

平成 22 年度

橋梁の延命化シナリオ策定の実践・検証に関する研究

報告書
(第 1 回中間報告)

平成 23 年 9 月

橋梁の延命化シナリオ策定の実践・検証に関する
研究プロジェクトチーム

はじめに

3月11日に発生した東日本大震災を経て、地震考古学が注目を集めている。宮城県気仙沼市の海岸で過去6,000年間に6回の巨大津波に襲われた可能性を示す地層が発見されたという。地層を調べ史書に学び、過去を詳細に検討することは重要な手がかりになる。また、過去の天災とその復興に学び、温故知新よろしく現在に生かすことも効果的といえよう。自然災害に対し脆弱な国土に住むわれわれはその脅威を再認識して適切に備えることが大切である。ひるがえって、社会資本の高齢化および劣化損傷を考えたとき、このままでは「荒廃する日本」を招く可能性が高く、目前に迫りくる危険不安および不快は、ある意味予期し得る災害と考えることができる。各種の予防保全的対策や人的資源管理を含め、今から適切に対処しておくことが肝要である。これを怠れば、すなわち人災であるといえよう。

こういった次第で、本研究プロジェクトではこれまでの研究成果を踏まえ、下記のコンセプトのもとにプロジェクトを進めることとした。

- ・ 延命化のための“道しるべ”をつくろう。
- ・ 最適延命化のための“シナリオ”作りをしよう。
- ・ 丈夫で美しく長持ちする橋梁で、丈夫で美しく長持ちする市民社会を！

“道しるべ”では、中堅・若手の技術者が各種維持管理の各局面において適切な方策が採れるよう、技術的伴侶となるソフト「橋の匠」の構築を手がけた。平易でわかりやすく、サクサク進むをモットーに対話型のシステムや画面づくりをすすめた。携帯型ゲーム機等に慣れた若い技術者には体感型のツールはお手のものであろう。

“シナリオ”は、橋が置かれている各種事情と状況等を勘案して、本来、橋ごとに設定されるものである。社会的経済的要因やその他の各種要因を踏まえ、橋々の生かし方を総合的に検討して対策を決めるものであり、関係者間の合意形成を図りながら判断することがよい。ソフト「橋の匠」では中堅・若手技術者向けソフトであることに配慮して、わかりやすい方針・事例として、3つの設計思想を明示した。いずれも、予防保全の考え方に則り、あくまで計画的に対処することを基本としている。

本プロジェクトで構築中の調査・計測手法、および補修補強工法に関する選定システム「橋の匠」は、維持管理の現場でより効果的に利活用されることを目指し、今後確からしさの検証とそのフィードバックを行うとともにユーザーに愛される形で進化できるよう普及活動にも力を入れたいと考えている。

本研究プロジェクトは、産学官がそれぞれの特徴を効果的に発揮し、橋梁の延命化シナリオ策定の実践と検証に関する研究を連携して行っているものであり、これらの研究成果が橋梁を丈夫で美しく長持ちさせるための一助となり、引いては、丈夫で美しく長持ちする市民社会に貢献することを願っている。

1. 研究概要

1-1 研究の目的

飛躍的に増大する橋梁の高齢化に対応するため、健全性を把握し適切に補修補強を施して橋梁の延命化を図ることが重要である。そこで本研究では、橋梁群の維持管理を一定地域レベルで最適化するために、モニタリングを基にした相対的な健全度評価手法を開発する。また、維持管理の現場に即した実用的な業務支援システムを構築、その運用・普及を進め、効率的で安定した維持管理を果たすことを目的とした。

1-2 研究のコンセプト

- ・ 延命化のための“道しるべ”をつくろう
- ・ 延命化方策の“シナリオ”をつくろう
- ・ 丈夫で美しく長持ちする橋梁で、丈夫で美しく長持ちする市民生活を！

1-3 研究の課題

- ① 国道2号U橋のモニタリングを継続するとともに、周辺橋梁群の相対的な安全性評価手法を開発すること。汎用化のための手引きを作成すること。
- ② 最適延命化方策選定システムのソフト「橋の匠」を作成すること。
- ③ 維持管理の現場において、ソフト「橋の匠」を実践し、実用的であることの検証を行うとともに、適切な普及活動を行うこと。

1-4 平成22年度の成果

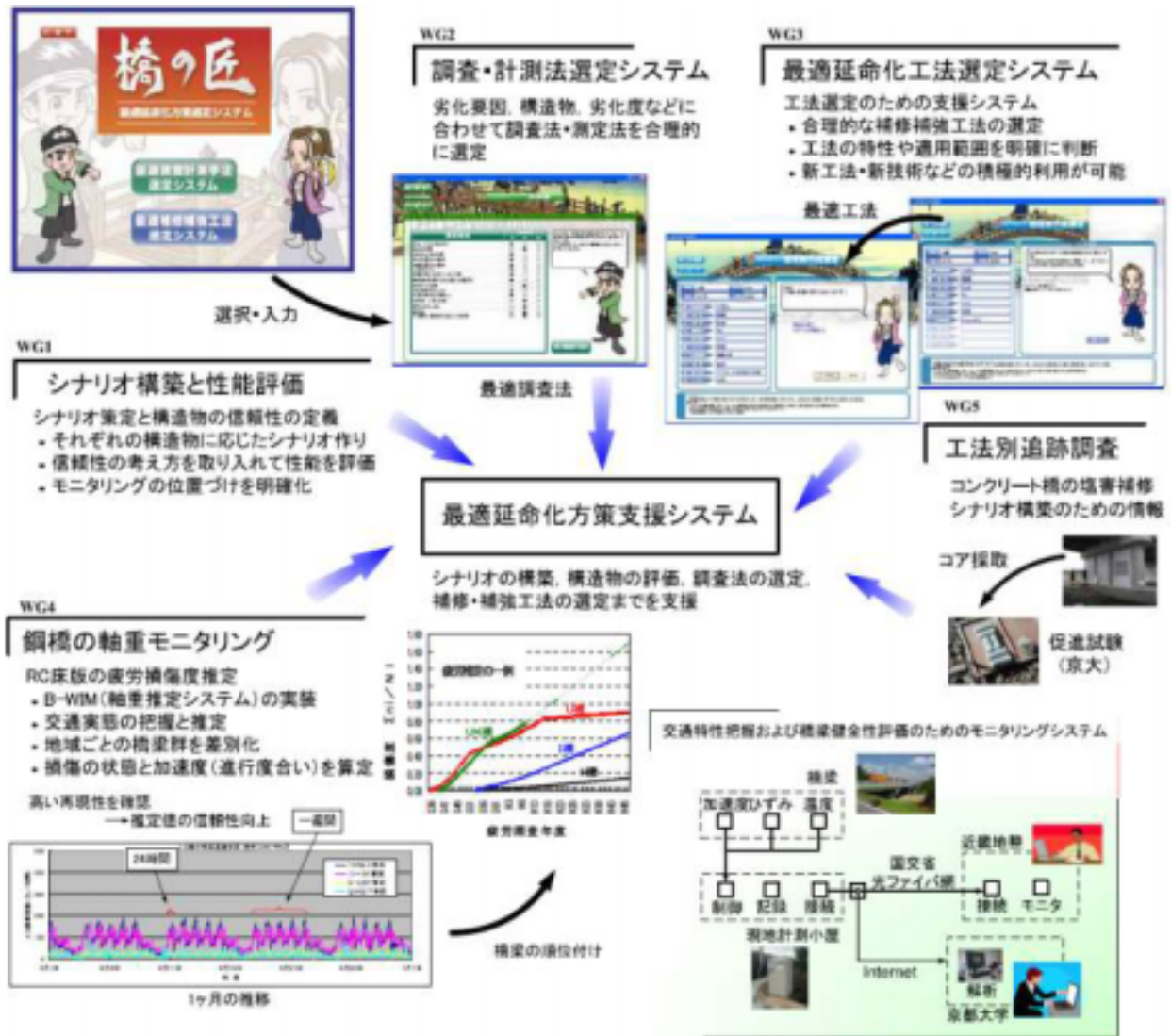
- ・ モニタリングに基づく橋梁群の健全性評価
- ・ 延命化のためのシナリオの構築
- ・ 調査計測手法の選定システムの作成
- ・ 補修補強工法の選定システムの作成
- ・ 選定システム「橋の匠」の实地検証と普及活動

1-5 平成23年度の研究内容

- ・ モニタリングに基づく橋梁群の評価手引き作成
- ・ 延命化のためのシナリオの充実
- ・ 調査計測手法選定システムの機能向上
- ・ 補修補強工法選定システムの機能向上
- ・ 選定システム「橋の匠」の实地検証と普及活動および各種情報のフィードバック

1-6 研究のイメージ

より実用性の高い 最適延命化方策支援システムの構築・運用へ



プロジェクト参加団体および参加者

【学】

宮川 豊章 ^{*1)}	京都大学大学院	工学研究科社会基盤工学専攻	教授
河野 広隆	京都大学大学院	工学研究科都市社会工学専攻	教授
杉浦 邦征 ^{*2)}	京都大学大学院	工学研究科社会基盤工学専攻	教授
服部 篤史	京都大学大学院	工学研究科都市社会工学専攻	准教授
塩谷 智基	京都大学大学院	工学研究科都市社会工学専攻	准教授
山本 貴士	京都大学大学院	工学研究科社会基盤工学専攻	准教授
大島 義信	京都大学大学院	工学研究科社会基盤工学専攻	准教授

【官】

橋本 拓己	国土交通省近畿地方整備局	道路部 道路保全企画官
宮井 達也	国土交通省近畿地方整備局	道路部 道路構造保全官
野中 砂男	国土交通省近畿地方整備局	道路部道路管理課 課長
神谷 毅	国土交通省近畿地方整備局	道路部道路管理課 道路保全企画係長
吉村 貞孝	国土交通省近畿地方整備局	近畿技術事務所 副所長
村田 嘉彦	国土交通省近畿地方整備局	近畿技術事務所防災・技術課 技術係長
一井 博文	国土交通省近畿地方整備局	姫路河川国道事務所 副所長
高村 裕一	国土交通省近畿地方整備局	姫路河川国道事務所道路管理第二課 課長
池田 広貴	国土交通省近畿地方整備局	姫路河川国道事務所道路管理第二課 維持係長
竹田 良邦	(財)海洋架橋・橋梁調査会	近畿支部 支部長
板谷 勉	(財)先端建設技術センター	近畿センター センター長

【産】

－ 統合化 WG －

中山 昭二 ^{*3)}	(株)ソーキ	産学官連携・新技術推進センター センター長
尾儀 一郎	(株)エイト日本技術開発	関西支社 保全・耐震・防災部 部長
三木 正司	(株)エイト日本技術開発	関西支社 保全・耐震・防災部 プロジェクトマネージャー
森崎 静一	(株)オリエンタルコンサルタンツ	関西支店駐在 SC事業本部 技術主監
梶浦 新策	(株)オリエンタルコンサルタンツ	関西支店駐在 SC事業本部 構造グループ技術主査
大村 恵治	鹿島建設(株)	関西支店 土木部技術グループ 次長
日紫喜 剛啓	鹿島建設(株)	研究・技術開発本部 技術研究所 副所長
能登 有愿	橋梁技術塾	塾長
山根 隆志	極東興和(株)	事業本部 事業推進部長
谷口 義則	極東興和(株)	大阪支店 技術部 技術課
前田 敏也	清水建設(株)	土木技術本部技術第5部
		ライフサイクルエンジニアリンググループ 課長グループ長
石川 次郎	(株)修成建設コンサルタント	取締役副社長
前田 和夫	(株)修成建設コンサルタント	技術本部 技術2部 副主幹
中嶋 裕和	(株)修成建設コンサルタント	技術本部 技術2部 副主幹
田底 成智	中央復建コンサルタンツ(株)	調査系部門 技師長
加藤 俊昌	(株)ニュージェック	国内事業本部 部長
内田 諭	(株)ニュージェック	大阪本社 道路グループ 橋梁チーム リーダー
大西 豊	(株)ニュージェック	東京本社 道路グループ グループマネージャー
入倉 雅人	(株)ニュージェック	東京本社 道路グループ 主任
富山 春男	パシフィックコンサルタンツ(株)	交通技術本部 トンネル部 渋谷開発グループ
		グループリーダー
藤沢 匡尚	パシフィックコンサルタンツ(株)	大阪本社交通技術部 耐震・橋梁保全グループ
寺下 諭吉	八千代エン지니어リング(株)	広島支店 取締役支店長
香川 賢一	八千代エン지니어リング(株)	大阪支店 道路・構造部 技術1課 課長

－ 調査計測 WG －

真鍋 英規 ^{*4)}	(株)国際建設技術研究所	構造設計部 部長
高林 和夫	(株)IHI インフラシステム	技術本部 開発部プロジェクト1課
三田 健大	(株)安部日鋼工業	大阪支店 技術工務部 橋梁技術課 課長
井隼 俊也	オリエンタル白石(株)	大阪支店 施工・技術部 技術チーム 課長
宮本 則幸	(株)計測リサーチコンサルタント	企画開発部 部長
田ノ上 誠次	(株)計測リサーチコンサルタント	大阪支社
狩野 裕之	(株)鴻池組	大阪本店 土木技術部 技術課 課長代理
福田 浩之	(株)東京測器研究所	大阪営業所 計測技術課 課長代理
小林 仁	(株)ピー・エス三菱	大阪支店 土木技術部 部長

堀内 達斗	(株)ピー・エス三菱	大阪支店 土木技術部 設計グループリーダー
廣井 幸夫	ピーシー橋梁(株)	西日本支社 大阪支店 技術部 部長
加藤 俊	ピーシー橋梁(株)	西日本支社 大阪支店 技術部 係長
松下 裕明	日立造船(株)	機械・インフラ本部 鉄構ビジネスユニット 鉄構ソリューション室 課長代理
室田 敬	三井住友建設(株)	大阪支店 土木部 技術グループ 部長代理グループ長

－ 補修・補強 WG －

金好 昭彦 ^{*4)}	大鉄工業(株)	本社 土木本部 技術室 室長
信岡 靖久	青木あすなろ建設(株)	土木技術本部土木 RN 事業部コンクリート構造物 RN グ ループ グループリーダー
竹田 宣典	(株)大林組	技術研究所 生産技術研究部 上席研究員
岩井 稔	鹿島建設(株)	土木管理本部 土木技術部 リニューアルグループ 課長
木本 輝幸	川田工業(株)	橋梁事業部 大阪技術部 設計一課 課長
江良 和徳	極東興和(株)	事業本部 事業推進部 補修課
為石 昌宏	(株)鴻池組	大阪本店 土木技術部 主任
大前 博	大成建設(株)	関西支店 土木部 技術部長
岡田 浩樹	大成建設(株)	関西支店 営業部 課長
田口 雅彦	東急建設(株)	大阪支店 土木部 担当部長
辻子 雅則	飛島建設(株)	大阪支店 企画グループ 担当部長
重金 治彦	飛島建設(株)	大阪支店 奈良営業所 所長
小川 久志	(株)駒井ハルテック	橋梁事業部 橋梁技術本部 橋梁設計部 大阪設計 課 課長
北川 淳一	三菱重工鉄構エンジニアリング(株)	橋梁技術部設計 2 グループ

－ モニタリング －

奥野 正富	NTTインフラネット(株)	関西支店 エンジニアリング部 部長
永谷 秀樹	(株)宮地鐵工所	千葉工場 技術研究所 技術開発グループ 課長代理
蓮井 昭則	(株)環境総合テクノス	土木部 土木エンジニアリンググループ 担当部長

*1) :プロジェクトリーダー

*2) :サブリーダー

*3) :幹事長

*4) :WG (ワーキング・グループ) 主査

※所属・役職等は H23.7.1 現在

総 目 次

- ・ 全体概要
- 第 0 章 橋梁の現況
- 第 1 章 モニタリングに基づく橋梁群の健全性評価
- 第 2 章 調査・計測技術の選定システム
- 第 3 章 補修・補強技術の選定システム
- ・ 参考文献

第0章 橋梁の現況

第1章 橋梁の現況と公共事業を取り巻く社会環境

あらためて橋梁の現況を確認するとともに、公共事業を取り巻く社会環境を俯瞰する。

橋長 15m 以上の道路橋は 15 万橋を超過し、その多くが 1960 年代から 1980 年代にかけて建設されていることはひろく理解されている。¹⁾その内訳は、**図 1-2.1**～**図 1-2.4** に示すとおり、橋数では RC、PC などのコンクリート橋が半数以上を占めるが、橋梁の延長で比較すると鋼橋の割合が大きい。¹⁾

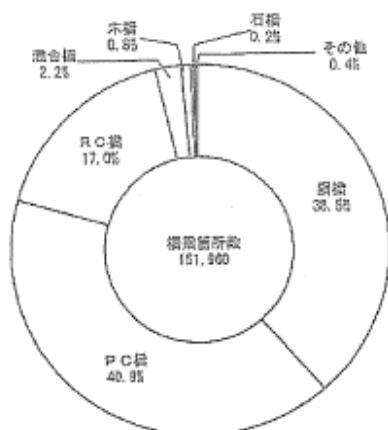


図 1-2.1 橋種別橋梁箇所数比率

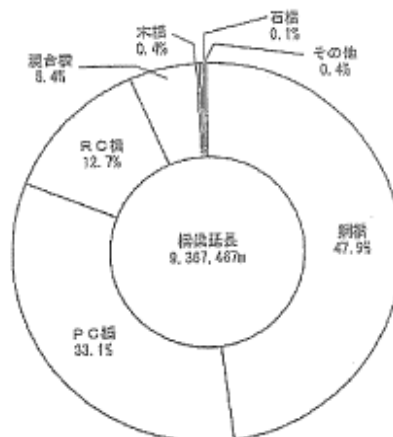


図 1-2.2 橋種別橋梁延長比率

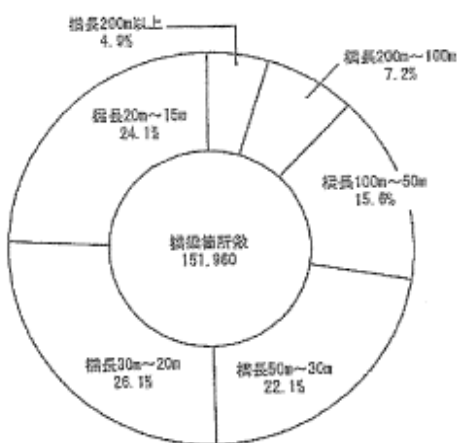


図 1-2.3 橋梁延長別箇所数比率

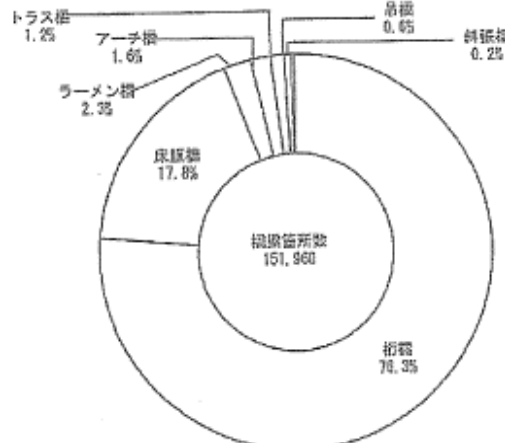


図 1-2.4 橋梁構造形式別橋梁箇所数比率

上図のとおり、橋数（橋長 15m 以上）は $n=151,960$ 橋、総延長は $L=9,367,467\text{m}$ である。その平均的橋梁像は、平均橋長 $L=61.6\text{m}$ 、形式は桁橋、供用期間は約 28 年である。

