

上面増厚補強後の RC 床版内部劣化調査の実施と有効性検証

○小野 裕一¹・美藤 友郎¹・萩原 明伯¹・山本 大祐¹

¹(株)エイト日本技術開発 中部支社 インフラ保全部 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 1 丁目 11-20)

近年、重交通条件下にある上面増厚補強後の道路橋 RC 床版において、既設床版部と増厚コンクリートの界面に水平剥離が生じ、雨水が浸入することで再劣化する事例が多数報告されている。今回の橋梁定期点検において、水平剥離が懸念される損傷が確認されたが、直接目視ができない床版内部状態を精度良く効率的に把握することが課題であった。そこで、適切で効果的な対策を実施するため、昨今開発が進み採用事例を増やしつつある新工法を組み合わせ、床版剥離範囲と床版内部状態を精度良く把握する調査を実施した。増え続ける RC 床版の再劣化へ適切に対応していくため、新工法を組み合わせた本調査の有効性について検証する。

Key Words : RC 床版, 橋梁定期点検, 上面増厚補強, 水平剥離

1. はじめに

重交通条件下にある道路橋の定期点検において、舗装面にポットホール、局部的な欠損やうき、白色析出物を伴う舗装ひび割れが確認されるとともに、RC 床版下面には漏水や遊離石灰を伴う床版下面ひび割れが広範囲に見られ、過年度の点検時から大幅な進行が確認された(写真-1 参照)。

対象橋梁は、1973年に建設された3径間連続非合成鉸橋・3連であり、重交通条件下にある高架区間である。車両の大型化への対応として1986年には縦桁が増設され、1996年には「床版上面増厚補強」として既設床版上面へ鋼繊維補強超速硬コンクリート(60mm)が増厚されている(図-1 参照)。

しかし近年では、重交通条件下にある床版上面増厚により補強された RC 床版において、既設床版部と増厚コンクリートとの界面に「水平剥離」¹⁾が生じ、雨水が浸入することで再劣化する事例が多数報告されている(図-2 参照)。本橋においても、損傷発生状況(舗装面ポットホール等の発生、漏水や遊離石灰を伴う床版ひび割れの進行)から、既設床版と増厚部との界面に水平剥離が生じ、床版上面増厚補強の効果が十分に発揮されていない可能性が考えられた。そのため、広範囲に及ぶ床版内部の劣化状態とその範囲を把握した上で対策を講じる必要があった。

しかし、重交通条件下にある本橋での調査可能時間は非常に短く(4時間程度)、連続夜間交通規制による調査は不可であった。直接目視できない床版内部の劣化状態を、いかに精度良く効率的に把握するかが課題であった。

そこで、昨今開発が進み新工法として採用事例を増やしつつある「打音検査システム(T.T.Car)」²⁾という非破壊調査、「シングルアイ工法」³⁾という微破壊調査を組み合わせ、交通への影響を最小限にした上で、床版内部の劣化状態を把握し、床版長寿命化のための対策設計を実施したものである。

