

既設RC床版における滞水・劣化検出及び簡易解消技術に関する研究（1）

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 30～令 2

担当チーム：地質・地盤研究グループ（特命物理探査）、橋梁構造研究グループ

研究担当者：齋藤清志、石田雅博、尾西恭亮、岩谷祐太

【要旨】

定期点検での見落としによる床版抜け落ち被害の防止に、RC 床版の土砂化の早期発見が求められる。土砂化の要因のひとつである床版の滞水域を、電磁波レーダ（GPR）により検出する手法の開発を進めた。GPR は床版の滞水域を異常信号として特定できるが、単純な解析では損傷域と修復箇所との判別が行えない。試験床版での基礎調査試験により、滞水や亀裂による鉄筋の回折波の振幅異常等への影響を整理した。供用中床版の現場測定記録と試験床版の測定記録を参考に、床版を伝播する電磁波の伝播速度や振幅の異常発生原因を整理し、滞水域の検出手法を提案した。また、深層学習による自動判定を試験し、床版上面の変状と下面漏水の検出に適した同走時断面や特徴量分布がわかった。複数の特徴量を用いた総合評価により判定精度の向上が見込まれる。

キーワード：電磁波レーダ、床版、土砂化、滞水、深層学習

1. はじめに

橋梁床版の土砂化は表基層に明瞭な症状を示すことなく進行し、抜け落ち等が発生するような深刻な状態の検知が遅れる場合がある^{1)~3)}。このため、電磁波レーダ（地中レーダ、GPR = Ground-Penetrating Radar）による劣化進行の早期発見が求められている。

土砂化は多数の亀裂を伴い、GPR 断面において異常信号として検知される。しかし、土砂化発生域は舗装面においても亀裂等の視認可能な症状が生じている場合が多く、早期発見には土砂化発生前の土砂化中間層⁴⁾の領域の特定が求められる。この領域では強度低下が生じている。強度低下は超音波で検出できる可能性があるが、舗装に亀裂が存在すると超音波は特性が大きく変わるため、舗装上面から安定して調査することは難しい。また、床版下面からは検出できる可能性が高いが、調査の実施に困難を伴う。

一方、GPR は強度低下域を直接検出することはできない。しかし、土砂化（図 1）の発生箇所では、滞水や水平亀裂の発生が確認されている。そこで、滞水や水平亀裂を GPR で検出し、間接的に床版の劣化が進行する領域を特定する手法の開発を目指した。

土木の分野では、GPR は路面下の埋設管や空洞の調査、およびトンネル覆工コンクリートの厚さや背面空洞の調査に用いられている。また、コンクリート構造物に対しては、鉄筋位置の測定に高周波型が利用され

ている。GPR は土工構造物中を直進する周波数帯域の電磁波の応答により、非破壊で構造調査を行う技術である⁵⁾。電磁波は誘電率が極めて高い水に対する応答特性が高い。このため、特に滞水の範囲を把握できる可能性が高く、滞水検出の手法開発を目指した。

また、GPR による異常箇所の識別は高度な専門技術を要する。解析方法により、精度に誤差がある状況では、安心して調査技術として用いることができない。このため、AI を用いた自動検出手法の試験を行った。

2. 床版調査

2. 1 測定機材

比較検討用として多種の GPR 機材を用いたが、本報告ではマルチチャンネルカート式の Earth Radar LATRO（豪州製）により取得した記録のみを示す。装置の代表的な仕様を表 1 に示す。

2. 3 供用中の橋梁調査

供用中の橋梁において試験調査を実施した。本報告



図 1 土砂化の例（左：土砂化、中央：床版の滞水、右：水平亀裂（矢印の箇所）

表 1 GPR 機材の仕様

卓越周波数	900MHz (実測)
チャンネル数	64 (送信 8ch, 受信 9ch)
同時測定測線数	16
測線間隔	65mm
トレース間隔	1.8mm
測位	RTK-GNSS
送信方式	符号化信号方式



図 2 GPR 調査の様子

では 4 橋の橋梁の測定例を示す。図 2 に各橋梁における調査の様子を示す。

次に、図 3～6 に各橋梁における測定記録の水平断面図を示す。色の違いは振幅の違いを表している。暖色系が正を、寒色系が負の値であることを示している。一般的にタイムスライス断面では正負に意味はなく、色が異なり、同走時であるにも関わらず異なる振れ方であることに意味がある。GPR は特性上必ず正負が対になって振動する電磁波を射出するため、正を示す測定点の隣接走時では必ず負に振れている。隣接地で振れ方にずれがあることが情報となる。図 4 にのみ色合いの凡例を示している。各記録の凡例はと図 4 と同一である。振幅値に意味はないため記載していない。

