

電磁波レーダ法による RC 床版上の滞水検出に関する試み

Field survey on the detection of stagnant water on highway bridge RC slabs using electromagnetic wave radar method

(国研)土木研究所 寒地土木研究所 正会員 角間 恒 (Ko Kakuma)
(国研)土木研究所 寒地土木研究所 正会員 佐藤孝司 (Koji Sato)
(国研)土木研究所 寒地土木研究所 ○正会員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)

1. はじめに

道路橋 RC 床版（以下、床版）の劣化は水に起因して発生・進行することが多い。特に、積雪寒冷地では上面から浸入した水による凍害が進行しており、床版の陥没を招くこともある。

床版上の滞水に関しては、舗装や床版の変状からその有無を推測することは可能であるが、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もある。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である。

一般に、道路橋に関する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であると考えている。その中で、床版に関して言えば、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。

本研究では、床版上の滞水を検出する手法を確立するための基礎的検討として、コンクリートの非破壊調査技術である電磁波レーダ法を使用して、道内 3 橋を対象に現地での滞水測定を行った結果を報告する。通常、電磁波レーダ法による床版の非破壊調査では、床版上に滞水があると電磁波の異常反射により正常な結果が得られないため、床版が乾燥している条件で行われる。本測定では、滞水箇所でも異常反射の特性を利用して滞水箇所の把握を試みるものである。

2. 電磁波レーダによる測定システム

本研究における電磁波レーダには、図-1 および表-1 に示すニチレキ(株)が開発した床版上部非破壊調査システム「床版キャッチャー」²⁾を使用した。本システムにおける測定原理は、一般的な電磁波法と同様、電磁波を発信し、異なる比誘電率面からの電磁波の反射をアンテナで受信し、その受信波形から損傷部の判定を行うものである。測定車両には路面撮影用のラインセンサカメラが設置されており、電磁波レーダ信号の取得と同時に路面のひび割れを検出することも可能である。

3. 実橋梁における測定

3.1 対象橋梁

本研究では、北海道開発局が管理する国道橋 3 橋（以下、A～C 橋）において電磁波レーダの測定を実施した。



図-1 電磁波レーダ測定車両

表-1 測定システムの概要

項目	仕様	性能
測定速度	推奨 40km/h	80km/h
距離測定	車速信号取得	精度±0.3%以内
路面画像	ラインセンサカメラ	幅 1mm 以上のひび割れを検出可能
電磁波	マルチステップ周波数方式	200MHz～3GHz
	アンテナ幅 1.8m	有効測定幅員 1.5m
	チャンネル数 21	走行方向 7.5cm 間隔 走行直角方向 7.5cm 間隔 深さ方向 1.0cm 間隔

各橋梁の概要を表-2 に示す。表中の路面写真は、平成 25 年度の定期点検で撮影されたものである。なお、測定対象とした 3 橋は全て RC 床版を有する鋼鈑桁橋であり、適用示方書、舗装や床版の劣化状況、過去の補修履歴等が異なる。

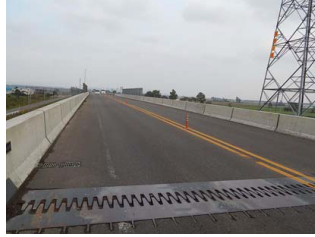
3.1.1 A 橋

昭和 46 年に供用された A 橋は、測定対象とした 3 橋の中で最も古い橋梁であり、昭和 39 年の鋼道路橋設計示方書に準じて設計されている。過去に増桁や鋼板接着といった床版補強が行われているほか、平成 23 年には橋面防水の設置と舗装の打換えが行われている。ただし、平成 25 年度に実施された定期点検では、床版下面の漏水・遊離石灰、排水ますの土砂づまり、舗装の異常といった滞水が推察される変状が確認されており、橋面の防水・排水機能が十分に機能していない橋梁であると予想される。

