

AIによる床板の土砂化の 判定について

令和4年6月14日

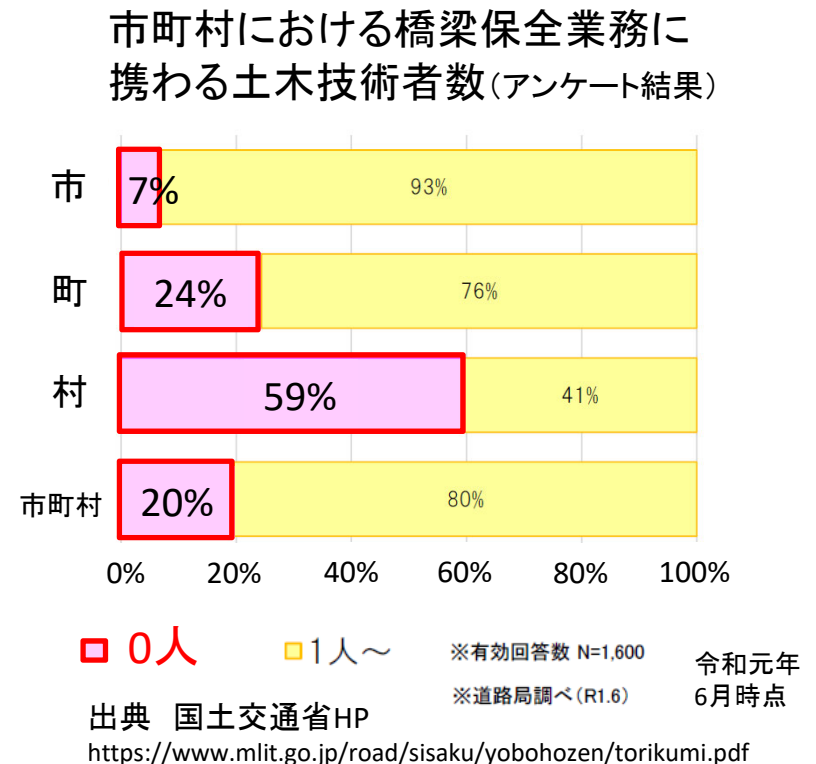
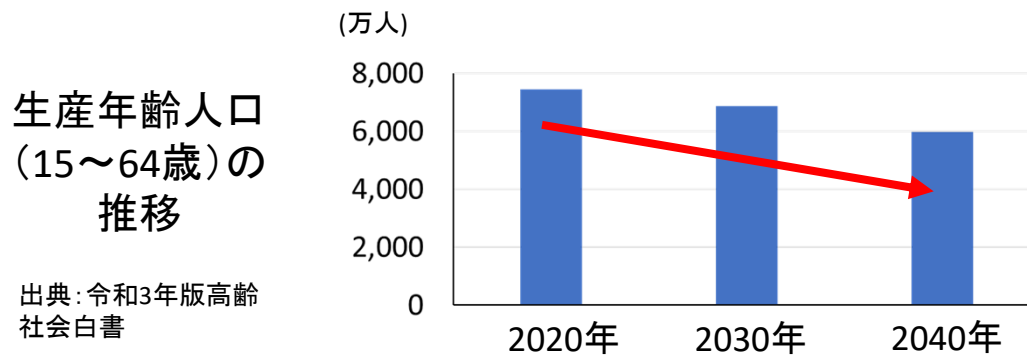
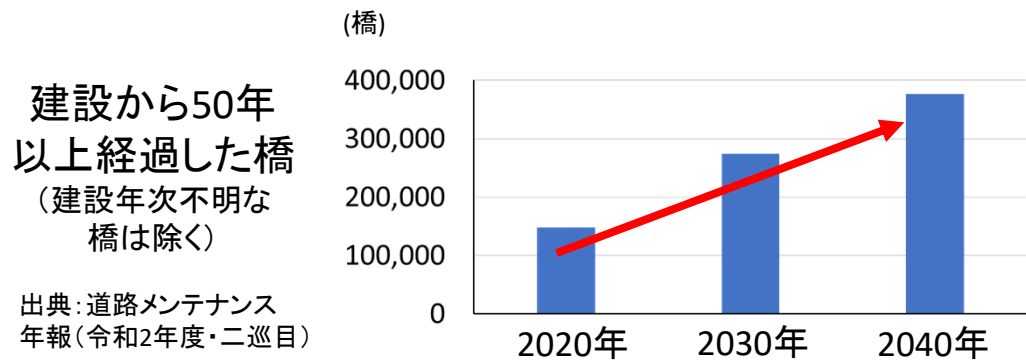
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)
上席研究員 石田雅博



AIを活用した道路橋メンテナンスの研究～背景と目的～

道路橋メンテナンスの課題

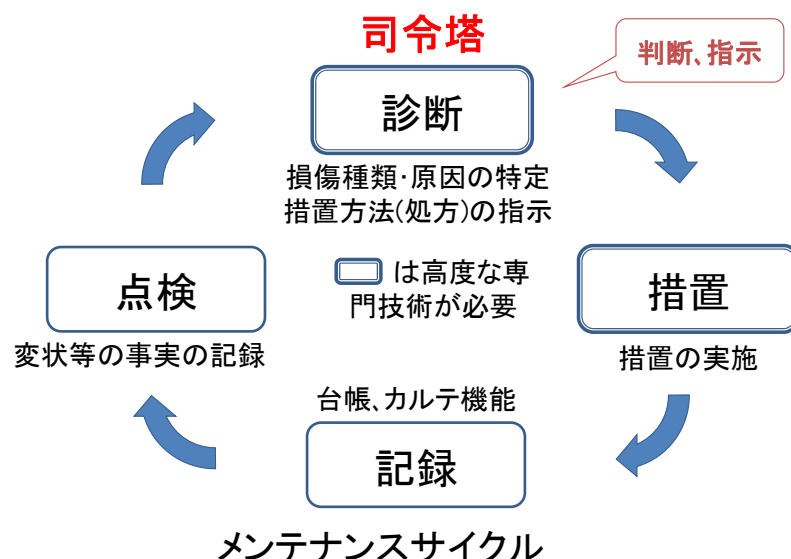
- 道路橋の高齢化、損傷の顕在化
- 今後の人口減少に伴うメンテナンスの担い手不足、技術者不足



- 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(AI)の必要性

AIを活用した診断技術の開発～橋梁診断支援AIシステムの開発～

- 橋のメンテナンスのプロセスでは、「点検」の次に、点検で得た情報をもとにその橋がどのような状態なのか判断する「診断」を行う。
- 土木研究所では橋の点検情報等を入力することで、「損傷及び原因、措置方針等の診断結果」を出力する橋梁診断支援システム(診断AIシステム)を開発中。
- 地方公共団体などの道路管理者の診断業務を支援し、診断の信頼性向上を図ることで、適切な措置につなげる。



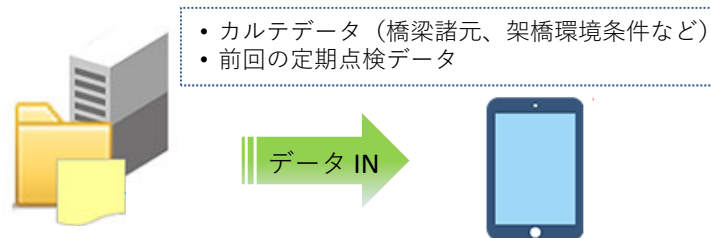
システム使用状況
(タブレットにシステムを入れることで現場で直接入力が可能)

