

地域の橋を長生きさせよう ～AIによる診断支援と長寿命化～



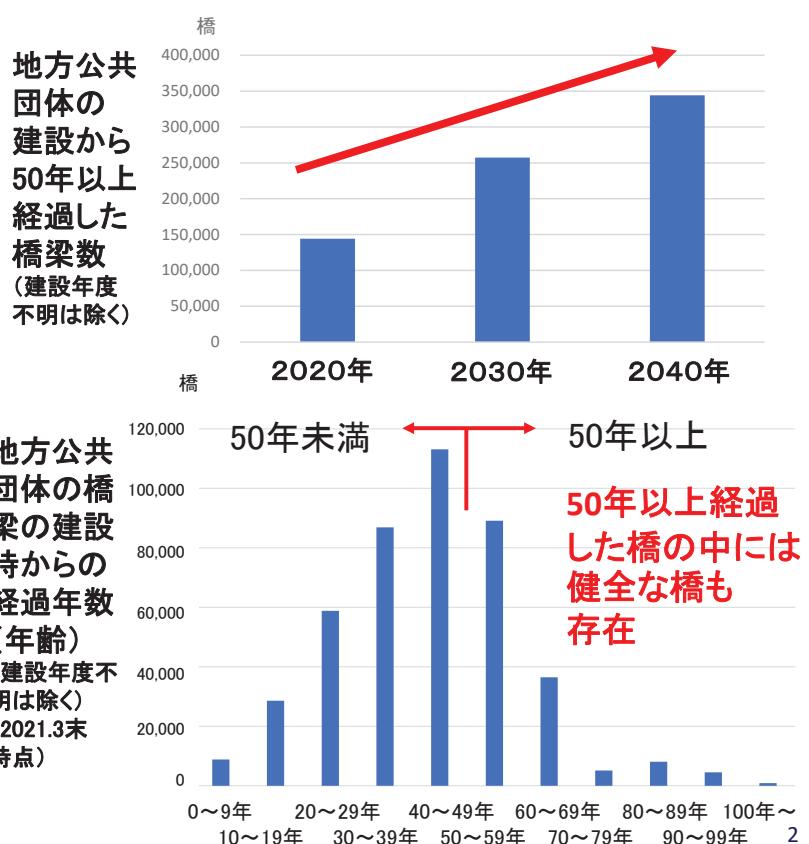
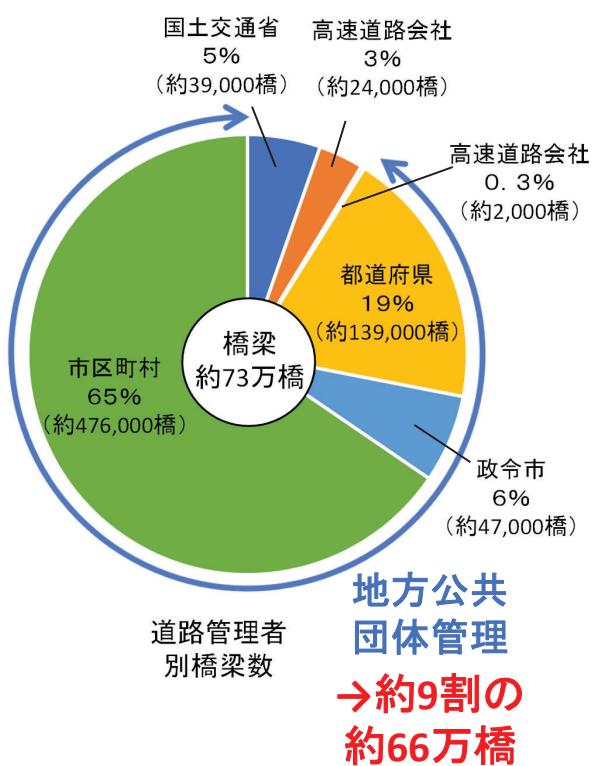
令和4年度に100周年を迎えます

土木研究所 CAESAR
上席研究員 澤田 守



地方公共団体における橋梁の現状

- 国内の橋長2m以上の橋は、73万橋あり、このうち地方公共団体が管理する橋は、全体の約9割にある。

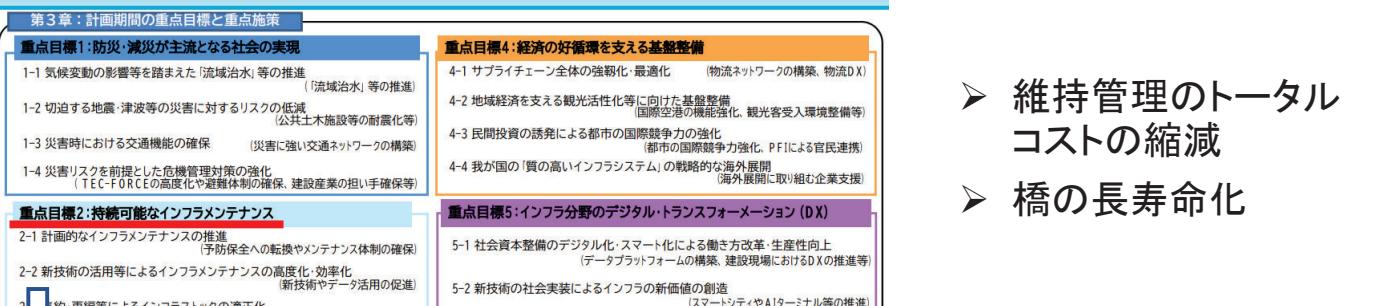


持続可能なインフラメンテナンスに向けた方向性

- 社会資本整備重点計画では重点目標の1つに持続可能なインフラメンテナンスが設定され、**予防保全に基づくインフラメンテナンスの転換**が目指すべき姿として掲げられている。

第5次社会資本整備重点計画の概要②

国土交通省



重点目標2：持続可能なインフラメンテナンス

国土交通省

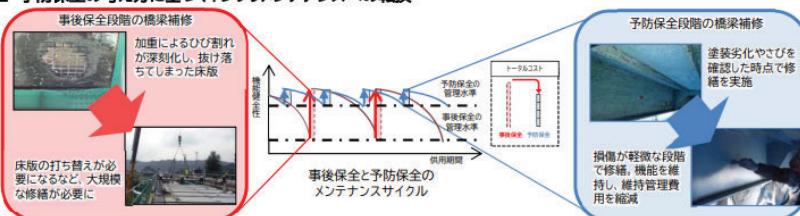
凡例: KPI

<目指すべき姿>

予防保全に基づくインフラメンテナンスへの本格転換による維持管理・更新に係るトータルコストの縮減や、新技術等の導入促進によるインフラメンテナンスの高度化・効率化等を進め、インフラが持つ機能が将来にわたって適切に発揮できる、持続可能なインフラメンテナンスを実現する。

2-1: 計画的なインフラメンテナンスの推進

■ 予防保全の考え方に基づくインフラメンテナンスへの転換



■ 地方公共団体等におけるインフラメンテナンス体制の確保



ダムにおける維持管理研修



港湾における維持管理研修

出典: 国土交通省HP

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/content/001406600.pdf>

3

橋を長生きさせるために重要なこと

□ コンクリート桁の塩害の事例

飛来塩により塩害が進行し、外観変状としてさび汁が発生された時点ではコンクリート内部の鋼材が破断していた事例



鋼材位置の塩化物イオン量 約3kg/m³



はつり調査 鎔汁



損傷が軽微な段階 (予防保全段階) → 塩分浸透を防ぐための塗装や含浸材の塗布

損傷が進行した段階 → 電気防食等の腐食の進行を遅らせる延命措置



塩害地域ではコンクリートの塩分調査を行い、内部鋼材位置の塩分濃度を推定し、腐食発生限界濃度に達するまでに措置することが重要

4

橋を長生きさせるために重要なこと

□ 鋼桁端部の腐食事例(その1)

- ①伸縮装置からの漏水により鋼桁の腐食を促進させた事例



- ②桁端部付近の排水装置の土砂詰まりにより漏水が生じ、鋼桁の腐食を促進させた事例



※凍結防止剤の散布地域は特に腐食が促進される

損傷が
軽微な段階
(予防保全段階) → 伸縮装置や排水
装置の止水機能
排水機能の回復

損傷が
進行した段階 → 上記の措置 +
当て板等の補修

点検によって腐食などの損傷の
原因となる漏水が確認された場
合、損傷が**軽微な内に原因排除**
の措置を行うことが重要

5

橋を長生きさせるために重要なこと

□ 鋼桁端部の腐食事例(その2)

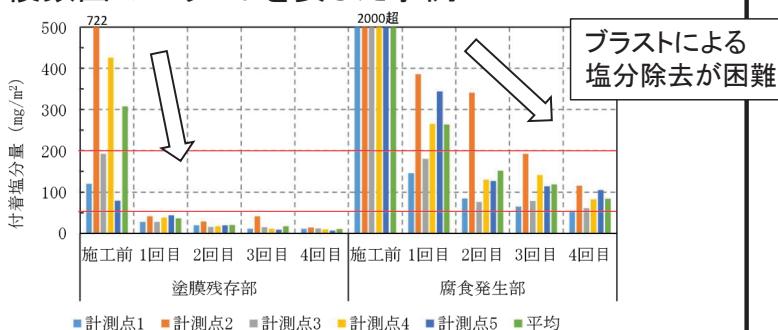
- ①腐食部位に塗替塗装した際に塩分とさびの除去が不十分だったため早期に塗装が劣化した事例



