

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2回中間報告)

平成24年10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

「津波てんでんこ」という言葉をご存知でしょうか。三陸地方に残る言い伝えで、古来津波が来たら親子でんでんばらばらになっても構わず高台へ逃げろ、という意味である。3.11の津波襲来時、岩手県釜石市の小中学校生 2,926 人は日頃の訓練どおり直ちに避難した。彼らは“てんでんこ”の教訓とともに、防災教育や避難訓練で培われた三つの教えを実践し、自らの命を守り抜いた。それは日頃身につけた成果そのものであり、地域ぐるみで習慣づけることの大切さを教えている。すなわち、すべてが“見えない社会インフラ”として十分に機能したわけである。ひるがえって橋梁等社会インフラの現状を考えたとき、使いこなす時代といわれて久しいが、昨今の社会経済環境や人的資源の実情は、より厳しい状況を強いている。落橋や事故の教訓はあるが、多様化する劣化事例や数ある技術の教育・訓練、広く見る目を培うことは未だ十分とは言い難い。また、社会に対する説明責任を十分に果たしているだろうか。こちらの“見えない社会インフラ”は心もとない。

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、技術的パートナーとなるソフト「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、橋ごと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、電子書籍または電子参考書として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。

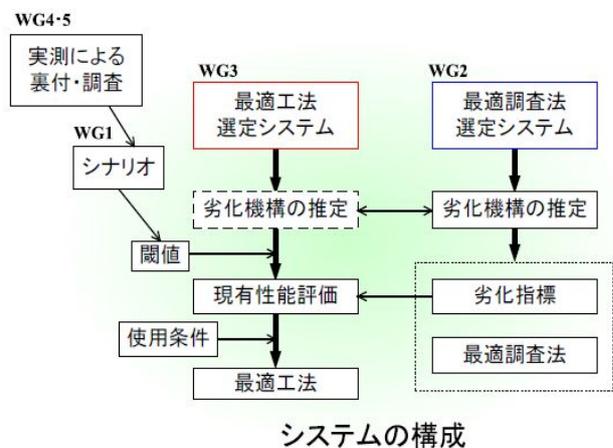
### 1-4 平成23年度の成果

- ・ 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24年度の研究内容

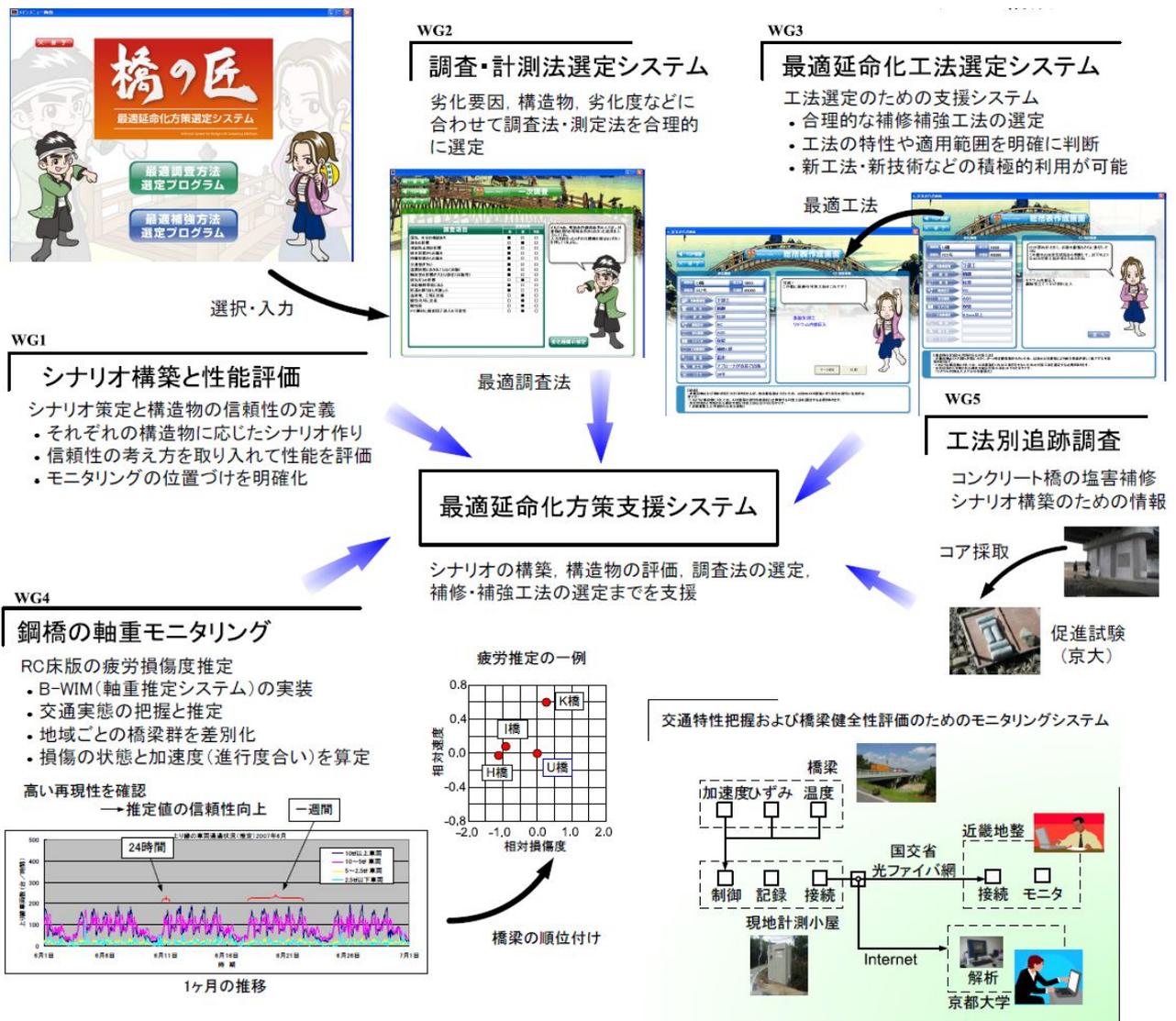
右図に示すように、以下を行う。

- ・ 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 <sup>*1)</sup>	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 <sup>*2)</sup>	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】