診断AIシステム～想定している使い方～

①現場に行く前の情報整理

事務所（点検現場へ行く前）

- 現場に行く前にカルテ等の情報をシステムに入れる



データが保存されている
ファイルサーバーやPC

現場へ持っていく
タブレット

- 事前入力が見たい情報（カルテ等の情報で不足する情報、自動読み取りができない情報）の追加入力をシステムが指示

- 防水層の有無が不明です
- 凍結防止剤の散布の有無が不明です

以下を入力してください

- 防水層がある
- 凍結防止剤を散布する

- 人が事前にできるかぎりデータを入力（事後入力も可能）

タブレットに入力（イメージ）

③診断（結果の出力）

現場・事務所
（いつでも）

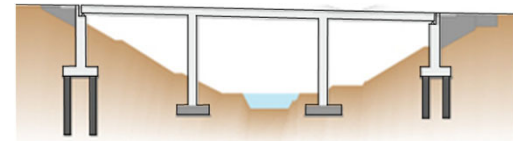
- 詳細調査の指示
- 損傷及び原因、進行度、措置方針等の提示



②現場における変状データの適切な取得

現場（定期点検）

- 事務所で入れた情報に基づき、診断で必要となる入力項目がシステム上に表示されるため、タブレットに従い、現地で橋の状態を見ながら情報を入力



～以下タブレットの画面イメージ～

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
- **次へ**

アシスト機能

入力項目を
階層化して
効率化
（要相談）

複数の格子状（亀甲状）のひび割れの説明
0.2mm以上のひび割れが橋軸方向及び橋軸直角方向に生じ、格子状（亀甲状）に生じており、その格子状（亀甲状）のひび割れが、隣接して複数発生している変状。



（該当する状態の例）

床版下面

- 複数の格子状（亀甲状）のひび割れに遊離石灰又は漏水を伴っている

データ入力の最後

チェック機能

入力完了

以下のデータが不足しているため入力してください
 床版コンクリートの剥離・剥落がある

診断AIシステム～点検結果の入力画面の例～

チェックシート

諸元情報の入力
点検結果の入力

対象部材を選択

RC床版
主桁(床版橋)
支承
橋台・橋脚・基礎
伸縮装置・排水装置

共通
疲労
土砂化1
土砂化2
土砂化3
土砂化4
塩害1
塩害2

橋梁管理番号
000201

名称
鳴瀬大橋

径間番号
1

径間分割番号
0

点検年度
2021
(西暦)

診断セットから抽出した診断に必要な項目

連続的な角欠け
舗装の異常箇所直下に著しい漏水・遊離石灰
格子状（亀甲状）のひびわれ
走行性に影響を与える舗装の異常
鉄筋の著しい腐食
第三者被害が懸念される箇所にうき
橋軸直角方向ひびわれ
橋軸方向ひびわれ幅0.2mm以上
複数の閉じたブロックを形成

点検で得られた情報を選択

	今回			前回（参考）		
	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明
	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明
	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明
	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明
	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明
	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明
	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明
	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明	<input type="radio"/> 有り	<input type="radio"/> 無し	<input type="radio"/> 不明

変状写真を登録可能

写真

写真

写真

写真

写真

写真

写真

診断AIシステム～損傷の進行度の出力画面の例～

(7) 損傷の進行度(状態)の推定

橋梁管理番号: 000101

径間番号: 5

径間分割番号: 0

床版 主桁(床版橋) 支承 橋台・橋脚・基礎 伸縮装置・排水装置
 疲労 土砂化1 土砂化2 土砂化3 土砂化4 塩害1 塩害2

基礎データ

諸元情報

点検情報(今回)

点検情報(前回)

1. 諸元関連

No.	データ項目	値
1	床版種類使用形式	場所打床版
2	床版材料	コンクリート系
3	架設竣工年	1951
4	大型車交通量	537

2. 点検結果

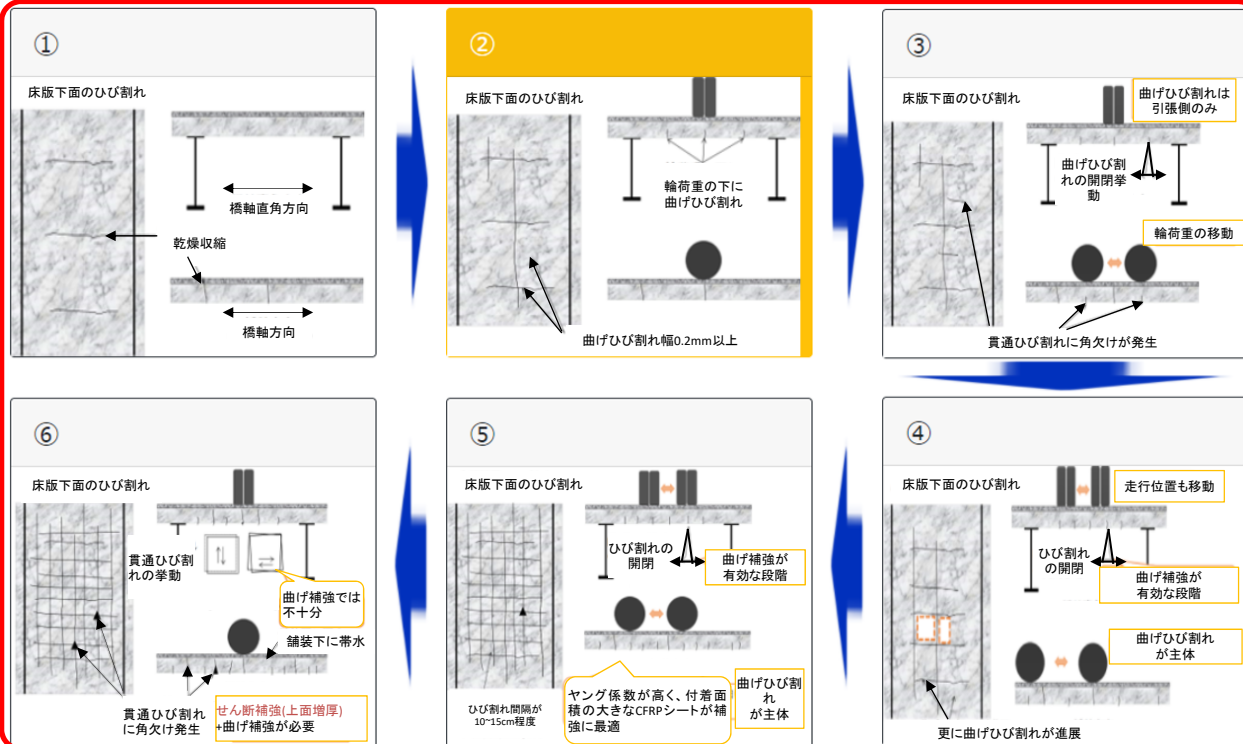
No.	データ項目	値
1	橋軸直角方向ひびわれ	有り
2	橋軸方向ひびわれ幅0.2mm以上	有り
3	格子状(亀甲状)のひびわれ	無し
4	複数の閉じたブロックを形成	無し

