

本荘 清司^{*1}, 藤原 規雄^{*2}, 葛目 和宏^{*3}, 牧 博則^{*4}

Investigation of Deteriorated RC Slabs by Chloride Attack of Deicing Salt

Kiyoshi HONJO^{*1}, Norio FUJIWARA^{*2}, Kazuhiro KUZUME^{*3} and Hironori MAKI^{*4}

要旨： 近年，中国地方の高速道路では，凍結防止剤による塩害劣化が顕著になった鋼橋 RC 床版の取替工事を実施しており，その際，既設床版を詳細に調査して劣化メカニズムや調査手法を検討するための基礎資料を収集している．ここでは，平成 22 年度に取替工事を実施した詳細調査で得られた知見を報告する．今回の調査においても，撤去床版の切断面で水みちとなる貫通ひび割れや打継ぎの存在が確認されたが，新たに床版上面からの打音法では検出できない浮き（水平ひび割れ）が発見されたため，これを橋面から検出できる調査手法についても検討した．

キーワード： RC 床版，凍結防止剤，塩害劣化，床版取替，調査手法

1. はじめに

中国地方の高速道路では，山間部の一部の鋼橋 RC 床版で凍結防止剤による塩害劣化が顕在化している．これまでの詳細調査^{1) 2)}で，これらの劣化は，橋面に散布された凍結防止剤（NaCl）が溶けた融雪水や雨水が，床版上面から貫通ひび割れやコールドジョイントになった打継ぎなどを伝わって断面内部や下面に浸透していくメカニズムであることが確認された．また，上面側から劣化が顕在化していく事例が多いことから，上面からの調査が重要であることも認識された．

一方，平成 21 年度に RC 床版の取替工事が実施された E 橋では，上面が補修されている断面において下面の劣化が顕在化している傾向が見られたことから，適切に施工できなかった補修部が下面の劣化を促進させている可能性も考えられた²⁾．

今回は，平成 22 年度に RC 床版の取替工事が

実施された F 橋¹⁾において，既設床版の撤去前後に詳細な調査を実施し，劣化メカニズムについての基礎資料を収集するとともに，舗装面から床版上面の状況を調査できる調査手法を試行してその有効性を検討した．

2. 水みちと塩分量分布

2.1 打継ぎおよび貫通ひび割れ

鋼橋 RC 床版の凍結防止剤による塩害は，凍結防止剤の溶けた融雪水や雨水がコールドジョイントとなった打継ぎや，コンクリートの乾燥収縮や桁の温度伸縮の影響で発生した貫通ひび割れを通じて断面内部や下面に浸透して劣化が進行していくと考えられている（図-1 参照）．E 橋の詳細調査では，上面から注水した色水が下面のひび割れから浸出することも検証された²⁾．

F 橋の撤去床版の断面でも，水みちとなる打継ぎや貫通ひび割れが確認された（図-2～図-3 参照）．これらの直上から鉛直方向に貫通コアを

*1 西日本高速道路(株)中国支社 保全サービス事業部 調査役

*2 (株)国際建設技術研究所 技術部 次長

*3 (株)国際建設技術研究所 代表取締役社長

*4 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 広島保全技術事務所長

採取して、含有塩分量の分布状況を調査した。

なお、同橋の RC 床版については、平成 19 年度の調査で内在塩分がほとんどない（塩化物イオン量で 0.2kg/m^3 未満）ことが確認されている。

劣化課程	床版断面の劣化進行のイメージ
潜伏期	
進展期	
加速期	
劣化期	

図-1 鋼橋 RC 床版の劣化進行

図-4 は、打継ぎ部および打継ぎから橋軸方向に 200mm 離れた箇所で採取したコアの含有塩分量分布である。

ともに全層で発錆限界値（塩化物イオン 1.2kg/m^3 ）を大きく超える塩分が検出されたが、打継ぎのコア「塩-打①」は、各層の塩分量に大差がないのに対し、打継ぎから離れた箇所のコア「塩-打②」では、表面から 14cm の層から下方では 10kg/m^3 を超える量の塩分が検出された。このコアの採取箇所では上面から 17cm 付近に水平ひび割れが発生しており、打継ぎから浸透した塩分を含む漏水がここに長く留まることが影響しているのではないかと考えられる。これに対し、打継ぎは鉛直かつ直線状の水みちなので、浸透した水が長く滞水することなく流下してしまうため、ほぼ一様な塩分量になっているのではないかと考えられる。