現在供用中の総道路橋数と建設数の推移は、**図 1-2.5** に示すとおりである。高度成長期に大量に建設されており、そのまま高齢化が進むとこれら橋梁群の平均年齢は 2030 年ごろまでに 50 歳を超過することがわかる。（**図 1-2.6** 参照） 50 歳以上の橋梁は 2010 年時点でも約 13,000 橋程度あるが、2020 年には 40,000 橋を超えることになり高齢化する橋梁が加速度的に増加してゆくことがわかる。



図 1-2.5 総道路橋数と建設数の推移²⁾

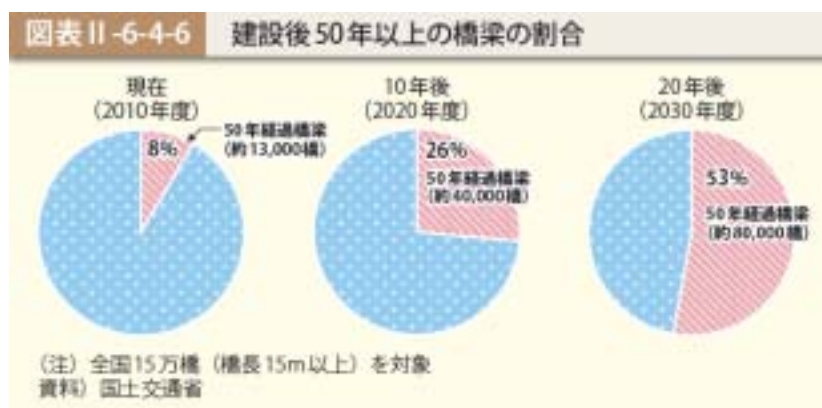


図 1-2.6 建設後 50 年以上の橋梁の割合の変化³⁾

近畿地方整備局管内の橋梁の架設竣工年を図 1-2.7 に示す⁴⁾。全国版とは幾分異なったグラフを示すものの、高度成長期に大量に建設されたものが高齢化していく様子は同様の状態と考えられる。

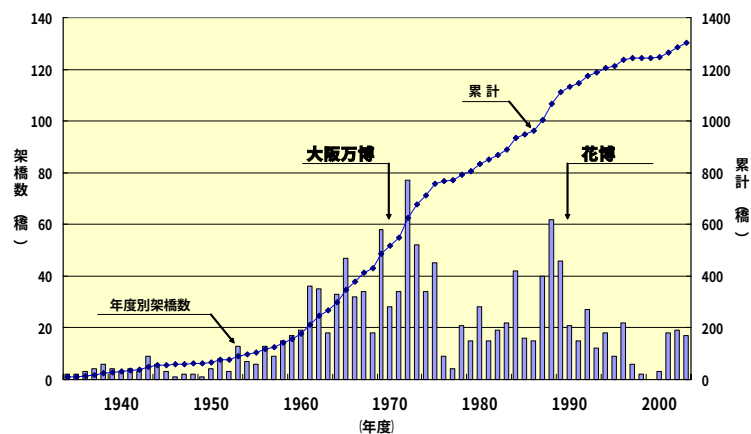


図 1-2.7 橋梁の架設数と竣工年⁴⁾

米国と比較すると、1980年代の「荒廃するアメリカ」と指摘された時代よりも急激に高齢化が進むことがわかる。図 1-2.8(1)(2)参照

橋梁の高齢化は直ちに老朽化を意味しないが、図 1-2.9 にあるように振り替えると知見が十分ではなかった時代に多数のストックが形成されており、ここが要注意点といえる。

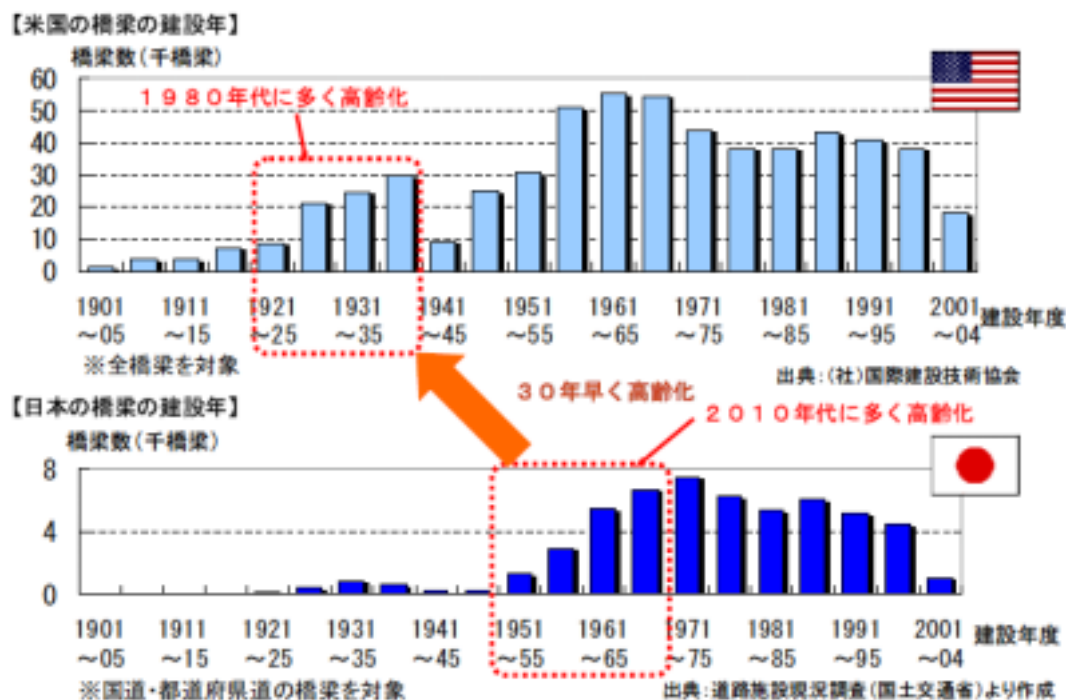


図 1-2.8(1) 日米橋梁の架設年次の比較図⁵⁾

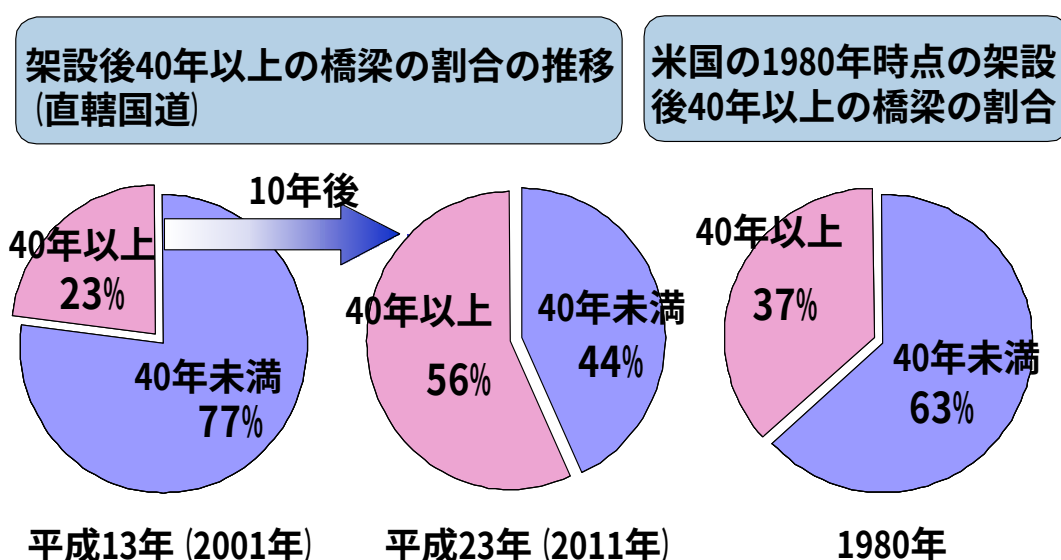


図 1-2.8(2) 日米橋梁の高齢化率の比較⁶⁾

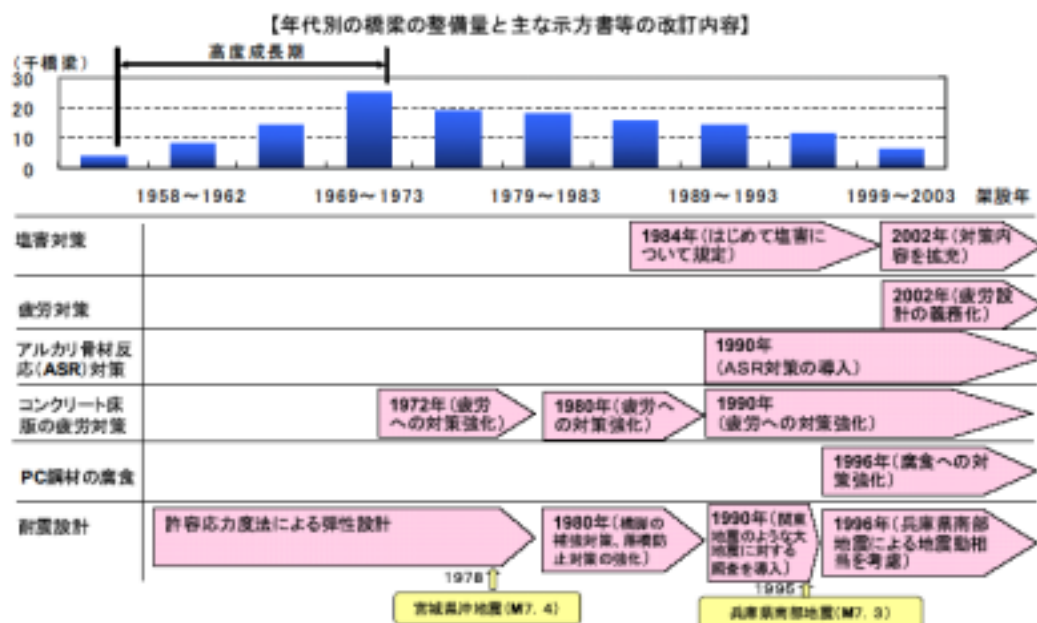


図 1-2.9 年代別の橋梁の整備量と主な示方書等の改訂内容⁵⁾

過去に国土交通省管轄の道路橋に関して道路橋架け替えの理由を調査した結果、損傷を受けて架け替えを行った橋梁は 20%弱程度であり、ほとんどは機能上の問題や使用条件の変化などにより架け替えを行っている。(図 1-2.10 参照)

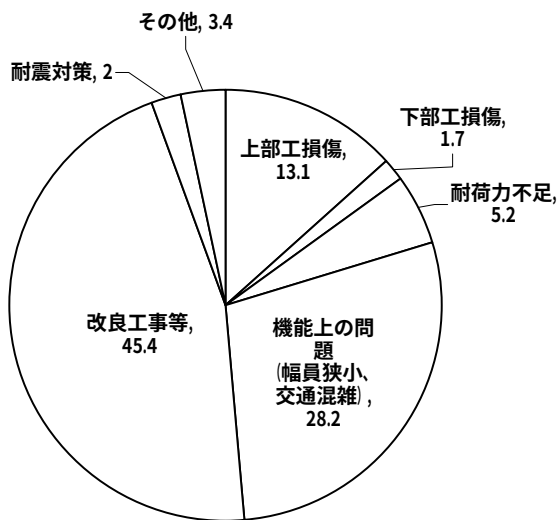


図 1-2.10 架け替えの理由⁷⁾

上部工に関する架け替えの理由は図 1-2.11 に示すとおりである．すなわち鋼橋に関しては，床版の損傷による架け替えが 67%であり，続いて鋼材の腐食が 26%となっている．また PC 橋，RC 橋に関しては，コンクリート自体の亀裂や剥離が半数を占める一方，床版の損傷が 3 割程度を占め，全形式を通じて床版の損傷が顕著であるといえる．

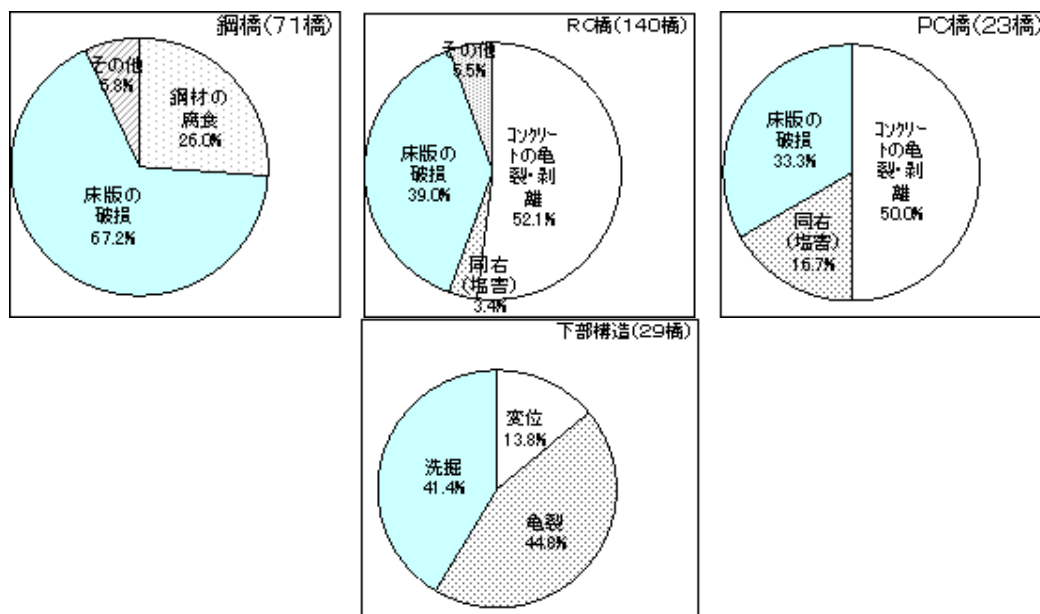


図 1-2.11 橋梁の架け替え理由⁸⁾

直轄国道における平成 16 年度橋梁の定期点検結果から，鋼桁腐食の箇所別損傷点数（点検数 566 径間）は，図 1-2.12 に示すとおりである．図では，内桁に比べ外桁が環境作用による損傷を相当程度受けていることがわかる．また，均等に腐食することではなく，外桁端部がいわゆる水回り，橋面排水等処理設備の良好度に支配されていることがわかる．

