

橋梁診断支援AIシステムの開発



土木研究所 CAESAR
上席研究員(特命事項担当)
澤田 守



目次

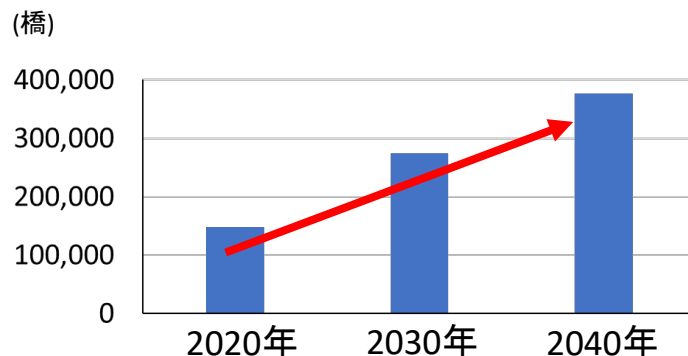
1. はじめに（背景・目的）
2. 診断AIシステムの概要
3. 診断セット
4. 診断AIシステムの改良状況
5. 診断AIシステムのデモンストレーション
6. 今年度の診断AIシステムの改良の内容
7. おわりに

1. はじめに ～予防保全によるインフラの長寿命化の必要性～

道路橋メンテナンスの課題

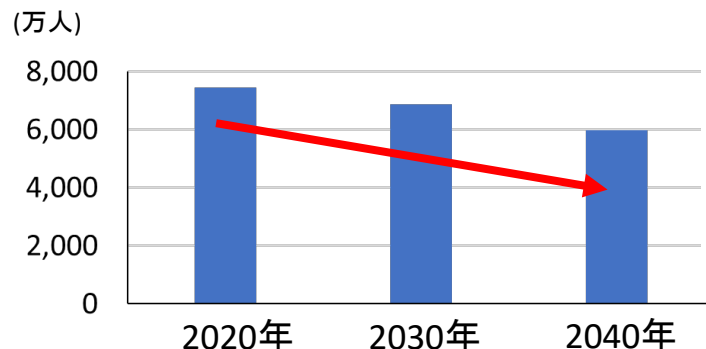
- ❑ 道路橋の高齢化、損傷の顕在化
- ❑ 今後の人口減少に伴うメンテナンスの担い手不足、技術者不足

建設から50年
以上経過した橋
(建設年次不明な
橋は除く)



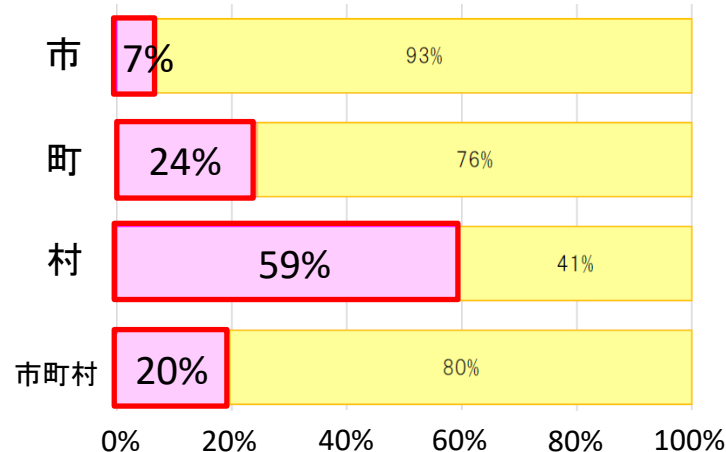
出典: 道路メンテナンス
年報(令和2年度・二巡目)

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

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)



❑ 0人

❑ 1人～

※有効回答数 N=1,600

令和元年
6月時点

※道路局調べ(R1.6)

出典 国土交通省HP

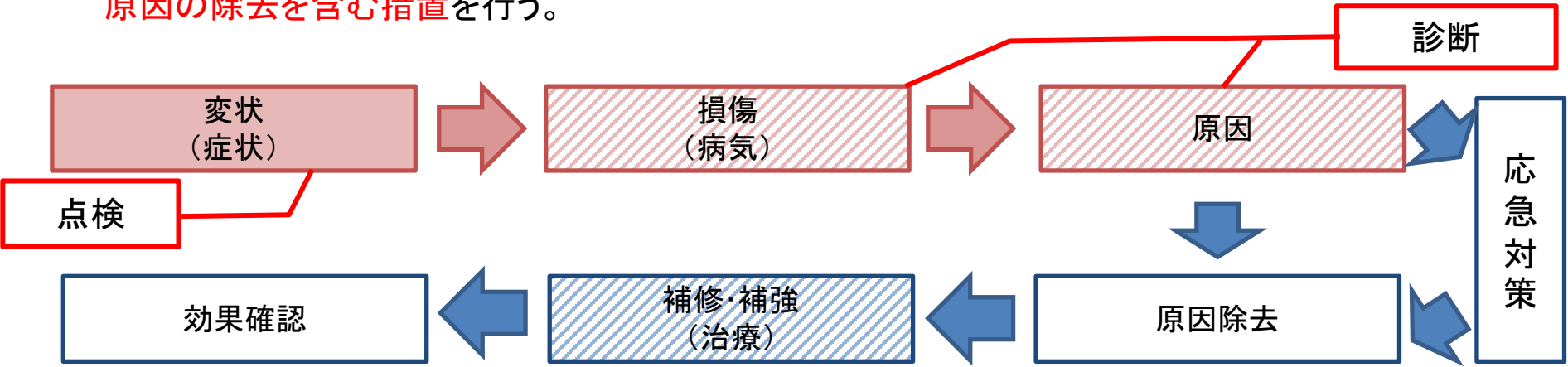
<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>

- 予防保全により橋の長寿命化の必要性
- 技術者不足の懸念の中で、橋の長寿命化に資する支援技術の必要性

1. はじめに ～技術力が求められる診断～

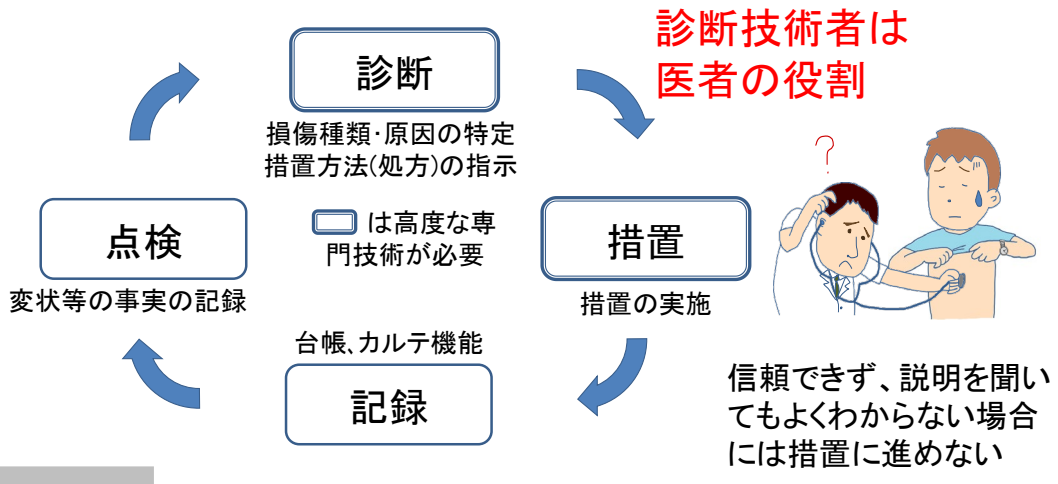
□ 点検・診断・措置の基本的なプロセス

変状等の情報から、**損傷の種類**と**原因**を特定した上で状態を**診断**し、**原因の除去を含む措置**を行う。



□ 診断に求められる技術力

- 原因や損傷の特定が不完全だと誤診・早期劣化の原因になる
- 損傷が進行すると、原因の除去が困難で措置が大掛かりとなることが多くなる
- あわせて、論理的な説明性も必要



