

報告

鋼床版橋における SFRC 補装の劣化損傷事例の調査

白河拓丈*, 村越潤**

*東京都立大学大学院博士前期課程(研究時), 都市環境科学研究科(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

**博(工), 東京都立大学大学院, 都市環境科学研究科(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

鋼床版橋の疲労損傷への対策として, 鋼纖維補強コンクリート補装(SFRC 補装)とデッキプレートを接着剤により一体化させる SFRC 補装が適用されている。初期の施工事例から約 20 年経過しているが, 実橋での耐久性については未だに知見が少ない状況である。本文では, SFRC 補装施工後, 比較的早期に SFRC 補装の劣化損傷の発生した鋼床版橋を対象として, ひび割れ等の損傷の経時変化について外観調査等を実施した結果を報告する。

キーワード: 鋼床版, SFRC 補装, 劣化損傷

1. はじめに

交通条件の厳しい路線の鋼床版橋において, 輪荷直下の様々な溶接部位に疲労損傷が報告されている¹⁾。このうち, 閉断面リブとデッキプレート間の溶接部に発生する疲労き裂の主たる対策として, 既存のアスファルト舗装を, 比重がほぼ同じで, 剛性の高い鋼纖維補強コンクリート(以下, SFRC)舗装に置き換える, デッキプレートと一体化させる補強工法が提案され, 約 20 年前から既設鋼床版に適用されている^{1),2)}。この工法は, 鋼床版と SFRC 補装をエポキシ樹脂系接着剤により接合し合成拳動させることで, デッキプレートの局部変形を抑え, 溶接部の局部応力の低減を図るものである。

SFRC 補装の疲労耐久性の向上効果については,これまで実大鋼床版試験体を用いた輪荷重走行試験により検討が行われ, 十分な疲労耐久性を有することが確認されている²⁾⁻⁵⁾。小野ら³⁾は, 補装後の鋼床版溶接部と SFRC 補装自体の疲労耐久性の向上効果を確認するために, 輪荷重走行試験(輪荷重 69kN, 440 万回載荷)を実施している。接着剤接合部に関して, 部分的に付着強度の低下がみられたものの鋼床版の補強機能は保持されていたとしている。第二著者ら⁴⁾は, SFRC 補装にデッキプレート面までの貫通ひび割れを導入させた後, 補装面を水張り状態にして輪荷重走行試験(輪荷重 150kN, 200 万回載荷)を実施し, 接着強度の低下はみられず供用性に支障を来すような変状は生じなかつたとしている。葉山ら⁵⁾は, SFRC 補装の破壊形態を把握するために階段載荷(初期荷重 156.8kN とし, 4 万回走行ごとに荷重を 19.6kN 増加)による輪荷重走行試験を実施している。30 万回走行時(荷重 294kN)に SFRC の破壊を確認しているが, 破壊時の荷重は実交通環境下では現実的な荷重とは言い難く, 劣化進行に伴う SFRC の破壊形態の把握には至らなかつたとしている。

実橋での SFRC 補装施工後の健全性については,

初期の施工事例を対象に, 関係機関において追跡調査が行われている。例えば, 2005 年の施工事例では, 施工後 5 年経過時点で舗装表面にひび割れが確認されているものの, 施工後 10 年及び 15 年時点ではひび割れの大きな変化は確認されていないとしている^{6),7)}。また, 他の 2 事例では, 施工後 15 年時点では接着剤接合部の健全性確認のために引張強度試験を実施しており, 2 事例とも強度の評価目安²⁾を満足する結果であったとしている⁷⁾。

一方, 本報告において調査対象とした橋梁は SFRC 補装施工後 14 年(2024 年時点)が経過しており, 施工当初は健全であったが, 補装の局所的な損傷が確認されており, 損傷部分とその周辺では SFRC またはアスファルトによる補修が行われている。鋼床版橋の疲労対策として施工された SFRC 補装において, 供用中に劣化損傷が発生した事例は, 著者が知る限り, 他に報告されていない。したがって, 損傷の進行過程や形態について, 概略であっても把握しておくことは, 今後の工法の適用方法や維持管理方法を検討していくうえで有用な知見になるものと考えられる。本文では, SFRC 補装施工後の劣化状況について, 歩道からの目視による約 8 か月間の毎月の外観観察と, 過去の Google ストリートビューのパノラマ画像分析の結果を報告する。なお, 本橋の構造諸元情報や SFRC 補装の施工に関する情報は, 管理者からの提供資料とヒアリングに基づくものである。

