



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	札幌市における道路橋の長寿命化修繕計画策定に関する研究
Author(s)	須志田, 健
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11456号
Issue Date	2014-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k11456
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55539
Type	doctoral thesis
File Information	Sushida_Ken.pdf



札幌市における道路橋の 長寿命化修繕計画策定に関する研究

Study on Maintenance System and Life-extending Plan of Road Bridges in Sapporo City

須志田 健

平成 26 年 3 月

目次

1. 序論	1
1.1 研究背景	2
1.2 既往の研究	2
1.2.1 橋梁の維持管理計画に関する研究	2
1.2.2 積雪寒冷地の床版劣化および調査手法に関する研究	3
1.3 本研究の目的	4
1.4 本論文の構成	5
2. 札幌市の橋梁の現状と課題	7
2.1 はじめに	8
2.2 全国の自治体における取組み状況	8
2.3 札幌市の橋梁の概要および現状	11
2.3.1 札幌市の概況と橋梁の規模および構造形式	11
2.3.2 橋梁の架設年度および高齢化の進捗	13
2.3.3 札幌市の交通状況	14
2.4 橋梁点検	15
2.4.1 橋梁点検の概要	15
2.4.2 進捗状況	18
2.4.3 損傷の傾向	19
2.5 まとめ	22
3. 重要橋梁の長寿命化修繕計画	25
3.1 はじめに	26
3.2 計画策定の方針	26
3.2.1 長寿命化修繕計画の位置付け	26
3.2.2 重要橋梁と一般橋梁の選定	28
3.3 橋梁のグルーピングと目標共用年数の設定	29
3.3.1 橋梁のグルーピングの設定	29
3.3.2 目標共用年数の考え方	31
3.4 グルーピングに応じた補修工法の設定	32
3.4.1 橋面複合防水について	33
3.4.2 表面被覆工が劣化を助長させた事例	35
3.4.3 補修サイクルのイメージ	36
3.5 LCCの試算	37
3.6 札幌市橋梁マネジメントシステム（BMS）	38
3.7 計画の精度向上に向けた取組み	47
3.7.1 目視点検のばらつきの解消	47
3.7.2 劣化予測の精度向上	60
3.7.3 補修費用算出の適正化	72
3.8 優先順位付けおよび予算の平準化	78
3.9 コスト縮減効果	80
3.10 まとめ	81

4. 一般橋梁の長寿命化修繕計画	83
4.1 はじめに	84
4.2 全橋の長寿命化修繕計画策定における方針	84
4.3 補修対象橋梁の選定	86
4.4 優先順位付けおよび予算の平準化	89
4.5 コスト縮減効果	93
4.5.1 一般橋梁によるコスト縮減効果	93
4.5.2 全橋によるコスト縮減効果	94
4.6 架替えルールの検討	95
4.6.1 全国の道路橋における架替え理由の傾向	95
4.6.2 札幌市において今後架替えが想定される要因	96
4.6.3 架替えルール	98
4.7 計画の運用について	101
4.8 まとめ	102
5. 床版の点検と調査の高度化	103
5.1 はじめに	104
5.2 床版の点検と調査における課題	104
5.2.1 従来の点検と調査における不確実性	104
5.2.2 床版の点検と調査における課題の抽出	105
5.3 床版の抜落ち	108
5.3.1 北海道内における抜落ちの事例	108
5.3.2 一般国道275号 志寸川橋における事例	108
5.3.3 床版抜落ちのメカニズム	110
5.4 3次元レーダーを用いた内部診断調査	112
5.4.1 調査方法	112
5.4.2 調査機材	113
5.4.3 解析原理	114
5.5 3次元レーダー探査の適用事例	115
5.5.1 RC床版の抜落ちのリスク回避	115
5.5.2 調査の精度向上	118
5.5.3 補修効果の検証	123
5.6 3次元レーダー探査の詳細検証	125
5.6.1 詳細検証の概要	125
5.6.2 対象橋梁	125
5.6.3 3ヶ年の内部診断の推移	127
5.7 床版調査の4次元化の提案	132
5.8 まとめ	135
6. 結論	137
参考文献	141

要 旨

近年、各自治体では国からの支援等を活用し橋梁などの道路構造物の補修計画が策定され、順次、補修工事が行われているところである。従来の「傷んでから直す」といった対症療法的な修繕、架替えから、点検結果に基づいた計画的な修繕、架替えに移行し、橋梁の長寿命化と維持管理費用の縮減を図るなどの取組みの重要性が認識されてきており、予防保全型の維持管理手法がコスト縮減の観点から効果的であることは、多くの研究事例により報告されている。しかしながら、多くの自治体は財政的な制約や実行体制、さらには橋梁維持補修に係る技術的な蓄積が少ないことから、直ちに全ての橋梁を予防保全型の維持管理手法にシフトすることが困難である場合が多く、効率性、実効性を踏まえた計画策定が極めて重要な課題となっている。

人口約 190 万の大都市でありながらも、年間積雪量が 6m を超える世界にも類を見ない都市である札幌市には、1,250 橋を超える橋梁が点在しており、現在、高齢といわれる建設後 50 年を経過した橋梁は 3% 程度であるが、30 年後には約 6 割の橋梁が建設後 50 年を超え、今後急速に高齢化が進行していくことが予測されている。とりわけ市内の道路ネットワークを構成する幹線道路に架かる多くの橋梁は、昭和 47 年（1972 年）に開催された札幌オリンピックを契機に一時期に集中して架設されており、今後、一斉に高齢化を迎えることが見込まれ、これまでの対症処療法的な維持管理から計画に基づいた維持管理への転換が急務となっている。

また、積雪寒冷地である北海道の道路橋の RC 床版は、積雪寒冷地特有の劣化現象である凍害や凍結防止剤の散布による塩害との複合劣化が生じるなど、本州など温暖な地域のものとは比べ、過酷な環境条件に置かれている。近年、北海道では首都圏などと比較して交通量が少ないにも関わらず、毎年、床版の抜落ちの事例が報告されており、これらの事例では、直近の定期点検において、この破壊現象を予見するに至っていないのが実状である。このことは外観からの目視を中心とした、現在行われている点検、調査手法では十分でないことを示唆しており、道路利用者の安全確保とともに、効率的な予防保全の実践のためには、軽微な損傷状態から破壊にいたるまでの状況を簡便に精度良く把握する手法の確立が重要であると言える。

このような背景から、本研究では、地方自治体のおかれている現状を踏まえ、自治体の規模、情勢に応じた実効性のある維持管理計画の策定手法について検討、考察を行うとともに、従来の目視点検を基本とした点検、調査手法における課題を明確化した上で、これの補完的なツールとなる 3 次元レーダー探査を応用し、課題解決のための新たな点検、調査手法について提案を行うものである。

本研究は、全 6 章で構成され、各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章では、関連する既往の研究のレビューを行い、本研究の位置付けを行っている。特に、道路橋の維持管理計画の策定に関する研究と積雪寒冷地の床版劣化および調査手法に関する研究について紹介する。

第 2 章では、本研究で対象とする札幌市の橋梁の現状と課題として、道路橋の規模や構造形式、架設年度の構成、および、他都市との交通量の比較などについて概説している。また、橋梁点検結果の分析から、主要部材については、疲労損傷など荷重を要因とした劣化・損傷よりも、積雪寒冷地であることを要因とした水や凍結融解などによる材料劣化が支配的であること、さらに将来主要部材の損傷を助長する伸縮装置の排水不良など付属物の機能不全が多く確認されていることを示し、水や凍結融解に起因した材料劣化に適切に対処することが予防保全を推進する上で最も効果的と考え、計画策定における重点項目として位置付けている。

第 3 章では、計画策定における方針を定めるとともに、全管理橋 1,256 橋のうち、重要橋梁 247

橋の事業計画の策定について述べている。特に、計画の実効性を確保するためには、計画と実際の補修工事の際の工法や費用および対策範囲などとの乖離を抑制することが極めて重要であることから、課題である「目視点検のばらつきの解消」、「劣化予測の精度向上」、「補修費用算出の適正化」について述べている。まず、「目視点検のばらつきの解消」については、各部材の損傷程度の客観的な評価区分とともに、これらに講ずる対策について計画の方針と整合を図った目安を策定し、目線の統一を図っている。「劣化予測の精度向上」については、参考とした北海道庁ブリッジマネジメントシステム（BMS）における劣化曲線から算定される劣化程度と、実際に顕在化している損傷の数年間における進行度合を比較検証した結果、北海道庁 BMS の劣化曲線が過大に安全側に予測する傾向があったことから、約 5 年毎に行われる点検結果に応じ、劣化曲線を順次、補正し、予測精度を確保する手法を取入れている。また、「補修費用算出の適正化」については、点検において、損傷が顕在化している範囲を数値的に記録に残すとともに、計画の方針に基づき将来の補修費用を算出し、より実態に即した計画策定となるよう配慮している。

第 4 章では、一般橋梁 1,009 橋の計画策定とともに、これを重要橋梁 247 橋の計画との統合した全橋の修繕計画の策定について述べている。加えて、架替えの意思決定を行うためのルールや札幌市の実状を踏まえ、計画実行に当たっての今後の取組み課題を抽出した。

第 5 章では、積雪寒冷地の床版の点検、調査手法における課題を明らかにした上で、これらの課題解決のための補完的ツールである 3 次元レーダー探査を実橋に適用し、レーダーの応答と実橋における損傷状況を比較検討している。当レーダー探査の適用性について考察を行うとともに、その有効性について明らかとした。

第 6 章は、結論である。各章で得られた知見を総括し、今後の展望と課題を述べている。

謝辞

本論文は、著者が北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策工学部門構造デザイン工学研究室に、博士後期課程（社会人）として在学し、同研究室教授 林川俊郎先生のご指導のもとに行った積雪寒冷地である札幌市の橋梁の維持管理計画に関する研究成果を取りまとめたものであります。

本論文を進めるにあたり、終始適切なご指導とご教示を賜りました林川俊郎先生に心より感謝申し上げます。

同研究室の松本高志准教授、何興文助教からは、本論文を取りまとめる上で適切なご助言をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

また、札幌市建設局からは、本研究の趣旨についてご理解いただき、様々な面でご協力いただいたとともに、貴重な情報をご提供いただきましたこと、改めて感謝申し上げる次第です。

論文の構成する上での資料提供、技術的アドバイス等を頂いた㈱建設技術研究所アセットマネジメント室の皆様、本論文の第5章の執筆に際し、貴重なデータの提供とともに技術的な支援をいただきましたジオ・サーチ株式会社の森田課長をはじめとする皆様に感謝申し上げます。

また、職務を遂行しながら研究を進めるにあたり、上司をはじめとする職場の皆様に多くのご配慮をいただきました。ここに改めて感謝申し上げます。

最後に、著者の研究について、理解し、常に忍耐強く支えてくれた妻とともに、温かく応援してくれた家族、友人、仲間の支えに感謝の意を示し、謝辞とさせていただきます。

1. 序論

1.1 研究背景

近年、各自治体では国からの支援等を活用し橋梁などの道路構造物の補修計画の策定が行われ、順次、補修工事が行われているところである。従来の「傷んでから直す」といった対症療法的な修繕、架替えから、点検結果に基づいた計画的な修繕、架替えに移行し、橋梁の長寿命化と維持管理費用の縮減を図るなどの取組みの重要性が認識されてきており、予防保全型の維持管理手法がコスト縮減の観点から効果的であることは、多くの研究事例により報告されているところである^{1),2)}。しかしながら、多くの自治体は財政的な制約や実行体制、さらには橋梁維持補修に係る技術的な蓄積が少ないことから、直ちに全ての橋梁を予防保全型の維持管理手法にシフトすることが困難である場合が多く、効率性、実効性を踏まえた計画策定が極めて重要な課題となっている。

人口約 190 万の大都市でありながらも、年間積雪量が 6m を超える世界にも類を見ない都市である札幌市³⁾には、1,250 橋を超える橋梁が点在しており、現在、高齢といわれる建設後 50 年を経過した橋梁は 3%程度であるが、30 年後には約 6 割の橋梁が建設後 50 年を超え、今後、急速に高齢化が進行していくことが予測されている。とりわけ市内の道路ネットワークを形成する重要な幹線道路に架かる多くの橋梁は、昭和 47 年（1972 年）に開催された札幌オリンピックを契機に一時期に集中して架設されており、今後、一斉に高齢化を迎えることが見込まれ、これまでの対症処療法的な維持管理から計画に基づいた維持管理への転換が急務となっている。

また、積雪寒冷地である北海道の道路橋の RC 床版は、積雪寒冷地特有の劣化現象である凍害や凍結防止剤の散布による塩害との複合劣化が生じるなど、本州など温暖な地域のものとは比べ、過酷な環境条件に置かれており、近年、北海道では首都圏などと比較して交通量が少ないにもかかわらず、毎年、床版の剥落ちの事例が報告されている^{4),5)}。しかしながら、これらの事例では、直近の定期点検において、この破壊現象を予見するに至っていないのが実状であり、このことは外観からの目視を中心とした、現在行われている調査、点検手法では十分ではないことを示唆している。道路利用者の安全確保とともに、効率的な予防保全の実践のためには、軽微な損傷状態から破壊にいたるまでの状況を簡便に精度良く把握する手法の確立が重要であると言える。

このような背景から、本研究では、地方自治体のおかれている現状を踏まえ、自治体の規模、情勢に応じた実効性のある橋梁の維持管理計画の策定手法について検討、考察を行うとともに、従来の目視点検を基本とした床版の点検、調査手法における課題を明確にした上で補完的なツールとなる 3 次元レーダー探査を応用し、これら課題解決のための新たな点検、調査手法について提案を行うものである。

1.2 既往の研究

本節では、本研究において対象とする「橋梁の維持管理計画に関する研究」および「積雪寒冷地の床版劣化および調査手法に関する研究」について、大別して述べる。

1.2.1 橋梁の維持管理計画に関する研究

我が国において、社会基盤である土木構造物の維持管理の重要性が認識され始めたのは、経済成長を終えバブル経済が陰りを見せ始めた 1990 年代と考えられ、このころから維持管理計画の支援ツ-

ルであるブリッジマネジメントシステム（BMS）の開発などを中心に各種の研究が取組まれてきている。

その先行的な事例の一つとして、従前から BMS の開発等を行ってきた宮本^{6)~10)}らは、最適な維持管理計画の策定を多目的問題と捉え、最適解の探索に並列的な解探索が可能である遺伝的アルゴリズム（GA）を適用し、BMS の実用性の向上について各種の研究を行っている。室井ら¹¹⁾は、（当時）日本道路公団の橋梁マネジメントシステム（JH-BMS）の運用にあたり、橋梁を構成する部材の劣化曲線の補正や精度向上を図る目的で、点検結果を用いた劣化度評価手法について検討を行っている。大島らは¹²⁾は、橋梁維持管理システムの一部としての橋梁の点検評価の問題を検討し、橋梁の各部材に対する点検員の判定結果に基づいて、橋梁全体の総合健全度を評価する手法としての加重平均法（重み付き平均法）を提案している。この重み係数の決定においては損傷要因を分析し、自然環境および交通環境の影響が無視できないことから、これらの影響について検討を行っている。これに引き続き竹田ら¹³⁾は、マルコフ過程を用いた劣化予測において点検結果を基に全ての橋梁の各部材に対して劣化予測が可能な予測手法を提案するとともに、その係数（遷移確率）の算出方法と劣化予測値の妥当性について検討を行なっている。

以上のように、BMS の開発を始め、計画の実効性を確保するため、様々な検討がなされてきているところであるが、これらの知見を管理団体の橋梁に適用した事例としては、中村ら¹⁴⁾による阪神高速道路の中長期的に最適な維持管理計画の策定を支援するために開発した橋梁マネジメントシステム（H-BMS）と維持管理業務の継続的改善を図るために開発したロジックモデル（HELM）がある。

また、地方自治体における橋梁補修計画としては、石田ら¹⁵⁾による山口県における、計画的橋梁維持管理の導入手法と実用的データベースシステムの開発、中野ら¹⁶⁾による長崎県の橋梁部材の劣化に影響を与える因子を特定し、その因子ごとにグルーピングを行い劣化予測曲線を設定した事例、齊藤ら¹⁷⁾による香川県内の橋梁を対象とした劣化の経年変化に関する研究、野寄ら¹⁸⁾による大阪市における維持管理システム構築に関する事例、さらに、古市ら¹⁹⁾による、橋梁の基本諸元と利用状況など、比較的容易に入手可能なデータから、市町村の点検優先順位を決定する手法の提案、および、これの適用性を吹田市の橋梁で確認した事例などが挙げられる。

また、本研究で対象とする積雪寒冷地である北海道の橋梁の維持管理計画に関する研究としては、池田ら²⁰⁾や安達ら²¹⁾による北海道開発局の BMS を用いた、維持管理計画策定に関する検討や、杉本ら²²⁾による、北海道の橋梁のユーザーコストを数値化した上で、これがライフサイクルコストに与える影響について検証した事例がある。

このように、維持管理計画に関しては、これまで多くの研究がなされているところであるが、将来の予測が伴うこと、構造物の劣化は様々な環境要因が複合的に重なって起きること、また本研究で取りあげるように点検データが不確実性を有していることなど、未だ課題が多いところである。

1.2.2 積雪寒冷地の床版劣化および調査手法に関する研究

床版については、松井ら^{23), 24)}を始めとする多くの研究者により、疲労耐久性や破壊メカニズムについて様々な研究がなされているところである。その中で、竹田ら²⁵⁾は、道路橋 RC 床版を対象として、北海道開発局内で蓄積されてきた点検データに基づき、積雪寒冷地である北海道の環境条件を考慮した床版劣化についての検討を実施するとともに、各因子の床版に対する影響度を解析し、これを BMS

における劣化予測式への適用を試みている。さらに、三田村ら⁴⁾は、積雪寒冷地である北海道の橋梁床版では、滞水による凍結融解の繰り返し作用が、床版上面のかぶりコンクリート部分のスケーリングや砂利化に進行し、これが有効床版厚を減少させ、疲労耐久性を大きく低下させることを明らかにしている。さらに、その劣化損傷を受けた床版の補強効果について、上面の凍害劣化と床版下面の疲労劣化の両方に着目した補修補強効果について実験により検証を行っている²⁶⁾。

以上のように、床版の疲労耐久性については、近年、各種の研究により、そのメカニズムが明らかとなっているところであるが、共用中のコンクリート床版の劣化、損傷状況を精度よく把握する手法の開発が望まれているところである。

古川ら²⁷⁾は、床版の劣化性状を遠隔から把握する方法として、CCD画像解析によりコンクリート表面のひび割れなどの劣化状態を、赤外線画像によりコンクリートの剥離状況を認識すること検証し、コンクリート床版の劣化状態を定量的に把握、表現できることを確認している。また、斎藤ら²⁸⁾により、赤外線サーモグラフィ法による舗装下の空隙や滞水状況が温度分布に関連することに着目した床版上面の調査システムの構築とこれの実橋への適用性についての検証が行われており、関口ら²⁹⁾により、舗装の動的たわみを測定するFWD（フォーリングウエイトデフレクトメーター）により、舗装面から衝撃荷重を与えたときのたわみ量に基づき、床版の健全度や損傷度を評価する手法の検討が行われている。

以上のように、床版の非破壊検査技術は、様々なアプローチが行われているところであるが、床版が共用中であることや床版上面が舗装で覆われていることなど、様々な制約があり、未だ精度良く把握するには至っていないのが実状である。

1.3 本研究の目的

以上述べたように、橋梁の維持管理に係る取組みはこれまでにない進度をもって、国、地方自治体、高速道路株式会社など各道路管理者によって取組まれており、併せて橋梁を構成する部材の、劣化損傷のメカニズムの解明、劣化損傷の評価手法および劣化予測技術、補修補強工法の開発などの各要素技術について活発に検討が行われているところである。

しかしながら、既設構造物は置かれている環境が異なることに加え、様々な環境因子が複雑に重なり合い、劣化損傷が進行していくことなど、多くの不確実性を有していること、さらに、各道路管理者により、財政状況や技術レベル、保有データ、交通状況、気候などそれぞれ異なる制約条件を有していることから、それらの維持管理を行うに当たっては、未だ多くの課題を有していると考えられる。

これらを踏まえ、本研究では、札幌市の橋梁を対象とし、札幌市の現状に即した、維持管理計画の策定を行うことを目的として行っている。計画策定にあたり、札幌市の橋梁の置かれている現況を把握するとともに、「選択と集中」、と「計画の精度向上」などに配慮し、計画の実効性の確保を目指すものである。

「選択と集中」については、限られた財源、体制、保有データの中で、最大限の効果が得られるよう「集中的に投資を行うもの」と「安全が確保できる最低限の管理を行うもの」などに橋梁群を分類し、メリハリをつけた計画となるよう配慮している。

また、「計画の精度向上」については、計画と実際に補修工事が行われる際の補修工法や費用、および、補修範囲に極力乖離が生じないように、様々な配慮を行っている。

維持管理計画については、劣化予測技術などに代表されるように、様々な不確実な要素を含んでいるところであるが、現場レベルで直接維持管理に携わる技術者が補修、補強が必要と考える橋梁が順次補修されていくことが重要であり、このことは、当計画を始めとする札幌市の橋梁維持管理に関する市民へのアカウンタビリティを確保する上で必要不可欠なものである。そのためには、点検、評価、劣化予測など、計画策定において様々な不確実性を含む各ステップにおいて、精度向上を図っていくことが肝要であり、本研究では、それぞれの段階に応じたアプローチを行っている。

次に本論文の後半で述べる床版の点検、調査手法についてであるが、近年、北海道において、突発的に床版が抜落ちる事例が散見されており、これまでは道路管理者による迅速な対応により、道路利用者の事故等に繋がった事例はない。しかしながら、状況によっては、人命に関わる事故が発生しても不思議ではなく、床版の抜落ちは、道路管理者にとって最も注意を払うべき事象の一つであると言える。本州の大都市と比較して、交通量が少ない北海道内の床版において、このような事象が発生するメカニズムは、既往の研究により明らかとなっているところであるが、共用中の橋梁床版において、これらの破壊現象につながる劣化、損傷を軽微な段階から、把握する手法は未だ確立されておらず、今後、道路利用者の安全確保とともに、さらなる予防保全的維持管理の推進のためにも、非破壊検査など簡便な方法により、床版の損傷状況を把握し、適宜対策を講じていくことが重要な課題である。

このことを踏まえ、本研究では、従来の目視点検を補完するツールとして、3次元レーダー探査を用い床版内部の状態を可視化することで、これらの課題解決に資する点検、調査手法を提案する。加えて、当レーダー探査を札幌市が管理する実橋に適用し、その有効性について検証、考察を行うものである。

1.4 本論文の構成

本研究は、全6章で構成され、各章の概要は以下のとおりである。

第1章では、関連する既往の研究のレビューを行い、本研究の位置付けを行っている。特に、道路橋の維持管理計画の策定に関する研究、および、床版劣化とこれらの調査手法に関する研究について紹介する。

第2章では、本研究で対象とする札幌市の道路橋の規模や構造形式、架設年度の構成などについて概説している。また、橋梁点検結果の分析から、主要部材については、疲労損傷など荷重を要因とした劣化、損傷よりも、積雪寒冷地であることを要因とした水や凍結融解などによる材料劣化が支配的であること、さらに、将来、主要部材の損傷を助長する伸縮装置の排水不良など付属物の機能不全が多く確認されていることを示している。このことを踏まえ、水や凍結融解に起因した材料劣化に適切に対処することが予防保全を推進する上で最も効果的と考え、計画策定における重点項目として位置付けている。

第3章では、計画策定における方針を定めるとともに、全管理橋1,256橋のうち、重要橋梁247橋の修繕計画の策定について述べている。特に、計画の実効性を確保するためには、計画と実際の補修工事における工法や費用および対策範囲などとの乖離を抑制することが極めて重要であることから、課題と考えられる「目視点検のばらつきの解消」、「劣化予測の精度向上」、「補修費用算出の適正化」

について述べている。まず、「目視点検のばらつきの解消」については、各部材の損傷程度の客観的な評価区分とともに、これらに講ずる対策について計画の方針と整合を図った目安を策定し、目線の統一を図っている。「劣化予測の精度向上」については、参考とした北海道庁BMS(ブリッジマネジメントシステム)の劣化曲線から算定される劣化程度と、実際に顕在化している損傷の数年間における進行度合を比較検証した結果、北海道庁BMSの劣化曲線が過大に安全側に予測する傾向にあったため、概ね5年毎に行われる点検結果に応じ、劣化曲線を順次、補正し予測精度を確保する手法を取入れている。また、「補修費用算出の適正化」については、点検において、損傷が顕在化している範囲を数値的に記録に残すとともに、計画の方針に基づき将来の補修費用を算出し、より実態に即した計画策定となるよう配慮している。

第4章では、一般橋梁1,009橋の計画策定とともに、これを重要橋梁247橋の計画と統合した全橋の計画策定について述べている。加えて、架替えの意思決定のためのルールや札幌市の実状を踏まえ、計画実行に当たっての今後の取組み課題を抽出した。

第5章では、積雪寒冷地の床版の点検、調査手法における課題を明らかにし、これらの課題解決のための補完的ツールである3次元レーダー探査を実橋に適用した。レーダーの応答と実橋における損傷状況を比較検討し、3次元レーダー探査の適用性について考察を行うとともに、その有効性について明らかとした。

第6章は、結論である。各章で得られた知見を総括し、今後の展望と課題を述べている。

なお、本研究は、札幌市建設局より情報提供いただいた計画策定、および、計画に基づく検討、調査業務の成果に基づいて構成しており、それを学術的な視点から、検討、考察を加え取りまとめたものである。

現在、札幌市は、ここで資料とした「札幌市橋梁長寿命化修繕計画(平成24年3月改定)」に基づき、橋梁補修事業を行っているところであるが、本論文に掲載した事項は、この事業に影響を与えるものではないことを申し添える。

2. 札幌市の橋梁の現状と課題

2.1 はじめに

第1章で述べたように、我が国の橋梁など道路構造物の維持管理は、これまでにない進度をもって取り組まれているところである。ここでは、全国の自治体における橋梁長寿命化に係る近年の取り組み状況について整理するとともに、長寿命化修繕計画策定にあたり重要となる札幌市の橋梁の現状と課題について述べる。具体的には、2.2節では国土交通省の支援などが始まった平成19年度以降の全国の自治体の橋梁点検の実施、計画策定、および修繕（補修）の実施状況について述べる。2.3節では札幌市の橋梁の規模や構造形式における特徴、架設年の構成、および他都市との交通状況の比較について述べ、2.4節では、計画策定における最も重要な基礎データである橋梁点検について、その進捗状況や点検結果の分析について整理し、計画策定における重点項目を定めている。2.5節では、本章のまとめについて述べる。

2.2 全国の自治体における取り組み状況

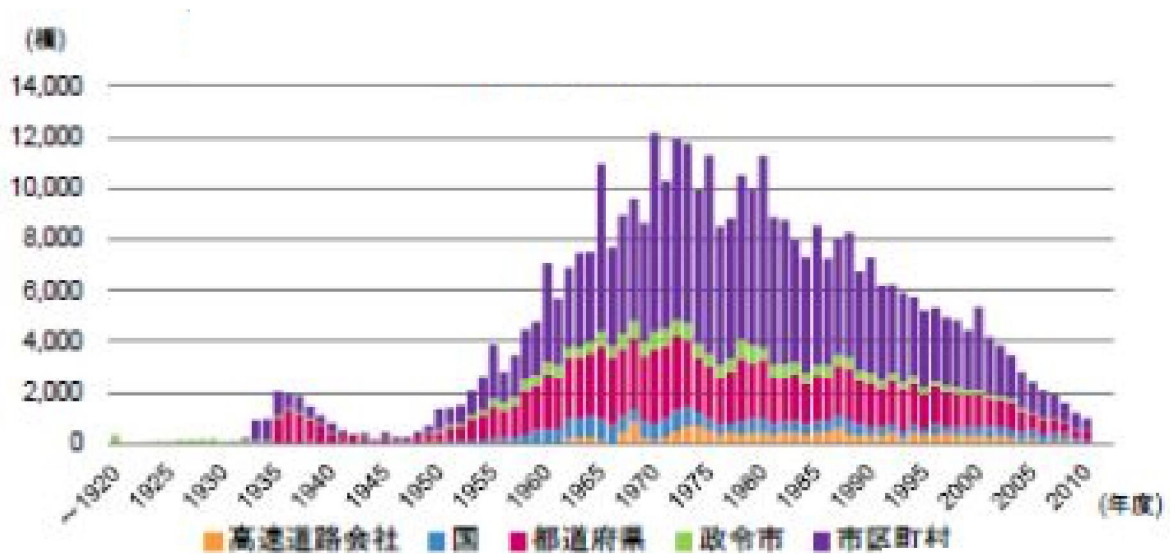
国土交通省のデータによれば³⁰⁾、我が国の橋梁（橋長2m以上）は、約70万橋あると言われており、図2-1に示すとおり、建設後50年以上の橋梁の割合は、2012年度現在で16%であるが、10年後には40%、20年後には65%に達すると見込まれている。図2-2に示すように橋梁の架設数は、1950年代から徐々に増え始め1960年代～1990年代まで、経済成長に伴う街の整備と相まって、年間概ね6000橋以上となっておりピーク時には12,000橋に達している年もある。また、同じく図2-2より、これらの橋梁の大部分を地方自治体が管理する橋梁が占めていることが分かる。ここ10数年来、土木構造物の専門家においては、「新設から維持管理へのシフト」など、維持管理の重要性が広く認識されてきたところであるが、これを世間一般に知らしめたのが、平成19年の6月と8月に相次いで鋼トラスの斜材が破断に至り補修、補強のため損傷発生後、数ヶ月間に及ぶ交通規制を余儀なくされたこと、また、海外においても同年8月に米国ミネソタ州の鋼トラス橋が共用中に突然崩落し、多数の死傷者を出す重大事故が発生したことなどが挙げられる³¹⁾。このような状況に鑑み、我が国においても橋梁をはじめとする道路構造物の維持管理の重要性が報道などを通じて広く一般にも認識され、平成19年度に国による計画策定に係る補助制度の創設以降、地方自治体における点検、計画策定など橋梁維持管理の取り組みが積極的に進められるようになった³¹⁾。これを背景に、図2-3に示すとおり、平成19年度では、約9割に及ぶ自治体において橋梁点検が未実施であったが、平成25年度では98%の自治体が点検を実施するに至っている。

また、点検に基づいた修繕計画策定状況についても、図2-4および図2-5から平成25年度において、都道府県で団体数ベース、橋梁数ベースともに約100%、市長村で団体ベース、橋梁ベースともに約80%となっており、平成19年度以降、大幅な進度をもって取り組まれていることが分かる。一方、地方公共団体における長寿命化修繕計画に基づく修繕実施状況は、平成25年4月時点で要修繕橋梁68,800橋のうち10,042橋で実施済みであり、全体の比率としては15%となっている。そのうち財政面、技術面で優位である都道府県や政令指定都市（政令市）が先行しており、都道府県と政令市の実施状況は、要修繕橋梁31,840橋のうち、修繕実施済橋梁8,291橋（26%）、一方、市区町村の実施状況は、要修繕橋梁36,960橋のうち、修繕実施済橋梁1,751橋（5%）となっている（表2-1）。今後、各自治体において、修繕（補修）が積極的に行われていくことが見込まれている。



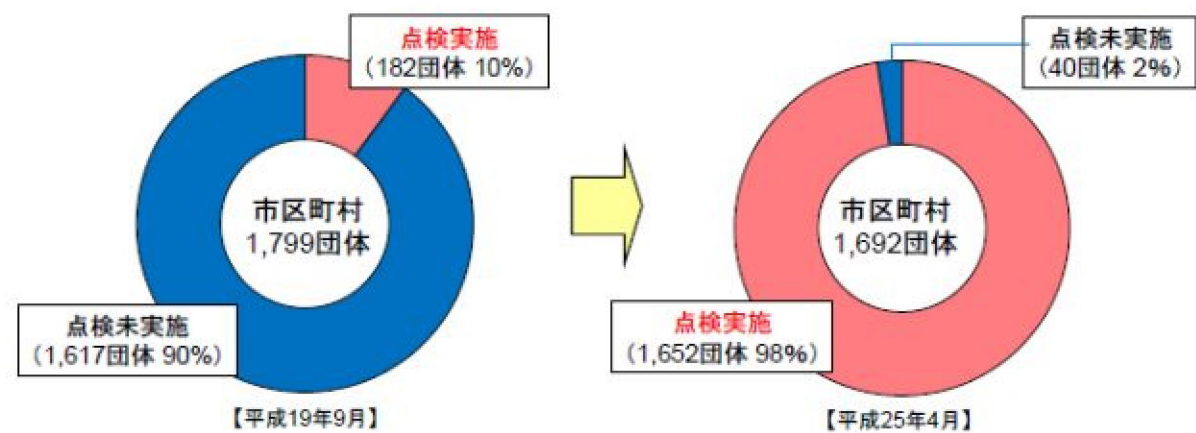
(出典；国土交通省 HP)

図 2-1 建設後 50 年以上経過した橋梁数の比率の推移(全国)



(出典；国土交通省 HP)

図 2-2 建設年度別橋梁数（全国）

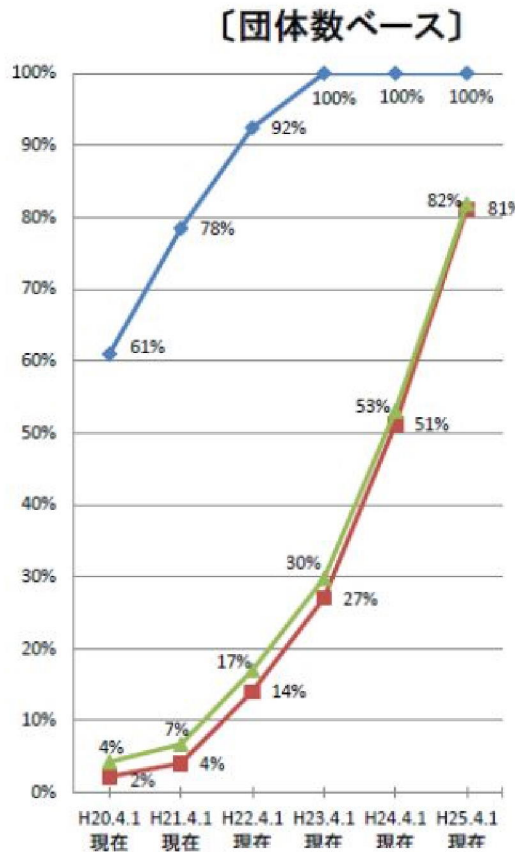


※対象自治体：橋長15m以上の橋梁を管理する自治体
※点検：定期点検及び緊急点検含む

国土交通省調べ(平成25年4月時点調査)
※岩手・福島の一

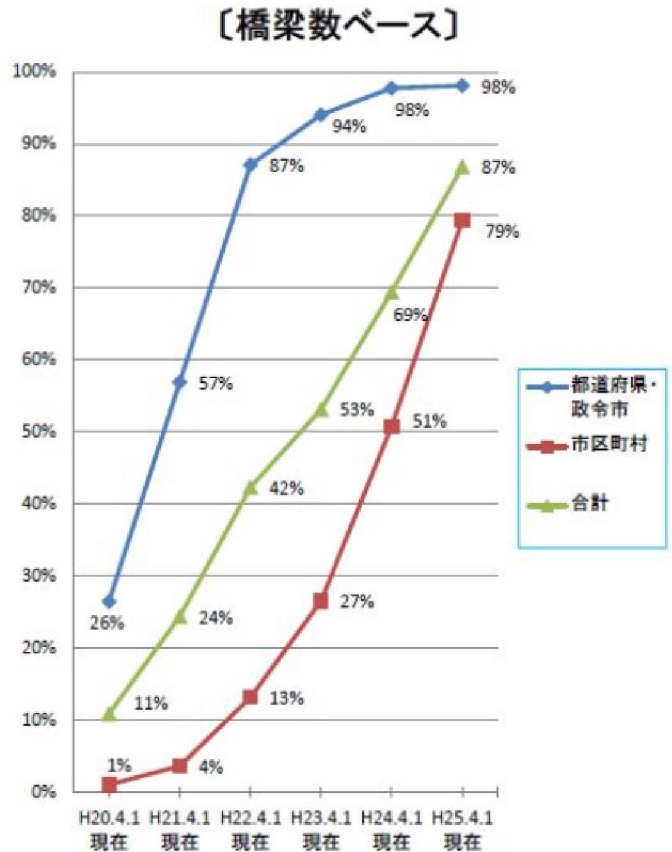
(出典；国土交通省 HP)

図 2-3 自治体における点検実施状況の推移 (H19 年度と H25 年度の比較)



(出典；国土交通省 HP)

図 2-4 計画策定率 (団体数ベース)



(出典；国土交通省 HP)

図 2-5 計画策定率 (橋梁数ベース)

表 2-1 自治体における都道府県別長寿命化修繕計画に基づく修繕実施状況 (15m 以上)

都道府県名	修繕実施状況		
	都道府県・政令市	市区町村	計
北海道	13.9%	3.5%	10.1%
青森県	45.6%	3.8%	23.6%
岩手県	40.7%	2.0%	13.7%
宮城県	7.2%	12.7%	8.0%
秋田県	22.5%	5.0%	13.8%
山形県	66.4%	3.7%	38.0%
福島県	31.7%	2.2%	17.0%
茨城県	29.3%	0.9%	17.2%
栃木県	10.9%	2.7%	5.8%
群馬県	16.3%	1.1%	7.2%
埼玉県	31.9%	2.7%	15.9%
千葉県	19.2%	3.2%	10.9%
東京都	50.8%	6.0%	24.0%
神奈川県	12.7%	1.9%	10.3%
山梨県	58.7%	7.9%	32.5%
長野県	13.8%	7.8%	11.1%
新潟県	48.0%	2.2%	27.4%
富山県	24.6%	1.9%	11.3%
石川県	16.0%	10.4%	12.9%
岐阜県	62.2%	11.7%	27.3%
静岡県	43.3%	2.6%	9.6%
愛知県	17.0%	5.8%	11.1%
三重県	5.4%	1.7%	3.7%

都道府県名	修繕実施状況		
	都道府県・政令市	市区町村	計
福井県	17.9%	9.9%	15.8%
滋賀県	3.4%	0.9%	1.7%
京都府	17.1%	4.8%	10.4%
大阪府	41.2%	8.9%	30.4%
兵庫県	50.3%	4.9%	20.3%
奈良県	18.2%	2.3%	7.1%
和歌山県	43.6%	5.7%	14.2%
鳥取県	53.2%	6.8%	26.4%
島根県	31.5%	0.8%	16.1%
岡山県	45.4%	6.4%	17.9%
広島県	11.4%	1.7%	6.6%
山口県	12.3%	2.3%	5.6%
徳島県	53.1%	9.1%	18.6%
香川県	4.9%	2.5%	3.5%
愛媛県	32.2%	13.0%	17.8%
高知県	22.8%	0.8%	5.1%
福岡県	32.2%	3.1%	23.4%
佐賀県	22.7%	1.6%	10.5%
長崎県	65.6%	25.5%	40.4%
熊本県	19.9%	7.7%	13.4%
大分県	46.2%	2.4%	8.6%
宮崎県	22.2%	4.0%	12.5%
鹿児島県	30.9%	2.5%	13.1%
沖縄県	8.1%	19.7%	13.0%
計	26%	5%	15%

(出典；国土交通省 HP)

2.3 札幌市の橋梁の概要および現状

2.3.1 札幌市の概況と橋梁の規模および構造形式

札幌市の街並みの形成は、明治8年（1875年）、最初の屯田兵が入植し、札幌建設計画に基づいて、鉄道を敷き、産業を興して築いたのが始まりである。大正11年（1922年）の市制施行以来、近隣町村との度重なる合併、編入によって、市域、人口を拡大し、昭和45年（1970年）には人口が100万人を突破、2年後の昭和47年（1972年）に政令市へ移行した。この年、札幌冬季オリンピックが開催され、これを契機として、多くの都市基盤が急速に整備されている。現在は人口190万で北海道の約3割を占め、全国5番目の都市となっている³⁾。その市街地は図2-6に示すように、中心部を流下する大河川豊平川により東西に2分され、さらに、交通の大動脈である鉄道、高速道路によって南北に2分されている。市街地のほとんどは基盤状に整備されており、規則的な街並みが形成されている。このような町並みの中に、大小様々な橋梁が架設されており、札幌市が管理する橋梁は、1,256（H23年4月現在）となっている。

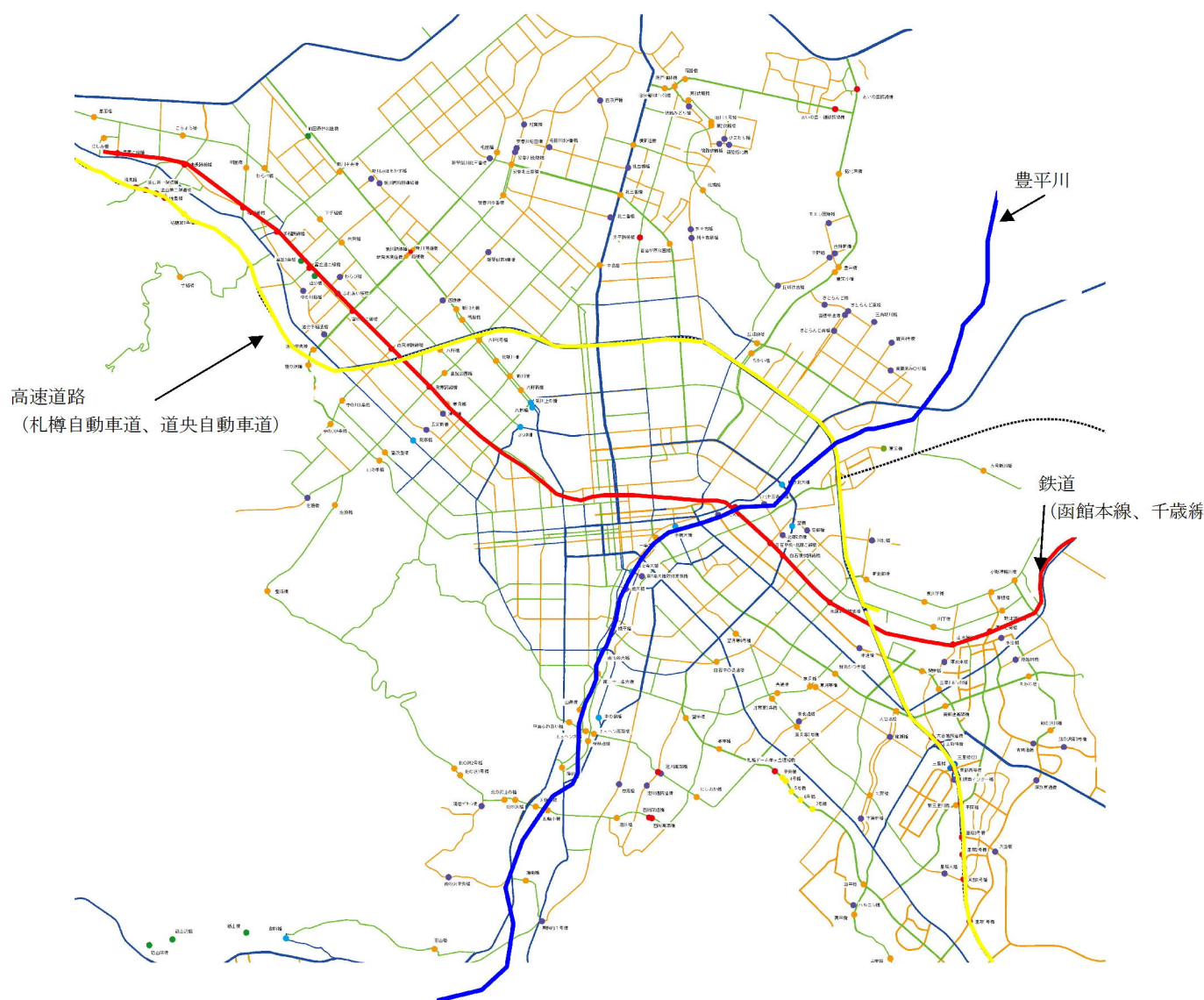


図 2-6 札幌市の概況

橋梁規模別の分類では、表 2-2 に示すとおり、全体の 45%が 15m 以上、55%が 15m 未満の橋梁であり、15m 以上では、鋼橋、コンクリート橋が概ね半々であるが(表 2-3)、15m 未満では、ほとんどがコンクリート橋である(表 2-4)。また、径間数の分類では、表 2-5 に示すとおり、全体の約 8 割が単径間の橋梁であり、そのうちの多くは、基盤状に整備された住宅地の小規模河川に架かる橋梁である。これも札幌市の特徴の一つであると言える。

表2-2 橋長（15m）における分類

	橋数	全体に占める割合
15m以上	563	(45%)
15m未満	693	(55%)
全体	1256	

表2-3 15m以上橋梁の橋梁種別

	橋数	15m以上に占める割合
鋼橋	295	(52%)
コンクリート橋	PC	218 (39%)
	RC	32 (6%)
混合	18	(3%)
15m以上橋梁数	563	

表2-4 15m未満橋梁の橋梁種別

	橋数	15m未満に占める割合
鋼	37	(5%)
コンクリート橋	PC	433 (62%)
	RC	219 (32%)
石橋	2	(0.3%)
木橋	2	(0.3%)
15m未満橋梁数	693	

表2-5 径間数による分類

	橋数	全体に占める割合
10径間以上	15	(1.2%)
9径間	4	(0.3%)
8径間	3	(0.2%)
7径間	3	(0.2%)
6径間	7	(0.6%)
5径間	8	(0.6%)
4径間	18	(1.4%)
3径間	59	(4.7%)
2径間	101	(8.0%)
単径間	1038	(82.6%)
	1256	

2.3.2 橋梁の架設年度および高齢化の進捗

札幌市内には、1,250 橋を超える橋梁が点在しており、図 2-7 に示すとおり、現在高齢といわれる建設後 50 年を経過した橋梁は 3% 程度であるが、20 年後には約 3 割、30 年後には約 6 割の橋梁が建設後 50 年を超え、今後急速に高齢化が進行していくことが予測される。人口 100 万人を超え、札幌オリンピックが開催された 1970 年代を始まりとして、バブル期を終える 1990 年代まで、概ね 5 年間で 100 橋（年間 20 橋）のペースで、橋梁整備が行われてきている（図 2-8 上段）。とりわけ市域を 2 分する豊平川に架かる大規模な橋梁は、冬季札幌オリンピック（1972 年）を契機に集中して建設されており、以後 10 年余りで約半数が高齢化に直面することになる（図 2-8 下段）。これらの橋梁については、現在、定期点検結果などにおいて、損傷が顕在化し始めているところである。一方、第 2.2 節で示した全国的な橋梁の高齢化の状況と比較すると、札幌市の橋梁は、平均的に 10 年以上橋梁が若いことが分かる。予防保全型の維持管理は「早めの発見、早めの補修」を行うことで、より効果が期待できるとされており、札幌市においては、中長期的な観点から、予防保全型の維持管理へのシフトによって他都市と比べ、より大きなメリットが期待される。

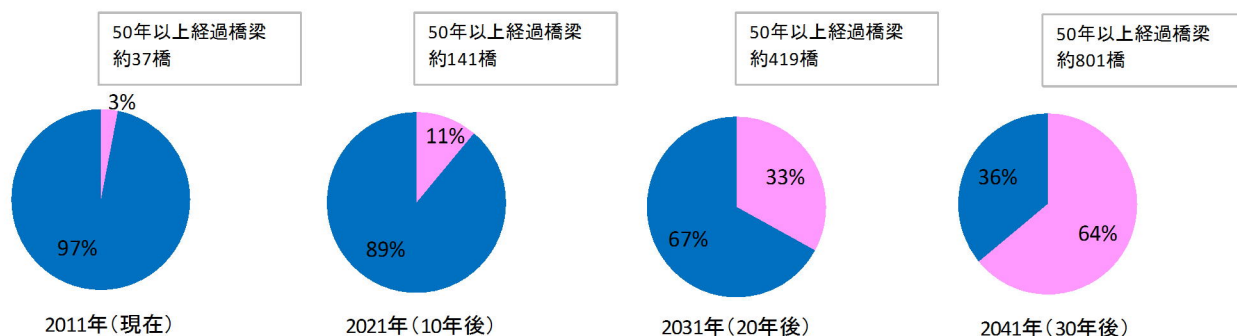


図2-7 建設後50年以上経過した橋梁数の比率の推移

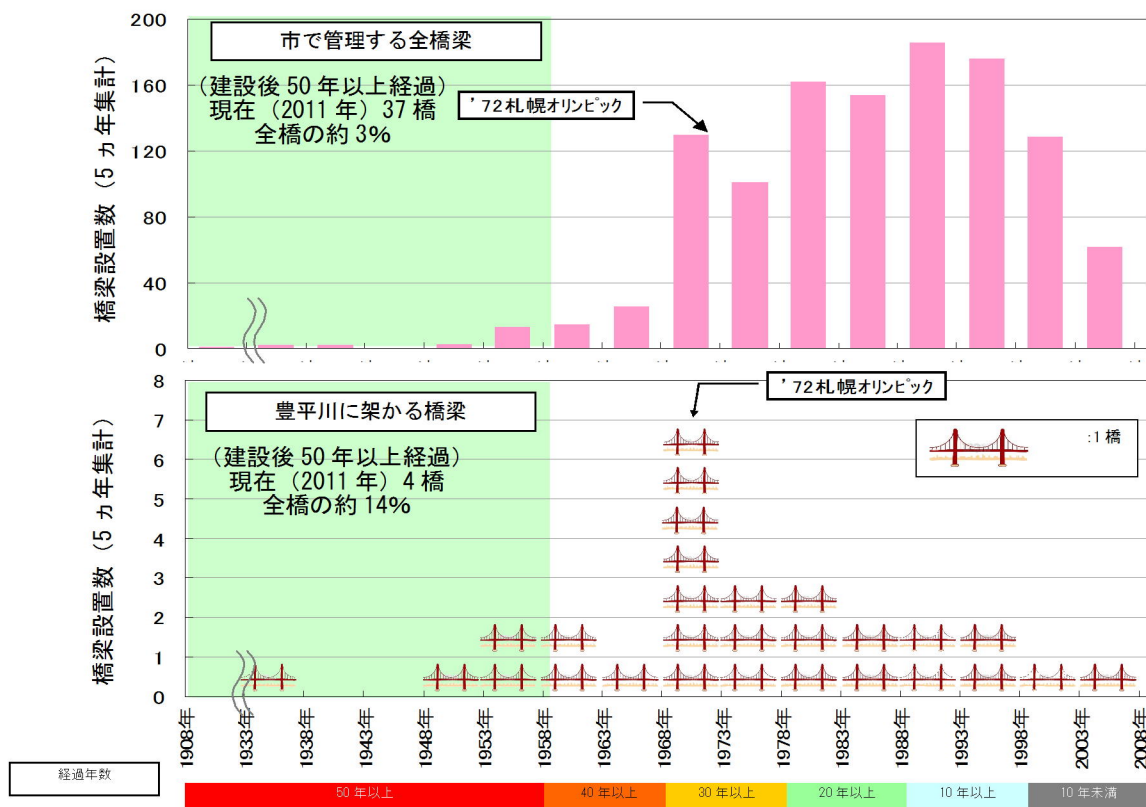


図 2-8 年代別橋梁架設数 (H21.4.1 現在)

2.3.3 札幌市の交通状況

道路橋の劣化、損傷は、水や凍結融解作用および大気などの環境的な要素、コンクリート材料特性等の化学的要素、車両大型化などによる荷重的な要素などが複雑に影響して引き起こされる。ここでは、それらの要因のうち荷重的な要素である大型車交通量に着目しの整理、分析を行う。

札幌市は、首都圏などと比較して、交通量は少なく、疲労損傷を引き起こす荷重的な影響は、少ないものと考えられている。一般に、鋼橋の疲労き裂およびコンクリート床版の押し抜きせん断破壊の疲労損傷度は、大型車の繰返し荷重の影響を受けることがわかっており、これらの状況を踏まえ計画策定を行うことは極めて重要であると考えられる。

そこで、平成22年度に実施された全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）³²⁾に基づき、札幌市と全国の中でも交通量が多いと想定される、東京都、神奈川県、大阪府の計測箇所における「最大」および「平均」の大型車交通量について、比較を行った。表2-6には12時間交通量の比較、表2-7には、24時間交通量の比較を示す。表から分かるように、札幌市の大型車交通量は、「最大」、「平均」とも、少なくなっており、特に最大を示す箇所については、概ね1/2～1/3程度となっていることが分かる。

一方、設計においては、同年代に設計された橋梁であれば、札幌市と他都市において、疲労耐久性に係る項目に差異は無く、積雪寒冷地特有の材料劣化の影響を抑制することが可能となれば、札幌市の橋梁は、首都圏、近畿圏の大都市のもとと比較して、最大で約2倍～3倍程度、平均では1.1倍～1.7倍の疲労荷重に対する余寿命を有すると考えられる。

表2-6 札幌市と他都市の大型車交通量の比較（12時間交通量）

（単位；台）

	データ数		地点最大	平均
札幌市	184	12h	6,955 (1.00)	1,516 (1.00)
東京都 (23区含む)	2,362	12h	12,990 (1.87)	2,108 (1.39)
神奈川県 (横浜市含む)	1,303	12h	12,810 (1.84)	1,683 (1.11)
大阪府 (大阪市含む)	2,033	12h	22,225 (3.20)	2,072 (1.37)

() 内は、札幌市を1.00とした際の比率

表2-7 札幌市と他都市の大型車交通量の比較（24時間交通量）

（単位；台）

	データ数		地点最大	平均
札幌市	184	24h	8,011 (1.00)	1,804 (1.00)
東京都 (23区含む)	2,362	24h	14,947 (1.87)	3,100 (1.72)
神奈川県 (横浜市含む)	1,303	24h	15,753 (1.97)	2,727 (1.51)
大阪府 (大阪市含む)	2,033	24h	26,088 (3.26)	2,701 (1.50)

() 内は、札幌市を1.00とした際の比率

（出典；平成22年度 全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）一般交通量調査 集計表）

2.4 橋梁点検

2.4.1 橋梁点検の概要

札幌市の橋梁点検は、橋梁点検要領（案）（H16.3 国土交通省 国道・防災課）³³⁾に準拠しつつも、札幌市の特性を踏まえ一部簡素化を行っており、平成19年度にはこれらの内容を踏まえた札幌市橋梁定期点検要領（案）³⁴⁾を策定している。この要領により札幌市が独自に定めた主な項目は以下のとおりである。

- ① 2.3.1項で示したとおり、小規模の単純桁が多いことから、遠望目視による点検を基本とした（ただし、遠望目視では確認できない一部の箇所については、橋梁点検車などを用い、見落としが無いよう配慮している）。
- ② 国土交通省の要領で定められている点検記録部材を簡素化した（例えば、2次部材などにおいて、健全な場合は、記録しないこととし損傷がある場合のみ備考欄に記載するなど）。
- ③ 受注業者に前回点検が記録されたデータベースシステムを配布し、前回点検時の履歴を参照しながら、点検時に記録するよう定め、データの連続性が確保できるよう配慮した。
- ④ 損傷写真は、前回点検時と同じズーム、アングルで記録するとともに、写真番号を前回点検時と同一番号を付することとした。加えて、新しい損傷が確認された際には、追番として番号を付することとした。

また、健全度の評価方法については、国土交通省のものに準拠しており、損傷程度の評価区分として、表2-8に示すa～eの5段階で評価する損傷度区分判定により、表2-9に示す各部材の損傷種類毎に評価を行っている。また、これらの損傷程度に応じて表2-10および図2-9に示すフロー図に従い、対策の必要性などを示す対策区分判定を行っている。

損傷度区分判定は、客観的かつ連続的なデータであり、対策区分判定はその状況に応じた対策を講じる時間的なもの（緊急対応、5年以内に補修、状況に応じて補修など）を判断することとなるが、後述の3.7で述べるとおり、既往の点検結果においては、損傷度区分判定から対策区分判定の過程において、多くのばらつきが生じていた。点検結果は計画策定において、最も基本的なデータであり、評価の目線が統一されていない場合、計画の妥当性を損なうものになりかねない。対策区分判定は、各自治体の財政状況や目標とする維持管理レベルに応じて定められるべきものであることから、長寿命化修繕計画の策定と併せて、これらの方針を反映し、それに応じた対策区分をより詳細に説明した「対策区分判定の目安」³⁵⁾を策定した。

後述するように、目安の策定によりこれらのばらつきが抑制され一程度の効果が確認されたところであるが、今後のさらなる維持管理の効率化、アカウントビリティ向上のために、今後も点検データのばらつきの抑制は必要不可欠の課題である。目安のブラッシュアップを含め、継続的な取り組みを行っていく必要があるものと考えている。

表2-8 損傷度区分判定

区分	一般的状況
a	損傷が特に認められない。
b	軽微な損傷が発生している。
c	損傷が発生している。
d	損傷が大きい。
e	深刻な損傷が発生している。

表2-9 各部材毎の損傷度評価区分

材料	損傷の種類		損傷程度の評価区分				
			小 ← 程度 → 大				
			a	b	c	d	e
鋼	① 腐食		●	●	●	●	●
	② 亀裂		●	—	●	—	●
	③ ゆるみ・脱落		●	—	●	—	●
	④ 破断		●	—	—	—	●
	⑤ 防食機能の劣化		損傷がある場合、写真とコメント				
コンクリート	⑥ ひびわれ		●	●	●	●	●
	⑦ 剥離・鉄筋露出		●	—	●	●	●
	⑧ 漏水・遊離石灰		●	—	●	●	●
	⑨ 抜け落ち		●	—	—	—	●
	⑩ コンクリート補強材の損傷		損傷がある場合、写真とコメント				
	⑪ 床版ひびわれ		●	●	●	●	●
	⑫ うき		損傷がある場合、写真とコメント				
その他	⑬ 遊間の異常		●	—	●	—	●
	⑭ 路面の凹凸		●	—	●	—	●
	⑮ 舗装の異常		●	—	●	—	●
	⑯ 支承の機能障害		●	—	●	—	●
	⑰ その他		損傷がある場合、写真とコメント				
共通	⑱ 定着部の異常		●	—	●	—	●
	⑲ 変色・劣化		損傷がある場合、写真とコメント				
	⑳ 漏水・滞水		損傷がある場合、写真とコメント				
	㉑ 異常な音・振動		●	—	—	—	●
	㉒ 異常なたわみ		●	—	—	—	●
	㉓ 変形・欠損		●	—	●	—	●
	㉔ 土砂詰り		●	—	●	—	—
	㉕ 沈下・移動・傾斜		●	—	—	—	●
	㉖ 洗掘		●	—	●	—	●

