下に示す。

- | | |
|-------|---|
| メリット | ① 排水装置の清掃が不要となる
② 排水ますや排水管からの漏水による主桁損傷リスクが無くなる |
| デメリット | ① 桁端部の水じまい対策を十分に行う必要がある
② 縦断勾配が緩い場合は路面滞水が多くなり、走行性が悪化する |

また、適用の際は橋面上のみで排水可能か確認を行う必要がある。本研究におけるモデル橋梁での適用可能条件については、2-3-2. にて示している。

(2) 排水ます撤去構造の施工

既設排水ますの頂部をガス切断して除去した後、内部にモルタル充填を行う。モルタル充填時は必要に応じて排水ます内部に鉄筋等を入れ、モルタルの抜け落ちを防ぐものとする。

排水管自体も不要となるが、脱落等のリスクが少なければ点検や他の補修のタイミングに合わせて撤去する方針でよい。

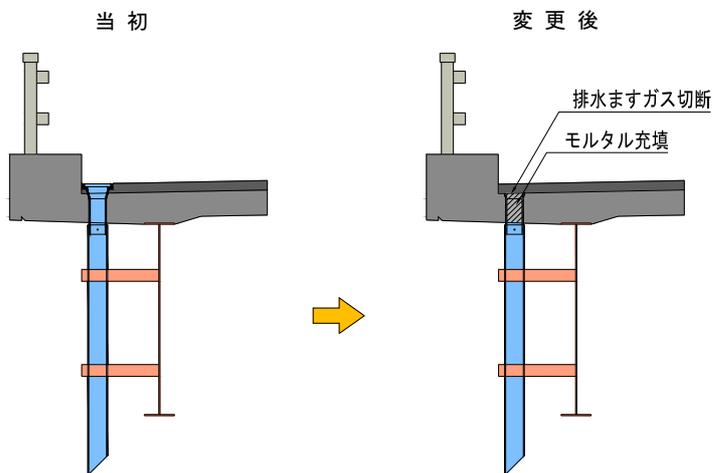


図 2-1 排水ます撤去概要図

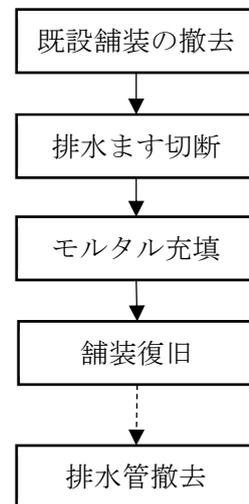


図 2-2 排水ます撤去工 施工ステップ

(3) 排水ます撤去時における流末処理方法について

排水ますを撤去した場合の雨水の処理先は、土工部における側溝部まで導水する事が基本となる。この場合、伸縮装置部を越えて排水する事となり、桁端部からの漏水対策が必要となる。

また、土工部以外の流末処理方法として、後述する桁端部水じまい対策の提案による排水構造化も挙げられる。

流末処理の概要については図 2-3 に示す。

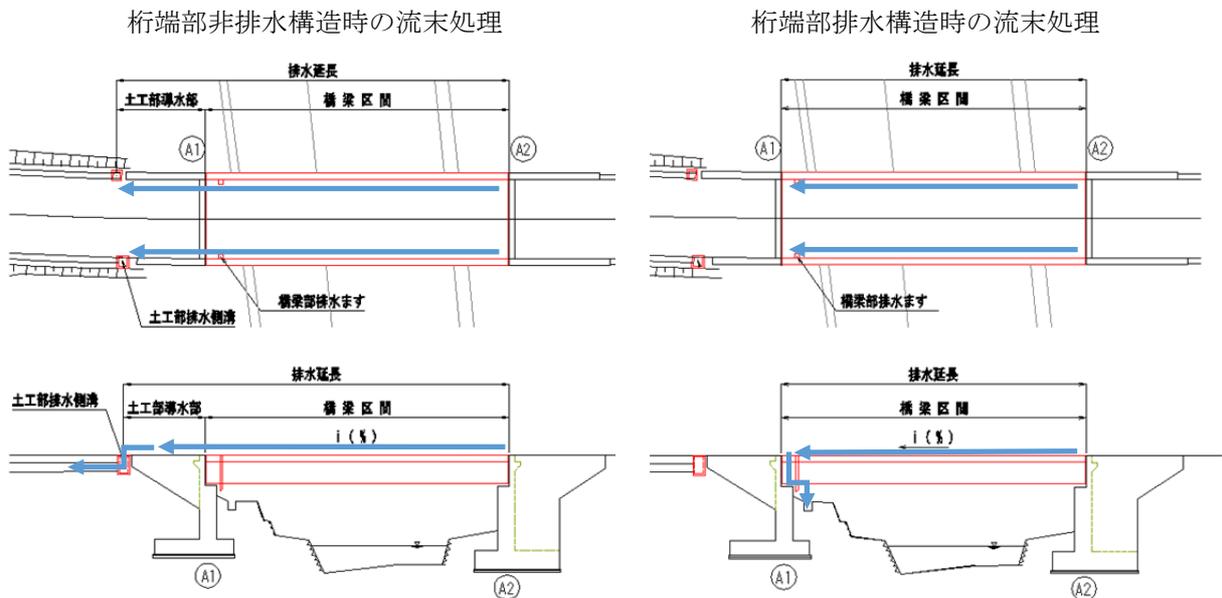


図 2-3 排水経路概要図

表 2-1 排水ます撤去時における桁端部水じまい対策

桁端部水じまい手法		適用条件*
桁端部非排水構造	非排水伸縮装置（現行対策）	-
	延長床版構造	桁遊間 50mm 以下
桁端部排水構造	排水樋構造	桁遊間 100~200mm
	下部工排水構造	桁遊間 200mm 以上

※ 適用条件は 3-1-2. (1) 参照

2-2-2. 鋼製排水溝による橋面排水手法の提案

(1) 鋼製排水溝案の概要

既設の排水管を鋼製排水溝に変更した場合、点検・補修などの維持管理作業が橋面上で行えるようになる。一方で排水管による排水装置の場合、主桁側面に排水管が設置されている事から、その取替え時には足場の設置が必要となる。比較的交通規制の容易な一般道の場合、橋面上で作業できる鋼製排水溝形式の方が、維持管理上のメリットは大きいと思われる。

鋼製排水溝についての一般的な特徴を以下に示す。

- | | |
|-------|---|
| メリット | <ol style="list-style-type: none">1. 桁端部の流末部以外は橋面上で清掃や近接点検が行えるため、比較的交通量の少ない橋梁では維持管理作業が容易になる（維持管理性向上）2. 排水管から漏水が発生した場合、主桁損傷を促進させる要因となるが、鋼製排水溝の場合には漏水による主桁の劣化は生じない（主桁損傷リスクの低減） |
| デメリット | <ol style="list-style-type: none">1. 鋼製排水溝の製作費が高いため、導入コストがかかる2. 排水勾配が橋面と同じとなるため、土砂が堆積し易い |

検討時には上記の一般的特徴の他、鋼製排水溝の形状の違いによる特徴を考慮して検討する必要がある。

(2) 鋼製排水溝構造の施工

鋼製排水溝設置に当たり、既設の排水ますの撤去が必要となる。排水ますの撤去方法については、2-2-1. (2) と同じである。既設排水ます撤去後、鋼製排水溝を設置する。その際、鋼製排水溝の構造によっては地覆部の改造などを行う。

桁端部の排水管部分については、鋼製排水溝の流末処理用として改造を行う。

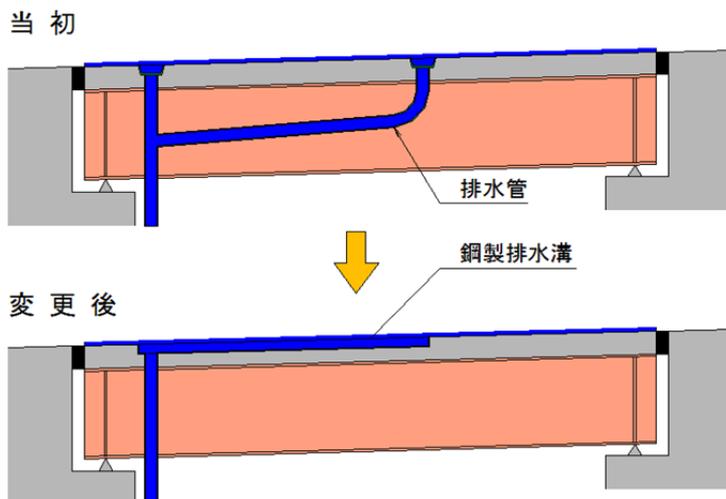


図 2-4 鋼製排水溝設置概要図

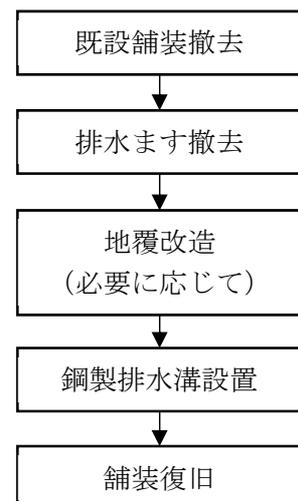


図 2-5 鋼製排水溝施工フロー

(3) 鋼製排水溝比較表

以下に、鋼製排水溝の構造提案を3種類示す。

既設橋梁に対しては既設橋梁の改造が少ないフラットタイプが適用し易い事から、フラットタイプ鋼製排水溝の設置を推奨する。

表 2-2 構造提案表 (1)

構造提案 1 鋼製排水溝(フラットタイプ)	
構造図	
構造的特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 舗装面のみで設置できるため、既設橋梁への対応も比較的容易である ・ 流末処理は、下部工付近で桁下に落とす ・ 標準タイプと比較し、排水性能は劣る ・ 構造がシンプルなため、標準タイプの鋼製排水溝と比べ安価である
適用条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工時は片側交通規制を行う必要がある ・ 車道部に排水ますがあり、舗装厚は70mm以上必要 ・ 歩道部に排水ますがある場合は設置不可（歩道側に設置する必要があるが、歩道部は舗装厚が薄いため不可となる）
維持管理性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 清掃や部材交換等の維持管理作業は基本的に橋面のみで可能である（桁端部にある流末管については桁下作業が発生） ・ 標準タイプと比べ、天板の開閉がやや困難である
総評	<p>既設橋梁に対する鋼製排水溝の適用としては最適な構造である</p> <p style="text-align: center;">◎</p>

表 2-3 構造提案表 (2)

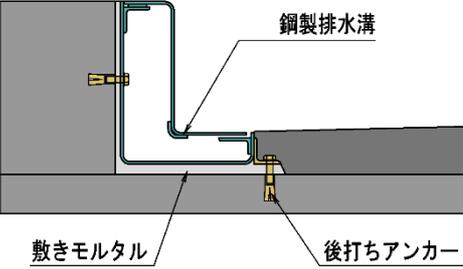
構造提案 2 鋼製排水溝 (標準タイプ)	
構造図	 
構造的特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・新設橋梁において一般的に使用されているL型形状の鋼製排水溝である ・流末処理は、下部工付近で桁下に落とす事になるが、伸縮装置を跨いだ構造も可能である ・通水断面が大きく、目詰まりのリスクが少ない
適用条件	<ul style="list-style-type: none"> ・施工時は片側交通規制を行う必要がある ・地覆の一部撤去を伴うため、既設橋への適用に対しては不向きである (地覆の打ち替え工事などがあれば同時に設置が可能)
維持管理性	<ul style="list-style-type: none"> ・清掃や部材交換等の維持管理作業は基本的に橋面のみで可能である (桁端部にある流末管については桁下作業が発生) ・天板の開閉がし易く清掃等の作業性に優れた構造である
総評	<p>既設橋梁への設置には適さない (地覆改造等が伴えば可能となる)</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p style="text-align: center;">△</p>

表 2-4 構造提案表 (3)

構造提案 3 地覆外側排水溝	
構造図	
構造的特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 舗装幅などの部材寸法への制約が無いいため、排水能力を任意に調整できる ・ 排水管を地覆に貫通させる事から、排水管設置のため地覆の改造が必要となる
適用条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工時は片側交通規制を行う必要がある ・ 地覆外側に設置するため、歩道形式がマウンドアップ、セミフラットなど車道側に排水勾配が向いているものには適用出来ない ・ 基本的に橋面上からの清掃が可能であるが、高欄外側のため落下防止対策など必要となる
維持管理性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地覆外側のため、やや天板の開閉が困難
総評	<p>排水性能を大きく確保したい場合に有効な構造である</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p style="text-align: center;">○</p>

2-3. 提案手法の適用に向けた検討

2-3-1. 構造選定フロー図の提案

(1) 検討概要

各種提案手法の適用に向けて、既設橋梁がどのような条件を満たせば適用可能となるか、条件整理を行うと共に、構造選定フロー図を作成して選定の流れを可視化する。

今回の提案手法は、既設橋梁を対象としたリニューアル型手法として提案していることから、現状の排水装置維持管理対策（排水管取替え）に対して、代替案として本研究の提案を採用できるか判定する流れとなる。各種条件が提案手法に適合しなかった場合は、現状対策を継続するという結論も考えられる。

次項に構造選定フロー図を示す。フローは以下の流れに沿って判定している。

① 本検討の必要性の判定

本検討を実施する時期及びその判定基準を示す事で、検討する必要がある橋梁かどうか判定する。

② 提案手法の選定

提案手法である“排水ます撤去案”，“鋼製排水溝設置案”について、排水計算によりどちらの手法を適用するか判定する。

③ 提案手法と現行手法との比較

現橋の構造条件やLCC比較により提案手法と現行手法（既設排水装置の維持管理）の比較を行い、提案手法が採用可能か判定を行う。提案が不可の判定となる場合は現行対策の継続が優位という結論になる。

検討は以下の3つについて行っている。

- ・ 橋梁条件による判定
- ・ LCC 比較による判定
- ・ 維持管理性による判定

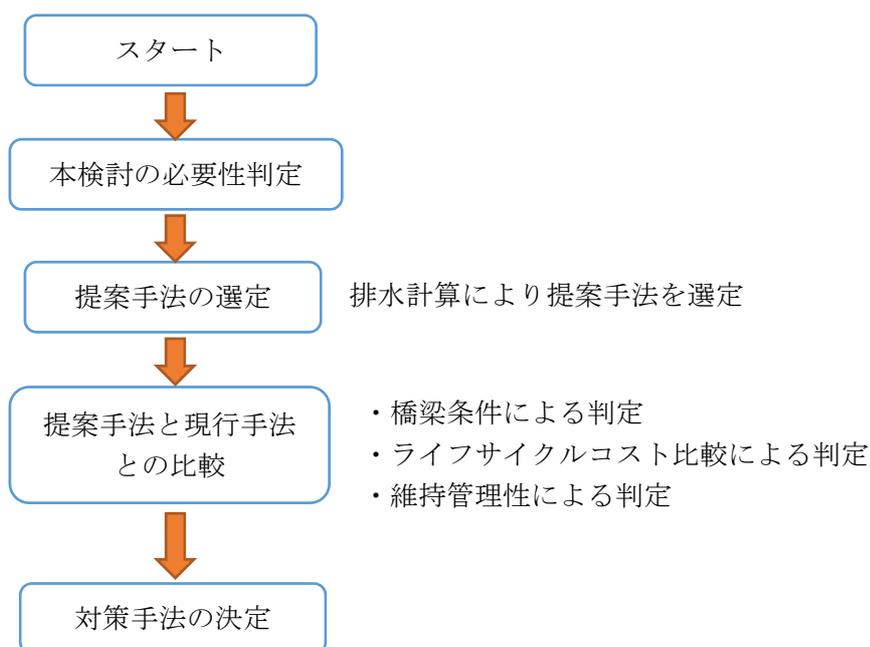


図 2-6 構造選定の流れ

(2) 構造選定フロー図

橋面排水構造の構造選定フロー図は、以下の様に設定した。

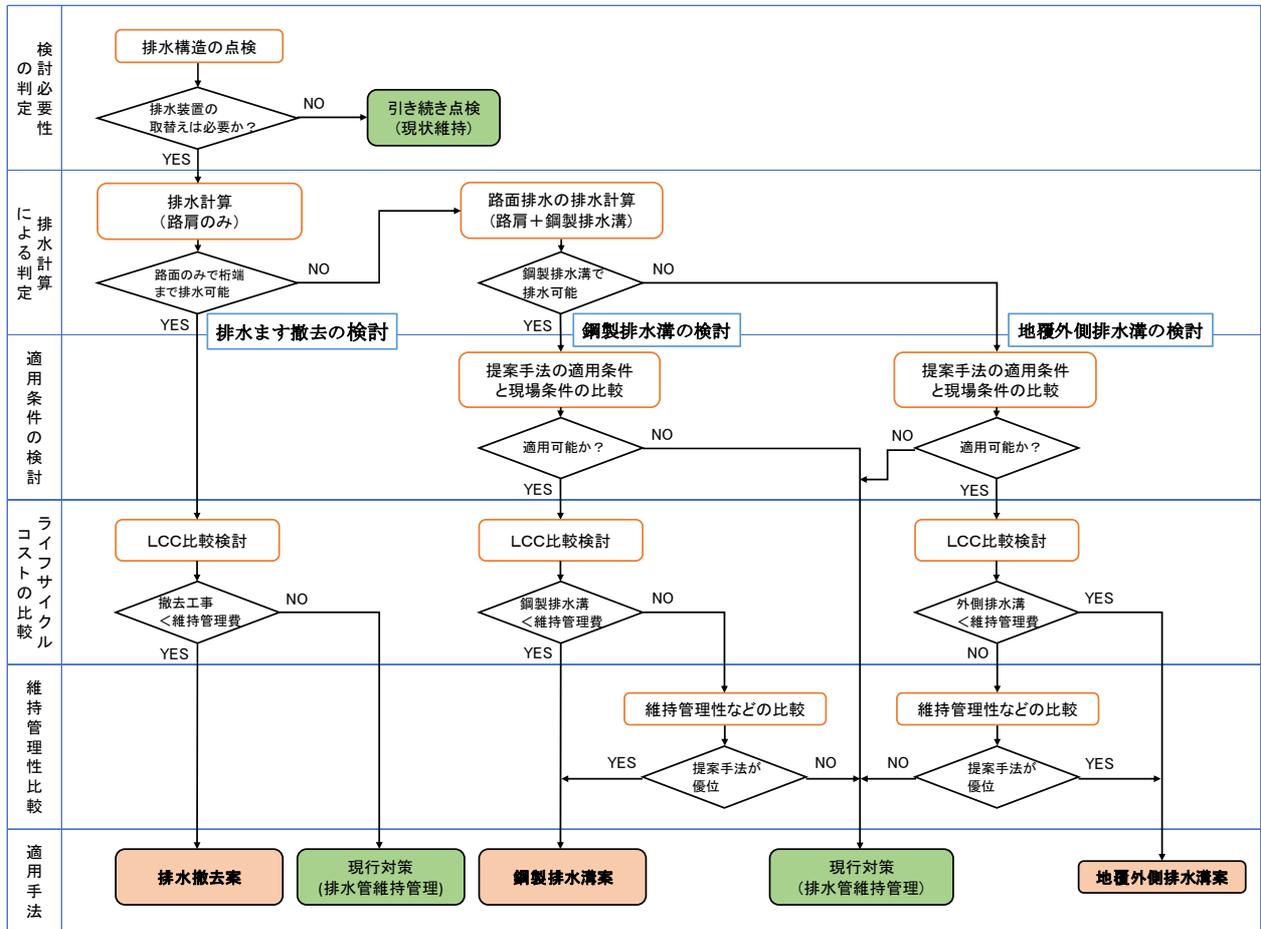


図 2-7 橋面排水構造の構造選定フロー

(3) 構造選定フローにおける判定項目

1) 検討必要性の判定

定期点検により排水装置の不具合が確認され、排水装置の取替えが必要と判断された場合、構造変更を含めた対策を考えるものとする。定期点検結果で健全であると判断された場合、現状維持とし、次回以降の点検結果により再度判断する。

2) 排水計算による判定

対象橋梁の条件を基に排水計算を行い、排水ますの撤去、鋼製排水溝、地覆外側排水溝の内どの検討を行うか判定する。

排水ます撤去の検討は、本研究の結果を目安に判定する事も可能である。その際、桁端部からの排水を許容しない方法（非排水構造）の場合、土工部の側溝部までの距離も排水延長に加える必要がある。

3) 適用条件（現場条件）による判定

排水計算による判定により、鋼製排水溝または地覆外側排水溝の検討を行う事となった場合、現橋の条件に対してその提案手法が適用可能であるか判定を行う。適用不可の場合は現行手法（排水管）の継続使用となる。

表 2-5 鋼製排水溝の適用可能な現場条件

検討項目	鋼製排水溝 適用可能条件	地覆外側排水溝 適用可能条件
舗装厚	・ 車道部の最小舗装厚 70mm 以上	・ 制限なし
縦断勾配	・ 勾配方向が 1 方向 (どちらかの支点が最も低い) ・ 山なり勾配 (橋梁中央部が最も高い)	・ 制限なし
幅員構成	① 車道のみの場合 ② 歩道有りの場合、歩道形式がマウンドアップまたはセミフラット型 (排水ますが車道路肩部に配置)	① 車道のみの場合 ② 歩道形式がフラット型 (排水ますが地覆側に配置されている形式)

