報告

電磁波レーダによる RC 床版上面の状態評価に関する 実験的検討および現場適用事例

永塚竜也*, 小林大**, 橋本竜也*, 田代大樹**

*ニチレキ株式会社(〒343-0824 埼玉県越谷市流通団地 3-3-1) ** 大日本コンサルタント株式会社(〒170-0003 東京都豊島区駒込 3-23-1)

RC 床版は、舗装をとおして交通荷重を直接支持する重要な部材である. RC 床版上面に生じる損傷は、舗装の破損に繋がり交通事故など第三者被害を招きかねない. しかし、RC 床版は舗装に覆われていることから、目視で上面の損傷を発見することは困難である. そこで筆者らは、RC 床版上面の非破壊調査システムを開発し、同システムの精度向上およびスクリーニング調査手法の開発に向けて、実物大の供試体を作製し実験を行った.

本報告は、実物大供試体実験に基づく RC 床版上面の状態評価アルゴリズムの検討内容と、現場での適用事例を報告するものである.

キーワード: RC 床版,砂利化,土砂化,非破壊,電磁波レーダ,長寿命化

はじめに

RC 床版は、舗装をとおして交通荷重を直接支持する重要な部材である。また、橋梁の架替に関する調査¹⁾によれば、床版の破損は、上部構造の損傷による架替理由の上位であることなどから、床版の劣化・損傷を早期に把握して長寿命化を図ることが望まれている。しかし、RC 床版の上面に発生する劣化・損傷は、舗装で覆われていることから目視で発見することが困難であり、舗装の異常として顕在化した時点では、打ち替えなど大掛かりな補修が必要となる場合がある。そのため、筆者らは、平成26年より車載型電磁波レーダ装置(写真-1)を用いてRC 床版上面の状態評価システムの開発に取り組んできた。本報告は、同システムの精度向上およびスクリーニング調査手法の開発に向けた基礎資料とすることを目的とし、実際に見られるRC 床版上面の状態を模擬し

た実物大供試体を作製して 電磁波レーダ信号を取得し 考察を行なうとともに,現場 での適用事例を報告するも のである.



写真-1 車載型電磁波レーダ装置

2. 実験の概要

2.1 供試体および実験ケース

実験ケースを表-1 に示す. 供試体は、昭和39年鋼

道路橋示方書 9 を参考として作製した 1.5m 四方,厚さ 19cm の鉄筋コンクリート版(以下,RC 版)(写真-2)に対して表-1 に示す RC 床版上面の状態を模擬し(写真-3),その上に厚さ 8cm のアスファルト版(密粒度アスファルト混合物 2 層)を設置した.

表-1 実験ケース一覧表

	1		/ 是武	
ケース	RC版	上面の状態	アスファルト版 と RC 版の接着	水分の寄与
1		防水なし	有	アスファルト 版上面乾燥
2	健全 ※1	塗膜系防水	有	アスファルト 版上面乾燥
3		シート系防水 t=2mm	有	アスファルト 版上面乾燥
4	舗装剥離	隙間 t=0mm		隙間乾燥
5		隙間 t=2mm		隙間乾燥
6	%2	隙間 t=4mm		隙間乾燥
7		細骨材を充填		充填物乾燥
8	砂利化 ※3 (ザグリ 有)	t=5mm		充填物滞水
9		粗骨材·細骨材		充填物乾燥
10		の混合物を充填 t=25mm		充填物滞水
11		嵌め込みコンク		充填物乾燥
12		リート版を破砕 t=25mm ※ 4		充填物滞水
13	水平クラッ ク ※5 (ザグ リ有)	d=30mm	無	クラック面乾 燥

- ※1 アスファルト版, 防水, RC版を接着した供試体
- ※2 アスファルト版と RC 版を接着せず隙間を空けた供試体. 防水はなし.
- ※3 RC 版中央部の 75cm 四方のザグリに骨材や嵌め込んだコンクリート版を破砕 してアスファルト版を載せた供試体、防水はなし、
- ※4 水平クラックに伴うかぶりコンクリートのうきに発生した格子状のひびわれ を再現した初期の砂利化の供試体、防水はなし、
- ※5 RC 版中央部の75cm 四方のザグリに同寸法のコンクリート版を嵌め込んだ供 試体、防水なし、



写真-2 砂利化および 水平クラック用の外観



写真-3 状態模擬例 No.11 砂利化

2.2 実験方法

実験は、2.1で作製した 供試体の上を車載型レー ダ装置³⁾と同等の性能を 有する手押し型レーダで 走査し、電磁波レーダ信号



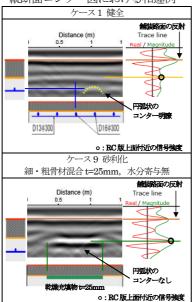
写真-4 実験状況

を取得した(写真-4). なお、計測時のパラメータ設定 (データ取得間隔等) は、車載型レーダで調査する場合 と同じ条件で計測を行った.