損傷が
軽微な段階
(予防保全
段階) → ブラストによる
塩分除去が**容易**

損傷が
進行した段階 → ブラストによる
塩分除去が**困難**
塩分や鏽の除去が
不十分の場合、塗り
替え塗装が早期劣化
する可能性

- ②腐食が進行した段階でブラストを行い、塩分除去に複数回のブラストを要した事例



凍結防止剤が散布される場合や
飛来塩の影響を受ける場合、**腐
食が進行する前に適切に表面処
理をした上で、塗装塗り替えを行
うことが重要**

①②の出展:一般社団法人日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会HP
中島和俊, 落合盛人, 五島孝行, 安波博道, ブラスト素地調整における残存塩分除去対策
事例, 一般社団法人日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会 第19回技術発表大会予稿集
<http://www.jasp.or.jp/pdf/19-2.pdf>

6

橋を長生きさせるために重要なこと

□ RC床版の土砂化の事例

- ① 土砂化が進行した段階で措置を判断したため床版の打ち替えが必要となった事例



拡大写真

損傷が
軽微な段階 → 床版防水
(予防保全段階)

損傷が
進行した段階 → 床版打ち替え +
床版防水

- ② 疲労損傷と診断し、床版下面の補強を行ったが、損傷の特定が不十分であり土砂化が進行した事例



炭素繊維による補修



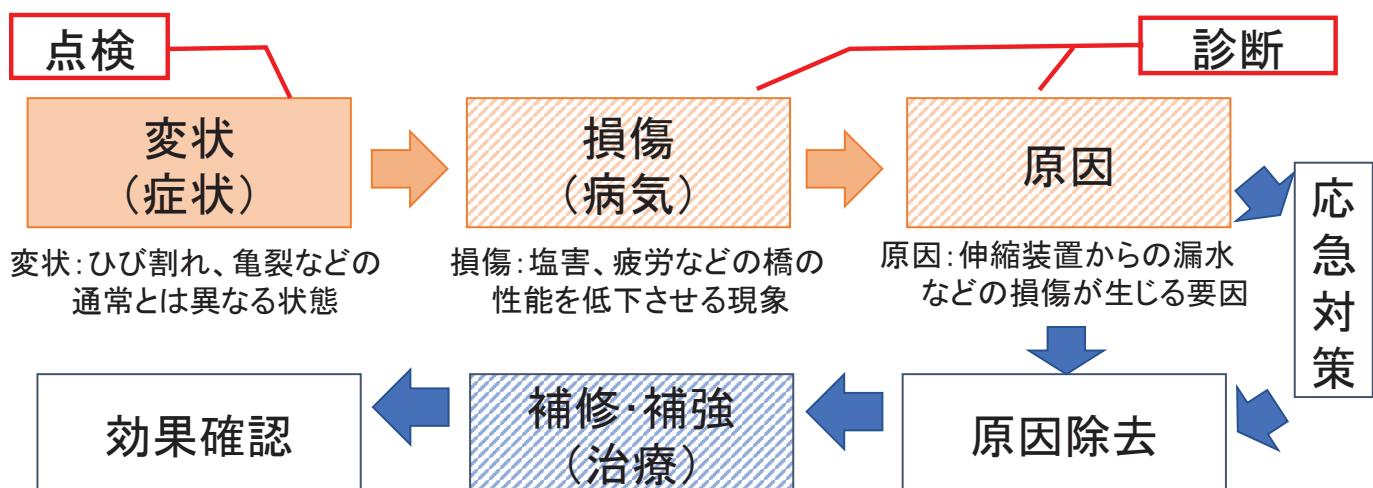
床版上面の土砂化

床版の土砂化の疑いがある場合は、
損傷が軽微な段階で措置を行うことが
重要

損傷メカニズム
に適合しない
措置の実施 → 再劣化・早期劣化が生じ、再度
の補修補強の
必要性

損傷を適切に特定して、損傷メカ
ニズムに適合した措置を実施す
ることが重要

橋を長生きさせるために重要なこと(まとめ)

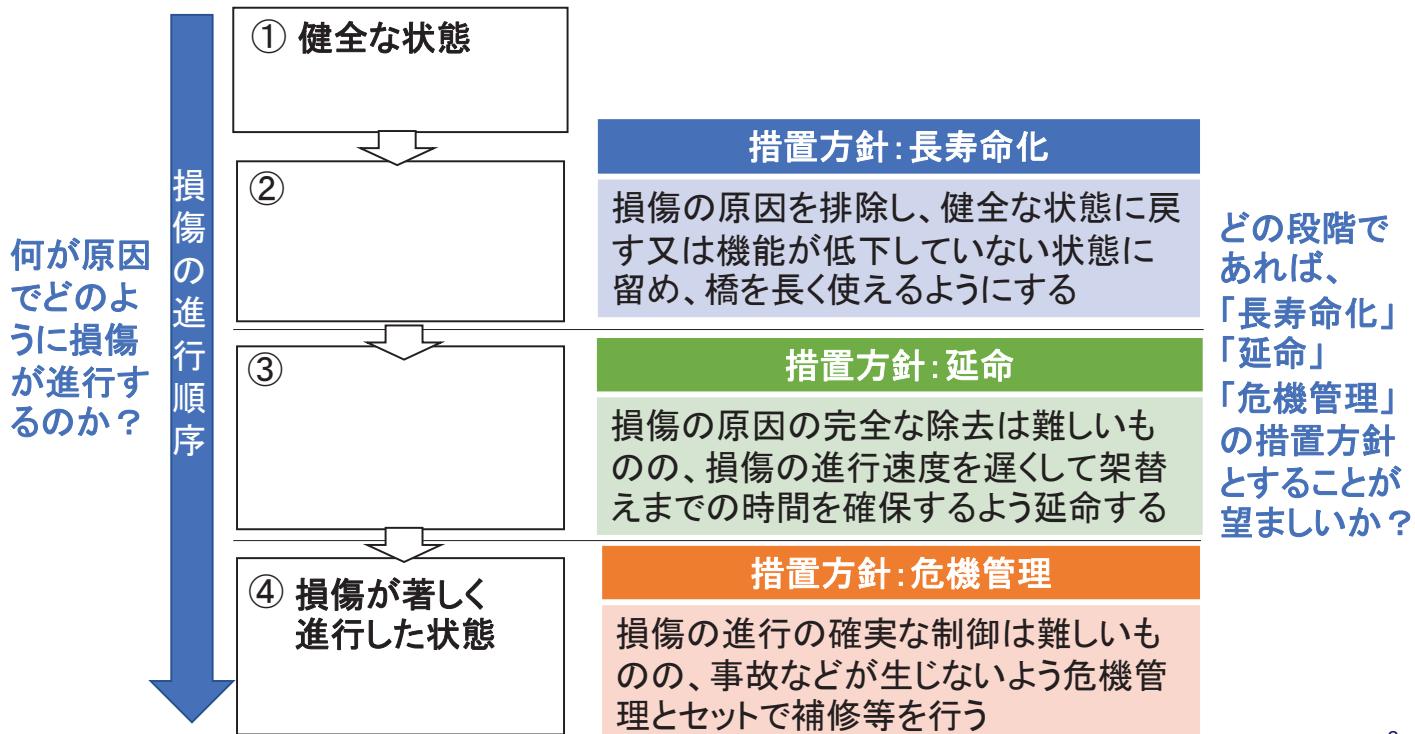


橋を長生きさせるために重要なこと

- ① 措置では損傷の原因除去が基本であり、原因を除去し健全な状態に戻すことのできる段階で措置を行う。
- ② 損傷が進行し措置が大掛かりになる前の軽微な段階で措置を行う。
- ③ 損傷及び原因を適切に特定した上で損傷のメカニズムに適合した措置を行う。

橋の長寿命化に資する診断の考え方

- 外力作用や環境作用など各種の原因によって損傷(性能を低下させる現象)が発生。
- 橋を長く使うためには、部材・損傷ごとに**長寿命化が可能と考えられる段階を見極めることが重要。**



9

診断セットの概要

- 何が原因で損傷がどのように進行するのか図示(損傷メカニズム)。



- 部材・損傷ごとに破壊に至るまでの代表的な進行段階ごとに「点検における着目点」、「診断に必要な詳細調査」、「診断の決め手となる情報」、「措置方針」、「工法例」を整理

診断セットの構成

損傷の進行段階	点検における着目点	診断に必要な詳細調査	診断の決め手となる情報	措置方針	工法例
①					
②	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇	長寿命化	〇〇〇
③	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇	延命	〇〇〇
④	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇	危機管理	〇〇〇

損傷の進行度を特定するための
「点検」「診断」で必要となる情報

効果が期待できる
工法例

10

診断セットの例(鋼桁の腐食)

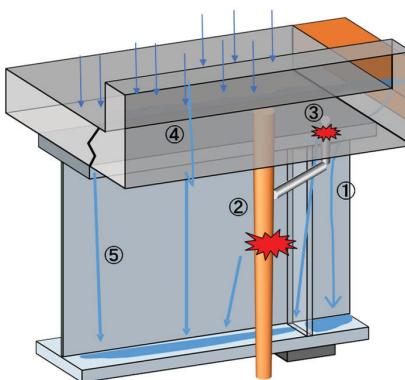
防食法による分類	部位による分類
塗装 (一般塗装系、重防食塗装系)	桁端部
	添接部
	一般部
犠牲防食 (溶融亜鉛メッキ、金属溶射)	桁端部
	添接部
	一般部
耐候性鋼材	桁端部
	添接部
	一般部



