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報告

2013.09.09

プロジェクトリーダー
京都大学大学院教授　宮川豊章

● はじめに

日本昔話「花咲か爺さん」を、ご存知と思う。

ポチが、ココ掘れワンワン！と鳴く。ここで、爺さんに“気付き”がなければ、実は物語は成立しない。

同様に、橋梁の維持管理においても、“気付き”がなければ、劣化損傷を見落してしまう。ここでは、簡易な調査手法や点検時の触診・打診、遠隔・非接触型試験等が「ポチの役割」といえるかもしれない。

● はじめに（続）

維持管理の重要性を再認識する事例が続いている.

既存の道路・橋梁を適切に使いこなすため、良質な対応策を採るとともに、人的資源の確保・レベルアップが重要である.

● 劣化する橋梁（塩害による劣化事例）

国道７号　暮坪陸橋（コンクリート橋）山形県の例

1980年（15年経過）：
主桁下面にひびわれ、
錆汁発生

1991年（26年経過）：
主桁PC鋼材の破断

1991年（26年経過）：
耐荷力確保のために
新たに２基の支柱を設置

国土交通白書2013　図表Ⅱ−2−1−2抜粋

● 補強部分の再劣化事例（鋼板接着補強部分の陥没・崩落）

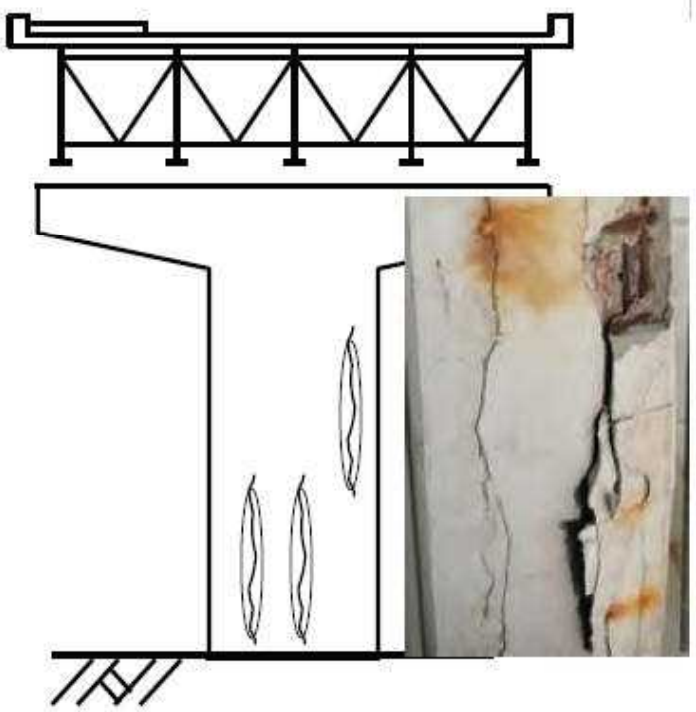
091030

第29回日本道路会議
講演資料抜粋
11.11.01

● 劣化した橋脚がその状態のまま地震被災した事例

劣化損傷（右図では鉄筋腐食により耐荷性能が低下）した橋脚が補修・補強される前に地震に遭い被災した場合、被害はより大きくなる。

したがって、比較的小規模な地震でも大きな影響を受けることになる。



劣化構造物の被災事例

● 研究目的

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、まず橋梁群の維持管理を地域レベルで最適に配分するために、モニタリングを基にした相対的な健全性評価手法を開発すること。次いで、調査計測手法や補修補強工法について整理するとともに、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することとした。

これらは、特に経験の浅い技術者の技術力向上に資するよう配慮されており、“ソフト・インフラ”としてひろく普及を図るものである。

●プロジェクトのメンバー(1)

官：近畿地方整備局道路管理課,
姫路河川国道事務所,
近畿技術事務所,
財)橋梁調査会, 財)先端建設技術ｾﾝﾀｰ

学：京都大学大学院工学研究科
宮川豊章,河野広隆,杉浦邦征,
大島義信,塩谷智基,服部篤史,山本貴士

（敬称略）

●プロジェクトのメンバー(2)

産：IHIｲﾝﾌﾗ建設,IHIｲﾝﾌﾗｼｽﾃﾑ,青木あすなろ建設,安部日鋼工業,NTTｲﾝﾌﾗﾈｯﾄ,大林組,ｵﾘｴﾝﾀﾙｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ,ｵﾘｴﾝﾀﾙ白石,鹿島建設,川田工業,計測ﾘｻｰﾁｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ,鴻池組,国際建設技術研究所,駒井ﾊﾙﾃｯｸ,極東興和,修成建設ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ,ｿｰｷ,大成建設,中央復建ｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ,東急建設,東京測器研究所,飛島建設,ﾆｭｰｼﾞｪｯｸ,ﾊﾟｼﾌｨｯｸｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ,ﾋﾟｰｴｽ三菱,日立造船,三井住友建設,三菱重工鉄構ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ,八千代ｴﾝｼﾞﾆﾔﾘﾝｸﾞ,

