

AIを活用したRC床版上面の滞水検知手法の 現場検証と改善の方向性

岩谷祐太・藤木裕二・夏堀 格・石田雅博

1. はじめに

道路橋の定期点検は、国土交通省が定める定期点検要領に基づき実施されており、状態の把握は近接目視により行うことを基本とされている。しかし、実構造物には狭隘あるいは遮蔽等により近接目視困難な部位が存在する。道路橋の床版上面もその1つであり、舗装により直接目視できないことから、通常床版下面からの近接目視のみ実施されている。しかし、近年顕在化しているRC床版の土砂化（写真-1）は、舗装下の床版上面で発生・進行することから、床版下面からの点検では早期把握が困難である。また劣化が進行すると床版打換・取替等多大なコストを要することから、予防保全の観点からも劣化進行前にその発生要因を検知する点検支援技術の開発が望まれている。

以上のような背景のもと、筆者らは土砂化の発生要因が床版上面に浸入した水であると考え、AIを活用したRC床版上面の滞水検知手法について研究を行っている。本報文では、現在開発中の床版上面の滞水検知手法を用いた現場検証の結果と、そこから判明した課題について報告する。

2. 滞水推定AIの開発

床版上面の滞水検知手法として、これまでに筆者らは、AIを活用することで、橋梁で取得した電磁波形データから床版上面の滞水を推定する滞水推定アプリケーション（以下「滞水推定AI」という。）を構築している¹⁾。床版上面の滞水の有無で電磁波の反射波の振幅を比較すると、アスファルトやコンクリートと比較して比誘電率が大きい水がある方が反射波の振幅が大きくなる²⁾。滞水推定AIは、この性質を利用し電磁波レーダ計測で取得した電磁波形データを特徴量、舗装開削後に水分計を用いて計測した床版上面の水分状



写真-1 RC床版の土砂化

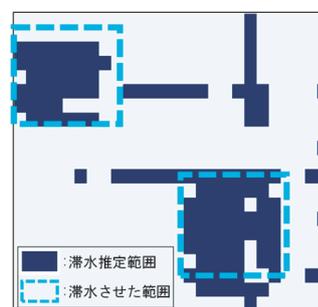


図-1 供試体による滞水推定結果

態を正解データとした教師データを整備し、教師あり学習により構築した学習モデルを有するアプリケーションである。教師あり学習は機械学習の1つであり、特徴量と正解データが対になった教師データをAIに学習させることで、その関係性を再現するようなモデルを構築する手法である。電磁波形データは、交通規制を伴わずに計測できる車載式電磁波レーダにて取得した。学習に用いるアルゴリズムは、分類精度検証の結果、最も精度の高かったランダムフォレストを採用した。

図-1は、滞水を模擬した供試体で電磁波形データを取得し、滞水推定AIで出力した結果である。破線部が滞水させた範囲であり、その範囲に滞水が推定されている。供試体による滞水推定AIの精度検証の結果、十分滞水した部分であれば推定できることを確認している³⁾。しかし、実橋では舗装厚や舗装・床版の損傷程度等橋梁により状況が異なり、それにより推定精度が変動する可能性がある。そのため、実橋において滞水推定AIの現場検証を実施した。

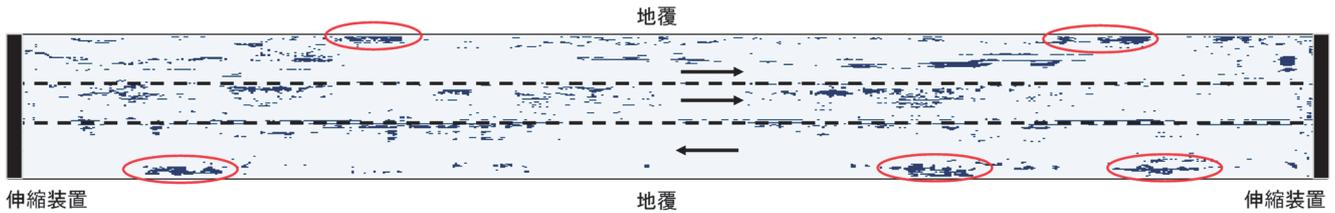


図-2 滞水推定AIの適用例

3. 実橋における滞水推定AIの適用例

実橋における滞水推定AIの適用例を図-2に示す。対象橋梁は、山間部に位置し登坂車線を含む全3車線の橋梁である。図中の矢印は車両の走行方向を、破線は車線間の舗装打継目を示している。本橋梁では、舗装打継目に沿った範囲や、地覆との境界部（図中赤丸部）に局所的にまとまって滞水と推定された範囲が確認された。このような推定を行った橋梁のうち、2橋について推定精度を確認するための現場検証を実施した。