一般に桁端部の方が腐食環境が厳しく腐食が進行しやすい

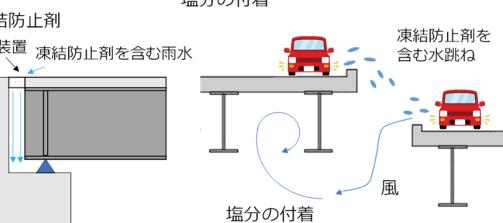
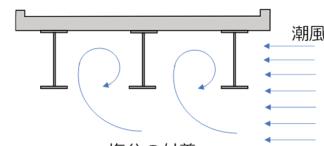
添接部 角部の塗膜厚が薄い部位など局部的に腐食が進行

桁端部、一般部、添接部の
3つの部位で分類



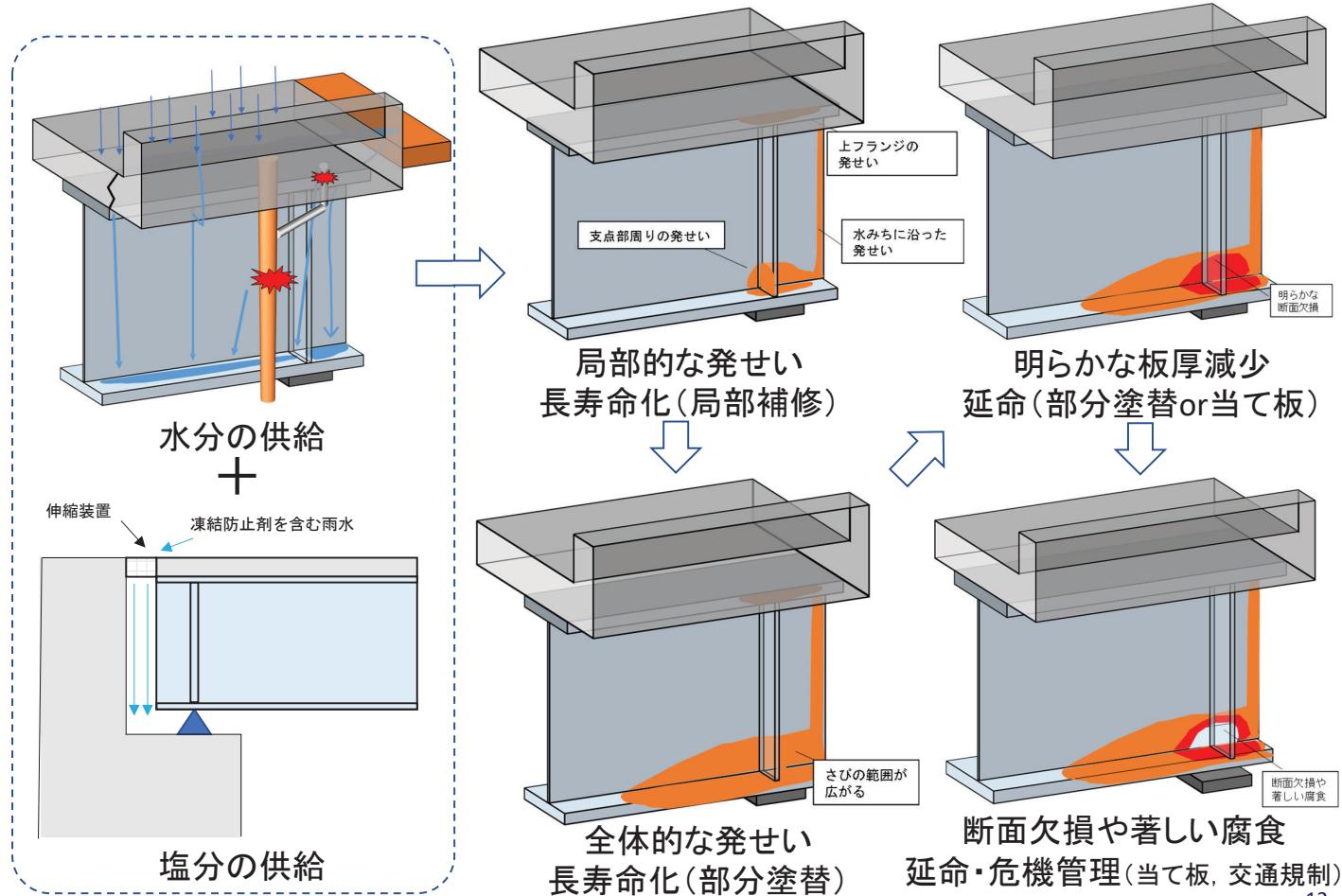
腐食の原因となる水の主な供給経路

- ①伸縮装置からの漏水
(伸縮装置の排水機能の低下等)
- ②排水管・排水樹取付部からの漏水
(導水不良、排水機能の低下等)
- ③スラブドレンからの漏水
(導水不良、排水機能の低下等)
- ④地覆・張り出し床版からの伝い水
(水切り機能の不良等)
- ⑤床版からの漏水・遊離石灰
(ひび割れ、橋面防水機能の不良等)



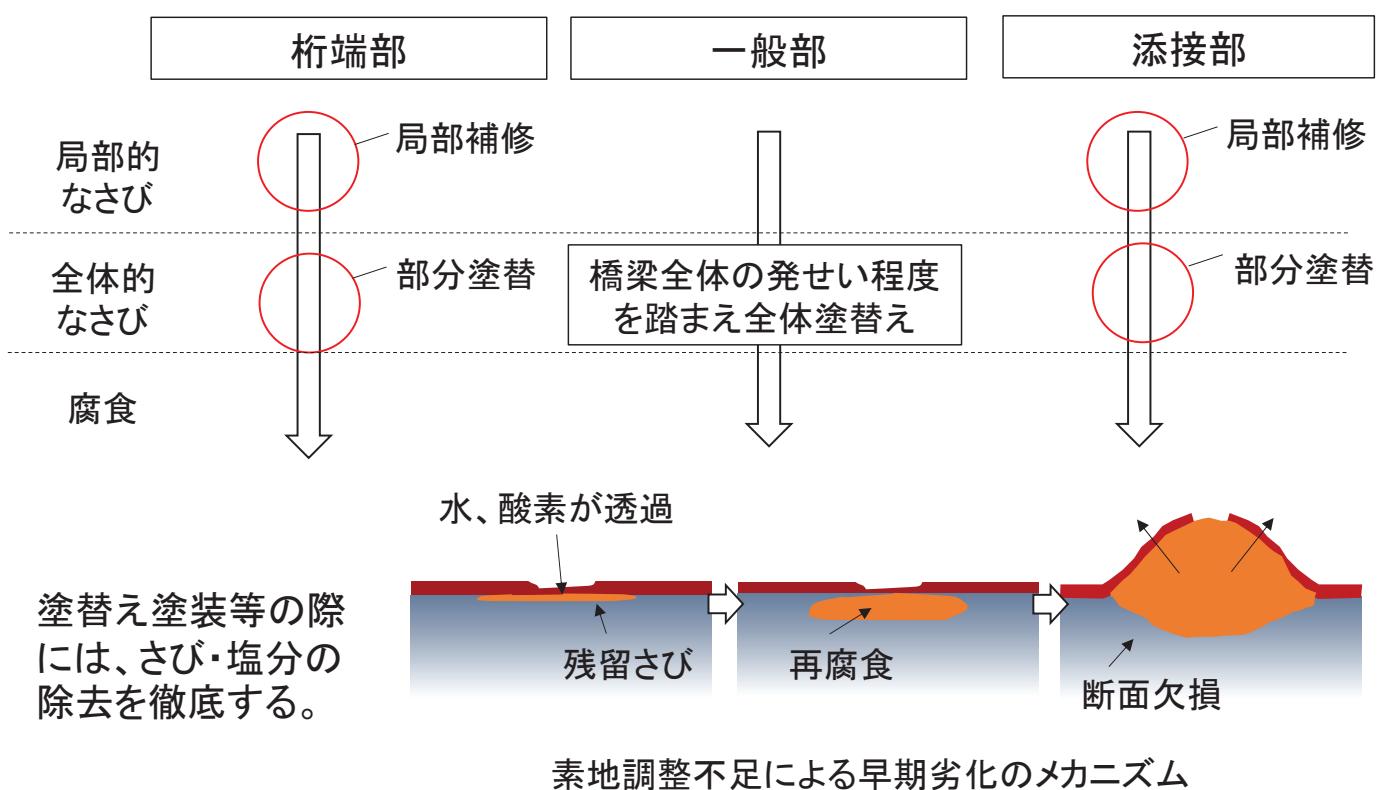
腐食の原因となる塩分の主な供給経路₁₁

鋼桁の桁端部の損傷の進行順序



合理的な予防保全措置の考え方

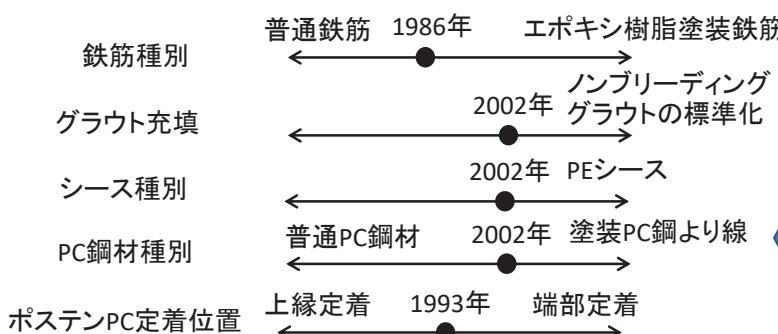
□ 橋全体が一律の措置である必要はなく、部位に応じて適切な措置を選択。



13

診断セットの例(PC桁の塩害)