●研究の概要

■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！

●研究の成果

- 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」の実地検証と、
  主に経験の浅い技術者向けの普及活動

延命化プロジェクト活動の全体イメージ

選択・入力

最適延命化方策支援システム

シナリオの構築，構造物の評価，調査法の選定，補修・補強工法の選定までを支援

調査・計測法選定システム

劣化要因，構造物，劣化度などに合わせて調査法・測定法を合理的に選定

最適調査法

最適延命化工法選定システム

工法選定のための支援システム
- 合理的な補修補強工法の選定
- 工法の特性や適用範囲を明確に判断
- 新工法・新技術などの積極的利用が可能

最適工法

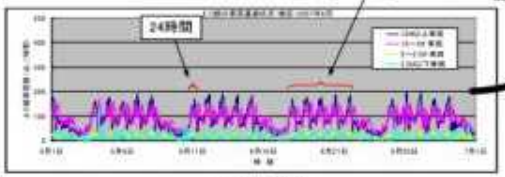
シナリオ構築と性能評価

シナリオ策定と構造物の信頼性の定義
- それぞれの構造物に応じたシナリオ作り
- モニタリングの位置づけを明確化

鋼橋の軸重モニタリング

RC床版の疲労損傷度推定
- B-WIM（軸重推定システム）の実装
- 交通実態の把握と推定
- 地域ごとの橋梁群を差別化
- 損傷の状態と加速度（進行度合い）を算定

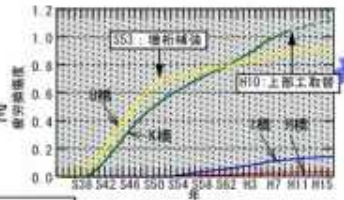
高い再現性を確認
→推定値の信頼性向上



1ヶ月の推移

橋梁の順位付け

疲労推定の一例



実践的検証

現場からの
フィードバック

工法別追跡調査

コンクリート橋の塩害補修
シナリオ構築のための情報

コア採取

促進試験
（京大）

● プロジェクト報告書

1）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（平成22年度版）
第8回新都市社会技術セミナー　2011.9.12
http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/08seminar/04seminar.pdf

2）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（平成23年度版）
第9回新都市社会技術セミナー　2012.10.4
http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/09seminar/24-06.pdf

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) Y.Oshima and K.Sugiura: Fatigue life estimation of a concrete slab using B-WIM and traffic census, Proc. of HVParis 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.

