

施工後約15年が経過した鋼床版SFRC舗装のひび割れ調査 および接着材接合部の引張接着強度試験

篠田隆作・上仙 靖

1. はじめに

大型車交通量の多い鋼床版橋において、疲労亀裂（図-1）が報告¹⁾されており、この対策として既設舗装を剛性が高い鋼繊維補強コンクリート（Steel Fiber Reinforced Concrete）（以下「SFRC」という。）舗装（図-2）に置き換える工法が採用されている²⁾。この工法はSFRC舗装と鋼床版をエポキシ系接着材やスタッドで一体化させることにより、鋼床版デッキプレートの局部変形を抑制し、局部応力を低減させることによって疲労亀裂の進展を防ぐ効果が期待できる。

一方で、SFRC舗装は負曲げ域等にひび割れが生じる可能性がある。ひび割れによって舗装の機能や疲労亀裂の対策効果をただちに失うことはないものの、ひび割れからの雨水の浸入によって接着材の強度に影響する可能性があるため、SFRC補強工法の効果の低減が懸念される。

本稿ではSFRC舗装の施工から約15年が経過した実橋で、SFRC舗装路面のひび割れ調査およびSFRC補強工法に用いる接着材の引張接着強度試験を行ったため、その結果を紹介する。

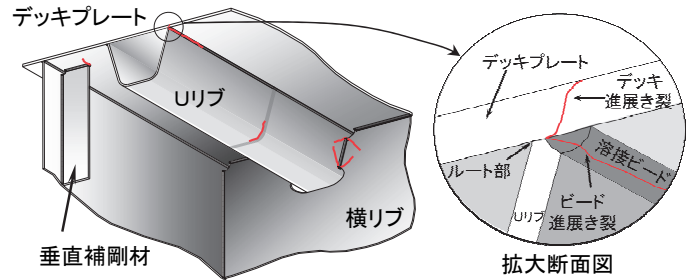


図-1 鋼床版の疲労損傷事例

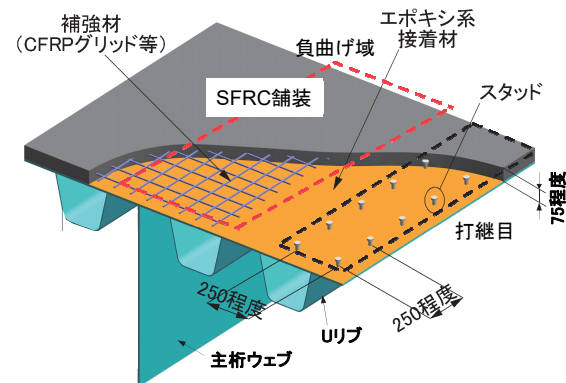


図-2 鋼床版の耐久性向上対策（SFRC舗装）

2. SFRC舗装のひび割れ調査

2.1 ひび割れ調査の対象橋梁

ひび割れ調査について、国立研究開発法人土木研究所（以下「土研」という。）が過去に調査した橋梁³⁾を対象とする。調査橋梁の基本情報を表-1に示す。S橋は1999年に鋼床版デッキプレートに疲労亀裂が確認され、2005年にSFRC舗装を施工した。S橋は既設鋼床版の疲労対策として初めてSFRC舗装が採用された橋梁である。

2.2 調査方法および調査結果

S橋のSFRC舗装の施工から5年経過時（2010

表-1 S橋のSFRC舗装の仕様等

橋梁名	S橋
供用時期	1986年
SFRC舗装 施工時期	2005年
舗装厚	80～90mm
接着材	エポキシ系
スタッド	φ 9×40mm
補強材	CFRPグリッド
経過年数	15年

年)、10年経過時（2015年）にS橋の目視調査³⁾を行い、舗装路面の橋軸方向と橋軸直角方向にひび割れが確認されている。今回の調査ではそのひび割れの進展や新たなひび割れ等の調査を行った。なお、調査は車線規制を伴わず、歩道から見える範囲を対象に目視で行った。

表-2に2019年に道路管理者により実施された定期点検の結果（一部抜粋）と、目視調査による主な損傷状況を示す。定期点検は、SFRC舗装による対策後、2010年度、2014年度、2019年度に実施されている。2019年度の定期点検結果では、鋼床版の疲労き裂および路面のひび割れの著しい進展は確認されていなかった。