3. 前回の点検結果

No.	データ項目	値
1	橋軸直角方向ひびわれ	無し
2	橋軸方向ひびわれ幅0.2mm以上	無し
3	格子状(亀甲状)のひびわれ	無し
4	複数の閉じたブロックを形成	無し

状態の特定と措置方針

損傷の進行程度



診断AIシステム～診断結果の出力画面の例～

(9) 診断結果 (措置方針)

橋梁管理番号 : 000101

径間番号 : 3

径間分割番号 : 0

RC床版

主桁(床版橋)

支承

橋台・橋脚・基礎

伸縮装置・排水装置

損傷及び原因

格子状(亀甲状)のひびわれが広範囲で発生していることから、輪荷重の繰り返し作用を原因とする「疲労」であると考えられます。車線部の床版上面が常に滞水し、土砂化が発生していることから、「土砂化(輪荷重による破砕)」であると考えられます。疑いのある損傷に「海砂による塩害」はありません。

損傷の進行度(状態)の推定

【疲労】格子密度が飽和状態に達し、損傷発生範囲も広範囲で、曲げひびわれが床版全厚を貫通しているため、「状態⑥」と考えられます。
【土砂化1輪荷重による破砕】舗装下面が滞水している可能性があり、土砂化が床版深部に及んでいることから、「状態⑤」と考えられます。

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。

損傷の原因や進行状態、措置方針案について、根拠を付けて出力

措置方針(案)

- ▼
- 1 ひびわれ密度が飽和し貫通ひびわれが増加した段階で、路線重要度が高い場合には床版取替が望ましい。
- 2 走行性に影響を与える舗装の異常が発生している場合には通行規制が必要となる。
- 3 補修箇所の再劣化が頻発し、路線重要度も高い場合には、床版取替が望ましい。
- 4 漏水・遊離石灰が確認された場合、または床版防水がされていない場合には床版防水工を追加する。床版下面に漏水・遊離石灰が発生していない場合には、床版防水の実施優先度は低いと考える。

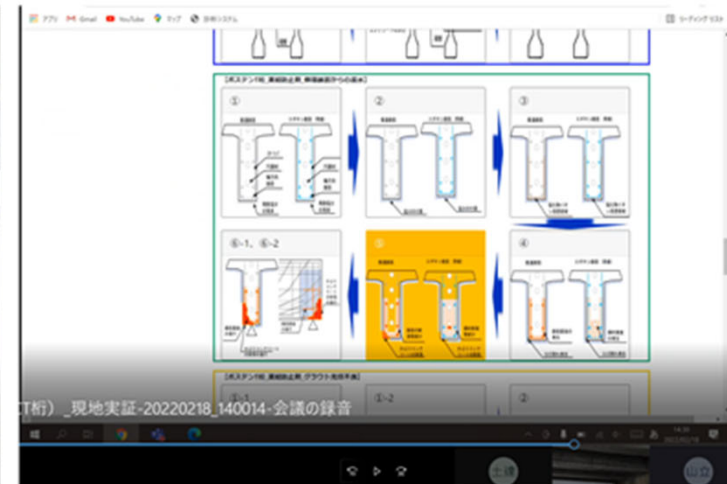
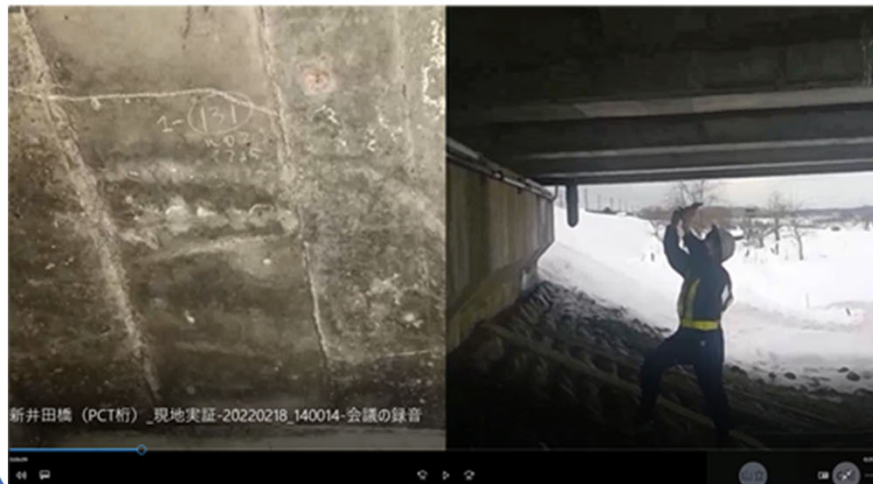
追加情報の入力

カルテに保存

矛盾、未解決のため再検討

自治体管理橋梁のシステムの実証(R3年度)

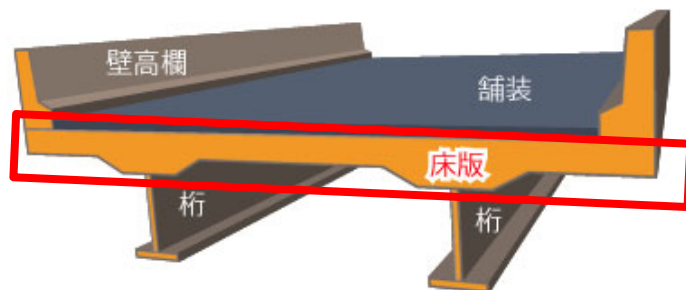
- 昨年度、自治体管理の橋梁を対象に診断AIシステムの実証試験を実施。
- 降雪により現場に行けなかったため、現場からはWEB会議システムを活用することでリアルタイムで現場の映像を送ってもらい、遠隔操作により実施。



昨年度の自治体管理橋梁での実証風景

AIによる床版土砂化の要因である水の検知技術

- 橋には疲労・腐食・塩害など様々な損傷要因が存在。特に、床版は疲労損傷しやすく、これまで対策がとられてきたが、近年は**コンクリート床版の土砂化という損傷が顕在化**。
- コンクリート床版の土砂化は、橋の下からの点検（現状の目視点検）では進行するまで発見できない。
- よって、床版内部の状態を点検できる非破壊検査技術が必要。



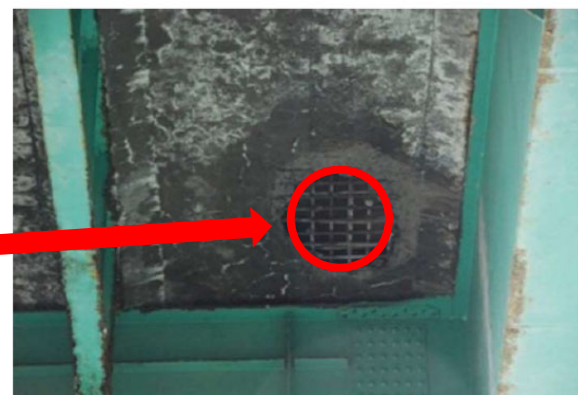
橋の構成(床版の位置)