注 損傷程度の評価区分数は、損傷によって異なり損傷ごとに「●」を示した区分での評価となる。

表2-10 対策区分判定

判定区分	判定の内容
A	損傷がないか、軽微であり補修の必要はない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C	速やかに（５年以内）補修を行う必要がある。
E	安全性の観点から、緊急対応の必要がある。
M	維持工事で対応する必要がある。
S	詳細調査の必要がある。

- ・ 対策の緊急度、必要性を提示

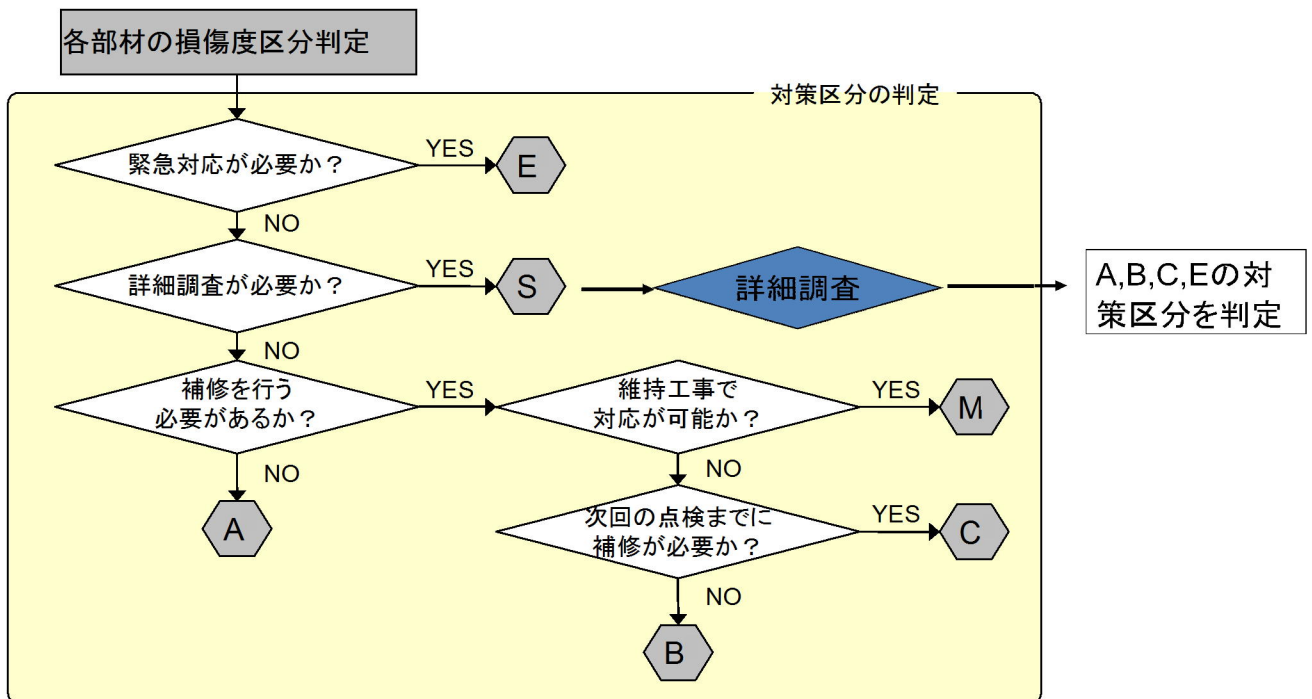


図2-9 対策区分判定のフロー

対策区分判定は、図2-9のフロー図に示すとおり、各部材の損傷度区分判定に応じ、緊急対応が必要（E判定）、詳細調査が必要（S判定）、補修を行う必要があり維持工事で対応（M判定）、補修の必要があり、次回点検まで（5年以内）に補修する（C判定）、補修の必要があるが次回点検までは経過観察（B判定）、補修の必要がない（A判定）を判断するものである。

詳細調査が必要（S判定）となったものについては、目視点検のみでは、対策区分判定が困難なものであり、詳細調査を行った後に再度、A、B、C、Eの判定を行うこととなる。

2.4.2 進捗状況

札幌市では、平成13年度から外部委託により、橋梁定期点検を行っている。その進捗状況を図2-10に示す。平成22年度には、全橋の1巡目（初回点検）の定期点検を完了し、要領により定められた5年ごとの点検サイクルに従い、現在、2巡目点検についても順次、実施しているところである。平成24年度からは、年度毎の点検実施数の平準化を図っており、毎年概ね、250橋の橋梁点検を実施していく予定である。前述のとおり、平成19年に独自の定期点検要領を定めており、単径間の橋梁が多いことから、記録項目について簡素化するとともに、点検結果の入力作業を軽減化したプログラムを開発し、業務の効率化、点検進捗率の改善を行ってきた。図2-10から分かるとおり、独自の要領を策定した平成19年度以降、橋梁点検の実施数も大幅に向上していることが分かる。

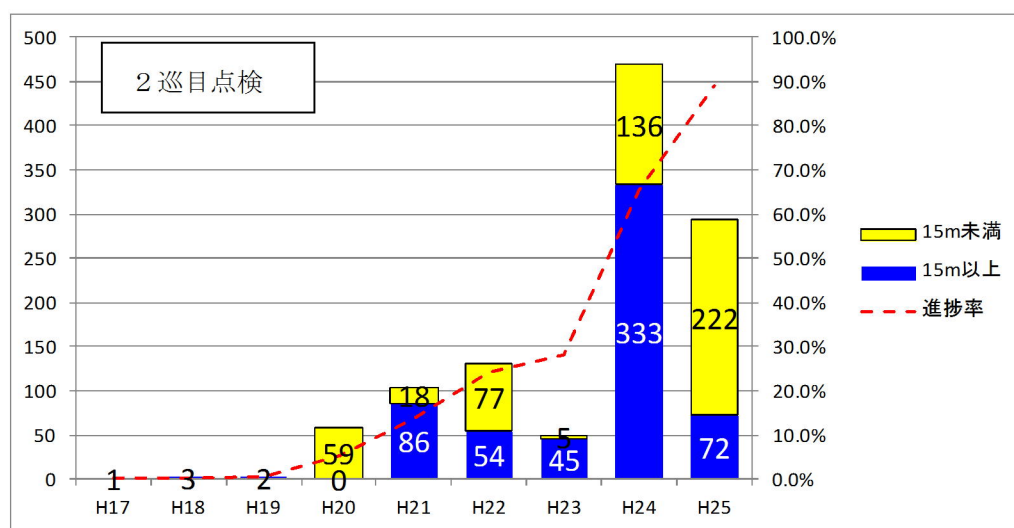
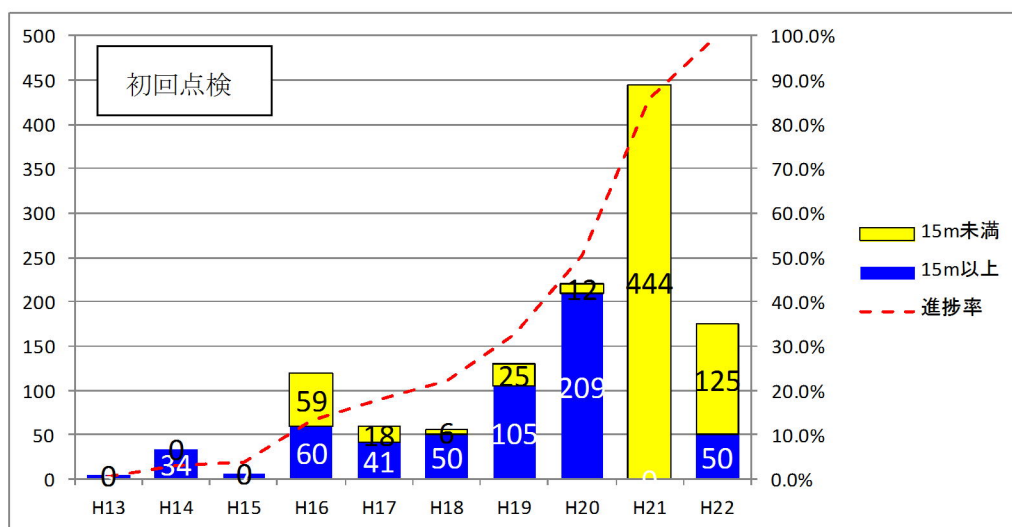


図2-10 札幌市の橋梁点検の進捗状況

2.4.3 損傷の傾向

(1) 部材毎の対策区分判定

橋梁長寿命化修繕計画の策定に先立ち、橋梁点検結果から損傷傾向の分析を実施した。図 2-11 に示すとおり、各部材毎に発生している損傷に対し、対策の要不要、および、緊急性などを判定する対策区分判定においては、上部工（主桁）・上部工（床版）、下部工、支承など、いわゆる構造部材については、一部E判定が確認されているものの、架替えや通行止めにつながる致命的な損傷は確認されておらず、5年以内に補修を要する「C判定」の数も部材数に対して3～4%程度と比較的少ないものとなっている。一方、付属物である伸縮装置、高欄・地覆などの損傷は構造部材よりも若干ではあるが、損傷が進行している傾向にある。伸縮装置などの損傷は、放置した場合、構造部材の損傷を助長するものが多く、これらへ適切に対応することは、予防保全を進める上で重要と考えられ、定期点検では主構造の劣化を助長させる排水不良などが発生している伸縮装置は、たとえ本体が健全であったとしても、C判定（5年以内に補修を要する）とするよう定めている。伸縮装置においてC判定が多いのは、これの影響を受けてのものと推察される。高欄・地覆においては、冬から春にかけて、常に湿潤状態であること、また、凍結防止剤散布の影響を受けやすいことなどにより損傷が進行しているものと考えられる。

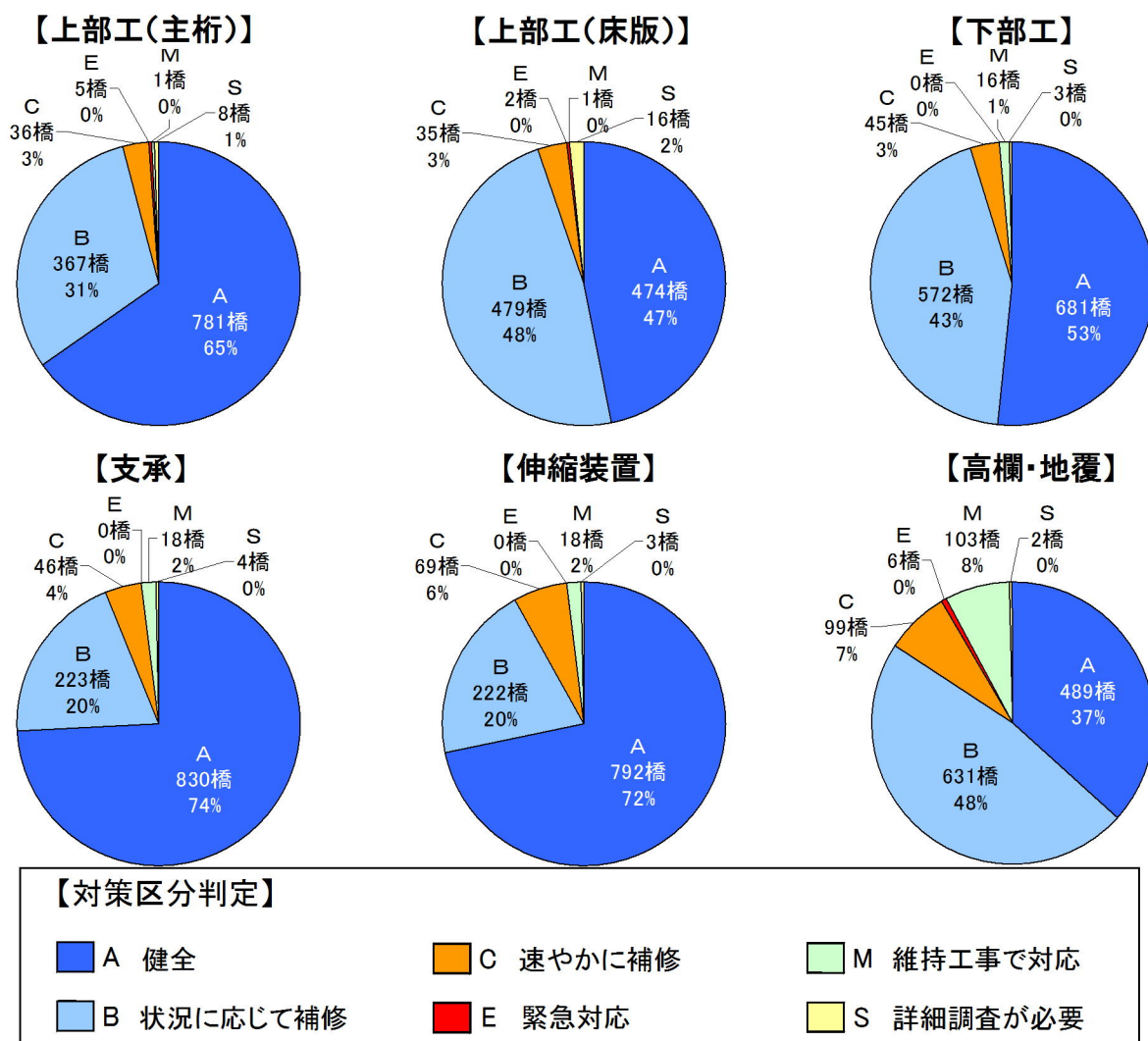


図2-11 各部材の対策区分判定

図 2-12 に、国土交通省が所管する直轄国道に架かる橋梁の平成 16 年度～平成 22 年度にかけての橋梁点検結果（対策区分判定）を示す³⁰⁾。札幌市が定める要領は、国土交通省のものに準拠しており、判定基準などについて大きな差は少ないものと考えて良い。図から分かるとおり、約 3 割以上の橋梁が速やかに補修必要（C 判定）となっており、詳細調査が必要（S 判定）の数も多い。直轄国道の橋梁は、札幌市のもものと比較して 10 年程度以上古いことまた、交通量が多く車両大型化などの影響を受けているものと推察される。

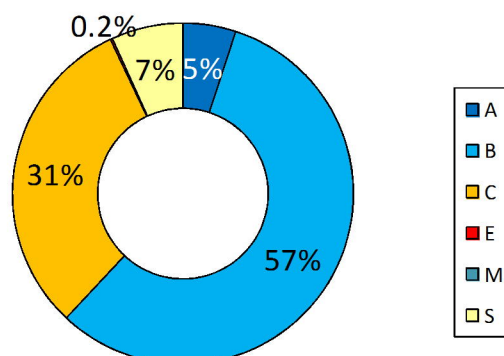


図2-12 国土交通省所管橋梁の対策区分判定 (H16～H22)

（２）主要構造部材における損傷度区分判定

主要構造部材について、損傷種類の傾向を把握するために、客観的な評価を行う損傷度区分判定について整理したものを以下に示す。

図 2-13 に示すとおり鋼桁については、一部の橋梁について、疲労亀裂や F11T ボルトの破断などが確認されているが、材料劣化である「腐食」が支配的となっている。また、「e」、「d」など評価が悪いものは、上部からの漏水など、直接的に水の供給を受けている場合が多い。

次に、図 2-14 のコンクリート桁についてであるが「漏水・遊離石灰」が占める割合が最も多く、これについて、「剥離・鉄筋露出」が多くなっている。「漏水・遊離石灰」は、排水装置や伸縮装置近傍に出現することが多く、これらを放置すると「剥離・鉄筋露出」など、部材の耐久性に直接影響を及ぼす損傷へと進行することが懸念される。一方、活荷重やクリープ、乾燥収縮、温度などに起因する「ひびわれ」については比較的少ない状況である。

図 2-15 に示すコンクリート床版では「漏水・遊離石灰」が最も多く、次いで「床版ひびわれ」、「剥離・鉄筋露出」の順となっている。床版の張出部などにおいては、コンクリート主桁で見られるのと同様、「漏水・遊離石灰」が発達し、「剥離・鉄筋露出」に移行していくものと推察され、「漏水・遊離石灰」の主たる原因である「水」に対し、適切に対応することが、予防保全を推進する上で重要であると言える。また、「床版ひびわれ」についても、第 5 章で述べるとおり、上面の滞水により引き起こされる砂利化や凍害劣化、さらにはこれらの複合劣化が著しく床版の疲労耐久性を低下させることが明らかとなっており⁴⁾、他の部材と同様に「水」への対策が重要であると考えられる。

図 2-16 に示す、下部工の損傷においては、上部工と異なりひび割れが最も多くなっているが、下部工に発生しているひび割れは、そのひび割れ方向などの発生性情から、外力による荷重的な要因よりも施工後の温度ひび割れやクリープ、乾燥収縮などが支配的であると考えられる。また、「漏水・

遊離石灰」および「剥離・鉄筋露出」は、伸縮装置からの漏水により発生している事例が多く確認されている。

以上から、札幌市の橋梁は、全国平均と比較して約10年程度若いこと、また、2.3節で述べたとおり他の大都市と比較した場合車両の大型化や交通量の増加の影響が小さいと考えられること、その反面、積雪寒冷地であり、冬から春にかけて凍害や凍結融解の影響を受けやすく材料劣化が進行しやすい環境下に置かれていることなどの特徴があると言える。これらを踏まえ、水や凍結融解などに起因した材料劣化に適切に対応することが、予防保全を推進する上で、最も効果的であるとし計画策定における最重点項目とした。なお、コンクリート床版については、これまでの抜落ちの発生事例などを勘案し、水などによる材料劣化への対策のみでは、完全にその発生を抑制できない可能性が残るため、第5章で述べる点検、調査など、別途特別な注意を払う必要があると考えている。

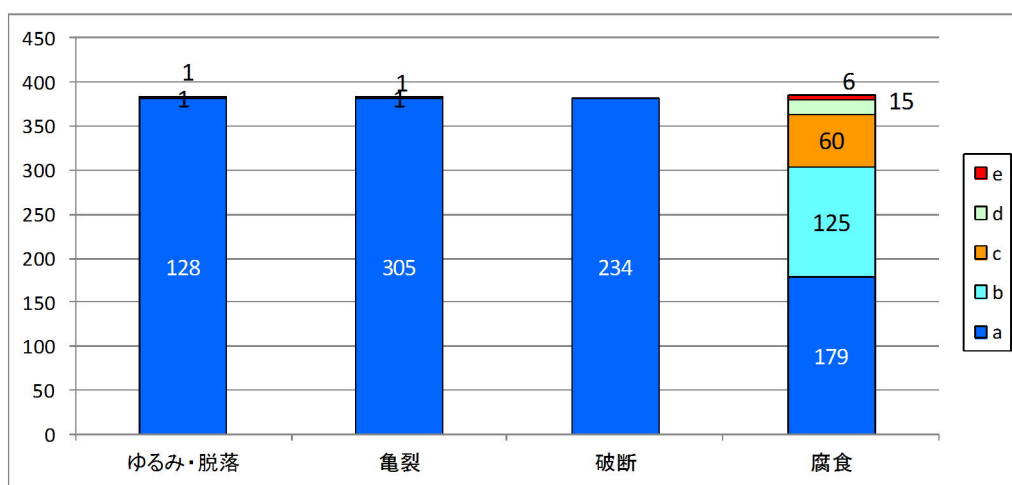


図2-13 鋼桁の損傷分類

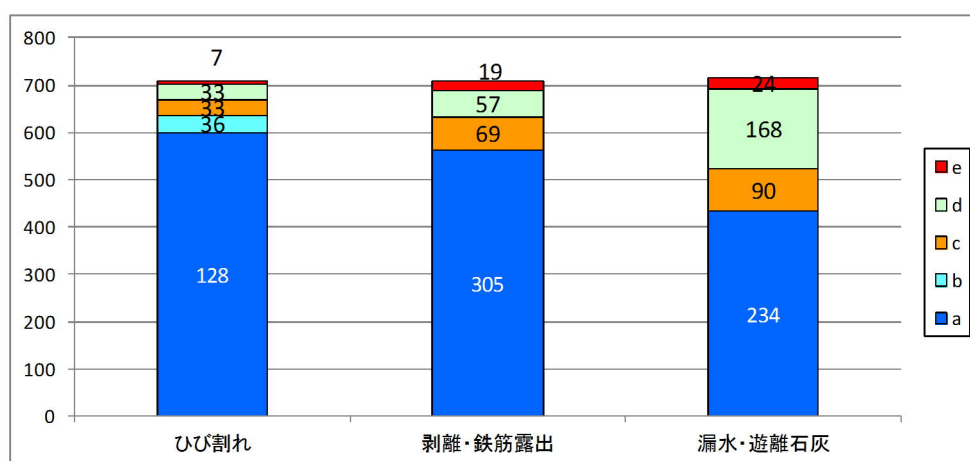


図2-14 コンクリート主桁の損傷分類

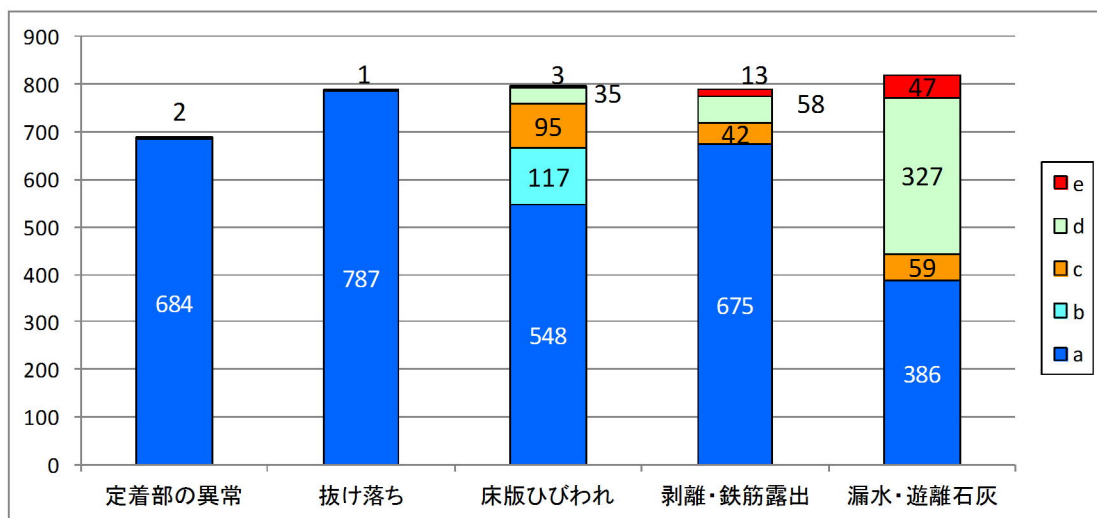


図2-15 コンクリート床版の損傷分類

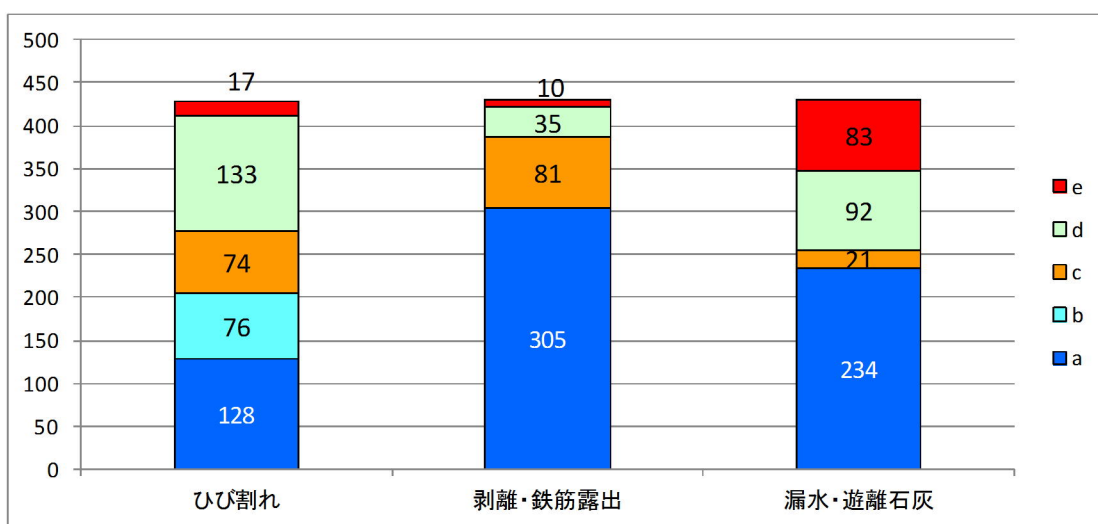


図2-16 下部工躯体の損傷分類

2.5 まとめ

本章では、札幌市の長寿命化修繕計画策定に先立ち必要となる各種データについて、収集整理を行った。2.2 節では、国土交通省の支援などが始まった平成 19 年度以降の全国の自治体の橋梁点検の実施、計画策定、および修繕の実施状況について述べ、近年、全国の自治体で、点検、計画策定が取組まれ、以降、修繕（補修）がより推進されていく状況にあることを述べた。

2.3 節では札幌市の橋梁の規模や構造形式における特徴、架設年の構成、および他都市との交通状況の比較について述べ、札幌市は比較的小規模な橋梁が多いこと、架設年度の構成は全国平均と比べて、10 年程度以上若い状態にあること、しかしながら、市内幹線道路などに架かる重要な橋梁

は、今後 10 年余りで高齢化に直面すること、さらには、全国の大都市と比べて、橋梁の疲労耐久性に大きく影響する大型車の交通量は、少ないことなどについて述べた。

2.4 節では、計画策定における最も重要な基礎データである橋梁点検について、その概要やこれまでの進捗状況について述べるとともに、現在、顕在化している損傷は重大なものは、比較的少なく予防保全型維持管理手法への転換によって、より大きなメリットが得られる可能性があることを述べた。さらに、これらの結果の分析から、顕在化している損傷は荷重的な要素よりも、積雪寒冷地特有の材料劣化に起因する損傷が支配的であることについて述べ、これらに適切に対応することが予防保全を推進する上で重要であることを示した。

3. 重要橋梁の長寿命化修繕計画

3.1 はじめに

本章では、札幌市が管理する橋梁のうち、重要橋梁と位置付けた 247 橋の計画策定について述べるとともに、計画の実効性を確保するために行った各種の取組みについて説明する。

具体的には 3.2 節で、計画策定における方針を定め、3.3 節では橋梁を 5 段階にグルーピングし、それぞれについて、維持管理手法と目標共用年数を定めている。3.4 節では、グルーピング毎の維持管理レベルや目標共用年数を達成するための補修工法を設定している。

3.5 節では、計画策定にあたり、メリハリのついた投資を行うための根拠となる LCC の試算について述べ、3.6 節は、計画策定にあたり、支援ツールとして活用した BMS について紹介する。3.7 節では、計画と実際の補修工事における現場レベルの乖離を抑制するために取り組んだ「目視点検のばらつきの解消」、「劣化予測の精度向上」、「補修費用算出の適正化」について述べ、3.8 節では、具体的な事業計画を策定するにあたっての優先順位付けや予算の平準化について説明している。3.9 節では、当計画を実行することにより見込まれるコスト縮減効果について示し、3.10 節では、本章のまとめについて述べている。

3.2 計画策定の方針

3.2.1 長寿命化修繕計画の位置付け

札幌市橋梁長寿命化修繕計画は、図3-1に示すように、札幌市の道路施設の維持管理に係るマスタープランである道路維持管理基本方針³⁶⁾（以下、基本方針）を上位計画とし、この方針に基づいて策定する施設別の補修計画の一つとして位置づけられる。基本方針は、地方自治法第2条第4項により地方自治体が策定することが義務付けられている第4次札幌市長期総合計画（2000年～2020年）の部門別計画として、施設の効率的な維持、管理を実現するための考え方や取組方針を定めたものである。

基本方針では、図3-2に示すとおり「長寿命化の推進」、「ライフサイクルコスト（LCC）の縮減」、「事業の平準化」、「市民ニーズの反映」の4つの視点に立って、道路施設の計画的、効率的な維持管理を推進していくこととし、施設の特性に応じた維持管理区分を定めている。基本方針の内容を踏まえ、橋梁長寿命化修繕計画では、1,250 橋を超える多くの橋梁に対し、「重要橋梁」と「一般橋梁」に大別し、これらの特性を考慮した上で、段階的にメリハリをつけた補修を行っていくこととしている。平成20年度、平成21年度の2ヶ年で、重要橋梁について先行して計画を策定し^{37), 38)}、全橋の点検が完了する平成22年度を待って、平成23年度の単年度で一般橋梁の計画策定、並びにこれを重要橋梁の計画と統合し、全橋の修繕計画を策定することとしている³⁹⁾。

重要橋梁は、劣化損傷が軽微な段階から補修を行う予防保全を推進することで、延命化を図り、LCC の縮減を目指すこととし、一般橋梁は、事後保全的な維持管理を行うものの、安全性の問題が生じる前の段階で対策を講じることとしている。

なお、札幌市では、計画策定にあたり、外部の有識者3名を構成員とした検討会を設置しており、検討会は、平成20年度～平成21年度に7回開催し、計画の方針とともに重要橋梁の計画策定について、平成23年度には、3回開催し、一般橋梁および、全体計画の策定について審議を行った。

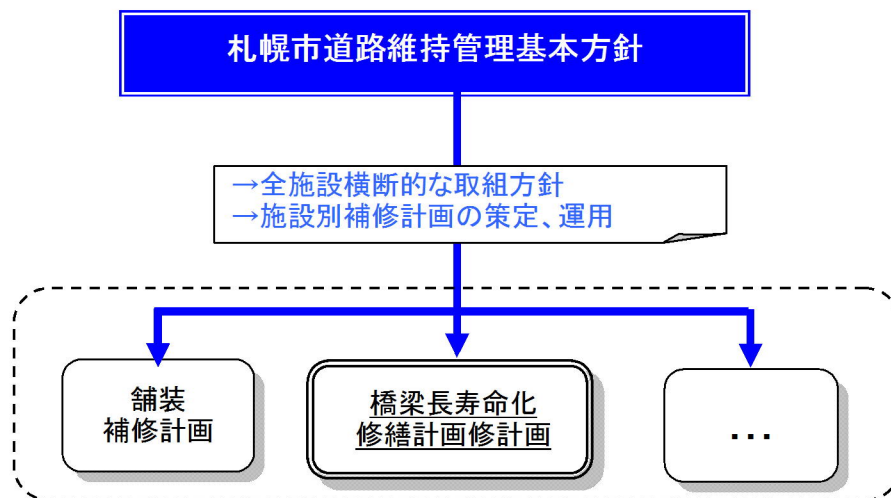
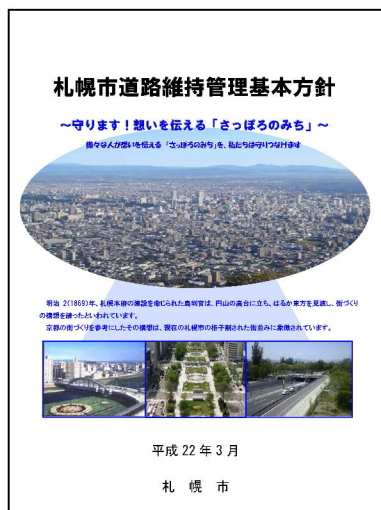


図 3-1 橋梁長寿命化修繕計画の位置付け

「札幌市道路維持管理基本方針」：安全、安心で良好な道路サービスを次代につなげるべく、長期的な視点にたち、計画的、効率的な維持管理の実現に向けた4つの視点に基づき、取組方針を定めています。

〈表紙〉



〈計画的、効率的な維持管理の実現に向けた4つの視点〉

I 長寿命化の推進

橋梁などの大型構造物や劣化予測が可能な施設については、施設の長寿命化を図りながら、既存ストックの有効活用を図る。

II ライフサイクルコストの縮減

施設の規模や構造などの特性に応じた最適な補修工法を選定し、計画的・効率的な維持により、ライフサイクルコストの縮減等を図る。

III 事業の平準化

事業効果の検証や計画の見直しなどを適宜行いながら、中長期的な予算や事業の平準化を図る。

IV 市民ニーズの反映

施設の管理目標や事業効果などを市民へ積極的に情報提供し、透明性の向上に努めるとともに、市民ニーズや社会的な要請を的確に捉え、維持管理行政に適切に反映する。

※ライフサイクルコスト(LCC)：道路施設にかかる生涯コスト。建設から補修および更新までの全期間に要する費用

図 3-2 札幌市維持管理基本方針の概要

3.2.2 重要橋梁と一般橋梁の選定

図 3-3 に重要橋梁と一般橋梁の選定フローを示す。重要橋梁は、道路管理上、特に重要な役割を担っている 15m 以上の橋梁であり、跨線橋、跨道橋などの「第三者被害の可能性がある」、「緊急輸送道路又は都市計画道路」の橋梁、および、「重要路線に連絡又は重要地区を結ぶ」橋梁を抽出し、247 橋とした。表 3-1 に示すとおりこの 247 橋は、橋梁数としては、全体の 20%程度であるが、橋長の合計では、全体の 57%、橋面積では、全体の 69%を占めており、これらの維持管理に係る費用もこれに応じて高い割合を占めている。これらの重要橋梁は、予防保全型の維持管理へのシフトによって大きなコスト縮減効果が期待できる。

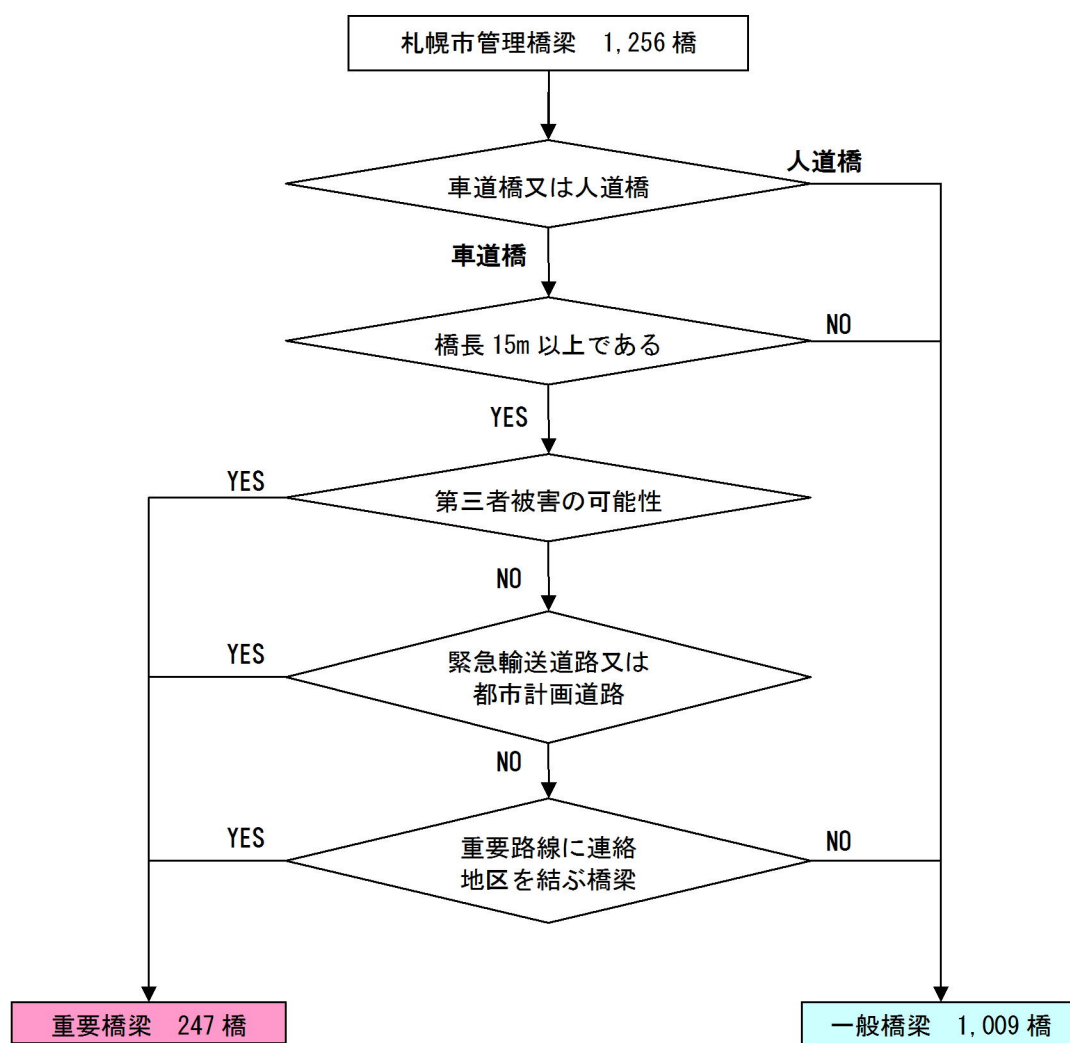


図 3-3 重要橋梁と一般橋梁の選定

表 3-1 全橋に占める重要橋梁と一般橋梁の割合

	重要橋梁	一般橋梁	全橋
グループ	①, ②	③, ④, ⑤	①, ②, ③, ④, ⑤
橋数	247	1009	1256
(全体に占める割合)	(0.20)	(0.80)	
橋長 m	20,509	15,761	36,270
(全体に占める割合)	(0.57)	(0.43)	
橋面積 m ²	348,735	157,862	506,597
(全体に占める割合)	(0.69)	(0.31)	

3.3 橋梁のグルーピングと目標共用年数の設定

3.3.1 橋梁のグルーピングの設定

札幌市では、平成 20 年度からの 2 カ年で重要橋梁 247 橋について、平成 23 年度において、一般橋梁の具体的な修繕計画を定めることとしているが、これらの具体的な計画策定に先立ち、図 3-4 および表 3-2 に示すとおり、全橋を 5 つのグループに分類し管理方針を定めている。

橋梁などの構造物は、一般に、損傷が軽微なうちに補修を行う、予防保全による管理方法が、延命化に寄与するとともに、経済的メリットがあることが知られているところであるが、小規模な橋梁を含めた全ての橋梁に、予防保全的な維持管理を行うことは、年度毎の予算、実行体制等の様々な制約のなか、現実的ではない。そのため、橋梁の重要度に応じたグループ分けを行い、グループ別に目標共用年数と維持管理レベルを定め、制約のなか橋梁ごとにメリハリをつけることによって、計画の実効性と最大の投資効果の確保を図ろうとしている。

グループ①は JR や高速道路を跨ぐ、あるいは豊平川に架かる 49 橋とし、最も重要度が高いグループに位置づけている。これらの橋梁は大規模で交通量も多く、老朽化が進行し、万が一架替えとなった場合、莫大な費用がかかるとともに、交通規制等の社会的影響も大きいと想定される。従って、可能な限り延命化を図ることが最も効果的であるとし、維持管理レベル予防保全(1)とし、目標共用年数 100 年以上を目指すこととした。

グループ②、③は 15m 以上の橋梁であり、早めの補修（C 判定に至る前）を徹底することで目標共用年数 100 年を目指すものである。これを維持管理レベル予防保全(2)としている。このうちグループ②は、緊急輸送路、都市計画道路上の重要橋梁であるので、事業実施の優先順位付けにおいて、グループ③よりも優先することになる。

グループ④、⑤は 15m 未満の橋梁およびボックスカルバートなどである。これらの橋梁は、主に生活道路等に架かるものであり、そのほとんどが橋脚を有しない単純桁形式である。この形式は、これまでの大地震において、落橋した事例もなく地震時のリスクが少ないことに加え、仮に架替えとなった場合、近隣に迂回路がある場合が多く、社会的な影響も比較的少ないと想定される。このことから事後保全的な維持管理により目標共用年数を 60 年と設定している。図 3-5 には、各グループの代表的な事例を示す。

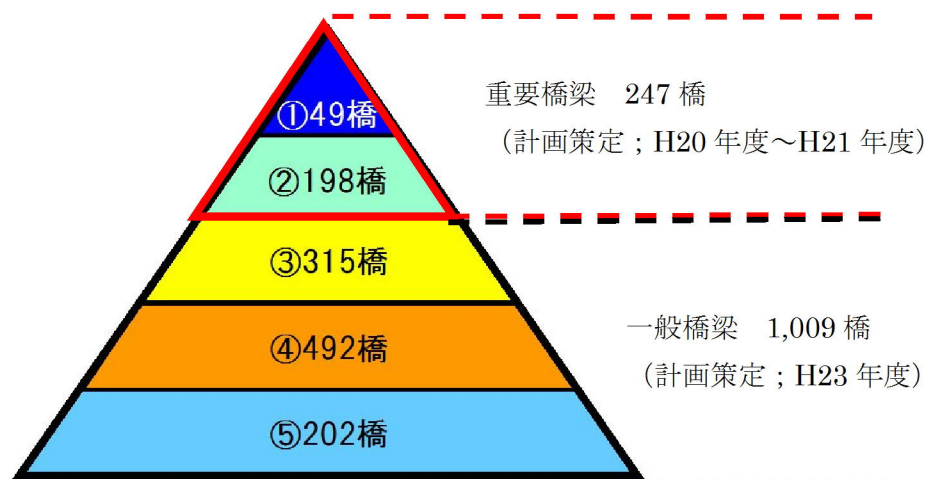


図 3-4 橋梁のグルーピング

表 3-2 目標共用年数と維持管理レベル

	グループ	適用条件	目標 共用年数	維持管理 レベル
重要橋梁	①	JR 線、高速道路を跨ぐ、又は豊平川に架かる 橋長 15m以上の橋梁（御料橋より下流）	100 年以上	予防保全(1)
	②	緊急輸送路、都市計画道路を跨ぐ、又は緊急輸送道路 都市計画道路上の橋長 15m以上の橋梁で①に該当しない橋梁	100 年	予防保全(2)
一般橋梁	③	① ②以外の橋長 15m以上の橋梁		
	④	① ②以外の橋長 15m未満の橋梁	60 年	事後保全
	⑤	ボックスカルバート橋など		

※予防保全(1): できるだけ長寿命化(共用年数100年以上)を図るため、損傷が軽微な段階で対策を行うとともに、耐久性を向上させる補修工法を選択するレベルの高い保全方法

※予防保全(2): 長寿命化(共用年数100年)を図るため、損傷が軽微な段階で対策を行う保全方法

※事後保全 : 安全上の問題が生じる前の段階で対策を行う保全方法

【グループ別橋梁の代表例】

グループ①（豊平川に架かる橋梁）

・幌平橋（橋長 160m、幅員 20m）



グループ②（緊急輸送路、都市計画道路上の橋）

・南郷通高架橋（橋長 150m、幅員 14m）



グループ③

・米里十二号橋
（橋長 63m、幅員 11m）



グループ④

・黄金橋
（橋長 14m、幅員 12m）



グループ⑤

・東屯田川 1 号橋
（橋長 3m、幅員 12m）



図 3-5 グループ別橋梁の代表例

3.3.2 目標共用年数の考え方

目標共用年数については、現在共用下にある橋梁の架替えに関するデータが少ないこと、さらにこれまで架替えが行われた橋梁は、道路改良や拡幅など交通容量に対応するためのものが支配的であり、老朽化を主たる要因とした架替えに係るデータはさらに少ないこと⁴⁰⁾、また各橋梁は、様々な使用環境におかれていることなどから、個別の橋梁に対し寿命を精度良く設定することは、難しいのが現状である。このことを踏まえ、本計画においては、目標共用年数を期待値として捉え、各グループの橋梁が目指す平均寿命として取り扱うこととしている。

旭川市のシンボルとして、市民に親しまれている旭橋は、昭和7（1932）年に建設され、現在81年を経過した鋼橋であるものの、未だ十分に健全な状態を保っている。（写真 3-1）、また、札幌市内の橋梁で、架設後数十年を経過した橋梁について、目視調査を行ったところ、定期的な塗装塗り替えを行っている橋梁は、十分に健全な状態を保っていること確認できた（写真 3-2、3-3）。このことは、十分なメンテナンスを行えば、橋梁の構造そのものは、100 年程度の共用が可能であり、特に札幌市においては、第2章で示したとおり、現在顕在化している損傷は、荷重による疲労ではなく、材料劣化が支配的であることから、水の影響や積雪寒冷地であることに起因した凍害などの材料劣化に対応した、塗装塗り替えや防水など適切な処置を講じることで、100 年を超える共用が可能であることを示している。加えて、札幌市では、2015 年に 193 万 7 千人の人口ピークを迎え、その後減少傾向に転じ、その後さらに減少傾向が進展するものと見込まれている⁴¹⁾。それに伴い少子高齢化の進展による労働生産人口および物流の減少、公共交通へのモーダルシフトなどが進むものと想定され、以降、開発などが行われる一部特定の地域を除いて、橋梁などの構造物に対し影響を与える大型車の交通量も減少していくものと考えられる。中長期的な視点に立てば荷重的な要因は、今後ますます軽減していくものと推察される。以上のことから、適切に材料劣化の進展を抑制することで目標共用年数は、十分達成できるものと考えられる。



写真 3-1 旭橋
(1932 年架設)



写真 3-2 南 22 条大橋
(1961 年架設)



写真 3-3 新あかつき橋
(1963 年架設)

3.4 グルーピングに応じた補修工法の設定

計画の方針、ならびに、損傷の傾向分析から設定した補修工法を表 3-3 に示す。予防保全(1)は、「橋面複合防水工」や「重防食塗装」など、補修費用は高価となるものの、現時点で耐久性向上に最も寄与すると考えられる工法を積極的に採用し、可能な限り橋梁の延命化を図ろうとするものである。次節で示す橋梁規模別のライフサイクルコストの試算によれば、大規模橋梁ほど、延命化を図り、架替えまでのスパンを極力伸ばすことが、限られた財源の中、最大の投資効果が期待されることから、このような設定をしている。予防保全(2)では、標準的な補修工法を早めの段階で実施し、目標共用年数である 100 年を目指そうとするものである。

また、コンクリート桁やコンクリート橋脚に適用する表面被覆工については、第三者被害の予防に主眼におき、交差条件に応じた適用としている。表面被覆工については、外部表面からコンクリートへの劣化因子を遮断することで、塩害や中性化などに効果的であることが知られているが、その一方で、3.4.2 に示すように、橋面からコンクリート内部に浸透してきた水が、表面被覆工の上側で滞水し、返ってコンクリートを劣化させる事例も散見されている。このことから、表面被覆工を実施する場合、必ず橋面防水層を実施するとともに、端部などの排水機能を確保することが重要であるとしている。

表 3-3 補修工法の設定（重要橋梁）

部材	予防保全（1）	予防保全（2）
鋼桁	重防食塗装（1 種ケレン）	部分塗装塗替え（3 種ケレン）
コンクリート桁	表面被覆（※1）＋断面修復	断面修復（※4）
コンクリート床版	橋面複合防水（※2）＋ひび割れ注入 ＋炭素繊維接着	橋面防水（※2）＋ひび割れ注入
鋼床版	重防食塗装（1 種ケレン）	部分塗装塗替え（3 種ケレン）
下部工（コンクリート製）	表面被覆（※3）＋ひび割れ注入	ひび割れ注入
下部工（鋼製）	重防食塗装（1 種ケレン）	部分塗装塗替え（3 種ケレン）
支承	重防食塗装（1 種ケレン）	塗装塗替え（3 種ケレン）
伸縮装置	取替え	取替え
高欄・防護柵・地覆	取替え	取替え

（※1）JR 線、高速道路を跨ぐ橋梁のみ実施する。

（※2）損傷状況によらず、橋面防水工は必ず実施する。

（※3）表面被覆工は、耐震補強等の実施状況を見ながら適宜、実施する。

（※4）予防保全(2)のうち、緊急輸送路、都市計画道路を跨ぐ橋梁については、第三者被害予防のため、表面被覆工(剥落防止塗装)を実施する。

3.4.1 橋面複合防水について

(1) 計画における防水層の位置付け

橋梁の床版は、直接、輪荷重を支持する部材の一つであるとともに、雨水などに曝され、橋梁を構成する部材の中で、最も厳しい環境条件に置かれている部材であると言える。さらに、床版に損傷が発生した場合、道路利用者の使用性、安全性に直接的な影響が生じるため、道路管理上最も注意を払うべき部材でもある。既往の研究によると、床版上面が滞水した環境では、床版の疲労耐久性が乾燥状態と比べて、1/10 程度以下に低下することが実験的に示されており²⁴⁾、積雪寒冷地では、水の影響に加え凍害や凍結防止剤の散布による塩害の影響を受けた劣化事例も顕在化してきている^{4), 26)}。これらの劣化因子の床版への侵入を防ぐことが、床版の健全性を確保する上で極めて重要である。

床版防水便覧に全面的な防水層の敷設が規定されたのは平成 11 年であり⁴²⁾、それ以前は、同便覧の規定に基づき中間支点上に敷設するか、あるいは、道路管理者自らの判断により敷設している事例が多く、ほとんどの既設橋は、防水層が敷設されていないものと推察される。このことから、本計画においては、床版防水の敷設は、必須事項として定めているところである。

予防保全(1)に採用することとしている橋面複合防水は、後述するように従来の塗膜系防水材料の下に、浸透系防水材料などを塗布することにより、更なる防水効果を期待するものである。

(2) 橋面複合防水の特徴

積雪寒冷地における橋梁床版の損傷原因として、水の侵入とともに、特に凍害による床版上面のスレーキングや路面凍結防止剤散布による塩害などが考えられる。積雪寒冷地の床版の維持管理において、様々な劣化因子をもたらす水の侵入を防ぐことが最重要課題であり、より高い防水効果が得られる浸透系材料を活用した複合防水は、積雪寒冷地への適合性は高いものと考えられる⁴³⁾。

浸透系防水材料を用いた複合防水とは、図 3-6 に示すとおり、床版の上面にクラック含浸性能と防水性能を有した浸透型樹脂材料による防水材料（浸透系防水材料）を塗布し、さらに、従来型の防水材料（塗膜系、シート系）を敷設した複合的な防水システムである。複合防水の主な特徴を以下に示す。

- ① コンクリート表面を改質することで、凍結融解抵抗性と防水性能を高めることができる。
- ② コンクリート床版上面に発生している微細なクラックに含浸し、クラックを補修できる。
- ③ 上側が従来型防水材料であるため、従来と同じ工程でアスファルト舗装の敷設が可能である。

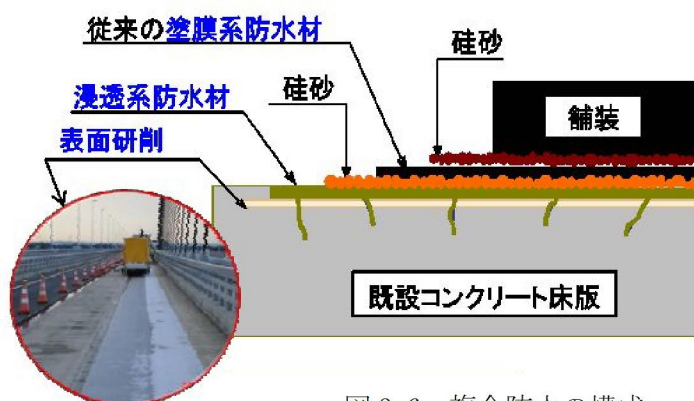


図 3-6 複合防水の構成
(資料提供 (独) 寒地土木研究所)



写真 3-4 既設床版の脆弱部



写真 3-5 研掃作業（脆弱部の処理）



写真 3-6 浸透系防水材の塗布



写真 3-7 塗膜系防水材の塗布

写真 3-4～3-7 に、複合防水の施工手順の一例を示す。積雪寒冷地の床版は、床版上面において、凍害等によりコンクリートが写真 3-4 のように、脆弱化していることがあり、施工に際しこれらの脆弱部を適切に除去することが、特に重要となる。具体的には、床版全面においてハンマーによる打音検査などを行い、脆弱部の範囲や深さを確実に把握するとともに、これらを確実に除去することが防水層の性能を確保する上で必須となる。写真 3-5 には、床面上面処理方法の一つである研掃作業の様子を示している。

研掃作業後、浸透系防水材を塗布し(写真 3-6) この硬化後、塗膜系の防水材を塗布することとなる(写真 3-7)。

3.4.2 表面被覆工が劣化を助長させた事例

豊平川の遊歩道上に架かる PC 箱桁橋において過年度に剥落防止を目的として、写真 3-8 のとおり表面被覆を行った事例において、張出し部に雨水が浸透していることが確認された。これを受け剥落防止のために設置されていた鋼板およびネットを除去したところ、写真 3-9 のとおりコンクリートは脆弱化し、床版下面まで貫通している状況が確認された。

当該箇所は、歩道部の縁石直下であり、輪荷重による影響は考えられないことから、剥落防止をおこなったことが返って滞水しやすい構造となり、長年にわたって凍結融解を繰り返した結果、このような事態を引き起こしたものと考えられる。下面から表面被覆などを行った場合、目視点検では、構造体の状況を確認することが困難となり、劣化が進行し、抜落ちが発生するまで、点検などにより発見できないことが懸念される。

このようなことから、本計画においては、表面被覆工などは、第三者被害が想定される一部の橋梁にのみ適用することとし、必ず防水層の敷設とともに実施することとしている。

なお、当該箇所の補修の状況を写真 3-10 に、補修後の張出床版の構造図を図 3-7 に示す。



写真 3-8 剥落防止の状況



写真 3-9 土砂化により貫通した床版



写真 3-10 補修後の状況

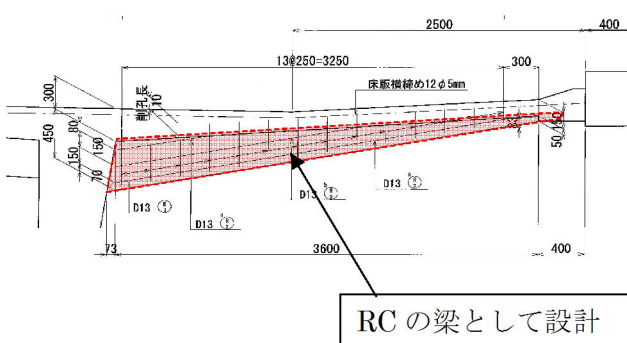


図 3-7 張出床版構造図

3.4.3 補修サイクルのイメージ

図 3-8 に維持管理レベル毎の補修サイクルのイメージを示す。予防保全(1)、(2)とも、目標水準である橋梁点検の対策区分判定 C 判定（5 年以内に補修を必要とする損傷）に至る前段階で補修を実施することとしており、予防保全(1)の方が、グレードが高い補修を実施するため、次回補修までの期間を長くすることができる。中長期的な視点では、予防保全（1）の方がより延命化が図られることになる。一方、事後保全は限界水準である E 判定（緊急対応が必要な損傷）に達する前に、補修を実施することとしている。

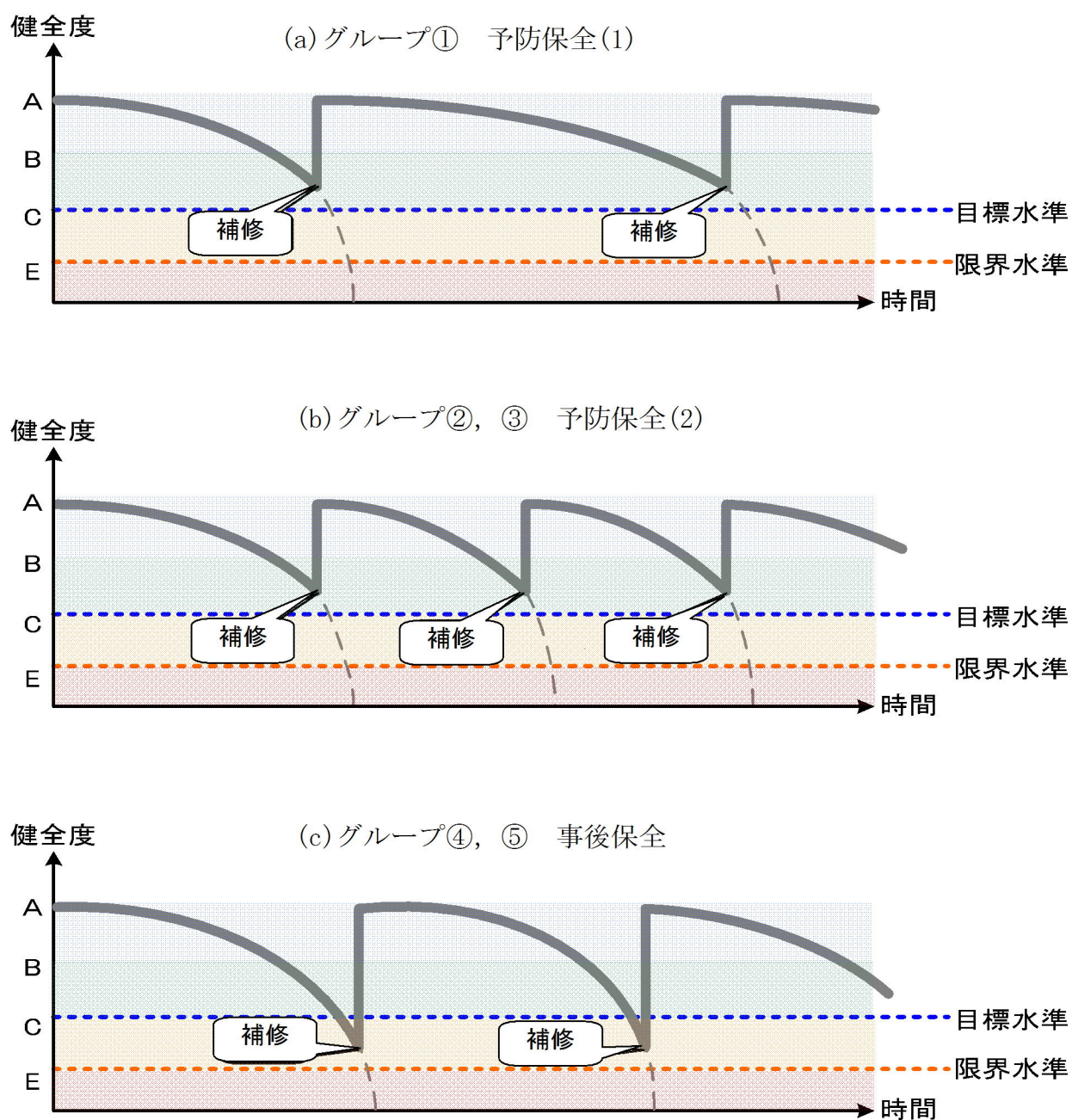


図-3-8 維持管理レベルごとの補修サイクル

3.5 LCC の試算

図 3-9(a)、(b)、(c)は、それぞれ、大規模橋梁、中規模橋梁、小規模橋梁における今後 200 年間の架替え費用と補修費用を合算したシミュレーションである。一部の例外はあるが、大規模橋梁はグループ①、中規模橋梁はグループ②と③、小規模橋梁は、グループ④と⑤を想定したものである。