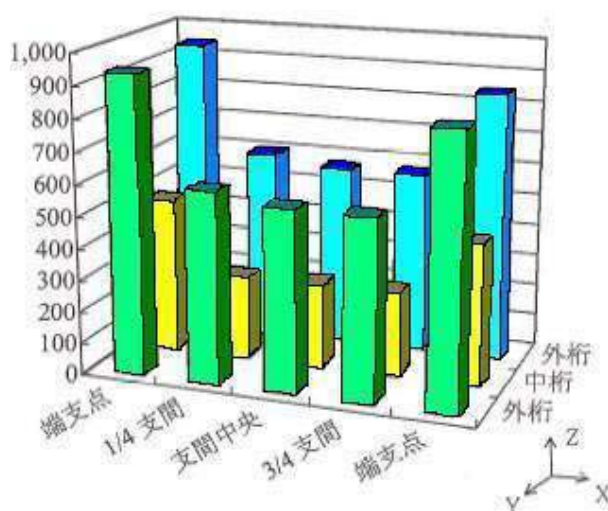


図 1-2.12 鋼桁腐食における桁位置別の損傷点数⁹⁾

一方で、建設投資や建設事業就労者数に関する推移は、図 1-2.13 に示すとおりである。

図表 II-5-3-13 建設投資（名目値）、許可業者数及び就業者数の推移

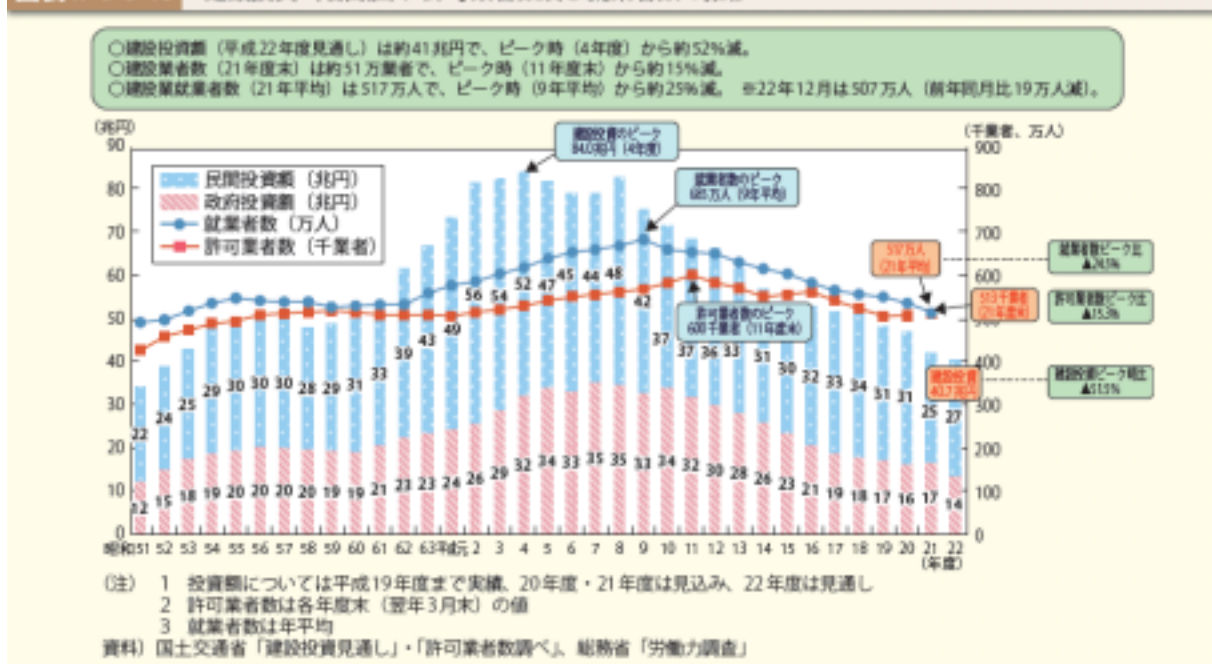


図 1-2.13 建設投資や建設事業業者数・就労者数の推移¹⁰⁾

上述の投資水準の縮小に鑑み、国土交通白書 2006 では、図 1-2.14 に示すようなシミュレーション事例も示された。

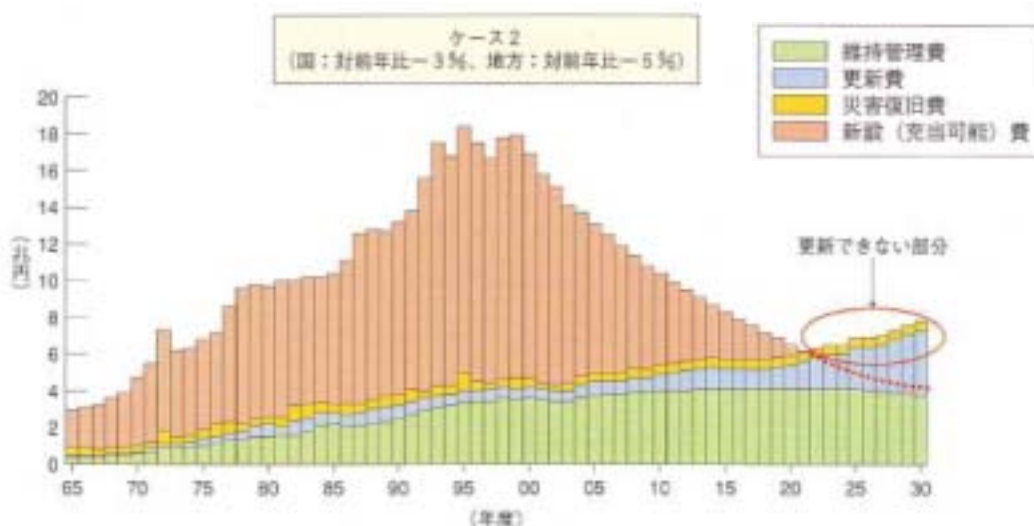


図 1-2.14 社会資本の維持管理・更新費のシミュレーション例¹¹⁾

他方、複雑で高度な工事事例は増大している。各種の要因や要求事項から新技術の活用事例も大幅に増加している。図 1-2.15 参照

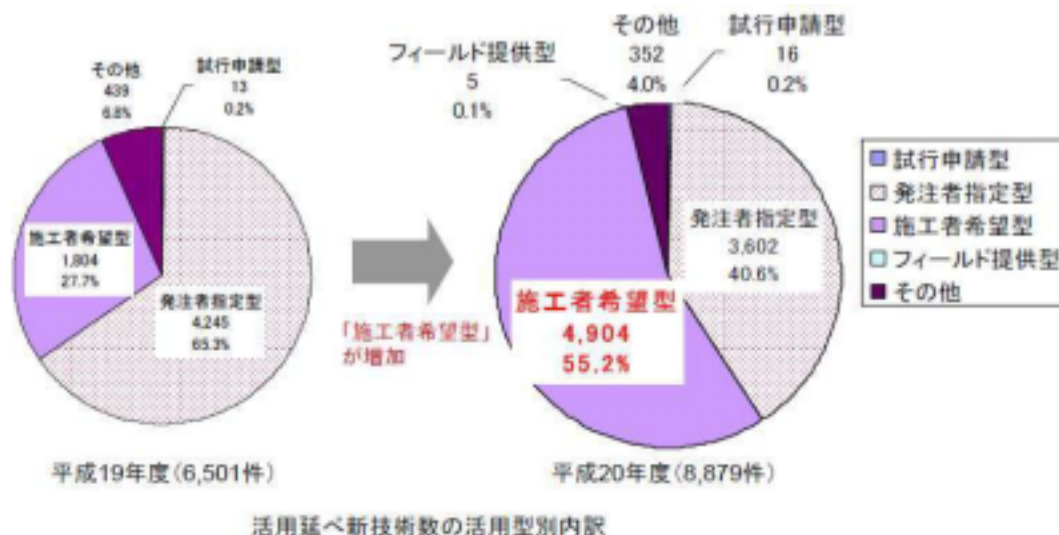


図 1-2.15 平成 20 年度新技術活用状況について（活用延べ新技術数の活用型別内訳）¹²⁾

図 1-2.16(1)にあるように橋梁建設市場は規模の縮小が進み、高度な技術力を有する技術者は減少の一途にある。

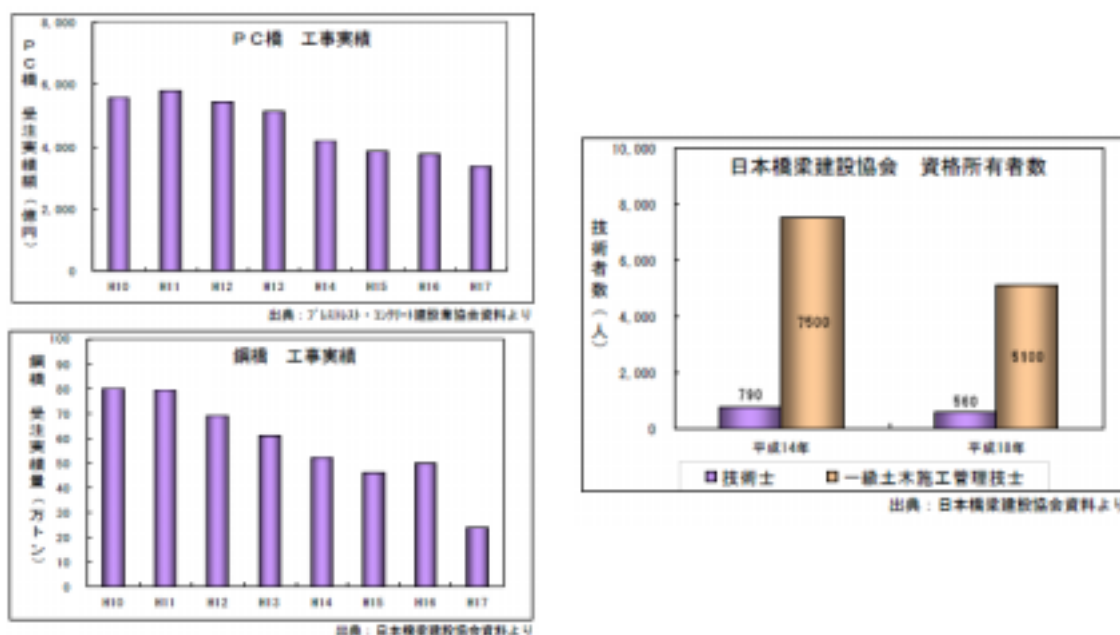


図 1-2.16(1) 橋梁市場の縮小により橋梁技術者も減少傾向¹³⁾

また、図 1-2.16(2)にあるように建設業就業者の高齢化と団塊世代の定年退職に伴い、就労技能者・技術者の不足や技術の空洞化が懸念される。

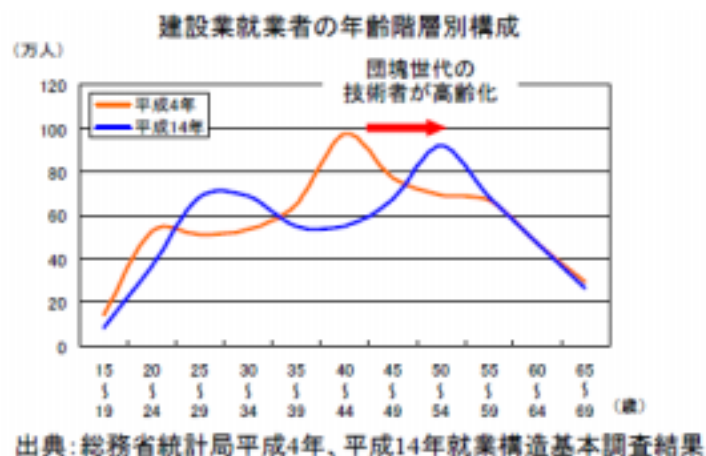


図 1-2.16(2) 建設業就業者の年齢階層別構成 ¹⁴⁾

他方、人的資源のみならず、市場規模の縮小に伴い許可業者の保有機器や資機材の劣化・老朽化および未更新が顕在化している。

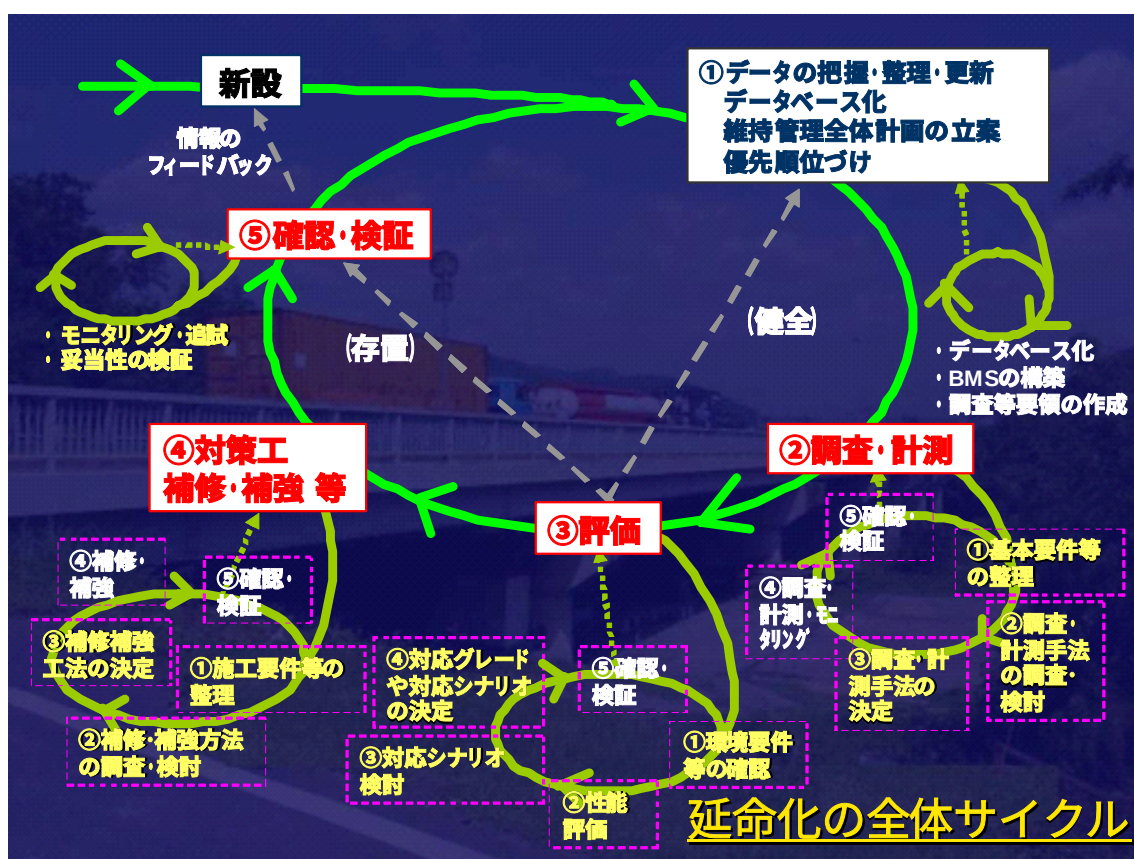


図 1-3.1 橋梁の延命化サイクル

橋梁の現況を見てきたが、今後は上述の膨大なストックをいかに維持管理し、延命を図るかが重要である。来るべき大更新時代に備えるため、延命化を図ることは単純にコスト効果をより大きくするのみならず、更新経費の軽減や平準化に大きく寄与するものと考えられる。

そのために、予防的な維持管理を推し進めることが重要である。また、昨今の重大事故・損傷事例および橋梁の点検や診断が適切に果たされていなかった事例等に鑑み、いわゆる P D C A の維持管理サイクルに加え、図 1-3.1 に示すように「果たしてこの P D C A でよかったか？過不足は無かったか？」を吟味する行為（J；ジャッジ）すなわち確からしさの検証を挿入し、維持管理の P D C A J サイクルを回していくことがより重要と考える。なお、P D C A J 本サイクルから下階層に入っても、同様に、P D C A + J 思想でサイクルを回転させると考えることが重要である。

創意工夫の余地は常にあり、これまでの常識に新しい常識を加え、これまで以上に安心安全で快適であること、その維持と向上を図ることが必要である。

【参考】

日本の人口推移は本格的な少子高齢社会に向かい、厳しい財政事情と相まって社会環境は大きな変化の中にあるといえる。(図1-1.1 参照) 歴史的に公共事業の盛衰を振り返るとき、新しい文化や技術が興き、新都市建設の時代的欲求と社会的目標が一大ムーブメントとなって公共投資や建設事業が行われた。いわゆる“大建設時代”が俯瞰できる。(図1-1.2 参照)

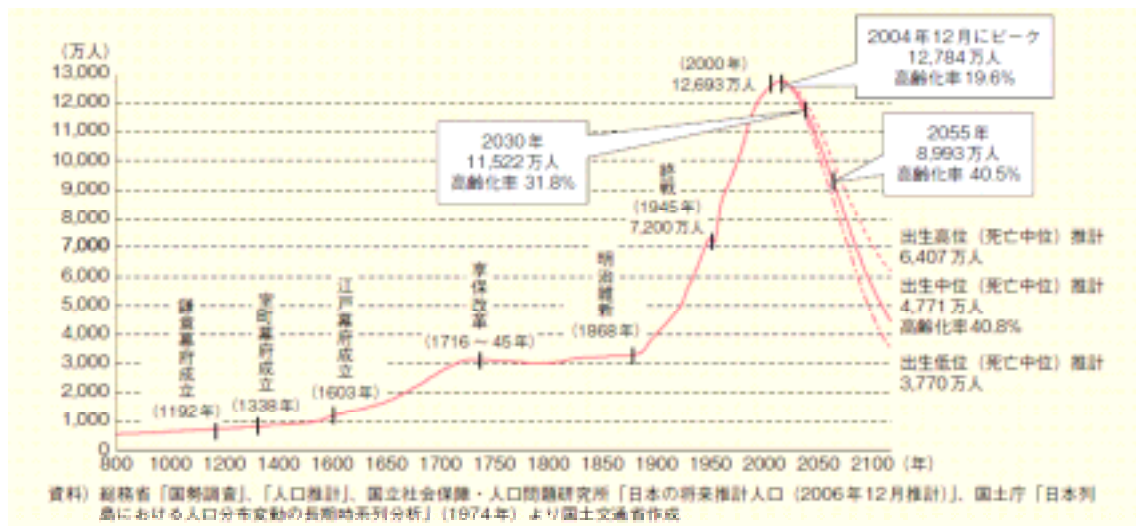


図 1-1.1 日本の人口の超長期推計¹⁵⁾

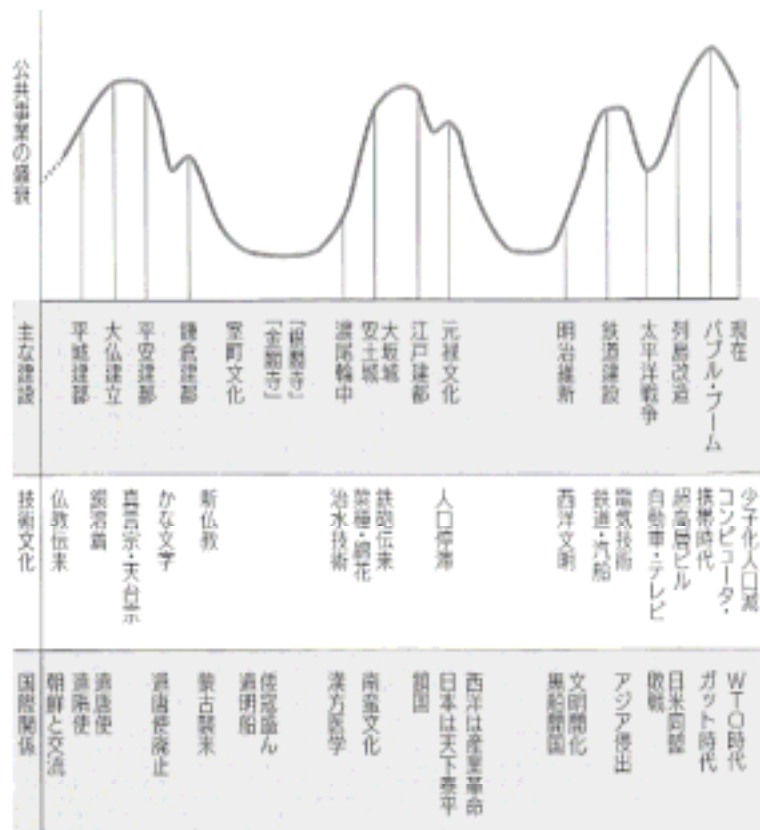


図 1-1.2 建設事業の盛衰イメージ¹⁶⁾

【参考文献】

- 1) 国土交通省道路局企画課監修：道路統計年報 2008，全国道路利用者会議，2008.9
※；2006(H18)年度末情報
- 2) 国土交通省資料(2004)に延命化 PJ が加筆
- 3) 国土交通省：平成 22 年度版国土交通白書，pp.221，2011(平成 23)年 8 月
- 4) 国土交通省近畿技術事務所：近畿技報「繋 Kei」Vol.13，平成 18 年 1 月 に加筆
- 5) 国土交通省道路局：「荒廃する日本」としないための道路管理，委員会資料より，2006.2
- 6) 道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方 提言，委員会資料より，2003.4
- 7) 橋梁マネジメント研究会：道路橋マネジメントの手引き，(財)海洋架橋橋梁調査会，平成 16 年 8 月
- 8) 建設省土木研究所橋梁研究室：橋梁の架替に関する調査結果（Ⅲ），土木研究所資料第 3512 号，平成 9 年 10 月
- 9) 「道路橋の維持管理に関する指標開発の取り組み」，土木技術資料，2007.2
- 10) 国土交通省：平成 22 年度版国土交通白書，pp.188，2011(平成 23)年 8 月
- 11) 国土交通省：国土交通白書 2006，
- 12) 国土交通省：「公共工事等における新技術活用システム」の新技術活用状況について，国交省HPより，(H21.5.8)
- 13) 「道路橋の予防保全に向けた有識者会議」：2007.10.24（第 1 回）資料より
- 14) 国土交通省道路局：「荒廃する日本」としないための道路管理，資料 2 より，2007.3.8
- 15) 国土交通省：平成 21 年度版国土交通白書，pp.3，2010.8
- 16) 堺屋太一：ニッポン公共事業物語，pp.87，NHK出版，2010.5

