

2025年10月17日
土木研究所講演会

構造物の予防保全型メンテナンスの推進 ～早期発見・早期治療のための技術～

国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)
橋梁構造研究グループ長 石田雅博

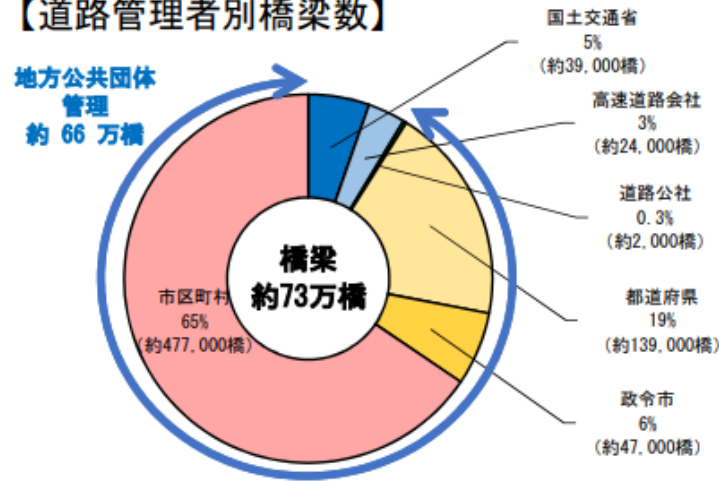
研究開発プログラム 構造物の予防保全型メンテナンス に資する技術の開発

プログラムリーダー：橋梁構造研究グループ長
研究期間：令和4年度～令和9年度

道路橋ストックの高齢化

- わが国には橋梁が約73万橋あり、このうち地方公共団体が管理する橋梁は全体の9割以上
- 建設後50年を経過した橋梁の割合は、10年後(2032年度)に約59%に急増
- 立地環境が厳しい箇所など、一部の構造物で老朽化による重大な損傷が顕在化

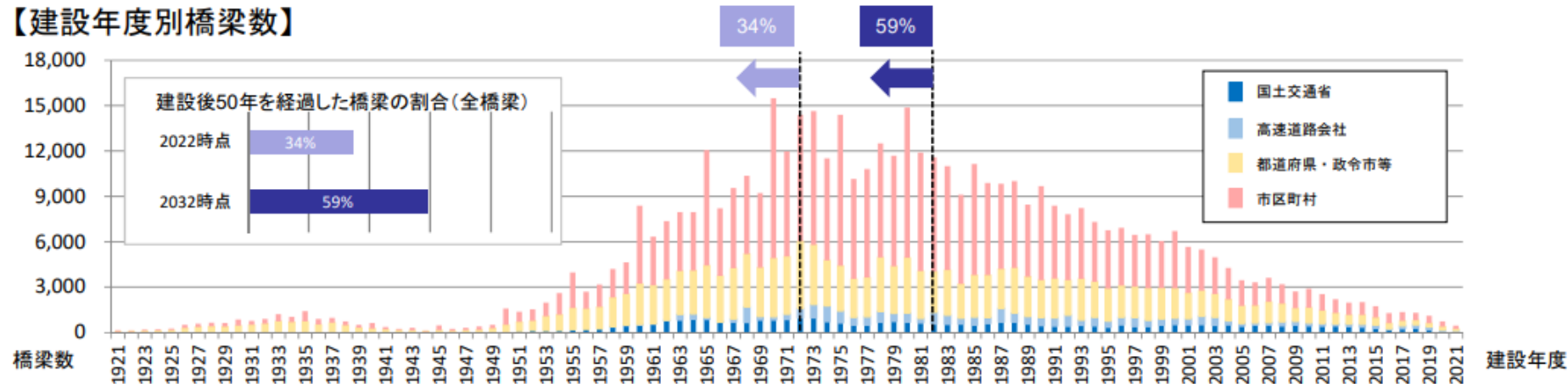
【道路管理者別橋梁数】



【重大な損傷の事例(橋梁)】



【建設年度別橋梁数】



建設後50年以上経過する社会資本の割合

高度経済成長期以降に整備された道路橋、トンネル、河川、上下水道、港湾等について、建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。

※施設の老朽化の状況は、建設年度で一律に決まるのではなく、立地環境や維持管理の状況等によって異なるが、ここでは便宜的に建設後50年で整理。

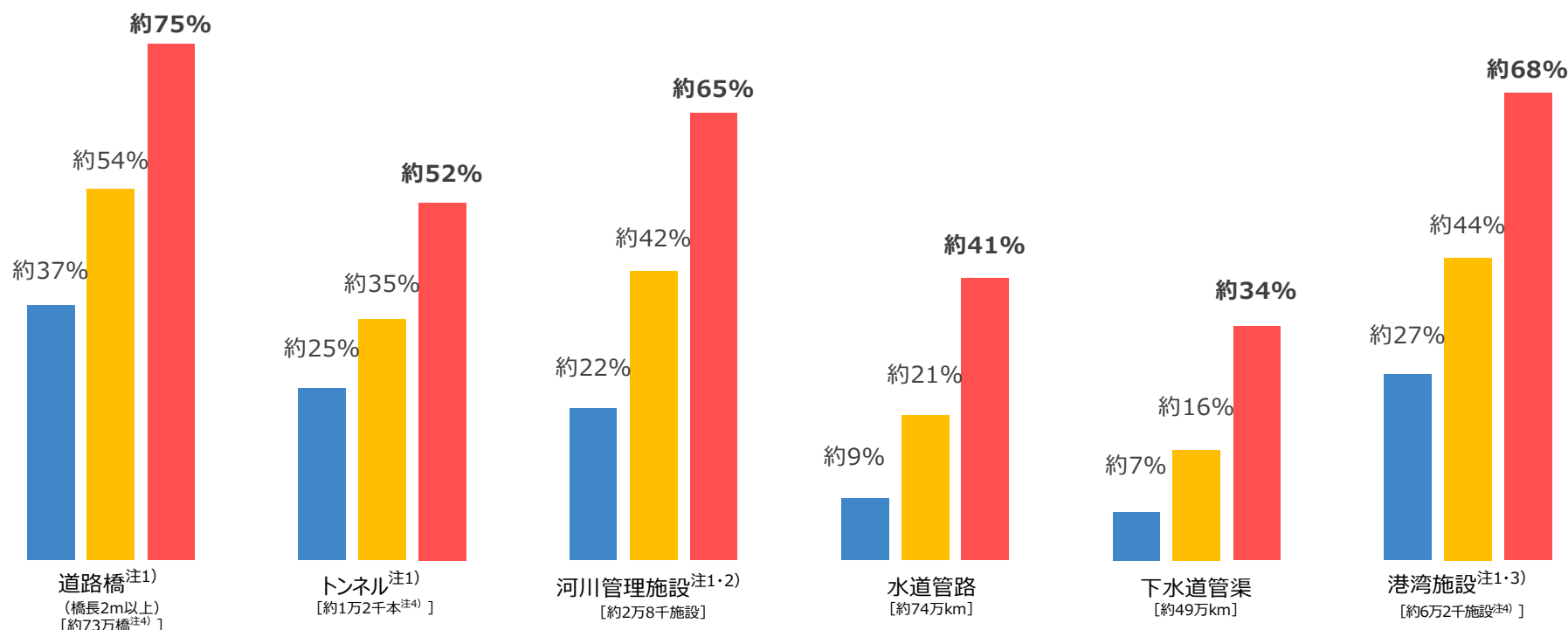
【建設後50年以上経過する社会資本の割合】（2023年3月時点）

[] : 各施設の総数（総延長）

■ 2023年3月

■ 2030年3月

■ 2040年3月



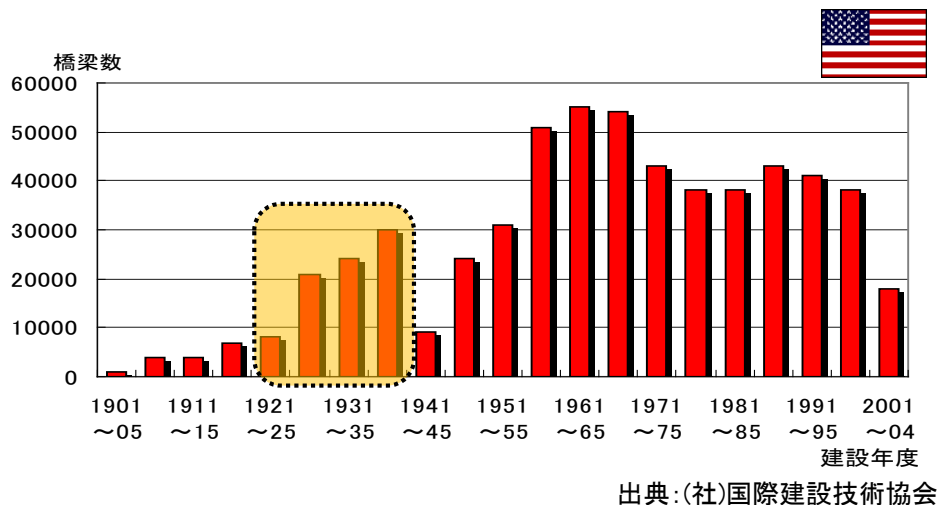
注1) 建設後50年以上経過する施設の割合については、建設年度不明の施設数を除いて算出。

