

# 鋼板接着補強した道路橋コンクリート床版の劣化診断手法

玉越隆史・石尾真理・強瀬義輝

## 1. はじめに

道路橋の床版は、通行車両からの荷重が舗装を介して直接的に作用する過酷な環境にある。そのため鉄筋コンクリート製の床版では、過去より疲労が原因と考えられる損傷が生じる例があり、補修や補強を行って供用しているものも多い。

最近になって、鋼板接着工法で補強された床版(以下「鋼板補強床版」という。)において、鋼板ごとコンクリートが抜け落ちる事故が報告された(写真-1)。鋼板接着工法は、鉄筋コンクリート床版の下面に鋼板をアンカーボルトと接着剤で一体化させる補強工法であり、死荷重増を少なく抑えつつ高い補強効果が見込めること、交通を規制せず橋梁下面のみから施工できることなどの利点から実績も多い。一方で、舗装のある上面のみならず、床版下面も補強鋼板に覆われ、床版のコンクリートの状態を直接視認できなくなるために、点検が困難となる点が課題となっている。

そのため、筆者らは鋼板補強床版の内部変状の検出手法の検討をすすめてきた。ここでは、架け替えのため撤去される橋梁から切り出した実際の供用条件下で損傷した床版に対して、既存の代表的な非破壊検査手法を適用し、鋼板補強床版内部の変状の検出性能について調査した結果について報告する。



写真-1 床版抜け落ちの事例

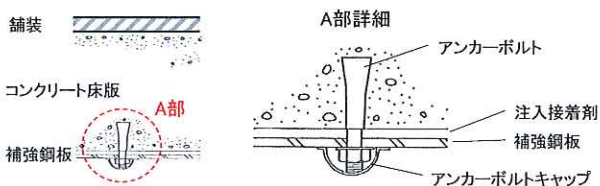


図-1 鋼板接着工法概要図

Experimental study on diagnosing the deterioration of reinforced concrete deck slabs stiffened with steel plates

## 2. 調査の内容

### 2.1 調査対象

調査に用いた床版は、供用中に床版が抜け落ちた橋梁の、抜け落ちた箇所と荷重履歴などの条件が類似していると考えられる箇所から補強鋼板ごと切り出したものである。橋梁の緒元を表-1に示す。本橋は供用後約45年で鋼板接着補強が行われ、補強後約30年で抜け落ちが発生している。抜け落ちた箇所の床版のコンクリートは著しく劣化して土砂化しており、補強鋼板の内面が腐食していたことから床版内部への雨水の浸入もあったと考えられる。なお、床版上面の防水工は施工されていない。床版は同じ車線位置(図-2)にあり、舗装の損傷程度が異なるものを5パネル切り出した。

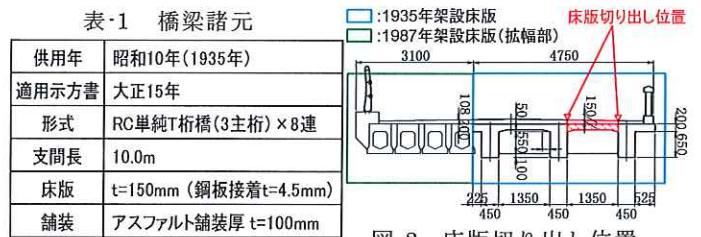


図-2 床版切り出し位置

### 2.2 調査方法

鋼板補強床版の損傷で問題となる代表的な損傷形態は、舗装直下の床版上面のコンクリートの土砂化と床版内部での水平方向ひび割れの発生である(写真-2)。いずれも床版の有効断面が減少していくため、床版コンクリートの耐力が急速に失われていき、最終的には車両の荷重によって床版が抜け落ちに至る危険性がある現象である。なお、施工時に接着剤等で床版コンクリートと全面



写真-2 鋼板補強床版の内部変状

で接着していた鋼板が時間の経過とともにアンカーボルト部以外でコンクリートから剥離する例が多いことが知られているが、床版コンクリートが健全で、アンカーボルト部の合成効果が失われな限り補強効果が大きく低下することはない。また、アンカーボルトの緩みや鋼板の剥離範囲はハンマー等によるたたき検査によって比較的容易に検知できる。

以上を踏まえて本研究では、床版コンクリートの土砂化と水平ひび割れの発生を舗装や鋼板を除去せずに検知できる方法の確立を目指して、原理的に有力で、かつ汎用性の面で有利と考えられる打音法と電磁波レーダー法の2手法を対象に検討を行った。