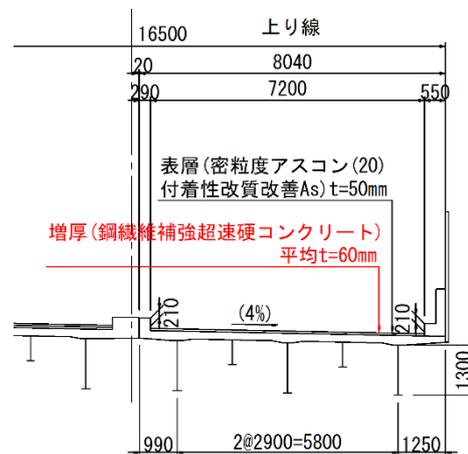


図-1 対象橋梁断面図

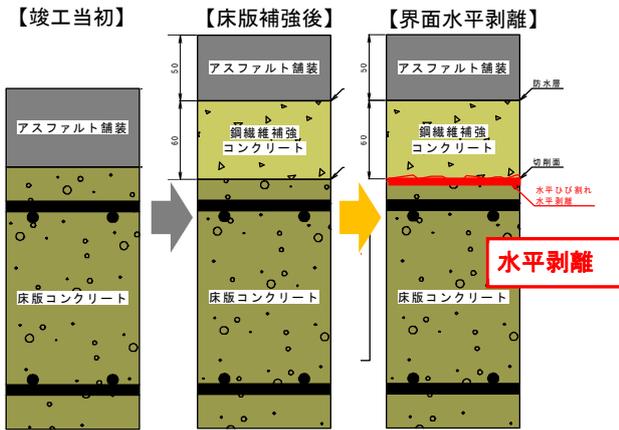


図-2 床版上面増厚部の界面の水平剥離の概要

2. 調査方法の選定

床版内部の劣化状況を把握するにあたり、時間的制約がある中で「水平剥離範囲を効率的に把握すること（課題1）」、「直接目視できない内部の劣化状態を交通に影響を与えずに精度良く把握すること（課題2）」の2点が課題であった。そこで、2つの新工法を組み合わせ、それぞれの特徴（効率性、高精度）を活かした調査方法を提案した。課題を解決するために選定した2つの新工法について、以下に説明する。

(1) 水平剥離範囲の効率的な把握（課題1）

床版内部の劣化調査を行う箇所を選定、補修範囲の決定のため、対象橋梁全面にわたり水平剥離範囲を把握する必要があった。一方で調査には、短い夜間交通規制時間内で調査可能な作業効率性、調査員の熟練度によるばらつきのない、客観的な判断も必要であった。そのため、従来行われていた人による打音調査ではなく、橋面上から面的に、短時間かつ一定の判定基準で打音調査できる非破壊調査方法「打音検査システム（T.T.Car）」（以下、打音検査システム）を選定した。

「打音検査システム」は、手押し式打音測定車の内部にある回転式ハンマーヘッドが、橋面を打音した際の打音データを検査システムにて同一基準で客観的に解析する検査方法である（図-3参照）。健全部の音の大きさ（dB）を閾値として、これを超える周波数帯がある一定の割合以上の場合に、その打音箇所を異音部（水平剥離箇所）と判定する。

打音イメージ図

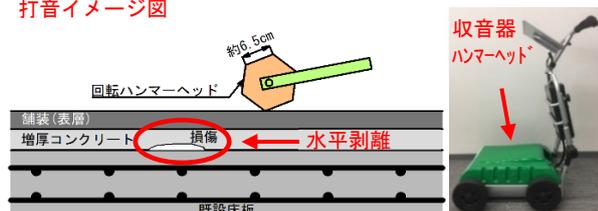


図-3 打音検査システムの概要



写真-1 損傷発生状況

(2) 精度の高い床版内部劣化状態の把握（課題2）

床版上面増厚工法は新旧コンクリートの一体性と既存コンクリートが健全な状態であることが前提となる。そのため、補修工法を選定する際には、界面の水平剥離部の状態と既設床版内部のひび割れ等の劣化状態を精度良く把握する必要がある。そこで、交通規制が不要な桁下からの調査が可能で、床版へのダメージが極めて少ない微破壊調査方法「シングルアイ工法」を選定した。

「シングルアイ工法」は、床版下面からの小径（ $\phi 5\text{mm}$ ）の1次削孔部に特殊カラー樹脂を注入し、それが固化した後に再び削孔（ $\phi 9\text{mm}$ ）した後、その孔内へ高性能内視鏡を挿入しながら孔内側面を連続撮影することで、床版内部の状態を動画・連続画像にて観察する工法である。水平剥離、既存床版のひび割れ等をカラー樹脂にて着色することで、可視化できる特徴がある（写真-2、3参照）。