2. 調査橋梁

調査を実施した橋梁は, 片側 3 車線の上下線分離橋梁である。1971 年に南側の橋梁(以下, 旧橋)が対面通行で供用されたが, 1983 年に北側の橋梁(以下, 新橋)が供用され, 上下線分離となった。いずれも 3 径間連続鋼床版箱桁橋であるが, 鋼床版構造としては, 旧橋では閉断面リブ(バルブリブ)を, 新橋では閉断面リブ(U リブ)を採用している。

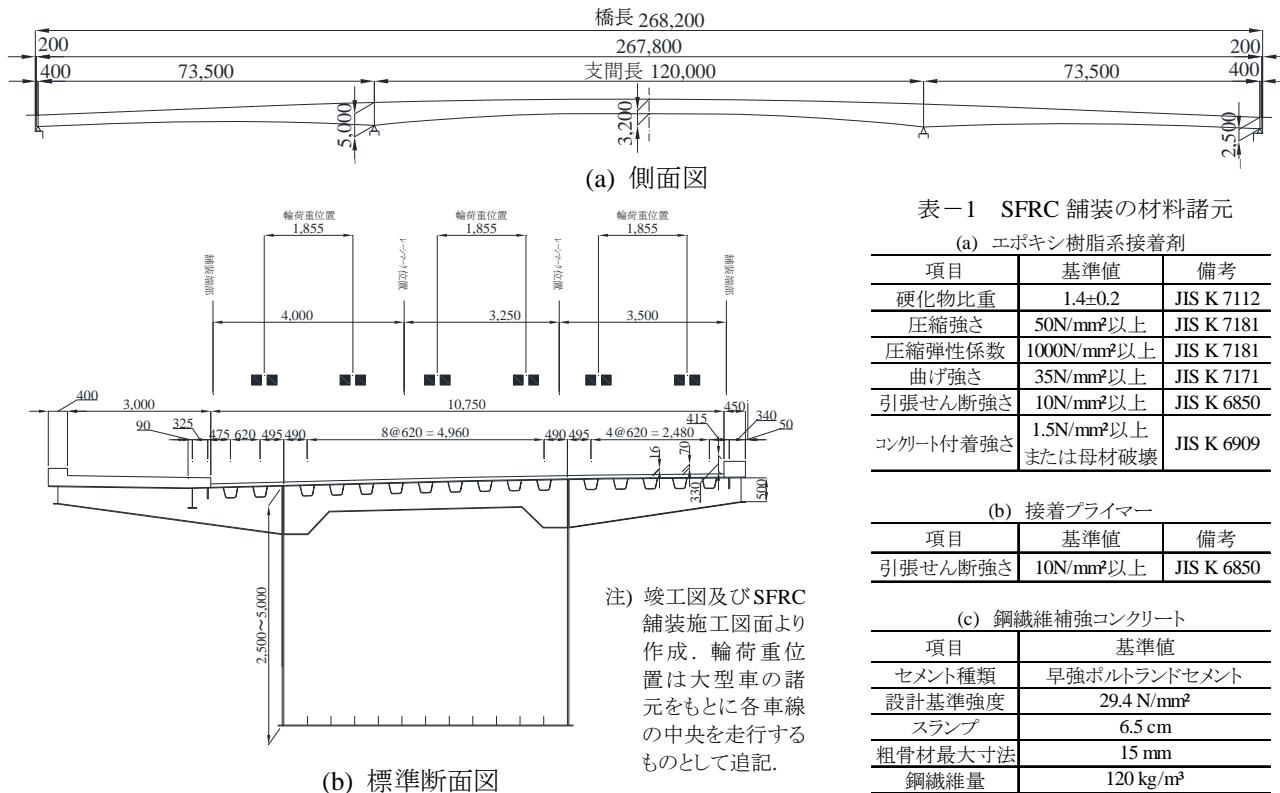


図-1 橋梁一般図（単位：mm）

注) 竣工図及びSFRC
舗装施工図面より
作成。輪荷重位置
は大型車の諸元をもとに各車線
の中央を走行する
ものとして追記。

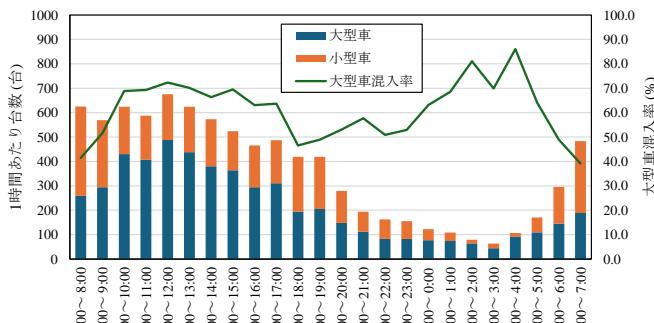


図-2 新橋側の時間別交通量と大型車混入率

現地調査では、旧橋、新橋とも調査を行ったが、本文ではUリブを用いた新橋についての調査結果を報告する。

2.1 構造諸元等

図-1に橋梁一般図を示す。本橋(新橋)の支間割は73.5m+120m+73.5m、車道幅員は10.75m、縦断勾配は最大4%である。鋼床版の使用材料はSM50APである。デッキプレート板厚は12mmが標準であるが、中間支点部では16mm、隣接する施工ブロック(ブロック長:15.7m)では14mmである。Uリブ寸法は310×220×8mm、横リブ間隔は2,240mmである。供用開始時の舗装は70mm厚のアスファルト舗装であった。図-2に新橋側の時間別の交通量を示す。交通量調査(2021年10月、木曜日に実施)によれば、大型車交通量は新橋で5,283台/日、旧橋で5,951台/日、大型車混入率は新

橋で60.0%、旧橋で60.7%である。なお、現地調査時にはほぼ毎回、進入側の側径間部の第1車線に大型車が停車していることを確認している。2024年1月に、新橋中央径間部における1時間の車線別走行台数を確認したところ、第2車線の走行台数は3車線全体の4分の3程度であった。

2.2 SFRC 舗装の施工

調査橋梁の周辺には物流拠点が集積しており、大型車の通行が多いことから、アスファルト舗装のわだち掘れ対策と鋼床版の疲労損傷への予防保全対策として、75mm厚のSFRC舗装が施工されている。工事は2010年の1月から3月にかけて、車線規制(片側3車線のうち1.5車線を規制)を行いながら実施されている。表-1に使用材料の諸元を示す。なお、橋梁点検調書によれば、2023年1月時点ではUリブとデッキプレート間の溶接部外観

表-1 SFRC 舗装の材料諸元

(a) エポキシ樹脂系接着剤		
項目	基準値	備考
硬化物比重	1.4±0.2	JIS K 7112
圧縮強さ	50N/mm²以上	JIS K 7181
圧縮弾性係数	1000N/mm²以上	JIS K 7181
曲げ強さ	35N/mm²以上	JIS K 7171
引張せん断強さ	10N/mm²以上	JIS K 6850
コンクリート付着強さ	1.5N/mm²以上 または母材破壊	JIS K 6909

(b) 接着プライマー		
項目	基準値	備考
引張せん断強さ	10N/mm²以上	JIS K 6850

(c) 鋼纖維補強コンクリート		
項目	基準値	
セメント種類	早強ポルトランドセメント	
設計基準強度	29.4 N/mm²	
スランプ	6.5 cm	
粗骨材最大寸法	15 mm	
鋼纖維量	120 kg/m³	

(d) CFRPグリッド筋		
材質	炭素繊維強化プラスチック	
筋材断面積	39.2mm²(公称値)	
筋材引張強度	1,400 N/mm²	
筋材引張弾性率	100,00 N/mm²	
筋材ピッチ	100mm(公称値)	

(e) スタッド				
標準寸法				
直徑 (mm)	頭部径 (mm)	頭部厚 (mm)	長さ (mm)	溶け代 (mm)
9	19	7	30	4
機械的性質				
引張強さ (N/mm²)	降伏点 (N/mm²)		伸び (%)	
400～500	235以上		20以上	