技術力を要する**診断**を支援する技術開発 + **AI技術**を活用 (エキスパートシステムなど)

1. はじめに ～AIを活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究～

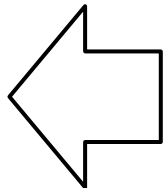
土研の呼びかけに官民25者が集結

官民連携で研究を推進するため、建設コンサルタント、IT企業、診断機関、研究機関、地方自治体等25者から成る共同研究体制を平成30年度に立ち上げました。



何を学習させるのか？

診断AIシステム



エキスパート
システムを採用

共同研究内の診断
技術者の知識や
考え方を整理し
言語化(フロー化)

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 (何が原因でどのように進行するのか?)
- ・ 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

- ディープラーニング ← Black Box 画像判読が得意
- エキスパートシステム ← 診断の理由が出力 (=説明)可能

診断AIに活用

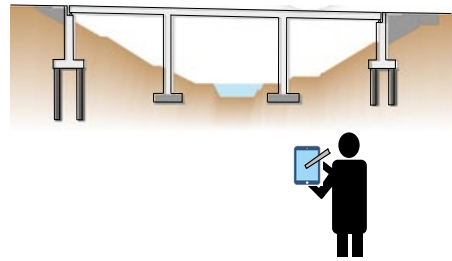


診断セット検討会の実施状況

2. 診断AIシステムの概要 ～診断AIシステムで目標とするアウトプット～

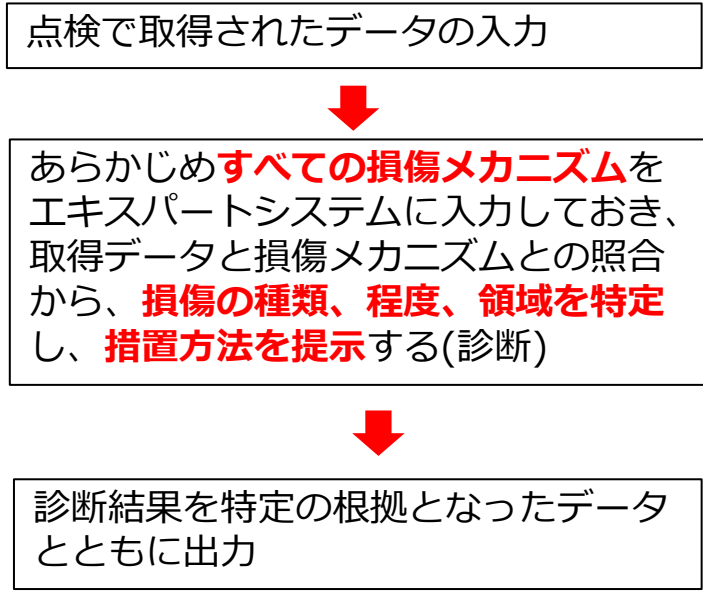
■点検における情報の収集

- ☆当面は人力で点検のデータを取得
- 以下が、診断AIのインプットデータ
 - ・ 諸元等カルテデータ