第1章 モニタリングに基づく橋梁群の健全性評価

第1章 モニタリングに基づく橋梁群の健全性評価

1.1 はじめに

現在、橋長 15m 以上の橋梁は 15 万橋を超え、多くの橋梁において高齢化が進んでいる。このような状況から、膨大な数に上る既設橋の管理を効率的に行うことが必須事項となっている。既設橋の内訳をみると、橋数では RC、PC などのコンクリート橋が半数以上を占めるが、橋梁の延長距離では鋼橋の割合が大きくなっている¹⁾。

鋼橋の劣化現象は、主に RC 床版の疲労、鋼材の腐食、鋼材の疲労、ボルトの遅れ破壊などがある²⁾。これらのうち床版の疲労損傷については、損傷度の判定が目視によるところが大きく、定量的に評価することが難しい³⁾。また疲労モニタリングを実施した場合でも、初期データ不足から、累積の疲労損傷について評価が得られない場合が多い。

そこで本研究では、現時点での荷重特性を簡便な橋梁軸重推定法（B-WIM）により評価し、さらに比較的入手しやすい交通センサスにより累積の損傷度を推定することで、床版の疲労損傷を評価する方法を提案する。この手法は、センサスにより軸重の履歴を推定する方法であり、損傷度評価の精度が高いとはいえないが、橋梁管理のための一次スクリーニングとしての効果を期待できる。本論文では、提案手法を実橋梁に適用し、床版疲労損傷度の評価を行った結果を示す。また、同一路線上の橋梁群に対しても同様の評価を行い、相対的な疲労損傷度に基づく橋梁の維持管理戦略の一例を示す。

1.2 床版の疲労損傷度推定法

床版の疲労については、実際に床版に載荷された軸重(P)と載荷回数(N)が大きく影響すると考えられる。ただし一般に、竣工当時から実際に床版に載荷された軸重(P)、および載荷回数(N)の載荷状況は明らかではない。

そこで、対象橋梁の実測モニタリングによる軸重測定、および既存交通量データの整理による通過交通量の推定を行うことで、床版の疲労損傷度評価法を提案する。床版の疲労損傷度評価フローを図-1.1 に示す。

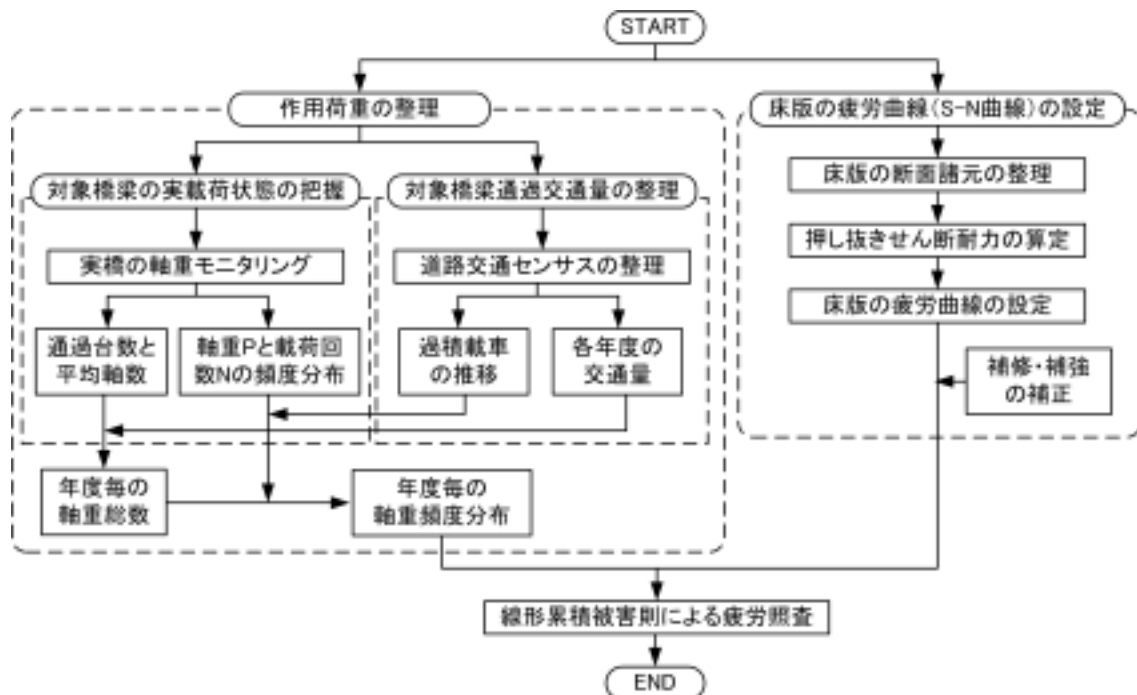


図-1.1 疲労損傷度評価フロー

疲労損傷度評価フローは大きく 2 つに分けられる。一つ目は作用荷重の整理であり、二つ目は RC 床版の疲労曲線の設定である。

作用荷重の整理については、橋梁応答を利用した軸重推定手法などにより現在の軸重特性を把握する。これにより、その橋梁を通過する車両の平均軸数と軸重頻度分布の形状を得る。また、同一路線に架かる他の橋梁については、交通量は異なるものの軸重特性は類似すると考え、ここで得られた軸重特性を利用する。

次に、対象橋梁の近傍で得られた交通センサス情報の整理を行う。対象地点の交通状況や、幹線道路の開通状況などを勘案し、対象橋梁を通過する交通量の推移として適用できるデータを選定する。またデータが不足する場合は、交通流を想定して付近のデータから推定する。これにより、開通から現在までの通過台数の推移を得る。

次に、モニタリングで得られた通過車両の平均軸数と、センサスより得られたある年の通過台数を掛け合わせることで、その年に橋梁上を通過した総軸数 N_i を推定する。さらに、過積載に関する違反車両の推移から、各年代の頻度分布形状を修正する。そして、修正した頻度分布の総軸数 n_i が軸数 N_i となるよう、それぞれの要素を N_i/n_i 倍する。

他方、床版の疲労曲線の設定については、設計時の断面緒元や補修履歴などから押し抜きせん断耐力を算定した上で設定を行う。また、補修の種類によっては作用荷重を修正する。

最終的に、得られた軸重頻度分布と疲労曲線から、疲労損傷度を算定する。

以下では、提案するフローを実橋梁に適用し、頻度分布の妥当性や、仮定する疲労曲線の妥当性などを検証した上で、具体的な評価法について検討を行う。

1.3 軸重モニタリング

1.3.1 モニタリング対象橋梁

軸重評価の対象とした U 橋は、国道 2 号線に掛る 1960 年に建設された 7 径間ゲルバー鋼鈑桁橋である。概略図を図-1.2 に示す。また橋梁の諸元を表-1.1 に示す。今回、吊桁となっている P6-A2 区間を単純桁とみなして測定を行った。

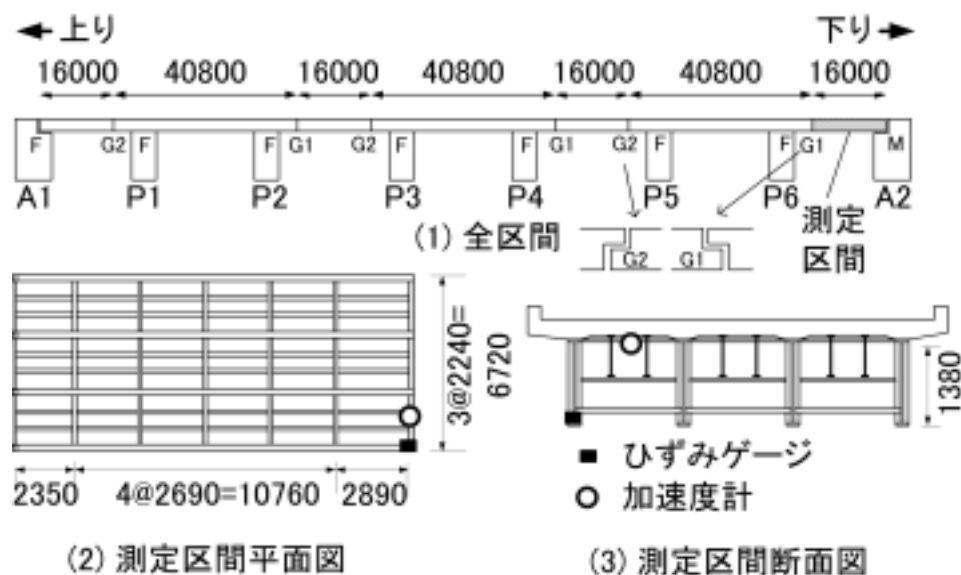


図-1.2 U 橋の概要と測定区間

表-1.1 U 橋諸元

建設年月		1960 年 3 月
橋長		L=187.00m
支間長	吊桁	L=16.00m
	定着桁	L=6.2m+28.4m+6.2m
有効幅員		W=8.00m
床版厚		170mm (～H16.2) 220mm (H16.2～) 増厚による
構造形式	上部構造	ゲルバーヒンジを有する鋼 7 径間連続鈑桁橋 (吊桁部は合成桁)
	下部構造	橋台 壁式橋台
		橋脚 小判型壁式橋脚
	基礎構造 ケーソン基礎	
橋格		1 等級 (TL-20)
適用示方書		昭和 31 年鋼道路橋示方書

1.3.2 B-WIM

橋梁を用いた軸重推定法 B-WIM (Bridge Weigh-in-Motion)はいくつか提案されているが、ここでは簡便な手法の一つである支点反力を用いた軸重推定法を採用した⁴⁾。この手法は、単純桁の支点反力の影響線を考え、桁端部の垂直補剛材に発生するひずみから軸重を推定するものである。模式図を図-1.3 に示す。図のように、軸重が支点反力上を通過した瞬間に、軸重に相当するひずみ増分が発生するため、この増分から軸重を推定する。ただし今回は、上り車線の支点反力の識別を明確にするため、端横桁の上フランジに設置した加速度計により車両進入時の衝撃を計測し、支点反力のトリガーとして利用した。車両進入時の衝撃は、一般に走行速度に比例して増加する傾向がある。一方、支点反力の車軸応答は、車両走行速度が小さければ明確な差異として現れるが、車両速度が大きいと振動成分が大きくなり、車軸応答の識別が難しくなる。今回行った加速度応答によるトリガーは、支点反力で識別できない応答を加速度で識別する手法であり、両者の弱点を補う効果を期待している。また衝撃を測定するため、ひずみゲージ、加速度計ともに 1kHz で測定を行っている。設置したセンサ位置を図-1.2 に示す。補剛材上のゲージは下フランジ直上 2cm 位置の両面に貼付した。

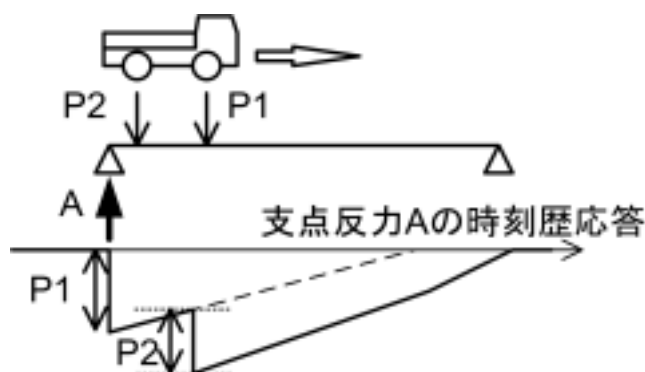


図-1.3 軸重推定の模式図

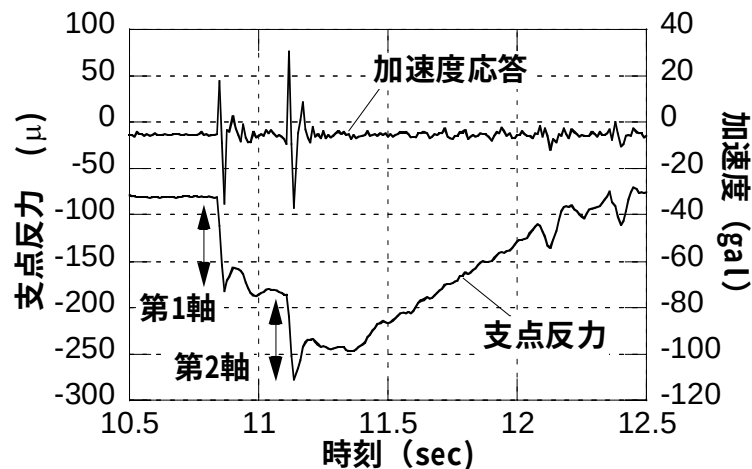


図-1.4 基準車走行時における応答値の一例

軸重推定のための事前準備として、2 軸 25t ラフタークレーン車を基準車として走行させた。基準車を 30km/h で走行させたときの応答値の一例を図-1.4 に示す。図より、加速度の応答に応じてひずみ増分が発生していることがわかる。一方、簡易式トラックスケールにより基準車の軸重を測定した結果、第一軸は 151kN、第二軸は 133kN であった。これより、応答値 1 μ が 16.6kN に相当するとし、この校正值を用いて軸重推定を行った。

1.3.3 軸重測定結果

(1) 軸重頻度分布

軸重測定は、上り線において平成 16 年 7 月 23 日の午前 10 時 30 分より午後 1 時 30 分まで実施した。この路線では上り路線における大型車の混入率が高く、また大型車の通過台数は午前 7 時が最も少なく、午後 4 時が最も多くなっている。そのため、平均的な時間帯である正午前後の 3 時間を選んだ。図-1.5 に軸重頻度を示す。図中黒塗りで示す分布が U 橋で得られた結果である。この図より、U 橋では軸重として 40kN および 50kN が最も多くなっていることがわかる。また T 荷重の設計値である 20tf (10tf/軸 $\times$ 2=196kN) を超過している車両が通行している可能性もある。一方、図中網線で示す分布は、一般国道を代表する活荷重モデルと混入率⁹⁾(表-1.2)に基づき計算した分布である。この分布は、交通荷重モデルに基づき軸重分布を作成し、軸重総数が U 橋で得られたものと一致するように修正したものである。交通荷重モデルによる分布では、60kN が突出して多くなっているほか、120kN 以上の軸重は出現しない。このように、実際の軸重分布と交通モデルによる軸重分布では、過大な荷重に対する評価が異なってくる。

RC 床版の疲労損傷は荷重の 11 $\sim$ 12 乗に比例して累積することが指摘されている⁹⁾ため、疲労損傷度の評価に平均化された活荷重モデルを用いることは適切でない。よって疲労損傷評価では、U 橋で得られた軸重頻度分布を利用する。

(2) 交通量と一台あたりの車軸数

交通量と軸数の関係を把握するため、7 月 23 日のモニタリング実施時に、大型車の通過台数と車軸数について調査を行った。また確認のため、平日である 9 月 3 日にも調査を行った。調査結果より、いずれの調査日においても、およそ 7200 台/日の大型車が橋上を通過していると推定された。この数字は、交通センサスで得られた結果 (H17 年平日大型車交通量：7503 台) に近い値となっている。また上り線調査のうち、交通量を一時間平均として車軸数で分類した結果を図-1.6 に示す。これより、2 軸、3 軸の大型車が圧倒的に多い

ことがわかる。また交通量調査の結果から、上り線交通量が 320 台であるとき総軸数は 936 軸であり、一台が有する平均軸数は 2.93 となる。標準的な交通流を想定した場合でも、平均軸数は 2.61 となっている。本研究では、軸数の分布比 2.93 を用いて、交通台数の総量から総軸数を求めることにする。

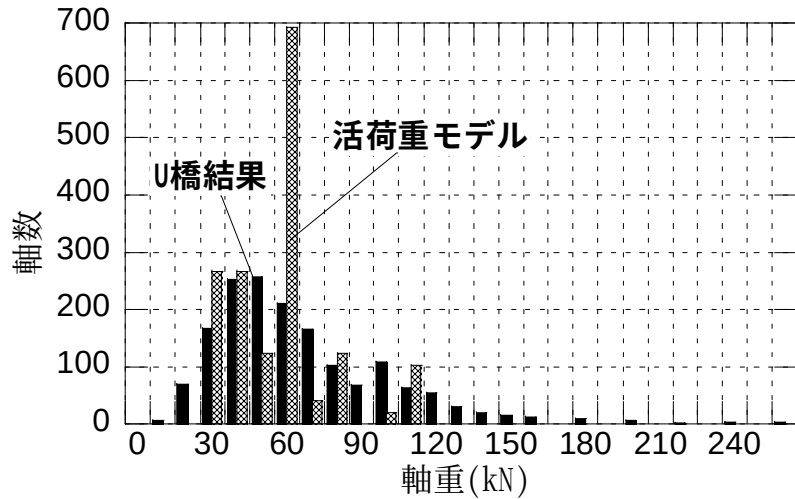


図-1.5 軸重頻度分布

表-1.2 一般国道を代表する活荷重モデル⁵⁾

車種		車重 (kN)	各軸の重量 (kN)			混入率 (%)
		平均	第 1	第 2	第 3	
乗用車		12.7	6.7	6.1	-	49
トラック類	小型	35.3	15.6	19.7	-	11
	中型	60.8	24.6	36.2	-	16.1
	大型	166.6	50.7	58.4	-	12.7
大型ダン プ ミキサ類		196.0	51.2	72.4	-	3.7
タンクローリー類		156.8	46.3	110.5	-	2.1
セミトレーラー類		294.0	48.1	112.7	66.6	4.2
大型バス		137.2	47.0	90.2	-	1.2

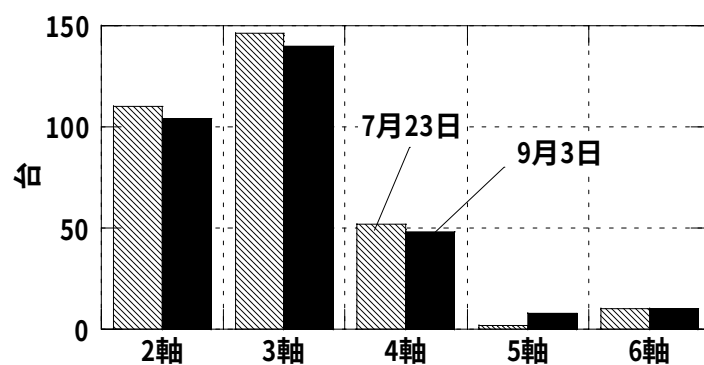


図-1.6 軸数の分布

1.4 交通センサスの整理

1.4.1 U橋における通過交通量の推定

U橋を通過した交通量を把握するため、建設年からの交通センサスデータについて検討を行った。対象となるU橋付近の調査地点は3地点存在する。これら三箇所の調査地点とU橋との位置関係を図-1.7に示す。また、U橋付近三箇所で交通量調査結果を図-1.8にまとめる。