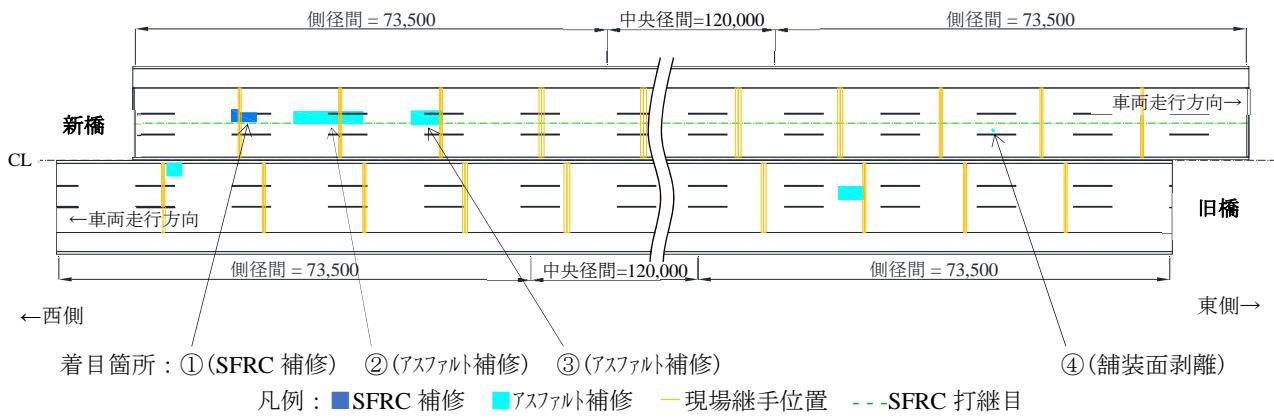


図-3 調査着目箇所(2024年1月時点)(単位:mm)

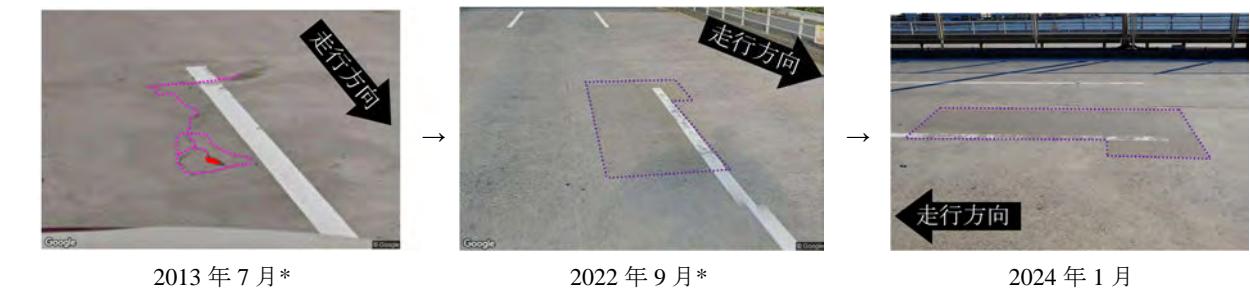


図-4 SFRCによる補修箇所①

にき裂は確認されていない。SFRC 補装には早強ポルトランドセメントが使用され、デッキプレートとの接合には、同工法では一般的なエポキシ樹脂系接着剤が使用されている。また、SFRC 補装の端部となる伸縮継手、地覆、打継目の付近では頭付きスタッドが併用されている。さらに、負曲げによるひび割れ対策として、箱桁の主桁ウェブ直上の舗装内には 1m 幅の CFRP グリッド筋²⁾が配置されている。