野中 砂男	国土交通省近畿地方整備局	道路部 道路保全企画官
竹内 智明	国土交通省近畿地方整備局	道路部 道路構造保全官
西海 俊幸	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
仲野 悌弘	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
水江 正弘	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 <sup>*3)</sup>	(株)ソーキ	産学官連携・新技術推進センター センター長
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 <sup>o</sup> 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 <sup>o</sup> 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 宥愿	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 <sup>o</sup> 課長グループ <sup>o</sup> 長
石川 次郎	(株)修成建設コンサルタント	取締役副社長
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)	総合技術本部 技師長
加藤 俊昌	(株)ニューシ <sup>o</sup> ェック	国内事業本部 部長
内田 諭	(株)ニューシ <sup>o</sup> ェック	大阪本社 道路グループ <sup>o</sup> 橋梁チーム リーダー
入倉 雅人	(株)ニューシ <sup>o</sup> ェック	東京本社 道路グループ <sup>o</sup> 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 トネル部 渋谷開発グループ <sup>o</sup> グループ <sup>o</sup> 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 <sup>o</sup>
寺下 諭吉	八千代エンジニアリング(株)	広島支店 取締役支店長
香川 賢一	八千代エンジニアリング(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 <sup>*4)</sup>	(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
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 <sup>o</sup> リーダー
廣井 幸夫	(株)IHIインフラ建設	PC事業部 PC技術部 次長
加藤 俊	(株)IHIインフラ建設	技術計画部 技術計画2グループ <sup>o</sup>
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 技術企画部 課長

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
楠 基	三井住友建設(株)	大阪支店 土木部・建築部調達グループ 課長

－ 補修・補強 WG －

金好 昭彦\*4)

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	技術本部 技術部 技術グループ 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 H24.4.1 現在

## 総目次

- ・ 全体概要
- 第 1 章 調査・計測技術の選定システム
- 第 2 章 補修・補強工法の選定システム
- ・ 発表論文

## 第1章 調査・計測技術の選定システム

# 第1章 調査・計測技術の選定システム

## 1.1 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。

## 1.2 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-1.1 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。

## 1.3 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-1.2 ①）を、有・無・不明の 3 つから選択（図-1.2 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-1.2 ③）

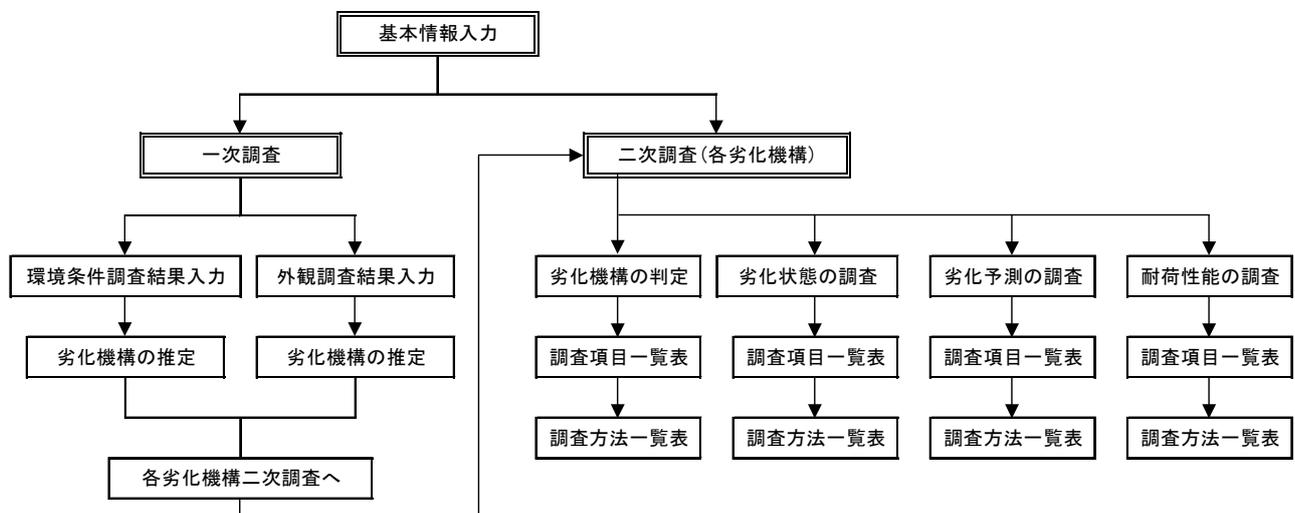


図-1.1 システム構成図

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-1.3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。