構築したシステムの概要

「最適調査方法」&「最適補修補強工法」の選定システム

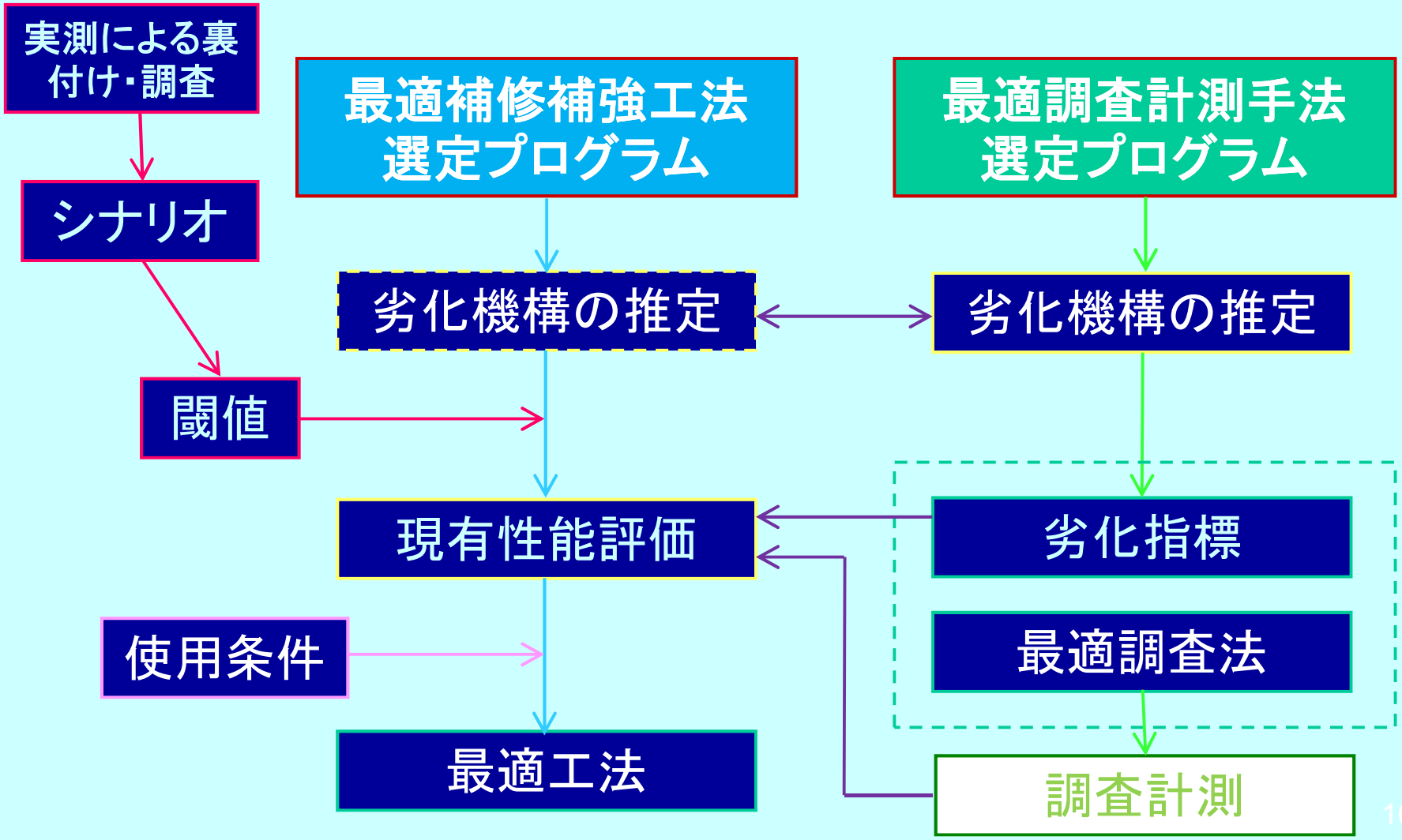
たく実くん
;調査計測
方法担当

たく美ちゃん
;補修補強
工法担当

■ 本ソフトの特長■

○アトラクティブで親しみやすいこと　○シンプルで簡易に扱えること　○操作性に優れたものであること

最適延命化方策の全体フロー



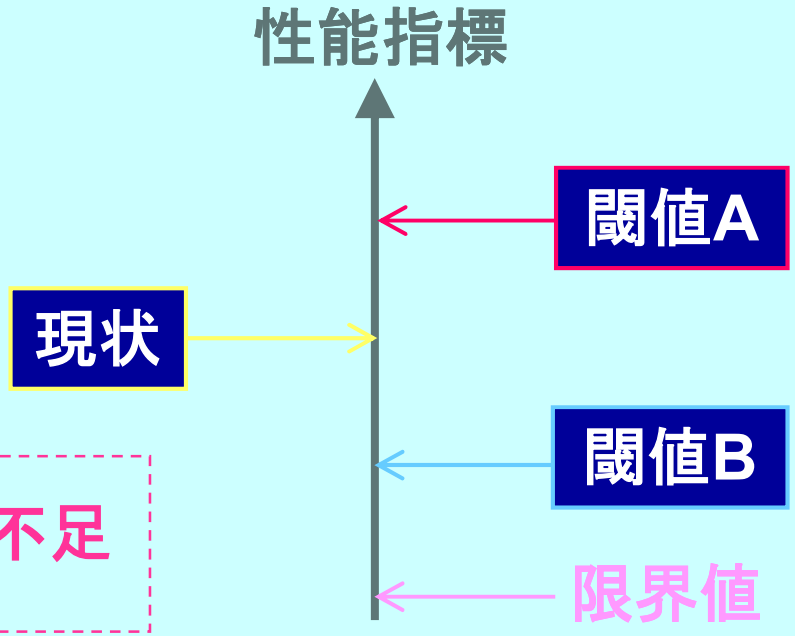
シナリオの構築

●現有性能の評価

・適切な閾値の設定

・シナリオ（案）の検討※

（完全対応、暫定補修対応、
一括対策、部分対応等）