塩化物イオンの供給経路による分類		部位による分類	使用材料による分類	
外来塩による塩害	飛来塩による塩害	一般部	ノンブリーディンググラウト未使用(グラウト充填不足)	普通鉄筋 エポキシ樹脂塗装鉄筋
			ノンブリーディンググラウト(グラウト充填)	普通鉄筋 エポキシ樹脂塗装鉄筋
	凍結防止剤による塩害	伸縮装置部からの漏水による桁端部の損傷	普通鉄筋 エポキシ樹脂塗装鉄筋	
		上縁定着部のグラウト充填不足による損傷(ポステンT桁のみ)	-	
		横締め部のグラウト充填不足による損傷	-	
初期内在塩による塩害	一般部	-	-	
	間詰部	-	-	



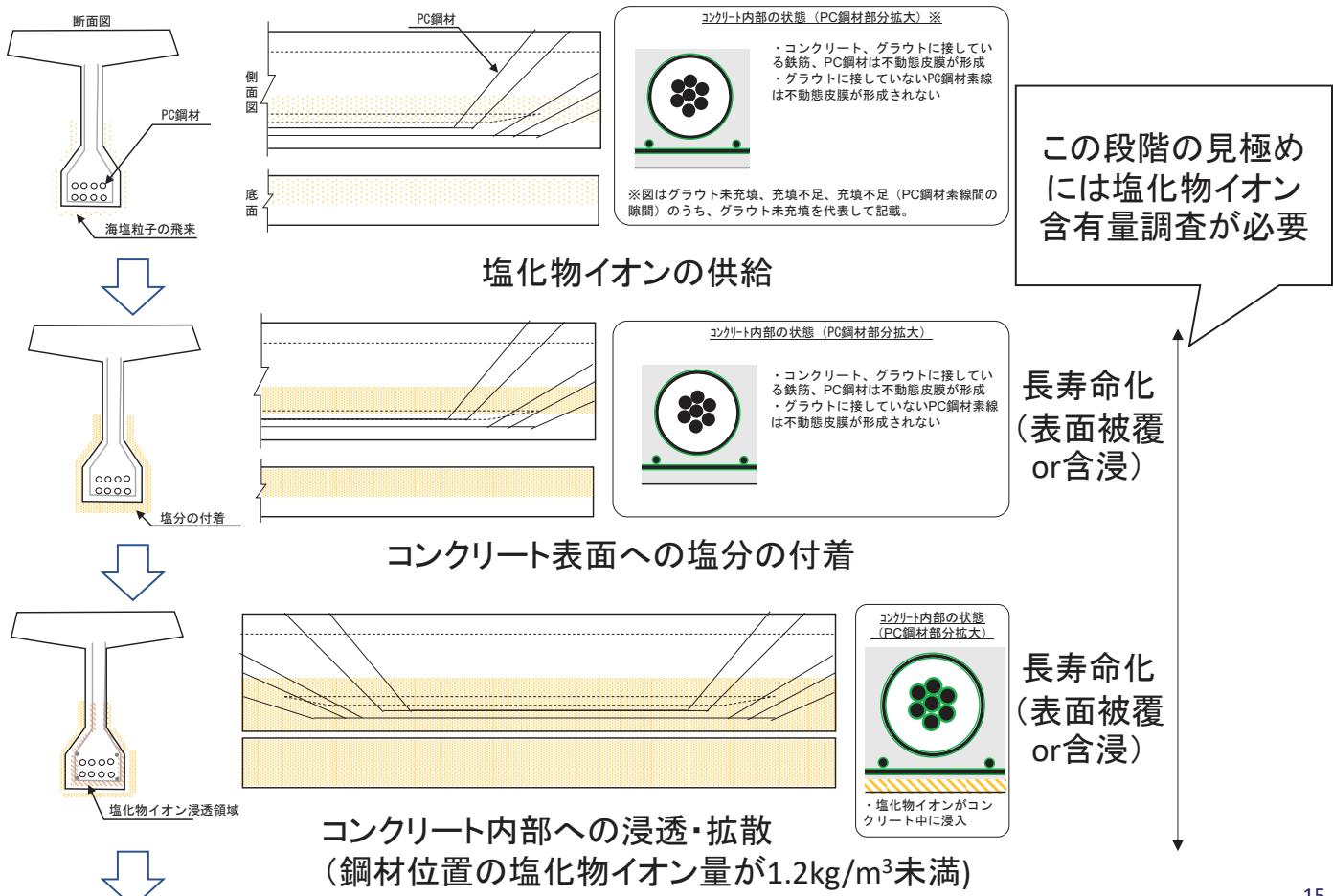
建設年次によって防食方法が改善されてきており、塩害が生じるリスクは異なる
(診断セットは、塩害が生じる可能性のあるものを対象に作成)

各種材料の使用、基準・学会図書等の変遷

(必ずしもこの年次で種別が分かれるものではないため参考情報)

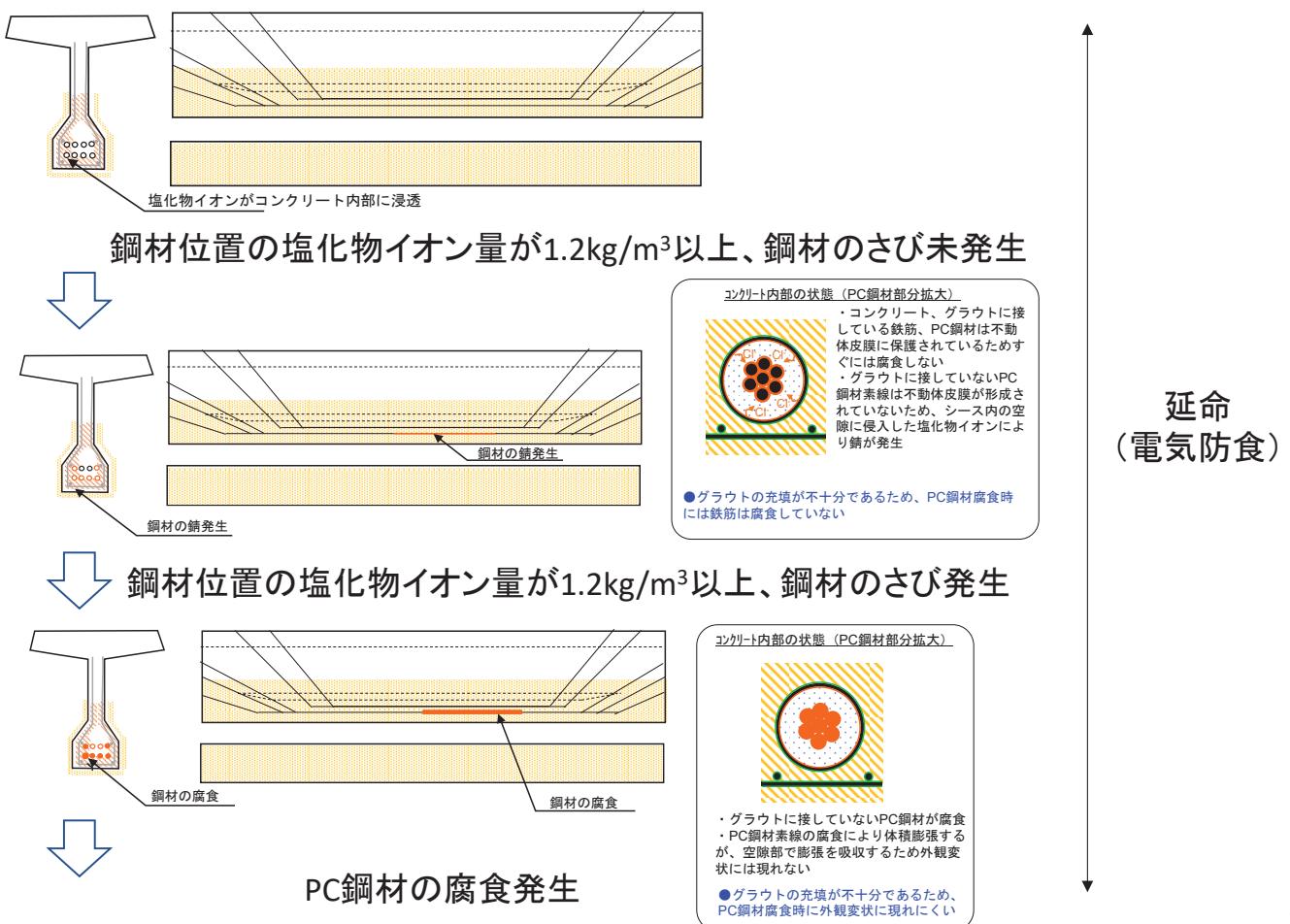
14

PC桁の損傷の進行順序(1/3)