注2) 国：堰、床止め、閘門、水門、揚水機場、排水機場、樋門・樋管、陸閘、管理橋、浄化施設、その他(立坑、遊水池)、ダム。独立行政法人水資源機構法に規定する特定施設を含む。
都道府県・政令市：堰(ゲート有り)、閘門、水門、樋門・樋管、陸閘等ゲートを有する施設及び揚水機場、排水機場、ダム。

注3) 一部事務組合、港務局を含む。

注4) 総数には、建設年度不明の施設数を含む。

建設後50年の意味とは・・・



アメリカでの一例



1983年 マイアナス橋
(コネチカット州)が
鋼桁の疲労ひび割れ
が原因で崩壊

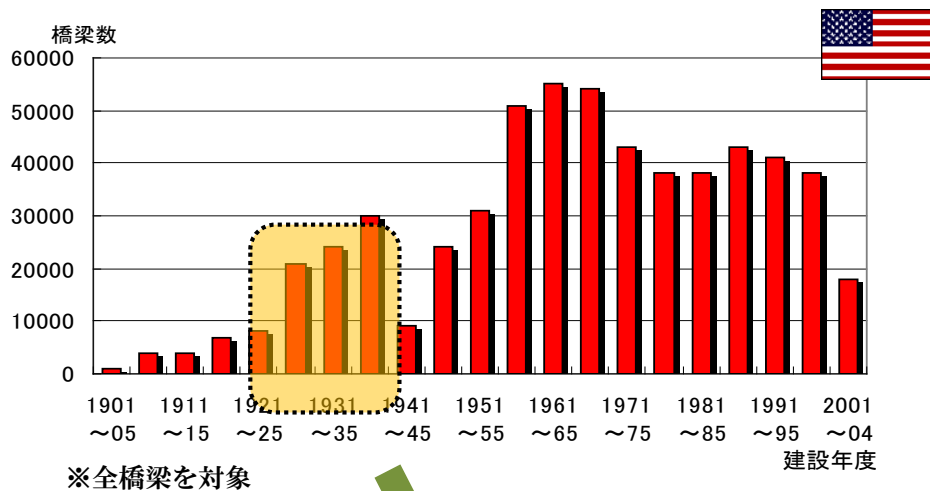


アメリカでは1930年代のニュー
ディール政策※により大量に建設され
た道路構造物で、**50年後**の1980年
代になると老朽化による崩壊、損傷、
通行止めが相次ぎ**「荒廃するアメリ
カ」**と呼ばれる状況に陥る。

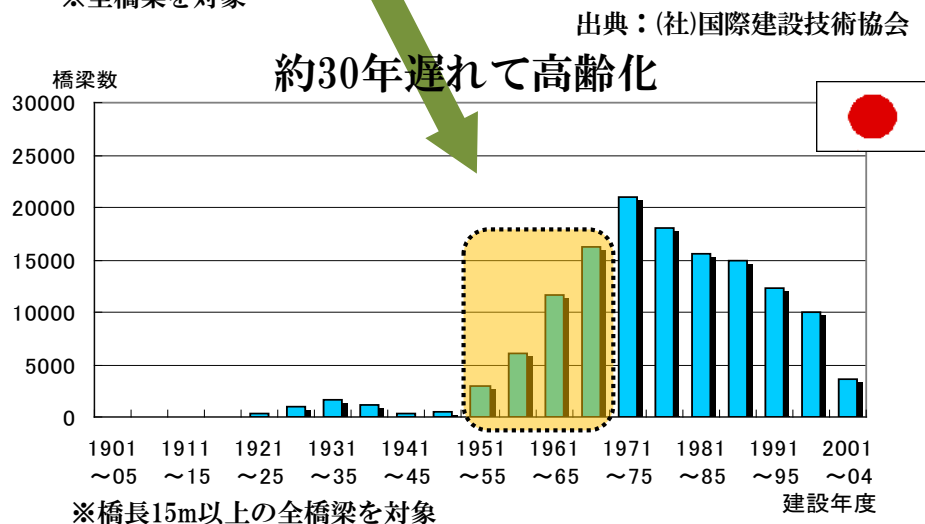
※当時の大統領フランクリン・ルーズベルトが世界恐慌を克服するために行った経済政策で、失業者の雇用のため公共施設建設、公共事業を全米に広めた。

出典: 国土交通省道路局資料

日本における建設後50年とは・・・



日本での一例



2007年 木曽川大橋
(三重県)でトラス
斜材の破断により115
日間の通行規制



50年経過するものが今後ますます増える。

出典：国土交通省道路局資料

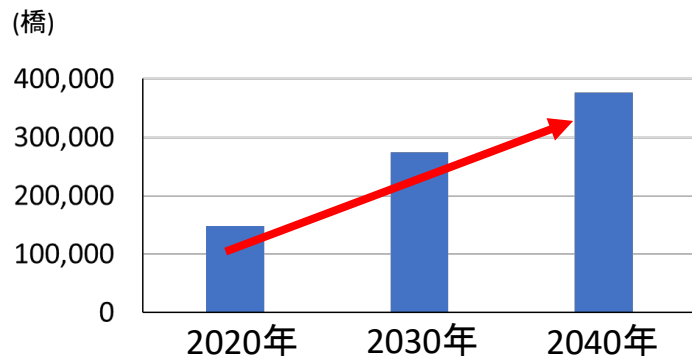
予防保全によるインフラの長寿命化の必要性

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

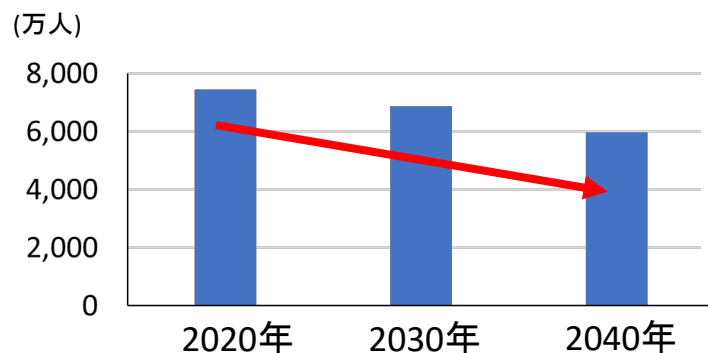
建設から50年
以上経過した橋
(建設年次不明な
橋は除く)

出典:道路メンテナンス
年報(令和2年度・二巡目)