今回の目視調査においても、従前調査時（2015年）に確認したひび割れについて、顕著な進展は確認できなかった。また、従前調査時に確認したひび割れの一部について、今回調査では確認できないものがあった。対象橋梁はSFRC舗装の打換は行っていないため、車両走行による摩耗や調査時の天候（曇り）の影響により、目視ではひび割れを確認できなかったと考えられる。

また、輪直下の舗装路面が摩耗しており、骨材の露出や舗装路面に鋼繊維のさびの露出（写真-1）を確認した。写真-1より、鋼繊維が路面垂直方向に立っている様子は確認できなかったため、車両走行に与える影響は小さいと考えられる。

舗装のひび割れがSFRC舗装や接着材接合部の耐久性に与える影響は明確にされていないため、ひび割れの継続調査が重要である。また、ひび割れから浸入する雨水が接着材の耐久性等に及ぼす影響を把握するため、疲労試験等による検討を継続して進める予定である。

3. SFRC舗装の接着材の引張接着強度試験

3.1 引張接着強度試験の対象橋梁

試験の対象橋梁は国道357号線横浜ベイブリッジ（以下「YBB」という。）、国道50号線大平高架橋である。SFRC舗装の仕様等を表-3に示す。この2橋はSFRC舗装を採用し始めた初期の橋梁であり、それぞれ種類の異なる接着材を使用しているために試験の対象橋梁に選定した。

YBBは2004年に新設時からの疲労対策として、国内で初めてSFRC舗装を採用した。橋梁の断面図や試験位置を図-3に示す。試験位置について、供用区間ではないために輪荷重の作用を受けないこと、ダブルデッキ構造の下層であるために雨水の直接的な影響は小さいと考えられることが特徴である。

表-2 S橋の橋梁点検結果と主な損傷状況写真^{文献3)に加筆}

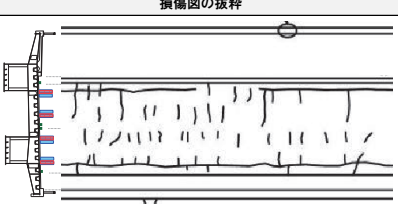
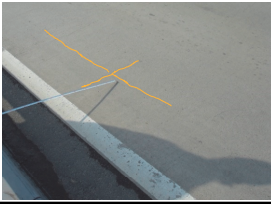
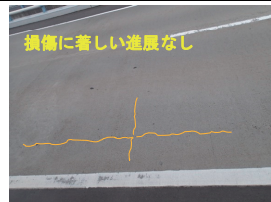
橋梁点検時		損傷状況
		・橋軸方向ひび割れ
		・橋軸直角方向ひび割れ
		・舗装路面の摩耗
対策後 14年経過 (2019.1)		
主な損傷状況写真		
	ひび割れ(橋軸、橋直):輪荷重位置付近	ひび割れ(橋直):全径間にわたり発生
従前調査時		
対策後 5年経過 (2010.2)		
天候:晴れ		
従前調査時		
対策後 10年経過 (2015.11)		
天候:曇り		
今回調査時		
対策後 15年経過 (2020.11)		
天候:曇り		



写真-1 鋼繊維のさび（SFRC舗装路面）

表-3 YBBと大平高架橋のSFRC舗装の仕様等

橋梁名	YBB	大平高架橋
路線名	下層・国道357号線	国道50号線
供用時期	2004年	1985年
SFRC舗装 施工時期	2004年	2007年
舗装厚	75mm	75mm
接着材	エポキシ系※	エポキシ系※
プライマー	有り	無し
スタッド	φ9×40mm	φ9×30mm
補強材	なし	CFRPグリッド
経過年数	16年	13年