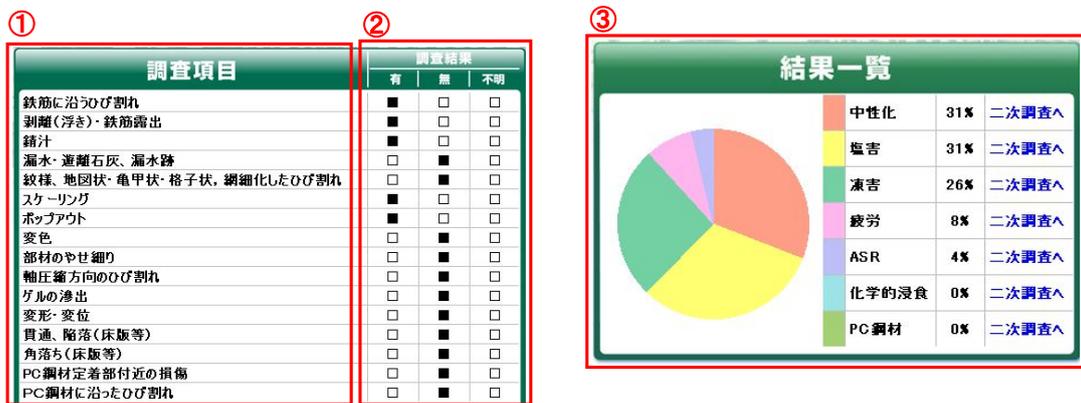


図-1.2 一次調査入力および出力結果

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 15%
- 上位3位と一致 85%
- × 上位3位と不一致 0%

【外観調査結果】

- ◎ 最上位と一致 69%
- 上位3位と一致 23%
- × 上位3位と不一致 8%

図-1.3 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。

#### 1.4 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-1.4 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-1.4 ②）その結果を用いて判定を行うことができる。（図-1.4 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-1.4 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-1.4 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-1.4 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。

調査方法	調査項目	調査内容
塩化物イオン電極を用いた電位差測定(全塩分)	◎	測定によって目的化合物の濃度を変化させながら電位差を測定し、濃度に関する情報を得る分析手法。
テオソラン融水銀(Ⅱ)吸光度法(全塩分)	◎	試料溶液に光をあて、試料を透過する際の吸光度を測定することにより、濃度に関する情報を得る分析手法。
酢酸鉄滴定法(全塩分)	◎	指示薬としてクロム酸カリウムを用い、酢酸鉄溶液で滴定する方法。
クロム融水銀吸光度法(可溶塩分)	◎	クロム融水銀の特性吸収長領域における吸光度を測定することにより、塩化物イオン量を求める方法。
塩化物イオン電極を用いた電位差測定(可溶塩分)	◎	測定によって目的化合物の濃度を変化させながら電位差を測定し、濃度に関する情報を得る分析手法。



図-1.4 二次調査システム画面

一次調査へ      二次調査へ

一次調査により劣化機構の推定を実施、その後二次調査へ進み詳細調査を行います      既に劣化機構が推定できる場合、直接二次調査へ進み詳細調査を行います

調査項目	調査結果		
	有	無	不明
表層の色あせ、変色	■	□	□
塗装の下塗り露出	■	□	□
表層のふくれ	□	■	□
表層のはがれ(さびは無し)	□	■	□
塗装の割れ(応力集中部以外)	■	□	□
塗装の割れ(応力集中部)	□	■	□
錆が発生(応力集中部以外)	□	■	□
錆が発生(応力集中部)	□	■	□
うろこ状錆が発生(応力集中部以外)	■	□	□
うろこ状錆が発生(応力集中部)	□	■	□
き裂	□	■	□
HTBの脱落	□	■	□
コンクリート接合部のコンクリート割れ	□	■	□
コンクリート接合部の隙	■	□	□
コンクリート接合部の鋼材腐食	□	■	□
コンクリート接合部の塗装の剥れ	□	■	□

