

# 電磁波レーダーを用いた橋梁床版コンクリートの定量的な診断技術

さかた こういち すなさき たけし くさか はやと もりた ひであき おくだ  
坂田 浩一<sup>1</sup>・砂崎 剛<sup>2</sup>・日下 隼図<sup>1</sup>・森田 英明<sup>3</sup>・奥田 みのり<sup>4</sup>

<sup>1</sup> (株)長大 第1構造事業部 第1構造技術部 (〒060-0031 札幌市中央区北1条東2丁目5-3)

<sup>2</sup> (株)長大 技術統括部 (〒111-0041 東京都台東区元浅草2丁目6-6)

<sup>3</sup> ジオ・サーチ (株) 橋梁・舗装事業開発部 (〒144-0051 東京都大田区西蒲田7丁目37番10号)

<sup>4</sup> ジオ・サーチ (株) 減災事業部北海道事務所 (〒060-0002 札幌市中央区北2条西2丁目29-1)

積雪寒冷地では凍結防止剤散布に伴う塩害および凍害劣化を受けている床版コンクリートが多く見られる。橋梁定期点検では目視検査により舗装面や床版下面の状況から、床版下面の健全性を判定し、床版上面の劣化が疑われる場合は通行規制の中で、舗装開削による詳細調査(目視検査)を実施しているのが現状である。このような中で、近年の人材不足・老朽化橋梁の増加に伴い、通行規制が不要で、定量的に健全性の評価ができる技術開発の社会的ニーズが高まっている。本稿では非破壊検査として、電磁波レーダーを用いて取得したデータの処理画像を数値化することで、床版コンクリートの健全性(砂利化、うきの有無など)を定量的に診断する技術を紹介する。

**Key Words** : 床版コンクリートの内部診断, 電磁波レーダー, 診断画像の数値化, 非破壊検査, 低コスト, 省力化

## 1. はじめに

2012年12月の中央自動車道の笹子トンネル天井板崩落事故など社会資本の老朽化に起因する事故をうけ、国土交通省では平成25年を「社会資本メンテナンス元年」<sup>1)-2)</sup>と位置づけ、「社会資本の老朽化対策会議」を設置した。国民が安心して既存のインフラを利用し続けることができるように、適切な点検による現状確認、適切な修繕を進めるための長寿命化計画などの策定・充実を推進することに取り組んでいる。

現在国内の橋長2m以上の道路橋は約70万橋あり、そのうち約40%が建設後50年以上を経過している<sup>3)</sup>。建設年度別では昭和30年~50年にかけて建設された橋梁数が多く、2032年の10年後には50年以上経過した橋梁数の比率が70%になると予測されており、老朽化が進んでいる。また老朽化に伴う損傷・劣化事例数も近年、大幅に増加し、調査・補修に要するコスト・時間・人員も増加傾向にあり、大きな課題となっている。特に道路橋の床版コンクリートは、交通荷重を直接受ける部材であり、他の部材に比べ、その損傷・劣化事例が多く報告されている(図-1、図-2)。このような情勢の中で、橋梁の床版に着目した維持管理手法のうち、本稿では、低コスト・短時間・省人数で定量的な劣

化診断を行うことができる「電磁波レーダーを用いた非破壊調査技術」について紹介する。



図-1 床版の抜け落ち事例



図-2 床版上面の砂利化事例

## 2. 橋梁の健全性評価の現状と社会的ニーズ

積雪寒冷地では凍結防止剤散布に伴う塩害および凍害劣化を受けている床版コンクリートが多く見られる。橋梁定期点検では目視検査により舗装面や床版下面の状況より、床版コンクリートの健全性を判

定しており、床版上面の劣化が疑われる場合は通行規制の中で、舗装開削による詳細調査（目視検査）を実施している。このように詳細調査の頻度が多くなってきている一方、近年の人材不足、調査方法の技量の違いによる品質（調査結果）のバラツキが課題となっている。また、図-3～図-6に示すような通行規制内の舗装開削調査は、規制費・人件費などのコスト増を伴い、市街地での調査の場合は片側交互通行規制に伴う交通渋滞により、一般通行車の利便性の低下などの影響が生じている。このような現状に対し、①省力化（人員の削減）、②品質の均一化（調査員の個人差による調査結果のバラツキ抑制）、③コスト削減、④調査に伴う交通規制時間の縮減、などの診断技術に対するニーズが高まってきている。