2.3 本研究で採用した非破壊検査の概要

(1) 打音法

打音法は、構造物の表面を打撃したときに生じる音を音響機器によって測定する方法である。部材等の内部に剥離や水平ひび割れなどで空隙があると、打撃に対して部材の一部に振動が生じる。同じ条件での打撃を行った場合、振動する範囲の大きさ等に応じて振動振幅が異なる(図-3)。

本研究では、既にコンクリート表面を直接打撃する測定方法で内部変状の検知に実績のある機器(図-4、表-2)を用いて、アスファルト舗装面から打撃を行って、コンクリート床版上面の土砂化や浮きの検知を試みた。

打撃音の入力に用いるインパクトハンマーには、付属のエクステンダマス(付加重錘)を装着して、より大きな打撃を与えられるようにした。入力する周波数成分による差を確認するため、打撃先端部にあるインパクトチップは、周波数範囲が8kHz程度であるメタルチップと、それよりも狭い周波数範囲となるゴムチップの2種類を使用した。測点は幅員方向、橋軸方向ともに20cm間隔の1パネル110点とし、フード付きマイクロフォンは、インパクトハンマーによる打撃点から1cm程

度離れた位置にセットした。

調査結果は、打撃音の大きさ(振幅)の違いに着目し、入力度合の違いを評価へ与える影響を除くことができる振幅比(マイクロフォンで記録された打撃音の最大振幅値 $A_m$ とインパルスハンマでの打撃による加力最大振幅値 $A_i$ で除した値)を用いることとした(図-5)。

(2) 電磁波レーダー法

電磁波レーダー法は、電磁波が比誘電率の異なる物質(舗装、鋼材、空洞等)との境界で反射する性質に着目したもので、往復の伝搬時間や電磁波の強弱を測定し、反射物体の距離や物性を推定する(図-6)。鋼板補強床版では、土砂化や水平ひび割れの発生部で密度変化などによる物質特性の異なる境界が出現するため、電磁波レーダーで検知できる可能性がある。

本研究で用いた機器の仕様を表-3に示す。電磁波レーダー法は、表面に鋼板のような比誘電率の高いものがあると適用できないため、測定は、アスファルト舗装面からとした。測線は橋軸方向とし、200mm間隔で1パネル5断面の測定を行った。アンテナ周波数は、一般的な床版全厚をカバーで

表-2 打音法に用いた機器の仕様

項目	名称	仕様		備考
打撃	インパクトハンマ	周波数範囲	8kHz	
		感度	2.2mV/N	
		質量	0.16kg	
	エクステンダマス	質量	75g	
打撃音測定	コンデンサマイクロフォン	周波数範囲	20Hz~10kHz	特殊フード付
		音圧感度	-36dBV/Pa	
		ダイナミックレンジ	21~135dB	

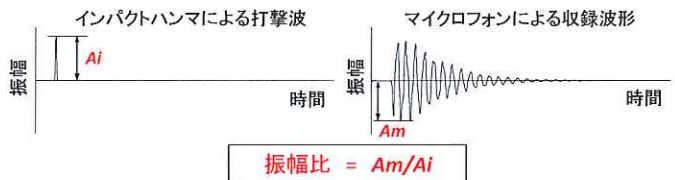


図-5 振幅比の算定

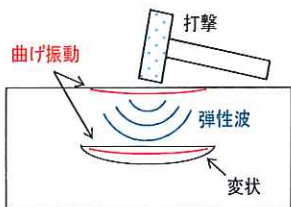


図-3 打音発生概念



図-4 使用した打音機器

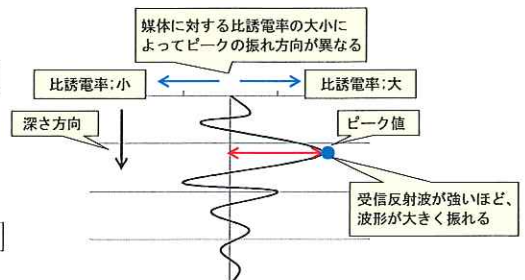


図-6 反射波形例

表-3 電磁波レーダー法に用いた機器

項目	仕様
使用機材	地下・鉄筋レーダー探査システムSIR-3000
機材寸法(アンテナ別途)	315×220×105mm
アンテナ周波数	900MHz、1.6GHz、2.6GHzの3種類