4) ライフサイクルコストによる判定

現行対策(排水管維持管理)と提案手法の LCC を比較し、提案手法が優位かどうか判定を行う。

5) 維持管理性による判定

適用条件による判定で鋼製排水溝または地覆外側排水溝の適用が可能と判定され、その提案手法が LCC で不利な場合、維持管理性による判定を行う。ここでコストと維持管理作業のバランスを考慮し、現行対策と提案手法のどちらを採用するか判定する。

鋼製排水溝、地覆外側排水溝の維持管理上の検討ポイントとして以下の点が考えられる。

表 2-6 鋼製排水溝の維持管理上の比較条件

検討項目	鋼製排水溝 推奨条件
橋面下での作業性	桁間に排水管が設置されている 検査路が無く近接目視が困難
橋面上での作業性	交通量が少なく、橋面での作業が行いやすい
凍結防止剤の散布	凍結防止剤の散布あり

2-3-2. 排水計算による適用可能条件の検討

(1) 排水計算概要

構造選定フロー内では、排水計算により適用可能な手法を選定する流れとしている。ここでは、実際に排水計算を行い、各提案手法が採用可能な橋梁条件の検討を行うものとする。

検討内容は、排水ます撤去の検討として路肩のみで排水可能かどうかの計算と、鋼製排水溝断面を含めた排水計算の2種類行うものとする。

排水計算は、道路土工要領（日本道路協会）の算出式により、排水可能延長を算出する。

(2) 排水計算の流れ

1) 流出量の計算

i) 単位流出量…合理式（ラショナル式）より

$$q = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \times \gamma \times f \times W$$

q : 単位流出量 (m³/sec/m)
 γ : 設計降雨強度 (mm/h)
 f : 流出係数
 W : 集水幅 (m)

ii) 流出量

$$Q_1 = q \times L$$

Q_1 : 流出量 (m³/sec)
 q : 単位流出量 (m³/sec/m)
 L : 集水延長 (m)

2) 排水量の計算

i) 排水の径深

$$R = \frac{A}{P}$$

R : 排水の径深 (m)
 A : 通水断面積 (m²)
 P : 潤辺長 (m)

ii) 排水の平均流速…マニング式より

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I_1^{1/2}$$

V : 排水の平均流速 (m/sec)
 n : 粗度係数
 R : 排水の径深 (m)
 I_1 : 縦断勾配（絶対値）(%)

iii) 排水量

$$Q_2 = V \times A \times F$$

Q_2 : 排水量 (m³/sec)
 A : 通水断面積 (m²)
 F : 通水安全率

iv) 排水可能延長

$$L_s = \frac{Q_2}{q}$$

L_s : 排水可能延長 (m)
 Q_2 : 排水量 (m³/sec)
 q : 単位流出量 (m³/sec/m)

排水延長 < 排水可能延長 L_s の場合 適用可能

ここで、排水延長については以下の通りとする。

- ・排水ます撤去＋桁端非排水構造の場合 : 排水延長 = 橋長 + 土工部導水部
- ・排水ます撤去＋桁端排水構造 : 排水延長 = 橋長
- ・鋼製排水溝構造 : 排水延長 = 橋長

(3) 計算条件の設定

1) 橋梁条件

モデル橋梁は鋼単純I桁橋とし、構造諸元及び詳細図は1-4. 参照とする。
 設計降雨強度は、道路土工要領（日本道路協会）による標準降雨強度を用いる。

表 2-7 橋梁形状による条件

構造形式	鋼単純I桁橋
幅員構成	有効幅員 8.500m（車道 7.000m 路肩 2×0.750m）
橋長	20m ~ 60m（縦断 0.3%のみ 75m まで計算） 5m 間隔で計算を行う
縦断勾配	0.3%, 0.5%, 1.0% , 2.0%（路面排水時のみ~12.0%）

表 2-8 排水計算におけるその他諸条件

路肩通水幅	0.750 m
設計降雨強度	$\gamma = 110 \text{ mm/hr}$ （関東地方）
流出係数	$f = 0.9$
粗度係数	$n = 0.013$ （As 舗装）
通水安全率	$F = 0.8$

2) 鋼製排水溝形状

使用する鋼製排水溝は、フラット型と標準型の2種類を行う。

既設橋梁への適用に関してはフラット型が優位となるが、標準型鋼製排水溝についても併せて計算を行うものとする。

地覆外側排水溝は、必要排水量によりサイズを任意に設定できるため検討を省略する。

鋼製排水溝のサイズはメーカーヒアリングにより一般的な下記範囲とした。

フラット型鋼製排水溝

最小：200（幅）×55（深さ） ～ 最大：450（幅）×55（深さ）

標準型鋼製排水溝

最小：200（幅）×50（深さ） ～ 最大：400（幅）×50（深さ）

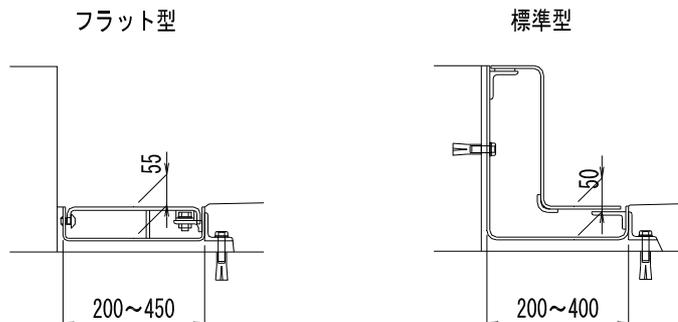


図 2-8 鋼製排水溝断面図

(4) 排水計算結果

1) 路面排水のみで排水する場合の計算結果

縦断勾配 0.3% ~ 12%までの結果を示す。

縦断勾配 2.0%の場合，路面排水可能延長は 24m程度となり，縦断勾配 12.0%の場合でも 59m程度との結果となった。橋梁の排水延長が，縦断勾配に応じた排水可能延長以下であれば排水ます撤去が可能となる。

表 2-9 排水計算結果一覧表

縦断勾配(%)	幅員(片側)B(m)	路面排水のみで排水
		排水可能延長 Ls(m)
0.3	4.85	9.4
0.5	4.85	12.2
1.0	4.85	17.2
<u>2.0</u>	4.85	<u>24.3</u>
3.0	4.85	29.8
4.0	4.85	34.4
5.0	4.85	38.4
6.0	4.85	42.1
7.0	4.85	45.5
8.0	4.85	48.6
9.0	4.85	51.5
10.0	4.85	54.3
11.0	4.85	57.0
<u>12.0</u>	4.85	<u>59.5</u>

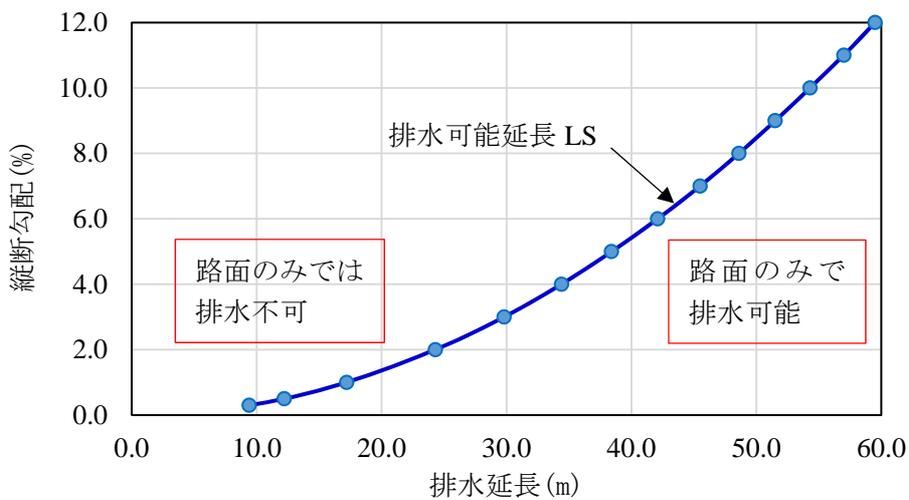


図 2-9 排水可能延長グラフ

2) 鋼製排水溝で排水する場合の計算結果

縦断勾配 0.3%~2.0%までの計算結果を示す。

フラット型鋼製排水溝、及び標準型鋼製排水溝共モデル橋梁の橋梁条件内では、鋼製排水溝の形状を縦断勾配、橋長により変化させれば適用可能となった。

なお、縦断勾配最小の 0.3%で対象橋梁を外れた 65m以上の鋼製排水溝の適用計算を行った結果は、フラット型鋼製排水溝では 65mで採用 NG、標準型鋼製排水溝では 75mで採用 NG となった。採用 NG の場合には地覆外側排水溝が適用となる。

表 2-10 排水計算結果一覧表

縦断勾配 0.3%の場合

橋長 L(m)	幅員 (片側) B(m)	縦断勾配 (%)	フラット型鋼製排水溝			標準型鋼製排水溝		
			幅×深さ	排水可能延長 Ls(m)	鋼製排水溝の 適用	幅×深さ	排水可能延長 Ls(m)	鋼製排水溝の 適用
20	4.85	0.3	200 × 55	24.1	可	200 × 50	30.8	可
25	4.85	0.3	250 × 55	31.2	可	200 × 50	30.8	可
30	4.85	0.3	250 × 55	31.2	可	200 × 50	30.8	可
35	4.85	0.3	300 × 55	38.4	可	250 × 50	41.9	可
40	4.85	0.3	350 × 55	45.6	可	250 × 50	41.9	可
45	4.85	0.3	350 × 55	45.6	可	300 × 50	53.2	可
50	4.85	0.3	400 × 55	52.9	可	300 × 50	53.2	可
55	4.85	0.3	450 × 55	60.2	可	400 × 50	70.5	可
60	4.85	0.3	450 × 55	60.2	可	400 × 50	70.5	可
65	4.85	0.3	450 × 55	60.2	不可	400 × 50	70.5	可
70	4.85	0.3	450 × 55	60.2	不可	400 × 50	70.5	可
75	4.85	0.3	450 × 55	60.2	不可	400 × 50	70.5	不可

一般的な最大形状である450×55をMAXとした 一般的な最大形状である400×50をMAXとした

(鋼製排水溝の適用不可の場合、地覆外側排水溝の採用を検討)

縦断勾配 0.5%の場合

橋長 L(m)	幅員 (片側) B(m)	縦断勾配 (%)	フラット型鋼製排水溝			標準型鋼製排水溝		
			幅×深さ	排水可能延長 Ls(m)	鋼製排水溝の 適用	幅×深さ	排水可能延長 Ls(m)	鋼製排水溝の 適用
20	4.85	0.5	200 × 55	31.2	可	200 × 50	39.8	可
25	4.85	0.5	200 × 55	31.2	可	200 × 50	39.8	可
30	4.85	0.5	200 × 55	31.2	可	200 × 50	39.8	可
35	4.85	0.5	250 × 55	40.3	可	200 × 50	39.8	可
40	4.85	0.5	250 × 55	40.3	可	250 × 50	54.0	可
45	4.85	0.5	300 × 55	49.6	可	250 × 50	54.0	可
50	4.85	0.5	350 × 55	58.9	可	250 × 50	54.0	可
55	4.85	0.5	350 × 55	58.9	可	300 × 50	68.6	可
60	4.85	0.5	400 × 55	68.3	可	300 × 50	68.6	可

縦断勾配 1.0%の場合

橋長 L(m)	幅員 (片側) B(m)	縦断勾配 (%)	フラット型鋼製排水溝			標準型鋼製排水溝		
			幅×深さ	排水可能延長 Ls(m)	鋼製排水溝の 適用	幅×深さ	排水可能延長 Ls(m)	鋼製排水溝の 適用
20	4.85	1.0	200 × 55	44.1	可	200 × 50	56.3	可
25	4.85	1.0	200 × 55	44.1	可	200 × 50	56.3	可
30	4.85	1.0	200 × 55	44.1	可	200 × 50	56.3	可
35	4.85	1.0	200 × 55	44.1	可	200 × 50	56.3	可
40	4.85	1.0	200 × 55	44.1	可	200 × 50	56.3	可
45	4.85	1.0	250 × 55	57.0	可	200 × 50	56.3	可
50	4.85	1.0	250 × 55	57.0	可	200 × 50	56.3	可
55	4.85	1.0	250 × 55	57.0	可	200 × 50	56.3	可
60	4.85	1.0	300 × 55	70.1	可	250 × 50	76.4	可

縦断勾配 2.0%の場合

橋長 L(m)	幅員 (片側) B(m)	縦断勾配 (%)	フラット型鋼製排水溝			標準型鋼製排水溝		
			幅×深さ	排水可能延長 Ls(m)	鋼製排水溝の 適用	幅×深さ	排水可能延長 Ls(m)	鋼製排水溝の 適用
20	4.85	2.0	200 × 55	62.3	可	200 × 50	79.6	可
25	4.85	2.0	200 × 55	62.3	可	200 × 50	79.6	可
30	4.85	2.0	200 × 55	62.3	可	200 × 50	79.6	可
35	4.85	2.0	200 × 55	62.3	可	200 × 50	79.6	可
40	4.85	2.0	200 × 55	62.3	可	200 × 50	79.6	可
45	4.85	2.0	200 × 55	62.3	可	200 × 50	79.6	可
50	4.85	2.0	200 × 55	62.3	可	200 × 50	79.6	可
55	4.85	2.0	200 × 55	62.3	可	200 × 50	79.6	可
60	4.85	2.0	200 × 55	62.3	可	200 × 50	79.6	可

*縦断勾配2.0%以上はフラット型200×55、標準型200×50（最小形状）となる。

2-3-3. ライフサイクルコストの比較検討

(1) 検討概要

1) 検討目的

構造選定フロー内に設定した LCC 検討項目について、モデル橋梁による比較を行う。

2) 検討ケース及び検討シナリオ

構造選定フロー内における LCC 比較項目を以下に示す。

検討対象項目としては、鋼製排水溝の選定と、地覆外側排水溝の選定の2つについて行う。排水ます撤去の検討については、今回のモデル橋梁においては提案手法の方が低コストとなる事が明らかであるとして検討を省略するものとする。

表 2-11 LCC 比較検討ケース

検討ケース番号	選定フローにおける比較箇所	比較項目
ケース①	鋼製排水溝の選定	鋼製排水溝変更案
		現行手法（排水管取替え）
ケース②	地覆外側排水溝の選定	地覆外側排水溝変更案
		現行手法（排水管取替え）

検討シナリオは現行手法である排水管取替えと、提案手法である鋼製排水溝と地覆外側排水溝のシナリオを検討する。

鋼製排水溝は、本研究で推奨手法としているフラットタイプと、比較として標準タイプの検討を行う。ただし、考察についてはフラットタイプの結果のみを対象とする。

表 2-12 LCC 検討シナリオ

検討シナリオ	シナリオ内容
シナリオ 1	排水管維持管理シナリオ (現行手法)
シナリオ 2	フラットタイプ鋼製排水溝への構造変更シナリオ (提案手法)
シナリオ 3	標準タイプ鋼製排水溝への構造変更シナリオ (提案手法)
シナリオ 4	地覆外側排水溝への構造変更シナリオ (提案手法)

表 2-13 検討シナリオの組合せ

検討ケース番号	検討ケース	検討シナリオ
ケース①	鋼製排水溝の選定	シナリオ 1
		シナリオ 2
		シナリオ 3
ケース②	地覆外側排水溝の選定	シナリオ 1
		シナリオ 4

3) ライフサイクルコスト計算時の条件について

i) ライフサイクルコスト検討におけるコスト算出範囲について

本検討は排水構造のコスト比較を目的としているため、以下のコストを LCC 算出項目と設定する。

- ・ 排水管の交換，清掃コスト
- ・ 鋼製排水溝の設置・交換，清掃コスト
- ・ 主桁損傷に対する補修コスト

ここで，以下のコストは考慮しないものとする。

- ・ 対策以前に発生した維持管理コスト
- ・ 交通規制等により生じる道路利用者の時間損失等の外部費用
- ・ 社会的割引率

ii) 部材取替えサイクルの設定について

部材の取替えサイクルは，メーカーの設定耐用年数を使用するが，排水管など標準的な耐用年数が定まっていない部材については複数の値を仮定して計算を行う。

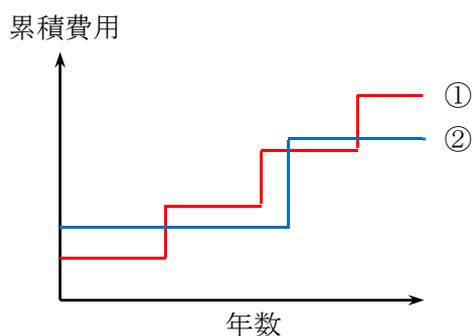
表 2-14 部材取替えサイクルの設定

部材名	取替えサイクル	備考
排水管	15,20,30 年	仮定値
鋼製排水溝	50 年	メーカー設定値

iii) ライフサイクルコストの評価方法について

本検討では，評価を行う年数において，検討開始時から供用完了までに発生したコストの合計で比較を行うものとする。

寿命の異なる LCC シナリオを比較する方法として，各コストをその寿命で除した年平均値で評価する手法なども提案されている。ただし，その場合供用期間の違いによる評価を行う事が出来ないため，本検討においては行わない事とした。



年平均値で比較すると②<①となるが，総コストで比較する場合，供用期間が短い場合は②>①となり，供用期間に応じて評価が変わる事となる。

→本検討では総コストの比較で評価を行う

図 2-10 LCC 評価のイメージ

(2) ライフサイクルコスト算出シナリオ

表 2-12 で示した各検討シナリオの詳細を以下に示す。

1) シナリオ 1 排水管維持管理シナリオ（現行対策）

i) 検討条件

- ・ 排水管は定期的に交換するものとし、漏水による主桁損傷は考慮しない
- ・ 交換作業は、主桁下面に吊り足場を設置して行うものとする
- ・ 排水管清掃車による高圧水洗浄を定期的に行うものとする

ii) 維持管理サイクル

排水管の取替えサイクルを 15,20,30 年とし、排水管の清掃は 5 年毎を仮定して LCC の算出を行う。

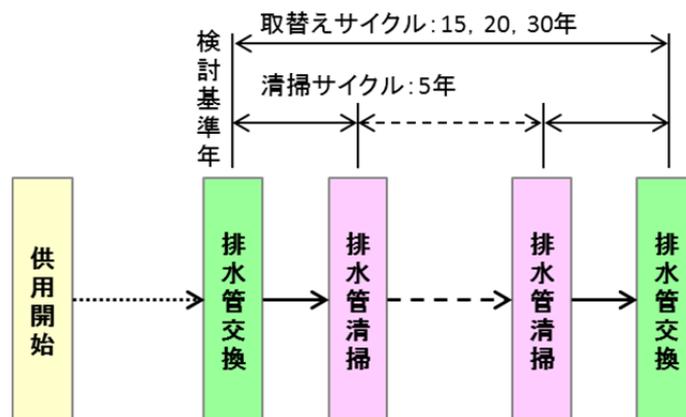


図 2-11 維持管理サイクル図(シナリオ 1)

iii) 施工単価の設定

施工単価は、各種積算基準等^{5), 6), 7), 8), 9)}を参考に以下の値を設定した。

表 2-15 施工単価表(シナリオ 1)

工種		単価(円/m)	備考
排水管交換	足場工	14,600	15, 20, 30 年 サイクル
	排水管	3,800	
	排水管え	2,400	
	計	20,800	
排水管清掃		2,600	5 年サイクル

iv) 排水管設置延長

橋長，縦断勾配をパラメーターとした各橋梁モデルにおける排水管設置延長を以下の値に設定した。
 排水管の必要延長は，橋長から路肩のみでの排水可能延長を引いた長さとし，設置延長は排水管を橋梁の左右に1列ずつ設置するため，必要延長の2倍としている。

$$L_s = (L - L_s) \times 2$$

ここで，
 L_s : 橋水管設置延長(m)
 L : 橋長(m)
 L_s : 路面のみでの排水可能延長(m)

以下に，排水管設置延長の一覧を示す。

表 2-16 排水管設置延長

単位 : m

橋長 (m)	縦断勾配(%)							
	0.3%		0.5%		1.0%		2.0%	
	L'	Ls	L'	Ls	L'	Ls	L'	Ls
20	9.4	21.2	12.2	15.6	17.2	5.6	24.3	0.0
25	9.4	31.2	12.2	25.6	17.2	15.6	24.3	1.4
30	9.4	41.2	12.2	35.6	17.2	25.6	24.3	11.4
35	9.4	51.2	12.2	45.6	17.2	35.6	24.3	21.4
40	9.4	61.2	12.2	55.6	17.2	45.6	24.3	31.4
45	9.4	71.2	12.2	65.6	17.2	55.6	24.3	41.4
50	9.4	81.2	12.2	75.6	17.2	65.6	24.3	51.4
55	9.4	91.2	12.2	85.6	17.2	75.6	24.3	61.4
60	9.4	101.2	12.2	95.6	17.2	85.6	24.3	71.4