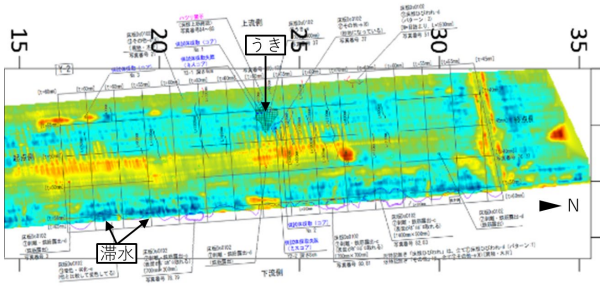


図 3 水平信号応答分布(a 橋)

a 橋においては、点検結果でうきや滞水の症状が認められる箇所では振幅異常が認められる。ここでの異常振幅域とは、周囲の色合い（振幅値）に対して、異なる色または色変化のパターンとなっている領域のことを指す。例えば、平均的に黄色であるのに対して青色や赤色になっている領域や、主筋の存在を示す橋軸直角方向の縞模様が失われている領域などがこれに相当する。

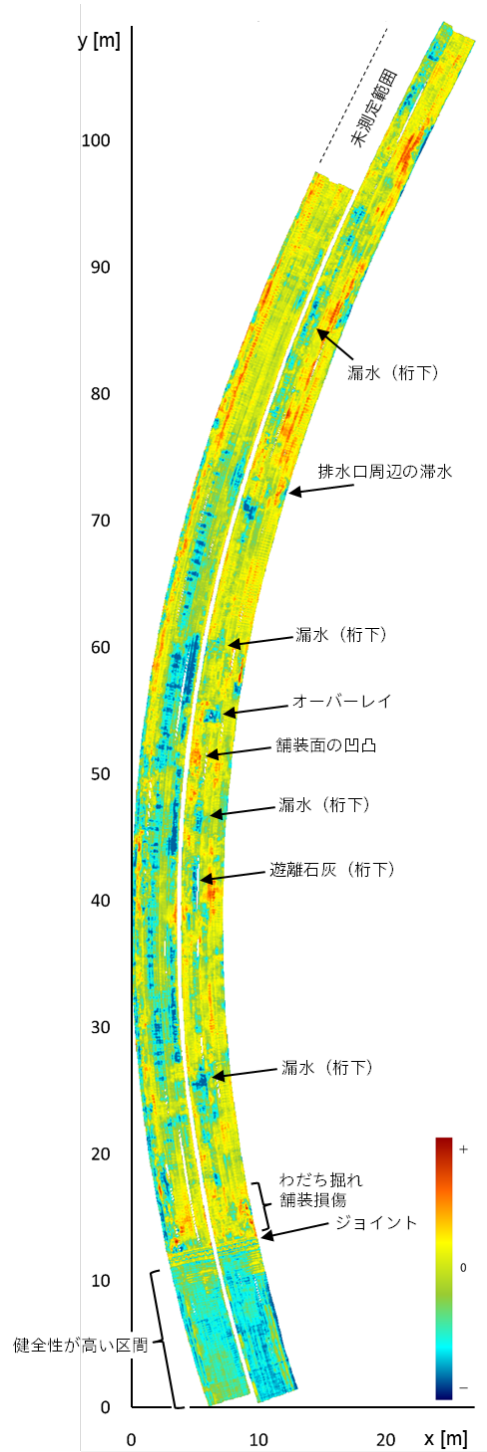


図 4 水平信号応答分布(b 橋)

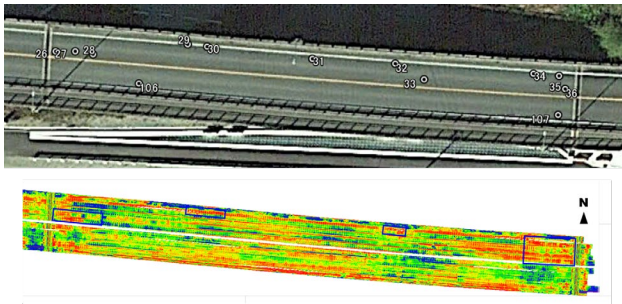


図5 水平信号応答分布(c橋)

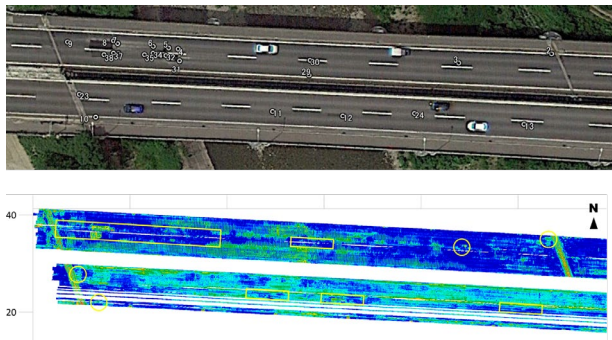


図6 水平信号応答分布(d橋)

b 橋においては、測定区間全長を掲載する。点検で指摘されている箇所と異常信号を示す領域が概ね適合している。ただし、橋梁の変状や修復方法の種類を異常信号の種類により判別することはできない。

c および d 橋においては、点検結果でなく、路面性状との関係を示す。路面のオルソ画像上の番号は目視点検で変状が認められた地点となる。路面性状と GPR の異常信号の領域に整合性が認められる。d 橋においては、センターライン沿いに変状域が認められる。鉄筋のパターンが失われている箇所は変状域として識別される傾向が認められる。

b 橋は大きくカーブしているものの、1cm 精度の GNSS トラッキングによる測定点の決定により、道路形状に合わせた測定分布結果を表示できている。GNSS を用いた測定点の決定は、複数の走査記録の重ね合わせを容易とし、解析工程の短縮化に寄与する。