閾値A ＞ 現状 ⟶ 不足

積極的な方策

閾値B ＜ 現状 ⟶ 満足

消極的な方策

※劣化グレード・劣化進行速度や構造特性・対象範囲、施工環境条件、LCC等から総合的に判断

（参考事例）

山手側のＢＰ完成まで凌ぐシナリオのケース

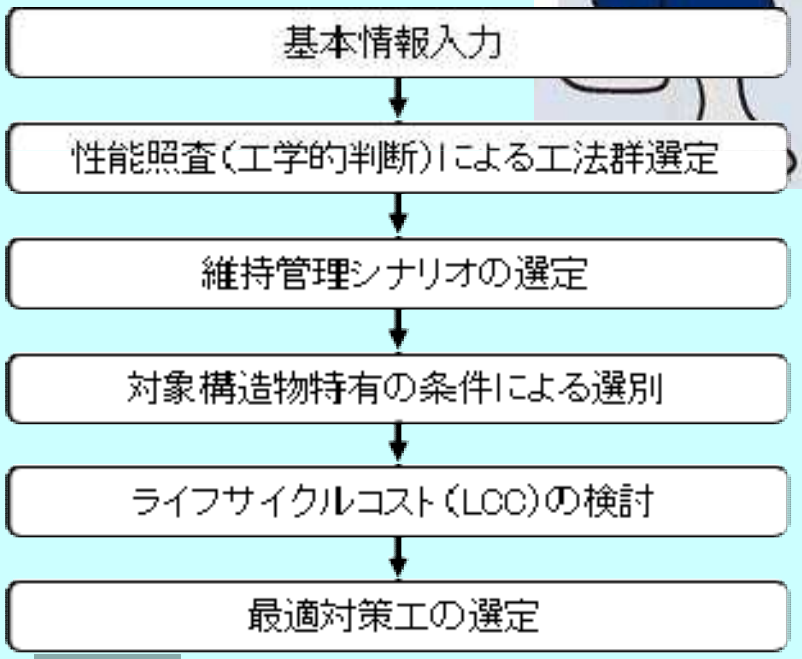
国道橋（S橋）S38竣工　大型車混入率45%

1.補修補強工法の選定ソフト

- 安全性能、使用性能、耐久性能、および第三者被害等について対策工法を選定する
- 施工性、LCC等による適性を考慮して最適工法を推奨する
- 対策工法の選定に際して、設計思想としてのシナリオを考慮する