※ 種類の異なるエポキシ系接着材を使用。

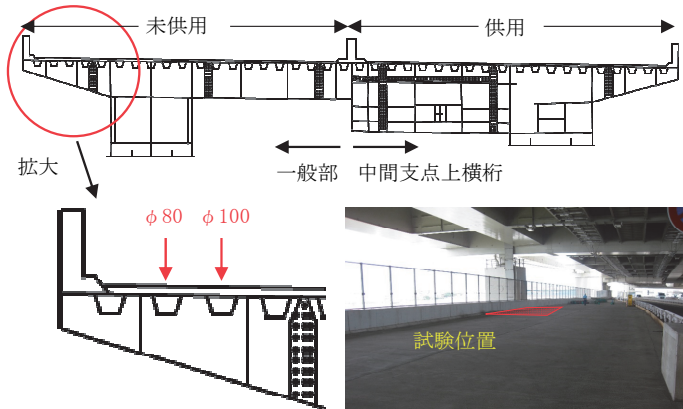


図-3 国道357号線 横浜ベイブリッジ 試験位置

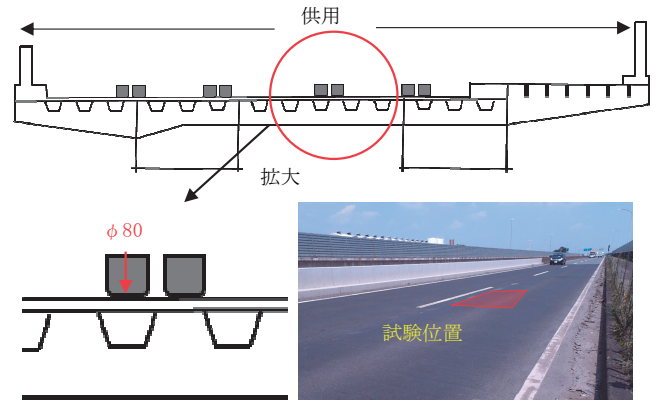


図-4 国道50号線 大平高架橋 試験位置

大平高架橋は1985年に供用されており、2007年に疲労亀裂の対策としてSFRC舗装を施工した。橋梁の断面図や試験位置を図-4に示す。大平高架橋は2014年にSFRC舗装路面に凍結防止を目的とした樹脂舗装を施工したため、2014年度以降はSFRC舗装への雨水の影響は小さいと考えられる。なお、交通状況は2015年センサスで日交通量約29,000台（24時間）、大型車混入率約32%である。

試験位置はスタッドや補強材と干渉しない位置で交通規制帯の中で安全に作業できる位置を選定した。また、接着材にとって厳しい条件とするため、局部変形が生じるために引張接着強度が低いと想定する鋼床版Uリブの内部（図-4参照）かつ輪荷重の直下の位置とした。

3.2 試験方法

試験はSFRC舗装と既設鋼床版の接着材接合部を対象に引張接着強度試験を行う。試験の载荷状況を写真-2に、試験のイメージを図-5に示す。まず、コアカッターで鋼床版上面に達するまで切削（φ80mm又はφ100mm）した。次に、切削箇所内側のSFRC舗装の表面を研掃し、切削箇所と試験用治具を治具接着材により一体化した。試験はSFRC舗装と鋼床版の接着材接合面が破壊するまで载荷し、破壊時の引張荷重値を計測した。この引張荷重値をコアの断面積（実測値）で除した値を引張接着強度とした。試験は建研式接着力試験器を用い、一定の载荷速度（0.1Mpa/秒を目安）となるように同じ作業者がストップウォッチを確認しながら実施した。

試験評価は破壊形態と引張接着強度を確認する。破壊形態はSFRC舗装での破壊の面積割合が90%以上であることを、引張接着強度は平均値が



写真-2 引張接着強度試験の状況（大平高架橋）

1.0N/mm²以上であることを良否の目安とする。これらの評価の目安は参考文献2を準用した。

3.3 試験結果と考察

引張接着強度試験の結果を表-4に、試験後の破壊状況を写真-3、4に示す。

表-4より、破壊形態は10箇所がSFRC舗装の材料破壊（写真-3）、5箇所が治具接着材近傍の破壊（写真-4）であった。10箇所は評価目安²⁾の「SFRC舗装での破壊の面積割合が90%以上」を満足した。表-4より、切削径φ100の4箇所では治具接着材近傍での破壊を示した。切削径が大きいほど引張荷重値が大きいため、切削径φ100では応力集中箇所と想定する治具直下の治具用接着材近傍（図-5）が先に破壊されたと考えられる。

表-4より、引張接着強度（材料破壊）の平均値は、2.61N/mm²、3.05 N/mm²、2.75N/mm²であり、評価目安²⁾とする「1.0N/mm²以上」であった。なお、本試験はSFRC舗装と鋼床版の接合部の接着材を対象としたため、治具用接着材近傍での破壊は望ましい破壊形態ではなかった。一方で、接合部の接着材の強度は治具用接着材近傍の強度と同等以上の値（約2.0N/mm²以上）と考えられ

