

## 電磁波レーダによるRC床版の滞水の検出

野田 翼・松本直士・石田雅博

### 1. はじめに

RC床版では、車両走行時の輪荷重による疲労に加えて、凍結融解や凍結防止剤散布による塩分浸透、骨材のアルカリシリカ反応等の複合作用によって、床版上面の土砂化が発生し、最終的には抜け落ちに至る場合がある。

定期点検での既設床版の劣化・損傷状況の点検は、床版下面からの外観目視および舗装面のひび割れの点検によるもので実施されている<sup>1)</sup>。しかし、輪荷重による疲労、材料劣化等による土砂化の要因と定期点検における舗装のポットホールや床版下面のひび割れおよび漏水痕などの外観変状との相関が明確でなく、現状の目視点検では、床版の抜け落ちのリスクを見落とす可能性がある。

また、床版の設計基準では、建設省道路局長通達(S42)以降、最小床版厚および配力鉄筋量の見直しによる疲労損傷への対策が実施<sup>2)</sup>されているが、スパイクタイヤ規制(H5)以降、凍結防止剤の散布量が増加しており、塩分を含んだ水が床版へ侵入し、床版下面に変状が発生していなくても、床版上面が土砂化している事例が発生している。写真-1は、供用後10年経過後の舗装開削後の状況である。このように床版の土砂化は、損傷の進行が速いことが特徴となっている。これらは、路面からの水が床版上面に侵入し、疲労を促進する<sup>3)</sup>だけでなく、凍害、塩害等のコンクリートの劣化を誘発することが原因と推定される。

### 2. 床版上面の滞水箇所の検出

床版上面の滞水は、舗装や床版の変状からその有無を推測することは可能だが、多くの場合には変状箇所の舗装を開削して初めて確認され、この時点で既に床版の性能が著しく低下していることがある。また、変状箇所の舗装開削により局所的な滞水を確認することは可能であっても、滞水箇所を面的に把握することはできず、潜在的な劣化

箇所を特定することは困難なのが現状である。

道路橋の調査は、劣化が生じた時点でその要因や健全性を評価するために行われるが、膨大な量の道路橋を効率的に維持管理するためには、劣化が生じる前に潜在的な劣化箇所をスクリーニングし、日常点検や定期点検において重点的に点検していくことが必要となる。その中で、床版の劣化を著しく進行させる滞水を検出することが有効になると考えられ、滞水箇所が検出できれば排水及び遮水を行う予防保全措置が実施できる。そこで本報文では、非破壊検査技術の一つである電磁波レーダを使用した床版上面の滞水検出手法の検討について報告する。

### 3. 電磁波レーダによる水分検知の検討

#### 3.1 電磁波レーダ法<sup>4)</sup>

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。探査原理は、図-1、2に示すように、電磁波を媒質中に送信器から放射し、反射した電磁波を受信器で受信し、反射波が返ってくるまでの時間から深さ方向の位置を推定する。平面的な位置は、距離計を内蔵した装置を移動させることにより、位置情報を得る。電磁波の速度は、真空中の速度( $3 \times 10^8 \text{m/s}$ )が基準となり各媒質に対する固有の速度 $V$  (m/s)で伝わる。各媒質内での伝播速度は、各媒質の固有の比誘電率 $\epsilon_r$ に依り、式(1)の速度で進む。

$$V = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ ..... (1)}$$



写真-1 舗装開削後の土砂化が進行した事例

反射物体までの距離  $D(m)$  は、送信時刻と反射波の受信時刻の時間差  $T$  から、式(2)で求めることができる。

$$D = \frac{1}{2} \cdot V \cdot T \quad \text{----- (2)}$$

電磁波レーダの測定結果を図化した場合、画像のコンターは、振幅が大きい場合は白色、小さい場合は黒色側に階調で表示される。

### 3.2 電磁波の反射

電磁波が媒質の異なる境界面に達すると、その境界面で一部反射し、残りは透過する。境界面に電磁波が垂直に入射する場合、この反射と透過の割合は境界面で接する二つの媒体の比誘電率によって決まり式(3)により反射強度  $R$  を表せる<sup>4)</sup>。

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad \text{----- (3)}$$

ここで、 $\epsilon_{r1}$ ：上層の比誘電率

$\epsilon_{r2}$ ：下層の比誘電率

## 4. 電磁波レーダによる調査

### 4.1 電磁波レーダ（ハンディタイプ）による調査

北海道の積雪寒冷地に位置する橋梁で、冬季期間は路面の凍結防止のため、凍結防止剤を散布している橋梁において調査を実施した。なお、床版防水工は未施工である。調査橋梁において、路面が健全な箇所と舗装の部分補修箇所の2箇所（写真-3）で、図-3に示すハンディタイプの電磁波レーダ（周波数2,700MHz）による計測を実施した。計測箇所において、床版の状態を確認するために80cm×80cmの舗装開削を実施した。舗装開削時は、乾式カッターと電動ピックを用いて水を使わずに開削を実施している。