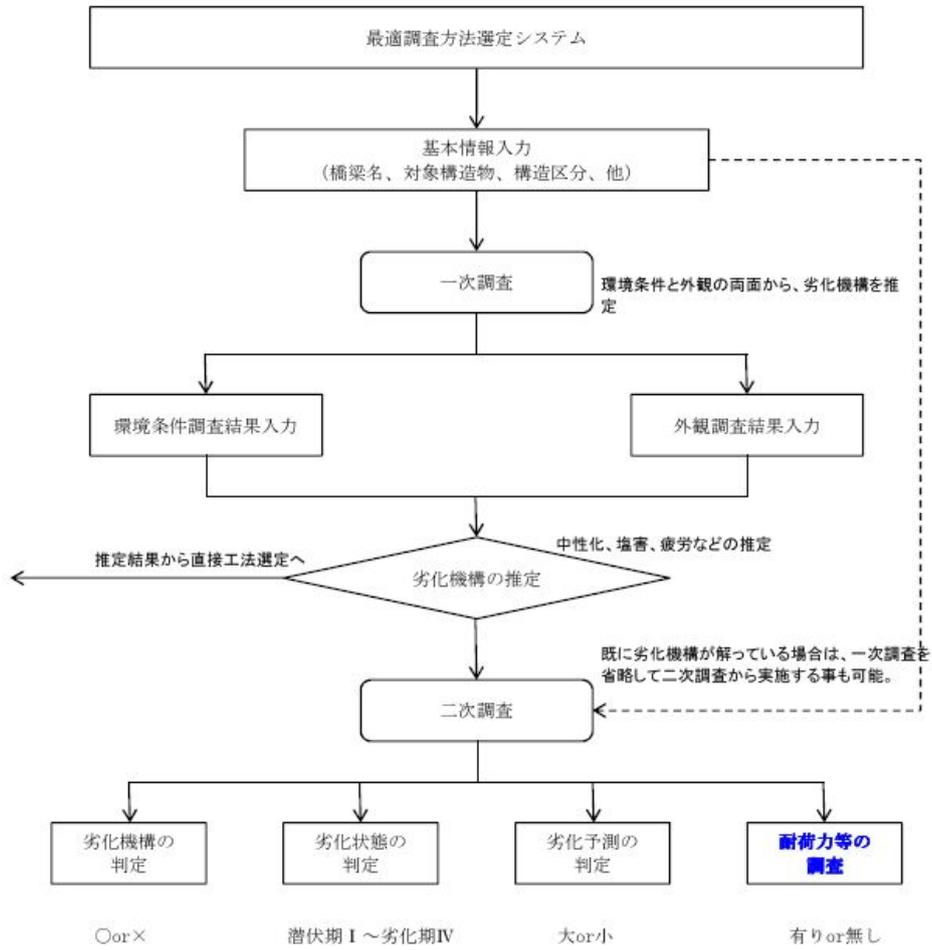
図-1.5 鋼部材基本情報入力および一次調査入力画面

### 1.5 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-1.5 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-1.5 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いったことが少ないためである。

## 1.6 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）



## 1.6.1 基本情報入力

WG2 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 部位

路線名  部材

構造形式  構造区分  選択して下さい

交通種別  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  2010/02/27

活荷重  選択して下さい 二次調査日  2010/02/27

防食の種類  選択して下さい 劣化機構  選択して下さい

前回調査年  選択して下さい

高力ボルト  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機構の推定を実施、その後二次調査へ進み詳細調査を行います

既に劣化機構が推定できる場合、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れよ。

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 (P C) or コンクリート (R C) or 鋼材

## 1.6.2 一次調査

一次調査は、環境条件と外観の両面から、劣化機構を推定する。

### (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する。

スクリーンショット: 環境条件調査結果入力画面

調査項目	調査結果		
	有	無	不明
湿気、水分の補給あり	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
海水の影響	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
凍結防止剤の影響	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
排水装置からの漏水	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
伸縮装置からの漏水	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
交通量が多い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
浮濁状態におかれている(床版)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
輪荷重の影響が大きい部位(床版等)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
排気ガスの影響	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
凍結融解環境にある	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
乾湿の繰り返しが多い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
温泉地、工場に近接	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
酸性河川に近接	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
酸性雨	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PC鋼材に腐食因子進入の可能性	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

それじゃあ、環境条件調査結果の入力だ。対象物の周りの環境条件からわかった結果を入力してくれ。入力が終わったら『劣化機構の推定』ボタンを押してくれよな。尚、環境条件調査結果については参考程度の取り扱いしてくれよな。

劣化機構の推定

### (2) 外観調査結果入力

目視からわかった結果を入力する。

スクリーンショット: 外観調査結果入力画面

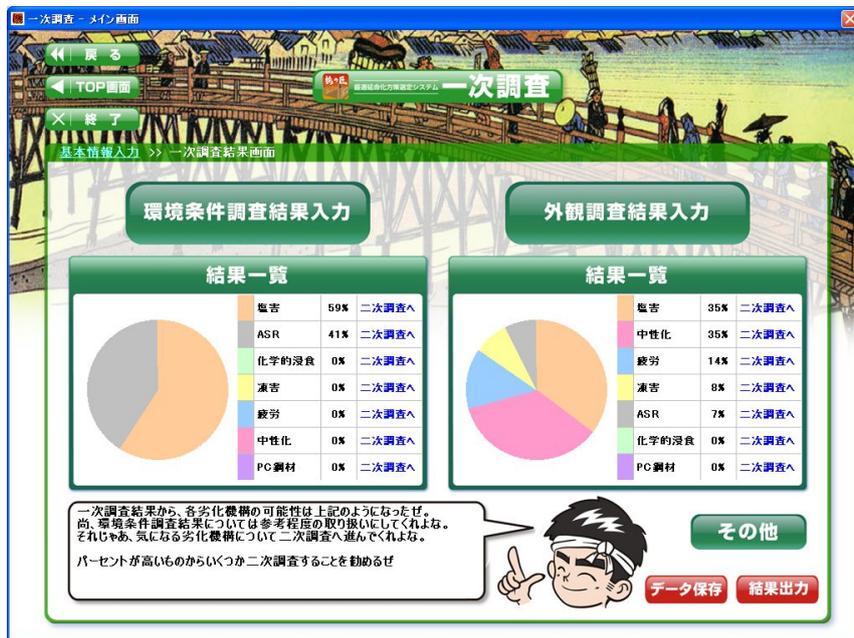
調査項目	調査結果		
	有	無	不明
鉄筋に沿ったひび割れ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
剥離(浮き)・鉄筋露出	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
錆汁	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
漏水・遊離石灰、漏水跡	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
紋様、地団状・亀甲状・格子状、網目化したひび割れ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
スケーリング	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ポツアウト	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
変色	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
部材のやせ細り	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
軸圧縮方向のひび割れ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ガルの滲出	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
変形・変位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
貫通、陥落(床版等)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
角落ち(床版等)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PC鋼材定着部付近の損傷	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PC鋼材に沿ったひび割れ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