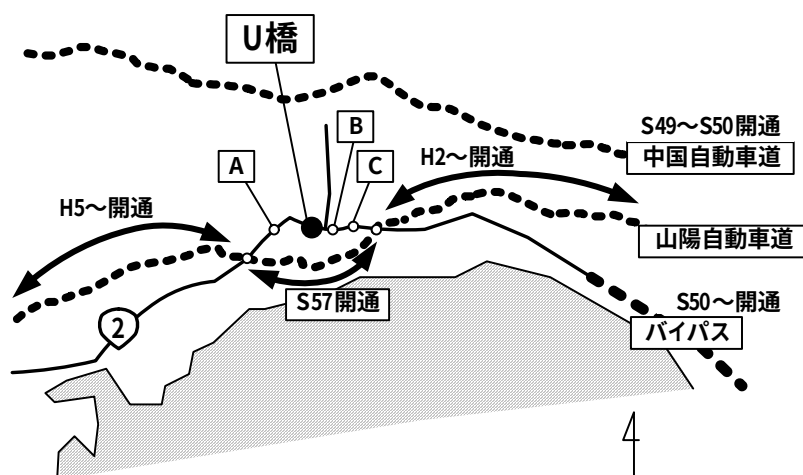


図-1.7 U橋周辺の幹線道路と調査地点

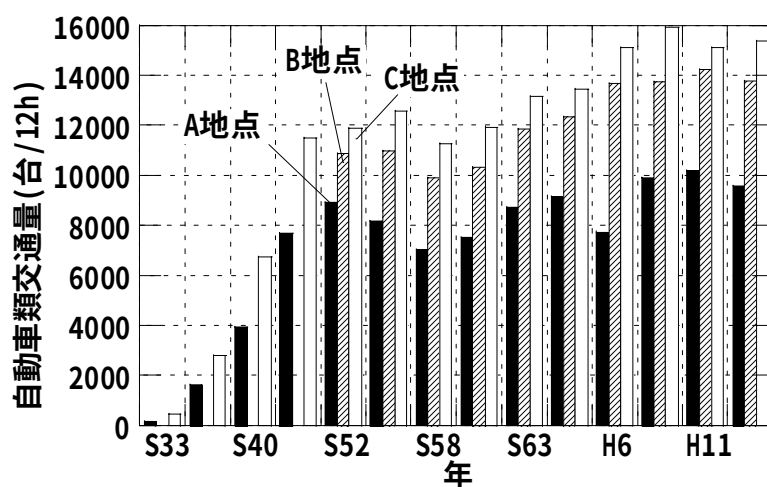


図-1.8 U橋付近の交通量データ

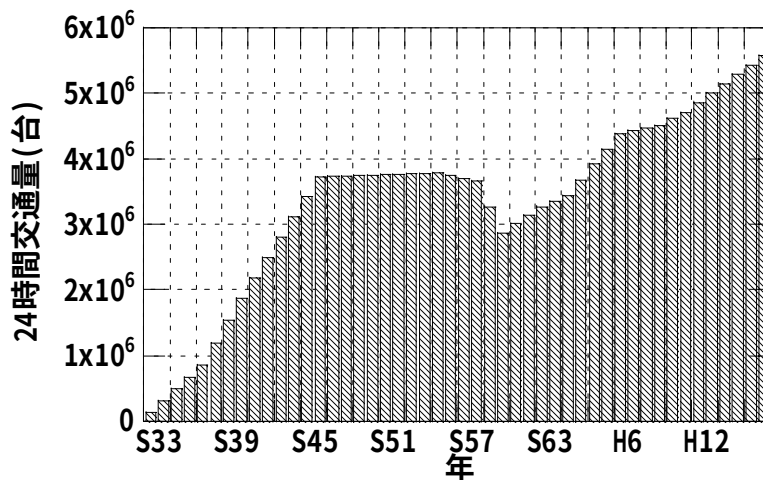


図-1.9 推定した交通量の推移

全体の交通傾向について、調査開始から増加傾向にある交通量が、昭和 50 年ごろに一時収束している。これは、同年中国自動車道が供用されたことに対応している。また昭和 58 年に若干減少しているが、これは U 橋を迂回するよう山陽自動車道が部分開通していることに呼応している。またその後交通量は増加するが、これは山陽自動車道の供用区間が延伸され、道路利用者が増加したことに対応している。以上のように交通量の増減傾向は、近辺の幹線道路建設と呼応していることがわかる。一方、U 橋の流入交通量として、U 橋に最も近い B 地点のデータが最も適していると考えられる。しかし B 地点のデータについては、昭和 46 年以前の交通量データが無いため、A 地点および C 地点でのデータを用いて補間した。推定した平成 17 年度までの断面交通量データを図-1.9 に示す。ただし、交通センサスは数年間隔で実施されるため、データの無い年は前後する年のセンサスデータで線形補間した。また、以上のプロセスで得られた交通量は、上下線を含めた断面交通量であるため、得られた交通量の半分の上り線の交通量とした。

1.4.2 違反車両の推移による補正

U 橋で得られた軸重頻度分布は、平成 16 年度における頻度分布であるため、この分布を基本に年次ごとの頻度分布を推定する必要がある。そこで、全国での過積載違反車両数の推移から、軸重頻度分布の修正を試みる。

図-1.10 に警察白書⁸⁾に基づく過積載違反車両検挙数の推移を示す。

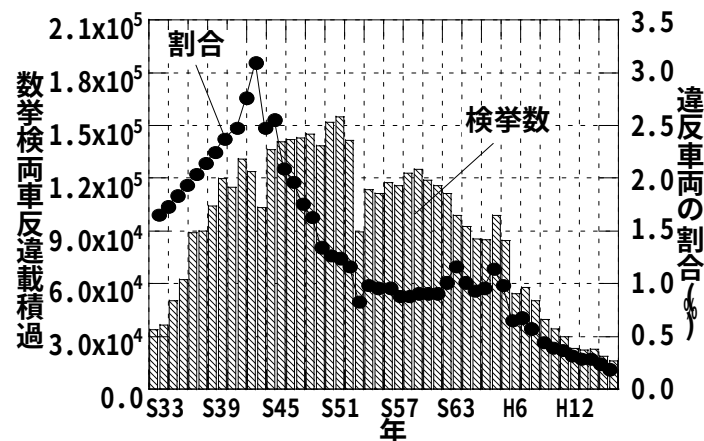


図-1.10 過積載違反車両の検挙数と割合

ただし、昭和 40 年以前は違反車両のデータが無い場合、昭和 33 年から 5%の割合で違反車両が毎年増加したと仮定している。また同図に、全国の大型車両保有台数に対する検挙数の割合（検挙割合）を示す。

本研究では、全国の大型車交通量と大型車の保有台数に相関があると考え、検挙割合と超過軸重率（軸重分布における設計荷重(196kN)を超える軸重の割合）とに相関があると仮定する。軸重頻度の調査年次であった平成 16 年における検挙割合は 0.22%であり、超過軸重率は 0.92%となっているため、この相関に基づき各年次の検挙割合に応じて超過軸重率を変化させ、その年の軸重頻度分として補正する。

1.5. 疲労曲線の設定

1.5.1 算定式

床版の疲労曲線として、種々の疲労曲線が設定されている⁹⁾。疲労損傷に対する絶対的な評価を行う場合、これらの提案曲線の違いが問題となるが、本研究では相対的な疲労損傷度の評価を目的としているため、いずれの提案式を用いても本質的な違いは生じないと考えている。ここでは、防水層により床版の乾燥状態が保たれているとして、乾燥状態の床版における疲労実験結果から得られた以下の提案曲線⁹⁾を採用する。

$$\log\left(\frac{P}{P_{sx}}\right) = -0.07835 \log N + \log 1.52 \quad (1.1)$$

ただし、 P ：作用軸重(N)、 P_{sx} ：床版の押し抜きせん断耐力(N)、 N ：載荷回数である。また床版の押し抜きせん断耐力 P_{sx} は、松井式⁹⁾を用いて算定する。

1.5.2 疲労損傷における補修・補強効果

床版の補修・補強には様々なものがあるが、代表的なものとして縦桁・横桁による増桁補強と床版増厚が挙げられる。以下では、疲労損傷に対するこれらの補修・補強効果の考え方について示す。

(1) 増桁補強¹⁰⁾

増桁による床版補強の効果については、せん断耐力に関して評価する必要がある。今、軸重の作用位置について、図-1.11 に示す正規分布を仮定する。車軸の作用力は、増桁が存在しない場合、全て床版に作用する。しかし増桁が入ることで、増桁直上に作用する車軸力が低減されると考える。すなわち本研究では、床版への作用力を低減させることで、増桁の効果を表現する。

はじめに増桁による荷重の低減率を算定する。ここでは、主桁および増桁をバネとし、床版を梁として置き換えたモデルを想定する。例えば U 橋の場合、増桁直上に荷重 100kN が作用した場合の増桁の反力を計算すれば、94.2kN となる。すなわち床版に直接作用するせん断力は 5.8kN となり、作用荷重の 5.8%が床版に作用することになる。

次に、増桁位置を通過する軸重の割合を求める。いま、車軸作用位置が正規分布するとした場合、増桁位置を車軸が通過する確率は 0.65 となる。

以上より本研究では、増桁補強後の通過軸重のうち、35%は直接床版に作用し、残りの 65%については作用荷重の 5.8%が作用すると仮定する。

(2) 床版増厚¹⁰⁾

床版の増厚については、単純にかぶりを増加させる。すなわち、増厚により単純に床版断面のせん断耐力を増加させる。ただし、増厚前に蓄積した疲労損傷の影響については考慮していない。

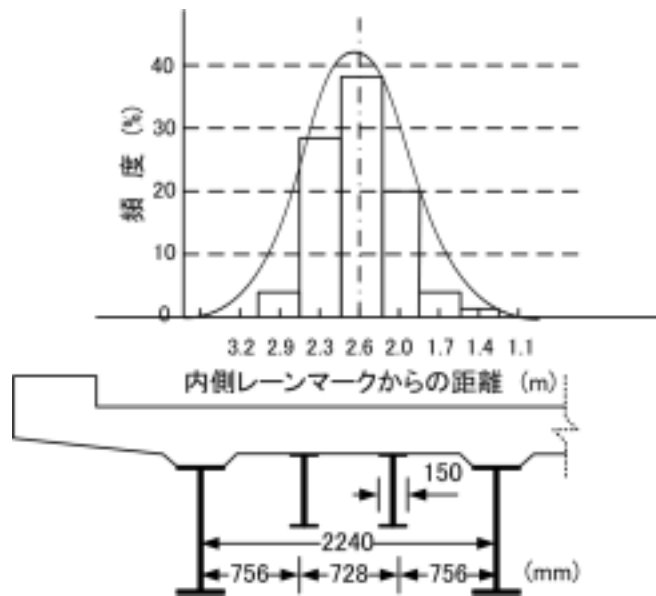


図-1.11 車軸作用位置と増桁 (U 橋の例)

1.6 疲労損傷度の算定

一般に変動応力下における疲労損傷度の評価の考え方としては，線形累積被害則が用いられている．これは部材に作用するある応力範囲 $\Delta\sigma_i$ に対して N_i 回で部材に疲労破壊が生じる場合，応力範囲 $\Delta\sigma_i$ の 1 回の繰返しによる疲労損傷の程度を $1/N_i$ とし，それぞれの応力振幅からの損傷が線形和として累積するとした考え方で，以下の疲労損傷度 D が定義される．

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = D \quad (1.2)$$

よって本研究では，複数の橋梁間における疲労損傷度 D の比較により，相対的な床版の損傷度を判断する．また疲労損傷度が 1 となった場合，部材が確定的に破壊するのではなく，破壊確率が最も高くなることを示唆している．

1.7 橋梁群における疲労損傷度の比較

1.7.1 路線上の橋梁群

本稿では，図-1.12 に示す U 橋，K 橋，I 橋，H 橋の 4 橋を対象とした相対的な疲労損傷度の算定を行う．各橋梁における床版厚などの諸元を表-1.3 に示す．これらの 4 橋は，交通量そのものは異なるものの，大型車の混入率などはほぼ等しいため，同じ交通特性を有していると考ええる．また，U 橋については昭和 53 年に増桁補強，平成 16 年に全面増厚補強 (170mm から 220mm) が行われており，その効果を加味する．また K 橋については，昭和 60 年において床版下面にひび割れ補修等が施されているが，耐力に影響のないものとして疲労損傷度の算定には加味しない．さらに K 橋は，平成 10 年に RC 床版そのものの取替えが行われているため，試算はこの時点までとした．以上の 4 橋については，近傍にセンサデータの測定点が存在する．これらの橋梁での予想される H17 での 24 時間平日交通量を表-1.3 に示す．また二車線の場合，大型車混入率 40% 支間長 60m の橋梁における載荷荷重配分比の実測データ⁵⁾を参考に，1:3 の割合で車両が通過するものと仮定した．

1.7.3 相対的な疲労損傷度評価

以上より，U 橋で得られた軸重頻度分布を基に，各年次の頻度分布を推定，さらに交通センサから交通量を把握し，累積の疲労損傷度を算定した．各橋梁における累積疲労損傷

度の推移を図-1.13に示す。

K橋については、損傷度が1.0を超えた段階で上部工の取替えが実施されたことがわかる。またU橋については、平成17年時点で損傷度が0.9を超えている。U橋の補修・補強前後での疲労損傷度の増分を比較した場合、増桁補強では増分が29%程度減少し、また増厚では95%程度減少することが確認された。これより、床版の疲労損傷の対策として、増桁により荷重分担を減少させるよりも、床版増厚によりせん断耐力を増加させることがより効果的であったことがわかる。またI橋およびH橋については、建設年次も新しく床版厚も大きいいため、疲労損傷度の累積は極めて少ない。

次に、平成17年度における疲労損傷度と損傷速度の試算結果を図-1.14に示す。損傷速度は、疲労損傷の速度を表し、平成17年度における損傷度増分で定義した。ただし、K橋については平成17年時点での試算を行っていないが、比較のため取替えを行わなかったものとして計算している。

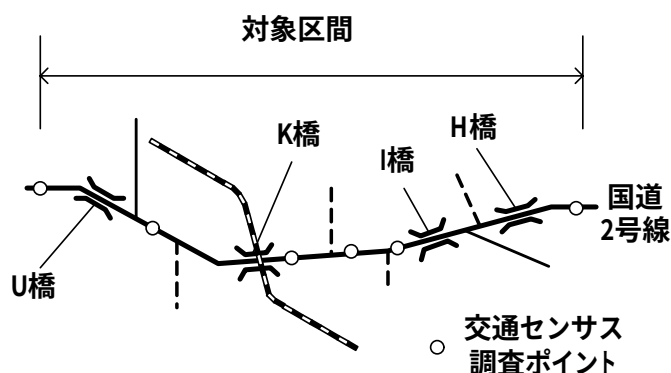


図-1.12 評価対象橋梁と路線区間

表-1.3 各橋梁における床版厚および交通量

	U橋	K橋	I橋	H橋
共用開始	S36	S40	S54	S54
床版厚	170mm	170mm	200mm	240mm
P_{sx}	270kN	270kN	315kN	363kN
車線数	片側 1	片側 1	片側 2	片側 2
交通量(台)	20,160	26,073	50,435	67,581

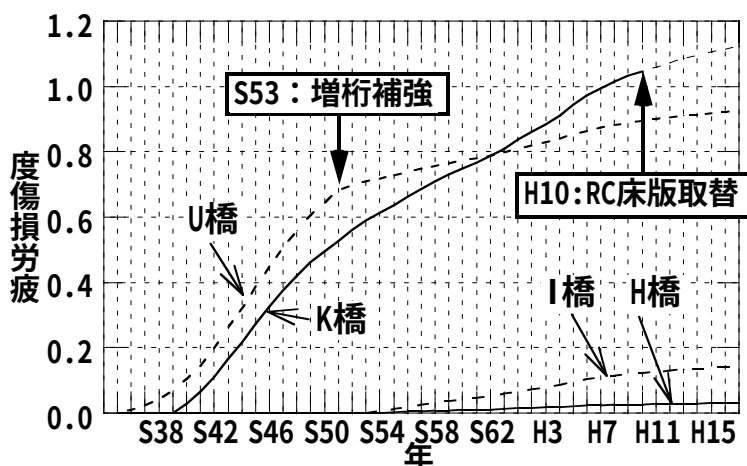


図-1.13 疲労損傷度および進行度の試算結果

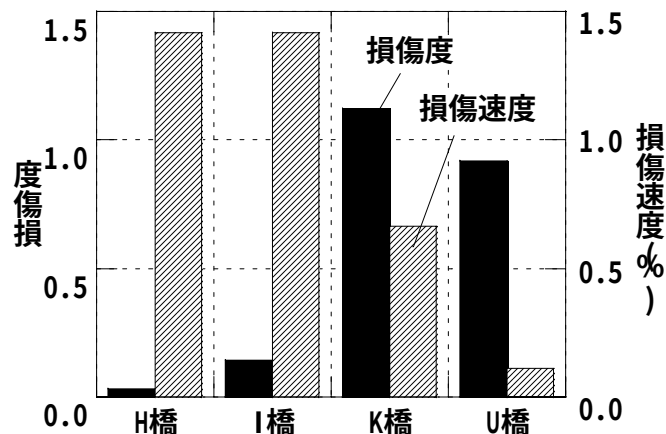


図-1.14 疲労損傷度および進行度の試算結果

図より、損傷度について、K橋が最も大きいことがわかる。またU橋については、床版増厚の効果で損傷速度が最も小さくなっている。一方、H橋およびI橋の損傷度は、U橋およびK橋に比べ小さくなっているものの、損傷速度が高いことがわかる。また、U橋の損傷速度が極端に小さいため、損傷度が1に達するまでに400年以上かかる計算になる。そのため、U橋は今後疲労損傷により床版破壊が生じる可能性は少ないが、損傷度そのものが高い値を示しているため、優先的に抜本的な対策を講じる必要があるといえる。