3. 調査結果

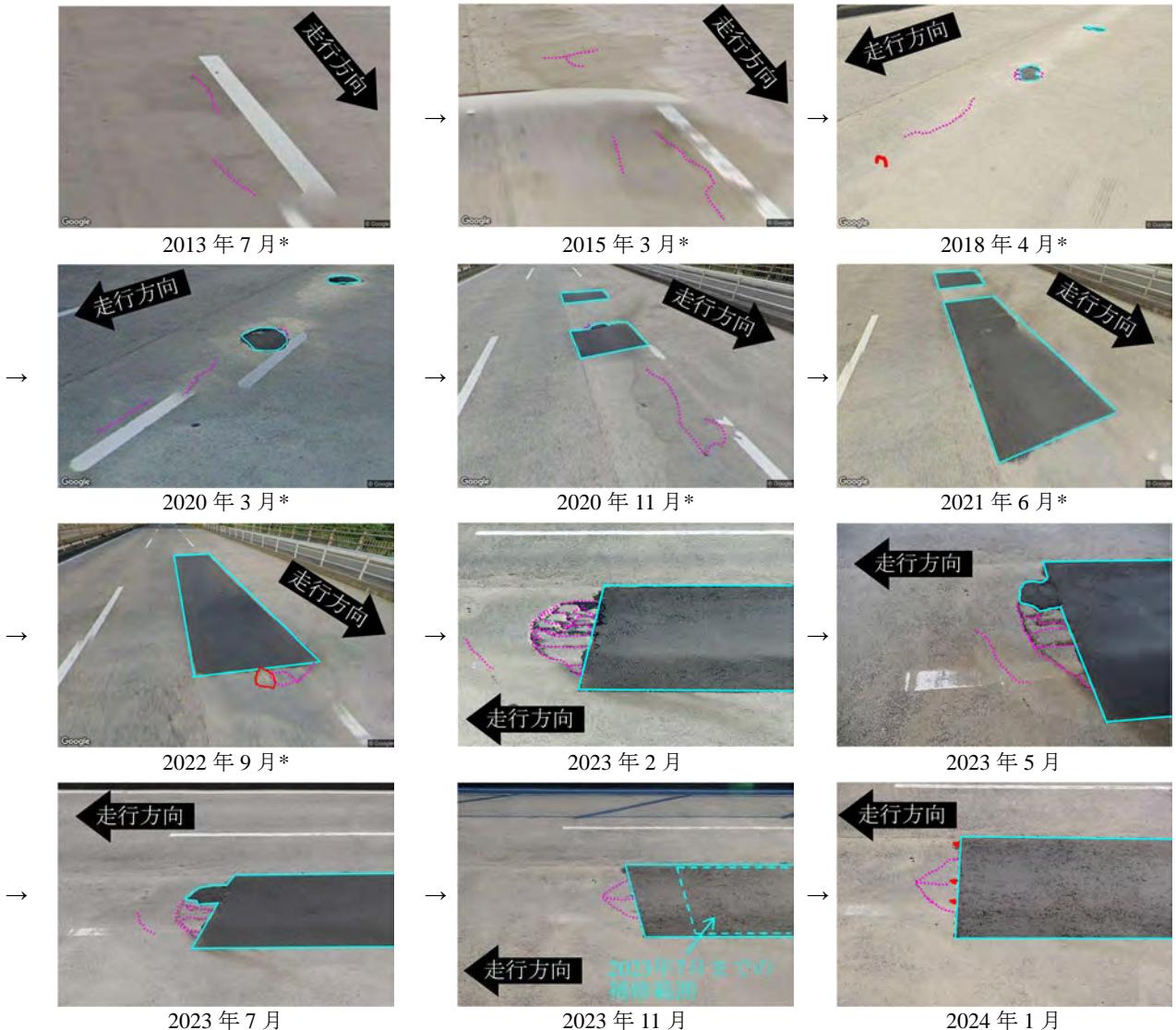
図-3 に新橋の着目箇所を、図-4～図-7 に各着目箇所の舗装面の経時変化を示す。図-3 には参考として旧橋の損傷箇所も示す。着目箇所は、2023 年 2 月時点における、SFRC による補修箇所①、アスファルトによる補修箇所②及び③、舗装面剥離箇所④の 4 箇所とした。この 4 箇所は、舗装面に補修もしくは顕著な損傷がみられた全ての箇所であり、側径間に位置している。なお、目視で確認できる比較的幅の大きいひび割れは、着目箇所以外にも、側径間において多く確認されている。

着目箇所の損傷形態としては、輪荷重直下において局所的にひび割れ幅が拡大し、SFRC 補装がブロック化し、SFRC 部分もしくは接着剤との混合層部分において破壊が進行し剥離したものと推察される。以下、本文ではこの状態を剥離と呼ぶが、ブ

ロック間は鋼纖維によってある程度つながっており、小片が徐々に剥離していく損傷形態と考えられる。

なお、同時に現地調査を行った旧橋についても、図-3 に示すとおり側径間の第 2、第 3 車線において 2 箇所でアスファルトによる補修が確認されている。今後、損傷状況の継続的な調査が必要であるが、新橋と旧橋の鋼床版縦リブの構造詳細の違いが損傷発生に大きく影響している可能性は低いと考えられる。

2013 年 7 月～2022 年 9 月の期間については、Google ストリートビューから着目箇所の舗装面の画像を取得し、ストリートビューの撮影間隔に応じて 7か月～3 年間隔で損傷状況を確認した。この期間中にストリートビューの撮影は計 9 回行われている。画像の取得には Google の Street View Static API⁸⁾を使用した。この API を使用することで、視点の ID、視線の方向、抽出画像の解像度などを指定した URL から、対応するストリートビュー画像を抽出できる。具体的には、ストリートビュー上で損傷箇所が明瞭に写っている位置を探し、閲覧時の URL から特定した視点 ID 等の値を基に API 用の URL を作成し、それにアクセスすることで画像を取得した。なお、同画像では画像合成のずれなどがみられるものがあり、追記したひび割れの位置関係も画像間で対応していない場合があるが、本画像では初期の損傷形態の概略把握を意図した。