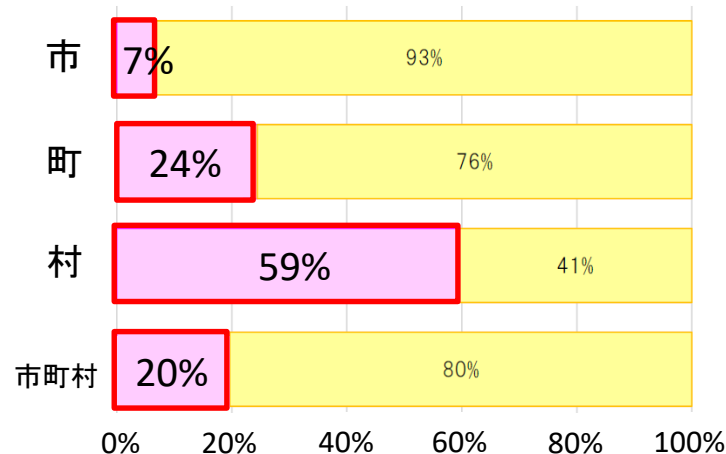


生産年齢人口
(15～64歳)の
推移

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

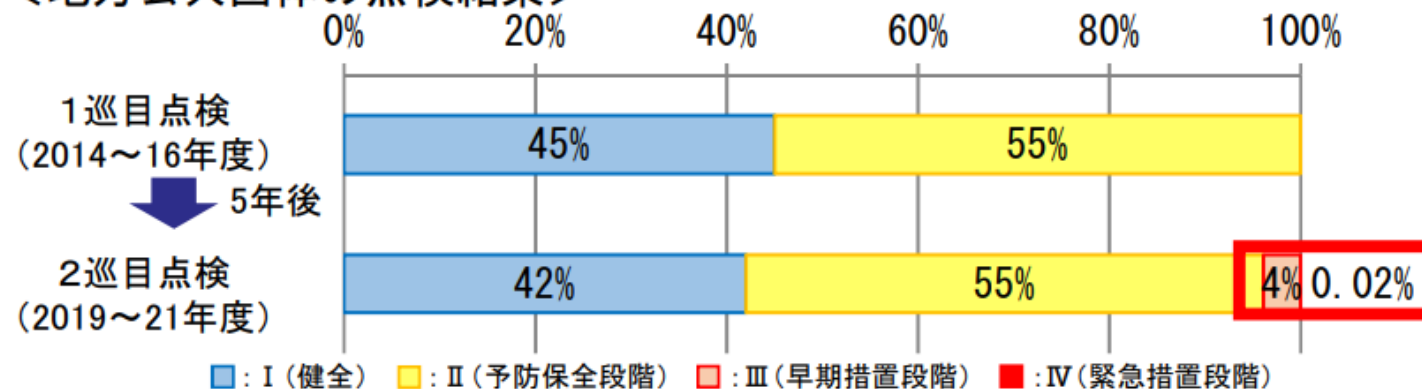
出典 国土交通省HP

<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

持続可能なインフラメンテナンスに向けて

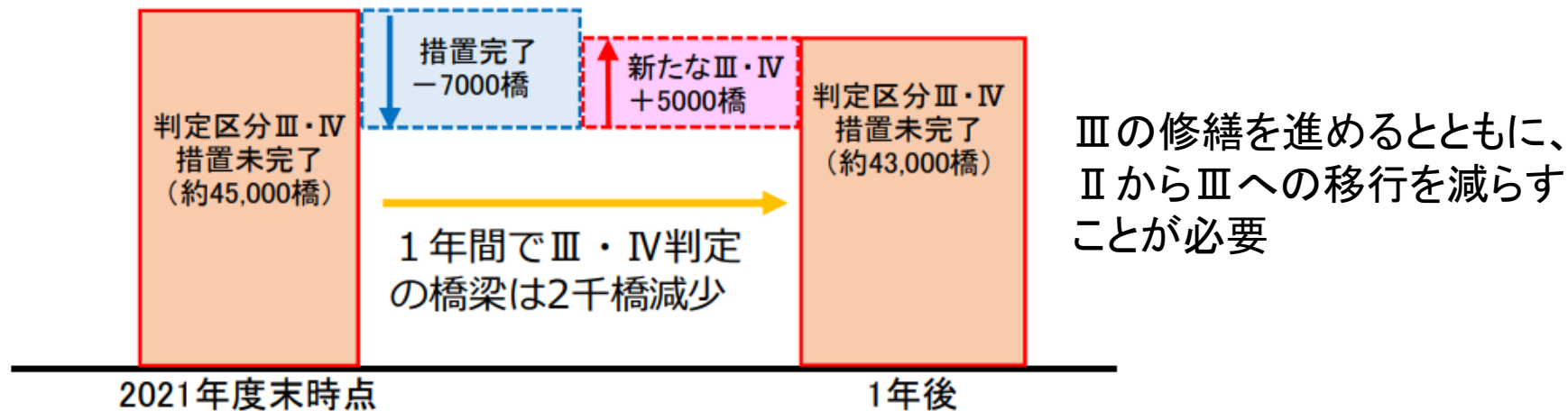
＜地方公共団体の点検結果＞



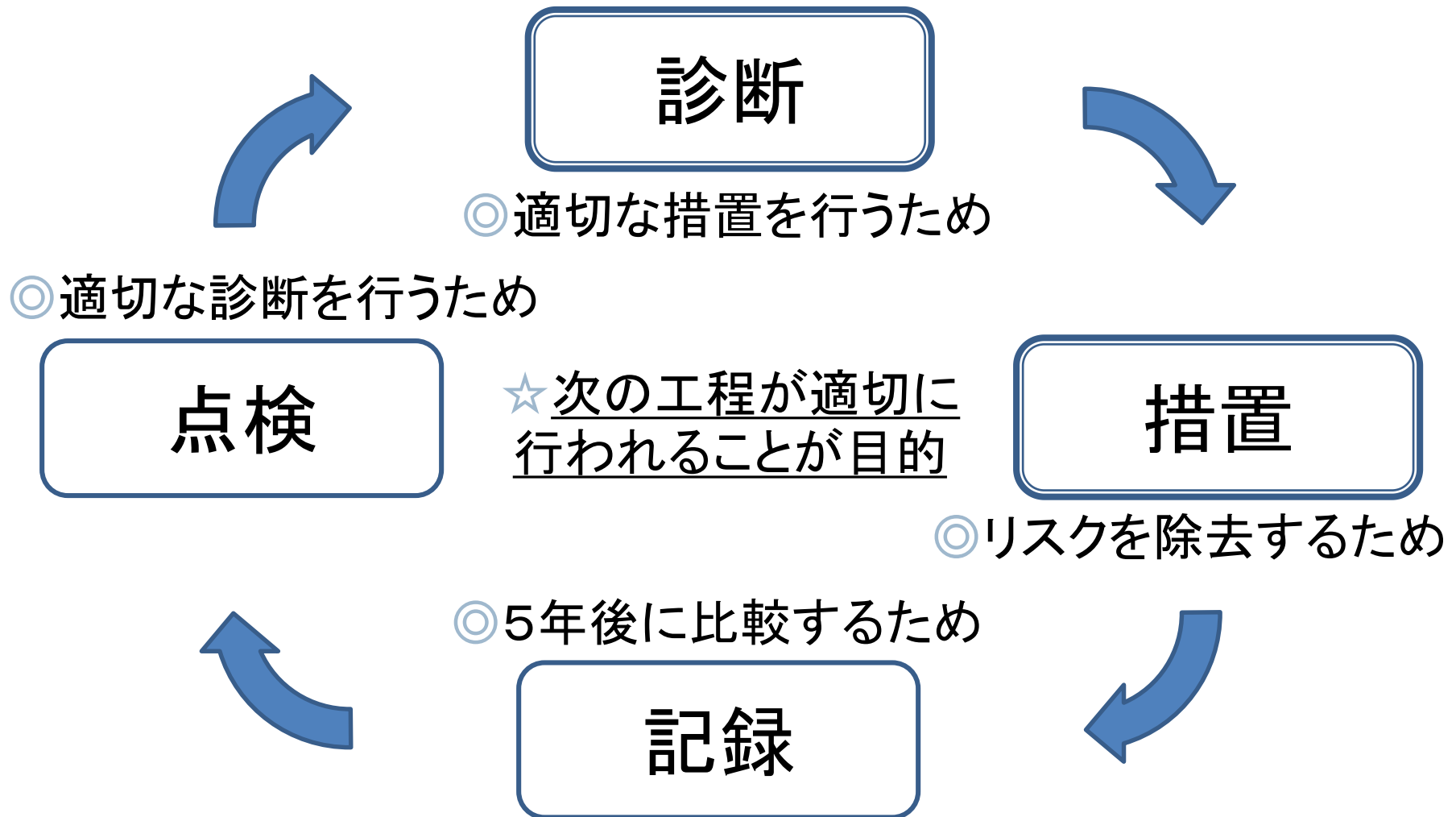
【予防保全への移行】

- ・現在の予算ベースでは予防保全への移行へは約20年かかる見込み
(2021年度末基準)

＜地方公共団体のⅢ・Ⅳ判定桥梁の措置完了数推移イメージ＞



メンテナンスサイクル それぞれ何のために行うのか？



プログラム目標と達成目標

プログラム目標	達成目標
構造物の予防保全型メンテナンスを可能とする技術の開発	(1)適切な診断を可能とするために、変状を的確かつ合理的に捉える点検技術の開発
	(2)損傷メカニズムに応じた状態評価と措置方針を示す診断技術及び支援システムの開発
	(3)構造物の設置環境、施工上の制約などに対応した効果的な措置技術の開発

橋梁診断支援AIシステム



橋梁診断支援AIシステムの公開(2024.12)

<https://www.pwri.go.jp/caesar/activity/research/40-diagnosis-support-technology/ai-system.html>

国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター



CAESAR (シーザー)

Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

[ホーム](#) / [主な活動](#) / 橋梁診断支援AIシステムの概要

診断AIシステムのダウンロード

診断AIシステムは、以下のURLからご利用いただけます。
ご利用の際には、利用規約への同意が必要です。

[公共データ利用規約](#)

☐ 利用規約を読み、同意しました。

診断AIシステムのダウンロード

診断AIシステムのインストール

診断AIシステムのインストール手順についてはこちらをご確認ください。 なお、インストール方法は、【DockerDesktop版】と、【WSL2+Docker版】の2通りあります。下記内容をご確認のうえ、利用環境に応じてどちらかを選択してご利用ください。

	【DockerDesktop版】	【WSL2+Docker版】
利点	インストールが簡単で、システム状況が分かりやすい。	企業規模に限らず無料で使用可能。
欠点	従業員数250名以上もしくは年間売上高1000万ドル以上の企業が商用利用する場合、有料サブスクリプションが必要。	- インストールが複雑で、システム状況を確認するにはLinux等について知識が必要。 - WSL2に各ファイルを配置する必要あり。