図 3-9(a)、(b)では、架替え費用に、新設費用の他、施工時の交通確保のための仮橋の費用、撤去費用を含むため、たとえ耐久性向上のための高価な補修（予防保全(1)）を行ったとしても、それに比べて架替え費用が圧倒的に大きいため、架替えの回数を少なくすればするほど、（架替えまでのサイクルを長くすればするほど）経済的メリットがあることが分かる。

一方、小規模橋梁の多くは生活道路に架かっており、交通量も少ないことから架替えの際に仮橋の必要性が低いこと、橋脚を有しない両端を橋台とした単純桁であり、下部工を再利用して架替えを行ったとしても、新たに大がかりな耐震補強などをする必要がないことから、仮橋なしで、上部工のみ架替えすることやそれに準ずる補修を想定すると、図 3-9(c)に示すように、予防保全と事後保全の総費用は拮抗することとなる。以上の LCC の検討に加え、架替えとなった場合の社会的影響や地震被害におけるリスクを考慮すると、限られた予算と体制の中で効率的な維持管理を行っていくためには、大規模橋梁、中規模橋梁では、予防保全型の維持管理が効果的であり、小規模橋梁では事後保全としても、一定の条件においては、損失が少ないということが言える。さらには、グループ①に属する大規模橋梁は交通量が多く、これらを出来るだけ延命化することは、ここで算出した経済的メリットに加え、渋滞による社会的損失や環境負荷を低減する観点からも有効であり、最も投資効果が期待できるものと考えている。以上を踏まえ、橋梁のグルーピングや補修工法の設定を行った。

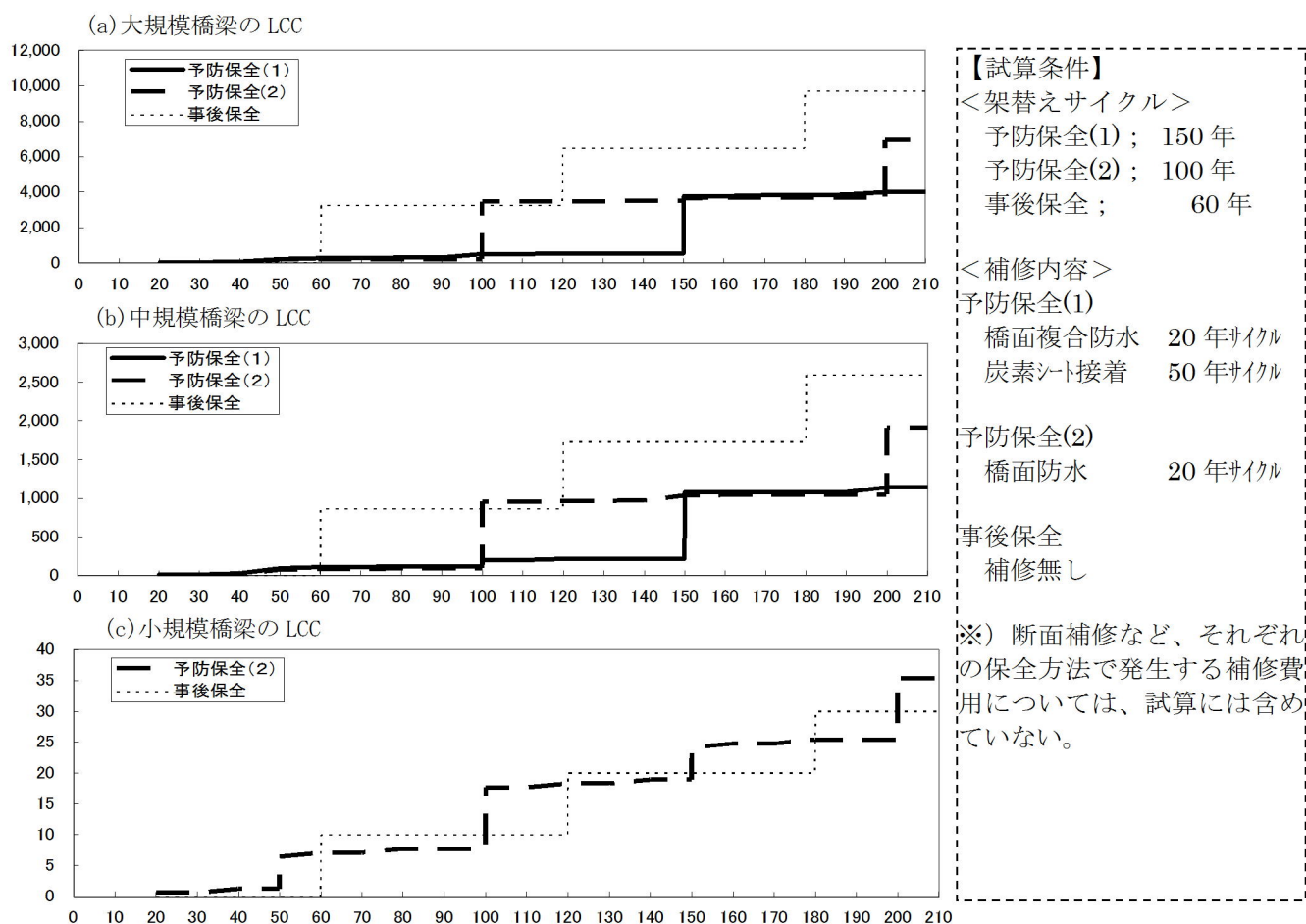


図 3-9 橋梁規模別 LCC の比較

3.6 札幌市橋梁マネジメントシステム（BMS）

具体的な橋梁の補修計画を策定するにあたり、その支援ツールとして、橋梁マネジメントシステム（以降、BMS と称す）を活用した。BMS は、点検結果を入力データとし、部材毎の劣化予測を行い、補修方針に応じた補修時期や補修費用を算定するとともに、中期的な健全度の推移や必要予算の算出などを行うものである。BMS における計算フローを図 3-10 に示す。

札幌市では、同じ積雪寒冷地であり、既に 5,000 橋の橋梁点検データなどに基づき劣化予測式を有している北海道庁の BMS⁴⁴⁾ に対し、一部札幌市仕様に変更を加えることで、計画策定を行うこととした。北海道庁の BMS に対し、変更を行った項目を次頁以降に示す。

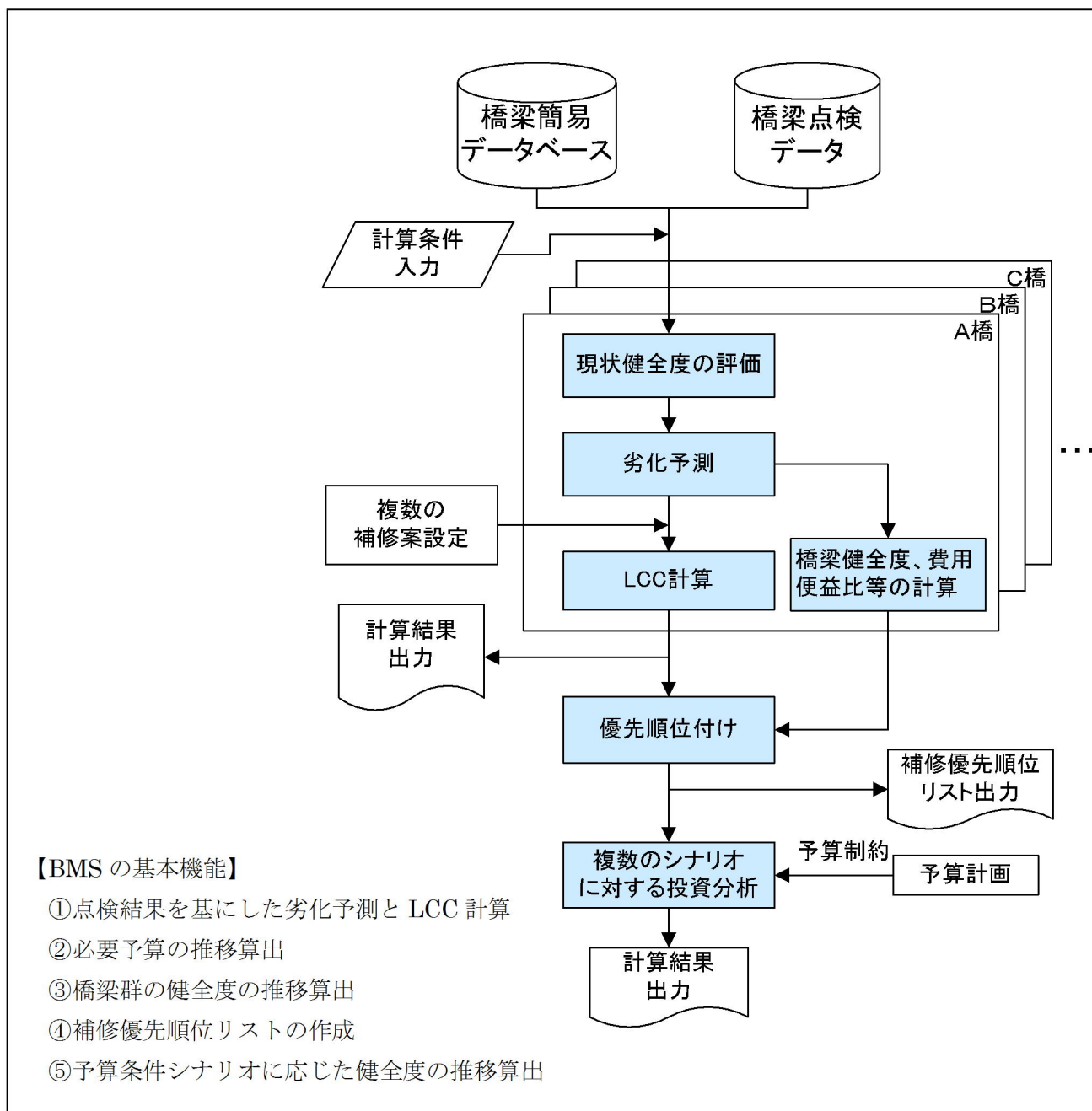


図 3-10 BMS の計算フロー

(1) データの入力機能及び健全度評価の対応付け

北海道庁 BMS の点検結果を始めとする基礎データは昭和 62 年の国土交通省の橋梁定期点検要領⁴⁵⁾に準拠しているが、札幌市の橋梁点検データは、平成 16 年の国土交通省の定期点検要領^{33), 34)}に準拠しているため、BMS のデータ読み取り機能の改良が必要となった。

これに加えて、橋梁各部材の健全度の将来予測を BMS を用いて算定するためには、札幌市の定期点検結果(対策区分判定)を道庁 BMS で定義している点検健全度に対応付けるルールが必要になる。

表 3-4 には、対策区分判定の定義と道庁 BMS における点検健全度の定義を照合し、設定した変換ルールを示す。なお、対策区分「S」、「M」については、別途リストを作成し帳票として整理することとした。

表 3-4 対策区分判定（札幌市）と点検健全度（道庁）の対応付け

対策区分判定 (札幌市)	点検健全度 (北海道庁)	劣化、損傷状況
A	5	点検の結果から損傷は認められない。
-	4	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。
B	3	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。
C	2	損傷が大きく、詳細調査を実施し、 補修、補強の要否の検討を行う必要がある。
E	1	損傷が著しく、交通安全確保の支障となる恐れがある。

(2) 劣化曲線の設定

北海道庁の BMS では、主要部材（「鋼橋床版」、「鋼橋塗装（4 種の塗装種別）」、「コンクリート主桁」、「コンクリート床版」、「橋台、橋脚」）を劣化予測対象部材としており⁴⁴⁾、他の支承や伸縮装置などの 2 次部材については、一定の取替えサイクルを定めている。しかしながら、後述する事業計画の立案において、構造物の安全性を確保するとともに、補修工事の効率化を図るため「最も早く、補修時期に達した部材に他の部材も併せて補修する」という考え方にに基づき、橋梁の補修時期を設定した場合、桁や床版などが健全な状態を保てば、保つほど、補修時期は、伸縮装置や支承などの 2 次部材の取替えサイクルにより、決められることになり合理的ではない。また、これまで、札幌市の橋梁において、北海道庁が定める 20～30 年のサイクルで、伸縮装置や支承を取替えた事例もほとんどないことを踏まえると、これらの 2 次部材についても、一定サイクルをもって取替えを行うのではなく、劣化曲線を設定した上で、後述する点検時に補正を繰り返すことにより、実態に即した効率的な事業計画の立案が可能になるものと判断される。従って主要部材の劣化曲線に加え、支承(鋼製、ゴム製)、伸縮装置、高欄、地覆の 2 次部材についても劣化予測対象部材とした。表 3-5 に劣化曲線の一覧を、図 3-11～3-18 に北海道庁 BMS による主要部材の劣化曲線を、図 3-19～22 に札幌市の点検データに基づき新たに設定した劣化曲線を示す。

表 3-5 BMS における劣化曲線一覧

図3- 11	主要部材	鋼橋床版（RC床版）の劣化曲線	北海道庁のものを参照
図3- 12	主要部材	鋼橋塗装（長油性フタル酸樹脂）の劣化曲線	北海道庁のものを参照
図3- 13	主要部材	鋼橋塗装（塩化ゴム系）の劣化曲線	北海道庁のものを参照
図3- 14	主要部材	鋼橋塗装（ポリウレタン樹脂）の劣化曲線	北海道庁のものを参照
図3- 15	主要部材	鋼橋塗装（フッ素樹脂）の劣化曲線	北海道庁のものを参照
図3- 16	主要部材	コンクリート橋主桁の劣化曲線	北海道庁のものを参照
図3- 17	主要部材	コンクリート橋床版の劣化曲線	北海道庁のものを参照
図3- 18	主要部材	下部工躯体の劣化曲線	北海道庁のものを参照
図3- 19	2次部材	支承（鋼製）の劣化曲線	札幌市で独自に設定
図3- 20	2次部材	支承（ゴム製）の劣化曲線	札幌市で独自に設定
図3- 21	2次部材	伸縮装置の劣化曲線	札幌市で独自に設定
図3- 22	2次部材	高欄・地覆の劣化曲線	札幌市で独自に設定

図 3-11～3-22 には、それぞれのグループ毎に前述の計画の方針に基いた補修時期（グループ①②③は C 判定に到達前、グループ④⑤は E 判定に到達前）を示している。

図 3-11 に示す鋼橋床版（RC 床版）、図 3-16 に示すコンクリート主桁、図 3-17 に示すコンクリート橋床版、図 3-18 に示す下部工躯体は、一般的に高齢化の目安と言われている 50 年程度以前に緊急な対策が必要となる E 判定に至っているのが分かる。

一方、図 3-12～3-15 には、鋼橋の塗装系毎の劣化曲線を示している。これらについては、長油性フタル酸樹脂、塩化ゴム系、ポリウレタン樹脂、フッ素樹脂のそれぞれの塗装系について、一般的な耐用年数に基づき設定されたものである。これらは、他の部材の劣化曲線と異なり下に凸の直線として設定されている。鋼材については、腐食が生じてから緊急的な対応が必要な著しい減厚に至るまで、比較的時間を要することを表しているものと考えられる。

次に図 3-19～3-22 に示す札幌市のデータに基づき独自に設定した支承（鋼製）、支承（ゴム製）、伸縮装置、高欄、地覆の劣化曲線についてであるが、補修が必要となる健全度（C 判定）になる時点までを直線で結び、一定の年数を経過後に緊急的な対応が必要となる E 判定となるように設定している。これらについては、既往のデータ数が少ないことから安全側となるよう設定しているが、今後データを蓄積することにより、適宜、見直しを行っていく必要があると考えている。

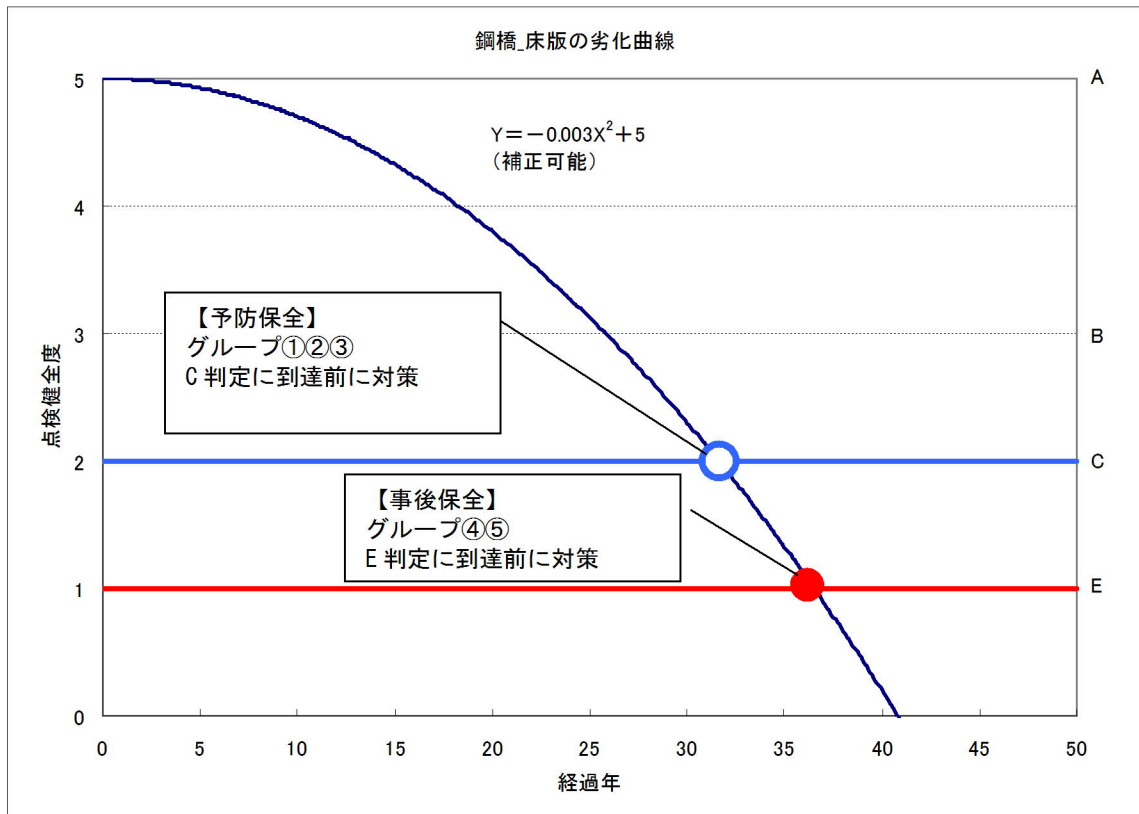


図 3-11 鋼橋床版（RC 床版）の劣化曲線

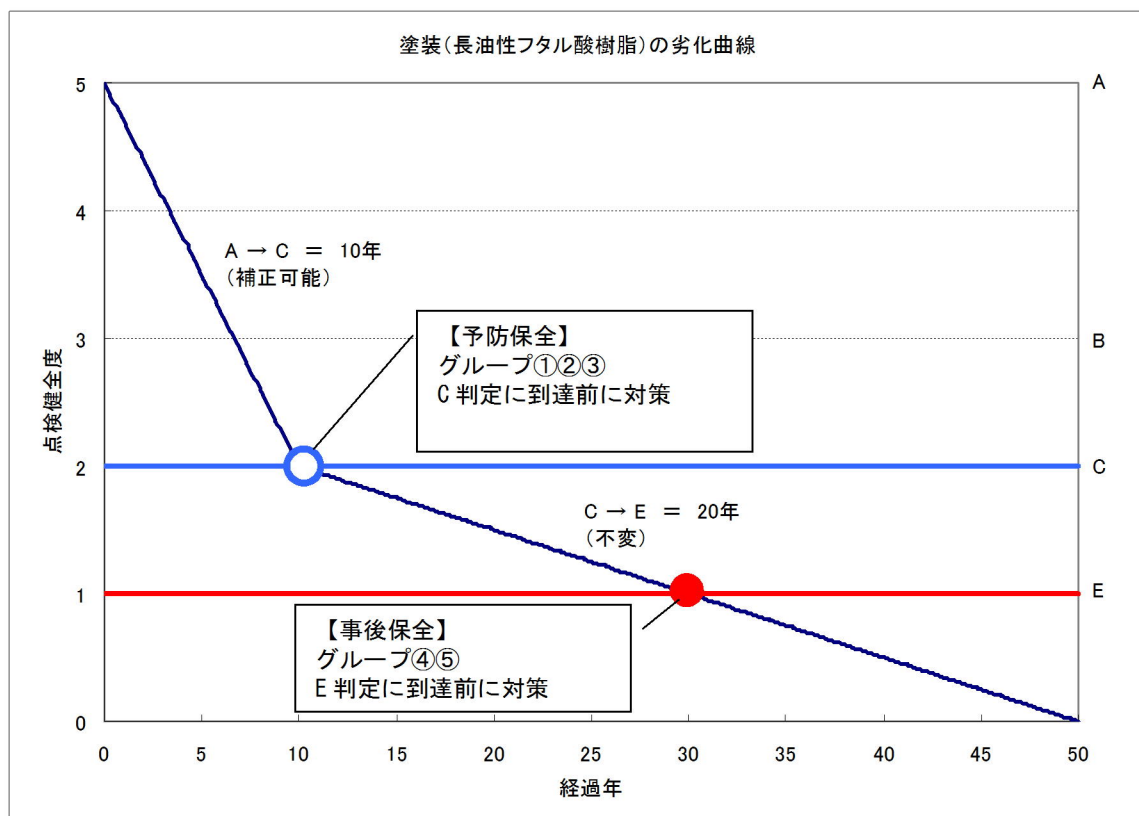


図 3-12 鋼橋塗装（長油性フタル酸樹脂）の劣化曲線

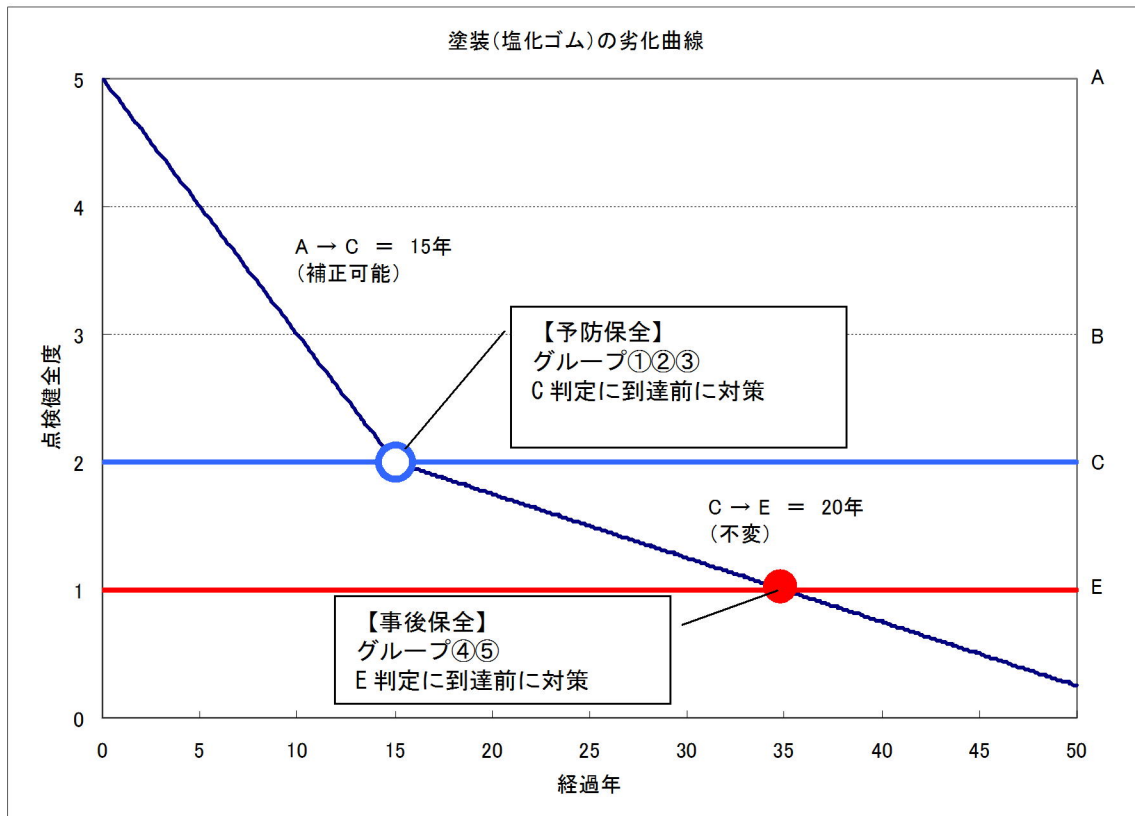


図 3-13 鋼橋塗装（塩化ゴム系）の劣化曲線

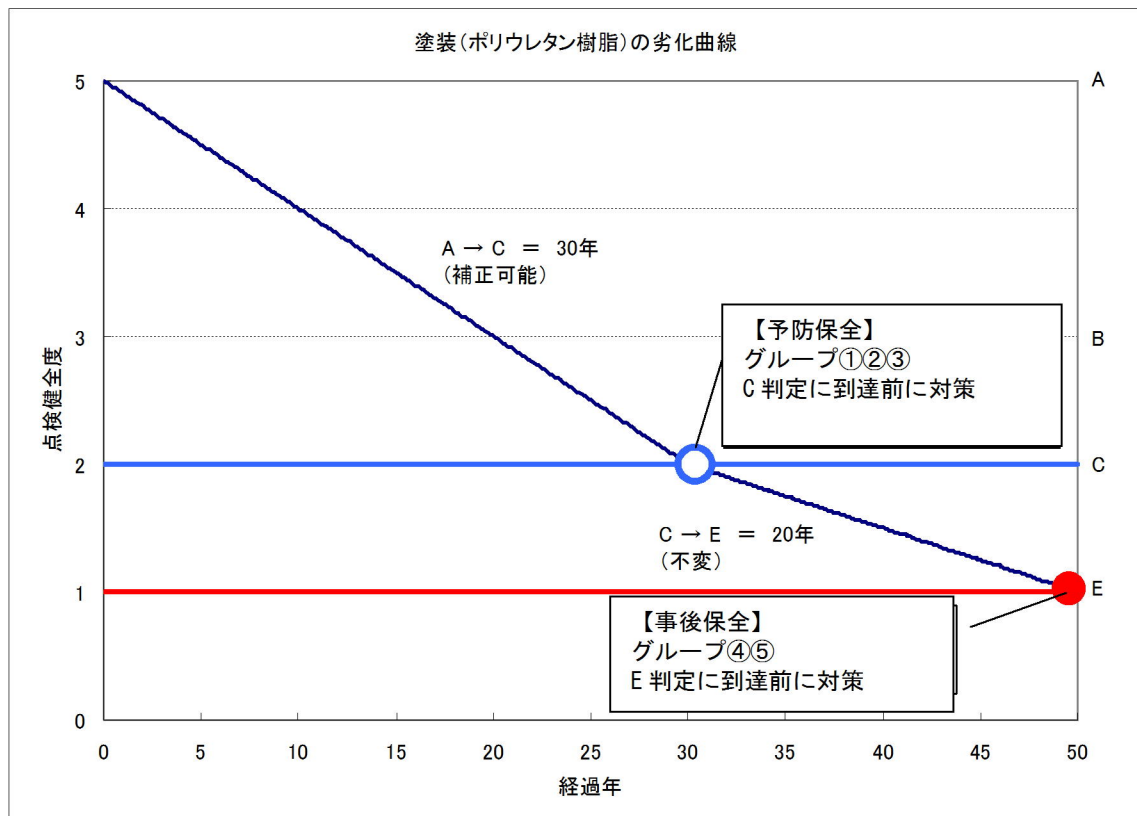


図 3-14 鋼橋塗装（ポリウレタン樹脂）の劣化曲線

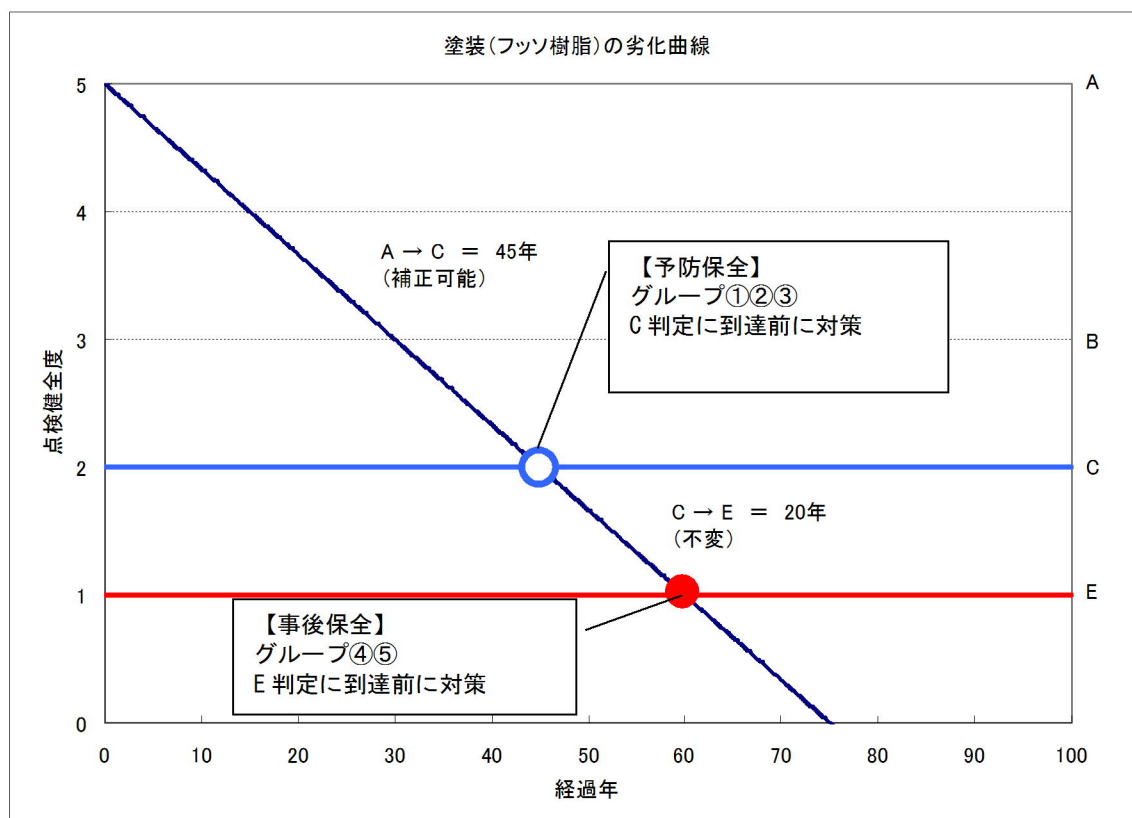


図 3-15 鋼橋塗装（フッ素樹脂）の劣化曲線

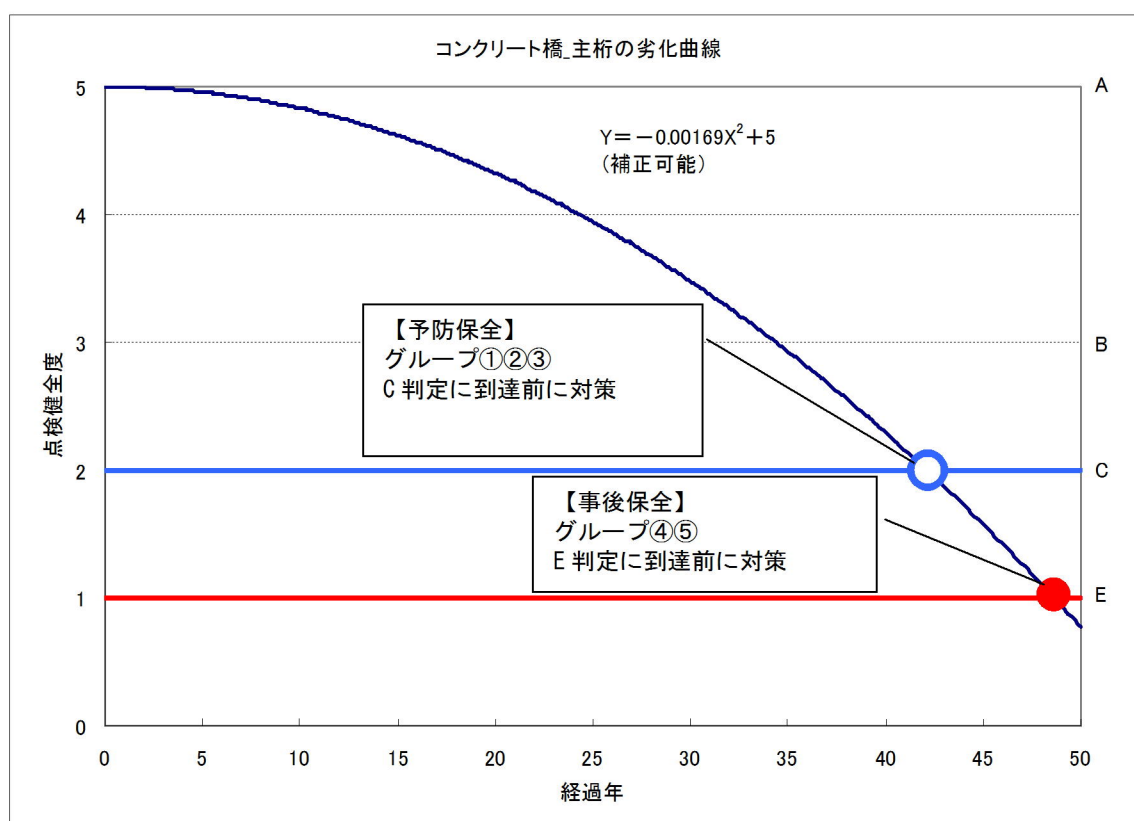


図 3-16 コンクリート橋主桁の劣化曲線

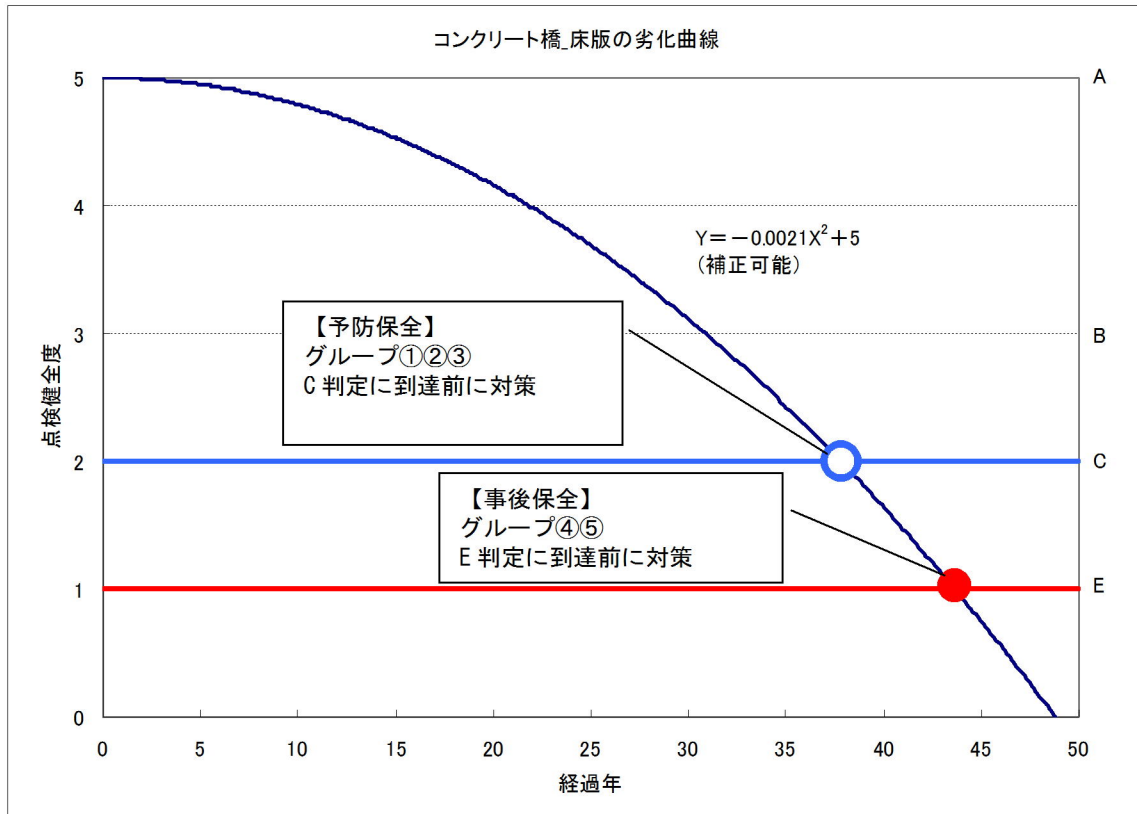


図 3-17 コンクリート橋床版の劣化曲線

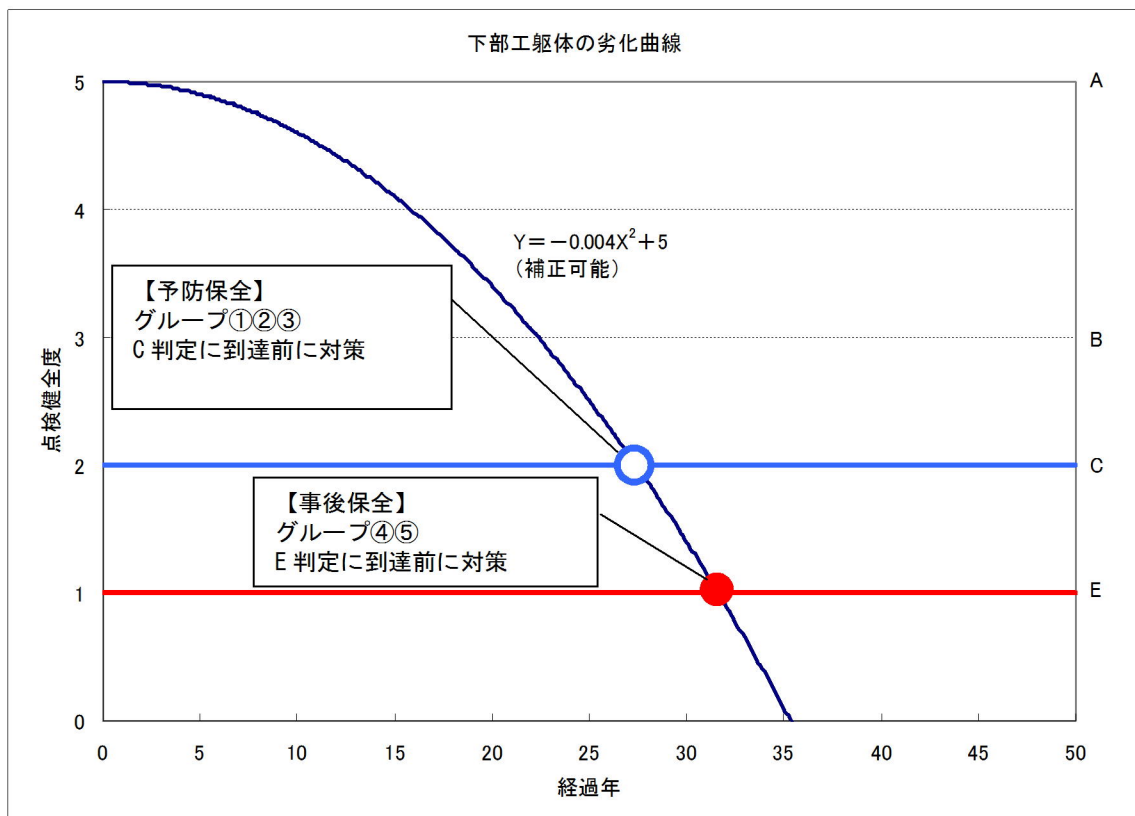


図 3-18 下部工躯体の劣化曲線

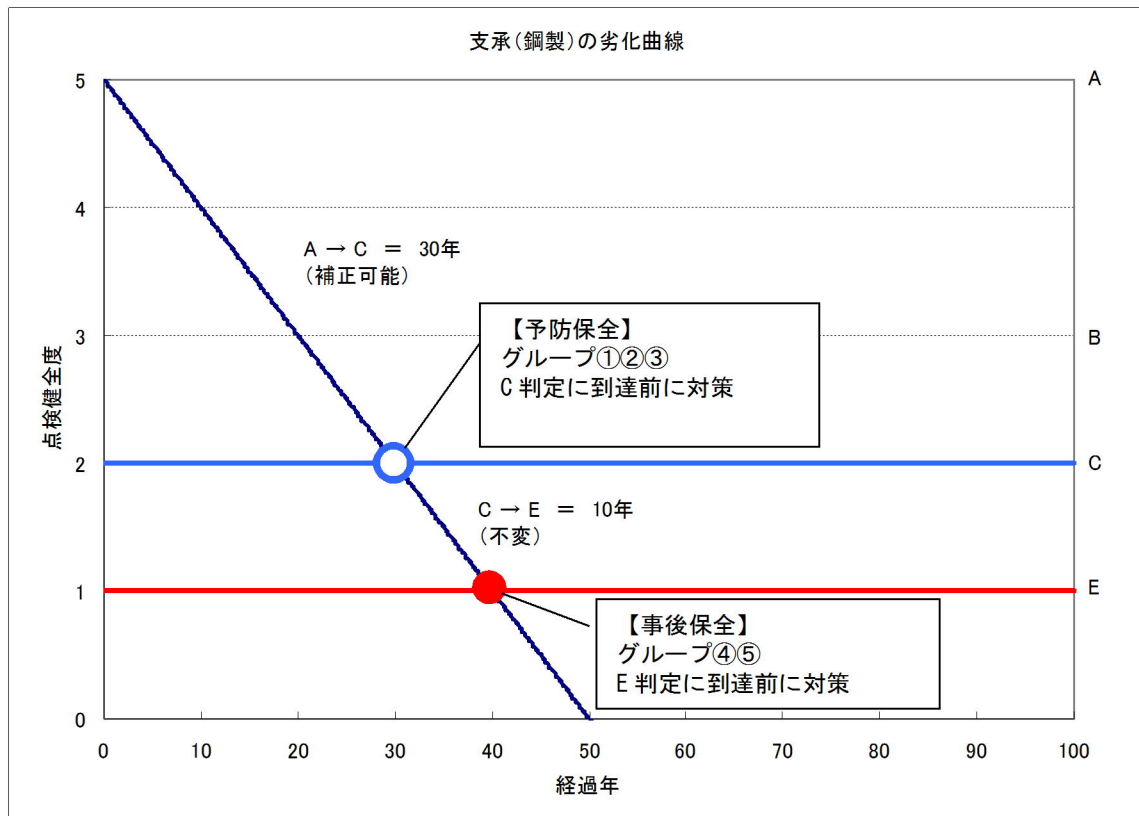


図 3-19 支承(鋼製)の劣化曲線

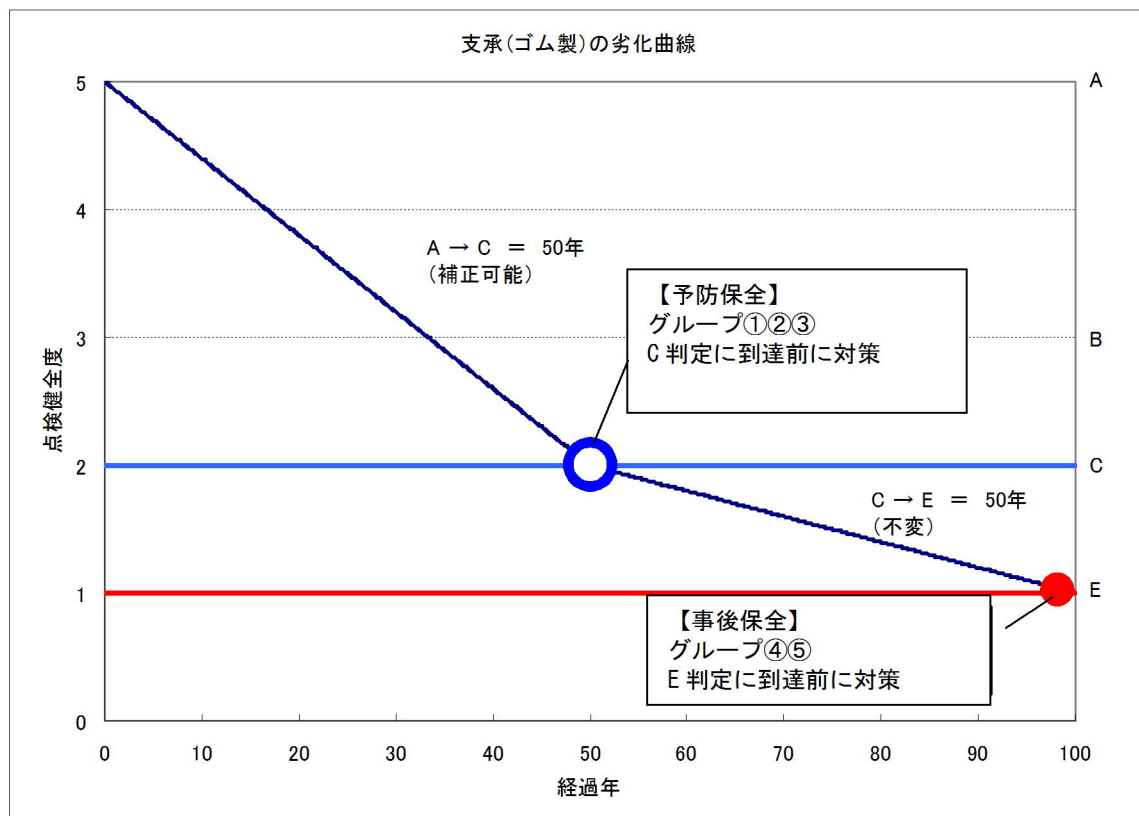


図 3-20 支承(ゴム製)の劣化曲線

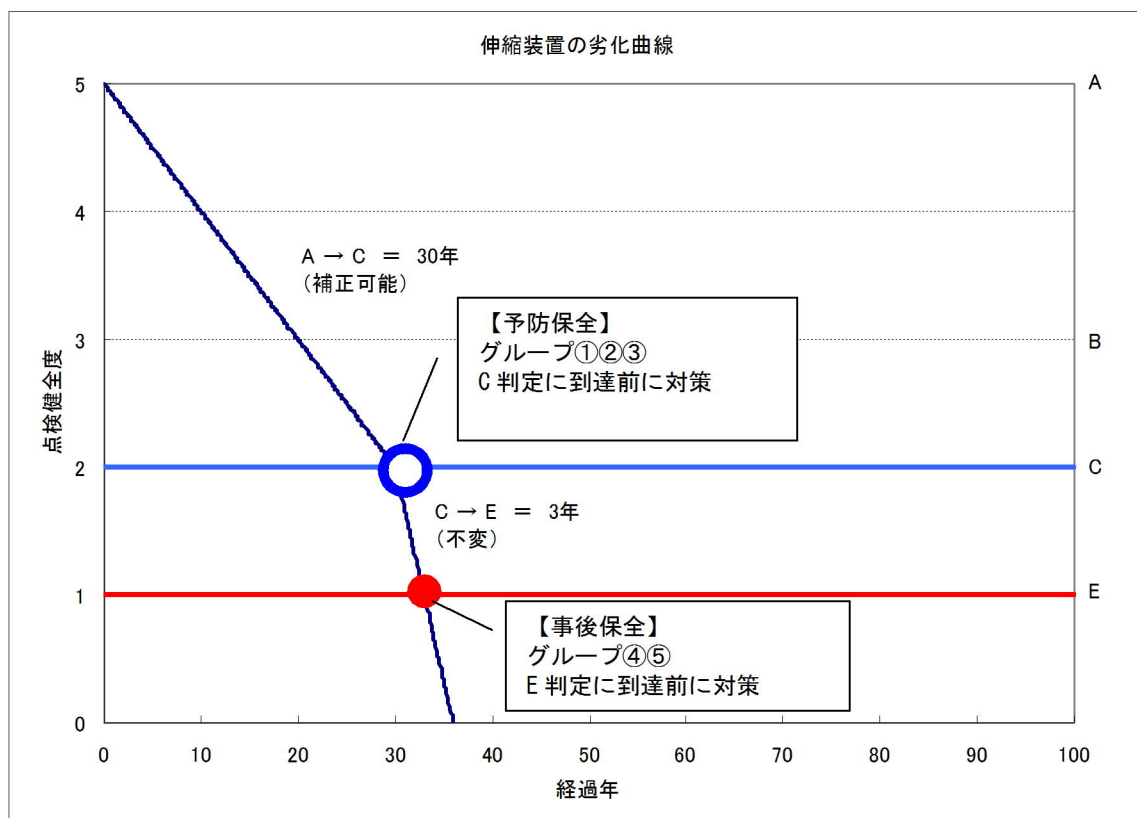


図 3-21 伸縮装置の劣化曲線

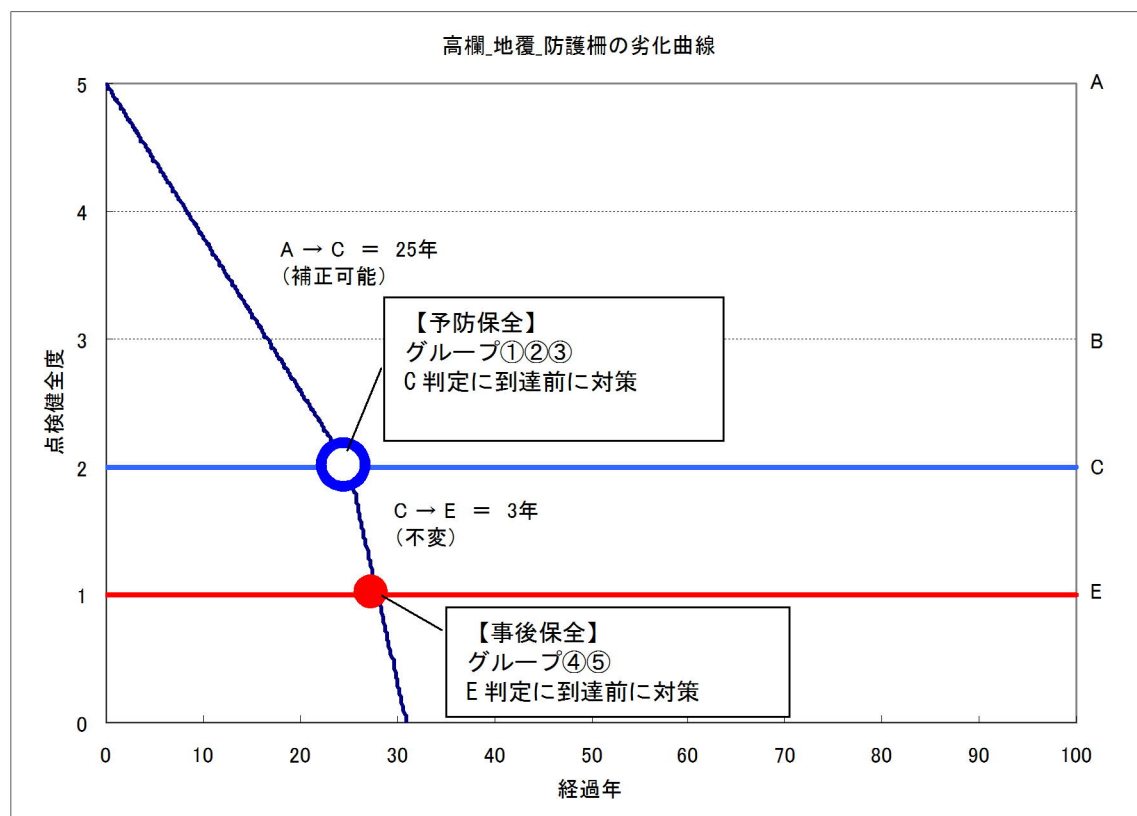


図 3-22 高欄、地覆の劣化曲線

3.7 計画の精度向上に向けた取組み

計画の実効性を確保するためには、計画と補修工事の際の工法や費用、および、補修範囲の乖離を抑制することが極めて重要である。以下では、計画の精度向上のための課題となった「目視点検のばらつきの解消」、「劣化予測の精度向上」、「補修費用算出の適正化」について述べる。

3.7.1 目視点検のばらつきの解消

(1) 「対策区分判定の目安」の策定

計画策定にあたり、最も基本的なデータとなる目視点検結果は、平成13年度以降、専門のコンサルタントへの業務委託により収集されたデータである。点検要領など基準の整備や業務受託の要件として有資格者の配置を定めるなどにより、一程度の統一は図られているものの、その評価は、点検技術者の経験や判断によるところが多く、同様な損傷程度であっても、異なる評価をしている事例も少なくない。

補修時期は、点検結果に基づき劣化予測によって設定されるため、点検結果にばらつきが生じている場合、自ずと補修時期も統一性のないものになりかねず、現場における「補修すべき」という判断と乖離が生じる懸念があった。

また、一般的に点検者は、道路管理者の予算など様々な制約に関わらず、安全側へ評価する傾向があると考えられるため、各部材の損傷種類、程度に応じ、管理者側がどの対策を講ずるのかについて詳細に提示し、管理者と専門業者が共通認識をもつことが必要である。

これらのことから、点検要領の補足資料として、当計画の方針を反映した「対策区分判定の目安（平成21年3月）」³⁵⁾を策定し、点検の判定に係る精度向上を図っている。なお、計画策定に用いる点検データは、当目安に基づいて全て再精査を行っている。表3-6に鋼主桁の対策区分判定の目安を一例として示す。

表 3-6 対策区分判定の目安の例（鋼主桁の場合）

点検項目	損傷の種類	損傷程度の評価区分				
		損傷度：a	損傷度：b	損傷度：c	損傷度：d	損傷度：e
1	⑤※ 防食機能の劣化	損傷がないか、軽微なため、Aとする		損傷が軽微なため、Aとする		塗装劣化により変色、剥離、白錆が発生している場合は、ただちに部材の耐力を喪失するわけではないため、Bとする
2	① 腐食	損傷がないか、軽微なため、Aとする		ただちに部材の耐力を喪失するわけではないため、Bとする		断面欠損を伴う錆が部材全体に発生しており、その原因が明確な場合は、詳細調査を必要としないため、Cとする
3	③ ゆるみ・脱落	損傷がないか、軽微なため、Aとする		ただちに部材の耐力を喪失するわけではないため、Bとする		ボルトのゆるみや脱落を生じており維持工事に対応できない場合は、Cとする
4	② 亀裂	損傷がないか、軽微なため、Aとする		亀裂を生じた原因の推定や健全性の判断を行うためには、表面的な長さや開口幅の性状だけでなく、その深さや構造的特徴や鋼材の性状、発生応力などを総合的に評価する必要があるため、Sとする		亀裂を生じた原因の推定や健全性の判断を行うためには、表面的な長さや開口幅の性状だけでなく、その深さや構造的特徴や鋼材の性状、発生応力などを総合的に評価する必要があるため、Sとする
5	④ 破断	損傷がないか、軽微なため、Aとする				構造安全性を著しく損なうため、Eとする
6	⑥※ 漏水・滞水	損傷がないか、軽微なため、Aとする				桁内部等に滞水している場合は、Cとする
7	② 変形・欠損	損傷がないか、軽微なため、Aとする		ただちに部材の耐力を喪失するわけではないため、Bとする		その原因が明確な場合は、詳細調査を必要としないため、Cとする
8	① 遊間の異常	損傷がないか、軽微なため、Aとする		ただちに走行性に障害となるわけではないため、Bとする		桁とバラベツトあるいは桁同士が接触するなど遊間に異常がある場合は、下部工及び支承の性状に起因する可能性があるため、Sとする
9	⑤ 異常な音・振動	損傷がないか、軽微なため、Aとする				発生源や原因を特定できない場合は、Sとする
10	② 異常なたわみ	損傷がないか、軽微なため、Aとする				発生源や原因を特定できない場合は、Sとする

A : B : C : E : S : M :

(2)「対策区分判定の目安」策定の効果検証

計画策定にあたり、対象となる全データを目安に基づき再精査を行った。再精査は、目安の策定に従事した若干名の点検技術者により行い、ここでは判定のばらつきは原則無いものとする。対策区分判定が策定された平成 21 年度以前のデータと以降のデータそれぞれについて、再精査を行い目安策定の効果を検証した。効果検証は表 3-7 に示す部材を対象として行った。

表 3-7 対策区分判定の目安の効果検証例

	対象部材	代表的な損傷
1)	鋼橋の主桁	腐食
2)	コンクリート橋の主桁	ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰
3)	コンクリート床板	床板ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰
4)	下部工	ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰
5)	支承	支承の機能障害、沓座モルタルの変形・損傷
6)	伸縮装置	遊間の異常、路面の凹凸

1)【鋼橋の主桁】

表 3-8 に対策区分判定の目安を、表 3-9 に目安策定の効果検証結果を、また、写真 3-11～3-12 には、再精査により見直しを行った代表的な事例を示す。判定が一致する割合は、策定前 41%から策定後 65%となり、目安策定による効果が確認できる。特に「過大評価」の割合が策定前後で 51%→17%に減少し、策定前は安全側に評価する傾向にあった点が改善されている。

表 3-8 対策区分判定の目安（鋼主桁；腐食）

損傷度	損傷程度の評価区分	対策区分の目安
a	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	局部的に錆が発生している。	
c	全体的に錆が生じている。または拡がりのある発錆箇所が複数ある。	ただちに部材の耐力を喪失するわけではないため、Bとする。
d	局部的に著しい膨張または板厚減少が生じている。	
e	全体的に著しい膨張または板厚減少が生じている。	断面欠損を伴う錆が部材全体に発生しており、その原因が明確な場合は、詳細調査を必要としないため、Cとする。
備考		上下フランジ、ウェブ、FCM に断面欠損を伴う著しい腐食を生じており、構造安全性を損なう場合は、Eとする。

A :  B :  C :  E :  S :  M : 