4. 滞水推定AIの現場検証

4.1 検証方法

現場検証は、現場での調査時間を確保できるよう、終日片側交互通行規制で舗装補修を行う現場を選定し、東北地方の国道に位置するA橋及び北海道の国道に位置するB橋にて行った。現場検証の手順を以下に示す。

- (1) 舗装開削前に車載式電磁波レーダ計測により対象橋梁の電磁波形データを取得する。
- (2) (1) で取得した電磁波形データを滞水推定AIに入力し、滞水推定結果を出力する。
- (3) 舗装開削後に床版上面の滞水状態を確認・記録する。
- (4) (2) で出力した滞水推定結果と(3)で記録した結果を比較し、推定精度を検証する。

(3)の滞水状態の確認は、舗装及び床版防水層の除去完了後に実施した。滞水部かどうかを定量的に判断するため、床版防水層除去後に電気抵抗式水分計を用いて、電気抵抗の大きさを数値化したカウント値を計測した。カウント値は、乾燥して電気抵抗が大きければ小さく（最小値10）、水分を含んで電気抵抗が小さければ大きくなる（最大値990）。既往の研究⁴⁾に基づき、本検証で用いた水分計のカウント値が520を超過する場合を滞

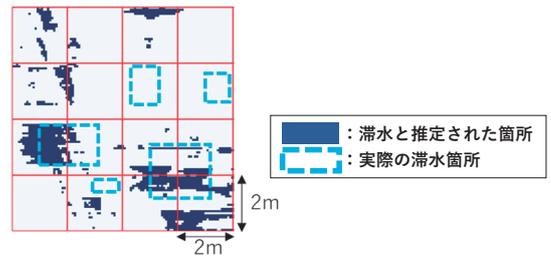


図-3 推定精度検証における考え方

水状態と判定した。滞水部の位置及び範囲はメジャーを用いて計測した。(4)で推定精度を検証するにあたり、滞水推定AIによる滞水推定結果は1ピクセル7.5cm×7.5cmの正方形の集合体で表現されており、滞水推定結果と実際の滞水箇所を正確に合わせようとすると、cm単位での位置合わせが必要となる。予防保全のためにはcm単位での位置合わせは必要なく、滞水の大きさや位置が多少異なっても、分布を大まかに推定できれば問題ないと考えられる。そこで図-3のとおり、滞水推定結果を2m×2mのマスを分割し、滞水が推定されたマスに実際の滞水箇所が少しでもかかっていたら、滞水の大きさや位置に関わらずそのマスは正しく推定されているとして扱った。

推定精度の評価に用いる指標は、機械学習の分野で用いられる適合率及び再現率とした。適合率は間違いの少なさを表す指標、再現率は漏れの少なさを表す指標であり、それぞれ式(1)及び式(2)で表される⁵⁾。

$$\text{適合率} = \frac{X \text{のうち実際に滞水していたマス数}}{\text{滞水を推定したマス数} X} \dots (1)$$

$$\text{再現率} = \frac{Y \text{のうち実際に推定できたマス数}}{\text{実際に滞水していたマス数} Y} \dots (2)$$

図-3を例にとると、適合率=滞水を推定したマス数(X=14)のうち、実際に滞水していたマス数(7)=7/14×100=50%、再現率=実際に滞水していたマス数(Y=9)のうち、実際に推定できたマス数(7)=7/9×100=77.8%となる。