2.3 実験結果および考察

健全 (ケース 1) と砂利化 (ケース 9) の信号波形と縦断 面コンター図を表 -2 に示す. ケース 1 の信号波形は, RC 版上面付近で一様 な信号強度を示し, 縦断面コンター図 では、鉄筋の円弧状 のコンターが明瞭 に確認できる.一方, ケース9の信号波形 は、ケース1と比較 して RC 版上面付近 の信号強度が極め て大きく,縦断面コ ンター図では、鉄筋

表-2 信号波形と 縦断面コンター図における相違例



の円弧状のコンターが確認できない.以上より、RC版上面付近の信号強度と鉄筋の円弧状のコンターは、RC版上面の状態に応じて違いが見られることがわかった.そこで本実験では、この2点に着目し実験ケース毎に整理したところ、以下の事項を確認できた(表-3).

(1) 健全

健全な供試体は、いずれも信号強度が同程度かつ鉄 筋の円弧状のコンターが明瞭であった。

(2) 舗装剥離

舗装剥離は、健全と比較して信号強度が小さく、隙間が狭い方がより小さかった。また、鉄筋の円弧状の

コンターが不明瞭であった. なお, 隙間に水分が寄与する場合は,砂利化と同様に評価される可能性がある.

(3) 砂利化

ケース 7 は、健全と比較して信号強度がやや大きく、 鉄筋の円弧状のコンターが不明瞭であった。 ケース 11,12 は、健全のケースと比較してレーダ信号取得範 囲において信号強度が一様ではなく、平面コンター図 においてマダラ模様を呈した(表-4)。 また、鉄筋の 円弧状のコンターは確認できなかった。 ケース 8~10 は、健全と比較して信号強度が極めて大きく、水分が 寄与するケースが一段と大きかった。 また、鉄筋の円 弧状のコンターは確認できなかった。 また、鉄筋の円 弧状のコンターは確認できなかった。

(4) 水平クラック

健全と比較して信号強度が同程度であったが、鉄筋の円弧状のコンターが不明瞭であった. なお、隙間に水分が寄与する場合は、砂利化と同様に評価される可能性がある.

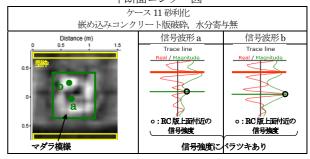
表-3 実験結果の整理

表-3 実験結果の整理							
				RC 版上面付近の 信号強度		鉄筋の	
ケース	RC 版上面の状態		水 分 ※1	計測範 囲内の バラツ キ	No.1 との比較 (※2)	円弧状のコンター	
1		防水なし	無	無	1	明瞭	
2	健全	塗膜系防水	無	無	同程度 (1.0)	明瞭	
3		シート系防水	無	無	同程度 (1.0)	明瞭	
4	舗装剥離	隙間 t=0mm	無	無	やや小 (0.6)	不明瞭	
5		隙間 t=2mm	無	無	(0.6)	不明瞭	
6		隙間 t=4mm	無	無	(0.9)	不明瞭	
7		細骨材 t=5mm	無	無	やや大 (1.3)	不明瞭	
8		細骨材 t=5mm	有	無	極めて大 (2.9)	なし	
9	(P) 化 (P) 化 (L) (P) (P) (P) (P) (P) (P) (P) (P) (P) (P	細・粗骨材 混合 t=25mm	無	無	極めて大 (2.3)	なし	
10		細・粗骨材 混合 t=25mm	有	無	極めて大 (3.1)	なし	
11		破砕コン版 t=25mm	無	有	一様でない	なし	
12		破砕コン版 t=25mm	有	無	一様でない	なし	
13	水平 クラ ック	d=30mm	無	無	同程度 (1.0)	不明瞭	

※1 水分の寄与に関する詳細は表1を参照

※2 ケース1との信号強度比率の概略値

表-4 破砕嵌め込みコンクリート版内 平断面コンター図



3. 実験のまとめ

今回の実験で得られた知見を以下にまとめる.