表 3-9 対策区分判定の目安の効果検証（鋼主桁）

	目安策定前（H20 以前）	目安策定後（H21 以後）
過小評価	8%	18%
点検の判定 = 目安による判定	41%	65%
過大評価	51%	17%

目安に基づき見直した事例

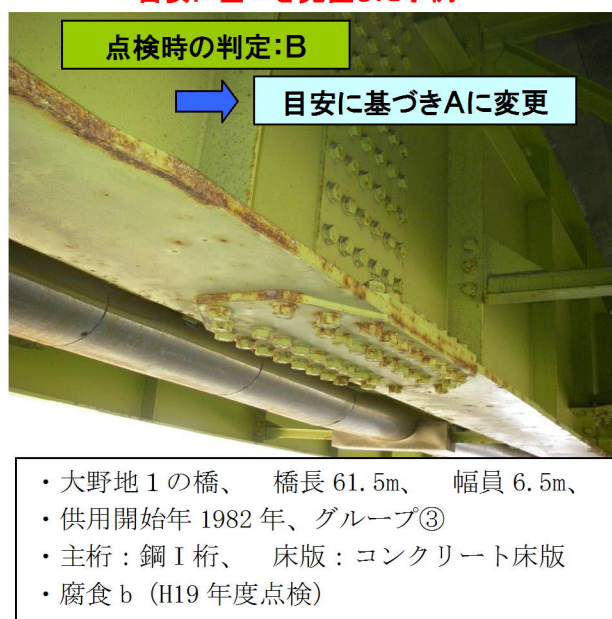


写真 3-11 再精査事例（鋼橋①）

損傷度区分判定を見直した事例

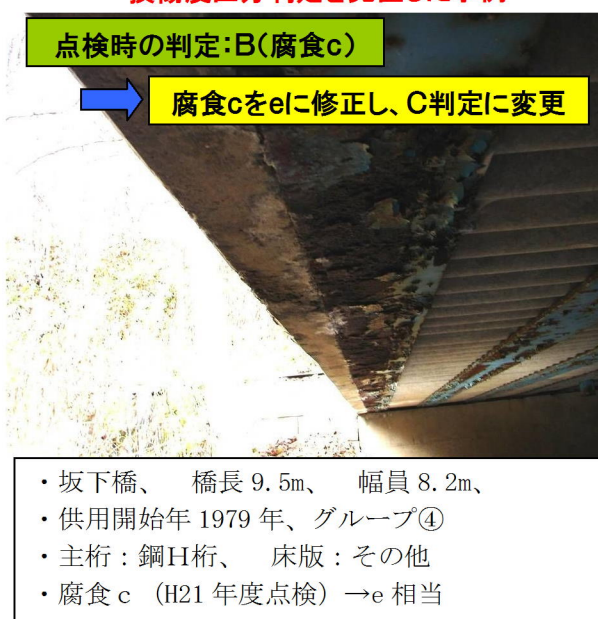


写真 3-12 再精査事例（鋼橋②）

写真 3-11 は、定期点検では「状況に応じて補修を行う（B 判定）」だったものを、目安に従い「損傷が軽微である（A 判定）」に見直を行った事例である。写真 3-12 は、損傷度区分判定が「腐食 c」となっていたものを錆の発生状況から「e」に見直し、さらに目安に従い「5 年以内に補修を要する C 判定」に見直しを行ったものである。

2) 【コンクリート橋の主桁】（代表的な損傷：ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰）

代表的な損傷についての対策区分判定の目安を表 3-10～3-12 に示す。また、目安策定による効果検証結果を表 3-13 に示す。判定が一致する割合が、策定前 50%から策定後 78%となり、目安策定による効果が確認できる。過大評価の割合が策定前後で 38%→8%に減少し、策定前は安全側に評価する傾向にあった点が大幅に改善された。再精査の代表的な事例を写真 3-13～3-16 に示す。

表 3-10 対策区分判定の目安（コンクリート橋主桁；ひび割れ）

損傷度	損傷程度の評価区分	対策区分の目安
a	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	ひびわれ幅小さい、間隔が大きい。	
c	ひびわれ幅中（RC:0.3mm，PC:0.2mm 未満）、間隔が大きい(0.5m 以上)。	ただちに部材の耐力を喪失するわけではないため、Bとする。
d	ひびわれ幅大きく、間隔が大きい。	
e	ひびわれ幅大（RC:0.3mm，PC:0.2mm 以上）、間隔が小さい(0.5m 未満)。	部材の耐力に影響を及ぼしている可能性があるため、Cとする。
備考		アルカリ骨材反応の懸念がある場合は、Sとする。

表 3-11 対策区分判定の目安（コンクリート橋主桁；剥離・鉄筋露出）

損傷度	損傷程度の評価区分	対策区分の目安
a	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	—	—
c	剥離のみが生じている。 (鉄筋の露出は局部的)	ただちに鉄筋の腐食膨張によってコンクリートの剥離を生じる可能性が低いため、Bとする。
d	鉄筋が露出しているが、腐食は軽微である。	
e	鉄筋が露出しており、鉄筋が著しく腐食している。	鉄筋の腐食膨張によって早期にコンクリートの剥離が生じる可能性が高いため、Cとする。
備考		・第三者被害が想定される場合は、Eとする。 ・部分的に剥離が生じており、維持工事で対応できる場合は、Mとする。

表 3-12 対策区分判定の目安（コンクリート橋主桁；漏水・遊離石灰）

損傷度	損傷程度の評価区分	対策区分の目安
a	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	—	—
c	ひびわれから漏水（錆汁や遊離石灰はほとんどなし）	損傷が軽微なため、Aとする。
d	ひびわれから遊離石灰（錆汁はほとんどなし）	ひびわれから漏水・遊離石灰が見られても、ただちに鉄筋の腐食膨張によってコンクリートの剥離を生じる可能性が低いため、Bとする。
e	ひびわれから著しい漏水や遊離石灰が生じている。	内部鉄筋の腐食膨張によってコンクリートの剥離が生じる可能性が高いため、Cとする。
備考		—

A :  B :  C :  E :  S :  M : 

表 3-13 対策区分判定の目安の効果検証（コンクリート橋主桁）

	目安策定前（H20 以前）	目安策定後（H21 以後）
過小評価	12%	14%
点検の判定 = 目安による判定	50%	78%
過大評価	38%	8%



目安に基づき見直した事例



- ・区画1号橋、橋長16.7m、幅員10.8m、
- ・供用開始年1972年、グループ③
- ・PCプレテン床版
- ・漏水・遊離石灰e（H19年度点検）

目安に基づき見直した事例



- ・国土3号橋、橋長7.9m、幅員9.0m、
- ・供用開始年1982年、グループ④
- ・PCプレテン床版（第三者被害の恐れなし）
- ・剥離・鉄筋露出e（H21年度点検）

写真 3-13 再精査事例(コンクリート橋主桁①)

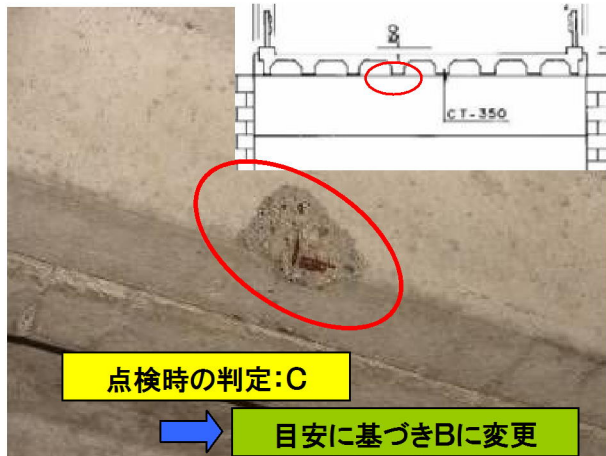
写真 3-14 再精査事例(コンクリート橋主桁②)

目安に基づき見直した事例



- ・坪野橋、橋長20.5m、幅員4.2m、
- ・供用開始年1985年、グループ③
- ・PCプレテン中空床版
- ・漏水・遊離石灰d（H19年度点検）

目安に基づき見直した事例



- ・(南区)西岡橋、橋長6.6m、幅員7.2m、
- ・供用開始年1972年、グループ④
- ・PC床版（プレキャスト床版）
- ・剥離・鉄筋露出d（H21年度点検）

写真 3-15 再精査事例(コンクリート橋主桁③)

写真 3-16 再精査事例(コンクリート橋主桁④)

写真 3-13 は、プレテン床版桁橋の遊離石灰の事例であるが、下フランジにおける鋼材方向の遊離石灰であり、桁内部のPC鋼線や鉄筋などの腐食が懸念されることから、目安に従いB判定をC判定に見直した事例である。写真 3-14 は、定期点検の結果では、E判定となっていたが現地の状況から第三者被害の危険性は少ないものと判断し、C判定に見直しを行ったものである。写真 3-15 および 3-16 は、点検結果ではC判定とされていたものを、何れも損傷が比較的軽微であることからB判定に見直しを行った事例である。

3) 【コンクリート床版】 代表的な損傷：床版ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰

表 3-14～3-16 に代表的な損傷の対策区分判定の目安を示す。また、表 3-17 に目安策定による効果検証結果を示す。判定が一致する割合は、策定前 80%、策定後 83%と共に高く、床版の損傷進展過程は多くの技術者に広く認知されていることが、ばらつきが少ない要因の一つと考えられる。再精査の事例を写真 3-17～3-20 に示す。

表 3-14 対策区分判定の目安（コンクリート床版；ひびわれ）

損傷度	損傷程度の評価区分	対策区分の目安
a	ひびわれなし もしくは、ひびわれが確認できない。	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	[ひびわれ間隔]:一方向が主 [ひびわれ幅]:0.2mm 以下が主	ただちに部材の耐力を喪失するわけではないため、Bとする。
c	[ひびわれ間隔]:0.5m 程度 [ひびわれ幅]:0.2mm 以下が主	
d	[ひびわれ間隔]:格子状(0.5～0.2m) [ひびわれ幅]:0.2mm 以上が主	
e	[ひびわれ間隔]:格子状(0.2m 以下) [ひびわれ幅]:連続的な角落ち発生	走行性に障害や部材耐力の喪失につながるため、Cとする。
備考		構造安全性を著しく損なう場合は、Eとする。 第三者被害が懸念される場合は、Eとする。

表 3-15 対策区分判定の目安（コンクリート床版；剥離鉄筋露出）

損傷度	損傷程度の評価区分	対策区分の目安
a	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	—	—
c	剥離のみが生じている。 (鉄筋の露出は局部的)	ただちに鉄筋の腐食膨張によってコンクリートの剥離を生じる可能性が低いため、Bとする。
d	鉄筋が露出しているが、腐食は軽微である。	
e	鉄筋が露出しており、鉄筋が著しく腐食している。	鉄筋の腐食膨張によって早期にコンクリートの剥離が生じる可能性が高いため、Cとする。
備考		PCT 桁の間詰めコンクリートにおいて無筋の可能性がある以下の場合は、Sとする

表 3-16 対策区分判定の目安（コンクリート床版；漏水・遊離石灰）

損傷度	損傷程度の評価区分	対策区分の目安
a	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	—	—
c	ひびわれから漏水(錆汁や遊離石灰はほとんどなし)	損傷が軽微なため、Aとする。
d	ひびわれから遊離石灰(錆汁はほとんどなし)	ひびわれから漏水・遊離石灰が見られても、ただちに鉄筋の腐食膨張によってコンクリートの剥離を生じる可能性が低いため、Bとする。
e	ひびわれから著しい漏水や遊離石灰が生じている。	内部鉄筋の腐食膨張によってコンクリートの剥離が生じる可能性が高いため、Cとする。
備考		疲労が懸念される場合は、損傷度が「e」まで進んでいなくても損傷の進行速度を考慮し、Cとする場合がある。

A : B : C : E : S : M :

表 3-17 対策区分判定の目安の効果検証（コンクリート床版）

	目安策定前（H20 以前）	目安策定後（H21 以後）
過小評価	11%	10%
点検の判定 = 目安による判定	80%	83%
過大評価	9%	7%

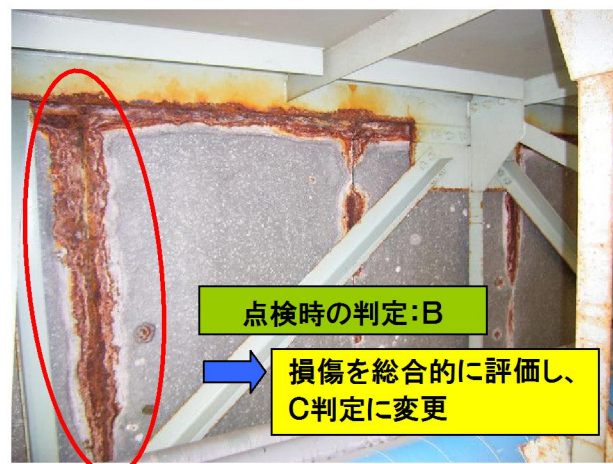
損傷度区分判定を見直した事例



- ・あかつき橋、橋長 17.9m、幅員 7.3m、
- ・供用開始年 1963 年、グループ③
- ・主桁：鋼H桁、床版：コンクリート
- ・漏水・遊離石灰 e（H18 年度点検）→d 相当

写真 3-17 再精査事例（コンクリート床版①）

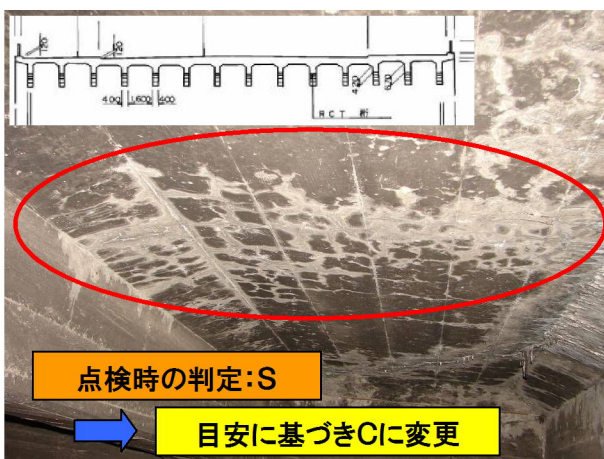
損傷度区分判定の対象外の損傷（補強材）



- ・盤の澤橋、橋長 140.0m、幅員 3.4m、
- ・供用開始年 1976 年、グループ③
- ・主桁：鋼 I 桁、床版：コンクリート
- ・補強部材はスモール判定の対象外（H18 年度点検）

写真 3-18 再精査事例（コンクリート床版②）

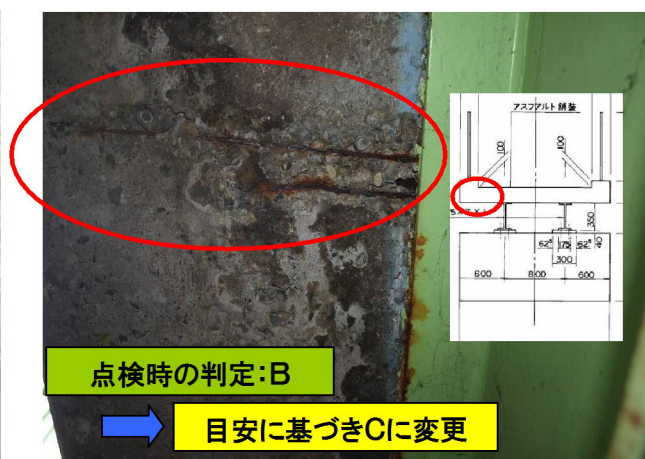
目安に基づき見直した事例



- ・北 3 条橋、橋長 9.2m、幅員 27.9m、
- ・供用開始年 1959 年、グループ⑤
- ・RC ラーメン橋
- ・漏水・遊離石灰 e（H21 年度点検）

写真 3-19 再精査事例（コンクリート床版③）

目安に基づき見直した事例



- ・北 1 2 条橋下流歩道橋、橋長 10.14m、幅員 2m、
- ・供用開始年 1973 年、グループ④
- ・主桁：鋼H桁、床版：コンクリート
- ・剥離・鉄筋露出 e（H21 年度点検）

写真 3-20 再精査事例（コンクリート床版④）

写真 3-17 は打ち継ぎ目など施工不良に起因した漏水遊離石灰であるが、これら損傷の進行速度は比較的遅いことを勘案し損傷度区分判定を e から d へ見直し、それに伴い対策区分判定を C から B に見直した事例である。写真 3-18 は、点検時の判定は、B 判定となっているものの、JR 跨線部であることなど架橋条件を勘案し、C 判定に見直しを行った事例である。写真 3-19 では、点検結果では、詳細調査を要する S 判定となっているが、ひび割れの発生状況、架設年度を考慮し目安に従い C 判定に見直した事例である。写真 3-20 については、点検時は B 判定となっていたところであるが、鉄筋の腐食状況などを踏まえ、目安に従い C 判定に見直した事例である。

4) 【下部工】 代表的な損傷：ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰

表 3-18～表 3-20 に代表的な損傷の対策区分判定の目安を示す。また、表 3-21 には、目安策定の効果検証結果を示す。判定が一致する割合が、策定前 62%から策定後 83%となるとともに、「過大評価」の割合が策定前後で 17%→7%に減少しており、目安策定による効果が確認できる。再精査の代表的な事例を写真 3-21～3-24 に示す。

表 3-18 対策区分判定の目安（下部工；ひびわれ）

損傷度	損傷程度の評価区分	対策区分の目安
a	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	ひびわれ幅小さい、間隔が大きい。	
c	ひびわれ幅中(0.3mm 未満)、間隔が大きい(0.5m 以上)。	ただちに部材の耐力を喪失するわけではないため、Bとする。
d	ひびわれ幅大きく、間隔が大きい。	
e	ひびわれ幅大(0.3mm 以上)、間隔が小さい(0.5m 未満)。	部材の耐力に影響を及ぼしている可能性があるため、Cとする。
備考		アルカリ骨材反応の懸念がある場合は、Sとする。

表 3-19 対策区分判定の目安（下部工；剥離・鉄筋露出）

損傷度	損傷程度の評価区分	対策区分の目安
a	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	—	—
c	剥離のみが生じている。 (鉄筋の露出は局部的)	ただちに鉄筋の腐食膨張によってコンクリートの剥離を生じる可能性が低いため、Bとする。
d	鉄筋が露出しているが、腐食は軽微である。	
e	鉄筋が露出しており、鉄筋が著しく腐食している。	鉄筋の腐食膨張によって早期にコンクリートの剥離が生じる可能性が高いため、Cとする。
備考		・第三者被害が想定される場合は、Eとする。 ・部分的に剥離が生じており、維持工事に対応できる場合は、Mとする。

表 3-20 対策区分判定の目安（下部工；漏水・遊離石灰）

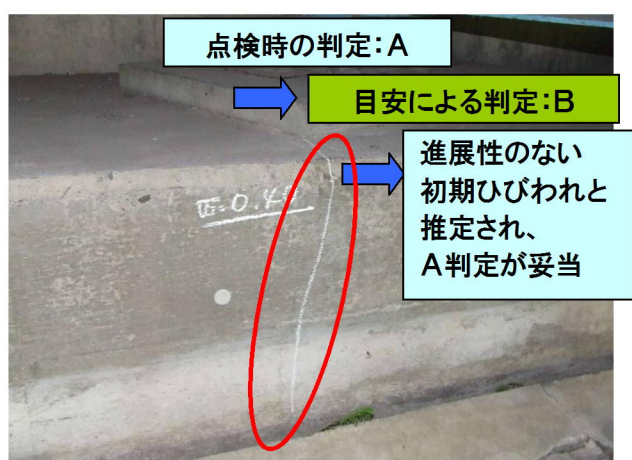
損傷度	損傷程度の評価区分	対策区分の目安
a	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	—	—
c	ひびわれから漏水（錆汁や遊離石灰はほとんどなし）	損傷が軽微なため、Aとする。
d	ひびわれから遊離石灰（錆汁はほとんどなし）	ひびわれから漏水・遊離石灰が見られても、ただちに鉄筋の腐食膨張によってコンクリートの剥離が生じる可能性が低いため、Bとする。
e	ひびわれから著しい漏水や遊離石灰が生じている。	内部鉄筋の腐食膨張によってコンクリートの剥離が生じる可能性が高いため、Cとする。
備考		—

A : B : C : E : S : M :

表 3-21 対策区分判定の目安の効果検証（下部工）

	目安策定前（H20 以前）	目安策定後（H21 以後）
過小評価	21%	10%
点検の判定 = 目安による判定	62%	83%
過大評価	17%	7%

目安とは異なる評価をした事例



- ・北光新橋、橋長 27.8m、幅員 13.3m、
- ・供用開始年 1982 年、グループ③
- ・逆 T 式橋台
- ・ひびわれ d 幅 0.3mm 以上（H20 年度点検）

写真 3-21 再精査事例（下部工①）

目安とは異なる評価をした事例



- ・金山川 3 号橋、橋長 4.0m、幅員 8.6m、
- ・供用開始年 1982 年、グループ④
- ・半重力式橋台
- ・ひびわれ d 幅 0.3mm 以上（H21 年度点検）

写真 3-22 再精査事例（下部工②）

写真 3-21 および 3-22 は、ひび割れ幅から目安に従えば、状況に応じて補修する B 判定となるところであるが、ひび割れの進展性や発生箇所を考慮し、それぞれ A 判定、および C 判定に見直しを行った事例である。このように、目安の判定に加え、構造物の特性を踏まえ判定を行うことの重要性を示した事例である。

目安に基づき見直した事例



- ・琴似区画5号橋、橋長8.1m、幅員27.7m、
- ・供用開始年1971年、グループ④
- ・形式不明(護岸と一体化)
- ・漏水・遊離石灰e (H18年度点検)

写真 3-23 再精査事例(下部工③)

損傷度区分判定を見直した事例



- ・新琴似第3横橋、橋長6.3m、幅員11.7m、
- ・供用開始年1976年、グループ④
- ・逆T式橋台
- ・ひびわれe (H21年度点検) →d相当

写真 3-24 再精査事例(下部工④)

写真 3-23 は、定期点検では詳細調査を要する S 判定となっていたが、錆汁などの発生状況を踏まえ、目安に従い C 判定に見直した事例である。写真 3-24 については、損傷度区分判定を e から d に見直し、それに伴い対策区分を C 判定から B 判定に見直した事例である。

5) 【支承】 代表的な損傷：支承の機能障害、沓座モルタルの変形・欠損

表 3-22 に代表的な損傷の対策区分判定の目安を、表 3-23 には、目安策定の効果検証結果を示す。判定が一致する割合が、策定前 57%から策定後 71%となり、目安策定による効果が確認できる。再精査の代表的な事例を写真 3-25～3-26 に示す。

表 3-22 対策区分判定の目安（支承；機能障害・沓座モルタルの変形・欠損）

損傷度	損傷程度の評価区分		対策区分の目安
	支障の機能障害	沓座モルタルの変形・欠損	
a	損傷なし	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b		—	—
c	腐食・土砂詰まり等、 支承の機能が損なわれている。	沓座モルタルの一部が欠損している。	ただちに部材の耐力を喪失するわけではないため、Bとする。
d		—	—
e	腐食・土砂詰まり等、 支承の機能が著しく 阻害されている。	沓座モルタルが著しく欠損している。	[支承の機能障害] 可動支承の移動機能が喪失している等、その原因が明確な場合は、詳細調査を必要としないため、Cとする。
			[沓座モルタルの変形・欠損] 部材が局部的に著しく変形している、その一部が著しく欠損している場合は、Cとする。

備考

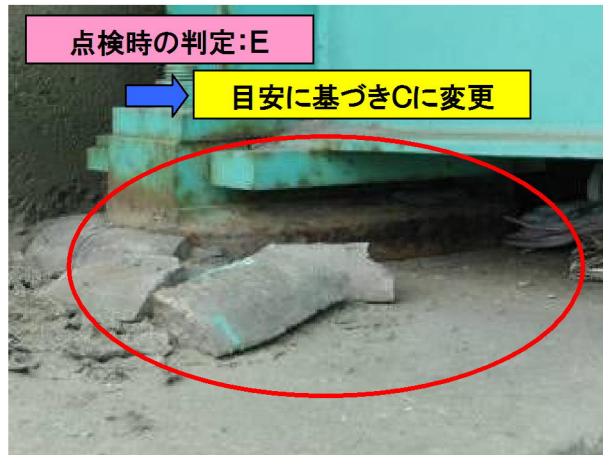
- ・ 支承が沈下し、第三者等へ被害を及ぼす懸念がある場合は、Eとする。
- ・ 支承の可動状態や支持状態に異常がみられると同時に、鋼桁に座屈を生じていたり、溶接部に疲労損傷が生じていることが懸念される場合は、Sとする。・維持工事で対応できるものは、Mとする。

A: B: C: E: S: M:

表 3-23 対策区分判定の目安の効果検証（支承）

	目安策定前（H20 以前）	目安策定後（H21 以後）
過小評価	35%	18%
点検の判定 = 目安による判定	57%	71%
過大評価	8%	11%

目安に基づき見直した事例



- ・横町橋、橋長 77.3m、幅員 8.5m、
- ・供用開始年 1977 年、グループ③
- ・主桁：鋼 I 桁、鋼製支承
- ・沓座モルタルの変形・欠損 e（H20 年度点検）

写真 3-25 再精査事例（支承①）

損傷度区分判定を見直した事例



- ・新琴似第3横橋、橋長 6.3m、幅員 11.7m、
- ・供用開始年 1976 年、グループ④
- ・主桁：鋼 I 桁、鋼製支承
- ・支承の機能障害 c（H19 年度点検）→e 相当

写真 3-26 再精査事例（支承②）

写真 3-25 は、点検時には緊急対応を要する E 判定とされていたが、目安に従い C 判定へと見直した事例である。写真 3-26 は、損傷度区分判定を c から e に見直し、それに伴い目安に従い対策区分判定を B から C に見直しを行ったものである。

6) 【伸縮装置】 代表的な損傷：遊間の異常、路面の凹凸

表 3-24 に代表的な損傷の対策区分判定の目安を、表 3-25 には、目安策定の効果検証結果を示す。判定が一致する割合が、策定前 35%から策定後 20%に減少し、目安策定による効果が確認できなかった唯一の部材である。再精査の代表的な事例を写真 3-27～3-28 に示す。

表 3-24 対策区分判定の目安（伸縮装置；遊間の異常・路面の凹凸）

損傷度	損傷程度の評価区分		対策区分の目安
	遊間の異常	路面の凹凸	
a	損傷なし	損傷なし	損傷がないか、軽微なため、Aとする。
b	—		—
c	左右の遊間が極端に異なる、または遊間が直角方向にずれている。	橋軸方向の凹凸が生じているが段差量は小さい(20mm 未満)。	ただちに走行性に障害となるわけではないため、Bとする。
d	—		—
e	遊間が異常に広い。または桁とパラペットが接触している。	橋軸方向の凹凸が生じており、段差量が大きい(20mm 以上)。	[遊間の異常] 左右の遊間が極端に異なる場合、直角方向にずれているなどの異常がある場合は、下部工の支承の変状に起因する可能性があるため、Sとする。
			[路面の凹凸] 走行性に障害となることに加え、衝撃が大きくなり他の部材の損傷を助長する可能性がある場合は、Cとする。

備考

遊間が異常に広がり、利用者への障害が想定される場合は、Eとする。

著しい凹凸があり、自転車やオートバイが転倒するなど第三者へ障害を及ぼす懸念がある場合は、Eとする。

凹凸が小さく、損傷が部分的で発生面積が小さいなど維持工事に対応できるものは、Mとする。

表 3-25 対策区分判定の目安の効果検証（伸縮装置）

	目安策定前（H20 以前）	目安策定後（H21 以後）
過小評価	18%	18%
点検の判定 = 目安による判定	35%	20%
過大評価	47%	62%

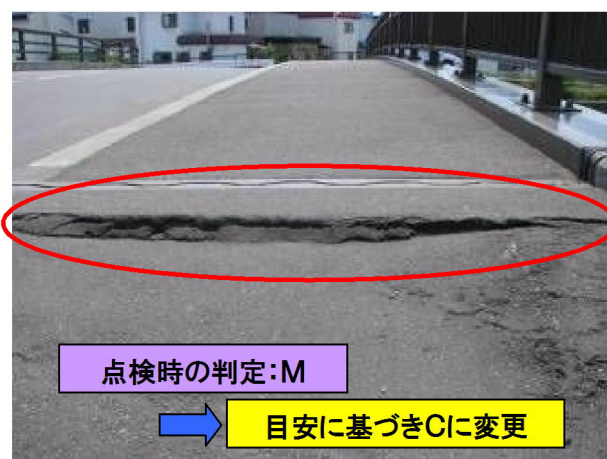
損傷度区分判定を見直した事例



- ・富丘東五の橋、橋長 12.1m、幅員 8.0m、
- ・供用開始年 1998 年、グループ④
- ・PC プレテン中空床版
- ・路面の凹凸 e（H21 年度点検）→c 相当

写真 3-27 再精査事例（伸縮装置①）

目安に基づき見直した事例



- ・菊郷のぞみ橋、橋長 26.2m、幅員 10.0m、
- ・供用開始年 1996 年、グループ③
- ・主桁：鋼 I 桁
- ・路面の凹凸 e（H20 年度点検）

写真 3-28 再精査事例（伸縮装置②）

写真 3-27 は、損傷度区分判定を e から c へ見直し、それに伴い対策区分判定を目安に従い C 判定から B 判定に見直した事例である。写真 3-28 は、点検時には、維持工事で対応する M 判定であったが、段差により衝撃が大きくなり本体構造や伸縮装置の損傷を助長することが懸念されることから、目安に従い C 判定と見直した事例である。

3.7.2 劣化予測の精度向上

(1) 劣化曲線の精度向上にむけた課題

BMS の劣化予測は「3.6 札幌市ブリッジマネジメントシステム (BMS)」で示した標準劣化曲線が点検時の対策区分判定を通過するよう再計算され、各グループに設定された補修する時期 (グループ①②③はC判定になる前、④⑤は、E判定になる前) を推定するものである。事業計画の策定にあたり、比較的大規模な補修工法が選定されることとなる E 判定と予測された橋梁について、実地調査を行ったところ、BMS による計算は、以下の事例に示すとおり過大に安全側に評価する傾向が見受けられた。

1) 事例 1

写真3-29および3-31は、2001年の定期点検結果により、対策区分判定Bと評価されたPC桁の損傷状況である。これらは、BMSでは2008年に対策区分Eになると劣化予測されていたところであるが、2008年に実際の損傷状況を確認したところ、写真3-30および3-32のように損傷は進行しておらず、対策区分はBと評価されるものであった。

図3-23に示すとおり劣化曲線は、劣化進行速度が過大の傾向にあると言える。

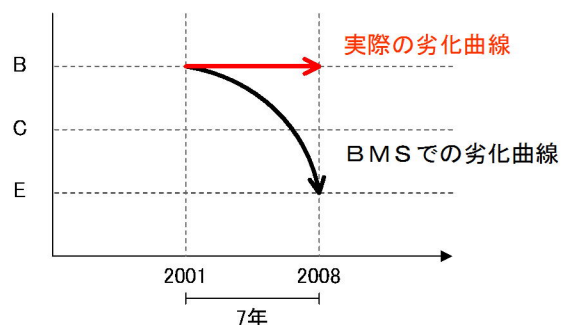


図 3-23 劣化曲線 (事例 1)



PC 桁の遊離石灰 (d、B)
写真 3-29 2001 年の損傷状況

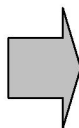


写真 3-30 左写真の 2008 年の損傷状況



PC 桁の遊離石灰 (d、B)
写真 3-31 2001 年の損傷状況



写真 3-32 左写真の 2008 年の損傷状況

2) 事例 2

写真3-33、3-35、3-37は、2001年の定期点検結果により、対策区分判定Cと評価されたPC桁の損傷状況である。これらは、BMSでは2008年に対策区分Eになると劣化予測されていたところであるが、2008年に実際の損傷状況を確認したところ、写真3-34、3-36、3-38に示すように損傷は進行しておらず、対策区分はCと評価されるものであった。

図3-24に示すとおり劣化曲線は、劣化進行速度が過大の傾向にあると言える。

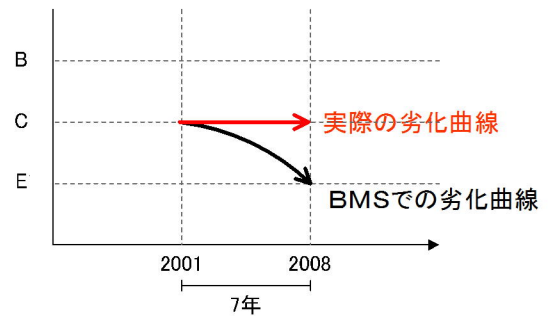


図 3-24 劣化曲線（事例 2）



PC桁のうき（e、C）
写真 3-33 2001 年の損傷状況

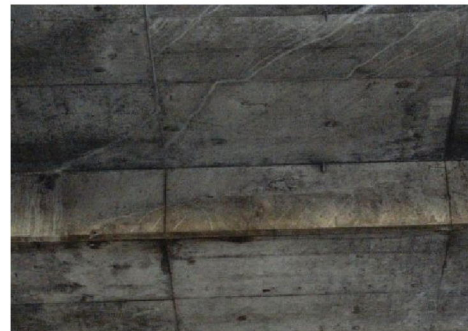


写真 3-34 左写真の 2008 年の損傷状況



PC桁の剥離・鉄筋露出（e、C）
写真 3-35 2001 年の損傷状況



写真 3-36 左写真の 2008 年の損傷状況



PC桁の漏水・遊離石灰（e、C）
写真 3-37 2001 年の損傷状況



写真 3-38 左写真の 2008 年の損傷状況

3) 事例3

写真3-39、3-41、3-43、3-45、3-47は、2001年の定期点検結果により、対策区分判定Cと評価されたRC桁の損傷状況である。これらは、BMSでは2008年に対策区分Eになると劣化予測されていたところであるが、2008年に実際の損傷状況を確認したところ、写真3-40、3-42、3-44、3-46、3-48に示すように損傷は進行しておらず、対策区分はCと評価されるものであった。

図3-25に示すとおり劣化曲線は、劣化進行速度が過大の傾向にあると言える。

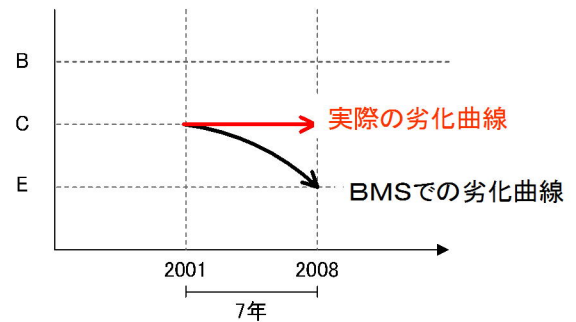


図 3-25 劣化曲線（事例3）



RC桁のひびわれ、うき（e、C）
写真 3-39 2001 年の損傷状況



写真 3-40 左写真の 2008 年の損傷状況



RC桁の剥離・鉄筋露出（d、C）
写真 3-41 2001 年の損傷状況

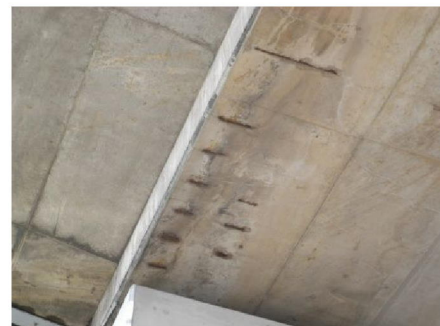


写真 3-42 左写真の 2008 年の損傷状況



RC桁の剥離・鉄筋露出（d、C）
写真 3-43 2001 年の損傷状況

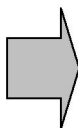


写真 3-44 左写真の 2008 年の損傷状況



R C桁の剥離・鉄筋露出（d、C）
写真 3-45 2001 年の損傷状況

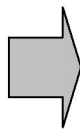


写真 3-46 左写真の 2008 年の損傷状況



R C桁の剥離・鉄筋露出（d、C）
写真 3-47 2001 年の損傷状況

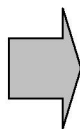


写真 3-48 左写真の 2008 年の損傷状況

4) 事例4

写真3-49、3-51は、2005年の定期点検結果により、対策区分判定Cと評価された床版の損傷状況である。これらは、BMSでは2008年に対策区分Eになると劣化予測されていたところであるが、2008年に実際の損傷状況を確認したところ、写真3-50、3-52に示すように損傷は進行しておらず、対策区分はCと評価されるものであった。

図3-26に示すとおり劣化曲線は、劣化進行速度が過大の傾向にあると言える。

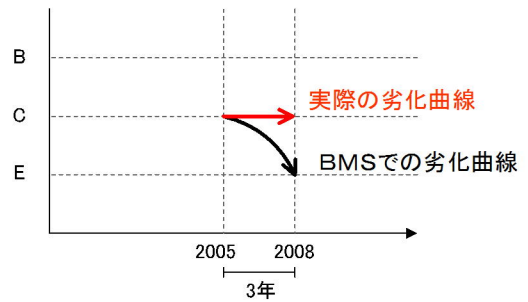
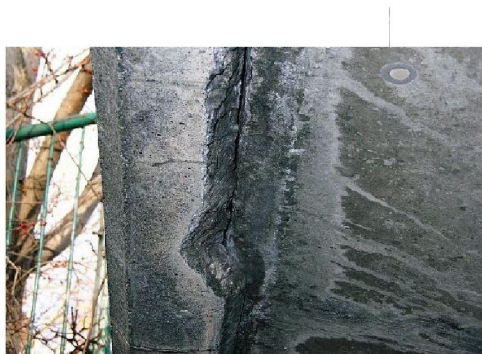


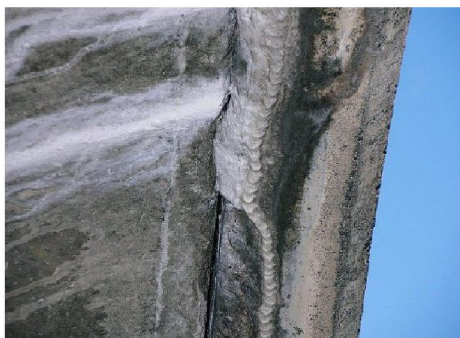
図 3-26 劣化曲線（事例4）



床版 遊離石灰（e、C）
写真 3-49 2005 年の損傷状況



写真 3-50 左写真の 2008 年の損傷状況



床版 漏水・遊離石灰（e、C）
写真 3-51 2005 年の損傷状況



写真 3-52 左写真の 2008 年の損傷状況

(2) 前回点検からの進行状況の推移

前述のとおり、劣化曲線は過大に安全側に評価する傾向があることが分かったことから、計画策定時（H21年度）に、2巡目点検を終えている106橋（471径間）について、過去の対策区分判定が概ね5年後の次回点検時に、どの程度進行したのかについて分析を行ったところ、表3-26に示すとおり、一部の部材（鋼橋のコンクリート床版など）を除き、高い割合で前回点検時と同じ判定になることが分かった。

ここで得られた傾向は、より精度が高い計画策定のためには、考慮すべき事項である。

具体的な対策としては、ここで得られた各部材における進行状況を遷移確率として求め、これを劣化曲線の補正に反映することとした。図3-27～3-33に前回点検からの各部材の対策区分判定の進行状況を示す。

表3-26 2巡目点検における前回点検からの遷移状況

1巡目の点検結果 (2001年以前)	A				サンプル数	B			サンプル数
2巡目の点検結果 (2008年)	A	B	C	E		B	C	E	
鋼橋の主桁	76%	23%	0%	1%	98	85%	15%	0%	20
コンクリート橋の主桁	65%	34%	1%	0%	154	94%	6%	0%	99
鋼床版	100%	0%	0%	0%	10	100%	0%	0%	1
鋼橋のコンクリート床版	20%	80%	0%	0%	35	90%	10%	0%	82
コンクリート橋の床版	71%	28%	1%	0%	130	96%	4%	0%	116
下部工	59%	40%	1%	0%	276	97%	3%	0%	90
支承	86%	13%	1%	0%	232	87%	13%	0%	53
伸縮装置	67%	11%	22%	0%	221	30%	70%	0%	40

1) 鋼橋の対策判定区分の進行状況

【対策判定区分の分布の推移】

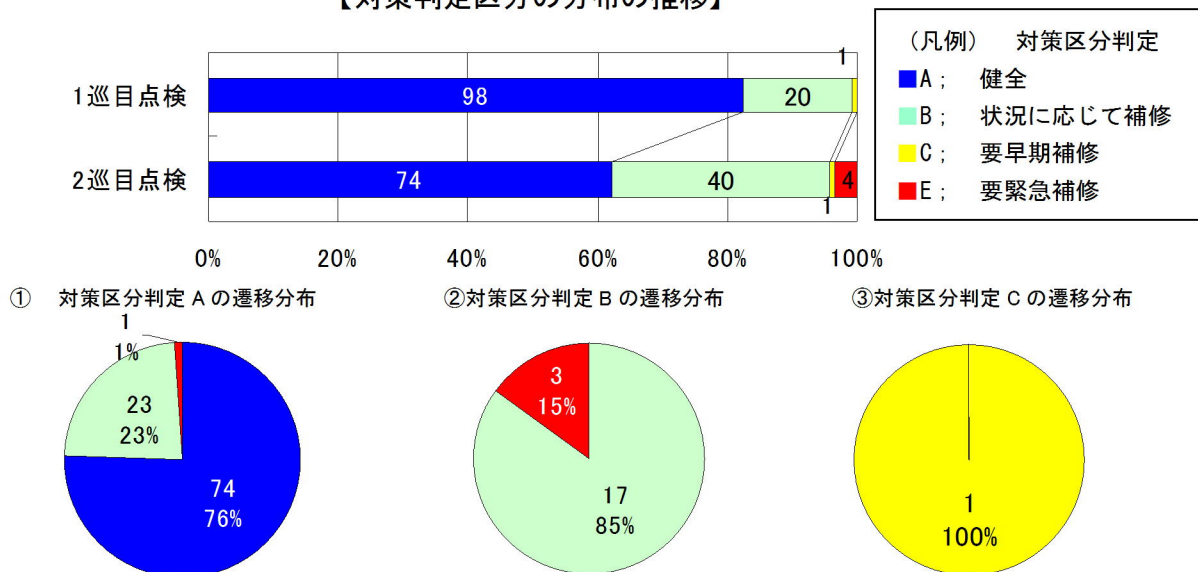


図3-27 対策区分判定の進行状況（鋼桁）

2) コンクリート主桁の対策区分の進行状況

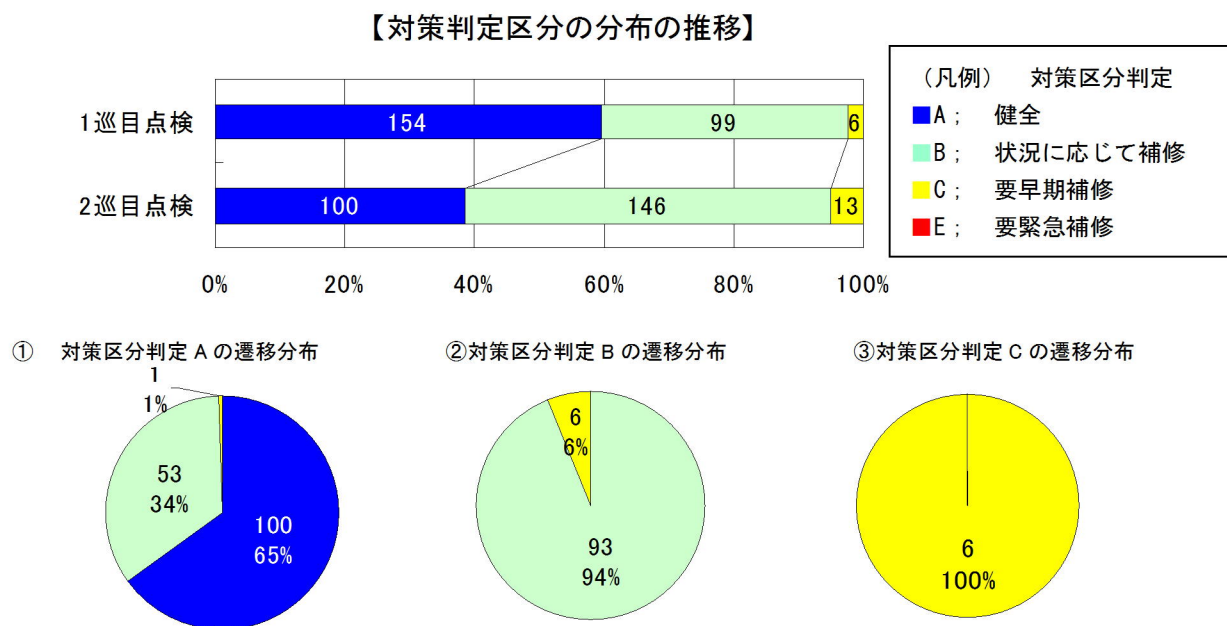


図 3-28 対策区分判定の進行状況 (コンクリート主桁)

3) 鋼橋コンクリート床版の対策判定区分の進行状況

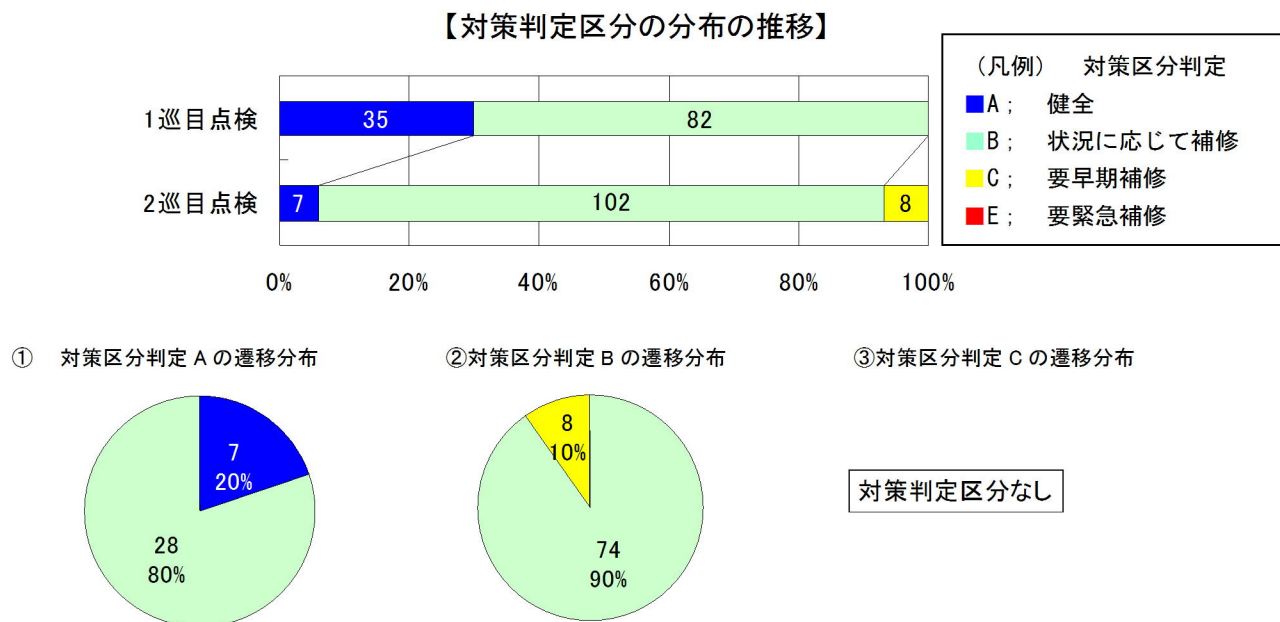


図 3-29 対策区分判定の進行状況 (鋼橋コンクリート床版)

4) コンクリート橋床版の対策判定区分の進行状況

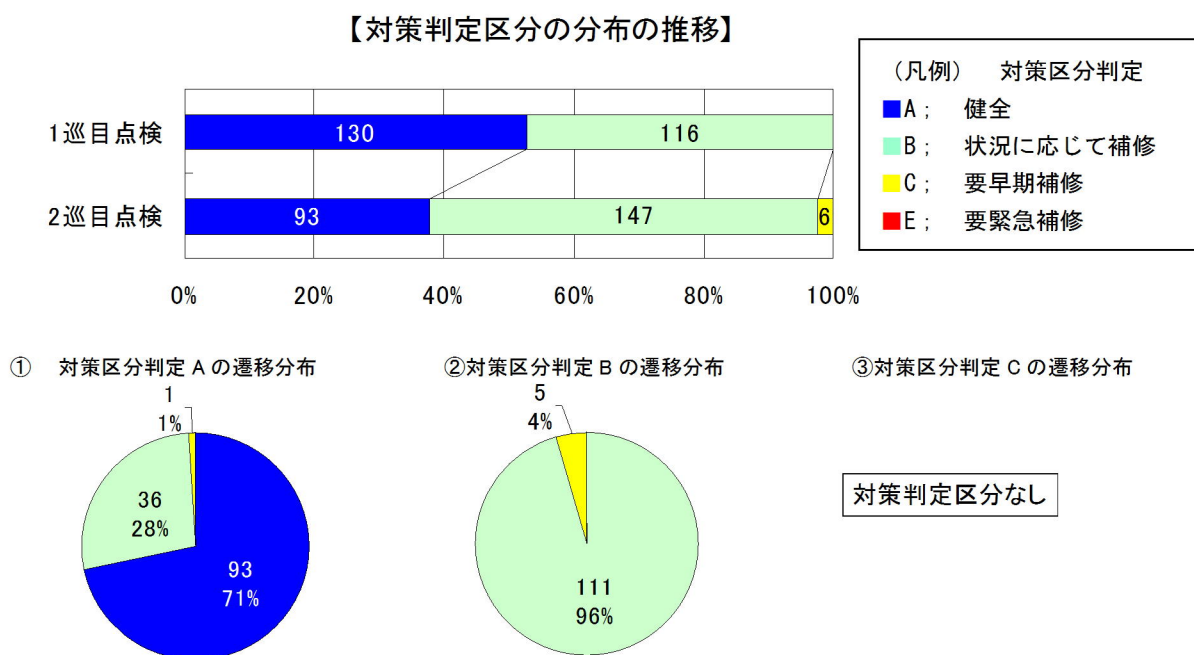


図 3-30 対策区分判定の進行状況（コンクリート橋床版）

5) 下部工の対策判定区分の進行状況

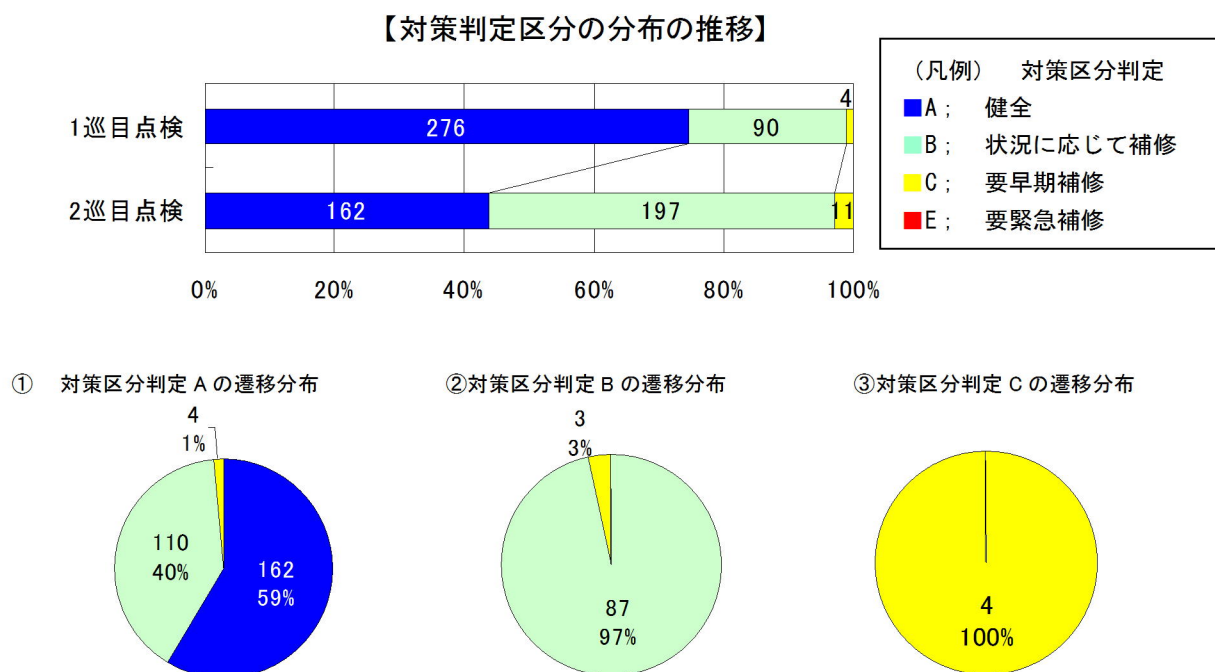
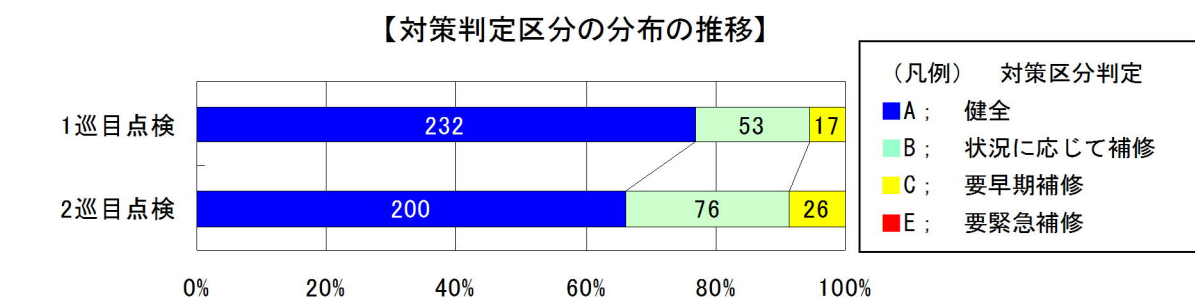
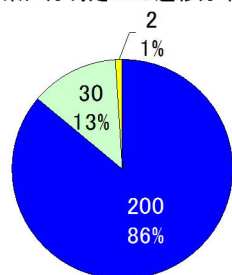


図 3-31 対策区分判定の進行状況（下部工）

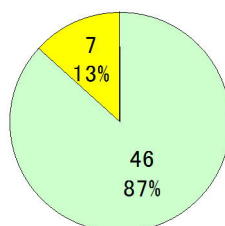
6) 支承の対策判定区分の進行状況



① 対策区分判定 A の遷移分布



② 対策区分判定 B の遷移分布



③ 対策区分判定 C の遷移分布

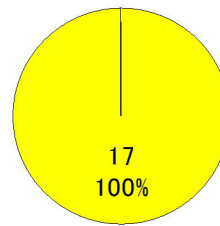
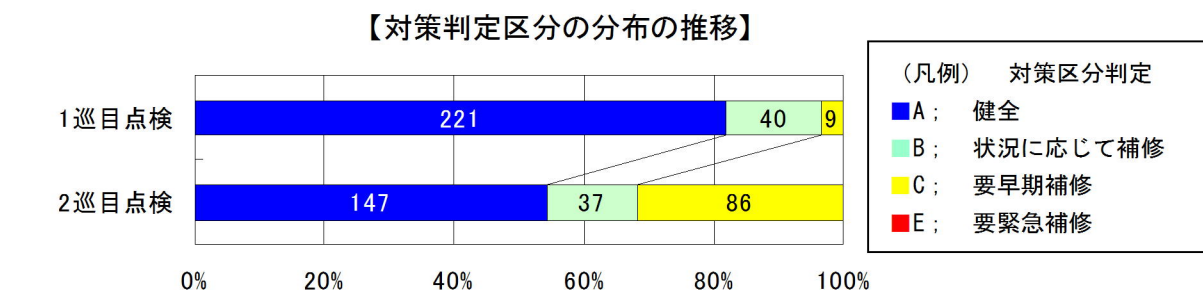
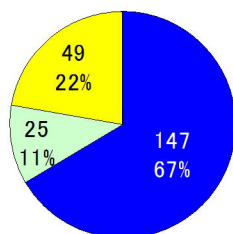


図 3-32 対策区分判定の進行状況（支承）

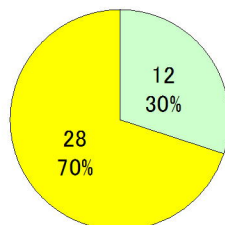
7) 伸縮装置の対策判定区分の進行状況



① 対策区分判定 A の遷移分布



② 対策区分判定 B の遷移分布



③ 対策区分判定 C の遷移分布

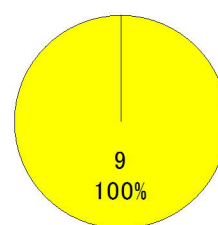


図 3-33 対策区分判定の進行状況（伸縮装置）

（３）劣化曲線の補正方法

札幌市の BMS は、先行して取り組みが行われていた北海道庁の BMS に対し、一部、改良を加えたものであり、劣化予測の手法も北海道の考え方⁴⁴⁾に準拠し、図 3-34 に示すように、最新の点検データを通過するように補正されていくこととしている。この場合、劣化曲線は、架設年度と最新の点検データを通過する上に凸の 2 次曲線か直線で表現されることとなる^{※)}。

ここで取り扱う劣化曲線の多くは、上に凸の 2 次曲線であり、基本的には、安全側の劣化予測をすることとなる。札幌市の橋梁定期点検は、概ね 5 年ごとに実施することとしており、点検データの更新に伴い 5 年程度の周期で補修計画についても見直すこととしている。

上記の方法によれば、計画策定年次において、当該年度に 2 巡目、3 巡目点検が実施された橋梁のみ、最新の点検データに基づくこととなり、それ以外の橋梁については、1～4 年前の過去の点検データを通過した曲線による予測となる。前述のとおり、平成 20 年度からの 2 ヶ年にわたり、重要橋梁 247 橋の計画策定について検討を進めるなかで、過去の点検結果からの進行状況を調査したところ、劣化予測ほどには、実際の損傷は進行していない橋梁が多く確認された。点検が 5 年程度の一定間隔で行われることから、ユーザーの安全性を確保する観点に立てば、安全側の評価を行うことは、妥当と考えられるものの、予算等も含めた事業計画の策定においては、過大に補修費用を算定することになり、予測精度の向上が求められる。そこで、計画策定を行う平成 21 年度に 247 橋のうち、2 巡目点検が終わっている 106 橋（443 径間）について、前回の点検結果からの遷移状況を分析し、これらを 2 巡目点検が未実施の 141 橋の劣化予測に反映させることとした。全橋のうち、毎年一部の橋梁点検結果は、更新されていくものであり、それに応じて、長寿命化修繕計画も順次、見直しをしていくこととしている。橋梁点検時に、C 判定、E 判定となったものについては、劣化予測によらず計画策定時に優先的に補修対象となることを考慮すれば、ここで示す補正方法により、橋梁の安全性を保ちつつ、ある程度の精度を持って、事業計画の策定が可能となる。

※) 劣化曲線の考え方について（補足）

本来、物理的には、劣化曲線は、「架設年時の健全度」、「1 巡目点検の健全度」、「2 巡目点検の健全度」、「N 巡目点検の健全度」と、ライフサイクルにおける点検結果、全て通過するのが望ましいところであるが、このような補正方法を行った際には、3.7.2 で示した事例のように、数年経過しても損傷があまり進行せず、前回の点検結果と同じ対策区分判定となった場合などにおいて、下に凸の曲線となることがある。この場合、将来の予測値は、健全度が回復することを示してしまうこととなり、物理的にもありえない事象を示し、かつ、安全管理上も問題となるものと考えられる。

このことは、点検結果が離散的な値であり、かつ、それぞれの判定がある程度の幅を持った値である以上、発生しうることであり、これらの解決のためには、今後、点検結果がより詳細にかつ客観的な値として表現されることが必要である。