床版の土砂化

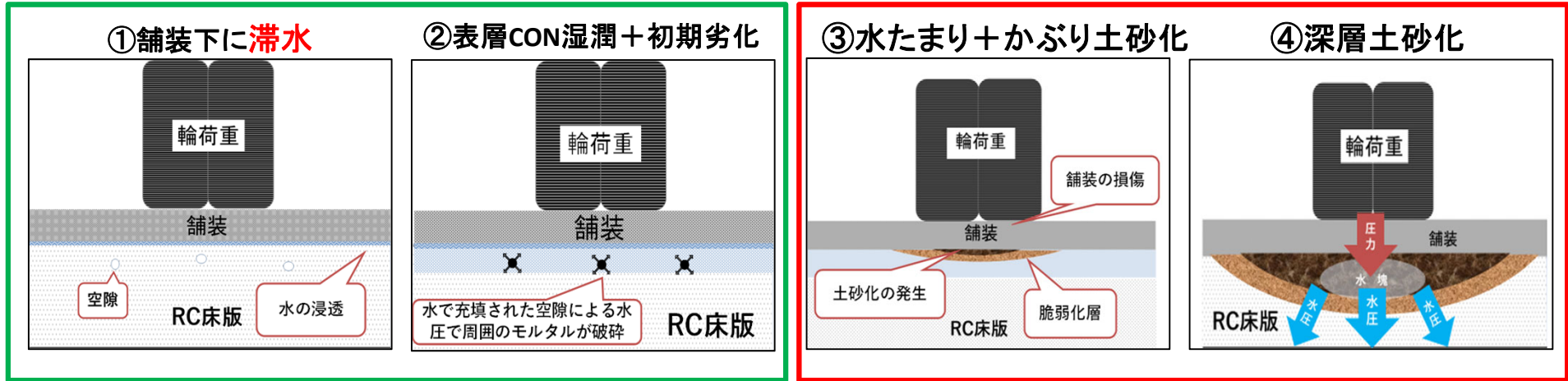


損傷の兆候無し(5年前)



陥没が発生(左写真から5年経過)

RC床版の土砂化の劣化メカニズムイメージ(推定)



土砂化の要因となる水を早期検知することができれば、止水・防水工で対応可能となり補修コスト小



止水工



遮水工

RC床版の土砂化が進行した場合、床版の部分打換や取替が必要となり補修コスト大



部分打換



床版取替

予防保全のためには、床版上面の滞水の早期検知技術が必要



電磁波レーダを用いた滞水の検知手法について検討

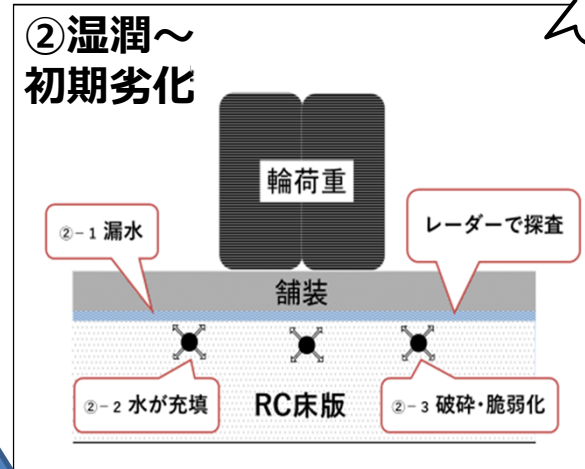
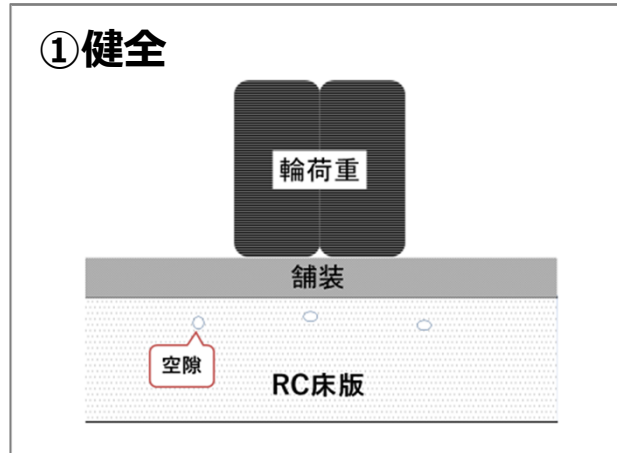
RC床版の土砂化の現状(舗装撤去前)



RC床版の土砂化の現状（舗装撤去後）

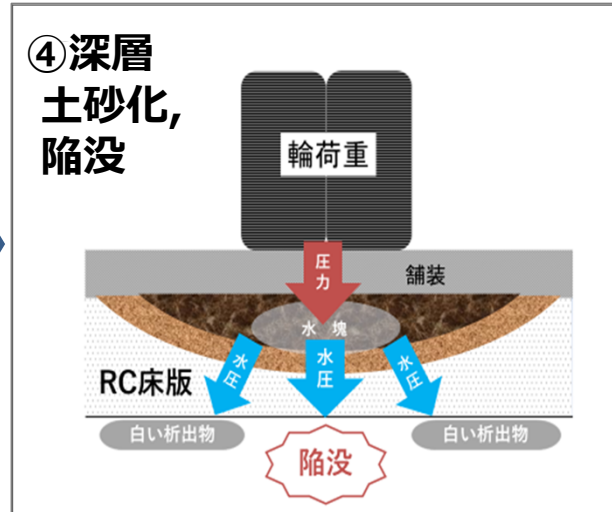
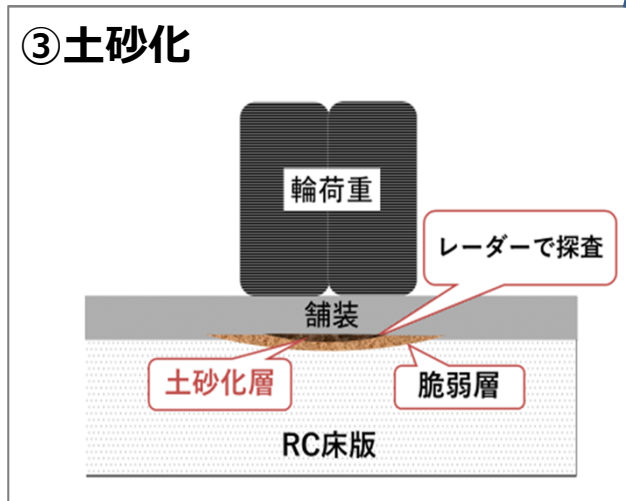


RC床版の土砂化(輪荷重)の損傷メカニズム



原因は床版への水の侵入

◆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

AIを活用した点検技術の開発～電磁波レーダ～

- 舗装に隠れて、直接見えない床版上面の滞水を検知するために電磁波レーダを活用。
- 民間の共同研究者の技術を活用し、車載式電磁波レーダにより、交通規制をすることなく、データを取得。



※動画

AIを用いた滞水自動推定手法(滞水推定AI)の仕組み

- AIに学習させる電磁波形データと床版上面水分量データを整備(教師データ)
- 整備した教師データをAIに学習させる(教師あり学習)