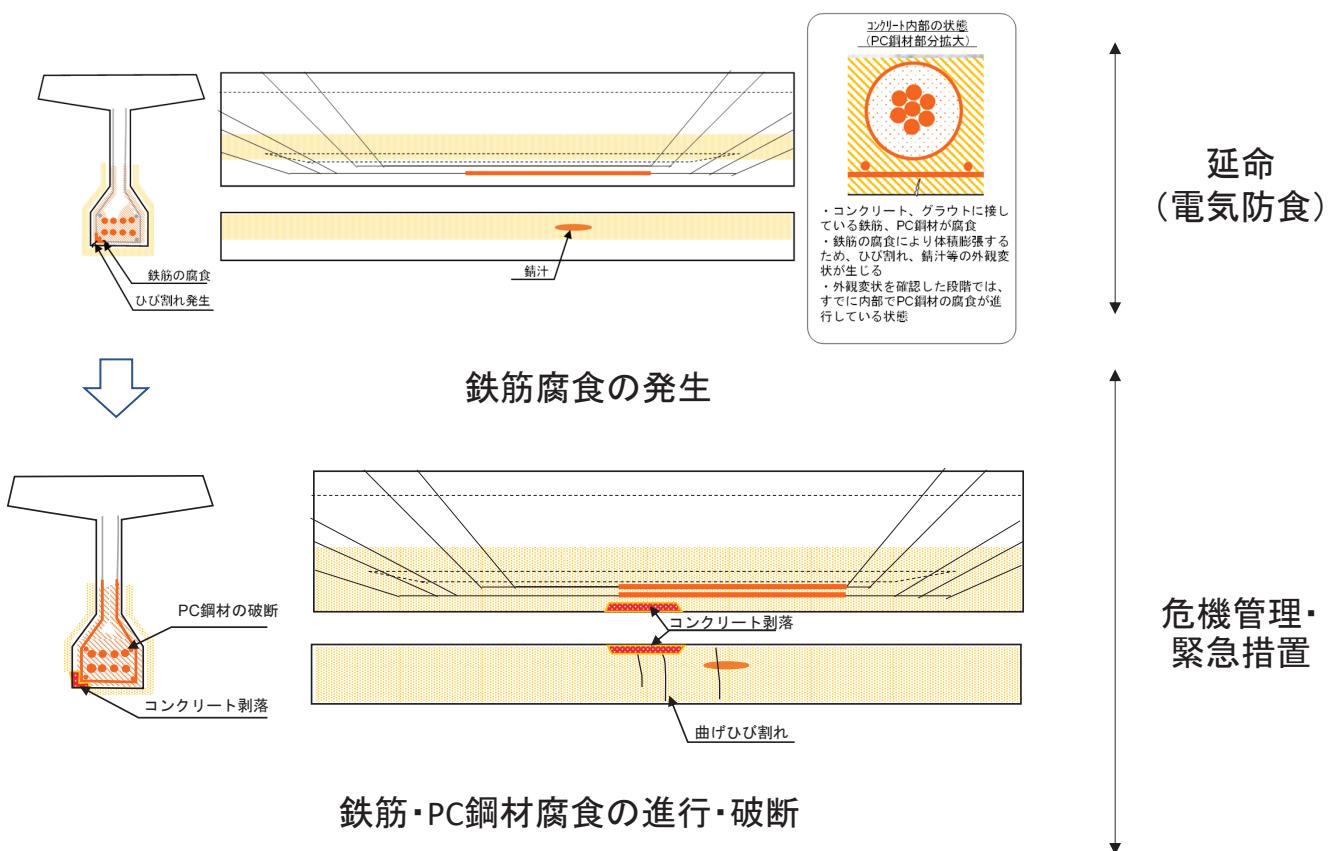
15

PC桁の損傷の進行順序(2/3)



16

PC桁の損傷の進行順序(3/3)



17

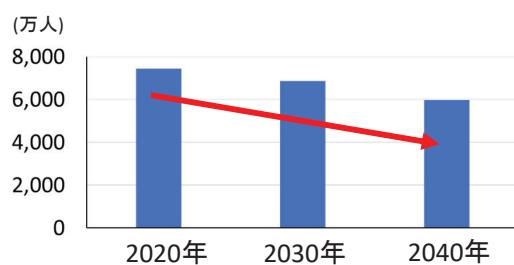
橋梁診断支援AIシステムの開発の背景

予防保全型メンテナンスに向けた課題

①修繕に必要な予算の確保

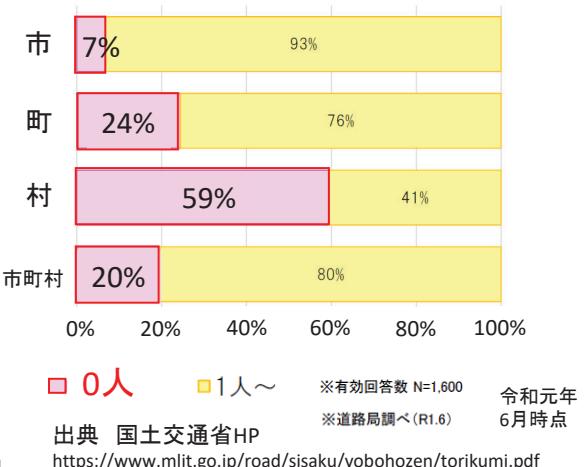
生産年齢人口
(15~64歳)
の推移

出典:令和3年版高齢社会白書



将来的に、少ない人で多くの高齢化した
インフラのメンテナンスが求められることが想定

市町村における橋梁保全業務に
携わる土木技術者数(アンケート結果)

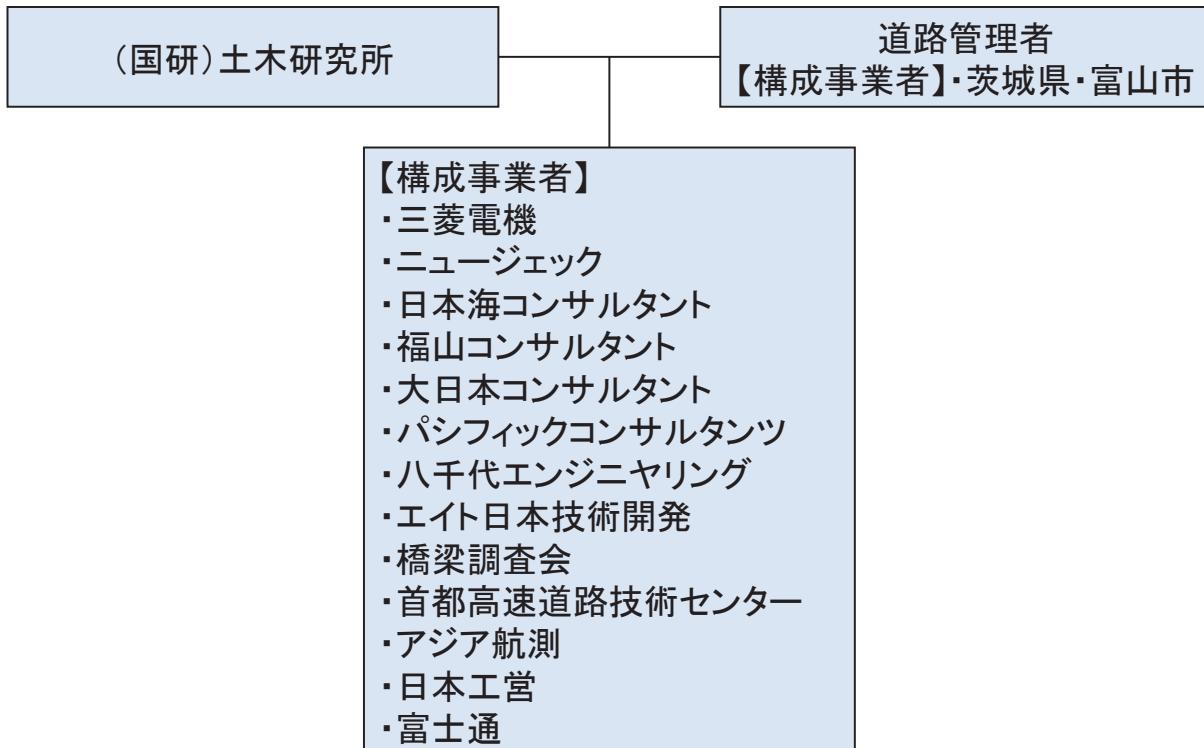


地方自治体の技術者の支援技術の必要性
(橋を長く使うために必要な診断の考え方を実務で利用しやすい形で社会実装)

18

官民連携で研究を推進するため、平成30年度から、建設コンサルタント、IT企業、診断機関、研究機関、地方自治体から成る共同研究を実施中。

診断AI開発グループ



19

診断支援AIシステムの概要 ~活用するAIとシステム化する内容~

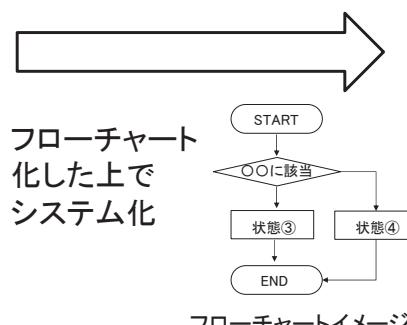
①診断セット (メカニズム、点検・診断・措置のセット情報)

- ・損傷のメカニズム
- ・損傷の進行度に応じた
(点検) 点検の方法や取得すべき情報
(診断) 損傷特定や、措置方針判断の決め手となる情報
(措置) 効果が期待できる工法の例

②熟練技術者の診断プロセス

- ・各種の情報から矛盾のないよう絞り込み

診断支援AIシステム

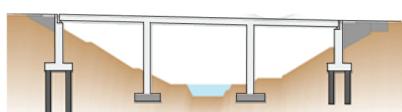


エキスパートシステムを採用

- ・診断結果の根拠の説明が可能

【システムの利用イメージ】

- ①点検での情報の収集、システムへの入力



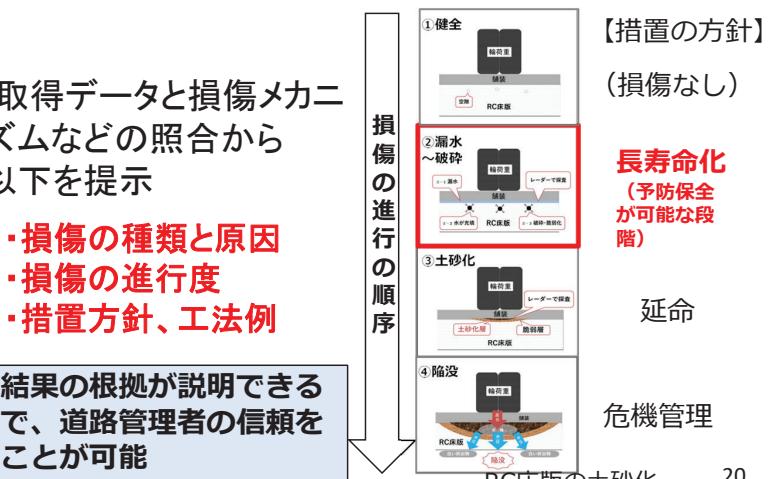
診断AIのインプットデータ(人が入力)