図-5 は、貫通ひび割れ近傍の上面側鉄筋と下面側鉄筋の 2 箇所に水平ひび割れが発生している箇所から採取したコアの含有塩分量分布である。打継ぎ部の「塩-打②」と同じように、水平ひび割れ付近で塩分量が多くなると考えられ

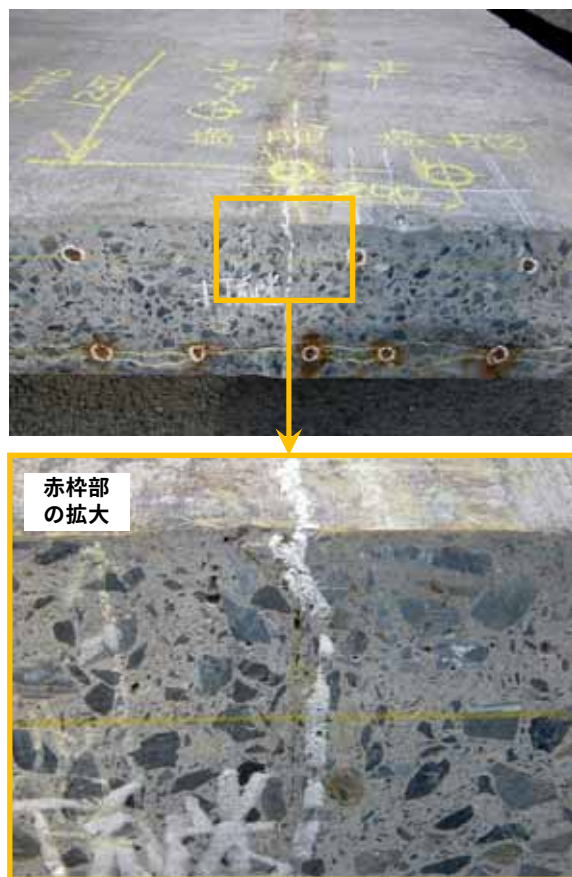


図-2 水みちとなる打継ぎ

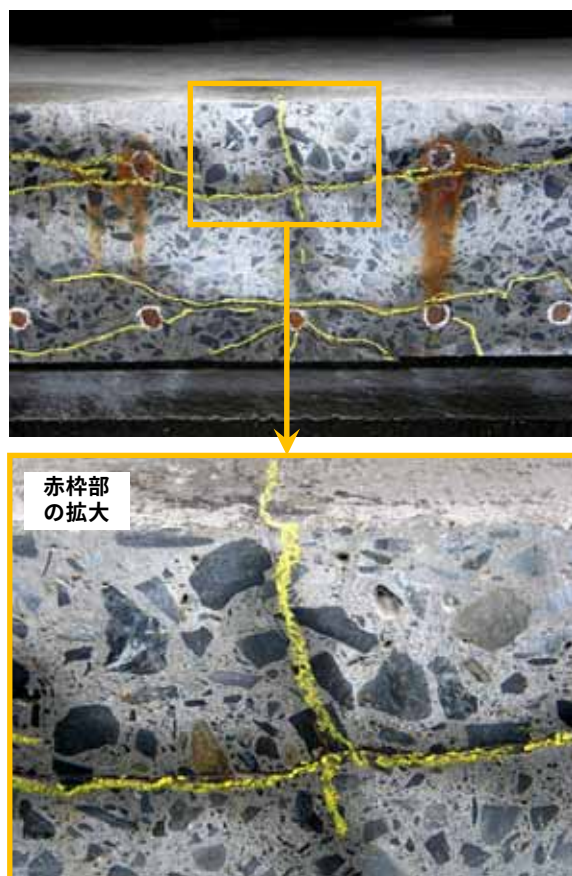


図-3 水みちとなる貫通ひび割れ

たが、上側の水平ひび割れ（上面から 5cm 付近）の周辺ではそのような傾向が見られたものの下側の水平ひび割れ（上面から 17cm 付近）の周辺については、他の層より塩分量が少ない傾向