以上の結果から、K橋のRC床版取替は疲労損傷度の観点から適切な時期に実施されたこと分かった。また維持管理戦略として、U橋に対し優先的に補修・補強を実施する必要があること、I橋、H橋については当面経過観察程度で十分であること、などが判断できた。

1.8. まとめ

本研究では、現時点での荷重特性を簡便な橋梁軸重推定法により評価し、交通センサスなどを利用して累積疲労損傷度を推定することで、床版の疲労を評価する方法を提案した。さらに同一路線上に架かる橋梁群の相対的な疲労損傷度を算定し、維持管理戦略の方法について具体例を示した。以下にここで得られた知見を示す。

- 1) 疲労損傷度の算定には、交通モデルなどによる平均化されたモデルではなく、簡易モニタリングなどで得られる軸重分布を用いる必要がある。
- 2) 現在の軸重分布、交通センサスによる交通量、および過積載違反車両の推移から、過去の軸重分布を推定し、疲労損傷度を算定した。その結果、実橋梁において上部工取替時期と損傷度の終局がほぼ一致する結果となった。
- 3) 提案手法の考え方に基づき同一路線上の橋梁群の損傷度を算定し、維持管理戦略の具体例を示すことができた。

本研究では、実データに基づき合理的な考え方を示すことができたものの、損傷度の算定にあたり様々な仮定を設けているため、今後これらの検証が必要である。

第2章 調査・計測技術の選定システム

第2章 調査・計測技術の選定システム

2.1 はじめに

既存構造物の調査・点検においては、はじめに目視（非破壊）を基本とした一次調査により劣化機構の推定を行い、その後より詳細な内部品質調査・計測（微破壊・破壊）を伴う二次調査により、劣化機構の判定、劣化状態の把握などを行う。

システム化にあたり、実際の作業の流れに準拠した構成とすることにより、使用者（施設の管理者）が使いやすい、実用的なシステム作りを試みた。

なお、劣化機構は、中性化、アルカリ骨材反応（以下 ASR）、塩害、床版疲労、化学的浸食、PC 鋼材関連の 6 つについて取り扱うものとし、コンクリート部材と同様に、鋼部材についても対応したシステムとなっている。

2.2 システムの構成

本システムは、「基本情報入力」「一次調査」「二次調査」の 3 つから構成されている。「一次調査」は、環境条件調査結果や外観調査結果を入力することにより、劣化機構の推定が可能となる。また「二次調査」は、劣化機構の判定、劣化状態の調査、劣化予測の調査、耐荷性能の調査の 4 項目に分類し、それぞれの調査項目、調査・計測技術をデータベース化することで、使用者が既存構造物の維持管理を適切に行うことができるよう導く構成としている。

システム構成図を図-2.1 に示す。次項より、「一次調査」および「二次調査」のそれぞれについて詳述する。

2.3 一次調査

一次調査は、構造物の位置する環境条件の事前調査による「環境条件調査結果」、実際の構造物の目視点検による「外観調査結果」のそれぞれについて、各劣化機構の原因となり得る特徴的なチェック項目（図-2.2 ①）を、有・無・不明の 3 つから選択（図-2.2 ②）できる方式となっている。その入力結果により内部計算を行い、各劣化機構である可能性を割合（%）で出力する。（図-2.2 ③）

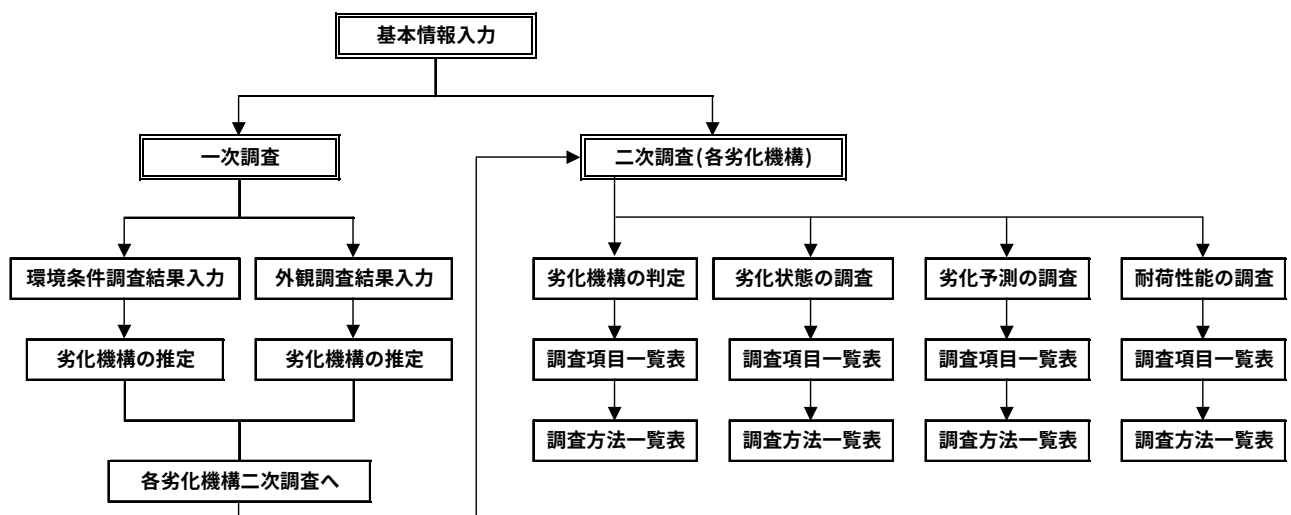


図-2.1 システム構成図

例えば、外観調査結果における「鉄筋に沿うひび割れ」が“有”と選択された場合、中性化および塩害の可能性が高くなり、また「変色」が“有”と選択された場合、化学的侵食および ASR の可能性が高くなる。

また、内部計算において、各項目の重み付けに差を設けており、例えば「ゲルの滲出」という ASR 特有の項目について“有”と選択された場合、通常の 2 倍の重みを与え、ASR の可能性が高い結果となるようにしている。

ここで、劣化機構推定の精度を確認するため、過去の点検調査をもとにシミュレーションを実施した。その結果を図-2.3 に示す。

シミュレーションの結果、環境条件調査による劣化機構の推定では、実際の橋梁での点検調査結果とシステムによる結果の最上位との一致が 15%、上位 3 位との一致が

85%、上位 3 位と不一致が 0%となった。また、外観調査による劣化機構の推定では、最上位との一致が 69%、上位 3 位との一致が 23%、上位 3 位と不一致が 8%となった。

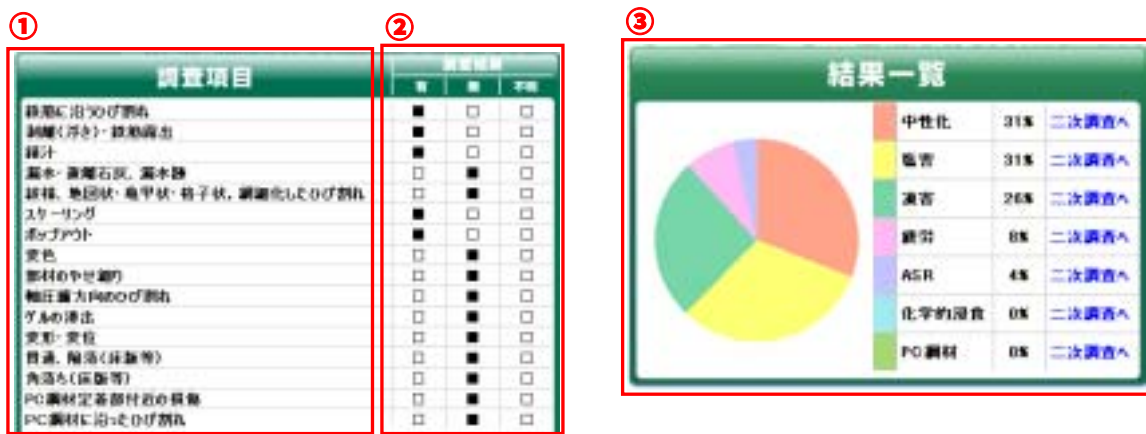


図-2.2 一次調査入力および出力結果

	橋梁名	点検調査による原因推定 () は判定区分	シミュレーション結果															
			環境条件調査結果							外観調査結果								
			中性化	塩害	凍害	化学的 侵食	ASR	疲労	PC鋼材 関連	結果	中性化	塩害	凍害	化学的 侵食	ASR	疲労	PC鋼材 関連	結果
1	A橋梁	中性化・その他	67	34	75	0	28	0	20	○	50	50	38	0	10	20	0	◎
2	B橋梁	凍害	67	34	75	0	28	0	20	◎	50	50	63	0	10	20	0	◎
3	C橋梁	その他	47	49	25	0	48	33	20	—	25	25	13	0	10	20	0	—
4	D橋梁	中性化・その他	47	49	25	0	48	33	20	○	50	50	13	0	10	20	0	◎
5	E橋梁	その他	47	49	25	0	48	33	20	—	25	25	13	0	10	20	0	—
6	F橋梁	中性化・その他	47	49	25	0	48	33	20	○	50	50	13	0	10	20	0	◎
7	G橋梁	中性化・その他, ASR	47	49	25	0	48	33	0	○	50	50	25	0	50	40	0	◎
8	H橋梁	中性化・その他	47	49	25	0	48	33	0	○	25	25	13	0	10	20	0	◎
9	I橋梁	中性化・その他, その他	47	49	25	0	48	33	0	○	25	25	13	0	10	20	50	◎
10	J橋梁	その他	73	3	5	20	4	33	20	—	25	25	0	0	0	0	0	—
11	K橋梁	その他	100	20	25	20	28	33	20	—	80	80	15	50	22	24	0	—
12	L橋梁	ASR, その他	100	20	25	20	28	33	20	○	75	75	25	0	40	40	0	○
13	M橋梁	その他	73	3	5	20	4	67	20	—	50	50	13	0	10	20	0	—
14	N橋梁	その他	100	43	25	20	60	33	20	—	100	100	25	0	20	40	0	—
15	O橋梁	ASR, その他	100	43	25	20	60	33	20	○	100	100	25	0	40	40	0	○
16	P橋梁	塩害	33	57	25	20	60	0	20	○	75	75	25	0	20	40	0	◎
17	Q橋梁	疲労・その他	33	60	25	20	64	33	20	○	0	0	13	0	20	20	0	○
18	R橋梁	凍害・その他	7	9	55	20	8	0	20	◎	80	80	28	0	24	44	0	×
19	S橋梁	中性化・その他	33	20	75	20	24	0	20	○	80	80	25	0	20	80	0	◎

【環境条件調査結果】

◎ 最上位と一致
◎ 最上位と一致
◎ 最上位と一致
○ 最上位と一致
○ 上位3位と一致

× 上位3位と不一致

【外観調査結果】

◎ 最上位と一致
◎ 最上位と一致
◎ 最上位と一致
○ 最上位と一致
○ 上位3位と一致

× 上位3位と不一致

図-2.3 劣化機構の推定シミュレーション結果

この結果より、限られたサンプルによる検証ではあるものの、環境条件調査からは1つの劣化機構に確定することは難しいが、3つ程度の劣化機構までの絞込みは可能であり、また外観調査では、高い確率で劣化機構が最上位と一致していると言える。このことは内部計算の重み付け等が概ね妥当であったことを示していると考えられる。

2.4 二次調査

一次調査によって劣化機構の推定を実施した後、その推定の精度を高めるには二次調査を実施する必要がある。目視を基本とした一次調査に対し、二次調査では、より詳細な内部品質調査・計測（微破壊・破壊）を行うため、精度の高い劣化機構の判定が可能となる。また、本システムでは、二次調査の目的として考えられる劣化状態、劣化予測、耐荷性能に関する調査方法についても取り扱うことにした。

塩害と推定された構造物の二次調査における「劣化機構の判定」を例にして記す。

まず、「劣化機構の判定」を選択すると、判定をする際に必要となる調査項目の一覧が提示される。（図-2.4 ①）それにより使用者は、何を調査すれば良いのか知ることができる。また、使用者はそれぞれの調査項目について調査結果を入力することができ、（図-2.4 ②）その結果を用いて判定を行うことができる。（図-2.4 ③）

次に、各調査項目を選択すると、データベース化された調査方法の一覧表が表示される。（図-2.4 ④）

また、一覧表には、調査方法ごとに、実績、使用性、経済性、破壊度の評価情報を示し、使用者はその評価を参考に、状況に合った調査方法を選択することができる。（図-2.4 ⑤）

さらに、各調査方法の詳細説明も表示できるようにしている。（図-2.4 ⑥）

「劣化状態の調査」「劣化予測の調査」「耐荷性能の調査」についても同様のシステム構成となっている。（判定は塩害・中性化・ASRの劣化機構判定のみ可能）

調査方法は多種多様であり、使用者が全ての方法を自ら把握することは大きな時間と労力を必要とする。よって、このデータベースは使用者が適切な調査方法を選択する上で、貴重な情報になると考える。

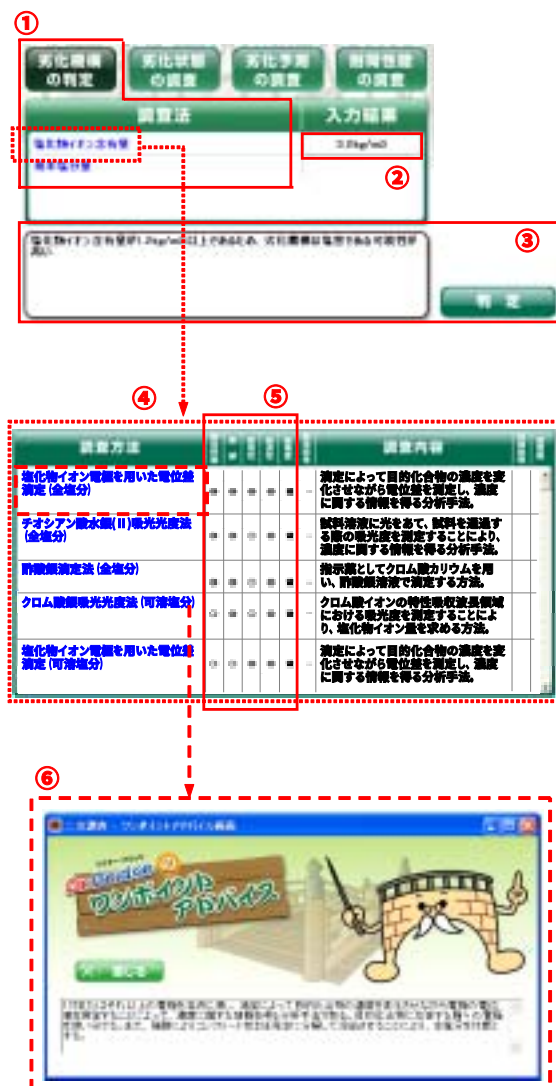


図-2.4 二次調査システム画面



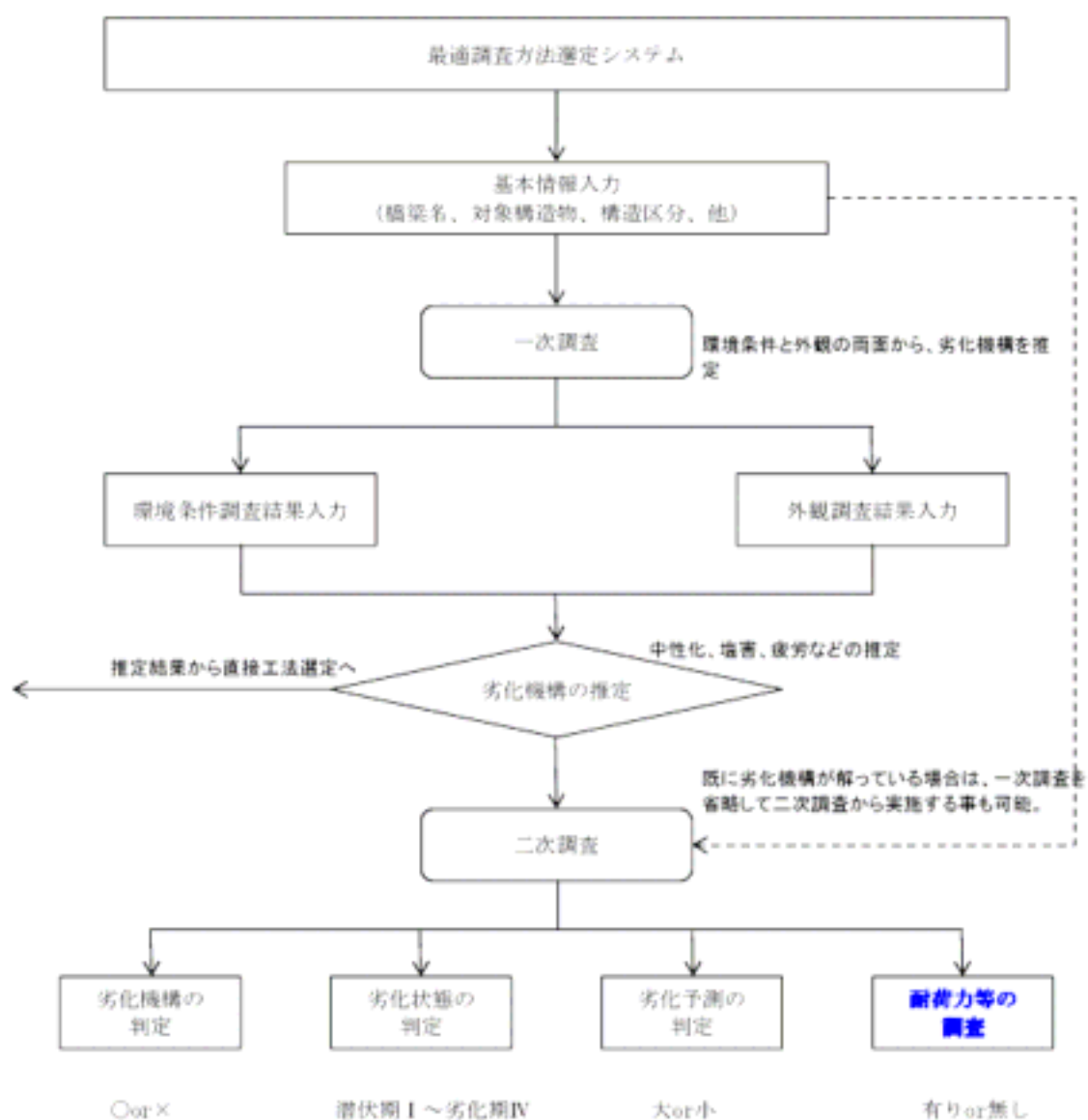
図-2.5 鋼部材基本情報入力および一次調査入力画面

2.5 鋼部材

本システムは、構造区分を選択することにより、コンクリート部材だけではなく、鋼部材についても取り扱うことができる。(図-2.5 ①) 鋼部材の劣化機構は、腐食、防食機能の劣化、疲労、遅れ破壊の4つとした。(図-2.5 ②)

システムの構成はコンクリート部材と基本的に同様である。ただし、一次調査による劣化機構の推定結果は、割合(%)での評価は用いず、その劣化機構の可能性が高い場合に“◎”，そうで無い場合は“—”で表示することにした。これは、鋼部材については一次調査において、ある程度確かな劣化機構の推定が可能であり、複数の劣化機構が二次調査まで残るとということが少ないためである。

2.6 最適調査方法選定システムの構成（取扱説明書および解説書イメージ）



2.6.1 基本情報入力

WQ2基本情報入力画面

戻る TOP画面 終了

基本情報入力

橋梁名 対象構造物 選択して下さい

竣工年 年 橋位

路線名 橋材

構造形式 構造区分 選択して下さい

交通量 適用示方書 選択して下さい

等級 選択して下さい 一次調査日 201 年 02 月

活荷重 選択して下さい 二次調査日 201 年 02 月

初食の橋脚 選択して下さい 劣化橋脚 選択して下さい

経路距離 選択して下さい

電力444 選択して下さい

一次調査へ 二次調査へ

一次調査により劣化橋脚の指定を実施。その後二次調査へ進み詳細調査を行います

既に劣化橋脚が指定できる場合、直接二次調査へ進み詳細調査を行います

必須

基本情報を入力してくれ。
入力情報登録後、
一次調査、または二次調査へ進んでください。

橋梁名、竣工年、路線名、構造形式等の基本情報を入力し、一次調査または二次調査へ進みます。
なお、以下は必須項目です。

対象構造物 : 上部工 or 下部工

構造区分 : コンクリート (PC) or コンクリート (RC) or 鋼材

2.6.2 一次調査

一次調査は、環境条件と外観の両面から、劣化機構を推定します。

(1) 環境条件調査結果入力

対象物の周りの環境条件からわかった結果を入力します。

Figure 1 shows a screenshot of a web-based questionnaire titled "一次調査" (First Survey). The page has a green header with navigation buttons like "ホーム" (Home), "TOPページ", and "お問い合わせ". The main content area is titled "調査項目" (Survey Items) and contains a table with 15 rows of items and three columns for "答" (Answer), "否" (No), and "不明" (Unknown). To the right of the table is a speech bubble from a cartoon character pointing upwards, containing text about the survey's purpose and a reference to a manual. At the bottom right, there is a button labeled "答へ続へる" (Continue Answering).