きるかどうかの確認も含めて、深さ20cm程度までが調査可能とされる2.6GHzのほか、1.6GHz(30cmまで)、900MHz(60cmまで)の3種類を使用した。調査対象とした床版は全厚が260mmであったことから、2.6GHzでの測定では鋼板からの電磁波の跳ね返りを捉えることが出来ない箇所があった。よって、本稿では全厚の測定ができた1.6GHz・900MHzの内、より明瞭に反射断面図が得られた1.6GHzの結果について記述する。

### 3. 調査結果

#### 3.1 打音法による床版変状調査

図-7に、舗装撤去後の目視とたたき点検で確認した打音位置毎の振幅比の値(5パネル分)を各位置の床版上面の損傷別に累計して求めた頻度分布を示す。ばらつきはあるものの、いずれのチップでも、損傷が確認されない位置と土砂化やうきが確認された位置で頻度分布の形状に差があり、損傷の確認された位置では、損傷が確認されない位置のデータではみられない、特定の振幅比区分で頻度のピークが見られる。これは、土砂化やうきによる床版内の

空隙の存在が振動振幅に影響した結果と考えられる。

図-8に調査を行った5パネルの内、代表的な3パネルの床版上面損傷図と、メタルチップを用いた場合の振幅比の分布を示す。なお、振幅比の分布図は各測点の振幅比を線形補完して等

値線を描画したものである。全面に土砂化があるパネル1では、土砂化範囲の多くで0.75以上の振幅比が計測されている。一方、損傷がほとんど確認されないパネル2では振幅比0.75未満の範囲が広がっている。損傷がない箇所と土砂化、うきが混在しているパネル3では、位置が完全に一致はしないものの土砂化範囲では振幅比が0.75以上の点が多く、振幅比が0.75を下回る点は損傷が少ない位置に一致している。以上のように、舗装上からの打音による振幅比の値やその分布の傾向によって、床版コンクリートに土砂化やうきが広がっていることを検知できる可能性があることが確認できた。

なお、本検討では床版を解体して各パネル内部の損傷を全て確認することはしておらず、あくまで舗装撤去後の外観とたたき点検によって存在が推定された損傷との対比となっている。検出性能を見極めるためには解体調査などにより推定結果と実損傷の関係をより厳密に対比させることが必要であり、今後の課題である。

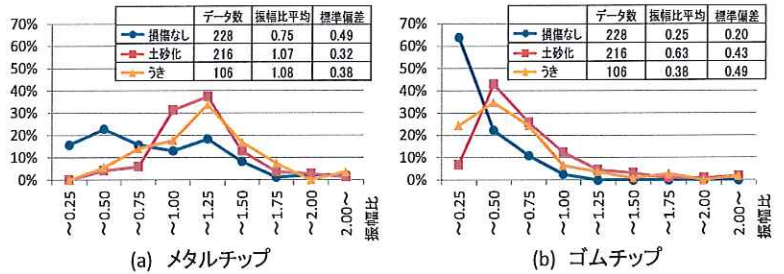


図-7 損傷別の振幅比出現頻度(インパクトチップ別)