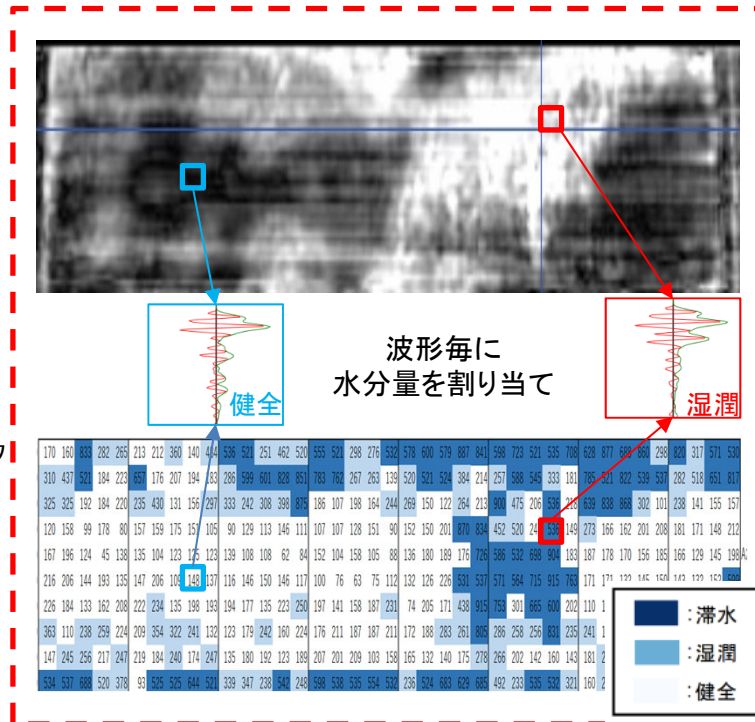
電磁波レーダによる計測



床版上面水分量

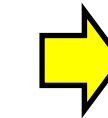
波形データ
取得

水分量データ
取得



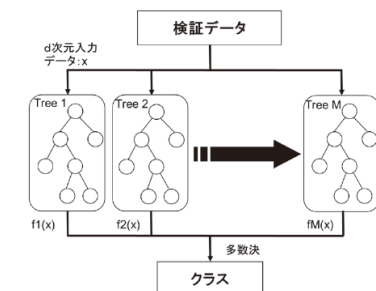
機械学習用の教師データ

機械学習



「アルゴリズム」
ランダムフォレスト

学習モデル
構築

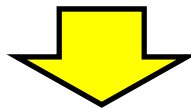
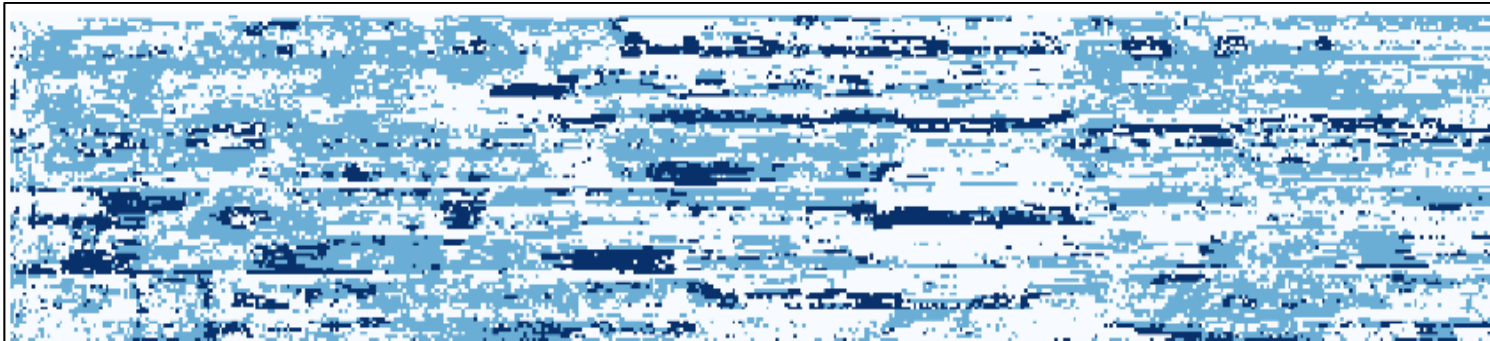