• [インストールマニュアル \(DockerDesktop版\)](#)

• [インストールマニュアル \(WSL2+Docker版\)](#)

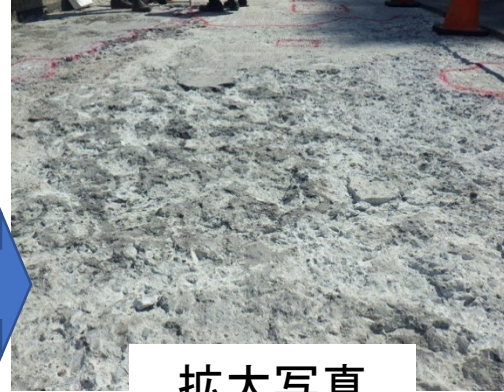
※ プロキシ設定がされている端末をご使用の場合は、こちらのマニュアルをご参照ください。

• [インストールマニュアル \(WSL2+Docker版\) プロキシ設定あり](#)

橋の長寿命化のために重要なこと

□ 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

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

損傷が
軽微な段階
(予防保全段階) → 床版防水

損傷が
進行した段階 → 床版打ち替え + 床版防水



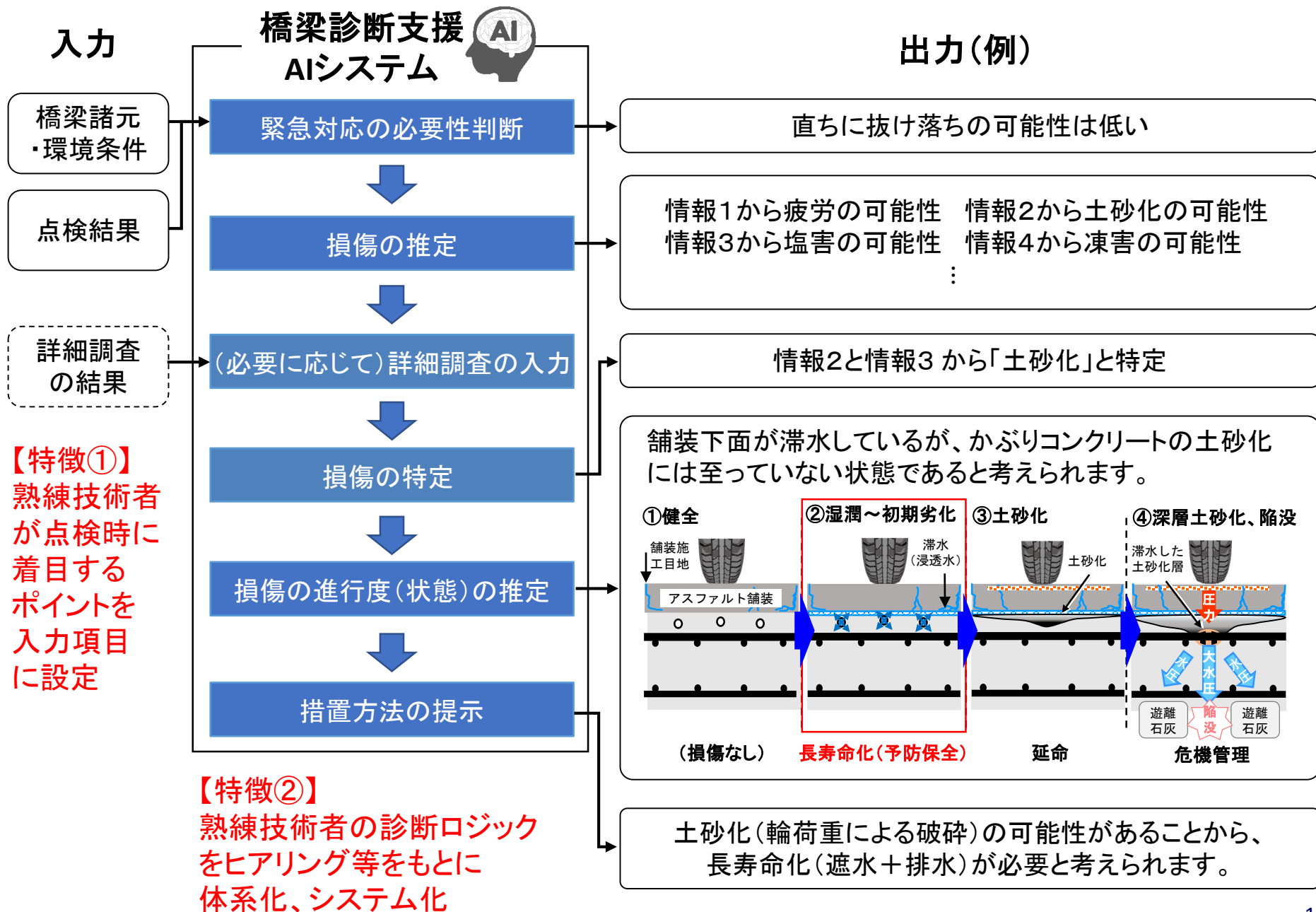
床版の土砂化の疑いがある場合は、
損傷が軽微な段階で措置を行うことが
重要

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

橋梁診断支援AIシステムの概要



【特徴】診断セット

□ 熟練技術者の点検における着目点、診断ロジックを共同研究内で整理・確認し、**「診断セット」**として体系化。診断セットをもとにフローチャートを作成し、システムを構築。

→ **「診断セット」**もダウンロードページであわせて公開中。

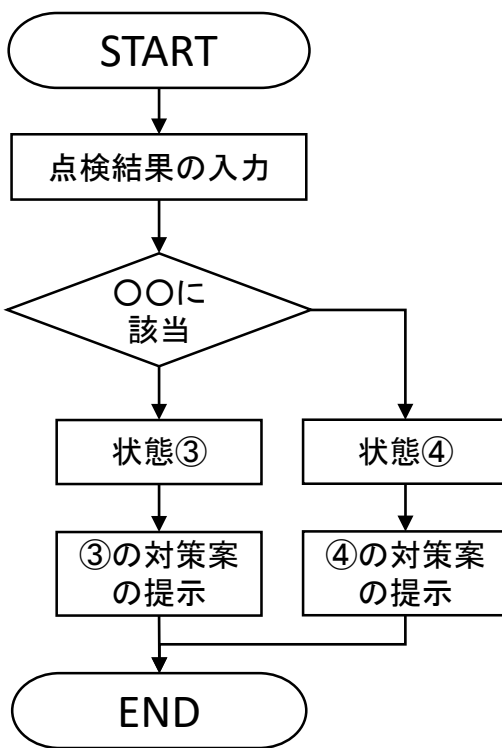
共同研究内の熟練技術者の
知識や考え方を整理



診断セットの検討会の様子

診断セットとして体系的に整理

- ・損傷のメカニズム
- ・損傷の進行度に応じた点検、診断、措置の一連の情報



フローチャートのイメージ



エキスパートシステム※
を構築

※専門家の知識や推論をデータ
化し、専門家のような判断処
理を出来るシステム

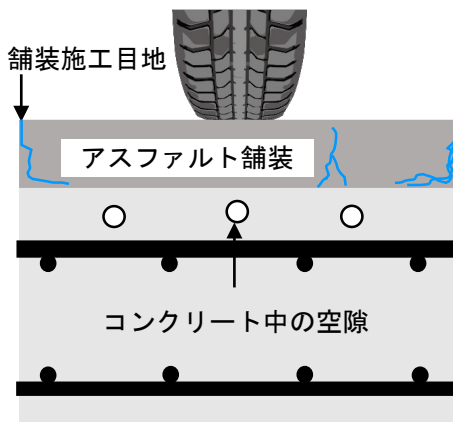
ディープラーニングとは異
なり大量の教師データを
必要とせず、**診断の結果**
が説明可能

【特徴】診断セット

- 「診断セット」では、部材・損傷ごとに、損傷が進行するメカニズムを図示。
- メカニズムの段階ごとに、「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」、「措置の方針」、「工法例」を整理。

RC床版の土砂化(輪荷重)の損傷メカニズム(推定)

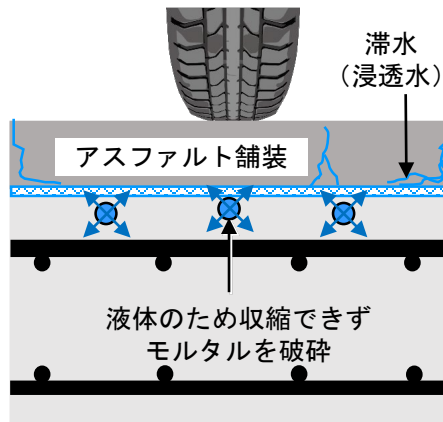
①健全



【措置の方針】

(損傷なし)