写真-2 調査状況

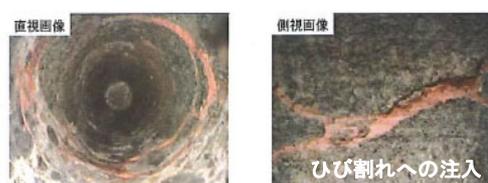


写真-3 撮影画像（例）

3. 調査結果と検討

(1) 調査方針

打音検査システムによる調査は、橋軸方向に50cm 間隔で測線を設定して調査し、解析で得られた水平剥離の推定範囲を、平面的にマッピングした。

シングルアイ工法の調査箇所は、打音検査システムで得た水平剥離の推定範囲を基に、舗装面損傷・床版ひび割れからの漏水が著しい箇所、輪荷重位置を踏まえ、1日 で調査可能な7箇所を抽出した。

(2) 調査結果

全7箇所の調査結果を表-1、図-4にまとめ示す。このうちNo.5, 7のシングルアイ工法による撮影画像を写真-4, 5に示し、以下に調査結果を記載する。

表-1 調査結果

調査箇所	T.T.Car異音 有無	界面の水平剥離		既設床版内部ひび割れ	
		有無	剥離厚 (mm)	有無	ひび割れ幅 (mm)
No.1	有	有	0.9mm	有	0.14、2.0
No.2	有	有	0.4mm	無	
No.3	有	無		無	
No.4	無	無		有	0.8
No.5	有	有	3.3mm	無	
No.6	有	無		無	
No.7	有	有	0.8mm	有	2.7

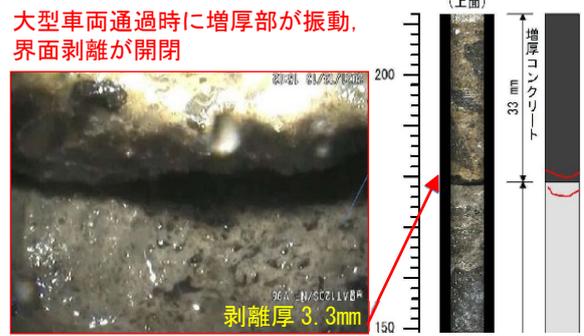


写真-4 No. 5 削孔内撮影画像

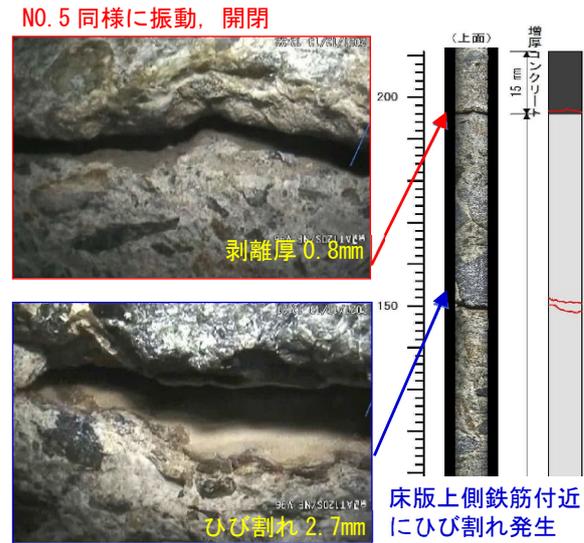


写真-5 No. 7 削孔内撮影画像

- 1) 水平剥離箇所は輪荷重走行位置付近を中心に発生し、大型車両の交通量が多く、横断勾配が低く剥離箇所に滞水しやすい走行車線に広く見られた。
- 2) 全7箇所のうち、5箇所において既設床版と増厚部界面の水平剥離が確認でき、剥離厚は0.4～3.3mmで分布していた。
- 3) 調査箇所 No.5, No.7 における撮影動画にて、大型車両の通過と同時に増厚部が上下に振動し、水平剥離部が開閉している状況が確認できた。また、調査前日及び当日は雨が降っていないにもかかわらず、削孔時には水の滲出が確認された。
- 4) 既設床版内部においては、全7箇所のうち、3箇所において水平ひび割れの発生が確認でき、その幅は0.14～2.7mmで分布していたが、大きな剥離や砂利化箇所は確認されなかった。