 - ・ 点検データ（今回、前回）



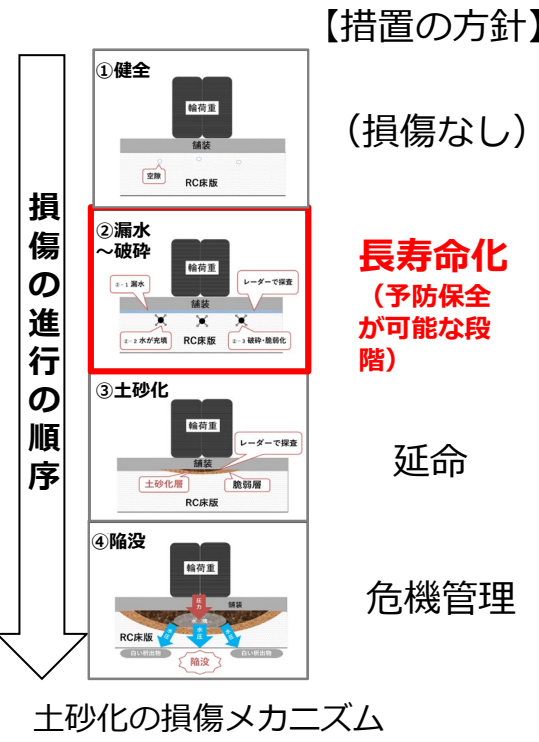
電磁波レーダーによる滞水の有無、漏水経路の探査

■診断のプロセス



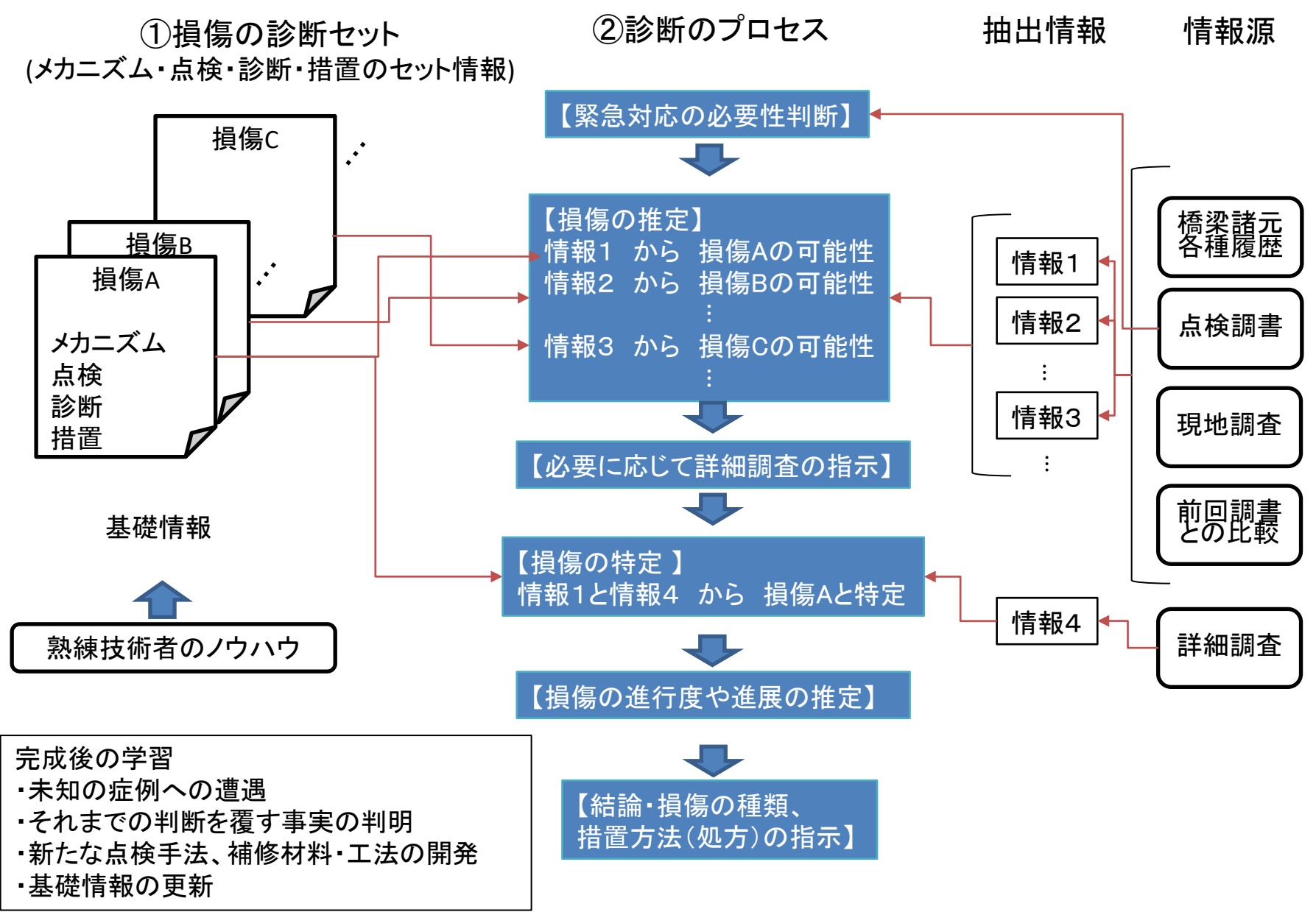
■診断の出力例(RC床版)

- ☆ 損傷及び原因の特定
→土砂化、広い範囲に滞水
- ☆ 損傷の進行度の推定
→滞水のみが生じている段階であり長寿命化が可能
- 根拠データとともに提示
- ☆ 措置方針案の提示
→防水層等の設置による長寿命化



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**

2. 診断AIシステムの概要 ～診断セットと、情報源、診断プロセスの関係

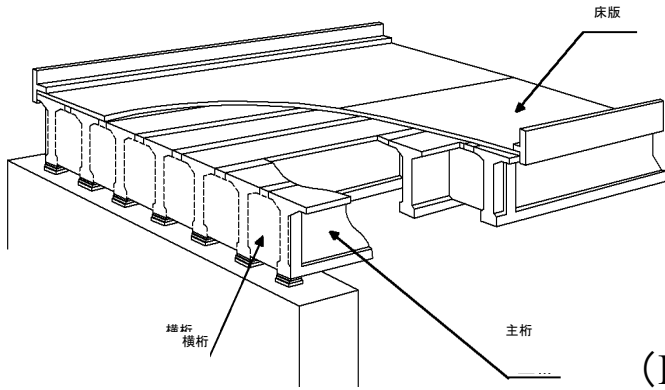
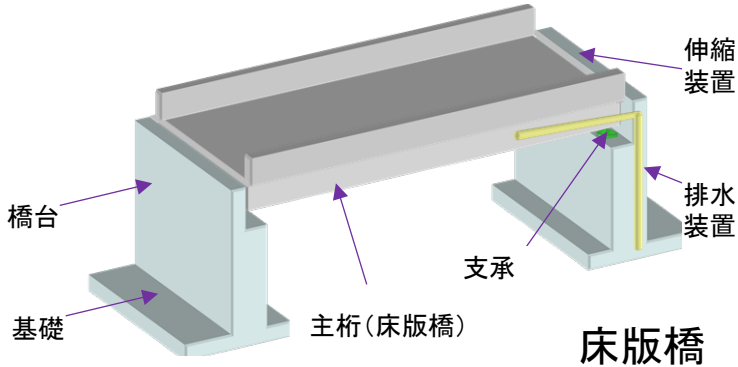


3. 診断セット ～現時点で概成した内容～

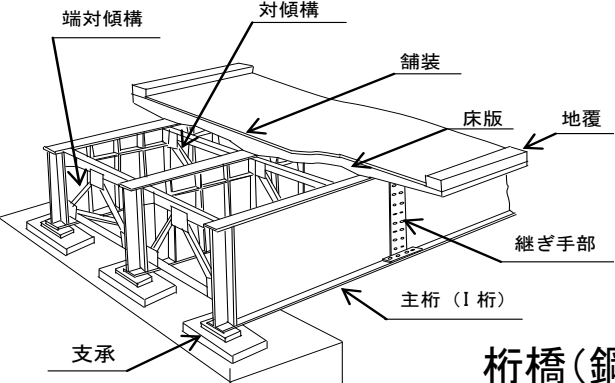
代表的な橋梁形式の「**床版橋**」「**桁橋**」「**鋼トラス橋**」の診断支援が可能となるよう、下表に示す代表部材の診断セットを作成。

構造	部材
上部構造	RC床版
	鋼桁
	鋼トラス
	床版橋
	PC桁
	RC桁
上下部接続部	支承部
下部構造	橋脚(RCのみ)
	橋台
その他	伸縮装置
	排水装置

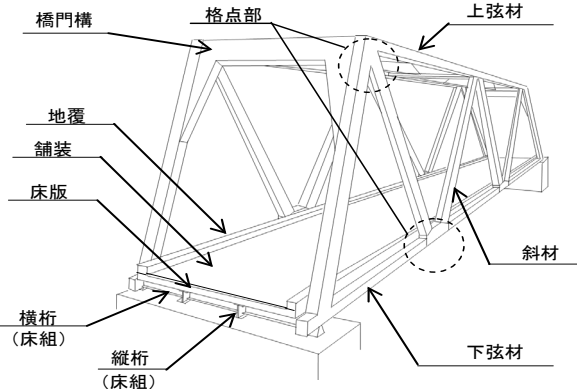
次ページ
以降で
一部を
紹介



桁橋
(PC桁、RC桁)



桁橋(鋼桁)