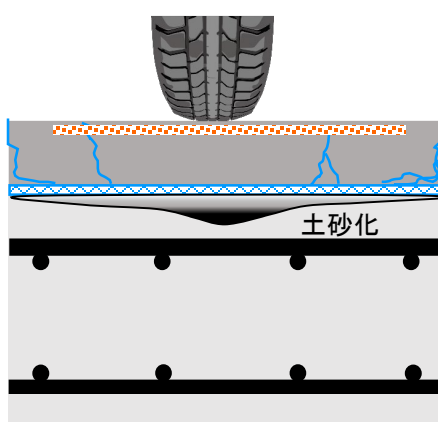
②湿潤～初期劣化



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

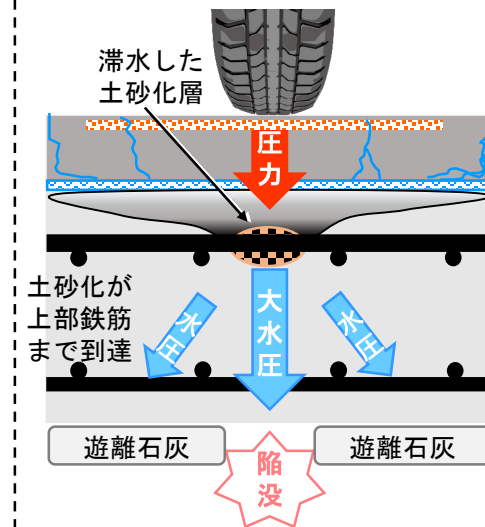
③土砂化



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

④深層土砂化、陥没



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

損傷の進行度の順序

【特徴】診断セット

- 「診断セット」では、部材・損傷ごとに、損傷が進行するメカニズムを図示。
- メカニズムの段階ごとに、「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」、「措置の方針」、「工法例」を整理。

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	
②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	床版防水 のみであれば コストは小さい
③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	措置が 大掛かりと なりコスト増 となる
④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	

□ 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、判断の参考となる根拠や説明もあわせて出力
 - 長寿命化が可能な**予防保全の段階の見極め**などを支援
(定期点検の「健全性の診断」を行うものではない)

□ 利用規約

- デジタル庁が公開している「公共データ利用規約(第1.0版)」(PDL1.0)による
 - 利用時の出典の明記や第三者の権利(著作権等)を侵害しないこと等を
順守すれば、商用利用等の**二次利用も可能**

システムの更なる改良のため、システムの利用についてのご意見・ご質問や、システムを活用して研究開発を行った事例について、情報提供フォームへの投稿のご協力をお願いします。



RC床版の土砂化



損傷の兆候無し(5年前)

陥没が発生(左写真から5年経過)

RC床版の土砂化

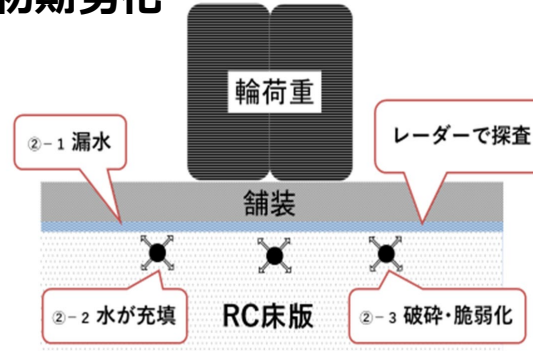


メカニズム(仮説)