それじゃあ、外観調査結果の入力だ。目視からわかった結果を入力してくれ。入力が終わったら『劣化機構の推定』ボタンを押してくれよな。

劣化機構の推定

### (3) 劣化機構の推定

劣化機構の推定結果は、円グラフで示される。



### (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る。

また、補修・補強の履歴をその他に記録・保管できる。

一次調査 - その他入力画面

## その他入力画面

支承部

排水装置

伸縮装置

高欄

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

### 1.6.3 二次調査

調査項目・調査方法とそれらの適用性および調査結果を基にした性能評価のための閾値イメージ（案）を、塩害について例示する。 ※

#### (1) 劣化機構の判定

表-1 に劣化機構の判定に関する一覧・整理イメージ（案）を示す。

#### (2) 劣化状態の調査

表-2 に劣化状態の調査に関する一覧・整理イメージ（案）を示す。

#### (3) 劣化予測の調査

表-3 に劣化予測の調査に関する一覧・整理イメージ（案）を示す。

#### (4) 耐荷性能の低下に及ぼす影響度の調査

表-4 に耐荷性能の低下に及ぼす影響度の調査に関する一覧・整理イメージ（案）を示す。

#### (5) 調査におけるシナリオ・調査イメージと凡例（案）

##### 1) 調査項目について

- ・目視判断型：目視判断のみで判断せざるを得ない場合に該当するもの
- ・おすすり型：詳細調査を行う場合の「おすすり」を挙げたもの
- ・こだわり型：詳細調査を行う場合で「こだわり」をもって調査する場合に該当する
- ・基本情報収集：直接的な調査項目には該当しないが、評価・判定を進める場合に必要となる事項を挙げたもの

##### 2) 調査方法について

- ・A区分：必須事項
- ・B区分：よくやる調査事項，比較的多く行われている調査事項
- ・C区分：こだわった調査事項，精緻に調査を行う場合に挙げられる調査事項

##### 3) その他，表中◎○△表示の判断項目について

- ・総合評価：以下の項目に関する総合評価
- ・実績：実際に調査に使用された実績の豊富さ
- ・使用性：使用に際しての汎用度，操作等の簡便さ，評価結果の判別のわかりやすさ，または高度な専門性（専門技術者）を必要とする程度
- ・経済性：実施の際の調査費等，費用面での特徴を示した
- ・破壊度：非破壊，微破壊，破壊を伴うもの，を示した
- ・新技術性：従来型の技術か，新規性の高い技術かを示した

※上述の内容には，ソフト構築上の設計思想から画一的に表現・整理された部分等が含まれており，すべてが確定的に仕分けされたものではないことを考慮することがよい。

調査項目		調査方法		A区分(必須)		B区分(よくやる)		C区分(こだわり)	
調査項目		調査方法		総合実績		新		関連	
劣化機構の判定		劣化機構の判定		劣化機構の判定		劣化機構の判定		劣化機構の判定	
1) 腐食ひび割れ	目視判断型	① 近接目視	A区分	◎	◎	◎	◎	塩害:×	塩害:○
2) 剥離・剥落	目視判断型	① 近接目視	A区分	◎	◎	◎	◎	なし	あり
3) 変色・錆汁	目視判断型	① 近接目視	A区分	◎	◎	◎	◎	なし	あり
4) 塩化物イオン含有量(鉄筋位置)	おすすめ型	① 塩化物イオン電極を用いた電位差測定 ② ナオンアン酸水銀(Ⅱ)吸光度法 ③ 硝酸銀滴定法 ④ クロム酸銀吸光度法 ⑤ イオンクロマトグラフ法 ⑥ 塩化物イオン浸透深さ(フルオロレインナトリウム法) ⑦ 塩化物イオン浸透深さ表面分析法(EPMA法) ⑧ 塩化物イオン浸透深さ表面分析法(近赤外分光イメージング)	B区分 B区分 B区分 B区分 C区分 C区分 C区分 C区分	◎ ◎ ◎ ◎ ○ ○ △ △	◎ ◎ ◎ ◎ △ △ △ △	◎ ◎ ◎ ◎ ○ ○ △ △	◎ ◎ ◎ ◎ ○ ○ △ △	1.2kg/m3未満 1.2kg/m3未満 1.2kg/m3未満 1.2kg/m3未満 1.2kg/m3未満 1.2kg/m3未満 1.2kg/m3未満 1.2kg/m3未満	1.2kg/m3以上 1.2kg/m3以上 1.2kg/m3以上 1.2kg/m3以上 1.2kg/m3以上 1.2kg/m3以上 1.2kg/m3以上 1.2kg/m3以上
5) 飛来塩分量	基本情報収集	① ガーゼ法 ② 付着塩分採取法 ③ 土研式塩分捕集器法	B区分 B区分 C区分	◎ ◎ △	◎ ◎ ○	◎ ◎ △	◎ ◎ △	なし	なし