表-4 引張接着強度試験結果

調査箇所	横浜ベイブリッジ (φ 100)				横浜ベイブリッジ (φ 80)				大平高架橋 (φ 80)			
気温(°C)	21.4				21.4				21.8			
結果	No	破壊形態	引張接着強度 (N/mm ²)	平均値	No	破壊形態	引張接着強度 (N/mm ²)	平均値	No	破壊形態	引張接着強度 (N/mm ²)	平均値
	1	SFRC	2.61	2.61	6	SFRC	2.82	3.05	11	SFRC	2.57	2.75
	2	治具接着材	2.01		7	SFRC	2.98		12	SFRC	2.65	
	3	治具接着材	2.20		8	SFRC	3.07		13	SFRC	2.78	
	4	治具接着材	2.38		9	SFRC	3.31		14	SFRC	2.85	
	5	治具接着材	2.46		10	治具接着材	2.55	-	15	SFRC	2.92	

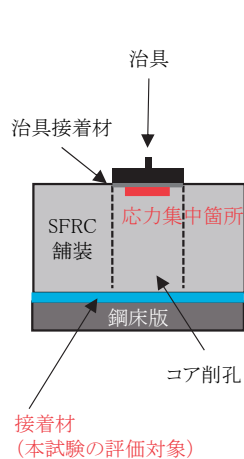


図-5 試験イメージ

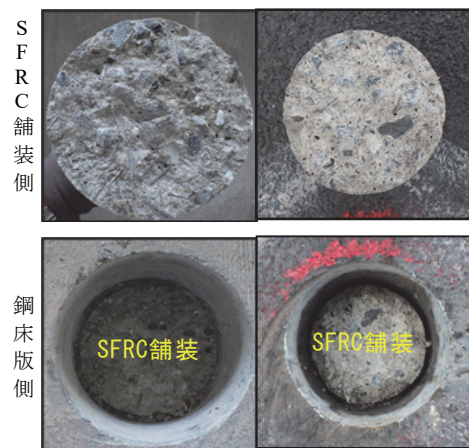


写真-3 SFRC舗装での破壊状況

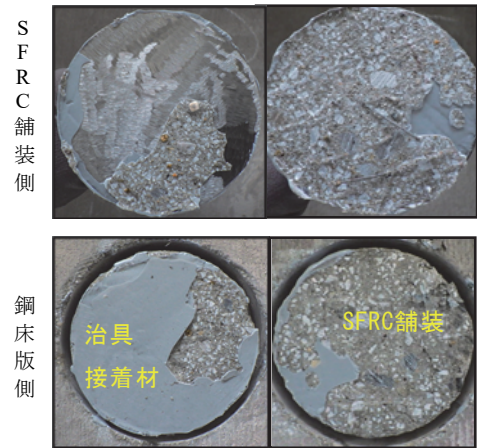


写真-4 治具接着材近傍での破壊状況

るため、接合部接着材の強度は良否の目安である
1.0N/mm²以上の強度を有していると考えられる。

に格別のご協力を頂いた。ここに記して関係者の
皆様に謝意を表する。

4. おわりに

本稿では、SFRC舗装の施工から約15年が経過した実橋において、S橋でひび割れ調査、YBBおよび大平高架橋で引張接着強度試験の概要を述べた。ひび割れ調査は、従前調査から顕著な進展を確認できなかった。引張接着強度試験は、評価指標である破壊形態および引張接着強度について、建設時の評価の目安を満足した。また、実橋の引張接着強度試験では、SFRC舗装と既設鋼床版の接着材接合部の破壊形態を確認するためには、切削径φ80mmが有効であることがわかった。

今後は、SFRC舗装の疲労試験等により耐久性を評価していく予定である。

謝 辞

本研究においては、国土交通省関東地方整備局の関東道路メンテナンスセンター、横浜国道事務所、宇都宮国道事務所をはじめ道路管理者の皆様

参考文献

- 1) (公社)日本道路協会：鋼道路橋疲労設計便覧、pp.9～10、2020
- 2) (独)土木研究所、(株)横河ブリッジ、(株)NIPPO、鹿島道路(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舗装による既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル（案）—、共同研究報告書整理番号第395号、2009
- 3) 村井啓太、玉越隆史、佐藤歩：SFRC舗装を用いた鋼床版疲労対策技術の耐久性の追跡調査、土木技術資料、第59巻、第11号、pp.32～35、2017

篠田 隆作

土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 研究員
SHINODA Ryusaku

上仙 靖

土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員
JOSEN Yasushi