①健全



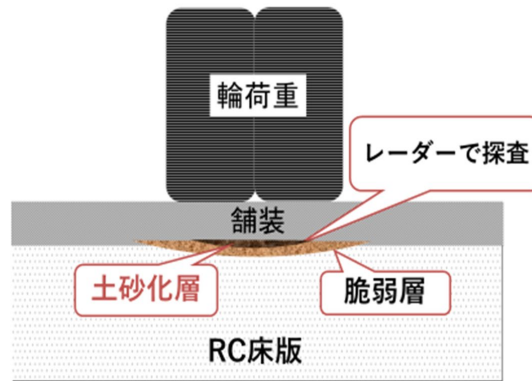
②湿潤～初期劣化



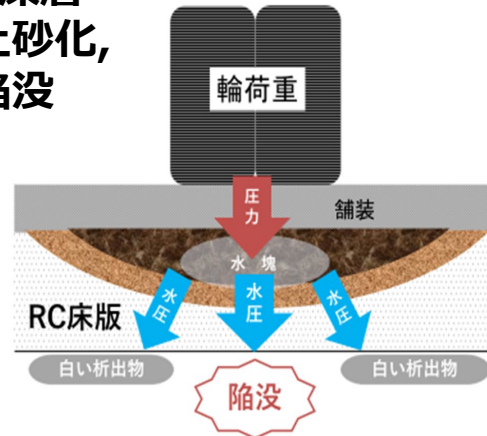
原因は床版への水の侵入

◆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

③土砂化



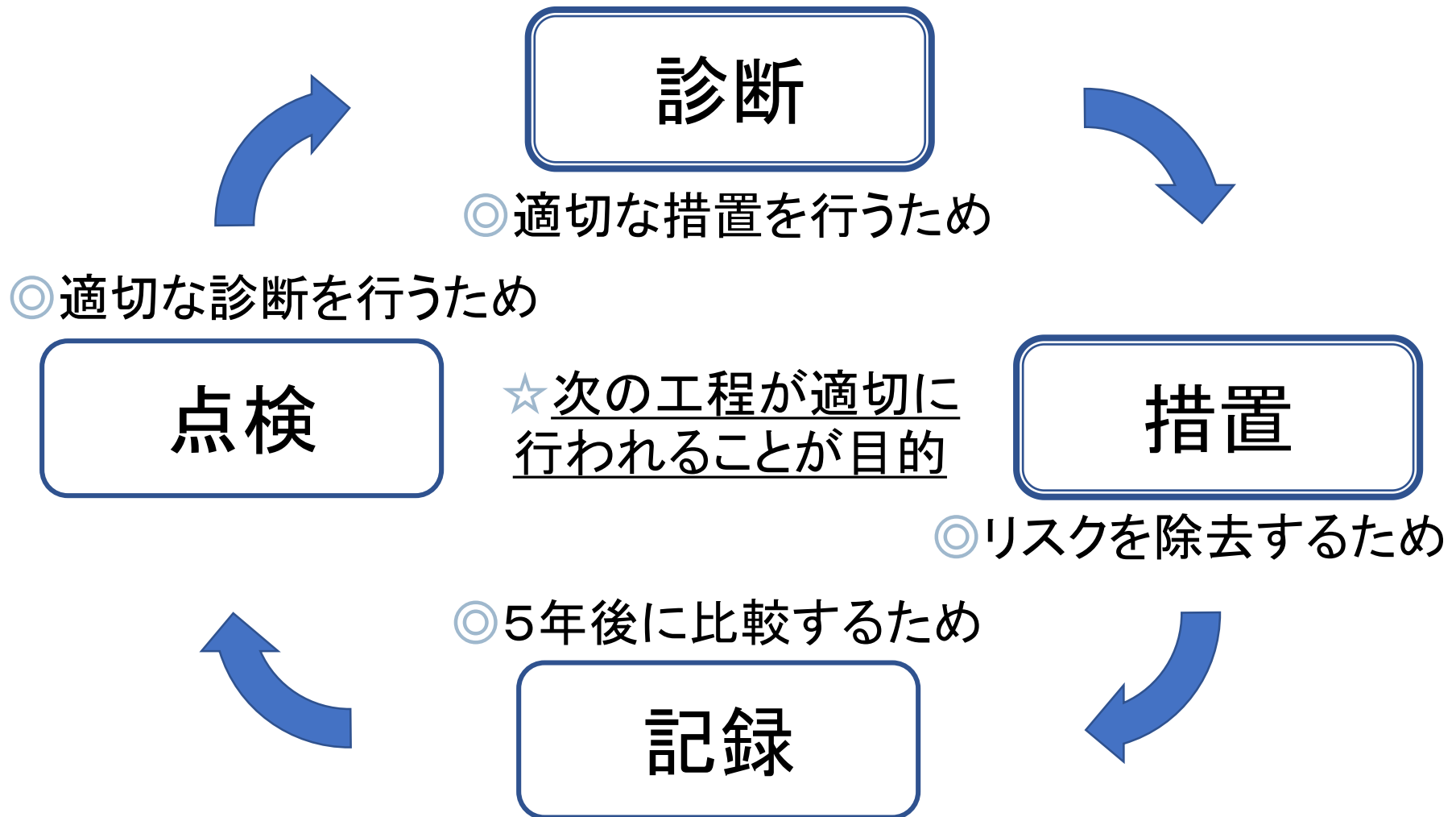
④深層土砂化, 陥没



◆RC床版土砂化補修対策
⇒コスト大
→床版の部分更新等

※上記の他、凍結防止剤による塩害、凍害、アルカリ骨材反応などが複合的に発生する場合も考えられる

早期発見・早期治療のための技術





RC床版の土砂化に対する早期検知技術の開発

RC床版土砂化の現状

土砂化による抜け落ちが主流に

5年前の点検写真
損傷の兆候なし

一面の遊離石灰にも注目



大問題！ 下からの点検だけでは**予防保全**は不可能

RC床版土砂化の現状





4. 1 RC床版土砂化の現状



RC床版土砂化の現状

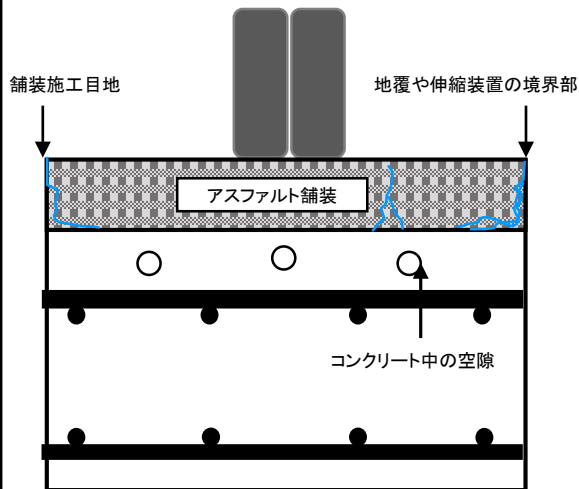




4. 2 RC床版土砂化のメカニズム

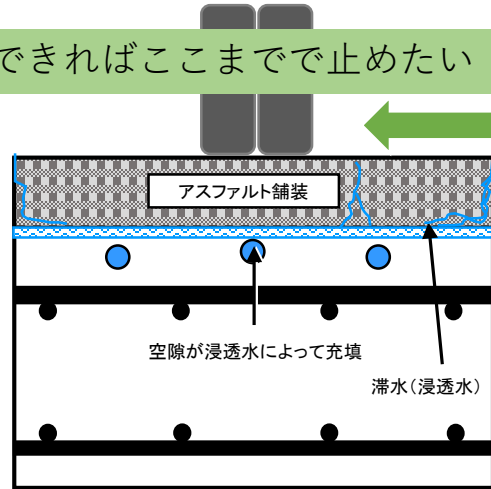
1. 舗装下に水が浸入

舗装の施工目地や伸縮装置、地覆境界、舗装のひび割れ等から水が浸入

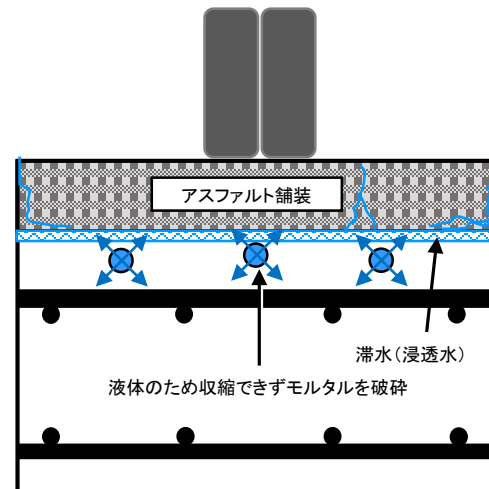


2. 舗装下の滞水 表層コンクリート湿潤

できればここまで止めたい

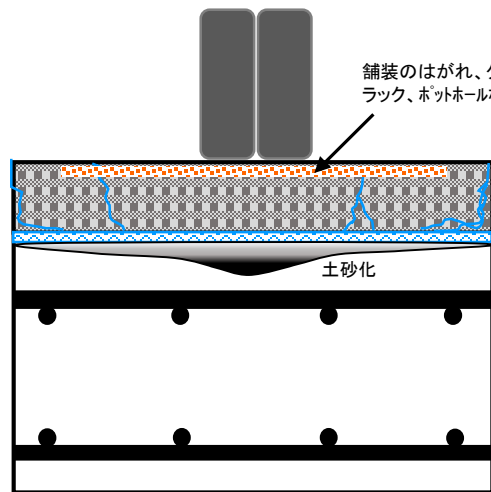


3. 表層コンクリート湿潤 + 初期劣化



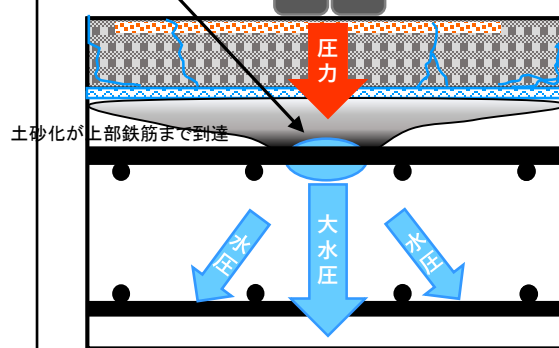
4. 水たまり + かぶり土砂化

舗装のはがれ、クモの巣状のクラック、ポットホールなどが生じる



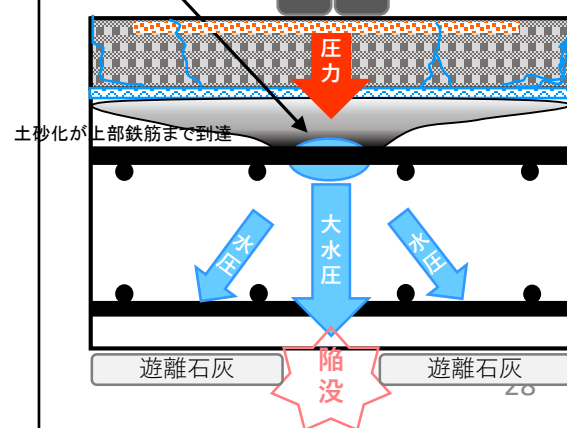
5. 深層土砂化

滞水した土砂化層



6. 陥没

滞水した土砂化層





4. 3 電磁波レーダを用いた滞水箇所の検出

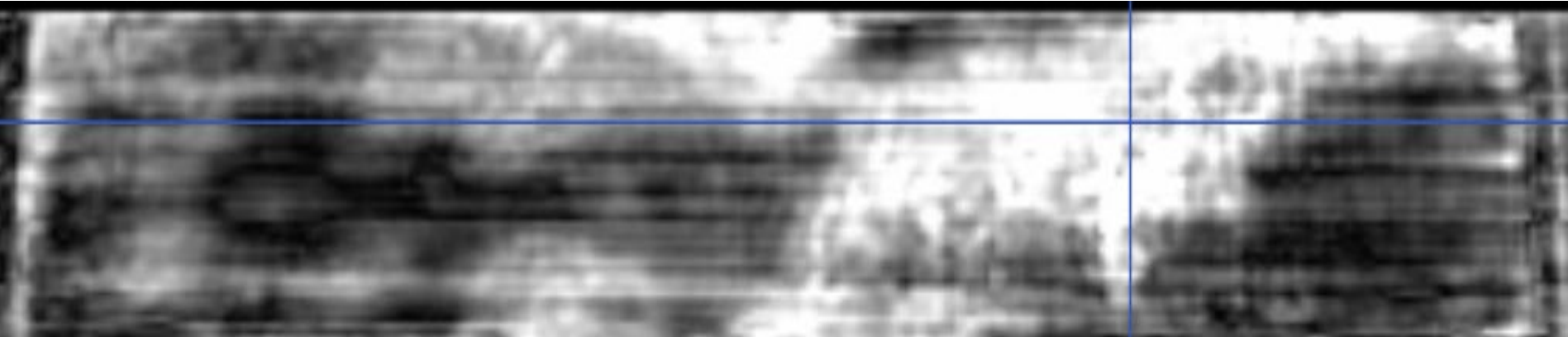


車載式電磁波レーダ(交通規制することなく40km/h～60km/h走行でデータ取得可能)



4. 3 電磁波レーダを用いた滞水箇所を検出

電磁波レーダ計測結果(床版上面平面図)



