

# RC床版の土砂化の予防保全に向けた技術開発

藤木裕二・岩谷祐太・田中良樹・石田雅博

## 1. はじめに

道路橋には、疲労・腐食・塩害など様々な損傷要因が存在する。特に、輪荷重を支える床版は疲労損傷しやすく、これまで様々な対策が実施されてきたが、近年ではRC床版の土砂化\*という損傷が顕在化し、問題となっている。ここで言う「RC床版の土砂化」とは、舗装の下に入った水と輪荷重の影響などにより、コンクリートが骨材とモルタルに分離したところに、土粒子が混入し、ザクザクになった状態のことを指す(写真-1)。今後、維持管理費用の平準化に向けて、道路橋の長寿命化を進めるためには、早期に損傷の兆候を検知し、その損傷要因を取り除く「予防保全」が重要である。しかし、土砂化は床版上面に生じる損傷であり、従来の橋梁下面からの目視点検では、損傷が進行するまで発見が難しく、予防保全的な対応は困難である。

予防保全を的確に行うためには、損傷メカニズムを明らかにした上で、予防保全の段階で損傷の兆候を捉える点検技術と、劣化状態の段階を見極めて、適切な措置方法を示す診断が必要となる。

本稿では、RC床版の土砂化を対象に、損傷メカニズムとそれに基づく点検、診断の考え方及び措置方針を紹介した上で、予防保全のための電磁波レーダとAIによる機械学習を用いた床版上面の滞水検知手法の開発に関する取組や、土砂化した床版に対する早期再劣化を防ぐための補修の考え方について紹介する。これらの成果を診断AI<sup>1)</sup>の構築に取り入れることとしている。(なお、本報文では、参考文献1)で定義する用語を用いている。)



写真-1 舗装下のRC床版の土砂化

## 2. RC床版の診断と措置

### 2.1 RC床版の診断セット

予防保全を行うためには、橋の損傷メカニズムを明らかにし、その段階に応じて、点検で何に着目し、何を根拠に診断を行い、どのような措置を講ずるべきかなど、一連で整理することが重要となる。この一連の技術情報を「診断セット」<sup>1)</sup>と称して、RC床版に関して整理した。RC床版では「疲労」、「土砂化」、「飛来塩分による塩害」、「海砂による塩害」の4項目に大きく分けている。このうち、土砂化は輪荷重以外にも複合的な要因が合わさって生じることが考えられるため、さらに「輪荷重による破砕」、「凍害」、「凍結防止剤による塩害」、「アルカリ骨材反応」の4項目に細かく分けて診断セットを作成している。

### 2.2 土砂化の損傷メカニズム

次に、損傷メカニズムの事例として、輪荷重による土砂化を図-1に示す。土砂化のメカニズムは研究中であり、ここで紹介するものは仮説であるが、以下の6段階の劣化状態を想定している。