このような観点から、現在、点検評価の客観性向上のための様々な取り組みが行われており、今後の技術開発などが期待されるところであるが、現時点では便宜的に架設年時と最新の点検データの 2 点のみを通過する 2 次曲線もしくは直線として設定することとした。

1) 計画策定時に点検を行った橋梁の劣化曲線の補正方法

図 3-34 に示すように当該年度の点検結果を通過するように劣化曲線を補正し、補正された劣化曲線をもとに補修時期を推計する。ただし、対策区分判定 C（5 年以内に補修）については、図 3-35 に示すように、劣化予測に関わらず、5 年以内に補修することとする（BMS の計算上は便宜上 3 年後とした）。

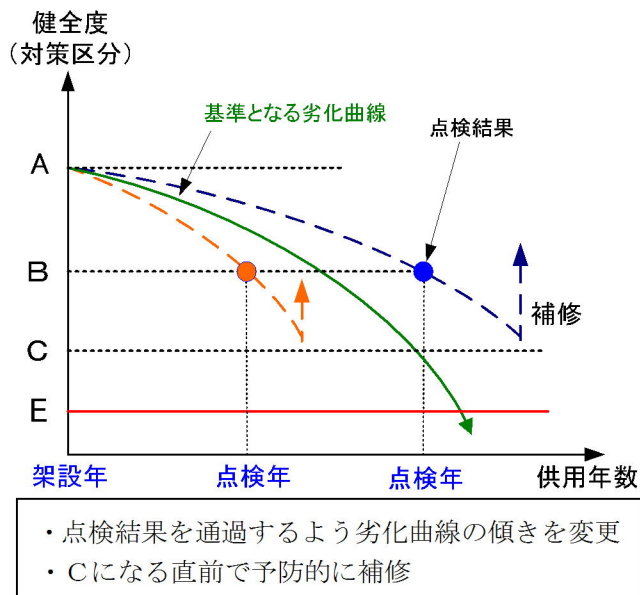


図 3-34 対策区分判定が A、B の場合の補正方法

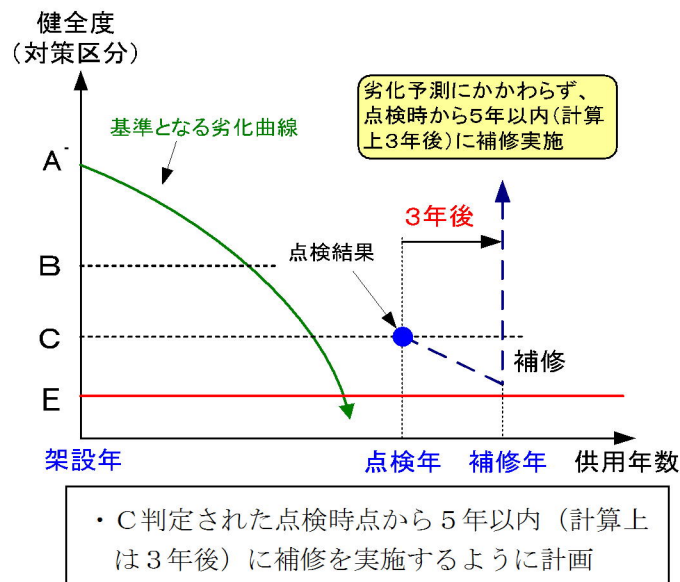


図 3-35 対策区分判定が C の場合の補正方法

2) 計画策定時以前に点検を行った橋梁の劣化曲線の補正方法

計画策定年次に点検を実施していない橋梁については、計画策定時の前回点検からの経過年数に応じて、下記のとおり補正を行うこととした。

<前回点検から 5 年を経過した橋梁>

表 3-27 に示す前回点検からの遷移確率より求められた 5 年後の点検結果の推定値を点検結果と仮定した上でプロットし、そこを通過するよう劣化曲線を補正する（図 3-36 中 青の点線）。

<前回点検から 1～4 年を経過した橋梁>

遷移確率より求められた 5 年後の点検結果の推定値と 1 巡目の点検結果を直線で結び、この直線を経過年度に応じて按分の上プロットし、これを経過年数毎の推定値とする。

プロットした推定値を通過するよう、劣化曲線の傾きを変更する（図 3-36 中 緑の実線）。

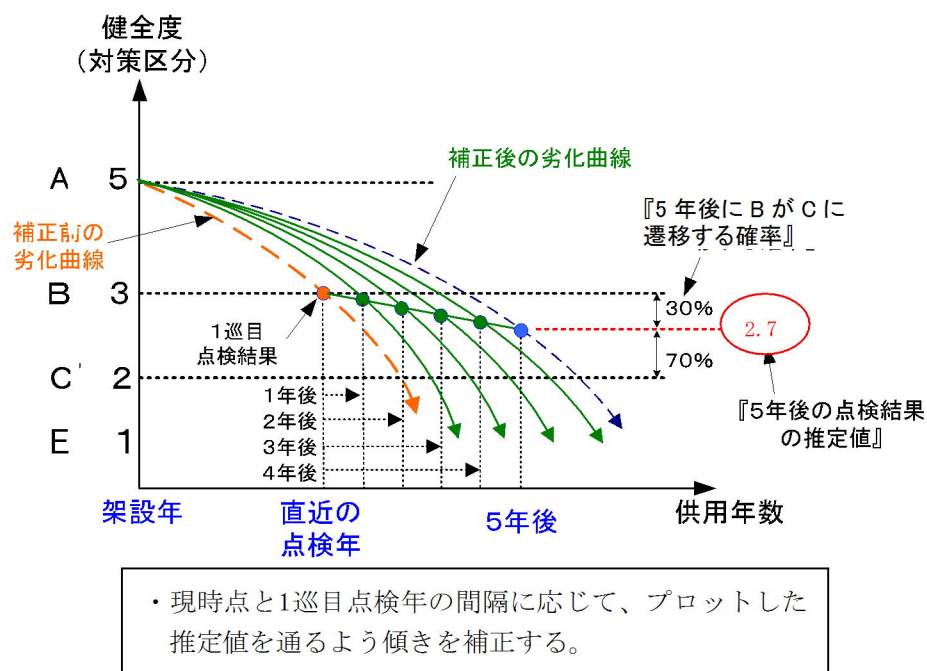


図 3-36 計画策定時以前に点検を行った橋梁の劣化曲線の補正方法

表 3-27 点検結果の遷移確率と 5 年後の各部材の推定値

1巡目の点検結果 (2001年以前)	A				サンプル数	B			サンプル数
2巡目の点検結果 (2008年)	A	B	C	E		B	C	E	
鋼橋の主桁	76%	23%	0%	1%	98	85%	15%	0%	20
コンクリート橋の主桁	65%	34%	1%	0%	154	94%	6%	0%	99
鋼床版	100%	0%	0%	0%	10	100%	0%	0%	1
鋼橋のコンクリート床版	20%	80%	0%	0%	35	90%	10%	0%	82
コンクリート橋の床版	71%	28%	1%	0%	130	96%	4%	0%	116
下部工	59%	40%	1%	0%	276	97%	3%	0%	90
支承	86%	13%	1%	0%	232	87%	13%	0%	53
伸縮装置	67%	11%	22%	0%	221	30%	70%	0%	40

直近の点検結果	A	B
鋼橋の主桁	4.5	2.9
コンクリート橋の主桁	4.3	2.9
鋼床版	5.0	3.0
鋼橋のコンクリート床版	3.4	2.9
コンクリート橋の床版	4.4	3.0
下部工	4.2	3.0
支承	4.7	2.9
伸縮装置	4.1	2.3

※) 対策区分判定を 5 段階の点検健全度で点数化し (A=5.0、B=3.0、C=2.0、E=1.0) とし、点検から 5 年後の点数を遷移確率を用いて計算

3.7.3 補修費用算出の適正化

(1) 点検マニュアルの改訂

北海道庁 BMS の事業費の算出では、その補修範囲を、統計的に求めた一程度の割合を橋面積に乘じることにより算出している。札幌市においては、点検技術者は、同時に補修工法を検討する専門コンサルタントであることから、定期点検時に、損傷程度の評価および対策区分の判定に加えて、補修すべき範囲を概略調査し、概算の補修数量（面積、体積、長さ、箇所数、基数）を数値で記録すること、さらに損傷の種類、原因を考慮したうえで補修工法を選定することとし、以下のとおり定期点検要領に「7.3 補修数量の把握」、および「7.4 補修工法を選定」の項を追加した。表 3-28、3-29 は、点検時に併せて記録する補修工法および補修数量単位を示しており、これらは 3.4 節で述べたグルーピングに応じた補修工法を反映したものになっている。

■「札幌市橋梁点検マニュアル（案）」の抜粋

7. 3 補修数量の把握

点検の結果、損傷が確認され補修の必要があると判断した場合には、部材ごと、損傷の種類ごとに、7.4 に従い選定した補修工法の種類に応じて、概略の補修数量を把握するものとする。

【解説】

定期点検で得られた情報をもとに作成する修繕計画の精度向上を目的として、点検時において概略の補修数量を部材ごと、損傷の種類ごとに算定する。また、補修数量は、7.4 に従い同時に選定した補修工法に応じた単位で算定する。

7. 4 補修工法を選定

点検の結果、損傷が確認され補修の必要があると判断した場合には、部材ごと、損傷の種類ごとに、適切な補修工法を選定するものとする。

【解説】

修繕計画の作成に必要な補修にかかる概算工事費を算定することを目的として、点検時において、部材ごと、損傷の種類ごとに補修工法を選定する。

表 3-28 補修工法および補修数量単位 (1)

部材	損傷の種類	補修工法	単位
路面	舗装の異常	部分打ち換え	m2
		切削オーバーレイ	m2
伸縮装置	遊間の異常	取替え	m
	路面の凹凸		m
高欄・防護柵	腐食、変形・欠損など	取替え	m
		断面修復	m3
		塗装	m2
地覆・中央分離帯	変形・欠損など	取替え	m
		断面修復	m3
排水装置	土砂詰まり	清掃	箇所
		取替え	箇所
鋼主桁	腐食	重防食塗装(1種ケレン)	m2
		部分重防食塗装(1種ケレン)	m2
		部分的塗装(3種ケレン)	m2
		全体塗装(3種ケレン)	m2
	亀裂	当て板補強	箇所
	ボルトのゆるみ脱落	締め直し	箇所
	破断	部分取替え	箇所
鋼横桁・縦桁・対傾構・横構	腐食	重防食塗装(1種ケレン)	m2
		部分重防食塗装(1種ケレン)	m2
		部分的塗装(3種ケレン)	m2
		全体塗装(3種ケレン)	m2
	亀裂	当て板補強	箇所
	ボルトのゆるみ脱落	締め直し	箇所
	破断	部分取替え	箇所
鋼床版	腐食	重防食塗装(1種ケレン)	m2
		部分重防食塗装(1種ケレン)	m2
		部分的塗装(3種ケレン)	m2
		全体塗装(3種ケレン)	m2
	亀裂	当て板補強	箇所
	ボルトのゆるみ脱落	締め直し	箇所
	破断	部分取替え	箇所
コン主桁	ひびわれ	ひびわれ注入	m2
		断面修復	m3
		表面被覆	m2
	剥離・鉄筋露出	断面修復	m3
		表面被覆	m2
	漏水・遊離石灰	ひびわれ注入	m2
		断面修復	m3
表面被覆		m2	
コン横桁・縦桁	ひびわれ	ひびわれ注入	m2
		断面修復	m3
		表面被覆	m2
	剥離・鉄筋露出	断面修復	m3
		表面被覆	m2
	漏水・遊離石灰	ひびわれ注入	m2
		断面修復	m3
表面被覆		m2	

表 3-29 補修工法および補修数量単位（2）

部材	損傷の種類	補修工法	単位
コン床版（張り出し部含む）	剥離・鉄筋露出	炭素繊維接着	m2
		断面修復	m3
	漏水・遊離石灰	ひびわれ注入	m2
		橋面防水	m2
		橋面複合防水	m2
		炭素繊維接着	m2
		断面修復	m3
	抜け落ち	部分打ち換え	m2
		打ち換え	m2
	床版ひびわれ	ひびわれ注入	m2
		橋面防水	m2
		橋面複合防水	m2
		炭素繊維接着	m2
		断面修復	m3
	定着部の異常	断面修復	m3
鋼製橋脚躯体	腐食	重防食塗装（1種ケレン）	m2
		部分重防食塗装（1種ケレン）	m2
		部分的塗装（3種ケレン）	m2
		全体塗装（3種ケレン）	m2
	亀裂	当て板補強	箇所
	ボルトのゆるみ脱落	締め直し	箇所
コン橋台躯体・橋脚躯体	ひびわれ	ひびわれ注入	m2
		断面修復	m3
		表面被覆	m2
	剥離・鉄筋露出	断面修復	m3
		表面被覆	m2
	漏水・遊離石灰	ひびわれ注入	m2
		断面修復	m3
		表面被覆	m2
基礎	沈下・移動・傾斜	-	-
	洗掘	根固め工	箇所
支承	支承の機能障害	重防食塗装1種	基
		一般塗装3種	基
		取替え	基
全体	沓座モルタルの変形・欠損	断面修復	m3
	異常な音・振動・たわみ	詳細調査	箇所

（2）点検結果入力ツールの改良

上記の補修工法、および、補修数量を点検調書に記録するために、点検結果入力システムを以下のとおり改良した。

新たに追加した機能は、以下の2項目である。

①各部材の損傷に対して、必要な補修工法をプルダウン形式で選択

②選択した補修工法に対する補修の概算数量を入力

図 3-37、図 3-38、図 3-39 に、点検結果入力ツールの改良した画面を示す。

また、過去の点検において既に入力されている概算数量および備考欄の内容については、今回改良した新ツールの備考欄にまとめて格納している。

点検項目		損傷状況	該当部材 無し	未点検	損傷度: a	損傷度: b	損傷度: c	損傷度: d	損傷度: e	写真 登録	補修工法	概算数量	備考
1	路面	舗装の異常	部材無し	未点検	損傷なし		舗装に縦割れ損傷が生じている(ひび割れ幅5mm未満)。		舗装が著しく損傷している(ひび割れ幅5mm以上)。				[概算数量]12[備考]法面護脚装置に段差が生じている。
2	伸縮装置	逆間の異常	部材無し	未点検	損傷なし		左右の逆間が終端に異なる。または逆間が直角方向にずれている。		逆間が異常に広い。または桁の内部ポルトが接触している。				
3	路面	路面の凹凸	部材無し	未点検	損傷なし		横断方向の凹凸が生じている(段差量は小さい(20mm未満)。		横断方向の凹凸が生じており、段差量が大きい(20mm以上)。				
4	高欄防護柵	腐食変形・欠損など	部材無し	未点検	損傷なし		部材が局部的に腐食・変形している。その一部が欠損している。		部材が局部的に著しく腐食・変形している。またはその一部が著しく欠損している。				
5	地盤中央分離帯	変形・欠損など	部材無し	未点検	損傷なし		部材が局部的に変形している。またはその一部が欠損している。		部材が局部的に著しく変形している。またはその一部が著しく欠損している。				
6	排水装置	土砂詰まり	部材無し	未点検	損傷なし		排水口に土砂詰まりがある。						[概算数量]4[備考]
7	主桁	腐食	部材無し	未点検	損傷なし		局部的に錆が発生している。		局部的に著しい膨張または板厚減少が生じている。				
8		亀裂	部材無し	未点検	損傷なし		断面重要部・溶接接合部などに縦横われが確認できる。		横状の亀裂が生じている。				
9		ゆるみ・脱着	部材無し	未点検	損傷なし		ボルトのゆるみや脱着を生じているがその数が少ない。		ボルトのゆるみや脱着を生じているがその数が多い。				
10		破断	部材無し	未点検	損傷なし				破断している。				
11	上部工	腐食	部材無し	未点検	損傷なし		局部的に錆が発生している。		局部的に著しい膨張または板厚減少が生じている。				
12		亀裂	部材無し	未点検	損傷なし		断面重要部・溶接接合部などに縦横われが確認できる。		横状の亀裂が生じている。				
13		ゆるみ・脱着	部材無し	未点検	損傷なし		ボルトのゆるみや脱着を生じているがその数が少ない。		ボルトのゆるみや脱着を生じているがその数が多い。				
14		破断	部材無し	未点検	損傷なし				破断している。				

※該当する補修工法がない場合は、備考欄に入力する。

入力例：【補修工法】○○工法【補修数量】□□m2

図 3-37 点検結果入力ツール；補修工法の選択入力

点検項目	損傷状況	損傷評価基準(該当する項目を○印して下さい)					写真登録	補修工法	概算数量	備考
		該当部材無し	未点検	損傷度:a	損傷度:b	損傷度:c	損傷度:d	損傷度:e		
1	路面	部材無し	未点検	損傷なし		舗装に鋭鋭な損傷が発生している(ひび割れ幅5mm未満)。		舗装が著しく損傷している(ひび割れ幅5mm以上)。		[概算数量]12[備考]歩道舗装一部に段差が
2	路面・伸縮装置	部材無し	未点検	損傷なし		左右の逆間が極端に異なる。または逆間が直角方向にずれている。		逆間が異常に広い。または桁の1/3程度が破断している。		
3		部材無し	未点検	損傷なし		横断方向の凹凸が生じている(段差幅は小さい(20mm未満)。		横断方向の凹凸が生じており、段差幅が大きい(20mm以上)。		
4	高欄・防護欄	部材無し	未点検	損傷なし		部材が局部的に著しく変形している。その一部が欠損している。		部材が局部的に著しく変形している。またはその一部が著しく欠損している。		
5	地震中央分離帯	部材無し	未点検	損傷なし		部材が局部的に変形している。またはその一部が欠損している。		部材が局部的に著しく変形している。またはその一部が著しく欠損している。		
6	排水装置	部材無し	未点検	損傷なし		排水口に土砂詰りがある。				[概算数量]4[備考]
7	主筋	部材無し	未点検	損傷なし	局部的に錆が発生している。	全体的に錆が生じている。または拡張のある部材が損傷している。	局部的に著しい膨張または断層減少が生じている。	全体的に著しい膨張または断層減少が生じている。	555 m2	
8		部材無し	未点検	損傷なし		断面急変部、溶接接合部などに塗膜が剥離している。		線状の亀裂が生じている。		
9		部材無し	未点検	損傷なし		ポルトのゆるみや脱落を生じているがその数が少ない。		ポルトのゆるみや脱落を生じているがその数が多い。		
10		部材無し	未点検	損傷なし				破断している。		
11	横筋・縦筋・対筋・横筋	部材無し	未点検	損傷なし	局部的に錆が発生している。	全体的に錆が生じている。または拡張のある部材が損傷している。	局部的に著しい膨張または断層減少が生じている。	全体的に著しい膨張または断層減少が生じている。		
12		部材無し	未点検	損傷なし		断面急変部、溶接接合部などに塗膜が剥離している。		線状の亀裂が生じている。		
13		部材無し	未点検	損傷なし		ポルトのゆるみや脱落を生じているがその数が少ない。		ポルトのゆるみや脱落を生じているがその数が多い。		
14		部材無し	未点検	損傷なし				破断している。		

図 3-38 点検結果入力ツール；補修概算数量の入力 (1)

点検項目	損傷状況	損傷評価基準(該当する項目を○×で下す)					写真登録	補修工法	概算数量	備考
		該当部材無し	未点検	損傷度:a	損傷度:b	損傷度:c	損傷度:d	損傷度:e		
15	腐食	部材無し	未点検	損傷なし	局部的に錆が発生している。	全体的に錆が生じている。または板厚の減少がある。劣化箇所が複数ある。	局部的に著しい膨張または板厚減少が生じている。	全体的に著しい膨張または板厚減少が生じている。	▶	
16	亀裂	部材無し	未点検	損傷なし		断面変遷、変遷接合部などに亀裂が確認できる。	線状の亀裂が生じている。		▶	
17	ゆるみ・脱落	部材無し	未点検	損傷なし		ボルトのゆるみや脱落を生じているがその数が多い。	ボルトのゆるみや脱落を生じているがその数が多い。		▶	
18	破断	部材無し	未点検	損傷なし			破断している。		▶	
19	ひび割れ	部材無し	未点検	損傷なし	ひび割れ幅小さい。間隔が大きい。	ひび割れ幅中(RC:0.3mm, PC:0.2mm未満。間隔が大きい。)(0.5mm以上)	ひび割れ幅大(RC:0.3mm, PC:0.2mm以上。間隔が小さい。)(0.5mm未満)		▶	
20	剥離・鉄筋露出	部材無し	未点検	損傷なし		剥離のみが生じている。(鉄筋の露出は局部的)	鉄筋が露出しているが、腐食は軽微である。		▶	
21	漏水・遊離石灰	部材無し	未点検	損傷なし	ひび割れから漏水(錆汁や遊離石灰はほとんどなし)	ひび割れから漏水(錆汁や遊離石灰はほとんどなし)	ひび割れから著しい漏水や遊離石灰が生じている。	ひび割れから著しい漏水や遊離石灰が生じている。	▶ ▶ ▶	間詰めコンクリートに遊離石灰が発生。
22	ひび割れ	部材無し	未点検	損傷なし	ひび割れ幅小さい。間隔が大きい。	ひび割れ幅中(RC:0.3mm, PC:0.2mm未満。間隔が大きい。)(0.5mm以上)	ひび割れ幅大(RC:0.3mm, PC:0.2mm以上。間隔が小さい。)(0.5mm未満)		▶	
23	剥離・鉄筋露出	部材無し	未点検	損傷なし		剥離のみが生じている。(鉄筋の露出は局部的)	鉄筋が露出しているが、腐食は軽微である。		▶	
24	漏水・遊離石灰	部材無し	未点検	損傷なし		ひび割れから漏水(錆汁や遊離石灰はほとんどなし)	ひび割れから著しい漏水や遊離石灰が生じている。		▶	
25	剥離・鉄筋露出	部材無し	未点検	損傷なし		剥離のみが生じている。(鉄筋の露出は局部的)	鉄筋が露出しているが、腐食は軽微である。		▶	
26	漏水・遊離石灰	部材無し	未点検	損傷なし		ひび割れから漏水(錆汁や遊離石灰はほとんどなし)	ひび割れから著しい漏水や遊離石灰が生じている。		▶	
27	抜け落ち	部材無し	未点検	損傷なし			コンクリート塊の抜け落ちがある。		▶	
28	床版ひび割れ	部材無し	未点検	損傷なし	(ひび割れ間隔と性状)→方向が主(ひび割れ幅0.2mm以下が主)	(ひび割れ間隔と性状)→格子状(0.5~0.2mm)(ひび割れ幅)0.2mm以下が主	(ひび割れ間隔と性状)→格子状(0.2mm以下)(ひび割れ幅)0.2mm以上が主		▶	
29	定着部の異常	部材無し	未点検	損傷なし		ケーブルの定着部に損傷が認められる。	ケーブルの定着部に著しい損傷がある。		▶	

※コンクリート部材等、複数工法が選択可能な場合は、工法ごとに概算数量を入力する。

図 3-39 点検結果入力ツール；補修概算数量の入力 (2)

3.8 優先順位付けおよび予算の平準化

以上述べた方針および手法に基づき、事業計画を策定する。具体的には BMS で算出された部材毎の今後 10 年間の補修時期、補修費用を基に下記の手順により、現実的な補修時期、補修工法、概算費用を算定する。劣化予測は、個々の橋梁の部材について行っており、部材毎の補修時期に応じて、補修工事を行うことは、現実的ではないことから、同一橋梁の部材において、最も早く補修時期に達した部材に併せて、他の部材も補修することとする。

【手順 1】橋梁の部材の健全度（対策区分判定）と重要度（グループ）とで評価し、図 3-40 のルールに従い、図 3-41 に示すとおり部材毎の優先順位付けを行う。

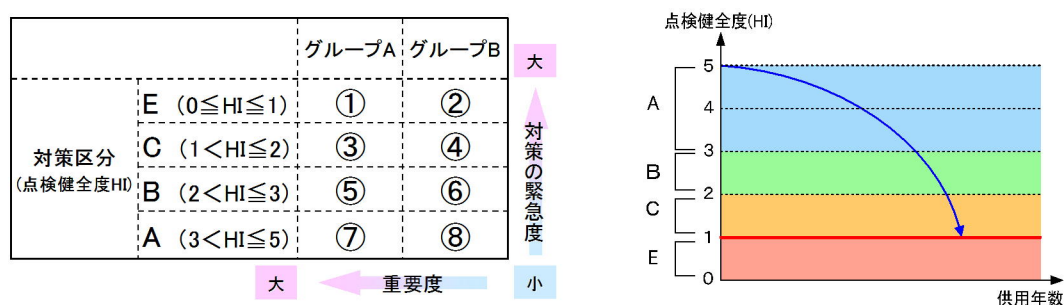


図 3-40 グループおよび対策区分による優先順位付け

【手順 2】手順 1 で順位が同一の部材については、図 3-41 に示すとおり橋梁の BHI（後述する橋梁全体の健全度を示す指標）が低い（健全度の悪い）ものを優先する。

【手順 3】BMS では、部材毎に補修年度、補修費用を算定しているが、実際の補修工事は橋梁毎に行われるため、図 3-42 に示すとおり部材単位のものを橋梁単位で集約する（最も早く補修する部材の補修時期に他の部材を合わせる）。

【手順 4】図 3-43 に示すとおり、計画の方針（C 判定後 5 年以内に補修）に基づき、対策区分判定 C の橋梁を 2012 年から 2014 年の 3 ヶ年で補修するとともに、A、B 判定の橋梁についても補修時期が集中しないよう平準化を行う。

【手順 1】

【手順 2】

区	路線名	橋梁名	部材	対策区分判定	グループ	BHI	補修年	優先順位	補修費用 (百万)
清田区	〇〇線	〇〇〇橋	床版	E	①	24.4	2010	1	8
南区	××線	×××大橋	伸縮装置	E	②	32.1	2010	2	16.2
中央区	□□線	□□□橋	主桁	C	①	28.5	2010	3	6.6
北区	●○線	●○●橋	主桁	C	②	24.5	2010	4	9
手稲区	▲▲線	▲▲橋	支承	C	②	36.3	2010	5	5
清田区	■□線	■□橋	床版	C	②	45.6	2010	6	4.9

図 3-41 部材毎の優先順位付け

<手順3>

BMS では、部材毎に補修年度、補修費用を算定しているが、実際の補修工事は橋梁毎に行われるため、部材単位のものを、橋梁単位で集約する。(最も早く補修する部材の補修時期に他の部材を合わせる)。

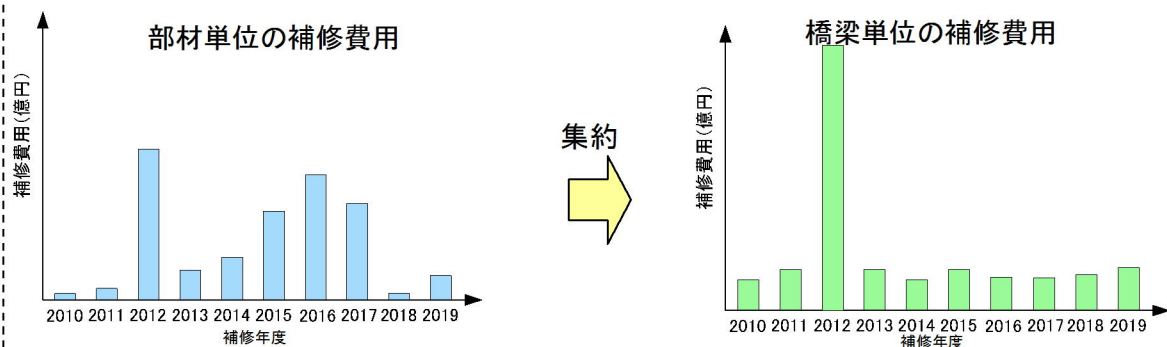


図 3-42 部材単位から橋梁単位への集約

<手順4>

対策区分判定Cの橋梁を2012年から2014年の3カ年で補修するとともに、A、B判定の橋梁についても補修時期が集中しないよう平準化を行う。

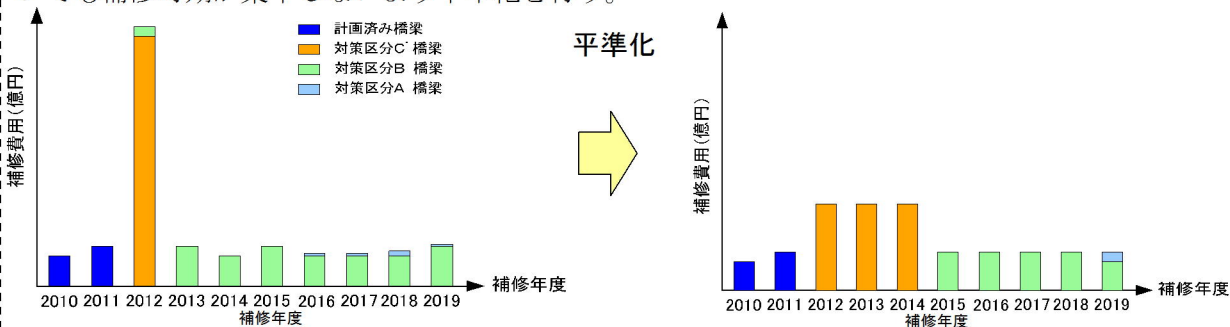


図 3-43 予算の平準化

【参考】橋梁健全度 *BHI*「北海道建設部 公共土木施設長寿命化検討委員会報告書、H18.3」⁴⁴⁾より
橋梁各部材の点検健全度と部材間の重み係数を用いて、加重平均法により計算し、橋梁全体の健全度を示す指標

$$\text{橋梁健全度 } BHI = \sum_i D_i \cdot a(R_i)$$

BHI : 部材の点検結果(損傷度)を考慮した橋梁健全度

i : 部材番号

D_i : 部材 *i* に対する重み係数 $D_1 + D_2 + \dots + D_n = 1.00$

a(R_i) : 部材 *i* の点検健全度 *R_i* に対する健全度係数

表 3-30 *BHI* における部材の重み係数

北海道 橋梁維持管理マニュアル(案) 2004				
部材(部位)	重み係数	重み係数(割合に変換)		
上部工	主桁	3	0.15	0.20
	副部材	1	0.05	
	床版	3	0.15	
下部工	躯体	3	0.15	0.30
	基礎工	3	0.15	
支承		2	0.10	0.10
伸縮装置		2	0.10	0.10
落橋防止装置		1	0.05	0.05
橋面工		1	0.05	0.05
付属部位(部材)		1	0.05	0.05
		20	1.00	1.00

表 3-31 *BHI* における健全度係数

対策区分 判定	点検健全度 R	健全度係数 a(%)
A	5	100
-	4	75
B	3	50
C	2	25
E	1	0

3.9 コスト縮減効果

予防保全などの計画的な保全を基本とした長寿命化修繕計画の実施により、図 3-44 に示すように従来の事後保全的な保全と比較し、50 年間で約 2,300 億円、100 年間で約 2,800 億円、150 年間で約 3,400 億円のコスト縮減効果があると試算した。ここでの試算は、計画対象となる 247 橋について、予防保全と事後保全を行った場合の、今後 150 年間の補修費と架替え費を足し合わせたものの差分である。

赤が事後保全、青が予防保全をそれぞれ示しており、棒グラフが各年度の補修費および架替え費用の積上げを、折れ線グラフが年度の累積を表している。

3.5 節で示したように補修費用と架替え費用を比較した場合、架替え費用が大きいため、ここでのコスト縮減額は、多額な費用を要する架替えのサイクルを事後保全の 60 年から予防保全の 150 年、

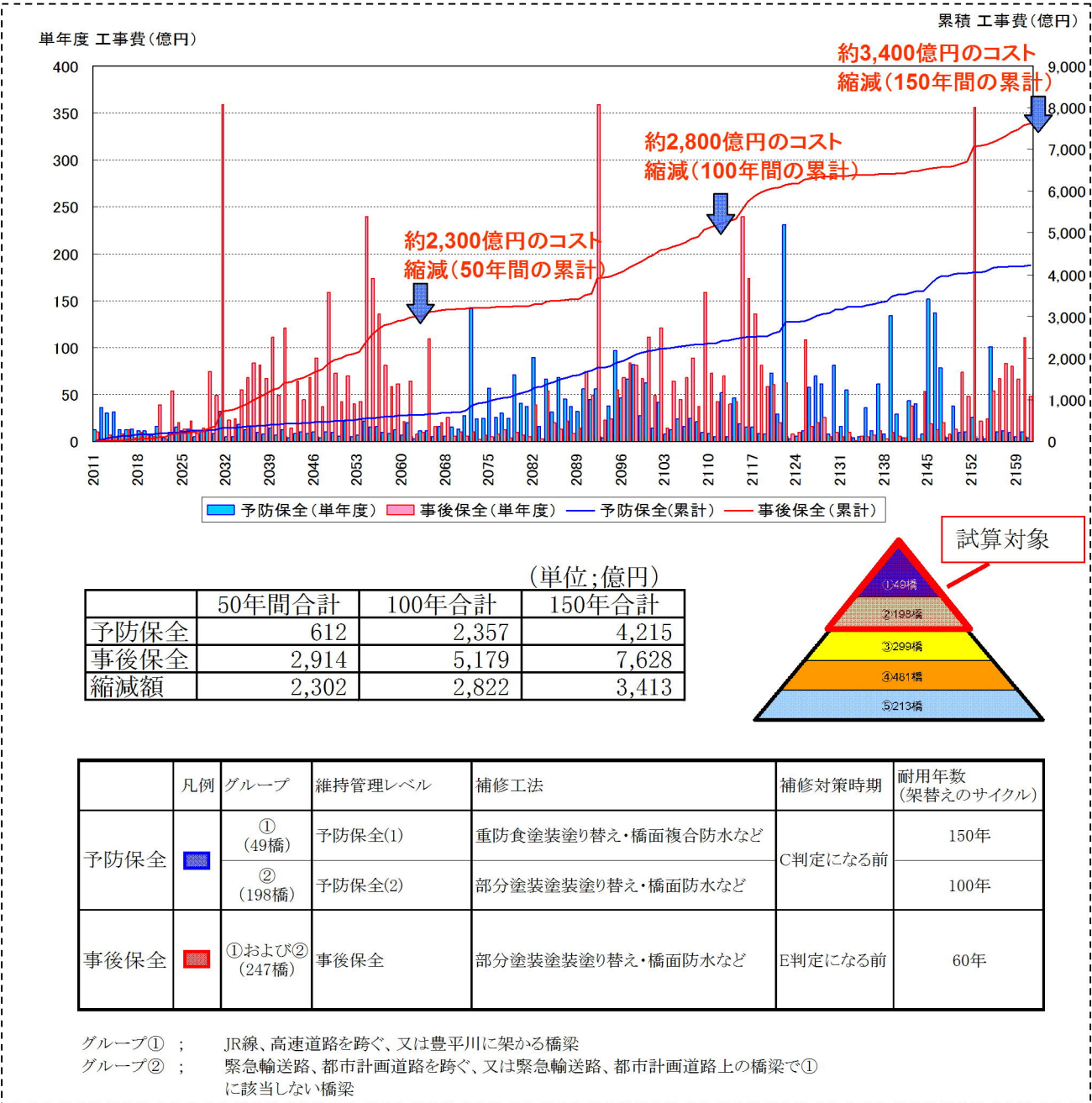


図 3-44 コスト縮減効果の試算

100 年と長くしたことによる効果が大きいものと考えられる。また、予防保全の架替えサイクルを橋梁の重要度（グループ）に応じ、150 年と 100 年と別々に設定することにより、架替え時期が一時期に集中するのを防いでいる。

3.10 まとめ

本章では、札幌市が管理する橋梁のうち、重要橋梁と位置付けた 247 橋の計画策定について述べるとともに、計画の実効性を確保するための各種の取組みについて述べた。

具体的には 3.2 節では、札幌市における当計画の位置付けについて述べ、メリハリのついた計画とするために重要橋梁と一般橋梁について選定を行った。3.3 節では、計画策定における方針を定め、重要橋梁と一般橋梁をさらに 5 段階のグループへと分類し、それぞれの目標共用年数と維持管理レベルを定めている。3.4 節では、グルーピング毎の維持管理レベルや目標共用年数を達成するための補修工法を示しており、当計画において重要とした橋面複合防水や表面被覆工についての考え方について述べた。

3.5 節では、計画策定にあたり、メリハリのついた投資を行うための根拠となる LCC の試算を行い大規模かつ重要な橋梁ほど、予防保全型維持管理へのシフトによるメリットが大きいことを示した。

3.6 節は、計画策定にあたり、支援ツールとして活用した BMS について、その概要や基準となる劣化曲線を示しており、3.7 節では、計画と実際の補修工事における予算や対策範囲などについての乖離を抑制するために取り組んだ「目視点検のばらつきの解消」、「劣化予測の精度向上」、「補修費用算出の適正化」について述べている。「目視点検のばらつきの解消」については、各部材の損傷程度の客観的な評価区分とともに、これらに講ずる対策について計画の方針と整合を図った目安を策定し、目線の統一を図った。「劣化予測の精度向上」については、参考とした北海道庁 BMS における劣化曲線から算定される劣化程度と、実際に顕在化している損傷の進行度合を比較検証した結果、北海道庁 BMS の劣化曲線が過大に安全側に予測する傾向があったことから、約 5 年毎に行われる点検結果に応じ、劣化曲線を順次、補正し予測精度を確保する手法を取入れた。また、「補修費用算出の適正化」については、点検において、損傷が顕在化している範囲を数値的に記録するとともに、計画の方針に基づき将来の補修費用を算出し、より実態に即した計画策定となるよう配慮した。

3.8 節では、BMS による劣化予測に基づき、具体的な事業計画を策定における優先順位付けや予算の平準化について述べ、3.9 節では、当計画を実行することにより見込まれるコスト縮減効果について試算を行い、予防保全型の維持管理手法への転換による具体的なメリットを示した。

4. 一般橋梁の長寿命化修繕計画

4.1 はじめに

本章では、第3章で述べた重要橋梁247橋の長寿命化修繕計画に引き続き行った一般橋梁1,009橋の計画策定、および、これを重要橋梁の計画と統合した全橋の計画策定について述べる。加えて、計画の運用にあたって、重要となる橋梁の架替えルールや計画を継続的に実行していくための推進体制、運用方法について述べる。

具体的には、4.2節では、一般橋梁および全橋の修繕計画策定の方針を述べ、4.3節では、計画の方針に基づいて作成した、優先順位マトリクスを活用し、計画の対象期間である今後10年間の補修対象橋梁の選定を行っている。引き続き4.4節で選定結果に基づき、優先順位付けおよび予算の平準化を行い、具体的な事業計画の策定を行っている。4.5節では、一般橋梁の計画および統合した全橋の計画の実施により得られるコスト縮減効果を示している。4.6節では、当該計画においては、架替えを予定した橋梁は無いところであるが、今後、計画の方針に基づき、上部工のみを架替える場合なども想定されることから、それに関連する意思決定ルールについて定めている。4.7節では、計画を実行するにあたり、重要となる札幌市における実施体制や維持管理におけるマネジメントサイクルについて述べ、4.7節では、本章についてのまとめを行っている。なお、一般橋梁の計画策定における点検評価、BMS、劣化予測などの考え方は、第3章で述べた重要橋梁のものを全て踏襲しているため、ここでは、一般橋梁および全橋の計画策定について、新たに検討した事項についてのみ述べることとする。

4.2 全橋の長寿命化修繕計画策定における方針

札幌市では、1,256橋の橋梁を管理しており（平成23年4月）、うち重要橋梁247橋について、平成20年度～21年度の2ヶ年で長寿命化修繕計画の策定を行い、残る一般橋梁1,009橋については、これらの定期点検が完了する平成22年度を待って、平成23年度の単年度で策定することとした。また、同年に、重要橋梁と一般橋梁の計画の統合を行い、図4-1に示すとおり、全橋を対象とした長寿命化修繕計画を策定した。なお、橋梁のグループ分けや目標共用年数、維持管理レベルについては、表3-2に示すとおりである。また、事後保全に適用する標準的な補修工法については、表4-1に示すとおり重要橋梁の予防保全(2)に適用する工法と同じであるが、補修を実施するタイミングが、それぞれ予防保全(2)ではC判定になる前、事後保全ではE判定になる前となることから、事後保全の方が補修範囲が大きくなることとなる。

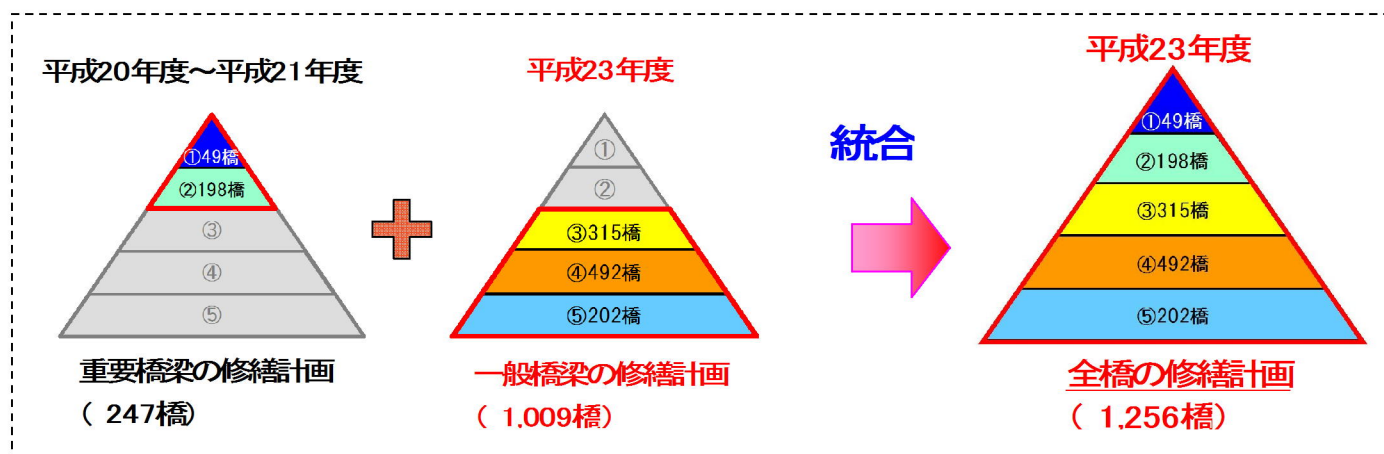


図4-1 一般橋梁と重要橋梁の計画の統合による全橋の計画

表 4-1 維持管理レベルごとの標準的な補修工法

部材		予防保全(1)	予防保全(2)	事後保全(追加)
主桁	コンクリート	表面被覆(※1)+断面修復	断面修復【範囲小】(※4)	断面補修【範囲大】
	鋼	重防食塗装(1種ケレン) 【全面】	部分的塗装塗替え(3種ケレン) 【範囲小】	部分的塗装塗替え(3種ケレン) 【範囲大】
床版	コンクリート	橋面複合防水(※2)+ ひび割れ注入+炭素繊維接着	橋面防水(※2)+ ひび割れ注入【範囲小】	橋面防水(※2)+ ひび割れ注入【範囲大】
	鋼	重防食塗装(1種ケレン) 【全面】	部分的塗装塗替え(3種ケレン) 【範囲小】	部分的塗装塗替え(3種ケレン) 【範囲大】
下部工	コンクリート	表面被覆(※3)+ひび割れ注入	ひび割れ注入【範囲小】	ひび割れ注入【範囲大】
	鋼	重防食塗装(1種ケレン) 【全面】	部分的塗装塗替え(3種ケレン) 【範囲小】	部分的塗装塗替え(3種ケレン) 【範囲大】
支承		重防食塗装(1種ケレン)	塗装塗替え(3種ケレン)	塗装塗替え(3種ケレン)
伸縮装置		取替え	取替え	取替え
高欄・地覆		取替え	取替え	取替え

(※1) JR 線、高速道路を跨ぐ橋梁のみ実施する。

(※2) 損傷状況によらず、橋面防水工は必ず実施する。

(※3) 表面被覆工は、耐震補強等の実施状況を見ながら適宜、実施する。

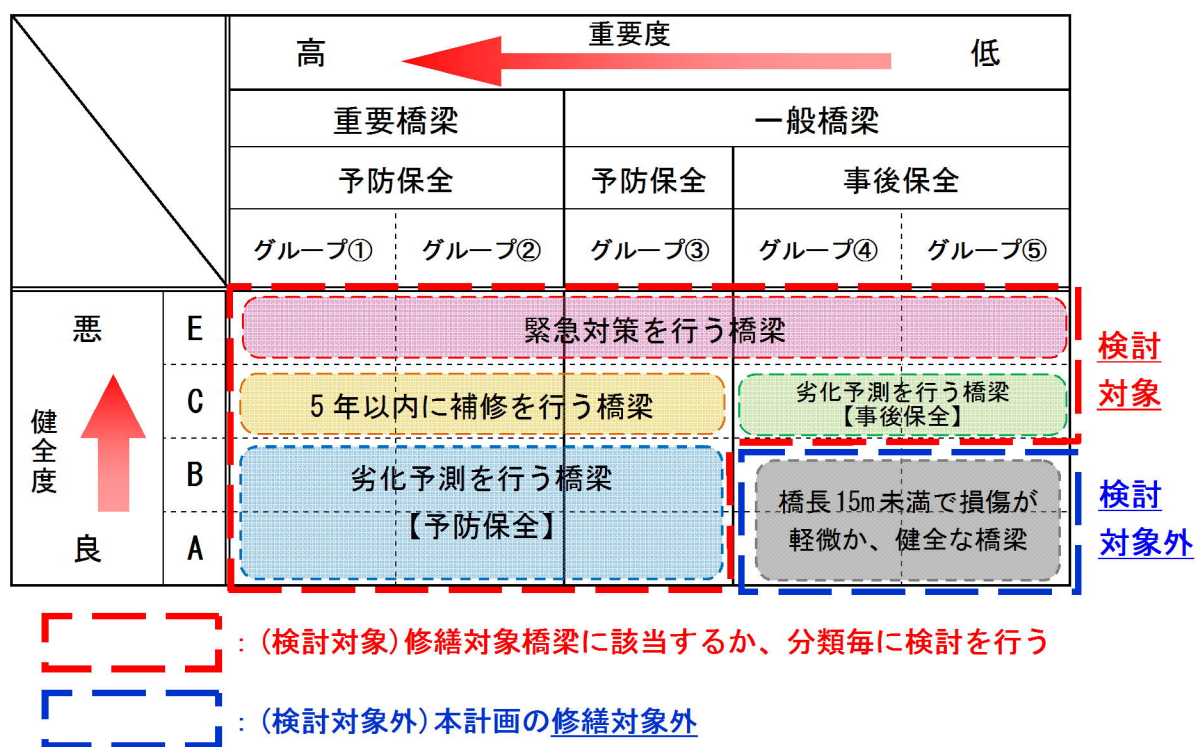
(※4) 予防保全(2)のうち、緊急輸送路、都市計画道路を跨ぐ橋梁については、第三者被害予防のため、表面被覆工(剥落防止塗装)を実施する。

(※5) 標準工法に示されていない工法についても、施工条件等を考慮して、合理的と判断される場合は採用を検討する。

4.3 補修対象橋梁の選定

長寿命化修繕計画の対象期間は、平成 22 年度(2010 年度)～平成 31 年度(2019 年度)の 10 ヶ年とし、この計画対象期間内に、補修工事を行う橋梁を「修繕対象橋梁」と位置付けることとしている。平成 20 年度～21 年度に策定した、重要橋梁の長寿命化修繕計画では、橋梁のグループに関わらず、まず健全度により優先順位の序列を決定し、同じ健全度の中で優先順位を決める際に、橋梁グループにより序列を決定することとなるが、事後保全を行う一般橋梁は、重要橋梁と補修のタイミングが異なることから、図 4-2 に示す重要度と健全度を評価軸としたマトリクスを作成し、優先順位付けを行っている。このマトリクスに基づき、分類ごとに修繕対象橋梁の選定を行った結果、図 4-3 に示すとおり計画対象期間の平成 31 年度までの修繕対象橋梁は、全 1,256 橋のうち 450 橋となった。図 4-4 には、補修対象橋梁の選定フローを示す。

【橋梁の重要度と健全度に応じた分類】



管理橋梁全 1,256 橋を対象として、橋梁の重要度（グループ）と健全度（対策区分判定）に応じた、以下の 5 つの分類を行う。

- 1) 緊急対策を行う橋梁
- 2) 5 年以内に補修を行う橋梁
- 3) 劣化予測を行う橋梁（※1）【予防保全】
- 4) 劣化予測を行う橋梁（※1）【事後保全】
- 5) 橋長 15m 未満で損傷が軽微、もしくは健全な橋梁

（※2）現時点では、補修が必要となる健全度（予防保全では C 判定、事後保全では E 判定）に至っていないため、劣化予測を行い、補修実施年を算出する橋梁。

図 4-2 橋梁の重要度と健全度に応じた分類

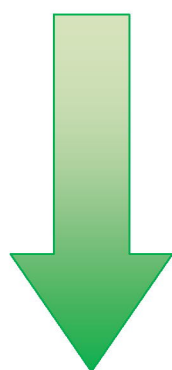
【修繕対象橋梁の選定結果】

《選定前》

札幌市管理橋梁
全 1,256 橋

〈橋梁数内訳〉

	重要橋梁		一般橋梁				
	予防保全		予防保全	事後保全			
	①	②	③	④	⑤		
E	14 橋		2 橋	2 橋			
C	80 橋		27 橋	42 橋			
B	153 橋		286 橋	650 橋			
A							
	14+80+153=247 橋		2+27+286=315 橋	2+42+650=694 橋			
	247 橋		1,009 橋				
	1,256 橋						



【BMS を用いた選定】（次頁参照）

修繕対象橋梁は、以下の手順で選定する。

- (1) 橋長 15m 未満で損傷が軽微、もしくは健全な橋梁 は検討対象から除外する。
- (2) 緊急対策が必要な橋梁 は修繕対象橋梁とする。
- (3) 5 年以内に補修を行う橋梁 は修繕対象橋梁とする。
- (4) 劣化予測を行う橋梁【予防保全】と 劣化予測を行う橋梁【事後保全】は、算出した補修実施年が平成 31 年度以前であれば、修繕対象橋梁とする。

《選定後》 「修繕対象橋梁」 450 橋 本計画では修繕対象外 31+125+650=806 橋 ⇒平成 32 年度以降に補修		〈修繕対象橋梁数内訳〉						
		重要橋梁		一般橋梁				
		予防保全		予防保全	事後保全			
		①	②	③	④	⑤		
E		14 橋		2 橋	2 橋			
C		80 橋		27 橋	42 橋			
B		122 橋 (31 橋減)		161 橋 (125 橋減)	(650 橋減)			
A								
		14+80+122=216 橋		2+27+161=190 橋	2+42=44 橋			
		216 橋		234 橋				
		450 橋						

図 4-3 修繕対象橋梁の選定結果

修繕対象橋梁の選定手順

- (1) 橋長 15m 未満で損傷が軽微、もしくは健全な橋梁 は検討対象から除外する。
- (2) 緊急対策が必要な橋梁 は修繕対象橋梁とする。
- (3) 5 年以内に補修を行う橋梁 は修繕対象橋梁とする。
- (4) 劣化予測を行う橋梁【予防保全】と 劣化予測を行う橋梁【事後保全】は、算出した補修実施年が平成 31 年度以前であれば、修繕対象橋梁とする。

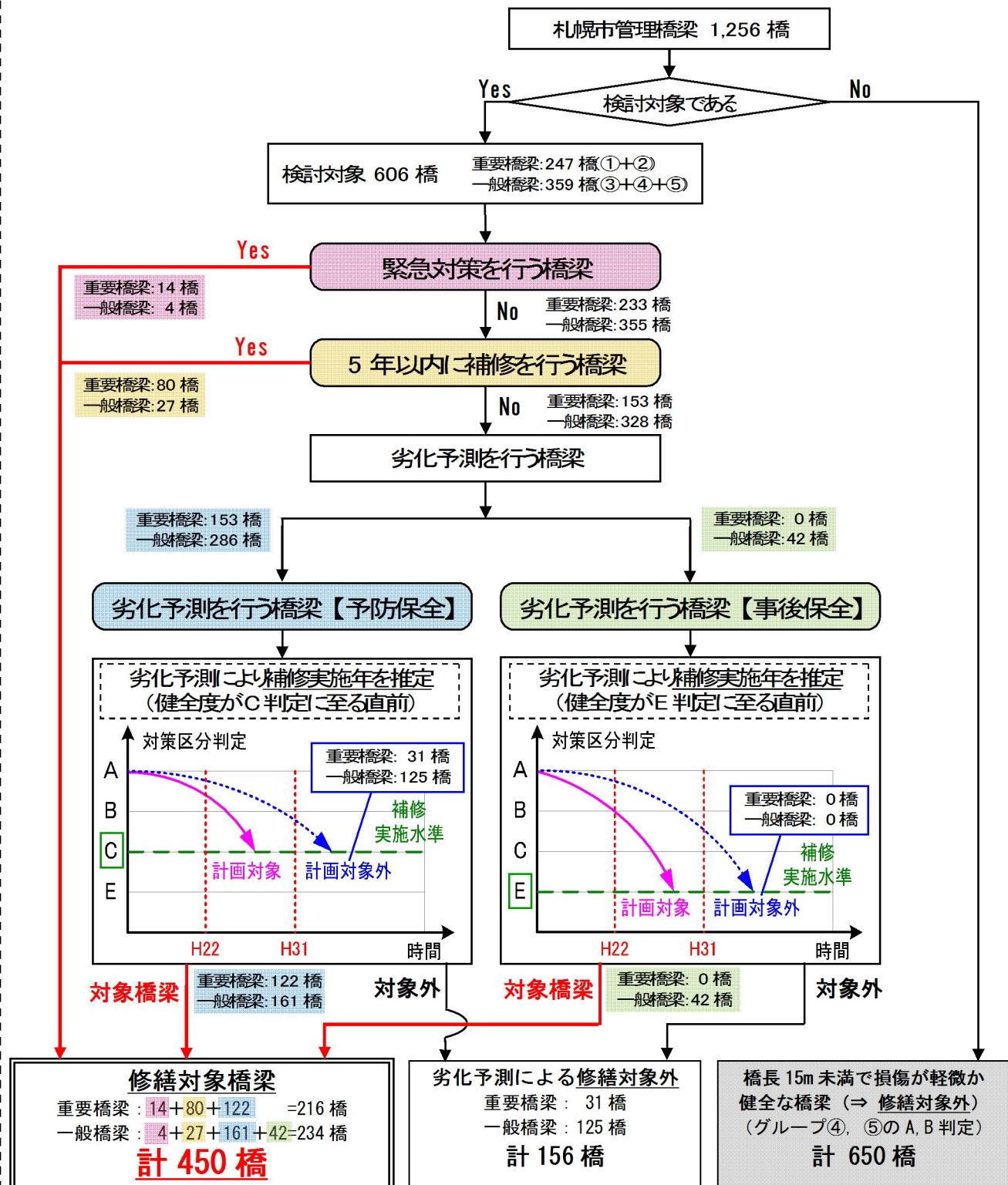


図 4-4 修繕対象橋梁の選定フロー

4.4 優先順位付けおよび予算の平準化

4.3 節の対象橋梁の選定で、計画対象となった 450 橋に対し、BMS による劣化予測に基づき、以下の手順①～⑥により優先順位付けを行うとともに、補修時期が一時期に集中しないよう平準化を行った。なお、手順①～②は、優先順位マトリクスを考慮した上での BMS による部材の優先順位付けを、③～④は、重要橋梁における橋梁の優先順位付けおよび予算の平準化を示している。これに引き続き手順⑤は一般橋梁の優先順位付けと予算の平準化、手順⑥は重要橋梁と一般橋梁の計画の統合による全橋の計画策定を示している。

（１）優先順位付けおよび予算の平準化の手順

【優先順位マトリクスを考慮した BMS による部材の優先順位付け】

＜手順①＞ 図 4-5 に示すとおり橋梁の部材の健全度（対策区分判定）と重要度（グループ）とで評価し、優先順位マトリクスにおける[]の順序に従い優先順位が高い順に並べる。なお、優先順位マトリクスにおいては、予防保全型維持管理への転換における経済的メリットをより多く得るために、「グループ①～③（予防保全）の B 判定は、グループ④、⑤（事後保全）の C 判定よりも優先して補修に着手する」という特別ルールを設定し、予防保全の効果の最大化を図っている。

＜手順②＞ 同じく図 4-5 において、手順①で順位が同一の部材（健全度と重要度が同じ部材）の補修については、3.8 節で説明した橋梁の BHI（橋梁全体の健全度）が低い（健全度の悪い）ものを優先し序列化する。

【重要橋梁の優先順位付けおよび予算の平準化】

＜手順③＞ BMS では、部材毎に補修年度、補修費用を算定しているが、実際の補修工事は橋梁毎に行うため、図 4-6 上段で示すとおり、部材単位のを、橋梁単位に集約する。なお、集約にあたっては、最も早く補修する部材の補修時期に他の部材を合わせることにする。

＜手順④＞ 図 4-6 で示すとおり、2012 年が突出した予算になるため、C 判定（5 年以内に補修補修が必要）のルールに準拠した上で、時期が集中しないよう、可能な限り平準化を行う。

【一般橋梁の優先順位付けおよび平準化】

＜手順⑤＞ 図 4-7 に示すとおり、重要橋梁と同様な手順により部材単位の補修費用を橋梁単位に集約する。

【計画の統合】

＜手順⑥＞ 重要橋梁、一般橋梁それぞれの平準化後の事業費を足し合わせると、H26 年度の補修費用が突出することから優先順位マトリクスに基づき、図 4-8 に示すとおり平準化を行う。なお、一般橋梁の E 判定（マトリクスにおける[3]、[4]、[5]）については、安全性確保の観点から平成 24 年度から補修対象として順次、着手することとした。

優先順位マトリクスを考慮したBMSによる優先順位付け

<手順①>

橋梁の部材の健全度（対策区分判定）と重要度（グループ）とで評価し、優先順位マトリクスを用いて、優先順位が高い順に並べる。

区	路線名	橋梁名	部材	対策区分判定	グループ	BHI	補修年	優先順位	補修費用 (百万)
清田区	〇〇線	〇〇〇橋	床版	E	①	24.4	2010	1	8
南区	××線	×××大橋	伸縮装置	E	②	32.1	2010	2	16.2
中央区	□□線	□□□橋	主桁	C	①	28.5	2010	3	6.6
北区	●○線	●○●橋	主桁	C	②	24.5	2010	4	9
手稲区	▲▲線	▲▲橋	支保	C	②	16.3	2010	5	5
清田区	■□線	■□橋	床版	C	②	15.6	2010	6	4.9