2.2 試験床版による基礎試験

橋梁床版の GPR 信号応答を識別するために、試験床版を用いて基礎試験を行った。図7に試験床版の設計図を、図8に写真を示す。試験床版は境界からの電磁波の反射の影響を受けない最小の大きさで設計し、アスコン板一辺の大きさを 50cm 以内としたことで自由な着脱を可能とした。床版上面の中央に幅 20cm の切れ込みを設け、空隙率や亀裂厚等の状態変化を簡単に設定変更でき、水分状態の制御も容易に行える。

図9に試験床版で測定した典型的な記録断面例を示す。床版上面からの反射波と上部の鉄筋からの回折波を明瞭に観測している。

図10に空気層の厚みによる反射応答への影響結果を示す。左列を見ると、開口幅の大きな亀裂(空気層)を含むと異常信号として検知可能であることがわかる。一方、右列では空間を埋めるコンクリートブロックの大きさを変更した結果を示しており、最下部のコンクリート厚 19mm の記録は、左上の 20mm の記録と相違が認められない。すなわち、1mm の幅の乾燥した水平亀裂の検知は困難であることがわかる。従って、水の浸透がない水平亀裂の検出は GPR では困難と考えられ、検出対象を滞水検知に絞込むことが望ましい。

図11に空間の一部を細砂や碎石等の粒状体に置き換えた状態の測定結果を示す。図9や図10左上のコンクリートで充填された状態とは異なる信号を観測している。したがって、粒状体が充填された状態が乾燥状態の土砂化に近い状態であると考え、土砂化域は信号異常領域として検出できることがわかる。

また、図12に滞水状態の影響を調査した結果を示す。わずかでも滞水すると振幅や走時が変化する。また、乾燥状態の記録との差を調べると影響範囲を明瞭に識別できる。

また、図13に測定位置が 65mm ずつ平行にずれた4つの記録を示す。測線方向の鉄筋の間隔は 150mm であり、アンテナの走査測線とこれと平行な鉄筋の位置の距離により反射応答が変化する。測線と平行な鉄筋の位置から離れた測線で記録を取得すると、直交する鉄筋の回折波形が明瞭となり記録品質が向上する。記録を確認するまで、適切な測線位置はわからないため、

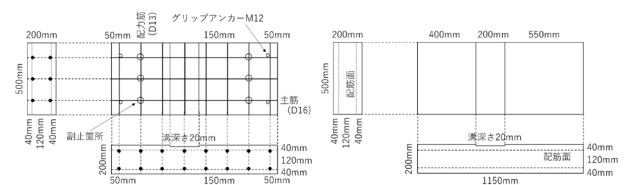


図7 試験床版の設計図



図8 試験床版の写真

現場では、アンテナ間隔が十分に狭いマルチチャンネル GPR を用いて、測線と平行な鉄筋の間隔より細かい密度の記録を取得することが、高品質な記録を効率良く取得するのに必要となる。

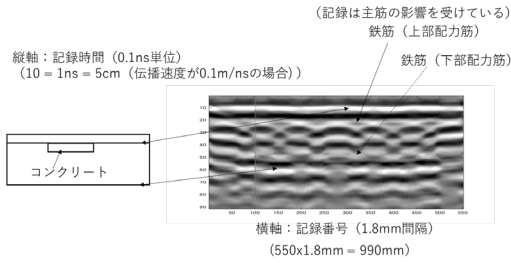


図9 試験床版の典型的な記録断面

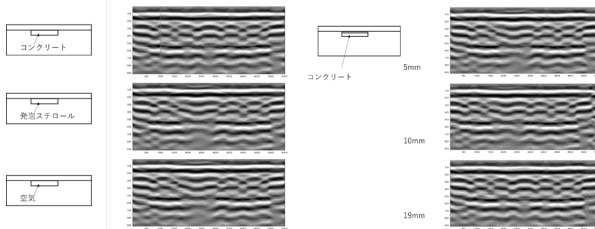


図10 空気層の影響評価

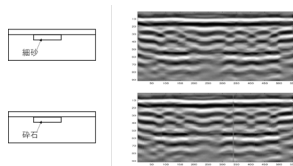


図11 粉碎状態の影響評価

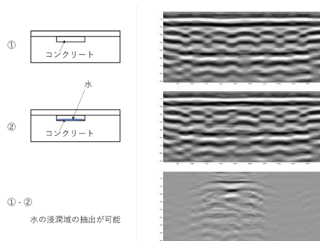


図12 滞水状態の影響評価

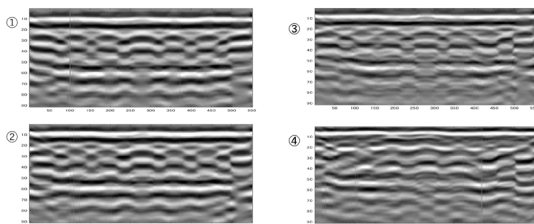


図13 隣接測線の記録 (65mm 間隔)