舗装開削後、床版上面の水分を確認するために、電気抵抗式水分計を用いて床版上面の水分量を計測した。電気抵抗式水分計は、コンクリート表面の水分状態の変化を電気抵抗値が大きい場合に最小表示 10(約 820GΩ)、小さい場合に最大表示 990(約 10kΩ)の数値に換算して表示するカウントモードに設定して測定を実施した。床版上面のコンクリート水分状態とカウント値との関係について、次に示す3段階に区分する<sup>5)</sup>。

- ① 乾燥部（カウント値 10～230）
- ② 湿潤部（カウント値 231～520）

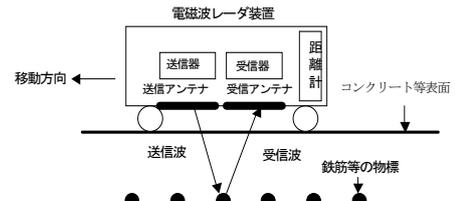


図-1 測定原理の概略図

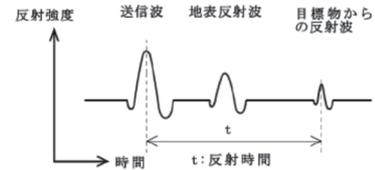


図-2 送信波と反射波

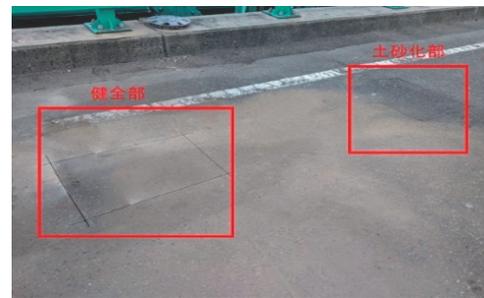


写真-2 調査箇所



図-3 電磁波レーダ（ハンディタイプ）

③ 滞水部（カウント値 521～990）  
調査結果を以下に示す。

#### (1) 健全部

写真-3に示すように、開削後の床版上面は健全な状態であることを確認した。水分計の計測結果カウント値103となり乾燥状態であった。（写真-4）。図-4に電磁波レーダによる計測結果を示す。測線に沿った床版の断面を計測結果で確認すると、舗装と床版の境界面が明確になっている。また鉄筋による反射も明確に確認できている。

#### (2) 土砂化部

写真-5に示すように、開削後の床版の土砂化を確認した。水分計の計測結果カウント値663となり③滞水部に判定される程度の高い水分量を計測した(写真-6)。これは、舗装補修部の施工目地からの水の浸入が疑われる。

図-5に電磁波レーダによる計測結果を示す。

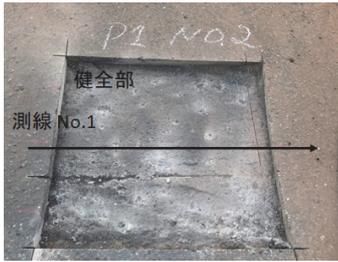


写真-3 舗装開削（健全部）



写真-4 水分計測値

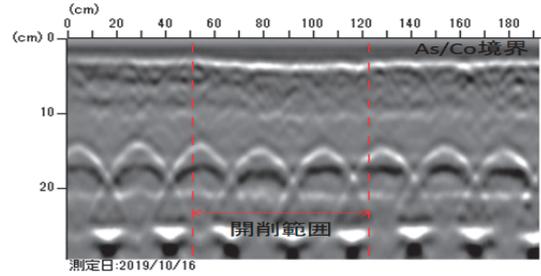


図-4 計測断面図（測線 No.1）



写真-5 舗装開削（土砂化部）

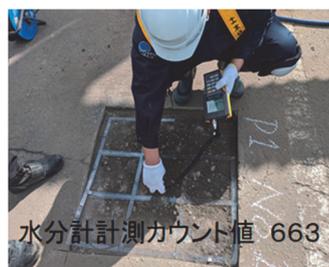


写真-6 水分計測値

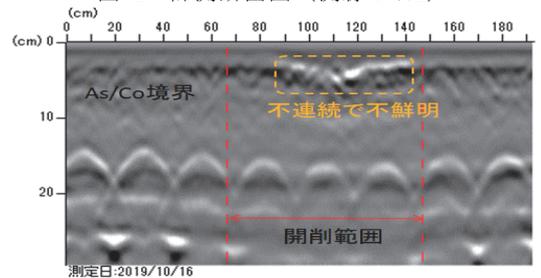


図-5 計測断面図（測線 No.2）

図-4と比較して舗装と床版の境界面が薄くなっていることがわかる。水の影響により舗装と床版の誘電率が近くなり境界面で反射しにくくなっていると考えられる。また、舗装と床版面の境界面が不連続で不鮮明であり、一部反射強度が高く白く表示されている箇所が確認出来る。これは、土砂化した箇所の含水率が高くなり、滞水している可能性がある。健全なコンクリートの比誘電率が6~10程度であるのに比べて、水の比誘電率が81であるため、境界面での電磁波の反射が大きくなっている影響と考えられる。また、鉄筋と床版厚さの反射が不鮮明になっている。健全部と比較して、反射強度が小さくなったため減衰が大きいことが分かる。鉄筋と床版厚さの反射が少し深く表示されているのは、水の影響により電磁波の伝播速度が遅くなったと考えられる。これらのように、水の影響により計測結果に違いが出てきていることが分かる。