調査項目	答	否	不明
深井、水穴の増設あり	☐	☐	☒
漏水の影響	☐	☐	☒
凍結防止用の影響	☐	☐	☒
排水装置からの漏水	☐	☐	☒
排水装置からの漏水	☐	☐	☒
交通量が多い	☐	☐	☒
凍結状態におかれてゐる(深井)	☐	☐	☒
騒音等の影響が大きい部位(排水溝)	☐	☐	☒
断水日数の影響	☐	☐	☒
凍結融解効果による	☐	☐	☒
牧草の採りおしや減らしい	☐	☐	☒
灌漑地、工場に近接	☐	☐	☒
酸性河川に近接	☐	☐	☒
酸性雨	☐	☐	☒
PCP農材に農食餌子混入の可能性	☐	☐	☒

それ以外、環境条件調査結果の入力で、関連物の目的の環境条件からわかって結果を入力してください。
入力されたデータは実際の調査結果と一致しない限り、関係条件調査結果については参考程度で取り扱ひさせていただきます。

答へ続へる

(2) 外觀調査結果入力

目視からわかった結果を入力します。

タレント育成プログラム - TDP

TDP概要 一次調査 二次調査 三次調査

一次調査

調査項目

調査項目	必要	不要	不明
技術に活かすための調査	☐	☐	☒
訓練(学歴)・経歴調査	☐	☐	☒
統計	☐	☐	☒
調査・調査結果・調査結果	☐	☐	☒
経歴・経歴・経歴・経歴・経歴・経歴・経歴・経歴	☐	☐	☒
ユーザ・ユーザ	☐	☐	☒
ユーザ・ユーザ	☐	☐	☒
調査	☐	☐	☒
調査のやり方	☐	☐	☒
調査方法の調査	☐	☐	☒
データの調査	☐	☐	☒
調査・調査	☐	☐	☒
調査・調査(調査等)	☐	☐	☒
調査(調査等)	☐	☐	☒
PC調査結果の調査	☐	☐	☒
PC調査結果の調査	☐	☐	☒

それゆえ、調査調査結果の調査。
調査結果の調査結果の調査。
調査結果の調査結果の調査。
調査結果の調査結果の調査。

たけし

調査結果の調査

(3) 劣化機構の推定

劣化機構の推定結果は、円グラフで示されます。



(4) その他

支承部、排水装置、伸縮装置及び高欄の損傷状況を記録できます。

また、補修・補強の履歴をその他に記録・保管できます。

その他入力画面

支承部: 選択して下さい

排水装置: 選択して下さい

伸縮装置: 選択して下さい

高欄: 選択して下さい

その他:

※補修、補強の履歴がある場合など
特記事項をその他に記入してください。

キャンセル OK

2.6.3 二次調査

性能評価のための閾値イメージ（塩害）

（1）劣化機構の判定

劣化機構の判定（塩害を特定する）		
塩害 か？	塩化物イオン含有量	飛来塩分量
×	1.2kg/m ³ 未満	0.05mm未満
○	1.2kg/m ³ 以上	0.05mm以上

（2）劣化状態の調査

劣化状態の調査（潜伏期から劣化期までを特定する）					
	塩化物イオン含有量	鉄筋腐食	変色・鱗片の有無	剥離・剥落の有無	腐食ひび割れの有無
状態Ⅰ 〔潜伏期〕	1.2kg/m ³ 未満	無し	無しまたは軽微	無し	無しまたは軽微
状態Ⅱ 〔進展期〕	1.2kg/m ³ 以上	ごく表面的な腐食	部分的に認められる。	部分的に認められる。	部分的に認められる。
状態Ⅲ 〔加速期〕		断面欠損している腐食	連続的に認められる。	連続的に認められる。	連続的に認められる。
状態Ⅳ 〔劣化期〕		鋼材が破断している場合		鋼材が破断している。	

（3）劣化予測の調査

劣化予測の調査（劣化速度の大小を決める）				
劣化速度	塩化物イオン含有量（履歴）	塩化物イオン浸透解析	鉄筋腐食（履歴）	飛来塩分量
小	1.2kg/m ³ 未満	20年後1.2kg/m ³ 未満	無し	0.05mm未満
大	1.2kg/m ³ 以上	20年後1.2kg/m ³ 以上	ごく表面的な腐食	0.05mm以上
			断面欠損している腐食	
			鋼材が破断している場合	

(4) 耐荷力等の調査

耐荷力等の調査(安全性能、使用性能の照査)					
性能	劣化状態及び劣化予測より概略評価		圧縮強度 率	変位変形量測 定率	耐荷力算定
有り	状態Ⅰ (潜伏期)	小	(圧縮強度が 設計基準強 度を上回る)	(履歴) 変化なし	OK
	状態Ⅱ (進展期)				
無し	状態Ⅲ (加速期)	大	(圧縮強度が 設計基準強 度を下回る)	(履歴) 変化あり または 理論値と乖離	許容応力度～降伏応力度
	状態Ⅳ (劣化期)				降伏応力度超過

※:耐荷力算定の基礎資料とすることが多い

(5) 調査におけるシナリオ・イメージと凡例(案)

- ・**即断即決型:赤色**
(簡易に、または概略の評価をする場合の手法)
- ・**標準型:橙色**
(だいたい標準的に行われる手法)
- ・**じっくり型:緑色**
(時間を掛けても高精度評価を目指す場合の手法)
- ・**その他:黒色**
(直接的に評価するものではないが、基礎データとして解析・計算等に反映する調査資料など)

2.7 おわりに

構造物の診断に必要な調査・計測技術を整理するとともに、合理的に選定するシステムの開発を行い、現時点までに以下に示す成果を得た。

- (1) 一次調査において、環境条件調査結果、外観調査結果を入力することにより、劣化機構の推定を可能とした。
- (2) 二次調査において、各劣化機構について必要な調査項目一覧を示すとともに、その調査項目に対する調査方法をデータベース化した。また、それぞれの評価を明示することにより、状況に合った調査方法を選択することが可能となった。

今後は、新技術の追加、評価内容の見直しなど、データベース化されている調査方法一覧表を充実させる必要がある。

第 3 章 補修・補強技術の選定システム

第3章 補修・補強技術の選定システム

3.1 はじめに

戦前・戦後を通じて蓄積されてきた膨大な量の道路構造物は年月の経過とともに老朽化が進んでいる。また塩害やアルカリ骨材反応などによるコンクリートの早期劣化，社会情勢の変化による交通量および重量車の増加，設計上想定外の地震作用などによって，さらに道路構造物の寿命が短縮される傾向になってきている。このような状況の中，劣化した構造物に適用する最適な対策工の選定，適応時期ならびに適用規模の設定を行うにあたり，これらの道路構造物に要求される性能の現状を的確に評価し，将来の性能変化を的確に予測することは，アセットマネジメントの観点から重要なことであると考えられる。

ところが，現状では種々の対策工に関する技術データの共有化などが十分でなく，各工法の効果や費用などを客観的に示すデータが不足していることもあり，最適な工法の選定を行うことが難しい状況にある。そこで本研究では，現在実用化されている種々の対策工の情報を整理してとりまとめ，健全度評価と劣化予測の考え方を取り入れた最適な対策工を選定するシステムの構築を行った。

3.2 システムの概要

本システムにおける基本的な検討の流れを図-3.1に示す。まず「基本情報入力」にて橋梁名や構造区分，劣化要因などを対話形式の入力フォームに従って入力する。

このとき，対象構造物の劣化要因や劣化程度，詳細調査結果等は既知であることを前提としている。次に，性能照査による工法群選定により，対象構造物の現時点での保有性能および将来的な劣化を考慮した工法群が選定される。工法群とは，検討対象構造物の対応策として適用可能と工学的に判断される複数の対策工のことを指している。ここで，本システムにおける補修と補強は以下のように定義している。

補修：構造物の耐久性能の回復または向上を目的とした対策。ただし，建設時に構造物が保有していた程度まで力学的な性能を回復させるための対策も含む。

補強：建設時に保有していたよりも高い性能まで力学的な性能を向上させるための対策。

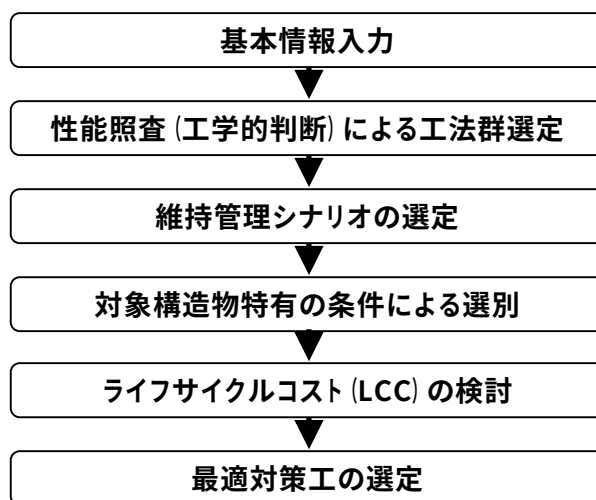


図-3.1 本システムにおける検討の流れ

工法群が工学的判断により選定されると、次に維持管理シナリオを選定する。ここでいうシナリオとは、工法選定に際しての基本的な取組方針を指すものであり、当面の橋のあるべき姿とそうあるための取扱いを考察したものである。次に、立地条件や環境条件、施工条件など、対象構造物特有の条件に対しての工法の適応性を照査し、工法群の中から条件に適合しない工法がふるい落とされる。この時点で適用可能な工法が1つに絞り込まれた場合にはここで検討が完了となるが、まだ複数の工法が残っている場合には、次のライフサイクルコスト（以下、LCC と呼ぶ）の検討へと進み、予定供用期間を通じて最も経済性に優れた対策工を選定する。このように、本システムによる一連の検討を通じて、性能評価に基づいて適切な工法群を選定し、そこから対象構造物固有の諸条件に適合しないものを除外したうえで最も経済性に優れる工法を選定することが可能となる。

本システムの検討対象としている構造物および劣化要因を表-3.1 に示す。

表-3.1 検討対象項目

対象構造	下部工, 上部工
部位	橋脚, 橋台, けた, 床版
部材	はり部, 柱部, フーチング, けた, 床版
構造区分	RC, PC, 一般塗装鋼材, 重防食鋼材, メッキ鋼材
劣化要因	塩害, 中性化, ASR, 凍害, 化学的浸食, 疲労(床版) 腐食, 疲労(金属), ボルト遅れ破壊

3.3 システムの構築

3.3.1 性能照査の考え方

工法群選定において照査する性能は、「安全性能」「使用性能」および「耐久性能」の3項目とした。ここで、本システムにおける各性能は以下のように定義している。

安全性能：構造物の力学的性能（設計で保障された耐荷力を具備しているか否か）を指す。

使用性能：変形、第三者被害、美観・景観の3項目を指す。

耐久性能：構造物に作用する劣化要因のもとで生じる性能の経時的な低下に対して構造物が有する現時点での抵抗性を指す。

工法群選定における性能照査の流れを、ASR の場合を例として図-3.2 に示す。まず、安全性能の照査では現時点での構造物の耐荷力が十分に備わっているか否かを判定する。耐荷力が不足すると判定された場合には、不足する原因に応じて必要となる対策工が選定される。例えば劣化要因がASR の場合では、耐荷力が不足する原因として、「鉄筋破断」、「コンクリート強度の低下」およびその両者の組合せの3通りを考慮する。またそれぞれの場合について「残存膨張量」の判定を行い、選定される対策工に以後の有害な膨張を考慮する必要があるか否かを考慮する。この安全性能の照査によって、現時点で不足する耐荷力を適切に補い、かつ将来のASR 劣化進行も考慮した複数の対策工の候補（工法群）を選定することができる。



図-3.2 工法群選定までの流れ（劣化要因が ASR の場合）

安全性能に問題がないと判断された場合には、使用性能の照査に進む。本システムにおいて、使用性能は「変形」、「第三者被害」および「美観・景観」の3項目と定義しているので、それぞれの場合について「残存膨張量」の判定を経て、将来の劣化進行も考慮した工法群が選定される。

安全性能および使用性能に問題がないと判断された場合には、耐久性能の照査を行う。劣化要因が ASR の場合では、まず「残存膨張量」を評価し、選定される対策工に以後の有害な膨張を考慮する必要があるか否かを判定する。次に現時点の劣化の程度として「最大ひび割れ幅」を評価し、工法群へのルートが分岐する。この耐久性能の照査によって、現時点での劣化程度に対して適切な対処ができ、かつ将来の ASR 劣化進行も考慮しうる複数の対策工の候補（工法群）を選定することができる。

要因によって図-3.2 のフローの内容や分岐点の閾値などが異なる。各劣化要因におけるフロー分岐の判定基準を表-3.2 に示す

表-3.2 各劣化要因の照査内容

区分	劣化要因	安全性能照査 (耐荷力不足の原因)	使用性能照査 (検討項目)	耐久性能照査 (分岐点の検討項目)
コン ク リ ー ト	塩害	鉄筋断面不足	変形 第三者被害 美観・景観	塩化物含有量 ; 1.2kg/m ² 以上 or 未満 ひび割れ発生 ; なし or あり 鉄筋腐食の程度 ; 腐食なし or あり, 断面欠損なし or あり
	中性化	鉄筋断面不足	変形 第三者被害 美観・景観	中性化残り深さ ; 10mm以上 or 未満 ひび割れ発生 ; なし or あり 鉄筋腐食の程度 ; 腐食なし or あり, 断面欠損なし or あり
	ASR	鉄筋破断 コンクリート強度低下 上記の両方	変形 第三者被害 美観・景観	残存膨張量 ; 無害 or 有害 最大ひび割れ幅 ; 0.2mm以上 or 未満
	凍害	鉄筋断面不足 コンクリート強度低下 上記の両方	変形 第三者被害 美観・景観	凍害深さ ; 10mm以上 or 未満 鉄筋腐食の程度 ; 断面欠損なし or あり
	化学的浸食	鉄筋断面不足 コンクリート強度低下 上記の両方	第三者被害 美観・景観	コンクリートの変質 ; なし or あり 浸食の有無 ; なし or あり 鉄筋腐食の程度 ; 断面欠損なし or あり
	疲労(床版)	コンクリート強度低下 鉄筋腐食+コンクリート 強度低下	変形 第三者被害 美観・景観	ひび割れの程度 ; 1方向 or 2方向 下面からの漏水 ; なし or あり
	PC鋼材関連	PC鋼材の破断 PC鋼材の腐食 定着部の損傷	変形 第三者被害 美観・景観	PC鋼材の腐食 ; なし or あり グラウト充填不良 ; なし or あり
鋼	腐食	防食機能 強度 追加部材取付けの可否	美観・景観	点錆, 部分的な剥がれ ; なし or あり
	疲労(金属)	亀裂の有無 亀裂の深さ 追加部材取付けの可否		継手の疲労等級 ; 満足する or しない 構造ディテール改善 ; 不要 or 必要
	ボルト遅れ破壊	ボルト耐力	第三者被害	—

3.3.2 維持管理のシナリオ

最適対策工の候補となる工法群が工学的判断により選定されると、次に維持管理シナリオの選定に進む。ここでいうシナリオとは、工法選定に際しての基本的な取組方針を指すものであり、当面の橋のあるべき姿とそうあるための取扱いを考察したものである。これは橋ないし道路橋梁群を取り巻く各種の環境条件や橋の性能、劣化予測等を考慮して、ライフサイクルマネジメント（LCM）の概念に基づいて事前に検討を行った上で決定されるべきものである。本システムでは、「シナリオ A（先取り型）」、「シナリオ B（標準型）」および「シナリオ C（先送り型）」の3種類を考慮した。各シナリオの考え方とその事例を表-3.3に示す。

本来、維持管理シナリオとは道路管理者によってあらかじめ定められている性質のものであるが、本システムにおいては便宜上、工法群が選定された後にユーザーが上記3種類のシナリオの中からいずれかを選択することとしている。この維持管理シナリオの選択によっても、システム内部では工法群の絞り込み作業が行われている。