3.1.2 B 橋

平成 23 年に供用された B 橋は、3 橋の中で最も新しい橋梁であり、床版防水層の設置が義務化された平成 14 年の道路橋示方書に準じて設計されている。平成 25 年度に実施された定期点検において壁高欄からの漏水・遊離石灰や排水管の漏水・滞水が確認されているが、舗装や床版の変状は見られず、舗装や床版の劣化要因になるような水の浸入や滞水は生じていないと予想される。

表-2 橋梁の基本諸元

橋梁	A 橋	B 橋	C 橋
橋長	42m	97m	86m
有効幅員	10m	7m	11m
縦断勾配	なし	0.54%	なし
横断勾配	拌み 2%	拌み 2%	拌み 2%
上部構造形式	2 径間連続非合成鈑桁	2 径間連続非合成鈑桁	3 径間単純合成鈑桁
供用開始	昭和 46 年	平成 23 年	昭和 48 年
適用示方書	昭和 39 年鋼道路橋設計示方書	平成 14 年道路橋示方書	昭和 47 年道路橋示方書
路面種別	アスファルト舗装	アスファルト舗装	アスファルト舗装
代表的な補修履歴	S63 増桁、床版補修 H14 高欄取替 H23 橋面防水、舗装打換え	なし	H19 高欄補修、地覆補修
路面写真			

3.1.3 C 橋

昭和 48 年に供用された C 橋は、昭和 47 年の道路橋示方書に準じて設計されている。平成 25 年度に実施された定期点検において、橋梁全長にわたる路肩部での舗装のうき、橋軸直角方向の舗装ひび割れ、伸縮装置付近での舗装のうき、床版下面の漏水・遊離石灰が確認されている。舗装や床版の外観からは、3 橋のうち最も水の影響を受けている橋梁と予想される。

3.2 測定方法

測定には車両搭載型の電磁波レーダを使用し、自然交通流での走行の下、電磁波レーダ信号を取得した。測定は 2 日間に分けて実施し、2016 年 9 月 27 日に実施した 1 日目の測定では、床版面が乾燥していると思われる状態で電磁波レーダ信号の初期値を取得することを目的に、測定前の 3 日間で最寄りアメダスに降水が記録されていない日を選定した。このときの測定回数は 1 橋当たり 1 回とした。同 10 月 27 日に実施した 2 日目の測定は、降水に伴う滞水発生の検出を目的に、前日に降水が記録され、かつ、測定当日の降水が予報されていない日を選定した。1 橋当たりの測定回数は 2 回とし、各測定の間 7 時間程度の間隔を空けた。

測定範囲は上下各 1 車線（計 2 車線）とし、一般に滞水が生じやすい地覆付近での測定ができるよう車道外側線に近い位置を測定車両が走行した。

3.3 架橋地点の気象データ

図-2 に、測定日近日における橋梁架橋地点の最寄りアメダスによる 1 時間降水量、日射時間、気温のデータを示す。1 日目の測定では、測定 4 日前の 9 月 23 日に 4.5~8.0mm の降水記録があった後、測定日までに降水は記録されていない。また、降水後から測定日までの日平均気温は 18℃ 程度であり、日射時間が確保されていた。2 日目の測定では、測定日の 3~5 日前および前日