#### 4.2 電磁波レーダ（車載式）による調査

調査橋梁は、標高が高く、積雪寒冷地に位置する橋梁で、冬季期間は凍結防止剤を散布している橋梁である。

車載式電磁波レーダ(写真-7)を使用し、自然交通流での走行の下、計測を実施した。電磁波レーダは、マルチチャンネルのステップ周波数レーダを使用している。本システムは、40~60km/h程度で走行しながら約1.5m幅の計測が可能である。

写真-8に路面画像、図-6に舗装と床版上面との



写真-7 車載式電磁波レーダ

境界面での電磁波レーダの計測平面図を示す。舗装開削は、横断勾配が低い側の片車線（赤枠箇所）にて実施している。舗装開削時は、乾式カッターとバックホウを用いて水を使わずに舗装開削を行っている。調査地点の最寄りアメダスで舗装開削前の1週間降水の記録がなく、舗装路面が乾燥状態で実施している。写真-9に舗装開削後の状況を示す。青色箇所は、土砂化が確認された箇所、赤色箇所は、床版のうきが確認された箇所を示している。舗装開削後に50cm×50cm間隔毎に水分計を用いて床版上面の水分量を計測した。図-8に計測結果を示す。水分計の計測結果、床版健全部においてカウント値が10~230の範囲であったのに対して、地覆の端部・舗装施工目地・伸縮装置設置部付近および土砂化部で水分量が多くなる傾向を確認した。

#### 4.3 反射強度分布の比較

図-7の開削後の床版上面の水分計の計測結果をもとに、健全部と滞水部と判定された範囲での計測波形を抽出した。健全部と滞水部における反射波の最大振幅値と、送信波の最大振幅値の比を、反射強度として表現する。図-8に健全部と滞水部

における反射強度の頻度分布を示す。

健全部は、反射強度約0.1を中心として分布しているが、滞水部は、反射強度約0.23を中心として0.1~0.4の範囲で分布している。水分計の計測が、50cm×50cm毎の範囲での計測であったためばらつきが発生していることも要因の一つであるが、健全部と滞水部での反射強度分布の範囲に違いが明確に出てきていることがわかる。

このように、舗装と床版の境界面の反射波の信号強度を抽出することにより、床版上面の滞水を検知することが可能であると考えられる。

### 5. まとめ

橋面上の滞水検出手法を検討するために実橋における電磁波レーダによる計測と床版上面の水分計による水分量測定を実施した。その結果、舗装端部、打ち継ぎ目及び床版劣化部に水分量の分布があることを確認した。また、舗装と床版の境界面の反射波の信号強度を抽出することにより、床版面の滞水状態を把握することが可能であり、今後AIを用いた水分検知手法の確立を目指す。

### 謝 辞

本研究は、平成30年度から実施している「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」の成果の一部である。また、研究の実施にあたり、北海道開発局及び中部地方整備局には、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) 国土交通省道路局：道路橋定期点検要領、2019.2
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：道路橋床版の疲労耐久性評価に関する研究、国土技術政策総合研究所資料、第472号、pp.5~6、2008



写真-8 路面画像

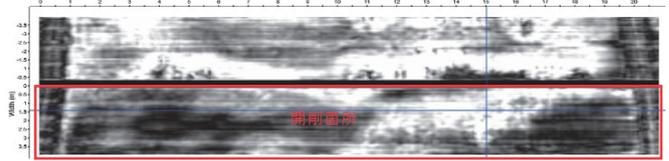


図-6 電磁波レーダ計測平面図



写真-9 舗装開削状況

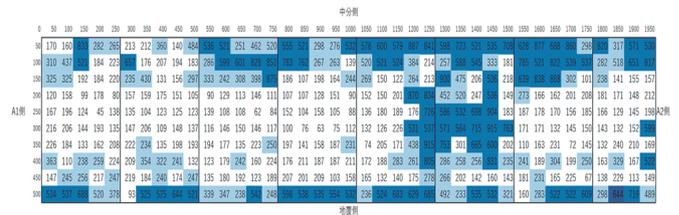


図-7 水分計計測値 (カウント値)

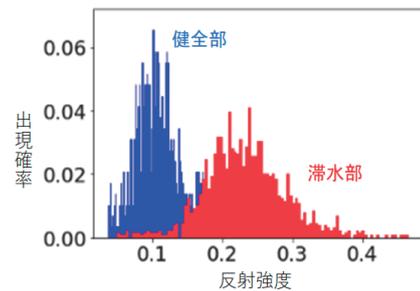


図-8 反射強度分布

- 3) 松井繁之：移動荷重を受ける道路 RC 床版の疲労強度と水の影響について、コンクリート工学年次論文報告書、Vol.9、No.2、pp.627~632、1987
- 4) 小林一輔、魚本健人：コンクリート構造物の非破壊検査、森北出版株式会社、pp.78~104、1990.5
- 5) 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、2013.3

野田 翼



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  
NODA Tsubasa

松本直士



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  
MATSUMOTO Tadashi

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