優先順位マトリクス

([] 内の数字は優先順位づけの順番を示す)

対策区分判定	緊急対策	重要度:大 ← 重要度:低				
		重要橋梁		一般橋梁		
		予防保全		予防保全	事後保全	
		グループ①	グループ②	グループ③	グループ④	グループ⑤
E		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
C		[6]	[7]	[8]	[12]	[13]
B		[9]	[10]	[11]		
A		[14]	[15]	[16]		

<手順②>

手順①で順位が同一の部材の補修については、橋梁のBHI（橋梁全体の健全度）が低い（健全度の悪い）ものを優先する。

【優先順位マトリクスの特別ルールについて】

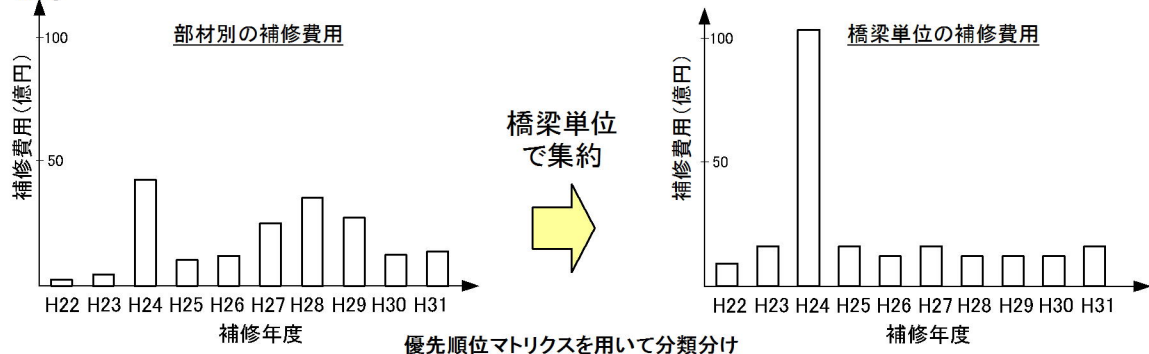
グループ①～③(予防保全)のB判定は、グループ④,⑤(事後保全)のC判定よりも優先する。

図 4-5 マトリクスによる優先順位付け

重要橋梁の優先順位付けおよび予算の平準化

<手順③>

BMS では、部材毎に補修年度、補修費用を算定している。実際の補修工事は橋梁毎に行うため、部材単位のを、橋梁単位で集約する（最も早く補修する部材の補修時期に他の部材を合わせる）。



<手順④>

補修時期が集中しないよう、可能な限り、平準化する。

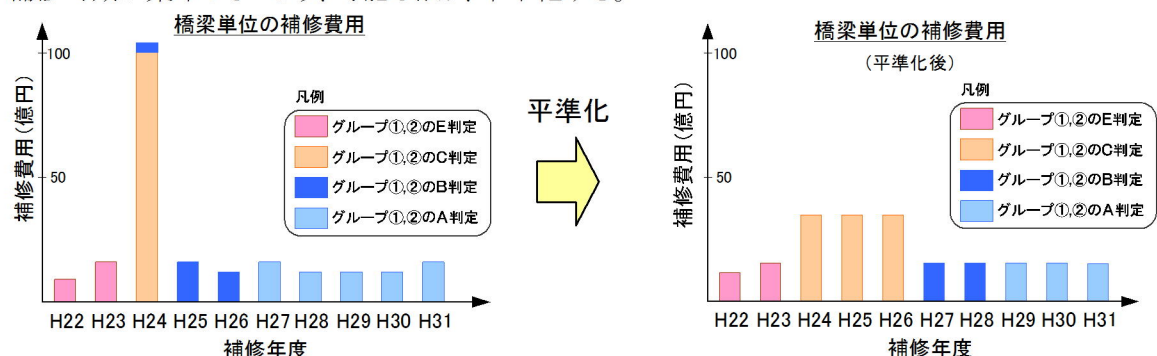


図 4-6 予算の平準化（重要橋梁）

一般橋梁の優先順位付けおよび予算の平準化

<手順⑤>

重要橋梁同様に、部材単位の補修費用を橋梁単位に集約する。

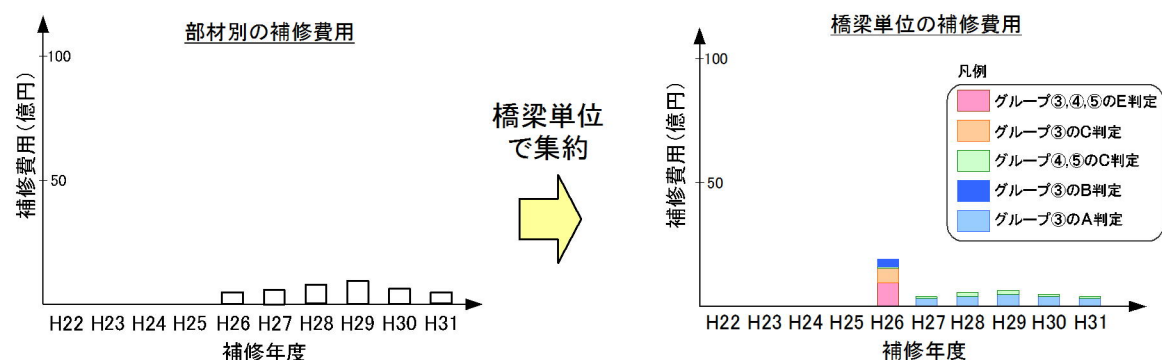


図 4-7 予算の平準化（一般橋梁）

計画の統合

<手順⑥>

重要橋梁の平準化後と、重要橋梁以外の橋梁単位の補修費用を合計すると、H26 年度の補修費用が突出するため、優先順位マトリクスに基づき、平準化を行う。

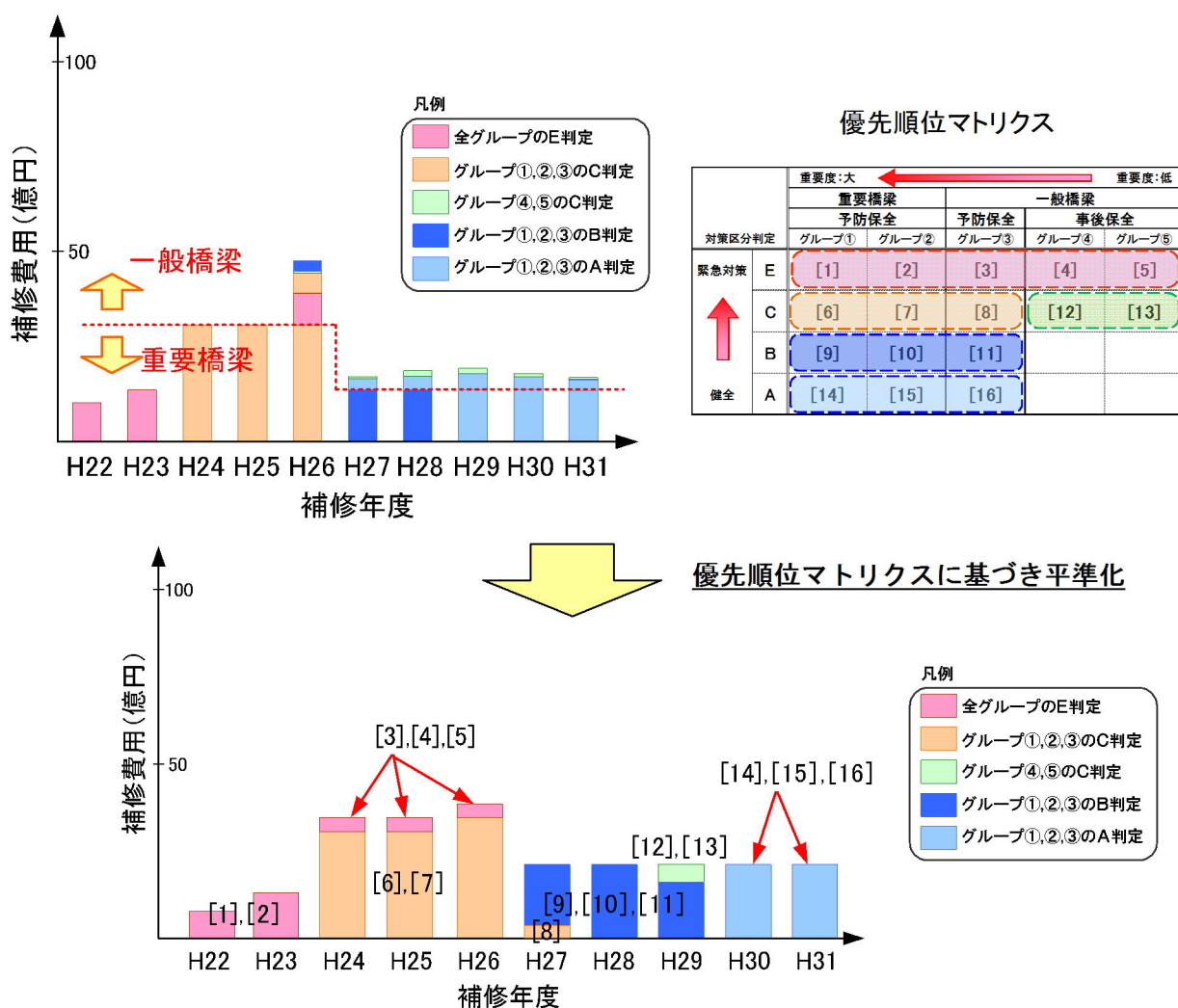


図 4-8 重要橋梁と一般橋梁の予算の統合

(2) 予算の平準化結果

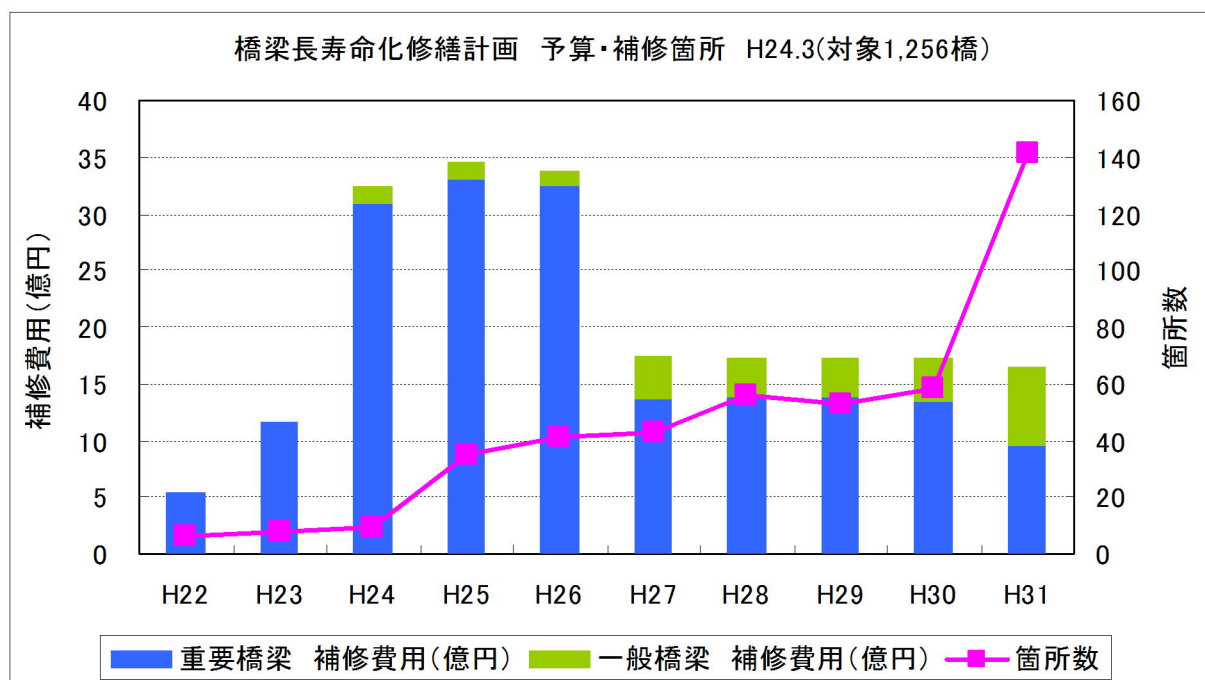


図 4-9 平準化後の予算と補修箇所数

図 4-9 には、重要橋梁と一般橋梁の予算を統合したものと補修箇所数を示している。青が重要橋梁の補修費、緑が一般橋梁の補修費を表しており、重要橋梁の補修費が大部分を占めていることが分かる。平成 22 年度から平成 31 年度までの 10 年間の予算総額は、約 200 億円となっている。

平成 24 年度～平成 26 年度については、重要橋梁の C 判定を補修するため、約 35 億円の事業費が必要になっており、平成 27 年度以降は、約 17 億円程度の予算が必要である。なお、平成 31 年には、事業費は前年度同様約 17 億円程度であるが、1 橋あたりの補修規模が小さくなるため多くの橋梁（箇所）の補修を行うことになる。

4.5 コスト縮減効果

4.5.1 一般橋梁によるコスト縮減効果

ここでは、当計画を実行することにより、得られるコスト縮減効果を試算する。予防保全型の維持管理を行った場合と事後保全型の維持管理を行った場合のそれぞれの中期的シミュレーションを行い、これら2つを比較することにより、当計画の実行により得られるコスト縮減効果とした。まず、図4-10に示すとおり一般橋梁1,009橋を対象に試算を行い、引き続き3.8で示した重要橋梁のコスト縮減効果と合算し、図4-11に示す全橋の計画によるコスト縮減効果を算出した。

一般橋梁1,009橋を対象とした、試算によれば、50年間で約500億円、100年間で約270億円、150年間で約650億円のコスト縮減効果が期待されることとなる。これらの試算は、重要橋梁のコスト縮減効果と比較して、1/5～1/10程度のものであるが、グループ④、⑤は事後保全を行うため、これらはグループ③の予防保全による効果である。

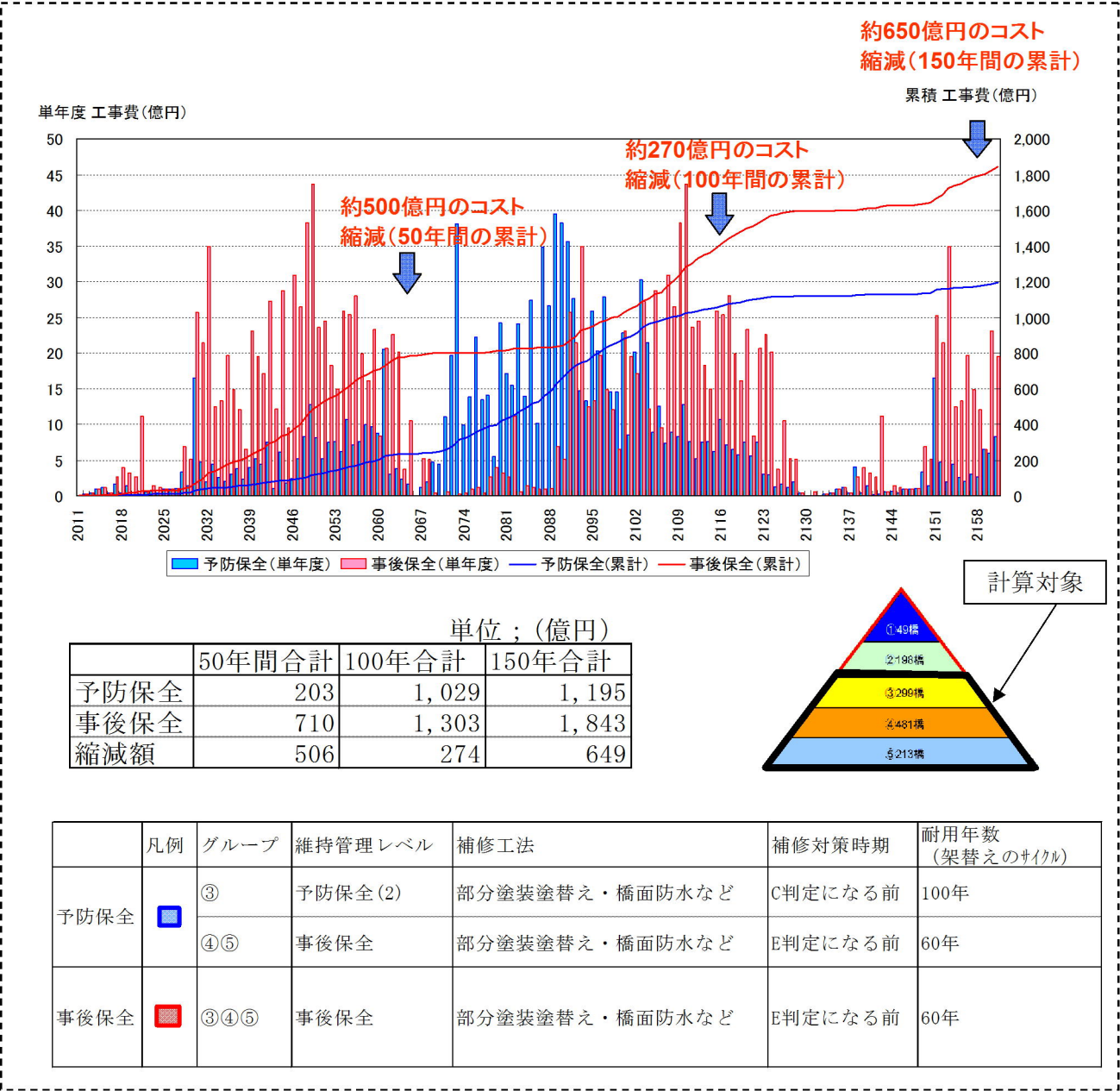


図 4-10 BMS による中長期シミュレーション結果 (1,009 橋)

4.5.2 全橋によるコスト縮減効果

4.5.1 で示した一般橋のコスト縮減効果と 3.9 節で示した重要橋梁 247 橋のコスト縮減効果を合算し、全管理橋梁を対象としたコスト縮減効果を図 4-11 に示す。予防保全などの計画的な維持管理を基本とした長寿命化修繕計画の実施により、従来の事後保全的な維持管理と比較して、50 年間で約 2,900 億円、100 年間で約 3,200 億円、150 年間で約 4,250 億円のコスト縮減効果が期待できる結果となった。コスト縮減効果のうち約 8 割は、重要橋梁による効果である。表 3-1 で示したように、重要橋梁の数における割合は、約 20%であるが、橋面積ベースでは全体の約 70%を占めており、当計画の方針で定めたように、重要橋梁の損傷が軽微なうちに対策を講じ、延命化することの妥当性が示されたものと考えている。ここで算出したコスト縮減額を年数で割り返すと、年間でおおよそ 30 億円～50 億円程度のコスト縮減効果が期待できることとなる。札幌市において、橋梁の維持管理を所管する建設局の1年間の予算額は、平成 25 年度の当初予算で概ね 500 億円程度であり、5%～10% 程度の縮減効果が期待できる結果となる。

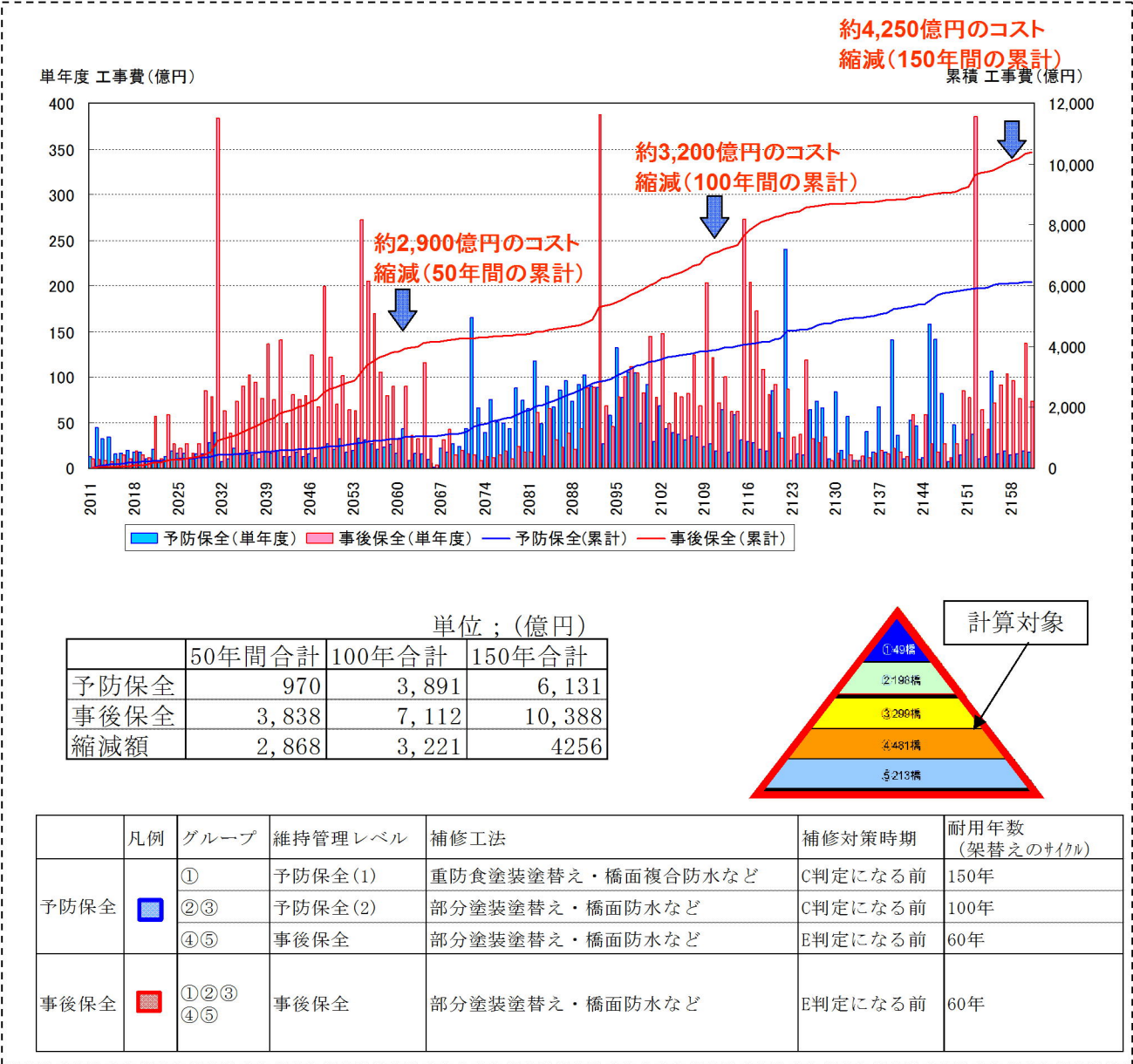


図 4-11 BMS による中長期シミュレーション結果 (1,256 橋=247 橋+1,009 橋)

4.6 架替えルールの検討

札幌市の長寿命化修繕計画においては、架替えと位置付けた橋梁は無く、計画対象橋梁は、全て補修することとなっている。しかしながら、想定以上に損傷が進行した場合や、これまでの点検では発見されなかった重大な損傷が顕在化するなどの不測の事態に備え、架替えすべき橋梁の抽出条件について検討を行った。検討にあたっては、一般的な架替えである下部工も併せて架替えを行う場合（例えば、河川に架かる多径間の橋梁）に加え、前述の長寿命化修繕計画のグループ④、⑤の維持管理においての適用が想定される上部工のみの架替えについても含め、それぞれの適用条件を考慮した架替えルール(案)を定めるものである。なお、ここで定める架替えルールは、損傷が進行し架替えの要否を判断するにあたり適用するものであり、改良工事（道路線形改良等）、機能上の問題（幅員狭小等）を主な理由とする架替えには適用しないこととする。

4.6.1 全国の道路橋における架替え理由の傾向

表 4-2 は、橋梁の架替えに関する調査結果（Ⅳ）（国総研資料第 444 号）⁴⁰⁾より、平成 8 年 7 月 1 日から平成 18 年 6 月 30 日までに架替え工事に着手した一般国道、主要地方道、一般都道府県道の橋長 15m 以上の橋梁における架替え理由別橋数内訳を抜粋したものである。

表 4-2 架替え理由別橋数内訳（国総研資料第 444 号）

架 替 理 由	損傷、負傷の要因	鋼 橋	RC橋	PC橋	混合橋	その他	不 明	合 計
損傷による欠陥	鋼材の腐食	塩害による	6 (1.3)	0 (0.0)	3 (0.9)	0 (0.0)	0 (0.0)	9 (0.7)
		経年劣化による	19 (4.0)	5 (1.0)	1 (0.3)	1 (3.6)	0 (0.0)	26 (1.9)
		上記以外の外的要因による(※1)	1 (0.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.1)
		その他	3 (0.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (0.2)
	コンクリート桁の亀裂・剥離	凍害による	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		中性化による	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.1)
		アルカリ骨材反応による	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.1)
		塩害による	0 (0.0)	11 (2.3)	17 (5.1)	0 (0.0)	0 (0.0)	28 (2.1)
	床版の破損	耐荷力不足	2 (0.4)	15 (3.1)	0 (0.0)	1 (3.6)	0 (0.0)	18 (1.3)
		その他	0 (0.0)	9 (1.9)	1 (0.3)	3 (10.7)	0 (0.0)	13 (1.0)
		外的要因による劣化(※2)	4 (0.8)	7 (1.4)	1 (0.3)	2 (7.1)	0 (0.0)	14 (1.0)
		耐荷力不足	6 (1.3)	7 (1.4)	1 (0.3)	1 (3.6)	0 (0.0)	15 (1.1)
	支承の破損・劣化	その他	7 (1.5)	6 (1.2)	1 (0.3)	1 (3.6)	2 (18.2)	17 (1.3)
		疲労による	3 (0.6)	1 (0.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (0.3)
		自動車荷重に伴う鋼部材の亀裂・破断	1 (0.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.1)
		耐荷力不足による	2 (0.4)	2 (0.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (0.3)
	その他	その他	0 (0.0)	1 (0.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.1)
		その他	5 (1.0)	11 (2.3)	6 (1.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	23 (1.7)
		小 計	59 (12.3)	75 (15.4)	33 (9.9)	9 (32.2)	2 (16.7)	179 (15.4)
	下部構造	橋台・橋脚の変位	2 (0.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.1)
		橋台・橋脚の亀裂	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		凍害による	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		中性化による	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
機能上の問題	基礎工の洗掘等	アルカリ骨材反応による	1 (0.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.1)
		塩害による	1 (0.2)	0 (0.0)	1 (0.3)	1 (3.6)	0 (0.0)	3 (0.2)
		その他	0 (0.0)	1 (0.2)	1 (0.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.1)
		基礎工の洗掘等	3 (0.6)	7 (1.4)	2 (0.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	12 (0.9)
	その他	その他	0 (0.0)	2 (0.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.1)
		小 計	7 (1.4)	10 (2.0)	4 (1.2)	1 (3.6)	0 (0.0)	22 (1.5)
	耐荷力不足	設計荷重不足	26 (5.4)	25 (5.2)	8 (2.4)	0 (0.0)	1 (9.1)	60 (4.2)
		兵庫県南部地震復旧仕様以前に0対する耐震不良(震前)	3 (0.6)	7 (1.4)	2 (0.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	12 (0.9)
		H8道示に対する耐震不良	1 (0.2)	2 (0.4)	4 (1.2)	2 (7.1)	0 (0.0)	9 (0.7)
		H14道示に対する耐震不良	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	耐震対策	その他	2 (0.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.1)
		小 計	6 (1.2)	9 (1.8)	6 (1.8)	2 (7.1)	0 (0.0)	23 (1.7)
	機能上の問題	幅員狭小(すれ違い困難) 第2位	91 (19.0)	109 (22.5)	61 (18.3)	6 (21.4)	0 (0.0)	268 (19.4)
		交通混雑	17 (3.5)	8 (1.7)	15 (4.5)	0 (0.0)	1 (9.1)	41 (3.1)
		支間不足	3 (0.6)	3 (0.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	6 (0.4)
		桁下空間不足	3 (0.6)	1 (0.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (0.3)
	改良工事	小 計	114 (23.7)	121 (25.0)	76 (22.8)	6 (21.4)	1 (9.1)	319 (23.2)
		道路線形改良 第1位	169 (35.3)	143 (29.5)	112 (33.5)	3 (10.7)	2 (18.2)	437 (31.6)
		河川改修 第3位	67 (14.0)	67 (13.8)	67 (20.1)	4 (14.3)	2 (18.2)	208 (15.3)
		都市計画	18 (3.8)	12 (2.5)	17 (5.1)	1 (3.6)	0 (0.0)	48 (3.5)
	地震災害による架替	小 計	254 (53.1)	222 (45.8)	196 (58.7)	8 (28.6)	4 (36.4)	688 (50.0)
		地震災害による架替	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.3)	1 (3.6)	0 (0.0)	4 (0.3)
		災害(地震以外)による架替	5 (1.0)	15 (3.1)	3 (0.9)	0 (0.0)	1 (9.1)	24 (1.8)
		その他	6 (1.5)	5 (1.3)	7 (2.0)	1 (3.6)	2 (18.2)	21 (1.6)
	不明	不明	1 (0.2)	1 (0.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.3)
		合 計	479 (100)	484 (100)	334 (100)	28 (100)	11 (100)	1342 (100)

※1 塩害や経年劣化以外の要因による腐食。例えば、橋面からの漏水等。

※2 凍害、中性化、塩害等の耐荷力不足以外の要因で床版が損傷する全てのケースに該当する。

架替え理由としては、【改良工事】や【機能上の問題】が主であり、【損傷による欠陥】を理由とした架替えは、上部構造(179 橋)と下部構造(22 橋)合計しても 201 橋 (19.6%) と 2 割に満たない。架替え理由の上位 3 位は以下のとおりである。

- 1 位：道路線形改良【改良工事】 432 橋 (31.6%)
- 2 位：幅員狭小（すれ違い困難）【機能上の問題】 268 橋 (19.4%)
- 3 位：河川改修【改良工事】 208 橋 (15.3%)

4.6.2 札幌市において今後架替えが想定される要因

以下では、今後札幌市において、架替えが想定される要因について抽出する。具体的には、「損傷が著しい場合」、「耐荷力不足の橋梁」、「耐震対策が必要な橋梁」、「機能上、問題がある橋梁」、「改良工事の該当橋梁」の 5 つのケースを想定した。以下に想定される具体的事例を示すととともに、関連する基準類、該当条件なども併せて、表 4-3 に整理する。

(1) 損傷の著しい橋梁

大規模な補修が必要な著しい損傷が発生し、補修費用が高額となり架替え費用に対して不経済となる場合

<事例>

- ・凍結防止剤などによる塩害により、主桁、下部工躯体の鉄筋が著しく腐食した橋梁（写真 4-1）
- ・コンクリート桁のゲルバーヒンジ部に著しい斜めひびわれが発生している橋梁（写真 4-2）
- ・アルカリ骨材反応により、下部工躯体に著しい損傷が発生している橋梁（写真 4-3）
- ・基礎工が著しく洗堀、沈下、傾斜している橋梁（写真 4-4）
- ・主桁、鋼床版、鋼製橋脚の鋼部材に亀裂が発生している。または破断している（写真 4-5、4-6）



写真 4-1 塩害による鉄筋露出



写真 4-2 ゲルバーヒンジ部の斜めひび割れ



写真 4-3 橋脚梁部の亀甲状のひび割れ



写真 4-4 橋脚の沈下



写真 4-5 トラス橋の斜材の破断



写真 4-5 鋼鈑桁の主桁ウェブの亀裂
(以上の写真の出典；国土交通省記者発表資料)

(2) 耐荷力不足の橋梁

現在の設計活荷重を満足しておらず、該当部材に耐荷力不足に起因する深刻な損傷が発生している橋梁

<事例>

- ・現在の設計基準を満足していない鋼橋のコンクリート床版を有する橋梁で、コンクリート床版に対策区分C，Eの損傷が発生している橋梁

(3) 耐震対策が困難な橋梁

現在の耐震基準を満足していないコンクリート橋脚を有する橋梁で、耐震対策が技術的、経済的に困難な橋梁

<事例>

- ・耐震補強を行った場合、河川阻害率を満足しない橋梁、特殊な構造形式をしているため構造的に耐震補強が困難な橋梁など

(4) 機能上問題がある橋梁

<事例>

- ・幅員狭小、交通混雑、桁下空間不足の観点より架替えが望ましい橋梁

(5) 改良工事の該当橋梁

改良工事により架替えが予定されている橋梁

<事例>

- ・道路線形改良、河川改修などが計画されている橋梁など

表 4-3 架替えが想定される事例

	架替え理由	基準類	該当条件
(1)	損傷の著しい橋梁	道路橋示方書など	大規模な補修が必要な著しい損傷が発生しており、補修費用が架替え費用を上回るなど不経済になる場合
(2)	耐力不足の橋梁	道路橋示方書(H6以降)、A活荷重、B活荷重	鋼橋のコンクリート床版を有する 平成6年道路橋示方書より前の示方書に基づき設計されている コンクリート床版に対策区分C、Eに該当する損傷が発生している
(3)	耐震対策が困難な橋梁	道路橋示方書(H8以降)	コンクリート橋脚を有する橋梁(2径間以上の橋梁) H8道路橋示方書より前の示方書に基づき設計 耐震対策が技術的、経済的に困難
(4)	機能上問題がある橋梁	道路構造令など	狭小幅員(車道橋で道路幅員が5.0m(第4種4級等)未満 交通混雑(橋梁の幅員に起因した渋滞が発生) 桁下空間不足(桁下が道路の場合、桁下高さ4.5m未満) 桁下空間不足(桁下が鉄道の場合、桁下高さ5.7m未満)
(5)	改良工事などが 予定されている橋梁	道路構造令、 河川構造令など	道路線形改良工事が予定されている 河川改修工事が予定されている

4.6.3 架替えルール

(1) 下部工の設計基準の変遷

前述の長寿命化修繕計画では、事後保全を適用するグループ④、⑤の橋梁については、過去の被災事例などから地震時の落橋リスクが少ないことを踏まえ、下部工の補修などを行い上部工のみ架替えを行うことを想定している。上部工が著しく損傷している場合、併せて下部工も架替えを行うか否かについては、下部工の地震時の耐力を考慮すべきであると考えられる。表 4-4 に下部工(地震時)の道路橋示方書^{46)~51)}の変遷について整理するとともに、図 4-12 に設計上ポイントとなる「常時土圧」、「落橋防止システム」、「液状化」、「地震時土圧」、「設計水平震度」についての要求性能の変遷の概念図を示す。図 4-12 から分かるとおり、S39 年以降に設計基準が策定された後、複数回にわたり改訂が行われているが、なかでも S55 年の改訂および阪神淡路大震災の発生を受けて改訂された H8 年の改訂において、要求性能が大きく変わっている。

表 4-4 下部工設計基準(地震時)の変遷

改訂年度	改訂における主な項目(地震時)
S39	S39より順次基礎、躯体についての設計基準が出される。
S42	道路橋下部工構造設計指針 橋台・橋脚の設計編 (橋台・橋脚における設計基準の原点)
S47	道路橋耐震設計指針・同解説 (地震時慣性力を設計荷重に追加 落橋防止構造の規定追加)
S55	道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 (設計水平震度に固有周期の係数を追加)
H2	道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 改訂 (設計水平震度算出式の改訂)
H8	道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 改訂 (兵庫県南部地震を受けて、L2地震時の照査等大幅改訂)
H14	道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 改訂 (液状化地盤において、橋台のL2地震時照査を追加)

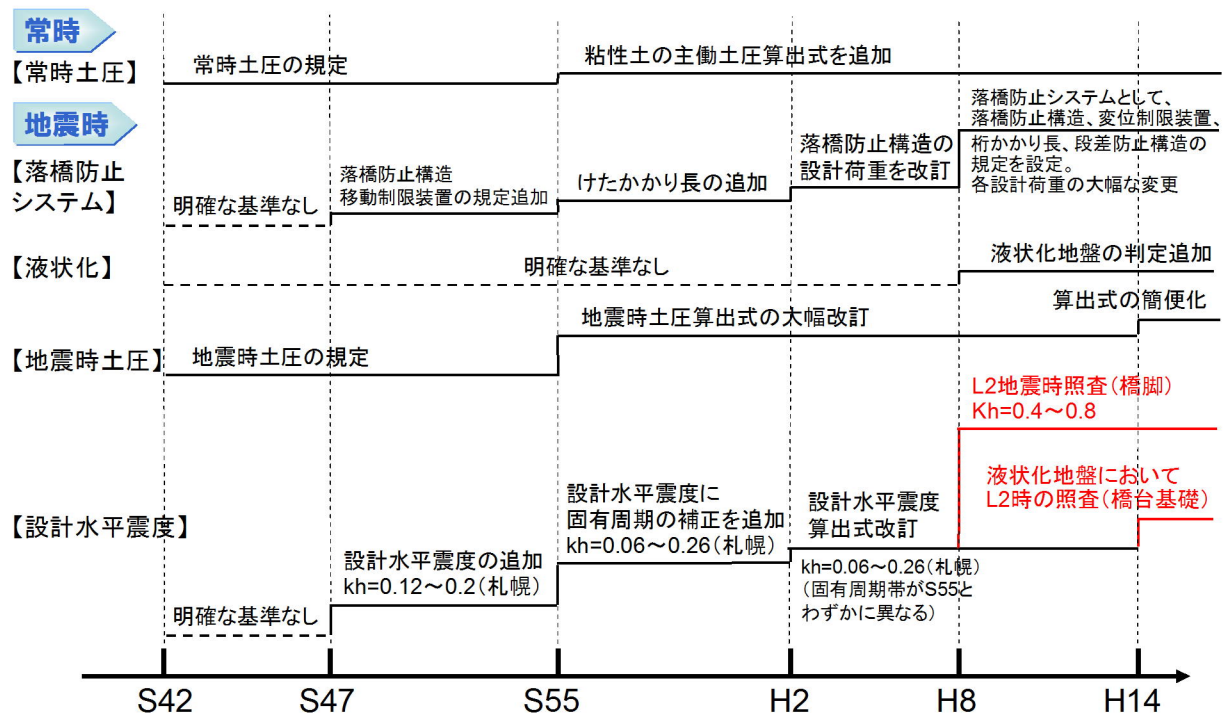


図 4-12 下部工設計基準の要求性能の変遷

(2) 架替え検討時の留意点

上述のように下部工の設計基準は、S55 年および H8 年に大きく改訂されており、これまでの地震時の落橋事例の多くは、S55 年以前に架設された橋梁であること、また、H8 年の改訂では L2 地震動として、従前の地震動の 3 倍程度以上の地震力を考慮しており、近年我国ではここで想定している地震動に近い大地震が頻発していることなどを踏まえ、以下では、上部工が著しく損傷した場合について、「S55 年以前道示適用橋梁」、「S55 年～H8 年道示適用橋梁」、「H8 年以降道示適用以降」の 3 つに分類し、それぞれの適用示方書に応じた架替え検討の留意点を整理する。

1) S55 年以前道示適用橋梁

【単径間の橋梁】該当数；約 380 橋

- ・ L1 地震時設計水平震度の考え方に固有周期の補正が考慮されていないため、現行基準による値と異なる可能性がある。
- ・ 地震時土圧が現行基準と異なる。
- ・ 上記より、現行基準に則った L1 地震時に対する照査を行うことが望ましい。
- ・ 背面の常時土圧が決定要因となるため、現行基準による L1 地震時の照査を行ったとしても、照査を満足するケースが考えられる。また、照査を満足しない場合は上部工取替え時の重量軽減等の工夫により照査を満足するケースがある。

【2 径間以上の橋梁】該当数；約 100 橋

- ・ 以上単径間の橋梁で挙げた項目に加え、2 径間以上の橋梁では橋脚の耐震補強が必要となる。

2) S55 道示～H8 道示適用前

【単径間の橋梁】該当数；約 450 橋

- ・ 橋台は現行基準をほぼ満足するため、上部工のみの架替えが可能である。
- ・ 落橋防止システムは現行基準 (H14 道示) のレベルまで強化するのが望ましい。

・液状化地盤に該当する場合橋台基礎の L2 地震時照査が必要となる。

【2 径間以上の橋梁】該当数；約 80 橋

・橋脚が L2 地震時の照査を満足しないため耐震補強が必要

3) H8 道示以降を適用した橋梁

【単径間の橋梁】該当数；約 220 橋

・これまでの大規模地震の被災事例からもわかるとおり、単径間の橋梁が落橋した事例は無く、下部工に著しい損傷などが無い場合は、下部工も併せて架替える必要は無い。

【2 径間以上の橋梁】該当数；約 30 橋

- ・橋台、橋脚、落橋防止システムは現行基準を満足するため上部工のみの取替えが可能
- ・液状化地盤に該当する場合は橋台基礎の L2 地震時照査が必要となる。

(3) 上部工が損傷している場合の架替えルール

図 4-13 に、以上の基準改訂の変遷などを踏まえた架替えルール（案）を示す。原則、上部工が著しく損傷し、大規模な補強が必要な場合を対象とし、改良工事（道路線形改良等）、機能上の問題（幅員狭小等）を主な理由とする架替えには適用しないこととする。札幌市の橋梁のうち 8 割を占める単径間橋梁では、前述のとおり S55 年以前道示適用橋梁などについて、別途照査が必要となるものの、下部工が健全、もしくは補修で対応できる損傷程度の場合、上部工のみを架替えることが合理的となる場合が多いものと考えられる。今後はここで示した架替えルールに基づき実橋において検証を行っていく必要がある。

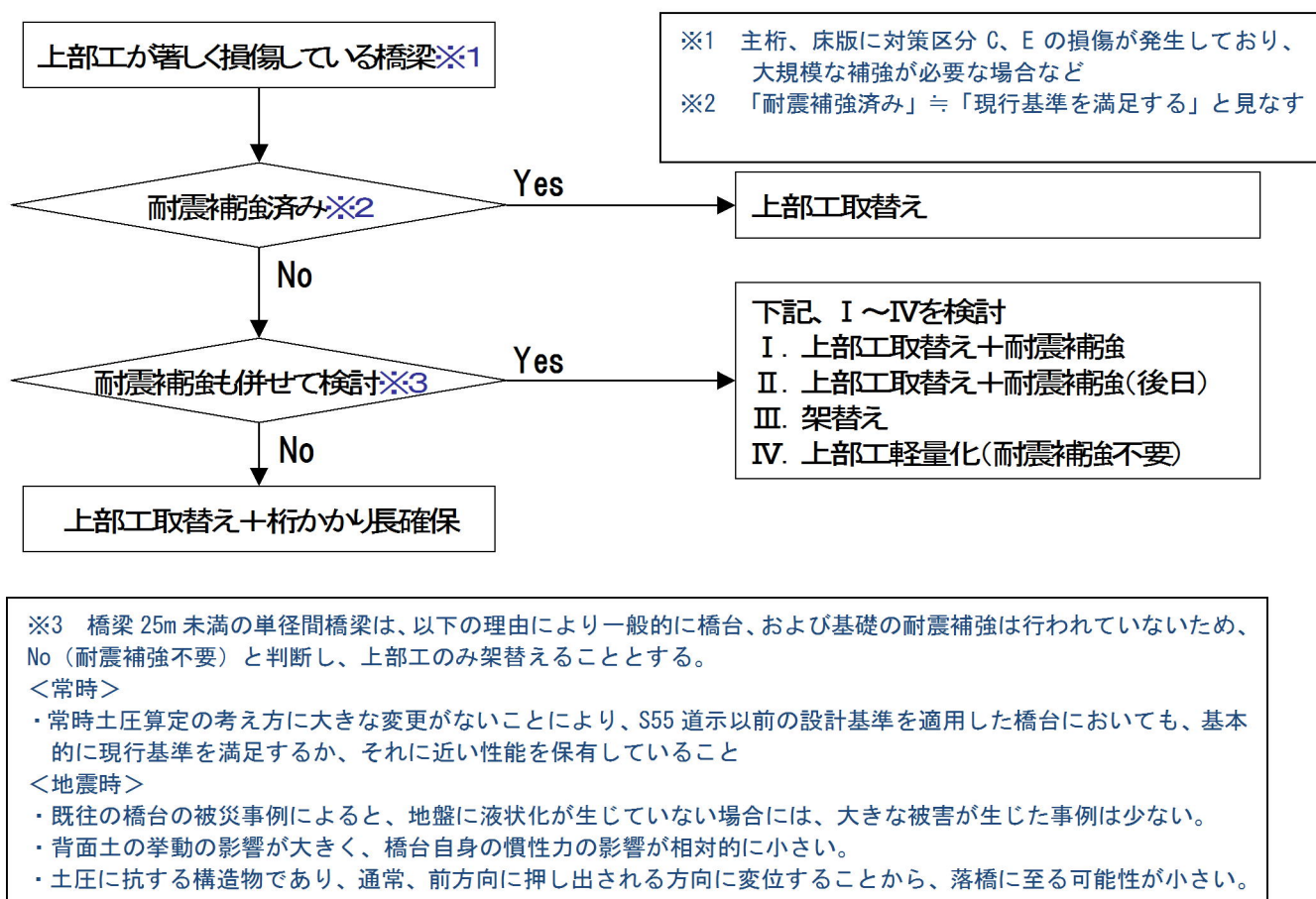


図 4-13 架替えルール（案）

4.7 計画の運用について

ここでは、次年度以降、橋梁長寿命化修繕計画を継続的に推進、実施していくための実施体制、運用方法、および、効率的、合理的な維持管理を実施していくためのマネジメントサイクルの提案を提案する。

(1) 長寿命化修繕計画の実施体制および運用方法

- ① 長寿命化修繕計画の実施により、従来と比較すると、補修箇所数、補修規模、補修費が増大することから、図 4-14 に示すとおり、これまで以上にそれぞれの役割分担を明確化した上で、組織の連携強化を図る必要がある。
- ② 図 4-14 における連携業務においては、補修工事を円滑、着実に進めるために、補修工法の目安となるガイドラインの作成や産学官の連携した取組みを進める。
- ③ 今後は、耐震補強工事や高欄、地覆の更新などと調整を図りながら、計画を実施する。

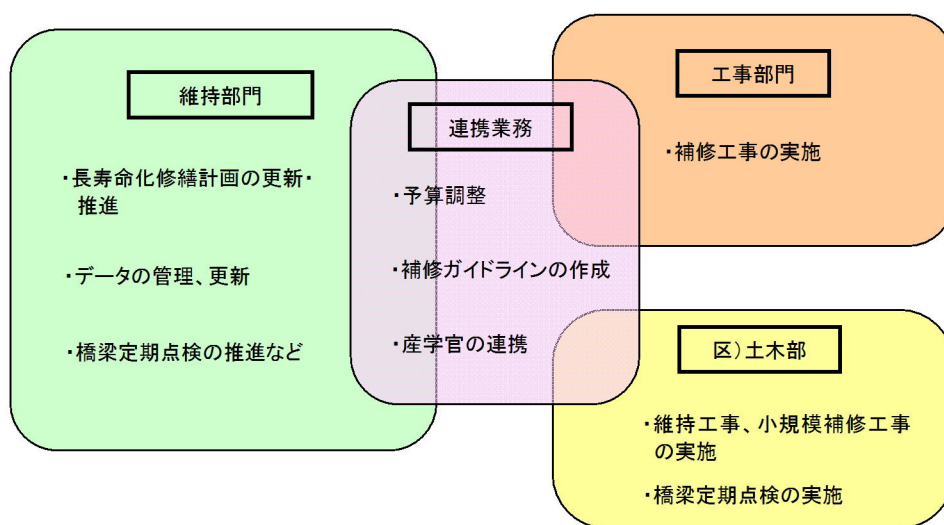


図 4-14 長寿命化修繕計画 実施体制（案）

(2) マネジメントサイクルの構築

効率的な維持管理体制を構築するために図 4-15 に示すマネジメントサイクルにより橋梁の維持管理を行うことを提案する。定期点検の結果は、データベースに更新し、修繕計画の策定に利用するとともに、日常的な管理や災害などの緊急時に有効活用する。また、補修など対策が実施されたものについては、補修履歴としてデータベースに更新し、これらの効果検証を行っていくことも重要であると考えている。

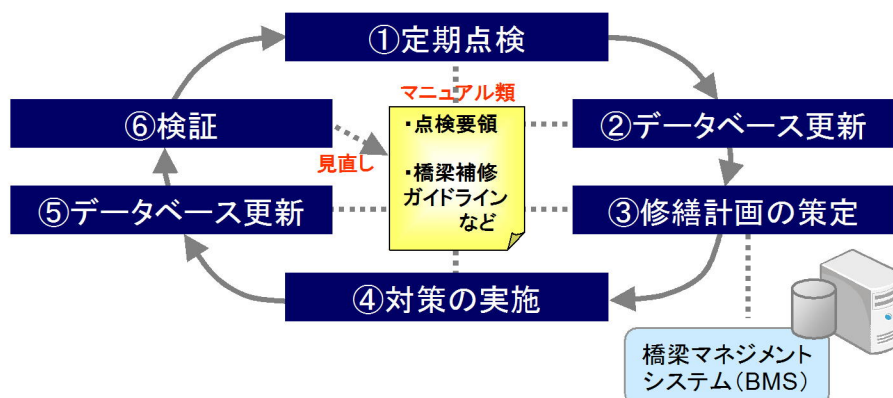


図 4-15 橋梁維持管理のマネジメントサイクル

4.8 まとめ

本章では、第3章の重要橋梁247橋の長寿命化修繕計画に引き続き行った一般橋梁1,009橋の計画策定、および、これを重要橋梁の計画に統合した全橋の計画策定について述べた。併せて、計画の運用にあたって、重要となる橋梁の架替えルールや計画を継続的に実行していくための推進体制、運用方法について述べた。

4.2節では、一般橋梁の計画および全橋の計画策定における方針を述べ、重要橋梁の計画策定の方針を踏襲しつつ、一般橋梁に適用する標準的な工法について述べた。続いて、4.3節では、計画の方針に基づいて作成した、優先順位マトリクスを活用し補修対象橋梁の選定を行い、全管理橋1,256橋のうち計画対象期間である今後10年間に補修を行う450橋を選定した。4.4節では、選定結果にもとづき、優先順位付けおよび予算の平準化を行い事業計画の策定を行った。4.5節では、一般橋梁の計画および統合した全橋の計画の実施により得られるコスト縮減効果を試算しており、一般橋梁の計画においては、50年間で500億円、100年間で270億円、150年間で650億円、全橋の計画では、50年間で2,900億円、100年間で3,200億円、150年間で4,250億円のコスト縮減効果が見込まれることを示し、全橋による縮減効果のうち約8割は重要橋梁によるものであることを説明した。

4.6節では、当該計画では、架替えを予定した橋梁は無いところであるが、今後、計画の方針に基づき、上部工のみを架替える場合なども想定されることから、過去の道路橋の架替え理由や道路橋示方書の変遷などを踏まえ、架替えに係る具体的な意思決定ルールを定めた。4.7節では、計画を実行するにあたり、重要となる当計画の実施体制や運用方法、および、維持管理業務におけるマネジメントサイクルを提案した。

5. 床版の点検と調査の高度化

5.1 はじめに

近年、全国的に橋梁などの道路構造物の長寿命化計画が策定されており、従来の「傷んでから治す」といった対症療法的な維持管理から、点検結果などの客観的データに基づいた、計画的な修繕、架替えに移行し、橋梁の延命化とともに、維持管理費用を含めたライフサイクルコストの縮減を図る取組みが進められている。

特に、地方自治体においては、従前は、技術的、財政的制約も多く、点検実施の進捗率は十分なものではなかったが、第2章で述べたように平成19年度以降、橋梁点検に対する国からの支援の制度化により、それ以前と比較して、大幅に状況は改善しており、道路管理者による橋梁の健全度の把握状況も進んでいる。

しかしながら新たな課題も顕在化してきており、ここでは、現在行われている目視点検を基本とした橋梁の床版の点検、調査手法における課題を抽出し、3次元レーダー探査^{52), 53), 54)}を用い、さらなる道路利用者の安全と予防保全的維持管理の推進に資する調査手法について提案を行う。以下、5.2節では、従来の床版の点検、調査における課題について述べ、5.3節では課題の中でも特にそのリスクが懸念される床版の抜落ちについて述べる。5.4節では、ここで用いる3次元レーダー探査による内部診断調査の概要、機材の特性、解析原理について示し、5.5節ではこれを実橋へと適用した事例について述べる。5.6節では、著しく損傷が進行した床版を対象に3ヵ年に渡り継続的にデータを取得し、これらのデータと床版打替え工事における切断面などとの対比を行い、3次元レーダ探査の精度と適用性について、より詳細に検証を行う⁵⁵⁾。5.7節では、それまでの結果を踏まえ、3次元レーダ探査に時間的な概念を加えた床版調査の4次元化について提案を行い、5.8節では、本章のまとめについて述べている。

5.2 床版の点検と調査における課題

5.2.1 従来の点検と調査における不確実性

一般に、修繕計画の策定をはじめ、補修箇所抽出、補修工法の選定など、橋梁補修に係る一連の意思決定は、定期点検結果や各種の非破壊検査、材料試験などに基づき行われることとなるが、これらのデータ取得には、様々な制約があり、精度の観点から未だ十分とはいえない。以下にこれらの要因と考えられる制約を挙げる。

① 共用下での作業での作業に起因するもの

点検、非破壊検査などは、共用下での作業となるため、多くの場合、その範囲や手法において制約が生じることになる。交通規制等を極力抑制し、道路ユーザーの使用性を確保したまま、床版全体の健全度を精度良く把握するには多くの困難を伴う。

② 技術者の経験や技量に起因するもの

目視点検などは、点検者の技量により、判定にばらつきが生じる。特に、非破壊検査、材料試験など詳細調査の実施箇所は、目視点検による外観の状況から、技術者の経験や工学的判断により選定されることが多く、これら詳細調査の結果は、床版全体の状況を精度良く把握する上で、必ずしも十分でない可能性がある。

③ 床版の構造的特性に起因するもの

一般に橋梁定期点検では、床版上面の舗装劣化の状態もしくは下面からの外観により調査を行うことになるが、床版上面の点検では、舗装の状態と床版の劣化状態に必ずしも高い相関があるとは言い難い。舗装が劣化している箇所の舗装を撤去した際、床版が健全であった事例は数多くある。また、下面に劣化が顕在化した状態は、床版上面からの貫通ひび割れやこれに起因する遊離石灰など、内在する損傷が相当程度進行してからの発見となることが懸念される。この傾向は、被覆材などを用いた第三者被害予防措置を施した橋梁において特に顕著である。

④ 損傷の進行速度、点検間隔に起因するもの

近年北海道において、突発的に RC 床版が抜落ちる事例が発生しており、これらの橋梁の直近の定期点検結果では、この突発的な破壊の発生を予見するに至っていない。定期点検は、概ね 5 年毎に実施されることを踏まえると、これらの床版の抜落ちは、5 年以内の間に急激に進展し、発生したものと推察され、現状の点検頻度、点検手法は、床版の抜落ちへの対応策としては、必ずしも十分でないことを示唆している。

5.2.2 床版の点検と調査における課題の抽出

近年、医療分野においては、内部を可視化する検査技術が一般化しつつあり、診断における信頼性や患者に対するアカウントビリティが向上している。また、道路分野においては、レーダー探査技術を活用した路面下空洞調査などにより、道路陥没の予測や範囲の推定が行われ、道路利用者の安全性の確保が図られているところである。橋梁分野においては、点検などにより橋梁の健全度を把握し、これらの客観的なデータに基づいた維持管理手法への転換とともに、損傷を早期に発見し、早期に対策を講じる予防保全型の維持管理手法の推進が重要とされており、これらが橋梁の延命化とともにライフサイクルコストの縮減、ひいては、道路ユーザーの安全、安心の確保を図る上で効果的であることは認識されているところである。しかしながら、上述の制約などにより、これら維持管理活動における最も基礎的な情報の精度は、未だ十分なものではなく、これらの制約に起因したブラインドの部分に関する多くの推定を残したまま、補修の要否判定や補修方針の立案など重要な判断が行われているのが実態である。道路ユーザーの使用性を確保したまま、これらブラインドの部分の可視化することが可能となれば、予防保全型の維持管理の推進に大きく寄与すると考えられる。

この状況に鑑み、本研究では、札幌市の橋梁床版を対象に 3 次元レーダー探査技術を活用し、これまでブラインドであった部分を可視化することで、情報の高度化を図り、床版の診断や補修方針の立案に係る信頼性、合理性の向上に資する手法について、実橋における検証に基づき、検討、考察を行う。

以下では、前述の床版調査における不確実性を踏まえ、今後の効率的、合理的な維持管理を推進するために、本研究で取扱う具体的な 3 つの課題を挙げる。

(1) 【課題①】RC 床版の抜落ちのリスク回避

上述のとおり、床版の抜落ちは、定期点検などの外観調査からでは、精度良く予見することは困難な場合が多い。このことに鑑み、北海道における鋼道路橋の設計および施工指針⁵⁶⁾では、表 5-1

のとおり、外観上の変状の他に、床版上面の劣化を考慮して、判定を行うこととしているが、上面の劣化グレードと下面の外観上のグレードとの明確な相関関係は確立されたものとはなっていない。

さらに、床版上面の脆弱化は、外観調査において、舗装の変状として確認されることとなるが、舗装そのものが劣化している場合などがあり、これらの劣化、損傷状態が必ずしも、床版の内部の劣化、損傷状況と一致しないことも多い。また、舗装路面については、利用者の安全性が最優先であるため、点検、調査の前に日常的な維持作業により補修が施されること、さらに融雪時には一斉にパッチングなどの作業が行われることなどから、床版内部の劣化のサインとして、その信頼性は低くならざるを得ない。

床版内部の劣化状況の把握が可能となり、外観の変状との相関が明らかとなれば、突発的な抜落ちのリスクも低減でき、さらに予防保全型の維持管理の推進にも資するものと考えられる。

表 5-1 床版の健全度の判定

	床版下面の外観上のグレード	床版上面の劣化グレード
潜伏期	橋軸直角方向のひび割れ	-
進展期	橋軸直角方向ひび割れの増加 ⇒梁状化	
		表面に脆弱部が存在
加速期	橋軸方向のひび割れ ⇒2方向ひび割れ	凍害による砂利化
	ひび割れ幅増加 ⇒ひび割れ開口部の段ズレ、角落ち	
劣化期	かぶりコンクリートの浮き ⇒押し抜きせん断破壊	砂利化が鉄筋まで到達