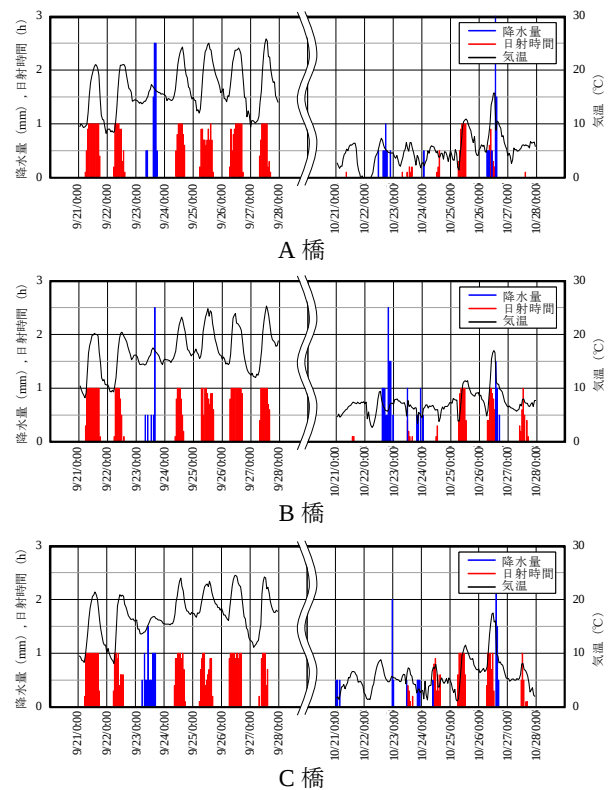


図-2 アメダスによる気象データ

に降水があり、A、B、C 橋の順に、測定日までの 7 日間での累計降水量は 11.0、15.5、10.5mm、前日の降水量は 7.0、3.0、4.5mm であった。また、A 橋において測定当日の日射時間が少ない傾向であった。