図-3 交通規制事例

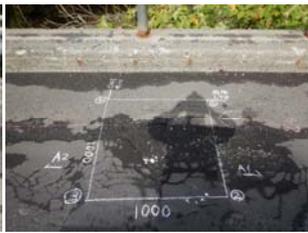


図-4 舗装開削前事例



図-5 舗装開削事例

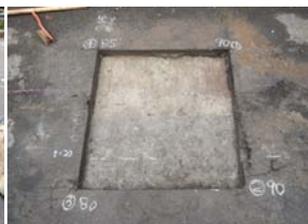


図-6 舗装開削完了事例

### 3. 電磁波レーダーを用いた診断技術の特徴

#### (1) 概要

これまで、アスファルト舗装に覆われている床版コンクリートの内部状況は、下面からの近接目視検査や部分的な舗装開削による目視検査・打音検査結果から床版全体の損傷状況の推測を行い、補修設計を実施してきた。そのため、補修工事の実施時には損傷状況の範囲が補修設計で想定した以上に広範囲となる場合など、補修数量の大きな変更が生じ、補修工事の予算・工程に影響をおよぼす事態が発生している。

最近では電磁波レーダー等の非破壊調査技術によって、補修工事着手前までに床版コンクリートの内部状況を把握することが可能になったが、損傷の平面的な範囲、深さなどの補修数量は、専門技術者の経験に基づく主観的な判定に頼ってきた。

一方、これからの建設DXでは、専門技術者以外でも損傷の平面的な範囲・深さなど、床版コンクリートの内部状況を定量的に把握することができ、さらに、その経時変化を客観的に把握できるように記録することが重要になってきている。

#### (2) 電磁波レーダーおよび定量診断の特徴

本技術は床版コンクリートの内部における劣化箇所の把握が可能であるという特徴がある。かぶりコンクリート部の土砂化や床版内部ひびわれ等の劣化箇所に対して、電磁波の反射応答波形を解析処理し、平面的な画像に変換する。平面処理した画像の劣化度を自動解析により数値化し、その数値により定量的な評価を行うことができる。

#### (3) 電磁波レーダーの計測機器

計測車に地中レーダー装置を搭載し、床版内部に送信された電磁波の反射応答を捉えてデータ取得を行う。また計測車両の走行位置確認のためのGPS路面・周辺状況写真を撮影する装置も搭載している。移動装置と計測装置は一体構造となっており、取得した電磁波レーダーのデータおよび位置情報、撮影映像は車載されているPCに記録される。



電磁波レーダー

図-7 計測機器

#### (4) 電磁波レーダーの計測原理

電磁波レーダーによる計測原理は、地中に送信された電磁波が電気的特性（誘電率  $\epsilon_r$  および導電率  $\sigma$  など）の異なる物質（埋設物や空洞）の境界で反射波が生じる。本計測はこの反射波の性質を利用したものである。

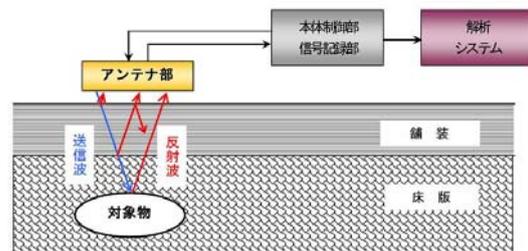


図-8 計測原理

#### (5) 画像の数値化による定量評価

図-9に示すように床版劣化を数値で表すことにより、専門技術者以外でも客観的に床版コンクリートの健全性を判定できる。また、橋梁定期点検の床版下面の点検結果と重ね合わせることで、床版の損傷判定区分の精度が向上する。床版内部の経年的なモニタリングにより、劣化の進行を把握できるため、橋梁補修工事の優先順位付けに有効となる。

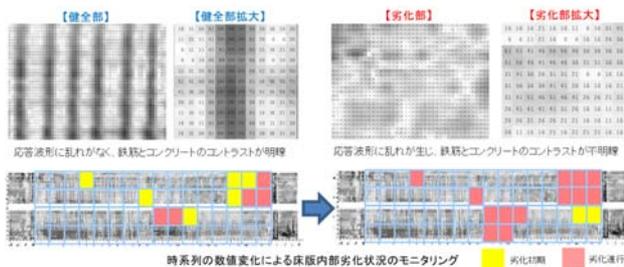


図-9 床版劣化の数値化事例

#### 4. 実証試験

##### (1) A橋の実証試験

###### a) 舗装開削状況と床版劣化の数値化の比較

経年50年以上のPCポステンT桁のA橋において、舗装開削写真(図-10)と電磁波レーダー計測による床版劣化の数値化した平面図(図-11)を比較検証した。

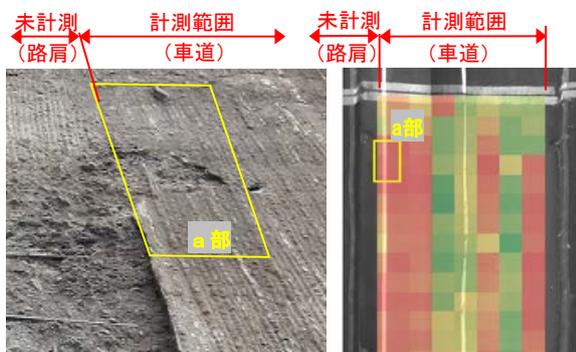


図-10 舗装開削状況

図-11 数値化事例

###### b) 舗装開削後の床版上面の状況

片側交互通行規制の下、舗装の開削を実施した。今回、調査車両で調査ができなかった路肩の床版上面では、滞水・凍害が原因と思われる砂利化が見られた。図-10のa部では砂利化・鉄筋露出が見られ、その他の部分は全体的に”うき”が見られた。

