

平成28年度

一般国道233号深川橋床版劣化・損傷調査に関する取り組み

—長寿命化対策に向けた調査手法—

札幌開発建設部 深川道路事務所 計画課

○中嶋 尚志
広瀬 哲司
太田 祐司

深川橋は、供用後54年が経過した長大橋で、平成27年度の橋梁点検で床版内部の土砂化が確認されS1判定となった。床版全体の状況を効率的に把握するためには、従来の舗装開削、コア採取による健全度評価では精度的に限界がある。よって、新技術を用いた非破壊試験（電磁波探査「スケルカ」、赤外線探査「Jシステム」）で床版全体の健全度を把握し、精度向上のため微破壊試験（「Single i」）を行った。調査結果から深川橋での各種調査手法の有効性を検討したので報告する。

キーワード：維持管理、調査手法、非破壊検査、微破壊検査、長寿命化

1. はじめに

一般国道233号深川橋は、昭和37年に竣工し、54年が経過した橋長481.7mの長大橋梁であり、2径間連続合成鈹桁橋×4連、単純鋼ランガー橋×2連から構成されている。橋梁概要を図1、2、写真1、2に示す。

深川橋の主な工事履歴は、平成6年、平成16年にランガー部の床版打替、平成22-25年度に歩道拡幅、平成26年度に鈹桁部の床版補修が行われている。

深川橋では補修工事直後の平成27年度橋梁点検におい

て床版内部の土砂化が確認され、C2判定（構造上対策）、及びS1判定（詳細調査が必要）となった。このため床版内部について詳細調査を行い床版の健全度について検討する必要が生じた。

調査に当たっては、広範囲を効率的に行うため従来の調査手法に加え、新技術も活用し各種調査手法を使って取り組んだ。

床版は、輪荷重を直接受けるため損傷が発生しやすい。また、北海道は積雪寒冷地である事から、床版は凍害や凍結防止剤による塩害およびその複合劣化も発生しやすい過酷な環境下にある。このため、床版を適切に維持管理していく事が橋梁全体の長寿命化対策として重要となる。



図-1 深川橋位置図



写真-1 深川橋橋面



写真-2 深川橋側面

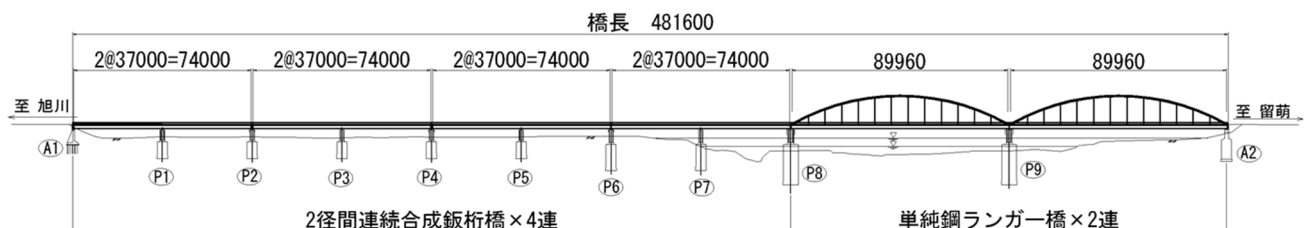


図-2 深川橋概要図

2. 深川橋の劣化・損傷の概要

(1) 平成27年度橋梁点検結果の概要

深川橋河川敷にはパークゴルフ場もあることから、平成27年度は橋梁点検と第三者被害予防措置点検を同時に実施した。第三者点検時にP1-P2橋脚間で写真3に示す範囲の浮きを確認し、緊急対応を行った。写真4は浮き除去後の状況、写真5は舗装開削後、写真6は床版はつり後の写真であるが、床版内部のみが劣化・損傷している状況を確認した。

このような結果を受け、平成27年度の橋梁点検では床版に以下の診断が下されている。

■第2径間(P1-P2)：剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、床版ひびわれ、うき (C2：III)

■その他径間(A1-P1, P2-P8)：剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、床版ひびわれ、うき (S1：III)

以上の損傷に対して、損傷原因および耐荷力回復措置等を明確にするための詳細調査が必要である。具体的には、床版防水等による止水対策を行った上での、床版の断面補強等による耐荷力の回復措置が必要である。現状の耐荷力(鋼材の腐食状況、修復部の劣化状況等)を確認の上、床版の取替えを含めた今後の管理方針について検討を行う必要がある。