4. 測定結果および考察

4.1 測定結果

図-3 には、測定結果として、ラインセンサカメラに

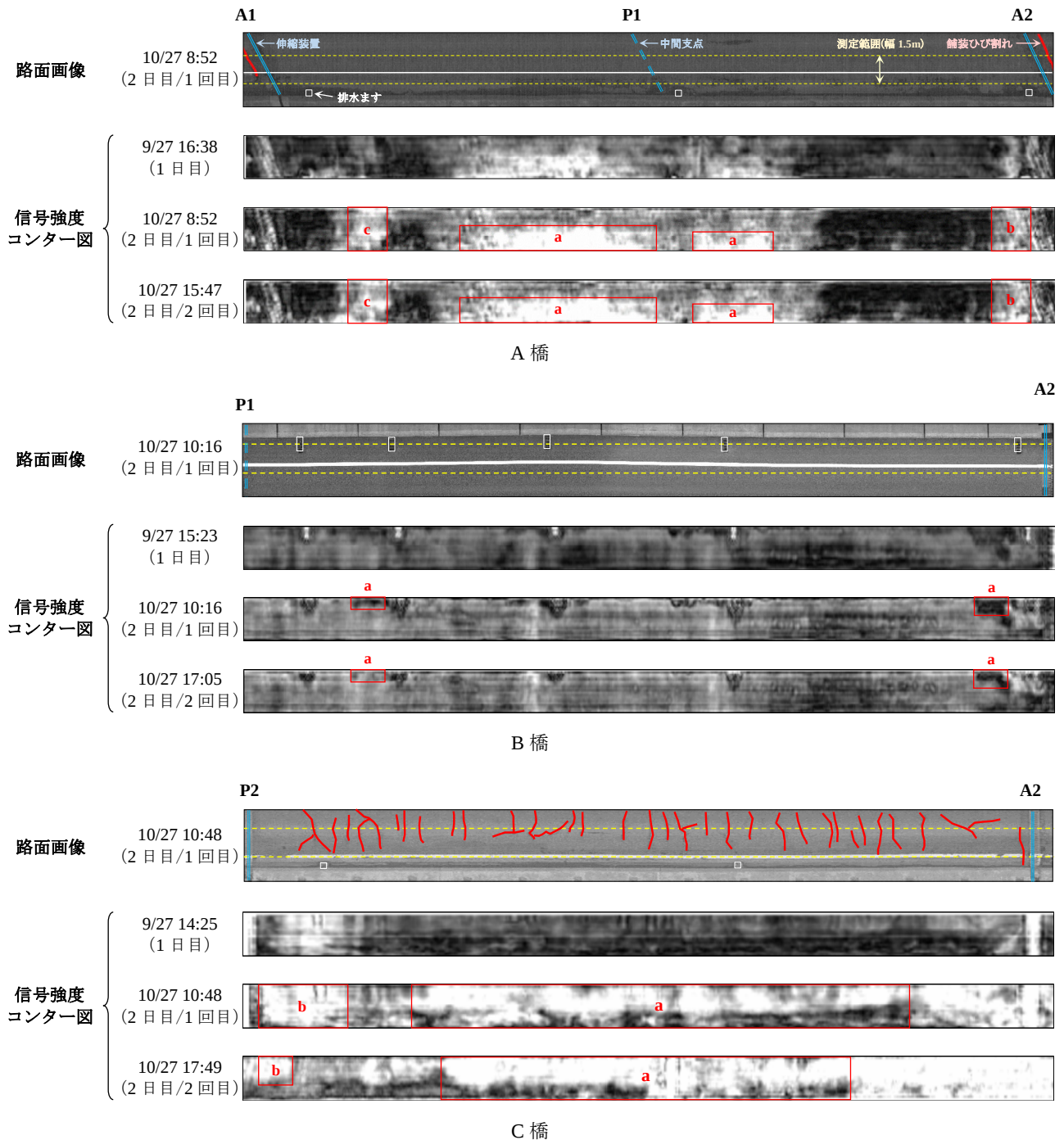


図-3 測定結果

より撮影した路面画像および床版上面で反射した電磁波に関する信号強度のコンター図の一例を示す。コンター図の白色が濃くなるほど信号強度が大きいことを意味する。本測定では、1日目と2日目のコンター図を相対的に比較し、信号強度の変化が見られる範囲を滞水が疑われる箇所と判定する。これは、A～C 橋において、1日目と2日目の測定の間に路面性状の変化がなく、測定間隔1ヶ月の間に舗装や床版の劣化損傷が発生・進行していないと考えられるためである。

4.1.1 A 橋

A 橋に関して1日目と2日目の測定結果を比較すると、

2日目において信号強度の増大が見られ、特に外側線より外側の範囲において信号強度の増大が顕著である（図中のa部）。路面画像からは2日目の測定において地覆付近が湿潤状態になっている様子が見られており、a部での信号強度の変化が地覆付近での滞水を示している可能性がある。また、A2側の伸縮装置付近においても信号強度の増大が確認された（図中b部）。A1-P1径間とP1-A2径間では信号強度の分布が異なり、A1-P1側で信号強度が増大した（図中c部）。本測定では床版面の劣化調査を行っていないためあくまで推察になるが、c部では床版コンクリートの劣化や舗装や防水層の剥離によ

り滞水が生じやすい状態になっていることが懸念される。

2 日目の測定結果に着目すると、1 回目 (10/27 8:52) と 2 回目 (10/27 15:47) では橋面全面にわたり概ね同様の信号強度分布であり、7 時間程度の測定間隔では橋面に浸入した水の排出・逸散を捉えるには至らなかった。

4.1.2 B 橋

B 橋では、2 日目において全体的に信号強度が増大する傾向があるものの、A 橋と比較した場合にその増大は顕著ではない。前述したとおり、本橋では舗装や床版の変状が生じていないが、供用開始から 5 年程度が経過した時点では防水層も十分に機能し、舗装の水密性も低下していないと推察される。

また、一部の排水ます付近では、1 日目と 2 日目において信号強度が変化していない範囲があり、地覆付近に設置された導水パイプや排水ます等が降水の排出に寄与したことを示していると考えられる (図中 a 部)。一方、同箇所においては時間の経過とともに信号強度が増大する傾向がある。この原因として、舗装に浸入した水が時間をかけて浸透した影響が考えられるが、今後、詳細な調査を要する。

4.1.3 C 橋

C 橋では、A および B 橋と比較して降水による信号強度の変化が見られる範囲や強度の変化が大きい。P2-A2 間の中央部 (図中 a 部) では、外側線付近よりもセンターライン側で信号強度の増大が顕著になるが、ラインセンサカメラによる路面画像からわかるように、路面には橋梁全長にわたって橋軸直角方向のひび割れが多数発生し、これらから浸入した降水が床版上に留まっていることを表していると考えられる。一方、P2 側の伸縮装置付近では、2 日目の 1 回目 (10/27 10:48) に見られた信号強度の増大した範囲が、2 回目 (10/27 17:49) には範囲が縮小し、滞水範囲が縮小したことが示唆される (図中 b 部)。ただし、全体的な傾向は A 橋と同様に、降雨後 7 時間程度が経過しても滞水状態が急激に改善されたと推察される信号強度の変化は見られなかった。