＜対象および劣化要因＞

- コンクリート；塩害，中性化，ASR，床版疲労，凍害，化学的侵食
- 鋼構造；疲労き裂，腐食，遅れ破壊



本システムにおける検討の流れ

総括表作成画面

TOP画面

終 了

最適延命化方策選定システム

最適対策工法選定画面

橋梁名	桜ノ宮橋	竣工年	1930	年
路線名	1号	交通量	23700	

- 対象構造物
- 部 位
- 部 材
- 構造区分
- 劣化要因
- 休 題
- 工法候選定
- シナリオ
- 環境・施工
- LCC

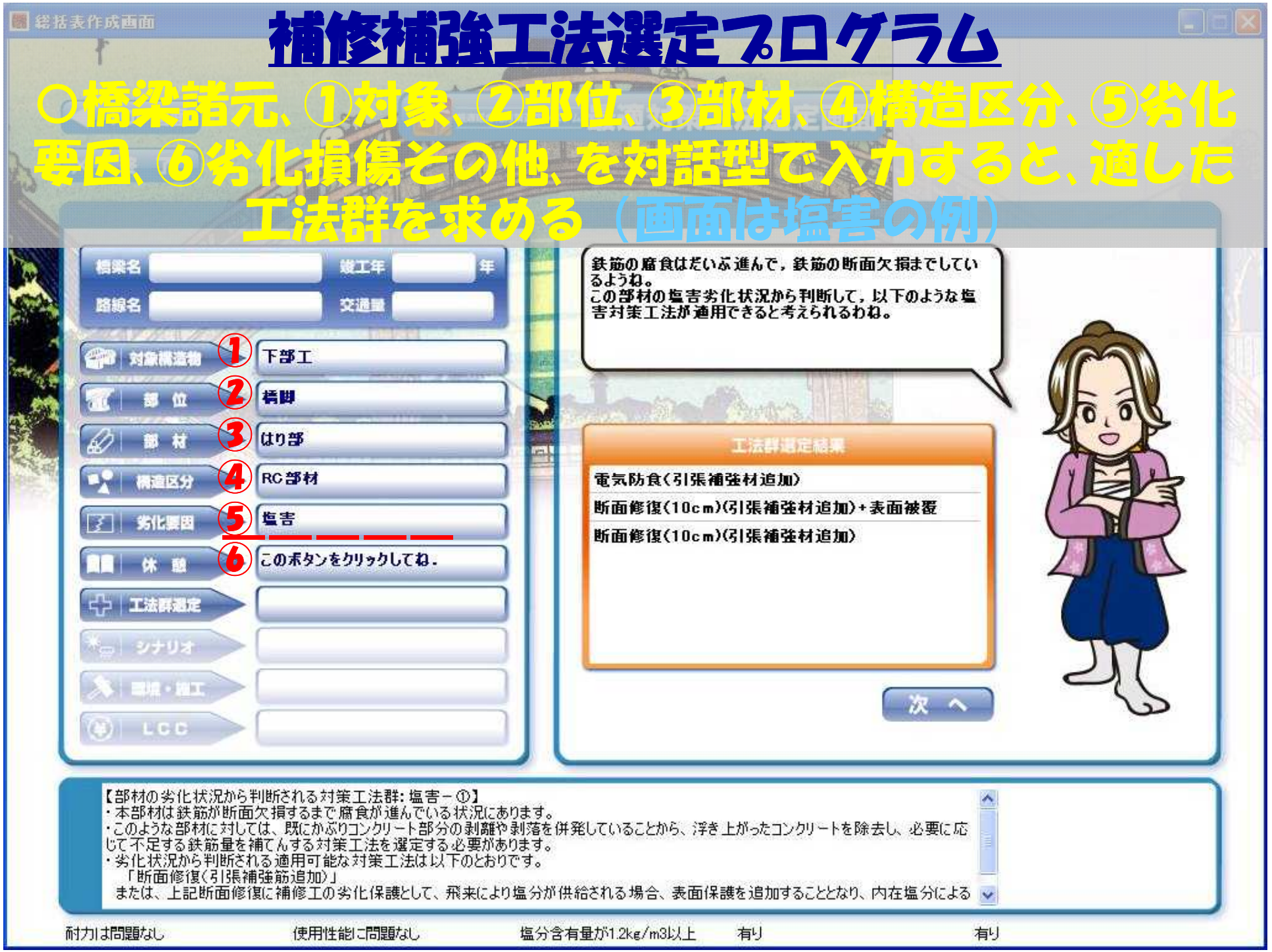
今からこの橋の最適延命化方策を探しにいくわよ

選択項目

次 へ

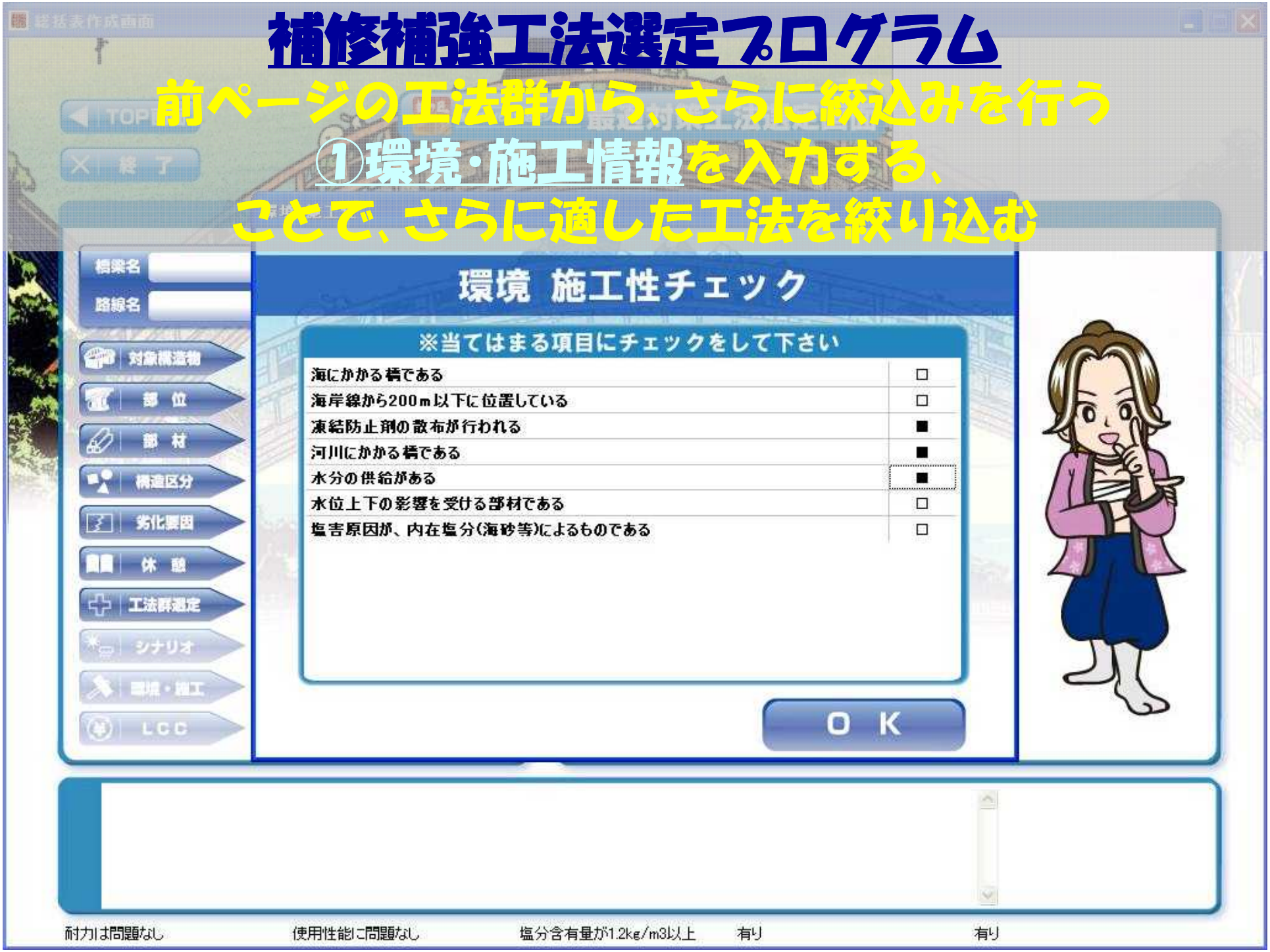
補修補強工法選定プログラム