ランダムフォレストのイメージ

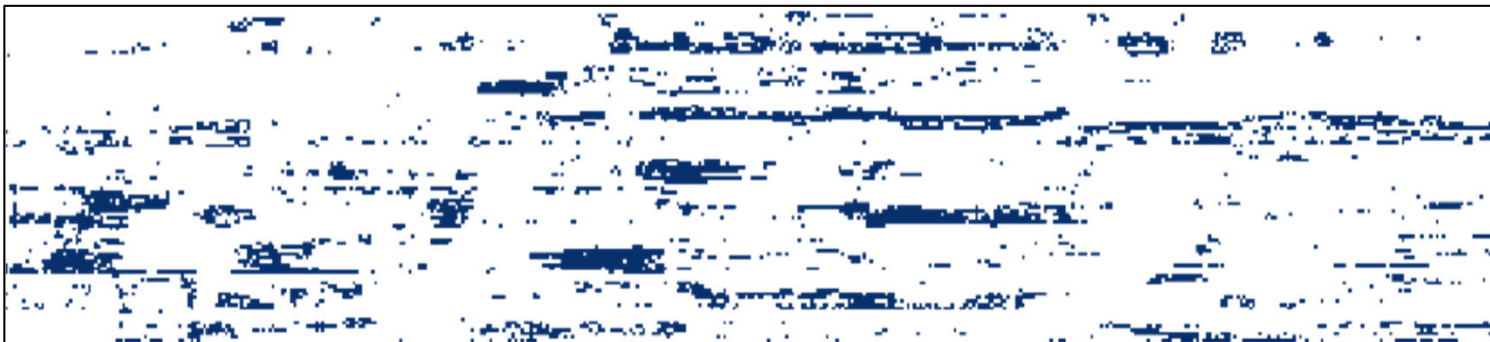
滞水推定アプリケーションの汎化性能の向上

- 滞水の推定結果を3分類出力(健全・湿潤・滞水)から2分類出力(健全・滞水)へ変更し、滞水部分だけは把握するように仕様を修正。

変更前

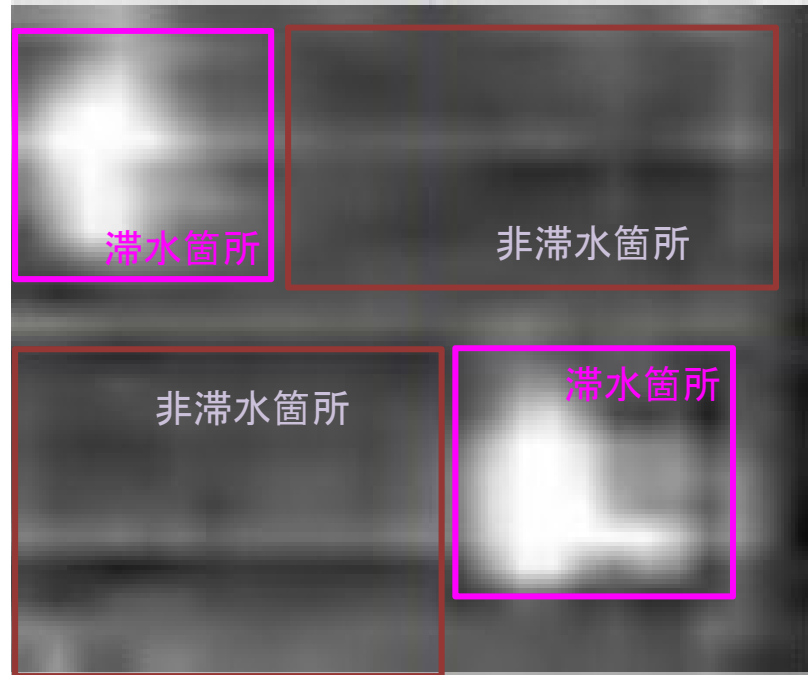


変更後



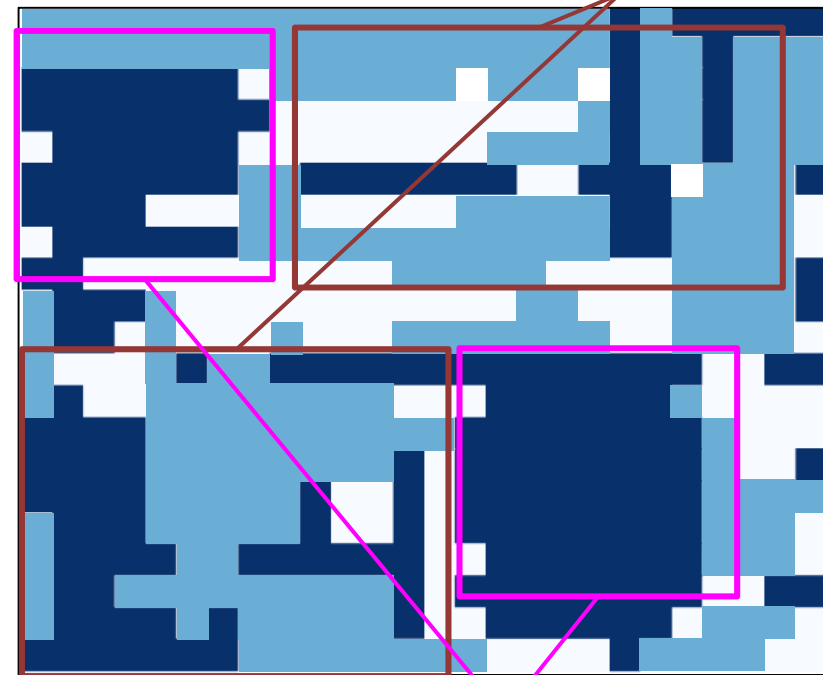
滞水推定アプリケーションの汎化性能の向上

【これまでの研究状況】



電磁波レーダ計測結果 (平面コンター図)

検証結果



非滞水箇所の大部分を湿潤 (一部滞水)と判定


滞水箇所の大部分を「滞水」と判定


- 滞水させた箇所に対して、滞水推定プログラムが正しく「滞水」と判定することを確認。
- 一方、非滞水箇所 (健全箇所) においても「滞水」と判定している箇所あり。
- それ以外の非滞水箇所 (健全箇所) も大部分を「湿潤」と判定しており、「健全」と「湿潤」の区別は困難。

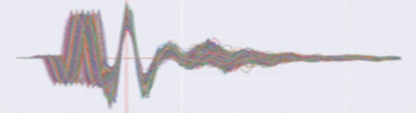
「明らかに滞水」または「それ以外」で判定するよう見直す (3分類から2分類へ変更)
教師データを追加学習させることで、汎化性能の向上を図る

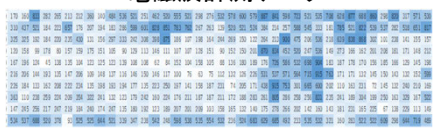
既存の滞水推定アプリケーションの汎化性能の向上

- 既存モデル(1橋の教師データで構築)に他の橋梁の教師データを追加学習させ2橋分の学習モデルを構築。

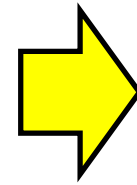

既存モデル
(1橋分教師データで構築)



橋梁A



電磁波計測データ

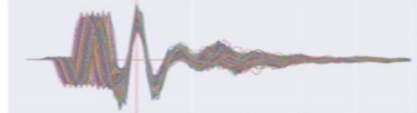

床版上面水分量データ


教師データ①




改良モデル
(2橋分教師データで構築)