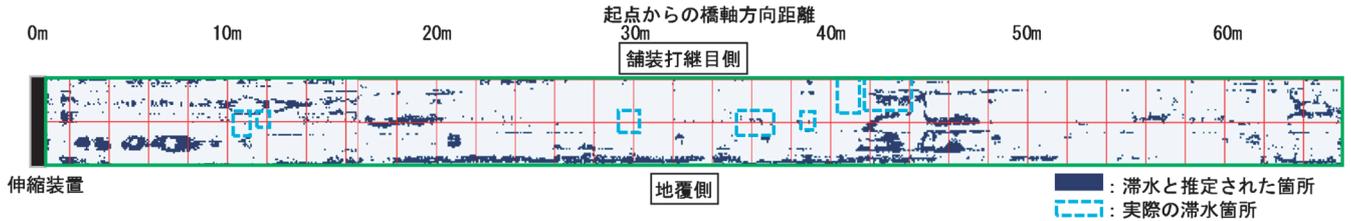


図-4 A橋における滞水推定結果と実際の滞水箇所の比較結果

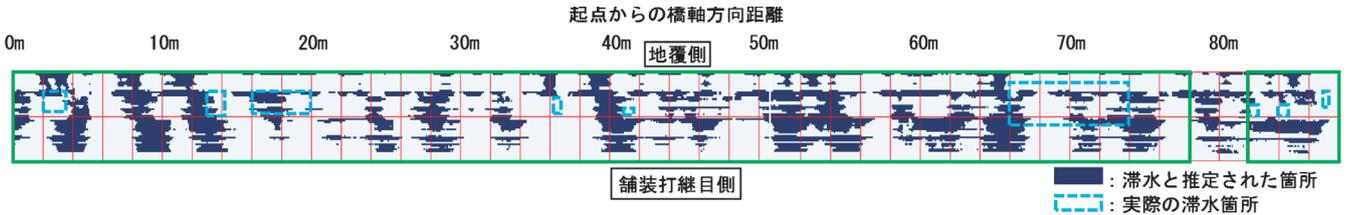


図-5 B橋における滞水推定結果と実際の滞水箇所の比較結果

4.2 現場検証結果

滞水推定AIによる滞水推定結果と実際の滞水箇所の比較結果を図-4及び図-5に示す。緑線で囲んだ範囲が開削範囲であり、この範囲で適合率及び再現率の算出を行った。A橋は地覆側に沿って多く滞水が推定されたが、実際の滞水箇所は車線中央付近が多かった。B橋では幅員方向に伸びた滞水が一定間隔で推定されたが、実際の滞水箇所はこちらも車線中央付近に多く確認された。図より算出した適合率及び再現率を表-1に示す。適合率は2橋とも低く、8~9割近く誤判定している結果となった。滞水のない範囲を多く滞水と推定したことで空振りが多くなり、適合率が低下したと考えられる。一方、再現率はA橋で80%、B橋で100%と高い値を示した。滞水と推定した範囲が多かった分漏れが少なくなったと考えられる。それでも、A橋では約2割の範囲の滞水を見逃すという結果となった。

4.3 推定精度に関する考察

滞水を正しく推定できなかった要因として、機械学習に用いた橋梁（以下「学習橋梁」という。）の電磁波形と、入力した橋梁の電磁波形の特徴が異なっていたことが考えられる。滞水推定AIは教師あり学習による学習モデルを用いており、アルゴリズムのランダムフォレストは、学習した電磁波形の特徴を基に、任意の深さにおける振幅によって健全部又は滞水部と判定する分岐判定を作成し推定を行うものである（図-6）。そのため、入力した電磁波形の特徴（任意の深さにおける振幅）が学習した電磁波形の特徴と異なれば、正し

表-1 適合率及び再現率算出結果

橋梁名	適合率(%)	再現率(%)
A橋	12.3	80.0
B橋	23.9	100.0

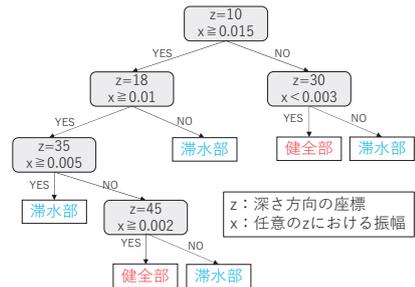


図-6 ランダムフォレストによる分岐判定イメージ

く推定されない。学習橋梁とA橋の代表的な電磁波形を図-7及び図-8に示す。学習橋梁、A橋ともに床版面にあたるz座標で、滞水部の波形のほう健全部より大きな振幅を示した。しかしそのz座標は、学習橋梁でz=35、A橋でz=28と異なっていた。これは学習橋梁の舗装厚が80mmであるのに対し、A橋の舗装厚は50mmと舗装厚が異なるためである。学習橋梁の滞水部では床版上面にあたるz=35で振幅が大きいのに対し、A橋では床版上面にあたるz=28で振幅が大きく、床版内部にあたるz=35での振幅は小さい（図-9）。このように学習橋梁と電磁波形の特徴が異なるため、正しく推定されなかったと考えられる。さらに同じ滞水部の波形でも、学習橋梁とA橋では振幅の大きさが異なり、学習橋梁の滞水部の振幅とB橋の健全部の振幅が同程度である。この違いも正しく推定されなかった要因の1つと考えられる。なおB橋も舗装厚は50mmであり、A橋と同様の理