(2) 【課題②】 詳細調査の精度向上

補修工事を行うにあたっては、目視点検をはじめコア採取による材料試験、舗装開削による床版上面の確認などにより、補修の要否判定や補修工法の選定が行われる。これらの調査の多くは共用下での作業となるため、手法や範囲など多くの制約を受けることとなる。特に、コア採取による材料試験では、コンクリート強度、塩害、中性化、アルカリ骨材反応の有無など、重要な情報を得ることとなり、これらの試験結果に基づき、補修方針が定められる場合も多い。しかしながら、僅か直径数センチ程度のコア数本の状態をもって、数百㎡～数千㎡の膨大な面積の床版の健全度の判定をしているのが実状である。逆に床版全体の状況を精度よく把握するため、無数のコアを採取することは、交通規制など道路ユーザーへの影響も多大なものとなることに加え、返って構造物を痛めることになりかねず、現実的な手法とは言い難い。非破壊検査などにより、床版全体の状態を把握することが可能となれば、「最も劣化が進行している箇所」、「滞水の影響が懸念される箇所」、「健全な箇所」といった、床版全体の状況を事前に把握することができ、コア採取などの材料試験箇所の抽出における的確性は、各段に向上するものと考えられる。また、これらの材料試験結果をフィードバックすることによって、床版全体を捉えた健全度の把握が可能になるものと考えられる。

また、3次元レーダー探査は、RCレーダー探査よりも高精細な情報が得られるため、補修工事に
取り掛かるにあたり既設の図面などが存在しない場合、有用な情報を得ることが期待できる。具
体的には、従前はRCレーダーにより側線下の概ねの鉄筋ピッチを推定し、復元設計などを実施し
ていたところであるが、3次元レーダー探査を適用することにより配筋状況やかぶりなどを面的に把
握することが可能となり、その推定精度を格段に向上させることが期待できる。

(3) 【課題③】 補修、補強後の効果検証

近年、床版上面の滞水がその疲労耐久性に大きく影響することが明らかとなっており²⁴⁾、湿
潤状態の床版の疲労耐久性は、乾燥状態のそれと比較して、1/10以下に低下するとの報告もある。
このことから床版の長寿命化には、防水層の敷設が必須とされ、多くの橋梁補修工事で防水層の敷
設がなされている。札幌市においては、先に述べた凍害劣化などの影響も考慮して、第三者被害が
想定される跨線橋などの特に重要とする橋梁グループには、「橋面複合防水」を採用することとし
ており、補修費用は高価となるものの、より耐久性向上が図れる補修工法を積極的に採用すること
としている。

橋梁に全面的な防水層の敷設が基準化されたのは近年のことであり⁴²⁾、それ以前は、跨線橋や長
大橋、あるいは連続桁橋の中間支点上など、重要性や構造特性に応じて敷設している事例が多い。
床版防水は、敷設後、アスファルト舗装で覆われてしまうため、その経年的な効果や耐久性につ
いて把握が難しく、これらについての客観的なデータが乏しいのが実状である。現状においては、防
水層の損傷を伴わず、防水層の健全度の把握が困難であることも、これらのデータが乏しい要因の
一つであると考えられる。

また、床版の補修、補強方法として、上述の床版防水の他に繊維や鋼板を接着する方法や、上面
や下面などを増厚する方法、その劣化状況や保有耐力に応じて、様々な工法が考えられるところ
であるが、近年、過去に補修、補強した箇所が返って弱点となり、再劣化を引き起こしている事例も
散見されている。

中長期的な観点から、敷設後の防水層を始め、床版補修、補強の効果を検証した事例は少ないの
が実状であり、これらの検証を行うにあたっては、道路ユーザーへの影響や説明責任の観点から、
極力非破壊で行うことが望ましいと考えられる。

このことを踏まえ、本研究では3次元レーダー探査の補修、補強後の効果検証における適用性
について検証を行う。補修、補強の効果がより明確なものとなれば、維持管理計画における補修サイ
クルの決定、ライフサイクルコストの試算、さらには、品質管理の向上など維持管理における様々
な場面でメリットが期待できる。

5.3 床版の抜落ち

5.3.1 北海道内における床版抜落ちの事例

近年、道内の各地において、写真 5-1 に示すような床版が突発的に抜落ちる事例が散見されている²⁶⁾。抜落ちが発生した橋梁は、必ずしも大型車交通量が多い都市部近郊では無く、地方の幹線道路などである場合が多い。既往の研究などにおいても明らかとなっており、これらの床版の抜落ちは、輪荷重を繰返し受けたことによる疲労破壊のみならず、上面の凍害や塩害、さらにこれらが複合的に発生し、疲労破壊に至るまでの過程を加速させたことにより発生したものと推察される。この床版の抜落ちについては、前回の定期点検においては、この抜落ちの発生を予見するに至っておらず、目視点検による調査のみでは、限界があることは、前述したとおりである。幸いにも、これまでの事例では、人身などの大事故は発生していないところであるが、抜落ちが発生した床版の直上を車両が通過した場合、人命などに関わる大事故が発生しても不思議ではなく、道路管理上これらの発生を未然に防ぐ対策が急がれるところである。



写真 5-1 床版の抜落ちの事例
(資料提供；(独) 寒地土木研究所)

5.3.2 一般国道 275 号 志寸川橋における事例

以下では、近年北海道内で発生した具体的な事例として、平成 24 年 5 月に一般国道 275 号志寸川橋において発生した RC 床版の抜落ちの概要について述べる^{5), 57), 58)}。写真 5-2、5-3 には抜落ちが発生した箇所の舗装の状況および下面からの状況を示している。志寸川橋は、1965 年に架設されており、床版の鋼板接着補強や歩道拡幅を経て供用開始から 47 年経過している。表 5-2 に志寸川橋の概要を、図 5-1, 5-2 に側面図および断面図を示す。なお、当該抜落ちの発生においては、管理者等の迅速な対応により、即座の交通規制、応急復旧が行われ第三者被害は無く、翌日には交通解放している。

志寸川橋の RC 床版は、昭和 39 年鋼道路示方書により設計されており、床版厚は 18cm、鉄筋は丸鋼を使用している。当時の設計では、主鉄筋に比べて、配力筋が少なく、現行基準で設計された床版よりも疲労耐久性が低いとされている。平成 20 年度に橋梁点検を実施しており、舗装の劣化が認められたことから詳細調査を経て、平成 23 年度に補修設計を終えたところであった。今回の損傷は、桁端部で発生しており、輪荷重の衝撃を受けやすい箇所である。抜落ち直後の道路管理者（国土交

通省、寒地土木研究所)の調査結果によれば、舗装面のクラックからの水の侵入で、既往の床版コンクリートと過年度に施工した補修コンクリートとの間に凍害劣化が発生し、その後、床版コンクリートの砂利化、併せて下面ひび割れの進行、さらには、輪荷重による衝撃や疲労などが複合的に作用し、抜落ちに至ったものとしている。

なお、大型車交通量は、1,085 台(台/1 方向/日)となっており、第2 章で示した札幌市内の主要幹線における平均 1,804 台を下回っている。これまで、札幌市内においては、ここで述べたような床版の抜落ちの事例は確認されていないが、今後、発生する可能性は否定できないところであり、未然にこれらの事象を予見し、対策を講じる手法の確立が急務であると考えられる。



写真 5-2 抜落ち箇所の舗装の状況
(資料提供；(独) 寒地土木研究所)



写真 5-3 抜落ちの状況（下面から）
(資料提供；(独) 寒地土木研究所)

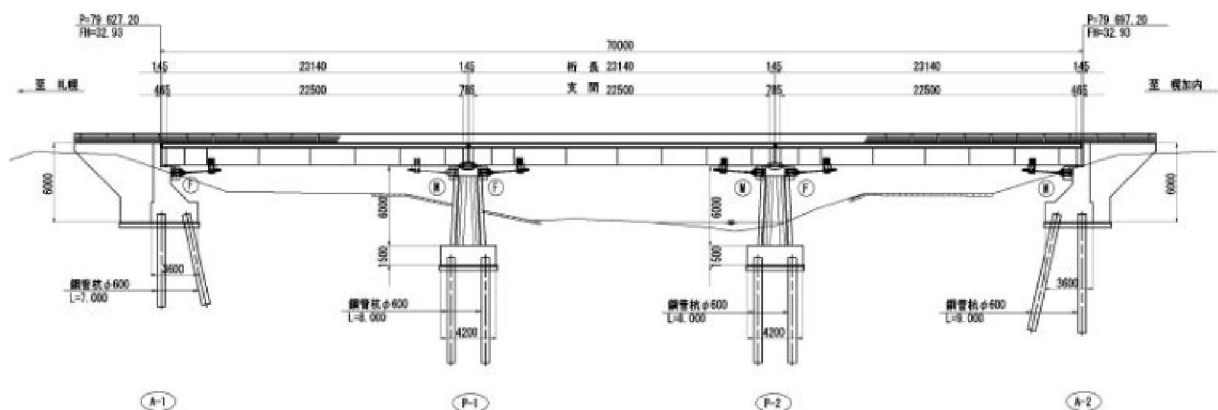


図 5-1 志寸川橋側面図

表 5-2 志寸川橋の概要

橋梁名	志寸川橋
橋長	L=70.00m
幅員	8.25m(車道)+2.50m(歩道)
橋梁形式	上部：3連単純非合成鋼桁 下部：逆T式橋台、壁式橋脚
活荷重	TL-20(1等橋)
適用基準	昭和39年鋼道路橋示方書
主な補修履歴	昭和62年 鋼板接着+増し桁 平成元年 歩道拡幅 平成19年 床版防水

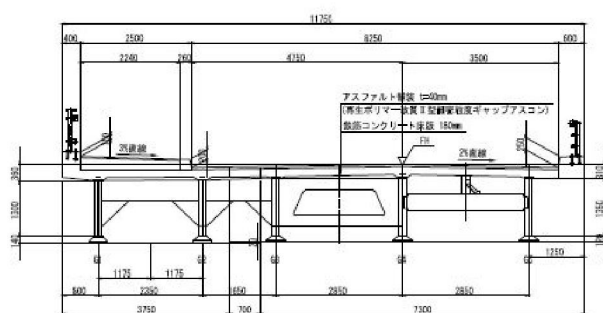


図 5-2 志寸川橋断面図

5.3.3. 床版抜落ちのメカニズム

近年、道内で散見されている床版の抜落ちのメカニズムは、既往の研究により明らかとなっており、床版上面に凍害などの劣化を受けていた場合、その疲労耐久性は、著しく低下するといった研究成果が発表されている^{4), 26)}。ここでは、標準的な既設床版を対象として、上面劣化が疲労耐久性に与える影響について感度分析を行う。既往の研究によれば床版の疲労耐久性能は、せん断強度比 (P/P_{sx}) の大きさより、床版が破壊に至るまでの輪荷重の走行回数で表すことができるとしており、具体的には、次式により表すことができる。

$$\text{Log } (P/P_{sx}) = -0.07835 \cdot \text{Log}N + \text{Log}C \quad (5.1)$$

ここに、

P ; 疲労耐久性を求める際に対象となる輪荷重の大きさ (kN)

P_{sx} ; 梁状化した RC 床版の押し抜きせん断耐力 (kN)

N ; 輪荷重 P により破壊に至る繰り返し回数

C ; 定数 (切片) 乾燥状態 1.52、湿潤状態 1.23

また、式(1)中の押し抜きせん断耐力 P_{sx} は、図 5-3 および次式により表される。

$$P_{sx} = 2 \times B \times (\tau_{smax} \cdot X_m + \sigma_{max} \cdot C_m) = P_1 + P_2 \quad (5.2)$$

ここに、 B ; 輪荷重に対する床版の有効幅

(梁状化幅で $B = b + 2d_d$) (mm)

b ; 橋軸方向の輪荷重載荷幅 (mm)

(道路橋示方書では 20cm)

τ_{smax} ; コンクリートの最大せん断応力度

$$= 0.656 \cdot \sigma_c^{0.606} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

X_m ; 主鉄筋に直角な断面の引張コンクリートを無視した中立軸深さ (mm)

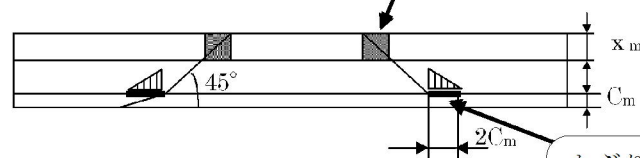
このとき、コンクリートの弾性係数

$$E_c = 20,600 + 900 (\sigma_c - 30) \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

σ_{max} ; コンクリートの最大引張応力度

$$= 0.269 \cdot \sigma_c^{2/3} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

C_m ; 引張側主鉄筋のかぶり深さ (mm)



中立軸上のコンクリートの負担せん断力
(コンクリートのせん断耐力)

$$P_1 = \tau_{smax} \times X_m \times B$$

かぶりコンクリートの負担せん断力
(コンクリートの引張耐力)

$$P_2 = 1/2 \times \sigma_{tmax} \times 2C_m \times B$$

図 5-3 梁状化した床版のせん断耐力

以上を用い、昭和 40 年代に架設された標準的な床版において、上面の凍害劣化の影響を把握するため、表 5-3 に示すとおり床版上面の脆弱化深さをパラメーターとした試算を行った。その結果を表 5-4 に示す。上面の凍害劣化などの影響は、式(5.2)における中立軸 X_m の変化により表されることとなる。大型車交通量は、札幌市内の幹線道路における一般的な値を用い、乾燥状態、湿潤状態の 2 つケースについて試算を行った。

表 5-4 から分かるとおり、床版の上面の脆弱化は、床版の疲労耐久性に大きく影響を与えており、特に湿潤状態においては、顕著であることが分かる。

近年、道内で発生している床版の抜落ちは、札幌市以外の郊外で発生しており、札幌市中心部や首都圏などと比較して明らかに、強度、頻度ともに繰り返し荷重の影響が小さい地域である。これらの地域において、抜落ちが発現するのは、これらの破壊には荷重的な影響のみならず、凍害などの材料劣化が複合的に影響を及ぼしていることを表している。

札幌市においては、これまで、床版の抜落ちは確認されていないが、跨線橋、跨道橋や、橋梁の下を公園などとして活用している箇所も多くあり、抜落ちが発生した際リスクは、郊外の場合と比較して、極めて大きいものと考えられる。

表 5-3 計算ケース (単位 ; mm)

	a	b	c	d
床版厚	190	180	170	160
脆弱化深さ	0	10	20	30
中立軸	56.9	52.6	48.0	43.1
配筋鉄筋有効高	136	126	116	106
主鉄筋被り	38	38	38	38

(日交通量 ; 15,000 台/日)
(大型車混入率 ; 7%)

表 5-4 上面の凍害劣化が疲労耐久性に与える影響

	ケース	a	b	c	d
	脆弱化深さ (mm)	0	10	20	30
乾燥	回数	25,929,253	7,022,310	1,698,048	350,588
	比率	(1.000)	(0.271)	(0.065)	(0.014)
湿潤	回数	1,739,242	471,021	113,899	23,514
	比率	(0.067)	(0.018)	(0.004)	(0.001)

(上段 ; 回数、
下段 ; 健全 (脆弱化 0mm、乾燥状態) に対する比率)

5.4 3次元レーダーを用いた内部診断調査

5.4.1 調査方法

電磁波を用いたレーダ調査は、地中に送信した電磁波の反射波影像を画像解析することにより、地中に存在する異種材料物質の位置や広がりを持定するものである。本研究で使用する高解像度アンテナを配置した電磁波レーダは、深度方向に 50cm 程度の透過性能を有し、一般的な橋梁のコンクリート床版であれば、アスファルト舗装面から床版下面まで電磁波の反射影像を取得することができる。

この反射影像を 3 次元的に解析することにより、図 5-4 の概念図や図 5-5 の解析画像に示すように、その内部の状態を概ね把握することが可能となる。データの取得は、床版上面からのみ行われるため、情報量や解像度に制約はあるが、その概念は医療分野で使用されている CT スキャンや MRI に類似している。本研究では、車両一体型の地中探査用高解像度アンテナを配置した調査車両（写真 5-4）および、手押し式の調査機材（写真 5-5）を使用して調査を行った。調査車両は時速 60km 程度で走行し、1 回の計測で幅 2m の床版内部データおよび、路面を含む前後左右 4 方向の映像を取得することができ、アスファルト舗装の劣化状況と併せて床版内部の劣化範囲を可視化することができる。また、調査のための交通規制などは必要としないのも本調査車両の特徴の一つである。一方、手押し式の機材は、交通規制は必要となるが、低速でデータを取得するため、より高精細なデータを取得する場合に有効である。

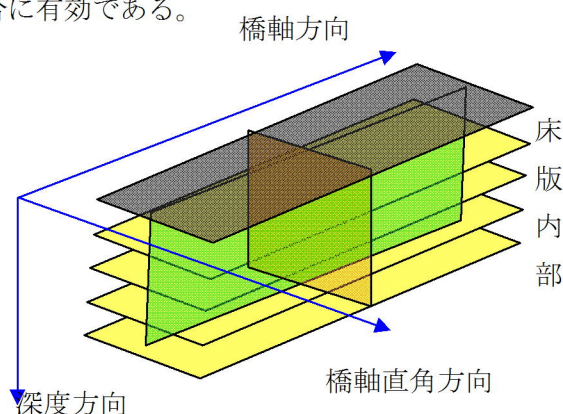


図 5-4 解析の概念図

3次元解析画面例

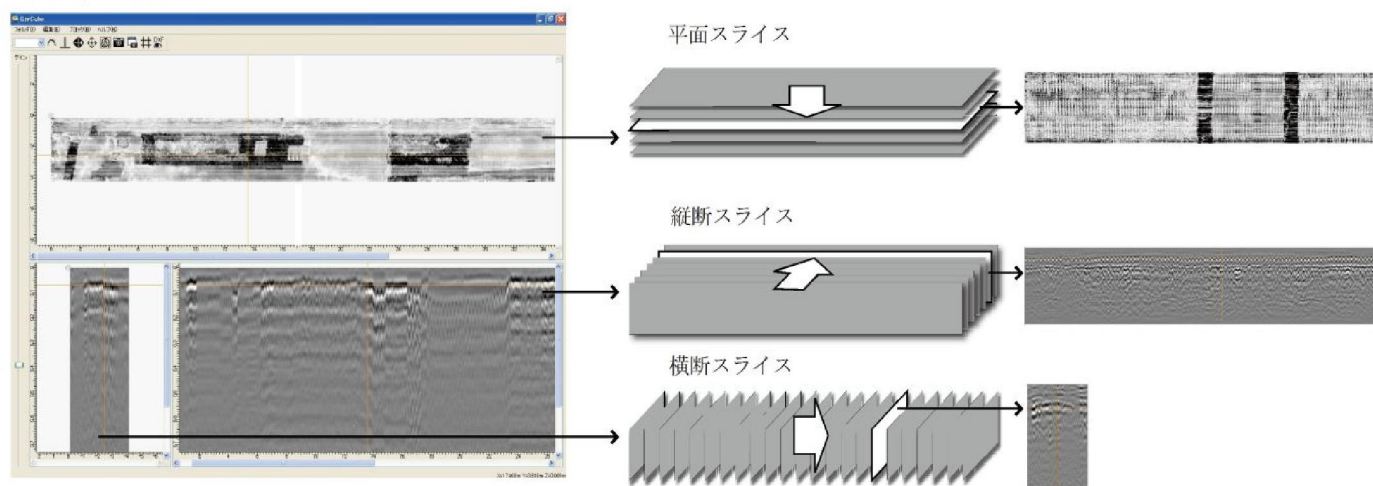


図 5-5 解析画像の例

5.4.2 調査機材

以下では、本研究で用いた2種類の調査機材について、概説する。

(1) 自走式

高解像度多配列電磁波レーダーを搭載した自走式探査車の搭載装置の仕様を表5-5に、外観を写真5-4に示す^{54), 55)}。自走式探査車は、最大速度60km/hで走行可能であり長さ6.6m、幅2.4m(下部アンテナを含む)のトラック型の車両で検査測定車として車検を取得している。

自走式探査車の最大の特徴は、調査のための交通規制が不要であり、一般の車両とほぼ同じ速度で走行可能であることから、1日あたり十数橋のデータの取得が可能なことである。

表 5-5 探査車の仕様

最大調査速度; 60km/h
路面映像撮影装置 ラインスキャンカメラ; 幅5m×進行方向1cm
電磁波レーダー装置 周波数帯域: 300MHz~2.5GHz 調査速度; 0.5m データ取得間隔; 3cm 調査幅; 200cm
走行位置確認装置 D-GPS装置搭載; 精度±1.0m 周辺映像撮影装置; 前方、左右映像(30フレーム/秒)



写真5-4 探査車の外観

(2) 手押し式

手押し式の機材は、自走式のように路面映像が取得できず規制は必要となるが、写真5-5に示すとおり、滞水などが最も懸念される縁石の近傍について調査可能であり、低速でデータを取得するため自走式と比較して、より高精細なデータを取得する場合に有効である。表5-6に手押し式機材の仕様を示す。

表 5-6 手押し式機材の仕様

最大調査速度; 4km/h
電磁波レーダー装置 周波数帯域; 300MHz~2.5GHz 調査深度; 0.5m データ取得間隔; 1cm 調査幅; 100cm



写真 5-5 手押し式機材の外観

5.4.3 解析原理

電磁波が伝播する際には、物質内の電気的性質が異なる境界層で「反射」、「透過」、「散乱」の3つの現象が発生する。この原理を用いて物質内の異種材料を検知するのが鉄筋探査であり、従来より非破壊検査技術として活用されているところである。本研究に用いた3次元レーダー探査技術の原理は、上記の鉄筋探査と同様だが、機器等の開発で、取得するデータが高解像度で3次元となったものである。

図5-6に、a)健全部、b)舗装境界面劣化、c)かぶりコンクリート劣化、d)内部コンクリート劣化のそれぞれについて、反射波の応答イメージを示す^{53)～55)}。

図5-6 b)～d)に示すとおり劣化が発生している箇所の反射波は乱れることとなり、反射波の相対的な比較により均質な材料の中に存在する異種材料物質の幅や深さを把握するのが、当レーダー調査の基本的な原理である。応答の色で判別するものではなく、周囲との応答の相対的な違いにより劣化部を判定することとなるため、劣化部の応答は、周囲より不鮮明な応答が白く映る場合、黒く映る場合の両方があり得ることになる。

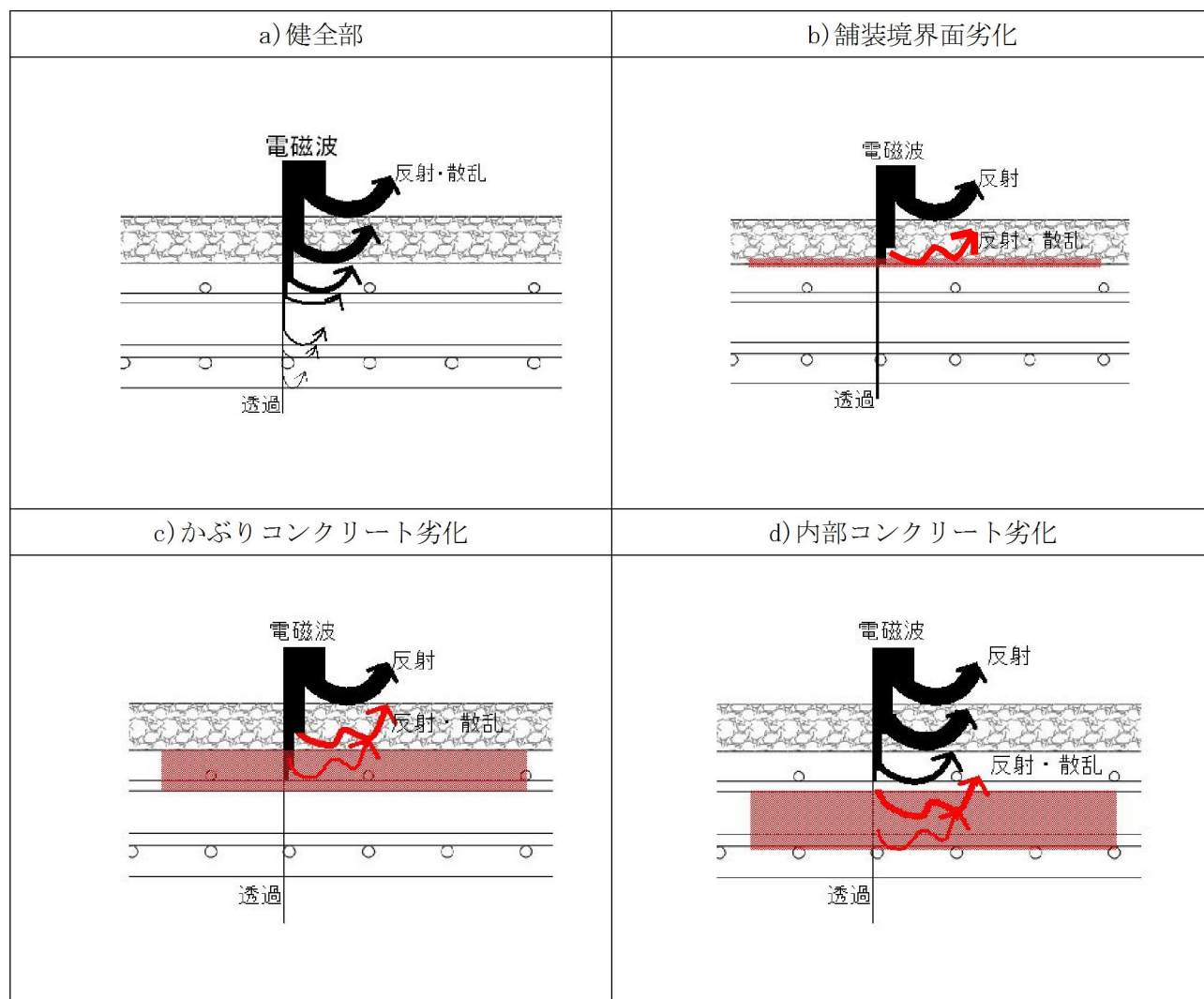


図 5-6 反射波のイメージと応答影像

5.5 3次元レーダー探査の適用事例

5.5.1 RC床版の抜落ちのリスク回避

(1) グループ①（49 橋）の概略調査

前述の札幌市橋梁長寿命化修繕計画において最も重要とするグループ①の橋梁は、表 5-7 に示すとおり主に 3 つの橋梁群に分類され、これらの橋梁において床版の抜落ちなどが発生した場合、社会的影響は甚大なものになる。グループ①の橋梁においては、床版抜落ちの発生は何としても避けなければならない事象である。このことから、3 次元レーダー探査によりグループ①に該当する橋梁のデータ取得を行い、床版の内部劣化についての概略判定を行った。取得データの分析の結果、一部の橋梁において、床版上面などに損傷が懸念される箇所があるものの、抜落ちなどにつながる重大な砂利化や鉄筋腐食などの損傷は確認されなかった。参考として、表 5-8 に定期点検における目視点検結果と概略判定結果との比較を示す。これからも分かるように、同じ判定である割合は少なく、上面（上側鉄筋位置）と下面の損傷程度は、必ずしも相関が高いものではない。このことは床版の健全度評価の難しさを表しており、今後、これらの橋梁について一定間隔で同様のデータを取得し、変化を分析することにより、内部劣化の進行過程を把握するなどの取組みが重要であると考えている。

表-5-7 グループ①の橋梁

架橋条件	橋梁数	経過年数	特徴
高速道路架道橋	14橋	最大42年 平均33年	・PC箱桁橋が多いため、抜落ち等のリスクは少ないと想定される。 ・損傷などが進行した場合、高速道路の長期間の交通規制などが想定される。 ※) 1橋については、交通制限によりデータ取得不可能
豊平川を渡河する橋梁	17橋	最大57年 平均37年	・鋼桁、PC桁が混在している。 ・大部分が市内中心部の幹線道路上にあり交通量が多い。 ・河川敷には遊歩道が整備されており、多くの市民が利用している。
JR跨線橋	18橋	最大42年 平均23年	・鋼桁、PC桁が混在している。 ・大部分が市内中心部の幹線道路上にあり交通量が多い。 ・鋼橋の場合、グレーチング床版を採用している場合が多い。 ・下面からの点検は、JR軌道部への立ち入りなどに協議が必要となり、頻度・方法に制約が多い。 ・抜落ち等が発生した場合、経済的損失、社会的影響は極めて甚大である。
合計	49橋		

表-5-8 目視点検結果とレーダー探査結果の比較

架橋条件	橋梁数	評価の比較			
高速道路架道橋	14橋	目視点検	>	3次元レーダー	5 橋
			=		3 橋
			<		6 橋
豊平川を渡河する橋梁	17橋	目視点検	>	3次元レーダー	6 橋
			=		2 橋
			<		9 橋
JR跨線橋	18橋	目視点検	>	3次元レーダー	10 橋
			=		4 橋
			<		4 橋
合計	49橋				

（２）RC 床版の上面の劣化の確認

過去に繰返し舗装路面の補修が実施されている鋼箱桁橋の鉄筋コンクリート床版を対象に、当レーダ探査を実施した。その路面映像を図 5-7 に、床版上側鉄筋位置の平面スライス映像を図 5-8 に示す。図 5-8 の赤線で囲まれた部分は、レーダーの応答が不明瞭で、かつ白濁しており損傷や滞水などが存在する可能性を示している。この範囲は図 5-7 の舗装の補修範囲と概ね一致する。内部の状況を確認するため、舗装開削を行ったところ、床版上面に、わずかではあるが滞水した形跡が確認された。さらに、縦断方向のレーダを確認したところ、一部に図 5-9 のような特異な応答がみられる箇所があった。この箇所の舗装開削結果から、写真 5-6 に示すとおり上面から数センチ程度の深さで、コンクリートの脆弱化が確認された。

以上のように、平面映像のみでは明確に確認しにくい変状であっても、縦断、横断データを補足的に活用することで、内部の劣化の推定が可能であることも、当レーダ探査の特徴の一つである。

ここで示した事例は、脆弱化の進行が局所的であり、かつ深度も浅かったが、今後このようなデータを数多く取得し、検証を行うことにより、当レーダ探査は床版上面の非破壊検査手法として有効なものになると考えられる。

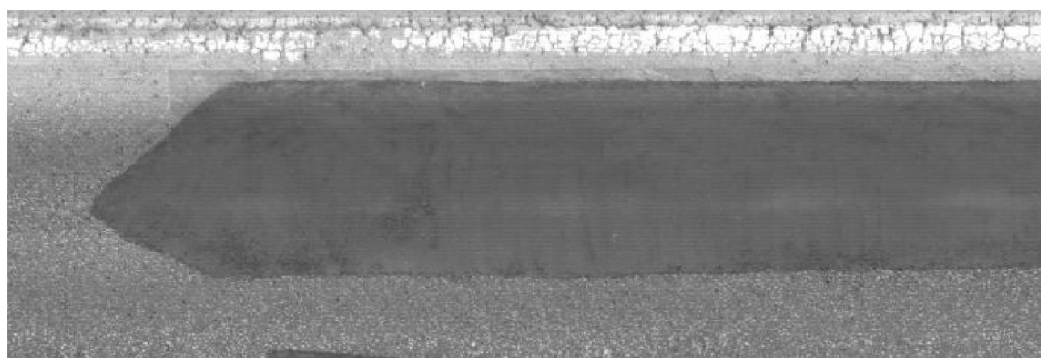


図 5-7 路面画像

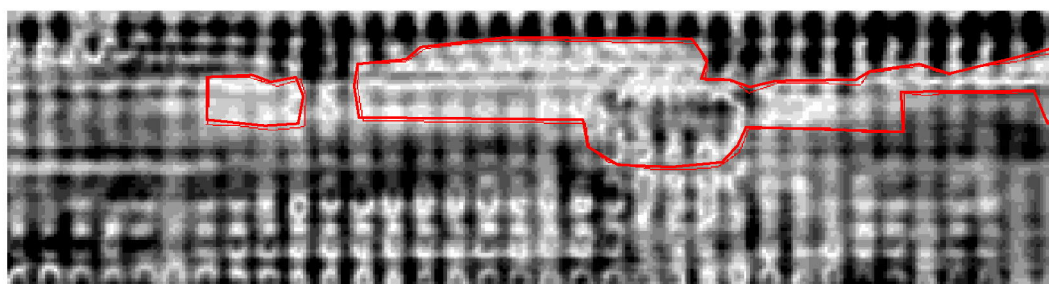


図 5-8 平面スライス映像（床版鉄筋位置）

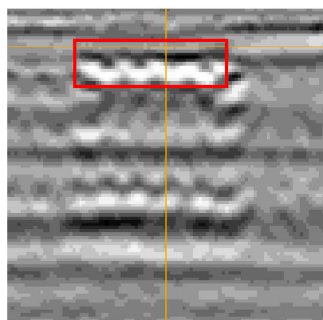


図 5-9 縦断スライス映像



写真 5-6 床版上面砂利化

(3) グレーチング床版への適用事例

JR 跨線橋や高速道路跨道橋については、床版の抜落ちが発生した場合、その社会的影響は極めて重大なものとなるため、これの発生は最も避けなければならない事象の一つである。しかしながら、これらの橋梁の多くは、剥落の発生を回避するため、鋼板やシートなどで被覆されており、未然に損傷を発見することが難しい構造となっている。この様な場合、下側から損傷が確認された時点では、内部劣化は、相当程度進行していることが懸念される。

そこで、3次元レーダー探査により、図 5-10 に断面を示すグレーチング床版の内部状況の確認を行った。上側鉄筋付近の影像を図 5-11 に、下側鉄筋付近の影像を図 5-12 に示す。調査対象とした床版は、影像が鮮明であり、比較的健全であることが分かる。グレーチング床版は、床版下面が金属であるため、コンクリート床版と比較して、より深い深度まで、鮮明に応答を得られる特性がある。この調査手法の信頼性が、さらに確立されたものとなれば、これら交差物に架かる橋梁点検業務の効率化が期待できるものと考えている。

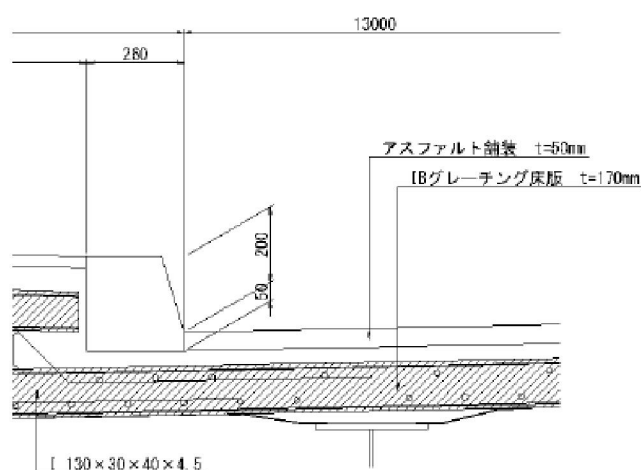


図 5-10 グレーチング床版断面図

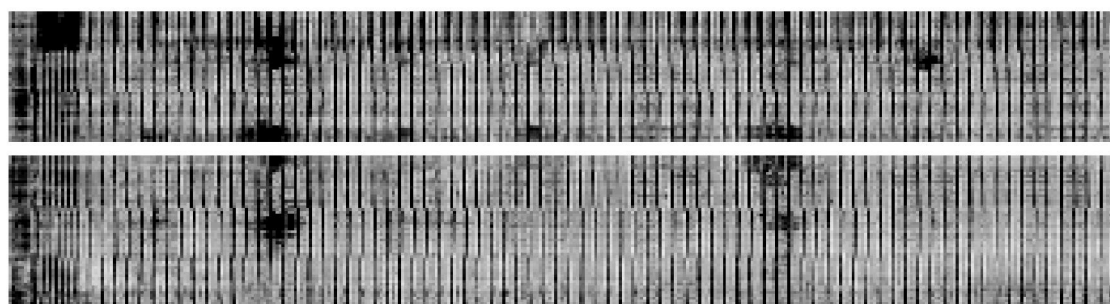


図 5-11 グレーチング床版平面スライス（上側鉄筋位置）

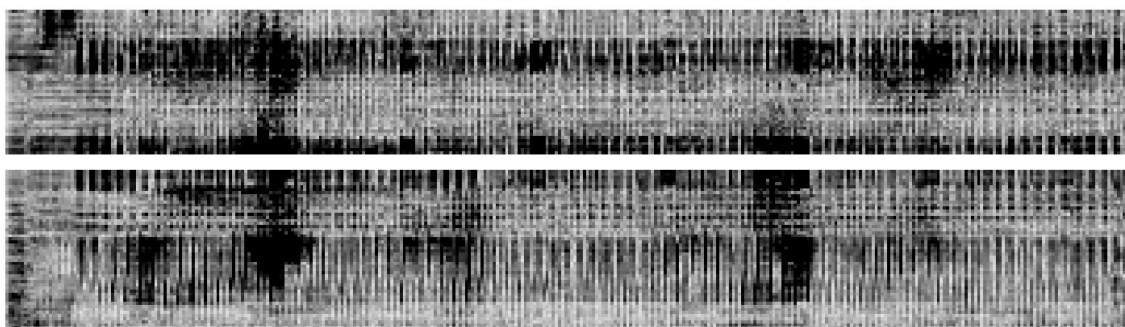


図 5-12 グレーチング床版平面スライス（下側鉄筋位置）

5.5.2 詳細調査の精度向上

(1) PC 床版の上面の劣化の確認

PC 箱桁橋（図 5-13、5-14）の PC ケーブルの上縁定着部において 3 次元レーダー探査を用い、床版上面の砂利化を確認した事例を以下に示す。前述のとおり地中へ発信した電磁波は、床版上部に異常箇所があるとそこで反射信号が散乱し、図 5-15 中の枠線に囲まれた箇所のように、不鮮明な反射波影像として得られる。

枠内の不鮮明な反射影像が得られる場所のうち、破線で囲まれた箇所を開削して確認したところ、写真 5-7 に示すとおり概ねこの範囲で砂利化が発生していた。定着部には、後打コンクリートが打設されており、本体との打ち継ぎ目が生じ、そこで凍結融解などが繰り返し起こることにより、劣化が進行したものと推察される。

図 5-15 では、開削を行った箇所から橋軸方向に一定間隔で不鮮明な応答が発生しており、これは竣工図書から確認される PC ケーブルの定着ピッチと概ね一致していた。従来の手法によれば、開削を実施した箇所以外の PC ケーブル定着箇所の状況は、開削を行った箇所の状況に基づき推定していたところであるが、従来の開削等の方法と当レーダー探査を適宜組み合わせることにより、面的な劣化範囲の推定などの場面において、得られる情報の質、量ともに向上することが期待できる。

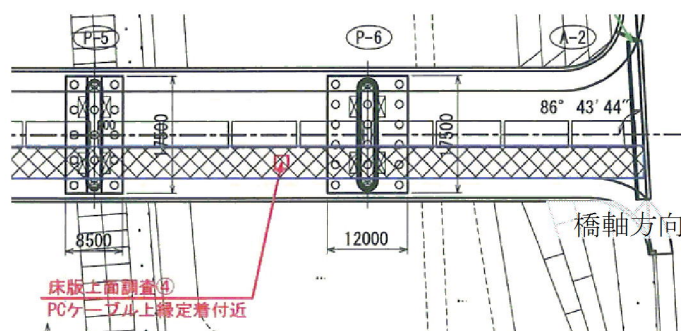


図 5-13 PC 箱桁橋平面図



図 5-14 PC 箱桁橋断面図

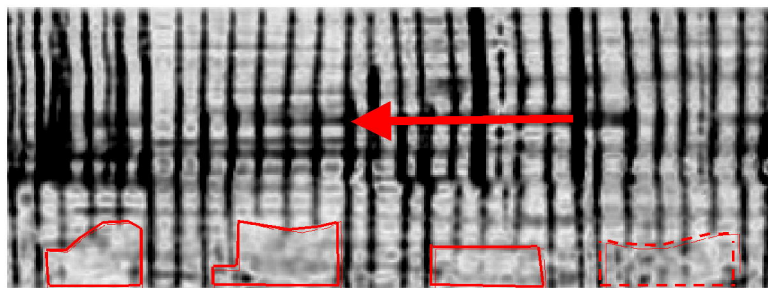


図 5-15 床版上面スライス影像

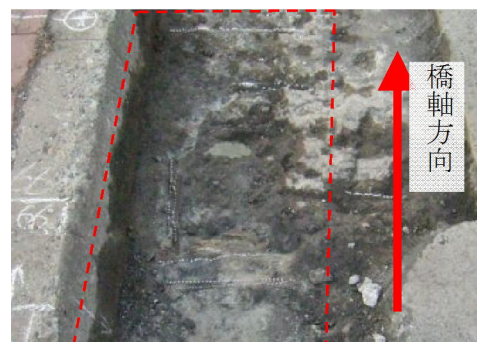


写真 5-7 PC 定着部の砂利化

（２）塩害が懸念される床版への適用事例

３次元レーダー探査を材料試験などの詳細調査と組み合わせ補修方針の立案を行った事例を示す。過年度の詳細調査業務において、コア採取を行い、塩化物イオンの濃度測定を行った結果、表 5-9 に示すとおり鉄筋位置で、コンクリート標準示方書で示される腐食発生限界の 1.2kg/m^3 を大きく超えている箇所があった。塩化物イオンが高い場合の補修方法としては、塩化物濃度が高いコンクリートを除去し断面修復を行うか、あるいは、化学的、電氣的に腐食を抑制する電気防食工法や脱塩工法が考えられるところであるが、これらは、何れも費用的が大がかりなものとなる傾向にあり、その採用は慎重にならざるを得ない。また、当該コア位置での鉄筋は、写真 5-8 のとおり腐食していないことを確認していたが、周辺の鉄筋が健全であることの判断根拠としては乏しい。これらの詳細調査結果から、予防保全を踏まえた補修方針の立案をするには、多くの推定を挟まざるを得ず、その判断に苦慮するのが実状である。

そこで、当レーダ探査により、コア採取を行った周辺における鉄筋の状況の確認を行った。その結果を図 5-16 に示す。図では、応答が不鮮明な状況であるが、コア採取により腐食していないことを確認した鉄筋の応答が周辺と著しく異なった応答を示していないこと、既往の研究では鉄筋が腐食していた場合、それらの反射映像は、図 5-17 および写真 5-9 に示すように、さらに鉄筋の影像が太くさらに不鮮明になることが確認されていること⁵³⁾ などから、当該箇所周辺の鉄筋の腐食は発生していないものと判断した。これらの結果を踏まえ、本事例の補修方針は、劣化因子である水の浸入を防ぐことを目的とした床版防水層の敷設とした。

以上示したように、材料試験結果などの局所的な情報と併せて、当レーダー探査を活用することで、面的に床版の状態を把握することが可能となり、合理的な補修方針の立案に寄与するものと考えられる。

本事例の場合、床版内部の塩化物濃度は改善されていないため、今後とも経過観察が必要と考えられる。予防的対策として施した床版防水層を損傷させることなく、比較的容易に経過観察が可能となることも当レーダー探査を用いる大きなメリットであると考えられる。

表 5-9 床版上側から採取したコアの塩化物イオン濃度

深度(cm)	塩化物イオン(Cl ⁻) 質量百分率(%)	塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	備考
0～2	0.170	3.91	腐食発生限界 1.200 kg/m ³
2～4 ^{※)}	0.160	3.68	
4～6	0.077	1.77	
6～8	0.061	1.40	

※)鉄筋位置



写真 5-8 コア採取箇所の鉄筋の状況

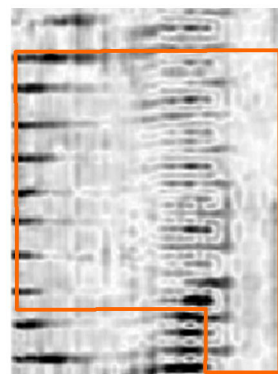


図 5-17 鉄筋腐食の影像

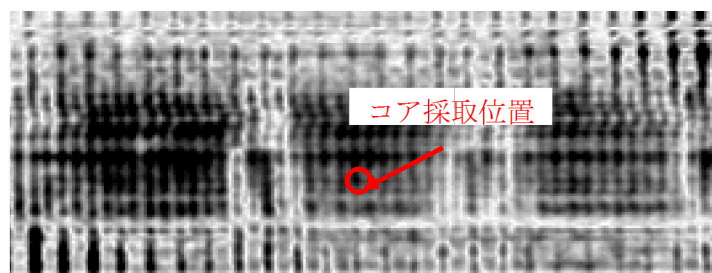


図 5-16 コア採取近傍の上側鉄筋位置平面スライス影像

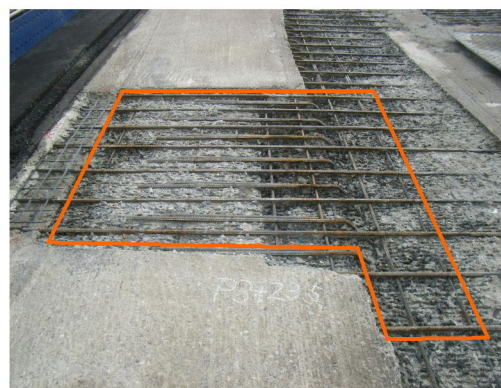


写真 5-9 鉄筋腐食状況の確認

(3) 上面での滞水懸念される鋼床版への適用事例

過去の舗装開削調査によって、写真 5-10 に示すように鋼床版の床版上面に滞水が、確認されている箇所があったことから、その滞水範囲を把握することを目的として、開削から約 2 ヶ月後に 3 次元レーダー探査によりデータ取得を行った。図 5-18 の路面画像の舗装補修跡は、開削確認時のものである。図 5-19 に示す鋼床版上面の不明瞭な反射影像（白色範囲）が滞水の可能性がある範囲を捉えたものであり、床版全体に滞水の可能性のある範囲が広がっていることが分かる。

路面画像に床版上面に滞水の可能性のある範囲を重ね合わせると、路面のひび割れ箇所と床版上面の異常範囲がほぼ一致していることが確認できる（図 5-18 と図 5-19 におけるオレンジの線）。

これらのひび割れは、写真 5-11 に示すとおり、舗装路面までひび割れが貫通しており、ここから鋼床版上面に水が浸入したものと推察される。当レーダー探査の反射波は、金属からはより強い応答を得ることができるため、鋼床版上面の滞水状況の把握においても、有効であることが確認できた。

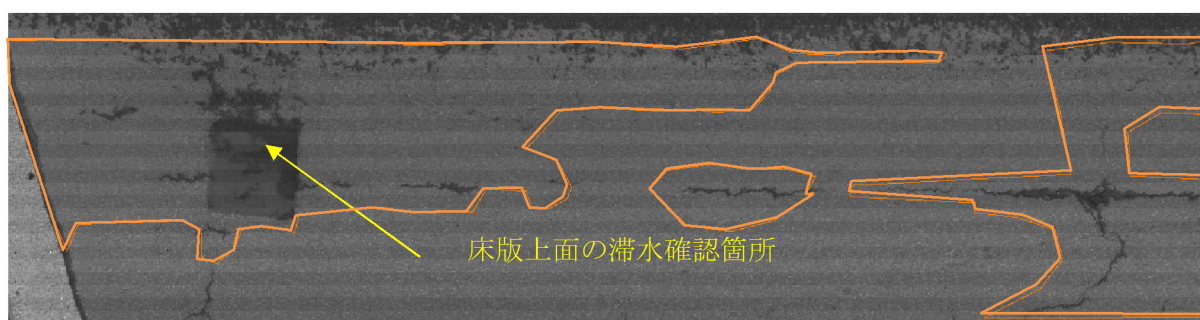


図 5-18 路面画像

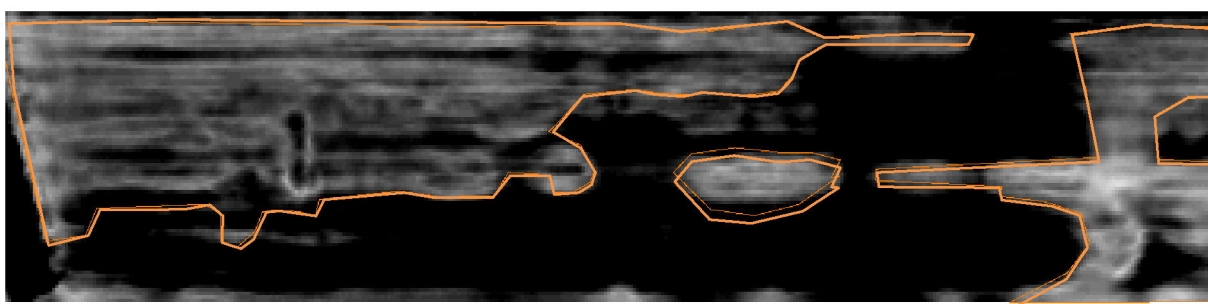


図 5-19 平面スライス影像（床版上面）



写真 5-10 鋼床版上面の滞水



写真 5-11 舗装の貫通ひび割れ

（３）健全な床版における鉄筋ピッチおよびかぶりの確認

札幌市では、橋梁の補修工事の際、橋梁の交差条件や既設の防護柵の強度に応じて、現行基準の性能を有する防護柵への取替え工事も併せて実施している。その際、既設床版の配筋の情報が必要になるが、竣工図書などが存在しない場合があり、RC レーダーなどの調査によりこれらを推定している。

RC レーダーによる調査は、その測線直下のみの情報となり、データの取得範囲が狭いことや、鉄筋が過密な場合、応答が複雑となり、正確な配筋の情報を把握することが困難であることなど、その推定精度は、課題を有するところである。そこで、本研究で提案するレーダーにより、鉄筋のピッチ、および、かぶりについて推定を行い、同箇所においてコンクリートを開削し、その精度について検証を行った。その平面スライス影像を図 5-20 に、縦断スライス影像を図 5-21 示す。また、図 5-20 において枠線で囲む箇所のコンクリートをはつた配筋状態を写真 5-12 に、レーダーの応答から推定した鉄筋かぶりおよび、ピッチとこれらの実測値の比較を表 5-10 に示す。

図 5-20 および図 5-21 の影像では応答に乱れがなく、かつ、鉄筋も鮮明に映し出されており、影像から読み取った鉄筋ピッチおよびかぶりは、開削して確認したものと概ね一致していた。復元設計に必要な配筋などの情報は、精度良く推定できることが分かる。なお、ここでの調査は、より高精細な情報をえるため手押し機材により調査を行っている。3 次元レーダ探査の原理原則は、RC レーダーと同じであるが、レーダーを多配列しているため、多くの反射波データにより広範囲を測定している。このため、応答の精度は RC レーダーのものと比較して高く、かつ、面的な情報として捉え、鉄筋を連続したものとしてその状態を推測することが可能となる。以上から、当レーダー探査を用いることにより非破壊検査による配筋状況の推定精度は各段に向上するものと考えられる。

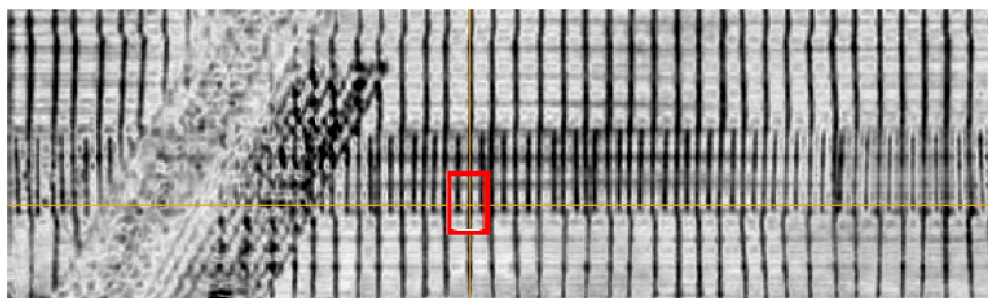


図 5-20 上側鉄筋位置平面スライス影像（健全な床版）

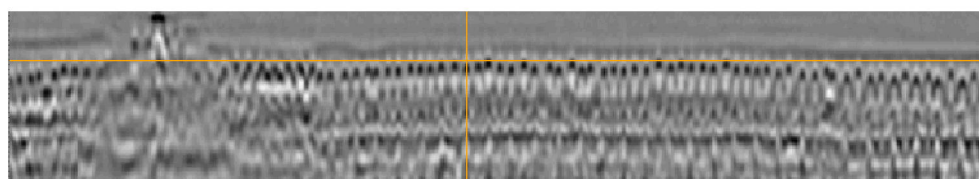


図 5-21 縦断スライス影像（健全な床版）

表 5-10 解析値と実測値との比較

	かぶり (mm)	ピッチ (mm)
解析値	36	97
実測値	38	100

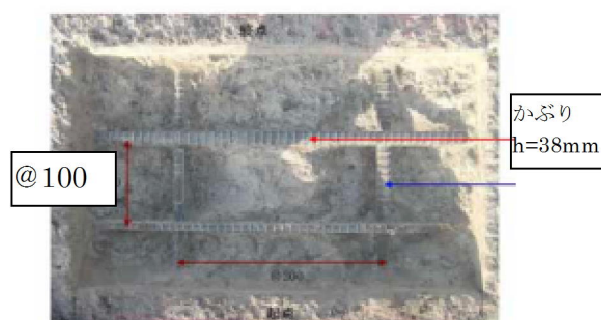


写真 5-12 実測値の確認

5.5.3 補修効果の検証

(1) 防水層の健全度把握

近年、床版上面の滞水がその疲労耐久性に大きく影響することが明らかとなっており、床版の長寿命化には、防水層の敷設が必須とされている。床版防水便覧に全面的な防水層の敷設が規定されたのは、平成 11 年であり⁴²⁾、それ以前は、同便覧の規定に基づき中間支点上に敷設するか、あるいは、道路管理者自らの判断で敷設している事例が多い。床版防水は、敷設後、アスファルト舗装で覆われてしまうため、その経年的な効果や耐久性について、把握が困難であり、これらについての客観的なデータが乏しいのが実状である。また、防水層の効果の把握のためには、舗装切削などにより防水層を損傷させてしまうことになりかねないことも、これらのデータが乏しい要因の一つであると考えられる。

3次元レーダー探査は、床版上面における平面スライスデータを確認することによって、滞水の可能性がある範囲の判定が可能であることから、過年度に床版防水層が敷設されている橋梁を対象に、調査を実施し、防水層の健全度把握について検証を行った。図 5-22 において、白濁した箇所が滞水の可能性がある箇所を示している。図中枠線で囲まれた部分の舗装切削を行った結果、アスファルト舗装と床版は付着しておらず、カッターにより舗装を切断した際、写真 5-13 に示すように、舗装が床版から容易に剥がれてしまう状態であった。床版防水便覧には、床版防水層性能照査方法として、床版防水層と床版、および、舗装との界面における引張接着性能を照査することとしており⁵⁹⁾、さらに、積雪寒冷地の特性を踏まえた、北海道における鋼道路設計および施工指針では、防水便覧の照査に加え、さらに厳しい試験温度（-20℃）における引張性能も要求している⁴³⁾。本事例の場合、防水層と床版の界面における引張強度が無く、本来求められる性能を有していないことが分かる。今後、更なるデータの蓄積とともに引張試験との整合が必要となるが、床版防水層の健全度把握のための手法としての可能性が確認できたものと考えられる。

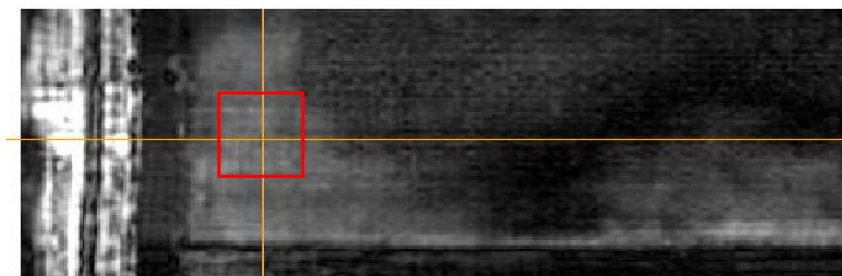


図 5-22 床版上面平面スライス影像



写真 5-13 舗装切削状況

(2) 上面鋼板接着箇所 の補修効果確認

過年度に、床版張出部に鋼板接着工法により補強を行った橋梁において、舗装の脆弱化が確認されていたことから、舗装開削とともに、当レーダ探査により内部の確認を行った。路面画像を図 5-23 に、床版上面の平面スライス影像を図 5-24 に舗装開削の状況を写真 5-14 に示す。舗装開削の状況から、舗装と鋼板が付着していない状況にあり、かつ、一部において、滞水している状況が確認された。また図 5-24 から、これとほぼ同じ状況が、橋軸方向全域にわたり広がっていることが確認できたことから、鋼板接着が実施された全域を対象として、補修方法の検討を行うこととした。この事例は、舗装に変状が確認されたため、詳細な調査を実施したものであるが、舗装に変状が現れる前に、補修、補強効果の確認として、当レーダー探査を活用することも、予防保全的な維持管理を推進する上で効果的であるものと考えられる。

これまでも増して、今後、より多くの橋梁補修工事が行われることが見込まれているが、中長期的な観点から、補修効果やその耐久性などについて、検証した事例は少ないのが実状である。当レーダー探査を活用することにより、補修、補強箇所の開削などを伴わず、内部の状況を追跡調査することが可能となり、今後ここで示したようなデータを蓄積することにより、未だ多くの不確実性を含む、補修、補強後の LCC の設定やその耐久性の把握における精度向上が期待される。

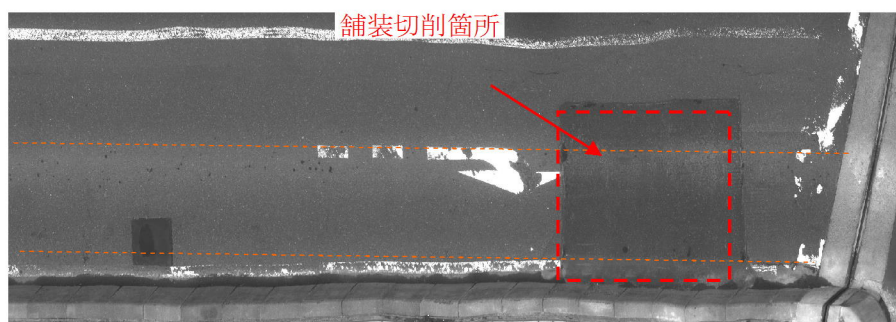


図 5-23 路面画像

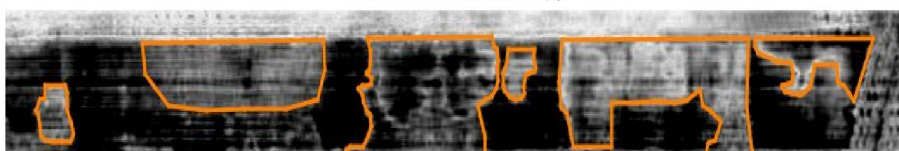


図 5-24 床版上面の平面スライス影像



写真 5-14 舗装開削の状況

5.6 3次元レーダー探査の詳細検証

5.6.1 詳細検証の概要

前述のとおり 3次元レーダー探査技術は、目視点検を基本とした床版の点検、調査を補完する上で有効なツールとなり得ることを示した。ここでは、過年度より著しい損傷が確認され、LCCを考慮した検討の結果打替えが決定されている床版を対象に継続的にデータ取得を行い、当レーダー探査の適用性についてより詳細な考察を行う。具体的には、打替え工事が行われるまでの3ヵ年にわたり継続的なデータを取得し、床版内部劣化の進行状況を把握するとともに、これの打替え工事において、レーダーの応答と舗装撤去後の床版上面や撤去ブロックの切断面との対比を行うことで、3次元レーダー探査の応答特性を把握し、その適用範囲について、より詳細な形で検証を行うものである。