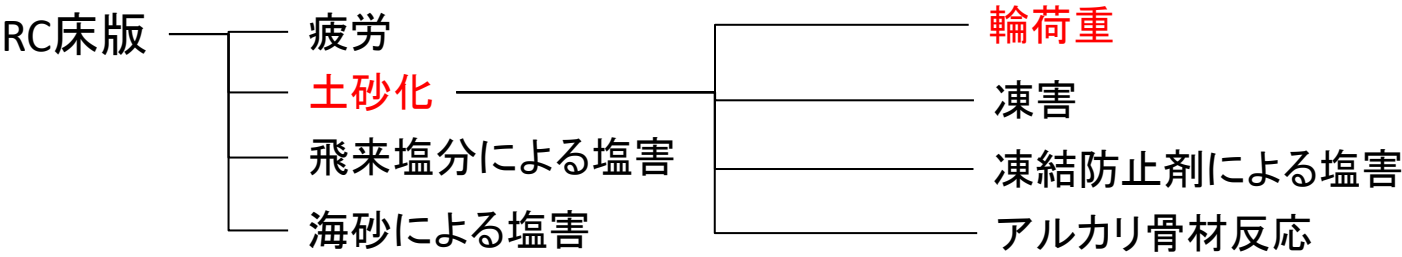


鋼トラス橋

3. 診断セット ～損傷のメカニズムの例～

RC床版の例（抜粋）

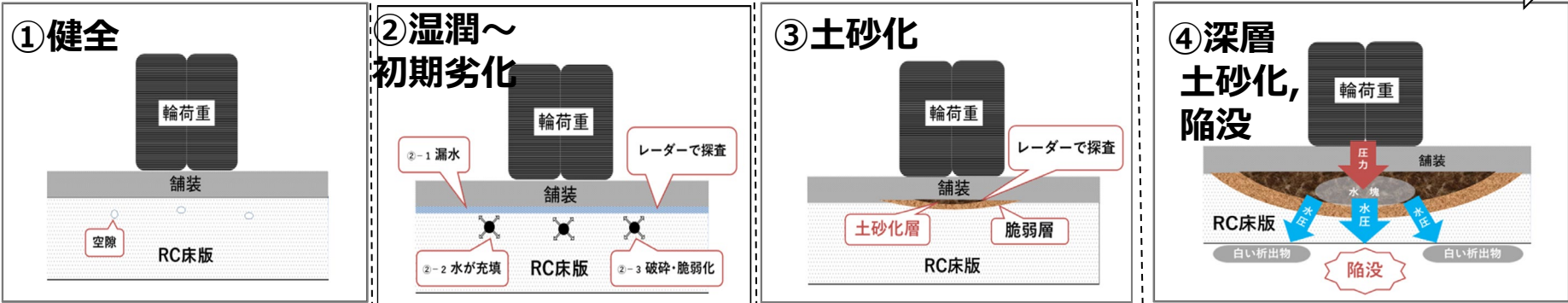
□ 部材ごとの損傷の分類



□ R C床版の土砂化（輪荷重）の損傷メカニズム

原因は床版への水の侵入

損傷の進行の順序



◆劣化初期段階で水を検知した場合の
予防保全措置⇒コスト小
→床版上面の水の排水・遮水

◆RC床版土砂化補修対策
⇒コスト大
→床版の部分更新等

【措置の方針】
(損傷なし)

長寿命化（予防保全）
損傷の原因を除去し
健全な状態に戻す

延命
損傷の原因の完全な除去は
難しく、補修などで損傷の
進行をコントロールする

危機管理
損傷の進行の確実なコントロール
ができない状態で、モニタリング
等を行いながら早期に対策する

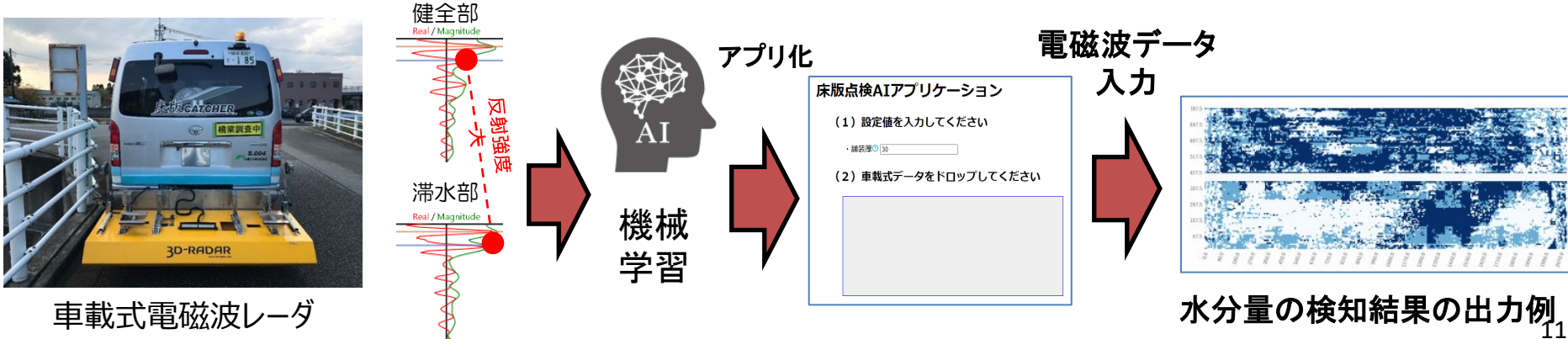
3. 診断セット ～ 損傷の進行度に応じた点検・診断・措置～

RC床版の例（抜粋）

	メカニズム	点検における着目点	診断に必須な詳細調査	診断の決め手となる情報	措置の方針	工法例
損傷の進行 ↓	湿潤～初期劣化	・舗装の異常 ・床版下面、排水ま す周辺からの漏水	・舗装下面の滞水	・車道部の舗装下の滞 水、表層コンクリートの 湿潤状態	長寿命化	床版防水工
	土砂化	・床版下面、排水ま す周辺からの漏水 ・舗装の異常箇所での 土砂噴出	・舗装下面の滞水 ・土砂化深さ	・輪荷重による土砂化の 進行 ・舗装の異常が発生して いる箇所で土砂が噴出	延命	床版防水工＋断面 修復工＋切削＋ オーバーレイ or 床版部分打替え or 床版全面取替え
	深層土砂化	同上	・外観で判別できな い場合、削孔＋孔 内の観察	・床版上側鉄筋程度ま での深い土砂化	危機管理	床版部分打替えor 床版全面取替え

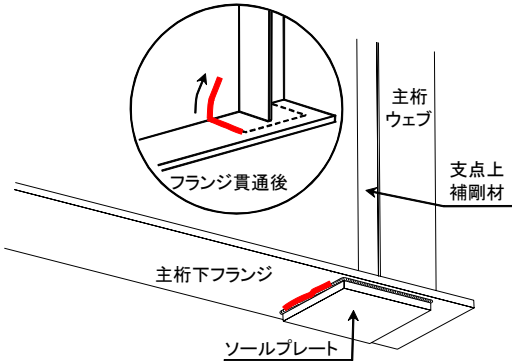
近接目視で予防保全段階の見極めが困難な場合には点検方法を開発

- RC床版の土砂化の要因となる水の検知をするための手法として、車載式の電磁波レーダーに着目。
- 計測する膨大な取得波形データをAI技術によって読み取り・解析技術（水の早期検知）の向上を図ったアプリケーションを開発中であり、開発技術を取り込んだ診断セットに修正中。