- ・鉄筋の円弧状のコンターにより、健全な範囲をおよそ 特定可能である.
- ・信号強度や鉄筋の円弧状のコンターについて健全な範囲と比較することにより、水分が寄与する場合や骨材状(細骨材や粗骨材の充填物)の深い砂利化の範囲をおよそ特定可能である。一方、乾燥した浅い骨材状の砂利化は、舗装剥離と同様に評価される可能性がある。
- ・同様に乾燥した舗装剥離の範囲をおよそ特定可能であるが、隙間に水分が寄与する場合は、砂利化と同様に評価される可能性がある.
- ・水平クラック(ケース 13) や水平クラックに伴うかぶりコンクリートの格子状ひびわれ(ケース 11,12)の進展段階について電磁波レーダにより評価できる可能性が分かった. 今後は、実際の現場で確認される損傷状態により近い供試体を用いた実験を行うなど、さらなる検証が必要である.

4. RC 床版上面の状態グルーピングマトリックス

前述した実物大供試体実験により、鉄筋の円弧状のコンターの見え方に着目することで、RC 床版上面の状態を3グループに分類可能であることが分かった。しかし、鉄筋の円弧状のコンターの判断は、画像目視による定性的な分類である。そこで、分類の安定化を図るため、実物大供試体実験による知見に基づき、定量的なRC 床版上面付近の信号強度にも着目することとし、評価者によるバラつきを抑えるグルーピングの安定化を検討した(図-1).

具体的には、RC 床版上面付近の信号強度と鉄筋の円弧状のコンターの見え方を判断項目とし、RC 床版上面の代表的な状態を配置してマトリックスを考案した. なお, グループ内に含まれる具体的な状態については、開削調査などを行い特定する必要がある. 各グループの解説を以下に示す.

(1) グループ1

「①健全(舗装, RC 床版に損傷がなく密着した状態)」のみが該当し、RC 床版上面付近の信号強度が一様に取得される. なお、当該グループにおいて取得される RC 床版上面付近の信号強度が、グループ 2 や 3 を区分する基準となる.

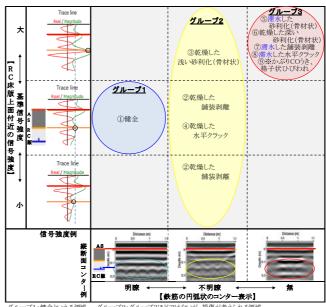
(2) グループ2

「②隙間が乾燥した舗装剥離」や「③乾燥した浅い骨材状の砂利化(実物大供試体実験では深さ 5mm において確認)」が該当するグループである. なお, 実物大供試体実験や実橋での調査結果を考慮すると,「④クラック面が乾燥した水平クラック」も該当する可能性がある.

また、損傷状態が不均一な場合に RC 床版上面付近の信号強度が一様ではない可能性があり、平断面コンター図において実物大供試体実験で確認されたマダラ模様を呈する可能性がある.

(3) グループ3

「⑤滞水した骨材状の砂利化」や「⑥乾燥した深い骨材状の砂利化(実験では深さ 25mm において確認)」が該当するグループである. なお、実物大供試体実験や筆者らによる実橋の調査結果を考慮すると、「⑦隙間に滞水した舗装剥離」、「⑧クラック面に滞水した水平クラック」や「⑨水平クラックにより、ういたかぶりコンクリートが格子状のひびわれに進展したケース」も該当する可能性がある. また、グループ2と同様に平断面コンター図において、実物大供試体実験で確認されたマダラ模様を呈する可能性がある.



グループ1: 健全といえる領域 グループ2: グループ3: ジではないが、損傷が考えられる領域 グループ3: 砂利化等の重常に損傷が疑けれ、健全性が低下していると考えられる領域 口内のRC床版上面の状態は、実物大供試体実験や、調査実績からマリックスにおいて可能性が考えられる状態 ※水平クラックにより、ういでかぶりコンクリーが格子状のひびわれに進展した状態

図-1 RC 床版上面の状態グルーピングマトリックス

5. RC 床版上面の状態グルーピングアルゴリズム

RC 床版上面の状態グルーピングアルゴリズムをフロー化したものを図-2に示す.

グルーピングは,グループ 1 の信号強度がグループ 2 や 3 を特定する際の基準となることから,はじめにグループ 1 の範囲の特定作業を行う.

次に,グループ3の範囲

① グループ1 機全な可能性が高い範囲の特定
② グループ3 重篤な損傷(砂利化等)の 疑いがある範囲の特定
③ グループ2 ①と②以外の範囲の特定

図-2 状態グルーピング フロー

の特定作業を行い、残りの範囲がグループ2となる.

6. 実橋における RC 床版上面のグルーピング事例と 開削調査結果

実橋梁 (昭和 49 年建設) で RC 床版上面の状態をグルーピングし、開削調査を実施した事例を紹介する.