3. 詳細解析

3.1 波形異常現象の分析

GPR による橋梁床版の劣化箇所を検出には、水平断面の視認性が高い。水平断面では周囲と応答が異なる異常箇所が明瞭に特定できる。しかし、応答異常の原因は、土砂化や浮きとは限らず、舗装の起伏や鉄筋深度の相違など、床版が健全な場合もあり得る。ひとつの解析処理断面により異常領域を判別しているだけでは、検知したい対象の検出効率は一定以上向上しない。

2.2 節の供用橋梁の記録の通り、GPR の水平断面を用いて、橋梁の変状箇所を異常領域として検出できるが、変状種類の特定は難しい。2.3 節の基礎試験から、水分や空隙などの様々な状態を、異常信号として捉えることがわかった。本節では、GPR による検出精度向上のために必要な、異常信号の検出原因を分析する。

図 14 に典型的な電磁波の伝播経路を示す。はじめに光速で伝播する直達波や路面上を伝播する直接波の合成波を検出する。これに遅れて、床版上面の反射波、鉄筋の回折波、床版下面反射波を順に検出する。ただし、アンテナの設計や浮上距離により特性は変化する。

次に、タイムスライス断面において振幅異常が生じる状況を図15に説明する。上段が1地点の応答信号で、この信号を2次元平面上に高密度で得て、点線で示す同走時の振幅を2次元分布上に描画すると下段のタイムスライス断面となる。(b)の基本信号に対して、タイムスライス断面上で周囲と異なる異常な振幅となるのは、反射振幅が変化する場合(a)と位相が変化する場合(c)の2つが考えられる。タイムスライス断面の振幅異常は、波動記録の振幅変化(a)と位相変化(c)を区別できず、垂直(時間)断面でないとは区別できない。

さらに、振幅や位相が変化する対象物の状況を図16に示す。振幅の変化は、反射対象の反射係数が変化している場合(A)と、電磁波が伝播する経路上のどこか(反射対象物と送受信アンテナの間)で、反射係数

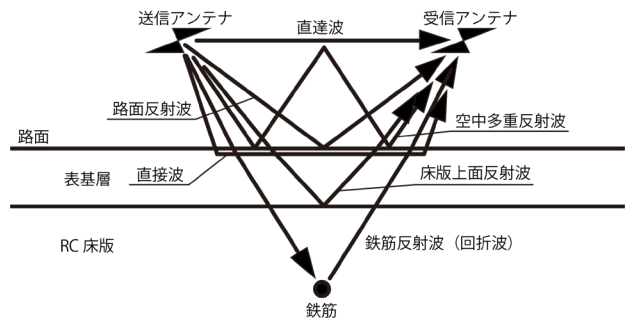


図14 橋梁調査における典型的な電磁波の伝播

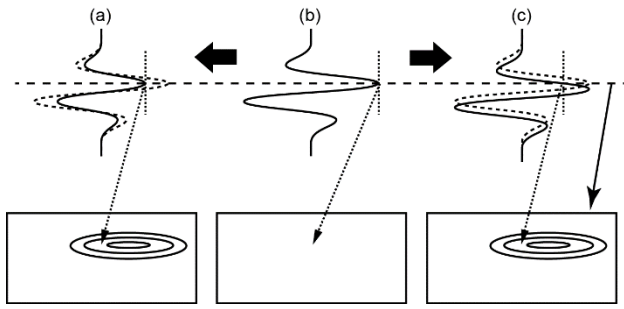


図 15 タイムスライス断面の振幅変化の要因

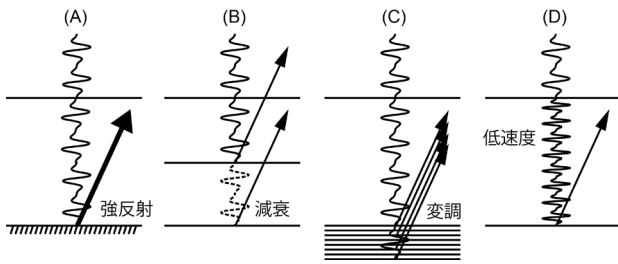


図 16 振幅と位相の変化を生じる現象

の異常や減衰が生じている場合 (B) がある。また、位相の変化は、反射対象の反射係数列が多段になるなどして周波数変調を生じる場合 (C) と、経路上のどこかで伝播速度異常や伝播時間の相違が生じている場合 (D) がある。