であった。これは、コア採取箇所の下側水平ひび割れは、ひび割れの縁端付近で幅が小さいため十分な滞水がなかった可能性が考えられる。

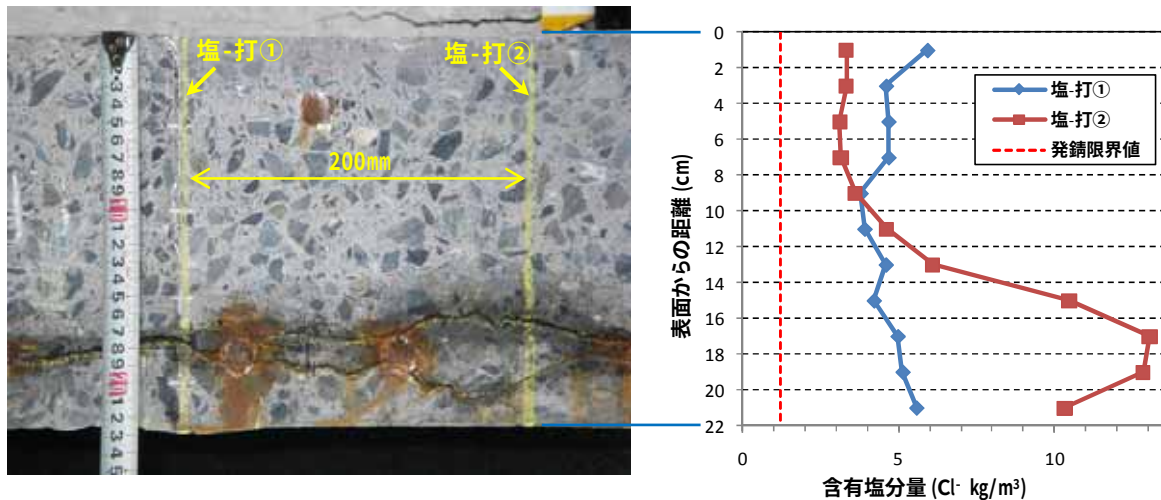


図-4 含有塩分量の分布（打継ぎ部）

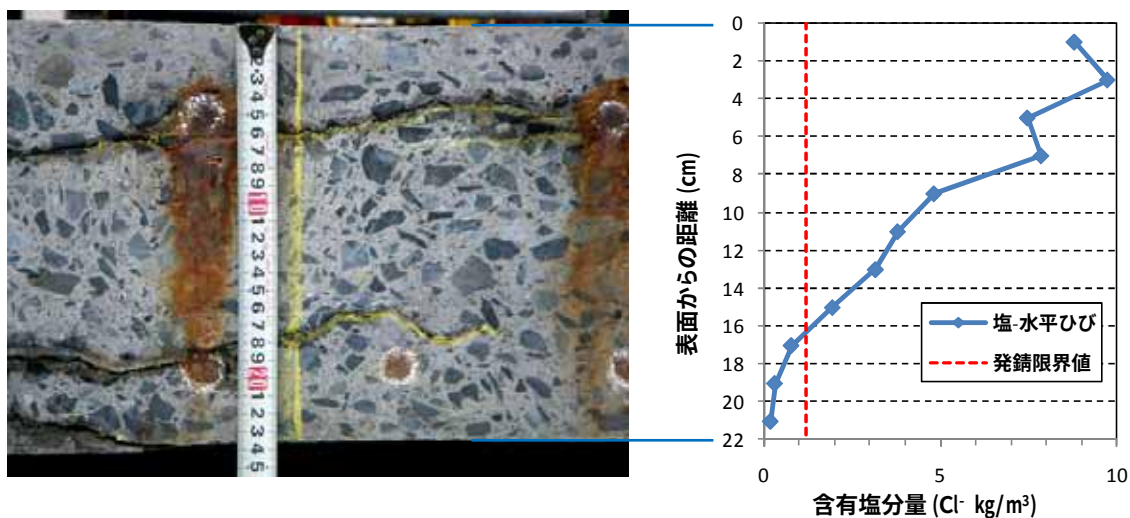


図-5 含有塩分量の分布（貫通ひび割れ近傍の水平ひび割れ）

2.2 上面補修部

E 橋の撤去床版では、上面を断面修復で補修した箇所の下面において劣化が顕著になっている傾向が見られた。他橋でも一部に同様の事例が見られたことから、上面の補修が適切に施工できなかった場合は、補修部の界面が水みちとなって再劣化や下面の劣化が促進される可能性が考えられた。これを検証するために、F 橋の撤去床版において、上面が補修されている箇所（図-6 参照）から鉛直方向に貫通コアを採取し、含有塩分量の分布状況を調査した。