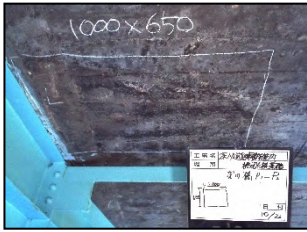


写真-3 H27点検浮き箇所



写真-4 浮き除去後



写真-5 舗装開削後



写真-6 はつり状況

3. 調査方法について

(1) 床版調査の方針

a) 過年度調査と工事の分析

平成22年度の補修設計業務に基づき、平成26年度に鉾桁部の床版補修工事が行われている。主な補修は、床版防水層工事、床版下面のひび割れ対策としてポリマーセメントによる表面被覆(写真7)が行われている。なお、床版防水層工事では写真8~10に示すように土砂化の撤去・復旧を行った上で塗膜系防水層の施工を行っている。

補修直後に行った平成27年度の橋梁点検でC2判定、S1判定となっている。このような結果となったのは、長大

橋であり、従来からある調査手法・調査箇所数では全体を網羅した判断が困難であったためと考えられる。



写真-7 表面被覆状況



写真-8 舗装撤去後



写真-9 橋面土砂化状況



写真-10 土砂化部切削後

b) 調査方針

平成27年度に確認された床版内部の劣化・損傷と平成22年度調査、平成26年度工事から深川橋の調査方針を以下のように決定した。

①床版全体の劣化・損傷の状況を把握する調査を行う。

その際に以下の条件に配慮する。

- ・長大橋であり、交通への影響を最小限とする。
- ・平成27年度の劣化・損傷状況より、床版上面の土砂化のみでなく、床版内部が把握可能な調査が必要。
- ・床版下面はポリマーセメントにより被覆されており、その下の損傷が確認可能な調査が必要。

②非破壊検査は精度的な限界があり、精度向上のための調査を行う。その際に以下の条件に配慮する。

- ・長大橋であり極力広範囲に確認可能な調査が必要。
- ・非破壊検査と同様に交通への影響を最小限とする。

(2) 床版調査方法の決定

a) 床版劣化・損傷の全体を把握する調査の決定

交通への影響を最小限とする必要があり、車輻に電磁波レーダーを載せた非破壊検査によるスクリーニングを行う事とした。車輻に電磁波レーダーを載せた方法は10年前頃から活用されている。現在はスケルカ、床版キャッチャー、ロードスキャンビームの3種類があり、本業務では参考文献1)を参考に床版内部の劣化・損傷がある程度把握可能なスケルカによる調査を採用した。¹⁾

ただし、下段鉄筋より下面はいずれも調査不可能であった。床版下面にポリマーセメントによる被覆がされており、目視調査も不可の状況から、調査方法を検討した。

床版下面の調査方法として、弾性波法(健コン診断ポータブル等)と赤外線サーモグラフィ等による非破壊検査の適用性を検討した。今回は、床版全体の調査が必要であり、弾性波法では時間と費用が膨大となる事から、

赤外線サーモグラフィを改良して精度を高めたJシステムによる調査を行うこととした。

以上から深川橋では図3に示す調査により橋梁全体のスクリーニングを行うこととした。

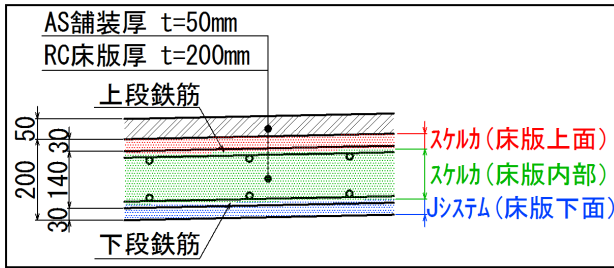


図-3 深川橋のスクリーニング調査

b) 非破壊検査の精度向上の調査の決定

床版上面の調査は、舗装開削を行い、目視・打音検査を行い、必要に応じてコンクリートコアを採取し、強度、静弾性係数、中性化などの試験を行う。しかし舗装開削が伴う方法では調査数量に限界があるため、舗装開削を行わずに1日に8~10箇所程度の調査が可能な床版微破壊試験「Single i工法」により調査を実施することとした。