- ・諸元等カルテデータ
- ・点検データ

- ②取得データと損傷メカニズムなどの照合から以下を提示

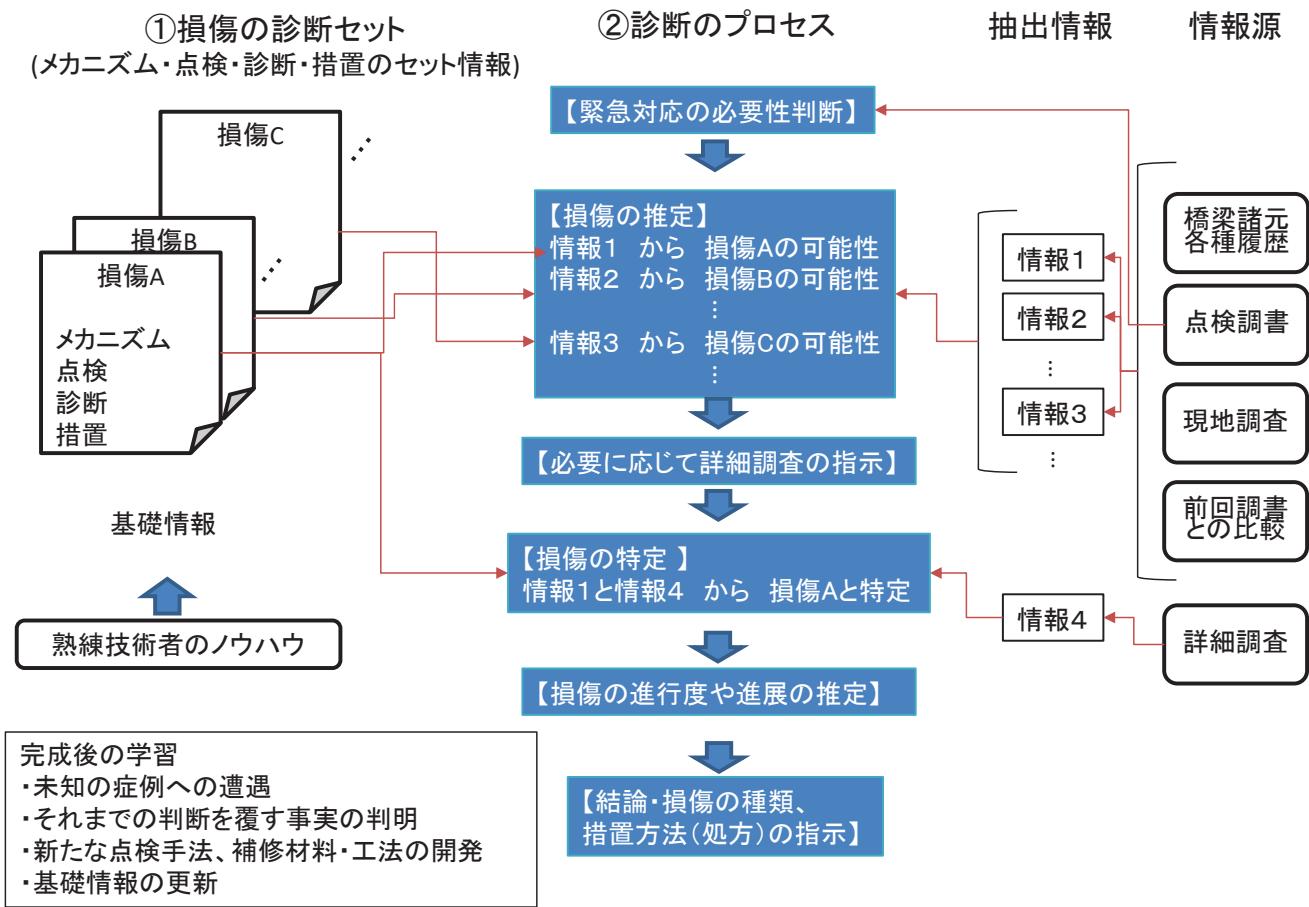
- ・損傷の種類と原因
- ・損傷の進行度
- ・措置方針、工法例

診断結果の根拠が説明できることで、道路管理者の信頼を得ることが可能



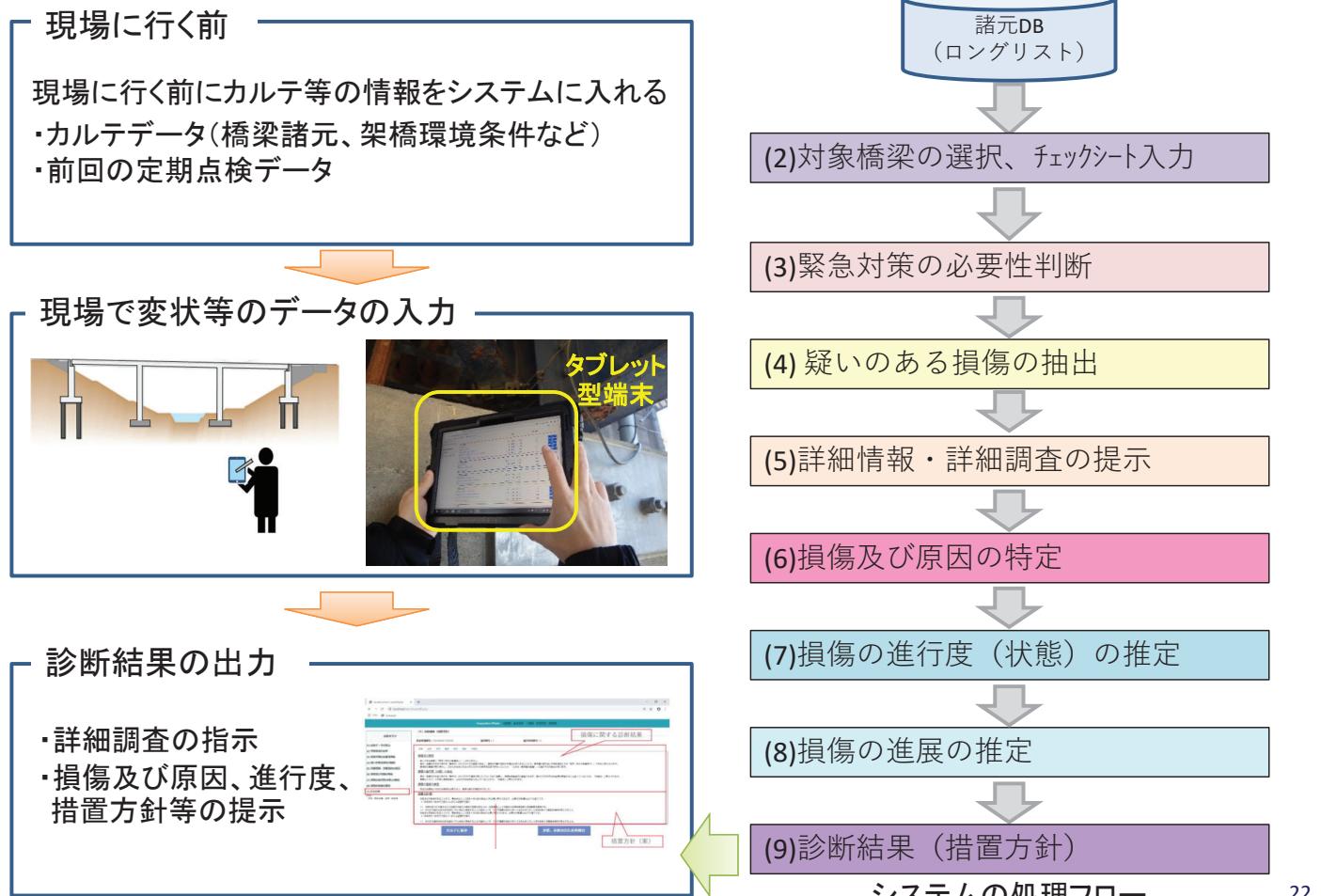
20

診断支援AIシステムの概要 ~診断セット、情報源、診断プロセスの関係~



21

橋梁診断支援AIシステムの概要



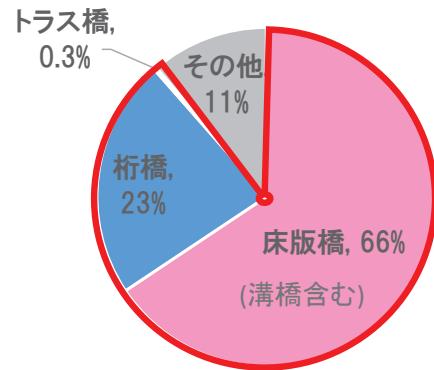
22

橋梁診断支援AIシステムver1.0

□ 令和3年度末に橋梁診断支援AIシステムVer.1.0を構築

■ 対象部材

- PC桁・RC桁、RC溝橋、鋼I桁、鋼トラス、床版橋(上部構造)、支承、RC床版、橋脚・橋台、伸縮・排水装置
- 昨年度の講演時点から 鋼桁、PC桁、RC桁、鋼トラスを追加