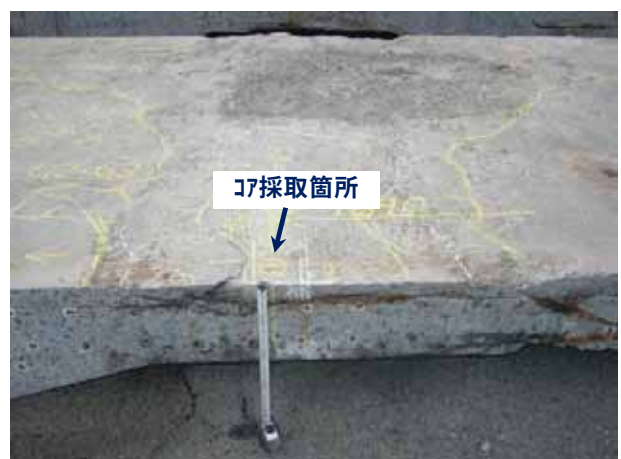


図-6 上面に断面修復のある断面

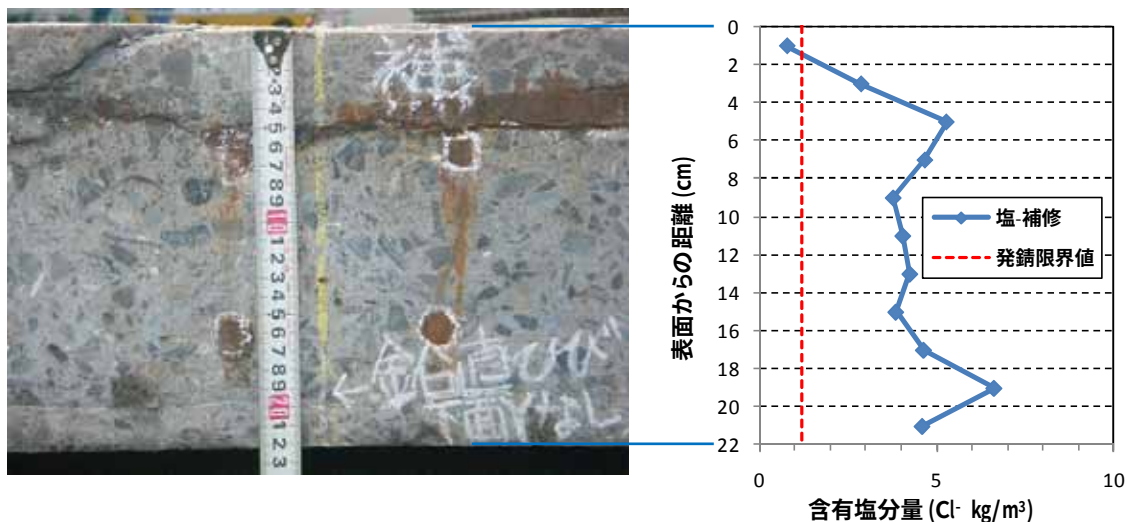


図-7 含有塩分量の分布（上面に断面修復のある断面）

図-7 は、上面に補修部があり、かつ下面に漏水があった箇所採取した貫通コアの含有塩分量分布である。なお、上面の補修部の厚さは 5～6cm で、早強または超速硬コンクリート（鉄筋・繊維補強なし）で断面修復されている。

補修断面でも 2～4cm と 4～6cm の層の塩分量は 2kg/m^3 を超えていたが、下縁側で塩分量が多い傾向にあることから、補修部と既設床版の境界面から塩分が供給されている可能性が高いと考えられる。塩分が含浸している既設断面からの再拡散の可能性もあるが、新旧断面ともに補修部の境界に近い層（補修断面の 4～6cm、既設断面の 6～8cm）の塩分量が周辺よりも多いことから、補修部と既設断面の境界に塩分を含んだ