(3) 調査方法の概要説明

a) 床版非破壊検査「スケルカ」⁴⁾

スケルカは電磁波の電気的特性の境界で反射波を生じる性質を利用し、入射波と反射波の伝播時間と伝播速度から鋼材のかぶり等を推定する電磁波レーダと同様の原理で調査をおこなう。電磁波レーダは一对のシングル配列であるのに対し、スケルカは多配列の電磁波レーダで計測した反射波データを三次元的に処理して、構造物内部の劣化部を調査する。電磁波の原理を図4に、深川橋の調査状況を写真11に示す。

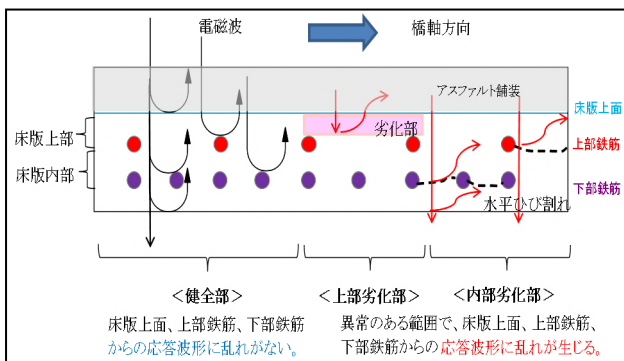


図-4 電磁波の反射応答イメージ

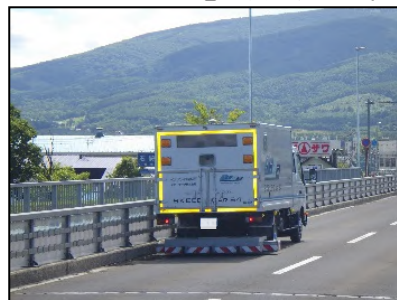


写真-11 調査状況

b) 赤外線サーモグラフィ「Jシステム」⁵⁾

赤外線を利用した調査は、橋梁点検の第三者被害予防措置のスクリーニングとして10年以上前から用いられている。しかし、日射の当たらない中桁部が調査できない、技術者による精度のバラツキがあるなどの問題点が多い。

これらの弱点の改良を目的として開発されたのが「赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム」である。Jシステムは調査前に「熱環境想定装置 (EMS装置)」を実構造物に設置する。調査時はEMS装置内部の疑似損傷である空洞部と周辺の温度差を確認し、赤外線調査が可能なのかを把握する事で調査精度を高めている。

Jシステムについては、平成27年度に全国の地方整備局で試行的に調査を行い、第三者被害予防措置の調査としての有効性が確認されている。

Jシステムは赤外線調査であり、調査時には以下の主要な条件を満足する必要がある。

- ①日較差7℃以上が望ましい。(構造物に0.2℃以上の温度差が生じる1日の温度差)
 - ②雨は床版の熱を奪うため、雨天時は調査が困難となる。
 - ③構造物に対し、撮影角度は30°以上必要となる。
- 一般的なJシステム調査可能時間帯を図5に示す。³⁾

深川橋では以上の条件を満足するように以下の手順と日程で現地調査を行った。なお、一般的にはEMS設置は前日に行い、赤外線撮影は翌日からとなるが、EMS設置を行った日は日較差が15.6℃と非常に環境が良かったため同日夜間に赤外線撮影も行った。



写真-12 EMS装置



写真-13 調査状況

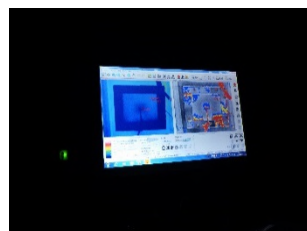


写真-14 EMSモニタリング

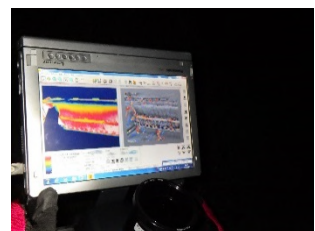


写真-15 床版モニタリング

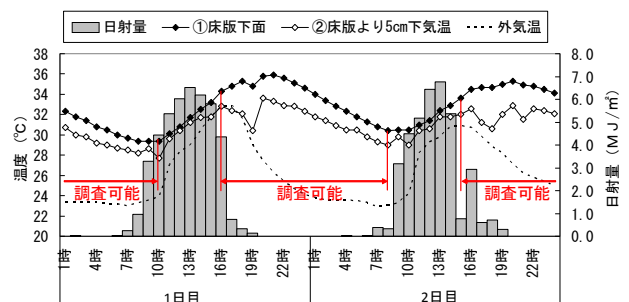


図-5 Jシステムの調査可能時間帯

- ①EMS装置の実構造物への設置 (9/26 17:00頃)
- ②赤外線撮影 (夜間撮影：9/26-21:00、9/27-19:30)
- ③可視画像撮影 (昼間撮影：9/28 10:00～)