※ 設置延長が 5.0m 未満となる所は 5.0m として LCC を計算する。

2) シナリオ 2 フラットタイプ鋼製排水溝への構造変更シナリオ

i) 検討条件

- ・排水ますを鋼製排水溝に交換し、排水管による横引き排水は行わない
- ・鋼製排水溝は定期的に交換するものとする
- ・鋼製排水溝は定期的に清掃を行うものとする
- ・既設排水管の撤去時の足場工は含めない（脱落のリスクは無いものとし、塗装塗替え等で足場を設置した際に撤去するものとする）

ii) 維持管理サイクル

鋼製排水溝の取替えサイクルを 50 年に設定。排水溝の清掃は、排水管と同じ 5 年毎を仮定して LCC の算出を行う。

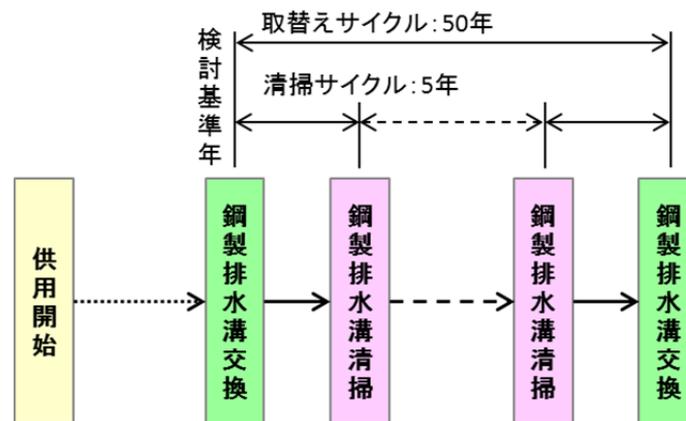


図 2-12 維持管理サイクル図(シナリオ 2)

iii) 施工単価の設定

施工単価は、積算基準及びメーカーヒアリングにより以下の値を設定した。鋼製排水溝は橋梁条件毎に異なるため別表に示す。橋梁条件毎の鋼製排水溝サイズについては 2-3-2. (4) 2) 参照とする。

表 2-17 施工単価表(シナリオ 2)

工種		単価(円/m)	備考
鋼製排水溝設置工	既設改造工	13,700	初回のみ計上
	鋼製排水溝本体	※下表参照	
	鋼製排水溝設置工	5,000	
鋼製排水溝取替工	鋼製排水溝本体	※下表参照	50年サイクル
	鋼製排水溝設置工	8,000	
鋼製排水溝清掃		1,900	5年サイクル

排水溝サイズ	単価(円/m)
200x55	42,000
250x55	49,000
300x55	55,800

排水溝サイズ	単価(円/m)
350x55	64,800
400x55	71,600
450x55	80,600

iv) 鋼製排水溝設置延長

鋼製排水溝の設置延長は、排水管設置延長と同じとする。

3) シナリオ 3 標準タイプ鋼製排水溝への構造変更シナリオ

i) 検討条件

シナリオ 2 と同じとする。

ii) 維持管理サイクル

部材の耐用年数はフラットタイプと同等である事からシナリオ 2 と同じとする。

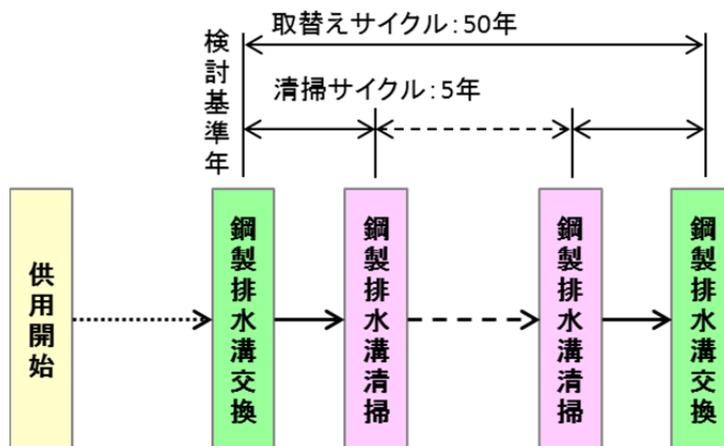


図 2-13 維持管理サイクル図(シナリオ 3)

iii) 施工単価の設定

施工単価はフラットタイプと同じとする。鋼製排水溝の単価はメーカーヒアリングにより単価を設定した。橋梁条件毎の鋼製排水溝サイズについては 2-3-2. (4) 2) 参照とする。

表 2-18 施工単価表(シナリオ 3)

工種		単価(円/m)	備考
鋼製排水溝設置工	既設改造工	13,700	初回のみ計上
	鋼製排水溝本体	※下表参照	
	鋼製排水溝設置工	5,000	
鋼製排水溝取替工	鋼製排水溝本体	※下表参照	50年サイクル
	鋼製排水溝設置工	8,000	
鋼製排水溝清掃		1,900	5年サイクル

排水溝サイズ	単価(円/m)
200x50	53,900
250x50	58,300
300x50	64,600
400x50	77,000

iv) 鋼製排水溝設置延長

鋼製排水溝の設置延長は、排水管設置延長と同じとする。

4) シナリオ 4 地覆外側排水溝への構造変更シナリオ

i) 検討条件

シナリオ 2 と同じとする。

ii) 維持管理サイクル

部材の耐用年数はシナリオ 2 と同じとする。

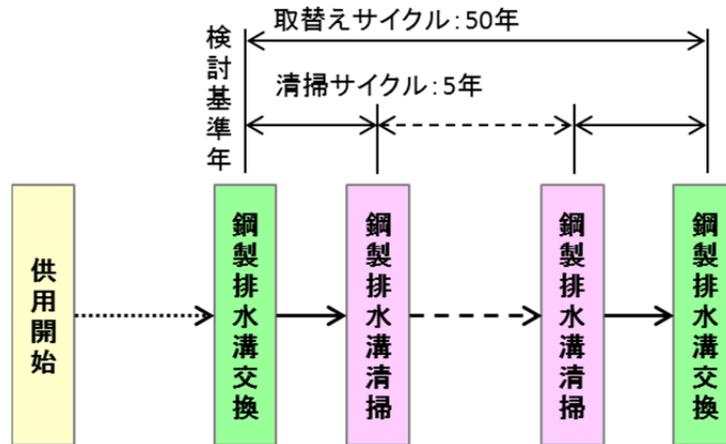


図 2-14 維持管理サイクル図(シナリオ 4)

iii) 施工単価の設定

地覆外側排水工本体以外の単価は鋼製排水溝と同じとする。地覆外側排水溝は、橋毎の特注仕様となるため、ここではメーカーヒアリングにより一般的なサイズの概算単価を設定した。

表 2-19 施工単価表(シナリオ 4)

工種		単価(円/m)	備考
鋼製排水溝設置工	既設改造工	13,700	初回のみ計上
	鋼製排水溝本体	93,000	
	鋼製排水溝設置工	5,000	
鋼製排水溝取替工	鋼製排水溝本体	93,000	50年サイクル
	鋼製排水溝設置工	10,000	
鋼製排水溝清掃		1,900	5年サイクル

iv) 地覆外側排水溝設置延長

地覆外側排水溝の設置延長は、排水管設置延長と同じとする。

(3) ライフサイクルコスト算出結果

1) 検討ケース① 鋼製排水溝選定に対する検討結果

鋼製排水溝と、現行手法である排水管取替えの LCC 比較検討結果を示す。

検討シナリオは、以下の 3 種類の比較とし、LCC の算出年数は、対策実施後 100 年間とした。

- ① シナリオ 1 排水管維持管理シナリオ（現行対策）
- ② シナリオ 2 フラットタイプ鋼製排水溝への構造変更シナリオ
- ③ シナリオ 3 標準タイプ鋼製排水溝への構造変更シナリオ

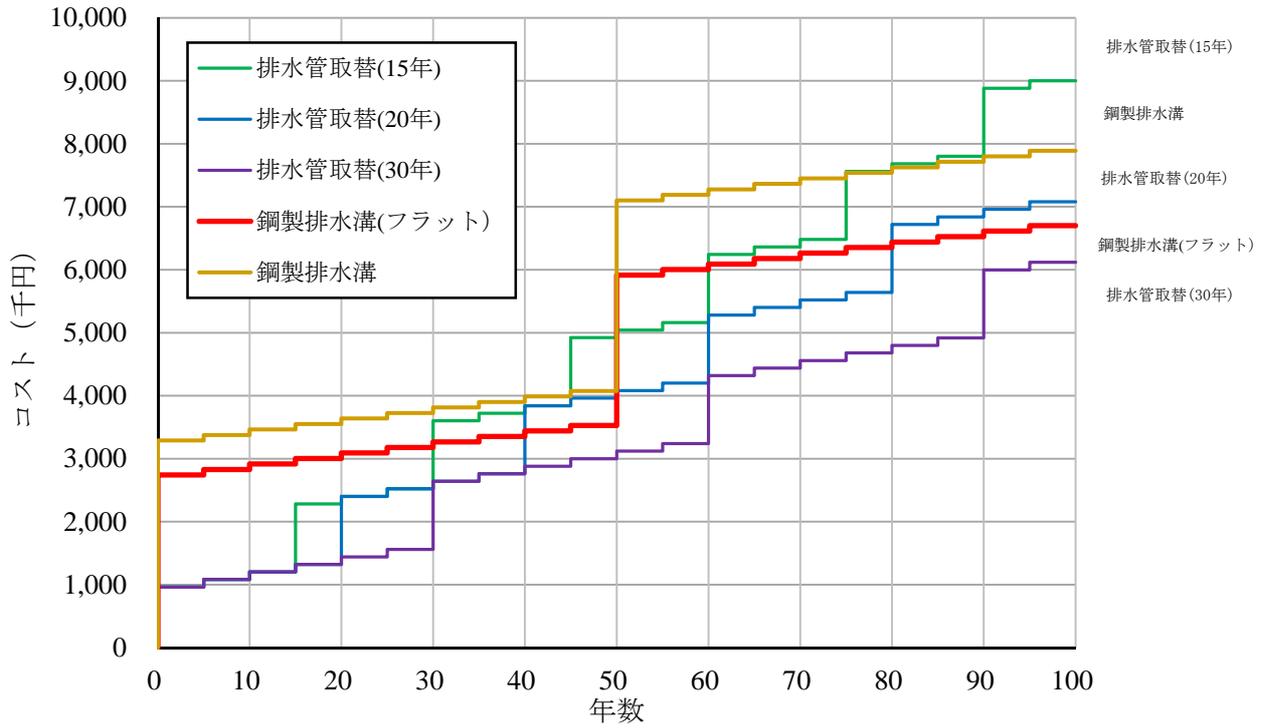
i) ライフサイクルコスト予測比較表

LCC 予測比較表は、代表ケースとして、以下の 2 種類を示す。他の橋梁条件による算出結果については【付録 E】参照とする。

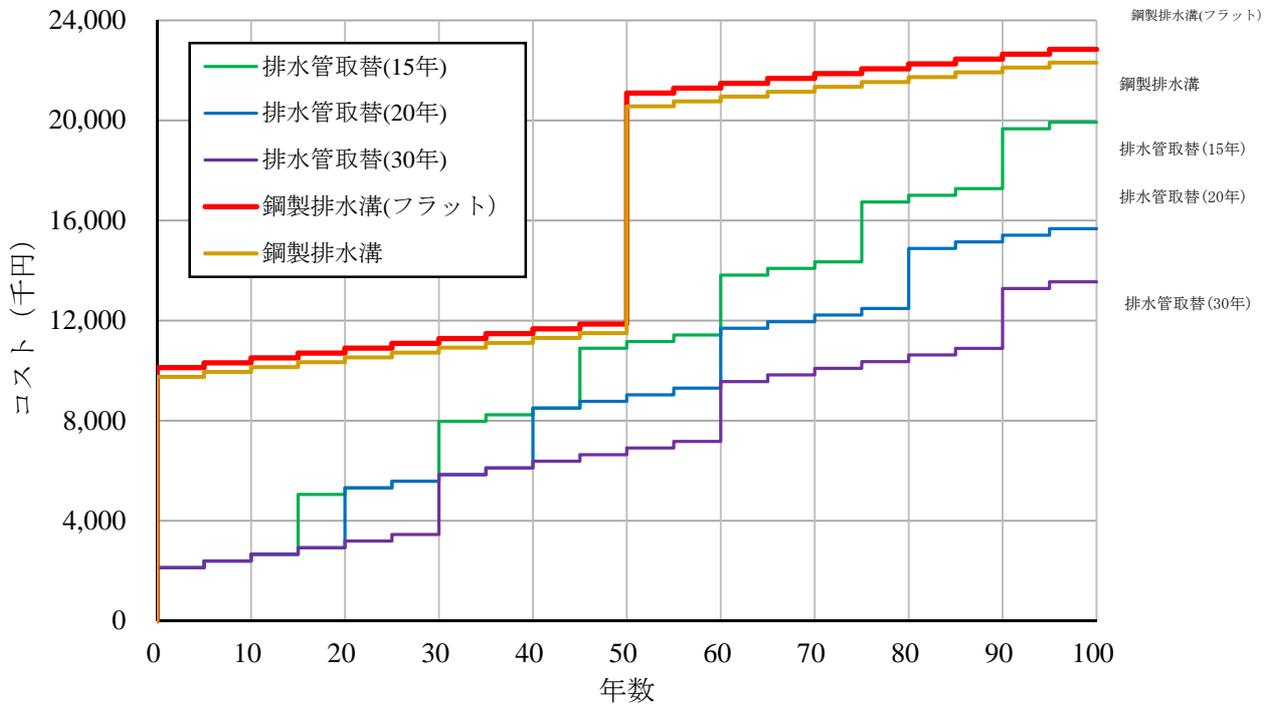
- ・橋長 40m 縦断勾配 1.0%
- ・橋長 60m 縦断勾配 0.3%

LCC 予測比較表から、鋼製排水溝の取替え時期である 50 年、100 年付近において鋼製排水溝が優位となるケースがある事が読み取れた。

また、橋長が長く縦断勾配が緩いケースでは鋼製排水溝の適用は困難である可能性が分かった。



a) LCC 予測比較表 (橋長 40m 縦断勾配 1.0%)



b) LCC 予測比較表 (橋長 60m 縦断勾配 0.3%)

図 2-15 LCC 予測比較表 (鋼製排水溝)

ii) ライフサイクルコスト差額による比較

LCC 予測比較表より、橋梁の供用年数により鋼製排水溝が優位となる可能性が確認された。次に、橋梁条件による優位性の有無を確認する。

比較は、鋼製排水溝と排水管取替えの差額を取ったグラフで行う。

LCC 差額は、

$$\text{LCC 差額} = \text{排水管取替えシナリオ LCC} - \text{鋼製排水溝シナリオ LCC}$$

とし、グラフの縦軸が負の値の時、鋼製排水溝が優位という状態となる。

比較する際の年数として、最初の鋼製排水溝の取替え時期となる対策実施後 50 年、その半分である 25 年の 2 種類を想定する。50 年～100 年後までは、0～50 年後と同様の傾向を示すものと考えられるため検討を省略する。この算出結果については【付録 E】参照とする。

また、鋼製排水溝の形式は、既設橋への適用性に優れるフラットタイプのみを対象とする。

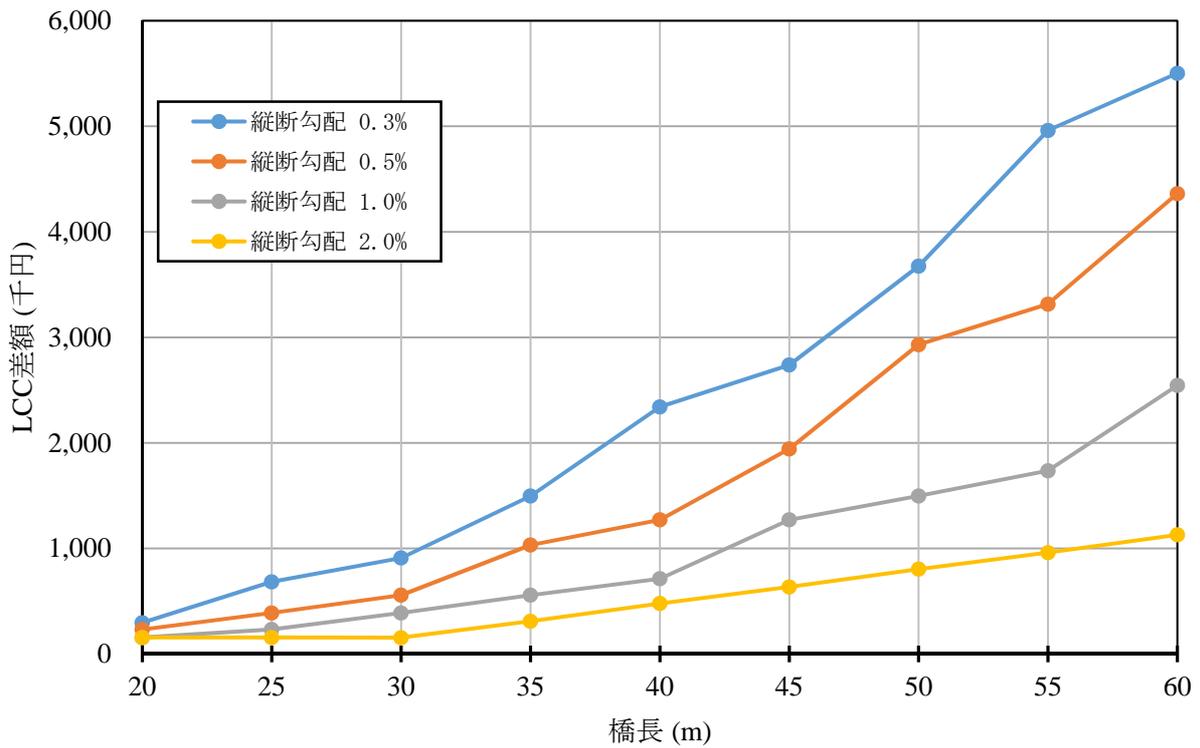
以下に検討ケースを示す。

表 2-20 LCC 差額検討ケース

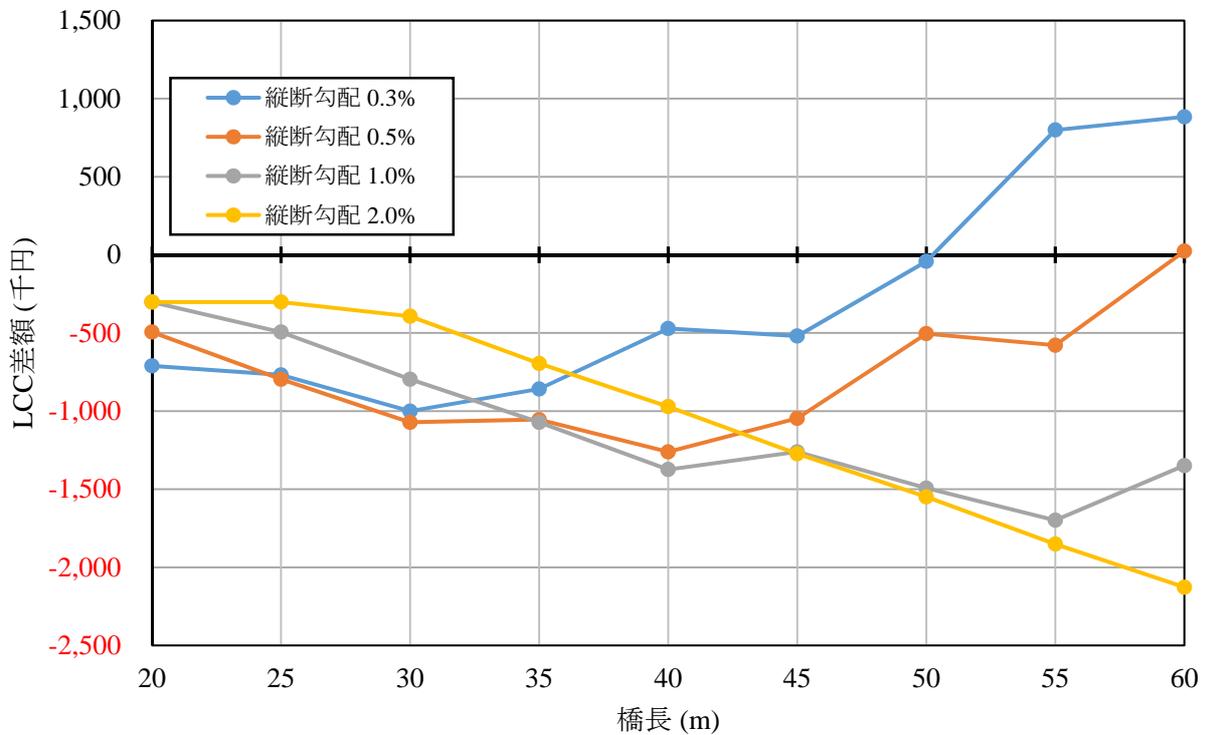
鋼製排水溝種類	比較する排水管取替えシナリオ	検討年数（供用期間）
フラットタイプ 鋼製排水溝	排水管取替え 15 年サイクル	対策後 25 年
		対策後 50 年
	排水管取替え 20 年サイクル	対策後 25 年
		対策後 50 年
	排水管取替え 30 年サイクル	対策後 25 年
		対策後 50 年