3. 2 滞水検知方法

3.1 節の現象理解を踏まえ、滞水の検知方法を考える。1 点目は、滞水による反射強度の増大を捉える方法である⁶⁾ (図 17)。床版の上面に滞水が生じている場合に、床版上面反射の反射強度が増大する。ただし、舗装内の亀裂や滞水の影響で床版上面まで到達する電磁波強度が低下している場合に見誤る可能性がある。

2 点目は、滞水による減衰量の増大を捉える方法である (図 17)。床版の滞水により導電率が增大し透過波が減衰する。鉄筋からの回折波の減衰量から間接的に床版を透過する電磁波の減衰量を評価する。ただし、

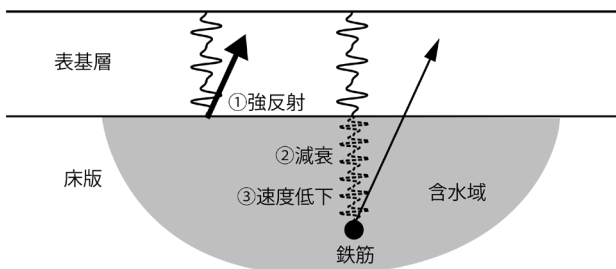


図 17 GPR による滞水の検知方法

鉄筋からの反射強度は配力筋との位置関係によっても変化する。また、舗装の亀裂や滞水による減衰の影響を誤って検出する。

3 点目は、滞水による電磁波の伝播速度の低下を捉える方法である (図 17)。床版の滞水により誘電率が增大し伝播速度が低下する。鉄筋からの回折波の走時の遅れを捉えて速度低下域を検出する。ただし、鉄筋の設置位置が上下にずれている場合は、速度異常として誤って検出してしまう可能性がある。また、舗装の滞水による速度低下も異常域として誤って検出する。

すべての方法は、舗装の状態の影響を誤って評価する可能性があるため、精度向上を図るには別途舗装の状態を評価する必要がある。鉄筋の回折波の方がノイズに強く高周波型でなくても安定して信号取得が行えるため、広く活用できる。排水機能の性能評価にも用いることができる。また、1 点目と 3 点目を組み合わせることにより、表基層と床版の間の防水層より下部への滞水の影響を抽出評価できる可能性がある。すなわち、防水層が健全であるが表基層の亀裂を通じて床版上面に滞水が生じた場合、床版上面の反射強度は高まるが、鉄筋回折波の速度低下は生じない。

図 18 は鉄筋からの回折波を含む 2.1ns の走時の記録であり、走査方向と直交方向の鉄筋が明瞭に視認できる。図 19 は調査位置の舗装路面と床版上面の写真を示す。各図の A、B、C は同地点を表す。A、B は路面から損傷が進行している。C は舗装オーバーレイにより部分補修されていたが、床版にはうき認められた。A および BC 間の位置の GPR 記録は振幅 (色合い) が変化しており、異常箇所と識別できる。図 20 に前述の床版下面の調査で認められた漏水域を合わせて示すと、床版上面の損傷域と整合的であることがわかり、滞水を伴う損傷域であると推定される。

図 20 の黒線の位置の垂直断面を図 21 に示す。横軸が調査位置、縦軸が往復走時となる。電磁波の伝播速度を 0.1m/ns とした場合の推定深度を右軸に示す。タイムスライス断面の異常箇所 (A 及び BC 間) は、垂直断面では鉄筋の回折波の走時が遅れている。一方、鉄筋よりも浅部域の床版上面からの反射波には顕著な走時変化は認められない。すなわち、床版上面の反射波は滞水等による影響が少ないことがわかる。したがって、床版上面から鉄筋までの間において、電磁波の伝播速度が低下していると判断できる。鉄筋の敷設深度が一部の狭い範囲だけ変化している可能性は低く、床版浅部の滞水が原因と判定できる。