なお、気象庁のデータより気候を分析した結果、Jシステムによる調査は10月中旬までが効果的であった。

c) 床版微破壊試験「Single i工法」⁶⁾

Single i工法は微破壊検査によりコンクリート内部のひび割れおよび劣化部を確認するための調査である。調査手順を図6に示す。①極小口径 (φ5mm) で穿孔を行う。②その孔に特殊カラー樹脂を注入し、ひび割れを固定し視認を容易にさせる。③樹脂の硬化後に同一箇所φ9mmの再穿孔を行う。④i-SCOPE (高性能工業用内視鏡 + 自動スライド式装置 (エンコーダー)) でRC床版内部のひび割れおよび劣化部の画像や動画を記録する。

深川橋では交規制の影響を考慮し、写真16に示すよう



写真16 穿孔作業状況

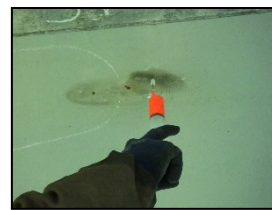


写真17 特殊樹脂注入

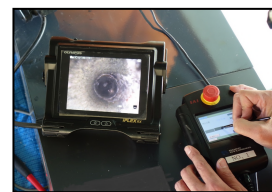


写真18 内視鏡現地確認

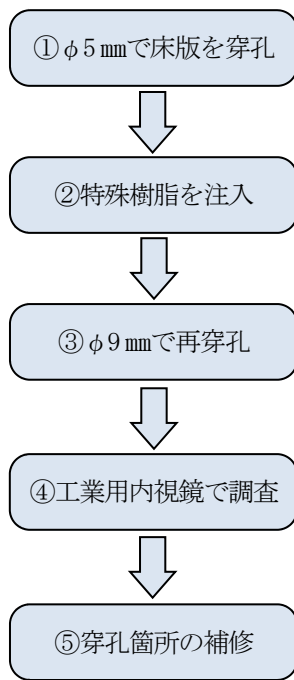


図-6 調査手順

に床版下面からの調査とした。なお、写真18に示すようにエンコーダーにより調査時に内部の状況が確認でき、現地で調査箇所を臨機に変更する事もできるため、効果的で効率的な調査とする事が可能である。²⁾

D) その他の調査

物性値の確認が必要と考え以下の調査を実施した。なお、各種調査箇所は4。(1)に示すスケルカ調査結果より、鉄筋反射異常および反射不鮮明箇所とした。

- ①舗装開削を行っての床版上面の確認。
- ②コンクリートコアを採取してのコンクリート強度、静弾性係数、中性化、塩分量およびASRの試験を行った。
- ③ASRについては遅延膨張性の骨材もある事から、顕微鏡観察、岩種判定などの直接確認を行う方法を採用した。

4. 調査結果

(1) 床版非破壊検査「スケルカ」の調査結果

スケルカによる調査結果の代表例として、A1~P2橋脚間の結果を示す。(図7:凡例、図8,9:結果)

スケルカ調査は、電磁波の減衰・反射が他と異なる事により、劣化・損傷を推定する。このため床版上面は劣化・損傷の判定精度は高いが、内部にいくほど精度が低下する。解析結果の一般的な例で示すと、劣化・損傷等の遮るものが無い状況で鉄筋まで到達すると、電磁波が強く反射し、鉄筋の筋のような形で黒く表れる。

a) 床版上面の解析結果

床版上面の解析結果は、図8に示す①~⑥となる。評価としては⑤と⑥の箇所に黒い筋があらわれず土砂化な

①	舗装境界滞水判定
②	-0.06+0.03特異範囲
③	路面水溜り跡
④	-0.08+0.03特異範囲
⑤	鉄筋反射異常(△)
⑥	鉄筋反射異常(○)
⑦	下部鉄筋反射が極めて強い(床版内部健全判定)
⑧	下部鉄筋反射減衰・消失(床版内部劣化可能性)
⑨	床版内部の特異な反射(床版内部の周囲と異なる反射範囲)