○橋梁諸元、①対象、②部位、③部材、④構造区分、⑤劣化要因、⑥劣化損傷その他、を対話型で入力すると、適した工法群を求める（画面は塩害の例）

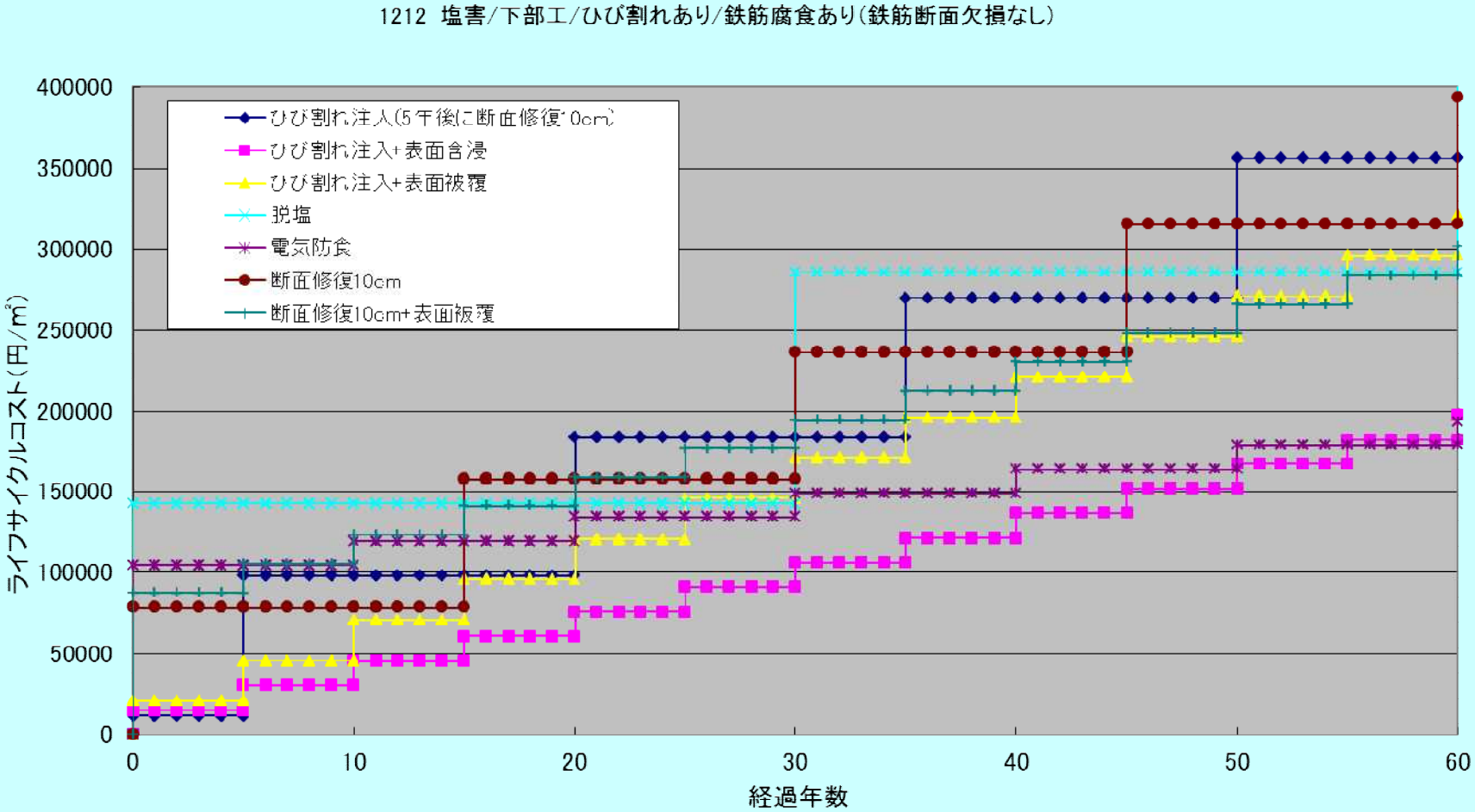


補修補強工法選定プログラム

前ページの工法群から、さらに絞込みを行う
①環境・施工情報を入力する、
ことで、さらに適した工法を絞り込む



必要に応じて、ＬＣＣを算定し最適工法（推奨案）を導く



$LCC = Ci + N \cdot Cr$　　ここに，LCC：ライフサイクルコスト（円/m²）

Ci：初期補修費用（円/m²）　　Cr：再補修費用（円/m²）

N：予定供用年数内の再補修回数（回）

補修補強工法の選定ソフト

対話形式で選択肢を入力すると、適した工法群が求まる.