検討の結果、対策後 25 年では鋼製排水溝が高コストであり、対策後 50 年の場合鋼製排水溝が優位となる条件が見られた。

① 排水管取替え 15 年サイクルとの比較



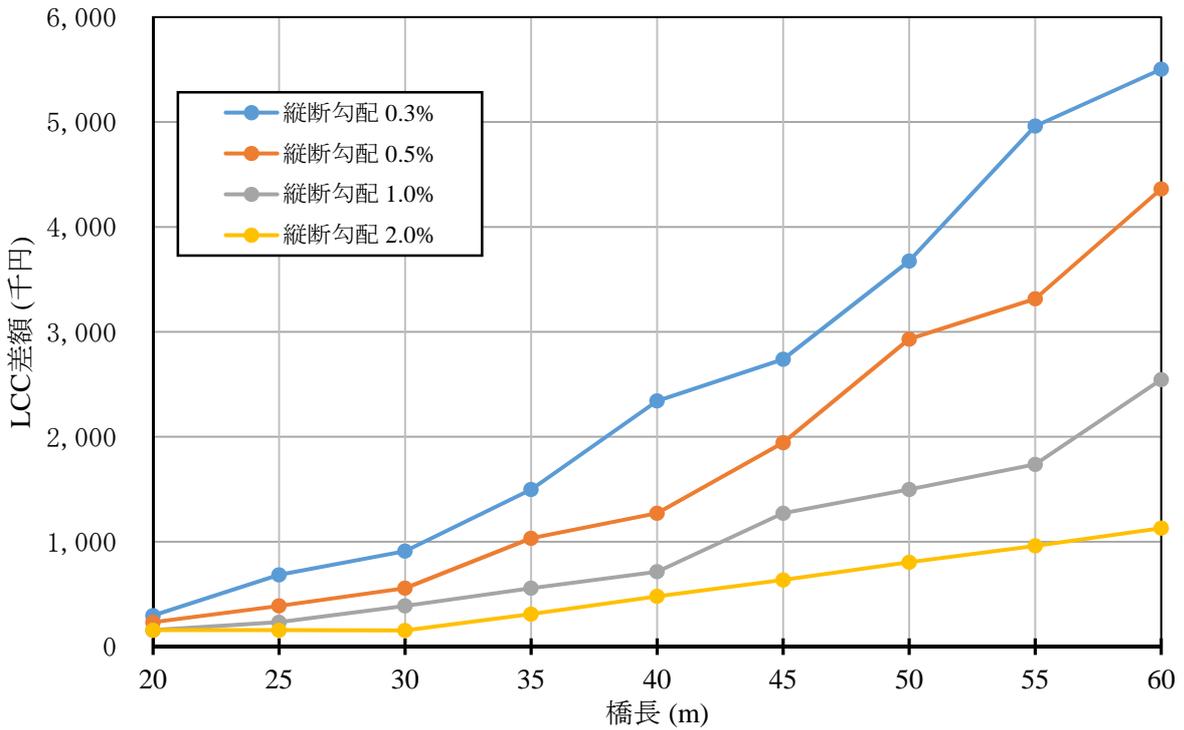
a) 対策後 25 年後における LCC 差額



b) 対策後 50 年後における LCC 差額

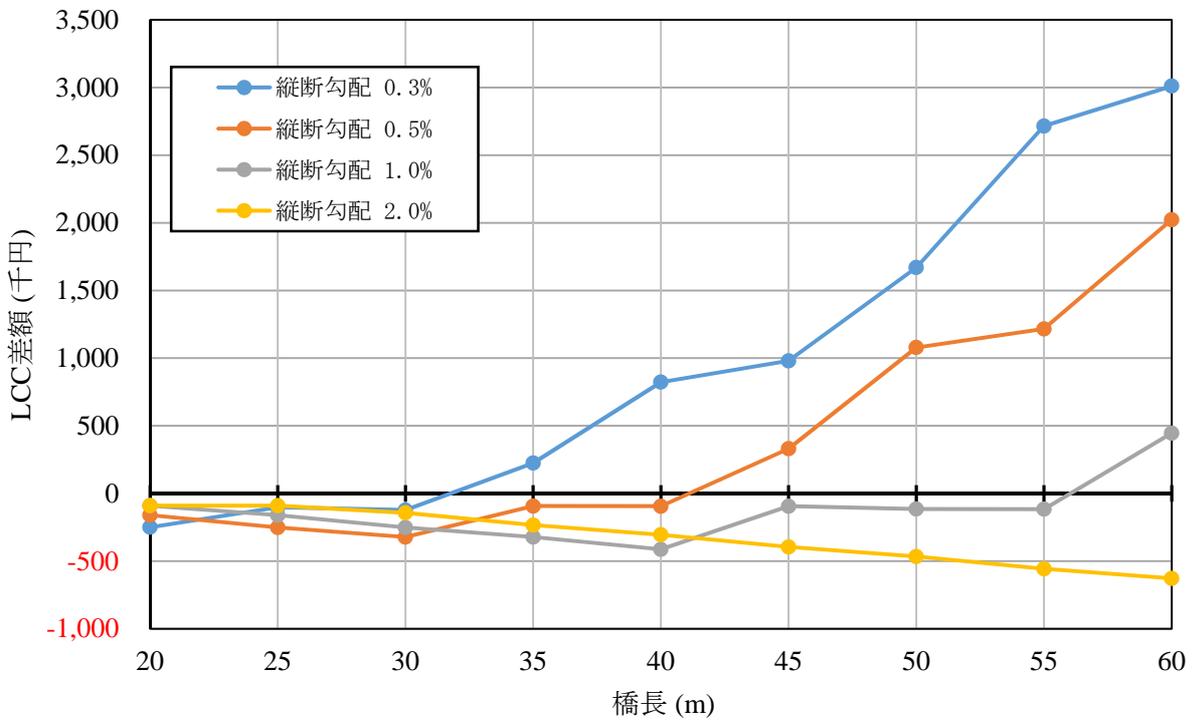
図 2-16 LCC 差額比較表(排水管取替え 15 年サイクル)

② 排水管取替え 20 年サイクルとの比較



a) 対策後 25 年後における LCC 差額

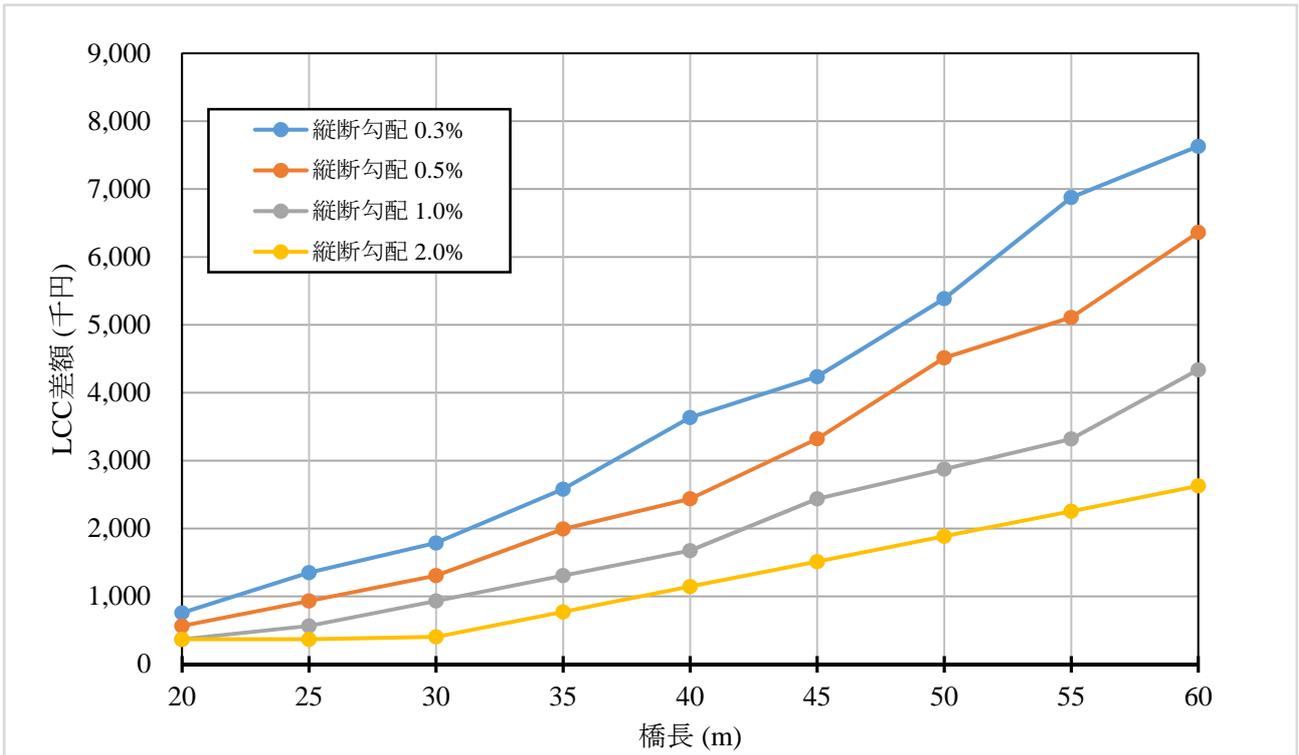
※部材取替え回数が同じであるため、排水管取替え 15 年サイクルと同一のグラフとなっている。



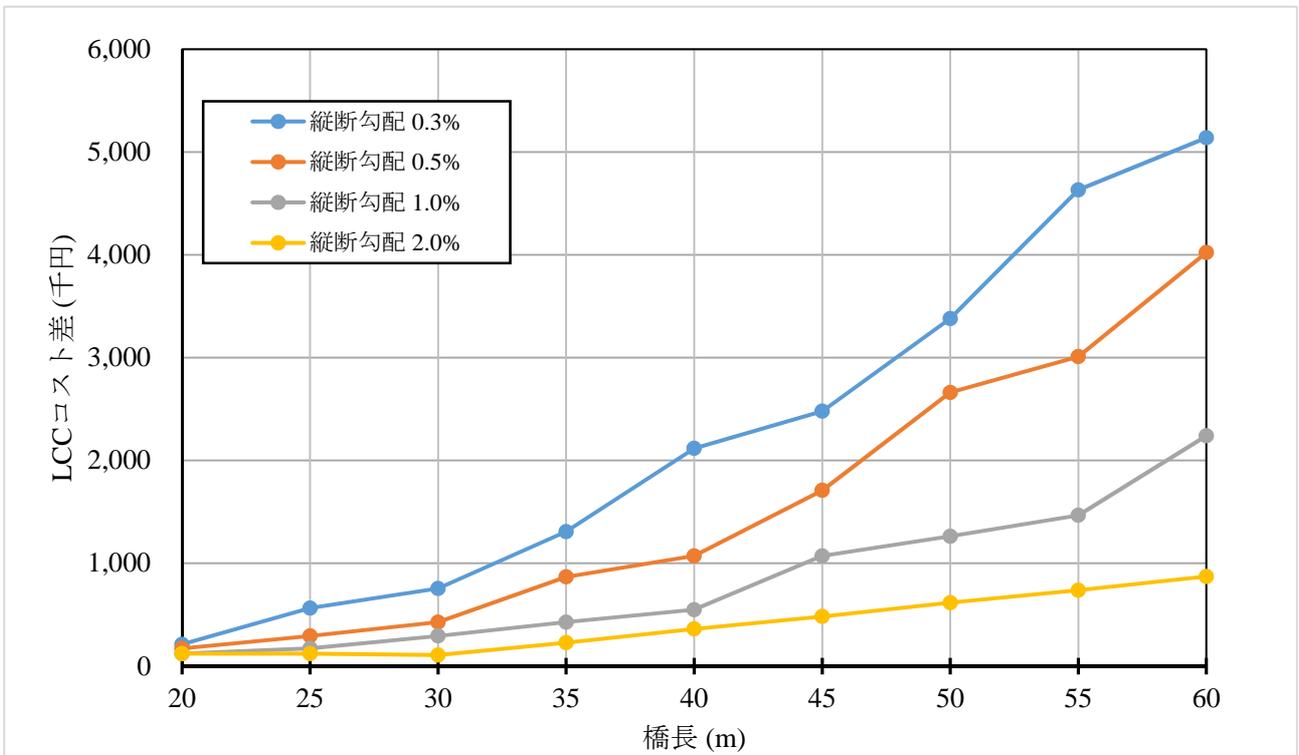
b) 対策後 50 年後における LCC 差額

図 2-17 LCC 差額比較表(排水管取替え 20 年サイクル)

③ 排水管取替え 30 年サイクルとの比較



a) 対策後 25 年後における LCC 差額



b) 対策後 50 年後における LCC 差額

図 2-18 LCC 差額比較表(排水管取替え 30 年サイクル)

2) 検討ケース② 地覆外側排水溝選定に対する検討

地覆外側排水溝と、現行手法である排水管取替えの LCC 比較検討結果を示す。

検討シナリオは、以下の 2 種類とし、LCC の算出年数は、対策実施後 100 年間とする。

- ① シナリオ 1 排水管維持管理シナリオ（現行対策）
- ② シナリオ 4 地覆外側排水溝への構造変更シナリオ

i) ライフサイクルコスト予測比較表

LCC 予測比較表は、代表ケースとして、排水流量が最も多く地覆外側排水溝に適した橋長 60m、縦断勾配 0.3%の時の比較を示す。

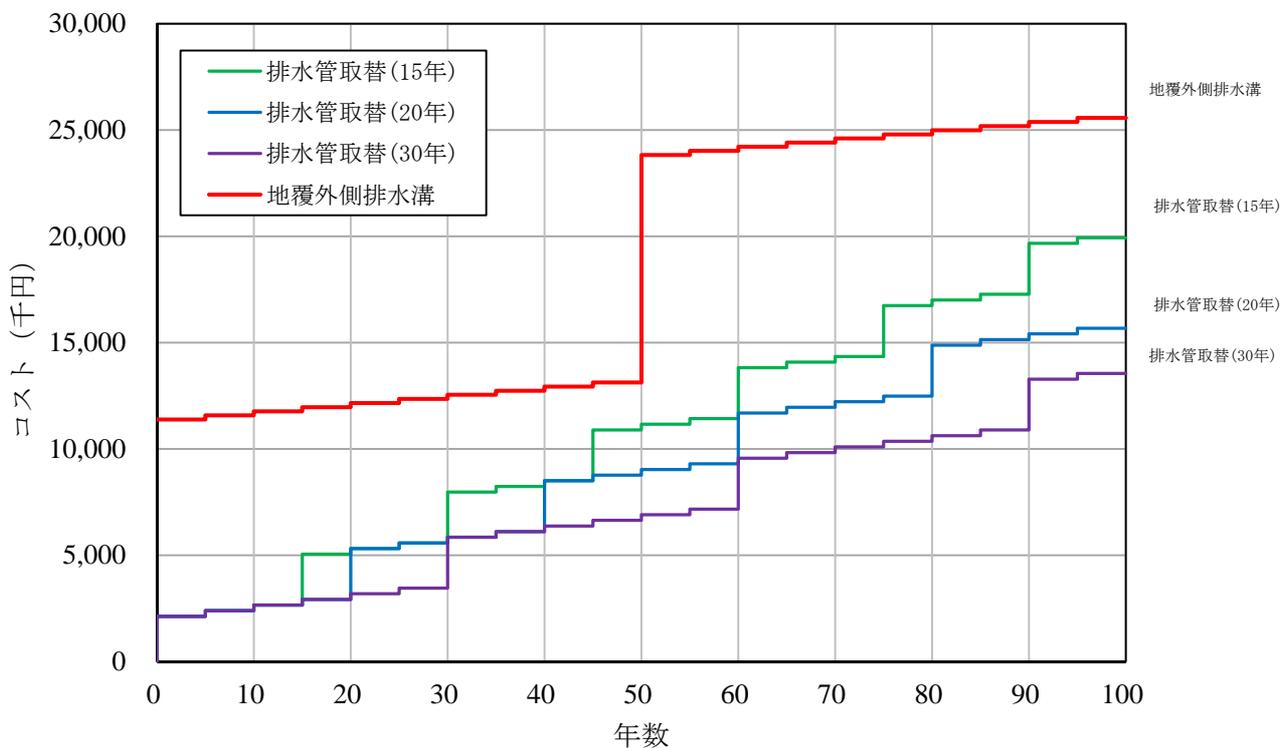


図 2-19 LCC 予測比較表（橋長 60m 縦断勾配 0.3%）

図 2-19 に示す通り、地覆外側排水溝の場合、供用年数に関わらず排水管取替えより高価となった。そのため、2-3-3. (3) 1) ii) で行った橋梁条件の変化による LCC 差額の比較は省略する。今回のモデル橋梁においては、地覆外側排水溝はコスト上不利という結果となった。

2-4. 橋面排水構造まとめ

2-4-1. 提案内容まとめ

(1) 排水ます撤去構造の提案

排水ますを撤去し、路肩排水のみとした提案と、それが可能となる橋梁条件の検討を行った。構造の概要は、2-2-1. 参照とする。

排水ます撤去を行う事が可能であれば、点検項目の減少や排水管からの漏水リスク低減により維持管理性において、現行手法より優位となる。ただし、現状の設計基準では、橋梁区間内の排水装置設置が必須となっている。今回の様な排水ます撤去が可能な中小規模橋梁について、設置基準の緩和が可能であれば採用できる構造である。

(2) 鋼製排水溝による橋面排水構造化の提案

鋼製排水溝による橋面排水構造の提案を行った。鋼製排水溝形式としては、既設橋梁の改造が最小限となるフラットタイプの鋼製排水溝が最も適用し易く安価であるという結果となった。

また、フラットタイプの鋼製排水溝が適用出来ない橋梁に対しては地覆外側排水溝形式を提示した。構造の概要は、2-2-2. 参照とする。

2-4-2. 提案手法の適用に向けた検討

上記の構造提案を選定する手法について、構造選定フローを作成した。フロー図については、図 2-7 参照とする。また、構造選定フローの主となる判定項目である排水計算と LCC 比較についてモデル橋梁による検討を行った。

以下、各提案手法に着目し、適用条件の検討結果を示す。

(1) 排水ます撤去構造の適用条件の検討結果

2-3-2. において、モデル橋梁における排水計算を行い、適用条件の検討を行った。排水計算結果より、横軸に排水延長、縦軸に縦断勾配を取ると図 2-20 の様なグラフとなった。グラフ上の線は、ある縦断勾配に対する排水可能な延長（橋長若しくは、橋長＋土工部排水延長）を示している。このグラフ

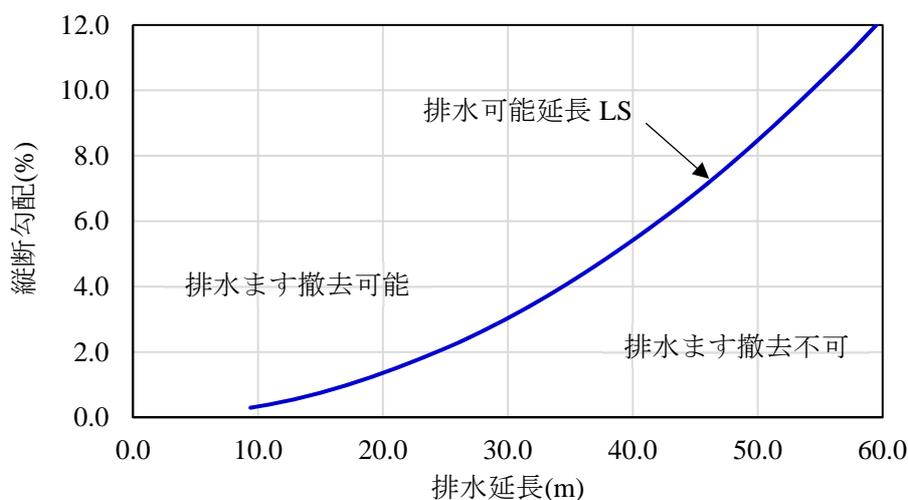


図 2-20 排水ます撤去可能な橋梁条件

に対象となる橋梁の排水延長と縦断勾配の交点をプロットし、それがグラフのどちら側の領域に含まれるかで排水ますが撤去可能かどうか判定する事ができる。

この条件を満たす橋梁であれば、排水ます不要案も適用可能ではないかと考えられる。ただし、このグラフは橋梁の幅員構成が車道のみ状態を想定しているため、歩道部などを含む幅員構成の場合は別途計算が必要となる。