□アスファルト補修部分 一舗装面剥離
…ひび割れ

注1) *印はGoogleストリートビューからの引用を示す。

注2) 路面状態に大きな変化のみられない期間は、一部写真を省略した。

図-5 アスファルトによる補修箇所②

また、2023年5月以降は、歩道からの外観目視により1か月毎の現地調査を行った。

3.1 SFRCによる補修箇所①(図-4)

2013年7月(舗装施工後の最初の画像)の画像時点で第2車線の左輪載荷位置直下の舗装面にひび割れと剥離が確認されている。この位置は現場継手位置であり添接板や高力ボルト等が存在し、局的に舗装厚が所定の75mmよりも薄い部分があるが、ひび割れ未発生の継手位置も多数存在することから、因果関係は明確ではない。2014年5月までの間にSFRCによる補修が行われており、約10年が経過した今回の調査時点ではSFRC舗装は健全な状態であった。

3.2 アスファルトによる補修箇所②(図-5)

2013年7月の画像時点で第2車線の左輪載荷位

置にひび割れが確認され、2015年3月にかけてひび割れの進展が確認されている。2018年4月までに舗装面の剥離があったものと考えられ、剥離部分はアスファルトにより補修されている。なお、この補修位置は現場継手位置近傍ではあるが、直上ではない。以降、アスファルトによる補修範囲は輪荷重走行位置に沿って拡大し、2020年11月には、剥離部分を囲うように、長方形にSFRCを除去しアスファルトにより補修されている。2023年2月以降は補修箇所端部の状況に着目して写真を示しているが、アスファルト舗装との境界付近にひび割れが発生するようになり、補修範囲は現場継手部をまたいで徐々に拡大している。補修箇所における損傷拡大の主な要因には、SFRCとアスファルトの剛性差が挙げられ、これによりSFRC端部付近に走行時の衝撃や変形が集中するためと推測される。