床版開削後平面写真

中分側



凡例

赤枠: 浮き範囲

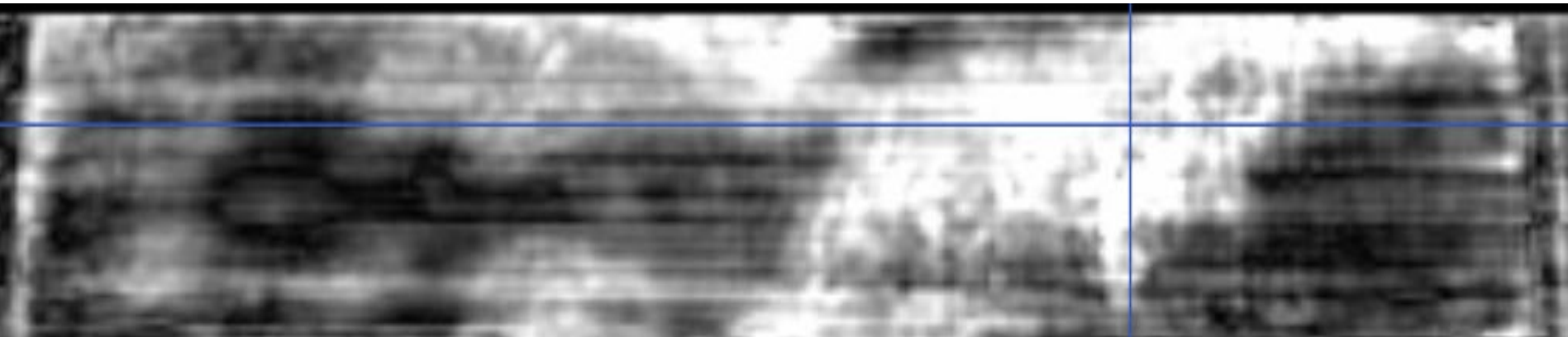
青枠: 土砂化(断面欠損)範囲

地覆側



4. 3 電磁波レーダを用いた滞水箇所を検出

電磁波レーダ計測結果(床版上面平面図)



片車線分の水分計計測値(50cmピッチ)

A1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	A2
0	170	160	833	282	265	213	212	360	140	484	536	521	251	462	520	555	521	298	276	532	578	600	579	887	841	598	723	521	535	708	628	877	688	860	298	820	317	571	530	
50	310	437	521	184	223	657	176	207	194	183	286	599	601	828	851	783	762	267	263	139	520	521	524	384	214	257	588	545	333	181	785	521	822	539	537	282	518	651	817	
100	325	325	192	184	220	235	430	131	156	297	333	242	308	398	875	186	107	198	164	244	269	150	122	264	213	900	475	206	536	218	639	838	868	302	101	238	141	155	157	
150	120	158	99	178	80	157	159	175	151	105	90	129	113	146	111	107	107	128	151	90	152	150	201	870	834	452	520	247	536	149	273	166	162	201	208	181	171	148	212	
200	167	196	124	45	138	135	104	123	125	123	139	108	108	62	84	152	104	158	105	88	136	180	189	176	726	586	532	698	904	183	187	178	170	156	185	166	129	145	198	
250	216	206	144	193	135	147	206	109	148	137	116	146	150	146	117	100	76	63	75	112	132	126	226	531	537	571	564	715	915	763	171	171	132	145	150	143	132	152	599	
300	226	184	133	162	208	222	234	135	198	193	194	177	135	223	250	197	141	158	187	231	74	205	171	438	915	753	301	665	600	202	110	163	231	72	145	132	240	210	169	
350	363	110	238	259	224	209	354	322	241	132	123	179	242	160	224	176	211	187	187	211	172	188	283	261	805	286	258	256	831	235	241	189	304	199	250	163	329	167	522	
400	147	245	256	217	247	219	184	240	174	247	135	180	192	123	189	207	201	209	103	158	165	132	140	175	278	266	202	142	160	143	181	231	165	225	67	138	229	113	149	
450	534	537	688	520	378	93	525	525	644	521	339	347	238	542	248	598	538	535	554	532	236	524	683	629	685	492	233	535	532	321	160	283	522	522	609	298	644	719	489	



4. 3 電磁波レーダを用いた滞水箇所の検出

片車線分の水分計計測値(50cmピッチ)

A1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	A2
0	170	160	833	282	265	213	212	360	140	484	536	521	251	462	520	555	521	298	276	532	578	600	579	887	841	598	723	521	535	708	628	877	688	860	298	820	317	571	530	
50	310	437	521	184	223	657	176	207	194	183	286	599	601	828	851	783	762	267	263	139	520	521	524	384	214	257	588	545	333	181	785	521	822	539	537	282	518	651	817	
100	325	325	192	184	220	235	430	131	156	297	333	242	308	398	875	186	107	198	164	244	269	150	122	264	213	900	475	206	536	218	639	838	868	302	101	238	141	155	157	
150	120	158	99	178	80	157	159	175	151	105	90	129	113	146	111	107	107	128	151	90	152	150	201	870	834	452	520	247	536	149	273	166	162	201	208	181	171	148	212	
200	167	196	124	45	138	135	104	123	125	123	139	108	108	62	84	152	104	158	105	88	136	180	189	176	726	586	532	698	904	183	187	178	170	156	185	166	129	145	198	
250	216	206	144	193	135	147	206	109	148	137	116	146	150	146	117	100	76	63	75	112	132	126	226	531	537	571	564	715	915	763	171	171	132	145	150	143	132	152	599	
300	226	184	133	162	208	222	234	135	198	193	194	177	135	223	250	197	141	158	187	231	74	205	171	438	915	753	301	665	600	202	110	163	231	72	145	132	240	210	169	
350	363	110	238	259	224	209	354	322	241	132	123	179	242	160	224	176	211	187	187	211	172	188	283	261	805	286	258	256	831	235	241	189	304	199	250	163	329	167	522	
400	147	245	256	217	247	219	184	240	174	247	135	180	192	123	189	207	201	209	103	158	165	132	140	175	278	266	202	142	160	143	181	231	165	225	67	138	229	113	149	
450	534	537	688	520	378	93	525	525	644	521	339	347	238	542	248	598	538	535	554	532	236	524	683	629	685	492	233	535	532	321	160	283	522	522	609	298	644	719	489	

水分状態の分類結果(AI(機械学習:ランダムフォレスト)による試算)

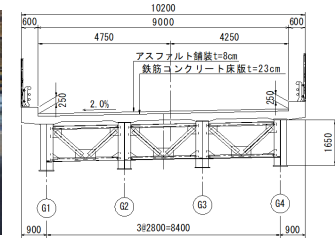


4. 3 電磁波レーダを用いた滞水箇所の検出

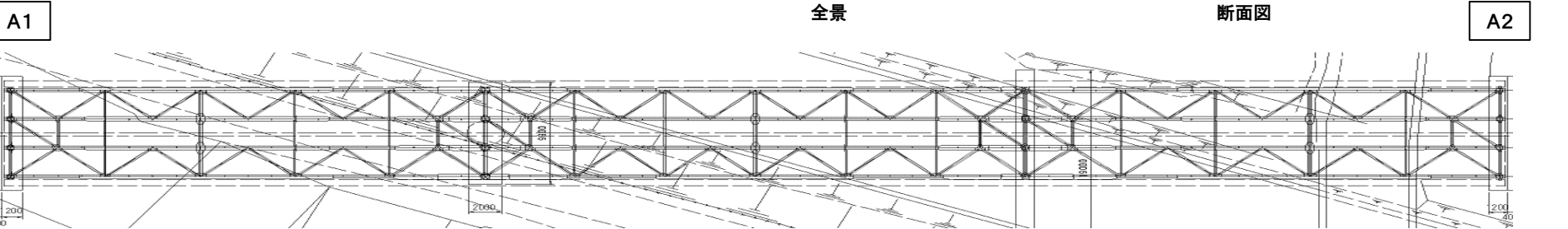
橋梁諸元
橋梁形式:3径間連続鋼鈑桁橋(92m(29m+33m+29m))
架設年度:昭和61年(供用後34年経過)
健全度 :Ⅲ