(3) 診断と対策

調査結果から、増厚部界面の水平剥離の発生が明らかになり、床版の一体性が確保されていない範囲が確認できた。一方で、既設床版内部には著しい剥離や砂利化は確認されず、比較的健全であると考えられた。ただし、床版下面のひび割れは進行しているため、既設床版と増厚部の一体性低下により床版の疲労が進行していると考えられた。以上より、増厚補強により一定期間の効果はあったと考えられるものの、床版の劣化状況は進展期から加速期に進行していると考えられる。そのため、水平剥離が広範囲に顕在化して床版耐力が全体的に低下する前に、「床版の一体性回復」、「疲労耐久性の向上」を図る補修対策が必要であった。

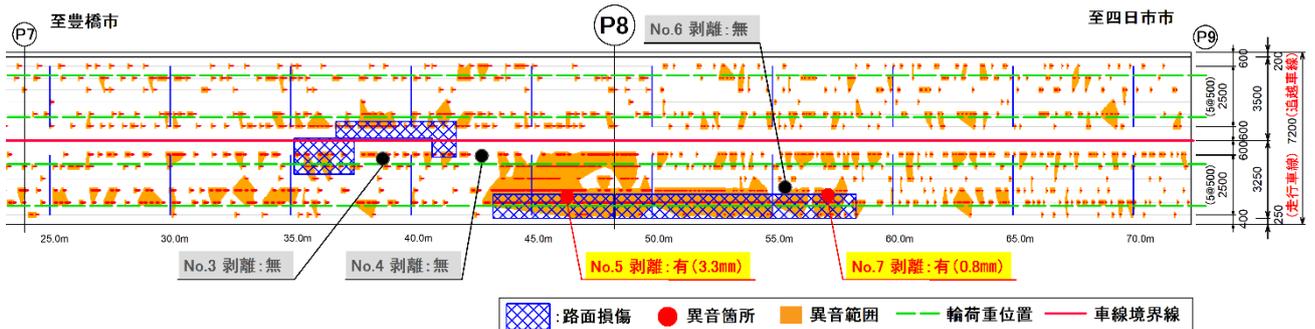
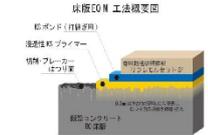
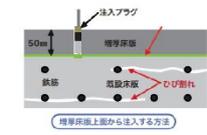


図-4 調査結果

表-2 補強補修工法 比較表

工法	疲労耐久性補強策		疲労耐久性補修策		
	鋼板接着工法	アラミド繊維シート接着工法	部分床版打替え	増厚コンクリートの部分打替え	上面増厚床版剥離部補修
断面図等					
工法概要	・既設の床版下面に鋼板を接着させて、床版の剛性を増すことにより耐荷力の向上を図る工法。	・アラミドシートを2方向に樹脂を含浸させながら貼付け、床版を補強する工法。	・従来同様の床版を再構築する工法であり、既設床版の適用示方書に準拠した床版構造となる。	・舗装面損傷が見られる既設床版（増厚コンクリート）を取り除き、既設床版と同等以上の品質を有する材料で打替え、疲労劣性を向上させる工法。	・舗装上面あるいは床版下面より、既設床版と増厚部材の界面にエポキシ樹脂を注入し、既設床版と増厚部材を再度一体化する。
対策レベル	潜伏期	現在進展期			
	進展期		進展期		
	加速期				加速期
	劣化期			劣化期	
長所	・本線交通規制が不要。 ・人力での施工が可能。	・本線交通規制が不要。 ・人力での施工が可能。	・施工後の本工法に関する特別な維持管理は不要。	・人力での施工が可能。	・人力での施工が可能。 ・期待する補強効果が望める。
短所	・土砂化した床版には適用不可 ・塗装差替え等のランニングコストがかかる。 ・内部損傷状況が確認できない。	・床版剛性の向上（せん断補強）は期待できない。 疲労耐久性向上	・交通規制が必要。 ・WJマシンやコンクリート打設機材等が必要となり、大掛かりとなる。	・交通規制が必要。	・交通規制が必要。
総合評価	期待される効果は繊維シート補強と類似するが、経済性・施工性・維持管理性に劣るため、採用しない。 △	既に疲労劣化が進行しているため、耐疲労性向上策として本案を採用する。 ○	劣化期に及ばず、床版内部および桁下面のコンクリートに耐荷性能低下を伴う損傷は確認されないため、採用しない。 △	舗装面損傷箇所も含めて床版上面より部分打替えする必要があるため、本案を採用する。 ○	上面増厚に期待する補強効果を回復する必要があるため、本案を採用する。 ○