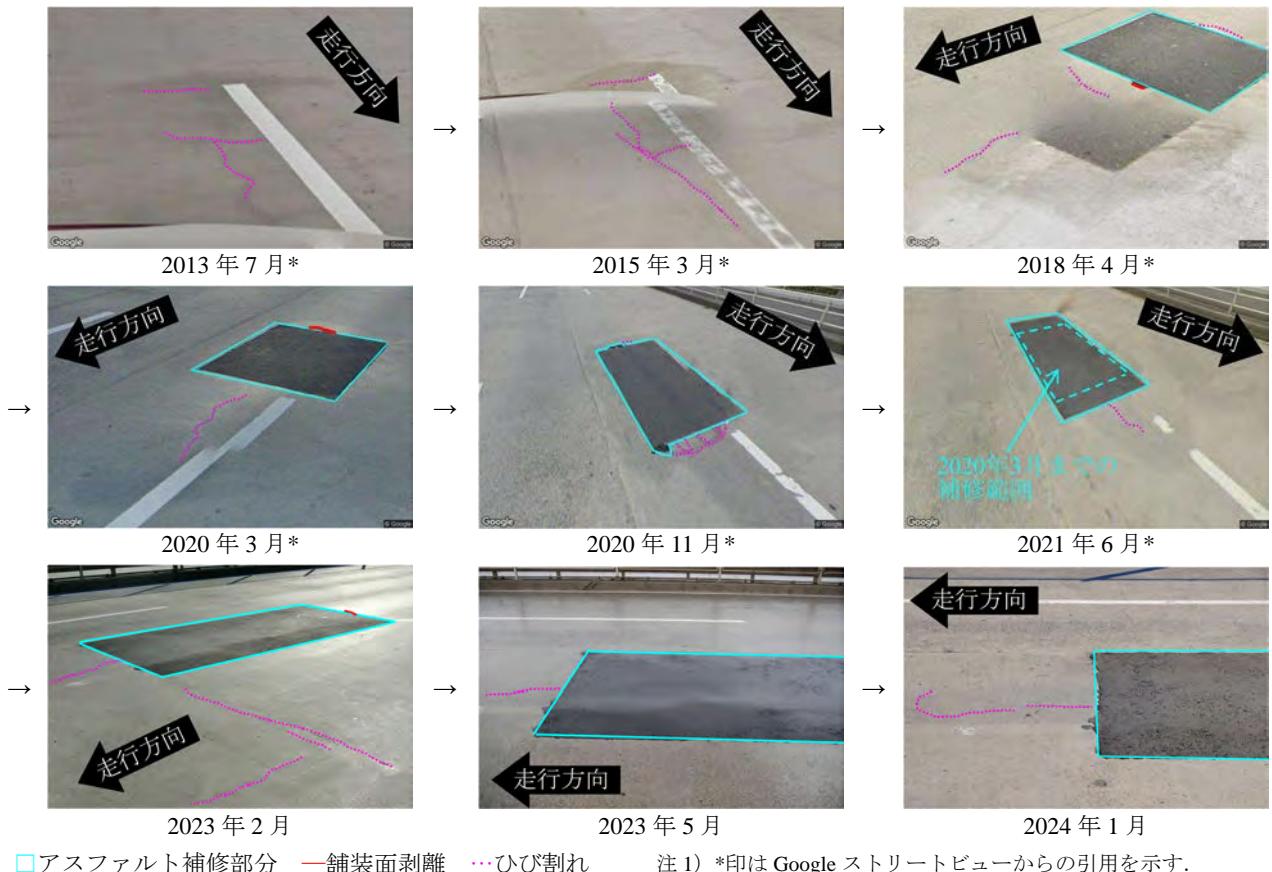


図-6 アスファルトによる補修箇所③

3.3 アスファルトによる補修箇所③（図-6）

2013年7月の画像時点で第2車線の左輪載荷位置に橋軸方向および直角方向のひび割れが確認され、その後徐々に進展しており、2018年4月までにアスファルトにより長方形に補修されている。補修箇所②と同様に、SFRC端部付近にひび割れが集中的に発生するようになり、補修範囲が徐々に拡大している。

3.4 舗装面剥離箇所④（図-7）

2014年5月の画像時点で第2車線の右輪載荷位置に直角方向のひび割れが確認され、2019年6月には小規模な剥離が確認されている。