■ 鋼桁の診断セット

損傷大項目	損傷小項目
1. 腐食	・塗装（桁端部、一般部、添接部） ・犠牲防食 ・耐候性鋼
2. 疲労	・ 支承ソールプレート部 ・ 桁端切り欠き部 ・ 横構ガセットプレート取付部 ・ 横桁取付部（主桁腹板） ・ 垂直補剛材 ・ 横桁取付部（ウェブギャップ板） ・ 横桁取付部（横桁） ・ 箱桁ダイアフラム
3. 遅れ破壊	・ 高力ボルトの遅れ破壊
4. その他	・ 床版と鋼桁のずれ止めの損傷



次ページ以降で
支承ソールプレート部
の疲労の診断セット
を紹介

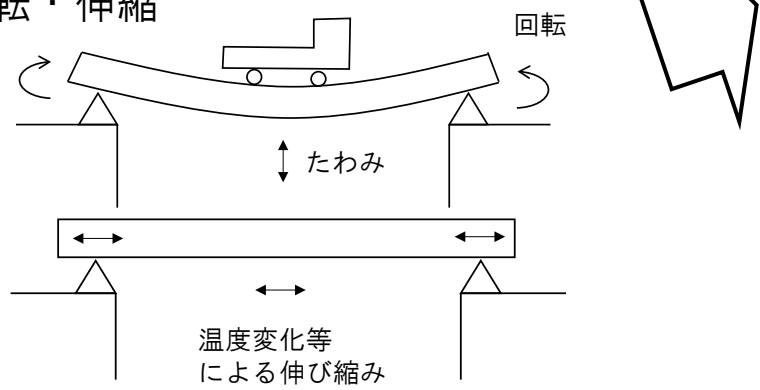
3. 診断セット ～ 損傷の原因と措置～

鋼桁の支承ソールプレートの疲労亀裂（抜粋）

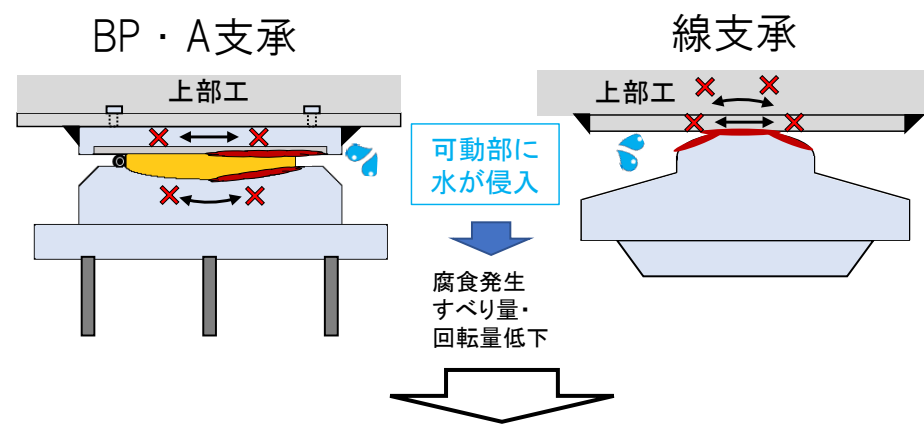
支承ソールプレートの疲労亀裂の発生原因

(1) 支承の可動機能の障害

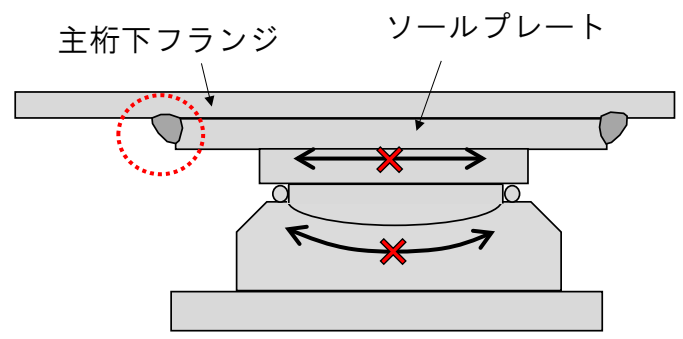
- 活荷重たわみや温度変化に対する回転・伸縮



- 支承の機能障害により回転・伸縮を拘束



- 回転・伸縮の拘束により、ソールプレート前面の溶接部において繰り返し応力が作用することで疲労亀裂が発生



(2) 腐食による母材の減厚（応力集中）の影響

(3) 下フランジと支承ソールプレートの肌隙

(4) その他

- 斜角の影響
- 多種箱桁橋で1箱桁2支承とする場合、桁のねじりにより活荷重反力が大きく変動するため、疲労が生じやすい。

損傷の発生原因(メカニズム)を説明とともに列挙

3. 診断セット ～損傷の原因と措置～

措置の工法例

- 支点部の補修補強の検討を行うにあたっては、支承取付部の構造や狭隘空間での作業性、交通規制の可否によって制約を受けるため留意が必要である。
- ✓ 支承の取り換えを基本とする。BP支承や線支承の場合、変位や回転の拘束が相対的に生じにくい「ゴム支承」への変更を検討するのがよい。
- ✓ ソールプレートは、溶接からボルトに変更するとともに、ソールプレート長さを上沓より長くすることを基本とする。
- ✓ フランジや腹板に亀裂が進展している場合は、当て板による補修を行う。