(2) 鋼製排水溝による橋面排水構造の提案

1) 排水計算結果による適用条件

排水計算の結果、モデル橋梁においてはどのパラメーター値においてもフラット型鋼製排水溝は適用可能となった。検討結果については、表 2-10 参照とする。

2) ライフサイクルコスト比較検討結果による適用条件

LCC 比較検討結果より、鋼製排水溝が LCC 上優位となる条件について以下の様にまとめた。排水管の取替えサイクルや、対策実施後の供用年数の違いにより適用可能な橋梁条件が変化した。

表 2-21 鋼製排水溝の適用可能条件

排水管取替えサイクル	橋梁の供用年数	橋長	縦断勾配
15 年サイクル	対策後 25 年	鋼製排水溝 適用不可	
	対策後 50 年	～50m	0.3%～
		50～60m	0.5%～
20 年サイクル	対策後 25 年	鋼製排水溝 適用不可	
	対策後 50 年	～30m	0.5%～
		30～55m	1.0%～
		55～60m	2.0%～
30 年サイクル	鋼製排水溝 適用不可		

§3. 桁端部水じまい対策の提案

3-1. 検討概要

桁端部水じまい対策の提案における検討内容を以下に示す。
検討の流れは、1-3-2. 参照とする。

3-1-1. 桁端部水じまい対策の提案内容

構造提案は、現行手法と同様である非排水構造の提案の他、桁遊間部からの排水を許容する排水構造の提案も行った。

(1) 非排水構造化の提案

桁遊間部からの漏水を許容しない非排水構造化について、頻繁な部材補修が不要な提案を行う。

提案①ミニ延長床版工法

耐用年数の短い止水材に代わり、下部工まで延長させた床版にて遊間部からの漏水を防ぐ。

(2) 排水構造化の提案

桁端部の非排水構造化は、止水材の耐久性、施工不良を防ぐための施工性改善など解決すべき問題点が残されている。そこで、現状では完全な非排水構造化とするのは困難であるという視点から、桁遊間部からの漏水を許容させるが、それを速やかに排水させる構造を提案した。

提案②排水樋構造

桁遊間部からの排水を桁間に設置した排水樋で受ける事で鋼桁への水の飛散を防ぐ。

提案③ 下部工排水構造

排水樋構造においても部材取替え等の作業が発生する事から、重防食対策を行う事で、敢えてそのまま水を下部工橋座面へ排水する構造を提案した。

3-1-2. 提案手法の採用に向けた検討

(1) 構造選定フローの提案

現行の桁端部水じまい対策（伸縮装置部止水材設置）に対して、上記の構造提案がどのような条件であれば構造変更可能となるか構造選定フローを中心にまとめた。

(2) ライフサイクルコストの比較検討

構造選定フローにおいて提案構造を採用するに当たり、現行の止水材交換とのLCC比較が必要となる。ここではモデル橋梁において提案手法と現行対策の比較を行いどのような条件であれば提案手法が優位となるか検討を行った。

3-2. 構造提案

3-2-1. 床版延長による非排水構造案

(1) 対策の方針

桁遊間部を耐久性の高い部材で塞ぐ事で長期的な止水性能を確保する。

- ・ 桁遊間部を床版で塞ぎ、遊間部からの漏水が主桁にかからないようにする
- ・ 標準的な延長床版の場合、施工規模が大きくなるため簡易的な構造とする
- ・ 桁端部の回転や伸縮に対しては伸縮装置にて対処する。伸縮装置は耐久性の高い鋼製フィンガージョイントを設置する

(2) 構造概要図

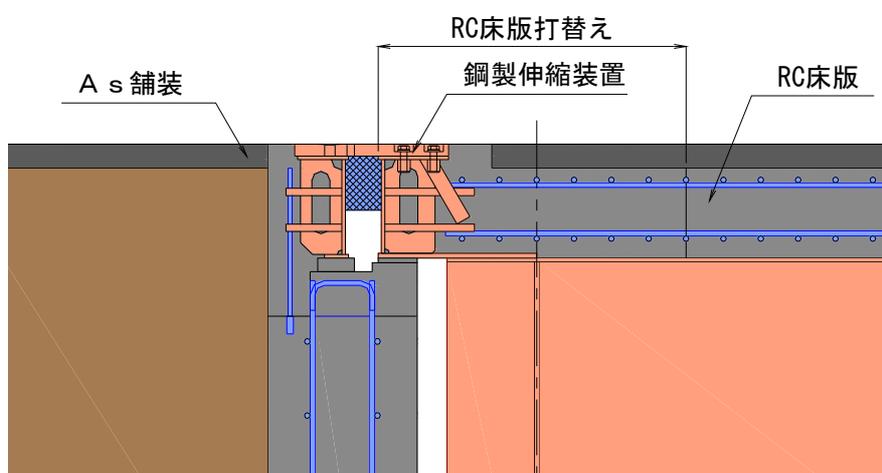


図 3-1 延長床版構造概要図

(3) 適用条件及び特徴

延長床版の適用条件を以下に示す。

表 3-1 延長床版構造の適用条件

項目	適用可能条件
踏掛板の有無	踏掛板が無い場合は、伸縮装置がパラペットに収まる事
排水の流末処理の制限	パラペットに水みちを設けて、横断方向の低い側へ排水できる事
パラペット厚	伸縮装置がパラペットに収まる事
床版形式	RC床版：床版厚が薄い場合部材検討が必要 PC床版：取替え部はRC床版として照査
支承条件	固定支承：制限なし
	可動支承：移動量の大きさより制限を受ける

3-2-2. 排水樋による排水構造化

(1) 対策の方針

従来型の非排水タイプの伸縮装置に期待せず、桁下で集水する仕組みとする。

- ・ 下部工側に排水樋を設置する構造とする
- ・ 主桁側への水の飛散を防ぐ構造とする（パネルを設置して導水させる）

(2) 構造概要図

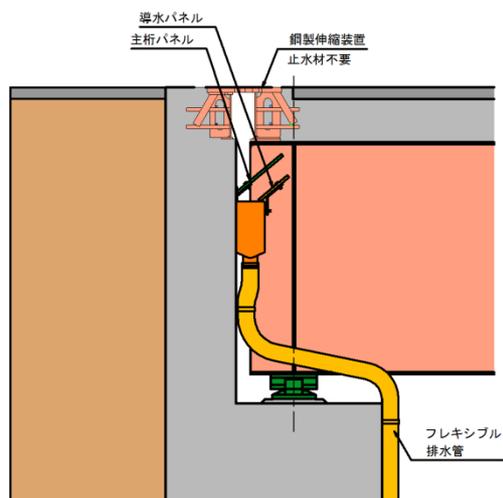


図 3-2 排水樋構造概要図

(3) 適用条件及び特徴

排水樋の適用条件を以下に示す。

表 3-2 排水樋構造の適用条件

項目	適用可能条件
桁遊間	50mm 以上（床版遊間 400mm 以下）
下部工形式	橋台形式：パラペットに樋を設置（図 3-2）
	橋脚形式：床版からの吊り構造等を検討する
主桁形式	鈹桁形式：制限無し
	箱桁形式：主桁背面に設置可能か検討が必要
端横桁形式	対傾構形式：排水樋が施工可能なスペースがあれば可
	フルウェブ形式：適用不可

3-2-3. 下部工排水構造

(1) 対策の方針

どのような構造をもってしても、いずれは水漏れが発生するという観点から、敢えて排水タイプの伸縮装置として水を下部工橋座面へ落とし排水する構造とする。

- ・水が滞留しないよう、橋座面に排水勾配を設置
- ・湿潤状態とならないよう、桁に切り欠きを設置
- ・水の通り道へ重防食を施す

桁端部 : 重防食塗装 (RC-I)
 下部工コンクリート : コンクリート塗装
 支承部 : 亜鉛・アルミ合金溶射

(2) 構造概要図

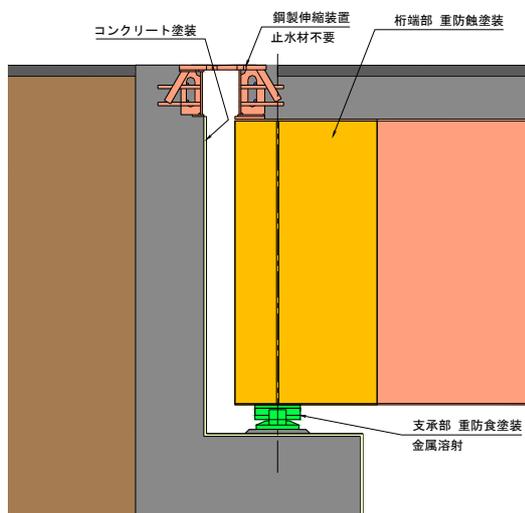


図 3-3 下部工排水構造概要図

(3) 適用条件及び特徴

下部工排水構造の適用条件を以下に示す。

表 3-3 下部工排水構造の適用条件

項目	適用可能条件
桁遊間	200mm 以上 (水切り, コンクリート塗装作業等)
桁下空間 (支承部金属溶射作業)	鈹桁形式: 制限なし
	箱桁形式: 桁下~橋座面間が 400mm 以上
主桁形式	上記桁下空間より適用構造が制限される
端横桁形式	対傾構形式: 適用可能
	フルウェーブ形式: 適用不可
台座高	橋座面排水勾配が施工できる高さ
排水の流水処理の制限	下部工からの垂れ流しが可能か?
下部工清掃	定期的な清掃が必要 (清掃の実施が可能か)

3-3. 提案手法の適用に向けた検討

3-3-1. 構造選定フロー図の提案

(1) 検討概要

各種提案手法の適用に向けて、既設橋梁がどのような条件であれば適用可能となるか、条件整理を行うと共に、構造選定フロー図を作成して選定の流れを可視化する。

今回の提案手法は、既設橋梁を対象としたリニューアル型手法として提案していることから、現状の非排水構造（伸縮装置の定期取替え）の代替案として、提案手法が採用できるか判定する流れとなっている。各種条件が提案手法に適合しなかった場合は、現行対策を継続するという結論になる。

次項に構造選定フロー図を示す。フローは以下の流れに沿って判定している。

① 本検討の必要性の判定

本検討を実施する時期及びその判定基準を示す事で、検討する必要がある橋梁かどうか判定する。

② 適用条件による判定

桁端部の橋梁条件により提案手法が変わってくるため、適用条件を設定する。

適用条件としては、端横桁構造、桁遊間の2つとした。

③ 提案手法と現行手法との比較

現橋の構造条件やLCC比較により提案手法と現行手法（伸縮装置の定期取替え）の比較を行い、提案手法が採用可能か判定を行う。提案が不可の判定となる場合は現行対策の継続が優位という結論となる。また、LCC検討と同時に、対象橋梁が提案手法毎の適用条件を満たしているかも確認し判定を行う。

ここでは、以下の2つの検討を行う。

- ・適用条件による判定
- ・LCC比較による判定

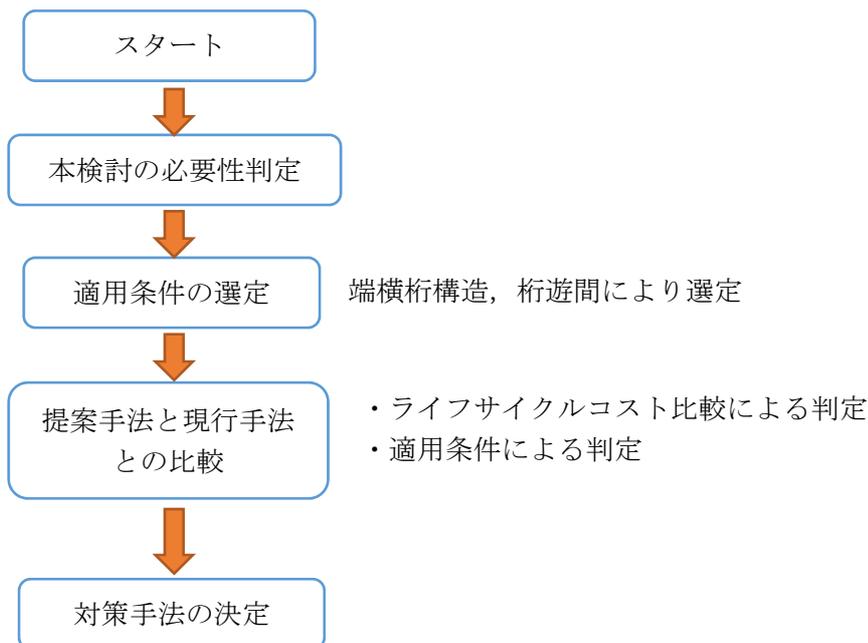


図 3-4 構造提案の流れ

(2) 構造選定フロー図

桁端部水じまい対策の構造選定フロー図は、以下の様に設定した。

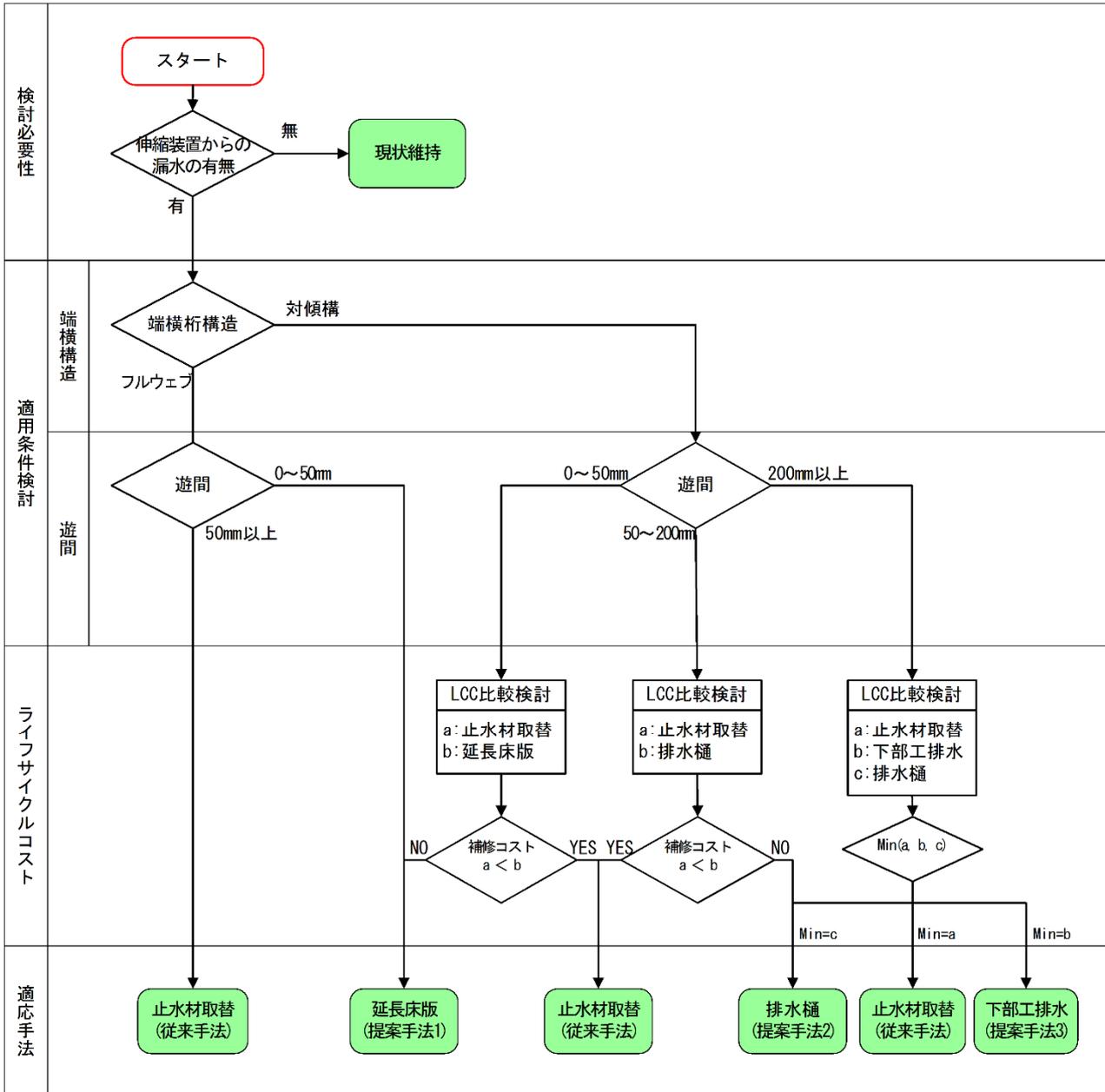


図 3-5 桁端水じまい対策の構造選定フロー

(3) 判定方法について

1) 検討必要性の判定

定期点検により伸縮装置からの漏水が確認された場合、構造変更を含めた対策を考えるものとする。点検結果で漏水が確認されず健全であると判断された場合現状維持とし、その後の点検結果により再度判断する。

2) 適用条件による判定

対象橋梁において下記の構造条件を基に施工の可否を判定する。

i) 端横桁構造

端横桁の構造は、フルウェブ構造と対傾構構造があり、伸縮装置下側からの施工可否を判定する。それぞれの端横桁構造の例を図 3-6 に示す。



a) フルウェブ構造



b) 対傾構構造

図 3-6 端横桁構造例

ii) 遊間

伸縮装置からの漏水対策では、本体が健全の場合、別構造の設置が検討されるため、対象橋梁の遊間の大きさで従来工法や本研究での提案構造の設置可否を判定する。

なお、各構造の適用条件は、3-2. を参考に行うものとする。

3) ライフサイクルコスト比較による判定

現行対策と LCC を比較し、提案手法が優位かどうか判定を行う。また、LCC 比較に合わせて対象橋梁が提案手法毎の適用条件を満たしているかの確認も行い判定を行う。

3-3-2. モデル橋梁によるライフサイクルコストの比較検討

(1) 検討概要

1) 検討目的

構造選定フロー内に設定した LCC 比較項目について、実際の評価がどの様になるかモデル橋梁を用いて実際に算出しその傾向を確認する。

2) 検討シナリオの設定

構造選定フロー内における適用手法（シナリオ）をまとめると以下の様になる。

表 3-4 LCC 検討シナリオ

検討シナリオ	シナリオ内容
シナリオ 1	鋼製伸縮装置の定期取替えによる非排水構造 (現行手法)
シナリオ 2	ミニ延長床版+鋼製ジョイントによる非排水構造 (提案手法)
シナリオ 3	排水樋による排水構造 (提案手法)
シナリオ 4	下部工排水構造 (提案手法)

LCC 検討箇所としては、構造選定フローより端横桁構造が対傾構の場合となる。また桁遊間の違いにより LCC 比較検討も変わってくるため、遊間による各適用手法をまとめると以下の様になる。

表 3-5 検討シナリオの組合せ

検討ケース番号	桁遊間	シナリオ名
ケース①	0~50mm 以下	シナリオ 1
		シナリオ 2
ケース②	50~200mm	シナリオ 1
		シナリオ 3
ケース③	200mm 以上	シナリオ 1
		シナリオ 3
		シナリオ 4

3) ライフサイクルコスト計算時の条件

i) ライフサイクルコスト検討におけるコスト算出範囲について

本検討は桁端部の排水構造の比較を目的としているため、以下のコストを LCC 算出項目と設定する。

- ・ 伸縮装置（本体，止水材）の交換
- ・ 支承の塗替えコスト，足場コスト

ここで，以下のコストは考慮しないものとする。

- ・ 対策以前に発生した維持管理コスト
- ・ 交通規制等により生じる道路利用者の時間損失等の外部費用
- ・ 社会的割引率

ii) 取替えサイクルの設定について

部材の取替えサイクルは，製品メーカー設定値及び「鋼橋のライフサイクルコスト（日本橋梁建設協会）」を基に設定する。

その他の設定値について

- ・ 止水材は維持管理性に優れる乾式止水材を想定し，その設計年数（メーカー試験報告より）を設定した
- ・ 排水樋については標準的な耐用年数が定まっていないため，排水管の耐用年数などを考慮して仮定した
- ・ 下部工塗装（コンクリート表面保護工）については桁端塗装と同時更新とした
- ・ 支承部金属溶射は，表 3-7(a) 及び鋼橋の常温金属溶射設計・施工マニュアル(案)（土木構造物常温金属溶射研究会）の推定値（厳しい環境）を参考に設定した

表 3-6 部材取替えサイクルの設定

部材名	取替えサイクル	備考
伸縮装置（鋼製）	40 年	表 3-7(b) の一般環境を想定
伸縮装置（止水材）	10 年	メーカー設計値
支承塗装 (C-5 塗装系)	30 年	表 3-7(a) の厳しい環境を想定
排水樋	15 年	仮定値
桁端重防食塗装 (C-5 塗装系)	30 年	表 3-7(a) の厳しい環境を想定
下部工塗装	30 年	仮定値（桁端塗装と同時更新とする）
支承塗装（溶射）	50 年	仮定値