6.1 RC 床版上面の状態グルーピング

(1) グループ1の特定

得られた電磁波レーダ信号から、鉄筋の円弧状のコンターが明瞭に確認でき、床版上面付近の信号強度が一様に取得された範囲を特定した。この範囲がグループ1となる(図-3)。

(2) グループ2, 3の特定

次に、グループ 1 を除く範囲で鉄筋の円弧状のコンターが確認されない範囲をグループ 3 の候補とし、信号強度の確認を行なった(図-3)。基準信号強度と比較して、極めて信号強度が大きい地点を確認したが一様ではない状況であり、平断面コンター図においてマダラ模様を呈した(図-4)。当該範囲は、解説に基づきグループ 3 として特定し、それ以外の範囲をグループ 2 に区分した(図-3)。

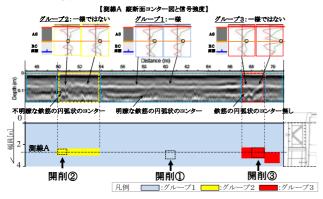


図-3 RC 床版上面の状態グルーピング概要図

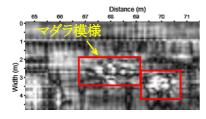


図-4 平断面コンター図(グループ3)

6.2 開削調査による具体的な状態の確認

6.1で特定したグループ1~3において1箇所ずつ,図 -3に示す箇所で開削調査を行なった(写真-5).その結果,グループ1と特定して開削を行った①は、健全であり、整合を確認した.グループ2と特定して開削を行なった②は、分類された状態のうち「乾燥した水平クラック」であり、整合を確認した.グループ3と特定して開削を行なった③は、分類された損傷のうち「滞水した砂利化」、「滞水した水平クラック」であり、整合を確認した.



写真-5 グループ1~3の開削調査結果

7. 7橋17筒所における整合性判定結果

本グルーピングアルゴリズムを適用して調査を行なった実橋梁のうち、あわせて開削調査を行なった7橋17箇所について整合性を判定し、表-5に整理した。表より、電磁波レーダ法により重篤な損傷が疑われるグループ3と評価された箇所は、整合性が高い結果であった。整合数は、総数17箇所に対して15箇所であり、その整合率は8割程度であった。

表-5 状態グループ評価と開削調査結果の対応

No.	管轄	開削による 確認箇所No.	電磁波レーダによる グループ評価結果	開削調査結果	
	1	グループ1	健全	0	
1	1 新潟県内某橋	2	グループ2	水平クラック	0
		3	グループ3	滞水した砂利化、滞水した水平クラック	0
		1	グループ1	健全	0
2 新潟県内某橋	2	グループ2	切削による鉄筋露出(写真-9)	0	
	3	グループ2	かぶり不足	0	
		4	グループ3	湿潤状態の砂利化(写真-10)	0
3	富山県内某橋	1	グループ3	滞水した水平クラック	
4	鳥取県内某橋	1	グループ3	床版上面の滞水	0
4	局以外门未怕	2	グループ3	断面修復下面の滞水した砂利化	0
5 宮城		1	グループ1	乾燥した水平クラック	×
	宮城県内某橋	2	グループ2	健全	\times
		3	グループ2	乾燥した水平クラック	0
6	秋田県内某橋	1	グループ2	床版上面の切削跡	0
		2	グループ3	滞水した砂利化(写真-11)	0
-	滋賀県内某橋	1	グループ2	舗装と床版の剥離	0
	公 貝州門未簡	2	グループ3	断面修復下面の砂利化(写真-12)	0

8. おわりに

電磁波レーダは、交通規制が不要かつ非破壊でRC床版上面のおよその損傷種類・範囲を特定できる.しかし、状態評価の詳しい分類に限界があることより、RC床版の診断にあたっては、ASR、塩害や凍害と言った劣化ポテンシャルを含め実際のRC床板上面の損傷実態を熟知したうえで総合的に行なう必要があると考える.また、RC床版上面の状態グルーピングアルゴリズムを実橋梁に適用した結果、グルーピング結果と実際の整合を確認することができた.このことから、状態評価のひとつの指標であるRC床版上面付近の基準信号強度数値に着目するこで、人間の目視に頼らず注意すべき橋を安価にスクリーニングできる可能性があり、長寿命化に対して一層の寄与が期待されるものと考える.

参考文献など

- 1) 橋梁の架替に関する調査結果 (IV) 国土技術政策総合研究所資料 NO.444
- 2) 鋼道路橋設計示方書 昭和39年(社)日本道路協会
- 3) 3D-RADAR 社の DX-Series Multi-Channel Air Launched Antenna Arrays(Tipe DX1821) (2016 年 7 月 18 日受付)