#### (1) 舗装下に水が浸入

降雨後に舗装の施工目地、伸縮装置、地覆境界、舗装のひび割れ等から舗装下に水が浸入する状態。

#### (2) 舗装下に滞水し、床版内部の空隙に水が充填

排水不良により路面からの浸透水が常時あることで、舗装下に水が溜まり、床版内部の空隙が水で満たされる状態。適切に排水されない状態が続くと、次の劣化状態に進展する。

#### (3) 水圧によるモルタルの破砕の発生

輪荷重により、床版内部の空隙に満たされた水が収縮できずに周囲のモルタルが破砕される状態。ここから床版の表面的な劣化や水平ひび割れが発生する。

#### (4) 床版上面の土砂化の発生

床版上面付近に土砂化した層が広がり、舗装面に舗装のはがれ、蜘蛛の巣状クラック、ポットホール等の損傷が顕在化する状態。

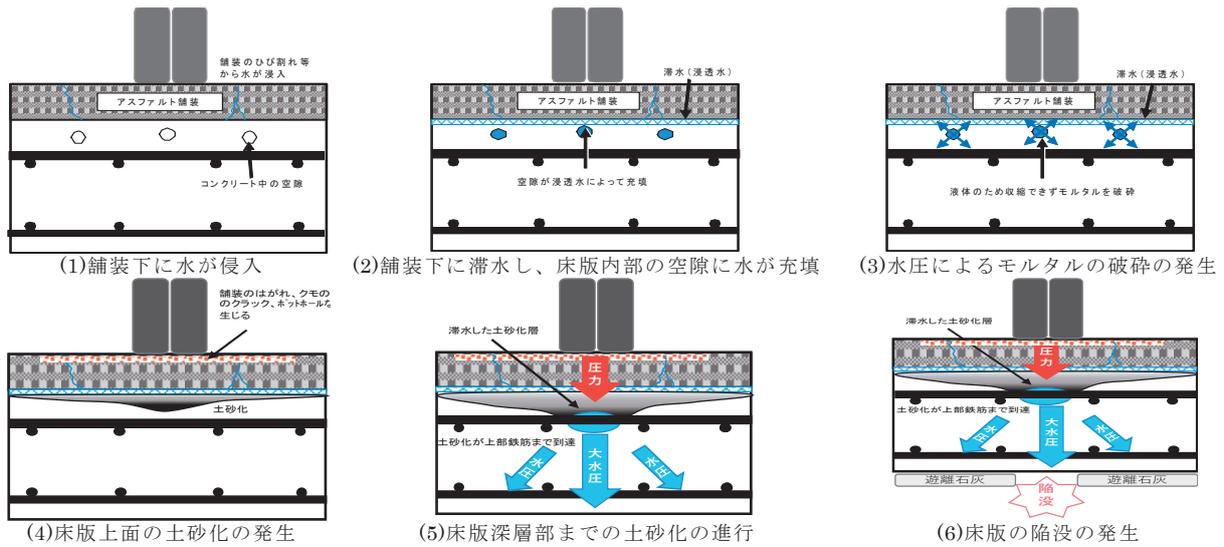


図-1 床版の土砂化の損傷メカニズム（輪荷重）

(5) 床版深層部までの土砂化の進行

水平ひび割れにより脆弱化した層が床版厚の半分程度まで広がり、床版上面鉄筋位置まで及ぶ状態。滞水層があると輪荷重により大きな水圧が生じ、更に深い部分まで土砂化が広がる。

(6) 床版の陥没の発生

床版下面まで水分が到達し、遊離石灰が広範囲に噴出し、土砂化した床版の直下で、突然陥没する状態。

2.3 診断の着目点と措置方針

輪荷重による土砂化の損傷メカニズムの各状態に応じた、診断の着目点と措置方針を表-1に示す。各状態に対して、「点検における着目点（定期点検）」、「診断に必要な詳細調査」、「診断の決め手となる情報」、「診断に必要な詳細調査」、「さらにその状態

を特定するために必要となる「診断の決め手となる情報」、「措置の方針」を整理した。

これを見て分かるように、RC床版の土砂化に対して予防保全を行うためには、舗装下の滞水を早期検知するとともに、遮水や排水などの措置を適切に行うことが必要となる。

3. 電磁波レーダによる滞水検知手法

3.1 電磁波レーダ法

舗装で隠れて直接見えない床版上面の滞水を非破壊で検知する手法として、電磁波レーダを活用した手法の開発に取り組んでいる。

電磁波レーダ法は、電磁波が金属以外の媒質を透過し、透過した媒質と異なる比誘電率を持つ媒

表-1 輪荷重による土砂化の診断の着目点と措置方針

メカニズム	点検における着目点 (定期点検)	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	
1.舗装下に水が浸入	<ul style="list-style-type: none"> <li>舗装の異常</li> <li>床版下面、排水ます周辺からの漏水</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>舗装下面の滞水</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>車道部の舗装下の滞水</li> <li>表層コンクリートの湿潤状態</li> <li>床版下面の漏水跡</li> </ul>	-	長寿命化（遮水+排水）	切削+床版防水工+オーバーレイ
2.舗装下に滞水し、床版内部の空隙に水が充填						
3.水圧によるモルタルの破碎の発生						
4.床版上面の土砂化の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>舗装の異常</li> <li>床版下面、排水ます周辺からの漏水</li> <li>舗装の異常箇所での土砂噴出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>舗装下面の滞水</li> <li>土砂化深さ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>舗装下の滞水</li> <li>舗装の異常（はがれ、蜘蛛の巣状のクラック、ポットホール）</li> <li>舗装の異常が発生している箇所での土砂が噴出</li> <li>輪荷重による土砂化の進行</li> </ul>	-	延命（遮水+舗装更新または床版更新）	切削+断面修復工+床版防水工+オーバーレイ or 床版部分打替え or 床版全面取替え
5.床版深層部までの土砂化の進行	・同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>外観で判別できない場合、削孔+孔内の観察</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>床版上側鉄筋程度までの深い土砂化</li> <li>舗装の異常が発生している直下の床版下面に遊離石灰</li> </ul>	-	危機管理（規制+敷鋼板+床版更新+遮水）	
6.床版の陥没の発生	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>抜け落ちの発生</li> </ul>	-		