表 3-7 各種推定耐久年数（出典：技術短信 鋼橋のライフサイクルコスト（日本橋梁建設協会）¹⁰⁾）

(a) 防食の推定耐用年数

項 目				耐久年数				
初期塗装	塗替え塗装	塗装名称	一般環境 (山間部)	やや厳しい環境 (市街地部)	厳しい環境 (海岸部)	耐久年数		
						一般環境 (山間部)	やや厳しい環境 (市街地部)	厳しい環境 (海岸部)
塗 装	A-5	景觀維持	Ra-III	長油性 フタル酸 樹脂塗料	10年	7年	—	
		防食維持	RcI or RcIII		15年	10年	—	
	C-5 全工場 塗装	景觀維持	Rc-IV	フッ素 樹脂塗装	35年	30年	20年	
		防食維持	—		60年	45年	30年	
	I:薄膜形 重防食 全工場塗装	景觀維持	Rc-IV	ポリウレタン 樹脂塗料	20年	14年	—	
		防食維持	—		30年	20年	—	
塗 装 以 外 の 防 食	熔融亜鉛メッキ			100年	60年	25年		
	亜鉛アルミ合金溶射+封孔処理			100年	70年	60年		
	亜鉛アルミ合金溶射+ 全面フッ素樹脂塗装			—	—	90年		
	耐候性鋼材(原板プラスト)			200年 ※1	200年 ※1	—		
	耐候性鋼材+さび安定化補助処理			200年 ※1	200年 ※1	—		
	(参考)ニッケル系高耐候性鋼材			—	—	200年 ※1		

(b) 付属物の推定耐用年数

項 目		耐久年数			
項 目		一般環境 (山間部)	やや厳しい環境 (市街地部)	厳しい環境 (海岸部)	
					RC床版
場所打ちPC床版	200年	200年	200年		
プレキャストPC床版	200年	200年	200年		
鋼・コンクリート合成床版	200年	200年	200年		
支 承	B P B	100年	100年	100年	
	ゴ ム	100年	100年	100年	
伸縮装置	鋼 製	40年	30年	30年	
	鋳 鋼 製	40年	30年	30年	
	ゴ ム製	20年	15年	15年	
高 欄	鋼 製	30年	30年	30年	
	鋳 鋼 製	30年	30年	30年	
	アルミ製	60年	60年	60年	
舗 装	普通As	表 層	15年	10年	10年
		基 層	30年	20年	20年
	高機能	表 層	20年	15年	15年
		基 層	40年	30年	30年
防水層	シート	30年	20年	20年	
	塗 膜	40年	30年	30年	
排水装置	RC床版	100年	100年	100年	
	合成床版・PC床版	200年	200年	200年	

4) 提案手法の開始時期の設定について

本検討では LCC 計算の開始時期を供用後 10~40 年の 4 ケースで比較を行う。

これは、止水材からの漏水発生時点では伸縮装置本体の健全性は十分あると考えられるため、伸縮装置本体の取替えは止水対策時点では行わず、供用開始時を起点とした取替えサイクルと設定した事による。そのため、止水対策時期及びその取替えサイクルと、伸縮装置本体（この時止水材の交換も同時に行う）の取替えサイクルの組合せより図 3-7 で示す 4 ケースを設定した。

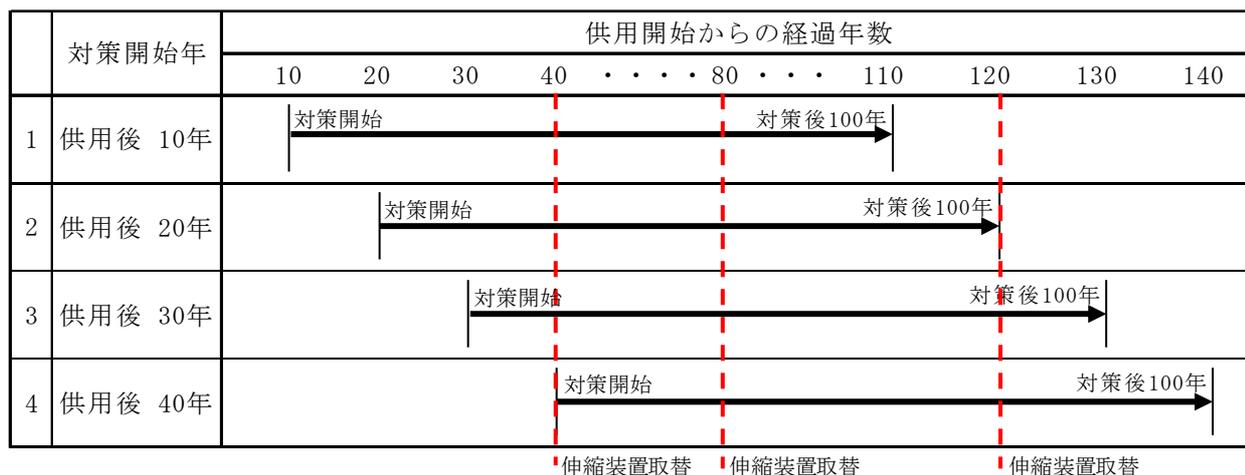


図 3-7 各手法のスタート時期の設定

(2) ライフサイクルコスト算出シナリオ

1) シナリオ 1：現行型非排水構造（鋼製伸縮装置の定期取替え）

i) 検討条件

- ・伸縮装置からの漏水は考慮しない（漏水発生前に取替える事を想定する）
- ・伸縮装置取替え時に止水材も新設する
止水材は、鋼製伸縮装置とは別に取替えサイクルを設定して定期的な取替えを行う
- ・支承は定期的な塗替えを想定する（他手法と相違が生じるため）
- ・橋梁全体の塗装塗替えは含めない（他手法と同条件であるため）
- ・定期的な清掃コストも LCC に含める

ii) 想定される維持管理サイクル

各工種の取替えサイクルを以下に示す。これに加え、5年毎の伸縮部清掃コストを計上する。

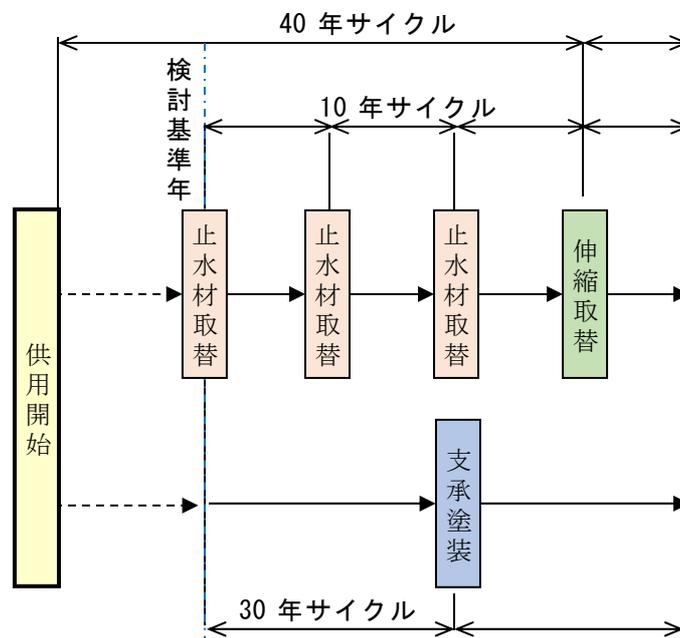


図 3-8 維持管理サイクル図(シナリオ 1)

iii) 施工単価の設定

施工単価は、以下の値を設定した。

表 3-8 施工単価表(シナリオ 1)

工種	単価 (円)	備考
伸縮装置取替工	3,843,000	40年サイクル
止水材取替工	1,451,000	10年サイクル
支承塗装工	609,000	30年サイクル
伸縮部清掃工	15,000	5年サイクル

2) シナリオ 2：ミニ延長床版＋鋼製ジョイントによる非排水構造化

i) 検討条件

- ・既設床版（桁端部），パラペット上端部の取り壊しを行い，床版延長及びジョイントの付け替えを行う
- ・支承は定期的な塗替えを想定する（他手法と相違が生じるため）
- ・橋梁全体の塗装塗替えは含めない（他手法と同条件であるため）
- ・定期的な清掃コストも LCC に含める

ii) 想定される維持管理サイクル

各工種の取替えサイクルを以下に示す．これに加え，5年毎の伸縮部清掃コストを計上する．

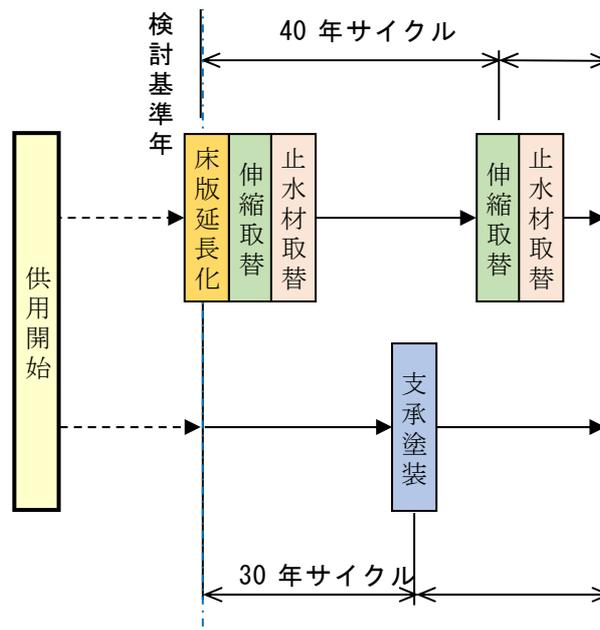


図 3-9 維持管理サイクル図(シナリオ 2)

iii) 施工単価の設定

施工単価は，以下の値を設定した．

表 3-9 施工単価表(シナリオ 2)

工種	単価 (円)	備考
桁端改造	9,705,000	初年度のみ
伸縮装置取替工	5,294,000	40年サイクル
支承塗装工（足場工含む）	609,000	30年サイクル
伸縮部清掃工	15,000	5年サイクル

3) シナリオ 3 : 排水樋による排水構造案

i) 検討条件

- ・伸縮装置はそのまま使用し，40 年後に排水構造に取替える（止水材は設置しない）
- ・支承は定期的な塗替えを想定する（他手法と相違が生じるため）
- ・橋梁全体の塗装塗替えは含めない（他手法と同条件であるため）
- ・定期的な清掃コストも LCC に含める

ii) 想定される維持管理サイクル

各工種の取替えサイクルを以下に示す．これに加え，5 年毎の伸縮部清掃コストを計上する．

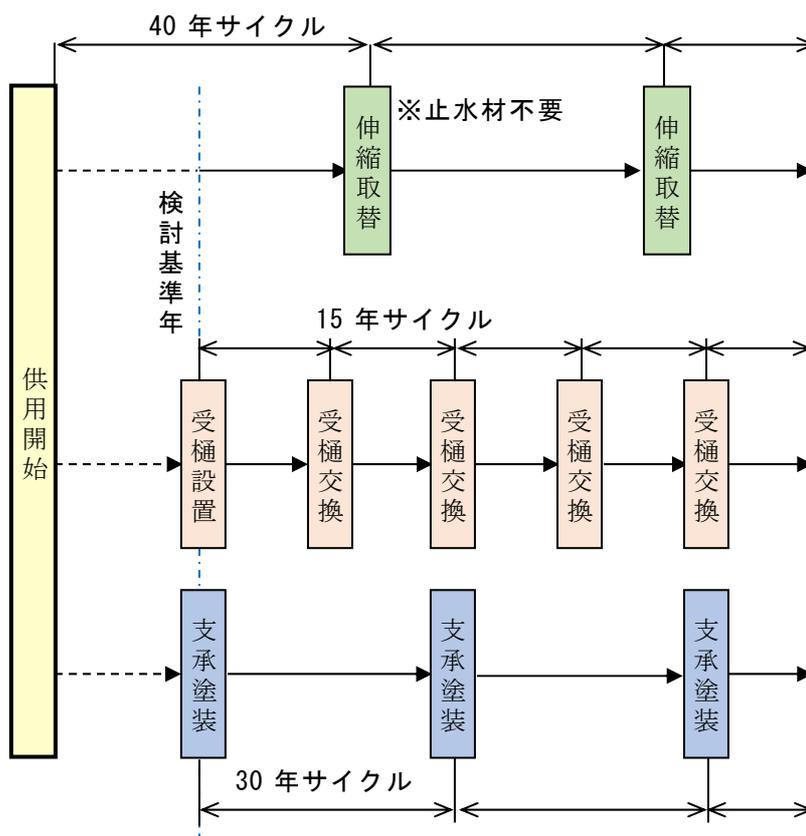


図 3-10 維持管理サイクル図(シナリオ 3)

iii) 施工単価の設定

施工単価は，以下の値を設定した．

表 3-10 施工単価表(シナリオ 3)

工種	単価 (円)	備考
伸縮装置取替工	3,254,000	40 年サイクル
排水樋設置	1,839,000	15 年サイクル
支承塗装工 (足場工含む)	609,000	30 年サイクル
伸縮部清掃工	15,000	5 年サイクル

4) シナリオ 4 : 下部工排水構造案

i) 検討条件

- ・伸縮装置はそのまま使用し、40 年後に排水構造に取替える（止水材は設置しない）
- ・桁端部は重防食仕様に塗替える
- ・パラペット部にコンクリート塗装を施す
- ・支承部は金属溶射による重防食処理を施す
- ・水はけを良くするために、橋座面に排水勾配を設ける
- ・橋梁全体の塗装塗替えは含めない（他手法と同条件であるため）
- ・定期的に下部工清掃工を実施する

ii) 想定される維持管理サイクル

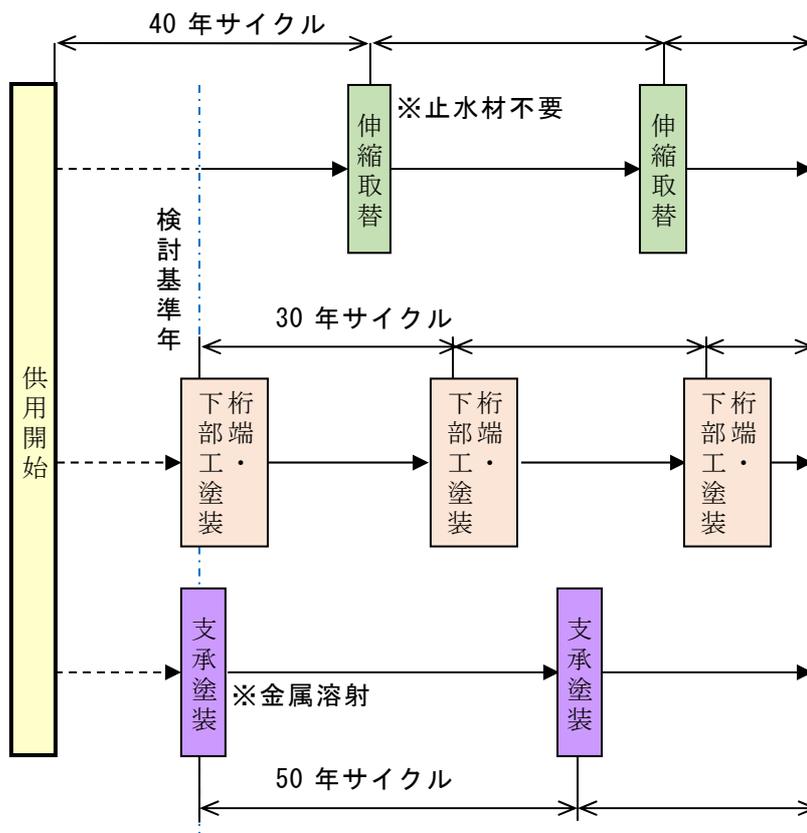


図 3-11 維持管理サイクル図(シナリオ 4)

iii) 施工単価の設定

施工単価は、以下の値を設定した。

表 3-11 施工単価表(シナリオ 4)

工種	単価 (円)	備考
伸縮装置取替工	3,254,000	40 年サイクル
桁塗装工	338,000	30 年サイクル
下部工補修工 (足場工含む)	467,000	30 年サイクル
支承塗装工 (足場工含む)	930,000	50 年サイクル
下部工清掃工	75,000	5 年サイクル

(3) ライフサイクルコスト算出結果

1) 検討ケース① (桁遊間 0~50mm)