4. 床版補修設計

調査結果から、舗装面・床版下面の損傷進行箇所と水平剥離範囲には関連性が見られた。現状では、大部分で床版の一体性は確保できており、水平剥離範囲は限定的である一方で、既に床版ひび割れが進行し疲労耐久性が低下していると考えられることから「床版の一体性回復による疲労耐久性の向上」を設計方針とした。そのため、水平剥離部については「増厚コンクリートの部分打替え」と「水平剥離部への樹脂注入」補修を、床版下面については「アラミド繊維シート接着」補強を選定した（表-2参照）。補修工法の主な留意点について説明する。

（1）増厚コンクリートの部分打替え

舗装面損傷箇所と水平剥離範囲は関連性があることから、既に舗装面に損傷が顕在化している範囲も部分打替え範囲とした。既設床版上面の土砂化等は確認されなかったことから、増厚部のみの打替えを基本としたが、再劣化防止と短時間施工条件を踏まえ、以下の点に留意した。

a) 予め複数の断面修復詳細図を明記

断面修復は、増厚部ハツリ後の既設上面の状態により、断面修復方法を適切に選定する必要がある。時間的制約が厳しい施工条件を踏まえ、ハツリ後即時に施工対応できるように、予め複数の断面修復詳細図を明記した。

b) 施工工程計画

水平剥離範囲を限定できたことで、部分打替え施工範囲を決定できた。これにより、夜間交通規制時間内かつ短期間で施工可能な施工班数と施工フローを検討でき、4日間で施工可能な工程を計画できた。

（2）水平剥離部への樹脂注入

増厚コンクリートの部分打替え箇所以外の水平剥離部に樹脂を注入し、既設床版と増厚部の再一体化を図る。通常、樹脂注入範囲を事前に決定することは難しいが、今回調査で得た水平剥離範囲を基に、横断勾配、施工性・経済性など多面的な観点から、その範囲を決定できた。

5. おわりに

調査目的に応じて橋面および桁下面から調査する新工法を組み合わせることで、直接目視できない界面の水平剥離範囲や床版内部の劣化状態を精度良く把握でき、適切な診断と補修設計の実施による床版長寿命化に大きく貢献できた。また、調査結果は、客観的なデータや画像により「結果の見える化」を図れることから、本調査は有効であった。

今後、開発が積極的に進められている様々な新工法を、合理的に組み合わせ活用してその実績を増やし、調査データを蓄積・分析することで、更なる精度・効率性を向上させる必要がある。その結果、最適な補修対策が実施でき、床版長寿命化や修繕費削減を図ることができる。

参考文献

- 1) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル 2020
- 2) 蔦井株式会社 HP「打音検査システム - T.T.Car」
(www.tsutai.co.jp)
- 3) 渡邊晋也，谷倉泉：コンクリート床版内部に発生した微細ひび割れの微破壊検査法に関する研究，建設機械，（一社）日本建設機械施工協会，2015.9