次に、環境・施工条件、LCC算定条件等を入力し、条件に叶う推奨案を導く（画面は塩害の例）

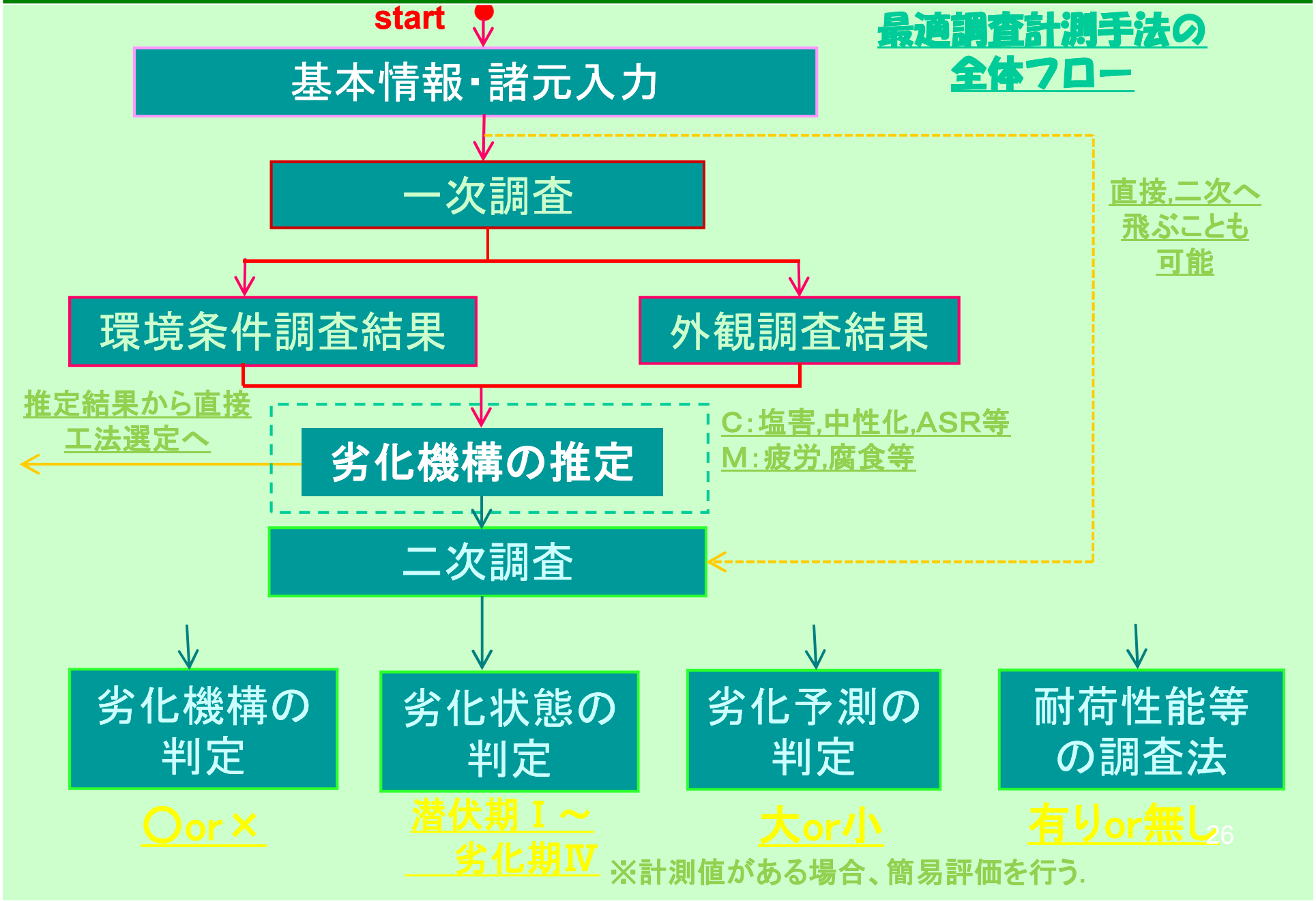
2.調査計測手法の選定ソフト

- 環境条件調査結果、外観目視調査結果における所見から考えられる劣化要因を推定する（一次調査）
- 劣化機構の判断、劣化機構の調査、劣化予測の調査、耐荷性能の調査について調査方法を示した（二次調査）
- 調査結果を得た場合、閾値により判定する（性能評価機能）