橋梁A

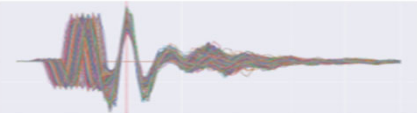

電磁波計測データ



床版上面水分量データ

教師データ①

+


橋梁B


電磁波計測データ


床版上面水分量データ

教師データ②

AIを活用した点検技術の開発～滞水推定AIの開発～

- 令和3年6月に自治体からフィールドを提供して頂き、データを取得。AIの精度向上に活用。



橋梁全景



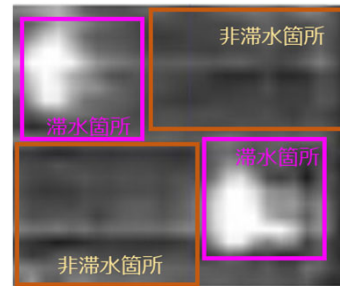
車載式電磁波レーダ計測



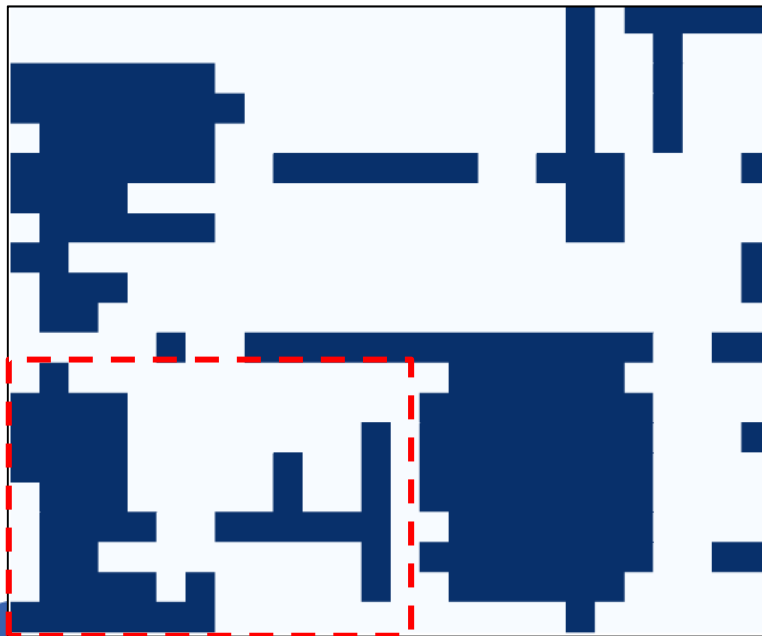
床版上面水分量計測

既存の滞水推定アプリケーションの汎化性能の向上

- 模型供試体を用いて、推定精度が向上したか検証した結果、以前は、非滞水箇所を「滞水」と間違えて推定していた部分が、「非滞水」と正しく推定されるようになった。



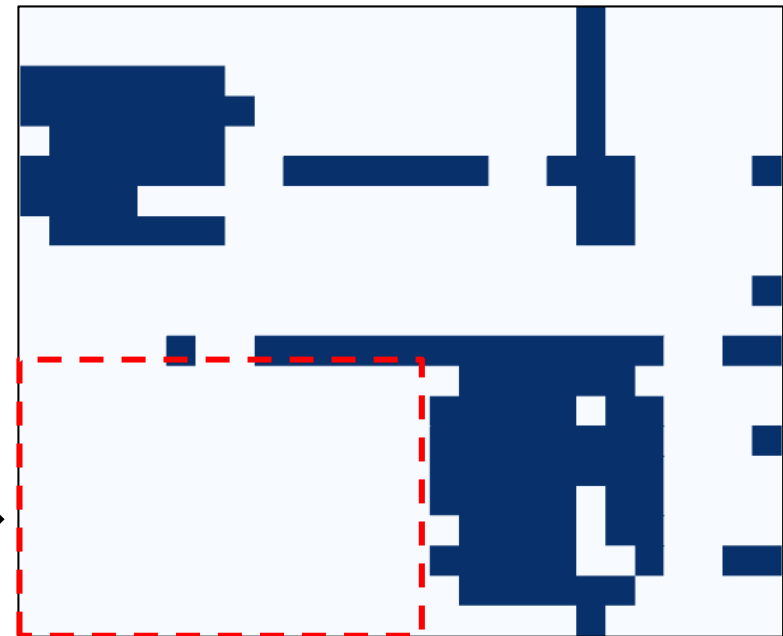
改良前モデル(1橋分モデル)



非滞水箇所を「滞水」と間違えて推定



改良モデル(2橋分モデル)



非滞水箇所を「非滞水」と正しく推定

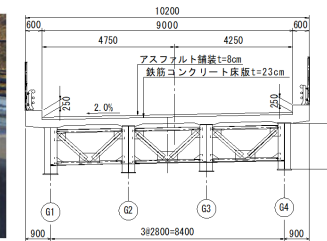
4.3 電磁波レーダを用いた滞水箇所の検出

橋梁諸元

橋梁形式:3径間連続鋼鈹桁橋(92m(29m+33m+29m))

架設年度:昭和61年(供用後34年経過)