水が浸透した可能性が考えられる。

このような箇所では、図-8 に示すようなメカニズムで補修部の再劣化や下面の劣化促進が生じると考えられる。

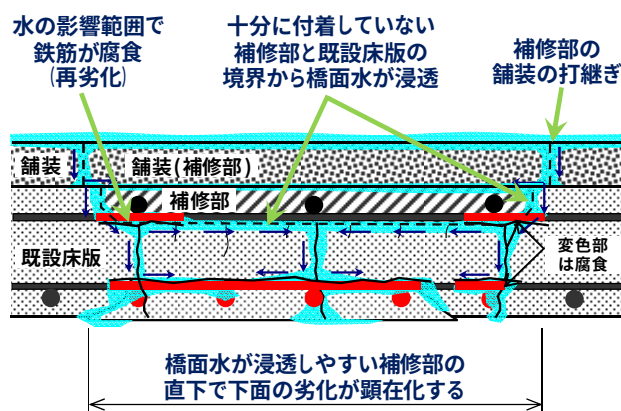


図-8 上面補修部の劣化メカニズム

3. 床版上面の調査手法の検討

3.1 舗装面からの打音点検

凍結防止剤による鋼橋 RC 床版の塩害劣化は上面側から劣化が進行する事例が多く、床版の劣化度評価や補修方法の検討においては上面の劣化状況が重要な資料となる。しかし、床版上面には舗装が敷設されており、通常は目視による調査ができないため劣化状況の把握が難しい。

これまでの検討で、劣化が顕著になった床版では、舗装の異音部と床版上面の浮き・はく離の範囲が概ね一致する事例が多いことから、舗装面からの打音法による点検が床版上面の有効

な調査手法の一つと考えられている¹⁾。しかし、同手法には、舗装の厚みや点検者の技量によって調査結果に差が出る場合もある。

図-9 は、打音法で点検した F 橋 P2～P3 径間の舗装の異音部と舗装撤去後に調査した床版上面の浮き・はく離の範囲の状況を比較したものである。

両者を比較すると、走行車線と重なるⅡライン（G2～G3 間）では舗装の異音部と床版の浮き・はく離はよく合致しているが、それ以外の範囲は合致していない。追越車線側の路肩付近には広範囲の異音部があったが、床版にはそれ

ほど広範囲の浮きはなく、一方で異音部が検出されていない箇所でも床版の浮きが発生している箇所が多数あった。

走行車線となるⅡラインやⅠライン（G1～G2間）の床版上面には、かぶりコンクリートと母材の縁が完全に切れた明瞭な浮きやはく離が多数見られたが（図-10 参照）、それ以外の範囲に