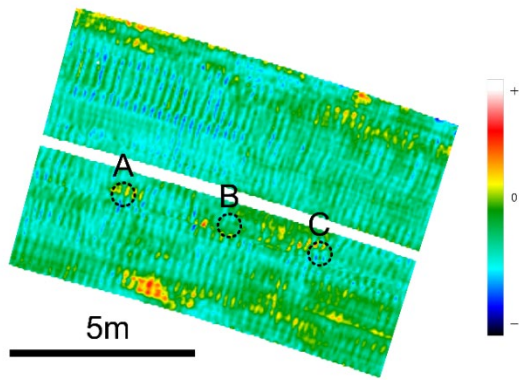


図 18 タイムスライス断面（拡大）

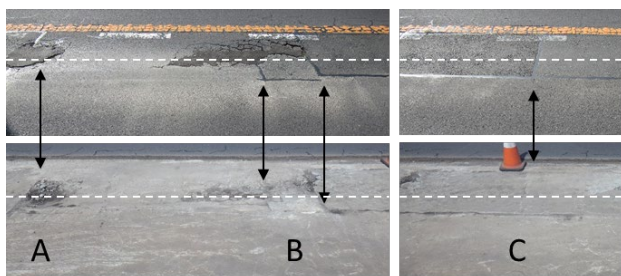


図 19 舗装路面（上）と床版上面（下）

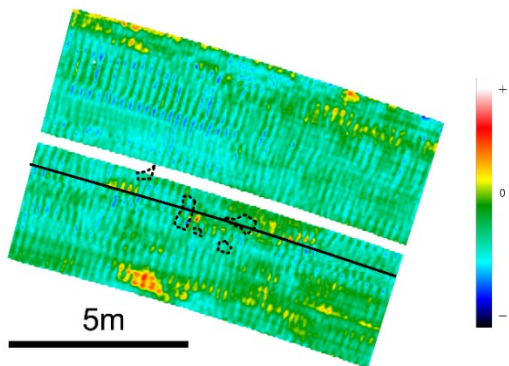


図 20 下面の漏水箇所（点線部）

3. 3 2 時期の情報の活用

2.3 節の基礎試験で確認した滞水状態の変化域の検出を供用中の橋梁で実施した結果を図 22 に示す。舗装面の亀裂に注水を行い、同測線上において GPR 記録を繰り返し取得した。左列の取得断面に対し、差分解析を行うと右列の差分記録を得る。差分記録では、浸透域を明瞭に確認できる。経時変化を測定することにより、舗装面の亀裂への注水による浸透範囲が明瞭に検出できている。

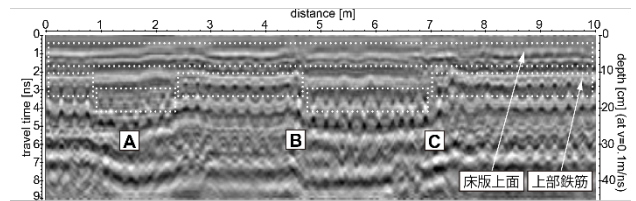


図 21 垂直断面

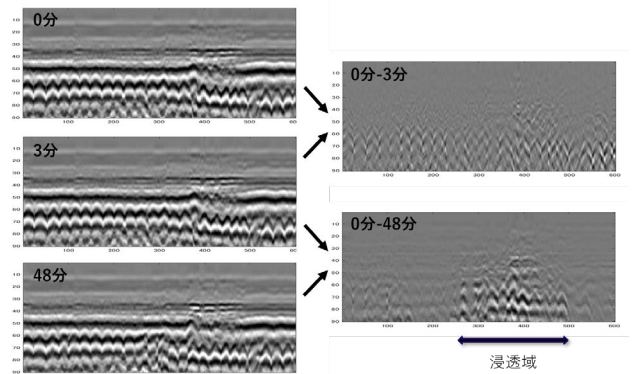


図 22 水の浸透に伴う変化箇所の識別

4. AI による自動判定

4. 1 アトリビュート解析

GPR 記録を用いて健全性評価を行う際に、通常、解析者は複数の記録断面や様々な関連情報を用いる。これには解析途中の断面や現場で得られる路面性状等の参考情報も含まれる。普段は意識をしない自明な情報、例えば、舗装の中には鉄筋は存在しない、舗装の下部に床版が存在するといった情報も活用している。

計算機に人間の解析者が得ているのと同水準の情報を与えることは難しい。しかし、計算機は休まずに大量の情報を処理できる長所がある。計算機に人間と同水準の解析をさせるには、人間が扱いきれない程の大量の情報を与え、AI による判定を行わせることがひとつの解決手段となる。

GPR の記録には本来は様々な情報が含まれている。現在、業務等の解析において一部の情報しか用いられていないのは、費用対効果や人間の処理能力を超えてしまうためである。そこで、AI に与えることが可能な様々な属性量の検討を行った。

図 23 に GPR 記録から変換した情報の事例を示す。反射強度や舗装厚などの属性情報をアトリビュートと呼ぶ。どのアトリビュートが土砂化や滞水の検知に役立つかは、3.3 節に示す分析を基にして、最終的には試行錯誤の検討結果に従うことになる。