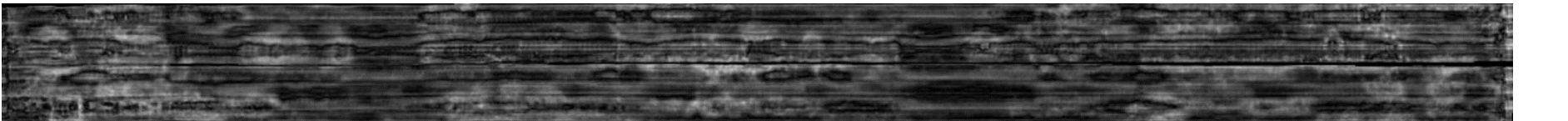
全景



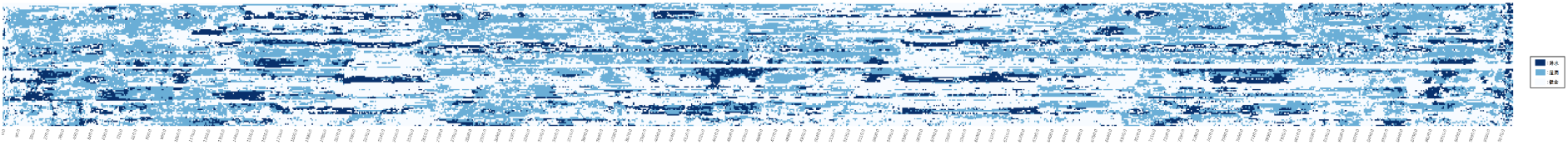
断面図



橋梁諸元

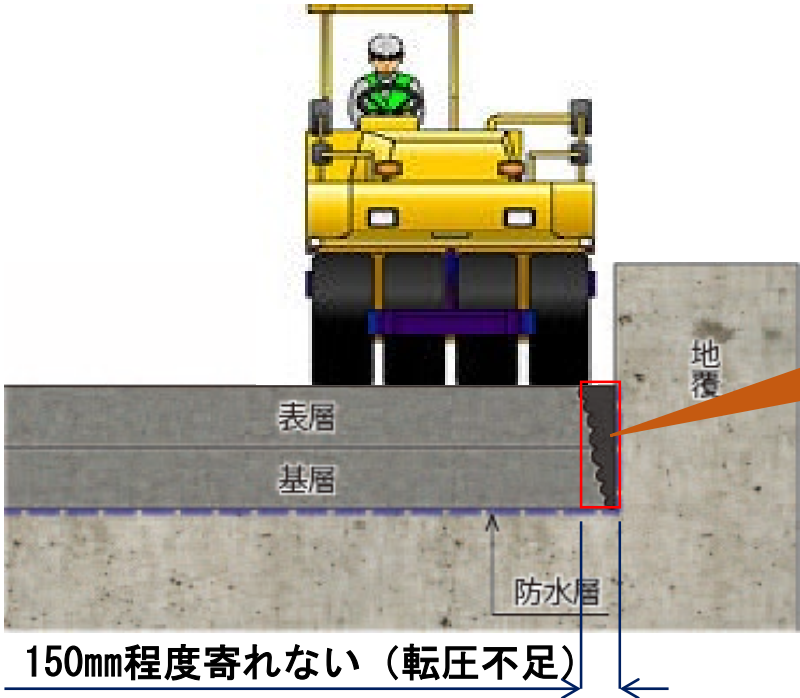


電磁波レーダ計測結果



滞水推定結果

防水工の施工時の問題点



空隙 (水の侵入)

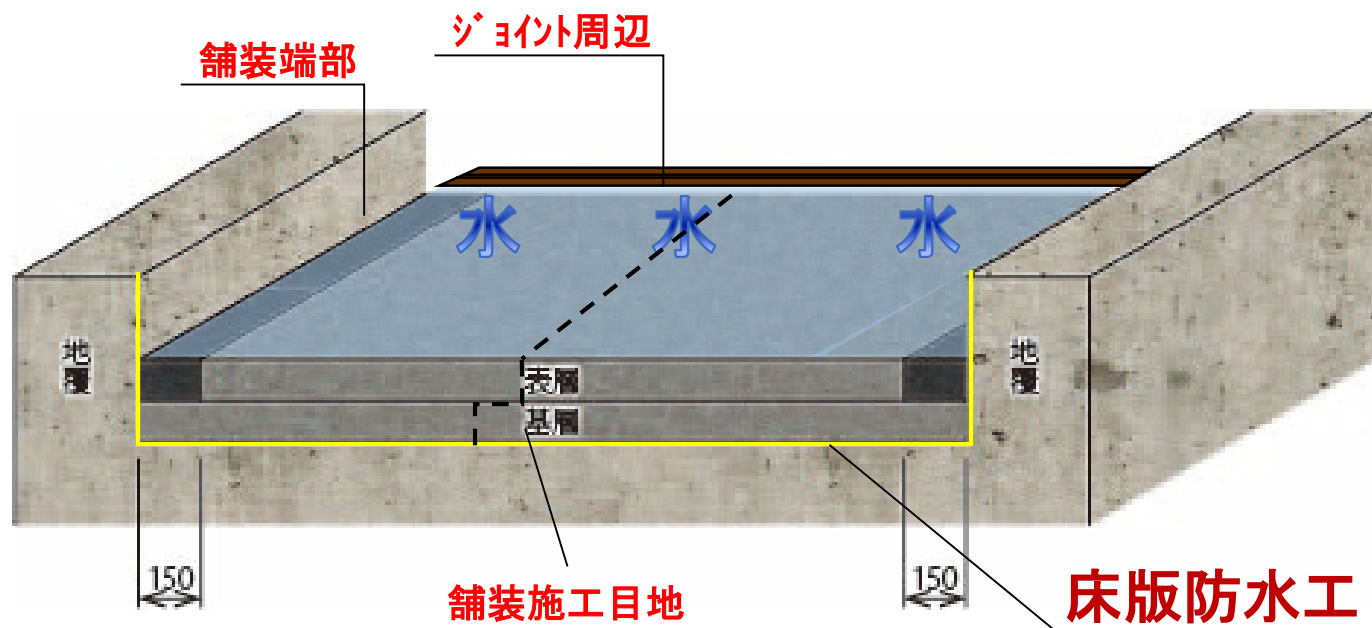
舗装

地覆

転圧不足により空隙・縁切れが発生しやすい。

この範囲は十分な転圧ができない

- ・ 舗装更新と共に舗装施工目地にも適用できないか？
⇒ 端部処理への有効性と共に目地処理に利用可能かを検証



■ 設計・施工の留意点

施工目地に部分補修として実施すると夏場の温度変化などで軟化し走行性が低下する可能性がある。

補強の早期劣化の防止

【達成目標③】 構造物の設置環境、施工上の制約などに対応した効果的な措置技術の開発

検査時には気づかれない補強の早期劣化原因を明らかに

注目ポイント

施工後数年ではく離する連続繊維補強の早期劣化対策

実橋梁調査と化学分析から低温高湿に起因した早期劣化メカニズムと原因物質カルバミン酸を特定。簡便な対策で不具合をなくすことに大きく寄与する重要な証左を得た。

研究概要

床版補強の早期劣化現象解明

施工直後の検査では見つけられない樹脂の硬化不良を分光学的に検証。温冷繰り返しではく離に至る過程をはじめて再現。

令和6年度の成果

- ・ 実橋梁ではく離箇所の付着試験を実施。
- ・ 採取した樹脂の分析から原因物質を特定。
- ・ 施工当時の気象条件から事象の再現に成功。

インフラ維持管理
長寿命化への寄与

橋梁部門との連携

①事例調査

地整との連携

補修マニュアル
現場への反映

②現地調査・分析

対策・普及

③再現試験
メカニズム解明

世界初!

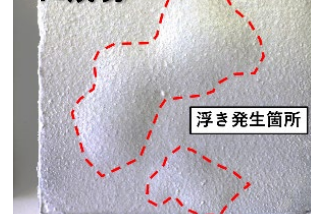
←イマコ

研究室
ノウハウ



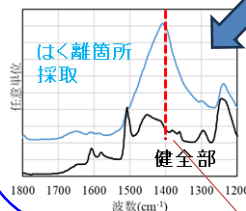
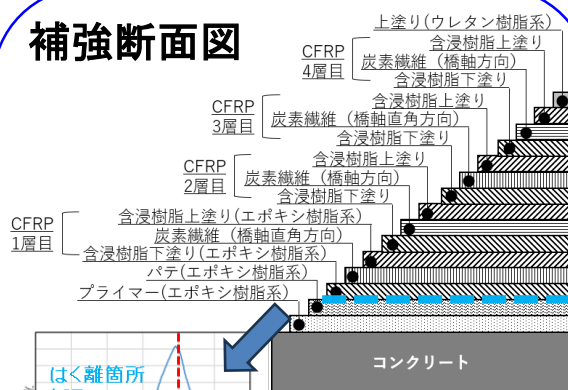
現地付着試験

室内試験による再現
に成功

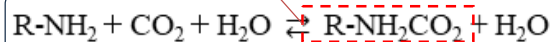


温冷繰り返しによる再現

補強断面図



実構造物はく離箇所
で硬化不良の原因物質
を初めて検出!



低温高湿下で進む意図しない化学反応

- 連続繊維補強は国内年間100万m²の施工実績
- 北米を中心に世界でも普及が進むが、早期劣化に関する原因物質を実構造物で採取・観測・特定できたことが世界初
- 積層施工時の要注意箇所、対策を具体的に実務に反映できる

主な参考文献

- 石田雅博、澤田守、森本敏弘：道路橋メンテナンスの担い手不足に対応する診断支援AIシステムの開発、土木技術資料、Vol.67、No.1、pp.42-45、2025.1
- 山下 翔真,新倉 功也,七尾 雄作,中村 英佑：電磁波レーダ法によるRC床版上面の土砂化の調査手法に関する検討,土木学会年次学術講演会講演概要集第79回,2024
- 小沢拓弥,古賀裕久,中村英佑：土砂化により撤去された道路橋 RC 床版におけるコンクリートの凍結融解抵抗性に関する調査,土木学会全国大会年次学術講演会79th, V-554, 2024.9
- 小沢拓弥,古賀裕久,中村英佑：土砂化により劣化したRC床版内部のひび割れの特徴,土木技術資料, Vol.66, No.10, pp.8-11, 2024.10
- 大屋貴生、百武壮：施工後20年以上経過した連続繊維シート補強箇所の調査、土木技術資料、Vol.67、No.4、2025.4