図-7 スケルカ調査結果凡例

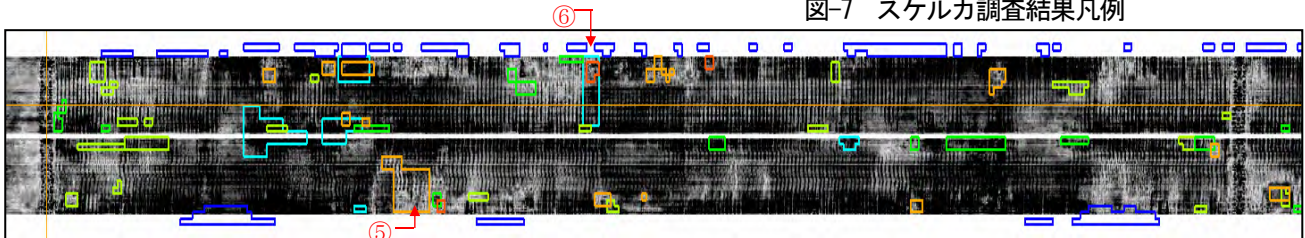


図-8 A1~P2間 スケルカによる床版上面解析結果

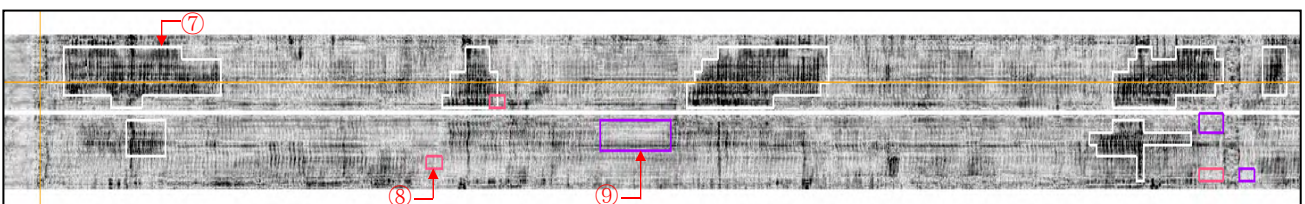


図-9 A1~P2間 スケルカによる床版内面解析結果

どの劣化・損傷が生じている可能性が高い。

しかし、ほとんどの部分ははっきりと鉄筋が反射しており劣化・損傷は部分的なものと判断される。

b) 床版内部の解析結果

床版内部の結果は図9に示す⑦、⑧、⑨となる。⑦は下部鉄筋の反射が極めて強く健全と判断される。⑧は下部鉄筋の反射が減衰しており、床版内部が劣化・損傷を受けていると判定される。⑨は電磁波の反射が他と異なるものである。

なお、⑦～⑨以外の床版の大部分を占める範囲は、反射が少ない反射不鮮明箇所となっており、健全なのか、劣化・損傷が生じているのかが判定できない状況であった。このため、Single i工法により直接確認する事とした。

(2) 赤外線サーモグラフィ「Jシステム」の調査結果

Jシステムでの調査結果を図10に示す。赤外線画像では浮きの可能性がある箇所は濃い青として撮影される。これを分かり易く、3色表示としたのが支援システム画像である。

要注意箇所の一部で打音検査を行ったところ、他と異なる程度の異音が生じた箇所は多少あったが、浮きは確認できなかった。

Jシステムそのものは、第三者被害予防措置として、変状箇所を100%カバーしているが、損傷の的中率は67%となっている。⁵⁾このため異常を検知した箇所が必ずしも損傷になる訳ではないことも考えられる。

(3) 床版微破壊試験「Single i工法」の調査結果

Single i工法による調査は3日間で全27箇所の穿孔を行った。平成27年度の橋梁点検とスケルカ調査から、着目すべきは床版内部の劣化・損傷となる。特にスケルカ調査でも床版内部については大部分が判定できない状況であり、複数の種類の要注意箇所の調査と兼ねる形で極力多く設定することとした。調査箇所数を表1に示す。

a) 床版上面に着目した調査結果

スケルカにて床版上面に劣化・損傷が生じていると判定された箇所では、着目した8箇所中7箇所で床版上面の土砂化や水平ひび割れ等の劣化・損傷が確認された。その他の穿孔箇所では床版上面に異常が確認されてい