■ 使い方

- システムが案を示し、**管理者が最終的に判断**する使い方を想定し、判断できるよう根拠や説明もあわせて出力

橋長2m以上の道路橋の橋梁形式別の割合

※出典：道路統計年報(H30.4.1)

■ 得られる効果

- 長寿命化が可能な**予防保全の段階の見極め**などを支援
- 根拠となったデータも示すことで**診断結果に至った理由の説明も可能**となり、道路管理者からの信頼性も高まる

23

システム画面(諸元情報の入力)

諸元情報の入力	点検結果の入力	
橋梁情報	径間情報	補修履歴

- 諸元情報(橋梁情報、径間情報、補修履歴)を入力
- 用語が難しいものは、解説や補足

橋梁管理番号	000309	上部工形式	5径間連続鋼グルバー桁	塩害地域区分
名称	テス			式橋脚
路線名称	日立			塩害対策の有無
架設竣工年 [西暦]	1951			海岸からの距離[m]
橋梁管理者	茨城			る風向
事務所	常陸			側の地形[遮蔽物]
出張所				混和剤由来の
橋長[m]	110			塩化物イオンの内部分布
総径間数	12	曲線半径[m]	999	冬期平均最低気温[℃]
適用示方書	S 1 4 道示	斜角[度分秒]	90 ° 00' 00"	凍結防止剤の散布の有無
交通量昼夜24時間[台/日]	5969	架橋状況	河川・開水路・湖沼	隣接橋

塩害地域区分の解説

塩害地域区分をクリックするとポップアップで解説が表示

表-6.2.3 塩害の影響地域

地域区分	地域	海岸線からの距離	塩害の影響度合いと対策区分
A	沖縄県	海上部及び海岸線から100mまで	S 影響が激しい
		100mを超えて300mまで	I 影響を受ける
B	関-6.2.1 及び表-6.2.4 に示す地域	上記以外の範囲	II 影響が激しい
		海上部及び海岸線から100mまで	S 影響が激しい
		300mを超えて500mまで	I 影響を受ける
C	上記以外の地域	500mを超えて700mまで	III 影響が激しい
		海上部及び海岸線から20mまで	S 影響が激しい
		20mを超えて50mまで	I 影響を受ける
		50mを超えて100mまで	II 影響を受ける
		100mを超えて200mまで	III 影響が激しい

24

システム画面(点検結果の入力)

諸元情報の入力

点検結果の入力

RC床版

コンクリート桁(床版橋)

コンクリート桁(桁橋)

支承

橋台・橋脚・基礎

共通

塩害1

塩害2

塩害3

今回の点検結果について、「有り」、「無し」、「不明」を選択

今回

前回(参考)

根拠となる写真を記録、保存

[共通]

走行性に影響を与える舗装の異常

有り 無し 不明

不明

伸縮装置からの漏水

有り 無し 不明

不明

桁下面に漏水跡

有り 無し 不明

不明

かぶりコンクリートのうき・剥落

有り 無し 不明

不明

第三者被害が懸念される箇所にうき

有り 無し 不明

不明

端部のかぶりコンクリートのうき・剥落

有り(複数) 有り 無し 不明

不明

鋼材(鉄筋)に沿ったPC:0.1mm、RC:0.2mm以上のひび割れ

有り(錆汁) 有り 無し 不明

不明

端部の鋼材(鉄筋)に沿ったPC:0.1mm、RC:0.2mm以上のひび割れ

有り(錆汁) 有り 無し 不明

不明

今回写真
前回写真
今回写真
前回写真

25

システム画面(疑いのある損傷の抽出)

(2) 対象橋梁の選択

チェックシート

(3) 緊急対策の必要性判断

(4) 疑いのある損傷の抽出

(5) 詳細情報・詳細調査の提示

(6) 損傷及び原因の特定

(7) 損傷の進行度(状態)の推定

(8) 損傷の進展の推定

(9) 診断結果

[凡例]

茶色:現在位置、太字:診断済

床版 コンクリート桁(床版橋) コンクリート桁(桁橋) 支承 橋台・橋脚・基礎 伸縮装置・排水装置 鋼桁 鋼トラ.

基礎データ

橋梁点検結果から以下を読み込みました。間違いがあれば修正を確認してください。
プロトタイプ版では、橋梁点検結果を元にすべて入力してください。

1. 諸元関連

No.	データ項目	値
1	架設竣工年 [西暦]	1951
2	適用示方書	S14道示
3	上部工形式	5径間連続ゲルバー桁橋
4	大型車両通過量[台/日]	527

2. 点検結果

No.	データ項目	値
1	鋼材(鉄筋)に沿ったPC:0.1mm、RC:0.2mm以上のひび割れ	無し
2	かぶりコンクリートのうき・剥落	無し

データ確定



疑いのある損傷の抽出

疑いのある損傷として塩害を抽出

No.	損傷の疑い	有無	理由
1	塩害(飛来塩分による塩害)	有り	飛来塩分による塩害対策が必要な橋梁である。
2	塩害(凍結防止剤による塩害)	無し	塩分が付着する恐れがない。
3	塩害(暑気内在塩による塩害)	有り	塩化物イオン総量規制に関する通達が出される前に架設された橋梁である。

26

システム画面(損傷及び原因の特定)

詳細調査の提示・結果入力			
No.	調査項目	調査方法 上段：直接 下段：間接	調査結果
1	グラウトの充填不良※ポストテンT桁の場合のみ	内視鏡等による確認 架設竣工年	シース内の漏水または空隙無し 詳細調査結果の入力がない場合は、架設竣工年よりグラウト充填不良の疑いを判断します。
2	下部工における上部工かぶり相当の深さの鉄筋の塩化物イオン濃度	塩化物イオン含有量調査（ドリルコア） 塗装の縫い	1.0kg/m ³ 未満 詳細調査結果の入力がない場合は、塗装地域区分より、塗装の縫いを判断します。
3	上部工最外縁鋼材の塩化物イオン濃度	塗装物イオン含有量調査（ドリルコア） 鋼材の腐食	1.2kg/m ³ 以上 詳細調査結果の入力がない場合は、点検結果の鋼材の腐食の有無により、塩化物イオン濃度を判断します。
4	10年後上部工最外縁鋼材の塩化物イオン濃度	予測式による推定 —	1.2kg/m ³ 未満 予測式の推定結果の入力がない場合は、1.2kg/m ³ 未満とします。
5	鋼材の腐食状況	はつり調査、アドリル削孔調査 近接目視	腐食無し 詳細調査結果の入力がない場合は、点検結果より、鋼材の腐食状況を判断します。
6	緊急対応の必要性	鋼材の著しい腐食	無し 詳細調査結果の入力がない場合は、点検結果のPC鋼橋の破壊の有無により、緊急対応の必要性を判断します。

診断（特定）



損傷の特定

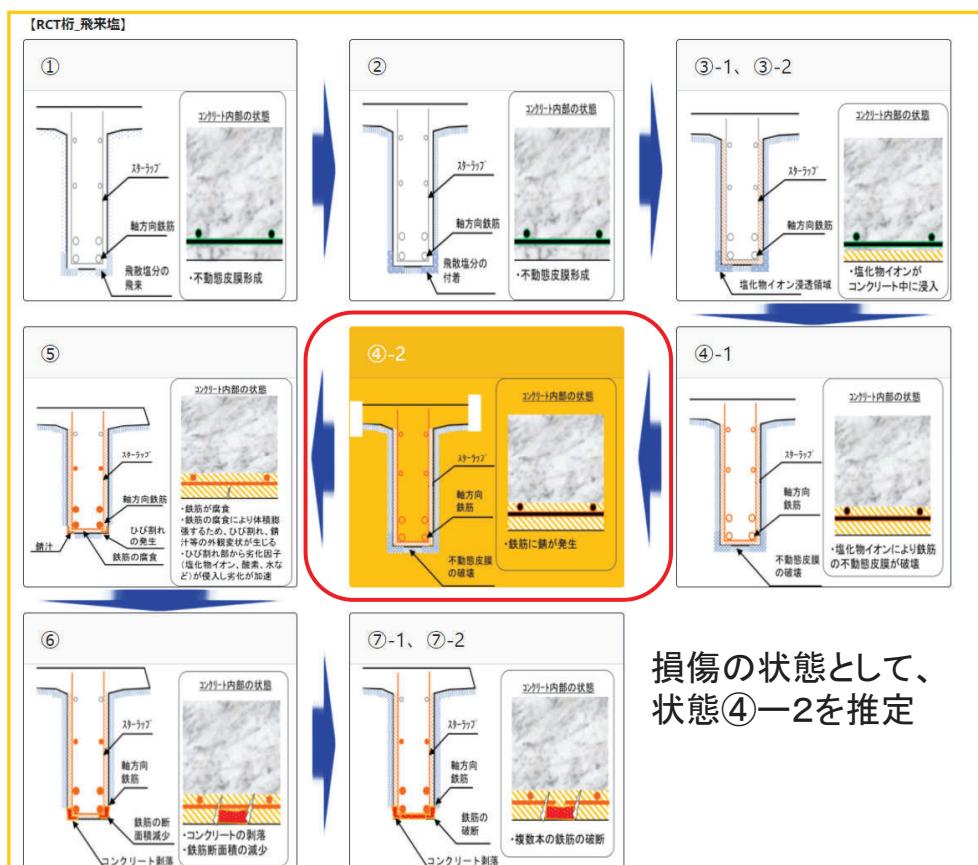
塩害(飛来塩分)による損傷と特定

飛来塩が付着する環境であり、鉄筋位置での塩化物イオン濃度が発錆限界以上であるため、「飛来塩分による塩害」の損傷であると考えられます。

診断は以下のデータ項目に基づいています。【推定値】【補間値】については、診断の精度向上のためデータの確定が必要です。
塗装の縫い(塗装(飛来塩分による塗装))、有り
架設竣工年、1951、【確定値】
塗装地域区分_B-(5)、【確定値】