その後、初期には線状であったひび割れが徐々に広がっている。進行過程で剥離したSFRC小片に対しアスファルトによる補修が継続的に行われているものの、ひび割れ範囲は徐々に拡大しており、亀甲状のひび割れに至っている。

4. まとめ

SFRC舗装施工後10数年の間に舗装面の部分補修が行われている鋼床版箱桁橋を対象に、舗装の損傷状況の調査を行った。以下に得られた主な結果をまとめる。

1) 剥離を伴う損傷は、早い箇所（着目箇所①）で

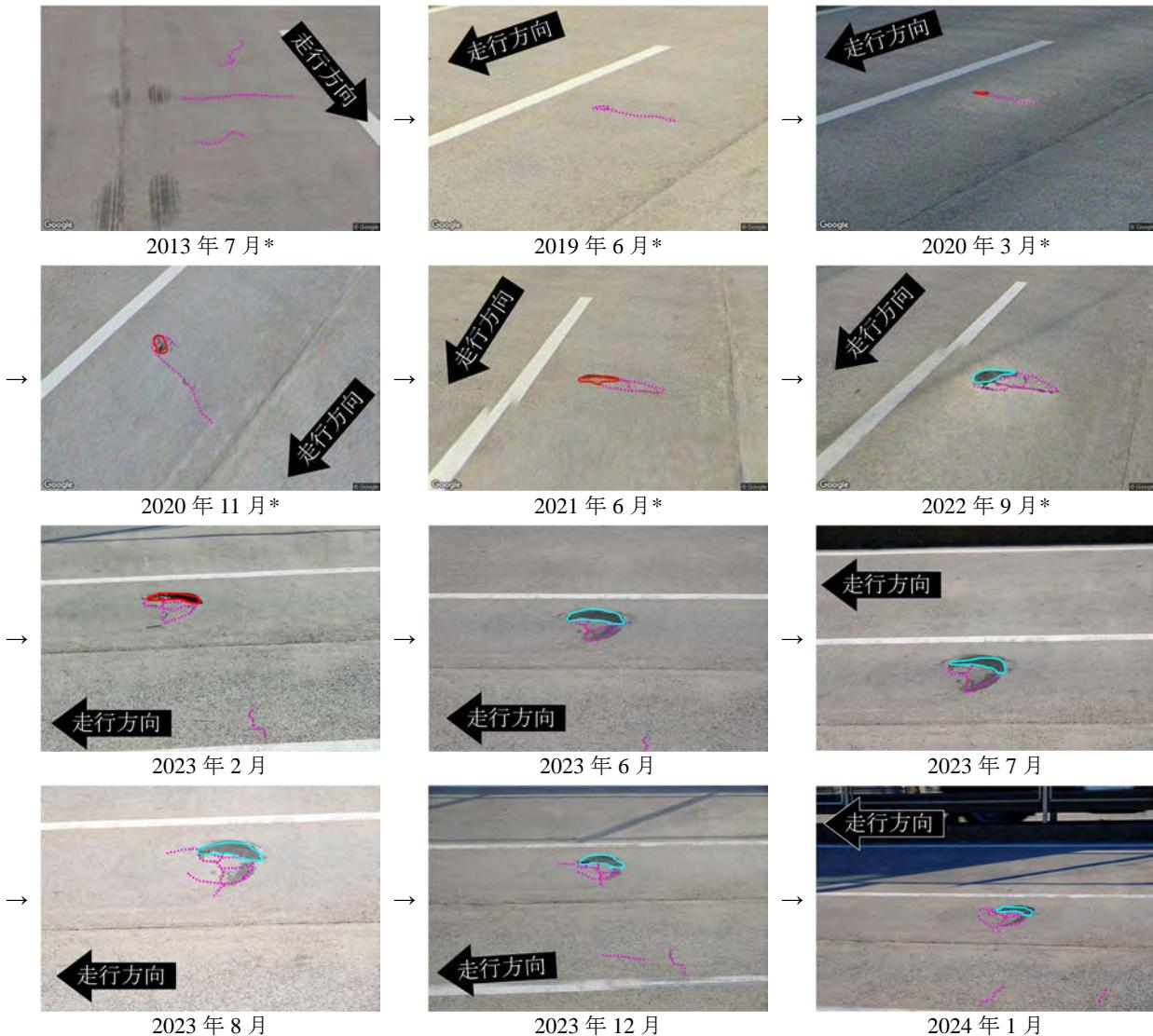
は2013年頃(SFRC舗装施工後3年程度)から生じており、縦断勾配のある側径間部において、大型車交通量の集中している第二車線の輪荷重直下にみられた。