い事から、深川橋の床版上面は局所的に劣化・損傷が生じているが、全体的には健全と判断できる。

なお、スケルカにて劣化・損傷が生じていると判定された箇所で、Single i工法でも劣化・損傷が確認されたため、床版上面に対するスケルカ調査の有効性は高いものと確認できた。

b) 床版内部に着目した調査結果

床版内部に着目した調査は全16箇所、その内、床版内部の大部分を占める反射不鮮明箇所に対して9箇所の調査を行った。反射不鮮明箇所の結果は以下の通りである。

- ・1穿孔箇所に0.06mmのクラックが確認された。
- ・2穿孔箇所に骨材の結合が弱い箇所が確認された
- ・その他にはひび割れなどは確認されなかった。

異常箇所はひび割れ幅が小さく、骨材の結合の弱い箇所も図11に示すように部分的であった。その他は問題は無く、床版不鮮明箇所については、概ね健全と判断した。

また、床版内部に着目したのその他の調査箇所についても骨材の結合の弱い箇所が2箇所ほど確認されたが、その他は健全な状況であった。

このため、床版内部については概ね健全と判断した。

c) 床版下面に着目した調査結果

床版下面に着目した調査箇所では劣化・損傷は確認されなかった。Jシステムで検知した要注意箇所は、問題のある損傷を検知した訳ではなく、床版下面に大きな間

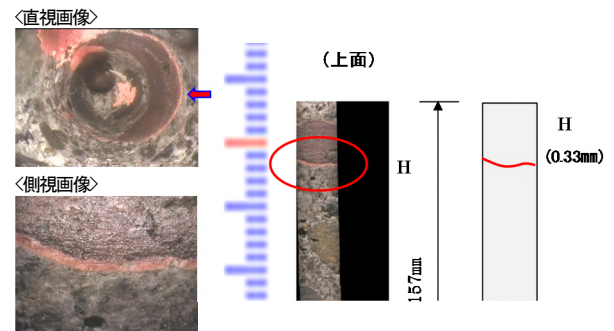


図-11 Single i 工法調査結果

表1 Single i 工法調査箇所数

調査箇所	調査数	備考(実施箇所等)
床版上面	8	反射異常箇所、滞水箇所
床版内部	16	反射異常箇所、反射不鮮明箇所
Jシステム異常箇所	5	Jシステム要注意箇所
その他損傷箇所	8	H26補修工事、H27緊急対応箇所等

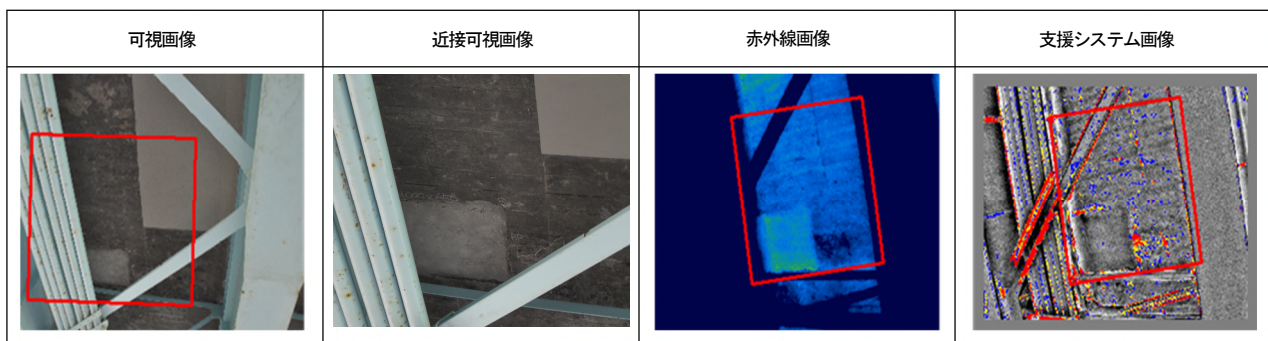


図-10 Jシステム調査結果

題は無いものと判断する。

5. 床版健全度評価

a) 床版上面の健全度評価

深川橋床版上面は、部分的に土砂化等の劣化・損傷が生じているが、調査結果から限定的なものと考えられる。

b) 床版内部の健全度評価

床版内部については、スケルカ調査、Single i工法およびコンクリート調査結果から概ね健全と評価する。

c) 床版下面の健全度評価

JシステムとSingle i工法による要注意箇所に対する調査では異常が認められなかったことから、部分的な劣化・損傷であり、床版全体の健全性評価では大きな問題はないものと判断できる。