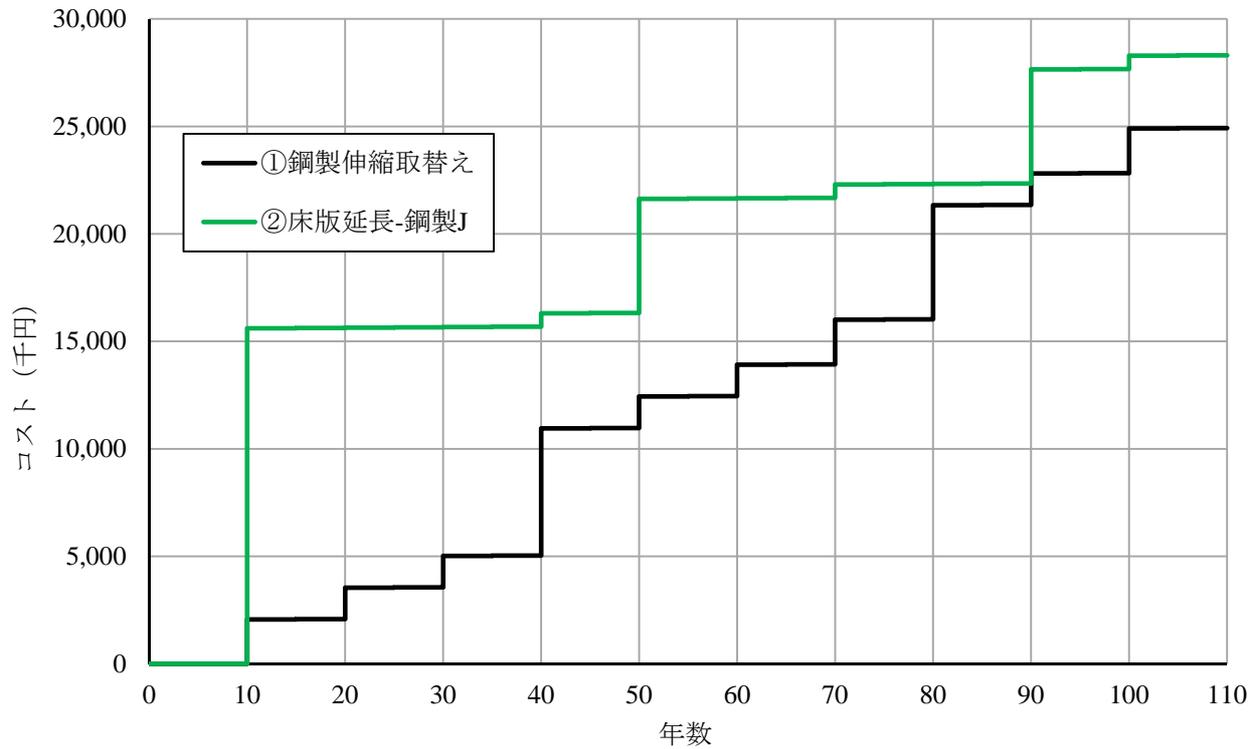


図 3-12 LCC 予測比較表 検討ケース①<供用 10 年後開始>

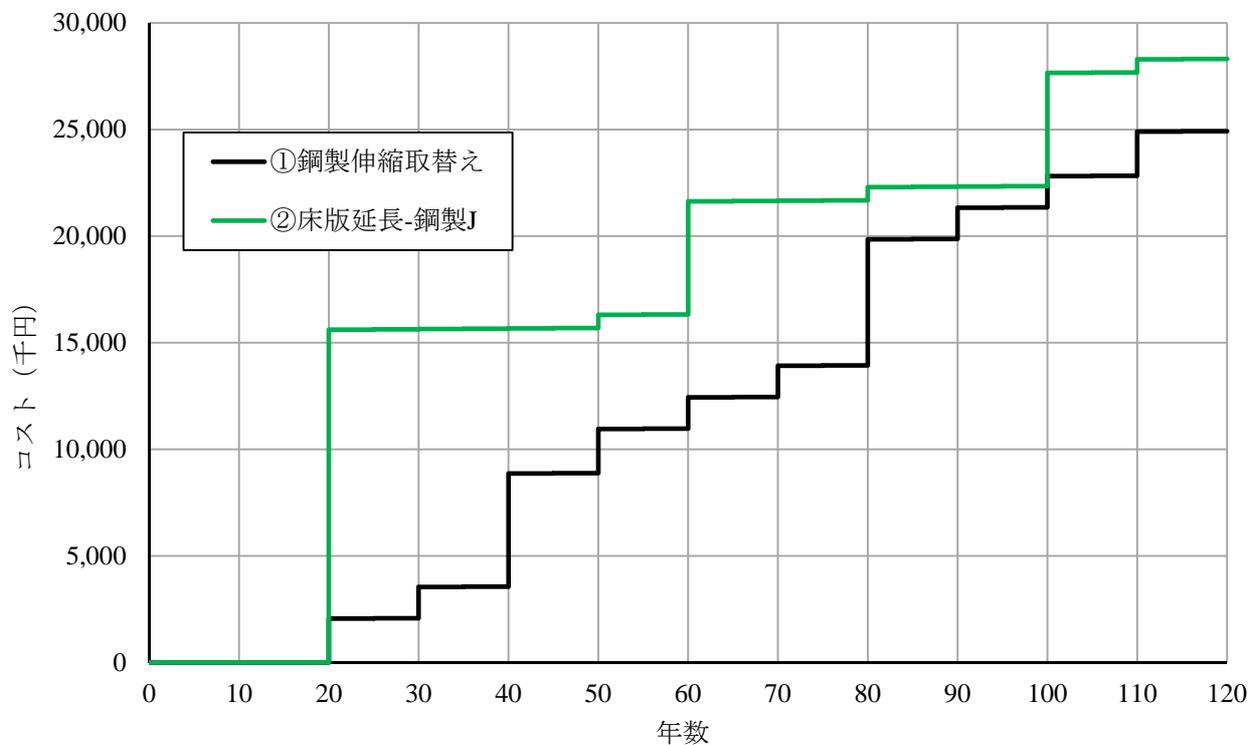


図 3-13 LCC 予測比較表 検討ケース①<供用 20 年後開始>

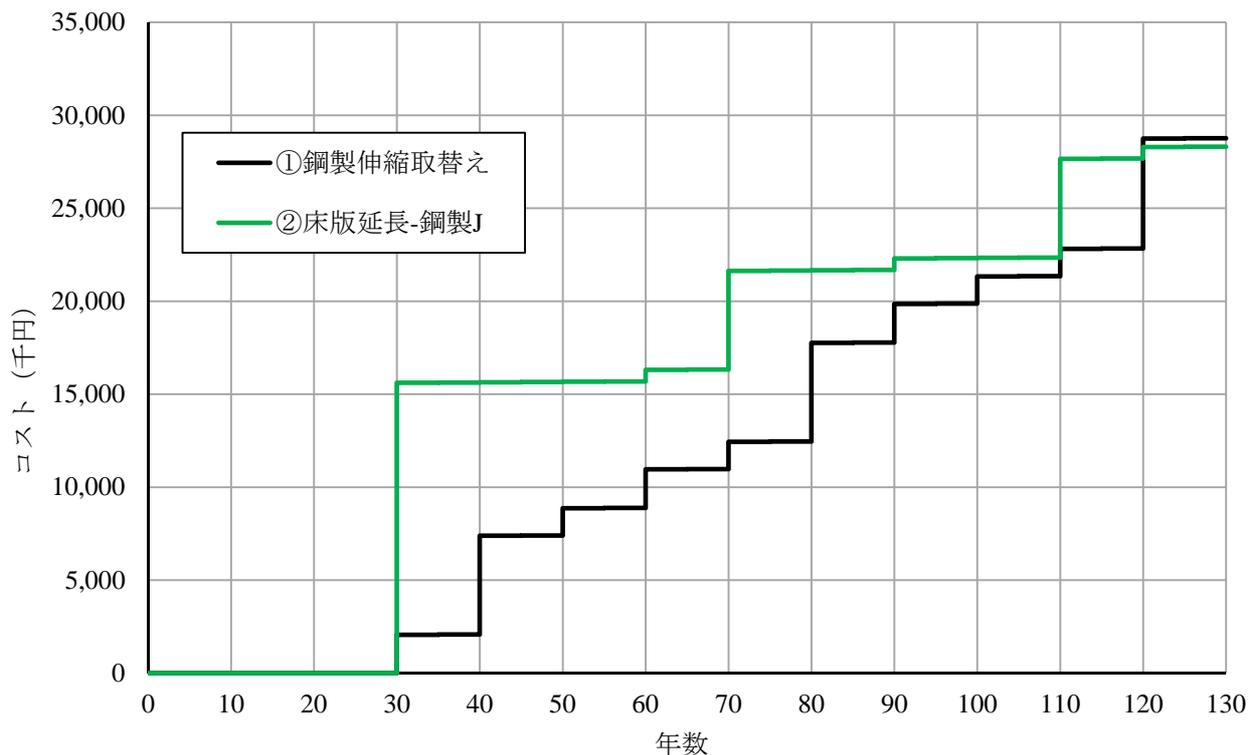


図 3-14 LCC 予測比較表 検討ケース①<供用 30 年後開始>

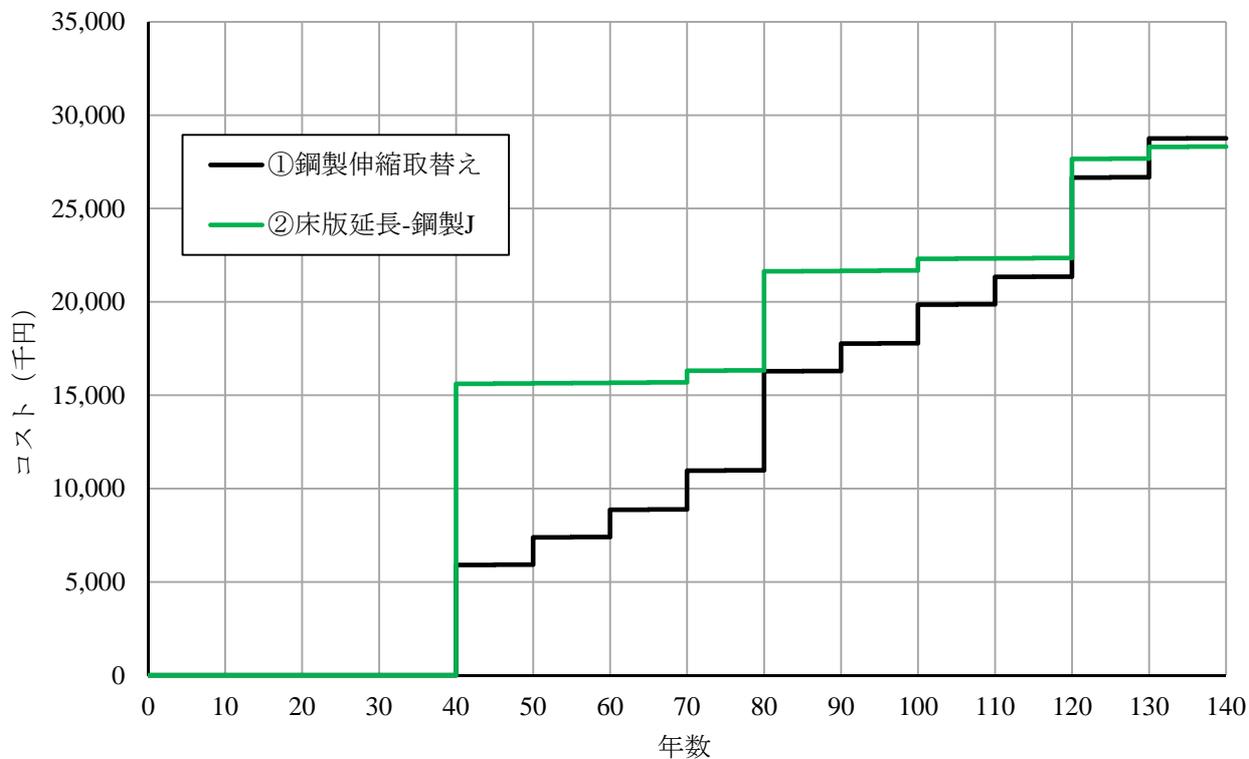


図 3-15 LCC 予測比較表 検討ケース①<供用 40 年後開始>

2) 検討ケース② (桁遊間 50~200mm)

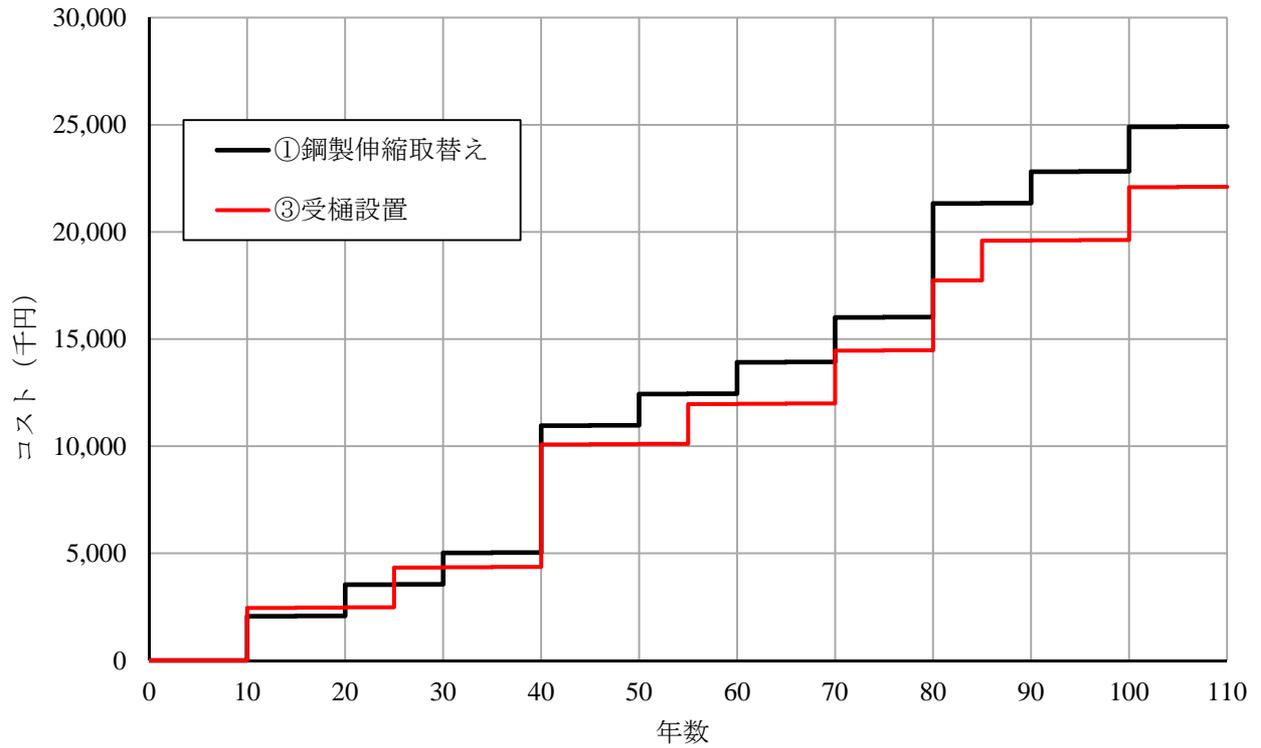


図 3-16 LCC 予測比較表 検討ケース②<供用 10 年後開始>

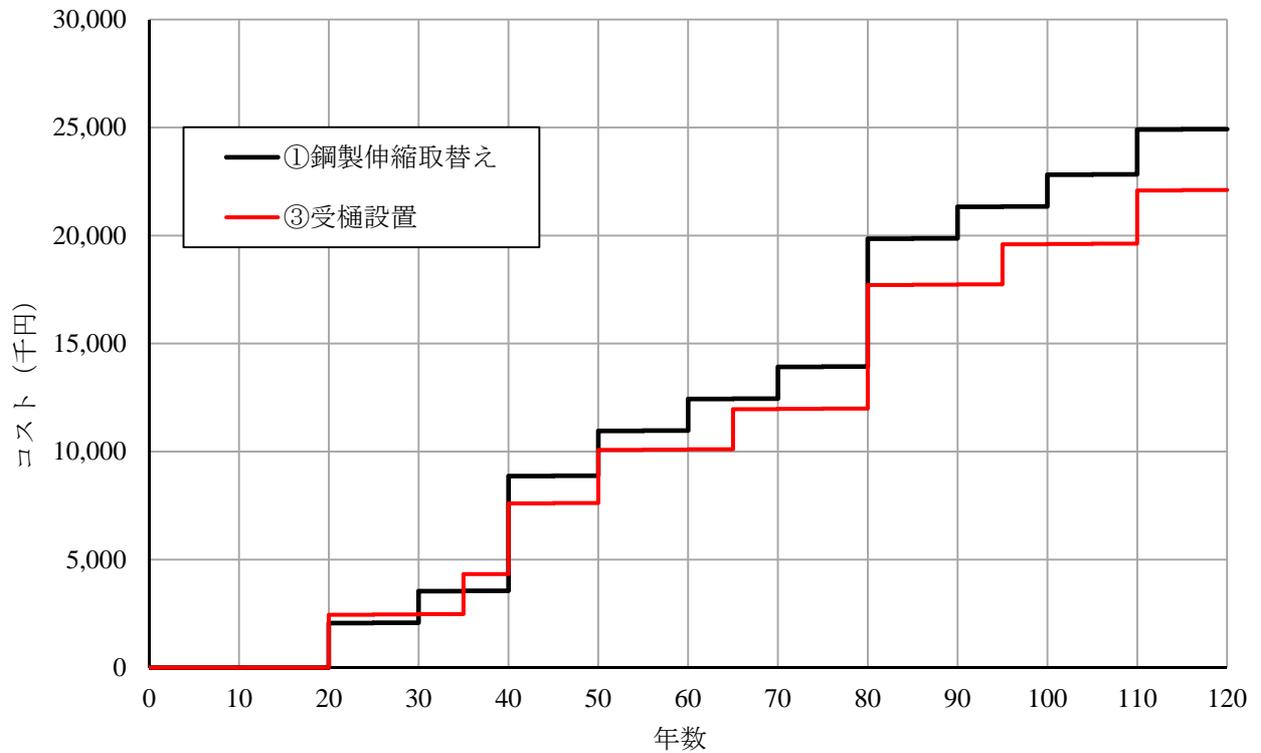


図 3-17 LCC 予測比較表 検討ケース②<供用 20 年後開始>

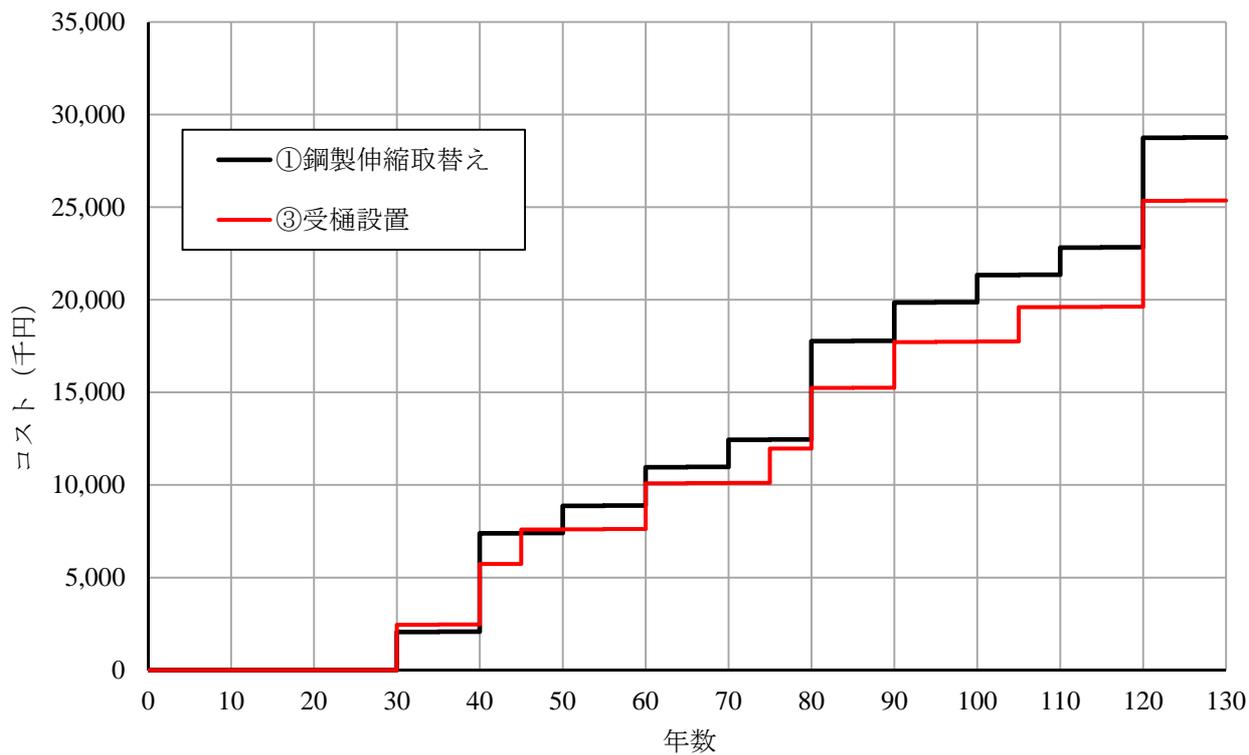


図 3-18 LCC 予測比較表 検討ケース②<供用 30 年後開始>

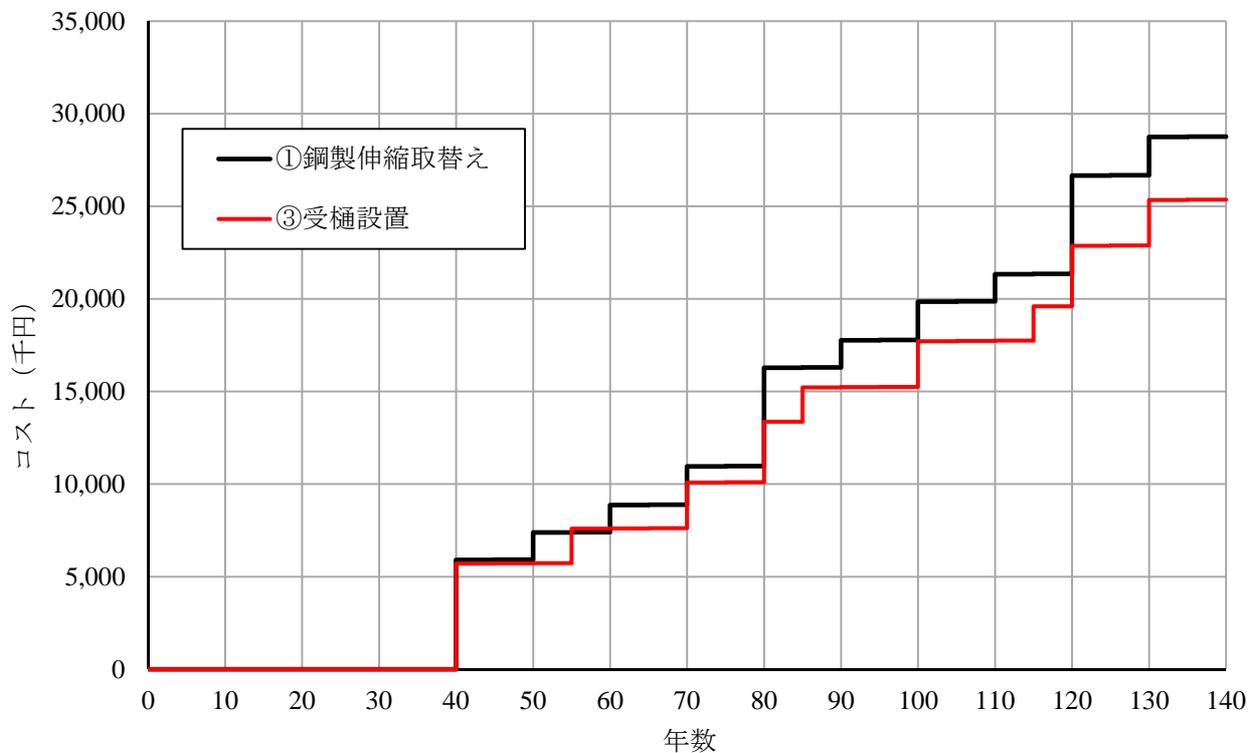


図 3-19 LCC 予測比較表 検討ケース②<供用 40 年後開始>

3) 検討ケース③ (桁遊間 200mm 以上)