緊急措置



- ・ 支承部の前面に、まくらぎやサンドルなどにより仮受け点を設けて主桁を支持
- ・ 主桁腹板の亀裂は、急激な進展を防止するために、亀裂先端にストップホール

恒久復旧の工法例

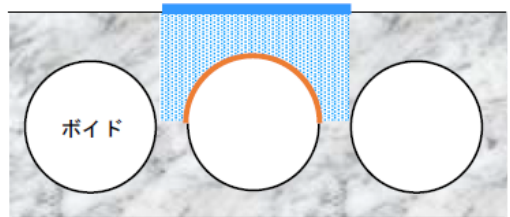
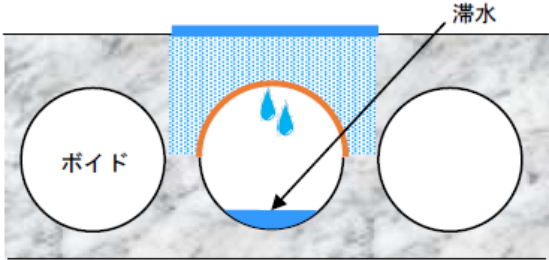
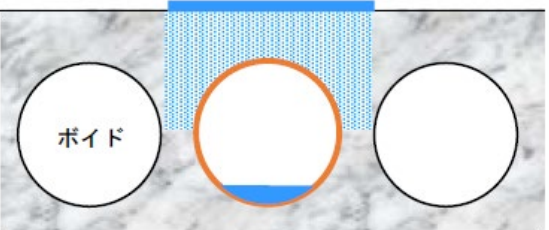
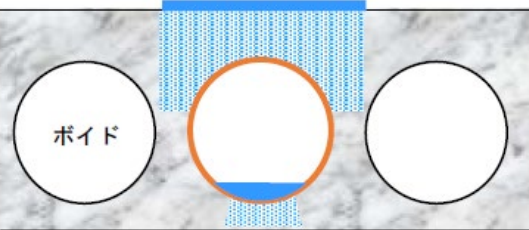
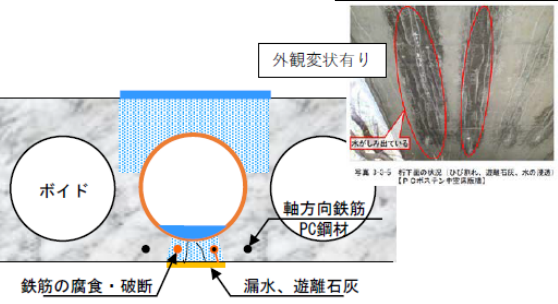
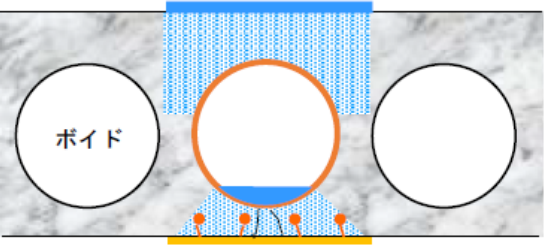


予防保全段階に限らず、損傷が進行した段階も含めて
損傷のメカニズム(原因)に適合した措置工法の例を提示

■ 床板橋（上部構造）の診断セット

損傷の分類		概要（分類の考え方）	
1. 外来塩による塩害		海から飛来する塩分に起因する損傷	
2. 内在塩による塩害		建設時のコンクリートに内在する塩分に起因する損傷	
3. ASR		反応性骨材の給水膨張に起因する損傷	
4. 凍害		環境温度、凍結融解の繰り返しに起因する損傷	
5. 土砂化 5. 1 輪荷重による土砂化 5. 2 凍害による土砂化 5. 3 凍結防止剤による土砂化 5. 4 ASRによる土砂化		主として橋面から変状が進行する損傷 （措置において共通する考え方は、上からの水の供給を遮断すること）	
6. 連結桁固有の変状		個別の構造で 生じる損傷	桁連結によるクリープ変形拘束に起因する損傷
7. 中空床版橋の滞水			橋面から水が浸透することによる損傷
8. 中空床版橋ボイド管浮き上がりによる陥没			施工不良によるボイド管位置の異常に起因する損傷
9. 製作・施工不良に分類される変状		その他施工不良に起因する損傷	

次ページ以降で中空床版橋の滞水の診断セットを紹介

1.舗装下の滞水 外観変状なし 断面図 	2.コンクリート内への浸透 外観変状なし 	3.ボイド管（上側）の腐食 外観変状なし 
4.ボイド管内に滞水 外観変状なし 	5.ボイド管（下側）の腐食 外観変状なし 	6.コンクリート内（ボイド管下側）への浸透 外観変状なし 
7.鋼材の腐食・破断 外観変状有り 	8.鋼材の腐食・破断の進行 外観変状有り 	診断上の留意点 ✓ 橋面の水とともに凍結防止剤に含まれる塩化物イオンが浸入する可能性がある。 ✓ プレストレスがある場合、鋼材破断により、プレストレスが喪失し、支間中央にひび割れが発生する可能性がある。

3. 診断セット ～現時点で概成した内容～

部材	損傷大項目	損傷小項目
RC床板	疲労	
	土砂化	輪荷重による土砂化
		凍害による土砂化
		凍結防止剤による塩害による土砂化
		ASRIによる土砂化
	飛来塩分による塩害	
床版橋上部工	海砂による塩害	
	外来塩による塩害	
	内在塩による塩害	
	ASR	
	凍害	
	土砂化	輪荷重による土砂化
		凍害による土砂化
		凍結防止剤による塩害による土砂化
		ASRIによる土砂化
	連結桁固有の変状	
	中空床版橋の滞水	
	中空床版橋ボイド管浮き上がりによる陥没	
	製作・施工不良に分類される特徴的な変状	
	防水・排水工不良に分類される特徴的な変状	
	他部材の損傷が床板橋に及ぼす影響	

部材	損傷大項目	損傷小項目
ポステンPC桁	外来塩による塩害	伸縮装置からの漏水による損傷
		グラウト充填不足による損傷
		グラウト充填不足による横締めPC鋼材の損傷
	製作・施工不良	
プレテンPCT桁	外来塩による塩害	
		伸縮装置部からの漏水による桁端部の損傷
		グラウト充填不足による床版横締めPC鋼材の抜け出し
	製作・施工不良	
RCT桁	外来塩による塩害	
		伸縮装置部からの漏水による桁端部の損傷
		路面からの漏水による床版の変状
	製作・施工不良	
RC中実床版橋	外来塩による塩害	
		伸縮装置部からの漏水による床版端部の損傷
		路面からの漏水による床版の変状
	製作・施工不良	
	防水・排水工不良	縦目地部からの漏水による床版の損傷

3. 診断セット ～現時点で概成した内容～

部材	損傷大項目	損傷小項目
鋼桁	腐食	塗装橋
		犠牲防食
		耐候性鋼橋
	疲労	支承ソールプレート部の疲労亀裂
		桁端切り欠き部の疲労亀裂
		横構ガゼットプレート取付部
		横桁取付部(主桁ウェブ)
		垂直補剛材
		横桁取付部(ウェブギャップ板)
		横桁取付部(横桁)
		箱桁ダイアフラム
	遅れ破壊	
鋼トラス桁	腐食	格点部
		コンクリート埋め込み部材
		弦材
		床組み
	疲労	横桁と縦桁の接合部
		主構と横桁との接合部
		斜材とガゼットプレートの連結部

部材	損傷大項目	損傷小項目
橋台・橋脚	飛来塩分による塩害による塩害	
	凍結防止剤による塩害	
	内在塩による塩害	
	ASR	
	凍害	
基礎	洗堀	直接基礎の洗堀
		杭基礎の洗堀
		ケーソン基礎の洗堀
	地滑り	橋台の前面傾斜
		橋台の背面傾斜
		橋台の背面傾斜と全面移動
		橋台の前面傾斜と全面移動
	側方流動	
	その他の損傷	橋脚・橋台の損傷
		基礎本体の変位
		フーチングの破損
		液状化
		支持層未達
		想定外荷重によるひび割れ
		温度応力によるひび割れ
		乾燥収縮によるひび割れ