ただし、Jシステムの調査結果から、剥落に対する要注意箇所が多い。このため、今後の橋梁点検における打音検査は、要注意箇所を重点的に行っていく必要がある。

d) 床版全体の健全度評価

平成27年度に緊急対応を行った箇所は、写真3に示すように床版下面に異常が生じていた。このように、劣化・損傷がある程度の範囲を持ったものであるならば、50年以上供用されている床版である場合、床版下面に何らかの兆候が表れているものと考えられる。今回の調査では、局所的な劣化・損傷以外は確認されていないことから、床版全体としては概ね問題ないものと判断する。ただし、床版上面ではスケルカ及びSingle i工法により劣化・損傷が見つかっている。また、Jシステムによる床版下面の剥落に対する要注意箇所もあることから、今回の調査結果を有効に活用し、補修工事および橋梁点検などで維持管理を行い、長寿命化を図っていく事が重要となる。

平成27年度の橋梁点検でS1判定（詳細調査が必要）となっていた床版の評価は、全体的には問題無いものの、橋面に土砂化が生じている箇所は、C1相当（予防保全から補修が必要）と判断する。

6. 調査方法に関する今後の課題

(1) 床版非破壊検査（スケルカ）について

床版上面に対するスケルカの調査結果はスクリーニングとして有効に活用可能な結果であった。

床版内部については、反射の健全性が判断できない箇所が多かった。また、singli i工法により部分的に土砂化が残っているのが確認された箇所について、スケルカでは検出できなかった。これは土砂化が生じてはいるが、コンクリート、骨材などが詰まっており、電磁波の波形に表れなかったためと想定される。電磁波調査は一般的に水に弱い、内部の土砂化のような劣化・損傷の調査

を行う場合、雨天後もしくは散水後にも行うと精度の向上を図れる可能性がある。

(2) 赤外線調査（Jシステム）について

Jシステムは、第三者被害予防措置のスクリーニングとして試行的に利用されているが、今回のように健全度評価にも利用が可能である。ただし、損傷に対する的中率は67%程度であるため、Single i工法などとの併用により精度を高める必要がある。

(3) 床版微破壊試験（singli i工法）について

Single i工法は、従来の舗装開削調査と比べて調査箇所数を大幅に増やす事ができ、調査精度を高める事が可能であった。ただし、床版内部の水平クラックの調査事例はまだ少なく、今後は調査事例を更に積み重ね評価基準を考えていく必要がある。

7. おわりに

積雪寒冷地のRC床版は過酷な条件下にあり、舗装開削調査によるRC床版の健全度評価には限界がある。

今回のように床版非破壊検査で全体スクリーニングを行い、床版微破壊試験などにより非破壊検査の精度を高める事で、適切で精度の高い判断が下せると考える。ただし、新技術による調査も万能ではないため、各調査の特徴を捉えて調査計画を立案する事が重要となる。

また、長寿命化に向けては防水層の確実な施工が求められる。今後も、a)床版上面の脆弱部や塵等の適切な除去、b)床版上面の平坦性確保、c)床版上面の滞水の確実な除去、d)舗設時の適切な温度管理に注意した対応が必要と考えている。

今回の深川橋の調査が、今後の床版調査における一層の精度向上や効率化に役立てていただければ幸いです。

本論文の作成にあたり、中央コンサルタンツ(株)伊藤勝也様には多くの意見をいただき深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 澤松、岡田ら：一般国道 275 号志寸川橋の床版陥没について：第 56 回（平成 24 年度）北海道開発技術研究発表会
- 2) 佐藤、伊勢ら：微破壊検査を用いた積雪寒冷地における鉄筋コンクリート床版内部のひび割れ調査：土木学会第 71 回年次学術講演会（平成 28 年 9 月）
- 3) 橋本、明石ら：橋種別の熱的環境と部材内の熱流を考慮した赤外線サーモグラフィ法の留意点：コンクリート工学年次論文集 Vol. 31, No. 1, 2009
- 4) 床版非破壊試験（スケルカ）NETIS:HR-130013-A
- 5) 赤外線サーモグラフィ（Jシステム）NETIS:SK-110019-VE
- 6) 床版微破壊試験（Single i工法）NETIS:HK-150004-A