###### c) 電磁波レーダー計測による床版上面の数値化による健全度評価

車道部は全体的に床版劣化を示す数値が低く出ており、健全ではないことを表している。特に図-11に示すa部に着目すると、劣化を示す数値が低く出ており(赤色で表現)車道部の中でも劣化が著しいことが分かる。

###### d) 比較検証結果

舗装開削後の状況写真の図-10のa部の砂利化部と、床版の劣化を数値で示した図-11のa部において、概ね整合があると判断できる。

##### (2) B橋の実証試験

###### a) 舗装開削状況と床版劣化の数値化の比較

経年50年以上のPCポステンT桁のB橋において、舗装開削写真(図-12)と電磁波レーダー計測による床版劣化の数値化した平面図(図-13)を比較検証した。

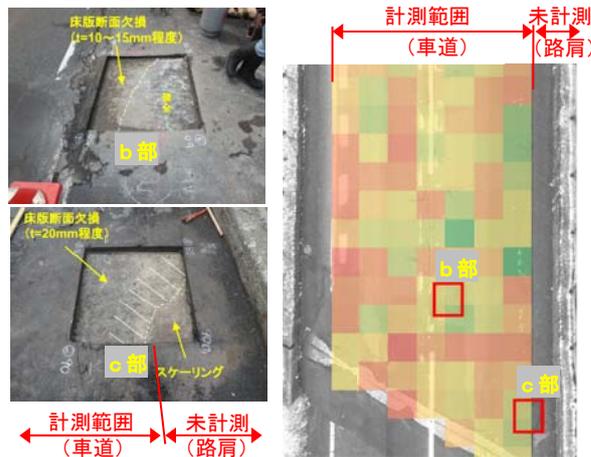


図-12 舗装開削状況

図-13 数値化事例

###### b) 舗装開削後の床版上面の状況

片側交互通行規制の下、舗装の開削を実施した。図-12に示す道路センター付近(b部)ではd=10~15mm程度の砂利化、路肩付近(c部)においてはd=20mm程度の断面欠損、スケールが見られた。

###### c) 電磁波レーダー計測による床版上面の数値化による健全度評価

車道部は全体的に床版劣化が見られない。b部、c部においては、健全である傾向を示している。

###### d) 比較検証結果

舗装開削後の状況写真である図-12と、床版の劣化を数値で示した図-13を照合した結果、整合性は低いと判断できる。グリッドの大きさは1m×1mとしており、数値化したグリッドの位置と舗装開削位置でずれが生じたことにより、ジャスト位置での対比ができなかったことが原因と考えられる。

#### 5. 実証試験結果

##### (1) 調査方法のコスト・時間・精度の比較

舗装の部分開削による劣化調査は、コスト、多くの人員が必要となりかつ、部分的な調査であることから全体を把握できず、健全性評価の精度に劣る。

電磁波レーダーDX(数値化)は安価で人員も2名と少ないことから効率的に診断ができ、かつ定量的に健全度を評価できる。以上のことから「電磁波レーダーDX(数値化)」が床版コンクリートの調査として優位であると判断できる。

表-14 調査方法の比較表

|          | 舗装の部分開削調査       | 電磁波レーダーDX(数値化) |
|----------|-----------------|----------------|
| 人員       | 交通誘導員、開削作業など10名 | 2名             |
| コスト      | 高価              | 安価             |
|          | 約200万円          | 約35万円          |
| 時間       | 長時間             | 短時間            |
|          | 約1.5日           | 約1.0日          |
| 健全性評価の精度 | 低い              | 高い             |
| 総合評価     | △               | ◎              |

## (2) 電磁波レーダーを用いたDX技術導入の効果

従来一般的に行ってきた部分舗装開削による床版上面の劣化調査では、部分的な調査であることから補修設計の数量（面積、深さ）と実際の補修工事の数量に相違が生じていた。本技術の電磁波レーダーを用いたDX技術導入することで、以下に示す効果が期待できる。