表-3.3 維持管理シナリオの考え方とその事例

タイプ	考え方	事例
シナリオA (先取り型)	・新設橋（フルスペック）並み万全の対応・処置を適用した維持管理方策 ・同一特性箇所を先回り・先取りして対応する、ないし工法適用範囲を拡大適用するなどのケース	・鋼床版リブのき裂発生の有無に関わらず全箇所補強、補修方策を採るケース ・RC床版に貫通ひび割れが発生している場合に、適用示方書の年次も考慮して、部分補修ではなく全面張替えまたは上面増厚工法等を選択するケース
シナリオB (標準型)	・一般的な対応・処置を適用した維持管理方策 ・標準的な適材適所の維持管理方策で、通常の補修、補強対策は一般的にこのケースに相当する	・劣化要因の特定、劣化程度の診断、将来的な劣化予測により、適切な補修方策を採るケース ・構造物の耐荷性能を評価し、不足する耐荷力を補うために適切な部材を追加して補強するケース
シナリオC (先送り型)	・暫定的または限定的な対応・処置を適用した維持管理方策 ・使用環境条件に照らし、当面の暫定的ないし限定的対処方策を採り、後年度に一括大規模な対応を行うなどのケース	・架け替え計画がすでに起案されており、その時期までつなぎ対応とすることとし、劣化進行を抑制する工法を選択するケース ・新路線の建設後、路線の機能を移行し、旧道として取り扱うため、それに見合った比較的軽微な補強工法を選択するケース

表-3.4 対象構造物特有の条件と劣化要因との関係

対象構造物特有の環境条件・施工条件	塩害	中性化	ASR	凍害	化学的浸食	疲労（床版）
海にかかる橋である	○	○	○	○		○
海岸線から200m以内に位置している	○	○	○	○		○
凍結防止剤の散布が行われる	○		○	○		
著しい水分の供給がある	○	○	○	○		
河川にかかる橋である	○	○	○	○		○
水位上下の影響を受ける部材である	○	○	○	○	○	
最低気温が0℃を下回る日が連続する	○	○	○	○	○	○
橋面防水工が機能している						○
補修、補強による重量増に余裕のない部材である	○	○	○	○	○	○
施工場所へのアプローチが極めて困難である	○	○	○	○	○	○

なお、いずれのシナリオを採る場合でも、予防保全の考え方に則り、戦略的、計画的な維持管理が合理的に推進されるよう配慮している。

3.3.3 対象構造物特有の条件による選別

工学的に判断して選定された工法群の中には、対象構造物の立地条件や環境条件、施工条件などによっては適用が困難な対策工も含まれることがある。よって、ここでは対象構造物特有の諸条件を考慮して工法群の絞り込みを行う。表-3.4 に、工法選定で考慮する主な環境・施工条件を示す。本システムに登録されている全ての対策工はこれらの条件下での適用の可否を関連付けされている。したがって、ユーザーが画面上に表示された諸条件のうち対象構造物の条件に合致する項目を選択することにより、選択された条件下で適用困難な対策工をふるい落とすことができる。考慮すべき諸条件は表-3.4 に示すように劣化要因毎に異なるため、画面上に表示される諸条件も劣化要因毎に変更される。

ここまでの検討により、現時点で生じている劣化に対して適切な対処ができ、かつ将来の劣化進

行も考慮しうる工法群が選定された後、さらに対象構造物特有の諸条件に合致するものだけに絞り込まれる。この段階で対策工が1つに絞り込まれた場合には、その工法が最適対策工となる。この段階でまだ複数の工法が候補として残っている場合には、次のLCCの検討へと進む。

3.3.4 LCCの考え方

複数の対策工が候補として残っている場合には、各工法のLCCを比較検討して予定残存供用期間を通じて最も経済性に優れた対策工を最適対策工として選定する。維持管理におけるLCCとして計上する費用には、初期補修費用、再補修費用、供用期間中の調査点検費用などが挙げられ、それぞれの値は本来、劣化の程度や対策工を適用する時期などにより変動する。しかし、本システムにおけるLCCの算出はあくまで対策工の優先順位を決めるための手段として位置づけているため、ここでは**式(3.1)**に示すLCC算定式にて概算することとした。

$$LCC = C_i + N \cdot C_r \quad (3.1)$$

ここに、 LCC ：ライフサイクルコスト（円/m²）

C_i ：初期補修費用（円/m²）

C_r ：再補修費用（円/m²）

N ：予定供用年数内の再補修回数（回）

本システムに登録されている対策工は、それぞれ初期補修費用、再補修費用および一度補修してから再補修が必要となるまでの期間の情報が付与され、蓄積されている。ユーザーは対象構造物の予定供用年数を入力するだけで、各工法のLCC（単位面積あたり）算出結果を得ることができる。

なお、本システムにおいてLCCの算出を行うのは「耐久性能照査」のみとし、「安全性能照査」および「使用性能照査」では行わない。これは、安全性能や使用性能の照査によって選定される工法が、例えば鋼板接着工法や外ケーブル工法などのように主に部材追加により耐荷力を回復、向上させる対策工であることが多く、設計計算で決まる部材追加量（補強量）によって対策費用が大きく異なるためである。

以上の検討により、劣化要因に応じて適切であると工学的に判断された工法群の中から、対象構造物特有の環境、施工条件に適合し、かつ予定供用期間を通じて最も経済性に優れた工法が最適対策工として選定される。

3.4 システムの紹介

土木分野の構造計算ソフトなど、この種のシステムは一般的に質素で固いイメージであることが多い。そこで、本システムの開発にあたり、「ユーザーフレンドリー」を目標のひとつとして掲げた。その方策として、オリジナルキャラクター「たくみちゃん」を起用し、全ての情報入力および検討作業をたくみちゃんとの対話形式で進める形とした。

以下に、本システムによる最適対策工選定の流れを紹介する。

本システムにおいてユーザーが行う作業は、基本的にキャラクターからの質問に対し、選択肢の中から適合するものを選び、クリックするのみとなる（**図-3.3**）。

基本情報、劣化要因を入力した後、安全性能、使用性能および耐久性能の照査を行う。それぞれの照査事項（「たくみちゃん」からの質問内容）は全て劣化要因毎に異なっており、この質問と回答のやりとりだけで対策工の候補（工法群）に辿りつく。**図-3.4**は劣化要因がASRの場合における

耐久性能照査の画面の例を示す。



図-3.3 基本画面

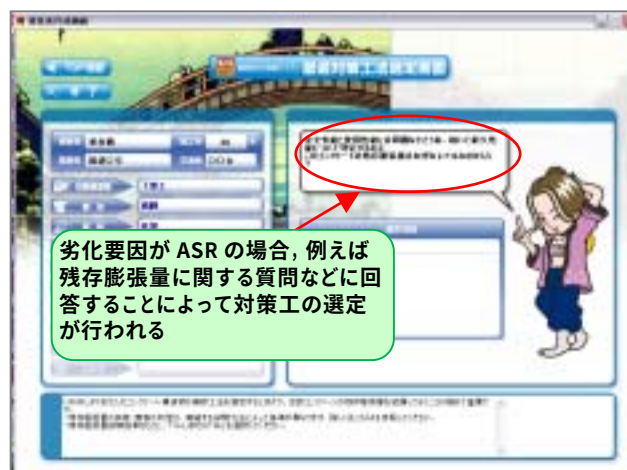


図-3.4 耐久性能照査 (ASR の場合)

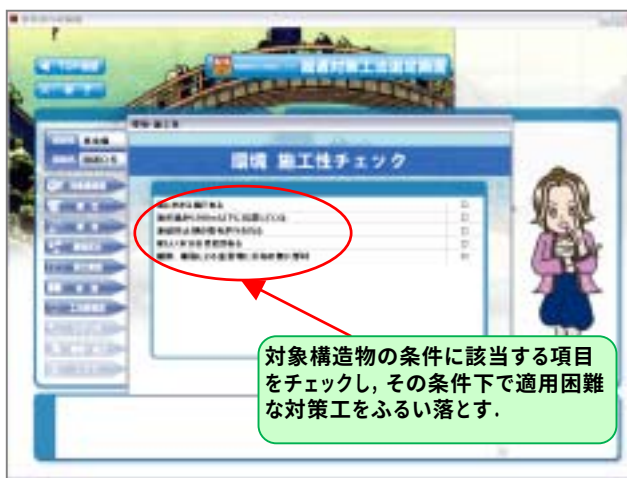


図-3.5 環境条件・施工条件

工学的判断により選定された工法群の中から、対象構造物特有の環境・施工条件を考慮して絞り込みを行う。ここでは、「環境・施工性チェック」が別ウィンドウで開き、該当する選択肢にチェックを入れることで適用困難な工法をふるい落とす（図-3.5）。



図-3.6 予定残存供用年数の選択

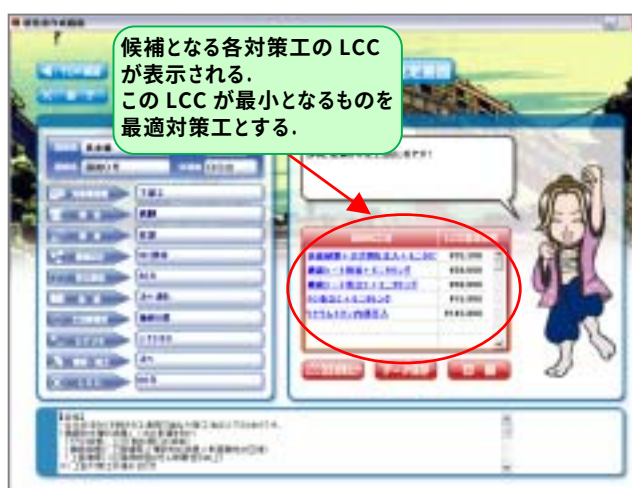


図-3.7 最適対策工の選定完了

LCC 算定において、ユーザーは対象構造物の予定残存供用年数を 5 年、30 年、60 年の中から選択する（図-3.6）。その供用期間における各対策工の LCC 算定結果の画面が本システムの最終画面となる。ここで表示されている複数の対策工の LCC を比較し、最も経済性に優れたものを最適対策工と判定する（図-3.7）。

システム画面の背景画は縦長のパネル 10 枚に分割されている。それらは最初、全て伏せられた状態であるが、キャラクターからの質問に回答する度に 1 パネルずつ表示されていき、選定完了と同時に 1 枚の絵画が完成する。これも、「ユーザーフレンドリー」のための方策のひとつである。

3.5 ソフトの解説・取扱イメージ

ソフト「橋の匠」は最適補修補強工法の選定を目指している。したがって、各種の設定条件等の取扱いには慎重である必要があり、ユーザーが誤解したり間違った方向に進まないよう適切に導くことが必要である。すなわち、ソフトの基本的な考え方や取扱い・入力操作の進め方および、出力・解答に対する理解や適用可能範囲・解説事項等について、適切にアドバイスすることが重要である。

そこで、取扱いイメージ等の解説・操作要領書の作成を進めている。以下にその概要および記述内容のイメージを付する。

【WG3 対策工法選定システム概念図 ASR等の場合(上部工-床版-PC) 工法群の選定】

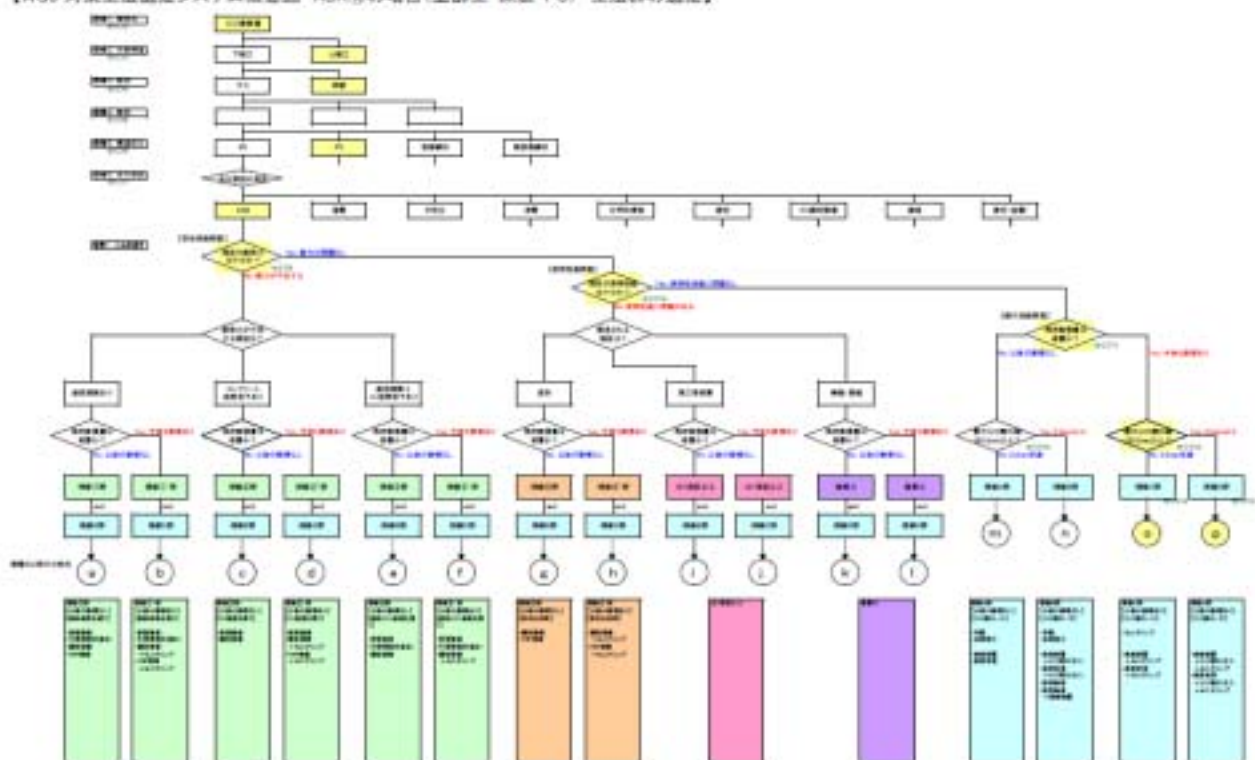


図-3.7 ソフト中の選定フロー構造(例)

図-3.8～.10 に取扱説明イメージを概説する。



最適対策工法を検討する橋梁の基本情報入力画面です。

- ①：橋梁名 通常の入力（全角、半角、英文字、数字）をしてください。
- 竣工年 西暦で入力してください。（半角数字4桁の入力ができます。）
- 路線名 通常の入力（全角、半角、英文字、数字）をしてください。
- 交通量 通常の入力（全角、半角、英文字、数字）をしてください。
- 構造区分 対策工法を検討したい部材が鋼部材なのか？コンクリート部材なのか？を選定してください。

図-3.8 基本情報入力画面



対策工法を検討する対象部材の劣化要因（塩害か？中性化か？ASRか？凍害か？）を選択する画面です。

※：『橋の匠』ではコンクリート部材の劣化要因として、塩害、中性化、ASR、凍害、化学的侵食、疲労の6つの劣化要因を対象としています。しかし、対象部材によっては劣化要因として非常に可能性の低いものも考えられます。当該部材の横断はり部は、酸性土や酸性水との接触は無く、床版のように疲労劣化の影響も受けません。従って、劣化要因の選択肢から化学的侵食と疲労は除外されています。
その他の部材についても、同様に部材毎に劣化要因の絞込みが行われた状況で選択項目が表示されています。

- ①：対策工法を検討する対象部材の劣化要因が、塩害なのか中性化なのかASRなのか凍害なのかを選択してください。
選択方法は、①の文字の部分をクリックしてください。
- ②：構造区分選択画面で選択した、RC部材が表示されています。
- ③：対象構造区分、部位、部材、構造区分の文字をクリックすると、それぞれの選択画面にもどることができます。
- ④：劣化要因を判定するために必要な情報についての説明が表示されます。
(スクロールできますので、全文を確認してください。)

図-3.9 劣化要因選択画面(例)



環境条件・施工性についてチェックする画面です。

- ①：表示されている環境条件や施工性のうち、検討対象部材に適合する内容にチェックをつけてください。
 チェックの方法は、□をクリックして■に反転させてください。
 間違えてチェックした場合は、■をもう一度クリックして□にもどしてください。
 チェックが完了したら、OKをクリックしてください。

※：本マニュアルでは、「海岸線から200m以下に位置している」と「河川にかかる橋である」にチェックをつけています。

図-3.10 環境条件・施工性チェック画面(例)

3.6 おわりに

今後は、本システム内に整理・蓄積されている各対策工の情報をさらに充実させるとともに、実際の維持管理業務に適用し、確からしさの検証および実務上の高度化を図る必要がある。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所橋梁研究室：橋梁の架替に関する調査結果（Ⅲ），土木研究所資料第 3512 号，1997.10
- 2) 土木学会鋼構造委員会：鋼橋における劣化現象と損傷の評価，丸善㈱，1996.
- 3) 土木学会：【2001 年制定】コンクリート標準示方書 [維持管理編]，丸善㈱，2001.
- 4) 小塩達也，山田健太郎，若尾政克，因田智博：支点反力による BWIM を用いた自動車軸重調査と荷重特性の分析，構造工学論文集，Vol.49 A，743-753，2003.
- 5) 建設省土木研究所橋梁研究室：限界状態設計法における設計荷重に関する検討，土木研究所資料，第 2700 号，1989.1.
- 6) 三木千壽：鋼橋のメンテナンス，橋梁と基礎，Vol.35，8，50-53，2001
- 7) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針 表-付 2.6.2，平成 14 年 3 月
- 8) <http://www.npa.go.jp/hakusyo/index.htm>
- 9) 松井繁之：道路橋床版，森北出版社，2007.
- 10) Y.Oshima and K.Sugiura: Fatigue life estimation of a concrete slab using B-WIM and traffic census, Proc. of HVPParis 2008, 359-368, 2008.5.

発表論文

- 1) 大島義信，中山昭二，内田諭，高村裕一，宮川豊章：交通センサスを利用した床版の疲労劣化評価に関する一考察，土木学会第 65 回年次学術講演会論文集，I -547，1093-1094，2010.9
- 2) 大島義信，中山昭二，内田諭，杉浦邦征，宮川豊章：モニタリングデータを活用した鋼橋 RC 床版の疲労推定とその応用，コンクリート構造物の補修補強アップグレード論文報告集第 10 巻，241-248，日本材料学会，2010.10
- 3) 佐古周一，江良和徳，金好昭彦，大島義信，宮川豊章：既設コンクリート橋の最適対策工選定に関する実用的なシステムの構築，コンクリート構造物の補修補強アップグレード論文報告集第 10 巻，287-292，日本材料学会，2010.10