については、表面的には健全なように見える比較的軽微な浮きが多く（図-11 参照）、撤去後に断面を観察してもひび割れの開口幅が小さい傾向にあった。

今回の検証結果から、比較的軽微な劣化については、舗装面からの打音法では把握するのが難しいと考えられる。

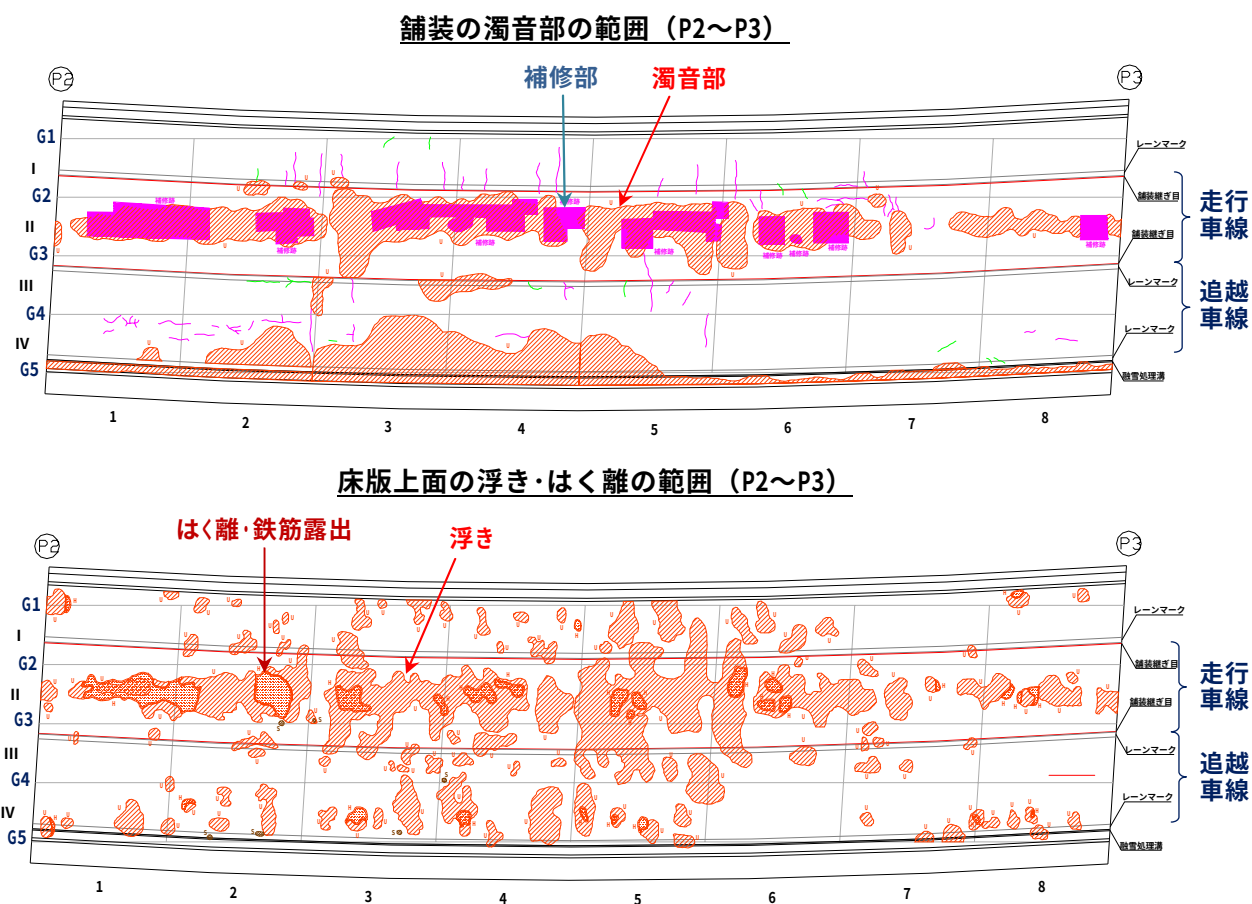


図-9 床版上面の浮き・はく離と舗装の濁音部の比較

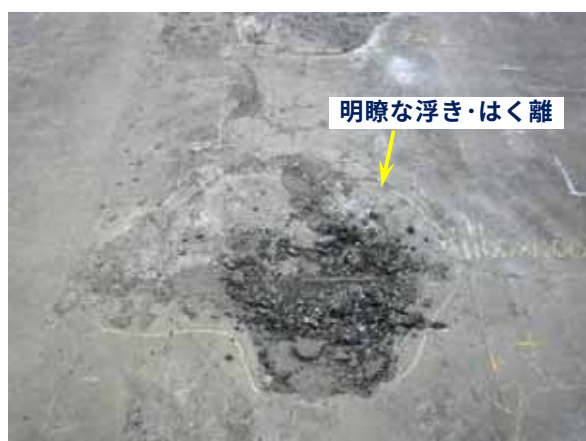


図-10 明瞭な浮き・はく離
(走行車線に多く見られた)

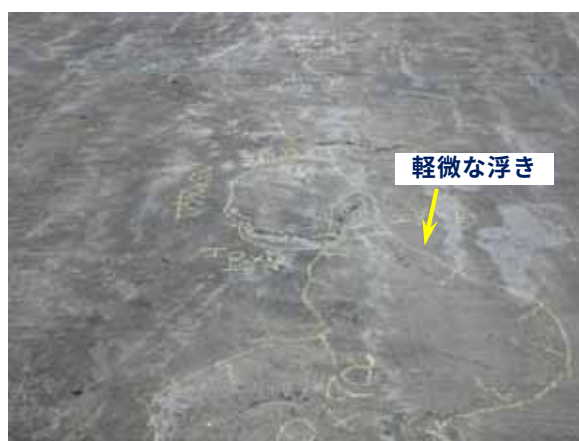


図-11 比較的軽微な浮き
(走行車線以外で多く見られた)

3.2 検出の難しい水平ひび割れ

広範囲に浮きが生じた RC 床版の断面には、浮き部の界面において水平方向に伸展するひび割れ（以下、水平ひび割れという）が見られる。F 橋の撤去床版の切断面においてもこのような水平ひび割れが多数確認されたが、それらの一部に床版上面からの打音法では検出できないものがあった（図-12～図-13 参照）。

いくつかの撤去床版で検証したところ、比較的浅い位置（深さ 40mm 以下程度）に発生している

ものや、ある程度深い位置でも開口幅が大きなものについては容易に異音部（浮き）として検出できたが、深さ 50mm 以上であり、かつひび割れの開口幅が小さいものについては、熟練点検者でも検出できない場合があった（図-14 参照）。