4.2 考察

乾燥した床版面を想定した 1 日目および湿潤した床版面を想定した 2 日目の電磁波レーダ測定では、3 橋ともに床版面の滞水と思われる信号強度の変化が見られた。特に、過去の定期点検結果から滞水が推察された A および C 橋では信号強度の変化が著しく、地覆付近、舗装ひび割れ箇所、伸縮装置付近といった滞水が生じやすい箇所における信号強度の増大も見られた。また、供用開始後の経過年数が短く、定期点検において舗装や床版の変状が確認されていない B 橋では信号強度の変化が小さかった。これらの結果から、定性的な判断ではあるが、橋面上の滞水を電磁波レーダ法により測定できていると考えられる。

一方、降水翌日に実施した 7 時間程度の測定間隔では電磁波の信号強度に劇的な変化は見られず、橋面の滞水状況の変化を捉えるには至らなかった。その要因として、(1)降水の排水に要する時間に対して本測定間隔が十分でなかったこと、(2)排水ます等の排水装置が設置され

ている橋梁であっても水は速やかに排水されるわけではなく、同一箇所に留まり、滞水の解消が床版内部への浸透によりもたらされていること、等の可能性が考えられる。ただし、橋面上の排水経路や時間については十分な知見がないため、追加調査等により測定結果の検証を行う必要がある。

最後に、本測定結果を基に、床版の維持管理の観点から電磁波レーダ法による滞水検出技術の適用可能性に言及する。床版の劣化調査における電磁波レーダ法は、本測定で使用したシステムのように車両走行下での面的な調査が可能であり、非破壊調査手法としての適用性が高いものの、基本的には劣化が疑われる床版に適用されるものであり、潜在的な劣化箇所を把握するのは困難である。これに対し、本測定で試みた滞水に着目した信号強度の比較は、劣化形態の特定こそできないが、床版上面における滞水状況を把握することが可能であると示唆される。したがって、床版上面に発生する劣化の多くが滞水の影響を受けることを鑑みると、潜在的な劣化箇所をスクリーニングする手法として本手法の有効性は高いものと考えている。また、調査結果の解釈をデータ分析者に委ねざるをえない従来の調査手法とは異なり、直感的に解釈しやすいデータを取得できることも膨大な量の床版を維持管理していく上での利点になると言える。

5. おわりに

本研究では、RC 床版の非破壊調査技術の一つである電磁波レーダ法に着目し、橋面上の滞水検出手法としての適用可能性を検討するために、実橋における滞水測定を実施した。その結果、反射電磁波の信号強度の相対変化に着目することで滞水検出が可能であると推察される結果が得られ、床版の潜在的な劣化箇所をスクリーニングする手法として有効であることを示唆した。

本研究は、実橋で得られた測定結果のみに基づき橋面上の滞水検出への電磁波レーダ法の適用可能性を検討したものであり、実橋における滞水調査による測定結果の検証は行っていない。今後、室内試験や追加調査により本手法の適用性や精度を検証していく予定である。

謝辞

本研究の実施にあたり、北海道開発局札幌開発建設部には多大なるご協力いただきました。また、測定結果の分析においてニチレキ(株)・遠藤浩隆氏にご助言をいただきました。ここに謝意を記します。

参考文献

- 1) 澤松俊寿、岡田慎哉、西弘明、三田村浩、松井繁之：46 年間供用した寒冷地における道路橋 RC 床版の劣化損傷状況、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、I-414、2013。
- 2) 永塚竜也、近藤成則：RC 床版上面の損傷と路面のひび割れ、土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集、CS10-007、2015。