由で正しく推定されなかったと考えられる。

以上より、今後推定精度を向上させるためには、異なる舗装厚毎に学習モデルを構築する必要があると考えられる。その際、舗装厚は橋梁の建設時期や道路管理者によって様々であり、全ての舗装厚に対して学習モデルを構築するのは不可能であるため、まずは一般に多く採用されている舗装厚を優先して学習モデルの構築を進めていく予定である。さらに、同じ滞水部でも橋梁により振幅の大きさが異なったことから、振幅の絶対値ではなく健全部と滞水部の振幅比といったような、健全部と滞水部を識別可能な特徴を捉える必要があると考えられる。

5. まとめ

滞水推定AIの実橋での現場検証を実施するとともに、課題の抽出を行った。今後は電磁波形データの解析を行い、健全部及び滞水部を識別可能な特徴を再確認する予定である。そのうえで、把握した特徴をもとに代表的な舗装厚に対応した学習モデルを構築し、滞水推定AIの改善を図りたい。

謝 辞

本研究は、「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。また、研究の実施にあたり、北海道開発局及び東北地方整備局には、多大なるご協力をいただきました。ここに謝意を記します。

参考文献

- 1) 藤木裕二、岩谷祐太、田中良樹、石田雅博：RC床版の予防保全に向けた技術開発、土木技術資料、第63巻、第10号、pp.20～23、2021
- 2) 野田翼、松本直士、石田雅博、谷倉泉、内田美生：電

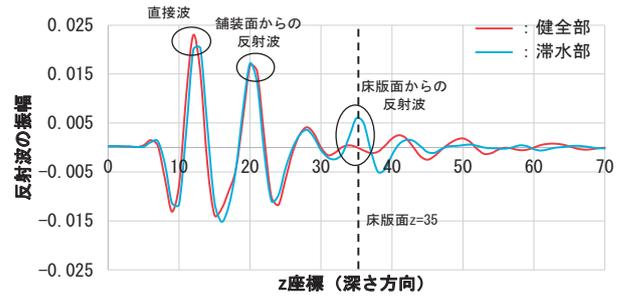


図-7 学習橋梁の健全部・滞水部の電磁波形

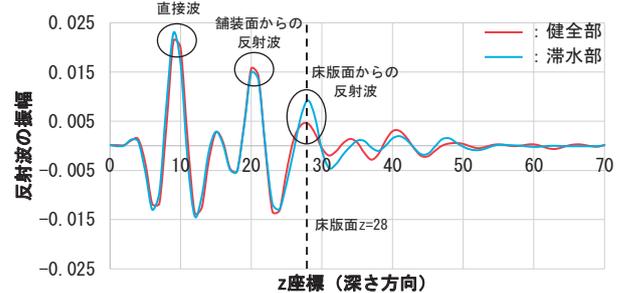


図-8 A橋の健全部・滞水部の電磁波形

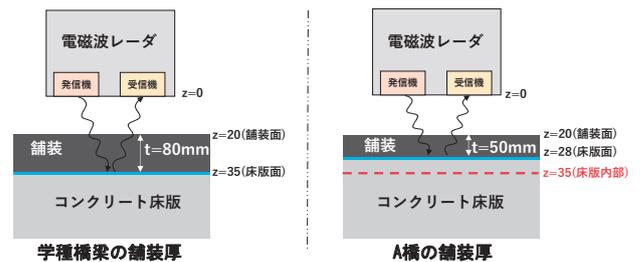


図-9 舗装厚の違いによるz座標のずれ

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

- 3) 藤木裕二、岩谷祐太、夏堀格、石田雅博：電磁波レーダを用いたRC床版上面の滞水検知手法、橋梁と基礎、Vol.56、No.8、pp.37～40、2022
- 4) 谷倉泉、榎園正義、後藤昭彦：床版防水工における水分計の適用性に関する研究、構造工学論文集、Vol.59A、p.1122、2012
- 5) 本橋洋介：人工知能システムのプロジェクトがわかる本一企画・開発から運用・保守まで一、pp.137～138、2018

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

藤木裕二



研究当時 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、現 内閣官房
FUJIKI Yuji

夏堀 格



研究当時 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交流研究員、現 復建技術コンサルタント(株)
NATSUBORI Itaru

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