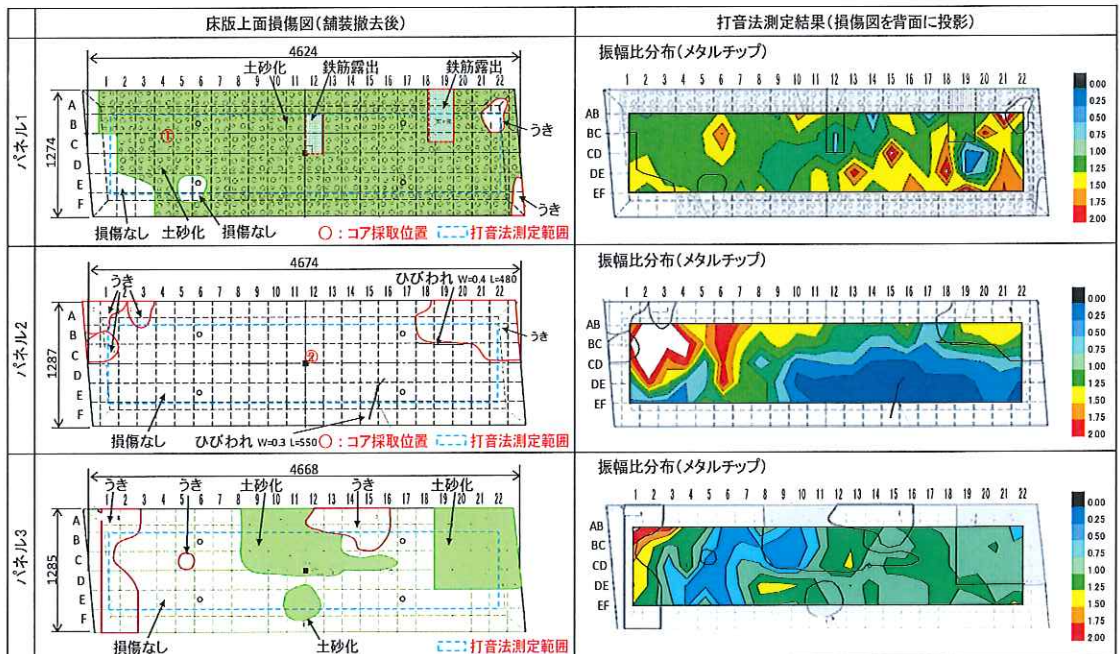


図-8 床版上面損傷図と打音法による測定結果

また、振幅比の絶対値や損傷の有無に対応した振幅比の変化の感度は、床版コンクリートの種類や強度によっても異なる可能性があり、床版の各種条件と変状検知の信頼性についてはさらに実証データを蓄積する必要がある。

### 3.2 電磁波レーダー法による床版変状調査

損傷程度に大きな差が見られたパネル1とパネル2の結果比較として、図-9にコア写真と反射波形を、図-10に反射断面図を示す。反射波形と反射断面図では、次のことが確認された。

- ・床版上面での反射波形は、コア①ではコア②と比較して小さくなる傾向がみられた。これは、土砂化している状態ではアスファルトとコンクリートの境界が不明瞭となり、電磁波の反射がしにくくなったためと考えられる。
- ・鋼板面での反射波形は、コア①ではコア②より大きくなる傾向がみられ、鋼板上面での傾向と逆であった。これは、著しいひび割れや土砂化がある場合には床版に空隙が多く含まれるため、入力された電磁波の減衰が少なく、床版下面まで強く届いていることが考えられる。
- ・上記2つの反射波形の大小の傾向は、反射断面

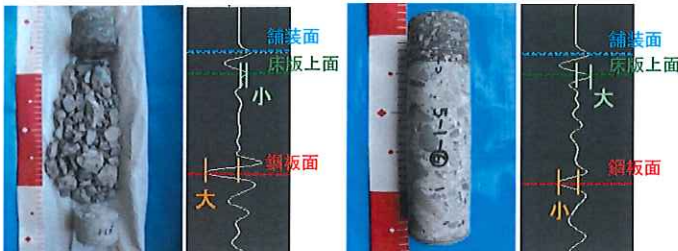


図-9 コア写真と反射波形図

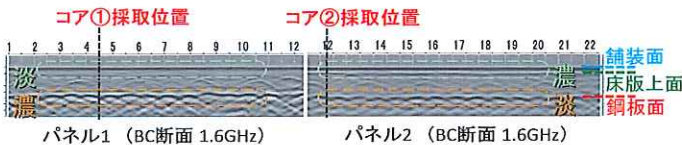


図-10 反射断面図

図のコントラストの違いとしても確認された。

- ・反射断面図では、うきの有無による明確な差異は見られなかった。

よって、汎用性のある電磁波レーダー法を用いて、コンクリート床版上面における土砂化の有無の傾向が相対的に捉えられることが確認された。

### 4. まとめ

床版コンクリートを直接目視できない鋼板接着床版に対して、舗装や鋼板を除去することなく床版コンクリートの変状を検出できる方法について検討を行った。その結果、舗装上からの打音検査で打撃位置直下にあるコンクリートの土砂化は検知できる可能性があることがわかった。

また、舗装面からの電磁波レーダー法によっても床版コンクリート内部のひび割れや床版上面の土砂化の状態がある程度比較推定できる可能性があることがわかった。

舗装や補強鋼板の撤去を行って詳細な調査を行う必要性が高いかどうかといったスクリーニング手法として適用することで、調査コストを抑えつつリスク要因の検出率の向上にも繋がる可能性がある。

### 謝 辞

本研究にあたり、長野県には床版の提供をはじめとする多大なる協力をいただいた。この場を借りてお礼申し上げる。

### 参考文献

- 1) コンクリート構造物の検査・診断—非破壊検査ガイドブック、理工図書

玉越隆史



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造研究部橋梁研究室長  
Takashi TAMAKOSHI

石尾真理



国土交通省国土技術政策総合研究所企画部企画課(前 道路研究部道路構造物管理研究室研究官)  
Mari Ishio

強瀬義輝



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造研究部橋梁研究室部外研究員  
Yoshiteru Kowase