P2～P3 径間において、床版上面からの打音法で検出できなかった水平ひび割れの位置と範囲は、図-16 に示した状況図（上段）の青枠で囲まれた部分およびレーダ画像（下段）の白枠で囲まれた部分である。



図-12 打音法で検出した浮きと水平ひび割れから推定した浮き



図-13 水平ひび割れの伸展状況



図-14 打音法による水平ひび割れの検出

3.3 舗装面からの調査手法の試行

F 橋の既設床版の舗装撤去前に、多配列レーダ法による調査を試行し、舗装面から床版上面の劣化状況を調査する手法としての有効性を検討した（図-15 参照）。

なお、多配列レーダ法による調査とは、地中探査用の高解像度アンテナを前後左右に配置した測定機（多配列レーダ）で橋面を走査し、その収録データを専用ソフトで解析した画像（以下、レーダ画像という）を分析して、舗装面から床版上面の浮き・はく離などの劣化部を検出する調査手法である。

コンクリート中にある鉄筋などの鋼材は、測定機から照射された電磁波を強く反射するので、反射波の強弱を濃淡で表したレーダ画像では濃いコントラストとなって表れる。このため、RC 床版上面の鉄筋位置で水平方向にスライスしたレーダ画像では鉄筋が黒色の線となって現れるが、かぶりコンクリートに浮きやはく離が生じている部分については、浮き部と母材の間隙にある空気層によって電磁波が拡散されて鉄筋の反射波が不明瞭になる。

図-16 は、F 橋 P2～P3 径間の実際の床版上面の浮き・はく離の状況（上段）と、上側主鉄筋位置のレーダ画像（下段）を並べて示したものである。レーダ画像において、鉄筋が黒い線となって明瞭に現れている部分は、床版上面のコンクリートが健全な箇所である。鉄筋が不鮮明な箇所やコントラストが消失して白抜きのようにになっている箇所は、かぶりコンクリートに浮き・はく離が生じている劣化部である。

レーダ画像の劣化部は、実際の浮き・はく離よりも広く現れる傾向にあったが、位置や範囲は概ね近似していた。また、打音法では検出できなかった水平ひび割れの範囲（図-16 の状況図の青枠およびレーダ画像の白枠で囲まれた範囲）についてもコントラストが不鮮明な画像になっており、多配列レーダ法では検出できている可能性がある。なお、浮き・はく離が比較的少ない追越車

線の路肩付近において、広範囲にコントラストの不鮮明な箇所があったが、ここは舗装と床版界面の縁切れと思われる異音があった箇所でも（図-9 参照）、これを多配列レーダが捉えている可能性も考えられる。

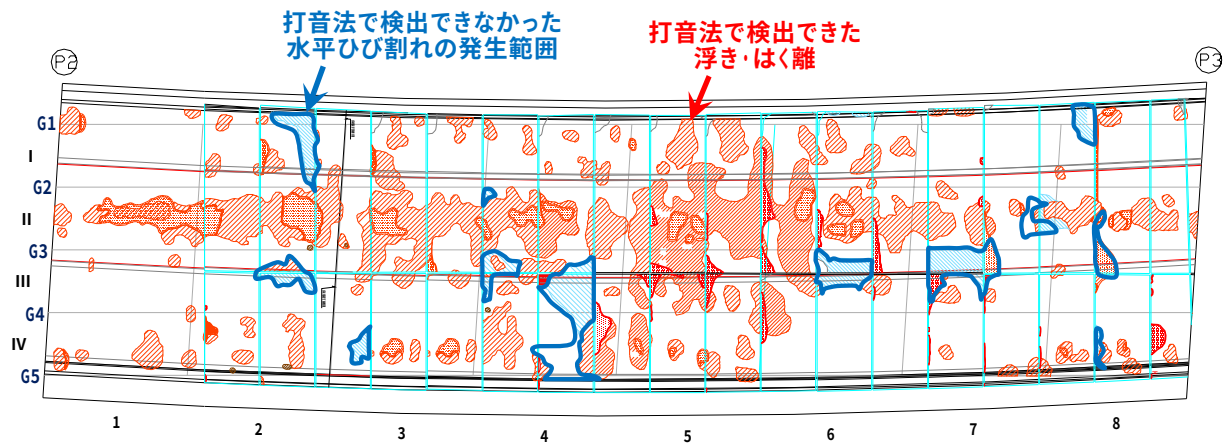
レーダ画像において、局所的に黒く塗りつぶされたような濃いコントラストの箇所があるが、これらはかぶりコンクリートが土砂化している箇所であった。通常、このような箇所は空隙の影響によってコントラストのない白っぽい画像となるが、今回の調査においては逆の傾向となっており、土砂部の滞水などの影響が現れている可能性が考えられる。