3. 診断セット ～現時点で概成した内容～

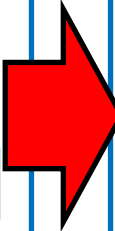
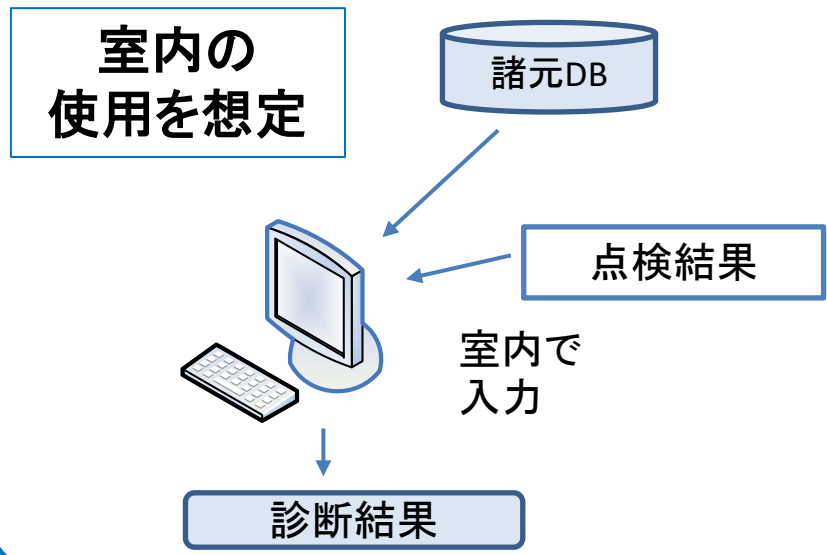
部材	損傷大項目	損傷小項目
支承	オゾン劣化	積層ゴム支承のオゾン劣化
	腐食	鋼製支承の腐食
		BP・A/BP・B支承の腐食
		ローラー部の腐食
		線支承の腐食
		パッド型ゴム支承のすべり面の腐食
		アンカーボルトのナットの腐食
		アンカーボルト本体の腐食
		ゴム支承内部鋼板の腐食、剥離
	凍害	沓座モルタルの凍害
		凍害によるアンカーボルトの抜け出し
	交通振動	交通振動によるセットボルトの緩み
		パッド型ゴム支承のずれ、逸脱
	遊間調整ミス・設置ミス	移動制限装置の亀裂・破断(水平方向の遊間調整ミス)
		移動制限装置の亀裂・破断(回転方向の遊間調整ミス)
		ゴム支承の過変形
		ローラーのずれ、逸脱
	モルタルの充填不良	鋼製支承の割れ
		沓座モルタルの割れ、沈下
	縁端距離不足	橋座の割れ、欠落
	下部構造の移動に起因する損傷	移動制限装置の亀裂、破断
		ゴム支承の亀裂、破断
		沓座モルタルの割れ、沈下
		アンカーボルトの抜け出し、破断
		橋座の割れ、欠落
		ボルト、ナットの緩み、変形、破断、脱落

部材	損傷大項目	損傷小項目
伸縮装置	腐食	共通
	疲労、摩耗	鋼製伸縮装置
		固定金具
		ゴムジョイント
	走行繰返しによる隙間の形成	
	止水材の劣化・損傷	止水材の亀裂
		止水材の落下
	地震、側方移動	遊間異常、段差
		後打ちコンクリートと土工部舗装の隙間
	構造に起因する損傷	止水材がない
止水材が不連続		
止水材継ぎ手の施工不良		
後打ちコンクリート目地部の隙間		
排水装置	腐食	本体の腐食
		固定金具の腐食
		フレキシブルジョイント固定金具の腐食
	凍結割れ	凍結による排水不良
	疲労	本体の破損
		固定金具の破損
		ジョイントの破損
	ゴム、プラスチックの劣化	固定具の破損
		ジョイントの破損
	伸縮異常	排水管の亀裂
		継ぎ手の破損
		地震による変形、破損
	排水不良	排水桝、排水管のつまり
流末処理		
断面、勾配の不足		
風、と受けるによる欠損		

現在、189種類の診断セットが概成！

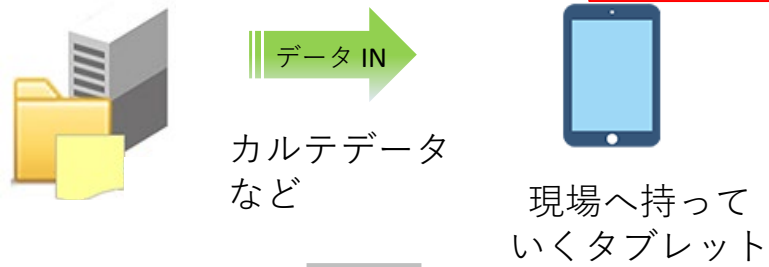
4. 診断AIシステムの改良状況 ～昨年度からの主な改良点～

【昨年度紹介した診断支援システム】



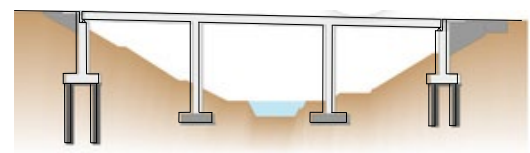
【改良した診断AIシステム】

①現場に行く前の情報整理



現地でも
使用可能

②現場での変状データを入力



- 床版下面
- ☒ 複数の格子状(亀甲状)のひび割れがある
 - ☐ 角落ちがある
 - ☐ ○○

画面イメージ

診断結果

診断結果は、現場や事務所等どこでも確認可能



4. 診断AIシステムの改良状況 ～診断AIシステムの開発の流れ～

ステップ1: 診断セットの作成

ステップ2: フローチャート (処理ルール) の作成

ステップ3: プロトタイプシステムの整備

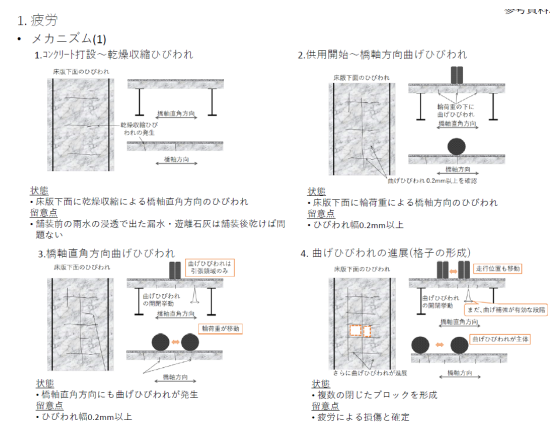
診断AIシステムプロトタイプが完成
RC床版、床版橋(下部構造等も含む)