健全度 :Ⅲ

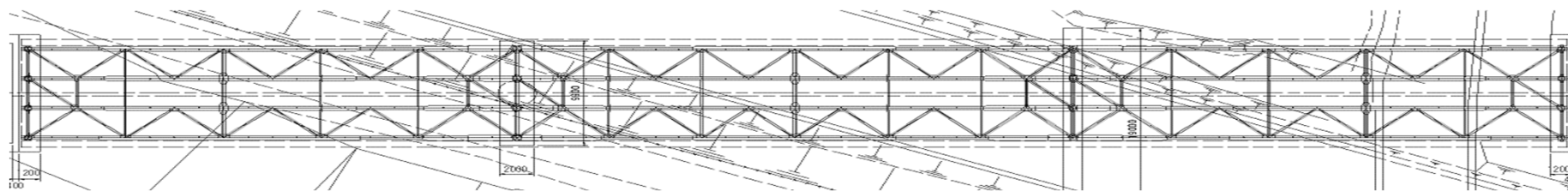


全景

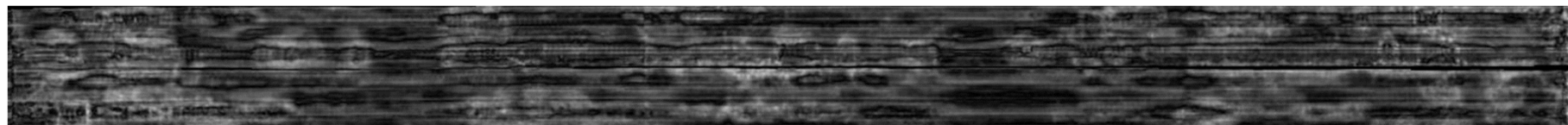
断面図

A1

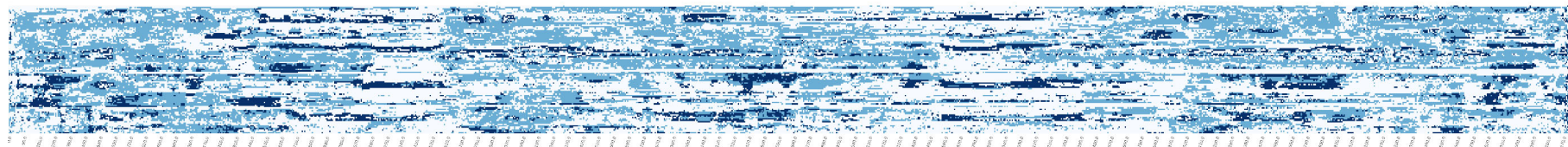
A2



橋梁諸元

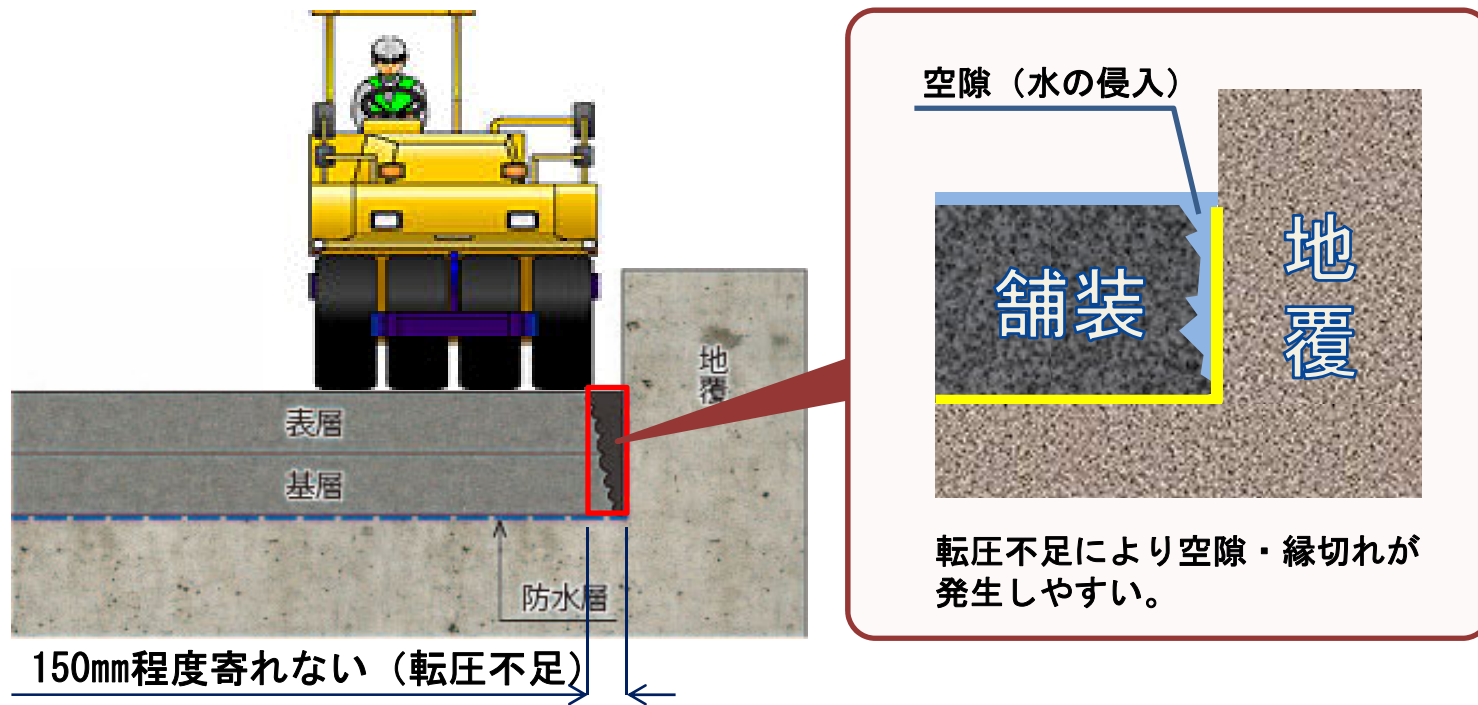


電磁波レーダ計測結果



滞水推定結果

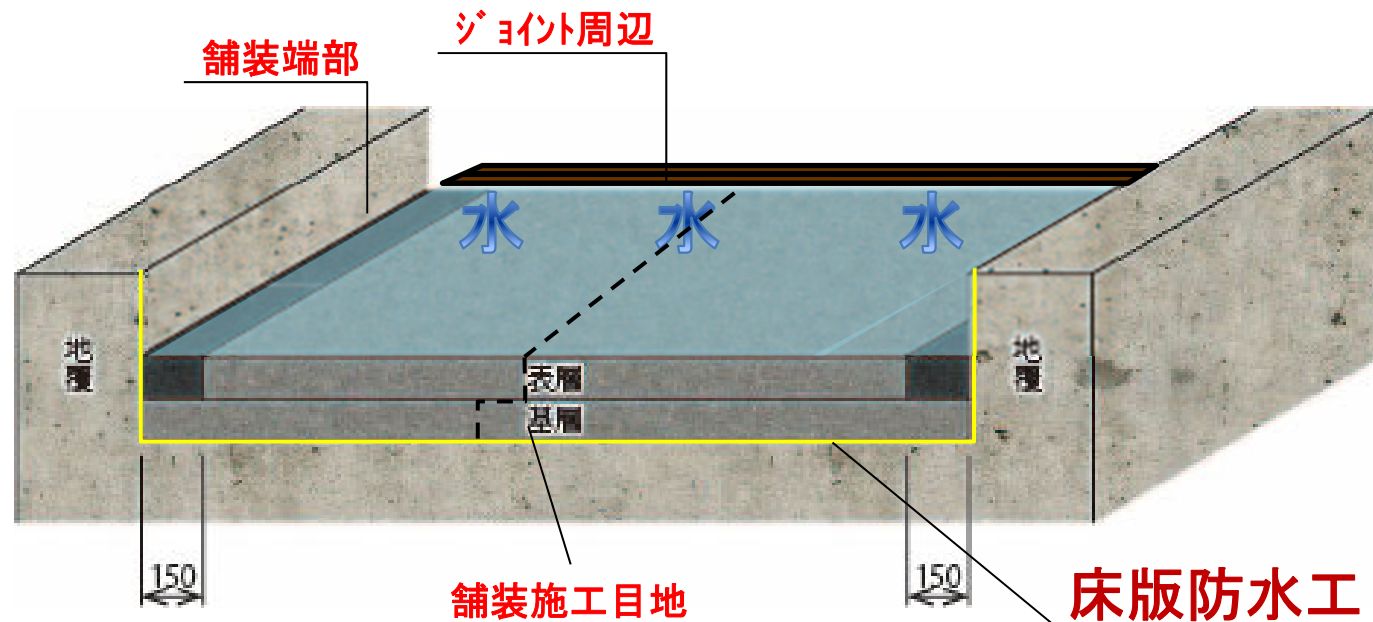
防水工の施工時の問題点



この範囲は十分な転圧ができない

遮水対策の検討

- 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

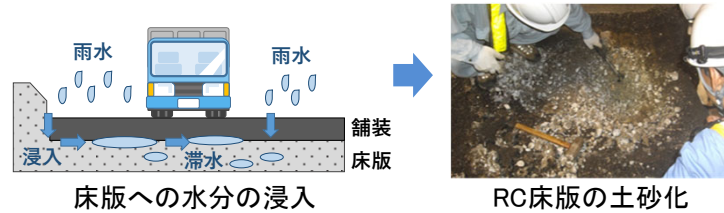


■ 設計・施工の留意点

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。

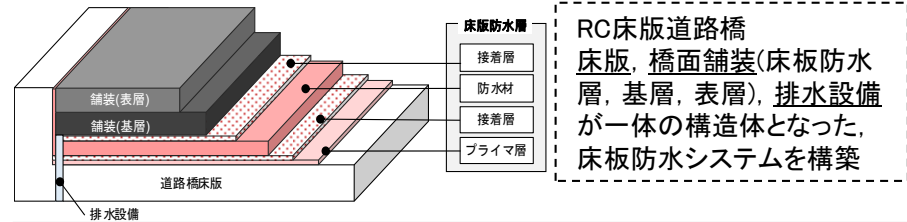
新型グースアスファルトの開発(土研 舗装チーム)

1. 背景



- 近年、道路橋RC床版における床板の土砂化に起因する損傷が見られる。
- 雨水・塩分等の浸入を防ぐ遮水性に優れた橋面舗装材料の開発が課題

2. 従来の橋面舗装材料



遮水性を有する主な橋面舗装材料

- 床板防水層: 塗膜系防水層, シート系防水層, 成型目地材
 - 遮水性を有する舗装: グースアスファルト混合物(鋼床版用)
- ⇒グースアスファルト混合物を改良しRC床版への適用を検討

3. 開発した橋面舗装材料

グースの種類	従来グース	開発グース			
		グースA	グースB		
バインダ原料	天然アスファルト	石油生成物	ポリマー改質AS		
バインダ原料イメージ					
臭気レベル	600程度	400程度	150程度		
舗設時温度 (°C)	約240	230-210	180-190		
材料物性	施工性	リュエル流動性(秒)	3~20	10~20	3~20
	高温安定性	貫入量(mm)	1~6	1~4	1~6
	耐流動性	動的安定度(回/mm)	300以上	1000以上	600以上
	可とう性	曲げ破断ひずみ(10%)	8以上	8以上	8以上

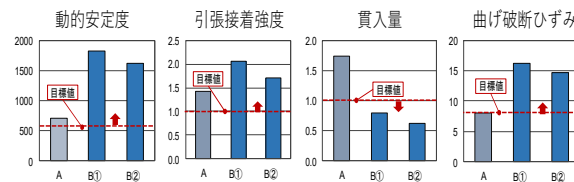
- 天然ASを用いた従来のグースの問題点(原料の入手・臭気・製造温度・耐久性)を新たなバインダ原料を用いることで改良したグースAS混合物を開発。

4. 試験施工

施工・品質管理状況



材料物性試験



耐久性試験



- 試験施工にて、開発グースを用いた実物大試験舗装を構築。
- 優れた施工性・材料物性・耐久性を確認した。
- 今後は、耐久性の確認と現場への適用に向けた改良を継続。

司令塔

診断

損傷種類・原因の特定
措置方法(処方)の指示

判断、指示

点検

変状等の事実の記録

は高度な専門技術が必要

措置

措置の実施

記録

台帳、カルテ機能

メンテナンスサイクル