質の境界で反射する性質を利用し、物質内部を非破壊で探査する手法である<sup>2)</sup>。床版上面に滞水がある場合とない場合で反射波の振幅を比較すると、比誘電率の違いにより滞水がある場合の方が反射波の振幅は大きくなる。その特徴を利用して滞水の有無を判断する<sup>3)</sup>。電磁波レーダは多種あるが、ここでは交通規制を伴わず一度に広範囲を計測できる車載式電磁波レーダを用いている（写真-2）。

電磁波レーダの計測結果から滞水の有無を判断することは可能だが、1つずつ人の目で計測結果を確認する必要があり、多大な労力を要する。その課題への対応として、AIによる機械学習を用いて、電磁波レーダの計測結果から床版上面の滞水を自動推定する手法について検討した。



写真-2 車載式電磁波レーダ

### 3.2 床版上面の滞水の自動推定手法の検討

機械学習とは、コンピュータにデータを学習させ、アルゴリズムに基づき分類や予測などのタスクを遂行する技術のことであり、今回は特徴量として電磁波レーダの波形データを、正解データとして床版上面水分量データを用いた学習データを活用した「教師あり学習」を実施した。

まず、床版上面の水分量を水分計で実際に計測した結果に基づき、床版上面の状態を健全部、湿潤部及び滞水部の3つに分類した正解データが図-2である。白色が健全部、薄い水色が湿潤部、濃い青色が滞水部を示している。

次に、電磁波レーダの波形データから水分量を推定するためのモデルを複数のアルゴリズムを用いて構築し、それぞれのモデルの精度評価を行った。その結果、複数の決定木の結果を用いて識別するアルゴリズムであるランダムフォレスト<sup>\*</sup>が最も高い精度を示した。図-3がランダムフォレストにより分類したデータの分布であるが、図-2の正解データの分布と比較すると、類似した結果を示していることが分かる。