今回およびこれまでの試行結果から、多配列レーダ法には舗装上から床版の劣化状況を捉えられる可能性があると考えられるが、画像の見え方や評価方法、劣化部の判定基準などがまだ十分には明確になっていない。今後も実橋での試行などを通して検討を続けていく必要がある。



図-15 多配列レーダ法の試行

打音法などで検出した床版上面の浮き・はく離



多配列レーダ法の調査結果

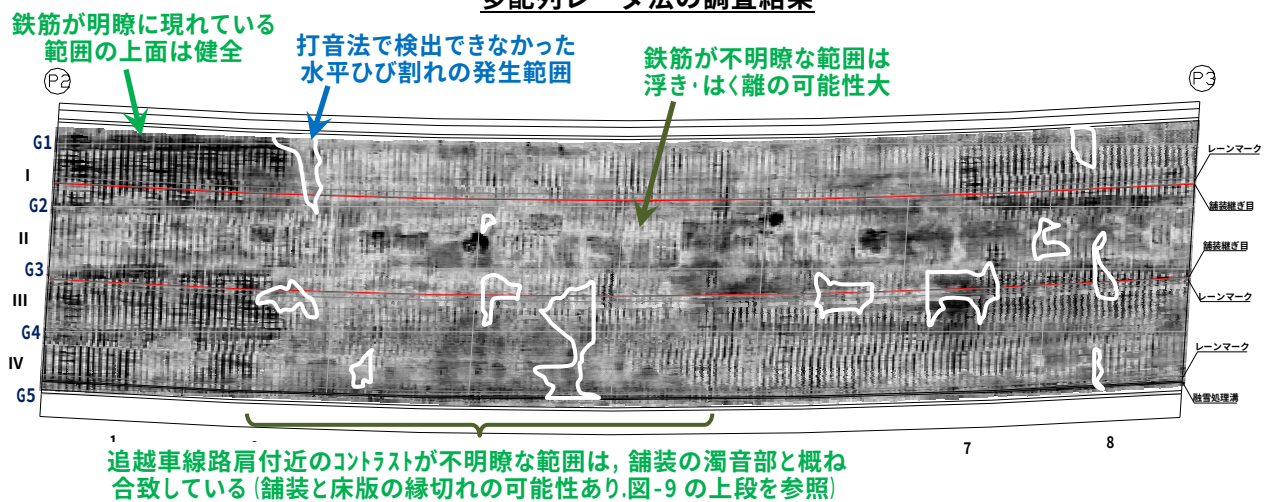


図-16 床版上面の浮き・はく離と多配列レーダの調査結果の比較

4. まとめ

今回の詳細調査の結果を以下にまとめて示す。

- 撤去床版の切断面で確認したひび割れ状況や含有塩分量の分布から、床版の打継ぎや貫通ひび割れが水みちとなって塩害劣化が進行していく可能性が高いことが確認された。また、適切に施工できなかった上面補修は、補修部の界面が水みちになって再劣化や下面の劣化を促進させる要因となる可能性がある。
- 舗装面からの打音法では劣化が軽微な段階の浮きを検出できない場合がある。また、深さ 50mm 以上にあり、かつ開口幅の小さな水平ひび割れは、床版上面からの打音法でも検出できない場合がある。

- 多配列レーダ法は、舗装上から床版の劣化状況を捉えられる可能性があると考えられるが、まだ画像の評価方法や劣化部の判定基準などが十分に確立されていないため、今後も検討を続けていく必要がある。

参考文献

- 1) 本荘清司ほか：凍結防止剤による鋼橋 RC 床版の塩害劣化に関する実橋調査，コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム論文報告集，第 8 巻，pp.125-130，2008.10
- 2) 本荘清司ほか：凍結防止剤によって劣化した鋼橋 RC 床版の詳細調査，コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム論文報告集，第 10 巻，pp.51-56，2010.10