ステップ4: 現場実証・改良

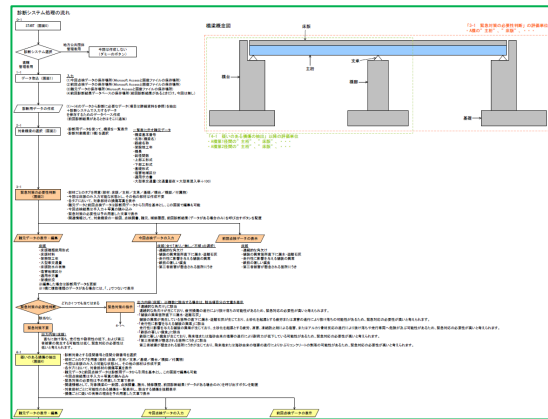
R2年度下半期に、東北地整と茨城県の
管理橋梁を対象に現場実証を実施

ステップ5: システムの改良と対象部材の拡大 (現在着手中)

ステップ6:
診断AIシステムver1.0(コアシステム)の構築と 診断AIシステムの標準仕様の整理



診断セットの例(RC床版)



フローチャートの例 (RC床版)



自治体職員やコンサル
との現場実証



地整職員との
現場実証

5. 診断AIシステムのデモ ～対象橋梁～

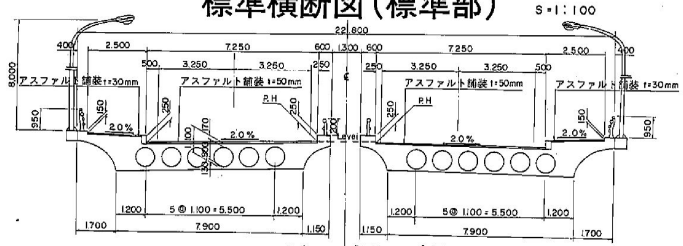
基本情報

管理者:茨城県
路線名:水戸鉾田佐原線
供用年:1988年(S55道示)
上部工:RC連続中空床版
橋 長:185m
径間数:10径間
幅 員:有効9.75m(全幅員10.75m)
交通量:大型車1301台/24h
備 考:飛来塩分の影響:あり
凍結防止剤の散布:なし
床板防水工:なし

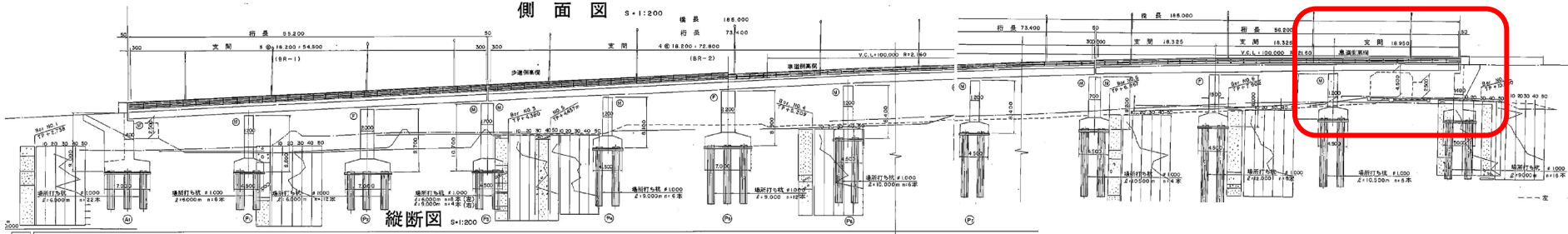
現況写真



標準横断面図(標準部)



側面図



対象径間
(第10径間)

5. 診断AIシステムのデモ ～対象橋梁の概要～

側面



主桁変状 (ひびわれ・遊離石灰)



5. 診断AIシステムのデモ ～対象橋梁の概要～



排水桝変状 (土砂詰り)



6. 今年度の診断AIシステムの改良の内容

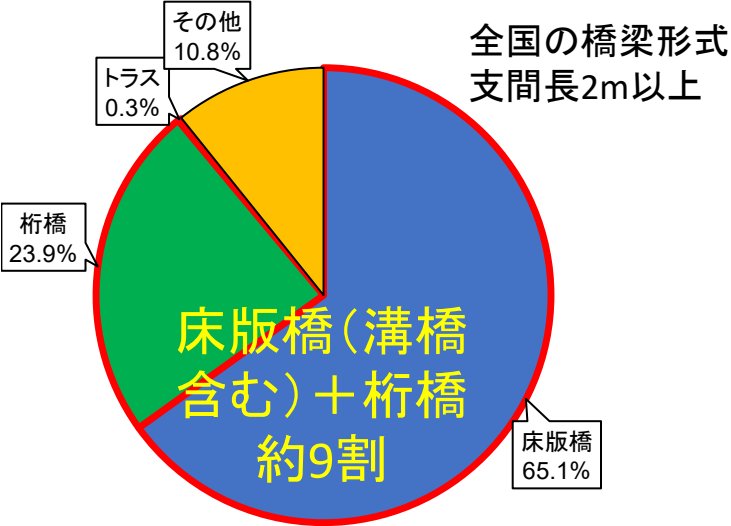
<現時点の対象部材>

「RC床版」、「床版橋上部構造」、「支承」、
「橋台・橋脚」、「基礎」、「伸縮装置・排水装置」



<今年度中に追加予定部材>

「鋼トラス」、「鋼桁」、「RC桁」、「PC桁」等



全国にある橋梁の約9割に対応

<システムの改良内容>

1.自治体向けに、国提出様式の 一部を出力する機能

様式1

項目	内容
橋名	橋名
所在地	所在地
橋長	橋長
橋幅	橋幅
橋脚	橋脚
橋台	橋台
基礎	基礎
伸縮装置	伸縮装置
排水装置	排水装置

様式2

写真番号	写真内容	位置情報
写真1	橋脚	橋脚
写真2	橋台	橋台
写真3	基礎	基礎
写真4	伸縮装置	伸縮装置
写真5	排水装置	排水装置

2.損傷写真に位置情報を紐付 ける機能

床版橋:漏水・遊離石灰

位置情報	橋軸方向	中央	▼
橋軸直角方向	G1側	▼	

3.非熟練者向けに、用語の解説 を表示する機能

(チェックシート画面の例)

舗装の異常 ☐有/☐無

代表的な写真・説明を表示

(2)詳細例(1/6)

【コンクリート床版】

写真番号 15.3.1

部材名 舗装 (R-P-A-Pm)

備考 舗装の亀裂のひびわれ幅が5mm以上である。

7. おわりに

- ✓ 「診断(処方までを含む)」の支援のため、熟練診断技術者の専門知識や経験等を集約し、診断結果の案と、案に至った根拠等を出力するシステムのプロトタイプ(RC床版、床版橋)が概成。
- ✓ 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り、本研究では、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。全ての症例への対応は難しいが、診断において特に重要と考えられる知見を、実務で利用しやすい形で集約。
- ✓ 実務で使いながら改良を繰り返し、各種の知見を蓄積していくことや、予防保全のための各種の研究成果等を反映していくことが重要であり、R3年度には、そのベースとなる橋梁診断支援AIシステムver1.0(RC床版、床版橋＋桁橋、鋼トラス)を構築予定。定期点検の3巡目(R6年～)から全国的な展開を目指し、検討を進める。

本日は、AI共同研究における診断AIの開発状況について報告しました。（検討途上で、今後内容の変更もあります）