27

システム画面(損傷の進行度(状態)の推定)



【RCT桁_飛来塩】飛来塩分がコンクリート内部に浸透し、鉄筋位置での塩化物イオン濃度が発錆限界を超えることから、「状態④-2」と考えられます。

28

詳細調査として、
・塩化物イオン濃度
・鋼材の腐食状況 等
を入力

ここでは、上部工最外
縁の鋼材の塩化物イ
オン濃度1.2kg/m³
上を入力

システム画面(診断結果)

(9) 診断結果(措置方針)

橋梁管理番号: 00309 経間番号: 15 経間分割番号: 0

RC床版 コンクリート桁(床版) コンクリート桁(桁橋) 文承 橋台・橋脚・基礎 伸縮装置・排水装置 鋼桁 始トラス RC溝橋

損傷及び原因

飛来塩が付着する環境であり、鉄筋位置での塩化物イオン濃度が発錆限界以上であるため「飛来塩分による塩害」の損傷であると考えられます。

診断は以下のデータ項目に基づいています。【肯定値】・【確定値】については、診断の精度向上のためデータの確定が必要です。

損傷の疑い(塩害(飛来塩分による塩害))_有り

架設施工年(西暦): 1951_【確定値】

塗装地域区分: B-(S)_【確定値】

上部工構造形式: R C T桁_【確定値】

鋼材(鉄筋)の腐食: 無し_【確定値】

グラウト充填不良: シース内の漏水または空隙無し_【確定値】

鋼材位置での塩化物イオン濃度: 1.2kg/m3以上_【確定値】

損傷の進行度(状態)の推定

【塩害1(飛来塩分による塩害)】【RCT桁_飛来塩】飛来塩分がコンクリート内部に浸透し、鉄筋位置での塩化物イオン濃度が発錆限界を超えていることから、「状態④-2」と考えられます。

損傷の疑い(塩害(飛来塩分による塩害))_有り

架設施工年(西暦): 1951_【確定値】

上部工構造形式: R C T桁_【確定値】

塗装地域区分: R-(S)_【確定値】

鋼材(鉄筋)に沿った隙: 0.1mm, RC:0.2mm以上のひび割れ無し_【確定値】

かぶつきコンクリートのうき・剥落: 無し_【確定値】

鋼材(鉄筋)の断面減少: 無し_【確定値】

鋼材または軸方向鉄筋の破断: 無し_【確定値】

鋼材(鉄筋)の腐食: 無し_【確定値】

鉄筋の発生: 無し_【確定値】

鉄筋中央の曲げひびわれ: 無し_【確定値】

グラウトの充填不良: シース内の漏水または空隙無し_【確定値】

下部工における上部工かぶり相当の深さの鉄筋の塩化物イオン濃度: 1.0kg/m3未満_【確定値】

上部工最外線鋼材の塩化物イオン濃度: 1.2kg/m3以上_【確定値】

10年後上部工最外線鋼材の塩化物イオン濃度: 1.2kg/m3未満_【確定値】

鋼材の腐食状況: 無し_【確定値】

緊急対応の必要性: 無し_【確定値】

損傷の進展の推定

前回の点検時と今回の点検時を比較すると、損傷の進行が確認されませんでした。

措置方針(案)

【塩害1(飛来塩分による塩害)】

【塩害1_RCT桁】状態④-2の可能性があることから、延命(鉄筋の防食)が必要と考えられます。

必要な対策は以下の通りです。

・電気防食

必要な対策(案)を提示し、
道路管理者が最終的に判断

カルテに保存 矛盾、未解決のため再検討 点検調書の出力

29

システムの今後の展望

■検証等に基づくシステム内容の改良

● システムの検証

- ・現場検証や点検調書を活用した机上検証



R3年度末

橋梁診断支援AIシステム
ver1.0の構築

● システムの改良

- ・システム検証結果を踏まえ診断フロー及びプログラムの修正
- ・対象部材、損傷の追加
- ・国土交通省の道路データプラットフォーム(xROAD)との連携等による使用性向上の検討

全国道路施設点検データベースの詳細データの有料公開が開始(R 4.7 ~)



R4~5
年度

現場検証、机上検証等を踏まえてシステムの改良

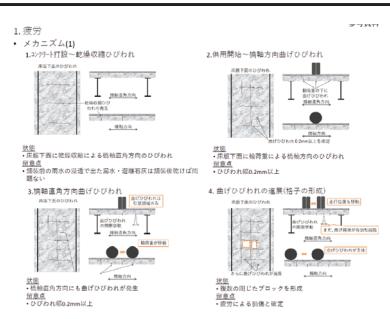
■システムに付加する機能の検討

- ・点検調書(その1、その2)の出力
- ・診断セットの閲覧機能



R6年度

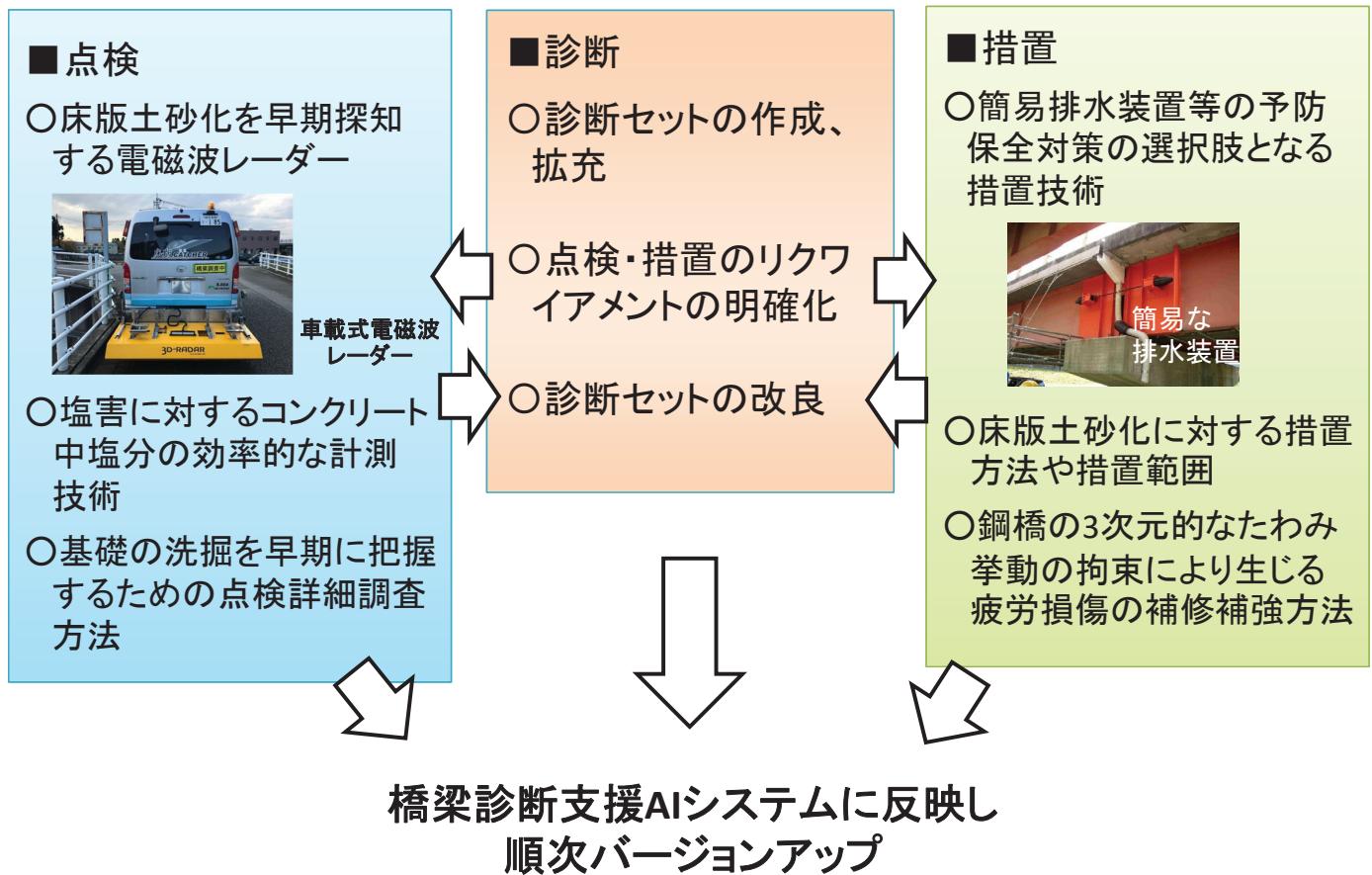
実務での展開を目指す



点検調書

診断セット(RC床版の例)

30



31

おわりに

- 地域の橋を長生きさせ、持続可能なインフラメンテナンスを実現させるためには、予防保全へのシフトが重要。
- 橋の長寿命化に資する考え方を整理し、特に技術者不足の懸念のある地方公共団体への支援を目的として、診断(処方までを含む)を支援する橋梁診断支援AIシステムver1.0をR3年度末までに作成。
- 供用中の道路橋に生じる損傷や影響因子、さらには変状の種類やパターンは多岐にわたるため、多く発生が報告されている症例から順にシステムに取り込んでいる。
- R4～5年度にかけて、検証を繰り返して改良を重ねるとともに、予防保全のための各種の研究成果等を反映していく予定。定期点検の3巡目(R6年～)から実務での運用を目指して検討を進め、橋の長寿命化や予防保全の推進に貢献していきたい。

32