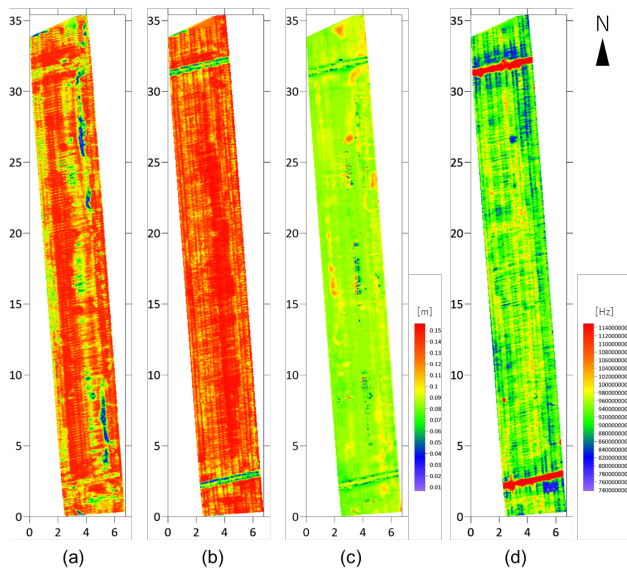


図 23 橋梁床版のアトリビュート解析例。
 (a) 床版上面の反射強度、(b) 床版下面の反射強度、(c) 舗装厚、(d) 卓越周波数

4. 2 深層学習による自動判定

深層学習を用いた自動判定を適用試験した。転移学習を行い学習用データ数の不足分を補足した。CNN（畳み込みニューラルネットワーク）アーキテクチャには主に AlexNet を用いた。参考評価用に VGG と DarkNet を用いた。

判定には、床版損傷域の目視点検記録と、下面漏水点検記録を用いた。一度の学習および判定に用いた記録数は、正誤同数で合わせて 258~444 である。これを 7:3 の割合で学習用と判定用に分類して分析した。図 24 に劣化域の判定例を示す。表 2 および表 3 に判定精度結果を示す。

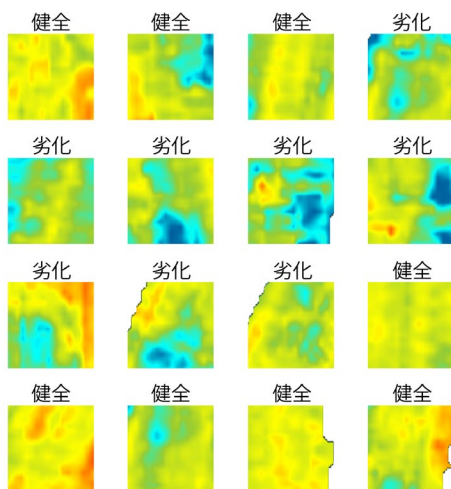


図 24 劣化域の判定例

表 2 判定精度結果（タイムスライス）

概算深度[cm]	精度(上面)[%]	精度(下面)[%]
9.5	77.87	76.83
10	83.33	70.73
10.5	80.33	75.00
11	81.97	73.17
17.5	61.67	75.00
25	73.33	80.00

表 3 判定精度結果（アトリビュート）

属性種類	精度(上面)[%]	精度(下面)[%]
周波数(全体)	78.69	73.13
周波数(鉄筋)	85.25	73.48
舗装厚	81.15	75.00
鉄筋深度	64.75	73.13
床版上面反射強度	77.05	75.37
床版下面反射強度	74.59	74.63
床版下面走時	71.31	73.88

判定精度は 70~80%程度が多く、複数の記録断面や周辺情報を用いずに、ひとつの記録を基にした判定では、精度に限界がある。一方、床版上面の変状検出には推定深度 10cm 前後のタイムスライス断面、舗装厚、鉄筋位置の周波数等が有効で、床版下面の漏水の検出には、推定深度 25cm のタイムスライス断面が有効であり、異なる記録断面が有効であることが示された。このため、調査対象に適合した記録断面の複合利用により精度向上を図ることができる可能性が高い。

また、GPR の信号解析から得た鉄筋深度分布に基づいた判定精度が低めとなっている。3.2 節で鉄筋深度は滞水域の特定に有効であると示されている。しかし、AI の解析では不良な結果となった。これは、滞水状態と床版変状の関係が高くないことを意味している。鉄筋深度分布記録の滞水域の自動判定への有効性を確かめるには、床版の滞水範囲を確認し、再検証する必要がある。

一方、鉄筋位置の周波数分布を用いた判定精度が高いことが示された。ここで用いた点検記録は、様々な種類の変状や修復が含まれていることから、反射信号が全般的に擾乱を受けたことを表す代表成分として、相関性が高かったものと考えられる。

下面漏水の判定精度は全般的に低い、下面漏水の点検と GPR 調査は数年の乖離があり、床版状態に相違が生じている可能性がある。

また、異なる CNN の判定結果を表 4 に示す。これは、推定深度 10cm のタイムスライス断面による上面変状域の判定結果である。層数は畳み込み層と全結合層の合計を示している。一般的に、層数が多いと複雑

表 4 CNN による判定精度の相違

CNN	AlexNet	VGG	DarkNet
層数	8	16	19
精度[%]	73.08	67.95	61.54

な物体検出が可能となると考えられているが、GPR の記録断面は一般の物体と比べると特徴に乏しく、深い CNN アーキテクチャは不要である可能性がある。なお、表 4 の試行は表 2 および表 3 よりも狭い判定領域による計算結果を示している。ある程度判定領域が大きい方が、判定精度が向上する傾向が認められ、異常点と正常点の相対分布を参考に人間の判断と同様な傾向が認められた。