調査項目		調査方法		A区分(必須)、B区分(よくやる)、C区分(こだわり)		間値		コメント	
		調査方法		A区分(必須)、B区分(よくやる)、C区分(こだわり)		間値		コメント	
(2) 劣化状態の調査		調査方法		A区分(必須)、B区分(よくやる)、C区分(こだわり)		間値		コメント	
1) 腐食ひび割れ	目視検査	① 近接目視	無し	無し	無し	腐食ひび割れ発生～多数発生	多数発生、ひび割れ幅大	コンクリート標準示方書維持管理編 P109	
2) 剥離・粉落	目視検査	① 近接目視	無し	無し	無し	部分的に置られる	置られる	コンクリート標準示方書維持管理編 P109	
3) 変色・滲汁	目視検査	① 近接目視	無し	無し	無し	錆計が置られる	錆計が置られる	コンクリート標準示方書維持管理編 P109	
4) 塩化物イオン含有量(鉄筋位置)	おすすめ型	① 塩化物イオン電極を用いた電位差測定 ② 手オシアン酸水銀(D)電光光度法 ③ 塩化銀滴定法 ④ クロム酸鉄吸光度法 ⑤ イオンクロマトグラフ法 ⑥ 塩化物イオン浸透膜法(ワルオレインナトリウム法) ⑦ 塩化物イオン浸透膜法(EPMA法) ⑧ 塩化物イオン浸透膜法(近赤外分光イメージング)	① 無し ② 無し ③ 無し ④ 無し ⑤ 無し ⑥ 無し ⑦ 無し ⑧ 無し	① 無し ② 無し ③ 無し ④ 無し ⑤ 無し ⑥ 無し ⑦ 無し ⑧ 無し	① 無し ② 無し ③ 無し ④ 無し ⑤ 無し ⑥ 無し ⑦ 無し ⑧ 無し	① 2.5kg/m3以上 ② 2.5kg/m3以上 ③ 2.5kg/m3以上 ④ 2.5kg/m3以上 ⑤ 2.5kg/m3以上 ⑥ 2.5kg/m3以上 ⑦ 2.5kg/m3以上 ⑧ 2.5kg/m3以上	① 2.5kg/m3以上 ② 2.5kg/m3以上 ③ 2.5kg/m3以上 ④ 2.5kg/m3以上 ⑤ 2.5kg/m3以上 ⑥ 2.5kg/m3以上 ⑦ 2.5kg/m3以上 ⑧ 2.5kg/m3以上	① 2.5kg/m3以上 ② 2.5kg/m3以上 ③ 2.5kg/m3以上 ④ 2.5kg/m3以上 ⑤ 2.5kg/m3以上 ⑥ 2.5kg/m3以上 ⑦ 2.5kg/m3以上 ⑧ 2.5kg/m3以上	① 2.5kg/m3以上 ② 2.5kg/m3以上 ③ 2.5kg/m3以上 ④ 2.5kg/m3以上 ⑤ 2.5kg/m3以上 ⑥ 2.5kg/m3以上 ⑦ 2.5kg/m3以上 ⑧ 2.5kg/m3以上
5) 鉄筋腐食	おすすめ型	① はつり出しによる確認 ② 自然電位分布 ③ 分極抵抗法 ④ 腐食面積率・腐食深さ ⑤ コンクリートの鉄筋腐食に関する性質、コンクリート抵抗	① 腐食無し ② 0.35V <sub>NHE</sub> 未満 ③ 0.1~0.2未満(J/A/cm <sup>2</sup> ) ④ 腐食無し ⑤ 2000以上(Ω・cm)	① 腐食無し ② 0.35V <sub>NHE</sub> 以上 ③ 0.2~0.5未満(J/A/cm <sup>2</sup> ) ④ 腐食無し ⑤ 10000未満~5000以上(Ω・cm)	① 腐食無し ② 0.35V <sub>NHE</sub> 以上 ③ 0.2~0.5未満(J/A/cm <sup>2</sup> ) ④ 腐食無し ⑤ 10000未満~5000以上(Ω・cm)	① 腐食無し ② 0.35V <sub>NHE</sub> 以上 ③ 0.2~0.5未満(J/A/cm <sup>2</sup> ) ④ 腐食無し ⑤ 10000未満~5000以上(Ω・cm)	① 腐食無し ② 0.35V <sub>NHE</sub> 以上 ③ 0.2~0.5未満(J/A/cm <sup>2</sup> ) ④ 腐食無し ⑤ 10000未満~5000以上(Ω・cm)	① 腐食無し ② 0.35V <sub>NHE</sub> 以上 ③ 0.2~0.5未満(J/A/cm <sup>2</sup> ) ④ 腐食無し ⑤ 10000未満~5000以上(Ω・cm)	① 腐食無し ② 0.35V <sub>NHE</sub> 以上 ③ 0.2~0.5未満(J/A/cm <sup>2</sup> ) ④ 腐食無し ⑤ 10000未満~5000以上(Ω・cm)





## 1.7 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。
- (3) 表示・選択した調査項目を用いて求められる調査結果に対し、性能評価を行う場合の閾値を明示した。

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項目と調査方法の一覧表をより充実させる必要がある。

## 第2章 補修・補強工法の選定システム

## 第2章 補修・補強工法の選定システム

### 2.1 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きている。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。

### 2.2 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-2.1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。

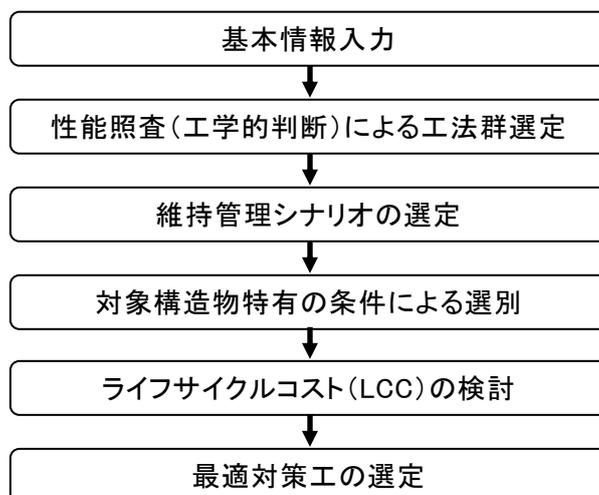


図-2.1 本システムにおける検討の流れ

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た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-2.1に示す。