＜対象および劣化要因＞

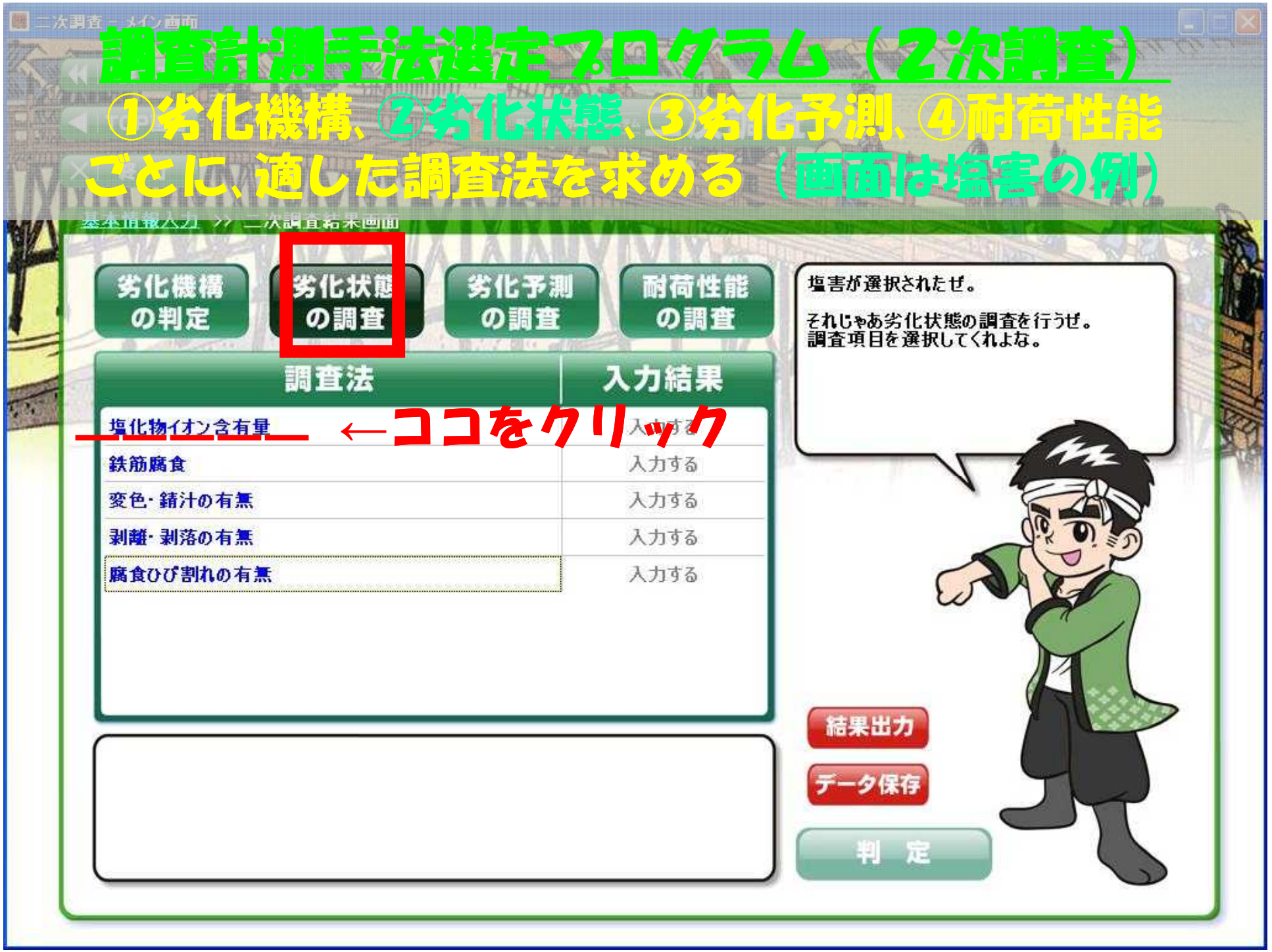
- コンクリート；塩害、中性化、ASR、床版疲労、凍害、化学的侵食
- 鋼構造；疲労き裂、腐食、遅れ破壊

橋梁の延命化シナリオ策定の実践・検証に関する研究



調査計測手法選定プログラム（２次調査）

①劣化機構、②劣化状態、③劣化予測、④耐荷性能ごとに、適した調査法を求める（画面は塩害の例）



2次調査：具体的な調査方法を求める

前ページの②劣化状態を調査するための調査項目のうち、塩化物イオン含有量を求める調査方法には以下のような調査方法がある（画面は塩害の続き）

塩化物イオン含有量の測定方法には、これだけの方法が考えられるぜ。
各評価を参考にして、調査方法を選択してくれよね。

赤下線の評価↓を参考に選定する

採用	調査法	調査方法	総合評価	実績	使用性	経済性	破壊度	新技術性	調査内容	詳細説明	調査表
□		塩化物イオン電極を用いた電位差滴定(全塩分)	◎	◎	◎	◎	微	－	滴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。		
□		チオシアン酸水銀(Ⅱ)吸光光度法(全塩分)	◎	◎	○	◎	微	－	試料溶液に光をあて、試料を通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。		
□		硝酸銀滴定法(全塩分)	◎	◎	○	◎	微	－	指示薬としてクロム酸カリウムを用い、硝酸銀溶液で滴定する方法。		
□		クロム酸銀吸光光度法(可溶塩分)	○	◎	○	◎	微	－	クロム酸イオンの特性吸収波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滴定(可溶塩分)	○	○	◎	◎	微	－	滴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。		
□		硝酸銀滴定法(可溶塩分)	○	○	○	◎	微	－	指示薬としてクロム酸カリウムを用い、硝酸銀溶液で滴定する方法。		
□		イオンクロマトグラフ法(全塩分)	○	◎	△	○	微	－	水溶液中のイオン成分を陽イオン・陰イオンに分離して分析・定量することで塩化物イオン量を求める方法。		

基本的な取扱いイメージ

自転車の“電動アシスト”のようなモノ

- 基本的に人が漕がないと前に進まない
- それの負荷を低減するための支援機能

あるいは、

- 若手技術者が維持管理の各種局面で取り扱いに難儀する時の、業務支援・情報提供する「デジタル参考書」と位置付け、利活用してほしい

「橋の匠」で
丈夫で美しく長持ち

ソフトは地整の隅々まで配布予定！

ご利用下さい

延命化PJ一同