人間は、輪荷重位置、舗装路面亀裂分布、過去の点検結果、同種の橋梁の損傷分布の知識、橋梁構造、材質など、様々な情報に基づいて総合判断している。自動判定に用いるアトリビュートの情報に、人間が利用している情報の一部が含まれるように工夫することが精度改善に重要となると考えられる。

5. まとめ

本研究では、土砂化の早期検知を目的に、GPR による橋梁床版の滞水域の検知手法の開発を行った。

GPR の水平断面は、滞水域や損傷域を良好に識別することができる。しかし、修復箇所等も同様な異常信号として検出してしまうため、特定の調査対象の検知精度を改善するには工夫が必要となる。

GPR は開口幅の大きな水平亀裂を検知可能である。しかし、1mm 幅の乾燥した水平亀裂の検知は困難である。土砂化の発生によりモルタルが粒状化した範囲は良好に検知できる。

また、水分量が少量でも滞水域の検知は可能である。また、乾燥時の記録が利用できる場合は差分解析により明瞭に滞水域を特定することができる。

GPR の反射波の振幅は、反射強度、減衰、走時変化により変化する。調査対象の影響による振幅異常の原因を識別し、特定した原因に即して判定することが、GPR 記録による検出精度の向上をもたらす。滞水域の検知には、床版上面の反射波の反射強度の増大、鉄筋の回折波の減衰、鉄筋の回折波の走時遅れの 3 種類の特徴量を評価する方法を提案する。

診断精度の安定化には、自動診断技術の導入が求められる。GPR 記録による床版滞水域の自動判定には、様々な信号成分の判定を用いた総合的な判定が有効であると考えられる。舗装厚や反射強度などのアトリ

ビュートを活用し、解析者が活用しているものと同種の情報を大量に計算機に与えることが精度向上のひとつの方法となる。

参考文献

- 1) 村越潤、田中良樹：道路橋鉄筋コンクリート床版の劣化形態の多様化と防水対策、土木施工、Vol.55、pp.68-71、2014.
- 2) 田口秀美：東北地方における RC 床版の土砂化の現状、土木技術資料、Vol.61、pp.46-49、2019.
- 3) 国土交通省道路局国道・技術課、国土技術政策総合研究所、東北、北陸、中部、九州の各地方整備局及び北海道開発局、(国研) 土木研究所：道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究、土木研究所資料、第 4398 号、2020.
- 4) 田中良樹、上仙靖：道路橋鉄筋コンクリート床版の土砂化に関する調査～土砂化中間層とその適切な除去範囲～、土木技術資料、Vol.61、pp.53-54、2019.
- 5) 物理探査学会：物理探査ハンドブック、手法編、第 7 章、404p.、1998.
- 6) 松本直士、大島義信、野田翼、尾西恭亮、石田雅博：電磁波レーダ法を用いた RC 床版の定量的状態判別手法、構造工学論文集 A、土木学会、Vol.66A、pp.791-799、2020.
- 7) Amos, W., Evgeniy, T. and Anderson, N. : Bridge deck assessment using ground penetrating radar (GPR) - Proceedings of the 22nd Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, Society of Exploration Geophysicists, Vol.2, pp.652-668, 2009.

A STUDY ON TECHNIQUES DETECTING AND IMPROVING WATER RETENTION AND DETERIORATION OF RC SLABS IN SERVICE (1)

Research Period : FY2018-2020

Research Team : Geology and Geotechnical
Engineering Research Group
(Geophysical Exploration) ,
Bridge and Structural
Engineering Group

Author : SAITO Kiyoshi, ISHIDA Masahiro,
ONISHI Kyosuke, IWATANI Yuta

Abstract : Early detection of erosion damage in RC slabs is required to reduce sudden collapse of the bridge deck, which is undetected in periodic checks. We developed the method using ground-penetrating radar (GPR) to detect the area of moisture retention in deck slabs, which is one of causes to make erosion of concrete. The deteriorated area of deck slabs can be identified with abnormal signals of GPR but the signals acquired through simple analysis cannot classify deteriorated areas and repaired areas. We confirmed techniques and performance of GPR to survey bridge decks using a test slab, for example, to use the amplitude change of diffraction waves from reinforcing steels influenced by the moisture retention. We also indicated causes to change the propagation of electromagnetic waves traveling through a deck slab using results examined with the test slab, and proposed to some ways to detect the area with high water content. Finally, we found that the GPR data acquired at different travel times or with different attributes can be applied to detect the deterioration on the upper surface and the water leakage on the lower face of concrete slabs, which will develop the integrated evaluation using a number of characteristics from a record similar to the judgment of human.

Key words : ground-penetrating radar, deck slab, erosion, moisture retention, deep learning