表-2.1 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, ムッキ鋼材
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), ホルト遅れ破壊

## 2.3 システムの構築

### 2.3.1 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-2.2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。

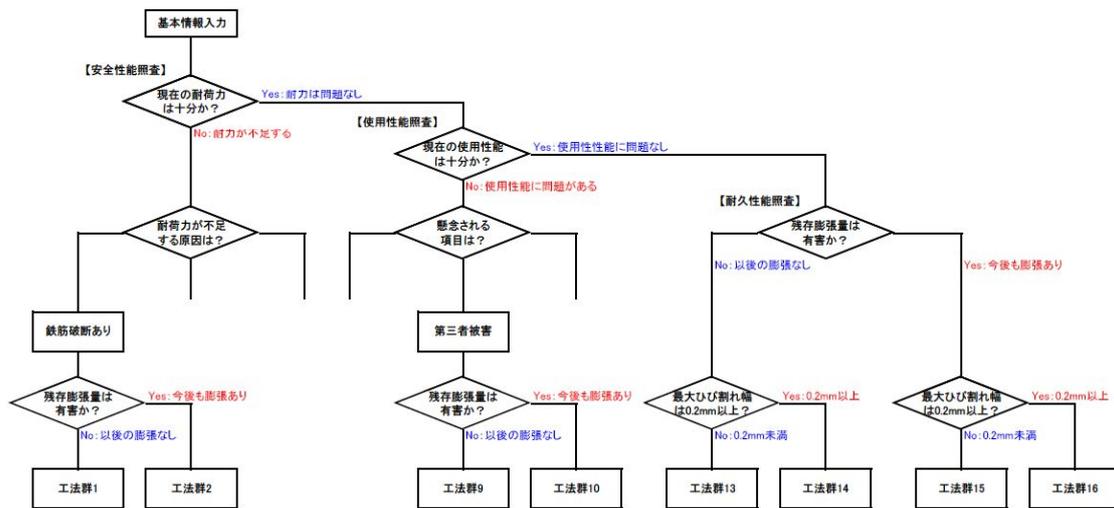


図-2.2 工法群選定までの流れ（劣化要因が ASR の場合）

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ため、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 劣化進行も考慮す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-2.2 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-2.2 に示す

表-2.2 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 <sup>2</sup> 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
	ホルト遅れ破壊	ホルト耐力	第三者被害	—

### 2.3.2 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-2.3 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-2.3 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に補強、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-2.4 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	A S R	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。

### 2.3.3 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-2.4 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-2.4 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す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。

#### 2.3.4 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(2.1)に示すLCC算定式にて概算することとした。

$$LCC = C_i + N \cdot C_r \quad (2.1)$$

ここに、 $LCC$ ：ライフサイクルコスト（円/m<sup>2</sup>）

$C_i$ ：初期補修費用（円/m<sup>2</sup>）

$C_r$ ：再補修費用（円/m<sup>2</sup>）

$N$ ：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。

#### 2.4 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-2.3）。

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-2.4 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-2.3 基本画面

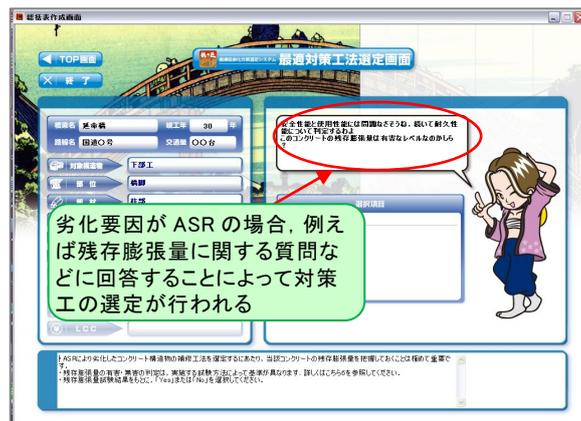


図-2.4 耐久性能照査（ASR の場合）



図-2.5 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-2.5）。

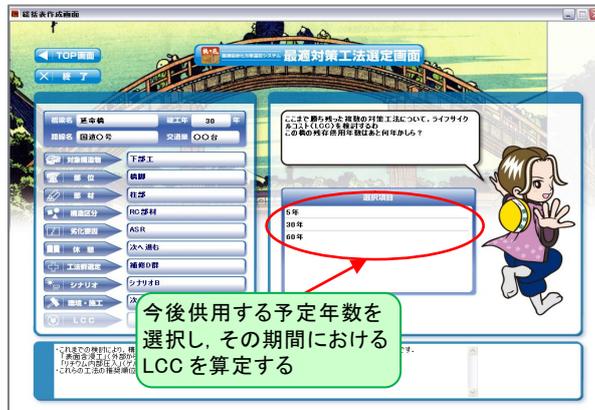


図-2.6 予定残存供用年数の選択



図-2.7 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-2.6)。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-2.7)。