5.6.2 対象橋梁

札幌市では一部の重要橋梁や損傷の進行が懸念される橋梁を対象に、ここで用いる3次元レーダー探査によりデータ取得を行っており^{54), 55)}、本橋については著しい劣化が確認されていたことから、打替え工事までの3ヵ年にわたり概ね1年置きに3回データ取得を行った。

対象とする橋梁は、札幌市内の郊外の住宅地に架設されたA橋（仮称）である。日常の維持作業において、繰り返し舗装の補修がなされていることに加え、過年度の橋梁定期点検により、床版下面において漏水・遊離石灰などを伴う著しい劣化（写真5-14、5-15）が報告されていたことから、検討の結果、平成25年度に床版打ち替え工事を実施することとした。本橋の諸元を表5-11に一般図を図5-25に示す。



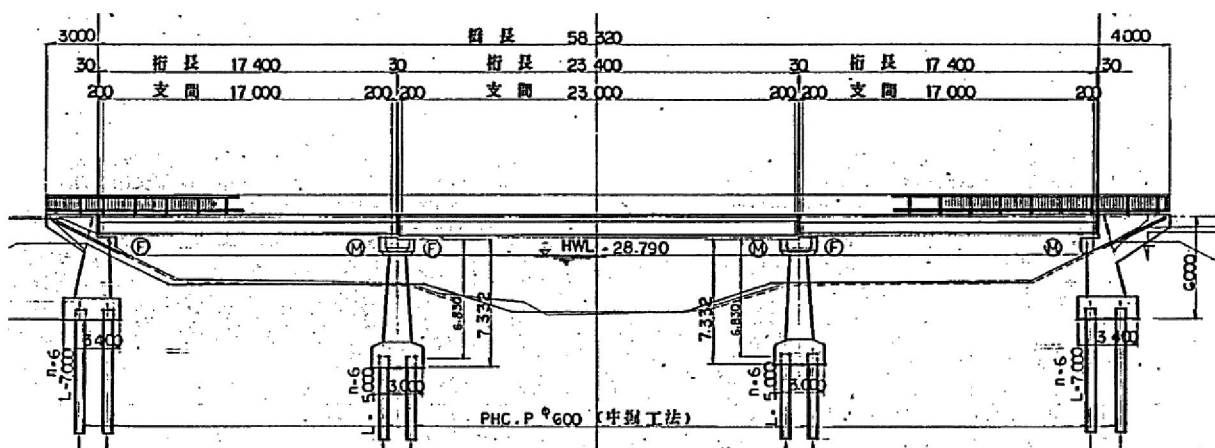
写真 5-15 下面劣化の様子（その1）



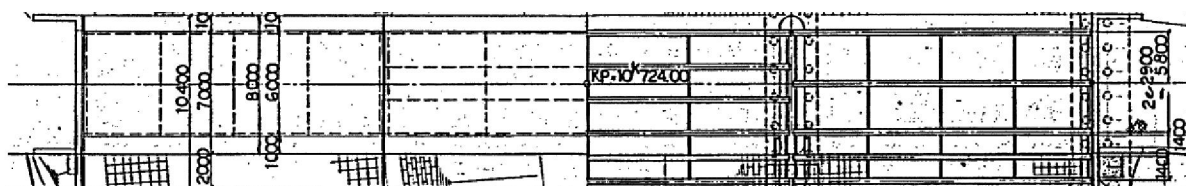
写真 5-16 下面劣化の様子（その2）

表 5-11 A 橋概要

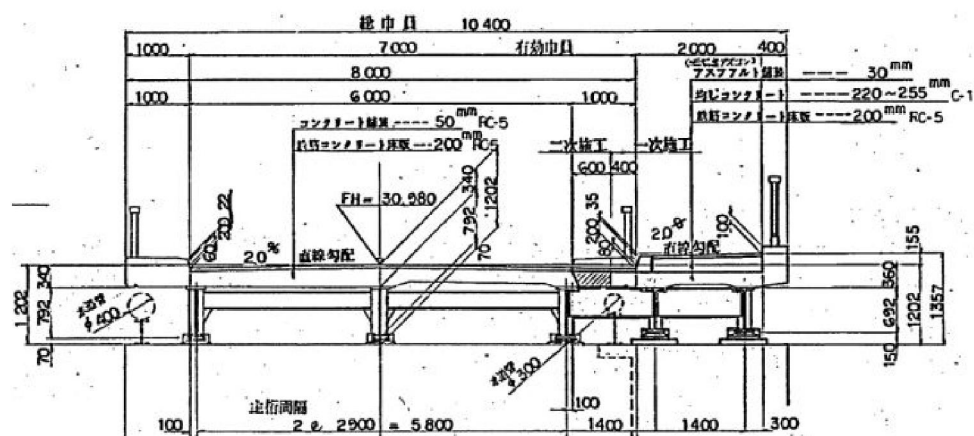
橋梁名	A橋
橋長	58.320m
支間	17.0m+23.0m+17.0m
全幅員	10.4m（車道10.4m）
上部構造	単純鋼活荷重合成H桁（H-beam.Br.）
適用示方書	S39年（車道部）、S55年（歩道拡幅部）
橋格	2等橋（L14）
床版厚	20cm（第1、第3径間）、17cm（第2径間）



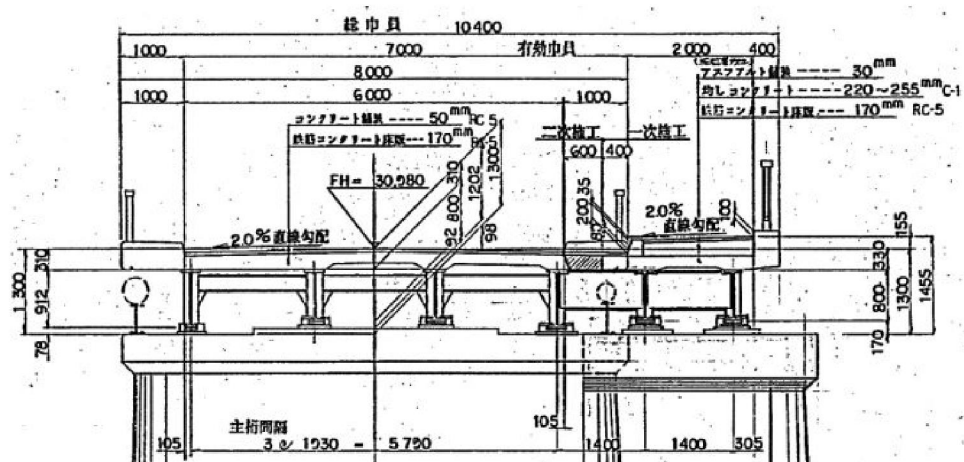
側面図



平面图



断面図 (第 1,3 径間)



断面図 (第 2 径間)

図 5-25 対象とした橋梁 (A 橋) の一般図

5.6.3 3カ年の内部診断の推移

(1) 路面および床版上面

図5-26(a)～(c)に、路面映像の経年的な変化を、図5-27(a)～(c)に、床版上面（コンクリート舗装）の経年的な変化を示す。舗装路面は、第2、第3径間に多くの補修が施されており、平成23年～24年の間には、補修箇所さらに補修を実施した形跡が確認できる。図5-26と図5-27を対比すると、第2径間（A部、B部）ではその範囲が概ね舗装の補修状況と一致し、経年的に広がっているのが分かる。一方、第3径間では、舗装全面が経年的補修されているのに対し、床版上面は、平成25年にA2側の伸縮装置近傍に、劣化を示す応答(C部)が確認されるのみである。

この状況を確認するために、床版の撤去に先立ち、アスファルト舗装を撤去した床版上面（コンクリート舗装）の状況を写真5-17～5-19に示す。床版上面の劣化状況は、ほぼ高い精度で直近の応答である図5-27(c)に一致した。

5.6.1で述べたとおり、本橋についても舗装の補修跡と床版上面の劣化状況は、必ずしも一致しておらず舗装開削を伴わず、床版上面の全体的な状況を確認する手法として、本調査手法の有効性が確認できたものと考えられる。なお、本橋のコンクリート舗装は、強度試験の結果から床版本体と同じ配合であると推定されており、ここで確認したコンクリート舗装における応答の精度は一般の床版のかぶりコンクリートにおいても同様に確保できるものと考えている。



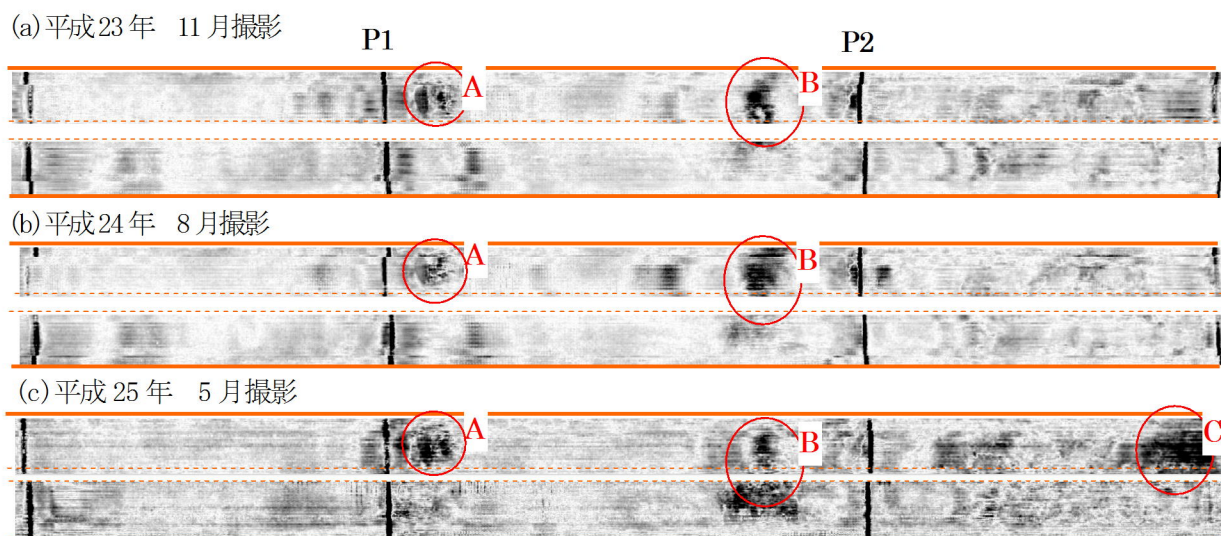
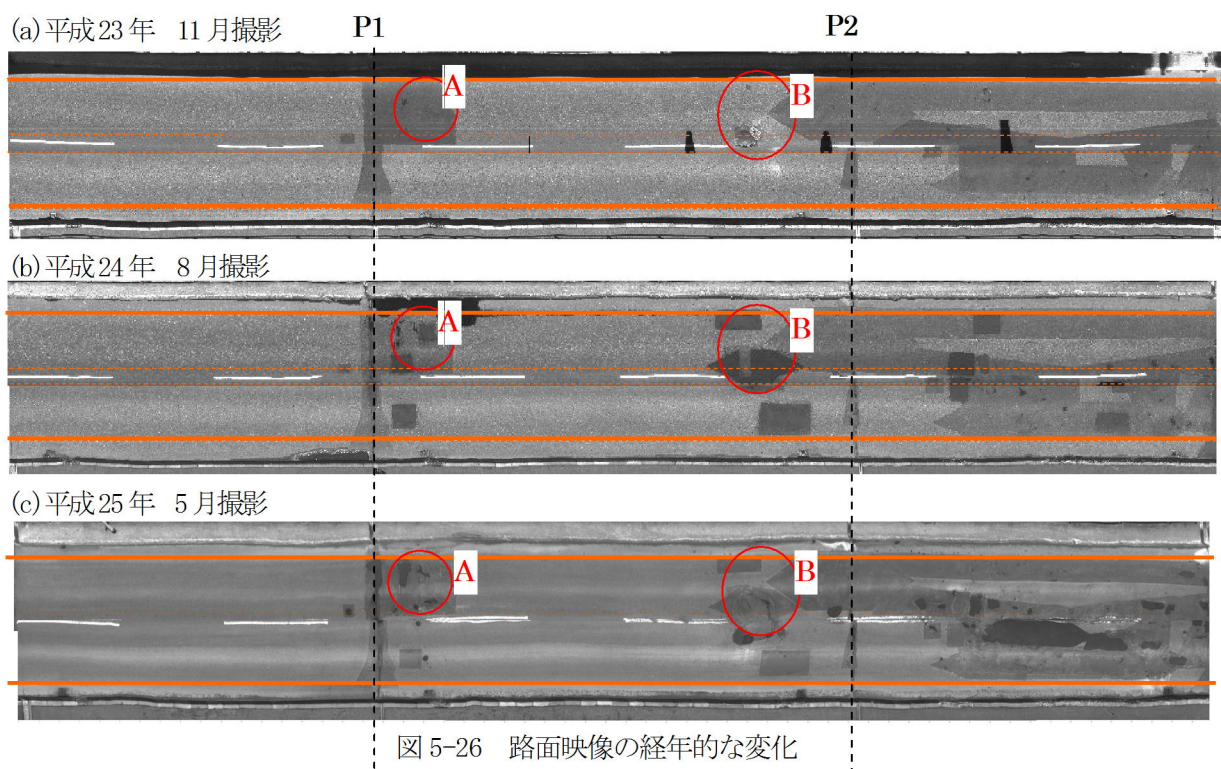
写真 5-17 第1径間の床版上面の状況



写真 5-18 第2径間の床版上面の状況



写真 5-19 第3径間の床版上面の状況



(2) 床版内部（上側鉄筋・下側鉄筋位置）

図 5-28 には平成 25 年度に実施した、第 2 径間部の撤去ブロック図と撤去の際にワイヤーソーにより切断した断面において劣化を確認した箇所を示している（①～③部）。前述の B 部および①～③部の断面を写真 5-20～5-23 に示す。図 5-29(a)～(c) に、上側鉄筋位置の経年的な変化を、図 5-30(a)～(c) に下側鉄筋位置での経年的な変化を、さらに、図 5-31 に、平成 24 年実施した床版下面からの近接目視による損傷図を示す。まず、図 5-29 および 5-30 を床版撤去に際し劣化を確認した箇所（図 5-28 の B 部および①～③部）と照らし合わせると、これらの劣化箇所が顕著に影像として現れておらず、現場で確認した劣化箇所を精度良く判定できる応答とは言い難い。今回、床版撤去に伴い撤去図に示す全ての断面を目視により確認したが、当床版において発生している劣化は、当初想定していた上面からの水の浸入、土砂化、砂利化ではなく、下面からの材料的な劣化が支配的であつ

たことが、劣化箇所の特定を困難にさせている要因の一つであると考えられる。

また、図 5-29 より、上側鉄筋位置の変状の可能性を示す箇所（鉄筋が格子状に見えない箇所）は、図 5-26、27 の床版上面の劣化箇所（A 部、B 部）と重なることが分かる。ここでの上側鉄筋位置は、切断面を確認した結果、写真 5-20 に示すとおり、上下鉄筋ともかぶりが過大であり、応力上問題が発生することが懸念されるが、コンクリートそのものは、概ね健全であり、上側の変状箇所により反射波が錯乱した結果、応答に影響を与えた可能性があるものと考えられる。

一方、レーダーの特性からスライスの深度が増すにつれて、応答の乱れも増し、劣化箇所の判定は、より難易度が増すものと考えられるが、図 5-30 の下側鉄筋位置の応答が示す変状箇所は、目視により確認された図 5-31 の劣化範囲と類似した傾向を示している（D 部、E 部）。上側に劣化箇所がある場合、それより下の応答の不確実性は増し、判定が難しくなることを述べたところであるが、上側が健全である場合、

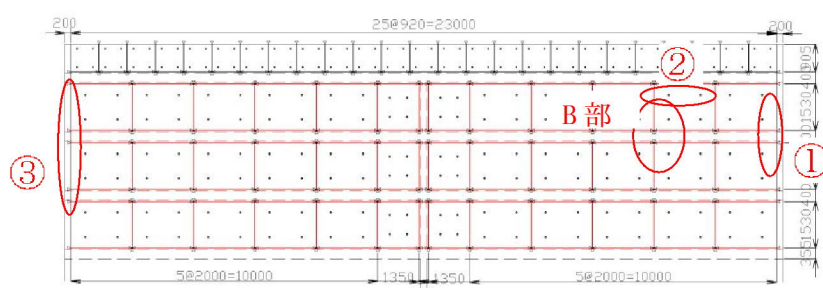


図 5-28 床版撤去図と切断面における劣化断面（中央径間）



写真 5-20 B 部断面



写真 5-21 ①部断面



写真 5-22 ②部断面



写真 5-23 ③部断面

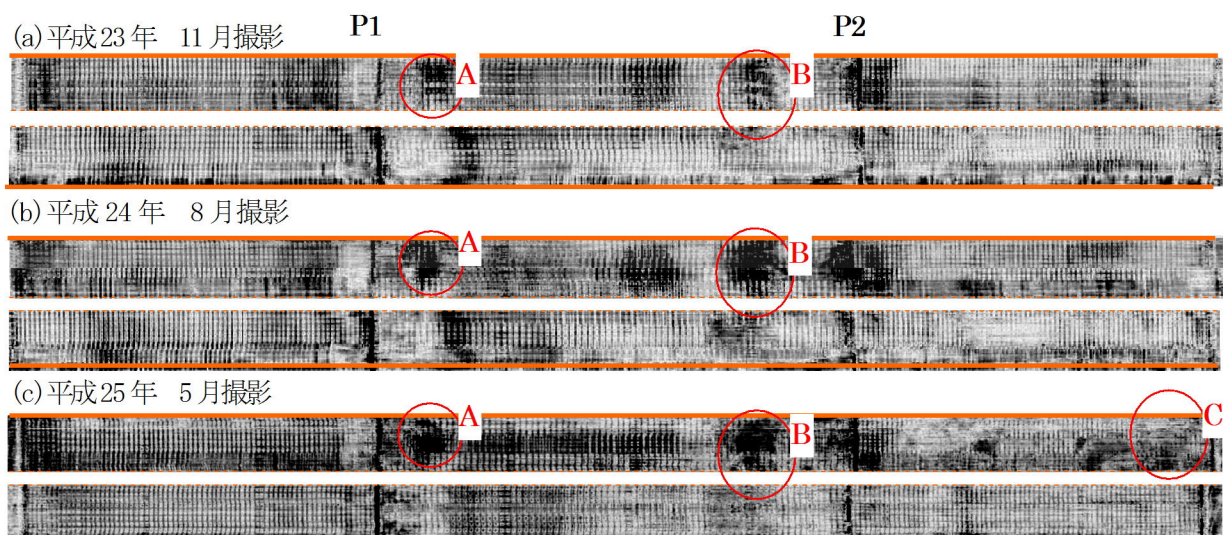


図 5-29 上側鉄筋位置影像の経年的な変化

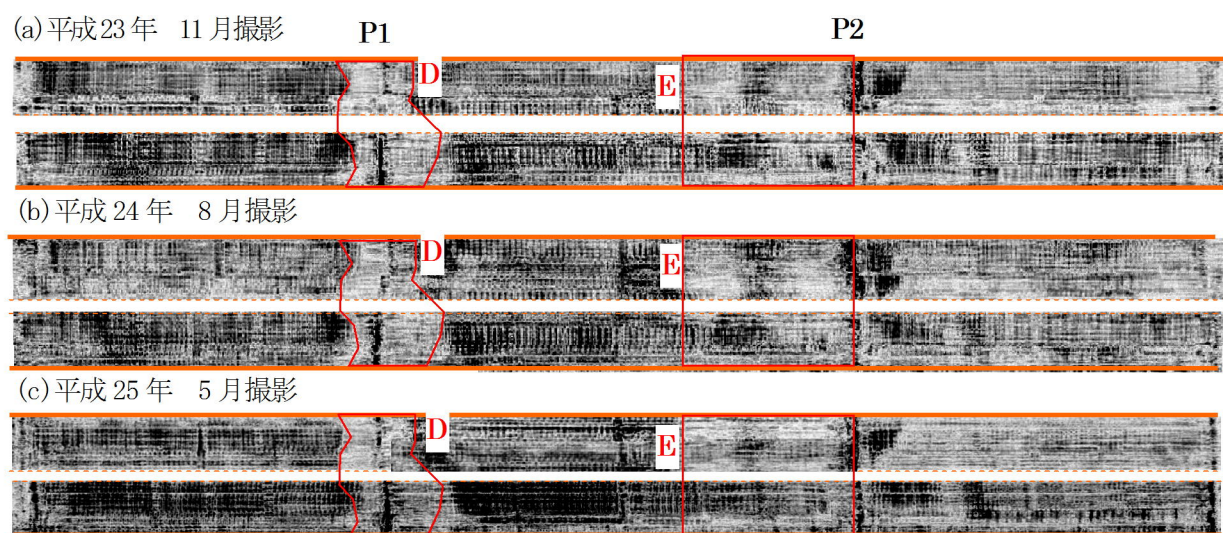


図 5-30 下側鉄筋位置影像の経年的な変化

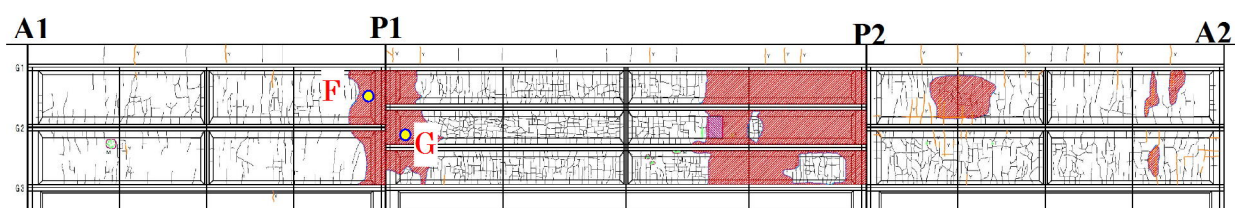


図 5-31 近接目視調査による詳細損傷図（床版下面）

または下側の劣化範囲がある程度広い場合、このように応答として現れてくる可能性が考えられる。その確認のため、P1 の近傍 (F 部) において、採取したコアは写真 5-24～5-25 に示すとおり折損し、その断面にはモルタル分の付着が見られており、古くから水みちであったことを示している。また、P1 近傍の G 部では、コアが採取途中で折損してしましたが、この断面 (写真 5-26) を確認すると、F 部同様、水平ひび割れが発生していることが分かる。当該箇所においては床版上面 (コンクリート舗装) の劣化が確認されていないことを踏まえると、応答影像がここに発生している水平ひび割れを捉えた可能性が高いものと推察される。一方、床版上面に著しい劣化が無い、第 1 径間の P1 近傍以外の箇所については、上側、下側鉄筋が格子状に確認され健全な状態を示す応答となっている。

以上の述べたように、本節では著しく劣化、損傷が進行している床版を対象として、3 カ年にわたり、当レーダ探査によりデータ取得を行うとともに、床版撤去に伴いレーダーの応答と床版上面および切断面との比較を行った。

ここで対象とした床版は、アスファルト舗装の下にコンクリート舗装が敷設されていたことなどが影響し、上面からの脆弱化はそれ程進行しておらず、さらに、切断面が比較的健全であったこと、コンクリートコアの材料試験結果では中性化の進行や高い塩害濃度が確認されていること、などから床版下面の著しい損傷は、上面からの水の浸透や荷重的な要素ではなく、下面からの材料的な劣化が支配的であったものと考えられる。

以上のように、当初見込んでいた上面からの劣化に伴う剥落の発生に至る過程を捉えるに至らなかったところであるが、床版撤去に伴い、レーダーの応答と実際の損傷状況を詳細に、対比することができた。ここで得られた知見を以下に列挙する。

- (1) 舗装全面撤去の結果、当レーダー探査の応答は、床版上面(ここではコンクリート舗装)の劣化状況を精度良く捉えていた。また、本橋については、舗装上面の補修跡と床版上面の劣化状況は、必ずしも高い相関がなく、当レーダー探査は、舗装開削箇所を選定や床版上面の劣化範囲の推定などにおいて有効であることが確認できた。
- (2) 上側に劣化がある場合、それより下側の劣化の判定の難易度は増し、劣化範囲を特定すること困難になる場合がある。これは下側の応答が上側の劣化部の影響を受けることによるものと推察される。
- (3) 上側に劣化が存在する場合においても、下側の劣化範囲がさらに広い場合、あるいは、上側が比較的健全な場合、水平ひび割れなど、内部の劣化範囲の推定に活用できる可能性がある。
- (4) 床版が健全な箇所においては、当レーダー探査の応答の精度は高いものと考えられ、健全な範囲を判定するうえで信頼性は高い。



写真 5-24 F 部コンクリートコア



写真 5-25 F 部コア折損断面



写真 5-26 G 部 コア削孔断面

5.7 床版調査の4次元化の提案

橋梁床版の調査は、舗装面、および、下面からの外観目視調査が行われ、この劣化状況に応じて、舗装の開削による床版上面調査やコア採取、および、これらを試料とした各種の材料試験などが行われるのが一般的なプロセスである。しかしながら、これらのデータ取得は、5.2 節で述べた不確実性が存在し、精度の観点から課題を有しているところである。

ここでは、これらの不確実性、および課題を踏まえ、さらなる予防保全的維持管理を実践するための手法として、3次元レーダー探査に経年的変化の概念を加えた、床版調査の4次元化の手法について提案する⁵⁵⁾。以下に4次元化することにより、得られるメリットを整理する。

【メリット①】床版上面からの点検について

床版上面は、輪荷重の影響を直接受けるほか、防水層が敷設されていない場合、舗装を介して雨水などが浸入しやすく、土砂化、砂利化の発生が懸念される箇所である。さらに、積雪寒冷地は、凍害劣化により土砂化、砂利化の進行が助長され、より厳しい環境下にある。この床版上面の劣化箇所の判定においては、舗装の劣化状況やパッチなどの補修跡が手掛かりとなるが、舗装劣化は、舗装そのものの品質が悪い場合にも発生するため、5.6 節の事例や図 5-32 に示すように、これが床版上面の劣化状況と常に高い相関があるとは言い難い。また、積雪寒冷地では、ポットホールなどの舗装面の劣化は、融雪時に多く発生し、道路利用者の安全に直接影響するため、発見後直ちに維持業者などにより補修されることが多く、雪解け後の橋梁の定期点検の際には、舗装の劣化状況の把握すら困難な場合も少なくない。

床版上面の劣化状態を把握する方法としては、精度の観点から舗装を開削あるいは撤去することが望ましいところであるが、現況の交通への配慮から開削などを行う断面は、極力小さくする必要があり、頻繁にこれらの調査を行うことは現実的ではない。

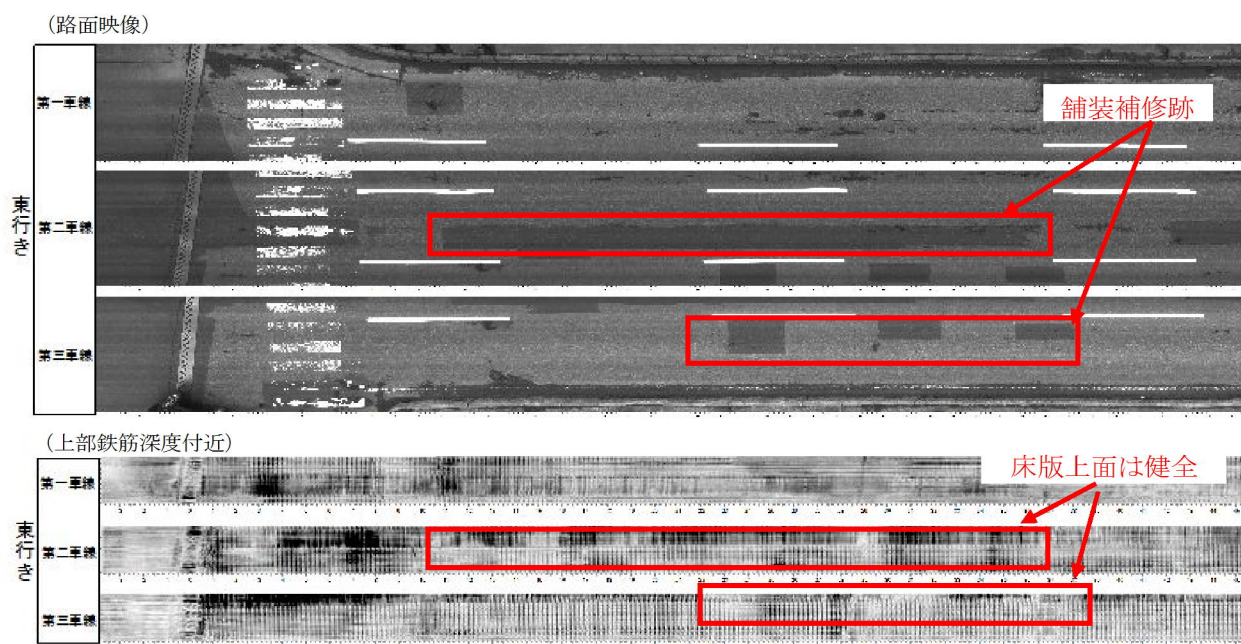


図 5-32 舗装補修跡と内部劣化が一致しない事例

図 5-33 は、架設後 9 年経過した橋梁の舗装面と上側鉄筋位置の応答影像を示している。これから分かるように、比較的新しくかつ健全な床版は、鉄筋などの応答影像が鮮明であり、劣化を示す不鮮明な箇所が確認できない。このように架設後早期の段階から 3 次元レーダー探査によるデータ取得に加え、その後、数年おきにデータ取得を行い 3 次元的なデータに時間的な概念を取入れ、床版の点検調査の 4 次元化を図ることによって、床版劣化の初期症状の一つである上面あるいは内部の劣化を、現況交通への影響なく把握することが可能となる。このような取組みは、予防保全型の維持管理の推進に大きく寄与するものと考えられる。

【メリット②】床版下面からの点検について

床版下面からの調査は、全体を精度良く目視するためには、足場や橋梁点検車など比較的大がかりな機材を要することも多いため、その点検頻度は数年に一回程度実施されるのが一般的である。

床版下面に漏水や遊離石灰などが確認された場合、床版上面からの水の供給とともに、上下に貫通するひび割れや水みちの存在が懸念され、床版上面に存在する劣化因子が進行し、下面まで到達し顕在化する場合が多いものと考えられる。構造物の劣化曲線は、劣化度の進行に伴い傾きが急になる（進行速度も増す）傾向にあることを踏まえると、予防保全の推進、道路利用者の安全確保のためには、メリット①で述べたとおり、床版上面や内部での劣化を極力早期に把握することが効果的である。

【メリット③】補修の可否および補修範囲に係る判断について

外観目視調査の次のステップとなる詳細調査では、舗装の劣化状況から舗装開削箇所を選定し床版上面の確認が行われるとともに、これに下面の劣化状況等を踏まえ、コア採取やコアを試料とした材料試験などが行われる。これらの詳細調査から得られた結果を基に、補修方針の決定など重要な判断が行われるのが一般的な実務でのプロセスである。

従って、この材料試験の実施箇所の選定が極めて重要となってくるところであるが、前述のとおり、上面（舗装面）、下面の外観が、床版全体の状況を把握する上で必ずしも、十分な情報量では無く、従来からのプロセスでは、材料試験結果に基づき全体の健全度を判定する過程において、劣化箇所の「深さ」や「広がり」などを経験的に推定しているのが実状である。

この推定に係る情報について質、量ともに向上することが、今後、橋梁の予防保全型の維持管理を推進する上で、重要な課題であると言え、点検などの情報収集から診断を行う過程に「厚さ」および「広がり」の概念、さらにこれらに係る「時間的」概念をより多く考慮することが可能となれば、補修方針における合理的な判断につながるとともに、道路利用者への説明責任の確保に資するものと考えられる。

このような継続的な調査を行うことは、未だ不確実性を有している構造物の劣化予測技術の精度向上にも、寄与するものと考えられる。

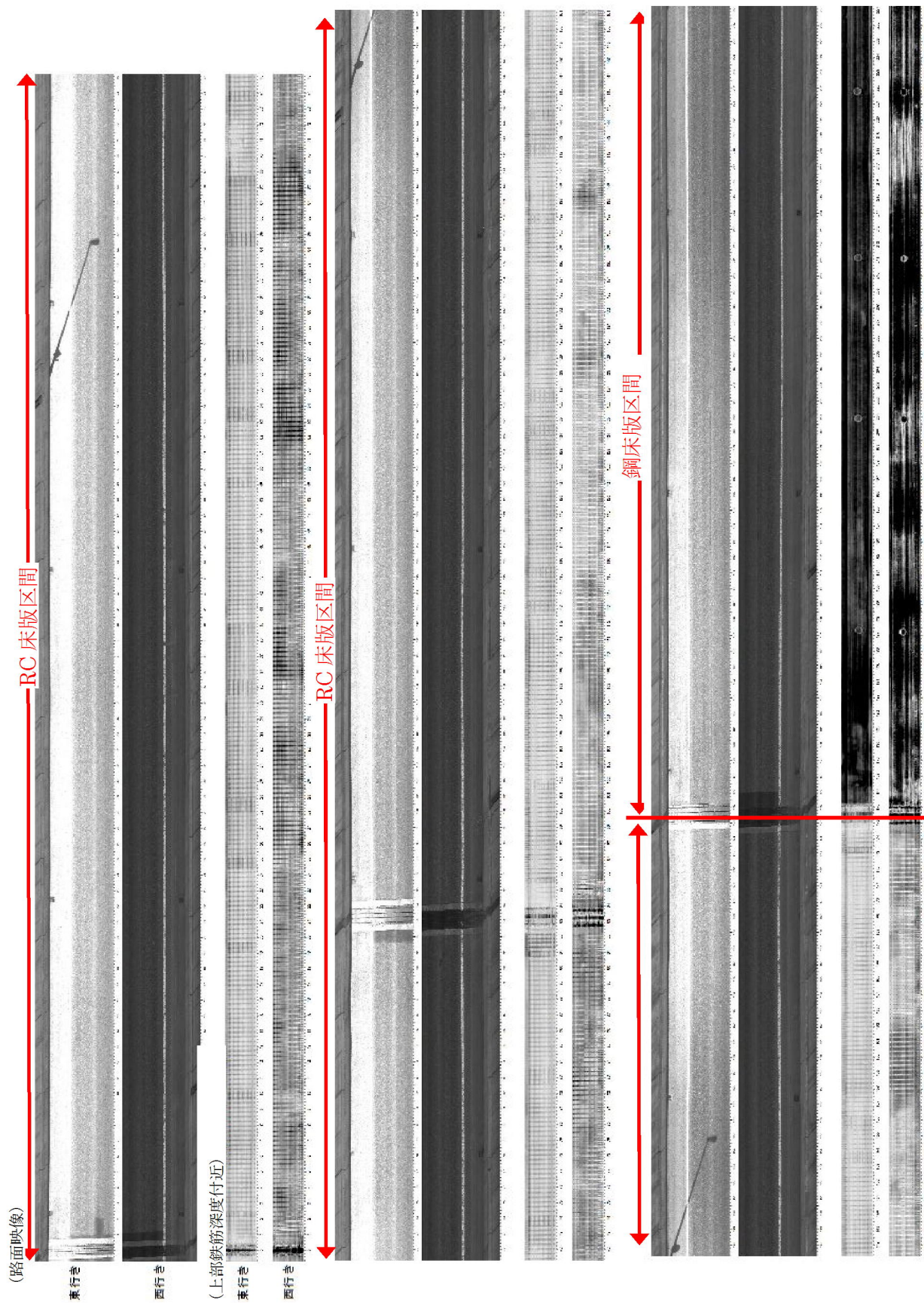


図 5-33 架設後 9 年経過した橋梁のデータの取得事例

5.8 まとめ

本章では、積雪寒冷地の橋梁床版の点検、調査手法について、3次元レーダー探査技術を活用し、従来ブラインドとなっていた部分を可視化することで情報の高度化を図り、床版の診断や補修方針の立案における信頼性、合理性の向上に資する手法について提案を行ったものである。

まず、5.2節では、目視点検を基本とした従来の床版の点検、調査において、精度向上の観点から制約となっている項目について整理し、今後さらなる効率的な維持管理を行うための具体的な課題として、「①RC床版の抜落ちのリスク回避」、「②詳細調査の精度向上」、「③補修効果の検証」の3つを抽出した。

5.3節では、積雪寒冷地の橋梁の維持管理において、特に注意を払うべき事象として、3つの課題のうち「床版の抜落ち」について、近年、発生した事例を紹介し、そのメカニズムについて述べるとともに、積雪寒冷地特有の床版上面の脆弱化が床版の疲労耐久性に大きく影響を与えることについて試算に基づき説明した。

5.4節では、本研究で用いる、3次元レーダー探査の概要を述べるとともに、自走式、手押し式の機材の仕様と3次元レーダー探査技術の解析原理について述べた。

5.5節では当レーダー探査の実橋への適用事例について、5.2節で述べた具体的な3つの課題に対応した形で述べている。「①RC床版の抜落ちのリスク回避」については、長寿命化修繕計画において、最も重要と位置付けているグループ①に属する49橋に対し、当レーダー探査による概略的な調査を行った結果、抜落ちにつながるような重大な損傷はなかったことを示している。次に、上面に劣化が確認された橋梁においてのレーダーの応答と舗装開削結果とを照合をした事例、ならびに本レーダー探査の適用性が高いと考えられる跨線橋のグレーチング床版への適用事例について示し、当レーダー探査の有効性について説明した。

「②詳細調査の精度向上」については、PC桁のケーブル定着部において発生した脆弱部を捉えた事例、事前のコア採取により高い塩化物濃度が確認されている橋梁において補修方針の決定に当レーダー探査を活用した事例、舗装下に滞水が発生している鋼床版において、その滞水範囲の推定を行った事例、ならびに、3次元レーダー探査の高精細な影像を活用した鉄筋のピッチ、かぶりの推定精度について実橋の開削に基づき検証した事例について述べた。「③補修後の効果検証」については、床版防水層が敷設されている橋梁を対象としてデータ取得を行い、3次元レーダー探査が床版防水層の健全度評価に有効活用できる可能性について述べ、さらに、過年度に床版上面に鋼板接着を行った、床版張出し部において、再劣化が発生している橋梁に適用し、再劣化範囲の特定に活用した事例について述べた。

5.6節では、著しい劣化が発生し打替えが予定されている床版を対象に、3カ年にわたり取得したデータと床版撤去時の切断面などにおいて、より詳細な形でレーダーの応答と実橋の劣化、損傷状態状況の対比を行った。その結果、対象とした橋梁において、舗装の劣化状態と床版上面の劣化状態は必ずしも高い相関を示していないが、当レーダー探査により得られた応答は床版上面の劣化を精度良く捉えていること、レーダーの応答は上側に劣化がある場合、その下部からの応答は、上側に位置する劣化部の影響を受ける場合があり、劣化、損傷の推定精度は必ずしも高いものにはならないこと、またその反面、上側に劣化箇所が存在しない場合や内部や下面の損傷範囲が広範囲にわたる場合、当

レーダー探査によりこれらの範囲を推定できる可能性があること、また、床版が健全な場合、当調査から得られる応答の精度は高く、健全な範囲の特定において、その信頼性は高いと考えられることについて述べた。

5.7 節では、前節までの結果を踏まえ、3 次元レーダ探査により経年的にデータ取得を行う床版調査の 4 次元化の提案を行い期待される具体的なメリットについて述べた。

当調査手法の単価は、一般の橋梁定期点検など比較して、高価なものであるが、大掛かりな足場の設置を要する際など、その点検手法によっては費用が逆転する。得られる情報の精度や床版拔落ちなどのリスク回避の効果などを考慮すると、十分な費用対効果が得られる場合がある。

ここで説明した 3 次元レーダ探査は、橋梁の重要度、交差条件、健全度などを考慮し、一般的な目視点検、材料試験などの詳細調査と適宜組み合わせることで、さらなる情報の高度化とともに、より効率的な維持管理に資するものと考えている。

6. 結論

本研究は、積雪寒冷地である札幌市の橋梁を対象とし、札幌市が置かれている現状を踏まえ、より実効性がある長寿命化修繕計画の策定を目的に行うとともに、道路利用者の安全とさらなる予防保全的な維持管理を実現する手法として、3次元レーダーを用いた床版内部診断手法について、提案を行いその実用性について検証を行った。

以下では、本論文で得られた結論を各章ごとに要約して述べる。最後に今後の課題と展望について述べる。

第1章では、本研究を行うにあたり、我が国の橋梁維持管理における背景を述べるとともに、既往の道路橋の維持管理計画の策定に関する研究と積雪寒冷地における床版劣化およびの調査手法に関する研究について紹介し、地域の特性に応じた橋梁長寿命化修繕計画が重要であること、ならびに、床版の点検、調査手法が精度の面で未だ多くの課題を有していることを説明し、本研究の目的を述べている。

第2章では、札幌市の長寿命化修繕計画の策定に先立ち必要となる各種データについて、収集整理を行った。まず、国土交通省の支援などが始まった平成19年度以降の全国の自治体の橋梁点検、計画策定、および、修繕（補修）の実施状況について述べ、近年、全国の自治体で、点検、計画策定が取組まれ、以降、修繕がより推進されていく状況にあることを説明した。次に、計画の対象となる札幌市の橋梁の規模や構造形式における特徴、架設年の構成、および他都市との交通状況の比較について述べた。また、計画策定における最も重要な基礎データである橋梁点検について、点検手法やこれまでの進捗状況について述べるとともに、現在、顕在化している損傷において、重度のものや緊急的に対応が必要になるものは少なく、予防保全型維持管理手法への転換によって、より大きなメリットが得られる可能性があること、さらに、これらの結果の分析から、顕在化している損傷は荷重的な要因よりも、積雪寒冷地特有の材料劣化が支配的であることについて述べた。

第3章では、札幌市が管理する橋梁のうち、重要橋梁と位置付けた247橋の計画策定について述べるとともに、計画の実効性を確保するために行った各種の取組みについて述べた。まず、札幌市における橋梁長寿命化修繕計画の位置付けについて説明し、メリハリのついた計画とするために重要橋梁と一般橋梁について選定を行った。次に、計画策定における方針を定め、重要橋梁と一般橋梁をさらに5段階のグループに分類し、それぞれの目標共用年数と維持管理レベルを定め、グループ毎の維持管理レベルや目標共用年数を達成するための補修工法を示した。併せて、メリハリのついた投資を行うための根拠となるLCCの試算に基づき大規模かつ重要な橋梁ほど予防保全型維持管理により得られるメリットが大きいことを説明した。

また、計画策定にあたり、支援ツールとして活用した札幌市BMSについて、その概要や基準となる劣化曲線を示すとともに、計画と実際の補修工事における工法や費用および対策範囲などとの乖離を抑制するために取り組んだ「目視点検のばらつきの解消」、「劣化予測の精度向上」、「補修費用算出の適正化」について述べた。

これに引き続き、BMSによる劣化予測に基づく具体的な事業計画の優先順位付けや予算の平準化手法について述べ、加えて当計画を実行することにより見込まれるコスト縮減効果について試算を行った。

第4章では、第3章の重要橋梁247橋の長寿命化修繕計画に引き続き行った一般橋梁1,009橋の計画策定、および、これを重要橋梁の計画に統合した全橋の計画策定について述べた。

また、計画の運用にあたって、重要となる橋梁の架替えルールや計画を継続的に実行していくための推進体制、運用方法について述べた。

一般橋梁の修繕計画策定方針および重要橋梁の計画との統合については、重要橋梁の計画策定ものを踏襲しているが、補修対象橋梁の選定には、健全度、橋梁の重要度に対応した、優先順位マトリクスを活用し、全管理橋1,256橋のうち、計画対象期間である今後10年間の補修対象橋梁として450橋を選定した。これらの結果に基づき、一般橋梁の計画および統合した全橋の計画の実施により得られるコスト縮減効果についても試算を行った。当計画では、架替えを計画した橋梁は無いところであるが、今後、計画の方針に基づき、上部工のみを架け替える場合なども想定されるため、過去の道路橋の架替え理由や道路橋示方書の変遷などを踏まえ、具体的な架替えに係るルールを定めた。また、計画を実行するにあたり、重要となる札幌市における実施体制や維持管理におけるマネジメントサイクルについて述べた。

第5章では、積雪寒冷地の橋梁床版の点検と調査手法について、3次元レーダー探査技術を活用し、従来ブラインドとなっていた部分を可視化することにより情報の高度化を図り、床版の診断や補修方針の立案における信頼性と合理性の向上に資する手法について提案を行った。

まず、従来の目視点検を基本とした床版の点検と調査において、精度向上の観点から制約となっている項目について整理するとともに、今後さらなる効率的な維持管理を行うための具体的な課題として、「①RC床版の抜け落ちのリスク回避」、「②詳細調査の精度向上」、「③補修効果の検証」の3つを挙げた。また、3つの課題の中で、特に注意を払うべき事象として、「床版の抜落ち」について、近年に発生した事例を紹介し、そのメカニズムについて説明するとともに、床版上面の脆弱化が床版の疲労耐久性に大きく影響を与えること説明した。

引き続き本調査方法の実橋への適用事例について、上述の具体的な3つの課題に対応した形で整理、検証し、それぞれの課題解決において、当調査手法の有効性があることを説明した。また、著しい劣化が発生し撤去が予定されている床版を対象に3ヶ年に渡りデータを取得し、撤去の際の切断面などと対比を行い、3次元レーダ探査の有効性について、より詳細に検証を行った。その結果、床版の劣化状況に応じて、劣化範囲の特性に課題が残るものの、当レーダー探査は、現在の目視点検を基本とした点検、調査の不確実性を補完する有効なツールとなり得ることを示した。

また、これらの結果を踏まえ、3次元レーダ探査に時間軸を考慮した4次元化について、提案を行い具体的なメリットについて整理した。

以上のように、本研究では、札幌市の実状に応じた橋梁長寿命化修繕計画の策定とともに、従来の床版の点検調査手法の不確実性を補完するツールとなる3次元レーダーの適用性について、検証を行った。

本研究の結果を踏まえ、今後の課題として、以下の3つを挙げる。

- ① 現在、橋梁の点検と調査は点検技術者の目視を基本とした、損傷程度の評価により行われており、これに基づき、計画策定や補修要否の判定など、橋梁維持管理に係る重要な意思決定が行われている。しかしながら、点検と調査は、点検技術者のその損傷のメカニズムに係る認知度や経験値の違いにより、あるいは、点検技術者と道路管理者との損傷の要否に係る認識のずれにより、ばらつきが発生することは否めないのが実情である。本研究ではこのことに着目し、評価の考え方を示した目安を策定するなど取組みを行ったところであるが、未だ完全なものとは言い難い。

今後、さらなる効率的な維持管理の推進、ならびに、市民へのアカウンタビリティ向上のためにも、損傷程度の評価において、数値化や本研究で取り組んだ可視化を含め、様々な形で客観性を向上させていく取組みが必要と考えられる。そのためには、画像解析技術や ITC など、様々な先端技術を駆使した取組みが必要である。

- ② 現在、札幌市内では、当計画に基づき補修工事が順次行われているところである。ここで行われた補修工事の内容について詳細な記録を残すことは勿論のこと、中長期的な観点から、これらの効果について検証を行っていくことが重要である。現在、行われている補修補強工法は、設計レベルおよび実験室レベルでは、その効果が確認されているものも多いが、実際のフィールドにおいての耐久性や効果について検証した事例は未だ多くないのが実状である。これらが明らかになることにより、補修、補強工法の選定の合理性が増すことのみならず、LCC の算出などを含む、今後の維持管理計画の策定の精度向上に寄与するものと考えられる。
- ③ 本研究では、上述の課題①で述べた、点検、調査の精度向上について、道路橋の床版を対象に 3 次元レーダー探査を用い検証を行った。第 5 章で示したように、ここで適用したレーダー探査技術は、これまでの目視による点検、調査の不確実性を補完するツールとして、十分な有効性があるものと考えられる。

しかしながら、レーダー探査技術は、得られる応答影像の不鮮明な箇所をもって、劣化範囲を特定しており、上側に劣化がある場合には、その下部の劣化推定精度の確保は困難になること、mm 単位での劣化深さの特定は困難なこと、応答影像からの劣化種類の判定が困難なことなど、今後さらなる精度向上にむけて課題があるものと考えられる。

以降、本研究で取り組んだような実橋での対比、検証をより多くデータとして蓄積していくことは勿論のこと、実験室レベルで「舗装劣化が発生している床版」、「上面に凍害が発生している床版」、「水平ひび割れなどの内部劣化が発生している床版」など、現場での複雑さを排除した典型的な損傷状況を再現した供試体を対象として、応答を詳細に検証するなどの取組みが重要である。

当レーダー探査により「明確にわかるもの」、「可能性を示すことができるもの」、「わからないもの」を明確化することで、当レーダー探査のさらなる信頼性の向上とともに、床版点検、調査の情報の高度化が図られるものと考えている。

参考文献

- 1) 道路橋の予防保全に向けた有識者会議：道路橋の予防保全に向けた提言, pp. 1-4, 2008.
- 2) 東京都橋梁長寿命化検討委員会：橋梁の戦略的予防保全にむけて答申, pp. 47-48, 2008.
- 3) 札幌市市政概要 平成24年度版, pp. 8-11, 2013.
- 4) 三田村浩, 佐藤京, 本田幸一, 松井繁之, 道路橋 R C 床版上面の凍害劣化と疲労寿命への影響, 構造工学論文集, Vol. 55A, pp. 1420-1431, 2009.
- 5) 國松博一, 山谷直孝, 澤松 俊寿:一般国道 2 7 5 号志寸川橋の床版陥没について一陥没の発生から復旧まで一, 国土交通省北海道開発局第56回(平成24年度)北海道開発技術研究発表会, 2012.
- 6) 宮本文穂, 串田守可, 足立幸郎, 松本正人:Bridge Management System (BMS)の開発, 土木学会論文集, 560/VI-34号, pp91-106, 1997.
- 7) 宮本文穂, 河村圭, 中村秀明:Bridge Management System(BMS)を利用した既存橋梁の最適維持管理計画の策定, 土木学会論文集, No. 588/VI-38, pp. 191-208, 1998.
- 8) 河村圭, 宮本文穂, 中村秀明, 小野正樹:Bridge Management System(BMS)における維持管理対策選定システムの開発, 土木学会論文集, No. 658/VI-48, pp. 121-139, 2000.
- 9) 鬼丸浩幸, 宮本文穂, 中村秀明, 小野正樹:因果ネットワークを用いた橋梁劣化要因の推定と維持管理対策の選定, 構造工学論文集, Vol. 46-A3, pp. 1213-1224, 2000.
- 10) 仁木京子, 今野将顕, 宮本文穂, 中村秀明, 石田純一:BMSにおける維持管理対策の優先順位決定方法の提案, 構造工学論文集, Vol. 51, pp. 367-378, 2005.
- 11) 室井智文, 窪田賢司, 紫桃孝一郎, 稲葉尚文, 横山和昭, 山根立行:橋梁マネジメントシステムにおける劣化度評価手法に関する一考察, 構造工学論文集, Vol. 51, pp. 1139-1146, 2005.
- 12) 大島俊之, 三上修一, 山崎智之, 丹波郁恵:橋梁健全度評価に用いる評価方法の検討と影響要因の解析, 土木学会論文集, No. 675/ I -55号, pp. 201-217, 2001.
- 13) 竹田俊明, 大島俊之, 佐藤誠, 三上修一:橋梁点検実測データに基づく橋梁資産劣化予測評価の検討, 構造工学論文集, Vol. 51, pp. 1157-1167, 2005.
- 14) 中林正司, 西岡敬治, 小林潔司:阪神高速道路の維持管理の現状と課題, 土木学会論文集, No. 63/F, pp. 494-505, 2007.
- 15) 石田純一, 岡崎光央, 河村圭, 宮本文穂:山口県における計画的橋梁維持管理の導入手法と実用的データベースシステムの開発, 土木学会論文集, No. 64/F, pp. 72-91, 2008.
- 16) 中野一也, 中村聖三, 高橋和雄:長崎県における橋長15m以上の橋梁の点検結果に基づく劣化予測曲線, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 66, I -608, pp. 1211-1212, 2011.
- 17) 齊藤暖, 太田貞次:香川県内橋梁における劣化の経年変化に関する調査研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 66, VI-201, pp. 401-402, 2011.

- 18) 野寄一郎, 入谷琢哉, 慈道充: 大阪市橋梁維持管理システムの構築について, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 60, pp. 196-198, 2005.
- 19) 古市亨, 松井繁之, 小寺徹, 佐光浩継, 小西康太: 市町村レベルにおける橋梁の点検優先順位決定手法の提案, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 64, I-080, pp. 159-160, 2009.
- 20) 池田憲二, 大島俊之, 佐藤京, 渡邊一悟, 加藤静雄: 北海道BMSの構築と運用における課題, 土木計画学研究・講演集, Vol. 29, pp. 90, 2004.
- 21) 安達優, 石川博之, 佐藤京, 加藤静雄: 北海道BMSにおける優先順位付けの検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 61, 6-025, 2006.
- 22) 杉本博之, 首藤諭, 後藤晃, 渡辺忠朋, 田村亨: 北海道の橋梁のユーザーコストの定量化の試みとその利用について, 土木学会論文集, No. 682/I-56, pp. 347-357, 2001.
- 23) 松井繁之: 道路橋床版—設計・施工と維持管理—, 森北出版, 2007
- 24) 松井繁之, 前田幸雄: 道路橋RC床版の劣化度判定法の一提案, 土木学会論文集, 第374号, I-6, pp. 419-426, 1986. 10
- 25) 竹田俊明, 三上修一, 大島俊之, 鈴木広大: 寒冷地における橋梁の劣化環境とRC床版の劣化予測に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 53A, pp. 674-685, 2007.
- 26) 三田村浩, 佐藤京, 西弘明, 渡辺忠朋: 積雪寒冷地における既設RC床版の延命手法について, 構造工学論文集, Vol. 58, No. 16-24, 2010.
- 27) 古川謙一郎, 星野辰雄, 野村直茂, 中谷眞二, 寺本尚夫: コンクリート床版の劣化性状点検への画像処理法の適用, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 共通セッション, Vol. 56, pp. 322-323, 2001.
- 28) 斉藤雅信, 加藤静雄, 熊谷清貴, 中馬勝己, 小出博: 赤外線サーモグラフィ法による床版上面の調査手法について, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 65, VI-165, pp. 329-330, 2010.
- 29) 関口幹夫, 國府勝郎: FWDによる床版の健全度評価手法の検討, 構造工学論文集, Vol. 50, pp. 697-706, 2004.
- 30) 国土交通省道路局国道・防災課, 道路局環境安全課: 予防保全の取組み, 記者発表資料, 2013.
- 31) 国土交通省道路局: 長寿命化修繕計画策定事業補助制度要綱について, 2007.
- 32) 国土交通省道路局企画課道路経済調査室: 全国道路・街路交通情勢調査 (平成 22 年度 道路交通センサス), 2010.
- 33) 国土交通省 国道・防災課: 橋梁定期点検要領 (案), 2004.
- 34) 札幌市建設局土木部道路維持課: 札幌市定期点検要領 (案), 2007.
- 35) 札幌市建設局土木部道路維持課: 札幌市定期点検要領 (案) 補足資料 対策区分判定の目安. 2009.

- 36) 札幌市建設局土木部道路維持課：札幌市道路維持管理基本方針. 2010.
(<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroi ji/>)
- 37) 札幌市建設局土木部道路維持課：札幌市橋梁長寿命化修繕計画, pp. 1-7, 2010.
(<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroi ji/>)
- 38) 須志田健、林川俊郎：札幌市における橋梁維持管理計画の策定における一考察, 鋼構造年次論文報告, Vol. 18, pp. 555-562, 2010, 11
- 39) 札幌市建設局土木部道路維持課：札幌市橋梁長寿命化修繕計画改定版, pp. 1-14, 2012.
(<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/doroi ji/>)
- 40) 橋梁の架替に関する調査結果 (IV) (国総研資料第 444 号)
- 41) 札幌市：まちづくり戦略ビジョン (ビジョン編), 2013.
- 42) 北海道土木技術会鋼道路研究委員会：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針 (維持管理編), pp. 8-27, 2012.
- 43) 北海道土木技術会鋼道路研究委員会：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針 (設計・施工編), pp. 3-96-3-99, 2012.
- 44) 北海道建設部：公共土木施設長寿命化検討委員会報告書, 2006.
- 45) 建設省土木研究所：橋梁点検要領(案), 土木研究所資料第2651号, 1998.
- 46) 日本道路協会：道路橋下部工構造設計指針 橋台・橋脚の設計編, 1967.
- 47) 日本道路協会：道路橋耐震設計指針・同解説, 1972.
- 48) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 1980.
- 49) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 1990.
- 50) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 1996.
- 51) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 2002.
- 52) 森田英明、大野敦弘：スケルカ技術を活用した橋梁床版劣化診断システムの開発と運用, 土木学会第66回年次学術講演会, Vol. 156, pp. 311-312, 2011.
- 53) 志水公敏、森久芳、瀬良良子：名古屋高速大規模補修修繕工事における床版内部事前調査, コンクリート工学年次論文集, vol. 35, No. 2, pp. 1447-1452, 2013.

- 54) 須志田健、林川俊郎、森田英明：積雪寒冷地における床版の調査方法に関する一考察, 鋼構造年次論文報告, vol. 20, pp. 639-646, 2012.
- 55) 須志田健, 林川俊郎, 森田英明：「積雪寒冷地における床版調査方法の高度化に関する一考察」, 鋼構造年次論文報告, Vol. 21, pp. 238-245, 2013.
- 56) 北海道土木技術会鋼道路研究委員会：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針（維持管理編）, pp. 11-30, 2012.
- 57) 岡田慎哉, 西弘明, 山崎達哉：一般国道 2 7 5 号志寸川橋の床版陥没について－輪荷重の走行シミュレーション解析－, 国土交通省北海道開発局第56回(平成24年度)北海道開発技術研究発表会, 2012.
- 58) 澤松俊寿, 岡田慎哉, 山崎達哉：一般国道 2 7 5 号志寸川橋の床版陥没について－防水層を含めた床版の劣化損傷状況の調査, 国土交通省北海道開発局第56回(平成24年度)北海道開発技術研究発表会, 2012.
- 59) 日本道路協会：床版防水便覧, pp. 35, 2007.