- 2) SFRCにより補修された箇所では、補修後の約10年間では損傷の再発は確認されておらず、健全な状態が保たれていた。
- 3) アスファルトにより補修された箇所では、SFRC舗装との境界部分においてSFRC側に徐々にひび割れ損傷が進行しており、舗装材料の剛性差がSFRC舗装のひび割れの発生範囲が拡大する要因となっているものと推測される。
- 4) 2)と3)の状況を踏まえると、SFRC舗装の部分的な損傷に対し、SFRCと同等の剛性・強度の材料により補修することが望ましいと考えられる。

SFRC舗装の損傷が側径間で、かつ大型車の通行の多い車線に集中しているという損傷傾向はみられたものの、外観調査と管理者へのヒアリング調査の情報では原因特定には至っておらず、損傷原因の継続的な調査が必要と考えられる。

謝辞

本橋の管理事務所には、本橋の構造諸元、交通条件及びSFRC舗装施工に関する情報提供とヒアリ



□アスファルト補修部分 一舗装面剥離 …ひび割れ
 注1) *印はGoogleストリートビューからの引用を示す。
 注2) 路面状態に大きな変化のみられない期間は、一部写真を省略した。

図-7 舗装面剥離箇所④

ングに協力頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼床版の疲労、鋼構造シリーズ 19, pp.63-75, 2010.12.
- 2) (独)土木研究所、(株)横河ブリッジ、(株)NIPPO、鹿島道路(株)、大成ロテック(株)：鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究(その2・3・4)報告書—SFRC 舗装した既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル(案)—、土木研究所、共同研究報告書、第395号、2009.10.
- 3) 小野秀一、平林泰明、下里哲弘、稻葉尚文、村野益巳、三木千尋：既設鋼床版の疲労性状と鋼纖維補強コンクリート敷設工法による疲労強度改善効果に関する研究、土木学会論文集 A, Vol.65, No.2, pp.335-347, 2009.4.
- 4) 村越潤、木ノ本剛、春日井俊博、児玉孝喜、辻井豪：既設鋼床版の SFRC 舗装による補強工法の構造と耐久性評価に関する実験的検討、土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.69, No.3, pp.416-428, 2013.9.
- 5) 葉山瑞樹、平山繁幸、木ノ本剛：輪荷重走行試験による SFRC 補強の破壊形態の検討、土木学会第72回年次学術講演会概要集, I-052, pp.103-104, 2017.9.
- 6) 佐藤歩、玉越隆史、村越潤：鋼纖維補強コンクリート舗装を用いた鋼床版疲労対策技術の実態調査、平成28年度 国土交通省国土技術研究会論文集, pp.79-84, 2016.11.
- 7) 上仙靖、澤田守、篠田隆作：鋼床版 SFRC 舗装の環境作用を考慮した耐久性に関する研究、土木研究所資料、第4426号、2022.9.
- 8) Street View Static API (ホームページ)
<https://developers.google.com/maps/documentation/streetview/?hl=ja> (2024年3月18日閲覧)
 (2024年7月12日受付)