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。

## 2.5 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。

まず、ソフト中に構造化されている選定フローの例を図-2.8に示す。

【WG3 対策工策選定システム概念図 ASR①の場合(下部工-橋脚-はり部-RC) 工法群の選定】

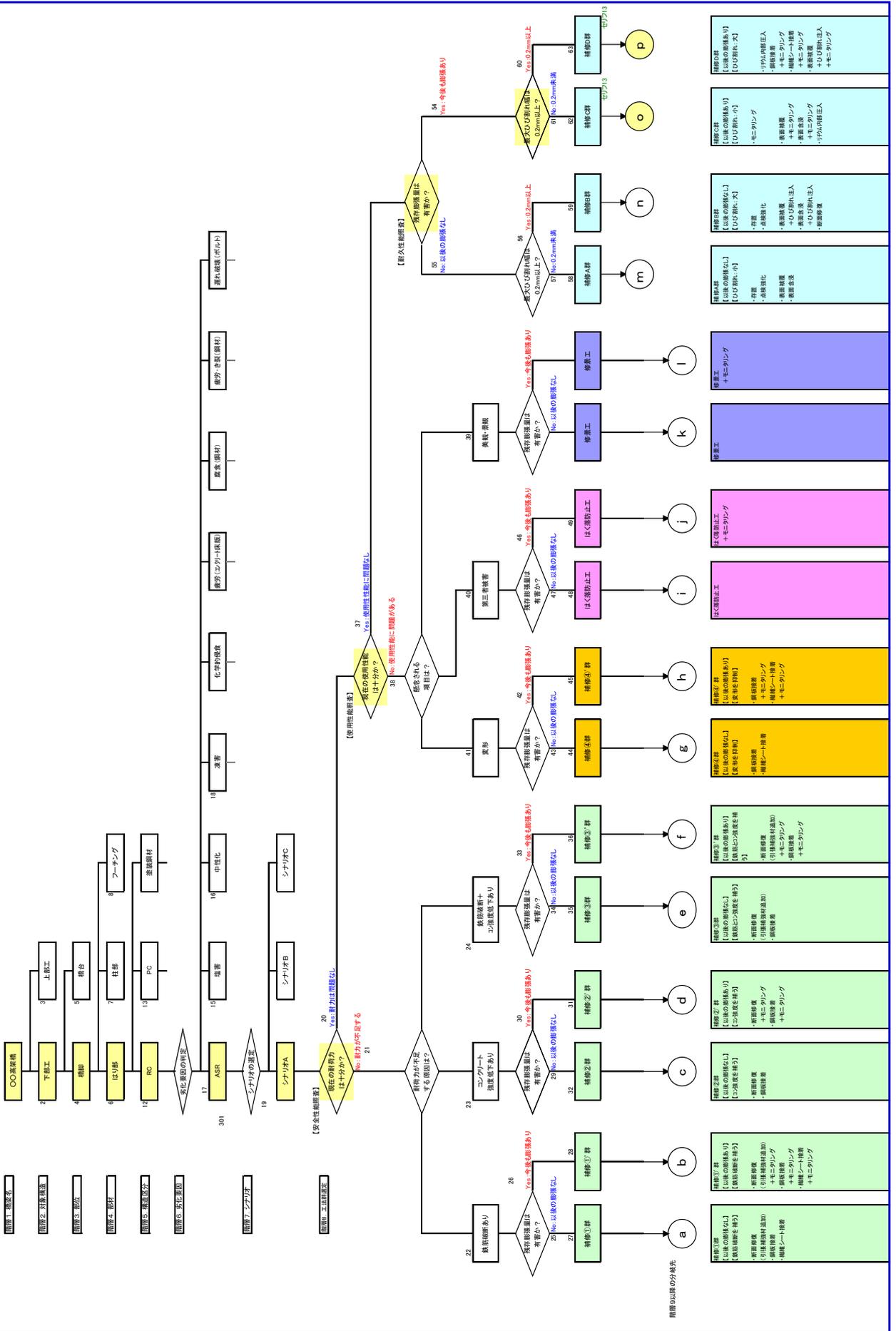
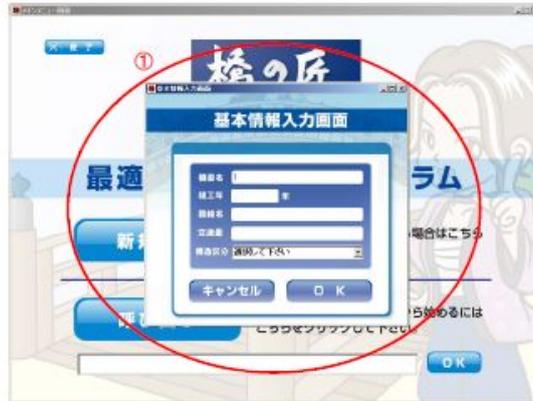


図-2.8 ソフト中の選定フロー構造(例)

図-2.9～2.11 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-2.9 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。当該部材の構造はり部は、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態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-2.10 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。  
 間違っても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-2.11 環境条件・施工性チェック画面(例)

## 2.6 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。

## 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 R C 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) Y.Oshima and K.Sugiura: Fatigue life estimation of a concrete slab using B-WIM and traffic census, Proc. of HVP aris 2008, 359-368, 2008.5.
- 4) 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
- 5) Y. Oshima, and M. Kado: Long-term Monitoring of Composite Girders using Optical Fiber sensors, Proc. of the 24th KKCNN Symposium on Civil Eng., 209-212, 2011.
- 6) Y. Oshima, S. Heng and H. Kawano: One year monitoring of bridge eigenfrequency and vehicle weight for SHM, IABMAS2012, 462-468, 2012.
- 7) Y.Oshima and M.Kado: Long-term monitoring of composite girders using optical fiber sensor, IABMAS2012, 777-781, 2012.
- 8) 大島義信, 門万寿男: 光ファイバセンサによる道路橋ヘルスマニタリング, 基礎工, Vol.39 No.5, 81-84, 2011.5.