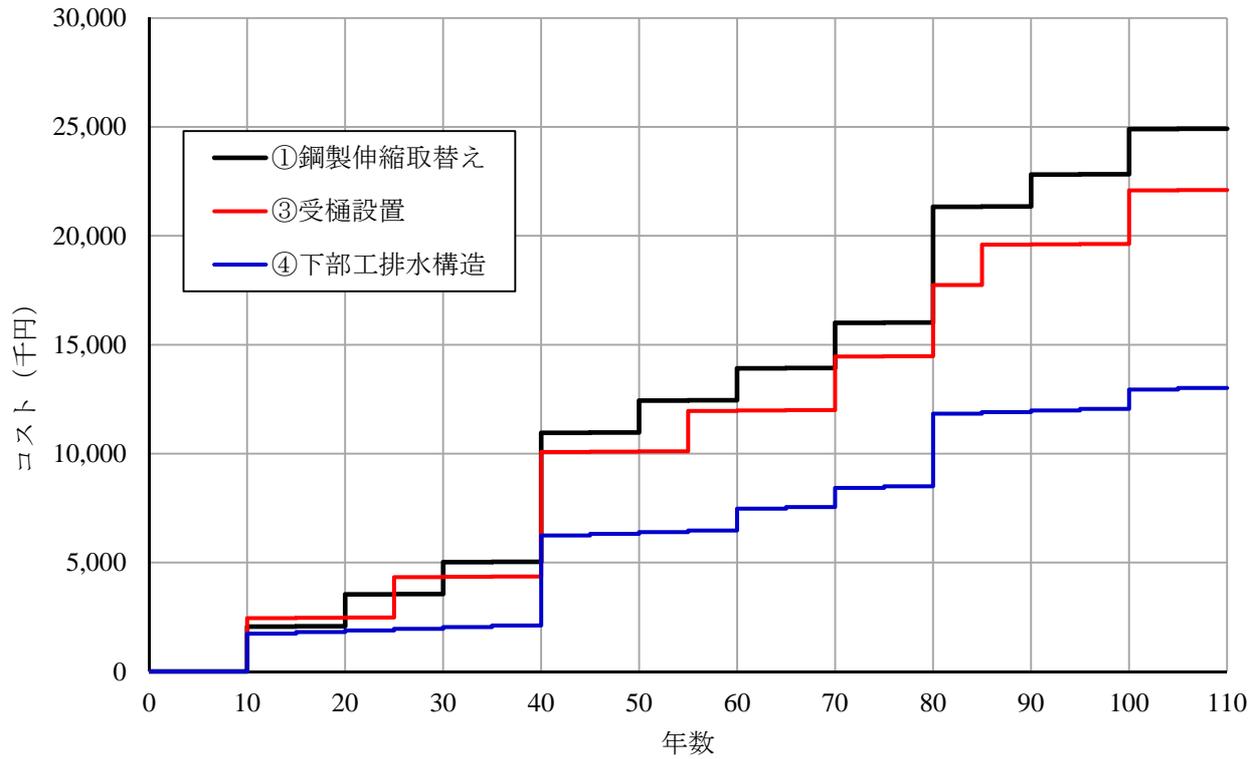


図 3-20 LCC 予測比較表 検討ケース③<供用 10 年後開始>

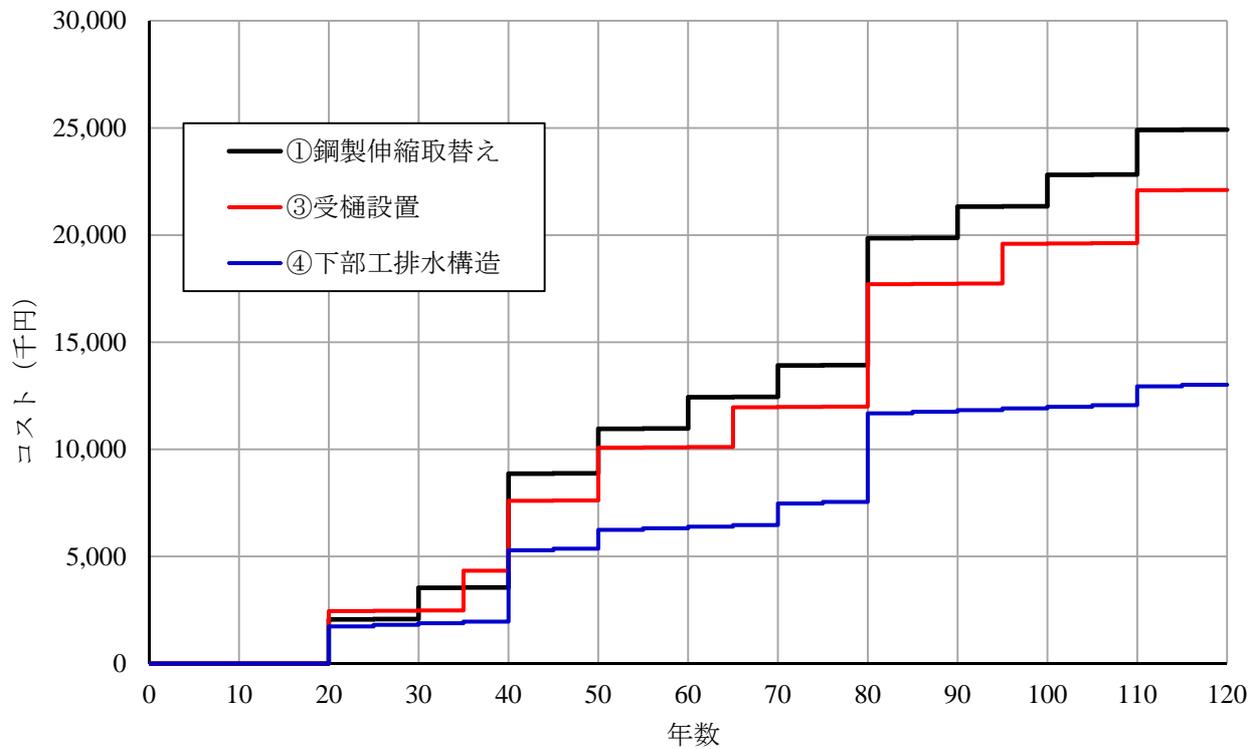


図 3-21 LCC 予測比較表 検討ケース③<供用 20 年後開始>

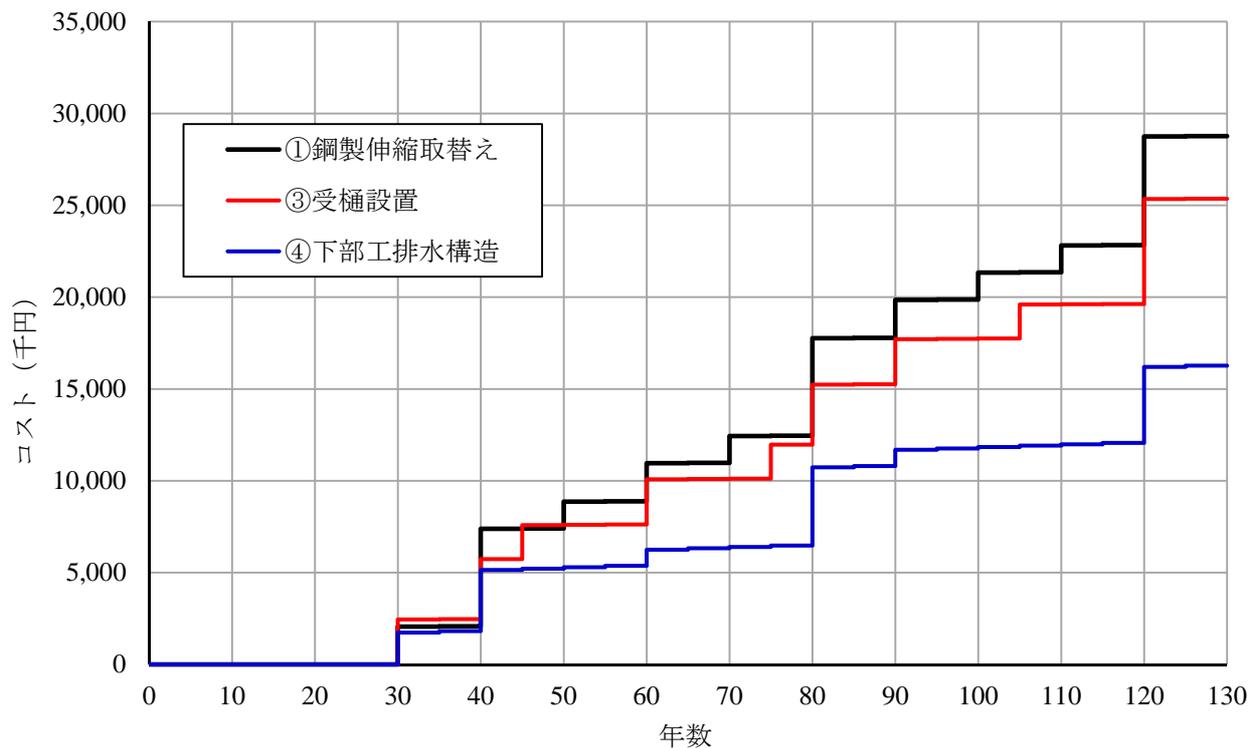


図 3-22 LCC 予測比較表 検討ケース③<供用 30 年後開始>

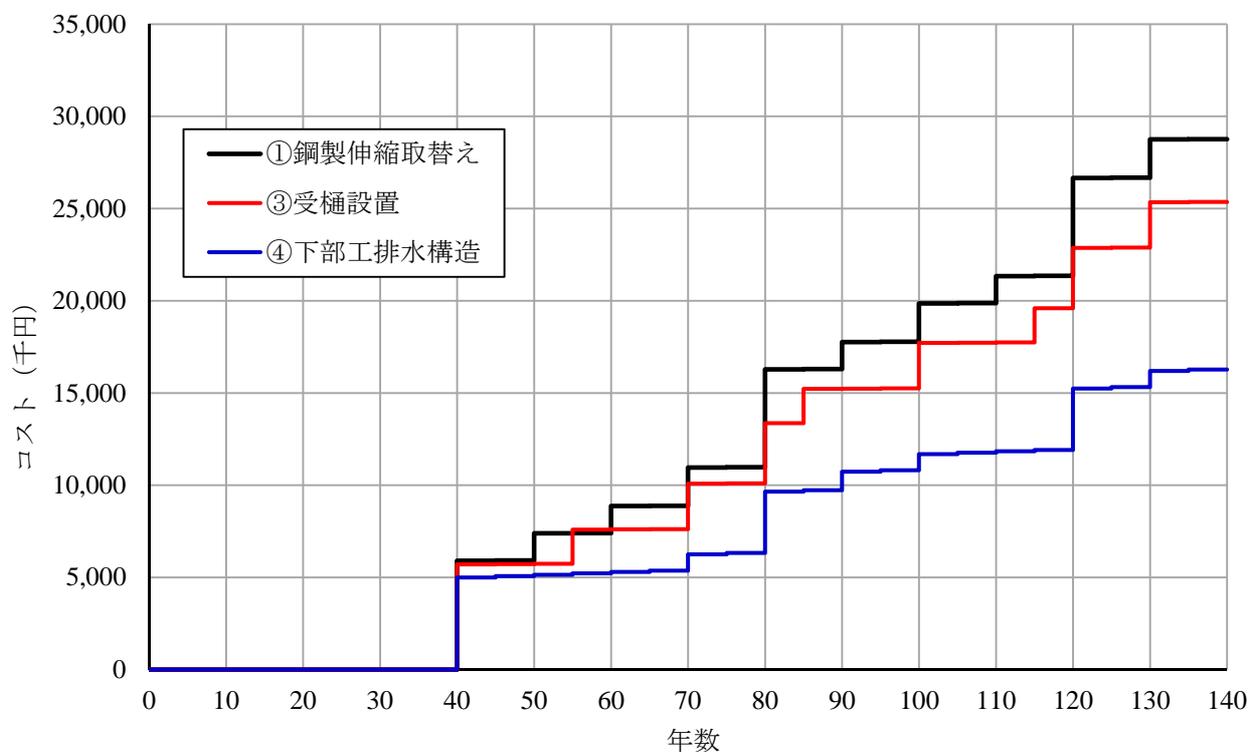


図 3-23 LCC 予測比較表 検討ケース③<供用 40 年後開始>

3-4. 桁端部水じまい対策のまとめ

3-4-1. 提案内容まとめ

桁端部水じまい対策について以下の提案を行い、概要図及び適用条件をまとめた。

①延長床版構造の提案

延長床版により桁端部を塞ぐ構造である。桁遊間部を跨いで下部工側に床版が伸びる事から遊間が狭い（支間が短い）方が耐荷性に優れる。桁端部の構造に左右されにくく、基本的に橋面上での作業で対応できる。

②排水樋構造

桁遊間量に対しては延長床版と下部工排水の中間程度の位置付けとなる。遊間が狭い橋梁でも設置可能であるが、桁端部の構造に左右されるため、適用には部材設置可能な桁高や対傾構形式の端横桁などの橋梁条件を満たす必要がある。

③下部工排水構造

下部工に沿わせて排水する構造のため、通気性、施工性から桁遊間が広い橋梁で適用可能となる。

3-4-2. 提案手法の適用に向けた検討

(1) 桁端部水じまい対策の構造選定フロー図の提案

上記の構造提案を選定する手法について、構造選定フローを作成した。フロー図については、**図 3-5** 参照とする。

(2) ライフサイクルコスト比較検討

1) 検討ケース①について ・比較項目：現行手法（伸縮装置取替え）、延長床版構造

全体的に延長床版工法の方が高価という結果になった。

対策開始時期については供用後 30 年、40 年の場合は、現行手法における伸縮装置取替えとのタイミングが近い事から、供用 100 年以降についてコストがほぼ同程度となった。

今回の LCC 比較結果によると提案採用は難しいが、今後床版打替え技術の発展などにより施工コストが低下すれば、より採用し易くなると思われる。

2) 検討ケース②について ・比較項目：現行手法（伸縮装置取替え）、排水樋構造

どの開始時期のケースにおいても排水樋構造が安価という結果になった。今回のモデル橋梁のケースにおいては排水樋構造が優位と言える。

3) 検討ケース③について ・比較項目：現行手法（伸縮装置取替え）、排水樋構造、下部工排水構造

どの開始時期のケースにおいても下部工排水構造が最も安価という結果になった。

§4. まとめと今後の課題

4-1. 水じまい対策提案のまとめ

(1) リニューアル型維持管理手法の構造提案

既設橋梁を対象とし、排水装置及び桁端部水じまい対策について、リニューアル型維持管理手法の構造提案を行った。また、それぞれの提案について構造選定フローを作成し、提案手法が選定されるための流れ及びその条件をまとめた。

表 4-1 本研究での提案内容

検討項目	提案内容
橋面排水構造の提案	排水ます撤去案
	鋼製排水溝案
	地覆外側排水溝案
桁端部水じまい対策の提案	ミニ延長床版構造
	排水樋による排水案
	下部工排水構造

(2) 提案手法の適用に向けた検討

提案した構造選定フローを利用する際、現橋の条件を基に計算を行い判定する項目がある。そのため、モデル橋梁を設定して計算を行い、どのような判定となるか検討を行った。

検討を行った項目及びその結果は以下の通りとなった。

①橋面排水構造における排水計算

- ・排水ます撤去構造について、可能な橋長と縦断勾配の関係を示した。
- ・鋼製排水溝の適用について I 桁構造であればフラットタイプの鋼製排水溝は適用可能である。
- ・鋼製排水溝サイズについて、橋長と縦断勾配によりその必要サイズの大きさが分かった。

②ライフサイクルコスト比較検討について

- ・橋面排水構造の提案において、鋼製排水溝を適用する際は、排水管の取替えサイクル、対策実施後の橋梁の供用期間、橋長及び縦断勾配の違いにより適用可能な橋梁条件が決定される事が分かった。
- ・桁端部水じまい対策においては、下部工排水構造が最も低コストで優位となった。延長床版構造は現行の伸縮装置取替えより高価であり、排水樋構造は現行手法と同程度となった。

(3) 橋面排水構造と桁端部水じまい対策の組合せについて

両者の水じまい対策上の役割分担は、橋面上の大部分の橋面排水構造（鋼製排水溝等）で排出し、桁端付近の橋面排水構造では処理出来ない部分について桁端部水じまい対策（排水構造または非排水化して土工部側に流す）で対処するという形となる。お互いの検討結果に影響を及ぼす事はないため、適用においては個別に最適案を検討し組合せる事ができる。

4-2. 今後の課題

4-2-1. 橋面排水構造の課題

① 排水管取替えサイクルの目標値の設定

今回の構造提案において、排水管の取替えサイクルが橋面排水構造の優位性に影響を与える事が分かった。ただし、屋外に配置された排水管の耐用年数が解明されていない事から、目標となる排水管取替えサイクルの設定が、本提案の採用に向けた課題である。

② 床版防水工との連携について

床版防水工は、舗装内に浸透した雨水から床版を保護する目的で設置される。既設橋に対する橋面排水対策では、この浸透水の処理には十分に対応出来ないのが現状であり、今後床版防水とどのような連携を取っていくかが課題となる。

4-2-2. 桁端部水じまい対策の課題

① 延長床版構造の低コスト化

延長床版工法は、止水対策として有用であるが、LCC 比較検討の結果、現行手法より高価であるという結果になった。そのため、より簡易的な連結構造による低コスト化や、止水効果以外のメリットを生かした提案方法など実現に向けた手法が課題となる。

② 下部工排水構造の維持管理対策上の課題

下部工排水構造を適用した場合、下部工の土砂堆積や、桁遊間部の通気性などが部材の劣化進行度に影響を与える可能性がある。それらが部材の耐用年数にどの程度影響を与えるか、また LCC 予測の結果と関連が生じるかを調査し、適切な条件での提案が課題となる。

第3章の参考文献

- 1) 独立行政法人 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター, 鋼橋桁端部の腐食対策に関する研究, 2010.3
- 2) 東北地方整備局, 新設橋の排水計画の手引き (案), 2014.10
- 3) 社団法人 日本道路協会, 道路土工要領, 2009.6
- 4) 財団法人 道路保全技術センター 道路構造物保全研究会, 道路アセットマネジメントハンドブック, 鹿島出版会, pp.105~138, 2008.11
- 5) 一般社団法人 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
- 6) 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
- 7) 一般財団法人 経済調査会, 土木施工単価, 2015.7
- 8) 一般財団法人 建設物価調査会, 土木コスト情報, 2015.7
- 9) 一般財団法人 建設物価調査会, 建設物価, 2015.7
- 10) 社団法人 日本橋梁建設協会, 技術短信 NO.10 -鋼橋のライフサイクルコスト-, 2009.10
- 11) 土木構造物常温金属溶射研究会, 鋼橋の常温金属溶射設計・施工マニュアル, 2001.4

あとがき

本部会は平成 25(2013)年 4 月に開始されました。長寿命化を目指す場合、鋼橋の破壊要因となる地震や疲労、腐食といった経年劣化に対応すべきこととなります。しかし、メンバーの数や活動の年限といった制約もあり、部会で話し合った結果、長寿命化に最も効果的なものは、桁端部の腐食対策であろう、との結論に至り、本部会の研究対象を決定しました。腐食対策としては塗装と水処理であり、二つの柱となるワーキングとなりました。平成 19(2007)年に国土交通省の「長寿命化修繕計画策定事業費補助制度」がすでに始まっており、本部会でも地方自治体が管理する比較的小規模の橋梁を意識していたといえるでしょう。

「長寿命化」と言っても、その効果をどのように示すか、も大きな議論の対象となりました。しかし、まえがきや第 1 章にも記載されているように、長寿命化技術適用による実施シナリオを示しながら、ライフサイクルコストという数値で評価する、というコンセプトとしました。

第 2 章の防錆・防食技術に関する長寿命化では、いわゆる「5 年に一度の近接目視」の点検時において、応急的な補修塗装を行う「点検時塗装」を提案しました。「点検時塗装」では全面的かつ大がかりな塗装はできないので、「部分塗替え」となります。ここで得られた結論を以下に示します。

- ・「点検時塗装」「部分塗替え塗装」「全面塗替え塗装」を組み合わせた塗替えシナリオのライフサイクルコストを計算できるソフトを作成した。
- ・「点検時塗装」と「部分塗替え塗装」の併用を継続することは、「全面塗替え塗装」をベースとしたシナリオよりも経済的になる。
- ・錆面積が 20～30%程度の状況で、「点検時塗装」を想定した塗料および試験片を用いた複合サイクル促進試験において、5 年間の耐久性を調査した結果、3 種類の塗料のうち、2 種類の塗料で良好な耐久性が得られた。

第 3 章の水じまい手法による長寿命化の検討では、これまで提案・実用化されているいくつかの水じまい対策について、地方自治体が管理する比較的小中の既設橋梁への適用可能性について検討しました。特に、橋面排水構造と桁端部水じまい対策に関して、ライフサイクルコスト評価を導入した構造選定フローを提案しました。ここで得られた結論を以下に示します。

- ・橋面排水に関して、鋼製排水溝は有力な更新手段となった。しかし、設置には条件があり、適用の範囲について明らかにした。
- ・桁端部の排水では、排水管取替えサイクルなどが重要なパラメータとなった。下部工への排水構造が、コストが比較的低い傾向を見せた。
- ・橋面排水および桁端排水手法について構造選定フローを提案した。それぞれの構造選定に対するライフサイクルコスト計算を示した。

検討に挙げた各種塗料の施工性の調査、構造物の性能曲線を設定し、それに基づいた更新期間によるライフサイクルコスト計算への拡張などが、今後の課題と考えられます。

最後に、部会員に議論し易い雰囲気を作るよう気を配られ、自身も惜しみなくアイデアを出して、部会を盛り上げてくださった部会長の原田隆郎先生にお礼申し上げます。

鋼橋技術研究会 長寿命化技術に関する研究部会
副部長 白旗 弘実

長寿命化技術に関する研究部会 報告書 (No.081)

編 集 鋼橋技術研究会 長寿命化技術に関する研究部会
発 行 平成29年3月
発 行 所 鋼橋技術研究会
〒166-8532 東京都杉並区和田3-30-22 大学生協学会支援センター内
TEL.03-5307-1175

※当該資料の内容を複製したり他の媒体へ転載するような場合は、
必ず鋼橋技術研究会の許可を得てください。

編集協力 株式会社 アズ・クリエイト