以上の結果から、ランダムフォレストによる学習モデルを構築することで、高い精度で床版上面

の滞水を推定可能であることを確認した。更に、今後の実用化を見据え、今回構築した学習モデルをベースに、より操作が簡単な滞水推定アプリケーションを構築した。

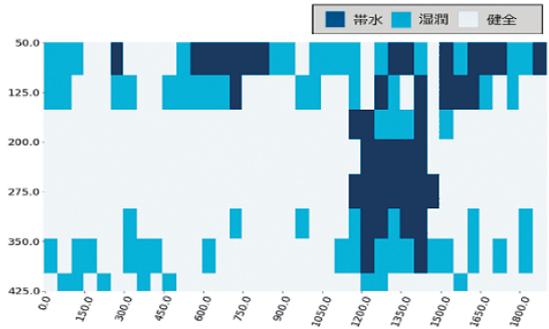


図-2 正解データの分布

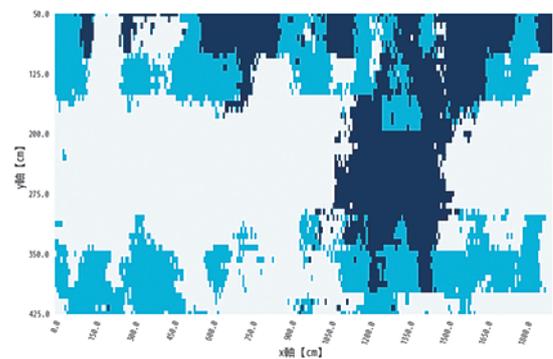


図-3 機械学習によるデータの分布

## 4. 土砂化した床版の補修の考え方

土砂化したRC床版を補修し予防保全へ転換するためには、床版の再劣化が生じないように確実に補修を行った上で、床版への路面水の浸入を抑止する必要がある。

床版上面の補修は応急復旧と本復旧に区別する必要があるが、その区別は明確ではないことが多い。ここでいう本復旧とは、橋面のアスファルト舗装（以下、橋面舗装）や土砂化した床版の補修箇所が早期に再劣化しないようにすることである。表-1の「4.床版上面の土砂化の発生」の段階以降のように土砂化した床版に対して、本復旧を行うことは床版や橋面舗装の維持管理を予防保全に転換するために不可欠である。

この観点から本復旧の方法としては、床版コンクリート全厚の部分打換え（写真-3）や床版の全面取替え（写真-4）が考えられる。

一方、応急復旧には橋面舗装の部分開削による床版コンクリートの断面修復等が考えられる。当然、路面に著しい段差が生じた場合などは応急復

<sup>\*</sup>土木用語解説：ランダムフォレスト

旧が必要となるが、応急復旧はあくまで一時的な措置であり、それだけでは既設床版と補修材との打継目に路面水が浸入することにより、早期に再劣化をもたらす傾向にある。また、補修前よりも劣化が広範囲に拡がり、かつ著しく進行する可能性が高いことに注意が必要である。そのような事態が生じないように、応急復旧と同時に床版防水に必要な本復旧の実施に向けた準備を行い、本復旧を早期に実施することが重要である<sup>4)</sup>。



写真-3 床版コンクリート全厚の部分打換え



写真-4 床版の全取替え

## 5. まとめ

RC床版の予防保全を行うために、損傷メカニズムとそれに基づく点検・診断・措置の技術情報を作成した。これに基づき、道路橋の診断業務を支援するシステムである診断AIシステムのプロトタイプ構築に別途取り組んでいる。

また、RC床版の土砂化に対して予防保全を可能とする点検技術として、AIによる機械学習を用いて、電磁波レーダの計測結果から床版上面の滞水を自動推定する学習モデルとそのアプリケーションを構築した。今後は条件の異なる橋梁の学習データによる追加学習を行い、学習モデルの汎化性能の向上を図る予定である。

さらに、土砂化した床版の早期再劣化を防ぐためには、応急復旧で済ませるのではなく、本復旧まで適切に行うことが重要であることを紹介した。今回紹介した内容を参考にして、適切な補修を行って頂きたい。

## 謝 辞

本研究は、「官民研究開発投資拡大プログラム」及び「AI を活用した道路橋メンテナンス効率化に関する共同研究」の成果の一部である。

## 参考文献

- 1) 澤田守、江口康平、石田雅博：道路橋の予防保全に向けた総合診断と診断AIシステムの研究開発、土木技術資料、第63巻、第10号、pp.8～11、2021
- 2) 小林一輔、魚本健人、加藤潔、広野進：コンクリート構造物の非破壊検査、森木出版株式会社、pp.78～104、1990
- 3) 野田翼、松本直士、石田雅博、谷倉泉、内田美生：電磁波レーダによる水分検知による床版土砂化の劣化診断の検討、令和2年度全国大会第75回年次学術講演会、2020
- 4) 藪雅行、上仙靖ほか：床版防水に配慮した橋面舗装の打換え技術に関する研究—道路橋コンクリート床版の土砂化対策—、土木研究所資料、第4410号、2021

藤木裕二



土木研究所構造物メンテナンス研究センター  
橋梁構造研究グループ  
主任研究員  
FUJIKI Yuji

岩谷祐太



土木研究所構造物メンテナンス研究センター  
橋梁構造研究グループ  
研究員  
IWATANI Yuta

田中良樹



土木研究所構造物メンテナンス研究センター  
橋梁構造研究グループ  
総括主任研究員  
TANAKA Yoshiki

石田雅博



土木研究所構造物メンテナンス研究センター  
橋梁構造研究グループ  
上席研究員  
ISHIDA Masahiro