- ・補修設計における対象となる補修数量の精度向上
- ・道路管理者が経年的な劣化進行を視覚的に把握することで、補修工事着手の優先順位付けが可能

## 6. 将来展望と今後の課題

### (1) 将来展望

今後は老朽化橋梁の増加、人材不足が急速に進むと予測される中、本技術を応用することで劣化診断技術の省力化が期待できる以下の3つの技術について、将来展望を記す。

#### a) 電磁波の反射応答波形の周波数分析による詳細判定

電磁波の反射応答波形から、時間一周波数分析を実施し、その分析形状等から床版の劣化グレードを3段階に分類する。分類別に具体的な補修工法等の選定が可能になり、補修計画・設計の精度向上が期待できる。

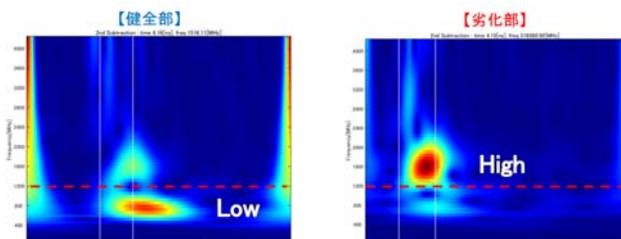


図-15 周波数分析事例

#### b) 三次元モデルのデータベース

別途、測量作業で取得した点群データを活用することで、劣化分析結果の三次元モデル化が可能となる。橋梁全体を三次元モデル化することにより、設計図面などの資料を見ることはなく、劣化箇所を直観的に把握することができる。また、橋梁毎の諸元・取得した床版の電磁波レーダーの数値解析をデータベース化し、主桁・支承・地覆などその他の点検結果と重ね合わせることで、点検データの一元管理が可能となる。図-16に本技術で解析した床版コンクリートの劣化図と、別途点群データより取得した3D図を重ね合わせた図を示す。

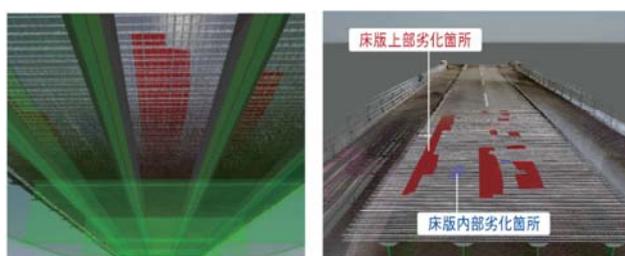


図-16 三次元データベース化事例

### c) 時間軸を加えた4D分析

床版の平面および深さ方向のグリッド分割に劣化を示す数値を紐付けし、データを記録する。さらに、時間経過によるグリッド値の変化の記録、劣化度のしきい値の設定により、補修箇所の優先順位を抽出する4D化が可能となり、省力化、時間・コストの削減が可能となる。

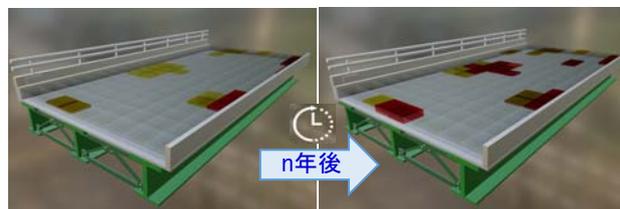


図-17 4D分析事例

### (2) 今後の課題

本技術による健全性評価を実施したこれまでの橋梁実績数は約100橋に達するが、舗装開削結果と比較検証した事例はほとんどなく、健全性評価の検証が不十分である。今後は比較検証した事例数を増やすことで、床版劣化の健全性評価の精度向上を目指す。そのためには、道路管理者や建設コンサルタントおよび施工会社から、実際の補修工事での舗装開削の状況写真提供など協力を得ながら比較検証事例数を増やしていきたい。

## 7. まとめ

本稿では、劣化した床版コンクリートの健全性評価を行うにあたって、社会的背景として人材不足、診断結果のバラツキ、高コストが課題であることを提起した。これらの課題を解決する技術の一つとして今回紹介した「電磁波レーダーを用いて取得したデータの処理画像の数値化」は、①低コスト、②劣化診断に要する時間の短縮、③省力化（人材不足の解消）、④劣化診断の品質向上（技術者の違いによる判断のバラツキの低減）に対して、優位性が期待できる技術である。また、本技術には将来的に応用できる要素があり、工夫次第では橋梁をまるごと自動診断することも不可能ではない。質のよいインフラを次世代に受け継ぐ上で、本技術の今後の展望に期待したい。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通白書2014
- 2) 国土交通省：「インフラ長寿命化計画（行動計画）平成26年度～平成32年度」  
<https://www.mlit.go.jp/common/001040664.pdf>
- 3) 国土交通省：インフラメンテナンス情報  
[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/\\_pdf/research01\\_pdf01.pdf](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/_pdf/research01_pdf01.pdf)